

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI - CƠ SỞ II
BỘ MÔN CẦU HẦM - CSII



BÀI GIẢNG THIẾT KẾ CẦU THÉP



BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI - CƠ SỞ II
BỘ MÔN CẦU HẦM - CSII



BÀI GIẢNG THIẾT KẾ CẦU THÉP

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1: NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ CẦU THÉP.....	10
§1.1. KHÁI NIỆM VỀ KẾT CẤU NHỊP CẦU THÉP.....	10
1.1.1. KHÁI NIỆM VỀ CẦU THÉP:	10
1.1.2. LỊCH SỬ XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN CẦU THÉP:.....	10
1.1.2.1. Lịch sử phát triển cầu thép trên thế giới:	10
1.1.2.2. Lịch sử phát triển cầu trong nước:	12
§1.2. TỔNG QUAN VỀ CÁC DẠNG, CÁC SƠ ĐỒ CẦU THÉP	15
1.2.1. CÁC SƠ ĐỒ CẤU TẠO KẾT CẤU NHỊP:	15
1.2.1.1. Kết cấu nhịp cầu dầm:	15
1.2.1.2. Kết cấu nhịp cầu dàn:	15
1.2.1.3. Kết cấu nhịp cầu vòm:	15
1.2.1.4. Kết cấu nhịp cầu khung:	16
1.2.1.5. Kết cấu nhịp cầu treo:	16
1.2.2. CÁC SƠ ĐỒ TÍNH HỌC:.....	16
1.2.2.1. Sơ đồ giản đơn:	16
1.2.2.2. Sơ đồ giản đơn nút thừa:.....	17
1.2.2.3. Sơ đồ liên tục:	17
§1.3. ƯU, NHƯỢC ĐIỂM VÀ PHẠM VI ÁP DỤNG CỦA CẦU THÉP	19
1.3.1. ƯU ĐIỂM:.....	19
1.3.2. NHƯỢC ĐIỂM:.....	19
1.3.3. PHẠM VI ÁP DỤNG:	19
§1.4. VẬT LIỆU LÀM CẦU THÉP.....	20
1.4.1. BÊTÔNG:.....	20
1.4.2. CỐT THÉP:.....	20
1.4.3. THÉP KẾT CẤU:	20
§1.5. CÁC XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN TRONG LĨNH VỰC CẦU THÉP HIỆN ĐẠI. 22	22
1.5.1. CÁC XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN CHUNG:.....	22
1.5.1.1. Về vật liệu và dạng kết cấu nhịp:	22
1.5.1.2. Về liên kết trong cầu thép:	22
1.5.1.3. Về công nghệ thi công:	22
1.5.2. XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN KẾT CẤU NHỊP CẦU LỚN Ở NƯỚC TA:.....	22
CHƯƠNG 2: CẤU TẠO KẾT CẤU NHỊP CẦU DÀM THÉP.....	23
§2.1. KHÁI NIỆM CHUNG	23
2.1.1. KHÁI NIỆM VỀ CẦU DÀM THÉP:	23
2.1.2. CÁC DẠNG MẶT CẮT NGANG CỦA DÀM CHỦ:.....	23

2.1.2.1. Dầm đặc:	23
2.1.2.2. Dầm liên hợp Thép - BTCT:	25
2.1.2.3. Dầm hộp:	25
2.1.3. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN:	26
§2.2. CẦU TẠO MẶT CẦU	28
2.2.1. MẶT CẦU CHO ĐƯỜNG ÔTÔ:	28
2.2.1.1. Mặt cầu bằng bê tông Asphalt:	28
2.2.1.2. Mặt cầu bằng bê tông xi măng:	29
2.2.1.3. Mặt cầu bằng thép:	30
2.2.2. MẶT CẦU CHO ĐƯỜNG SẮT:	32
2.2.2.1. Mặt cầu có máng đá balát:	32
2.2.2.2. Mặt cầu trần:	33
2.1.2.3. Mặt cầu có ray đặt trực tiếp lên bản mặt cầu:	34
§2.3. CẦU DẦM THÉP KHÔNG LIÊN HỢP	36
2.3.1. GIỚI THIỆU CHUNG:	36
2.3.2. CẤU TẠO DẦM CHỦ:	37
2.3.2.1. Căn cứ lựa chọn kết cấu dầm chủ:	37
2.3.2.2. Số lượng dầm chủ:	37
2.3.2.3. Chiều cao dầm thép:	37
2.3.2.4. Tỷ lệ cấu tạo chung của dầm chủ:	38
2.3.3. KÍCH THƯỚC CÁC BỘ PHẬN CỦA DẦM CHỦ:	38
2.3.3.1. Kích thước bản bụng:	38
2.3.3.2. Kích thước bản cánh:	39
§2.4. CẦU DẦM LIÊN HỢP THÉP - BTCT	41
2.4.1. KHÁI NIỆM CHUNG:	41
2.4.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA CẦU DẦM LIÊN HỢP THÉP - BTCT:	42
2.4.2.1. Nguyên tắc cấu tạo:	42
2.4.2.2. Nguyên lý làm việc:	42
2.4.2.3. Đặc điểm của cầu dầm liên hợp Thép - BTCT:	44
2.4.3. CẤU TẠO CHUNG KCN CẦU DẦM LIÊN HỢP THÉP - BTCT:	44
2.4.4. CẤU TẠO DẦM CHỦ:	45
2.4.4.1. Căn cứ lựa chọn kết cấu dầm chủ:	45
2.4.4.2. Số lượng dầm chủ:	45
2.4.4.3. Chiều cao dầm chủ:	46
2.4.4.4. Tỷ lệ cấu tạo chung của dầm thép:	47
2.4.5. KÍCH THƯỚC CÁC BỘ PHẬN CỦA DẦM THÉP:	47

2.4.5.1. Kích thước bản bụng:	47
2.4.5.2. Kích thước bản cánh:	48
2.4.6. CẦU TẠO BẢN BÊTÔNG:	49
2.4.7. CẦU TẠO HỆ NEO LIÊN KẾT:	50
2.4.7.1. Vai trò của neo liên kết:	50
2.4.7.2. Cấu tạo neo:	50
2.4.7.3. Nguyên tắc bố trí neo:	53
§2.5. CẦU DẦM THÉP BẢN TRỰC HƯỚNG	54
2.5.1. KHÁI NIỆM CHUNG:	54
2.5.2. CẦU TẠO BẢN MẶT CẦU TRỰC HƯỚNG:	55
§2.6. CẦU DẦM THÉP UỐN TRƯỚC	56
2.6.1. KHÁI NIỆM CHUNG:	56
2.6.2. CẦU TẠO CẦU DẦM PREBEAM:	57
2.6.2.1. Cấu tạo chung:	57
2.6.2.2. So sánh giữa dầm Prebeam và dầm BTCTDƯL:	58
2.6.2.3. Vật liệu chế tạo dầm:	58
2.6.3. TRÌNH TỰ CHẾ TẠO DẦM PREBEAM:	60
2.6.3.1. Phương pháp tải trọng dần:	60
2.6.3.2. Phương pháp dùng thanh căng:	61
2.6.4. KẾT LUẬN:	62
§2.7. CÁC HỆ THỐNG LIÊN KẾT	63
2.7.1. SƯỜN TĂNG CƯỜNG:	63
2.7.1.1. Vai trò:	63
2.7.1.2. Cấu tạo sườn tăng cường:	63
2.7.1.3. Mặt cắt hiệu dụng của sườn tăng cường:	66
2.7.2. HỆ LIÊN KẾT NGANG CẦU:	67
2.7.2.1. Vai trò:	67
2.7.2.2. Cấu tạo hệ liên kết ngang cầu:	67
2.7.3. HỆ LIÊN KẾT DỌC CẦU:	69
2.7.3.1. Vai trò:	69
2.7.3.2. Cấu tạo hệ liên kết dọc cầu:	70
§2.8. MỐI NỐI DẦM VÀ TẠO ĐỘ VÒNG BẰNG MỐI NỐI	72
2.8.1. SỰ CẦN THIẾT PHẢI CẦU TẠO MỐI NỐI DẦM:	72
2.8.2. YÊU CẦU CẦU TẠO MỐI NỐI DẦM:	72
2.8.3. CẦU TẠO MỐI NỐI DẦM:	73
2.8.3.1. Cấu tạo chung:	73

2.8.3.2. Mỗi nối bản bụng:	73
2.8.3.3. Mỗi nối bản cánh:	73
2.8.3.4. Bản tập dùm cho mỗi nối:	74
2.8.4. BIỆN PHÁP TẠO ĐỘ VÒNG BẰNG MỖI NỐI:	74
Chương 3: TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CẦU DẦM THÉP	77
§3.1. KHÁI QUÁT VỀ QUÁ TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ	77
3.1.1. KHÁI NIỆM CHUNG:	77
3.1.2. SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN:	77
§3.2. CƠ SỞ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ	78
VÀ CÁC TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ HIỆN HÀNH	78
3.2.1. TIÊU CHUẨN THIẾT KẾ:	78
3.2.2. TRIẾT LÝ THIẾT KẾ:	78
3.2.3. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN KẾT CẤU:	78
3.2.3.1. Phương pháp thiết kế theo ứng suất cho phép:	78
3.2.3.2. Phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng:	79
3.2.3.3. Phương pháp thiết kế theo trạng thái giới hạn:	79
3.2.3.4. Phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và sức kháng:	80
§3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU VÀ XÁC ĐỊNH	85
NỘI LỰC TRONG CÁC BỘ PHẬN KCN	85
3.3.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH KẾT CẤU:	85
3.3.1.1. Nguyên tắc chung:	85
3.3.1.2. Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình không gian:	85
3.3.1.3. Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình phẳng:	86
3.3.2. TẢI TRỌNG VÀ HỆ SỐ TẢI TRỌNG:	87
3.3.2.1. Tĩnh tải:	87
3.3.2.2. Hoạt tải xe thiết kế:	87
3.3.2.3. Hoạt tải người:	89
3.3.2.4. Hệ số tải trọng:	89
3.3.2.5. Hệ số làn:	90
3.3.2.6. Hệ số xung kích:	91
3.3.3. XÁC ĐỊNH HỆ SỐ PHÂN BỐ NGANG:	91
3.3.3.1. Nguyên tắc tính toán:	91
3.3.3.2. Các nhóm phương pháp tính toán phân phối tải trọng:	91
3.3.3.3. Phương pháp đòn bẩy:	92
3.3.3.4. Tính hệ số phân bố ngang theo 22TCN 272-05:	93
3.3.4. XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TRONG DẦM CHỦ:	99

3.3.4.1. Vẽ đường ảnh hưởng nội lực:	99
3.3.4.2. Xác định nội lực do tĩnh tải:	100
3.3.4.3. Xác định nội lực do hoạt tải:.....	101
3.3.4.4. Tổng hợp nội lực:	103
§3.4. XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC	104
CỦA MẶT CẮT DÀM CHỦ.....	104
3.4.1. ĐTHH CỦA MẶT CẮT DÀM KHÔNG LIÊN HỢP:.....	104
3.4.1.1. Sự phát triển ứng suất trong mặt cắt dầm:	104
3.4.1.2. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm chủ trong giai đoạn đàn hồi:.....	105
3.4.1.3. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm chủ trong giai đoạn chảy dẻo:.....	105
3.4.1.4. Xác định Mômen chảy (M_y) và mômen dẻo (M_p):	107
3.4.2. ĐTHH CỦA MẶT CẮT DÀM LIÊN HỢP CHỊU MÔMEN UỐN DƯƠNG:	109
3.4.2.1. Khái niệm chung:	109
3.4.2.2. Sự phát triển ứng suất trong mặt cắt.....	109
3.4.2.3. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn I:	111
3.4.2.4. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn II:	111
3.4.2.5. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm trong giai đoạn chảy dẻo:	117
3.4.2.6. Xác định mômen chảy và mômen dẻo:	120
3.4.3. ĐTHH CỦA MẶT CẮT DÀM LIÊN HỢP CHỊU MÔMEN UỐN ÂM:	122
3.4.3.1. Khái niệm chung:	122
3.4.3.2. Sự phát triển ứng suất trong mặt cắt chịu mômen uốn âm:	123
3.4.3.3. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn I:	125
3.4.3.4. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn II:	125
3.4.3.5. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn chảy dẻo:	128
3.4.3.6. Xác định mômen chảy và mômen dẻo:	130
§3.5. ẢNH HƯỞNG CỦA TỪ BIẾN - CO NGÓT	133
VÀ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ TRONG CẦU DÀM LIÊN HỢP.	133
3.5.1. ẢNH HƯỞNG CỦA CO NGÓT:.....	133
3.5.1.1. Nguyên tắc tính toán:.....	133
3.5.1.2. Xác định biến dạng tương đối do co ngót:.....	133
3.5.1.3. Nội lực phát sinh do co ngót trong cầu dầm liên hợp nhịp giản đơn:	134
3.5.1.4. Nội lực phát sinh do co ngót trong cầu dầm liên hợp nhịp liên tục:.....	135
3.5.2. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ:.....	137
3.5.2.1. Nhiệt độ phân bố đều:.....	137
3.5.2.2. Nhiệt độ phân bố không đều:	138
3.5.2.3. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ âm trong cầu liên hợp nhịp giản đơn:	142

3.5.2.4. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ dương trong cầu liên hợp nhịp giản đơn: ...	143
3.5.2.5. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ âm trong cầu liên hợp nhịp liên tục:	144
3.5.2.6. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ dương trong cầu liên hợp nhịp liên tục:	148
§3.6. KIỂM TOÁN KCN THEO CÁC TTGH	149
3.6.1. NỘI DUNG KIỂM TOÁN KẾT CẤU NHỊP:	149
3.6.2. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN CẤU TẠO CHUNG CỦA DẦM:	150
3.6.2.1. Tỷ lệ cấu tạo chung của dầm chủ:	150
3.6.2.2. Kiểm tra độ mảnh của bản bụng:	150
3.6.3. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN CẤU TẠO CỦA MẶT CẮT ĐẶC CHẮC:	150
3.6.3.1. Kiểm tra độ mảnh của sườn dầm có mặt cắt đặc chắc:	150
3.6.3.2. Kiểm tra độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt đặc chắc:	151
3.6.3.3. Kiểm tra tương tác giữa sườn dầm và bản cánh chịu nén:	152
3.6.3.4. Kiểm tra giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt đặc chắc:	152
3.6.3.5. Điều kiện sử dụng công thức Q theo cách tùy chọn:	153
3.6.3.6. Kiểm tra độ mảnh bản bụng và bản cánh chịu nén khi dùng công thức Q:	153
3.6.4. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN CẤU TẠO CỦA MẶT CẮT KO ĐẶC CHẮC:	154
3.6.4.1. Kiểm tra độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc:	154
3.6.4.2. Kiểm tra điều kiện giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc:	154
3.6.5. KIỂM TOÁN SỨC KHÁNG UỐN THEO TTGH CƯỜNG ĐỘ:	156
3.6.5.1. Công thức kiểm toán:	156
3.6.5.2. Tính sức kháng uốn danh định M_n :	156
3.6.6. KIỂM TOÁN SỨC KHÁNG CẮT THEO TTGH CƯỜNG ĐỘ:	163
3.6.6.1. Công thức kiểm toán:	163
3.6.6.2. Sức kháng cắt danh định của sườn dầm không có sườn tăng cường:	163
3.6.6.3. Sức kháng cắt của sườn dầm có sườn tăng cường:	163
3.6.7. KIỂM TOÁN SƯỜN DẦM THEO ĐIỀU KIỆN MỎI:	165
3.6.7.1. Nguyên tắc chung:	165
3.6.7.2. Ứng suất uốn:	166
3.6.7.3. Ứng suất cắt:	166
3.6.8. KIỂM TRA ĐỘ VỒNG THEO TTGH SỬ DỤNG:	167
3.6.8.1. Nguyên tắc chung:	167
3.6.8.2. Kiểm tra độ võng do tĩnh tải theo phân tích đàn hồi:	167
3.6.8.3. Kiểm tra độ võng do hoạt tải theo phân tích đàn hồi:	167
3.6.8.4. Tính độ võng:	169
3.6.9. KIỂM TRA DAO ĐỘNG CỦA KCN THEO TTGH SỬ DỤNG:	170
3.6.9.1. Xác định chu kỳ dao động:	170

3.6.9.2. Kiểm tra điều kiện dao động của kết cấu nhịp:.....	170
§3.7. TÍNH TOÁN VÀ BỐ TRÍ SƯỜN TĂNG CƯỜNG	171
3.7.1. NGUYÊN TẮC CẤU TẠO:	171
3.7.2. KIỂM TRA SƯỜN TĂNG CƯỜNG GỐI:.....	172
3.7.2.1. Kiểm tra điều kiện cấu tạo:	172
3.7.2.2. Kiểm toán sức kháng ép mặt:.....	172
3.7.2.3. Kiểm toán sức kháng nén dọc trục:	173
3.7.2.4. Kiểm tra độ mảnh giới hạn:	173
3.7.3. KIỂM TRA SƯỜN TĂNG CƯỜNG TRUNG GIAN:.....	173
3.7.3.1. Kiểm tra điều kiện cấu tạo:	173
3.7.3.2. Kiểm tra mômen quán tính của sườn tăng cường:	174
3.7.3.3. Kiểm tra diện tích sườn tăng cường:	174
3.7.4. KIỂM TRA SƯỜN TĂNG CƯỜNG DỌC:	175
§3.8. TÍNH TOÁN VÀ BỐ TRÍ NEO LIÊN HỢP	176
3.8.1. NGUYÊN TẮC CHUNG:.....	176
3.8.2. XÁC ĐỊNH CÁC LỰC TÁC DỤNG LÊN NEO:	176
3.8.2.1. Lực tác dụng lên neo trong giai đoạn đàn hồi:.....	176
3.8.2.2. Lực trượt danh định tác dụng lên neo trong giai đoạn chảy dẻo:	178
3.8.3. KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA NEO:	178
3.8.3.1. Neo cứng:.....	178
3.8.3.2. Neo mềm:.....	179
3.8.3.3. Neo đinh mũ:.....	180
3.8.3.4. Sức kháng cắt tính toán của neo:.....	181
3.8.4. BỐ TRÍ NEO:.....	181
3.8.4.1. Số lượng neo:	181
3.8.4.2. Khoảng cách giữa các neo:	182
3.8.5. KIỂM TRA SỨC KHÁNG MỎI CỦA NEO ĐINH MŨ:.....	182
§3.9. TÍNH LIÊN KẾT BẢN CÁNH VÀ BẢN BỤNG	184
3.9.1. TÍNH LIÊN KẾT HÀN:.....	184
3.9.2. TÍNH LIÊN KẾT ĐINH TÁN:	186
3.9.3. XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA ĐINH VÀ BU LÔNG:	187
3.9.3.1. Mặt cắt cắt qua thân đinh:.....	187
3.9.3.2. Khả năng chịu cắt của thân đinh hoặc bulông:	188
3.9.3.3. Khả năng chịu ép mặt của thân đinh hoặc bulông:	188
3.9.3.4. Khả năng chịu kéo của thân đinh hoặc bulông:	189
3.9.3.5. Sức kháng trượt của bulông cường độ cao:	190

§3.10. TÍNH TOÁN MỐI NỐI DÀM CHỦ	192
3.10.1. NGUYÊN TẮC TÍNH TOÁN:	192
3.10.2. MỐI NỐI BẰNG ĐƯỜNG HÀN:	192
3.10.2.1. Cấu tạo mối nối:	192
3.10.2.2. Tính mối nối bản cánh:	193
3.10.2.3. Tính mối nối bản bụng:	193
3.10.3. MỐI NỐI BẰNG ĐINH TÁN HOẶC BULÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO:	194
3.10.3.1. Cấu tạo chung:	194
3.10.3.2. Tính mối nối bản cánh:	195
3.10.3.3. Tính mối nối bản bụng:	195
§3.11. TÍNH TOÁN HỆ LIÊN KẾT	198
§3.12. TÍNH TOÁN BẢN MẶT CẦU	199
3.12.1. KHÁI NIỆM:	199
3.12.2. CHỌN KÍCH THƯỚC BẢN MẶT CẦU:	199
3.12.2.1. Bề rộng:	199
3.12.2.1. Chiều dày:	199
3.12.3. XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TRONG BẢN:	199
3.12.3.1. Sơ đồ tính toán:	199
3.12.3.2. Hoạt tải xe thiết kế dùng để tính toán:	200
3.12.3.3. Diện tích tiếp xúc của bánh xe với mặt đường:	200
3.12.3.4. Chiều rộng dải bản tương đương:	201
3.12.3.5. Tính toán phần hẫng bản mặt cầu:	201
3.12.3.6. Tính toán phần bản mặt cầu bên trong:	202
3.12.4. KIỂM TOÁN BẢN MẶT CẦU:	204
3.12.5. THIẾT KẾ BẢN MẶT CẦU THEO KINH NGHIỆM:	204
§3.13. ĐẶC ĐIỂM TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CẦU DÀM LIÊN TỤC	205
3.13.1. ĐẶC ĐIỂM VỀ CẤU TẠO:	205
3.13.2. ĐẶC ĐIỂM VỀ TÍNH TOÁN:	205

CHƯƠNG 1

NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ CẦU THÉP

§1.1. KHÁI NIỆM VỀ KẾT CẤU NHỊP CẦU THÉP

1.1.1. KHÁI NIỆM VỀ CẦU THÉP:

Cầu thép là cầu có kết cấu chịu lực chính được làm bằng thép, hợp kim thép hoặc thép liên hợp BTCT trong đó vật liệu thép đóng vai trò chủ yếu.

1.1.2. LỊCH SỬ XÂY DỰNG VÀ PHÁT TRIỂN CẦU THÉP:

1.1.2.1. Lịch sử phát triển cầu thép trên thế giới:

Cầu thép ra đời và phát triển cùng với sự lớn mạnh của công nghiệp luyện kim trên thế giới. Tuy nhiên ngay từ những năm đầu tiên của kỷ nguyên trước người Trung Quốc và Ấn Độ đã biết dùng dây xích bằng sắt để làm cầu treo, cho đến thế kỷ thứ 17 các cây cầu tương tự mới được xây dựng ở châu Mỹ và châu Âu.

Khoảng thế kỷ 18, công nghiệp kim loại của Châu Âu còn ở trong giai đoạn đầu trong quá trình phát triển. Các sản phẩm chính là gang và sắt. Gang chịu uốn và chịu kéo kém nên những chiếc cầu gang đầu tiên thường được làm dưới dạng vòm. Chiếc cầu vòm gang đầu tiên thuộc loại này được xây dựng ở Anh qua sông Severn 1776 - 1779.

Cầu treo dây xích bằng sắt cũng cùng xuất hiện và phát triển song song với cầu vòm gang. Chiếc cầu treo dây xích đầu tiên được xây dựng ở Pennsylvania (Mỹ). Khoảng đầu thế kỷ 19 ở Pháp đã xây dựng cầu treo *Frây-bua* (1834) có chiều dài nhịp 265m. Một trong những chiếc cầu dây xích nổi tiếng được xây dựng khoảng giữa thế kỷ 19 đầu thế kỷ 20 là cầu *Sơ-giê-tren-nui* qua sông Danube ở Budapest (Hungari) có nhịp chính 203m.

Vào các năm 20 - 30 của thế kỷ 19, sự xuất hiện dây cáp bằng thép sợi thay cho dây xích làm cho tốc độ phát triển của cầu tăng lên rất nhanh.

Sự phát triển của đầu máy hơi nước mở ra thời kỳ cách mạng công nghiệp thế kỷ 19 và được áp dụng trong đầu máy của xe lửa khiến tải trọng qua cầu là rất lớn do đó dẫn đến sự xuất hiện của kết cấu cầu dầm thép và dàn thép. Một trong những cây cầu dầm thép đầu tiên trên đường xe lửa là cầu *Bri-ta-nia* qua vịnh Menai ở Anh, cầu được xây dựng vào năm 1846-1850. Cầu có dạng liên tục hai nhịp theo sơ đồ $2 \times (70 + 140)\text{m}$, mặt cắt ngang là một hộp kín có đường xe chạy dưới.



Hình 1.1: Cầu dài hẫng qua vịnh Forth (Scotland)

Các cầu dầm hình hộp tỏ ra không kinh tế với các nhịp lớn vì không sử dụng hết cường độ vật liệu của vách dầm, kết cấu nặng nề, tốn thép, chiều cao kiến trúc lớn và khai thác không thuận tiện khi bố trí xe chạy dưới. Từ đó bắt đầu thời kỳ chuyển từ cầu dầm sang cầu dàn.

Chiếc cầu dàn thép đầu tiên được xây dựng ở Mỹ vào năm 1840 và chiếc cầu dàn thép hoàn toàn đầu tiên được xây dựng là cầu qua kênh Erie ở New York năm 1840 có chiều dài nhịp 24,5m.

Cùng với sự phát triển mạnh mẽ của vật liệu thép, những chiếc cầu vòm trước đây làm bằng gang nhưng từ những năm 1880 bắt đầu thay gang bằng thép và đã được ứng dụng rộng rãi ở Đức, Nga, Mỹ, Thụy Điển... Một trong những cầu vòm nổi tiếng trên thế giới là cầu **Sydney** ở Australia, xây dựng năm 1924 - 1932, cầu có nhịp chính dài 503m và chiều rộng toàn cầu là 48,8m cho hai đường xe lửa, 8 làn xe ô tô, một làn xe đạp và một làn người đi bộ.



Hình 1.2: Cầu Vòm Sydney (Australia 1924 - 1932)

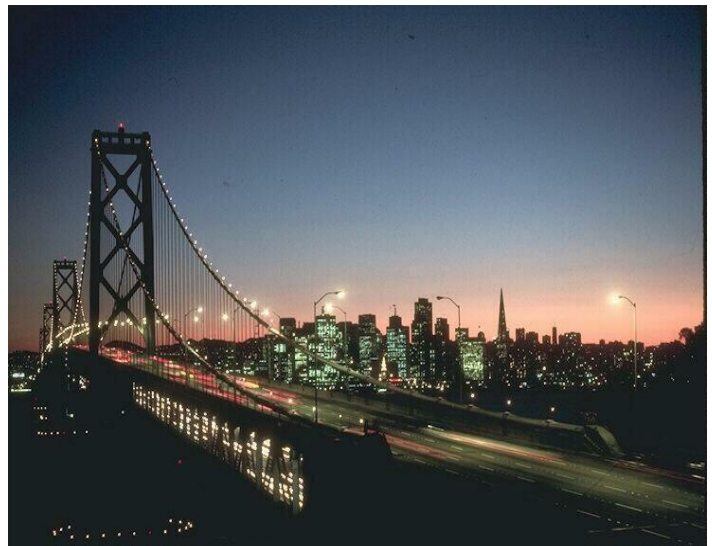
Kết cấu nhịp cầu treo có trọng lượng nhẹ nên khả năng vượt nhịp cao, tuy nhiên dao động của kết cấu nhịp cũng rất lớn do đó đã xảy ra rất nhiều các tai nạn của cầu treo. Đầu thế kỷ 20 ở Pháp đi theo hướng tìm các hệ giàn dây trong đó các thanh chỉ chịu kéo và làm việc theo sơ đồ không biến dạng hình học, đứng đầu trường phái này là Giscard, một kỹ sư nổi tiếng người Pháp.



Hình 1.3: Cầu Golden Gate (Mỹ)

Tuy nhiên chỉ đến năm 1938 giáo sư người Đức **Dishinbger** đã thử thiết kế một cầu treo cho đường sắt đôi qua sông Elbe với mục đích của ông là đưa các dây cáp căng xiên vào cầu treo để tăng cường độ cứng. **Dishinbger** đã dùng các dây cáp tiết diện lớn để đỡ dầm cứng như các gối tựa đàn hồi và đề nghị đó của ông được thực hiện vào cầu **Stromsund** ở Thụy Điển năm 1955. Cầu có dầm cứng liên tục ba nhịp làm bằng thép hợp kim và các dây văng làm bằng dây cáp cường độ cao, cầu có nhịp chính 183m và bản mặt cầu bằng bê tông cốt thép.

Kết cấu nhịp cầu dây văng có độ cứng lớn và có chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật tốt nên chỉ trong một thời gian ngắn đã được áp dụng rộng rãi ở hầu hết các nước trên thế giới. Cuối thế kỷ 20 là cuộc chạy đua về chiều dài nhịp giữa cầu treo và cầu dây văng. Các cầu treo và cầu dây văng có nhịp lớn là:



Hình 1.4: Cầu Akasi (Nhật Bản 1998)

BẢNG 1.1: MỘT SỐ CẦU TREO LỚN TRÊN THẾ GIỚI

STT	TÊN CẦU	ĐẤT NƯỚC	NĂM	$L_{nhịp}$ (m)
1	Scarsundet	Na Uy	1991	530
2	Nam Phố	Trung Quốc	1993	602
3	Normandie	Pháp	1995	856
4	Tatara	Nhật Bản	1999	890
5	Akasi	Nhật Bản	1998	1991

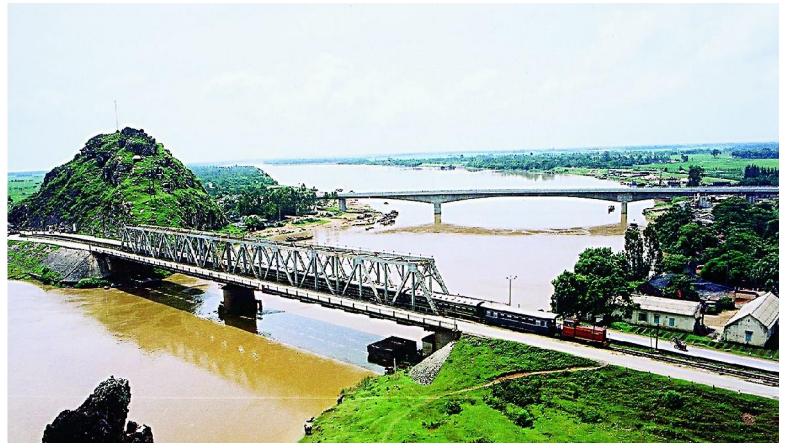
1.1.2.2. Lịch sử phát triển cầu thép trong nước:

Ở Việt Nam lịch sử phát triển cầu thép trải qua nhiều giai đoạn, gắn liền với lịch sử đấu tranh của dân tộc.

Thời kì Pháp thuộc là thời kì mạng lưới giao thông đường sắt và đường bộ được triển khai, đặc biệt là tuyến đường sắt xuyên Việt (1920 – 1936). Khi đó nhiều cầu dàn thép đã được xây dựng. Đặc điểm nổi bật của các cầu thép trong giai đoạn này là khổ hẹp, tải trọng nhẹ kết cấu theo dạng cổ điển ở các nước châu Âu vào cuối thế kỉ 19. Trên đường sắt chỉ phục vụ một đường đơn chung với ô tô, trên đường bộ thường chỉ thiết kế cho một làn xe. Dàn chủ có dạng nhiều thanh xiên như cầu Đuống cũ, các dàn biên cong và vành lược như cầu **Ninh Bình**, **Phú Lương**, **Lai Vu**, **Tân An**, **Bến Lức**; một số cầu có tính định hình bán vĩnh cửu như các dàn Pigiô, Eiffel, Bailey... Cây cầu nổi tiếng được xây dựng thời đó là cầu **Long Biên**, cầu dàn có biên đa giác với chiều dài toàn cầu gần 3000m trong đó phần dàn thép dài 1860m, theo sơ đồ dàn hẫng, nhịp lớn nhất dài 130m, nhịp đeo dài 52,5m và đến nay cầu vẫn còn đang được sử dụng. Chiếc cầu vòm nổi tiếng về Mỹ quan là cầu **Hàm Rồng** qua sông Mã ở Thanh Hóa với chiều dài nhịp 160m, theo sơ đồ vòm ba khớp có thanh chịu kéo. Cầu bị phá huỷ trong cuộc kháng chiến chống Pháp năm 1946.

Sau khi kết thúc kháng chiến chống Pháp (1954), trong một thời gian ngắn chúng ta đã khôi phục và làm mới hàng loạt các cầu thép như cầu **Làng Giàng** ở **Lào Cai**, cầu **Việt Trì**, cầu **Ninh Bình**, cầu **Hàm Rồng** được xây dựng lại theo sơ đồ dàn giản đơn 2 nhịp ($80 + 80$)m.

Từ năm 1954 - 1975 hầu hết các công trình cầu ở miền Bắc đều bị phá huỷ trong cuộc chiến tranh phá hoại do Mỹ phát động. Các công trình cầu giai đoạn này chủ yếu là công trình tạm để phục vụ giao thông trong thời chiến.



Hình 1.5: Cầu Hàm Rồng (Thanh Hoá)

Sau năm 1975 đất nước hoàn toàn giải phóng, đất nước ta bước vào thời kì đổi mới, phục hồi nền kinh tế quốc dân. Hàng loạt các cầu cũ đã được phá bỏ vì không đáp ứng được nhu cầu về tải trọng và mật độ xe hiện đại. Các cầu thép trên tuyến đường sắt xuyên Việt lần lượt được thay thế và xây dựng mới.

Cầu **Thăng Long** bắc qua sông Hồng là dạng cầu dàn thép liên tục gồm 5 liên, mỗi liên 3 nhịp có chiều dài 112m, mặt cầu bằng thép bản trực hướng (Orthotropic), chiều dài toàn cầu $L_{\text{cầu}} = 1680$ m. Cầu được thiết kế cho 4 làn xe ô tô chạy trên, hai làn đường sắt và 2 làn xe thô sơ chạy dưới. Từ năm 1972 - 1977 do các chuyên gia Trung Quốc thực hiện và từ năm 1978 - 1985 cầu được hoàn thành với sự giúp đỡ của các chuyên gia Liên xô.



Hình 1.6: Cầu Thăng Long (Hà Nội)

Cầu **Chương Dương** được xây dựng năm 1985 với chiều dài nhịp 97,6m, chiều dài toàn cầu $L_{\text{cầu}} = 1211$ m.



Hình 1.7: Cầu Chương Dương (Hà Nội)

Cầu **Việt Trì** (Phú Thọ) có 6 nhịp, tổng chiều dài 372,88m.

Cầu **Đò Quan** (Nam Định) xây dựng năm 1994 dưới dạng cầu thép bê tông liên hợp liên tục ba nhịp: 42 + 63 + 42m.



Hình 1.8: Cầu Việt Trì (Phú Thọ)

Ở Việt Nam, chiếc cầu dây văng đầu tiên được xây dựng năm 1976 qua sông **Đrak'ông** thuộc tỉnh Quảng Trị. Cầu có nhịp chính dài 129m, chiều rộng 7 + 2 x 0,8m, đến năm 1999 cầu bị sập do gỉ neo. Cầu Đarkrông được xây dựng lại năm 2000 theo dạng kết cấu nhịp cầu dây văng một mặt phẳng dây, với chiều dài nhịp 129m, chiều rộng cầu 7 + 2x0,8m.



Hình 1.9: Cầu Đarkrông (Quảng Trị)

Trong thời gian gần đây cùng với sự giúp đỡ của các chuyên gia nước ngoài chúng ta đã liên tục xây dựng các cầu dây văng nhịp lớn như:

BẢNG 1.2 : MỘT SỐ CẦU DÂY VĂNG LỚN TRONG NƯỚC

STT	TÊN CẦU	TỈNH	NĂM HT	SỐ ĐÒ NHỊP (m)
1	Sông Hàn	Đà Nẵng	2000	Nhịp chính 2 x 61.35
2	Mỹ Thuận	Vĩnh Long	2000	150 + 350 + 150
3	Kiên	Hải Phòng	2003	84 + 200 + 84
4	Bính	Hải Phòng	2005	100 + 260 + 100
5	Bãi Cháy	Quảng Ninh	2006	216,5 + 435 + 216,5
6	Nhật Tân	Hà Nội		
7	Cần Thơ	TP Cần Thơ	2010	230 + 550 + 230
8	Phú Mỹ	TP Hồ Chí Minh	2009	162,5 + 380 + 162,5

§1.2. TỔNG QUAN VỀ CÁC DẠNG, CÁC SƠ ĐỒ CẦU THÉP

1.2.1. CÁC SƠ ĐỒ CẤU TẠO KẾT CẤU NHỊP:

1.2.1.1. Kết cấu nhịp cầu dầm:

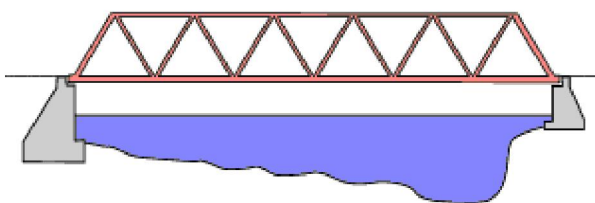
- Đặc điểm: Dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng thì gối cầu chỉ truyền áp lực thẳng đứng. Kết cấu nhịp cầu dầm có thể là cầu dầm giản đơn, cầu dầm giản đơn mút thừa hoặc cầu dầm liên tục. Do có cấu tạo đơn giản, dễ thi công nên KCN cầu dầm được dùng phổ biến nhất hiện nay.



Hình 1.10: Kết cấu nhịp cầu dầm.

- Các loại kết cấu nhịp cầu dầm:
 - + Cầu dầm đặc.
 - + Cầu dầm liên hợp thép - BTCT.

1.2.1.2. Kết cấu nhịp cầu dàn:



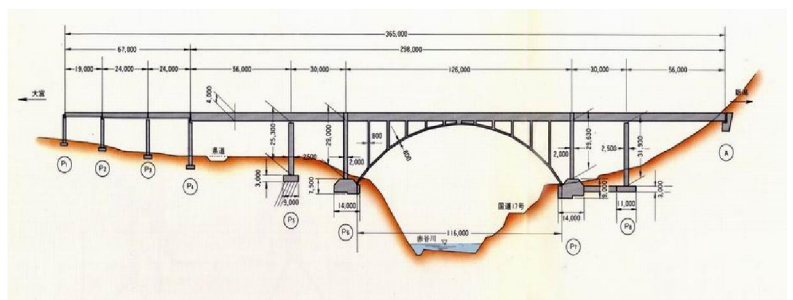
Hình 1.11: Kết cấu nhịp cầu dàn.

- Kết cấu chịu lực chính của kết cấu nhịp cầu dàn là các mặt phẳng dàn, với các thanh dàn chỉ chịu lực dọc trục (kéo hoặc nén). Chiều cao dàn lớn nên khả năng chịu lực và vượt nhịp của kết cấu nhịp cầu dàn lớn hơn so với kết cấu nhịp cầu dầm. Nhược điểm chính của kết cấu nhịp cầu dàn là cấu tạo và thi công phức tạp.

- Kết cấu nhịp cầu dàn thường được áp dụng cho các cầu chịu tải trọng lớn như cầu cho đường sắt.

1.2.1.3. Kết cấu nhịp cầu vòm:

- Dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng thì gối cầu có cả phản lực thẳng đứng V và phản lực nằm ngang H nên người ta còn gọi vòm là dạng kết cấu có lực đẩy ngang. Cầu vòm có khả năng chịu



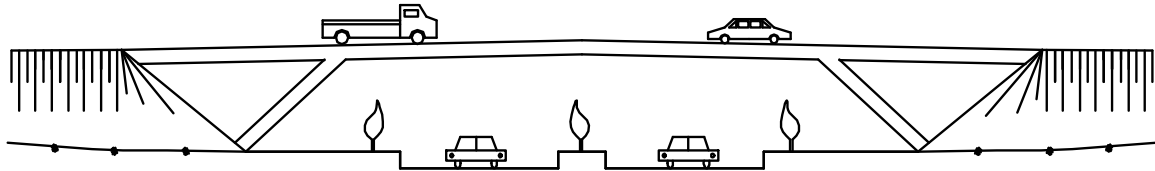
Hình 1.12: Kết cấu nhịp cầu vòm.

lực lớn nhất là dạng cầu dầm - vòm, tuy nhiên kết cấu này có cấu tạo rất phức tạp nên ít được áp dụng.

- Kết cấu nhịp cầu vòm thường được áp dụng cho các cầu bắc qua các khe sâu, qua thung lũng hoặc tại nơi yêu cầu tính thẩm mỹ cao của công trình cầu.

1.2.1.4. Kết cấu nhịp cầu khung:

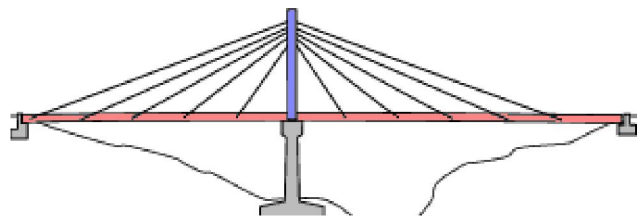
- Trụ và dầm được liên kết cứng với nhau để chịu lực. Phản lực gồì gồm thành phần thẳng đứng V , thành phần nằm ngang H .



Hình 1.13: Kết cấu nhịp cầu khung.

1.2.1.5. Kết cấu nhịp cầu treo:

- Bộ phận chịu lực chủ yếu của cầu treo là dây cáp hoặc dây xích đỡ hệ mặt cầu (dầm hoặc dàn). Do đó trên quan điểm tĩnh học, cầu treo là hệ thống tổ hợp giữa dây và dầm (hoặc dàn).



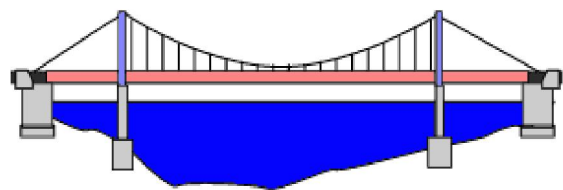
Hình 1.14: Kết cấu nhịp cầu dây văng.

- Có thể phân cầu treo thành 2 loại:

- + Cầu treo dây võng (gọi tắt là cầu treo).
- + Cầu treo dây xiên (cầu dây văng).

- Cầu treo dây xiên (Cầu dây văng): Đây là kết cấu dầm cứng tựa trên các gối cứng là các gối cầu trên móng - trụ và trên các gối đàn hồi là các dây văng. Dây văng và dầm chủ tạo nên hệ bất biến hình do đó hệ có độ cứng lớn hơn so với cầu treo.

- Cầu treo dây võng (Cầu treo): Trong cầu treo, dây làm việc chủ yếu chịu kéo và tại chỗ neo cáp có lực nhỏ rất lớn do đó trong kết cấu nhịp cầu treo tại vị trí móng ta phải cấu tạo hố neo rất lớn và rất phức tạp.

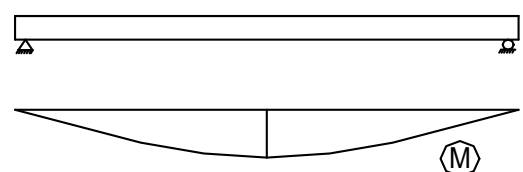


Hình 1.15: Cầu treo dây võng.

1.2.2. CÁC SƠ ĐỒ TĨNH HỌC:

1.2.2.1. Sơ đồ giản đơn:

- Phân bố nội lực: Biểu đồ mômen chỉ có dấu (+) và giá trị lớn nhất là tại giữa nhịp.



Hình 1.16: Sơ đồ giản đơn.

- Phân bố vật liệu: Vật liệu tập trung chủ yếu ở khu vực giữa nhịp do đó nội lực do tĩnh tải lớn, dự trữ khả năng chịu hoạt tải kém nên khả năng vượt nhịp thấp.

=> Đối với sơ đồ giản đơn ta thường cấu tạo dầm có mặt cắt không thay đổi nên càng về gần gối thì các mặt cắt càng không phát huy hết khả năng làm việc dẫn đến lãng phí vật liệu.

- Khả năng vượt nhịp hợp lý:

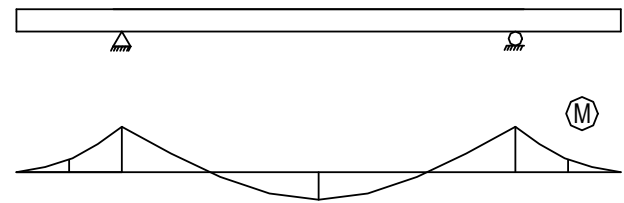
+ Kết cấu nhịp cầu dầm giản đơn: $L \leq 40$ m.

+ Kết cấu nhịp cầu dầm giản đơn: $L \leq 80$ m.

1.2.2.2. Sơ đồ giản đơn nút thừa:

- Phân bố nội lực: Biểu đồ mômen xuất hiện M^- tại mặt cắt gối và M^+ tại mặt cắt giữa nhịp. Đồng thời do có thêm phần hẫng ở hai đầu nên kết cấu nhịp giản đơn nút thừa sẽ có mômen nhỏ hơn kết cấu nhịp giản đơn có cùng chiều dài nhịp.

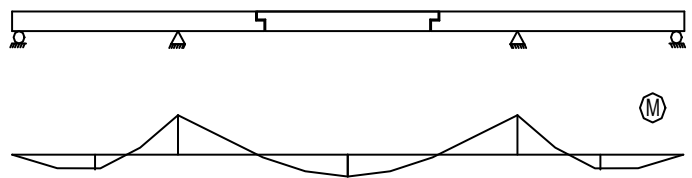
- Phân bố vật liệu: Vật liệu tập trung chủ yếu ở mặt cắt gối và giữa nhịp do đó phân bố vật liệu hợp lý hơn nên khả năng vượt nhịp tốt hơn so với kết cấu nhịp giản đơn.



Hình 1.17: Sơ đồ giản đơn nút thừa.

=> Như vậy các mặt cắt của dầm phát huy được khả năng làm việc tốt hơn, các mặt cắt ở khu vực giữa nhịp sẽ chịu mômen dương, còn các mặt cắt ở khu vực gối sẽ chịu mômen âm. Do đó kết cấu nhịp giản đơn nút thừa sẽ tiết kiệm vật liệu hơn so với kết cấu nhịp giản đơn. Nhưng nhược điểm chính của kết cấu nhịp giản đơn nút thừa là tại đầu kết cấu nhịp tiếp giáp với nền đường khi có xe chạy qua thì đầu kết cấu nhịp chuyển vị liên tục theo phương thẳng đứng làm cho nền đường đầu cầu rất nhanh bị phá hoại đồng thời lực xung kích và tiếng ồn rất lớn. Do đó hiện nay kết cấu nhịp giản đơn nút thừa rất ít được áp dụng.

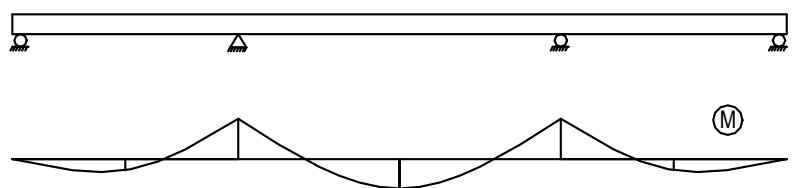
- Trong trường hợp cần vượt nhịp có chiều dài lớn hơn thì trong kết cấu nhịp giản đơn nút thừa có thể cấu tạo thêm nhịp đeo. Nhịp đeo làm việc theo sơ đồ của nhịp giản đơn được kê trên các gối cầu đặt trên các cánh hẫng của kết cấu nhịp giản đơn nút thừa. Kết cấu nhịp có nhịp đeo thường khai thác không êm thuận, lực xung kích lớn, khe co giãn phải cấu tạo phức tạp do đó hiện nay rất ít được áp dụng.



Hình 1.18: Sơ đồ giản đơn nút thừa + Nhịp đeo.

1.2.2.3. Sơ đồ liên tục:

- Phân bố nội lực: Biểu đồ mômen xuất hiện M^- tại mặt cắt gối và M^+ tại mặt cắt giữa nhịp. Đồng thời do có thêm các gối ở giữa nhịp nên kết cấu nhịp liên tục



Hình 1.19: Sơ đồ liên tục.

sẽ có mômen nhỏ hơn kết cấu nhịp giản đơn có cùng chiều dài nhịp.

- Phân bố vật liệu: Vật liệu tập trung chủ yếu ở khu vực mặt cắt gối và giữa nhịp do đó phân bố vật liệu hợp lý hơn nên khả năng vượt nhịp tốt hơn so với kết cấu nhịp giản đơn.

=> Như vậy các mặt cắt của dầm phát huy được khả năng làm việc tốt hơn, các mặt cắt ở khu vực giữa nhịp sẽ chịu mômen dương, còn các mặt cắt ở khu vực gối sẽ chịu mômen âm. Do đó kết cấu nhịp liên tục sẽ tiết kiệm vật liệu hơn so với kết cấu nhịp giản đơn.

- Tuy nhiên kết cấu nhịp liên tục là kết cấu siêu tĩnh nên chịu ảnh hưởng của hiện tượng gối lún hoặc sự thay đổi nhiệt độ làm phát sinh nội lực phụ trong kết cấu nhịp. Đồng thời với kết cấu nhịp cầu dầm thép liên tục có bản mặt cầu bằng bê tông thì tại vùng chịu mômen âm bản bê tông thường bị nứt do tại vị trí đó bê tông chịu kéo, khi đó ta phải tiến hành điều chỉnh nội lực để tạo ra lực nén trước trong bê tông.

- Khả năng vượt nhịp hợp lý:

+ Kết cấu nhịp cầu dầm liên tục: $L \leq 90 \text{ m}$.

+ Kết cấu nhịp cầu dàn liên tục: $L \leq 120 \text{ m}$.

- Để đảm bảo điều kiện phân bố hợp lý mômen âm và mômen dương trong kết cấu nhịp đồng thời giảm được lực nhỏ tại gối đầu nhịp thì ta nên thiết kế tỷ lệ nhịp như sau:

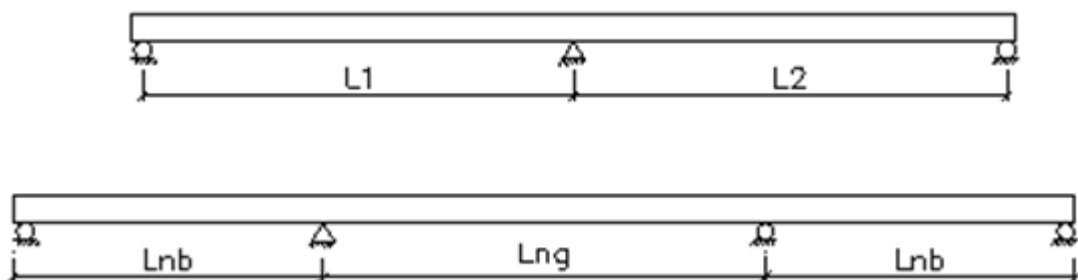
+ Khi cầu có 2 nhịp:

$$L_1 = L_2$$

+ Khi cầu có 3 nhịp:

$$\frac{L_{nb}}{L_{ng}} = (0,7 \div 0,8)$$

+ Khi cầu có nhiều nhịp: Chọn các nhịp giữa có chiều dài bằng nhau, nhịp biên có chiều dài bằng $(0,7 \div 0,8)$ nhịp giữa.



Hình 1.20: Tỷ lệ phân chia nhịp trong kết cấu nhịp liên tục.

§1.3. ƯU, NHƯỢC ĐIỂM VÀ PHẠM VI ÁP DỤNG CỦA CẦU THÉP

1.3.1. ƯU ĐIỂM:

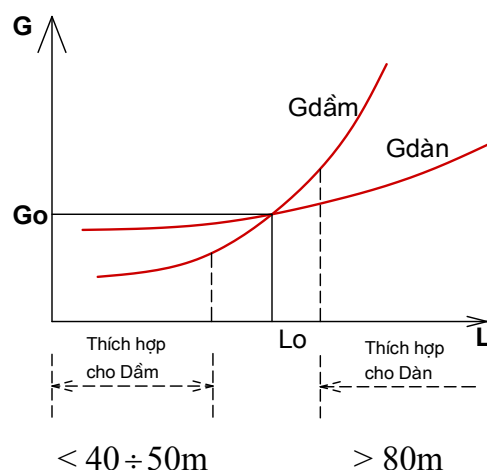
- Vật liệu thép có khả năng chịu lực lớn hơn so với các loại vật liệu thông thường như: đá, gỗ, bê tông,... Đồng thời thép là loại vật liệu có độ tin cậy cao.
- Kết cấu nhịp cầu thép có trọng lượng bản thân nhẹ và thanh mảnh hơn nhiều so với kết cấu nhịp cầu bê tông do đó có khả năng vượt nhịp lớn.
- Kết cấu nhịp cầu thép có tính linh động cao, dễ chế tạo, lắp ráp và thi công lắp ghép do đó rút ngắn được thời gian thi công.
- Thích hợp trong việc tiêu chuẩn và định hình hóa trong chế tạo do đó hạ được giá thành sản phẩm.
- Kết cấu nhịp cầu thép dễ kiểm tra, tăng cường và sửa chữa khi cần thiết.

1.3.2. NHƯỢC ĐIỂM:

- Rất dễ bị gỉ và bị ăn mòn trong môi trường tự nhiên do đó đòi hỏi công tác duy tu bảo dưỡng phải được tiến hành thường xuyên nên chi phí bảo dưỡng cầu lớn.
- Kết cấu nhịp hoặc bộ phận kết cấu có thể bị giảm hoặc mất khả năng chịu lực khi gặp nhiệt độ cao ($t > 500^{\circ}\text{C}$).
- Nhiều chi tiết có cấu tạo phức tạp đòi hỏi phải thực hiện trong công xưởng.

1.3.3. PHẠM VI ÁP DỤNG:

- Áp dụng cho các công trình cầu chịu tải trọng lớn như tải trọng đường sắt, ...
- Áp dụng cho các cầu vượt nhịp lớn.
- Áp dụng cho các công trình cầu đường sắt, cầu đường ô tô và các loại cầu tạm yêu cầu thi công nhanh hoặc dùng cho cầu quân sự yêu cầu lắp ráp nhanh và tháo dỡ, vận chuyển nhẹ nhàng, ...
- Áp dụng cho các công trình yêu cầu có tính thẩm mỹ cao.



Hình 1.21: Phạm vi hiệu quả của kết cấu nhịp cầu thép.

§1.4. VẬT LIỆU LÀM CẦU THÉP

1.4.1. BÊ TÔNG:

- Cường độ chịu nén:
 - + Sử dụng bê tông cấp từ 16-70Mpa.
 - + Bê tông bản mặt cầu có cấp không được thấp hơn 28Mpa.
- Tỷ trọng:
 - + Bê tông tỷ trọng thường - Bê tông có tỷ trọng ở giữa 2150 và 2500 kg/m³.
 - + Bê tông tỷ trọng thấp - Bê tông chứa cấp phối nhẹ và có tỷ trọng khi khô không vượt quá 1925 Kg/m³ như được xác định bởi ASTM C-567.
- Hệ số giãn nở nhiệt:
 - + Bê tông có tỉ trọng thông thường: $10,8 \times 10^{-6}$ (1/ °C)
 - + Bê tông có tỉ trọng thấp: $9,0 \times 10^{-6}$ (1/ °C)
- Mô đun đàn hồi: $E_c = 0.043\gamma^{1.5} \sqrt{f'_c}$ (Mpa); γ (Kg/cm³), f'_c (Mpa)
- Hệ số poisson: 0.2

1.4.2. CỐT THÉP:

- Giới hạn chảy $f_y = 420$ Mpa.
- Mô đun đàn hồi: $E_s = 200000$ Mpa.
- Hệ số giãn nở nhiệt: $11,7 \times 10^{-6}$ (1/ °C).
- Khối lượng riêng $\gamma_s = 78.5$ KN/m³.

1.4.3. THÉP KẾT CẤU:

- Thép dùng trong kết cấu nhịp cầu thép gồm có 4 loại:
 - + Thép cacbon (hay thép kết cấu) M 270M cấp 250.
 - + Thép hợp kim thấp cường độ cao M 270M cấp 345 và 345W.
 - + Thép hợp kim thấp tôi và gia nhiệt M 270M cấp 485W.
 - + Thép hợp kim thấp tôi và gia nhiệt với cường độ chảy dẻo cao M 270M cấp 690 và 690W.

**BẢNG 1.3: CÁC ĐẶC TÍNH TỐI THIỂU CỦA THÉP KẾT CẤU
THEO HÌNH DÁNG, CƯỜNG ĐỘ VÀ CHIỀU DÀY**

LOẠI THÉP	THÉP THAN	THÉP HỢP KIM CƯỜNG ĐỘ CAO	THÉP HỢP KIM THẤP TÔI VÀ GIA NHIỆT	THÉP HỢP KIM THẤP TÔI VÀ GIA NHIỆT VỚI CƯỜNG ĐỘ CHẢY DỀO CAO
-----------	-----------	---------------------------	------------------------------------	--

Ký hiệu AASHTO	M 270M cấp 250	M 270M cấp 345	M 270M cấp 345W	M 270M cấp 485W	M 270M cấp 690/690W	
Ký hiệu ASTM tương đương	A 709M cấp 250	A 709M cấp 345	A 709M cấp 345W	A 709M cấp 485W	A 709M các cấp 690/690W	
Chiều dày bản thép, mm	Tối 100	Tối 100	Tối 100	Tối 100	Tối 65	Từ 65 ÷ 100
Thép hình	Tất cả các nhóm	Tất cả các nhóm	Tất cả các nhóm	Không áp dụng	Không áp dụng	Không áp dụng
Cường độ kéo đứt f_u (MPa)	400	450	485	620	760	690
Giới hạn chảy f_y (MPa)	250	345	345	485	690	620

Ghi chú:

1. f_u : Cường độ kéo đứt của thép.
2. f_y : Giới hạn chảy của thép.
3. Trong bảng trên M 270M là kí hiệu loại thép hay mác thép, còn cấp của thép chính là giới hạn chảy của thép.

Ví dụ:

- + Thép M 270M cấp 250 thì giới hạn chảy của thép $f_y = 250 \text{ MPa} = 2500 \text{ kG/cm}^2$.
- + Thép M 270M cấp 345W thì giới hạn chảy của thép $f_y = 345 \text{ MPa} = 3450 \text{ kG/cm}^2$, còn chữ W thể hiện là thép chống gỉ.

4. Tất cả các loại thép trong bảng trên đều là thép hàn được.

- Môđun đàn hồi: $E_s = 200000 \text{ MPa} = 2 \cdot 10^6 \text{ kG/cm}^2$.
- Hệ số giãn nở nhiệt: $\alpha = 1,17 \cdot 10^{-5} (1/^\circ\text{C})$.
- Chiều dày nhỏ nhất của thép sử dụng trong kết cấu nhịp cầu thép được quy định trong điều 6.7.3 như sau:

- + Thép kết cấu bao gồm cả liên kết ngang, liên kết dọc và các loại bản nút trừ sườn dầm của thép hình, sườn tăng cường kín trong mặt cầu có bản trục hướng (bản Orthotropic), tấm đệm và thép lan can đều phải có chiều dày tối thiểu là 8mm.

- + Chiều dày sườn của thép hình, sườn tăng cường kín trong bản mặt cầu có bản trục hướng phải có chiều dày tối thiểu là 7mm.

- + Với những kết cấu hoặc bộ phận kết cấu chịu ảnh hưởng ăn mòn nghiêm trọng thì phải được bảo vệ đặc biệt chống ăn mòn hoặc phải quy định chiều dày bị ăn mòn để tăng thêm chiều dày thép khi thiết kế.

§1.5. CÁC XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN TRONG LĨNH VỰC CẦU THÉP HIỆN ĐẠI

1.5.1. CÁC XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN CHUNG:

1.5.1.1. Về vật liệu và dạng kết cấu nhịp:

Phân tích một loạt các cầu thép hiện đại xây dựng trên thế giới trong những năm gần đây thấy nổi bật lên ba phương hướng:

- Phương hướng thứ nhất là sử dụng các loại thép chất lượng cao, nhằm giảm công tác duy tu bảo dưỡng và sơn cầu, đây là công việc rất tốn kém, ảnh hưởng đến sức khỏe cộng đồng đồng thời gây ô nhiễm môi trường và là mối lo thường xuyên của những người làm công tác quản lý.

- Phương hướng thứ hai là tiếp tục nghiên cứu tìm kiếm các hệ liên hợp để vượt nhịp dài và có tính thẩm mỹ cao.

- Phương hướng thứ ba là dùng các cầu dầm thép giản đơn hoặc liên tục có chiều cao không đổi để giảm giá thành chế tạo và thi công thay cho các kết cấu nhịp dầm thép cổ điển. Hiện nay thường dùng là các kết cấu cầu dầm thép liên hợp bản bê tông cốt thép hoặc mặt cầu bằng bản thép trực hướng. Ngoài ra các tiết diện hộp kín cũng được nghiên cứu áp dụng để tăng cường độ cứng chống xoắn và để tạo môi trường không gỉ bên trong lòng hộp.

1.5.1.2. Về liên kết trong cầu thép:

- Cùng với các tiến bộ về thép chất lượng cao thì liên kết đinh tán không còn thích hợp nữa mà hiện nay đang áp dụng hai loại liên kết mang tính công nghiệp và hiện đại là liên kết hàn và liên kết bu lông cường độ cao.

- Ngoài ra hiện nay liên kết dán cũng đang được áp dụng với ưu điểm là không làm giảm yếu tiết diện thanh và bản nút có cấu tạo rất đơn giản.

1.5.1.3. Về công nghệ thi công:

Sử dụng các phương tiện vận chuyển và thiết bị lao lắp có năng lực lớn. Áp dụng các công nghệ thi công tiên tiến như: lắp hẫng,

1.5.2. XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN KẾT CẤU NHỊP CẦU LỚN Ở NƯỚC TA:

So với các nước trên thế giới, ngành xây dựng cầu Việt Nam vẫn còn non trẻ. Tuy nhiên trong thời gian gần đây cùng với sự giúp đỡ của các chuyên gia, các công ty lớn nước ngoài trong lĩnh vực cầu thép chúng ta đã và đang liên tục xây dựng các kết cấu nhịp cầu có khả năng vượt nhịp lớn, có tính thẩm mỹ cao và áp dụng các công nghệ thi công tiên tiến. Đặc biệt là sự phát triển mạnh mẽ của kết cấu nhịp cầu dây văng.

CHƯƠNG 2

CẤU TẠO KẾT CẤU NHỊP CẦU DÀM THÉP

§2.1. KHÁI NIỆM CHUNG

2.1.1. KHÁI NIỆM VỀ CẦU DÀM THÉP:

- Đặc điểm của kết cấu nhịp cầu dầm là dưới tác dụng của tải trọng thẳng đứng thì gối cầu chỉ truyền áp lực thẳng đứng. Kết cấu nhịp cầu dầm có thể là cầu dầm giản đơn, cầu dầm giản đơn mút thừa hoặc cầu dầm liên tục. Do có cấu tạo đơn giản, dễ thi công nên kết cấu nhịp cầu dầm được dùng phổ biến nhất hiện nay.

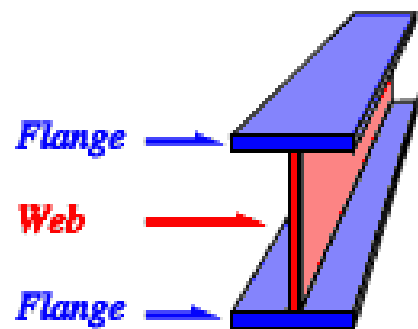
- Kết cấu nhịp cầu dầm thép chủ yếu bao gồm các bộ phận sau:

- + Dầm chủ: Đóng vai trò chịu lực chủ yếu.
- + Hệ mặt cầu: Đỡ tải trọng xe và truyền xuống các dầm chủ.
- + Hệ liên kết ngang cầu: Liên kết các dầm chủ đồng thời tăng cường độ cứng cho kết cấu nhịp theo phương ngang cầu. Ngoài ra dầm ngang tại mặt cắt gối còn là chỗ đặt kích để nâng hạ các cụm dầm trong quá trình thi công.
- + Hệ liên kết dọc cầu: Liên kết các dầm chủ đồng thời chịu các áp lực theo phương ngang cầu như lực lắc ngang, lực ly tâm và lực gió.

2.1.2. CÁC DẠNG MẶT CẮT NGANG CỦA DÀM CHỦ:

2.1.2.1. Dầm đặc:

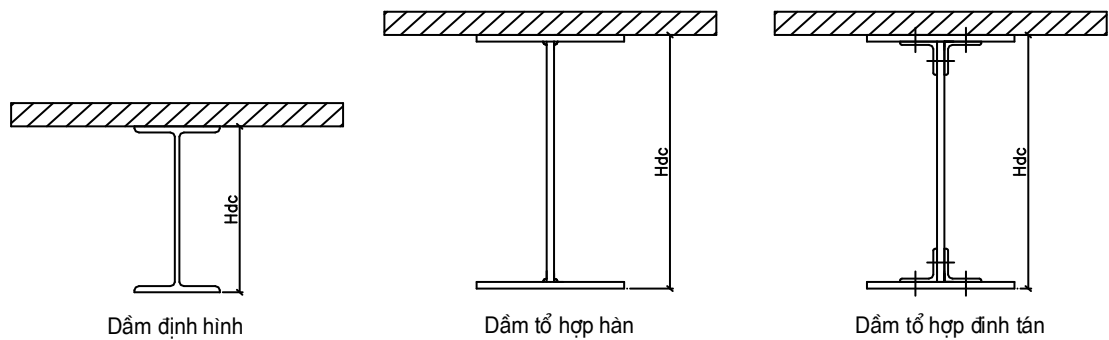
- Dầm đặc hay còn gọi là dầm không liên hợp, dầm có thể được cấu tạo từ các dầm thép định hình hoặc các dầm tổ hợp với các dạng mặt cắt chữ I, [, ... Bản mặt cầu thì tùy theo mục đích sử dụng có thể cấu tạo bằng gỗ hoặc bằng bê tông. Giữa bản mặt cầu và dầm thép chỉ có bố trí các liên kết cơ bản để đảm bảo khả năng làm việc mà không có bố trí hệ thống neo liên kết để tạo ra hiệu ứng liên hợp giữa bản bê tông mặt cầu và dầm thép.



Hình 2.1: Mặt cắt dầm I.

- Các dạng mặt cắt ngang dầm đặc:

- + Dầm định hình.
- + Dầm tổ hợp: Dầm tổ hợp hàn, tổ hợp đinh tán hay tổ hợp bulông cường độ cao.



Hình 2.2: Các dạng mặt cắt ngang dầm đặc.

- Đặc điểm của dầm định hình:

+ Dầm định hình được cấu tạo từ những thanh thép cán định hình tiết diện chữ I, [, ... trong đó tiết diện chữ I được áp dụng phổ biến nhất vì đây là dạng mặt cắt hợp lý nhất cho kết cấu chịu uốn.

+ Do được cấu tạo định hình trong nhà máy nên đảm bảo sự đồng nhất liên kết giữa các bản cánh và bản bụng của dầm, đồng thời có xử lý bo tròn tại các vị trí tiếp giáp giữa các bản nên tránh được sự tập trung ứng suất cục bộ.

+ Tuy nhiên dầm định hình thường chỉ có chiều cao nhỏ $H \leq 1000\text{mm}$ nên chỉ có thể áp dụng cho các cầu nhịp ngắn và chịu tải trọng nhỏ, nếu áp dụng cho các cầu có tải trọng lớn thì phải sử dụng rất nhiều dầm.

- Đặc điểm của dầm tổ hợp:

+ Dầm tổ hợp được ghép từ các tấm thép bản nên có thể tạo ra dầm có chiều cao lớn, do đó có thể áp dụng cho các cầu có nhịp dài và chịu tải trọng lớn.

+ Liên kết giữa các bản thép trong dầm có thể là liên kết hàn, liên kết đinh tán hoặc bulông cường độ cao. Tùy vào hình thức liên kết mà ta có dầm tổ hợp hàn, dầm tổ hợp đinh tán hay dầm tổ hợp bulông cường độ cao.

+ Dầm tổ hợp hàn có cấu tạo đơn giản và tốc độ thi công chế tạo nhanh, đồng thời không làm giảm yếu tiết diện chịu lực của mặt cắt dầm thép. Tuy nhiên quá trình hàn với tốc độ cao sẽ làm cho bản thép có thể cong vênh hoặc giảm khả năng chịu lực. Dầm tổ hợp hàn hiện nay được áp dụng phổ biến.

+ Dầm tổ hợp bằng đinh tán hoặc bulông có cấu tạo phức tạp hơn, đồng thời việc khoan tạo lỗ để liên kết đinh tán hay bulông sẽ làm giảm yếu tiết diện chịu lực của mặt cắt dầm thép, do đó dầm tổ hợp đinh tán hay bulông hiện nay rất ít được áp dụng.

- Đặc điểm của dầm đặc:

+ Đối với dạng cầu này, trong trường hợp cầu chịu tải trọng lớn, đồng thời dưới tác dụng của hiện tượng co ngót, từ biến và thay đổi nhiệt độ thì bản bê tông mặt cầu có hiện tượng bị trượt và bong khỏi dầm thép nên tuổi thọ của cầu dầm thép không liên hợp thường không cao.

+ Cầu dầm đặc thường được áp dụng cho các cầu trên đường ô tô và trên đường sắt có chiều dài nhịp nhỏ $L < 20\text{m}$ hoặc cầu tạm phục vụ thi công.

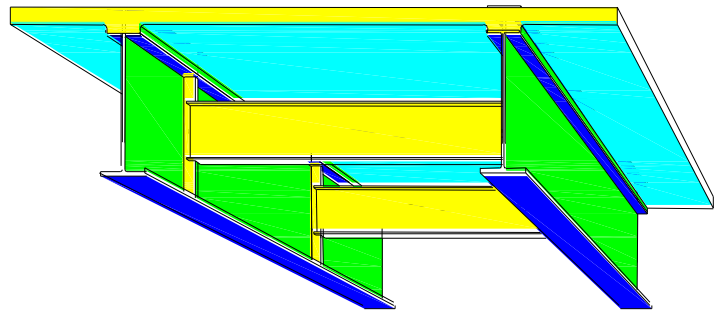
2.1.2.2. Dầm liên hợp Thép - BTCT (Composite Beam):

- Để khắc phục nhược điểm trên của dầm không liên hợp ta tiến hành bố trí hệ thống neo để liên kết giữa bản cánh trên của dầm thép với bản bê tông để tạo ra hiệu ứng liên hợp Thép - BTCT. Khi đó:

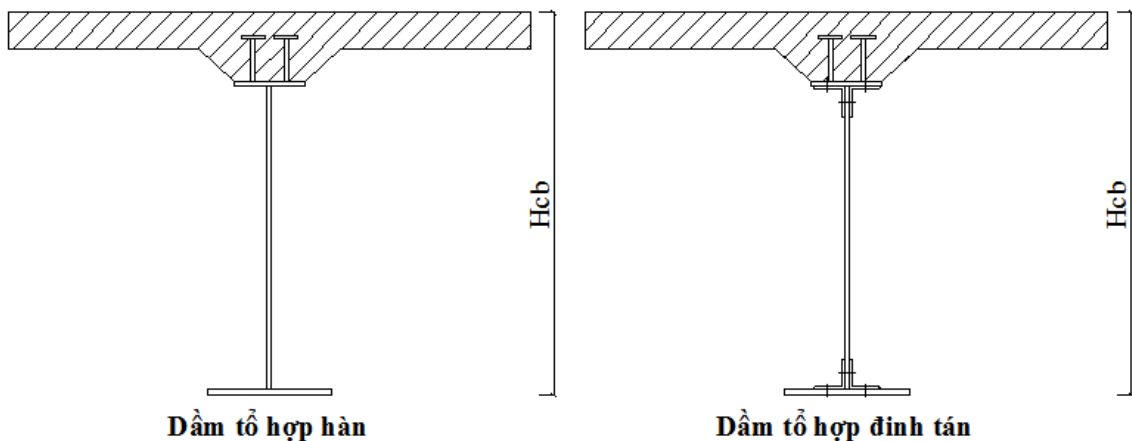
+ Dầm thép đóng vai trò chịu uốn và kéo đồng thời.

+ Bản bê tông đóng vai trò như một hệ liên kết dọc trên và tham gia chịu nén thay cho bản cánh trên của dầm chủ, làm tăng chiều cao và tiết diện làm việc của dầm, do đó giảm được chiều cao dầm thép.

- Dầm liên hợp thường được áp dụng cho các cầu trên đường ô tô có chiều dài nhịp lớn nên mặt cắt ngang của dầm thép trong dầm liên hợp thường được dùng dạng dầm tổ hợp hàn, tổ hợp đinh tán hay tổ hợp bulông cường độ cao.



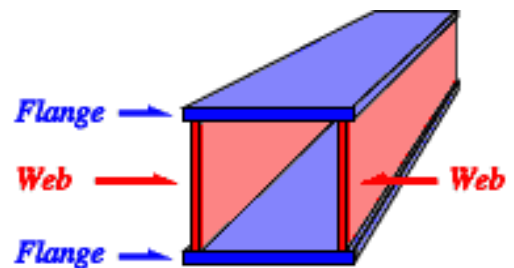
Hình 2.3: KCN cầu dầm liên hợp.



Hình 2.4: Các dạng mặt cắt ngang dầm liên hợp thép - BTCT.

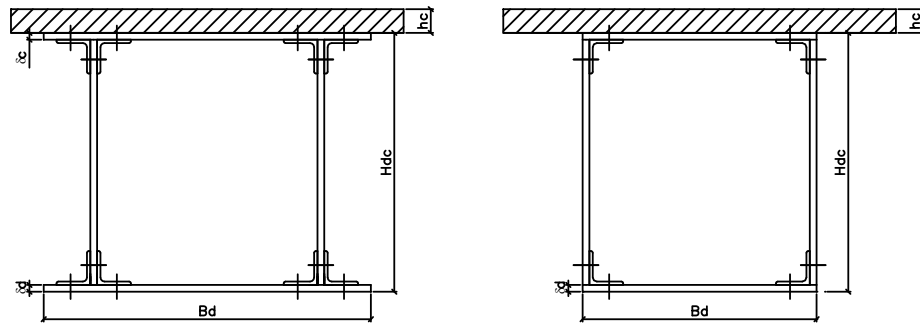
2.1.2.3. Dầm hộp:

- Trong các kết cấu nhịp cầu thép liên tục có chiều dài nhịp lớn thì việc dùng dầm chủ có mặt cắt chữ I hoặc chữ [sẽ không còn hợp lý vì khi đó chiều cao dầm sẽ rất lớn đồng thời khả năng chống xoắn của dầm không cao. Khi đó ta nên sử dụng dầm chủ có dạng mặt cắt hộp để tăng cường khả năng chịu lực và chống xoắn cho dầm. Tùy theo bề rộng của mặt cắt ngang cầu mà ta có thể cấu tạo 1 hộp, 2 hộp hoặc nhiều hộp.

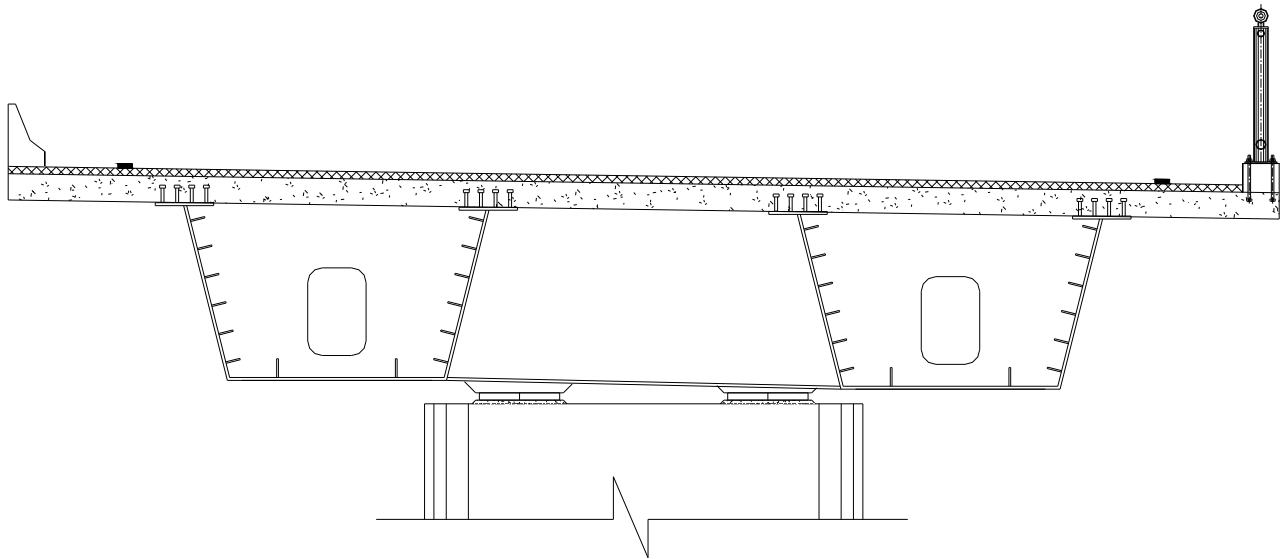


Hình 2.5: Mặt cắt dầm hộp.

- Mặt cắt dầm hộp thường được cấu tạo tổ hợp từ thép bản bằng các liên kết hàn, liên kết đinh tán hoặc liên kết bulông cường độ cao.



Hình 2.6a: Mặt cắt ngang dầm hộp.



Hình 2.6b: Mặt cắt ngang cầu dầm hộp thép liên hợp bản BTCT.

- Tuy nhiên dầm hộp cũng có nhược điểm lớn đó là việc cấu tạo cũng như bảo dưỡng rất phức tạp. Do đó khi cấu tạo mặt cắt dầm hộp thì ta không nên cấu tạo hộp kín hoàn toàn vì như thế sẽ rất khó thực hiện các liên kết và việc sơn, sửa khi cần thiết trong quá trình khai thác.

2.1.3. MỘT SỐ KHÁI NIỆM CƠ BẢN:

- **Dầm lai:** Là dầm thép được thiết kế với thép sườn dầm có cường độ chảy tối thiểu quy định thấp hơn của một hoặc cả hai bản cánh. Nếu dầm được cấu tạo từ cùng một loại thép và có cường độ chảy dẻo như nhau thì ta gọi là dầm không lai.

- **Mặt cắt đặc chắc:** Là mặt cắt có thể phát triển sức kháng uốn bằng với mômen dẻo M_p trước khi mất ổn định xoắn ngang hoặc mất ổn định cục bộ của bản biên hay của sườn dầm xảy ra.

- **Mặt cắt không đặc chắc:** Là mặt cắt có thể phát triển sức kháng uốn bằng hay lớn hơn mômen chảy M_y nhưng nhỏ hơn mômen dẻo M_p trước khi mất ổn định cục bộ của bất cứ bộ phận chịu nén nào của nó xảy ra.

- **Mặt cắt mảnh:** Là mặt cắt chỉ có thể phát triển sức kháng uốn nhỏ hơn mômen chảy M_y trước khi mất ổn định cục bộ của bất cứ bộ phận chịu nén nào của nó xảy ra.

=> Tóm lại: Mặt cắt đặc chắc là mặt cắt đạt đến mômen dẻo M_p trước khi mất ổn định cục bộ, còn mặt cắt không đặc chắc là tiết diện mất ổn định cục bộ trước khi đạt đến mômen dẻo M_p và mặt cắt mảnh là mặt cắt bị mất ổn định cục bộ trước khi đạt đến mômen chảy M_y .

- **Yêu cầu về tính dẻo:** Mặt cắt liên hợp muốn tiến dần đến mômen dẻo M_p thì bản bê tông phải được bảo vệ không bị nứt như không được thi công tĩnh tải giai đoạn II khi bản bê tông chưa đạt 80% cường độ theo yêu cầu.

- **Mặt cắt thực của tiết diện chịu uốn:**

+ Trong các cầu kiện chịu uốn có thể bỏ qua các lỗ để bắt bulông cường độ cao hoặc các lỗ để hở có đường kính không quá 32mm miễn là diện tích bị khuyết đi $\leq 15\%$ diện tích nguyên của bản cánh.

+ Đối với mọi diện tích bị tiêu hao $>15\%$ diện tích bản cánh thì khi tính toán phải trừ đi phần diện tích bị tiêu hao.

+ Đối với cầu liên hợp nếu không bố trí hệ liên kết dọc dưới thì khi tính toán mặt cắt thực để tính mọi sức kháng, chiều rộng bản cánh dưới phải được trừ đi hai lần b_w là bề rộng chịu lực gió ngang, b_w được lấy theo điều 6.10.3.5.1 trong Quy trình.

- **Mặt cắt chịu uốn dương:** Là mặt cắt chịu mômen dương tức là khi đó bản cánh dưới của dầm chịu kéo, còn bản cánh trên và bản bê tông mặt cầu sẽ tham gia chịu nén. Như vậy mặt cắt sẽ làm việc theo đúng nghĩa của mặt cắt liên hợp Thép - BTCT (nếu có hệ thống neo liên kết).

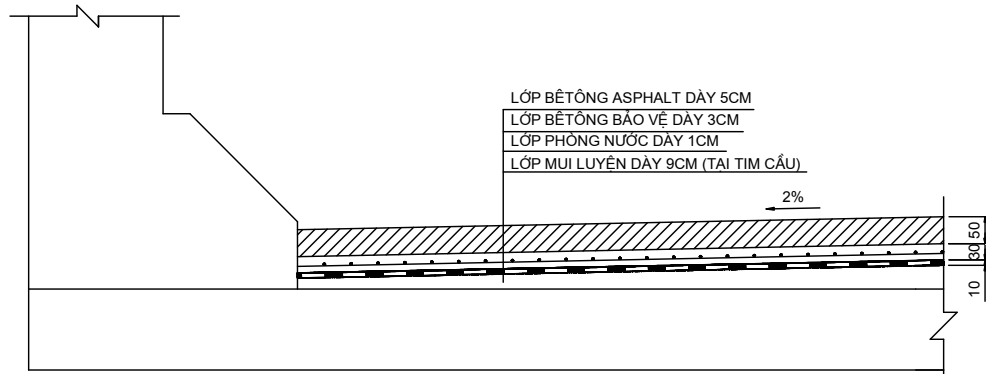
- **Mặt cắt chịu uốn âm:** Là mặt cắt chịu mômen âm, thường gặp đối với kết cấu nhịp cầu dầm liên hợp liên tục. Khi đó bản cánh dưới của dầm thép sẽ chịu nén còn bản cánh trên sẽ chịu kéo. Bản bê tông chỉ tham gia làm việc khi chưa bị nứt còn khi đã bị nứt thì ta coi như bản bê tông không tham gia làm việc với dầm thép. Như vậy mặt cắt liên hợp sẽ chỉ gồm có dầm thép và cốt thép bố trí trong bản bê tông.

§2.2. CẤU TẠO MẶT CẦU

2.2.1. MẶT CẦU CHO ĐƯỜNG ÔTÔ:

2.2.1.1. Mặt cầu bằng bê tông Asphalt:

a. Cấu tạo điển hình:



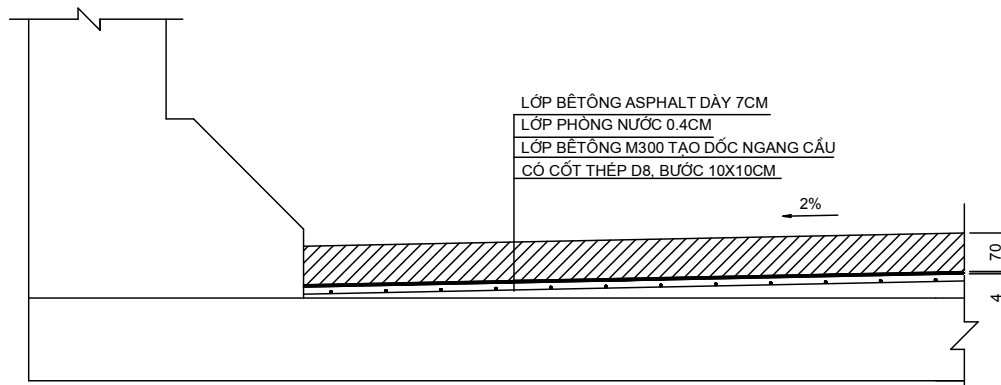
Hình 2.7: Mặt cầu bê tông asphalt điển hình.

- Lớp mui luyện (lớp vữa đệm):
 - + Làm bằng vữa xi măng cấp $f_c' = 18 \div 24 \text{ Mpa}$ (mác 150 ÷ 200 theo 22TCN18-79).
 - + Chiều dày $\delta = 1 \div 1.5 \text{ cm}$ (tại vị trí sát gờ chắn lan can) rồi tăng dần theo độ dốc ngang về phía trục đối xứng giữa mặt cắt ngang nhịp.
 - + Tác dụng: Tạo độ bằng phẳng hoặc độ dốc ngang cầu.
- Lớp phòng nước:
 - + Gồm một lớp nhựa đường nóng, một lớp vải thô tẩm nhựa và trên cùng phủ tiếp một lớp nhựa nóng.
 - + Chiều dày $\delta = 1 \div 1.5 \text{ cm}$.
 - + Tác dụng: Bảo vệ bản mặt cầu khỏi bị ngâm nước.
- Lớp bê tông bảo vệ:
 - + Làm bằng bê tông cấp $f_c' \geq 24 \text{ Mpa}$ (mác ≥ 200 theo 22TCN18-79). Để tăng tác dụng của lớp bảo vệ và độ bền của lớp này, thường đặt lưới cốt thép có $\varnothing = 3 \div 4 \text{ mm}$ với ô lưới $5 \times 5 \text{ cm}$ hoặc $10 \times 10 \text{ cm}$.
 - + Chiều dày $\delta = 3 \div 4 \text{ cm}$.
 - + Tác dụng: Chịu áp lực cục bộ từ bánh xe truyền xuống và phân đều xuống bản mặt cầu.
- Lớp bê tông asphalt:
 - + Làm từ hỗn hợp bê tông nhựa rải nóng hoặc rải ẩm.
 - + Chiều dày $\delta = 5 \div 7 \text{ cm}$.
 - + Tác dụng: Tạo ra mặt đường êm thuận cho xe chạy, hạn chế lực xung kích truyền xuống bản mặt cầu.

b. Cấu tạo hiện đại:

Hiện nay cấu tạo mặt cầu bê tông asphalt thường dùng ở nước ta bao gồm:

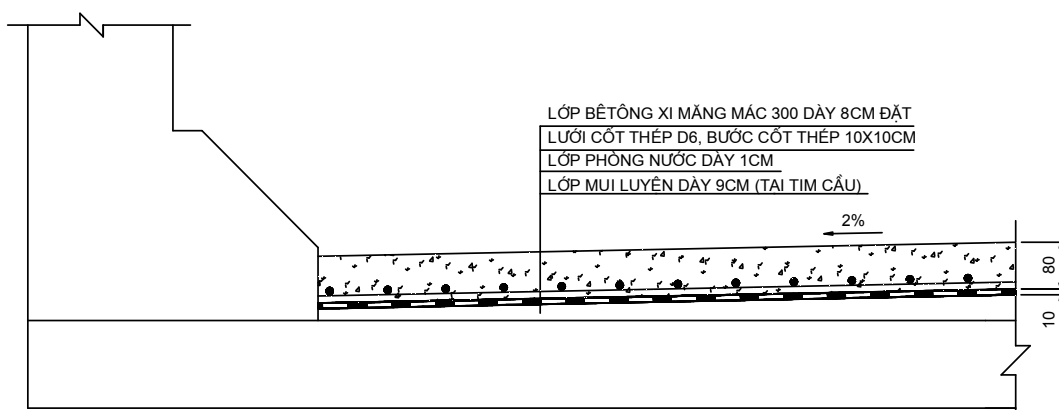
- Lớp bê tông tạo dốc (đóng vai trò như lớp vữa đệm và lớp bê tông bảo hộ), làm bằng bê tông cấp $f_c' = 24 \div 30 \text{Mpa}$ (mức 200 ÷ 300 theo 22TCN18-79), có lưới cốt thép $\varnothing = 6 \div 8 \text{mm}$, bước 10x10cm.
- Lớp phòng nước dày 0.4cm có thể dùng tấm vải phòng nước chế tạo sẵn.
- Lớp bê tông asphalt hạt mịn phủ lên trên dày $\delta = 5 \div 7 \text{mm}$.



Hình 2.8: Mặt cầu bê tông asphalt hiện đại.

c. Ưu, nhược điểm và phạm vi áp dụng:

- Mặt cầu bằng bê tông asphalt có khả năng chống thấm tốt, thi công nhanh.
- Tạo ra mặt đường êm thuận cho xe chạy, hạn chế lực xung kích truyền xuống bản bê tông mặt cầu và hạn chế tiếng ồn.
- Giá thành rẻ hơn mặt cầu bằng bê tông xi măng.
- Tuổi thọ thấp khoảng 10 ÷ 20 năm và nhanh bị hao mòn do đó tăng chi phí duy tu bảo dưỡng.
- Hiện nay mặt cầu bằng bê tông asphalt đang được áp dụng phổ biến.

2.2.1.2. Mặt cầu bằng bê tông xi măng:*a. Cấu tạo:*

Hình 2.9: Mặt cầu bê tông xi măng.

- Lớp mui luyện (lớp vữa đệm): Giống trên.
- Lớp phòng nước: Giống trên.
- Lớp bê tông cốt thép:
 - + Cấu tạo bằng bê tông cấp $f_c' \geq 30\text{Mpa}$ (mác ≥ 300 theo 22TCN18-79).
 - + Chiều dày $\delta = 6 \div 8\text{cm}$.
 - + Lưới cốt thép $\varnothing = 6 \div 8\text{mm}$, bước $10 \times 10\text{cm}$.
 - + Tác dụng: Chịu áp lực cục bộ từ bánh xe truyền xuống và phân đều xuống bản bê tông mặt cầu. Đồng thời tạo ra mặt đường cho xe chạy.

b. Ưu, nhược điểm và phạm vi áp dụng:

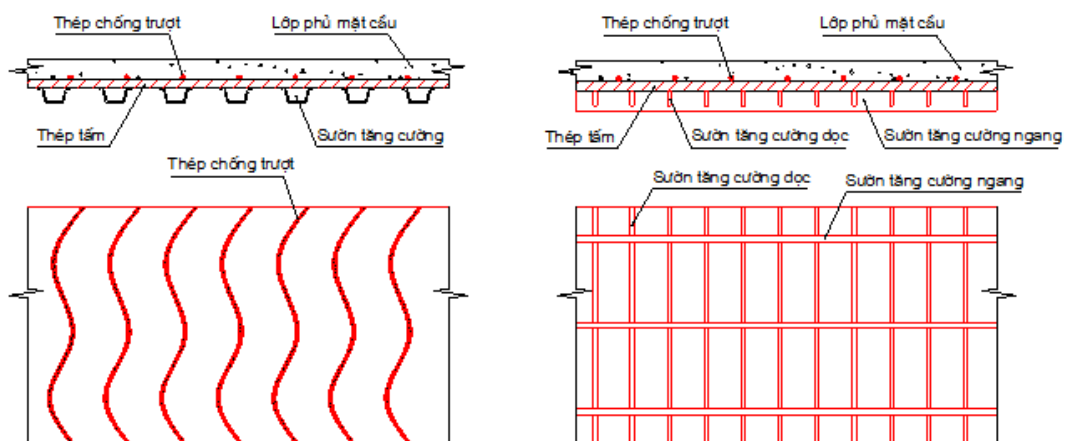
- Mặt cầu bê tông xi măng có tuổi thọ khoảng $50 \div 60$ năm (cao hơn mặt cầu bằng bê tông Asphalt) và ít bị hao mòn do đó giảm chi phí duy tu bảo dưỡng.
- Mặt cầu bằng BTXM có khả năng chống thấm tốt.
- Mặt đường không êm thuận cho xe chạy, gây ra lực xung kích và tiếng ồn lớn khi có xe chạy qua cầu.
- Giá thành đắt hơn mặt cầu bằng bê tông Asphalt.
- Hiện nay mặt cầu bằng BTXM ít được áp dụng.

2.2.1.3. Mặt cầu bằng thép:

Để giảm tĩnh tải mặt cầu có thể cấu tạo mặt cầu bằng thép.

a. Mặt cầu bằng thép bản trực hướng:

➤ Cấu tạo:



Hình 2.10: Mặt cầu bản thép trực hướng.

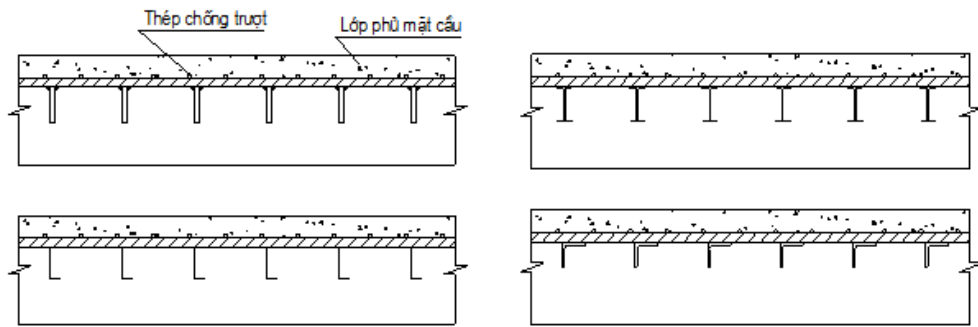
- Bản thép:
 - + Chiều dày $\delta = 12 \div 24\text{mm}$.
- Sườn tăng cường dọc và ngang:
 - + Làm từ các dải thép bản hành dính vào mặt dưới của tấm thép.
 - + Các sườn tăng cường bố trí đứng hoặc nghiêng.

+ Tại chỗ giao nhau giữa sườn dọc và ngang thì sườn ngang thường được khoét lỗ để cho sườn dọc được liên tục.

- Cấu tạo sườn dọc:

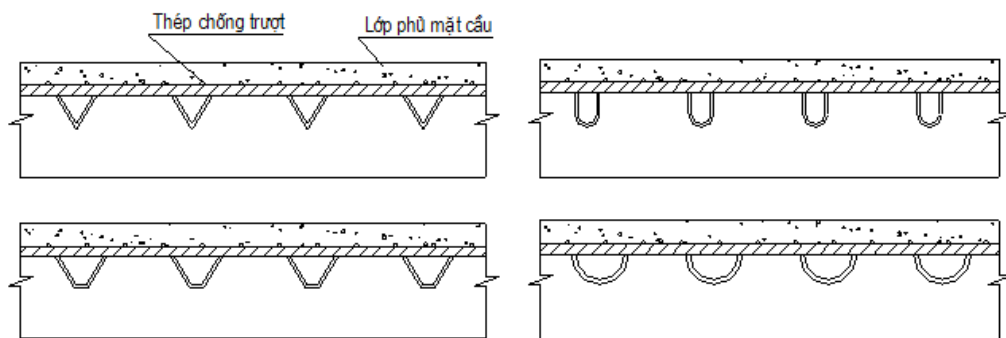
+ Khoảng cách giữa các sườn dọc thường từ $30 \div 50 \text{ cm}$.

+ Dạng mặt cắt hở: Cấu tạo từ thép bản, thép hình I, L, [hoặc T ngược. Dạng mặt cắt hở có cấu tạo đơn giản, tuy nhiên khả năng tăng cường độ cứng chống xoắn cho bản thép mặt cầu kém.



Hình 2.11: Dạng sườn dọc có mặt cắt hở.

+ Dạng mặt cắt kín: Cấu tạo từ thép bản được hàn thành các tiết diện chữ V, U hoặc hình bán nguyệt. Loại mặt cắt này có khả năng tăng cường độ cứng chống xoắn và chịu uốn cho bản thép tốt hơn so với mặt cắt hở.



Hình 2.12: Dạng sườn dọc có mặt cắt kín.

- Cấu tạo sườn ngang:

+ Có tác dụng liên kết các dầm chủ hoặc các mặt phẳng dàn chủ, đồng thời đỡ hệ thống sườn dọc và bản mặt cầu.

+ Sườn ngang thường được cấu tạo từ các dầm định hình hoặc dầm tổ hợp có dạng mặt cắt chữ I hoặc [.

+ Khoảng cách giữa các sườn ngang thường từ $2 \div 4 \text{ m}$.

- Lưới cốt thép:

+ Làm từ các thanh cốt thép đường kính 6mm với bước cốt thép $10 \div 15 \text{ cm}$.

+ Tác dụng: Để cho lớp bê tông asphalt hoặc bê tông xi măng dính kết tốt với tấm thép mặt cầu.

- Lớp phủ bê tông asphalt hoặc bê tông xi măng:
 - + Chiều dày $\delta=5\div7\text{cm}$.
- Ưu, nhược điểm:
 - Kết cấu mặt cầu kiểu này tham gia chịu lực cùng dầm chủ như là một bộ phận của dầm chủ.
 - Không cần cấu tạo lớp phòng nước vì các tấm thép dùng làm mặt cầu là loại thép không gỉ.
 - Loại mặt cầu này đáp ứng tốt yêu cầu về sử dụng như độ bằng phẳng, độ nhám, đồng thời không cần thiết đến hệ thống thoát nước.
 - Cầu bản trực hướng có trọng lượng bản thân nhẹ nên nó đặc biệt thích hợp với các nhịp dài khi tỉ số momen do tĩnh tải và hoạt tải lớn.
 - Giá thành loại mặt cầu này cao hơn so với các loại mặt cầu khác.
 - Kết cấu bản trực hướng có thể áp dụng cho bản mặt cầu hoặc cho cả dầm chủ trong trường hợp dầm hộp.

b. Mặt cầu bằng thép dạng sàn mắt cáo:

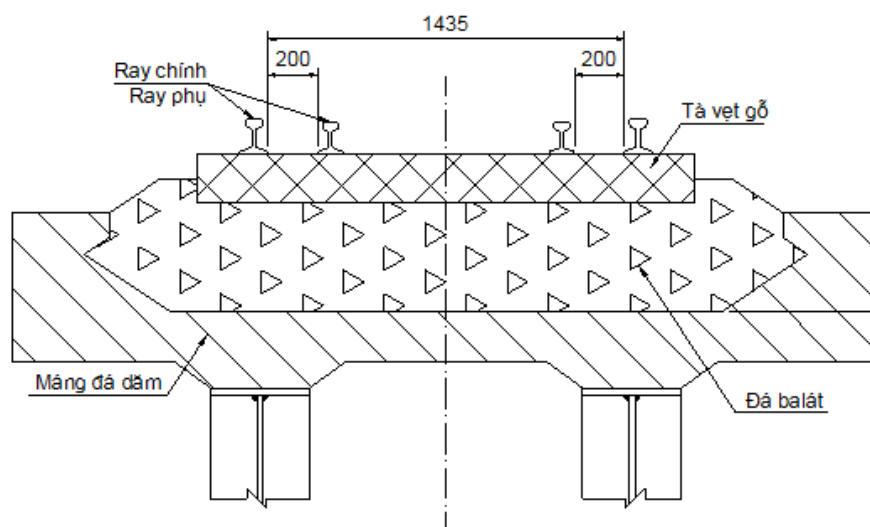
Ngoài ra, còn có kiểu mặt cầu bằng thép làm dưới dạng sàn mắt cáo rỗng có trọng lượng rất nhẹ. Loại mặt cầu này đáp ứng tốt các yêu cầu về sử dụng như độ bằng phẳng, độ nhám đồng thời lại không cần thiết đến hệ thống thoát nước nhưng có nhược điểm là đắt tiền.

2.2.2. MẶT CẦU CHO ĐƯỜNG SẮT:

Mặt cầu đường sắt có 3 loại chính: Mặt cầu có máng đá dăm (balát), mặt cầu có tà vẹt đặt trực tiếp lên dầm và mặt cầu có ray đặt trực tiếp lên bản mặt cầu (không có tà vẹt và đá balát).

2.2.2.1. Mặt cầu có máng đá balát:

a. Cấu tạo:



Hình 2.13: Mặt cầu đường sắt có máng đá balát.

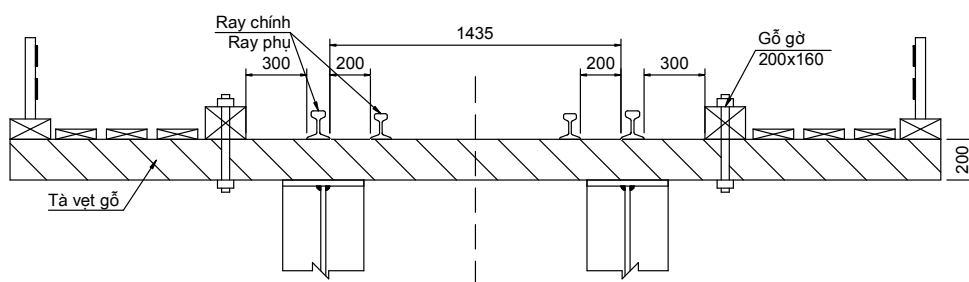
- Ray đặt trên tà vẹt, dưới tà vẹt là đá balát.
- Bản mặt cầu BTCT thường có dạng lòng máng để chứa đá dăm.
- Chiều rộng lòng máng lớn hơn 3400mm với khổ đường ray 1435 và lớn hơn 2600mm với khổ đường ray 1000.
- Khoảng cách giữa ray chính và ray phụ $a=20\div24\text{cm}$.
- Chiều dày lớp đá balát dưới tà vẹt $h\geq20\text{cm}$.

b. Ưu, nhược điểm:

- Loại mặt cầu có máng đá dăm tạo ra sự đồng nhất về độ cứng giữa đường và cầu nên đảm bảo tàu chạy êm thuận, hạn chế tối đa lực xung kích.
- Trong trường hợp cầu đặt trên đường cong bằng thì loại mặt cầu này cho phép tạo được siêu cao bằng cách thay đổi chiều dày của lớp đá dăm.
- Nhược điểm chính của loại mặt cầu này là làm tăng tĩnh tải mặt cầu và tăng chiều cao kiến trúc của cầu nên hiện nay ít sử dụng (đặc biệt là trong cầu dàn thép).

2.2.2.2. Mặt cầu trần (tà vẹt đặt trực tiếp lên dầm):

a. Cấu tạo:



Hình 2.14a: Mô hình mặt cầu trần có tà vẹt đặt trực tiếp lên dầm.

- Tà vẹt:
 - + Dài $L=3\text{m}$.
 - + Có tiết diện ngang ít nhất là $20\times24\text{cm}$ (cho khổ 1435) và $20\times22\text{cm}$ (cho khổ 1000).
 - + Khoảng cách giữa các tà vẹt là $10\div15\text{cm}$.
- Thanh gỗ dọc (gỗ gờ):
 - + Tiết diện $20\times16\text{cm}$.
 - + Gỗ gờ khắc sâu 2cm tại những chỗ áp vào tà vẹt và liên kết với tà vẹt bằng bulông.
 - + Khoảng cách giữa mép ray chính và gỗ gờ vào khoảng $30\div40\text{cm}$.
 - + Tác dụng: Giữ cho các tà vẹt không bị xô lệch đi, đồng thời cũng có tính chất như một ray bảo vệ đặt ở phía bên ngoài.
- Ray phụ:
 - + Khoảng cách giữa mép trong của ray chính và ray phụ là $20\div24\text{cm}$.
 - + Ray phụ thường có cùng số hiệu với ray chính hoặc có số hiệu nhỏ hơn.

+ Ray phụ được bố trí trong phạm vi trên cầu và đoạn đường đầu cầu có chiều dài $L \geq 10$ và được uốn nối chập lại với nhau nhằm mục đích dẫn hướng cho bánh xe đi vào lòng giữa ray chính và ray phụ.

+ Tác dụng: Đề phòng trường hợp xảy ra trượt bánh thì bánh xe không lăn đi quá xa đường ray.

b. Ưu, nhược điểm:

- Mặt cầu loại này có cấu tạo đơn giản, giảm được tĩnh tải mặt cầu và chiều cao kiến trúc của cầu nên được áp dụng khá phổ biến.

- Nhược điểm chính là khó đảm bảo sự đồng nhất về độ cứng giữa đường trên cầu và ngoài cầu nên thường gây ra lực xung kích và tiếng ồn lớn khi có tàu.

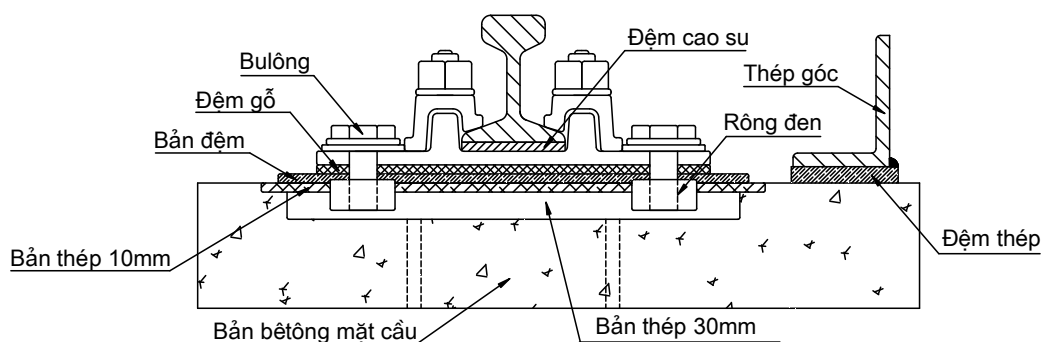
- Khó tạo được siêu cao khi cầu đặt trên đường cong bằng.



Hình 2.14b: Mặt cầu trần có tà vẹt đặt trực tiếp lên dầm.

2.1.2.3. Mặt cầu có ray đặt trực tiếp lên bản mặt cầu:

a. Cấu tạo:



Hình 2.15a: Mô hình mặt cầu có ray đặt trực tiếp lên bản mặt cầu.

- Ray được liên kết trực tiếp với bản bê tông mặt cầu.

- Dưới ray có bản đệm cao su và bản đệm thép, dùng bulông hoặc cóc để liên kết ray, có thể dùng thép góc để thay ray phụ.

- Tốc độ tàu chạy càng cao, cấp tải trọng càng lớn thì cấu tạo của liên kết này càng phức tạp.



Hình 2.15b: Mặt cầu có ray đặt trực tiếp lên bản mặt cầu.

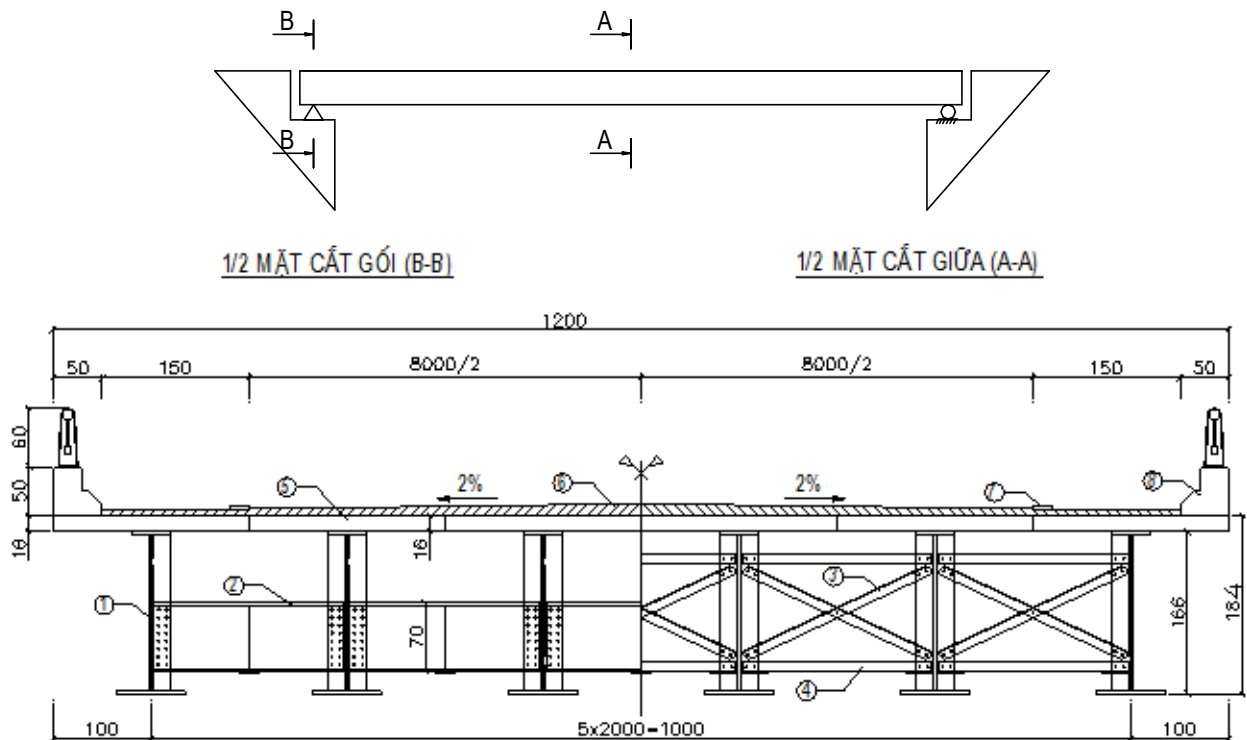
b. Ưu, nhược điểm:

- Do không có máng đá dăm và tà vẹt nên kiểu mặt cầu này giảm chiều cao kiến trúc và tĩnh tải của kết cấu nhịp, tiết kiệm vật liệu và chi phí duy tu sửa chữa máng đá dăm tà vẹt.
- Hình dáng dầm cầu bê tông đơn giản, dễ thi công vì bỏ được gờ máng đá dăm.
- Nhược điểm là cấu tạo liên kết ray càng phức tạp khi tốc độ chạy tàu càng nhanh.
- Độ êm thuận khi tàu ra vào cầu kém hơn so với mặt cầu có máng đá dăm.
- Đối với cầu có đường sắt và ô tô đi chung thì kiểu mặt cầu này khá thích hợp.

§2.3. CẦU DÀM THÉP KHÔNG LIÊN HỢP (Steel Beam)

2.3.1. GIỚI THIỆU CHUNG:

- Cấu tạo:



- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Dầm chủ. | 5. Bản bê tông mặt cầu. |
| 2. Dầm ngang tại mặt cắt gối. | 6. Lớp phủ mặt cầu. |
| 3. Hệ liên kết ngang tại mặt cắt trung gian. | 7. Vạch sơn. |
| 4. Hệ liên kết dọc cầu. | 8. Lan can. |

Hình 2.16: Mặt cắt ngang cầu dầm thép không liên hợp trên đường ô tô.

- Đặc điểm:

+ Trong kết cấu cầu không liên hợp thì dầm thép làm việc độc lập với bản mặt cầu cả khi chịu tĩnh tải và hoạt tải. Toàn bộ tĩnh tải và hoạt tải sẽ do một mình dầm thép chịu, còn bản mặt cầu chỉ có vai trò truyền áp lực do hoạt tải xuống dầm thép do đó dầm thép phải có chiều cao lớn hơn.

+ Trong trường hợp cầu chịu tải trọng lớn, đồng thời dưới tác dụng của hiện tượng co ngót, từ biến và thay đổi nhiệt độ thì bản bê tông mặt cầu có hiện tượng bị trượt và bong khỏi dầm thép nên tuổi thọ của cầu dầm thép không liên hợp thường không cao.

+ Cầu dầm thép không liên hợp thường được áp dụng cho các cầu trên đường ô tô và trên đường sắt có chiều dài nhịp nhỏ và vừa ($L < 20m$) hoặc cầu tạm phục vụ thi công trong thời gian ngắn, khi đó bản mặt cầu có thể được làm bằng các dầm dọc dầm ngang gỗ, phía trên là ván lát và băng lăn thép.

2.3.2. CẤU TẠO DÀM CHỦ:

2.3.2.1. Căn cứ lựa chọn kết cấu dầm chủ:

- Trong kết cấu nhịp cầu dầm thép thì hệ thống dầm chủ là bộ phận quan trọng nhất và là bộ phận chịu các tải trọng tác dụng lên cầu như: trọng lượng bản thân của các bộ phận và hoạt tải khai thác trên cầu. Kết cấu dầm chủ sẽ quyết định khả năng chịu tải và khả năng vượt nhịp của cầu.

- Các căn cứ để lựa chọn kết cấu dầm chủ:

- + Chiều dài tính toán nhịp: L_{tt} .
- + Bề rộng mặt cầu.
- + Điều kiện thông thuyền, thông xe.
- + Điều kiện địa chất, thủy văn.
- + Tải trọng thiết kế.
- + Công nghệ chế tạo và khả năng thi công kết cấu nhịp.

2.3.2.2. Số lượng dầm chủ:

- Số lượng dầm chủ trên mặt cắt ngang cầu có ảnh hưởng rất lớn đến khả năng chịu lực, khả năng vượt nhịp và tổng giá thành xây dựng của cầu. Trong thiết kế thường có hai quan điểm là sử dụng số dầm chủ ít hoặc sử dụng số dầm chủ nhiều.

+ Trường hợp số dầm ít: $n_{dc} = 2 \div 4$: Khi đó giảm chi phí thép chế tạo kết cấu nhịp dầm và chi phí thi công cầu. Tuy nhiên nội lực trong dầm lớn do đó phải tăng chiều cao dầm dẫn đến tăng chiều dài cầu cũng như chiều cao đất đắp nền đường đầu cầu \Rightarrow tăng tổng chi phí xây dựng công trình.

+ Trường hợp số dầm nhiều: $n_{dc} > 4$: Khi đó nội lực trong dầm nhỏ do đó giảm chiều cao dầm cũng như chiều dài cầu và chiều cao đất đắp nền đường đầu cầu do đó giảm được tổng chi phí xây dựng công trình. Tuy nhiên tăng chi phí vật liệu thép chế tạo kết cấu nhịp dầm cũng như chi phí thi công kết cấu nhịp do số cụm dầm phải lao lắp lớn hơn và đồng thời tăng tĩnh tải cầu.

\Rightarrow Như vậy tùy vào trường hợp cụ thể và quan điểm thiết kế mà ta so sánh và lựa chọn phương án số dầm chủ tối ưu nhất trên nguyên tắc vẫn đảm bảo khả năng chịu lực của cầu và giá thành công trình là nhỏ nhất.

- Đối với cầu đường sắt ta thường chọn kết cấu nhịp có cấu tạo 2 dầm chủ tương ứng cho mỗi cặp ray.

- Đối cầu đường ô tô thì số dầm chủ trên MCN được lựa chọn căn cứ vào bề rộng cầu và khoảng cách hợp lý giữa các dầm chủ. Thông thường ta nên chọn số dầm chủ sao cho cách giữa các dầm chủ $S = 1,2 \div 2,5m$ để đảm bảo bề rộng tính toán của bản BT mặt cầu.

2.3.2.3. Chiều cao dầm thép: (H_{sb})

- Chiều cao dầm chủ được lựa chọn phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- + Chiều dài nhịp tính toán: L_{tt} .
- + Số lượng dầm chủ trên mặt cắt ngang.
- + Tải trọng thiết kế.
- Xác định chiều cao của dầm chủ theo điều kiện cường độ: Chiều cao dầm chủ được lựa chọn và tính duyệt theo điều kiện:

$$M_u \leq M_r$$

Trong đó:

- + M_r : Sức kháng uốn tính toán của mặt cắt dầm chủ.
- + M_u : Mômen tính toán lớn nhất do tải trọng gây ra, $M_u = M_{\max}^{tt}$
- Xác định chiều cao của dầm chủ theo điều kiện độ cứng (biến dạng):

$$\Delta_{LL} \leq [\Delta]$$

Trong đó:

- + Δ_{LL} : Là độ võng lớn nhất do hoạt tải gây ra.
- + $[\Delta]$: Là độ võng cho phép.
- Xác định chiều cao dầm theo công thức kinh nghiệm:

+ Nhịp giản đơn:
$$\frac{H_{sb}}{L} \geq \frac{1}{30}$$

+ Nhịp liên tục:
$$\frac{H_{sb}}{L} \geq \frac{1}{40}$$

2.3.2.4. Tỷ lệ cấu tạo chung của dầm chủ:

- Dầm chủ yếu chịu uốn do đó phải được cấu tạo đảm bảo tỷ lệ sau:

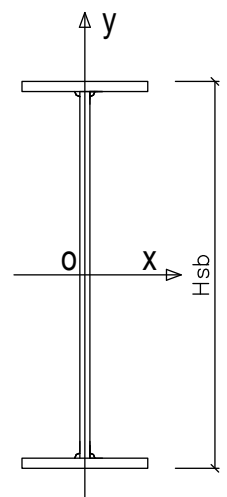
$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9$$

Trong đó:

- + I_{yc} : Mômen quán tính của bản cánh chịu nén đối với trục thẳng đứng Oy .

- + I_y : Mômen quán tính của mặt cắt dầm đối với trục thẳng đứng Oy .

- Ngoài ra chiều dày của cánh dầm, sườn dầm (trừ sườn dầm của thép I cán) phải lớn hơn 8mm, còn chiều dày sườn dầm của thép I hoặc [phải lớn hơn 7mm.



Hình 2.17: Mặt cắt dầm thép.

2.3.3. KÍCH THƯỚC CÁC BỘ PHẬN CỦA DÀM CHỦ:

2.3.3.1. Kích thước bản bụng: (Web)

- Chiều cao bản bụng được xác định theo chiều cao của dầm chủ. Thông thường trong thiết kế ta chọn chiều cao bản bụng bằng với bề rộng của các bản thép cán định hình đã

được sản xuất để tránh việc phải hàn thêm hay cắt bớt các bản thép. Ta có thể chọn sơ bộ chiều cao bản bụng theo công thức:

$$D_w = \frac{H_{sb}}{1,04 \div 1,1}$$

- Chiều dày bản bụng: Xác định theo tính toán để đảm bảo khả năng chịu cắt và ổn định cục bộ của sườn dầm. Ta có thể sơ bộ chọn theo công thức:

+ Dầm bằng thép cacbon: $t_w \geq \frac{1}{12,5} \cdot \sqrt{D_w}$

+ Dầm bằng thép hợp kim: $t_w \geq \frac{1}{10} \cdot \sqrt{D_w}$

- Theo quy định của Quy trình AASHTO thì chiều dày các bản thép phải đảm bảo:

+ $t \geq 0,23 \text{ inch} = 0,23 \cdot 25,4 \text{ mm} \approx 0,6 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$.

+ Tuy nhiên trong cấu tạo các dầm thép tổ hợp thì để tránh hiện tượng cong vênh bản thép khi thực hiện liên kết đặc biệt là liên kết hàn thì ta nên chọn bản thép có chiều dày $t \geq 12 \text{ mm}$.

- Để tránh hiện tượng mất ổn định cục bộ thì sườn dầm phải được cấu tạo sao cho:

+ Khi không có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 6,77 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

+ Khi có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 11,63 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

Trong đó:

+ t_w : Chiều dày của sườn dầm.

+ D_c : Chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm trong giai đoạn đàn hồi.

+ f_c : ứng suất tại trọng tâm cánh chịu nén do tải trọng tính toán.

+ E : Môđun đàn hồi của thép.

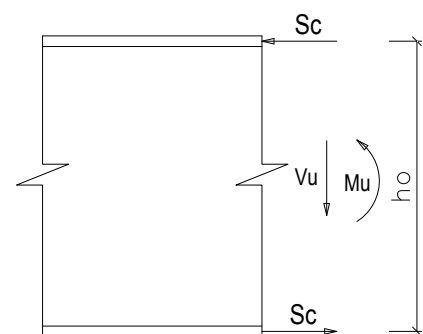
2.3.3.2. Kích thước bản cánh: (Flange)

- Bản cánh dầm được chọn theo điều kiện thanh chịu nén và uốn đồng thời.

- Lực dọc tác dụng lên bản cánh:

$$S_c = \frac{M_u}{h_o}$$

⇒ Diện tích bản cánh phải đảm bảo:



Hình 2.18: Sơ đồ tính bản cánh.

$$\text{Ta có: } f_c = \frac{S_c}{F_c} \leq f_y \Rightarrow F_c \geq \frac{S_c}{f_y} = \frac{M_u}{h_o \cdot f_y}$$

Trong đó:

- + M_u : Mômen tính toán lớn nhất.
- + h_0 : Khoảng cách giữa tim hai bản cánh.
- + f_y : Giới hạn chảy của thép.

=> Thông thường trong thiết kế ta chọn trước chiều dày bản cánh t_c sau đó tính toán và chọn bề rộng bản cánh b_c .

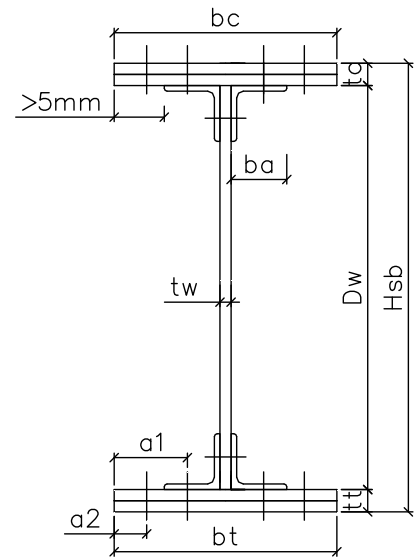
- Bề rộng bản cánh phải đảm bảo yêu cầu về cấu tạo:

$$b_c \geq 2.b_a + t_w + 2 \times 5 \text{ (mm)}$$

Và $a_1 \leq 15 \cdot \sum t_c$ $a_2 \leq 8 \cdot \sum t_c$

Trong đó:

- + b_a : Bề rộng cánh nằm ngang của thép góc liên kết.
- + t_w : Chiều dày bản bụng.
- + 5mm: Độ chìa ra tối thiểu của bản cánh so với cánh thép góc.
- + a_1 : Khoảng cách từ hàng đinh ngoài cùng liên kết bản cánh với thép góc đến mép của bản cánh.
- + a_2 : Khoảng cách từ hàng đinh ngoài cùng liên kết các tập bản cánh đến mép của bản cánh.
- + $\sum t_c$: Tổng chiều dày tập bản cánh, $\sum t_c \leq 4,5d$
- + d : Đường kính đinh tán.
- + n : Số tập bản cánh, $n \leq 7 \div 9$ bản.



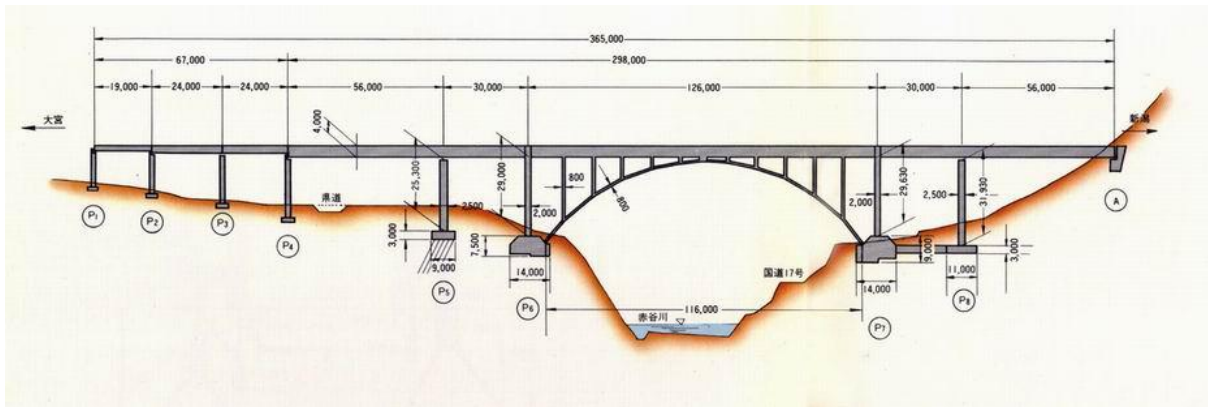
Hình 2.19: Quy định cấu tạo.

§2.4. CẦU DÀM LIÊN HỢP THÉP - BTCT (Composite Beam)

2.4.1. KHÁI NIỆM CHUNG:

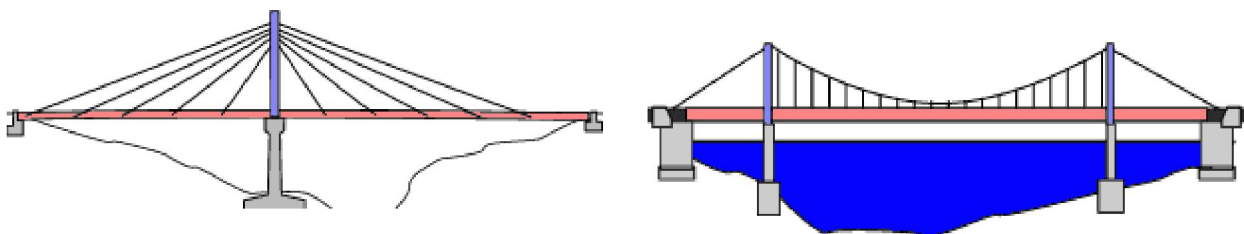
- Kết cấu Cầu liên hợp: Là kết cấu cầu có sự kết hợp của hai dạng kết cấu trở lên nhằm phát huy khả năng chịu lực của từng loại kết cấu từ đó tăng khả năng chịu lực và khả năng vượt nhịp cho kết cấu cầu.

+ Cầu Dầm + Vòm:



Hình 2.20: Kết cấu nhịp liên hợp Dầm - Vòm.

+ Cầu Dầm cứng + Dây:



Hình 2.21: Kết cấu nhịp liên hợp Dầm - Dây.

+ Cầu Dây treo + Dàn:

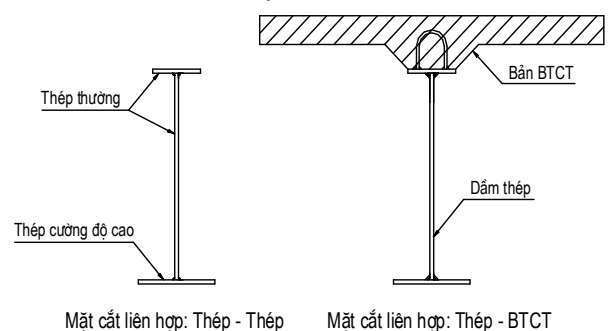
- Mặt cắt liên hợp: Là mặt cắt có sự kết hợp làm việc của hai hay nhiều loại vật liệu khác nhau trên cùng mặt cắt nhằm phát huy hết khả năng chịu lực của từng loại vật liệu từ đó tăng khả năng chịu lực cho mặt cắt dầm.

+ Mặt cắt liên hợp Thép - Thép.

+ Mặt cắt liên hợp Thép - BTCT.

+ Mặt cắt liên hợp Thép - Polime.

+ Mặt cắt liên hợp BTCT - BTCT DƯỠNG.

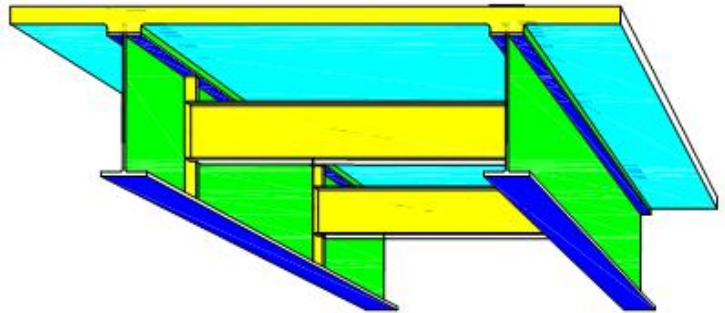


Hình 2.22: Mặt cắt dầm liên hợp.

Trong các dạng mặt cắt liên hợp thì mặt cắt dầm thép liên hợp BTCT là loại mặt cắt điển hình và được sử dụng nhiều nhất.

2.4.2. NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC CỦA CẦU DÀM LIÊN HỢP THÉP - BTCT:**2.4.2.1. Nguyên tắc cấu tạo:**

- Đối với cầu dầm thép không liên hợp có bản mặt cầu bằng bê tông, trong trường hợp cầu chịu tải trọng lớn, đồng thời dưới tác dụng của hiện tượng co ngót, từ biến và thay đổi nhiệt độ thì bản bê tông mặt cầu có hiện tượng bị trượt và bong khỏi dầm thép nên tuổi thọ của cầu dầm thép không liên hợp thường không cao.



Hình 2.23: KCN cầu dầm liên hợp.

- Để khắc phục nhược điểm trên của cầu dầm không liên hợp ta tiến hành bố trí hệ thống neo để liên kết giữa cánh trên của dầm thép với bản bê tông để tạo ra hiệu ứng liên hợp Thép - BTCT. Khi đó:

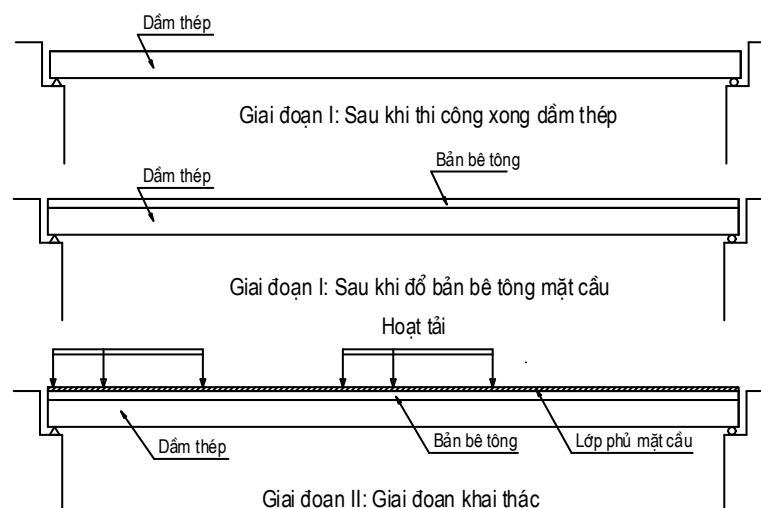
+ Dầm thép đóng vai trò chịu uốn và kéo đồng thời.

+ Bản bê tông đóng vai trò như một hệ liên kết dọc trên và tham gia chịu nén thay cho bản cánh trên của dầm chủ, làm tăng chiều cao và tiết diện làm việc của dầm, do đó giảm được chiều cao dầm thép.

2.4.2.2. Nguyên lý làm việc:

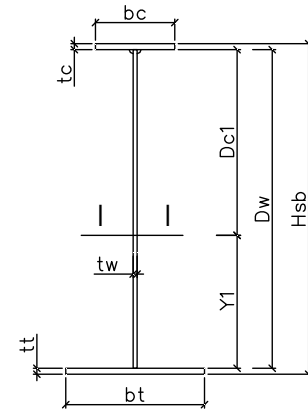
- Tùy theo biện pháp thi công kết cấu nhịp mà cầu dầm liên hợp có các giai đoạn làm việc khác nhau. Do đó khi tính toán thiết kế cầu dầm liên hợp thì ta phải phân tích rõ quá trình hình thành kết cấu trong các giai đoạn làm việc từ khi chế tạo, thi công đến khi đưa kết cấu nhịp vào khai thác.

a. Trường hợp 1: Cầu dầm liên hợp thi công theo biện pháp lắp ghép hoặc lao kéo dọc không có đà giáo hay trụ tạm đỡ dưới. Trong trường hợp này dầm liên hợp làm việc theo 2 giai đoạn:



Hình 2.24: Các giai đoạn làm việc của cầu dầm liên hợp.

- Giai đoạn 1: Khi thi công xong dầm thép.
 - + Mặt cắt tính toán: là mặt cắt dầm thép.
 - + Tải trọng tính toán: (tĩnh tải giai đoạn I).
 - 1 - Trọng lượng bản thân dầm.
 - 2 - Trọng lượng hệ liên kết dọc và ngang.
 - 3 - Trọng lượng bản bê tông và những phần bê tông được đổ cùng với bản bê tông mặt cầu.



Hình 2.25: Mặt cắt dầm GĐ I.

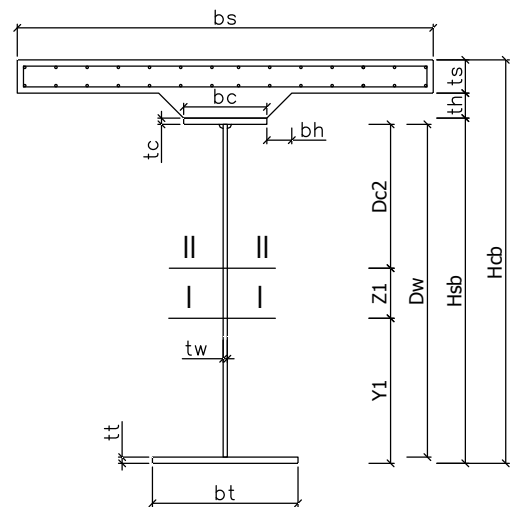
- Giai đoạn 2: Khi bản mặt cầu đã đạt cường độ và tham gia làm việc tạo ra hiệu ứng liên hợp giữa dầm thép và bản BTCT.

+ Mặt cắt tính toán là mặt cắt liên hợp Thép - BTCT.

+ Tải trọng tính toán:

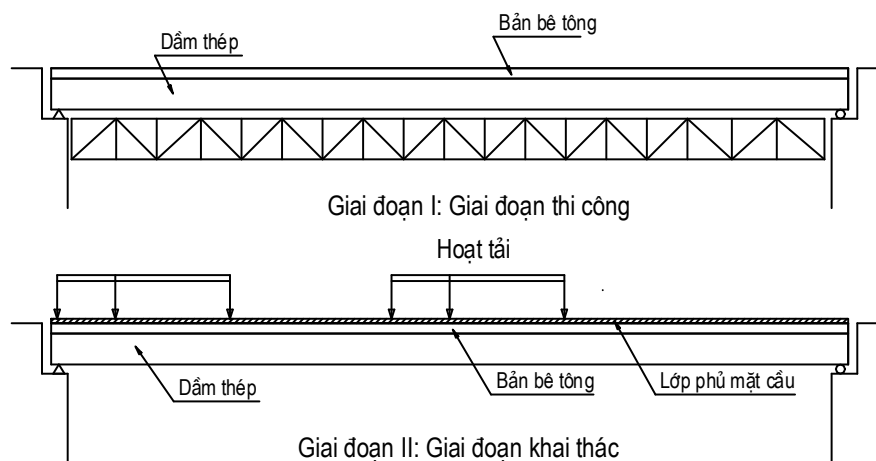
- 1 - Tĩnh tải giai đoạn II bao gồm trọng lượng lớp phủ mặt cầu, lan can, gờ chắn bánh (nếu các bộ phận này được đổ bê tông hoặc lắp ghép sau khi tháo dỡ ván khuôn bản bê tông mặt cầu), ...

2 - Hoạt tải.



Hình 2.26: Mặt cắt dầm giai đoạn II.

b. Trường hợp 2: Cầu dầm liên hợp thi công theo biện pháp lắp ghép trên đà giáo cố định hoặc có trụ tạm đỡ dưới.



Hình 2.27: Trường hợp thi công KCN trên đà giáo cố định.

- Giai đoạn I: Trong giai đoạn thi công thì toàn bộ trọng lượng của kết cấu nhịp và tải trọng thi công sẽ do kết cấu đà giáo đỡ dưới chịu, như vậy trong giai đoạn này mặt cắt dầm chưa làm việc.

- Giai đoạn II: Sau khi đỡ đà giáo thì trọng lượng của kết cấu nhịp mới truyền lên các dầm chủ, mặt cắt làm việc trong giai đoạn này là mặt cắt liên hợp. Tải trọng tác dụng lên dầm chủ sẽ gồm: Tĩnh tải giai đoạn I, tĩnh tải giai đoạn II, hoạt tải.

- Như vậy nếu thi công theo trường hợp thứ 2 này thì mặt cắt dầm chủ chỉ làm việc theo 1 giai đoạn đó là mặt cắt liên hợp, do đó phát huy tối đa được khả năng làm việc của mặt cắt dầm liên hợp và hạn chế được sự chịu lực bất lợi của dầm thép. Tuy nhiên không phải lúc nào ta cũng có thể thi công lắp ghép kết cấu nhịp trên hệ đà giáo cố định đỡ dưới như vậy, mà trong thực tế thì kết cấu nhịp cầu dầm thép lại thường được thi công theo biện pháp cầu lắp hoặc lao kéo dọc, do đó ta thường xét đến sự làm việc của mặt cắt dầm liên hợp theo hai giai đoạn như đã phân tích ở trên.

2.4.2.3. Đặc điểm của cầu dầm liên hợp Thép - BTCT:

- Điểm khác biệt lớn nhất giữa cầu dầm liên hợp và không liên hợp đó là đã đưa được bản bê tông vào làm việc cùng với dầm chủ, khi đó bản bê tông đóng vai trò như một hệ liên kết dọc trên đồng thời tham gia chịu nén thay cho bản cánh trên của dầm chủ từ đó làm tăng chiều cao tiết diện làm việc của dầm và giảm được chiều cao dầm thép. Như vậy cầu dầm liên hợp đã phát huy được hết khả năng làm việc hợp lý của các loại vật liệu => Tiết kiệm được vật liệu chế tạo dầm.

- Nhược điểm chính là tĩnh tải mặt cầu lớn và phải chế tạo hệ thống neo liên hợp. Tuy nhiên có thể thấy cầu dầm liên hợp ưu điểm hơn hẳn so với cầu không liên hợp nên hiện nay nó đã và đang được áp dụng rất phổ biến.

- Khả năng vượt nhịp:

+ Kết cấu nhịp giản đơn: $L_{nhịp} \leq 50m$.

+ Kết cấu nhịp liên tục: $L_{nhịp} \leq 90m$.

- Đối với kết cấu nhịp có chiều dài $L \geq 90m$ thì ta thường cấu tạo dầm có chiều cao mặt cắt thay đổi:

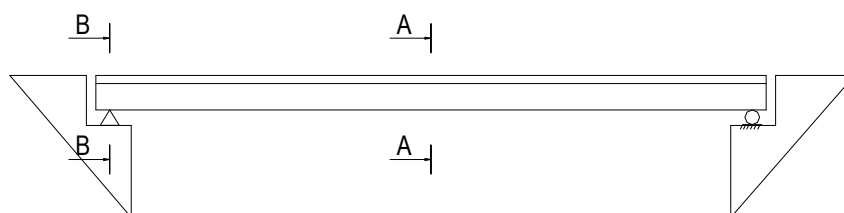
+ Tạo thẩm mỹ cho kết cấu.

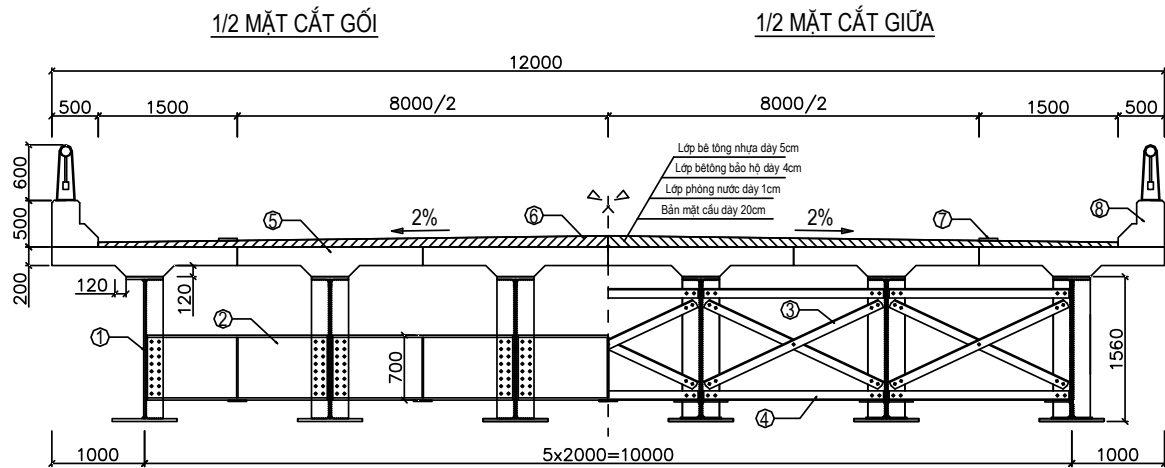
+ Tận dụng hết khả năng chịu lực của vật liệu do đó tiết kiệm vật liệu.

+ Giảm tĩnh tải mặt cầu.

+ Sự thay đổi chiều cao mặt cắt của dầm thép được thực hiện căn cứ theo biểu đồ mômen do tải trọng gây ra.

2.4.3. CẤU TẠO CHUNG KCN CẦU DÀM LIÊN HỢP THÉP - BTCT:





- | | |
|--|-------------------------|
| 1. Dầm chủ. | 5. Bản bê tông mặt cầu. |
| 2. Dầm ngang tại mặt cắt gối. | 6. Lớp phủ mặt cầu. |
| 3. Hệ liên kết ngang tại mặt cắt trung gian. | 7. Vạch sơn. |
| 4. Hệ liên kết dọc cầu. | 8. Lan can. |

Hình 2.28: Cấu tạo mặt cắt ngang cầu.

2.4.4. CẤU TẠO DÀM CHỦ:

2.4.4.1. Căn cứ lựa chọn kết cấu dầm chủ:

- Trong kết cấu nhịp cầu dầm thì hệ thống dầm chủ là bộ phận quan trọng nhất và là bộ phận chịu các tải trọng tác dụng lên cầu như: trọng lượng bản thân của các bộ phận và hoạt tải khai thác trên cầu. Kết cấu dầm chủ sẽ quyết định khả năng chịu tải và khả năng vượt nhịp của cầu.

- Các căn cứ để lựa chọn kết cấu dầm chủ:

- + Chiều dài tính toán nhịp: L_{tt} .
- + Bề rộng mặt cầu.
- + Điều kiện thông thuyền, thông xe.
- + Điều kiện địa chất, thủy văn.
- + Tải trọng thiết kế.
- + Công nghệ chế tạo và khả năng thi công kết cấu nhịp.

2.4.4.2. Số lượng dầm chủ:

- Số lượng dầm chủ trên mặt cắt ngang cầu có ảnh hưởng rất lớn đến khả năng chịu lực, khả năng vượt nhịp và tổng giá thành xây dựng của cầu. Trong thiết kế thường có hai quan điểm là sử dụng số dầm chủ ít hoặc sử dụng số dầm chủ nhiều.

+ Trường hợp số dầm ít: $n_{dc} = 2 \div 4$: Khi đó giảm chi phí thép chế tạo kết cấu nhịp dầm và chi phí thi công cầu. Tuy nhiên nội lực trong dầm lớn do đó phải tăng chiều cao dầm dẫn đến tăng chiều dài cầu cũng như chiều cao đất đắp nền đường đầu cầu => tăng tổng chi phí xây dựng công trình.

+ Trường hợp số dầm nhiều: $n_{dc} > 4$: Khi đó nội lực trong dầm nhỏ đó đó giảm chiều cao dầm cũng như chiều dài cầu và chiều cao đất đắp nền đường đầu cầu do đó giảm được tổng chi phí xây dựng công trình. Tuy nhiên tăng chi phí vật liệu thép chế tạo kết cấu nhịp dầm cũng như chi phí thi công kết cấu nhịp do số cụm dầm phải lao lắp lớn hơn và đồng thời tăng tĩnh tải cầu.

⇒ Như vậy tùy vào trường hợp cụ thể và quan điểm thiết kế mà ta so sánh và lựa chọn phương án số dầm chủ tối ưu nhất trên nguyên tắc vẫn đảm bảo khả năng chịu lực của cầu và giá thành công trình là nhỏ nhất.

- Đối với cầu đường sắt ta thường chọn kết cấu nhịp có cấu tạo 2 dầm chủ tương ứng cho mỗi cặp ray.

- Đối cầu đường ô tô thì số dầm chủ trên MCN được lựa chọn căn cứ vào bề rộng cầu và khoảng cách hợp lý giữa các dầm chủ. Thông thường ta nên chọn số dầm chủ sao cho cách giữa các dầm chủ $S = 1,2 \div 2,5m$ để đảm bảo bề rộng tính toán của bản BT mặt cầu.

2.4.4.3. Chiều cao dầm chủ:

- Chiều cao dầm chủ được lựa chọn phụ thuộc vào các yếu tố sau:

- + Chiều dài nhịp tính toán: L_{tt} .
- + Số lượng dầm chủ trên mặt cắt ngang.
- + Tải trọng thiết kế.

- Xác định chiều cao của dầm chủ theo điều kiện cường độ: Chiều cao dầm chủ được lựa chọn và tính duyệt theo điều kiện:

$$M_u \leq M_r$$

Trong đó:

- + M_r : Sức kháng uốn tính toán của mặt cắt dầm chủ.
- + M_u : Mômen tính toán lớn nhất do tải trọng gây ra, $M_u = M_{max}^{tt}$
- Xác định chiều cao của dầm chủ theo điều kiện độ cứng (biến dạng):

$$\Delta_{LL} \leq [\Delta]$$

Trong đó:

- + Δ_{LL} : Là độ võng lớn nhất do hoạt tải gây ra.
- + $[\Delta]$: Là độ võng cho phép.
- Xác định chiều cao dầm theo công thức kinh nghiệm:
- + Chiều cao phần dầm thép:

$$1 - \text{Nhịp giản đơn: } \frac{H_{sb}}{L} \geq \frac{1}{30}$$

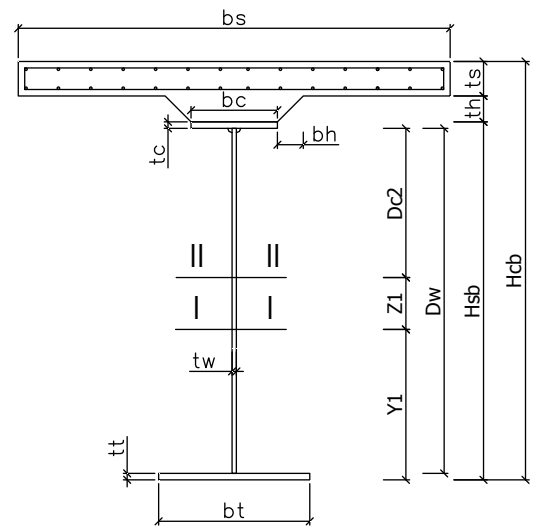
2 - Nhịp liên tục: $\frac{H_{sb}}{L} \geq \frac{1}{35}$

+ Chiều cao dầm liên hợp:

1 - Nhịp giản đơn: $\frac{H_{cb}}{L} \geq \frac{1}{25}$

2 - Nhịp liên tục: $\frac{H_{cb}}{L} \geq \frac{1}{30}$

Trong đó: H_{sb} và H_{cb} là chiều cao mặt cắt dầm thép và dầm liên hợp.



Hình 2.29: Mặt cắt dầm chủ.

- Trong cầu dầm liên hợp do có bản bê tông mặt cầu tham gia chịu lực cùng với dầm thép nên chiều cao dầm thép nhỏ hơn so với cầu dầm không liên hợp. Đồng thời bản cánh trên của dầm thép thường cấu tạo có bề rộng nhỏ hơn bản cánh dưới do có bản bê tông tham gia chịu nén cùng.

2.4.4.4. Tỷ lệ cấu tạo chung của dầm thép:

- Dầm chủ yếu chịu uốn do đó phải được cấu tạo đảm bảo tỷ lệ sau:

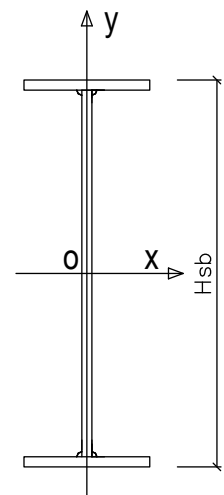
$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9$$

Trong đó:

+ I_{yc} : Mômen quán tính của bản cánh chịu nén đối với trục thẳng đứng Oy .

+ I_y : Mômen quán tính của mặt cắt dầm đối với trục thẳng đứng Oy .

- Ngoài ra chiều dày của cánh dầm, sườn dầm (trừ sườn dầm của thép I cán) phải lớn hơn 8mm, còn chiều dày sườn dầm của thép I hoặc [phải lớn hơn 7mm.



Hình 2.30: Mặt cắt dầm thép.

2.4.5. KÍCH THƯỚC CÁC BỘ PHẬN CỦA DÀM THÉP:

2.4.5.1. Kích thước bản bụng: (Web)

- Chiều cao bản bụng được xác định theo chiều cao của dầm thép. Thông thường trong thiết kế ta chọn chiều cao bản bụng bằng với bề rộng của các bản thép cán định hình đã được sản xuất để tránh việc phải hàn thêm hay cắt bớt các bản thép. Ta có thể chọn sơ bộ chiều cao bản bụng theo công thức:

$$D_w = \frac{H_{sb}}{1,04 \div 1,1}$$

- Chiều dày bản bụng: Xác định theo tính toán để đảm bảo khả năng chịu cắt và ổn định cục bộ của sườn dầm. Ta có thể sơ bộ chọn theo công thức:

- + Dầm bằng thép cacbon: $t_w \geq \frac{1}{12,5} \cdot \sqrt{D_w}$
- + Dầm bằng thép hợp kim: $t_w \geq \frac{1}{10} \cdot \sqrt{D_w}$
- Theo quy định của Quy trình AASHTO thì chiều dày các bản thép phải đảm bảo:
 - + $t \geq 0,23\text{inh} = 0,23 \cdot 2,54\text{cm} \approx 0,6\text{cm} = 6\text{mm}$.
 - + Tuy nhiên trong cấu tạo các dầm thép tổ hợp thì để tránh hiện tượng cong vênh bản thép khi thực hiện liên kết đặc biệt là liên kết hàn thì ta nên chọn bản thép có chiều dày $t \geq 12\text{mm}$.
- Để tránh hiện tượng mất ổn định cục bộ thì sườn dầm phải được cấu tạo sao cho:
 - + Khi không có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 6,77 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$
 - + Khi có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 11,63 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

Trong đó:

- + t_w : Chiều dày của sườn dầm.
- + D_c : Chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm trong giai đoạn đàn hồi.
- + f_c : ứng suất tại trọng tâm cánh chịu nén do tải trọng tính toán.
- + E : Môđun đàn hồi của thép.

2.4.5.2. Kích thước bản cánh: (Flange)

- Bản cánh dầm thép được chọn theo điều kiện thanh chịu nén và uốn đồng thời.
- Lực dọc tác dụng lên bản cánh:

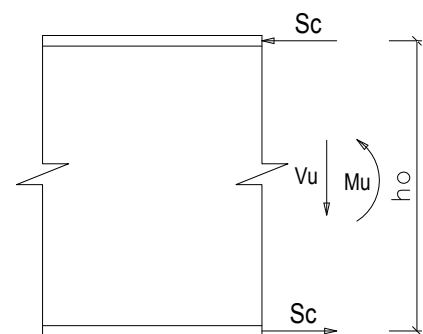
$$S_c = \frac{M_u}{h_o}$$

⇒ Diện tích bản cánh phải đảm bảo:

$$\text{Ta có: } f_c = \frac{S_c}{F_c} \leq f_y \Rightarrow F_c \geq \frac{S_c}{f_y} = \frac{M_u}{h_o \cdot f_y}$$

Trong đó:

- + M_u : Mômen tính toán lớn nhất.
- + h_o : Khoảng cách giữa tim hai bản cánh.
- + f_y : Giới hạn chảy của thép.



Hình 2.31: Sơ đồ tính bản cánh.

=> Thông thường trong thiết kế ta chọn trước chiều dày bản cánh t_c sau đó tính toán và chọn bề rộng bản cánh b_c .

- Bề rộng bản cánh phải đảm bảo yêu cầu về cấu tạo:

$$b_c \geq 2.b_a + t_w + 2 \times 5 \text{ (mm)}$$

$$\text{Và } a_1 \leq 15. \sum t_c \quad a_2 \leq 8. \sum t_c$$

Trong đó:

+ b_a : Bề rộng cánh nằm ngang của thép góc liên kết.
 + t_w : Chiều dày bản bụng.
 + 5mm: Độ chìa ra tối thiểu của bản cánh so với cánh thép góc.

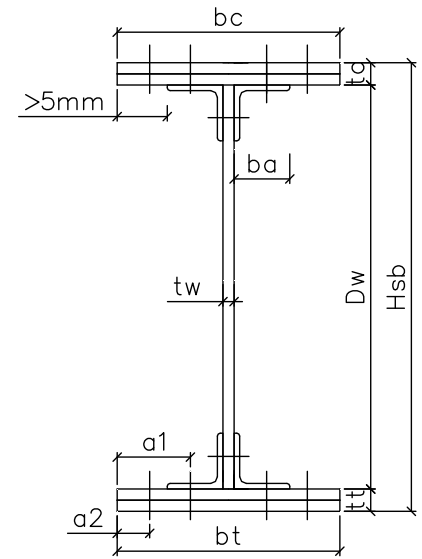
+ a_1 : Khoảng cách từ hàng đinh ngoài cùng liên kết bản cánh với thép góc đến mép của bản cánh.

+ a_2 : Khoảng cách từ hàng đinh ngoài cùng liên kết các tập bản cánh đến mép của bản cánh.

+ $\sum t_c$: Tổng chiều dày tập bản cánh, $\sum t_c \leq 4,5d$

+ d : Đường kính đinh tán.

+ n : Số tập bản cánh, $n \leq 7 \div 9$ bản.



Hình 2.32: Quy định cấu tạo.

2.4.6. CẤU TẠO BẢN BÊ TÔNG: (Slab)

- Kích thước của bản bê tông được xác định theo điều kiện bản chịu uốn dưới tác dụng của tải trọng cục bộ.

- Chiều dày bản mặt cầu bê tông (không kể lớp hao mòn) không được nhỏ hơn 175mm (điều 9.7.1.1). Mặt cầu có thể là mặt cầu trần trong đó bánh xe chạy trực tiếp trên mặt bê tông, khi đó bên trên mặt cầu cần có một lớp chống hao mòn dày 10 ÷ 15mm. Ngoài ra, chiều dày bản theo điều kiện chịu lực còn phải thỏa mãn bảng (A2.5.2.6.3-1).

- Bản bê tông có thể cấu tạo vút (*haunch*) dạng đường vát chéo, theo dạng đường cong tròn hoặc có thể không cần cấu tạo vút. Mục đích của việc cấu tạo vút bản bê tông là nhằm làm tăng chiều cao dầm => tăng khả năng chịu lực của dầm và tạo ra chỗ để bố trí hệ neo liên kết. Thông thường để thuận tiện cho việc ghép ván khuôn đổ bê tông bản thì vút thường có cấu tạo dạng vát chéo với kích thước $b_h = t_h = (10 \div 20)\text{cm}$.

- Cốt thép trong bản thường sử dụng thép có giới hạn chảy $f_y = 420\text{Mpa}$.

+ Cốt thép theo phương dọc cầu thường có đường kính $\Phi = 10 \div 12\text{mm}$, với khoảng cách giữa các thanh $@ = 100 \div 200\text{mm}$.

+ Cốt thép theo phương ngang cầu thường có đường kính $\Phi = 12 \div 16\text{mm}$, với khoảng cách giữa các thanh $@ = 100 \div 200\text{mm}$.

2.4.7. CẤU TẠO HỆ NEO LIÊN KẾT:**2.4.7.1. Vai trò của neo liên kết:**

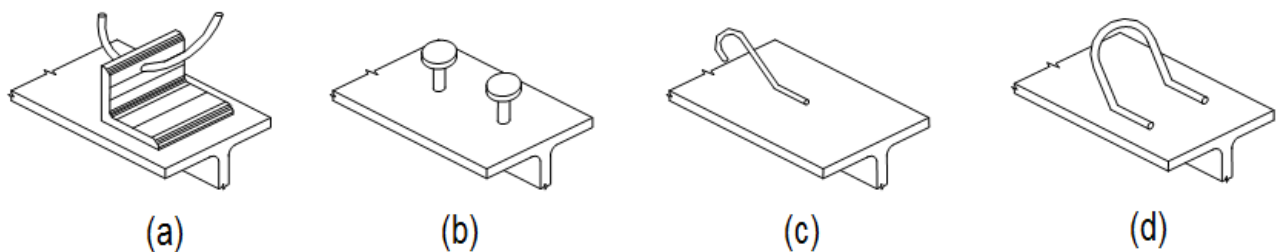
- Neo là bộ phận liên kết bản bê tông với cánh trên của dầm thép để đảm bảo cho bản bê tông không bị trượt trong quá trình chịu lực từ đó tạo ra hiệu ứng liên hợp giữa dầm thép với bản BTCT.

- Neo có thể được làm bằng thép tròn, thép bản hoặc thép định hình và được liên kết với cánh trên của dầm thép bằng đường hàn, đinh tán hoặc bu lông.

2.4.7.2. Cấu tạo neo:

- Có 3 loại neo thường được dùng phổ biến là:

- + Neo cứng: làm bằng thép bản, thép góc...
- + Neo mềm: Làm bằng thép tròn.
- + Neo đinh mũ.

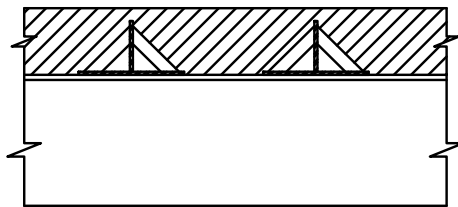


a. Neo cứng, b. Neo đinh mũ.
c. Neo mềm 1 nhánh, d. Neo mềm 2 nhánh.

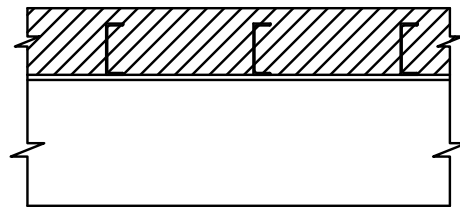
Hình 2.33: Cấu tạo neo liên hợp.

a. Neo cứng:

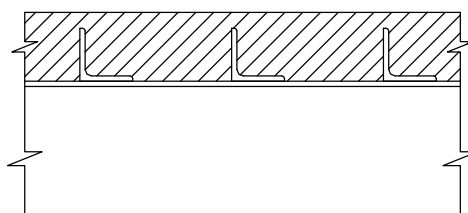
- Neo cứng được cấu tạo từ thép bản, thép góc hoặc thép chữ [.
- Neo có cấu tạo gọn và thường dùng cho mặt cầu lắp ghép vì khi đó lỗ neo thường bố trí sẵn.



Hình 2.34a: Neo cứng bằng thép bản.



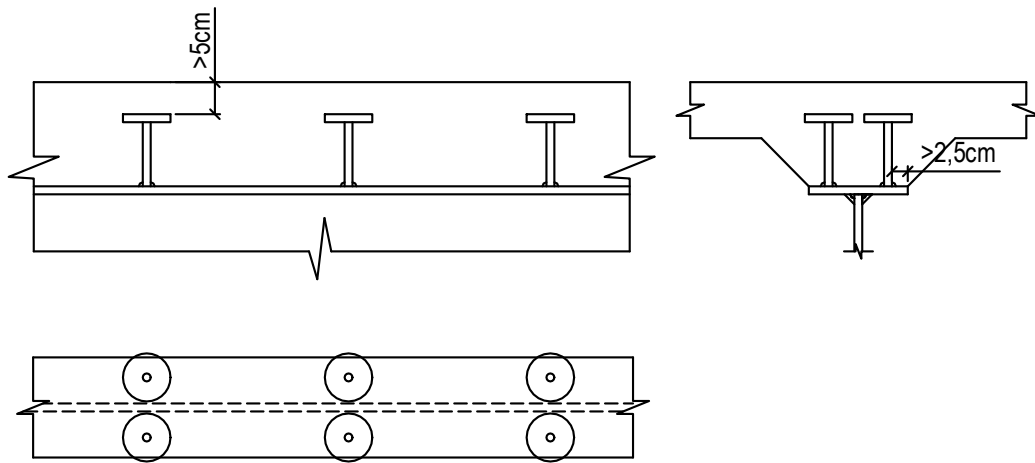
Hình 2.34b: Neo cứng bằng thép [.



Hình 2.34c: Neo cứng bằng thép L.

b. Neo đỉnh mũ:

- Được cấu tạo dưới dạng các đỉnh mũ bằng thép. Khi thi công sẽ dùng súng hàn hồ quang để bắn hàn do đó tốc độ thi công rất nhanh.
- Đây là loại neo có khả năng chịu lực và có độ tin cậy cao.

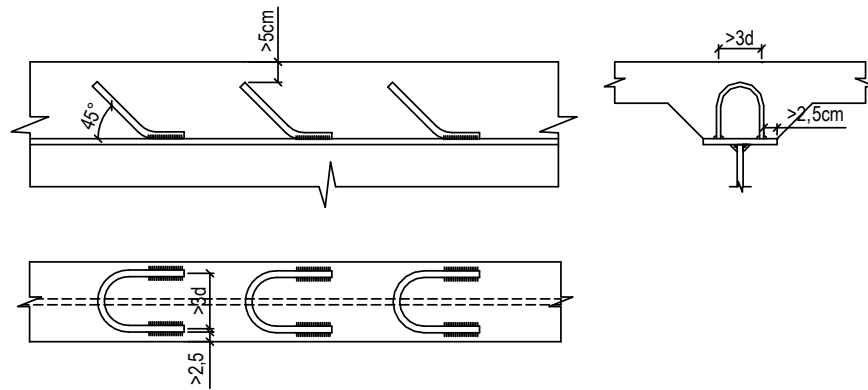


Hình 2.35: Neo đỉnh mũ.

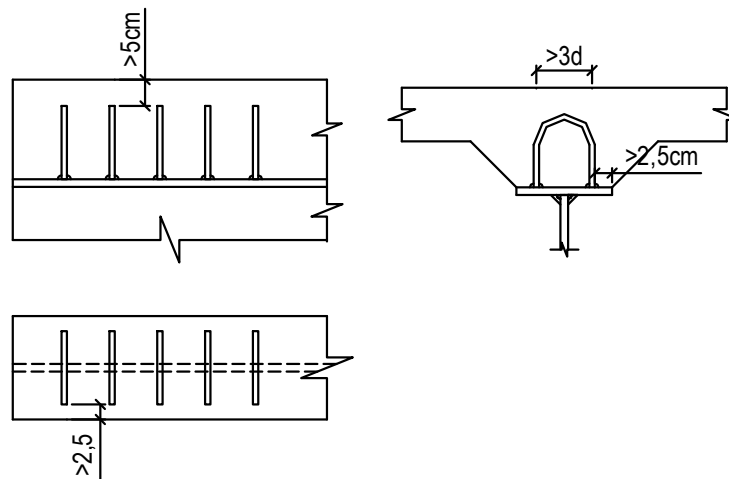
- Các quy định về cấu tạo neo đỉnh mũ:
 - + Đường kính thân neo: $d = 16 \div 24\text{mm}$.
 - + Chiều cao neo phải không được nhỏ hơn 4 lần đường kính thân neo.
 - + Bước neo tính từ tim đến tim neo không được vượt quá 600mm và không nhỏ hơn 6 lần đường kính thân neo (A6.10.7.4.1b)
 - + Theo phương ngang cầu khoảng cách neo không được nhỏ hơn 4 lần đường kính thân neo.
 - + Khoảng cách tính giữa bản cánh trên của dầm thép và mép neo không được nhỏ hơn 25mm (A6.10.7.4.1).
 - + Chiều dày tính của lớp phủ trên neo không được nhỏ hơn 50mm. Neo được chôn sâu ít nhất 50mm vào trong mặt cầu (A6.10.7.4.1d).

c. Neo mềm:

- Neo mềm được cấu tạo từ các thanh thép tròn uốn cong thành một nhánh hoặc 2 nhánh sau đó được hàn vào cánh trên của dầm thép.
- Neo mềm chịu lực kém hơn so với neo cứng tuy nhiên khả năng liên kết với bê tông tốt hơn neo cứng. Theo quy định của 22TCN18-79 thì nên ưu tiên dùng neo mềm để liên kết bản bê tông và dầm thép trong kết cấu nhịp liên hợp.
- Khi cấu tạo và bố trí neo mềm phải tuân theo các quy định sau:
 - + Cự ly giữa tim các nhánh neo mềm $\geq 3d$ (d là đường kính thép làm neo).
 - + Các neo mềm nên cấu tạo dạng hình vành khuyên và đặt nghiêng góc 45° so với mặt phẳng cánh trên dầm chủ.



Hình 2.36a: Neo mềm chống trượt.



Hình 2.36b: Neo mềm chống bóc.



Hình 2.36c: Neo chống trượt do tải trọng.



Hình 2.36d: Neo chống trượt do co ngót và thay đổi nhiệt độ.

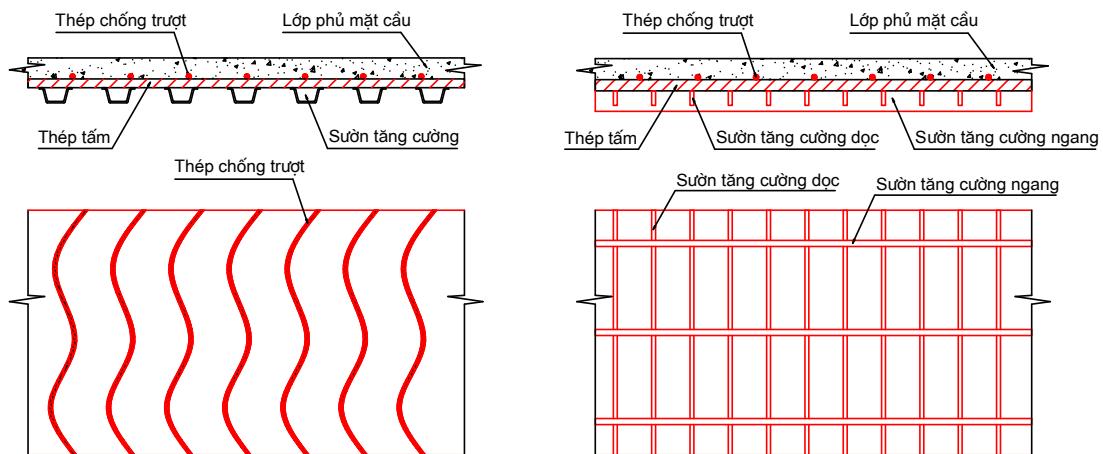
2.4.7.3. Nguyên tắc bố trí neo:

- Khoảng cách giữa các neo chống trượt được tính toán và bố trí theo điều kiện chịu lực gây trượt giữa bản bê tông và bản cánh trên của dầm thép khi chịu lực.
- Tại vị trí đầu dầm do lực cắt lớn nên phát sinh lực bóc bản bê tông nên ta phải bố trí các neo chịu lực nhỏ.
- Ngoài tại vị trí đầu dầm ta còn phải bố trí các neo chống trượt do hiện tượng co ngót và từ biến của bê tông. Các neo này có chiều ngược với chiều của các neo chống trượt do tải trọng.
- Trong giai đoạn mặt cắt chảy dẻo, nếu như thép làm neo có tính dẻo dai cho phép thì sẽ có sự phân bố lại lực cắt ngang ở TTGH cường độ. Và như vậy thì khi làm việc trong giai đoạn chảy dẻo thì lực cắt sẽ bằng nhau tại tất cả các mặt cắt của dầm do đó neo được bố trí với khoảng cách đều nhau là p trên toàn bộ chiều dài dầm.

§2.5. CẦU DÀM THÉP BẢN TRỰC HƯỚNG (Orthotropic)

2.5.1. KHÁI NIỆM CHUNG:

- Cầu bản trực hướng là loại cầu trong đó dùng bản mặt cầu bằng thép bản trực hướng thay cho bản mặt cầu bằng BTCT. Không kể chiều dày lớp áo đường bằng bê tông asphalt dày từ 5 ÷ 7 cm, thì cầu bản trực hướng được coi như hoàn toàn bằng thép.

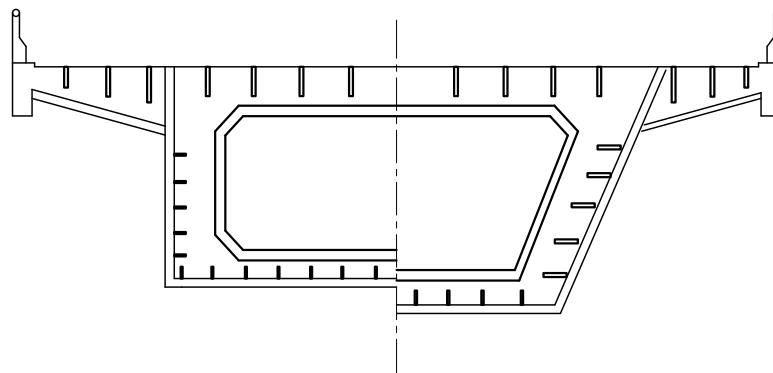


Hình 2.37: Mặt cầu bản thép trực hướng (Orthotropic).

- Trong cầu có bản trực hướng, bản mặt cầu thường có độ cứng theo cả hai phương. Trong hầu hết các trường hợp thì bản thép mặt cầu được hàn thêm các sườn tăng cường dọc, các sườn tăng cường này được đặt tương đối gần nhau song song với hướng xe chạy. Hệ sườn dọc này biến bản thép từ đẳng hướng sang không đẳng hướng. Các sườn dọc lại được kê trên các sườn ngang, khi đó bản thép chuyển từ không đẳng hướng sang trực hướng và ta gọi là bản thép trực hướng (Orthotropic).

- Bản mặt cầu trực hướng làm việc như tác động của nhiều bộ phận riêng rẽ. Áp lực sẽ truyền xuống sườn dọc, sườn dọc truyền xuống sườn ngang và từ sườn ngang truyền xuống dầm hoặc dàn chủ.

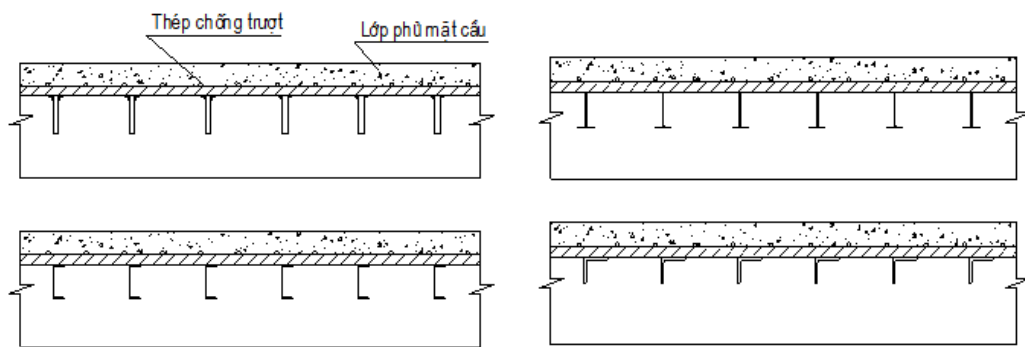
- Cầu bản trực hướng có trọng lượng bản thân nhẹ nên nó đặc biệt thích hợp với các nhịp dài khi tỉ số mômen do tĩnh tải và hoạt tải lớn.



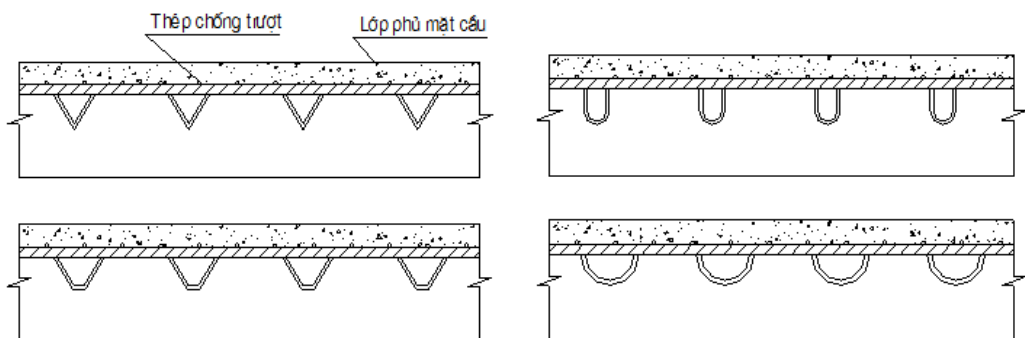
Hình 2.38: Cầu dầm bản trực hướng.

2.5.2. CẤU TẠO BẢN MẶT CẦU TRỰC HƯỚNG:

- Chiều dày bản thép: $t = 12 \div 24\text{mm}$.
- Khoảng cách giữa các sườn dọc: $a = 30 \div 50\text{cm}$.
- Các sườn tăng cường có thể bố trí đứng hoặc nghiêng và trong tính toán thì nó cũng thuộc mặt cắt tính toán của dầm chủ. Do đó tại chỗ giao nhau giữa sườn dọc và sườn ngang thì sườn ngang thường được khoét lỗ để cho sườn dọc liên tục.
- Các dạng cấu tạo sườn dọc:
 - + Dạng mặt cắt hở: có thể cấu tạo từ thép bản, thép hình I, L, [hoặc chữ T ngược. Dạng mặt cắt hở có cấu tạo đơn giản, tuy nhiên khả năng tăng cường độ cứng chống xoắn cho bản thép mặt cầu kém.

*Hình 2.39: Dạng sườn có mặt cắt hở.*

- + Dạng mặt cắt kín: có thể cấu tạo từ thép bản được hàn thành các tiết diện chữ V, U hoặc hình bán nguyệt. Tuy cấu tạo có phần phức tạp hơn nhưng dạng mặt cắt kín này lại có khả năng tăng cường độ cứng chịu uốn và chống xoắn cho bản thép tốt hơn so với loại mặt cắt hở.

*Hình 2.40: Dạng sườn có mặt cắt kín.*

- Sườn ngang (dầm ngang):
 - + Liên kết các dầm chủ hoặc các mặt phẳng dầm chủ, đồng thời đỡ hệ thống sườn dọc và bản mặt cầu.
 - + Sườn ngang thường được cấu tạo từ các dầm định hình hoặc dầm tổ hợp có dạng mặt cắt chữ I hoặc [, ...
 - + Khoảng cách giữa các sườn ngang thường từ $2 \div 4\text{m}$.

§2.6. CẦU DÀM THÉP UỐN TRƯỚC (Prebeam)

2.6.1. KHÁI NIỆM CHUNG:

- Gần đây khái niệm bê tông dự ứng lực và kiểu bê tông bọc ngoài dầm thép được coi như các kiểu cầu kiện bê tông. Với quan điểm này dầm thép có thể được sử dụng cùng với bê tông dự ứng lực và về nguyên tắc kết cấu, kiểu này giống hệt như dầm bê tông dự ứng lực sử dụng cáp căng dự ứng lực. Kết cấu này đã được phát triển chủ yếu ở Nhật Bản với tên gọi tắt là “**PreBeam**” và đã có hơn 500 công trình, kể cả cầu và các công trình khác sử dụng kết cấu này.

- Dầm uốn trước là một loại kết cấu nhịp của dầm thép ứng suất trước. Các dầm được tạo ứng suất trước bằng kỹ thuật uốn trước dầm do Lipski đề nghị năm 1949.

- Dầm uốn trước có dầm thép làm bằng thép cường độ cao hoặc thép thường bọc bê tông. Dầm uốn trước tạo ra ứng suất ngược dấu với ứng suất do tải trọng gây ra trong bê tông và giảm độ võng do hoạt tải.



Hình 2.41: Dầm Prebeam.

- Đặc điểm:

+ Dầm thép được bọc kín, tránh được các tác động của môi trường gây rỉ thép.
+ Tạo ra ứng suất trước trong dầm, hạn chế vết nứt trong bản bê tông mà không cần phải sử dụng các bó cáp dự ứng lực.

+ Chiều cao dầm nhỏ: $H = 1,1 \div 1,2m \Rightarrow$ Giảm chiều cao kiến trúc của cầu. Đồng thời khả năng vượt nhịp của dầm tăng: $L \leq 38 \div 42m$.

+ Trong dầm Prebeam bê tông có tác dụng như một loại vật liệu bảo vệ cho dầm thép hình, chịu một phần lực nén và làm tăng khả năng giữ ổn định động lực học cho toàn bộ kết cấu, giảm độ mảnh cho kết cấu dưới tác dụng của lực nén.

- Phương pháp tạo dự ứng lực là phương pháp uốn trước (Pre-flexion). Đây là phương pháp khai thác tính chống uốn đàn hồi cao của dầm thép để tạo ra ứng suất nén trước vào bê tông bản cánh dưới.

- Ưu điểm của dầm Prebeam:

+ Nhờ có bê tông bao bọc bên ngoài thép hình nên dầm Prebeam còn đảm bảo chống ăn mòn dầm thép và còn hạn chế được tiếng ồn và độ rung của cầu khi có xe chạy qua.

+ Giảm chiều cao dầm: Dầm Prebeam có một ưu điểm lớn trong trường hợp yêu cầu khắt khe về chiều cao dầm bởi vì dầm này có độ cứng rất cao và độ cong nhỏ khi có hoạt tải tác động, điều này cho thấy giảm được chiều cao là điều rất rõ.

+ Dễ dàng bảo dưỡng: Do dầm thép được bọc kín bên trong dầm bê tông nên ta không phải quan tâm đến vấn đề bảo dưỡng chống gỉ cho dầm thép.

+ Công nghệ thi công đòi hỏi phải sử dụng bê tông cường độ cao và thép cường độ cao, kích có lực ép lớn, trình độ thi công cao. Những điều này sẽ làm tăng giá thành công trình, theo tính toán sơ bộ thì giá thành mặt cắt ngang của cầu dầm Prebeam đắt hơn dầm PCI khoảng $6 \div 7$ lần. Tuy nhiên sau khi làm chủ được công nghệ, áp dụng chế tạo dầm hàng loạt với số lượng lớn và xét về chiều dài vượt nhịp thì giá thành của dầm Prebeam giảm xuống thấp hơn so với giá thành của dầm PCI thông thường. Với tất cả những ưu điểm nêu trên có thể nói dầm Prebeam là một trong những giải pháp kinh tế nhất trong thi công.

- Phạm vi áp dụng:

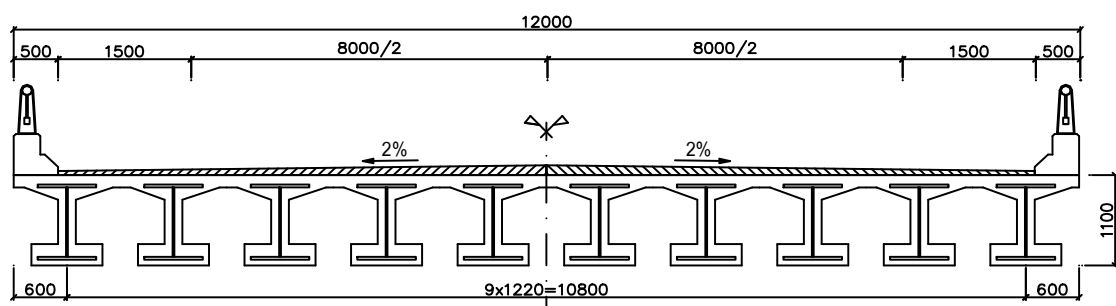
+ Với chiều dài nhịp $L = 30 \div 60\text{m}$ và chiều cao dầm là $1,1\text{m} \approx 3,0\text{m}$. Dầm Prebeam được sử dụng rộng rãi đối với các cầu có chiều dài $L = 20 \div 30\text{m}$. Gần đây dầm Prebeam được liên tục phát triển và tiến tới áp dụng cho cả cầu có nhiều nhịp liên tục để có thể chống lại lực động đất và các tính ưu việt khác.

+ Với tính năng chủ yếu là hạn chế được chiều cao dầm trong khi vẫn duy trì được khả năng vượt nhịp nên cầu dầm Prebeam được áp dụng nhiều trong các cầu vượt đường bộ, đường sắt, các công trình cầu vượt sông có thông thuyền và các công trình kiến trúc đòi hỏi có tính mỹ quan cao.

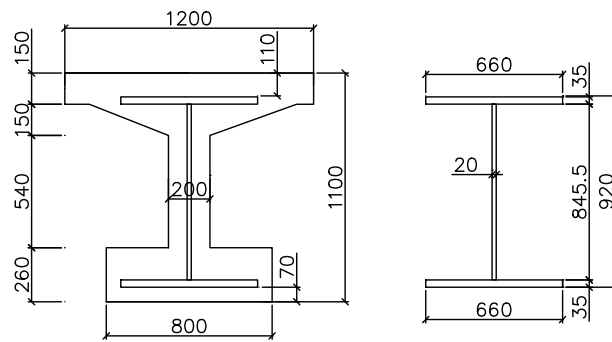
+ Dầm Prebeam được dùng khá phổ biến tại Nhật Bản: với 750 cầu đường bộ, 29 cầu đường sắt và 86 dầm trong kiến trúc xây dựng. Ở Việt Nam trong những năm gần đây dầm Prebeam được đưa vào sử dụng cho các công trình cầu trên tuyến Nội Bài - Bắc Ninh (gồm 6 cầu với 106 dầm nhịp $L = 34 \div 38\text{m}$ và trên tuyến đường 5 kéo dài... Hiện nay trong giai đoạn II của dự án xây dựng tuyến Nội Bài - Bắc Ninh cũng đã và đang được tiếp tục áp dụng loại dầm Prebeam này.

2.6.2. CẦU TẠO CẦU DÀM PREBEAM:

2.6.2.1. Cầu tạo chung:



Hình 2.42a: Mặt cắt ngang cầu.



Hình 2.42b: Cầu tạo dầm chủ.

2.6.2.2. So sánh giữa dầm Prebeam và dầm BTCTDƯL:

- So sánh dầm BTĐƯL PCI và dầm Pre-beam trên tuyến Nội Bài - Bắc Ninh được trình bày ở bảng sau:

BẢNG 2.1: SO SÁNH DÀM CHỮ I VÀ DÀM PREBEAM

HẠNG MỤC			DẦM BTĐƯL CHỮ I	DẦM PREBEAM
Nhịp=33m	Chiều cao		1.8	1.1
	Số lượng dầm		5 hoặc 6	10 hoặc 12
	Tổng chiều dài	Cầu B1-4	396	231
		Cầu B1-5	495	297
		Cầu B1-14	792	660
		Cầu B1-15	264	198
		Cầu B1-OV	198	66
		Tổng cộng	2145	1452
Nhịp=38m	Chiều cao		1.8	1.2
	Số lượng dầm		5	10
	Chiều dài	Cầu B1-1	302	236
		Cầu B1-12	505	362
		Tổng	807	598
	So sánh chi phí (US \$)			8,185,574

2.6.2.3. Vật liệu chế tạo dầm:**a. Dầm Thép:**

- Dầm thép là dầm I tổ hợp hàn được chế tạo với độ võng trước và dầm này có phần cánh dưới liên kết với thân dầm bằng liên kết hàn và phần cánh trên liên kết với thân dầm bằng liên kết bulông. Cấp thép là cấp SM520 và SM570 theo tiêu chuẩn Nhật Bản (hoặc tương đương với tiêu chuẩn BS và ASTM).

- Đối với bản cánh dưới ta phải thiết kế các neo hộp (neo cứng) để liên hợp dầm thép với bê tông bản cánh dưới của dầm.

- Đối với bản cánh trên ta phải thiết kế các chốt đỉnh neo để liên hợp dầm thép với bản mặt cầu.

b. Dầm bê tông cốt thép:

- Bê tông cánh dưới sử dụng bê tông cường độ cao có $f_c' = 60\text{MPa}$. Nhờ có công nghệ uốn trước dầm thép (Pre - flexion), ứng suất nén trước được tạo ra trong bê tông bản cánh dưới. Bê tông sử dụng phụ gia giảm nước có tính năng cao, tỉ lệ xi măng/nước bằng từ $0,3 \div 0,35$; độ sụt $S = 18 \div 21\text{cm}$.

- Bê tông bản mặt cầu: có cường độ từ $f_c' = 30\text{MPa}$ được cấu tạo như bản bê tông liên hợp với dầm PCI bình thường, cốt thép chịu lực là cốt thép thường được bố trí thành lưới dọc và ngang bản.

- Bê tông bản bụng: Để bê tông không bị bóc tách và không bị nứt người ta đưa vào cốt thép dọc phân bố và cốt thép đai.

c. Các loại vật liệu chế khác:

- Xi măng sử dụng trong bê tông dầm Prebeam là xi măng portland PC40 trở lên và phải đáp ứng đầy đủ các quy định theo các TCVN 2682 - 98.

+ Thời gian bắt đầu ninh kết không sớm hơn 1 giờ.

+ Thời gian kết thúc ninh kết không sớm hơn 6 giờ.

- Cát phải đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật theo các TCVN 1770 – 7986.

- Cốt liệu thô là đá dăm nghiền từ đá vôi hoặc đá Granit. Cốt liệu thô phải đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật theo các điều quy định của tiêu chuẩn Việt Nam .

- Loại phụ gia sử dụng là phụ gia siêu dẻo gốc amin sulfonate hoặc poly cacbonxylate.

- Thép bản: Sử dụng thép bản của Hàn Quốc, Trung Quốc hoặc Nhật Bản loại 16Mn.

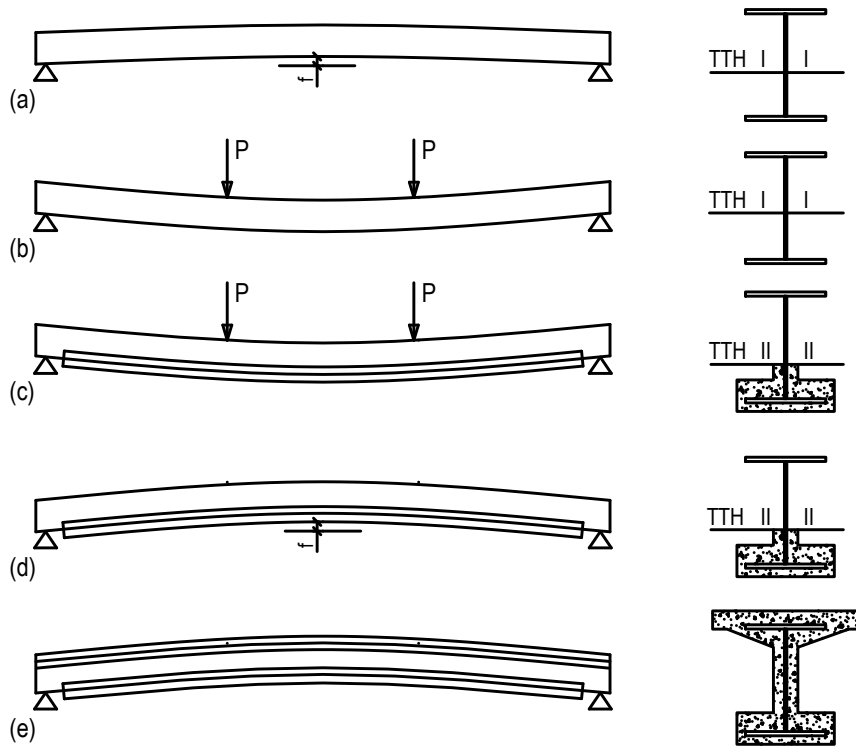
+ Thành phần hoá học 16Mn.

+ Giới hạn chảy $f_y \geq 345\text{ Mpa}$.

+ Giới hạn kéo đứt $f_u \geq 660\text{ Mpa}$.

+ Hệ số giãn dài: $\geq 22\%$.

- Cốt thép thường có thể sử dụng các loại cốt thép thông dụng hiện có trên thị trường phù hợp với TCVN 3100 - 79 và 1651 - 85.

2.6.3. TRÌNH TỰ CHẾ TẠO DÀM PREBEAM:**2.6.3.1. Phương pháp tải trọng dần:****a. Sơ đồ công nghệ:***Hình 2.43: Sơ đồ công nghệ.*

- (a). Chế tạo dầm thép với độ võng thiết kế.
- (b). Dùng tải trọng dần để uốn dầm thép.
- (c). Đổ bê tông bọc dầm thép đến vị trí TTH II - II.
- (d). Dỡ tải trọng dần để dầm trở về trạng thái ban đầu.
- (e). Đổ phần bê tông còn lại của dầm.

b. Trình tự thi công:

- Uốn trước dầm đạt độ võng thiết kế.
- Chặt tải trọng lên dầm để uốn dầm theo hướng tác dụng của tải trọng.
- Đổ bê tông bọc phần cánh dưới chịu kéo và một phần bản bụng đến vị trí trục trung hoà của mặt cắt.
- Dợi đến khi bê tông đạt cường độ $80\%R_b$ thì tiến hành dỡ tải trọng. Sau khi dỡ tải trọng dầm có xu hướng đàn hồi trở lại trạng thái ban đầu và tạo ra lực nén trước trong phần bê tông đã đổ (phần bê tông sẽ chịu kéo khi khai thác).
- Đổ tiếp bê tông phần sườn dầm còn lại và phần bao bọc cánh trên của dầm thép.
- Hoàn thiện dầm vận chuyển đến công trường thi công.

c. Đặc điểm của phương pháp:

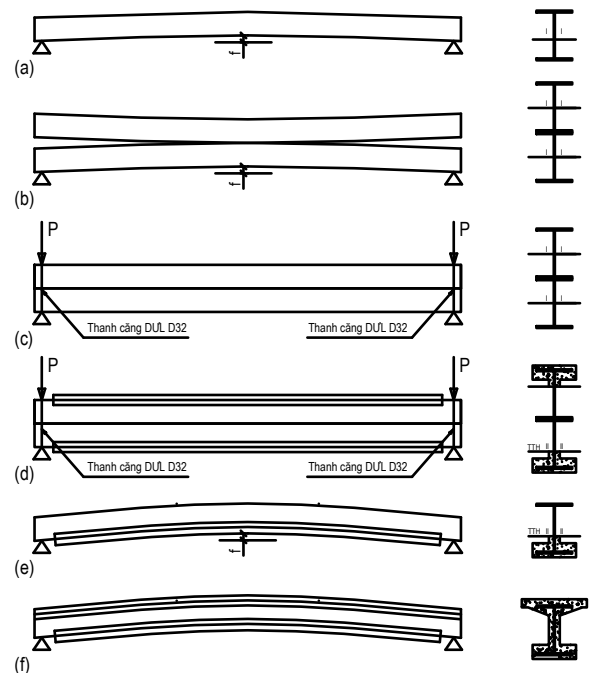
- Phải chế tạo bộ neo đầu dầm khi ta tiến hành uốn dầm đạt độ võng thiết kế.

- Mỗi lần thi công chế tạo dầm ta chỉ được một dầm.
- Quá trình đổ bê tông phần cánh dưới và một phần bản bụng được thực hiện khi dầm đang ở trạng thái cong do đó rất khó trong việc ghép ván khuôn để đổ bê tông dầm.

2.6.3.2. Phương pháp dùng thanh căng:

a. Sơ đồ công nghệ:

- Chế tạo dầm thép với độ võng thiết kế.
- Đặt hai dầm thép quay lưng vào nhau.
- Kéo căng các thanh DUL $\Phi 32$ để ép hai dầm thành thẳng.
- Đổ bê tông bọc phần chịu kéo của hai dầm.
- Dỡ bỏ lực căng và tách rời hai dầm.
- Đổ bê tông phần còn lại của dầm.



Hình 2.44: Sơ đồ công nghệ.

b. Trình tự thi công:

- Chế tạo dầm thép theo độ võng thiết kế.
- Đặt 2 dầm thép tựa lưng vào nhau và lắp đặt hệ thống thanh căng bằng thép cường độ cao và hệ thống kích để điều chỉnh lực kéo trong thanh.
- Tiến hành kích để kéo căng thanh căng để tạo ra lực ép cho hai dầm trở về trạng thái thẳng. Tiến hành kích theo các cấp lực là 5 tấn. Ở cấp lực đầu tiên tiến hành kích 2 lần.
 - Lần 1 có mục đích làm triệt tiêu biến dạng dư trong khi hàn.
 - Lần 2: mục đích là gia lực theo các bước như lần 1 để đạt được độ võng theo thiết kế.
 - Sau khi đạt đến lực kích yêu cầu thì dùng thanh Macaloi để khoá cố định và đo độ võng của dầm thép.
- Tiến hành đổ bê tông bọc phần cánh dưới chịu kéo và một phần bản bụng đến vị trí trục trung hoà của mặt cắt.
- Đợi đến khi bê tông đạt cường độ $80\%R_b$ thì tiến hành hạ áp lực kích. Sau khi bỏ tải trọng dầm có xu hướng đàn hồi trở lại trạng thái ban đầu và tạo ra lực nén trước trong phần bê tông đã đổ (phần bê tông sẽ chịu kéo khi khai thác sau này).
- Tháo bỏ thanh căng và lật dầm trên ngược lại. Đổ tiếp bê tông phần sườn dầm còn lại và phần bao bọc cánh trên của cả hai dầm thép.
- Hoàn thiện dầm vận chuyển đến công trường thi công.

c. Đặc điểm của phương pháp:

- Mỗi lần thi công chế tạo dầm ta được hai dầm.
- Phải cắt gọt bản thép thành dạng cong để chế tạo bản bụng của dầm, đây là công việc khá phức tạp và gây lãng phí thép.
- Quá trình đổ bê tông phần cánh dưới và một phần bản bụng được thực hiện khi dầm đang ở trạng thái thẳng do đó đơn giản hơn trong việc ghép ván khuôn để đổ bê tông dầm.

2.6.4. KẾT LUẬN:

- Qua nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng loại dầm Prebeam với sự thay đổi công nghệ tạo DƯL bằng cách uốn trước dầm thép và tiến hành đổ bê tông. Khi dầm thép đàn hồi trở lại sẽ tạo ra lực nén trước trong phần bê tông chịu kéo.
- Loại dầm này có thể sử dụng trong các kết cấu cầu đường ô tô, cầu đường sắt trong đô thị với chiều cao giảm khoảng 30 ÷ 40% so với dầm BTCT DƯL thông thường.
- Với những ưu điểm này dầm Prebeam sẽ còn được áp dụng ngày càng phổ biến trên thế giới nói chung và tại Việt Nam nói riêng.

§2.7. CÁC HỆ THỐNG LIÊN KẾT

2.7.1. SƯỜN TĂNG CƯỜNG:

2.7.1.1. Vai trò:

- Tăng cường độ cứng cho bản bụng chống hiện tượng mất ổn định cục bộ của bản bụng và mất ổn định chung của dầm.
- Tạo vị trí để liên kết các dầm ngang, hệ liên kết ngang và hệ liên kết dọc cầu.

2.7.1.2. Cấu tạo sườn tăng cường:

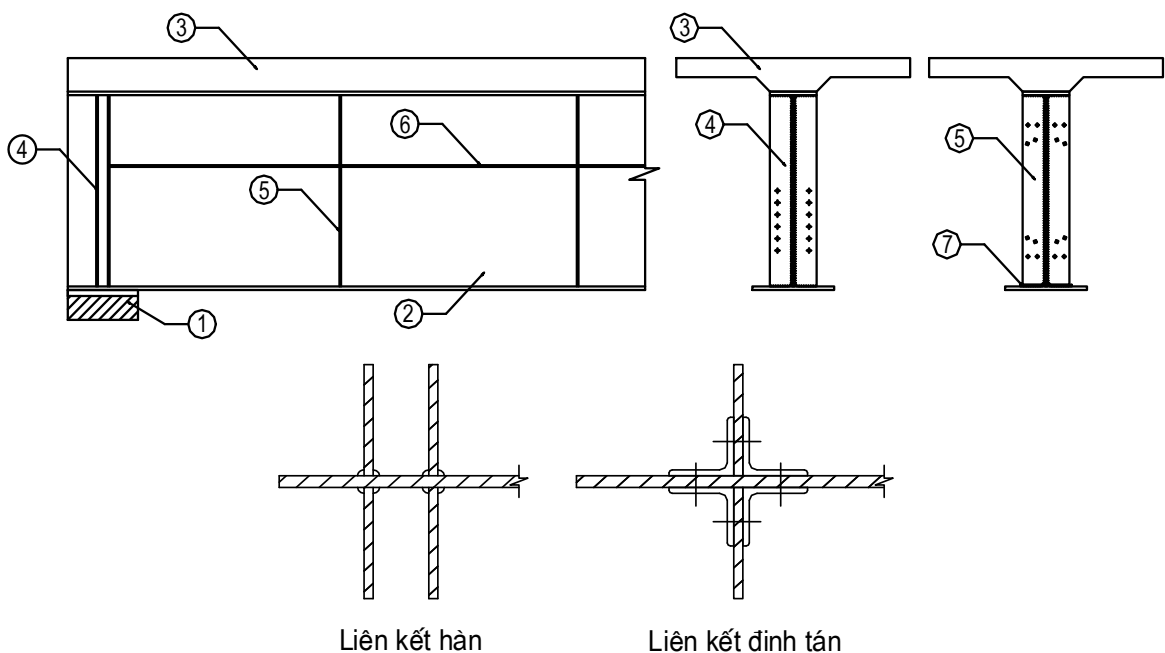
a. Cấu tạo chung:



Hình 2.45a: Sườn tăng cường tại gối.



Hình 2.45b: Sườn tăng cường trung gian.



Hình 2.45c: Cấu tạo sườn tăng cường.

(1): Gối cầu và đá kê gối.

- (2): Bản bụng.
- (3): Bản bê tông mặt cầu.
- (4): Sườn tăng cường đứng tại gối.
- (5): Sườn tăng cường đứng trung gian.
- (6): Sườn tăng cường dọc.
- (7): Bản đệm (bản kê).

- Để đảm bảo an toàn khi vận chuyển và lao lắp thì Quy trình quy định: khi không có sườn tăng cường dọc thì phải bố trí sườn tăng cường đứng khi:

$$\frac{D_w}{t_w} > 150$$

- Sườn tăng cường thường được cấu tạo từ các tấm thép bản hoặc các thanh thép góc với chiều dày bản thép dùng làm sườn tăng cường phải đảm bảo quy định chung:

$$+ t \geq 0,23 \text{inh} = 0,23.2,54 \text{cm} \approx 0,6 \text{cm} = 6 \text{mm}.$$

+ Trong thực tế ta nên chọn bản thép có chiều dày $t \geq 12 \text{mm}$ để đảm bảo bản thép không bị cong vênh và biến dạng khi thực hiện các mối hàn ghép các bản thép.

b. Sườn tăng cường tại mặt cắt gối:

- Tại mặt cắt gối sườn tăng cường thường được cấu tạo có chiều dày lớn hơn hoặc được cấu tạo theo dạng sườn kép, đôi khi còn có thể cấu tạo bằng thép góc để tiếp nhận phản lực tại gối.

- Sườn tăng cường gối được quy định cấu tạo dài hết chiều cao của sườn dầm chủ và lắp khít với cánh của dầm chủ, do đó sườn tăng cường gối sẽ làm việc theo điều kiện chịu ép mặt ở diện tích tiếp xúc giữa đầu sườn tăng cường với cánh dầm và làm việc theo nén dọc trục trên diện tích hiệu dụng.

- Sườn tăng cường tại mặt cắt gối có thể hàn trực tiếp vào các bản cánh của dầm thép để đảm bảo sự truyền lực chắc chắn và êm thuận.

- Bề rộng của sườn tăng cường gối (phần chia ra) phải cấu tạo thỏa mãn điều kiện:

$$b_t \leq 0,48 t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}}$$

Trong đó:

- + b_t : Bề rộng (phần chia ra) của sườn tăng cường.
- + t_p : Chiều dày của sườn tăng cường.
- + E : Là môđun đàn hồi của thép dầm chủ.
- + F_{ys} : Cường độ chảy nhỏ nhất của thép.

- Khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng đầu dầm phải tuân theo quy định của Quy trình:

- + $d_0 \leq 1,5D_w$ khi không có sườn tăng cường dọc.
- + $d_0 \leq 1,5D_w^{\max}$ khi có sườn tăng cường dọc (với D_w^{\max} là chiều cao mảnh sườn dầm lớn nhất).

+ Chú ý: Các quy định này không áp dụng cho mặt cắt lai.

c. Sườn tăng cường tại mặt cắt trung gian:

- Khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng trung gian d_0 phải thỏa mãn:

$$d_0 \leq D_w \left(\frac{260}{D_w/t_w} \right)^2$$

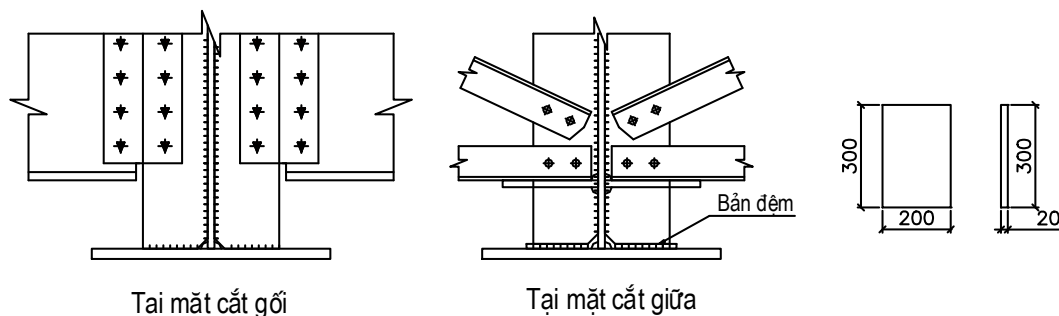
Trong đó:

- + t_w : Chiều dày sườn dầm.
- + D_w : Chiều cao sườn dầm.
- + D_w/t_w : Tỷ số giữa chiều cao và chiều dày sườn dầm, khi $D_w/t_w = 150$ thì $d_0 \approx 3D_w$.
- Bề rộng (phần chia ra) của sườn tăng cường đứng phải cấu tạo đảm bảo:

$$\begin{cases} 50 + \frac{H_{sb}}{30} \leq b_t \leq 0,48.t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \\ 0,25.b_f \leq b_t \leq 16.t_p \end{cases}$$

Trong đó:

- + H_{sb} : Chiều cao dầm thép.
- + b_f : Bề rộng bản cánh dầm thép.
- + b_t : Bề rộng (phần chia ra) của sườn tăng cường.
- + t_p : Chiều dày của sườn tăng cường.
- + E : Là môđun đàn hồi của thép dầm chủ.
- + F_{ys} : Cường độ chảy nhỏ nhất của thép.
- Các sườn tăng cường không được liên kết hàn trực tiếp với bản cánh chịu kéo để chống phá hoại liên kết giữa sườn tăng cường với bản cánh. Do đó tại các mặt cắt trung gian thì sườn tăng cường phải được hàn với một bản đệm và bản đệm này có thể trượt tự do trên bản cánh chịu kéo của dầm.



Hình 2.46: Liên kết sườn tăng cường với bản cánh.

- Kích thước các bản dẹt:
 - + Kích thước hai chiều: $a, b = 30 \div 40\text{mm}$.
 - + Chiều dày bản: $t = 16 \div 20\text{mm}$.
- Đối với cầu dầm hộp thì sườn tăng cường có thể là thép bản, thép góc hoặc thép T tạo thành kết cấu bản trục hướng Orthotropic.
- Sườn tăng cường nên bố trí đối xứng về hai bên sườn dầm. Thông thường ở mặt ngoài của dầm biên ta có thể không cần bố trí sườn tăng cường để đảm bảo tính thẩm mỹ cho kết cấu nhịp cầu khi nhìn từ bên ngoài vào.
- Kích thước của sườn tăng cường thường được chọn trước sau đó tính toán theo điều kiện ổn định cục bộ của bản bụng để xác định khoảng cách bố trí giữa các sườn tăng cường. Hoặc cũng có thể bố trí khoảng cách giữa các sườn theo cấu tạo của hệ liên kết dọc và ngang cầu sau đó kiểm toán điều kiện ổn định cục bộ của bản bụng.

d. Sườn tăng cường dọc:

- Chiều rộng sườn tăng cường dọc phải thỏa mãn điều kiện:

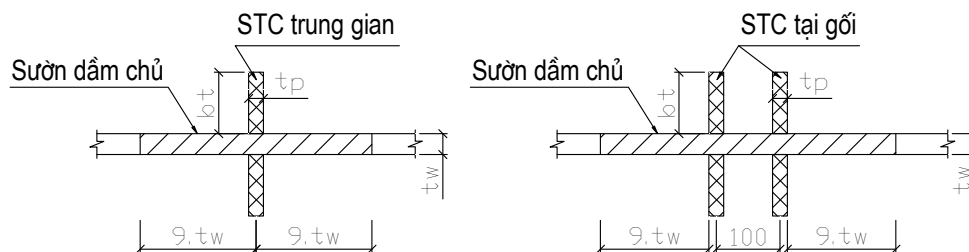
$$b_1 \leq 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

Trong đó:

- + b_1 : Bề rộng của sườn tăng cường dọc.
- + t_p : Chiều dày của sườn tăng cường dọc.
- + F_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh chịu nén.

2.7.1.3. Mặt cắt hiệu dụng của sườn tăng cường:

- Sườn tăng cường gối chịu nén và được xem như là một cột chịu nén. Khi sườn tăng cường liên kết bằng bulông vào sườn dầm thì mặt cắt hiệu dụng chỉ bao gồm các cấu kiện của sườn tăng cường. Khi sườn tăng cường liên kết hàn vào dầm chủ thì mặt cắt hiệu dụng bao gồm tất cả các cấu kiện của sườn tăng cường cộng với dải sườn dầm nằm giữa trung tâm sườn dầm kéo dài ra không quá $9.t_w$ sang mỗi bên nếu có một đôi sườn tăng cường và tính từ mép nếu có nhiều hơn một đôi sườn tăng cường.



Hình 2.47: Mặt cắt hiệu dụng tiết diện chịu nén của STC gối.

- Đối với sườn tăng cường trung gian thì diện tích hiệu dụng chỉ bao gồm các cấu kiện của sườn tăng cường.

- Diện tích sườn dầm không được tính vào mặt cắt hiệu dụng chịu nén tại các trụ trung gian của cầu liên tục trong các bộ phận lai của nhịp khi:

$$\frac{F_{yw}}{F_{yt}} < 0,7$$

Trong đó:

- + F_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.
- + F_{yt} : Số lớn hơn trong các cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh dầm.

2.7.2. HỆ LIÊN KẾT NGANG CẦU:

2.7.2.1. Vai trò:

- Liên kết các dầm chủ thành một hệ không gian, đảm bảo tính bất biến hình của hệ và tăng cường độ cứng theo phương ngang cầu cho kết cấu nhịp.

- Phân phối điều hoà tải trọng theo phương ngang cầu cho các dầm chủ.

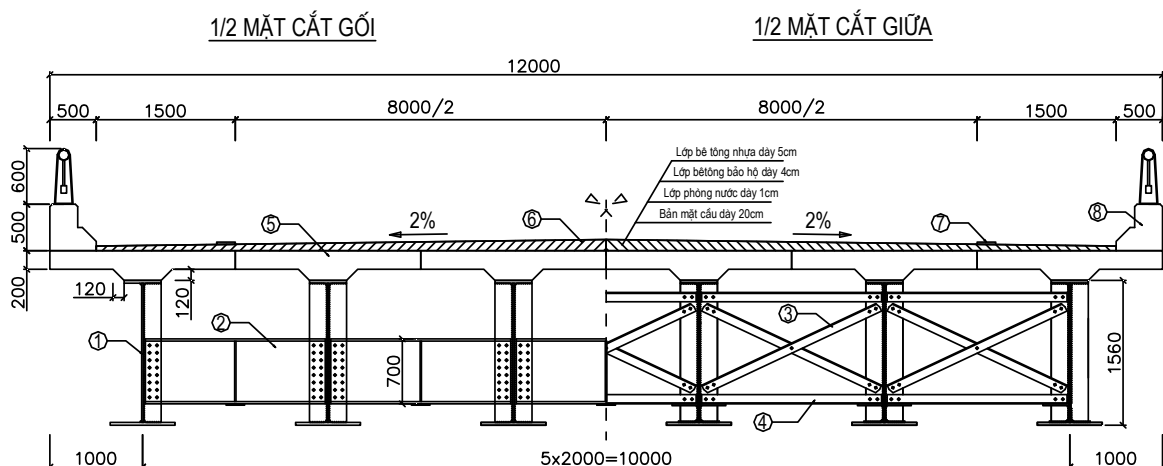
- Dầm ngang tại mặt cắt gối còn là chỗ đặt kích để nâng hạ các cụm dầm trong quá trình thi công và sửa chữa cầu khi cần thiết. Do đó liên kết ngang tại gối phải cấu tạo chắc chắn hơn tại các mặt cắt khác, thông thường là dùng các dầm I định hình.



Hình 2.48: Hệ liên kết ngang cầu.

2.7.2.2. Cấu tạo hệ liên kết ngang cầu:

a. Cấu tạo chung:

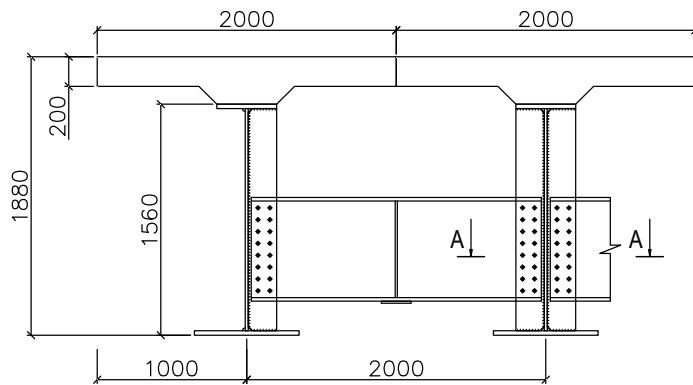


Hình 2.49: Cấu tạo mặt cắt ngang cầu.

b. Hệ liên kết ngang tại mặt cắt gối:

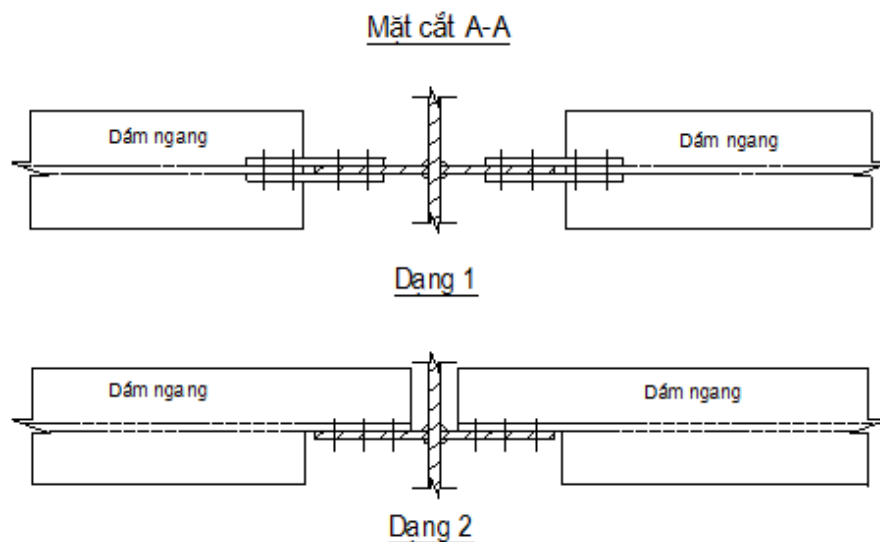
- Dầm ngang tại mặt cắt gối là chỗ đặt kích để nâng hạ các cụm dầm trong quá trình thi công và sửa chữa cầu khi cần thiết. Do đó liên kết ngang tại gối phải cấu tạo chắc chắn hơn tại các mặt cắt khác, thông thường là dùng các dầm I định hình có số hiệu từ I300 ÷ I900.

- Cấu tạo dầm ngang tại mặt cắt gối:



Hình 2.50: Dầm ngang tại gối.

- Liên kết dầm ngang với dầm thép:



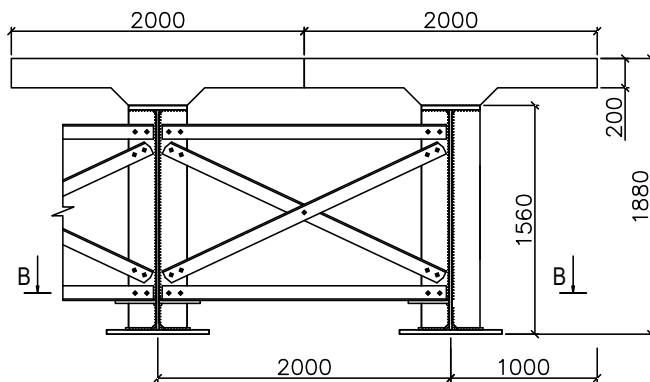
Hình 2.51: Liên kết dầm ngang tại gối.

c. Hệ liên kết ngang tại mặt cắt trung gian:

- Tại các mặt cắt trung gian (trừ các mặt cắt gối) ta có thể cấu tạo dầm ngang bằng dầm định hình, tuy nhiên việc cấu tạo như vậy sẽ rất tốn kém và làm tăng tĩnh tải của cầu. Do đó tại các mặt cắt trung gian thì hệ liên kết ngang thường được cấu tạo theo dạng hệ gồm có các thanh thép góc. Thép góc dùng trong kết cấu cầu phải có số hiệu tối thiểu là $L \geq L100 \times 100 \times 10 \text{ mm}$.

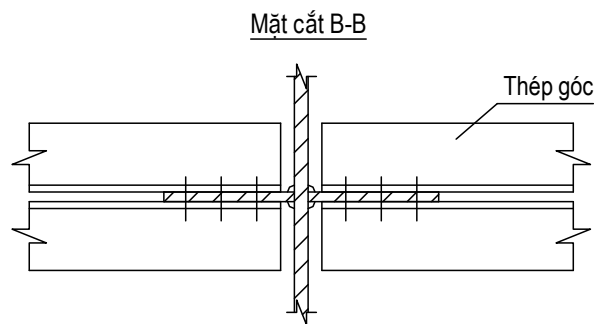
- Chiều cao của hệ liên kết ngang: $H_{lkn} = (0,6 \div 0,7)H_{sb}$.

- Cấu tạo hệ liên kết ngang trung gian:



Hình 2.52: Hệ liên kết ngang tại mặt cắt trung gian.

- Liên kết giữa hệ liên kết ngang với dầm thép:



Hình 2.53: Liên kết hệ liên kết ngang tại mặt cắt trung gian.

- Các bộ phận của liên kết ngang phải đảm bảo điều kiện độ mảnh để truyền được tải trọng ngang, cụ thể:

+ Với các bộ phận chịu kéo $\frac{L}{r} \leq 240$, trong đó L là chiều dài không giằng (mm); r là bán kính quán tính nhỏ nhất (mm) (điều 6.8.4 Quy trình).

+ Với các bộ phận chịu nén $\frac{KL}{r} \leq 140$, trong đó, còn K là hệ số chiều dài hiệu dụng.

Với liên kết bulông hoặc hàn ở cả hai đầu thì $K = 0,75$; với liên kết chốt ở cả hai đầu thì $K = 0,875$ (điều 6.9.3 Quy trình).

- Các bản liên kết của liên kết ngang phải được hàn hoặc bắt bulông vào cả cánh chịu nén và cánh chịu kéo của dầm thép khi:

+ Liên kết ngang được gắn nối vào bản liên kết hoặc sườn tăng cường đứng thực hiện chức năng như các bản liên kết.

+ Các dầm mặt cầu được gắn nối vào bản liên kết, hoặc có sườn tăng cường đứng thực hiện chức năng như các bản đàn hồi.

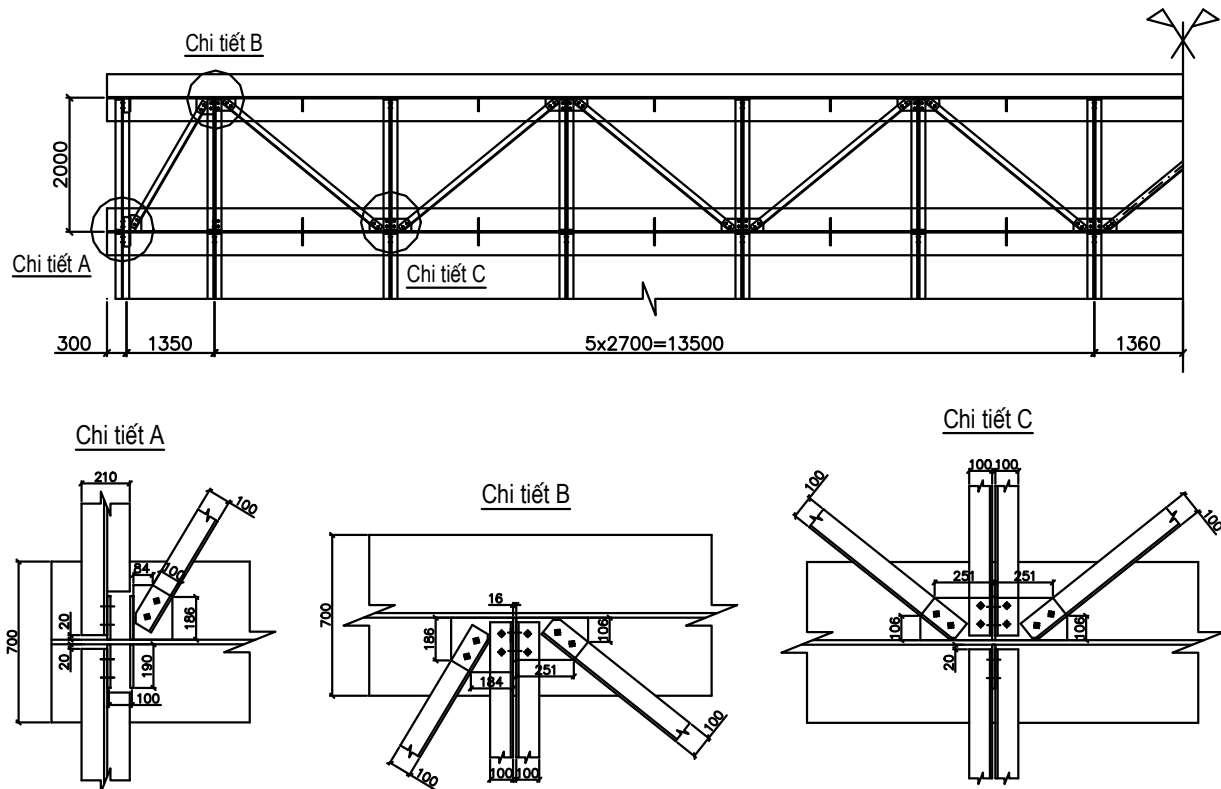
2.7.3. HỆ LIÊN KẾT DỌC CẦU:

2.7.3.1. Vai trò:

- Liên kết các dầm chủ thành một hệ không gian, đảm bảo tính bất biến hình của hệ và tăng cường độ cứng theo phương ngang cầu cho kết cấu nhịp.

- Chịu tác dụng của các tải trọng theo phương ngang cầu như: lực lắc ngang, lực ly tâm khi cầu nằm trên đường cong, lực gió ngang, ... và truyền tải trọng ngang xuống gối.

2.7.3.2. Cầu tạo hệ liên kết dọc cầu:



Hình 2.54: Cầu tạo hệ liên kết dọc cầu.

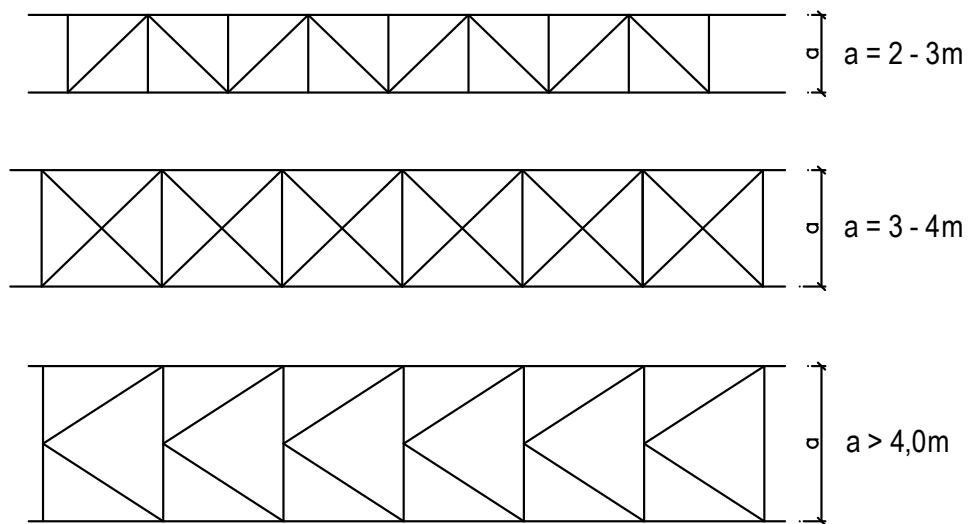
- Vị trí của hệ liên kết dọc cầu:

+ Đối với kết cấu nhịp cầu dầm thép không liên hợp ta cầu tạo hai hệ liên kết dọc trên và dọc dưới nằm trên mặt phẳng song song với bản cánh trên và cánh dưới của dầm thép.

+ Đối với kết cấu nhịp cầu dầm liên hợp thép - BTCT thì bản bê tông mặt cầu đóng vai trò như một hệ liên kết dọc trên do đó trong cầu liên hợp thép - BTCT ta chỉ cần cầu tạo hệ liên kết dọc dưới.

- Tiết diện thanh: Các thanh của hệ liên kết dọc thường được cấu tạo từ thép góc có số hiệu $L \geq L100 \times 100 \times 10$. Đôi khi đối với các kết cấu nhịp cầu lớn, đặc biệt là cầu dầm thép thì các thanh của hệ liên kết dọc có thể được cấu tạo từ các thanh thép hình mặt cắt chữ I hoặc chữ [.

- Các hình thức cấu tạo: Hệ liên kết dọc được cấu tạo theo mô hình một dàn phẳng do đó phải tuân theo các quy định cấu tạo cơ bản của cầu dàn đó là trục các thanh của một nút phải đồng quy tại một điểm để hạn chế phát sinh mômen phụ tại nút do lực kéo hoặc nén lệch tâm. Tùy thuộc theo khoảng cách giữa các dầm chủ mà ta có thể áp dụng các hình thức cấu tạo của hệ liên kết dọc theo các dạng cơ bản dưới đây.



Hình 2.55: Các dạng cầu tạo hệ liên kết dọc.

§2.8. MỐI NỐI DÀM VÀ TẠO ĐỘ VỒNG BẰNG MỐI NỐI

2.8.1. SỰ CẦN THIẾT PHẢI CẤU TẠO MỐI NỐI DÀM:

- Do sự hạn chế về chiều dài của các bản thép được chế tạo trong nhà máy. Thông thường các sản phẩm thép được chế tạo hiện nay có chiều dài $\leq 12\text{m}$ nên nếu ta muốn chế tạo dầm có chiều dài lớn hơn thì phải nối các bản thép với nhau.

- Do sự hạn chế trong việc chuyên chở: Hiện nay các phương tiện vận chuyển trên đường cũng không được vượt quá khổ siêu trường, siêu trọng cho phép vì sẽ không đảm bảo an toàn giao thông.

- Do sự hạn chế trong quá trình thi công: Kết cấu nhịp có chiều dài quá lớn thì sẽ gây khó khăn trong quá trình thi công vì các thiết bị thi công không đủ năng lực cẩu hay kéo kết cấu nhịp đồng thời các cụm dầm cũng sẽ rất dễ bị mất ổn định.



Hình 2.56: Mối nối dầm.

- Do yêu cầu về việc xử lý kết cấu: Như vấn đề tạo độ võng ngược cho dầm,

⇒ Từ các nguyên nhân trên ta thấy việc cấu tạo mối nối dầm là hết sức cần thiết.

2.8.2. YÊU CẦU CẤU TẠO MỐI NỐI DÀM:

- Phải đảm bảo quá trình truyền lực không gây ra ứng suất tập trung và đảm bảo khả năng chịu lực, không có bộ phận nào của mối nối bị quá tải.

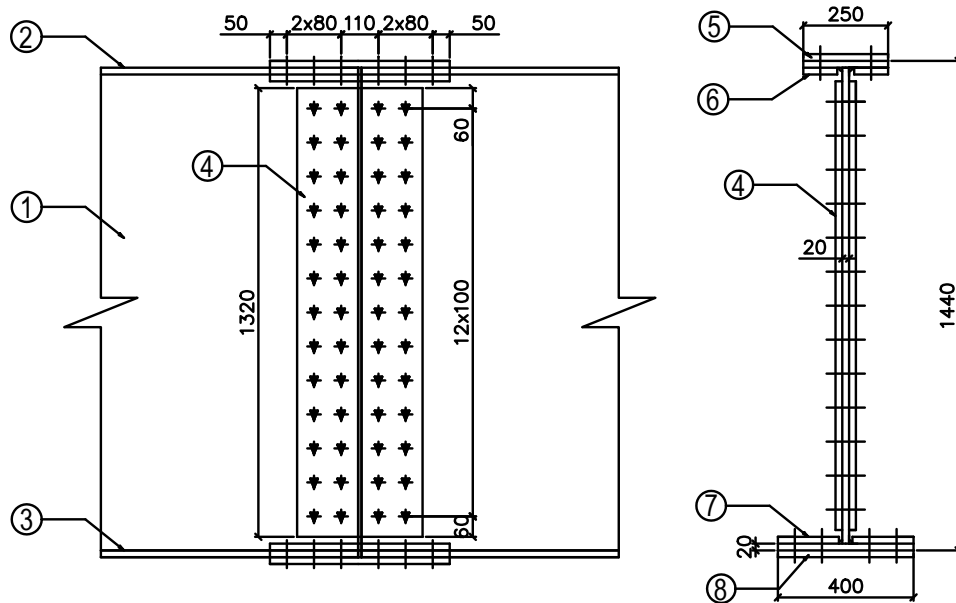
- Tránh sự truyền lực lệch tâm giữa các bản thép.

- Mối nối dầm phải cấu tạo đơn giản để thực hiện.

- Phải đảm bảo tạo được độ võng ngược cho dầm khi cần thiết.

2.8.3. CẤU TẠO MỐI NỐI DÀM:

2.8.3.1. Cấu tạo chung:



Hình 2.57: Cấu tạo mối nối dầm chủ.

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| (1): Bản bụng. | (5): Bản ốp ngoài nối bản cánh trên. |
| (2): Bản cánh trên. | (6): Bản ốp trong nối bản cánh trên. |
| (3): Bản cánh dưới. | (7): Bản ốp ngoài nối bản cánh dưới. |
| (4): Bản táp nối bản bụng. | (8): Bản ốp trong nối bản cánh dưới. |

2.8.3.2. Mối nối bản bụng:

- Sườn dầm chủ yếu chịu lực cắt do đó không nên bố trí mối nối bản bụng tại những mặt cắt có lực cắt lớn như mặt cắt tại gối...

- Bản bụng được nối theo mối nối đối đầu để tránh các bản thép chồng lên nhau và hạn chế được hiện tượng truyền lực lệch tâm.

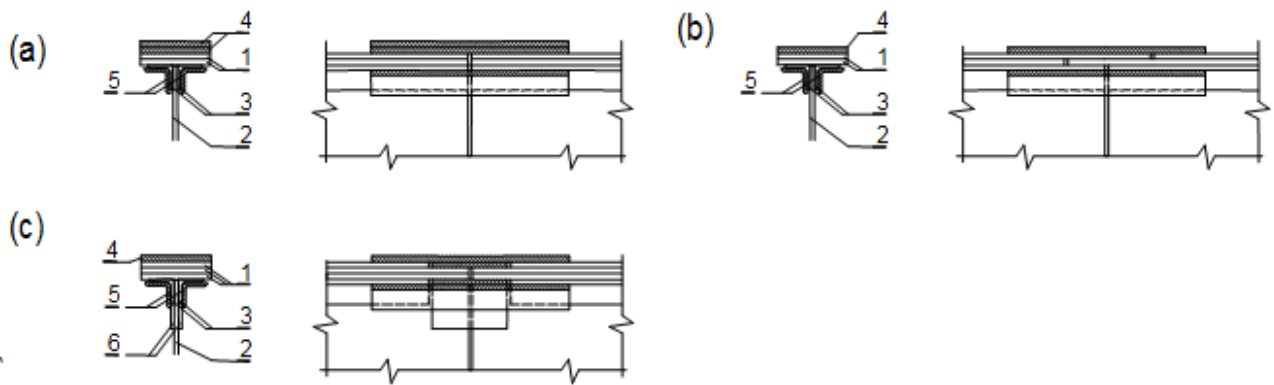


Hình 2.58: Mối nối dầm chủ.

2.8.3.3. Mối nối bản cánh:

- Bản cánh chịu uốn và chịu nén đồng thời do đó không nên bố trí mối nối bản cánh tại những mặt cắt có mômen lớn như mặt cắt giữa nhịp và mặt cắt trên đỉnh trụ (đối với kết cấu nhịp liên tục).

- Mối nối bản cánh có thể là mối nối đối đầu hoặc mối nối so le hoặc kết hợp cả hai biện pháp nối này.



Hình 2.59: Cấu tạo mối nối bản cánh.

(a): Mối đối đầu. (b): Mối nối so le. (c): Mối nối kết hợp.

⇒ Thông thường để đơn giản trong cấu tạo thì ta nên bố trí mối nối bản bụng và mối nối bản cánh tại cùng vị trí có mômen và lực cắt cùng không lớn lắm. Đối với dầm giản đơn thì thường bố trí mối nối ở mặt cắt $L/3$ hoặc $L/4$ tùy vào kích thước của các bản thép.

2.8.3.4. Bản táp dùng cho mối nối:

- Đối với thép bản thì ta nối bằng thép bản còn đối với thép góc thì ta có thể dùng thép bản hoặc thép góc có cùng số hiệu để nối.

- Chiều dày của bản thép dùng để nối dầm:

$$+ t \geq 0,23inh = 0,23.2,54\text{cm} \approx 0,6\text{cm} = 6\text{mm}.$$

+ Thường chọn bản thép có chiều dày $t \geq 12\text{mm}$.

- Kích thước của thép góc: Thép góc có số hiệu $L \geq L100 \times 100 \times 10$.

2.8.4. BIỆN PHÁP TẠO ĐỘ VÒNG BẰNG MỐI NỐI:

- Dưới tác dụng của tĩnh tải và hoạt tải sẽ làm cho dầm thép bị võng xuống làm cho dầm giảm độ cứng và bị dao động rất lớn, đồng thời biến dạng của dầm còn gây ra cảm giác bất an và gây khó khăn cho việc sử dụng bình thường. Do vậy trong kết cấu nhịp cầu dầm ta thường chế tạo cho dầm có độ võng trước.

- Đối với cầu dầm BTCT DƯ'L thì để tạo ra độ võng ta thường thực hiện bằng cách căng kéo cốt thép dự ứng lực. Đối với dầm thép thì việc tạo độ võng được thực hiện thông qua xử lý cấu tạo của mối nối dầm.

- Việc tạo độ võng bằng mối nối vừa kinh tế và vừa dễ thi công. Hầu hết các dầm nên tạo độ võng bằng mối nối, từ những dầm có chiều dài ngắn thì ta không cần cấu tạo mối nối thì cũng không cần thiết phải tạo độ võng.

- Xác định độ võng:

$$\Delta_v = \Delta_t + \frac{1}{2} \Delta_{LL} \leq [\Delta]$$

Trong đó:

+ Δ_v : Độ võng tính toán.

- + Δ_t : Độ võng do tĩnh tải (tĩnh tải giai đoạn I + tĩnh tải giai đoạn II).
- + Δ_{LL} : Độ võng do hoạt tải.
- + $[\Delta]$: Độ võng cho phép.
- Khi không có các tiêu chuẩn khác, độ võng giới hạn sau đây được áp dụng cho cả kết cấu thép, nhôm và bê tông.

+ Tải trọng xe nói chung: $[\Delta] = \frac{L_u}{800}$

+ Tải trọng xe hoặc Người đi bộ hoặc cả 2 tải trọng này: $[\Delta] = \frac{L_u}{1000}$

+ Tải trọng xe ở phần mút thừa của cầu mút thừa: $[\Delta] = \frac{L_u}{300}$

+ Đối với cầu bản trực hướng: $[\Delta] = \frac{L_u}{375}$

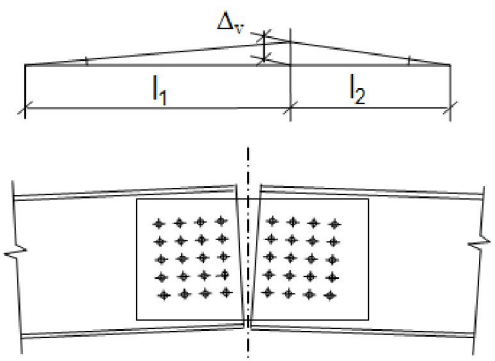
+ Tải trọng xe trên bản mặt cầu: $[\Delta] = \frac{L_u}{300}$

+ Tải trọng xe trên sườn tăng cường của bản mặt cầu: $[\Delta] = \frac{L_u}{1000}$

+ Độ võng tương đối lớn nhất giữa hai sườn tăng cường cạnh nhau khi tải trọng xe đặt trên sườn tăng cường của bản mặt cầu là 2,5mm.

- Trường hợp 1: Dầm có một mối nối thì khi đó cả hai đoạn dầm ở hai phía mối nối sẽ được đặt dốc theo các góc α_1 và α_2 để tạo độ võng Δ_v theo thiết kế.

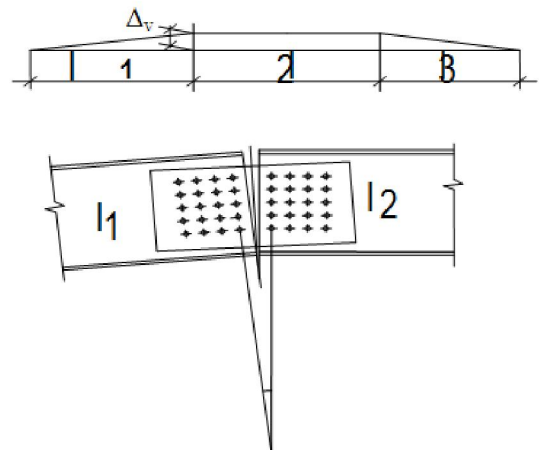
$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\Delta_v}{L_1} ; \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{\Delta_v}{L_2}$$



Hình 2.60: Trường hợp dầm có 1 mối nối.

- Trường hợp 2: Dầm có 2 hoặc 4 mối nối thì khi đó đoạn dầm ở giữa thường được đặt thẳng, còn 2 đoạn dầm ở hai phía mỗi nối sẽ được đặt dốc theo các góc α_1 và α_3 để tạo độ võng Δ_v theo thiết kế.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\Delta_v}{L_1} ; \operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{\Delta_v}{L_3}$$



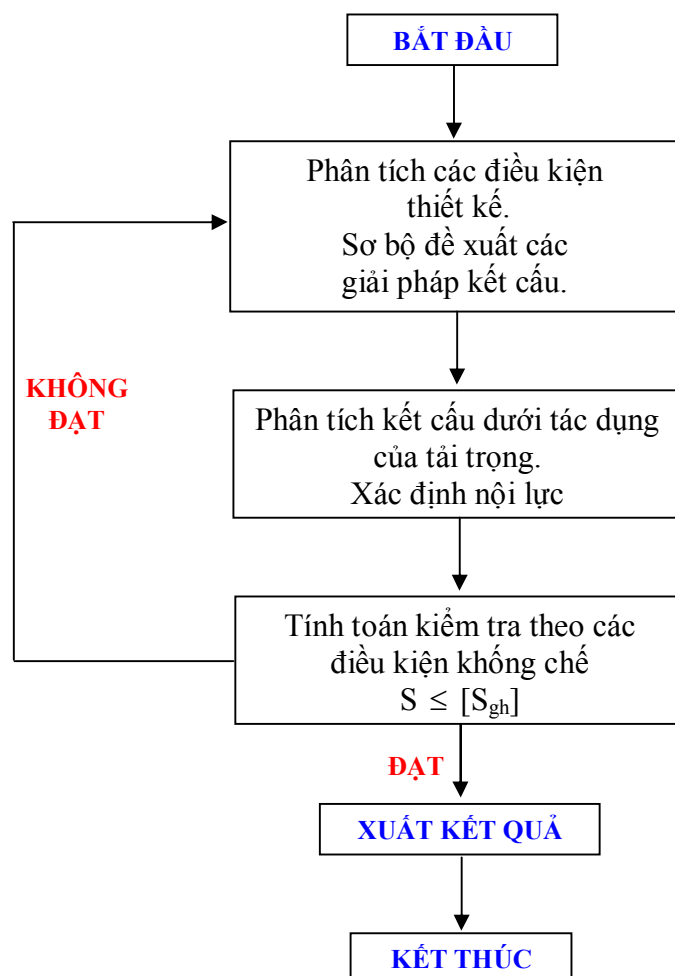
Hình 2.61: Trường hợp dầm có 2 mối nối.

- Chú ý khi cấu tạo mối nối tạo độ vòng là các cột đỉnh trong mối nối bản bụng vẫn song song với mép bản bụng. Khi lắp ghép mối nối sẽ tiến hành kê các đoạn dầm trên tà vẹt theo góc nghiêng đã thiết kế, sau đó áp các bản táp nối bản bụng vào lấy dấu rồi mới tiến hành khoan lỗ. Các bản táp nối sẽ được đặt thẳng do đó các cột đỉnh có thể không song song với mép của bản táp.

Chương 3

TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CẦU DÀM THÉP**§3.1. KHÁI QUÁT VỀ QUÁ TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ****3.1.1. KHÁI NIỆM CHUNG:**

- Quá trình tính toán thiết kế là quá trình xác định, lựa chọn những thông số kỹ thuật của kết cấu đảm bảo thỏa mãn điều kiện về chịu lực và sử dụng, ...
- Quá trình thiết kế kết cấu là một tập hợp các giai đoạn:
 - + Phân tích các điều kiện thiết kế như chiều dài nhịp, khổ cầu, tải trọng thiết kế, quy mô thiết kế của cầu, ...
 - + Sơ bộ đề xuất các giải pháp kết cấu: cấu tạo của kết cấu nhịp, cấu tạo của dầm chủ, hệ liên kết ngang và hệ liên kết dọc.
 - + Phân tích và xác định nội lực các bộ phận kết cấu dưới tác dụng của tải trọng.
 - + Tính duyệt và kiểm toán kết cấu theo các điều kiện giới hạn.
 - + Xuất kết quả.
 - + Thực hiện các bản vẽ cấu tạo chi tiết và bản vẽ thi công.

3.1.2. SƠ ĐỒ TÍNH TOÁN:

- Tính toán đơn giản, cho phép tính toán nhanh chóng và tiện dụng.
 - Đảm bảo an toàn chịu lực cho các bộ phận kết cấu.
- + Nhược điểm:
- Không áp dụng được cho vật liệu làm việc ngoài giới hạn đàn hồi, do đó không tận dụng được hết khả năng chịu lực của các bộ phận kết cấu và gây lãng phí vật liệu.
 - Không xét đến tính làm việc thực tế của kết cấu.
 - Việc xác định hệ số an toàn thiếu sự phân tích cụ thể.

3.2.3.2. Phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng: (LFD - Load factor design)

- Phương trình cơ bản: Trong phương pháp này, sự làm việc của kết cấu được đánh giá thông qua một mặt cắt đại diện:

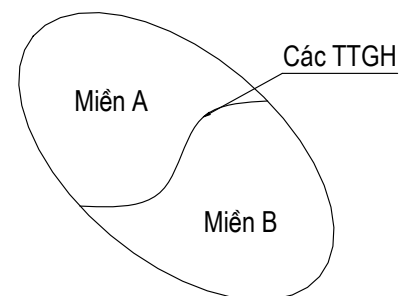
$$\sum \gamma_i Q_i \leq R_n$$

Trong đó:

- + γ_i : Hệ số tải trọng.
 - + Q_i : Hiệu ứng lực của tải trọng tiêu chuẩn.
 - + R_n : Sức kháng danh định của mặt cắt.
- Đặc điểm của phương pháp:
- + Ưu điểm:
 - Có tính trực quan, rõ ràng.
 - Ngoài ra LFD còn tiến bộ hơn ASD do đã xét đến sự làm việc chung của toàn bộ mặt cắt.
 - + Nhược điểm:
 - Chưa xét tới sự làm việc chung của các bộ phận kết cấu.
 - Chủ yếu xét đến hệ số tải trọng (kinh nghiệm).

3.2.3.3. Phương pháp thiết kế theo trạng thái giới hạn: (LSD - Limit state design)

- Phương pháp TTGH hình dung chia trạng thái của kết cấu thành hai miền:
 - + Miền duy trì khả năng làm việc (Miền A).
 - + Miền không có khả năng làm việc (Miền B) (bị phá hoại hoặc không sử dụng được bình thường).
 - + Ngăn cách giữa hai miền là tập hợp các trạng thái giới hạn.



=> Vậy trạng thái giới hạn (TTGH) là trạng thái mà ở đó công trình phá hoại hoặc không thể sử dụng bình thường được nữa.

- Quy trình thiết kế cầu công của Liên Xô (cũ) CH200-62, ban hành năm 1962, sau này Bộ Giao thông vận tải nước ta dựa trên quy trình này để biên soạn Quy trình thiết kế cầu công theo TTGH ký hiệu 22TCN18-79 như sau:

- + Phương trình cơ bản:

$$\sum n_i \cdot N_i \leq \phi \cdot (m, k_1 \cdot R_1^{tc}, k_2 \cdot R_2^{tc}, \dots, F_0)$$

Trong đó:

- n_i : Hệ số tải trọng.
- N_i : Nội lực trong kết cấu do tải trọng tiêu chuẩn gây ra.
- ϕ : Hàm số xác định mỗi TTGH của kết cấu.
- m : Hệ số điều kiện làm việc.
- k_1, k_2, \dots : Hệ số đồng nhất vật liệu.
- $R_1^{tc}, R_2^{tc}, \dots$: Cường độ tiêu chuẩn của vật liệu.
- F_0 : Đặc trưng hình học của kết cấu.

+ Các TTGH:

• TTGH thứ nhất: Là TTGH mà kết cấu không còn đủ khả năng chịu lực hoặc xuất hiện các biến dạng dẻo lớn, nhằm đảm bảo về mặt chịu lực cho công trình (về cường độ, ổn định và độ chịu mỏi).

• TTGH thứ hai: Là TTGH mà kết cấu bị phát sinh các biến dạng dư quá lớn như dao động, chuyển vị, lún, ... gây khó khăn cho việc sử dụng bình thường.

• TTGH thứ ba: Là TTGH mà tiết diện kết cấu bị xuất hiện các vết nứt lớn gây khó khăn cho việc sử dụng bình thường.

+ Khi tính toán theo các TTGH trong 22TCN18-79, để thay thế cho hệ số an toàn duy nhất trong phương pháp ứng suất cho phép, đã dùng các hệ số tính toán sau:

- Hệ số tải trọng (n): Xét đến những sai lệch có thể xảy ra theo chiều hướng bất lợi so với các trị số tiêu chuẩn của chúng trong các tổ hợp tải trọng và tác động khác nhau.
- Hệ số đồng nhất (k): Xét khả năng giảm thấp cường độ của vật liệu và đất so với trị số tiêu chuẩn do những thay đổi về tính chất cơ học và tính không đồng nhất của chúng.
- Hệ số điều kiện làm việc (m): Phản ánh sự chưa phù hợp của tính toán lý thuyết với điều kiện làm việc thực tế của kết cấu.

3.2.3.4. Phương pháp thiết kế theo hệ số tải trọng và sức kháng: (LRFD - Load and resistance factor design)

- Phương trình cơ bản theo 22TCN272-05: Trong thiết kế, để đảm bảo an toàn công trình thì khả năng chịu lực của vật liệu và tiết diện (sức kháng) phải lớn hơn nội lực gây ra do tải trọng:

$$\sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot Q_i \leq \phi \cdot R_n = R_r$$

Trong đó:

+ η_i : Hệ số điều chỉnh tải trọng liên quan đến tính dẻo và tính dư cũng như tầm quan trọng trong khai thác.

- + γ_i : Hệ số tải trọng.
- + Q_i : Ứng lực do tải trọng.
- + R_n : Sức kháng danh định.
- + R_t : Sức kháng tính toán.
- + ϕ : Hệ số sức kháng.

- *Hệ số sức kháng ϕ* : Đối với một TTGH nào đó thì hệ số sức kháng được sử dụng để xét đến tính thất thường trong tính chất của kết cấu, của vật liệu và độ chính xác của các phương trình thiết kế đánh giá khả năng chịu tải, tình huống hư hỏng của công trình.

- *Hệ số tải trọng γ_i* : Áp dụng đối với các loại tải trọng, để xét đến tính thất thường của các tải trọng và hiệu ứng tải như độ lớn của tải trọng, vị trí tải, tổ hợp tải trọng.

- *Hệ số điều chỉnh tải trọng η_i* :

+ $\eta_i = \eta_D \cdot \eta_R \cdot \eta_I \geq 0.95$ đối với các tải trọng dùng hệ số tải trọng γ_i^{\max} .

+ $\eta_i = \frac{1}{\eta_D \cdot \eta_R \cdot \eta_I} \leq 1.0$ đối với các tải trọng dùng hệ số tải trọng γ_i^{\min} .

Trong đó:

+ η_D : *Độ dẻo*: Độ dẻo của vật liệu rất quan trọng cho độ an toàn của cầu. Nếu vật liệu dẻo, khi một bộ phận chịu lực quá tải nó sẽ phân bố nội lực sang bộ phận khác.

1. $\eta_D \geq 1.05$ cho các cầu kiện và liên kết không dẻo.
2. $\eta_D = 1.0$ cho các thiết kế thông thường, theo đúng yêu cầu của tiêu chuẩn thiết kế.
3. $\eta_D \geq 0.95$ cho các cầu kiện có dùng các biện pháp để tăng thêm tính dẻo.

+ η_R : *Độ dư thừa*: Độ dư thừa có ý nghĩa đối với giới hạn an toàn của cầu. Một số kết cấu siêu tĩnh được coi là dư thừa vì nó có nhiều liên kết hơn so với yêu cầu cân bằng tĩnh định. Hệ cầu có một đường tiếp đất được coi là không dư thừa (không nên dùng loại này).

Trong trạng thái giới hạn cường độ (TTGH cường độ).

1. $\eta_R \geq 1.05$ cho các bộ phận không dư thừa.
2. $\eta_R = 1.0$ cho các mức dư thừa thông thường.
3. $\eta_R \geq 0.95$ cho các mức dư thừa đặc biệt.

+ η_I : *Độ quan trọng*:

Dùng trong các TTGH cường độ và TTGH đặc biệt.

1. $\eta_I \geq 1.05$ cho các cầu quan trọng.
2. $\eta_I = 1.0$ cho các cầu điển hình.
3. $\eta_I \geq 0.95$ cho các cầu tương đối ít quan trọng.

- Đặc điểm khai thác vật liệu:

+ Khi tính toán thiết kế theo 22TCN272-05 đề cập đến việc khai thác sự làm việc của vật liệu đạt đến giới hạn chảy, cụ thể:

- Đối với thép thì khai thác đến giới hạn chảy f_y .
- Đối với bê tông thì khai thác đến cường độ chịu nén phá hoại mẫu f_c .

+ Không những thế khi tính toán theo 22TCN272-05 còn khai thác sự làm việc của mặt cắt đến khi toàn bộ mặt cắt đạt đến giới hạn chảy, điều đó có thể thấy trong biểu đồ phân tích phát triển ứng suất trong mặt cắt dầm.

+ Như vậy tính toán thiết kế theo 22TCN272-05 đã tận dụng tối đa khả năng làm việc của vật liệu cũng như khả năng làm việc của tiết diện kết cấu.

- Các TTGH theo 22TCN272-05:

+ Trạng thái giới hạn cường độ: Là TTGH đảm bảo về cường độ và ổn định của các bộ phận của kết cấu khi chịu tác dụng của các tổ hợp tải trọng tính toán theo kinh nghiệm có thể xảy ra trong thời gian sử dụng. Các tải trọng này có thể dẫn đến tình trạng nguy hiểm và hư hỏng kết cấu nhưng toàn bộ kết cấu vẫn còn.

- TTGH cường độ I: Là tổ hợp tải trọng tính toán khi có xe chạy bình thường và trên cầu không có gió.
- TTGH cường độ II: Là tổ hợp tải trọng tính toán khi trên cầu có gió với vận tốc $V > 25\text{m/s}$ và với vận tốc như vậy thì trên cầu không có xe.
- TTGH cường độ III: Là tổ hợp tải trọng tính toán khi có xe chạy bình thường và trên cầu có gió với vận tốc $V < 25\text{m/s}$.

Tính toán theo TTGH cường độ bao gồm việc kiểm toán về độ bền chịu uốn, chịu cắt, chịu xoắn và chịu lực dọc trục.

+ Trạng thái giới hạn sử dụng:

- Là TTGH nhằm hạn chế ứng suất, biến dạng và độ mở rộng vết nứt trong điều kiện sử dụng bình thường. Mục đích của TTGH này để đảm bảo thực hiện chức năng của cầu trước tuổi thọ sử dụng.
- TTGH sử dụng: Là tổ hợp tải trọng tiêu chuẩn khi có xe chạy bình thường và trên cầu có gió với vận tốc $V = 25\text{m/s}$.

+ Trạng thái giới hạn mỏi và đứt gãy do mỏi:

- Là TTGH nhằm hạn chế sự phát triển vết nứt và tránh hiện tượng đứt gãy do xe tải thiết kế. Xe tải thiết kế để tính mỏi là một xe tải đơn, có khoảng cách các trục xe cố định.
- Trạng thái giới hạn phá hoại giòn phải được xét đến như một yêu cầu về tính bền của vật liệu theo Tiêu chuẩn vật liệu.

+ Trạng thái giới hạn đặc biệt: Là TTGH đảm bảo cầu vẫn tồn tại sau những tác dụng của các tải trọng bình thường phát sinh cùng với các tải trọng đặc biệt như: lực động đất, lực va xô tàu thuyền, tải trọng thi công, ...

- Đặc điểm của phương pháp:

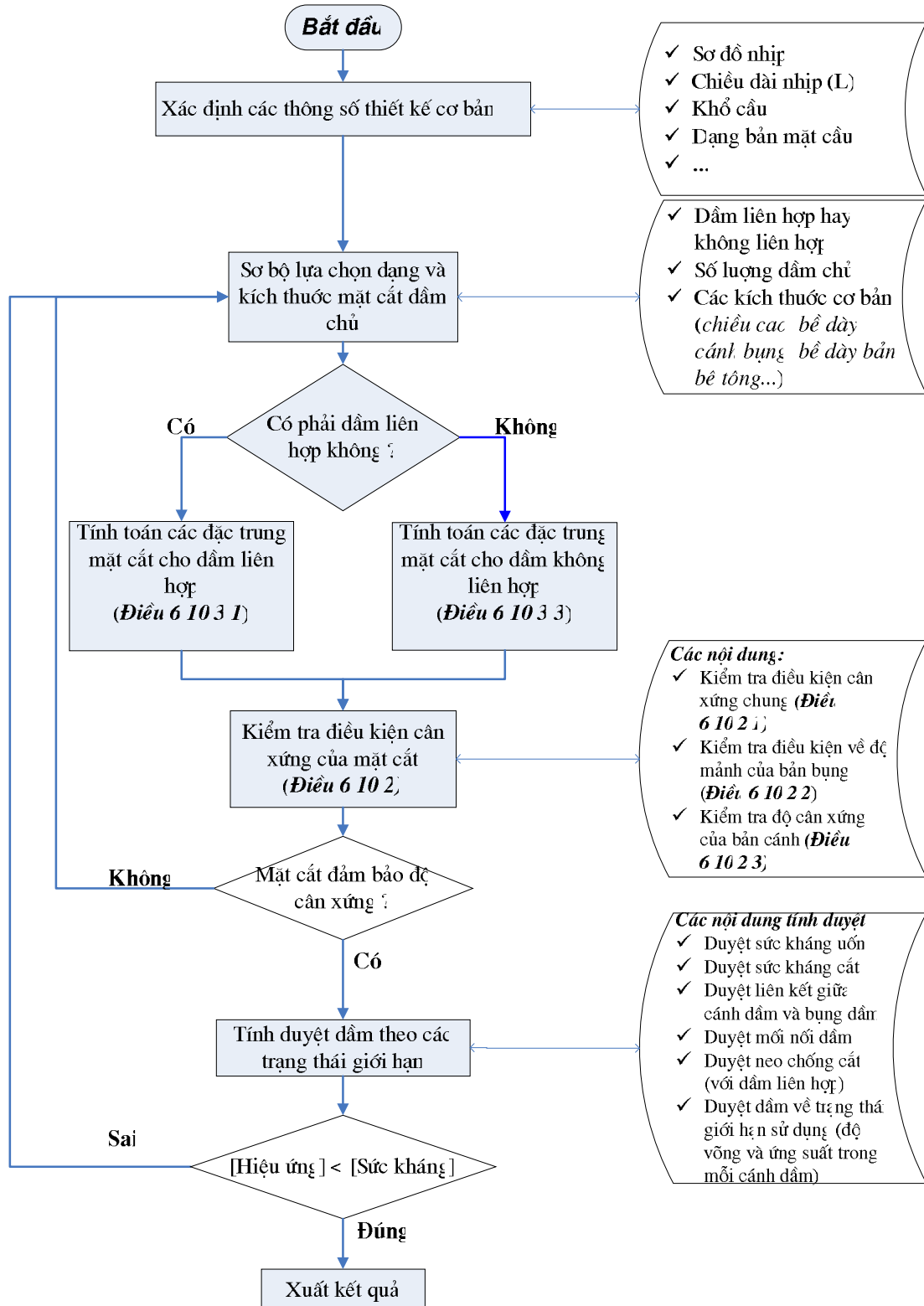
+ Ưu điểm:

- Đã xét đến sự khác nhau giữa tải trọng và sức kháng.
- Đạt được mức độ an toàn tương đối đồng đều đối với các TTGH khác nhau và các loại cầu mà không cần đến phân tích thống kê hoặc xác suất phức tạp.
- Là một phương pháp thiết kế thích hợp và ổn định.

+ Nhược điểm:

- Thay đổi tư duy thiết kế so với AASHTO cũ.
- Yêu cầu hiểu biết cơ bản về lý thuyết xác suất và thống kê.
- Yêu cầu có các số liệu thống kê đầy đủ và các thuật toán thiết kế xác suất để có thể chỉnh lý hệ số sức kháng trong từng trường hợp riêng.

- Sơ đồ khối tính toán thiết kế theo 22TCN 272-05:



§3.3. PHÂN TÍCH KẾT CẤU VÀ XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TRONG CÁC BỘ PHẬN KCN

3.3.1. CÁC PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH KẾT CẤU:

3.3.1.1. Nguyên tắc chung:

- Kết cấu cầu là một kết cấu không gian với hệ thống dầm chủ, dầm ngang, hệ liên kết ngang, hệ liên kết dọc và kết cấu bản mặt cầu. Trong tính toán thiết kế thì ta phải xác định nội lực trong từng bộ phận kết cấu để từ đó thiết kế cấu tạo cho từng bộ phận sao cho các bộ phận của kết cấu đảm bảo khả năng chịu lực. Để xác định được nội lực trong kết cấu thì phải tiến hành phân tích kết cấu. Việc phân tích kết cấu càng chính xác thì việc thiết kế càng đảm bảo an toàn và tiết kiệm vật liệu. Có hai phương pháp phân tích kết cấu cơ bản:

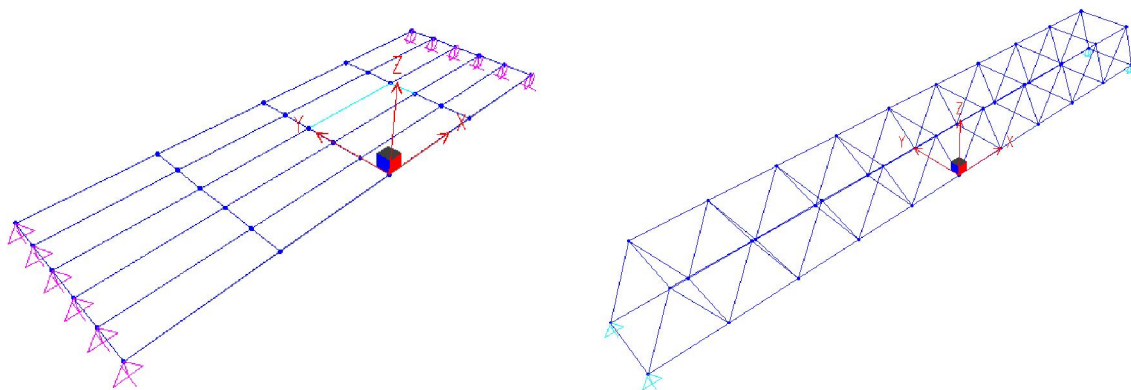
- + Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình không gian.
- + Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình phẳng.

3.3.1.2. Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình không gian:

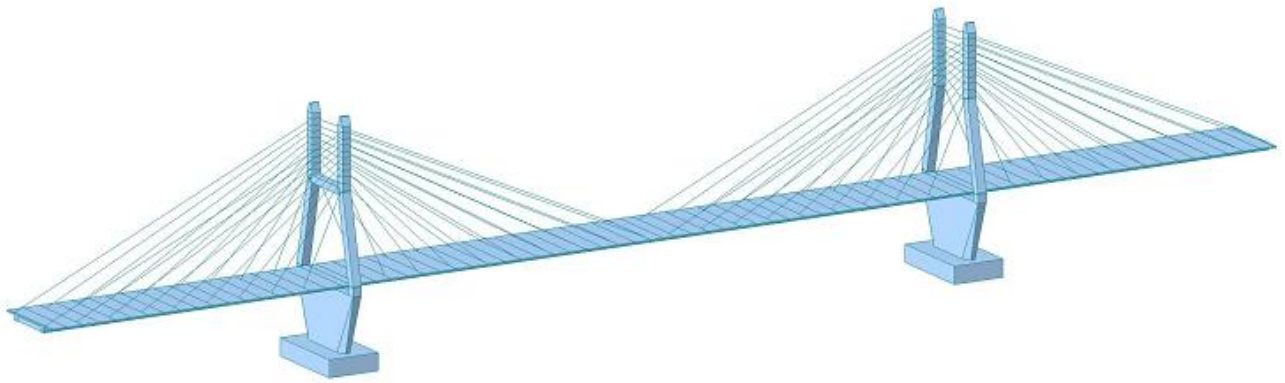
- Đây là phương pháp mô hình chính xác cấu tạo của từng bộ phận cũng như liên kết giữa các bộ phận trong kết cấu nhịp trên các phần mềm phân tích và tính toán kết cấu sau đó đặt tải trọng và xác định nội lực trong từng bộ phận kết cấu. Phương pháp này phản ánh chính xác sự làm việc thực tế của kết cấu, nhưng đây cũng là phương pháp tính rất phức tạp.

- Hiện nay với sự trợ giúp của máy tính đã có các phần mềm phân tích tính toán kết cấu như: Sap 2000, Midas, RM, ... Tuy nhiên việc sử dụng các chương trình này đòi hỏi người sử dụng phải có kiến thức vững và nhiều kinh nghiệm để có thể kiểm soát quá trình tính toán và kết quả tính toán.

- Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình không gian thường được áp dụng cho các KCN liên tục, kết cấu nhịp siêu tĩnh bậc cao vì khi đó việc phân tích tính toán theo bài toán phẳng gặp nhiều khó khăn.



Hình 3.1: Mô hình tính toán cầu dầm và cầu dàn trên Sap 2000.

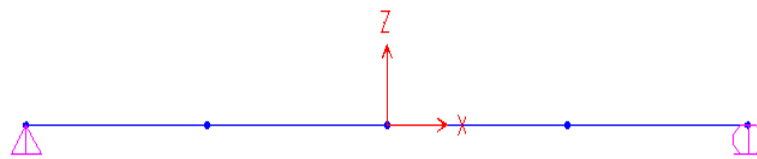


Hình 3.2: Mô hình tính toán cầu dây văng trên Midas 7.01.

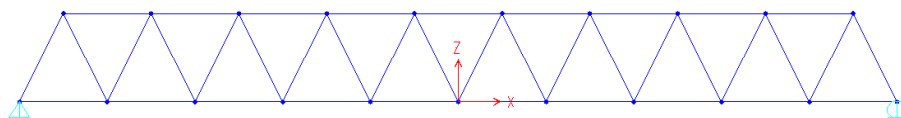
- Trình tự tính toán xác định nội lực trong bộ phận KCN theo bài toán không gian:
 - + Mô hình kết cấu nhịp trên các phần mềm phân tích kết cấu như: Sap 2000, Midas, RM,
 - + Tính toán xác định tải trọng tác dụng lên KCN.
 - + Xếp tải trọng lên mô hình kết cấu.
 - + Chạy chương trình và xuất kết quả nội lực tại các mặt cắt cần phân tích.

3.3.1.3. Phương pháp phân tích kết cấu theo mô hình phẳng:

- Đây là phương pháp phân chia kết cấu không gian thành các hệ phẳng làm việc theo các mặt phẳng khác nhau. Sự phân chia này được thực hiện theo giả thiết độc lập và cộng tác dụng.
- Cách tính này đơn giản và dễ thực hiện nên hiện nay vẫn đang được áp dụng phổ biến. Việc tính toán thiết kế dầm chủ được thực hiện với một dầm đặc trưng chịu lực bất lợi nhất. Tải trọng trên cầu phân bố cho dầm chủ được tính toán thông qua các hệ số phân bố ngang (hệ số phân bố tải trọng theo phương ngang cầu).



Hình 3.3: Mô hình tính toán dầm giản đơn trên Sap 2000.



Hình 3.4: Mô hình tính KCN cầu dàn trên Sap 2000.

- Trình tự xác định nội lực của dầm chủ theo bài toán phẳng:
 - + Tính toán xác định tĩnh tải tác dụng lên 1 dầm chủ.
 - + Tính toán xác định hệ số phân bố ngang (phân bố tải trọng cho các dầm chủ theo phương ngang cầu).

- + Vẽ các đường ảnh hưởng nội lực tại các mặt cắt cần tính toán của dầm chủ.
- + Xếp tải trọng bất lợi lên đường ảnh hưởng nội lực.
- + Xác định nội lực tại các mặt cắt cần kiểm toán.

3.3.2. TẢI TRỌNG VÀ HỆ SỐ TẢI TRỌNG:

3.3.2.1. Tĩnh tải:

- Tĩnh tải giai đoạn I (DC1): Là tĩnh tải tác dụng lên KCN khi chưa hình thành kết cấu chịu lực hoàn chỉnh. Đối với kết cấu nhịp cầu dầm liên hợp thì tĩnh tải giai đoạn I bao gồm:

- + Trọng lượng bản thân dầm chủ.
- + Trọng lượng hệ liên kết ngang cầu.
- + Trọng lượng hệ liên kết dọc cầu.
- + Trọng lượng sườn tăng cường.
- + Trọng lượng bản bê tông mặt cầu.

=> Tĩnh tải giai đoạn I rải đều trên 1m dài 1 dầm chủ:

$$q_{DC1} = \frac{P_{DC1}}{n_{dc} L_{tt}}$$

- Tĩnh tải giai đoạn II (DC2+DW): Trọng lượng lớp phủ mặt cầu, lan can, gờ chắn bánh, thiết bị an toàn và chiếu sáng trên cầu, ... Đây là những tĩnh tải tác dụng lên KCN khi đã có sự hình thành kết cấu chịu lực hoàn chỉnh.

=> Tĩnh tải giai đoạn II rải đều trên 1m dài 1 dầm chủ:

$$q_{DC2(DW)} = \frac{P_{DC2(DW)}}{n_{dc} L_{tt}}$$

Trong đó:

- + P_{DC1} : Trọng lượng từng bộ phận thuộc tĩnh tải giai đoạn I.
- + $P_{DC2(DW)}$: Trọng lượng từng bộ phận thuộc tĩnh tải giai đoạn II.
- + n_{dc} : Số dầm chủ trên mặt cắt ngang.
- + L_{tt} : Chiều dài nhịp tính toán.

Lưu ý: Các tải trọng như lan can, ... (các bộ phận ở ngoài cánh hẫng dầm biên) ta có thể coi như chỉ tác dụng lên dầm biên hoặc có thể tính phân bố đều cho các dầm chủ.

3.3.2.2. Hoạt tải xe thiết kế (LL):

a. Định nghĩa:

- Hoạt tải xe ô tô trên mặt cầu hay kết cấu phụ trợ được đặt tên là HL - 93 gồm một tổ hợp của: Xe tải thiết kế hoặc xe 2 trục thiết kế và tải trọng làn thiết kế.

b. Xe tải thiết kế (Truck):

- Xe tải thiết kế: Là một xe 3 trục có tổng tải trọng $P = 325\text{kN} = 32,5\text{T}$

+ Tải trọng trục trước: $P_1 = 35\text{kN} = 3,5\text{T}$.

+ Tải trọng trục giữa: $P_2 = 145\text{kN} = 14,5\text{T}$.

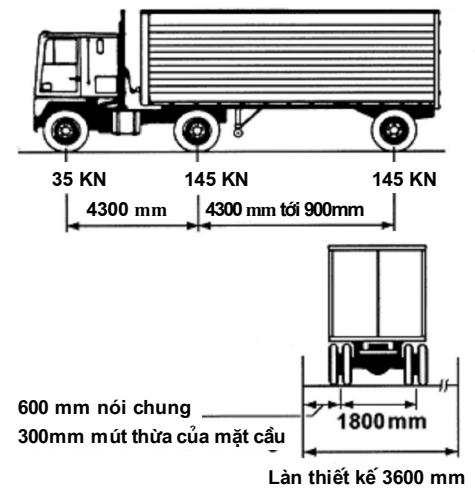
+ Tải trọng trục sau: $P_3 = 145\text{kN} = 14,5\text{T}$.

+ Khoảng cách từ trục trước đến trục giữa: $a_1 = 4,3\text{m}$.

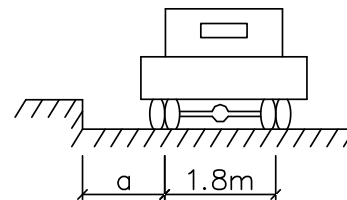
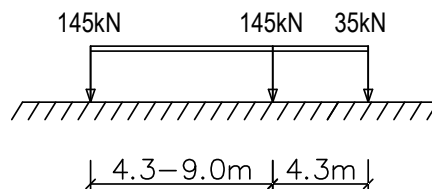
+ Khoảng cách từ trục giữa đến trục sau: a_2 thay đổi từ $4,3\text{m}$ tới 9m để có thể gây ra ứng lực lớn nhất.

+ Khoảng cách giữa các trục xe theo chiều ngang: $a_3 = 1,8\text{m}$

- Sơ đồ cấu tạo xe:



Hình 3.5a: Xe tải thiết kế.



$a = 0,3\text{m}$ tính đến mép đá vĩa hay lan can khi thiết kế bản hẫng.

$a = 0,6\text{m}$ tính đến mép làn xe khi thiết kế các bộ phận khác.

Hình 3.5b: Xe tải thiết kế (Truck).

c. Xe hai trục thiết kế (Tandem):

- Xe 2 trục thiết kế: Là một xe hai trục có tổng tải trọng $P = 220\text{kN} = 22\text{T}$.

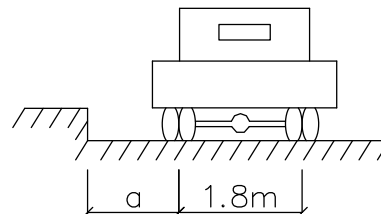
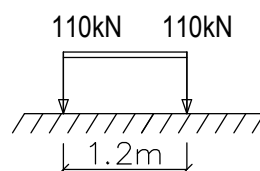
+ Tải trọng trục trước: $P_1 = 110\text{kN} = 11\text{T}$.

+ Tải trọng trục sau: $P_2 = 110\text{kN} = 11\text{T}$.

+ Khoảng cách từ trục trước đến trục sau: $a_1 = 1,2\text{m}$.

+ Khoảng cách giữa các trục xe theo chiều ngang: $a_2 = 1,8\text{m}$

- Sơ đồ cấu tạo xe:



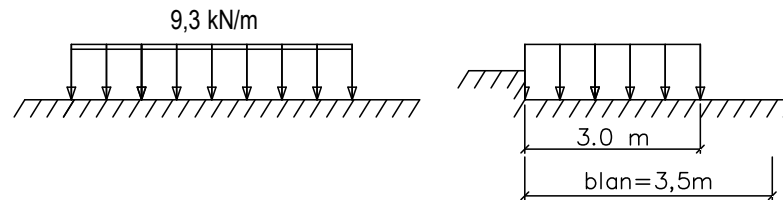
$a = 0,3\text{m}$ tính đến mép đá vĩa hay lan can khi thiết kế bản hẫng.

$a = 0,6\text{m}$ tính đến mép làn xe khi thiết kế các bộ phận khác.

Hình 3.6: Xe 2 trục thiết kế (Tandem).

d. Tải trọng làn (Lane):

- Tải trọng làn thiết kế gồm tải trọng có giá trị bằng 9,3 kN/m phân bố đều theo chiều dọc cầu.
- Theo chiều ngang cầu được giả thiết phân bố đều trên chiều rộng $b = 3\text{m}$.
- Ứng lực của tải trọng làn thiết kế không xét lực xung kích.
- Sơ đồ cầu tạo tải trọng làn:



Hình 3.7: Tải trọng làn thiết kế (Lane).

3.3.2.3. Hoạt tải người (PL):

- Khi chiều rộng lề $\geq 0,6\text{m}$ thì mới xét đến tải trọng Người đi bộ là áp lực phân bố trên hết diện tích lề với trị số $300\text{ kG/m}^2 = 3 \cdot 10^{-3}\text{ MPa}$.
- Đối với cầu chỉ thiết kế cho Người đi bộ hoặc đi xe đạp thì thiết kế tải trọng Người đi bộ với trị số là $410\text{ kG/m}^2 = 4,1 \cdot 10^{-3}\text{ MPa}$.
- Tải trọng Người rải đều trên 1m dài dầm chủ: $q_{ng} = b_{le} \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ hoặc $q_{ng} = b_{le} \cdot 4,1 \cdot 10^{-3}$.

3.3.2.4. Hệ số tải trọng (scale factor):

- Các tổ hợp tải trọng và hệ số tải trọng tương ứng.

BẢNG 3.1: BẢNG TỔ HỢP TẢI TRỌNG VÀ HỆ SỐ TẢI TRỌNG

Tổ hợp tải trọng	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS EL	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Cùng một lúc chỉ dùng 1 trong các tải trọng		
										EQ	CT	CV
Cường độ I	γ_n	1.75	1.0	-	-	1.0	0.5/1.2	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Cường độ II	γ_n	-	1.0	1.4	-	1.0	0.5/1.2	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Cường độ III	γ_n	1.35	1.0	0.4	1.0	1.0	0.5/1.2	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Đặc biệt	γ_n	0.50	1.0	-	-	1.0	-	-	-	1.0	1.0	1.0
Sử dụng	1,0	1.00	1.0	0.3	1.0	1.0	1.0/1.2	γ_{TG}	γ_{SE}	-	-	-
Mỗi chỉ có LL, IM, CE	-	0.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Chú thích:

+ Giá trị lớn hơn đối với hệ số tải trọng của TU, CR và SH để tính đến biến dạng, giá trị nhỏ hơn để tính các hiệu ứng khác.

+ Hệ số tải trọng đối với lún được quy định cụ thể trong các đồ án.

+ Hệ số tải trọng đối với gradien nhiệt lấy như sau:

1. Bằng 0 tại TTGH cường độ và đặc biệt.

2. Bằng 1 tại TTGH sử dụng khi không có hoạt tải.

3. Bằng 0,5 tại TTGH sử dụng khi có hoạt tải.

- Hệ số tải trọng dùng cho các tải trọng thường xuyên.

BẢNG 3.2: HỆ SỐ TẢI TRỌNG DÙNG CHO TẢI TRỌNG THƯỜNG XUYỀN

STT	KÍ HIỆU	TÊN TẢI TRỌNG	HỆ SỐ TẢI TRỌNG	
			Max	Min
1	DC	Tĩnh tải giai đoạn I	1.25	0.90
2	DD	Ma sát âm	1.80	0.45
3	DW	Tĩnh tải giai đoạn II	1.50	0.65
4	EH	Áp lực ngang của đất	1.50	0.90
		+ Chủ động	1.35	0.90
5	EL	Ứng suất do quá trình hợp long	1.00	1.00
6	EV	Áp lực thẳng đứng	1.35	Không có
		+ Ổn định tổng thể	1.35	1.00
7	ES	Đất chất thêm	1.50	0.75

3.3.2.5. Hệ số làn:

- Nếu trên cầu đồng thời có một số làn xe thì phải nhân với hệ số làn xe để xét đến xác suất xảy ra không đồng thời các làn xe.

- Hệ số làn m được lấy như sau:

Bảng 3.3: HỆ SỐ LÀN XE m

Số làn n	Hệ số làn m
1	1.2
2	1.0
3	0.85
> 3	0.65

3.3.2.6. Hệ số xung kích (Dynamic Allowance):

- Khi tính toán mỗi nổi bản mặt cầu (tính cho các trạng thái giới hạn)

$$1 + \frac{IM}{100} = 1 + \frac{75}{100} = 1,75$$

- Khi tính toán các cấu kiện khác.

- + Tính theo trạng thái giới hạn mỗi và giòn :

$$1 + IM = 1 + 0,15 = 1,15$$

- + Tính theo các trạng thái giới hạn khác:

$$1 + IM = 1 + 0,25 = 1,25$$

- Tải trọng Người và tải trọng làn thiết kế:

$$1 + IM = 1 + 0,0 = 1,0$$

3.3.3. XÁC ĐỊNH HỆ SỐ PHÂN BỐ NGANG (HỆ SỐ PHÂN PHỐI TẢI TRỌNG):**3.3.3.1. Nguyên tắc tính toán:**

- Kết cấu Cầu là một kết cấu không gian trong đó mọi bộ phận đều tham gia chịu tải với một mức độ khác nhau do đó trong tính toán thì ta phải tính đến sự phân bố tải trọng giữa các bộ phận.

- Việc tính toán phân phối tải trọng phụ thuộc vào:

- + Độ cứng của các bộ phận.
- + Liên kết của các bộ phận.
- + Số làn xe chất tải.
- + Vị trí đặt hoạt tải.

3.3.3.2. Các nhóm phương pháp tính toán phân phối tải trọng:**a. Nhóm 1: Phương pháp dầm + mạng dầm.**

- Các phương pháp tính toán thuộc nhóm này coi kết cấu nhịp cầu là một hệ thanh.
 + Giả thiết các sườn dọc cầu vòm hay các dầm dọc đều được coi là các thanh dọc.
 + Giả thiết các sườn ngang hay sườn chéo là các thanh ngang hay thanh chéo.
 + Bản mặt cầu được coi là chịu lực cục bộ và truyền tải trọng lên các bộ phận đỡ nó như dầm dọc, dầm ngang, ...

- Các phương pháp tính toán thuộc nhóm 1:

- + Phương pháp đòn bẩy.
- + Phương pháp nén lệch tâm.
- + Phương pháp dầm liên tục kê trên các gối đàn hồi.

b. Nhóm 2: Phương pháp thanh thành mỏng.

Các phương pháp thuộc nhóm này giả thiết kết cấu cầu là các thanh thành mỏng có mặt cắt kín hoặc hở.

c. Nhóm 3: Phương pháp bản.

Các phương pháp của nhóm này giả thiết kết cấu cầu là một dạng bản hay hệ thống bản.

d. Nhóm 4: Phương pháp phần tử hữu hạn.

Các phương pháp thuộc nhóm này phân tích và tính toán kết cấu cầu theo phương pháp phần tử hữu hạn. Đây là phương pháp mô hình hóa kết cấu cầu gần đúng nhất, tuy nhiên khi tính toán theo phương pháp này thì cần thiết phải có sự hỗ trợ của máy tính.

3.3.3.3. Phương pháp đòn bẩy:

a. Giả thiết tính toán:

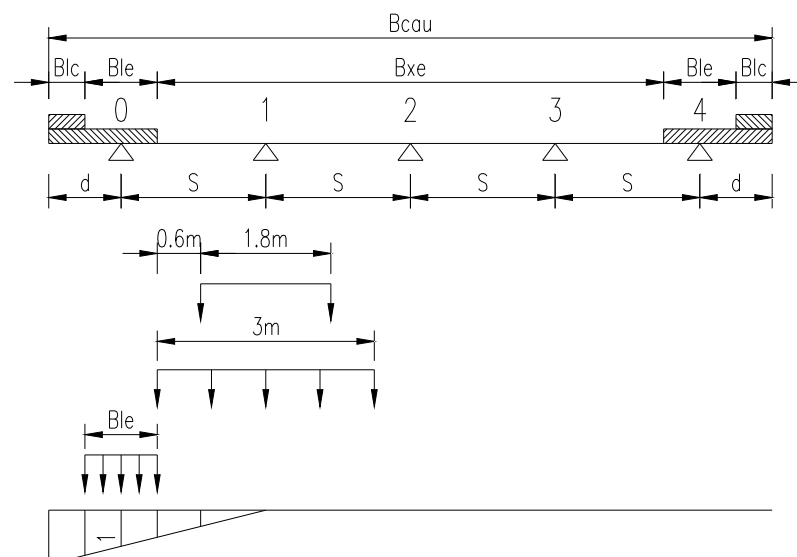
Giả thiết kết cấu ngang là dầm giản đơn hoặc dầm hằng gối chốt lên các dầm dọc và bị cắt rời trên các dầm dọc. Do đó khi đặt tải trọng lên kết cấu ngang nằm trong phạm vi của hai dầm dọc nào thì chỉ có hai dầm dọc đó chịu theo nguyên tắc đòn bẩy tức là như nguyên tắc tính phản lực của một dầm giản đơn.

b. Phạm vi áp dụng:

- Áp dụng cho cầu có ít dầm chủ: $n = (2 \div 4)$ dầm.
- Áp dụng khi tính toán cầu bản lắp ghép.
- Áp dụng khi tính toán hệ số phân bố ngang tại mặt cắt gối.
- Đối với cầu có nhiều dầm chủ thì ta tính hệ số phân bố ngang theo phương pháp đòn bẩy khi hệ số mềm: $\alpha \geq 1,5$. Tức là khi đó độ cứng của kết cấu ngang nhỏ hơn nhiều so với độ cứng của dầm chủ.

c. Nội dung tính toán:

- Vẽ đường ảnh hưởng phản lực gối R (phản lực của các dầm chủ).
- Xếp tải trọng bất lợi lên đường ảnh hưởng:



Hình 3.8: Tính hệ số phân bố ngang theo phương pháp đòn bẩy.

- Áp lực từ trục xe lên các dầm chủ: $R = \frac{P}{2} \cdot \sum y_i$

Trong đó:

- + P: Áp lực trục xe.
- + R: Phản lực gối.
- + y_i : Tung độ đường ảnh hưởng phản lực tại vị trí trục thứ i.
- Xác định hệ số phân bố ngang:
 - + Hệ số phân bố ngang của tải trọng xe:

$$g_{LL(xe)} = \frac{1}{2} \cdot \sum y_i$$

- + Hệ số phân bố ngang của tải trọng Người:

$$g_{PL} = \omega = \sum \frac{(y_1 + y_2)}{2} \cdot b_{le}$$

- + Hệ số phân bố ngang của tải trọng làn $g_{LL(làn)}$: (tính tương tự tải trọng Người)

Trong đó:

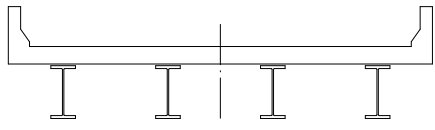
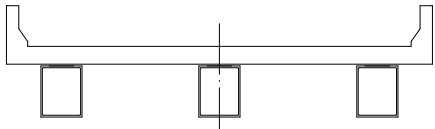
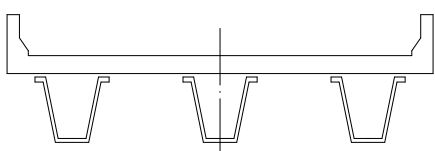
- + b_{le} : Là bề rộng lề đi bộ.
- + g_{PL} : Hệ số phân bố ngang của tải trọng Người.
- + $g_{LL(xe)}$: Hệ số phân bố ngang của tải trọng xe.
- + $g_{LL(làn)}$: Hệ số phân bố ngang của tải trọng làn.
- + y_i : Là tung độ ĐAH tương ứng với vị trí đặt tải trọng trục thứ i.
- + y_1 : Là tung độ ĐAH tại vị trí mép ngoài của bề rộng lề đi bộ.
- + y_2 : Là tung độ ĐAH tại vị trí mép trong của bề rộng lề đi bộ.

3.3.3.4. Tính hệ số phân bố ngang theo 22TCN 272-05:

a. Điều kiện tính toán:

- Phương pháp tính hệ số phân bố ngang trong 22TCN 272-05 chỉ áp dụng cho các cầu thỏa mãn điều kiện sau:
 - + Bề rộng mặt cầu không thay đổi trên suốt chiều dài nhịp.
 - + Số dầm chủ ≥ 4 , trừ khi có quy định khác.
 - + Các dầm chủ song song với nhau và có độ cứng xấp xỉ nhau.
 - + Phần hẫng của đường xe chạy $\leq 910\text{mm}$ trừ khi có quy định khác.
 - + Mặt cắt ngang cầu phù hợp với quy định trong bảng sau.

BẢNG 3.4: CÁC MẶT CẮT NGANG KCN CẦU THÉP

STT	CÁU KIỆN ĐỖ	LOẠI MẶT CẦU	MẶT CẮT ĐIỂN HÌNH
1	Dầm thép	Mặt cầu bê tông đúc tại chỗ, đúc sẵn hoặc bằng lưới thép mắt cáo	 (a)
2	Dầm thép hộp kín	Mặt cầu bê tông đúc tại chỗ	 (b)
3	Dầm thép hộp hở	Mặt cầu bê tông đúc tại chỗ hoặc đúc sẵn	 (c)

- Khi kết cấu nhịp đã cấu tạo thỏa mãn các điều kiện trên thì tải trọng thường xuyên của bản mặt cầu và tải trọng trên bản mặt cầu (lớp phủ mặt cầu...) được xem như phân bố đều cho các dầm chủ hoặc phân bố đều cho các dầm chủ và dầm dọc hoặc phân bố đều cho các dầm dọc như trong KCN cầu dầm.

b. Tính tham số độ cứng dọc:

- Công thức tính:

$$K_g = n(I + Ae_g^2) \quad \text{Với: } n = \frac{E_B}{E_S}$$

Trong đó:

- + E_B : Môđun đàn hồi của vật liệu chế tạo dầm.
- + E_S : Môđun đàn hồi của vật liệu chế tạo bản.
- + I : Mômen quán tính của mặt cắt dầm chủ.
- + A : Diện tích mặt cắt dầm chủ hay dầm dọc phụ.
- + e_g : Khoảng cách từ trọng tâm dầm đến trọng tâm bản.
- + Các trị số I và A phải được lấy theo mặt cắt dầm không liên hợp.

c. Tính hệ số phân bố ngang cho hoạt tải HL-93:

- Xác định công thức tính hệ số phân bố ngang: Căn cứ vào loại kết cấu dầm, mặt cắt thích hợp (a hoặc b hoặc c trong bảng trên) và phạm vi áp dụng từ đó tra bảng 3.5 để tìm công thức tính hệ số phân bố ngang cho phù hợp, sau đó thay các giá trị tương ứng vào để tìm giá trị của hệ số phân bố ngang.

- Các ký hiệu sau đây được áp dụng cho các bảng:
 - + A: Diện tích của dầm dọc phụ, dầm hoặc dầm tổ hợp.
 - + b: Bề rộng của dầm.
 - + C: Tham số độ cứng.
 - + d: Chiều cao của dầm hoặc dầm dọc phụ.
 - + d_e : Khoảng cách giữa tim dầm biên và mép trong của bó vữa, lề người đi bộ hoặc lan can chắn xe.
 - + D: Bề rộng phân bố trên làn.
 - + e: Hệ số điều chỉnh.
 - + mg: Hệ số phân bố.
 - + I_p : Mô men quán tính cực.
 - + J: Mô men quán tính chống xoắn St. Venant.
 - + K: Hằng số cho các loại kết cấu khác nhau.
 - + K_g : Tham số độ cứng dọc.
 - + L: Chiều dài nhịp dầm.
 - + N_b : Số dầm, dầm dọc phụ hoặc dầm tổ hợp.
 - + N_c : Số ngăn trong một dầm hộp bê tông.
 - + N_L : Số làn thiết kế nêu trong Điều 3.6.1.1.1.
 - + S: Khoảng cách của các dầm hoặc các bản bụng dầm.
 - + t_g : Chiều dày của lưới thép hoặc tấm thép lượn sóng.
 - + t_o : Chiều dày của lớp phủ.
 - + t_s : Chiều dày của bản bê tông.
 - + W : Bề rộng mép đến mép của cầu.
 - + W_e : 1/2 khoảng cách bản bụng dầm, cộng với tổng phần hẫng .
 - + θ : Góc chéo.
 - + μ : Hệ số Poisson.

BẢNG 3.5: HỆ SỐ PHÂN BỐ TẢI TRỌNG THEO LÀN

NỘI LỰC	LOẠI KẾT CẤU	HỆ SỐ PHÂN BỐ TẢI TRỌNG	HỆ SỐ ĐIỀU CHỈNH ĐỘ CHÉO	PHẠM VI ÁP DỤNG
Mô men dầm trong	Loại a, mặt cầu bằng bản bê tông	- Một làn chịu tải $0,06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0,4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0,3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0,1}$	$1 - C_1 (tg\theta)^{1,5}$ $C_1 = 0,25 \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right) \left(\frac{S}{L}\right)^{0,5}$ Nếu $\theta < 30^\circ$, $C_1=0,0$ Nếu $\theta > 60^\circ$, sử dụng $\theta = 60^\circ$	$1100 \leq S \leq 4900$ $110 \leq t_s \leq 300$ $6000 \leq L \leq 73000$ $N_b \geq 4$
		- Số làn chịu tải ≥ 2 $0,075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0,6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0,2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0,1}$		$N_b = 3$
	Dùng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị trên với $N_b=3$ hoặc tính theo nguyên tắc tròn bằng.			
	Loại a, mặt cầu bằng lưới thép mắt cáo	- Một làn chịu tải. + $S/2300$ nếu $t_g < 100$ mm + $S/3050$ nếu $t_g \geq 100$ mm - Số làn chịu tải ≥ 2 + $S/2400$ nếu $t_g < 100$ mm + $S/3050$ nếu $t_g \geq 100$ mm	KAD	$S \leq 1800\text{mm}$ $S \leq 3200\text{mm}$
	Loại b,c mặt cầu bằng bản bê tông	- Số làn chịu tải bất kỳ $0,05 + 0,85 \frac{N_L}{N_b} + \frac{0,425}{N_L}$	KAD	$0,5 \leq \frac{N_L}{N_b} \leq 1,5$
	Loại a, mặt cầu bằng tấm tôn lượn sóng	- Một làn chịu tải $S / 2800$ - Số làn chịu tải ≥ 2 $S / 2700$	KAD	$S \leq 1700\text{mm}$ $t_g \geq 50$

BẢNG 3.5: HỆ SỐ PHÂN BỐ TẢI TRỌNG THEO LÀN (TIẾP)

NỘI LỰC	LOẠI KẾT CẤU	HỆ SỐ PHÂN BỐ TẢI TRỌNG	HỆ SỐ ĐIỀU CHỈNH ĐỘ CHÉO	PHẠM VI ÁP DỤNG
Mô men dầm biên	Loại a, mặt cầu bằng bản bê tông	- Một làn chịu tải Tính theo nguyên tắc đòn bẩy - Số làn chịu tải ≥ 2 $mg = e \cdot mg_{\text{dầm trong}}$ $e = 0,77 + \frac{d_e}{2800}$	$1 - C_1(\text{tg}\theta)^{1,5}$ $C_1 = 0,25 \left(\frac{K_g}{Lt_s^3} \right) \left(\frac{S}{L} \right)^{0,5}$ Nếu $\theta < 30^\circ$, $C_1=0,0$ Nếu $\theta > 60^\circ$, sử dụng $\theta = 60^\circ$	$-300 \leq d_e \leq 1700$ $N_b \geq 4$
		Dùng giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị trên với $N_b=3$ hoặc tính theo nguyên tắc đòn bẩy		$N_b = 3$
	Loại a, mặt cầu bằng lưới thép mắt cáo	Số làn chịu tải bất kì đều tính theo nguyên tắc đòn bẩy	KAD	Áp dụng cho mọi trường hợp
Lực cắt dầm trong	Loại a, mặt cầu bằng bản bê tông	- Một làn chịu tải $0,36 + \frac{S}{7600}$ - Số làn chịu tải ≥ 2 $0,20 + \frac{S}{7600} - \left(\frac{S}{10700} \right)^2$	$1,00 + 0,20 \left(\frac{Lt_s^3}{K_g} \right)^{0,3} \text{tg}\theta$ với $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$	$1100 \leq S \leq 4900$ $110 \leq t_s \leq 300$ $6000 \leq L \leq 73000$ $4.10^9 \leq K_g \leq 3.10^{12}$ $N_b \geq 4$
		Nguyên tắc đòn bẩy		$N_b = 3$
	Loại a, mặt cầu bằng lưới thép mắt cáo	Số làn chịu tải bất kì đều tính theo nguyên tắc đòn bẩy	KAD	Áp dụng cho mọi trường hợp
Lực cắt dầm biên	Loại a, mặt cầu bằng bản bê tông	- Một làn chịu tải Tính theo nguyên tắc đòn bẩy - Số làn chịu tải ≥ 2 $mg = e \cdot mg_{\text{dầm trong}}$ $e = 0,60 + \frac{d_e}{3000}$	$1,00 + 0,20 \left(\frac{Lt_s^3}{K_g} \right)^{0,3} \text{tg}\theta$ với $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$	$300 \leq d_e \leq 1700$ $N_b \geq 4$

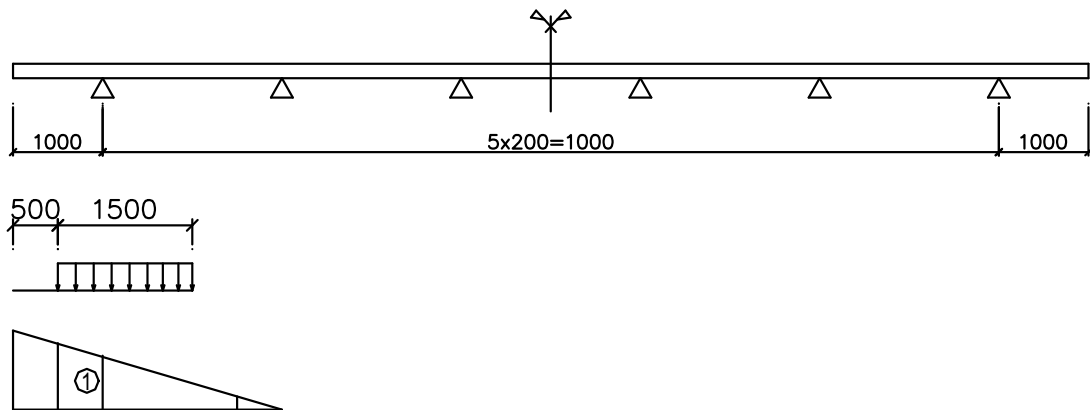
		Nguyên tắc đòn bẩy		$N_b = 3$
	Loại a, MC bằng lưới thép mắt cáo	Số lần chịu tải bất kì đều tính theo nguyên tắc đòn bẩy	KAD	Áp dụng cho mọi trường hợp

d. Tính hệ số phân bố ngang cho tải trọng Người:

- Tính hệ số phân bố ngang cho tải trọng Người đi nếu bề rộng đường người đi bộ $b_{le} > 0,6m$.

- Trong quy trình không trình bày cách tích hệ số phân bố ngang cho tải trọng Người đi bộ, do đó ta có thể tính như sau:

+ Đối với dầm biên tính theo phương pháp đòn bẩy, khi xếp tải trọng Người đi ở làn sát với dầm biên đang tính. Hệ số này dùng cho cả mômen và lực cắt.



Hình 3.9: Tính hệ số phân bố ngang của tải trọng Người cho dầm biên.

=> Hệ số phân bố ngang của tải trọng Người được tính theo công thức:

$$g_{PL} = \sum \frac{(y_1 + y_2)}{2} b_{le}$$

Trong đó:

+ b_{le} : Là bề rộng lề đi bộ.

+ y_1 : Là tung độ ĐAH tại vị trí mép ngoài của bề rộng lề đi bộ.

+ y_2 : Là tung độ ĐAH tại vị trí mép trong của bề rộng lề đi bộ.

+ Đối với dầm trong thì ta xếp tải trọng Người lên cả hai lề đi bộ và coi như tải trọng này phân bố đều cho các dầm chủ:

$$g = \frac{2}{n}$$

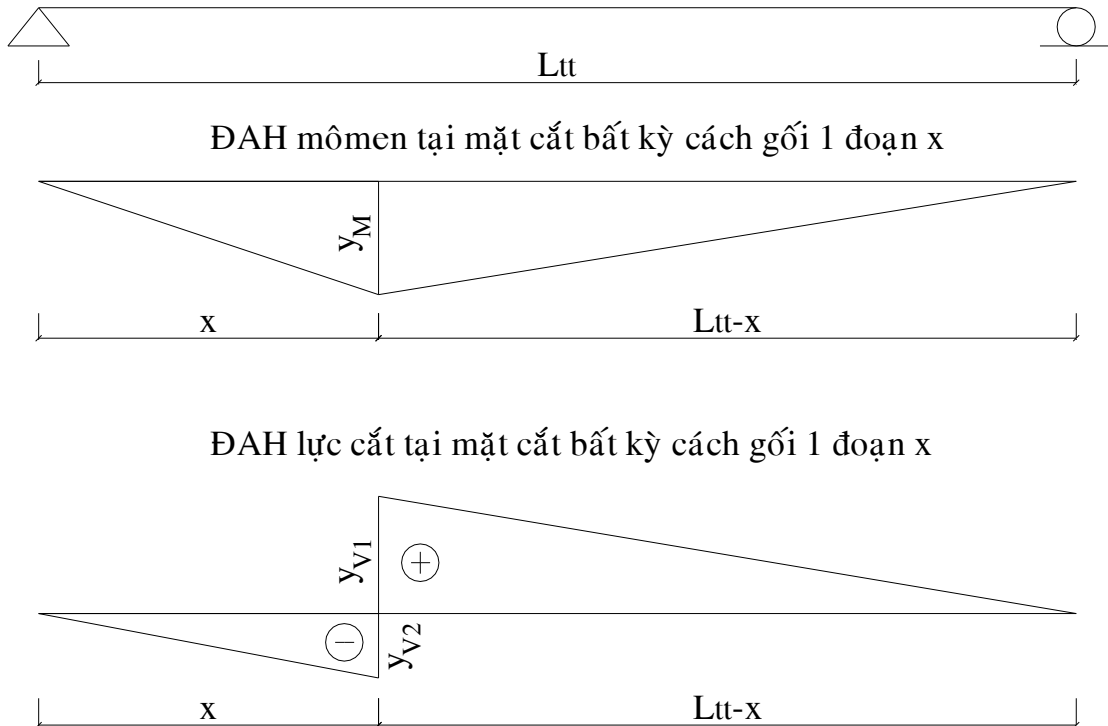
Với: n là số dầm chủ.

Lưu ý: Khi tính hệ số phân bố ngang theo phương pháp đòn bẩy ta phải nhân thêm hệ số làn xe, còn khi sử dụng các công thức trong 22TCN272-05 thì không cần.

3.3.4. XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TRONG DÀM CHỦ:**3.3.4.1. Vẽ đường ảnh hưởng nội lực:****a. ĐAH nội lực của dầm giản đơn:**

- Đối với kết cấu nhịp giản đơn thì ta có thể áp dụng các bài toán của cơ học kết cấu để vẽ đường ảnh hưởng nội lực tại các mặt cắt.

- Đường ảnh hưởng nội lực:



Hình 3.10: ĐAH nội lực của dầm giản đơn.

$$\text{Với: } y_M = \frac{x(L_{tt} - x)}{L_{tt}} ; y_{V1} = \frac{L_{tt} - x}{L_{tt}} ; y_{V2} = \frac{x}{L_{tt}}$$

+ Diện tích ĐAH M tại mặt cắt cách tim gối đoạn bằng x tính theo công thức:

$$\omega_M = \frac{x(L_{tt} - x)}{2}$$

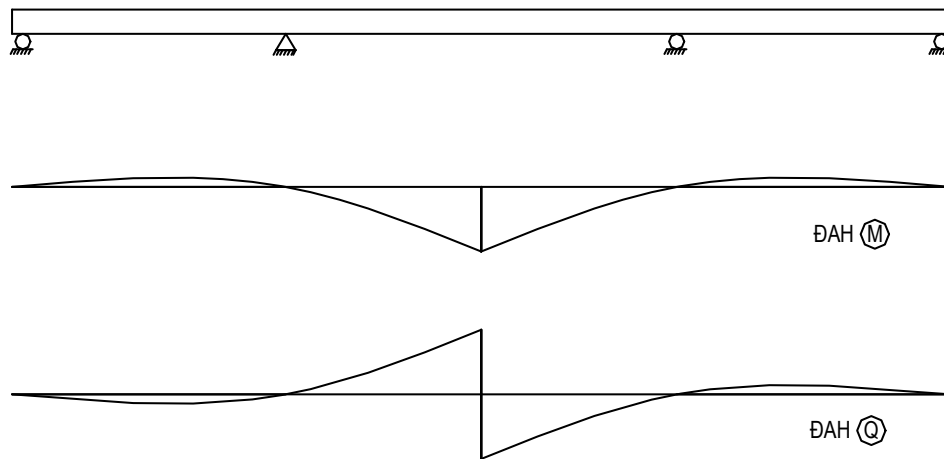
+ Diện tích ĐAH V tại mặt cắt cách tim gối đoạn bằng x tính theo công thức:

$$\omega_V^+ = \frac{(L_{tt} - x)^2}{2L_{tt}} ; \omega_V^- = \frac{x^2}{2L_{tt}}$$

b. ĐAH nội lực của dầm liên tục:

- Đối với kết cấu nhịp liên tục, do là kết cấu siêu tĩnh nên ta cũng có thể vẽ đường ảnh hưởng nội lực bằng cách giải bài toán cơ học kết cấu, tuy nhiên biện pháp tốt nhất là sử dụng các phần mềm phân tích kết cấu như Sap, Midas để thực hiện công việc này.

- Đường ảnh hưởng nội lực:

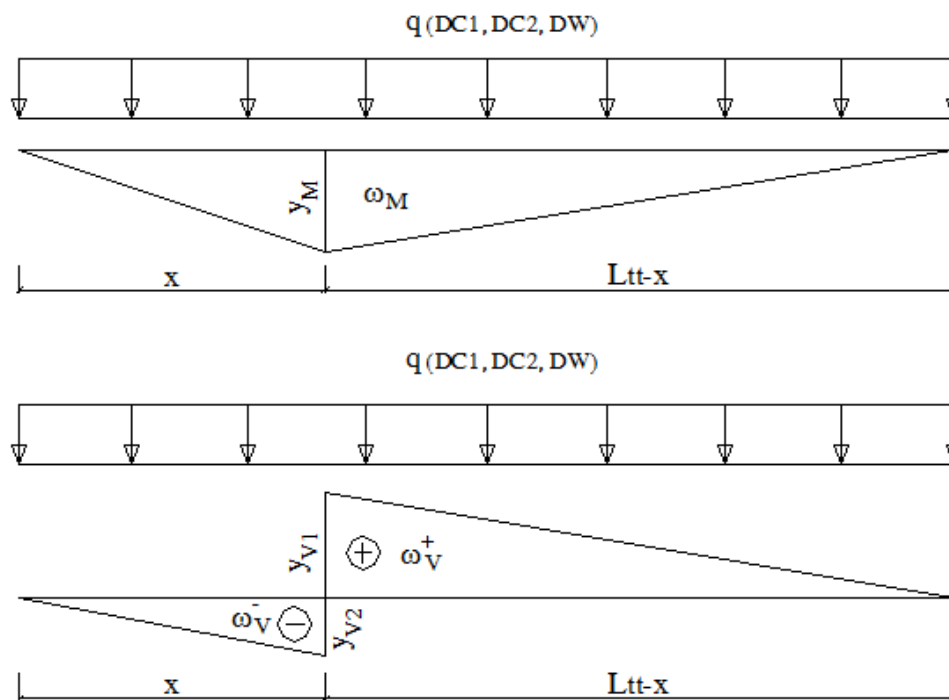


Hình 3.11: ĐAH mômen và lực cắt tại mặt cắt giữa nhịp.

- Diện tích ĐAH nội lực tại mặt cắt bất kì có thể được tính bằng cách xuất ĐAH thành file text sau đó dùng chương trình do các sinh viên lớp Cầu đường bộ K37 lập trên môi trường Visua Basic 6.0 để tính diện tích từng phần ĐAH nội lực.

3.3.4.2. Xác định nội lực do tĩnh tải:

- Để xác định nội lực do tĩnh tải tại các mặt cắt ta xếp tĩnh tải rải đều lên đường ảnh hưởng nội lực như sau (nhịp giản đơn):



Hình 3.12: Xếp tĩnh tải lên ĐAH mômen và lực cắt để xác định nội lực.

- Sau đó tính nội lực theo công thức:

+ Mômen: $M_u = \eta \cdot \gamma \cdot \omega_M \cdot q$

+ Lực cắt: $V_u = \eta \cdot (\gamma \cdot \omega_V^+ + \gamma \cdot \omega_V^-) \cdot q$

Trong đó:

ω_M - Diện tích đường ảnh hưởng mômen tại mặt cắt đang xét.

ω_v^+ - Diện tích đường ảnh hưởng lực cắt dương tại mặt cắt đang xét.

ω_v^- - Diện tích đường ảnh hưởng lực cắt âm tại mặt cắt đang xét.

η - Hệ số điều chỉnh tải trọng liên quan đến tính dẻo, tính dư, và tầm quan trọng trong khai thác xác định theo Điều 1.3.2

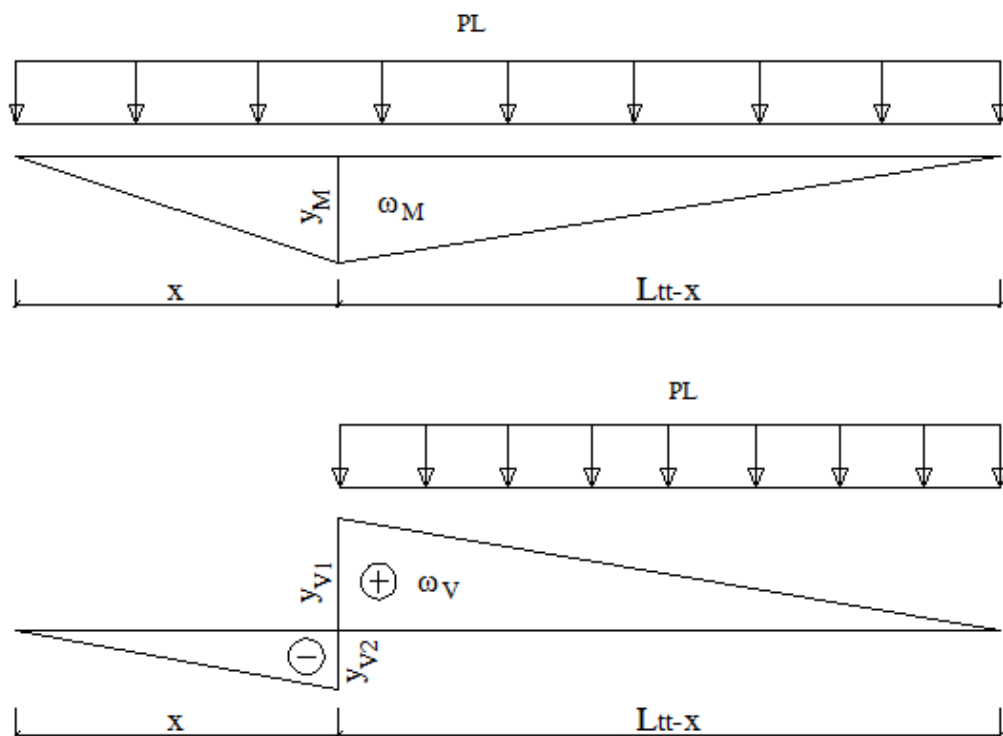
γ - Hệ số tải trọng (ứng với từng loại tải trọng và từng TTGH).

q - Tải trọng rải đều tác dụng.

3.3.4.3. Xác định nội lực do hoạt tải:

a. Tính nội lực do tải trọng người:

- Để tính nội lực do tải trọng người thì ta xếp tải trọng người rải đều bất lợi lên đường ảnh hưởng như sau:



Hình 3.13: Xếp tải trọng người lên ĐAH mômen và lực cắt để xác định nội lực.

- Sau đó tính nội lực theo công thức:

+ Mômen: $M_u = \eta \cdot \gamma \cdot g_{PL} \cdot \omega_M \cdot PL$

+ Lực cắt: $V_u = \eta \cdot \gamma \cdot g_{PL} \cdot \omega_V \cdot PL$

Trong đó:

ω_M - Diện tích đường ảnh hưởng mômen tại mặt cắt đang xét.

ω_V - Diện tích đường ảnh hưởng lực cắt tương ứng với vị trí xếp tải trọng người bất lợi (xếp trên phần diện tích đường ảnh hưởng lớn).

η - Hệ số điều chỉnh tải trọng liên quan đến tính dẻo, tính dư, và tầm quan trọng trong khai thác xác định theo Điều 1.3.2

γ - Hệ số tải trọng.

g_{PL} - Hệ số phân bố ngang hoạt tải đối với tải trọng người.

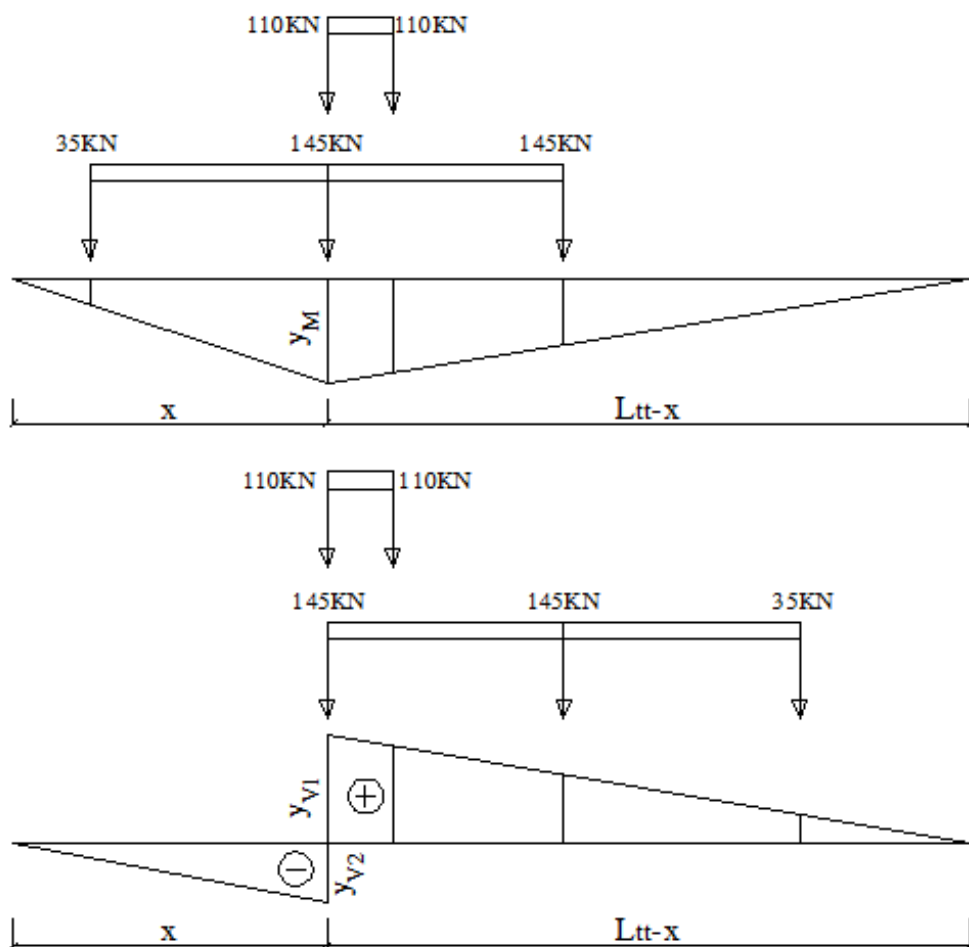
PL - Tải trọng người rải đều.

b. Tính nội lực do hoạt tải HL-93:

➤ Nội lực do tải trọng làn: Tính tương tự như tải trọng người.

➤ Nội lực do xe tải thiết kế (Truck) hoặc xe 2 trục thiết kế (Tandem):

- Để tính nội lực do xe tải và xe 2 trục ta xếp trực tiếp tải trọng xe lên đường ảnh hưởng theo sơ đồ bất lợi nhất như sau:



Hình 3.14: Xếp tải trọng xe lên ĐAH mômen và lực cắt để xác định nội lực.

- Sau đó tính nội lực theo công thức:

$$+ \text{Mômen: } M_u = \eta \cdot \gamma \cdot m g_{LL(xe)}^M \cdot (1+IM) \cdot \sum P_i \cdot y_i^M$$

$$+ \text{Lực cắt: } V_u = \eta \cdot \gamma \cdot m g_{LL(xe)}^V \cdot (1+IM) \cdot \sum P_i \cdot y_i^V$$

Trong đó:

η - Hệ số điều chỉnh tải trọng liên quan đến tính dẻo, tính dư, và tầm quan trọng trong khai thác xác định theo Điều 1.3.2

γ - Hệ số tải trọng.

$mg_{LL(xe)}^M, mg_{LL(xe)}^V$ - Hệ số phân bố ngang hoạt tải đối với tải trọng xe cho mômen và lực cắt.

1+IM - Hệ số xung kích.

P_i - Tải trọng trục xe.

y_i^M, y_i^V - Tung độ đường ảnh hưởng mômen và lực cắt tương ứng với vị trí đặt tải trọng trục xe.

3.3.4.4. Tổng hợp nội lực:

- Nội lực sau khi tính toán được sẽ được tổ hợp các trường hợp giữa tĩnh tải và hoạt tải nhằm tìm ra giá trị bất lợi nhất.

+ Với cầu đường ô tô: nội lực sẽ là tổ hợp bất lợi hơn trong hai tổ hợp:

TH1: Tĩnh tải + Xe tải thiết kế + Tải trọng làn + Tải trọng người.

TH2: Tĩnh tải + Xe 2 trục thiết kế + Tải trọng làn + Tải trọng người.

+ Với cầu đường sắt: ta tính với một tổ hợp.

Tĩnh tải + Đoàn tàu + Đoàn người.

- Trong thực tế tính toán chỉ cần so sánh nội lực do xe tải và xe hai trục sinh ra là sẽ biết tổ hợp tải trọng nào bất lợi hơn và được sử dụng để tính toán.

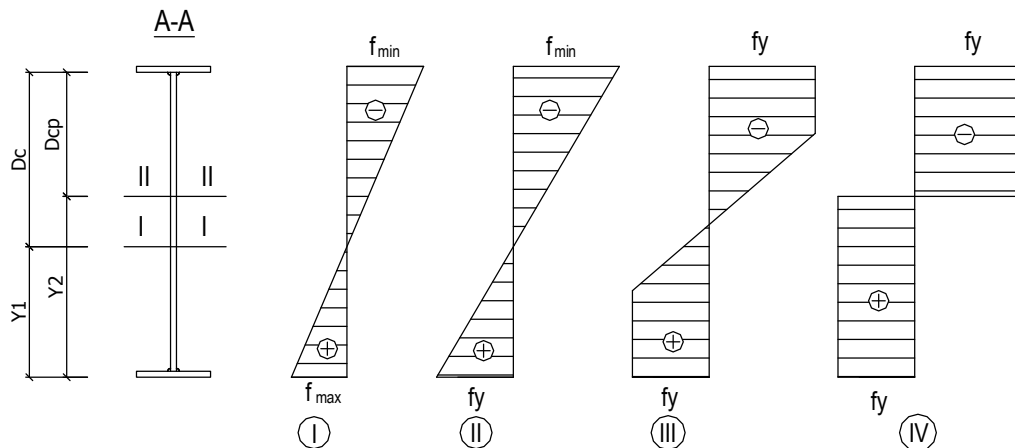
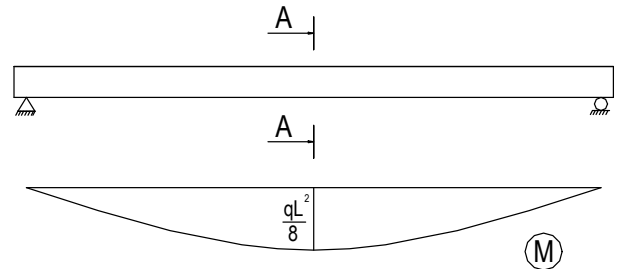
§3.4. XÁC ĐỊNH ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC CỦA MẶT CẮT DÀM CHỦ

3.4.1. ĐTHH CỦA MẶT CẮT DÀM KHÔNG LIÊN HỢP:

3.4.1.1. Sự phát triển ứng suất trong mặt cắt dầm:

- Cầu dầm không liên hợp có bản mặt cầu có thể làm bằng bê tông hoặc bằng gỗ. Khi đó bản mặt cầu chỉ đóng vai trò tạo ra mặt đường xe chạy và không tham gia làm việc cùng với dầm chủ nên cầu dầm không liên hợp có mặt cắt tính toán là mặt cắt dầm thép.

- Xét một dầm chủ chịu uốn, khi đó mặt cắt chịu lực bất lợi là mặt cắt giữa nhịp với sự hình thành ứng suất như sau:



Hình 3.15: Biểu đồ phát triển ứng suất trên mặt cắt dầm.

- Các giai đoạn phát triển ứng suất trên mặt cắt dầm chủ:

- + Giai đoạn I: Mặt cắt làm việc trong giới hạn đàn hồi.
- + Giai đoạn II: Điểm ứng suất lớn nhất trên mặt cắt đã đạt đến giới hạn chảy, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen chảy (M_y).
- + Giai đoạn III: Một phần mặt cắt đã bị chảy, phần khác vẫn làm việc trong giới hạn đàn hồi.
- + Giai đoạn IV: Mặt cắt bị chảy hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).

- Một mặt cắt chịu uốn từ lúc bắt đầu chịu lực cho đến khi phá hoại, phát triển tối đa qua 4 giai đoạn làm việc như vậy.

- Trong thực tế tính toán cầu dầm không liên hợp ta chỉ quan tâm đến 2 giai đoạn làm việc của mặt cắt là:

- + Giai đoạn I: Mặt cắt làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

+ Giai đoạn II: Mặt cắt chảy dẻo hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).

3.4.1.2. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm chủ trong giai đoạn đàn hồi:

- Mặt cắt tính toán: Mặt cắt dầm thép.
- Diện tích mặt cắt:

$$A_{NC} = b_c \cdot t_c + D_w \cdot t_w + b_t \cdot t_t$$

- Xác định mômen tĩnh của tiết diện với trục đi qua đáy dầm thép:

$$S_o = b_c \cdot t_c \cdot \left(H_{sb} - \frac{t_c}{2} \right) + D_w \cdot t_w \cdot \left(\frac{D_w}{2} + t_t \right) + b_t \cdot t_t \cdot \frac{t_t}{2}$$

- Khoảng cách từ đáy dầm đến TTH I-I mặt cắt giai đoạn I (giai đoạn đàn hồi):

$$Y_1 = \frac{S_o}{A_{NC}}$$

- Khoảng cách từ mép trên bản bụng đến TTH I-I là:

$$D_c = H_{sb} - t_c - Y_1$$

- Xác định mômen quán tính của mặt cắt dầm đối với TTH I-I:

$$+ \text{Mômen quán tính bản bụng: } I_w = \frac{t_w D_w^3}{12} + t_w \cdot D_w \cdot \left(\frac{D_w}{2} + t_t - Y_1 \right)^2$$

$$+ \text{Mômen quán tính bản cánh chịu nén: } I_{cf} = \frac{b_c t_c^3}{12} + t_c \cdot b_c \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - \frac{t_c}{2} \right)^2$$

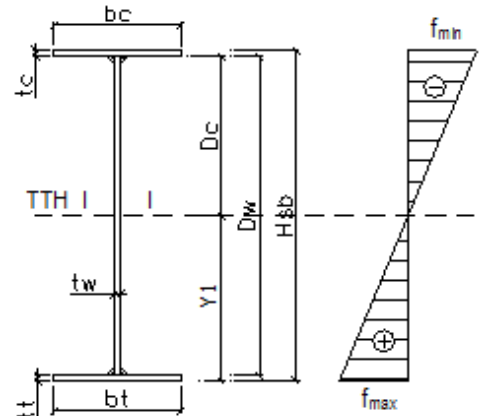
$$+ \text{Mômen quán tính bản cánh chịu kéo: } I_{kf} = \frac{b_t t_t^3}{12} + t_t \cdot b_t \cdot \left(Y_1 - \frac{t_t}{2} \right)^2$$

- + Mômen quán tính của tiết diện dầm thép:

$$I_{NC} = I_w + I_{cf} + I_{kf}$$

- Xác định mômen tĩnh của phần trên mặt cắt đối với TTH I-I:

$$S_{NC} = b_c \cdot t_c \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - \frac{t_c}{2} \right) + t_w \cdot \frac{(H_{sb} - Y_1 - t_c)^2}{2}$$



Hình 3.16: Mặt cắt dầm GDL.

3.4.1.3. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm chủ trong giai đoạn chảy dẻo:

a. Mặt cắt tính toán:

- Giai đoạn II: Mặt cắt bị chảy hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).

- Mặt cắt tính toán: Mặt cắt dầm thép.

b. Xác định vị trí trục trung hòa dẻo (PNA):

- Tính lực dẻo của các phần của mặt cắt dầm:

+ Lực dẻo tại bản cánh chịu kéo của dầm thép:

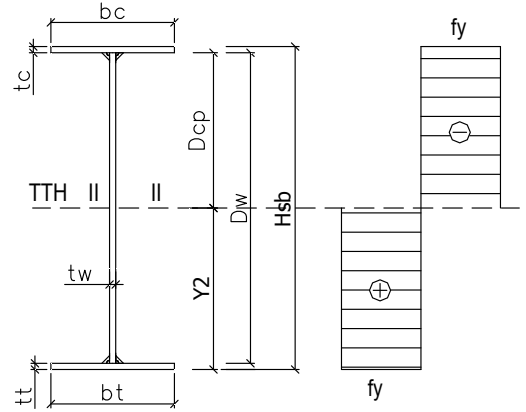
$$P_t = f_{yt} \cdot b_t \cdot t_t$$

+ Lực dẻo tại bản cánh chịu nén của dầm thép:

$$P_c = f_{yc} \cdot b_c \cdot t_c$$

+ Lực dẻo tại sườn dầm thép:

$$P_w = f_{yw} \cdot D_w \cdot t_w$$



Hình 3.17: Mặt cắt giai đoạn chảy dẻo.

- Vị trí trục trung hoà dẻo (PNA) được xác định như sau:

+ Nếu: $P_c > P_t + P_w \Rightarrow$ TTH đi qua bản cánh chịu nén.

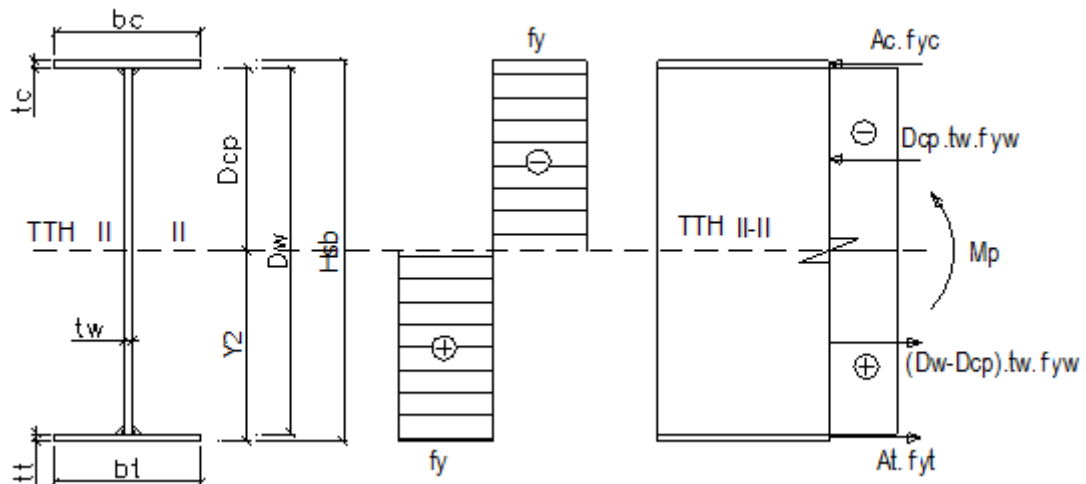
+ Nếu: $P_t > P_c + P_w \Rightarrow$ TTH đi qua bản cánh chịu kéo.

+ Nếu: $P_c < P_t + P_w$ và $P_t < P_c + P_w \Rightarrow$ TTH đi qua sườn dầm.

- Xác định chiều cao phần sườn dầm chịu nén:

1. Trường hợp trục trung hòa đi qua sườn dầm:

- Sơ đồ tính:



Hình 3.18: Sơ đồ xác định chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm.

- Viết phương trình cân bằng lực dọc theo phương ngang ta có công thức xác định chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm:

$$A_t \cdot f_{yt} + (D_w - D_{cp}) \cdot t_w \cdot f_{yw} = D_{cp} \cdot t_w \cdot f_{yw} + A_c \cdot f_{yc}$$

$$\Rightarrow D_{cp} = \frac{D_w}{2} \cdot \left(\frac{A_t \cdot f_{yt} - A_c \cdot f_{yc}}{A_w \cdot f_{yw}} + 1 \right)$$

Trong đó:

+ D_w : Chiều cao sườn dầm thép.

+ A_t, A_c : Diện tích cánh chịu kéo và cánh chịu nén.

+ A_w : Diện tích sườn dầm.
 + f_{yt}, f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của thép làm bản cánh chịu kéo và chịu nén.

+ f_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.

2. Các trường hợp khác:

- Trường hợp TTH đi qua bản cánh chịu nén thì chiều cao chịu nén của sườn dầm $D_{cp} = 0$ và coi như yêu cầu độ mảnh trong các mặt cắt đặc chắc đã thỏa mãn.

- Trường hợp TTH đi qua bản cánh chịu kéo thì chiều cao chịu nén của sườn dầm là $D_{cp} = D_w$.

c. Xác định các ĐTHH của mặt cắt:

- Diện tích mặt cắt:

$$A_{NC} = b_c \cdot t_c + D_w \cdot t_w + b_t \cdot t_t$$

- Khoảng cách từ đáy mặt cắt đến trục trung hòa II-II là:

$$Y_2 = H_{sb} - t_c - D_{cp}$$

- Xác định mômen quán tính của mặt cắt dầm đối với TTH II-II:

+ Mômen quán tính bản bụng: $I_w = \frac{t_w D_w^3}{12} + t_w \cdot D_w \cdot \left(\frac{D_w}{2} + t_t - Y_2 \right)^2$

+ Mômen quán tính bản cánh chịu nén: $I_{cf} = \frac{b_c t_c^3}{12} + t_c \cdot b_c \cdot \left(H_{sb} - Y_2 - \frac{t_c}{2} \right)^2$

+ Mômen quán tính bản cánh chịu kéo: $I_{tf} = \frac{b_t t_t^3}{12} + t_t \cdot b_t \cdot \left(Y_2 - \frac{t_t}{2} \right)^2$

+ Mômen quán tính của tiết diện dầm thép: $I_{NC} = I_w + I_{cf} + I_{tf}$

- Xác định mômen tĩnh của phần trên mặt cắt đối với TTH II - II:

$$S_{NC} = b_c \cdot t_c \cdot \left(H_{sb} - Y_2 - \frac{t_c}{2} \right) + t_w \cdot \frac{(H_{sb} - Y_2 - t_c)^2}{2}$$

3.4.1.4. Xác định Mômen chảy (M_y) và mômen dẻo (M_p):

a. Mômen chảy:

- Mômen chảy (M_y) ở mặt cắt không liên hợp được lấy bằng tổng các mômen tác dụng vào dầm thép, để gây ra trạng thái chảy đầu tiên ở một trong 2 cánh của dầm thép (không xét đến chảy ở sườn dầm của mặt cắt lai).

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$$

Trong đó:

+ M_{D1} : Mômen uốn do tĩnh giai đoạn I tác dụng trên mặt cắt dầm thép.

+ M_{D2} : Mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn II tác dụng trên mặt cắt.
 + M_{AD} : Mômen uốn bổ sung cần thiết để gây chảy ở một bản biên thép. Mômen này do hoạt tải gây ra.

- Trong quá trình tính toán nội lực tại cắt mặt cắt ta sẽ tính được giá trị mômen do tĩnh tải giai đoạn I gây ra là M_{D1} và mômen do tĩnh tải giai đoạn II gây ra là M_{D2} .

- Xác định mômen uốn bổ sung M_{AD} .

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{D1} :

$$f_1^t = -\frac{M_{D1}}{I_{NC}} y_I^t, \quad f_1^b = \frac{M_{D1}}{I_{NC}} y_I^b$$

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{D2} :

$$f_2^t = -\frac{M_{D2}}{I_{NC}} y_I^t, \quad f_2^b = \frac{M_{D2}}{I_{NC}} y_I^b$$

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{AD} .

$$f_3^t = -\frac{M_{AD}}{I_{NC}} y_I^t, \quad f_3^b = \frac{M_{AD}}{I_{NC}} y_I^b$$

+ Khi ứng suất cánh dầm thép đạt đến giới hạn chảy ta có:

$$f_1^t + f_2^t + f_3^t = -f_y \Rightarrow f_3^t = -f_y - f_1^t - f_2^t$$

$$f_1^b + f_2^b + f_3^b = f_y \Rightarrow f_3^b = f_y - f_1^b - f_2^b$$

+ Mômen uốn bổ sung: M_{AD}

$$M_{AD}^t = -\frac{f_3^t \cdot I_{NC}}{y_I^t} \quad \text{và} \quad M_{AD}^b = \frac{f_3^b \cdot I_{NC}}{y_I^b} \Rightarrow M_{AD} = \min(M_{AD}^t, M_{AD}^b)$$

=> Như vậy ta có: $M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$

Trong đó:

- + y_I^t, y_I^b : Khoảng cách từ TTH I-I đến mép trên và mép dưới của dầm thép.
- + I_{NC} : Mômen quán tính của mặt cắt dầm thép giai đoạn I.
- + M_{AD}^t, M_{AD}^b : Mômen uốn bổ sung cần thiết để gây ra trạng thái chảy đầu tiên ở mép trên và mép dưới của dầm thép.
- + f_y : Là giới hạn chảy của thép.

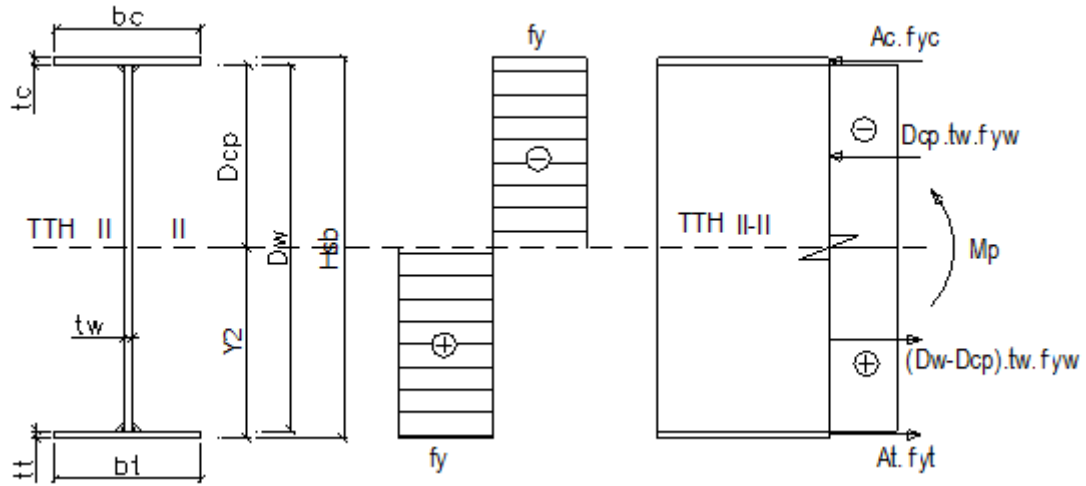
b. Mômen dẻo:

- Mômen dẻo (M_p) là mômen ứng với khi toàn mặt cắt đạt đến cường độ chảy. Khi tính mômen dẻo phải lấy mômen của các lực dẻo tại các phần của mặt cắt đối với trục trung hoà dẻo (PNA).

- Công thức tính mômen dẻo:
$$M_p = \sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i$$

Trong đó:

- + P_i : Là lực dểo thứ i .
- + Z_i : Khoảng cách từ điểm đặt của lực dểo thứ i đến trục trung hoà dểo.
- Trong trường hợp TTH đi qua sườn dầm ta có sơ đồ tính:



Hình 3.19: Sơ đồ tính mômen dểo của mặt cắt.

- Lấy tổng mômen các thành phần lực dểo đối với trục trung hoà dểo ta có:

$$M_p = A_c \cdot f_{yc} \cdot \left(D_{cp} + \frac{t_c}{2} \right) + t_w \cdot f_{yw} \cdot \frac{(D_w - D_{cp})^2}{2} + t_w \cdot f_{yw} \cdot \frac{D_{cp}^2}{2} + A_l \cdot f_{yl} \cdot \left(Y_2 - \frac{t_l}{2} \right)$$

- Trường hợp TTH đi qua bản cánh trên ta có sơ đồ tính:
- Trường hợp TTH đi qua bản cánh dưới ta có sơ đồ tính:

3.4.2. ĐTHH CỦA MẶT CẮT DÀM LIÊN HỢP CHỊU MÔMEN UỐN DƯƠNG:

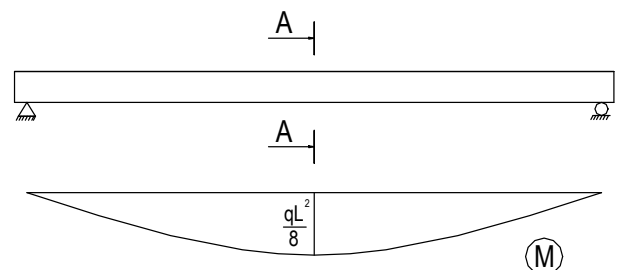
3.4.2.1. Khái niệm chung:

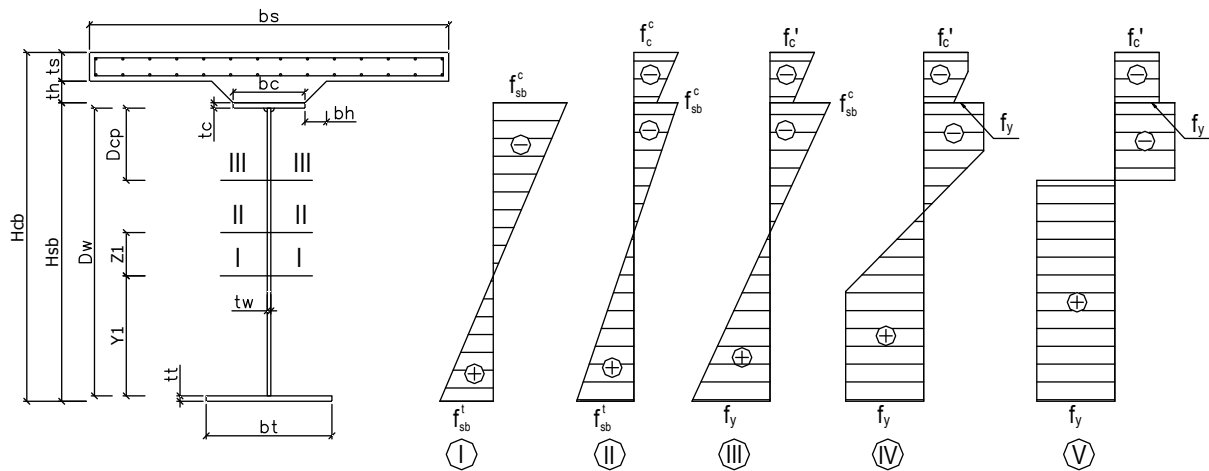
- Mặt cắt chịu mômen uốn dương thường gặp trong kết cấu nhịp giản đơn và mặt cắt trong khu vực giữa nhịp của kết cấu nhịp liên tục.

- Trong mặt cắt chịu mômen uốn dương thì bản cánh dưới của dầm thép sẽ chịu kéo còn bản cánh trên của dầm thép và bản bê tông sẽ chịu nén. Như vậy bản bê tông vừa đóng vai trò làm bản mặt cầu vừa tham gia chịu lực cùng với dầm chủ. Do bê tông chịu nén nên nó sẽ tham gia làm việc cùng với dầm thép cho đến tận giai đoạn chảy dẻo.

3.4.2.2. Sự phát triển ứng suất trong mặt cắt.

- Xét một mặt cắt dầm chủ chịu mômen uốn dương, khi đó mặt cắt chịu lực bất lợi là mặt cắt giữa nhịp với sự hình thành ứng suất như sau:





Hình 3.20: Biểu đồ ứng suất trên mặt cắt dầm.

Trong đó:

- + f_{sb}^t : Là ứng suất tại mép dầm thép chịu kéo.
- + f_{sb}^c : Là ứng suất tại mép dầm thép chịu nén.
- + f_c^c : Là ứng suất tại mép trên bản bê tông chịu nén.
- + f_c' : Cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày.
- + f_y : Giới hạn chảy của thép.
- + D_w : Chiều cao bản bụng.
- + H_{sb} : Chiều cao của mặt cắt dầm thép.(Steel Beam)
- + H_{cb} : Chiều cao của mặt cắt dầm liên hợp. (Composite Beam).
- + D_{cp} : Là chiều cao phần sườn dầm chịu nén giai đoạn chảy dẻo.
- Các giai đoạn phát triển ứng suất trên mặt cắt dầm chủ:
 - + Giai đoạn I: Mặt cắt dầm thép làm việc trong giới hạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn II: Bản bê tông đạt cường độ $80\%f_c'$ và tạo ra hiệu ứng liên hợp.Toàn bộ mặt cắt vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn III: Điểm ứng suất lớn nhất trên mặt cắt đã đạt đến giới hạn chảy, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen chảy (M_y).
 - + Giai đoạn IV: Một phần mặt cắt đã bị chảy, phần khác vẫn làm việc trong giới hạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn V: Mặt cắt bị chảy hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).
- Một mặt cắt chịu uốn từ lúc bắt đầu chịu lực cho đến khi phá hoại, phát triển tối đa qua 5 giai đoạn làm việc như vậy.
- Trong thực tế tính toán với mặt cắt dầm liên hợp chịu mômen uốn dương ta chỉ quan tâm đến 3 giai đoạn làm việc của mặt cắt đó là:
 - + Giai đoạn I: Mặt cắt dầm thép làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

+ Giai đoạn II: Bản bê tông đạt cường độ $80\%f_c$ và tạo ra hiệu ứng liên hợp. Toàn bộ mặt cắt vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

+ Giai đoạn III: Mặt cắt chảy dẻo hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).

3.4.2.3. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn I:

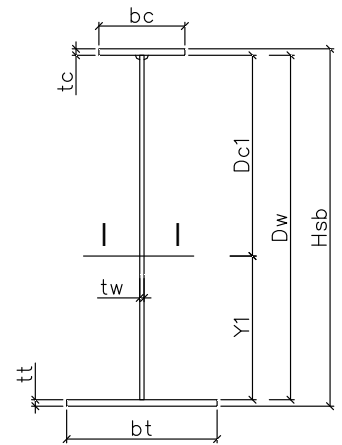
- Giai đoạn I: Khi thi công xong dầm thép và đã đổ bản bê tông mặt cầu, tuy nhiên giữa dầm thép và bản bê tông chưa tạo ra hiệu ứng liên hợp.

- Mặt cắt tính toán: Mặt cắt dầm thép.

- Diện tích mặt cắt dầm thép:

$$A_{NC} = b_c t_c + D_w t_w + b_t t_t$$

- Xác định mômen tĩnh của tiết diện với trục đi qua đáy dầm thép:



Hình 3.21: Mặt cắt dầm giai đoạn I.

$$S_o = b_c t_c \left(H_{sb} - \frac{t_c}{2} \right) + D_w t_w \left(\frac{D_w}{2} + t_t \right) + b_t t_t \cdot \frac{t_t}{2}$$

- Khoảng cách từ đáy dầm đến TTH mặt cắt giai đoạn I:

$$Y_1 = \frac{S_o}{A_{NC}}$$

- Chiều cao phần sườn dầm chịu nén: $D_{c1} = H_{sb} - t_c - Y_1$

- Xác định mômen quán tính của mặt cắt dầm đối với TTH I-I:

+ Mômen quán tính bản bụng:
$$I_w = \frac{t_w D_w^3}{12} + t_w D_w \left(\frac{D_w}{2} + t_t - Y_1 \right)^2$$

+ Mômen quán tính bản cánh chịu nén:
$$I_{cf} = \frac{b_c t_c^3}{12} + t_c b_c \left(H_{sb} - Y_1 - \frac{t_c}{2} \right)^2$$

+ Mômen quán tính bản cánh chịu kéo:
$$I_{kf} = \frac{b_t t_t^3}{12} + t_t b_t \left(Y_1 - \frac{t_t}{2} \right)^2$$

+ Mômen quán tính của tiết diện dầm thép:
$$I_{NC} = I_w + I_{cf} + I_{kf}$$

- Xác định mômen tĩnh của phần trên mặt cắt dầm thép đối với TTH I-I:

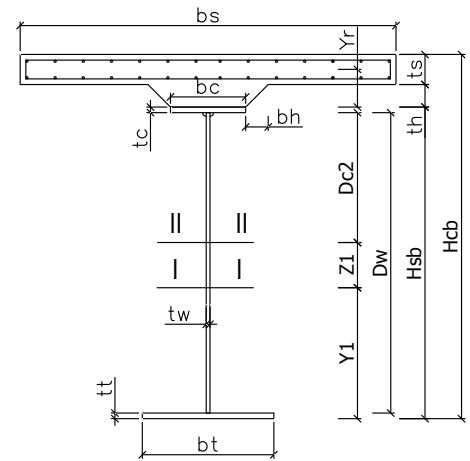
$$S_{NC} = b_c t_c \left(H_{sb} - Y_1 - \frac{t_c}{2} \right) + t_w \cdot \frac{(H_{sb} - Y_1 - t_c)^2}{2}$$

3.4.2.4. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn II:

a. Mặt cắt tính toán:

- Giai đoạn II: Khi bản mặt cầu đã đạt cường độ và tham gia làm việc tạo ra hiệu ứng liên hợp giữa dầm thép và bản BTCT.

- Mặt cắt tính toán là mặt cắt liên hợp => Đặc trưng hình học mặt cắt giai đoạn II là đặc trưng hình học của tiết diện liên hợp.



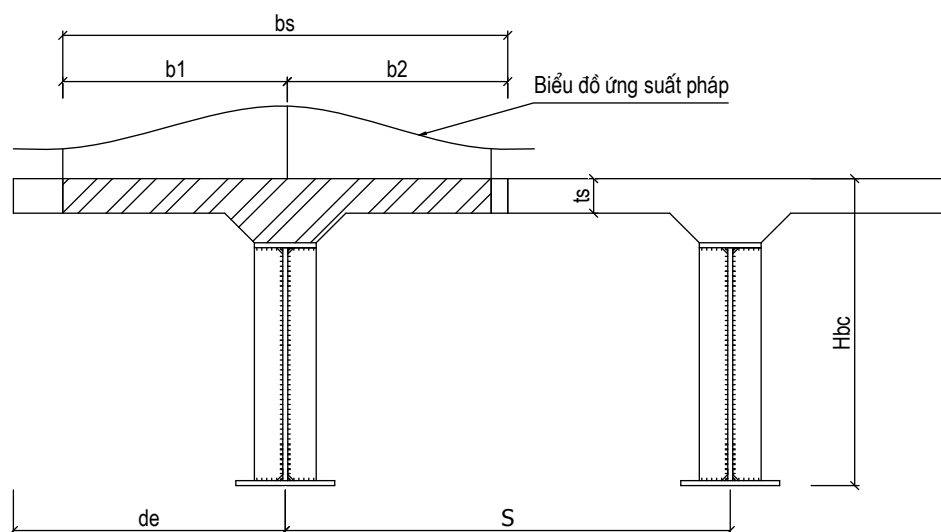
Hình 3.22: Mặt cắt dầm chủ giai đoạn II.

b. Xác định bề rộng tính toán của bản bê tông:

- Trong tính toán không phải toàn bộ bản bê tông mặt cầu tham gia làm việc chung với dầm thép theo phương dọc cầu. Bề rộng bản bê tông làm việc chung với dầm thép hay còn gọi là bề rộng có hiệu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như chiều dài tính toán của dầm, khoảng cách giữa các dầm chủ và bề dày bản bê tông mặt cầu. Các quy trình khác nhau có những quy định khác nhau về bề rộng có hiệu này nhưng tựu chung lại đây là phần bề rộng chịu lực chính cùng dầm chủ, ngoài bề rộng này bản bê tông chủ yếu làm việc theo phương ngang cầu, nội lực khi làm việc theo phương dọc cầu là nhỏ.

- Khi tính bề rộng bản cánh dầm hữu hiệu, chiều dài nhịp hữu hiệu có thể lấy bằng nhịp thực tế đối với các nhịp giản đơn và bằng khoảng cách giữa các điểm thay đổi mômen uốn (điểm uốn của biểu đồ mômen) của tải trọng thường xuyên đối với các nhịp liên tục, thích hợp cả mômen âm và dương.

- Theo 22TCN 272-05 bề rộng bản cánh (bản bê tông) lấy như sau:



Hình 3.23: Xác định bề rộng tính toán của bản cánh.

- Xác định b_1 : Lấy giá trị nhỏ nhất trong các giá trị sau:

$$+ 1/8L_{tt}$$

$$+ 6.t_s + \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} t_w \\ \frac{1}{4} b_c \end{array} \right.$$

+ de

- Xác định b_2 : Lấy giá trị nhỏ nhất trong các giá trị sau:

$$+ 1/8. L_{tt}$$

$$+ 6.t_s + \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} t_w \\ \frac{1}{4} b_c \end{array} \right.$$

$$+ S/2$$

⇒ Bề rộng tính toán của bản cánh (bản bê tông):

$$+ \text{Đối với dầm biên: } b_s = b_1 + b_2$$

$$+ \text{Đối với dầm biên: } b_s = 2b_2$$

Trong đó:

+ L_{tt} : Chiều dài tính toán nhịp.

+ t_s : Chiều dày bản bê tông mặt cầu.

+ b_s : Bề rộng tính toán của bản bê tông.

+ S : Khoảng cách giữa các dầm chủ.

+ b_c : Bề rộng bản cánh trên của dầm thép.

+ t_w : Chiều dày bản bụng của dầm thép.

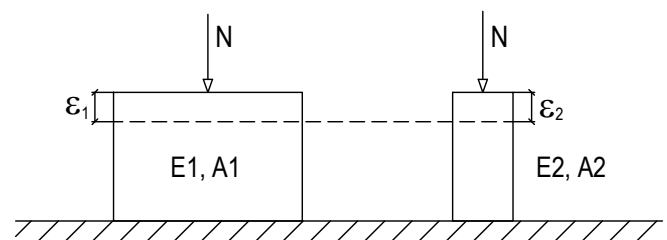
+ d_e : Chiều dài phần cánh hẫng.

c. Quy đổi từ bê tông sang thép:

- Vì tiết diện liên hợp có hai loại vật liệu là thép và bê tông nên khi tính đặc trưng hình học của mặt cắt dầm thì ta quy đổi từ mặt cắt hỗn hợp về mặt cắt thuần nhất theo 2 nguyên tắc sau:

* Nguyên tắc biến dạng tương đương: biến dạng của phần vật liệu tính đổi trước và sau khi tính đổi phải bằng nhau.

Giả sử có vật liệu chịu nén với các đặc trưng hình học E_1, F_1 (như hình vẽ), sau khi tính đổi có đặc trưng hình học là E_2, F_2 .



Hình 3.24: Biến dạng tương đương.

$$\text{Ta có: } \varepsilon_f = \frac{f_1}{E_1} = \frac{N}{E_1 \cdot A_1}; \quad \varepsilon_2 = \frac{f_2}{E_2} = \frac{N}{E_2 \cdot A_2}$$

Mà: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \Rightarrow \frac{N}{E_1 \cdot A_1} = \frac{N}{E_2 \cdot A_2} \Rightarrow A_2 = A_1 \cdot \frac{E_1}{E_2} = \frac{A_1}{n}$ Với: $n = \frac{E_2}{E_1}$

⇒ Như vậy ta tính đổi phần BT sang thép thông qua hệ số n là tỷ số giữa mô đun đàn hồi của thép và bê tông.

+ Trường hợp chịu lực ngắn hạn (không xét hiện tượng từ biến của bê tông) :

$$n = \frac{E_s}{E_c}$$

+ Trường hợp chịu lực dài hạn (có xét hiện tượng từ biến của bê tông) :

$$n' = \frac{E_s}{E_c^{gd}}$$

Trong đó:

+ E_s : Là mô đun đàn hồi của thép, $E_s = 2,1.10^6 \text{ kG/cm}^2$.

+ E_c : Là mô đun đàn hồi của bê tông phụ thuộc vào loại bê tông.

+ E_c^{gd} : Là mô đun đàn hồi giả định của bê tông khi có xét đến hiện tượng từ biến, thường lấy $E_c^{gd} = 0,33.E_{bt}$

$$E_c = 0,043\gamma_c^{1,5}\sqrt{f_c'},$$

Với: + γ_c : Trọng lượng riêng của bê tông, với bê tông thông thường có thể lấy :

$$\gamma_c = 2500 \text{ kG/m}^3$$

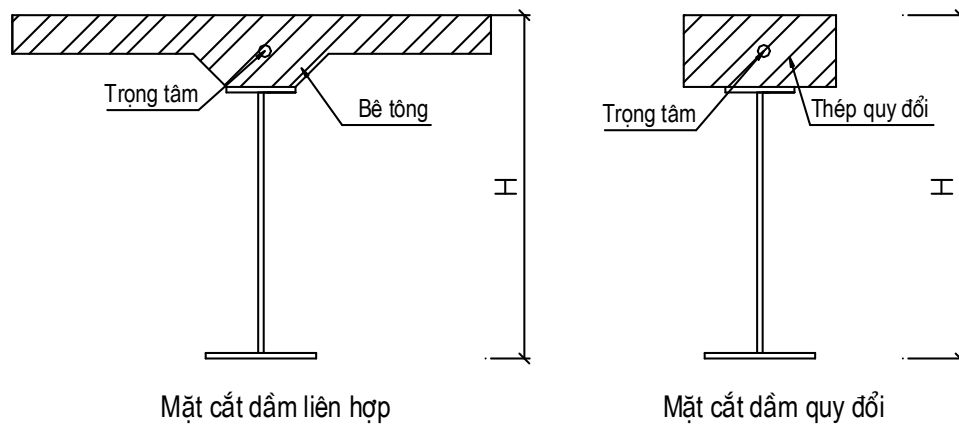
+ f_c' : Cường độ quy định của bê tông ở tuổi 28 ngày, trong cầu dầm liên hợp có thể lấy $f_c' = 28 \text{ Mpa}$.

BẢNG 3.6: HỆ SỐ QUY ĐỔI TỪ BÊ TÔNG SANG THÉP

STT	f_c' (MPa)	n	$n' = 3n$
1	$16 \leq f_c' < 20$	10	30
2	$20 \leq f_c' < 25$	9	27
3	$25 \leq f_c' < 32$	8	24
4	$32 \leq f_c' < 41$	7	21
5	$41 \leq f_c'$	6	18

⇒ Khi tính toán phần bê tông bản mặt cầu được tính đổi sang thép bằng cách chia đặc trưng hình học của phần bê tông cho hệ số n hoặc n' .

* Trọng tâm mặt cắt trước và sau khi quy đổi vẫn giữ nguyên:



Hình 3.25: Quy đổi mặt cắt dầm chủ.

d. Đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp ngắn hạn (Shortterm section):

- Mặt cắt liên hợp ngắn hạn được sử dụng để tính toán đối với các tải trọng ngắn hạn như hoạt tải, trong giai đoạn này ta không xét đến hiện tượng từ biến.

- Đặc trưng của cốt thép trong bản bê tông.

+ Diện tích cốt thép ở lưới trên: $A_{rt} = n_{rt} \cdot \frac{\pi \cdot d_{rt}^2}{4}$

+ Diện tích cốt thép ở lưới dưới: $A_{rb} = n_{rb} \cdot \frac{\pi \cdot d_{rb}^2}{4}$

+ Diện tích cốt thép trong bản: $A_r = A_{rt} + A_{rb}$

+ Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép bản đến mép trên của dầm thép:

$$Y_r = \frac{A_{rt} \cdot (t_s + t_h - a_{rt}) + A_{rb} \cdot (a_{rb} + t_h)}{A_{rt} + A_{rb}}$$

Trong đó:

+ n_{rt} , d_{rt} , A_{rt} : Số thanh, đường kính và diện tích cốt thép ở lưới trên.

+ n_{rb} , d_{rb} , A_{rb} : Số thanh, đường kính và diện tích cốt thép ở lưới dưới.

+ a_{rt} , a_{rb} : Khoảng cách từ tim lưới cốt thép trên và dưới đến mép bản bê tông.

+ t_s : Chiều dày bản bê tông.

+ t_h : Chiều dày của vút dầm.

+ Y_r : Khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép trong bản đến mép trên dầm thép.

- Tính diện tích mặt cắt:

+ Diện tích bản bê tông:

$$A_s = b_s \cdot t_s + b_c \cdot t_h + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_h \cdot t_h$$

+ Diện tích tính đổi của mặt cắt:

$$A_{ST} = A_{NC} + \frac{A_s}{n} + A_r$$

Trong đó:

+ A_r : Diện tích cốt thép bố trí trong bản bê tông.

+ A_{NC} : Diện tích dầm thép.

+ A_{ST} : Diện tích của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

- Mômen tĩnh của tiết diện liên hợp đối với TTH I-I của tiết diện thép.

$$S_x^I = \frac{1}{n} \left\{ b_s \cdot t_s \cdot \left(H_{sb} - Y_1 + t_h + \frac{t_s}{2} \right) + b_c t_h \left(H_{sb} - Y_1 + \frac{t_h}{2} \right) + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot t_h \cdot b_h \left(H_{sb} - Y_1 + \frac{2}{3} \cdot t_h \right) \right\} + A_r (H_{sb} - Y_1 + Y_r)$$

- Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện dầm thép đến trọng tâm tiết diện liên hợp (khoảng cách từ TTH I-I đến TTH II-II).

$$Z_1 = \frac{S_x^I}{A_{ST}}$$

- Chiều cao phần sườn dầm chịu nén: $D_{c2} = H_{sb} - t_c - Y_1 - Z_1$

- Xác định mômen quán tính của tiết diện liên hợp:

+ Mômen quán tính của phần dầm thép: $I_{NC}^{II} = I_{NC}^I + A_{NC} \cdot Z_1^2$

+ Mômen quán tính của phần bản bê tông:

$$I_s = \frac{1}{n} \left(\frac{b_s \cdot t_s^3}{12} + b_s \cdot h_s \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + t_h + \frac{t_s}{2} \right)^2 \right)$$

+ Mômen quán tính của phần vút bản cánh:

$$I_h = \frac{1}{n} \left(\frac{b_c \cdot t_h^3}{12} + b_c \cdot t_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{t_h}{2} \right)^2 + 2 \cdot \frac{b_h \cdot t_h^3}{36} + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_h \cdot t_h \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{2}{3} t_h \right)^2 \right)$$

+ Mômen quán tính của phần cốt thép trong bản: $I_r = A_r \cdot (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + Y_r)^2$

+ Mômen quán tính của tiết diện liên hợp:

$$I_{ST} = I_{NC}^{II} + I_s + I_h + I_r$$

- Xác định mômen tĩnh của bản bê tông với TTH II-II của tiết diện liên hợp:

$$S_s = \frac{1}{n} \left\{ (b_1 + b_2) t_s \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + t_h + \frac{t_s}{2} \right) + b_c t_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{t_h}{2} \right) + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot t_h \cdot b_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{2}{3} t_h \right) \right\} + A_r (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + Y_r)$$

e. Đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp dài hạn (Longterm section):

- Mặt cắt liên hợp dài hạn được sử dụng để tính toán đối với các tải trọng lâu dài như tĩnh tải giai đoạn II khi đó ta phải xét đến ảnh hưởng của hiện tượng từ biến.

- Trong trường hợp có xét đến hiện tượng từ biến thì các đặc trưng hình của mặt cắt được tính tương tự như khi không xét đến từ biến, chỉ thay hệ số n bằng n' .

- Các ĐTHH của mặt cắt liên hợp dài hạn là:

+ A_{LT} : Diện tích mặt cắt liên hợp dài hạn.

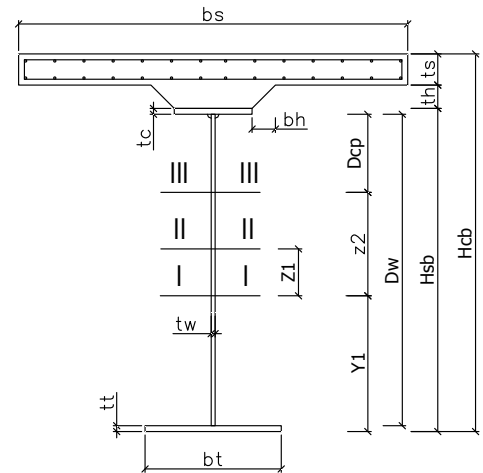
+ I_{LT} : Mômen quán tính của mặt cắt liên hợp dài hạn.

3.4.2.5. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm trong giai đoạn chảy dẻo:

a. Mặt cắt tính toán:

- Giai đoạn III: Khi ứng suất trên toàn mặt cắt đều đạt đến giới hạn chảy.

- Mặt cắt tính toán là mặt cắt liên hợp bao gồm dầm thép, bản bê tông và cốt thép trong bản.



Hình 3.26: Mặt cắt dầm giai đoạn chảy dẻo.

b. Xác định vị trí trục trung hòa của mặt cắt:

- Để xác định vị trí trục trung hòa dẻo ta có thể tiến hành theo trình tự sau:

+ Giả định vị trí trục trung hòa dẻo, chẳng hạn nằm trên sườn dầm khi đó sẽ có một số ần lán khoảng cách từ trục trung hòa dẻo đến mép trên hoặc mép dưới dầm thép.

+ Tính lực dẻo của các phần: cánh dầm thép, sườn dầm thép, cốt thép dọc (trong tính toán có thể bỏ qua cốt thép dọc), bê tông ở vùng chịu nén. Lực dẻo ở mỗi phần bằng diện tích của phần đó nhân với cường độ chảy tương ứng.

+ Lực dẻo trong phần bê tông chịu nén được tính dựa trên cơ sở: quan hệ tự nhiên giữa ứng suất trong bê tông chịu nén và ứng biến, có thể coi như một khối hình chữ nhật tương đương có cạnh $0,85f_c'$ phân bố trên một vùng giới hạn bởi mặt ngoài cùng chịu nén và đường thẳng song song với trục trung hòa cách thứ chịu nén ngoài cùng một khoảng cách $a = \beta_1 c$. Khoảng cách c phải được tính vuông góc với trục trung hòa. Hệ số β_1 lấy bằng 0,85 đối với bê tông có cường độ không lớn hơn 28MPa. Với bê tông có cường độ lớn hơn 28MPa thì β_1 giảm đi theo tỉ lệ 0,05 cho từng 7MPa vượt quá 28MPa, nhưng không lấy nhỏ hơn 0,65.

Chú ý: c : là khoảng cách từ thớ chịu nén ngoài cùng đến TTH nếu TTH rơi vào bản BTCT. Trong trường hợp TTH không rơi vào bản BTCT thì c có thể được lấy là:

1. Chiều dày bản bê tông nếu bản không có vút hoặc xem như bỏ qua phần bê tông chịu nén ở vút.

2. Chiều dày tính đối của bản bê tông khi có xét đến cả phần vút dầm.

3. f_c' : Cường độ nén quy định của bê tông ở tuổi 28 ngày (MPa).

+ Cân bằng các lực dẽo ở các phần kéo và nén sẽ xác định được ần số khi giả định vị trí TTH.

+ Kiểm tra lại vị trí TTH theo ần số đã tìm được, nếu phù hợp thì ngừng tính toán còn nếu không phù hợp thì phải giả định lại vị trí TTH và lặp lại quá trình trên.

- Tính lực dẽo của các phần của mặt cắt dầm:

+ Lực dẽo tại bản cánh chịu kéo của dầm thép: $P_t = f_{yt} \cdot b_t \cdot t_t$

+ Lực dẽo tại bản cánh chịu nén của dầm thép: $P_c = f_{yc} \cdot b_c \cdot t_c$

+ Lực dẽo tại sườn dầm thép: $P_w = f_{yw} \cdot D_w \cdot t_w$

+ Lực dẽo tại trọng tâm bản bê tông: $P_s = 0,85 \cdot f_c' \cdot A_s$

+ Lực dẽo xuất hiện tại cốt thép bản phía trên: $P_{rt} = f_{yrt} \cdot A_{rt}$

+ Lực dẽo xuất hiện tại cốt thép bản phía dưới: $P_{rb} = f_{yrb} \cdot A_{rb}$

- Vị trí trục trung hòa dẽo (PNA) được xác định như sau:

+ Nếu: $P_t + P_w > P_c + P_{rb} + P_s + P_{rt} \Rightarrow$ TTH đi qua sườn dầm.

+ Nếu: $P_t + P_w < P_c + P_{rb} + P_s + P_{rt}$ và $P_t + P_w + P_c > P_{rb} + P_s + P_{rt}$

\Rightarrow TTH đi qua bản cánh trên.

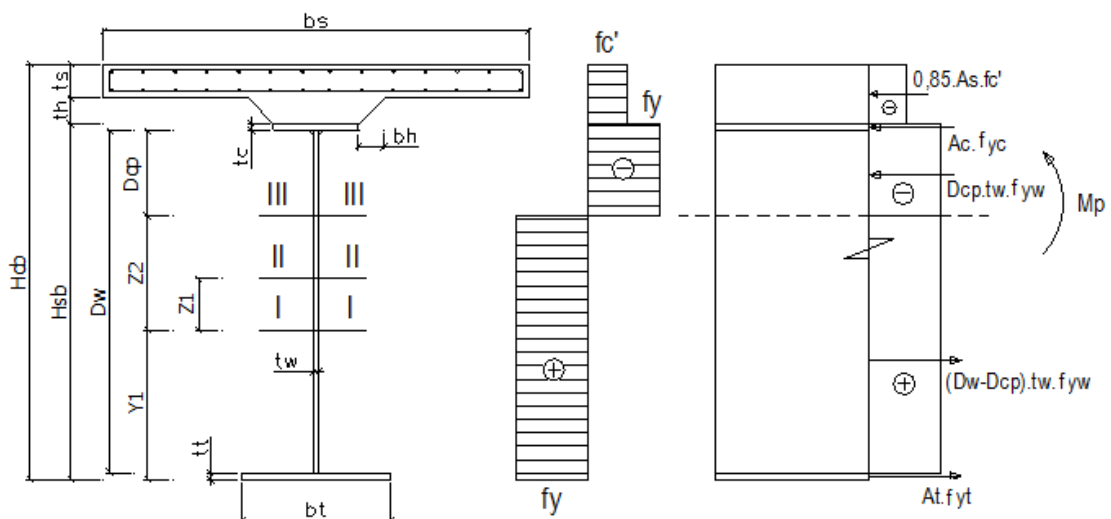
+ Nếu: $P_t + P_w + P_c < P_{rb} + P_s + P_{rt} \Rightarrow$ TTH đi qua bản bê tông.

Trong trường hợp TTH đi qua trọng tâm bản bê tông về nguyên tắc ta phải xét xem TTH ở trên hay ở dưới so với cốt thép trên và cốt thép dưới để có được công thức tính toán chính xác. Trong tính toán ta có thể bỏ qua phần cốt thép của bản bê tông mặt cầu do đó ta chỉ cần xác định TTH đi qua bản bê tông là được.

- Xác định chiều cao phần sườn dầm chịu nén:

1. Trường hợp trục trung hòa đi qua sườn dầm:

+ Sơ đồ tính:



Hình 3.27: Sơ đồ xác định chiều cao vùng chịu nén.

+ Viết phương trình cân bằng lực dọc theo phương ngang ta có công thức xác định chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm:

$$D_{cp} = \frac{D_w}{2} \left(\frac{f_{yt} A_t - f_{yc} A_c - 0,85 f'_c A_s - f_{yr} A_r}{f_{yw} A_w} + 1 \right)$$

Trong đó:

- + D_w : Chiều cao sườn dầm thép.
- + A_t, A_c : Diện tích cánh chịu kéo và cánh chịu nén.
- + A_w : Diện tích sườn dầm.
- + A_r : Diện tích cốt thép dọc trong bản bê tông.
- + f_{yt}, f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của thép làm cánh chịu kéo và cánh chịu nén.
- + f_{yr} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cốt thép dọc.
- + f_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.
- + f'_c : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bê tông bản ở tuổi 28 ngày.
- + A_s : Diện tích bản bê tông.

2. *Các trường hợp khác*: Trường hợp TTH đi qua bản cánh chịu nén hoặc đi qua bản bê tông thì chiều cao chịu nén của sườn dầm $D_{cp} = 0$ và coi như yêu cầu độ mảnh trong các mặt cắt đặc chắc đã thỏa mãn.

c. *Đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp ngắn hạn (Short term Section):*

- Mặt cắt liên hợp ngắn hạn được sử dụng để tính toán đối với các tải trọng ngắn hạn như hoạt tải, trong giai đoạn này ta không xét đến hiện tượng từ biến.

- Tính diện tích mặt cắt:

+ Diện tích bản bê tông:

$$A_s = b_s t_s + b_c t_h + 2 \cdot \frac{1}{2} b_h t_h$$

+ Diện tích tính đôi của mặt cắt:

$$A_{ST} = A_{NC} + \frac{A_s}{n} + A_r$$

Trong đó:

- + A_r : Diện tích cốt thép bố trí trong bản bê tông.
- + A_{NC} : Diện tích mặt cắt dầm thép.
- + A_{ST} : Diện tích mặt cắt liên hợp ngắn hạn.
- Khoảng cách từ TTH I-I đến TTH III-III là: $Z_2 = D_w + t_t - D_{cp} - Y_1$
- Xác định mômen quán tính của tiết diện liên hợp:

+ Mômen quán tính của phần dầm thép:

$$I_{NC}^{III} = I_{NC}^I + A_{NC} \cdot Z_2^2$$

+ Mômen quán tính của phần bản bê tông:

$$I_s = \frac{1}{n} \left(\frac{b_s \cdot t_s^3}{12} + b_s \cdot t_s \left(H_{sb} - Y_1 - Z_2 + t_h + \frac{t_s}{2} \right)^2 \right)$$

+ Mômen quán tính của phần vút bản cánh:

$$I_h = \frac{1}{n} \left(\frac{b_c \cdot t_h^3}{12} + b_c \cdot t_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_2 + \frac{t_h}{2} \right)^2 + 2 \cdot \frac{b_h \cdot t_h^3}{36} + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_h \cdot t_h \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - Z_2 + \frac{2}{3} t_h \right)^2 \right)$$

+ Mômen quán tính của cốt thép trong bản bê tông: $I_r = A_r \cdot (D_{cp} + t_c + Y_r)^2$

+ Mômen quán tính của tiết diện liên hợp: $I_{ST} = I_{NC}^{III} + I_s + I_h + I_r$

- Xác định mômen tĩnh của bản BTCT với TTH III-III:

$$S_s = \frac{1}{n} \left\{ (b_1 + b_2) t_s \left(H_{sb} - Y_1 - Z_2 + t_h + \frac{t_s}{2} \right) + b_c t_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_2 + \frac{t_h}{2} \right) + 2 \cdot \frac{1}{2} t_h b_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_2 + \frac{2}{3} t_h \right) \right\} + A_r (D_{cp} + t_c + Y_r)$$

d. Đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp dài hạn (Long term Section):

- Mặt cắt liên hợp dài hạn được sử dụng để tính toán đối với các tải trọng lâu dài như tĩnh tải khi đó ta phải xét đến hiện tượng từ biến.

- Trong trường hợp có xét đến hiện tượng từ biến thì các đặc trưng hình học của mặt cắt được tính tương tự như khi không xét đến từ biến, chỉ thay hệ số n bằng n'.

3.4.2.6. Xác định mômen chảy và mômen dẻo:

a. Mômen chảy (M_y):

- Mômen chảy (M_y) ở mặt cắt liên hợp được lấy bằng tổng các mômen tác dụng vào dầm thép, mặt cắt liên hợp ngắn hạn và dài hạn để gây ra trạng thái chảy đầu tiên ở một trong 2 cánh của dầm thép (không xét đến chảy ở sườn dầm của mặt cắt lại).

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$$

Trong đó:

+ M_{D1}: Mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn I tác dụng trên mặt cắt dầm thép.

+ M_{D2}: Mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn II, co ngót, ... tác dụng trên mặt cắt liên hợp dài hạn.

+ M_{AD}: Mômen uốn bổ sung cần thiết để gây chảy ở một bản biên thép. Mômen này do hoạt tải gây ra và được tính toán theo ĐTHH của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

- Trong quá trình tính toán nội lực tại mặt cắt ta sẽ tính được giá trị mômen do tĩnh tải giai đoạn I gây ra là M_{D1} và mômen do tĩnh tải giai đoạn II gây ra là M_{D2}.

- Xác định mômen uốn bổ sung M_{AD} :

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{D1} :

$$f_1^t = -\frac{M_{D1}}{I_{NC}} y_I^t, \quad f_1^b = \frac{M_{D1}}{I_{NC}} y_I^b$$

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{D2} :

$$f_2^t = -\frac{M_{D2}}{I_{LT}} y_{II'}^t, \quad f_2^b = \frac{M_{D2}}{I_{LT}} y_{II'}^b$$

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{AD} :

$$f_3^t = -\frac{M_{AD}}{I_{ST}} y_{II}^t, \quad f_3^b = \frac{M_{AD}}{I_{ST}} y_{II}^b$$

+ Khi ứng suất cánh dầm thép đạt đến giới hạn chảy ta có:

$$f_1^t + f_2^t + f_3^t = -f_y \Rightarrow f_3^t = -f_y - f_1^t - f_2^t$$

$$f_1^b + f_2^b + f_3^b = f_y \Rightarrow f_3^b = f_y - f_1^b - f_2^b$$

+ Mômen uốn bổ sung: M_{AD}

$$M_{AD}^t = -\frac{f_3^t \cdot I_{ST}}{y_{II}^t} \quad \text{và} \quad M_{AD}^b = \frac{f_3^b \cdot I_{ST}}{y_{II}^b} \Rightarrow M_{AD} = \min(M_{AD}^t, M_{AD}^b)$$

=> Như vậy ta có: $M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$

Trong đó:

+ y_I^t, y_I^b : Khoảng cách từ TTH I-I đến mép trên và mép dưới của dầm thép.

+ $y_{II'}^t, y_{II'}^b$: Khoảng cách từ TTH II-II' đến mép trên và mép dưới của dầm thép.

+ y_{II}^t, y_{II}^b : Khoảng cách từ TTH II-II đến mép trên và mép dưới của dầm thép.

+ TTH II-II là của mặt cắt liên hợp ngắn hạn, và TTH II-II' là của mặt cắt liên hợp dài hạn.

+ I_{NC} : Mômen quán tính của mặt cắt dầm thép.

+ I_{ST}, I_{LT} : Mômen quán tính của mặt cắt liên hợp ngắn hạn và dài hạn.

+ M_{AD}^t, M_{AD}^b : Mômen uốn bổ sung cần thiết để gây ra trạng thái chảy đầu tiên ở mép trên và mép dưới của dầm thép.

+ f_y : Là giới hạn chảy của thép.

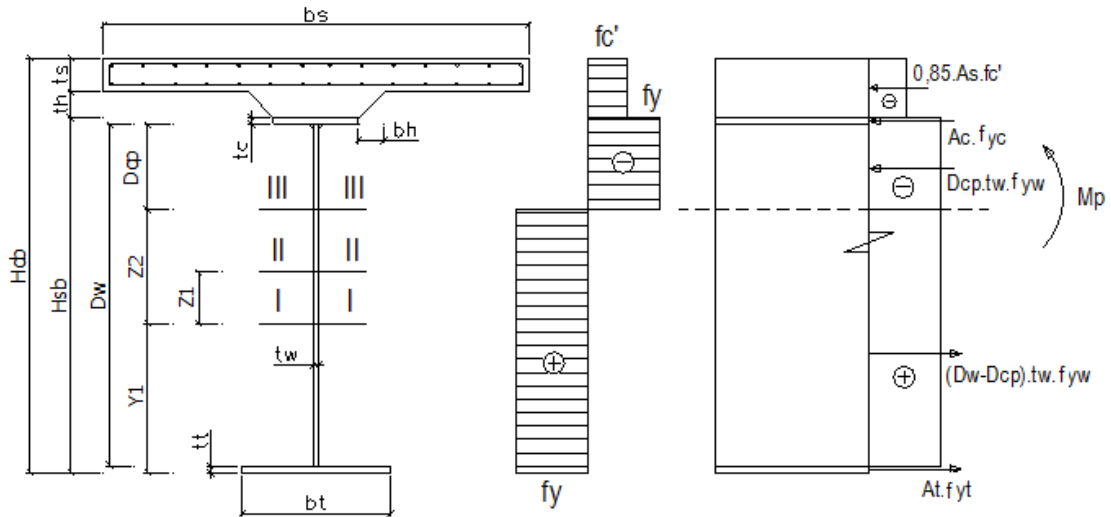
b. Mômen dẻo (M_p):

- Mômen dẻo (M_p) là mômen ứng với khi toàn mặt cắt trừ phần bê tông chịu kéo đạt đến cường độ chảy. Khi tính mômen dẻo phải lấy mômen của các lực dẻo tại các phần của mặt cắt đối với trục trung hòa dẻo.

- Công thức tính mômen dẻo:
$$M_p = \sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i$$

Trong đó:

- + P_i : Là lực dểo thứ i .
- + Z_i : Khoảng cách từ điểm đặt của lực dểo thứ i đến trục trung hòa dểo.
- Trong trường hợp TTH đi qua sườn dầm ta có sơ đồ tính:



Hình 3.28: Sơ đồ tính mômen dểo của mặt cắt.

Giá trị mômen dểo của mặt cắt được tính theo công thức:

$$M_p = 0,85.A_s.f_c'.(D_{cp} + t_c + Z_s) + A_c.f_{yc}.(D_{cp} + \frac{t_c}{2}) + f_{yw}.t_w.\frac{D_{cp}^2}{2} + f_{yw}.t_w.\frac{(D_w - D_{cp})^2}{2} + A_t.f_{yt}.(D_w - D_{cp} + \frac{t_t}{2})$$

Trong đó:

- + Z_s : Là khoảng cách từ trọng tâm bản bê tông đến mép trên của dầm thép.

$$Z_s = \frac{b_s.t_s(\frac{t_s}{2} + t_h) + b_c.t_h.\frac{t_h}{2} + b_h.t_h.\frac{2.t_h}{3}}{b_s.t_s + b_c.t_h + b_h.t_h}$$

- + Bỏ qua cốt thép trong bản bê tông.

- Trường hợp TTH đi qua bản cánh trên ta có sơ đồ tính:
- Trường hợp TTH đi qua bản bê tông ta có sơ đồ tính:

3.4.3. ĐTHH CỦA MẶT CẮT DÀM LIÊN HỢP CHỊU MÔMEN UỐN ÂM:

3.4.3.1. Khái niệm chung:

- Mặt cắt có mômen uốn âm là mặt cắt trên đỉnh trụ, thường chỉ có đối với kết cấu nhịp cầu liên tục.
- Khi tính toán ứng suất trong giai đoạn chảy dẻo không phân biệt dài hạn hay ngắn hạn, có xét từ biến hay không xét từ biến.

- Mặt cắt tính toán: Là mặt cắt liên hợp bao gồm mặt cắt dầm thép và cốt thép trong phạm vi bề rộng bản cánh hữu hiệu.

- Cốt thép dọc trong vùng có mômen âm phải đảm bảo:

+ Cốt thép có số hiệu lớn hơn N^o19: tức là $f > 18,8\text{mm}$.

+ Giới hạn chảy dẻo của thép: $f_y > 420\text{MPa}$.

+ Hàm lượng cốt thép tối thiểu:

$$\frac{A_r}{A_s} \geq 1\%$$

Trong đó:

+ A_r : Diện tích cốt thép trong bản tại vùng có mômen âm.

+ A_s : Diện tích mặt cắt ngang bản bê tông.

- Cốt thép dọc phải được bố trí thành 2 lớp và phân bố đều trên suốt bề rộng bản. Hai phần ba số lượng thép phải đặt ở lớp trên, khoảng cách giữa các cốt thép trong mỗi lớp $@ \geq 150\text{mm}$.

- Có thể bố trí neo chống cắt ở miền chịu mômen uốn âm. Khi không có neo chống cắt thì thông thường cốt thép dọc phải được kéo dài đến miền uốn dương và vượt quá neo chống cắt một đoạn lớn hơn chiều dài khai triển. Chiều dài này không nhỏ hơn các trị số sau:

+ Chiều cao hữu hiệu của mặt cắt dầm.

+ 12ϕ .

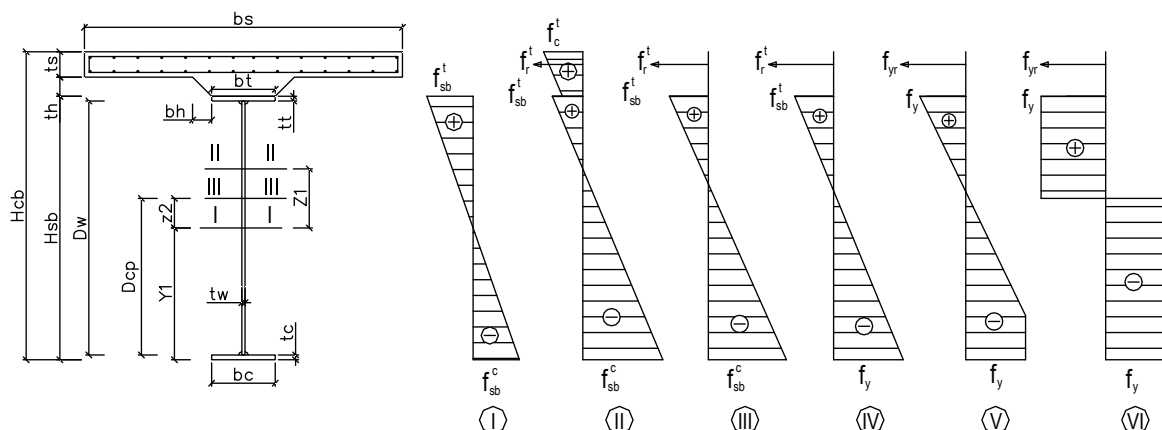
+ $0,0625L_{tt}$.

Với: ϕ là đường kính cốt thép chịu lực của thớ trên.

3.4.3.2. Sự phát triển ứng suất trong mặt cắt chịu mômen uốn âm:

- Cầu dầm liên hợp có bản mặt cầu được làm bằng bê tông cốt thép. Khi đó bản mặt cầu vừa đóng vai trò tạo ra mặt đường xe chạy và vừa tham gia làm việc cùng với dầm chủ.

- Xét một liên hợp liên tục chịu uốn, khi đó mặt cắt chịu mômen âm bất lợi là mặt cắt tại đỉnh trụ giữa với sự hình thành ứng suất như sau:



Hình 3.29: Biểu đồ ứng suất trên mặt cắt dầm.

Trong đó:

- + f_{sb}^t : Là ứng suất tại mép dầm thép chịu kéo.
- + f_{sb}^c : Là ứng suất tại mép dầm thép chịu nén.
- + f_c^c : Là ứng suất tại mép trên bản bê tông chịu nén.
- + f_r^t : Là ứng suất kéo trong cốt thép bản.
- + f_c' : Cường độ chịu nén của bê tông ở tuổi 28 ngày.
- + f_y : Giới hạn chảy của thép.
- + f_{yr} : Giới hạn chảy của cốt thép bản.
- + D_w : Chiều cao bản bụng.
- + H_{sb} : Chiều cao của mặt cắt dầm thép.(Steel Beam)
- + H_{cb} : Chiều cao của mặt cắt liên hợp. (Composite Beam)
- + D_{cp} : Là chiều cao phần sườn dầm chịu nén trong giai đoạn chảy dẻo.
- Các giai đoạn phát triển ứng suất trên mặt cắt dầm chủ:
 - + Giai đoạn I: Mặt cắt dầm thép làm việc trong giới hạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn II: Bản bê tông đạt cường độ $80\%f_c$. Toàn bộ mặt cắt vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn III: Bản bê tông bắt đầu bị nứt và dần dần nứt toàn bộ. Khi đó bản bê tông không tham gia làm việc cùng với dầm thép, mặt cắt liên hợp chỉ còn lại dầm thép và cốt thép trong bản bê tông. Toàn bộ mặt cắt vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn IV: Điểm ứng suất lớn nhất trên mặt cắt đã đạt đến giới hạn chảy, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen chảy (M_y).
 - + Giai đoạn V: Một phần mặt cắt đã bị chảy, phần khác vẫn làm việc trong giới hạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn VI: Mặt cắt bị chảy hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).
- Một mặt cắt chịu mômen uốn âm từ lúc bắt đầu chịu lực cho đến khi phá hoại, phát triển tối đa qua 6 giai đoạn làm việc như vậy.
- Trong thực tế tính toán cầu dầm không liên hợp ta chỉ quan tâm đến 3 giai đoạn làm việc của mặt cắt là:
 - + Giai đoạn I: Mặt cắt làm việc trong giai đoạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn II: Bản bê tông đạt cường độ $80\%f_c$ và tạo ra hiệu ứng liên hợp. Toàn bộ mặt cắt vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.
 - + Giai đoạn III: Mặt cắt chảy dẻo hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).

3.4.3.3. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn I:

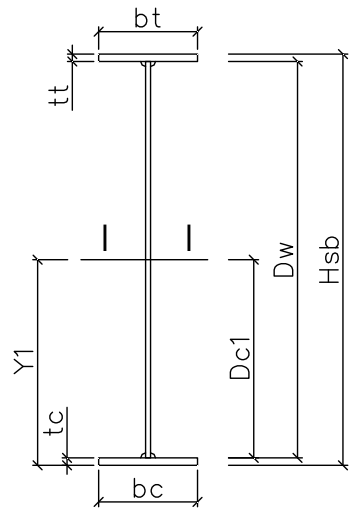
- Giai đoạn I: Khi thi công xong dầm thép và đã đổ bản bê tông mặt cầu, tuy nhiên giữa dầm thép và bản bê tông chưa tạo ra hiệu ứng liên hợp.

- Mặt cắt tính toán: Mặt cắt dầm thép.

- Diện tích mặt cắt dầm thép: $A_{NC} = b_c \cdot t_c + D_w \cdot t_w + b_t \cdot t_t$

- Xác định mômen tĩnh của tiết diện với trục đi qua mép dưới dầm thép:

$$S_o = b_t \cdot t_t \left(H_{sb} - \frac{t_t}{2} \right) + D_w \cdot t_w \left(\frac{D_w}{2} + t_c \right) + b_c \cdot t_c \cdot \frac{t_c}{2}$$



Hình 3.30: Mặt cắt dầm GD I.

- Khoảng cách từ đáy dầm đến TTH I-I:

$$Y_1 = \frac{S_o}{A_{NC}}$$

- Chiều cao phần sườn dầm chịu nén: $D_{c1} = Y_1 - t_c$

- Xác định mômen quán tính của mặt cắt dầm đối với TTH I-I:

$$+ \text{Mômen quán tính bản bụng: } I_w = \frac{t_w D_w^3}{12} + t_w \cdot D_w \cdot \left(\frac{D_w}{2} + t_c - Y_1 \right)^2$$

$$+ \text{Mômen quán tính bản cánh chịu nén: } I_{cf} = \frac{b_c t_c^3}{12} + t_c \cdot b_c \cdot \left(Y_1 - \frac{t_c}{2} \right)^2$$

$$+ \text{Mômen quán tính bản cánh chịu kéo: } I_{kf} = \frac{b_t t_t^3}{12} + t_t \cdot b_t \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - \frac{t_t}{2} \right)^2$$

$$+ \text{Mômen quán tính của tiết diện dầm thép: } I_{NC} = I_w + I_{cf} + I_{kf}$$

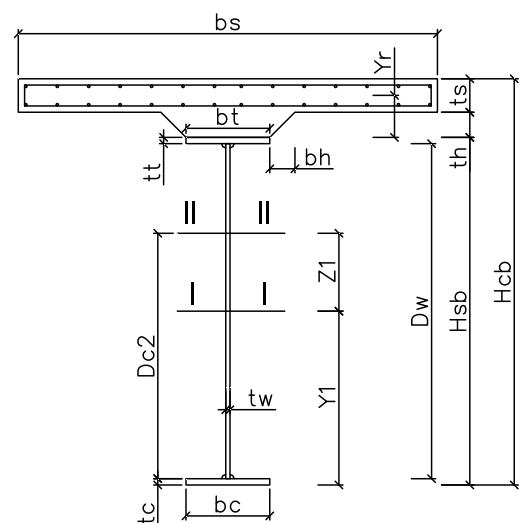
- Xác định mômen tĩnh của phần trên mặt cắt đối với TTH I-I:

$$S_{NC} = b_t \cdot t_t \cdot \left(H_{sb} - Y_1 - \frac{t_t}{2} \right) + t_w \cdot \frac{(H_{sb} - Y_1 - t_t)^2}{2}$$

3.4.3.4. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn II:**a. Mặt cắt tính toán:**

- Giai đoạn II: Bản bê tông đạt cường độ $80\%f_c$. Toàn bộ mặt cắt vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi.

- Mặt cắt tính toán sẽ bao gồm dầm thép, bản bê tông và cốt thép trong bản.



Hình 3.31: Mặt cắt dầm chủ GD II.

b. Xác định bề rộng tính toán của bản bê tông:

- Trong tính toán không phải toàn bộ bản bê tông mặt cầu tham gia làm việc chung với dầm thép theo phương dọc cầu. Bề rộng bản bê tông làm việc chung với dầm thép hay còn gọi là bề rộng có hiệu phụ thuộc vào nhiều yếu tố như chiều dài tính toán của dầm, khoảng cách giữa các dầm chủ và bề dày bản bê tông mặt cầu. Các quy trình khác nhau có những quy định khác nhau về bề rộng có hiệu này nhưng tựu chung lại đây là phần bề rộng chịu lực chính cùng dầm chủ, ngoài bề rộng này bản bê tông chủ yếu làm việc theo phương ngang cầu, nội lực khi làm việc theo phương dọc cầu là nhỏ.

- Khi tính bề rộng bản cánh dầm hữu hiệu, chiều dài nhịp hữu hiệu có thể lấy bằng nhịp thực tế đối với các nhịp giản đơn và bằng khoảng cách giữa các điểm thay đổi mômen uốn (điểm uốn của biểu đồ mômen) của tải trọng thường xuyên đối với các nhịp liên tục, thích hợp cả mômen âm và dương.

- Bề rộng tính toán của bản bê tông được xác định tương tự như đối với mặt cắt chịu mômen uốn dương.

c. Quy đổi từ bê tông sang thép:

- Vì tiết diện liên hợp có hai loại vật liệu là thép và bê tông nên khi tính đặc trưng hình học của mặt cắt dầm thì ta quy đổi từ mặt cắt hỗn hợp về mặt cắt thuần nhất theo nguyên tắc biến dạng tương đương và nguyên tắc giữ nguyên trọng tâm mặt cắt.

d. Đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp ngắn hạn (Short term section):

- Mặt cắt liên hợp ngắn hạn được sử dụng để tính toán đối với các tải trọng ngắn hạn như hoạt tải, trong giai đoạn này ta không xét đến hiện tượng từ biến.

- Đặc trưng của cốt thép trong bản bê tông.

+ Diện tích cốt thép ở lưới trên: $A_{rt} = n_{rt} \cdot \frac{\pi \cdot d_{rt}^2}{4}$

+ Diện tích cốt thép ở lưới dưới: $A_{rb} = n_{rb} \cdot \frac{\pi \cdot d_{rb}^2}{4}$

+ Diện tích cốt thép trong bản: $A_r = A_{rt} + A_{rb}$

+ Khoảng cách từ trọng tâm cốt thép bản đến mép trên của dầm thép:

$$Y_r = \frac{A_{rt} \cdot (t_s + t_h - a_{rt}) + A_{rb} \cdot (a_{rb} + t_h)}{A_{rt} + A_{rb}}$$

Trong đó:

+ n_{rt} , d_{rt} , A_{rt} : Số thanh, đường kính và diện tích cốt thép ở lưới trên.

+ n_{rb} , d_{rb} , A_{rb} : Số thanh, đường kính và diện tích cốt thép ở lưới dưới.

+ a_{rt} , a_{rb} : Khoảng cách từ trục cốt thép trên và dưới đến mép bản bê tông.

+ t_s : Chiều dày bản bê tông.

+ t_h : Chiều dày của vút dầm.

- + Y_r : Khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép trong bản đến mép trên dầm thép.
- Tính diện tích mặt cắt:
 - + Diện tích bản bê tông:

$$A_s = b_s \cdot t_s + b_t \cdot t_h + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_h \cdot t_h$$

- + Diện tích của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

$$A_{ST} = A_{NC} + \frac{A_s}{n} + A_r$$

Trong đó:

- + A_r : Diện tích cốt thép bố trí trong bản bê tông.
- + A_{NC} : Diện tích dầm thép (mặt cắt nguyên).
- + A_{ST} : Diện tích của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.
- Xác định mômen tĩnh của tiết diện liên hợp đối với TTH I-I của tiết diện thép.

$$S_x^I = \frac{1}{n} \left\{ b_s \cdot t_s \cdot \left(H_{sb} - Y_1 + t_h + \frac{t_s}{2} \right) + b_t \cdot t_h \cdot \left(H_{sb} - Y_1 + \frac{t_h}{2} \right) + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot t_h \cdot b_h \cdot \left(H_{sb} - Y_1 + \frac{2}{3} \cdot t_h \right) \right\} + A_r (H_{sb} - Y_1 + Y_r)$$

- Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện dầm thép đến trọng tâm tiết diện liên hợp (khoảng cách từ TTH I-I đến TTH II-II).

$$Z_1 = \frac{S_x^I}{A_{ST}}$$

- Chiều cao phần sườn dầm chịu nén:

$$D_{c2} = Y_1 - t_c + Z_1$$

- Xác định mômen quán tính của tiết diện liên hợp:
 - + Mômen quán tính của phần dầm thép:

$$I_{NC}'' = I_{NC}' + A_{NC} \cdot Z_1^2$$

- + Mômen quán tính của phần bản bê tông:

$$I_s = \frac{1}{n} \left(\frac{b_s \cdot t_s^3}{12} + b_s \cdot t_s \cdot (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + t_h + \frac{t_s}{2})^2 \right)$$

- + Mômen quán tính của phần vút bản cánh:

$$I_h = \frac{1}{n} \left(\frac{b_t \cdot t_h^3}{12} + b_t \cdot t_h \cdot (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{t_h}{2})^2 + 2 \cdot \frac{b_h \cdot t_h^3}{36} + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot b_h \cdot t_h \cdot (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{2}{3} \cdot t_h)^2 \right)$$

- + Mômen quán tính của phần cốt thép trong bản:

$$I_r = A_r \cdot (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + Y_r)^2$$

+ Mômen quán tính của tiết diện liên hợp:

$$I_{ST} = I_{NC}^{II} + I_s + I_h + I_r$$

- Mômen tĩnh của bản bê tông và cốt thép trong bản đối với TTH II-II:

$$S_s = \frac{1}{n} \left\{ b_s t_s \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + t_h + \frac{t_s}{2} \right) + b_t t_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{t_h}{2} \right) + 2 \cdot \frac{1}{2} t_h b_h \left(H_{sb} - Y_1 - Z_1 + \frac{2}{3} t_h \right) \right\} + A_r (H_{sb} - Y_1 - Z_1 + Y_r)$$

e. Đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp dài hạn (Long term section):

- Mặt cắt liên hợp dài hạn được sử dụng để tính toán đối với các tải trọng lâu dài như tĩnh tải giai đoạn II khi đó ta phải xét đến ảnh hưởng của hiện tượng từ biến.

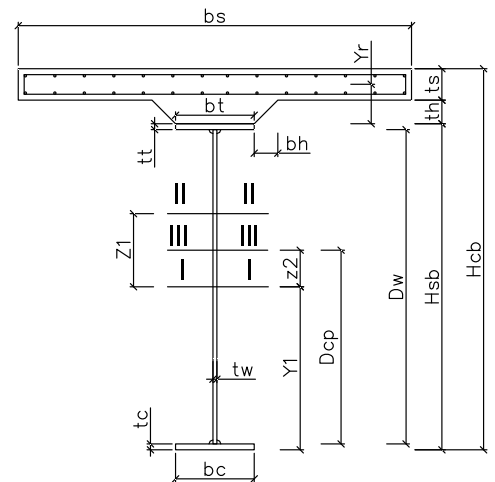
- Trong trường hợp có xét đến hiện tượng từ biến thì các đặc trưng hình học của mặt cắt được tính tương tự như khi không xét đến từ biến, chỉ thay hệ số n bằng n'.

3.4.3.5. Xác định ĐTHH mặt cắt dầm giai đoạn chảy dẻo:

a. Mặt cắt tính toán:

- Giai đoạn III: Mặt cắt chảy dẻo hoàn toàn, sức kháng tương ứng của mặt cắt trong giai đoạn này là mômen dẻo (M_p).

- Mặt cắt tính toán là mặt cắt liên hợp gồm có dầm thép và cốt thép trong bản bê tông. Toàn bộ mặt cắt đã đạt đến giới hạn chảy.



Hình 3.32: Mặt cắt dầm giai đoạn chảy dẻo.

b. Xác định vị trí trục trung hoà của mặt cắt:

- Tính lực dẻo của các phần của mặt cắt dầm:

+ Lực dẻo tại bản cánh chịu kéo của dầm thép:

$$P_t = f_{yt} \cdot b_t \cdot t_t$$

+ Lực dẻo tại bản cánh chịu nén của dầm thép:

$$P_c = f_{yc} \cdot b_c \cdot t_c$$

+ Lực dẻo tại sườn dầm thép:

$$P_w = f_{yw} \cdot D_w \cdot t_w$$

+ Lực dẻo xuất hiện tại cốt thép bản:

$$P_r = f_{yr} \cdot A_r$$

- Vị trí trục trung hoà dẻo (PNA) được xác định như sau:

+ Nếu: $P_c > P_t + P_w + P_r \Rightarrow$ TTH đi qua bản cánh chịu nén.

+ Nếu: $P_r + P_t > P_c + P_w \Rightarrow$ TTH đi qua bản cánh chịu kéo.

+ Nếu: $P_c < P_t + P_w + P_r$ và $P_r + P_t < P_c + P_w \Rightarrow$ TTH đi qua sườn dầm.

- Xác định chiều cao phần sườn dầm chịu nén:

1. Trường hợp trục trung hoà đi qua sườn dầm:

+ Viết phương trình cân bằng lực dọc theo phương ngang ta có công thức xác định chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm:

$$\begin{aligned} A_r \cdot f_{yr} + A_t \cdot f_{yt} + (D_w - D_{cp}) \cdot t_w \cdot f_{yw} &= D_{cp} \cdot t_w \cdot f_{yw} + A_c \cdot f_{yc} \\ \Rightarrow D_{cp} &= \frac{D_w}{2} \cdot \left(\frac{A_r \cdot f_{yr} + A_t \cdot f_{yt} - A_c \cdot f_{yc}}{A_w \cdot f_{yw}} + 1 \right) \end{aligned}$$

+ D_w : Chiều cao sườn dầm thép.

+ A_t, A_c : Diện tích cánh chịu kéo và cánh chịu nén.

+ A_w : Diện tích sườn dầm.

+ A_r : Diện tích cốt thép dọc trong bản bê tông.

+ f_{yt} , f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của thép làm cánh chịu kéo và cánh chịu nén.

+ f_{vr} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cốt thép dọc.

+ f_{vw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.

2. Các trường hợp khác:

+ Trường hợp TTH đi qua bản cánh chịu nén thì chiều cao chịu nén của sườn dầm $D_{cp} = 0$ và coi như yêu cầu độ mảnh trong các mặt cắt đặc chắc đã thỏa mãn.

+ Trường hợp TTH đi qua bản cánh chịu kéo thì chiều cao chịu nén của sườn dầm là $D_{cp} = D_w$.

c. Xác định ĐTHH của mắt cắt:

- Diện tích mặt cắt liên hợp: $A_{ST} = A_{NC} + A_r$

Trong đó:

- + A_r : Diện tích cốt thép bố trí trong bản bê tông.
- + A_{NC} : Diện tích dầm thép.
- + A_{ST} : Diện tích mặt cắt liên hợp ngắn hạn.
- Khoảng cách từ TTH I-I đến TTH III-III là:

$$Z_2 = D_{cp} + t_c - Y_1$$

- Xác định mômen quán tính của tiết diện liên hợp:
 - + Mômen quán tính của phần dầm thép đối với TTH III-III:

$$I_{NC}^{III} = I_{NC}^I + A_{NC} \cdot Z_2^2$$

- + Mômen quán tính của phần cốt thép trong bản bê tông:

$$I_r = A_r \cdot (H_{sb} - Y_1 - Z_2 + Y_r)^2$$

- + Mômen quán tính của tiết diện liên hợp:

$$I_{ST} = I_{NC}^{III} + I_r$$

3.4.3.6. Xác định mômen chảy và mômen dẻo:

a. Mômen chảy:

- Mômen chảy (M_y) ở mặt cắt liên hợp được lấy bằng tổng các mômen tác dụng vào dầm thép, mặt cắt liên hợp ngắn hạn và dài hạn để gây ra trạng thái chảy đầu tiên ở một trong 2 cánh của dầm thép (không xét đến chảy ở sườn dầm của mặt cắt lai).

$$M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$$

Trong đó:

- + M_{D1} : Mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn I tác dụng trên mặt cắt dầm thép.
- + M_{D2} : Mômen uốn do tĩnh tải giai đoạn II tác dụng trên mặt cắt liên hợp dài hạn.
- + M_{AD} : Mômen uốn bổ sung cần thiết để gây chảy ở một bản biên thép. Mômen này do hoạt tải gây ra và được tính toán theo ĐTHH của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

- Trong quá trình tính toán nội lực tại các mặt cắt ta sẽ tính được giá trị mômen do tĩnh tải giai đoạn I gây ra là M_{D1} tác dụng trên mặt cắt dầm thép và mômen do tĩnh tải giai đoạn II gây ra là M_{D2} tác dụng trên mặt cắt liên hợp dài hạn.

- Xác định mômen uốn bổ sung M_{AD} :

- + Ứng suất trong dầm thép do M_{D1} :

$$f_1^t = \frac{M_{D1}}{I_{NC}} y_I^t, \quad f_1^b = -\frac{M_{D1}}{I_{NC}} y_I^b$$

- + Ứng suất trong dầm thép do M_{D2} :

$$f_2^t = \frac{M_{D2}}{I_{LT}} y_{II}^t, \quad f_2^b = -\frac{M_{D2}}{I_{LT}} y_{II}^b,$$

+ Ứng suất trong dầm thép do M_{AD} :

$$f_3^t = \frac{M_{AD}}{I_{ST}} y_{II}^t, \quad f_3^b = -\frac{M_{AD}}{I_{ST}} y_{II}^b$$

+ Khi ứng suất cánh dầm thép đạt đến giới hạn chảy ta có:

$$f_1^t + f_2^t + f_3^t = f_y \Rightarrow f_3^t = f_y - f_1^t - f_2^t$$

$$f_1^b + f_2^b + f_3^b = -f_y \Rightarrow f_3^b = -f_y - f_1^b - f_2^b$$

+ Mômen uốn bổ sung: M_{AD}

$$M_{AD}^t = \frac{f_3^t \cdot I_{ST}}{y_{II}^t} \quad \text{và} \quad M_{AD}^b = -\frac{f_3^b \cdot I_{ST}}{y_{II}^b} \Rightarrow M_{AD} = \min(M_{AD}^t, M_{AD}^b)$$

\Rightarrow Như vậy ta có: $M_y = M_{D1} + M_{D2} + M_{AD}$

Trong đó:

- + y_I^t, y_I^b : Khoảng cách từ TTH I-I đến mép trên và mép dưới của dầm thép.
- + y_{II}^t, y_{II}^b : KC từ TTH II-II đến mép trên và mép dưới của dầm thép.
- + $y_{II'}^t, y_{II'}^b$: KC từ TTH II'-II' đến mép trên và mép dưới của dầm thép.
- + I_{NC} : Mômen quán tính của mặt cắt dầm thép.
- + I_{ST}, I_{LT} : Mômen quán tính của mặt cắt liên hợp ngắn hạn và dài hạn.
- + M_{AD}^t, M_{AD}^b : Mômen uốn bổ xung cần thiết để gây ra trạng thái chảy đầu tiên ở mép trên và mép dưới của dầm thép.
- + f_y : Là giới hạn chảy của thép.

b. Mômen dẻo:

- Mômen dẻo (M_p) là mômen ứng với khi toàn mặt cắt đạt đến cường độ chảy. Khi tính mômen dẻo phải lấy mômen của các lực dẻo tại các phần của mặt cắt đối với trục trung hòa dẻo.

- Công thức tính mômen dẻo: $M_p = \sum_{i=1}^n P_i \cdot Z_i$

Trong đó:

- + P_i : là lực dẻo thứ i.
- + Z_i : Khoảng cách từ điểm đặt của lực dẻo thứ i đến trục trung hoà dẻo.
- Trong trường hợp TTH đi qua sườn dầm ta có sơ đồ tính:

§3.5. ẢNH HƯỞNG CỦA TỪ BIẾN - CO NGÓT VÀ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ TRONG CẦU DÀM LIÊN HỢP.

3.5.1. ẢNH HƯỞNG CỦA CO NGÓT (shrinkage):

3.5.1.1. Nguyên tắc tính toán:

- Co ngót là hiện tượng giảm thể tích của bê tông trong quá trình đông cứng.
- Dầm liên hợp có hai loại vật liệu: Bản BTCT và dầm thép, khi bê tông bị co ngót theo thời gian còn thép thì không co ngót làm phát sinh nội lực trong các mặt cắt dầm kể cả trong kết cấu tĩnh định.
- Co ngót là tải trọng lâu dài vì vậy khi tính nội lực do co ngót phải xét đến tác động của từ biến bằng cách dùng đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp dài hạn, tức là dùng hệ số quy đổi $n' = 3n$.
- Trong quá trình đông cứng và sau khi đã đông cứng, theo thời gian bê tông bị co ngót. Hiện tượng co ngót đó của bê tông được đặc trưng bằng biến dạng tương đối ϵ_{sh} . Biến dạng này phụ thuộc vào phương pháp bảo dưỡng và chất lượng cốt liệu của bê tông.
- Để tính toán tác động của co ngót ở đây ta chấp nhận hai giả thiết đó là vật liệu làm việc trong *giai đoạn đàn hồi* và *giả thiết tiết diện phẳng* (tức là mặt cắt dầm trước và sau khi biến dạng vẫn là mặt cắt phẳng).

3.5.1.2. Xác định biến dạng tương đối do co ngót:

- Bằng thực nghiệm, kết quả được quy trình quy định như sau:
 - + Đối với bê tông được bảo dưỡng ẩm, cốt liệu không co ngót thì:

$$\epsilon_{sh} = -0,51 k_s k_h \left(\frac{t}{35 + t} \right) 10^{-3}$$

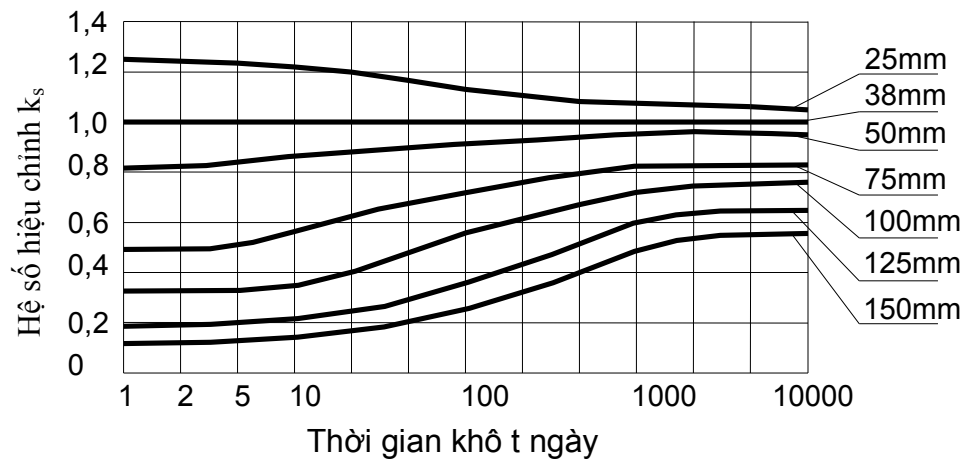
- + Đối với bê tông được bảo dưỡng bằng hơi nước, cốt liệu không co ngót.

$$\epsilon_{sh} = -0,56 k_s k_h \left(\frac{t}{55 + t} \right) 10^{-3}$$

Trong đó:

- + t: Thời gian khô (ngày).
- + k_s : Hệ số kích thước lấy theo hình vẽ.
- + k_h : Hệ số độ ẩm, nói chung lấy bằng 1,00; ở những nơi có độ ẩm tương đối trung bình hàng năm vượt quá 80% có thể lấy $k_h = 0,86$.

Chú ý: Khi tính biến dạng tương đối do co ngót theo công thức trên nếu bê tông được bảo dưỡng ẩm có bề mặt lộ ra ngoài trước khi bắt đầu bảo dưỡng 5 ngày thì ϵ_{sh} cần tăng thêm 20%.



Hình 3.35: Hệ số hiệu chỉnh khi tính biến dạng do co ngót của bê tông.

3.5.1.3. Nội lực phát sinh do co ngót trong cầu dầm liên hợp nhịp giản đơn:

- Biến dạng tương đối của bê tông bản là ε_{sh} , gây ra ứng suất tương ứng trong bản bê tông là:

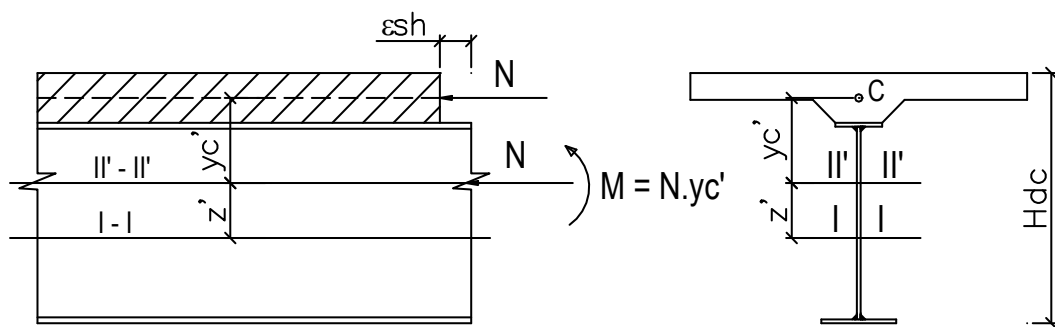
$$f_c = E_c' \cdot \varepsilon_{sh}$$

Trong đó: E_c' là môđun đàn hồi giả định của bê tông khi có xét đến từ biến:

$$E_c' = \frac{E_c}{3} \text{ nên } n' = \frac{E_s}{E_h} = 3n$$

- Ứng suất do co ngót này tương ứng với nội lực $N = f_c A_s = E_c' \cdot \varepsilon_{sh} \cdot A_s$ đặt ở trọng tâm bản bê tông. Chuyển N từ trọng tâm C của bản bê tông về trọng tâm O' của tiết diện liên hợp dài hạn, phải thêm một ngẫu lực có mômen là:

$$M = N \cdot y_c' = E_c' \cdot \varepsilon_{sh} \cdot A_s \cdot y_c'$$

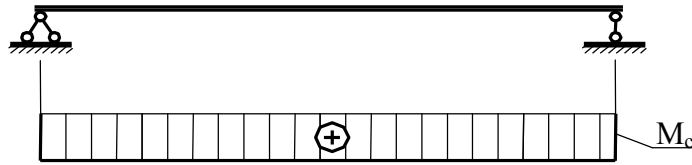


Hình 3.36: Sơ đồ tính nội lực do co ngót.

Trong đó:

- + ε_{sh} : Biến dạng tương đối của bê tông do co ngót tính theo công thức ở trên.
- + E_c : Môđun đàn hồi của bê tông.
- + E_s : Môđun đàn hồi của thép.
- + A_s : Diện tích tính toán của bản bê tông.
- + y_c' : là khoảng cách từ trọng tâm C của bản bê tông đến TTH của mặt cắt liên hợp dài hạn ($II' - II'$).

- Mômen do co ngót M_{sh} làm cho thớ dưới của dầm chịu kéo nên là mômen dương, từ đó ta có biểu đồ M_{sh} cho dầm giản đơn như hình vẽ:



Hình 3.37: Biểu đồ mômen do co ngót trong dầm liên hợp nhịp giản đơn.

3.5.1.4. Nội lực phát sinh do co ngót trong cầu dầm liên hợp nhịp liên tục:

- Trong dầm liên hợp liên tục, co ngót gây ra nội lực phụ. Nội lực này được tính theo phương pháp lực. Phương trình chính tắc của phương pháp lực có dạng:

$$\begin{cases} \delta_{11}M_1 + \delta_{12}M_2 + \dots + \Delta_{1t} = 0 \\ \delta_{21}M_1 + \delta_{22}M_2 + \dots + \Delta_{2t} = 0 \\ \dots \dots \dots \\ \delta_{n1}M_1 + \delta_{n2}M_2 + \dots + \Delta_{nt} = 0 \end{cases}$$

Trong đó:

+ δ_{ik} : Là chuyển vị theo phương của M_i do $M_k = 1$ sinh ra, tính theo phương pháp của cơ học kết cấu.

+ M_{ic} : Chuyển vị theo phương M_i do co ngót sinh ra.

$$\Delta_{ic} = \sum \int_0^l \frac{\overline{M}_i M_c}{E_t I'_{td}} dx \quad \text{với } M_c = \varepsilon_{sh} E_t S'_t \text{ do đó}$$

$$\Delta_{ic} = \sum \int_0^l \frac{\overline{M}_i \varepsilon_{sh} Q'_t}{I'_{td}} dx = \varepsilon_{sh} \sum \int_0^l \frac{Q'_t}{I'_{td}} \overline{M}_i dx$$

Nếu trên từng nhịp chiều cao dầm không thay đổi thì:

$$\Delta_{ic} = \varepsilon_{sh} \sum \frac{Q'_t}{I'_{td}} \int_0^l \overline{M}_i dx$$

- Thay các hệ số δ_{ik} và các số hạng tự do Δ_{ic} vào phương trình chính tắc và giải phương trình ta có các ẩn lực thừa đó chính là các mômen gối M_i . Sau khi có biểu đồ mômen gối, tương tự như khi tính với chênh lệch nhiệt độ vẽ được biểu đồ mômen uốn tổng cộng và từ biểu đồ M_{tc} ta có thể vẽ được biểu đồ lực cắt V , đó chính là các biểu đồ nội lực do co ngót sinh ra trên dầm liên tục.

- Cũng có thể tính nội lực do co ngót trong dầm liên hợp liên tục theo phương trình 3 mômen: Viết phương trình 3 mômen cho các gối trung gian, ở gối thứ i có phương trình:

$$\begin{aligned} & \frac{l_i}{6EI_i} M_{i-1} + \left(\frac{l_i}{3EI_i} + \frac{l_{i+1}}{3EI_{i+1}} \right) M_i + \frac{l_{i+1}}{6EI_{i+1}} M_{i+1} + \\ & + \frac{\omega_i a_i}{l_i EI_i} + \frac{\omega_{i+1} b_{i+1}}{l_{i+1} EI_{i+1}} = 0 \end{aligned}$$

Trong đó: $+ l_i, l_{i+1}$: Chiều dài nhịp i và nhịp $i+1$.

$+ EI_i, EI_{i+1}$: Độ cứng chống uốn ở nhịp i và nhịp $i+1$ với E là mô đun đàn hồi của thép, I là mô men quán tính của tiết diện liên hợp dài hạn đối với trục trung hoà đàn hồi của tiết diện đó (X'_{td});

$+ \omega_i$ và ω_{i+1} : Diện tích biểu đồ mô men do lực cắt sinh ra ở nhịp i và $i+1$.

$+ a_i, b_{i+1}$: Khoảng cách từ trọng tâm diện tích ω_i và diện tích ω_{i+1} đến gối trái và gối phải của nhịp i và nhịp $i+1$.

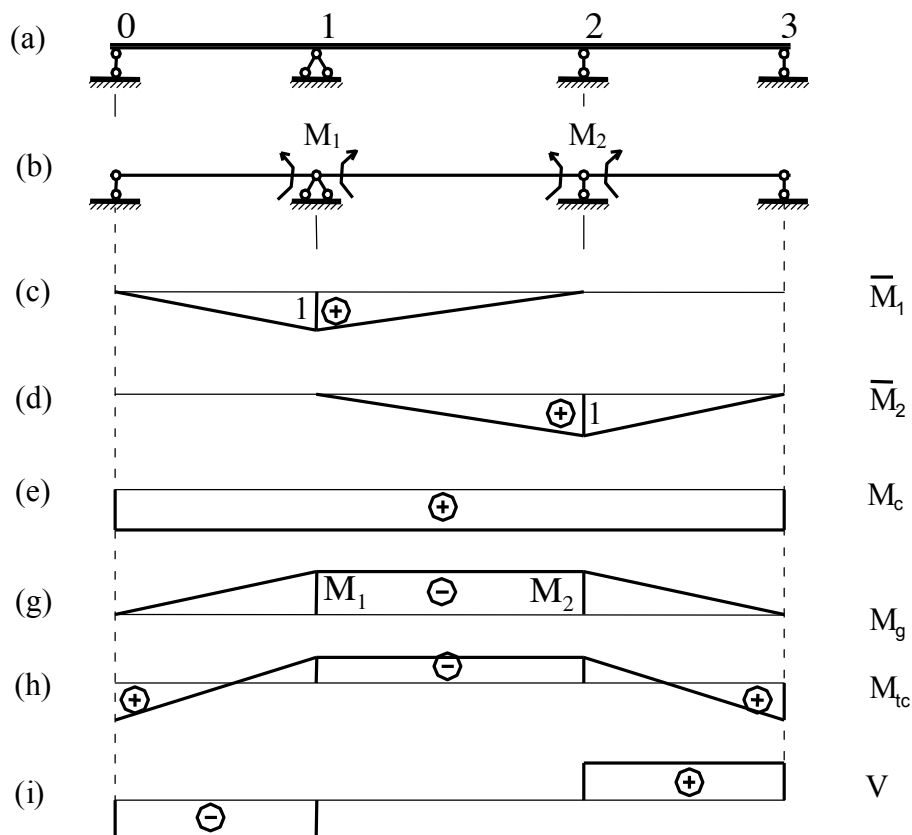
- Đối với kết cấu nhịp liên tục nhiều nhịp:

+ Với dầm liên tục có n nhịp thì sẽ viết được $(n-1)$ phương trình 2 mô men cho $(n-1)$ gối trung gian. Giải các phương trình này ta sẽ có ảnh lực thừa đó là các mô men gối M_i , từ đó vẽ được biểu đồ mô men gối M_g .

+ Cộng hai biểu đồ M_c và biểu đồ M_g có biểu đồ mô men uốn tổng cộng hay biểu đồ mô men uốn cuối cùng, đó chính là biểu đồ mô men do co ngót sinh ra cho kết cấu nhịp liên tục nhiều nhịp.

+ Từ biểu đồ M_{tc} dễ dàng vẽ được biểu đồ lực cắt V .

+ Các biểu đồ M_{tc} và V do co ngót sinh ra có dạng giống như biểu đồ này do chênh lệch nhiệt độ âm (nhiệt độ bản mặt cầu thấp hơn nhiệt độ dầm thép).



a: Sơ đồ nhịp.

b: Hệ cơ bản.

c,d: Các biểu đồ đơn vị $\overline{M}_1, \overline{M}_2$.

e: Biểu đồ M_c (do co ngót sinh ra trên hệ cơ bản).

g: Biểu đồ mômen gối M_g .

h: Biểu đồ mômen tổng cộng.

i: Biểu đồ lực cắt.

Hình 3.38: Biểu đồ nội lực do co ngót trên dầm liên hợp liên tục.

3.5.2. ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ (Temperature):

3.5.2.1. Nhiệt độ phân bố đều (TU):

- Dùng để tính biến dạng nhiệt và tính nội lực khi cầu có từ 2 gối cố định trở lên. Trong kết cấu nhịp cầu thép rất ít gặp trường hợp này do đó ở đây không xét cách tính nội lực do nhiệt độ phân bố đều.

- Khi nhiệt độ phân bố đều thì biến dạng nhiệt là: $\Delta L = \alpha \cdot t \cdot L$

Trong đó:

+ α : Là hệ số giãn nở nhiệt, $\alpha = 1.10^{-5}$ (1/độ).

+ L: Là chiều dài nhịp.

+ t: Nhiệt độ phân bố đều, xác định như sau:

1. Lấy nhiệt độ cao nhất ở vị trí xây dựng cầu trừ đi nhiệt độ lắp đặt cầu.
2. Lấy nhiệt độ lắp đặt cầu (trị số trung bình thực tế của nhiệt độ không khí trong 24 giờ ngay trước khi tiến hành lắp đặt cầu) trừ đi nhiệt độ thấp nhất.

BẢNG 3.7: BIÊN ĐỘ NHIỆT

Vùng khí hậu	Kết cấu bê tông	Mặt cầu bê tông trên dầm hoặc hộp thép	Mặt cầu thép trên dầm hoặc hộp thép
Bắc vĩ độ 16°B (Đèo Hải Vân)*	+5° C đến +47° C	+1° C đến +55° C	-3° C đến +63° C
Nam vĩ độ 16°B (Đèo Hải Vân)	+10° C đến +47° C	+6° C đến +55° C	+2° C đến +63° C

Ghi chú:

+ Đối với các địa điểm ở phía bắc vĩ độ 16°B và ở độ cao cao hơn mặt biển trên 700m nhiệt độ thấp nhất trong bảng phải trừ bớt 5°C.

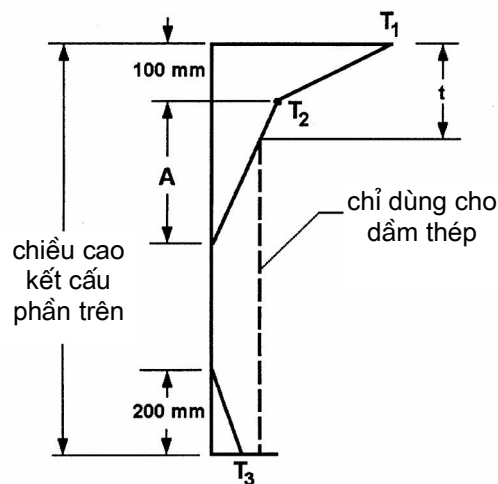
+ Các biên độ nhiệt độ của cầu quy định trong bảng là dựa trên biên độ nhiệt độ không khí trong bóng râm 0°C đến 45°C ở phía bắc vĩ độ 16°B (đèo Hải Vân) và +5°C đến 45°C ở phía nam vĩ độ 16°B. Khi có số liệu về nhiệt độ của địa điểm cụ thể, có thể dùng để xác định nhiệt độ không khí trong bóng râm cao nhất và thấp nhất với chu kỳ 100 năm và nhiệt độ cầu trong bảng có thể được sửa lại cho phù hợp.

+ Bảng chia nước ta thành 2 vùng: Vùng 1: từ đèo Hải Vân ra hết miền bắc, vùng 2 từ đèo Hải Vân vào hết Miền Nam. Nếu một cầu có mặt cầu là bản BTCT đặt trên nhịp dầm thép được lắp đặt ở nhiệt độ 25°C thì ở nhiệt độ cao nhất có chênh lệch nhiệt độ là $55^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C}$, còn ở nhiệt độ thấp nhất có chênh lệch nhiệt độ là $30^{\circ}\text{C} - 1^{\circ}\text{C} = 29^{\circ}\text{C}$ (Với 55°C và 1°C là nhiệt độ cao nhất và thấp nhất trong bảng).

3.5.2.2. Nhiệt độ phân bố không đều (TG):

- Chênh lệch nhiệt độ không đều (hay Gradient nhiệt độ) được xét như quy định ở điều 3.12.3 Quy trình. Ta đã biết với dầm bằng một loại vật liệu thì chênh lệch nhiệt độ chỉ gây ra nội lực trong hệ siêu tĩnh. Còn đối với dầm liên hợp thép - BTCT là dầm có hai loại vật liệu nên có khả năng hấp thụ và tản nhiệt khác nhau nên chênh lệch nhiệt độ gây ra nội lực trong cả kết cấu nhịp tĩnh định và siêu tĩnh.

- Chênh lệch nhiệt độ theo phương thẳng đứng trong kết cấu nhịp bê tông hay liên hợp được lấy như hình vẽ:



Hình 3.39: Biểu đồ chênh lệch nhiệt độ không đều.

BẢNG 3.8: GRADIENT NHIỆT ĐỘ THEO PHƯƠNG THẲNG ĐỨNG TRONG KCN THÉP VÀ BT

Thông số	Gradient nhiệt dương ($^{\circ}\text{C}$)	Gradient nhiệt âm ($^{\circ}\text{C}$)
T_1	+23	-7
T_2	+6	-1
T_3	+3	0

- Chiều cao “A” trong hình được lấy như sau:

- + $A = 300\text{mm}$ cho kết cấu nhịp BTCT có chiều cao $H \geq 40\text{mm}$.
- + $A =$ chiều cao thực tế trừ đi 100mm cho kết cấu nhịp BTCT có chiều cao $H < 40\text{mm}$.
- + $A = 300\text{mm}$ cho dầm thép. Đối với kết cấu nhịp liên hợp thép - BTCT, cự ly “t” phải được lấy bằng chiều dày bản bê tông kể cả vút nếu có.

Ghi chú: Theo tài liệu Richard M. Barker and Jay A. Puckett (1997). *Design of Highway Bridges Based on AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*. John Wiley & Sons. New York, chiều cao A được lấy theo $A = t - 100\text{mm}$, với t là chiều cao bản BTCT kê cả vút.

- Chênh lệch nhiệt độ gây ra nội lực trong KCN. Ảnh hưởng của chênh lệch nhiệt độ được chia thành hai phần: phần gây ra biến dạng dọc và phần gây ra biến dạng uốn.

a. Biến dạng dọc trục:

- Chênh lệch nhiệt độ gây ra biến dạng dọc trục tính theo công thức:

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{A} \int T(y) dA$$

Trong đó:

- + A: Diện tích mặt cắt.
- + T(y): Hàm chênh lệch nhiệt độ không đều được lấy như trong hình vẽ trên.
- + y: Khoảng cách từ trục trung hoà của mặt cắt đến trọng tâm của phần tử diện tích mặt cắt ngang dA.
- + Tích phân này được lấy trên toàn bộ diện tích mặt cắt ngang.
- + Do hệ số dẫn nở nhiệt của thép và bê tông là như nhau nên trong các mặt cắt liên hợp có thể sử dụng mặt cắt tính đối để thực hiện phép lấy tích phân.

- Cách lấy tích phân: Chia diện tích mặt cắt ngang thành nhiều phần tử, khi đó phép lấy tích phân được chuyển thành phép cộng. Xét một phần tử của mặt cắt như trên hình vẽ, khoảng cách từ trục trung tâm của phần tử đến trục trung hoà của mặt cắt là y_i^* . Gọi diện tích và mômen quán tính của phần tử là A_i và I_i . Và phần tử có thể có hình dạng bất kì nên trong phần tử xét phần tử diện tích dA nằm cách trục trung hoà của mặt cắt là y, khi đó khoảng cách từ trọng tâm phần tử dA đến trục trung hoà của phần tử là y_i và ta có quan hệ $y_i = y - y_i^*$.

Nhiệt độ tại trọng tâm phần tử dA là:

$$T(y) = T_{ai} + \frac{\Delta T_i}{d_i} y_i$$

Trong đó:

- + T_{ai} : Nhiệt độ tại trọng tâm phần tử.
- + ΔT_i : Chênh lệch nhiệt độ giữa mép dưới và mép trên phần tử.
- + d_i : Chiều cao phần tử.

Thay $y_i = y - y_i^*$ vào ta có:

$$T(y) = T_{ai} + \frac{\Delta T_i}{d_i} (y - y_i^*)$$

Thay T(y) vào công thức tính biến dạng dọc trục ta có:

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{A} \sum \int \left[T_{ai} + \frac{\Delta T_i}{d_i} (y - y_i^*) \right] dA_i$$

Trong đó dấu \sum là tổng của các phần tử trên mặt cắt ngang; dấu tích phân \int được lấy cho từng phần tử.

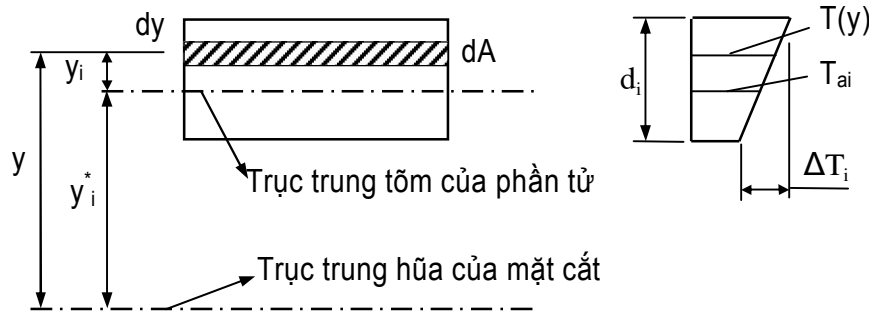
Với chú ý $\int dA_i = A_i$, $\int y dA_i = \int y_i^* dA_i$ do $\int y dA_i$ là mômen tĩnh của diện tích A_i đối với trục trung hoà của mặt cắt, còn $\int y_i^* dA_i = y_i^* \int dA_i = y_i^* A_i$ cũng là mômen tĩnh của diện tích A_i đối với trục trung hoà của mặt cắt.

Ta có thể khai triển vế phải của công thức trên như sau:

$$\int \left[T_{ai} + \frac{\Delta T_i}{d_i} (y - y_i^*) \right] dA_i = T_{ai} \int dA_i + \frac{\Delta T_i}{d_i} \int (y - y_i^*) dA_i = T_{ai} A_i$$

Như vậy ta có công thức tính biến dạng dọc trục:

$$\varepsilon = \frac{\alpha}{A} \sum T_{ai} A_i$$



Hình 3.40: Ví dụ một phần tử trên mặt cắt ngang.

b. Biến dạng uốn do chênh lệch nhiệt độ:

- Biến dạng uốn do chênh lệch nhiệt độ là độ cong của dầm tính theo công thức:

$$\psi = \frac{\alpha}{I} \int T(y) y dA$$

Trong đó:

- + α : Hệ số dẫn nở nhiệt.
- + I : Mômen quán tính của mặt cắt ngang đối với trục trung hoà của mặt cắt.
- + $T(y)$: Hàm chênh lệch nhiệt độ không đều được lấy như hình vẽ ở trên.
- + y : Khoảng cách từ trục trung hoà của mặt cắt đến trọng tâm của phần tử diện tích mặt cắt ngang dA .

- Chia diện tích thành nhiều phần tử có diện tích A_i và mômen quán tính I_i , tương tự như trên khi đó phép lấy tích phân được chuyển thành phép tính tổng. Xét phần tử dA của phần tử, tương tự như trên $y_i = y - y_i^*$ và:

$$\psi = \frac{\alpha}{I} \sum \int T(y) y dA_i$$

Thay $T(y)$ đã tính ở trên vào công thức này ta có:

$$\begin{aligned} \psi &= \frac{\alpha}{I} \sum \int \left[T_{ai} + \frac{\Delta T_i}{d_i} (y - y_i^*) \right] y dA_i \\ &= \frac{\alpha}{I} \sum \left[T_{ai} \int y dA_i + \frac{\Delta T_i}{d_i} \int (y^2 - y_i^* y) dA_i \right] \end{aligned}$$

Tính các tích phân trong công thức trên như sau:

$+ \int y dA_i = y_i^* A_i = Q_{A_i}$: là mômen tĩnh của diện tích phần tử A_i đối với trục trung hòa của mặt cắt.

$+ \int y^2 dA_i = I_{A_i}$: là mômen quán tính của diện tích phần tử A_i đối với trục trung hòa của mặt cắt.

$$+ \int y_i^* y dA_i = y_i^* \int y dA_i = y_i^{*2} A_i = y_i^* Q_{A_i}$$

Thay các tích phân đó tính vào công thức ta có:

$$\psi = \frac{\alpha}{I} \sum \left[T_{ai} y_i^* A_i + \frac{\Delta T_i}{d_i} (I_i - y_i^{*2} A_i) \right]$$

Do $I_i = I_i^* + y_i^{*2} A_i$ nên

$$\psi = \frac{\alpha}{I} \sum \left[T_{ai} y_i^* A_i + \frac{\Delta T_i}{d_i} I_i^* \right]$$

Từ biến dạng dọc tương đối ε và biến dạng uốn ψ , dễ dàng tính được lực dọc trục N và mômen uốn M do chênh lệch nhiệt độ như sau:

$$N = EA\varepsilon = EA \frac{\alpha}{A} \sum T_{ai} A_i = E\alpha \sum T_{ai} A_i$$

$$M = EI\psi = EI \frac{\alpha}{I} \sum \left[T_{ai} y_i^* A_i + \frac{\Delta T_i}{d_i} I_i^* \right] = E\alpha \sum \left[T_{ai} y_i^* A_i + \frac{\Delta T_i}{d_i} I_i^* \right]$$

Trong đó:

+ E : Môđun đàn hồi của vật liệu (với mặt cắt liên hợp do đã đổi sang diện tích thép tương đương nên đó là môđun đàn hồi của thép E_s).

- + T_{ai} : Nhiệt độ tại trọng tâm diện tích A_i (lấy trên hình vẽ).
- + y_i^* : Khoảng cách từ trọng tâm diện tích A_i đến trục trung hoà của mặt cắt.
- + A_i : Diện tích phần tử thứ i .
- + d_i : Chiều cao phần tử thứ i .
- + I_i^* : Mômen quán tính của diện tích của phần tử thứ i đối với trục trung hoà của bản thân phần tử đó.
- + ΔT_i : Chênh lệch nhiệt độ giữa mép dưới và mép trên của phần tử.
- + Các lực dọc N và mômen M lần lượt tính theo công thức ở trên được xem như không đổi theo chiều dài đoạn dầm.

- Trong quy trình quy định phải xét cả chênh lệch nhiệt độ dương (mặt trên nhiệt độ cao hơn) và chênh lệch nhiệt độ âm (mặt trên nhiệt độ thấp hơn), căn cứ theo bảng 3.12.3 - 1 thì chênh lệch nhiệt độ âm nhỏ hơn chênh lệch nhiệt độ dương, tuy nhiên tùy theo trường hợp để lấy kết quả khi nó làm tăng giá trị tính toán.

- Để tính ứng suất do chênh lệch nhiệt độ ta vẫn chấp nhận hai giả thiết là: vật liệu làm việc trong giai đoạn đàn hồi và giả thiết mặt cắt phẳng. Đồng thời nhiệt độ không phải là tải trọng lâu dài nên không xét tới tác động của từ biến do đó trong tính toán vẫn dùng các đặc trưng hình học của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

- Khi tính chênh lệch nhiệt độ dương cũng như chênh lệch nhiệt độ âm, quy trình cho thấy chênh lệch nhiệt độ thay đổi trong bản BTCT, còn trong dầm thép nhiệt độ coi như không thay đổi theo chiều cao. Từ biểu đồ chênh lệch nhiệt độ sẽ tính được nội lực N và M trên mặt cắt. Căn cứ vào N và M đã tính, ta có thể vẽ được biểu đồ ứng suất do chênh lệch nhiệt độ của mặt cắt.

3.5.2.3. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ âm trong cầu liên hợp nhíp giản đơn:

- Gọi Δt là chênh lệch nhiệt độ giữa bản bê tông cốt thép và dầm thép (nhiệt độ dầm thép cao hơn nhiệt độ trong bản bê tông). Trên chiều dài L chênh lệch nhiệt độ trên nếu không bị cản trở bởi các neo sẽ gây ra sự chênh lệch biến dạng:

+ Chênh lệch biến dạng tuyệt đối là: $\Delta l = \alpha_t \Delta t \cdot L$.

+ Chênh lệch biến dạng tương đối: $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \alpha_t \Delta t$.

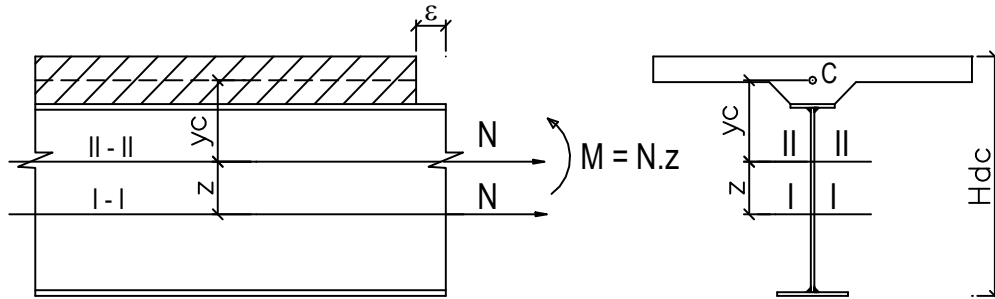
- Chênh lệch biến dạng tương đối ε giữa bản bê tông và dầm thép tương ứng với ứng suất $f = \alpha_t \cdot \Delta t \cdot E_s$ trong dầm thép.

Trong đó:

- + α_t : là hệ số giãn nở nhiệt
- + E_s : Môđun đàn hồi của thép.
- + Δt : Chênh lệch nhiệt độ giữa bản bê tông và dầm thép.

- Ứng suất trong dầm thép được coi như lực $N = \alpha_t \Delta t \cdot E_s \cdot A_t$ đặt tại trọng tâm dầm thép và làm cho dầm thép bị dài ra.
- Chuyển N về trọng tâm tiết diện liên hợp II-II phải thêm vào một mômen M :

$$M = N \cdot z = \alpha_t \Delta t E_s \cdot A_t \cdot z$$

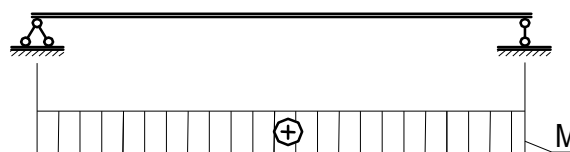


Hình 3.41: Sơ đồ tính nội lực do chênh lệch nhiệt độ âm.

Trong đó:

- + ε : Chênh lệch biến dạng giữa dầm thép và bản bê tông.
- + E_c : Môđun đàn hồi của bê tông.
- + E_s : Môđun đàn hồi của thép.
- + A_s : Diện tích tính toán của bản bê tông.
- + z : là khoảng cách từ TTH của mặt cắt dầm thép (I – I) đến TTH của mặt cắt liên hợp ngắn hạn (II – II).

- Khi xem như nhiệt độ trong bản bê tông không thay đổi theo chiều dài nhịp, chênh lệch nhiệt độ cũng không thay đổi theo chiều dài nhịp nên ta có mômen M cũng không thay đổi theo chiều dài nhịp. Chú ý rằng M làm cho thớ trên của mặt cắt liên hợp chịu nén nên là mômen dương.



Hình 3.42: Biểu đồ mômen do chênh lệch nhiệt độ âm.

3.5.2.4. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ dương trong cầu liên hợp nhịp giản đơn:

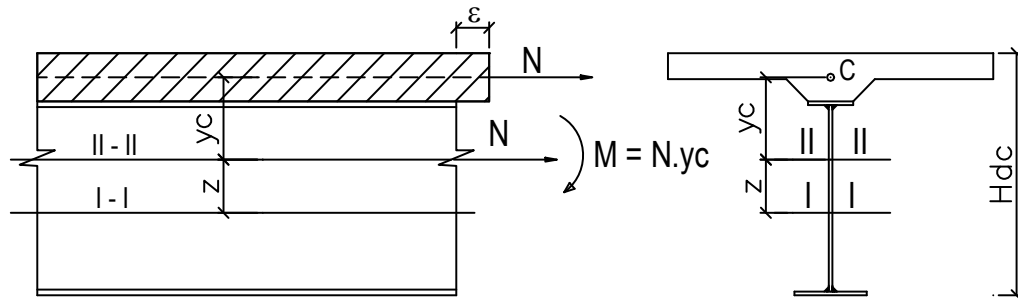
- Gọi chênh lệch nhiệt độ dương là Δt (nhiệt độ trên bản BTCT không đổi và cao hơn nhiệt độ không đổi trên dầm thép) nếu không có sự cản trở của các neo sẽ gây ra chênh lệch biến dạng giữa dầm thép và bản bê tông:

+ Chênh lệch biến dạng tuyệt đối: $\Delta l = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot l$

+ Chênh lệch biến dạng tương đối $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha_c \cdot \Delta t$.

- Chênh lệch biến dạng sẽ gây ra chênh lệch về ứng suất là $f = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot E_c$ trong bản bê tông.

- Ứng suất trong bản bê tông coi như gây ra lực dọc $N = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot E_c \cdot A_s$ đặt ở trọng tâm bản BTCT.



Hình 3.43: Chênh lệch nhiệt độ dương.

- Chuyển N từ trọng tâm bản BTCT (điểm C) về trọng tâm tiết diện liên hợp ngắn hạn đàn hồi phải thêm vào một mômen có giá trị là M :

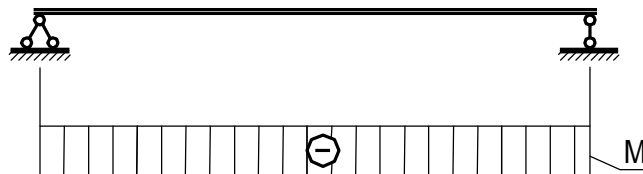
$$M = N \cdot y_c = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot E_c \cdot A_s \cdot y_c$$

Thay $E_c = \frac{E_s}{n}$ vào ta có:
$$M = \alpha_c \Delta t \cdot \frac{E_s}{n} A_s \cdot y_c$$

Trong đó:

- + E_c : Môđun đàn hồi của bê tông bản.
- + E_s : Môđun đàn hồi của thép.
- + A_s : Diện tích bản bê tông mặt cầu.
- + y_c : Khoảng cách từ trọng tâm C của bản bê tông đến TTH của tiết diện liên hợp ngắn hạn (II – II).

- Mômen M làm cho thớ dưới chịu nén nên là mômen âm. Tương tự như trên nếu nhiệt độ trong bản bê tông không đổi theo chiều dài nhịp thì nhiệt độ trong dầm thép cũng như vậy, dầm có chiều cao không đổi nên ta có biểu đồ mômen uốn do chênh lệch nhiệt độ dương như trên hình vẽ.



Hình 3.44: Biểu đồ M khi chênh lệch nhiệt độ dương.

3.5.2.5. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ âm trong cầu liên hợp nhịp liên tục:

- Giả sử ta có một dầm liên tục 3 nhịp và chọn hệ cơ bản như hình vẽ. Ảnh hưởng ở đây là các mômen gối M_i . Căn cứ vào công thức tính toán ta có thể vẽ được biểu đồ mômen uốn do chênh lệch nhiệt độ âm với giả thiết chiều cao dầm không thay đổi, đó là biểu đồ mômen uốn do chênh lệch nhiệt độ âm vẽ trên hệ cơ bản, kí hiệu biểu đồ là M_t .

- Viết phương trình chính tắc của phương pháp lực cho hệ siêu tĩnh bậc hai (với bậc siêu tĩnh bậc n cũng tương tự, ở đây xét dầm liên tục 3 nhịp cho đơn giản và cũng là hệ hay gặp trong thực tế):

$$\begin{cases} \delta_{11}M_1 + \delta_{12}M_2 + \Delta_{1t} = 0 \\ \delta_{21}M_1 + \delta_{22}M_2 + \Delta_{2t} = 0 \end{cases}$$

Trong đó:

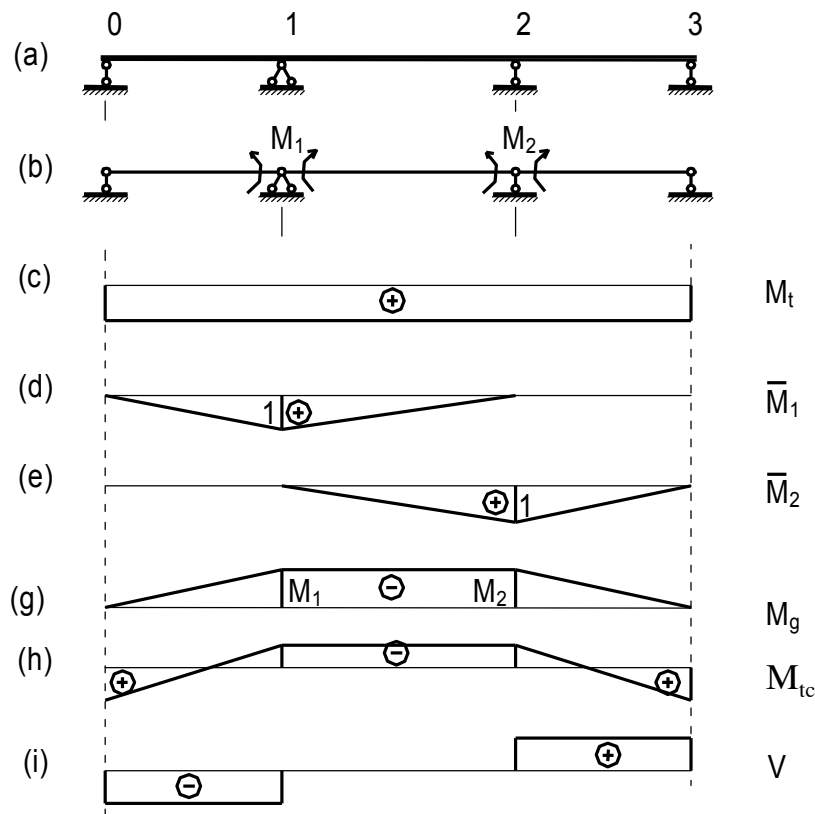
+ δ_{ik} : Là chuyển vị theo phương của ảnh hưởng thừa M_i do nguyên nhân $M_k = 1$ gây ra, được tính như trong cơ học kết cấu.

+ Δ_{it} : Là chuyển vị theo phương của ảnh hưởng thừa M_i do nguyên nhân chênh lệch nhiệt độ.

$$\Delta_{it} = \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_i M_t}{E_t I_{td}} dx = \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_i \alpha_t \Delta t E_t Q_t}{E_t I_{td}} dx$$

hay

$$\Delta_{it} = \alpha_t \Delta t \sum \int_0^l \frac{Q_t}{I_{td}} \bar{M}_i dx$$



Hình 3.45: Nội lực trong dầm liên hợp liên tục do chênh lệch nhiệt độ âm.

- Nếu trên từng đoạn chiều cao dầm không đổi:

$$\Delta_{it} = \alpha_t \Delta t \sum \frac{Q_t}{I_{td}} \int_0^l \bar{M}_i dx$$

Trong đó:

- + α_t : Hệ số giãn nở nhiệt của thép.
- + Δt : Chênh lệch nhiệt độ âm.
- + Q_t : Mômen tĩnh của tiết diện dầm thép đối với trục trung hoà đàn hồi của tiết diện liên hợp ngắn hạn (x_{td}).
- + I_{td} : Mômen quán tính tính đối của tiết diện liên hợp đối với trục x_{td} .
- + $\int_0^l \overline{M}_i dx$: Chính là diện tích biểu đồ \overline{M}_i .

- Sau khi tính được các hệ số δ_{ik} và số hạng tự do Δ_{it} , thay δ_{ik} và Δ_{it} vào phương trình chính tắc và giả phương trình ta có các ẩn lực thừa, đó chính là M_1, M_2 ở gối 1 và 2, từ đó vẽ được biểu đồ mômen gối M_g . Biểu đồ mômen cuối cùng M_{tc} là tổng của hai biểu đồ M_t và M_g , đó chính là biểu đồ mômen của hệ siêu tĩnh do chênh lệch nhiệt độ âm.

- Từ biểu đồ M_{tc} dễ dàng vẽ được biểu đồ lực cắt V khi sử dụng công thức:

$$\begin{cases} V_{tr} = \frac{1}{L}(M_{ph} - M_{tr}) + \frac{qL}{2} \\ V_{ph} = \frac{1}{L}(M_{ph} - M_{tr}) - \frac{qL}{2} \end{cases}$$

Trong đó:

- + V_{tr}, V_{ph} : Lực cắt ở đầu trái và đầu phải của đoạn.
 - + M_{tr}, M_{ph} : Mômen uốn ở đầu trái và đầu phải của đoạn.
 - + q : Tải trọng phân bố trên đoạn, trong trường hợp này $q=0$.
 - + l : Chiều dài đoạn.
- Cũng có thể xác định mômen gối M_i bằng cách viết các phương trình ba mômen cho gối trung gian :

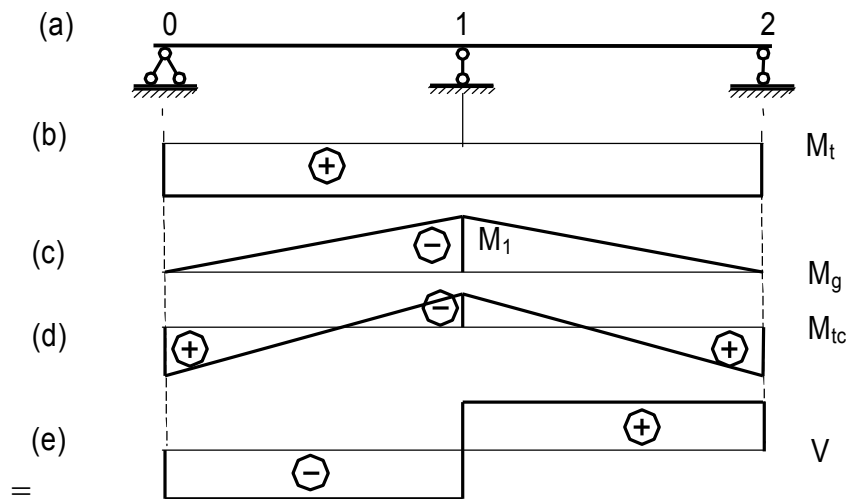
$$\frac{L_i}{6EI_i} M_{i-1} + \left(\frac{L_i}{3EI_i} + \frac{L_{i+1}}{3EI_{i+1}} \right) M_i + \frac{L_{i+1}}{6EI_{i+1}} M_{i+1} + \frac{\omega_i a_i}{L_i EI_i} + \frac{\omega_{i+1} b_{i+1}}{L_{i+1} EI_{i+1}} = 0$$

Trong đó :

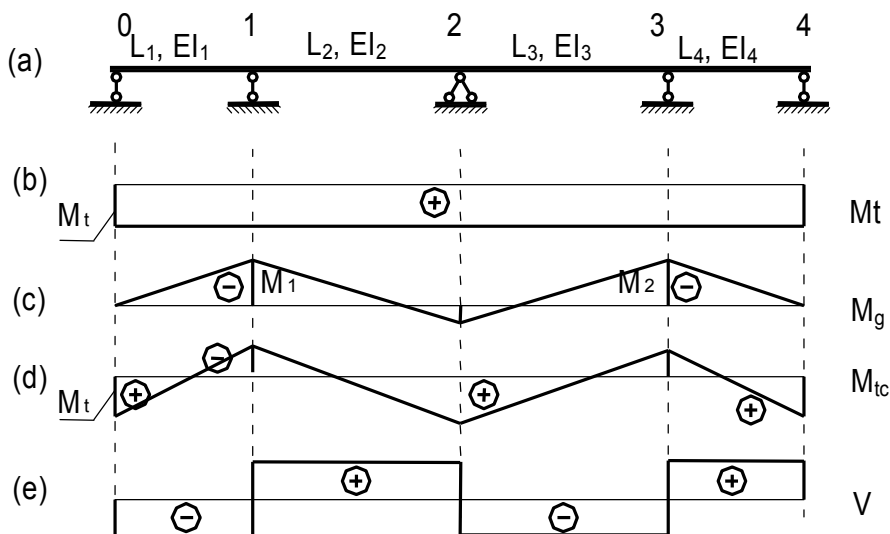
- + L_i, L_{i+1} : Chiều dài nhịp thứ i và $i+1$.
- + EI_i, EI_{i+1} : Độ cứng chống uốn của tiết diện liên hợp ngắn hạn, trong đó E là môđun đàn hồi của thép, còn I là mômen quán tính tính đối đối với trục trung hoà đàn hồi (x_{td}).
- + M_{i-1}, M_i, M_{i+1} : Mômen gối.
- + ω_i, ω_{i+1} : Diện tích biểu đồ mômen do chênh lệch nhiệt độ trên hệ cơ bản ở nhịp i và nhịp $i+1$.
- + a_i, b_{i+1} : Khoảng cách từ trọng tâm diện tích ω_i và ω_{i+1} đến đầu trái và đầu phải nhịp i và nhịp $i+1$.

- Giải phương trình ba mômen sẽ có các mômen gối M_i , công việc tiếp theo là vẽ biểu đồ mômen gối, biểu đồ mômen uốn tổng cộng và biểu đồ lực cắt hoàn toàn giống như khi giải bằng phương trình chính tắc.

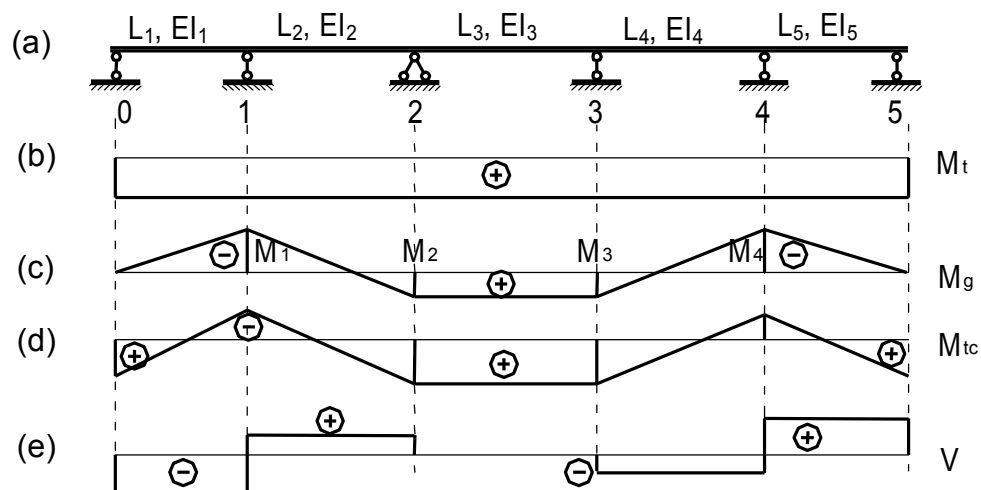
- Với các tính toán như trên có các biểu đồ mômen và lực cắt cho cả hai nhịp liên tục ($L_1=L_2$), bốn nhịp liên tục ($L_1 = L_4; L_2 = L_3$), năm nhịp liên tục ($L_1 = L_5; L_2 = L_4$) khi trên mỗi nhịp chiều cao dầm không đổi, các nhịp có chiều cao như nhau và chênh lệch nhiệt độ âm như trên hình vẽ.



Hình 3.46: Cầu 2 nhịp liên tục.



Hình 3.47: Cầu 4 nhịp liên tục.



Hình 3.48: Cầu 5 nhịp liên tục.

3.5.2.6. Nội lực do chênh lệch nhiệt độ dương trong cầu liên hợp nhịp liên tục:

- Với cách tính tương tự như chênh lệch nhiệt độ âm, nhưng ở đây dương nên:

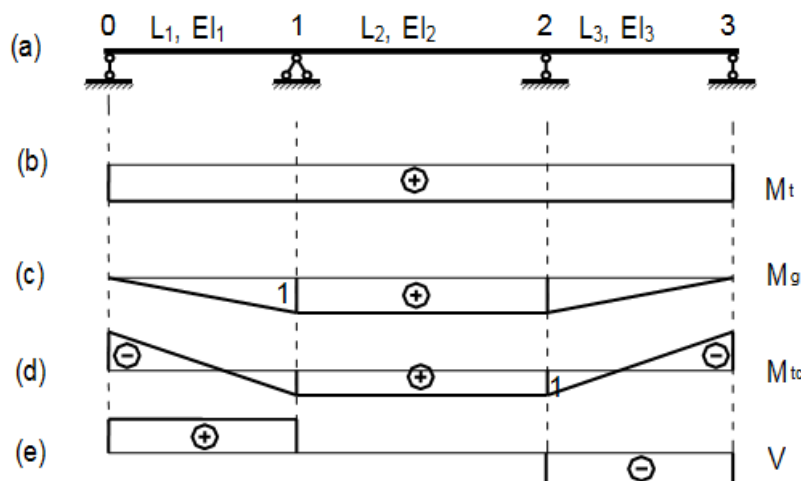
$$\Delta_{it} = -\alpha \Delta \sum \int_0^l \frac{Q_t}{I_{td}} \overline{M}_i dx$$

hay

$$\Delta_{it} = -\alpha \Delta t \sum \frac{Q_t}{I_{td}} \int_0^l \overline{M}_i dx$$

- Bằng cách giải phương trình chính tắc hoặc viết và giải các phương trình ba mômen ta sẽ có các ẩn lực thừa là các mômen gối, từ đó vẽ được biểu đồ mômen gối. Cộng các biểu đồ mômen gối M_g và biểu đồ mômen do chênh lệch nhiệt độ sinh ra trên hệ cơ bản M_t ta sẽ có biểu đồ mômen uốn tổng cộng M_{tc} , trên biểu đồ này dễ dàng tìm được mômen uốn ở bất kì mặt cắt nào do chênh lệch nhiệt độ sinh ra. Từ biểu đồ M_{tc} vẽ được biểu đồ lực cắt do chênh lệch nhiệt độ dương.

- Trên hình vẽ giới thiệu các biểu đồ M_t , M_g , M_{tc} và V cho dầm liên tục ba nhịp có $L_1 = L_3$ và có chiều cao dầm không đổi trên cả ba nhịp. Với các trường hợp dầm liên tục 2 nhịp, 4 nhịp và 5 nhịp có thể vẽ tương tự.

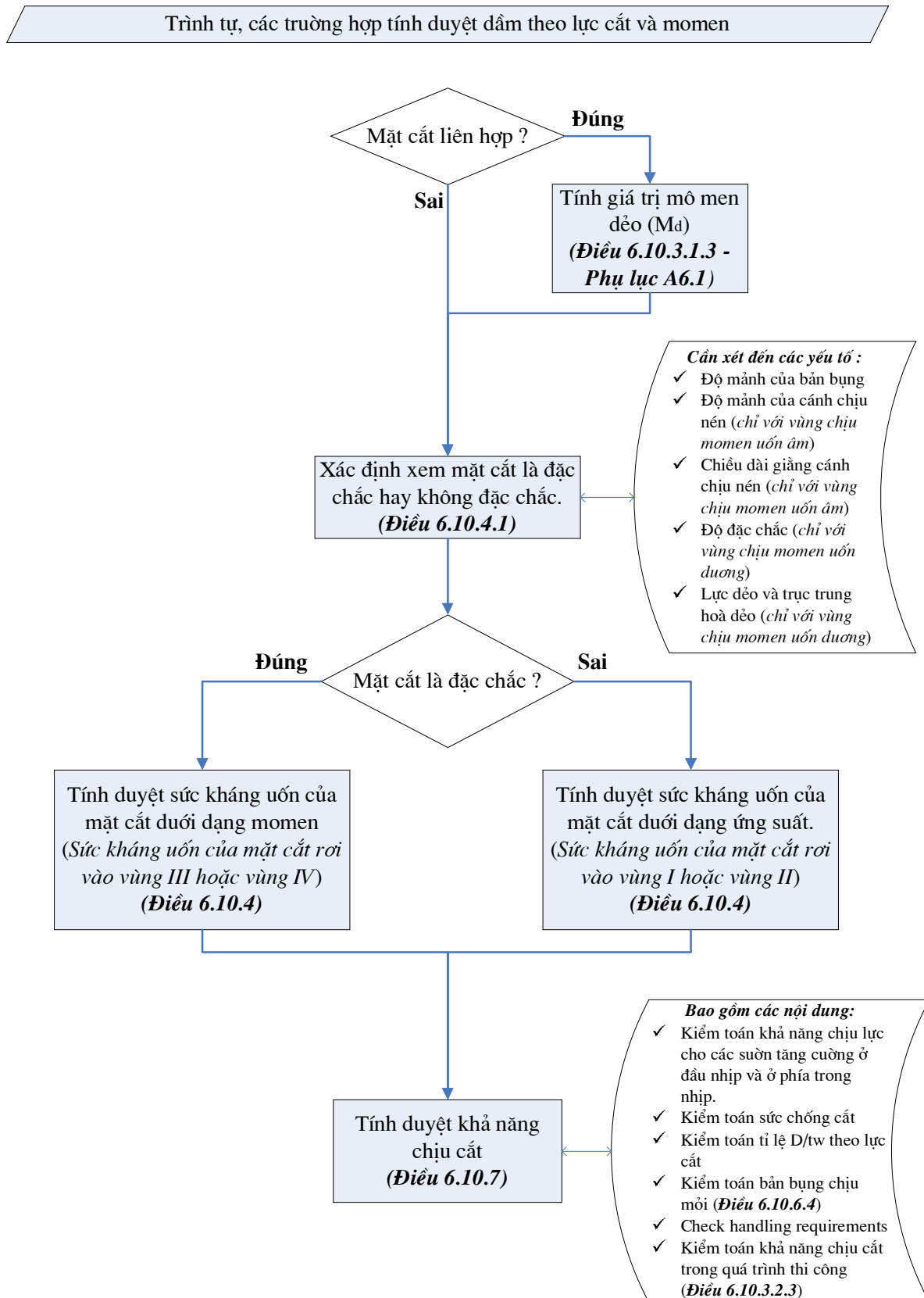


Hình 3.49: Nội lực trong dầm liên tục do chênh lệch nhiệt độ dương.

§3.6. KIỂM TOÁN KCN THEO CÁC TTGH

3.6.1. NỘI DUNG KIỂM TOÁN KẾT CẤU NHỊP:

Sơ đồ khối:



3.6.2. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN CẤU TẠO CHUNG CỦA DÀM:**3.6.2.1. Tỷ lệ cấu tạo chung của dầm chủ: (Điều 6.10.2.1)**

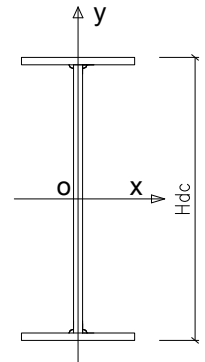
- Dầm chủ yếu chịu uốn do đó phải được cấu tạo đảm bảo tỉ lệ sau:

$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9$$

Trong đó:

- + I_{yc} : MMQT của bản cánh chịu nén đối với trục thẳng đứng Oy .
- + I_y : MMQT của mặt cắt dầm đối với trục thẳng đứng Oy .

- Ngoài ra chiều dày của cánh dầm, sườn dầm (trừ sườn dầm của thép I cán) phải lớn hơn 8mm, còn chiều dày sườn dầm của thép I hoặc [phải lớn hơn 7mm.



Hình 3.50: Mặt cắt dầm chủ.

3.6.2.2. Kiểm tra độ mảnh của bản bụng: (Điều 6.10.2.2)

- Để tránh hiện tượng mất ổn định cục bộ thì sườn dầm phải được cấu tạo sao cho:
- + Khi không có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 6,77 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

- + Khi có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 11,63 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

Trong đó:

- + t_w : Chiều dày của sườn dầm.
- + D_c : Chiều cao vùng chịu nén của sườn dầm trong giai đoạn đàn hồi.
- + f_c : Ứng suất tại trọng tâm cánh chịu nén do tải trọng tính toán.
- + E : Môđun đàn hồi của thép.

3.6.3. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN CẤU TẠO CỦA MẶT CẮT ĐẶC CHẮC:**➤ Điều kiện kiểm tra:**

- Khi dầm chữ I có chiều cao không đổi và có cường độ chảy dẻo nhỏ nhất quy định $\leq 345\text{MPa}$ thì ta phải kiểm tra theo điều kiện độ mảnh của sườn dầm có mặt cắt đặc chắc.
- Khi dầm chữ I có chiều cao thay đổi hoặc có cường độ chảy dẻo nhỏ nhất quy định $> 345\text{MPa}$ thì ta phải kiểm tra theo điều kiện độ mảnh bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc.

3.6.3.1. Kiểm tra độ mảnh của sườn dầm có mặt cắt đặc chắc: (Điều 6.10.4.1.1)

- Công thức kiểm toán:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (1)$$

Trong đó:

- + D_{cp} : Chiều cao sườn dầm chịu nén ứng với mômen chảy M_p .
- + t_w : Chiều dày bản bụng.
- + E : Môđun đàn hồi của thép.
- + f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bản cánh chịu nén.
- Nếu thỏa mãn điều kiện trên thì bản bụng của dầm thép được coi là đặc chắc và:
 - + Đối với mặt cắt liên hợp chịu uốn dương sức kháng uốn phải được xác định theo các quy định của điều 6.10.4.2.2 về sức kháng uốn dương của mặt cắt liên hợp đặc chắc.
 - + Đối với các mặt cắt khác, phải kiểm tra độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt đặc chắc.
- Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì bản bụng của dầm thép được coi là không đặc chắc và:
 - + Khi không sử dụng công thức Q thì:
 - Đối với mặt cắt liên hợp chịu uốn dương phải xác định sức kháng uốn của mỗi bản cánh theo các quy định của điều 6.10.4.2.4 về sức kháng uốn của bản cánh có mặt cắt không đặc chắc.
 - Đối với các mặt cắt khác, phải kiểm tra độ mảnh bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc.
 - + Khi sử dụng công thức Q thì phải theo các quy định của điều 6.10.4.1.5 về điều kiện của công thức Q.

3.6.3.2. Kiểm tra độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt đặc chắc: (Điều 6.10.4.1.3)

- Công thức kiểm toán:

$$\frac{b_c}{2t_c} \leq 0,382 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (2)$$

Trong đó:

- + b_c : Chiều rộng bản cánh chịu nén.
- + t_c : Chiều dày bản cánh chịu nén.
- + E : Môđun đàn hồi của thép.
- + f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bản cánh chịu nén.
- Nếu thỏa mãn điều kiện trên thì ta tiếp tục kiểm tra điều kiện về sự tương tác qua lại giữa độ mảnh của bản bụng có mặt cắt đặc chắc và bản cánh chịu nén.

- Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì bản cánh chịu nén không được coi là đặc chắc và:

+ Khi không sử dụng công thức Q thì phải kiểm tra về độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc.

+ Khi sử dụng công thức Q thì phải theo các quy định của điều 6.10.4.1.5 về điều kiện của công thức Q.

3.6.3.3. Kiểm tra tương tác giữa sườn dầm và bản cánh chịu nén: (Điều 6.10.4.1.6)

- Công thức kiểm toán:

$$\begin{cases} \frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \\ \frac{b_c}{2t_c} \leq 0,382 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \end{cases} \quad (3)$$

- Nếu điều kiện trên được thỏa mãn thì phải tuân theo các quy định về việc giằng bản cánh có mặt cắt đặc chắc.

- Nếu điều kiện trên không thỏa mãn thì phải tính toán tác động qua lại giữa sườn dầm có mặt cắt đặc chắc và bản cánh chịu nén theo điều kiện:

$$\frac{D_{cp}}{t_w} + 9,35 \frac{b_c}{2t_c} \leq 6,25 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (3')$$

- Nếu điều kiện trên được thỏa mãn thì phải tuân theo các quy định về việc giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt đặc chắc.

- Nếu điều kiện trên không thỏa mãn:

+ Khi không sử dụng công thức Q thì phải kiểm tra về độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc.

+ Khi sử dụng công thức Q thì phải theo các quy định của điều 6.10.4.1.5 về điều kiện của công thức Q.

3.6.3.4. Kiểm tra giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt đặc chắc: (Điều 6.10.4.1.7)

- Công thức kiểm toán:

$$L_b \leq \left[0,124 - 0,0759 \left(\frac{M_l}{M_p} \right) \right] \left(\frac{r_y E}{f_{yc}} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

+ L_b : Chiều dài không được giằng.

+ r_y : Bán kính quán tính của mặt cắt thép đối với trục thẳng đứng.

+ M_l : Mômen nhỏ hơn do tải trọng tính toán trong hai mômen ở hai đầu của đoạn không được giằng.

+ M_p : Mômen dẻo.

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh chịu nén.

+ Tỉ số $\frac{M_l}{M_p}$ phải lấy dấu âm nếu phần cấu kiện trong phạm vi chiều dài không được

giằng bị uốn theo đường cong ngược.

- Nếu thỏa mãn điều kiện trên và:

+ Một trong hai điều kiện tương tác độ mảnh giữa bản bụng có mặt cắt đặc chắc và bản cánh chịu nén được thỏa mãn thì bản cánh chịu nén được coi là đặc chắc, khi đó sức kháng uốn phải được xác định theo quy định về sức kháng uốn của mặt cắt đặc chắc thông thường.

+ Cả hai điều kiện tương tác độ mảnh giữa bản bụng có mặt cắt đặc chắc và bản cánh chịu nén không thỏa mãn thì sức kháng uốn có thể được xác định theo các quy định về sức kháng uốn của điều 6.10.4.2.3 dựa trên công thức Q theo cách tùy chọn.

- Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì phải kiểm tra về việc giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc.

3.6.3.5. Điều kiện sử dụng công thức Q theo cách tùy chọn: (Điều 6.10.4.1.5)

Nếu mặt cắt đang xét chịu uốn âm và không có các sườn tăng cường dọc thì phải nghiên cứu theo các quy định của điều 6.10.4.1.8 về độ mảnh của bản bụng và bản cánh chịu nén khi sử dụng công thức Q theo cách tùy chọn.

3.6.3.6. Kiểm tra độ mảnh của bản bụng và bản cánh chịu nén khi dùng công thức Q: (Điều 6.10.4.1.8)

- Công thức kiểm toán:

$$\begin{cases} \frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 6,77 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \\ \frac{b_c}{2t_c} \leq 2,52 \sqrt{\frac{E}{f_{yc} \sqrt{\frac{2D_{cp}}{t_w}}}} \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó:

+ D_{cp} : Chiều cao sườn dầm chịu nén ứng với mômen chảy M_p .

+ t_w : Chiều dày bản bụng.

+ E : Môđun đàn hồi của thép.

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bản cánh chịu nén.

+ b_c : Chiều rộng bản cánh chịu nén.

+ t_c : Chiều dày bản cánh chịu nén.

- Nếu điều kiện trên được thỏa mãn thì tiếp tục kiểm tra điều kiện giằng bản cánh chịu nén của mặt cắt đặc chắc theo điều 6.4.10.1.7

- Nếu điều kiện trên không đạt thì phải kiểm tra điều kiện về độ mảnh của bản cánh chịu nén của mặt cắt không đặc chắc theo điều 6.4.10.1.4

3.6.4. KIỂM TRA ĐIỀU KIỆN CẤU TẠO CỦA MẶT CẮT KHÔNG ĐẶC CHẮC:

3.6.4.1. Kiểm tra độ mảnh của bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc: (Điều 6.10.4.1.4)

- Công thức kiểm toán:

(5)

$$+ \text{ Khi không có sườn tăng cường dọc: } \frac{b_c}{2t_c} \leq 1,38 \sqrt{\frac{E}{f_c \sqrt{\frac{2D_c}{t_w}}}}$$

$$+ \text{ Khi có sườn tăng cường dọc: } \frac{b_c}{2t_c} \leq 0,408 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

Trong đó:

+ b_c : Chiều rộng bản cánh chịu nén.

+ t_c : Chiều dày bản cánh chịu nén.

+ E : Môđun đàn hồi của thép.

+ D_c : Chiều cao phần sườn dầm chịu nén trong giai đoạn đàn hồi.

+ f_c : Ứng suất trong bản cánh chịu nén do tác dụng của tải trọng tính toán.

- Nếu thỏa mãn điều kiện trên thì phải kiểm tra theo các quy định về việc giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc.

- Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì mặt cắt dầm thép không được chấp nhận và phải chọn một mặt cắt mới.

3.6.4.2. Kiểm tra điều kiện giằng bản cánh chịu nén có mặt cắt không đặc chắc: (Điều 6.10.4.1.9)

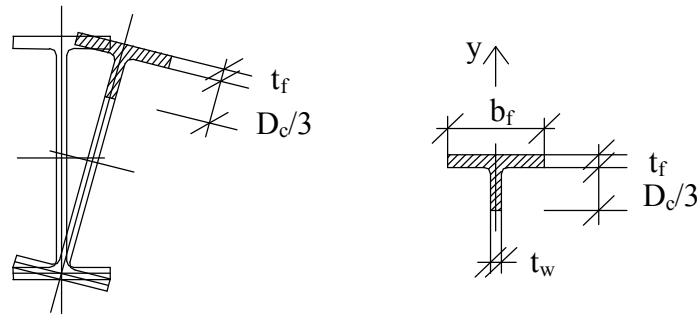
- Công thức kiểm toán:

$$L_b \leq L_p = 1,76 r_t \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \quad (6)$$

Trong đó:

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bản cánh chịu nén (MPa)

+ r_t : Bán kính quán tính đối với trục thẳng đứng của mặt cắt quy ước, bao gồm cánh nén của mặt cắt thép cộng thêm 1/3 chiều cao chịu nén của sườn dầm (mm).



Hình 3.51: Mất ổn định ngang do xoắn.

- Nếu điều kiện trên đạt thì phải xác định sức kháng uốn của mỗi bản cánh theo cách xác định sức kháng uốn của bản cánh có mặt cắt không đặc chắc theo Điều 6.10.4.2.4.

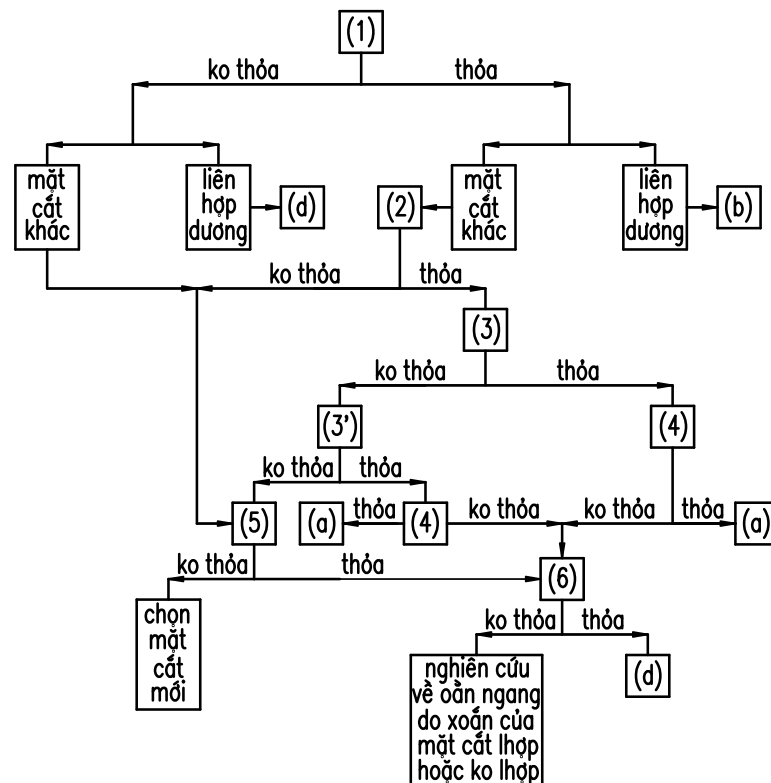
- Nếu điều kiện trên không đạt thì:

+ Đối với các mặt cắt liên hợp trong trạng thái làm việc cuối cùng của chúng, việc nghiên cứu phải được tiến hành theo quy định của Điều 6.10.4.2.5 về oằn ngang do xoắn của mặt cắt liên hợp, hoặc

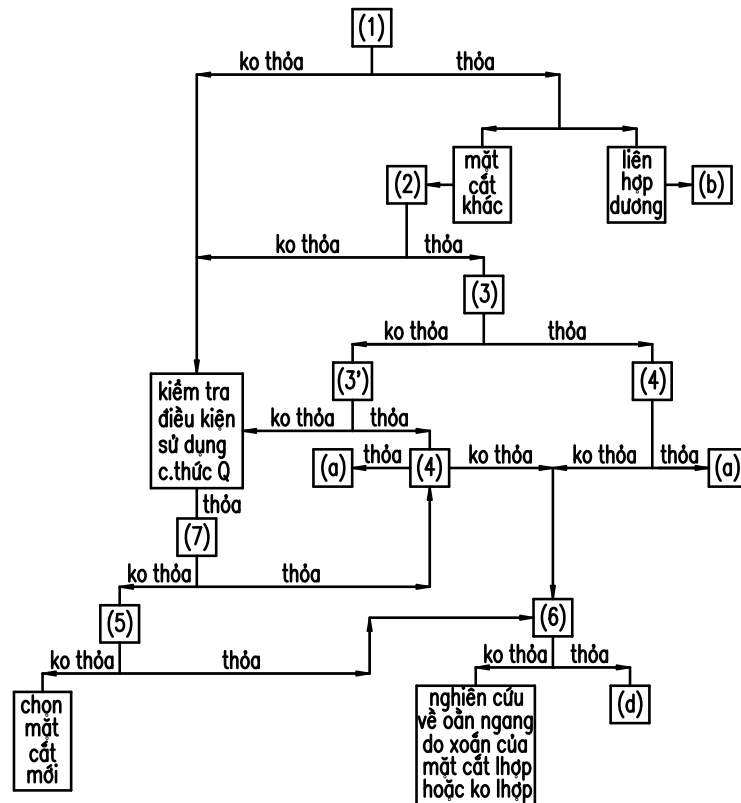
+ Đối với mặt cắt không liên hợp hoặc bố trí cấu tạo để thi công của các mặt cắt liên hợp, việc nghiên cứu phải được tiến hành theo qui định các Điều 6.10.4.2.6 về oằn ngang do xoắn của mặt cắt không liên hợp.

➤ Bảng tổng hợp phân loại mặt cắt:

- Khi không sử dụng công thức Q:



- Khi sử dụng công thức Q:



3.6.5. KIỂM TOÁN SỨC KHÁNG UỖN THEO TTGH CƯỜNG ĐỘ:

3.6.5.1. Công thức kiểm toán:

- Công thức kiểm toán: $M_r \geq M_{\max}^{\text{tt}}$
- Sức kháng uốn tính toán:

$$\left. \begin{aligned} M_r &= \Phi_f M_n \\ f_r &= \Phi_f f_n \end{aligned} \right\}$$

Trong đó:

- + M_{\max}^{tt} : Mômen tính toán lớn nhất do tải trọng gây ra.
- + M_r : Sức kháng uốn tính toán của mặt cắt.
- + M_n : Sức kháng uốn danh định.
- + Φ_f : Hệ số sức kháng uốn, $\Phi = 1,00$
- + f_n : Sức kháng uốn danh định (ứng suất) ở mỗi bản cánh.

Chú ý:

- + Không áp dụng các quy định về phân phối lại mômen cho dầm giản đơn.
- + Với kết cấu nhịp liên tục có thể dùng các quy định đàn hồi hoặc không đàn hồi để tính toán trong trạng thái giới hạn cường độ. Chỉ có các cấu kiện liên hợp hoặc không liên hợp với mặt cắt chữ I chiều cao không đổi, mặt cắt đặc và có cường độ chảy dẻo nhỏ nhất không vượt quá 345Mpa thì mới được phép áp dụng các phân tích đàn hồi.

3.6.5.2. Tính sức kháng uốn danh định M_n : (Điều 6.10.4.2)

- Quy trình quy định mọi mặt cắt được dự kiến đạt đến mômen dẻo phải bố trí liên kết dọc (giằng ngang).

a. Sức kháng uốn của mặt cắt đặc chắc thông thường (mặt cắt không liên hợp):

- Sức kháng uốn danh định M_n :

$$M_n = M_p \quad (a)$$

Trong đó:

+ M_n : Sức kháng uốn danh định.

+ M_p : Mômen dẻo (hay sức kháng uốn của mặt cắt ở trạng thái dẻo hoàn toàn).

b. Sức kháng uốn của mặt cắt liên hợp đặc chắc: (b)

- Với các mặt cắt của cầu giản đơn một nhịp hoặc của cầu liên tục có mômen uốn âm tại các gối trung gian thì sức kháng uốn danh định của mặt cắt liên hợp đặc chắc trong vùng uốn dương xác định theo công thức:

+ Nếu $D_p \leq D'$ thì: $M_n = M_p$

+ Nếu $D' < D_p \leq 5D'$ thì:

$$M_n = \frac{5M_p - 0,85M_y}{4} + \frac{0,85M_y - M_p}{4} \left(\frac{D_p}{D'} \right)$$

Trong đó:

+ M_y : Mômen chảy của mặt cắt liên hợp ngăn hạn chịu mômen dương.

+ M_p : Mômen dẻo.

+ D_p : Khoảng cách từ mép trên bản bê tông tới trục trung hòa dẻo.

+ D' : Khoảng cách, lấy như sau: $D' = \beta \frac{H_{sb} + t_s + t_h}{7,5}$.

+ $\beta = 0,9$ đối với thép có $f_y = 250$ Mpa.

+ $\beta = 0,7$ đối với thép có $f_y = 345$ MPa.

+ t_h, t_s : Chiều cao vút và chiều dày bản bê tông.

+ H_{sb} : Chiều cao dầm thép.

- Với các mặt cắt khác có thể xác định bằng 1 trong 2 phương pháp sau nhưng không được lấy lớn hơn giá trị của M_n được tính toán từ 2 phương trình trên:

+ Tính theo phương pháp gần đúng:

$$M_n = 1,3 R_h M_y$$

+ Tính theo phương pháp chính xác:

$$M_n = R_h M_y + A (M_{np} - M_{cp})$$

Trong đó:

+ A: Hệ số, lấy như sau: với nhịp biên lấy bằng khoảng cách từ gối biên đến mặt cắt tính toán chia cho chiều dài nhịp biên, với nhịp trong lấy A=1.

+ M_{cp} : Mômen uốn do tải trọng tính toán ở gối đỡ trong ứng với tải trọng sinh ra mômen uốn dương lớn nhất ở mặt cắt đang xét.

+ M_{np} : Sức kháng danh định của 1 gối đỡ trong.

+ Trị số ($M_{np} - M_{cp}$) đối với các nhịp trong phải lấy số nhỏ hơn trong hai giá trị ở hai nhịp biên.

+ R_h : Hệ số lai.

c. Tính sức kháng uốn dựa trên công thức Q theo cách tùy chọn: (c)

- Sức kháng uốn M_n có thể được lấy theo giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị sau:

$$M_n = M_p$$

$$M_n = \left\{ 1 - \left[1 - 0,7 \left(\frac{M_y}{M_p} \right) \right] \left(\frac{Q_p - Q_\pi}{Q_p - 0,7} \right) \right\} M_p$$

Trong đó:

+ Q_p : Độ mảnh của sườn và cánh nén để đạt được sức kháng uốn M_p , xác định theo kết quả thí nghiệm (tuyến tính hóa).

1. Đối với các mặt cắt không đối xứng:

$$Q_p = 5,47 \left(\frac{M_p}{M_y} \right) - 3,13$$

2. Đối với các mặt cắt đối xứng:

+ Q_p : Tỷ số giữa khả năng ổn định và cường độ chảy của bản cánh.

$$Q_p = 3$$

$$1. \text{ Nếu } \frac{b_c}{2t_c} \leq 0,382 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \text{ thì } Q_\pi = \frac{30,5}{\sqrt{\frac{2D_{cp}}{t_w}}}$$

$$2. \text{ Nếu } \frac{b_c}{2t_c} > 0,382 \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \text{ thì } Q_\pi = \frac{4,45}{\left(\frac{b_f}{2t_f} \right)^2 \sqrt{\frac{2D_{cp}}{t_w}}} \frac{E}{f_{yc}}$$

Trong đó:

+ M_p : Mômen dẻo.

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh chịu nén.

+ M_y : Mômen chảy.

+ b_c, t_c : Chiều rộng và chiều dày của cánh chịu nén của dầm thép.

d. Tính sức kháng uốn của bản cánh có mặt cắt không đặc chắc:

- Sức kháng uốn (tính theo ứng suất) danh định của mỗi bản cánh dầm:

$$f_n = R_b R_h f_{yf} \quad (d)$$

Trong đó:

- + R_h : Hệ số lai.
- + R_b : Hệ số truyền tải trọng.
- + f_{yf} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh dầm.

e. Sức kháng uốn của bản cánh của mặt cắt liên hợp mất ổn định ngang do xoắn:**1. Bản cánh chịu nén:**

Sức kháng uốn (tính theo ứng suất) của cánh nén được tính theo các công thức:

$$\text{- Nếu } L_b \leq L_r - 4,44r_t \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \text{ thì } f_n = C_b R_b R_h f_{yc} \left[1,33 - 0,187 \left(\frac{L_b}{r_t} \right) \sqrt{\frac{f_{yc}}{E}} \right] \leq R_b R_h f_{yc}$$

$$\text{- Nếu } L_b > L_r - 4,44r_t \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}} \text{ thì } f_n = C_b R_b R_h \left[9,86 E \left(\frac{r_t}{L_b} \right)^2 \right] \leq R_b R_h f_{yc}$$

Trong đó:

- + C_b : Hệ số điều chỉnh sự chênh lệch mômen dọc theo chiều dài không giằng.

1. Đối với dầm mút thừa không có liên kết hoặc đối với các cấu kiện mà mômen trên phần lớn đoạn dầm không được giằng vượt quá giá trị lớn hơn của hai mômen ở hai đầu đoạn thì lấy $C_b = 1$.

2. Đối với trường hợp khác C_b theo công thức sau:

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left(\frac{P_l}{P_h} \right) + 0,3 \left(\frac{P_l}{P_h} \right)^2 \leq 2,3$$

Trong đó:

+ P_l : Lực trong bản cánh chịu nén tại điểm liên kết có lực nhỏ hơn do tải trọng tính toán sinh ra.

+ P_h : Lực trong bản cánh chịu nén tại điểm liên kết có lực lớn hơn do tải trọng tính toán sinh ra.

+ L_b : Chiều dài đoạn không liên kết.

+ r_t : Bán kính quán tính của mặt cắt quy ước gồm bản cánh chịu nén của mặt cắt thép cộng với một phần ba chiều cao sườn dầm lấy đối với trục thẳng đứng.

+ R_h : Hệ số lai.

+ R_b : Hệ số truyền tải trọng.

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bản cánh chịu nén.

Chú ý: Tỷ số P_l/P_h lấy dấu âm nếu P_l là lực kéo.

2. Bản cánh chịu kéo:

- Sức kháng uốn danh định (khi tính theo ứng suất) của cánh chịu kéo:

$$f_n = R_b R_h f_{yt}$$

Trong đó:

- + f_{yt} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh chịu kéo.
- + R_h : Hệ số lai.
- + R_b : Hệ số truyền tải trọng.

f. Sức kháng uốn của mặt cắt không liên hợp khi xét đến mất ổn định ngang do xoắn:

1. Bản cánh chịu nén:

- Nếu có sườn tăng cường dọc và: $\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}}$ thì sức kháng uốn danh định được

tính như sau:

$$M_n = 3,14 E C_b R_h \frac{I_{yc}}{L_b} \sqrt{0,772 \left(\frac{J}{I_{yc}} \right) + 9,87 \left(\frac{d}{L_b} \right)^2} \leq R_h M_y$$

- Nếu không có sườn tăng cường dọc hoặc $\frac{2D_c}{t_w} > \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}}$

+ Nếu $L_b \leq L_r = 4,44 \sqrt{\frac{I_{yc} d E}{S_{xc} f_{yc}}}$ thì $M_n = C_b R_b R_h M_y \left[1 - 0,5 \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_b R_h M_y$

+ Nếu $L_b > L_r = 4,44 \sqrt{\frac{I_{yc} d E}{S_{xc} f_{yc}}}$ thì $M_n = C_b R_b R_h \frac{M_y}{2} \left(\frac{L_r}{L_b} \right)^2 \leq R_b R_h M_y$

Trong đó:

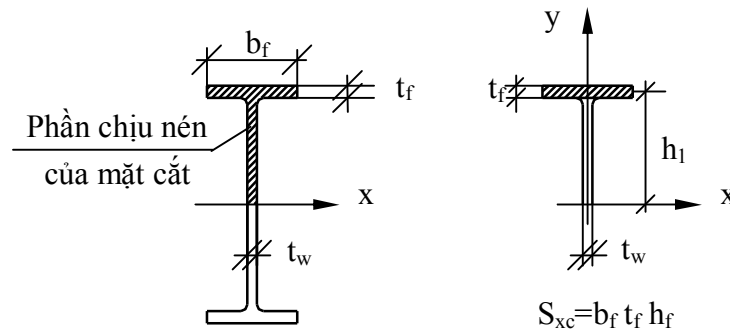
$$J = \frac{D t_w^3}{3} + \sum \frac{b_c t_c^3}{3} \quad \text{và} \quad L_p = 1,76 r_t \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}}$$

+ λ_b : Hệ số lấy như sau:

1. $\lambda_b = 5,76$ khi diện tích cánh nén lớn hơn hoặc bằng diện tích cánh kéo.
2. $\lambda_b = 4,64$ khi diện tích cánh nén nhỏ hơn diện tích cánh kéo.

- + I_{yc} : Mômen quán tính của cánh nén đối với trục thẳng đứng.
- + S_{xc} : Mômen tĩnh của diện tích cánh chịu nén đối với trục nằm ngang.
- + r_t : Bán kính quán tính của cánh nén đối với trục thẳng đứng.
- + R_h : Hệ số lai.
- + f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của bản cánh chịu nén.

+ b_c, t_c : Bề rộng và chiều dày của bản cánh chịu nén.



Hình 3.52: Mặt cắt không liên hợp.

2. Bản cánh chịu kéo:

- Sức kháng uốn danh định (tính theo ứng suất) của cánh chịu kéo được tính theo công thức:

$$f_n = R_b R_h f_{yt}$$

g. Các hệ số triết giảm ứng suất bản cánh:

1. Hệ số lai R_h :

- Hệ số lai dùng để xét đến ảnh hưởng của phân bố ứng suất phi tuyến gây ra bởi việc cấu tạo sườn dầm có cường độ thấp hơn cường độ của các bản cánh trong dầm lai.

- Đối với các mặt cắt đồng nhất (toàn bộ mặt cắt bằng cùng loại thép)

$$R_h = 1.$$

- Đối với mặt cắt lai khi ứng suất ở cả hai cánh dầm dưới tác dụng của tải trọng tính toán không vượt quá cường độ chảy của sườn dầm f_{yw} thì $R_h = 1$.

- Đối với mặt cắt lai dưới tác dụng của tải trọng tính toán một bản cánh đạt đến cường độ chảy thì tính theo mặt cắt chịu uốn dương hoặc uốn âm dưới đây:

+ Mặt cắt chịu uốn dương:

$$R_h = 1 - \left(\frac{\beta \psi (1 - \rho)^2 (3 - \psi - \rho \psi)}{6 + \beta \psi (3 - \psi)} \right) \quad \text{Với} \quad \left. \begin{aligned} \rho &= \frac{f_{yw}}{f_{yb}} \\ \beta &= \frac{A_w}{A_{fb}} \\ \psi &= \frac{d_n}{H_{sb}} \end{aligned} \right\}$$

Trong đó:

+ d_n : Khoảng cách từ mép dưới của cánh dưới đến trục trung hòa của tiết diện tính đổi ngắn hạn.

+ H_{sb} : Chiều cao của mặt cắt thép.

+ f_{yb} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh dưới.

- + f_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.
- + A_{fb} , A_w : Diện tích cánh dưới và diện tích sườn dầm.
- + Mặt cắt chịu uốn âm:

1. Khi trục trung hòa của mặt cắt lai liên hợp (trục trung hòa tại mômen đàn hồi) nằm trong phạm vi 10% chiều cao sườn dầm tính từ giữa sườn dầm, hệ số lai tính theo công thức sau:

$$R_h = \frac{12 + \beta(3\rho - \rho^3)}{12 + 2\beta} \quad \text{Với} \quad \left. \begin{array}{l} \rho = \frac{f_{yw}}{f_{fl}} \\ \beta = \frac{2A_w}{A_{tf}} \end{array} \right\}$$

Trong đó:

+ A_{tf} : Tổng diện tích. Đối với các mặt cắt liên hợp A_{tf} là tổng diện tích của hai bản cánh thép và cốt thép dọc nằm trong mặt cắt. Đối với mặt cắt không liên hợp A_{tf} là tổng diện tích của hai bản cánh thép.

+ f_{fl} : Trị số nhỏ hơn giữa cường độ chảy nhỏ nhất quy định và ứng suất ở mỗi bản cánh do tải trọng tính toán.

2. Đối với mặt cắt lai liên hợp chịu uốn âm khác

$$R_h = \frac{M_{yr}}{M_y}$$

Trong đó:

+ M_{yr} : Mômen chảy có tính đến sự chảy ở sườn dầm.

+ M_y : Như ở trên.

2. Hệ số truyền tải trọng R_b :

- Với cánh chịu nén:

+ Nếu có sườn tăng cường và $\frac{2D_c}{t_w} \leq \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_c}}$ thì $R_b = 1$.

+ Nếu không có sườn tăng cường hoặc $\frac{2D_c}{t_w} > \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_c}}$ thì

$$R_b = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300a_r} \right) \left(\frac{2D_c}{t_w} - \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_c}} \right)$$

Với

$$a_r = \frac{2D_c t_w}{A_c}$$

Trong đó:

+ f_c : ứng suất ở bản cánh chịu nén đang xét do tải trọng tính toán.

+ A_c : Diện tích cánh chịu nén.

+ λ_b : Hệ số lấy như sau:

1. $\lambda_b = 5,76$ khi diện tích tiết diện cánh nén lớn hơn hoặc bằng diện tích tiết diện cánh kéo.

2. $\lambda_b = 4,64$ trong trường hợp ngược lại.

- Với cánh chịu kéo: $R_b = 1$.

3.6.6. KIỂM TOÁN SỨC KHÁNG CẮT THEO TTGH CƯỜNG ĐỘ:

3.6.6.1. Công thức kiểm toán:

- Công thức kiểm toán:

$$V_r \geq V_u = V_{\max}^{\text{tt}}$$

- Sức kháng cắt tính toán của sườn dầm (V_r)

$$V_r = \Phi_v \cdot V_n$$

Trong đó:

+ Φ_v : Hệ số sức kháng khi cắt, $\Phi = 1,00$

+ V_n : Sức kháng cắt danh định.

+ V_r : Sức kháng cắt tính toán.

3.6.6.2. Sức kháng cắt danh định của sườn dầm không có sườn tăng cường:

- Cả dầm lai và dầm làm bằng một loại thép, sức kháng cắt danh định được lấy như sau:

$$\text{+ Nếu: } \frac{D_w}{t_w} \leq 2,46 \sqrt{\frac{E}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad V_n = V_p = 0,58 f_{yw} D_w t_w$$

$$\text{+ Nếu } 2,46 \sqrt{\frac{E}{f_{yw}}} < \frac{D_w}{t_w} \leq 3,07 \sqrt{\frac{E}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad V_n = 1,48 t_w^2 \sqrt{E f_{yw}}$$

$$\text{+ Nếu } 3,07 \sqrt{\frac{E}{f_{yw}}} < \frac{D_w}{t_w} \quad \text{thì} \quad V_n = \frac{4,55 t_w^3 E}{D_w}$$

Trong đó:

+ D_w : Là chiều cao sườn dầm.

+ t_w : Là chiều dày sườn dầm.

+ f_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.

+ E : Môđun đàn hồi của thép.

+ V_p : Lực cắt dẻo của mặt cắt.

3.6.6.3. Sức kháng cắt của sườn dầm có sườn tăng cường:

a. Mặt cắt có một loại thép:

- Mảnh sườn dầm ở phía trong của mặt cắt đặc:

$$+ \text{ Nếu } M_u \leq 0,5 \Phi_f M_p \quad \text{thì:} \quad V_n = V_p \left[c + \frac{0,87(1-c)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D_w} \right)^2}} \right] \geq c V_p$$

$$+ \text{ Nếu } M_u > 0,5 \Phi_f M_p \quad \text{thì:} \quad V_n = R V_p \left[c + \frac{0,87(1-c)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D_w} \right)^2}} \right] \geq c V_p$$

$$\text{Với} \quad R = 0,6 + 0,4 \left(\frac{M_r - M_u}{M_r - 0,75 \phi_f M_y} \right) \leq 1, \quad V_p = 0,58 f_{yw} D_w t_w$$

Trong đó:

- + M_u : Mômen lớn nhất trong mảnh sườn dầm đang xét do tải trọng tính toán.
- + V_p : Lực cắt dẻo.
- + M_r : Sức kháng uốn tính toán.
- + Φ_f : Hệ số sức kháng đối với uốn.
- + M_y : Mômen chảy.
- + D_w : Chiều cao sườn dầm.
- + d_o : Khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng.
- + c : Tỉ số giữa ứng suất oằn cắt và cường độ chảy cắt, lấy như sau:

$$1. \text{ Nếu: } \frac{D_w}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad c = 1$$

$$2. \text{ Nếu } 1,10 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \leq \frac{D_w}{t_w} \leq 1,38 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad c = \frac{1,10}{\left(\frac{D_w}{t_w} \right)} \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$$

$$3. \text{ Nếu } 1,38 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} < \frac{D_w}{t_w} \quad \text{thì} \quad c = \frac{1,52}{\left(\frac{D_w}{t_w} \right)^2} \left(\frac{E k}{f_{yw}} \right)$$

$$\text{Với: } k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_o}{D_w} \right)^2}$$

- Mảnh sườn dầm ở phía trong của mặt cắt không đặc:

$$\begin{aligned}
 &+ \text{Nếu } f_u \leq 0,75 \Phi_f f_y \quad \text{thì} \quad V_n = V_p \left[c + \frac{0,87(1-c)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \\
 &+ \text{Nếu } f_u > 0,75 \Phi_f f_y \quad \text{thì} \quad V_n = R \cdot V_p \left[c + \frac{0,87(1-c)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_o}{D}\right)^2}} \right] \geq cV_p
 \end{aligned}$$

$$\text{Với: } R = 0,6 + 0,4 \left(\frac{f_r - f_u}{f_r - 0,75\phi_y f_y} \right); \quad V_p = 0,58 f_{yw} D_w t_w$$

Trong đó:

+ f_u : ứng suất lớn nhất trong cánh nén ở mảnh sườn dầm đang xét do tải trọng tính toán.

+ f_r : Sức kháng uốn tính toán của cánh nén.

+ c : Tỷ số giữa ứng suất oằn cắt và cường độ chảy cắt, lấy như phần trên.

- Mảnh sườn dầm ở hai đầu dầm: Các mảnh sườn dầm ở hai đầu dầm không có mảnh sườn dầm ở một cạnh nên nó làm việc bất lợi hơn các mảnh sườn dầm trong, khi đó sức kháng danh định được tính như sau:

$$V_n = c \cdot V_p \quad \text{và} \quad V_p = 0,58 f_{yw} D_w t_w$$

Trong đó:

+ V_n : Sức kháng cắt danh định.

+ V_p : Lực cắt dẻo của mặt cắt.

+ c : Hệ số xác định như ở phần trên.

b. Mặt cắt lại:

- Sức kháng cắt danh định cả ở mảnh sườn dầm phía trong và mảnh sườn dầm ngoài đều được tính theo công thức:

$$V_n = c \cdot V_p \quad \text{và} \quad V_p = 0,58 f_{yw} D_w t_w$$

3.6.7. KIỂM TOÁN SƯỜN DÀM THEO ĐIỀU KIỆN MỎI:

3.6.7.1. Nguyên tắc chung:

- Xét yêu cầu mỏi đối với sườn dầm là để kiểm tra uốn ngoài mặt phẳng của sườn dầm do mômen uốn hoặc do lực cắt tác dụng lặp đi lặp lại của hoạt tải:

+ Xe tải thiết kế chỉ tính 1 xe, với khoảng cách giữa 2 trục nặng không đổi bằng 9m và không xét tải trọng làn.

- + Hệ số tải trọng của hoạt tải $\gamma = 0,75$ và hệ số xung kích $1+IM = 1,15$.
- + Xét đến hệ số phân bố ngang cho trường hợp xếp tải 1 làn xe.
- Ứng suất uốn và ứng suất cắt do tải trọng mỗi như đã nêu ở trên sinh ra phải được nhân lên 2 lần.

3.6.7.2. Ứng suất uốn:

- Khi sườn dầm không có sườn tăng cường dọc thì:

$$+ \text{ Nếu: } \frac{2D_c}{t_w} \leq 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad f_{cf} \leq f_{yw}$$

$$+ \text{ Nếu: } \frac{2D_c}{t_w} > 5,7 \sqrt{\frac{E}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad f_{cf} \leq 32,5 \cdot E \cdot \left(\frac{t_w}{2D_c} \right)^2$$

Trong đó:

- + f_{cf} : Ứng suất nén đàn hồi bất lợi trong cánh nén dưới tác dụng của tĩnh tải tiêu chuẩn (tĩnh tải không nhân với hệ số tải trọng) và hoạt tải để tính mỗi như đã nêu ở trên.
- + f_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.
- + D_c : Chiều cao chịu nén đàn hồi của sườn dầm.
- + t_w : Chiều dày sườn dầm.

3.6.7.3. Ứng suất cắt:

- Với các dầm đồng nhất (dùng một loại thép cho cả cánh và sườn dầm) cần phải bố trí sườn tăng cường đứng, còn sườn STC dọc có thể bố trí hoặc không để thỏa mãn điều kiện:

$$f_{cf} \leq 0,58 \cdot c \cdot f_{yw}$$

Trong đó:

- + f_{cf} : Ứng suất cắt đàn hồi lớn nhất trong sườn dầm do tĩnh tải tiêu chuẩn và hoạt tải để tính mỗi.

- + c : Tỷ số giữa ứng suất oằn cắt và cường độ chảy cắt, lấy như sau:

$$1. \text{ Nếu: } \frac{D}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad c = 1$$

$$2. \text{ Nếu: } 1,10 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,38 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} \quad \text{thì} \quad c = \frac{1,10}{\left(\frac{D}{t_w} \right)} \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}}$$

$$3. \text{ Nếu: } 1,38 \sqrt{\frac{E k}{f_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \quad \text{thì} \quad c = \frac{1,52}{\left(\frac{D}{t_w} \right)^2} \left(\frac{E k}{f_{yw}} \right)$$

$$\text{Với: } k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2}$$

3.6.8. KIỂM TRA ĐỘ VỒNG THEO TTGH SỬ DỤNG: (ĐIỀU 6.10.5)**3.6.8.1. Nguyên tắc chung:**

- Kiểm tra độ võng theo TTGH sử dụng bao gồm kiểm tra độ võng do tĩnh tải và kiểm tra độ võng do hoạt tải. Kiểm tra độ võng do tĩnh tải có thể theo phân tích đàn hồi hoặc ngoài miền đàn hồi (có sự phân bố lại mômen), trong tính toán thiết kế ở đây ta chỉ cần xét theo phân tích đàn hồi.

3.6.8.2. Kiểm tra độ võng do tĩnh tải theo phân tích đàn hồi:

- Mục đích của kiểm tra độ võng do tĩnh tải là để độ võng do tĩnh tải không làm ảnh hưởng đến giao thông trên cầu. Phương pháp kiểm tra độ võng do tĩnh tải là thông qua ứng suất trong cánh dầm. Do đó điều kiện độ võng ở đây là ứng suất trong cánh dầm khi uốn dương hay uốn âm phải thỏa mãn:

+ Đối với cả hai cánh dầm thép của mặt cắt liên hợp:

$$f_f \leq 0,95 R_b R_h f_{yf}$$

+ Đối với cả hai cánh dầm thép của mặt cắt không liên hợp:

$$f_f \leq 0,80 R_b R_h f_{yf}$$

Trong đó:

+ f_f : Ứng suất đàn hồi trong cánh dầm do tải trọng tính toán sinh ra.

+ f_{yf} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh dầm.

+ R_h : Hệ số lai, quy định trong điều 6.10.4.3.1.

+ R_b : Hệ số truyền tải trọng, quy định trong điều 6.10.4.3.2.

3.6.8.3. Kiểm tra độ võng do hoạt tải theo phân tích đàn hồi:**a. Nguyên tắc kiểm tra:**

- Khi tính độ võng tuyệt đối lớn nhất phải đặt tải ở tất cả các làn xe.
- Khi tính chuyển vị tương đối lớn nhất thì số lượng và các vị trí các làn đặt tải phải chọn để sao cho hiệu ứng chênh lệch lớn nhất.
- Tải trọng tính toán là tải trọng tiêu chuẩn có xét lực xung kích IM và hệ số làn xe nhưng không xét đến hệ số tải trọng.
- Độ võng do hoạt tải cần lấy theo giá trị lớn hơn của:
 - + Kết quả tính toán chỉ do một mình xe tải thiết kế.
 - + Kết quả tính của 25% xe tải thiết kế cùng với tải trọng làn thiết kế.

b. Công thức kiểm toán:

- Theo quy trình quy định, để đảm bảo điều kiện độ cứng thì độ võng của dầm chủ do hoạt tải sinh ra phải nhỏ hơn độ võng cho phép.

$$\Delta_{LL} \leq [\Delta]$$

Trong đó:

- + Δ_{LL} : Là độ võng lớn nhất do hoạt tải gây ra.
- + $[\Delta]$: Là độ võng cho phép.
- Khi không có các tiêu chuẩn khác, độ võng giới hạn sau đây được áp dụng cho cả kết cấu thép, nhôm và bê tông.

+ Tải trọng xe nói chung: $[\Delta] = \frac{L_u}{800}$

+ Tải trọng xe hoặc Người đi bộ hoặc cả 2 tải trọng này: $[\Delta] = \frac{L_u}{1000}$

+ Tải trọng xe ở phần mút thừa của cầu mút thừa: $[\Delta] = \frac{L_u}{300}$

+ Đối với cầu bản trực hướng: $[\Delta] = \frac{L_u}{375}$

+ Tải trọng xe trên bản mặt cầu: $[\Delta] = \frac{L_u}{300}$

+ Tải trọng xe trên sườn tăng cường của bản mặt cầu: $[\Delta] = \frac{L_u}{1000}$

+ Độ võng tương đối lớn nhất giữa hai sườn tăng cường cạnh nhau khi tải trọng xe đặt trên sườn tăng cường của bản mặt cầu là 2,5mm.

c. Xác định độ võng do hoạt tải:

- Cách 1: Vẽ biểu đồ mômen do tải trọng M_p , sau đó vẽ biểu đồ mômen đơn vị \overline{M}_k do tải trọng $P = 1$ đặt tại giữa nhịp gây ra. Áp dụng quy tắc nhân biểu đồ mômen để xác định độ võng tại mặt cắt giữa nhịp.

$$\Delta_{LL} = mg.(1 + IM) \frac{1}{EI} \sum M_p . \overline{M}_k$$

Trong đó:

- + M_p : Là biểu đồ mômen do tải trọng gây ra.
- + \overline{M}_k : Là biểu đồ mômen do tải trọng đơn vị $P = 1$ gây ra.
- + Δ_{LL} : Độ võng do hoạt tải.
- + mg : Hệ số phân bố ngang của hoạt tải.
- + $1 + IM$: Hệ số xung kích.
- Cách 2: Đối với kết cấu nhịp giản đơn ta có thể sử dụng công thức tính độ võng như sau:

+ Độ võng do tải trọng tập trung gây ra tại mặt cắt cách gối đoạn x.

$$\Delta_{LL} = mg.(1 + IM) . \frac{P.(L - a).x.[L^2 - (L - a)^2 - x^2]}{6.L.E.I}$$

+ Độ võng do tải trọng rải đều q gây ra tại mặt cắt giữa nhịp là:

$$\Delta_{LL} = \frac{5}{384} \frac{mg \cdot q \cdot L^4}{EI}$$

Trong đó:

- + a : Là khoảng cách tính từ tải trọng đến gối bên trái.
- + L : Là chiều dài tính toán kết cấu nhịp.
- + x : Khoảng cách từ mặt cắt tính toán đến gối bên trái.
- + E : Là môđun đàn hồi của dầm chủ.
- + I : Mômen quán tính của mặt cắt dầm chủ.
- + mg : Hệ số phân bố ngang của hoạt tải. Có thể xem hoạt tải xếp trên tất cả các làn phân bố đều cho các dầm chủ $\Rightarrow mg = m \cdot n_{\text{làn}} / n_{\text{dc}}$
- + $1+IM$: Hệ số xung kích.

\Rightarrow Như vậy khi tính độ võng theo cách 2 thì nếu tải trọng xe có nhiều trục thì ta áp dụng công thức trên để tính độ võng do từng trục gây ra sau đó lấy tổng độ võng do các trục đó.

\Rightarrow Đối với lực tập trung đặt tại giữa nhịp có thể tính nhanh độ võng theo công thức:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI}$$

- Cách 3: Dùng phần mềm tính toán như RM hoặc Midas để phân tích tính toán độ võng do hoạt tải bằng cách xếp tải trực tiếp lên kết cấu nhịp. Cách này áp dụng được cả cho kết cấu nhịp giản đơn và kết cấu nhịp liên tục.

3.6.8.4. Tính độ võng:

- Để đảm bảo khai thác tốt thì cầu còn được thiết kế với một độ võng ngược. Giá trị độ võng ngược được lấy hợp lý là:

$$\Delta_v = \Delta_{DC} + \Delta_{DW} + \frac{1}{2} \Delta_{LL}$$

Trong đó:

- + Δ_v : Giá trị độ võng thiết kế của kết cấu nhịp.
- + Δ_{DC}, Δ_{DW} : Độ võng của KCN do tĩnh tải tiêu chuẩn.

$$\Delta_{DC} = \frac{5}{384} \frac{DC_{tc} \cdot L^4}{EI} \qquad \Delta_{DW} = \frac{5}{384} \frac{DW_{tc} \cdot L^4}{EI}$$

- + Δ_{LL} : Là độ võng của kết cấu nhịp do hoạt tải.
- + E : Là môđun đàn hồi của thép dầm chủ.
- + I : Mômen quán tính của mặt cắt dầm chủ.
- + L : Chiều dài tính toán kết cấu nhịp.
- + DC_{tc}, DW_{tc} : Tĩnh tải đều tiêu chuẩn.

3.6.9. KIỂM TRA DAO ĐỘNG CỦA KCN THEO TTGH SỬ DỤNG:**3.6.9.1. Xác định chu kỳ dao động:**

- Công thức tính chu kỳ dao động theo phương thẳng đứng của KCN:

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{M}{C}}$$

Trong đó:

- + M: Khối lượng tính đổi của kết cấu nhịp ($\frac{Ts^2}{m}$)

$$M = 0,5 \cdot \frac{q_t^{tc} \cdot L}{g}$$

- + C: Đặc trưng tính toán độ cứng của kết cấu nhịp ($\frac{T}{m}$)

$$C = \frac{1}{\delta_1} + \frac{\beta}{\delta_2}$$

- + δ_1 : Độ võng của dầm khi có một tải trọng 1T đặt giữa nhịp.
- + δ_2 : Độ võng của hệ liên kết dọc khi có một tải trọng 1T đặt giữa nhịp.
- + β : Hệ số tính đến độ cứng của các thanh ngang.
- Công thức tính chu kỳ dao động theo phương thẳng đứng đối với dầm giản đơn.

$$T_d = \frac{2L^2}{\pi} \sqrt{\frac{q_t^{tc}}{EI \cdot g}}$$

Trong đó:

- + L: Chiều dài tính toán của kết cấu nhịp.
- + q_t^{tc} : Tĩnh tải tiêu chuẩn.
- + EI: Độ cứng chống uốn của dầm theo phương thẳng đứng.
- + g: Gia tốc trọng trường.

3.6.9.2. Kiểm tra điều kiện dao động của kết cấu nhịp:

- Đối với cầu đường ô tô:

+ Chu kỳ tính toán của dao động tự do theo phương thẳng đứng không được nằm trong khoảng từ $(0,45 \div 0,6)s$ ($T_d \notin (0,45 \div 0,6)s$).

+ Chu kỳ dao động theo phương ngang cầu không được trùng hoặc bằng bội số của chu kỳ dao động thẳng đứng.

- Đối với cầu đường sắt: Chu kỳ dao động theo phương ngang cầu không được vượt quá $0,01L(s)$ và không lớn hơn $1,5s$ (L là khẩu độ tính toán của dầm, đơn vị m). $\begin{cases} T_n \leq 0,01 \cdot L(s) \\ T_n \leq 1,5(s) \end{cases}$

§3.7. TÍNH TOÁN VÀ BỐ TRÍ SƯỜN TĂNG CƯỜNG

3.7.1. NGUYÊN TẮC CẤU TẠO:

- Để đảm bảo an toàn khi vận chuyển và lao lắp thì Quy trình quy định: Khi không có sườn tăng cường dọc thì phải bố trí sườn tăng cường đứng khi:

$$\frac{D_w}{t_w} > 150$$

- Khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng d_0 phải thỏa mãn:

$$d_0 \leq D_w \left(\frac{260}{D_w / t_w} \right)^2$$

Trong đó:

- + t_w : Chiều dày sườn dầm chủ.
- + D_w : Chiều cao sườn dầm.
- + D_w/t_w : Tỷ số giữa chiều cao và chiều dày sườn dầm.

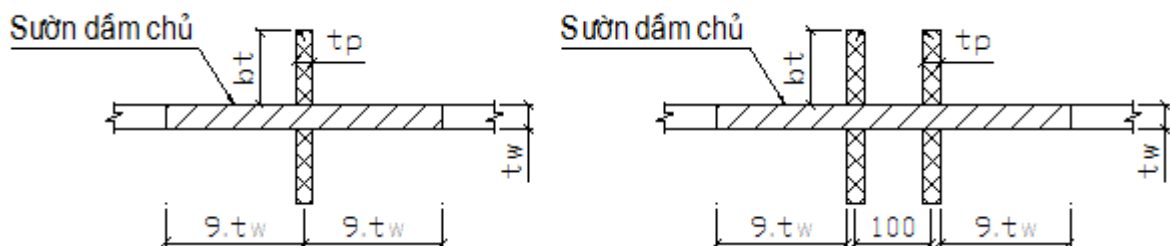
Khi $D_w/t_w = 150$ thì $d_0 \approx 3D$.

- Sườn tăng cường gối được đặt ở gối và các vị trí có tải trọng tập trung do đó sườn tăng cường gối chịu phản lực gối hay tải trọng tập trung ở trạng thái cuối cùng hoặc trong giai đoạn thi công.

- Sườn tăng cường gối được quy định cấu tạo dài hết chiều cao của sườn dầm chủ và lắp khít với cánh của dầm chủ, do đó sườn tăng cường gối sẽ làm việc theo điều kiện chịu ép mặt ở diện tích tiếp xúc giữa đầu sườn tăng cường với cánh dầm và làm việc theo nén dọc trục trên diện tích hiệu dụng.

- Mặt cắt hiệu dụng của sườn tăng cường:

+ Sườn tăng cường gối chịu nén và được xem như là một cột chịu nén. Khi sườn tăng cường liên kết bằng bulông vào sườn dầm thì mặt cắt hiệu dụng chỉ bao gồm các cấu kiện của sườn tăng cường. Khi sườn tăng cường liên kết hàn vào dầm chủ thì mặt cắt hiệu dụng bao gồm tất cả các cấu kiện của sườn tăng cường cộng với dải sườn dầm nằm giữa trung tâm sườn dầm kéo dài ra không quá $9.t_w$ sang mỗi bên nếu có một đôi sườn tăng cường và tính từ mép nếu có nhiều hơn một đôi sườn tăng cường.



Hình 3.53: Mặt cắt hiệu dụng của tiết diện chịu nén của sườn tăng cường gối.

+ Đối với sườn tăng cường trung gian thì diện tích hiệu dụng chỉ bao gồm các cấu kiện của sườn tăng cường.

+ Diện tích sườn dầm không được tính vào mặt cắt hiệu dụng chịu nén tại các trụ trung gian của cầu liên tục trong các bộ phận lai của nhịp khi:

$$\frac{f_{yw}}{f_{yt}} < 0,7$$

Trong đó:

+ f_{yw} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm.

+ f_{yt} : Số lớn hơn trong các cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh dầm.

3.7.2. KIỂM TRA SƯỜN TĂNG CƯỜNG GỐI:

3.7.2.1. Kiểm tra điều kiện cấu tạo:

- Bề rộng của sườn tăng cường (phần chia ra) phải cấu tạo thỏa mãn điều kiện:

$$b_t \leq 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{f_{ys}}}$$

Trong đó:

+ b_t : Bề rộng (phần chia ra) của sườn tăng cường.

+ t_p : Chiều dày của sườn tăng cường.

+ E : Là môđun đàn hồi của thép dầm chủ.

+ f_{ys} : Cường độ chảy nhỏ nhất của thép.

- Khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng ở đầu dầm: Quy trình quy định khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng ở đầu dầm:

+ Khi không có sườn tăng cường dọc: $d_0 \leq 1,5D_w$

+ Khi có sườn tăng cường dọc: $d_0 \leq 1,5D_w^{\max}$. (với D_w^{\max} là chiều cao mảnh sườn dầm lớn nhất.

- Chú ý: Các quy định này không áp dụng cho mặt cắt lai.

3.7.2.2. Kiểm toán sức kháng ép mặt:

- Công thức kiểm toán: $V_u \leq B_f$

Trong đó:

+ V_u : Lực cắt tính toán lớn nhất tại mặt cắt gối.

+ B_f : Sức kháng ép mặt của sườn tăng cường.

$$B_f = \Phi_b A_{pn} f_{ys}$$

+ Φ_b : Hệ số sức kháng ép mặt (tựa), $\Phi_b = 1,00$.

+ A_{pn} : Diện tích thực của phần chia ra của sườn tăng cường.

+ f_{ys} : Cường độ chảy nhỏ nhất của thép làm sườn tăng cường.

3.7.2.3. Kiểm toán sức kháng nén dọc trục:

- Công thức kiểm toán:

$$V_u \leq P_r$$

Trong đó:

+ V_u : Lực cắt tính toán lớn nhất tại mặt cắt gối.

+ P_r : Sức kháng nén dọc trục tính toán.

$$P_r = \Phi_c P_n$$

+ Φ_c : Hệ số sức kháng đối với nén, $\Phi_c = 0,90$.

+ P_n : Sức kháng nén danh định, lấy như sau:

1. Nếu độ mảnh $\lambda \leq 2,25$ thì: $P_n = 0,66^{\lambda} f_y A_s$

2. Nếu độ mảnh $\lambda > 2,25$ thì: $P_n = \frac{0,88 f_y A_s}{\lambda}$

Với
$$\lambda = \left(\frac{K L}{r_s \pi} \right)^2 \frac{f_y}{E}$$

Trong đó:

+ A_s : Diện tích nguyên của mặt cắt hiệu dụng.

+ f_y : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định.

+ L : Chiều dài, lấy bằng chiều cao sườn dầm.

+ K : Hệ số chiều dài hiệu dụng, có thể lấy $K = 0,75$.

+ r_s : Bán kính quán tính của mặt cắt hiệu dụng lấy đối với trục đi qua giữa chiều dày sườn dầm.

3.7.2.4. Kiểm tra độ mảnh giới hạn:

- Công thức kiểm toán:

$$\frac{KL}{r_s} \leq 120$$

Trong đó:

+ K : Hệ số chiều dài hiệu dụng, có thể lấy $K = 0,75$.

+ r_s : Bán kính quán tính của mặt cắt hiệu dụng lấy đối với trục đi qua giữa chiều dày sườn dầm.

+ L : Chiều dài không giằng của sườn tăng cường.

3.7.3. KIỂM TRA SƯỜN TĂNG CƯỜNG TRUNG GIAN:**3.7.3.1. Kiểm tra điều kiện cấu tạo:**

- Bề rộng (phân chia ra) của sườn tăng cường phải cấu tạo đảm bảo điều kiện:

$$\begin{cases} 50 + \frac{H_{sb}}{30} \leq b_t \leq 0,48.t_p \sqrt{\frac{E}{f_{ys}}} \\ 0,25.b_f \leq b_t \leq 16.t_p \end{cases}$$

Trong đó:

- + H_{sb} : Chiều cao dầm thép.
- + b_f : Bề rộng bản cánh dầm thép.
- + b_t : Bề rộng (phần chia ra) của sườn tăng cường.
- + t_p : Chiều dày của sườn tăng cường.
- + E : Là môđun đàn hồi của thép dầm chủ.
- + f_{ys} : Cường độ chảy nhỏ nhất của thép.

3.7.3.2. Kiểm tra mômen quán tính của sườn tăng cường:

- Mômen quán tính của bất kì sườn tăng cường nào đều phải thỏa mãn điều kiện:

$$I_t \geq d_0.t_w^3.J \quad \text{với} \quad J = 2,5.\left(\frac{D_p}{d_0}\right)^2 - 2 \geq 0,5$$

Trong đó:

- + d_0 : Khoảng cách giữa các sườn tăng cường trung gian.
- + I_t : Mômen quán tính của sườn tăng cường quanh mép bản bụng đối với các sườn tăng cường đơn và quanh trục giữa chiều dày bản bụng đối với các sườn kép.
- + D_p : Chiều cao bản bụng đối với các bản bụng không có sườn tăng cường dọc hoặc chiều cao của lớn nhất mảnh sườn dầm đối với trường hợp bản bụng có sườn tăng cường dọc.
- + t_w : Chiều dày bản bụng.

3.7.3.3. Kiểm tra diện tích sườn tăng cường:

- Công thức kiểm toán:

$$A_{pn} \geq \left[0,15B.H_{dt}.t_w.(1-C).\frac{V_u}{V_r} - 18.t_w^2 \right] \left[\frac{F_{yw}}{F_{ys}} \right]$$

Trong đó:

- + A_{pn} : Tổng diện tích mặt cắt sườn tăng cường.
- + B : Hệ số, đối với sườn tăng cường bằng thép tấm, lấy $B = 2,4$
- + C : Tỉ số ứng suất oằn cắt và cường độ chảy cắt.
- + V_u : Lực cắt tính toán lớn nhất.
- + V_r : Sức kháng cắt tính toán của dầm.

3.7.4. KIỂM TRA SƯỜN TĂNG CƯỜNG DỌC:

- Khi sườn tăng cường đứng không đủ đảm bảo ổn định cho sườn dầm chủ thì cần thiết phải bố trí thêm sườn tăng cường dọc. Sườn tăng cường dọc có thể là thép bản hàn vào một bên sườn dầm hoặc thép góc liên kết bulông vào sườn dầm. Khoảng cách từ mép trong của cánh dầm chịu nén đến sườn tăng cường dọc là $2D_c/5$ với D_c là chiều cao phần chịu nén của sườn dầm ở mặt cắt có ứng suất nén do uốn sinh ra có giá trị tuyệt đối lớn nhất:

- Chiều rộng sườn tăng cường dọc: phải thỏa mãn điều kiện:

$$b_1 \leq 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{f_{yc}}}$$

Trong đó:

+ t_p : Chiều dày của sườn tăng cường dọc.

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh chịu nén.

- Mômen quán tính của sườn tăng cường dọc:

+ Các đặc trưng của sườn tăng cường tính theo diện tích hiệu dụng bao gồm có sườn tăng cường dọc và dải trung tâm của sườn dầm không vượt quá $18t_w$ về mỗi phía của sườn tăng cường.

+ Mômen quán tính của sườn tăng cường dọc phải thỏa mãn điều kiện:

$$I_s \geq D_w t_w^3 \left[2,4 \left(\frac{d_0}{D_w} \right)^2 - 0,13 \right]$$

+ Bán kính quán tính của diện tích hiệu dụng phải đảm bảo:

$$r \geq 0,234d_0 \sqrt{\frac{f_{yc}}{E}}$$

Trong đó:

+ I_s , r : Mômen quán tính và bán kính quán tính của tiết diện hiệu dụng của sườn tăng cường dọc.

+ D_w : Chiều cao sườn dầm chủ.

+ d_0 : Khoảng cách giữa các sườn tăng cường đứng.

+ t_w : Chiều dày sườn dầm chủ.

+ f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh chịu nén.

§3.8. TÍNH TOÁN VÀ BỐ TRÍ NEO LIÊN HỢP

3.8.1. NGUYÊN TẮC CHUNG:

- Để phát huy toàn bộ cường độ chịu uốn của tiết diện liên hợp, cần chống lại lực cắt ngang tại mặt tiếp giáp giữa dầm thép và bản bê tông. Khi đó ta cần phải bố trí hệ neo liên hợp bằng cách hàn trực tiếp neo với bản cánh trên của dầm thép và được chôn trong bản bê tông mặt cầu khi đổ bê tông.

- Trong cầu dầm liên hợp giản đơn thì neo chống cắt được bố trí trên suốt chiều dài nhịp dầm. Còn trong cầu dầm liên hợp liên tục thì có thể chỉ bố trí neo trong vùng chịu mômen dương, tuy nhiên trong thực tế ta vẫn bố trí neo trên toàn bộ chiều dài nhịp dầm. Khi đó neo chống cắt được bố trí ở vùng chịu mômen âm để tránh hiện tượng chuyển đột ngột từ liên hợp sang không liên hợp và phụ thêm giữ tính tương thích chịu uốn trên suốt chiều dài cầu.

- Khi tính toán neo cần phải xác định lực cắt (hay lực trượt) nằm ngang và sức kháng cắt của neo, sau đó tính số lượng neo cần bố trí.

- Ngoài việc kiểm toán khả năng chịu lực của neo theo điều kiện cường độ còn phải kiểm toán khả năng chịu lực của neo theo điều kiện mỏi.

- Các tải trọng gây ra lực trượt và lực bóc:

- + Tĩnh tải giai đoạn II (có xét đến từ biến).
- + Hoạt tải.
- + Sự thay đổi nhiệt độ.
- + Co ngót trong bê tông.

3.8.2. XÁC ĐỊNH CÁC LỰC TÁC DỤNG LÊN NEO:

3.8.2.1. Lực tác dụng lên neo trong giai đoạn đàn hồi:

a. Lực gây trượt do tải trọng:

- Lực trượt do tĩnh tải giai đoạn II (phải xét đến ảnh hưởng của từ biến), hoạt tải, thay đổi nhiệt độ và co ngót của bê tông gây ra.

- Công thức tính toán:

$$T_o = \frac{V_u'' \cdot S_s'}{I_{LT}} + \frac{V_u^h \cdot S_s}{I_{ST}}$$

Trong đó:

- + V_u'' : Lực cắt do tĩnh tải giai đoạn II sinh ra.
- + V_u^h : Lực cắt do hoạt tải sinh ra.
- + I_{ST} , I_{LT} : Mômen quán tính của tiết diện liên hợp ngắn hạn và dài hạn.
- + S_s , S_s' : Mômen tĩnh của bản bê tông lấy đối với trục trung hòa của tiết diện liên hợp trong trường hợp không và có xét tới ảnh hưởng của từ biến.

Từ công thức ta thấy lực trượt phụ thuộc vào giá trị của lực cắt, mà giá trị lớn nhất tại mặt cắt gối và giảm dần khi vào các mặt cắt giữa dầm nên khi tính T_0 thường tiến hành tính ở một số mặt cắt (VD: ở dầm giản đơn tính ở mặt cắt gối; 1/8; 1/4; 3/8; 1/2).

b. Lực gây trượt do co ngót và thay đổi nhiệt độ:

- Lực gây trượt do co ngót: (Shrinkage)

$$T_{sh} = f_s^{osh} \cdot A_s - f_r^{sh} \cdot A_r$$

Trong đó:

+ f_s^{osh}, f_r^{osh} : Ứng suất ở trọng tâm bản bê tông và cốt thép bản mặt cầu do co ngót sinh ra.

+ A_s, A_r : Diện tích tiết diện bản bê tông và diện tích cốt thép bản mặt cầu.

- Lực gây trượt do thay đổi nhiệt độ: (Temperature)

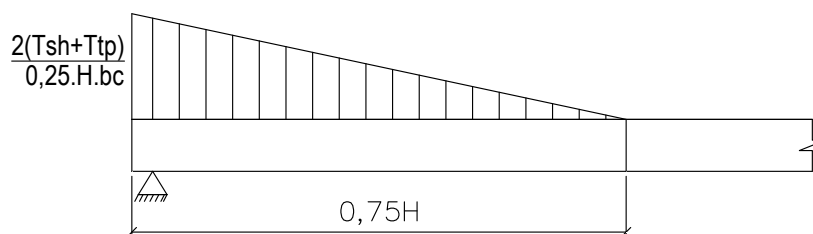
$$T_{tp} = f_s^{otp} \cdot A_s - f_r^{otp} \cdot A_r$$

Trong đó:

+ f_s^{otp}, f_r^{otp} : Ứng suất ở trọng tâm bản bê tông và cốt thép bản mặt cầu do chênh lệch nhiệt độ sinh ra.

+ A_s, A_r : Diện tích tiết diện bản bê tông và diện tích cốt thép bản mặt cầu.

- Lực trượt do co ngót T_{sh} và do thay đổi nhiệt độ T_{tp} phân bố theo quy luật hình tam giác trên chiều dài $0,7H_{cb}$ tại đầu dầm (với H_{cb} là chiều cao của tiết diện liên hợp).



Hình 3.54: Biểu đồ phân bố lực trượt do co ngót và thay đổi nhiệt độ.

c. Tính toán lực bóc:

- Lực bóc do thay đổi nhiệt độ và co ngót bê tông sinh ra.

- Lực bóc do co ngót: $V_{sh} = 2 \frac{e}{a'} T_{sh}$

- Lực bóc do chênh lệch nhiệt độ: $V_{tp} = 2 \frac{e}{a'} T_{tp}$

Trong đó:

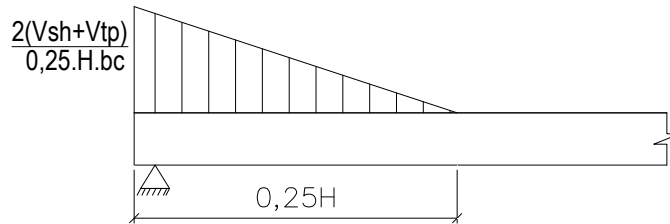
+ e : Khoảng cách từ trọng tâm bản bê tông đến mép trên của dầm thép.

+ $a' = \max(b_1, b_2, 0,7H_{cb})$

+ b_1 : Bề rộng tính toán bản cánh hẫng.

+ b_2 : Bề rộng tính toán bản cánh phía trong.

- + H_{cb} : Chiều cao mặt cắt liên hợp.
- Lực bóc do co ngót V_{sh} và lực bóc do thay đổi nhiệt độ V_{tp} phân bố theo quy luật hình tam giác trên chiều dài $0,25H_{cb}$.



Hình 3.55: Biểu đồ phân bố lực bóc do co ngót và thay đổi nhiệt độ.

3.8.2.2. Lực trượt danh định tác dụng lên neo trong giai đoạn chảy dẻo:

- Trường hợp 1: Trục trung hòa dẻo nằm trong bản bê tông và lực nén C trong vùng bê tông chịu nén nhỏ hơn cường độ toàn phần của bản. Để đảm bảo sự cân bằng lực thì C phải bằng với lực kéo trong tiết diện thép, do đó ta có:

$$C = V_h = f_{yw} D_w t_w + f_{yt} b_t t_t + f_{yc} b_c t_c$$

Trong đó:

- + f_{yw} , f_{yt} , f_{yc} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của sườn dầm, cánh chịu kéo và cánh chịu nén của dầm thép.
- + D_w : Chiều cao sườn dầm chủ.
- + b_t , b_c : Bề rộng bản cánh chịu kéo và bản cánh chịu nén.
- + t_w , t_t , t_c : Chiều dày sườn dầm, cánh chịu kéo và cánh chịu nén.

- Trường hợp 2: Trục trung hòa dẻo nằm trong tiết diện thép và lực nén $C = V_h$ là cường độ toàn phần của bản được tính theo công thức:

$$V_h = 0,85 f_c' b_s t_s$$

Trong đó:

- + f_c' : Cường độ nén 28 ngày quy định của bê tông bản.
- + b_s : Bề rộng tính toán của bản của bản.
- + t_s : Chiều dày bản bê tông.
- Đối với kết cấu nhịp liên hợp liên tục, lực cắt ngang danh định V_h giữa điểm có mômen uốn bằng không và điểm có mômen lớn nhất tại trụ giữa sẽ là:

$$V_h = A_r f_{yr}$$

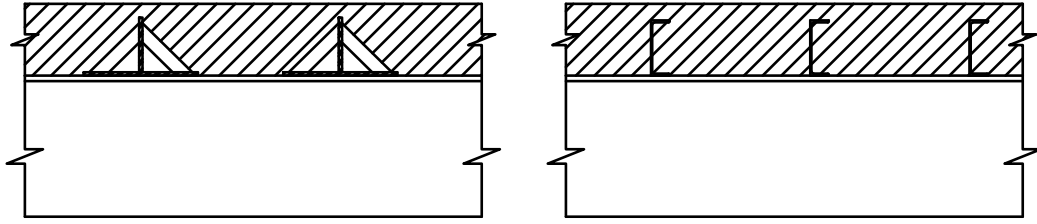
Trong đó:

- + A_r : Tổng diện tích của cốt thép dọc trong phạm vi bề rộng tính toán của bản.
- + f_{yr} : Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cốt thép dọc.

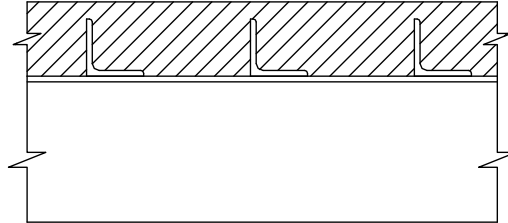
3.8.3. KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA NEO:

3.8.3.1. Neo cứng:

- Cấu tạo neo cứng:



Hình 3.56a: Neo cứng bằng thép bản. Hình 3.56b: Neo cứng bằng thép [.



Hình 3.56c: Neo cứng bằng thép L.

- Sức kháng cắt danh định của neo cứng bằng thép hình tiết diện [được tính theo:

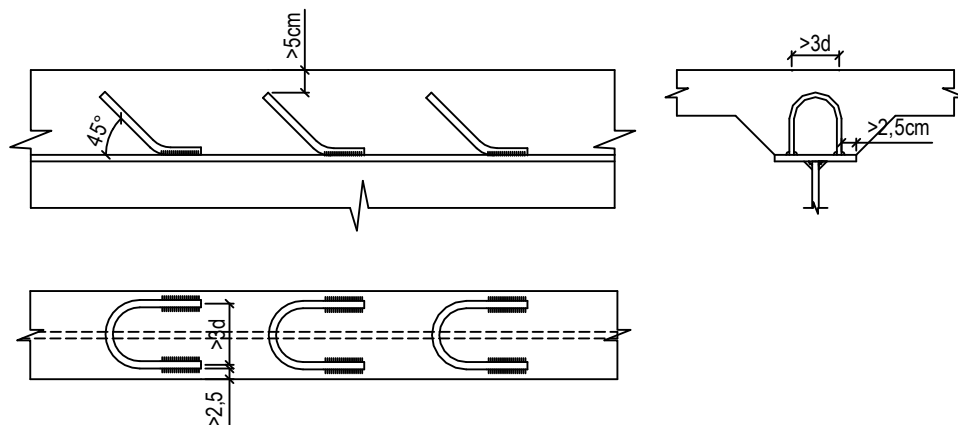
$$Q_n = 0,3.(t_f + 0,5.t_w).L_c.\sqrt{f'_c E_c}$$

Trong đó:

- + t_f : Chiều dày cánh của neo [.
- + t_w : Chiều dày sườn của neo [.
- + L_c : Chiều dài của neo [.
- + f'_c : Cường độ nén 28 ngày quy định của bê tông bản.
- + E_c : Mô đun đàn hồi của bê tông bản.

3.8.3.2. Neo mềm:

- Cấu tạo neo mềm:



Hình 3.57: Neo mềm.

- Khả năng chịu lực của neo mềm được tính theo công thức:

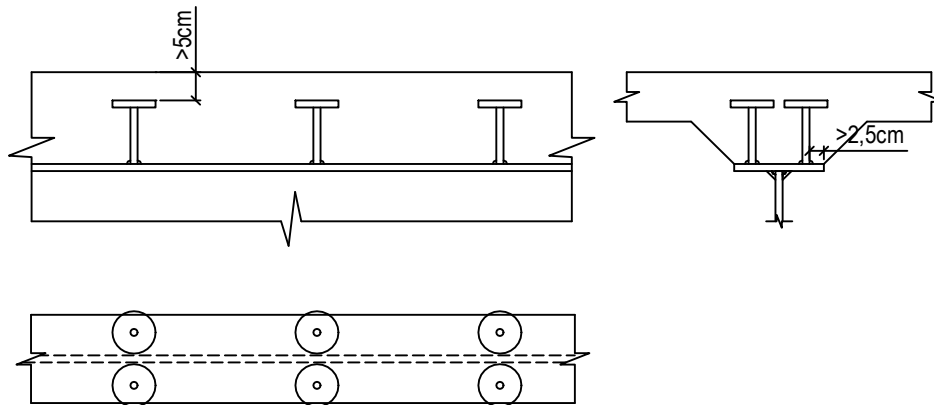
$$Q_n = f_y.A_n.(cos\alpha + 0,8sin\alpha)$$

Trong đó:

- + f_y : Giới hạn chảy của thép làm neo.
- + A_n : Diện tích tiết diện neo
- + α : Góc nghiêng của neo so với mặt phẳng cánh dầm. Nếu neo còn nghiêng cả trong mặt phẳng vuông góc với trục dầm một góc β (β là góc giữa hình chiếu bằng của nhánh neo với phương của lực trượt) thì trong công thức trên thay vào chỗ của $\cos\alpha$ bằng $\cos\alpha \cdot \cos\beta$.

3.8.3.3. Neo đỉnh mũ:

- Cấu tạo neo đỉnh mũ:



Hình 3.58: Neo đỉnh mũ.

- Các quy định về cấu tạo neo đỉnh mũ:
 - + Đường kính thân neo: $d = 16 \div 24\text{mm}$.
 - + Chiều cao neo phải lớn hơn 4 lần đường kính thân neo.
 - + Bước neo tính từ tim đến tim neo không được vượt quá 600mm và không nhỏ hơn 6 lần đường kính thân neo (A6.10.7.4.1b)
 - + Theo phương ngang cầu khoảng cách neo phải lớn hơn 4 lần đường kính thân neo.
 - + Khoảng cách tính giữa bản cánh trên của dầm thép và mép neo phải lớn hơn 25mm (A6.10.7.4.1).
 - + Chiều dày tính của lớp phủ trên neo không được nhỏ hơn 50mm. ở miền có vút, khi khoảng cách giữa đỉnh của tiết diện thép và đáy bản bê tông lớn, neo chống cắt cần chôn sâu ít nhất 50mm trong bản (A6.10.7.4.1d).

- Sức kháng cắt danh định của một neo kiểu đỉnh mũ được tính theo công thức:

$$Q_n = 0,5 \cdot A_{sc} \cdot \sqrt{f'_c E_c} \leq A_{sc} \cdot f_u$$

Trong đó:

- + A_{sc} : Diện tích mặt cắt ngang của một neo đỉnh chịu cắt.
- + f'_c : Cường độ nén 28 ngày quy định của bê tông bản.
- + E_c : Mô đun đàn hồi của bê tông bản, nếu không có số liệu chính xác, các loại bê tông có khối lượng riêng từ 1440 đến 2500kg/m³ có thể lấy mô đun đàn hồi như sau:

$$E_c = 0,043 \gamma_c^{1,5} \sqrt{f'_c}$$

với γ_c là khối lượng riêng của bê tông tính bằng kG/m^3 .

+ f_u : Cường độ kéo đứt quy định của thép làm neo, thông thường $f_u = 450\text{MPa}$.

- Sức kháng mỗi của một neo đỉnh mũ:

$$Z_r = \alpha d^2 \geq 19d^2$$

với $\alpha = 238 - 29,5 \log N$

Trong đó:

+ d : Đường kính neo đỉnh.

+ N : Số chu kì tính mỗi (theo quy định điều A.6.6.1.2.5).

$$N = (365)(100)n(ADTT)_{SL}$$

+ n : Số các chu kì đối với mỗi lượt chạy qua của xe tải (tra bảng 6.6.1.2.5-2).

+ $(ADTT)_{SL}$: Số xe tải / ngày trong 1 làn xe đơn tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế.

$$(ADTT)_{SL} = p.ADTT$$

+ p : Lấy theo bảng 3.6.1.4.2-1.

+ $ADTT$: Số xe tải / ngày theo một chiều tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế.

3.8.3.4. Sức kháng cắt tính toán của neo:

- Công thức tính toán:

$$Q_r = \Phi_{sc} Q_n$$

Trong đó:

+ Φ_{sc} : Hệ số sức kháng đối với neo chống cắt, $\Phi_{sc} = 0,85$

+ Q_n : Sức kháng cắt danh định của neo.

3.8.4. BỐ TRÍ NEO:

3.8.4.1. Số lượng neo:

- Nếu có đủ neo chống cắt thì có thể đạt được cường độ chịu uốn lớn nhất của tiết diện liên hợp. Các neo nằm giữa điểm có mômen bằng không và điểm có mômen dương lớn nhất phải chịu được lực nén trong bản tại vị trí của mômen lớn nhất. Khi đó ta có phương trình cân bằng lực cắt là:

$$n_s \cdot Q_r \geq V_h \Rightarrow n_s \geq \frac{V_h}{Q_r}$$

Trong đó:

+ n_s : Là tổng số neo giữa điểm có mômen bằng không và điểm có mômen dương lớn nhất.

+ V_h : Là lực cắt ngang danh định trên mặt tiếp xúc phải chịu.

3.8.4.2. Khoảng cách giữa các neo:

- Trong giai đoạn mặt cắt chảy dềo, nếu như thép làm neo có tính dẻo dai cho phép thì sẽ có sự phân bố lại lực cắt ngang ở TTGH cường độ. Và như vậy thì khi làm việc trong giai đoạn chảy dềo thì lực cắt sẽ bằng nhau tại tất cả các mặt cắt của dầm do đó neo được bố trí với khoảng cách đều nhau là P trên toàn bộ chiều dài dầm.

Hình 3.59: Bố trí neo định mũ chiu cắt.

3.8.5. KIỂM TRA SỨC KHÁNG MỎI CỦA NEO ĐỊNH MŨ:

$$p \leq \frac{n_n Z_r I}{V_{sr} Q}$$

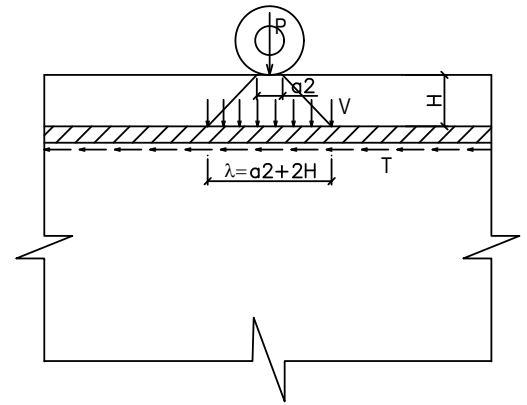
- + p: Bước neo theo phương dọc cầu.
- + n_n : Số lượng neo trong một mặt cắt ngang.
- + I: Mômen quán tính của mặt cắt liên hợp gần nhất.

- + Q : Mômen tĩnh của diện tích tiết diện tính đối về thép của bản đối với trục trung hòa của mặt cắt liên hợp ngắn hạn.
- + V_{sr} : Lực cắt tại các mặt cắt tính toán do xe tải thiết kế có xét xung kích xác định cho TTGH mỗi.
- + Z_r : Sức kháng mỗi của một neo riêng lẻ.

§3.9. TÍNH LIÊN KẾT BẢN CÁNH VÀ BẢN BỤNG

3.9.1. TÍNH LIÊN KẾT HÀN:

- Sơ đồ tính:
- Cánh dầm được liên kết với sườn dầm bằng đường hàn góc từ trên suốt chiều dài dầm.
- Nội dung tính toán là xác định chiều cao đường hàn và kiểm tra ứng suất tiếp t .
- Áp lực bánh xe phân bố qua lớp phủ mặt cầu theo góc nghiêng $\alpha = 45^\circ$.



Hình 3.60: Sơ đồ tính liên kết hàn.

- Lực gây trượt dọc do tải trọng gây ra:

$$T = \frac{V_{tt}^I \cdot S_c^I}{I_t} + \frac{V_{tt}^{II} \cdot (S_c^{II'} + S_s^{II'})}{I_{td}'} + \frac{V_{tt}^h \cdot (S_c^{II} + S_s^{II})}{I_{td}} \quad (\text{kN/m})$$

Trong đó:

- + T: Lực gây trượt dọc tác dụng trên 1m dài của đường hàn.
- + $V_{tt}^I, V_{tt}^{II}, V_{tt}^h$: Lực cắt tính toán do tĩnh tải GĐ I, GĐ II và hoạt tải.
- + $S_c^I, S_c^{II'}, S_c^{II}$: Mômen tĩnh của bản cánh nén đối với TTH I-I, II-II' và II-II.
- + $S_s^{II'}, S_s^{II}$: Mômen tĩnh của bản bê tông đối với TTH II-II' và II-II.
- + I_t, I_{td}', I_{td} : Mômen quán tính của mặt cắt dầm thép, mặt cắt liên hợp dài hạn và mặt cắt liên hợp ngắn hạn.
- + Trục trung hoà II-II' và II-II là trục trung hoà của mặt cắt liên hợp dài hạn và mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

- Lực thẳng đứng do tải trọng bánh xe gây ra:

$$\text{+ Đối với cầu đường ô tô: } V = \frac{\gamma \cdot (1 + IM) P}{\lambda} \quad (\text{kN/m})$$

$$\text{+ Đối với cầu đường sắt: } V = \frac{\gamma(1 + IM) \cdot 1,1Z}{2} \quad (\text{kN/m})$$

Trong đó:

- + P: Áp lực bánh xe có xét đến: hệ số tải trọng (γ) và hệ số xung kích ($1 + IM$).
- + λ : Chiều dài phân bố của tải trọng bánh xe, $\lambda = a_2 + 2H$.
- + H: Chiều dày của bản mặt cầu và lớp phủ mặt cầu.
- + a_2 : Chiều dài tiếp xúc của vệt bánh xe với mặt đường, $a_2 = 0,2\text{m}$.
- Lực tác dụng trên đơn vị chiều dài đường hàn là:

$$P = \sqrt{T^2 + V^2} \quad (\text{kN/m})$$

- Cường độ tính toán cho 1 đơn vị chiều dài đường hàn góc (tính cho 1 bên đường hàn):

$$R_r = 0,60\Phi_{e2} \cdot f_{exx} \cdot t_{dh}$$

Trong đó:

+ f_{exx} : Cường độ phân loại của thép đường hàn, đối với que hàn E70XX có cường độ là $f_{exx} = 485 \text{ MPa}$.

+ Φ_{e2} : Hệ số sức kháng đối với thép hàn, $\Phi_{e2} = 0,8$.

+ R_r : Cường độ tính toán cho 1 đơn vị chiều dài đường hàn góc.

+ t_{dh} : Chiều cao tính toán của đường hàn.

- Xác định chiều cao tính toán của đường hàn:

$$\frac{P}{2} \leq R_r \Rightarrow \frac{P}{2} \leq 0,60 \cdot \Phi_{e2} \cdot f_{exx} \cdot t_{dh} \Rightarrow t_{dh} \geq \frac{P}{0,60 \cdot \Phi_{e2} \cdot f_{exx} \cdot 2}$$

- Chiều cao tính toán nhỏ nhất của cạnh đường hàn: $w = \frac{t_{dh}}{\beta \sin \alpha}$

Trong đó:

+ w : Chiều cao nhỏ nhất của cạnh đường hàn.

+ α : Góc nghiêng giữa mặt đường hàn với cạnh đường hàn.

+ β : Hệ số phụ thuộc vào phương pháp hàn và loại đường hàn (tra bảng).

BẢNG 3.9: XÁC ĐỊNH HỆ SỐ β

Tỉ số các cạnh đường hàn a/b	HÀN TAY VÀ BÁN TỰ ĐỘNG		HÀN TỰ ĐỘNG	
	Mặt phẳng	Mặt lõm	Mặt phẳng	Mặt lõm
1,0	0,7	0,4	1,0	0,7
1,5	0,8	0,6	1,0	0,9
2,0	0,9	0,7	1,0	1,0
$\geq 2,5$	0,9	0,8	1,0	1,0

- Ngoài ra phải kiểm toán đường hàn theo sức kháng cắt tính toán nhỏ nhất của thép cơ bản:

$$\frac{P}{2} \leq P_r \text{ với } P_r = 0,58\Phi_v f_y t$$

Trong đó:

+ P_r : Sức kháng cắt tính toán của thép cơ bản (tính cho 1 bên).

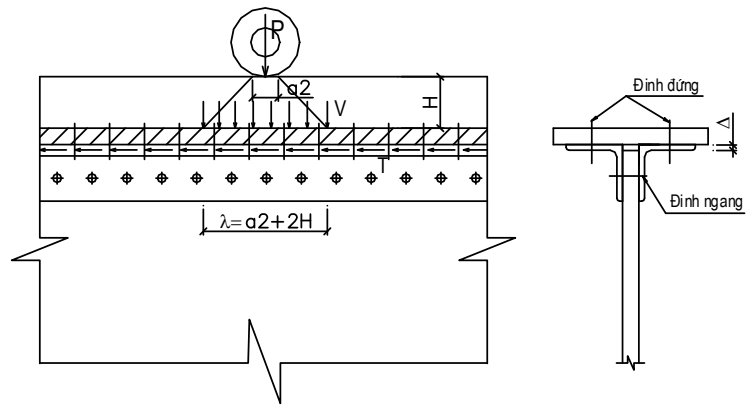
+ Φ_v : Hệ số sức kháng đối với cắt, $\Phi_v = 1,0$.

+ f_y : Cường độ chảy nhỏ nhất của cầu kiện liên kết.

+ t : Chiều dày nhỏ nhất của thép cơ bản.

3.9.2. TÍNH LIÊN KẾT ĐÌNH TÁN:

- Sơ đồ tính:
- Cánh dầm được liên kết với sườn dầm bằng đỉnh tán hoặc bulông cường độ cao.
- Nội dung tính toán là xác định đường kính đỉnh và khoảng cách bố trí giữa các đỉnh tán.
- Áp lực bánh xe phân bố qua lớp phủ mặt cầu theo góc nghiêng $\alpha = 45^\circ$.



Hình 3.61: Tải trọng tác dụng lên đỉnh tán.

- Lực gây trượt dọc do tải trọng gây ra:

$$T = \frac{V_{tt}^I \cdot S_c^I}{I_t} + \frac{V_{tt}^{II} \cdot (S_c^{II'} + S_s^{II'})}{I_{td}'} + \frac{V_{tt}^h \cdot (S_c^{II} + S_s^{II})}{I_{td}''} \quad (\text{kN/m})$$

Trong đó:

- + T : Lực gây trượt dọc tác dụng trên 1m dài của đường hàn.
- + $V_{tt}^I, V_{tt}^{II}, V_{tt}^h$: Lực cắt tính toán do tĩnh tải GĐ I, GĐ II và hoạt tải.
- + $S_c^I, S_c^{II'}, S_c^{II}$: Mômen tĩnh của bản cánh nén đối với TTH I-I, II-II' và II-II.
- + $S_s^{II'}, S_s^{II}$: Mômen tĩnh của bản bê tông đối với TTH II-II' và II-II.
- + I_t, I_{td}', I_{td}'' : Mômen quán tính của mặt cắt dầm thép, mặt cắt liên hợp dài hạn và mặt cắt liên hợp ngắn hạn.
- + Trục trung hòa II-II' và II-II là trục trung hòa của mặt cắt liên hợp dài hạn và mặt cắt liên hợp ngắn hạn.

- Lực thẳng đứng do tải trọng bánh xe gây ra:

$$\text{+ Đối với cầu đường ô tô: } V = \frac{\alpha \cdot \gamma \cdot (1 + IM) P}{\lambda} \quad (\text{kN/m})$$

$$\text{+ Đối với cầu đường sắt: } V = \frac{\gamma(1 + IM) \cdot 1,1Z}{2} \quad (\text{kN/m})$$

Trong đó:

- + P : Áp lực bánh xe có xét đến: hệ số tải trọng (γ) và hệ số xung kích ($1 + IM$).
- + λ : Chiều dài phân bố của tải trọng bánh xe, $\lambda = a_2 + 2H$.
- + H : Chiều dày của bản mặt cầu và lớp phủ mặt cầu.
- + P : Áp lực bánh xe có xét đến: hệ số tải trọng và hệ số xung kích ($1 + IM$).
- + a_2 : Chiều dài tiếp xúc của vệt bánh xe với mặt đường, $a_2 = 0,2\text{m}$.
- + α : Là hệ số truyền lực phụ thuộc vào khe hở giữa bản cánh và bản bụng Δ

1. $\alpha = 1$ nếu $\Delta \neq 0$

2. $\alpha = 0,4$ nếu $\Delta = 0$

- Tính bước đỉnh đứng:

+ Lực tác dụng lên đỉnh đứng: lực dọc T.

+ Một hàng đỉnh đứng chịu lực: T.a

\Rightarrow Lực tác dụng lên một đỉnh đứng: $N = \frac{T.a}{n_d}$

+ Điều kiện chống phá hoại đỉnh:

$$\frac{T.a}{n_d} \leq [R_{c,em}^d] \Rightarrow a \leq \frac{[R_{c,em}^d]}{T} . n_d \Rightarrow \text{Chọn bước đỉnh bố trí.}$$

Trong đó:

+ a: Là bước đỉnh đứng.

+ n_d : Số đỉnh đứng trên một hàng.

+ $[R_{c,em}^d]$: Khả năng chịu lực của đỉnh đứng (khi tính toán ta lấy $n_c = 1$).

- Tính bước đỉnh ngang:

+ Lực tác dụng lên đỉnh ngang gồm có: lực dọc T và lực ngang V.

+ Một hàng đỉnh ngang chịu lực: $\sqrt{T^2 + V^2} . a'$

\Rightarrow Lực tác dụng lên một đỉnh ngang: $N = \frac{\sqrt{T^2 + V^2} . a'}{n'_d}$

+ Điều kiện chống phá hoại đỉnh.

$$\frac{\sqrt{T^2 + V^2} . a'}{n'_d} \leq [R_{c,em}^d] \Rightarrow a' \leq \frac{[R_{c,em}^d]}{\sqrt{T^2 + V^2}} . n'_d \Rightarrow \text{Chọn bước đỉnh bố trí.}$$

Trong đó:

+ a' : Là bước đỉnh ngang.

+ n'_d : Số đỉnh ngang trên một hàng.

+ $[R_{c,em}^d]$: Khả năng chịu lực của đỉnh ngang (khi tính toán ta lấy $n_c = 2$).

3.9.3. XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA ĐỈNH VÀ BU LÔNG:

3.9.3.1. Mặt cắt cắt qua thân đỉnh:

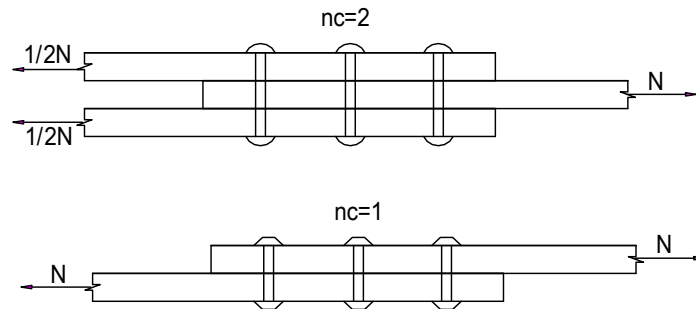
- Khả năng chịu lực của đỉnh tán và bulông thực chất là khả năng chịu lực của thân đỉnh phụ thuộc vào:

+ Cường độ của thép làm đỉnh.

+ Đường kính đỉnh.

+ Cấu tạo liên kết.

- Số mặt cắt cắt qua thân đỉnh sẽ ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của đỉnh.



Hình 3.62: Số mặt cắt cắt qua thân đỉnh.

3.9.3.2. Khả năng chịu cắt của thân đỉnh hoặc bulông:

- Sức kháng cắt danh định của bulông cường độ cao hoặc bulông ASTM A307 ở trạng thái cường độ trong các mối nối mà khoảng cách giữa các bulông xa nhất theo phương song song với đường tác dụng của lực nhỏ hơn 1270mm lấy như sau:

- + Khi đường ren nằm ngoài mặt phẳng cắt:

$$R_n = 0,48 A_b f_{ub} N_s$$

- + Khi đường ren nằm trong mặt phẳng cắt:

$$R_n = 0,38 A_b f_{ub} N_s$$

- Sức kháng cắt tính toán của bulông:

$$R_r = \Phi \cdot R_n$$

Trong đó:

- + A_b : Diện tích mặt cắt ngang bulông theo đường kính danh định.

- + f_{ub} : Cường độ kéo nhỏ nhất của bulông (MPa).

1. Bulông ASTM A307 có $f_{ub} = 420$ MPa.
2. Bulông ASTM A325 có $f_{ub} = 830$ MPa.
3. Bulông ASTM A490 có $f_{ub} =$ MPa.

- + N_s : Số mặt phẳng chịu cắt của mỗi bulông.

- + Φ : Hệ số sức kháng trượt.

1. Đối với bulông thường: $\Phi = 0,65$
2. Đối với bulông cường độ cao: $\Phi = 0,80$

- Sức kháng danh định của bulông trong các mối nối mà khoảng cách giữa các bulông xa nhất lớn hơn 1270mm lấy bằng 0,8 lần sức kháng danh định tính theo công thức trên.

- Với bulông A307 nếu sức kháng danh định xác định theo công thức ở trên thì khi chiều dày tập bản vượt quá 5 lần đường kính bulông, sức kháng phải giảm 1% cho mỗi 1,5mm của chiều dày tập bản với 5 lần đường kính.

3.9.3.3. Khả năng chịu ép mặt của thân đỉnh hoặc bulông:

- Diện tích chịu ép mặt hiệu dụng của bulông lấy bằng đường kính của bulông nhân với chiều dày bản nối nhỏ nhất về một phía. Khi lỗ khoét miệng loe (cho bulông đầu chìm) thì chiều dày nhỏ nhất phải trừ đi một nửa chiều cao của miệng loe.

- Đối với các lỗ tiêu chuẩn, lỗ quá cỡ, các lỗ ôvan ngắn có lực tác dụng theo mọi hướng và tất cả các lỗ ôvan song song với lực ép mặt thì sức kháng ép mặt danh định của các lỗ bulông ở phía trong và ở đầu cầu kiện trong TTGH cường độ R_n lấy như sau:

+ Khi khoảng cách trống giữa các lỗ bulông không nhỏ hơn $2d$ và khoảng cách trống ở đầu không nhỏ hơn $2d$:

$$R_n = 2,4 d t f_u$$

+ Khi khoảng trống giữa các lỗ bulông nhỏ hơn $2d$ hay khoảng trống ở đầu nhỏ hơn $2d$:

$$R_n = 1,2 L_c t f_u$$

- Đối với các lỗ ôvan có cạnh dài vuông góc với phương lực tác dụng:

+ Khi khoảng cách trống giữa các lỗ bulông không nhỏ hơn $2d$ và khoảng cách trống ở đầu không nhỏ hơn $2d$:

$$R_n = 2 d t f_u$$

+ Khi khoảng trống giữa các lỗ bulông nhỏ hơn $2d$ hoặc khoảng trống ở đầu nhỏ hơn $2d$:

$$R_n = L_c t f_u$$

- Sức kháng ép mặt tính toán của bulông:

$$R_r = \Phi . R_n$$

Trong đó:

+ d : Đường kính danh định của bulông.

+ t : Chiều dày tấm bản.

+ f_u : Cường độ chịu kéo của cầu kiện được liên kết.

+ L_c : Khoảng trống giữa các mép lỗ hoặc giữa mép lỗ với đầu cầu kiện.

+ Φ : Hệ số sức kháng trượt, $\Phi = 0,80$.

=> Khả năng chịu lực tính toán của đỉnh tán và bulông được lấy giá trị nhỏ nhất trong các giá trị khả năng chịu lực của đỉnh.

$$[R_{c,em}^d] = \min([R_c^d], [R_{em}^d])$$

3.9.3.4. Khả năng chịu kéo của thân đỉnh hoặc bulông:

- Các bulông cường độ cao chịu kéo dọc trục phải được căng đến lực quy định như trong bảng 3-10. Lực kéo tác dụng lên bulông bao gồm ngoại lực tính toán và lực nhỏ do biến dạng của các bộ phận liên kết.

- Sức kháng kéo danh định của bulông (T_n) không phụ thuộc vào lực căng ban đầu và lấy như sau:

$$T_n = 0,76 A_b f_{ub}$$

Trong đó:

- + A_b : Diện tích mặt cắt bulông tương ứng với đường kính danh định.
- + f_{ub} : Cường độ chịu kéo nhỏ nhất quy định của bulông.
- Tác động nhổ lên:
 - + Lực kéo do tác dụng nhổ lên lấy như sau :

$$Q_u = \left(\frac{3b}{8a} - \frac{t^2}{328000} \right) P_u$$

Trong đó :

- + Q_u : Lực kéo nhổ lên trên một bulông do các tải trọng tính toán, lấy bằng 0 khi là âm.
- + P_u : Lực kéo trực tiếp trên một bulông do các tải trọng tính toán.
- + a : Khoảng cách từ tim bulông đến mép tấm.
- + b : Khoảng cách từ tim bulông đến chân đường hàn của bộ phận liên kết.
- + t : Chiều dày nhỏ nhất của bộ phận liên kết.

3.9.3.5. Sức kháng trượt của bulông cường độ cao:

- Sức kháng trượt danh định của bulông trong liên kết ma sát được lấy như sau:

$$R_n = K_h K_s N_s P_t$$

- Sức kháng trượt tính toán:

$$R_r = \Phi \cdot R_n$$

Trong đó:

- + N_s : Số mặt ma sát của mỗi bulông (thực tế bằng số mặt cắt của bulông).
- + P_t : Lực căng tối thiểu yêu cầu của bulông, tra bảng.
- + K_h : Hệ số kích thước lỗ, tra bảng.
- + K_s : Hệ số điều kiện bề mặt, tra bảng.
- + Φ : Hệ số sức kháng trượt, $\Phi = 1,0$.

BẢNG 3.10: LỰC KÉO NHỎ NHẤT YÊU CẦU CỦA BULÔNG, P_t

Đường kính bulông mm	Lực kéo yêu cầu P_t (kN)	
	Bulông M164 (A325M)	Bulông M253 (A490M)
16	91	114
20	142	179
22	176	221
24	205	257
27	267	334
30	326	408
36	475	595

BẢNG 3.11: HỆ SỐ KÍCH THUỐC LỖ, k_h

LOẠI LỖ	K_h
Cho các lỗ tiêu chuẩn	1,00
Cho các lỗ quá cỡ và khía rãnh ngắn	0,85
Cho các lỗ khía rãnh dài với rãnh vuông góc với phương của lực	0,70
Cho các lỗ khía rãnh dài với rãnh song song với phương của lực	0,60

BẢNG 3.12: HỆ SỐ BỀ MẶT, k_s

ĐIỀU KIỆN BỀ MẶT	k_s
Cho các điều kiện bề mặt loại A	0,33
Cho các điều kiện bề mặt loại B	0,50
Cho các điều kiện bề mặt loại C	0,33

Trong đó:

- + Loại A: Làm sạch các lớp bẩn, không sơn, bề mặt được làm sạch bằng thổi với các lớp phủ loại A.
- + Loại B: Bề mặt được làm sạch bằng thổi có các lớp phủ loại B.
- + Loại C: Bề mặt kẽm nóng và làm nhám bằng bàn chải sắt sau khi mạ.

§3.10. TÍNH TOÁN MỐI NỐI DÀM CHỦ

3.10.1. NGUYÊN TẮC TÍNH TOÁN:

- Mối nối dầm là vị trí chuyển tiếp giữa các đoạn dầm chủ do đó là vị trí có khả năng bị phá hoại rất cao do đó ta phải thiết kế mối nối đảm bảo các yêu cầu sau:

+ Phải đảm bảo quá trình truyền lực không gây ra ứng suất tập trung và đảm bảo khả năng chịu lực, không có bộ phận nào của mối nối bị quá tải.

+ Mối nối dầm phải cấu tạo đơn giản để thực hiện.

+ Phải đảm bảo tạo được độ võng ngược cho dầm khi cần thiết.

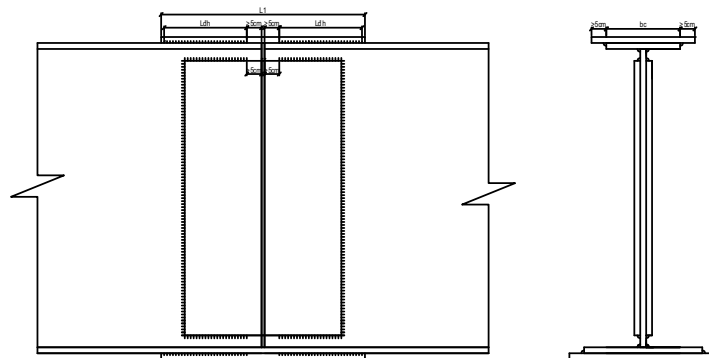
- Các quan điểm tính toán thiết kế mối nối:

+ **Quan điểm 1:** Căn cứ vào giá trị nội lực M , V của mặt cắt tại vị trí mối nối dầm để từ đó thiết kế mối nối đảm bảo khả năng chịu lực. Quan điểm này vừa đảm bảo khả năng chịu lực của mối nối đồng thời tiết kiệm được vật liệu chế tạo mối nối và thường được áp dụng trong trường hợp thiết kế một KCN cụ thể.

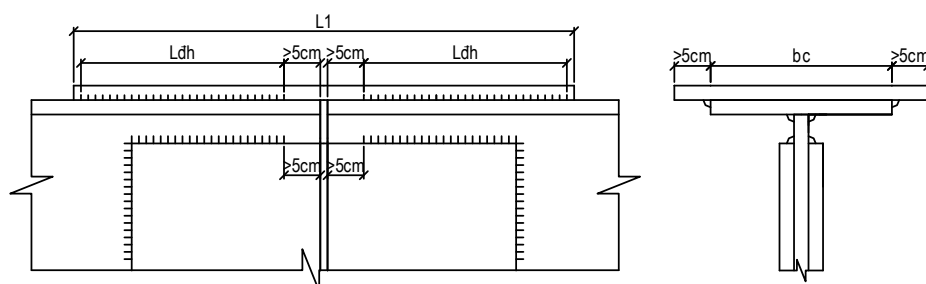
+ **Quan điểm 2:** Mối nối được tính toán thiết kế trên cơ sở khả năng chịu lực của mối nối lớn hơn khả năng chịu lực của mặt cắt dầm chủ tại vị trí mối nối. Khi đó nếu dầm có phá hoại thì sẽ dầm sẽ bị phá hoại trước sau đó mối nối mới bị phá hoại. Quan điểm này thường được áp dụng phổ biến trong các nhà máy chế tạo các dầm thép và các mối nối dầm định hình, khi đó người thiết kế mối nối sẽ không quan tâm đến mối nối sẽ được sử dụng tại mặt cắt nào trong dầm chủ.

3.10.2. MỐI NỐI BẰNG ĐƯỜNG HÀN:

3.10.2.1. Cấu tạo mối nối:



Hình 3.63a: Cấu tạo mối nối bằng đường hàn.



Hình 3.63b: Cấu tạo mối nối bằng đường hàn.

3.10.2.2. Tính mối nối bản cánh:

- Lực tác dụng: Mối nối bản cánh chịu lực dọc.

$$N_o = \frac{M_u - M_w}{h_o} \quad \text{với} \quad M_w = \frac{I_w}{I_{dc}} M_u$$

- Xác định chiều dài đường hàn:

$$T^N = \frac{N_o}{2.L_{dh}} \leq R_r^g \quad \Rightarrow \quad L_{dh} \geq \frac{N_o}{2.R_r^g}$$

Lưu ý: R_r^g lấy theo giá trị nhỏ nhất của cường độ tính toán cho 1 đơn vị chiều dài của đường hàn và của thép cơ bản.

- Kích thước bản tấp nối bản cánh:

+ Chiều dài bản tấp: $L_1 = 2.L_{dh} + 2.5$ (cm).

+ Chiều rộng bản tấp: $B = b_c + 2.5$ (cm).

3.10.2.3. Tính mối nối bản bụng:

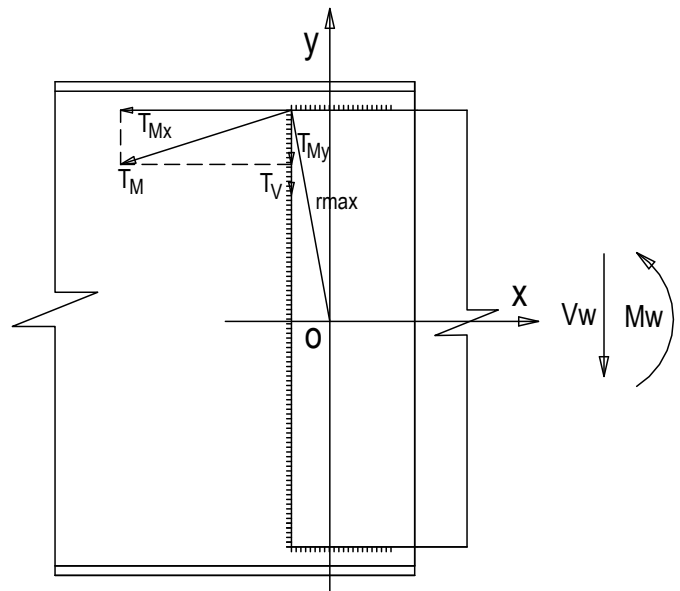
- Sơ đồ tính :

- Trong thiết kế thông thường ta bố trí đường hàn sau đó kiểm toán cường độ của đường hàn khi chịu tác dụng đồng thời của M_w và V_w .

- Lực tác dụng: sườn dầm chịu một phần mômen M_u và toàn bộ lực cắt V_u . Như vậy lực tác dụng vào mối nối sườn dầm là:

+ Lực cắt: $V_w = V_u$

+ Mômen: $M_w = \frac{I_w}{I_{dc}} M_u$



Trong đó:

Hình 3.64: Sơ đồ tính mối nối bản bụng.

- + M_u, V_u : Mômen và lực cắt tính toán tại vị trí mối nối.
- + M_w, V_w : Mômen và lực cắt do bản bụng chịu.
- + I_w : Mômen quán tính của tiết diện bản bụng.
- + I_{dc} : Mômen quán tính của tiết diện dầm chủ.
- Ứng suất trong đường hàn do lực cắt V sinh ra:

$$T_v = \frac{V_w}{A_{dh//V}}$$

- Ứng suất trong đường hàn do mômen M sinh ra:

$$T_{M(A)} = \frac{M_w \cdot r_A}{I_o} \Rightarrow T_M^{\max} = \frac{M_w \cdot r^{\max}}{I_o}$$

Với:
$$I_o = \int_F r^2 \cdot d_F \Rightarrow I_o = \int_F (x^2 + y^2) \cdot d_F = \int_F x^2 \cdot d_F + \int_F y^2 \cdot d_F$$

$$r^2 = x^2 + y^2$$

$$\Rightarrow I_o = I_x + I_y$$

Trong đó:

- + r_A : Khoảng cách từ điểm A đến trọng tâm của hệ đường hàn.
- + r_{\max} : Khoảng cách từ điểm xa nhất đến trọng tâm của hệ đường hàn.
- + I_o : Mômen quán tính cực của hệ đường hàn với trọng tâm O.
- Phân T_M làm hai thành phần theo phương x và y ta có:

$$T_{Mx} = T_M \cdot \sin \alpha$$

$$T_{My} = T_M \cdot \cos \alpha$$

Với α : là góc tạo bởi phương của T_M và T_V .

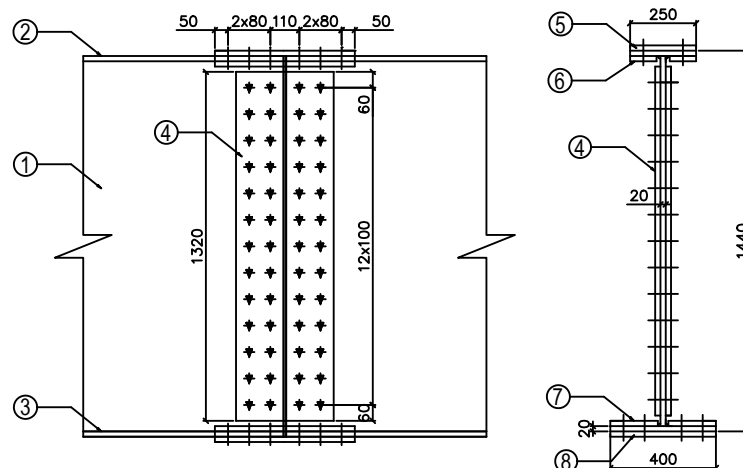
- Kiểm toán cường độ đường hàn:

$$T = \sqrt{(T_{My} + T_V)^2 + T_{Mx}^2} \leq R_r^g$$

Với R_r^g : là cường độ tính toán của đường hàn góc.

3.10.3. MỐI NỐI BẰNG ĐÌNH TÁN HOẶC BULÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO:

3.10.3.1. Cấu tạo chung:



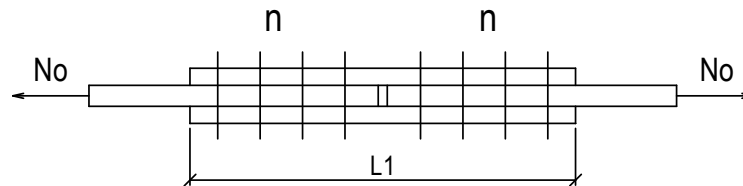
Hình 2.65: Cấu tạo mối nối dầm chủ.

- (1) : Bản bụng.
- (2) : Bản cánh trên.
- (3) : Bản cánh dưới.
- (4) : Bản táp nối bản bụng.
- (5) : Bản ốp ngoài nối bản cánh trên.

- (6) : Bản ốp trong nổi bản cánh trên.
- (7) : Bản ốp ngoài nổi bản cánh dưới.
- (8) : Bản ốp trong nổi bản cánh dưới.

3.10.3.2. Tính mỗi nổi bản cánh:

- Sơ đồ tính: Mỗi nổi bản cánh chịu lực dọc N_o .



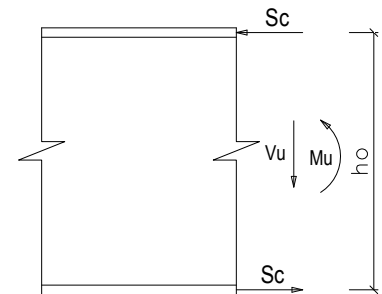
Hình 3.66: Sơ đồ tính mỗi nổi bản cánh.

- Lực tác dụng lên bản cánh khi thiết kế theo quan điểm 1.

$$N_o = \frac{M_u}{h_o}$$

Trong đó:

- + M_u : Mômen tính toán tại vị trí mỗi nổi.
- + h_o : Khoảng cách giữa tim hai bản cánh.



Hình 3.67: Sơ đồ tính bản cánh.

- Lực tác dụng lên bản cánh khi thiết kế theo quan điểm 2.

$$N_o = f_y \cdot A_{bc}$$

Trong đó:

- + f_y : Cường độ chảy quy định nhỏ nhất của thép.
- + A_{bc} : Tiết diện nguyên của bản cánh.
- Xác định số đỉnh cần bố trí:

$$N_d = \frac{N_o}{n} \leq [R_{c,em}^d] \Rightarrow n \geq \left[\frac{N_o}{R_{c,em}^d} \right] \Rightarrow \text{Chọn số}$$

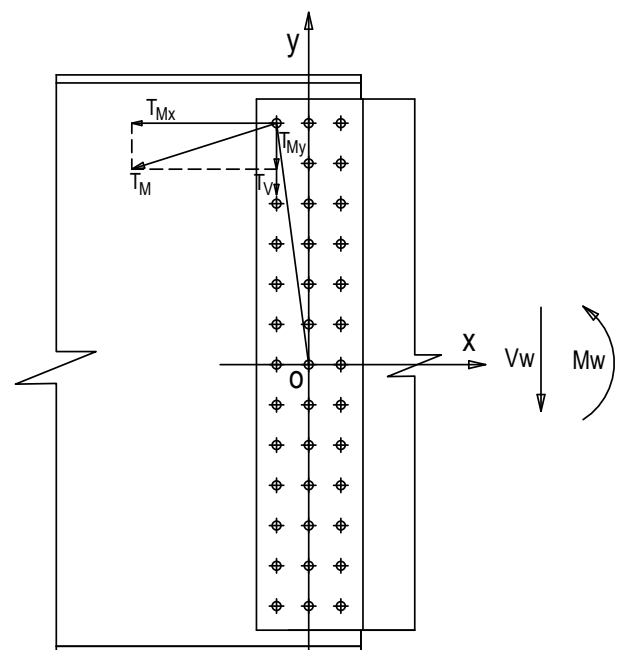
đỉnh và bố trí.

3.10.3.3. Tính mỗi nổi bản bụng:

- Sơ đồ tính:

- Trong thiết kế ta thường chọn cấu tạo bản tấp và bố trí đỉnh liên kết sau đó kiểm tra khả năng chịu lực của đỉnh.

- Lực tác dụng lên mỗi nổi khi thiết kế theo quan điểm 1: sườn dầm chịu một phần mômen M_u và toàn bộ lực cắt V_u . Như vậy lực tác dụng vào mỗi nổi sườn dầm là:



Hình 3.68: Sơ đồ tính mỗi nổi bản bụng.

+ Lực cắt: $V_w = V_u$

+ Mômen: $M_w = \frac{I_w}{I_{dc}} \cdot M_u$

Trong đó:

+ M_u, V_u : Mômen và lực cắt tính toán tại vị trí mỗi nối.

+ M_w, V_w : Mômen và lực cắt do bản bụng chịu.

+ I_w : Mômen quán tính của tiết diện bản bụng.

+ I_{dc} : Mômen quán tính của tiết diện dầm chủ.

- Lực cắt xem như phân bố đều cho các hàng đỉnh nên nếu có n đỉnh thì mỗi đỉnh chịu

lực: $T_v = \frac{V_w}{n}$

- Lực tác dụng lên đỉnh chịu lực bất lợi nhất do mômen M là:

$$T_M = \frac{M_w \cdot r_{\max}}{\sum r_i^2} = \frac{M_w \sqrt{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)}$$

Trong đó:

+ n : Số đỉnh bố trí ở một bên bản táp của mỗi nối.

+ x_i : Khoảng cách từ đỉnh thứ i đến trục Oy .

+ x_{\max} : Khoảng cách từ đỉnh xa nhất đến trục Oy .

+ y_i : Khoảng cách từ đỉnh thứ i đến trục Ox .

+ y_{\max} : Khoảng cách từ đỉnh xa nhất đến trục Ox .

- Phân T_M làm hai thành phần theo phương x và y ta có:

$$T_{Mx} = T_M \cdot \sin \alpha$$

$$T_{My} = T_M \cdot \cos \alpha$$

Trong đó:

+ α là góc tạo bởi phương của T_M và T_v .

+ T_{Mx} : Lực tác dụng theo phương trục x .

+ T_{My} : Lực tác dụng theo phương trục y .

- Lực tác dụng lên đỉnh xa nhất (đỉnh chịu lực bất lợi nhất là):

$$T = \sqrt{(T_{My} + T_v)^2 + T_{Mx}^2}$$

- Trong trường hợp chiều cao sườn dầm lớn và số cột đỉnh nhỏ có thể xem mômen uốn phân cho các đỉnh theo quy luật đường thẳng. Khi đó lực tác dụng lên đỉnh ở xa trục trung hòa nhất là:

$$T_M = \frac{M_w \cdot y_{\max}}{\sum y_i^2}$$

Trong đó:

+ y_i : Khoảng cách từ đỉnh thứ i đến trục Ox.

+ y_{\max} : Khoảng cách từ đỉnh xa nhất đến trục Ox.

⇒ Tổng hợp lực do đỉnh bất lợi nhất phải chịu là:

$$T = \sqrt{T_M^2 + T_V^2}$$

- Kiểm toán khả năng chịu lực của dầm:

$$T \leq [R^d_{c,em}]$$

§3.11. TÍNH TOÁN HỆ LIÊN KẾT

(TỰ NGHIÊN CỨU)

§3.12. TÍNH TOÁN BẢN MẶT CẦU

3.12.1. KHÁI NIỆM:

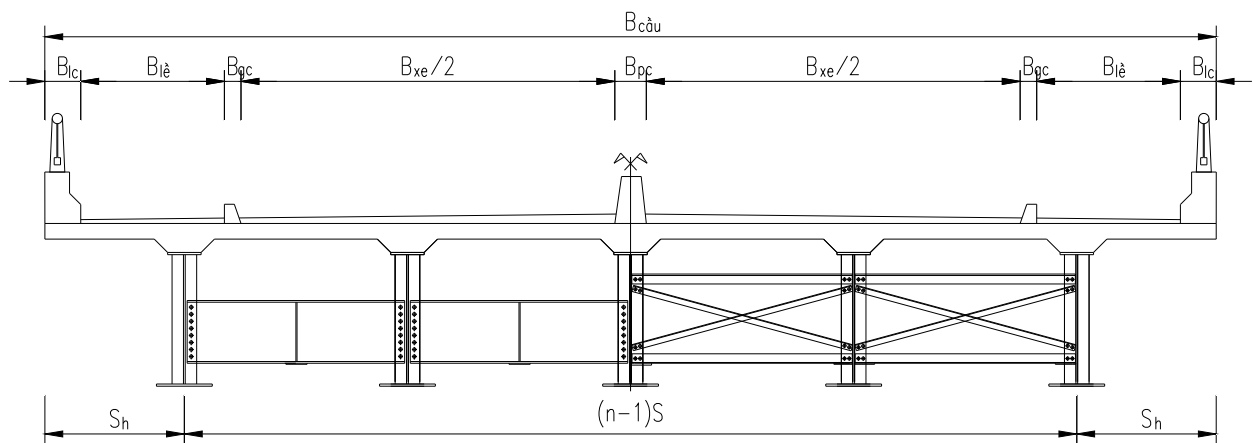
- Mặt cầu là bộ phận trực tiếp chịu tải trọng giao thông và chủ yếu quyết định chất lượng khai thác của cầu, vì vậy mặt cầu cần bằng phẳng, đủ độ nhám, đảm bảo thoát nước tốt, khai thác thuận tiện, ít hư hỏng nhất và an toàn tối đa cho các phương tiện tham gia giao thông.

- Trong cầu dầm thép, bản mặt cầu thường được làm bằng BTCT, BTCT dự ứng lực, đúc tại chỗ hoặc lắp ghép.

3.12.2. CHỌN KÍCH THƯỚC BẢN MẶT CẦU:

3.12.2.1. Bề rộng:

- Bề rộng mặt cầu có thể bao gồm: bề rộng mặt đường xe chạy, lề người đi, lan can, dây phân cách, gờ chắn.



Hình 3.69: Chọn bề rộng bản mặt cầu.

3.12.2.1. Chiều dày:

- Chiều dày bản mặt cầu bê tông (không kể lớp hao mòn) không được nhỏ hơn 175mm (điều 9.7.1.1).

- Mặt cầu có thể là mặt cầu trần trong đó bánh xe chạy trực tiếp trên mặt bê tông, khi đó bên trên mặt cầu cần có một lớp chống hao mòn dày 10 ÷ 15mm.

- Các phần hẫng của mặt cầu do phải thiết kế chịu tải trọng va xô nên chiều dày tối thiểu tại mép phần hẫng phải bằng 200mm (đối với các phần hẫng mặt cầu bê tông đỡ hệ thống nhô cao, đỡ các tường phòng hộ hoặc các rào chắn bê tông), bằng 300mm (đối với hệ thống cột nhô cao ở cạnh bên). (điều 13.7.3.5.1).

- Ngoài ra, chiều dày bản theo điều kiện chịu lực còn phải thỏa mãn bảng (2.5.2.6.3-1).

3.12.3. XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TRONG BẢN:

3.12.3.1. Sơ đồ tính toán:

- Trước hết ta cần xác định bản làm việc 1 phương hay 2 phương căn cứ vào tỷ lệ $L_{dài}/L_{ngắn}$; với $L_{dài} = \max(S, d)$, $L_{ngắn} = \min(S, d)$; Trong đó: S là khoảng cách giữa 2 dầm dọc chủ, d là khoảng cách giữa 2 dầm ngang.

+ Nếu $L_{\text{dài}}/L_{\text{ngắn}} \geq 1.5$: bản làm việc theo 1 phương (bản kê 2 cạnh - bản kiểu dầm), nhịp tính toán song song với cạnh ngắn.

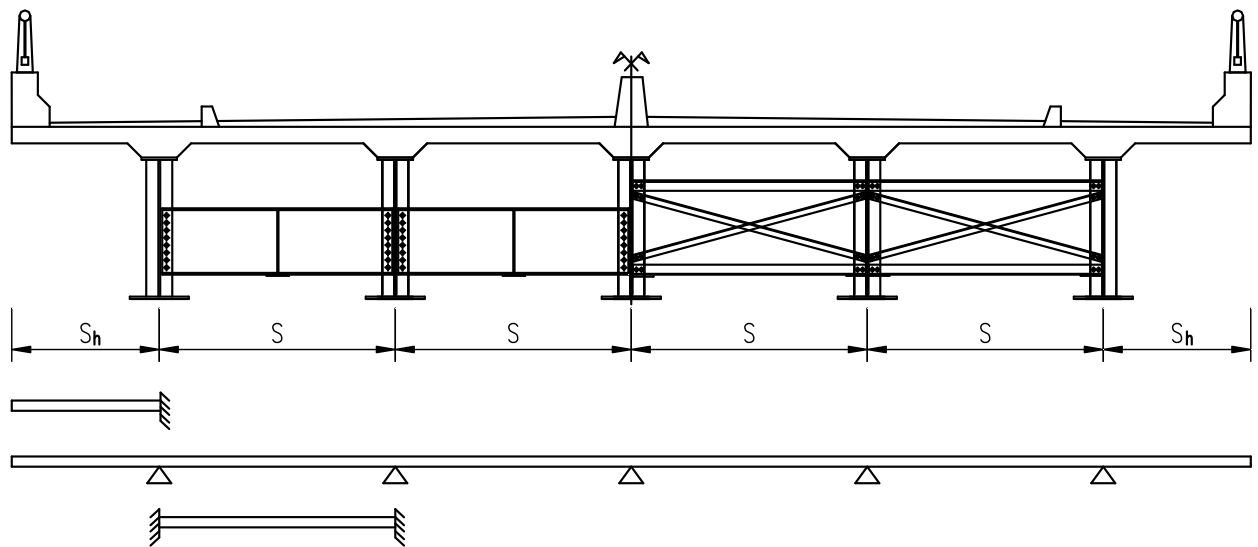
+ Nếu $L_{\text{dài}}/L_{\text{ngắn}} < 1.5$: bản làm việc theo 2 phương (bản kê 4 cạnh).

- Đối với cầu dầm thép, hệ liên kết ngang không đỡ bản mặt cầu nên chủ yếu bản làm việc 1 phương (phương ngang cầu). Khi đó ta có các sơ đồ tính toán sau:

+ Sơ đồ bản hằng: để tính toán phần hằng của bản mặt cầu.

+ Sơ đồ bản kiểu dầm liên tục kê trên các dầm chủ: để tính phần bản mặt cầu phía trong.

+ Sơ đồ bản ngàm tại hai dầm chủ với đường lối phân tích gần đúng như sơ đồ bản giản đơn kê 2 cạnh được tính như dầm giản đơn sau đó xét hệ số điều chỉnh cho ngàm.



Hình 3.70: Các sơ đồ tính toán bản mặt cầu.

3.12.3.2. Hoạt tải xe thiết kế dùng để tính toán: (điều 3.6.1.3.3 và 3.6.1.3.4)

- Khi dải bản chính nằm ngang có nhịp không quá 4600mm, dải bản ngang được thiết kế theo các bánh xe của trục 145000N.

- Khi dải bản chính nằm ngang có nhịp vượt quá 4600mm, dải bản ngang được thiết kế theo các bánh xe của trục 145000N và tải trọng làn.

- Khi dải bản chính nằm dọc, các dải ngang được thiết kế với cả xe tải, xe 2 trục và tải trọng làn.

- Khi chiều dài bản hằng không quá 1800mm tính từ tim dầm ngoài đến mặt của lan can bằng bê tông liên tục, tải trọng bánh xe dây ngoài cùng có thể thay bằng một tải trọng phân bố đều có cường độ 14.6 N/mm đặt cách mặt lan can 300mm.

- Không xét lực ly tâm và lực hãm khi tính toán bản mặt cầu.

3.12.3.3. Diện tích tiếp xúc của bánh xe với mặt đường:

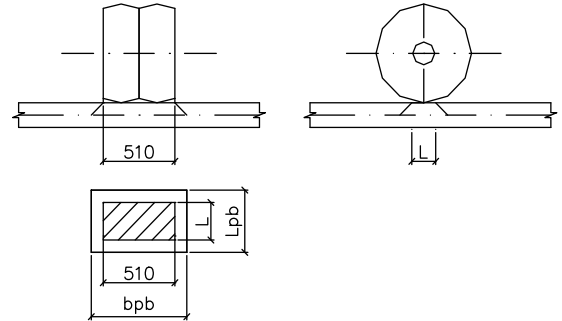
- Diện tích tiếp xúc của bánh xe với mặt đường: (điều 3.6.1.2.5)

+ Chiều rộng (ngang cầu): $b = 510$ (mm).

- + Chiều dài (dọc cầu): $L = 2,28.10^{-3} \cdot \gamma \cdot (1 + IM) \cdot P$ (mm).
- Diện tích phân bố của bánh xe lên bề mặt bản: (điều 4.6.2.1.6)
 - + Chiều rộng (ngang cầu): $b_{pb} = b + t_s$
 - + Chiều dài (dọc cầu): $L_{pb} = 2,28.10^{-3} \cdot \gamma \cdot (1 + IM) \cdot P + t_s$

Trong đó:

- + γ : Hệ số tải trọng.
- + IM: Lực xung kích.
- + P: Tải trọng bánh xe, $P = 72500N$ khi thiết kế cho xe tải (Truck) và $55000N$ cho xe 2 trục (Tondem).
- + t_s : Chiều dày bản mặt cầu.



Hình 3.71: Diện tích tiếp xúc của bánh xe.

3.12.3.4. Chiều rộng dải bản tương đương: (điều 4.6.2.1.3)

Chiều rộng của dải bản chịu ảnh hưởng của bánh xe được gọi là chiều rộng dải bản tương đương. Đối với cầu BTCT:

- Khi tính phân hẫng: $E = 1140 + 0.833X$
- Khi tính mômen dương: $E^+ = 660 + 0.55S$
- Khi tính mômen âm: $E^- = 1220 + 0.25S$

Trong đó:

- + X: Khoảng cách từ tâm gối đến điểm đặt tải.
- + S: khoảng cách của các cầu kiện đỡ.

3.12.3.5. Tính toán phân hẫng bản mặt cầu:

a. **Sơ đồ tính toán:** bản hẫng (sơ đồ dầm công xon). Lấy 1m chiều rộng bản theo phương dọc cầu để xét là chiều rộng của mặt cắt chịu lực, căn cứ vào đó để tính toán và bố trí cốt thép cho tất cả các mét dài khác của bản theo phương dọc cầu.

b. **Tải trọng tác dụng:**

➤ **Tĩnh tải:**

- Tĩnh tải có thể bao gồm: Trọng lượng bản thân bản mặt cầu, trọng lượng lớp phủ, trọng lượng lan can, gờ chắn bánh, BT lề người đi bộ.

- Khi tính toán ta quy về tải trọng tập trung hoặc tải trọng rải đều đặt lên sơ đồ tính. Mặt cắt tính toán hình chữ nhật $1 \times t_s$.

➤ **Hoạt tải xe:**

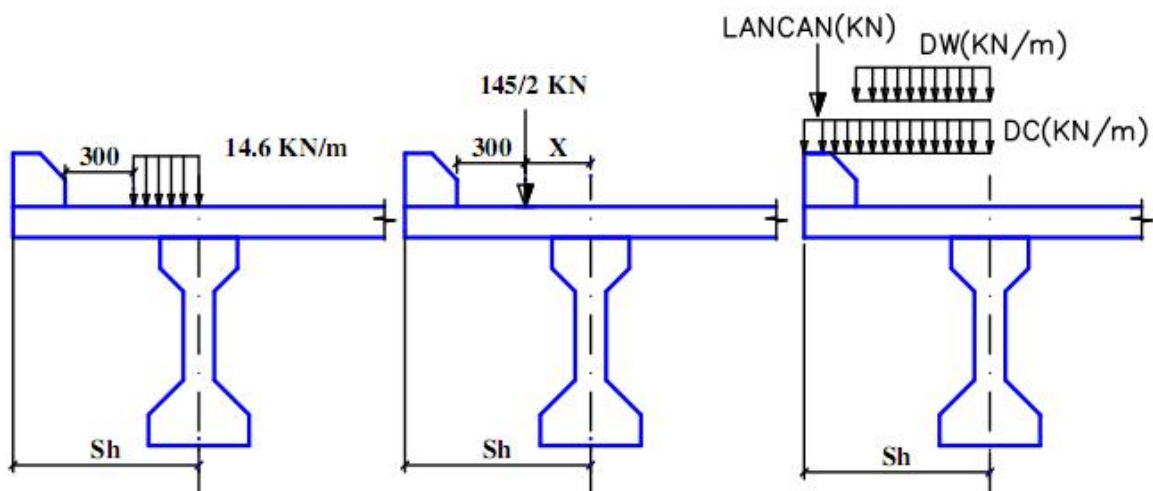
- Tùy theo từng trường hợp như trên có thể có tải trọng bánh xe hoặc cả tải trọng bánh xe và tải trọng làn.

- Trong đó, tải trọng bánh xe được mô hình hóa như tải trọng tập trung hoặc tải trọng vệt mà chiều dài dọc theo nhịp sẽ là chiều dài của diện tích tiếp xúc của lốp xe với mặt đường cộng với chiều cao bản mặt cầu t_s (điều 4.6.2.1.6). Để đơn giản tính toán nên chọn tải trọng bánh xe được mô hình hóa như tải trọng tập trung đặt tại trọng tâm lốp xe và có chiều rộng ảnh hưởng theo phương dọc cầu là chiều rộng dải tương đương. Như vậy ta quy về chiều rộng 1m tính được nội lực như sau:

$$M_{xe} = m(1 + IM) \cdot \frac{P}{E} \cdot X, \quad V_{xe} = m(1 + IM) \cdot \frac{P}{E}$$

- Tải trọng làn: $q_{làn} = 9.3 \text{ KN/m}$ theo phương dọc cầu, ta quy về tải trọng rải đều tác dụng theo phương ngang cầu cho 1m dài dọc cầu $q_{làn} = \frac{9.3 \times 1}{3} = 3.1 \text{ KN/m}$. Đặt tải trọng này lên sơ đồ tính để xác định nội lực (đặt sát mép lan can hoặc lề người đi phân bố trên bề rộng tối đa 3m)

➤ Hoạt tải người: $PL = 3 \times 10^{-3} \text{ Mpa}$ hoặc $PL = 4.1 \times 10^{-3} \text{ Mpa}$. Khi tính ta có thể quy về tải trọng tập trung đặt ở tim lề người đi.



Hình 3.72: Xếp tải trọng tính toán cánh hẫng bản mặt cầu.

c. Tổ hợp tải trọng:

$$Q = \eta [\gamma_{DC} Q_{DC} + \gamma_{DW} Q_{DW} + \gamma_{LL} Q_{xe} + \gamma_{LL} Q_{làn} + \gamma_{PL} Q_{PL}]$$

3.12.3.6. Tính toán phần bản mặt cầu bên trong:

a. **Sơ đồ tính toán:** Sơ đồ bản kiểu dầm liên tục kê trên các dầm chủ. Lấy 1m chiều rộng bản theo phương dọc cầu để xét là chiều rộng của mặt cắt chịu lực, căn cứ vào đó để tính toán và bố trí cốt thép cho tất cả các mét dài khác của bản theo phương dọc cầu.

b. **Vẽ đường ảnh hưởng nội lực tại các mặt cắt cần tính nội lực.**

c. **Tải trọng tác dụng:**

➤ **Tĩnh tải:**

- Tĩnh tải có thể bao gồm: Trọng lượng bản thân bản mặt cầu, trọng lượng lớp phủ.

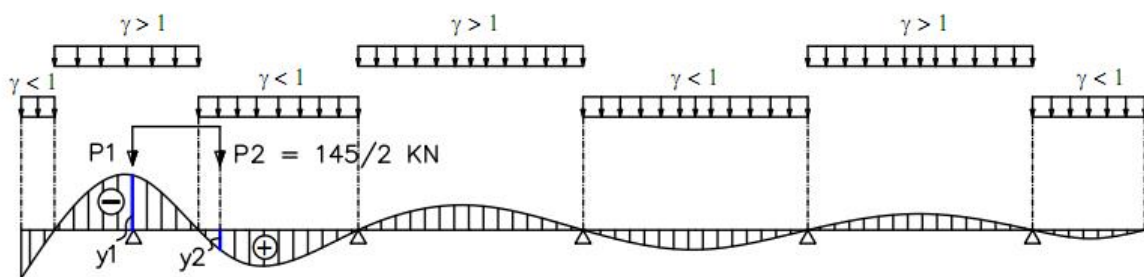
- Khi tính toán ta quy về tải trọng rải đều rồi xếp tải lên đường ảnh hưởng nội lực (các giá trị gây bất lợi thì lấy $\gamma > 1$, các giá trị giảm tính bất lợi thì lấy $\gamma < 1$). Mặt cắt tính toán hình chữ nhật $1 \times t_s$.

➤ Hoạt tải xe:

- Tùy theo từng trường hợp như trên có thể có tải trọng bánh xe hoặc cả tải trọng bánh xe và tải trọng làn.

- Trong đó, tải trọng bánh xe được mô hình hóa như tải trọng tập trung hoặc tải trọng vệt mà chiều dài dọc theo nhịp sẽ là chiều dài của diện tích tiếp xúc của lốp xe với mặt đường cộng với chiều cao bản mặt cầu t_s (điều 4.6.2.1.6). Để đơn giản tính toán nên chọn tải trọng bánh xe được mô hình hóa như tải trọng tập trung đặt tại trọng tâm lốp xe và có chiều rộng ảnh hưởng theo phương dọc cầu là chiều rộng dải tương đương. Như vậy ta quy về chiều rộng 1m tính được nội lực như sau:

$$Q_{xe} = m(1 + IM) \cdot \frac{P}{E} \cdot \sum y_i$$



Hình 3.73: Xếp tải trọng tính toán phần bản mặt cầu bên trong.

- Tải trọng làn: $q_{làn} = 9.3 \text{ KN/m}$ theo phương dọc cầu, ta quy về tải trọng rải đều tác dụng theo phương ngang cầu cho 1m dài dọc cầu $q_{làn} = \frac{9.3 \times 1}{3} = 3.1 \text{ KN/m}$. Đặt tải trọng này lên đường ảnh hưởng để xác định nội lực.

$$Q_{làn} = m \cdot q_{làn} \cdot \omega_{làn}$$

➤ Hoạt tải người: $PL = 3 \text{ KN/m}^2$ hoặc $PL = 4.1 \text{ KN/m}^2$. Khi tính ta có thể quy về tải trọng rải đều theo phương ngang cầu trong phạm vi lề người đi bộ đặt lên đường ảnh hưởng, $q_{PL} = 3 \times 1 \text{ m} = 3 \text{ KN/m}$ hoặc $q_{PL} = 4.1 \times 1 \text{ m} = 4.1 \text{ KN/m}$. Chỉ xếp lên đường ảnh hưởng trong trường hợp làm tăng tính bất lợi lên mặt cắt tính toán nội lực.

$$Q_{PL} = q_{PL} \cdot \omega_{PL}$$

d. Tổ hợp tải trọng:

$$Q = \eta [\gamma_{DC} Q_{DC} + \gamma_{DW} Q_{DW} + \gamma_{LL} Q_{xe} + \gamma_{LL} Q_{làn} + \gamma_{PL} Q_{PL}]$$

Lưu ý:

- Khi tính nội lực do tĩnh tải gây ra, các giá trị gây bất lợi thì lấy $\gamma > 1$, các giá trị giảm tính bất lợi thì lấy $\gamma < 1$.

Ví dụ: Tính M^- với ω^+ , ω^- có xét tới dấu và $|\omega^-| > |\omega^+|$ ở TTGH CD1:

$$M^- = \eta[(1,25.DC.\omega^- + 0,9.DC.\omega^+) + (1,5.DW.\omega^- + 0,65.DW.\omega^+)]$$

- Khi tính nội lực do tải trọng trục xe thì bỏ qua những trục xe làm giảm tính bất lợi.

Ví dụ: Tính M^- với y_1 nằm bên đường ảnh hưởng âm, y_2 nằm bên đường ảnh hưởng dương ta bỏ qua trục tương ứng với y_2 .

- Có các trường hợp bố trí số làn xe theo phương ngang cầu như sau:

+ $W < 6m$: Chỉ có một làn xe, chiều rộng chuẩn của làn xe thiết kế là 3500mm. Tuy nhiên vị trí làn xe trên mặt cắt ngang có thể xô dịch sao cho tạo ra ứng lực lớn nhất.

+ $6m \leq W < 7.2m$: Cầu có 2 làn xe, chiều rộng mỗi làn là $W/2$.

+ $7.2m \leq W < 10.5m$: Cầu cũng chỉ có 2 làn xe và bề rộng mỗi làn là 3500mm. Như vậy trường hợp này vị trí làn xe cũng được xô dịch sao cho tạo ra ứng lực lớn nhất.

- Một số quy tắc xếp hoạt tải xe:

+ Tim bánh xe cách mép đá vĩa 300mm và cách mép làn xe 600mm.

+ Tải trọng làn có thể xô dịch qua lại trong phạm vi làn xe để gây ra ứng lực lớn nhất.

3.12.4. KIỂM TOÁN BẢN MẶT CẦU:

- Kiểm toán sức kháng uốn của mặt cắt.

- Kiểm toán sức kháng cắt của mặt cắt.

- Hàm lượng thép tối đa.

- Hàm lượng thép tối thiểu.

- Kiểm toán nứt đối với BTCT thường.

3.12.5. THIẾT KẾ BẢN MẶT CẦU THEO KINH NGHIỆM (XEM ĐIỀU 9.7.2):

§3.13. ĐẶC ĐIỂM TÍNH TOÁN THIẾT KẾ CẦU DÀM LIÊN TỤC

3.13.1. ĐẶC ĐIỂM VỀ CẤU TẠO:

- M^- tại gối làm giảm M^+ ở giữa nhịp, giảm nội lực, giảm được độ võng => tiết kiệm được vật liệu và vượt được nhịp lớn.
- Trên trụ chỉ có 1 hàng gối:
 - + Kích thước xà mũ nhỏ hơn.
 - + Phản lực gối truyền xuống trụ có thể coi là đúng tâm, kích thước trụ cũng được thu hẹp lại.
- Giảm được số lượng khe co giãn trên cầu, xe ra vào cầu êm thuận.
- Do chiều dài nhịp lớn nên chuyển vị dọc do nhiệt độ thay đổi càng lớn đòi hỏi phải làm các khe co giãn phức tạp hơn.
- Là hệ siêu tĩnh nên chịu ảnh hưởng của lún gối, thay đổi nhiệt độ, ... làm xuất hiện các nội lực phụ ở trong dầm.
- Tỷ lệ phân chia các nhịp trong kết cấu nhịp liên tục:
 - + Khi cầu có 3 nhịp thì nên chọn tỷ lệ:

$$\frac{L_{nb}}{L_{ng}} = (0,7 \div 0,8)$$

- + Khi cầu có nhiều nhịp: Chọn chiều dài các nhịp gần bằng nhau, chiều dài nhịp biên bằng $(0,7 \div 0,8)$ nhịp giữa.

3.13.2. ĐẶC ĐIỂM VỀ TÍNH TOÁN:

- Về cơ bản thì nội dung tính toán cầu dầm liên tục cũng giống như khi tính toán cầu dầm giản đơn. Tuy nhiên do kết cấu nhịp cầu dầm liên tục là kết cấu siêu tĩnh nên trong tính toán phải xét đến nội lực do hiện tượng gối lún và do sự thay đổi nhiệt độ gây ra.
- Khi tính toán nội lực dầm chủ thì nhất thiết cần có sự hỗ trợ của các phần mềm như Sap, Midas hoặc RM, vì nếu tính toán thủ công sẽ rất phức tạp và mất nhiều thời gian.