

TRƯỜNG ĐẠI HỌC GIAO THÔNG VẬN TẢI
KHOA CÔNG TRÌNH
BỘ MÔN KẾT CẤU

HƯỚNG DẪN BTL MÔN HỌC KẾT CẤU THÉP - THEO 22TCN 272-05

(LƯU HÀNH NỘI BỘ)

HÀ NỘI, 09 - 2007

HƯỚNG DẪN LÀM BTL MÔN HỌC KẾT CẤU THÉP*

(THEO 22 TCN 272-05)

Chương 1 MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ TẢI TRỌNG

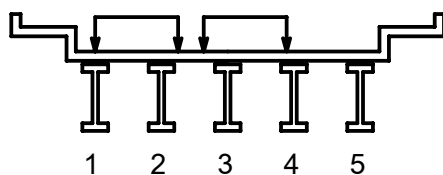
1.1. KHÁI NIỆM SƠ BỘ VỀ HỆ SỐ PHÂN BỐ NGANG CỦA HOẠT TẢI

Khi thiết kế dầm cầu, ta phải đặt hoạt tải (đoàn xe lửa, ô tô) vào vị trí bất lợi nhất trên chiều dọc cũng như chiều ngang mặt cầu để tìm ra một nội lực lớn nhất của dầm.

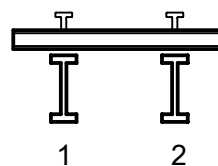
Đối với dầm đơn giản thì mặt cắt nguy hiểm nhất để xác định mô men uốn là ở giữa chiều dài nhịp, còn lực cắt là ở vị trí gối dầm. Nếu dùng phương pháp đường ảnh hưởng và tra bảng hoạt tải rải đều tương đương để xác định nội lực thì việc đó đã bao hàm vấn đề bố trí hoạt tải ở vị trí bất lợi nhất trên đường ảnh hưởng cũng tức là trên chiều dọc dầm.

Còn trên chiều ngang cầu, ta cũng cần bố trí hoạt tải sao cho một dầm nào đó chịu hoạt tải nhiều nhất.

Giả sử ta có một mặt cắt ngang cầu trên đường ô tô với 5 dầm dọc như hình 1. Khi xe dịch hoạt tải theo chiều ngang thì hoạt tải đó sẽ phân bố cho các dầm không giống nhau, hay nói cách khác hệ số phân bố ngang của các dầm là khác nhau. Ở vị trí bất lợi nhất như hình 1 thì rõ ràng là dầm số 1 ở biên chịu tải nhiều hơn các dầm 2, 3, 4, 5 cũng tức là hệ số phân bố ngang của nó là lớn nhất. Công thức để xác định hệ số phân bố ngang đối với cầu trên đường ô tô sẽ được giới thiệu kỹ trong giáo trình thiết kế cầu, xem thêm trong tài liệu [2,3,4,5,8].



Hình 1



Hình 2

Khi tính toán theo quy trình 22TCN 272-05 thì hệ số phân bố ngang của tải trọng để tính mômen, lực cắt, độ võng và mỗi nói chung là khác nhau. Trong các bài tập lớn ở đây, đề bài đã cho trước các hệ số phân bố ngang.

Đối với cầu trên đường xe lửa thì hoạt tải (đoàn xe lửa) không thể xe dịch tự do trên chiều ngang cầu, mà phải chạy cố định trên đường ray, cho nên việc xác định hệ số phân bố ngang rất đơn giản. Giả sử cầu có một làn xe như hình 2, thì 2 dầm chịu hoạt tải như nhau, tức là hệ số phân bố ngang là 0,5.

1.2. HOẠT TẢI XE Ô TÔ THIẾT KẾ

Hoạt tải xe ô tô trên mặt cầu hay kết cấu phụ trợ được đặt tên là HL-93 sẽ gồm tổ hợp của:

- Xe tải thiết kế và tải trọng làn thiết kế hoặc;
- Xe hai trục thiết kế và tải trọng làn thiết kế.

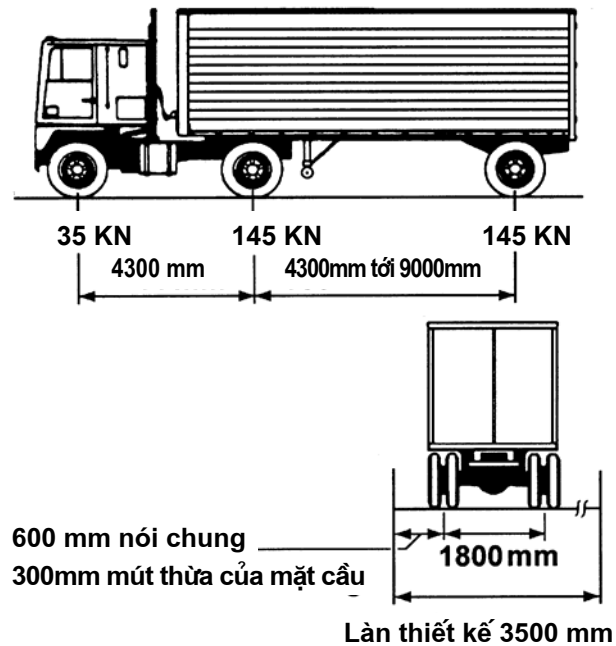
Mỗi làn thiết kế được xem xét phải được bố trí hoặc xe tải thiết kế hoặc xe hai trục chồng với tải trọng làn khi áp dụng được. Tải trọng được giả thiết chiếm 3000mm theo chiều ngang trong một làn xe thiết kế.

Xe tải thiết kế (truck)

Trọng lượng và khoảng cách các trục và bánh xe của xe tải thiết kế phải lấy theo Hình 3. Cụ ly giữa 2 trục 145000N phải thay đổi giữa 4300 và 9000mm để gây ra ứng lực lớn nhất.

* Tài liệu này viết chung cho cả hai trường hợp là dầm liên hợp và không liên hợp. Do vậy, khi áp dụng cho dầm không liên hợp thì ta chỉ cần bỏ phần có liên quan đến bản BTCT liên hợp.

Đối với các cầu trên các tuyến đường cấp IV và thấp hơn, Chủ đầu tư có thể yêu cầu tải trọng trục nhỏ hơn bằng cách nhân với hệ số triết giảm (hệ số cấp đường) 0,50 hoặc 0,65.



Hình 3 - Đặc trưng của xe tải thiết kế

Xe hai trục thiết kế (tandem)

Xe hai trục thiết kế gồm một cặp trục 110000N cách nhau 1200mm. Cự ly chiều ngang của các bánh xe lấy bằng 1800mm. Đối với các cầu trên các tuyến đường cấp IV và thấp hơn, Chủ đầu tư có thể yêu cầu tải trọng trục nhỏ hơn bằng cách nhân với hệ số triết giảm (hệ số cấp đường) 0,50 hoặc 0,65.

Tải trọng làn thiết kế

Tải trọng làn thiết kế gồm tải trọng 9,3N/mm phân bố đều theo chiều dọc. Theo chiều ngang cầu được giả thiết là phân bố đều trên chiều rộng 3000mm. Khi xác định ứng lực của tải trọng làn thiết kế, *không xét đến lực xung kích*.

Lực xung kích IM

Hệ số áp dụng cho xe tải và xe hai trục thiết kế được lấy bằng $(1 + IM)$. Lực xung kích không được áp dụng cho tải trọng bộ hành hoặc tải trọng làn thiết kế.

Bảng - Lực xung kích IM

Cấu kiện	IM
Mối nối bản mặt cầu	
Tất cả các trạng thái giới hạn	75%
Tất cả các cấu kiện khác	
• Trạng thái giới hạn mới và giòn	15%
• Tất cả các trạng thái giới hạn khác	25%

1.3. XÁC ĐỊNH NỘI LỰC BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐƯỜNG ẢNH HƯỞNG

Chọn hệ số điều chỉnh tải trọng:

$$\eta = \eta_D \eta_R \eta_I \geq 0,95$$

Trong đó:

η_D = hệ số liên quan đến tính dẻo;

η_R = hệ số liên quan đến tính dư;

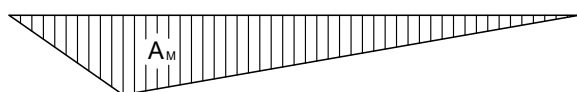
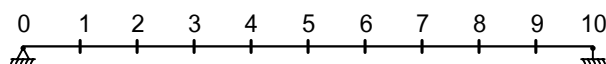
η_I = hệ số liên quan đến tầm quan trọng trong khai thác.

Đối với trạng thái giới hạn sử dụng, phá hoại do mỏi thì $\eta=1,0$.

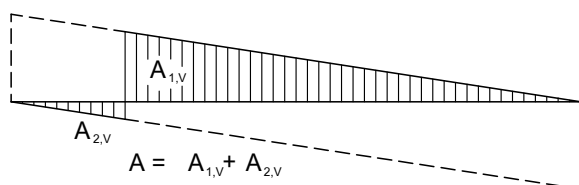
Đối với việc thiết kế cầu bê tông, cầu thép trên các đường quốc lộ thì các hệ số này tính theo trạng thái giới hạn cường độ có thể lấy như sau: $\eta_d = 0,95$; $\eta_R = 1,05$; $\eta_I = 0,95 \Rightarrow \eta \approx 0,95$.

Tính toán các tổ hợp tải trọng:

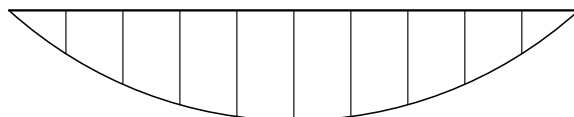
Để tính toán nội lực ta vẽ các đường ảnh hưởng nội lực sau đó xếp tải trọng lên đường ảnh hưởng để tìm vị trí bất lợi nhất. Đối với nhịp từ 6m đến 24m ta có thể tính bằng hoạt tải rải đều tương đương cho ở bảng 3 (phần phụ lục).



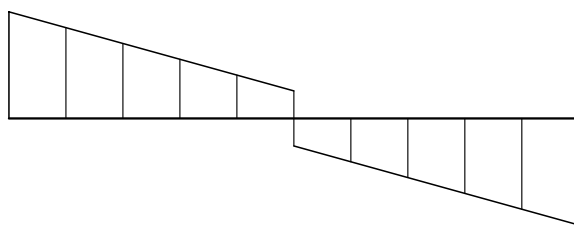
Đah Mi



Đah Vi



Biểu đồ bao M



Biểu đồ bao V

Khi tính toán chú ý rằng HL-93 có **hai tổ hợp** do đó ta **phải chọn trị số** tải trọng tương đương **lớn hơn giữa xe tải thiết kế và xe hai trục thiết kế**. Tính toán với lực cắt thì chỉ xếp hoạt tải lên phần đường ảnh hưởng có diện tích lớn hơn. Khi chủ đầu tư yêu cầu chỉ tính với 50% hoặc 65% của xe tải thiết kế hoặc xe hai trục thiết kế thì phải nhân các hệ số này với tải trọng tương đương tra được.

Ta xét tổ hợp của các tải trọng sau:

- Hoạt tải (HL-93);
- Tĩnh tải của bản thân dầm, bản BTCT mặt cầu (DC);
- Tĩnh tải của lớp phủ mặt cầu và các tiện ích khác (DW).

Mômen và lực cắt tại tiết diện bất kỳ được tính theo công thức sau:

- Đối với TTGHCDI:

$$M_i = \eta \{ 1,25w_{DC} + 1,50w_{DW} + mg_M [1,75LL_L + 1,75mLL_{Mi} (1 + IM)] \} A_{Mi}$$

$$= M_i^{DC} + M_i^{DW} + M_i^{LL}$$

$$V_i = \eta \{ (1,25w_{DC} + 1,50w_{DW}) A_{Vi} + mg_V [1,75LL_L + 1,75mLL_{Vi} (1 + IM)] A_{1,Vi} \}$$

$$= V_i^{DC} + V_i^{DW} + V_i^{LL}$$

- Đối với TTGHSD:

$$M_i = 1,0 \{ 1,0w_{DC} + 1,0w_{DW} + mg_M [1,3LL_L + 1,3mLL_{Mi} (1 + IM)] \} A_{Mi}$$

$$= M_i^{DC} + M_i^{DW} + M_i^{LL}$$

$$V_i = 1,0 \{ (1,0w_{DC} + 1,0w_{DW}) A_{Vi} + mg_V [1,3LL_L + 1,3mLL_{Vi} (1 + IM)] A_{1,Vi} \}$$

$$= V_i^{DC} + V_i^{DW} + V_i^{LL}$$

Trong đó:

LL_L = Tải trọng làn rải đều (9,3KN/m);

LL_{Mi} = Hoạt tải tương đương ứng với đ.ảnh M_i ;

LL_{Vi} = Hoạt tải tương đương ứng với đ.ảnh V_i ;

mg_M = Hệ số phân bố ngang tính cho mômen (đã tính cả hệ số làn xe m);

mg_V = Hệ số phân bố ngang tính cho lực cắt (đã tính cả hệ số làn xe m);

w_{DC} = Tải trọng rải đều do bản thân dầm thép và bản BTCT mặt cầu;

w_{DW} = Tải trọng rải đều do lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu;

$1+IM$ = Hệ số xung kích;

A_{Mi} = Diện tích đường ảnh hưởng M_i ;

A_{Vi} = Tổng đại số diện tích đường ảnh hưởng V_i ;

$A_{l,Vi}$ = Diện tích đường ảnh hưởng V_i (phần diện tích lớn);

m = Hệ số cấp đường hay hệ số triết giảm hoạt tải xe ô tô thiết kế.

Để tính toán nội lực ta có thể lập bảng theo mẫu sau:

Bảng giá trị mômen theo TTGHCDI

Mặt cắt	x_i (m)	α_i	A_{Mi} (m ²)	w_{DC} (kN/m)	w_{DW} (kN/m)	LL_{Mi}^{truck} (kN/m)	LL_{Mi}^{tandem} (kN/m)	M_i^{DC} (kNm)	M_i^{DW} (kNm)	M_i^{LL} (kNm)	M_i^{CD} (kNm)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Bảng giá trị mômen theo TTGHSD

Mặt cắt	x_i (m)	α_i	A_{Mi} (m ²)	w_{DC} (kN/m)	w_{DW} (kN/m)	LL_{Mi}^{truck} (kN/m)	LL_{Mi}^{tandem} (kN/m)	M_i^{DC} (kNm)	M_i^{DW} (kNm)	M_i^{LL} (kNm)	M_i^{SD} (kNm)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Bảng giá trị lực cắt theo TTGHCDI

Mặt cắt	x_i (m)	l_i (m)	$A_{l,Vi}$ (m ²)	A_{Vi} (m ²)	w_{DC} (kN/m)	w_{DW} (kN/m)	LL_{Vi}^{truck} (kN/m)	LL_{Vi}^{tandem} (kN/m)	V_i^{DC} (kN)	V_i^{DW} (kN)	V_i^{LL} (kN)	V_i^{CD} (kN)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Bảng giá trị lực cắt theo TTGHSD

Mặt cắt	x_i (m)	l_i (m)	$A_{l,Vi}$ (m ²)	A_{Vi} (m ²)	w_{DC} (kN/m)	w_{DW} (kN/m)	LL_{Vi}^{truck} (kN/m)	LL_{Vi}^{tandem} (kN/m)	V_i^{DC} (kN)	V_i^{DW} (kN)	V_i^{LL} (kN)	V_i^{SD} (kN)
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Trong đó: l_i = Chiều dài phần dầm lớn hơn, $l_i = l - x_i$.

Cách vẽ hình bao nội lực.

Khi tính toán thiết kế, ta cần xác định giá trị bất lợi nhất của mô men hoặc lực cắt cho từng mặt cắt do tĩnh tải và hoạt tải gây ra. Muốn vậy cần phải vẽ biểu đồ bao mô men và biểu đồ bao lực cắt.

Như ta đã biết trong môn cơ học kết cấu thì biểu đồ bao của mô men (hoặc lực cắt) là biểu đồ mà mỗi tung độ của nó biểu thị giá trị đại số của mô men (lực cắt) lớn nhất hoặc nhỏ nhất có thể xảy ra tại mặt cắt tương ứng.

Ở đây, xét đối với dầm giản đơn, do đó hình bao $M_{\max}$ và $V_{\max}$ được vẽ theo các bước như sau:

- 1- Trước hết chia dầm làm nhiều đoạn bằng nhau (ít nhất là từ 8 đến 10 đoạn).
- 2- Vẽ đường ảnh hưởng của mô men (hoặc lực cắt) tại mặt cắt các điểm chia (tức là 0, 1, 2, 3,...) rồi xác định các giá trị $M_{\max}$ (hoặc $V_{\max}$) tại các mặt cắt đó. Các giá trị đó là các tung độ của hình bao $M_{\max}$ (hoặc $V_{\max}$).
- 3- Sau khi dựng các tung độ đó và nối lại với nhau sẽ được hình bao $M_{\max}$ hoặc $V_{\max}$.

Cần chú ý là với cách làm như vậy ta chỉ được các giá trị đúng của hình bao tại các mặt cắt điểm chia, còn ở các mặt cắt khác thì giá trị chỉ là gần đúng. Nếu đoạn chia trên dầm càng nhiều thì hình bao tìm được càng sát với kết quả chính xác, nhưng đương nhiên là khối lượng tính toán sẽ tăng lên.

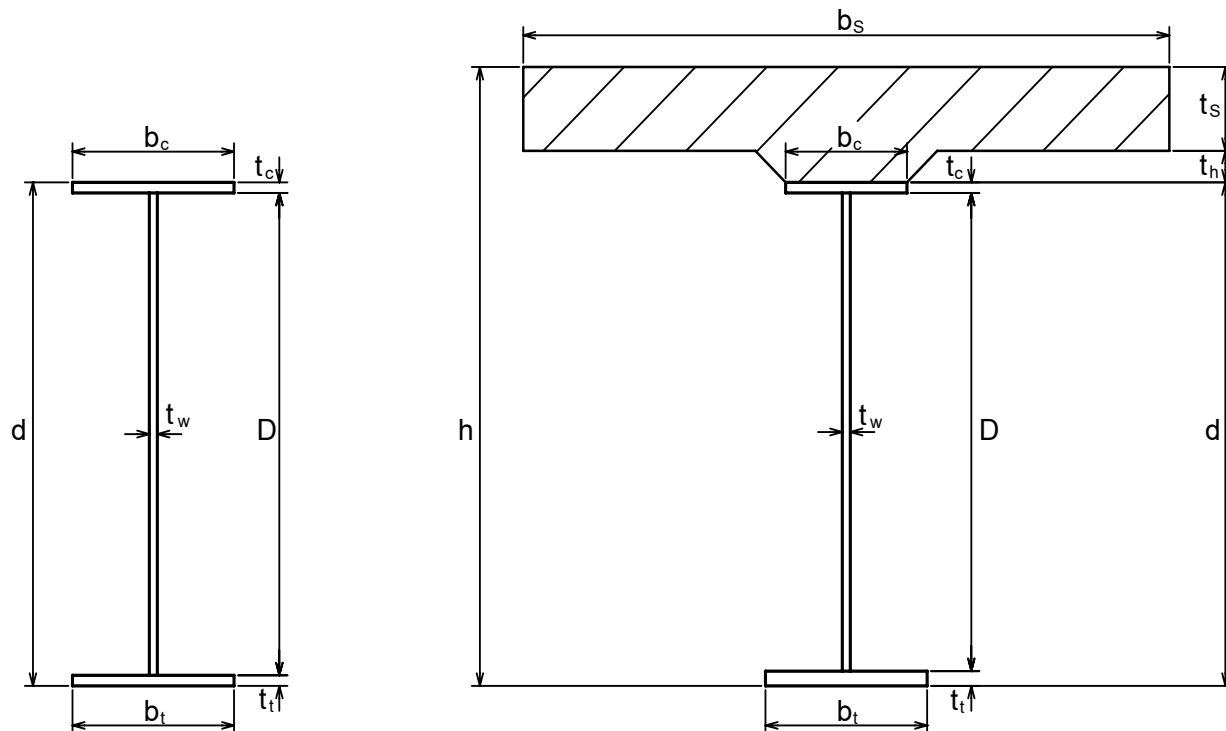
Hệ số tải trọng cho các tải trọng khác nhau bao gồm trong một tổ hợp tải trọng thiết kế được lấy như quy định của tiêu chuẩn.

Chương 2

NỘI DUNG TÍNH TOÁN THIẾT KẾ

2.1. CHỌN MẶT CẮT DẦM

Mặt cắt dầm được lựa chọn theo phương pháp thử - sai, tức là ta lần lượt chọn kích thước mặt cắt dầm dựa vào kinh nghiệm và các quy định khống chế của tiêu chuẩn thiết kế, rồi kiểm toán lại, nếu không đạt thì ta phải chọn lại và kiểm toán lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi thoả mãn.



MCN DẦM KHÔNG LIÊN HỢP

MCN DẦM LIÊN HỢP

2.1.1. Chiều cao dầm \$d\$ (mm)

Chiều cao của dầm chủ có ảnh hưởng rất lớn đến giá thành công trình, do đó phải cân nhắc kỹ khi lựa chọn giá trị này. Đối với cầu đường ô tô, nhịp giản đơn, ta có thể chọn sơ bộ theo kinh nghiệm như sau:

Đối với cầu dầm giản đơn, tiết diện chữ I thép không liên hợp với bản BTCT thì:

$$d \geq \frac{1}{25} L \text{ (mm)}, \text{ và ta thường chọn } d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{12} \right) L \text{ (mm)};$$

Đối với cầu dầm giản đơn, tiết diện chữ I thép liên hợp với bản BTCT thì: (A 2.5.2.6.3-1)

+ Chiều cao toàn bộ của dầm I liên hợp $\geq 0,04L$;

+ Chiều cao của phần dầm thép I của dầm I liên hợp $\geq 0,033L$.

Chiều cao dầm \$d\$ nên chọn chẵn đến 5cm.

2.1.2. Bề rộng cánh dầm \$b_f\$ (mm)

Chiều rộng cánh dầm được lựa chọn sơ bộ theo công thức kinh nghiệm sau:

$$b_f = \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{3} \right) d \text{ (mm)}.$$

2.1.3. Chiều dày cánh và bản bụng dầm

Theo quy định của quy trình (A6.7.3) thì chiều dày tối thiểu của bản cánh, bản bụng dầm là 8mm. Chiều dày tối thiểu này là do chống gỉ và yêu cầu vận chuyển, tháo lắp trong thi công.

Khi chọn chiều dày thép bản, ta chú ý quy định của ASTM A6M có các loại chiều dày sau: 5.0, 5.5, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0, 20.0, 22.0, 25.0, 28.0, 30.0, 32.0, 35.0, 38.0, 40.0, 45.0, 50.0, 55.0, 60.0, ...160.0, 180.0, 200.0, 250.0, 300.0 (mm).

2.1.4. Chiều dày bản BTCT mặt cầu và vút

Chiều dày bản BTCT mặt cầu phụ thuộc vào kết quả tính toán bản mặt cầu. Trong phạm vi BTL này, ta sơ bộ chọn chiều dày bản BTCT mặt cầu $t_s = 200\text{mm}$.

Chiều cao vút bản BTCT mặt cầu là do yêu cầu cấu tạo. Chiều cao này phải đủ lớn để có thể bố trí các neo chống cắt. Trong phạm vi BTL này, ta sơ bộ chọn chiều cao vút bản BTCT mặt cầu $t_h = 50 \div 100\text{mm}$ và vút được vuốt nghiêng 45° .

2.1.5. Chiều rộng hữu hiệu của bản BTCT mặt cầu (A4.6.2.6.1)

Bề rộng hữu hiệu của bản BTCT mặt cầu đối với dầm trong không lấy quá trị số nhỏ nhất trong ba trị số sau:

- + $\frac{1}{4}L$, với L là chiều dài nhịp dầm hữu hiệu;
- + 12 lần bề dày bản cộng với số lớn hơn của bề dày bản bụng dầm hoặc $1/2$ bề rộng bản cánh trên của dầm;
- + Khoảng cách tim giữa hai dầm;

Bề rộng hữu hiệu của bản BTCT mặt cầu đối với dầm biên lấy bằng $1/2$ bề rộng hữu hiệu của dầm trong kê bên, cộng thêm trị số nhỏ nhất của:

- + $\frac{1}{8}L$, với L là chiều dài nhịp dầm hữu hiệu;
- + 6 lần bề dày bản cộng với số lớn hơn của $1/2$ bề dày bản bụng dầm hoặc $1/4$ bề rộng bản cánh trên của dầm;
- + Bề rộng của phần hẫng.

Khi tính bề rộng hữu hiệu của bản BTCT mặt cầu, 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.

2.1.6. Tính các đặc trưng hình học mặt cắt dầm

Đặc trưng hình học mặt cắt dầm được tính toán và lập thành bảng sau:

Mặt cắt	A_i (mm ²)	h_i (mm)	$A_i \cdot h_i$ (mm ³)	I_{oi} (mm ⁴)	$A_i \cdot y_i^2$ (mm ⁴)	I_i (mm ⁴)
Mặt cắt dầm thép:						
Cánh trên						
Bản bụng						
Cánh dưới						
Tổng		$\bar{y}$				
Mặt cắt liên hợp (3n):						
Dầm thép						
Bản BTCT						
Tổng		$\bar{y}$				
Mặt cắt liên hợp (n):						
Dầm thép						
Bản BTCT						
Tổng		$\bar{y}$				

Trong đó:

A = Diện tích phần tiết diện thứ i (mm²);

h_i = Khoảng cách từ trọng tâm phần tiết diện thứ i đến đáy dầm (mm);

I_{0i} = Mô men quán tính của phần tiết diện thứ i đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm của nó (mm^4);

$\bar{y}$ = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến đáy dầm (mm);

$$\bar{y} = \frac{\sum(A_i \cdot h_i)}{\sum(A_i)} (\text{mm});$$

y_i = Khoảng cách từ trọng tâm phần tiết diện thứ i đến trọng tâm của mặt cắt dầm (mm);

$$y_i = |\bar{y} - h_i| (\text{mm});$$

I_i = Mô men quán tính của phần tiết diện thứ i đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm của mặt cắt dầm (mm^4);

$$I_i = I_{0i} + A_i \cdot y_i^2 (\text{mm}^4).$$

Từ bảng trên ta tính được:

Mặt cắt	y_{bot} (mm)	y_{top} (mm)	y_{botmid} (mm)	y_{topmid} (mm)	S_{bot} (mm^3)	S_{top} (mm^3)	S_{botmid} (mm^3)	S_{topmid} (mm^3)
Dầm thép								
Liên hợp (3n)								
Liên hợp (n)								

Trong đó:

y_{bot} = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến đáy bản cánh dưới dầm thép (mm);

y_{top} = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến đỉnh bản cánh trên dầm thép (mm);

y_{botmid} = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến trọng tâm bản cánh dưới dầm thép (mm);

y_{topmid} = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến trọng tâm bản cánh trên dầm thép (mm);

S_{bot} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{bot} (mm^3);

S_{top} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{top} (mm^3);

S_{botmid} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{botmid} (mm^3);

S_{topmid} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{topmid} (mm^3).

2.2 . TÍNH VÀ VẼ BIỂU ĐỒ BAO NỘI LỰC

Để tính và vẽ biểu đồ bao nội lực ta chia dầm thành các đoạn bằng nhau và vẽ đường ảnh hưởng nội lực của các tiết diện, tính nội lực bằng cách tra tải trọng tương đương như đã hướng dẫn ở chương 1.

2.3. KIỂM TOÁN DẦM THEO TTGH CUỒNG ĐỘ I

2.3.1. Kiểm toán theo điều kiện chịu mô men uốn

2.3.1.1. Tính toán ứng suất trong các bản cánh dầm thép

Ta lập bảng tính toán ứng suất trong các bản cánh dầm thép tại mặt cắt giữa nhịp dầm ở TTGHCCI như sau:

BỘ MÔN KẾT CẤU

Mặt cắt	M (Nmm)	S _{bot} (mm ³)	S _{top} (mm ³)	S _{botmid} (mm ³)	S _{topmid} (mm ³)	f _{bot} (MPa)	f _{top} (MPa)	f _{botmid} (MPa)	f _{topmid} (MPa)
Dầm thép									
Liên hợp (3n)									
Liên hợp (n)									
Tổng									

Trong đó:

f_{bot} = ứng suất tại đáy bản cách dưới dầm thép (MPa);

f_{top} = ứng suất tại đỉnh bản cách trên dầm thép (MPa);

f_{botmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh dưới dầm thép (MPa);

f_{topmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh trên dầm thép (MPa).

2.3.1.2. Tính mô men chảy của tiết diện

2.3.1.2.1. Mô men chảy của tiết diện không liên hợp

Mô men chảy của tiết diện không liên hợp được xác định theo công thức sau:

$$M_y = F_y S_{NC} \quad (1)$$

Trong đó:

F_y = Cường độ chảy nhỏ nhất theo quy định của thép làm dầm (MPa);

S_{NC} = Mô men kháng uốn của tiết diện không liên hợp (mm³).

2.3.1.2.2. Mô men chảy của tiết diện liên hợp

Mô men chảy của tiết diện liên hợp được xác định theo công thức sau:

$$M_y = M_{DC} + M_{DW} + M_{AD} \quad (2)$$

với M_{AD} được xác định từ phương trình sau:

$$F_y = \frac{M_{DC}}{S_{NC}} + \frac{M_{DW}}{S_{LT}} + \frac{M_{AD}}{S_{ST}} \quad (3)$$

Trong đó:

S_{NC} = Mô men kháng uốn của tiết diện dầm thép đối với đáy hoặc đỉnh dầm thép (mm³);

S_{LT} = Mô men kháng uốn của tiết diện liên hợp dài hạn 3n đối với đáy hoặc đỉnh dầm thép (mm³);

S_{ST} = Mô men kháng uốn của tiết diện liên hợp ngắn hạn n đối với đáy hoặc đỉnh dầm thép (mm³).

2.3.1.3. Tính mô men dẻo của tiết diện

2.3.1.3.1. Mô men dẻo của tiết diện không liên hợp

Đối với tiết diện là đối xứng kép, mômen dẻo được xác định theo công thức sau:

$$M_p = P_w \left(\frac{D}{4} \right) + P_c \left(\frac{D}{2} + \frac{t_c}{2} \right) + P_t \left(\frac{D}{2} + \frac{t_t}{2} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

P_w = F_{yw}A_w = Lực dẻo của bản bụng (N);

$P_c = F_{yc}A_c =$ Lực dẻo của bản cánh chịu nén – cánh trên (N);

$P_t = F_{yt}A_t =$ Lực dẻo của bản cánh chịu kéo - cánh dưới (N).

2.3.1.3.2. Mô men dẻo của tiết diện liên hợp

Trình tự cách xác định M_p đã được trình bày kỹ trong giáo trình. Ví dụ, trường hợp mặt cắt chịu uốn dương và TTĐD đi qua bản bụng thì M_p được xác định như sau:

$$\bar{Y} = \frac{D}{2} \left(\frac{P_t - P_c - P_s - P_{rt} - P_{rb}}{P_w} + 1 \right) \quad (5)$$

$$M_p = \frac{P_w}{2D} \left[\bar{Y}^2 + (D - \bar{Y})^2 \right] + (P_s d_s + P_{rt} d_{rt} + P_{rb} d_{rb} + P_c d_c + P_t d_t)$$

Trong đó:

$P_w = F_{yw}A_w =$ Lực dẻo của bản bụng (N);

$P_c = F_{yc}A_c =$ Lực dẻo của bản cánh trên chịu nén (N);

$P_t = F_{yt}A_t =$ Lực dẻo của bản cánh dưới chịu kéo (N);

$P_s = 0,85f_c' A_s =$ Lực dẻo của bản BTCT (N);

$P_{rt} = F_{yrt}A_{rt} =$ Lực dẻo của cốt thép phía trên của bản BTCT (N);

$P_{rb} = F_{yrb}A_{rb} =$ Lực dẻo của cốt thép phía dưới của bản BTCT (N).

2.3.1.4. Kiểm toán sự cân xứng của tiết diện

Tiết diện I chịu uốn phải được cấu tạo cân xứng sao cho: (A6.10.2.1)

$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9 \quad (6)$$

Trong đó:

$I_y =$ Mô men quán tính của tiết diện dầm thép đối với trục thẳng đứng đi qua trọng tâm của bản bụng (mm^4);

$I_{yc} =$ Mô men quán tính của bản cánh chịu nén của tiết diện dầm thép quanh trục thẳng đứng đi qua trọng tâm của bản bụng (mm^4).

2.3.1.5. Kiểm toán độ mảnh của bản bụng (vách đứng)

Ngoài nhiệm vụ chống cắt, vách đứng còn có chức năng tạo cho bản biên đủ xa để chịu uốn có hiệu quả. Khi một tiết diện I chịu uốn, có hai khả năng hư hỏng có thể xuất hiện trong vách đứng. Đó là vách đứng có thể mất ổn định như một cột thẳng đứng chịu ứng suất nén có bản biên đỡ hoặc có thể mất ổn định như một tấm do ứng suất dọc trong mặt phẳng uốn.

Độ mảnh của bản bụng khi dầm vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi phải được cấu tạo sao cho thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.2.2)

- Khi không có sườn tăng cường dọc:

$$\frac{2D_c}{t_w} \leq 6,77 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad (7)$$

Trong đó:

$f_c =$ Ứng suất ở giữa bản cánh chịu nén do tải trọng ở TTGHCDI gây ra (MPa);

$D_c =$ Chiều cao của bản bụng chịu nén trong phạm vi đàn hồi (mm);

+ Đối với tiết diện không liên hợp đối xứng kép thì $D_c = D/2$ (mm);

+ Đối với tiết diện liên hợp chịu mô men dương thì D_c có thể xác định theo công thức sau: (C6.10.3.1.4a-1)

$$D_c = \frac{\frac{f_{DC}}{Y_{topg}} + \frac{f_{DW}}{Y_{top3n}} + \frac{f_{LL}}{Y_{topn}}}{\frac{f_{DC}}{Y_{topg}} + \frac{f_{DW}}{Y_{top3n}} + \frac{f_{LL}}{Y_{topn}}} - t_c \text{ (mm)} \quad (8)$$

Trong đó:

f_{DC}, f_{DW}, f_{LL} = Ứng suất ở thớ chịu nén ngoài cùng của bản cánh chịu nén dầm thép, do các tải trọng DC, DW, LL ở TTGHCD gây ra (MPa);

$Y_{topg}, Y_{top3n}, Y_{topn}$ = Khoảng cách từ thớ chịu nén ngoài cùng của bản cánh chịu nén dầm thép đến trục trung hoà của mặt cắt dầm thép, liên hợp 3n, liên hợp n (mm).

2.3.1.6. Kiểm tra tiết diện dầm là đặc chắc, không đặc chắc hay mảnh

2.3.1.6.1. Kiểm toán độ mảnh của bản bụng có mặt cắt đặc chắc

Độ mảnh của vách đứng của tiết diện đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.2)

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (9)$$

Trong đó:

D_{cp} = Chiều cao của bản bụng chịu nén tại lúc mô men dẻo (mm);

2.3.1.6.2. Kiểm toán độ mảnh của biên chịu nén có mặt cắt đặc chắc

Do sự tăng biến dạng của vách làm phát sinh cường độ sau mất ổn định, nên tiết diện I chưa hỏng do uốn khi đã đạt tải trọng mất ổn định vách. Tuy nhiên, nó sẽ hỏng do uốn khi một trong các phân tử ở cạnh khoang vách hỏng. Nếu một trong các bản biên hoặc STC đứng bị hỏng thì chuyển vị của vách sẽ không bị kiểm chế, vách không chống lại được phân mômen uốn dành cho vách và tiết diện I sẽ bị hư hỏng.

Trong tiết diện I đối xứng kép chịu uốn, biên chịu nén sẽ hư hỏng trước tiên do mất ổn định cục bộ hay tổng thể. Do đó, liên kết dọc và độ cứng của biên chịu nén rất quan trọng khi xác định khả năng chịu uốn của tiết diện I. Để đánh giá cường độ mất ổn định của biên chịu nén, biên được xem xét như một cột chịu nén riêng rẽ.

Độ mảnh của biên chịu nén của tiết diện đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.3)

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0,382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (10)$$

Trong đó:

b_f = Chiều rộng của bản cánh chịu nén (mm);

t_f = Chiều dày của bản cánh chịu nén (mm).

2.3.1.6.3. Kiểm toán độ mảnh của biên chịu nén có mặt cắt không đặc chắc

Độ mảnh của biên chịu nén của tiết diện không đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.4)

- Khi không có STC dọc:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 1,38 \sqrt{\frac{E}{f_c \sqrt{\frac{2D_c}{t_w}}}} \quad (11)$$

2.3.1.6.4. Kiểm toán tương tác giữa độ mảnh bản bụng và biên chịu nén của mặt cắt đặc chắc

Thực nghiệm cho thấy các mặt cắt đặc chắc có thể không có khả năng đạt được các mô men dẻo khi tỷ số độ mảnh của bụng và cánh chịu nén cả hai đều vượt 75% của các giới hạn cho trong các phương trình (9) và (10). Do đó, tương tác giữa độ mảnh bản bụng và biên chịu nén của mặt cắt đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.6)

$$\begin{cases} \frac{2D_{cp}}{t_w} \leq (0,75)3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \\ \frac{b_f}{2t_f} \leq (0,75)0,382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \end{cases} \quad (12)$$

- Nếu (12) không đạt thì sự tác động qua lại giữa độ mảnh của bản bụng và biên chịu nén của mặt cắt đặc chắc phải thỏa mãn phương trình tương tác sau:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} + 9,35 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \leq 6,25 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (13)$$

2.3.1.6.5. Kiểm toán liên kết dọc của biên chịu nén của mặt cắt đặc chắc

Độ mảnh của vách và độ mảnh của biên chịu nén có liên quan đến mất ổn định cục bộ của dầm tiết diện I chịu uốn. Mất ổn định tổng thể của biên chịu nén giống như một cột chịu nén giữa các điểm liên kết dọc cũng cần được xem xét. Biên chịu nén nếu không được liên kết dọc thì khi chịu lực đến một giới hạn nào đó nó sẽ bị di chuyển theo phương ngang và vận theo một dạng đã biết là mất ổn định xoắn ngang.

Khoảng cách giữa các điểm liên kết dọc L_b của tiết diện đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.7)

$$L_b \leq \left[0,124 - 0,0759 \left(\frac{M_1}{M_p} \right) \right] \left[\frac{r_y E}{F_{yc}} \right] \quad (14)$$

Trong đó:

r_y = Bán kính quán tính của tiết diện dầm thép đối với trục đối xứng thẳng đứng đi qua trọng tâm bản bụng (mm);

M_1 = Mô men nhỏ hơn ở hai đầu của chiều dài không được liên kết dọc (N.mm);

Khi thiết kế, ta thường chọn chiều dài không được liên kết dọc của biên chịu nén trong khoảng $1/4L$.

2.3.1.6.6. Kiểm toán liên kết dọc của biên chịu nén của mặt cắt không đặc chắc

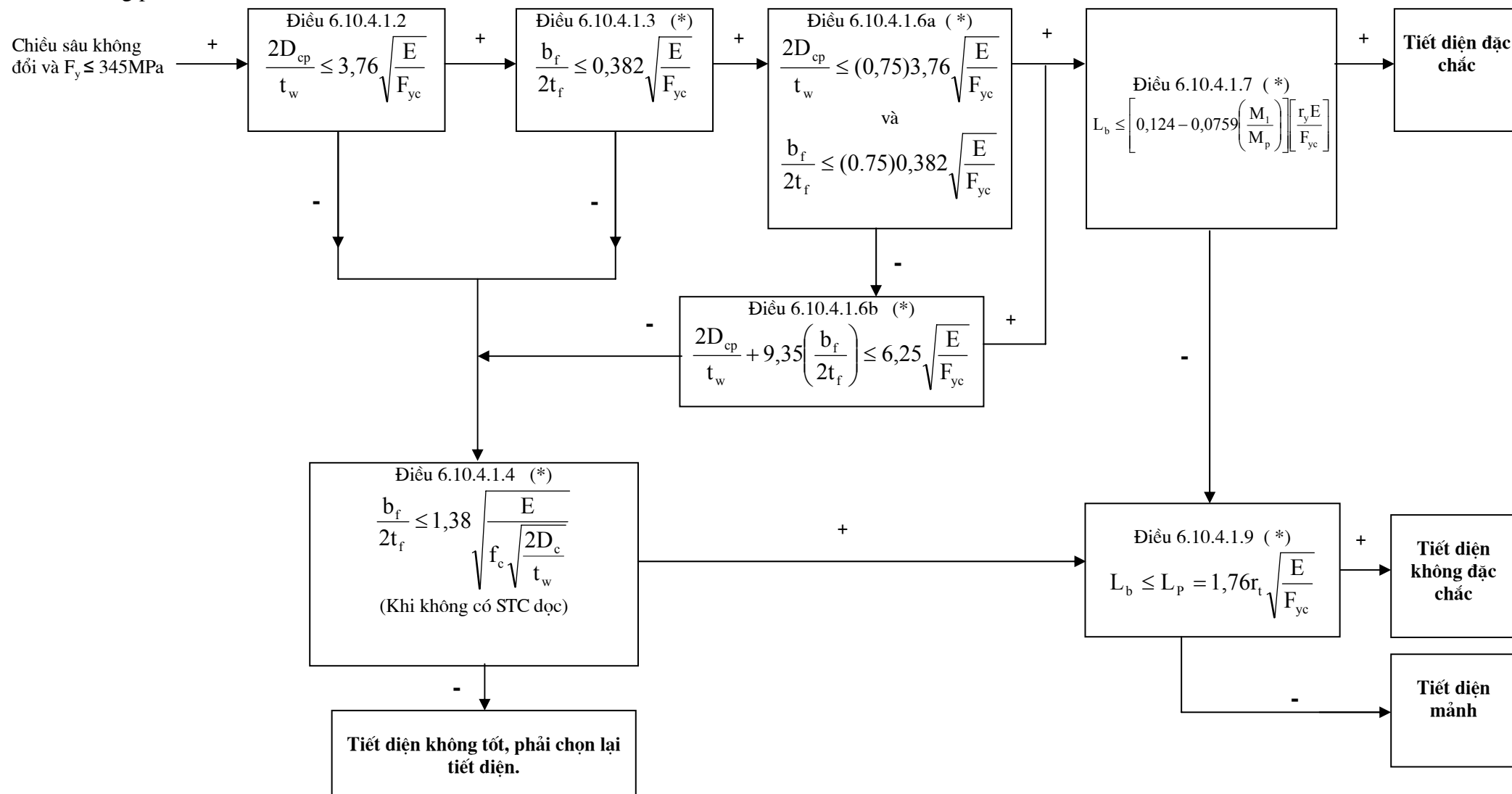
Khoảng cách giữa các điểm liên kết dọc L_b của tiết diện không đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.9)

$$L_b \leq L_p = 1,76r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (15)$$

Trong đó:

r_t = Bán kính quán tính của mặt cắt quy ước bao gồm bản cách chịu nén cộng thêm $1/3$ chiều cao của bản bụng chịu nén liền kề của dầm thép đối với trục thẳng đứng đi qua trọng tâm vách dầm (mm).

Từ những phân tích trên, ta có thể tóm tắt như sau:



Ghi chú: Tất cả các mặt cắt đều phải thỏa mãn các giới hạn về tỷ lệ mặt cắt của điều A6.10.2;
 (*) = Đối với mặt cắt liên hợp chịu uốn dương, các điều này được xem như tự động thỏa mãn;
 (+) = Đúng;
 (-) = Không đúng.

SƠ ĐỒ TRÌNH TỰ KIỂM TRA TIẾT DIỆN DẦM LÀ ĐẶC CHẮC, KHÔNG ĐẶC CHẮC HAY MỎNH

2.3.1.7. Kiểm toán sức kháng uốn

Sức kháng uốn của dầm phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4)

+ Đối với trường hợp tiết diện là đặc chắc:

$$M_u \leq M_r = \phi_f M_n \quad (16)$$

+ Đối với trường hợp tiết diện là không đặc chắc hay mảnh:

$$f_f \leq F_r = \phi_f F_n \quad (17)$$

Trong đó:

ϕ_f = Hệ số sức kháng uốn theo quy định; (A6.5.4.2)

M_u = Mô men uốn tại mặt cắt kiểm tra ở TTGHCDI (Nmm);

f_f = ứng suất ở mỗi bản cánh dầm thép tại mặt cắt tra ở TTGHCDI (MPa);

M_n = Sức kháng uốn danh định của tiết diện đặc chắc (Nmm);

F_n = Sức kháng uốn danh định ở mỗi bản cánh khi tính theo ứng suất của mặt cắt không đặc chắc (MPa).

Đối với dầm giản đơn có mặt cắt không đổi thì ta chỉ cần kiểm toán sức kháng uốn ở mặt cắt bất lợi nhất là mặt cắt giữa dầm.

2.3.1.7.1. Sức kháng uốn của mặt cắt không liên hợp đặc chắc

Sức kháng uốn danh định được xác định như sau:

$$M_n = M_p \quad (18)$$

2.3.1.7.2. Sức kháng uốn dương của mặt cắt liên hợp đặc chắc

Sức kháng uốn danh định được xác định như sau: (A6.10.4.2.2)

+ Nếu $D_p \leq D'$ thì:

$$M_n = M_p \quad (19)$$

+ Nếu $D' < D_p \leq 5D'$ thì:

$$M_n = \frac{5M_p - 0,85M_y}{4} + \frac{0,85M_y - M_p}{4} \left(\frac{D_p}{D'} \right) \quad (20)$$

Trong đó:

D_p = Khoảng cách từ đỉnh bản cánh chịu nén tới TTH dểo (mm);

M_y = Mô men chảy đầu tiên của mặt cắt liên hợp ngắn hạn chịu mô men dương (N.mm);

M_p = Mô men dểo của mặt cắt liên hợp (Nmm).

+ Nếu không thì M_n có thể được xác định bằng phương pháp gần đúng sau, nhưng không được lấy lớn hơn giá trị của M_n được tính toán trong hai trường hợp trên:

$$M_n = 1,3 R_h M_y \quad (21)$$

Trong đó:

R_h = Hệ số lai theo quy định. (A6.10.4.3.1).

*** Yêu cầu về tính dẻo**

Bản BTCT mặt cầu phải được bảo vệ không bị ép vỡ do ép bê tông còn non tuổi và bị chẻ dọc khi mặt cắt liên hợp tiến dần đến mô men dểo. Đối với tiết diện liên hợp đặc chắc chịu mô men uốn dương, nếu mô men do tác dụng của tải trọng tính toán gây ra ứng suất bản cánh vượt quá cường độ chảy của mỗi bản cánh nhân với hệ số lai R_h thì mặt cắt phải thỏa mãn:

$$\left[\frac{D_p}{D'} \right] \leq 5 \quad (22)$$

Trong đó:

$$D' = \beta \frac{d + t_s + t_h}{7,5} \quad (23)$$

Trong đó:

$\beta = 0,9$ đối với $F_y = 250\text{MPa}$;

$\beta = 0,7$ đối với $F_y = 345\text{MPa}$;

D_p = Khoảng cách từ đỉnh bản của mặt cắt liên hợp tới trục trung hoà dẻo (mm);

2.3.1.7.3. Sức kháng uốn của bản cánh có mặt cắt không đặc chắc (A6.10.4.2.4)

Sức kháng uốn danh định của mỗi bản cánh, khi tính theo ứng suất phải được tính như sau:

$$F_n = R_b R_h F_{yf} \quad (24)$$

Trong đó:

R_b = hệ số truyền tải trọng theo quy định (A6.10.4.3.2);

F_{yf} = cường độ chảy nhỏ nhất quy định của cánh (MPa).

2.3.1.7.4. Sức kháng uốn của bản cánh của mặt cắt liên hợp có mặt cắt mảnh (A6.10.4.2.5)

a) Các bản cánh chịu nén

Sức kháng uốn danh định của bản cánh chịu nén, khi tính theo ứng suất phải được xác định như sau:

+ Nếu $L_b \leq L_r = 4,44r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$, thì:

$$F_n = C_b R_b R_h F_{yc} \left[1,33 - 0,187 \left(\frac{L_b}{r_t} \right) \sqrt{\frac{F_{yc}}{E}} \right] \leq R_b R_h F_{yc} \quad (25)$$

+ Nếu không thì:

$$F_n = C_b R_b R_h \left[\frac{9,86E}{\left(\frac{L_b}{r_t} \right)^2} \right] \leq R_b R_h F_{yc} \quad (26)$$

Trong đó:

$$C_b = 1,75 - 1,05 \left(\frac{P_1}{P_2} \right) + 0,3 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^2 \leq 2,3 \quad (27)$$

Trong đó:

C_b = hệ số điều chỉnh sự thay đổi của mômen;

P_1, P_2 = lực nén trong bản cánh chịu nén tương ứng tại điểm giằng có trị số mô men uốn nhỏ hơn, lớn hơn (N);

L_b = chiều dài đoạn không được liên kết dọc của biên chịu nén (mm).

b) Các bản cánh chịu kéo

Sức kháng uốn danh định của bản cánh chịu kéo khi xét về ứng suất, phải được xác định như dưới đây:

$$F_n = R_b R_h F_{yt} \quad (28)$$

Trong đó:

F_{yt} = cường độ chảy nhỏ nhất quy định (MPa) của bản cánh chịu kéo.

2.3.1.7.5. Sức kháng uốn của bản cánh của mặt cắt không liên hợp có mặt cắt mảnh (A6.10.4.2.6)

a) Các bản cánh chịu nén

Sức kháng uốn danh định phải được xác định như sau:

Trường hợp không có STC dọc thì:

$$+ \text{ Nếu } L_b \leq L_r = 4,44 \sqrt{\frac{I_{yc} d}{S_{xc} F_{yc}}}, \text{ thì:}$$

$$M_n = C_b R_b R_h M_y \left[1 - 0,5 \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_b R_h M_y \quad (29)$$

+ Nếu không thì:

$$M_n = C_b R_b R_h \frac{M_y}{2} \left(\frac{L_r}{L_b} \right)^2 \leq R_b R_h M_y \quad (30)$$

với

$$J = \frac{D t_w^3}{3} + \sum \frac{b_f t_f^3}{3} \quad (31)$$

$$L_p = 1,76 r_t \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \quad (32)$$

Trong đó:

S_{xc} = mômen tĩnh của bản cánh chịu nén (mm^3);

t_f = bề dày bản cánh chịu nén (mm).

b) Các bản cánh chịu kéo

Sức kháng uốn danh định của bản cánh chịu kéo, xét về ứng suất phải được xác định như dưới đây:

$$F_n = R_b R_h F_{yt} \quad (33)$$

2.3.1.7.6. Hệ số truyền tải trọng R_b

a) Các bản cánh chịu nén

Trường hợp không có STC dọc thì:

$$R_b = 1 - \left(\frac{a_r}{1200 + 300 a_r} \right) \left(\frac{2 D_c}{t_w} - \lambda_b \sqrt{\frac{E}{f_c}} \right) \quad (34)$$

với

$$a_r = \frac{2 D_c t_w}{A_c} \quad (35)$$

Trong đó:

$\lambda_b = 5,76$ đối với các cấu kiện có diện tích bản cánh chịu nén bằng hoặc lớn hơn diện tích bản cánh chịu kéo;

$\lambda_b = 4,64$ đối với các cấu kiện có diện tích bản cánh chịu nén bằng hoặc nhỏ hơn diện tích bản cánh chịu kéo;

A_c = diện tích của bản cánh chịu nén (mm^2).

b) Các bản cánh chịu kéo

Đối với các bản cánh chịu kéo, R_b lấy bằng 1,0.

2.3.2. Kiểm toán theo điều kiện chịu lực cắt

Sức kháng cắt của dầm phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.7.1)

$$V_u \leq V_r = \phi_v V_n \quad (36)$$

Trong đó:

ϕ_v = Hệ số sức kháng cắt theo quy định; (A6.5.4.2)

V_n = Sức kháng cắt danh định của mặt cắt, được xác định như dưới đây.

2.3.2.1. Sức kháng cắt danh định của các bản bụng không được tăng cường (A6.10.7.2)

Sức kháng cắt danh định của các bản bụng không có STC được xác định như sau:

$$+ \text{ Nếu } \frac{D}{t_w} \leq 2,46 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}, \text{ thì: } V_n = V_p = 0,58 F_{yw} D t_w \quad (37)$$

$$+ \text{ Nếu } 2,46 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} < \frac{D}{t_w} \leq 3,07 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}, \text{ thì: } V_n = 1,48 t_w^2 \sqrt{E F_{yw}} \quad (38)$$

$$+ \text{ Nếu } \frac{D}{t_w} > 3,07 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}, \text{ thì: } V_n = \frac{4,55 t_w^3 E}{D} \quad (39)$$

2.3.2.2. Sức kháng cắt danh định của các bản bụng được tăng cường (A6.10.7.3.)

2.3.2.2.1. Kiểm toán theo yêu cầu bố trí xếp (A6.10.7.3.2)

Đối với các bản bụng khi không có STC dọc, phải sử dụng STC đứng nếu:

$$\frac{D}{t_w} > 150 \quad (40)$$

Khoảng cách giữa các STC đứng khi không có STC dọc, phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$d_0 \leq D \left(\frac{260}{D/t_w} \right)^2 \quad (41)$$

2.3.2.2.2. Đối với các mặt cắt thuần nhất (A6.10.7.3.3)

a) Các khoang trong của các mặt cắt đặc chắc

Sức kháng cắt danh định của vách ở khoang trong của tiết diện đặc chắc được lấy như sau:

+ Nếu $M_u \leq 0,5 \phi_f M_p$ thì:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] \quad (42)$$

+ Nếu $M_u > 0,5 \varphi_f M_p$ thì:

$$V_n = R V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] \geq C V_p \quad (43)$$

Với:

$$R = \left[0,6 + 0,4 \left(\frac{M_r - M_u}{M_r - 0,75 \varphi_f M_y} \right) \right] \leq 1 \quad (44)$$

Trong đó:

M_u = Mô men uốn lớn nhất trong khoang đang nghiên cứu do tải trọng tính toán ở TTGHCCI gây ra (N.mm);

C = Tỷ số của ứng suất oằn cắt và cường độ chảy cắt, ta có C được xác định như sau: (A6.10.7.3.3a)

$$+ \text{ Nếu } \frac{D}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}, \text{ thì } C = 1,0 \quad (45)$$

$$+ \text{ Nếu } 1,10 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,38 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}, \text{ thì } C = \frac{1,10}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \quad (46)$$

$$+ \text{ Nếu } \frac{D}{t_w} > 1,38 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}, \text{ thì } C = \frac{1,52}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{Ek}{F_{yw}}\right) \quad (47)$$

Trong đó:

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2} \quad (48)$$

b) Các khoang trong của các mặt cắt không đặc chắc

Sức kháng cắt danh định của vách ở khoang trong của tiết diện không đặc chắc được lấy như sau:

+ Nếu $f_u \leq 0,75 \varphi_f F_y$ thì:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] \quad (49)$$

+ Nếu $f_u > 0,75 \varphi_r F_y$ thì:

$$V_n = R V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] \geq C V_p \quad (50)$$

Với:

$$R = \left[0,6 + 0,4 \left(\frac{F_r - f_u}{F_r - 0,75 \varphi_r F_y} \right) \right] \leq 1 \quad (51)$$

Trong đó:

f_u = ứng suất lớn nhất trong bản cánh chịu nén của khoang đang nghiên cứu do tải trọng tính toán ở TTGHCDI gây ra (N/mm);

c) Các khoang biên

Sức kháng cắt danh định của vách ở khoang biên được lấy như sau:

$$V_n = C V_p \quad (52)$$

2.3.2.3. Tính toán các neo chống cắt (A6.10.7.4)

Trong phạm vi BTL này ta không tính toán phần này và coi như cấu tạo của các neo chống cắt đã được thoả mãn.

2.4. KIỂM TOÁN DÂM THEO TTGHSD

2.4.1. Kiểm toán độ võng dài hạn (A6.10.5)

Dùng tổ hợp TTSD để kiểm tra chảy của kết cấu thép và ngăn ngừa độ võng thường xuyên bất lợi có thể ảnh hưởng xấu đến điều kiện khai thác. Ứng suất bản biên chịu mômen dương và âm, phải thoả mãn điều kiện sau:

+ Đối với tiết diện liên hợp:

$$f_r \leq 0,95 R_h F_{yf} \quad (53)$$

+ Đối với tiết diện không liên hợp:

$$f_r \leq 0,80 R_h F_{yf} \quad (54)$$

Trong đó:

f_r = ứng suất đàn hồi bản biên dầm do TTSD gây ra (MPa);

2.4.2. Kiểm toán độ võng không bắt buộc (A2.5.2.6.2 & A3.6.1.3.2)

Độ võng của dầm phải thoả mãn điều kiện sau đây:

$$\Delta \leq \Delta_{cp} = \frac{1}{800} L \quad (55)$$

Trong đó:

L = Chiều dài nhịp dầm (m);

Δ = Độ võng lớn nhất tại mặt giữa dầm do hoạt tải ở TTGHSD, bao gồm cả lực xung kích, lấy trị số lớn hơn của:

+ Kết quả tính toán do chỉ một mình xe tải thiết kế, hoặc

+ Kết quả tính toán của 25% xe tải thiết kế cùng với tải trọng làn thiết kế.

Độ võng lớn nhất (tại mặt cắt giữa dầm) do xe tải thiết kế gây ra có thể lấy gần đúng ứng với trường hợp xếp xe sao cho mô men uốn tại mặt cắt giữa dầm là lớn nhất. Khi đó ta có thể sử dụng hoạt tải tương đương của xe tải thiết kế để tính toán.

Độ võng lớn nhất (tại mặt cắt giữa dầm) do tải trọng rải đều gây ra được tính theo công thức của lý thuyết đàn hồi như sau:

$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (56)$$

Trong đó:

w = Tải trọng rải đều trên dầm (N/m);

E = Mô đun đàn hồi của thép làm dầm (MPa);

I = Mô men quán tính của tiết diện dầm, bao gồm cả bản BTCT mặt cầu đối với dầm liên hợp (mm⁴).

2.4.3. Tính toán độ võng ngược (A6.7.2)

Các cầu thép nên làm độ võng ngược trong khi chế tạo để bù lại độ võng do tĩnh tải không hệ số và trác dọc tuyến. Ở đây ta chỉ xét đến độ võng do tĩnh tải không hệ số của:

- + Tĩnh tải dầm thép và bản BTCT mặt cầu do tiết diện dầm thép chịu;
- + Tĩnh tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu do tiết diện liên hợp chịu.

Công thức tính độ võng của dầm như mục 2.4.2.

2.5. KIỂM TOÁN DẦM THEO TTGH MỎI VÀ ĐÚT GÃY

2.5.1. Kiểm toán mỏi đối với vách đứng

Ta phải kiểm tra điều kiện này để kiểm tra uốn ngoài mặt phẳng của bản bụng do uốn hoặc cắt dưới tác dụng lặp đi lặp lại của hoạt tải.

Ứng suất đàn hồi lớn nhất do tải trọng bao gồm tải trọng tĩnh không nhân hệ số và hai lần tổ hợp tải trọng mỏi. Xe tải mỗi được nhân đôi vì xe tải nặng nhất qua cầu gần bằng hai lần xe tải mỏi. Tổ hợp tải trọng mỏi là tổ hợp tải trọng chỉ có xe tải mỏi qua cầu với hệ số tải trọng = 0,75; hệ số xung kích IM = 15%. (A6.10.6.2)

Xe tải mỏi là một xe tải thiết kế nhưng có khoảng cách không đổi là 9000mm giữa các trục 145kN. (A3.6.1.4.1)

2.5.1.1. Kiểm toán mỏi đối với vách đứng chịu uốn

Các bản bụng không có STC dọc phải thỏa mãn điều kiện sau đây:

$$+ \text{ Nếu } \frac{2D_c}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}, \text{ thì } f_{cr} \leq R_h F_{yc} \quad (57)$$

$$+ \text{ Nếu không, thì } f_{cr} \leq 32,5E \left(\frac{t_w}{2D_c} \right)^2 \quad (58)$$

Trong đó:

D_c = Chiều cao của vách chịu nén trong giai đoạn đàn hồi (mm);

f_{cr} = ứng suất nén đàn hồi lớn nhất ở bản biên chịu nén khi uốn do tác dụng của tải trọng dài hạn chưa nhân hệ số và của tải trọng mỏi như quy định ở trên (2.5.1), đại diện cho ứng suất nén khi uốn lớn nhất trong vách (MPa).

2.5.1.2. Kiểm toán mỗi dãi với vách đứng chịu lực cắt

Ứng suất cắt đàn hồi lớn nhất trong vách do tác dụng của tải trọng dài hạn chưa nhân hệ số và của tải trọng mỗi như quy định ở trên (2.5.1) phải thoả mãn điều kiện sau:

$$v_{cf} \leq 0,58 C F_{yw} \quad (59)$$

Trong đó:

v_{cf} = ứng suất cắt đàn hồi lớn nhất trong vách, do tác dụng của tải trọng dài hạn chưa nhân hệ số và của tải trọng mỗi như quy định ở trên (2.5.1) (MPa).

2.5.2. Kiểm toán mỗi và đứt gãy**2.5.2.1. Kiểm toán mỗi**

Thiết kế theo TTGH mỗi bao gồm giới hạn ứng suất do hoạt tải của xe tải thiết kế mỗi chỉ đạt đến một trị số thích hợp ứng với một số lần tác dụng lặp xảy ra trong quá trình phục vụ của cầu.

Công thức kiểm tra mỗi như sau:

$$\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_n \quad (60)$$

Trong đó:

γ = Hệ số tải trọng mỗi, ta có $\gamma = 0,75$;

(Δf) = Biên độ ứng suất do xe tải mỗi gây ra (MPa);

$(\Delta F)_n$ = Sức kháng mỗi danh định (MPa).

* *Tính biên độ ứng suất do xe tải mỗi gây ra (Δf):*

+ Đối với tiết diện không liên hợp:

$$\Delta f = \frac{M_{umax}}{S} \quad (61)$$

+ Đối với tiết diện liên hợp:

$$\Delta f = \frac{M_{umax}}{S_b} \quad (62)$$

Trong đó:

S = Mô men kháng uốn của tiết diện dầm thép (mm^3);

S_b = Mô men kháng uốn của tiết diện liên hợp ngắn hạn (mm^3);

M_{umax} = Mô men uốn tại mặt cắt giữa nhịp dầm do xe tải mỗi, có xung kích, xếp ở vị trí bất lợi nhất gây ra.

* *Tính sức kháng mỗi danh định $(\Delta F)_n$: (A6.6.1.2.5)*

Ta có công thức tính toán như sau:

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{1}{2} (\Delta F)_{TH} \quad (63)$$

Trong đó:

$(\Delta F)_{TH}$, A = Ngưỡng ứng suất mỗi, hệ số cấu tạo, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào loại chi tiết cấu tạo của dầm thép;

+ Dầm thép hình cán $\Rightarrow$ Chi tiết cấu tạo loại A;

+ Dầm thép ghép hàn $\Rightarrow$ Chi tiết cấu tạo loại B.

N = Số chu kỳ biên độ ứng suất trong tuổi thọ thiết kế của cầu. Theo tiêu chuẩn thì tuổi thọ thiết kế của cầu là 100 năm, vậy:

$$N = (100\text{năm}).(365\text{ngày}).n.(ADTT_{SL}) \quad (64)$$

n = Số chu kỳ ứng suất của một xe tải qua cầu, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào loại cầu kiện và chiều dài nhịp.

$ADTT_{SL}$ = Số xe tải qua cầu/ngày trong một lần đơn tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế của cầu;

$$ADTT_{SL} = p.ADTT \quad (65)$$

p = Hệ số lần xe tải, tra bảng phụ thuộc vào số làn xen tải của cầu;

$ADTT$ = Số xe tải qua cầu/ngày của một làn xe, tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế của cầu:

$$ADTT = k.ADT.n_L \quad (66)$$

ADT = Số lượng xe trung bình /ngày/một làn;

k = Tỷ lệ xe tải trong luồng, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào cấp đường thiết kế;

n_L = Số làn xe tải của cầu.

2.5.2.2. Kiểm toán đứt gãy

Vật liệu thép làm dầm phải có độ dẻo dai chống đứt gãy theo quy định của tiêu chuẩn. Thép sử dụng theo các tiêu chuẩn của AASHTO là thỏa mãn.

2.6. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ SƯỜN TĂNG CƯỜNG

Để tăng cường cho bản bụng và biên chịu nén không bị mất ổn định người ta thường sử dụng các sườn tăng cường.

Đối với dầm thép hình cán thì bản bụng thường đủ dày để có thể tự đạt ứng suất chảy uốn và cắt mà không mất ổn định, do đó không cần bố trí sườn tăng cường.

Có hai loại sườn tăng cường là STC đứng (ngang) và STC dọc. Sườn tăng cường dọc thường chỉ dùng cho các cầu dầm liên tục nhịp lớn và khi chiều cao dầm lớn hơn khoảng 2,0m.

Các STC đứng gồm có các tấm thép hình chữ nhật hoặc thép góc, được hàn hoặc liên kết bằng bu lông vào một hoặc cả hai bên của bản bụng.

Khoảng cách giữa đầu mối hàn STC vào bản bụng hoặc bản cánh tới đường hàn giữa bản bụng và bản cánh phải $\geq 4t_w$.

STC đứng đặt trên toàn chiều dài dầm gọi là STC đứng trung gian hoặc đặt tại đầu dầm (vị trí gối) gọi là STC gối.

Đoạn dầm giữa 2 STC đứng trung gian liên nhau gọi là khoang dầm (khoang trong), khoảng cách giữa STC gối đến STC đứng trung gian liên kế gọi là khoang cuối.

Tất cả các dầm thép tăng cường hoặc không tăng cường, đều phải có STC gối và STC đứng trung gian tại các vị trí có dầm ngang hoặc khung ngang. Nếu chỉ có STC đứng ở gối và vị trí dầm ngang hoặc khung ngang, thì ta coi như dầm không được tăng cường.

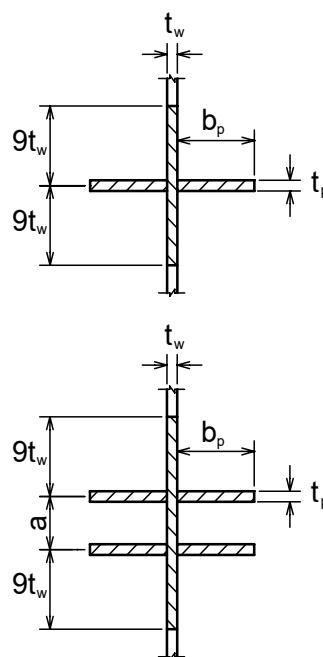
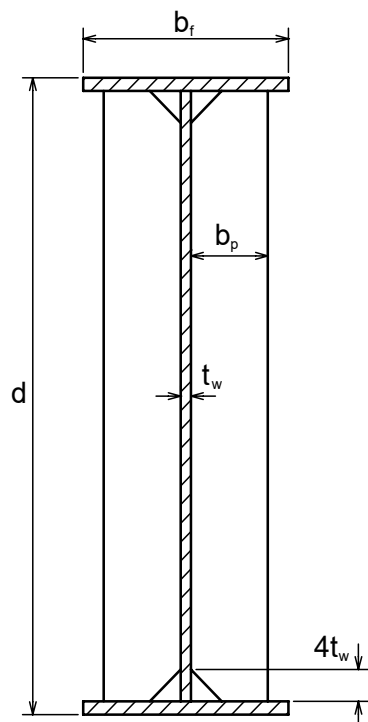
Vị trí các STC nên bố trí đối xứng nhau qua mặt cắt giữa dầm. Khoảng cách giữa các STC có thể bố trí đơn giản là đều nhau hoặc tăng dần từ đầu dầm vào giữa nhịp cho phù hợp với biểu đồ bao lực cắt trong dầm.

Các STC nên chọn loại cấu tạo kép, nghĩa là bố trí thành đôi một đối xứng nhau ở hai bên vách dầm.

Khi dầm có bố trí mối nối công trường, thì STC gần mỗi nối phải bố trí cách mép bản nối một đoạn ít nhất là từ 20 – 30cm.

Các STC đứng trung gian phải được hàn hoặc lắp khít chặt vào bản biên chịu nén, nhưng không cần phải ép vào mặt bản cánh chịu kéo.

Các STC gối phải kéo dài ra toàn bộ chiều cao của bản bụng và càng khít chặt với các bản cánh càng tốt, để tiếp nhận phản lực gối được tốt hơn.



Mặt cắt hiệu dụng chịu nén

CẤU TẠO SƯỜN TĂNG CƯỜNG ĐỨNG

2.6.1. Kiểm toán STC đứng trung gian

Khi không có STC dọc, vách của dầm tiết diện I được gọi là tăng cường khi khoảng cách của các STC đứng trung gian $d_0 \leq 3D$ (A6.10.7.1)

Sườn tăng cường đứng trung gian phải thỏa những điều kiện sau:

2.6.1.1. Kiểm toán độ mảnh

Chiều rộng và chiều dày của STC đứng trung gian phải được giới hạn về độ mảnh để ngăn mất ổn định cục bộ của vách dầm: (A 10.8.1.2)

$$50 + \frac{d}{30} \leq b_p \leq 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} ; \quad (67)$$

và

$$0,25b_f \leq b_p \leq 16,0t_p. \quad (68)$$

Trong đó:

d = Chiều cao mặt cắt dầm thép (mm);

t_p = Chiều dày STC (mm);

b_p = Chiều rộng STC (mm);

F_{ys} = Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của STC (MPa);

b_f = Chiều rộng bản cánh của dầm (mm).

2.6.1.2. Kiểm toán độ cứng

STC đứng trung gian xác định đường bao đứng của khoang vách. Do đó, chúng cần đủ độ cứng để giữ quan hệ tương đối thẳng và cho phép vách phát triển cường độ sau mất ổn định (để làm nhiệm vụ neo cho trường căng).

Độ cứng của nó phải thỏa mãn các phương trình sau: (A6.10.8.1.3)

$$I_t \geq d_0 t_w^3 J, \text{ và} \quad (69)$$

$$J = 2,5 \left(\frac{D_p}{d_0} \right)^2 - 2,0 \geq 0,5 \quad (70)$$

Trong đó:

d_0 = Khoảng cách giữa các STC đứng trung gian (mm);

D_p = Chiều cao D của vách không có STC dọc hoặc chiều cao phụ lớn nhất của vách có STC dọc. Ta chỉ xét trường hợp không có STC dọc, nên $D_p = D$ (mm);

I_t = Mô men quán tính của tiết diện STC đứng trung gian lấy đối với mặt tiếp xúc giữa STC và vách khi là STC đơn và với đường giữa chiều dày vách khi là STC kép (mm^4).

2.6.1.3. Kiểm toán cường độ

Diện tích tiết diện ngang của STC đứng trung gian phải đủ lớn để chống lại thành phần thẳng đứng của ứng suất xiên trong vách. (A6.10.8.1.4)

$$A_s \geq \left[0,15BDt_w(1-C) \frac{V_u}{V_r} - 18t_w^2 \right] \left(\frac{F_{yw}}{F_{ys}} \right) \quad (71)$$

Trong đó:

V_r = Sức kháng cắt tính toán của vách dầm (N);

V_u = Lực cắt do tải trọng tính toán ở TTGHCDI (N);

A_s = Diện tích STC, tổng diện tích của cả đôi STC (mm^2);

B = Hệ số, được xác định như sau:

+ STC kép bằng thép tấm hình chữ nhật, $B = 1,0$;

+ STC đơn bằng thép tấm hình chữ nhật, $B = 2,4$;

+ STC đơn bằng thép góc, $B=1,8$.

2.6.2. Kiểm toán STC gối

STC gối chịu phản lực gối và các lực tập trung. Các lực tập trung chuyển qua bản biên và đầu dưới của STC. STC gối được liên kết với vách, đồng thời tạo thành đường biên thẳng đứng làm neo chịu cắt từ tác động của trường căng.

Đối với dầm thép hình cán, ta phải làm STC gối khi: (A6.10.8.2.1)

$$V_u > 0,75\phi_b V_n \quad (72)$$

Trong đó:

ϕ_b = Hệ số sức kháng đối với gối theo quy định; (A6.5.4.2)

V_u = Lực cắt tính toán tại gối (N);

V_n = Sức kháng cắt danh định của vách dầm tại gối (N).

Đối với các dầm thép bản phải đặt STC gối ở tất cả các vị trí gối và tất cả các vị trí chịu tải trọng tập trung. (A6.10.8.2.1)

Các STC gối phải bao gồm một hoặc nhiều thép bản hoặc thép góc được liên kết bằng hàn hoặc bắt bu lông vào cả hai bên của bản bụng. Các mối nối vào bản bụng phải được thiết kế để truyền toàn bộ lực gối do các tải trọng tính toán gây ra.

Các STC gối phải kéo dài ra toàn bộ chiều cao của bản bụng và càng khít càng tốt tới các mép của bản cánh.

Mỗi STC phải được hoặc mài để lắp khít vào bản cánh thông qua đó nó nhận được phản lực, hoặc được gắn vào bản cánh đó bằng đường hàn rãnh ngấu hoàn toàn.

Khoảng cách từ STC gối đến STC đứng trung gian liền kề phải thỏa mãn điều kiện $\geq 1,5D$ (A6.10.7.3.3c)

Sườn tăng cường gối phải thỏa mãn những điều kiện sau:

2.6.2.1. Kiểm toán độ mảnh

STC gối được thiết kế như một phần tử chịu nén, gồm một đôi hoặc hơn các bản thép hình chữ nhật đặt đối xứng về mỗi bên của bản vách dầm.

Độ mảnh của STC gối phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.8.2.2)

$$b_p \leq 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} \quad (73)$$

Trong đó:

b_p = Chiều rộng của STC gối (mm);

t_p = Chiều dày của STC gối (mm).

Từ (73), ta có thể chọn trước b_p rồi tính ra t_p .

2.6.2.2. Kiểm toán sức kháng tựa

Sức kháng tựa tính toán, B_r phải được lấy như sau:

$$B_r = \phi_b A_{pu} F_{ys} \geq R_u \quad (74)$$

Trong đó:

ϕ_b = Hệ số sức kháng tựa theo quy định; (A6.5.4.2)

A_{pu} = Diện tích tựa của STC vào bản cánh (mm²);

R_u = Phản lực gối ở TTGHCCI (N).

Từ (74) $\Rightarrow$ Chọn được kích thước của STC gối theo điều kiện sức kháng tựa. Ta có thể chọn một đôi, hai đôi hoặc ba đôi.

(Cấu tạo STC có vát 45°, $4t_w$ là để ngăn cản sự hình thành ứng suất kéo dọc không lợi trong mối hàn tại chỗ tiếp xúc giữa vách STC và bản biên).

2.6.2.3. Kiểm toán sức kháng nén dọc trục

STC gối cộng một phần vách phối hợp như một cột để chịu lực nén dọc trục.

Đối với các STC được bắt bu lông vào bản bụng, mặt cắt hiệu dụng của cột chỉ bao gồm các cấu kiện của STC.

Đối với STC được hàn vào bản bụng, diện tích có hiệu của tiết diện cột được lấy bằng diện tích tổng cộng các thành phần của STC và một đoạn vách nằm tại trọng tâm không lớn hơn $9t_w$ sang mỗi bên của các cấu kiện phía ngoài của nhóm STC gối.

Sức kháng nén dọc trục có hệ số được tính như sau:

$$P_r = \phi_c P_n \geq R_u \quad (75)$$

Trong đó:

ϕ_c = Hệ số sức kháng nén theo quy định; (A6.5.4.2)

P_n = Sức kháng nén danh định, được xác định như sau: (A4.6.2.5)

$$\text{Đặt } \lambda = \left(\frac{kl}{\pi r} \right)^2 \frac{F_y}{E} = \text{độ mảnh của cột} \quad (76)$$

$$+ \text{Nếu } \lambda \leq 2,25 \text{ thì } P_n = 0,66^\lambda F_{ys} A_s \quad (77)$$

$$+ \text{Nếu } \lambda > 2,25 \text{ thì } P_n = 0,88 F_{ys} A_s / \lambda \quad (77a)$$

Trong đó:

A_s = Diện tích mặt cắt cột (mm^2);

k = Hệ số chiều dài hiệu dụng theo quy định. Với trường hợp liên kết hàn ở hai đầu thì $k = 0,75$. (A4.6.2.5)

l = Chiều dài không giằng (mm) = chiều cao vách D (mm);

r = bán kính quán tính của tiết diện cột (mm);

$$r = \sqrt{\frac{I_y}{A_s}} \text{ (mm);} \quad (78)$$

I_y = Mômen quán tính của tiết diện cột đối với trục trung tâm của vách (mm^4).

2.7. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MỐI NỐI CÔNG TRƯỜNG

Liên kết hàn có nhiều ưu điểm như đơn giản về cấu tạo, ít chi tiết, tốn ít vật liệu, phù hợp với điều kiện công nghiệp hóa,...nên được ưa dùng. Tuy vậy, với các mối nối công trường thì liên kết hàn khó thao tác, khó hàn tự động, cũng như kiểm tra chất lượng. Do đó, thông thường ta kết hợp mối nối hàn ở nhà máy và bu lông CĐC ở công trường.

Tính toán thiết kế mối nối công trường phải được xem xét trên các mặt sau:

- + Kiểm các bản nối và dầm thép tại vị trí mối nối;
- + Kiểm toán sức kháng của các bu lông CĐC.

Trong phạm vi BTL này, chúng ta chỉ nghiên cứu kiểm toán sức kháng của các bu lông CĐC.

Ở trên ta đã tính được mô men tính toán lớn nhất và lực cắt tính toán lớn nhất ở mặt cắt i . Đó là hai đại lượng xác định độc lập với nhau, mỗi trường hợp có một vị trí hoạt tải bất lợi riêng rẽ. Do vậy nếu M và V ở cùng mặt cắt i lại cùng có mặt trong một công thức chung, như trong công thức tính lực cắt tác dụng lên bu lông liên kết bản bụng dầm, thì việc lấy M và V xác định ở trên để tính toán liên kết là không đúng. Về mặt lý thuyết, trên dầm sẽ có một vị trí nào đó của hoạt tải để cặp giá trị M , V ở mặt cắt i mà khi đưa vào công thức chung nói trên thì giá trị của công thức nói trên sẽ là bất lợi nhất. Tuy vậy, việc tìm vị trí hoạt tải bất lợi chung đó rất phức tạp.

Ở đây, để đơn giản ta lấy gần đúng như sau: Đối với M lấy giá trị lớn nhất $M_{\max}$ như xác định ở trên, đối với V lấy giá trị ứng với vị trí hoạt tải xe tính cho $M_{\max}$; hoặc để thiên về an toàn ta tính toán với $M_{\max}$ và $V_{\max}$.

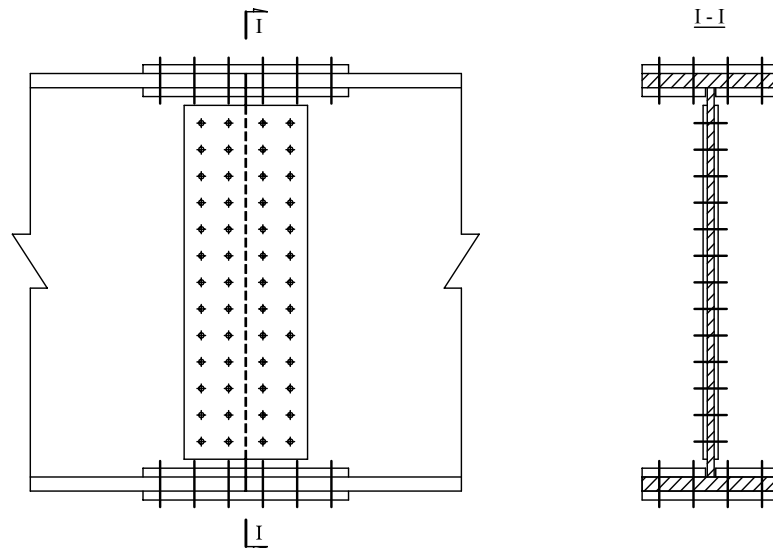
2.7.1. Chọn vị trí mối nối công trường

Ta phải bố trí các mối nối dầm là do chiều dài vật liệu cung cấp thường bị hạn chế, yêu cầu cấu tạo, điều kiện sản xuất, cũng như khả năng vận chuyển và lắp ráp bị hạn chế;

Do điều kiện vận chuyển và khả năng cầu lắp có hạn, nên người ta thường chia dầm làm nhiều đoạn được chế tạo sẵn trong nhà máy rồi mới trở ra công trường và nối lại với nhau thành một cấu kiện hoàn chỉnh. Các mối nối này gọi là mối nối công trường. Đầu nối của các đoạn dầm phải trong cùng một mặt cắt thẳng đứng hoặc ở các mặt cắt gần nhau, để tiện cho việc vận chuyển, cầu lắp và lắp ráp. Ở đây, ta chỉ nghiên cứu loại mối nối công trường có các đầu nối nằm trên cùng một mặt phẳng thẳng đứng.

Vị trí mối nối thường nên tránh chỗ có mô men lớn. Đối với dầm giản đơn, ta thường bố trí cách gối một đoạn $(1/4 \div 1/3)L$ và đối xứng với nhau qua mặt cắt giữa dầm.

Mối nối công trường bằng bung lông CĐC của dầm chữ I tổ hợp hàn có dạng điển hình như sau:



MỐI NỐI CÔNG TRƯỜNG BẰNG BU LÔNG CƯỜNG ĐỘ CAO

Từ hình vẽ ta thấy mối nối gồm hai phần:

- + Mối nối bản cánh làm việc giống như mối nối đối đầu hai bản thép chịu lực dọc trục;
- + Mối nối bản bụng làm việc giống như mối nối đối đầu hai bản thép chịu tác dụng đồng thời của mômen, lực cắt và lực dọc.

Do vậy, việc đầu tiên là ta phải xác định được các lực thiết kế cho mối nối bản cánh và mối nối bản bụng.

2.7.2. Tính toán lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh

Trước hết ta cần làm quen với một số quan điểm về việc xác định lực thiết kế mối nối:

- Quan điểm 1: Lực thiết kế mối nối bằng lực do ngoại lực tác dụng vào mối nối;
- Quan điểm 2: Lực thiết kế mối nối bằng khả năng chịu lực tối đa của cấu kiện cần nối;
- Quan điểm 3: Lực thiết kế mối không được nhỏ thua trị số lớn hơn của hai trị số sau:
 - + Trị số trung bình của mômen, lực cắt hoặc lực dọc trục do tải trọng tính toán tại điểm nối và sức kháng uốn, cắt hoặc dọc trục tính toán của cấu kiện ở cùng điểm nối;
 - + 75% của sức kháng uốn, cắt hoặc dọc trục tính toán của cấu kiện ở cùng điểm nối.

Quan điểm 3 chính là quan điểm của tiêu chuẩn 22 TCN 272-05 (A6.13.1).

2.7.2.1. Tính toán ứng suất ở điểm giữa bản cánh

Bảng ứng suất tại điểm giữa bản cánh dầm thép ở TTGHCDI

Mặt cắt	M (Nmm)	S_{botmid} (mm ³)	S_{topmid} (mm ³)	f_{botmid} (MPa)	f_{topmid} (MPa)
Dầm thép					
Liên hợp (3n)					
Liên hợp (n)					
Tổng					

Bảng ứng suất tại điểm giữa bản cánh dầm thép ở TTGHSD

Mặt cắt	M (N.mm)	S_{botmid} (mm ³)	S_{topmid} (mm ³)	f_{botmid} (MPa)	f_{topmid} (MPa)
Dầm thép					

Liên hợp (3n)					
Liên hợp (n)					
Tổng					

2.7.2.2. Tính toán lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh

Ứng suất thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh dưới chịu kéo của TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$F_{\text{bot}} = \frac{[f_{\text{botmid}} + \varphi_y F_{yf}]}{2} \geq 0,75 \varphi_y F_{yf} \quad (79)$$

Trong đó:

f_{botmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh dưới ở TTGHCDI;

φ_y = Hệ số kháng theo quy định; (A6.5.4.2)

Ứng suất thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh trên chịu nén của TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$F_{\text{ctop}} = \frac{[f_{\text{topmid}} + \varphi_c F_{yf}]}{2} \geq 0,75 \varphi_c F_{yf} \quad (80)$$

Trong đó:

f_{topmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh trên ở TTGHCDI;

φ_c = Hệ số kháng theo quy định; (A6.5.4.2)

Từ đó ta có:

Bảng lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh dầm thép ở TTGHCDI

Vị trí	f (N/mm ²)	F (N/mm ²)	A (mm ²)	P (N)
Cánh dưới				
Cánh trên				

Bảng lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh dầm thép ở TTGHSD

Vị trí	F = f (N/mm ²)	A (mm ²)	P (N)
Cánh dưới			
Cánh trên			

2.7.3. Thiết kế mối nối cánh

2.7.3.1. Chọn kích thước mối nối

Mối nối được thiết kế theo phương pháp thử - sai, tức là ta lần lượt chọn kích thước mối nối dựa vào kinh nghiệm và các quy định khống chế của tiêu chuẩn thiết kế, rồi kiểm toán lại, nếu không đạt thì ta phải chọn lại và kiểm toán lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi thoả mãn.

Ta sơ bộ chọn kích thước mối nối như sau: (Hình vẽ)

Các thông số mối nối cần chọn:

- + Kích thước bản nối trong, bản nối ngoài;
- + Đường kính bu lông CĐC và loại lỗ sử dụng;

2.7.3.2. Kiểm toán khoảng cách của các bu lông CĐC (A6.13.2.6)**2.7.3.2.1. Khoảng cách tối thiểu**

Khoảng cách giữa các bu lông phải thỏa mãn điều kiện khoảng cách tối thiểu như sau:

$$\min(S_l, S_h) \geq S_{\min} \quad (81)$$

Trong đó:

S_l = Khoảng cách giữa các bu lông theo phương trục dầm (mm);

S_h = Khoảng cách giữa các bu lông theo phương vuông góc với trục dầm (mm);

$S_{\min}$ = Khoảng cách tối thiểu giữa các bu lông theo quy định (A6.13.2.6.1).

2.7.3.2.2. Khoảng cách tối đa

Khoảng cách giữa các bu lông phải thỏa mãn điều kiện khoảng cách tối thiểu như sau:

$$\max(S_l, S_h) \geq S_{\min} \quad (82)$$

Trong đó:

$S_{\max}$ = Khoảng cách tối đa giữa các bu lông theo quy định (A6.13.2.6.2).

2.7.3.2.3. Khoảng cách đến mép cạnh

Khoảng cách từ tâm bu lông ngoài cùng đến mép thanh phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$S_{\min} \leq S_e \leq S_{\max} \quad (83)$$

Trong đó:

S_e = Khoảng cách từ tâm bu lông ngoài cùng tới mép thanh (mm);

$S_{\min}, S_{\max}$ = Khoảng cách tối thiểu, tối đa từ tâm bu lông ngoài cùng tới mép thanh theo quy định (A6.13.2.6.6).

2.7.3.3. Kiểm toán sức kháng cắt của bu lông CĐC

Giả thiết lực cắt phân bố đều cho các bu lông, nên lực cắt tác dụng lên một bu lông ở TTGH CĐI được xác định như sau:

$$R_u = P_u / N \quad (84)$$

Sức kháng cắt của bu lông CĐC ở THGH CĐI phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_u \leq R_{rs} \quad (85)$$

Trong đó:

P_u = Lực thiết nhỏ nhất trong bản cánh TTGH CĐI (N);

N = Số bu lông ở một bên mỗi nối;

R_{rs} = Sức kháng cắt tính toán của một bu lông CĐC theo quy định (A6.13.2.7).

2.7.3.4. Kiểm toán sức kháng ép mặt của bu lông CĐC

Sức kháng ép mặt của bu lông CĐC ở THGH CĐI phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_u \leq R_{rbb} \quad (86)$$

Trong đó:

R_{rbb} = Sức kháng ép mặt tính toán của một bu lông CĐC theo quy định (A6.13.2.9).

2.7.3.5. Kiểm toán sức kháng trượt của bu lông CĐC

Giả thiết lực cắt phân bố đều cho các bu lông, nên lực cắt tác dụng lên một bu lông ở TTGHSD được xác định như sau:

$$R_a = P_a / N \quad (87)$$

Sức kháng trượt của bu lông CĐC ở THGHSD phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_a \leq R_r = R_n \quad (88)$$

Trong đó:

P_a = Lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh ở TTGHSD (N);

R_n = Sức kháng trượt của một bu lông CĐC theo quy định (A6.13.2.8).

2.7.4. Tính toán thiết kế mối nối bụng dầm

2.7.4.1. Chọn kích thước mối nối

Mối nối được thiết kế theo phương pháp thử - sai, tức là ta lần lượt chọn kích thước mối nối theo kinh nghiệm, rồi kiểm toán lại, nếu không đạt thì ta phải chọn lại và kiểm toán lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi thỏa mãn.

Ta sơ bộ chọn kích thước mối nối như sau: Hình vẽ

Các thông số mối nối cần chọn:

+ Kích thước bản nối;

+ Đường kính bu lông CĐC và loại lỗ sử dụng;

+ Số bu lông CĐC mỗi bên mối nối và bố trí sơ bộ mối nối.

2.7.4.2. Tính toán lực cắt thiết kế nhỏ nhất

Lực cắt thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSDI được xác định theo công thức sau:

$$V = \frac{(V_u + V_r)}{2} \geq 0,75V_r \quad (89)$$

Trong đó:

V_u = Lực cắt tác dụng lên dầm tại vị trí mối nối ở THGHSDI (N);

V_r = Sức kháng cắt tính toán của dầm tại vị trí mối nối (N).

Lực cắt thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSD được xác định theo công thức sau:

$$V = V_u \quad (90)$$

Trong đó:

V_u = Lực cắt tác dụng lên dầm tại vị trí mối nối ở THGHSD (N).

2.7.4.3. Tính toán mô men và lực ngang thiết kế nhỏ nhất

Mô men thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSDI bao gồm hai thành phần như sau:

$$M = M_v + M_w \quad (91)$$

Trong đó:

M_v = Mô men do lực cắt thiết kế tại vị trí mối nối ở TTGHSDI tác dụng lệch tâm với trọng tâm nhóm đỉnh ở mỗi bên mối nối gây ra:

$$M_v = V.e \quad (92)$$

Trong đó:

V = Lực cắt thiết kế mối nối ở TTGHSDI (N);

e = Độ lệch tâm của nhóm đỉnh ở mỗi bên mối nối, lấy bằng khoảng cách từ trọng tâm của nhóm đỉnh mỗi bên mối nối tới tim mối nối (mm);

M_w = Phần mô men tác dụng lên phần bản bụng, do mô men uốn tại vị trí mối nối ở TTGHSDI gây ra:

$$M_w = \frac{t_w D^2}{12} (F_{botmid} + F_{topmid}) \quad (93)$$

Trong đó:

F_{botmid}, F_{topmid} = ứng suất thiết kế nhỏ nhất tại trọng tâm bản cánh dưới, cánh trên ở TTGHCCI (N/mm²).

Lực ngang thiết kế nhỏ nhất ở TTGHCCI được xác định theo công thức sau:

$$H = \frac{t_w D}{2} (F_{botmid} - F_{topmid}) \quad (94)$$

(Chú ý: Đối với dầm không liên hợp, đối xứng kép thì ta có thể coi bỏ qua lực ngang H)

Tương tự, ta cũng xác định được mômen và lực ngang thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSD.

2.7.4.4. Kiểm toán khoảng cách của các bu lông CĐC (A6.13.2.6)

Tương tự như mối nối bản cánh.

2.7.4.5. Lực cắt tính toán trong một bu lông CĐC

Giả thiết các bản nối là tuyệt đối cứng và liên kết vẫn làm việc trong giai đoạn đàn hồi. Khi đó, bu lông ở vị trí xa nhất so với trọng tâm của nhóm bu lông ở mỗi bên mối nối sẽ chịu lực cắt lớn nhất hay bất lợi nhất.

Ta có công thức xác định lực cắt trong bu lông xa nhất có dạng như sau:

$$R_{max} = \sqrt{\left(\frac{V}{N} + \frac{Mx_{max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \right)^2 + \left(\frac{H}{N} + \frac{My_{max}}{\sum (x_i^2 + y_i^2)} \right)^2} \quad (95)$$

Trong đó:

N = Số bu lông ở mỗi bên mối nối (bu lông);

M, V, H = Mômen, lực cắt và lực ngang thiết kế tác dụng lên mối nối (N);

x_i, y_i = Khoảng cách từ đỉnh thứ i đến trục y, x của hệ trục tọa độ xoy đặt tại trọng tâm của nhóm bu lông ở mỗi bên mối nối (mm);

x_{max}, y_{max} = Tọa độ của bu lông xa nhất đối với hệ trục xoy (mm).

2.7.4.6. Kiểm toán sức kháng cắt của bu lông CĐC

Tương tự như mối nối bản cánh.

2.7.4.7. Kiểm toán sức kháng ép mặt của bu lông CĐC

Tương tự như mối nối bản cánh.

2.7.4.8. Kiểm toán sức kháng trượt của bu lông CĐC

Tương tự như mối nối bản cánh.

2.8. TÍNH TOÁN CẮT BẢN CÁNH VÀ VẼ BIỂU ĐỒ BAO VẬT LIỆU

Trong phạm vi BTL này ta không tính toán phần này.

*****&*****

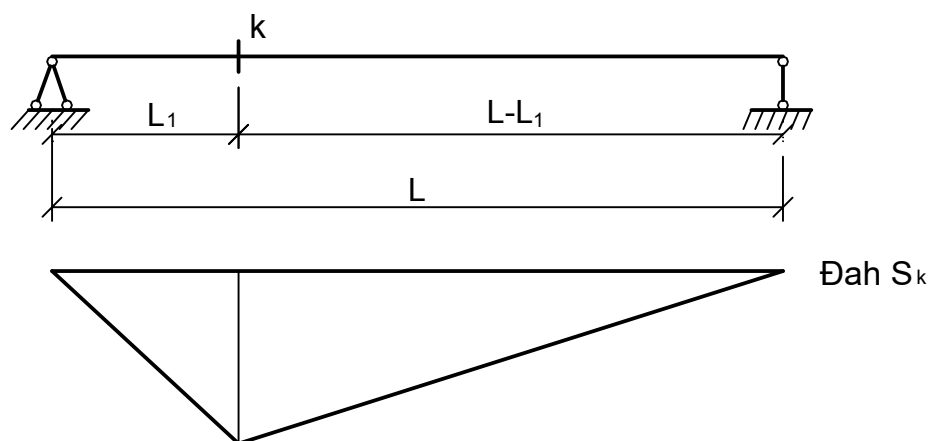
TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tiêu chuẩn thiết kế cầu 22TCN 272-2005.
2. AASHTO LRFD bridge design specifications SI units second edition 1998 (AASHTO LRFD 1998).
3. Cầu Bê tông cốt thép trên đường ô tô (tập 1), GS.TS Lê Đình Tâm, NXBXD - 2005.
4. Cầu thép, GS.TS Lê Đình Tâm, NXBGTVT - 2004.
5. Design of highway bridges. Tác giả RICHARD M.BARKER, JAY A.PUCKETT; NXB John Wiley & Sons - 1997.
6. Cầu Bê tông (tập 1). Tác giả Nguyễn Viết Trung, Hoàng Hà, NXBGTVT.
7. Bridge engineering handbook. Tác giả Wai-Fah Chen và Lian Duan. NXB CRC Press, 2000.
8. Tính toán kết cấu Bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn ACI 318-2002, tác giả Trần Mạnh Tuấn, NXB Xây Dựng 2004.
9. Thiết kế cầu Bê tông cốt thép và cầu thép trên đường ô tô, tác giả N.I.POLIVANOV, bản dịch của Nguyễn Như Khải và Nguyễn Trâm, NXB khoa học kỹ thuật năm 1979.
10. PCI Bridge Design Manual, 2003.
11. Annual Book of ASTM Standards, 2000.
12. Tiêu chuẩn ACI 318-2002.

PHỤ LỤC

Bảng 1: Bảng tra tải trọng tương đương của HL-93 (KN/m)

Chiều dài tải (m)	Xe tải thiết kế (truck)			Xe hai trục thiết kế (tandem)		
	α			α		
	0	0.25	0.5	0	0.25	0.5
4	72.50	72.50	72.50	93.50	88.00	77.00
4.5	67.31	64.44	64.44	84.74	80.40	71.70
5	66.12	58.00	58.00	77.44	73.92	66.88
6	62.03	50.48	48.33	66.00	63.56	58.67
7	57.41	48.93	41.43	57.47	55.67	52.08
8	53.02	46.52	36.25	50.88	49.50	46.75
9	49.40	43.92	34.04	45.63	44.54	42.37
10	46.51	41.37	34.00	41.36	40.48	38.72
11	43.81	38.99	33.50	37.82	37.09	35.64
12	41.33	37.05	32.67	34.83	34.22	33.00
13	39.06	35.41	31.68	32.28	31.76	30.72
14	36.99	33.85	30.63	30.08	29.63	28.73
15	35.12	32.38	29.57	28.16	27.77	26.99
16	33.40	30.99	28.53	26.47	26.13	25.44
18	30.40	28.50	26.56	23.63	23.36	22.81
20	27.88	26.34	24.76	21.34	21.12	20.68
22	25.73	24.45	23.15	19.45	19.27	18.91
24	23.87	22.80	21.71	17.88	17.72	17.42
26	22.26	21.35	20.42	16.53	16.40	16.14
28	20.86	20.07	19.27	15.38	15.27	15.04
30	19.61	18.93	18.23	14.37	14.28	14.08
32	18.51	17.90	17.29	13.49	13.41	13.23
34	17.52	16.99	16.44	12.71	12.64	12.48
36	16.63	16.15	15.67	12.02	11.95	11.81



$$\text{Với } \alpha = \frac{L_1}{L}$$

BÀI TẬP LỚN KẾT CẤU THÉP

Giáo viên hướng dẫn :

Sinh viên :

Lớp :

NHIỆM VỤ THIẾT KẾ: Thiết kế một dầm chủ, nhịp giản đơn trên cầu đường ô tô, mặt cắt chữ I dầm thép ghép hàn trong nhà máy và lắp ráp mối công trường bằng bu lông CĐC, không liên hợp.

I- SỐ LIỆU GIẢ ĐỊNH:

- | | |
|---|---|
| 1. Chiều dài nhịp dầm: | $L = 18 \text{ m}$ |
| 2. Số làn xe thiết kế: | $n_L = 2 \text{ làn}$ |
| 3. Khoảng cách giữa các dầm chủ: | $S_d = 2,2 \text{ m}$ |
| 4. Tĩnh tải bản bê tông cốt thép mặt cầu: | $w_{DC2} = 8 \text{ kN/m}$ |
| 5. Tĩnh tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu: | $w_{DW} = 2 \text{ kN/m}$ |
| 6. Hoạt tải xe ô tô thiết kế: | HL – 93 |
| 7. Số lượng giao thông trung bình hàng ngày/một làn: | $ADT = 2 \times 10^4 \text{ xe/ngày/làn}$ |
| 8. Tỷ lệ xe tải trong luồng: | $k = 0,2$ |
| 9. Hệ số phân bố ngang tính cho mô men: | $mg_M = 0,5$ |
| 10. Hệ số phân bố ngang tính cho lực cắt: | $mg_V = 0,5$ |
| 11. Hệ số phân bố ngang tính cho độ võng: | $mg_D = 0,5$ |
| 12. Hệ số phân bố ngang tính cho mỏi: | $mg_F = 0,5$ |
| 13. Hệ số cấp đường: | $m = 1,0$ |
| 14. Độ võng cho phép của hoạt tải: | $\Delta_{cp} = L/800$ |
| 15. Vật liệu: | |
| + Thép chế tạo dầm: | Thép M270 cấp 345 (ASTM A709M cấp 345) |
| + Bu lông CĐC: | ASTM A325M |
| 16. Tiêu chuẩn thiết kế: | 22TCN 272-05. |

II- YÊU CẦU VỀ NỘI DUNG

A- Tính toán:

1. Chọn mặt cắt dầm, tính các đặc trng hình học.
2. Tính và vẽ biểu đồ bao nội lực bằng phương pháp đường ảnh hưởng.
3. Kiểm toán dầm theo các trạng thái giới hạn cường độ I, sử dụng và mỏi.
4. Tính toán thiết kế sườn tăng cường.
5. Tính toán thiết kế mối nối công trường.

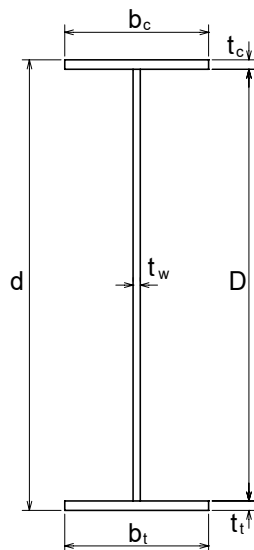
B – Bản vẽ:

1. Vẽ mặt chính dầm, vẽ các mặt cắt đại diện
2. Vẽ các mối nối.
3. Thống kê sơ bộ khối lượng vật liệu.
4. Khổ giấy A1 (A3).

I. CHỌN MẶT CẮT DẦM

Mặt cắt dầm được lựa chọn theo phương pháp thử - sai, tức là ta lần lượt chọn kích thước mặt cắt dầm dựa vào kinh nghiệm và các quy định khống chế của tiêu chuẩn thiết kế, rồi kiểm toán lại, nếu không đạt thì ta phải chọn lại và kiểm toán lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi thỏa mãn.

Mặt cắt dầm bao gồm các kích thước sau:



MẶT CẮT NGANG DẦM

(Chú ý: đối với mặt cắt dầm không liên hợp thì mặt cắt dầm thường chọn là đối xứng kép).

1.1. Chiều cao dầm thép d (mm)

Chiều cao của dầm chủ có ảnh hưởng rất lớn đến giá thành công trình, do đó phải cân nhắc kỹ khi lựa chọn giá trị này. Đối với cầu đường ô tô, nhịp giản đơn, ta có thể chọn sơ bộ theo kinh nghiệm như sau:

Đối với cầu dầm giản đơn, tiết diện chữ I thép không liên hợp với bản BTCT thì:

$$d \geq \frac{1}{25} L \text{ (mm)}, \text{ và ta thường chọn } d = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{12} \right) L \text{ (mm)};$$

Chiều cao dầm d nên chọn chẵn đến 5cm.

	L	$=$	18	m
Ta có:	$(1/25)L$	$=$	0.7	m
	$(1/20)L$	$=$	0.9	m
	$(1/12)L$	$=$	1.5	m
Vậy ta chọn	d	$=$	1100	mm

1.2. Bề rộng cánh dầm b_f (mm)

Chiều rộng cánh dầm được lựa chọn sơ bộ theo công thức kinh nghiệm sau:

$$b_f = \left(\frac{1}{2} \div \frac{1}{3} \right) d \text{ (mm)}$$

	d	$=$	1100	mm	
Ta có:	$(1/3)d$	$=$	367	mm	
	$(1/2)d$	$=$	550	mm	
Vậy ta chọn:	Chiều rộng bản cánh trên chịu nén	b_c	$=$	400	mm
	Chiều rộng bản cánh dưới chịu kéo	b_t	$=$	400	mm

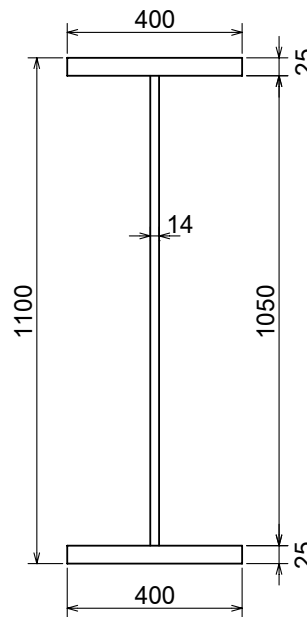
1.3. Chiều dày cánh và bản bụng dầm

Theo quy định của quy trình (A6.7.3) thì chiều dày tối thiểu của bản cánh, bản bụng dầm là 8mm. Chiều dày tối thiểu này là do chống gỉ và yêu cầu vận chuyển, tháo lắp trong thi công.

Theo quy định của ASTM A6M, thì chiều dày thép bản có các loại chiều dày sau: 5.0, 5.5, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0, 10.0, 11.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0, 20.0, 22.0, 25.0, 28.0, 30.0, 32.0, 35.0, 38.0, 40.0, 45.0, 50.0, 55.0, 60.0, ...160.0, 180.0, 200.0, 250.0, 300.0 (mm).

Ta chọn: Chiều dày bản cánh trên chịu nén: $t_c = 25$ mm
 Chiều dày bản cánh dưới chịu kéo: $t_l = 25$ mm
 Chiều dày bản bụng dầm: $t_w = 14$ mm
 Do đó, chiều cao của bản bụng (vách dầm) sẽ là: $D = d - t_l - t_c = 1050$ mm

Vậy mặt cắt dầm sau khi chọn có hình vẽ như sau:



MẶT CẮT NGANG DẦM

1.4. Tính các đặc trưng hình học mặt cắt dầm

Đặc trưng hình học mặt cắt dầm được tính toán và lập thành bảng sau:

Mặt cắt	A_i (mm ²)	h_i (mm)	$A_i h_i$ (mm ³)	I_{oi} (mm ⁴)	$A_i y_i^2$ (mm ⁴)	I_i (mm ⁴)
Cánh trên	10000	1088	10875000	520833	2889062500	2889583333
Bản bụng	14700	550	8085000	1350562500	0	1350562500
Cánh dưới	10000	13	125000	520833	2889062500	2889583333
Tổng	34700	550	19085000	1351604167	5778125000	7129729167

Trong đó:

A_i = Diện tích phần tiết diện thứ i (mm²);

h_i = Khoảng cách từ trọng tâm phần tiết diện thứ i đến đáy dầm (mm);

I_{oi} = Mô men quán tính của phần tiết diện thứ i đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm của nó (mm⁴);

$\bar{y}$ = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến đáy dầm (mm);

$$\bar{y} = \frac{\sum (A_i \cdot h_i)}{\sum (A_i)} (\text{mm});$$

y_i = Khoảng cách từ trọng tâm phần tiết diện thứ i đến trọng tâm của mặt cắt dầm (mm);

$$y_i = |\bar{y} - h_i| (\text{mm});$$

I_i = Mô men quán tính của phần tiết diện thứ i đối với trục nằm ngang đi qua trọng tâm của mặt cắt dầm (mm^4);

$$I_i = I_{0i} + A_i \cdot y_i^2 (\text{mm}^4).$$

Từ bảng trên ta tính được:

Mặt cắt	y_{bot} mm	y_{top} mm	y_{botmid} mm	y_{topmid} mm	S_{bot} mm^3	S_{top} mm^3	S_{botmid} mm^3	S_{topmid} mm^3
Dầm thép	550	550	538	538	$1,296 \cdot 10^7$	$1,296 \cdot 10^7$	$1,326 \cdot 10^7$	$1,326 \cdot 10^7$

Trong đó:

y_{bot} = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến đáy bản cánh dưới dầm thép (mm);

y_{top} = Khoảng cách từ trọng tâm mặt cắt dầm đến đỉnh bản cánh trên dầm thép (mm);

y_{botmid} = K/c từ trọng tâm mặt cắt dầm đến trọng tâm bản cánh dưới dầm thép (mm);

y_{topmid} = K/c từ trọng tâm mặt cắt dầm đến trọng tâm bản cánh trên dầm thép (mm);

S_{bot} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{bot} (mm^3);

S_{top} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{top} (mm^3);

S_{botmid} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{botmid} (mm^3);

S_{topmid} = Mô men kháng uốn của mặt cắt dầm ứng với y_{topmid} (mm^3).

1.5. Tính toán trọng lượng bản thân dầm:

Trọng lượng bản thân dầm trên 1m dài dầm được xác định như sau:

$$W_{\text{DCI}} = A \gamma_s = 0,0347 \cdot 78,5 = 2,72 (\text{kN/m})$$

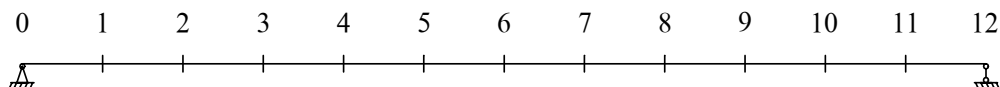
II. TÍNH VÀ VẼ BIỂU ĐỒ BAO NỘI LỰC

Để tính và vẽ biểu đồ bao nội lực ta chia dầm thành các đoạn bằng nhau và vẽ đường ảnh hưởng nội lực của các tiết diện, tính nội lực bằng cách tra tải trọng tương đương.

2.1. Tính toán M, V theo phương pháp dah:

Chia dầm thành các đoạn bằng nhau. Chọn số đoạn dầm: $N_{\text{dd}} = 12$ đoạn

Chiều dài mỗi đoạn dầm $L_{\text{dd}} = 1.5 \text{ m}$



Ta đánh số thứ tự các mặt cắt dầm theo các đoạn chia như sau:

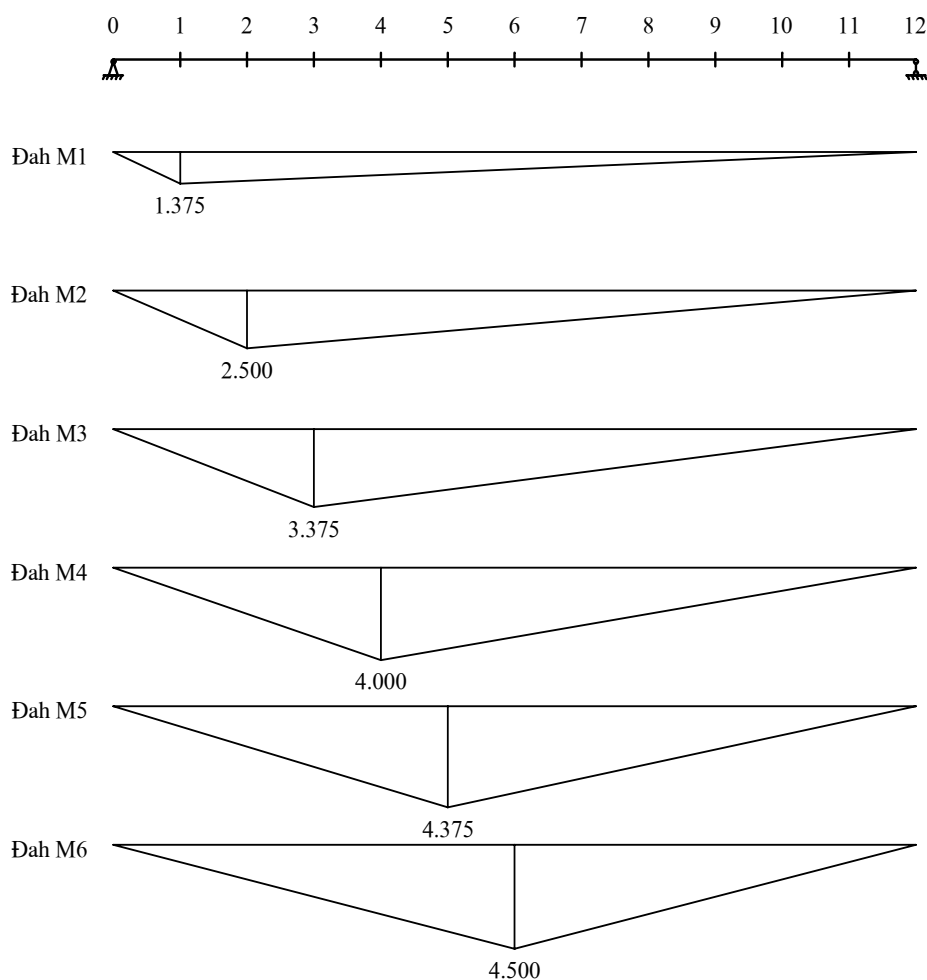
Trị số đường ảnh hưởng mô men được tính toán theo bảng sau:

Mặt cắt	x_i (m)	$\Delta h M_i$ (m)	A_{M_i} (m ²)
1	1,5	1.375	12.375
2	3,0	2.500	22.500
3	4,5	3.375	30.375
4	6,0	4.000	36.000
5	7,5	4.375	39.375
6	9,0	4.500	40.500

Trong đó:

- + x_i = Khoảng cách từ gối đến mặt cắt thứ i ;
- + $\Delta h M_i$ = Tung độ đường ảnh hưởng M_i ;
- + A_{M_i} = Diện tích đường ảnh hưởng M_i .

Ta có hình vẽ đường ảnh hưởng mô men tại các mặt cắt dầm như sau:



Hệ số điều chỉnh tải trọng tính cho TTGH CĐ lấy như sau:

$$\eta = \eta_D \eta_R \eta_L = 1,05 * 0,95 * 0,95 * 0,95 = 0,95$$

Ta xét tổ hợp của các tải trọng sau:

- Hoạt tải (HL-93);
- Tĩnh tải của bản thân dầm, bản BTCT mặt cầu (DC);
- Tĩnh tải của lớp phủ mặt cầu và các tiện ích khác (DW).

Mômen tại tiết diện bất kỳ được tính theo công thức sau:

- Đối với TTGHCDI:

$$M_i = \eta \{ 1,25w_{DC} + 1,50w_{DW} + mg_M [1,75LL_L + 1,75mLL_{Mi} (1 + IM)] \} A_{Mi}$$

$$= M_i^{DC} + M_i^{DW} + M_i^{LL}$$

$$M_i = 1,0 \{ 1,0w_{DC} + 1,0w_{DW} + mg_M [1,3LL_L + 1,3mLL_{Mi} (1 + IM)] \} A_{Mi}$$

$$= M_i^{DC} + M_i^{DW} + M_i^{LL}$$

Trong đó:

LL_L = Tải trọng làn rải đều (9,3KN/m);

LL_{Mi} = Hoạt tải tương đương ứng với đ.ả.h M_i ;

mg_M = Hệ số phân bố ngang tính cho mômen (đã tính cả hệ số làn xe m);

mg_V = Hệ số phân bố ngang tính cho lực cắt (đã tính cả hệ số làn xe m);

w_{DC} = Tải trọng rải đều do bản thân dầm thép và bản BTCT mặt cầu;

w_{DW} = Tải trọng rải đều do lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu;

$1+IM$ = Hệ số xung kích;

m = Hệ số cấp đường.

Ta lập bảng tính toán trị số M tại các mặt cắt như sau:

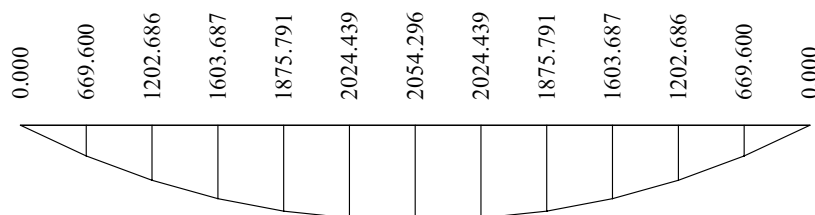
Bảng trị số mômen theo TTGHCDI

Mặt cắt	xi (m)	α_i	A_{Mi} (m ²)	LL_{Mi}^{truck} (kN/m)	LL_{Mi}^{tandem} (kN/m)	M_i^{DC} (kN.m)	M_i^{DW} (kN.m)	M_i^{LL} (kN.m)	M_i^{CD} (kN.m)
1	1.5	0.083	12.375	29.767	23.540	157.20	35.18	477.22	669.600
2	3.0	0.167	22.500	29.133	23.450	285.81	63.96	852.91	1202.686
3	4.5	0.250	30.375	28.500	23.360	385.85	86.35	1131.49	1603.687
4	6.0	0.333	36.000	27.833	23.177	457.30	102.34	1316.14	1875.791
5	7.5	0.417	39.375	27.167	22.993	500.17	111.94	1412.33	2024.439
6	9.0	0.500	40.500	26.500	22.810	514.47	115.14	1424.69	2054.296

Bảng trị số mômen theo TTGHSD

Mặt cắt	xi (m)	α_i	A_{Mi} (m ²)	LL_{Mi}^{truck} (kN/m)	LL_{Mi}^{tandem} (kN/m)	M_i^{DC} (kN.m)	M_i^{DW} (kN.m)	M_i^{LL} (kN.m)	M_i^{SD} (kN.m)
1	1.5	0.083	12.375	29.767	23.540	132.71	24.75	374.10	531.560
2	3.0	0.167	22.500	29.133	23.450	241.29	45.00	668.61	954.895
3	4.5	0.250	30.375	28.500	23.360	325.74	60.75	886.99	1273.478
4	6.0	0.333	36.000	27.833	23.177	386.06	72.00	1031.75	1489.807
5	7.5	0.417	39.375	27.167	22.993	422.26	78.75	1107.14	1608.149
6	9.0	0.500	40.500	26.500	22.810	434.32	81.00	1116.84	1632.158

Ta có biểu đồ bao mô men ở TTGHCDI như sau:



Trị số đường ảnh hưởng lực cắt được tính toán theo bảng sau:

Mặt cắt	x_i (m)	$\Delta h V_i$ (m)	A_{V_i} (m ²)	A_{l, V_i} (m ²)
0	0.000	1.000	9.000	9.000
1	1.500	0.917	7.500	7.563
2	3.000	0.833	6.000	6.250
3	4.500	0.750	4.500	5.063
4	6.000	0.667	3.000	4.000
5	7.500	0.583	1.500	3.063
6	9.000	0.500	0.000	2.250

Trong đó:

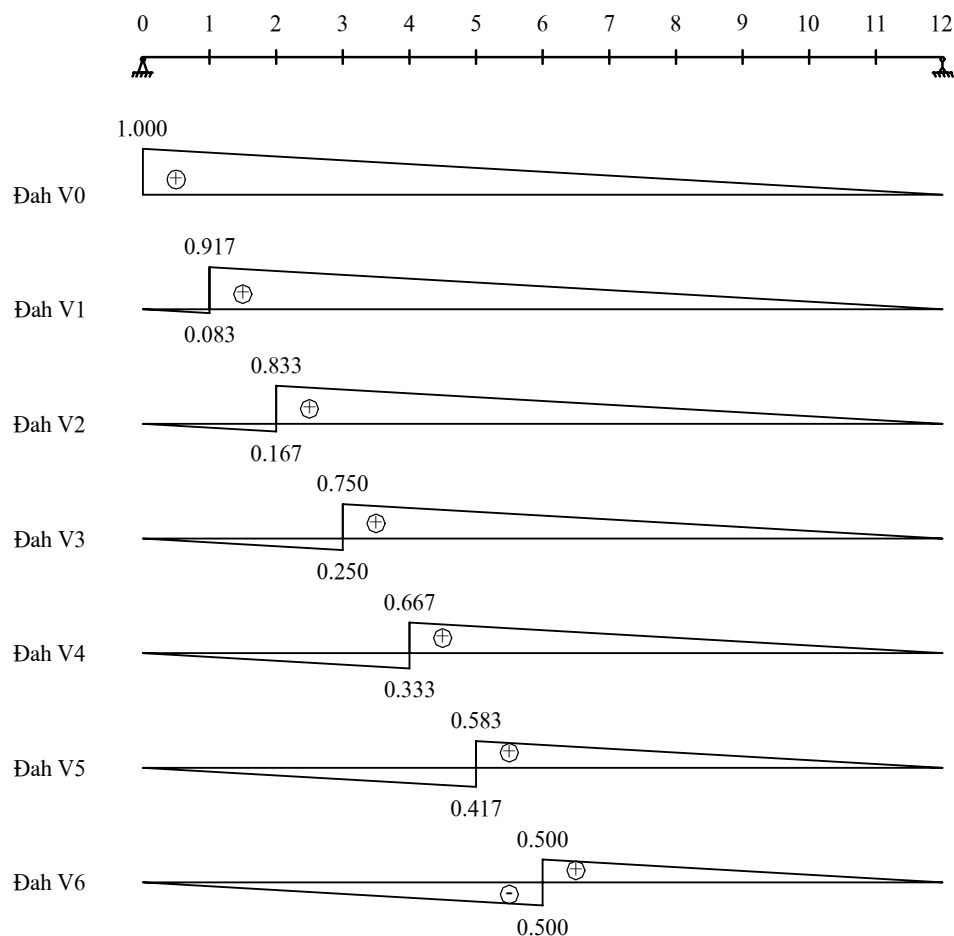
x_i : Khoảng cách từ gối đến mặt cắt thứ i

$\Delta h V_i$: Tung độ phần lớn hơn của đường ảnh hưởng V_i

A_{V_i} : Tổng diện tích đường ảnh hưởng V_i

A_{l, V_i} : Diện tích đường ảnh hưởng V_i (phần diện tích lớn)

Ta có hình vẽ đường ảnh hưởng lực cắt tại các mặt cắt dầm như sau:



Lực cắt tại tiết diện bất kỳ được tính theo công thức sau:

$$V_i = \eta \{ (1,25w_{DC} + 1,50w_{DW}) A_{Vi} + mg_V [1,75LL_L + 1,75mLL_{Vi} (1 + IM)] A_{1,Vi} \}$$

$$= V_i^{DC} + V_i^{DW} + V_i^{LL}$$

$$V_i = 1,0 \{ (1,0w_{DC} + 1,0w_{DW}) A_{Vi} + mg_V [1,3LL_L + 1,3mLL_{Vi} (1 + IM)] A_{1,Vi} \}$$

$$= V_i^{DC} + V_i^{DW} + V_i^{LL}$$

Trong đó:

LL_L = Tải trọng làn rải đều (9,3KN/m);

LL_{Mi} = Hoạt tải tương đương ứng với đ.ả.h M_i ;

LL_{Vi} = Hoạt tải tương đương ứng với đ.ả.h V_i ;

mg_V = Hệ số phân bố ngang tính cho lực cắt (đã tính cả hệ số làn xe m);

w_{DC} = Tải trọng rải đều do bản thân dầm thép và bản BTCT mặt cầu;

w_{DW} = Tải trọng rải đều do lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu;

$1+IM$ = Hệ số xung kích;

A_{Vi} = Tổng đại số diện tích đường ảnh hưởng V_i ;

$A_{1,Vi}$ = Diện tích đường ảnh hưởng V_i (phần diện tích lớn);

m = Hệ số cấp đường.

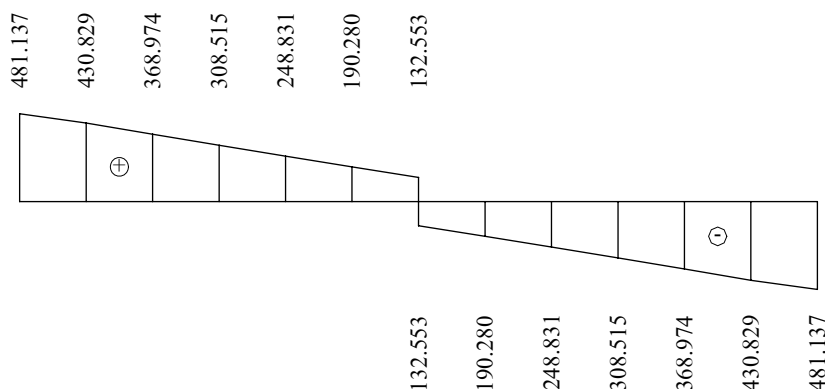
Bảng trị số lực cắt theo TTGHCDI

Mặt cắt	xi (m)	li (m)	A_{Qi} (m ²)	A_{1Qi} (m ²)	LL_{Qi}^{truck} (kN/m)	LL_{Qi}^{tandem} (kN/m)	Q_i^{DC} (kN)	Q_i^{DW} (kN)	Q_i^{LL} (kN)	Q_i^{CD} (kN)
0	0.00	18.00	9.000	9.000	29.140	22.485	114.326	25.586	341.225	481.137
1	1.50	16.50	7.500	7.563	32.650	25.760	95.271	21.322	314.236	430.829
2	3.00	15.00	6.000	6.250	35.120	28.160	76.217	17.057	275.700	368.974
3	4.50	13.50	4.500	5.063	38.025	31.180	57.163	12.793	238.560	308.515
4	6.00	12.00	3.000	4.000	41.330	34.830	38.109	8.529	202.194	248.831
5	7.50	10.50	1.500	3.063	45.160	39.590	19.054	4.264	166.962	190.280
6	9.00	9.00	0.000	2.250	49.400	45.630	0.000	0.000	132.553	132.553

Bảng trị số lực cắt theo TTGHSD

Mặt cắt	xi (m)	li (m)	A_{Qi} (m ²)	A_{1Qi} (m ²)	LL_{Qi}^{truck} (kN/m)	LL_{Qi}^{tandem} (kN/m)	Q_i^{DC} (kN)	Q_i^{DW} (kN)	Q_i^{LL} (kN)	Q_i^{SD} (kN)
0	0.00	18.00	9.000	9.000	29.140	22.485	96.516	18.000	267.491	382.007
1	1.50	16.50	7.500	7.563	32.650	25.760	80.430	15.000	246.334	341.764
2	3.00	15.00	6.000	6.250	35.120	28.160	64.344	12.000	216.125	292.469
3	4.50	13.50	4.500	5.063	38.025	31.180	48.258	9.000	187.010	244.268
4	6.00	12.00	3.000	4.000	41.330	34.830	32.172	6.000	158.503	196.674
5	7.50	10.50	1.500	3.063	45.160	39.590	16.086	3.000	130.884	149.970
6	9.00	9.00	0.000	2.250	49.400	45.630	0.000	0.000	103.911	103.911

Ta có biểu đồ bao lực cắt ở TTGHCDI như sau:



III. KIỂM TOÁN DẦM THEO TTGHCDI

3.1. Kiểm toán theo điều kiện chịu mô men uốn

3.1.1. Tính toán ứng suất trong trong các bản cánh dầm thép

Ta lập bảng tính toán ứng suất trong các bản cánh dầm thép tại mặt cắt giữa nhịp dầm ở TTGHCDI như sau:

Mặt cắt	M (N.mm)	S_{bot} (mm ³)	S_{top} (mm ³)	S_{botmid} (mm ³)	S_{topmid} (mm ³)	f_{bot} (MPa)	f_{top} (MPa)	f_{botmid} (MPa)	f_{topmid} (MPa)
Dầm thép	$2,05.10^9$	$1,3.10^7$	$1,3.10^7$	$1,33.10^7$	$1,33.10^7$	$1,58.10^2$	$1,58.10^2$	$1,55.10^2$	$1,55.10^2$

Trong đó:

f_{bot} = ứng suất tại đáy bản cánh dưới dầm thép (MPa);

f_{top} = ứng suất tại đỉnh bản cánh trên dầm thép (MPa);

f_{botmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh dưới dầm thép (MPa);

f_{topmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh trên dầm thép (MPa).

3.1.2. Tính mô men chảy của tiết diện

Mô men chảy của tiết diện không liên hợp được xác định theo công thức sau:

$$M_y = F_y S_{NC}$$

Trong đó:

F_y = Cường độ chảy nhỏ nhất theo quy định của thép làm dầm (MPa);

S_{NC} = Mô men kháng uốn của tiết diện không liên hợp (mm³).

Ta có:

$$F_y = 345.0 \text{ MPa}$$

$$S_{NC} = 1.3.10^7 \text{ mm}^3$$

$$\text{Vậy: } M_y = 4.47.10^9 \text{ Nmm}$$

3.1.3. Tính mô men dẻo của tiết diện

Chiều cao bản bụng chịu nén tại mô men dẻo được xác định như sau: (A6.10.3.3.2)

Với tiết diện đối xứng kép thì $D_{cp} = D/2 = 525\text{mm}$

Khi đó mômen dẻo được xác định theo công thức sau:

$$M_p = P_w \left(\frac{D}{4} \right) + P_c \left(\frac{D}{2} + \frac{t_c}{2} \right) + P_t \left(\frac{D}{2} + \frac{t_t}{2} \right)$$

Trong đó:

$P_w = F_{yw} A_w$ = Lực dẻo của bản bụng (N);

$P_c = F_{yc} A_c$ = Lực dẻo của bản cánh trên chịu nén (N);

$P_t = F_{yt} A_t$ = Lực dẻo của bản cánh dưới chịu kéo (N).

Thay số vào ta có:

$$M_p = 345 * 14 * 1050 * \frac{1050}{4} + 400 * 25 * 345 * \left(\frac{1050}{2} + \frac{25}{2} \right) + 345 * 400 * 25 \left(\frac{1050}{2} + \frac{25}{2} \right)$$

$$= 5.04.10^9 \text{ Nmm}$$

3.1.4. Kiểm toán sự cân xứng của tiết diện

Tiết diện I chịu uốn phải được cấu tạo cân xứng sao cho: (A6.10.2.1)

$$0,1 \leq \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0,9 \quad (6)$$

Trong đó:

I_y = Mô men quán tính của tiết diện dầm thép đối với trục thẳng đứng đi qua trọng tâm của bản bụng (mm^4);

I_{yc} = Mô men quán tính của bản cánh chịu nén của mặt cắt thép quanh trục thẳng đứng đi qua trọng tâm của bản bụng (mm^4).

Ta có:

$$I_{yc} = \frac{t_c b_c^3}{12} = \frac{25 * 400^3}{12} = 1,333.10^8 (\text{mm}^4)$$

$$I_{yc} = \frac{t_c b_c^3}{12} + \frac{D t_w^3}{12} + \frac{t_f b_f^3}{12} = \frac{25 * 400^3}{12} + \frac{1050 * 14^3}{12} + \frac{25 * 400^3}{12} = 2,669.10^8 (\text{mm}^4)$$

Vậy:

$$0,1 < I_{yc}/I_y = 0,5 < 0,9 \Rightarrow OK$$

3.1.5. Kiểm toán độ mảnh của bản bụng (vách đứng)

Ngoài nhiệm vụ chống cắt, vách đứng còn có chức năng tạo cho bản biên đủ xa để chịu uốn có hiệu quả. Khi một tiết diện I chịu uốn, có hai khả năng hư hỏng có thể xuất hiện trong vách đứng. Đó là vách đứng có thể mất ổn định như một cột thẳng đứng chịu ứng suất nén có bản biên đỡ hoặc có thể mất ổn định như một tấm do ứng suất dọc trong mặt phẳng uốn.

Bản bụng dầm phải được cấu tạo sao cho thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.2.2)

Khi không có gờ tăng cường dọc:

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

Trong đó:

f_c = ứng suất đàn hồi ở giữa bản cánh chịu nén do tải trọng ở TTGHCDI gây ra (MPa);

Với $f_c = 155,043 \text{ MPa}$

D_c = Chiều cao của bản bụng chịu nén trong phạm vi đàn hồi (mm);

+ Đối với tiết diện không liên hợp đối xứng kép thì $D_c = D/2 = 525$ (mm);

Vậy:

$$\frac{2D_c}{t_w} = \frac{2 * 525}{14} = 75 \leq 6,77 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 6,77 \sqrt{\frac{2.10^5}{155,05}} = 243,152 \Rightarrow OK$$

3.1.6. Kiểm tra tiết diện dầm là đặc chắc, không đặc chắc hay mảnh

3.1.6.1. Kiểm toán độ mảnh của vách đứng có mặt cắt đặc chắc:

Độ mảnh của vách đứng, để đảm bảo tiết diện là đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.2)

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

Trong đó:

D_{cp} = Chiều cao của bản bụng chịu nén tại lúc mô men dẻo (mm); $D_{cp} = 525$ mm

F_{yc} = Cường độ chảy nhỏ nhất theo quy định của bản cánh chịu nén (MPa);

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} = \frac{2 * 525}{14} = 75 \leq 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 3,76 \sqrt{\frac{2.10^5}{345}} = 90,5 \Rightarrow OK$$

3.1.6.2. Kiểm toán độ mảnh của biên chịu nén có mặt cắt đặc chắc

Độ mảnh của biên chịu nén, để đảm bảo tiết diện là đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.3)

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0,382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

Trong đó:

b_f = Chiều rộng của bản cánh chịu nén (mm);

t_f = Chiều dày của bản cánh chịu nén (mm).

$$\text{Ta có: } \frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2 * 25} = 8 \leq 0,382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 0,382 \sqrt{\frac{2.10^5}{345}} = 9,2 \Rightarrow OK$$

3.1.6.3. Kiểm toán tương tác giữa độ mảnh bản bụng và biên chịu nén của mặt cắt đặc chắc

Thực nghiệm cho thấy các mặt cắt đặc chắc có thể không có khả năng đạt được các mô men dẻo khi tỷ số độ mảnh của bụng và cánh chịu nén cả hai đều vượt 75% của các giới hạn cho trong các phương trình (9) và (10). Do đó, tương tác giữa độ mảnh bản bụng và biên chịu nén, để đảm bảo tiết diện là đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.6)

$$\begin{cases} \frac{2D_{cp}}{t_w} \leq (0,75) 3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \\ \frac{b_f}{2t_f} \leq (0,75) 0,382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} \end{cases}$$

Ta có:

$$\begin{cases} \frac{2D_{cp}}{t_w} = \frac{2 \cdot 525}{14} = 75 > (0,75)3,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = (0,75)3,76 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{345}} = 67,9 \\ \frac{b_f}{2t_f} = \frac{400}{2 \cdot 25} = 8 > (0,75)0,382 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = (0,75)0,382 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{345}} = 6,9 \end{cases} \Rightarrow \text{not OK}$$

Vậy 2 điều kiện trên không thỏa mãn do đó sự tác động qua lại giữa bản bụng và biên chịu nén của mặt cắt đặc chắc phải thỏa mãn phương trình tương tác sau:

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} + 9,35 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) \leq 6,25 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}}$$

$$\frac{2D_{cp}}{t_w} + 9,35 \left(\frac{b_f}{2t_f} \right) = \frac{2 \cdot 525}{14} + 9,35 \left(\frac{400}{2 \cdot 25} \right) = 149,8 < 6,25 \sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 6,25 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{345}} = 150,5 \Rightarrow \text{OK}$$

3.1.6.4. Kiểm toán liên kết dọc của biên chịu nén có mặt cắt đặc chắc

Khoảng cách giữa các điểm liên kết dọc bản biên chịu nén L_b để bảo đảm cho tiết diện là đặc chắc phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4.1.7)

$$L_b \leq \left[0,124 - 0,0759 \left(\frac{M_1}{M_p} \right) \right] \left[\frac{r_y E}{F_{yc}} \right]$$

Trong đó:

r_y = Bán kính quán tính của tiết diện đối với trục đối xứng thẳng đứng (mm);

M_1 = Mô men nhỏ hơn do tác dụng của tải trọng tính toán ở mỗi đầu của chiều dài không được giằng (N.mm);

M_p = Mô men dẻo của tiết diện (N.mm);

Ta có:

Ở trên ta đã tính được

Diện tích tiết diện dầm

$$I_y = 266906767 \text{ mm}^4$$

$$A = 34700 \text{ mm}^2$$

$$r_y = 88 \text{ mm}$$

Chọn khoảng cách giữa các điểm liên kết dọc

Ta kiểm toán cho khoảng giữa là bất lợi nhất, nên

Ở trên ta đã tính được

$$L_b = 4500 \text{ mm}$$

$$M_{(xi=4,5m)} = 1,603 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

$$M_p = 5,04 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$

Thay số vào ta có:

$$L_b = 4500 \leq \left[0,124 - 0,0759 \left(\frac{M_1}{M_p} \right) \right] \left[\frac{r_y E}{F_{yc}} \right] = \left[0,124 - 0,0759 \left(\frac{1,603 \cdot 10^9}{5,04 \cdot 10^9} \right) \right] \left[\frac{88 \cdot 2 \cdot 10^5}{345} \right] = 5077$$

$\Rightarrow \text{OK}$

3.1.7. Kiểm toán sức kháng uốn

Sức kháng uốn của dầm phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.4)

+ Đối với trường hợp tiết diện là đặc chắc:

$$M_{umax} \leq M_r = \phi_r M_n$$

Trong đó:

ϕ_f = Hệ số kháng uốn theo quy định; $\phi_f = 1,0$ (A6.5.4.2)

M_{umax} = Mô men uốn lớn nhất tại mặt cắt giữa nhịp dầm ở TTGHCDI (Nmm);

M_n = Sức kháng uốn danh định đặc trưng cho tiết diện đặc chắc (Nmm);

Ta có:

$$\phi_f = 1,0$$

$$M_n = M_p = 5,04.10^9 \text{ Nmm}$$

$$\text{Vậy: } M_{umax} = 2,05.10^9 \text{ Nmm} \leq M_r = \phi_f M_n = 5,04.10^9 \text{ Nmm} \Rightarrow \text{OK}$$

3.2. Kiểm toán theo điều kiện chịu lực cắt.

3.2.1. Kiểm toán theo yêu cầu bốc xếp (A6.10.7.3.2)

Đối với các bản bụng khi không có STC dọc, phải sử dụng STC đứng nếu:

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

$$\text{Ta có: } \frac{D}{t_w} = \frac{1050}{14} = 75 < 150 \Rightarrow \text{not OK}$$

Do vậy không cần sử dụng STC đứng khi bốc xếp

3.2.2. Kiểm toán theo điều kiện chịu lực cắt

3.2.2.1. Kiểm toán khoang trong

Sức kháng cắt của khoang trong phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.7.1)

$$V_u \leq V_r = \phi_v V_n$$

Trong đó:

ϕ_v = Hệ số kháng cắt theo quy định; (A6.5.4.2)

V_n = Sức kháng cắt danh định của mặt cắt, được xác định như dưới đây.

Ta kiểm toán cho mặt cắt 1 là mặt cắt bất lợi nhất, do đó $M_u = 6,69.10^2 \text{ kNm}$; $V_u = 430,83 \text{ kN}$.

Kiểm tra điều kiện:

$$M_u \leq 0,5\phi_f M_p$$

Ta có:

$$M_u = 6,69.10^8 \text{ Nmm} \leq 0,5\phi_f M_p = 0,5 \cdot 1 \cdot 5,04.10^9 = 2,52.10^9 \text{ Nmm}$$

Do vậy sức kháng cắt danh định V_n của vách ở khoang trong của tiết diện đặc chắc được lấy như sau:

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right]$$

Trong đó:

V_p = Lực cắt dẻo của vách dầm, được xác định như sau:

$$V_p = 0,58F_{yw}D_{tw} = 0,58 \cdot 345 \cdot 1050 \cdot 14 = 2,94.10^6 \text{ N}$$

C = Tỷ số của ứng suất oằn cắt và cường độ chảy cắt, ta có C được xác định như sau: (A6.10.7.3.3a)

$$+ \text{ Nếu } \frac{D}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}, \text{ thì } C = 1,0$$

$$+ \text{ Nếu } 1,10 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,38 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}, \text{ thì } C = \frac{1,10}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}$$

$$+ \text{ Nếu } \frac{D}{t_w} > 1,38 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}, \text{ thì } C = \frac{1,52}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} \left(\frac{Ek}{F_{yw}}\right)$$

Trong đó:

$$k = 5 + \frac{5}{\left(\frac{d_0}{D}\right)^2} = 5 + \frac{5}{\left(\frac{3000}{1050}\right)^2} = 5,61$$

Với $d_0 = 3000\text{mm}$: là khoảng cách giữa các sườn tăng cường ngang (xem chi tiết ở phần tính toán thiết kế sườn tăng cường).

Ta tính các giá trị:

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1050}{14} = 75 \quad 1,10 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} = 1,10 \sqrt{\frac{2.10^5 * 5,61}{345}} = 63$$

$$1,38 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} = 1,38 \sqrt{\frac{2.10^5 * 5,61}{345}} = 79$$

$$\text{Vậy: } 1,10 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1,38 \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}}$$

$$\text{Do đó: } C = \frac{1,10}{\frac{D}{t_w}} \sqrt{\frac{Ek}{F_{yw}}} = \frac{1,10}{\frac{1050}{14}} \sqrt{\frac{2.10^5 * 5,61}{345}} = 0,84$$

$$\text{Và } V_n = V_p \left[C + \frac{0,87(1-C)}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{D}\right)^2}} \right] = 2,94.10^6 \left[0,84 + \frac{0,87(1-0,84)}{\sqrt{1 + \left(\frac{3000}{1050}\right)^2}} \right] = 2598960\text{N}$$

$$\text{Lúc đó: } V_u = 430829 \text{ N} < V_r = \phi_v V_n = 1 * 2598960 = 2598960 \text{ N} \Rightarrow \text{OK}$$

3.2.2.2. Kiểm toán khoang biên:

Sức kháng cắt của khoang biên dầm phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$V_{u\max} \leq V_r = \phi_v V_n = \phi_v C V_p$$

$$V_{u\max} = 481136,5 \text{ N: Lực cắt lớn nhất tại gối}$$

$$V_r = \phi_v V_n = \phi_v C V_p = 1 * 0,84 * 2,94.10^6 = 2460818 \text{ N}$$

Vậy sức kháng cắt ở khoang biên là thỏa mãn điều kiện

IV. KIỂM TOÁN DẦM THEO TTGHSD

4.1. Kiểm toán độ võng dài hạn (A6.10.5)

Dùng tổ hợp TTSD để kiểm tra chảy của kết cấu thép và ngăn ngừa độ võng thường xuyên bất lợi có thể ảnh hưởng xấu đến điều kiện khai thác. Ứng suất bản biên chịu mômen dương và âm, phải thỏa mãn điều kiện sau:

+ Đối với tiết diện không liên hợp:

$$f_r \leq 0,80 R_h F_{yf}$$

Trong đó:

f_r = ứng suất đàn hồi bản biên dầm do TTSD gây ra (MPa);

R_h = Hệ số lai, với tiết diện đồng nhất thì $R_h = 1,0$.

Ta tính toán cho mặt cắt giữa nhịp là mặt cắt bất lợi nhất có : $M_a = 1,6.10^9$ Nmm

$$f_r = \frac{M_a}{S_{bot}} = \frac{1,63.10^9}{1,3.10^7} = 125,9 \text{ MPa} < 0,80 R_h F_{yf} = 0,8 * 1 * 345 = 276 \text{ MPa} \Rightarrow OK$$

4.2. Kiểm toán độ võng không bắt buộc (A2.5.2.6.2 & A3.6.1.3.2)

Độ võng của dầm phải thỏa mãn điều kiện sau đây:

$$\Delta \leq \Delta_{cp} = \frac{1}{800} L$$

Trong đó:

L = Chiều dài nhịp dầm (m);

Δ = Độ võng lớn nhất do hoạt tải ở TTGHSD, bao gồm cả lực xung kích, lấy trị số lớn hơn của:

+ Kết quả tính toán do chỉ một mình xe tải thiết kế, hoặc

+ Kết quả tính toán của 25% xe tải thiết kế cùng với tải trọng làn thiết kế.

Độ võng lớn nhất (tại mặt cắt giữa dầm) do xe tải thiết kế gây ra có thể lấy gần đúng ứng với trường hợp xếp xe sao cho mô men uốn tại mặt cắt giữa dầm là lớn nhất. Khi đó ta có thể sử dụng hoạt tải tương đương của xe tải thiết kế để tính toán.

Độ võng lớn nhất (tại mặt cắt giữa dầm) do tải trọng rải đều gây ra được tính theo công thức của lý thuyết đàn hồi như sau:

$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (56)$$

Trong đó:

w = Tải trọng rải đều trên dầm (N/m);

E = Mô đun đàn hồi của thép làm dầm (MPa); $E = 2.10^5$ MPa

I = Mô men quán tính của tiết diện dầm, bao gồm cả bản BTCT mặt cầu đối với dầm liên hợp (mm^4). $I = 7,1.10^9 \text{ mm}^4$

Tải trọng rải đều tương đương của xe tải thiết kế (đã nhân hệ số):

$$w_{truck} = 1,3mg_D * m * LL_{Mi}(1+IM) = 1,3*0,5*1*26,5*(1+0,25) = 21,5 \text{ N/mm}$$

Tải trọng rải đều tương đương của tải trọng làn thiết kế (đã nhân hệ số):

$$w_{lane} = 1,3mg_D * LL_L = 1,3*0,5*9,3 = 6,0 \text{ N/mm}$$

Mô men quán tính của tiết diện dầm: $I = 7,1.10^9 \text{ mm}^4$

Độ võng do xe tải thiết kế:

$$\Delta_1 = \frac{5w_{\text{truck}}L^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 21,5 \cdot 18000^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 7,1 \cdot 10^9} = 20,64(\text{mm})$$

Độ võng do tải trọng làn thiết kế

$$\Delta_2 = \frac{5w_{\text{lane}}L^4}{384EI} = \frac{5 \cdot 6 \cdot 18000^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 7,1 \cdot 10^9} = 5,79(\text{mm})$$

Độ võng do 25% xe tải thiết kế cùng với tải trọng làn

$$\Delta_3 = 0,25 \cdot 20,64 + 5,79 = 10,95(\text{mm})$$

Vậy độ võng lớn nhất là:

$$\Delta = 20,64 \text{ mm}$$

Độ võng cho phép là:

$$\Delta_{\text{cp}} = \frac{1}{800}L = \frac{18000}{800} = 22,5(\text{mm}) > \Delta = 20,64\text{mm} \Rightarrow \text{OK}$$

4.3. Tính toán độ võng ngược (A6.7.2)

Các cầu thép nên làm độ võng ngược trong khi chế tạo để bù lại độ võng do tĩnh tải không hệ số và trác dọc tuyến. Ở đây ta chỉ xét đến độ võng do tĩnh tải không hệ số của:

- + Tĩnh tải dầm thép và bản BTCT mặt cầu do tiết diện dầm thép chịu;
- + Tĩnh tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu do tiết diện liên hợp chịu.

Độ võng ngược hay độ võng tĩnh tải không hệ số được tính như sau:

$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI}$$

Tĩnh tải rải đều của dầm thép và bản BTCT mặt cầu: $w_{\text{DC}} = w_{\text{DC1}} + w_{\text{DC2}} = 8 + 2,7 = 10,7 \text{ N/mm}$

Tĩnh tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu : $w_{\text{DW}} = 2 \text{ N/mm}$

$$\Delta = \frac{5wL^4}{384EI} = \frac{5 \cdot (10,7 + 2) \cdot 18000^4}{384 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 7,1 \cdot 10^9} = 12,2(\text{mm})$$

V. KIỂM TOÁN DẦM THEO TTGH MỎI VÀ ĐÚT GÃY

5.1. Kiểm toán mỏi đối với vách đứng

5.1.1. Kiểm toán mỏi đối với vách đứng chịu uốn

Kiểm tra điều kiện ổn định uốn của vách đứng khi chịu tải trọng lặp

$$+ \text{ Nếu } \frac{2D_c}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}, \text{ thì } f_{cr} \leq R_h F_{yc}$$

$$+ \text{ Nếu không, thì } f_{cr} \leq 32,5E \left(\frac{t_w}{2D_c} \right)^2$$

Trong đó:

D_c = Chiều cao của vách chịu nén trong giai đoạn đàn hồi (mm), với dầm đối xứng kép thì $D_c = D/2 = 525\text{mm}$

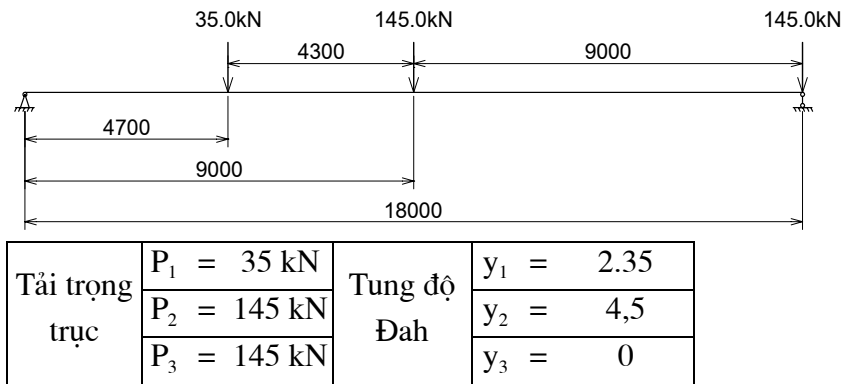
f_{cr} = ứng suất nén đàn hồi lớn nhất ở bản biên chịu nén khi uốn do tác dụng của tải trọng dài hạn chưa nhân hệ số và của tải trọng mỏi như quy định đại diện cho ứng suất nén khi uốn lớn nhất trong vách (MPa).

Thay số ta có: $\frac{2D_c}{t_w} = \frac{2 \cdot 525}{14} = 75 < 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}} = 5,70 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{345}} = 137$

Do đó, ứng suất nén đàn hồi lớn nhất phải thỏa mãn điều kiện:

$$f_{cf} \leq R_h F_{yc}$$

Xếp xe tải mỗi bất lợi nhất cho mặt cắt giữa dầm như sau:



Thay số vào ta có:

Mô men do xe tải mỗi tác dụng

$$M_{\text{truckf}} = P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 = 35 \cdot 2,35 + 145 \cdot 4,5 + 145 \cdot 0 = 734,8 \text{ (kNm)}$$

Tính tải rải đều của dầm thép và bản BTCT mặt cầu $w_{DC} = 10,7 \text{ kN/m}$

Tính tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu $w_{DW} = 2,0 \text{ kN/m}$

Mô men do tác dụng của tải trọng dài hạn $M_{DC+DW} = 515,3 \text{ kNm}$

$$\begin{aligned} \text{Tổng mômen mỗi là: } M_{cf} &= 2M_{\text{truckf}} \gamma_F (1+IM) \gamma + M_{DC+DW} = \\ &= 2 \cdot 734,8 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot (1+0,15) \cdot 0,75 + 515,3 \cdot 10^6 = 1,15 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\text{Vậy } f_{cf} = \frac{M_{cf}}{S_{\text{top}}} = \frac{1,15 \cdot 10^9}{1,3 \cdot 10^7} = 88,6 \text{ MPa} < R_h F_{yc} = 1 \cdot 345 = 345 \text{ MPa} \Rightarrow OK$$

5.1.2. Kiểm toán mỏi đối với vách đứng chịu lực cắt

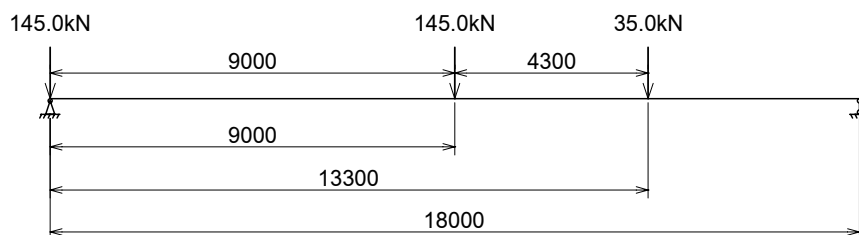
Ứng suất cắt đàn hồi lớn nhất trong vách do tác dụng của tải trọng dài hạn chưa nhân hệ số và của tải trọng mỏi phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$v_{cf} \leq 0,58 CF_{yw} \quad (59)$$

Trong đó:

v_{cf} = ứng suất cắt đàn hồi lớn nhất trong vách, do tác dụng của tải trọng dài hạn chưa nhân hệ số và của tải trọng mỏi như quy định (MPa).

Xếp xe tải mỗi bất lợi nhất cho mặt cắt gối dầm như sau:



Tải trọng trục	$P_1 = 35 \text{ kN}$	Tung độ Đah	$y_1 = 0,261$
	$P_2 = 145 \text{ kN}$		$y_2 = 0,5$
	$P_3 = 145 \text{ kN}$		$y_3 = 1$

Thay số vào ta có:

Lực cắt do xe tải mỗi tác dụng

$$V_{\text{truckf}} = P_1 y_1 + P_2 y_2 + P_3 y_3 = 35 \cdot 0,261 + 145 \cdot 0,5 + 145 \cdot 1 = 226,6 \text{ kN}$$

Tính tải rải đều của dầm thép và bản BTCT mặt cầu $w_{\text{DC}} = 10,7 \text{ kN/m}$

Tính tải lớp phủ mặt cầu và các tiện ích trên cầu $w_{\text{DW}} = 2,0 \text{ kN/m}$

Lực cắt do tác dụng của tải trọng dài hạn $V_{\text{DC+DW}} = 114,5 \text{ kN}$

$$\text{Lực cắt mỗi } V_{\text{cf}} = 2V_{\text{truckf}} m_{\text{GF}}(1+IM)\gamma + V_{\text{DC+DW}} = 2 \cdot 226,6 \cdot 10^3 \cdot 0,5(1+0,15) \cdot 0,75 + 114,5 \cdot 10^3 = 3,1 \cdot 10^5 \text{ (N)}$$

$$\text{Vậy } v_{\text{cf}} = \frac{V_{\text{cf}}}{A_w} = \frac{3,1 \cdot 10^5}{1050 \cdot 14} = 21,1 \text{ MPa} < 0,58 CF_{\text{yw}} = 0,58 \cdot 0,84 \cdot 345 = 167 \text{ (MPa)} \Rightarrow \text{OK}$$

5.2. Kiểm toán mỏi và đứt gãy

5.2.1. Kiểm toán mỏi

Thiết kế theo TTGH mỏi bao gồm giới hạn ứng suất do hoạt tải của xe tải thiết kế mỏi chỉ đạt đến một trị số thích hợp ứng với một số lần tác dụng lặp xảy ra trong quá trình phục vụ của cầu.

Công thức kiểm tra mỏi như sau:

$$(\Delta F)_n \geq \gamma(\Delta f)$$

Trong đó:

γ = Hệ số tải trọng mỏi, ta có $\gamma = 0,75$;

(Δf) = Biên độ ứng suất do xe tải mỏi gây ra (MPa);

$(\Delta F)_n$ = Sức kháng mỏi danh định (MPa).

* Tính biên độ ứng suất do xe tải mỏi gây ra (Δf) :

+ Đối với tiết diện không liên hợp:

$$\Delta f = \frac{M_{\text{cf}}}{S}$$

Trong đó:

S = Mô men kháng uốn của tiết diện dầm thép (mm^3);

M_{cf} = Mô men uốn tại mặt cắt giữa nhịp dầm do xe tải mỏi, có nhân hệ số, xếp ở vị trí bất lợi nhất gây ra.

$$M_{\text{cf}} = (1+IM)m_{\text{GF}}M_{\text{truckf}} = 1,15 \cdot 0,5 \cdot 1,15 \cdot 10^9 = 4,223 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Vậy } \gamma(\Delta f) = \gamma \left(\frac{M_{\text{cf}}}{S_{\text{bot}}} \right) = 0,75 \frac{4,223 \cdot 10^8}{1,3 \cdot 10^7} = 24,4 \text{ (MPa)}$$

* Tính sức kháng mỏi danh định $(\Delta F)_n$: (A6.6.1.2.5)

Ta có công thức tính toán như sau:

$$(\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \geq \frac{1}{2} (\Delta F)_{\text{TH}}$$

Trong đó:

$(\Delta F)_{TH}$, A = Ngưỡng ứng suất mỏi, hệ số cấu tạo, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào loại chi tiết cấu tạo của dầm thép;

+ Dầm thép hình cán $\Rightarrow$ Chi tiết cấu tạo loại A;

+ Dầm thép ghép hàn $\Rightarrow$ Chi tiết cấu tạo loại B.

N = Số chu kỳ biên độ ứng suất trong tuổi thọ thiết kế của cầu. Theo tiêu chuẩn thì tuổi thọ thiết kế của cầu là 100 năm, vậy:

$$N = (100\text{năm}) \times (365\text{ngày}) \times n \times (ADTT_{SL})$$

n = Số chu kỳ ứng suất của một xe tải, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào loại cấu kiện và chiều dài nhịp.

$ADTT_{SL}$ = Số xe tải/ngày trong một lần xe đơn tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế;

$$ADTT_{SL} = p \times ADTT$$

p = Một phần số lần xe tải trong một lần đơn, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào số lần xe có giá trị cho xe tải của cầu;

ADTT = Số xe tải /ngày theo một chiều tính trung bình trong tuổi thọ thiết kế:

$$ADTT = k \times ADT \times n_L$$

ADT = Số lượng giao thông trung bình hàng ngày/một làn.;

k = Tỷ lệ xe tải trong luồng, tra bảng theo quy định, phụ thuộc vào cấp đường thiết kế.

Ta có:

Tra bảng A6.6.1.2.5-1, với chi tiết loại B:

$$A = 3.93.10^{12} \text{ MPa}^3$$

Tra bảng A6.6.1.2.5-3, với chi tiết loại B:

$$(\Delta F)_{TH} = 110 \text{ MPa}$$

Tra bảng A6.6.1.2.5-2, với dầm giản đơn và L = 18m: n

$$n = 1.0$$

Tra bảng A3.6.1.4.2-1, với số làn xe n = 2 làn:

$$p = 0.85$$

$$ADT = 20000 \text{ xe/ngày/làn}$$

$$k = 0.20$$

$$ADTT = 8000 \text{ xe/ngày}$$

$$N = 2.5.10^8 \text{ chu kỳ}$$

$$\text{Vậy } (\Delta F)_n = \left(\frac{A}{N} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{3.93.10^{12}}{2.5.10^8} \right)^{\frac{1}{3}} = 25,1 \text{ MPa}$$

$$\text{Và } \frac{1}{2}(\Delta F)_{TH} = \frac{1}{2}110 = 55 \text{ MPa}$$

Do đó $(\Delta F)_n = 55 \text{ MPa}$

Và $(\Delta F)_n = 55 \text{ MPa} > \gamma(\Delta f) = 24,4 \text{ MPa} \Rightarrow \text{OK}$

5.2.2. Kiểm toán đứt gãy

Vật liệu thép làm dầm phải có độ dẻo dai chống đứt gãy theo quy định của tiêu chuẩn. Thép sử dụng theo các tiêu chuẩn của AASHTO là thoả mãn.

VI. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ SƯỜN TĂNG CƯỜNG

6.1. Bố trí STC đứng:

Ta có : $3D = 3 \cdot 1050 = 3150 \text{ mm}$

Vậy ta chọn:

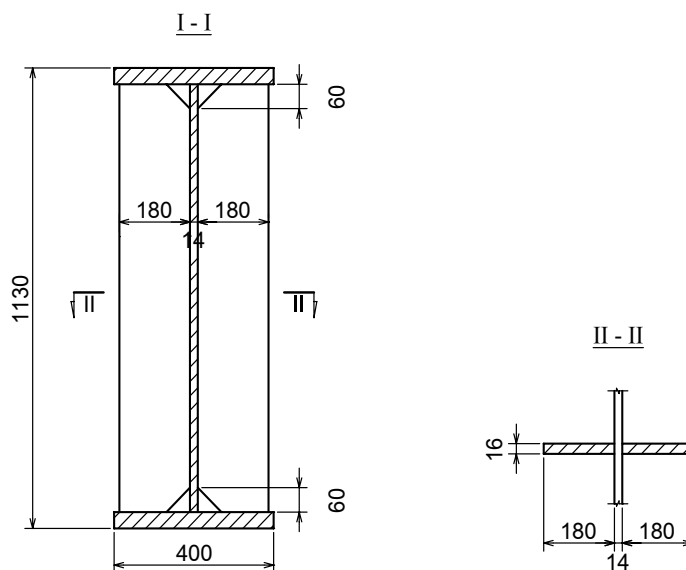
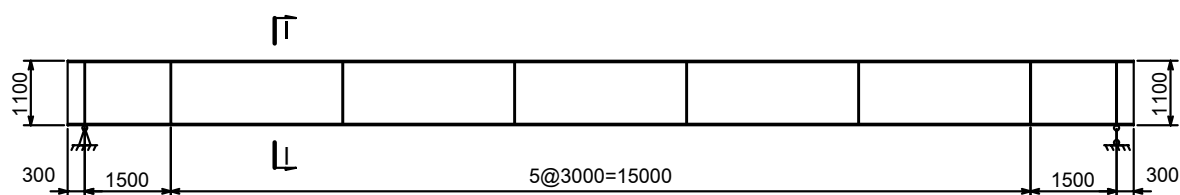
Khoảng cách giữa các STC đứng trung gian (khoảng trong): $d_0 = 3000 \text{ mm}$

Khoảng cách khoảng cuối (khoảng biên): $d_{01} = 1500 \text{ mm}$

Chiều rộng của STC đứng trung gian: $b_p = 180 \text{ mm}$

Chiều dày của STC đứng trung gian: $t_p = 16 \text{ mm}$

Ta có hình vẽ bố trí STC đứng như sau:



6.2. Kiểm toán STC đứng trung gian

6.2.1. Kiểm toán độ mảnh

Chiều rộng và chiều dày của STC đứng trung gian phải được giới hạn về độ mảnh để ngăn mất ổn định cục bộ của vách dầm: (A 10.8.1.2)

$$50 + \frac{d}{30} \leq b_p \leq 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}};$$

và

$$0,25b_r \leq b_p \leq 16,0t_p.$$

Trong đó:

d = Chiều cao mặt cắt dầm thép (mm);

t_p = Chiều dày STC (mm);

b_p = Chiều rộng STC (mm);

F_{ys} = Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của STC (MPa);

b_f = Chiều rộng bản cách của dầm (mm).

Thay số ta có:

$$50 + \frac{d}{30} = 50 + \frac{1100}{30} = 86,7 < b_p = 120 < 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0,48 * 16 \sqrt{\frac{2.10^5}{345}} = 184,91$$

$$0,25b_f = 0,25 * 400 = 100 < b_p = 120 < 16,0t_p = 16 * 16 = 256 \text{ mm} \Rightarrow \text{OK}$$

6.2.2. Kiểm toán độ cứng

STC đứng trung gian xác định đường bao đứng của khoang vách. Do đó, chúng cần đủ độ cứng để giữ quan hệ tương đối thẳng và cho phép vách phát triển cường độ sau mất ổn định (để làm nhiệm vụ neo cho trường căng).

Độ cứng của nó phải thỏa mãn các phương trình sau: (A6.10.8.1.3)

$$I_t \geq d_0 t_w^3 J \text{ và}$$

$$J = 2,5 \left(\frac{D_p}{d_0} \right)^2 - 2,0 \geq 0,5$$

Trong đó:

d_0 = Khoảng cách giữa các STC đứng trung gian (mm);

D_p = Chiều cao D của vách không có STC dọc hoặc chiều cao phụ lớn nhất của vách có STC dọc. Ta chỉ xét trường hợp không có STC dọc, nên $D_p = D$ (mm);

I_t = Mô men quán tính của tiết diện STC đứng trung gian lấy đối với mặt tiếp xúc với vách khi là STC đơn và với điểm giữa chiều dày vách khi là STC kép (mm⁴).

Ta có:

$$D_p = 1050 \text{ mm}$$

$$d_0 = 3000 \text{ mm}$$

$$J = 0,5$$

$$t_w = 14 \text{ mm}$$

$$b_p = 180 \text{ mm}$$

$$t_p = 16 \text{ mm}$$

Thay số vào ta được:

$$I_t = 2 \left[\frac{t_p b_p^3}{12} + t_p b_p \left(\frac{b_p + t_w}{2} \right)^2 \right] = 2 \left[\frac{16 * 180^3}{12} + 16 * 180 \left(\frac{180 + 14}{2} \right)^2 \right] = 6,97.10^7$$

$$> d_0 t_w^3 \left(2,5 \left(\frac{D_p}{d_0} \right)^2 - 2,0 \right) = 3000 * 14^3 \left(2,5 \left(\frac{1050}{3000} \right)^2 - 2 \right) = 4,12.10^6 (\text{mm}^4)$$

$\Rightarrow \text{OK}$

6.2.3. Kiểm toán cường độ

Diện tích tiết diện ngang của STC đứng trung gian phải đủ lớn để chống lại thành phần thẳng đứng của ứng suất xiên trong vách. (A6.10.8.1.4)

$$A_s \geq \left[0,15BDt_w (1-C) \frac{V_u}{V_r} - 18t_w^2 \right] \left(\frac{F_{yw}}{F_{ys}} \right) \quad (71)$$

Trong đó:

V_r = Sức kháng cắt tính toán của vách dầm (N);

V_u = Lực cắt do tải trọng tính toán ở TTGHCCI (N);

A_s = Diện tích STC, tổng diện tích của cả đôi STC (mm²);

B = Hệ số, được xác định như sau:

+ STC kép bằng thép tấm hình chữ nhật, $B = 1,0$;

+ STC đơn bằng thép tấm hình chữ nhật, $B = 2,4$;

+ STC đơn bằng thép góc, $B = 1,8$.

F_{yw} = Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của vách dầm (MPa);

F_{ys} = Cường độ chảy nhỏ nhất quy định của STC (MPa);

Ta có:

Với STC kép bằng thép tấm, thì:

$$B = 1.00$$

Như trên ta có

$$C = 0.84$$

Ta xét STC đứng liền kề STC gối là bất lợi nhất, khi đó:

$$V_{u(xi=1,5m)} = 399901,5 \text{ N}$$

$$V_r = 2598960 \text{ N}$$

Thay số vào ta có:

$$\begin{aligned} A_s &= 2t_p b_p = 2 * 180 * 16 = 5760 > \left[0,15BDt_w (1-C) \frac{V_u}{V_r} - 18t_w^2 \right] \left(\frac{F_{yw}}{F_{ys}} \right) = \\ &= \left[0,15 * 1 * 1050 * 14 * (1 - 0,84) \frac{399901,5}{2598960} - 18 * 14^2 \right] \left(\frac{345}{345} \right) = -3472,6 (\text{mm}^2) \\ &\Rightarrow OK \end{aligned}$$

6.3. Kiểm toán STC gối

6.3.1. Chọn kích thước STC gối:

Ta chọn như sau:

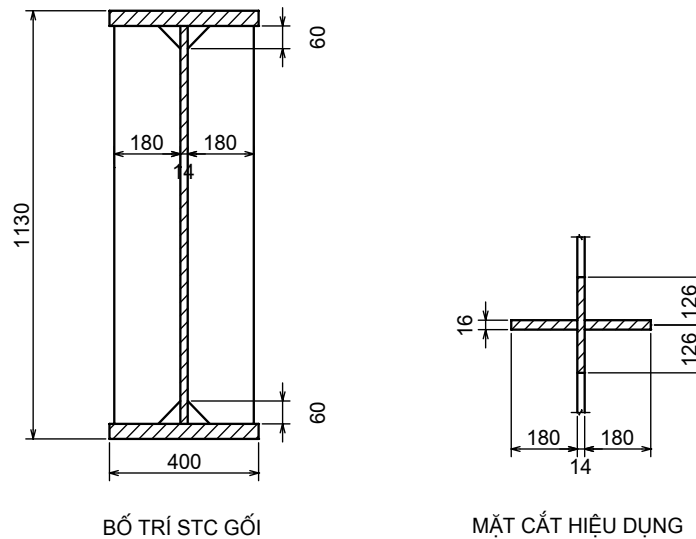
Chiều rộng của STC gối: $b_p = 180 \text{ mm}$

Chiều dày của STC gối: $t_p = 16 \text{ mm}$

Số đôi STC gối: $n_g = 1 \text{ đôi}$

Chiều rộng đoạn vát góc của STC gối: $4t_w = 56 \text{ mm}$

Ta có hình vẽ kích thước STC gối như sau:



6.3.2. Kiểm toán độ mảnh

STC gối được thiết kế như một phần tử chịu nén, gồm một đôi hoặc hơn các bản thép hình chữ nhật đặt đối xứng về mỗi bên của bản vách dầm.

Độ mảnh của STC gối phải thỏa mãn điều kiện sau: (A6.10.8.2.2)

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

Trong đó:

b_p = Chiều rộng của STC gối (mm);

t_p = Chiều dày của STC gối (mm).

Thay số vào ta có:

$$b_p = 180 < 0,48t_p \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0,48 * 16 * \sqrt{\frac{2.10^5}{345}} = 185(\text{mm}) \Rightarrow \text{OK}$$

6.3.3. Kiểm toán sức kháng tựa

Sức kháng tựa tính toán, B_r phải được lấy như sau:

$$B_r = \phi_b A_{pu} F_{ys} \geq R_u = V_u$$

Trong đó:

ϕ_b = Hệ số sức kháng tựa theo quy định; (A6.5.4.2) ($\phi_b = 1,0$)

A_{pu} = Diện tích phần chìa của STC gối ở bên ngoài các đường hàn bản bụng vào bản cánh, nhưng không vượt ra ngoài mép của bản cánh (mm^2).

Thay số vào ta có:

$$\begin{aligned} B_r &= \phi_b A_{pu} F_{ys} = \phi_b 2t_p(b_p - 4t_w)F_{ys} = 1 * 2 * (180 - 56) * 16 * 345 = 1369860 \text{ N} \\ &> R_u = V_u = 481136,5 \text{ (N)} \Rightarrow \text{OK} \end{aligned}$$

6.3.3. Kiểm toán sức kháng nén dọc trục

STC gối cộng một phần vách phối hợp như một cột để chịu lực nén dọc trục.

Đối với các STC được bắt bu lông vào bản bụng, mặt cắt hiệu dụng của cột chỉ bao gồm các cấu kiện của STC.

Đối với STC được hàn vào bản bụng, diện tích có hiệu của tiết diện cột được lấy bằng diện tích tổng cộng các thành phần của STC và một đoạn vách nằm tại trọng tâm không lớn hơn $9t_w$ sang mỗi bên của các cấu kiện phía ngoài của nhóm STC gối.

Sức kháng nén dọc trục có hệ số được tính như sau:

$$P_r = \varphi_c P_n \geq R_u = V_u$$

Trong đó:

φ_c = Hệ số kháng nén theo quy định; (A6.5.4.2) ($\varphi_c = 0,9$)

P_n = Sức kháng nén danh định, được xác định như sau: (A4.6.2.5)

+ Nếu $\lambda \leq 2,25$ thì $P_n = 0,66^\lambda F_{ys} A_s$

+ Nếu $\lambda > 2,25$ thì $P_n = 0,88 F_{ys} A_s / l$

Trong đó:

$$\lambda = \left(\frac{kl}{\pi r} \right)^2 \frac{F_y}{E}$$

A_s = Diện tích mặt cắt nguyên (mm^2);

k = Hệ số chiều dài hiệu dụng theo quy định. Với trường hợp liên kết hàn ở hai đầu thì $k = 0,75$ (A4.6.2.5)

l = Chiều dài không giằng (mm) = chiều cao vách D (mm);

r = bán kính quán tính của tiết diện cột (mm);

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_s}} \text{ (mm);}$$

I = Mômen quán tính của tiết diện cột đối với trục trung tâm của vách (mm^4).

Thay số vào ta có:

$$\begin{aligned} A &= 9288 \text{ mm}^2 \\ I &= 69747840 \text{ mm}^4 \\ r &= 86,7 \text{ mm} \\ l &= 1050 \text{ mm} \\ k &= 0,75 \\ kl/r &= 9,1 \\ \lambda &= 0,0144 \\ \lambda &< 2,25 \\ P_n &= 3185199 \text{ N} \end{aligned}$$

Lúc đó:

$$P_r = \varphi_c P_n = 0,9 * 3185199 = 2866679 \text{ N} > R_u = V_u = 481136,5 \text{ (N)} \Rightarrow OK$$

VII. TÍNH TOÁN THIẾT KẾ MỐI NỐI CÔNG TRƯỜNG

7.1. Chọn vị trí mối nối công trường

Ta phải bố trí các mối nối dầm do chiều dài vật liệu cung cấp thường bị hạn chế, yêu cầu cấu tạo, điều kiện sản xuất, cũng như khả năng vận chuyển và lắp ráp bị hạn chế;

Vị trí mối nối thường nên tránh chỗ có mô men lớn. Đối với dầm giản đơn, ta thường bố trí ở chỗ $(1/4 \div 1/3)L$ và đối xứng với nhau qua mặt cắt giữa dầm.

Ở đây, ta chia dầm thành ba đoạn: (Chú ý chiều dài toàn dầm là $L_d = L + 2*0,6 = 18,6\text{m}$)

Do đó, vị trí mối nối công trường cách gối một đoạn: $x_{mn} = 5,9\text{m}$ (gối bố trí cách đầu dầm 300mm)

Ta có:

Mômen tại vị trí mối nối ở TTGHCDI: $M_{CD} = 1.86.10^9 \text{ Nmm}$

Mômen tại vị trí mối nối ở TTGHSD: $M_{SD} = 1.48.10^9 \text{ Nmm}$

Lực cắt tại vị trí mối nối ở TTGHCDI: $V_{CD} = 2.53.10^5 \text{ N}$

Lực cắt tại vị trí mối nối ở TTGHSD: $V_{SD} = 2.00.10^5 \text{ N}$

7.2. Tính toán lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh

7.2.1. Tính toán ứng suất ở điểm giữa bản cánh

Bảng ứng suất tại điểm giữa bản cánh dầm thép ở TTGHCDI và SD

TTGH	M (N.mm)	$S_{botmid} \text{ (mm}^3\text{)}$	$S_{topmid} \text{ (mm}^3\text{)}$	$f_{botmid} \text{ (MPa)}$	$f_{topmid} \text{ (MPa)}$
CDI	$1,858.10^9$	$1.326.10^7$	$1.326.10^7$	140	140
SD	$1,475.10^9$	$1.326.10^7$	$1.326.10^7$	111.2	111,2

7.2.2. Tính toán lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh

Ứng suất thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh dưới chịu kéo của TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$F_{tbot} = \frac{[f_{botmid} + \varphi_y F_{yf}]}{2} \geq 0,75\varphi_y F_{yf}$$

Trong đó:

f_{botmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh dưới ở TTGHCDI;

φ_y = Hệ số kháng theo quy định; (A6.5.4.2) ($\varphi_y = 0,95$)

Ứng suất thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh trên chịu nén của TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$F_{ctop} = \frac{[f_{topmid} + \varphi_c F_{yf}]}{2} \geq 0,75\varphi_c F_{yf}$$

Trong đó:

f_{topmid} = ứng suất tại điểm giữa bản cánh trên ở TTGHCDI;

φ_c = Hệ số kháng theo quy định; (A6.5.4.2) ($\varphi_c = 0,9$)

Từ đó ta có:

Bảng lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh dầm thép ở TTGHCDI

Vị trí	f (MPa)	$\phi F_y \text{ (MPa)}$	F (MPa)	A (mm ²)	P (N)
Cánh dưới	140	327.8	245.8	10000	2458125
Cánh trên	140	310.5	232.9	10000	2328750

Bảng lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh dầm thép ở TTGHSD

Vị trí	F = f (MPa)	A (mm ²)	P (N)
Cánh dưới	111	10000	1112272
Cánh trên	111	10000	1112272

7.3. Thiết kế mối nối cánh

7.3.1. Chọn kích thước mối nối

Mối nối được thiết kế theo phương pháp thử - sai, tức là ta lần lượt chọn kích thước mối nối dựa vào kinh nghiệm và các quy định khống chế của tiêu chuẩn thiết kế, rồi kiểm toán lại, nếu không đạt thì ta phải chọn lại và kiểm toán lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi thoả mãn.

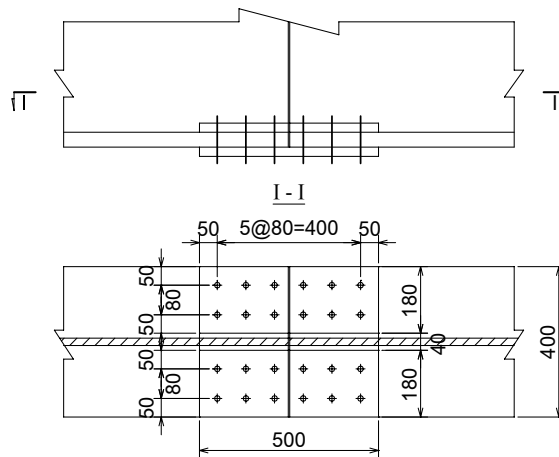
Ta sơ bộ chọn kích thước mối nối như sau:

- Kích thước bản nối ngoài = dày × rộng × dài: $14 \times 400 \times 500$ mm
- Kích thước bản nối trong = dày × rộng × dài: $14 \times 180 \times 500$ mm
- Đường kính bu lông CĐC: $d = 22$ mm
- Sử dụng lỗ tiêu chuẩn: $h = 24$ mm
- Số bu lông mỗi bên mối nối: $N = 12$ bu lông

Bu lông được bố trí thành 4 hàng, mỗi hàng 3 bu lông:

- Khoảng cách giữa các bu lông theo phương dọc dầm: $S_l = 80$ mm
- Khoảng cách giữa các bu lông theo phương ngang dầm: $S_h = 80$ mm

Ta có hình vẽ mối nối đã chọn như sau:



BỐ TRÍ MỐI NỐI BẢN CÁNH

Sau đây ta chỉ tính toán cho bản cánh dưới, bản cánh trên được lấy tương tự.

7.3.2. Kiểm toán khoảng cách của các bu lông CĐC (A6.13.2.6)

7.3.2.1. Khoảng cách tối thiểu

Khoảng cách tối thiểu từ tim đến tim các bu lông phải thoả mãn:

$$S_{\min} = 3d = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$$

Kiểm toán khoảng cách giữa các bu lông theo công thức:

$$\min(S_l, S_h) \geq S_{\min}$$

Trong đó:

S_l = Khoảng cách giữa các bu lông theo phương dọc dầm (mm);

S_h = Khoảng cách giữa các bu lông theo phương ngang dầm (mm).

Thay số vào ta có:

$$\min(S_l, S_h) = \min(80, 80) = 80 > S_{\min} = 66 \text{ (mm)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.3.2.2. Khoảng cách tối đa

Để đảm bảo ép xít mối nối, chống ả; khoảng cách tối đa từ tim đến tim các bu lông của hàng bu lông liền kề với cạnh tự do của bản nối hay thép hình phải thỏa mãn:

$$S \leq (100 + 4,0t) \leq 175$$

Trong đó:

t = Chiều dày nhỏ hơn của bản nối hay thép hình (mm);

Thay số vào ta có:

$$S = 80 < (100 + 4,0t) = 100 + 4 \cdot 14 = 156 < 175 \Rightarrow \text{OK}$$

7.3.2.3. Khoảng cách đến mép cạnh

Khoảng cách nhỏ nhất từ tim bu lông đến mép thanh phải thỏa mãn theo quy định, Bảng A.6.13.2.6.6-1;

Khoảng cách lớn nhất từ tim bu lông đến mép thanh không lớn hơn 8 lần chiều dày của bản nối mỏng nhất hoặc 125mm.

Kiểm toán khoảng cách đến mép cạnh theo công thức sau:

$$S_{\min} \leq S_e \leq S_{\max}$$

Trong đó:

$S_{\min}$ = Khoảng cách nhỏ nhất từ tim bu lông tới mép thanh (mm); (Tra bảng)

$S_{\max}$ = Khoảng cách lớn nhất từ tim bu lông tới mép thanh (mm); (Tra bảng)

S_e = Khoảng cách tim bu lông ngoài cùng tới mép thanh (mm).

Thay số vào ta có:

$$S_{\min} = 38 < S_e = 50 < S_{\max} = 112 \text{ (mm)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.3.3. Kiểm toán sức kháng cắt của bu lông CĐC

Sức kháng cắt tính toán của bu lông CĐC ở THGHCD được xác định như sau:

$$R_{rs} = \varphi_s R_{ns}$$

Trong đó:

φ_s = Hệ số sức kháng cho bu lông A325M (A490M) chịu cắt theo quy định; (A6.5.4.2) ($\varphi_s = 0,8$)

R_{ns} = Sức kháng cắt danh định của bu lông CĐC theo quy định, dùng bu lông có chiều dài sao cho đường ren răng nằm ngoài mặt phẳng cắt, ta có:

$$R_{n1} = 0,48 A_b F_{ub} N_s$$

Trong đó:

A_b = Diện tích bu lông theo đường kính danh định (mm²); $A_b = 380,1 \text{ mm}^2$

F_{ub} = Cường độ chịu kéo nhỏ nhất của bu lông (MPa); (A6.4.3); $F_{ub} = 830 \text{ MPa}$

N_s = Số mặt phẳng cắt cho mỗi bu lông. $N_s = 2$.

Thay số vào ta có:

$$R_{ns} = 0,48 A_b F_{ub} N_s = 0,48 \cdot 380,1 \cdot 830 \cdot 2 = 302890 \text{ N}$$

$$\text{Vậy } R_{rs} = \varphi_s R_{ns} = 0,8 \cdot 302890 = 242311,8 \text{ N}$$

Giả thiết lực cắt phân bố đều cho các bu lông, nên lực cắt tác dụng lên một bu lông ở TTGHCDI được xác định như sau:

$$R_u = P_u / N$$

Sức kháng cắt của bu lông CĐC ở THGHCDI phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_u \leq R_{rs}$$

Trong đó:

P_u = Lực thiết nhỏ nhất trong bản cánh TTGHCDI (N);

N = Số bu lông ở một bề mặt nối;

R_{rs} = Sức kháng cắt tính toán của một bu lông CĐC theo quy định (A6.13.2.7).

Thay số vào ta có:

$$R_u = P_u/N = 2458125/12 = 204844 < R_{rs} = 242311,8 \text{ (N)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.3.4. Kiểm toán sức kháng ép mặt của bu lông CĐC

Sức kháng ép mặt tính toán của bu lông CĐC ở THGHCD được xác định như sau:

$$R_{rbb} = \phi_{bb} R_{n2}$$

Trong đó:

ϕ_{bb} = Hệ số sức kháng ép mặt bu lông trên vật liệu theo quy định; (A6.5.4.2) ($\phi_{bb} = 0,8$)

R_{nbb} = Sức kháng ép mặt danh định của bu lông cường độ cao theo quy định, ở đây ta có:

$$R_{n2} = 2,4dtF_u$$

Trong đó:

t = Chiều dày bản nối (mm); $t = 25 \text{ mm}$

F_u = Cường độ chịu kéo của vật liệu liên kết (MPa). $F_u = 450 \text{ MPa}$

Thay số vào ta có:

$$R_{nbb} = 2,4dtF_u = 2,4 \cdot 22 \cdot 25 \cdot 450 = 594000 \text{ N}$$

$$\text{Vậy: } R_{rb} = \phi_{bb} R_{nbb} = 0,8 \cdot 594000 = 475200 \text{ N}$$

Sức kháng ép mặt của bu lông CĐC ở THGHCDI phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_u \leq R_{rbb}$$

Trong đó:

R_{rbb} = Sức kháng ép mặt tính toán của một bu lông CĐC theo quy định (A6.13.2.9).

$$R_u = P_u/N = 2458125/12 = 204844 < R_{r2} = 475200 \text{ (N)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.3.5. Kiểm toán sức kháng trượt của bu lông CĐC

Giả thiết lực cắt phân bố đều cho các bu lông, nên lực cắt tác dụng lên một bu lông ở TTGHSD được xác định như sau:

$$R_a = P_a/N \quad (87)$$

Sức kháng trượt của bu lông CĐC ở THGHSD phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_a \leq R_r = R_n \quad (88)$$

Trong đó:

P_a = Lực thiết kế nhỏ nhất trong bản cánh ở TTGHSD (N);

R_n = Sức kháng trượt của bu lông CĐC theo quy định (A6.13.2.8), được xác định như sau:

$$R_n = K_h K_s N_s P_t$$

Trong đó:

N_s = Số lượng mặt ma sát cho mỗi bu lông; $N_s = 2$

P_t = Lực căng tối thiểu yêu cầu trong bu lông theo quy định (A6.13.2.8-1);

$$P_t = 221000 \text{ N}$$

K_h = Hệ số kích thước lỗ theo quy định (A6.13.2.8-2);

Sử dụng lỗ tiêu chuẩn nên: $K_h = 1,0$

K_s = Hệ số điều kiện bề mặt theo quy định (A6.13.2.8-3).

Sử dụng bề mặt loại A, do đó: $K_s = 0,33$

Thay số vào ta có:

$$R_r = R_n = K_h K_s N_s P_t = 1 \cdot 0,33 \cdot 2 \cdot 221000 = 145860 \text{ N}$$

$$R_a = P_a / N = 1112272 / 12 = 92689 < R_r = 145860 \text{ (N)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.4. Tính toán thiết kế mối nối bụng dầm

7.4.1. Chọn kích thước mối nối

Mối nối được thiết kế theo phương pháp thử - sai, tức là ta lần lượt chọn kích thước mối nối theo kinh nghiệm, rồi kiểm toán lại, nếu không đạt thì ta phải chọn lại và kiểm toán lại. Quá trình được lặp lại cho đến khi thoả mãn.

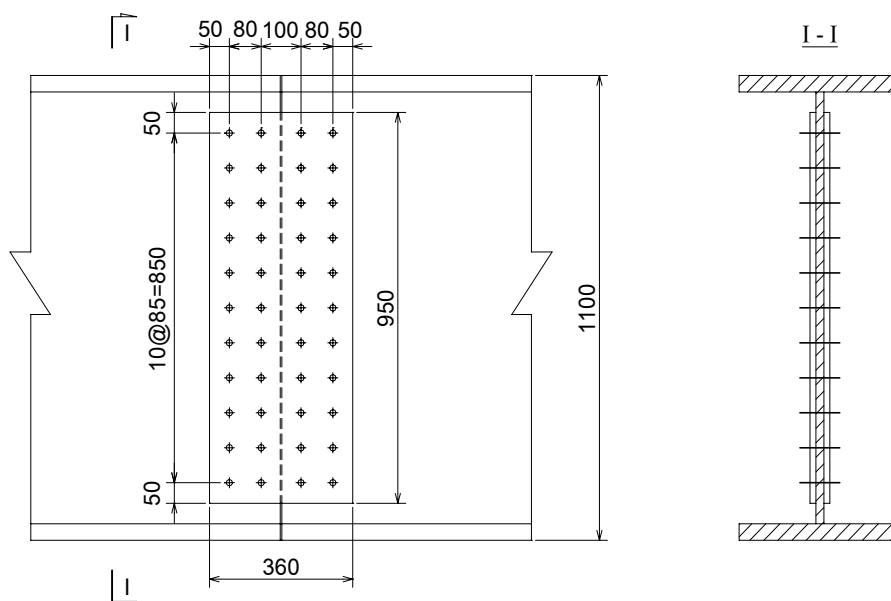
Ta sơ bộ chọn kích thước mối nối như sau:

- Kích thước bản nối = dày $\times$ rộng $\times$ dài: $10 \times 360 \times 950 \text{ mm}$
- Đường kính bu lông CĐC: $d = 22 \text{ mm}$
- Sử dụng lỗ tiêu chuẩn: $h = 24 \text{ mm}$
- Số bu lông mỗi bên mối nối: $N = 22 \text{ bu lông}$

Bu lông được bố trí thành 2 cột, mỗi cột 11 bu lông:

- Khoảng cách giữa các bu lông theo phương dọc dầm: $S_l = 80 \text{ mm}$
- Khoảng cách giữa các bu lông theo phương đứng: $S_v = 85 \text{ mm}$

Ta có hình vẽ mối nối đã chọn như sau:



BỐ TRÍ MỐI NỐI BỤNG BỤNG

7.4.2. Tính toán lực cắt thiết kế nhỏ nhất

Lực cắt thiết kế nhỏ nhất ở TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$V = \frac{(V_u + V_r)}{2} \geq 0,75V_r$$

Trong đó:

V_u = Lực cắt có hệ số tác dụng lên dầm tại vị trí mỗi nối ở THTTCĐI (N);

$$V_u = 252810 \text{ N}$$

V_r = Sức kháng cắt tính toán của dầm tại vị trí mỗi nối (N).

$$V_r = 2598960 \text{ N}$$

Thay số vào ta có:

$$V_{CD} = \max\left(\frac{(V_u + V_r)}{2}; 0,75V_r\right) = \max\left(\frac{252810+2598960}{2}, 0,75 \cdot 2598960\right) = \\ = \max(1425884, 7; 1949220) = 1949220(\text{N})$$

Lực cắt thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSD được xác định theo công thức sau:

$$V = V_u^{SD}$$

Trong đó:

V_u = Lực cắt có hệ số tác dụng lên dầm tại vị trí mỗi nối ở THTTSD (N).

Ta có:

$$V = V_u^{SD} = 199874,3 \text{ N}$$

7.4.3. Tính toán mô men và lực ngang thiết kế nhỏ nhất

Mô men thiết kế nhỏ nhất ở TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$M = M_v + M_w$$

Trong đó:

M_v = Mô men do lực cắt thiết kế tại vị trí mỗi nối ở TTGHCDI tác dụng lệch tâm với trọng tâm nhóm đỉnh ở mỗi bên mỗi nối gây ra:

$$M_v = V \cdot e = 1949220 \cdot 90 = 1,75 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

Trong đó:

V = Lực cắt thiết kế nhỏ nhất tại vị trí mỗi nối ở TTGHCDI (N); $V = 1949220 \text{ N}$

e = Độ lệch tâm của nhóm đỉnh ở mỗi bên mỗi nối, lấy bằng khoảng cách từ trọng tâm của nhóm đỉnh mỗi bên mỗi nối tới tim mỗi nối (mm); $e = 90 \text{ mm}$

M_w = Phần mô men tác dụng lên phần bản bụng, do mô men uốn tại vị trí mỗi nối ở TTGHCDI gây ra:

$$M_w = \frac{t_w D^2}{12} (F_{tbot} + F_{ctop})$$

Trong đó:

F_{tbot}, F_{ctop} = ứng suất thiết kế nhỏ nhất tại trọng tâm bản cánh dưới, cánh trên ở TTGHCDI (N/mm^2).

Thay số vào ta có:

$$M_w = \frac{t_w D^2}{12} (F_{tbot} + F_{ctop}) = \frac{14 \cdot 1050^2}{12} (245,8 + 232,9) = 6,16 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

Vậy mô men thiết kế nhỏ nhất ở TTGHCDI là:

$$M = M_v + M_w = 1,75.10^8 + 6,16.10^8 = 7,91.10^8 \text{ Nmm}$$

Lực ngang thiết kế nhỏ nhất ở TTGHCDI được xác định theo công thức sau:

$$H = \frac{t_w D}{2} (F_{tbot} - F_{ctop})$$

Trong đó:

F_{tbot}, F_{ctop} = ứng suất thiết kế nhỏ nhất tại trọng tâm bản cánh dưới, cánh trên ở TTGHCDI (N/mm²).

Thay số vào ta có:

$$H = \frac{t_w D}{2} (F_{tbot} - F_{ctop}) = \frac{14 \cdot 1050}{2} (245,8 - 232,9) = 95090,6 \text{ N}$$

Mô men thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSD được xác định theo công thức sau:

$$M = M_v + M_w$$

Trong đó:

M_v = Mô men do lực cắt thiết kế tại vị trí mỗi nối ở TTGHSD tác dụng lệch tâm với trọng tâm nhóm đỉnh ở mỗi bên mỗi nối gây ra:

$$M_v = V \cdot e = 199874,3 \cdot 90 = 1,8 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Trong đó:

V = Lực cắt thiết kế nhỏ nhất tại vị trí mỗi nối ở TTGHSD (N); $V = 199874,3 \text{ N}$

e = Độ lệch tâm của nhóm đỉnh ở mỗi bên mỗi nối, lấy bằng khoảng cách từ trọng tâm của nhóm đỉnh mỗi bên mỗi nối tới trục mỗi nối (mm); $e = 90 \text{ mm}$

M_w = Phần mô men bản bụng chịu, do mô men uốn tại vị trí mỗi nối ở TTGHSD gây ra:

$$M_w = \frac{t_w D^2}{12} (F_{tbot} + F_{ctop})$$

Trong đó:

F_{tbot}, F_{ctop} = ứng suất thiết kế nhỏ nhất tại trọng tâm bản cánh dưới, cánh trên ở TTGHSD (N/mm²).

Thay số vào ta có:

$$M_w = \frac{t_w D^2}{12} (F_{tbot} + F_{ctop}) = \frac{14 \cdot 1050^2}{12} (111 + 111) = 2,86 \cdot 10^8$$

Vậy mô men thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSD là:

$$M = M_v + M_w = 1,8 \cdot 10^7 + 2,86 \cdot 10^8 = 3,04 \cdot 10^8 \text{ Nmm}$$

Lực ngang thiết kế nhỏ nhất ở TTGHSD được xác định theo công thức sau:

$$H = \frac{t_w D}{2} (F_{tbot} - F_{ctop})$$

Trong đó:

F_{tbot}, F_{ctop} = ứng suất thiết kế nhỏ nhất tại trọng tâm bản cánh dưới, cánh trên ở TTGHSD (N/mm²).

Thay số vào ta có:

$$H = \frac{t_w D}{2} (F_{tbot} - F_{ctop}) = \frac{14 \cdot 1050}{2} (111 - 111) = 0$$

7.4.4. Kiểm toán khoảng cách của các bu lông CĐC**7.4.4.1. Khoảng cách tối thiểu**

Khoảng cách tối thiểu từ tim đến tim các bu lông phải thỏa mãn:

$$S_{\min} = 3d = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm}$$

Kiểm toán khoảng cách giữa các bu lông theo công thức:

$$\min(S_l, S_v) \geq S_{\min}$$

Trong đó:

S_l = Khoảng cách giữa các bu lông theo phương dọc dầm (mm);

S_v = Khoảng cách giữa các bu lông theo phương đứng (mm).

Thay số vào ta có:

$$\min(S_l, S_v) = \min(80, 75) = 75 > S_{\min} = 66 \text{ (mm)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.4.4.2. Khoảng cách tối đa

Để đảm bảo ép xít mối nối, chống ảm; khoảng cách tối đa từ tim đến tim các bu lông của hàng bu lông liền kề với cạnh tự do của bản nối hay thép hình phải thỏa mãn:

$$S \leq (100 + 4,0t) \leq 175$$

Trong đó:

t = Chiều dày nhỏ hơn của bản nối hay thép hình (mm);

Thay số vào ta có:

$$S = 75 < (100 + 4,0t) = 100 + 4 \cdot 10 = 140 < 175 \Rightarrow \text{OK}$$

7.4.4.3. Khoảng cách đến mép cạnh

Khoảng cách nhỏ nhất từ tim bu lông đến mép thanh phải thỏa mãn theo quy định, Bảng A.6.13.2.6.6-1;

Khoảng cách lớn nhất từ tim bu lông đến mép thanh không lớn hơn 8 lần chiều dày của bản nối mỏng nhất hoặc 125mm.

Kiểm toán khoảng cách đến mép cạnh theo công thức sau:

$$S_{\min} \leq S_e \leq S_{\max}$$

Trong đó:

$S_{\min}$ = Khoảng cách nhỏ nhất từ tim bu lông tới mép thanh (mm); (Tra bảng)

$S_{\max}$ = Khoảng cách lớn nhất từ tim bu lông tới mép thanh (mm); (Tra bảng)

S_e = Khoảng cách từ tim bu lông ngoài cùng tới mép thanh (mm).

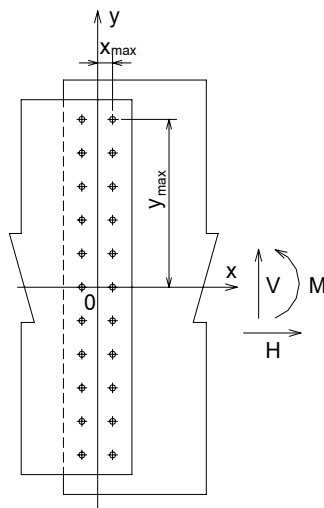
Thay số vào ta có:

$$S_{\min} = 38 < S_e = 50 < S_{\max} = 80 \text{ (mm)} \Rightarrow \text{OK}$$

7.4.5. Lực cắt tính toán trong một bu lông CĐC

Ta chỉ tính toán với bu lông CĐC ở vị trí xa nhất so với trọng tâm của nhóm bu lông ở mỗi bên mối nối, là bu lông chịu lực cắt lớn nhất.

Hình vẽ mô tả cách tính lực cắt trong bu lông ở vị trí xa nhất như sau:



Lực cắt tính toán trong bu lông ở vị trí xa nhất được xác định như sau:

$$R_{umax} = \sqrt{\left(\frac{V}{N} + \frac{Mx_{max}}{\sum(x_i^2 + y_i^2)}\right)^2 + \left(\frac{H}{N} + \frac{My_{max}}{\sum(x_i^2 + y_i^2)}\right)^2}$$

Trong đó:

N = Số bu lông ở mỗi bên mỗi nối (bu lông); $N = 24$ bu lông

V = Lực cắt thiết kế (N); $V_{VD} = 1949220$ N; $V_{SD} = 199874,3$ N

M = Mô men thiết kế (N.mm); $M_{CD} = 7,91 \cdot 10^8$ Nmm; $M_{SD} = 3,04 \cdot 10^8$ Nmm

H = Lực ngang thiết kế (N); $H_{CD} = 95090,6$ N

J = Tổng bình phương khoảng cách của các đỉnh trong nhóm ở mỗi bên mỗi nối tới trọng tâm của nhóm đỉnh (mm²);

$$J = \sum(x_i^2 + y_i^2) = 1624700 \text{ mm}^2$$

x_{max} = Khoảng cách từ đỉnh xa nhất theo phương ngang tới trọng tâm của nhóm đỉnh mỗi bên mỗi nối (mm); $x_{max} = 40$ mm.

y_{max} = Khoảng cách từ đỉnh xa nhất theo phương đứng tới trọng tâm của nhóm đỉnh mỗi bên mỗi nối (mm). $y_{max} = 425$ mm.

Thay số vào ta có:

Lực cắt tính toán trong bu lông xa nhất ở TTGHCDI:

$$R_{CD} = \sqrt{\left(\frac{1949220}{22} + \frac{7,91 \cdot 10^8 \cdot 40}{1624700}\right)^2 + \left(\frac{95090,6}{22} + \frac{7,91 \cdot 10^8 \cdot 425}{1624700}\right)^2} = 230817,6(\text{N})$$

Lực cắt tính toán trong bu lông xa nhất ở TTGHSD:

$$R_{SD} = \sqrt{\left(\frac{199874,3}{22} + \frac{3,04 \cdot 10^8 \cdot 40}{1624700}\right)^2 + \left(\frac{0}{22} + \frac{3,04 \cdot 10^8 \cdot 425}{1624700}\right)^2} = 80987,46(\text{N})$$

7.4.6. Kiểm toán sức kháng cắt của bu lông CĐC

Sức kháng cắt tính toán của bu lông CĐC ở THGHCD được xác định như sau:

$$R_{rs} = \phi_s R_{ns}$$

Trong đó:

φ_s = Hệ số sức kháng cho bu lông A325M (A490M) chịu cắt theo quy định; (A6.5.4.2) ($\varphi_s = 0,8$)

R_{ns} = Sức kháng cắt danh định của bu lông CĐC theo quy định, dùng bu lông có chiều dài sao cho đường ren răng nằm ngoài mặt phẳng cắt, ta có:

$$R_{n1} = 0,48A_bF_{ub}N_s$$

Trong đó:

A_b = Diện tích bu lông theo đường kính danh định (mm²); $A_b = 380,1 \text{ mm}^2$

F_{ub} = Cường độ chịu kéo nhỏ nhất của bu lông (MPa); (A6.4.3); $F_{ub} = 830 \text{ MPa}$

N_s = Số mặt phẳng cắt cho mỗi bu lông. $N_s = 2$.

Thay số vào ta có:

$$R_{ns} = 0,48A_bF_{ub}N_s = 0,48 \cdot 380,1 \cdot 830 \cdot 2 = 302890 \text{ N}$$

$$\text{Vậy } R_{r1} = \varphi_s R_{n1} = 0,8 \cdot 302890 = 242311,8 \text{ N}$$

Sức kháng cắt tính toán của bu lông CĐC ở THGHCDI phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_{umax} \leq R_{rs}$$

Trong đó:

R_{umax} = Lực cắt tính toán trong bu lông ở vị trí xa nhất ở TTGHCDI (N).

Thay số vào ta có:

$$R_{umax} = 230817,6 < R_{rs} = 242311,8 \text{ (N)} \Rightarrow OK$$

7.4.7. Kiểm toán sức kháng ép mặt của bu lông CĐC

Sức kháng ép mặt tính toán của bu lông CĐC ở THGHCD được xác định như sau:

$$R_{rbb} = \varphi_{bb} R_{nbb}$$

Trong đó:

φ_{bb} = Hệ số sức kháng ép mặt bu lông trên vật liệu theo quy định; (A6.5.4.2) ($\varphi_{bb} = 0,8$)

R_{nbb} = Sức kháng ép mặt danh định của bu lông cường độ cao theo quy định, ở đây ta có:

$$R_{n2} = 2,4dtF_u$$

Trong đó:

t = Chiều dày bản nối (mm); $t = 14 \text{ mm}$

F_u = Cường độ chịu kéo của vật liệu liên kết (MPa). $F_u = 450 \text{ MPa}$

Thay số vào ta có:

$$R_{nbb} = 2,4dtF_u = 2,4 \cdot 22 \cdot 14 \cdot 450 = 332640 \text{ N}$$

$$\text{Vậy: } R_{r2} = \varphi_{bb} R_{n2} = 0,8 \cdot 332640 = 266112 \text{ N}$$

Sức kháng ép mặt tính toán của bu lông CĐC ở THGHCDI phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_{umax} \leq R_{rbb}$$

Trong đó:

R_{umax} = Lực cắt tính toán trong bu lông ở vị trí xa nhất ở TTGHCDI (N).

Thay số vào ta có:

$$R_{umax} = 230817,6 < R_{rbb} = 266112 \text{ (N)} \Rightarrow OK$$

7.4.8. Kiểm toán sức kháng trượt của bu lông CĐC

Sức kháng trượt tính toán của bu lông CĐC ở THGHSD được xác định như sau:

$$R_r = R_n$$

Trong đó

R_n = Sức kháng trượt của bu lông CDC theo quy định (A6.13.2.8), được xác định như sau:

$$R_n = K_h K_s N_s P_t$$

Trong đó:

N_s = Số lượng mặt ma sát cho mỗi bu lông; $N_s = 2$

P_t = Lực căng tối thiểu yêu cầu trong bu lông theo quy định (A6.13.2.8-1);

$$P_t = 221000 \text{ N}$$

K_h = Hệ số kích thước lỗ theo quy định (A6.13.2.8-2);

Sử dụng lỗ tiêu chuẩn nên: $K_h = 1,0$

K_s = Hệ số điều kiện bề mặt theo quy định (A6.13.2.8-3).

Sử dụng bề mặt loại A, do đó: $K_s = 0,33$

Thay số vào ta có:

$$R_r = R_n = K_h K_s N_s P_t = 1 * 0,33 * 2 * 221000 = 145860 \text{ N}$$

Sức kháng trượt tính toán của bu lông CDC ở THGHSD phải thỏa mãn điều kiện sau:

$$R_a \leq R_r$$

Trong đó:

R_a = Lực cắt tính toán trong bu lông ở vị trí xa nhất ở TTGHSD (N).

Thay số vào ta có:

$$R_{amax} = 80987,46 < R_r = 145860 \text{ (N)} \Rightarrow \text{OK}$$

VIII. TÍNH TOÁN CẮT BẢN CÁNH VÀ VẼ BIỂU ĐỒ BAO VẬT LIỆU

Trong phạm vi BTL này ta không tính toán phần này.