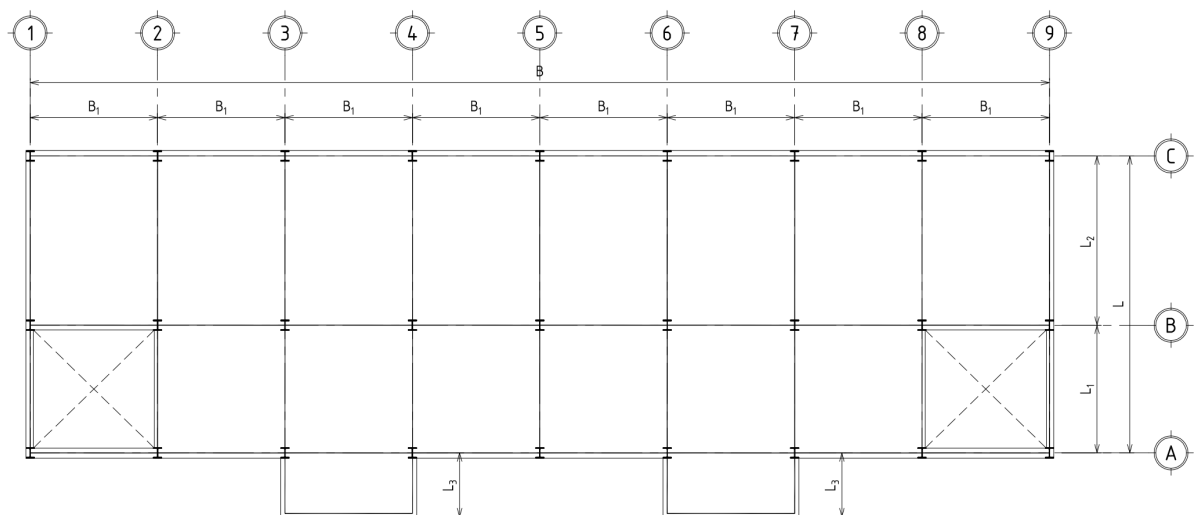


| VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Thiết kế hệ dầm thép của mặt bằng công trình nhà (xem hình vẽ), nội dung công việc bao gồm:

- Lập mặt bằng kết cấu, xác định các kích thước của hệ dầm
- Xác định các trường hợp tải trọng tác dụng lên hệ dầm
- Xác định nội lực của dầm, vẽ biểu đồ nội lực M , V . Thiết kế lựa chọn tiết diện dầm; kiểm tra dầm theo trạng thái giới hạn thứ hai.
- Thiết kế chi tiết liên kết chịu cắt dầm phụ-dầm chính; liên kết mô men dầm chính-cột.



Số liệu thiết kế:

- Kích thước công trình:

Nhịp L_1 (m)	Nhịp L_2 (m)	Nhịp L_3 (m)	Bước B (m)	Tiết diện cột (mm)
9	6	1.5	6	H500x300x8x12

- Tải trọng:

- Tải trọng thường xuyên: sàn bê tông lắp ghép và các lớp cấu tạo hoàn thiện
- Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng tạm thời sàn: 2kN/m^2
- Giá trị tiêu chuẩn của tải trọng tạm thời ban công: 3kN/m^2

- Vật liệu:
- Kết cấu sử dụng mác thép S235

Giới hạn chảy: $f_y = 235\text{Mpa}$ (với thép có chiều dày dưới 16mm)
 $f_y = 225\text{Mpa}$ (với thép có chiều dày từ 16mm đến 40mm)

Giới hạn bền: $f_u = 360\text{Mpa}$

Cường độ tính toán của thép theo giới hạn chảy: $f_{yd} = f_y / \gamma_m = 224\text{Mpa}$ ($\gamma_m = 1.05$)

Cường độ tính toán của thép khi chịu trượt: $f_v = 0.58f_{yd} = 130\text{Mpa}$

Mô đun đàn hồi: $E = 2.06 \times 10^5\text{Mpa}$

Hệ số poát xông: $\nu = 0.3$

Mô đun trượt: $G = 0.79 \times 10^5\text{Mpa}$

Khối lượng riêng: $\rho = 7850\text{ kg/m}^3$
- Bu lông liên kết sử dụng cấp bền 8.8, cấp chính xác cấp B

Cường độ chịu cắt tính toán của bu lông: $f_{vb} = 332\text{MPa}$

Cường độ chịu kéo tính toán của bu lông: $f_{tb} = 448\text{Mpa}$

Cường độ chịu ép mặt tính toán của cấu kiện được liên kết: $f_{cb} = 475\text{Mpa}$
- Que hàn sử dụng loại E43

Cường độ kéo đứt tiêu chuẩn: $f_{wun} = 430\text{MPa}$

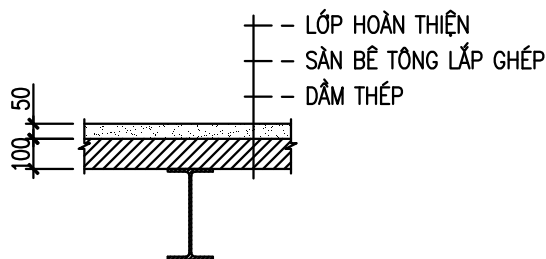
Cường độ chịu kéo tính toán: $f_{wf} = 180\text{Mpa}$
- Tấm sàn bê tông lắp ghép sử dụng loại NCW1500x500x100 với các thông số như sau:

Chiều dài tấm: $L_s = 1500\text{mm}$

Chiều rộng tấm: $B_s = 500\text{mm}$

Chiều dày tấm: $t_s = 100\text{mm}$

Khối lượng riêng $g = 1300\text{ kg/m}^3$



Hình 1.1 Mặt cắt cầu tạo sàn điển hình

- Hệ số điều kiện làm việc của kết cấu (dầm): $\gamma_c = 0.9$

I. Lập mặt bằng kết cấu, xác định các kích thước của hệ dầm

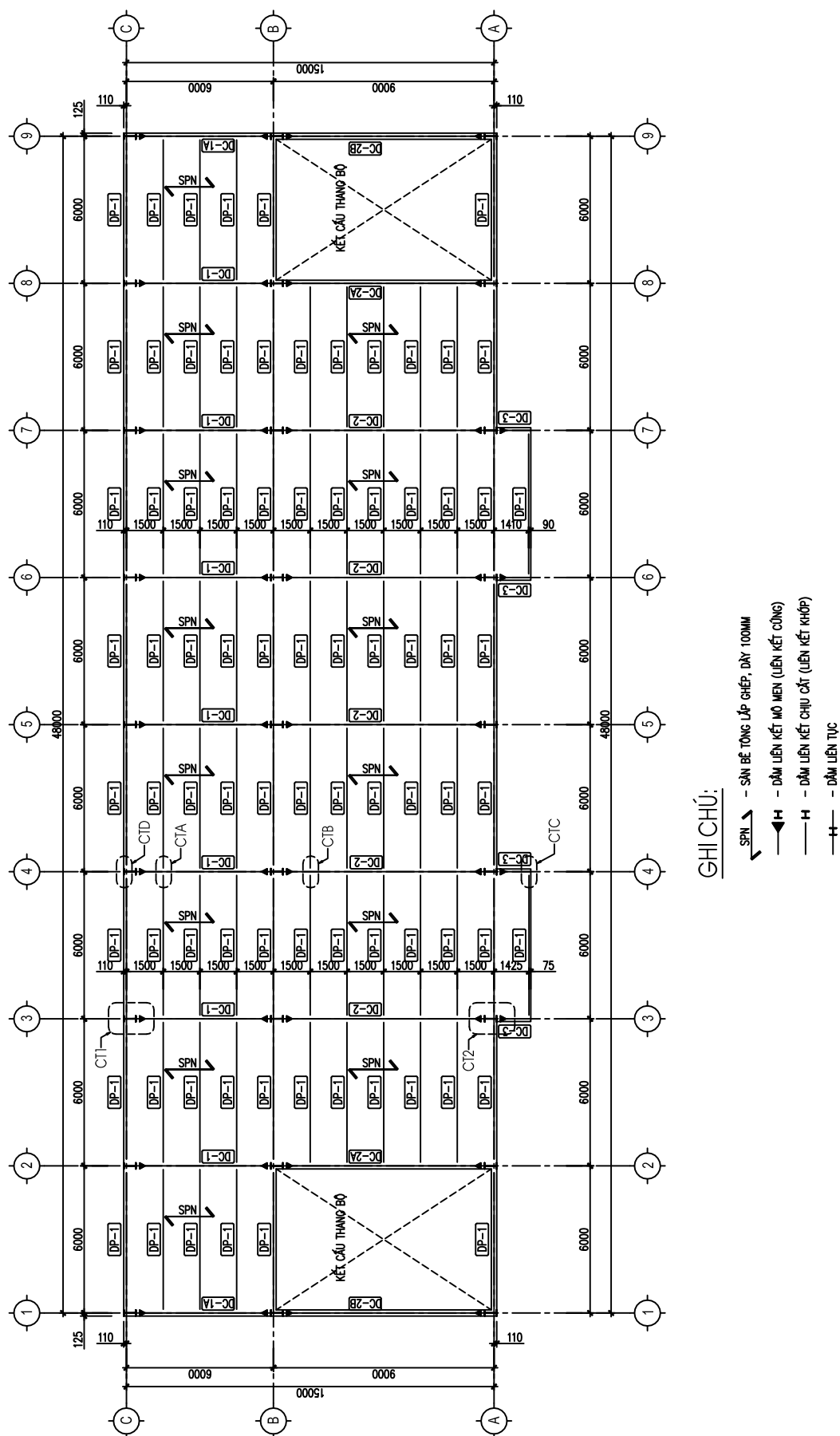
Mặt bằng kết cấu là mặt bằng thể hiện các cấu kiện chịu lực mà trong quá trình nhận, chịu và truyền tải trọng các cấu kiện đó không bị phá hoại. Các cấu kiện cần thể hiện là sàn, dầm, cột, vách, lõi, hệ giằng... Trên mặt bằng kết cấu cần thể hiện các thông tin sau:

- Xác định vị trí để xác định được vị trí các cấu kiện trên mặt bằng
- Tên, kích thước tiết diện và thông tin có liên quan của các cấu kiện
- Ý tưởng (hình thức) liên kết các cấu kiện
- Sự làm việc của bản sàn, mép biên của bản sàn, vị trí các lỗ mở như thang bộ, thang máy, hộp kỹ thuật...

Cột thép tiết diện chữ H là loại tiết diện làm việc tốt theo một phương. Theo phương trong mặt phẳng bản bụng, cột chịu uốn tốt và thường được liên kết cứng với dầm. Theo phương vuông góc với bản bụng, cột có độ cứng nhỏ nên thường liên kết khớp với dầm. Nhà có mặt bằng hình chữ nhật, phương khỏe của cột được đặt theo phương cạnh ngắn (phương ngang nhà-phương trục số). Toàn bộ dầm liên kết với cột theo phương ngang nhà bằng liên kết cứng và là dầm chính. Dầm chính và cột tạo thành hệ khung ngang chịu lực.

Kết cấu sàn sử dụng tấm sàn bê tông lắp ghép gác lên dầm phụ. Đây là loại sàn làm việc theo một phương, vì vậy bố trí dầm phụ song song theo phương dọc nhà, khoảng cách giữa các dầm phụ bằng (hoặc bé hơn) chiều dài tấm sàn ($L_s = 1500\text{mm}$). Dầm phụ liên kết khớp với cột và với dầm chính.

Để chịu được tải trọng ngang (gió, động đất...) theo phương dọc nhà, cần bố trí thêm hệ giằng hoặc khung/vách cứng. Tài liệu này tập trung nghiên cứu, thể hiện phần kết cấu dầm sàn; vì vậy các cấu kiện chịu lực theo phương dọc nhà sẽ không được xét đến.



Hình 1.2 Mặt bằng kết cấu

II. Xác định các trường hợp tải trọng tác dụng lên hệ dầm

Trong phạm vi thể hiện của tài liệu này, chỉ xét đến tải trọng thường xuyên và tải trọng tạm thời trên sàn; bỏ qua ảnh hưởng của tải trọng gió và không xét đến tải trọng đặt biệt (động đất).

1. Tải trọng thường xuyên

Bảng tính tải trọng thường xuyên dựa trên các lớp cấu tạo sàn.

Các lớp cấu tạo	Chiều dày (mm)	Khối lượng riêng (kN/m ³)	Giá trị tiêu chuẩn g^{tc} (kN/m ²)	Hệ số độ tin cậy (γ_g)	Giá trị tính toán g^{tt} (kN/m ²)
Gạch lát nền	15	20	0.3	1.2	0.36
Vữa lót	35	18	0.63	1.3	0.819
Sàn BTLG	100	13	1.3	1.1	1.43
Trần			0.3	1.3	0.39
Tổng			2.53		3.0

2. Tải trọng tạm thời

Loại sàn	Giá trị tiêu chuẩn p^{tc} (kN/m ²)	Hệ số độ tin cậy (γ_p)	Giá trị tính toán p^{tt} (kN/m ²)
Sàn phòng	2	1.2	2.4
Sàn ban công	3	1.2	3.6

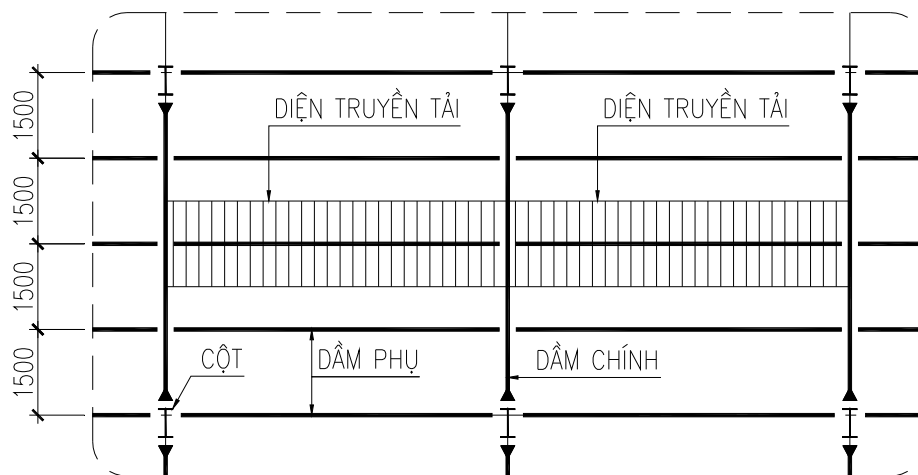
III. Thiết kế dầm phụ đỡ sàn phòng

1. Xác định sơ bộ nội lực của dầm

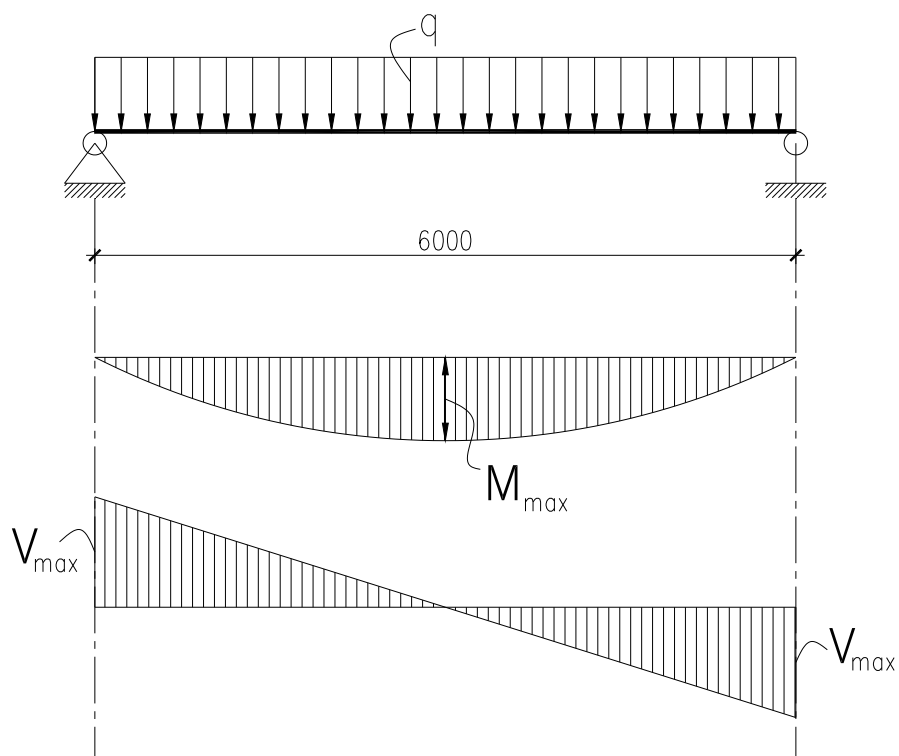
Sơ đồ tính toán dầm phụ là dầm đơn giản nhịp $l = B = 6m$, chịu tác dụng của tải trọng phân bố đều từ sàn truyền vào. Tải trọng tác dụng lên dầm phụ (chưa kể đến trọng lượng bản thân dầm phụ):

$$q^{tc} = (g^{tc} + p^{tc}) \times L_s = (2.53 + 2) \times 1.5 = 6.795 kN / m$$

$$q^{tt} = (g^{tt} + p^{tt}) \times L_s = (3.00 + 2.4) \times 1.5 = 8.1 kN / m$$



Hình 1.3 Sơ đồ truyền tải lên dầm phụ



Hình 1.4 Sơ đồ tính toán dầm phụ

Nội lực tính toán dầm phụ:

- Mô men uốn lớn nhất (tại giữa nhịp):

$$M_{\max} = \frac{q'' \times l^2}{8} = \frac{8.1 \times 6^2}{8} = 36.4 \text{ kNm}$$

- Lực cắt lớn nhất (tại gối):

$$V_{\max} = \frac{q'' \times l}{2} = \frac{8.1 \times 6}{2} = 24.3 \text{ kN}$$

2. Lựa chọn tiết diện dầm phụ

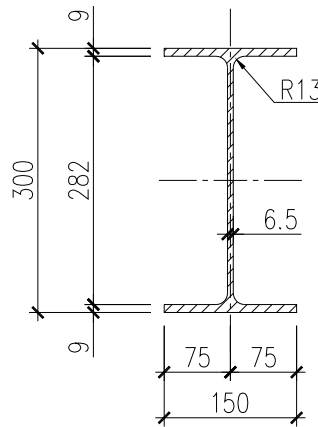
Tùy thuộc vào công năng và điều kiện sử dụng của kết cấu, việc tính toán cầu kiện chịu uốn (dầm) cần được thực hiện không kể đến hoặc có kể đến biến dạng dẻo. Ở đây sử dụng loại dầm cấp 1, là dầm được tính toán trong giới hạn biến dạng đàn hồi.

Mô đun chống uốn đàn hồi yêu cầu của tiết diện dầm phụ:

$$W_x^{yc} = \frac{M}{f_{yd}\gamma_c} = \frac{36.4 \times 10^6}{224 \times 1.0} = 162500 \text{ mm}^3 = 162.5 \text{ cm}^3$$

Lựa chọn tiết diện thép hình cán nóng H300x150x6.5x9 có $W_x > W_x^{yc}$:

$$h = 300 \text{ mm}; b_f = 150 \text{ mm}; t_f = 9 \text{ mm}; t_w = 6.5 \text{ mm}; h_w = 282 \text{ mm}; R = 13 \text{ mm}$$



Hình 1.5 Mặt cắt tiết diện dầm phụ

Đặc trưng hình học của tiết diện đã chọn:

- Diện tích tiết diện: $A = 46.8 \text{ cm}^2$
- Mô men quán tính đối với trục x-x: $I_x = 7209 \text{ cm}^4$
- Mô men quán tính đối với trục y-y: $I_y = 508 \text{ cm}^4$
- Mô men quán tính khi xoắn tự do: $I_t = 1.29 \frac{\sum b_i t_i^3}{3} = 12.7 \text{ cm}^4$
- Mô đun chống uốn đàn hồi của tiết diện đối với trục x-x: $W_x = 481 \text{ cm}^3$
- Mô men tĩnh của phần bản cánh đối với trục x-x: $S_f = 196.43 \text{ cm}^3$
- Mô men tĩnh của phần bản bụng đối với trục x-x: $S_w = 64.6 \text{ cm}^3$
- Mô men tĩnh của phần tiết diện đối với trục x-x: $S_x = 261 \text{ cm}^3$
- Trọng lượng trên 1m dài dầm: $g_d = 36.7 \text{ kg / m}$

3. Xác định chính xác nội lực dầm

Tải trọng tác dụng lên dầm phụ có kể đến trọng lượng bản thân dầm

$$q^{tc} = 6.795 + 0.367 = 7.162 \text{ kN / m}$$

$$q'' = 8.1 + 0.367 \times 1.05 = 8.5 \text{ kN / m}$$

Nội lực tính toán dầm:

- Mô men uốn lớn nhất (tại giữa nhịp):

$$M_{\max} = \frac{q'' \times l^2}{8} = \frac{8.5 \times 6^2}{8} = 38.2 \text{ kNm}$$

- Lực cắt lớn nhất (tại gối):

$$V_{\max} = \frac{q'' \times l}{2} = \frac{8.5 \times 6}{2} = 25.5 \text{ kN}$$

- Vị trí có đồng thời mô men và lực cắt lớn (cách gối tựa $a=L/4$):

$$M_1 = \frac{q'' \times a \times (l-a)}{2} = \frac{8.5 \times 1.5 \times 4.5}{2} = 28.6 \text{ kNm}$$

$$V_1 = q'' \times \left(\frac{L}{2} - a \right) = 8.5 \times 1.5 = 12.7 \text{ kN}$$

4. Kiểm tra lại tiết diện dầm đã chọn

4.1. Kiểm tra điều kiện bền

- Khi có tác dụng của mô men trong một mặt phẳng chính:

$$\frac{M_{\max}}{W_{xyl} \gamma_c} = \frac{38.2 \times 10^6}{481 \times 10^3 \times 224 \times 0.9} = 0.394 < 1$$

- Khi có tác dụng của lực cắt trong tiết diện:

$$\frac{V_{\max} S_x}{I_x t_w f_v \gamma_c} = \frac{25.5 \times 10^3 \times 261 \times 10^3}{7209 \times 10^4 \times 6.5 \times 130 \times 0.9} = 0.121 < 1$$

- Khi có tác dụng đồng thời của mô men và lực cắt, kiểm tra ứng suất tương đương tại vị trí giao giữa bản cánh và bản bụng dầm:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{I_x} \times \frac{h_w}{2} = \frac{28.6 \times 10^6}{7209 \times 10^4} \times \frac{282}{2} = 56 \text{ Mpa}$$

$$\tau_1 = \frac{V_1 S_f}{I_x t_w} = \frac{12.7 \times 10^3 \times 196.43 \times 10^3}{7209 \times 10^4 \times 6.5} = 5.3 \text{ Mpa}$$

$$\frac{0.87}{f_{yd}\gamma_c}\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \frac{0.87}{224 \times 0.9}\sqrt{56^2 + 3 \times 5.3^2} = 0.245 < 1$$

$$\frac{\tau_1}{f_v\gamma_c} = \frac{5.3}{130 \times 0.9} = 0.046 < 1$$

Kết luận: dầm đảm bảo điều kiện bền.

4.2. Kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể

Phía trên dầm phụ là bản sàn bê tông lắp ghép, sàn này kê trực tiếp lên dầm và không liên kết chặt với cánh dầm. Vì vậy cần kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể dầm phụ.

- Hệ số phụ thuộc vào liên kết cánh chịu nén (trường hợp không có liên kết):
 $k = 1.0$

- Chiều dài tính toán của dầm: $L_{ef} = 6m$

- Hệ số α :

$$\alpha = k \frac{I_t}{I_y} \left(\frac{L_{ef}}{h} \right)^2 = 1.0 \times \frac{12.7}{508} \times \left(\frac{600}{30} \right)^2 = 10$$

- Hệ số ψ :

$$\psi = C_1 \left(\sqrt{0.95\alpha + 6.09C_2^2 + 5.78} - 2.47C_2 \right)$$

$$= 1.13 \times \left(\sqrt{0.95 \times 10 + 6.09 \times 0.46^2 + 5.78} - 2.47 \times 0.46 \right) = 3.467$$

Trong đó hệ số $C_1 = 1.13$; $C_2 = 0.46$ áp dụng cho trường hợp dầm đơn giản 2 đầu liên kết khớp, chịu tải trọng phân bố đều, không có điểm liên kết.

- Hệ số φ_1 :

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h}{L_{ef}} \right)^2 \frac{E}{f_{yd}} = 3.467 \times \frac{508}{7209} \times \left(\frac{30}{600} \right)^2 \times \frac{2.06 \times 10^5}{224} = 0.562$$

- Hệ số $\varphi_b = \varphi_1 = 0.562$ (Áp dụng cho trường hợp $\varphi_1 \leq 0.85$)

Kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của dầm:

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_b W_x f_{yd} \gamma_c} = \frac{38.2 \times 10^6}{0.562 \times 481 \times 10^3 \times 224 \times 0.9} = 0.7 < 1$$

Kết luận: dầm đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể.

4.3. Kiểm tra điều kiện ổn định cục bộ

4.3.1. Điều kiện ổn định cục bộ bản cánh dầm

- Độ mảnh quy ước phần vưng của cánh dầm:

$$\overline{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}} = \frac{0.5 \times (150 - 6.5)}{9} \sqrt{\frac{224}{2.06 \times 10^5}} = 0.263$$

- Độ mảnh quy ước giới hạn phần vưng của cánh dầm:

$$\overline{\lambda}_{uf} = 0.5 \sqrt{\frac{f_{yd}}{\sigma_c}} = 0.5 \sqrt{\frac{f_{yd} W_x \gamma_c}{M_{\max}}} = 0.5 \times \sqrt{\frac{224 \times 481 \times 10^3 \times 0.9}{38.2 \times 10^6}} = 0.796$$

Kết luận: $\overline{\lambda}_f < \overline{\lambda}_{uf}$ nên dầm đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ bản cánh.

4.3.2. Điều kiện ổn định cục bộ bản bụng dầm

- Độ mảnh quy ước bản bụng dầm:

$$\overline{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}} = \frac{282}{6.5} \sqrt{\frac{224}{2.06 \times 10^5}} = 1.03$$

- Độ mảnh quy ước giới hạn bản bụng dầm với trường hợp dầm thép hình không có ứng suất cục bộ: $\overline{\lambda}_{uw} = 3.5$

Kết luận: $\overline{\lambda}_w < \overline{\lambda}_{uw}$ nên dầm đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ bản bụng; $\overline{\lambda}_w < 3.2$ nên bản bụng không cần tăng cứng bằng các sườn cứng ngang.

4.4. Kiểm tra điều kiện độ võng của dầm

- Độ võng lớn nhất tại giữa dầm (dầm đơn giản, chịu tải trọng phân bố đều):

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{q^c L^4}{EI_x} = \frac{5}{384} \times \frac{7.162 \times 6000^4}{2.06 \times 10^5 \times 7209 \times 10^4} = 8.13 \text{ mm}$$

- Độ võng cho phép đối với dầm phụ:

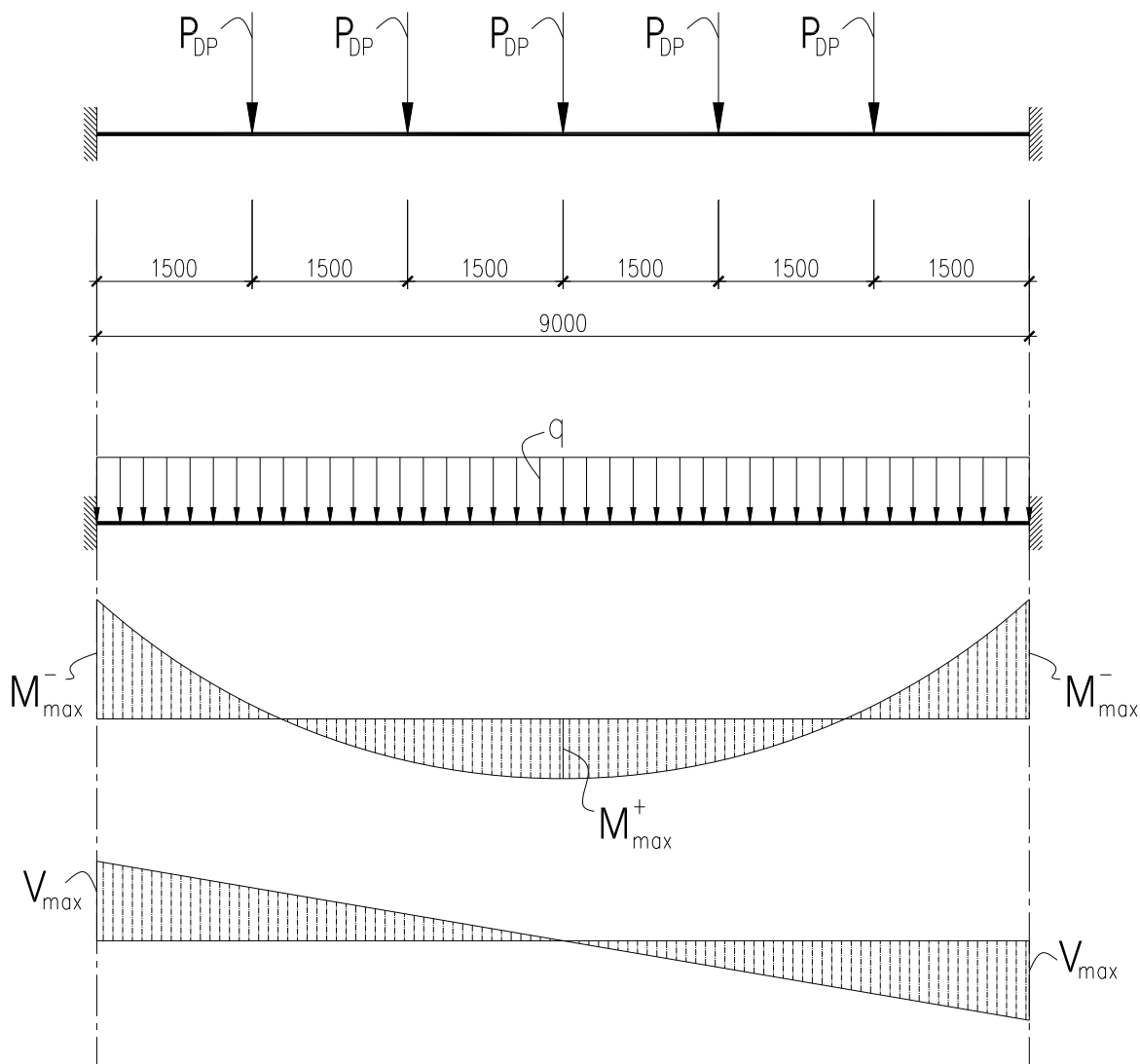
$$[\Delta] = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Kết luận: $\Delta < [\Delta]$ nên dầm đảm bảo điều kiện độ võng.

IV. Thiết kế dầm chính

1. Xác định sơ bộ nội lực của dầm

Dầm chính liên kết cứng với cột. Trong phạm vi nghiên cứu của sách, bỏ qua độ cứng của cột, gần đúng xem liên kết dầm chính với cột là ngàm. Dầm chính chịu tác dụng của tải trọng do dầm phụ truyền vào.



Hình 1.6 Sơ đồ tính toán dầm chính

Tải trọng từ dầm phụ truyền lên dầm chính dưới dạng tải tập trung P_{DT} . Với sơ đồ tính có nhiều tải tập trung (≥ 5 tải tập trung), gần đúng có thể quy đổi về tải trọng phân bố đều (chưa kể đến trọng lượng bản thân dầm chính).

$$q = \frac{\sum P_{DP}}{L} = \frac{\sum 2V_{DP}}{L}$$

Với V_{DP} là phản lực tại gối dầm phụ tác dụng lên dầm chính.

- Tải trọng phân bố đều tiêu chuẩn:

$$V_{DP}^{tc} = \frac{q_{DP}^{tc} \times l}{2} = \frac{7.162 \times 6}{2} = 21.49 kN$$

$$q^{tc} = \frac{5 \times 2 \times 21.49}{9} = 23.88 kN / m$$

- Tải trọng phân bố đều tính toán:

$$V_{DP}^{tt} = \frac{q_{DP}^{tt} \times l}{2} = \frac{8.5 \times 6}{2} = 25.5 kN$$

$$q^{tt} = \frac{5 \times 2 \times 25.5}{9} = 28.33 kN / m$$

Nội lực tính toán dầm chính:

- Tại vị trí gối tựa:

$$M_{\max}^{-} = \frac{q^{tt} \times l^2}{12} = \frac{28.33 \times 9^2}{12} = 191.23 kNm$$

$$V_{\max} = \frac{q^{tt} \times l}{2} = \frac{28.33 \times 9}{2} = 127.49 kN$$

- Tại vị trí giữa dầm:

$$M_{\max}^{+} = \frac{q^{tt} \times l^2}{24} = \frac{28.33 \times 9^2}{24} = 95.61 kNm$$

$$V = 0 kN$$

2. Lựa chọn tiết diện dầm chính

2.1. Chọn chiều cao dầm h

Chiều cao dầm h được chọn dựa vào điều kiện:

$$h_{\min} \leq h \leq h_{\max}$$

$$h \approx h_{kt}$$

- Chiều cao tối thiểu $h_{\min}$ là chiều cao đảm bảo dầm đủ cứng, nghĩa là độ võng của dầm không vượt quá độ võng giới hạn. Với sơ đồ tính là dầm 2 đầu liên kết ngàm, độ võng lớn nhất ở giữa dầm:

$$\Delta = \frac{q^{tc} l^4}{384 EI}$$

Từ đó xác định được (gần đúng) chiều cao $h_{\min}$ của dầm theo công thức sau:

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \frac{f_{yd}}{E} \left[\frac{l}{\Delta} \right] \frac{l}{\gamma_{tb}}$$

$$\left[\frac{\Delta}{l} \right] = \frac{1}{400} \text{ là độ võng giới hạn của dầm chính.}$$

$$\gamma_{tb} = \frac{q''}{q^{tc}} = \frac{28.33}{23.88} = 1.186 \text{ là hệ số vượt tải trung bình.}$$

$$h_{\min} = \frac{1}{16} \times \frac{224}{2.06 \times 10^5} \times 400 \times \frac{900}{1.186} = 20.62 \text{ cm}$$

- Chiều cao h_{kt} là chiều cao ứng với trọng lượng thép làm dầm ít nhất; gần đúng được xác định theo công thức sau:

$$h_{kt} = k \sqrt{\frac{M_{\max}}{f_{yd} t_w}}$$

Sơ bộ chọn chiều dày bản bụng $t_w = 8 \text{ mm}$; $k = 1.2$ đối với dầm tổ hợp hàn; mô men lớn nhất trong dầm $M_{\max} = 191.23 \text{ kNm}$

$$h_{kt} = k \sqrt{\frac{M_{\max}}{f_{yd} t_w}} = 1.2 \times \sqrt{\frac{191.23 \times 10^6}{224 \times 8}} = 392 \text{ mm}$$

- Chiều cao $h_{\max}$ là chiều cao lớn nhất của dầm để không ảnh hưởng đến không gian sử dụng bên dưới dầm. Với dạng công trình đang xét, xem như chiều cao này luôn được thỏa mãn.

Kết luận: chọn chiều cao dầm $h = 500 \text{ mm}$ (có thể chọn h sai khác so với h_{kt} đến 20%).

2.2. Chọn chiều dày bản bụng dầm

Chiều dày bản bụng dầm chọn sơ bộ $t_w = 8 \text{ mm}$. Kiểm tra lại theo công thức:

$$t_w = 8 \text{ mm} \geq \frac{3V_{\max}}{2hf_v \gamma_c} = \frac{3 \times 127.49 \times 10^3}{2 \times 500 \times 130 \times 0.9} = 3.27 \text{ mm}$$

2.3. Chọn kích thước bản cánh dầm

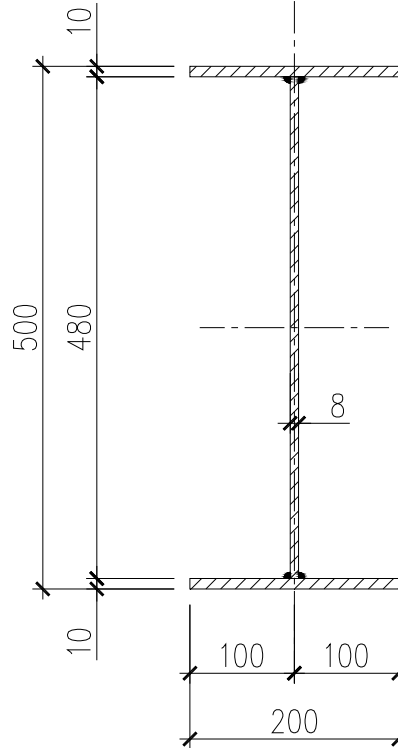
Diện tích tiết diện bản cánh dầm được tính gần đúng theo công thức:

$$A_f = b_f t_f = \left(\frac{M_{\max} h}{2f_{yd} \gamma_c} - \frac{t_w h^3}{12} \right) \frac{2}{h^2} = \left(\frac{191.23 \times 10^6 \times 500}{2 \times 224 \times 0.9} - \frac{8 \times 500^3}{12} \right) \times \frac{2}{500^2} = 1230 \text{ mm}^2$$

Kích thước bản cánh được lựa chọn theo một số điều kiện cấu tạo dưới đây:

- Chiều dày bản cánh nên chọn lớn hơn chiều dày bản bụng: $t_f \geq t_w$
- Bề rộng bản cánh: $b_f = (0.2 - 0.5)h; b_f \geq 180mm; b_f \geq h / 10$

Kết luận: chọn kích thước bản cánh như sau $t_f = 10mm; b_f = 200mm$



Hình 1.7 Mặt cắt tiết diện dầm chính

Đặc trưng hình học của tiết diện đã chọn:

- Diện tích tiết diện: $A = 78.4cm^2$
- Mô men quán tính đối với trục x-x: $I_x = 31386.1cm^4$
- Mô men quán tính đối với trục y-y: $I_y = 1335.4cm^4$
- Mô men quán tính khi xoắn tự do: $I_t = 1.29 \frac{\sum b_i t_i^3}{3} = 27.8cm^4$
- Mô đun chống uốn đàn hồi của tiết diện đối với trục x-x: $W_x = 1255.4cm^3$
- Mô men tĩnh của phần bản cánh đối với trục x-x: $S_f = 490cm^3$
- Mô men tĩnh của phần bản bụng đối với trục x-x: $S_w = 230.4cm^3$
- Mô men tĩnh của phần tiết diện đối với trục x-x: $S_x = 720.4cm^3$
- Trọng lượng trên 1m dài dầm: $g_d = 61.5kg / m$

3. Xác định chính xác nội lực dầm

Tải trọng tác dụng lên dầm chính có kể đến trọng lượng bản thân dầm:

$$q^{lc} = 23.88 + 0.615 = 24.5 \text{ kN} / \text{m}$$

$$q'' = 28.33 + 0.615 \times 1.05 = 29.0 \text{ kN} / \text{m}$$

Nội lực tính toán dầm chính:

- Tại vị trí gối tựa:

$$M_{\max}^- = \frac{q'' \times l^2}{12} = \frac{29 \times 9^2}{12} = 195.8 \text{ kNm}$$

$$V_{\max} = \frac{q'' \times l}{2} = \frac{29 \times 9}{2} = 130.5 \text{ kN}$$

- Tại vị trí giữa dầm:

$$M_{\max}^+ = \frac{q'' \times l^2}{24} = \frac{29 \times 9^2}{24} = 97.9 \text{ kNm}$$

$$V = 0 \text{ kN}$$

4. Kiểm tra lại tiết diện dầm đã chọn

4.1. Kiểm tra điều kiện bền

- Khi có tác dụng của mô men trong một mặt phẳng chính:

$$\frac{M_{\max}}{W_x f_{yd} \gamma_c} = \frac{195.8 \times 10^6}{1255.4 \times 10^3 \times 224 \times 0.9} = 0.774 < 1$$

- Khi có tác dụng của lực cắt trong tiết diện:

$$\frac{V_{\max} S_x}{I_x t_w f_v \gamma_c} = \frac{130.5 \times 10^3 \times 720.4 \times 10^3}{31386.1 \times 10^4 \times 8 \times 130 \times 0.9} = 0.32 < 1$$

- Khi có tác dụng đồng thời của mô men và lực cắt, kiểm tra ứng suất tương đương tại vị trí giao giữa bản cánh và bản bụng dầm:

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{I_x} \times \frac{h_w}{2} = \frac{195.8 \times 10^6}{31386.1 \times 10^4} \times \frac{480}{2} = 149.7 \text{ Mpa}$$

$$\tau_1 = \frac{V_{\max} S_f}{I_x t_w} = \frac{130.5 \times 10^3 \times 490 \times 10^3}{31386.1 \times 10^4 \times 8} = 25.5 \text{ Mpa}$$

$$\frac{0.87}{f_{yd}\gamma_c} \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_1^2} = \frac{0.87}{224 \times 0.9} \sqrt{149.7^2 + 3 \times 25.5^2} = 0.674 < 1$$

$$\frac{\tau_1}{f_v\gamma_c} = \frac{25.5}{130 \times 0.9} = 0.218 < 1$$

Kết luận: đảm bảo điều kiện bền.

4.2. Kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể

4.2.1. Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm chịu mô men dương

- Mô men dương lớn nhất: $M_{\max}^+ = 97.9 kNm$
- Hệ số phụ thuộc vào liên kết cánh chịu nén trong nhịp (trường hợp có liên kết):
 $k = 8.0$
- Chiều dài tính toán của dầm (bằng khoảng cách giữa các dầm phụ): $L_{ef} = 1.5m$
- Hệ số α :

$$\alpha = k \left(\frac{L_{ef} t_f}{h_m b_f} \right)^2 \left(1 + \frac{0.5 h_m t_w^3}{b_f t_f^3} \right) = 8.0 \times \left(\frac{1500 \times 10}{490 \times 200} \right)^2 \left(1 + \frac{0.5 \times 490 \times 8^3}{200 \times 10^3} \right) = 0.305$$

$h_m = 490mm$ là chiều cao tính toán của tiết diện, lấy bằng khoảng cách giữa tâm các bản cánh ($h_m = h - t_f$) khi có liên kết.

- Hệ số ψ (áp dụng trong trường hợp có hai hay nhiều điểm liên kết chia nhịp L thành các đoạn đều nhau và $0.1 \leq \alpha \leq 40$):

$$\psi = 2.25 + 0.07\alpha = 2.25 + 0.07 \times 0.305 = 2.27$$

- Hệ số φ_1 :

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h_{fk}}{L_{ef}} \right)^2 \frac{E}{f_{yd}} = 2.27 \times \frac{1335.4}{31386.1} \times \left(\frac{49}{150} \right)^2 \times \frac{2.06 \times 10^5}{224} = 9.48$$

$h_{fk} = 490mm$ là khoảng cách giữa tâm các bản cánh ($h_{fk} = h - t_f$), áp dụng đối với dầm chữ I tổ hợp.

- Hệ số $\varphi_b = 1.0$ (Áp dụng cho trường hợp $\varphi_1 > 0.85$)

Kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của dầm:

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_b W_x f_{yd} \gamma_c} = \frac{97.9 \times 10^6}{1.0 \times 1255.4 \times 10^3 \times 224 \times 0.9} = 0.387 < 1$$

Kết luận: đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể chịu mô men dương.

4.2.2. Kiểm tra ổn định tổng thể của dầm chịu mô men âm

- Mô men âm lớn nhất: $M_{\max}^+ = 195.8 kNm$
- Hệ số phụ thuộc vào liên kết cánh chịu nén trong nhịp (trường hợp không có liên kết): $k = 4.0$
- Chiều dài tính toán của dầm, lấy bằng khoảng cách từ gối đến vị trí có mô men bằng 0: $L_{ef} = 0.211l = 0.211 \times 9 = 1.9m$

- Hệ số α :

$$\alpha = k \left(\frac{L_{ef} t_f}{h_m b_f} \right)^2 \left(1 + \frac{0.5 h_m t_w^3}{b_f t_f^3} \right) = 4.0 \times \left(\frac{1900 \times 10}{500 \times 200} \right)^2 \left(1 + \frac{0.5 \times 500 \times 8^3}{200 \times 10^3} \right) = 0.237$$

$h_m = 500mm$ là chiều cao tính toán của tiết diện, lấy bằng chiều cao dầm khi không có liên kết.

- Hệ số ψ :

$$\begin{aligned} \psi &= C_1 \left(\sqrt{0.95\alpha + 6.09C_2^2 + 5.78} - 2.47C_2 \right) \\ &= 1.25 \times \left(\sqrt{0.95 \times 0.237 + 6.09 \times 1.01^2 + 5.78} - 2.47 \times 1.01 \right) = 1.251 \end{aligned}$$

Trong đó hệ số $C_1 = 1.25$; $C_2 = 1.01$ áp dụng cho trường hợp dầm đơn giản 2 đầu liên kết khớp, chịu tải trọng phân bố đều, không có điểm liên kết.

- Hệ số φ_1 :

$$\varphi_1 = \psi \frac{I_y}{I_x} \left(\frac{h_{fk}}{L_{ef}} \right)^2 \frac{E}{f_{yd}} = 1.251 \times \frac{1335.4}{31386.1} \times \left(\frac{49}{190} \right)^2 \times \frac{2.06 \times 10^5}{224} = 3.251$$

$h_{fk} = 490mm$ là khoảng cách giữa tâm các bản cánh ($h_{fk} = h - t_f$), áp dụng đối với dầm chữ I tổ hợp.

- Hệ số $\varphi_b = 1.0$ (Áp dụng cho trường hợp $\varphi_1 > 0.85$)

Kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể của dầm:

$$\frac{M_{\max}}{\varphi_b W_{x f_{yd} \gamma_c}} = \frac{195.8 \times 10^6}{1.0 \times 1255.4 \times 10^3 \times 224 \times 0.9} = 0.774 < 1$$

Kết luận: đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể chịu mô men âm.

4.3. Kiểm tra điều kiện ổn định cục bộ

4.3.1. Điều kiện ổn định cục bộ bản cánh dầm

- Độ mảnh quy ước phần vươn của cánh dầm:

$$\overline{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t_f} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}} = \frac{0.5 \times (200 - 8)}{10} \sqrt{\frac{224}{2.06 \times 10^5}} = 0.324$$

- Độ mảnh quy ước giới hạn phần vươn của cánh dầm:

$$\overline{\lambda}_{uf} = 0.5 \sqrt{\frac{f_{yd}}{\sigma_c}} = 0.5 \sqrt{\frac{f_{yd} W_x \gamma_c}{M_{\max}}} = 0.5 \times \sqrt{\frac{224 \times 1255.4 \times 10^3 \times 0.9}{195.8 \times 10^6}} = 0.568$$

Kết luận: $\overline{\lambda}_f < \overline{\lambda}_{uf}$ nên dầm đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ bản cánh.

4.3.2. Điều kiện ổn định cục bộ bản bụng dầm

- Độ mảnh quy ước bản bụng dầm:

$$\overline{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t_w} \sqrt{\frac{f_{yd}}{E}} = \frac{480}{8} \sqrt{\frac{224}{2.06 \times 10^5}} = 1.978$$

- Độ mảnh quy ước giới hạn bản bụng dầm với trường hợp dầm tổ hợp có đường hàn cánh hai bên, không có ứng suất cục bộ: $\overline{\lambda}_{uw} = 3.5$

Kết luận: $\overline{\lambda}_w < \overline{\lambda}_{uw}$ nên dầm đảm bảo điều kiện ổn định cục bộ bản bụng; $\overline{\lambda}_w < 3.2$ nên bản bụng không cần tăng cứng bằng các sườn cứng ngang.

4.4. Kiểm tra điều kiện độ võng của dầm

- Độ võng lớn nhất tại giữa dầm:

$$\Delta = \frac{1}{384} \frac{q^c L^4}{EI_x} = \frac{1}{384} \times \frac{24.5 \times 9000^4}{2.06 \times 10^5 \times 7209 \times 10^4} = 6.47 \text{ mm}$$

- Độ võng cho phép đối với dầm chính:

$$[\Delta] = \frac{L}{400} = \frac{9000}{250} = 22.5 \text{ mm}$$

Kết luận: $\Delta < [\Delta]$ nên dầm đảm bảo điều kiện độ võng.

4.5. Thiết kế đường hàn liên kết cánh và bụng dầm

Kết cấu sử dụng mác thép S235, que hàn N43, hàn tay.

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại đường hàn: $f_{wf} = 180 \text{ Mpa}$

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại biên nóng chảy:

$$f_{ws} = 0.45 f_u = 0.45 \times 360 = 162 \text{ Mpa}$$

- Hệ số phụ thuộc vào công nghệ hàn, chiều cao đường hàn:

$$\beta_f = 0.7; \beta_s = 1.0$$

- Tỷ số $\frac{\beta_f f_{wf}}{\beta_s f_{ws}} = \frac{0.7 \times 180}{1.0 \times 162} = 0.78 < 1$ nên tính toán theo kim loại đường hàn.

- Lực trượt giữa bản cánh và bản bụng dầm trên 1 đơn vị chiều dài:

$$T = \frac{VS_f}{I_x} = \frac{130.5 \times 10^3 \times 490 \times 10^3}{31386.1 \times 10^4} = 203.7 \text{ N/mm}$$

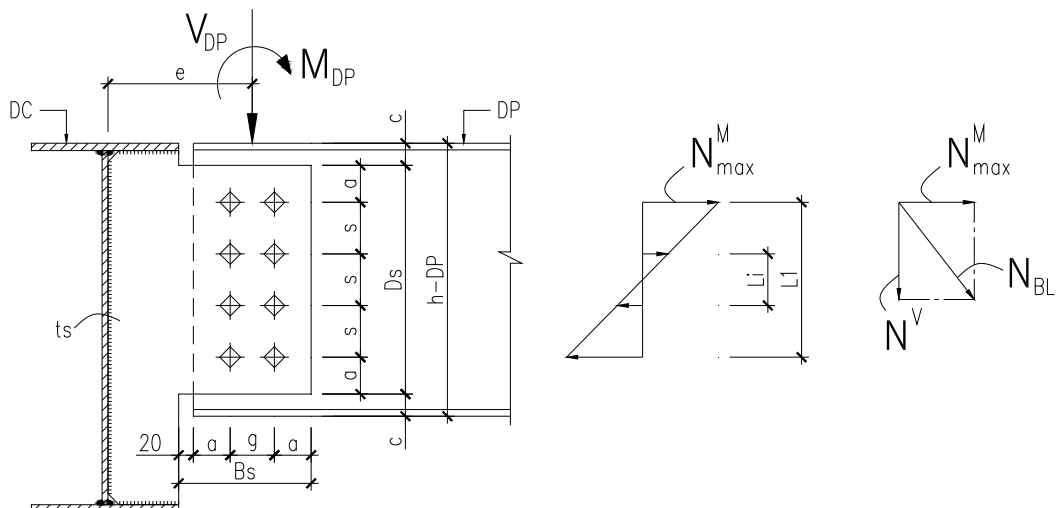
- Chiều cao tối thiểu của đường hàn góc:

$$h_f \geq \frac{T}{2\beta_f f_{wf} \gamma_c} = \frac{203.7}{2 \times 0.7 \times 180 \times 0.9} = 0.898 \text{ mm}$$

Kết luận: chọn chiều cao đường hàn $h_f = 6 \text{ mm}$ (thỏa mãn $h_{f \min} \leq h_f \leq h_{f \max}$)

V. Thiết kế liên kết dầm phụ-dầm chính

Dầm phụ liên kết với dầm chính bằng bu lông và bản mã. Liên kết có dạng như hình vẽ.



Hình 1.8 Dạng liên kết dầm phụ-dầm chính

• Bu lông liên kết sử dụng cấp bền 8.8, cấp chính xác cấp B:

- Cường độ chịu cắt tính toán của bu lông: $f_{vb} = 332 \text{ MPa}$

- Cường độ chịu kéo tính toán của bu lông: $f_{tb} = 448 \text{ MPa}$

- Cường độ chịu ép mặt tính toán của cầu kiện được liên kết: $f_{cb} = 475 \text{ Mpa}$
- Chọn đường kính bu lông $d_b = 20 \text{ mm}$, đường kính lỗ bu lông $d_h = 22 \text{ mm}$
- Khả năng chịu cắt của một bu lông:

$$N_{vb} = f_{vb} A_b n_v \gamma_b \gamma_c$$

$\gamma_c = 0.9$ hệ số điều kiện làm việc của cầu kiện.

$\gamma_b = 0.9$ hệ số điều kiện làm việc của liên kết

$n_v = 1.0$ là số lượng mặt cắt tính toán.

$$N_{vb} = 332 \times 3.14 \times 10^2 \times 1.0 \times 0.9 \times 0.9 / 1000 = 84.4 \text{ kN}$$

- Khả năng chịu ép mặt của một bu lông:

$$N_{cb} = f_{cb} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c$$

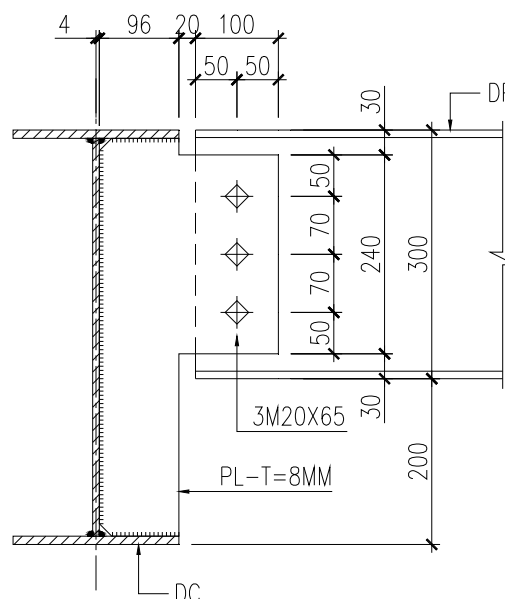
$\sum t$ là tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía. Sơ bộ chọn chiều dày bản mã liên kết $t_s = 8 \text{ mm}$ (chọn $t_s > t_w$, với t_w là chiều dày bản bụng của dầm phụ). Vậy $\sum t = 6.5 \text{ mm}$.

$$N_{cb} = 475 \times 20 \times 6.5 \times 0.9 \times 0.9 / 1000 = 50 \text{ kN}$$

- Khả năng chịu lực (cắt) của một bu lông:

$$N_{b,\min} = \min(N_{cb}; N_{vb}) = 50 \text{ kN}$$

- Sơ bộ chọn bản mã, số lượng bu lông và bố trí như hình vẽ (thỏa mãn các điều kiện về khoảng cách bu lông):



Hình 1.9 Liên kết dầm phụ-dầm chính

- Lực tác dụng vào liên kết:
- Lực cắt đầu dầm phụ: $V_{DP} = 25.5kN$
- Mô men lệch tâm (tính từ trọng tâm cụm bu lông liên kết đến bản bụng dầm chính): $M_{DP} = V_{DP} \times e = 25.5 \times 166 / 1000 = 4.2kNm$

1. Kiểm tra khả năng chịu lực của cụm bu lông:

- Lực cắt trong mỗi bu lông gây ra bởi lực V_{DP} :

$$N_b^V = \frac{V_{DP}}{n} = \frac{25.5}{3} = 8.5kN$$

- Lực cắt trong mỗi bu lông gây ra bởi mô men lệch tâm M_{DP} :

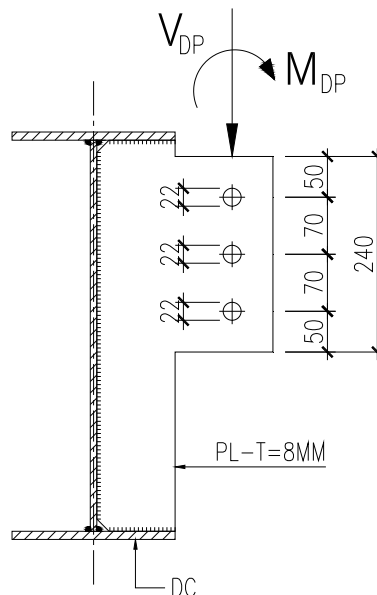
$$N_b^M = \frac{M_{DP} L_{\max}}{m \sum L_i^2} = \frac{4.2 \times 10^3 \times 140}{1 \times (140^2)} = 30kN$$

- Lực cắt lớn nhất trong một bu lông:

$$N_{\max} = \sqrt{(N_b^V)^2 + (N_b^M)^2} = \sqrt{8.5^2 + 30^2} = 31.18kN$$

- Kiểm tra $N_{\max} < N_{b,\min}$. Bu lông đảm bảo khả năng chịu lực.

2. Kiểm tra khả năng chịu lực của sườn đỡ dầm



Hình 1.10 Sơ đồ tính sườn đỡ dầm

- Diện tích tiết diện thực của sườn:

$$A_{s,n} = 8 \times (240 - 3 \times 22) / 100 = 13.92cm^2$$

- Mô men quán tính của tiết diện thực:

$$I_{s,n} = \left[\frac{8 \times 240^3}{12} - \left(3 \times \frac{8 \times 22^3}{12} + 2 \times 8 \times 22 \times 70^2 \right) \right] / 10000 = 747 \text{ cm}^4$$

- Mô đun chống uốn của tiết diện thực:

$$W_{s,n} = \frac{747}{12} = 62.5 \text{ cm}^3$$

- Kiểm tra:

$$\sigma_s = \frac{M_{DP}}{W_{s,n}} = \frac{4.2 \times 10^6}{62.5 \times 10^3} = 67.2 \text{ Mpa}$$

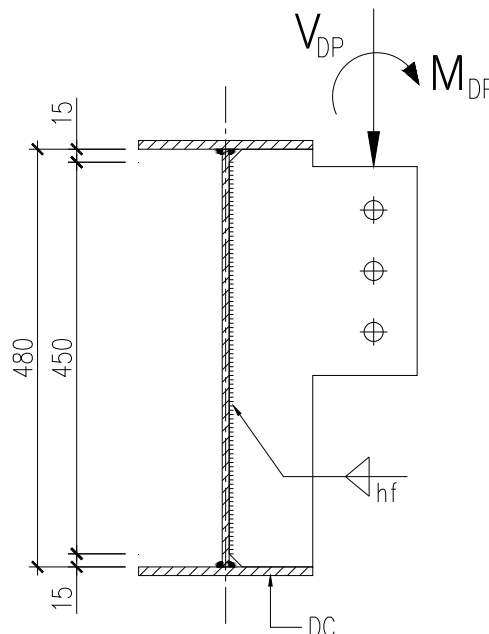
$$\tau_s = \frac{V_{DP}}{A_{s,n}} = \frac{25.5 \times 10^3}{13.9 \times 10^2} = 18.3 \text{ Mpa}$$

$$\frac{0.87}{f_{yd} \gamma_c} \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau_s^2} = \frac{0.87}{224 \times 1.1} \sqrt{67.2^2 + 3 \times 18.3^2} = 0.263 < 1$$

$\gamma_c = 1.1$ hệ số điều kiện làm việc khi kiểm tra bền tiết diện giảm yếu do lỗ bu lông.

Kết luận: sườn đỡ đảm bảo khả năng chịu lực.

3. Kiểm tra khả năng chịu lực của đường hàn



Hình 1.11 Sơ đồ tính sườn hàn

Sườn đỡ dầm liên kết với dầm chính bằng các đường hàn vào cánh và bụng dầm. Thiên về an toàn và để đơn giản cho tính toán, chỉ tính đường hàn liên kết vào bụng dầm chịu lực, gồm 2 đường hàn (hàn hết chiều cao của sườn đỡ).

Kết cấu sử dụng mác thép S235, que hàn N43, hàn tay.

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại đường hàn: $f_{wf} = 180 \text{ Mpa}$

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại biên nóng chảy:

$$f_{ws} = 0.45 f_u = 0.45 \times 360 = 162 \text{ Mpa}$$

- Hệ số phụ thuộc vào công nghệ hàn, chiều cao đường hàn:

$$\beta_f = 0.7; \beta_s = 1.0$$

- Tỷ số $\frac{\beta_f f_{wf}}{\beta_s f_{ws}} = \frac{0.7 \times 180}{1.0 \times 162} = 0.78 < 1$ nên tính toán theo kim loại đường hàn.

Chọn chiều cao đường hàn $h_f = 6 \text{ mm}$ (thỏa mãn $h_{f \min} \leq h_f \leq h_{f \max}$); chiều dài tính toán của đường hàn $L_w = 450 - 10 = 440 \text{ mm}$.

- Ứng suất trong đường hàn do mô men gây ra:

$$\tau_M = \frac{M_{DP}}{W_{wf}} = \frac{6 \times 4.2 \times 10^6}{2 \times 0.7 \times 6 \times 440^2} = 15.5 \text{ Mpa}$$

- Ứng suất trong đường hàn do lực cắt gây ra:

$$\tau_V = \frac{V_{DP}}{A_{wf}} = \frac{25.5 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 6 \times 440} = 6.9 \text{ Mpa}$$

- Kiểm tra:

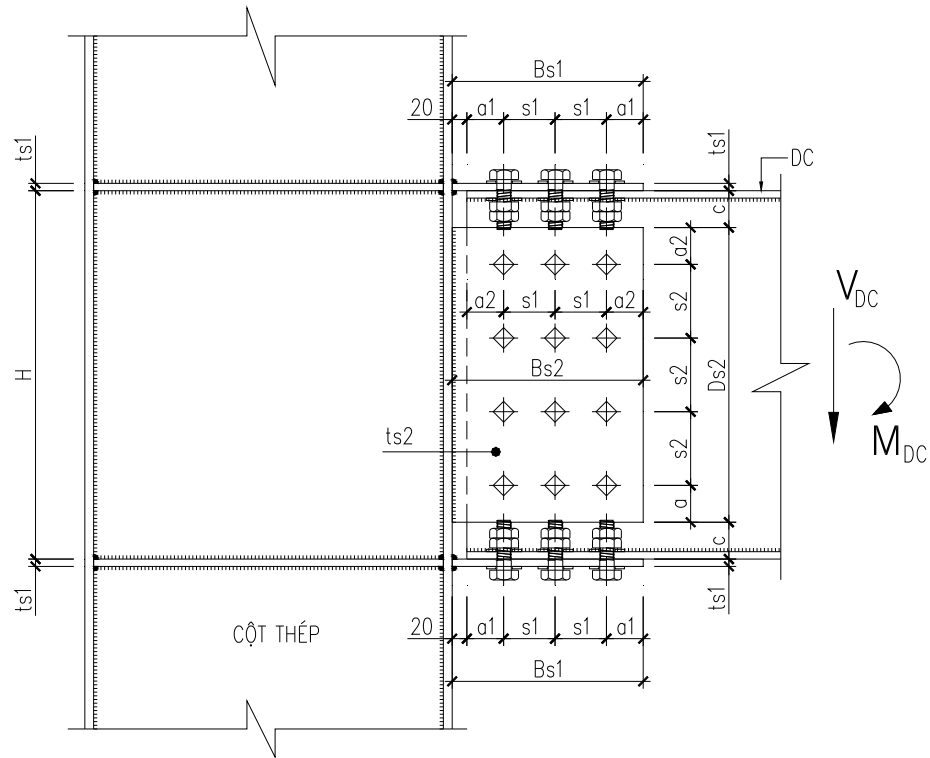
$$\tau_{td} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_V^2} = \sqrt{15.5^2 + 6.9^2} = 16.96 \text{ Mpa}$$

$$\frac{\tau_{td}}{f_{wf} \gamma_c} = \frac{16.96}{180 \times 0.9} = 0.11 < 1$$

Kết luận: đường hàn liên kết sườn đỡ đảm bảo khả năng chịu lực.

VI. Thiết kế liên kết dầm chính-cột

Dầm chính liên kết với cột bằng bu lông và bản mã. Liên kết có dạng như hình vẽ.



Hình 1.12 Dạng liên kết dầm chính-cột

- Giả thiết tính toán:
 - Mô men uốn M tác dụng tại vị trí liên kết được phân phối cho liên kết cánh và liên kết bụng dầm theo tỷ lệ thuận với độ cứng tiết diện của chúng.
 - Lực cắt V tác dụng tại vị trí liên kết hoàn toàn do liên kết bụng dầm chịu và được coi là phân bố đều cho các bu lông.
- Lực tác dụng tại vị trí liên kết:

$$M_{DC} = 195.8 \text{ kNm}; V_{DC} = 130.5 \text{ kN}$$

- Đặc trưng hình học của tiết diện dầm chính:

$$I_x = 31386.1 \text{ cm}^4; I_w = 7372.8 \text{ cm}^4; I_f = 24013.33 \text{ cm}^4$$

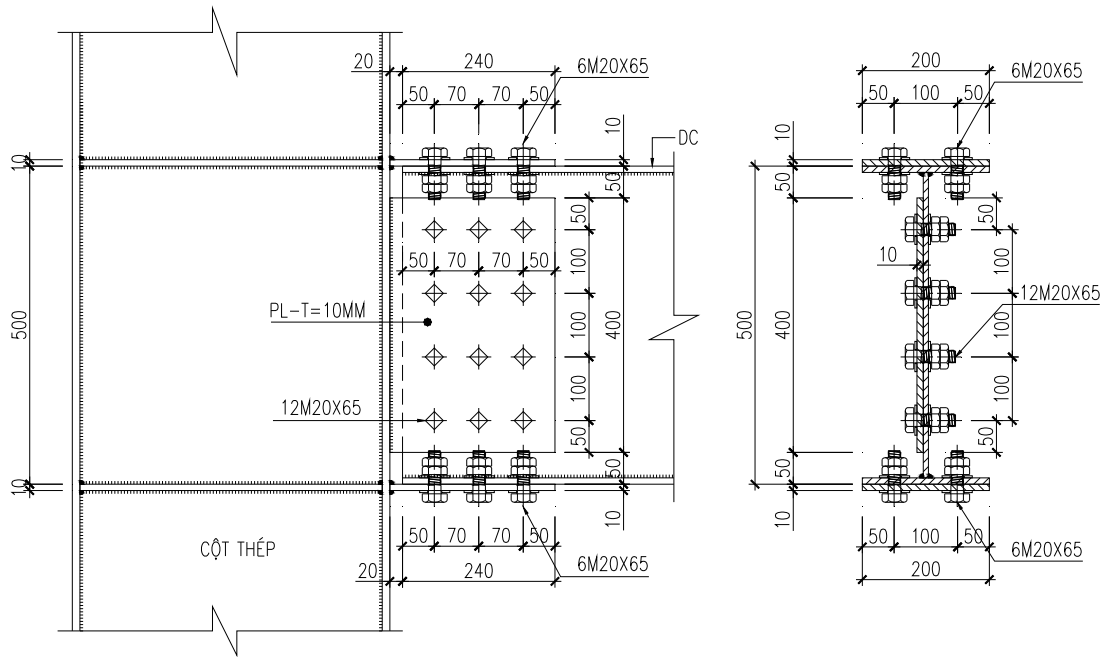
- Lực tác dụng vào liên kết bụng dầm:

$$M_w = \frac{I_w}{I_x} M_{DC} = 46 \text{ kNm}; V_{DC} = 130.5 \text{ kN}$$

- Lực tác dụng vào liên kết cánh dầm:

$$M_f = \frac{I_f}{I_x} M_{DC} = 149.8 \text{ kNm}$$

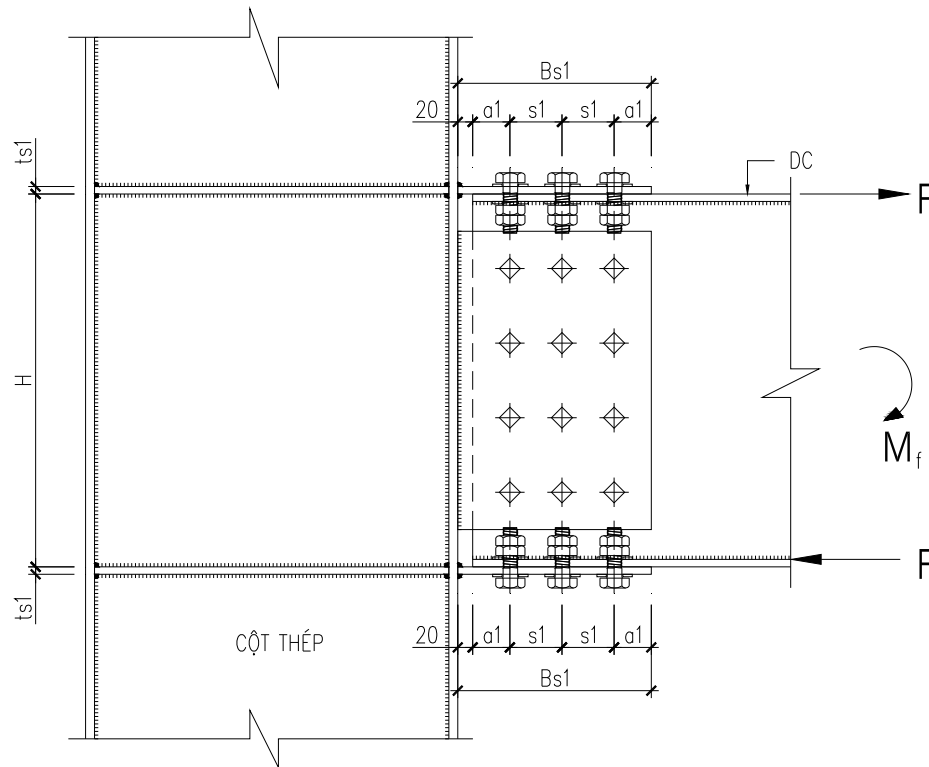
- Bu lông liên kết sử dụng cấp bền 8.8, cấp chính xác cấp B:
- Cường độ chịu cắt tính toán của bu lông: $f_{vb} = 332\text{MPa}$
- Cường độ chịu kéo tính toán của bu lông: $f_{tb} = 448\text{MPa}$
- Cường độ chịu ép mặt tính toán của cấu kiện được liên kết: $f_{cb} = 475\text{MPa}$
- Chọn đường kính bu lông $d_b = 20\text{mm}$, đường kính lỗ bu lông $d_h = 22\text{mm}$
- Sơ bộ chọn bản mã, số lượng bu lông và bố trí như hình vẽ (thỏa mãn các điều kiện về khoảng cách bu lông):



Hình 1.13 Liên kết dầm chính-cột

1. Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bản cánh

1.1. Kiểm tra khả năng chịu lực của bu lông



Hình 1.14 Sơ đồ tính liên kết bản cánh

- Khả năng chịu cắt của một bu lông:

$$N_{vb} = f_{vb} A_b n_v \gamma_b \gamma_c$$

$\gamma_c = 0.9$ hệ số điều kiện làm việc của cấu kiện.

$\gamma_b = 0.9$ hệ số điều kiện làm việc của liên kết

$n_v = 1.0$ là số lượng mặt cắt tính toán.

$$N_{vb} = 332 \times 3.14 \times 10^2 \times 1.0 \times 0.9 \times 0.9 / 1000 = 84.4 kN$$

- Khả năng chịu ép mặt của một bu lông:

$$N_{cb} = f_{cb} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c$$

$\sum t = 10mm$ là tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía.

$$N_{cb} = 475 \times 20 \times 10 \times 0.9 \times 0.9 / 1000 = 76.95 kN$$

- Khả năng chịu lực (cắt) của một bu lông:

$$N_{b,min} = \min(N_{vb}; N_{cb}) = 76.95 kN$$

- Mô men M_f được quy thành cặp ngẫu lực tác dụng lên liên kết cánh trên và cánh dưới dầm:

$$F = \frac{M_f}{H} = \frac{149.8 \times 10^3}{500} = 299.6 kN$$

- Lực cắt trong mỗi bu lông gây ra bởi lực F:

$$N_b^F = \frac{F}{n} = \frac{299.6}{6} = 49.9 kN$$

- Kiểm tra $N_b^F < N_{b,min}$. Bu lông đảm bảo khả năng chịu lực.

1.2. Kiểm tra khả năng chịu lực của bản mã liên kết cánh

- Diện tích tiết diện thực của bản mã:

$$A_{s,n} = 10 \times (200 - 2 \times 22) / 100 = 15.6 cm^2$$

- Kiểm tra:

$$\frac{F}{A_{s,n} f_{yd} \gamma_c} = \frac{299.6 \times 10^3}{15.6 \times 10^2 \times 224 \times 1.1} = 0.78 < 1$$

$\gamma_c = 1.1$ hệ số điều kiện làm việc khi kiểm tra bền tiết diện giảm yếu do lỗ bu lông.

Kết luận: bản mã liên kết cánh đảm bảo khả năng chịu lực.

1.3. Kiểm tra khả năng chịu lực của đường hàn

Bản mã liên kết với cánh cột bằng 2 đường hàn góc, hàn hết phần tiếp xúc giữa 2 cấu kiện. Kết cấu sử dụng mác thép S235, que hàn N43, hàn tay.

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại đường hàn: $f_{wf} = 180 Mpa$
- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại biên nóng chảy:

$$f_{ws} = 0.45 f_u = 0.45 \times 360 = 162 Mpa$$

- Hệ số phụ thuộc vào công nghệ hàn, chiều cao đường hàn:

$$\beta_f = 0.7; \beta_s = 1.0$$

- Tỷ số $\frac{\beta_f f_{wf}}{\beta_s f_{ws}} = \frac{0.7 \times 180}{1.0 \times 162} = 0.78 < 1$ nên tính toán theo kim loại đường hàn.

Chọn chiều cao đường hàn $h_f = 8 mm$ (thỏa mãn $h_{f,min} \leq h_f \leq h_{f,max}$); chiều dài tính toán của đường hàn $L_w = 200 - 10 = 190 mm$.

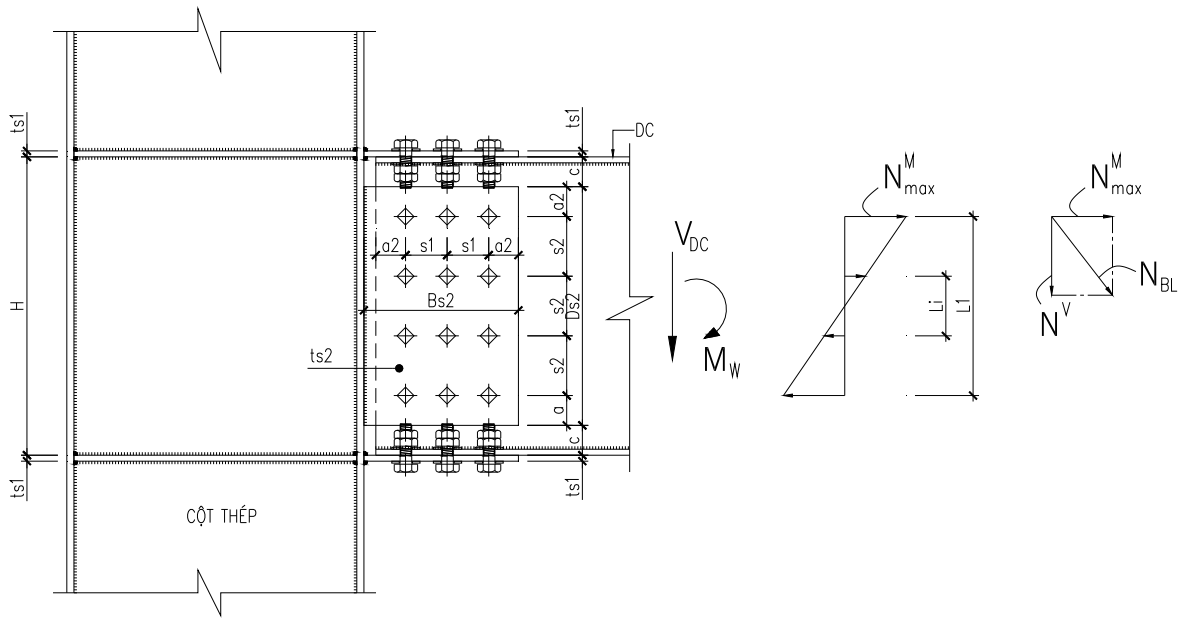
- Kiểm tra:

$$\frac{F}{\beta_f f_{wf} h_f \sum L_w \gamma_c} = \frac{299.6 \times 10^3}{0.7 \times 180 \times 8 \times 2 \times 190 \times 0.9} = 0.87 < 1$$

Kết luận: đường hàn liên kết bản mã đảm bảo khả năng chịu lực.

2. Kiểm tra khả năng chịu lực của liên kết bản bụng

2.1. Kiểm tra khả năng chịu lực của cụm bu lông:



Hình 1.15 Sơ đồ tính liên kết bản bụng

- Khả năng chịu cắt của một bu lông:

$$N_{vb} = f_{vb} A_b n_v \gamma_b \gamma_c$$

$\gamma_c = 0.9$ hệ số điều kiện làm việc của cấu kiện.

$\gamma_b = 0.9$ hệ số điều kiện làm việc của liên kết

$n_v = 1.0$ là số lượng mặt cắt tính toán.

$$N_{vb} = 332 \times 3.14 \times 10^2 \times 1.0 \times 0.9 \times 0.9 / 1000 = 84.4 kN$$

- Khả năng chịu ép mặt của một bu lông:

$$N_{cb} = f_{cb} d_b \sum t \gamma_b \gamma_c$$

$\sum t = 8mm$ là tổng chiều dày nhỏ nhất của các bản thép cùng trượt về một phía.

$$N_{cb} = 475 \times 20 \times 8 \times 0.9 \times 0.9 / 1000 = 61.56 kN$$

- Khả năng chịu lực (cắt) của một bu lông:

$$N_{b,\min} = \min(N_{cb}; N_{cb}) = 61.56kN$$

- Lực cắt trong mỗi bu lông gây ra bởi lực V_{DC} :

$$N_b^V = \frac{V_{DP}}{n} = \frac{130.5}{12} = 10.88kN$$

- Lực cắt trong mỗi bu lông gây ra bởi mô men M_w :

$$N_b^M = \frac{M_w L_{\max}}{m \sum L_i^2} = \frac{46 \times 10^3 \times 300}{3 \times (300^2 + 100^2)} = 46kN$$

- Lực cắt lớn nhất trong một bu lông:

$$N_{\max} = \sqrt{(N_b^V)^2 + (N_b^M)^2} = \sqrt{10.88^2 + 46^2} = 47.3kN$$

- Kiểm tra $N_{\max} < N_{b,\min}$. Bu lông đảm bảo khả năng chịu lực.

2.2. Kiểm tra khả năng chịu lực của bản mã liên kết bụng

- Diện tích tiết diện thực của bản mã:

$$A_{s,n} = 10 \times (400 - 4 \times 22) / 100 = 31.2cm^2$$

- Mô men quán tính của tiết diện thực:

$$I_{s,n} = \left[\frac{10 \times 400^3}{12} - \left(4 \times \frac{10 \times 22^3}{12} + 2 \times 10 \times 22 \times 150^2 + 2 \times 10 \times 22 \times 50^2 \right) \right] / 10000$$

$$= 4229.8cm^4$$

- Mô đun chống uốn của tiết diện thực:

$$W_{s,n} = \frac{4229.8}{20} = 211.8cm^3$$

- Kiểm tra:

$$\sigma_s = \frac{M_{DP}}{W_{s,n}} = \frac{46 \times 10^6}{211.5 \times 10^3} = 217.5Mpa$$

$$\tau_s = \frac{V_{DP}}{A_{s,n}} = \frac{130.5 \times 10^3}{31.2 \times 10^2} = 41.83Mpa$$

$$\frac{0.87}{f_{yd}\gamma_c} \sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau_s^2} = \frac{0.87}{224 \times 1.1} \sqrt{217.5^2 + 3 \times 41.83^2} = 0.81 < 1$$

$\gamma_c = 1.1$ hệ số điều kiện làm việc khi kiểm tra bền tiết diện giảm yếu do lỗ bu lông.

Kết luận: bản mã liên kết bụng đảm bảo khả năng chịu lực.

2.3. Kiểm tra khả năng chịu lực của đường hàn

Bản mã liên kết với cánh cột bằng 2 đường hàn góc, hàn hết phần tiếp xúc giữa 2 cầu kiện. Kết cấu sử dụng mác thép S235, que hàn N43, hàn tay.

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại đường hàn: $f_{wf} = 180 \text{ Mpa}$

- Cường độ tính toán chịu cắt theo kim loại biên nóng chảy:

$$f_{ws} = 0.45 f_u = 0.45 \times 360 = 162 \text{ Mpa}$$

- Hệ số phụ thuộc vào công nghệ hàn, chiều cao đường hàn:

$$\beta_f = 0.7; \beta_s = 1.0$$

- Tỷ số $\frac{\beta_f f_{wf}}{\beta_s f_{ws}} = \frac{0.7 \times 180}{1.0 \times 162} = 0.78 < 1$ nên tính toán theo kim loại đường hàn.

Chọn chiều cao đường hàn $h_f = 9 \text{ mm}$ (thỏa mãn $h_{f \min} \leq h_f \leq h_{f \max}$); chiều dài tính toán của đường hàn $L_w = 400 - 10 = 390 \text{ mm}$.

- Ứng suất trong đường hàn do mô men gây ra:

$$\tau_M = \frac{M_w}{W_{wf}} = \frac{6 \times 46 \times 10^6}{2 \times 0.7 \times 9 \times 390^2} = 144 \text{ MPa}$$

- Ứng suất trong đường hàn do lực cắt gây ra:

$$\tau_V = \frac{V_{DP}}{A_{wf}} = \frac{130.5 \times 10^3}{2 \times 0.7 \times 9 \times 390} = 25.56 \text{ MPa}$$

- Kiểm tra:

$$\tau_{td} = \sqrt{\tau_M^2 + \tau_V^2} = \sqrt{144^2 + 25.56^2} = 146.4 \text{ MPa}$$

$$\frac{\tau_{td}}{f_{wf} \gamma_c} = \frac{146.4}{180 \times 0.9} = 0.9 < 1$$

Kết luận: đường hàn liên kết sườn đỡ đảm bảo khả năng chịu lực.