

CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN THIẾT KẾ DẦM SUPER T BTCT DƯỠNG

Lập bởi : Đào Duy Lâm-Bm CTGTTP

Chương trình thiết kế dầm Super T bằng MathCAD. Quy ước sử dụng:

- + Nhập số liệu vào các ô màu vàng
- + Di chuyển đến phần tính duyệt nếu tất cả các mục đều hiện "Đạt" là thiết kế thỏa mãn. Nếu hiện "**Không đạt**" thì cần thay đổi số liệu đầu vào (kích thước dầm, đặc trưng vật liệu...). Tuy nhiên nếu các giá trị nội lực, ứng suất quá nhỏ so với các giá trị giới hạn thì cần thay đổi số liệu để có một thiết kế tối ưu.

+ Một số ký hiệu trong bản tính MathCad:

- gán giá trị: ' := ' VD: $L := 30\text{m}$

- kết quả tính của chương trình thể hiện sau dấu '='

VD: $L_{tt} := L - 2 \cdot 0.3\text{m}$ từ đó $L_{tt} = 29.4\text{ m}$

- Trong ví dụ này các giá trị tại các mặt cắt sẽ được thể hiện dưới dạng véc tơ:

VD: các mặt cắt lần lượt là gối ($x=0$), $L/4$, $L/2$

mô men tương ứng tại các mặt cắt là M_0, M_1, M_2

Chương trình sẽ thể hiện dưới dạng:

$$x_{mc} := \begin{pmatrix} 0\text{m} \\ \frac{L}{4} \\ \frac{L}{2} \end{pmatrix} \quad M_{mc} := \begin{pmatrix} M_0 \\ M_1 \\ M_2 \end{pmatrix}$$

I. SỐ LIỆU THIẾT KẾ

Chiều dài toàn dầm: $L := 38.3\text{m}$

K/c đầu dầm đến tim gối: $a := 0.35\text{m}$

Khẩu độ tính toán: $L_{tt} := L - 2 \cdot a$

$L_{tt} = 37.6\text{ m}$

Tải trọng thiết kế :
+ Hoạt tải HL 93
+ Tải trọng người đi 3KPa

Mặt xe chạy: $B_1 := 7.0\text{m}$

Dải phân cách: $B_2 := 0.25\text{m}$

$\text{MPa} \equiv 10^6 \cdot \text{Pa}$

Lề người đi: $B_3 := 1.5\text{m}$

$\text{kN} \equiv 1000\text{N}$

Lan can: $B_4 := 0.5\text{m}$

Tổng bề rộng cầu : $B := B_1 + 2 \cdot B_2 + 2 \cdot B_3 + 2 \cdot B_4$ $B = 11.5\text{ m}$

Dạng kết cấu nhịp: Cầu dầm
 Dạng mặt cắt : Super T
 Vật liệu kết cấu: BTCT dự ứng ứng lực
 Công nghệ chế tạo: Căng trước
 Cấp bê tông : dầm chủ: $f_{c1} := 50\text{MPa}$ bản mặt cầu: $f_{c2} := 35\text{MPa}$
 Tỷ trọng bê tông: $\gamma_c := 2450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Loại cốt thép DUL: thép Tao 7 sợi xoắn đường kính $D_{ps} := 15.2\text{mm}$

Cường độ chịu kéo tiêu chuẩn: $f_{pu} := 1860\text{MPa}$

Thép thường: G60 $f_u := 620\text{MPa}$ $f_y := 420\text{MPa}$

Quy trình thiết kế: 22TCN 272 - 05

Nên chọn:

+ $S_{chắn} = 2.0\text{m} - 2.5\text{m}$

+ Số dầm lấy số nguyên trong khoảng

$$\left(\frac{B}{2m} \leq N_b \leq \frac{B}{2.5m} \right); \quad \blacksquare$$

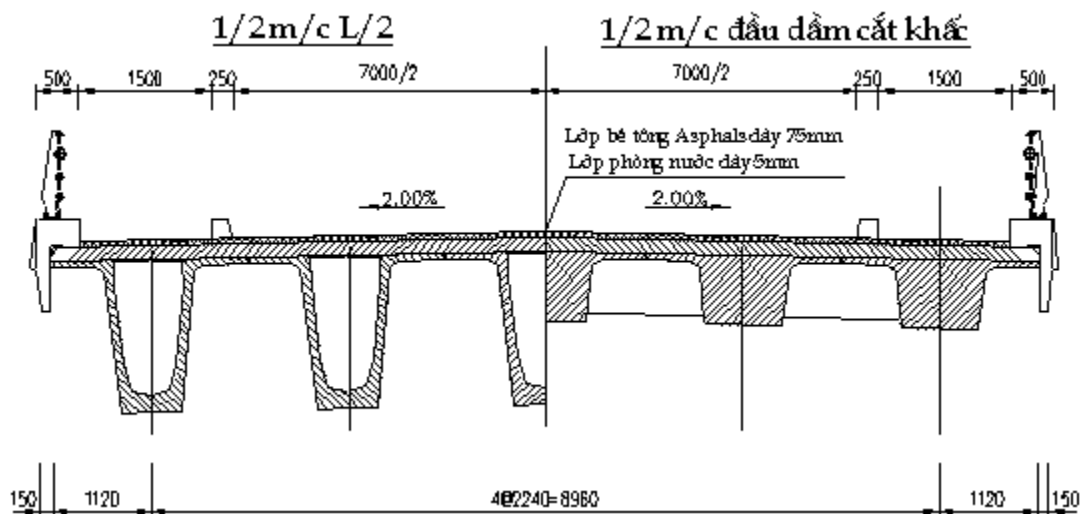
II. THIẾT KẾ CẤU TẠO

2.1. Lựa chọn kích thước mặt cắt ngang cầu

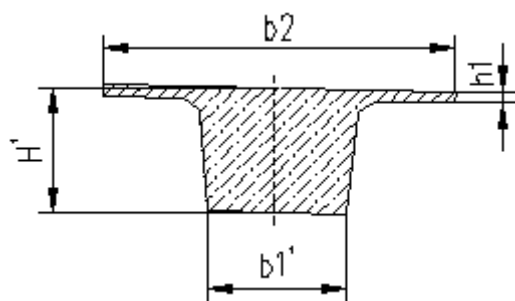
- Số lượng dầm chủ: $N_b := 5$
- Khoảng cách giữa 2 dầm chủ: $S := 2240\text{mm}$
- Lề người đi đồng mức với mặt cầu phần xe chạy, và được ngăn cách với nhau bằng gờ phân cách
- Bố trí dầm ngang tại các vị trí gối cầu: 2 mặt cắt
- Số lượng dầm ngang : $N_n := (N_b - 1) \cdot 2$ $N_n = 8$
- Phân cánh hẫng: $S_k := \frac{B - (N_b - 1)S - 2 \cdot 150\text{mm}}{2}$ $S_k = 1.12\text{ m}$
- Chiều dày trung bình của bản: $h_f := 16\text{cm}$
- Lớp bê tông Atphal: $t_1 := 75\text{mm}$
- Lớp phòng nước: $t_2 := 5\text{mm}$

2.2. Thiết kế dầm chủ

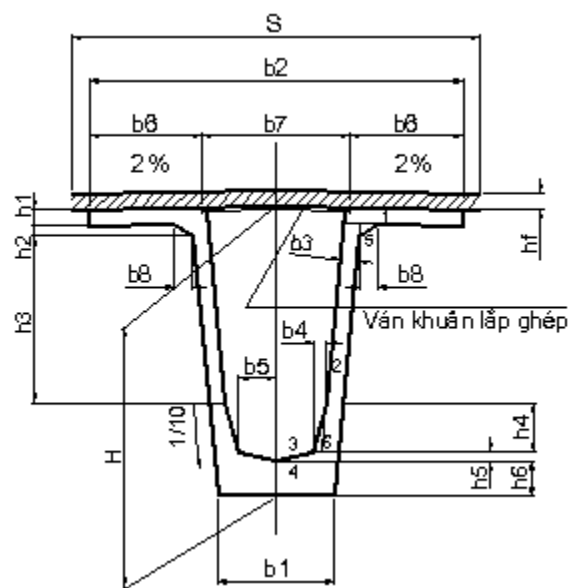
- Chiều cao dầm SuperT: $H := 175\text{cm}$ $H' := 80\text{cm}$
- Chiều cao bầu dầm dưới: $h_6 := 21\text{cm}$
- Chiều cao vút dưới: $h_5 := 5\text{cm}$ $h_4 := 30\text{cm}$
- Bề rộng bầu dầm dưới: $b_1 := 70\text{cm}$ $b'_1 := 89\text{cm}$ $b_4 := 8\text{cm}$ $b_5 := 22.6\text{cm}$
- Bề rộng của sườn : $b_3 := 10\text{cm}$



Hình 2-1: Mặt cắt ngang kết cấu nhịp



Hình 2-2:
Mặt cắt ngang dầm vị trí trên gối



Hình 2-3: Mặt cắt ngang điển hình

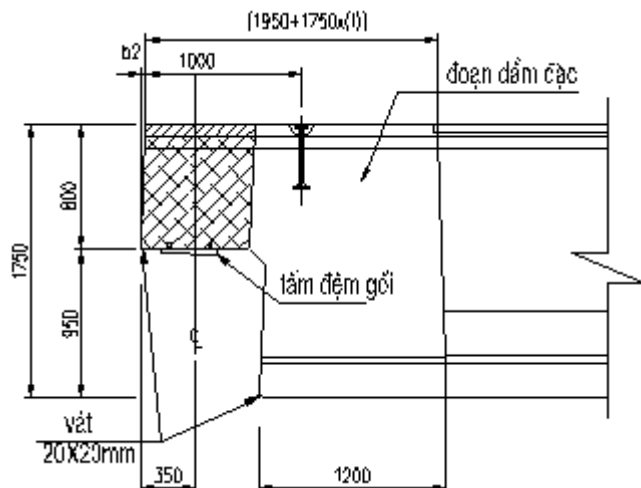
-Chiều cao sườn:

$$h_3 := 101.5\text{cm}$$

- Bề rộng bản cánh trên:

$$b_6 := 65.5\text{cm}$$

- Chiều cao vút trên: $h_2 := 7.5\text{cm}$ $b_7 := 89\text{cm}$
 -Chiều cao cánh dầm: $h_1 := 10\text{cm}$ $b_2 := 2 \cdot b_6 + b_7$ $b_2 = 2.2 \text{ m}$
 - Chiều cao toàn dầm(cả bản mặt cầu) $h := H + h_f$ $h = 1.91 \text{ m}$



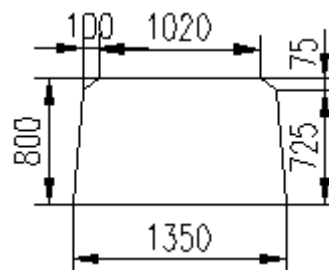
Hình 2-4:
Bố trí đầu dầm Super T

Đoạn cắt khác: $L_{ck} := 800\text{mm}$

Đoạn dầm đặc: $L_{dac} := 1200\text{mm}$

2.3. Cấu tạo dầm ngang

- Chiều cao dầm ngang : $H_{dn} := H'$
 $H_{dn} = 0.8 \text{ m}$
 -Bề dày dầm ngang: $t_{dn} := L_{ck}$
 -Chiều dài dầm ngang : $a'_{dn} := 1020\text{mm}$
 $a_{dn} := 1350\text{mm}$
 Bề rộng vút trên: $a_{vdn} := 100\text{mm}$
 Cao vút trên: $h_{vdn} := 75\text{mm}$
 Diện tích m/c dầm ngang:



$$S_{dn} := (a'_{dn} + a_{vdn}) \cdot h_{vdn} + \frac{a'_{dn} + 2 \cdot a_{vdn} + a_{dn}}{2} \cdot (H_{dn} - h_{vdn})$$

$$S_{dn} = 1.016 \text{ m}^2$$

III.TÍNH TOÁN ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC DẦM SUPER T, HỆ SỐ PHÂN BỐ TẢI TRỌNG

3.1.Tính đặc trưng hình học mặt cắt dầm Super T

Xét các mặt cắt đặc trưng gồm:

- + Mặt cắt gối $x_0 := 0\text{m}$
- + Mặt cắt cách gối dv
(kiểm tra lực cắt) $x_1 := 1.59\text{m}$
- + Mặt cắt không dính bám 1 $x_2 := 3\text{m}$
- + Mặt cắt không dính bám 2 $x_3 := 6\text{m}$
- + Mặt cắt L/2 $x_4 := \frac{L_{tt}}{2}$

Lập véc tơ toạ độ các mặt cắt đặc trưng:

$$x_{mc} := \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

3.1.1. Xét mặt cắt trên gối x_0

Diện tích mặt cắt: $A_0 := 0.87894\text{m}^2$

Mô men tĩnh đối với đáy dầm: $S_{b0} := 0.1145\text{m}^3$

Mô men tĩnh đối với thớ trên dầm: $S_{t0} := 0.04295\text{m}^3$

Mô men quán tính đối với trục trung hoà:

$$I_{d0} := 0.0515\text{m}^4$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến đáy dầm:

$$y_{b0} := 0.45009\text{m}$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến thớ trên dầm:

$$y_{t0} := H' - y_{b0} \quad y_{t0} = 0.35 \text{ m}$$

3.1.2. Xét mặt cắt bất lợi về lực cắt cách gối dv:

$$x_1 = 1.59 \text{ m}$$

Mặt cắt Super T đặc:

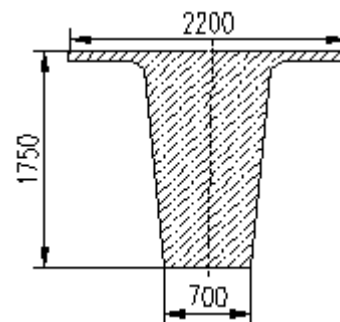
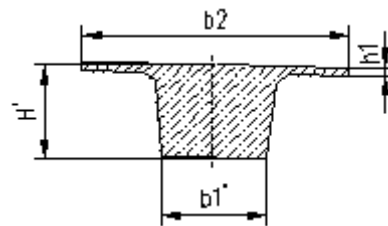
Diện tích mặt cắt: $A_1 := 1.65419\text{m}^2$

Mô men tĩnh đối với đáy dầm:

$$S_{b1} := 0.45641\text{m}^3$$

Mô men tĩnh đối với thớ trên dầm:

$$S_{t1} := 0.59452\text{m}^3$$



Mô men quán tính đối với trục trung hoà:

$$I_{d1} := 0.45184 \text{ m}^4$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến đáy dầm:

$$y_{b1} := 0.98999 \text{ m}$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến thớ trên dầm:

$$y_{t1} := H - y_{b1} \quad y_{t1} = 0.76 \text{ m}$$

3.1.3. Mặt cắt đặc trưng x_2, x_3, x_4

Mặt cắt Super T rộng:

Diện tích mặt cắt: $\underline{A} := 0.61598 \text{ m}^2$

Mô men tĩnh đối với đáy dầm:

$$S_{b2} := 0.28407 \text{ m}^3$$

Mô men tĩnh đối với thớ trên dầm:

$$S_{t2} := 0.28314 \text{ m}^3$$

Mô men quán tính đối với trục trung hoà:

$$I_{d2} := 0.24815 \text{ m}^4$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến đáy dầm:

$$y_{b2} := 0.87356 \text{ m}$$

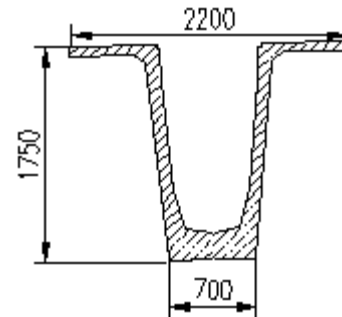
Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến thớ trên dầm:

$$y_{t2} := H - y_{b2} \quad y_{t2} = 0.876 \text{ m}$$

Tổ hợp đặc trưng hình học tại các mặt cắt:

+ Diện tích các mặt cắt

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad A_{mc} := \begin{pmatrix} A_0 \\ A_1 \\ A \\ A \\ A \end{pmatrix} \quad A_{mc} = \begin{pmatrix} 0.879 \\ 1.654 \\ 0.616 \\ 0.616 \\ 0.616 \end{pmatrix} \text{ m}^2$$



+ Mô men tĩnh đối với đáy dầm:

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad S_b := \begin{pmatrix} S_{b0} \\ S_{b1} \\ S_{b2} \\ S_{b2} \\ S_{b2} \end{pmatrix} \quad S_b = \begin{pmatrix} 0.115 \\ 0.456 \\ 0.284 \\ 0.284 \\ 0.284 \end{pmatrix} \text{ m}^3$$

Mô men tĩnh đối với thớt trên dầm:

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad S_t := \begin{pmatrix} S_{t0} \\ S_{t1} \\ S_{t2} \\ S_{t2} \\ S_{t2} \end{pmatrix} \quad S_t = \begin{pmatrix} 0.043 \\ 0.595 \\ 0.283 \\ 0.283 \\ 0.283 \end{pmatrix} \text{ m}^3$$

Mô men quán tính đối với trục trung hoà:

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad I_d := \begin{pmatrix} I_{d0} \\ I_{d1} \\ I_{d2} \\ I_{d2} \\ I_{d2} \end{pmatrix} \quad I_d = \begin{pmatrix} 0.052 \\ 0.452 \\ 0.248 \\ 0.248 \\ 0.248 \end{pmatrix} \text{ m}^4$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến đáy dầm:

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad y_b := \begin{pmatrix} y_{b0} \\ y_{b1} \\ y_{b2} \\ y_{b2} \\ y_{b2} \end{pmatrix} \quad y_b = \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.99 \\ 0.874 \\ 0.874 \\ 0.874 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến thớt trên dầm:

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad y_t := \begin{pmatrix} y_{t0} \\ y_{t1} \\ y_{t2} \\ y_{t2} \\ y_{t2} \end{pmatrix} \quad y_t = \begin{pmatrix} 0.35 \\ 0.76 \\ 0.876 \\ 0.876 \\ 0.876 \end{pmatrix} \text{ m}$$

3.2. Hệ số làn

Số làn thiết kế:

$$n_{lan} := \begin{cases} \frac{B_1}{3.5m} & \text{if } B_1 \geq 7m \\ 2 & \text{if } 6m \leq B_1 < 7m \\ 1 & \text{if } B_1 < 6m \end{cases} \quad n_{lan} = 2$$

$$\text{Hệ số làn: } m_{lan} := \begin{cases} 1.2 & \text{if } n_{lan} = 1 \\ 1 & \text{if } n_{lan} = 2 \\ 0.85 & \text{if } n_{lan} = 3 \\ 0.65 & \text{if } n_{lan} > 3 \\ \text{"xem lại số liệu"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad m_{lan} = 1$$

3.3. Phân bố hoạt tải theo làn đối với mô men

Cường độ chịu nén của bê tông làm dầm: $f_{c1} = 50 \text{ MPa}$

Mô đun đàn hồi của dầm: $E_{cdam} := 0.043 \cdot \left(\gamma_c \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^{1.5} \cdot \sqrt{f_{c1} \cdot \text{MPa}}$

$$E_{cdam} = 3.687 \times 10^4 \text{ MPa}$$

Cường độ chịu nén của bê tông làm bản mặt: $f_{c2} = 35 \text{ MPa}$

Mô đun đàn hồi của bản mặt: $E_{cbán} := 0.043 \cdot \left(\gamma_c \cdot \frac{m^3}{kg} \right)^{1.5} \cdot \sqrt{f_{c2} \cdot \text{MPa}}$

$$E_{cbán} = 3.085 \times 10^4 \text{ MPa}$$

3.3.1. Hệ số phân bố hoạt tải đối với mô men trong các dầm giữa

Với dầm Super T, hệ số phân bố ngang được tính theo công thức sau:

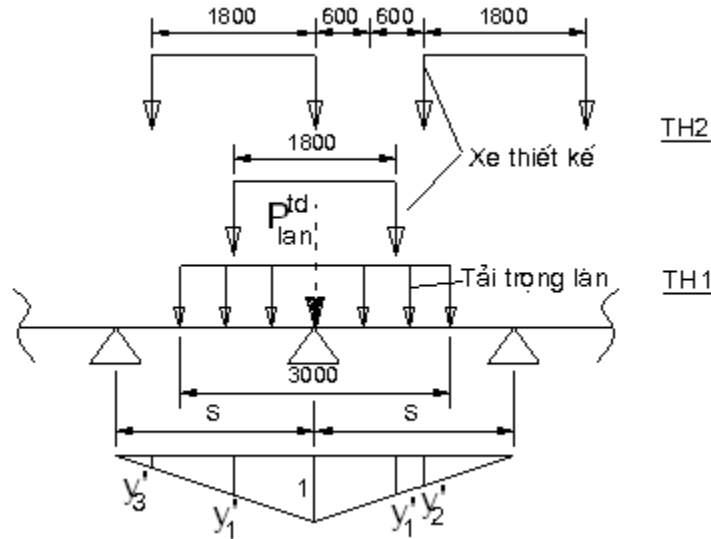
- Với một làn thiết kế chịu tải:

$$g_{mg1} := \left(\frac{S}{910mm} \right)^{0.35} \cdot \left(\frac{S \cdot H}{L_{tt}^2} \right)^{0.25} \quad g_{mg1} = 0.315$$

- Hai hoặc nhiều làn thiết kế chịu tải:

$$g_{mg2} := \left(\frac{S}{1900\text{mm}} \right)^{0.6} \cdot \left(\frac{S \cdot H}{L_{tt}^2} \right)^{0.125} \quad g_{mg2} = 0.529$$

-Phương pháp đòn bẩy:



Hình 3-2: Sơ đồ tính của phương pháp đòn bẩy đối với dầm giữa

$$y'_1 := \frac{S - 900\text{mm}}{S} \cdot 1 \quad y'_1 = 0.598$$

$$y'_2 := \frac{S - 2 \cdot 600\text{mm}}{S} \cdot 1 \quad y'_2 = 0.464$$

$$y'_3 := \begin{cases} 0 & \text{if } S \leq 1800\text{mm} \\ \frac{S - 1800\text{mm}}{S} & \text{otherwise} \end{cases} \quad y'_3 = 0.196$$

$$y'_4 := \begin{cases} 0 & \text{if } S \leq (1800\text{mm} + 2 \cdot 600\text{mm}) \\ \frac{S - 3000\text{mm}}{S} & \text{otherwise} \end{cases} \quad y'_4 = 0$$

Với xe tải thiết kế:

$$g_{HL1} := m_{lan} \cdot \max \left[\left(\frac{1}{2} \cdot 2y'_1 \right), \frac{1}{4} (y'_3 + 1 + y'_2 + y'_4) \right]$$

$$g_{HL1} = 0.598$$

Với tải trọng làn:

Thiên về an toàn coi tải trọng làn theo phương ngang cầu là tải trọng tập trung.

$$g_{Lan1} := 1.2 \cdot 1$$

$$g_{Lan1} = 1.2$$

Phạm vi áp dụng:

Chọn giá trị cực đại làm phân bố hệ số mô men thiết kế của các dầm giữa:

$$g_{mg3} := \max(g_{mg1}, g_{mg2}) \quad g_{mg3} = 0.529$$

Kiểm tra hệ số phân bố thoả mãn tiêu chuẩn 22 TCN-272-05 đối với phạm vi áp dụng:

$$g_{mg} := \begin{cases} S \leftarrow (S \geq 1800\text{mm}) \cdot (S \leq 3500\text{mm}) \\ H \leftarrow (H \geq 450\text{mm}) \cdot (H \leq 1700\text{mm}) \\ L_{tt} \leftarrow (L_{tt} \geq 6000\text{mm}) \cdot (L_{tt} \leq 43000\text{mm}) \\ N_b \leftarrow N_b \geq 3 \\ g_{mg3} \text{ if } S \cdot H \cdot L_{tt} \cdot N_b \\ \text{" Không nằm trong phạm vi áp dụng, hãy dùng PP đòn bẩy" } \text{ otherwise} \end{cases}$$

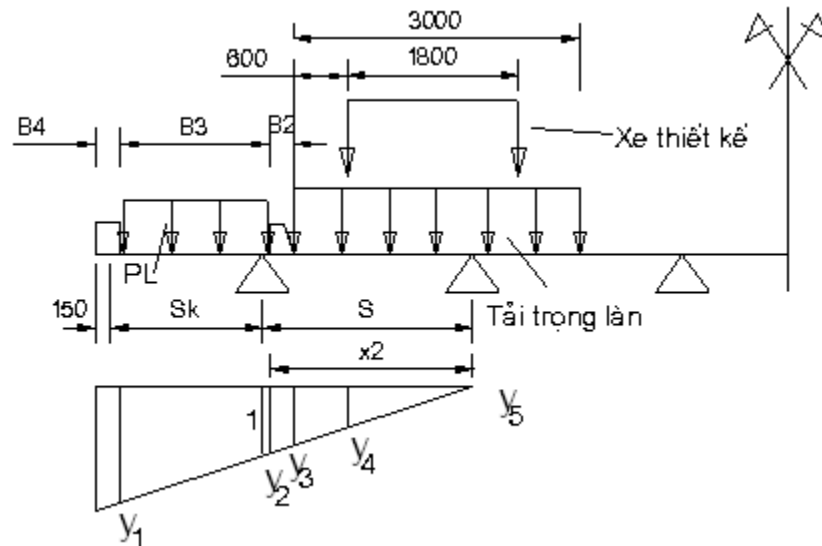
$$g_{mg} = \text{" Không nằm trong phạm vi áp dụng, hãy dùng PP đòn bẩy"}$$

$$g_{mgHL} := \begin{cases} \max(g_{mg}, g_{HL1}) & \text{if } g_{mg} = g_{mg3} \\ g_{HL1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{mgHL} = 0.598$$

$$g_{mglan} := \begin{cases} \max(g_{mg}, g_{Lan1}) & \text{if } g_{mg} = g_{mg3} \\ g_{Lan1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{mglan} = 1.2$$

3.3.2. Hệ số phân bố hoạt tải đối với mô men của dầm biên

- Một làn thiết kế chịu tải: Dùng phương pháp đòn bẩy.



Hình 3-3: Sơ đồ tính theo phương pháp đòn bẩy cho dầm biên

Phương trình tung độ đường ảnh hưởng: $y_{db}(x) := \frac{x}{S}$

Một làn thiết kế hệ số làn = 1.2

$$y_1 := y_{db}(S + S_k + 150\text{mm} - B_4)$$

$$y_2 := y_{db}(S + S_k + 150\text{mm} - B_4 - B_3)$$

$$\begin{aligned}
y_3 &:= y_{db}(S + S_k + 150\text{mm} - B_4 - B_3 - B_2) \\
y_4 &:= y_{db}(S + S_k + 150\text{mm} - B_4 - B_3 - B_2 - 0.6\text{m}) \\
y_5 &:= \begin{cases} 0 & \text{if } S \leq B_3 + B_2 + B_4 - S_k - 150\text{mm} + 2.4\text{m} \\ y_{db}(S + S_k + 150\text{mm} - B_4 - B_3 - B_2 - 2.4\text{m}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad y_5 = 0
\end{aligned}$$

Với xe tải thiết kế:

$$g_{HL2} := 1.2 \cdot \frac{1}{2} \cdot (y_4 + y_5) \quad g_{HL2} = 0.177$$

Với tải trọng người đi:

$$g_{PL2} := \frac{1.2}{B_3} \cdot \frac{1}{2} \cdot (y_1 + y_2) \cdot B_3 \quad g_{PL2} = 1.211$$

Với tải trọng làn:

$$\begin{aligned}
g_{Lan2} &:= \frac{1.2}{3\text{m}} \cdot \frac{1}{2} \cdot y_3 \cdot (S + S_k + 150\text{mm} - B_4 - B_3 - B_2) \\
g_{Lan2} &= 0.142
\end{aligned}$$

- Hai hoặc nhiều làn thiết kế

Khoảng cách giữa tim bản bệ phía ngoài của dầm biên và mép trong bó vỉa hoặc lan can chắn xe:

$$\begin{aligned}
d_e &:= S_k + 0.15\text{m} - B_4 - B_3 - B_2 \quad d_e = -0.98 \text{ m} \\
g_{mb2} &:= g_{mg3} \cdot \left(0.97 + \frac{d_e}{8700\text{mm}} \right) \\
g_{mb2} &= 0.453
\end{aligned}$$

Phạm vi áp dụng:

$$g_{mb} := \begin{cases} d_e \leftarrow (d_e \geq 0\text{mm}) \cdot (d_e \leq 1400\text{mm}) \\ S \leftarrow (S \geq 1800\text{mm}) \cdot (S \leq 3500\text{mm}) \\ g_{mb2} & \text{if } d_e \cdot S \\ \text{"Không nằm trong phạm vi áp dụng"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$g_{mb} = \text{"Không nằm trong phạm vi áp dụng"}$

$$g_{mbHL} := \begin{cases} \max(g_{mb}, g_{HL2}) & \text{if } g_{mb} = g_{mb2} \\ g_{HL2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{mbHL} = 0.177$$

$$g_{mbLan} := \begin{cases} \max(g_{mb}, g_{Lan2}) & \text{if } g_{mb} = g_{mb2} \\ g_{Lan2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{mbLan} = 0.142$$

$$g_{mbPL} := \begin{cases} \max(g_{mb}, g_{PL2}) & \text{if } g_{mb} = g_{mb2} \\ g_{PL2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{mbPL} = 1.211$$

3.4. Hệ số phân bố hoạt tải theo làn đối với lực cắt

3.4.1. Hệ số phân bố hoạt tải đối với lực cắt trong các dầm dọc giữa

-Với một lần thiết kế chịu tải:

$$g_{vg1} := \left(\frac{S}{3050\text{mm}} \right)^{0.6} \cdot \left(\frac{H}{L_{tt}} \right)^{0.1} \quad g_{vg1} = 0.611$$

-Với hai hoặc nhiều lần thiết kế chịu tải:

$$g_{vg2} := \left(\frac{S}{2250\text{mm}} \right)^{0.8} \cdot \left(\frac{H}{L_{tt}} \right)^{0.1} \quad g_{vg2} = 0.733$$

Phạm vi áp dụng:

Giá trị cực đại được chọn cho sự phân bố hệ số lực cắt thiết kế của các dầm giữa:

$$g_{vg3} := \max(g_{vg1}, g_{vg2}) \quad g_{vg3} = 0.733$$

Kiểm tra hệ số phân bố thoả mãn tiêu chuẩn 22 TCN-272-05 đối với phạm vi áp dụng:

$$g_{vg} := \begin{cases} S \leftarrow (S \geq 1800\text{mm}) \cdot (S \leq 3500\text{mm}) \\ H \leftarrow (H \geq 450\text{mm}) \cdot (H \leq 1700\text{mm}) \\ L_{tt} \leftarrow (L_{tt} \geq 6000\text{mm}) \cdot (L_{tt} \leq 43000\text{mm}) \\ N_b \leftarrow N_b \geq 3 \\ g_{vg3} \text{ if } S \cdot H \cdot L_{tt} \cdot N_b \\ \text{" Không nằm trong phạm vi áp dụng, hãy dùng PP đòn bẩy" } \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$g_{vg} = \text{" Không nằm trong phạm vi áp dụng, hãy dùng PP đòn bẩy"}$$

$$g_{vgHL} := \begin{cases} \max(g_{vg}, g_{HL1}) & \text{if } g_{vg} = g_{vg3} \\ g_{HL1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{vgHL} = 0.598$$

$$g_{vgLan} := \begin{cases} \max(g_{vg}, g_{Lan1}) & \text{if } g_{vg} = g_{vg3} \\ g_{Lan1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{vgLan} = 1.2$$

3.4.2. Hệ số phân bố hoạt tải đối với lực cắt của dầm dọc biên

- Một lần thiết kế chịu tải : Dùng phương pháp đòn bẩy.

Đã tính trong phần trên:

$$g_{HL2} = 0.177$$

$$g_{PL2} = 1.211$$

$$g_{Lan2} = 0.142$$

- Hai hoặc nhiều lần thiết kế chịu tải:

$$g_{vb2} := g_{vg3} \cdot \left(0.8 + \frac{d_e}{3050\text{mm}} \right) \quad g_{vb2} = 0.351$$

Phạm vi áp dụng:

Kiểm tra hệ số phân bố thoả mãn tiêu chuẩn 22 TCN-272-05 đối với phạm vi áp dụng:

$$g_{vb} := \begin{cases} d_e \leftarrow (d_e \geq -300\text{mm}) \cdot (d_e \leq 1700\text{mm}) \\ S \leftarrow S \leq 3500\text{mm} \\ g_{vb2} \text{ if } d_e \cdot S \\ \text{"Không nằm trong phạm vi áp dụng"} \text{ otherwise} \end{cases}$$

$g_{vb} = \text{"Không nằm trong phạm vi áp dụng"}$

Chọn giá trị cực đại làm hệ số phân bố lực cắt thiết kế của các dầm biên:

$$g_{vbHL} := \begin{cases} \max(g_{vb}, g_{HL2}) & \text{if } g_{vb} = g_{vb2} \\ g_{HL2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{vbHL} = 0.177$$

$$g_{vbLan} := \begin{cases} \max(g_{vb}, g_{Lan2}) & \text{if } g_{vb} = g_{vb2} \\ g_{Lan1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{vbLan} = 1.2$$

$$g_{vbPL} := \begin{cases} \max(g_{vb}, g_{PL2}) & \text{if } g_{vb} = g_{vb2} \\ g_{PL2} & \text{otherwise} \end{cases} \quad g_{vbPL} = 1.211$$

3.5. Hệ số điều chỉnh tải trọng

Ta có

η_D : hệ số dẻo

$\eta_D := 1$ Đối với các bộ phận và liên kết thông thường.

η_R : hệ số dư thừa

$\eta_R := 1$ Đối với mức dư thừa thông thường.

η_I : hệ số quan trọng

$\eta_I := 1.05$ Cầu thiết kế là quan trọng.

Hệ số điều chỉnh của tải trọng:

$$\eta := \eta_D \cdot \eta_R \cdot \eta_I \quad \eta := \begin{cases} \eta & \text{if } \eta > 0.95 \\ 0.95 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \eta = 1.05$$

IV. XÁC ĐỊNH NỘI LỰC TẠI CÁC MẮT CẮT ĐẶC TRƯNG

4.1. Xác định tĩnh tải

4.1.1. Tĩnh tải dầm chủ

+ Xét đoạn dầm cắt khác:

Lấy diện tích tiết diện :

$$A_0 = 0.879 \text{ m}^2$$

Tỷ trọng bê tông dầm chủ:

$$\gamma_c = 2.45 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Trọng lượng đoạn dầm:

$$DC_{d0} := \gamma_c \cdot A_0 \cdot L_{ck} \cdot 2$$

$$DC_{d0} = 3.445 \times 10^3 \text{ kg}$$

+ Xét đoạn dầm đặc:

Lấy diện tích tiết diện : $A_1 = 1.654 \text{ m}^2$

Trọng lượng đoạn dầm:

$$DC_{d1} := \gamma_c \cdot A_1 \cdot L_{dac} \cdot 2 \quad DC_{d1} = 9.727 \times 10^3 \text{ kg}$$

+ Xét đoạn dầm còn lại:

Lấy diện tích tiết diện : $A = 0.616 \text{ m}^2$

Trọng lượng đoạn dầm

$$DC_d := \gamma_c \cdot A \cdot [L - 2 \cdot (L_{ck} + L_{dac})] \quad DC_d = 5.176 \times 10^4 \text{ kg}$$

+ Tính tải dầm chủ coi là tải trọng dải đều trên suốt chiều dài dầm

$$DC_{dc} := \frac{DC_{d0} + DC_{d1} + DC_d}{L} \quad DC_{dc} = 1.695 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.2. Tính tải bản mặt cầu

+ Dầm giữa:

$$A_{bmg} := S \cdot h_f$$

$$DC_{bmg} := \gamma_c \cdot A_{bmg} \quad DC_{bmg} = 878.08 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

+ Dầm biên:

$$A_{bmb} := \left(\frac{S}{2} + S_k \right) \cdot h_f$$

$$DC_{bmb} := \gamma_c \cdot A_{bmb} \quad DC_{bmb} = 878.08 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.3. Tính tải dầm ngang

$$DC_{dn} := \gamma_c \cdot \frac{(S_{dn} \cdot t_{dn}) \cdot N_n}{N_b \cdot L_{tt}} \quad DC_{dn} = 84.707 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.4. Tính tải ván khuôn lắp ghép

$$DC_{vk} := \gamma_c \cdot b \cdot 7.5 \text{ cm} \quad DC_{vk} = 109.025 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.5. Tính tải vách ngăn

$$DC_{vn} := 0.38 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.6. Lan can có tay vịn

Phân thép có trọng lượng: $DC_t := 16 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ bó vữa cao: $h_{B4} := 0.3 \text{ m}$

Phân bê tông có trọng lượng: $DC_{bt} := B_4 \cdot h_{B4} \cdot \gamma_c$ (Tính gần đúng)

Tổng: $DC_{lc} := DC_t + DC_{bt}$ $DC_{lc} = 383.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

-Gờ chắn:

$$DC_{gc} := \gamma_c \cdot B_2 \cdot h_{B4} \quad DC_{gc} = 183.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.7. Trọng lượng lớp phủ mặt cầu và tiện ích công cộng

Lớp bê tông Atfan:

$$t_1 = 0.075 \text{ m}$$

$$\gamma_1 := 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Lớp phòng nước:

$$t_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

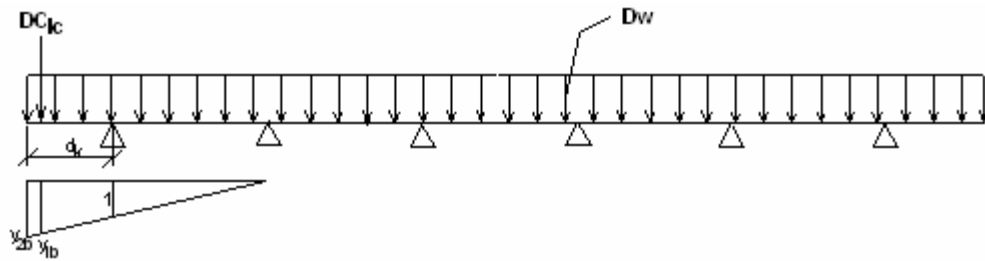
$$\gamma_2 := 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tổng trọng lượng lớp phủ mặt cầu:

$$DW_{lp} := (t_1 \cdot \gamma_1 + t_2 \cdot \gamma_2) \cdot S$$

Các tiện ích: $DW_{ti} := 5 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$

$$DW := DW_{lp} + DW_{ti} \quad DW = 428.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$



- Dầm biên:

$$y_{1b} := \frac{S + \left(S_k + 0.15\text{m} - \frac{B_4}{2} \right)}{S}$$

$$y_{2b} := \frac{S + S_k + 0.15\text{m}}{S}$$

$$DC_{lcb} := DC_{lc} \cdot y_{1b}$$

$$DC_{lcb} = 558.129 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$DW_b := \frac{DW_{lp}}{S} \cdot \left(S_k + 0.15\text{m} - B_4 - B_2 + \frac{S}{2} \right) + DW_{ti}$$

- Dầm dọc giữa:

$$DC_{lcg} := 0 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$DW_g := DW$$

4.1.8. Tổng cộng tĩnh tải tác dụng lên các dầm dọc chủ

4.1.8.1. Dầm giữa

+Giai đoạn chưa liên hợp bản mặt cầu

$$DC_{dc} = 1.695 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

+Giai đoạn khai thác: đã đổ bản mặt cầu

$$DC_g := DC_{dc} + DC_{bmg} + DC_{dn} + DC_{lcg} + DC_{vk} + DC_{vn}$$

$$DC_g = 2.768 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$DW_g = 428.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.1.8.2. Dầm biên

+Giai đoạn chưa liên hợp bản mặt cầu

$$DC_{dc} = 1.695 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

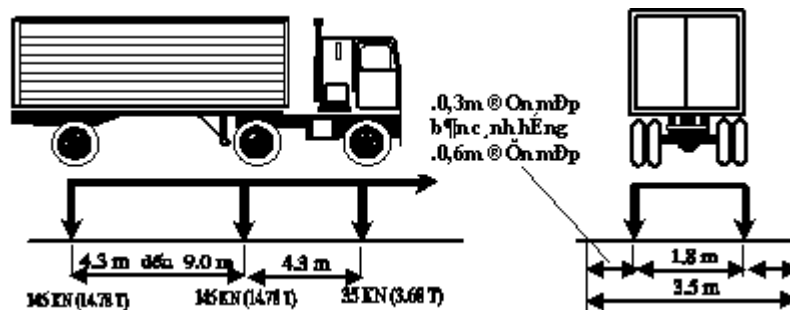
+Giai đoạn khai thác: đã đổ bản mặt cầu

$$DC_b := DC_{dc} + DC_{bmb} + DC_{dn} + DC_{gc} + DC_{lcb} + DC_{vk} + DC_{vn}$$

$$DC_b = 3.51 \times 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \quad DW_b = 314.96 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

4.2. Hoạt tải HL93

4.2.1. Xe tải thiết kế



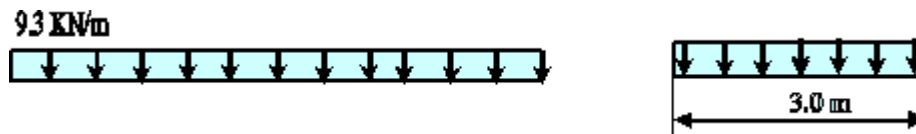
Hình 4-2 Cấu tạo Xe tải thiết kế

4.2.2. Xe hai trục thiết kế



Hình 4-3 Cấu tạo Xe hai trục thiết kế

4.2.3. Tải trọng làn



Hình 4-4: Tải trọng làn

4.3. Đường ảnh hưởng mômen và lực cắt tại các mặt cắt đặc trưng

4.3.1 Xác định các mặt cắt đặc trưng

+ Mặt cắt gối	$x_0 = 0 \text{ m}$
+ Mặt cắt cách gối 0.72h (kiểm tra lực cắt)	$x_1 = 1.59 \text{ m}$
+ Mặt cắt không dính bầm 1	$x_2 = 3 \text{ m}$
+ Mặt cắt không dính bầm 2	$x_3 = 6 \text{ m}$
+ Mặt cắt L/2	$x_4 = 18.8 \text{ m}$

Lập véc tơ tọa độ các mặt cắt đặc trưng:

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.3.2. Xác định đường ảnh hưởng nội lực tại các mặt cắt

4.3.2.1. Phương trình đường ảnh hưởng

Phương trình đường ảnh hưởng mômen tại mặt cắt x_k như sau

+ Trên đoạn $x = 0 \rightarrow x_k$:

$$f_1(x, x_k) := \frac{L_{tt} - x_k}{L_{tt}}(-x)$$

+ Trên đoạn $x = x_k \rightarrow L_{tt}$:

$$f_2(x, x_k) := \frac{x_k}{L_{tt}}(x - L_{tt})$$

Dưới dạng phương trình có thể viết :

$$y_M(x, x_k) := \begin{cases} f_1(x, x_k) & \text{if } 0 \leq x \leq x_k \\ f_2(x, x_k) & \text{if } x_k < x \leq L_{tt} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Phương trình đường ảnh hưởng lực cắt

Trên đoạn $x = 0 \rightarrow x_k$

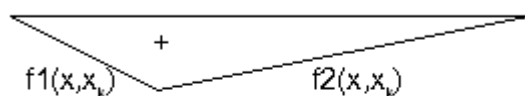
$$f_3(x, x_k) := \frac{-x}{L_{tt}}$$

Trên đoạn $x = x_k \rightarrow L_{tt}$

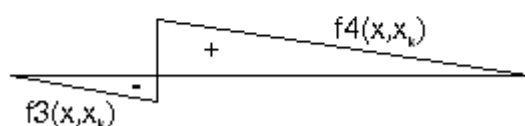
$$f_4(x, x_k) := 1 - \frac{x}{L_{tt}}$$

Dưới dạng phương trình có thể viết:

$$y_V(x, x_k) := \begin{cases} f_3(x, x_k) & \text{if } 0 \leq x < x_k \\ f_4(x, x_k) & \text{if } x_k \leq x \leq L_{tt} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$



Đường ảnh hưởng Mô men m/c x_k



Đường ảnh hưởng lực cắt m/c x_k

$$\omega_{Mk} = -\frac{1}{2} L_{tt} \cdot y_M(x_k, x_k)$$

Diện tích phần dải dương:

$$\omega_{Vkd} = \frac{1}{2} \cdot (L_{tt} - x_k) \cdot f_4(x_k, x_k)$$

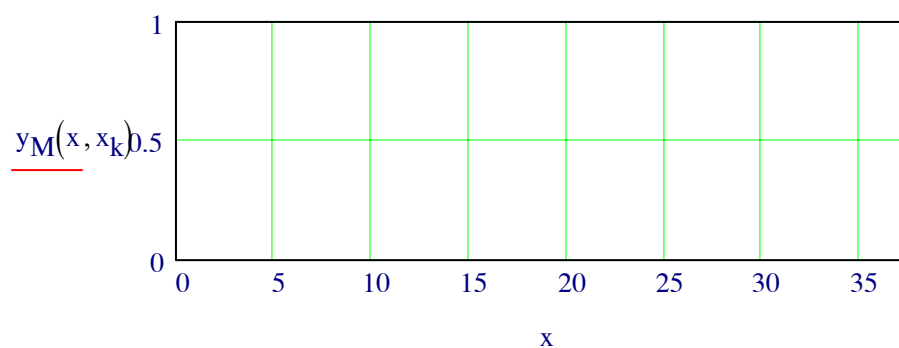
Diện tích phần dải âm:

$$\omega_{Vka} = \frac{1}{2} \cdot x_k \cdot f_3(x_k, x_k)$$

Tổng diện tích dải: $\omega_{Vk} = \omega_{Vkd} + \omega_{Vka}$

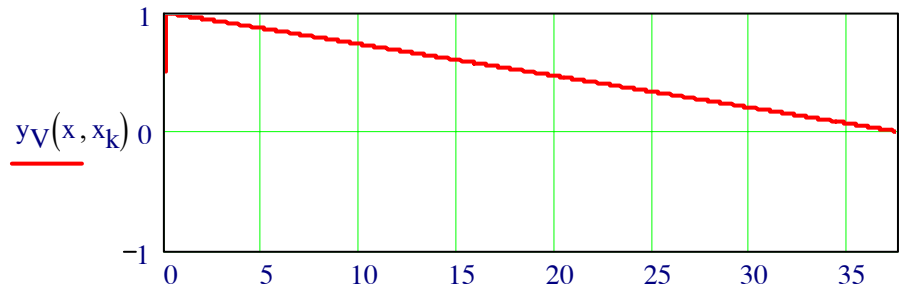
4.3.2.2. Tại mặt cắt đặc trưng thứ 0 (mặt cắt gối)

$$x_k := x_0$$



Đường ảnh hưởng mômen

$$\omega_{M0} := -\frac{1}{2} L_{tt} \cdot y_M(x_k, x_k) \quad \omega_{M0} = 0 \text{ m}^2$$



Đường ảnh hưởng lực cắt

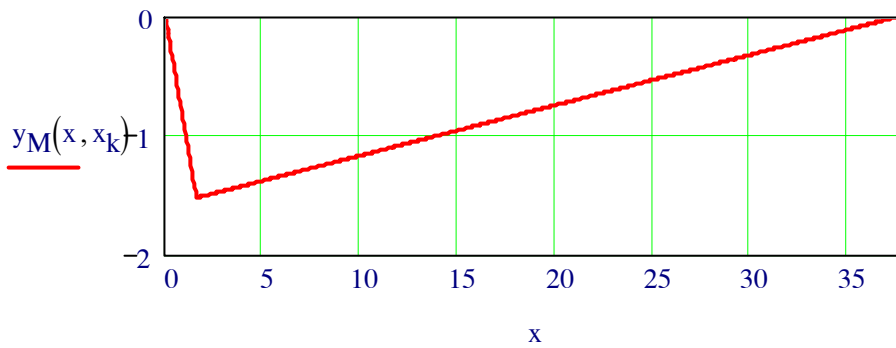
$$\omega_{V0d} := \frac{1}{2} \cdot (L_{tt} - x_k) \cdot f_4(x_k, x_k) \quad \omega_{V0d} = 18.8 \text{ m}$$

$$\omega_{V0a} := \frac{1}{2} \cdot x_k \cdot f_3(x_k, x_k) \quad \omega_{V0a} = 0$$

$$\omega_{V0} := \omega_{V0d} + \omega_{V0a} \quad \omega_{V0} = 18.8 \text{ m}$$

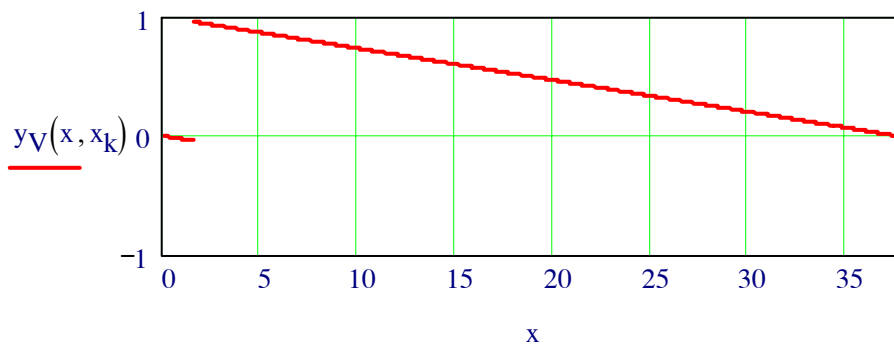
4.3.2.2. Tại mặt cắt đặc trưng thứ 1 (cách gối dv) $x_1 = 1.59 \text{ m}$

$$x_k := x_1$$



Đường ảnh hưởng mômen

$$\omega_{M1} := -\frac{1}{2} L_{tt} \cdot y_M(x_k, x_k) \quad \omega_{M1} = 28.628 \text{ m}^2$$



Đường ảnh hưởng lực cắt

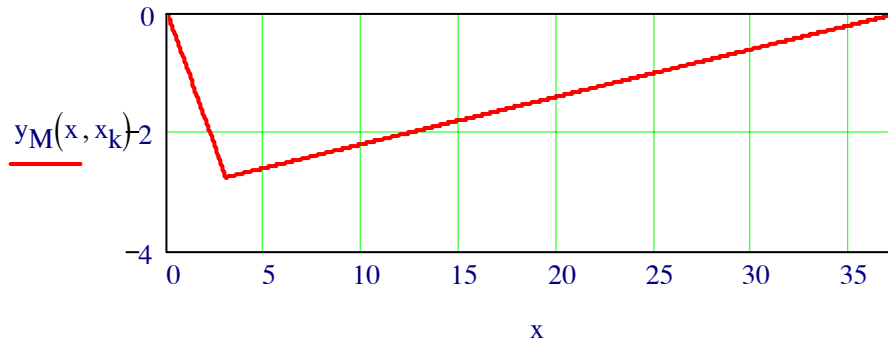
$$\omega_{V1d} := \frac{1}{2} \cdot (L_{tt} - x_k) \cdot f_4(x_k, x_k) \quad \omega_{V1d} = 17.244 \text{ m}$$

$$\omega_{V1a} := \frac{1}{2} \cdot x_k \cdot f_3(x_k, x_k) \quad \omega_{V1a} = -0.034 \text{ m}$$

$$\omega_{V1} := \omega_{V1d} + \omega_{V1a} \quad \omega_{V1} = 17.21 \text{ m}$$

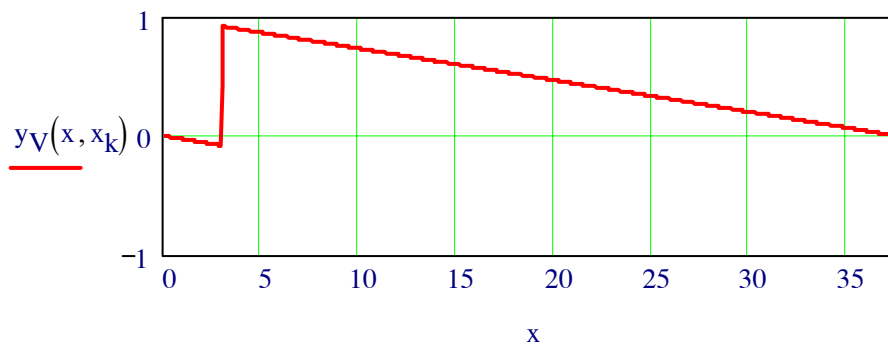
4.3.2.3. Tại mặt cắt đặc trưng thứ 2 (mặt cắt không dính dấp 1)

$$x_k := x_2 \quad x_k = 3 \text{ m}$$



Đường ảnh hưởng mômen

$$\omega_{M2} := -\frac{1}{2} L_{tt} \cdot y_M(x_k, x_k) \quad \omega_{M2} = 51.9 \text{ m}^2$$



Đường ảnh hưởng lực cắt

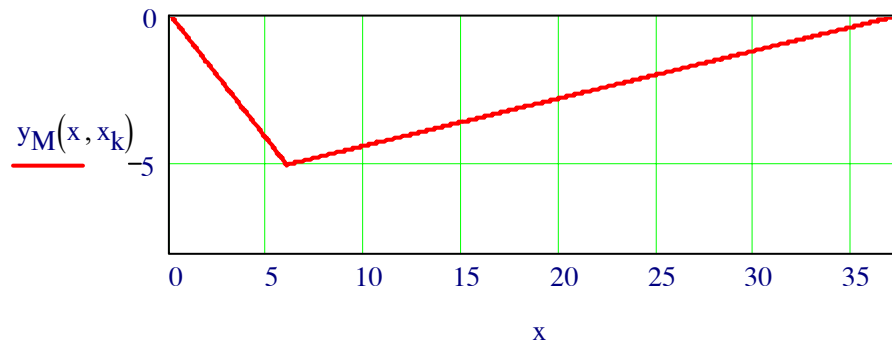
$$\omega_{V2d} := \frac{1}{2} \cdot (L_{tt} - x_k) \cdot f_4(x_k, x_k) \quad \omega_{V2d} = 15.92 \text{ m}$$

$$\omega_{V2a} := \frac{1}{2} \cdot x_k \cdot f_3(x_k, x_k) \quad \omega_{V2a} = -0.12 \text{ m}$$

$$\omega_{V2} := \omega_{V2d} + \omega_{V2a} \quad \omega_{V2} = 15.8 \text{ m}$$

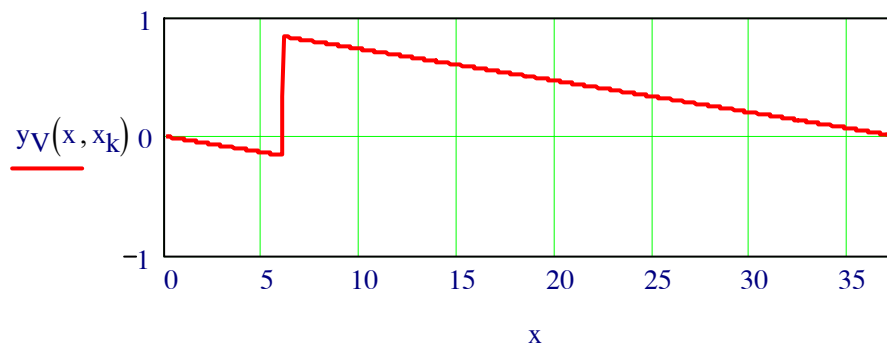
4.3.2.4. Tại mặt cắt đặc trưng thứ 3 (mặt cắt không dính dấp 2)

$$x_k := x_3 \quad x_k = 6 \text{ m}$$



Đường ảnh hưởng mômen

$$\omega_{M3} := -\frac{1}{2} L_{tt} \cdot y_M(x_k, x_k) \quad \omega_{M3} = 94.8 \text{ m}^2$$



Đường ảnh hưởng lực cắt

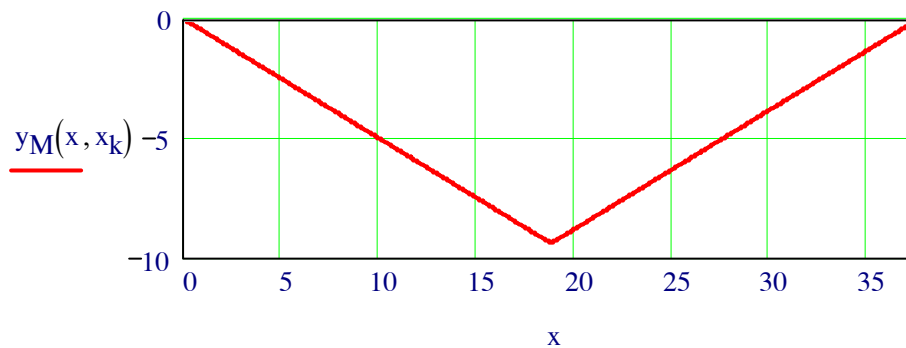
$$\omega_{V3d} := \frac{1}{2} \cdot (L_{tt} - x_k) \cdot f_4(x_k, x_k) \quad \omega_{V3d} = 13.279 \text{ m}$$

$$\omega_{V3a} := \frac{1}{2} \cdot x_k \cdot f_3(x_k, x_k) \quad \omega_{V3a} = -0.479 \text{ m}$$

$$\omega_{V3} := \omega_{V3d} + \omega_{V3a} \quad \omega_{V3} = 12.8 \text{ m}$$

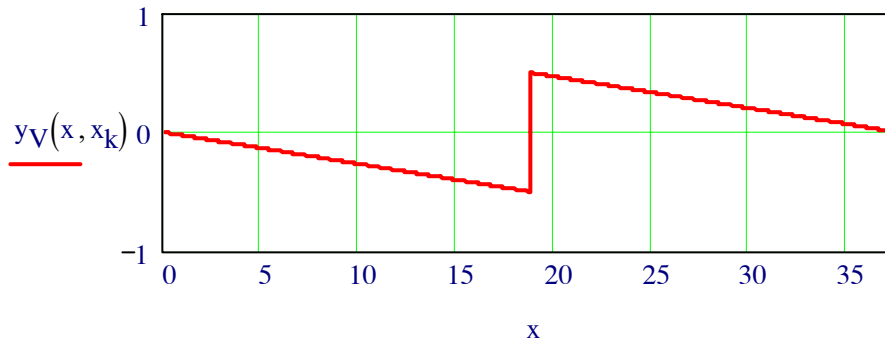
4.3.2.5. Tại mặt cắt đặc trưng thứ 4 (mặt cắt L/2)

$$x_k := x_4 \quad x_k = 18.8 \text{ m}$$



Đường ảnh hưởng mômen

$$\omega_{M4} := -\frac{1}{2} L_{tt} \cdot y_M(x_k, x_k) \quad \omega_{M4} = 176.72 \text{ m}^2$$



Đường ảnh hưởng lực cắt

$$\omega_{V4d} := \frac{1}{2} \cdot (L_{tt} - x_k) \cdot f_4(x_k, x_k) \quad \omega_{V4d} = 4.7 \text{ m}$$

$$\omega_{V4a} := \frac{1}{2} \cdot x_k \cdot f_3(x_k, x_k) \quad \omega_{V4a} = -4.7 \text{ m}$$

$$\omega_{V4} := \omega_{V4d} + \omega_{V4a} \quad \omega_{V4} = 0 \text{ m}$$

4.3.2.2.6. Véc tơ diện tích ảnh tại các mặt cắt đặc trưng

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad \omega_{\mathbf{M}} := \begin{pmatrix} \omega_{M0} \\ \omega_{M1} \\ \omega_{M2} \\ \omega_{M3} \\ \omega_{M4} \end{pmatrix} \quad \omega_{\mathbf{M}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 28.628 \\ 51.9 \\ 94.8 \\ 176.72 \end{pmatrix} \text{ m}^2$$

$$\omega_{\mathbf{V}_a} := \begin{pmatrix} \omega_{V0a} \\ \omega_{V1a} \\ \omega_{V2a} \\ \omega_{V3a} \\ \omega_{V4a} \end{pmatrix} \quad \omega_{\mathbf{V}_d} := \begin{pmatrix} \omega_{V0d} \\ \omega_{V1d} \\ \omega_{V2d} \\ \omega_{V3d} \\ \omega_{V4d} \end{pmatrix} \quad \omega_{\mathbf{V}} := \begin{pmatrix} \omega_{V0} \\ \omega_{V1} \\ \omega_{V2} \\ \omega_{V3} \\ \omega_{V4} \end{pmatrix}$$

$$\omega_{\mathbf{V}_a} = \begin{pmatrix} 0 \\ -0.034 \\ -0.12 \\ -0.479 \\ -4.7 \end{pmatrix} \text{ m} \quad \omega_{\mathbf{V}} = \begin{pmatrix} 18.8 \\ 17.21 \\ 15.8 \\ 12.8 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$\omega_{Vd} = \begin{pmatrix} 18.8 \\ 17.244 \\ 15.92 \\ 13.279 \\ 4.7 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.4. Tính nội lực do tĩnh tải tác dụng lên dầm giữa và dầm biên

Công thức tính là lấy giá trị tải trọng nhân với diện tích đường ảnh hưởng tại mặt cắt đang xét. Ta có nội lực tại các mặt cắt đặc trưng biểu diễn dưới dạng véc tơ:

4.4.1. Momen do tĩnh tải tác dụng lên dầm biên

4.4.1.1. Giai đoạn chưa đổ bản bê tông

$$M_{DCdc} := DC_{dc} \cdot g \cdot \omega_M \quad M_{DCdc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 475.99 \\ 862.928 \\ 1.576 \times 10^3 \\ 2.938 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.4.1.2. Giai đoạn khai thác: đã đổ bản bê tông

$$M_{DCb} := DC_b \cdot g \cdot \omega_M \quad M_{DCb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 985.28 \\ 1.786 \times 10^3 \\ 3.263 \times 10^3 \\ 6.082 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{DWb} := DW_b \cdot g \cdot \omega_M \quad M_{DWb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 88.423 \\ 160.304 \\ 292.809 \\ 545.836 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.4.2. Momen tác dụng lên dầm giữa do tĩnh tải

4.4.2.1. Giai đoạn chưa đổ bản bê tông

$$M_{DCdc} := DC_{dc} \cdot g \cdot \omega_M$$

$$M_{DCdc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 475.99 \\ 862.928 \\ 1.576 \times 10^3 \\ 2.938 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.4.2.2. Giai đoạn khai thác: đã đổ bản bê tông

$$M_{DCg} := DC_g \cdot g \cdot \omega_M \quad M_{DCg} = \begin{pmatrix} 0 \\ 777.001 \\ 1.409 \times 10^3 \\ 2.573 \times 10^3 \\ 4.796 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{DWg} := DW_g \cdot g \cdot \omega_M \quad M_{DWg} = \begin{pmatrix} 0 \\ 120.26 \\ 218.02 \\ 398.234 \\ 742.361 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.4.3. Lực cắt của dầm biên do tĩnh tải

4.4.3.1. Giai đoạn chưa đổ bản bê tông

$$V_{DCdc} := DC_{dc} \cdot g \cdot \omega_V \quad V_{DCdc} = \begin{pmatrix} 312.583 \\ 286.146 \\ 262.703 \\ 212.822 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.4.3.2. Giai đoạn khai thác: đã đổ bản bê tông

$$V_{DCb} := DC_b \cdot g \cdot \omega_V \quad V_{DCb} = \begin{pmatrix} 647.034 \\ 592.312 \\ 543.784 \\ 440.534 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

$$V_{DWb} := DW_b \cdot g \cdot \omega_V \quad V_{DWb} = \begin{pmatrix} 58.068 \\ 53.157 \\ 48.801 \\ 39.535 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.4.4. Lực cắt dầm giữa do tĩnh tải

4.4.4.1. Giai đoạn chưa đổ bản bê tông

$$V_{DCdc} := DC_{dc} \cdot g \cdot \omega_V \quad V_{DCdc} = \begin{pmatrix} 312.583 \\ 286.146 \\ 262.703 \\ 212.822 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.4.4.2. Giai đoạn khai thác: đã đổ bản bê tông

$$V_{DCg} := DC_g \cdot g \cdot \omega_V \quad V_{DCg} = \begin{pmatrix} 510.258 \\ 467.103 \\ 428.833 \\ 347.409 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

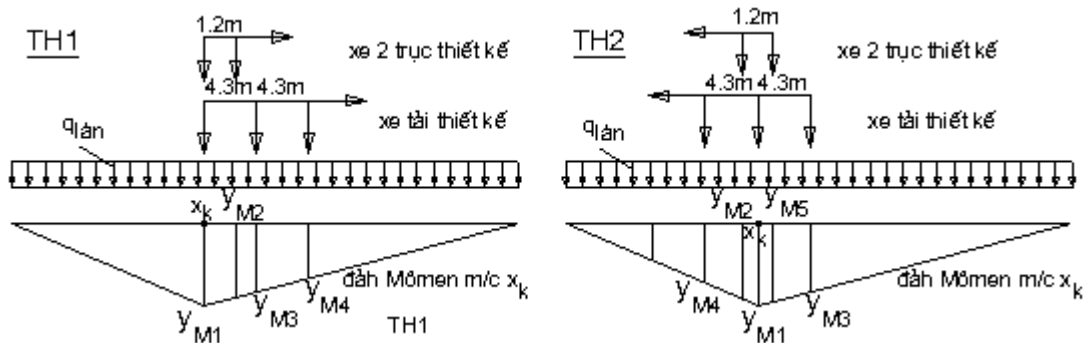
$$V_{DWg} := DW_g \cdot g \cdot \omega_V \quad V_{DWg} = \begin{pmatrix} 78.975 \\ 72.295 \\ 66.372 \\ 53.77 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.5. Nội lực do hoạt tải tác dụng lên dầm giữa và dầm biên

4.5.1. Mômen do hoạt tải HL93 và PL tác dụng tại các mặt cắt dầm

Đối với các mặt cắt đặc trưng trong phạm vi từ gối đến $L_{tt}/2$ ta xét 2 trường hợp xếp xe bất lợi nhất lên đường ảnh hưởng mô men của m.c đó như hình vẽ sau:
Nội lực do xe thiết kế sẽ được lấy bằng giá trị max của 2 trường hợp trên.

$$M_{x_{tk}} = \max(M_{x_{tk1}}, M_{x_{tk2}})$$



4.5.1.1. Mô men do xe tải thiết kế

$$M_{\text{truck1}}(x) = 145\text{kN} \cdot y_{M1} + 145\text{kN} \cdot y_{M3} + 35\text{kN} \cdot y_{M4}$$

$$M_{\text{truck1}}(x) := 145\text{kN} \cdot -y_M(x, x) + 145\text{kN} \cdot -y_M(x + 4.3\text{m}, x) + 35\text{kN} \cdot -y_M(x + 8.6\text{m}, x)$$

$$M_{\text{truck2}}(x) = 145\text{kN} \cdot y_{M1'} + 145\text{kN} \cdot y_{M3'} + 35\text{kN} \cdot y_{M4'}$$

$$M_{\text{truck2}}(x) := 145\text{kN} \cdot -y_M(x, x) + 145\text{kN} \cdot -y_M(x + 4.3\text{m}, x) + 35\text{kN} \cdot -y_M(x - 4.3\text{m}, x)$$

$$M_{\text{truck}}(x) := \max(M_{\text{truck1}}(x), M_{\text{truck2}}(x))$$

$$M_{\text{truckx}} := \begin{pmatrix} M_{\text{truck}}(x_0) \\ M_{\text{truck}}(x_1) \\ M_{\text{truck}}(x_2) \\ M_{\text{truck}}(x_3) \\ M_{\text{truck}}(x_4) \end{pmatrix} \quad M_{\text{truckx}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 455.804 \\ 823.444 \\ 1.491 \times 10^3 \\ 2.668 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.5.1.2. Mô men do xe 2 trục thiết kế

$$M_{\text{tandem1}}(x) = 110\text{kN} \cdot (y_{M1} + y_{M2})$$

$$M_{\text{tandem1}}(x) := 110 \cdot \text{kN} \cdot (-y_M(x, x) - y_M(x + 0.6 \cdot \text{m}, x))$$

$$M_{\text{tandem2}}(x) = 110\text{kN} \cdot (y_{M2'} + y_{M5'})$$

$$M_{\text{tandem2}}(x) := 110 \cdot \text{kN} \cdot (-y_M(x - 0.6\text{m}, x) - y_M(x + 0.6 \cdot \text{m}, x))$$

$$M_{\text{tandem}}(x) := \max(M_{\text{tandem1}}(x), M_{\text{tandem2}}(x))$$

$$M_{\text{tandemx}} := \begin{pmatrix} M_{\text{tandem}}(x_0) \\ M_{\text{tandem}}(x_1) \\ M_{\text{tandem}}(x_2) \\ M_{\text{tandem}}(x_3) \\ M_{\text{tandem}}(x_4) \end{pmatrix} \quad M_{\text{tandemx}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 332.217 \\ 602.074 \\ 1.099 \times 10^3 \\ 2.035 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Véc tơ mômen chưa nhân hệ số tại các mặt cắt do xe thiết kế gây ra có dạng như sau:

$$M_{\text{xetk}} := \begin{pmatrix} \max(M_{\text{truck}}(x_0), M_{\text{tandem}}(x_0)) \\ \max(M_{\text{truck}}(x_1), M_{\text{tandem}}(x_1)) \\ \max(M_{\text{truck}}(x_2), M_{\text{tandem}}(x_2)) \\ \max(M_{\text{truck}}(x_3), M_{\text{tandem}}(x_3)) \\ \max(M_{\text{truck}}(x_4), M_{\text{tandem}}(x_4)) \end{pmatrix} \quad M_{\text{xetk}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 455.804 \\ 823.444 \\ 1.491 \times 10^3 \\ 2.668 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.5.1.3. Mômen gây ra do tải trọng làn

Theo 3.6.1.2.4, tải trọng làn rải đều suốt chiều dài cầu và có độ lớn như sau:

$$q_{lan} := 9.3 \frac{kN}{m}$$

Mômen do tải trọng làn gây ra tại các mặt cắt xác định bằng phương pháp đường ảnh hưởng(đảh): nhân giá trị của q_{lan} với diện tích đường ảnh hưởng.

Giá trị diện tích đường ảnh hưởng mômen tại các mặt cắt đặc trưng được tính sẵn ở trên

$$\text{Véc tơ diện tích đảh tại các m/c đặc trưng: } \omega_M = \begin{pmatrix} 0 \\ 28.628 \\ 51.9 \\ 94.8 \\ 176.72 \end{pmatrix} m^2$$

Vậy, vectơ giá trị mômen (chưa nhân hệ số) do tải trọng làn gây ra tại các mặt cắt như sau:

$$M_{lanx} := q_{lan} \cdot \omega_M \quad M_{lanx} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.662 \times 10^5 \\ 4.827 \times 10^5 \\ 8.816 \times 10^5 \\ 1.643 \times 10^6 \end{pmatrix} Nm$$

4.5.1.4. Momen do tải trọng người đi gây ra ở dầm biên

coi như dầm biên chịu toàn bộ tải trọng người đi

$$PL := 3000Pa$$

Véc tơ mômen cho tải trọng người đi tác dụng lên dầm biên là:

$$M_{PLx} := PL \cdot B_3 \cdot \omega_M \quad M_{PLx} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.288 \times 10^5 \\ 2.335 \times 10^5 \\ 4.266 \times 10^5 \\ 7.952 \times 10^5 \end{pmatrix} Nm$$

4.5.1.5. Tổ hợp mô men do hoạt tải (đã nhân hệ số phân bố g_m)

+ Tại các mặt cắt của dầm biên

$$IM := 25\%$$

$$M_{LLb} := g_{mbHL} \cdot (1 + IM) M_{xetk} + g_{mban} \cdot M_{lanx} + g_{mbPL} \cdot M_{PLx}$$

$$M_{LLb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 294.435 \\ 533.147 \\ 971.015 \\ 1.785 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

+ Tại các mặt cắt của dầm giữa

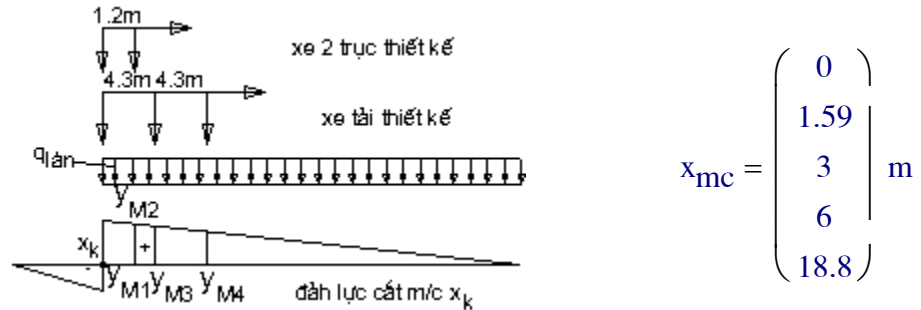
$$IM = 25\%$$

$$M_{LLg} := g_{mgHL} \cdot (1 + IM) M_{xctk} + g_{mglan} \cdot M_{lanx}$$

$$M_{LLg} = \begin{pmatrix} 0 \\ 660.323 \\ 1.195 \times 10^3 \\ 2.173 \times 10^3 \\ 3.967 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.5.2. Lực cắt do hoạt tải HL93 và PL

Đối với các mặt cắt đặc trưng trong phạm vi từ gối đến $L_{tt}/2$ trường hợp xếp xe bất lợi nhất lên đường ảnh hưởng lực cắt của m.c đó thể hiện trong hình vẽ sau:



4.5.2.1. Lực cắt do xe tải thiết kế

$$V_{truck}(x) = 145 \text{ kN} \cdot y_{V1} + 145 \text{ kN} \cdot y_{V3} + 35 \text{ kN} \cdot y_{V4}$$

$$V_{truck}(x) := 145 \text{ kN} \cdot y_V(x, x) + 145 \text{ kN} \cdot y_V(x + 4.3 \text{ m}, x) + 35 \text{ kN} \cdot y_V(x + 8.6 \text{ m}, x)$$

$$V_{truckx} := \begin{pmatrix} V_{truck}(x_0) \\ V_{truck}(x_1) \\ V_{truck}(x_2) \\ V_{truck}(x_3) \\ V_{truck}(x_4) \end{pmatrix} \quad V_{truckx} = \begin{pmatrix} 227.912 \\ 214.172 \\ 201.983 \\ 176.055 \\ 65.43 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.5.2.2. Lực cắt xe hai trục thiết kế

$$V_{\text{tandem}}(x) = 110\text{kN} \cdot (y_{V1} + y_{V2})$$

$$V_{\text{tandem}}(x) := 110\text{kN} \cdot (y_V(x, x) + y_V(x + 4.3\text{m}, x))$$

$$V_{\text{tandemx}} := \begin{pmatrix} V_{\text{tandem}}(x_0) \\ V_{\text{tandem}}(x_1) \\ V_{\text{tandem}}(x_2) \\ V_{\text{tandem}}(x_3) \\ V_{\text{tandem}}(x_4) \end{pmatrix} \quad V_{\text{tandemx}} = \begin{pmatrix} 152.42 \\ 143.119 \\ 134.869 \\ 117.317 \\ 42.434 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

Véc tơ lực cắt chưa nhân hệ số tại các mặt cắt do xe thiết kế gây ra có dạng như sau:

$$V_{\text{xetk}} := \begin{pmatrix} \max(V_{\text{truck}}(x_0), V_{\text{tandem}}(x_0)) \\ \max(V_{\text{truck}}(x_1), V_{\text{tandem}}(x_1)) \\ \max(V_{\text{truck}}(x_2), V_{\text{tandem}}(x_2)) \\ \max(V_{\text{truck}}(x_3), V_{\text{tandem}}(x_3)) \\ \max(V_{\text{truck}}(x_4), V_{\text{tandem}}(x_4)) \end{pmatrix} \quad V_{\text{xetk}} = \begin{pmatrix} 227.912 \\ 214.172 \\ 201.983 \\ 176.055 \\ 65.43 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.5.2.3. Lực cắt gây ra do tải trọng làn

Lực cắt do tải trọng làn gây ra tại các mặt cắt xác định bằng phương pháp đường ảnh hưởng, nhân giá trị của q_{lan} với diện tích đường ảnh hưởng phần dương (đối với các mặt

cắt từ gối trái đến $L_{tt}/2$:

Giá trị diện tích đường ảnh hưởng lực cắt phần diện tích dương tại các mặt cắt đặc trưng được tính sẵn ở trên.

$$\text{Véc tơ diện tích ảnh tại các m/c đặc trưng: } \omega_{Vd} = \begin{pmatrix} 18.8 \\ 17.244 \\ 15.92 \\ 13.279 \\ 4.7 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Vectơ giá trị lực cắt (chưa nhân hệ số) do tải trọng làn gây ra tại các mặt cắt như sau:

$$V_{\text{lanx}} := q_{\text{lan}} \cdot \omega_{Vd} \quad V_{\text{lanx}} = \begin{pmatrix} 174.84 \\ 160.366 \\ 148.053 \\ 123.492 \\ 43.71 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.5.2.4. *Lực cắt do tải trọng người đi gây ra ở dầm biên*
coi như dầm biên chịu toàn bộ tải trọng người đi

$$PL = 3 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Vectơ lực cắt cho tải trọng người đi tác dụng lên dầm biên là:

$$V_{PLx} := PL \cdot B_3 \cdot \omega V_d \quad V_{PLx} = \begin{pmatrix} 84.6 \\ 77.596 \\ 71.639 \\ 59.754 \\ 21.15 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

4.5.2.5. *Tổ hợp lực cắt do hoạt tải (đã nhân hệ số phân bố g_v)*

+ *tại các mặt cắt dầm biên*

$$IM = 0.25$$

$$V_{LLb} := g_{vbHL} \cdot (1 + IM) V_{xetk} + g_{vblan} \cdot V_{lanx} + g_{vbPL} \cdot V_{PLx}$$

$$V_{LLb} = \begin{pmatrix} 362.599 \\ 333.714 \\ 309.032 \\ 259.441 \\ 92.517 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

+ *tại các mặt cắt dầm giữa*

$$IM = 0.25$$

$$V_{LLg} := g_{vgHL} \cdot (1 + IM) V_{xetk} + g_{vglan} \cdot V_{lanx}$$

$$V_{LLb} = \begin{pmatrix} 362.599 \\ 333.714 \\ 309.032 \\ 259.441 \\ 92.517 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6. **Tổ hợp tải trọng tại các mặt cắt đặc trưng**

Các mặt cắt đặc trưng bao gồm:

- + Mặt cắt gối
- + Mặt cắt cách dv
- + Mặt cắt không dính bám 1
- + Mặt cắt không dính bám 2
- + Mặt cắt Lt/2

dạng véc tơ

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.1. Tổ hợp nội lực theo các TTGH tại các mặt cắt dầm giữa

4.6.1.1. Trạng thái giới hạn cường độ I

Mô men:

$$M_{uCD1g} := \eta \cdot (1.75 \cdot M_{LLg} + 1.25 \cdot M_{DCg} + 1.5 \cdot M_{DWg})$$

$$M_{uCD1g} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.423 \times 10^3 \\ 4.388 \times 10^3 \\ 7.997 \times 10^3 \\ 1.475 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uCD1g} := \eta \cdot (1.75 \cdot V_{LLg} + 1.25 \cdot V_{DCg} + 1.5 \cdot V_{DWg})$$

$$V_{uCD1g} = \begin{pmatrix} 1.493 \times 10^3 \\ 1.375 \times 10^3 \\ 1.271 \times 10^3 \\ 1.055 \times 10^3 \\ 186.283 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.1.2. Trạng thái giới hạn cường độ II

Mô men:

$$M_{uCD2g} := \eta \cdot (0 \cdot M_{LLg} + 1.25 \cdot M_{DCg} + 1.5 \cdot M_{DWg})$$

$$M_{uCD2g} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.209 \times 10^3 \\ 2.192 \times 10^3 \\ 4.004 \times 10^3 \\ 7.465 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uCD2g} := \eta \cdot (0 \cdot V_{LLg} + 1.25 \cdot V_{DCg} + 1.5 \cdot V_{DWg})$$

$$V_{uCD2g} = \begin{pmatrix} 794.098 \\ 726.938 \\ 667.38 \\ 540.662 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.1.3. Trạng thái giới hạn cường độ III

Mô men:

$$M_{uCD3g} := \eta \cdot (1.35 \cdot M_{LLg} + 1.25 \cdot M_{DCg} + 1.5 \cdot M_{DWg})$$

$$M_{uCD3g} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.145 \times 10^3 \\ 3.886 \times 10^3 \\ 7.085 \times 10^3 \\ 1.309 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uCD3g} := \eta \cdot (1.35 \cdot V_{LLg} + 1.25 \cdot V_{DCg} + 1.5 \cdot V_{DWg})$$

$$V_{uCD3g} = \begin{pmatrix} 1.333 \times 10^3 \\ 1.227 \times 10^3 \\ 1.133 \times 10^3 \\ 937.334 \\ 143.704 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.1.4. Trạng thái giới hạn sử dụng

Mô men:

$$M_{uSDg} := \eta \cdot (1 \cdot M_{LLg} + 1 \cdot M_{DCg} + 1 \cdot M_{DWg})$$

$$M_{uSDg} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.635 \times 10^3 \\ 2.963 \times 10^3 \\ 5.402 \times 10^3 \\ 9.981 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uSDg} := \eta \cdot (1 \cdot V_{LLg} + 1 \cdot V_{DCg} + 1 \cdot V_{DWg})$$

$$V_{uSDg} = \begin{pmatrix} 1.018 \times 10^3 \\ 936.587 \\ 865.101 \\ 715.069 \\ 106.447 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.1.5. Trạng thái giới hạn đặc biệt

Mô men:

$$M_{uDBg} := \eta \cdot (0.5 \cdot M_{LLg} + 1.25 \cdot M_{DCg} + 1.5 \cdot M_{DWg})$$

$$M_{uDBg} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.556 \times 10^3 \\ 2.82 \times 10^3 \\ 5.145 \times 10^3 \\ 9.547 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uDBg} := \eta \cdot (0.5 \cdot V_{LLg} + 1.25 \cdot V_{DCg} + 1.5 \cdot V_{DWg})$$

$$V_{uDBg} = \begin{pmatrix} 993.721 \\ 912.047 \\ 839.948 \\ 687.578 \\ 53.224 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.2. Tổ hợp nội lực theo các TTGH tại các mặt cắt của dầm biên

4.6.2.1. Trạng thái giới hạn cường độ I

Mô men:

$$M_{uCD1b} := \eta \cdot (1.75 \cdot M_{LLb} + 1.25 \cdot M_{DCb} + 1.5 \cdot M_{DWb})$$

$$M_{uCD1b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.973 \times 10^3 \\ 3.577 \times 10^3 \\ 6.528 \times 10^3 \\ 1.212 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uCD1b} := \eta \cdot (1.75 \cdot V_{LLb} + 1.25 \cdot V_{DCb} + 1.5 \cdot V_{DWb})$$

$$V_{uCD1b} = \begin{pmatrix} 1.607 \times 10^3 \\ 1.474 \times 10^3 \\ 1.358 \times 10^3 \\ 1.117 \times 10^3 \\ 170.001 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.2.2. Trạng thái giới hạn cường độ II

Mô men:

$$M_{uCD2b} := \eta \cdot (0 \cdot M_{LLb} + 1.25 \cdot M_{DCb} + 1.5 \cdot M_{DWb})$$

$$M_{uCD2b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.432 \times 10^3 \\ 2.597 \times 10^3 \\ 4.743 \times 10^3 \\ 8.842 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uCD2b} := \eta \cdot (0 \cdot V_{LLb} + 1.25 \cdot V_{DCb} + 1.5 \cdot V_{DWb})$$

$$V_{uCD2b} = \begin{pmatrix} 940.689 \\ 861.131 \\ 790.579 \\ 640.469 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.2.3. Trạng thái giới hạn cường độ III

Mô men:

$$M_{uCD3b} := \eta \cdot (1.35 \cdot M_{LLb} + 1.25 \cdot M_{DCb} + 1.5 \cdot M_{DWb})$$

$$M_{uCD3b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.85 \times 10^3 \\ 3.353 \times 10^3 \\ 6.12 \times 10^3 \\ 1.137 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uCD3b} := \eta \cdot (1.35 \cdot V_{LLb} + 1.25 \cdot V_{DCb} + 1.5 \cdot V_{DWb})$$

$$V_{uCD3b} = \begin{pmatrix} 1.455 \times 10^3 \\ 1.334 \times 10^3 \\ 1.229 \times 10^3 \\ 1.008 \times 10^3 \\ 131.143 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.2.4. Trạng thái giới hạn sử dụng

Mô men:

$$M_{uSDb} := \eta \cdot (1 \cdot M_{LLb} + 1 \cdot M_{DCb} + 1 \cdot M_{DWb})$$

$$M_{uSDb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.437 \times 10^3 \\ 2.604 \times 10^3 \\ 4.753 \times 10^3 \\ 8.834 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uSDb} := \eta \cdot (1 \cdot V_{LLb} + 1 \cdot V_{DCb} + 1 \cdot V_{DWb})$$

$$V_{uSDb} = \begin{pmatrix} 1.121 \times 10^3 \\ 1.028 \times 10^3 \\ 946.699 \\ 776.486 \\ 97.143 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

4.6.2.5. Trạng thái giới hạn đặc biệt

Mô men:

$$M_{uDBb} := \eta \cdot (0.5 \cdot M_{LLb} + 1.25 \cdot M_{DCb} + 1.5 \cdot M_{DWb})$$

$$M_{uDBb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.587 \times 10^3 \\ 2.877 \times 10^3 \\ 5.253 \times 10^3 \\ 9.78 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực cắt:

$$V_{uDBb} := \eta \cdot (0.5 \cdot V_{LLb} + 1.25 \cdot V_{DCb} + 1.5 \cdot V_{DWb})$$

$$V_{uDBb} = \begin{pmatrix} 1.131 \times 10^3 \\ 1.036 \times 10^3 \\ 952.821 \\ 776.675 \\ 48.572 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Căn cứ trên các giá trị nội lực tính toán thì dầm giữa là dầm bất lợi hơn nên trong ví dụ này ta sẽ chọn dầm giữa là dầm tính duyệt.

$$\max(M_{uCD1b}) = 1.212 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \max(M_{uSDB}) = 8.834 \times 10^3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\max(M_{uCD1g}) = 1.475 \times 10^4 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \max(M_{uSDg}) = 9.981 \times 10^3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\max(M_{uDBb}) = 9.78 \times 10^3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\max(M_{uDBg}) = 9.547 \times 10^3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

V. TÍNH TOÁN VÀ BỐ TRÍ CỐT THÉP

5.1. Tính toán diện tích cốt thép

-Dùng loại tạo tự chùng thấp $D_{ps} = 15.2 \text{ mm}$ tiêu chuẩn ASTM A416 Grade 270.

- Loại tạo thép DUL: 1: Tạo thép đã khử ứng suất dư
2: Tạo thép có độ tự chùng thấp

Chọn loại:

$$\text{loai}_{ps} :=$$

$$\text{loai}_{ps} = 1$$

-Cường độ chịu kéo tiêu chuẩn: $f_{pu} = 1.86 \times 10^9 \text{ Pa}$

- Hệ số qui đổi ứng suất: $\phi_1 := 0.9$

-Cấp của thép: 270

-Giới hạn chảy: $f_{py} := \begin{cases} 0.85 \cdot f_{pu} & \text{if } \text{loai}_{ps} = 1 \\ 0.90 \cdot f_{pu} & \text{if } \text{loai}_{ps} = 2 \end{cases} \quad f_{py} = 1.674 \times 10^3 \text{ MPa}$
(TCN 5.9.4.4.1)

-ứng suất trong thép DUL khi kích
(TCN 5.9.3.1) $f_{pj} := \begin{cases} 0.7 \cdot f_{pu} & \text{if } \text{loai}_{ps} = 1 \\ 0.75 \cdot f_{pu} & \text{if } \text{loai}_{ps} = 2 \end{cases}$

$$f_{pj} = 1.395 \times 10^3 \text{ MPa}$$

-Diện tích một tạo cáp: $A_{ps.1} := 140 \text{ mm}^2$

-Môđun đàn hồi cáp: $E_p := 197000 \cdot \text{MPa}$

Bê tông dầm cáp: $f'_{c1} = 50 \text{ MPa}$

Mô men tính toán: $M_u := \max(M_{uCD1g}, M_{uCD1b}) \quad M_u = 1.475 \times 10^7 \text{ N}\cdot\text{m}$
(lấy bằng Mô men tính toán lớn nhất theo TTGH Cường độ)

Đối với cấu kiện BTCT chịu uốn và chịu kéo DUL thì hệ số sức kháng : $\phi := 1.00$

Ta có:

A_{ps} : Diện tích mặt cắt ngang cốt thép DUL.

A_{psg} : Diện tích mặt cắt ngang cốt thép DƯL tính theo kinh nghiệm.
 Có thể tính gần đúng diện tích cốt thép theo công thức kinh nghiệm sau:

$$A_{psg} := \frac{M_u}{0.85 \cdot f_{pu} \cdot 0.9 \cdot H} \quad A_{psg} = 5.925 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$A_{ps} \geq A_{psg}$$

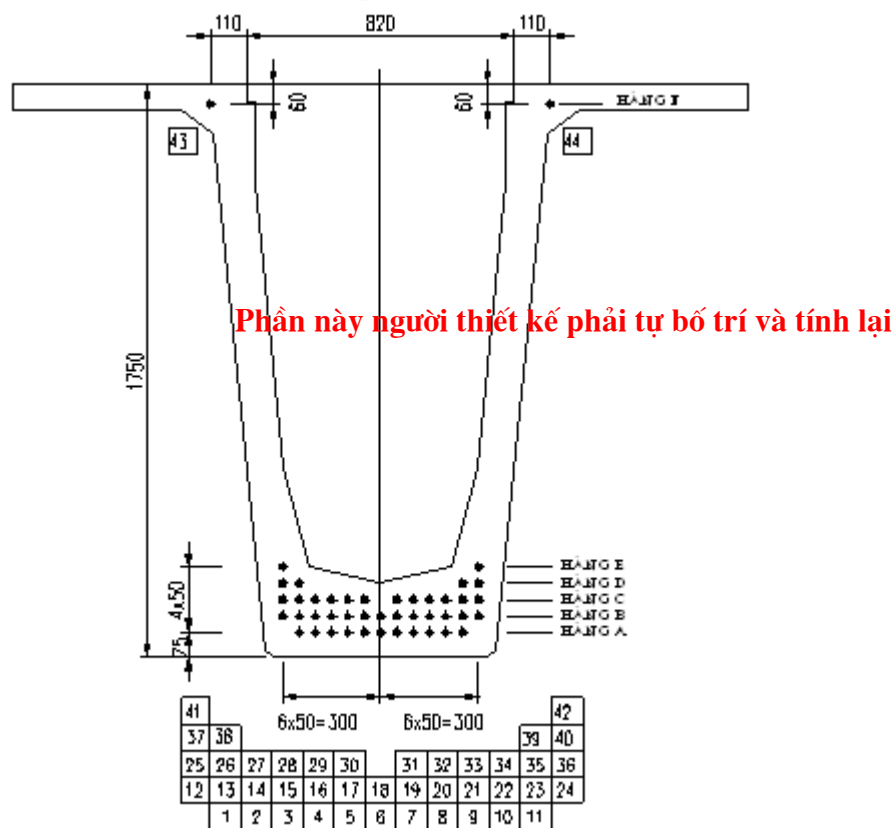
Số tao cáp DƯL cần thiết theo công thức trên là: $n_{cg} := \frac{A_{psg}}{A_{ps.1}} \quad n_{cg} = 42.323$

Ta chọn : $n_c := 42$ tao thép $D_{ps} = 15.2 \text{ mm}$

5.2. Bố trí cốt thép DƯL

5.2.1. Bố trí cốt thép DƯL tại mặt cắt ngang dầm

Tại mặt cắt giữa dầm bố trí cốt thép DƯL như sau



5.2.2. Bố trí cốt thép theo phương dọc dầm

Theo phương dọc cầu cốt thép DƯL được kéo thẳng, để tránh xuất hiện ứng suất kéo gây nứt ở thớ trên do dự ứng lực, vị trí đầu dầm ta bố trí một số tao bọc không dính bám và 2 tao ở thớ trên dầm..

- Mặt cắt trên gối và đoạn cắt khác: không bố trí cốt thép DƯL bầu dầm dưới
- Mặt cắt dy, các tao không dính bám là: 2, 4, 8, 10, 17, 19, 15, 21, 26, 35, 29, 32, 36, 39
- Mặt cắt không dính bám 1, các tao không dính bám là: 4, 8, 17, 19, 26, 35

Số tạo thép còn lại không dính bám tại các mặt cắt như sau:

$Td_{ps} :=$

"Hàng"	"Toa do"	"Goi"	"dv"	"ko db1"	"ko db 2"	"Ltt/2"
"A"	75	0	7	9	11	11
"B"	125	0	9	11	13	13
"C"	175	0	8	10	12	12
"D"	225	0	2	4	4	4
"E"	275	0	2	2	2	2
"F"	1690	2	2	2	2	2

Toạ độ các nhóm cốt thép dự ứng lực tính đến đáy dầm có đơn vị là mm

Tính toạ độ trọng tâm cốt thép DƯL tại các mặt cắt:

+ Mặt cắt trên gối $x_0 = 0$ m

$$y_{ps} := Td_{ps}^{\langle 1 \rangle} \quad n_{ps0} := Td_{ps}^{\langle 2 \rangle} \quad y_{ps} = \begin{pmatrix} \text{"Toa do"} \\ 75 \\ 125 \\ 175 \\ 225 \\ 275 \\ 1.69 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad n_{ps0} = \begin{pmatrix} \text{"Goi"} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \end{pmatrix}$$

y_{ps} : Toạ độ tạo cáp DƯL

n_{ps} : Số tạo cáp tại các hàng

Diện tích cốt thép DƯL bầu dầm tại mặt cắt:

$$A_{ps0} := \sum_{i=1}^5 (A_{ps.1} \cdot n_{ps0_i}) \quad A_{ps0} = 0 \text{ mm}^2$$

Diện tích cốt thép DƯL thớ trên dầm tại mặt cắt:

$$A_{ps'} := 2 \cdot A_{ps.1} \quad A_{ps'} = 280 \text{ mm}^2$$

toạ độ trọng tâm các cốt thép DƯL bầu dầm tại gối (tính đến đáy dầm):

$$C_{ps0} := \frac{\sum_{i=1}^5 (y_{ps_i} \cdot n_{ps0_i})}{\sum_{i=1}^5 n_{ps0_i}} \text{ mm} \quad C_{ps0} = 0 \text{ mm}$$

toạ độ trọng tâm cốt thép thớ trên:

$$C_{ps'0} := H' - (H - y_{ps6} \cdot \text{mm}) \quad C_{ps'0} = 0.74 \text{ m}$$

Khoảng cách từ toạ độ trọng tâm cốt thép đến thớ trên dầm Super T:

$$d_{p0} := H' - C_{ps0} \quad d_{p0} = 0.8 \text{ m} \quad d_{p'0} := H' - C_{ps'0} \quad d_{p'0} = 0.06 \text{ m}$$

+ Mặt cắt dv $x_1 = 1.59 \text{ m}$

$$n_{ps1} := Td_{ps}^{\langle 3 \rangle} \quad y_{ps} = \begin{pmatrix} \text{"Toa do"} \\ 75 \\ 125 \\ 175 \\ 225 \\ 275 \\ 1.69 \times 10^3 \end{pmatrix} \quad n_{ps1} = \begin{pmatrix} \text{"dv"} \\ 7 \\ 9 \\ 8 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{pmatrix}$$

y.ps: Toạ độ tạo cáp DUL

n.ps: Số tạo cáp tại các hàng

Diện tích cốt thép DUL bầu dầm tại mặt cắt:

$$A_{ps1} := \sum_{i=1}^5 (A_{ps.1} \cdot n_{ps1_i}) \quad A_{ps1} = 3.92 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

toạ độ trọng tâm các cốt thép DUL bầu dầm tại gối (tính đến đáy dầm):

$$C_{ps1} := \frac{\left[\sum_{i=1}^5 (y_{ps_i} \cdot n_{ps1_i}) \right] \text{mm}}{\sum_{i=1}^5 n_{ps1_i}} \quad C_{ps1} = 144.643 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ toạ độ trọng tâm cốt thép đến thớ trên dầm Super T:

$$d_{p1} := H - C_{ps1} \quad d_{p1} = 1.605 \text{ m}$$

+ Mặt cắt không dính bám 1: $x_2 = 3 \text{ m}$

$$n_{ps2} := Td_{ps}^{\langle 4 \rangle}$$

Diện tích cốt thép DUL bầu dầm tại mặt cắt:

$$A_{ps2} := \sum_{i=1}^5 (A_{ps.1} \cdot n_{ps2_i}) \quad A_{ps2} = 5.04 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

toạ độ trọng tâm các cốt thép DƯL bầu dầm tại gối (tính đến đáy dầm):

$$C_{ps2} := \frac{\left[\sum_{i=1}^5 (y_{ps_i} \cdot n_{ps2_i}) \right] \text{mm}}{\sum_{i=1}^5 n_{ps2_i}} \quad C_{ps2} = 145.833 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ tọa độ trọng tâm cốt thép đến thớ trên dầm Super T:

$$d_{p2} := H - C_{ps2} \quad d_{p2} = 1.604 \text{ m}$$

+ Mặt cắt không dính bám 2: $x_3 = 6 \text{ m}$

$$n_{ps3} := Td_{ps}^{(5)}$$

Diện tích cốt thép DƯL bầu dầm tại mặt cắt:

$$A_{ps3} := \sum_{i=1}^5 (A_{ps.i} \cdot n_{ps3_i}) \quad A_{ps3} = 5.88 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

toạ độ trọng tâm các cốt thép DƯL bầu dầm tại gối (tính đến đáy dầm):

$$C_{ps3} := \frac{\left[\sum_{i=1}^5 (y_{ps_i} \cdot n_{ps3_i}) \right] \text{mm}}{\sum_{i=1}^5 n_{ps3_i}} \quad C_{ps3} = 142.857 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ tọa độ trọng tâm cốt thép đến thớ trên dầm Super T:

$$d_{p3} := H - C_{ps3} \quad d_{p3} = 1.607 \text{ m}$$

+ Mặt cắt Ltt/2 $x_4 = 18.8 \text{ m}$

$$n_{ps4} := Td_{ps}^{(6)}$$

Diện tích cốt thép DƯL bầu dầm tại mặt cắt:

$$A_{ps4} := \sum_{i=1}^5 (A_{ps.i} \cdot n_{ps4_i}) \quad A_{ps4} = 5.88 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

toạ độ trọng tâm các cốt thép DƯL bầu dầm tại gối (tính đến đáy dầm):

$$C_{ps4} := \frac{\left[\sum_{i=1}^5 (y_{ps_i} \cdot n_{ps4_i}) \right] \text{mm}}{\sum_{i=1}^5 n_{ps4_i}} \quad C_{ps4} = 142.857 \text{ mm}$$

Khoảng cách từ toạ độ trọng tâm cốt thép đến thớ trên dầm Super T:

$$d_{p4} := H - C_{ps4} \quad d_{p4} = 1.607 \text{ m}$$

+ Toạ độ cốt thép DUL tại các mặt cắt:

$$C_{ps} := \begin{pmatrix} C_{ps0} \\ C_{ps1} \\ C_{ps2} \\ C_{ps3} \\ C_{ps4} \end{pmatrix} \quad C_{ps} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.145 \\ 0.146 \\ 0.143 \\ 0.143 \end{pmatrix} \text{ m} \quad d_{pI} := \begin{pmatrix} d_{p0} \\ d_{p1} \\ d_{p2} \\ d_{p3} \\ d_{p4} \end{pmatrix} \quad d_{pI} = \begin{pmatrix} 0.8 \\ 1.605 \\ 1.604 \\ 1.607 \\ 1.607 \end{pmatrix} \text{ m}$$

VI. ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC CỦA CÁC MẶT CẮT DẦM

6.1. Đặc trưng hình học mặt cắt dầm Super T giai đoạn I (chưa đổ bản mặt cầu)

Quy đổi thép DUL thành diện tích Aps đặt tại trọng tâm dầm thép DUL

(Bỏ qua 2 tao thép phía trên)

Chiều cao dầm :

$$H = 1.75 \text{ m}$$

$$A = \begin{pmatrix} 5.15 \times 10^{10} \\ 6.16 \times 10^5 \text{ mm}^2 \\ 4.518 \times 10^{11} \\ 2.482 \times 10^{11} \\ 2.482 \times 10^{11} \\ 2.482 \times 10^{11} \end{pmatrix} \text{ mm}^4 \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Đặc trưng hình học mặt cắt dầm Super T giai đoạn I

Mô đun đàn hồi của bê tông: $E_{cdam} = 3.687 \times 10^4 \text{ MPa}$

Mô đun đàn hồi của thép: $E_p = 1.97 \times 10^5 \text{ MPa}$

Hệ số quy đổi thép sang bê tông: $n_1 := \frac{E_p}{E_{cdam}} \quad n_1 = 5.343$

Ta có diện tích mặt cắt đầm I gđ1 tính đối (tính cả cốt thép) :

$$A_{eq} := A_{mc} + (n_1 - 1) \cdot A_{ps}$$

$$A_{eq} = \begin{pmatrix} 8.789 \times 10^5 \\ 1.671 \times 10^6 \\ 6.379 \times 10^5 \\ 6.415 \times 10^5 \\ 6.415 \times 10^5 \end{pmatrix} \text{mm}^2 \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{m}$$

Mô men tĩnh của tiết diện đối với đáy đầm:

$$i := 0..4$$

$$S_{eq_i} := A_{mc_i} \cdot y_{b_i} + (n_1 - 1) \cdot A_{ps_i} \cdot C_{ps_i} \quad S_{eq} = \begin{pmatrix} 0.396 \\ 1.64 \\ 0.541 \\ 0.542 \\ 0.542 \end{pmatrix} \text{m}^3$$

Khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện chưa liên hợp đến đáy đầm:

$$j_{\omega} := 0..4$$

$$y_{b.eq_i} := \frac{S_{eq_i}}{A_{eq_i}} \quad y_{b.eq} = \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.981 \\ 0.849 \\ 0.844 \\ 0.844 \end{pmatrix} \text{m}$$

Mô men quán tính mặt cắt tính đối

$$I_{eq_i} := I_{d_i} + A_{mc_i} \cdot (y_{b_i} - y_{b.eq_i})^2 + (n_1 - 1) \cdot A_{ps_i} \cdot (y_{b.eq_i} - C_{ps_i})^2$$

$$I_{eq} = \begin{pmatrix} 0.052 \\ 0.464 \\ 0.259 \\ 0.261 \\ 0.261 \end{pmatrix} \text{m}^4 \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{m}$$

6.2. Bề rộng bản cánh hữu hiệu [TCN4.6.2.6]

6.2.1. Đầm giữa

Bề rộng bản cánh hữu hiệu được lấy là giá trị nhỏ nhất trong các giá trị sau:

+ 1/4 chiều dài nhịp... $B_{ban1} := \frac{L_{tt}}{4}$

$$B_{ban1} = 9.4 \text{ m}$$

12 lần bề dày trung bình của bản cộng giá trị lớn hơn trong hai giá trị bề rộng sườn dầm và nửa bề rộng cánh trên dầm Super T.....

bw = bề dày bản bụng :

$$b_w := \begin{pmatrix} b'_1 \\ b_1 \\ b_3 \\ b_3 \\ b_3 \end{pmatrix} \quad b_w = \begin{pmatrix} 0.89 \\ 0.7 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$i_w := 0..4$

$$B_{ban2_i} := 12 \cdot h_f + \max\left(b_{w_i}, \frac{b_6}{2}\right) \quad B_{ban2} = \begin{pmatrix} 2.81 \\ 2.62 \\ 2.248 \\ 2.248 \\ 2.248 \end{pmatrix} \text{ m} \quad 12h_f + \frac{b_6}{2} = 2.248 \text{ m}$$

+ Khoảng cách trung bình giữa các dầm..... $B_{ban3} := S$

$$B_{ban3} = 2.24 \text{ m}$$

+ Bề rộng bản hữu hiệu của dầm giữa... $b_{hh.g_i} := \min(B_{ban1}, B_{ban2_i}, B_{ban3})$

$$b_{hh.g} = \begin{pmatrix} 2.24 \\ 2.24 \\ 2.24 \\ 2.24 \\ 2.24 \end{pmatrix} \text{ m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

6.3.2. Dầm biên

Đối với dầm biên, bề rộng hữu hiệu của bản có thể lấy bằng nửa bề rộng hữu hiệu dầm giữa cộng giá trị nhỏ hơn trong các giá trị sau:

1/8 chiều dài nhịp..... $B_{ban1} := \frac{L_{tt}}{8}$

$$B_{ban1} = 4.7 \text{ m}$$

6 lần bề dày trung bình của bản cộng giá trị lớn hơn trong hai giá trị bề rộng sườn dầm và 1/4 bề rộng cánh trên dầm Super T

$$B_{ban2_i} := 6 \cdot h_f + \max\left(\frac{b_{w_i}}{2}, \frac{b_6}{4}\right) \quad B_{ban2} = \begin{pmatrix} 1.405 \\ 1.31 \\ 1.124 \\ 1.124 \\ 1.124 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Bề rộng cánh hằng.....

$$B_{ban3} := S_k$$

$$B_{ban3} = 1.12 \text{ m}$$

Bề rộng bản hữu hiệu của dầm biên..

$$b_{hh.b_i} := \frac{b_{hh.g_i}}{2} + \min(B_{ban1}, B_{ban2_i}, B_{ban3})$$

$$b_{hh.b} = \begin{pmatrix} 2.24 \\ 2.24 \\ 2.24 \\ 2.24 \\ 2.24 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

6.2.3. Bề rộng quy đổi

Chuyển đổi bê tông bản sang bê tông dầm:

$$n' := \frac{E_{cban}}{E_{cdam}} \quad n' = 0.837$$

Bề rộng bản quy đổi cho dầm giữa

$$b_{ban.g} := n' \cdot (b_{hh.g})$$

Bề rộng bản quy đổi cho dầm biên

$$b_{ban.b} := n' \cdot (b_{hh.b})$$

$$b_{ban.g} = \begin{pmatrix} 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$b_{ban.b} = \begin{pmatrix} 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \end{pmatrix} \text{ m}$$

6.3. Đặc trưng hình học giai đoạn 2: (Tính cả bản mặt cầu)

Đặc trưng hình học mặt cắt dầm giữa:

Chiều dày của bản: $h_f = 0.16 \text{ m}$

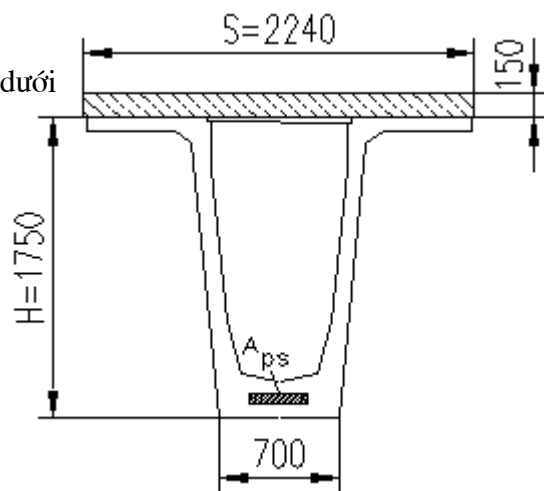
Khoảng cách từ trọng tâm của bản tới thớ dưới của dầm là:

$$y_{bm} := \frac{h_f}{2} + H$$

$$y_{bm} = 1.83 \text{ m}$$

Bề rộng tính toán của bản:

lấy bằng bề rộng hữu hiệu cho dầm giữa



$$b_{\text{ban.g}} = \begin{pmatrix} 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \\ 1.874 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Diện tích phần bản mặt cầu:

$$A_{\text{bm}} := h_f \cdot b_{\text{ban.g}} \quad A_{\text{bm}} = \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.3 \\ 0.3 \end{pmatrix} \text{ m}^2$$

Mô men quán tính của bản đối với TTH của bản:

$$I_{\text{bm}} := \frac{b_{\text{ban.g}} \cdot h_f^3}{12} \quad I_{\text{bm}} = \begin{pmatrix} 6.397 \times 10^8 \\ 6.397 \times 10^8 \\ 6.397 \times 10^8 \\ 6.397 \times 10^8 \\ 6.397 \times 10^8 \end{pmatrix} \text{ mm}^4$$

Vậy diện tích tiết diện mặt cắt liên hợp:

Mặt cắt nguyên không kể cốt thép DUL:

$$A_{\text{lh.bt}} := A_{\text{mc}} + A_{\text{bm}}$$

Mặt cắt quy đổi (có cốt thép DUL):

$$A_{\text{lh}} := A_{\text{eq}} + A_{\text{bm}}$$

$$A_{\text{lh.bt}} = \begin{pmatrix} 1.179 \\ 1.954 \\ 0.916 \\ 0.916 \\ 0.916 \end{pmatrix} \text{ m}^2 \quad A_{\text{lh}} = \begin{pmatrix} 1.179 \\ 1.971 \\ 0.938 \\ 0.941 \\ 0.941 \end{pmatrix} \text{ m}^2 \quad x_{\text{mc}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

+ Khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện liên hợp đến đáy dầm:

$$j_w := 0..4$$

$$S_{\text{lh.bt}_i} := A_{\text{mc}_i} \cdot y_{b_i} + A_{\text{bm}_i} \cdot y_{\text{bm}}$$

$$S_{\text{lh}_i} := A_{\text{eq}_i} \cdot y_{b.\text{eq}_i} + A_{\text{bm}_i} \cdot y_{\text{bm}}$$

$$S_{lh.bt} = \begin{pmatrix} 0.944 \\ 2.186 \\ 1.087 \\ 1.087 \\ 1.087 \end{pmatrix} m^3 \quad S_{lh} = \begin{pmatrix} 0.944 \\ 2.189 \\ 1.09 \\ 1.09 \\ 1.09 \end{pmatrix} m^3 \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} m$$

$$y_{b.lh_i} := \frac{S_{lh_i}}{A_{lh_i}} \quad y_{b.lh.bt_i} := \frac{S_{lh.bt_i}}{A_{lh.bt_i}}$$

$$y_{b.lh.bt} = \begin{pmatrix} 0.801 \\ 1.119 \\ 1.187 \\ 1.187 \\ 1.187 \end{pmatrix} m \quad y_{b.lh} = \begin{pmatrix} 0.801 \\ 1.11 \\ 1.162 \\ 1.158 \\ 1.158 \end{pmatrix} m \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} m$$

Mô men quán tính mặt cắt liên hợp tính đối:

(đối với trục trọng tâm mặt cắt liên hợp)

$$I_{lh.bt_i} := I_{d_i} + I_{bm_i} + A_{mc_i} \cdot (y_{b.lh.bt_i} - y_{b_i})^2 + A_{bm_i} \cdot (y_{b.lh.bt_i} - y_{bm})^2$$

$$I_{lh_i} := I_{eq_i} + I_{bm_i} + A_{eq_i} \cdot (y_{b.lh_i} - y_{b.eq_i})^2 + A_{bm_i} \cdot (y_{b.lh_i} - y_{bm})^2$$

$$I_{lh.bt} = \begin{pmatrix} 0.478 \\ 0.632 \\ 0.433 \\ 0.433 \\ 0.433 \end{pmatrix} m^4 \quad I_{lh} = \begin{pmatrix} 0.478 \\ 0.648 \\ 0.456 \\ 0.46 \\ 0.46 \end{pmatrix} m^4 \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} m$$

d_p = khoảng cách từ thớ nén mép trên dầm liên hợp đến trọng tâm cốt thép DUL :

$$d_p := d_{pI} + h_f$$

$$d_p = \begin{pmatrix} 0.96 \\ 1.765 \\ 1.764 \\ 1.767 \\ 1.767 \end{pmatrix} m \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} m$$

VII. TÍNH TOÁN CÁC MẤT MÁT DỰ ỨNG SUẤT

Tổng mất mát ứng suất (đối với DUL kéo trước):

$$\Delta f_{pt} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR} \quad (\text{TCN5.9.5.1 - 1})$$

Trong đó:

Δf_{pES} : mất mát ứng suất do co ngắn đàn hồi (MPa)

Δf_{pSR} : mất mát ứng suất do co ngót (MPa)

Δf_{pCR} : mất mát do từ biến của bê tông (MPa)

Δf_{pR} : mất mát tự chùng của CT DUL (MPa)

Mất mát ứng suất tại các mặt cắt được xác định như sau:

7.1. Mất mát do co ngắn đàn hồi

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} \cdot f_{cgp}$$

Trong đó E_p : mô đun đàn hồi của thép DUL

$$E_p = 1.97 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

E_{ci} : mô đun đàn hồi của BT lúc truyền lực

$$E_{ci} := 4800 \sqrt{f_{c1}} \cdot \text{MPa} \quad E_{ci} = 3.394 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

n_c : số lượng các tạo thép ứng suất trước giống nhau.

$$n_c = 42$$

f_{cgp} : tổng ứng suất bê tông ở trọng tâm các bó thép DUL do lực dự ứng lực sau khi truyền và tự trọng của cầu kiện ở các mặt cắt có mômen max (MPa)

ứng suất trong cốt thép DUL do lực dự ứng lực

$$\text{lấy } f_{ps} := 0.7 \cdot f_{py} \quad f_{ps} = 1.172 \times 10^3 \text{ MPa}$$

Độ lệch tâm của cốt thép DUL đối với mặt cắt đầm Super T chưa liên hợp bản bê tông:

$$e_{psI} := y_b - C_{ps} \quad e_{psI} = \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.845 \\ 0.728 \\ 0.731 \\ 0.731 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Mô men tĩnh tại trọng tâm cốt thép DUL của mặt cắt đầm Super T chưa liên hợp bản bê tông: :

$$j := 0..4$$

$$S_{psI_i} := \frac{I_{d_i}}{e_{psI_i}} \quad S_{psI} = \begin{pmatrix} 0.114 \\ 0.535 \\ 0.341 \\ 0.34 \\ 0.34 \end{pmatrix} m^3$$

Tổng lực DUL: $F_{ps_i} := f_{ps} \cdot A_{ps_i}$

$$i := 0..4$$

$$f_{cgp_i} := \frac{F_{ps_i}}{A_{mc_i}} + \frac{F_{ps_i} \cdot e_{psI_i}}{S_{psI_i}} - \frac{M_{DCdc_i}}{S_{psI_i}} \quad f_{cgp} = \begin{pmatrix} 0 \\ 9.151 \\ 19.661 \\ 21.37 \\ 17.359 \end{pmatrix} MPa$$

Vậy $\Delta f_{pES} := \frac{E_p}{E_{ci}} \cdot f_{cgp} \quad \Delta f_{pES} = \begin{pmatrix} 0 \\ 53.115 \\ 114.116 \\ 124.032 \\ 100.753 \end{pmatrix} MPa$

7.2. Mất mát ứng suất do co ngót

$$\Delta f_{pSR} := 117 - 1.03 \cdot H_a$$

H_a là độ ẩm tương ứng môi trường khu vực cầu, lấy trung bình năm (%)

Lấy $H_a := 86 \%$

$$\Delta f_{pSR} := (117 - 1.03 \cdot H_a) MPa \quad \Delta f_{pSR} = 28.42 MPa$$

7.3 Mất mát ứng suất do từ biến

$$\Delta f_{pCR} = 12 \cdot f_{cgp} - 7 \cdot \Delta f_{cdp}$$

$$f_{cgp} = \begin{pmatrix} 0 \\ 9.151 \times 10^6 \\ 1.966 \times 10^7 \\ 2.137 \times 10^7 \\ 1.736 \times 10^7 \end{pmatrix} Pa$$

Độ lệch tâm của cốt thép DUL đối với mặt cắt dầm S-T liên hợp bản mặt cầu:

$$e_{pslh.bt} := y_{b.lh.bt} - C_{ps}$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad e_{pslh.bt} = \begin{pmatrix} 0.801 \\ 0.974 \\ 1.041 \\ 1.044 \\ 1.044 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Mô men tĩnh tại trọng tâm cốt thép DƯL của mặt cắt dầm S-T liên hợp bản mặt cầu:

$$i := 0..4$$

$$S_{pslh.bt_i} := \frac{I_{lh.bt_i}}{e_{pslh.bt_i}} \quad S_{pslh.bt} = \begin{pmatrix} 0.597 \\ 0.648 \\ 0.416 \\ 0.415 \\ 0.415 \end{pmatrix} \text{ m}^3$$

Mô men do tải trọng thường xuyên tác dụng lên dầm giữa chừa liên hợp (tính từ biến):

$$M_{tx} := (DC_{bmg} + DC_{vk} + DC_{vn}) \cdot \omega_M \cdot g$$

Mô men do tải trọng thường xuyên tác dụng lên dầm giữa liên hợp (tính từ biến):

$$M_{txlh} := M_{DWg}$$

Δf_{cdp} : thay đổi ứng suất bê tông tại trọng tâm cốt thép DƯL do tải trọng thường xuyên, trừ tải trọng tác dụng vào lúc thực hiện DƯL

$$\Delta f_{cdp_i} := \frac{M_{tx_i}}{S_{psI_i}} + \frac{M_{txlh_i}}{S_{pslh.bt_i}} \quad \Delta f_{cdp} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.704 \\ 1.998 \\ 3.663 \\ 6.828 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{pCR} := 12 \cdot f_{cgp} - 7 \cdot \Delta f_{cdp} \quad \Delta f_{pCR} = \begin{pmatrix} 0 \\ 104.885 \\ 221.949 \\ 230.796 \\ 160.512 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

7.4. Mất mát do chùng ứng suất lúc truyền lực

Có thể tính mất mát này theo công thức sau:

7.4.1. Mất mát do chùng ứng suất lúc truyền lực

$$\Delta f_{pR1} = \begin{cases} \frac{\log(24.0 \cdot t)}{10.0} \cdot \left(\frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0.55 \right) \cdot f_{pj} & \text{if } loai_{ps} = "1" \\ \frac{\log(24.0 \cdot t)}{40.0} \cdot \left(\frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0.55 \right) \cdot f_{pj} & \text{if } loai_{ps} = "2" \end{cases}$$

trong đó

Thời gian từ lúc căng cốt thép đến lúc truyền lực (cắt cốt thép): $t := 3$

$t = 3$ ngày

$$\Delta f_{pR1} := \begin{cases} \frac{\log(24.0 \cdot t)}{10.0} \cdot \left(\frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0.55 \right) \cdot f_{pj} & \text{if } loai_{ps} = 1 \\ \frac{\log(24.0 \cdot t)}{40.0} \cdot \left(\frac{f_{pj}}{f_{py}} - 0.55 \right) \cdot f_{pj} & \text{if } loai_{ps} = 2 \end{cases}$$

$$\Delta f_{pR1} = 18.353 \text{ MPa}$$

7.4.2. Mất mát do chùng ứng suất sau khi truyền lực

$$\Delta f_{pR2} := \begin{cases} 138 \text{ MPa} - 0.4 \cdot \Delta f_{pES} - 0.2 \cdot (\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR}) & \text{if } loai_{ps} = 1 \\ [138 \text{ MPa} - 0.4 \cdot \Delta f_{pES} - 0.2 \cdot (\Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR})] \cdot (30\%) & \text{if } loai_{ps} = 2 \end{cases}$$

$$\Delta f_{pR2} = \begin{pmatrix} 39.695 \\ 27.028 \\ 12.684 \\ 10.963 \\ 17.974 \end{pmatrix} \text{ MPa} \quad \Delta f_{pR} := \Delta f_{pR1} + \Delta f_{pR2} \quad \Delta f_{pR} = \begin{pmatrix} 58.048 \\ 45.381 \\ 31.037 \\ 29.316 \\ 36.326 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

7.5. Tổng mất mát dự ứng suất

$$\Delta f_{pT} := \Delta f_{pES} + \Delta f_{pSR} + \Delta f_{pCR} + \Delta f_{pR}$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad \Delta f_{pT} = \begin{pmatrix} 86.468 \\ 231.8 \\ 395.522 \\ 412.564 \\ 326.011 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

Số phần trăm (%) mất mát:

$$\text{Mất mát} := \frac{\Delta f_{pT}}{f_{pj}} \quad \text{Mất mát} = \begin{pmatrix} 6.198 \\ 16.617 \\ 28.353 \\ 29.574 \\ 23.37 \end{pmatrix} \%$$

$$f_{pj} = 1.395 \times 10^3 \text{ MPa}$$

VIII. TÍNH DUYỆT THEO MÔ MEN

8.1. Tính duyệt theo TTGH Sử dụng

8.1.1. Điều kiện kiểm toán ứng suất trong bê tông

Mô men do tải trọng thường xuyên có xét đến bản mặt cầu và dầm ngang tác dụng lên dầm Super T giữa:

$$M_{DC1g} := (DC_{dc} + DC_{bmb} + DC_{dn} + DC_{vk} + DC_{vn}) \cdot g \cdot \omega_M$$

Mô men do tải trọng thường xuyên giai đoạn sau khi liên hợp tác dụng lên bản mặt cầu:

$$M_{DC2g} := (DC_{lcg})g \cdot \omega_M \quad M_{DWg}$$

Khoảng cách từ trọng tâm dầm Super T chưa liên hợp bản đến thớ nén ngoài cùng:

$$y_{nl0} := H' - y_{b.eq0}$$

$$j := 1..4 \quad y_{nlj} := H - y_{b.eqj}$$

Khoảng cách từ trọng tâm dầm Super T có cả bản mặt cầu đến thớ nén ngoài cùng dầm Super T:

$$y_{nlh0} := H' - y_{b.lh0}$$

$$j := 1..4 \quad y_{nlhj} := H - y_{b.lhj}$$

Khoảng cách từ trọng tâm dầm Super T có tính bản mặt cầu đến thớ nén ngoài cùng của bản mặt cầu:

$$y_{nb0} := H' + h_f - y_{b.lh0}$$

$$j := 1..4 \quad y_{nbhj} := H + h_f - y_{b.lhj}$$

Khoảng cách từ trọng tâm dầm Super T chưa liên hợp bản đến thớ chịu kéo ngoài cùng:

$$y_{kl} := y_{b.eq}$$

Khoảng cách từ trọng tâm dầm Super T có tính bản mặt cầu đến thớ kéo ngoài cùng:

$$y_{klh} := y_{b.lh}$$

Điều kiện về ứng suất trong bê tông: Bảng TCN 5.9.4.2.1-1 & 5.9.4.2.2-1

Quy ước: ứng suất kéo mang dấu "-"; ứng suất nén mang dấu "+"

(1) Do tổng dư ứng lực hữu hiệu và tải trọng thường xuyên:

Giới hạn us nén của bản mặt cầu..... $f_{cf1.nb} := 0.45 \cdot f_{c2} \rightarrow 15.75 \cdot \text{MPa}$

Giới hạn us nén của thớ trên dầm Super T.. $f_{cf1.nd} := 0.45 \cdot f_{c1} \rightarrow 22.50 \cdot \text{MPa}$

(2) Do tổng hoạt tải, dư ứng lực hữu hiệu và 50% tải trọng thường xuyên:

Giới hạn us nén của bản mặt cầu..... $f_{cf2.nb} := 0.40 \cdot f_{c2} \rightarrow 14.0 \cdot \text{MPa}$

Giới hạn us nén của thớ trên dầm Super T: $f_{cf2.nd} := 0.40 \cdot f_{c1} \rightarrow 20.0 \cdot \text{MPa}$

(3) Do tổng dư ứng lực hữu hiệu, tải trọng thường xuyên, nhất thời và vận chuyển:

Giới hạn us nén của bản mặt cầu..... $f_{cf3.nb} := 0.60 \cdot f_{c2} \rightarrow 21.0 \cdot \text{MPa}$

Giới hạn us nén của thớ trên dầm Super T: $f_{cf3.nd} := 0.60 \cdot f_{c1} \rightarrow 30.0 \cdot \text{MPa}$

(4) ứng suất kéo thớ dưới dầm:

Giới hạn ứng suất kéo của thớ dưới dầm Super T DUL có dính bám trong điều kiện ăn mòn thông thường :

$$f_{cf4.kd} := -0.5 \cdot \sqrt{f_{c1} \cdot \text{MPa}} \quad f_{cf4.kd} = -3.536 \text{ MPa}$$

Lực thực sự hữu hiệu trong cáp DUL:

$$F_{pe} = f_{pe} \cdot A_{ps} \quad f_{pe} := f_{pj} - \Delta f_{pT}$$

$$j := 0..4$$

$$F_{pe_i} := f_{pe_i} \cdot A_{ps_i} \quad F_{pe} = \begin{pmatrix} 0 \\ 4.56 \times 10^3 \\ 5.037 \times 10^3 \\ 5.777 \times 10^3 \\ 6.286 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Lực trong tạo cáp thớ trên dầm Super T: $F_{pe'_i} := f_{pe_i} \cdot A_{ps'}$

ứng suất cho phép trong cốt thép dự ứng lực:

$$f_{pe.cf} := 0.80 \cdot f_{py} \quad f_{pe.cf} = 1.339 \times 10^3 \text{ MPa}$$

$$TCN_{5.9.3} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \max(f_{pe}) \leq f_{pe.cf} \\ \text{"Không Đạt, kiểm tra lại"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad TCN_{5.9.3} = \text{"Đạt"}$$

Độ lệch tâm của cốt thép DUL thớ trên:

$$e_{ps'I} := \begin{pmatrix} y_{b0} - C_{ps'_0} \\ y_{b1} - y_{ps1} \cdot \text{mm} \\ y_{b2} - y_{ps2} \cdot \text{mm} \\ y_{b3} - y_{ps3} \cdot \text{mm} \\ y_{b4} - y_{ps4} \cdot \text{mm} \end{pmatrix}$$

$$e_{ps'I} = \begin{pmatrix} -0.29 \\ 0.915 \\ 0.749 \\ 0.699 \\ 0.649 \end{pmatrix} \text{ m}$$

ứng suất thớ trên dầm do dự ứng lực:

$$i := 0..4$$

$$\sigma_{pe.td_i} := \frac{F_{pe_i} + F_{pe'_i}}{A_{eq_i}} - \left(F_{pe_i} \cdot \frac{e_{psI_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{nI_i} + F_{pe'_i} \cdot \frac{e_{ps'I_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{nI_i} \right)$$

$$\sigma_{pe.td} = \begin{pmatrix} 1.14 \\ -3.96 \\ -5.13 \\ -5.86 \\ -6.33 \end{pmatrix} \text{ MPa} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

ứng suất thớ dưới dầm do dự ứng lực:

$$\sigma_{pe.dd_i} := \frac{F_{pe_i} + F_{pe'_i}}{A_{eq_i}} + F_{pe_i} \cdot \frac{e_{psI_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{kI_i} + F_{pe'_i} \cdot \frac{e_{ps'I_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{kI_i}$$

$$\sigma_{pe.dd} = \begin{pmatrix} -0.51 \\ 11.71 \\ 21.02 \\ 23.7 \\ 25.74 \end{pmatrix} \text{ MPa} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

8.1.2. Kiểm tra ứng suất nén trong bê tông khi khai thác

Khi khai thác, dầm có thể bị nứt do ứng suất nén ở thớ chịu nén phía trên của dầm vượt quá khả năng chịu nén cho phép.

f_n ứng suất nén lớn nhất ở biên chịu nén của dầm (ở đây tính cho dầm giữa vì dầm giữa chịu mômen uốn lớn hơn)

$$f_n = \frac{F_{pe}}{A_{mc}} - F_{pe} \cdot \frac{e_{psI}}{I_{eq}} \cdot y_{nI} + \frac{M_{uSDg}}{I} \cdot y_n$$

Theo TTGH Khai thác, ứng suất nén trong dầm được kiểm tra theo các trường hợp sau:

8.1.2.1. Do tác động của ứng suất do DUL và tải trọng thường xuyên

+ ứng suất thớ trên bản.

$$\sigma_{1tb_i} := \frac{M_{DC2g_i} + M_{DWg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{nb_i}$$

$$\sigma_{1tb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.148 \\ 0.357 \\ 0.65 \\ 1.212 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

$$+ \text{ ứng suất thớ trên dầm } \sigma_{1td_i} := \frac{M_{DC2g_i} + M_{DWg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{nlh_i} + \frac{M_{DC1g_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{nl_i} \dots + \sigma_{pe.td_i}$$

$$\sigma_{1td} = \begin{pmatrix} 1.14 \\ -2.55 \\ 0.04 \\ 3.57 \\ 11.25 \end{pmatrix} \text{ MPa} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Kiểm tra ứng suất thớ trên bản:

$$KT_{ban1} := \text{if}(\max(\sigma_{1tb}) \leq f_{cf1.nb}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"})$$

$$KT_{ban1} = \text{"Đạt"} \quad \text{với } f_{cf1.nb} = 15.75 \text{ MPa}$$

Kiểm tra ứng suất thớ trên dầm:

$$KT_{dam1} := \text{if}(\max(\sigma_{1td}) \leq f_{cf1.nd}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"})$$

$$KT_{dam1} = \text{"Đạt"} \quad \text{với } f_{cf1.nd} = 22.5 \text{ MPa}$$

8.1.2.2. Do tác động của hoạt tải và 50% tải trọng thường xuyên

ứng suất thớ trên bản.....

$$\sigma_{2tb_i} := 0.5 \cdot (\sigma_{1tb_i}) + \frac{M_{LLg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{nb_i} \quad \sigma_{2tb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.889 \\ 2.136 \\ 3.873 \\ 7.083 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

ứng suất thớ trên dầm.....

$$\sigma_{2td_i} := 0.5 \sigma_{1td_i} + \frac{M_{LLg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{nlh_i} \quad \sigma_{2td} = \begin{pmatrix} 0.569 \\ -0.623 \\ 1.56 \\ 4.576 \\ 10.724 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

Kiểm tra ứng suất thớ trên bản:

$$KT_{ban2} := \text{if}(\max(\sigma_{2tb}) \leq f_{cf2.nb}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"})$$

$$KT_{ban2} = \text{"Đạt"} \quad \text{với } f_{cf2.nb} = 14 \text{ MPa}$$

Kiểm tra ứng suất thớ trên dầm:

$$KT_{dam2} := \text{if}(\max(\sigma_{2td}) \leq f_{cf2.nd}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"})$$

KT_{dam2} = "Đạt"

với $f_{cf2.nd} = 20 \text{ MPa}$

8.1.2.3. Do tổng dự ứng lực hữu hiệu, tải trọng thường xuyên và tải trọng nhất thời

Trong ví dụ này không xét tải trọng khi vận chuyển

ứng suất thớ trên bản.....

$$\sigma_{3tb_i} := \left(\sigma_{1tb_i} \right) + \frac{M_{LLg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{nb_i}$$

$$\sigma_{3tb} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.964 \\ 2.314 \\ 4.198 \\ 7.689 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

ứng suất thớ trên dầm.....

$$\sigma_{3td_i} := \sigma_{1td_i} + \frac{M_{LLg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{nlh_i}$$

$$\sigma_{3td} = \begin{pmatrix} 1.139 \\ -1.899 \\ 1.581 \\ 6.359 \\ 16.349 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

Kiểm tra ứng suất thớ trên bản:

$$KT_{ban3} := \text{if} \left(\max(\sigma_{3tb}) \leq f_{cf3.nb}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"} \right)$$

KT_{ban3} = "Đạt"

với $f_{cf3.nb} = 21 \text{ MPa}$

Kiểm tra ứng suất thớ trên dầm:

$$KT_{dam3} := \text{if} \left(\max(\sigma_{3td}) \leq f_{cf3.nd}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"} \right)$$

KT_{dam3} = "Đạt"

với $f_{cf3.nd} = 30 \text{ MPa}$

+ để phòng trường hợp thớ trên dầm các m/c gần gối có thể bị kéo ta kiểm tra ứng suất kéo

$$KT_{keo1} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \min(\sigma_{1tb}, \sigma_{1td}, \sigma_{2tb}, \sigma_{2td}, \sigma_{3tb}, \sigma_{3td}) \geq f_{cf4.kd} \\ \text{"Không Đạt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\min(\sigma_{1tb}, \sigma_{1td}, \sigma_{2tb}, \sigma_{2td}, \sigma_{3tb}, \sigma_{3td}) = -2.551 \text{ MPa}$$

$$f_{cf4.kd} = -3.536 \text{ MPa}$$

$$KT_{keo1} = \text{"Đạt"}$$

8.1.3. Kiểm tra ứng suất kéo trong bê tông khi khai thác

Kiểm tra ứng suất thớ dưới dầm liên hợp

Cũng trong trạng thái giới hạn về sử dụng, khi dầm đang chịu tải, thớ dưới sẽ chịu kéo.

Điều kiện để dầm không nứt là ứng suất kéo không vượt quá ngưỡng cho phép

$$\text{Điều kiện} \quad f_k \geq f_{cf4.kd} \quad f_{cf4.kd} = -3.536 \text{ MPa}$$

f_k ứng suất nén lớn nhất ở biên chịu nén của dầm (ở đây tính cho dầm giữa vì dầm giữa chịu mômen uốn lớn hơn)

$$f_k = \frac{F_{pe}}{A_{eq}} + F_{pe} \cdot \frac{e_{psI}}{I_{eq}} \cdot y_{kI} - \left(\frac{M_{DC2g} + M_{DWg} + M_{LLg}}{I_{lh}} \cdot y_{klh} + \frac{M_{DC1g}}{I_{eq}} \cdot y_{kI} \right)$$

$$\sigma_{dd_i} := \sigma_{pe.dd_i} - \left(\frac{M_{DC2g_i} + M_{DWg_i} + M_{LLg_i}}{I_{lh_i}} \cdot y_{klh_i} + \frac{M_{DC1g_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{kI_i} \right)$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad \sigma_{dd} = \begin{pmatrix} -0.511 \\ 8.726 \\ 12.809 \\ 8.912 \\ -1.616 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

Kiểm tra ứng suất thớ dưới dầm:

$$KT_{dam4} := \text{if} \left(\min(\sigma_{dd}) \geq f_{cf4.kd}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"} \right)$$

$$KT_{dam4} = \text{"Đạt"} \quad \text{với } f_{cf4.kd} = -3.536 \text{ MPa}$$

8.1.4. Kiểm toán ứng suất trong bê tông giai đoạn thi công

8.1.4.1. Kiểm toán ứng suất thớ trên trong quá trình thi công

Khi dầm vừa chế tạo xong, lúc này, dự ứng lực trong cốt thép là lớn nhất trong khi chưa có hoạt tải mà mới chỉ có tải trọng bản thân của dầm chống lại lực nén của dự ứng lực. Dầm có khả năng bị nứt thớ trên.

$$\text{Điều kiện} \quad f_t \geq -0.58 \cdot \sqrt{f'_{ci}}$$

f_t ứng suất thớ trên của dầm (có thể là us kéo do DUL)

f'_{ci} cường độ chịu nén của bê tông dầm khi truyền lực

$$f'_{ci} := 0.8 \cdot f'_{c1} \quad f'_{ci} = 40 \text{ MPa}$$

Tải trọng tác dụng lên dầm khi thi công:

$$f_t = \frac{F_{pe}}{A_{eq}} - F_{pe} \cdot \frac{e_{psI}}{I_{eq}} \cdot y_{nI} + \frac{M_{DCdc}}{I_{eq}} \cdot y_{nI}$$

Lực thực sự trong cáp DUL:

$$f_{petc} := f_{pj} - \Delta f_{pES} - \Delta f_{pR1}$$

$$F_{petc_i} := f_{petc_i} \cdot A_{ps_i}$$

$$F_{petc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 5.188 \times 10^3 \\ 6.363 \times 10^3 \\ 7.365 \times 10^3 \\ 7.502 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN}$$

$$f_{t_i} := \frac{F_{petc_i}}{A_{eq_i}} - F_{petc_i} \cdot \frac{e_{psI_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{nI_i} + \frac{M_{DCdc_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{nI_i} \quad f_t = \begin{pmatrix} 0 \\ -3.374 \\ -3.12 \\ -1.71 \\ 2.878 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

$$KT_{us5} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \min(f_t) \geq -0.58 \cdot \sqrt{f'_{ci} \cdot \text{MPa}} \\ \text{"Không Đạt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$-0.58 \cdot \sqrt{f'_{ci} \cdot \text{MPa}} = -3.668 \text{ MPa} \quad KT_{us5} = \text{"Đạt"}$$

8.1.4.2. Kiểm toán ứng suất thớ dưới trong giai đoạn thi công

Đồng thời với khả năng nứt thớ trên, nếu như ta dự ứng lực vượt quá khả năng chịu nén của bê tông thì bê tông sẽ bị nứt dọc ở thớ dưới.

Kiểm tra khả năng này bằng phương trình dưới đây

Điều kiện $f_d \leq 0.6f'_{ci}$ $0.6f'_{ci} = 24 \text{ MPa}$ (TCN. 5.9.4.1.1)

f_d ứng suất thớ dưới của dầm (ở đây tính cho dầm biên vì dầm biên chịu mômen uốn lớn hơn)

$$f_d = \frac{F_{petc}}{A_{eq}} + F_{petc} \cdot \frac{e_{psI}}{I_{eq}} \cdot y_{kIc} - \frac{M_{DCdc}}{I_{eq}} \cdot y_{kI}$$

$$f_{d_i} := \frac{F_{petc_i}}{A_{eq_i}} + F_{petc_i} \cdot \frac{e_{psI_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{kI_i} - \frac{M_{DCdc_i}}{I_{eq_i}} \cdot y_{kI_i} \quad f_d = \begin{pmatrix} 0 \\ 11.376 \\ 22.304 \\ 23.783 \\ 19.917 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

$$KT_{us6} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \max(f_d) \leq 0.6f'_{ci} \\ \text{"Không Đạt"} & \text{otherwise} \end{cases} \quad KT_{us6} = \text{"Đạt"}$$

8.1.5. Kiểm tra độ võng, độ võng dầm

Xét tại mặt cắt giữa nhịp (có độ võng lớn nhất)

Quy ước: Độ võng xuống mang dấu dương, võng lên mang dấu âm

Mô men quán tính của mặt cắt nguyên đối với trọng tâm (không xét cốt thép):

Tại mặt cắt giữa nhịp:

+ Đối với dầm Super T chưa liên hợp: $I_{d_4} = 2.482 \times 10^{11} \text{ mm}^4$

+ Đối với dầm liên hợp $I_g := I_{lh.bt_4}$

$$I_g = 4.333 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

8.1.5.1. Độ võng do DUL

Độ võng do DUL có thể xác định theo công thức sau:

$$f_{v.ps} := \frac{-F_{ps4} \cdot e_{psI_4} \cdot L^2}{8 \cdot E_{ci} \cdot I_{d4}} \quad f_{v.ps} = -109.607 \text{ mm}$$

8.1.5.2. Độ võng do trọng lượng đầm

$$f_{v.DC1} := \frac{5 \cdot DC_{dc} \cdot g \cdot L_{tt}^4}{384 \cdot E_{cdam} \cdot I_{d4}} \quad f_{v.DC1} = 47.291 \text{ mm}$$

8.1.5.3. Độ võng do bản mặt cầu đầm ngang, ván khuôn, vách ngăn

$$f_{v.DC2} := \frac{5 \cdot (DC_{bmb} + DC_{dn} + DC_{vk} + DC_{vn}) \cdot g \cdot L_{tt}^4}{384 \cdot E_{cdam} \cdot I_{d4}} \quad f_{v.DC2} = 29.907 \text{ mm}$$

8.1.5.4. Độ võng do gờ chắn, lan can

$$f_{v.DC3} := \frac{5 \cdot (DC_{lcg}) \cdot g \cdot L_{tt}^4}{384 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \quad f_{v.DC3} = 0 \text{ mm}$$

(tính cho đầm giữa)

8.1.5.5. Độ võng do lớp phủ và trang thiết bị trên cầu

$$f_{v.DW} := \frac{5 \cdot (DW_g) \cdot g \cdot L_{tt}^4}{384 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \quad f_{v.DW} = 6.843 \text{ mm}$$

8.1.5.6. Độ võng của đầm sau khi căng cáp DUL

$$f_{v.TC} := f_{v.ps} + f_{v.DC1} \quad f_{v.TC} = -62.316 \text{ mm} \quad (\text{vồng lên})$$

8.1.5.7. Độ võng của đầm khi khai thác dưới tác dụng các tải trọng thường xuyên

$$f_{v.TTTX} := f_{v.ps} + f_{v.DC1} + f_{v.DC2} + f_{v.DC3} + f_{v.DW}$$

$$f_{v.TTTX} = -25.566 \text{ mm} \quad (\text{vồng lên})$$

8.1.5.7. Độ võng của đầm khi khai thác dưới tác dụng các hoạt tải

Điều kiện kiểm toán:

$$f_{v.LL} \leq \frac{L_{tt}}{800} \quad \text{và} \quad f_{v.LLvPL} \leq \frac{L_{tt}}{1000}$$

Trong đó: L_{tt} Chiều dài nhịp tính toán $L_{tt} = 37.6 \text{ m}$

$f_{v.LL}$ Độ võng lớn nhất tại giữa nhịp do xe

Lấy bằng trị số lớn hơn của:

Kết quả tính của xe tải thiết kế đơn
25% của xe tải thiết kế cùng tải trọng làn

$f_{v.LLvPL}$ Độ võng lớn nhất tại giữa nhịp do xe và người đi

Hệ số phân bố độ võng có thể lấy bằng số làn/số dầm, vì tất cả các làn thiết kế đều chất tải và tất cả các dầm đỡ đều giả thiết võng như nhau.

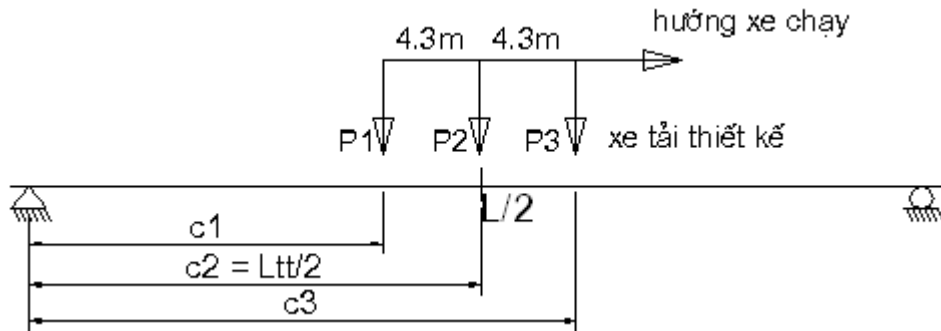
$$Df := \frac{n_{lan}}{N_b} \quad Df = 0.4 \quad N_b = 5 \quad n_{lan} = 2$$

Tính độ võng do xe tải đơn:

$$P_1 := Df \cdot 145 \text{ kN} \quad P_1 = 5.8 \times 10^4 \text{ N} \quad P_2 := P_1$$

$$P_3 := Df \cdot 35 \text{ kN} \quad P_3 = 1.4 \times 10^4 \text{ N}$$

Bố trí xe tại vị trí bất lợi nhất như hình vẽ



Khoảng cách từ trục xe đến gối:

$$c1 := \frac{L_{tt}}{2} - 4.3 \text{ m} \quad c2 := \frac{L_{tt}}{2} \quad c3 := \frac{L_{tt}}{2} + 4.3 \text{ m}$$

$$f_{v.1} := \frac{P_1 \cdot c1}{48 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \cdot (3 \cdot L_{tt}^2 - 4 \cdot c1^2) \quad f_{v.1} = 3.729 \text{ mm}$$

$$f_{v.2} := \frac{P_2 \cdot c2}{48 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \cdot (3 \cdot L_{tt}^2 - 4 \cdot c2^2) \quad f_{v.2} = 4.02 \text{ mm}$$

$$f_{v.3} := \frac{P_3 \cdot c3}{48 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \cdot (3 \cdot L_{tt}^2 - 4 \cdot c3^2) \quad f_{v.3} = 0.888 \text{ mm}$$

Độ võng do xe tải thiết kế:

$$f_{v.truck} := f_{v.1} + f_{v.2} + f_{v.3} \quad f_{v.truck} = 8.638 \text{ mm}$$

Tính độ võng do tải trọng làn

$$f_{v.lan} := \frac{5 \cdot q_{lan} \cdot L_{tt}^4}{384 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \quad f_{v.lan} = 15.15 \text{ mm}$$

Tính độ võng do tải trọng người đi

$$f_{v.PL} := \frac{5 \cdot (PL \cdot B_3) \cdot L_{tt}^4}{384 \cdot E_{cdam} \cdot I_g} \quad f_{v.lan} = 15.15 \text{ mm}$$

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

$$f_{v.xe} := 25\% \cdot f_{v.truck} + f_{v.lan} \quad f_{v.xe} = 17.309 \text{ mm}$$
$$f_{v.kt} := \max(f_{v.xe}, f_{v.truck}) \quad f_{v.kt} = 17.309 \text{ mm}$$

Kiểm tra độ võng do xe nói chung:

$$KT_{vong1} := \text{if} \left(f_{v.kt} \leq \frac{L_{tt}}{800}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"} \right) \quad \frac{L_{tt}}{800} = 47 \text{ mm}$$
$$KT_{vong1} = \text{"Đạt"}$$

Kiểm tra độ võng do xe và tải trọng người đi:

$$f_{v.kt} + f_{v.PL} = 24.639 \text{ mm}$$
$$KT_{vong2} := \text{if} \left[\left(f_{v.kt} + f_{v.PL} \right) \leq \frac{L_{tt}}{1000}, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"} \right] \quad \frac{L_{tt}}{1000} = 37.6 \text{ mm}$$
$$KT_{vong2} = \text{"Đạt"}$$

8.2. Tính duyệt theo TTGH Cường độ

8.2.1. Tính duyệt mô men uốn

8.2.1.1. Sức kháng uốn

Sức kháng uốn tính toán M_r được tính như sau: $M_r = \psi \cdot M_n$

Trong đó: M_n = Sức kháng uốn danh định

Ψ = hệ số sức kháng

Theo quy định của điều 5.5.4.2 ta có : $\psi := 0.9$

Coi thớ dưới chỉ có cốt thép DƯL chịu lực. Với mặt cắt hình chữ T thì qui đổi sức kháng danh định M_n được xác định như sau: (TCN 5.7.3.2.2.1)

$$M_n = \left[A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a_{td}}{2} \right) \right] + A_s \cdot f_y \cdot \left(d_s - \frac{a}{2} \right) - A'_s \cdot f'_y \cdot \left(d'_s - \frac{a}{2} \right) \dots$$
$$+ 0.85 \cdot f_{c1} \cdot \beta_1 \cdot h_f \cdot (b - b_w) \cdot \left(\frac{a_{td}}{2} - \frac{h_f}{2} \right)$$

Với mặt cắt hình chữ nhật thì sức kháng danh định M_n được xác định như sau: (TCN 5.7.3.2.3)

$$M_n = \left[A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot \left(d_p - \frac{a_{td}}{2} \right) \right] + A_s \cdot f_y \cdot \left(d_s - \frac{a}{2} \right)$$

Trong công thức trên:

A_{ps} = diện tích thép dự ứng lực:

$$A_{ps} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.92 \times 10^3 \\ 5.04 \times 10^3 \\ 5.88 \times 10^3 \\ 5.88 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{mm}^2$$

Bỏ qua diện tích cốt thép thường $A_s := 0 \text{m}^2$ $A'_s := 0 \text{m}^2$

d_p = khoảng cách từ thớ nén mép trên dầm liên hợp đến trọng tâm cốt thép DUL.

b = bề rộng mặt cắt chịu nén của cấu kiện : $b := b_{\text{ban}}.b$

b_w = bề dày bản bụng :

$$b_w = \begin{pmatrix} 0.89 \\ 0.7 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} \text{m}$$

h_f = chiều dày cánh chịu nén $h_f = 0.16 \text{ m}$

β_1 = hệ số chuyển đổi biểu đồ ứng suất quy định trong điều 5.7.2.2 :

$$\beta_1 := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f'_{c1} \leq 28 \text{MPa} \\ 0.85 - 0.05 \cdot \frac{f'_{c1} - 28 \cdot \text{MPa}}{7 \cdot \text{MPa}} & \text{if } 28 \text{MPa} < f'_{c1} < 56 \text{MPa} \\ 0.65 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\beta_1 = 0.693$$

f_{pu} = cường độ chịu kéo quy định của thép DUL: $f_{pu} = 1.86 \times 10^3 \text{ MPa}$

f_{py} = giới hạn chảy của thép DUL: $f_{py} = 1.674 \times 10^3 \text{ MPa}$

Hệ số k

$$k := 2 \cdot \left(1.04 - \frac{f_{py}}{f_{pu}} \right)$$

c = khoảng cách từ thớ chịu nén ngoài cùng đến trục trung hòa với giả thiết là thép DUL của bó tạo thép đã bị chảy dẻo (TCN 5.7.3.1.1).

$i := 0..4$

$$c_{1_i} := \frac{A_{ps_i} \cdot f_{pu} - 0.85 \cdot \beta_1 \cdot f'_{c1} \cdot (b_i - b_{w_i}) \cdot h_f}{0.85 \cdot f'_{c1} \cdot \beta_1 \cdot b_{w_i} + k \cdot A_{ps_i} \cdot \frac{f_{pu}}{d_{p_i}}}$$

$$c_{2_i} := \frac{A_{ps_i} \cdot f_{pu}}{0.85 \cdot f_{c1} \cdot \beta_1 \cdot b_i + k \cdot A_{ps_i} \cdot \frac{f_{pu}}{d_{p_i}}}$$

$$c_1 = \begin{pmatrix} -0.177 \\ 0.081 \\ 0.229 \\ 0.551 \\ 0.551 \end{pmatrix} \text{ m} \quad c_2 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.129 \\ 0.165 \\ 0.192 \\ 0.192 \end{pmatrix} \text{ m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$i := 0..4 \quad c_i := \begin{cases} c_{1_i} & \text{if } c_{1_i} \geq h_f \\ c_{2_i} & \text{otherwise} \end{cases}$$

chiều dày của khối ứng suất tương đương

$$a_{td} := c \cdot \beta_1 \quad a_{td} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0.09 \\ 0.159 \\ 0.382 \\ 0.382 \end{pmatrix} \text{ m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

f_{ps} = ứng suất trung bình trong cốt thép DUL với sức kháng uốn danh định tính theo TCN5.7.3.1.1-1:

$$f_{ps_i} := f_{pu} \cdot \left(1 - k \cdot \frac{c_i}{d_{p_i}} \right) \quad f_{ps} = \begin{pmatrix} 1.86 \times 10^3 \\ 1.822 \times 10^3 \\ 1.792 \times 10^3 \\ 1.698 \times 10^3 \\ 1.698 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

Thay các giá trị vào ta có: $i := 0..4$

$$M_{nT_i} := A_{ps_i} \cdot f_{ps_i} \cdot \left(d_{p_i} - \frac{a_{td_i}}{2} \right) + 0.85 \cdot f_{c1} \cdot \beta_1 \cdot h_f \cdot (b_i - b_{w_i}) \cdot \left(\frac{a_{td_i}}{2} - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$M_{nb_i} := A_{ps_i} \cdot f_{ps_i} \cdot \left(d_{p_i} - \frac{a_{td_i}}{2} \right)$$

$$M_{n_i} := \begin{cases} M_{nT_i} & \text{if } c_{1_i} \geq h_f \\ M_{nb_i} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$M_n = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.229 \times 10^4 \\ 1.521 \times 10^4 \\ 1.666 \times 10^4 \\ 1.666 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Sức kháng uốn:

$$M_R := \psi \cdot M_n$$

$$M_R = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.106 \times 10^4 \\ 1.369 \times 10^4 \\ 1.499 \times 10^4 \\ 1.499 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

8.2.1.2. Mô men uốn tính duyệt

Ta lấy giá trị lớn nhất của mô men uốn tính toán theo TTGH CD1

$$M_{utd} := \begin{pmatrix} \max(M_{uCD1g_0}, M_{uCD1g_0}) \\ \max(M_{uCD1g_1}, M_{uCD1g_1}) \\ \max(M_{uCD1g_2}, M_{uCD1g_2}) \\ \max(M_{uCD1g_3}, M_{uCD1g_3}) \\ \max(M_{uCD1g_4}, M_{uCD1g_4}) \end{pmatrix}$$

$$M_{utd} = \begin{pmatrix} 0 \\ 2.423 \times 10^3 \\ 4.388 \times 10^3 \\ 7.997 \times 10^3 \\ 1.475 \times 10^4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

8.2.1.3. Điều kiện duyệt mô men uốn

$$KT_{CD} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \min(M_R - M_{utd}) \geq 0 \\ \text{"Không Đạt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$KT_{CD} = \text{"Đạt"}$$

$$M_R - M_{utd} = \begin{pmatrix} 0 \\ 8.636 \times 10^3 \\ 9.305 \times 10^3 \\ 6.997 \times 10^3 \\ 240.049 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

8.2.2. Kiểm tra hàm lượng cốt thép DƯL

8.2.2.1. Cốt thép tối đa (TCN 5.7.3.3.1)

Coi diện tích cốt thép thường $A_s = 0$ theo TCN 5.7.3.3.1-2 ta có:

$$d_e = \frac{A_{ps} \cdot f_{ps} \cdot d_p + A_s \cdot f_y \cdot d_s}{A_{ps} \cdot f_{ps} + A_s \cdot f_y}$$

$$d_{e_i} := \frac{A_{ps_i} \cdot f_{ps_i} \cdot d_{p_i}}{A_{ps_i} \cdot f_{ps_i}} \quad d_e = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.765 \\ 1.764 \\ 1.767 \\ 1.767 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$\text{Kiểm tra điều kiện : } \frac{c}{d_e} \leq 0.42$$

$$TCN_{5.7.3.3.1} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \max(c - 0.42 \cdot d_e) \leq 0 \\ \text{"Không Đạt"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$TCN_{5.7.3.3.1} = \text{"Đạt"}$$

8.2.2.2. Cốt thép tối thiểu (TCN 5.7.3.3.2)

Cốt thép tối thiểu phải đảm bảo mô men kháng uốn tính toán giá trị nhỏ hơn trong 2 giá trị sau:

+ 1.2 lần sức kháng nứt,

+ 1.33 lần mô men tính toán cần thiết dưới tổ hợp tải trọng - cường độ.

Cường độ chịu kéo khi uốn:

$$f_r := -0.63 \cdot \sqrt{f_{c1}} \cdot \text{MPa}$$

$$f_r = -4.455 \text{ MPa}$$

ứng suất thớ dưới dầm Super T:

$$\sigma_{4dd} = \begin{pmatrix} -0.511 \\ 8.726 \\ 12.809 \\ 8.912 \\ -1.616 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

Tổng ứng suất gây nứt:

$$\Delta\sigma := \sigma_{4dd} - f_r$$

$$\Delta\sigma = \begin{pmatrix} 3.9 \\ 13.2 \\ 17.3 \\ 13.4 \\ 2.8 \end{pmatrix} \text{ MPa}$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Mô men tính đối với đáy dầm.....

$$S_b = \begin{pmatrix} 0.115 \\ 0.456 \\ 0.284 \\ 0.284 \\ 0.284 \end{pmatrix} \text{ m}^3$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

Tổng mô men gây nứt :

$$\Delta M_i := \Delta \sigma_i \cdot S_{b_i} \quad \Delta M = \begin{pmatrix} 451.5 \\ 6015.9 \\ 4904.0 \\ 3797.1 \\ 806.3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mô men theo TTGH sử dụng:

$$M_{uSDg} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.635 \times 10^3 \\ 2.963 \times 10^3 \\ 5.402 \times 10^3 \\ 9.981 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$i := 0..4$$

Mô men gây ra bởi lực DƯL.....

$$M_{ps_i} := -(F_{pe_i} \cdot e_{ps_i})$$

Mô men nứt.....

$$M_{cr_i} := (M_{uSDg_i} + M_{ps_i}) + \Delta M_i$$

$$x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m} \quad M_{ps} = \begin{pmatrix} 0 \\ -3.855 \times 10^3 \\ -3.666 \times 10^3 \\ -4.221 \times 10^3 \\ -4.593 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{cr} = \begin{pmatrix} 451.509 \\ 3.797 \times 10^3 \\ 4.201 \times 10^3 \\ 4.978 \times 10^3 \\ 6.195 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Mô men kháng uốn yêu cầu.....

$$M_{r,yc_i} := \min(1.2 \cdot M_{cr_i}, 1.33 M_{uCD1g_i}) \quad M_{r,yc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.222 \times 10^3 \\ 5.041 \times 10^3 \\ 5.973 \times 10^3 \\ 7.434 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Kiểm tra mô men kháng thoả mãn yêu cầu cốt thép tối thiểu.

$$M_T = \begin{pmatrix} 0 \\ 11058.5 \\ 13692.8 \\ 14994.4 \\ 14994.4 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad M_{T.yc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.222 \times 10^3 \\ 5.041 \times 10^3 \\ 5.973 \times 10^3 \\ 7.434 \times 10^3 \end{pmatrix} \text{ kN} \cdot \text{m} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

$$TCN_{5.7.3.3.2} := \begin{cases} \text{"Đạt"} & \text{if } \min(M_T - M_{T.yc}) \geq 0 \\ \text{"Không Đạt, cốt thép không thỏa mãn yêu cầu tối thiểu"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$TCN_{5.7.3.3.2} = \text{"Đạt"}$$

IX. TÍNH DUYỆT THEO LỰC CẮT VÀ XOẮN

9.1. Xác định sức kháng cắt danh định

Sức kháng danh định lấy giá trị nhỏ hơn trong hai giá trị sau:

$$V_n = V_c + V_s + V_p$$

$$V_n = 0.25 \cdot f'_c \cdot b_v \cdot d_v + V_p$$

Sức kháng cắt có thể chia thành, V_c , do ứng suất kéo trong bê tông, V_s , do cốt thép chịu cắt, V_p , do thành phần dự ứng lực thẳng đứng.

Sức kháng danh định của mặt cắt bê tông $V_c = 0.0316 \cdot \beta \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_v \cdot d_v$

Sức kháng danh định do cốt thép chịu cắt $V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d_v \cdot \cot(\theta)}{s}$

Sức kháng danh định do thành phần dự ứng lực thẳng đứng

$$V_p := 0 \text{ kN}$$

Bỏ qua cốt thép thường chịu kéo: $d_s := 0 \text{ m}$

Chiều cao chịu cắt hữu hiệu..... $d_v := \max\left(d_s - \frac{a_t d_1}{2}, 0.9 \cdot d_e, 0.72 \cdot h\right)$

$$d_v = 1.59 \text{ m}$$

(Chú ý: Đây là cơ sở để xác định mặt cắt duyệt lực cắt $x_1 = 1.59 \text{ m}$)

9.1.1. Xác định thông số β và θ [TCN 5.8.3.4.2]

Tra bảng TCN để xác định β từ thông số ứng suất cắt $\frac{v}{f'_c}$.

ứng biến dọc trong cốt thép phía chịu uốn:

$$\varepsilon_x = \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0.5 \cdot V_u \cdot \cot(\theta) - A_{ps} \cdot f_{po}}{E_s \cdot A_s + E_p \cdot A_{ps}}$$

Bề rộng hữu hiệu..... $b_v := b_w$ vậy $b_v = \begin{pmatrix} 0.89 \\ 0.7 \\ 0.1 \\ 0.1 \\ 0.1 \end{pmatrix} m$

Chiều cao chịu cắt hữu hiệu..... $d_v = 1.59 m$

Hệ số chỉ khả năng của bê tông bị nứt chéo
truyền lực kéo β
góc nghiêng của ứng suất nén chéo θ

ứng suất cắt trong bê tông được xác định theo công thức TCN 5.8.2.9-1:

$$v = \frac{V_u - \phi \cdot V_p}{\phi \cdot b_v \cdot d_v}$$

Lực cắt đã nhân hệ số tại mặt cắt kiểm tra lực cắt $x_1 = 1.59 m$

$$V_u := V_{uCD1g_1}$$

Tại mặt cắt đang xét $V_u = 1.375 \times 10^6 N$

Hệ số sức kháng cắt (TCN 5.5.4.2) $\phi_v := 0.9$

ứng suất cắt trong bê tông: $v := \frac{V_u - \phi_v \cdot V_p}{\phi_v \cdot b_{v1} \cdot d_v} \quad v = 1.37 MPa \quad \frac{v}{f_{c1}} = 0.027$

Bảng TCN5.8.3.4.2-1 thể hiện giá trị của θ và β cho mặt cắt có cốt thép ngang.

+ lực dọc do DƯL:

$$F_{ps1} = 4.593 \times 10^6 N$$

+ ứng suất trong thép DƯL khi ứng suất bê tông xung quanh nó bằng 0:

$$f_{po} := f_{pe1} - \frac{F_{pe1}}{A_{lh1}} \cdot \frac{E_p}{E_{cdam}} \quad f_{po} = 1.151 \times 10^3 MPa$$

Chiều dài truyền lực hữu hiệu của thép DƯL..... $L_{tl} := 60 \cdot D_{ps}$

$$L_{tl} = 0.912 m$$

Vì chiều dài truyền lực, $L_{t1} = 0.912 \text{ m}$, nhỏ hơn khoảng cách đến mặt cắt tính duyệt lực cắt, $x_1 = 1.59 \text{ m}$, nên toàn bộ ứng suất trong thép DƯL tại m/c đó là hữu hiệu.

Mô men có nhân hệ số tại m/c: $M_u := \max(M_{uCD1g1}, V_u \cdot d_v)$

$$M_u = 2.423 \times 10^3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

để xác định ứng biến trong thép dọc ta giả định thông số: $\theta := 27 \cdot \text{deg}$

$$\text{ứng biến} \dots \varepsilon_x := \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0.5 \cdot V_u \cdot \cot(\theta) - A_{ps1} \cdot f_{po}}{E_s \cdot A_s + E_p \cdot A_{ps1}} \quad \varepsilon_x = -2.122 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{xx} := \begin{cases} \varepsilon_x & \text{if } 0 \leq \varepsilon_x \leq 0.002 \\ \text{"Không Đạt, tính lại"} & \end{cases} \quad \varepsilon_x = \text{"Không Đạt, tính lại"}$$

ứng biến có giá trị âm thì phải tính lại theo công thức TCN 5.8.3.4.2-3

$$\text{với} \quad e_x = \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0.5 \cdot V_u \cdot \cot(\theta) - A_{ps} \cdot f_{po}}{E_c \cdot A_c + E_s \cdot A_s + E_p \cdot A_{ps}}$$

Diện tích bê tông phía chịu uốn của dầm (hình TCN 5.8.3.4.2-3)

$$A_c := \frac{A_1}{H} \cdot \frac{h}{2} \quad (\text{Có thể lấy bằng diện tích dầm Super T chưa liên hợp chia chiều cao nhân với nửa chiều cao dầm liên hợp}).$$

$$A_c = 9.027 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

Tính lại giá trị ứng biến,

$$\varepsilon_{xx} := \frac{\frac{M_u}{d_v} + 0.5 \cdot V_u \cdot \cot(\theta) - A_{ps1} \cdot f_{po}}{E_{cdam} \cdot A_c + E_s \cdot A_s + E_p \cdot A_{ps1}} \quad \varepsilon_x = -0.0510^{-3}$$

$$\text{thông số } \frac{v}{f_c} \dots \frac{v}{f_{c1}} = 0.027$$

Tra bảng TCN 5.8.3.4.2-1, các giá trị của θ và β có thể lấy như sau:

Góc xiên ứng suất nén $\theta := 27 \text{ deg}$ (tra bảng lấy các thông số)

$$\text{Hệ số} \quad \beta := \frac{4.88 - 5.63}{0 + 0.1} \cdot (\varepsilon_x + 0.1) + 5.63 \quad \beta = 4.88$$

Góc xiên ứng suất nén phù hợp với giả thiết tiếp tục sử dụng để tính toán

Sức kháng cắt danh định của mặt cắt: $V_c := 0.083 \cdot \beta \cdot \sqrt{f_{c1}} \cdot \text{MPa} \cdot b_{v1} \cdot d_v$

$$V_c = 3.2 \times 10^3 \text{ kN}$$

9.1.2. Chọn cốt thép đai chống cắt

Để thuận lợi cho thi công chọn đường kính cốt đai không đổi nhưng khoảng cách thay đổi theo sự giảm lực cắt theo chiều dài dầm:

$$D_{ctd} := 16\text{mm}$$

Bước cốt đai

$$s_{ctd} := \begin{pmatrix} 100 \\ 150 \\ 200 \\ 250 \\ 250 \end{pmatrix} \cdot \text{mm} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{m}$$

Diện tích cốt đai tại các mặt cắt trong cự ly s_{ctd}

$$A_{v_i} := 0.083 \cdot \sqrt{f'_{c1} \cdot \text{MPa}} \cdot \frac{b_{v_i} \cdot s_{ctd_i}}{f_y} \quad i := 0..4 \quad A_v = \begin{pmatrix} 124.367 \\ 146.725 \\ 27.948 \\ 34.934 \\ 34.934 \end{pmatrix} \text{mm}^2$$

góc nghiêng cốt đai $\alpha := 0$

$$V_s := \frac{A_{v_1} \cdot f_y \cdot d_v \cdot \cot(\theta)}{s_{ctd_1}} \quad V_s = 1.282 \times 10^6 \text{ N}$$

9.2. Tính duyệt lực cắt theo TTGH Cường độ

Cường độ kháng cắt danh định tại mặt cắt x1:

$$V_n := V_c + V_p + V_s \quad V_n = 4.471 \times 10^3 \text{ kN}$$

Cường độ kháng cắt phải thỏa mãn điều kiện $V_n \cdot \phi_v \geq V_u$

$$KT_V := \text{if}(V_n \cdot \phi_v \geq V_u, \text{"Đạt"}, \text{"Không Đạt"}) \quad KT_V = \text{"Đạt"}$$

Kiểm tra lại bố trí cốt đai

Khoảng cách tối đa:

Nội tính toán tại các mặt cắt

$$i := 0..4 \quad V_{u_i} := V_{uCD1g_i} \quad M_{u_i} := M_{uCD1g_i}$$

$$s_{max_i} := \text{if}\left[V_{u_i} < \left(0.1 \cdot f'_{c1} \cdot b_{v_i} \cdot d_v\right), \min(0.8 \cdot d_v, 0.6\text{m}), \min(0.4 \cdot d_v, 0.3\text{m})\right]$$

$$s_{max} = \begin{pmatrix} 600 \\ 600 \\ 300 \\ 300 \\ 600 \end{pmatrix} \text{mm}$$

Chọn khoảng cách cốt đai:

$$s_{cd_i} := \text{if}(s_{max_i} > s_{ctd_i}, s_{ctd_i}, s_{max_i})$$

$$s_{cd} = \begin{pmatrix} 100.0 \\ 150.0 \\ 200.0 \\ 250.0 \\ 250.0 \end{pmatrix} \text{ mm} \quad x_{mc} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1.59 \\ 3 \\ 6 \\ 18.8 \end{pmatrix} \text{ m}$$

9.4. Tính duyệt cốt thép dọc chịu xoắn

Để mặt cắt không bị xoắn cốt thép dọc phải được bố trí cân xứng sao cho tại mỗi mặt cắt khả năng chịu kéo của cốt thép phần chịu kéo uốn của cầu kiện có tính đến các trường hợp không phát huy hết của cốt thép này.

Phương trình lực yêu cầu trong cốt thép dọc:

$$T = \frac{M_u}{d_v \cdot \phi} + \left(\frac{V_u}{\phi_v} - 0.5 \cdot V_s - V_p \right) \cdot \cot(\theta)$$

9.4.1. Tại mặt cắt kiểm tra lực cắt $x_1 = 1.59 \text{ m}$

$$T_1 := \frac{M_{u1}}{d_v \cdot \phi} + \left(\frac{V_{u1}}{\phi_v} - 0.5 \cdot V_s - V_p \right) \cdot \cot(\theta) \quad T_1 = 3.263 \times 10^3 \text{ kN}$$

Diện tích cốt thép chịu mô men dương: $A_{ps1} = 3.92 \times 10^3 \text{ mm}^2$

Lực dọc tương đương trong cốt thép..... $T_{d1} := F_{ps1}$

$$TCN_{5.8.3.5} := \begin{cases} \text{"Đạt, đủ diện tích cốt thép dọc"} & \text{if } T_{d1} \geq T_1 \\ \text{"Không Đạt, thiếu cốt thép dọc chịu xoắn"} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$TCN_{5.8.3.5} = \text{"Đạt, đủ diện tích cốt thép dọc"}$

9.4.2. Tại mặt cắt gối

$$T = \frac{M_u}{d_v \cdot \phi} + \left(\frac{V_u}{\phi_v} - 0.5 \cdot V_s - V_p \right) \cdot \cot(\theta)$$

$$M_u := M_{uCD1g0} \quad M_u = 0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

với.....

$$V_s = 1.6 \times 10^3 \text{ kN} \quad V_s := \min \left(\frac{A_{v0} \cdot f_y \cdot d_v \cdot \cot(\theta)}{s_{cd0}}, \frac{V_{u0}}{\phi_v} \right)$$

Tại gối

$$V_p := 0 \text{ kN} \quad F_{ps.d0} := A_{ps0} \cdot f_{pe0}$$

lực dọc do DUL

$$F_{ps.d0} = 0 \text{ N}$$

vậy.....
$$T_0 := \left(\frac{V_{u0}}{\phi_v} - 0.5 \cdot V_s - V_p \right) \cdot \cot(\theta)$$

$$T_0 = 1.655 \times 10^3 \text{ kN}$$

Do tại đầu dầm cắt khác không bố trí cốt thép DƯL nên ta sẽ bố trí các thanh D32 dọc để chịu lực dọc và lực cắt.

$$D32 := 32 \text{ mm}$$

Diện tích 1 thanh $A_{D32} := \pi \cdot D32^2$ $A_{D32} = 3.217 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

Diện tích cốt thép thường chịu lực A_s phải đảm bảo điều kiện:

Lực dọc tương đương trong cốt thép..... $T_{d1} = A_s \cdot f_y \geq T_0$

Vậy diện tích cốt thép thường:
$$A_{s.min} := \frac{T_0}{f_y}$$

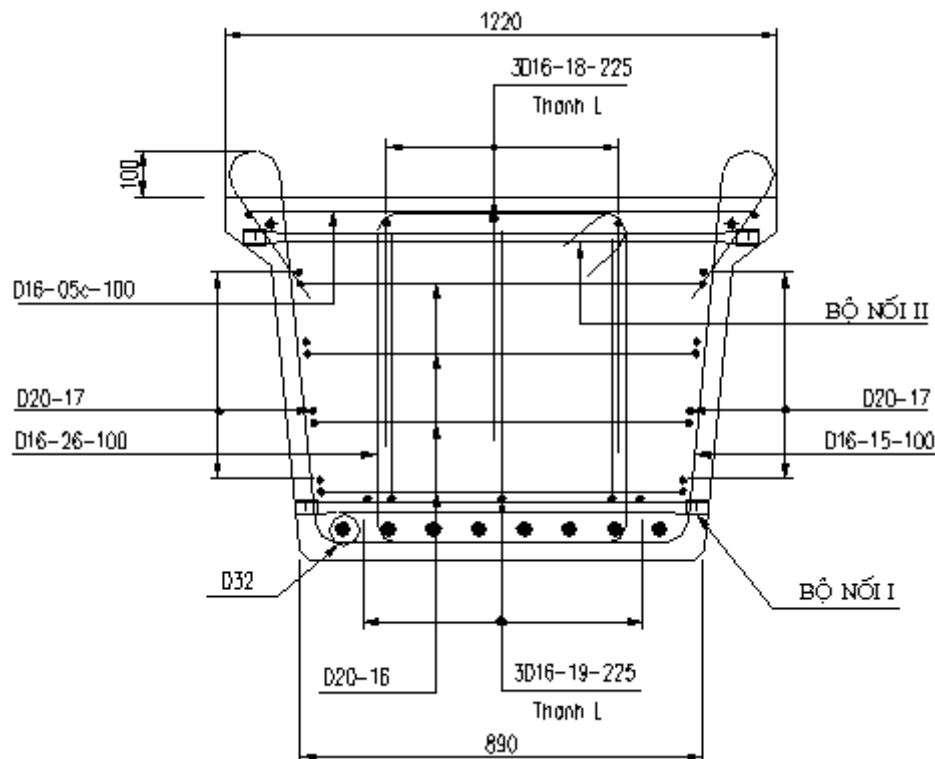
Số lượng thanh D32 tối thiểu:
$$n_{D32.min} := \frac{A_{s.min}}{A_{D32}} \quad n_{D32.min} = 1.225$$

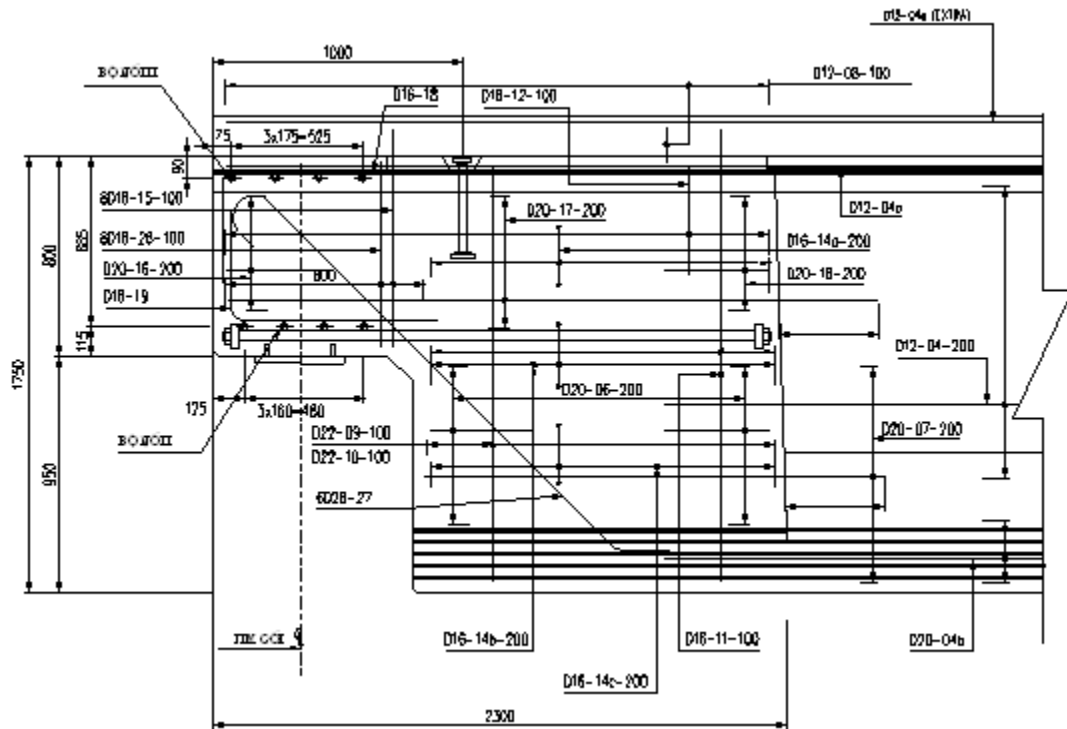
Bố trí như hình vẽ:
$$n_{D32} := 8 \quad A_{s.s} := n_{D32} \cdot A_{D32}$$

$f_y = 420 \text{ MPa}$ Lực dọc tương đương: $T_{d1} := A_s \cdot f_y$ $T_{d1} = 1.081 \times 10^4 \text{ kN}$

$TCN_{5.8.3.5} := \begin{cases} \text{"Đạt, đủ diện tích cốt thép dọc"} & \text{if } T_{d1} \geq T_0 \\ \text{"Không Đạt, thiếu cốt thép dọc chịu xoắn"} & \text{otherwise} \end{cases}$

$TCN_{5.8.3.5} = \text{"Đạt, đủ diện tích cốt thép dọc"}$





Hình Bố trí cốt thép đầu dầm Super-T

10. TÍNH DUYỆT BẢN MẶT CẦU VÀ DẦM NGANG

Lý thuyết và ví dụ tính toán bản mặt cầu và dầm ngang đã được trình bày trong chương II và chương IV nên để giảm bớt khối lượng tính toán trong ví dụ này sẽ không trình bày nữa. Đối với dầm Super T chỉ bố trí dầm ngang ở đầu dầm nên trong nhiều thiết kế cũng không yêu cầu tính chi tiết dầm ngang.

11. THIẾT KẾ MỘT SỐ NỘI DUNG KHÁC

Để giảm bớt khối lượng tính toán của ví dụ này nên một số thiết kế kiểm tra khác cũng sẽ không được trình bày như:

- + Lựa chọn và thiết kế bề mặt cốt thép và neo cốt thép, vùng neo cốt thép.
- + Thiết kế đầu dầm cắt khác.
- + Thiết kế độ vồng trước.
- + Thiết kế co ngót từ biển.
- + Thiết kế vận chuyển thi công.
- + Tính duyệt mỗi
- + Tính duyệt với tổ hợp theo TTGH đặc biệt có các tải trọng gió, động đất ...

Đối với các thiết kế cụ thể người kỹ sư phải đảm bảo các nội dung thiết kế này ở mức tối thiểu. Đối với đầu dầm cắt khác nên thiết kế chống cắt theo mô hình giàn ảo, có thể tham khảo ví dụ tính đầu dầm cắt khác trong sách "Tính toán kết cấu bê tông cốt thép theo mô hình Giàn ảo" NXB Xây Dựng 05/2005.

Đây là bản chỉnh sửa chương V của sách "CÁC VÍ DỤ TÍNH TOÁN DẦM CẦU CHỮ I, T, SUPER-T BẰNG BTCT DỰ ỨNG LỰC THEO TIÊU CHUẨN 22TCN 272-05" bạn nên tham khảo thêm sách trên để nắm được phân lý thuyết về các bước tính toán thiết kế trình bày ở chương 1.