

ĐỒ ÁN MÔN HỌC KẾT CẤU BTCT

THIẾT KẾ CẦU MÁNG BTCT

A. TÀI LIỆU THIẾT KẾ

Kênh dẫn nước N đi qua một vùng trũng. Sau khi tính toán và so sánh các phương án: xi phòng, kênh dẫn, cầu máng... chọn phương án xây dựng cầu máng bằng BTCT. Dựa vào điều kiện địa hình, tính toán thủy lực và thủy nông, người ta đã xác định được các kích thước cơ bản của cầu máng và mức nước yêu cầu trong cầu máng như sau:

Chiều dài máng $L = 30$ m

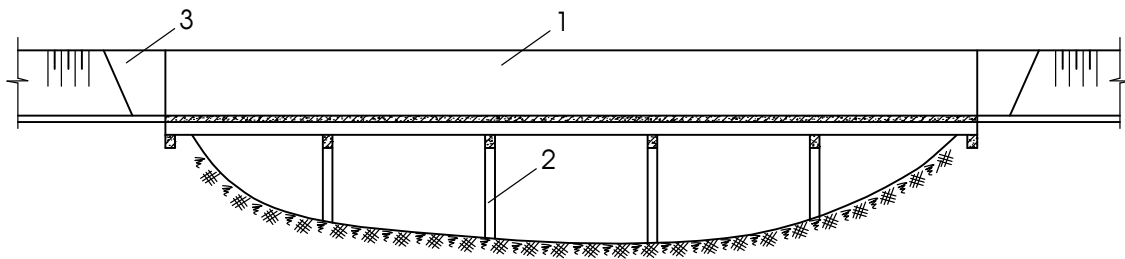
Bê tông M200

Bề rộng máng $B = 3,2$ m

Loại cốt thép nhóm CII

Cột nước lớn nhất trong máng $H_{\max} = 2,2$ m

Số nhịp $n = 5$



Hình 1 - Mặt cắt dọc cầu máng

1. Thân máng; 2. Trụ đỡ; 3. Nối tiếp

Hình 2 - Cắt ngang máng

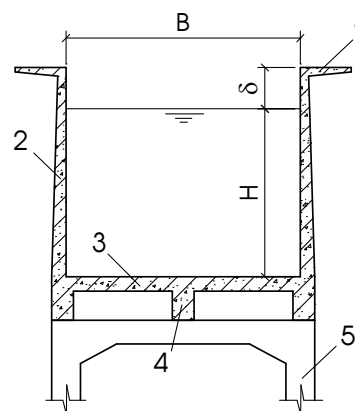
1 - Lề người đi

2 - Vách máng

3 - Đáy máng

4 - Dầm đỡ dọc máng

5 - Khung đỡ (không tính toán trong đồ án)



Độ vượt cao an toàn của vách máng so với mực nước cao nhất trong máng $\delta = 0,5$ m. Theo biểu đồ phân vùng áp lực gió, vùng xây dựng công trình có cường độ gió $q_g = 1,2$ kN/m², hệ số gió đẩy $k_{\text{gió đẩy}} = 0,8$, hệ số gió hút $k_{\text{gió hút}} = 0,6$ được lấy trong trường hợp coi vách máng thẳng đứng. Tải trọng người đi $q_{\text{ng}} = 200$ kG/m² = 2 kN/m². Cầu máng thuộc công trình cấp III. Dung trọng bê tông thiết kế $\gamma_b = 25$ kN/m³.

Tra các phụ lục trong giáo trình Kết cấu Bê tông cốt thép - ĐH Thủy Lợi, ta được các số liệu sau: $k_n = 1,15$; $R_n = 90 \text{ daN/cm}^2$; $R_k = 7,5 \text{ daN/cm}^2$; $R_k^c = 11,5 \text{ daN/cm}^2$; $R_n^c = 115 \text{ daN/cm}^2$; $R_a = R'_a = 2700 \text{ daN/cm}^2$; $m_{b4} = 0,9$; $\alpha_0 = 0,6$; $A_0 = 0,42$; $E_a = 2,1 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$; $E_b = 2,4 \cdot 10^5 \text{ daN/cm}^2$; $n = E_a/E_b = 8,75$; $\mu_{\min} = 0,1\%$.

Bề rộng vết nứt giới hạn $a_{\text{ngb}} = 0,24 \text{ mm}$. Độ võng cho phép $[f/l] = 1/500$.

B. THIẾT KẾ CÁC BỘ PHẬN CẦU MÁNG

Theo quy phạm, cầu máng cần được tính toán thiết kế ứng với lần lượt các tổ hợp tải trọng: cơ bản, đặc biệt, trong thời gian thi công. Tuy nhiên, trong phạm vi đồ án đồ án môn học, chỉ cần tính toán thiết kế các bộ phận cầu máng với một trường hợp: *Tổ hợp tải trọng cơ bản*.

Trình tự thiết kế các bộ phận:

1. Xác định sơ đồ tính toán của các bộ phận kết cấu:

Cầu máng là kết cấu không gian có kích thước mặt cắt ngang và tải trọng không thay đổi dọc theo chiều dòng chảy. Do vậy, đối với các bộ phận: lề người đi, vách máng, đáy máng ta cắt 1m dài theo chiều dòng chảy và tính toán theo bài toán phẳng. Đối với dầm đỡ, sơ đồ tính toán là dầm liên tục nhiều nhịp.

2. Xác định tải trọng tác dụng:

Tải trọng tiêu chuẩn q^c dùng để tính toán các nội dung của TTGHIII: Kiểm tra nứt, tính bề rộng vết nứt và tính độ võng.

Tải trọng tính toán $q^t = q^c \cdot n_t$ (với n_t - hệ số vượt tải) dùng để tính toán các nội dung của TTGHI: Tính toán cốt thép dọc chịu lực, kiểm tra và tính toán cốt thép ngang bao gồm cốt thép đai và cốt thép xiên (nếu cần).

3. Xác định biểu đồ nội lực bằng phương pháp tra bảng hoặc sử dụng phần mềm tính kết cấu.

4. Tính toán và bố trí cốt thép:

Cốt thép dọc chịu lực được tính toán tại các mặt cắt có M_{\max} . Đối với các bộ phận kết cấu dạng bản (lề người đi, vách máng, đáy máng), ta bố trí 4÷5 thanh/m. Theo phương vuông góc với cốt thép chịu lực, bố trí cốt thép cấu tạo 4÷5 thanh/m.

Kiểm tra và tính toán cốt thép ngang bao gồm cốt thép đai và cốt thép xiên (nếu cần) tại các mặt cắt có Q_{\max} theo phương pháp TTGH.

5. Kiểm tra nứt:

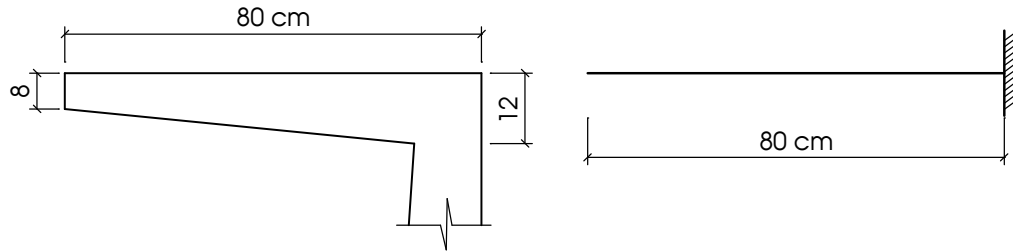
Kiểm tra nứt tại các mặt cắt có M_{\max} . Với những mặt cắt không cho phép xuất hiện khe nứt, nếu bị nứt, chỉ cần đề ra giải pháp khắc phục. Với những mặt cắt cho phép xuất hiện khe nứt, nếu bị nứt ta tiếp tục tính bề rộng vết nứt và so sánh đảm bảo yêu cầu $a_n < a_{\text{ngb}}$, nếu $a_n > a_{\text{ngb}}$, đưa ra các giải pháp khắc phục (không yêu cầu tính lại từ đầu).

6. Tính độ võng toàn phần f và so sánh đảm bảo $f/l < [f/l]$. Nếu $f/l > [f/l]$, đưa ra các giải pháp khắc phục.

I. LỀ NGƯỜI ĐI

1.1. Sơ đồ tính toán

Cắt 1m dài lề người đi theo chiều dọc máng (chiều dòng chảy), coi lề người đi như một dầm công xôn ngầm tại đầu vách máng. Chọn bề rộng lề 0,8m. Chiều dày lề thay đổi dần 8÷12cm. Trong tính toán, lấy chiều dày trung bình $h = 10\text{cm}$.



Hình 1.1 - Sơ đồ tính toán lề người đi

1.2. Tải trọng tác dụng

Do điều kiện làm việc của lề người đi, tổ hợp tải trọng cơ bản tác dụng lên lề bao gồm:

a. Trọng lượng bản thân (q_{bt}): $q_{bt}^c = \gamma_b \cdot h \cdot 1\text{m} = 25 \cdot 0,1 \cdot 1 = 2,5\text{kN/m}$.

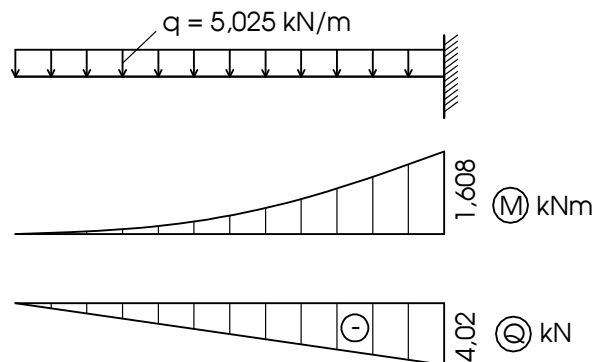
b. Tải trọng người (q_{ng}): $q_{ng}^c = 2 \cdot 1\text{m} = 2\text{kN/m}$.

Tải trọng tính toán tổng cộng tác dụng lên lề người đi:

$$q = n_{bt} \cdot q_{bt}^c + n_{ng} \cdot q_{ng}^c = 1,05 \cdot 2,5 + 1,2 \cdot 2 = 5,025\text{kN/m}.$$

Trong đó: $n_{bt} = 1,05$; $n_{ng} = 1,2$ - hệ số vượt tải trọng lượng bản thân và tải trọng người đi theo TCVN 4116-85.

1.3. Xác định nội lực



Hình 1.2 - Biểu đồ nội lực lề người đi

1.4. Tính toán và bố trí cốt thép

a. Tính toán và bố trí cốt thép dọc:

Tính toán thép và bố trí cốt thép dọc chịu lực tại mặt cắt có mô men uốn lớn nhất (mặt cắt ngầm): $M = 1,608\text{ kNm}$, cấu kiện chịu uốn tiết diện chữ nhật: $b = 100\text{cm}$, $h = 10\text{cm}$, chọn $a = 2\text{cm}$, $h_0 = h - a = 8\text{cm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 16080}{1,90 \cdot 100 \cdot 8^2} = 0,032$$

$$A = 0,032 < A_0 = 0,42 \rightarrow \text{Tính cốt đơn, } \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,032} = 0,0325.$$

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1,90 \cdot 100 \cdot 8 \cdot 0,0325}{1,1 \cdot 2700} = 0,79 \text{ cm}^2 < \mu_{\min} b h_0 = 0,001 \cdot 100 \cdot 8 = 0,8 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực theo cấu tạo 5Ø10/1m (3,93 cm²) theo phương vuông góc với phương dòng chảy.

Chọn và bố trí cốt thép cấu tạo vuông góc với cốt thép chịu lực 4Ø10/1m (3,14 cm²).

b. Tính toán và bố trí cốt thép ngang:

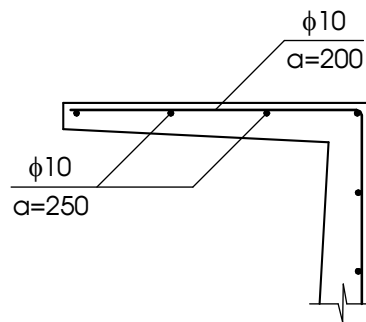
Kiểm tra điều kiện tính toán cốt thép ngang tại mặt cắt có $Q_{\max} = 4,02 \text{ kN} = 402 \text{ daN}$.

$$k_1 \cdot m_{b4} R_k \cdot b \cdot h_0 = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 7,5 \cdot 100 \cdot 8 = 4320 \text{ daN}.$$

$k_1 = 0,8$ đối với kết cấu dạng bản.

$$k_n \cdot n_c \cdot Q = 1,15 \cdot 1 \cdot 402 = 462,3 \text{ daN}.$$

$k_n \cdot n_c \cdot Q < k_1 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0$. Không cần đặt cốt ngang.



Hình 1.3 - Bố trí thép lẻ người đi.

II. VÁCH MÁNG

2.1. Sơ đồ tính toán

Cắt 1m dài vách máng dọc theo chiều dài máng, vách máng được tính toán như một dầm công xôn ngầm tại đáy máng và dầm dọc.

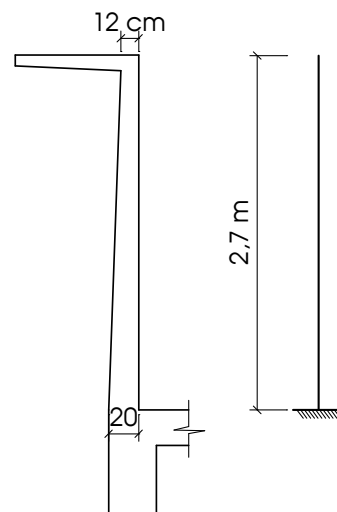
Chiều cao vách:

$$H_v = H_{\max} + \delta = 2,2 + 0,5 = 2,7 \text{ m}.$$

δ - Độ vượt cao an toàn, lấy $\delta = 0,5 \text{ m}$.

Bề dày vách thay đổi dần:

$$h_v = 12 \div 20 \text{ cm}.$$



Hình 2.1 - Sơ đồ tính toán vách máng.

2.2. Tải trọng tác dụng

Do điều kiện làm việc của vách máng, tổ hợp tải trọng cơ bản tác dụng lên vách bao gồm các tải trọng sau:

- Mô men tập trung do người đi trên lễ truyền xuống: M_{ng}
- Mô men do trọng lượng bản thân lễ đi: M_{bt}
- Áp lực nước tương ứng với H_{max} : q_n
- Áp lực gió (gồm gió đẩy và gió hút): q_{gd} và q_{gh}

Các tải trọng này gây ra 2 trường hợp: **Căng trong** và **căng ngoài** vách máng.

a. Trường hợp căng ngoài nguy hiểm nhất bao gồm các tải trọng: M_{bt} , q_{gd} (gió đẩy, máng không có nước và không có người đi trên lễ)

$$M_{bt}^c = \frac{q_{bt}^c \cdot L_l^2}{2} = \frac{2,5 \cdot 0,8^2}{2} = 0,8 \text{ kNm};$$

$$M_{bt} = n_{bt} \cdot M_{bt}^c = 1,05 \cdot 0,8 = 0,84 \text{ kNm}.$$

$$q_{gd}^c = k_{gd} \cdot q_g \cdot 1m = 0,8 \cdot 1,2 \cdot 1 = 0,96 \text{ kN/m}.$$

$$q_{gd} = n_g \cdot q_{gd}^c = 1,3 \cdot 0,96 = 1,248 \text{ kN/m}$$

$n_g = 1,3$ - hệ số vượt tải của gió.

$$M_{gd}^c = \frac{q_{gd}^c \cdot H_v^2}{2} = \frac{0,96 \cdot 2,7^2}{2} = 3,499 \text{ kNm}.$$

$$M_{gd} = \frac{q_{gd} \cdot H_v^2}{2} = \frac{1,248 \cdot 2,7^2}{2} = 4,549 \text{ kNm}.$$

b. Trường hợp căng trong nguy hiểm nhất bao gồm các tải trọng: M_{bt} , M_{ng} , q_n , q_{gh} (gió hút, trong máng dẫn nước với mực nước H_{max} và trên lễ có người đi)

M_{bt}^c , M_{bt} tính ở TH trên.

$$M_{ng}^c = \frac{q_{ng}^c \cdot L_l^2}{2} = \frac{2 \cdot 0,8^2}{2} = 0,64 \text{ kNm}; \quad M_{ng} = n_{ng} \cdot M_{ng}^c = 1,2 \cdot 0,64 = 0,768 \text{ kNm}.$$

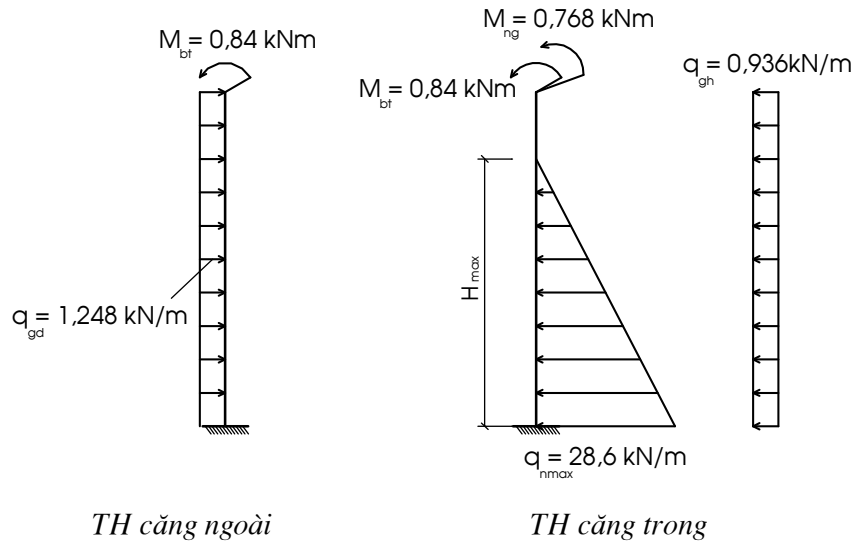
$$q_{nmax}^c = k_d \cdot \gamma_n \cdot H_{max} \cdot 1m = 1,3 \cdot 10 \cdot 2,2 \cdot 1 = 28,6 \text{ kN/m}; \quad q_{nmax} = n_n \cdot q_{nmax}^c = 1,28 \cdot 28,6 = 36,6 \text{ kN/m}.$$

$$M_n^c = \frac{q_{nmax}^c \cdot H_{max}^2}{6} = \frac{28,6 \cdot 2,2^2}{6} = 23,071 \text{ kNm}; \quad M_n = \frac{q_{nmax} \cdot H_{max}^2}{6} = \frac{36,6 \cdot 2,2^2}{6} = 29,971 \text{ kNm}.$$

$$q_{gh}^c = k_{gh} \cdot q_g \cdot 1m = 0,6 \cdot 1,2 \cdot 1 = 0,72 \text{ kN/m}; \quad q_{gh} = n_g \cdot q_{gh}^c = 1,3 \cdot 0,72 = 0,936 \text{ kN/m}.$$

$$M_{gh}^c = \frac{q_{gh}^c \cdot H_v^2}{2} = \frac{0,72 \cdot 2,7^2}{2} = 2,624 \text{ kNm}; \quad M_{gh} = \frac{q_{gh} \cdot H_v^2}{2} = \frac{0,936 \cdot 2,7^2}{2} = 3,412 \text{ kNm}.$$

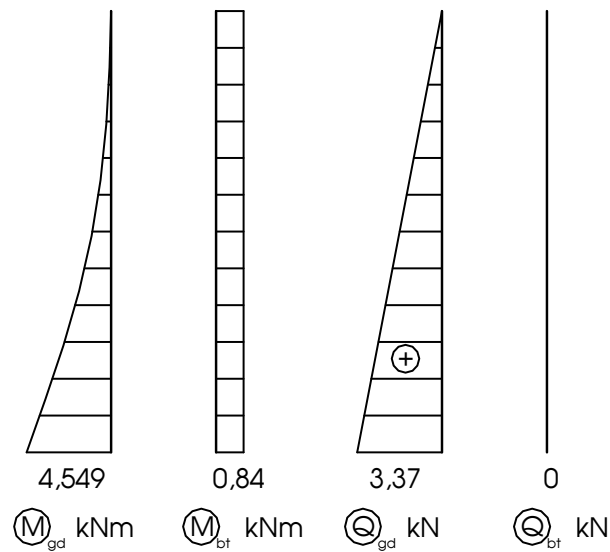
k_d - hệ số động, lấy $k_d = 1,3$.



Hình 2.2 - Tải trọng tác dụng lên vách móng

2.3. Xác định nội lực

a. Trường hợp căng ngoài



Hình 2.3 – Nội lực vách móng trong trường hợp căng ngoài.

Nội lực tại mặt cắt nguy hiểm nhất (mặt cắt ngàm).

$$M_1 = M_{gd} + M_{bt} = 4,549 - 0,84 = 3,709 \text{ kNm.}$$

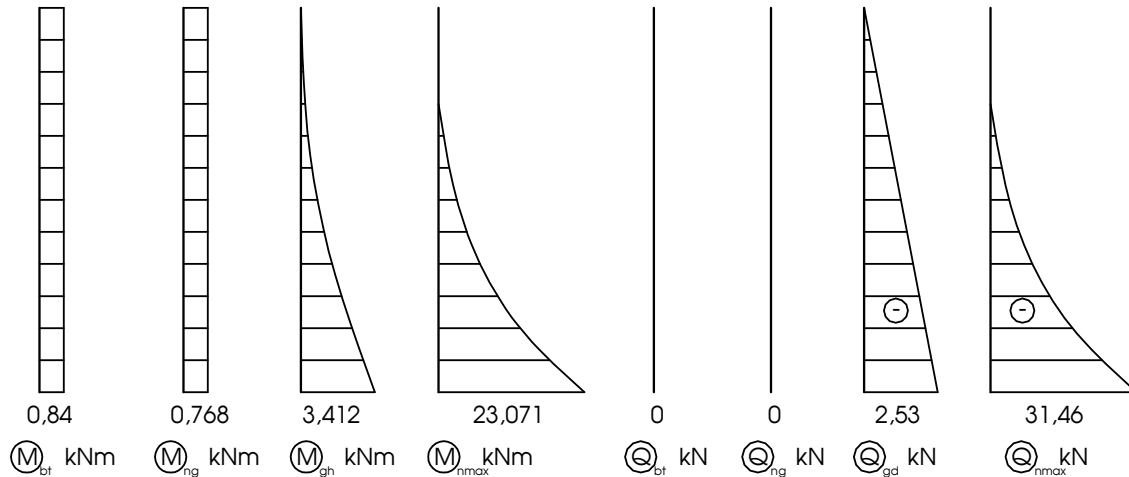
$$M_1^c = M_{gd}^c + M_{bt}^c = 3,499 - 0,8 = 2,699 \text{ kNm.}$$

b. Trường hợp căng trong

Nội lực tại mặt cắt nguy hiểm nhất (mặt cắt ngàm).

$$M_2 = M_{bt} + M_{ng} + M_n + M_{gh} = 0,84 + 0,768 + 23,071 + 3,412 = 28,091 \text{ kNm.}$$

$$M_2^c = M_{bt}^c + M_{ng}^c + M_n^c + M_{gh}^c = 0,8 + 0,64 + 23,071 + 2,624 = 27,135 \text{ kNm.}$$



Hình 2.4 – Nội lực vách máng trong trường hợp căng trong.

2.4. Tính toán và bố trí cốt thép

a. Tính toán và bố trí cốt thép dọc:

Tính toán và bố trí cốt thép dọc chịu lực cho cầu kiện chịu uốn tại mặt cắt có mômen uốn lớn nhất (mặt cắt ngàm) cho hai trường hợp căng trong và căng ngoài.

Tiết diện chữ nhật: $b = 100 \text{ cm}$, $h = 20 \text{ cm}$. Chọn $a = 2 \text{ cm}$, $h_0 = h - a = 18 \text{ cm}$.

1. Trường hợp căng ngoài: $M = 3,7090 \text{ kNm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 3,7090}{1,90 \cdot 100 \cdot 18^2} = 0,015.$$

$$A = 0,015 < A_0 = 0,42 \rightarrow \text{Tính cốt đơn, } \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,015} = 0,015.$$

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1,90 \cdot 100 \cdot 18 \cdot 0,015}{1,15 \cdot 2700} = 0,78 \text{ cm}^2.$$

$$F_a < \mu_{\min} b h_0 = 0,001 \cdot 100 \cdot 18 = 1,8 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực lớp ngoài theo cấu tạo $5\varnothing 10/1\text{m}$ ($3,93 \text{ cm}^2$) theo phương vuông góc với phương dòng chảy.

2. Trường hợp căng trong: $M = 28,091 \text{ kNm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 28,0910}{1,90 \cdot 100 \cdot 18^2} = 0,11.$$

$$A = 0,11 < A_0 = 0,42 \rightarrow \text{Tính cốt đơn, } \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,11} = 0,12.$$

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1,90 \cdot 100 \cdot 18 \cdot 0,12}{1,15 \cdot 2700} = 6,26 \text{ cm}^2.$$

$$F_a > \mu_{\min} b h_0 = 0,001.100.18 = 1,8 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực lớp trong $5\phi 14/1\text{m}$ ($7,69 \text{ cm}^2$) theo phương vuông góc với phương dòng chảy.

b. Tính toán và bố trí cốt thép ngang:

Kiểm tra điều kiện cường độ theo lực cắt Q cho trường hợp căng trong.

$$Q_2 = Q_{bt} + Q_{ng} + Q_n + Q_{gh}.$$

$$Q_{bt} = 0 ; Q_{ng} = 0.$$

$$Q_n = \frac{q_{\max} \cdot H_{\max}}{2} = \frac{28,6.2,2}{2} = 31,46 \text{ kN}.$$

$$Q_{gh} = q_{gh} \cdot H_v = 0,936.2,7 = 2,53 \text{ kN}.$$

$$Q_2 = 31,46 + 2,53 = 33,99 \text{ kN}.$$

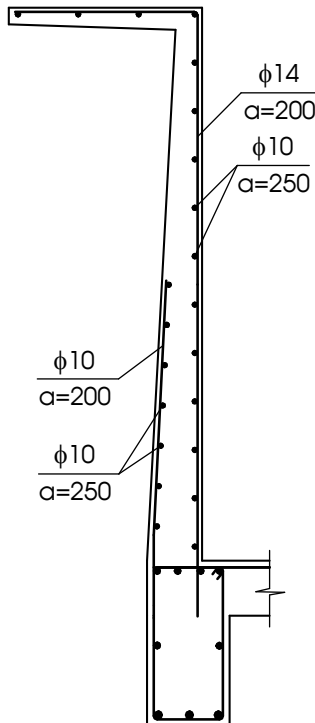
$$k_1 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0 = 0,8.0,9.7,5.100.18 = 9720 \text{ daN} > k_n \cdot n_c \cdot Q = 1,15.1.3399 = 3909 \text{ daN}.$$

Không cần đặt cốt ngang.

c. Bố trí cốt thép

Lớp trong: $5\phi 14/1\text{m}$; Lớp ngoài: $5\phi 10/1\text{m}$.

Đọc theo phương dòng chảy bố trí 2 lớp thép cấu tạo $4\phi 10/1\text{m}$.



Hình 2.5 - Bố trí thép vách móng

2.5. Kiểm tra nứt

Kiểm tra cho trường hợp căng trong: $M_2^c = 27,135 \text{ kNm}$.

Điều kiện để cấu kiện không bị nứt: $n_c \cdot M^c \leq M_n = \gamma_1 \cdot R_k^c \cdot W_{qd}$

$$\gamma_1 = m_h \cdot \gamma = 1.1,75 = 1,75 \quad (m_h = 1; \gamma = 1,75)$$

$$W_{qd} = \frac{J_{qd}}{h - x_n}$$

$$x_n = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + n \cdot F_a \cdot h_0 + n \cdot F'_a \cdot a'}{b \cdot h + n(F_a + F'_a)} = \frac{\frac{100 \cdot 20^2}{2} + 8,75 \cdot 7,69 \cdot 18 + 8,75 \cdot 3,93 \cdot 2}{100 \cdot 20 + 8,75 \cdot (7,69 + 3,93)} = 10,1 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} J_{qd} &= \frac{b \cdot x_n^3}{3} + \frac{b \cdot (h - x_n)^3}{3} + n \cdot F_a (h_0 - x_n)^2 + n \cdot F'_a (x_n - a')^2 \\ &= \frac{100 \cdot 10,1^3}{3} + \frac{100(20 - 10,1)^3}{3} + 8,75 \cdot 7,69(18 - 10,1)^2 + 8,75 \cdot 3,93(10,1 - 2)^2 \\ &= 73142,24 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$W_{qd} = \frac{73142,24}{20 - 10,1} = 7388,11 \text{ cm}^3$$

$$M_n = 1,75 \cdot 11,5 \cdot 7388,11 = 148685,71 \text{ daNcm.}$$

$$n_c \cdot M^c = 1.271350 = 271350 \text{ daNcm} > M_n.$$

Kết luận: Mặt cắt sát đáy máng bị nứt.

Tính toán bề rộng khe nứt.

$$a_n = a_{n1} + a_{n2}.$$

a_{n1}, a_{n2} - Bề rộng khe nứt do tải trọng tác dụng dài hạn và ngắn hạn gây ra.

$$M_{dh}^c = M_{bt}^c + M_n^c = 0,8 + 23,071 = 23,871 \text{ kNm} = 238710 \text{ daNcm.}$$

$$M_{ngh}^c = M_{ng}^c + M_{gh}^c = 0,64 + 2,624 = 3,264 \text{ kNm} = 32640 \text{ daNcm.}$$

Tính bề rộng khe nứt a_n theo công thức thực nghiệm (TCVN 4116-85):

$$a_{n1} = k \cdot c_1 \cdot \eta \frac{\sigma_{a1} - \sigma_0}{E_a} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt{d}$$

$$a_{n2} = k \cdot c_2 \cdot \eta \frac{\sigma_{a2} - \sigma_0}{E_a} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt{d}$$

k – hệ số, lấy bằng 1 với cấu kiện chịu uốn.

c – hệ số xét đến tính chất tác dụng của tải trọng, lấy bằng 1 với tải trọng ngắn hạn, 1,3 với tải trọng dài hạn.

n – hệ số xét đến tính chất bề mặt cốt thép, lấy bằng 1 với cốt thép có gờ.

$$\mu = \frac{F_a}{bh_0} = \frac{7,69}{100.18} = 0,0043.$$

$$\sigma_{a1} = \frac{M_{ah}^c}{F_a.Z_1} = \frac{238710}{7,69.15,3} = 2028,86 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\sigma_{a2} = \frac{M_{ngh}^c}{F_a.Z_1} = \frac{32640}{7,69.15,3} = 277,42 \text{ daN/cm}^2.$$

Trong đó: $Z_1 = \eta.h_0 = 0,85.18 = 15,3 \text{ cm}$ với $\eta = 0,85$ - Tra bảng 5-1 trang 94 giáo trình Kết cấu Bê tông cốt thép – ĐH Thủy Lợi.

$$a_{n1} = 1.1.3.1. \frac{2028,86 - 200}{2.1.10^6} . 7.(4 - 100.0,0043).\sqrt{14} = 0,11 \text{ mm}.$$

$$a_{n2} = 1.1.1. \frac{277,642 - 200}{2.1.10^6} . 7.(4 - 100.0,0043).\sqrt{14} = 0,003 \text{ mm}.$$

$$a_n = 0,11 + 0,003 = 0,113 \text{ mm} < a_{ngh} = 0,24 \text{ mm}.$$

Bề rộng khe nứt đảm bảo yêu cầu thiết kế.

III. ĐÁY MÁNG

3.1. Sơ đồ tính toán

Cắt 1m dài đáy máng vuông góc với chiều dòng chảy, đáy máng được tính toán như một dầm liên tục 2 nhịp có gối tựa là các dầm đỡ dọc. Sơ bộ chọn kích thước đáy máng như sau:

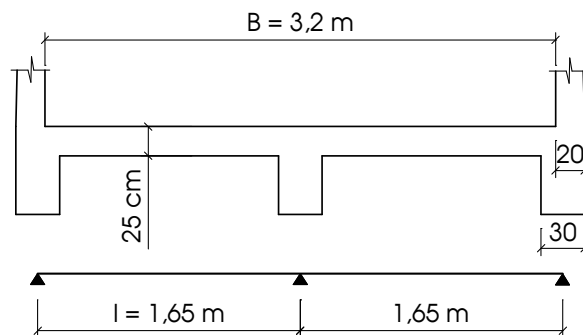
Chiều dày bản đáy $h_d = 25 \text{ cm}$.

Bề rộng đáy máng $B = 3,2 \text{ m}$.

Chiều dài nhịp:

$$l = \frac{B + 2h_3 - b_d}{2}$$
$$= \frac{3,2 + 2.0,2 - 0,3}{2} = 1,65 \text{ m}.$$

Chọn sơ bộ bề rộng dầm đỡ $b_d = 30 \text{ cm}$.



Hình 3.1 - Sơ đồ tính toán đáy máng.

3.2. Tải trọng tác dụng

Do điều kiện làm việc của đáy máng, tổ hợp tải trọng cơ bản tác dụng lên đáy máng bao gồm các tải trọng sau:

1. Tải trọng bản thân đáy máng:

$$q_d^c = \gamma_b \cdot h_d \cdot 1m = 25.0,25.1 = 6,25 \text{ kN/m}; q_d = n_{bt} \cdot q_d^c = 1,05.6,25 = 6,563 \text{ kN/m}.$$

2. Tải trọng do trọng lượng bản thân lẻ truyền xuống:

$$M_{bt}^c = 0,8 \text{ kN/m}; M_{bt} = 0,84 \text{ kNm tính ở phần thiết kế vách máng}.$$

3. Áp lực nước ứng với cột nước H_{max} :

$$q_{nmax}^c = 28,6 \text{ kN/m}; q_{nmax} = 28,6 \text{ kN/m}.$$

$$M_{nmax}^c = 23,071 \text{ kNm}; M_{nmax} = 23,071 \text{ kNm tính ở phần thiết kế vách máng}.$$

4. Áp lực nước ứng với mực nước cột nước nguy hiểm H_{ngh} :

Cột nước nguy hiểm H_{ngh} là cột nước gây mômen uốn căng trên lớn nhất tại mặt cắt trên gối giữa.

$$H_{ngh} = \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1,65}{\sqrt{2}} = 1,17 \text{ m}.$$

$$q_{ngh}^c = k_d \cdot \gamma_n \cdot H_{ngh} \cdot 1m = 1,3.10.1,17.1 = 15,21 \text{ kN/m}.$$

$$q_{ngh} = n_n \cdot q_{ngh}^c = 1.15,21 = 15,21 \text{ kN/m}.$$

$$M_{ngh}^c = \frac{k_d \cdot \gamma_n \cdot H_{ngh}^3 \cdot 1m}{6} = \frac{1,3.10.1,17^3.1}{6} = 3,47 \text{ kNm};$$

Do hệ số vượt tải của áp lực nước $n_n = 1$ nên $M_{ngh} = 3,47 \text{ kNm}$.

5. Tải trọng gió:

M_{gd}^c ; M_{gd} ; M_{gh}^c ; M_{gh} tính ở phần thiết kế vách máng.

$$M_{gd}^c = 3,499 \text{ kNm}; M_{gd} = 4,549 \text{ kNm}.$$

$$M_{gh}^c = 2,624 \text{ kNm}; M_{gh} = 3,412 \text{ kNm}.$$

6. Tải trọng do người đi trên lẻ truyền xuống:

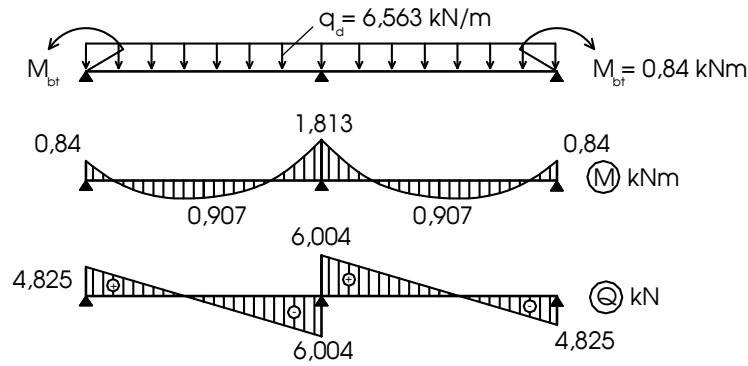
M_{ng}^c ; M_{ng} tính ở phần thiết kế lẻ người đi.

$$M_{ng}^c = 0,64 \text{ kNm}; M_{ng} = 0,768 \text{ kNm}.$$

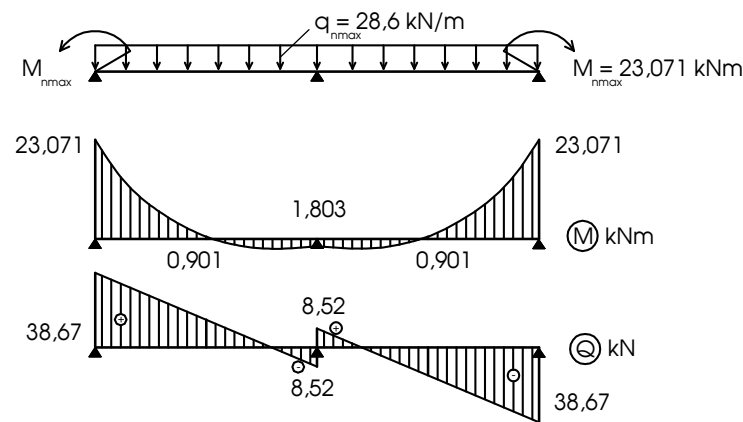
3.3. Xác định nội lực

Tra các phụ lục 18, 21 trang 167 và 179 giáo trình Kết cấu Bê tông cốt thép, vẽ biểu đồ nội lực ứng với từng tải trọng tác dụng lên đáy máng, sau đó tổ hợp lại thành các trường hợp tải trọng gây bất lợi nhất cho ba mặt cắt cần tính toán và bố trí cốt thép: mặt cắt sát vách, mặt cắt giữa nhịp và mặt cắt trên gối giữa.

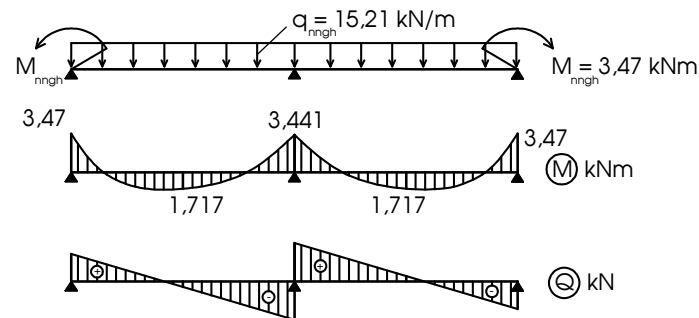
a. Nội lực do tải trọng bản thân đáy máng và tải trọng do trọng lượng bản thân lẻ truyền xuống (q_d , M_{bt}):



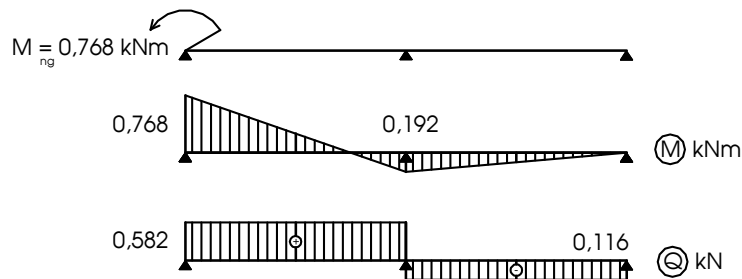
b. Nội lực do áp lực nước ứng với cột nước $H_{n\max}$ ($q_{n\max}$, $M_{n\max}$):



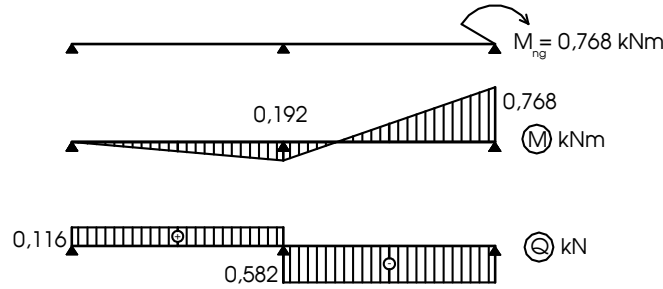
c. Nội lực do áp lực nước ứng với cột nước H_{ngh} (q_{ngh} , M_{ngh}):



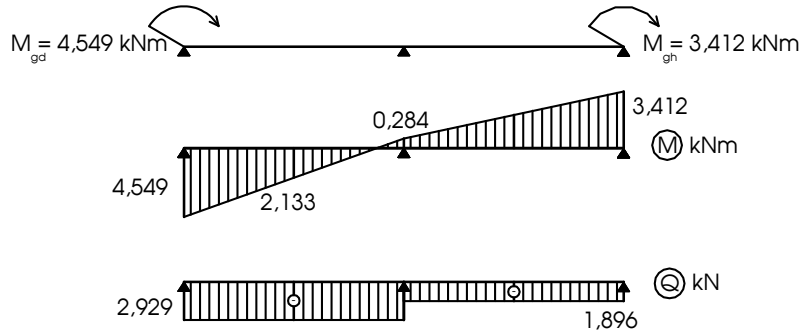
d. Nội lực do tải trọng người đi lẻ bên trái (M_{ng}):



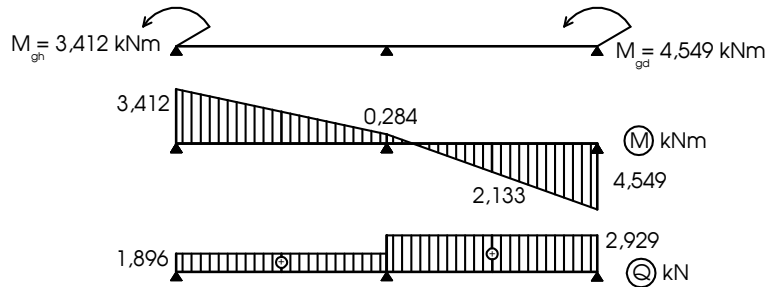
e. Nội lực do tải trọng người đi lẻ bên phải (M_{ng}):



f. Nội lực do áp lực gió thổi từ trái sang phải (M_{gd} , M_{gh}):



g. Nội lực do áp lực gió thổi từ phải sang trái (M_{gd} , M_{gh}):



Các trường hợp tải trọng gây ra nội lực bất lợi nhất tại ba mặt cắt cần tính toán bao gồm:

1. TH tải trọng gây mômen căng trên lớn nhất tại mặt cắt sát vách:

Dẫn nước trong máng với chiều cao H_{max} , người đi lê bên trái hoặc cả 2 bên và có gió thổi từ phải sang trái.

$$M_1 = M_a + M_b + M_d + M_g = 0,84 + 23,071 + 0,768 + 3,412 = 28,091 \text{ kNm.}$$

2. TH tải trọng gây mômen căng dưới lớn nhất tại mặt cắt giữa nhịp:

Dẫn nước trong máng với chiều cao H_{ngh} , có người đi trên lê phải và có gió thổi từ trái sang phải.

$$M_2 = M_a + M_c + M_e + M_f = 0,907 + 1,717 + 0,096 + 2,133 = 4,853 \text{ kNm.}$$

3. TH tải trọng gây mômen căng trên lớn nhất tại mặt cắt trên gối giữa:

Dẫn nước trong máng với chiều cao H_{ngh} , không có người đi trên lê và có gió thổi từ phải sang trái hoặc ngược lại.

$$M_3 = M_a + M_c + M_f \text{ (hoặc } M_g) = 1,813 + 3,441 + 0,284 = 5,538 \text{ kNm.}$$

3.4. Tính toán bố trí cốt thép đáy máng

a. Tính toán cốt thép dọc chịu lực:

1. Trường hợp gây mô men căng trên lớn nhất M_1 tại mặt cắt sát vách:

Tính toán như cấu kiện chịu uốn, tiết diện chữ nhật: $b = 100\text{cm}$, $h = 25\text{cm}$. Chọn $a = 3\text{cm}$, $h_0 = h - a = 22\text{cm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M_1}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1.280910}{1.90 \cdot 100 \cdot 22^2} = 0,074 \rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,074} = 0,077.$$

$A = 0,074 < A_0 = 0,42 \rightarrow$ Tính cốt đơn.

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1.90 \cdot 100 \cdot 22 \cdot 0,077}{1,15 \cdot 2700} = 4,91 \text{ cm}^2.$$

$$F_a > \mu_{\min} b h_0 = 0,001 \cdot 100 \cdot 22 = 2,2 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực $5\phi 12/1\text{m}$ ($5,65 \text{ cm}^2$) theo phương vuông góc với phương dòng chảy.

2. Trường hợp gây mô men căng dưới lớn nhất M_2 tại mặt cắt giữa nhịp:

Tính toán như cấu kiện chịu uốn tiết diện chữ nhật: $b = 100\text{cm}$, $h = 25\text{cm}$. Chọn $a = 3\text{cm}$, $h_0 = h - a = 22\text{cm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1.48530}{1.90 \cdot 100 \cdot 22^2} = 0,013 \rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,013} = 0,013.$$

$A = 0,013 < A_0 = 0,42 \rightarrow$ Tính cốt đơn.

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1.90 \cdot 100 \cdot 22 \cdot 0,013}{1,15 \cdot 2700} = 0,83 \text{ cm}^2.$$

$$F_a < \mu_{\min} b h_0 = 0,001 \cdot 100 \cdot 22 = 2,2 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực theo cấu tạo $5\phi 10/1\text{m}$ ($3,93 \text{ cm}^2$) theo phương vuông góc với phương dòng chảy.

3. Trường hợp gây mô men căng trên lớn nhất M_3 tại gối giữa:

Tính toán như cấu kiện chịu uốn tiết diện chữ nhật: $b = 100\text{cm}$, $h = 25\text{cm}$. Chọn $a = 3\text{cm}$, $h_0 = h - a = 22\text{cm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1.65116}{1.90 \cdot 100 \cdot 22^2} = 0,015 \rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2A} = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,015} = 0,015.$$

$A = 0,015 < A_0 = 0,42 \rightarrow$ Tính cốt đơn.

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1.90 \cdot 100 \cdot 22 \cdot 0,015}{1,15 \cdot 2700} = 0,96 \text{ cm}^2$$

$$F_a < \mu_{\min} b h_0 = 0,001 \cdot 100 \cdot 22 = 2,2 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực theo cấu tạo $5\phi 12/1\text{m}$ ($5,65 \text{ cm}^2$) theo phương vuông góc với phương dòng chảy.

b. Tính toán cốt ngang

Kiểm tra cường độ trên mặt cắt nghiêng tại mặt cắt sát vách máng trong trường hợp máng dẫn nước với mực nước H_{\max} , người đi trên cả hai bên lề và gió từ phải sang trái.

$$Q = Q_a + Q_b + Q_d + Q_c + Q_g = 4,825 + 38,67 + 0,582 + 0,116 + 1,896 = 46,09 \text{ kN.}$$

$$k_1 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0 = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 7,5 \cdot 100 \cdot 22 = 11880 \text{ daN.}$$

$$k_n \cdot n_c \cdot Q = 1,15 \cdot 1 \cdot 46,09 = 5300 \text{ daN.}$$

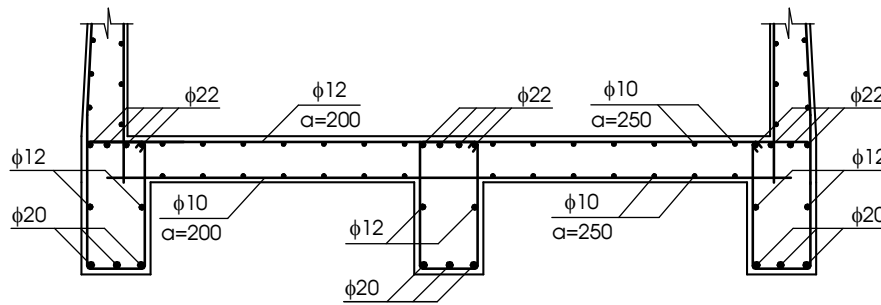
$$k_n \cdot n_c \cdot Q < k_1 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0 \text{ Không cần tính cốt ngang.}$$

c. Bố trí thép đáy máng

Lớp trên: $5\phi 12/\text{m}$.

Lớp dưới: $5\phi 10/\text{m}$.

Dọc theo chiều dòng chảy bố trí cốt thép cấu tạo $5\phi 10/\text{m}$.



Hình 3.2 - Bố trí cốt thép đáy máng và dầm đỡ.

3.5. Kiểm tra nứt

Kiểm tra nứt tại 2 mặt cắt: mặt cắt sát vách và giữa nhịp.

$$\text{Điều kiện để cấu kiện không bị nứt: } n_c \cdot M^c \leq M_n = \gamma_1 \cdot R_k^c \cdot W_{qd}.$$

a. Đối với mặt cắt sát vách máng:

$$\begin{aligned} M_1^c &= M_a^c + M_b^c + M_d^c + M_g^c \\ &= M_a/n_{bt} + M_b/n_n + M_d/n_{ng} + M_g/n_g \\ &= 0,84/1,05 + 23,071/1 + 0,768/1,2 + 3,412/1,3 \end{aligned}$$

$$M_1^c = 27,136 \text{ kNm.}$$

Kiểm tra nứt cho cấu kiện chịu uốn, tiết diện chữ nhật:

$$b = 100\text{cm}, h = 25\text{cm}, a = a' = 3\text{cm}, h_0 = 22\text{cm}, F_a = 5,65\text{cm}^2, F_a' = 3,93\text{cm}^2.$$

$$x_n = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + n \cdot F_a \cdot h_0 + n \cdot F_a' \cdot a'}{b \cdot h + n \cdot (F_a + F_a')} = \frac{\frac{100 \cdot 25^2}{2} + 8,75 \cdot 5,65 \cdot 22 + 8,75 \cdot 3,93 \cdot 3}{100 \cdot 25 + 8,75 \cdot (5,65 + 3,93)} = 12,6\text{cm}.$$

$$\begin{aligned}
 J_{qd} &= \frac{b \cdot x_n^3}{3} + \frac{b \cdot (h - x_n)^3}{3} + n \cdot F_a (h_0 - x_n)^2 + n \cdot F'_a \cdot (x_n - a')^2 \\
 &= \frac{100126^3}{3} + \frac{100(25-126)^3}{3} + 8,755,65(22-126)^2 + 8,753,93(126-3)^2 \\
 &= 137770,78 \text{ cm}^4.
 \end{aligned}$$

$$W_{qd} = \frac{137770,78}{25 - 12,6} = 11110,55 \text{ cm}^3.$$

$$M_n = \gamma_1 \cdot R_k^c \cdot W_{qd} = 1,75 \cdot 11,5 \cdot 11110,55 = 223599,76 \text{ daNcm}.$$

$$n_c \cdot M^c = 1 \cdot 271360 = 271360 \text{ daNcm} > M_n.$$

Mặt cắt sắt vách máng bị nứt.

Tính toán bề rộng khe nứt:

$$a_n = a_{n1} + a_{n2}.$$

$$M_{dh}^c = M_{bt}^c + M_n^c = 0,8 + 23,071 = 23,871 \text{ kN} = 238710 \text{ daNcm}.$$

$$M_{ngh}^c = M_{ng}^c + M_{gh}^c = 0,64 + 2,624 = 3,264 \text{ kN} = 32640 \text{ daNcm}.$$

Tính bề rộng khe nứt a_n theo công thức thực nghiệm (TCVN 4116-85):

$$a_{n1} = k \cdot c_1 \cdot \eta \frac{\sigma_{a1} - \sigma_0}{E_a} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt{d}$$

$$a_{n2} = k \cdot c_2 \cdot \eta \frac{\sigma_{a2} - \sigma_0}{E_a} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt{d}$$

k – hệ số, lấy bằng 1 với cấu kiện chịu uốn.

c – hệ số xét đến tính chất tác dụng của tải trọng, lấy bằng 1 với tải trọng ngắn hạn, 1,3 với tải trọng dài hạn.

n – hệ số xét đến tính chất bề mặt cốt thép, lấy bằng 1 với cốt thép có gờ.

$$\mu = \frac{F_a}{b h_0} = \frac{5,65}{100 \cdot 22} = 0,0026.$$

$$\sigma_{a1} = \frac{M_{dh}^c}{F_a \cdot Z_1} = \frac{238710}{5,65 \cdot 18,7} = 2259,3 \text{ daN/cm}^2.$$

$$\sigma_{a2} = \frac{M_{ngh}^c}{F_a \cdot Z_1} = \frac{32640}{5,65 \cdot 18,7} = 308,93 \text{ daN/cm}^2.$$

Trong đó: $Z_1 = \eta \cdot h_0 = 0,85 \cdot 22 = 18,7 \text{ cm}$ với $\eta = 0,85$ - Tra bảng 5-1 trang 94 giáo trình Kết cấu Bê tông cốt thép – ĐH Thủy Lợi.

$$a_{n1} = 1.1.3.1. \frac{2259,3 - 200}{2,1.10^6} \cdot 7 \cdot (4 - 100.0,0026) \cdot \sqrt{12} = 0,12 \text{ mm.}$$

$$a_{n2} = 1.1.1. \frac{309,93 - 200}{2,1.10^6} \cdot 7 \cdot (4 - 100.0,0026) \cdot \sqrt{12} = 0,005 \text{ mm.}$$

$$a_n = 0,12 + 0,005 = 0,125 \text{ mm} < a_{ngh} = 0,24 \text{ mm.}$$

Bề rộng khe nứt đảm bảo yêu cầu thiết kế.

b, Đối với mặt cắt giữa nhịp:

$$\begin{aligned} M^c_2 &= M^c_a + M^c_c + M^c_e + M^c_f \\ &= M_a/n_{bt} + M_c/n_n + M_e/n_{ng} + M_f/n_g \\ &= 0,907/1,05 + 1,717/1 + 0,096/1,2 + 2,133/1,3 \end{aligned}$$

$$M^c = 4,302 \text{ kNm.}$$

Kiểm tra nứt cho tiết diện chữ nhật:

$$b = 100\text{cm}, h = 25\text{cm}, a = a' = 3\text{cm}, h_0 = 22\text{cm}, F_a = 3,93 \text{ cm}^2, F'_a = 5,65 \text{ cm}^2.$$

$$x_n = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + n \cdot F_a \cdot h_0 + n \cdot F'_a \cdot a'}{b \cdot h + n(F_a + F'_a)} = \frac{\frac{100 \cdot 25^2}{2} + 8,75 \cdot 3,93 \cdot 22 + 8,75 \cdot 5,65 \cdot 3}{100 \cdot 25 + 8,75 \cdot (3,93 + 5,65)} = 12,4 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} J_{qd} &= \frac{b \cdot x_n^3}{3} + \frac{b \cdot (h - x_n)^3}{3} + n \cdot F_a (h_0 - x_n)^2 + n \cdot F'_a \cdot (x_n - a')^2 \\ &= \frac{100 \cdot 12,4^3}{3} + \frac{100 \cdot (25 - 12,4)^3}{3} + 8,75 \cdot 3,93 \cdot (22 - 12,4)^2 + 8,75 \cdot 5,65 \cdot (12,4 - 3)^2 \\ &= 137770,78 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$W_{qd} = \frac{137770,78}{25 - 12,4} = 10934,19 \text{ cm}^3.$$

$$M_n = \gamma_1 \cdot R_k^c \cdot W_{qd} = 1,75 \cdot 11,5 \cdot 10934,19 = 220050,56 \text{ daNcm.}$$

$$n_c \cdot M^c = 1.43020 = 43020 \text{ daNcm} < M_n.$$

Mặt cắt giữa nhịp không bị nứt.

IV. DẦM ĐỖ GIỮA

4.1. Sơ đồ tính toán

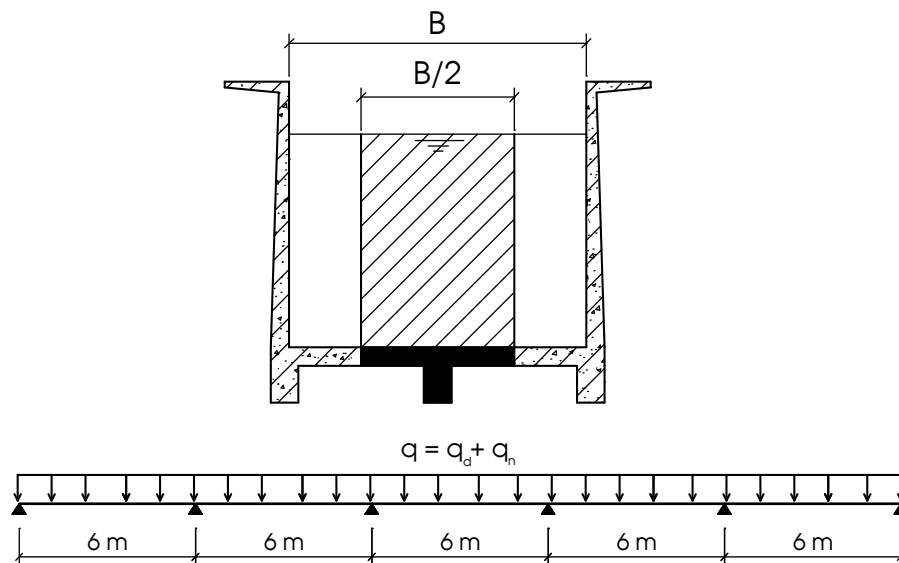
Đáy máng bố trí 3 dầm đỡ bao gồm 2 dầm bên và 1 dầm giữa. Hai dầm bên chịu tải trọng từ vách máng và phần lề người đi truyền xuống nhưng chịu tải trọng nước và tải trọng bản thân ít hơn dầm giữa. Do vậy, ta có thể tính toán và bố trí cốt thép cho dầm giữa, bố trí thép tương tự cho 2 dầm bên. Tách dầm giữa bằng 2 mặt cắt dọc máng.

Sơ đồ tính toán dầm đỡ giữa là dầm liên tục tiết diện chữ T có $n=5$ nhịp và các gối tựa là các trụ đỡ.

Chiều dài nhịp $l_{nhịp} = L/n = 30/5 = 6 \text{ m}$.

Chọn kích thước dầm:

- Chiều cao dầm: $h_d = 80 \text{ cm}$.
- Bề rộng sườn: $b = 30 \text{ cm}$.
- Bề rộng cánh: $B/2 = 3,2/2 = 1,6 \text{ m}$.



Hình 4.1 - Sơ đồ tính toán dầm đỡ giữa.

4.2. Tải trọng tác dụng

Do điều kiện làm việc của dầm đỡ giữa, tổ hợp tải trọng cơ bản tác dụng lên dầm bao gồm các tải trọng sau:

1. Tải trọng bản thân của dầm:

$$q_d^c = \gamma_b \cdot F_d \cdot 1\text{m} = 25 \cdot [(0,8 - 0,25) \cdot 0,3 + 1,6 \cdot 0,25] = 14,13 \text{ kN/m}.$$

$$q_d = n_d \cdot q_d^c = 1,05 \cdot 14,13 = 14,83 \text{ kN/m}.$$

2. Áp lực nước ứng với cột nước H_{max} :

$$q_n^c = k_d \cdot \gamma_n \cdot B/2 \cdot H_{max} = 1,3 \cdot 10 \cdot 1,6 \cdot 2,2 = 45,76 \text{ kN/m}.$$

$$q_n = n_n \cdot q_n^c = 1 \cdot 45,76 = 45,76 \text{ kN/m}.$$

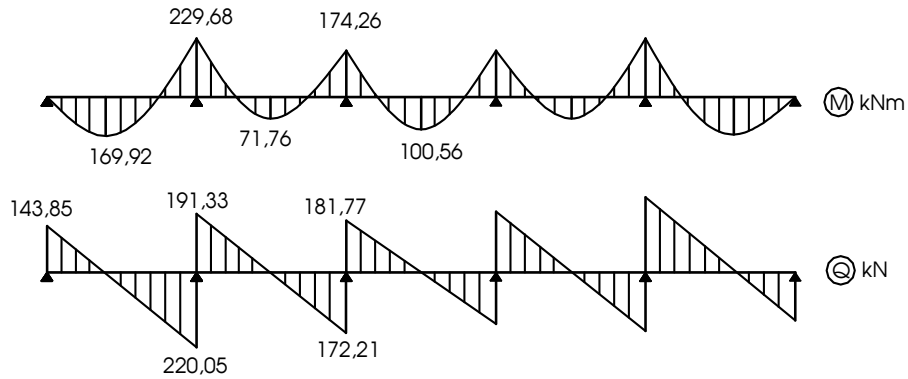
Tải trọng tiêu chuẩn và tính toán tổng cộng:

$$q^c = q_d^c + q_n^c = 14,13 + 45,76 = 59,89 \text{ kN/m}.$$

$$q = q_d + q_n = 14,83 + 45,76 = 60,59 \text{ kN/m}.$$

4.3. Xác định nội lực

Tra phụ lục 18 trang 167 giáo trình Kết cấu BTCT - ĐH Thủy Lợi, ta vẽ được biểu đồ nội lực M, Q của dầm đỡ giữa như sau:



Hình 4.2 - Biểu đồ nội lực của dầm đỡ giữa.

4.4. Tính toán cốt thép

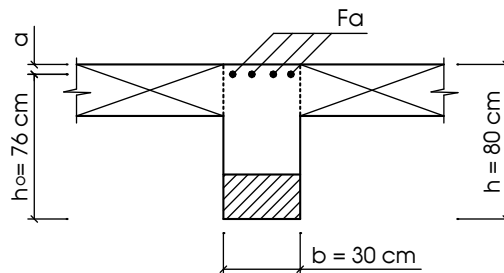
a. Tính toán cốt thép dọc chịu lực

Tính toán cốt thép dọc chịu lực cho 2 mặt cắt có mômen uốn căng trên và căng dưới lớn nhất.

1. Trường hợp căng trên lớn nhất tại mặt cắt trên gối thứ hai: (tại mặt cắt có $x/l = 1$)

$$M_{\max} = 0,1053 \cdot q \cdot l^2 = 0,1053 \cdot 60,59 \cdot 6^2 = 229,6848 \text{ kNm} = 2296846 \text{ daNcm}.$$

Do tại mặt cắt trên gối, mômen uốn căng trên nên tiết diện chữ T cánh kéo được tính toán như đối với tiết diện chữ nhật $b \times h = 30 \times 80 \text{ cm}$.



Hình 4.3 – Tính cốt thép cho trường hợp căng trên.

Chọn $a = a' = 4 \text{ cm}$, $h_o = h - a = 76 \text{ cm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_o^2} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 2296846}{1,90 \cdot 30 \cdot 76^2} = 0,169 \rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,169} = 0,186.$$

$A < A_0 = 0,42 \rightarrow$ Tính cốt đơn.

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_o \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1,90 \cdot 30 \cdot 76 \cdot 0,186}{1,1 \cdot 2700} = 12,85 \text{ cm}^2.$$

$$F_a > \mu_{\min} b h_o = 0,001 \cdot 30 \cdot 76 = 2,28 \text{ cm}^2.$$

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực 4φ22/1m (15,2 cm²) theo chiều dọc máng.

2, Trường hợp căng dưới lớn nhất tại mặt cắt giữa nhịp biên : (tại mặt cắt có $x/l = 0,4$)

$$M_{\max} = 0,0779 \cdot q \cdot l^2 = 0,0779 \cdot 60,59 \cdot 6^2 = 169,9186 \text{ kNm} = 1699186 \text{ daNcm.}$$

Tính toán như tiết diện chữ T cánh nén: $b = 30 \text{ cm}$, $h = 80 \text{ cm}$, $b'_c = 160 \text{ cm}$, $h'_c = 25 \text{ cm}$. Chọn $a = a' = 4 \text{ cm} \rightarrow h_0 = h - a = 76 \text{ cm}$.

Kiểm tra vị trí trục trung hoà:

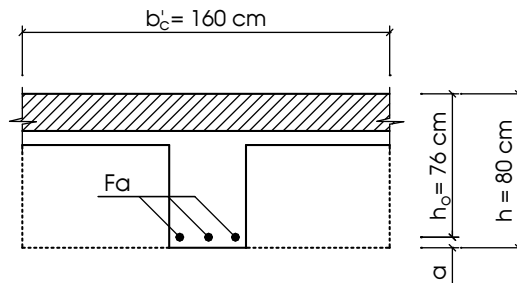
$$M_c = m_b \cdot R_n \cdot b'_c \cdot h'_c \cdot \left(h_0 - \frac{h'_c}{2} \right)$$

$$M_c = 1,90 \cdot 160 \cdot 25 \cdot \left(76 - \frac{25}{2} \right) = 22860000 \text{ daNcm.}$$

$$k_n \cdot n_c \cdot M = 1,15 \cdot 1 \cdot 1699186 = 1954063,9 \text{ daNcm.}$$

$k_n \cdot n_c \cdot M < M_c \rightarrow$ Trục trung hoà đi qua cánh.

Tính toán cốt thép tương tự như đối với tiết diện chữ nhật $b'_c \times h = 160 \times 80 \text{ cm}$.



Hình 4.4 – Tính cốt thép cho trường hợp căng dưới.

Chọn $a = a' = 4 \text{ cm} \rightarrow h_0 = h - a = 76 \text{ cm}$.

$$A = \frac{k_n \cdot n_c \cdot M}{m_b \cdot R_n \cdot b'_c \cdot h_0^2} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 1699186}{1,15 \cdot 90 \cdot 160 \cdot 76^2} = 0,02 \rightarrow \alpha = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot 0,02} = 0,02.$$

$A < A_0 \rightarrow$ Tính cốt đơn.

$$F_a = \frac{m_b \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \cdot \alpha}{m_a \cdot R_a} = \frac{1,15 \cdot 90 \cdot 160 \cdot 76 \cdot 0,02}{1,1 \cdot 2700} = 8,48 \text{ cm}^2.$$

$F_a > \mu_{\min} b h_0 = 0,001 \cdot 30 \cdot 76 = 2,28 \text{ cm}^2$ (chỉ bố trí thép trong bề rộng $b = 30 \text{ cm}$).

Chọn và bố trí cốt thép chịu lực 3φ20/1m (9,42 cm²) theo chiều dọc máng.

b. Tính toán cốt thép ngang

Kiểm tra cường độ trên mặt cắt nghiêng cho mặt cắt có lực cắt lớn nhất (mặt cắt bên trái gối thứ hai):

$$Q_{\max} = 0,6053 \cdot q \cdot l = 22005 \text{ daN.}$$

$$k_l \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0 = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 7,5 \cdot 30 \cdot 76 = 9234 \text{ daN.}$$

$k_1 = 0,6$ đối với kết cấu dạng dầm.

$$k_n \cdot n_c \cdot Q = 1,15 \cdot 22005 = 25306 \text{ daN.}$$

$$0,25 \cdot m_{b3} \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 = 0,25 \cdot 1 \cdot 90 \cdot 30 \cdot 76 = 51300 \text{ daN.}$$

$k_1 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0 < k_n \cdot n_c \cdot Q < 0,25 \cdot m_{b3} \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 \rightarrow$ Cần tính toán cốt ngang.

Tính toán cốt đai không cốt xiên

Chọn đường kính cốt đai $d = 8\text{mm} \rightarrow$ Diện tích một nhánh đai $f_d = 0,503\text{cm}^2$.

Số nhánh $n_d = 2$.

Tính khoảng cách giữa các vòng cốt đai:

$$u_{\max} = \frac{1,5 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0^2}{k_n \cdot n_c \cdot Q} = \frac{1,5 \cdot 0,9 \cdot 7,5 \cdot 30 \cdot 76^2}{1,15 \cdot 1 \cdot 22005} = 69,3 \text{ cm.}$$

$$u_{ct} = \frac{h}{3} = \frac{80}{3} = 26,7 \text{ cm.}$$

$$u_t = m_a \cdot R_{ad} \cdot n_d \cdot f_d \cdot \frac{8 \cdot m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot h_0^2}{(k_n \cdot n_c \cdot Q)^2} = 1,1 \cdot 2150 \cdot 2 \cdot 0,503 \cdot \frac{8 \cdot 0,9 \cdot 7,5 \cdot 30 \cdot 76^2}{(1,15 \cdot 1 \cdot 22005)^2} = 34,8 \text{ cm.}$$

Chọn khoảng cách giữa các vòng cốt đai thiết kế $u_{tk} = 25 \text{ cm.}$

Tính toán cốt xiên

$$Q_{db} = 2,8 \cdot h_0 \cdot \sqrt{m_{b4} \cdot R_k \cdot b \cdot q_d}$$

$$q_d = \frac{m_a \cdot R_{ad} \cdot n_d \cdot f_d}{u} = \frac{1,1 \cdot 2150 \cdot 2 \cdot 0,503}{25} = 95,17 \text{ daN/cm.}$$

$$Q_{db} = 2,8 \cdot 76 \cdot \sqrt{0,9 \cdot 7,5 \cdot 30 \cdot 95,17} = 29541,61 \text{ daN.}$$

$k_n \cdot n_c \cdot Q = 1,15 \cdot 1 \cdot 22005 = 25306 \text{ daN} < Q_{db}$. Không cần đặt cốt xiên.

c. *Bố trí cốt thép dầm* (hình 3.2)

4.5. Kiểm tra nứt và tính bề rộng khe nứt

Kiểm tra nứt tại 2 mặt cắt có mômen căng trên và căng dưới lớn nhất.

Điều kiện để dầm không bị nứt tại các tiết diện trên: $n_c \cdot M^c \leq M_n = \gamma_1 \cdot R_k^c \cdot W_{qd}$.

a. Trường hợp căng dưới: $M_{\max}^c = 0,0779 \cdot q^c \cdot l^2 = 0,0779 \cdot 59,89 \cdot 6^2 = 167,9555 \text{ kNm.}$

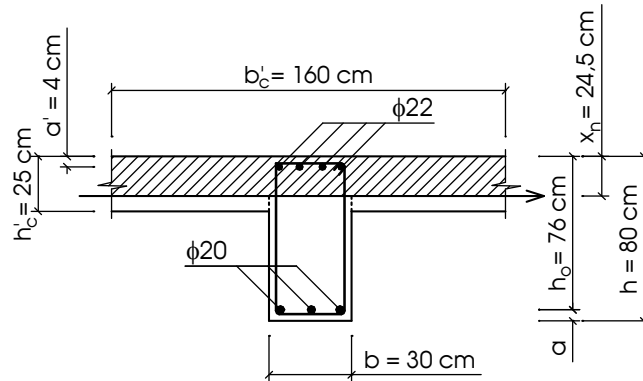
Tiết diện chữ T cánh nén: $b = 30 \text{ cm}$, $h = 80 \text{ cm}$, $b'_c = 160 \text{ cm}$, $h'_c = 25 \text{ cm}$,

$a = a' = 4 \text{ cm}$, $h_0 = 76 \text{ cm}$, $F_a = 9,42 \text{ cm}^2$, $F'_a = 15,2 \text{ cm}^2$; $\gamma_1 = m_h \cdot \gamma = 1,1 \cdot 1,75 = 1,75$.

$$x_n = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + (b'_c - b) \cdot \frac{h'^2_c}{2} + n \cdot F_a \cdot h_0 + n \cdot F'_a \cdot a'}{b \cdot h + (b'_c - b) \cdot h'_c + n \cdot (F_a + F'_a)}$$

$$= \frac{\frac{30.80^2}{2} + (160 - 30) \cdot \frac{25^2}{2} + 8,75 \cdot 9,42 \cdot 76 + 8,75 \cdot 15,2 \cdot 4}{30.80 + (160 - 30) \cdot 25 + 8,75 \cdot (9,42 + 15,2)}$$

$x_n = 24,5 \text{ cm} < h'_c = 25 \text{ cm}$. Trục trung hòa của tiết diện quy đổi đi qua cánh.



Hình 4.5 – Kiểm tra nứt trường hợp căng dưới.

$$\begin{aligned} J_{qd} &= \frac{b'_c \cdot x_n^3}{3} + \frac{(b'_c - b)(h'_c - x_n)^3}{3} + \frac{b(h - x_n)^3}{3} + n \cdot F_a (h_0 - x_n)^2 + n \cdot F'_a (x_n - a')^2 \\ &= \frac{160 \cdot 24,5^3}{3} + \frac{(160 - 30)(25 - 24,5)^3}{3} + \frac{30(80 - 24,5)^3}{3} + \\ &\quad + 8,75 \cdot 9,42 \cdot (76 - 24,5)^2 + 8,75 \cdot 15,2 \cdot (24,5 - 4)^2 \\ J_{qd} &= 2768376 \text{ cm}^4. \end{aligned}$$

$$W_{qd} = \frac{J_{qd}}{h - x_n} = \frac{2768376}{80 - 24,5} = 49880,65 \text{ cm}^3.$$

$$M_n = \gamma_l \cdot R_k^c \cdot W_{qd} = 1,75 \cdot 11,5 \cdot 497880,65 = 1003848,05 \text{ daNcm}.$$

$$n_c \cdot M^c = 1.1679555 = 1679555 \text{ daNcm} > M_n.$$

Tại mặt cắt trên dầm bị nứt.

Tính bề rộng khe nứt

$$a_n = k \cdot c \cdot \eta \cdot \frac{\sigma_a - \sigma_0}{E_a} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt{d}$$

k – hệ số, lấy bằng 1 với cấu kiện chịu uốn.

c – hệ số xét đến tính chất tác dụng của tải trọng, lấy bằng 1 với tải trọng ngắn hạn, 1,3 với tải trọng dài hạn.

n – hệ số xét đến tính chất bề mặt cốt thép, lấy bằng 1 với cốt thép có gờ.

$$\mu = \frac{F_a}{b h_0} = \frac{9,42}{30 \cdot 76} = 0,004.$$

$$\sigma_a = \frac{M^c}{F_a \cdot Z_1} = \frac{1679555}{9,42 \cdot 64,6} = 2760 \text{ daN/cm}^2.$$

Trong đó: $Z_1 = \eta \cdot h_0 = 0,85 \cdot 76 = 64,6 \text{ cm}$ với $\eta = 0,85$ - Tra bảng 5-1 trang 94 giáo trình Kết cấu Bê tông cốt thép – ĐH Thủy Lợi.

$$a_n = 1.1.3.1. \frac{2760 - 200}{2,1 \cdot 10^6} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot 0,004) \cdot \sqrt{20}$$

$$a_n = 0,18 \text{ mm} < a_{ngh} = 0,24 \text{ mm}.$$

Bề rộng khe nứt đảm bảo yêu cầu thiết kế.

$$b. \text{ Trường hợp căng trên: } M_{\max}^c = 0,1053 \cdot q \cdot l^2 = 0,1053 \cdot 59,89 \cdot 6^2 = 227,031 \text{ kNm}.$$

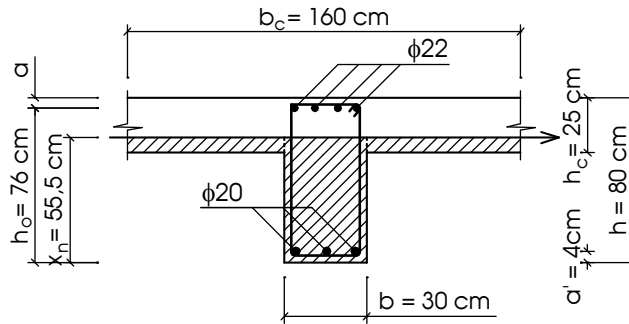
Tiết diện chữ T cánh kéo: $b = 30 \text{ cm}$, $h = 80 \text{ cm}$, $b_c = 160 \text{ cm}$, $h_c = 25 \text{ cm}$,

$$a = a' = 4 \text{ cm}, h_0 = 76 \text{ cm}, F_a = 15,2 \text{ cm}^2, F'_a = 9,42 \text{ cm}^2; \gamma_1 = m_h \cdot \gamma = 1.1,75 = 1,75.$$

$$x_n = \frac{\frac{b \cdot h^2}{2} + (b_c - b) h_c \left(h - \frac{h_c}{2} \right) + n F_a h_0 + n F'_a a'}{b h + (b_c - b) h_c + n (F_a + F'_a)}$$

$$= \frac{\frac{30 \cdot 80^2}{2} + (160 - 30) \cdot 25 \left(80 - \frac{25}{2} \right) + 8,75 \cdot 15,2 \cdot 76 + 8,75 \cdot 9,42 \cdot 4}{30 \cdot 80 + (160 - 30) \cdot 25 + 8,75 (15,2 + 9,42)}$$

$x_n = 55,5 \text{ cm}$. Trục trung hòa của tiết diện quy đổi đi qua cánh.



Hình 4.6 – Kiểm tra nứt trường hợp căng trên.

$$J_{qd} = \frac{b x_n^3}{3} + \frac{(b_c - b)(h_c + x_n - h)^3}{3} + \frac{b_c (h - x_n)^3}{3} + n F_a (h_0 - x_n)^2 + n F'_a (x_n - a')^2$$

$$= \frac{30 \cdot 55,5^3}{3} + \frac{(160 - 30) \cdot (25 + 55,5 - 80)^3}{3} + \frac{160 \cdot (80 - 55,5)^3}{3} +$$

$$+ 8,75 \cdot 15,2 \cdot (76 - 55,5)^2 + 8,75 \cdot 9,42 \cdot (55,5 - 4)^2$$

$$J_{qd} = 2768376 \text{ cm}^4.$$

$$W_{qd} = \frac{2768376}{80-55,5} = 11299493 \text{ cm}^3.$$

$$M_n = \gamma_1 \cdot R_k^c \cdot W_{qd} = 1,75 \cdot 11,5 \cdot 112994,93 = 2274022,97 \text{ daNcm}.$$

$$n_c \cdot M^c = 1.2270310 = 2270310 \text{ daNcm} > M_n.$$

Dầm bị nứt tại mặt cắt trên.

Tính bề rộng khe nứt

$$a_n = k \cdot c \cdot \eta \cdot \frac{\sigma_a - \sigma_0}{E_a} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot \mu) \cdot \sqrt{d}$$

k – hệ số, lấy bằng 1 với cấu kiện chịu uốn.

c – hệ số xét đến tính chất tác dụng của tải trọng, lấy bằng 1 với tải trọng ngắn hạn, 1,3 với tải trọng dài hạn.

n – hệ số xét đến tính chất bề mặt cốt thép, lấy bằng 1 với cốt thép có gờ.

$$\mu = \frac{F_a}{bh_0} = \frac{15,2}{30 \cdot 76} = 0,0067.$$

$$\sigma_a = \frac{M^c}{F_a \cdot Z_1} = \frac{2270310}{15,2 \cdot 64,6} = 2312,11 \text{ daN/cm}^2.$$

Trong đó: $Z_1 = \eta \cdot h_0 = 0,85 \cdot 76 = 64,6 \text{ cm}$ với $\eta = 0,85$ - Tra bảng 5-1 trang 94 giáo trình Kết cấu Bê tông cốt thép – ĐH Thủy Lợi.

$$a_n = 1 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot \frac{2312,11 - 200}{2,1 \cdot 10^6} \cdot 7 \cdot (4 - 100 \cdot 0,0067) \cdot \sqrt{22}$$

$$a_n = 0,14 \text{ mm} < a_{ng} = 0,24 \text{ mm}.$$

Bề rộng khe nứt đảm bảo yêu cầu thiết kế.

4.6. Tính biến dạng dầm:

Tính toán kiểm tra độ võng cho mặt cắt giữa nhịp dầm đầu tiên: $M^c = 1679555 \text{ daNcm}$.

a. Tính độ cứng dài hạn B_{dh}

$$B_{dh} = \frac{B_{ng}}{\delta} \text{ với độ cứng ngắn hạn } B_{ng} = \frac{E_a \cdot F_a \cdot Z_1 \cdot (h_0 - \bar{x})}{\psi_a}.$$

Trong đó chiều cao vùng nén trung bình \bar{x} được tính theo quan hệ:

$$\varphi = \frac{x}{x_0} = 1 - \frac{0,7}{100\mu + 1}; \xi = \frac{x}{h_0} = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(L + T)}{10 \cdot \mu \cdot n}}$$

$$L = \frac{M^c}{R_n^c \cdot b \cdot h_0^2} = \frac{1679555}{115.30.76^2} = 0,084; T = \gamma'(1 - \delta'/2)$$

$$\gamma' = \frac{(b'_c - b)h'_c + \frac{n}{v} \cdot Fa'}{b \cdot h_0} = \frac{(160 - 30).25 + \frac{8,75}{0,15} \cdot 15,2}{30.76} = 1,814.$$

Trong đó v lấy bằng 0,15 với tải trọng tác dụng dài hạn và độ ẩm môi trường lớn hơn 40%.

$$\delta' = \frac{h'_c}{h_0} = \frac{25}{76} = 0,33; T = 1,814 \cdot (1 - \frac{0,33}{2}) = 1,515; \mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} = \frac{9,42}{30.76} = 0,004.$$

Thay số liệu vào công thức tính ta có:

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,084 + 1,515)}{10.0,004.8,75}} = 0,036 < \frac{a'}{h_0} = \frac{4}{76} = 0,053.$$

Tính lại với điều kiện không kể đến F_a' .

$$\gamma' = \frac{(b'_c - b)h'_c}{b \cdot h_0} = \frac{(160 - 30).25}{30.76} = 1,425; T = \gamma'(1 - \frac{\delta'}{2}) = 1,425 \cdot (1 - \frac{0,33}{2}) = 1,19.$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(L + T)}{10 \cdot \mu \cdot n}} = \frac{1}{1,8 + \frac{1 + 5(0,08 + 1,19)}{10.0,004.8,75}} = 0,044.$$

$$x = \xi \cdot h_0 = 0,044 \cdot 76 = 3,3 \text{ cm}; \varphi = \frac{x}{x} = 1 - \frac{0,7}{100.0,004 + 1} = 0,5; \bar{x} = \frac{x}{\varphi} = \frac{3,3}{0,5} = 6,6 \text{ cm}.$$

Tính cánh tay đòn nội ngẫu lực Z_1 theo công thức thực nghiệm:

$$Z_1 = \left[1 - \frac{\delta' \gamma' + \xi^2}{2(\gamma' + \xi')} \right] \cdot h_0 = \left[1 - \frac{0,33 \cdot 1,425 + 0,044^2}{2 \cdot (1,425 + 0,044)} \right] \cdot 76 = 63,8 \text{ cm}.$$

$$\text{Tính hệ số } \psi_{adh} \text{ theo công thức: } \psi_{adh} = \frac{2\psi_a + 1}{3}.$$

$$\sigma_a = \frac{M^c}{F_a \cdot Z_1} = \frac{1679555}{9,42 \cdot 63,8} = 2795 \text{ daN/cm}^2.$$

Tra phụ lục 16, biểu đồ 3 trang 164 giáo trình Kết cấu BTCT - ĐH Thủy Lợi:

Với $\gamma' = 1,425$, $n \cdot \mu = 8,75 \cdot 0,004 = 0,035$ và $\sigma_a = 2795 \text{ daN/cm}^2$, lấy $\psi_a = 0,4$.

$$\psi_{adh} = \frac{2 \cdot 0,4 + 1}{3} = 0,6.$$

Thay các giá trị vừa tính được vào công thức tính độ cứng B_{ngh} của dầm ta có:

$$B_{ngh} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 9,42 \cdot 63,8 \cdot (76 - 6,6)}{0,6} = 145982 \cdot 10^6 \text{ daNcm}^2.$$

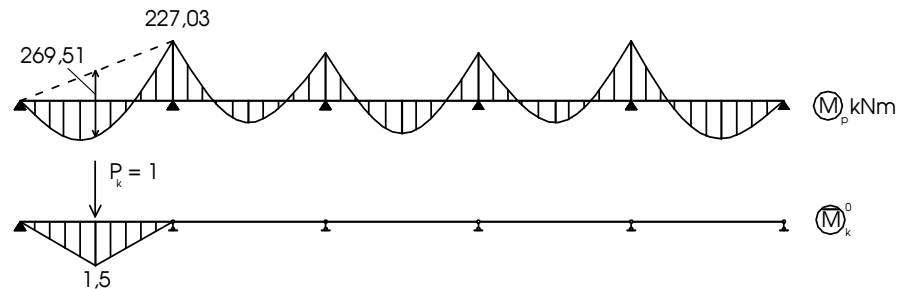
$$B_{dh} = \frac{B_{ngh}}{\delta} = \frac{145982 \cdot 10^6}{1,5} = 97321 \cdot 10^6 \text{ daNcm}^2 = 97321 \text{ kNm}^2.$$

Tiến hành nhân biểu đồ tính toán được độ võng tại mặt cắt giữa nhịp biên dầm đỡ giữa:

$$f = M_p \cdot \bar{M}_k = \frac{1}{B_{dh}} \Omega_p \cdot \bar{y}_k^0$$

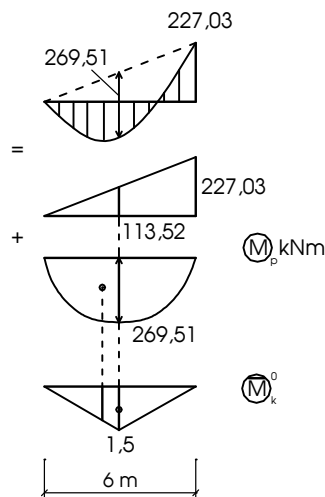
Ω_p - diện tích của biểu đồ mômen uốn M_p .

\bar{y}_k^0 - tung độ biểu đồ \bar{M}_k^0 trên hệ cơ bản ứng với vị trí trọng tâm của biểu đồ M_p .



Hình 4.7 – Biểu đồ mômen cuối cùng và biểu đồ mômen trên hệ cơ bản.

Dùng phương pháp nhân biểu đồ Vereshagin, ta tính được độ võng tại mặt cắt giữa nhịp biên:



Hình 4.8 – Cách nhân biểu đồ.

$$f = \frac{1}{97321} \cdot [2 \cdot (\frac{1}{3} \cdot 269,51 \cdot 6) \cdot (\frac{5}{8} \cdot 1,5) - (\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 6) \cdot 113,52] = 0,005 \text{ m.}$$

$$\frac{f}{l} = \frac{0,005}{6} = \frac{0,428}{500} < \left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{500}. \text{ Dầm thỏa mãn yêu cầu về độ võng.}$$