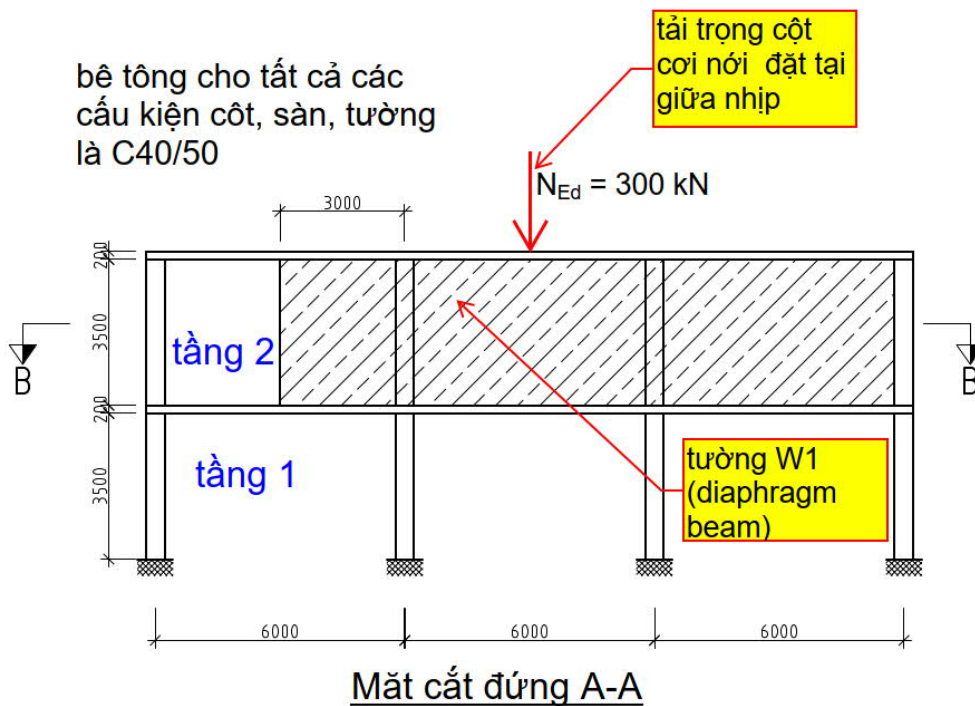
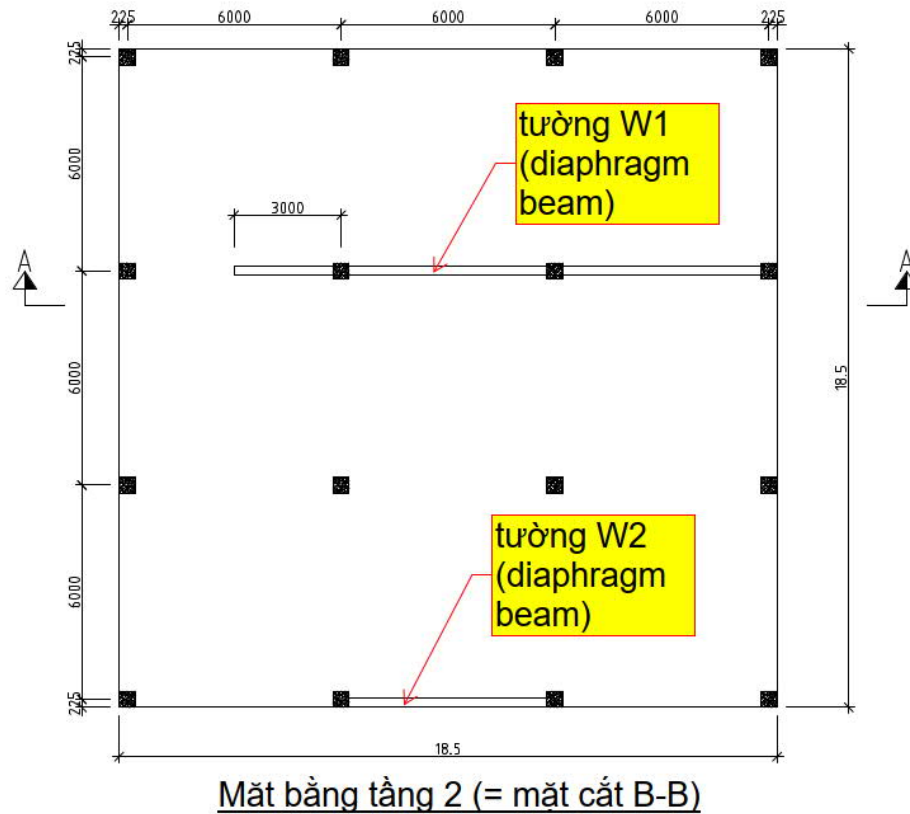


Cho công trình nhà mặt bằng hai tầng bê tông cốt thép toàn khối, sàn phẳng dày 20cm, kích thước cột 45x45cm, tường W1 và W2 dày 25cm và có chiều cao bằng chiều cao tầng. Lưới cột được cho ở ví dụ này là 6mx6m cho cả 2 phương.



Tải trọng đầu vào:

Ngoài tải bản thân của các cấu kiện thì còn có tải hoàn thiện, hoạt tải được cho như sau:

Tải hoàn thiện trần tầng 1 (= sàn tầng 2): $g_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$, trần tầng 2: $g_k = 1,00 \text{ kN/m}^2$

Hoạt tải trần tầng 1: $q_k = 4,00 \text{ kN/m}^2$, trần tầng 2: $q_k = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Ngoài ra chủ đầu tư còn thông báo là trong tương lai gần có thể coi xây thêm tầng và sẽ cấy cột trực tiếp lên dầm tường dạng bản W1 (tiếng Anh gọi loại cấu kiện này là diaphragm beam). Tải trọng tại chân cột này có thể lên đến 1695 kN (trong đó thành phần tĩnh tải là 700 kN và hoạt tải là 500kN $\rightarrow 1,35 \cdot 700 + 1,5 \cdot 500 = 1695 \text{ kN}$)

Yêu cầu: tính toán cốt thép cho cấu kiện dầm dạng bản diaphragm beam W1 và W2 theo Eurocode

Các bước tiến hành:

Sơ đồ kết cấu dầm bản W1 ở đây là dạng dầm 2 nhịp và thanh công sơn, khẩu độ nhịp dầm là 6mx6mx3m

Để cấu kiện dạng này được quy về dạng dầm bản diaphragm beam thì điều kiện sau phải thỏa mãn:

$$\frac{h}{l_{eff}} > 0,4$$

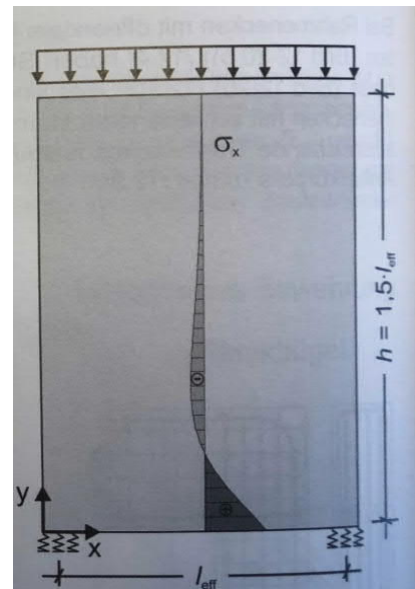
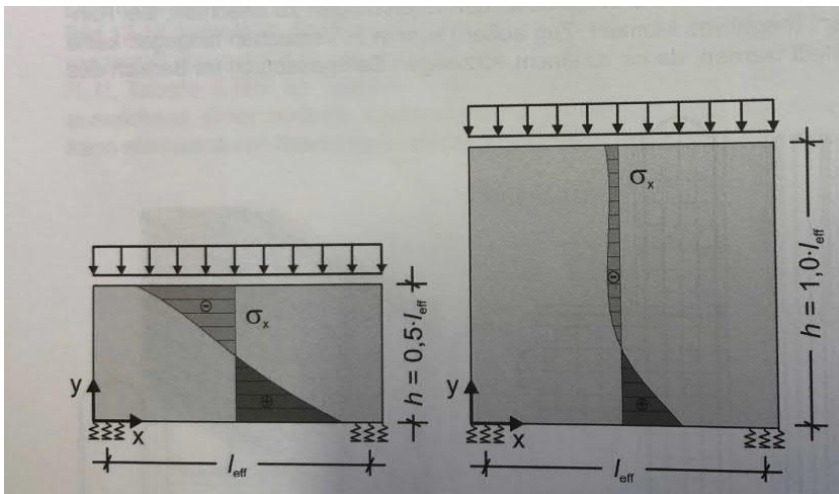
Trong đó h = chiều cao dầm bản, ở đây ta lấy $h = 3,5\text{m}$, l_{eff} = khẩu độ nhịp = 6,00m

$$\frac{3,5}{6} = 0,58 > 0,4 \rightarrow \text{diaphragm beam}$$

Đối với dầm 1 nhịp ở đây là W2:

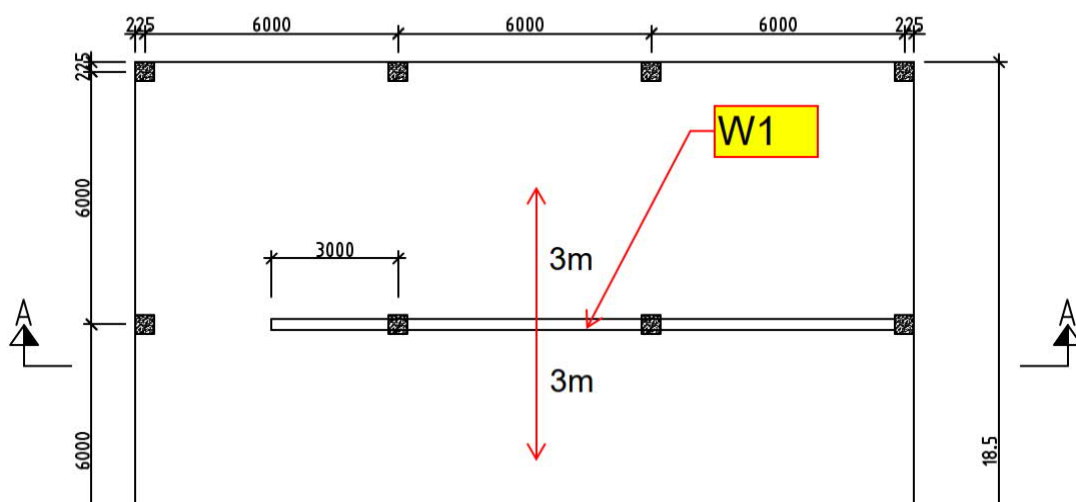
$$\frac{h}{l_{eff}} > 0,5 \rightarrow 0,58 > 0,5 \rightarrow \text{diaphragm beam}$$

Khi cấu kiện chịu uốn, dạng bản đã được liệt kê là diaphragm beam thì lý thuyết tính toán dầm chịu uốn thông thường (ví dụ dầm giao thoa trong kết cấu sàn sườn toàn khối) không được phép áp dụng do hai cấu kiện này có cách làm việc hoàn toàn khác nhau. Duy chỉ có việc tính toán nội lực ví dụ như mô men, lực cắt thì giữa cấu kiện dầm chịu uốn thông thường và dầm bản không có gì khác biệt.



Hình trên là sơ đồ ứng suất pháp dưới tác dụng của tải phân bố đều trong cấu kiện diaphragm beam chịu uốn lần lượt với $h/l_{eff} = 0,5$; $1,0$ và $1,5$

Xác định tải trọng, ví dụ cho W1



Bề rộng vùng chịu tải của W1 là $b = 2 \times 3 = 6\text{m}$

Tĩnh tải bao gồm cả tải bản thân sàn + tường:

Trần tầng 1

$$g_k = 0,2 \times 25 \times 6 + 0,25 \times 3,5 \times 25 + 2 \times 6 = 64 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 4 \times 6 = 24 \text{ kN/m}$$

Trần tầng 2

$$g_k = 0,2 \times 25 \times 6 + 1 \times 6 = 36 \text{ kN/m}$$

$$q_k = 2 \times 6 = 12 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma g_k = 64 + 36 = 100 \text{ kN/m}$$

$$\Sigma q_k = 24 + 12 = 36 \text{ kN/m}$$

Ngoài ra còn phải kể đến thành phần tải coi nơi có thể có:

$$G_k = 700 \text{ kN}$$

$$Q_k = 500 \text{ kN}$$

Xác định cánh tay đòn

Công thức xác định cánh tay đòn z_f tại nhịp và z_s tại gối đối với kết cấu diaphragm beam với sơ đồ kết cấu là dầm 2 nhịp được xác định theo công thức sau:

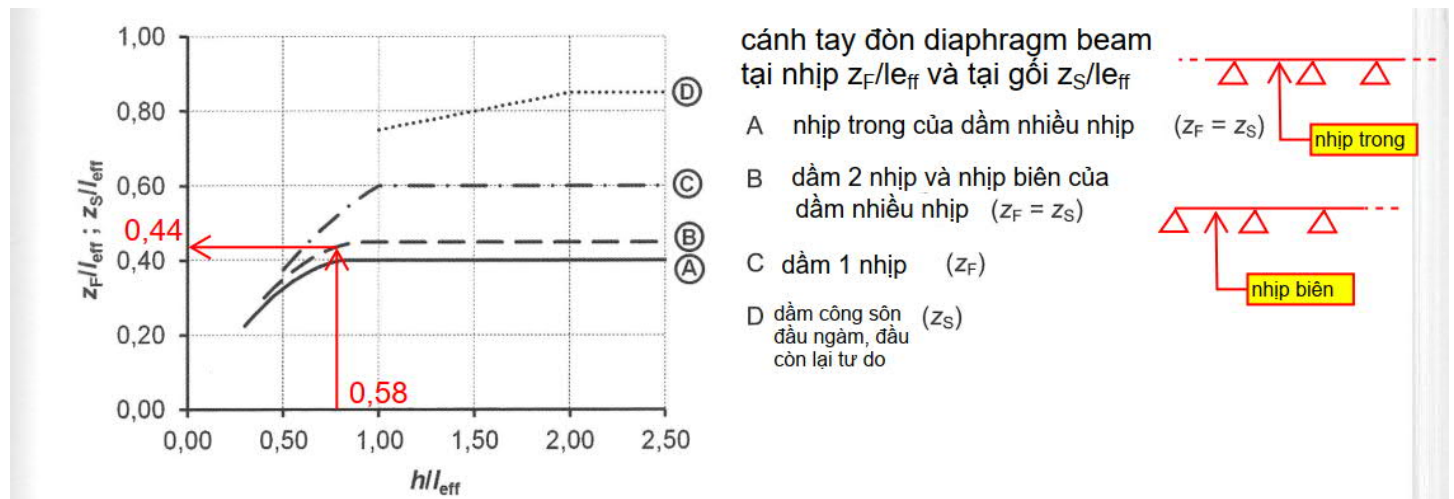
$$z_f = z_s = 0,5 * h * \left(1,9 - \frac{h}{l}\right) \text{ cho trường hợp } 0,3 < \frac{h}{l} < 1,0$$

$$z_f = z_s = 0,45 * l \text{ cho trường hợp } \frac{h}{l} > 1,0$$

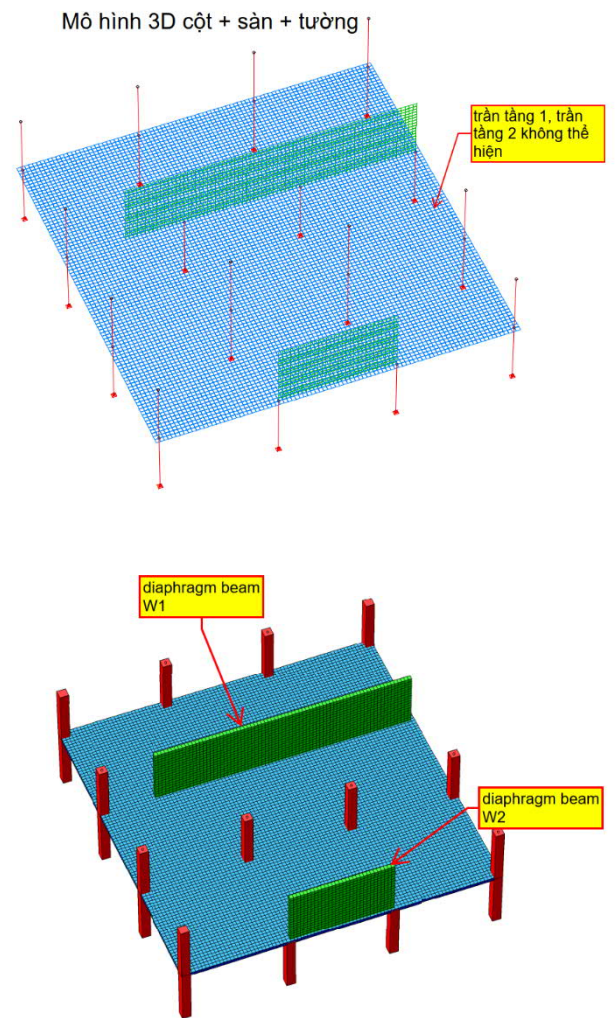
ở đây ta có

$$0,3 < \frac{h}{l} = \frac{3,5}{6} = 0,58 < 1,0 \rightarrow z_f = z_s = 0,5 * 3,5 * \left(1,9 - \frac{3,5}{6}\right) = 2,30\text{m}$$

Công thức tính cánh tay đòn cho cấu kiện diaphragm chúng ta có thể dùng đồ thị

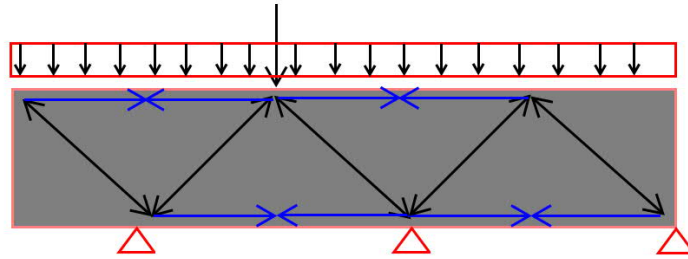


Tra đồ thị ta có:



$$\frac{z_f}{l_{eff}} = 0,44 \rightarrow z_f = 0,44 * 6 = 2,64m$$

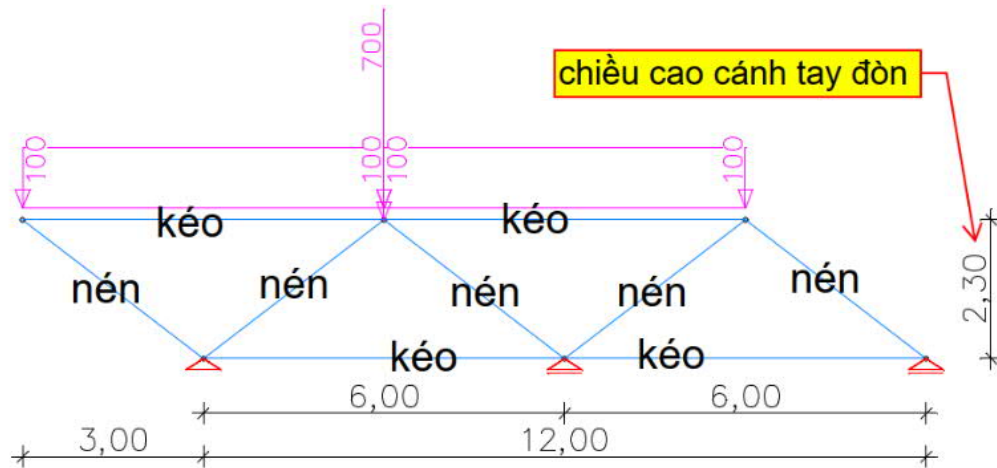
Con số $z_f = z_s = 2,30$ ta tính bằng công thức cho kết quả thiên về an toàn hơn là tra đồ thị



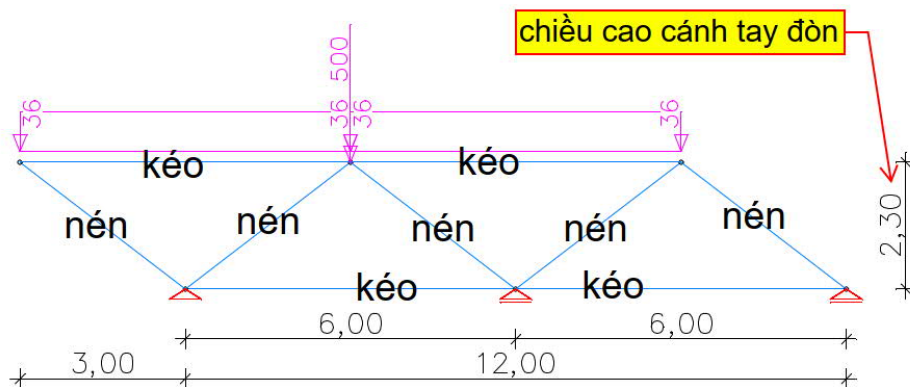
Sơ đồ giàn ảo bao gồm các thanh kéo và thanh nén dưới tác dụng của lực tập trung và phân bố đều đối với cầu kiện dầm cao (diaphragm beam)

Dưới tác dụng của ngoại lực, ở đây là lực phân bố đều + tải tập trung thì trong tấm tường cao chúng ta đang xét sẽ xuất hiện phản lực được thể hiện ở sơ đồ giàn ảo bao gồm các thanh nén (English compression strut) và thanh kéo (English tension strut) cho ở hình trên.

Để tính được nội lực của các thanh trong hệ giàn này chúng ta dùng SAP, Etabs, vv. Sơ đồ kết cấu giàn với tải trọng được cho ở hai hình dưới.



Sơ đồ giàn ảo của kết cấu diaphragm beam với tĩnh tải

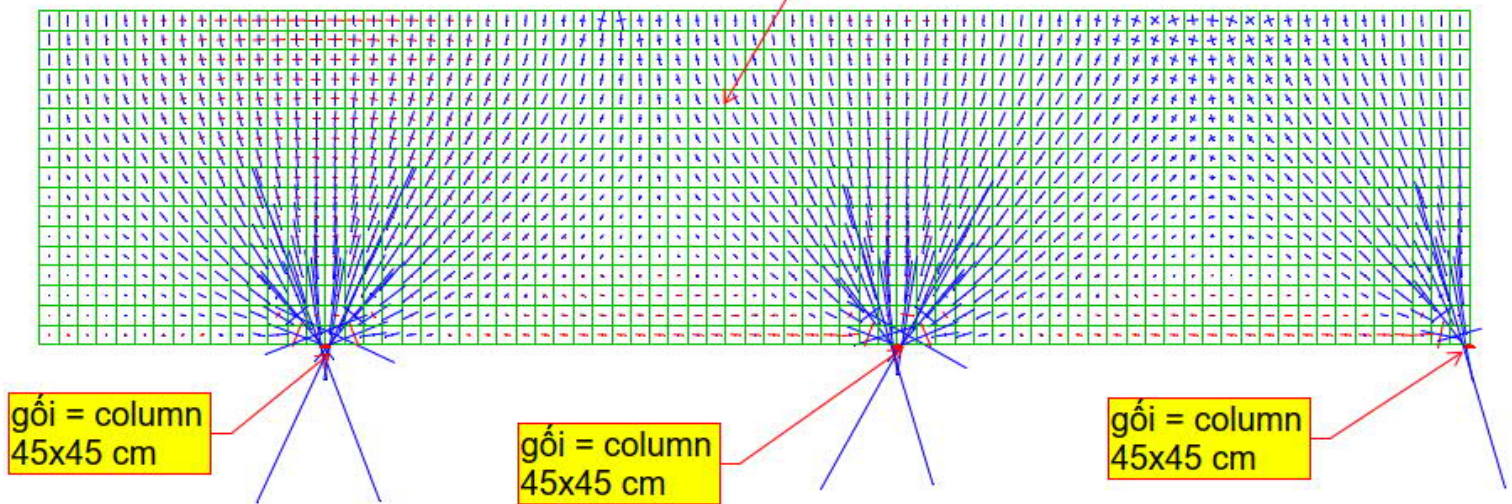


Sơ đồ giàn ảo của kết cấu diaphragm beam với hoạt tải

Để kiểm chứng liệu hệ giàn chúng ta đang giả thiết có là đúng với thực tế hay không anh em có thể mô hình hệ kết cấu dầm cao này trong Etabs, SAP và cho hiển thị ứng suất. Đường ứng suất kéo, nén chạy trong tấm tường sẽ chính là sơ đồ giàn ảo chúng ta cần tìm, xem hình minh họa ở trang tiếp theo.

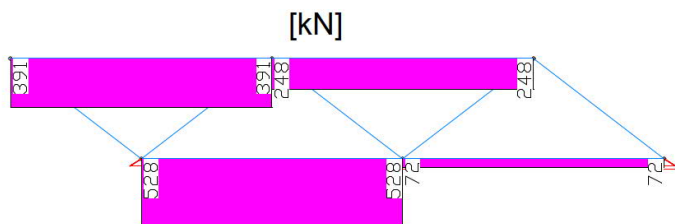
màu đỏ: ứng suất kéo
màu xanh: ứng suất nén

diaphragm beam

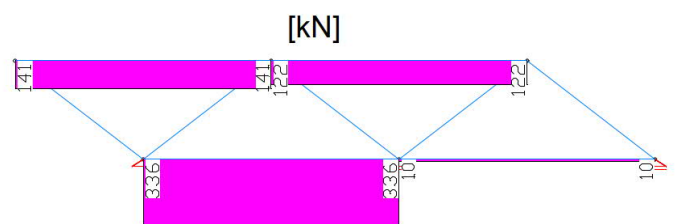


Sơ đồ phân bố ứng suất trong cấu kiện dầm bản dạng diaphragm beam

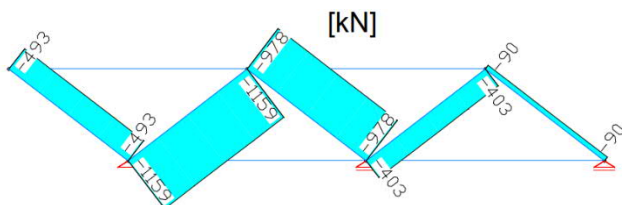
Nội lực trong hệ giàn này cho kết quả như sau, nếu lười không muốn tính tay chúng ta lại dùng SAP hay Etabs để giải, với tiết diện thanh bất kỳ không xét tải bản thân. Lưu ý là điểm nút giữa các thanh phải là khớp $\rightarrow$ mô men = 0



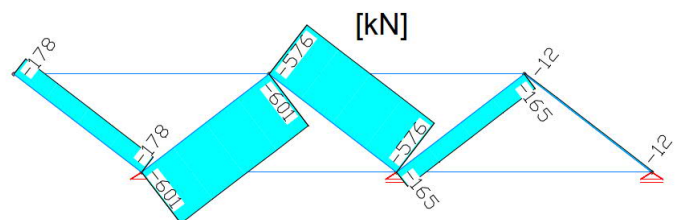
Nội lực trong các thanh kéo (tĩnh tải)



Nội lực trong các thanh kéo (hoạt tải)

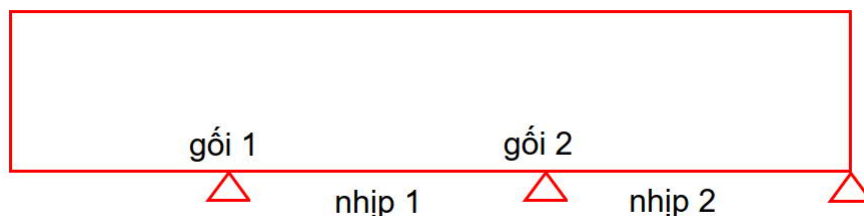


Nội lực trong các thanh nén (tĩnh tải)



Nội lực trong các thanh nén (hoạt tải)

Tính toán cốt thép:



Gối 1:

Lực kéo tính toán $N_{Ed} = 1,35 \cdot 391 + 1,5 \cdot 141 = 740 \text{ kN} \rightarrow$ cốt thép $A_{s, \text{required}} = 740 / 43,5 = 17 \text{ cm}^2$

Với $f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ N/mm}^2$ = cường độ kéo chảy tính toán của cốt thép

Gối 2:

Lực kéo tính toán $N_{Ed} = 1,35 \cdot 248 + 1,5 \cdot 122 = 518 \text{ kN} \rightarrow$ cốt thép $A_{s, \text{required}} = 518 / 43,5 = 12 \text{ cm}^2$

Nhịp 1:

Lực kéo tính toán $N_{Ed} = 1,35 \cdot 528 + 1,5 \cdot 336 = 1217 \text{ kN} \rightarrow$ cốt thép $A_{s,required} = 1217/43,5 = 28 \text{ cm}^2$

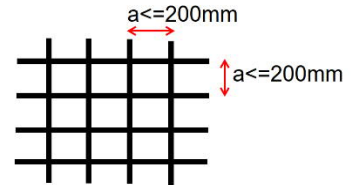
Nhịp 2:

Lực kéo tính toán $N_{Ed} = 1,35 \cdot 72 + 1,5 \cdot 10 = 112 \text{ kN} \rightarrow$ cốt thép $A_{s,required} = 112/43,5 = 2,6 \text{ cm}^2$

Cách bố trí thép:

Eurocode yêu cầu đối với kết cấu tường dạng bản phải bố trí mỗi bên một lớp thép lưới với khoảng cách lưới không nên vượt quá 20cm, công thức xác định cốt thép lưới tối thiểu được cho như sau:

$$A_{s,min} = \max(0,75 \cdot 10^{-3} \cdot A_c ; 1,5 \text{ cm}^2/m)$$

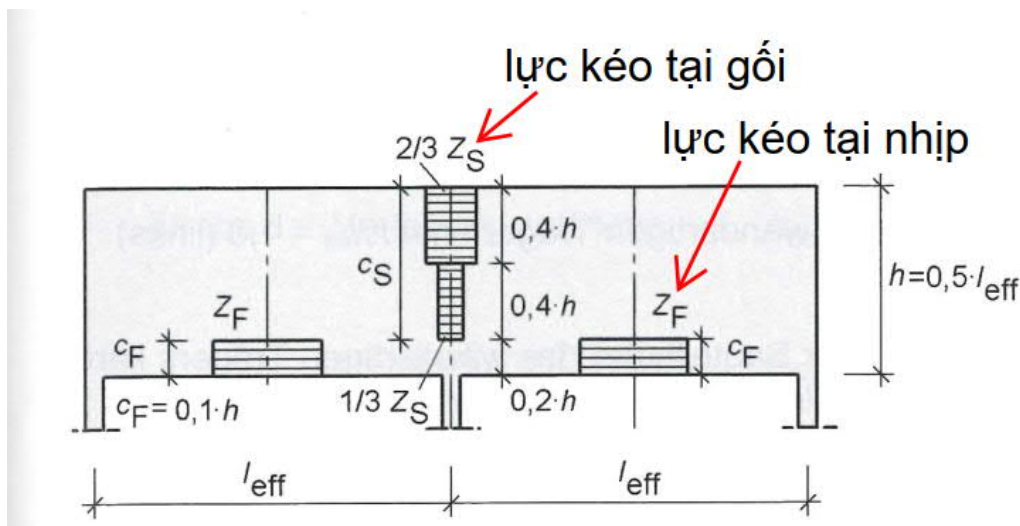


Trong đó $A_c = b \cdot x = 25 \cdot 350 = 8750 \text{ cm}^2$

Lắp vào công thức ta xác định được cốt thép tối thiểu phải bố trí trên bề mặt ở mỗi bên tấm tường là:

$$A_{s,min} = 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 8750 = 6,56 \frac{\text{cm}^2}{m} \rightarrow \text{chọn } \emptyset 12 - 15 \text{ cho mỗi bên}$$

Thép tại gối đã tính ở trên lần lượt là 17 cm^2 cho gối 1 và 12 cm^2 cho gối 2. Cốt thép này phải được bố trí trên bề rộng tối thiểu là $0,4 \cdot h = 0,4 \cdot 3,5 = 1,4 \text{ m}$



Ta có cho mỗi bên tường:

$$A_{s,required} = \frac{17}{2 \cdot 1,4} = 6,07 \frac{\text{cm}^2}{m} < \emptyset 12 - 15 = 7,54 \text{ cm}^2/m$$

Kết luận: tại gối chúng ta không cần phải bố trí thêm thép gia cường, một mình thép lưới bề mặt $\emptyset 12-15$ cho mỗi bên đủ chịu lực.

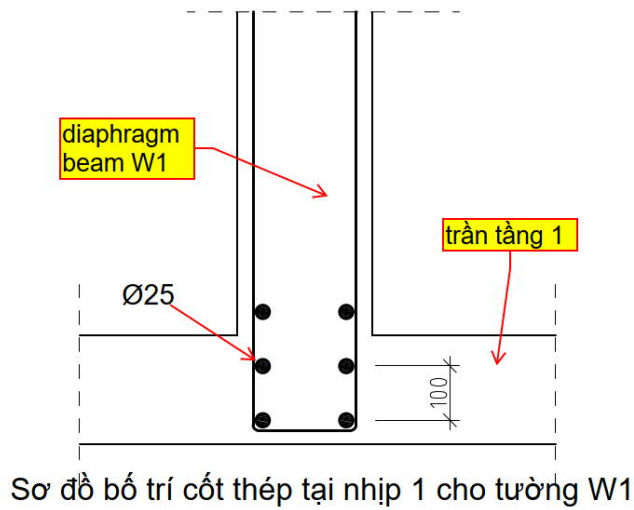
Đối với nhịp 2 ta có cốt thép đã tính ở trên là $a_s = 2,6 \text{ cm}^2$, cho mỗi bên sẽ là $2,6/2 = 1,3 \text{ cm}^2$. Cốt thép cho mỗi bên này được phép bố trí trong phạm vi chiều cao là c_F , chiều cao c_F được xác định như sau:

$$c_F = \min(0,1 \cdot l ; 0,1 \cdot h) = \min(0,1 \cdot 6 ; 0,1 \cdot 3,5) = 0,35 \text{ m}$$

Thép lưới bề mặt chúng ta bố trí cho mỗi bên là $\emptyset 12-15 \rightarrow$ có nghĩa là trong khoảng $a = 35 \text{ cm}$ chắc chắn có 2 thanh $\emptyset 12$ với $a_s = 2 \cdot 0,89 = 1,78 \text{ cm}^2 > 1,3 \text{ cm}^2$.

Kết luận: đối với nhịp 2 không cần bố trí thêm thép gia cường, $\emptyset 12-15$ hiện có đủ chịu lực.

Tại nhịp 1 ta có cốt thép tính ra là $a_s = 28 \text{ cm}^2$, cốt thép này chúng ta bố trí thành 3 hàng, mỗi hàng 2 $\emptyset 25$, khoảng cách các hàng từ tim đến tim là 10cm



Ngoài ra Eurocode yêu cầu phải bố trí cốt thép dọc để chịu tất cả các lực tác dụng tại chân tường bao gồm:

Tải sàn tầng 2 (= trần tầng 1) + tải bản thân tường phải có cốt thép dọc chịu lực

Tải sàn tầng 2 (= trần tầng 1) chúng ta đã tính ở trên:

tải bản thân sàn = $0,2 \cdot 25 \cdot 6 = 30 \text{ kN/m}$

tĩnh tải = $2 \cdot 6 = 12 \text{ kN/m}$

hoạt tải = $4 \cdot 6 = 24 \text{ kN/m}$

và tải bản thân tường = $0,25 \cdot 3,5 \cdot 25 = 22 \text{ kN/m}$

→ tải tính toán $F_{Ed} = 1,35 \cdot (30 + 12 + 22) + 1,5 \cdot 24 = 123 \text{ kN/m}$

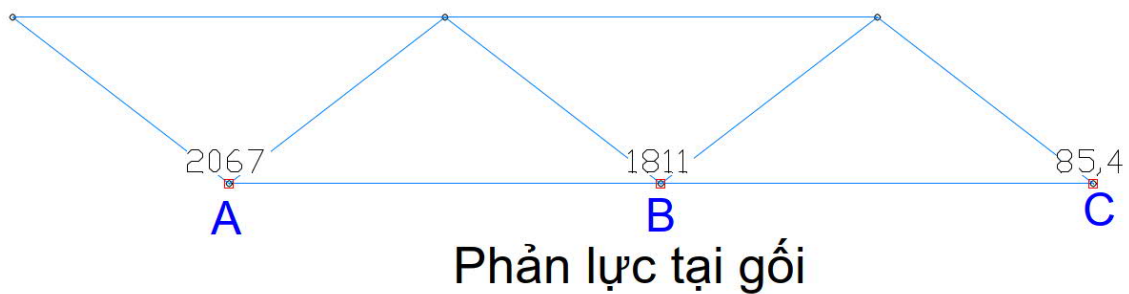
Cốt thép dọc mỗi bên tường phải chịu (thép chạy dọc theo chiều cao tường)

$$A_{s,required} = \frac{123 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{2 \cdot 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 1,41 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} < \phi 12 - 15 = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Kết luận: không cần bố trí thêm thép dọc để chịu lực tác dụng tại chân tường.

Kiểm tra khả năng chịu lực tại nút:

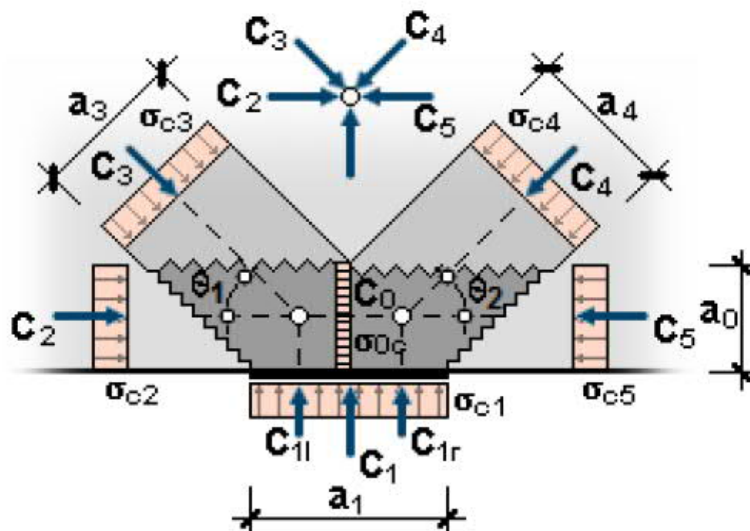
Tại gối giữa (gối B) là nơi tập trung của rất nhiều phản lực: lực kéo, nén trong các thanh sơ đồ giàn + phản lực tại gối B, do đó ta phải kiểm tra khả năng chịu lực của kết cấu tại nút B này



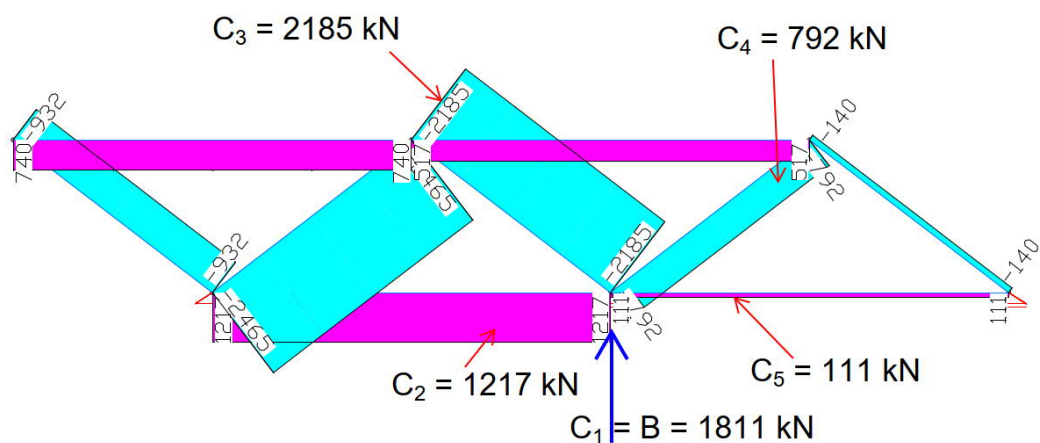
Góc θ_1 và θ_2 trong sơ đồ nút ở trạng tiếp theo bằng nhau

$$\theta_1 = \theta_2 = \arctan\left(\frac{2,3}{3}\right) = 37,5^\circ$$

Sơ đồ nút B được cho trong hình dưới đây:



Lực tập trung tại nút từ C₁ đến C₅ được cho ở hình dưới (nội lực thanh đã bao gồm hệ số vượt tải safety factor)



Cường độ chịu nén của bê tông tại nút B được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 * v' * f_{cd}$$

Trong đó hệ số $k_2 = 0,75$ và $v' = 1,0$, đối với C40/50 ta có $f_{cd} = 0,85 * 40 / 1,5 = 22,6 \text{ N/mm}^2$

Lắp vào công thức ta có:

$$\sigma_{Rd,max} = 0,75 * 1,0 * 22,6 = 16,95 \text{ N/mm}^2$$

Kích thước a_1 = bề rộng cột = 450mm

$$\sigma_{Ed,1} = \frac{B}{a_1 * b}$$

Với B = phản lực tại gối = 1811 kN (đã bao gồm hệ số an toàn 1,35 cho tĩnh tải và 1,5 cho hoạt tải)

b = kích thước của cột theo vuông vuông góc với mặt phẳng vẽ, ở đây ta có cột 45x45 → b = 45cm

Kiểm tra ứng suất với chiều dài a_1

$$\sigma_{Ed,1} = \frac{1811}{45 * 45} = 0,89 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Ed,1} = \sigma_{Rd,max} = 1,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \rightarrow ok$$

Kích thước a_0

$$a_0 = \frac{a_1}{2} * \tan \theta_2 \text{ với } \theta_2 = \arctan\left(\frac{2,3}{3}\right) = 37,5^\circ$$

$$a_0 = \frac{450}{2} * \tan 37,5^\circ = 173 \text{ mm}$$

Kiểm tra ứng suất với chiều dài a_0

$$\sigma_{Ed,0} = \frac{\max(C_2; C_5)}{a_0 * b} = \frac{1217}{17,3 * 45} = 1,56 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{Rd,max} = 1,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \rightarrow ok$$

Kích thước $a_4 (= a_3)$

$$a_4 = \left(\frac{a_1}{2} + \frac{a_0}{\tan \theta_2}\right) * \sin \theta_2 = \left(\frac{450}{2} + \frac{173}{\tan 37,5^\circ}\right) * \sin 37,5^\circ = 274 \text{ mm}$$

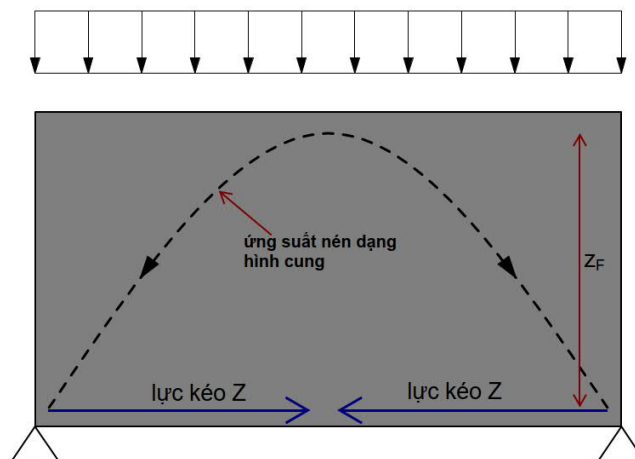
Kiểm tra ứng suất với chiều dài $a_4 (= a_3)$

$$\sigma_{Ed,4} = \frac{\max(C_3; C_4)}{a_4 * b} = \frac{2185}{27,4 * 45} = 1,77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \sigma_{Rd,max} = 1,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{không đạt}$$

Biện pháp khắc phục: ví dụ tăng kích thước cột chiều vuông góc với mặt phẳng vẽ từ $b = 45 \rightarrow b = 50 \text{ cm}$

Đối với cấu kiện tường W2 cách làm cũng tương tự

Sơ đồ phân bố ứng suất của tất cả các cấu kiện diaphragm beam dưới tác dụng của tải trọng (tải tập trung, phân bố đều) đều có dạng sau:



Dưới tác dụng của tải trọng trong tấm tường sẽ xuất hiện ứng suất nén dạng hình cung đi về hai gối, để sơ đồ giàn ảo này ở trạng thái cân bằng lực thì ở mép dưới tấm tường theo phương ngang sẽ xuất hiện lực kéo Z $\rightarrow$ tương đương với việc bố trí cốt thép chịu kéo

Đối với cấu kiện dầm dạng bản W2 có sơ đồ kết cấu dầm 1 nhịp với khẩu độ $L = 6,0 \text{ m}$ và chiều cao dầm $h = 3,5 \text{ m}$ = chiều cao tầng thì công thức xác định cánh tay đòn z_F được cho như sau:

$$z_F = 0,3 * h * \left(3 - \frac{h}{l}\right) \text{ nếu } \frac{1}{3} < \frac{h}{l} < 1,0$$

$$z_F = 0,6 * l \text{ nếu } \frac{h}{l} \geq 1,0$$

ở đây ta có $1/3 < h/l = 3,5/6 = 0,58 < 1,0 \rightarrow z_F = 2,54 \text{ m}$

nội lực cho cấu kiện diaphragm beam chúng ta được phép áp dụng lý thuyết như đối với cấu kiện dầm chịu uốn thông thường

đối với W2 thì mô men tại giữa nhịp được xác định như sau:

$$M_{max} = \frac{q * l^2}{8} = \frac{(1,35 * 100 + 1,5 * 36) * 6^2}{8} = 851 \text{ kNm}$$

Lực kéo Z tại mép dưới dầm:

$$Z = \frac{M}{z_F} = \frac{851}{2,54} = 335 \text{ kN} \rightarrow \text{cốt thép} = \frac{335}{43,5} = 7,7 \text{ cm}^2 \rightarrow 2\text{Ø}25$$

Ngoài ra còn phải bố trí cốt thép bề mặt, thép đứng chịu lực tại chân tường, tương tự như đã tính với W1 ta có ở đây thép lưới bề mặt cấu tạo cho mỗi bên = Ø12-15

Hình bên dưới là kết quả nếu chúng ta mô hình cấu kiện diaphragm beam trong FEM, kết quả tính trong phần mềm xác nhận lý thuyết ứng suất nén dạng hình cung chúng ta đã nêu ở trên là hoàn toàn có cơ sở

màu xanh: ứng suất nén

màu đỏ: ứng suất kéo

