
CHƯƠNG 5

TÍNH TOÁN KẾT CẤU NHÀ NHIỀU TẦNG

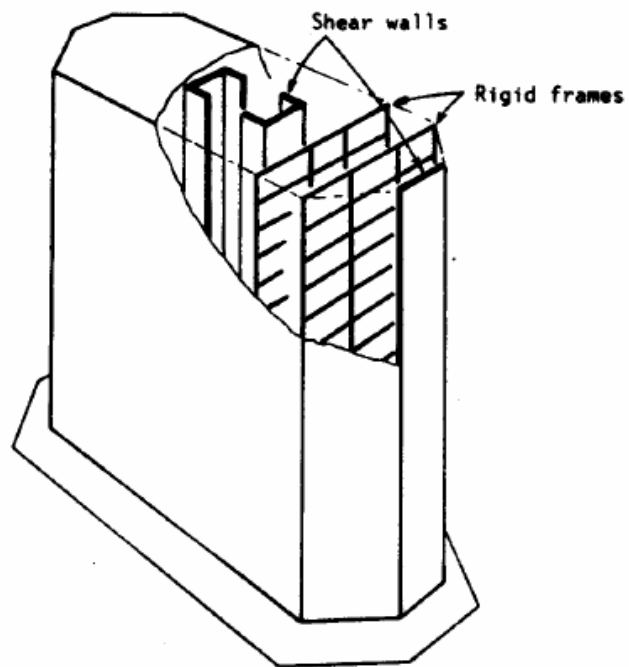
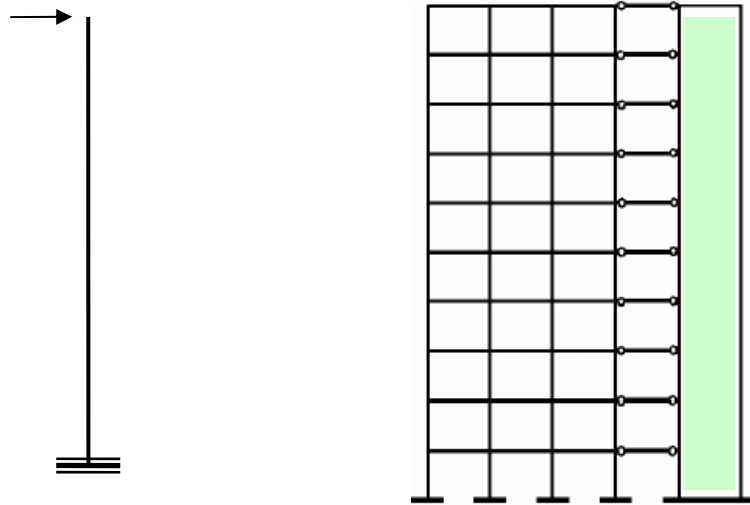
I. Các khái niệm chung

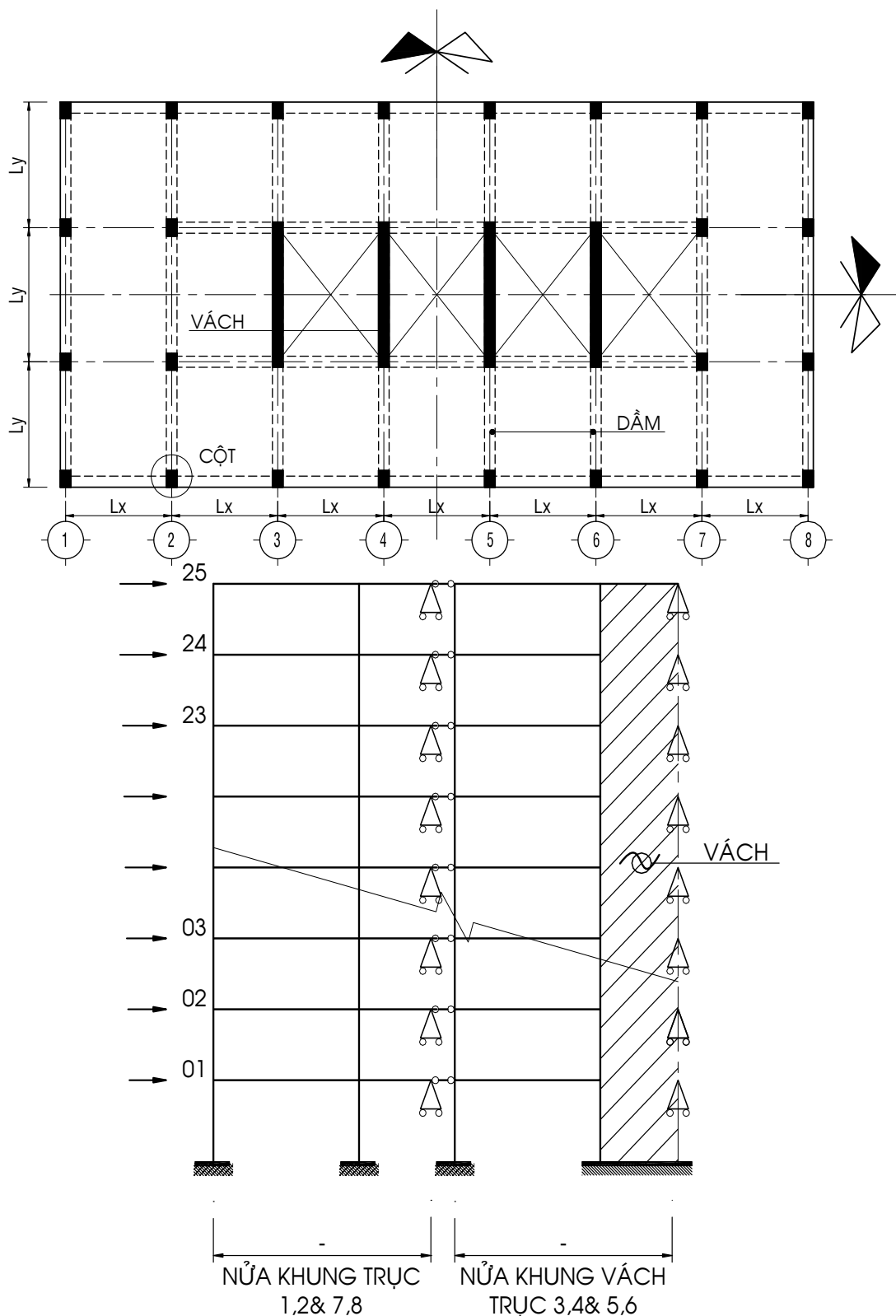
2.1 Giả thiết tính toán

Tính toán kết cấu nhà nhiều tầng là việc xác định trạng thái ứng suất – biến dạng trong từng hệ kết cấu, từng bộ phận kết cấu cho đến từng cấu kiện chịu lực dưới tác động của mọi loại tải trọng tác dụng lên công trình. Ở đây chủ yếu xét đến phản ứng của hệ kết cấu thẳng đứng (khung, vách lõi) dưới tác dụng của các loại tải trọng ngang;

Hầu như trong các loại nhà cao đến 30 tầng đều kết hợp sử dụng của ba hệ kết cấu khung, vách, lõi chịu lực. Việc lựa chọn và giả thiết sơ đồ tính không những phải phù hợp với thực tế bố trí, cấu tạo của các cấu kiện chịu lực mà còn phải thỏa mãn điều kiện về sự cùng làm việc của các hệ kết cấu – vốn khác nhau về hình dạng, kích thước hình học, độ cứng. Mọi giả thiết thường chỉ phù hợp với từng mô hình tính toán và không có giả thiết chung cho mọi sơ đồ tính toán. Giả thiết nào phản ánh được mối quan hệ truyền lực giữa các hệ với nhau thông qua các giải pháp thiết kế, cấu tạo sẽ được xem là phù hợp và cho kết quả đáng tin cậy. Thường dùng các giả thiết sau:

- ❑ *Sơ đồ tính toán một chiều:* công trình được mô hình hóa dưới dạng một thanh console thẳng đứng. Độ cứng của nó được xác định từ điều kiện chống uốn, trượt và xoắn của công trình. Giả thiết này tương đối đơn giản nhưng không phản ánh đúng thực tế chịu lực của cả hệ. Giả thiết này thuận tiện cho việc xác định các đặc trưng động học của công trình.
- ❑ *Sơ đồ tính toán hai chiều:* công trình được mô hình hoá dưới dạng một kết cấu phẳng với ngoại lực nằm trong mặt phẳng đó. Theo giả thiết này, mỗi hệ kết cấu chỉ tiếp thu một phần tải trọng ngang thông qua các thanh giằng có liên kết khớp hai đầu. Các thanh giằng ngang này chính là mô hình của hệ kết cấu dầm sàn. Sơ đồ này được dùng rộng rãi nhất vì tương đối đơn giản lại xét đến tác động tương hỗ giữa các cấu kiện thẳng đứng.
- ❑ *Sơ đồ tính toán 3 chiều:* công trình xem như một hệ (thanh, vách) không gian, chịu tác động của hệ lực không gian.





2.2 Các phương pháp tính toán

Trên cơ sở các sơ đồ tính toán, chúng ta có thể chọn lựa nhiều pp khác nhau trong CHKC và trong toán học để xác định nội lực và chuyển vị trong hệ và trong từng cấu kiện chịu lực;

Các phương pháp trong CHKC như: PP lực, chuyển vị, PP lực –chuyển vị vẫn được sử dụng có hiệu quả cho từng trường hợp cụ thể. Các PP vi phân, biến phân để

giải các hệ phương trình bậc cao còn được sử dụng để giải các sơ đồ giằng, khung giằng.

Trong số các PP tính toán nhà nhiều tầng hiện nay, PP. PTHH được sử dụng rộng rãi hơn cả vì hầu hết các phần mềm tính toán đều sử dụng PP này.

2.3 Các bước tính toán

- Chọn sơ đồ tính toán;
- Xác định các loại tải trọng;
- Xác định các đặc trưng hình học và độ cứng kết cấu;
- Phân phối tải trọng ngang vào các hệ kết cấu chịu lực;
- Xác định nội lực, chuyển vị trong từng cấu kiện;
- Kiểm tra điều kiện bền, chuyển vị và các đặc trưng động;
- Kiểm tra ổn định cục bộ, tổng thể công trình.

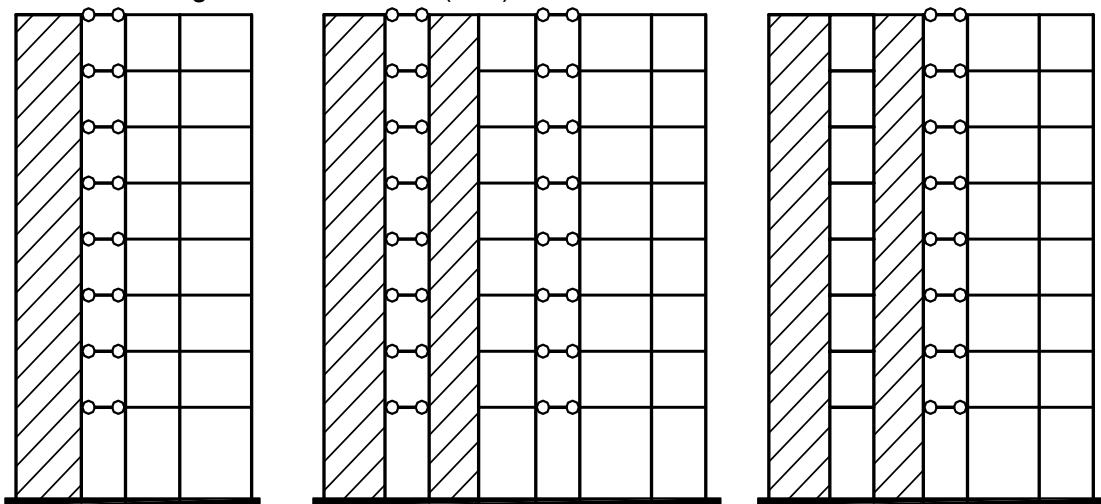
II. Tính toán hệ chịu lực theo sơ đồ phẳng

2.1 Hệ khung –vách

Trong nhà nhiều tầng, hệ chịu lực khung vách thường được bố trí song song với nhau theo một hay hai phương trên mặt bằng nên có thể dùng sơ đồ khung giằng để tính toán cho toàn hệ

Tùy theo cấu tạo của vách cứng, có thể có các sơ đồ sau:

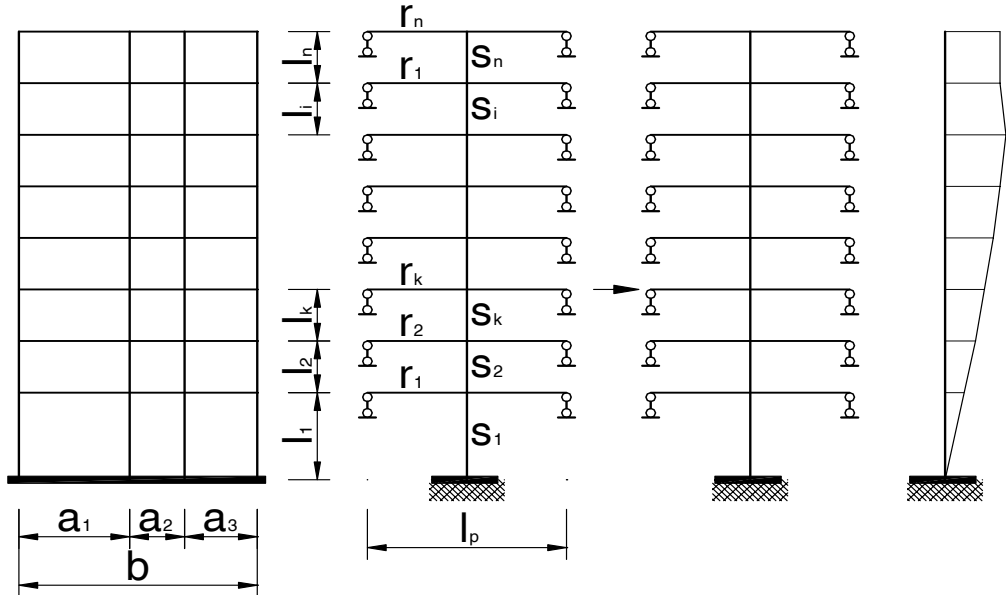
- Khung –vách đặc (h. a)
- Khung –vách đặc và vách liên khung (h. b)
- Khung –vách có lỗ cửa (h. c)



Trước khi tính toán cả hệ, ta xem xét sự làm việc độc lập của hệ khung nhiều tầng nhiều nhịp dưới tác dụng của tải trọng ngang

a/ Chuyển vị ngang của khung nhà nhiều tầng

Khi tính toán chuyển vị ngang của của khung nhà nhiều tầng dưới tác dụng của tải trọng ngang có thể xem một cách gần đúng rằng góc xoay của các nút trên cùng một một xà ngang là bằng nhau. Như vậy, có thể đơn giản hóa sơ đồ tính chuyển vị của khung như sau:



Gọi s_i là tổng độ cứng đơn vị của các cột tầng thứ i ; r_i –tổng độ cứng đơn vị của các xà ngang của tầng thứ i ; l_p –giá trị trung bình các nhịp của xà ngang; l_i –chiều cao tầng thứ i và n –số tầng của khung.

Trong sơ đồ trên, chuyển vị ngang do $P = 1$ được tính:

$$\delta_{11} = \frac{1}{12} [s_1 + r_1]; \quad (5.1)$$

$$\delta_{kk} = \frac{1}{12} \left[s_k + r_k + \frac{l_k^2}{4 \cdot r_k} \right]; \quad (5.2)$$

$$\delta_{ki} = \delta_{ik} = \delta_{k,k+1} = \dots = \delta_{kn} = \delta_{kk} + \frac{l_k \cdot l_{k+1}}{48 \cdot r_k} \quad (5.3)$$

Trong đó,

$$S_k = \sum_{i=1}^k \frac{l_i^2}{s_i}; \quad (5.4)$$

$$R_1 = \frac{l_1^2}{4 \cdot r_1 + 0.33 \cdot s_1}; \quad R_2 = \frac{(l_1 + l_2)^2}{4 \cdot r_1 + 0.33 \cdot s_1}; \quad (5.5)$$

Và
$$R_k = R_{k-1} + \frac{(l_{k-1} + l_k)^2}{4 \cdot r_{k-1}}; \quad k = 3, 4, 5 \dots \quad (5.6)$$

Trong các công thức trên, số hạng s_k biểu thị ảnh hưởng độ cứng của cột đến chuyển vị của khung; còn r_k biểu thị ảnh hưởng độ cứng của xà ngang

Chuyển vị ngang của khung ở tầng thứ k do tải trọng ngang đặt ở tất cả các tầng:

$$y = \delta_{k1} \cdot P_1 + \delta_{k2} \cdot P_2 + \dots + \delta_{kn} \cdot P_n \quad (5.7)$$

Khi số tầng $n \geq 6$, có thể tính chuyển vị ngang theo công thức sau:

$$y = \sum_{i=1}^k Q_i \cdot c_i; \quad i \leq k \quad (5.8)$$

Trong đó,
$$Q_k = \sum_{i=k}^n P_i, \quad i \geq k \quad (5.9)$$

c_i – độ lệch của tầng do lực đơn vị tác dụng theo phương ngang đối với khung nhà nhiều tầng, có kết cấu đều đặn với độ cứng đơn vị s và r giống nhau ở tất cả các tầng có thể được xác định:

$$c = \frac{1^2}{12} \times \left[\frac{1}{s} + \frac{1}{r} \right] \quad (5.10)$$

Gọi A là độ cứng chống trượt của khung (tức lực gây nên góc lệch $\varphi = \frac{A.c}{1} = 1$),

Ta có:
$$A = \frac{1}{c} \quad (5.11)$$

Suy ra,
$$A = \frac{12}{1 \times (s^{-1} + r^{-1})}; \quad (5.12)$$

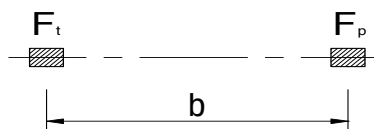
Khi số tầng $n \geq 6$, có thể tính chuyển vị ngang của khung được biểu diễn bằng phương trình vi phân sau:

$$B.y^{IV} - A.v^2.y'' - \frac{A.M_0}{B_0} - p(x) = 0 \quad (5.13)$$

Trong đó, $B = \sum B_j$ - tổng độ cứng chống uốn của cột;

B_0 – độ cứng chống uốn của khung khi chỉ kể đến hai cột biên.

$$B_0 = E_b \cdot \frac{F_t \cdot b^2}{1 + \frac{F_t}{F_p}}; \quad (5.14)$$



Trường hợp khung đối xứng, $F_t = F_p = F$, ta có: $B_0 = E_b \cdot \frac{F \times b^2}{2}$

$$v^2 = 1 + \frac{B}{B_0}; \quad (5.15)$$

M_0 – mô-men ngoại lực ở độ cao x ;

Đặt $\omega = B.y$ và $m = \sqrt{\frac{B}{A.v^2}}$, ta có phương trình:

$$m^2.\omega^{IV} - \omega'' - \frac{v^2 - 1}{v^2}.M_0 - m^2.p(x) = 0 \quad (5.16)$$

Nghiệm của phương trình (3.20) có dạng:

$$\omega = C_1 + C_2.m.\varphi + C_3.ch\varphi + C_4.sh\varphi + C_0$$

Với

C_i – các hằng số tích phân;

C_0 – nghiệm riêng, phụ thuộc vào dạng tải trọng;

$\varphi = \frac{x}{m}$, tọa độ không thứ nguyên.

- Đối với những khung thông thường, có thể bỏ qua số hạng thứ nhất của (3.17) và $v^2 = 1$, vì $\frac{B}{B_0} \approx 0$. Khi đó, (3.17) có dạng:

$$A \cdot y'' + \frac{A \cdot M_0}{B_0} + p(x) = 0 \quad (5.17)$$

- Các điều kiện biên,
- + $y(0) = 0$; và $A \cdot y'(0) = Q_0(0)$
- + Khi tải trọng phân bố đều, $p(x) = p$, suy ra:
 $M_0 = -0.5p(H - x)^2$

Giải phương trình vi phân (3.23), với các điều kiện biên ở trên, ta được chuyển vị ngang của khung như sau:

$$y = \frac{pH^2}{2A} (2\xi - \xi^2) + \frac{pH^4}{8B_0} \left(2\xi^2 - \frac{4}{3}\xi^3 + \frac{\xi^4}{3} \right) \quad (5.18)$$

Ở đây,

$$\xi = \frac{x}{H} \text{ - tọa độ không thứ nguyên;} \quad (5.19)$$

H –chiều cao tính toán của ngôi nhà,

$$H = H_0 \times \frac{n}{n - 0.5}. \quad (5.20)$$

H_0 –khoảng cách từ mặt trên của móng đến trục của xà ngang trên cùng;

- Tại đỉnh khung, $\xi = 1$, chuyển vị ngang:

$$y = \frac{pH^2}{2A} + \frac{pH^4}{8B_0} = \frac{pH^2}{2A} \left[1 + \frac{\lambda_p^2}{4} \right] \quad (5.21)$$

Với, λ_p -đặc trưng độ cứng của khung, có xét đến ảnh hưởng của lực dọc trong cột,

$$\lambda_p = H \sqrt{\frac{A}{B_0}} \quad (5.22)$$

Kết quả nghiên cứu cho thấy, khi $\lambda_p \leq 0.7$, có thể bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc trong cột và trong tính toán lấy, $v^2 = 1$

Ví dụ tính toán

2.2 Hệ khung –vách (đặc)

Xét trường hợp hệ vách đặc giằng với khung theo sơ đồ khung giằng. Từ giả thiết sàn có độ cứng vô cùng trong mặt phẳng, khung và vách có cùng chuyển vị ngang, nên độ cứng của hệ được viết như sau:

$$B = \sum B_j + B_v \quad (5.23)$$

Với $\sum B_j$, tổng độ cứng cột khung; B_v -tổng độ cứng của vách cứng;

Khi tổng độ cứng cột khung quá nhỏ so với tổng độ cứng vách có thể xem $B = B_v$, như vậy hệ có đường cong uốn tuân theo phương trình:

$$m^2 \cdot \omega^{IV} - \omega'' - \frac{v^2 - 1}{v^2} \cdot M_0 - m^2 \cdot p(x) = 0 \quad (5.24)$$

Và lời giải có dạng:

$$\omega = C_1 + C_2 \cdot m \cdot \varphi + C_3 \cdot \text{ch}\varphi + C_4 \cdot \text{sh}\varphi + C_0$$

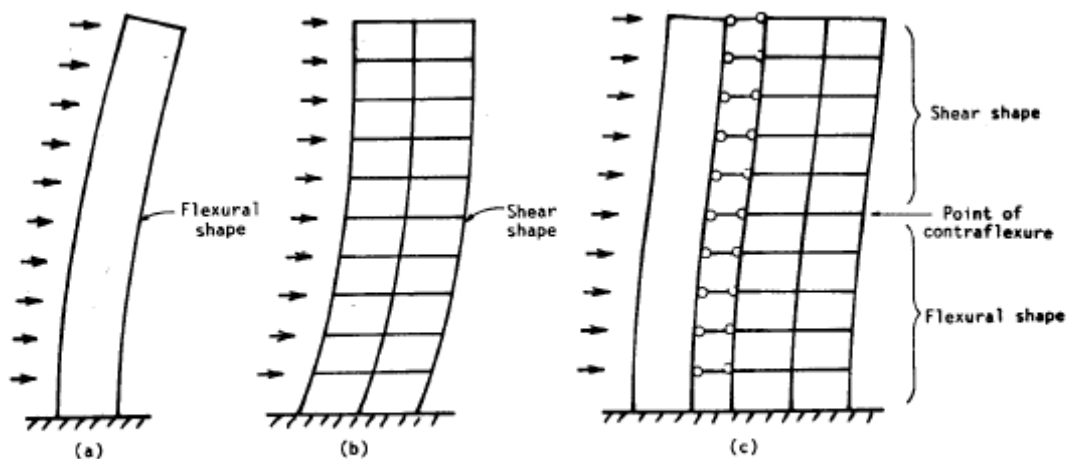


Figure 27: Interaction of shear wall - frame structure and behavior of components.

Điều kiện biên:

$$\begin{aligned} + \omega(0) &= 0; && // \text{chuyển vị tại chân ngàm} \\ + \omega'(0) &= 0; && // \text{góc xoay} \\ + -\omega'''(0) &= Q_0(0); && // \text{lực cắt} \\ + \omega''(\lambda) &= 0. && // \text{mô-men tại đỉnh} \end{aligned}$$

Để tìm lời giải riêng C_0 , xét trường hợp tải trọng ngang phân bố đều theo chiều cao $p(x) = p$, ta có mô-men uốn và lực cắt:

$$M_0 = -0.5pH^2(1-\xi)^2 \quad \text{và} \quad Q_0 = pH(1-\xi)^2 \quad (5.25)$$

Suy ra:

$$C_0 = -\frac{p \cdot s^4 \cdot \varphi^2}{2 \cdot v^2} + \frac{p \cdot s^4 \cdot \lambda^4 (v^2 - 1)}{2 \cdot v^2} \times \left[\frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi^3}{3} + \frac{\xi^4}{12} \right]$$

Từ các điều kiện biên, ta xác định được các hằng số tích phân, C_i . Thay vào biểu thức xác định ω , ta được:

$$\omega = \frac{p \cdot s^4}{v^2} \left[\lambda \varphi - \frac{\varphi^2}{2} + \chi \cdot \text{ch}\varphi - \chi \cdot \text{sh}\varphi - \chi + \frac{\lambda^4 (v^2 - 1)}{2} \times \left(\frac{\xi^2}{2} - \frac{\xi^3}{3} + \frac{\xi^4}{12} \right) \right] \quad (5.26)$$

- Tại đỉnh của hệ, $\varphi = 1$ và $\xi = 1$, độ võng tại đỉnh hệ:

$$f = \frac{p \cdot H^4}{2v^2 \lambda^2 B} \times \left[1 - \frac{2(\chi - 1)}{\lambda^2} + \frac{\lambda^2 (v^2 - 1)}{4} \right] \quad (5.27)$$

Khi xác định nội lực trong hệ, ta sử dụng quan hệ:

$$dx = s \cdot d\varphi = H d\xi \quad \text{và} \quad \lambda \cdot s = H$$

- Mô-men uốn trong vách:

$$M_v = -\omega'' = \frac{pH^2}{v^2} \left[\frac{1}{2}(1-\xi)^2(v^2-1) - \frac{1}{\lambda^2}(1-\chi \cdot \text{ch}\varphi + \lambda \cdot \text{sh}\varphi) \right] \quad (5.28)$$

- Lực cắt trong vách:

$$Q_v = M' = \frac{pH}{v^2} \left[(1-\xi)(v^2-1) + \text{ch}\varphi - \frac{\chi}{\lambda} \text{sh}\varphi \right] \quad (5.29)$$

- Lực cắt trong cột khung:

$$Q_p = Q_0 - Q = \frac{pH}{v^2} \left[(1-\xi) - \text{ch}\varphi + \frac{\chi}{\lambda} \text{sh}\varphi \right] \quad (5.30)$$

- Lực dọc trong các cột biên của khung xác định từ phương trình cân bằng mô-men:

$$N = \frac{M_0 - M}{b} = -\frac{pH}{b \cdot v^2} \left[\frac{1}{2}(1-\xi)^2 + \frac{1}{\lambda^2}(1-\chi \cdot \text{ch}\varphi - \lambda \cdot \text{sh}\varphi) \right] \quad (5.31)$$

Mô-men uốn, lực cắt của hệ được cắt của hệ được phân phối, vào các vách tỷ lệ với độ cứng của chúng

Biểu đồ nội lực và chuyển vị của hệ được thể hiện như hình sau:

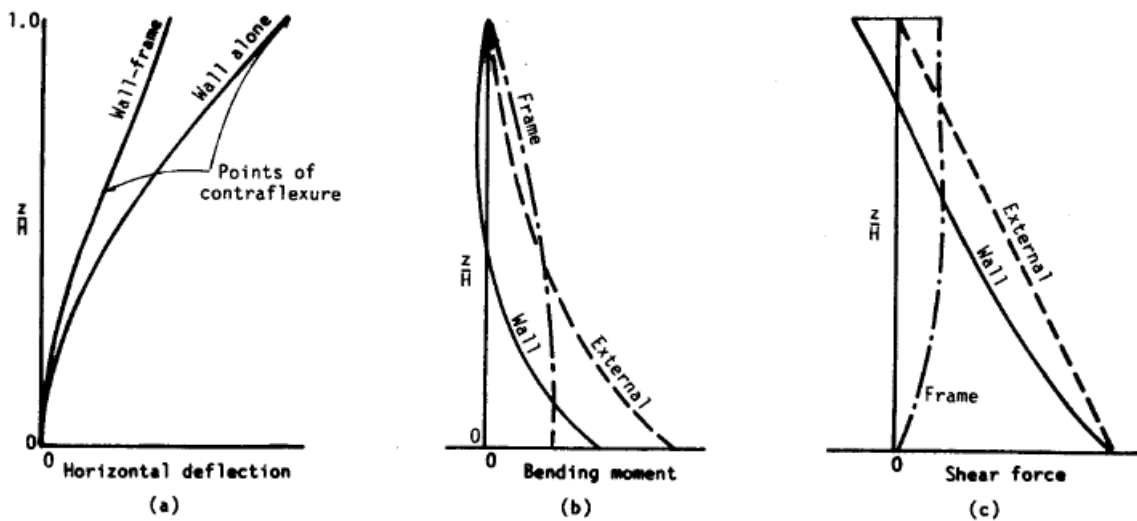
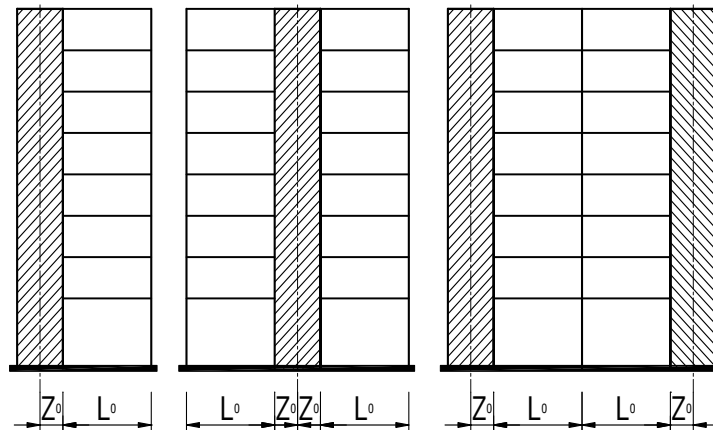


Figure 5.28: Deflection, bending moment and shear in the wall-frame structure.

2.3 Tính toán hệ khung –vách liền khung



- Đây là dạng kết cấu có sơ đồ hỗn hợp vì trong cùng một trục vừa có vách cứng và vừa có khung

Đối với các vách liên khung, ta chỉ cần xác định tổng độ cứng của hệ cho từng trường hợp cụ thể rồi tiến hành tính toán tương tự như hệ vách đặc

Tổng độ cứng của hệ trong trường hợp chung được xác định:

$$B = B_k + B_{vk}, \text{ hoặc } B \approx B_{vk} \quad (5.32)$$

Với B_{vk} – tổng độ cứng của vách liên khung. Độ cứng uốn của vách liên khung bao gồm độ cứng của vách và phần khung. Để xác định độ cứng uốn của phần khung thuộc vách ta phải xét đến các biến dạng đàn hồi của các nút liên kết giữa vách và dầm. Độ cứng này gọi là độ cứng trượt, xác định theo công thức:

$$A_{vk} = \frac{3i_d(1 + \eta_0)[i_d(1 + \eta_0) + 6i_c(1 + 2\eta_0)]}{l(i_d + 3i_c)} \quad (5.33)$$

Trong đó,

i_d – độ cứng tương đối của dầm khung liên vách (độ cứng trên 1m dài của dầm khung trong 1 tầng);

i_c – độ cứng tương đối của cột khung liên vách;

$$\eta_0 = \frac{Z_0}{I_d} \quad (5.34)$$

L – chiều cao tầng

Trường hợp khung liên vách hai phía độ cứng A_{vk} tăng lên gấp đôi. Nếu khung ở giữa hai vách độ cứng trượt cũng được nhân đôi nhưng giá trị i_c nhân 0.5.

Độ cứng của hệ khung vách có vách liên khung bằng tổng độ cứng các khung và vách liên khung:

$$A = \frac{12}{l(s^{-1} + r^{-1})} + A_{vk} \quad (5.35)$$

Trong khung nhà nhiều tầng có $\lambda_p < 0.7$, lực dọc trong cột ít ảnh hưởng đến kết cấu.

Trường hợp này lấy $v^2 = 1$, nội lực và chuyển vị hệ khung vẫn được xác định như kết cấu khung vách đặc

Tổng lực cắt của hệ được phân phối vào cột khung (Q_{khung}) và cho vách cứng hỗn hợp (Q_{vk}) tỷ lệ với độ cứng trượt của chúng:

$$Q_{khung} = Q \times \left[\frac{(A - A_{vk})}{A} \right], \text{ và } Q_{vk} = Q \times \left[\frac{A_{vk}}{A} \right] \quad (5.36)$$

Mô-men tại đầu mút của xà ngang liên vách phụ thuộc vào Q_d và xác định như sau:

$$M_d = \frac{3i_d(1 + \eta_0) \left[6 + \left(\frac{i_d}{i_c} \right) \right]}{3 + \left(\frac{i_d}{i_c} \right)} \times \frac{Q_d}{A} \quad (5.37)$$

và tại trục cột:

$$M_c = \frac{18i_d(1 + \eta_0)}{3 + \left(\frac{i_d}{i_c} \right)} \times \frac{Q_d}{A} \quad (5.38)$$

Mô-men uốn của cột khung liên vách lấy bằng một nửa mô-men đầu mút xà ngang liên kề.

2.4 Tính toán nội lực đối với nhà có sơ đồ vách cứng và lỗ cửa

Trong thực tế thường hay gặp các vách cứng có lỗ cửa. Trong trường hợp này các cột tường thường có mô-men quán tính lớn hơn nhiều các lanh tô. Tùy thuộc vào tỷ lệ kích thước các lỗ cửa mà những vách cứng có một dãy lỗ cửa thường có ba kiểu biến dạng đặc trưng được thể hiện như hình 6.25

Về mặt toán học, có thể phân biệt ba kiểu biến dạng trên thông qua hệ số liên khối α (6.89):

Việc tính toán phân phối tải trọng ngang cho các vách cứng khác nhau trong trường hợp này được thực hiện như vách cứng đặc nhưng thay mô-men quán tính I_i bằng mô-men quán tính tương đương $I_{td,i}$.

Trong hệ vách cứng có lỗ cửa: cột sẽ là các vách cứng thành phần, có $s \gg r$

Độ cứng chống trượt của hệ khung:

$$A = \frac{12}{1 \times (s^{-1} + r^{-1})} \approx \frac{12}{1(r^{-1})} = \frac{12r}{1} \tag{5.39}$$

Với r = tổng độ cứng lanh cửa trong phạm vi 1 tầng

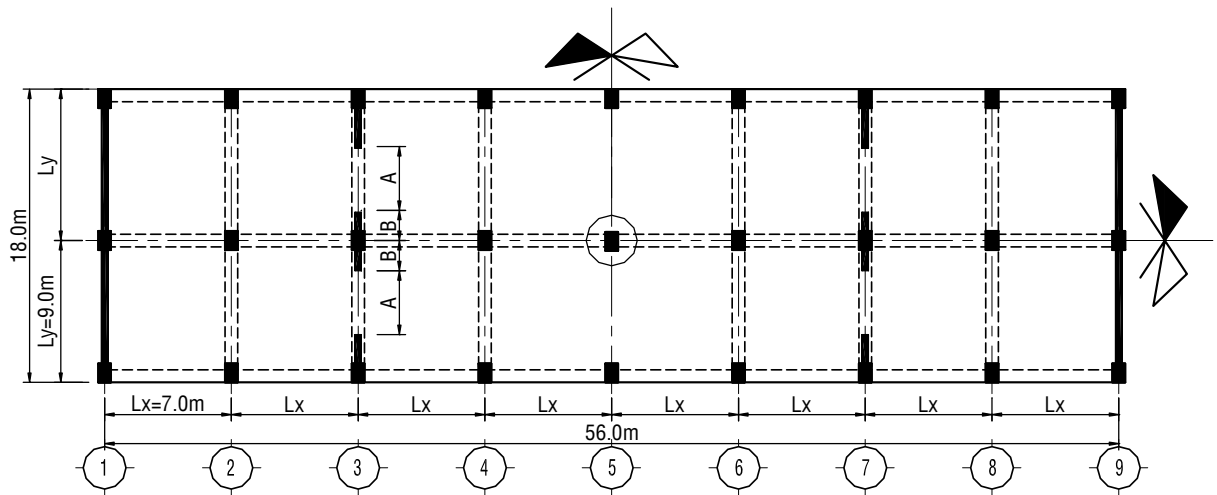
Nếu chỉ có một dải lanh tô cửa:

$$i_{lt} = \frac{B_{lt} \times \gamma^3}{a.k}, \tag{5.40}$$

với $B_{lt} = E_b \times \frac{L_{lt} \cdot h_{lt}^3}{12}$; $k = 1 + 2.4 \left(\frac{h_{lt}}{a_0} \right)^2$ và $\gamma = \frac{a}{a_0} > 1$ (5.41)

Sau khi có A suy ra ω, y, M, N, Q .

Ví dụ



Khung kết hợp với tường cứng

KHUNG KẾT HỢP VỚI TƯỜNG CỨNG (Tường - diafrác)

Tác động qua lại của khung cứng và tường cứng sẽ được xem xét trong khuôn khổ của các ví dụ sau đây. Để xác định phân tải trọng ngang được tiếp nhận bởi mỗi hệ kết cấu chịu lực cần phải nghiên cứu sơ đồ làm việc riêng của chúng (Hình IV.17).

Ví dụ VI.7

Nhà khung 15 tầng (xem ví dụ VI.5) được gia cường bằng 2 tường bê tông cốt thép của lõi cứng (hình VI.54). Cường độ bê tông cốt thép $f_c = 281,6 \text{ KG/cm}^2$, mô đun đàn hồi $E = 2,53 \times 10^5 \text{ KG/cm}^2$. Xác định phần trăm tải trọng gió được tiếp nhận bởi mỗi hệ của kết cấu chịu lực.

Giả thiết rằng tải trọng gió chỉ do khung cứng tiếp nhận. Xác định tải trọng lên một khung $W = 7,62.54,9.0,098 = 40,8 \text{ T}$.

Độ võng lớn nhất của đỉnh khung cứng theo ví dụ VI.6 bằng

$$\Delta_f = 17,83 \text{ cm.}$$

Do đó, độ cứng của khung đối với uốn

$$k_f = \frac{P}{\Delta_f} = \frac{40,8}{17,83} = 2,28 \text{ T/cm (Hình III.7).}$$

Bây giờ nếu cho rằng tải trọng gió chỉ do tường bê tông cốt thép tiếp nhận thì tải trọng cho một tường là :

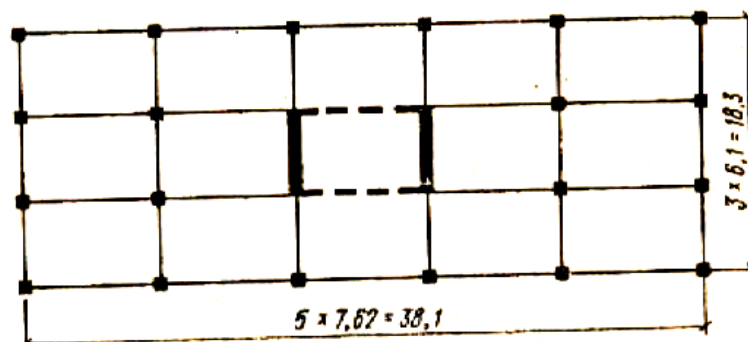
$$W = \frac{54,9 \cdot 38,12 \cdot 0,098}{2} = 101,9 \text{ T}$$

Ta cho rằng tường làm việc theo sơ đồ công xôn (hình VI.17,b) và dạng đó không thay đổi trong quá trình biến dạng. Khi đó độ võng lớn nhất

$$\Delta_w = \frac{WH^3}{8EI} = \frac{101,9 \cdot 1000 \cdot (54,9 \cdot 100)^3}{8 \cdot 2,53 \cdot 10^5 [30,48 \cdot 610^3/12]} = 14,5 \text{ cm.}$$

Độ cứng chịu uốn của tường :

$$K_w = \frac{P}{\Delta_w} = \frac{101,9}{14,5} = 7,04 \text{ T/cm}$$



Hình VI.54

Các thông số về độ cứng của khung và tường cứng là không đổi do tải trọng và chuyển vị được coi là tỷ lệ bậc nhất và không phụ thuộc vào giá trị thực của tải trọng đối với khung và tường.

Tổng độ cứng của nhà với 2 tường cứng và 4 khung :

$$\sum k_w + \sum k_f = 2 \cdot 7,04 + 4 \cdot 2,28 = 14,08 + 9,12 = 23,2 \text{ T/cm.}$$

Do vậy, tỷ lệ phần trăm tải trọng được tiếp bởi tường cứng khi sàn cứng tuyệt đối là :

$$\frac{\sum k_w}{\sum k_w + \sum k_f} \cdot 100 = \frac{14,08}{23,20} \cdot 100 = 60,62\%$$

và chỉ 39,38% tải trọng gió do 4 khung tiếp nhận. Nói chung, độ cứng của tường cứng lớn hơn độ cứng của khung rất nhiều và như tính toán được thực hiện đã chứng minh rằng tường chịu phần rất lớn tải trọng ngang.