

剪力墙结构协同 工作的简化计算

——北京前三门工程总结科研项目之一——

北京市建筑设计院

1977·10

前 言

随着高层建筑和大模、滑升、装配壁板各种施工工艺的发展，剪力墙的结构形式被广泛采用，北京市在前三门工程之后又将在西二环等主要干道上大量上马。因而在水平荷载作用下，如何合理而简便的分析计算这种结构已成为当前设计工作上的迫切需要。为此我院大模剪力墙体系标准定型设计研究组同志，在参加前三门工程实践过程中，在北京工业大学、前三门工程科研组、六建设计组、二建设计组等兄弟单位大力协作下，经过总结和研究，编制了这套剪力墙结构协同工作的简化计算。与国外流行的顶点位移协同的等效刚度方法相比，不仅考虑了各层的协同工作，而且解决了那些方法没有解决的壁式框架与其它剪力墙协同工作的问题。由于编制时间仓促又限于水平，缺点和不妥之处在所难免，请多提意见并予指正。

设计管理室

1977·10

目 录

页 次

Ⅰ 基本条件和假定	1
Ⅱ 计算图形	2
Ⅲ 方法概述	3
Ⅳ 符号说明	3.4
Ⅴ 计算步骤	5-11
Ⅵ 连系梁极限强度分析方法及计算步骤	12-14
Ⅶ 公式推导	14-26
Ⅷ 轴向变形影响的调正	27-32
Ⅸ 图表	
图表号 内容	
1.3.5 $(\frac{\Phi_m}{g})$ -角变系数	33.35.37
2.4.6 $(\frac{Y_m}{g-H})$ -位移系数	34.36.38
7.8. $f'(\xi)$ -剪切位移系数	39
9. a_i -自振周期系数	40
10. $(\frac{1}{g} \frac{ddm}{d\xi})$ -弯矩系数	41
11. C -有效线刚度系数	42.43
12. γ_q -剪切修正系数	44
13. $K_{fz} \cdot D_z$ -壁柱抗剪刚度	45-50
14.15.16 γ -反弯点高度比	51-59
17. η - K_f 的轴向变形调正系数	60.61
18.19.20 F -轴向变形的角变调正值	62.63.64.
Ⅹ 计算实例	65-77
参考资料	78

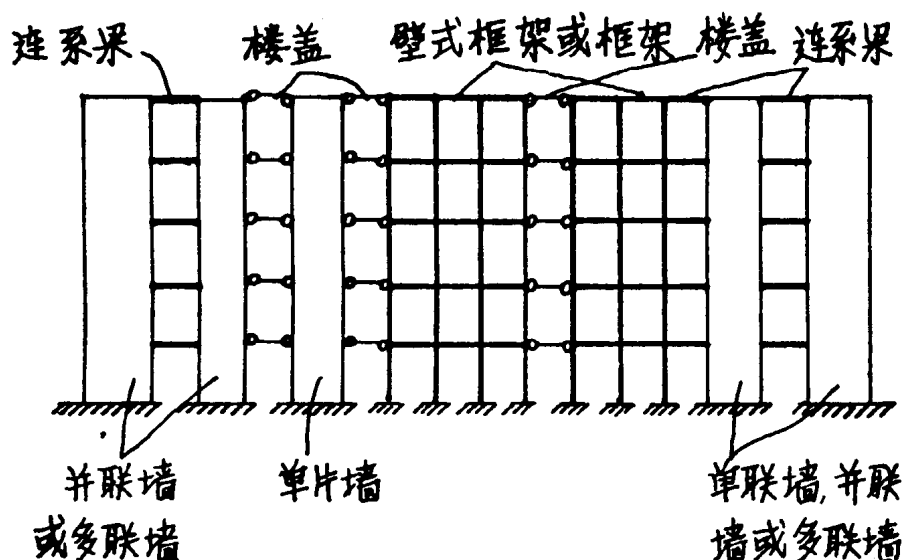
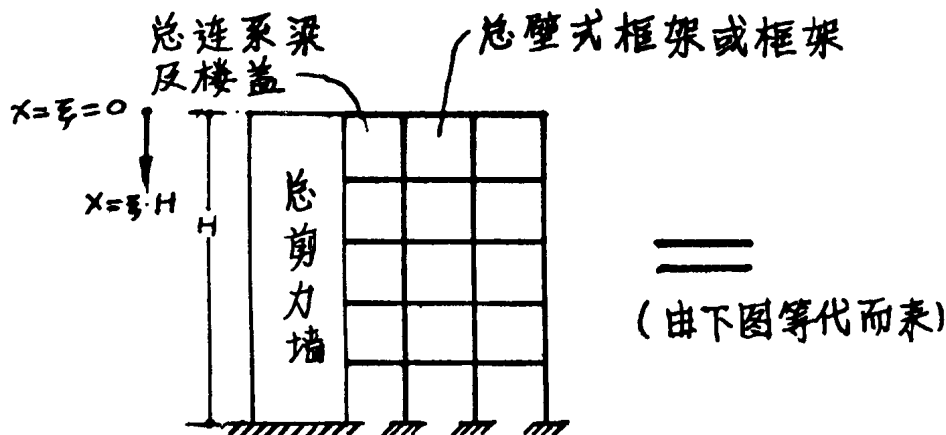
(北京前三门工程总结科研项目之一)

剪力墙结构协同工作的简化计算

I 基本条件和假定

- 一、所有剪力墙均与楼盖连结成整体;楼盖在自身平面内刚度极大,在各层楼层处所有剪力墙的水平位移协调一致。
- 二、在同一高度上各片剪力墙所承受的地震力和地震剪力之和应等于外来地震力和地震剪力。
- 三、层高、荷重沿竖向高度变化不大。结构刚度有变化时仍能采用本方法。
- 四、地震荷载的分布形式比较简单规则。
- 五、考虑了剪力墙,连系梁和壁式框架梁柱的弯曲及剪切变形;轴向变形当需要考虑时,可采用系数调正。(一般工程可不调正)
- 六、一般不用计算扭转的影响,当刚度中心与地震力中心偏离较大时,可按北京市建筑设计院所编“带抗震墙框架结构简化计算(续)——扭转修正的简化计算”一文中所介绍方法进行修正。
- 七、所有剪力墙(包括单片墙及有连系梁的单联,并联,多联墙)的作用等代为总剪力墙;所有连系梁的作用等代为总连系梁(包括墙与墙相连的连系梁及墙与壁式框架或普通框架相连的连系梁);所有壁式框架(或普通框架)等代为总壁式框架;它们的刚度为单个结构刚度之和。

II 计称图形



注: 各片墙本身可能是实体墙也可能是小洞口整体墙

在剪力墙结构的实际工程中横向计称时, 在每条平面轴线上的墙视洞口大小, 一般可分为不带连系梁的单片墙(当洞口很小成为小开口整体墙), 或带连系梁的并联墙、多联墙; 此时连系梁成为计称图形中的刚接连杆(对墙不仅有水平位移的约束, 而且有转动的约束), 而在不同平面轴线上的墙则通过楼盖连结起来协同工作, 此时楼盖成为铰接连杆(对墙仅有水平位移的约束)。

纵向计标时，在同一平面轴线上的内纵墙视洞口大小，一般也分为单片墙或并联墙、多联墙。在同一平面轴线上的外纵墙，对连续有较大洞口而墙肢又较小的部分可当作壁式框架，个别开间没有开洞的则当作与壁式框架相连的单联墙，而在不同平面轴线上的内外纵墙则通过楼盖连结起来协同工作，此时楼盖成为铰接连杆。

以上就一般工程情况而言，在少数情况中外横墙，内横墙以及内纵墙当洞口水平间距比较窄小时也有可能成为壁式框架的。

III 方法概述

本方法係北京市设计院所编“水平荷载作用下，框架—剪力墙体系协同工作的简化计标与图表”(资料(1))一文应用于剪力墙结构的发展，基本公式与图表均摘自该文。因而本文公式与图表也同样适用于框架——剪力墙结构。

通过解微分方程找出各片剪力墙在水平荷载作用下协同工作的共同变形： y_m （弯曲产生的位移）及 ϕ_m （弯曲产生的角变即 $\frac{dy_m}{dx}$ ）并制成曲线图表，每个工程根据各自的刚度和高度，可从图表上找到该工程剪力墙的一条角变和位移曲线，从已得角变就可直接标出各抗侧力结构（剪力墙和壁式框架）分配承受的水平剪力，并由此标出各项内力。

IV 符号说明

注意：为了和规范一致，将原有符号作了更改，为了方便参阅原有文件，原有符号写在()中一并列出。

H ——剪力墙总高度 M

h ——层高 M

$J(I)$ ——剪力墙惯性矩 M^4 (在原有文件中写作 I)

A ——剪力墙水平截面面积 M^2

E ——弹性模量 T/m^2 EJ —— 墙的弯曲刚度

G ——剪切模量 T/m^2 AG/μ —— 墙的剪切刚度

μ ——剪切变形系数, 近似取 $\mu = \frac{A}{A'}$ 但不小于 1.2

A ——全面积 (翼缘加腹板) A' ——腹板面积

W ——建筑物重量 T

$Q(V)$ ——水平荷载引起的剪力 T (在原有文件中写作 V)

M ——水平荷载引起的弯矩 $T-M$

ϕ ——水平力作用下墙的角度 rad .

X ——从墙顶往下量的垂直坐标 M

ξ ——从墙顶往下量的相对垂直坐标 ($\xi = \frac{X}{H}$)

Y ——垂直于 X 轴的水平坐标, 同时也表示水平位移 M

脚注: W 指剪力墙, f 指壁式框架, g 指连系梁,

$L(B)$ 指梁和壁梁, $Z(C)$ 指柱和壁柱, m 指弯曲影响, $Q(V)$ 指剪切影响, i 指第 i 层, j 指某片墙, 某个梁或某个柱。

例如: $Q_w(V_w)$ 表示总剪力墙承担的水平剪力 (总和)

M_g 表示作用于所有剪力墙重心线上的所有连系梁的约束弯矩 (总和)

m_g 表示沿墙单位高度上所有连系梁的约束弯矩 (总和)。在中间层, $m_g = \frac{M_g}{h}$

$Q_i(V_i)$ 表示水平荷载引起的第 i 层总剪力。

$G_{wj}(V_{wj}), (EJ)_j, (EI)_j, (AG/\mu)_j$ 分别表示某片墙 j 的水平剪力、弯曲刚度、剪切刚度。

$\phi_m, \phi_Q(\phi_v)$ 分别表示弯曲、剪切引起的墙的角度。

$Q_f(V_f), K_f$ 分别表示总壁式框架的水平剪力 (总和)、抗剪刚度 (总和) $K_f = \frac{Q_f}{\phi_f}$

$J_z(I_c), J_L(I_b)$ 分别表示壁柱 (或柱)、壁梁 (或梁) 的惯性矩。

K_g 表示沿墙单位高度作用在所有墙上连系梁的总旋转刚度 (总和)。

K_{gi} 表示沿墙单位高度作用在墙 j 上的所有连系梁旋转刚度。

Ⅶ. 计算步骤

一. 结构形常数计算

(一) 剪力墙:

各片剪力墙弯曲刚度 $= (EJ)_j$

总弯曲刚度 $= EJ = \sum_j (EJ)_j$

各片剪力墙剪切刚度 $= (AG\mu)_j$

总剪切刚度 $= AG\mu = \sum_j (AG\mu)_j$

当墙上有洞口时, $(EJ)_j$ 应扣除洞口计算, $(AG\mu)_j$ 应乘上洞口折减系数 $\gamma = 1 - 1.25 \sqrt{\frac{\text{洞口立面面积}}{\text{墙全立面面积}}}$ (A本身不扣除洞口)

(二) 连系梁 (作用在墙轴线上)

连系梁端部刚域长度 (从墙轴线起),

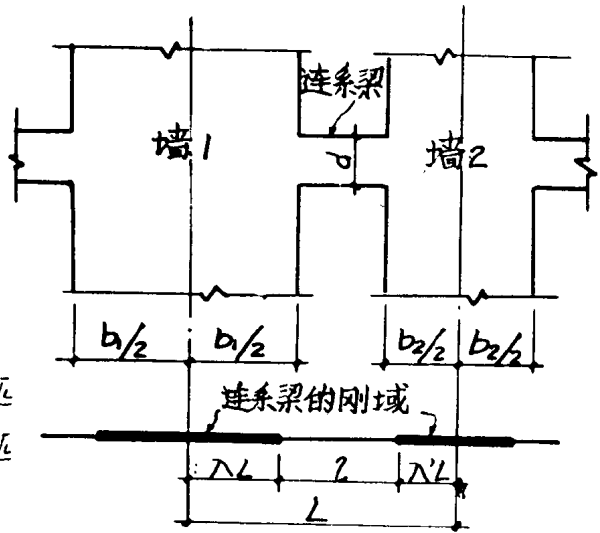
$$\lambda L = \frac{b_1}{2} - \frac{d}{4}$$

$$\lambda' L = \frac{b_2}{2} - \frac{d}{4}$$

连系梁有效线刚度,

此端 (与墙1连) $k_{le} = C \gamma_Q \frac{EJ_L}{L}$

彼端 (与墙2连) $k'_{le} = C' \gamma_Q \frac{EJ_L}{L}$



式中: $C = \frac{1+\lambda-\lambda'}{(1-\lambda-\lambda')^2}$

$C' = \frac{1+\lambda'-\lambda}{(1-\lambda-\lambda')^2}$ C, C' 可查图表 11

(注: 有的文件中 λ 写作 λ_a , λ' 写作 λ_b 或 ξ)

γ_Q — 剪切修正系数 $= \frac{1}{1+2.8(\alpha/2)^2}$, 可查图表 12

对称时 $\lambda = \lambda'$ $C = C' = \frac{1}{(1-2\lambda)^2}$

连系梁 γ 的旋转刚度 $= 6k_{ler}, 6k'_{ler}$

沿墙单位高度上所有作用在墙 j 轴线上的连系梁旋转刚度, 当各层连系梁相同时,

在中间层

$$K_{gj} = \frac{\sum 6k_{ler}}{h}$$

在顶层

$$K_{gj} = 1.3 \sim 1.5 \frac{\sum 6k_{ler}}{h}$$

在底层 $K_{gj} = 0.7 \sim 0.5 \frac{0.4 E_c I_c}{h}$

沿墙单位高度上作用在所有墙轴线上的总连系梁旋转刚度、

$$K_g = \sum K_{gj}$$

(各种连系梁的 k_{le} 值准备制成图表, 不必计祿)

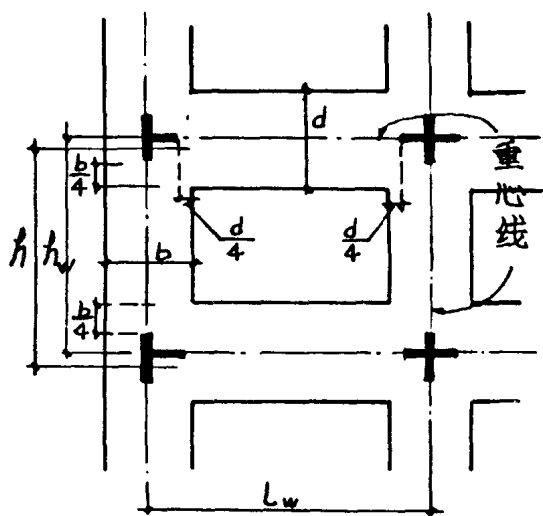
(三) 壁式框架: (应用于普通框架时下面有说明)

刚度计祿步骤如下:

1. 计祿壁梁及壁柱的重心位置, 确定壁式框架的轴线尺寸 L_w

及 h_w (为了简化, 一律取楼板面为壁梁轴线, 即 $h_w = h$)

2. 确定节点的刚域: 刚域距接合面 $d/4$ 处。

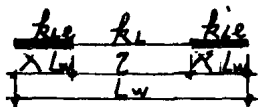


注: 壁式框架中壁梁的轴线尺寸为 L_w

壁式框架中壁柱的轴线尺寸为 h_w (即壁式框架的层高) h 为层高。

3. 计祿各层壁梁柱的有效相对刚度, 查用图表 11 (c, c')、图表 12 (γ_a).

1. 壁梁



$$k_L = \frac{EJ_L}{L_w}$$

$$k_{le} = c \cdot \gamma_a k_L$$

$$k_{le} = c' \cdot \gamma_a k_L$$

$$c = \frac{1+\lambda-\lambda'}{(1-\lambda-\lambda')^3} \quad c' = \frac{1+\lambda'-\lambda}{(1-\lambda-\lambda')^3}$$

2. 壁柱



$$k_z = \frac{EJ_z}{h_w}$$

$$k_{ze} = \frac{c+c'}{2} \gamma_a k_z$$

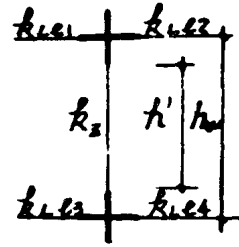
这里, $\gamma_a = \frac{1}{1+2.8(b/h)^2}$
按 $d/h = b/h$ 查图表 12.

$$c = \frac{1+\lambda-\lambda'}{(1-\lambda-\lambda')^3}, \quad c' = \frac{1+\lambda'-\lambda}{(1-\lambda-\lambda')^3}$$

4. 壁柱的反弯点高度用下式计祿:

$$y = \lambda_T + S y_0 + y_1 + y_2 + y_3$$

上式中 y_0, y_1, y_2, y_3 分别由普通框架柱及弯矩计标图表 14, 15, 16 查得



$$S = \frac{h'}{h_w}$$

$$\bar{k} = S^2 \frac{k_{L1} + k_{L2} + k_{L3} + k_{L4}}{2k_z}$$

$$\text{由 } \bar{k} \text{ 及 } \alpha_1 = \frac{k_{L1}}{k_{L1} + k_{L2}} = \frac{k_{L1} + k_{L3}}{k_{L3} + k_{L4}} \text{ —— 查表得 } y_1$$

$$\text{由 } \bar{k} \text{ 及 } \alpha_2 = \frac{h'}{h} \text{ —— 查表得 } y_2$$

$$\text{由 } \bar{k} \text{ 及 } \alpha_3 = \frac{h'}{h} \text{ —— 查表得 } y_3$$

当为普通框架时, $\lambda_T = 0, h_w = h = h'$ 同时在下所有公式
 $y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3$ 中, $k_{LE} = k_L, k_{ZE} = k_z$.

5. 各个壁柱的 D 值由下式求得:

$$D_z = \alpha k_{ze} \left(\frac{h}{h_w} \right) \cdot \frac{12}{h^2}$$

h, h_w 见前.

α 值根据下列情况求得

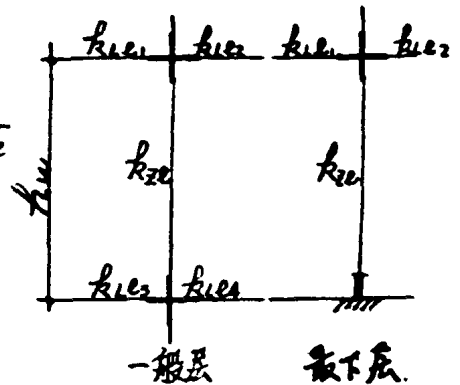
一般层,

$$\bar{k}_E = \frac{k_{L1} + k_{L2} + k_{L3} + k_{L4}}{2k_{ze}}, \quad \alpha = \frac{\bar{k}_E}{2 + \bar{k}_E}$$

最下层,

柱脚嵌固 (一般工程中均属于这种情况)

$$\bar{k}_E = \frac{k_{L1} + k_{L2}}{k_{ze}}, \quad \alpha = \frac{0.5 + \bar{k}_E}{2 + \bar{k}_E}$$



6. 各个壁柱抗剪刚度:

$$K_{fzj} = D_{zj} h$$

各种壁柱的 K_{fz} 值在备列成表, 只需

查表取用, 不必计算. (图表 17 中列有予制外端的 K_{fz} 及 D_z 值)

7. 总壁式框架的抗剪刚度:

$$K_f = \sum K_{fzj}$$

二. 计算综合刚度特征 β^2 及荷载刚度特征 γ

$$\beta^2 = \frac{H^2}{EJ} \left(\frac{K_f}{S} + K_g \right)$$

式中: EJ , K_f , K_g , S 分别为上下各层 EJ , K_f , K_g 及 S 的平均值. $(S - \text{剪力影响系数} = 1 + \frac{K_f}{4K_g})$

当没有连系梁和壁式框架(或普通框架)时,

$K_g = 0$, $K_f = 0$, $\beta^2 = 0$ 查图表时^{可用} $\beta^2 = 0.1$ 的曲线代替.

$$\gamma = \frac{H^2}{EJS} \cdot Q_0$$

式中: Q_0 —— 水平荷载基底剪力.

三. 位移计算:

(一) 顶点相对位移

$$\frac{\Delta_0}{H} = \frac{Y_0}{H} = \frac{Y_{m0}}{H} + \frac{Y_{a0}}{H} = \frac{1}{S} \cdot \frac{Y_{m0}}{H} + \frac{C \cdot Q_0}{AG\mu + K_f}$$

式中: $\frac{Y_{m0}}{H} = \left(\frac{Y_m}{\gamma H} \right) \times \gamma$ $\left(\frac{Y_m}{\gamma H} \right)_0$ — 按 β^2 查位移

图表 2.4.6. 得来.

C 为水平荷载合力距基底的高度,

对倒三角形荷载, $C = \frac{2}{3}$.

对 均布荷载, $C = \frac{1}{2}$

对 顶点集中荷载, $C = 1$

(二) 最大层间相对位移

$$\frac{\delta_{max}}{h} = \phi_{max} = (\phi_m)_{max} + \phi_a \text{ 或 } \phi_m + (\phi_a)_{max}$$

式中: $\phi_m = \left(\frac{\phi_m}{\gamma} \right) \times \gamma$, $\left(\frac{\phi_m}{\gamma} \right)$ 由角变图表 1.3.5 按 β^2 查得.

当 $\left(\frac{\phi_m}{\gamma} \right)$ 为最大值时, 相应的 ϕ_m 即为最大值可直接由角变

图表曲线上看出来.

$\phi_a = \frac{Q_w}{AG\mu}$ Q_w 的计算见下节. $AG\mu$ 不变时, $(\phi_a)_{max}$ 产生于最大 Q_w 层.

当水平荷载包括二种以上分布形式如  和  时位移 Y_m , Y_a

及角变 ϕ_m , ϕ_a 可查不同荷载分布形式的位移和角变图表, 然后组合

起来; 如: $\frac{Y_m}{H} = \frac{Y_m^V}{H} + \frac{Y_m^I}{H} = \left(\frac{Y_m}{\gamma H} \right)^V \times \gamma^V + \left(\frac{Y_m}{\gamma H} \right)^I \times \gamma^I$

$$\phi_m = \phi_m^V + \phi_m^I = \left(\frac{\phi_m}{\gamma} \right)^V \times \gamma^V + \left(\frac{\phi_m}{\gamma} \right)^I \times \gamma^I$$

注: 此处

$$\gamma^V = \frac{H^2}{EJS} \cdot Q_0^V \quad \gamma^I = \frac{H^2}{EJS} \cdot Q_0^I$$

(Q_0^V 为荷载基底剪力)

(Q_0^I 为荷载基底剪力)

四. 壁式框架与剪力墙之间水平剪力的分配计算:

第 i 层全部剪力墙承担的水平剪力,

$$Q_{wi} = \frac{Q_i - K_{fi} \cdot \bar{\phi}_{mi}}{S_i} \quad \text{式中: } \bar{\phi}_{mi} = \frac{\phi_{mi} + \phi_{mi-1}}{2}$$

$$\phi_{mi} = \left(\frac{\phi_m}{q}\right)_i \times q \quad \text{当上下各层} \phi \text{ 有变化时, 平均值}$$

$$\left(\frac{\phi_m}{q}\right)_i \text{ 按 } \rho \text{ 查角变图表得来.} \quad \phi_{mi} = \left(\frac{\phi_m}{q}\right)_i \times q \times \frac{EI}{EJ_i} \quad \text{— 层实际值}$$

i 层全部壁式框架承担的水平剪力

$$Q_{fi} = Q_i - Q_{wi} \quad \text{或} \quad Q_{fi} = \frac{K_{fi} \cdot \bar{\phi}_{mi}}{S_i} + Q_i \left(1 - \frac{1}{S_i}\right)$$

i 层每根壁柱承担的水平剪力.

$$Q_{zji} = Q_{fi} \times \frac{K_{zji}}{K_{fi}}$$

五. 各片剪力墙之间的水平剪力分配计算:

①. 先考虑连系梁的影响.

第 j 层剪力墙 j 承担的水平剪力,

$$Q_{wji} = (Q_{wi} - m_{ji}) \frac{EJ_{ji}}{EJ_i} + m_{ji}$$

$$\text{式中 } m_{ji} = K_{ji} \cdot \phi_{mi} \quad m_{jji} = K_{jji} \cdot \phi_{mi}$$

②. 梁台修正剪切变形差异影响 (一般工程不需修正底部 n 层)

$$\text{先求出剪力墙体系总的剪切角变 } \phi_{\theta i} = \frac{Q_{wi}}{(AG/\mu)_i}$$

$$\text{得 } \bar{\phi}_i = \bar{\phi}_{mi} + \phi_{\theta i} \quad (\bar{\phi}_{mi} = \frac{\phi_{mi} + \phi_{mi-1}}{2})$$

修正从底层开始, 剪力墙 j 的剪切角变初始值,

$$\phi_{\theta ji} = \frac{Q_{wji}}{(AG/\mu)_{ji}} \quad \text{其真正值在 } \phi_{\theta ji} \text{ 与 } \phi_{\theta i} \text{ 之间, 近似的可取二者平均值 } \bar{\phi}_{\theta ji} = \frac{\phi_{\theta ji} + \phi_{\theta i}}{2}$$

由是 $\bar{\phi}_{mji} = \bar{\phi}_i - \bar{\phi}_{\theta ji}$ 修正后的剪力,

$$(Q_{wji}) = (Q_{wi} - m_{ji}) \frac{EJ_{ji} \cdot \bar{\phi}_{mji}}{\sum_j (EJ_{ji} \cdot \bar{\phi}_{mji})} + (m_{jji})$$

此处 $(m_{ji}) = k_{ji} \cdot \phi_{mi}$ 为了简化可近似的取,
 $(m_{ji}) = m_{ji} = k_{ji} \cdot \phi_{mi}$

六. 内力计算:

↔ 各片剪力墙的弯矩

$$M_{wji} = \sum_i^n (Q_{wji} \cdot h_i) - \sum_i^n M_{ji}$$

$$\text{式中 } M_{ji} = \sum_r M_{jri} = \sum_r 6k_{Lcri} \cdot \phi_{mi}$$

（墙两侧连系梁加起来）

也可使用后面 $(\frac{1}{q} \cdot \frac{d\phi_m}{d\xi})$ 弯矩图表10, 按 r^2 查得

$$(\frac{1}{q} \cdot \frac{d\phi_m}{d\xi})_i, \text{ 由是 } (\frac{d\phi_m}{d\xi})_i = (\frac{1}{q} \cdot \frac{d\phi_m}{d\xi})_i \cdot q$$

$$M_{wji} = \frac{EI_j}{H} (\frac{d\phi_m}{d\xi})_i$$

↔ 连系梁的弯矩、剪力及对墙的轴力.

上面 M_{ji} 係 i 层与墙 j 相连的两侧连系梁①及②作用在墙 j 轴线上的梁端弯矩之和 ($M_{ji} = M_{joi} + M_{joi}$)

连系梁①、②分别作用在墙 j 轴线上的梁端弯矩为

$$M_{joi} = 6k_{Lwi} \cdot \phi_{mi} \quad M_{joi} = 6k_{Lwi} \cdot \phi_{mi}$$

另一端弯矩则为

$$M'_{joi} = 6k'_{Lwi} \cdot \phi_{mi} \quad M'_{joi} = 6k'_{Lwi} \cdot \phi_{mi}$$

连系梁剪力

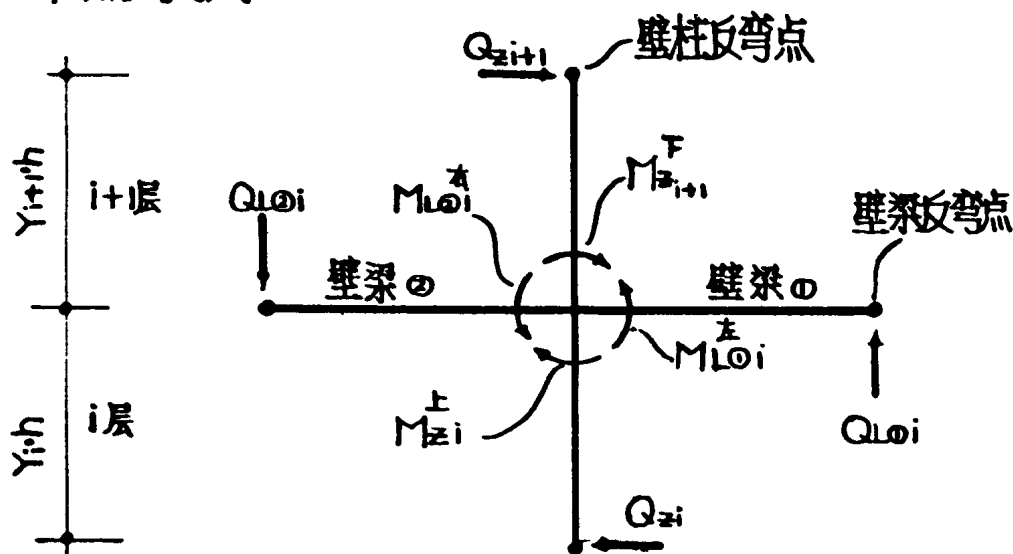
$$Q_{joi} = \frac{M_{joi} + M'_{joi}}{L_1}, \quad Q_{joi} = \frac{M_{joi} + M'_{joi}}{L_2}$$

对墙 j 产生的轴力

$$N_{ji} = \sum_i^n (Q_{joi} + Q_{joi})$$

↔ 壁式框架的内力:

节点内力图:



壁柱弯矩:

$$M_{zi+1}^F = Q_{zi+1} \cdot Y_{i+1}h, \quad M_{zi}^F = Q_{zi}(1 - Y_i)h$$

节点平衡: $M_{L0i}^F + M_{L0i}^F = M_{zi+1}^F + M_{zi}^F$

壁梁弯矩 $M_{L0i}^F = (M_{zi+1}^F + M_{zi}^F) \frac{k_{L0i}^F}{k_{L0i}^F + k_{L0i}^F}$

$$M_{L0i}^F = (M_{zi+1}^F + M_{zi}^F) \frac{k_{L0i}^F}{k_{L0i}^F + k_{L0i}^F}$$

壁梁剪力 $Q_{L0i} = \frac{M_{L0i}^F + M_{L0i}^F}{L_1}, \quad Q_{L0i} = \frac{M_{L0i}^F + M_{L0i}^F}{L_2}$

壁柱轴力

$$N_{zi} = \sum_i^n (Q_{L0i} + Q_{L0i})$$

Ⅵ. 连系梁的极限强度分析方法及其计算步骤:

按弹性分析时, 与剪力墙相连的连系梁弯矩、剪力各层不同, 但在实际工程中为了简化施工, 一般都配同样受力筋。当主筋按照较大弯矩配置时, 则对弯矩较小的各层连系梁没有充分利用钢筋的承载能力。此外完全按弹性计算所得连系梁(特别是当连系梁高度较大时)的弯矩、剪力常令配筋太大甚至超过规范允许, 这也给设计、施工带来困难。为此这里提示了连系梁的极限强度分析的计算方法。这种方法不仅方便施工、节约钢筋而且大大简化了计算工作, 轴向变形对水平力的分配也不产生影响, 不必再行调整。

甲. 方法简述如下:

1. 连系梁配置少量受力筋, 但配置足够受剪箍筋保证连系梁受弯屈服在剪切破坏之前。

2. 与连系梁相连的墙肢仍按弹性分析与设计, 使连系梁受弯屈服在墙肢受弯屈服之前。这样就保证了结构安全, 对抗震更为有利。

3. 连系梁的弯矩按所配受弯钢筋计算

如连系梁①在墙边的弯矩,

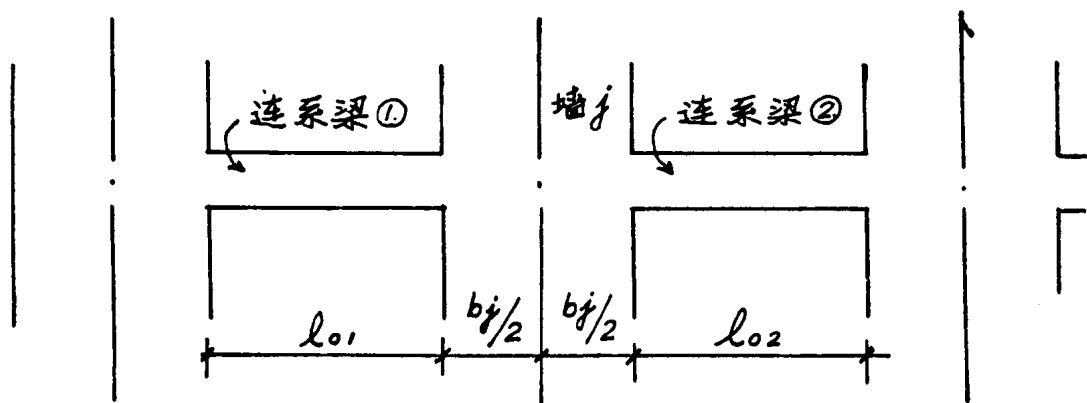
$$M_{g1} = \frac{A_g \cdot R_g \cdot h_0}{K}$$

式中: A_g —— 连系梁中实配受弯钢筋面积;

h_0 —— 连系梁上下受弯钢筋距离;

K —— 安全系数取 1.05 ~ 1.10;

R_g —— 钢筋受拉设计强度。



作用在墙 j 轴线上的连系梁 ① 及 ② 的弯矩分别为,

$$M_{gj①} = M'_{g①} \times \frac{l_{01}/2 + b_j/2}{l_{01}/2} = M'_{g①} \times \frac{l_{01} + b_j}{l_{01}} ;$$

$$M_{gj②} = M'_{g②} \times \frac{l_{02} + b_j}{l_{02}} ;$$

沿单位高度作用在墙 j 轴线上的连系梁弯矩

$$m_{gj} = \frac{M_{gj①} + M_{gj②}}{h} = \frac{M_{gj}}{h} ;$$

乙. 水平剪力分配计算:

一. 壁式框架与总剪力墙之间的分配 (有关公式推导详见 22 页) 受水平外荷载及壁式框架的水平弹性力作用后

(1). 先找出没有连系梁时总剪力墙^仅的角变 ϕ_{ma}

按 $p^2 = \frac{H^2}{EJ} \cdot \frac{K_f}{S}$ (此处 $K_g = 0$)

查 $(\frac{\phi_m}{q})$ 角变图表得 $\phi_{ma} = (\frac{\phi_m}{q})_a \times q$

$$q = \frac{H^2}{EJ S} \cdot Q_0 ;$$

(2). 再找出总剪力墙^仅受总连系梁弯矩 $M_g (M_g = \sum_i M_{gj})$ 作用后的角变 ϕ_{mb}

仍按 $p^2 = \frac{H^2 K_f}{EJ S}$ (当没有壁式框架时, $K_f = 0$;

$p^2 = 0$, 可按 $p^2 = 0.1$ 查图表) 查集中荷载的 $(\frac{\phi_m}{q})^{\rightarrow 1}$

角变图表, 得 $\phi_{mb} = (\frac{\phi_m}{q})^{\rightarrow 1} \times \frac{H^2}{EJ} m_g ; (m_g = \frac{M_g}{h} = \sum_i m_{gi})$

一般受集中荷载的角变, $\phi_m^{\rightarrow 1} = (\frac{\phi_m}{q})^{\rightarrow 1} \times q^{\rightarrow 1}$

$$q^{\rightarrow 1} = \frac{H^2}{EJ S} \cdot Q_0^{\rightarrow 1} = \frac{H^2}{EJ S} \cdot F$$

F 为顶点集中荷载. 将 $q^{\rightarrow 1}$ 与 $\frac{H^2}{EJ} \cdot m_g$ 相比较, 就

可以看出 m_g 相当于顶点的集中荷载 F .

(3). 总剪力墙受水平外荷载及壁式框架的水平弹性力作用又受总连系梁的弯矩作用后的角变,

$$\phi_m = \phi_{ma} - \phi_{mb}$$

(4). 由是, $Q_{wi} = \frac{Q_i - K_{fi} \cdot \bar{\phi}_{mi}}{S_i}$, $Q_{fi} = Q_i - Q_{wi}$;

二. 各片剪力墙之间的分配计算:

(1).

$$Q_{wji} = (Q_{wi} - m_{gi}) \frac{EJ_{ji}}{EJ_i} + m_{gji};$$

这里 $m_{gji} = m_{gj} = \frac{M_{gj①} + M_{gj②}}{h}$;

$$m_{gi} = m_g = \sum_j m_{gj} = \frac{\sum_j M_{gj}}{h};$$

(2). 剪切变形差异影响的修正同前 (见 V、五.(二))

丙. 位移计算方法与角变计算方法类同, 即:

$$\frac{Y_m}{H} = \frac{Y_{ma}}{H} - \frac{Y_{mb}}{H} = \left(\frac{Y_m}{g \cdot H} \right)_a \cdot g - \left(\frac{Y_m}{g \cdot H} \right)_b \cdot \frac{H^2}{EJ} \cdot m_g;$$

$$\frac{Y_a}{H} = \frac{Y_{Qa}}{H} - \frac{Y_{Qb}}{H} = \frac{Q_0 \cdot f'(\xi)}{AG_{\mu} + K_f} - \frac{\bar{K}_f}{AG_{\mu} + K_f} \left(\frac{Y_{ma}}{H} - \frac{Y_{mb}}{H} \right)$$

(集中荷载的 $f'(\xi) = 1$, 其它荷载的 $f'(\xi)$ 可查图表 7.8)

$$\therefore \frac{Y}{H} = \frac{Y_m}{H} + \frac{Y_Q}{H} = \frac{Q_0 \cdot f'(\xi)}{AG_{\mu} + K_f} + \frac{1}{S} \cdot \frac{Y_m}{H}$$

VII. 公式推导:

一. 总壁式框架或框架与总剪力墙之间水平剪力分配及位移的计算:

图(1)为整个结构承受水平荷载的计算简图。

图(2)表示承受水平外荷载情况下总剪力墙与总壁式框架(或框架)以及连系梁之间的相互作用。