

文章编号:1000-582X(2009)09-1098-06

砖混组合结构特征刚度系数对混凝土墙数量的影响

孙义刚,潘志宏

(邵阳学院 城市建设系,湖南 邵阳 422000)

摘要:根据砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构的受力特点,提出了在地震作用下混凝土剪力墙合理数量的计算公式,公式中混凝土墙数量的取值参数的主要影响因素为:场地特征周期、抗震设防烈度、弹性层间位移角限值、组合结构特征刚度系数、非承重墙的自振周期折减系数等。并针对刚度特征系数这一主要影响因素,给出混凝土剪力墙合理数量计算公式中混凝土墙数量的取值参数在不同抗震等级、不同场地类别和设计分组的情况下的取值表。算例表明方法简单实用,可用于地震区此类组合结构的初步设计阶段。

关键词:砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构;刚度特征系数;混凝土墙合理数量;混凝土墙数量的取值参数取值表

中图分类号:TU398.5

文献标志码:A

Influence of masonry-RC wall composite structures' stiffness characteristic coefficient on the optimal quantity of concrete walls

SUN Yi-gang, PAN Zhi-hong

(Department of City Construction, Shaoyang University, Shaoyang 422000, Hunan, P. R. China)

Abstract: According to the stress characteristics of masonry-RC wall composite structures, the paper puts forward the calculation formula of the optimal number of RC walls under the action of earthquake. In the formula, the main influence factors of parameter of amount of RC walls are: the characteristic site period, the seismic fortification intensity, the elastic allowable deformation value, the stiffness characteristic coefficient of composite structures, the compensation-coefficient of the non-bearing walls on natural period of vibration, etc. According to the main influence factor, the stiffness characteristic coefficient λ , this study gets the value tables of parameter of amount of RC walls in the calculation formula of the optimal quantity of concrete wall under various anti-earthquake grades, ground categories and design groups. A numerical example shows this method is simple and practical. It can be used for the initial design stage of this kind of composite structures in seismic regions.

Key words: masonry-RC wall composite structures; the stiffness characteristic coefficient λ ; optimal amount of RC walls; the parameter of amount of RC walls value tables

砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构是指在砌体结构中,适当设置少量沿结构高度贯通的钢筋混凝土剪力墙,并与构造柱及现浇楼板、圈梁和砌体共同构

成具有多道抗震防线的组合结构体系。垂直荷载和地震力作用下,由砌体墙和混凝土剪力墙共同承担;在水平地震力作用下,主要由混凝土剪力墙与构造

收稿日期:2009-04-20

基金项目:湖南省教育厅基金资助项目(06C756)

作者简介:孙义刚(1969-),男,邵阳学院副教授,主要从事工程结构抗震方向的研究,(E-mail)sunyg618@yahoo.com.cn。

柱、圈梁箍紧砌体墙协同工作。因此混凝土和砌筑砂浆强度等级是抗御地震力的第一道防线。在地震力作用下,结构进入弹塑性阶段后,钢筋混凝土剪力墙和钢筋混凝土楼板发挥其主要作用,承担着地震水平力的作用和传递,作到裂而不倒,是抗御地震的又一道防线。目前,该种结构体系在基本烈度为 7 度、8 度和 9 度的地震区已处于应用试点阶段,主要应用于 7~9 层的住宅建设中,已取得了比较显著的经济效益和社会效益^[1]。

刚度特征系数 λ 是砌体墙抗侧刚度与钢筋混凝土墙抗弯刚度的比值。当砌体墙抗侧刚度很小时, λ 值较小, $\lambda = 0$ 即纯混凝土剪力墙结构。当混凝土墙抗弯刚度减小时, λ 值增大; $\lambda = \infty$ 时即相当于纯砌体结构。 λ 值对此类组合结构受力、变形性能影响很大。

文献[2]和[3]采用双控法能较好地保证砌体墙—钢筋混凝土墙组合结构中混凝土墙数量的合理性,但对于工程设计人员来说,在结构初步设计阶段可操作性不强。针对刚度特征系数 λ 这一主要影响因素,给出了在不同抗震等级、不同场地类别和设计分组的情况下混凝土墙合理数量表,可用于地震区此类组合结构的初步设计阶段。

1 基本公式推导

砌体墙—钢筋混凝土墙组合结构具有良好的协同工作和弯剪变形的特征,这种协同工作的特征与框架—剪力墙结构相似。该组合结构计算基本假设为:1)楼盖在其自身平面内的刚度假定为无穷大,忽略其轴向变形;2)在同一楼层处,砖墙与钢筋混凝土墙的水平位移相等(不考虑扭转的影响);3)水平地震作用由砌体墙和混凝土墙共同承担。组合结构计算简图如图 1 所示^[4]。

考虑钢筋混凝土墙剪切变形影响的特征刚度系数 λ 为^[4]

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= H \sqrt{\frac{C_{bw}}{EI_d}} \\ EI_d &= EI_w \left(1 + \frac{\mu C_{bw}}{G_c A_{cw}} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

式中: λ 为考虑钢筋混凝土墙剪切变形影响的特征刚度系数; C_{bw} 为砌体墙的平均剪切刚度; EI_w 为不考虑剪切变形的钢筋混凝土墙的平均弯曲刚度; μ 为钢筋混凝土墙的剪力不均匀系数,对矩形截面, $\mu = 1.2$ 。

当地震作用沿楼层高度的分布为倒三角形时,

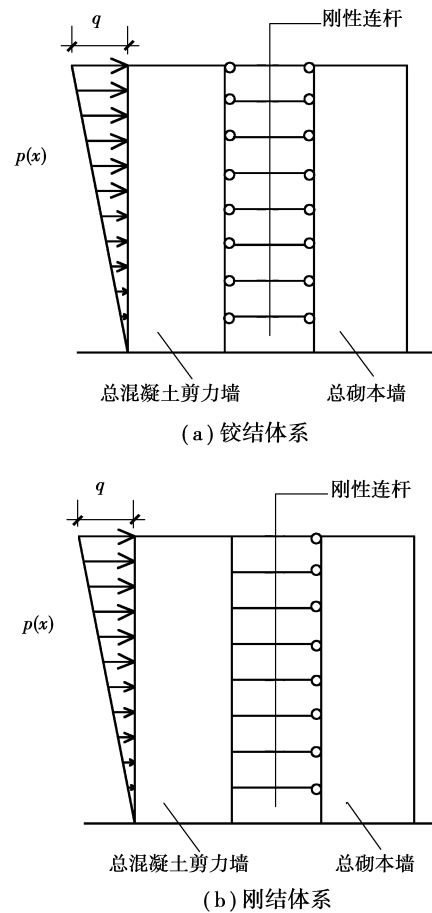


图 1 组合结构 2 种计算简图

该类房屋的侧移 $y(\xi)$ 、钢筋混凝土墙的剪力 V_w 和砌体墙的剪力 V_b 公式为^[2]

$$\left. \begin{aligned} y(\xi) &= \frac{qH^2}{C_{bw}} \left(1 + \frac{\lambda sh\lambda}{2} - \frac{sh\lambda}{\lambda} \right) \frac{ch\lambda\xi - 1}{\lambda^2 ch\lambda} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda^2} \right) \left(\xi - \frac{sh\lambda\xi}{\lambda} \right) - \frac{\xi^3}{6}, \\ V_w &= \frac{qH}{\lambda^2} \left[\left(1 + \frac{\lambda sh\lambda}{2} - \frac{sh\lambda}{\lambda} \right) \frac{\lambda sh\lambda\xi}{ch\lambda} - \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{1}{\lambda} \right) \lambda ch\lambda\xi - 1 \right], \\ V_b &= \frac{qH(1 - \xi^2)}{2} - V_w. \end{aligned} \right\} (2)$$

将位移曲线 $y(\xi)$ 求导,可得层间弹性位移公式为

$$\theta = \frac{dy}{d\xi} = \frac{qH}{C_{bw}} \left[\left(1 + \frac{\lambda sh\lambda}{2} - \frac{sh\lambda}{\lambda} \right) \frac{sh\lambda\xi}{\lambda ch\lambda} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda^2} \right) (1 - ch\lambda\xi) - \frac{\xi^2}{2} \right]. \quad (3)$$

根据模型抗震性能试验表明^[5],最大层间弹性位移 $[\theta]_{max}$ 发生在砌体墙剪力最大处,即发生在 $\frac{dV_b}{d\xi} = 0$ 处,则有

$$\frac{dV_b}{d\xi} = -\xi_q H - \frac{qH}{\lambda^2} \left[\left(1 + \frac{\lambda \operatorname{sh}\lambda}{2} - \frac{\operatorname{sh}\lambda}{\lambda}\right) \frac{\lambda^2 \operatorname{ch}\lambda \xi}{\operatorname{ch}\lambda} - \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{1}{\lambda}\right) \lambda^2 \operatorname{sh}\lambda \xi \right] = 0, \quad (4)$$

于是有

$$\xi_0 = -\left(1 + \frac{\lambda \operatorname{sh}\lambda}{2} - \frac{\operatorname{sh}\lambda}{\lambda}\right) \frac{\operatorname{ch}\lambda \xi_0}{\operatorname{ch}\lambda} + \left(\frac{\lambda}{2} - \frac{1}{\lambda}\right) \operatorname{sh}\lambda \xi_0, \quad (5)$$

式中 ξ_0 为砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构发生最大层间弹性位移处的相对坐标。由式(5)可得 λ - ξ_0 的对应系数,见表 1 所示。

表 1 λ 、 ξ_0 和 φ_λ 的对应系数表(倒三角形地震荷载作用下)

λ	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
ξ_0	1.000	0.900	0.825	0.660	0.557	0.550	0.533	0.484	0.425	0.394	0.351	0.344	0.304	0.299	0.295
φ_λ	0	0.028	0.086	0.140	0.181	0.215	0.242	0.268	0.291	0.310	0.326	0.342	0.352	0.365	0.376

根据表 1 的数据拟合后得到 λ - ξ_0 的曲线方程为

1)当 $\lambda = 0 \sim 3$ 时,则有

$$\xi_0 = 0.006 7\lambda^6 - 0.095 6\lambda^5 + 0.463 9\lambda^4 - 0.927 2\lambda^3 + 0.64 24\lambda^2 - 0.194 4\lambda + 1.022 7, \quad (6)$$

2)当 $\lambda = 3 \sim 6$ 时,则有

$$\xi_0 = -0.001 6\lambda^3 + 0.034 4\lambda^2 - 0.244 7\lambda + 0.883 8. \quad (7)$$

最大层间弹性位移为

$$\theta_{\max} = \frac{qH}{C_{bw}} \left[\left(1 + \frac{\lambda \operatorname{sh}\lambda}{2} - \frac{\operatorname{sh}\lambda}{\lambda}\right) \frac{\operatorname{sh}\lambda \xi_0}{\lambda \operatorname{ch}\lambda} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda^2}\right) (1 - \operatorname{ch}\lambda \xi_0) - \frac{\xi_0^2}{2} \right], \quad (8)$$

设

$$\varphi_\lambda = \left(1 + \frac{\lambda \operatorname{sh}\lambda}{2} - \frac{\operatorname{sh}\lambda}{\lambda}\right) \frac{\operatorname{sh}\lambda \xi_0}{\lambda \operatorname{ch}\lambda} + \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\lambda^2}\right) (1 - \operatorname{ch}\lambda \xi_0) - \frac{\xi_0^2}{2}, \quad (9)$$

则有 $\theta_{\max} = \frac{qH}{C_{bw}} \varphi_\lambda$, 其中

$$C_{bw} = \frac{\lambda^2 EI_w}{H^2}. \quad (10)$$

由式(9)可得 λ - φ_λ 的对应系数,见表 1 所示。

倒三角形分布荷载的最大值 q ,按水平地震荷载作用在结构底部产生的弯矩相等的原则,则有

$$q = \left(1 + \frac{1}{2n}\right) \frac{2F_{Ek}}{H}, \quad (11)$$

由《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)有

$$\left. \begin{aligned} F_{Ek} &= \alpha_1 G_{eq} = \left(\frac{T_g}{T_1}\right)^{0.9} \alpha_{\max} G_{eq} \\ G_{eq} &= 0.85G \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

根据文献[6],式(12)中

$$T_1 = \varphi_1 H^2 \psi_T \sqrt{\frac{G}{H_g EI_w}}, \quad (13)$$

式中: φ_1 为与特征刚度系数 λ 有关的系数,可由图 2 查得; ψ_T 为考虑非承重墙的自振周期折减系数,参照《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)取 $\psi_T = 0.75$; g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

整理后可得

$$EI_w = GH^{1.18} \left(1 + \frac{1}{2n}\right)^{1.82} \left(\frac{1.7\alpha_{\max}\varphi_\lambda}{\lambda^2[\theta]}\right)^{1.82} \left(\frac{T_g}{\varphi_1\psi_T}\right)^{1.64} g^{0.82}. \quad (14)$$

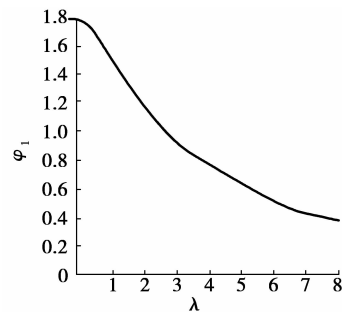


图 2 λ - φ_1 关系曲线[6]

砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构的变形能力介于框架-混凝土剪力墙结构与混凝土剪力墙结构之间[5],参照高层建筑混凝土技术规程(JGJ3—2002、J186—2002)取: $[\theta] = \frac{1}{800}$, $[\theta]$ 为弹性层间位移角限值。

设 $\varphi_w = \left(\frac{1.7\alpha_{\max}\varphi_\lambda}{\lambda^2[\theta]}\right)^{1.82} \left(\frac{T_g}{\varphi_1\psi_T}\right)^{1.64} g^{0.82}$, 则可得 EI_w 的基本公式为

$$EI_w = GH^{1.18} \left(1 + \frac{1}{2n}\right)^{1.82} \varphi_w, \quad (15)$$

2 倒三角形地震荷载作用下的 φ_w 值

由 φ_w 的表达式可知, φ_w 主要影响因素为:场地特征周期(T_g)、抗震设防烈度(α_{max})、弹性层间位移角限值($[\theta]$)、组合结构特征刚度系数(λ)、

考虑非承重墙的自振周期折减系数(ψ_T)、系数(φ_λ)。为了计算方便起见,针对影响 φ_w 的各种因素,给出在不同抗震等级、不同场地类别和不同设计分组的情况下,制成表 2-10(取 $\psi_T = 0.75$)。

表 2 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(I类场地第 1 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
φ_w 7 度设防	14.08	10.29	8.09	6.47	5.47	4.65	4.11	3.77	3.51	3.19	2.97
8 度设防	49.71	36.32	28.55	22.84	19.30	16.42	14.51	13.30	12.39	11.27	10.48
9 度设防	175.53	128.23	100.82	80.65	68.15	57.98	51.22	46.94	43.73	39.80	36.99

表 3 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(I类场地第 2 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
φ_w 7 度设防	18.99	13.87	10.91	8.72	7.37	6.27	5.54	5.08	4.73	4.31	4.00
8 度设防	67.04	48.97	38.51	30.81	26.02	22.15	19.56	17.93	16.70	15.20	14.13
9 度设防	236.70	172.89	135.97	108.77	91.88	78.20	69.06	63.31	58.96	53.67	49.90

表 4 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(I类场地第 3 组、II类场地第 1 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
φ_w 7 度设防	24.45	17.86	14.05	11.24	9.49	8.08	7.13	6.54	6.09	5.54	5.15
8 度设防	86.32	63.06	49.60	39.67	33.52	28.52	25.19	23.09	21.50	19.57	18.19
9 度设防	304.79	222.64	175.12	140.06	118.33	100.69	88.93	81.52	75.93	69.11	64.24

表 5 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(II类场地第 2 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
φ_w 7 度设防	30.43	22.23	17.49	13.98	11.81	10.05	8.88	8.14	7.58	6.90	6.41
8 度设防	107.44	78.49	61.74	49.38	41.72	35.50	31.35	28.74	26.77	24.36	22.65
9 度设防	379.36	277.14	217.98	174.34	147.29	125.33	110.69	101.48	94.51	86.02	79.97

表 6 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(II类场地第 3 组、III类场地第 1 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
φ_w 7 度设防	36.92	26.97	21.21	16.96	14.33	12.20	10.77	9.87	9.20	8.37	7.78
8 度设防	130.36	95.22	74.88	59.90	50.61	43.06	38.03	34.86	32.47	29.56	27.48
9 度设防	460.28	336.20	264.40	211.49	178.68	152.05	134.39	123.10	114.65	104.36	96.98

表 7 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(III类场地第 2 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
φ_w 7 度设防	51.31	37.47	29.47	23.58	19.92	16.95	14.97	13.72	12.78	11.63	10.81
8 度设防	181.16	122.12	104.07	83.24	70.33	59.84	52.85	48.45	45.13	41.08	38.18
9 度设防	639.64	467.12	367.44	293.91	248.31	211.28	186.62	171.07	159.33	145.04	134.82

表 8 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(Ⅲ类场地第 3 组、Ⅳ类场地第 1 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
7 度设防	67.48	49.22	38.77	31.01	26.19	22.29	19.69	18.05	16.81	15.30	14.22
φ_w											
8 度设防	238.26	174.01	136.88	109.47	92.49	78.70	69.51	63.72	59.35	54.02	50.22
9 度设防	841.26	614.41	483.29	386.54	326.56	277.89	245.43	224.67	209.55	190.74	177.33

表 9 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(Ⅳ类场地第 2 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
7 度设防	85.32	62.32	49.02	39.21	33.12	28.19	24.89	22.82	21.26	19.35	17.98
φ_w											
8 度设防	301.25	220.04	173.07	138.43	116.95	99.52	87.90	80.58	75.05	68.31	63.50
9 度设防	1 063.66	776.92	611.09	488.78	412.94	351.39	310.35	284.51	264.98	241.19	224.20

表 10 $\lambda-\varphi_w$ 对应关系表(Ⅳ类场地第 3 组)

λ	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
7 度设防	115.06	84.04	66.10	52.87	44.67	38.01	33.57	30.77	28.66	26.09	24.25
φ_w											
8 度设防	406.27	296.73	233.40	186.69	157.71	134.20	118.53	108.66	101.20	92.11	85.63
9 度设防	1 434.47	1 047.71	824.10	659.16	556.86	473.85	418.50	383.77	357.32	325.24	302.34

3 砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构中混凝土墙的合理布置

混凝土剪力墙的布置,应遵循“均匀、分散、对称、周边”的原则。一般情况下,混凝土剪力墙宜布置在平面的下列部位。

1) 竖向荷载较大处:增大竖向荷载可以避免墙肢出现偏心受拉的不利状态。

2) 建筑物端部附近:可以减少楼面外伸段的长度,而且有较大的抗扭刚度。

3) 楼梯、电梯间:在楼梯、电梯间处开洞较大,设剪力墙予以加强。

4) 平面形状变化处:在平面形状变化处应力集中比较严重,在此处设混凝土剪力墙予以加强,可以减少应力集中对结构的影响。

根据文献资料^[1-15]及《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)要求,组合结构中的混凝土剪力墙主要构造可参照钢筋混凝土框架-剪力墙结构相关要求。

4 算例分析

采用文献[5]中的计算模型(如图 3 所示),房屋共八层,层高 2.8 m,总高度 22.4 m,地面上总重力荷载代表值 $G = 206\ 235\ \text{kN}$ 。Ⅱ类建筑场地,设

计地震分组为 2 组。混凝土墙、构造柱及楼板的混凝土强度等级均为 C_{20} ,砖强度等级 MU10,采用 M10 混合砂浆砌筑。当抗震设防烈度为 8 度时,计算横向钢筋混凝土墙的数量。

解:设 $\lambda = 5.0$,查表 1 及图 2 得: $\varphi_1 = 0.65$, $\varphi_\lambda = 0.326\ 3$ 。

查表 5 可得 $\varphi_w = 31.35$,代入式(15)得 $EI_w = 2.83 \times 10^8\ \text{kN} \cdot \text{m}^2$,横向钢筋混凝土墙(涂黑部分,共 8 片)布置如图 3 所示,每片钢筋混凝土墙墙长 4.2 m,墙厚 240 mm,实际混凝土墙抗弯刚度 $EI_w = 3.023 \times 10^8\ \text{kN} \cdot \text{m}^2$, $\lambda = 4.79$,显然 $2.5 < \lambda < 5.0$,混凝土墙底部承担的地震弯矩占地震总倾覆力矩的比例为 $28.62\% > 20\%$ 。满足文献[2]的要求。

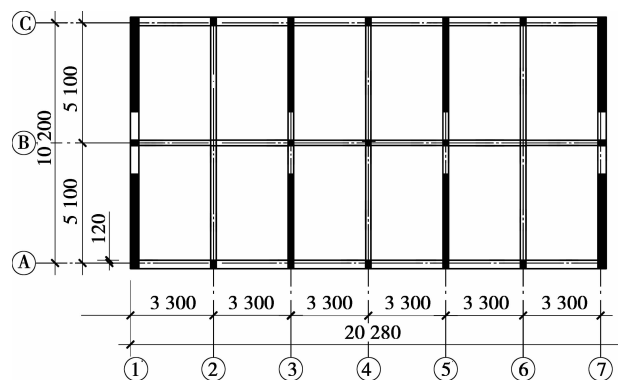


图 3 8 度设防时横向混凝土墙数量

5 结 论

算例分析表明,该方法较容易求得混凝土墙比较合理的数量。显示出该方法的可行性和实用性,可用于地震区砌体墙-钢筋混凝土墙组合结构的初步设计阶段。

参考文献:

- [1] 吴克彬,黄勇.中高层组合砌体结构体系的试点应用与开发[J].建筑技术开发,1997,24(4):21-23.
WU KE-BIN, HUANG YONG. Pilot application and development of masonry wall-R. C. wall composite construction [J]. Building Technique Development, 1997,24(4):21-23.
- [2] 杨宝璋,秦兵,肖伟.昆明地区大开间组合结构住宅结构体系的研究[J].工程抗震,2003(3):13-18.
YANG BAO-ZHANG, QIN BING, XIAO WEI. Research on large bay residential buildings with masonry wall-R C wall composite construction in Kunming district [J]. Earthquake Resistant Engineering,2003(3):13-18.
- [3] 高小旺,肖伟,李荷,等.砖墙与钢筋混凝土墙组合结构房屋中钢筋混凝土墙合理数量的探讨[J].工程力学,1997(增刊):540-544.
GAO XIAO-WANG, XIAO WEI, LI HE, et al. Research on optimal numbers of RC walls in masonry-RC walls composite structures [J]. Engineering Mechanics,1997(supl):540-544.
- [4] 高小旺.砌体墙与钢筋混凝土墙组合结构房屋的抗震性能[J].建筑结构,2003,33(10):71-73.
GAO XIAO-WANG. The aseismic performances of masonry-RC wall composite structures [J]. Building Structure,2003,33(10):71-73.
- [5] 王万钊,杨秀凤,周惟,等.砖墙与混凝土剪力墙混合结构八层建筑模型抗震性能试验研究[J].建筑科学,1996,31(1):10-17.
WANG WAN-ZHAO, YANG XIU-FENG, ZHOU WEI, et al. Experimental study on aseismic performances of an 8-story structural model with brick walls and concrete shear walls combined [J]. Building Science, 1996,31(1):10-17.
- [6] 孟焕陵,沈蒲生.均布荷载及集中荷载作用下框-剪结构中剪力墙的合理数量[J].华中科技大学学报:城市科学版,2004,21(1):64-68.
MENG HUAN-LING, SHEN PU-SHENG. Optimal numbers of shear walls in frame-shear wall structures under top concentrated load and uniform load [J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Urban Science Edition, 2004, 21 (1): 64-68.
- [7] WEI D M, DAI L L. The seismic response of a base-isolated building of the masonry and concrete composite structure [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2001, 29 (10): 73-76.
- [8] WEI D M, LI L B. Analysis of 3-dimension dynamic response of composite structure under seismic load [J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2002,30(12):67-70.
- [9] SPACONE E, SHERIF E T. Nonlinear analysis of steel-concrete composite structures; state of the art [J]. Journal of Structural Engineering, 2004, 130 (2): 159-166.
- [10] PARK Y J, ANG A H S. Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete [J]. Journal of Structural Engineering, 1985, 111(4): 722-739.
- [11] WILSON E L, PENZIEN J. Evaluation of orthogonal damping matrix [J]. Journal for Numerical Methods in Engineering, 2004,4(1):5-10.
- [12] BAGCHI A. Ivaluation of the seismic performance of reinforced concrete buildings [D]. Canada: Carleton University, 2001:9-25.
- [13] TAYEBI K A. Ivaluation of fround motion intensity-response relation for performance-based design of frame buildings [D]. New York: Cornell University, 2002: 25-42.
- [14] PETER K, BADOUX M. Application of the capacity spectrum method to RC buildings with bearing walls [C]// Proceedings Of 12th WCEE, Jan 30-Feb 4, 2000, Auckland, New Zealand. [S.l.]: IEEE, 2000: 1027-1036.
- [15] REQUENT M. Evaluation of a simplified method for the determination of the nonlinear seismic response of RC frames [C]// Proceedings of 12th WCEE, Jan 30-Feb 4, 2000, Auckland, New Zealand. [S.l.]: IEEE, 2000:1638-1651.

(编辑 赵 静)