

钢筋混凝土壁板结构

(现浇、预制)

译文(日)

山东省建筑科学研究所

1977.12.

目 录

- | | |
|----------------|------|
| 一、 现浇钢筋混凝土壁板结构 | 广沢雅也 |
| 二、 预制钢筋混凝土壁板结构 | 广沢雅也 |

一、现浇钢筋混凝土壁板结构

钢筋混凝土壁板，一般有现浇和预制二种。本篇主要说明现浇的钢筋混凝土壁板。日本建筑学会设计规程曾规定现浇的钢筋混凝土壁板建筑为四层以下，后多建成五层，现更有建成八层的。在说明设计方法之前，先简述一下这方面的历史概况，设计动向和有关法规及规程的要点。

1. 概述

1.1 历史的变迁：

壁板结构一般无梁柱，由壁板和柚板组成，通常三层以上须用钢筋混凝土建造。无梁柱的钢筋混凝土建筑在日本早就有了，但象这种型式的壁板建筑则是从二次大战以后才开始采用的。当时一般是二~三层，现多为四~五层，正向着更高层发展。为节约劳力，这种结构正在予制装配化，（钢筋混凝土预制壁板）。从在壁板上设有不规则的洞口和开口部分的加大，而逐渐地变为壁和梁有明显区别的壁式框架结构。

在日本建成象现在这样型式的壁板公共建筑，其发展过程大致如表1（略）。

这种结构的力学分析非常困难，有关这方面的参考文献也很少，这里仅列举出文献一、二。

1.2 设计技术的动向与有关法规：

目前认为五层以下这类结构的构造和性能存在以下问题：应力分析应立足于采用大胆假定的简捷方法来办；使用多孔的轻质砼新材料的有关问题和五层以上结构的构造、施工及造型等方面应在现有壁板结构的基础上进一步改善的问题。现行建筑法规规定五层以上的壁板结构为特殊建筑，其设计文件需经

有关机关评定和批准，为此要求作试验和力学分析，后补资料很多，所采用的震度 0.3 左右，计标上采用考虑弯矩、剪力、刚度的变形法较多，还有的场合进行动态应力分析。

现行有关法规（略）

2. 日本建筑学会规程要点及有关结构性能的判断

2.1 日本建筑学会规程：

日本建筑学会规程关于这类结构的主要内容：

(1) 地震度为 0.2 时，壁板不应产生裂缝，按此条件来确定壁板的厚度。(2) 为予防因收缩裂缝而发生意外事故，规定了适当数量的剪切钢筋，以便达到虽然产生了收缩裂缝，也不致引起壁板强度急剧下降的目的。(3) 壁板部分的抗弯钢筋是在某些假定下推标出相当于 0.2 震度的弯曲应力，从而标出钢筋量，在规程中规定之。所以一般壁板断面配筋按规定不需计标。梁亦按规定，一般不标。(4) 洞口周围配加固钢筋，纵筋用规定值作为壁的弯曲加固筋，横筋由计标决定作为梁的弯筋，此外洞口及板角部分的斜向加固筋，采用规定值即可。

因壁板结构计标，需要考虑刚域^{*}，所以这样的简化计标方法是允许的。按刚构计标非常复杂，现在尚未达到一般实用的阶段，为此规定下述三种情况不适于采用这种简化计标方法：

- i) 从长方形概念出发，平凸形状很不规则的建筑物；
- ii) 荷载大于住宅建筑荷载的建筑物；
- iii) 混合采用框架和壁板结构的建筑物。

* 刚域：壁式框架和普通框架不同，其节点周围有一段刚性很大，可以看作变形为 0，这一段看作刚域部分，日本建筑学会规程一般自节点中线到洞口距离减去 $\frac{1}{4}$ 梁高。

其他重要事项有以下几点:

i) 砼的强度:

壁板构造学会的规程对砼强度没有规定,而在钢筋砼规范中规定砼最好 135 kg/cm^2 以上,现在多使用 $180 \sim 210 \text{ kg/cm}^2$ 的砼,从抗震观点出发,最好 180 kg/cm^2 以上,轻质砼规范规定 120 kg/cm^2 以上,和普通砼同样目的,也希望 180 kg/cm^2 以上。

ii) 承重壁的设置:

承重壁的设置必须充分考虑在平面上均衡的配置。即,南北二面的墙抗震能力要达到相当的程度,上下层不要设置不连续的墙。壁上开洞时,注意避免如图 1a 所示的情形,因为在墙壁的对角线上连续设置两个以上的小洞,会显著降低抗震能力,而应尽可能如图 1b 所示。在垂直方向配置小洞较好。

iii) 底层地库采用砼结构时,地基要调查清楚。

图 1. 小洞配置例 (见后附图一)

壁板建筑的底层地库采用钢筋砼构造时,为提高抗震性能,预防地基不均匀沉降,建筑物的基础要牢固可靠。此外,壁板建筑每栋往往较长,在地坪起伏变化多的场所,应做好地基调查,采取适当的基础方案,以免发生不均匀沉降。

iv) 其他:

相邻建筑物的间距不可太大,一般 8M 左右。每栋建筑物不要太长,一般小于 $80 \sim 100\text{M}$ 。

2.2 地震灾害及抗震性能估计:

(1) 地震灾害

壁板建筑遭受灾害的例子虽然不太多,1964年的新潟地震,1968年的+胜冲地震,1975年的大分地震等,对壁板建筑物受震情况进行了调查。新潟地震调查了 47 栋建筑物,

情况如表 2，其中地基明显变动，但破坏轻微的实例很多。+ 胜冲地震，有五栋的调查报告，除正在建造中的二栋外，没有受到震害。此外在大冲地震中，似乎受到破坏的明定县附近二座梁板建筑物的集体宿舍，也没有破坏。

(2) 建筑物的破坏试验;

在日本关于梁板建筑结构的试验不少，建设省建筑科学研究所曾经做过三栋不同的建筑实物的破坏试验。图 2、3、4 分别为试验建筑物的平、立面图，荷载和顶部水平变形的关系及剪力和结构的倾角关系图。表 3 为试验概要和结果的分记录，这些都是在基础固定的情况下试验建筑物长边方向的抗震性能而做的试验。

表 2 新潟地震梁板建筑物的震害调查

		下 部 结 构				计
		下沉 20cm 以下, 倾斜 20° 以下	下沉 50cm 以下, 倾斜 1° 以下	下沉 100cm 以下, 倾斜 15° 以下	下沉 100cm 以上, 倾斜 15° 以上	
上部结构	无破坏	○ △ △ ○ △ × ○ △ × ○ △ × ○ △ ○ △ 10	○ △ × ○ △ ○ ○ ○ ○ 3	○ × 2	○ △ × ○ △ ○ △ ○ △ 9	35
		○ △ △ ○ △ × ○ △ ○ ○ ○ ○ 12	○ △ △ 3	× ○ × ○ 4	△ 1	
		×				
		1	○	○	1	

注: ○, △, ×, 各表示 4, 3, 2, 1 层建筑物。

图 2, 壁式建筑物实物试验平剖面图。(足尺建筑物)

图 3, 壁式建筑物实物试体立面图。(足尺建筑物)

图 4, 壁式建筑物试体在水平荷载作用下位移荷重曲线包络线图

(见后页附图一)

实验一：为使五层壁板结构设计更合理而进行的试验，壁厚 15cm ，壁另 $12\text{cm}^2/\text{cm}^2$ ，略低于规程的值。壁板破坏的主要形式是剪切破坏（因为不是韧性材料）。试验结果证明，现行规程中关于壁厚和壁另的规定是必要的。

实验二：壁厚和壁另采用规程中的下限值，在平面上，墙壁有偏离位移，立面上楼板有偏离位移的建筑物试验体。这一试验目的是为了研究能否在倾斜场地建造这类建筑物。试验结果仍然是脆性剪切破坏。最大剪力系数为 1.06 ，经分析认为没有特殊问题。

实验三：为探索建造八层壁板建筑的可能性，设计方案不增加建筑物强度，而采用增加其柔性的办法。如表 3 所示。壁另减小，壁厚和剪切配筋大幅度增强，墙壁布置与以前的也不同，如图 3 所示的壁式框架型式。试验结果表明，建筑物的强度很大，变形能力大，实有韧性。

(3) 抗震性能的推定：

如前所述，壁式建筑物在地震时受害轻微。实物建筑的破坏试验，也表明具有很大的抗震能力。分析这些大型试验和局部构件试验的结果，可以求出壁板的单位抗剪强度，按壁厚（壁厚 $\times$ 壁另，单位 cm^2/m^2 ），学会规程规定的下限值，推定建筑物一层的最大剪力系数（建筑物的水平抗剪强度 Q_w / 建筑物重量 W ）如表 4，从表 4 可以看出，推定出的壁式建筑的强度具有和建筑物重量相近的水平强度。目前易坏的刚性建筑物，

是达不到这样的强度的。壁式建筑在中并地震下，一般不产生裂缝，即使在大地震下，也可设计到具有不致崩坏的抗震能力。

表3 壁式建筑实物试验概要

试验编号	1	2	3
试验日期	1968年	1970年	1971年
构造型式	现浇	现浇	现浇
建筑物试件层数	五层	五层	4(8)层
试验目的	进一步使五层建筑合在丘陵地能否建筑为实现8层建筑理化		
壁厚(Cm) } 单位楼板面积的 壁量(Cm/1 ²) } 墙断面积 Cm ² /1 ²	15 } 12 } 180	18 } 15 } 270	35 } 6.6 } 232
壁的配筋	单筋(一层)	双筋(双层)	双筋(双层)
壁的横向配筋率(%)	0.25	0.28	1.13
砼强度 (kg/cm ²)	230	230	210
震度 K=0.2 时, 壁的剪切应力	4.9 kg/cm ²	4.1	6.9
出现剪切裂缝时壁的平均剪应力 τ_c (kg/cm ²)	11.0	13.0	20.7
τ_c / τ_0	2.3	3.2	3.0
最大荷载时, 壁平均剪应力 τ_u (kg/cm ²)	21.0	21.6	31.0
τ_u / τ_0	4.3	5.3	4.5
破坏型式	大变形梁壁弯压崩坏	同左	同左
最大荷载下, 一层构件倾角 (10 ⁻³ rad)	7.1	7.3	22.0
固有自振周期(秒)	0.15~0.49	0.15~0.46	0.14~0.28

表4 现浇钢筋混凝土板的抗震计算强度

层数	壁厚下限 t (cm)	壁号下限 l_w (cm/M ²)	壁号下限 A_w (cm ² /M ²)	推标强度 τ_u (kg/cm ²)	推标剪力 Q_w (t/M ²)	平均延性 重 w 号 (t/M ²)	强度比 $\frac{Q_w}{w}$	有关规程 [文献号]
1	12.0	12.0	144.0	12.0	1.73	1.0	1.73	} [3]
2	15.0	12.0	180.0	14.0	2.52	2.0	1.26	
3	18.0	12.0	216.0	16.0	3.46	3.0	1.15	
4	18.0	15.0	270.0	18.0	4.86	4.0	1.22	
5	18.0	15.0	270.0	20.0	5.40	5.0	1.08	[12]

3. 设计步骤和要点:

设计步骤和要点分述如下, 详见文献 3.12、13.

3.1. 壁板配筋的确定:

(1) 设计条件:

房屋高度限制(普通砼 14.5 M, 轻质砼 11.0 M, 包括女儿墙, 屋顶面除外)但屋顶的防水池及屋顶面的重号位置要考虑。

(2) 假设荷重和容许应力:

荷重: 楼板、壁板和其他要分开计算。楼板厚度一般假定为 10 cm, 且不小于钢筋混凝土学会规程对于板厚的限制(见表 5), 此外, 剪切及粘结的长期容许应力为长期应力的 1.5 倍。

(3) 壁厚和壁号:

壁厚: 不小于表 6 所规定的数值, 当一层楼板不是钢筋混凝土结构时, 壁板的构造和强度应按垂直支点间距离计算, 例如从地梁重心到二层楼板的垂直距离。这样壁厚 18 cm 有时还不足。

壁号: 同一厚度的壁在各层 x, y 方向长度的总和 (cm), 求出后除以该层楼板面积 (M²) 的值, 单位 cm/M²。

表5. 楼板厚度的下限值 (钢筋混凝土学会规程13条)

支点条件	周边固定	悬臂
$\lambda \leq 2$ 的双向板	$\frac{\lambda \cdot l_x}{16 + 24\lambda}$	—
$\lambda > 2$ 的双向板或单向板	$\frac{l_x}{32}$	$\frac{l_x}{10}$

注: 1. $\lambda = \frac{l_y}{l_x}$

l_x : 短边的有效跨度; l_y : 长边的有效跨度.

2. 悬臂板厚度指支点端P的厚度, 其他P点厚度可酌减.

3. 轻质钢筋混凝土板厚为上表值的1.1倍.

所谓承重壁板, 其宽度必须在45 cm以上, 且大于壁高的30%以上, 方为有效.

所谓楼板面积, 是表示建筑物全重指标所用到的数值. 当上层楼板面积变小, 或有重量较小的阳台时, 应适当减少楼板面积. 因上层楼板面积变小时, 下层建筑物的重心和刚度中心的偏心容易加大, 所以壁板的布置必须考虑这点, 此时壁厚值应按表7规定的下限值取用.

表6 壁厚的下限值

砼	层	板	壁厚 t_0 (cm)	备注
普通	地上层	平房	12或 $\frac{h}{25}$	
		二层房屋的各层或三层以上建筑物的最上层	15或 $\frac{h}{22}$	
		其他各层	18或 $\frac{h}{22}$	
	地下层		21或 $\frac{h}{18}$	
轻质	平房		14或 $\frac{h}{22}$	
	二层房屋的各层或三层以上建筑物的最上层		17或 $\frac{h}{20}$	
	其他各层		20或 $\frac{h}{20}$	

表 7. 壁号下限值

层			壁号 cm^2/M^2
普通砼	地上层	由顶层或第三层以上各层	12
		四层建筑的每一层、五层建筑的每一层	15
	地下层		20
轻质砼		建筑物的各层	14

(4) 检验壁体所受垂直荷载的压力：

一般方法：先求该壁所承担的楼板面积，楼板荷载，该壁自重等，从而求出各层壁板的竖向荷载和竖向应力。通常五层建筑第一层壁板压应力小于 $20 \text{ kg}/\text{cm}^2$ 。

以上计算不要忽略屋顶小屋、水槽、排出的梁板等。

(5) 垂直壁板配筋计算：

首先计算抗剪钢筋，可按表 8 选用配筋率，再确定抗剪钢筋的直径和间距。

表 8 垂直壁板抗剪钢筋配筋率

建 筑 部 位		配 筋 率 (%)
地上层	平房或顶层	0.15
	从顶层下数第二层	0.20
	其他层	0.25
地下层		0.25

表 9 垂直壁板需配的抗剪钢筋

层	壁端并处的抗剪钢筋	
	$h > 1 \text{ m}$	$h \leq 1 \text{ m}$
平房	1- $\phi 13$ (或变形筋 1-D13)	1- $\phi 13$ (或变形筋 1-D13)
多层自上层 2 层	2- $\phi 13$ (或变形筋 1-D13)	1- $\phi 13$ (或变形筋 1-D13)
其他层*	2- $\phi 16$ (或变形筋 2-D16)	2- $\phi 13$ (或变形筋 2-D13)

备注： h ：洞口边的高度（平行抗弯钢筋方向）当洞口的上 P 或下 P 的小梁和承重梁不是整体的，则高度将这部分高度扣除在内。

*五层建筑的一层梁端 P 用 $2-\phi 19$ 以上。

其次梁板洞口 P 分的周围及梁板的抗弯钢筋不需要特别计标，按表9规定的数值确定即可。在梁板洞口拐角部分的配筋可按表9中钢筋的 $1/2$ 以上断面积来配置，并配置斜向筋不小于 $\phi 9$ ，梁与楼板交叉 P 位必须配置 $\phi 13$ 以上的水平钢筋。

3.2 梁的设计：

(1) 地震力的计标：

和一般框架一样，先假定设计震度，计标地震力，然后求出地震应力。建筑物在体若无染性，容易受震破坏，因此设计时选用适当的地震度是值得研究的。目前尚无明确的定论。前述大型实体试验，都是按震度为0.2设计的。试验结果没有指出梁有何问题，因此建议设计震度可采用0.2，并使用前述抗剪力较强的设计。

(2) 平均剪应力：

分别求出各层梁板在各方面的平均剪应力（每层剪力/梁板总断面积）一般四层建筑的底层约为 3.6 kg/cm^2 以下，五层的底层为 4.05 kg/cm^2 以下。此外，层数不同的部分经过由于重心、刚心的偏心而产生附加的剪应力，建议大致上应低于长期容许剪应力。

(3) 地震力作用下梁的应力：

由(2)得到的平均剪应力乘梁的断面积即得梁的剪力。梁的弯曲应力用反弯点高为层高的 $1/2$ （一层楼板没有时，如前述取高的值）即可。对于一般楼层，将上层梁脚和下层梁顶的弯矩之和，按与梁相连的梁的刚比来分配，即得出梁的弯矩和剪

力。此时梁的刚比系考虑了弯曲，剪切，刚域的有效刚比（参见文献13附14.3），如果梁的断面大致相等，即可简略地按梁跨度的反比来进行分配即可。

(4) 垂直荷载作用下梁的应力：

和普通框架一样，先计算固端弯矩（C），梁的简支弯矩（ M_0 ）和剪力（Q），梁的计算跨度（框架端部节间的长度）采取净跨加梁高的一半（即刚域端部的长度），若梁二端的壁有足够大，即可看作梁端固定，无须按框架分析应力，按固端梁求梁的应力即可。

(5) 弯曲加固筋的计算：

由于地震产生弯曲应力，其加固筋可按式（文献13的14式）简标：

$$M = \alpha_t f_t j \quad (1)$$

式中， M ：弯矩 $kg-CM$ ， f_t ：钢筋屈服应力，

j ：梁的计算高， ≈ 0.9 梁高。

由上式所得钢筋面积若小于表9中的值，则仍采用表9中的配筋量。

(6) 剪切配筋计算：

如前(1)内所述，当设计震度为0.2时，须对剪力进行验标。式(2)〔文献13的24式〕建议把二端屈服时的剪力作为外期设计剪力。当梁高，计算困难时，建议采用(3)式， n 采用2以上的值。

$$Q_D = Q_L + \sum \frac{M_y}{l} \quad (2)$$

$$Q_D = Q_L + n Q_S \quad (3)$$

式中符号： Q_D ：梁的外期设计剪力，

Q_S ：设计震度下的剪力。

Q_L : 长期荷载下的剪力,

M_y : 设计震度下的弯矩,

l' : 梁的计标跨度.

在求得设计剪力 Q_D 后, 再由 (4) (5) (文献 13 的 2.5 式) 计标确定是否需要配置剪力钢筋.

$$Q_{AL} = b j \alpha f_s \quad (4)$$

$$Q_{AS} = b j \{ \alpha f_s + 0.5 \omega f_t (P_w - 0.002) \} \quad (5)$$

式中: f_s : 砼的容许剪力值 (外期为长期的 1.5 倍)

P_w : 采用表 8 内以上的值, 不根据计标,

j : 梁的应力中心距离 $= 7/8 d$.

$$\alpha = \frac{4}{M/Qd + 1}, \text{ 且 } 1 \leq \alpha \leq 2.$$

ωf_t : 箍筋容许拉应力.

(7) 基础梁的计标:

基础的应力和断面计标与一般梁的计标相同, 当基础是连续条形基础时, 必须考虑地基反力所产生的长期应力.

一般基础梁应力值很大的不多, 常取较小的断面, 但为了预防不均匀沉降和意外事故的发生, 並保证地震时的安全, 它的高度采取层高的 $1/6$ 以上, 特别在软弱地基或丘陵地区建筑时, 尤应慎重考虑.

3.3 其他计标:

其他构件如小梁、楼板、楼梯、基础等的计标, 和一般钢筋混凝土结构相同, 不再详述, 但需注意以下几点:

1) 楼梯支承坪的加固:

支承悬壁楼梯的坪壁, 由于产生平弯外的弯矩, 因此需要加固, 当坪壁单面配筋时, 尤须注意 (参考文献 14).

ii) 桩基产生偏心时的加固:

桩基础的建筑物如发现打下去的桩和予定位置有偏心时,则在基础梁上产生扭矩。鉴于一般的壁板建筑的基础梁的较窄,壁板平面的抵抗力也小,因此设计时应考虑可能出现偏心这种情况,其处理方法可在基础梁的垂直方向加设连系梁,同时基础梁也增加抗扭钢筋(参考文献'13'的21条)。

iii) 楼板的锚固:

通常框架结构中的楼板锚筋固定在宽度较大的横梁中,但壁板结构中的梁宽度一般和壁厚相同,较窄,因此楼板的锚筋至少应伸过梁中心线,即 $\frac{1}{2}$ 样厚,而且钢筋要弯起带钩。

4. 关于五层壁板结构建筑的通告:

以下是日本建设省住宅局建筑指导课长关于五层壁板建筑的通告全文:

五层钢筋混凝土壁板公共住宅设计规定:

1. 适用范围:

1-1, 本规定适用于五层钢筋混凝土壁板公共住宅建筑。

1-2, 不适用于特殊平面, 特殊荷重条件以及多区区的建筑。

1-3, 除执行本规定外, 还应参照日本建筑学会制定的钢筋混凝土壁板建筑设计规程。

2. 材料:

砼: 28天抗压强度 $f_c 28 = 165 \text{ kg/cm}^2$ 以上。

钢筋: 相当于SR 24以上。

3. 规模及平面形状:

3-1, 建筑物的平面原则上以长方形为标准。建筑物由壁板中心线所包围的房间面积, 不超过 60 M^2 。

3-2, 建筑物层高必须低于 4.5 M (包括高底超过 1.2 M 的女儿墙)。

4. 承重壁板:

- 4-1, 壁的布置要均衡, 壁号 $15\text{cm}^2/\text{m}^2$ 以上.
- 4-2, 按设计震度验算, 平均剪应力 $\leq 4.0\text{ kg/cm}^2$.
- 4-3, 一层壁板端部的弯曲加固筋采用 2-中 19 以上.
- 4-4, 壁板洞口下部的斜筋, 如施工有困难, 可用水平及垂直方向的钢筋代替.

5. 壁梁:

梁宽: 最上层 15cm 以上, 其他层 18cm 以上.

6. 基础:

基础无则上为条形, 软弱地基及桩基情况下, 须专门研究处理.

译自 "工业工程" 78/8, Vol. 14, No. 8

参考文献

1. 建筑学大系 16卷“鉄筋コンクリート構造, 基礎構造,” 彰国社
2. 坪井善胜, “鉄筋コンクリート壁式構造設計規準 (2つ) ”
建筑杂志, 1952.5月
3. 日本建筑学会, “特殊コンクリート造关系設計規準同解説”
技报堂 1974 第11版
4. 建设省建筑研究所, “建筑研究报告 No 42, 新潟地震
12支子建築物の被害”, 1965年
5. 日本建筑学会 “1958年十胜冲地震災害調査報告,” 1968年
6. 建设省建筑研究所, 1975年大分县中部に発生した地震
災害調査報告,” 1975年5月
7. 松島丰, “突大5階建乙壁式鉄筋コンクリート造アパート 破壊
実験報告” コンクリートジャーナル 1970年1月号
8. 远藤利根穂, “上下おきこ” 水平おきこ壁式構造突大実験
昭和46年建筑研究所年報 1972年
9. 千崎裕, “上下おきこ” 水平おきこ壁式構造戸建住宅の振
動解析” 昭和46年建筑研究所年報 1972,
10. 11. 12. 14 (略)
13. 日本建筑学会, “鉄筋コンクリート 構造計画規準同解説”
技报堂 1971年改