

砖混结构抗震试验报告汇编

北京市建筑设计院

1978

前 言

砖混结构是我国目前应用最广泛的一种结构形式，砖砌体由于其材料的物理力学性能所限，在承受垂直静荷载时是一种良好的墙体材料，然而在经受地震动力作用下，因其是脆性性质则表现较差。

考虑到目前我国建筑工业的实际情况，砖混结构在一定时期内，在地震区还将继续使用，因此研究提高砖混结构的抗震性能，仍有很大的现实意义。

1976年唐山地震以后，对于在地震区新建砖混结构如何提高其抗震能力？对已建砖混结构如何进行抗震加固等问题，迫切希望通过一定的试验研究来求得解决。为此我院和有关协作单位于1977年初开始，在上级领导部门的支持下，开展了一些工作。

本汇编分四部分内容：

1. 用钢筋网抹灰加固砖墙的试验研究；
2. 用外加钢筋混凝土构造柱提高砖混结构抗震性能的试验研究；
3. 墙内设钢筋混凝土构造柱对提高砖混结构抗震性能的试验研究；
4. 带钢筋混凝土构造柱砖混结构模型动力试验报告。

通过单片墙和1/4比例模型的静、动荷载试验，证明这些加固方法可以提高砖混结构的承载能力，增加结构延性，使抗震性能得到改善。并为采用加钢筋网抹灰加固和钢筋混凝土构造柱加固，在设计计算方面提供了试验依据和验算的参考公式。

限于试验构件

限于试验构件的数量和手段，对诸如构造柱的布置，间距，柱的配筋，带洞口墙体设置构造柱的效果，砌体砂浆标号的影响等问题，都有待进一步研究。文中不妥之处，请予批评指正。

参加此项试验研究工作的单位有：

北京市建筑设计院；
北京市第一、第五建筑公司；
北京市房管局；
北京市地震大队抗震组；
国家建委建研院抗震所；
中国科学院工程力学研究所；
清华大学土建系。

1978年6月

目 录

前 言

- 一、试件制作, 加固工艺
- 二、试验安装, 加荷及量测
- 三、试验结果及分析

- 1, 承载能力
- 2, 钢筋应力
- 3, 裂缝及变形

- 四、关于计算方法的探讨

- 五、小结及存在问题

附录一、用钢筋网抹灰加固墙体的补充试验

二、砂浆抗剪强度试验

(参考资料)

前 言

砖石结构中墙体是主要的抗震构件，但是砖砌体的抗震性能较差，在地震时常常首先遭到破坏而导致整幢房屋的倒塌。因此，如何提高砖墙的抗震能力，对于发生地震时确保人民生命财产安全是非常重要的。

在墙体表面加钢筋网抹灰层是提高经地震已开裂的墙体或未开裂但抗剪能力不足的墙体的有效措施之一。唐山地震后，各地相继采用。目前由于缺乏试验依据和计算方法，国外有限资料亦不足以解决加固工程的需要，今年由北京市建筑设计院、北京市第五建筑公司、北京市房管局和工程力学研究所等单位组成三结合小组对钢筋网抹灰加固的效果进行试验研究，进行了单片墙体在侧力作用下的对比试验，比较加固前后墙体的承载能力，裂缝及破坏特征等。

试验主要考虑了以下因素：

加固前墙体未损坏或已损坏；

单面加固或双面加固墙体；

墙体厚度为12厘米或24厘米，钢筋网格变化；

加固层在楼板处连续或部分断开，以及墙体内竖向轴应力（ σ_v ）影响等。

共试验33个试件

试验试件见下表：

表1

试件 分组	数量	墙厚 (cm)	加固钢筋网	单面或双 面 加 固	加固前墙 体 状 况	加固层与楼板 处是否断开	备 注
I	5	12	$\phi 6-20$ 方格	双面	已损坏	下部连续	$\sigma_v = 3.5 \text{ kg/cm}^2$
II	5	12	"	单面	未损坏	"	"
III	5	12	"	双面	"	"	"
IV	1	12	"	双面	"	试件下部加固层 钢筋大部断开	"
V	4	24	$\phi 6-25$ 方格	"	"	下部连续	"
VI	5	24	"	"	已损坏	"	其中Ⅵ-5不配钢筋
VII	2	12	$\phi 6-20$ 方格	"	未坏	试件下部加固层 钢筋大部断开	$\sigma_v = 0$
VIII	3	12	"	"	未坏	下部连续	"
IX	3	12	未加固	—	—	—	"

一、试件制作, 加固工艺

[illegible]

1. 试验砌体由底座、墙体、混凝土梁组成,

墙体长2米,高63厘米,高宽比1:3.15,用10 泥合砂浆砌筑,墙体未勾缝。

为对墙体传递垂直荷载及施加水平荷载，墙顶设置混凝土梁，长2米，截面12厘米×12（或24）厘米。试验时梁混凝土标号达150°以上。

2. 加固层制作

钢筋网绑扎及尺寸: 钢筋网布置见图2。

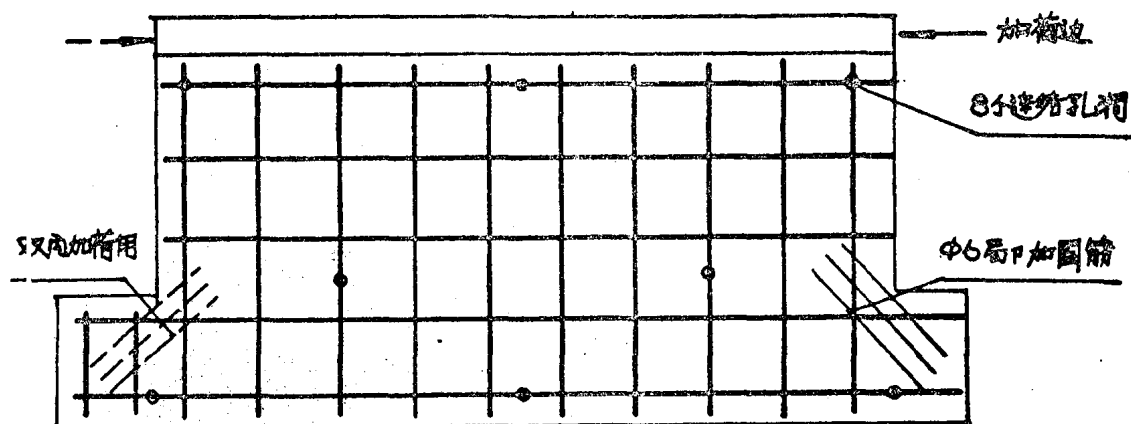


图2 I、II、 试件配筋

绑扎钢筋前在墙体上打孔以便穿过连结筋。第Ⅰ组、第Ⅵ组试件墙体破损后，用电钻打孔，直径2.5厘米，钻孔时并未损坏墙体。第Ⅱ组、第Ⅲ组试件则在砌筑墙体时在灰缝中预留孔洞，直径稍大于6毫米， $\phi 6$ 连结筋可于洞内活动。Ⅳ、Ⅴ组则洞直径约2厘米左右。

钢筋网全部为 $\phi 6$ 钢筋，不加弯钩，连结筋与钢筋网相交后弯成 $\cap$ 状并绑扎牢固。

抹灰层制作：钢筋网绑扎后将砌体充分浇水湿润，以提高砌体和抹灰层的粘结力，抹灰厚度每面3厘米，分两遍抹成，如为电钻打孔，首先将孔洞用砂浆填实，再抹第一遍灰厚约2厘米左右，抹灰时最好将钢筋与砌体间空隙填实，使钢筋靠砌体面形成钢筋保护层，紧接着抹第二遍灰。注意钢筋不得外露使钢筋网有保护层。抹灰时砌体只抹到圈梁下部，在墙下部分两种情况大部分试件为模拟加固层在楼板处连通则一直连续并抹满底座。另一种则模拟加固层在楼板处断开而抹灰层在墙体试件下部断开约6厘米高，而加荷端则为实验方便未使加固层完全断开，（见图1）这是为模拟实际楼房加固时室内抹灰层在楼板处断开情况。

Ⅵ组试件在加荷端下部用混凝土或砂浆层加固以免局部倾覆破坏。

从试件施工情况看，Ⅰ、Ⅲ组连接筋孔小，在大面积加固时不易做到，其余各组较接近实际施工情况。

二、试验安装、加荷及量测

为了平衡倾覆力矩，防止试件翘起及将墙面加固层向下延伸，在试件下部制成底座。单向加荷时，加侧力端底座用钢梁压住，另一端底座用钢梁顶紧以防试件移动。双向加荷时则试件两端均需用钢梁顶紧、压住。

加荷：予先在墙体上部通过加荷杠杆施加垂直荷载，砌体平均压力 σ_0 约为 3.5 kg/cm^2 大致相当于5层住宅中第三层的垂直荷载产生的压应力。然后在墙体上混凝土梁端部单向或双向反复加侧力，用千斤顶加荷，通过压力传感器测定荷载值。安装、加荷见图3。部分试件不加垂直荷载 $\sigma_0 = 0$ 。

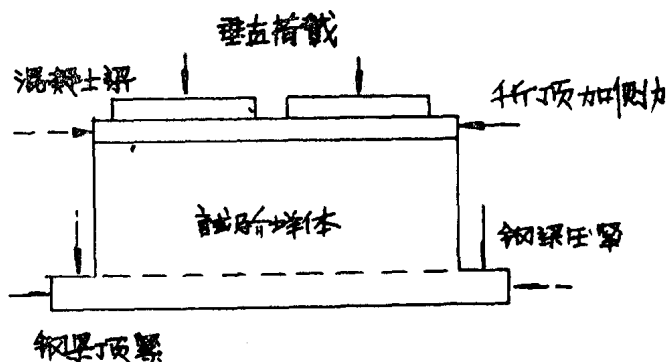


图3a

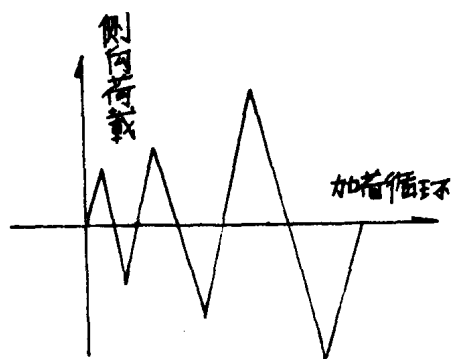
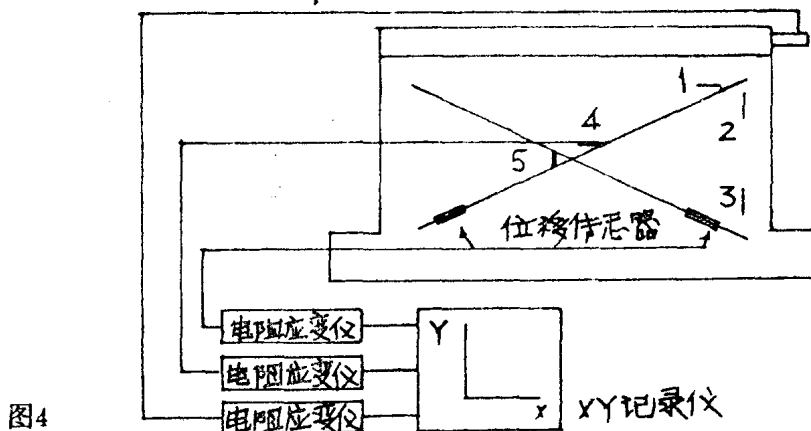


图3b

量测：试验时将水平推力值，砖砌体的剪切变形、钢筋应变等通过电测仪表直接记录下来。测点及所用仪器示意如下图：



剪切变形用CWZ—25f型位移传感器测定。

钢筋应变量测：在钢筋网上贴电阻应变片量测加水平力时钢筋应变，共5个测点。用Y6D—3动态应变仪量应变时，用SC—16光线示波仪记录，或用静态应变仪量测，读数记录或用XY记录仪自动记录。

三、试验结果及分析

1. 承载能力：试验破坏荷载值见表二。

从试验破坏荷载可以看到：

不论墙体是否已破坏，采用钢筋网抹灰层加固的办法均能提高承载能力，如果墙体未破损（或破损后已修复）经加固后承载能力提高较多。厚12厘米墙体，I组墙体试件加固前后对比承载能力提高18.5吨，而墙体未破损经过双面加固的Ⅱ组试件提高25.9吨。在钢筋网与墙体连结牢固的条件下，单面加固则提高15.1吨，未破损墙体双面加固比单面加固承载能力提高10.9吨。从厚24厘米墙体试验亦可得到类似的结论，但加固效果却不及12厘米厚墙体：V组试件未破损加固后承载能力提高19.3吨，而Ⅵ试件加固前后对比提高8.2吨。从实验结果可以看到钢筋网抹灰层增加了墙体的抗剪面积，提高了墙体抗震能力。

墙体厚12厘米与24厘米时承载能力比较：对于未加固的墙体，24厘米墙为12厘米墙抗剪面积的两倍，但承载能力却为1.62倍。而从I组和Ⅵ组试件加固后承载能力的提高来看，24厘米厚墙体不及12厘米厚墙体，其原因可以从以下几个方面考虑：未加固的24墙比12墙砌筑灰缝增多对抗剪性能有一定影响，加固前24墙经双向反复荷载试验破坏较严重；又12墙加固钢筋网连接筋孔洞小于24墙，故加固层与墙体联结好些；24墙加固钢筋网 $\phi 6-25$ 比12墙加固筋少以及24墙加固前墙面曾抹刷白灰而未除净。

当试件底部砂浆层及钢筋网部分断开时，沿试件最薄弱的底层破坏，承载能力降低为19吨。

表2

编号	墙厚	加固特点	破坏荷载 (T)			平均值 (T)		比值 H_1/H_0	备注
			加固前	加固后		H_0	H_1		
I-1	12 CM	已损坏墙 双面加固	12.6	24.6	9.14	27.6	3.03		
-2			8.9	24.5					
-3			6.3	30.3					
-4			9.0	31.2					
-5			8.9	/					
II-1	12 CM	单面加固		/	24.2		2.65		
-2				23.1					
-3				25.5					
-4				23.7					
-5				24.5					
III-1	12 CM	双面加固		32.5	35.1		3.85		
-2				/					
-3				37.7					
-4				35.2					
-5				/					
IV-1	24 CM	加固及断		19.2	19.2		2.06		
V-1				39					
-2				/					
-3				36.5					
-4				29.5					
VI-1	24 CM	已损坏墙 双面加固	15	14	20.5	14.8	23.0	1.55	VI-5 未加钢筋网抹面
-2			14	13.5	21.0				
-3			15.3	14.8	21.8				
-4			15.2	17.0	/				
-5			15.5	14.4	/				
VII-1	12 CM	加固及断		8.6	9.3		6		
-2				10					
VIII-1	12 CM	双面加固		15.4	16.4		10.6		
-2				/					
-3				17.4					
IX-1	12 CM	未加固墙	/		1.55				
-2			1.3						
-3			1.8						

从以下几组试验对比分析垂直应力 σ_v 对墙体承载能力的影响,Ⅰ组试件与Ⅰ组未加固墙体试件对比: $\sigma_v=0$ 比 $\sigma_v=3.5$ 时水平破坏荷载降低约7.6吨。已加固墙体Ⅵ组和Ⅳ组试件比较 σ_v 由0增至 3.5 kg/cm^2 ,承载能力增大9.7吨,从已加固墙体Ⅵ组与Ⅲ组比较, σ_v 增大承载能力亦增加,但Ⅲ组为剪切裂缝破坏,Ⅵ组多为局部受弯裂缝破坏,故对破坏荷载值会有影响,但总趋势仍与前述各组相同。

在试验中由于试件制作时的差异、试验方法的不同等,砖混结构的实验破坏荷载的离散性较大。

2. 钢筋应力,在部分试件中量测了钢筋网的横、竖筋的应变,5个测点位置见图4,试验钢筋应力变化简述如下:试件中部横筋4[#]测点开始压应力很小,而试件开裂后如果裂缝通过测点或离测点很近则钢筋应力突然增加,受拉屈服。如裂缝不通过测点且离测点很远时则应力不大。Ⅰ—4试件4[#]测点荷载—应变曲线见图5—1。中部竖筋5[#]测点加水平荷载后开始受拉,亦有的试件受压但数值均不大。当墙体开裂后钢筋受拉屈服。Ⅰ—3试件荷载—应变曲线见图5—2。3[#]测点在加水平力端墙体根部,由于加水平力时墙体变形使试件有翘起的趋势,所以在加荷过程中拉应力增加较快。Ⅲ—3试件中水平荷载为30吨时拉应力为 1660 kg/cm^2 ,此时其他测点最大拉应力为 285 kg/cm^2 (2[#]测点),1[#]测点在加荷后应力数值不大。

24厘米厚墙体加固后,4[#],5[#]测点一般均未屈服,3[#]钢筋应力最大。

现将试件中部4[#],5[#]钢筋量测结果列表如下:

表3

试件号	墙体破坏时钢筋应力 kg/cm^2		备 注
	4 [#] (横筋)	5 [#] (竖筋)	
I—3	屈服 (+)	屈服 (+)	均为加侧力后的应力增量
I—4	—	+2030	
II—3	屈服 (+)	+2420	
II—4	+2220	—	
III—3	—	+1260	
III—4	-158	—	
IV—1	-35	-55	
V—3	-10	+420	
VI—2	-245	+70	
VII—2	+10	-25	
VIII—3	-75	+110	

由量测结果可见，一般试件开裂后钢筋发挥较大作用，但如果裂缝不通过此钢筋则应力便不大。

从试验量测可见端部竖筋在防止试件倾覆方面起到很大作用。

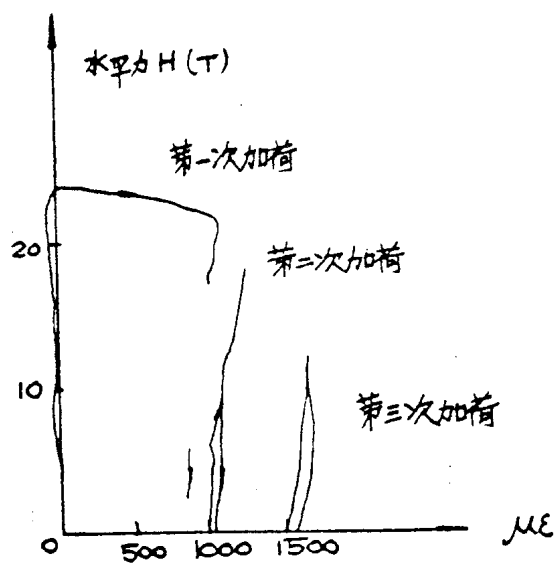


图5—1 II—4试件荷载—钢筋应变曲线 (4°横筋测点)

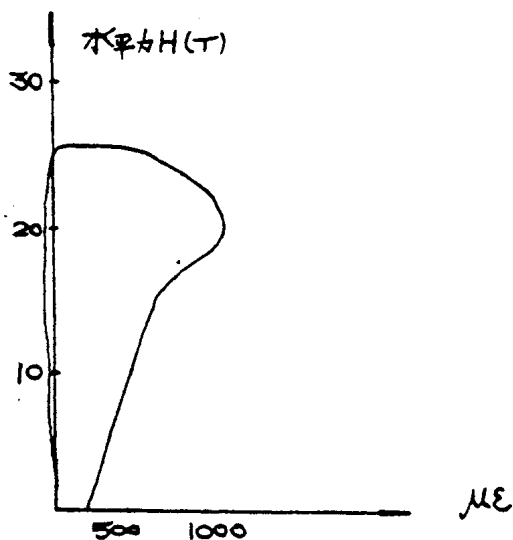


图5—2 II—3试件—钢筋应变曲线 (5°竖筋)

3. 裂缝及变形

砌体在水平荷载作用下，裂缝的形式大致有如下四种：

1) 第 I、II、IX 组未加固砌体裂缝由阶梯形缝和水平裂缝组成。沿试件对角各有一段阶梯形裂缝，中间有水平裂缝与之相连，见图6。也有试件沿对角一端有一段阶梯裂缝，另端一段水平裂缝与之相连。裂缝基本沿灰缝，极个别砖上有被挤碎裂缝。裂缝出现后，水平荷载不再能加上去。裂缝荷载即破坏荷载，再次加荷，并不出新的裂缝，仅是原缝的继续扩大而已。

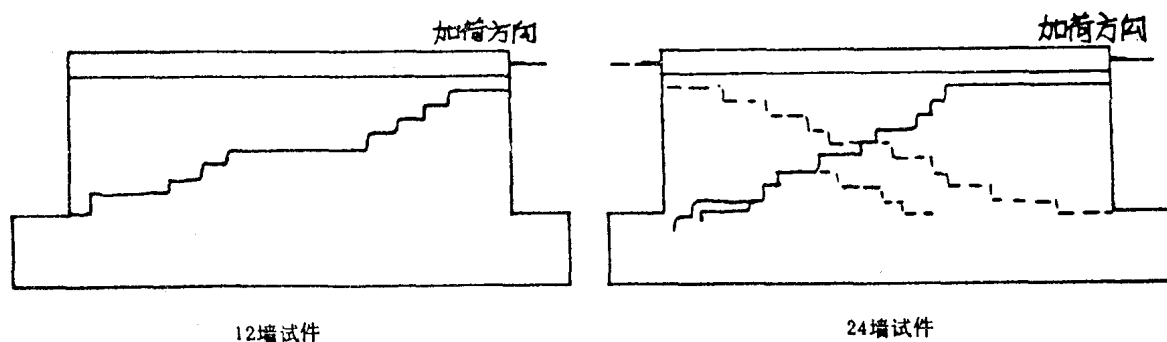


图6

2) 单面加固墙体受水平力后，砖砌体与水泥砂浆加固层的裂缝走向基本一致，加固层一般出现数条斜向裂缝，砌体部分则为沿灰缝出现阶梯形裂缝，少数砖块碎裂，如图7所示。

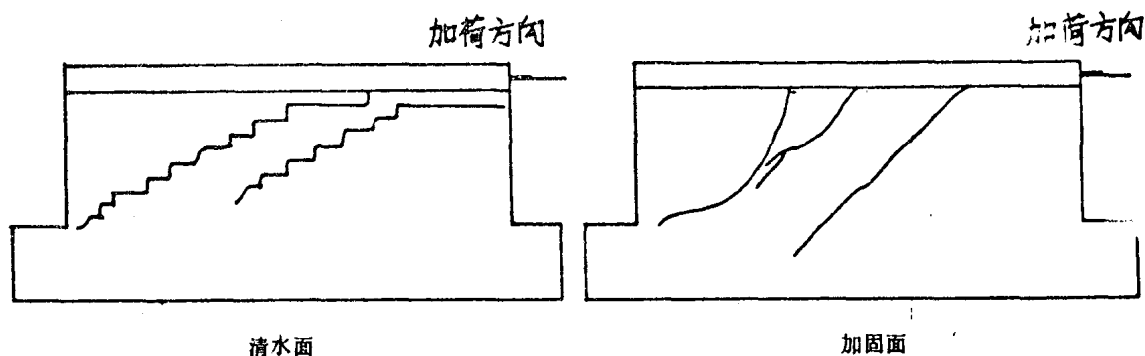


图7

3) 双面加固（下部连续）的墙体共五种情形，第 I 组，单面水平荷载试验开裂后，进行双面加固的12墙；

第 II 组，没有裂缝就进行加固的12墙；

第 VI 组，反复水平荷载试验出现裂缝破坏后进行双面加固的24墙；

第Ⅴ组，未开裂就进行加固的24墙，以上四组 $\sigma_p = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ 。

第Ⅶ组，没有裂缝就进行加固的12墙， $\sigma_0 = 0$ 。

以上五种砌体裂缝基本上为斜裂缝，根据发生的先后和位置又分两种情形。第一种，位于砌体后根部，出现较早，由弯矩和剪力共同作用引起；第二种，主要由剪力引起，它开始于混凝土梁下部或试件中部与梁下部基本同时出现，往往几条裂缝同时出现后，迅即向斜下方扩展，同时混凝土梁带着砖块也开始滑动，砌体即告破坏。

对Ⅰ、Ⅲ、Ⅵ组砌体，第一种斜裂缝只是随荷载增加有少许延长和开展，对砌体承载力不起主要作用。砌体破坏由第二种斜裂缝的出现来决定，简称为剪切破坏。

在第Ⅴ组中，有的砌体是由于第一种斜裂缝的延长和开展引起的弯剪局部破坏，有的砌体则由于第二种斜裂缝引起剪切破坏。

第Ⅶ组砌体都是由于第二种斜裂缝引起的剪切破坏。

裂缝见图8和图9。

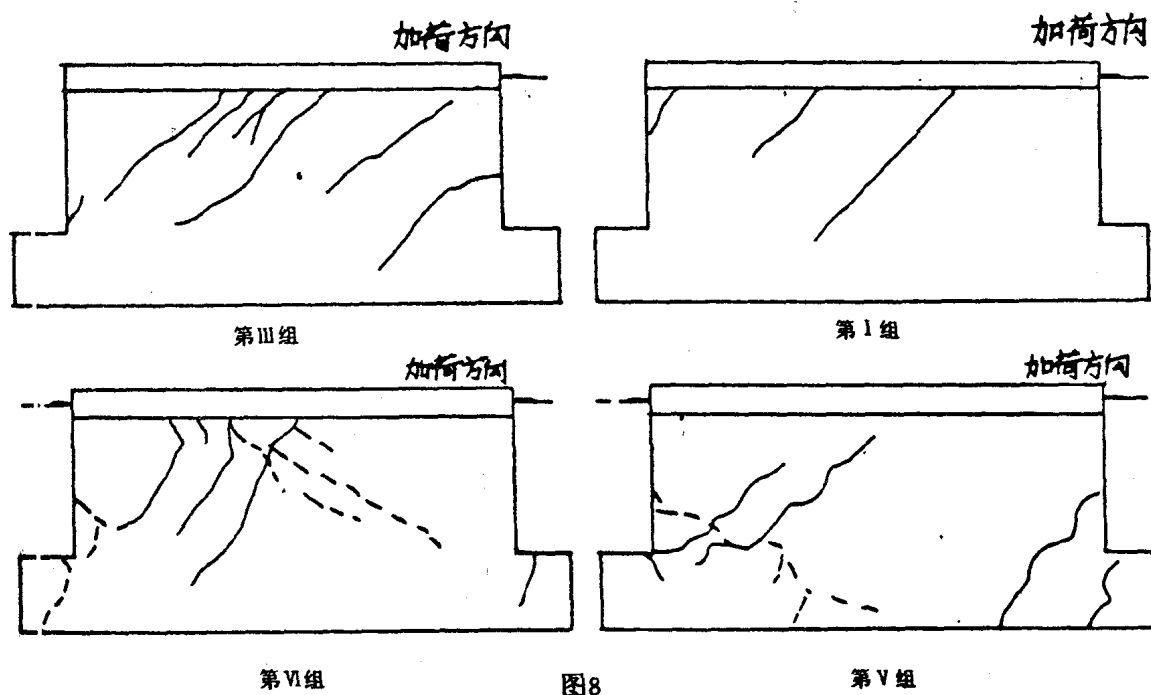


图8

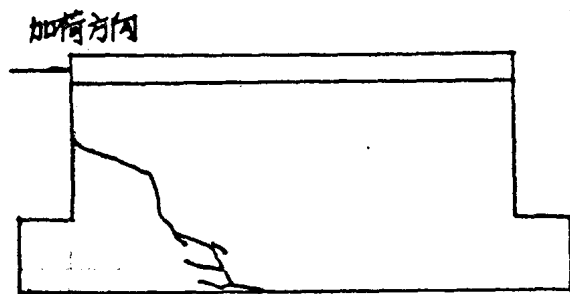


图9 第Ⅶ组

4) 双面加固 (下部断开) 的砌体共两组, 构造相同, 仅Ⅳ组 $\sigma_0 = 3.5 \text{ kg/cm}^2$, 第Ⅵ组 $\sigma_0 = 0$ 。两组裂缝形式相同, 均先出现剪弯裂缝, 后抹灰层断开处开裂并最后导致破坏, 只是Ⅵ组 $\sigma_0 = 0$ 破坏荷载较前而已。裂缝见图10。

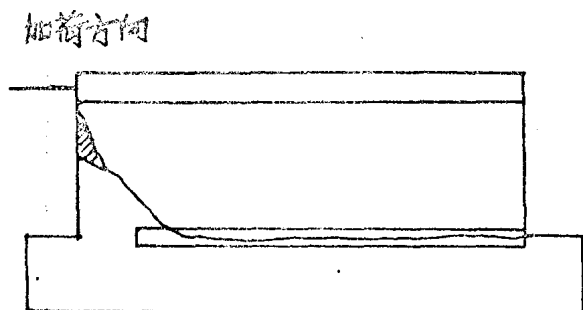


图10

从图7与图8中看出Ⅰ组, Ⅵ组砌体加固前破坏荷载试验时的裂缝形式与裂缝后进行双面加固破坏后裂缝形式不同。

从砌体裂缝看出: 由于砖标号较高 (100^号), 砌筑砂浆标号较低 (10^号)。所以, 未加固砌体裂缝基本出现在砂浆缝上, 砌体抗剪强度基本取决于砌筑砂浆强度。

加固后的砌体破坏后, 对它进行检查表明, 砂浆加固层与砖砌体间结合良好, 砂浆层裂缝与砖砌体裂缝走向一致且贯通。可以看出, 加固的砌体是由加固层与砖砌体共同承担外加水平力的。但在第Ⅵ组试件中亦有的试件抹灰层有脱开情况, 破坏荷载较低, 主要原因可能是, 该组试件在第一次荷载试验时, 为观察裂缝方便, 在砖墙上刷白灰, 试件破坏后, 在绑钢筋前, 未仔细地将墙面上白灰洗刷干净, 使有的地方抹灰层与砖砌体粘结不好试件破坏时脱开。

试件变形主要是量测试件在水平荷载作用下的角变形 γ 值, 砌体顶点水平位移 Δ 可经换算得到。从“荷载—变形”曲线看, 规律性较差, 主要特点简述如下:

未经加固的墙体, 以Ⅰ—1试件为例, 荷载在2—3吨以前剪变形很小, 顶点位移 Δ 约2毫米时荷载达最大值。当墙体被剪坏后, 水平荷载尚可继续维持, 此时变形 (裂缝) 急剧增加, 这由于试件长高比较大, 墙体裂缝有一较长水平段, 在垂直荷载作用下, 砌体有较大摩擦力缘故。经加固的同一试件, 当水平荷载小于6吨时变形很小。顶点位移 Δ 约为0.15毫米时, 荷载达最大值。

经钢筋网水泥砂浆加固的试件, 其刚度将比砖砌体大, 当水平力达到破坏荷载, 砌体砖块后, 水平荷载不能维持, 下降较快, 试件“荷载—变形”曲线见图11。24墙加固后, 循环荷载与变形的关系曲线见图12。

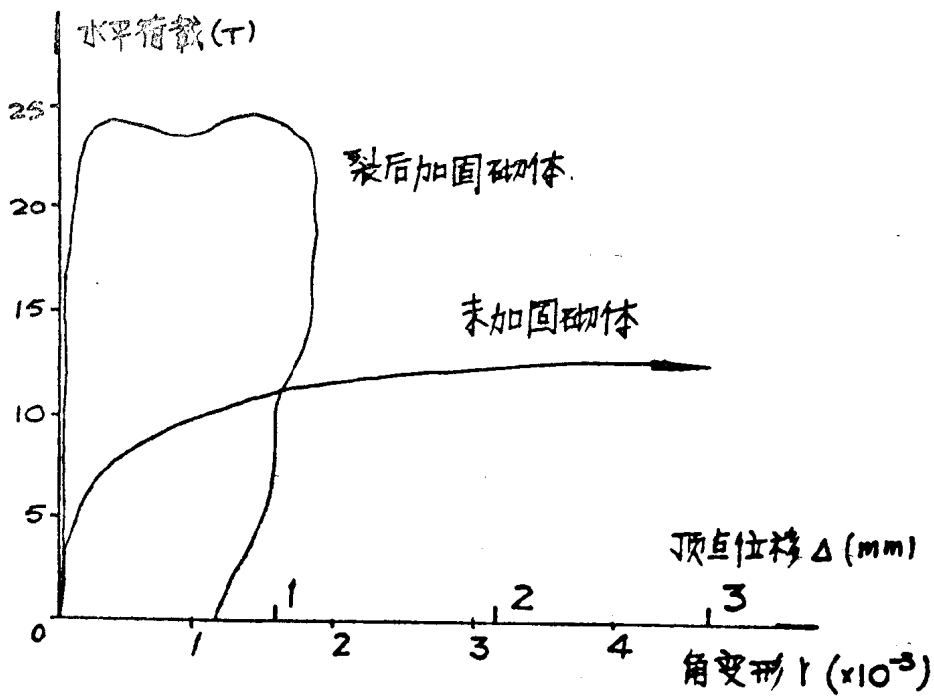


图11 1—1试件“荷载—变形”曲线

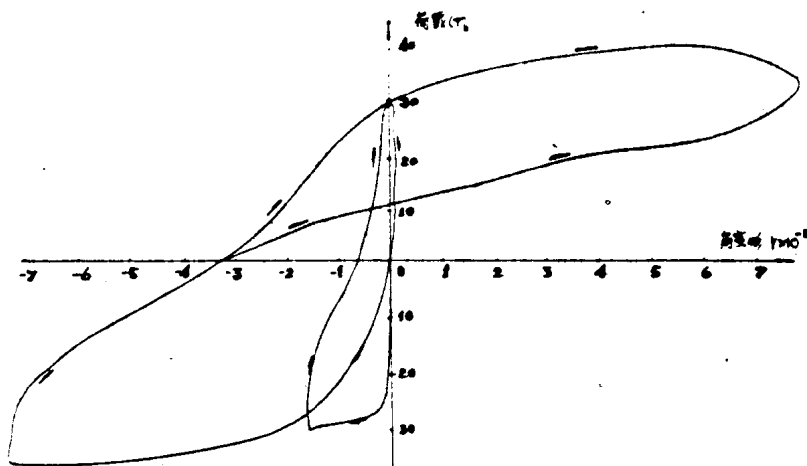


图12 试件 7-3 荷载变形曲线

四、计算方法的探讨

在墙体试验的基础上,对钢筋网砂浆层加固墙体的抗剪强度计算进行了初步探讨。

计算考虑砖墙加固后砂浆抹灰层与砖墙之间有足够粘结力时,砖墙、加固砂浆层、钢筋可以共同抵抗地震荷载;考虑砖墙破损程度不同对承载能力的影响,钢筋一般未充分发挥作用故计算中乘以钢筋工作条件系数进行折减,为初步了解砂浆加固层的抗剪强度进行了砂浆抗剪性能试验,但试验量有限又非标准试件,尚不能说明普遍规律,仅供参考。(试验见附录。)

计算公式:

$$KQ \leq m_0 \frac{R_t A_0}{\xi} + m_s \frac{R_2}{R} R_t A_s + m_g R_g \frac{A_g}{S} B$$

对于加固层砂浆标号近100 *左右,墙体砌筑砂浆标号等于或大于10 *可采用公式:

$$KQ \leq m_0 \frac{R_t A_0}{\xi} + m_s \cdot 0.06 R_2 \frac{R_t}{R_j} A_s + m_g \cdot R_g A_g \frac{B}{S}$$

如抹灰层无初始压应力则第二项为

$$m_s \cdot 0.06 R_2 A_s$$

K : 考虑为组合构件抗剪,安全系数取 $2.3 \times 0.8 = 1.84$

Q : 墙体承受的地震剪力

m_0 : 加固时墙体的完整系数(墙体裂缝贯通 $m_0 = 0$ 。如墙体无缝,则考虑与砂浆加固层共同工作时。由于材料性能不同,墙体不能全部发挥作用,取 $m_0 = 0.9$)。

$$R_t = R_j \sqrt{1 + \frac{\sigma_0}{R_j}}$$

R_j : 砖砌体主拉应力强度

σ_0 : 砖砌体平均压应力

ξ : 截面剪应力不均匀系数,矩形取1.50

m_s : 加固层施工状况系数,视施工条件不同选取0.5~0.9,如施工能保证加固层与墙体粘结较好则可取0.9。

R_2 : 砂浆抗压强度

R : 砖砌体抗压强度

A_s : 砂浆加固层面积

m_g : 钢筋工作条件系数取0.45

A_g : 一根横向钢筋截面面积,双面加固时乘2。(竖向钢筋要求与横向钢筋同等配置)

R_g : 钢筋抗拉强度

B : 加固墙的实际长度

S : 钢筋间距

关于砂浆加固层作用的考虑:

由于用钢筋网抹灰层加固的墙体实际上是一种组合结构, 砂浆层作用大小与砂浆抗压强度等材料性质有关, 砌体强度亦有所影响, 但砌筑砂浆标号较高时, 是否以值计算砂浆加固层抗剪强度偏大尚待研究, 现讨论实验情况:

按计算公式对100°砂浆加固层, 10°砌筑砂浆的抗剪强度 $\sigma_0=0$ 时:

$$\frac{R_1}{R} R_j = \frac{100}{21} \times 1.2 = 5.7 \text{ kg/cm}^2 = 0.057 R_2$$

对于150°砂浆加固层10°砌筑砂浆则为:

$$\frac{R_1}{R} R_j = \frac{150}{21} \times 1.2 = 8.55 \text{ kg/cm}^2$$

砂浆抗剪强度试验 (见附录) 最低值为13.4 kg/cm², 如取8.55 kg/cm², 13.4/8.55 = 1.57故是安全的。对100°砂浆加固层抗剪强度为0.057 R_2 近似用0.06 R_2

(1) 现计算Ⅵ—5试件

砖墙已损坏, 加固层无钢筋网, 此试件砂浆 $R_r=180 \text{ kg/cm}^2$, 由于加固层, 抗剪面积增大, $\sigma_0 = \frac{24}{30.5} \times 3.5 = 2.75 \text{ kg/cm}^2$, $R_r=1.2 = 2.18 \text{ kg/cm}^2$, σ_0 由3.5 σ_0 由3.5降为2.75 kg/cm²。

取 $m_0=0$ $ms=0.9$ 加固层实际总厚为6.5 cm

$$KQ = ms \times 0.06 R_2 \cdot \frac{R_r}{R_j} A_s \\ = 0.9 \times 0.06 \times 180 \times \frac{2.18}{1.2} \times 200 \times 6.5 = 22900 \text{ kg}$$

实验值28.2吨

(2) 计算24墙试件: 砖墙已损坏加固, 加固层总厚6.5 cm, 砂浆 $R_2=110 \text{ kg/cm}^2$, σ_0 $\phi 6-25$ 方格网配筋, 取 $m_0=0$ $ms=0.9$

$$KQ = 0.9 \times 110 \times 0.06 \times \frac{2.18}{1.2} \times 200 \times 6.5 + 0.45 \times 2400 \times \frac{5.67}{2} \times 200 \\ = 14100 + 4900 = 19000 \text{ kg} \quad \text{实验值23吨}$$

(3) 某工程利用非承重单砖隔墙改为双向钢筋网砂浆层加固的墙体作为抗震墙。墙净高310厘米, 宽411厘米, 承受地震剪力11.43吨, 墙体采用25°砂浆, 加固层砂浆100°, 每面抹灰厚3厘米配筋 $\phi 6-25$ 方格。

核算如下:

砖墙: $R_j=2.0$ $\sigma_0=0$ 不考虑提高1/3

$$m_0 \frac{R_r A}{\epsilon} = 0.9 \times \frac{2.0 \times 11.5 \times 411}{1.5} = 5670 \text{ kg}$$

$$K = 2.3 \times 0.8 = 1.84 \text{ 则 } \frac{5.67}{2} = 3.08 \text{ 吨}$$

抹灰层部分: 取 $ms=0.8$

$$ms \cdot 0.06 R_2 A_s = 0.8 \times 0.06 \times 100 \times 411 \times 6 = 11840 \text{ kg} \\ \frac{11840}{1.84} = 6.43 \text{ 吨}$$

钢筋部分:

$$mg R_g \frac{A_s}{s} B = 0.45 \times 2400 \times \frac{2 \times 0.283}{25} \times 411 = 10050 \text{ kg} \\ \frac{10050}{1.05} = 5.46 \text{ 吨}$$

$$[Q] = 3.08 + 6.43 + 5.46 = 14.97 \text{吨} > 11.43 \text{吨}$$

尚须说明,在计算高宽比小于1的情况,考虑以受剪切为主时,可参考上述计算。如果墙以受弯为主,高宽比大于1则另行在构造和计算方面进行研究。对于砖混结构由模型试验可见:由于楼板、圈梁的分隔,裂缝的情况与单片墙体的很相近。故计算可近似分层考虑。

计算中只考虑横筋,但纵向钢筋在抗弯、抗剪方面作用是存在的,要求与横筋同等数量配置。

五、小结及存在问题

从以上33个墙体的破坏荷载及破坏特征,可以认为:

1. 用钢筋网抹水泥砂浆加固墙体,可以提高墙体抵抗水平荷载的能力。加固后墙体承载能力的提高程度与加固前墙体是否破损有关,墙体已破损的加固后承载能力提高较少,如在前述试验条件下的24墙,若墙体是完整的,则加固后承载能力可提高1.3倍左右,若墙体已破损,则加固后承载能力提高约55%。

2. 在试件底部(相当于楼板处)砂浆加固层断开约80%情况下,当 $\sigma_0 = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ 时承载能力增加约1倍,其破坏形式与试件下部连续的有所不同,砌体沿加固层断开处的水平灰缝破坏。

3. 砌体平均压应力 σ_0 对破坏荷载有影响, σ_0 大则承载能力增加。 $\sigma_0 = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ 比 $\sigma_0 = 0$ 的墙体承载能力约高1倍左右。

4. 试验表明,墙体与加固层之间粘结较好时,可以共同抵抗水平荷载,加固层提高了墙体的开裂荷载。单面抹灰墙体,墙与抹灰层裂缝基本同时出现。为使砌体与加固层共同工作必须采取措施,如加固前将墙体充分浇水湿润,墙体原有抹灰层要清理干净,单面加固时,如墙面已开裂则应事先补缝修复。否则,墙体与加固层之间将发生“离鼓”,使加固层不能发挥应有的作用。

由于影响加固墙体抗水平力性能的因素很多,不少问题尚缺乏研究,如 σ_0 变化,加固层不通过楼板,砌筑砂浆标号不同,墙体高宽比不同以及不同方式与数量的配筋等等。试验试件与真实墙体工作状况也存在着差别,且试验试件数量有限。总之,由于试验的局限性及存在缺点,以上试验结果仅做为加固与不加固墙体性能的对比,供抗震加固时参考,关于计算方法问题,进行了探讨,尚待深入研究。错误、不妥处希望批评、指正。

附录一:用钢筋网抹灰加固墙体的补充试验

补充试验的目的主要是了解低标号白灰砂浆砌筑与混合砂浆灰砂砖砌体,用钢筋网抹灰加固后的抗震效果。

试件的制作和加固工艺同前。

试件分四组,编号续前。第Ⅰ、Ⅱ组为1:3白灰砂浆12厘米厚红机砖砌体,实际砂浆标号 6.5 kg/cm^2 ,第Ⅰ组为素墙体,第Ⅱ组砌完后即用100#水泥砂浆进行双面加固,钢筋 $\phi 6$ —200双向,下部连续;第Ⅲ、Ⅳ组为12厘米厚灰砂砖砌体,实际砂浆标号超过所要求的10#,