

连续墙梁抗剪承载力试验研究 *

郭乐工 龚绍熙

(郑州工学院土建系)

摘 要: 通过七个二跨无洞口连续墙梁的试验研究,深入分析了在顶部荷载下的二跨连续墙梁受荷时的工作性能、受力机理、破坏形态和主要因素,如托梁高跨比、墙体高跨比、砌体横向配筋率对连续墙梁抗剪承载力的影响,提出了连续墙梁抗剪承载力计算模式,与试验结果符合良好。

关键词: 连续墙梁、抗剪承载力

中国图书分类号: TU31

墙梁结构广泛应用于工业与民用建筑,如基础梁、联系梁、框支墙梁等。在商店—住宅、饭店—旅馆等多层混合结构房屋中,采用墙梁以解决底层大房间、上部小房间的矛盾等。与框架结构相比,对于六、七层以下的房屋,采用墙梁具有节约钢材、水泥、木材三大主材,缩短工期,施工方便等优点。大力推广应用墙梁构件,特别在中小城市沿街建筑,在我国现经济发展阶段有着相当的经济效益。

墙梁用于工程实际已有较长历史。在早期,人们对该类构件受力性能不够了解,注意力集中在托梁的受力,常将托梁做为单一孤立的受弯构件考虑。因此,托梁截面设计过大,配筋密集,耗材料很多。后来,人们开始注意到墙体与托梁连接在一起,实际上是具有某种共同作用的组合构件。为了搞清墙梁中墙体与托梁间的共同作用,应用于墙梁设计,从本世纪五十年代末到六十年代初,各国开展了墙梁问题的研究。

七十年代以来,我国学者系统开展了简支墙梁的科研。经过十年努力,到1985年提出30余篇报告论文,基本上弄清了简支墙梁受力性能,并指出,现行的墙梁设计方法,如弹性地基梁法,满载法,过梁法,三角荷载法,二墙三板法等均忽略了墙体的强度验算,可能导致不安全,如发生墙体剪切破坏或局部砌体承压破坏等。

迄今为止,国内外对连续墙梁研究甚少。华南工学院,浙江大学曾进行过连续墙梁试验至今未有报告。以色列学者 S.Rosebhaupt 曾在1965年进行连续墙梁研究。对连续梁研究的不足,使得人们对连续墙梁的受力性能与设计计算理论基本上未有完整的认识。为了给工程中日益广泛采用的边连续梁的合理设计提供科学依据,开展对连续墙梁抗剪承载力的试验研究,填补连续墙梁研究的空白,有着重要的现实意义。

* 收稿日期: 1992-03-01

1 试验内容与主要试验结果

1.1 试件 本次进行七根二跨不开洞连续墙梁试验。砖墙厚 115mm，采用足尺寸砖。梁跨度 1.5m。试件截面尺寸与配筋见图 1，其中(b)类钢筋网片用于 TL-3 梁。构件主要参数列于表 1。

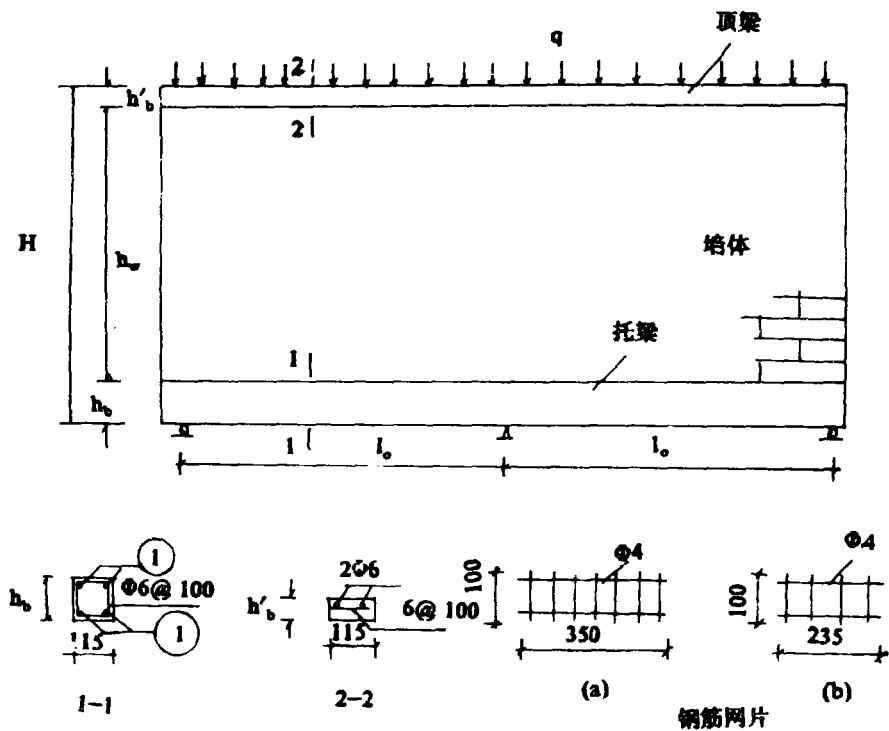


图 1 连续墙梁试件及荷载

项次	试 样						
	TL-1	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5	TL-6	TL-7
$h_0(\text{mm})$	100	100	100	150	100	80	120
①	2φ6	2φ6	2φ6	2φ8	2φ10	2φ6	2φ8

注： $h'_0 = 60\text{mm}$

考虑到实际墙梁计算高度仅为整片墙的一部分且在构造上要求墙梁计算高度上设置钢筋砼圈梁，因此，试件墙体上部均设置钢筋砼顶梁。

表 1 试件主要参数

试件	几 何 尺 寸										砌体强度(Mpa)			砼强度 (Mpa)
	l_0 (mm)	H (mm)	h_w (mm)	h_b (mm)	h'_b (mm)	b (mm)	$\frac{H_0}{l_0}$	$\frac{h_w}{l_0}$	$\frac{h_b}{l_0}$	$\frac{b}{l_0}$	f_1	f_2	f	f_{cu}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TL-1	1500×2	760	600	100	60	115	0.5	0.4	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{13}$	Mu5	5.88	2.35	24.4
TL-2	1500×2	1460	1300	100	60	115	0.97	0.87	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{13}$	Mu7.5	5.00	2.75	24.4
TL-3	1500×2	1120	960	100	60	115	0.75	0.64	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{13}$	Mu7.5	4.51	2.75	28.2
TL-4	1500×2	1180	970	150	60	115	0.75	0.64	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{13}$	Mu5	5.90	2.35	26.3
TL-5	1500×2	990	830	100	60	115	0.66	0.55	$\frac{1}{15}$	$\frac{1}{13}$	Mu7.5	4.21	2.75	28.2
TL-6	1500×2	760	620	80	60	115	0.5	0.4	$\frac{1}{19}$	$\frac{1}{13}$	Mu7.5	6.27	2.75	18.5
TL-7	1500×2	1180	1000	120	60	115	0.78	0.78	$\frac{1}{12.5}$	$\frac{1}{13}$	Mu5	7.35	2.35	27.7

注: 托梁、顶梁配筋见图 1。

托梁砼设计强度等级 C25, 采用 525 号普通水泥, 粗中沙, 混合骨种粒径 5—20mm, 水灰比 0.63, 配合比: 水泥: 水: 砂: 石子 = 1: 0.63: 3.6: 6.6(重量比)。砼人工搅拌, 试件卧式浇筑; 机械震捣, 室外自然养护, 每个试件留有边长 150mm 砼立方体试块 3 个, 与试件同一条件下养护, 届时测定砼强度。

托梁养护 28 天后, 移入室内砌筑墙体。墙体采用水泥混合砂浆, 配合比: 水泥: 砂: 石灰 = 1: 2.8: 0.84(重量比)。砌筑采用平行流水法, 并砌筑砖砌体抗压强度标准试件 6 个。每盘砂浆予留边长 70.7mm 立方体试块 6 个, 以确定砂浆强度。墙梁构件, 标准砌体试件和砂浆立方体试块, 均在室内自然养护 28 天, 开始试验。

1.2 试验与量测 为了避免支座不均匀沉降对边连续梁试验结果的影响, 本次试验采用了静力调平与几何调平相结合的试验方法, 效果良好。

试验量测的主要内容包括: 采用电阻应变片量测托梁与顶梁中钢筋应变, 采用 5×100mm 电阻应变片量测墙体应变, 使每个应变片跨过 1—2 条灰缝。采用机械千分表量测托梁与墙体界面的滑移应变与掀起值、跨中 M_{max} 截面的挠度。采用手持应变仪量测托梁与墙体界面上部砌体垂直应变。并量测构件开裂荷载, 破坏荷载, 每级荷载下各支座反力值。

试验仪器安装、调试后, 即开始试验。加荷总量由液压稳压器控制, 通过荷载分配梁形成均布荷载作用到构件顶梁。试验采用分级加荷, 每级荷载约为破坏荷载 1/10—1/12。在每级荷载施加后, 首先调整各支座沉降, 使之相同。然后恒定 3—5 分钟, 记录各试验数据、标定裂缝分布。在临近破坏, 按 1/20 左右的破坏荷载分级加荷, 直至构件破坏。

3 主要试验结果

支座反力。由图2见, 从加荷至构件破坏, 支反力是变数。当中间支座截面开裂时, 中支座反力增加速率减小, 边支座反力增加速率变快。当边支座截面开裂后, 边支座反力增加速率减小, 中支座反力增加速率加快。反映了墙梁刚度变化对反力的影响。

水平应变与垂直应变分布。实测表明墙梁截面水平应变分布不符合平截面假定。本次试验的所有试件, 均未发生跨中区域截面受弯破坏。由图4见, 沿墙体高度从上到下, 垂直应变分布由平缓变为起伏较大的趋势, 支座部位墙体出现高集度垂直压应变分布, 实测表明, 临近破坏时, 压应变集度约为开裂前4—10倍。

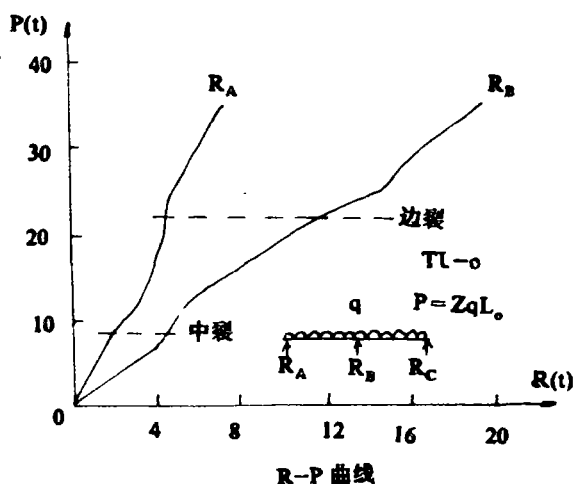


图2 R-P曲线

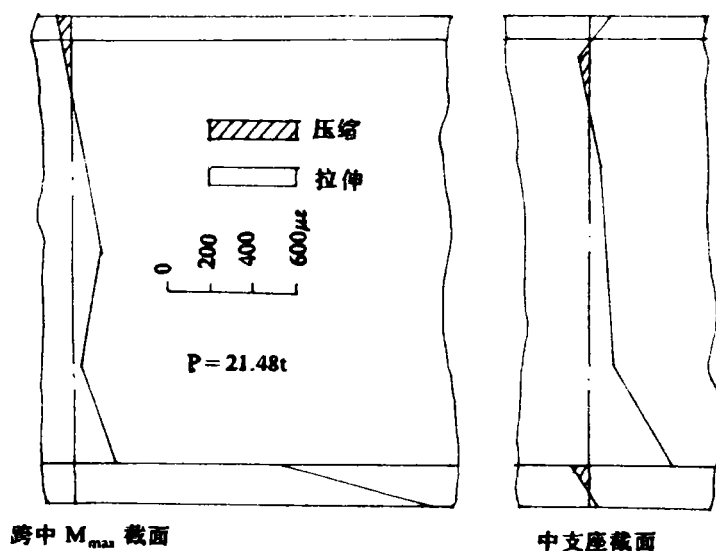


图3 连续墙梁正截面应变(TL—3)

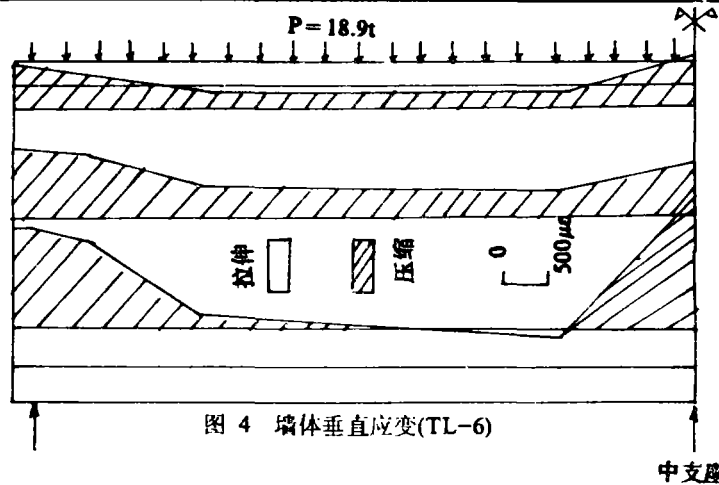


图 4 墙体垂直应变(TL-6)

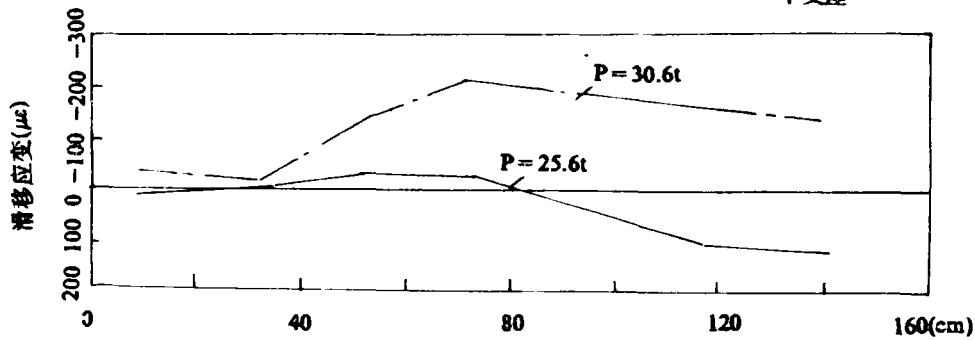


图 5 托梁与墙体界相对滑移(TL—2)

界面处相对滑移。实测表明,在墙体开裂前,托梁与墙体界面处基本不产生滑移。墙体开裂后,界面处滑移发展明显,临近破坏时,滑移应变明显增大。界面相对滑移的存在,使墙梁受力更为复杂。

跨中挠度。在墙梁开裂前,挠度与荷载呈直线关系。当墙体开裂后,挠度—荷载曲线上均有明显的弯折点。本次试验所有试件的跨中挠度最大值 $f_{\max} = (\frac{1}{230} - \frac{1}{420})l_0$, 平均值 $\bar{f} = \frac{l_0}{345}$ 。

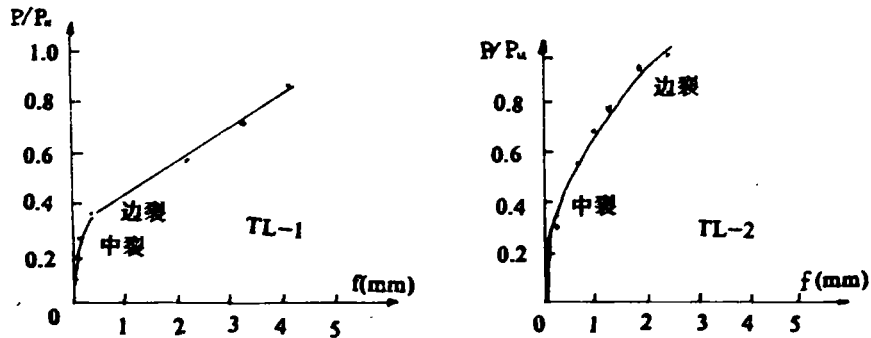


图 6 P-f 曲线

表2 主要试验结果 单位:KN

试件 编号	$\frac{h_w}{l_0}$	$\frac{h_b}{l_0}$	正截面		墙体斜截面		荷载 形式	极限破坏 荷载	破坏 部位	破坏形态
			开裂荷载		开裂荷载					
			托梁跨 中区段	顶梁中 间支座	边支座 区段	中间 支座				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TL-1	0.4	1 / 15	67.67		144.75	93.85	均布	250.56	中支座	剪切-局压
TL-2	0.87	1 / 15	324.70		251.54	181.62	集中	343.23	中支座	剪切-局压
TL-3	0.64	1 / 15	175.15		249.87	145.33	均布	386.68	中支座	剪切-局压
TL-4	0.64	1 / 14	234.08		276.11	154.45	均布	455.03	中支座	剪切-局压
TL-5	0.55	1 / 15	118.17	337.15	294.19	118.17	均布	449.44	边支座	斜压
TL-6	0.41	1 / 19	145.53	254.97	212.10	102.09	均布	342.06	边支座	斜拉
TL-7	0.67	1 / 12.5	264.78		345.19	207.02	均布	434.96	边中支座	斜压

2 连续墙梁受力性能分析

2.1 工作阶段

弹性阶段：当荷载小于 $0.2P_u$ (P_u :极限荷载)，连续墙梁基本处于弹性阶段，挠度与荷载为线性关系，无裂缝出现。

带裂缝工作阶段：当荷载约为 $(0.2\sim 0.4)P_u$ 时，构件首先在中间支座区段出现裂缝；当荷载增加到 $(0.4\sim 0.6)P_u$ 时，边支座区域墙体出现斜裂缝。墙体斜裂缝的出现，伴有支座反力的比值的改变，挠度与荷载曲线出现明显弯折点，界面处水平裂缝的出现与延伸。

破坏阶段：荷载增加到约 $0.9P_u$ 时，构件进入破坏阶段。从原先的裂缝中发展出1—2条临界斜裂缝。当 P_u 达到时，中间支座配有足够数量横向钢筋网的墙梁，边支座墙体产生斜压破坏或斜拉破坏；中间支座无横向钢筋网或配置量过少的构件，则在中间支座墙体产生剪切—局压破坏。

2.2 受力特点

实测分析表明，连续墙梁受力有以下特点：

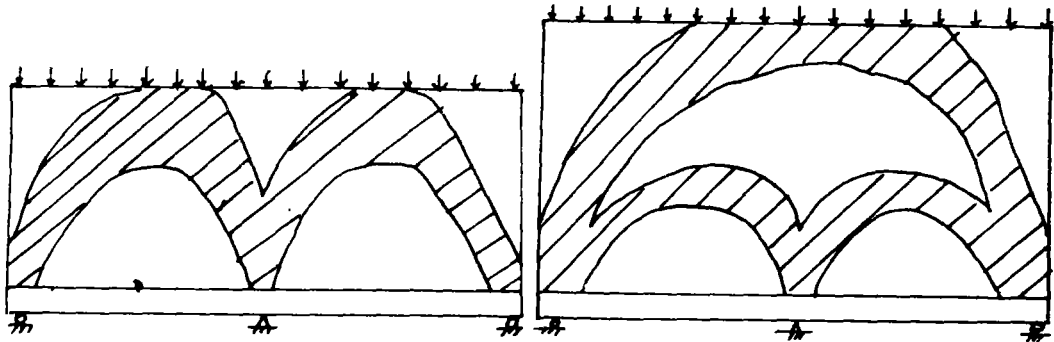


图 7

图 8

2.2.1 墙体开裂后, 梁内出现明显内力重分布。墙体内形成拱作用传力路线, 墙体成为压力拱肋, 将外荷载作用于托梁支座区域, 使托梁处于弯拉受力状态, 做为“拱”的拉杆, 共同承受荷载。

2.2.2 连续墙梁拉杆拱受力体系可有以下二类:

双拱体系: 图 7 示。见于 H/l_0 较小的连续墙梁

大拱套小拱体系: 图 8 示。见于 H/l_0 较大的连续墙梁。

2.2.3 中间支座下部墙体配有横向钢筋网片时, 可有效的约束砌体裂缝开展与延伸, 使边支座区域“压力拱肋”先于中间支座区域墙体进入破坏状态, 提高了构件承载力。

2.3 主要破坏形态

斜拉破坏: 发生于 h_w/l_0 较小、中间支座砌体配有足够数量横向钢筋网片的墙梁。斜拉破坏时, 临界裂缝宽度约 8-12mm, 托梁纵筋未屈服。

斜压破坏: 发生于 h_w/l_0 较大、中间支座砌体配有足够数量横向钢筋网片的墙梁。斜压破坏时, 临界斜裂缝间的砌体被压溃, 托梁纵筋未屈服。

剪切—局压破坏: 发生于不同墙体高跨比, 但中间支座区域砌体未配置钢筋网片或配置过少的墙梁。破坏时, 中支座区域砌体及托梁出现沿支座垫板边沿与水平面成 45° — 80° 不等倾角对称发生的倒梯形破坏区域, 砌体被压溃, 托梁大部被剪开。托梁跨中截面纵筋未屈服, 托梁中支座上部纵筋可达屈服。

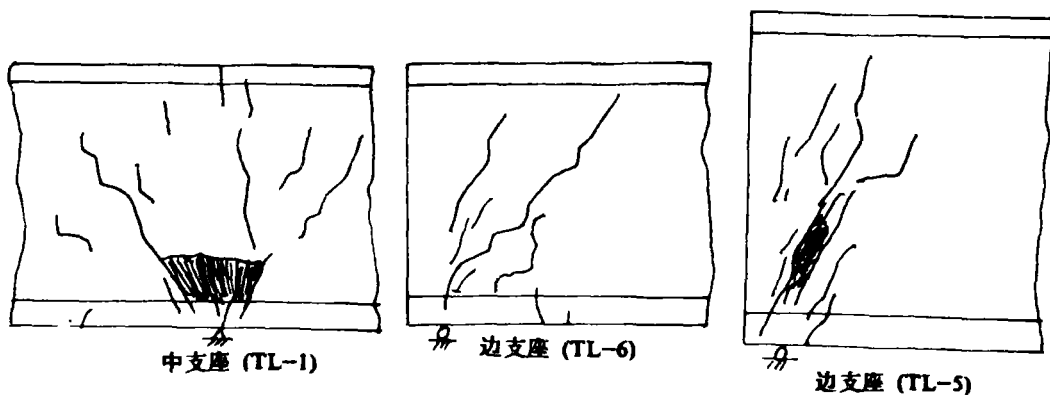


图 9 剪切—局压破坏

图 10 斜拉破坏

图 11 斜压破坏

3 连续墙梁抗剪承载力计算

3.1 影响连续墙梁抗剪承载力的主要因素

3.1.1 托梁高跨比 h_b/l_0 托梁截面尺寸影响着墙体的受力状态和构件承载力。较大刚度的托梁, 可与墙体间更好地变形协调, 形成组合作用更强的连续超静定拱, 使墙梁承受更大的外荷载。

3.1.2 墙体高跨比 h_w/l_0 。当 h_b/l_0 一定时, 随 h_w/l_0 增加, 连续墙梁拱效应增强, 梁效应减弱, 因而影响梁的承载能力。从本次试验看, $h_w/l_0 < 0.5$, 连续墙梁发生斜拉破坏; $h_w/l_0 > 0.5$, 连续墙梁发生斜压破坏。

3.1.3 墙体中间支座横向钢筋网配筋率 ρ_{tra} 当中间支座托梁上方砌体中配有足够数量的横向钢筋网片时,提供侧向被动约束,较有效地阻断了墙体裂缝的延伸,约束了裂缝宽度的开展,可使边支座区域墙体剪切破坏先于中支座区域墙体剪切—局压破坏,提高了极限承载力。其中 $\rho_{\text{tra}} = V_{\text{tra}} / bh_w l_{\text{tra}}$, V_{tra} 为砌体中横向钢筋网片的钢筋体积(mm^3), l_{tra} 为配有横向钢筋网砌体长度(mm), b 为墙厚。

除上述主要影响因素外,砌体抗压强度 f , 砼立方体强度 f_{cu} , 托梁配筋率 ρ 等,对墙梁承载力也有影响。

3.2 连续墙梁抗剪承载力的计算

本次试验表明,连续墙梁主要发生剪切破坏。与简支墙梁相类似,墙体先于托梁进入极限状态,纯托梁剪切破坏未见发生。因此,应分别对墙体与托梁进行抗剪承载力计算或验算。

3.2.1 连续墙梁墙体抗剪承载力计算

基于前述试验研究结果,回归统计分析,求得连续墙梁体抗剪承载力计算公式。

设连续墙梁墙体抗剪承载力表达形式为

$$V_u = Cbh_w f \quad (1)$$

$C = f(h_b/l_0, h_w/l_0, \rho_{\text{tra}}, \dots)$, C 为墙体抗剪承载力综合影响系数。

对于元洞口二跨连续墙梁,由试验分析,可认为抗剪系数 C 的主要影响因素为 $h_b/l_0, \rho_{\text{tra}}$ 。

由二元回归分析,得

$$C^c = 10.1356 + 3.2 \frac{h_b}{l_0} + 26.05 \rho_{\text{tra}} \quad (2)$$

式(2)的相关系数 $R = 0.935$, $F_{\text{比}}(2, 3) = 10.42 > F_{0.95}(2, 3) = 9.55$, 则整个回归效果显著。

$t_1 = 6.91 > t_{0.975}(3) = 3.18$, $t_2 = 4.0 > 3.18$, 故二个回归系数作用都是显著的。

最后得连续墙梁墙体抗剪承载力公式

$$V_u = (0.1356 + 3.2 \frac{h_b}{l_0} + 26.05 \rho_{\text{tra}})bh_w f \quad (3)$$

式(3)计算值与试验值比值的平均值 $\mu = 1.002$, 变异系数 $\delta = 0.036$, 与试验结果符合良好。

其中 $\rho_{\text{tra}} > 1.5 \times 10^{-3}$, 钢筋网片应放置中间支座托梁上部砌体第1—4皮砖的水平灰缝内,长度不小于 $0.2l_0$ 。

3.2.2 托梁抗剪承载力的验算

试验表明,支座处托梁顶部受到高集度的垂直法向压应力作用,且有相当一部分荷载直接传入支座,所以参照试验与工程实践经验梁端计算剪力可按式确定

$$V = V_1 + 0.4V_2 \quad (4)$$

式中 V_1 —由托梁直接承受的设计荷载在支座边缘截面所产生的剪力, V_2 —墙梁顶部设计荷载产生的最大剪力。

4 结语

4.1 本次试验表明,不开洞连续墙梁受力模式可用超静定连续拉杆拱描述,托梁作为“拱”的拉杆,墙体作为拱肋共同工作。

4.2 连续墙梁受力特点与连续深梁相近,但又有墙梁的特点。实测表明,连续墙梁正截面应变 ε_x 分布不是直线,支座区托梁上方砌体垂直压应变集度较弹性理论为高,界面水平裂缝的产生使连续墙梁受力更为复杂。

4.3 连续墙梁剪切破坏形态有:斜拉破坏,斜压破坏,剪切—局压破坏。

实测表明,连续墙梁中支座砌体局压破坏危险性增大,砌体中加强配筋是极为必要的。

4.4 连续墙梁墙体抗剪承载力可按(3)式确定。墙体与托梁应分别验算抗剪承载力。

4.5 无洞口连续墙梁在破坏荷载下的挠度很小,可不进行验算。

参 考 文 献

- (1) S. Rosen haupt. Masonry Waus on Continuous Beams Journal of Strui.Division, ASCE 1965.
- (2) D.H. Cheng. Continuous Deep Beams Proc. of ASCE, 1954.
- (3) 墙梁专题组. 墙梁研究专题综合报告. 1984.
- (4) 砌体结构设计规范(送审稿) 1985.11.
- (5) 陆能源, 冯铭硕. 考虑组合作用的墙梁设计. 建筑结构学报, 1986.6.

Test Investigations of Force Behaviors and Resistance to shear of Masonry Walls on Continuous Beams under Top Loads

Guo Legong

(Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: Based on the research results of seven masonry walls on Continuous Beams under top loads, the essential Characters of force and deformation and failure models of masonry walls on continuous Beams are Studied. The influence factors of resistance to shear collapse are examined also. In terms of the test results the calculating formulae of resistance to shear collapse suitable for masonry walls on continuous beams are suggested which are concordant with the test results.

Keywords: masonry wall on continuous beam, resistance to shear collapse.