

轻型木结构剪力墙和楼盖的抗侧刚度研究*

陈松来¹, 樊承谋², 王焕定²

(1. 同济大学土木工程学院, 上海 200092

2. 哈尔滨工业大学土木工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要: 根据我国轻型木结构工程实际应用情况, 制作了14个剪力墙试件、2个木楼盖试件, 采用单调加载方式进行抗侧力试验研究, 并且采用有限元模型补充分析了常用尺寸剪力墙的抗侧力性能。在试验研究的基础上, 提出基于变形的剪力墙和楼盖的刚度取值方法, 分析了剪力墙承载力和刚度与剪力墙长度的关系, 比较了剪力墙开洞、石膏板覆面对剪力墙承载力和刚度的影响, 以及楼盖的抗侧力刚度和变形性能, 获得一些有益的启示。

关键词: 剪力墙; 楼盖; 抗侧刚度; 承载力; 覆面板

中图分类号: TU366 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2011)04-0042-08

Experimental Study on Lateral Stiffness of Wood Shear Walls and Diaphragms

CHEN Songlai¹, FAN Chengmou², WANG Huangding²

(1. School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. School of Civil Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

Abstract: 14 wood shear walls and 2 diaphragms were tested. The specimens were made according to common light frame wood engineering practices in China. All the specimens were tested under monotonic load protocol. Finite element analysis was executed to extend study of the shear walls. Furthermore, a method for calculating lateral stiffness based on displacements was provided. The studies verified that the lateral stiffness and strengths of shear walls were proportion to the lengths. The lateral stiffness and strengths of perforated and gypsum board sheathed shear walls were studied, and the methods to improve stiffness and strengths of the walls were compared. The stiffness and strengths of unblocking floor diaphragm were studied. It is found that sheathings of diaphragm transfer shear loads and most moment loads, while the maximum slips of sheathing-to-framing joints of diaphragm were found in unblocking edges of sheathings in corner areas. Some other useful conclusions were also obtained in the study.

Key words: shear wall; diaphragm; lateral stiffness; strength; sheathing

轻型木结构是由屋盖、楼盖、墙体和柱子等构件组成的结构体系。在承受风荷载或地震作用时, 水平荷载通过屋盖和楼盖分配到其下面的剪力墙上, 再由剪力墙传递给下层的楼盖或者基础中去。由于轻型木结构是高次超静定结构体系, 组成材料又具有极高的变异性, 结构传力路径十分复

杂^[1-2]。轻型木结构抗侧力分析一直是结构分析的重点和难点, 而抗侧力分析的关键在于剪力墙和楼、屋盖等抗侧力构件的承载力和刚度分析。

剪力墙和楼、屋盖是轻型木结构体系中最主要的抗侧力构件, 其受力性能直接影响结构体系中荷载的分配和传递, 以及结构的抗侧力性能。另外轻

* 收稿日期: 2010-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50508012)

作者简介: 陈松来(1972年生), 男, 博士后, 高级工程师; E-mail: csllhy@163.com

型木结构引入我国时间不长, 国内在这方面的研究相对较少^[3]。为了保证结构应用安全, 本文对目前国内实际建造的木结构剪力墙和楼盖的刚度和承载力问题进行了初步的试验和研究。

1 剪力墙和楼盖抗侧刚度试验

1.1 试件设计

1.1.1 剪力墙试件设计 根据国内轻型木结构的实际构造情况, 剪力墙试件骨架采用截面尺寸为 38 mm × 89 mm 进口 Stud 级 (我国标准为 Vc 级) S-P-F 规格材墙骨柱、No. 2 级 (我国标准为 IIIc 级) S-P-F 规格材底梁板和顶梁板, 采用国产 8# 普通圆钉 (直径为 3.4 mm, 长度为 80 mm) 连接,

墙骨柱间距为 400 或 300 mm, 顶梁板和端墙骨柱均采用双骨料设计。结构覆面板采用的是厚度为 9.5 mm 进口定向木片板和厚度为 12.5 mm 国产石膏板。试验中实测墙骨柱平均含水率为 12%、密度为 0.36 g/cm³, 顶、底梁板密度为 0.44 g/cm³、定向木片板为 0.61 g/cm³。定向木片板采用国产 5# 普通圆钉 (直径为 2.8 mm, 长度为 50 mm) 与墙骨架连接, 石膏板采用长度为 35 mm、直径为 3.2 mm 的国产螺钉与骨架连接。覆面板钉连接沿着面板周边的间距为 150 mm, 面板中部的间距为 300 mm。剪力墙的施工和试验状态基本保持与实际工程建造和使用状态一致。

试件编号和构造特征如表 1 所示, 其中的 W4

表 1 试件编号与特征表

Table 1 The specimen number and details

剪力墙编号	剪力墙尺寸 $b \times h$ /m	覆面板厚度/mm	覆面板材料	墙骨柱间距/mm	覆面板钉连接种类	钉距/mm
W1-1	0.6 × 2.4	9.5	OSB	300	5# 普通圆钉	150/300
W1-2						
W2-1	1.2 × 2.4	9.5	OSB	400	5# 普通圆钉	150/300
W2-2						
W3-1	1.8 × 2.4	9.5	OSB	300/400	5# 普通圆钉	150/300
W3-2						
W4-1	2.4 × 2.4	9.5	OSB	400	5# 普通圆钉	150/300
W4-2						
W5-1	2.4 × 2.4/ 洞口	9.5	OSB	400	5# 普通圆钉	150/300
W5-2	1.2 × 1.2					
W6-1	2.4 × 2.4	12.5	石膏板	400	螺钉	150/300
W6-2						
W7-1	2.4 × 2.4	9.5/12.5	OSB/石膏板	400	5# 普通圆钉/螺钉	150/300
W7-2						

(试验中损坏)

为开洞剪力墙试件尺寸为 2 400 mm × 2 400 mm, 开洞尺寸为 1 200 mm × 1 200 mm, 洞口居中布置, 洞口上部墙面高度为 400 mm, 下部墙面高度为 800 mm, 面板布置是采用两块标准尺寸 (1 200 mm × 2 400 mm) 定向木片板跨洞口布置, 按开洞尺寸切口; W7 为双面覆板剪力墙试件, 一面为定向木片板, 另一面为石膏板。

1.1.2 楼盖试件设计 由于轻型木结构中屋盖和楼盖受力性能基本相同, 所以本文仅对楼盖试件进行试验。楼盖试件尺寸为 3.6 m × 7.2 m, 试件数量为 2 个, 试件构造如图 1 所示。根据试件的对称关系, 选取图示的四块覆面板测量面板周边与楼盖骨架之间相对滑移变形, 分别编号为 A、B、C、D

板, 可代表试件所有面板与骨架之间的相对变形关系。覆面板选用厚度为 18 mm 结构胶合板, 楼盖搁栅为 38 mm × 235 mm 进口 No. 2 级 (我国标准为 IIIc 级) S-P-F 规格材, 实测平均含水率为 12%、密度为 0.45 g/cm³。搁栅间距为 400 mm, 封头板采用与搁栅相同的规格材, 构件两侧的封头板各设置一个接头。试件骨架之间采用国产 8# 普通圆钉 (直径为 3.4 mm, 长度为 80 mm) 连接, 覆面板与骨架之间采用国产 6# 普通圆钉 (直径为 3.1 mm, 长度为 60 mm) 连接, 钉连接间距均为 150 mm。根据实际工程习惯, 楼盖试件采用无垫块设计。

1.2 试验装置和试验方法

1.2.1 剪力墙试验装置和试验方法 试验装置如

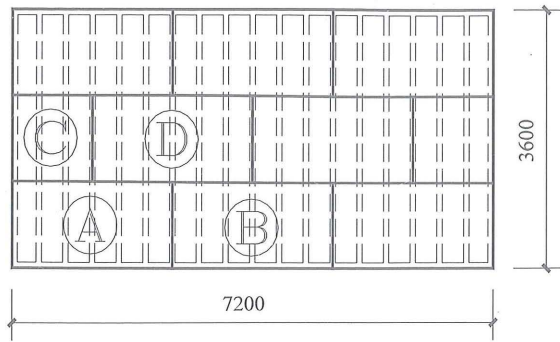


图 1 楼盖试件构造图

Fig. 1 The details of diaphragm test specimens

图 2 所示, 采用 M14 螺栓将试件底梁板与台座上的钢梁锚固, 顶梁板与荷载分配钢梁也采用 M14 螺栓连接, 螺帽与木材之间设尺寸为 $80 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 的钢垫片。在试件端墙骨底部安装抗倾覆锚固件 (hold-down) 与台座钢梁锚固。外加荷载采用液压千斤顶加载, 千斤顶一端与试件顶部的荷载分配钢梁连接、另一端与反力支座连接, 通过荷载分配钢梁, 将试验外加剪力施加到剪力墙顶部。荷载分配钢梁两个侧面安装有侧向导轨, 可以限制试件出平面的变形。试件各测点的位移测量采用高精度位移传感器 (LVDT), 外加荷载采用力传感器量测。试验过程中荷载和位移数据全部采用电脑自动同步采集和记录。

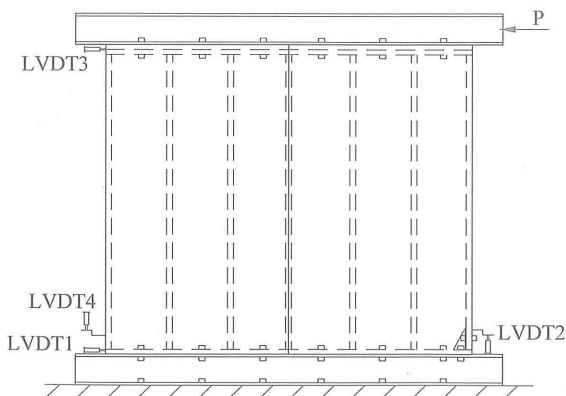


图 2 剪力墙试验装置

Fig. 2 Shear wall test set-up

试验加载方式为单调加载模式, 采用 10% 预估最大加载量预载, 预载时间为 5 min, 预载后停歇时间也为 5 min。预载后开始正式试验加载, 采用固定加载速率匀速加载直到试件破坏, 控制单个试件加载时间不超过 10 min。由于我国没有木结构剪力墙和楼盖的试验方法标准, 本文试验方法标准

参考 ASTM E564-00^[4]。

1.2.2 楼盖试验装置和试验方法 楼盖试件尺寸较大, 为了便于试验加载, 楼盖试验采用试件竖向安装方式, 在底部加载, 以地面作为加载设备的反力支座, 整个试验装置如图 3 所示。楼盖上边缘两个端部安装滑动反力支座和力传感器, 加载边设置在楼盖下边缘。采用高精度位移传感器 (LVDT) 测量楼盖的跨中挠度、支座变形以及上下两个封边搁栅连接接头的滑移。在试件 A、B、C、D 四块覆面板的周边安装机电百分表, 量测每块面板四条边沿着边长方向上与楼盖骨架之间的相对滑移。为了防止试件在加载过程中出现出平面的变形, 试验装置中设置了相应的支撑系统。

试验分别采用均布加载和集中力加载模式。加载模式是单调加载模式, 采用 10% 预估最大加载量预载, 预载时间为 5 min, 预载后停歇时间也为 5 min。对每个试件首先采用均布荷载加载试验, 均布荷载采用气囊充气施加, 防止试件发生损坏影响后续试验, 控制跨中挠度达到跨度的 $1/800$ 时开始卸载到零。控制以固定的加载速率加载, 加载时间控制在大约 5 min, 卸载后停歇时间也为 5 min。然后开始在试件跨中施加集中力至试件破坏。控制以固定的加载速率加载, 试验时间不超过 10 min。

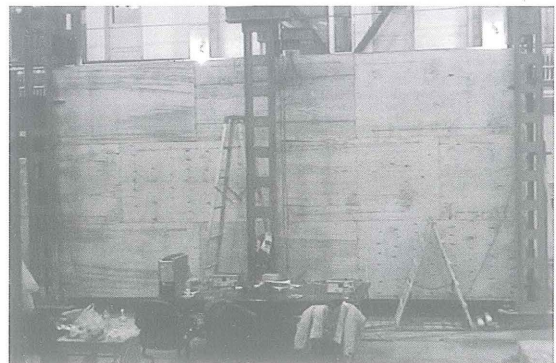


图 3 楼盖试验装置

Fig. 3 Diaphragm test set-up

1.3 试验现象和结果

1.3.1 剪力墙试验现象和分析 根据 ASTM E564-00 提供的计算公式^[4], 剪力墙在顶部剪力作用下的剪切变形, 即为试件顶梁板侧移变形减去底梁板滑移变形, 再扣除由于端墙骨竖向变形导致的剪力墙倾覆变形。本文试验得到剪力墙试件的剪力-剪切变形试验曲线如图 4 所示。对比文献 [5] 中钉连结荷载-滑移曲线可以发现剪力墙的荷载-变形曲线与钉连接试验曲线十分相似, 表明剪力墙的

受力性能主要受钉连结受力性能影响。试验结果处理后，剪力墙试件的承载力和刚度列于表 2 中。

结构破坏均表现为覆面板钉连接的破坏。

表 2 试件承载力和刚度

Table 2 The strengths and stiffness of specimens

试件编号	承载力/N	承载力平均值/N	刚度/ (N·mm ⁻¹)	刚度平均值/ (N·mm ⁻¹)
W1-1	2 228	2 182.0	271.5	272.7
W1-2	2 136		273.8	
W2-1	5 274	5 056.5	616.8	578.8
W2-2	4 839		540.7	
W3-1	7 944	7 820.5	960.2	937.1
W3-2	7 697		914.0	
W4-1	12 103	12 521.5	1 472.0	1 509.9
W4-2	12 940		1 547.8	
W5-1	8 941	8 494.5	957.8	893.4
W5-2	8 048		829.0	
W6-1	9 066	8 489.0	1 387.7	1 286.5
W6-2	7 912		1 185.2	
W7-1	20 986	20 986.0	2 869.3	2 869.3

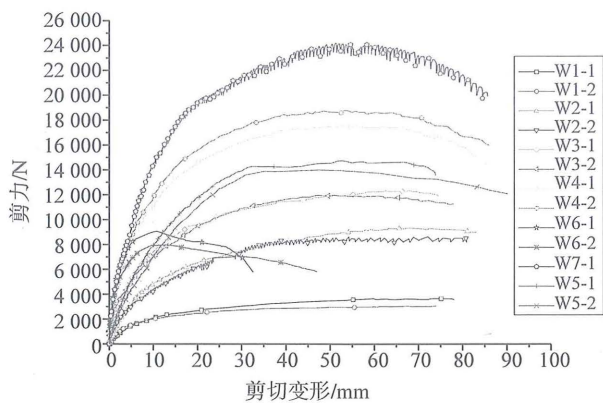
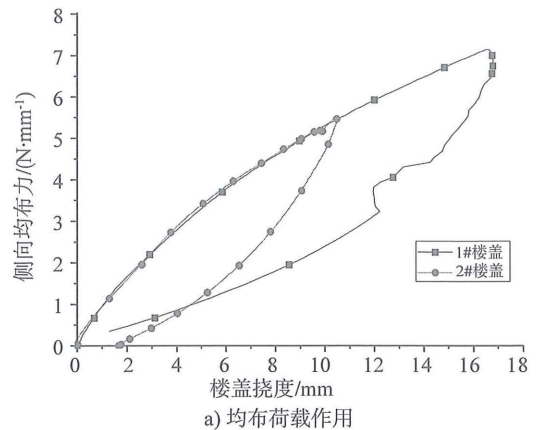


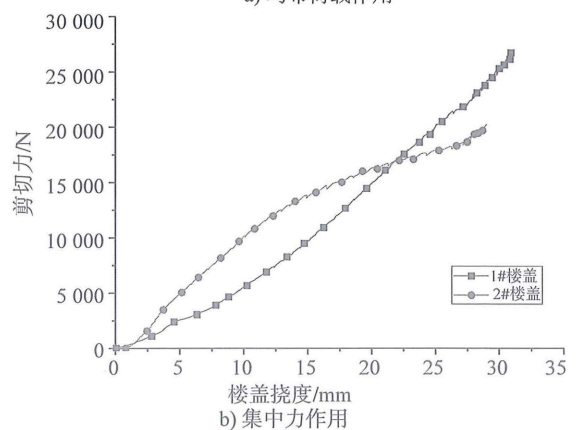
图 4 剪力墙试件荷载变形曲线

Fig. 4 Load-deflection of shear wall test specimen

观察试验破坏现象可以发现：由单块覆面板组成的剪力墙试件，结构破坏总是从面板四个角上的某一个角点处钉连接的连接破坏开始，到试件最终破坏时大量的钉连接破坏导致面板与木构架的分离，结构最终失去承载力；由两块覆面板组成的剪力墙，破坏是从面板接缝处其中一块面板的一个角部钉连接开始，而且先开始钉连接破坏的面板最终也比另一块板的连接破坏严重，当两块板是由一块窄板与一块标准尺寸板组合时，窄板总是首先发生连接破坏，而且最终窄板破坏比较严重；剪力墙钉连接的破坏形式主要表现为钉帽穿透面板和钉杆拔出两种破坏形式；整个试验中除了开洞剪力墙发生面板破坏外，没有发生面板和墙骨的破坏，剪力墙的



a) 均布荷载作用



b) 集中力作用

图 5 楼盖侧向荷载 - 挠度曲线

Fig. 5 Lateral load-deflection curves of diaphragm

1.3.2 楼盖试验现象和分析 楼盖试件在均布和集中荷载作用下的荷载 - 挠度曲线如图 5 所示，试件承载力和刚度如表 3 所示。试验中对覆面板与骨架之间相对滑移的测量表明，楼盖覆面板在无垫块边上的钉连接滑移变形明显偏大；覆面板的转动变形在楼盖角部区域较大，而在楼盖中部区域相对较小，这与文献 [6] 的试验结果一致。楼盖试件的破坏也表现为覆面板钉连接的破坏，破坏主要发生在覆面板在无垫块的接缝部位，以及在楼盖跨中搁栅上的接缝处。在楼盖跨中区域覆面板的接缝处，既有剪切作用导致的覆面板转动变形，又有弯曲作用导致的覆面板在接缝处的受拉变形，此处钉连接的破坏相对严重，如图 6 所示。

不管是在均布荷载或集中荷载作用试验，楼盖封边搁栅接头滑移均较小，由封边搁栅接头滑移导致的楼盖挠度均在总挠度的 20% 以内。可见传统设计方法认为楼盖弯矩仅由封边搁栅承担，面板仅传递剪力，其设计结果对封边搁栅接头设计偏于保守，而对面板的抗弯设计却偏不安全。

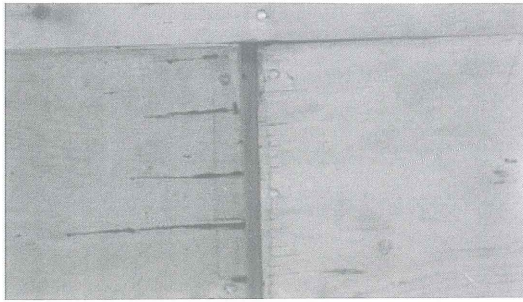


图6 接缝破坏图

Fig. 6 Failure at sheathings joints

表3 楼盖承载力和刚度

Table 3 The strengths and stiffness of diaphragm specimens

试件 编号	集中力试验		均布力试验	
	承载力/ N	刚度/ ($N \cdot mm^{-1}$)	承载力/ ($N \cdot mm^{-1}$)	刚度/ ($N \cdot mm^{-2}$)
1	12 693	537	7.47	0.55
2	15 294	991	6.82	0.55
平均	13 993	764	7.14	0.55

2 试验结果分析

2.1 基于变形的刚度取值

木结构剪力墙的抗剪承载力取值,并非仅根据其极限强度确定,而是要根据剪力墙抗剪承载力试验结果,基于墙片在剪力作用下变形角不超过 $1/200$ 时对应的荷载作为承载力,也即对于高度为 $2\,400\text{ mm}$ 的剪力墙,当变形达到 12 mm 时对应的顶部剪力值。剪力墙承载力取值的理由是轻型木结构剪力墙和内隔墙通常安装石膏板覆面层,当墙体的变形角超过 $1/200$ 时,石膏板将会发生肉眼可见的破坏。本文的试验表明剪力墙 $1/200$ 变形角对应的承载力与极限强度的比值为 $0.5 \sim 0.65$ 。楼、屋盖的承载力由抗剪承载力和抗弯承载力分别决定,其中抗剪承载力取值应与剪力墙类似。对于剪力墙和楼、屋盖的刚度取值,目前还没有统一的方法标准,研究者根据各自的研究目的出发,刚度取值方法标准不一。

由于刚度问题属于正常使用极限状态设计的范畴,目前从北美、欧洲和日本的木结构设计规范来看^[7-10],规定正常使用极限状态剪力墙变形角限值在 $1/500 \sim 1/300$;此外,侧向力作用如风荷载和地震力均属短期荷载作用,刚度随试件加载速率的影响也较小。基于这些考虑,本文提出剪力墙抗侧刚度取值方法为以剪力墙抗剪切试验变形角达到 $1/400$ 时,对应荷载-变形试验曲线上的割线斜

率,作为剪力墙刚度值。如对于高度为 $2\,400\text{ mm}$ 的剪力墙,取抗剪变形为 6 mm 时曲线上对应点的割线刚度。楼、屋盖抗剪承载力取值为试验跨中挠度达到 $1/400$ 跨度时对应的侧向荷载值;楼、屋盖刚度取值为试验跨中挠度达到 $1/800$ 跨度时试验曲线对应点的割线刚度值。

本文定义该承载力和刚度取值方法为基于变形的取值方法,利用该方法可以回归分析试验数据,理论推演木结构剪力墙和楼、屋盖的分析理论。本文的试验数据处理和分析,均为采用基于变形的承载力和刚度值。

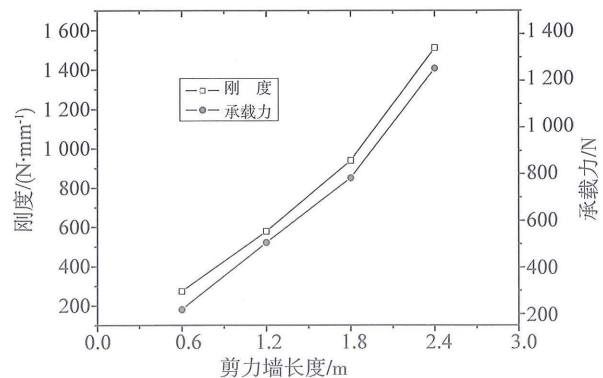


图7 承载力、刚度试验值与墙长度关系

Fig. 7 The relationship between strengths and stiffness to the wall lengths

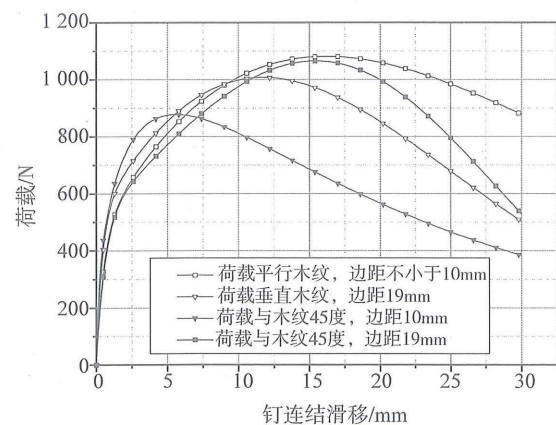


图8 钉连结荷载-滑移曲线

Fig. 8 Load-slip curves of nail joists

2.2 试验结果分析与有限元分析

剪力墙分析一般理论假定其承载力和刚度与剪力墙长度成正比关系^[1-2],该假定也是目前轻型木结构抗侧力分析的理论基础。本文对长度为 0.6 、 1.2 、 1.8 和 2.4 m 剪力墙试件的试验结果,其承载力和刚度随墙长度的关系曲线如图7所示,结果

表明近似于一种线性关系。为了进一步分析和验证剪力墙承载力和刚度与墙长度的关系，本文采用通用有限元分析软件 ABAQUS 分析系统，利用闫新宇在文献 [11] 中建立的剪力墙分析模型，模型中的钉连结本构关系曲线选用本文作者在文献 [5] 中得到的四组典型受力情况的钉连结试验平均拟合曲线（如图 8 所示），分析了长度在 0.6 ~ 4.8 m 的轻型木结构中最常用长度剪力墙荷载 - 剪切变形曲线如图 9 所示。该有限元分析模型能较准确模拟剪力墙的受力性能，与试验结果符合良好。理论计算剪力墙承载力和刚度与墙长度关系如图 10 所示。分析结果进一步证实剪力墙承载力与刚度与墙长度近似成线性关系，可以采用其承载力和刚度与长度成正比的理论分析假定。

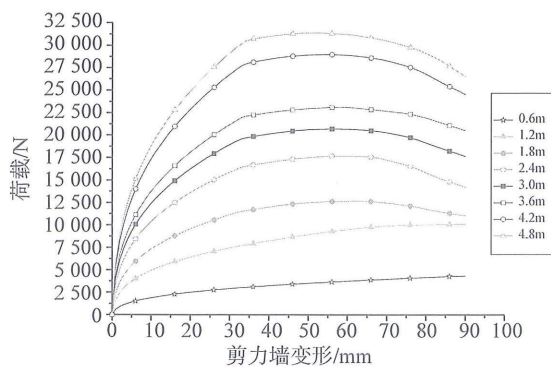


图 9 剪力墙荷载 - 变形曲线

Fig. 9 Load-deflection curves of shear walls

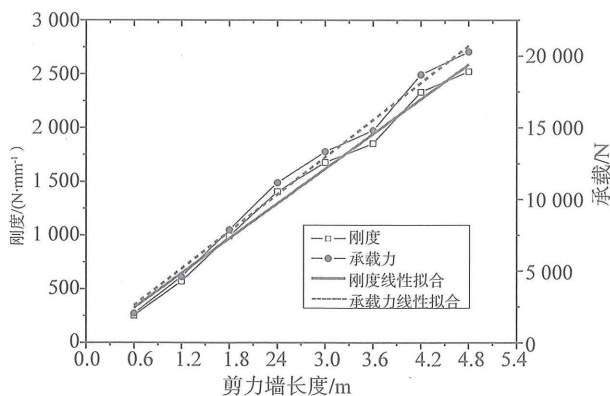


图 10 承载力、刚度与长度关系

Fig. 10 Strengths and stiffness-lengths relationship

对比相同长度的开洞和不开洞剪力墙，其承载力和刚度数据列于表 4 中，墙体开洞承载力下降为不开洞墙的 0.68 倍，刚度下降为 0.59 倍。由于本文的开洞剪力墙试件是采用覆面板连续布置，在面板跨洞口处切口的布板方式，不同于通常开洞墙体

采用面板到洞口边缘的布置方式。对比采用面板到洞口边缘布置的开洞剪力墙，根据文献 [2] 的经验公式计算其承载力和刚度均下降到不开洞墙的 0.43 倍。对比可发现采用本文布板方式的开洞剪力墙可以提高承载力和刚度，这是因为采用面板到洞口边缘的布板方式，剪力墙洞口上下的连梁实际上是构成铰接连梁，而采用面板跨洞口的布板方式后，就形成了刚接的连梁，充分利用面板弯曲强度抵抗连梁的剪弯作用，从而提高开洞墙的承载力和刚度。采用本文布板方式的开洞剪力墙适用于洞口尺寸较小的情况，设计中还需要验算覆面板切口后的弯剪承载力问题。

表 4 试件承载力和刚度比较 (一)

Table 4 Comparison of the strengths and stiffness of test specimens (1)

试件编号	试件形式	承载力/N	比值	刚度/ (N · mm ⁻¹)	比值
W5	有开洞	8 495	0.68	893	0.59
W4	无开洞	12 522		1 510	

表 5 试件承载力和刚度比较 (二)

Table 5 Comparison of the strengths and stiffness of test specimens (2)

试件编号	试件形式	承载力/N	刚度/ (N · mm ⁻¹)
W6	石膏板墙	8 489.0	1 286.5
W4	定向木片板墙	12 521.5	1 509.9
W7	石膏板 + 定向木片板墙	20 986.0	2 869.3

比较石膏板覆面剪力墙试件、定向木片板覆面剪力墙试件和一面石膏板另一面定向木片板覆面剪力墙试件的承载力和刚度试验结果如表 5 中所示。石膏板覆面剪力墙试件承载力为定向木片板覆面剪力墙试件的 0.65 倍，刚度为 0.87 倍。表明石膏板覆面剪力墙有较好的承载能力，其刚度也与木基板覆面剪力墙相近。但是试验也表明石膏板剪力墙按变形角的承载力与极限强度比值为 1.0，变形能力为定向木片板覆面剪力墙的 1/5，这表明石膏板覆面剪力墙具有较高的脆性，考虑安全储备后其承载力能力不高，作为轻型木结构的主要抗侧力构件设计，偏于不安全而且经济性也不高。一面石膏板另一面定向木片板覆面剪力墙的刚度为石膏板墙与木基板墙刚度之和，其承载力也为石膏板墙与木基板墙承载力之和。按变形角的承载力与极限强度比值

为 0.8, 剪力墙变形能力与定向木片板覆面剪力墙基本相同。可见采用石膏板与木基板双面覆面剪力墙, 刚度可以成倍提高, 变形性能没有明显下降。实际工程中轻型木结构房屋普遍采用石膏板覆面作防火和装饰面层, 木基板覆面剪力墙考虑石膏板的承载力和刚度贡献, 将带来房屋设计经济性的极大提高。

对于轻型木结构房屋, 楼、屋盖构件一般平面尺寸均较大, 在侧向力作用下面内的抗剪和抗弯承载力也较大, 所以往往不是设计中主要关注的问题。楼、屋盖构件具有足够大的刚度, 在侧向荷载作用下将面内剪力传递到下面的剪力墙中去, 保证结构的整体工作性能, 才是楼盖设计的关键问题。现代轻型木结构工程习惯取消楼、屋盖的垫块设计, 这将导致楼、屋盖承载力和刚度的下降, 在对楼、屋盖承载力和刚度有较高要求的工程中应该设置垫块。根据本文对覆面板与搁栅间的相对变形试验结果发现, 取消垫块的边上的钉连接相对变形较大。取消垫块, 楼盖的剪切变形明显大于弯曲变形 (图 11 所示)。楼盖试件在均布荷载和集中荷载作用下的试验表明, 在相同挠度条件下楼盖在均布荷载作用下的刚度明显高于集中荷载作用下的刚度, 承载力也高于后者。

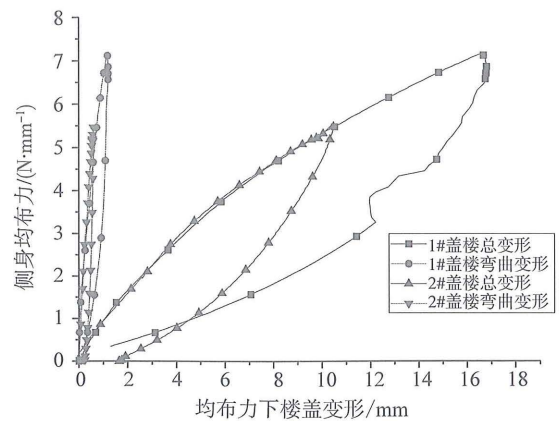
根据本文对剪力墙和楼盖试件的试验结果, 实测的承载力均远高于我国木结构设计规范 GB50005-2003 (2005 年版) 附录 P ~ Q 提供的承载力值^[12]。可见参考北美规范和试验数据给出的木结构剪力墙和楼、屋盖承载力数据, 用于我国轻型木结构设计偏于保守, 我国木结构设计规范有必要根据我国轻型木结构工程实际, 开展必要的试验研究, 利用概率统计和可靠度方法给出适合于我国木结构剪力墙和楼、屋盖的承载力设计值。

3 结 论

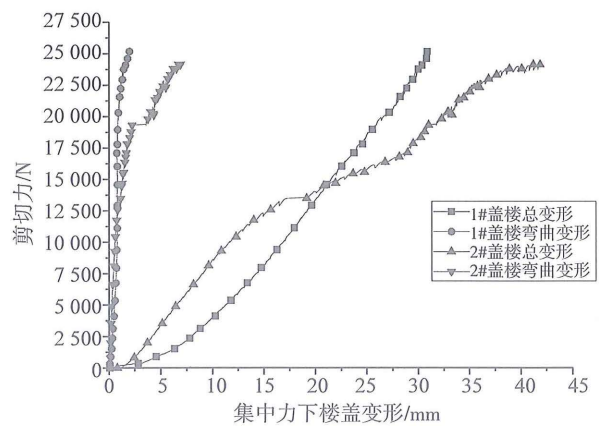
本文通过根据我国轻型木结构工程实际情况制作的木结构剪力墙和楼盖试件的试验研究, 得到如下结论:

1) 参考木结构剪力墙承载力基于变形条件的确定方法, 本文提出了木结构剪力墙和楼、屋盖刚度的基于变形的确定方法。

2) 本文的试验和有限元分析结果证实了木结构剪力墙承载力和刚度与墙长度成比例关系的假定。试验同时也表明剪力墙覆面板中窄板虽然不会显著影响剪力墙承载力和刚度, 但是窄板转动变形较大、易于被破坏, 剪力墙设计中宜尽量少采用。



a) 均布荷载作用



b) 集中力作用

图 11 楼盖总变形和弯曲变形

Fig. 11 Total deflections and the bend deflections of diaphragms

3) 剪力墙开小洞口时, 采用覆面板连续布置、遇洞口在板上切口的布板方式可以大幅提高开洞剪力墙承载力和刚度。采用这种布板方式的剪力墙还需要验算覆面板切口后的弯剪强度。

4) 石膏板剪力墙承载力偏低, 而且变形能力较差, 单独采用石膏板覆面剪力墙作为抗侧力构件的构造方式不宜采用。采用在木基结构板覆面剪力墙的反面用石膏板覆面, 则剪力墙可以充分利用石膏板覆面的承载力, 刚度提高近一倍, 而且剪力墙的变形能力没有明显降低。采用该方式构造剪力墙可以显著提高经济性。

5) 处于楼盖角部的覆面板转动变形最大, 覆面板在无垫块的边上相对滑移变形显著加大, 无垫块楼盖承载力和刚度明显下降。在相同挠度变形条件下, 楼盖在均布荷载作用下的承载力和刚度明显高于集中力作用情况。

6) 楼盖覆面板在承受面内剪切作用的同时, 也承受了面内弯曲作用, 传统设计方法以楼盖封边

搁栅承担全部面内弯矩, 对于封边搁栅的接头设计偏于保守, 而对于覆面板的钉连接设计又偏于不安全。

7) 我国木结构设计规范给出的剪力墙和楼、屋盖承载力设计值偏于保守, 有必要开展进一步的试验研究, 给出更加适用的设计值。

参考文献:

- [1] Step Timber Engineering. Step, Volumes 1 and 2 [M]. Centrum Hout, Netherlands, 1995.
- [2] DONALD E B, KENNETH J F, KELLY C, et al. Design of wood structures-ASD [M]. 5th ed. McGraw-Hill, 2004.
- [3] JOHN W. VAN de Lindt. Evolution of wood shear wall testing, modeling, and reliability analysis: Bibliography [J]. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2004, 2: 44 - 53.
- [4] ASTM E564 - 00, Standard practice for static load test for shear resistance of framed walls for buildings [S]. America Society of Testing and Materials. West Conshohocken, PA, 2000.
- [5] 陈松来, 陈志勇, 樊承谋, 等. 木结构剪力墙中钉连接的实验研究 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2008, 47 (4): 133 - 138.
- [6] JOHNN P J, FERNANDO S F. Strength and behavior of hybrid diaphragms [J]. Journal of Composites for Construction, 2002, 6(4): 215 - 223.
- [7] CSA. CAN/CSA-O86.1 - 94, Engineering design in wood (Limit states design) [S]. Canadian Standards Association, Ottawa, 1994.
- [8] IBC. International building code, international codes council (U S A) [S]. Falls Church, VA, 2003.
- [9] prEN 1995 - 1 - 1: 2003. Eurocode 5: Design of Timber Structures-Part 1: General Rules and Rules for Buildings [S]. European Committee for Standardization, Brussels, 2003.
- [10] The Structural Design Guide for Wood-Framed Construction in Japan 1998 [S]. Japan 2 x 4 home builder Association, Tokyo, 1998.
- [11] 闫新宇. 轻型木结构剪力墙抗侧力性能试验研究与有限元分析 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2007.
- [12] 中华人民共和国建设部. GB50005 - 2003 木结构设计规范 [S]. 2005 ed. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.