

# 钢筋混凝土剪力墙结构中楼板对连梁的影响研究

骆顺心, 汪宗华, 刘旭东, 严淑敏

中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430071

**摘 要 :** 针对钢筋混凝土剪力墙结构设计时忽略楼板对连梁影响的问题, 采用有限元软件 ABAQUS 对有无楼板的连梁进行构件层面的对比分析, 采用整体结构模型对有无楼板的连梁进行整体结构层面的对比分析。分析结果表明, 楼板对连梁刚度和承载力有放大作用, 但对其抗剪性能、耗能延性无有利影响。对整体结构而言, 忽略连梁处楼板将造成整体地震作用偏小, 连梁、墙肢内力失真等情况。连梁上楼板采用刚性板、弹性膜、壳单元方式模拟时, 相关构件的计算内力相差较大。结构设计时应准确考虑楼板对连梁以及整体结构刚度、承载力、延性等的影响。

**关 键 词 :** 剪力墙结构; 连梁刚度; 连梁延性; 带楼板连梁

## Research of the Coupling Beams with Floor Slabs in Reinforced Concrete Shear Wall Structures

Luo Shunxin, Wang Zonghua, Liu Xudong, Yan Shumin

Central-South China Architectural Design Institute Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430071

**Abstract :** The influence of floor slabs on coupling beam in the design of reinforced concrete shear wall structures is studied, finite element software ABAQUS is used to compare and analyze the coupling beam with and without floor slabs, and a comprehensive structural model is used to compare and analyze the overall structural of coupling beam with and without floor slabs. The analysis show that the floor can amplify the stiffness and bearing capacity of the coupling beam, but has no beneficial effect on its shear resistance and energy dissipation ductility. For the overall structure, ignoring the floor slabs at the coupling beam will result in a smaller overall seismic effect, and distortion of internal forces in the coupling beam and wall limbs. When the floor slab on the connecting beam is simulated using rigid plates, elastic membranes, and shell elements, there is a significant difference in the calculated internal forces of the relevant components. Accurate consideration should be given to the influence of floor slabs on the stiffness, bearing capacity, ductility, etc. of the coupling beam and the overall structure.

**Key words :** shear wall structure; stiffness of coupling beam; ductility of coupling beams; coupling beam with floor slab

## 一、引言

钢筋混凝土剪力墙结构中, 连梁在中大震作用下形成塑性铰, 降低整体结构刚度、延长结构周期, 减少地震能量的输入, 进而达到保护墙肢、抑制进一步破坏的作用<sup>[1]</sup>。在实际施工中, 连梁与楼板混凝土整体浇筑, 导致连梁上的楼板成为连梁的翼缘, 楼板及其中的钢筋大大提高了连梁的刚度及承载力, 使连梁的抗弯承载力大幅提高, 其提高的幅度远大于梁端抗剪承载力提高的幅度。导致连梁的“强墙肢弱连梁”“强剪弱弯”的抗震设计的理念不易实现, 连梁的耗能作用受到了楼板极大的干扰。

国内外较多学者对连梁的影响进行了相关研究。史庆轩等<sup>[2]</sup>对小跨高比连梁试件进行了低周反复荷载作用下的试验研究, 张超<sup>[3]</sup>等对带楼板的半通缝连梁的刚度、承载力和延性系数进行了研究, 范重等<sup>[4]</sup>研究了连梁-剪力墙的滞回曲线和骨架曲线。邓付元等<sup>[5]</sup>对带楼板 RC 连梁抗震性能进行了试验。田建勃等<sup>[6]</sup>对带楼板的钢板-混凝土组合连梁的抗震性能进行了研究。以上研究主要集中于构件层面, 因此有必要进一步系统研究楼板对连梁

进而对整体结构的影响。

针对常规设计时忽略楼板对楼板影响问题, 本文通过建立了剪力墙-连梁的有限元模型, 施加低周反复荷载, 分析楼板对连梁的刚度、承载力等的影响。通过整体剪力墙结构案例, 对比分析了连梁是否带楼板对整体剪力墙结构的相关影响。

## 二、楼板对连梁的影响分析

### (一) 楼板对连梁刚度和承载力影响的估算

《混凝土结构设计规范》<sup>[8]</sup> (GB50010-2010) (2015年版) 5.2.4条和《高层建筑混凝土结构技术规程》<sup>[9]</sup> (JGJ3-2010) 5.2.2条均有关于现浇楼盖中, 梁的刚度可考虑翼缘的作用而增大。《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010)规定, 在抗震设计时, 连梁的刚度还可进行折减。在规范条文中没有明确规定连梁的刚度是否需要考虑楼板的影响而放大<sup>[10]</sup>。

但在实际施工中, 连梁与楼板混凝土都是整体浇筑。通过一算例可简单估算楼板对连梁的刚度影响。如某连梁截面尺寸为

300mm×800mm，楼板厚度120mm。楼板所形成的翼缘的计算宽度按照《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)(2015年版)5.2.4条计算。

分别按6倍楼板厚度、3倍楼板厚度的翼缘宽度考虑中连梁和边连梁，三种连梁的截面面积和惯性矩的大小及相对于矩形截面惯性矩的放大系数如表1所示。由表1可知，T型连梁相对于矩形连梁的惯性矩增大至1.58，L型边连梁则增大至1.43。翼缘对截面的惯性矩的影响很大，而连梁的刚度和抗弯承载力与其惯性矩息息相关，可见翼缘对连梁的刚度和抗弯承载力有不可忽视的影响。

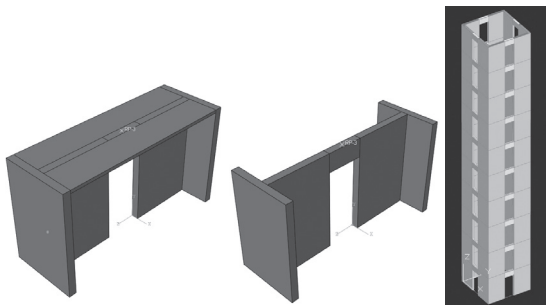
表1 三种连梁的惯性矩对比

参数	矩形连梁	T型中连梁	L型边连梁
截面面积 /mm <sup>2</sup>	2.4×10 <sup>5</sup>	3.26×10 <sup>5</sup>	2.83×10 <sup>5</sup>
惯性矩 /mm <sup>4</sup>	1.28×10 <sup>10</sup>	2.02×10 <sup>10</sup>	1.84×10 <sup>10</sup>
抗弯刚度系数	1.0	1.58	1.43

## (二) 楼板对连梁影响的有限元对比

### 1. 算例情况

采用通用有限元分析软件 ABAQUS 分析计算楼板对连梁的影响。计算模型取为单层双肢剪力墙结构，墙厚300mm，层高为4200mm，剪力墙两端翼墙长度为3100mm，剪力墙洞口宽度为1600mm。连梁高度为800mm，顶面底面纵筋均为320，箍筋两肢箍10@100。有楼板时楼板厚度120mm，板钢筋为双层双向8@200。带楼板和不带楼板的连梁有限元模型如图1(a)、1(b)所示。



(a) 有楼板连梁 (b) 无楼板连梁 (c) 3.1节整体模型

> 图1 有无楼板时的有限元算例模型

模型中的梁板墙均采用实体单元，并在构件中均建立钢筋。混凝土采用 C3D8R 单元，钢筋采用 T3D2 单元模拟。

有限元模型中混凝土的本构关系，按《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)(2015年版)附录 C.2 定义。混凝土的泊松比取 0.2。钢筋本构关系按《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)(2015年版)附录 C.1 定义，钢筋泊松比取 0.3。

将该模型底端固定，即约束底端的6个自由度，加载方式采用低周反复的位移加载。加载点为顶层连梁的中间，加载方向为顺墙身方向，采用耦合点的方式进行加载。加载历程采用线性增长的低周反复加载，加载到峰值位移20mm以后，维持峰值位移等幅加载。

### 2. 刚度对比情况

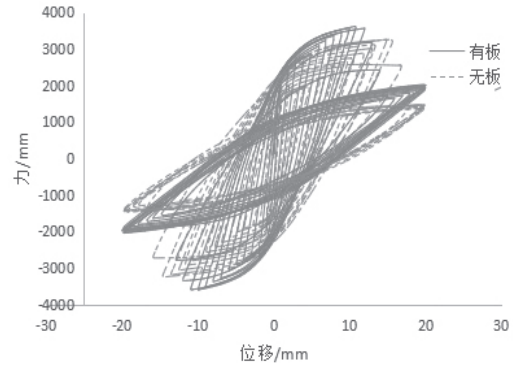
连梁的刚度参数根据《建筑抗震试验规程》(JGJ\_T101-

2015) 4.5.3 条的割线刚度表示。割线刚度用  $K_i$  表示，其计算过程如下：

$$K_i = \frac{+F_i + |-F_i|}{+X_i + |-X_i|} \quad (1)$$

式中， $+F_i$ 、 $-F_i$ ——第  $i$  次正、反向峰值点的荷载值， $+X_i$ 、 $-X_i$ ——第  $i$  次正、反向峰值点的位移值。

图2为有、无楼板时连梁的滞回曲线对比图。其中横坐标表示加载点的位移值，纵坐标表示加载点处的沿加载方向的力。



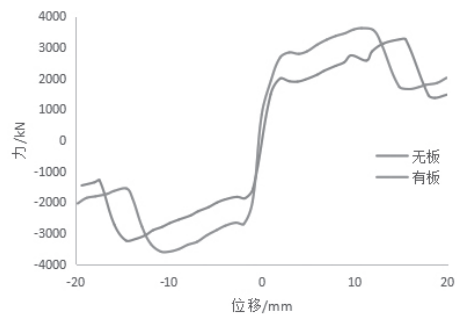
> 图2 有板和无板时连梁的滞回曲线

如图2所示，有楼板连梁和无楼板连梁的滞回曲线形状及变化趋势有一定的相似性。在达到最大加载位移前，循环曲线较为接近，即刚度和强度退化较小，构件的塑性变形能力均较强，均有较好的抗震能力和耗能能力。两者在达到承载力峰值后，刚度有一定程度的退化。

有楼板连梁存在时，图2荷载位移关系曲线上的斜率较有楼板连梁的斜率大，这表明楼板对连梁刚度的增大贡献事实上是明显的。在有楼板时，连梁的初始割线刚度要比无板时的刚度大。随着加载位移的增大，两者连梁的割线刚度均减小，在破坏后期两者又趋于一致。

### 3. 承载力及延性对比情况

连梁的承载能力用其骨架曲线来表示。骨架曲线取荷载变形曲线的各级加载循环的峰值点所连成的包络线。有楼板和无楼板时连梁的骨架曲线如图3所示。



> 图3 有板和无板时连梁骨架曲线对比

由上图3可知，有楼板连梁的极限抗弯承载力较无楼板连梁的极限承载力高。在达到峰值后，有楼板连梁的承载力也高于无楼板连梁的极限承载力。通过提取连梁截面的剪力可知，两者剪力无较大差别。有楼板连梁的塑性应变与无楼板连梁的塑性应变基本相当，楼板的存在对连梁的延性并无改善。

### 三、带楼板连梁对结构的相关影响分析

#### (一) 算例情况

采用以下算例对连梁是否带楼板对主体结构的影响进行分析。剪力墙结构整体算例模型如图1(c)所示,地上10层,各层层高均为4.2m,结构总高度为42m;长宽均为6.5m,墙厚300mm,连梁尺寸为300mm×800mm,连梁洞宽1.5m,板厚130mm。附加墙体荷载20kN/m,附加楼面面层荷载2.2kN/m<sup>2</sup>,楼面活荷载2.5kN/m<sup>2</sup>。抗震设防烈度为8度(0.2g),设计地震分组为第三组,Ⅱ类场地土。

在YJK软件中建立以下五个对比模型:1)连梁刚度折减系数0.7+刚性楼板;2)连梁刚度系数1.5+刚性楼板;3)连梁刚度折减系数1.0+弹性膜楼板;4)连梁刚度折减系数1.0+弹性板6楼板;5)连梁刚度折减系数1.0+连梁范围板开洞+弹性膜楼板。

#### (二) 总体地震力的对比

以上各个模型在盈建科软件中运行计算后,统计出各模型的基底剪力的对比如表2所示。

表2 连梁处楼板不同模拟方式下基底剪力对比

模型编号	基底剪力	与传统做法比较
模型1	8.56%Geq	1
模型2	8.85%Geq	1.07
模型3	8.58%Geq	1.002
模型4	8.59%Geq	1.003
模型5	8.49%Geq	0.99

上表Geq为整体结构的有效质量。由上表可知,在各种不同的楼板模拟方式下,结构整体的地震作用均有一定程度的差异。考虑楼板作为翼缘放大了连梁的刚度后,整体结构的基底剪力增大。采用刚性板并直接增大连梁刚度系数时,结构总地震力增大

的比例最大。

#### (三) 连梁和墙肢内力对比

在盈建科结构设计软件中计算后,提取各个模型的五层连梁和底层墙肢的内力如表3所示。

表3 连梁处楼板不同模拟方式下连梁和墙肢内力对比表

模型	五层连梁剪力	五层连梁弯矩	底层墙肢弯矩	底层墙肢轴力
模型1	363	161	995	662
模型2	383	171	937	823
模型3	365	233	995	687
模型4	363	231	993	688
模型5	355	266	1018	627

由上表可知,考虑楼板对连梁的影响后,在该算例中,模型2较模型1,连梁剪力、连梁弯矩、墙肢内力的均有一定程度的增加。各不同连梁处楼板的模拟方式,如采用刚性板、膜单元、壳单元、无板等,计算出的连梁和墙肢的内力差别较大。连梁的刚度折减系数取值对结构内力的影响较大。

### 四、结语

1. 楼板作为连梁的翼缘,与楼板钢筋共同提高了连梁的刚度和抗弯承载力,与此同时,抗剪承载力延性性能未同步增长,忽略连梁上的楼板将高估连梁耗能能力。

2. 忽略连梁上的楼板,会造成整体结构的地震作用偏小,造成墙肢、连梁内力分布的较大差异,进而可能造成偏离抗震性能目标的情况。

3. 连梁上楼板的刚性板、膜单元、壳单元不同模拟方式对相关构件内力均有较大影响。结构设计者应明晰楼板对连梁的影响进而对整体结构造成的影响。

### 参考文献:

- [1] 纪晓东,钱稼茹.震后功能可快速恢复联肢剪力墙研究[J].工程力学,2015,32(10):1-8.
- [2] 史庆轩,田建勃,王秋维,等.小跨高比钢板-混凝土组合连梁抗震性能试验研究[J].建筑结构学报,2015,36(2):104-114.
- [3] 张超,陈向上,于德湖.小跨高比带楼板半通缝连梁抗震性能有限元分析[J].世界地震工程,2018,34(01):51-61.
- [4] 范重,刘云博,等.剪力墙连梁刚度折减系数确定方法研究[J].建筑结构,2015,45(23):15-20.
- [5] 邓付元,纪晓东,王涛,等.带楼. R.连梁抗震性能试验研究[J].工程力学,2017,34:54-58.
- [6] 田建勃,王游春,任文更,等.考虑RC楼板影响的钢板-混凝土组合连梁抗震性能试验研究.[J].建筑结构,2021,42(6):94-107.
- [7] 孙益欢,考虑楼板作用的钢筋混凝土双连梁有限元分析[D].天津城建大学,2013.
- [8] 混凝土结构设计规范:G.50010-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [9] 高层建筑混凝土结构技术规程:JGJ3-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [10] 李星,等.浅析剪力墙结构梁刚度放大与连梁刚度折减[J].四川建材,2017,43(8):81-82.