

转换梁上部墙体受力特点及设计计算方法的研究

魏 珪 王 森

(中国建筑科学研究院深圳分院 深圳 518028)

[提要] 通过转换梁上部为不同类型墙体的格体受力分析,对与下部转换梁有共同作用的墙体的受力特点进行了研究,并提供了支承不同墙体的转换梁结构的设计方法,按本文方法计算的结果得到了试验的验证。

[关键词] 转换结构 转换梁 剪力墙

Based on the analysis results of different type of shear walls on the transfer beam, this paper studies the structural behavior of shear wall regarding the joint work between the structural wall on the beam and the beam itself. The calculation design method can provide reference to engineers.

Keywords: transfer floor; transfer beam; shear wall

一、引言

高层建筑中因建筑功能的需要采用梁式转换结构的实例很多。设计人员十分关心转换结构的设计方法,但在实际进行转换梁结构设计时,人们往往仅注重转换梁的分析方法、计算内力的大小以及相应的配筋设计,而忽略了转换梁上部墙体受力的变化和相应墙体的设计,只按普通剪力墙的方法进行内力计算和配筋设计,这显然是不够的。

实际上,转换梁上部墙体与支承墙体的下部转换梁的受力密切相关,文献[1],[2]的研究结果表明,与下部转换梁有共同作用的墙体参与了转换梁的共同受力,已成为整个转换结构的一部分,因而其受力、设计计算与普通剪力墙不同,应进行专门的计算和设计。本文对墙体满跨支承在转换梁上、部分墙体支承在框支柱上以及支承在转换梁跨中的墙体的受力特点进行分析,并在此基础上提出了相应的设计计算方法。按本法计算所得结果得到了试验的验证。

二、满跨支承在转换梁上墙体的受力特点

文献[1],[2]的研究结果表明,满跨支承在转换梁上的墙体与下部转换梁有显著的共同作用,应按有限元法分析转换梁的受力,同时还应掌握上部墙体的受力情况。以下对转换梁及上部墙体分析时,均采用通用有限元分析软件 Super-SAP91 和 SAP2000,转换梁、上部墙体及下部框支柱均采用实体单元,材料的弹性模量为 $3.55 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ 。转换梁轴线跨度为 10m,转换梁截面宽 1m,高 1.8m,框支柱截面为 $1\text{m} \times 1\text{m}$,上部墙体高 9m,厚 400mm,满跨支承在转换梁上。计算分两种加载工况进行:工况 I 考虑均布竖向荷载作用,在墙顶施加的竖向荷载总量为 36 960kN;工况 II 考虑均布竖向荷载和水平荷载共同作用,在墙顶施加的竖向荷载总量为 36 960kN,水平荷载总量为 5 750kN,均匀

作用在墙顶。下面着重介绍其计算结果的特点。

1. 墙体水平向应力的分布特点 墙体及转换梁的水平向应力等位线图见图 1(分析墙体受力特点时,均布竖向荷载为在墙体顶部施加的竖向均匀面荷载;水平荷载为在墙体顶部施加的水平向均匀面荷载,以下同),从图中可以看出,墙体下部参加了转换结构的整体抗弯工作,与转换梁一起承担外弯矩。

2. 墙体剪应力的分布特点 图 2 为墙体及转换梁的剪应力等位线图,从图中可以看出,在转换梁上部墙体的剪应力分布形式与普通梁类似,呈两侧大、中间小的特征,在均布竖向荷载作用下梁跨中上部墙体剪

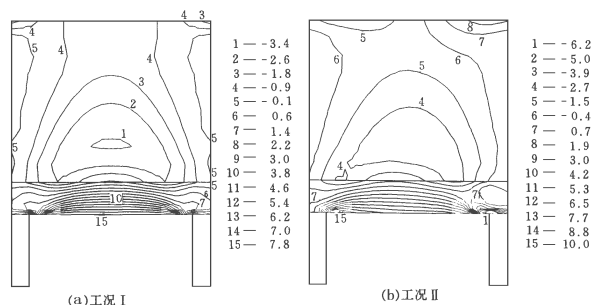


图 1 上部墙体及转换梁水平向应力等位线图(N/mm^2)

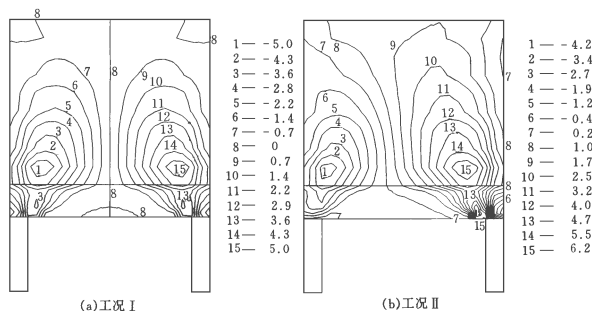


图 2 上部墙体及转换梁剪应力等位线图(N/mm^2)

应力为零。在两端上部墙体与下部转换梁一起抵抗外部剪力,该区域内,墙体处于剪压应力组合受力状态。

3. 墙体竖向压应力的分布特点 图3为墙体及转换梁的竖向应力等位线图,从中可以看出,转换梁上部墙体均处于受压应力状态。与墙体水平向应力、剪应力分布形式不同,在上部墙体大部分范围内,墙体的竖向压应力均很小,而在转换梁端部框支柱上方墙体处,墙体的竖向压应力很大,表现出显著的应力集中现象。

文献[2]的试验研究表明,墙体两端靠转换梁顶处出现了局部压碎破坏。这表明设计转换梁结构时,必须同时对上部墙体两端底部局部进行必要的抗压承载力验算。

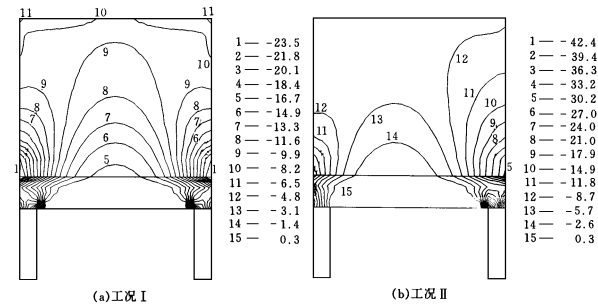


图3 上部墙体及转换梁竖向应力等位线图(N/mm²)

三、部分墙体支承在框支柱上墙体的受力特点

文献[1],[2]对上部墙体部分支承在框支柱上的转换梁的研究结果表明,支承在框支柱上的墙体与转换梁有明显的共同作用,该处转换梁应按有限元法分析其受力,同时还应分析上部剪力墙体的受力特点。计算模型的转换梁跨度、截面、框支柱截面以及墙体厚度同第二节中所述,支承在框支柱上的墙体长度为转换梁跨度的3/4。计算分为两种加载情形进行,工况I考虑均布竖向荷载作用,在墙顶施加的竖向荷载总量为22 400kN;工况II考虑均布竖向荷载和水平荷载共同作用,在墙顶施加的竖向荷载总量为22 400kN,水平荷载总量为900kN,均匀作用在墙顶。

1. 墙体水平向应力的分布特点 墙体及转换梁的水平向应力等位线图见图4,从图中可以看出,墙体与其下部的转换梁一起抵抗外弯矩。在进行该部分上部墙体设计时,也应考虑墙体与梁的共同作用。

2. 墙体剪应力的分布特点 图5为墙体及转换梁的剪应力等位线图,从图中可以看出,左端截面的最大剪应力出现在梁端上部的墙体,由此看来,在左端上部有墙体部位,上部墙体与转换梁一起抵抗外部剪力,且墙体中的剪应力可能大于转换梁上的截面剪应力,而右端剪力系由转换梁单独承担,设计时应保证墙体和转换梁的抗剪承载力满足要求,尤其要注意保证右

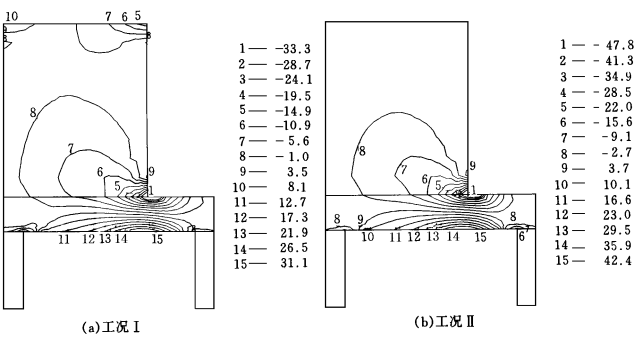


图4 上部墙体及转换梁水平向应力等位线图(N/mm²)

端无墙部分转换梁的抗剪承载力。

3. 墙体竖向压应力的分布特点 图6为墙体及转换梁的竖向应力等位线图,从中可以看出,支承在框支柱上部的墙体仍然出现竖向压应力比较集中的现象,设计时也要对墙体下端局部进行必要的抗压承载力验算。

四、支承在转换梁跨中墙体的受力特点

对于图7中支承在转换梁跨中的墙体,文献[1]的研究结果表明,当墙体长度大于一定范围时,上部墙体与转换梁有共同作用。取计算模型的转换梁跨度、截面、框支柱截面以及墙厚同第二节中所述,支承在转换梁跨中的墙体长度为转换梁跨度的4/10,位于转换梁的正中。工况I考虑均布竖向荷载作用,在墙顶施加的竖向荷载总量为42 000kN;工况II考虑均布竖向荷载和水平荷载共同作用,在墙顶施加的竖向荷载总量为42 000kN,水平荷载总量为1 600kN,均匀作用在墙顶。

1. 墙体水平向应力的分布特点 图7为墙体及

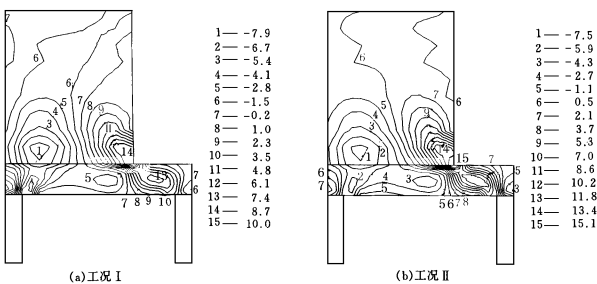


图5 上部墙体及转换梁剪应力等位线图(N/mm²)

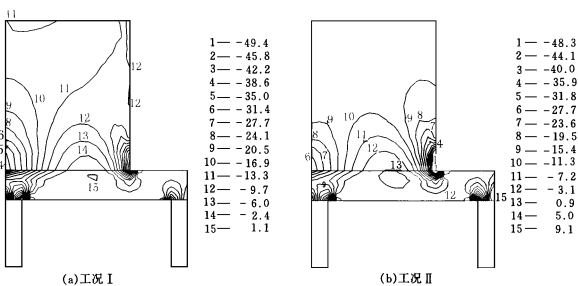


图6 上部墙体及转换梁竖向应力等位线图(N/mm²)

转换梁的水平向应力等位线图,从图中可以看出,仅有一小部分上部墙体的水平向应力处于受压应力状态,跨中转换梁上部墙体与下部转换梁一起抵抗外弯矩。

2. 墙体剪应力的分布特点 图8为墙体及转换梁的剪应力等位线图,从图中可以看出,左端最大剪应力及右端最大剪应力均未出现在墙体内,两端的最大剪应力都出现在上部没有墙体的转换梁内,因此对于全部墙体支承在转换梁净跨内的转换结构,墙体剪应力与无墙部分的转换梁剪应力相比,相对较小。

3. 墙体竖向压应力的分布特点 图9为墙体及转换梁的竖向应力等位线图,从图中可以看出,墙体全部处于受压应力状态,在墙体端部靠近转换梁位置处出现压应力相对集中现象,当墙宽增大时,这种墙端部压应力集中现象将更趋明显。

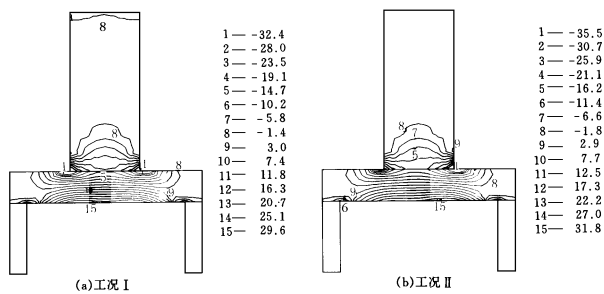


图7 上部墙体及转换梁水平向应力等位线图(N/mm²)

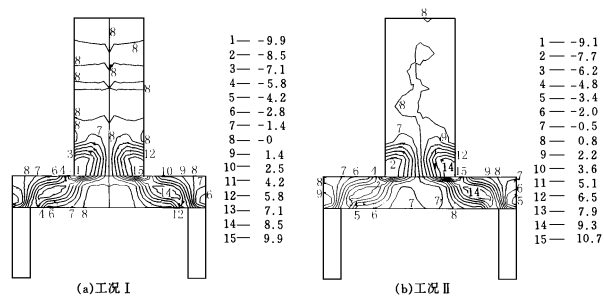


图8 上部墙体及转换梁剪应力等位线图(N/mm²)

五、转换梁上部墙体的设计方法

从前面对于转换梁上部墙体受力特点的分析中可以看出,上部墙体参与了下部转换梁的共同工作,与转换梁一起形成一个整体转换结构。因此设计转换结构时,除了对转换梁进行设计外,还应对转换梁上部墙体进行设计。

(一)墙体局部的抗压承载力验算

1. 满跨支承在转换梁上的墙体

对于满跨支承在转换梁上的墙体,框支柱上方墙体端部的墙体承受了绝大部分竖向荷载(见图3),并通过该处局部混凝土受压传递至下部框支柱上,文献[2]的

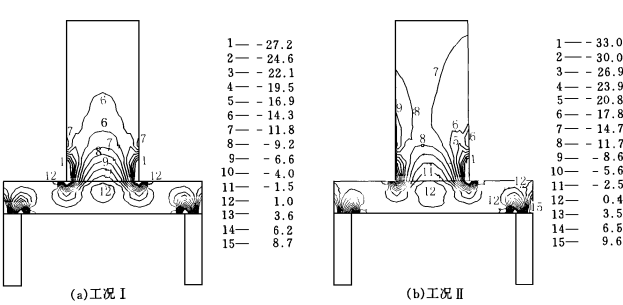


图9 上部墙体及转换梁竖向应力等位线图(N/mm²)

试验结果表明,这类转换结构的破坏出现在墙体下端靠近柱顶附近,为局部混凝土的受压破坏。根据理论研究及试验结果,可近似取该处局部受压长度 L_1 为

$$L_1 = \alpha_1 L \tag{1}$$

其中 α_1 约为 1/6,即墙底两端局部受压混凝土的长度约为整个墙体长度的 1/6(见图10)。

图10为墙体近似假设的竖向力传递计算图形,墙体底部两端框支柱上方 1/6 长度的墙体,传递上部荷载至转换梁顶。该处局部混凝土抗压承载力按下式验算:

$$F \leqslant f_c A_c \tag{2}$$

$$A_c = L_1 w \tag{3}$$

$$F = \frac{P}{2} + \frac{M + Vh}{L} + \frac{W_s}{2} \tag{4}$$

式中: F 为考虑竖向荷载和水平荷载共同作用的墙体底部局部的压力设计值; P 为墙顶竖向荷载设计值; W_s 为墙体自重; M 为作用在墙体顶部的弯矩设计值; V 为作用在墙体顶部的水平剪力设计值; h 为墙体的高度,一般取层高; L 为墙体的水平长度; f_c 为混凝土轴心抗压强度设计值; A_c 为混凝土局部受压面积; w 为墙体的厚度。

试验结果表明^[2],对于满跨支承在转换梁上的墙体,当墙底两端混凝土的局部受压承载力接近混凝土极限局部承压能力时,出现该位置混凝土的局压破坏。两个满跨墙体转换梁试件中,试件 ZHL-1 的破坏荷载 $P=2\ 640\text{kN}$,墙体端部混凝土的轴压强度标准值为

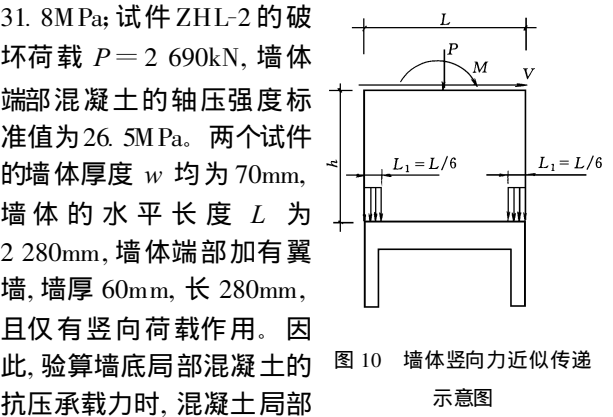


图10 墙体竖向力近似传递示意图

受压面积 A_c 应取墙端翼墙面积与局部受压长度 L_1 范围内墙体的承压面积之和, 即 A_c 为 392cm^2 。根据式(2), 试件 ZHL-1 墙体底部的局部抗压承载力为 $f_c A_c = 1\,247\text{kN}$, 不考虑墙体自重, 在竖向荷载 P 作用下, 墙底局部压力值 $P/2 = 1\,320\text{kN}$; 试件 ZHL-2 墙体底部的局部抗压承载力为 $f_c A_c = 1\,039\text{kN}$, 不考虑墙体自重, 墙底局部压力值为 $P/2 = 1\,345\text{kN}$ 。试件 ZHL-1, ZHL-2 均出现墙体底部局部混凝土受压破坏。由此可见, 按本文公式计算的结果与试验结果符合良好。

2. 部分墙体支承在框支柱上的墙体

对于部分墙体支承在框支柱上的墙体, 支承在框支柱一端的墙体以及支承在转换梁上的墙端部均出现较大的竖向压应力(见图6), 墙体上部荷载通过墙底两端局部混凝土受压传递至下部框支柱上。根据理论分析结果, 可近似取框支柱上方墙体局部受压长度 L_1 为

$$L_1 = \alpha_2 B \tag{5}$$

其中 α_2 约为 $1/5$ (见图11)。

墙体底部的局部压力设计值为

$$F = \frac{P}{2} + \frac{M + Vh}{B} + \frac{W_s}{2} \tag{6}$$

其中, B 为转换梁上部墙体的长度(见图11), 其它符号含义同前。

3. 支承在转换梁跨中的墙体

图12中, 当墙体宽度大于一定长度时, 在墙底端部一定范围内, 竖向压应力集中, 上部荷载由该处传递至下部的转换梁上, 该处局部的受压截面长度 L_3 为

$$L_1 = \alpha_3 B \tag{7}$$

其中 α_3 约为 $1/6$, 即墙底两端局部的受压混凝土长度约为整个墙体长度的 $1/6$ (见图12)。墙体底部局部的压力设计值为:

$$F = \frac{P}{2} + \frac{M + Vh}{B} + \frac{W_s}{2} \tag{8}$$

其中, B 为转换梁上部墙体的长度(见图12), 其它符号含义同前。

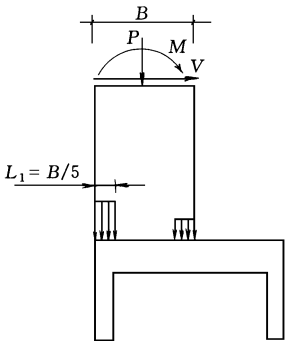


图 11 墙体竖向力近似传递示意图

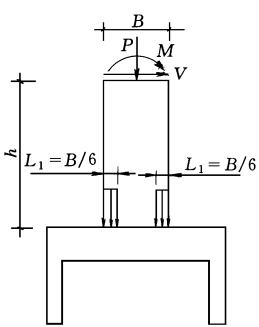


图 12 墙体竖向力近似传递示意图

(二) 墙体的抗剪设计

对于墙体支承在框支柱和部分转换梁上的转换结构, 上部没有墙体部位的转换梁的抗剪承载力是决定转换结构整体承载力的关键因素之一, 文献[2]的转换梁试验结果也证实了这一点, 而在上部有墙体的转换梁处, 其抗剪承载力由梁墙共同承担, 因此应对墙体的抗剪承载力进行验算; 对于墙体全部支承在转换梁净跨内的转换结构, 上部没有墙体部位的转换梁截面的抗剪能力决定着整个转换结构的抗剪承载力; 对于墙体满跨支承在转换梁上的转换结构, 其抗剪能力由转换梁与上部墙体共同决定, 因此进行转换结构抗剪设计时, 应同时考虑转换梁与上部墙体的抗剪作用, 墙体的剪力可通过剪应力沿墙高积分求得, 然后按下式进行上部墙体的抗剪设计^[3]:

$$V \leq 0.12[1 + 22(\rho + \rho_{sh})] f_c b h \tag{9}$$

式中: V 为墙体截面沿高度积分求得的剪力设计值; ρ 为墙体水平布置的钢筋配筋率; ρ_{sh} 为墙体竖向布置的钢筋配筋率, 当 $\rho_{sh} \geq 0.75\%$ 时, 取 $\rho_{sh} = 0.75\%$ 。

六、结论

对与转换梁有共同作用的上部墙体的受力特点进行了分析研究, 并给出了相应的墙体设计计算公式。从中可以得出以下结论:

(1) 满跨支承在转换梁上的墙体与下部转换梁存在共同作用, 墙体下部与转换梁一起抵抗外弯矩, 墙体两端处于剪压应力组合受力状态, 靠近框支柱上方的墙体下端的竖向压应力存在明显的应力集中, 设计时应进行墙体端部的局部抗压和墙体抗剪承载力验算。

(2) 部分墙体支承在框支柱上的转换结构, 上部有墙部位转换梁与上部墙体有共同作用, 墙体处于剪压应力状态, 支承在框支柱上的墙体以及支承在转换梁上的墙体端部, 竖向应力集中, 设计时应进行墙体抗剪承载力设计及下端局部抗压承载力验算。上部无墙部位的转换梁设计时应保证其抗剪承载力满足要求。

(3) 支承在转换梁净跨中的墙体, 当长度大于一定范围时, 部分墙体也与其下部转换梁有共同作用, 墙体处于剪压应力状态, 但整个结构在竖向荷载作用下的最大剪应力出现在上部没有墙体的转换梁内, 墙体两端下部靠近转换梁的位置竖向压应力集中, 设计时应应对墙体两端下部的局部抗压承载力以及墙体在水平荷载下的抗剪承载力进行验算。

参 考 文 献

1. 魏 珪, 王 森, 韦承基. 高层建筑转换梁结构类型及计算方法的研究. 建筑结构, 2001, 31(11).
2. 王 森, 魏 珪, 韦承基. 高层建筑转换梁结构承载能力及配筋方法的试验研究. 建筑结构学报, 2001, 22(2).
3. 混凝土结构设计规范(GBJ10—89). 1990.