

Mechanism of Transfer Story Beam-column in High-rise Buildings

Chen Zhaorong, Cai Zhili, Bai Zhongkui, Zhao Zhen

China Construction Fifth Engineering Bureau the Third Construction Co., Ltd. Changsha, China

Email address:

245140142@qq.com (Chen Zhaorong)

To cite this article:

Chen Zhaorong, Cai Zhili, Bai Zhongkui, Zhao Zhen. Mechanism of Transfer Story Beam-column in High-rise Buildings. *Science Discovery*. Vol. 9, No. 6, 2021, pp. 314-320. doi: 10.11648/j.sd.20210906.17

Received: October 15, 2021; **Accepted:** November 5, 2021; **Published:** November 12, 2021

Abstract: The structural layout of the transfer floor is easy to cause the discontinuity of vertical components, Sudden change of floor lateral stiffness and floor shear capacity, they were unfavorable to the calculation of the overall index of the structure. In order to study the working mechanism of single span transfer beam on the first floor of high-rise building structure with or without interaction with wall, the mechanism of the beam and column was analyzed in the transfer layer of high-rise buildings, and the calculation methods of sectional moment for inertia beam and wall by using the calculation method of bending stiffness was put forward. A simple method for calculating the according to the different arrangement of the shear wall on the single-span transfer beam was deduced, the combined action of the transfer beam-shear wall and the non-combined action of the transfer beam-shear wall has been analyzed and calculated. The results show that, when the full span of the shear wall is arranged on the transfer beam and the deformation coordination is considered, the following conclusions are verified: the flexural rigidity of the transfer beam is suitable for the joint action of the beam and the shear wall of the upper layer (5 times amplification); Under the "arching effect", the transfer beam and the upper shear wall transform the vertical force into the horizontal support thrust, which increases the shear force of the frame pillar. It should be considered in the design. It can be used as a reference for engineering construction and design colleagues.

Keywords: Transfer Story, Sectional Moment of Inertia of Beam and Wall, Deformation Coordination, Arching Effect

高层建筑转换层梁-柱工作机理研究

陈兆荣, 蔡志立, 白忠奎, 赵祯

中建五局第三建设有限公司, 长沙, 中国

邮箱

245140142@qq.com (陈兆荣)

摘要: 转换层结构布置容易造成竖向构件不连续、楼层侧向刚度和楼层受剪承载力突变, 对结构整体指标计算不利。为研究高层建筑结构首层单跨转换梁在有无与墙共同作用下的工作机理, 本文对高层建筑结构转换层梁-柱工作机理进行了讨论, 从抗弯刚度计算出发给出了梁墙截面惯性矩计算的简易方法; 分别进行了单跨转换梁上部剪力墙的不同布置方式的转换梁在有无与墙共同作用下的分析计算。结果表明, 在墙满跨布置考虑变形协调时抗弯刚度宜取梁和上一层剪力墙共同作用(即放大5倍); 墙满跨布置考虑变形协调时, 在“拱效应”下将竖向力转化为水平向支座推力使得框支柱的剪力增大, 设计时需要引起注意。可供工程建设设计同行们参考。

关键词: 转换层, 梁墙截面惯性矩, 变形协调, 拱效应

1. 前言

引言部分建议增加一部分内容, 详细说明本文的研究背景、研究意义和目的, 以及本文的理论和实践价值。

上世纪初期开始, 全世界逐步对地震力学及其影响深入研究[1-3], 其地震产生的主要原因是由于构造地震引起, 占比达到90%以上。对建筑破坏的主要影响之一是结构的规则性情况, 上世纪70年代开始, 因建筑功能使用要求, 我国开始尝试采用底层大空间结构, 即转换层结构。目前, 高层建筑结构中转换梁形式种类很多。按转换形式分为梁式转换、板式转换; 按平面连接的跨度分为单跨转换梁、双跨转换梁甚至多跨转换梁; 按转换梁上部墙体是否沿转换梁全长布置有满跨剪力墙转换梁和非满跨剪力墙转换梁之分[4]; 按转换梁上部墙体是否开洞又可分为不开洞剪力墙转换梁和开洞剪力墙转换梁。

转换层结构布置容易造成竖向构件不连续、楼层侧向刚度和楼层受剪承载力突变, 对结构整体指标计算不利。本文通过常见的转换梁上剪力墙不同分布进行比较分析, 研究其受力和变形特性, 得到用于指导设计的相关参考参数; 并分析了满布剪力墙的转换梁端柱受力, 因“拱效应”[5-6], 受力情况如土拱效应的圆形抗滑桩滑坡推力一致。转换柱将受到明显的水平力。

本文在研究高层建筑结构首层单跨转换梁在有无与墙共同作用下的工作机理, 转换梁上部剪力墙的不同布置方式主要有满跨型、两端型、3/4跨型和1/2跨型和1/4跨型, 见图1所示。旨在研究转换层位置位于第底层[7-9]时, 在考虑了转换梁和上层剪力墙共同作用下的刚度变化, 同时在此情况下的框支柱在竖向荷载作用下的剪力和弯矩变化。用于指导类似项目在通过软件计算就可以初步经验计算出转换梁刚度的变化幅度, 快速指导设计和重点关注框支柱的剪力增大问题。

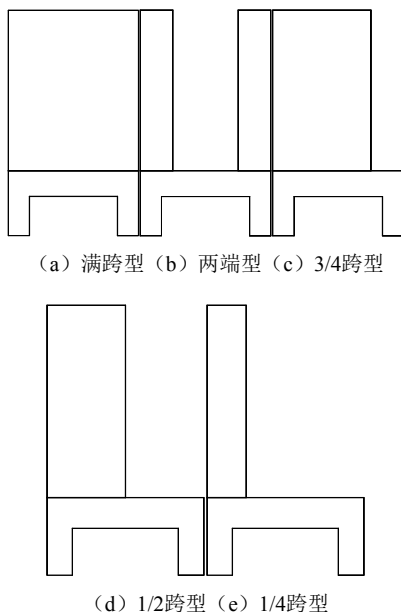


图1 转换梁上部剪力墙不同布置方式。

2. 考虑转换层上层墙体的梁墙截面惯性矩计算

(1) 静距的定义式

图2所示任意有限平面图形, 取其单元微面积 dA , 定义它对任意轴的一次矩为该轴的静距, 即

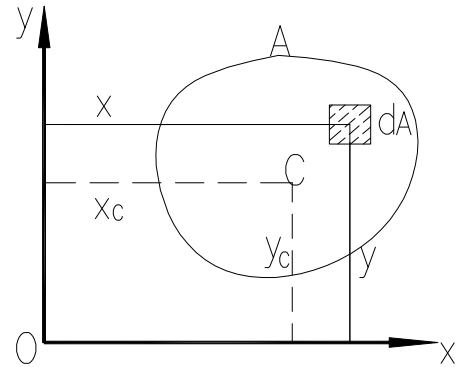


图2 静距示意图。

$$dS_y = x dA \quad (1)$$

$$dS_x = y dA \quad (2)$$

整个图形对 y 、 x 轴的静距分别为

$$S_y = \int_A x dA \quad (3)$$

$$S_x = \int_A y dA \quad (4)$$

(2) 形心与静距关系

设平面图形形心C的坐标为 x_c 、 y_c , 有

$$x_c = \frac{S_y}{A} \quad (5)$$

$$y_c = \frac{S_x}{A} \quad (6)$$

可得结论1: 如果 x 轴通过形心, 即 $y=0$, 有静距 $S_x=0$, 同理如果 y 轴通过形心, 即 $x=0$, 有静距 $S_y=0$ 均成立。

结论2: 如果 x 、 y 轴均为图形的对称轴, 则其交点即为图形形心; 如果 x 轴为图形对称轴, 则图形形心必在此 x 轴线上; 如果 y 轴为图形对称轴, 则图形形心必在此 y 轴线上。

设截面图形由 n 个面积分别为 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ 的简单图形组成, 且其各族图形的形心坐标分别为 $x_{c1}, y_{c1}; x_{c2}, y_{c2}; x_{c3}, y_{c3}, \dots, x_{cn}, y_{cn}$, 则图形对 y 轴和 x 轴的静距分别为:

$$x_n = \frac{\sum_{i=1}^n A_i x_{ci}}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{7}$$

$$y_n = \frac{\sum_{i=1}^n A_i y_{ci}}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{8}$$

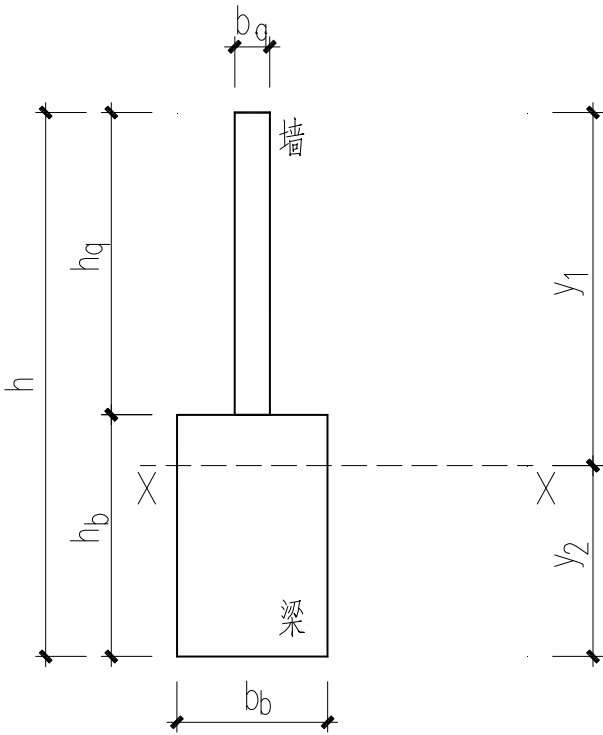


图3 转换梁与剪力墙示意图。

在图3中，截面积为 $bb \times hb + bq \times hq$ ，轴线 x 的惯性矩 I_x 为：

$$I_x = \frac{1}{3} [b_b y_2^3 + b_q y_1^3 + (b_b - b_q)(h_b - y_2)^3] \tag{9}$$

结合式(7)~(9)，可计算转换梁和上层墙体共同作用引起的惯性矩 I_x 。

对于转换梁尺寸为 1500×2400 ，上层剪力墙厚度为 350mm ，标准层层高为 3.0m 。在考虑转换层和上一层剪力墙共同作用时，根据式(8)(9)计算其 $y_2 = 1.81\text{m}$ ，不考虑时 $y_2^0 = 1.2\text{m}$ ，惯性矩 $I_{x2}/I_{x2}^0 = 4.89$ 。所以，抗弯刚度 EI 在考虑转换梁和剪力墙共同作用（即变形协调）时可放大 4.89 倍。当考虑更多上层剪力墙共同作用时，理论计算值抗弯刚度 EI 放大比例会更大，与实际值的影响偏差考虑[10-13]的东西更多，需要有实际试验数据做支撑。

同时结构布置方案和项目所处位置的外界条件对结构的抗震性能影响很大[14-16]。

3. 当前主要软件的建模方法

当前对转换层进行模拟计算的软件主要有Satwe、Midas-gen、Etabs。Satwe中采用框架法，即为梁杆系模型分析法，直接用三维空间分析程序分析时将梁、柱按一般的杆单元考虑，上部墙体仅按荷载考虑，不考虑转换梁与上部墙体的共同工作。通常情况下将转换梁刚度进行放大进行计算，但涉及到具体放大多少才与实际情况吻合仍需深入研究。多数情况下，转换梁的跨高比较小，若按照杆单元考虑与实际情况相比容易产生失真现象。

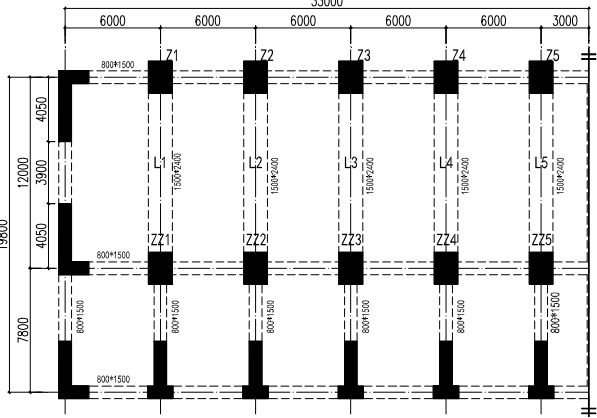
Midas-gen和Etabs为有限元分析方法，在网格划分时考虑柱、梁、墙间单元节点或交界处的变形协调。其中Midas-gen中表现为同节点变形，单元剖分越细，模拟真实度越高，同时对计算机要求较高，需要综合考虑。Etabs则表现为交界处变形协调，两者计算方法一致，相差甚小。在端部连接位置设置节点，为了得到较精确的应力结果，在Etabs和Midas-gen建模时，宜尽量采用四边形单元少用三角形单元进行面单元精细化网格剖分；同时为了提高计算分析的效率，对于较规则的剪力墙，可采用较大的网格尺寸，如尺寸较大的剪力墙，可采用 1.5m 到 2m 的网格，关键部位应采用 0.5m 到 1m 左右的小网格尺寸[17]。

4. 转换层内力计算

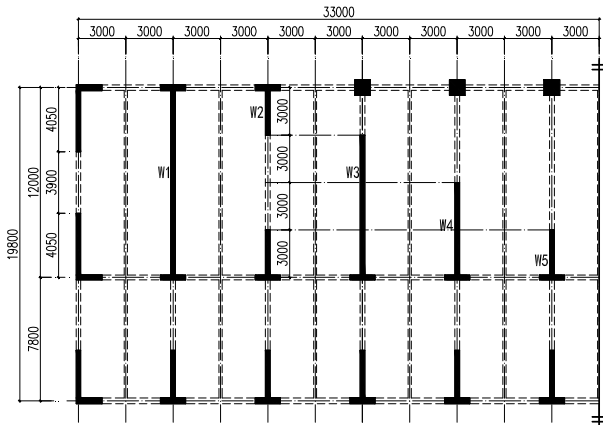
4.1. 转换梁内力计算

深圳市某高层建筑采用部分框支剪力墙结构，地上44层，结构高度 131.0m ，地下2层，首层转换。地震设防烈度为7度，加速度为 $0.1g$ ，场地类别为II类。

转换层梁柱混凝土强度等级采用C60，钢筋采用HRB400。转换梁尺寸为 1500×2400 ，框支柱为 1500×2000 。其平面布置见图4所示。分别采用Satwe进行三维空间计算，转换梁采用杆单元；Midas-gen和Etabs有限元进行计算分析，转换梁高跨比为 $1/5$ ，采用壳（面）单元。平面布置图见图4所示。



(1) 转换层结构布置图

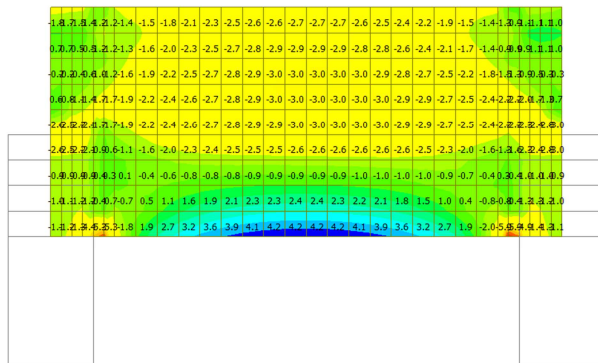


(2) 标准层结构布置图

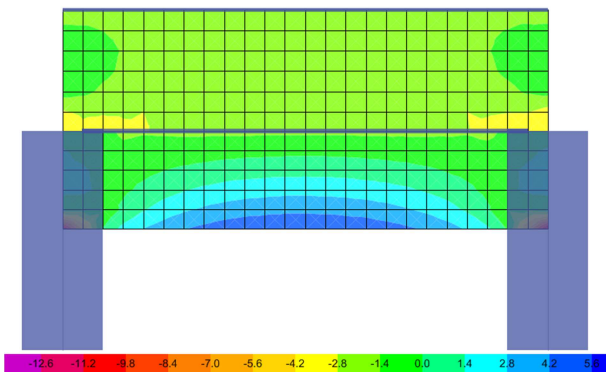
图4 平面布置示意图。

(1) 墙满跨型

转换层上层剪力墙在满跨布置，恒荷载作用下其主拉应力如图5所示。



(1) Midas-gen 模型结果



(2) Etabs 模型结果

图5 墙满跨型梁和墙应力图 (Mpa)。

考虑转换梁和上层剪力墙共同作用，即变形协调，转换梁跨中主拉应力均约为4.2Mpa，转换梁底部与框支柱产生局部压应力均约为2.0Mpa，Midas-gen和Etabs结果的主要受力方向和数值基本相同，说明两个有限元计算模型结果吻合。现将Satwe、Midas-gen和Etabs主要计算结果汇总于表1所示。

表1 转换梁L1计算结果。

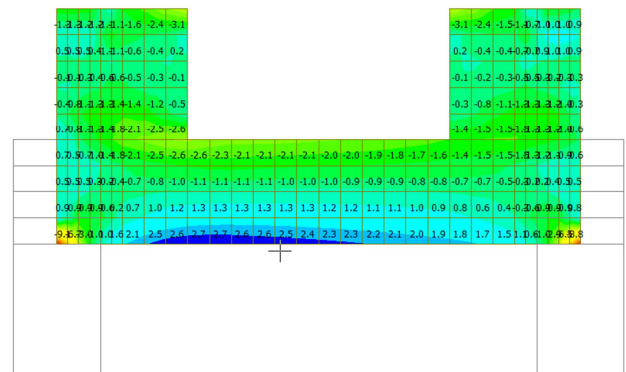
模型		ZZ1支座 (左)	跨中	Z1支座 (右)
弯矩 KN.M	Satwe	12907	34763	10875
	Midas	5738	5690	5512
	Etabs	6468	6321	6775
剪力 KN	Satwe	8719	--	8804
	Midas	8164	--	8483
	Etabs	8454	--	8634

从表1中可知，转换梁L1跨中弯矩的Midas-gen结果为5690KN.M，与Etabs结果6321KN.M比较接近，而Satwe计算结果为34763KN.M，约为Etabs结果的5.5倍，与前述计算惯性矩时增加4.89倍较为接近。所以在满跨作用下，计算转换梁跨中弯矩时可按转换梁和上一层剪力墙共同作用，将转换梁抗弯刚度放大到5倍。对于转换梁两端的负弯矩，Midas-gen与Etabs均比较接近，为Satwe计算结果的一半，受两端的约束情况影响。

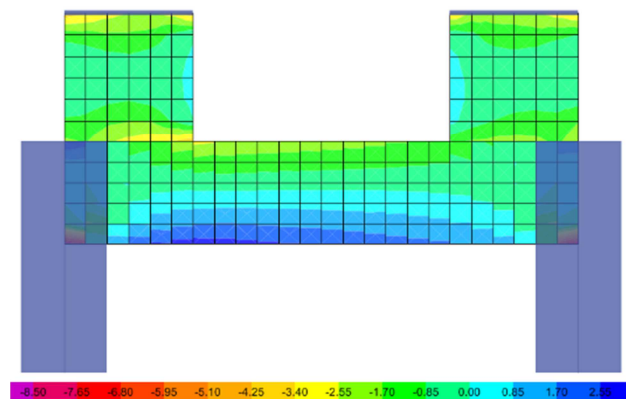
对于转换梁两侧剪力，三个软件Satwe、Midas-gen与Etabs计算结果均基本一致，说明剪力主要与转换梁截面面积有关，跟是否考虑转换梁和剪力墙共同作用无关。剪力计算与下文结果一致，以下不再赘述。

(2) 墙两端型

转换层上层剪力墙布置两端部 (1/4处)，恒荷载作用下其主拉应力如图6所示。



(1) Midas-gen 模型结果



(2) Etabs 模型结果

图6 墙两端型梁和墙应力图 (Mpa)。

考虑转换梁和上层剪力墙共同作用，即变形协调下转换梁跨中主拉应力均约为2.5Mpa，转换梁顶 (中) 部与剪

力墙交接处的局部压应力均约为2.4Mpa，说明两有限元计算模型计算吻合。现在Satwe、Midas-gen和Etabs主要计算结果汇总，见表2所示。

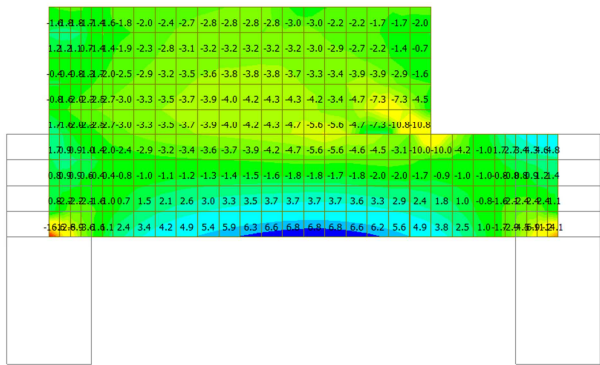
表2 转换梁L2计算结果。

模型		ZZ2支座(左)	跨中	ZZ2支座(右)
弯矩 KN.M	Satwe	4393	5219	3741
	Midas	3363	3151	2332
	Etabs	3636	3244	2207
剪力 KN	Satwe	3656	--	3777
	Midas	4023	--	3923
	Etabs	3733	--	3616

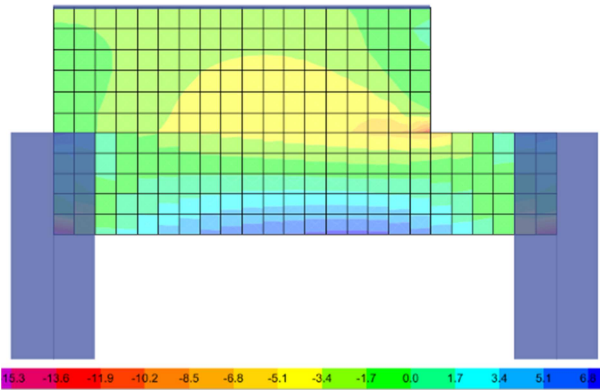
从表2中可知，转换梁L2跨中弯矩的Midas-gen结果为3151KN.M，与Etabs结果3244KN.M比较接近，而Satwe计算结果为5219KN.M，约为Etabs结果的1.6倍，由于只有两端部考虑转换梁剪力墙的共同作用，转换梁跨中弯矩减少较少。类似的，对于转换梁两端的负弯矩，Midas-gen与Etabs均比较接近，为Satwe计算结果的75%。

(3) 墙3/4跨型

转换层上层剪力墙布置端部（3/4处），恒荷载作用下其主拉应力如下图所示。



(1) Midas-gen 模型结果



(2) Etabs 模型结果

图7 墙3/4跨型梁和墙应力图（Mpa）。

考虑转换梁和上层剪力墙共同作用，即变形协调下转换梁跨中主拉应力均约为6.5Mpa，转换梁顶（中）部与剪力墙交接处的局部压应力均约为8.5Mpa。现在Satwe、Midas-gen和Etabs主要计算结果汇总，见表3所示。

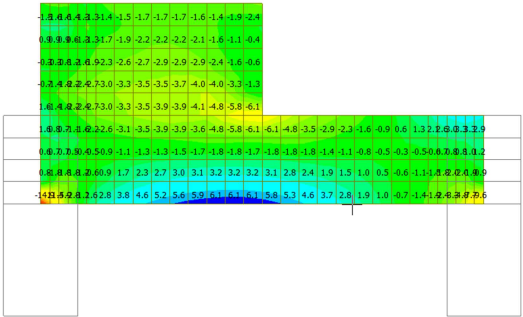
表3 转换梁L3计算结果。

模型		ZZ3支座(左)	跨中	ZZ3支座(右)
弯矩 KN.M	Satwe	3436	8714	4250
	Midas	2386	6014	4136
	Etabs	2962	6152	4198
剪力 KN	Satwe	7816	--	6594
	Midas	7564	--	6738
	Etabs	7271	--	6325

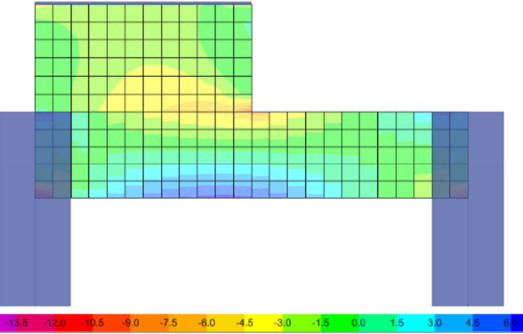
从表3可知，转换梁L3跨中弯矩的Midas-gen结果为6014KN.M，与Etabs结果6152KN.M比较接近，而Satwe计算结果为8714KN.M，约为Etabs结果的1.4倍，由于转换梁端部3/4考虑转换梁剪力墙的共同作用，转换梁跨中弯矩减少较少。类似的，对于转换梁两端的负弯矩，Midas-gen与Etabs均比较接近，为Satwe计算结果的86%。

(4) 墙1/2跨型

转换层上层剪力墙布置端部（1/2处），恒荷载作用下其主拉应力如图8所示。



(1) Midas-gen 模型结果



(2) Etabs 模型结果

图8 墙1/2跨型梁和墙应力图（Mpa）。

在考虑转换梁和上层剪力墙共同作用，即变形协调下转换梁跨中主拉应力均约为6.0Mpa，转换梁顶（中）部与剪力墙交接处的局部压应力均约为6.0Mpa。现在Satwe、Midas-gen和Etabs主要计算结果汇总，见表4所示。

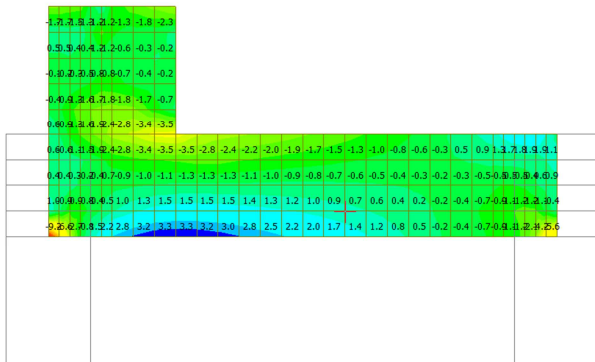
表4 转换梁L4计算结果。

模型		ZZ5支座(左)	跨中	ZZ5支座(右)
弯矩 KN.M	Satwe	3503	10291	4040
	Midas	2727	8276	3670
	Etabs	2860	8828	3883
剪力 KN	Satwe	6913	--	3470
	Midas	7053	--	3376
	Etabs	7084	--	3406

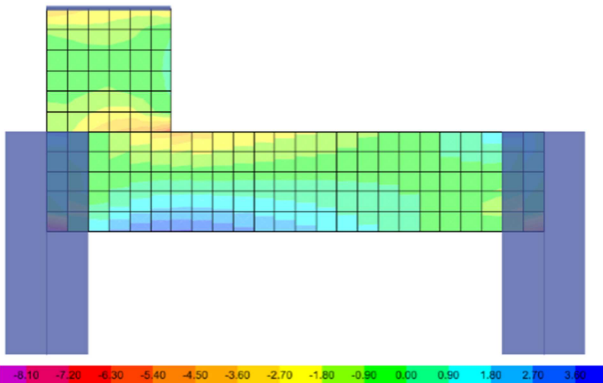
从表4中可知,转换梁L4跨中弯矩的Midas-gen结果为8276KN.M,与Etabs结果8828KN.M比较接近,而Satwe计算结果为10291KN.M,约为Etabs结果的1.2倍,由于转换梁端部1/2考虑转换梁剪力墙的共同作用,转换梁跨中弯矩减少较少。类似的,对于转换梁两端的负弯矩,Midas-gen与Etabs均比较接近,为Satwe计算结果的82%。

(5) 墙1/4跨型

转换层上层剪力墙布置端部(1/4处),恒荷载作用下其主拉应力如图9所示。



(1) Midas-gen 模型结果



(2) Etabs 模型结果

图9 墙1/4跨型梁和墙应力图(Mpa)。

在考虑转换梁和上层剪力墙共同作用,即变形协调下转换梁跨中主拉应力均约为3.3Mpa,转换梁顶(中)部与剪力墙交接处的局部压应力均约为3.5Mpa。现在Satwe、Midas-gen和Etabs主要计算结果汇总,见表5所示。

表5 转换梁L5计算结果。

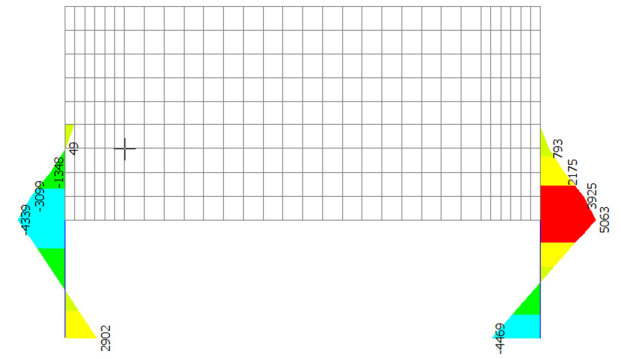
模型		ZZ5支座(左)	跨中	Z5支座(右)
弯矩 KN.M	Satwe	1540	4244	1973
	Midas	1243	3687	1811
	Etabs	1371	3336	1728
剪力 KN	Satwe	-4072	--	1553
	Midas	-4134	--	1479
	Etabs	-4099	--	1595

从表5可知,转换梁L4跨中弯矩的Midas-gen结果为3336KN.M,与Etabs结果3687KN.M比较接近,而Satwe计算结果为4244KN.M,约为Etabs结果的1.3倍,由于转换梁端部1/2考虑转换梁剪力墙的共同作用,转换梁跨中弯矩

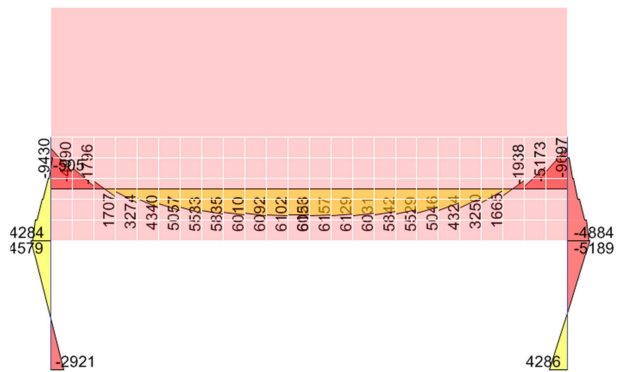
减少较少。类似的,对于转换梁两端的负弯矩,Midas-gen与Etabs均比较接近,为Satwe计算结果的90%。

4.2. 墙满跨型框支柱内力计算

研究转换层上层剪力墙满跨布置时,恒荷载作用下的框支柱Z1及ZZ1下弯矩见图10所示。将框支柱ZZ1和Z1汇总于表6。



(1) Midas-gen 模型结果



(2) Etabs 模型结果

图10 墙满跨型框支柱弯矩图。

表6 框支柱计算结果。

模型	ZZ1柱底弯矩KN.M	Z1柱底弯矩KN.M	ZZ1柱底剪力KN	Z1柱底剪力KN
Satwe	3414	4303	1745	2354
Midas	2902	4469	2414	3177
Etabs	2921	4284	2500	3158
Midas/Etabs	0.99	1.04	0.97	1.01
Avg (Midas, Etabs)	2911.5	4376.5	2457	3167.5
Satwe/ Avg	0.85	1.02	1.41	1.35

从表6可知,有限元平均值Avg(Midas, Etabs)计算的剪力比Satwe大,约为1.35~1.41倍。主要是应为转换梁与上端剪力墙共同作用,形成“拱效应”,将竖向力转化为水平向支座位移,再通过框支柱传至柱底剪力。设计时需要引起注意。

5. 结语

本文主要研究结果,可归纳如下:

- (1) 从抗弯刚度计算出发, 在考虑转换层上层墙体的梁截面由于中和轴往上偏移, 使得梁墙抗弯刚度增大, 给出了梁墙截面惯性矩的计算方法。
- (2) 介绍了常用计算软件Satwe、Midas-gen和Etabs在高层建筑转换梁结构计算分析中的正确应用, 给出了获得变形协调的正确方法。
- (3) 分别进行了首层转换时单跨转换梁上部剪力墙的不同布置方式(即满跨型、两端型、3/4跨型、1/2跨型、1/4跨型)的转换梁在有无与墙共同作用下的转换梁弯矩和剪力计算。验证了在墙满跨布置考虑变形协调时抗弯刚度宜取梁和上一层作用, 即放大5倍。
- (4) 墙满跨布置考虑变形协调时, 在“拱效应”下将竖向力转化为水平向支座推力, 框支柱的有限元计算剪力结果比Satwe大, 约为1.35~1.41倍, 设计时需要引起注意。

参考文献

- [1] JGJ3-2010高层建筑混凝土结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2010。
- [2] GB50011-2010建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010。
- [3] 崔鸿超.日本超高层建筑结构抗震新技术的发展现状及思考[J].建筑结构,2013,43(16):1-7。
- [4] 魏琰,王森,韦承基.高层建筑转换梁结构类型及计算方法的研究[J].建筑结构,2001,(11):7-14。
- [5] 赵明华,陈大兴,刘猛,欧强.考虑土拱效应影响的路堤荷载下土工格室加筋体变形分析[J].岩土工程学报,2020,42(04):601-609。
- [6] 杨建民,司航.考虑土拱效应的圆形抗滑桩滑坡推力的计算[J].工业建筑,2016,46(01):105-110。
- [7] 黄慎江,刘海龙.等效侧向刚度比和转换层位置对梁式转换框支剪力墙抗震性能的影响[J].工程抗震与加固改造,2016,38(01):15-20。
- [8] 徐培福,王翠坤,郝锐坤,肖从真.转换层设置高度对框支剪力墙结构抗震性能的影响[J].建筑结,2000(01):38-42+29。
- [9] 傅学怡.带转换层高层建筑设计建议[J].建筑结构学报,1999(02):28-42。
- [10] 王啸楠,官俊良.转换梁刚度对基础隔震框架-剪力墙结构受力性能的影响[J].建筑结构,2019,49(S2):410-414。
- [11] 曹胜涛,杨志勇,乔保娟,李志山.考虑剪力墙连梁刚度折减的设计模型研究[J].建筑结构,2019,49(13):79-85。
- [12] 阳洋,蒋明真,王立磊,项超.考虑粗糙度影响间接测量梁刚度的损伤识别方法参数研究[J].建筑结构学报,2019,40(06):147-154+174。
- [13] 郝安民.连梁刚度对框支剪力墙结构抗震性能的影响[J].建筑结构,2016,46(S2):282-285。
- [14] 简斌,李东泽,林元,刘郁.一级抗震预应力型钢混凝土空腹桁架转换层框架结构三道防线抗震设防设计方法[J].建筑结构学报,2021,42(01):57-66。
- [15] 祖萍萍,孙广俊,李鸿晶.混凝土梁式托柱转换层结构抗震性能分析[J].防灾减灾工程学报,2016,36(02):247-252+273。
- [16] 巩玉发,陈新,张涛.梁式转换层结构设计抗震性能对比分析[J].工业建筑,2013,43(S1):285-288。
- [17] 杨仁孟,陈兆荣,王森,魏琰.高层建筑结构在竖向荷载作用下楼板面内应力分析和工程实例[J].建筑结构,2017,47(01):17-22。