

文章编号:1671-6833(2010)04-0023-04

基于温度、收缩效应的超长砌体结构性能分析

朱 萱, 贾远林

(同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘 要: 温度和收缩是砌体结构产生非受力裂缝的主要原因。结合砌体结构裂缝的成因, 根据工程实例, 用有限元分析软件 ANSYS, 对一超长砌体结构在温度效应和收缩效应下的性能进行了分析, 发现温度效应和收缩效应对结构性能影响显著。为减轻这两种效应造成的有害影响, 提出设置后浇膨胀带的构造措施, 并对设置后浇带的结构进行了模拟和对比分析。结果表明, 良好的屋面保温层和后浇膨胀带能够控制超长砌体结构在温度效应和混凝土收缩效应下产生的有害裂缝。分析结果可供同类结构分析和设计参考。

关键词: 温度应力; 收缩; 超长结构; 砌体; ANSYS

中图分类号: TU365 **文献标识码:** A

0 引言

结构温度变化和混凝土收缩会导致裂缝, 这种危害在砖混砌体大尺度现浇楼盖中广泛存在^[1]。主要原因为楼屋盖与墙体的非协调应变: 混凝土楼屋面的线膨胀系数与砖砌体的线膨胀系数差别较大, 当季节性温度变化时, 楼屋面升降相同温度时应变不同; 当屋面长时间受阳光辐射时其温度较墙体高出许多导致屋面板变形受墙体约束而对墙体顶端产生较大水平推力; 混凝土收缩时对墙体产生较大拉力等。以上原因对结构产生的应力均与结构长度有关, 大量研究表明, 结构长度越长, 所产生应力越大。当结构超过一定长度时, 为防止或减轻由于温差和收缩引起结构裂缝, 我国相关规范规定了伸缩缝最大间距^[2]。

然而, 由于建筑等方面要求, 结构有时满足不了缝间距要求, 工程中常引入施工后浇带或后浇膨胀带等构造措施以防止或者减轻结构由于温度、收缩不均产生的有害应力及裂缝。研究这类大尺度混凝土结构温度应力、收缩应力或对比分析施工后浇带设置前后应力变化具有重要的工程应用价值。

1 数值模拟及参数取值

某工程为6层4单元砌体住宅楼, 横向尺寸

12.2 m, 纵向尺寸78.6 m, 总高16.8 m, 纵向尺寸长于规范建议设缝的长度, 而建筑要求不设缝。为定量评价后施工后浇带对该结构在温度作用下的应力影响, 采用通用有限元软件 ANSYS 对该结构的温度应力进行了模拟。

砌体是由砌块和砂浆组成的二相复合材料, 其 ANSYS 有限元模拟通常有两种方式^[4-5]: 分离式和整体式。分离式即砂浆和砌块分开建模, 砂浆和砌块之间通过自由度耦合、弹簧单元或接触解决, 所建模型直观, 但砂浆与砌块之间破坏机理复杂, 可用参数较少, 且建模琐碎计算量大, 该方法多用于小型砌体的破坏试验。整体式模型将砂浆和试块作为一个整体建模, 该方法尽管在模拟破坏上有失精细, 但建模简便, 计算量小, 适用于模拟大块砌体的整个结构。本工程采用整体式建模, 板、墙均采用四节点六自由度的 SHELL63 单元, 梁采用两节点六自由度的 BEAM188 单元。由于工程平面布置对称, 取一半建模, 采用在对称面上施加对称约束方式考虑整个结构的影响, 计算模型如图1所示。在模拟后浇带时, 用单元生死技术来解决后浇筑部分所起的作用, 即在混凝土收缩到后浇带浇筑之前将后浇带单元杀死, 不考虑其对结构收缩的约束, 浇筑之后将单元激活考虑其后浇单元, 通过升温模拟后浇带的膨胀。

有限元分析中, 参数的取值问题是计算结果

收稿日期: 2010-01-14; 修订日期: 2010-04-13

作者简介: 朱萱(1961-), 男, 上海人, 同济大学建筑设计研究院主任工程师, 一级注册结构工程师, 从事结构工程研究, E-mail: zhuxuan@tongji.edu.cn.

可靠与否的关键因素.本分析中混凝土和砌体均按现行规范取值^[2-3].混凝土弹性模量 $E_c = 3e^4$,热膨胀系数 $\alpha_c = 1e^{-5}$,砌体弹性模量为抗拉强度的1700f,约取2.98 MPa,热膨胀系数 $\alpha_b = 8e^{-6}$.对于混凝土的收缩,因其为长期缓慢的作用过程,是与时间有关的变量,必须考虑徐变的影响,按弹性计算的温差应力乘以徐变应力松弛系数来修正应力计算值,松弛系数 $H = 0.3 \sim 0.5$.笔者取0.4.

2 温度和收缩工况分析

2.1 太阳直射顶板分析工况

结构的温度变化主要有两种情况,一为短期性温度变化,如日间温度变化,其特点是太阳直射顶板屋顶温度较高,其余部分如墙体、楼面温度则相对屋顶低得多;二为季节性温度变化,冬夏交替整个结构温度升高或降低,但各部分之间温度差可认为没有.季节温差是混凝土和砌体整体降温 and 升温,其应变差主要因不同材料的热膨胀系数不同,当考虑应力松弛系数以后,分析发现相对于日夜温差,季节温差引起的结构应力不是特别显著,为篇幅计,此处不再赘述.

笔者主要考虑的是太阳直射下的日夜温差,调查发现,夏季太阳直射时该地区屋顶温度与室

内温度差可达30℃.计算中假定:考虑节能要求,外墙贴保温材料,墙体结构温度上升不明显,屋面大屋顶由于太阳直射均升温30℃.整个结构在温度作用下的分析结果如图1(a)所示,可以发现,屋面温度升高会使整个结构产生内平衡的应力,最大拉应力产生于紧邻屋顶的楼面.图1(b)为第五层楼面第一主应力等势线图,可以看出,该层楼板主要受拉应力作用,然而分析发现最大拉应力发生点并不在结构中部,板的中部应力约为2 MPa,而发生于板下墙体缺失的某处,此处的应力可达11.5 MPa.通过分析可知,此处出现最大应力的主要原因在于,当两片一字型墙体在顶层楼板作用下产生弯剪变形,导致此处楼面梁产生S型变形导致应变集中,导致所附楼面板亦产生较大应力.实际设计中可通过加大该处楼面梁及相邻墙体上圈梁刚度方法缓解.

图1(c)为整个结构的墙体第一主应力的应力云图.图上可以看出,屋面板升温所造成的墙体应力最大值分布于结构端部纵向较长墙肢顶部.外墙较大应力发生与楼面板上的外墙转角处,这与日常砌体结构倒八字分布相符,也说明了该模型的正确性.本工况的第一主应力范围在3.3~4.7 MPa之间,最大应力值为4.35 MPa.

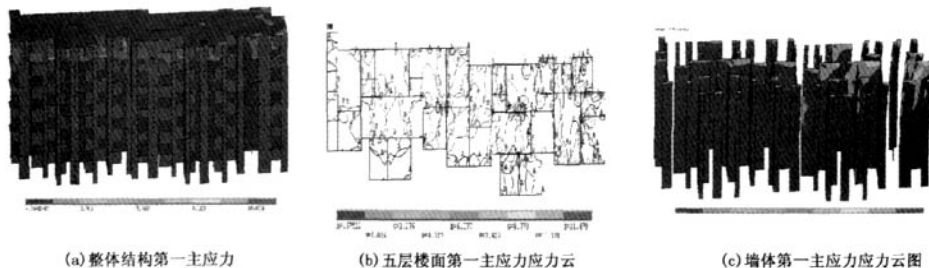


图1 屋顶升温30℃时的结构应力图(工况1)

Fig.1 The stress nephogram as temperature rising by 30℃(working condition 1)

综上分析,太阳直射对结构的影响是巨大而不均匀的,为减轻温度效应产生的不良影响,设计中应尽可能对顶板采用保温隔热设计,并通过构造对顶层、相邻顶层的下一层楼面及顶层墙体采取构造加强措施.

2.2 混凝土收缩分析工况

混凝土的温差变化和收缩都会使结构在平面内产生不可忽略的变形,分析结构的非受力裂缝时不但要考虑温差的影响,还要考虑混凝土收缩的影响.混凝土的收缩包括凝缩和干缩两部分,凝缩是混凝土中水泥和水起化学作用引起的体积变

化,干缩是混凝土中自由水蒸发引起的题解变化,收缩是混凝土内部产生初始微裂缝的主要原因.

影响混凝土收缩量的因素很多,如水泥种类、水泥标号、水泥细度、骨料的物理性质、水灰比、养护条件、外加剂性质等.标准状态下,混凝土的极限收缩应变可达 $(3 \sim 6) \times 10^{-4}$,泵送混凝土的收缩变形约为 $(6 \sim 8) \times 10^{-4}$,取收缩变形值 $\epsilon_c = 7 \times 10^{-4}$.有限元模拟收缩的通常做法是将混凝土收缩换算成等效温差,按计算温差对结构进行温度应力分析.等效温度降低值可依收缩变形值除以热膨胀系数通过如下公式求得:

$$\Delta T = \frac{\varepsilon_c}{\alpha_c} = \frac{7 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-5}} = 70$$

对混凝土屋面、楼面板整体降温 7℃ 模拟混凝土的极限收缩应变值, 所得整个结构应力云图如图 2(a) 所示。图 2(a) 显示, 整体徐变收缩所产生的应力主要集中于第一层楼面板, 其余楼层板中应力甚小, 这主要是因结构整体收缩时由于地基约束, 此时楼面的拉应力主要产生在第一层, 同样墙体的主要拉应力亦出现在第一层。第一层楼面板第一主应力的应力云图如图 2(b) 所示。从图上可以看出, 最大应力出现并不是出现在结构的中间而是处于两片纵向墙体之间, 最大应力发生处的平面位置也与工况 1 中最大拉应力位置相同, 分析原因亦为该处墙体缺失, 楼面梁产生 S 型变形而应变集中, 导致所附楼面板亦产生较大应力。实际设计中可通过加大该处楼面梁的及相邻墙体上圈梁刚度方法缓解。其余较大应力约为 2.5 MPa, 但由于此时对楼面产生压力, 不致产生裂缝。

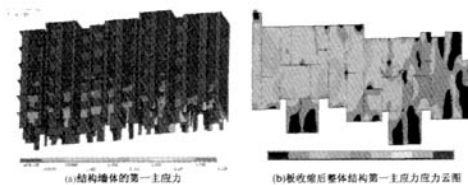


图 2 混凝土收缩后的结构应力图(工况 2)

Fig. 2 The stress nephogram with concrete shrinkage(working condition 2)

2.3 设置施工后浇带结构性能分析

后浇带是为防止结构由于温度、收缩不均可能产生的有害裂缝, 在板(包括基础底板)、墙、梁相应位置留设临时施工缝, 将结构暂时划分为若干部分, 经过构件内部收缩, 在若干时间后再浇筑该施工缝混凝土, 将结构连成整体的结构措施。为防止因温度变化拉裂而设置的后浇施工带称为温度后浇带, 为防止混凝土收缩开裂而设置的后浇施工带称为收缩后浇带。本砌体工程中引入后浇带构造做法, 作为对比, 模拟了施工后浇带设置前后对结构的影响。本工程拟于结构中部沿横向设置一道后浇带以部分削弱和抵消混凝土板的收缩应力, 后浇带宽 1 200 mm, 混凝土采用膨胀混凝土。

混凝土的收缩是一种随时间而增长的变形, 结硬初期发展较快, 两周内可完成全部收缩的 25%, 一个月可完成 50%, 两个月完成 60% ~ 80%, 以后增长缓慢, 一般两年后趋于稳定。后浇带拟于混凝土浇筑完毕后两月浇筑, 设此时混

凝土已完成总收缩应变的 70%。后浇带中混凝土的膨胀可通过计算求的, 为简便计, 本模拟中设后浇带膨胀应变值保守地取收缩变形值。通过将后浇带处混凝土升温 70℃ 模拟混凝土膨胀, 其余部分降温 7℃ 模拟混凝土收缩。

混凝土后浇带浇筑之前, 通过单元“死”的技术模拟后浇带, 其余部分混凝土收缩变形完成整个缩减变形的 70%, 图 3 为中间 1 200 mm 宽后浇带浇筑之前应力云图, 相比于第二类工况, 由于结构长度减少一半, 无论屋面或是墙面应力值相比均大为减小, 墙体高应力区出现于结构的端部和中部(模型的端部), 屋面的高应力区在第一层楼面的端部 1/4 处, 即半个模型的中间部分。图 3(b) 为一楼楼面的应力分布云图, 应力最大值为 1.45 MPa。

在完成整个收缩变形的 70% 以后, 通过单元“生”技术恢复后浇带混凝土单元, 并通过后浇带部分升温模拟达到膨胀和其余部分继续降温模拟完成剩余收缩的 30%。图 4(a) 为中间 1 200 mm 宽后浇带浇筑之后, 且主体结构完成整个收缩之后应力云图, 可以看出其墙面高应力区仍分布于近两端位置。图 4(b), 4(c) 分别为后浇膨胀带设置之后的一楼楼面和墙体应力云图。从图上可以看出尽管结构墙体和楼面板高应力区位置没有太大变化, 但其值已大大减小, 楼面最大应力值为 2.17 MPa, 墙面最大应力值为 1.392, 基本满足墙面和楼面不开裂要求。

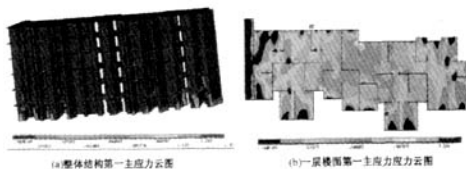


图 3 中间 1 200 mm 宽后浇带浇筑之前应力云图(工况 3)

Fig. 3 The stress nephogram without the 1 200 mm wide late poured band(working condition 3)

3 结论

利用 ANSYS 对一超长砌体结构进行了温度应力和混凝土收缩工况下的有限元分析, 得出了整体结构的应力分布规律, 极值所在区域。运用单元生死技术对砌体结构混凝土后浇带设置前后的温度和收缩应力进行了对比模拟, 分析模拟结果, 可以得到以下主要结论。

(1) 无论温度应力和收缩应力, 墙体最大应

力均出现在砌体两个端部. 太阳直射屋面板最大应力出现在顶层纵向墙体近端区域;混凝土整体

收缩工况下的最大应力出现在底层纵向墙体近端区域. 屋面保温隔热对太阳直射工况下的裂缝控

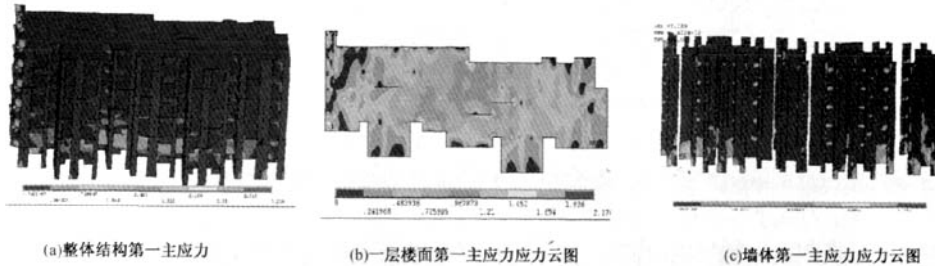


图4 中间1200 mm宽后浇带浇筑之后应力云图(工况4)

Fig.4 The stress nephogram with the 1200 mm wide late poured band (working condition 4)

制十分重要.

(2)太阳直射对结构的影响是显著而不均匀的,为减轻温度效应产生的不良影响,设计中尽可能对顶板采用保温隔热设计,并通过构造对屋顶、相邻屋顶层的下一层楼面及顶层墙体采取构造加强措施.

(3)设置混凝土后浇膨胀带是预防混凝土裂缝的有效手段.通过数值模拟分析可知,80 m超长结构设置后浇带,混凝土板、墙体中的收缩应力约为不设置后浇带板中应力的30%左右,基本满足了控制混凝土收缩裂缝的要求.

参考文献:

- [1] 冯乃谦,顾晴霞,郝挺宇.混凝土结构的裂缝与对策[M].机械工业出版社,2006.
- [2] 中华人民共和国标准,GB 50003—2001 砌体结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 中华人民共和国标准,GB 50010—2002 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [4] 余琼,王观麟.某砌体结构工程的裂缝分析[J].结构工程师,2009,25(1):119-123.
- [5] 李英明,朝军,刘立平. ANSYS在砌体结构非线性有限元中的应用研究[J].重庆建筑大学学报,2006,28(5):90-94.

Temperature and Shrinkage Effect Based Behavior Analyses of Super Long Masonry Structure

ZHU Xuan, JIA Yuan - lin

(Architectural Design & Research Institute of Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Temperature and shrinkage are the main factors leading to non - bearing cracks in concrete. Based the formation mechanism of the cracks in masonry structures, a practical engineering case is analyzed with the finite element analysis software ANSYS, which indicates temperature and shrinkage have a great effect on the structure behaviors. In order to alleviate the damage the late poured band as constructional measure is proposed, and the structure with it is simulated and compared to that without the late poured band. The results show that the proper roof insulation and late poured band can keep the harmful cracks caused by temperature and shrinkage in control. Furthermore, it will provide some reference in design and analyses for structures in this type.

Key words: temperature stress; shrinkage; super long structure; masonry structure; ANSYS