

预应力在码头超长结构中的应用研究

朱 敏, 梁金凯

(上海宏波建设工程监理有限公司, 上海市 200232)

摘要:该文利用通用有限元分析软件 ANSYS, 针对一典型的码头超长结构工程实例进行非线性分析, 并对预应力的作用进行模拟, 揭示了该种结构在渐变温度场作用下的应力和变形特征, 所得结论可为实际工程提供理论上的指导。

关键词:超长结构; 非线性分析; 预应力

中图分类号:TV31 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2007)01-0102-03

0 引言

码头工程基于功能上的需要, 平面尺寸超过 100 m 以上的超长结构十分常见, 这类建筑结构大部分采用大面积钢筋混凝土梁板结构, 结构的伸缩缝间距远远超过了我国规范的允许值^[1]。针对这种情况, 如何合理设计此类超长钢筋混凝土结构就成了广大设计人员迫切需要解决的难题。

混凝土的抗拉强度较低, 一般情况下只是抗压强度的 7~15%, 因此这类结构往往由于拉应力较大而开裂。大量工程实践资料证明, 混凝土开裂(特别是早期开裂), 主要来源于温度引起的变形和应力, 因此设计中考虑温度作用是必要的。超长结构降温引起的收缩变形较大, 而变形收到的约束会在板的内部产生较大的拉应力, 导致结构在温度应力的作用下产生局部开裂。目前在实际工程中, 结构工程师主要采用两种方法来处理大型结构的超长问题, 一是使用微膨胀剂(或无收缩混凝土); 二是施加预应力。

本文针对某临时建材码头, 运用大型通用有限元分析软件进行模拟分析, 探讨超长结构的温度应力变化规律, 并有针对性地建立对比模型, 通过比较得出温度应力的一般规律, 最后对预应力作用进行了模拟, 分析了预应力技术对于防治温度裂缝的作用, 供工程建设参考。

1 工程概况

某临时建材码头建成于 1998 年, 整个码头、引桥平面布置上呈倒 L 型, 码头长 115 m、宽 15 m, 北端 28 m 范围内考虑汽车转弯半径要求, 局部加宽至 25 m。引桥总长 396 m, 宽 8.5 m。接岸部分长 54 m, 采用引堤结构, 码头和引桥结构形式为梁板高桩结构。平面示意图见图 1。

收稿时间: 2006-10-16

作者简介: 朱敏(1978-), 男, 湖南常德人, 工程师, 从事工程建设监理工作。

码头共两个分段, 北段长 58.5 m, 南段长 56.5 m (见图 1), 均超过了规范的设缝要求。码头的排架间距为 7.0 m (在北段 28 m 局部扩大范围内, 排架间距为 6.5 m), 共 18 个排架。码头基桩为 600×600 mm C30 预应力混凝土方桩, 每榀排架由 4 根桩组成。码头上部结构为现浇横梁(截面面积 1.71×10⁶ mm², C30 混凝土, 受压钢筋 4Φ25, 受拉钢筋 8Φ20, 箍筋 φ10@250), 预制安装纵梁(300×1600 mm, C30 混凝土, 下部钢筋 4Φ25, 上部钢筋 4Φ18, 箍筋 φ10@250), 局部为现浇面板(C30 混凝土, 底筋 φ14@110, 板面钢筋为 φ12@120)。

本文取码头南段部分进行计算分析, 其梁板结构布置见图 2。

2 有限元模型和材料参数的确定

建模过程中, 参照图 2 的结构布置对结构模型进行了简化, 梁柱采用 BEAM189 单元, 板采用 Solid65 单元, 钢筋采用 Link8 单元模拟, ANSYS 有限元分析模型见图 3。

混凝土非线性本构关系采用 Sansz 公式:

$$\sigma = k_3 f_c \frac{A(\varepsilon/\varepsilon_0) + (D-1)(\varepsilon/\varepsilon_0)^2}{1 + (A-2)(\varepsilon/\varepsilon_0) + D(\varepsilon/\varepsilon_0)^2}, \text{ 其中 } k_3 =$$

1, $f_c = 14.3$, $A = 1.7388$, $D = 0.5$, $\varepsilon_0 = 0.002$, 根据上式可以得到应力-应变关系曲线, 见图 4。另外, 混凝土的张开裂缝的剪切传递系数为 0.7, 闭合裂缝的剪切传递系数为 1。

假设结构承受文献[2]中的渐变降温温度场作用。

3 计算结果分析

混凝土开裂主要是其抗拉强度强度较低, 温度变化在板内产生了较大的拉应力, 导致结构开裂, 部分单元已经退出工作, 刚度矩阵要进行修正, 材料处于非线性弹性阶段, 线弹性计算结果误差较大。因此, 采用混凝土非线性本构模型, 通过

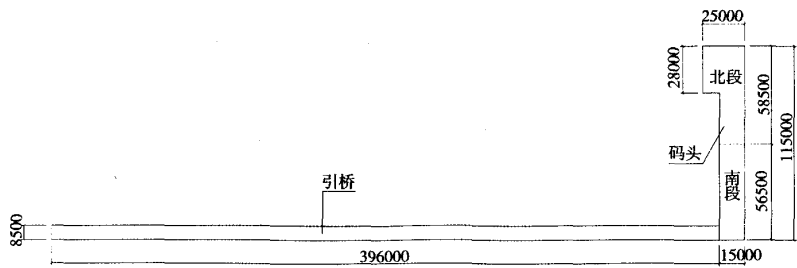


图 1 码头平面示意图(单位:mm)

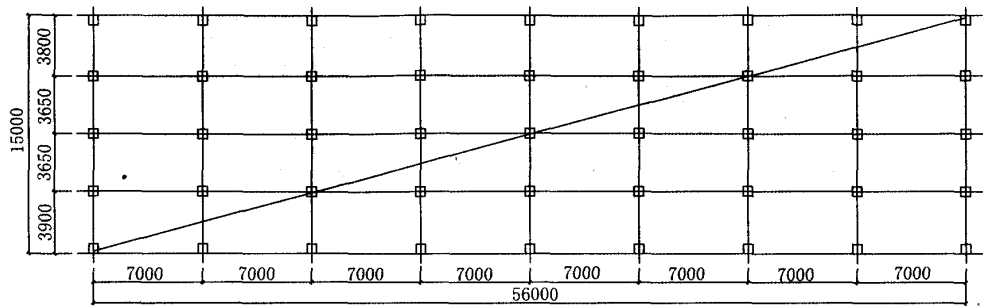


图 2 码头南段结构平面布置图(单位:mm)

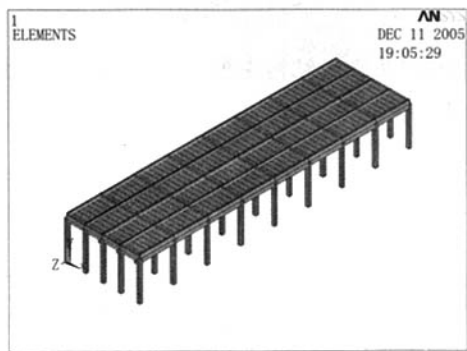


图 3 ANSYS 有限元分析模型

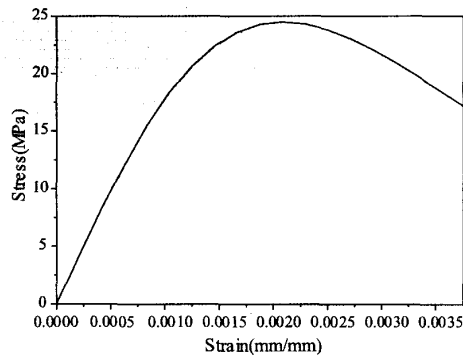


图 4 混凝土非线性本构关系

板中应力变化来讨论超长框排架结构在温度变化下的力学和变形特性以及施加预应力的影响。

图 5 为采用线弹性本构模型(混凝土弹性模量 $E_c = 2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$),降温时板下表面最大主应力等值线图。从图 5 可以看出,板中较大部分区域最大主应力为 $2.857 \text{ MPa} > 2.01 \text{ MPa}$,即已达到开裂荷载,显然不符合实际情况,因此采用线弹性本构模型计算板的应力,存在较大误差。

相对于线弹性本构模型,图 6 是采用非线性本构模型的计算结果,由于考虑了结构局部开裂导致的应力重分布,图中最大应力值小了约 35%。且板中大部分区域最大主应力小于 f_t ,即混凝土没有开裂。

4 预应力的影响

在 ANSYS 中给钢筋施加预应力通常有两种做法^[3]:一种是给钢筋施加初始应变,首先确定要施加的预应力大小,按照 $\epsilon = \sigma/E$,计算得到预应力钢筋的初始应变;另一种是降温法,即给钢筋施加等效温度荷载, $\Delta t = a/\alpha E$,弹性模量 $E = 2.0 \times 10^5 \text{ MPa}$,线膨胀系数 $\alpha = 1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$,本文采用前一种方法,初始应变取 $\epsilon = 0.00625$ 。

图 7 可以看出考虑预应力筋的影响后,相比于图 5、图 6,预应力筋的张拉不仅在板内产生了有效的压应力,使受拉区域明显减少,同时也改善了应力分布。最大拉应力值进一步降低,且板中绝

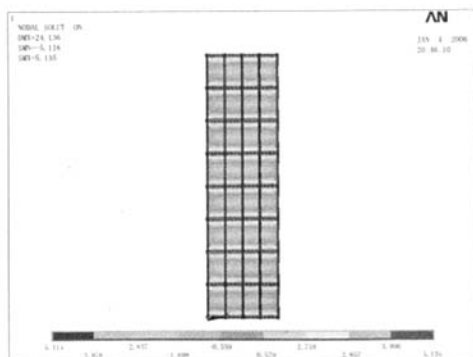


图 5 降温时板下表面应力云图(线弹性)

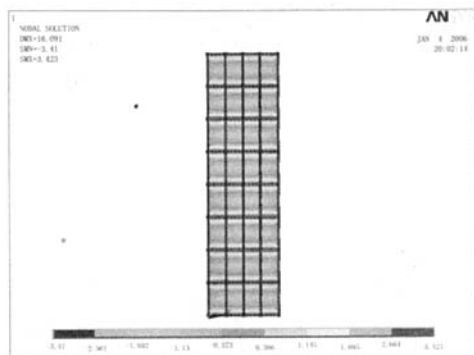


图 6 降温时板下表面应力云图(非线性)

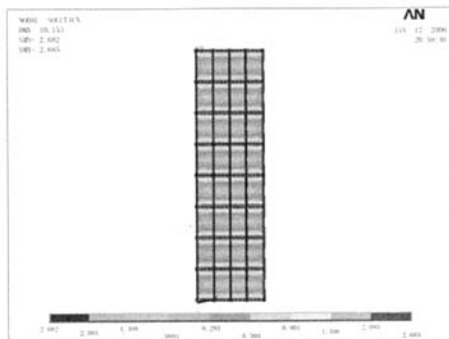


图 7 降温时考虑预应力筋影响板下表面应力云图(非线性)

大部分区域拉应力值小于混凝土抗拉强度值,即混凝土几乎没有开裂。

5 结论

本文主要结合某临时建材码头对超长结构进行非线性分析,同时对预应力的作用进行了模拟。通过计算结果分析,可以得出以下结论:

(1)对于码头超长结构的计算分析,非线性本构模型则更符合工程实际。

(2)在码头超长结构中采用预应力筋能够很好地改善结构的抗拉性能,减少混凝土因温度应力引起的开裂。保证整体结构在变温条件下能正常使用,是码头工程中解决温度裂缝和变形的一个可供选择的实用方案。

(3)值得注意的是码头超长结构即使采用了预应力钢筋,节点处也是开裂较为严重的部位,仍需要对节点加强构造。在配置预应力筋时还要注意一点,当超长板的一个方向上配置了预应力筋,预应力作用会在垂直方向上产生拉应力。因此,有必要在垂直方向上配置一定数量的预应力筋,利用正交的两个方向的预应力筋来抵抗板内收缩应力和温度应力。

(4)在码头超长结构中配置预应力钢筋虽然能有效地控制结构的温度应力及变形,但是也增加了施工的难度。此外控制预应力的大小和防止预应力引起的楼板反拱影响,尚待进一步的理论和实践研究。

参考文献

- [1]中华人民共和国国家标准.GB50010-2002 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社.
- [2]金伟良,叶甲淳,邹道勤,等.考虑太阳辐射作用的砌体结构的温度场[J].浙江大学学报(工学版),2002,36(5):577-581.
- [3]祝效华,余志祥,等.ANSYS 高级工程有限元分析范例精选[M].北京:电子工业出版社,2004.267-268.

河北 2007 年将投资 50 亿建设沿海公路网

2007 年河北省将至少投入 50 亿元建设沿海公路网,建设里程达 500 km 以上。

规划建设的高速公路包括沿海高速秦皇岛至冀津界段,以及大(庆)广(州)高速衡水至冀豫界段。其中,沿海高速将与天津滨海大道相连,直通滨海新区,将秦皇岛港、唐山港京唐港区和曹妃甸港区、天津港联接起来,并与通往西部山区的高速公路相连。大广高速则通过与多条高速公路连接,形成高速公路网,将河北南部与东部沿海地区相连。