

基于 ANSYS 的预应力筋数值模拟

李 律^{1,2}, 钱济章³, 李 敦⁴

(1. 华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013; 2. 广铁集团怀化段, 湖南 怀化 418000; 3. 江西省公路科研设计院, 江西 南昌 330002; 4. 华南监理怀化分公司, 湖南 怀化 418000)

[摘 要] 详细讨论了在有限元软件 ANSYS 中对预应力筋的 3 种不同建模方法, 介绍了各个方法的优劣及其的应用范围。并以先张空心板为例, 采用实体单元和杆单元用 3 种方法建立了结构的有限分析模型, 并对计算结果进行了比较, 得到了一些有价值的结论。

[关键词] ANSYS; 预应力筋; 数值模拟

[中图分类号] U 448.35

[文献标识码] B

[文章编号] 1002-1205(2007)04-0178-02

Numerical simulation of prestressed reinforcing steel bar based on ANSYS

LI Lu^{1,2}, QIAN Jizhang³, LI Dun⁴

(1. School of Civil Engineering, East China Jiao Tong University, Nanchang, Jiangxi 330013, China;
2. Huaihua Engineering Workgroup of Guangzhou Railway Group, Huaihua, Hunan 418000, China;
3. Jiangxi Highway Research and Design Institute, Nanchang, Jiangxi 330002, China; 4. Huaihua Fil-
iale of South China Supervision Corporation, Huaihua, Hunan 418000, China)

[Key words] ANSYS; prestressed reinforcing steel bar; numerical simulation

1 建模方法及比较

在 ANSYS 中, 预应力混凝土的分析根据作用可分为 2 大类: 分离式和整体式^[1]。所谓分离式就是将混凝土和力筋的作用分别考虑, 以荷载的形式取代预应力筋的作用, 如等效荷载法; 而整体式则是将两者的作用一起考虑, 如用杆单元模拟力筋的方法。

1.1 分离式等效荷载法

等效荷载法的优点是建模简单, 不必考虑力筋的具体位置而可直接建模, 网格划分简单; 对结构在预应力作用下的整体效应比较容易求得。

其缺点是比较明显的:

① 不便模拟细部, 否则荷载必须施加在力筋的位置上, 这又失去建模的方便性。

② 没有考虑力筋对混凝土的作用分布和方向。曲线力筋对混凝土作用在各处是不同的, 等效荷载法没有计及此点。

③ 在其他外荷载作用下的共同作用不便考虑, 不能确定力筋在外荷载作用下的应力增量。

④ 张拉过程无法模拟, 且无法模拟由于应力损失引起力筋各处应力不等的因素。

但是对于只关注预应力混凝土结构的基本性能时, 可以考虑采用等效荷载法。

1.2 整体式实体力筋法

实体力筋法中将混凝土和力筋划分为不同的单元一起考虑, 而模拟预应力可以采用降温法和初应变法。降温方法比较简单, 同时可以设定力筋不同位置的预应力不等, 即能够对应力损失进行模拟; 初应变法通常不能考虑预应力损失, 否则每个单元的实常数各不相同, 工作量较大。所以比较而言, 采用整体式时考虑降温法为宜。这种方法可消除等效荷载法的缺点, 对预应力混凝土结构的应力分析能够精确地模拟, 主要缺点是建模不便, 尤其是力筋较多且曲线布筋时。实体力筋法在建模处理上有 2 种处理方法, 即实体分割法、节点耦合法。

1.2.1 实体分割法

基本思路是先以混凝土结构的几何尺寸创建实体模型, 然后用工作平面将混凝土实体分割, 将分割

后体上的一条与力筋线型相同的线定义为力筋线。这样不断分割下去,最终形成许多复杂的体和多条力筋线,然后分别进行单元划分、施加预应力、荷载、边界条件后进行求解。这种方法是基于几何模型的处理,力筋位置准确,求解结果精确,但当力筋线型复杂时,建模比较麻烦,甚至导致布尔运算失败。

1.2.2 节点耦合法

该法的基本思路是分别建立实体和力筋的几何模型,创建几何模型时不必考虑二者的关系;然后对几何模型的实体进行各自的单元划分,然后采用耦合节点自由度将力筋单元和实体单元联系起来,该法是基于有限元模型的处理。其步骤如下:

- ① 建立实体几何模型(不考虑钢绞线);
- ② 建立预应力筋的几何模型(不考虑实体的存在);
- ③ 将几何模型按一定的要求划分单元(这时也是各自独立的);
- ④ 选择所有预应力筋模型;
- ⑤ 选择与上述预应力筋相关的节点,并定义选择集;
- ⑥ 将上述预应力筋节点存入数组;
- ⑦ 选择所有节点,并去掉⑤中的节点集(这时是预应力筋节点外的所有节点);
- ⑧ 按预应力筋节点数组搜寻所有最近的实体节点号,并存入数组中;
- ⑨ 耦合预应力筋节点与最近的实体节点,一一耦合;
- ⑩ 施加边界条件和荷载,求解。

这种方法建模比较简单,若熟悉 APDL 编程,则耦合节点自由度处理也比较简单;缺点是当混凝土单元划分不够密时,力筋节点位置可能有些走动,造成一定误差,为消除该误差,势必将混凝土单元划分的较密,即以牺牲计算效率获得上述优点。该方法是解决大量复杂力筋线型的有效方法。

2 算例

某简支先张空心板长 13 m,计算跨径 12.6 m,高 0.6 m,宽 0.99 m,预应力筋采用直线布置,混凝土弹性模量为 3.3×10^4 MPa,混凝土容重 25 kN/m³,力筋控制预应力为 1339 MPa,弹性模量为 2.1×10^5 MPa,直线布筋,单根力筋面积为 140 mm²。具体尺寸见图 1。

2.1 有限元模型

对于该空心板的混凝土、预应力筋分别采用

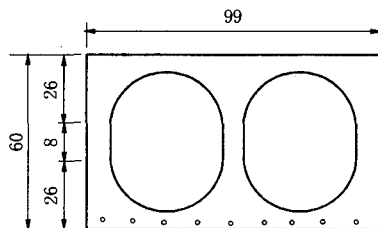


图 1 空心板横截面(单位: cm)

SOLID45、LINK8 单元。分别采用了等效荷载法、实体分割法、节点耦合法等 3 种方法进行了分析,其中后 2 种方法预应力的施加采用降温法(在建模时未考虑板两端区域内的预应力失效)。划分网格后单元见图 2。

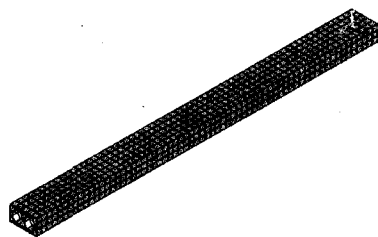


图 2 有限元模型

空心板梁所受荷载为自重以及施加的张拉预应力。约束条件为简支梁,一端不允许移动,另一端允许轴向移动。

2.2 计算结果

通过计算后得出空心板纵向应力云图见图 3,跨中截面的位移及应力见表 1。

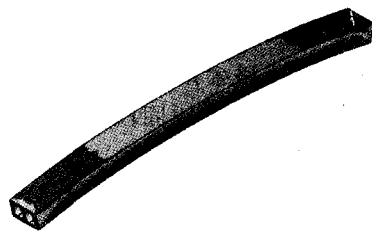


图 3 空心板梁纵向应力云图

表 1 跨中截面计算结果

计算方法	竖向位移/mm	上缘应力/MPa	下缘应力/MPa
等效荷载法	9.20	-0.412	-7.98
实体分割法	8.93	-0.442	-7.77
节点耦合法	8.74	-0.439	-7.61

注:拉应力为正,压应力为负;位移向上为正。

从表 1 中可以看出,3 种计算方法,实体分割法与节点耦合法吻合较好,各项数据结果相差不超过 3%,等效荷载法与其他 2 种方法结果相差稍大,数据相差最大为 7%。

(下转第 183 页)

构和工艺,提高锚索单位长度锚固体的承载力。

② 传统的拉力型预应力锚索受力上存在不足之处,其锚固段的应力分布不均匀,顶端部分应力大,向下逐渐减至最小值,随着外荷载的增加,粘结应力峰值向远端转移。而过高的粘结应力峰值会导致水泥灌浆体与钢绞线界面处的粘结效应弱化或剥离。

③ 压力分散型预应力锚索在同一钻孔内设置多个单元锚固体,这种锚固方法能使粘结应力较均匀地分布在整個锚固长度上,故能更有效地利用地层强度,克服拉力型锚索的不足。

④ 抗拔试验的结果证明,压力分散型锚索的锚固体承载能力远大于普通拉力型锚索,同等荷载条件下的剪切变形较拉力型锚索小得多,且其长期承载性能优于拉力型锚索。压力分散型锚索采用无粘结钢绞线组成,它的防腐性能和耐久性大大优于普

通拉力型锚索。

开阳高速公路 k189 + 200 ~ + 360 段边坡处治于 2002 年底完成施工,迄今已近 4 a,经多个雨季考验,证明本边坡的预应力锚索锚固方法变更设计方案是合理的。

[参考文献]

- [1] 中国岩土锚固工程协会. 岩土锚固新技术[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [2] 中国岩土锚固工程协会. 岩土锚固技术的新进展[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
- [3] JTG D30-2004,公路路基设计规范[S].
- [4] GB 50086-2001,锚杆喷射混凝土支护技术规范[S].
- [5] 黎 敏,黎 军. 预应力锚索锚固方法的优化设计研究[J]. 湖南交通科技,2005,31(3):11~13.
- [6] 蒋理珍,余首超. 边坡锚固技术在常吉高速公路中的应用[J]. 湖南交通科技,2006,32(2):47~48.

(上接第 179 页)

从图 4~图 6 中可以看出用此 3 种方法计算得出的挠度和应力曲线结果相差不大。从图中还可看出在空心板端部出现了较大的负弯矩,为了避免这种情况的出现,应对板端部的部分预应力筋用套管包裹,不使其与混凝土粘着,使预应力在此区段失效。在空心板的端部,一定区域内 3 种建模方法得出的结果有一定的差别。这是由于在建模过程中,把预应力分布不同但等效的静力,根据圣维南原理,如果把物体的一小部分边界上的面力,变换为分布不同但静力等效的面力,那么应力分布将有显著改变,但是远处所受影响可以不计^[3]。

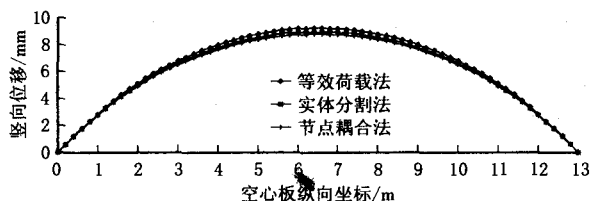


图4 空心板竖向位移曲线

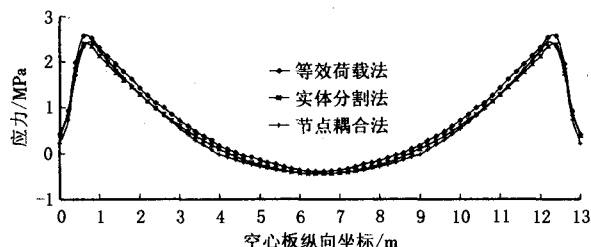


图5 空心板上缘纵向应力

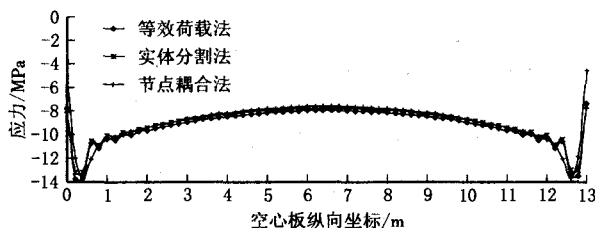


图6 空心板下缘纵向应力

3 结论

通过以上分析可以发现,在 ANSYS 中对预应力筋模拟的 3 种方法各有特点,可分别用于不同的结构和分析目的。对于关注预应力混凝土结构的基本性能时,采用等效荷载法较为简便;当预应力筋为直线布置时,采用实体分割法力筋位置准确,求解结果精确;而当预应力筋较多且曲线布筋时,采用节点耦合法计算结果可靠,也能得到外荷载作用下力筋的应力。采用 ANSYS 对不同的预应力混凝土结构采用不同的数值模拟方法,不仅能提高工作效率,而且也符合实际情况,计算结果较为精确。

[参考文献]

- [1] 张立明, Algor, Ansys 在桥梁工程中的应用方法与实例[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 范立础. 桥梁工程(上)[M]. 北京:人民交通出版社,2001.
- [3] 徐芝纶. 弹性力学(上)[M]. 北京:高等教育出版社,1990.
- [4] 汪学谦. 装配式台座条件下先张法空心板梁预应力筋张力的计算调整[J]. 中南公路工程,2001,26(2):38~39.