

文章编号:1671-6833(2007)03-0016-04

无黏结部分预应力混凝土变截面公路桥的有限元分析

孙玉永¹, 肖红菊², 张雷顺³

(1. 同济大学 道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 200331; 2. 铜陵学院 土木工程系, 铜陵 244000;
3. 郑州大学 环境与水利工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要:在通用有限元分析软件 ANSYS 中施加预应力的 2 种方式:分离式和整体式。文章针对整体式详细讨论了建立有限元模型的 2 种方法:实体分割法和独立建模耦合法。最后,针对平顶山市 X017 线王村 II 号桥上部结构一变截面无黏结部分预应力混凝土梁,应用整体式施加预应力和独立建模耦合法建立有限元模型,分析其受力全过程。结合实测数据,对计算所得荷载-挠度曲线、截面应变及混凝土应力进行对比,通过对比可知误差在 5% 以内,验证了本方法的可行性和适用性。

关键词:无黏结;预应力;公路桥;有限单元法

中图分类号: TU 378.2 **文献标识码:** A

0 引言

无黏结部分预应力混凝土结构由于其工作性能良好,施工方便,经济合理,近年来已在许多国家得到广泛的应用,特别是大跨度的建筑结构和桥梁结构。但是对于这种结构现在还没有很成熟的理论和计算公式^[1-2],现有的理论和公式往往是建立在大量的实验基础之上。由于结构实验大多以小梁为主,同时实验梁的数量、形式以及材料都很难反映施工时的真实情况,这就影响了试验所要达到的目的。近年来随着计算机的快速发展,数值分析方法日益完善,利用有限元分析方法进行结构分析日益被工程界所接受^[3-4],而且现在许多大型有限元软件强大的前处理和后处理也给人们对结构进行有限元分析提供方便。笔者利用通用有限元分析软件 ANSYS 对平顶山市 X017 线王村 II 号桥上部结构一变截面无黏结部分预应力混凝土公路桥通过整体式(降温法)施加预应力,分析其受力全过程,并与实测数据进行对比。

1 预应力的施加^[5-6]

在 ANSYS 中对预应力钢筋混凝土的分析方式有 2 种:分离式(discrete)和整体式(smeared)。分离式就是将混凝土和力筋的作用(对整体的影响)分别考虑,以荷载的形式取代预应力钢筋的作用,如等效荷载法。这种方法在建模时可以不考

虑预应力筋的位置而直接建模,建模和网格划分都比较方便,但是它不能模拟张拉过程以及应力损失;整体式就是将混凝土和钢筋的作用一起考虑,用 link 单元来模拟预应力筋以及普通钢筋,如初应变法^[7]、降温法。这种方法的特点和分离式刚好相反。

降温法可以模拟预应力的损失,并且对有多种单元和实常数的模型在施加预应力时也比较方便;初应变法不能考虑预应力的损失,否则每个单元的实常数都不一样,工作量很大。笔者通过降温方法来施加预应力。

2 计算模型的建立^[8]

对于整体式施加预应力的方法,其模型的建立方法主要有以下 2 种:实体分割法和独立建模耦合法。

实体分割法就是先建立实体模型,然后用工作平面和力筋线拖拉形成面,把混凝土实体分割,将分割后体上的线定义为力筋线,这样不断分割下去,最终形成许多复杂的体和多条力筋线。这种方法适用于几何模型为一体,力筋位置准确且为直线,而对于模型复杂、力筋为曲线时就不适用了,并且通过这种方法建立的模型实体单元和力筋单元是固结的,不能模拟无黏结预应力筋的纵向滑移,因此采用此种方法建模和预应力混凝土结构的实际受力情况还有一定的差异。

收稿日期:2007-02-07;修订日期:2007-04-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59778045)

作者简介:孙玉永(1980-),男,河南新乡市人,同济大学博士研究生,主要从事地下工程方面的研究工作。

独立建模耦合就是对于混凝土和力筋分别建模和划分单元,然后通过耦合自由度的方法来实现混凝土单元和力筋单元的联系. 这种方法是解决力筋线形复杂且力筋数量较多的较佳方法,并且可以模拟预应力筋的纵向滑移,与预应力混凝土结构的实际受力情况比较接近. 该工程中公路桥是变截面的工字形梁,并且预应力筋是曲线形,因此该文通过独立建模耦合法来建立有限元模型.

3 实例分析

3.1 工程概况

平顶山市 X017 线王村 II 号桥上部结构主要由几根无黏结部分预应力混凝土变截面梁组成,预应力筋由 19 根 $\Phi 15.24$ 钢绞线组成,屈服强度为 1 395 MPa,普通钢筋由 10 根 $\Phi 16$ 的 II 级钢筋组成,屈服强度为 340 MPa,混凝土的强度等级为 C50,其截面形状和配筋情况如图 1 所示:

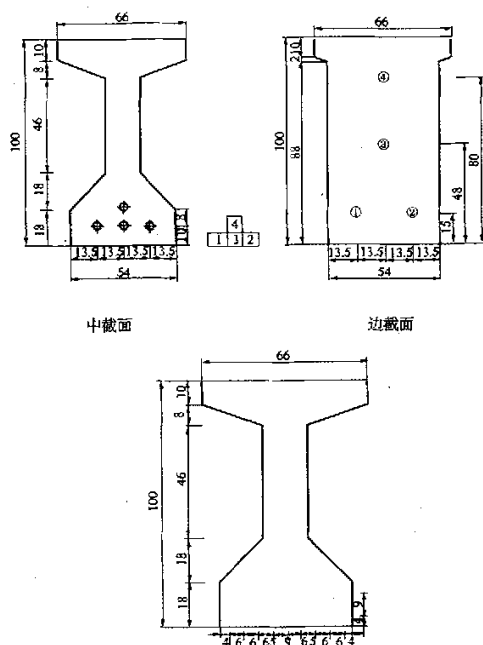


图1 配筋示意图(单位:cm)

Fig.1 The sketch of reinforcement (unit: cm)

根据设计要求及平顶山市县乡公路管理处的委托,对王村 II 号桥上部结构 20 m 跨 I 形梁进行了静载试验. 考虑到试验梁的实际受力条件以及试验现场的条件限制,加载方案采用跨中单点加载法,试验加载示意图如图 2 所示. 为充分了解该梁的工作性能,试验时分 11 级加载,其加载过程为 $0 \rightarrow 0.25P \rightarrow 0.50P \rightarrow 0.75P \rightarrow 0.85P \rightarrow 0.90P \rightarrow 0.95P \rightarrow 1.00P \rightarrow 1.05P \rightarrow 1.10P \rightarrow 1.15P$ (P 为该万方数据

试验梁的设计荷载——310 kN),在每级荷载加载稳定后测试梁 1/4 截面、中截面的挠度及中截面的应力、应变变化情况.

3.2 单元类型

由于要考虑到混凝土的材料非线性,因此选用 SOLID65 单元来模拟混凝土单元,该单元可以模拟混凝土的拉裂、压碎、塑性变形及徐变、单元生死等性能;用 LINK8 单元来模拟预应力钢绞线和普通钢筋,该单元具有塑性、膨胀、应力刚化、大变形、大应变、单元生死等功能.

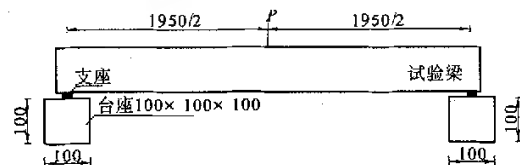


图2 试验加载示意图(单位:cm)

Fig.2 The sketch of load test (unit: cm)

3.3 模型的建立

在建立有限元模型时,考虑到结构及荷载的对称性,以及缩短计算机时、提高效率,只取梁的一半进行计算,在对称面加上对称约束. ANSYS 里模型图如图 3 所示.

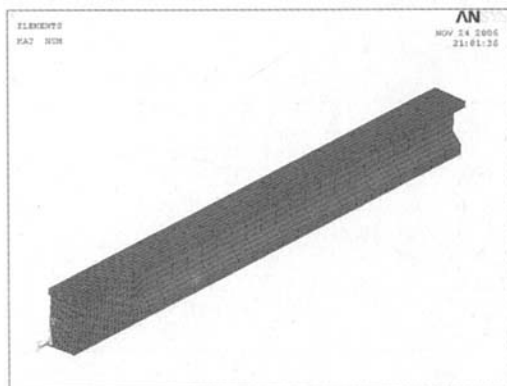


图3 有限元模型图

Fig.3 The finite element model

3.4 计算结果分析

3.4.1 挠度

计算及试验所得的四分之一截面和中截面的荷载-挠度关系曲线如图 4 所示(以施加过预应力后梁的变形为基准). 从图中可以看出,加载到 1.15P 时,该梁还处于弹性阶段(荷载-挠度关系近乎为直线关系),并且梁的变形也较小(最大变形值为 26.8 mm,而施加过预应力后最大反拱值为 47 mm),可见这时下部混凝土还处于受压状态,可以满足设计所要求的功能要求. 并且两截面的荷载-挠度计算曲线和实测曲线都比较接近,误差在 5%

以内,从而验证了模型建立的正确性和可行性.

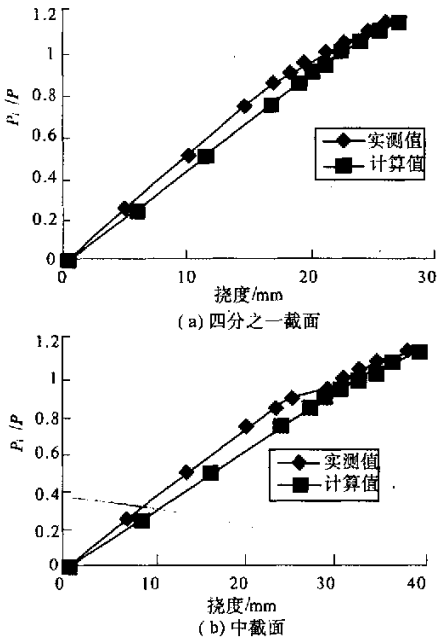


图4 主要截面荷载-挠度曲线对比图

Fig.4 The load - deformation of the main section

3.4.2 截面应变

为了反映截面应变在各级荷载作用下沿梁高的变化情况,以梁跨中截面为例进行分析.梁跨中截面的应变在不同荷载作用下沿梁高的变化情况如图5所示.从图中可知:当荷载较小时,截面应变沿梁高成直线关系;随着荷载的增大,截面应变沿梁高的变化不再是直线关系,这表明混凝土梁在荷载较大时截面不再保持为平面.

3.4.3 混凝土应力

为了解在加载过程中,混凝土的应力变化情况,取梁跨中截面上、下缘混凝土应力增量的计算值和试验值进行比较,如表1所示.从表中可以看出,随着荷载的不断增加,下边缘混凝土的压应力逐渐较少,表明下边缘混凝土逐渐由受压向受拉过度,充分体现了预应力在控制混凝土开裂方面的作用.从表中同样可知,ANSYS 仿真计算的应力增量值与试验值吻合较好,误差在5%以内.这进一步验证了采用该方法对无黏结部分预应力钢筋混凝土结构进行非线性分析的可行性和适用性.

表1 跨中截面混凝土应力比较

Tab.1 Comparison of stress of concrete in midspan with experimental ones

荷载/kN	上缘压应力增量			下缘拉应力增量		
	计算值/MPa	试验值/MPa	误差/%	计算值/MPa	试验值/MPa	误差/%
77.5	3.34	3.39	-1.5	-3.39	-3.43	-1.2
155.0	7.32	7.44	-1.6	-5.89	-5.97	-1.3
232.5	10.63	10.97	-3.0	-8.08	-8.16	-1.0
279.0	13.24	13.58	-2.5	-9.01	-9.19	-2.0
310.0	15.35	15.77	-2.7	-9.52	-9.75	-2.4
341.0	17.12	17.53	-2.4	-9.13	-9.25	-1.3
356.5	18.21	18.88	-3.5	-12.23	-12.45	-1.8

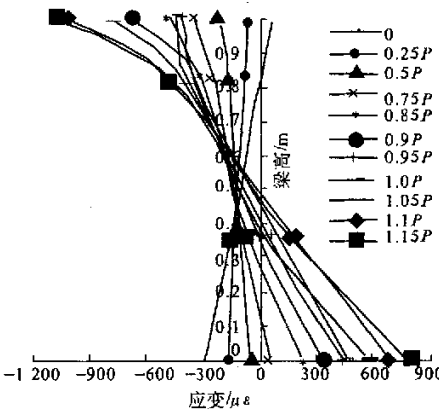


图5 跨中截面混凝土应变-梁高关系曲线

Fig.5 Stain-height of beam curve of midspan

4 结束语

通过分析对比现有预应力钢筋混凝土结构有限元分析中施加预应力和建立模型的方法,论述了采用降温法施加预应力及独立建模耦合法建立有限元模型的可行性和优越性;最后利用通用有限元软件 ANSYS,采用该方法对一部分无黏结钢筋混凝土公路桥进行模拟分析,并从挠度、截面应变及混凝土应力等方面与实测数据进行对比分析.通过分析可知,计算值与实测值误差在5%以内,因此该方法具有很好的适用性.

参考文献:

[1] 金伟良,赵羽习,吕志涛.无黏结预应力筋的极限应

- 力[J]. 浙江大学学报(工学版), 2000, 34(4): 393-397.
- [2] CHAKRABATRI P R. Ultimate stress for unbonded post-tensioning tendons in partially prestressed beams [J]. ACI Structural Journal, 1995, 92(6): 689-697.
- [3] 尹如君, 花付南, 吕西方, 等. T形梁桥有限元强度分析[J]. 郑州工业大学学报, 1999, 20(2): 100-102.
- [4] 江见鲸. 钢筋混凝土结构非线性有限元分析[M]. 西安: 陕西科技出版社, 1994.
- [5] 王红国, 刘华波, 宋 爽. 预应力混凝土结构非线性分析中 ANSYS 的应用[J]. 四川建筑科学研究, 2006, 32(2): 43-45.
- [6] 聂向珍, 王敏强, 张文涛, 等. 预应力混凝土 T 梁的有限元分析与实验研究[J]. 武汉大学学报(工学版) 2003, 36(6): 70-74.
- [7] 杨美良, 李传习, 夏桂云. 初应变法在节段施工桥梁徐变分析中的应用[J]. 长沙交通学院学报, 2000, 16(3): 47-52.
- [8] 王丽晋, 顾理生, 任志国. ANSYS 实体建模与直接建模方法比较[J]. 国防交通工程与技术, 2005, (4): 45-47.

Finite Element Analysis of Unbonded Partially Prestressed Concrete Section-altered Highway Bridge

SUN Yu-yong¹, XIAO Hong-ju², ZHANG Lei-shun³

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200331, China; 2. College of Civil Engineering, Tongling College, Tongling 244000, China; 3. School of Environmental & Hydraulic Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: This paper introduces two methods of applying prestress in the general-purpose finite element analysis software ANSYS: discrete and smeared, based on which two methods of establishing finite element models in view of the smeared method are discussed in detail: splitting entity and independent modelling coupling. Then an unbonded partially prestressed concrete section-altered beam at the second bridge in Wang county in the city of Pingdingshan of Henan Province is analyzed using smeared method and coupling of independent model method. Finally, through comparing computed results with the tested results at load-deformation, stain-height of beam and the stress of concrete, less than 5% of inaccuracy is gained. The results prove that the methods are feasible and applicable.

Key words: unbonded; prestress; highway bridge; finite element method