

钢管混凝土哑铃形轴压短柱初应力有限元分析

黄福云, 陈宝春

(福州大学土木建筑工程学院, 福建 福州 350002)

摘要: 文章提出了应用通用程序进行有初应力的钢管混凝土哑铃形轴压构件的有限元计算方法。算例分析表明, 有限元计算结果与试验结果吻合良好。应用有限元方法, 以初应力度为参数, 对有初应力的钢管混凝土哑铃形轴压短柱进行了受力全过程的分析。分析结果表明, 钢管初应力使弹塑性阶段提前出现并有延长的趋势, 但它对其极限承载能力的影响不大。

关键词: 钢管混凝土; 哑铃形; 初应力; 极限承载力; 全曲线

中图分类号: U448.22

文献标识码: B

哑铃形截面是钢管混凝土拱肋中常用的截面形式之一。文献^[1-3]对钢管混凝土哑铃形轴压短柱、偏压短柱和受弯梁的试验和极限承载力算法的研究。然而, 钢管混凝土拱桥施工时先架设空钢管拱, 再灌注管内混凝土, 形成钢管混凝土拱肋, 因此, 实际结构中钢管先受力, 即钢管混凝土拱肋中钢管具有初应力, 而不是一般试验中所采用的钢管和混凝土一开始就共同受力^[4]。为探讨在钢管混凝土拱桥中常用的哑铃形截面的初应力问题, 文献^[5]进行了共计 3 个构件(初应力度分别为 0.0、0.25 及 0.42) 的试验研究。本文在文献^[5]试验研究的基础上, 提出应用通用程序进行有初应力时的钢管混凝土哑铃形轴压构件有限元计算方法, 以便对初应力度开展更为细致的分析。在经过算例分析验证后, 应用本文提出的有限元计算方法以初应力度() 为参数, 对初应力对哑铃形短柱的受力全过程与极限承载力的影响规律进行了分析。

1 有限元分析方法

有限元分析采用大型通用程序 ANSYS 进行。截面单元划分方法常见的有矩形单元和扇形单元, 本文采用 ANSYS 自带的自由网格法划分, 截面单元采用二维 8 节点的 plane82 单元, 具体划分参见算例分析中的图 1。假定钢管与混凝土之间无相对滑移。钢材的应力-应变关系采用五折线模型, 核心混凝土采用考虑了钢管套箍作用的以一维方式表达的应力-应变关系, 详见文献^[6]。材

基金项目: 福建省重大科技项目 2003F007。

作者简介: 黄福云(1979-), 男, 江西丰城人, 博士研究生, 研究方向为组合与复合桥梁结构。

料本构关系模型的输入采用 ANSYS 提供的基于 von Mises 屈服准则的多线性等向强化模型 MISO)。

分析中, 钢管初应力通过单元生死技术来实现。具体地说, 就是先建立整个构件的包含钢管与混凝土的有限元模型, 钢管施加初应力(构件施工初始荷载)阶段, 先将混凝土单元“杀死”, 此时, 仅钢管单元受力, 混凝土单元不参与受力, 但与钢管单元协同变形。在荷载加至初始荷载值对构件求解完之后, 将混凝土单元激活, 使其在初荷载之后的加载阶段, 都参与受力。

2 算例分析

2.1 试验简介^[5]

文献^[5]进行了有初应力的钢管混凝土哑铃形轴压短柱试件的试验研究, 分析探讨了初应力对其力学性能的影响及其极限承载力的计算方法。试件由两根 $\phi 108 \times 4\text{mm}$ 的无缝钢管和 4mm 厚的腹板焊接而成, 在钢管和腹腔内均灌注 C50 混凝土, 其截面尺寸如图 1 所示。考虑初应力的影响, 设计制作了 3 个初应力度分别为 0% (即无初应力)、25% 和 42% 的试件。试件的长度 L 均为 800mm, 含钢率为 0.166, 长细比 $\lambda=L/i$ 为 10, 其中 i 为截面回转半径。试件两端焊有两个厚 10mm、长宽为 270mm \times 120mm 的矩形钢板。混凝土抗压强度为 $f_{cu}=59.2\text{MPa}$, 钢材屈服强度 f_s 为 356.0MPa、抗拉强度 f_u 为 550.4MPa、弹性模量 E_s 为 2.00×10^6 及泊松比 μ 为 0.268。

2.2 有限元分析

应用本文提出的有限元分析方法,对文献[5]的试件建立了有限元模型。钢管和混凝土的弹性模量、轴向极限抗压强度、轴向抗拉强度等参数按实测值输入,其中钢管的弹性模量 E_s 取为 2.0×10^{11} MPa,泊松比取 0.268,混凝土的初始弹性模量为 3.5×10^{10} MPa,泊松比为 0.167。外钢管截面共划分了 102 个单元,混凝土截面划分了 562 个单元,同时保证钢管单元与混凝土单元无相对滑移和变形,截面单元划分见图 1 所示。构件沿长度(L)方向钢管与混凝土共划分了 40 个单元,模型考虑了具有千分之一挠度 $L/1000$ 的初始缺陷,并考虑了几何与材料非线性的影响。

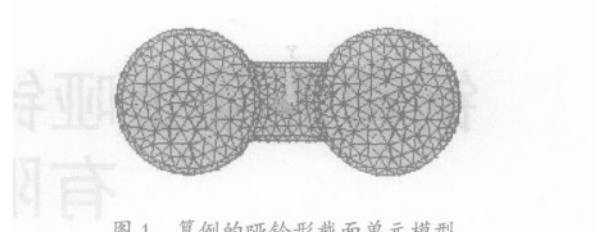


图 1 算例的哑铃形截面单元模型

2.3 计算结果比较

对文献[5]中 3 个试件的受力全过程进行了有限元计算。从图 2 的试件荷载-(纵向)变形计算曲线与试验曲线的比较可知,两者吻合均良好,有限元计算值稍大于试验值,说明本文提出的有限元分析方法能够反映有初应力的钢管混凝土哑铃形轴压短柱试件的受力特性。

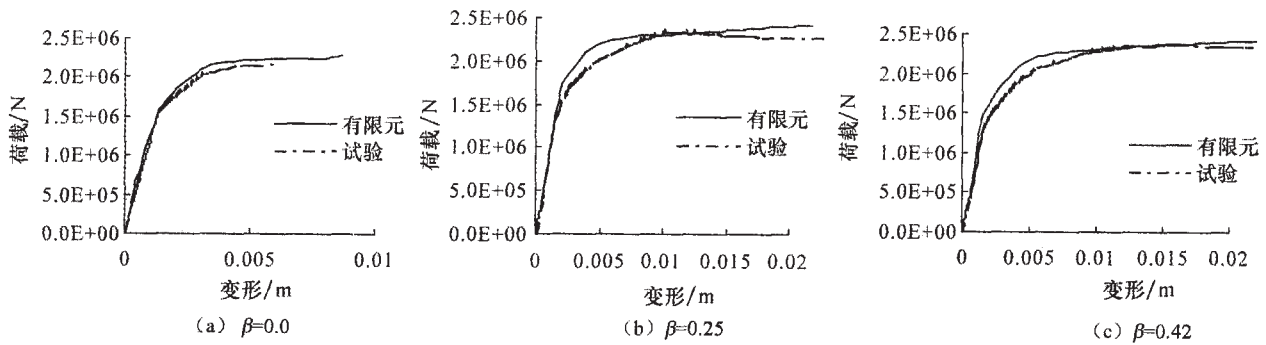


图 2 算例的荷载-变形曲线试验与计算结果比较

3 初应力影响分析

文献[5]只进行了一组 3 个构件的试验,其中有初应力的仅 2 个,因此试验结果还不能充分反映初应力对构件受力性能的影响。为此,应用本文提出的有限元方法,以初应力度为参数,对钢管混凝土哑铃形轴压短试件受初应力影响的全过程分析。

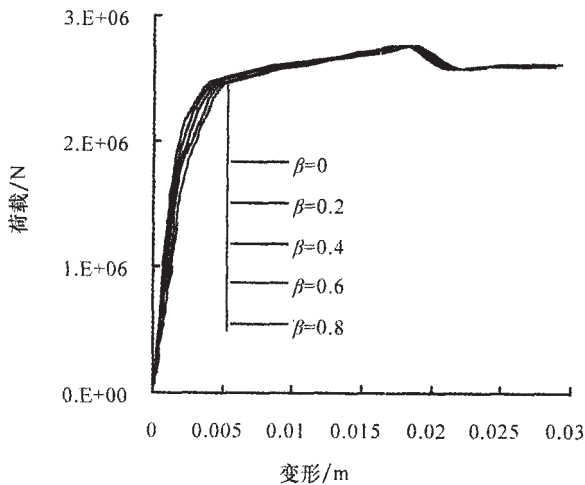


图 3 钢管混凝土哑铃形轴压短柱初应力影响荷载-纵向变形曲线

由图 3 全过程曲线可知,初应力对钢管混凝土轴压短试件的极限承载力影响很小,但达到极限承载力时对应的变形值相应增大。

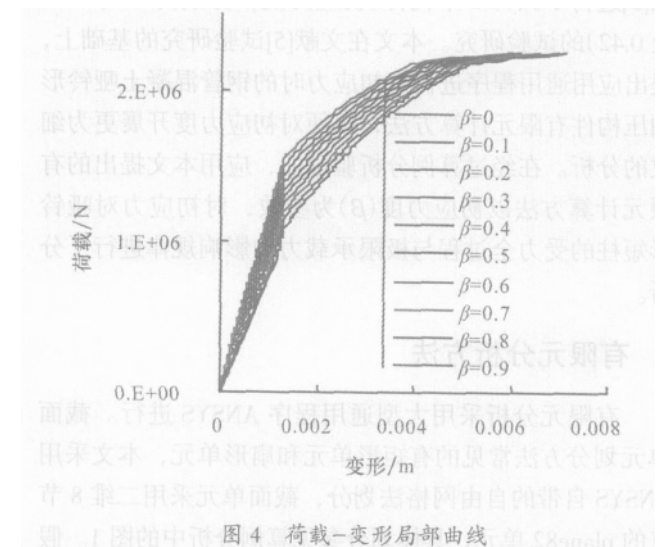


图 4 荷载-变形局部曲线

从图 3 看,初应力度对构件受力过程,尤其是弹塑性阶段,有一定的影响。为了更全面地了解,图 4 给出荷载-变形的局部曲线,并加密了初应力度数值,给出了初应力的全曲线。从图 4 可知,随着初应力度增大,曲线呈从上至下排列。钢管初应力缩短了钢管混凝土

土轴压构件的弹性阶段,使构件提前进入弹塑性阶段,并有延长弹性阶段的趋势。与单圆管试件相比,具有相似的力学性能^[6]。

4 结语

本文提出的有限元计算方法,能较好地模拟有初应力的钢管混凝土哑铃形轴压短柱试件。分析表明,钢管初应力缩短了钢管混凝土轴构件的弹性阶段,使构件提前进入弹塑性阶段,并有延长的趋势,与有初应力的单圆管构件具有相似的力学性能,但钢管初应力对其极限承载力影响不大。

参考文献:

- [1] 陈宝春,黄福云,盛叶.钢管混凝土哑铃形轴压短柱试验研究[J].工程力学,2005,22(1):187-194.
- [2] 陈宝春,肖泽荣,韦建刚.钢管混凝土哑铃形偏压构件试验研究[J].工程力学,2005,22(2):89-95.
- [3] 陈宝春,盛叶,韦建刚.钢管混凝土哑铃形梁受弯试验研究[J].工程力学,2005,22(4):119-125.
- [4] 黄福云,陈宝春.钢管混凝土拱肋初应力问题研究综述[J].公路交通科技,2006(11):68-72.
- [5] 黄福云,陈宝春.初应力对钢管混凝土哑铃形轴压短柱受力性能影响的试验研究[J].福州大学学报(自然科学版).
- [6] 韩林海.钢管混凝土结构[M].北京:科学技术出版社,2000.

(上接第108页)

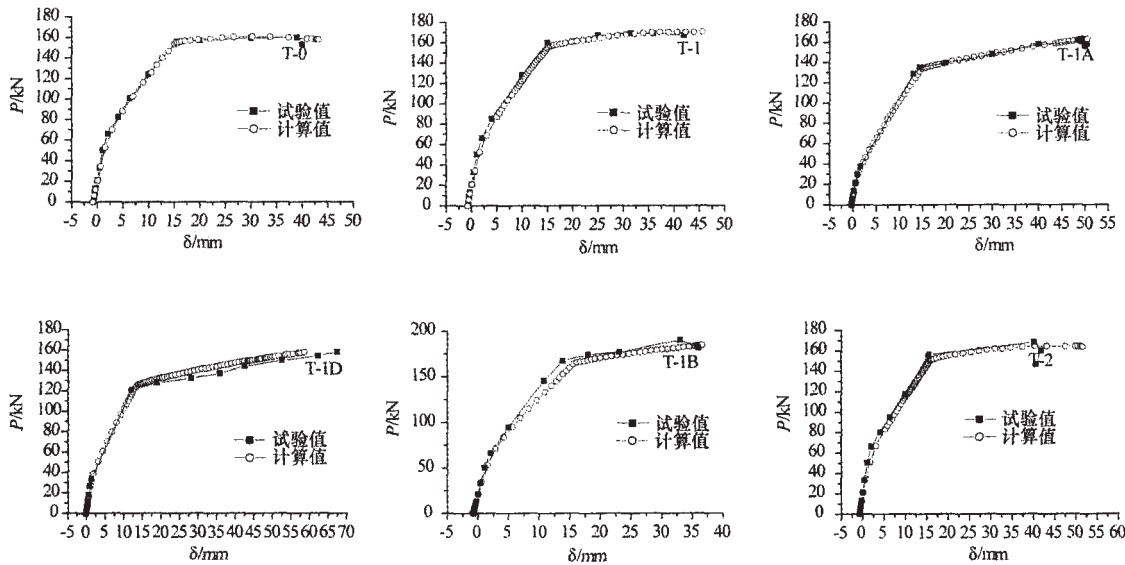


图3 试验梁的荷载-跨中挠度曲线

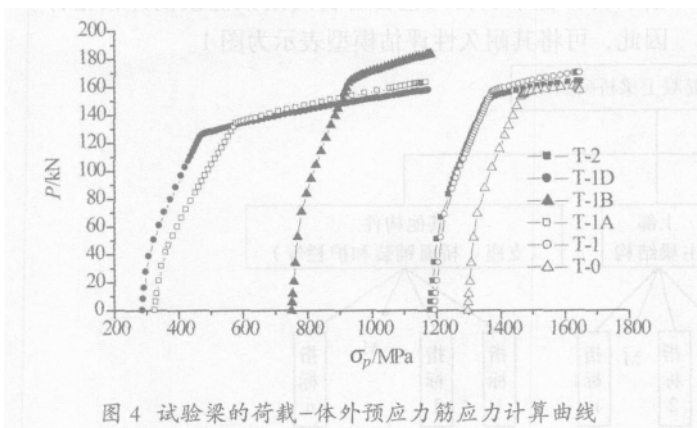


图4 试验梁的荷载-体外预应力筋应力计算曲线

4 结语

利用通用有限元程序 ABAQUS 建立了体外预应力混凝土梁的三维非线性有限元模型,此模型能很好地模拟梁加载全过程的各个不同受力阶段,包括弹性阶段、开裂阶段、屈服阶段以及梁破坏时的延性发展阶段。该

模型把混凝土梁体和钢筋骨架单独建模,可客观反映混凝土和钢筋之间相互作用的微观受力机理。借助于通用软件强大的前后处理功能,可真实模拟各种复杂体外预应力混凝土结构的强度和受力性能。

参考文献:

- [1] 王宗林.体外预应力混凝土桥梁极限状态分析[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2001.
- [2] 沈殷,李国平,陈艾荣.体外预应力混凝土梁的非线性有限元分析[J].同济大学学报,2003,31(7):803-807.
- [3] ABAQUS Inc. ABAQUS analysis user's manual [M]. Version 6.4, 2003.
- [4] Tan K H, Ng C K. Effects of deviators and tendon configuration on behavior of externally prestressed beams [J].ACI Structural Journal, 1997, 94(1): 13-21.
- [5] 楼铁炯.无粘结预应力梁的有限元建模与性能分析研究[D].杭州:浙江大学,2005.