

文章编号:1005-0523(2003)02-0019-03

方中空夹层钢管砼轴压力学性能的理论分析

黄 宏

(华东交通大学 土木建筑学院,江西 南昌 330013)

摘要:利用数值分析的方法对内管为方形的方中空夹层钢管混凝土轴心受压构件进行分析,确定了方中空夹层钢管混凝土轴压强度承载力的简化计算公式,并分别对数值分析结果、试验结果及简化计算结果进行比较,三者吻合良好。

关键词:方中空夹层钢管混凝土;荷载-变形关系曲线;强度承载力

中图分类号:TU392.3

文献标识码:A

1 前 言

钢管混凝土是在钢管内填充混凝土而形成的构件,最早采用钢管混凝土的工程之一是1879年的Severn铁路桥桥墩,在钢管内填充混凝土以防止锈蚀并承受压力。由于其具有承载力高、塑性和韧性好、耐火性能好以及施工方便等一系列的优点,到目前为止已被广泛应用于国内外的工业厂房、地铁、高层建筑和拱桥等结构中,取得了良好的经济效益和建筑效果^[1]。

钢管混凝土通常是被用作轴心受压构件或荷载偏心率较小的压弯构件。当钢管混凝土构件的长细比或荷载偏心率较大时,其承载力将由其抗弯刚度控制,构件截面的强度承载能力就不能得到很好地发挥,截面靠近形心部位的材料并不能提供多少抗弯刚度,却在增加结构自重的同时还增加了造价,并给基础造成很大的负担。这就需要寻求一种新的结构形式来满足这一要求。

从老式的钢筋混凝土的电线杆子可以得到启示,将钢管混凝土构件靠近形心部位的材料去掉,制成空心钢管混凝土构件。80年代中期我国就开始了空心混凝土的研究^[2],这种空心混凝土是在空钢管中放入一定量的混凝土,在旋转机上高速旋转而

成的。按空心率大小可将其分为重型($\varphi \leq 0.5$)和轻型($\varphi > 0.5$)两种。但这种组合结构现场施工不便,而且由于核心混凝土的减少,抗压强度也随之减少。

90年代初国外的一些学者开始研究一种新型的钢管混凝土中空夹层钢管混凝土(Concrete Filled Double Skin Steel Tubes),即在两个同心放置的钢管之间灌注混凝土而成的构件,这种构件既保持了钢管混凝土基本优点,又具有截面开展、自重轻的特点。

变换内外管的截面形式,中空夹层钢管混凝土可以有多种截面形式。本文将对内外管均为方形钢管的中空夹层钢管混凝土(截面形式如图1所示)的轴压短柱进行研究。本文将这种截面形式的中空夹层钢管混凝土简称为方中空夹层钢管混凝土。

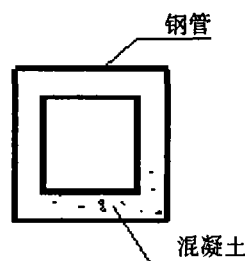


图1 方中空夹层钢管混凝土

收稿日期:2002-11-20

作者简介:黄宏(1977-),女,江西樟树人,华东交通大学在读研究生。

对于普通钢管混凝土的研究,国内有学者^[3]提出将钢和混凝土视为一种组合材料来研究其综合力学性能,即钢管混凝土统一理论.本文基于“钢管混凝土统一理论”的思想对方中空夹层钢管混凝土轴压的力学性质进行研究.在研究过程中,首先分别确定了钢材和核心混凝土的应力-应变关系模型,其中考虑了外管对核心混凝土的约束作用,再利用数值分析方法对轴心受压情况下方中空夹层钢管混凝土的荷载-变形关系进行分析,其结果与文献^[4]的试验结果吻合良好.最后以理论分析为基础,确定了承载力的简化计算公式,简化计算结果与试验结果吻合良好.

2 钢材和混凝土的应力-应变关系模型

为了进行方中空夹层钢管混凝土在轴压情况下的荷载-变形关系分析,首先必须确定组成钢管混凝土的钢材和混凝土的应力-应变关系.

2.1 钢材的应力-应变关系模型

对于 Q235 钢、Q345 钢和 Q390 钢等建筑工程中常用的低碳软钢,钢材的应力强度(σ_i)-应变强度(ϵ_i)关系曲线一般可分为弹性段(oa)、弹塑性段(ab)、塑性段(bc)、强化段(cd)和二次塑流(de)等五个阶段^[1].

对于高强钢材,往往没有明显的屈服台阶,其实际的应力-应变关系与图 2-1 所示的应力-应变关系相差较大,根据文献^[5]的研究成果,高强钢材的应力-应变关系可简化为两个直线段,即弹性段与强化段.

2.2 混凝土的应力-应变关系模型

方中空夹层钢管混凝土轴心受压时核心混凝土的受力特点是:侧压力是被动的,且随纵向压力的增大而增大.夹层钢管混凝土在受荷初期,钢管和混凝土按刚度比承受外荷载.在此阶段,如果忽略钢管和混凝土之间的粘结作用,可以近似地认为

混凝土处于单向受压状态.随着混凝土应力的不断增加,其横向变形系数将不断增大,如果超过钢材的横向变形系数,则由于变形协调而在内、外钢管和混凝土之间产生随外荷载大小而变化的紧箍力,使核心混凝土由单向受压发展成为三向受压.内钢管不发生局部屈曲的情况下,如果外钢管可对核心混凝土提供足够的约束力(即紧箍力),随着变形的增加,混凝土的应力-应变关系曲线不会出现下降段;反之,如果外钢管不能对其核心混凝土提供足够的紧箍力,则混凝土的应力-应变关系将出现下降段,且下降段的下降趋势随约束作用的减弱而逐渐增强.

考虑到外钢管对核心混凝土的套箍作用,在方中空夹层钢管混凝土受压核心混凝土的应力(σ_c)-应变(ϵ_c)关系模型中引进约束效应系数 $\zeta = A_{s1}f_{y1}/A_{co}f_{ck}$.

3 荷载-变形关系全过程分析

分别确定了钢材和混凝土的应力-应变关系后,利用数值分析的方法,运用平衡条件和变形协调条件,可计算出方中空夹层钢管混凝土轴压构件的荷载-变形全过程关系曲线.

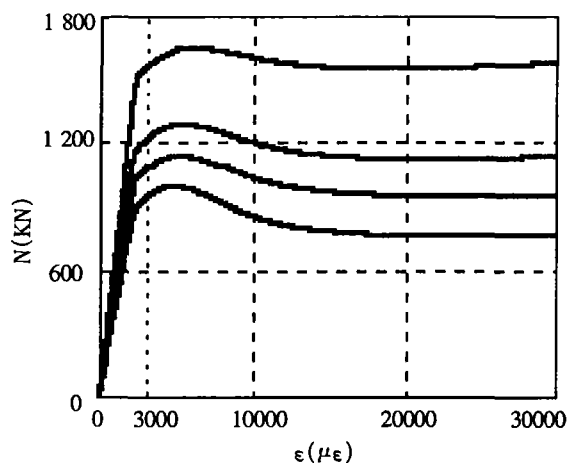


图 2 荷载-变形关系曲线

表 1 文献^[4]轴压短柱一览表

试件	$B_1 \times t_1$ (mm)	f_{y1} (N/mm ²)	ζ	试验 N_e (kN)	数值计算 N_e (kN)	简化计算 N_j (kN)	N_e/N_e	N_e/N_j
1A	99.7 × 5.97	485	3	1 545	1 555.56	1 255.9	0.993	1.23
1B	99.7 × 5.97	485	3	1 614	1 555.5	1 255.9	1.038	1.285
2A	100.5 × 4.01	445	1.7	1 194	1 210.6	1 098.2	0.986	1.087
2B	100.5 × 4.01	445	1.7	1 210	1 210.61	1 098.2	0.999	1.102
3A	100.2 × 2.94	464	1.3	1 027	1 073.85	1 002.9	0.956	1.024
3B	100.2 × 2.94	453	1.3	1 060	1 073.85	1 002.9	0.987	1.057
4A	100.5 × 2.06	453	0.8	820	936.38	896.5	0.876	0.915
4B	100.5 × 2.06	453	0.8	839	936.38	896.5	0.896	0.936

备注:内管尺寸为 50 × 2.44 mm,屈服强度为 477 MPa.

利用上述方法,对文献^[4]的试验结果(试件尺寸见表1)进行验算,结果令人满意.图2为理论计算得出的荷载-变形关系曲线,轴压承载力理论计算值(取 $N-\epsilon$ 关系曲线上应变为 $3\,000\,\mu\epsilon$ 所对应的轴力)与试验值对比见表1.

4 轴压强度承载力的简化计算

在方钢管混凝土轴压强度名义承载力指标 f_{sy} 表达式^[1]的基础上,提出方中空夹层钢管混凝土轴压强度名义承载力指标 f_{sy} 表达式如下:

$$f_{sy} = [(1.212 + B\zeta + C\zeta^2)f_{ck}A_{s1} + A_{s2}f_{y2}]/A_{sc} \quad (1)$$

式中, $B = 0.1381f_{y1}/235 + 0.7646$, $C = -0.0727f_{ck}/20 + 0.0216$, 其中 f_y 和 f_{ck} 以MPa计; $\zeta = A_{s1}f_{y1}/A_{sc}f_{ck}$, 其中 A_{s1} 为外管的面积, f_{y1} 为外管的屈服强度, A_{sc} 为外管所包面积, A_{sc} 为夹层钢管混凝土截面面积, f_{ck} 为混凝土强度.

由此可导出方中空夹层钢管混凝土轴压强度承载力计算公式:

$$N_u = A_{sc}f_{sy} \quad (2)$$

计算结果表明, N_u 的计算值和试验值吻合的令

人满意,表1给出二者的对比结果.

5 小 结

本文的理论分析结果与文献^[4]的试验结果吻合良好,方中空夹层钢管混凝土轴压短柱具有良好的承载力,其轴心受压时的力学性质与截面的约束效应系数有关.

参考文献:

- [1] 韩林海. 钢管混凝土结构[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] 张素梅, 钟善桐. 空心钢管混凝土的研究及构件计算[J]. 土木工程学报, 1994, 6, 27(3), 24-32.
- [3] 韩林海, 钟善桐. 钢管混凝土力学[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1996.
- [4] X L ZHAO, R GRZEBIETA. Strength and Ductility of Concrete Filled Double Skin (SHS Inner and SHS Outer) tubes [J]. Thin-Walled Structures, 2002, 40: 199-233.
- [5] Russell Bridge. High Strength Materials in Composite Construction. In: Conference Report of International Conference on Composite Construction-Conventional and Innovative, Innsbruck, Austria, Sep. 1997.

Analysis on the Behavior of Concrete Filled Double Skin Steel Tubes (SHS Outer and SHS Inner) Subjected to Axial Compression

HUANG Hong

(School of Civil Eng. and Arch., East China Jiaotong Univ., Nanchang 330013, China)

Abstract: Load deformation curves of concrete filled double skin steel tubes (shs outer and inner) subjected to axial compression are analyzed, formulas of ultimate load bearing capacity of strength are given. The research results show that the three have very satisfactory agreements with tests.

Key words: concrete filled double skin steel tubes (shs outer and shs inner); load deformation curves; bearing capacity