

文章编号: 1005—0523(2005)01—0004—03

矩形中空夹层钢管混凝土短柱力学性能的数值分析

谢 力, 陈梦成, 张安哥

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌, 330013)

摘要: 在确定组成矩形钢管混凝土的钢材和核心混凝土应力应变关系模型的基础上, 利用数值解法对矩形中空夹层钢管混凝土轴压构件的荷载—变形关系进行了全过程分析.

关 键 词: 矩形中空夹层钢管混凝土; 轴压; 荷载—变形关系; 承载力; 纤维模型法

中图分类号: TM392.3

文献标识码: A

1 前 言

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, 截面靠近形心部位的材料并不能提供多少抗弯刚度, 构件截面的强度承载能力就不能得到很好地发挥.

为了更好的利用材料, 近年来, 一种新型的钢管混凝土结构形式——中空夹层钢管混凝土 (Concrete-Filled Double Skin Steel Tubes) 开始逐渐受到有关研究人员和工程技术人员的重视. 它是将两层钢管同心放置, 并在钢管夹层之间填充混凝土而形成的中空构件, 按照截面形式的不同通常可分为圆中空夹层钢管混凝土、方中空夹层钢管混凝土和矩形中空夹层钢管混凝土等. 和实心钢管混凝土相比, 中空夹层钢管混凝土构件具有截面开展、抗弯刚度大、自重轻和防火性能好等特点, 适于用作海洋平台支架柱、桥墩以及高层建筑中的大直径柱.

国内外学者^[3-9]对圆中空夹层钢管混凝土、方中空夹层钢管混凝土都有初步的研究, 但对于矩形中空夹层钢管混凝土在公开刊物上还未见有文章

发表. 所以有必要对这种新截面形式的力学性能加以研究.

本文主要是用数值分析方法研究矩形中空夹层钢管混凝土短柱的力学性能, 其截面形式如图 1 所示:

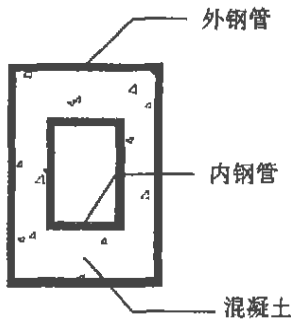


图 1 矩形中空夹层钢管混凝土构件截面示意图

2 轴压构件荷载—变形关系分析

2.1 研究方法

国内外主要的研究方法有纤维模型法、有限元法和极限分析法^[2]. 纤维模型法与其它方法相比, 具有应用方便、概念直观和计算有效的特点. 许多

收稿日期: 2004—06—10

作者简介: 谢 力(1978—), 男, 江西南昌人, 华东交通大学土建学院在读硕士研究生, 研究方向: 钢—混凝土组合结构.

学者采用纤维模型法进行了钢管混凝土的性能分析和研究,取得了非常好的效果.

本文拟用纤维模型法对构件进行荷载—变形全过程关系的分析.

2.2 材料的本构关系

要对中空夹层钢管混凝土轴压构件进行荷载—变形全过程关系的分析,首先必须确定其钢材和混凝土的应力—应变关系模型.

本文采用文献^[1]中的方、矩形钢管混凝土核心混凝土应力—应变关系模型来计算矩形中空夹层钢管混凝土轴压构件的荷载—变形全过程曲线.

核心混凝土受压时采用如下纵向应力(σ)—应变(ε)关系表达式:

$$y = \begin{cases} 2x - x^2 & (x \leq 1) \\ \frac{x}{\beta(1-x)^\eta + x} & (x > 1) \end{cases} \quad (1)$$
$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad y = \frac{\sigma}{\sigma_0}$$

$$\sigma_0 = [1 + (-0.0135 \zeta^2 + 0.1 \zeta) (\frac{24}{f_c})^{0.45}] f_c$$
$$\varepsilon_0 = \varepsilon_{cc} + [1330 + 760 (\frac{f_c}{24} - 1)] \zeta^{0.2} \quad (\mu\varepsilon)$$

其中:

$$\varepsilon_{cc} = 1300 + 12.5 f_c \quad (\mu\varepsilon)$$
$$\eta = 1.6 + \frac{1.5}{x}$$
$$\beta = \begin{cases} \frac{f_c^{0.1}}{1.35 \sqrt{1 + \zeta}} & (\zeta \leq 3.0) \\ \frac{f_c^{0.1}}{1.35 \sqrt{1 + \zeta(\zeta - 2)^2}} & (\zeta > 3.0) \end{cases}$$

ζ为约束效应系数^[1],对于矩形中空夹层钢管混凝土,ζ=αf_{yo}/f_{ck}=A_{so}f_{yo}/A_{ce}f_{ck},A_{so}和f_{yo}分别为外钢管的截面面积及其屈服强度,α为名义含钢率,α=A_{so}/A_{ce},A_{ce}为外钢管截面内部所包含的空隙面积,f_{ck}为混凝土抗压强度,对于普通强度混凝土,f_{ck}=0.67f_{cu}.

由图 2 可见,随着 ζ 值的增大,核心混凝土的 σ—ε 曲线基本呈上升的趋势,且 ζ 值越大,混凝土强度提高越多,反之则较少.

钢材应力—应变关系:

$$\sigma = \begin{cases} E_s \varepsilon & (\varepsilon \leq \varepsilon_e) \\ -A\varepsilon^2 + B\varepsilon + C & (\varepsilon_e < \varepsilon \leq \varepsilon_{e1}) \\ f_y & (\varepsilon_{e1} < \varepsilon \leq \varepsilon_{e2}) \\ f_y [1 + 0.6 \frac{\varepsilon - \varepsilon_{e2}}{\varepsilon_{e3} - \varepsilon_{e2}}] & (\varepsilon_{e2} < \varepsilon \leq \varepsilon_{e3}) \\ 1.6 f_y & (\varepsilon > \varepsilon_{e3}) \end{cases} \quad (2)$$

式中,f_y为钢材的屈服强度,钢材的弹性模量 E_s=2.06×10⁵MPa,比例极限所对应的应变 ε_e=0.8f_y/E_s,开始进入屈服阶段的应变 ε_{e1}=1.5ε_e,开始进入强化阶段的应变 ε_{e2}=10ε_{e1},强度极限所对应的应变 ε_{e3}=100ε_{e1},A=0.2f_y/(ε_{e1}−ε_e)²,B=2Aε_{e1},C=0.8f_y+A(ε_e)²−Bε_e.

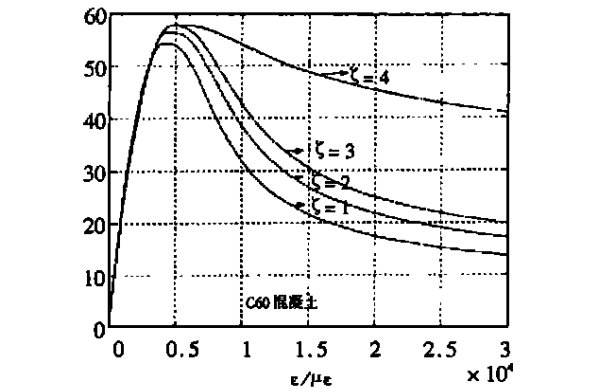


图 2 核心混凝土的 σ—ε 关系曲线

2.3 数值计算的基本假设

在对矩形中空夹层钢管混凝土轴压构件的 N—ε 关系进行全过程分析时,采用了如下假设:

- 1) 钢和混凝土之间无相对滑移;
- 2) 由于内钢管对混凝土的支撑作用,中空夹层钢管混凝土与具有相同外钢管的实心钢管混凝土其二者的核心混凝土所受到的约束作用相同.
- 3) 内、外钢管钢材的应力—应变关系按(2)式确定;受压混凝土的纵向应力—应变关系按式(1)式确定.

2.4 数值分析应用算例与讨论

本文引用文献^[1]中对矩形钢管混凝土的轴压短柱的试验数据对所编制的程序进行了验证;实验结果和数值计算结果吻合较好,计算结果和实验结果相比更偏于安全.

表 1 文献^[1]矩形钢管混凝土轴压试件一览表

序号	试件编号	D*B*/t/mm×mm×mm	β	ζ	L/mm	Nue/kN	Nuc/kN	Nue/Nuc
1	Re-1	120×120×2.86	1	0.6	360	992	980	1.01
2	Re-2	110×100×2.86	1.1	0.7	330	844	790	1.19
3	Re-3	150×135×2.86	1.1	0.5	450	1340	1170	1.15
4	Re-4	90×70×2.86	1.2	0.93	270	554	495	1.12
5	Re-5	100×75×2.86	1.3	0.85	300	672	572	1.17

注:f_y=227.7Mpa,f_{cu}=60Mpa·Nue 为实验极限承载力值,Nuc 为数值计算极限承载力值.

表 2 矩形中空夹层钢管混凝土轴压构件一览表

序号	试件编号	$D \times B \times t / \text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$	$D_i \times B_i \times t_i / \text{mm} \times \text{mm} \times \text{mm}$	ζ	L / mm	N_{uc1} / kN
		(外管尺寸)	(内管尺寸)			
1	rc1	120×120×2.86	60×60×2.86	0.6	360	1525
2	rc2	110×100×2.86	55×55×2.86	0.7	330	1150
3	rc3	150×135×2.86	75×62.5×2.86	0.5	450	930

注： $f_y=227.7\text{Mpa}$ ， $f_{cu}=60\text{Mpa}$ ， N_{uc1} 为矩形中空夹层钢管混凝土的数值计算极限值

利用编制的程序对三个不同尺寸的矩形中空夹层钢管混凝土轴压构件进行了计算。(详见表 2 和图 3)

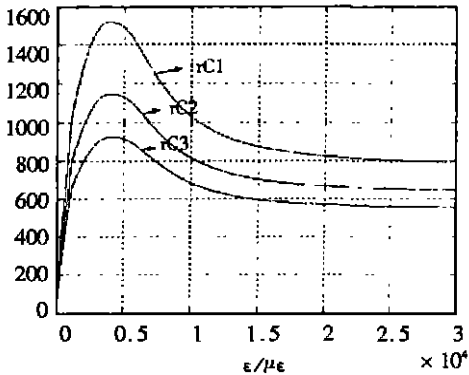


图 3 矩形中空夹层钢管混凝土 N—ε 曲线

3 结束语

本文利用纤维模型法和最新的材料本构关系编制了程序，并用其对矩形中空夹层钢管混凝土短

柱的力学性能进行了初步研究。通过对 N—全曲线分析，发现矩形中空夹层钢管混凝土在轴压时表现出较好的弹性和塑性性能。由于缺乏此种截面形式钢管混凝土的实验数据，无法对程序的精确度作出定量的分析。有进一步研究必要，后期准备做一批实验加以验证。

参考文献：

[1] 韩林海. 钢管混凝土结构—理论与实践[M]. 北京：科学出版社，2004.

[2] 蔡绍怀. 现代钢管混凝土结构[M]. 北京：人民交通出版社，2003.

[3] S. Wei, S. T. Mau, C. Vipulanandan, S. K. Mantrala. Performance of New Sandwich Tube under Axial Loading: Experiment [J]. Journal of Structural Engineering. 1995, 121(12): 1806~1814.

[4] S. Wei, S. T. Mau, C. Vipulanandan, S. K. Mantrala. Performance of New Sandwich Tube under Axial Loading: Analysis [J]. Journal of Structural Engineering. 1995, 121(12): 1815~1821.

[5] X. L. Zhao, R. Grzebieta, M. Elchalakani. Tests of Concrete-Filled Double Skin Circular Hollow Sections[P]. First Inter-Confer. on Steel & Composite Structures. Pusan, Korea, June, 2001; 283~290.

[6] 陶忠, 韩林海, 黄宏. 方中空钢管混凝土偏心受压柱力学性能的研究[J]. 土木工程学报, 2003.

[7] 黄宏. 方中空夹层钢管混凝土轴压力学性能的理论分析[J]. 华东交通大学学报, 2003.

[8] 陶忠, 韩林海, 郑永乾. 方中空夹层钢管混凝土纯弯力学性能研究[J]. 工业建筑, 2004.

[9] 韩林海, 陶忠, 黄宏. 中空夹层钢管混凝土构件力学性能的研究[R]. 福州大学科研报告, 2002.

Numerical Analysis of Double Skin Concrete-Filled Steel Tubular Short Columns with Rectangular Section

XIE Li, CHEN Meng-cheng, ZHANG An-ge

(School of Civil Eng. and Arc., East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: Utilizing the stress-strain relations of steel and concrete presented in the literature for concrete filled rectangular steel tubes, a numerical method is applied for the analysis of load-deformation curves of the double-skin composite members subjected to axial loading.

Key words: double-skin concrete-filled steel tubular short columns with rectangular sections; axial loading, load-deformation relations; member capacity; fiber analysis