

The Calculation of Ultimate Strength for Axial-Loaded Square CFT Stub Columns

Gang Sun¹, Xianrong Zhuo¹, Guixin Ou², Huayao Qiu¹

¹College of City Construction, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou Guangdong

²Guangzhou Zhongda Vocational School of Science and Education, Guangzhou Guangdong

Email: sungang604@126.com

Received: Oct. 26th, 2018; accepted: Nov. 16th, 2018; published: Nov. 23rd, 2018

Abstract

The bearing mechanism of square concrete-filled steel tube stub column under axial load is analyzed. The effective confining coefficient and lateral compressive stress of square steel tube are determined based on the experimental data. Then, the calculated equations of square CFT subjected to axial load are proposed according to the typical confined concrete theory. Finally, 36 specimens are calculated by the proposed equations, and the calculated results are in accordance with the experimental and normative ones very well.

Keywords

Square CFT, Effective Confining Coefficient, Ultimate Strength

轴压下方形钢管混凝土短柱承载力的计算

孙 刚¹, 卓献荣¹, 欧桂鑫², 邱华耀¹

¹仲恺农业工程学院城市建设学院, 广东 广州

²广州市中大科教职业培训学校, 广东 广州

Email: sungang604@126.com

收稿日期: 2018年10月26日; 录用日期: 2018年11月16日; 发布日期: 2018年11月23日

摘 要

本文分析了方形钢管混凝土的受力机理, 根据试验数据确定了方钢管的有效约束系数和纵向应力强度, 并借鉴典型约束混凝土的强度理论确定了核心混凝土的单轴纵向强度, 建立了方形钢管混凝土轴压短柱的承载力计算公式。用建议公式对36个试验试件进行承载力计算, 计算结果与试验结果和规范计算结果

吻合良好。

关键词

方形钢管混凝土, 有效约束系数, 极限承载力

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

目前, 许多国内外规程对方形钢管混凝土轴压短柱的承载力进行规定。欧洲 EC4 [1] 规程忽略钢管与混凝土之间的相互作用, 将钢管和混凝土的承载力进行叠加对钢管混凝土构件的承载力进行偏于保守的评估。我国的 GB50936-2014 [2] 规程将钢管混凝土当成一种新型材料, 运用统一理论计算该类构件的承载力, 并根据实验数据确定了其中的参数。由于混凝土本身的离散性较大, 且试验数据尤其是足尺试件试验数据的不足, 使计算表达式的外延性相对较差, 同时表达式中某些参数的物理意义也不够明确。

本文在揭示方形钢管混凝土的约束机理的基础上, 合理评估方形钢管与核心混凝土之间的相互作用, 并借鉴 Rechart [3] 对等侧压力作用下混凝土常三轴极限强度的研究成果, 尝试建立一种力学概念清晰、参数物理意义明确的方形钢管混凝土轴压短柱的承载力计算公式, 为该类构件的工程设计提供参考。

2. 方形钢管混凝土轴压短柱的计算

方形钢管混凝土短柱在轴向压力作用下, 方形钢管处于纵向、径向受压和环向受拉的复杂应力下, 而核心混凝土处于三向受压的应力状态。所以, 方形钢管混凝土短柱在纵向荷载作用下的承载力计算公式可以用下式表示

$$N_c = f_{sl} A_s + f_{cc} A_c \quad (1)$$

式中, N_c 表示方形钢管混凝土短柱轴向承载力; f_{sl} 、 f_{cc} 分别表示钢管和核心混凝土的纵向单轴等效应力; A_s 、 A_c 分别表示钢管和混凝土的横截面积。

2.1. 方形钢管纵向应力 f_{sl} 和环向应力 f_{sh}

在轴向压力作用下, 钢管的径向压应力与纵向压应力和环向拉应力相比较小, 可以忽略其影响。假设在纵向荷载作用下, 钢管处于纵向受压和横向受拉的平面应力状态, 屈服时满足 Von-Mise 屈服准则, 则屈服面上钢管的应力强度为

$$f_y^2 = f_{sl}^2 + f_{sh}^2 \quad (2)$$

式中, f_{sh} 分别为钢管的环向拉应力; f_{sl} 为钢管的纵向应力; f_y 为钢管的屈服强度。

对文献[4] 36 个方形钢管混凝土轴压短柱的试验数据进行分析, 建议当方形钢管混凝土轴压短柱不发生局部屈曲破坏时, 钢管的纵向应力和环向应力按日本 AIJ 规程取值, 即

$$f_{sh} = -0.21f_y, f_{sl} = 0.89f_y \quad (3)$$

式中, f_{sh} 分别为钢管的环向拉应力; f_{sl} 为钢管的纵向应力; f_y 为钢管的屈服强度。

2.2. 核心混凝土轴心抗压强度 f_{cc}

2.2.1. 钢管有效侧向压应力的计算

假设钢管对核心混凝土的侧压力沿方形钢管均匀分布，并乘以有效约束系数 k_e 来考虑其不均匀性。

图 1 表示方形钢管在水平方向的受力图。由力平衡可得侧向平均压应力 f'_1 为

$$f'_1 = 2t f_{sh} / (a - 2t) \tag{4}$$

式中， a 、 t 分别为钢管截面边长和厚度； f_{sh} 为钢管的环向拉力。

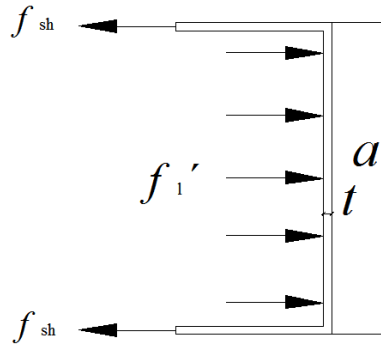


Figure 1. Mechanic analysis of square steel tube

图 1. 方形钢管受力分析图

文献[5]的研究表明，方形钢管对核心混凝土的约束作用主要集中在角部，沿着钢管壁逐渐减小，在钢管壁中部减为最小。假设方形钢管混凝土短柱横截面上弱约束区混凝土的形状是沿钢管壁起角为 45° 的抛物线，则方形钢管混凝土横截面上混凝土有效、弱约束区的形状如图 2 所示。

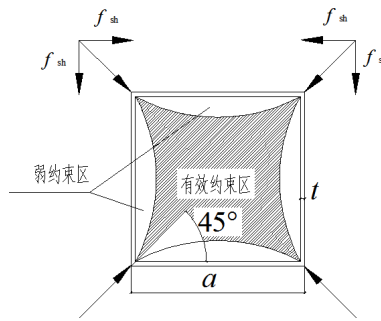


Figure 2. Confining mechanism of square CFT column

图 2. 方形钢管混凝土柱的约束机理

因此，方形钢管混凝土横截面上钢管对混凝土的有效约束系数为

$$K_{e1} = A_e / (A_c + A_e) \tag{5}$$

式中， K_{e1} 表示横截面有效约束系数； A_e 、 A_c 分别表示方形钢管混凝土横截面上混凝土有效、弱约束区的面积。

同时，方形钢管混凝土可以看成方形箍筋钢筋混凝土在在纵向间距为零时演化而成，由文献[6]的研究成果可知，其侧向有效约束系数 $k_{e2} = 1$ ，则方形钢管混凝土有效约束系数为

$$k_e = k_{e1} k_{e2} \tag{6}$$

所以, 方钢管对核心混凝土的有效侧压力

$$f_1 = k_e f_1' \quad (7)$$

2.2.2. 核心混凝土轴心抗压强度 f_{cc}

方形钢管约束下的混凝土属于等侧压力作用下的混凝土(常三轴)。Richart [3]的研究表明, 等侧压力作用下的三向受压混凝土强度与侧压力之间具有线性关系, 即

$$f_{cc} = f_c + k f_1 \quad (8)$$

式中, f_c 表示混凝土无侧压时的抗压强度; f_1 表示方形钢管的有效侧向压应力; k 表示侧压系数, 一般取 4。

3. 试验验证

采用建议公式(1)~(8)对文献[4]的 36 个方形钢管混凝土试验试件的极限承载力进行计算, 计算结果与试验结果和的对比如表 1 所示。表 1 计算结果表明: 本文计算结果/试验值的平均值为 1.033, 均方差为 0.003; EC4 计算结果/试验值的平均值为 1.049, 均方差为 0.004; GB50936-2014 计算结果/试验值的平均值为 1.01, 均方差为 0.05。可见三者都可对方形钢管混凝土轴压短柱的极限承载力进行有效地评估, 建议公式具有力学概念清晰和参数物理意义明确的特点。

Table 1. Comparison of ultimate strength between calculated results and experimental and normative ones on square CFT stub columns

表 1. 方形钢管混凝土短柱承载力计算结果与试验结果和规范计算结果的比较

| 试件编号 | a | t | f_y | f_c | N_{exp} | N_{c1} | N_{c1}/N_{exp} | N_{c2}^{EC4} | N_{c2}^{EC4}/N_{exp} | N_{c3}^{GB} | N_{c3}^{GB}/N_{exp} |
|-----------|-----|------|-------|-------|-----------|----------|------------------|----------------|------------------------|---------------|-----------------------|
| | /mm | /mm | /MPa | /MPa | /kN | /kN | | /kN | | /kN | |
| CR4-A-2 | 148 | 4.38 | 262 | 25.4 | 1153 | 1168.66 | 1.01 | 1151.7 | 1.00 | 1235.64 | 1.07 |
| CR4-A-4-1 | 148 | 4.38 | 262 | 40.5 | 1414 | 1461.42 | 1.03 | 1444.45 | 1.02 | 1626.84 | 1.15 |
| CR4-A-4-2 | 148 | 4.38 | 262 | 40.5 | 1402 | 1461.42 | 1.04 | 1444.45 | 1.03 | 1626.84 | 1.16 |
| CR4-A-8 | 148 | 4.38 | 262 | 77.0 | 2108 | 2169.07 | 1.03 | 2152.11 | 1.02 | 2588.12 | 1.23 |
| CR6-A-2 | 144 | 6.36 | 618 | 25.4 | 2572 | 2652.64 | 1.03 | 2601.72 | 1.01 | 2255.85 | 0.88 |
| CR6-A-4-1 | 144 | 6.36 | 618 | 40.5 | 2808 | 2912.87 | 1.03 | 2861.96 | 1.02 | 2510.58 | 0.89 |
| CR6-A-4-2 | 144 | 6.36 | 618 | 40.5 | 2765 | 2912.87 | 1.05 | 2861.96 | 1.04 | 2510.58 | 0.91 |
| CR6-A-8 | 144 | 6.36 | 618 | 77 | 3399 | 3541.94 | 1.04 | 3491.02 | 1.03 | 3328.41 | 0.98 |
| CR6-C-2 | 211 | 6.36 | 618 | 25.4 | 3920 | 4298.45 | 1.09 | 4215.93 | 1.08 | 4245.35 | 1.08 |
| CR6-C-4-1 | 211 | 6.36 | 618 | 40.5 | 4428 | 4892.11 | 1.10 | 4809.59 | 1.09 | 4946.35 | 1.12 |
| CR6-C-4-2 | 211 | 6.36 | 618 | 40.5 | 4484 | 4892.11 | 1.09 | 4809.59 | 1.07 | 4946.35 | 1.10 |
| CR6-C-8 | 211 | 6.36 | 618 | 77.0 | 5758 | 6327.11 | 1.09 | 6244.59 | 1.08 | 6825.14 | 1.19 |
| CR8-A-2 | 120 | 6.47 | 835 | 25.4 | 2819 | 2798.52 | 0.99 | 2744.49 | 0.97 | 1277.89 | 0.61 |
| CR8-A-4-1 | 120 | 6.47 | 835 | 40.5 | 2957 | 2971.59 | 1.00 | 2917.57 | 0.99 | 1734.64 | 0.59 |
| CR8-A-4-2 | 120 | 6.47 | 835 | 40.5 | 2961 | 2971.59 | 1.00 | 2917.57 | 0.99 | 1734.64 | 0.59 |
| CR8-A-8 | 119 | 6.47 | 835 | 77.0 | 3318 | 3351.28 | 1.01 | 3297.90 | 0.99 | 2113.42 | 0.64 |
| CR8-C-2 | 175 | 6.47 | 835 | 25.4 | 4210 | 4398.67 | 1.04 | 4308.99 | 1.02 | 3934.20 | 0.93 |
| CR8-C-4-1 | 175 | 6.47 | 835 | 40.5 | 4493 | 4795.25 | 1.06 | 4705.56 | 1.05 | 4269.93 | 0.95 |

Continued

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|------|-----|------|------|----------|------|----------|------|---------|------|
| CR8-C-4-2 | 175 | 6.47 | 835 | 40.5 | 4542 | 4795.25 | 1.05 | 4705.56 | 1.04 | 4269.93 | 0.94 |
| CR8-C-8 | 175 | 6.47 | 835 | 77.0 | 5366 | 5753.86 | 1.07 | 5664.19 | 1.06 | 5445.51 | 1.01 |
| CR8-D-2 | 265 | 6.47 | 835 | 25.4 | 6546 | 7348.58 | 1.12 | 7200.55 | 1.10 | 7713.92 | 1.18 |
| CR8-D-4-1 | 264 | 6.47 | 835 | 41.1 | 7117 | 8303.13 | 1.16 | 8155.75 | 1.15 | 8783.59 | 1.23 |
| CR8-D-4-2 | 265 | 6.47 | 835 | 41.1 | 7172 | 8346.07 | 1.16 | 8198.04 | 1.14 | 8837.87 | 1.23 |
| CR8-D-8 | 265 | 6.47 | 835 | 80.3 | 8990 | 10836.61 | 1.20 | 10688.58 | 1.19 | 12006.6 | 1.34 |
| CR4-A-4-3 | 210 | 5.48 | 294 | 39.1 | 3183 | 2901.64 | 0.91 | 2867.05 | 0.90 | 3211.01 | 1.01 |
| CR4-A-9 | 211 | 5.48 | 294 | 91.1 | 4773 | 5004.72 | 1.04 | 4969.93 | 1.04 | 6024.38 | 1.26 |
| CR4-C-4-3 | 210 | 4.50 | 277 | 39.1 | 2713 | 2631.89 | 0.97 | 2604.30 | 0.96 | 2970.01 | 1.09 |
| CR4-C-9 | 211 | 4.50 | 277 | 91.1 | 4371 | 4774.60 | 1.09 | 4746.85 | 1.09 | 5789.60 | 1.32 |
| CR6-A-4-3 | 211 | 8.83 | 536 | 39.1 | 5898 | 5380.37 | 0.91 | 5288.96 | 0.90 | 4949.81 | 0.84 |
| CR6-A-9 | 211 | 8.83 | 536 | 91.1 | 7008 | 7324.15 | 1.04 | 7232.74 | 1.03 | 7578.54 | 1.08 |
| CR6-C-4-3 | 204 | 5.95 | 540 | 39.1 | 4026 | 4053.87 | 1.00 | 3988.22 | 0.99 | 4170.01 | 1.04 |
| CR6-C-9 | 204 | 5.95 | 540 | 91.1 | 5303 | 5972.80 | 1.12 | 5907.15 | 1.11 | 6717.67 | 1.27 |
| CR8-A-4-3 | 180 | 9.45 | 825 | 39.1 | 6803 | 6451.67 | 1.04 | 6333.37 | 0.93 | 3995.28 | 0.59 |
| CR8-A-9 | 180 | 9.45 | 825 | 91.1 | 7402 | 7801.23 | 1.05 | 7682.94 | 1.04 | 5520.79 | 0.75 |
| CR8-C-4-3 | 180 | 6.60 | 824 | 39.1 | 5028 | 4952.99 | 0.99 | 4859.92 | 0.97 | 4438.45 | 0.88 |
| CR8-C-9 | 180 | 6.60 | 824 | 91.1 | 5873 | 6399.74 | 1.06 | 6306.68 | 1.07 | 6254.38 | 1.06 |

注: Nexp、Nc1、Nc2 EC4、Nc3GB 分别表示试验结果、本文计算结果、EC4 计算结果和 GB50936-2014 结算结果。

4. 结语

本文在建立方形钢管混凝土轴压短柱的承载力计算公式过程中, 得到以下主要结论:

- 1) 考虑钢管与混凝土之间的相互作用建立的该类构件的承载力计算公式, 力学概念清晰, 参数物理意义明确;
- 2) 用建议公式对试验试件进行承载力计算, 计算结果与试验结果吻合良好。
- 3) 沿方形钢管壁中部设置约束拉杆, 可以改善钢管对核心混凝土的约束效应。

基金项目

广州市科技计划项目(201704020186), 广东省大学生创新创业训练计划项目(201611347033)。

参考文献

- [1] EC4. (1996) Design of Steel and Concrete Structures. Part 1.1, General Rules for Building. DDEVV1994-1-1. British Standards Institute, London.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢管混凝土结构技术规范: GB50936-2014 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 18-19.
- [3] Richart, F.E. (1948) Reinforced Concrete Wall and Column Foots. *ACI*, **45**, 97-127.
- [4] Sakino, K., Nakahara, H., Morino, S. and Nishiyama, I. (2004) Behavior of Centrally Loaded Concrete-Filled Steel-Tube Short Columns. *Journal of Structural Engineering*, **130**, No. 2.
- [5] 张正国, 左明生. 方形钢管混凝土轴压短柱在短期一次静载下的基本性能研究[J]. 郑州工学院学报, 1985, 6(2): 19-32.
- [6] Mander, J.B., Priestly, M.J.N. and Park, R. (1988) Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. *Journal of Structural Engineering*, **114**, 1807-1826.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：hjce@hanspub.org