

Calculation of Ultimate Strength for Rectangular CFT Stub Columns Subjected to Axial Load

Gang Sun

College of City Construction, Zhongkai University of Agricultural and Engineering, Guangzhou Guangdong
Email: sungang604@126.com

Received: Mar. 12th, 2020; accepted: Apr. 2nd, 2020; published: Apr. 9th, 2020

Abstract

In this paper, the interaction is analyzed between rectangular steel tube and concrete. The longitudinal strength of steel tube and concrete core is determined according to Vion-Mise yield criterion for steel and Guo-Wang failure criterion for concrete. The ultimate strength equations for rectangular concrete-filled steel tube stub column subjected to axial load are proposed. Finally, 19 specimens are calculated by the proposed equations and the calculated results agree with the experimental and normative ones very well.

Keywords

Rectangular Concrete-Filled Steel Tube, Stub Column, Ultimate Strength

矩形钢管混凝土轴压短柱极限承载力的计算

孙 刚

仲恺农业工程学院城市建设学院, 广东 广州
Email: sungang604@126.com

收稿日期: 2020年3月12日; 录用日期: 2020年4月2日; 发布日期: 2020年4月9日

摘 要

本文分析了矩形钢管与混凝土之间的相互作用, 借鉴Vion-Mise屈服准则和过-王混凝土破坏准则分别确定了钢管和混凝土的单轴纵向强度, 提出矩形钢管混凝土轴压短柱的承载力计算公式。最后, 用建议公式对21个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

矩形钢管混凝土, 短柱, 极限承载力

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

矩形钢管混凝土由于截面两边的长度不等, 其核心混凝土的力学性能比方形钢管混凝土要复杂得多。我国钢管混凝土技术规程(GB50936-2014)将钢管混凝土看成一种新型材料, 在大量实验数据的基础上回归了矩形钢管混凝土轴压短柱的承载力公式。由于混凝土本身的离散性使回归公式不得不根据实验数据对公式参数进行修正, 使计算公式偏于复杂。同时, 由于试件的缩尺效应和试件制作、工作环境与工程构件的差异, 在一定程度上导致了回归公式的外延性的改善仍需进一步研究。因此, 深入研究该类构件概念清晰、参数物理意义明确的承载力计算公式以满足工程的需要, 具有较大的现实意义。

本文在考虑钢管和混凝土之间相互作用, 并借助过-王五参数混凝土破坏准则确定了混凝土的单轴纵向强度的基础上, 建立了矩形钢管混凝土轴压短柱的极限承载力计算公式, 并将计算结果与实验结果和规范计算结果进行了比较, 为该类构件的工程设计提供了理论依据。

2. 矩形钢管混凝土轴压短柱承载力的计算公式

矩形钢管混凝土短柱在轴向压力作用下的极限承载力可用钢管和混凝土的单轴纵向强度简单地表示如下:

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

式中, f_{sl} 为矩形钢管的纵向极限抗压强度; f_{cc} 为核心混凝土的极限抗压强度; A_s 、 A_c 分别表示钢管和混凝土的横截面积。

3. 钢管纵向极限应力 f_{sl} 的计算

文献[1]在研究方形钢管混凝土的承载力时发现, 当方形钢管的宽厚比 $R < 0.85$ 时, 试件可不考虑局部屈曲的影响, 方形钢管的环向应力为

$$f_{sh} = -0.19f_y; f_{sl} = 0.8f_y \quad (2)$$

式中, f_{sl} 、 f_{sh} 、 f_y 分别表示钢管的纵向应力、环向应力和屈服应力。将上述研究成果推广到矩形钢管混凝土, 矩形钢管的宽厚比参数定义如下。

$$R = \frac{a-b}{t} \sqrt{\frac{12(1-\mu^2)}{4\pi^2}} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}} \quad (3)$$

4. 核心混凝土极限强度的计算

4.1. 矩形钢管侧压应力的计算

将矩形钢管混凝土柱沿短边剖开, 受力分析如图 1 所示。

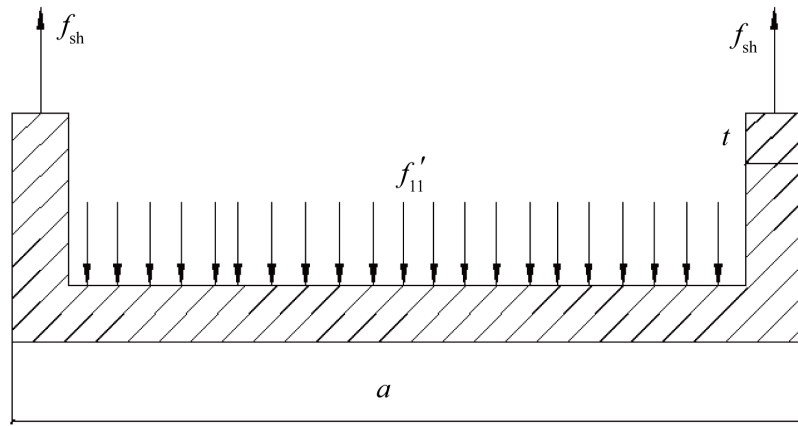


Figure 1. Sketch of mechanic analysis of rectangular steel tubes
图 1. 矩形钢管受力分析

由静力平衡方程可知

$$f'_{11} = \frac{2f_{sh}t}{a - 2t} \tag{4}$$

式中， f'_{11} 为钢管长边混凝土的侧压应力； f_{sh} 为钢管的环向拉应力； a 、 t 分别为钢管的长边边长和厚度。同理，钢管短边混凝土的侧压应力为

$$f'_{12} = \frac{2f_{sh}t}{b - 2t} \tag{5}$$

4.2. 有效约束系数

4.2.1. 横截面的约束系数

文献[2]的研究表明，钢管对核心混凝土的约束作用主要集中在角部，中部最小，近似为零。因此，在横截面上矩形钢管对核心混凝土的约束效应如图 2 所示。为简化计算，假设抛物线的起角为 $\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ$ 。

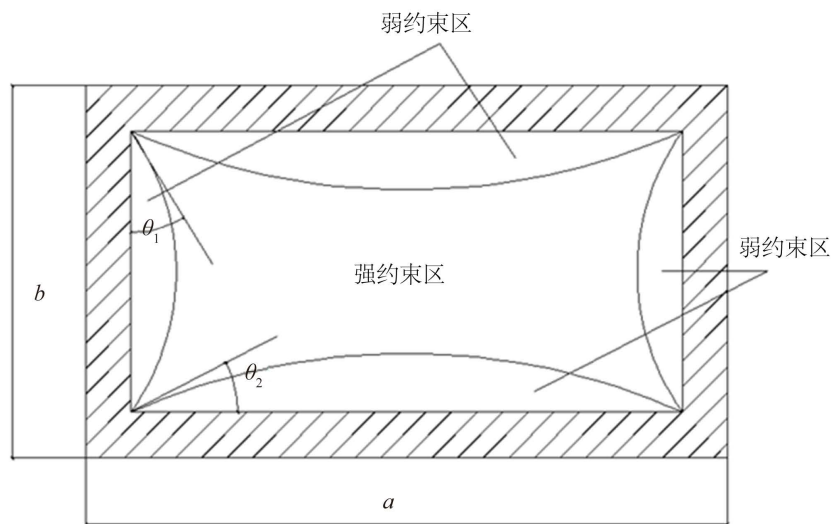


Figure 2. Confining mechanism of rectangular steel tube of concrete core
图 2. 矩形钢管对核心混凝土的约束机理

弱约束区的面积:

$$A_f = \frac{1}{3}[(a-2t)^2 + (b-2t)^2] \quad (6)$$

强约束区面积:

$$A_e = (a-2t)(b-2t) - A_f \quad (7)$$

横截面有效约束系数:

$$k_{e1} = \frac{A_e}{A_c} = 1 - \frac{1}{3} \left[\frac{a-2t}{b-2t} + \frac{b-2t}{a-2t} \right] \quad (8)$$

4.2.2. 侧面约束系数

矩形钢管混凝土柱可由矩形箍筋钢筋混凝土柱在箍筋间距为零且与纵筋合一演化而成的组合构件。因此,侧面约束系数 $k_{e2} = 1$ 。

钢管长、短边混凝土的有效侧压应力:

$$f_{11} = k_e f'_{11}; f_{12} = k_e f'_{12} \quad (9)$$

4.3. 核心混凝土极限强度

假设矩形钢管核心混凝土在三向压应力作用下,破坏时满足过-王混凝土破坏准则[3],则有

$$\sigma_{oct} = \frac{f_{11} + f_{12} + f_{cc}}{3} \quad (10)$$

$$\tau_{oct} = \frac{\sqrt{(f_{11} - f_{12})^2 + (f_{12} - f_{cc})^2 + (f_{cc} - f_{11})^2}}{3} \quad (11)$$

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{oct}}{f_{c0}}; \tau_0 = \frac{\tau_{oct}}{f_{c0}} \quad (12)$$

$$\cos \alpha = \frac{2f_{11} - f_{12} - f_{cc}}{3\sqrt{2}\tau_{oct}} \quad (13)$$

$$C = 12.2445(\cos 1.5\alpha)^{1.5} + 7.3319(\sin 1.5\alpha)^2 \quad (14)$$

$$\tau_0 = 6.9638 \left(\frac{0.09 - \sigma_0}{C - \sigma_0} \right)^{0.9297} \quad (15)$$

式中, σ_{oct} 、 τ_{oct} 分别表示八面体的正应力和剪应力; σ_0 、 τ_0 分别表示八面体的相对正应力和剪应力; α 表示偏平面的夹角; f_{11} 、 f_{12} 、 f_{cc} 分别表示钢管长、短边的侧压应力和核心混凝土的极限抗压强度。

5. 试验验证

采用建议公式(1)~(15)对文献[4]的 19 个试件进行承载力计算,本文计算结果与试验结果、EC4 [5]计算结果、GB50936-2014 [6]计算结果的比较如表 1 所示。由表 1 可知,计算结果/实验结果的均值为 1.047,方差为 0.0036; EC4 计算结果/实验结果的均值为 0.948,方差为 0.003; GB50936-2014 计算结果/实验结果的均值为 1.01547,方差为 0.004。可见,建议公式可对轴向荷载作用下矩形钢管混凝土短柱的极限承载力进行有效地评估。

Table 1. Comparison of ultimate strength between calculated results and experimental and normative ones of rectangular CFT stub columns subjected to axial load**表 1.** 矩形钢管混凝土轴压短柱极限承载力计算结果与试验结果和规范计算结果的比

试件 编号	a /mm	b /mm	t /mm	f_y /MPa	f_{ck} /MPa	N_e /kN	N_{c1} /kN	N_{c1}/N_e	N_{c2} /kN	N_{c2}/N_e	N_{c1} /kN	N_{c2}/N_e
1	120	80	5	357.5	26.48	850	1005.86	1.183	923	1.086	883	1.039
2	120	80	5	341	27.11	900	972.64	1.080	902	1.002	857	0.952
3	120	80	5	341	29.41	920	988.74	1.075	925	1.005	874	0.950
4	120	80	5	362.5	26.99	950	1020.32	1.074	936	0.985	897	0.944
5	120	80	5	362.5	25.97	955	1013.54	1.061	926	0.970	888	0.930
6	150	100	5	346.7	29.28	1370	1343.08	0.980	1302	0.950	1201	0.877
7	150	100	5	346.7	29.28	1210	1343.08	0.980	1302	1.076	1201	0.993
8	150	100	5	346.7	29.41	1340	1344.45	1.003	1304	0.973	1203	0.898
9	150	100	5	346.7	29.41	1200	1344.45	1.12	1304	1.087	1203	1.002
10	150	100	5	340	29.66	1300	1327.26	1.021	1293	0.995	1190	0.915
11	150	100	5	340	29.66	1190	1327.26	1.12	1293	1.087	1190	1.000
12	150	100	5	340	30.04	1320	1331.29	1.01	1300	0.985	1195	0.905
13	150	100	5	340	30.04	1200	1331.29	1.11	1300	1.083	1195	0.996
14	152.4	76.6	3.00	430	25.02	819	891.82	1.08	914	1.12	834	1.018
15	152.8	76.5	4.47	383	21.59	1006	1053.78	1.05	1018	1.015	964	0.958
16	152.4	101.8	4.32	413	21.59	1144	1323.59	1.15	1253	1.095	1165	1.018
17	152.7	102.8	4.57	365	19.84	1224	1238.11	1.01	1168	0.954	1089	0.890
18	151.4	101.3	5.72	324	19.84	1335	1309.39	0.98	1213	0.909	1144	0.857
19	152.4	102.1	7.34	358	19.84	1691	1717.79	1.01	1528	0.904	1499	0.886

注：表中分别表示试验结果、本文、EC4 和 GB50936-2014 的计算结果。

6. 结语

本文在建立矩形钢管混凝土轴压短柱极限承载力的建议公式时，得到以下结论：

- 1) 考虑钢管与混凝土之间的相互作用、借助真三轴混凝土破坏准则建立矩形钢管混凝土轴压短柱的单轴承载力计算公式，可对该类构件的极限承载力进行有效的评估。
- 2) 建议公式具有计算简单、力学概念清晰和参数物理意义明确的特点。
- 3) 在钢管中部设置约束拉杆可改善钢管对核心混凝土的约束。

基金项目

广东省教育厅特色创新项目(2020)。

参考文献

- [1] 孙刚, 卓献荣, 欧桂鑫, 邱华耀. 轴压下方形钢管混凝土短柱承载力的计算[J]. 土木工程, 2018, 6(7): 938-942.
- [2] 孙刚, 蔡健. 带约束拉杆 L 形钢管混凝土轴压短柱的承载力计算[J]. 建筑技术, 2010, 41(1): 31-33.
- [3] 过镇海. 钢筋混凝土原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999: 97-99.
- [4] 韩林海, 杨有福. 矩形钢管混凝土轴心受压构件强度承载力的试验研究[J]. 土木工程学报, 2001, 34(4): 22-30.
- [5] British Standards Institute (1996) EC4. Design of Steel and Concrete Structures, Part 1.1, General Rules and Rules for Building. DDEVV1994-1-1: 1996: London QIA2BS.
- [6] GB50936-2014. 钢管混凝土结构技术规范[S].