

钢管混凝土承载力的研究

赵均海^{1,2}, 顾 强¹, 马淑芳³

(1. 西安建筑科技大学 土木工程学院 陕西 西安 710055 ;

2. 长安大学 建筑工程学院 陕西 西安 710061 ;

3. 国营二六二厂 陕西 西安 710061)

[摘要] 基于双剪统一强度理论 , 推导出钢管混凝土轴心受压承载力计算公式 . 通过不同含钢率试件的轴心抗压试验 , 验证了理论公式的正确性 . 与文献资料的试验结果比较 , 结论基本一致 . 该推导结果为钢管混凝土承载力分析计算提供了一定的理论依据 .

[关键词] 钢管混凝土 ; 双剪统一强度理论 ; 核心混凝土

[中图分类号] TU398 [文献标识码] A [文章编号] 1001-756X(2001)02-0001-04

Load capability analysis of concrete filled steel tube

ZHAO Jun-hai^{1,2}, GU Qiang¹, MA Shu-fang³

(1. School of Civil Engineering Xi 'an University of Architecture & Technology Xi 'an 710055 , China ;

2. College of Civil Engineering , Chang 'an University Xi 'an 710061 , China ;

3. The State-owned No.262 Factory Xi 'an 710061 , China)

Abstract : Based on the twin shear unified strength theory , the analytical expression of the load capability is deduced when the concrete filled steel tube is suffered from axial compression . The correctness of the analytical expression is verified through the resisting compression tests of the axes having different steel ratio . The result of the paper is consistent with that of the test in the reference . The theoretical basic can be provided for the load capability analysis of concrete filled steel tubes by using the results of the paper .

Key words : concrete filled steel tube ; twin shear unified strength theory ; strain-constrained concrete cylinders

钢管混凝土是将普通混凝土填入薄壁钢管内而形成的组合材料 , 它具有普通混凝土无法比拟的许多优点 . 最显著的是它改善了核心混凝土的受力状态 , 提高了构件的塑性、韧性和承载能力 . 近年来 , 钢管混凝土在建筑结构中应用非常广泛 , 建造了大量的建筑物、构筑物 and 桥梁等工程 . 国内外学者在钢管混凝土方面进行了大量的研究^[1~10] , 根据试验结果各自给出了计算公式 . 这些公式为工程设计提供了重要依据 . 但这些公式大多都是从试验拟合出的 , 理论性方面没有得到较好的解释 , 且计算公式和方法都比较冗繁 , 不便应用 . 本文采用了

[基金项目] 国家自然科学基金资助(59779028) , 陕西省自然科学基金资助(2000C39)

[收稿日期] 2001-03-15

[作者简介] 赵均海(1960—) , 男 , 陕西西安人 , 长安大学教授 , 博士 , 西安建筑科技大学土木工程博士后流动站在站博士后 , 主要从事固体力学、强度理论和结构工程等研究 .

考虑中间主应力 σ_2 的影响、拉压性能不同的适用于各种材料的复杂应力状态下的双剪统一强度理论对钢管混凝土进行理论分析,从而推导出理论性较强的承载力计算公式,并通过轴心受压试验验证了理论公式的正确性,为钢管混凝土承载力分析提出了较合理的理论解释。

1 钢管混凝土轴心受压承载力计算公式

本文采用双剪统一强度理论对钢管混凝土轴心受压承载力进行研究。双剪统一强度理论是以双剪应为单元体为力学模型,其表达式为^[11]

$$F = \sigma_1 - \frac{\alpha}{1+\alpha}(b\sigma_2 + \sigma_3) = \sigma_1 \quad \sigma_2 \leq \frac{\sigma_1 + \alpha\sigma_3}{1+\alpha} \quad (1a)$$

$$F' = \frac{1}{1+\alpha}(\sigma_1 + b\sigma_2) - \alpha\sigma_3 = \sigma_1 \quad \sigma_2 \geq \frac{\sigma_1 + \alpha\sigma_3}{1+\alpha} \quad (1b)$$

其中: σ_1 、 σ_2 和 σ_3 分别为3个主应力; σ_t 和 σ_c 分别为材料的拉伸强度和压缩强度; $\alpha = \sigma_t/\sigma_c$ 为材料拉压强度比; b 为反映中间主应力效应的材料参数,其值为

$$b = [(1+\alpha)\tau_0 - \sigma_t](\sigma_t - \tau_0) \quad (2)$$

式中: τ_0 为剪切强度极限。对于钢管混凝土中的核心混凝土,其应力状态为 $0 > \sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$,比较表达式(1a)和(1b),并用混凝土凝聚力 c 和内摩擦角 φ 表示则有

$$-\sigma_3 = 2c \cos \varphi (1 - \sin \varphi) - (1 + \sin \varphi) \sigma_1 (1 - \sin \varphi)$$

对混凝土材料,很少去测定 c 和 φ ,一般仍用抗拉强度 f_t 和抗压强度 f_c 来表示。由单轴受力可知 $\sigma_3 = f_c$, $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$,当满足莫尔强度准则时 $2c \cos \varphi (1 - \sin \varphi) = f_c$,即单轴受力混凝土抗压强度。令 $k = (1 + \sin \varphi)(1 - \sin \varphi)$,上式变为

$$-\sigma_3 = f_c - k\sigma_1 \quad (3)$$

对于抗压混凝土,按习惯一般取压为正,拉为负,则式(3)变为

$$\sigma_3 = f_c + k\sigma_1 \quad (4)$$

式(4)中的 σ_3 即为核心混凝土抗压强度,即 f'_c , f_c 为单轴混凝土抗压强度,当试验采用圆柱体试件时, f_c 应取圆柱体的单轴抗压强度,即 f_{cy} ,因此由式(4)得核心混凝土抗压强度为

$$f'_c = f_{cy} + k\sigma_1 \quad (5)$$

钢管混凝土的承载力是由钢管的承载力和核心混凝土的承载力共同组成^[8],即

$$N_b = f'_c A_c + A_g \sigma_s \quad (6)$$

式中: N_b 为钢管混凝土承载力; A_c 为核心混凝土受压面积; A_g 为钢管受压面积; σ_s 为钢管屈服强度; f'_c 为核心混凝土抗压强度,其值参见文献[12]。

本研究的试验^[12]及理论计算结果如表1,典型试验的荷载变形曲线如图1。

2 有关学者的计算公式及其比较

文献[6]通过大量的试验和理论分析提出的公式为

表 1 钢管混凝土柱轴心受压试验及计算结果

| 试件编号 | 钢管尺寸/ mm × mm × mm | 含钢度/ % | 试件竖向 位移 /mm | 极限 荷载 /kN | 每组试件 承载力理论 | | 误差 /% |
|------|-----------------------|-----------|-------------------|-----------------|----------------|------------|----------|
| | | | | | 极限荷载平 均值/kN | 计算值 /kN | |
| G1-1 | 90 × 1.0 × 300 | 4.40 | 3.2 | 348.8 | | | 4.47 |
| G1-2 | 90 × 1.0 × 300 | 4.40 | 3.4 | 341.9 | 345.7 | 333.86 | 2.41 |
| G1-3 | 90 × 1.0 × 300 | 4.40 | 3.5 | 346.5 | | | 3.79 |
| G2-1 | 90 × 1.2 × 300 | 5.26 | 3.4 | 358.1 | | | 1.35 |
| G2-2 | 90 × 1.2 × 300 | 5.26 | 3.6 | 351.2 | 356.6 | 363.01 | 3.25 |
| G2-3 | 90 × 1.2 × 300 | 5.26 | 3.4 | 360.6 | | | 0.69 |
| G3-1 | 90 × 1.5 × 300 | 6.55 | 4.6 | 390.7 | | | 3.82 |
| G3-2 | 90 × 1.5 × 300 | 6.55 | 4.4 | 390.7 | 387.6 | 406.22 | 3.82 |
| G3-3 | 90 × 1.5 × 300 | 6.55 | 4.6 | 381.4 | | | 6.11 |

$$N_b = A_c f_c (1 + \sqrt{\Phi} + 1.1 \Phi)$$

(7)

或

$$N_b = A_c f_c (1 + 2 \Phi) =$$

$$A_c f_c + 2 A_s f_s$$

(8)

式中的符号意义见文献[6]。文献[6]的部分试验结果及采用式(7)的计算结果如表2,采用本文计算公式(6)对相应试件进行计算,结果列于表2中。

文献[8]通过研究给出的计算公式为

$$N_b = A_g \sigma_s + K_1 R_a^b A_h$$

$$K_1 = 1 + (1 - \mu) \mu \sigma_s / R_a^b$$

(10)

式中的符号意义见文献[8]。

文献[3]通过研究给出的计算公式为

$$N_b = A_{sc} f_{scy}$$

(11)

$$f_{scy} = (1.212 + B\xi + C\xi^2) f_{ck}$$

(12)

式中的符号意义见文献[3]。文献[6][8][3]的部分试验结果,采用相应的公式(7)(9)(11)的计算结果及用本文公式(6)的计算结果见表2。

由表2可知,采用本文提出的公式计算,误差在10%以内,可见本文对于钢管混凝土承载力给出的公式形式简单,计算方便,理论基础强,与文献资料的结论基本一致。

3 结 论

本研究以双剪统一强度理论为基础,给出钢管混凝土承载力的计算公式。通过不同含钢率的轴心抗压试验,验证了理论公式的正确性,并与有关文献结果进行了比较。从结果分析知,采用双剪统一强度理论推得的计算公式求得的理论结果与本文试验值及文献资料结果进行比较,误差较小,说明万方数据

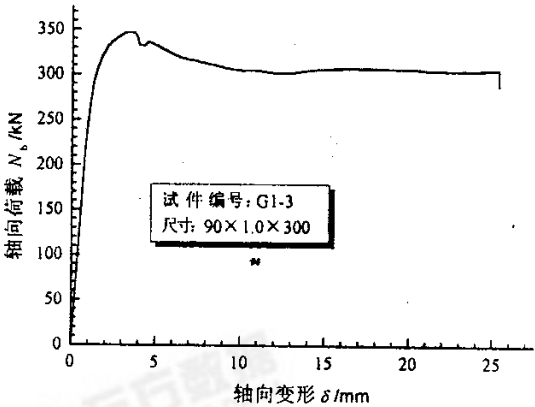


图 1 G1-3 的荷载-变形曲线

明双剪统一强度理论对于钢管混凝土的理论计算有非常好的适用性,且给出了钢管混凝土承载力研究的理论解释,为钢管混凝土的优化设计提供了可靠的理论依据。

表 2 文献中钢管混凝土柱轴心受压试验及计算结果

| 文献作者 | 试件编号 | 钢管尺寸/ mm × mm × mm | 混凝土强度 /MPa | 钢管强度 /MPa | 极限荷载 试验值/kN | 文献计 算值/kN | 误差 | 本文计 算值/kN | 误差/% |
|--------------------|----------|-----------------------|---------------|--------------|----------------|--------------|-------|--------------|-------|
| 蔡绍怀 ^[6] | G-21 | 273 × 8 × 1100 | 35.4 | 313.0 | 5 690 | 5 458 | 4.08 | 5396 | 5.18 |
| | G-32 | 273 × 8 × 1100 | 12.4 | 313.0 | 4 120 | 4 627 | 12.31 | 4332 | 5.14 |
| | G-57 | 273 × 8 × 1100 | 47.8 | 313.0 | 5 400 | 5 910 | 9.44 | 5968 | 10.53 |
| | G-46 | 204 × 2 × 840 | 34.1 | 240.0 | 1 320 | 1 360 | 3.03 | 1419 | 7.49 |
| | G-36 | 121 × 12 × 500 | 12.4 | 300.0 | 2 465 | 2 530 | 2.64 | 2516 | 2.07 |
| | G-42 | 121 × 12 × 500 | 34.1 | 300.0 | 2 550 | 2 643 | 3.65 | 2713 | 6.40 |
| 汤关祚 ^[8] | Z-69-84 | 100 × 2.5 × 300 | 39.2 | 442.0 | 845 | 891 | 5.40 | 851 | 0.68 |
| | Z-70-102 | 100 × 2.5 × 300 | 43.4 | 249.0 | 684 | 583 | 14.77 | 611 | 10.62 |
| | Z-70-106 | 100 × 2.0 × 300 | 43.4 | 241.0 | 548 | 512 | 6.57 | 534 | 2.50 |
| | Z-70-107 | 100 × 1.5 × 300 | 43.4 | 237.0 | 515 | 467 | 9.32 | 465 | 9.76 |
| 韩林海 ^[3] | Secs1-1 | 131 × 2.3 × 396 | 53.4 | 323.3 | 1250 | 1180 | 5.60 | 1255 | 0.40 |
| | Secs2-1 | 111 × 2.0 × 339 | 53.4 | 353.6 | 894 | 887 | 0.80 | 948 | 6.00 |
| | Secs3-1 | 114 × 3.2 × 337 | 53.4 | 353.6 | 1 140 | 1 097 | 3.80 | 1 254 | 10.00 |
| | Secs4-1 | 133 × 3.5 × 397 | 53.4 | 323.3 | 1 440 | 1515 | 5.20 | 1 569 | 9.00 |

[参 考 文 献]

- [1] 钟善桐. 钢管混凝土结构研究新动向[J]. 哈尔滨建筑工程学院学报, 1990 (1): 35-47.
- [2] 汤关祚, 王用纯. 钢管混凝土受压构件承载力计算[J]. 工业建筑, 1984 (2): 21-25.
- [3] 韩林海. 钢管混凝土结构[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] 蔡绍怀, 顾万黎. 钢管混凝土长柱性能和强度计算[J]. 建筑结构学报, 1985 (1): 32-40.
- [5] Chen W F. Plasticity in reinforced concrete[M]. New York: McGraw-Hill Book company, 1982.
- [6] 蔡绍怀, 焦占拴. 钢管混凝土短柱的基本性能和强度计算[J]. 建筑结构学报, 1984 (6): 13-29.
- [7] 周起敬, 姜维山, 潘泰华. 钢管混凝土组合结构设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991.
- [8] 汤关祚, 招炳泉, 竺惠仙, 等. 钢管混凝土基本力学性能的研究[J]. 建筑结构学报, 1982 (1): 13-31.
- [9] 钟善桐, 王用纯. 钢管混凝土轴心受压构件计算理论的研究[J]. 建筑结构学报, 1980 (1): 61-71.
- [10] 钟善桐, 苗若愚. 钢管混凝土轴心受压构件承载力计算的研究[J]. 建筑结构学报, 1984 (6): 38-48.
- [11] 俞茂宏. 强度理论新体系[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1992.
- [12] 赵均海, 顾强, 马淑芳. 基于双剪统一强度理论的轴心受压钢管混凝土承载力的研究[J]. 工程力学, 已录用排印中.