

蒸压粉煤灰砌体短柱受压承载力计算分析

彭志超¹, 罗胜利², 杨建荣¹, 罗云飞²

(1 昆明理工大学建筑工程学院, 昆明 650500;

2 中铁二院昆明勘察设计研究院有限责任公司, 昆明 650000)

[摘要] 根据平截面假定和静力平衡条件,考虑砌体结构不同的应力-应变关系,推导出蒸压粉煤灰砌体柱受压承载力计算公式。同时利用本文推导的公式求出承载力理论值,再与试验数据进行比较,从数据的吻合度来验证本文提出的计算方法。依据《砌体结构设计规范》(GB 50003—2011)中的计算公式求出承载力理论值后,与试验数据进行比较,运用此规范所求的承载力理论值是偏大的。这样针对蒸压粉煤灰砌体柱,此规范方法所计算的受压承载力值被高估,造成不安全。

[关键词] 蒸压粉煤灰;砌体结构;受压承载力;应力-应变关系

中图分类号: TU318 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2015)S2-0500-04

Evaluation of compressive bearing capacity for autoclaved flyash-lime brick short column

Peng Zhichao¹, Luo Shengli², Yang Jianrong¹, Luo Yunfei²

(1 Institute of Architectural Engineering of Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China;

2 Kunming Survey, Design and Research Institute Co., Ltd. of CREEC, Kunming 650000, China)

Abstract: According to the assumption of plain section and equilibrium of static force, and considering different stress-strain relations of masonry structure, these formulas of the compressive bearing capacity of autoclaved flyash-lime brick column was deduced. At the same time, using the formula is deduced to calculate the theoretical value of bearing capacity, and then comparing the theoretical value with the experimental data, evaluating the method through checking the goodness fit between experimental data and the method selected. When compared theoretical value calculated according to code for design of masonry structures (GB 50003—2011) with experimental data, it was found that the theoretical date is larger than experimental data. So the compression capacity of autoclaved flyash-lime brick column based on the method provided by code is overestimated, which will lead insecurity.

Keywords: autoclaved flyash-lime; masonry structure; compressive bearing capacity; stress-strain relation

0 引言

目前砌体柱的受压承载力 N 的计算公式一般是采用构件截面面积 A 、砌体抗压强度 f 和偏心影响系数 ϕ 三者乘积的形式。研究表明,轴向力偏心距 e 和构件的高厚比 β 是影响受压构件偏心影响系数 ϕ 的主要因素,而偏心影响系数是影响受压承载力的主要因素。

本文根据砌体结构不同的应力-应变关系,推导蒸压粉煤灰受压承载力和偏心影响系数不同表达式并计算理论值,同时与试验数据^[1]进行对比,从数据的吻合度来验证本文所推导的方法是可取的,以及所选砌体结构受压时应力-应变关系的合理性,最后通过试验数据^[1]验证规范^[6]中的受压承载力计算公式。

1 蒸压粉煤灰砌体柱的应力-应变关系

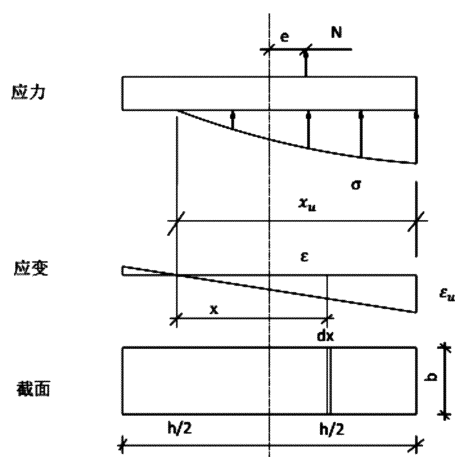
根据已有的蒸压粉煤灰砖砌体试件跨中截面上应变试验数据^[1]:蒸压粉煤灰砌体柱在受压破坏之前,截面中的应变呈线性分布,能较好地符合平截面假定。同时,由于砌体结构的抗拉强度很低,一旦出

现裂缝时,水平裂缝部分会立即退出工作,因此可以忽略蒸压粉煤灰砌体的抗拉强度。由于偏心受压截面上的应力变化梯度大,在极限受压状态下时塑性发展大于轴心受压情况,因此偏心受压的应力-应变曲线由轴心受压的应力-应变曲线代替是偏于安全的^[2],如图1所示。

峰值压应变 ε_0 是指砌体压应力达到峰值时所对应的纵向应变值,是砌体结构应力-应变关系曲线的重要参数之一。文献[3]提供的峰值压应变在0.0026~0.0049之间,同时列出了多组砌体单轴受压应力-应变曲线,综合分析取 $\varepsilon_0 = 0.003$ 。文献[3]还指出各类应力-应变曲线的上升段相差不大,下降段相差较大,各类砖砌体的极限压应变与峰值压应变之比 $\varepsilon_u/\varepsilon_0$ 取1.6。

2 蒸压粉煤灰砌体柱的受压承载力公式的推导

根据不同的应力-应变关系,推导受压承载力 N 和

图1 应力曲线分布截面分析^[1]

偏心影响系数 ϕ 的表达式,并列出规范^[6]中所给出的表达式。

Naraine K, Sinha S 所提出的应力-应变关系模型^[3]为:

$$\frac{\sigma}{f_m} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \cdot e^{(1-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0})} \quad (1)$$

由图1 以及以上的条件可取:

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_0} = 1.6 \quad (2)$$

由比例关系可得到:

$$\frac{\varepsilon_0}{\varepsilon_u} = \frac{x_0}{x_u} = \frac{1}{1.6} = 0.625 \quad (3)$$

$$\frac{\varepsilon_0}{x_0} = \frac{\varepsilon_u}{x_u} = \frac{\varepsilon}{x} \quad (4)$$

由截面的静力平衡条件有:

$$N_1 = \int_0^{x_u} f_m \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} e^{(1-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0})} b dx \quad (5)$$

$$N_1 \left(\frac{h}{2} + e \right) = \int_0^{x_u} f_m \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} e^{(1-\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0})} b (h - x_u + x) dx \quad (6)$$

由式(3)、(4)、(5)、(6)可得:

$$N_1 = \varphi_1 f_m b h \quad (7)$$

$$\varphi_1 = 0.8100 \left(1 - \frac{2e}{h} \right) \quad (8)$$

式中: f_m 为砌体抗压强度平均值; ε_0 为相应于 f_m 的应变; h 为矩形截面轴向力偏心方向的边长,当轴心受压时为截面较小边长; b 为截面宽度; e 为轴向力偏心距; N_1 为受压承载力; φ_1 为偏心影响系数。

湖南大学施楚贤教授所提出的应力-应变关系模型^[4]为:

$$\frac{\sigma}{f_m} = \frac{9}{10} (1 - e^{-2.3 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}) \quad (9)$$

由截面的静力平衡条件有:

$$N_2 = \int_0^{x_u} f_m \frac{9}{10} (1 - e^{-2.3 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}) b dx \quad (10)$$

$$N_2 \left(\frac{h}{2} + 2 \right) = \int_0^{x_u} f_m \frac{9}{10} (1 - e^{-2.3 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}}) (h - x_u + x) b dx \quad (11)$$

由式(2)、(3)、(4)、(9)、(10)可得:

$$N_2 = \varphi_2 f_m b h \quad (12)$$

$$\varphi_2 = 0.8100 \left(1 - \frac{2e}{h} \right) \quad (13)$$

式中: N_2 为受压承载力; φ_2 为偏心影响系数。

Turnsek 和 Cacovic 提出的应力-应变关系模型^[5]为:

$$\frac{\sigma}{f_m} = 6.4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right) - 5.4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^{1.17} \quad (14)$$

由截面的静力平衡条件有:

$$N_3 = \int_0^{x_u} f_m \left[6.4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right) - 5.4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^{1.17} \right] b dx \quad (15)$$

$$N_3 \left(\frac{h}{2} + e \right) = \int_0^{x_u} f_m \left[6.4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right) - 5.4 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \right)^{1.17} \right] b \times (h - x_u + x) dx \quad (16)$$

由式(2)、(3)、(4)、(9)、(10)、(15)、(16)可得:

$$N_3 = \varphi_3 f_m b h \quad (17)$$

$$\varphi_3 = 0.9410 \left(1 - \frac{2e}{h} \right) \quad (18)$$

式中: N_3 为受压承载力; φ_3 为偏心影响系数。

依据规范^[6]所述的受压承载力和偏心影响系数表达式为:

$$N_4 = \varphi_4 f_m b h \quad (19)$$

当 $\beta \leq 3$ 时:

$$\varphi_4 = \frac{1}{1 + 12 \left(\frac{e}{h} \right)^2} \quad (20)$$

当 $\beta \geq 3$ 时:

$$\varphi_4 = \frac{1}{1 + 12 \left[\frac{e}{h} + \sqrt{\frac{1}{12} \left(\frac{1}{\varphi_0} - 1 \right)} \right]^2} \quad (21)$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{1 + \alpha \beta^2} \quad (22)$$

式中: N_4 为受压承载力; φ_4 为偏心影响系数, φ_0 为轴心受压构件的稳定系数; α 为与砂浆强度等级有关的系数; β 为构件的高厚比。

3 试验验证

而偏心受压是砌体结构主要的受力形式之一。文献[1]对蒸压粉煤灰砖 52 个砌体试件进行了偏心受压试验,记录其破坏荷载以及截面在不同荷载作用下的应力分布,依据本文的需要,仅选出 24 个试验结果并进行分析。所选用的蒸压粉煤灰实心砖和多孔

蒸压粉煤灰实心砌体偏心受压承载力试验值与理论值的对比 表 1

试验值(破坏荷载)		式(7)		式(12)		式(17)		式(19)	
$\frac{e}{h}$	N_u/kN	N_1/kN	N_1/N_u	N_2/kN	N_2/N_u	N_3/kN	N_3/N_u	N_4/kN	N_4/N_u
0	757. 0	710. 9	0. 939	613. 3	0. 810	712. 5	0. 941	747. 7	0. 988
0	713. 5	670. 2	0. 939	578. 2	0. 863	671. 7	0. 941	704. 9	0. 988
0	721. 3	676. 9	0. 938	584. 7	0. 811	679. 2	0. 942	712. 8	0. 988
0. 1	581. 0	542. 2	0. 933	467. 8	0. 805	542. 7	0. 934	592. 7	1. 020
0. 1	565. 8	546. 2	0. 965	471. 1	0. 834	546. 5	0. 967	596. 8	1. 055
0. 1	567. 0	546. 8	0. 964	471. 8	0. 832	547. 3	0. 965	597. 7	1. 054
0. 2	411. 4	406. 1	0. 987	350. 4	0. 852	407. 1	0. 990	433. 9	1. 055
0. 2	454. 5	409. 0	0. 900	352. 8	0. 776	409. 9	0. 902	437. 0	0. 961
0. 2	406. 0	405. 5	0. 999	349. 9	0. 862	406. 5	1. 001	433. 3	1. 067
0. 3	285. 8	270. 4	0. 946	233. 2	0. 816	271. 1	0. 949	307. 0	1. 074
0. 3	277. 5	272. 7	0. 983	235. 2	0. 848	273. 3	0. 985	309. 6	1. 116
0. 3	309. 1	271. 9	0. 880	234. 5	0. 759	272. 5	0. 882	308. 7	0. 999
平均值			0. 948		0. 822		0. 950		1. 030
变异系数			0. 037		0. 040		0. 037		0. 045

蒸压粉煤灰多孔砌体偏心受压承载力试验值与理论值的对比 表 2

试验值(破坏荷载)		式(7)		式(12)		式(17)		式(19)	
$\frac{e}{h}$	N_u/kN	N_1/kN	N_1/N_u	N_2/kN	N_2/N_u	N_3/kN	N_3/N_u	N_4/kN	N_4/N_u
0	524. 4	492. 1	0. 938	424. 8	0. 810	492. 9	0. 940	516. 0	0. 984
0	500. 0	469. 4	0. 939	405. 2	0. 810	470. 2	0. 940	492. 2	0. 984
0	553. 4	518. 9	0. 938	448. 0	0. 810	519. 9	0. 939	544. 2	0. 983
0. 1	385. 6	394. 2	1. 022	340. 1	0. 882	395. 1	1. 025	428. 6	1. 112
0. 1	432. 5	395. 3	0. 914	341. 1	0. 789	396. 2	0. 916	429. 8	0. 994
0. 1	387. 9	398. 1	1. 026	343. 4	0. 885	399. 0	1. 029	432. 8	1. 116
0. 2	274. 2	297. 3	1. 084	256. 5	0. 935	298. 0	1. 087	315. 4	1. 150
0. 2	344. 0	296. 9	0. 863	256. 1	0. 745	297. 5	0. 865	315. 0	0. 916
0. 2	328. 8	298. 1	0. 907	257. 2	0. 782	298. 8	0. 909	316. 3	0. 962
0. 3	234. 7	197. 1	0. 840	170. 1	0. 725	197. 6	0. 842	222. 3	0. 947
0. 3	280. 1	198. 2	0. 708	171. 0	0. 610	198. 7	0. 709	223. 5	0. 798
0. 3	204. 7	197. 1	0. 963	170. 1	0. 831	197. 6	0. 965	222. 3	1. 086
平均值			0. 929		0. 801		0. 931		1. 003
变异系数			0. 105		0. 106		0. 106		0. 099

砖的单砖抗压强度平均值分别为 16. 77MPa, 10. 46MPa, 砂浆实测抗压强度平均值分别为 13. 69MPa, 19. 08MPa。实心砖砌体试件外廓尺寸为 240mm×365mm×746mm,β=3. 108;多孔砖为 240mm×365mm×790mm,β=3. 290,上下顶面用 10mm 厚的水泥砂浆找平。偏心率分别采用 0、0. 1、0. 2 和 0. 3。试验承载力的数值与对比如表 1、表 2 所示。

从表中的数据可知,蒸压粉煤灰砌体柱的受压承载力随着 e/h 的增大而降低,从平均值的角度来分析,运用本文推导的方法求出的承载力理论值与试验值吻合性较好,而运用规范^[6]中的方法所求的承载力理论值比试验值偏大,二者的变异系数均比较稳定。

4 结 论

通过对蒸压粉煤灰砌体柱的研究,表明砌体柱在

受压作用下,考虑各种因素对其承载力的影响情况。以及根据不同应力-应变本构关系,在相同假设条件下推导出受压承载力和偏心影响系数的不同表达式。通过比较承载力理论值与试验值得出如下结论:

(1)根据表1和表2的数值对比,式(7)、(12)、(17)所计算的受压承载力与试验值较吻合,且变异系数较稳定,验证了本文所推导方法的正确性,以及所选的三种砌体结构的应力-应变关系的合理性。

(2)依据规范^[6]公式(19)所计算受压承载力比试验值略大,针对蒸压粉煤灰砌体柱,从计算的平均值就可以得出,规范方法所计算的受压承载力被高估了,可能会在设计中存在一定的缺陷,可望进一步修正。

参 考 文 献

- [1] 徐春一. 蒸压粉煤灰砖砌体受力性能试验与理论研究[D]. 大连:大连理工大学,2011.
- [2] 秦士洪,倪校军,曹桓铭,等. 蒸压粉煤灰砖砌体应力-应变全曲线研究[J]. 建筑结构学报, 2010, 31(8): 94-100.
- [3] 刘桂秋. 砌体结构基本受力性能的研究[D]. 长沙:湖南大学,2005.
- [4] NARAIN K, SINHA S. Behavior of brick masonry under cyclic compressive loading[J]. J. Structure. Engrg., ASCE, 1989, 115(6): 43-48.
- [5] 杨建江,吴文涛. 砌体抗压强度计算模式的不定式探讨[J]. 建筑结构, 2004, 34(9): 60-62.
- [6] GB 50003—2011 砌体结构设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.