

文章编号 :1671 - 683X(2002)04 - 0068 - 04

新型轻质墙体材料的性能测试和有限元分析

杜太生¹, 吉瑞林²

(1.南阳理工学院建筑工程系 河南 南阳 473004 ; 2. 河南省第五建筑安装工程有限公司 河南 郑州 450007)

摘 要 :对新型轻质墙体材料的弹性模量、干收缩值等进行了实验测定 ,建立了混凝土单元无配筋、混凝土单元有配筋、混凝土单元与钢丝网单元联合作用的三种有限元模型 ,并根据这三种有限元模型 ,计算了多种干收缩值情况下的最大主应力和裂纹的最大开裂长度 ,分析了墙体开裂与荷载、材料性质、配筋率等的关系以及墙体开裂与压碎的原因 ,为此种新型墙体材料在实际工程的使用提供了依据 .

关键词 :轻质墙体材料 ;弹性模量 ;干收缩值 ;有限元

中图分类号 :TU 528.2 文献标识码 :A

随着建筑工业的发展 ,新型建筑材料不断涌现 .本文研究的材料是新开发的一种轻质墙体材料 ,这种材料在试用过程中 ,发现其在一定荷载作用下 ,有裂纹出现 .为弄清此种材料墙体开裂与压碎的原因 ,进一步改善这种材料的力学性能 ,有必要对其进行有限元模型分析并对有关力学参数进行试验测定 .

1 新型墙体材料的弹性模量

1.1 试件

测量墙体弹性模量试件分为 3 组 ,每组 3 件 ,共 9 件 ;同时 ,提供每组同样成分试件的轴心抗压强度值 ,试样尺寸按 100 mm × 100 mm × 300 mm 制作 ,试件的抗压强度值列于表 1 .

1.2 试验方法

由于本材料属于新型墙体材料 ,其弹性模量的测量没有完全对应的国家标准 ,因而参照^① 加气

混凝土^②弹性模量测量的国家标准 GB/T 11971 - 1997 进行试验 .即 :首先按标准计算初始载荷 ,至少 3 次以初始载荷反复压缩以使材料达到密实 ,然后按 40% 的抗压强度计算终止载荷 ,并测量此时试件标距(50 mm)尺寸内的变形量 ,从而计算得到材料的弹性模量 ,最终加载直到试件破裂 .

表 1 弹性模量试件的抗压强度

Tab.1 The compression strength of elastic modulus specimen				MPa
日期	1 #	2 #	3 #	平均强度
7 - 23	8.1	8.2	7.3	7.87
7 - 25	5.6	4.4	4.9	4.97
7 - 26	6.9	10	9.8	8.90

1.3 试验数据

本试验在室温条件以及(2.0 ± 0.5) kN/s 的恒载荷加载方式进行 ,满足国家标准的要求 .测量得到的数据列于表 2 .

表 2 测量弹性模量的试验数据

Tab.2 Experimental data of the measurement of elastic modulus

试件 编号	横截面面 积/mm ²	初始载荷/ kN	终止载荷/ kN	标距内 变形/mm	弹性模量/ GPa	抗压强度/ MPa
7 - 23 - 1	9922.7	0.99	31.12	0.04774	3.18	3.98
7 - 23 - 2	9973.7	1.00	31.40	0.06520	2.34	3.71
7 - 23 - 3	100082	1.01	31.60	0.06489	2.35	3.71
7 - 25 - 1	10357	0.94	20.50	0.03369	2.81	4.08
7 - 25 - 2	10395	0.94	20.60	0.03370	2.82	2.51
7 - 25 - 3	10394	0.94	20.05	0.03194	2.87	3.04
7 - 26 - 1	9998.7	0.90	35.50	—	—	—

收稿日期 2002 - 08 - 20 ,修订日期 2002 - 09 - 21
作者简介 杜太生(1965 -)男 ,河南省方城县人 ,南阳理工学院副教授 ,华中科技大学博士研究生 ,主要从事建筑材
万 方 数据 性能方面的研究 .

测量 6 个试件的弹性模量介于 2~3 GPa 之间,实测的抗压强度介于 2.5~4.0 MPa 之间;弹性模量约等于抗压强度的 500~1200 倍,这与加气混凝土的数据基本一致。

表 3 轻质墙体样品配合比表

Tab.3 Material ratio of the light-weight wall								g
编号	水泥	矸(砂)	煤	石灰	水	发泡剂	泡沫剂	珍珠岩
7-25	7530	10000	10000	4000	15000	7.53	226	
7-26	8800	13000	11000		15900	8.8	264	675
7-27	8800	10000	1000	4000	16000	8.8	264	675
8-02	1075	1225	750		1900	1.07	32	450
8-07	1200	1225	750		1900	1.07	32	450

说明 第四组实验采用 425# 水泥,其余均为 525# 水泥。

干燥收缩测试方法采用加气矸性能试验方法 GB/T 11966~11975-1997^[12]。本研究共检测了不同配合比墙体样品干燥收缩值、抗折强度、含水率、干燥收缩样近绝干状态的抗压强度和劈裂抗拉强度等指标。干燥收缩值及其它各项测试结果见表 4。

表 4 墙体指标测试结果

Tab.4 Measuring results of the wall's index					
编号	收缩值/ (mm/m)	含水 率/%	抗折强 度/MPa	抗压强 度/MPa	干体积密 度/(kg/m ³)
0#	1.16	25.7	2.4	10.3	1261
7-25	1.45	28.0	1.36	7.00	1206
7-26	0.78	22.5	1.75	8.12	1322
7-27	1.19	28.6	1.54	9.37	1226
8-02	1.81	41.7	0.96	4.96	966.5
8-07	1.46	37.1	1.3	4.71	1033

表 4 实验结果中含有 5 大测试指标,即收缩值、抗折强度、抗压强度、含水率、体积密度。将表 4 中的收缩值与干体积密度进行对比,可明显看出,收缩值与干体积密度有较好的负相关关系:干体积密度大,则干燥收缩值相对较小;干体积密度小,则干燥收缩值较大。最后两组的干燥收缩值已达到 1.81 mm/m 和 1.46 mm/m。从墙体材料的含水率测试结果可以看出:样品含水率与干燥收缩值有密切关系,含水率高的样品,干燥收缩值大,两数据对应关系良好。

测试劈裂抗拉强度的同时还测试了试样的自然表观密度。检测结果见表 5。试验劈裂抗拉强度在 0.58~0.87 MPa 之间波动,但抗拉强度与抗压强度有较好的相关性。立方体抗压强度高的试样,劈裂抗拉强度均较高,劈裂抗拉强度约为抗压强度的 1/10~1/8。

2 新型墙体材料的干收缩值

多孔粉煤灰墙体材料的干燥收缩性能试料制备见表 3。

表 5 劈裂抗拉强度数据

Tab.5 Data of tensile strength for the crack				
编号	组号	劈裂强度/MPa	抗压强度/MPa	自然表观密度/(kg/m³)
7-23	1	0.76	7.9	1300
	2	0.84		1341
7-25	1	0.68	5.0	1377
	2	0.58		1331
7-26	1	0.87	8.9	1379
	2	0.77		1384

3 新型墙体结构的有限元模型

3.1 墙体结构尺寸

墙面尺寸的计算采用如下方案:长度取 5 m,高度 3 m,厚度选取 80 mm 或 150 mm 两种之一。

加强筋网格采用 200 mm×200 mm 和 200 mm×333 mm 二种网距;用于加强的钢丝选用 Φ4,Φ6,Φ8 等型号。

3.2 有限元单元类型

采用商用有限元程序 ANSYS5.7^[3]作为计算工具。使用其单元库中的 SOLID65(混凝土单元)和 LINK8(空间桁架)两种单元,分别模拟墙体和加强筋的力学行为。其中 SOLID65 具有很好的预测混凝土开裂和压碎功能。

3.3 外加载荷

自由度约束:由于墙体厚度较小,墙体中间在厚度方向的位移(U_z)完全被约束,即保持平面不动;墙体左右两侧的水平位移(U_x)被约束;墙体底部向下的位移(U_y)被约束。

收缩(温度)载荷:为了考察干收缩值对墙体的作用,施加温度载荷使墙体结构整体发生均匀的收缩变形。即给墙体结构施加一个均匀分布的温度差,同时假定结构材料的线膨胀系数,从而导

致结构中各个单元发生均匀的收缩变形量。

重力载荷 :由于墙体抗压强度较低 ,抗拉强度更低 ,必须考虑墙体的自重。取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

3.4 有限元模型

为了全面考虑材料性质的分散性以及结构中加强筋作用的复杂性 ,重点分析干收缩值对墙体开裂和压碎的影响 ,分析中采用了三种方案的有限元模型 ,即 ANSYS 中 SOLID65 单元无配筋、

SOLID65 单元有配筋、SOLID65 单元和 LINK8 钢丝网格单元 ,而且每种模型中施加了不同的载荷方案。

4 有限元计算结果

按照 3.4 节所列的有限元计算模型 ,分批、分项地进行有限元计算。不同计算模型下 ,墙体的开裂最大主应力列入表 6。

表 6 墙体结构的有限元计算结果
Tab.6 Results of FE analysis for the wall

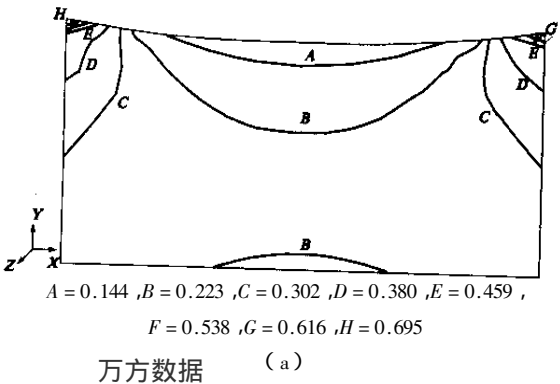
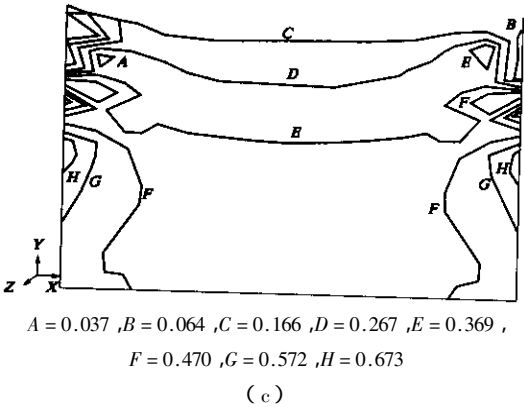
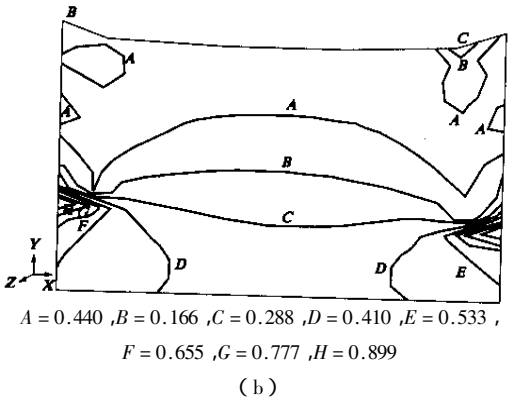
墙体	组号	干收缩值‰	最大主应力/MPa	最大开裂长度/mm
混凝土无配筋单元	1	0.1	0.816	0
	2	0.2	1.080	35.7
	3	0.3	1.240	126
混凝土有配筋单元	4	0.1	0.721	0
	5	0.15	0.719	7.2
	6	0.2	1.120	16.8
	7	0.2	0.769	10.0
	8	0.3	1.260	20.0
	9	0.5	0.432	≈ 墙体高度
混凝土无配筋单元 + 钢丝网单元	10	0.1	0.786	0
	11	0.2	0.996	15.0
	12	0.3	1.230	20.1
	13	0.3	1.030	20.1

说明 :第 7 组为 2 倍配筋 ,第 13 组为 4 倍钢丝网。

5 结论

(1)干收缩值在 1/10000 以下时 ,墙体没有开裂或压碎情况发生。分别采用上述的三种计算方法计算时 ,变换不同的材料参数和结构尺寸 ,计算结果表明 ,收缩值在 1/10000 以下的对墙体很安全。

(2)墙体开裂的部位集中在墙体的左右两侧至 1/3 墙体长度以内的区域。当干收缩值较低(2/10000 以下时),开裂出现在墙体左上方和右上方 ,如图 1(a)所示。图 1(a)采用 SOLID65 有配筋单元模型 ,0.1‰ 收缩值 ,无裂纹。当干收缩值超过



万方数据 (a)

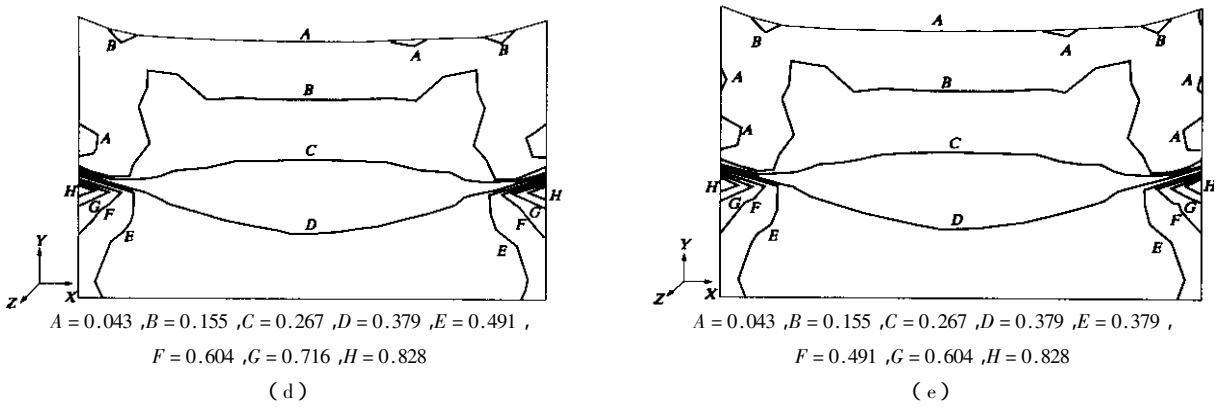


图 1 墙体第一主应力分布
Fig.1 The first main stress of the wall

3/10000 以上时,开裂发生在墙体的左下方和右下方,见图 1(b)至图 1(e),图 1(b)采用 SOLID65 有配筋单元模型,0.2‰收缩值,有裂纹;图 1(c)采用 SOLID65 单元模型,4 倍网格密度或钢丝直径,0.2‰收缩值,有裂纹;图 1(d)采用 SOLID65 + LINK8 单元模型,2 倍网络密度或钢丝直径,0.15‰收缩值,有裂纹;图 1(e)采用 SOLID65 + LINK8 单元模型,2 倍网络密度或钢丝直径,0.2‰收缩值,有裂纹.图中, A ~ H 分别代表各主应力线所对应的应力值,单位为 MPa.

(3) 墙体的破坏原因是开裂而非压碎.即在干收缩作用下,墙体的开裂是由拉应力产生的,而非压应力.从墙体结构的应力分布图可以看出,当干收缩达到 2/10000 时,墙体内部单元基本全部出现第一主应力为拉应力的情况.其主要应力线 C 线以内的区域正好落在墙体左右两侧 1/3 墙体长度区域,即最可能在下一步施加载荷时开裂的位

置.

(4) 加强筋(钢丝网)能够降低墙体的应力水平,但对墙体的开裂影响不大.从表 6 中可以看出,增大钢丝网的截面或减小网格的间距对开裂影响不大.

(5) 墙体开裂的主要原因是由于过大的收缩作用产生的拉应力超过了墙体材料所能承受的极限拉应力,从而使墙体在最大拉应力区域出现裂纹.因此,降低干收缩值是预防开裂的主要措施.

参考文献:

[1] 中国工程建设标准化协会标准. 钢纤维混凝土试验方法 [M]. 北京: 中国计划出版社, 1996.
[2] 吴顺荣. 材料试验 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
[3] 嘉木工作室. ANSYS 5.7 有限元实例分析教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

Performance Testing and Finite Element Analysis of a New Type Light-weight Wall Material

DU Tai-sheng¹, JI Rui-lin²

(1. Department of Civil Engineering, Nanyang Institute of Science & Technology, Nanyang 473004, China 2. The Fifth Architecture Erection Engineering Ltd. of Henan Province, Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Experiments are carried out to measure the elastic modulus, dry contraction and so on of the new type Light-weight material of wall. 3 FE calculation models are established for the concrete (without steel reinforcement), the reinforced concrete and concrete with steel wire mesh, respectively. The maximum primary stress and the maximum length of crack are calculated by these models. The relationships of crack and loading, material property, and the ratio of reinforcement, as well as the reason for crack and crush are analyzed, in order to provide scientific basis for using this new type of material in actual engineering.

Key words: Light-weight wall material, elastic modulus, dried contract, finite element