

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2010.03.005

改性土体材料的抗压强度试验研究

阿肯江·托呼提 赵 成 秦拥军

(新疆大学建筑工程学院,新疆 乌鲁木齐 830008)

摘要:为改善新疆地区传统土坯砌体民居的素土体建筑材料的性能,通过在素土中掺和麦秸秆或粗砂,形成改性土体材料.参照混凝土抗压试验标准,制作了 4 种尺寸素土体材料的立方体抗压强度试验试块,并制作了边长 100 mm 的改性土体材料立方体试块.通过试块的抗压强度试验对比分析,研究其抗压强度和变形能力,提出了掺和麦秸秆和粗砂的最佳比例范围.试验结果表明,在素土中掺和麦秸秆或粗砂,可提高抗压强度和极限位移.

关键词:土体材料;抗压试验;抗压强度;变形能力

中图分类号: TU502+.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2010)03-0263-06

在新疆广大村镇地区,土坯砌体在房屋建筑中得到广泛应用.素土作为砌筑和制作土坯砌体的材料,其廉价的成本、良好的建筑物理性能和环保特性,长期以来得到新疆村镇居民的青睐.新疆南疆地区是地震多发区,历次地震灾害中传统土坯房屋倒塌严重^[1-3].为了解决传统土坯房屋抗震性能较弱的问题,国内有些研究从结构层面上提出解决方案^[4-6],有些研究从素土土质基本物理性能以及单块素土坯、素土坯砌体等基本构件层面上提出解决方案^[7-10].近年来,国外针对生土建筑的研究较为重视,从土质的选择标准、土坯的成型、土坯砌体墙的构造以及抗震性能等方面开展了深入的研究,并形成了相应的规程和标准,同时在地震区建造了生土建筑^[11-12].将生土材料视为“低标号混凝土”,研究其抗压强度,同时,掺和粗砂或植物纤维(形成纤维土体材料),从而改善其力学性能,又不改变原生土体材料的环保性能、物理性能等,具有重要的现实意义.但目前从可查阅到的国内文献中,还没有相关的研究成果.

土体材料作为一种新疆传统生土建筑的工程材料,在选用时首先关注其承载力,因此抗压强度是首先要考虑的性质.抗压强度试验研究容易进行,而且与土体材料的其他性能,如弹性模量、变形能力等,都有较好的相关性,抗压强度值可以间接地反映这些性质的高低.土体材料的立方体抗压强度是确定和比较其强度等级的主要指标,又是判定和计算其他力学性能指标的基础,因而具有重要的技术意义.参照混凝土材料^[13]和砂浆的试验方法,笔者制作了 70.7 mm、100 mm、150 mm、200 mm 共 4 种尺寸的立方体试块,并根据素土受压试块试验结果分析,初步采用边长为 100 mm 的立方体模具制作掺和粗砂和麦秸秆的试验试块,确定了麦秸秆、粗砂与素土的掺和比例,对试块进行了抗压强度试验研究.

1 试块的制作

制作抗压强度试块的土体材料采自乌鲁木齐市郊区,其主要的物理性质指标如下:土样的细粒、中砂、细砂质量分数分别为 66.73%、15.0%、15.0%,最佳含水量和最佳干密度分别为 11.5% 和 1.915 g/cm³,塑性指数、塑限、液限分别为 7.5、18.6%、26.1%.植物纤维采用麦秸秆,长度约 10 cm,粗砂选自建筑水洗砂,通过筛选将其粒径控制在 0.5~5 mm 范围内^[14].

1.1 素土材料立方体试块的制作

在素土材料的抗压强度研究中,试块参照文献^[13]相关规定制作,即边长分别为 100 mm、150 mm、200 mm 的立方体试块.为测定砌筑泥浆的力学性能,参照砂浆立方体抗压强度试验制作了边长为 70.7 mm 的立方体

收稿日期:2009-04-01

基金项目:国家自然科学基金(50768010、50968015);新疆维吾尔自治区教育厅重点科研项目(060115)

作者简介:阿肯江·托呼提(1962—),男(维吾尔族),新疆乌鲁木齐人,教授,博士,主要从事结构工程抗震性能及加固技术研究. E-mail:

akjt@xju.edu.cn

试块.考虑到素土体材料离散性较大,每组试块的制作数量各为12件,合计48件.

1.2 掺和麦秸秆材料立方体试块的制作

将切割好的麦秸秆植物纤维,按与素土的质量掺和比控制在0.015 0、0.010 0、0.005 0和0.002 5,试块模具采用边长为100 mm的立方体,制作4组掺和麦秸秆的立方体试块.试块的制作与养护过程与素土体材料试块相同.每组试块的制作数量各为6件,合计24件.

1.3 掺和粗砂土体材料立方体试块的制作

将粗砂与素土按质量比0.5、1.0、2.0掺和,试块模具采用边长为100 mm的立方体,制作了3组掺和粗砂土体材料试块.试块的制作与养护过程与掺和麦秸秆纤维土体材料试块相同.每组试块的制作数量各为6件,合计18件.各组试验所用试块见图1.试件的制作以及抗压试验均在新疆大学建筑工程学院结构实验室完成.

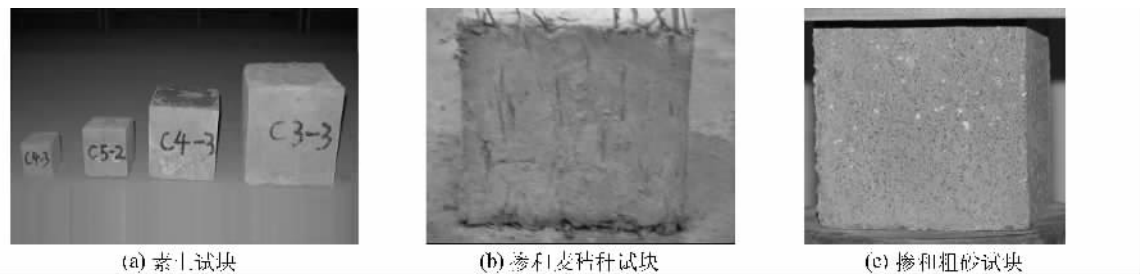


图1 3种类型土体材料抗压强度试验试块

Fig. 1 Three types of soil specimens for compressive strength tests

2 试验结果与分析

2.1 试验仪器及加载方案

试验采用结构实验室中的WHY-200型(100 kN)微机控制全自动压力试验仪器,该仪器可自动记录试块的荷载和位移,底座和加载装置根据试验要求自行设计,千斤顶作用头与试件轴心对中,见图2.正式试验之前预压3次,预压荷载为2~5 kN,确定整个试验装置紧密接触后开始试验.试验采用连续加载,加载速率为0.03~0.15 kN/s.

2.2 素土体试块试验结果与分析

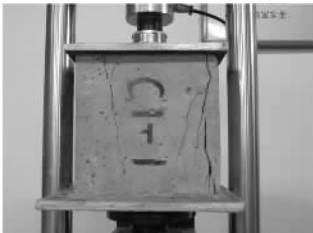
2.2.1 试验过程及现象

在加载初期,荷载与位移呈线性关系,可断定为弹性阶段.当荷载加至试块破坏荷载的55%~70%时,试件发出很细微的响声,并且出现少量细小裂缝.裂缝一般起始于试块的中部,相对稳定.随着荷载的增加,裂缝不断延伸和扩展,并贯通,清晰可见.破坏时可瞬间形成新的通缝,边角处局部散落掉渣,或层状剥落,丧失承载力,呈明显脆性特征.素土体材料的4种尺寸试块,都表现出同样的破坏现象,见图3.



图2 试验加载装置

Fig. 2 Loading devices for compressive strength tests



(a) 开裂



(b) 破坏

图3 素土体试块抗压强度试验裂缝发展情况

Fig. 3 Development of cracks in raw-soil specimens during compressive strength tests

2.2.2 试验结果分析

素土体试块的试验结果表明,其受力过程与一般混凝土试块类似,即经历弹性、开裂、破坏3个阶段.各组试块的力学指标平均值见表1,荷载-位移曲线见图4.开裂荷载的判定较为困难,方法一是观察荷载-位移曲线是否有明显的转折点,方法二是观察试块表面的裂缝开展情况是否明显.在素土体试块试验曲线上,没

有表现出明显的转折点,故采用方法二判断是否开裂.以观察法判断得出的开裂荷载为极限荷载的 55% ~ 70%.从表 1 可以看出,素土体试块的抗压强度还是比较低的,抗压强度规律与混凝土试块近似,尺寸越小强度越高.延性比(极限位移与开裂位移之比)在 1.7 ~ 2.4,说明素土体材料的能量耗散性能较低,不利于抵御地震作用.当边长为 70.7 mm 时,抗压强度平均值达 2.64 MPa,当试块边长为 100 mm 以上时,抗压强度趋于稳定,在 1.6 ~ 1.8 MPa 之间.可见,当边长达到 100 mm 以上时,尺寸对试块抗压强度的影响减小.从表 1 可以看出,边长 150 mm 与 100 mm 的立方体试块抗压强度平均值比值为 0.92,边长 150 mm 与 200 mm 的立方体试块抗压强度平均值比值为 1.02,与混凝土的非标准尺寸强度值修正系数接近(混凝土是 0.95 和 1.05).所以可依照混凝土基本理论,取边长为 150 mm 的立方体作为素土体材料的抗压强度标准试验尺寸.

表 1 素土体试块抗压强度试验结果平均值

编号	边长/ mm	受力面积/ mm ²	开裂位移/ mm	开裂荷载/ kN	极限位移/ mm	极限荷载/ kN	抗压强度		
							平均值/MPa	标准差	变异系数
C1	70.7	4488	0.57	8.64	1.19	11.82	2.64	0.215	0.082
C2	100	9084	0.74	10.67	1.51	16.46	1.82	0.214	0.117
C3	150	20391	0.90	17.07	1.53	34.58	1.68	0.160	0.095
C4	200	36128	1.76	37.20	4.32	60.34	1.64	0.136	0.083

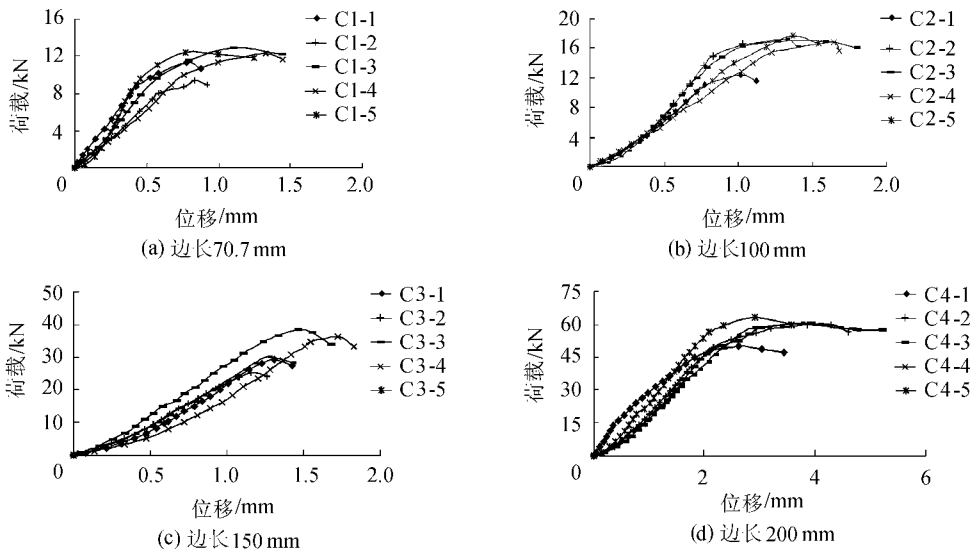


图 4 素土体试块抗压强度试验荷载-位移曲线

Fig. 4 Load-displacement curves of raw-soil specimens for compressive strength tests

2.3 掺和麦秸秆试块试验结果与分析

2.3.1 试验过程及现象

在加压初期,荷载与位移关系呈现线性关系,可断定为弹性阶段.当荷载加至试块极限荷载的 37% ~ 47%时,试件发出细微的响声(掺杂着试块内麦秸秆纤维被拉断的声音),并且出现少量细小裂缝.与素土体试块相同,裂缝一般起始于试块中部或边角处,相对稳定.随着荷载值的增加,出现较多的细小裂缝,明显多于素土体试块.接近极限荷载时,表面裂缝多而细,没有形成宽而长的通缝.在试块达到极限荷载后,试块并没有立即破坏,伴随着中部鼓突,仍可承受一定的荷载.图 5 为部分试块试验过程图,呈延性破坏形态.

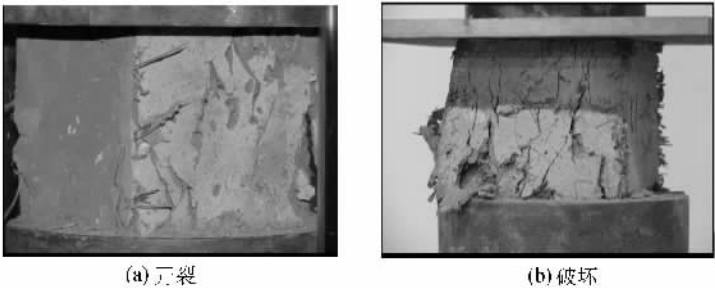


图 5 掺和麦秸秆试块抗压强度试验破坏形态

Fig. 5 Failure modes of straw-mixed specimens for compressive strength tests

2.3.2 试验结果分析

与素土体试块的试验过程类似,4种掺和麦秸秆的试块都经历弹性、开裂、破坏3个阶段.从表2可以看出,其延性比在3.1~6.0之间.与边长为100 mm的素土体试块相比,掺和麦秸秆试块的强度降低8.2%~16.0%,但其极限变形位移提高3.0~3.6倍.从极限荷载和变形能力比较分析,掺和麦秸秆纤维的比例宜控制在0.5%~1.0%.分析其出现的裂缝形态和延性比,可以得出,掺和麦秸秆纤维后土体材料的变形能力进一步提高,特别是到了极限荷载后期,由于麦秸秆纤维的拉结作用,试块还能继续承受一定的荷载.从图6可以看出,荷载-位移曲线具有明显的下降段.这一特性是房屋建筑抵御地震灾害的重要参数指标.试验数据具有较大的离散性,主要原因在于,在每个试块中的掺和量以及均匀性很难保持一致.

表2 掺和麦秸秆试块抗压强度试验结果平均值

编号	质量比	受力面积/ mm ²	开裂位移/ mm	开裂荷载/ kN	极限位移/ mm	极限荷载/ kN	抗压强度		
							平均值/MPa	标准差	变异系数
CM1	0.0025	9539	0.62	5.69	3.17	15.56	1.63	0.205	0.126
CM2	0.0050	9834	0.92	7.58	5.49	15.02	1.53	0.047	0.030
CM3	0.0100	9837	1.38	7.71	5.46	16.24	1.67	0.090	0.057
CM4	0.0150	9734	1.43	7.30	4.49	16.06	1.63	0.047	0.029

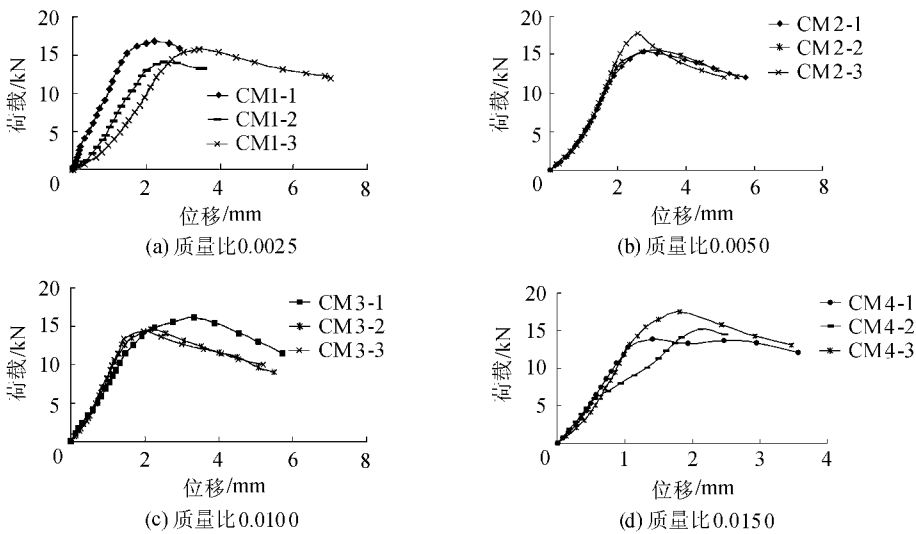


图6 掺和麦秸秆试块抗压强度试验荷载-位移曲线

Fig. 6 Load-displacement curves of straw-mixed specimens for compressive strength tests

2.4 掺和粗砂试块试验结果与分析

2.4.1 试验过程及现象

掺和粗砂的粒径较小,与土的黏结较好,并在试块受压时起到骨架作用,掺和粗砂试块的密实度较素土体试块和掺和麦秸秆试块要高.与边长100 mm素土体试块相比,其开裂荷载较大,裂缝多出现在试块边角部位,如图7所示.随着荷载的增加,裂缝迅速向试块中部发展,上下裂缝迅速延伸,宽度增大,并连成通缝,土体从试块表面脱落,试块宣告破坏.试块受压破坏时,试块出现多处脱落、溃散,呈现脆性破坏.

2.4.2 试验结果分析

掺和粗砂试块试验结果(表3)表明,掺和量对试块的开裂荷载有比较大的影响.随着掺和量的提高,试块开裂荷载也逐步提升.掺和粗砂试块的延性比为

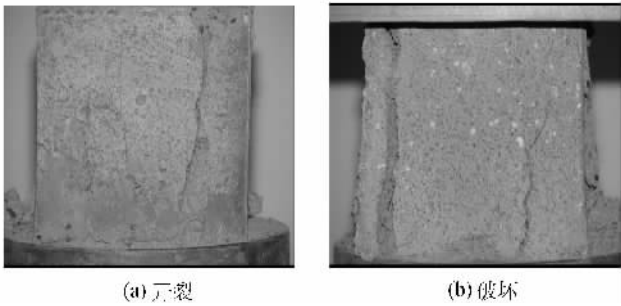


图7 掺和粗砂试块抗压强度试验破坏形态

Fig. 7 Failure modes of coarse sand-mixed specimens for compressive strength tests

2.0~2.6,开裂荷载与极限荷载之比为 65%~70%。与边长 100 mm 的素土体试块相比,掺和粗砂试块的抗压强度提高了 1.2 倍,极限位移提高了 2.1~2.5 倍。从图 8 可以看出,荷载-位移曲线具有明显的下降段,试块破坏时具有一定的延性。从极限荷载和变形能力比较分析,掺和粗砂的比例对极限荷载和极限位移提高幅度基本相同,考虑到经济因素,可将掺和粗砂的比例控制在 50%(质量比 0.5)左右。

表 3 掺和粗砂试块抗压强度试验结果平均值

Table 3 Average values of results of compressive strength tests on coarse sand-mixed specimens									
编号	质量比	受力面积/ mm ²	开裂位移/ mm	开裂荷载/ kN	极限位移/ mm	极限荷载/ kN	抗压强度		
							平均值/MPa	标准差	变异系数
CS1	0.5	9506	1.46	13.39	3.84	19.22	2.03	0.094	0.046
CS2	1.0	9735	1.69	14.06	3.39	21.51	2.20	0.163	0.074
CS3	2.0	9538	1.66	15.32	3.26	21.59	2.23	0.094	0.042

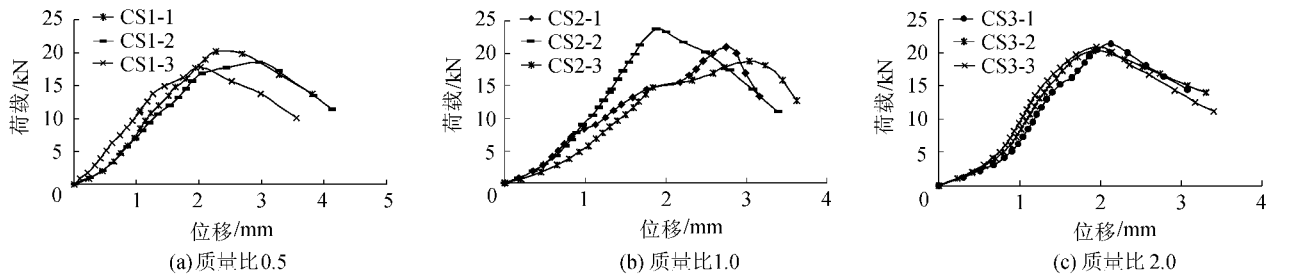


图 8 掺和粗砂试块抗压强度试验荷载-位移曲线

Fig. 8 Load-displacement curves of coarse sand-mixed specimens for compressive strength tests

2.5 应力-应变曲线变化趋势

为了直观比较这 3 种试块的抗压强度变化趋势,将边长 100 mm 试块和试验结果以开裂应力、极限应力对应的应变、极限应变平均值以及对应的应力平均值为控制点,绘出了掺和麦秸秆试块和掺和粗砂试块的平均应力-应变曲线(图 9)。从图 9 可以看出,掺麦秸秆试块随掺和量的增加,变形能力得到显著提高,变形刚度随之变小。掺和粗砂试块变形刚度也下降,但与掺和量关系不大。

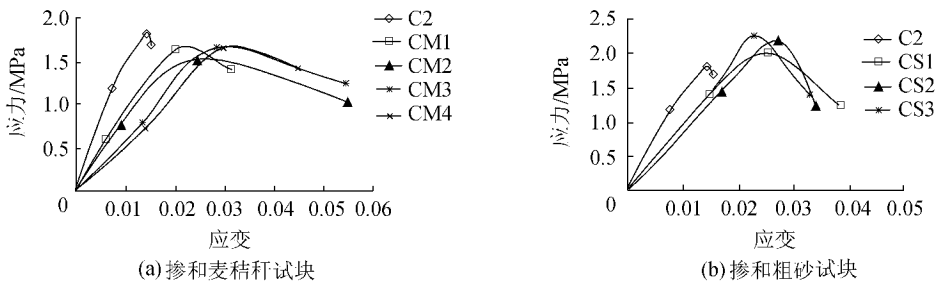


图 9 应力-应变曲线

Fig. 9 Stress-strain curves

3 结 论

- a. 在土体材料中掺和植物纤维比例按质量比控制在 0.0050~0.0100 时,对土体材料的抗压极限强度影响不大,但对其变形能力提高较大,变形模量变小。
- b. 在土体材料中掺和粗砂比例为 50%(质量比 0.5)时,对土体材料的抗压极限强度影响较大,变形也得到一定的提高。
- c. 参照混凝土抗压强度试验标准,建议采用边长为 150 mm 的立方体为素土体材料抗压强度试验标准尺寸,具体掺和料的土体强度试块尺寸有待进一步研究确定。

参考文献:

[1] 葛学礼,王亚勇,朱立新.建筑抗震设防是减轻地震灾害的根本途径[J].工程抗震,2003,2(2):45-49.(GE Xue-li,WANG Ya-

- yong ZHU Li-xin. The earthquake fortification is the basic way to mitigate earthquake disaster[J]. Earthquake Resistant Engineering , 2003 32(2) :45-49.(in Chinese))
- [2] 葛学礼 ,朱立新 ,王亚勇 ,等.村镇建筑震害与抗震技术措施[J].工程抗震 ,2001 3(1) :43-48.(GE Xue-li ,ZHU Li-xin ,WANG Ya-yong ,et al. Earthquake disaster of buildings in villages and towns and technical protective measures[J]. Earthquake Resistant Engineering ,2001 3(1) :43-48.(in Chinese))
- [3] 阿肯江·托呼提 ,亓国庆 ,陈汉清.新疆南疆地区传统土坯房屋震害及抗震技术措施[J].工程抗震与加固改造 ,2008 ,30(1) :82-86.(AKENJIANG Tuohuti ,QI Guo-qing ,CHEN Han-qing. Seismic damage and seismic countermeasures of Xinjiang traditional adobe house[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting 2008 ,30(1) :82-86.(in Chinese))
- [4] 周铁钢 ,王瑾 ,李晓文 ,等.新疆农村适宜性房屋试验研究与经济分析[J].工程抗震与加固改造 ,2008 ,30(1) :87-89.(ZHOU Tie-gang ,WANG Jin ,LI Xiao-wen ,et al. Seismic test research and economic analysis for Xinjiang suitable buildings in villages[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting 2008 ,30(1) :87-89.(in Chinese))
- [5] 周铁钢 ,王庆霖 ,胡昕.新疆砖木结构民居抗震试验研究与对策[J].世界地震工程 ,2008 ,30(1) :120-124.(ZHOU Tie-gang ,WANG Qing-lin ,HU Xin. Seismic test research and countermeasures analysis of brick-wood structural dwellings in Xinjiang[J]. World Earthquake Engineering 2008 ,30(1) :120-124.(in Chinese))
- [6] 亓国庆.木柱梁-土坯组合墙体有线元数值分析[D].乌鲁木齐:新疆大学 ,2007.
- [7] 黄金胜 ,陶忠 ,陆昆 ,等.云南农村居民生土建筑土坯砌体的力学性能试验研究[J].工程抗震与加固改造 ,2008 ,30(1) :94-98.(HUANG Jin-sheng ,TAO Zhong ,LU Kun ,et al. Experiment on mechanics characteristics of adobe masonry of rural houses in Yunnan Province[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting 2008 ,30(1) :94-98.(in Chinese))
- [8] 陶忠 ,潘兴庆 ,潘文 ,等.云南农村民居土坯墙单块土坯力学特性试验研究[J].工程抗震与加固改造 ,2008 ,30(1) :99-104.(TAO Zhong ,PAN Xing-qing ,PAN Wen ,et al. Mechanics characteristics of adobe of rural houses in Yunnan Province[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting 2008 ,30(1) :99-104.(in Chinese))
- [9] 王毅红 ,王春英 ,李先顺 ,等.生土结构的土料受压及受剪性能试验研究[J].西安科技大学学报 ,2006 ,26(4) :470-484.(WANG Yi-hong ,WANG Chun-ying ,LI Xian-shun ,et al. Experiment on shear properties and compressive properties of earth material of raw-soil structure[J]. Journal of Xi 'An University of Science and Technology 2006 26(4) :470-484.(in Chinese))
- [10] 陶忠 ,谭冠平 ,曹净 ,等.云南农村民居土筑墙体土工试验研究[J].工程抗震与加固改造 ,2008 ,30(1) :90-93.(TAO Zhong ,TAN Guan-ping ,CAO Jing ,et al. Soil test for rammed earth wall of rural houses in Yunnan Province[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting 2008 ,30(1) :90-93.(in Chinese))
- [11] 阿肯江·托呼提 ,阿里木江·马克苏提 ,王墩.生土坯建筑抗震加固研究综述[J].新疆大学学报:自然科学版 ,2008 ,25(2) :142-159.(AKENJIANG Tuohuti ,ALIMUJIANG Makesuti ,WANG Dun. Review of researches on the seismic strengthening for adobe building[J]. Journal of Xinjiang University :Natural Science Edition 2008 25(2) :142-159.(in Chinese))
- [12] 琳恩·伊丽莎白 ,卡萨德勒·亚当斯.新乡土建筑:当代天然建造方式[M].北京:机械工业出版社 ,2005 :141-145.
- [13] GB/T 50081—2002 普通混凝土力学性能试验方法标准[S].
- [14] VARGAS J ,BARIOLA J ,BLONDET M. Seismic strength of adobe masonry[J]. Materials and Structures ,1986 ,19(4) :253-258.

Experimental tests on compressive strength of modified soil materials

AKENJIANG Tuohuti , ZHAO Cheng , QIN Yong-jun

(School of Architecture Engineering , Xinjiang University , Urumqi 830008 , China)

Abstract : To improve the properties of traditional earth building materials in Xinjiang , stabilizers such as straw or coarse sand were added to raw soil so as to generate modified soil materials. Based on the standards of concrete compression tests , cubic raw soil specimens of four sizes and modified soil material specimens with a side length of 100 mm were prepared. Through comparative analysis of compression tests of specimens , their compressive strengths and deformation capacities were studied. An optimum ratio of additives such as straw and coarse sand is recommended. The test results indicate that appropriate additives of straw or coarse sand added to raw-soil materials can improve their compressive strength and deformation capacity.

Key words : soil material ; compression test ; compressive strength ; deformation capacity