

黄土地区农村民房生土建筑墙体材料 抗震性能试验研究

王峻^{1,2}

(1. 中国地震局地震预测研究所兰州科技创新基地, 中国地震局黄土地震工程开放
实验室, 甘肃兰州 730000; 2. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃兰州 730000)

摘要:对西北黄土地区农村民房生土建筑墙体材料的主要类型进行了物理力学性能和动力特性的试验研究, 给出了黄土和黄土状亚粘土的夯筑墙、土坯等样品的抗压、抗折、抗剪强度以及动弹性模量和阻尼比等参数, 对比分析不同生土建筑墙体材料和成型方式的强度和抗震性能。

关键词: 生土建筑; 墙体材料; 抗震性能; 黄土地区

中图分类号: P315.9; TU502

文献标识码: A

文章编号: 1000-0844(2005)02-0158-05

Study on Seismic Resistance Performance of Wall Material Used in Rural Raw-soil Buildings in Loess Area

WANG Jun^{1,2}

(1. Lanzhou Base of Institute of Earthquake Prediction, CEA, Open Laboratory of Loess Earthquake Engineering,
CEA, Lanzhou 730000, China; 2. Lanzhou Institute of Seismology, CEA, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The testing on the physical mechanical properties and dynamic characteristics of wall materials for main types of the rural row-soil building in loess area of northwestern China is performed. The compressive strengths, rupture strengths, shear strengths, dynamic elastic modulus and damping ratios for the ramming soil wall and adobe wall, which made from loess and loessal lam, are obtained from the tests. The strengths and seismic resistance performance of different materials and different forming typies for row-soil wall are analyzed and comparied, too.

Key words: Row-soil building; Wall material; Seismic resistance performance; Loess area

0 前言

黄土广布于中国西北地区, 在该地区黄土以土坯和夯筑墙的形式作为生土建筑墙体材料修建房屋已有悠久的历史。由于这类房屋具有就地取材、用料少、造价低等特点, 在西北地区农村中占有相当多的数量。而这类房屋大多数未经设计和未采取抗震措施, 抗震性能较差, 加之黄土地区的场地土特性, 地震时导致这类房屋的震害十分严重。由于自然环境和经济条件等原因, 这类房屋在西北地区农村还将长期存在。因此, 为了改善黄土地区土结构房屋

的抗震性能, 最大限度的减轻地震损失, 使农村土结构房屋的抗震设计安全可靠、经济合理、便于施工、技术要求不高又具有足够的抗震能力, 必须寻找提高生土建筑墙体材料抗震性能的方法和措施, 以提高农村土结构房屋的整体抗震能力。1982年国家地震局兰州地震研究所和冶金部第八冶金建筑研究所共同承担了“提高土墙及土坯材料抗剪强度的实验研究”专题, 探讨了影响土坯强度的几个因素^①。本次试验研究是在以上工作的基础上, 通过对各类土坯的试验分析, 对其进行了补充和进一步研究, 对

收稿日期: 2004-12-29

基金项目: 甘肃省科技攻关项目(2GS035-045-081); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC20050013

作者简介: 王峻(1957-), 男(汉族), 河南汤阴人, 高级工程师, 主要从事地震工程和黄土动力学研究工作。

① 韩翠英. 提高黄土土坯抗震强度试验研究, 1983.

② 段汝文, 张振中, 韩翠英. 提高生土建筑中生土砌体抗震强度的实验研究, 1983.

比分析了各种生土建筑墙体材料的物理力学性质和动力性能,初步得到了一些既经济又合理地提高生土建筑墙体材料抗震性能的方法和措施。

1 试验概述

1.1 土料及成型方法

土料选用了两种有代表性的土,一种是兰州Ⅲ级阶地上的典型黄土(简称黄土);另一种为兰州红古区花庄Ⅱ级阶地上的红褐色黄土状亚粘土(简称红土),土料的性质见表1。

表1 土料的性质

土类	液限 /%	塑限 /%	塑性 指数	最大干密度 /kN·m ³	最优含 水量/%	颗粒组成/%		
						砂粒	粉粒	粘粒
黄土	26	15	11	16.07	18.3	13	70	17
红土	29	13	16	17.25	15.1	18	59	23

西北地区群众在土坯成型方面有丰富的经验,方法也很多。我们选择了三种民间常用的成型方式:夯筑墙、干制坯和湿制坯。这三种形式都包括无掺和料和加掺和料两种情况。夯筑墙和干制坯的含水量配制基本上是按当地群众平时制坯配制含水量的方法进行的;湿制坯的含水量大约控制在22%~26%左右。夯筑墙和干制坯的掺和料为石灰,灰土比为1:10(体积比);湿制坯的掺和料为麦草,草土比为1:50(重量比)。

1.2 试验仪器和方法

本次研究对各类土坯进行了如下试验:抗压和

抗折强度的试验是在压力机上进行的;抗剪强度是在静三轴仪上测定的;动力试验是在DSD-160型电磁式振动三轴仪上进行的。

为了便于对比分析,对各类土坯的各项试验都是在相同的条件下进行的。抗压和抗折强度测定采用普通砖的试验方法。抗剪强度试验采用的都是UU试验,剪切速率为0.9 mm/min。动力试验参照《土工试验规程》SDS01-79(下册)中的方法测定动弹性模量和阻尼比,即将加工好的试样(直径50 mm、高100 mm)在静压力 σ_{1c} (轴向压力)和 σ_{3c} (侧向压力)下固结,固结压力为 $\sigma_{1c} = 200$ kPa, $\sigma_{3c} = 100$ kPa。待固结稳定后,向试样的轴向逐级由小到大施加振动荷载。振动波形为正弦波,频率为1 Hz,每级振动10次,直到动静应力组合的最大限度为止。

2 试验结果及分析

2.1 土坯的物理力学性质(静力试验)

各类土坯的物理力学性质的测定都是在土坯风干状态下测得的,测定结果如表2。

试验结果表明,不论是黄土还是红土,采用不同的成型方法其抗压、抗折和抗剪强度有较大的差别。为了直观地显示,我们分别做出了它们的抗压、抗折和抗剪强度直方图,如图1。

表2 土坯的物理力学性质

土类	制作类别	含水 量/%	密度/ kN·m ⁻³	干密度/ kN·m ⁻³	抗压强 度/MPa	抗折强 度/MPa	抗剪强度		备注
							粘聚力 C/MPa	内摩擦角 ϕ /°	
黄土	无掺和料	夯筑墙	18.8	17.93	14.99	0.40	0.018	30.2	制作时的含水量
		干制坯	15.3	17.35	15.09	0.36	0.092		制作时的含水量
		湿制坯	0.90	15.97	15.88	0.88	0.250	0.173	34.2
	加掺和料	夯筑墙	18.7	15.58	13.13	0.40			制作时的含水量
		干制坯	16.6	16.56	14.21	0.72	0.155		制作时的含水量
		湿制坯	0.90	14.90	14.80	0.98	0.278		36.5
红土	无掺和料	夯筑墙	14.6	16.46	14.31	0.43	0.037	36.5	制作时的含水量
		干制坯	15.0	18.23	15.88	0.51	0.113		制作时的含水量
		湿制坯	0.80	17.44	17.35	1.83	0.535	0.313	36.2
	加掺和料	夯筑墙	18.8	16.66	14.01	0.45			制作时的含水量
		干制坯	20.2	17.25	14.31	0.78	0.208		制作时的含水量
		湿制坯	1.10	16.37	16.17	1.96	0.496		36.2

从表2和图1中可以看出,两种土料的强度相差很大,红土的强度比黄土要大得多。如两种土料的成型方法相同,其抗压和抗折强度最大可相差两倍多,抗剪强度也接近两倍。以湿制坯(无掺和料)

为例,红土的抗压强度比黄土提高108%,抗折强度提高114%;抗剪强度试验表明红土的粘聚力比黄土提高81%;而内摩擦角的变化不大。由此可见,粘粒含量越高土坯的强度越大。已有的资料表明增

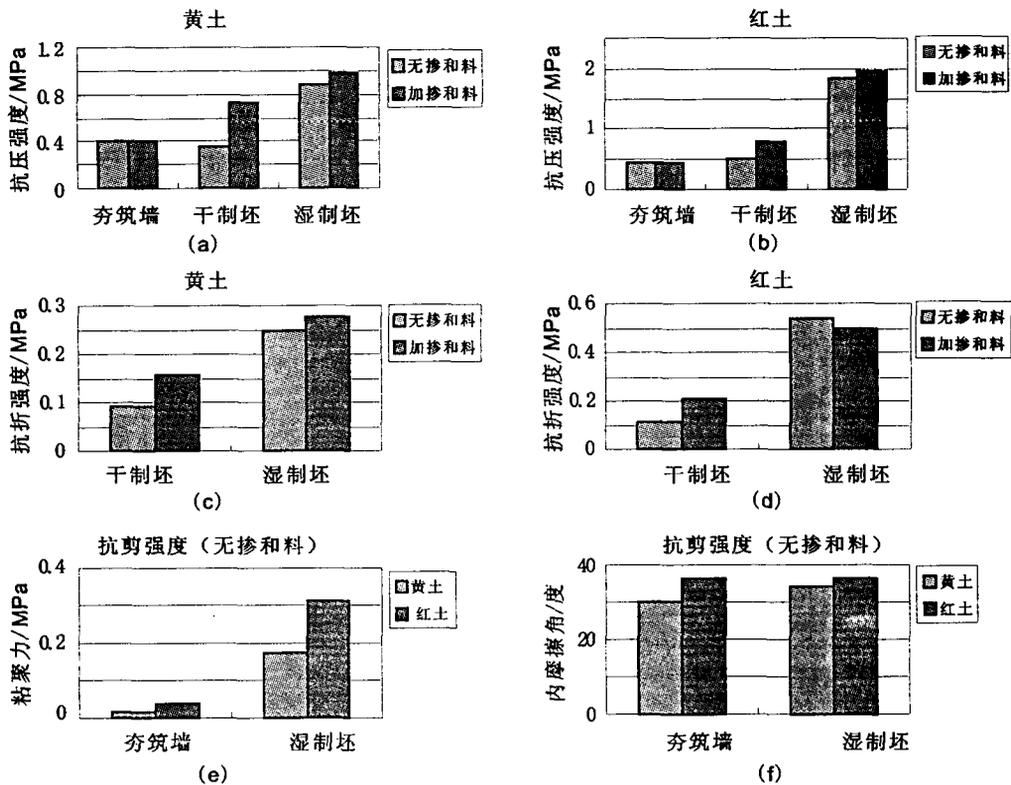


图 1 各类生土墙的长度对比

Fig. 1 Comparison of strength among amin types of row-soil wall.

加土的粘粒含量可提高土的强度,但以土料的粘粒含量不超过 30%为宜,粘粒含量太多会造成土坯的收缩干裂从而降低其强度。

对成型方法的选择来说,在三种成型方法中以湿制坯强度最大,干制坯次之,夯筑墙最小。试验结果表明,黄土湿制坯(无掺和料)比干制坯的抗压强度提高 144%,抗折强度提高 172%,比夯筑墙的粘聚力提高 861%;红土湿制坯(无掺和料)比干制坯的抗压强度提高 258.8%,抗折强度提高 373.5%,比夯筑墙的粘聚力提高 746%。由于湿制法靠水的散化作用使土坯的密度增大而且比较均匀,提高了土坯的强度;而干制法为人工夯打,造成土坯不均匀,强度较低。由此可以看出,不论那种土料湿制法可大大提高土坯的抗剪强度。由土的工程特性可知,土的强度特指抗剪强度,而非抗压强度或抗拉强度^[1],因此成型方法的选择对提高土坯强度也是很重要的。

对于夯筑墙和干制坯来说,由于它们的强度主要依靠夯击作用,辅助以水化作用。因此土料含水量的配制对土坯强度的大小是起很大作用的。如表 2 中黄土干制坯,由于该黄土的最优含水量为

18.3%,而我们配制的含水量只有 15.3%,这就造成夯筑土不能达到最紧密的程度,因此它的抗压和抗折强度都比较低。所以在夯筑墙和干制坯制作时一定要严格控制好土料的含水量,使其接近最优含水量。

由图 1 中可以看出,在土料中加一些掺和料,也可以提高土坯的强度,但提高幅度并不大,结果不甚理想。分析其原因,可能是因为土料中掺和料配比、含水量的配制以及制坯质量等问题。

从以上分析可知,各类土坯抗压、抗折和抗剪强度的大小,与土坯的土料选择和成型方法选择有密切的关系。另外良好的制作质量也有助于土坯强度的提高。由此可见,采用合适的土料和成型方法加上良好的制作质量,是可以提高生土建筑墙体材料的抗震性能的。

2.2 土坯的动力性质

动弹性模量 E_d 反映土在周期荷载作用下弹性变形阶段的动应力—应变关系,为动应力 σ_d 与动应变 ϵ_d 的比值: $E_d = \sigma_d / \epsilon_d$ 。

各类土坯的动弹性模量和阻尼比见表 3。表中的动弹性模量和阻尼比为 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 应变范围的

表3 土坯的动力学试验结果

土类别	制作 方法	含水 量/%	密度 /kN·m ⁻³	干密度 /kN·m ⁻³	E _{dmax} /MPa	E _{dmin} /MPa	E _{d平均} /MPa	平均阻 尼比D	备注
黄土	无掺	0.88	14.60	14.50	116.09	101.52	110.27	0.061	
	和料	0.63	14.99	14.90	211.38	155.56	185.88	0.070	
	湿制坯	0.37	16.27	16.17	250.82	179.04	213.42	0.061	
土	无掺	0.99	13.23	13.13	213.71	157.69	200.53	0.057	石灰
	和料	0.73	14.31	14.21	265.39	179.65	226.55	0.064	石灰
	湿制坯	0.42	15.48	15.39	263.44	183.15	231.07	0.084	麦草
红土	无掺	0.67	14.80	14.70	296.18	206.11	255.97	0.053	
	和料	0.43	15.97	15.88	313.49	233.83	286.31	0.071	
	湿制坯	0.41	17.74	17.64	324.75	243.66	289.36	0.068	
土	无掺	0.80	13.72	13.62	278.86	156.28	217.64	0.052	石灰
	和料	0.37	14.31	14.21	369.97	248.62	330.04	0.114	石灰
	湿制坯	0.34	16.27	16.17	399.52	274.83	342.44	0.082	麦草

试验结果。

在动力试验中,由于试样较硬变形较小,在动力作用下试样的弹性应变仅在 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ 之间变化。试验结果表明,夯筑墙和干制坯的动力学参数的离散程度要比湿制坯的大,这说明其夯实的均匀性要比湿制坯的大。从土料的选择来看,红土的动弹性模量一般都比黄土的大。对于成型方法来说,同一种土料,在夯筑墙、干制坯和湿制坯中以湿制坯的动弹性模量最大,加掺和料的土坯比不加掺和料的动弹性模量大,但其中也有个别反常情况,这主要是土坯的不均匀性造成的。

土的阻尼比的大小,反映了地震动在土中传播时损失的大小,也就是地震波传播中的衰减情况,它是土动力特性的一个重要指标^[2]。从整个试样的阻尼比来看都比原状土小的多,不论是黄土制坯还是红土制坯在上述应变范围内平均阻尼比基本都小于0.1,只有个别大于0.1,但都小于0.15。

由此可以看出,各类材料的静力试验指标与动力试验指标有较好的相关性。抗压、抗折和抗剪强度大的,动弹性模量也大,反之则小。红土比黄土的强度大,其动弹性模量也大;同一种土不同的成型方法,湿制坯的强度比干制坯大,其动弹性模量也大。总之,土的动弹性模量的大小在一定程度上也反映了土强度的高低。

动弹性模量是土动力性质中的一个重要参数,研究它的大小及其变化也是评价土抗震性能高低的一个指标。黄土动力学研究表明^[3-5],在相同固结压力下动弹性模量的大小直接反映了土的压缩性和地耐力的大小以及抗震性能的好坏。动弹性模量也是判断土的易损性的重要指标,即:动弹性模量大,

土的易损性小,反之易损性就大。易损性大的土在相同地震力作用下破坏就重^[6]。综上所述,对动静试验结果的综合分析表明,作为生土建筑墙体材料,湿制坯的抗震强度较大。

3 结论与讨论

(1) 在土料选择时,尽量选择粘粒含量较高的土料,因为土坯的强度与土料中粘粒胶体的粘聚力有关。试验证明粘粒含量越高,土坯的强度越大,但以不超过30%为宜。粘粒含量太高会造成土坯的收缩干裂从而降低其强度。

(2) 成型方法也是影响土坯强度的重要因素。在上述三种制做方法中以湿制法强度最大,干制法次之,夯筑墙最小。黄土土坯墙墙体抗剪强度试验也表明^[7],试验中发现干制法土坯在齿形裂缝中有被拉断的现象,而湿制法土坯的强度比较高。因此本文建议在选择生土建筑墙体材料时尽量采用湿制坯。而对于夯筑墙和干制坯来说,为了获得较高的强度,在制作时一定要严格控制好土料的含水量,使其接近最优含水量。不论采用那种墙体材料都应该保证良好的制作质量,这样才能使其具有较高的强度。

(3) 掺和料对土坯的强度有一定的影响,在土料中加一些掺和料可以提高土坯的强度。文献^[8]的研究也表明,适量增加石灰用量可提高灰土的强度,在夯筑墙体中加入适量稻草、麦秆或豆秸等,除可以提高墙体的抗震强度外,也可防止干裂。因此,选择合理的掺和料配比不但可以增加生土建筑墙体材料的强度,而且还可以防止干裂。对于此方面的工作还需进一步研究和探讨。

(4) 试验研究表明^[7],黄土土坯墙墙体的抗剪强度与墙体的高宽比、砌筑方法、砌筑质量、砌筑用泥浆的强度以及土坯质量等因素有关。因此,在选择了较好的建筑材料后,只要采用有利于房屋抗震的修建方法和构造措施^[9],保证施工质量,就可使土结构房屋的抗震性能得到提高。

[参考文献]

- [1] 陈希哲. 土力学地基基础(第三版)[M]. 北京:清华大学出版社,1997.
- [2] 张振中主编. 黄土地震灾害预测[M]. 北京:地震出版社,1999.
- [3] 王峻,王兰民,李兰. 不同地震荷载对黄土动模量和阻尼比的影响[J]. 自然灾害学报,1992,1(4):75-79.
- [4] 王兰民主编. 黄土动力学[M]. 北京:地震出版社,2003.
- [5] 王峻,李兰. 俄罗斯伊尔库茨克地区黄土动力特性实验研究[J]. 西北地震学报,2001,23(3):286-290.
- [6] 王峻,王兰民,李兰,等. 永登 5.8 级地震中黄土震陷灾害的探讨[J]. 地震研究,(待刊).
- [7] 王生荣,曹凯. 黄土土坯墙墙体抗剪强度的试验研究[J]. 工程抗震,1987,(1):31-35.
- [8] 崔自治,张祖棉,史耀宇. 生土农房建筑抗震试验研究[J]. 工程抗震,1997,(2):46-48.
- [9] 李德荣,黎海南,陈丙午. 甘肃农村土墙承重平房抗震性能的试验研究[J]. 工程抗震,1987,(3):14-19.