

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2018.01.011



机制生土砖与砂浆法向粘结性能的影响因素

王毅红¹, 石丹¹, 仲继清¹, 石以霞², 刘奇佶¹

(1. 长安大学 建筑工程学院, 西安 710061; 2. 山东英才学院 建筑工程学院, 济南 250104)

摘要:为研究机制生土砖与砂浆法向粘结性能的影响因素,分别对凿毛和未凿毛的机制生土砖与改性砂浆在 7、14、28 d 龄期下共 72 个试件进行拉伸粘结强度试验,探讨不同界面状态的机制生土砖在不同龄期下与改性砂浆法向粘结强度的变化规律和破坏形态特点,分析界面状态、龄期等因素对机制生土砖与砂浆法向粘结性能和破坏形态的影响。研究表明:机制生土砖与砂浆间的法向粘结强度值与界面状态和龄期有关,法向粘结强度随龄期的增大而提高,界面状态为凿毛时法向粘结强度有所降低,砂浆种类对机制生土砖与砂浆法向粘结强度影响显著。

关键词:机制生土砖;拉伸试验;界面状态;粘结性能;养护龄期

中图分类号:TU502 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2018)01-0078-05

Influence factors of normal bonding properties between mortar and mechanical pressing raw-soil brick

Wang Yihong¹, Shi Dan¹, Zhong Jiqing¹, Shi Yixia², Liu Qiji¹

(1. School of Civil Engineering, Chang'an University, Xi'an 710061, P. R. China;

2. School of Civil Engineering, Shandong Yingcai University, Jinan 250104, P. R. China)

Abstract: In order to investigate the influence factors of normal bonding properties between mortar and mechanical pressing raw-soil brick, the tensile bond strength test was made between mortar and mechanical pressing raw-soil brick with different interfacial condition. There were 72 specimens in total and three ages including 7d, 14d and 28d. The failure mode and the change rules of normal adhesive strength in different ages between raw-soil brick and mortar were explored. The influence of interfacial condition and ages on normal adhesive strength and failure mode was studied. The results show that interfacial condition and ages both have an influence on normal adhesive strength, which is improved along with ages and is decreased because of roughing. The normal bonding properties between mortar and mechanical pressing raw-soil brick is impacted by the type of mortar evidently. The reference for engineering application of raw soil mechanism brick is provided by the research results.

Keywords: raw-soil mechanism brick; tensile tests; interfacial condition; bonding properties; ages

收稿日期:2017-06-08

基金项目:国家自然科学基金(51478043)

作者简介:王毅红(1955-),女,教授,博士生导师,主要从事混凝土结构基本理论及其应用、建筑结构抗震研究, E-mail: wangyh@chd.edu.cn.

Received: 2017-06-08

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 51478043)

Author brief: Wang Yihong (1955-), professor, doctoral supervisor, main research interests: basic theory of concrete structure and application, seismic resistance of building structure, E-mail: wangyh@chd.edu.cn.

潜藏巨大发展前景的绿色建筑材料生土由于其环保、生态优势而受到青睐^[1-2]。传统生土材料强度低、耐久性差^[3-5],许多学者对生土材料进行了改性研究^[6-9],已取得在生土中添加改性掺料、采用 YZP200—8 压砖机制作生土砖等研究成果^[10]。已有研究表明,机制生土砖的抗压和抗折强度较传统土坯有较大提高^[11-13],在一定程度上解决了传统土坯质量差异大、强度低的问题。生土砖与砂浆间的粘结性能是保证生土砌体承载力、整体性和稳定性的关键,但机制生土砖表面平整光滑,与砂浆间摩阻力较低,粘结效果差,不能保证生土砖与砂浆共同工作,机制生土砖与砂浆间的粘结问题成为机制生土砖推广应用的关键问题。生土块材与普通砂浆的粘结剪切性能试验结果表明:适当的凿毛可提高生土砖与砂浆粘结界面的抗剪强度,一定程度的粗糙处理可增大生土块材与砂浆的接触面积和摩擦力,生土块材与砂浆相互咬嵌,形成机械咬合机制,提高剪切粘结强度^[14]。但生土块材与砂浆之间的法向粘结强度的影响因素尚没有研究,生土块材与砂浆的法向粘结性能对生土块材的受压、受拉、受弯等性能有重要影响。笔者研究生土砖与砂浆法向粘结性能的影响因素,分析各种因素对法向粘结强度的影响规律。

1 试验概况

1.1 界面处理与试件设计

人工凿毛法方便、简单,无需机械。试验采用人工凿毛法,凿毛深度约为 3~5 mm,如图 1 所示。机制生土砖在西安建筑科技大学的住房与城乡建设部现代生土研究中心制作,其尺寸为 240 mm×115 mm×90 mm,抗压强度为 10.94 MPa。用岩石切割机将生土砖切成均匀平整的四块,在生土砖块上用模具制作尺寸为 40 mm×40 mm×6 mm(长×宽×高)的砂浆粘结块。试验根据砂浆类型和凿毛情况制作 4 组共 72 个试件,每组分 7、14、28 d 共 3 个龄期 18 个试件,每个龄期有 6 个试件,砂浆采用课题



图 1 人工凿毛

Fig. 1 Chipping with hammers

组前期研制的专用砂浆^[11],试件编号规则及组成如表 1。

表 1 试件编号及组成

Table 1 Group of specimens and composition

试件分组	龄期/d	试件数量	组成 ($m_{\text{水泥}}:m_{\text{粉煤灰}}:m_{\text{砂子}}$)	砂浆抗压强度 平均值/MPa
S2(MS2)	7	6	1:0.21:5.88	3.9
	14	6		4.9
	28	6		8.7
S3(MS3)	7	6	1:0.21:5.88	6.5
	14	6		9.2
	28	6		10.0

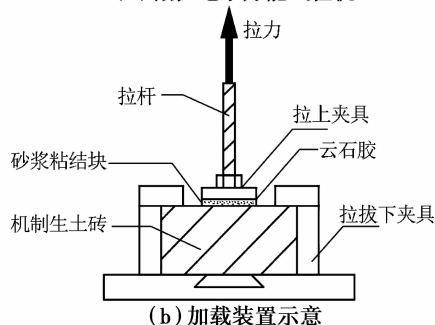
注:试件分组编号中的 2 代表砂浆掺纤维素醚;3 代表砂浆中掺胶粉,纤维素醚、胶粉掺量分别为砂浆干料总重的 0.16%、1.6%;S 表示砂浆;M 表示生土砖表面凿毛;() 中为凿毛的两组。

1.2 试验装置与加载方案

机制生土砖与砂浆法向粘结强度试验在长春科新试验仪器有限公司生产的 WDW3030 微控电子万能试验机(图 2(a))上进行,加载方法参考《建筑砂浆基本性能试验方法》(JGJ/T 70—2009)^[15]。试验前用水平尺检查生土砖的平整度,保证竖向拉力垂直加载,预拉两次拉力杆,确保加载速率和试验机各仪器正常工作后将粘结块上夹具对准拉力杆拧紧,试验中垂直于砂浆块上表面施加拉力,以测得机制生土砖与砂浆的法向粘结强度,采用连续加载方式,横梁速度为 5 mm/min,当砂浆粘结块脱离生土砖时,试验结束,加载方式见图 2(b)。



(a) 微控电子万能试验机



(b) 加载装置示意

图 2 试验加载装置及示意图

Fig. 2 Test loading device and Test device hints

2 试验现象与结果分析

2.1 试验现象

不同界面状态、不同龄期的机制生土砖与砂浆粘结破坏现象和破坏特征不同,根据破坏特征将破坏形态分为4类:I类(无粘结界面破坏):试件自开始加载至破坏,无明显的裂缝产生,破坏发生在砂浆与生土砖接触界面,粘结性能较差(图3(a));II类(有粘结界面破坏):加载初期,荷载平稳缓慢的增加,试件无明显变化,随着荷载增大,砂浆上出现微裂缝并随荷载增大发展,达到最大荷载时生土砖与砂浆脱离,试件破坏,因砂浆块尺寸较小,裂缝发展不明显,破坏主要在粘结界面,生土砖上留有薄层砂浆且砂浆粘结块角部粘结少量土体(图3(b));III类(砂浆层破坏):破坏过程和第II类相似,破坏主要发生在砂浆层,破坏较为突然并听到砂浆崩断声(图3(c));IV类(生土砖破坏):试件随着荷载增加生土砖表面出现微裂缝并扩展,破坏时荷载迅速下降,破坏主要在生土砖表面,砂浆粘下厚度约3~5 mm的土,破坏时可听到土中纤维断裂的声音(图3(d))。

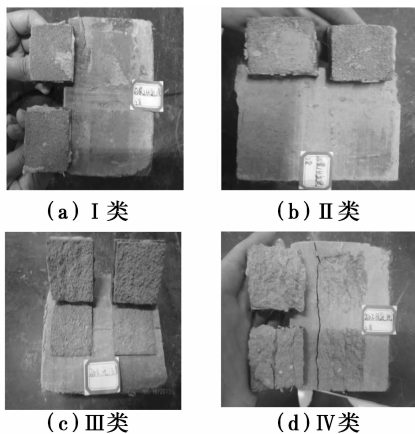


图3 试件各类破坏形态

Fig. 3 Failure patterns of specimens

2.2 破坏形态原因分析

上述4种破坏形态体现砂浆与生土砖之间法向粘结性能的差异。I类破坏发生在接触界面,粘结力全部由生土砖与砂浆间的化学胶结力提供;II类破坏发生在接触界面,但部分土体表面粘有砂浆,部分砂浆面也粘有土体,说明生土砖抗拉强度、砂浆强度及粘结强度三者相近;III类破坏发生在砂浆层,砂浆和生土砖之间的法向粘结性能较II类提高显著,此时砂浆强度低于生土砖与砂浆法向粘结强度,而法向粘结强度低于生土砖抗拉强度;IV类破坏发生在生土砖面内,说明法向粘结强度高于生土砖抗拉

强度,低于砂浆强度。可见,生土砖与砂浆法向粘结破坏形态与砂浆强度、生土砖抗拉强度、法向粘结强度及其三者的相对值有关。

2.3 试验结果分析

参照文献[7],试件的法向粘结强度按式(1)计算,每个龄期的法向粘结强度值取6个试件的算术平均值(式(2)),单个试件的强度值与平均值之差超过20%的予以剔除,取剩余试验值的平均值作为强度取值,结果精确至0.01 MPa,若有效数据少于4个,则此组试验数据无效。

$$f_i = \frac{F}{A} \quad (1)$$

$$\bar{f} = \sum_{i=1}^n f_i \quad (2)$$

式中: F 为试件破坏时的荷载,N; A 为粘结面积, mm^2 ,精确至 1 mm^2 ; f_i 为机制生土砖与砂浆的法向粘结强度,MPa; \bar{f} 为法向粘结强度平均值,MPa。

各试件各龄期下粘结强度结果及平均值如表2所示。

表2 粘结强度结果

Table 2 The result of tensile adhesive strength

龄期/d	试件粘结强度/MPa			
	S2	S3	MS2	MS3
7	0.264	0.368	0.205	0.239
	0.252	0.492	0.224	0.225
	0.294	0.512	0.239	0.272
	0.274	0.428	0.191	0.264
	0.31	0.486	0.246	0.23
	0.363※	0.341※	0.23	0.257
	(0.28)	(0.46)	(0.22)	(0.25)
	0.351	0.518	0.262	0.267
	0.273	0.621	0.212	0.298
	0.28	0.549	0.281	0.305
14	0.444※	0.516	0.256	0.291
	0.327	0.623	0.222	0.248
	0.31	0.499	0.267	0.341
	(0.31)	(0.55)	(0.25)	(0.29)
	0.386	0.706	0.281	0.421※
	0.481	0.644	0.256	0.292
	0.446	0.669	0.32	0.372
	0.392	0.668	0.464※	0.377
	0.697※	0.7	0.256	0.341
	0.48	0.6	0.341	0.253※
(0.44)	(0.66)	(0.29)	(0.35)	

注:※表示此组数据舍去;()中数值为各组试件各个龄期下机制生土砖与砂浆法向粘结强度平均值。

各组试件各龄期下的破坏类别统计如表3。

表3 各组试件破坏类别统计
Table 3 statistics of Failure patterns %

编号	I	II	III	IV
S2-7	80	20	0	0
S2-14	40	60	0	0
S2-28	20	60	20	0
S3-7	0	20	80	0
S3-14	0	33.30	66.70	0
S3-28	0	33.30	0	66.70
MS2-7	33.30	66.70	0	0
MS2-14	17	83	0	0
MS2-28	0	0	0	100
MS3-7	16.60	66.70	16.60	0
MS3-14	0	83	0	17
MS3-28	0	0	25	75

以龄期为横坐标、各组试件法向粘结强度平均值为纵坐标绘制直方图(图4),分析不同界面状态、不同龄期试件法向粘结强度平均值的变化规律。

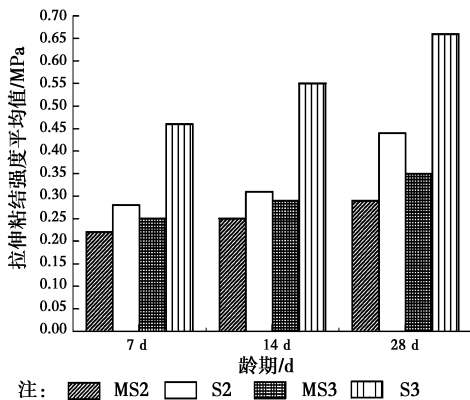


图4 各试件法向粘结强度平均值与龄期关系

Fig. 4 Average tensile adhesive strength of specimens

从图4和表3可以发现,龄期和界面状态等因素对试件法向粘结强度平均值和破坏类别有影响。

1) 龄期 无论何种试件,砂浆与生土砖间的法向粘结强度均随龄期的增长而增大,破坏形态均随龄期向粘结性能好的方向发展。由图4粘结强度平均值随龄期走向趋势可知:试件S2法向粘结强度平均值在龄期14d时增长不明显,28d增长幅度明显增大,28d较14d粘结强度增长率约是14d较7d粘结强度增长率的3倍,试件S3粘结强度平均值随龄期增长平稳,在龄期14d和28d时增长率均保持在20%,可见生土砖与砂浆法向粘结强度随龄期增长明显,且增长受砂浆种类影响显著,建议试件养护28d;MS2和MS3粘结强度平均值增长幅度差别不大,MS2在龄期14d和28d时增长率为15%左右,MS3在14d和28d时增长率均在18%左右,凿毛后生土砖与砂浆法向粘结强度随龄期增长受砂浆种

类影响不明显,28d强度值较7d变化不大,建议试件养护7d以上;由表3破坏类别表可知:各组试件均随龄期呈现不同破坏形态,整体随龄期向粘结性能好的方向发展。即随着时间增长,砂浆水化反应较充分,生土砖与砂浆间的化学胶结作用增强,粘结强度提高,破坏形态随之发生变化。

2) 砂浆掺料类别 生土砖与砂浆法向粘结性能与砂浆掺料类别相关。由图4可知:同一龄期下,砂浆中掺胶粉S3试件法向粘结强度平均值比掺纤维素醚的S2试件高50%以上,掺胶粉的MS3试件法向粘结强度比掺纤维素醚MS2试件高13.6%以上,最大达到20.7%,表3试件破坏形态统计结果显示:砂浆中掺胶粉的S3(MS3)发生I类破坏明显少于掺纤维素醚的S2(MS2)。可见,无论生土砖界面是否处理,单掺胶粉的S3(MS3)组试件与单掺纤维素的S2(MS2)组试件相比,法向粘结强度更高,破坏形态也趋于粘结性能好的方向,砂浆种类对凿毛生土砖与砂浆法向粘结性能影响程度低于未凿毛试件,在工程应用中,可根据对结构构件的强度和经济性要求选择不同种类砂浆。

3) 界面状态 生土块材与水泥砂浆剪切试验表明,一定凿毛处理可以提高块材与砂浆抗剪强度^[14],而试验结果表明,凿毛对试件的法向粘结强度没有提高反而降低,凿毛后试件破坏形态较未凿毛发生显著变化。通过图4可知:凿毛的MS2(MS3)组试件各龄期的法向粘结强度平均值较未凿毛S2(S3)有所降低;表3数据显示:界面凿毛后的MS2、MS3组试件主要发生II类和IV类破坏,未凿毛的S2主要发生I类和II类破坏,S3主要发生III类和IV类破坏。原因可归为以下几点:①凿毛破坏了生土砖表层整体性,且凿毛处存在浮土颗粒,生土砖与砂浆粘结间的化学胶结力受到影响;②法向粘结试验试件拉伸时施加力的方向与凿毛深度方向相同,不增加生土砖与砂浆的机械咬合作用,因此,凿毛对生土砖与砂浆法向粘结强度没有提高效果,但可以改变其破坏形态并趋于理想方向,并且可以提高抗剪强度。

3 结论

1) 机制生土砖与砂浆的法向粘结性能与龄期相关,法向粘结强度值随龄期的增长而提高,破坏形态随龄期呈现向粘结性能较好方向的发展趋势,砂浆种类和生土砖界面状态不同时,法向粘结强度随龄期增长程度有所不同,对于凿毛试件,建议养护龄期在7d以上,对于未凿毛试件,建议养护28d。

2) 生土砖与砂浆法向粘结性能受砂浆掺料类别

影响,砂浆掺料粘结性能越高,其对生土砖与砂浆法向粘结强度的提高越明显,破坏形态也趋于粘结性能好的方向,但砂浆成本相应提高,在工程应用中考虑强度和经济性选择适当的砂浆种类。

3)生土砖与砂浆拉伸粘结试验时,破坏形态与砂浆强度、生土砖抗拉强度、法向粘结强度及三者的相对值有关,不同强度及相对值呈现不同破坏形态。

4)虽然凿毛对生土砖与砂浆法向粘结不利,但可以使破坏形态趋于较好方向,且前期试验表明凿毛可以提高块材与砂浆剪切粘结强度,综合两种强度对砌体结构稳定性影响及凿毛对试件破坏形态影响,建议对生土砖进行一定程度粗糙度处理。

5)机制生土砖与砂浆的法向粘结性能与生土砖界面状态相关,机制生土砖界面粗糙度处理不能太过随意而应达到一定要求,生土砖界面粗糙处理时,尽量避免对生土砖整体性破坏,表面浮土颗粒和松动土体要清理干净。

参考文献:

- [1] PACHECO-T F, SAID J. Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction [J]. Construction and Building Materials, 2012, 29: 512-519.
- [2] 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): 470-472,484.
WANG Y H, WANG C Y, LI X S, 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): 470-472,484. (in Chinese)
- [3] 王毅红,李丽,王冲锋,等. 村镇既有生土结构房屋抗震性能现状分析[J]. 土木工程学报,2010, 43(Sup): 462-467.
WANG Y H, LI L, WANG C F, et al. Research and analysis on aseismic behavior of existing country raw-soil structure [J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(Sup): 462-467. (in Chinese)
- [4] MARWEN B, NAIMA B, DASHNOR H, et al. Physical characterization of natural straw fibers as aggregates for construction materials applications [J]. Materials, 2014, 7: 3034-3048.
- [5] DEMIR I. Effect of organic residues addition on the technological properties of clay bricks [J]. Waste Manage, 2008, 28: 622-627.
- [6] 刘军,褚俊英,赵金波,等. 掺合料对生土墙体材料力学性能的影响[J]. 建筑材料学报,2010,13(4):446-451.
LIU J, CHU J Y, ZHAO J B, et al. Effect of admixtures on mechanical properties of raw clay material for wall [J]. Journal of Building Materials, 2010, 13(4): 446-451. (in Chinese)
- [7] ROBERT M E, ENGELBERT D O, THIERRY Y N, et al. Potential of salvaged steel fibers for reinforcement of unfired earth blocks [J]. Construction and Building Materials, 2012, 35: 340-346.
- [8] 王毅红,仲继清,石以霞,等. 国外生土结构研究综述 [J]. 土木工程学报, 2015, 48(6):81-88.
WANG Y H, ZHONG J Q, SHI Y S, et al. Review of overseas research on raw-soil structure [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(6):81-88. (in Chinese)
- [9] 王毅红,梁樵,张项英,等. 我国生土结构研究综述 [J]. 土木工程学报, 2015, 48(5):98-107.
WANG Y H, LIANG J, ZHANG X Y, et al. Review of raw-soil structure in China [J]. China Civil Engineering Journal, 2015, 48(5):98-107. (in Chinese)
- [10] 西安建筑科技大学. 生土建筑材料改性方法和利用改性后生土制备砌块的方法:中国,CN104402350 A[P]. 2015-03-11.
Xi'an University of Architecture and Technology. Raw soil building materials modification methods and the adobe brick preparation method use modified raw soil: China, CN104402350 A [P]. 2015-03-11. (in Chinese)
- [11] 石以霞. 改性生土砖的粘结剂配方及性能试验研究 [D]. 西安:长安大学,2015.
SHI Y X. Experimental study on the binding performance of modified adobe brick and binder Formulas [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese)
- [12] 陈嘉. 改性土体材料及土坯砌体的受压力学性能研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
CHEN J. The mechanical characteristics of the pressure study on modified raw-soil materials and adobe masonry [D]. Urumchi: Xinjiang University, 2010. (in Chinese)
- [13] 赵成. 改性土坯砌体抗压强度试验研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
ZHAO C. Experimental study on compressive strength of modified adobe masonry [D]. Urumchi: Xinjiang University, 2010. (in Chinese)
- [14] 高耀飞. 生土块材与水泥砂浆界面压劈与剪切性能试验研究 [D]. 西安:长安大学,2015.
GAO Y F. The shear and spilt capacity experimental analysis of adobe brick and cement-mortar interface [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese)
- [15] 建筑砂浆基本性能试验方法标准:JGJ/T 70—2009 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
Standard for test method of performance on building mortar: JGJ/T 70-2009 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009. (in Chinese)