

含水率对麦秸秆加筋土强度影响的试验研究

李陈财, 璩继立, 李贝贝, 魏天乐, 王巧

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 通过直剪与无侧限抗压强度试验,研究了含水率对麦秸秆加筋土抗剪强度指标与无侧限抗压强度的影响。研究表明:一定的含水量是麦秸秆发挥加筋性能的必要条件。随着含水率的增加,麦秸秆加筋土的粘聚力呈现先增大后减小的趋势,以最佳含水率时粘聚力最大;然而,加筋土的内摩擦角却随含水率的增加而逐渐减小。在合适的含水率条件下,麦秸秆加筋土的最佳质量加筋率在0.1%至0.3%间。

关键词: 含水率; 抗剪强度; 无侧限抗压强度; 加筋土

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0203-04

Experiment on influence of water content on soil strength reinforced with wheat straw

LI Chencai, QU Jili, LI Beibei, WEI Tianle, WANG Qiao

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai, 200093, China)

Abstract: Through direct shear test and unconfined compressive strength test, the paper researched the influence of water content on the shear strength index and unconfined compressive strength of the soil reinforced with wheat straw. The results show that certain water content is a necessary condition for the performance of soil reinforced with wheat straw. With the increase of water content, the cohesion of soil reinforced wheat straw shows a trend from first increase to then decrease. When the moisture content reaches the optimum, the value of cohesion reaches the maximum. However, the internal friction angle of reinforced soil gradually decreases with the increase of moisture content. Under the condition of certain water content, the optimal reinforcement rate of wheat straw fibers is between 0.1% to 0.3%.

Key words: water content; shear strength; unconfined compressive strength; reinforced soil

1 研究背景

对于加筋土而言,强度是土体加筋效果的重要指标。影响加筋土强度的主要因素有土体的种类、筋材的性能、加筋方式、加筋量以及加筋土的含水率等。加筋土技术已广泛应用于挡土墙、道路路基等领域,受降雨、蒸发、地下水等因素的影响,加筋土体的含水率变化较大,加筋土的强度就会因含水率的变化而变化。

傅华等^[1]通过室内大三轴试验研究了加筋材料、加筋方式、材料和密实度对加筋效果的影响,探讨了在不同影响因素下加筋土试样强度的变化规律。魏红卫等^[2]研究了加筋层数、筋材拉伸模量、土体压实

度及竖向压力对加筋土体抗剪强度和应力-应变特性的影响。林鸿州等^[3]从基质吸力的角度研究了含水率对非饱和土抗剪强度的影响。龙玉民^[4]研究了含水率对重塑粘性土 c 、 φ 值的影响因素。姚攀峰等^[5]建立了非饱和土的黏聚力和内摩擦角与含水率的函数关系。丁万涛等^[6]通过室内三轴试验研究了含水率对加筋膨胀土的影响。

近年来,随着人们环保意识的增强,对天然纤维加筋土的研究有了很大的进展。李敏等^[7]对麦秸秆加筋滨海盐土的性能进行了研究,指出麦秸秆具有一定拉力和延展性,可以很好地适应土体的变形,提高加筋土的抗压强度。璩继立等^[8]研究了麦秸秆长度、加筋率对麦秸秆加筋土抗剪强度指标的影响。

收稿日期:2014-02-11; 修回日期:2014-05-31

基金项目:诺华上海实验室科研经费项目(3A-11-307-110)

作者简介:李陈财(1987-),男,福建宁德人,硕士,助理工程师,主要从事岩土工程、地质水文研究。

通讯作者:璩继立(1964-),男,河南孟州人,博士,副教授,硕士生导师,主要从事岩土工程、水文地质等方面的研究与教学工作。

响。麦秸秆作为农业废弃物,来源广泛、价格低廉,把麦秸秆这种天然的纤维材料运用于软土的加固,具有环保、经济等优势。为了探讨含水率对麦秸秆加筋土影响的作用机理,本文在前人研究的基础上,以麦秸秆加筋上海粘土为对象,通过室内直剪试验与无侧限抗压强度试验研究含水率对麦秸秆加筋土强度的影响。

2 麦秸秆加筋土试验

2.1 试验材料

本文试验用土取自上海浦东张江科技园地下 5~7 m 处,按《公路土工试验规程》^[9] JTG E40-2007 进行液塑限联合试验、击实试验等方法确定土体的基本物理性能参数,见表 1。试验前将土样风干、敲碎,过 2 mm 的土工筛,制备土样。

表 1 试验用土基本物理参数指标				
液限/ %	稠度指标		击实试验	
	塑限/%	逆性指数	最大干密度/	最佳含水率/
			(g·cm ⁻³)	%
42.34	20.56	21.78	1.62	20.72

麦秸秆直径约 3~4 mm,首先在自然条件下风干,制样前剥去麦秸秆表皮。在前期试验研究的基础上,本文试验用麦秸秆选用长 15±2 mm 的 1/2 圆管状麦秸秆作为加筋材料。为研究不同含水率对麦秸秆加筋土强度的影响,本文以最佳含水率(20.72%)为基准,分别研究含水率为 15% 和 25% 时与最佳含水率加筋土的抗剪强度指标及无侧限抗压强度的变化规律。根据王生新等^[10]对麦秸秆加筋盐渍土的研究成果,麦秸秆筋材分别按质量加筋率(麦秸秆质量与干土质量百分比)为 0.1%、0.2%、0.3%、0.4%、0.5% 进行试验。

2.2 试验仪器

直剪试验采用浙江土工仪器制造有限公司制造的 EDJ-1 型电动等应变直剪仪。无侧限抗压强度试验采用 PY-3 应变控制式无侧限压缩仪。

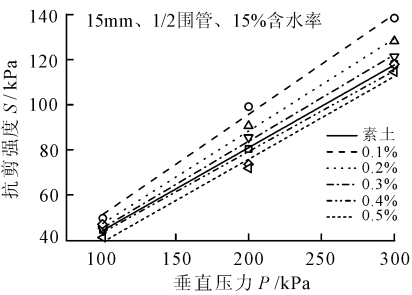


图 1 含水率 15% 的加筋土 S-P 曲线

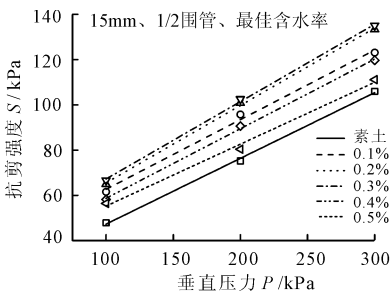


图 2 最佳含水率的加筋土 S-P 曲线

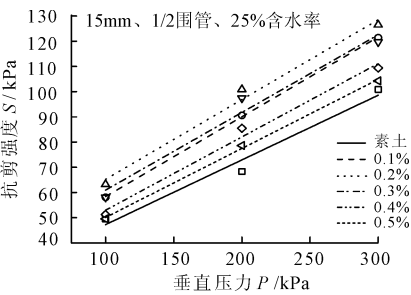


图 3 含水率 25% 的加筋土 S-P 曲线

2.3 试验方案

(1) 试样制备。在确保土样密实度基本一致的前提下,计算出每个试样的干土量、麦秸秆量和含水量。首先,计算出每个试样所需的干土、麦秸秆与水的含量。然后,将定量的麦秸秆与定量的干土混合均匀,接着喷洒定量的水(根据不同含水率配制)并充分搅拌 30 min。最后,把搅拌均匀的加筋土装入保鲜袋中,存放在保湿容器中润湿 24 h。按《公路土工试验规程》JTG E40-2007 制备试样,每个试样均做 3 个平行试验。

(2) 试验过程。在直剪试验中,试样剪切过程的垂直荷载分别为 100、200 与 300 kPa。剪切速率为 0.8 mm/min,每隔 15 s 记录一次钢环测力计读数。

无侧限抗压强度试验采用应变控制法进行,试验选用规格 10 kN 的测力环,应变速率为 1 mm/min。

3 试验结果与分析

3.1 直剪试验结果

通过直剪试验,测得不同含水率的加筋土在不同垂直荷载下的最大剪应力,绘制 S-P 曲线,见图 1~图 3,利用 Origin8.5 进行拟合,求得不同形状麦秸秆加筋土在不同加筋率条件下的内摩擦角与粘聚力。

从表 2 中可以看出:当含水率为 15% 时,加筋土的粘聚力明显小于其他组,但是内摩擦角却明显大于其他组;随着加筋率的增加,粘聚力与内摩擦角均呈逐渐减小的趋势。当含水率在最佳含水率条件下,加筋土的粘聚力平均值高于其他组,而内摩擦角较同等含水率条件下的素土变化不大;随着加筋率的增加,粘聚力与内摩擦角均呈先增大后减小的趋势,以加筋率为 0.3% 时最大,较素土分别增长了 81.24% 与 16.14%。当含水率为 25% 时,加筋土的粘聚力较最佳含水率条件下偏小,但大于含水率 15% 一组,内摩擦角均小于其他组;随着加筋率的增加,粘聚力与内摩擦角均呈先增大后减小的趋势,以加筋率为 0.2% 时最大,较素土分别增长了 46.05% 与 21.76%。

表 2 不同含水率加筋土的粘聚力与内摩擦角

含水率/%	加筋率/%	c /kPa	φ /(°)
15	素土(0)	7.40	19.80
	0.1	6.84	23.75
	0.2	6.27	22.29
	0.3	6.84	20.81
	0.4	7.41	19.80
	0.5	2.28	20.30
最佳含水率 20.72	素土(0)	18.23	16.17
	0.1	31.91	16.70
	0.2	31.34	18.78
	0.3	33.04	18.78
	0.4	27.92	16.70
	0.5	27.92	15.10
25	素土(0)	21.65	14.57
	0.1	26.78	17.74
	0.2	33.62	17.74
	0.3	30.20	17.22
	0.4	23.93	16.17
	0.5	22.79	15.11

3.2 无侧限抗压强度试验结果

以轴向应力为纵坐标,轴向应变为横坐标,绘制应力-应变曲线,以最大轴向应力作为无侧限抗压强度。若最大轴向应力不明显,则取轴向应变 15% 处的应力作为该试件的无侧限抗压强度。不同含水率条件下麦秸秆加筋土无侧限抗压强度的变化曲线如图 4 所示。

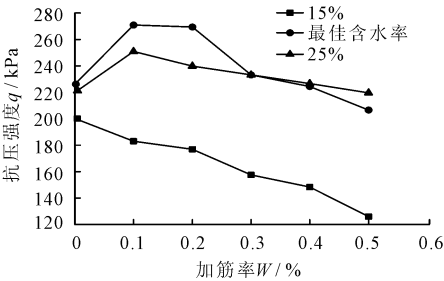


图 4 不同含水率的麦秸秆加筋土无侧限抗压强度与加筋率的关系曲线

从图 4 可以看出,对于含水率为最佳含水率 (20.72%) 与 25% 的麦秸秆加筋土,无侧限抗压强度随着加筋率的增加,呈现先增大后减小的趋势,在加筋率 0.1% ~ 0.2% 间的无侧限抗压强度最大。最佳含水率的麦秸秆加筋土无侧限抗压强度在加筋率为 0.1% 和 0.2% 时,较素土分别增加了 44.86% 和 43.43%;含水率 25% 的麦秸秆加筋土无侧限抗压强度,在加筋率为 0.1% 和 0.2% 时,较素土分别增加了 14.08% 和 9.05%。

但是,随着加筋率的继续增大,含水率 25% 的加筋土较最佳含水率的加筋土,其无侧限抗压强度降低的幅度相对较缓。在加筋率为 0.5% 时,最佳含水率加筋土与含水率 25% 的加筋土,无侧限抗压强度较素土分别下降了 19.46% 与 0.15%。

然而,对于含水率为 15% 的麦秸秆加筋土,其无侧限抗压强度随着加筋率的增大而逐渐减小,近似成直线关系。当加筋率增加至 0.5% 时,其无侧限抗压强度较素土降低了 37.08%。可见,在低含水率条件下,麦秸秆反而破坏了土体的结构性,进一步降低了土体的强度。

从以上的现象中可知,含水率对麦秸秆加筋土的无侧限抗压强度影响甚大,只有当加筋土的含水率大于一定值时,麦秸秆才能发挥加筋作用。究其原因,主要是当含水率过低时,土体干燥,筋材与土体不能协调变形。因此,麦秸秆的加入,将导致土体孔隙率增大,反而破坏土体结构性完整。因此,在含水率 15% 时,麦秸秆加筋率越大,无侧限抗压强度越低。

黄琨等^[11]指出,土体在较低含水率条件下,随着含水率的增大,水的吸附作用会增加土体的粘聚力从而提高土体的抗剪强度。当土体的含水率小于最佳含水率时,随着含水率的增大,土颗粒表面的结合水膜对土颗粒间的粘结作用会逐渐增强。粘结力的提高,提高了麦秸秆与土体间的摩擦力,发挥了麦秸秆的抗拉强度及对土体的约束作用,因此表现出抗压强度增大的现象。但是,随着含水率的进一步增大,土颗粒表面的结合水膜也会随之增厚,较厚的水膜提高了筋-土间的润滑作用,导致筋土间的摩擦力降低。因此,随着土的含水率的提高,麦秸秆的加筋作用被逐渐弱化,表现出无侧限抗压强度降低的现象。

3.3 试验结果分析

胡展飞等^[12]指出粘性土的抗剪强度与土颗粒表面的水化膜厚度有关。当含水率提高时,水化膜厚度也会相应增加,水化膜厚度的增加,则会减弱土颗粒间的吸力,从而使土体的塑性增大、强度降低。赵颖文等^[13]通过大量试验研究了土水特征曲线描述了饱和度与吸力之间的关系:吸力随着饱和度的增加而减小。综合前人的研究成果可推测,当麦秸秆加筋土含水率低于最佳含水率时,吸力是使土体稳定的主要原因,但是麦秸秆筋材的加入,反而削弱了土体结构对土体强度的贡献。当麦秸秆加筋土的含水率继续增加时,吸力会进一步增大,增强了麦秸

秆对土体的约束作用,从而发挥了麦秸秆在受剪时的抗拉作用,因此,表现出加筋土粘聚力增大的现象。但是,随着麦秸秆加筋土含水率的进一步增大,包裹在土颗粒周围的水膜逐渐变厚,土颗粒接触处受到挤压后,此处水膜减薄,使得部分结合水变成自由水,自由水对土体产生破坏作用,造成土体的粘聚力降低^[14]。另一方面,含水率的增大,使土体中的空气不易排出,空气受到压缩,使土中的内应力增加,并产生裂缝。因此,麦秸秆加筋土表现出随着含水率的增大,粘聚力反而减小的现象。

内摩擦角随含水率的增大而逐渐减小的现象可归结于:随着含水率的增大,土体间的摩擦作用会减弱,土颗粒在剪切过程中移动到新位置所需越过势垒的能量也逐渐减小^[15],其滑动摩阻力也相应的减小,因而使内摩擦角表现出与含水率负相关的现象。

麦秸秆加筋土强度随麦秸秆加筋率的增加,呈先增大后减小的现象,究其原因主要是:当麦秸秆加筋率过低时,土颗粒仅与有限的几根麦秸秆产生接触摩擦力,未能充分发挥麦秸秆的抗拉作用,显然也不能提高土的强度和抗变形能力;然而,当加筋率过高时,麦秸秆在土中易重叠、交叉,易使加筋土形成一定的薄弱点,又会在一定程度上降低土体的强度。

4 结 语

对比 1/2 圆管状麦秸秆在含水率 15%、25% 及最佳含水率 (20.72%) 条件下的抗剪强度指标及无侧限抗压强度的变化规律,可得出以下结论:

(1) 一定的含水量是麦秸秆发挥加筋性能的必要条件,在最佳含水率条件下,麦秸秆加筋土的抗剪强度指标最大,加筋效果最好。

(2) 当麦秸秆加筋土的含水率低于最佳含水率时,加筋土的粘聚力减小幅度较大,但内摩擦角反而增大。当麦秸秆加筋土的含水率高于最佳含水率时,加筋土的粘聚力变化不大,但是内摩擦角会有一定程度的减小。

(3) 随着含水率的增加,麦秸秆加筋土的粘聚力呈现先增大后减小的趋势,以最佳含水率时粘聚力最大;然而,加筋土的内摩擦角却随含水率的增加而逐渐减小。

(4) 从麦秸秆加筋土强度指标随麦秸秆质量加筋率的变化规律可以看出,在合适含水率条件下,麦秸秆加筋土的最佳质量加筋率在 0.1% 至 0.3% 间。

参考文献:

- [1] 傅 华,凌 华,蔡正银. 加筋土强度影响因素的试验研究[J]. 岩土力学,2008,28(21):481-484.
- [2] 魏红卫,喻泽红,邹银生. 土工合成材料加筋土抗剪作用的试验研究[J]. 水利学报,2005,36(5):555-562.
- [3] 林鸿州,李广信,于玉贞,等. 基质吸力对非饱和土抗剪强度的影响[J]. 岩土力学,2007,28(9):1931-1936.
- [4] 龙玉民. 重塑粘性土、值的影响因素研究[D]. 长沙:中南大学,2012.
- [5] 姚攀峰,祁生文,张 明. 基于路径的非饱和土抗剪强度指标确定方法[J]. 岩土力学,2009,30(9):2605-2608.
- [6] 丁万涛,雷胜友. 含水率对加筋膨胀土强度的影响[J]. 岩土力学,2007,28(2):391-394.
- [7] 李 敏,柴寿喜,魏 丽. 麦秸秆的力学性能及加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[J]. 工程地质学报,2009,17(4):545-549.
- [8] Qu Jili, Li Chencai, Liu Baoshi, et al. Effect of random inclusion of wheat straw fibers on shear strength characteristics of Shanghai cohesive soil[J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2013, 31(2): 511-518.
- [9] 中华人民共和国交通部. JTG E40-2007 公路土工试验规程[S]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [10] 王生新,柴寿喜,王晓燕. 加筋条件和含水率对加筋土抗压强度和应力应变的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2011,41(3):784-790.
- [11] 黄 琨,万军伟,陈 刚,等. 非饱和土的抗剪强度与含水率关系的试验研究[J]. 岩土力学,2012,33(9):2600-2604.
- [12] 胡展飞,傅艳蓉. 基于不同初始含水量的软粘土抗剪强度的试验研究[J]. 上海地质,2001(1):38-42.
- [13] 赵颖文,孔令伟,郭爱国,等. 广西原状红粘土力学性状与水敏性特征[J]. 岩土力学,2003,24(4):568-572.
- [14] 靳娟娟,张林洪,吴华金,等. 土体强度与含水率及密实度的关系研究[J]. 科学技术与工程,2008,8(22):6148-6152.
- [15] 蔡 奕,施 斌,刘志彬,等. 团聚体大小对填筑土强度影响的试验研究[J]. 岩土工程学报,2005,27(12):1482-1486.