

文章编号:1005-0523(2013)05-0057-06

加筋土筋土界面特性分离式试验研究

魏军扬¹,王保田¹,张海霞^{1,2},蓝日彦³

(1. 河海大学土木与交通学院,江苏 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程水利部重点实验室,江苏 南京 210098; 3. 广西交通规划勘察设计研究院,广西 南宁 530029)

摘要:选择工程常用的经编涤纶双向土工格栅和粘土分别作为加筋土的加筋材料和填料,通过室内拉拔试验和格栅拉伸试验对加筋土的筋土界面连接特性作分离式试验研究。试验结果表明:粘土直剪摩擦强度和加筋土格栅拉拔摩擦强度随法向应力增大而增大,其强度包线均是一条直线,但是经编涤纶格栅与填土界面是一薄弱面;格栅在拉拔试验过程中其拉伸强度和所占比重均随着法向应力的增加而增加,法向应力25~100 kPa变化范围格栅拉伸强度范围是1.22~6.44 kPa,所占比重范围是11.86%~11.27%;增加一定量粗颗粒的填土;采取相应措施更加牢靠的夹持固定加筋格栅,充分发挥格栅的拉伸强度,采用相应措施确保节点处的强度,将会有效提高加筋土的抵抗破坏变形能力。

关键词:加筋土;经编双向土工格栅;拉拔试验;分离式试验研究;薄弱面

中图分类号:TU449

文献标志码:A

加筋土是利用土体抗压能力和加筋的抗拉能力组合而成的一种复合结构体系。近代,随着加筋土技术在国外逐渐发展起来。我国也开始从国外引进这一技术,并开始在挡土工程中应用。加筋土柔性好、对地基承载力要求低、施工方便、经济环保、配以砌块或者生态袋做挡土工程面层更能产生很好的景观效果。加筋土技术已经逐渐应用于国内外的生态水利工程,公路工程,铁路工程,市政工程,房地产和其他领域^[1-2],加筋土技术的应用得到了很好的推广。与此同时国内外针对加筋土技术的研究广泛开展,取得了丰厚成果。国内外对加筋土进行了较系统的研究,概括起来主要集中在加筋土变形规律的研究^[3-5]、加筋挡土结构的模型试验研究^[6-9]、加筋与生态挡土结构面层与加筋连接特性试验研究^[9-10]和加筋土实际工程的监测^[11]几方面。加筋土工艺中筋土界面的连接强度特性成为控制加筋挡土结构稳定的一个关键指标。本文用工程常用的经编涤纶土工格栅和粘土填料,进行了格栅埋设填料中的室内拉拔试验,用试验标记的方法,对加筋土筋土界面进行了分离式试验研究,相关结论为加筋土工程提供参考。

1 试验方案与原理

1.1 试验方案

试验1:常用加筋土填料粘土的基本参数试验。

试验2:粘土分别在25,50,75,100 kPa法向压力下的直剪摩擦试验。

试验3:加筋格栅的拉伸试验。

试验4:平铺埋设格栅,分别在25,50,75,100 kPa法向压力下格栅拉拔试验。

1.2 试验原理

1) 首先根据试验2得到四级法向荷载下粘土的剪切摩擦强度 F_{N1} 。

收稿日期:2013-03-01

基金项目:教育部博士点基金项目(20100094110002);广西交通科技项目(桂交综合发[2009]95号)

作者简介:魏军扬(1987—),男,硕士研究生,研究方向为加筋土的作用机理研究。

2) 再根据试验3测得格栅拉伸试验的力-位移曲线。

3) 最后根据试验4得到四级法向荷载下筋土界面拉拔总强度 F_N 。

4) 进行试验4时,试验前标记试验段长度 L_{N1} ,试验后量测标记段变化后的长度 L_{N2} ;如图1,计算出拉拔试验标记段变化量 ΔL_N 。

$$\varepsilon = \frac{\Delta L_N}{L_{N1}} \quad (1)$$

依据公式(1)计算出相应伸长率 ε ,根据格栅拉伸试验的力-位移曲线,求得相同伸长率下的格栅拉伸强度 F_{N2} 。

5) 根据下列公式(2)求得复合效应力 F_{N3} 。将 F_N , F_{N1} , F_{N2} , F_{N3} 相互比较,得出结论

$$F_{N3} = F_N - F_{N1} - F_{N2} \quad (2)$$

式中: N 分别代表 25, 50, 75, 100 kPa 四级荷载条件下的情况。

2 试验材料基本参数

1) 本研究试验填土粘土的基本参数,基本参数试验参照(《土工试验方法标准》GB/T50123-1999)见表1。

2) 本试验经编涤纶双向土工格栅的基本参数指标见表2,格栅网格尺寸网为 250 mm×250 mm,网孔尺寸为 200 mm×200 mm。在拉拔盒中可以平铺 8 根纵筋,格栅拉伸试验力-位移曲线如图2。

表1 粘土基本参数

Tab.1 Basic parameters of clay

土样	干密度/(g·cm ⁻³)	液限/%	塑限/%	塑性指数	液性指数
粘土	1.23	33.3	22.8	10	-1.3

表2 生态袋和格栅基本参数

Tab.2 Basic parameters of ecological bag and grille

试验材料	变异系数/%	平均拉伸力/(kN·m ⁻¹)	500 h 抗紫外线强度保持率/%
经编格栅	5.7	53.83	85.7

3 试验仪器及操作步骤

土工格栅条带之间存在较大网孔,进行直剪试验测试,难免土体之间的摩擦强度特性占较大比重,因此采用拉拔摩擦试验。

3.1 试验仪器

本试验采用微机控制土工合成材料直剪拉拔摩擦试验系统,拉拔箱内拉拔试验示意图如图3。本试验主要技术指标:位移传感器:量程 0~300 mm,精度:0.04 mm;拉压力传感器 0~30 kN,精度:0.05% FS。

1) 试验箱:拉拔试验箱为一矩形箱体,侧壁有足够刚度,受力时不变形。长×宽×高宜为 25 cm×25 cm×20 cm。试验箱一面侧壁的半高处开一横贯全宽的水平

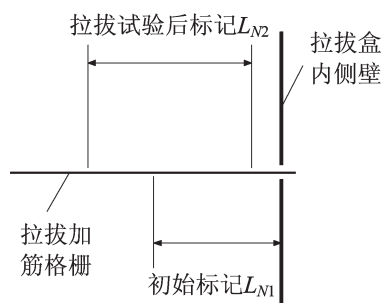


图1 标记示意图

Fig.1 Schematic diagram of mark

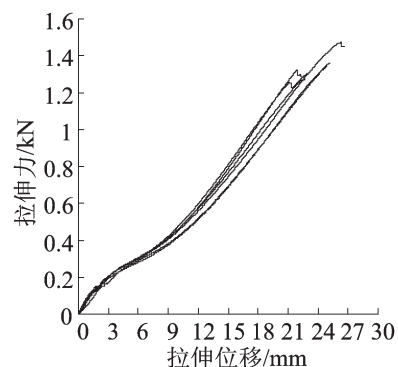


图2 格栅拉伸试验力-位移曲线

Fig.2 Curves between geo-grid tensile force & displacement

窄缝,高约5 mm,供试样引出箱体用;紧贴着窄缝内壁,安置一可上下抽动的插板,用以调整窄缝的缝隙大小,防止土粒漏出。直剪试验箱尺寸为30 cm×30 cm×10 cm,有足够刚度,受力不变形。

2) 加荷系统:包括施加垂直荷载和水平荷载系统。

① 用杠杆施加垂直荷载,使其维持恒值。荷载通过足够刚度的加压板加到土面上。② 按应变控制方式施加水平荷载,采用步进电机(无级调速)传动减速装置。

水平荷载通过拉力夹具作用于试样,将试样从试验箱侧壁的窄缝引出,要求受拉时试样不得在夹具内打滑,也不得在试验箱外或夹具内拉断。作用于试样的拉力应为轴心荷载,水平荷载作用位置应尽量靠近试验箱侧壁,试样夹持位置距箱壁距离不大于10 cm。

3) 数采系统:由拉压力传感器、位移传感器、数采仪、微机等组成。测力采用拉压力传感器;测水平位移采用数显位移传感器。

3.2 试验操作步骤

1) 将土料填入试验箱,按要求的密度分层压密,压密后土面水平,且略高于箱侧窄缝下缘。

2) 将加筋格栅平铺于土面上,覆盖整个箱盒,透过箱侧窄缝伸出,做到平整无皱。试样应居中放置,试样一端从窄缝引出箱外注意两边对称,并和水平夹具连接。插入可调整窄缝高度的插板,使该板下缘正好在试样表面之上,将插板固定。

3) 继续往箱内填土,分层压密至要求的密度,压密后土面平整,略低于箱顶,放上加压板。

4) 安装水平位移传感器。将杠杆压轮对试验箱正中,对加压板施加一微量垂直荷载,使板与土面接触好,将位移传感器清零。将夹有试样的夹具连接到水平加荷装置上。

5) 施加要求的垂直荷载,使土料固结。固结时间视土性和排水距离而定,对粒状土固结时间不少于15 min;对粘性土,要求垂直变形增量每小时不大于 $0.000\ 25\ h$ (h 为土样高度,mm)。作为固结稳定标准,测记相应的压缩量。施加一微量水平荷载,使水平加荷机构各处绷紧,将位移传感器清零。

6) 施加水平荷载。由微机进行整个试验过程自动控制。拉拔速率视土性而定,可由软件选择;对本试验粗砂,可采用 $0.5\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$,粉土采用 $0.6\ \text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 。

7) 试验进行到出现下列情况自动停止。如果水平荷载(剪应力)出现峰值,试验进行至获得稳定值(残余强度);如果不出现峰值,或试样被拉断,表明试样长度超过了拔出长度,应缩短埋在土内的长度,再按《公路土工合成材料试验规程JTJ/T060-98》15.0.4条1~7的步骤作试验。

8) 改变垂直荷载,重复《公路土工合成材料试验规程JTJ/T060-98》15.0.4条1~7各步骤,进行各垂直荷载下相应的拉拔摩擦试验值。

为求得拉拔摩擦强度指标,一般在4种不同垂直荷载下进行试验,其中最大的一级荷载(压力)应不小于设计荷载。

4 试验结果及分析

4.1 粘土直剪试验结果分析

粘土直剪摩擦特性试验,其摩擦力与直剪位移关系曲线(如图4)没有峰值出现,其摩擦强度取剪切位移变形约20 mm处摩擦力值,因为此时对应的土体剪切位移变形率表明已经发生土体破坏。试验结果表明:粘土直剪摩擦强度随法向应力的增大而增大;其强度包线是一条直线,如图5。

4.2 加筋格栅拉拔试验结果分析

土工格栅与粘土间界面拉拔试验中,土工格栅与粘土间界面拉拔阻力与拉拔位移关系曲线和格栅拉

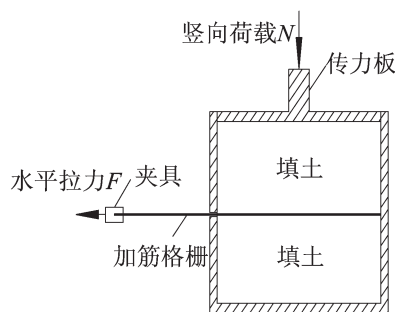


图3 拉拔试验示意图

Fig. 3 The schematic diagram of drawing test

拔强度曲线与粘土直剪试验相似。试验结果表明:格栅拉拔摩擦强度随法向应力的增大而增大;其强度包线是一条直线。粘聚力相差不大且略小,摩擦角较之大 4.8° ,四级荷载的平均摩擦系数较之小0.09;分析原因是格栅表面比较光滑导致拉拔试验中格栅与填土的界面摩擦强度小于粘土与粘土的界面摩擦强度,另外由于试验粘土较细,试验拉拔时不能够透过格栅网孔对横向格栅形成较强的阻力,使得粘土直剪试验摩擦强度大于格栅拉拔试验强度,即格栅与粘土界面相对粘土界面而言是强度薄弱面。

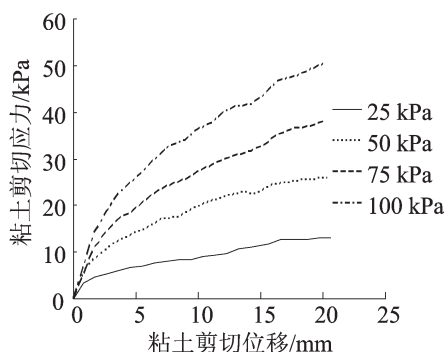


图4 粘土剪切应力与位移曲线

Fig. 4 Curves between the clay shear stress and shear displacement

4.3 格栅拉拔试验分离式研究分析

加筋格栅拉拔试验分离式研究各部分强度分布如表4,需要作出说明的是:在加筋格栅拉拔的试验中,试验预拉紧时在紧贴拉拔盒的外部标记 L_{N1} ,本试验取25.00 mm;试验结束后,立刻用精度为千分之一的电子显卡尺量测标记段变化后的长度 L_{N2} ,为平铺拉拔盒的8根纵筋平均值。得到试验标记段变化量 ΔL_N ,并进一步求出25.00 mm标记段的变形率。拉伸每组试验结束后,格栅在拉拔盒后端部的格栅几乎没有位移变化,也没有被破坏的迹象,因此,可以假定拉拔试验中格栅的变形是由格栅在拉拔盒出口处最大到拉拔盒尾部最小变化,由于试验过程中填土和生态袋材料的均匀性,试验中格栅位移变形变化(变形率)也是均匀的。因此在整个拉拔盒中,加筋格栅的变形率应为紧贴拉拔盒外加筋被标记段的一半。从而对应求得格栅条带拉伸试验200 mm相同变形率的拉伸强度 F_{N2} ,即表4中的格栅拉伸强度。表4

中的拉拔试验粘土有效强度指的是由于拉拔试验时格栅有网孔,只有这部分面积是土-土界面的摩擦,由格栅网孔占相应格栅格子的面积比换算而得,取 $0.64(200^2/250^2)$ 。另外表中的筋土界面效应力为粘土透过格栅空隙对格栅的阻力、单独筋土界面摩擦力以及其他因素产生的力。格栅拉拔试验强度特性分离式研究,从表4可以看出:筋土界面的格栅拉试验拔强度均小于相同法向荷载的粘土直剪强度,大约是其0.8倍左右;格栅在拉拔试验过程中其拉伸强度和所占比重均随着法向应力的是随拉拔试验法向应力增加而增加,法向应力25~100 kPa变化范围格栅拉伸强度范围是1.22~6.44 kPa,所占比重范围是11.86%~11.27%,为原因是法向力增大,对土体的约束变强,从而使得土体对加筋格栅的夹持固定效果加强,使得格栅拉伸越来越充分,因此在实际工程中,采取相应措施更加牢靠的夹持固定加筋格栅,充分发挥格栅的拉伸强度,将会有效提高加筋土的抵抗破坏变形能力;另外从表4还可以得出筋土界面效应力在整个拉拔试验总强度中所占比重较小,都在8%以内。分析原因是粘土较细,不能透过格栅网孔对格栅形成很好的阻力;和格栅表面比较光滑,使得筋土界面摩擦强度变小。因此在实际工程中,填料中增加一定粗颗粒能有效增加土体透过格栅网孔对横向格栅的阻力,增强加筋土的破坏变形能力。另外发明新型格栅,使格栅表面粗糙

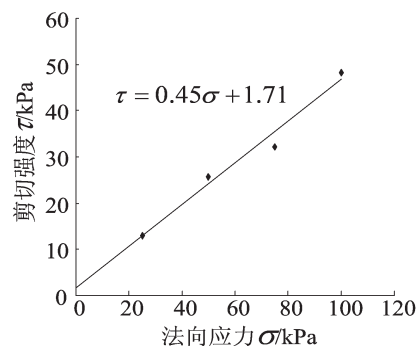


图5 粘土抗剪强度曲线

Fig. 5 Curves between the clay shear strength and vertical stress

表3 直剪与拉拔试验结果

Tab. 3 Test results of direct shear test and drawing test

试验类型	粘聚力/kPa	摩擦角/(°)	平均摩擦系数
粘土直剪	1.71	24.2	0.49
格栅拉拔	1.84	19.4	0.4

或是能使得格栅筋土界面法向有效约束土体也是一种能增强加筋土抗剪强度的有效方法。另外,为防止格栅纵筋克服横纵筋节点的粘结力而被拔出,应采用相应措施确保节点处的强度。以上3点为进一步提高加筋土的强度开辟了思路,提出了一些方法。

表4 格栅拉拔试验强度特性分离式研究汇总
Tab. 4 Separation research summary of strength characteristics of geo-grid drawing test

法向应力条件 / kPa	加筋格栅反包生态袋拉拔试验分离式研究各部分强度分布							
	拉拔试验 总强度 /kPa	粘土直剪 试验强 度/kPa	格栅拉 伸强度/ kPa	拉拔试验 格栅拉伸 所占比 重/ %	拉拔试验 粘土有效 强度/ kPa	拉拔试验粘 土有效强度 所占比重/ %	筋土界面 效应力强 度/kPa	筋土界面 效应力所 占比重/%
25	10.78	12.99	1.22	11.86	8.31	80.84	0.75	7.3
50	20.52	25.78	2.67	13.01	16.5	80.41	1.35	6.6
75	26.94	32.23	4.15	15.40	20.62	76.54	2.17	8.0
100	37.41	48.33	6.44	17.21	30.93	47.4	0.04	0.1

4 结论

- 1) 粘土直剪摩擦强度和加筋土格栅拉拔摩擦强度随法向应力的增大而增大,其强度包线均是一条直线,筋土界面的格栅拉试验拔强度均小于相同法向荷载的粘土直剪强度,大约是其0.8倍左右,即经编涤纶格栅与土的界面是加筋土的一薄弱面。对加筋土相关设计和施工提供具有一定指导意义。
- 2) 格栅在拉拔试验过程中其拉伸强度和所占比重均随着法向应力的是随拉拔试验法向应力增加而增加,法向应力25~100 kPa变化范围格栅拉伸强度范围是1.22~6.44 kPa,所占比重范围是11.86%~11.27%,加筋土的效应力强度较小。
- 3) 增加一定量粗颗粒的填土;采取相应措施更加牢靠的夹持固定加筋格栅,充分发挥格栅的拉伸强度,采用相应措施确保节点处的强度,将会有效提高加筋土的抵抗破坏变形能力。在填料选取,格栅物理夹持方式,加进材料制作等方面为加筋土强度提高指出一些方向。

参考文献:

[1] 王錠一. 自嵌式挡土墙的应用与研究[J]. 福建建设科技, 2007(13):5-7.

[2] NATIONAL CONCRETE MASONRY ASSOCIATION. Design manual for segmental retaining walls[M]. 2ed. Herndon, Virginia, USA, 2002.

[3] 李广信,陈轮,蔡飞. 加筋土体应力变形计算的新途径[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(3):46-53.

[4] 介玉新,李广信. 加筋土数值计算的等效附加应力法[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5):614-616.

[5] HIDETOSHI O, JUN O, SHIGENORI H, et al. The pull-out resistance of geogrids in reinforced soil[J]. Geotextiles and Geomembranes, 1996, 14 (1): 19-42.

[6] RAJU D M, FANNIN R J. Load-strain-displacement response of geosynthetics in monotonic and cyclic pullout [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1998, 35(2): 183-193.

[7] 张孟喜,孙遇祺,李国祥. 加筋土挡墙工作机理的室内试验研究[J]. 铁道学报, 1999, 21(5): 79-82.

[8] PATRICK D B, GHAZI H. Multiphase approach as a generalized homogenization procedure for modelling the macroscopic behaviour of soils reinforced by linear inclusions[J]. European Journal of Mechanics-A/Solids, 2008, 27(4): 662-679.

- [9] 高江平,俞茂宏,胡长顺,等. 加筋土挡墙滑动破裂面的大型模型试验[J]. 长安大学学报:自然科学版,2005,25(6):6-9.
- [10] 张文慧,王保田,李春华. 自嵌式砌块与加筋的摩擦强度试验研究[J]. 岩土力学,2007,28(11):2431-2434.
- [11] 郑智能,凌天清,周滨. 高速公路零征地加筋拓宽路堤监测分析[J]. 华东交通大学学报,2010,27(3):38-43.

Separation Test Study on the Reinforcement-soil Interface of Reinforced Earth

Wei Junyang¹, Wang Baotian¹, Zhang Haixia^{1,2}, Zhao Bo¹

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Key Laboratory for Geotechnical Engineering of the Ministry of Water Resource, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Guangxi Transportation Planning Surveying and Design Institute, Nanning 530029, China)

Abstract: This study made a separation test study on reinforcement-soil interface of reinforced earth through the geo-grid drawing test and geo-grid tensile test. The test results show that: Both the clay shear friction strength and the geo-grid drawing strength increase with the normal stress increasing; both of their strength envelopes are straight lines, though the interface between warp knitted polyester geo-grid and soil is a weak strength surface of reinforced soil; the tensile strength and the strength proportion of the geo-grid in the drawing test both increase with the normal stress increasing, corresponding to the 25~100 kPa of the normal stress range; the geo-grid tensile strength range is 1.22~6.44 kPa and the proportion range is 11.86%~11.27%. This paper concludes that the reinforced soil resistance deformation ability can be effectively improved by increasing a certain amount of coarse particles in filled earth, taking corresponding measures to make the geo-grid fixed and clamped more stably, giving full play to the tensile strength of geo-grid and by adopting some measures to ensure the geo-grid node strength.

Key words: reinforced earth; warp-knitted bidirectional geo-grid; drawing test; separation test study; weak strength surface