

文章编号:1671-8879(2006)03-0001-04

# 土工格室结构层抗变形性能模型试验

杨晓华, 林法力

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

**摘要:**采用土工格室加筋松软地基,能有效提高地基的强度和刚度,减少地基沉降变形,这在许多实际工程中已得到验证。但对土工格室结构层本身的变形性状,尚缺乏深入系统的研究。利用自制的试验装置,通过静力载荷试验,对土工格室结构层抗变形性能进行了研究,并对土工格室规格、填料类型和压实度 3 种影响因素进行了对比分析。试验结果表明:土工格室加固的黄土和粗砂结构层的抗变形能力明显得到提高;填料为粗砂时,土工格室结构层的变形模量平均提高了 3.25 倍,填料为黄土时,提高了 1.73 倍;土工格室焊距对土工格室结构层抗变形性状无显著的影响,而对土工格室压实度和土工格室填料影响较大。

**关键词:**道路工程;土工格室;结构层;模型;静力载荷试验;抗变形性能

**中图分类号:**U416.1 **文献标识码:**A

## Model Test on Anti-deformation of Geocell Structural Layer

YANG Xiao-hua, LIN Fa-li

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** It is efficient to improve subgrade's intensity and rigidity, and to diminish the deformation of the subgrade's settlement by using geocell to reinforce the soft subgrade. But the deformation feature of the geocell structure layer itself has not been studied intensively and systematically yet. Through the static load test, the anti-deformation of geocell structural layer is researched, and three impaction factors including geocell specifications, filling types and degree of compaction are contrasted and analyzed. The result shows that the anti-deformation of loess and coarse sand reinforced by geocell can be improved obviously, its deformation modulus with coarse filler increases 3.25 times, and increases 1.73 times with the loess filler. The deformation behavior is influenced less by weld space, more by the filler types and degree of compaction. 6 tabs, 3 figs, 13 refs.

**Key words:** road engineering; geocell; structural layer; model; static load test; anti-deformation

## 0 引言

土工格室是一种新型的土工合成材料,具有立

体网状结构,整体强度高,耐热老化、抗腐蚀性性能强等特点<sup>[1-2]</sup>。采用土工格室加筋松软地基,能有效提高地基的强度和刚度,减少地基沉降变形,这一点在

收稿日期:2005-04-15

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200131881259)

作者简介:杨晓华(1961-),男,河北唐山人,教授,博士研究生。

很多实际工程中已经得到了验证;但对土工格室结构层本身的变形性状,尚缺乏深入系统的研究<sup>[3-6]</sup>。为此,本文进行了土工格室结构层的大型室内模型试验,综合考虑了几种影响因素,对变形性状进行了较系统的分析探讨。

## 1 室内模型试验

### 1.1 试验内容

室内模型试验主要是测试土工格室结构层的变形模量,以土工格室规格、填料类型、填料压实度为主要影响因素,采用静力载荷试验方法,分析土工格室结构层变形特性。测试内容见表 1。

表 1 试验内容

压实度/%	填料	土工格室型号/mm			备注
>90	黄土	400×150	800×150	未加筋	土工格室型号表示:焊距×网格高。
	粗砂	400×150	800×150	未加筋	
<90	黄土	400×150	800×150	未加筋	
	粗砂	400×150	800×150	未加筋	

### 1.2 试验设计

试验模型用槽钢加工而成,尺寸为 150 cm×150 cm×150 cm,模型布置见图 1。

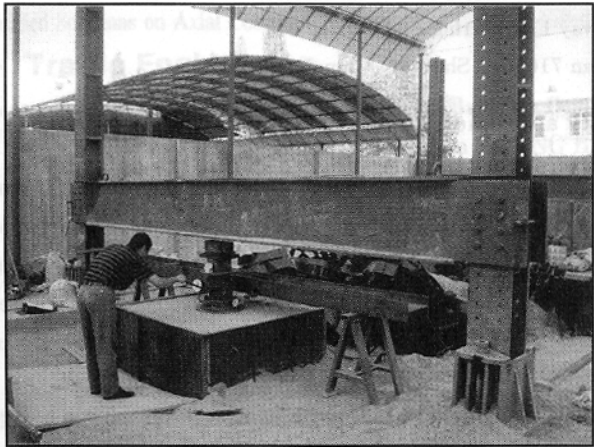


图 1 模型布置示意图

试验所用的土工格室为北京燕山石化公司生产的土工格室,填料为西安黄土和粗砂,格室分 10 层填筑,其物理力学性质见表 2~表 4。

静载试验的承载板直径为 50 cm,竖向位移通过百分表测试,荷载为反力梁,加载设备为 50 t 液压式千斤顶。荷载大小由 40 MPa 油压表控制。

静力载荷变形测试按照《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)执行。当试验荷载大于实际可能的荷载或竖向位移过大时试验终止,本试验终止的标准:竖向变形达到 20 mm 或荷载达到 800 kPa。

表 2 土工格室材料性能指标

环境应力开裂时间/h	低温脆化温度/℃	拉伸屈服强度/MPa	维卡软化温度/℃
1 040	-60	24.3	124.7
氧化诱导时间/min	焊接处抗拉强度/(N·cm <sup>-1</sup> )	边缘联结处抗拉强度/(N·cm <sup>-1</sup> )	中间联结处抗拉强度/(N·cm <sup>-1</sup> )
60	118	275	165

表 3 黄土的基本指标

最佳含水量/%	最大干容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	塑限/%	液限/%
13.91	1.91	21.30	31.86

粒级含量(mm)通过量/%

0.25~0.10	0.10~0.074	0.074~0.01	0.01~0.005	<0.005
2.10	4.32	66.43	5.92	19.41

表 4 粗砂的基本指标

最佳含水量/%	最大干容重/(g·cm <sup>-3</sup> )	筛孔(mm)通过量/%							
		0.6	1.2	2.5	5.0	10.0	20.0	30.0	40.0
2.51	2.19	1.5	5.9	6.8	27.2	51.8	75.2	80.3	96.9

## 2 试验结果分析

### 2.1 变形模量的计算

土的变形模量是土变形性质的一个重要指标,承载板载荷试验是确定土变形模量最可靠的方法之一。利用  $P$ - $S$  曲线直线段的实测资料,并借助弹性理论公式,可计算出土的变形模量  $E_0$ 。

圆形承载板 
$$E_0 = \frac{\pi}{4} \frac{1-\mu^2}{S} DP$$

式中:  $S$  为承载板的沉降(cm);  $D$  为圆形承载板的直径(cm);  $P$  为作用在承载板上的均布荷载(kPa);  $\mu$  为地基土的泊松比。

一般土的泊松比在 0.25 ~ 0.42 之间。对于砂土和粉土,  $\mu = 0.33$ , 可塑-硬塑土,  $\mu = 0.38$ ; 对于软塑-流塑粘性土和淤泥质粘土,  $\mu = 0.41$ 。

本次试验的一般地基是用黄土或粗砂经人工碾压形成,格室结构层内的填料用冲击夯夯实,夯实遍数为 3 遍。取土的泊松比  $\mu$  为 0.30,  $P$ - $S$  曲线如图 2, 计算变形模量如表 5 所示。

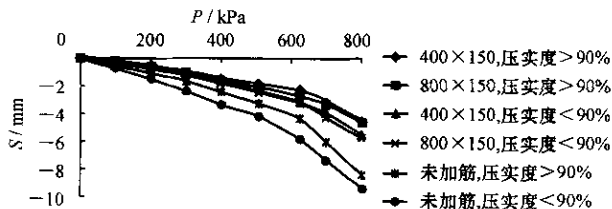


图 2 黄土填料荷载试验曲线

表 5 黄土填料结构层变形模量计算表

土工格室 型号/mm	压实度/%	变形模 量/MPa	提高的模 量/MPa	提高 率/%
400×150	88.8	52.6	22.1	72.46
800×150	86.1	50.3	19.8	64.92
素土	87.2	30.5	—	—
400×150	96.8	64.1	28.8	81.59
800×150	98.0	61.9	25.6	72.52
素土	97.6	35.3	—	—

取粗砂的泊松比  $\mu$  为 0.33,  $P$ - $S$  曲线如图 3, 计算变形模量见表 6。

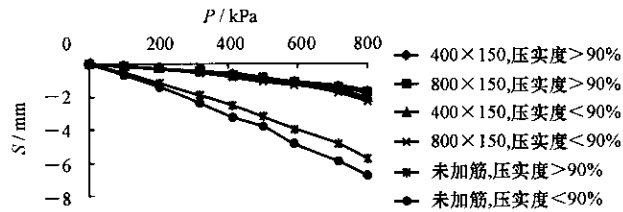


图 3 粗砂填料荷载试验曲线

表 6 粗砂填料结构层变形模量计算表

土工格室 型号/mm	压实度/%	变形模 量/MPa	提高的模 量/MPa	提高 率/%
400×150	87.3	136.6	91.7	218.75
800×150	86.4	125.5	83.6	199.65
粗砂	89.1	41.9	—	—
400×150	98.6	171.5	122.2	247.85
800×150	97.2	166.1	116.8	236.96
粗砂	97.7	49.3	—	—

图 2、图 3 反映了不同压实度、不同土工格室类型的黄土和粗砂填料的  $P$ - $S$  曲线。可以看出:土工格室结构层的变形量明显比素土(砂)层小;同一类型土工格室,压实度越大,变形量越小;压实度相同,焊距小的格室层变形量比焊距大的格室层变形量小,但差别不大。

其具体变化也可从黄土及粗砂填料结构层变形模量计算表(表 4、表 5)中看出:由于压实度与格室型号的不同,由表 4 可得,填料为土的格室结构层的变形模量平均提高了 73%左右。压实度小于 90%时,填土格室结构层变形模量大约提高了 69%;压实度大于 90%时,变形模量大约提高了 77%。同样,从表 5 也可以看出,填砂结构层的变形模量平均提高了 225%左右。压实度小于 90%时,结构层变形模量大约平均提高了 209%;压实度大于 90%时,变形模量大约平均提高了 242%。总之,土工格室

层的变形模量相对于素土或素砂层提高的非常明显,但 400 mm×150 mm 结构层与 800 mm×150 mm 结构层相比差别不大。

2.2 试验影响因素分析

2.2.1 土工格室焊距的影响

土工格室主要是通过对填料提供强大的侧向限制力和侧壁摩擦力来达到提高强度的目的。从理论上讲,焊距小,格室单元小,土工格室结构层强度高。从表 4、表 5 看,焊距 400 mm 的格室结构层变形模量比焊距 800 mm 的格室结构层变形模量平均只高出 4.8%,可见焊距对格室结构层变形模量的影响很小。

2.2.2 土工格室填料的影响

从土工格室的加固机理看,在荷载作用下格室对填料提供强大的侧向限制作用,格室壁对填料产生向上的摩擦力。加筋结构层强度的提高主要表现在准粘聚力的提高,而对于摩擦角影响很小。由表 4、表 5 知,在压实度相近的情况下,粗砂结构层的变形模量分别比黄土结构层的变形模量平均提高 140%(压实度小于 90%)和 175%(压实度大于 90%)。因而填料粘聚力越小,即填料的摩擦角越大,加筋结构层变形模量越大<sup>[7-10]</sup>。

2.2.3 结构层压实度的影响

从土工格室结构层受荷载作用过程看,填料压实度低,填料竖向压缩变形大,格室侧壁摩阻力小,结构层刚度也小;填料压实度大,填料竖向压缩变形小,格室侧壁摩阻力大,结构层刚度也大。从表 4、表 5 可以得出,压实度小于 90%的结构层,土工格室结构层的变形模量比素土的变形模量平均提高了 69%,比素砂的变形模量平均提高了 209%;压实度大于 90%的结构层,土工格室结构层的变形模量比素土的变形模量平均提高了 77%,比素砂的变形模量平均提高了 242%。故结构层压实度大小对结构层变形模量影响很大<sup>[11-13]</sup>。

3 结 语

(1)通过 12 组试验,本项研究结果表明,用土工格室加固的黄土和黄土结构层,结构层的抗变形能力明显得到提高。填料为粗砂时,土工格室结构层的变形模量比原地基的变形模量平均提高 225%左右;填料为黄土时,土工格室结构层的变形模量比原地基的变形模量大约提高了 73%。

(2)在相同荷载作用下,格室焊距对土工格室结构层抗变形性状无显著性影响,而格室压实度和格

室填料对土工格室结构层的抗变形性状均有很大的影响。格室填料粘聚力越小,压实度越大,结构层的抗变形能力越强,因而在采用土工格室加固地基时,选择合适的填料和压实度对加筋结构层的抗变形能力有重要的影响。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 曾锡庭,于志强. 土工格室及其应用[J]. 中国港湾建设,2001,4(2):33-37.  
ZENG Xi-ting, YU Zhi-qiang. Geocell and It's Application[J]. China Harbour Engineering, 2001, 4(2): 33-37.
- [2] 钱家欢. 土工原理与计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996.  
QIAN Jia-huan. Geotechnical Principle and Calculation[M]. Beijing: China Water Conservancy and Electricity Press, 1996.
- [3] 杨晓华. 土工格室加固饱和黄土地基性状及承载力[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(3):5-8.  
YANG Xiao-hua. Bearing Capacity and Behavior of Saturated Loess Foundation Reinforced by Geocell[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 5-8.
- [4] 谢永利,俞永华,杨晓华. 土工格室在处治路基不均匀沉降中的应用研究[J]. 中国公路学报,2004,17(4):7-11.  
XIE Yong-li, YU Yong-hua, YANG Xiao-hua. Application Study of Treating Differential Settlement of Subgrade with Geocell[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(4): 7-11.
- [5] 曹新文,蔡英,苏谦. 土工格室和土工网改善基床动态性能模型试验[J]. 西南交通大学学报,2001,36(4):350-354.  
CAO Xin-wen, CAI Ying, SU Qian. Model Test Study of Dynamic Performances of the Subgrade Reinforced with Geocell and Geonet[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2001, 36(4): 350-354.
- [6] 景宏君,张斌. 黄土路基强度规律[J]. 交通运输工程学报,2004,4(2):14-18.  
JING Hong-jun, ZHANG Bin. Loess Subgrade Strength Law[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(2): 14-18.
- [7] 顾良军. 土工格室结构层工程性状试验研究[D]. 西安:长安大学,2004.  
GU Liang-jun. Experimental Research on the Engineering Feature of Geocell Structural Layer[D]. Xi'an: Chang'an University, 2004.
- [8] 杨晓华,戴铁丁,许新桩. 土工格室在铁路软弱基床加固中的应用[J]. 交通运输工程学报,2005,5(2):42-46.  
YANG Xiao-hua, DAI Tie-ding, XU Xin-zhuang. Geocell Application in Reinforcing Soft Subgrade of Railway[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2005, 5(2): 42-46.
- [9] 支喜兰,江晓霞,沙爱民. 路面基层振动压实作用下的底基层应力[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(3):33-36.  
ZHI Xi-lan, JIANG Xiao-xia, SHA Ai-min. Pavement Subbase Course Stress by Vibrating Compaction on Course[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 33-36.
- [10] 杨晓华,李新伟,俞永华. 土工格室加固浅层饱和黄土地基的有限元分析[J]. 中国公路学报,2005,18(2):12-17.  
YANG Xiao-hua, LI Xin-wei, YU Yong-hua. Finite Element Analysis of Shallow Saturated Loess Reinforced with Geocell[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2): 12-17.
- [11] 周志刚,郑健龙,李强. 土工格网处理埂挖交界路基非均匀沉降的机理分析[J]. 岩土工程学报,2002,24(5):576-579.  
ZHOU Zhi-gang, ZHENG Jian-long, LI Qiang. Analysis of the Mechanism of Using Geonets to Treat the Unequal Settlement of Subgrade at the Cut to Fill Location[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(5): 576-579.
- [12] 周志刚,郑健龙,李强. 土工格网处治填挖交界路基非均匀沉降的现场检测研究[J]. 公路交通科技,2003,20(2):16-19.  
ZHOU Zhi-gang, ZHENG Jian-long, LI Qiang. Study on Treatment of Uneven Settlement by Geogrid in Subgrade Boundary Area[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2003, 20(2): 16-19.
- [13] 王亚玲,孙建民,周玉利. 土工格栅在旧路改建中的应用[J]. 公路交通科技,2005,22(3):67-69.  
WANG Ya-ling, SUN Jian-min, ZHOU Yu-li. Application on Geogrid in Reconstruction of Pavement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22(3): 67-69.