

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2023.06.066

改进后的土工格室工程应用研究

刘怀星¹, 杨 晖², 郑召怡¹

[1.济南市市政工程设计研究院(集团)有限责任公司, 山东 济南 250002; 2.中国瑞林工程技术有限公司, 江西 南昌 330000]

摘 要:土工格室是具有三维空间结构的材料,具有耐磨损、运输便利、可扩展性强、自推进性强、填料选择性大等特点,可用于抢修道路及铺筑简易便道。土工格室作为加固材料铺筑路面时,作用于路面结构的顶部,在受到压力时格室节点处容易断裂。为解决格室存在的问题,通过对土工格室节点改进加固,铺筑试验路段验证其现场适用性。改进后土工格室铺筑道路具有优良的路面性能,道路抢修中,临时道路经过土工格室填充,施工机械才能直接在其上运行。铺设在约5 cm顶部的保护层可以达到足够高的道路质量,有效解决甚至消除缺陷,提高交通安全性和舒适性。土工格室在抢险救灾情况下道路铺筑可行性较高,故改进后土工格室有较好的社会效益。

关键词:土工格室;便道铺筑;性能评价;弹性模量

中图分类号: U414

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)06-0256-05

0 引 言

土工格室在我国兴起于20世纪90年代,是一种通过高分子聚合物宽条带(HDPE)链接而形成的三维网状结构,具有填料选择多样性、伸缩自如、运输便捷、材质耐磨损等特点,在工程领域的应用意义重大。作为一种新型的三维材料,土工格室被广泛应用于处理土方地基^[1]、路堤^[2]、边坡防护^[3]、挡土墙^[4]等工程建设。与土工织物、土工格栅等比较,土工格室节点相连接,构成空间网状结构,有效对填充物进行侧向约束,道路结构的抗压强度及承载力明显提升,沉降量减少。

Liu等^[5]认为土工格室的节点承担、传递大量道路荷载,若节点受到破坏可能会影响荷载传递,从而导致格室内部分结构失稳,甚至整体破坏加筋结构。Han^[6]和Leshchinsky^[7]等在室内试验中对实验数据进行模拟计算,验证了影响土工格室性能的重要因素为格室节点。Song等^[8]分析格室加筋土挡墙的节点破坏模式,以离心模型试验为方法,发现节点处出现连接破坏。Yang等^[9]通过路面加速试验测试,观察到土工格室节点出现失效。高昂等^[10]通过荷载作用实验得到土工格室节点加筋路堤的力学性能。Adem^[11]、许淋颖等^[12]对土工格室的节点进行了力学实验验证,如室内直剪、拉拔试验等,证明土工格室

的强度主要由焊接节点的剥离强度决定。

但在实际工程应用中,土工格室的型式等对其加固效果有一定影响,本文选定合适的土工格室类型并对格室改进处理,试验段铺筑验证其现场适用性,围绕土工格室的节点进行研究,讨论并验证加筋结构的安全与稳定性。

1 工程概况

本试验段选择在现场施工条件接近于抢险条件路段。

该项目海拔2 800 m,年平均气温仅有6℃,常年持续降雨,极端天气多发。由于极端天气影响且线路主要通行车辆为重载运料车,本标段的翻浆、唧泥现象严重,如图1所示,若管理不善,会对行车安全和舒适性造成严重影响,在施工过程的推广中,本标段被选为试验段的施工对象,并与空白组对照。



图1 项目工况现状

收稿日期: 2022-07-25

作者简介: 刘怀星(1979—),男,工学硕士,高级工程师,从事道路、桥梁设计工作。

2 土工格室改进

2.1 市场现状

通过对现有的土工格室进行调研,发现常见的类型为双向格室与单向高强格室。双向格室节点较均衡,但其片材强度较低、节点指标较差;而单向高强格室虽然伸长率较小、节点处拉裂强度较高,但节点处剪切强度与剥离强度较低,连接节点极易发生位移与断裂。

因此,应从节点处对土工格室进行加固。保证其单向高强格室的优点并减少在铺筑过程中对节点的损伤。

2.2 土工格室改进

土工格室通过在节点处进行加强,增强节点的抗剥离破坏能力以达到增强土工格室性能的目的。

具体改进方案如下:

在节点中插入一片 5 mm 厚、15 mm 宽的橡胶板,以加强节点,形成棱镜效果。在棱柱结构及增大的焊接表面支撑下,改进后节点的剥离强度、剪切强度和拉裂强度均高于常规格室。改进后土工格室及节点如图 2 所示。改进后的土工格室同时具备单向与双向格室二者的优势;棱柱结构大大增强了节点的抗拉、抗压、抗滑能力。在与填料的相互作用下,路基固结形成锚固效应,称为“微桩效应”。

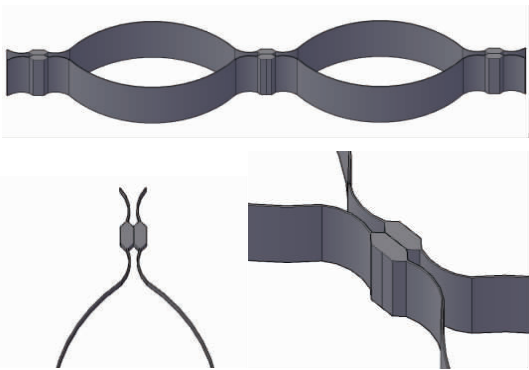


图 2 改进后土工格室示意图

改进后,对土工格室进行物理性能的测试(见表 1)。

表 1 改进后土工格室物理指标

检测项目	格室片强度	格室片伸长率	节点剥离强度	节点剪切强度	节点拉裂强度
指标值	≥120 kN/m	≤10%	≥80 kN/m	≥80 kN/m	≥80 kN/m

本文对改进后的土工格室与市场现有的土工格室性能进行验证,发现改进后的土工格室性能有明显的提升(见表 2)。

表 2 改进格室与现有格室节点特征对比

格室描述	节点型式	剥离强度	剪切强度	拉裂强度	类型
传统格室	焊接	中	中	中	双向格室
拉伸格室	铆、插、缝接	低	低	高	单向高强格室
改进格室	改进	高	高	高	双向高强格室

3 试验段铺筑

3.1 试验段土工格室

通过选择,山东九洲材料有限公司的土工格室符合国家标准的指标,格室壁具有菱形格网状凸起,达到增强格室壁与填料之间摩擦的目的。格室壁设有排水管,为了在突发性降雨情况下进行加固地基排水。格室类型为 1 500 mm × 800 mm, $R_m \geq 150$ MPa, δ 小于 15% (R_m 为抗拉强度, δ 为延伸率)。对节点部分改进并做微桩结构处理,如图 3 所示。

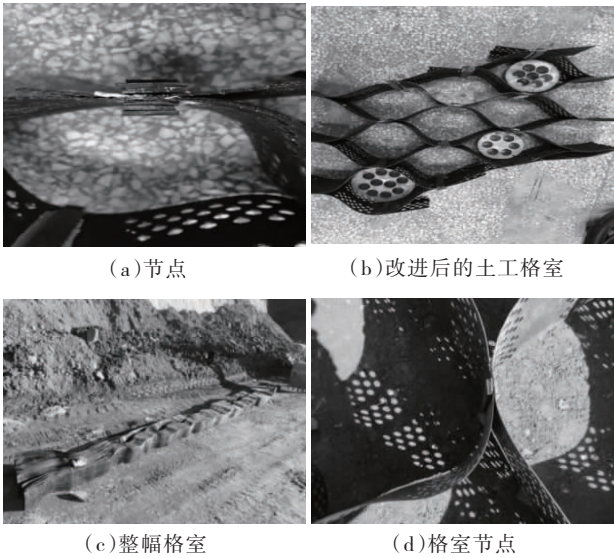


图 3 试验段土工格室

以一幅土工格室作为试验道路,每条道路的尺寸长为 10 m,宽度为 6 m,每组道路之间设置缓冲区 3 m,路基试验路共设置 2 组,并在两组试验段中间插入空白组。测试部分的设置方式如图 4 所示。对于施工,制造商需要购买接地砖并自行处理。施工时,需要选择粒径不超过 30 mm 的填料,且碎石级配较为均匀或就地取材,就地取材的粒径不宜过大,以实现与土工格室最佳匹配。

参照《公路工程质量检测评定标准》(JTG F80—1—2017)^[13]、《公路路面基层施工技术细则》(JTGT F20—2015)^[14]、《土工格室产品技术标准》(JTT 516—2004)^[15]、《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)^[16]对试验路段进行铺设与后续的性能测定。

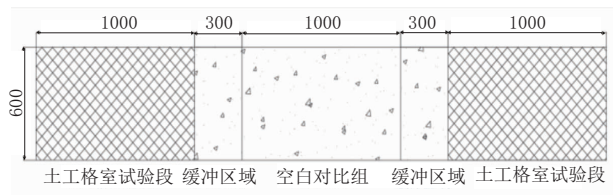


图4 试验段设置(单位:cm)

3.2 填料

(1)碎石:选取最大粒径小于等于 30 mm 且杂质少的碎石。

(2)土:就地选取湿度低、杂物少的土壤进行填筑,如图 5 所示。



图5 试验段用填料

在现场对填料进行含水率测试,参考《公路工程集料试验规程》(JTG E42—2005),使用酒精燃烧法测量含水率为 11.2%,满足要求。

3.3 机械设备

试验段机械设备见表 3。

表3 试验段铺筑机械设备

名称	规格、标准	数量
挖掘机	SK300-8	1
装载机	YL300	1
自卸汽车	金刚 35T	2
钢轮压路机	YZ12E	1
平地机	PY220C	1

3.4 路段铺筑

(1)如果在道路表面直接设置土工格室,会对土工格室性能正常发挥造成一定影响。故对试验段进行预处理,如图 6 所示。



(a)不良路段开挖处理 (b)开挖后压实处理

图6 不良路段预处理

试验段采用 SK300-8 小型挖掘机,开挖深度约 0.5 m,预处理路基下部浆液及渣土碎石。后由 YZ12E 钢轮压路机进行压实处理,如图 6(b)所示,保证下层良好的压实,便于土工格室的铺筑。

(2)土工格室中的填充材料使用碎石或试验段的土壤。由于现场获得的材料具有很大的变异性,因此应尽可能避免填料粒径过大,以防止填充和加固路基难以压实;并使用湿度低的填料。

(3)在高强度路基横断面方向(铺设时沿焊缝方向)铺设土工格室,不良路段及改进后的土工格室铺筑如图 7 所示。



(a)开挖压实处理后 (b)开挖后土工格室的布设

图7 不良路段处置及改进后土工格室布设

(4)土工格室拉伸张开至 600 cm × 1 000 cm,每个格室张开后大致呈正菱形,并用一定数量高度约 50 cm 的 U 形钉固定。

(5)由于工件高度太高且松铺系数为 1.3~1.4,填料高出格室高度 10 cm 左右。应先初步整平填料,压路机于保护层厚度之上进行作业。

(6)采用 30 t 左右 YZ12E 钢轮压路机对试验路段进行压实处理:a.加固路基,静压 2~3 遍整平保证格室是全被填料覆盖;b.采用激振力较小振幅(15 t)对试验段进行微振压实处理 2~3 遍;c.采用机械最大激振力(30 t)对试验段压实 2~3 次。格室布设后试验段处置如图 8 所示,后测量道路压实度,大于设计压实度(93%)即可^[17]。



(a)格室布设后压实 (b)试验段压实后工况

图8 格室布设后试验段处置

土工格室铺设施工流程图如图 9 所示。

4 路段测试结果

压实度是工程应用中重要的评价指标,直接影响土体的强度,对路基加固具有重要意义。土工格室壁和填料之间的相互作用形成复合受力,承受道路

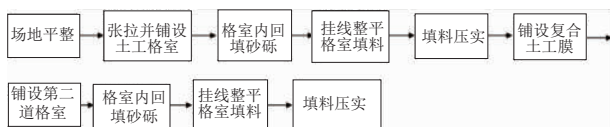


图9 土工格室铺设施工流程图

上部荷载。如果压实度达不到标准,在车辆荷载下道路出现严重的沉降,影响格室对填料的约束作用,且格室壁与填料间的摩阻力、抗拉强度和焊点强度不能得到充分反映,使路基加固性能大大降低。

弹性模量指路基荷载、路面和筑路材料产生的应力与相应弹性变形之间的关系。弹性模量表示地基在垂直荷载作用下,在弹性变形阶段抵抗变形的能力。地基的弹性模量越大,垂直荷载作用下的竖向位移越小;若垂直位移恒定,弹性模量越大,那么地基承受外部荷载的能力越强。因此,采用弹性模量来评价路面质量。

由经验推导得到弹性模量计算公式(1):

$$E_i = \frac{\pi D}{4} \times \frac{\sum P_i}{\sum L_i} \times (1 - \mu^2) \quad (1)$$

式中: E_i 为弹性模量,MPa; D 为承载板的直径,本试验中所选承载板 $D=0.3$ m; $\sum L_i$ 为1 mm内实测变形值之和,0.01 mm; $\sum P_i$ 为对应 L_i 下的各级荷载之和,MPa; μ 为碎石泊松比,本试验取值0.25。

根据《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450—2019)^[18],对试验段开展压实试验并测试道路弹性模量,并选择四个点。由于现场施工中的许多不可控因素,如填料的分散以及铺设过程中保护层设置的厚度较大,可能会出现填料密封性较差的问题,实测加固路基的模量比实际模量有所减小。测量结果见表4。

表4 试验段土工格室加固路基弹性模量汇总表

格室尺寸	各点所测模量 E_i 值 /MPa				平均值	代表值	压实度均值 /%
150 × 800 棱	60	59	58	62	59.75	55	92.3
未加固	45	49	48	46	47	43	92.7

从表4可以看出,用于不良路段抢险的改良土工格室加固效果良好,通过控制,空白段与试验段压实度相近,在试验段的土工格室布设中,结构层的弹性模量比未加固路基的弹性模量高12.75 MPa,提高27.13%,加固效果显著。低压实度下土工格室加固效果较差;随着压实度的提升,填料与土工格室的交互得到体现,加固效果增加。

试验段铺设后,检查其平整度,检测通车以及不良路段下土工格室的性能。50次重载后,加固段与未加固段之间存在明显差异;经过100次重型车辆通

行,加固试验段道路无明显破坏现象,未加固试验段道路出现较明显的破坏,如翻浆、车辙现象;加固试验段与未加固试验段的状况如图10所示。



(a) 加固试验段

(b) 空白对照组

图10 试验段疲劳分析

通过实验结果分析可知,对于简易路面的抢险救灾来说,土工格室具有良好的服役效果,土工格室对于填料的侧向位移有良好的约束效果,提升结构层整体的承载力;在结构层中,改进节点的特殊棱柱结构可以有效支撑与分散上层应力,使得铺筑的简易路面具有良好的行车性能,从而延长道路的使用寿命。

5 结 语

通过对现有土工格室市场调研,发现现有土工格室在节点处均较为薄弱。对其节点强度进行改进,并将改进后的土工格室在抢险工况施工现场进行检验,结果如下:

(1)通过布置抢险工况试验现场,对改进后的土工格室进行性能验证。通过设置试验段与空白段,对比二者实测得到的弹性模量及倒流压实度,以验证改进后的土工格室对道路性能的提升。在50辆和100辆重载车辆通过后,以及车辆通过后的第二天,对试验段及空白路段进行检查,以评估改进后的土工格室的路面服役性能。由测试结果可知,加固试验路段未出现明显破坏现象,未经处理的道路出现较明显的破坏,如翻浆、车辙现象。

(2)经改进的土工格室支撑后,简单改进的路面具有良好的路用性能,施工车辆可直接沿道路行驶、转弯和掉头;在土工格室上部设置约5 cm的填料保护层,即可保证道路质量。

参考文献:

- [1] HEGDE A. Geocell reinforced foundation beds—past findings, present trends and future prospects: a state-of-the-art review[J]. Construction and Building Materials, 2017, 154: 658–674.
- [2] 赵明华,陈大兴,刘猛,等.考虑土拱效应影响的路堤荷载下土工格室加筋体变形分析[J].岩土工程学报,2020,42(4): 601–609.
- [3] SONG F, LIU H, MA L, et al. Numerical analysis of geocell-reinforced retaining wall failure modes[J]. Geotextiles and Geomembranes,

- 2018, 46(3): 284 - 296.
- [4] KURIHASHI Y, OYAMA R, KOMURO M, et al. Experimental study on buffering system for concrete retaining walls using geocell filled with single-grain crushed stone[J]. International Journal of Civil Engineering, 2020, 18(10): 1097-1111.
- [5] LIU Y, DENG A, JAKSA M. Failure mechanisms of geocell walls and junctions[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2019, 47(2): 104-120.
- [6] HAN J, YANG X, LESHCHINSKY D, et al. Behavior of geocell-reinforced sand under a vertical load[J]. Transportation Research Record, 2008, 2045(1): 1-14.
- [7] LESHCHINSKY B, LING H. Effects of geocell confinement on strength and deformation behavior of gravel[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2013, 139(2): 340-352.
- [8] SONG F, LIU H, HU H, et al. Centrifuge tests of geocell-reinforced retaining walls at limit equilibrium[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2018, 144(3): 5-13.
- [9] YANG X, HAN J, POKHAREL S K. Accelerated pavement testing of unpaved roads with geocell-reinforced sand bases[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2012, 32: 95-103.
- [10] 高昂, 张孟喜, 刘芳, 等. 分级循环荷载下土工格室加筋路堤模型试验研究[J]. 岩土力学, 2016, 37(8): 2213-2221.
- [11] ADEM I, AYHAN G. Pullout behavior of geocell reinforcement in cohesionless soils[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2020, 48(1): 71-81.
- [12] 许淋颖. 土工格室加筋土挡墙试验研究[D]. 石家庄: 石家庄铁道大学, 2019.
- [13] JTG F80-1—2017, 公路工程质量检验评定标准[S].
- [14] JTGT F20—2015, 公路路面基层施工技术细则[S].
- [15] JTT 516—2004, 土工格室产品技术标准[S].
- [16] JTG B01—2014, 公路工程技术标准[S].
- [17] 袁斌. 土工格室施工方法和质量检测标准[J]. 工程与建设期刊, 2006, 20(1): 63-64.
- [18] JTG 3450—2019, 公路路基路面现场测试规程[S].

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴, 为您提供平台, 携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com