

文章编号:0451-0712(2006)04-0135-05

中图分类号:U416.1

文献标识码:A

土工格室垫层+碎石桩复合地基在高速公路软基处理中的应用与研究

蒋鹏飞¹, 陈昌富², 赵明华², 杨 宇², 杨明辉²

(1. 湖南省临长高速公路建设开发有限公司 长沙市 410019; 2. 湖南大学岩土工程研究所 长沙市 410082)

摘 要: 介绍了土工格室的材料特性;介绍了土工格室垫层+碎石桩复合地基处理软土地基的设计方案并通过对室内外试验成果的分析研究,详细阐述了土工格室垫层+碎石桩复合地基的形成特点及作用机理;结合数值分析方法,对土工格室垫层+碎石桩复合地基的受力性状进行了分析研究,得到了一些有益的结论。

关键词: 软基处理; 土工格室; 碎石桩; 作用机理; 受力特性

土工格室垫层+碎石桩复合地基,是通过对软土地基进行碎石桩加固并铺设具有立体三维结构的土工格室垫层的办法,形成的一种新型复合地基,属“水平向增强体+竖向向增强体”的复合地基形式^[1],已在高速公路软基处理中得以成功应用,并根据高速公路的特点,进行了室内外试验和相关理论研究,取得了一定的成果^[2~8]。

1 土工格室产品简介

土工格室是 20 世纪 80 年代国际上开发出来的一种新型特种土工合成材料,从问世初期便得到了工程界的广泛重视并吸引了世界各国相关科研机构的注意力,现已广泛应用于边坡防护、水土保持、挡土墙修建、承料座建造等领域。土工格室是由高密度的聚乙烯宽带(PE、HDPE)经超声波焊接而成的具有蜂窝状格室结构的三维立体材料,针对具体的应用领域其结构可能会有一些改变,但其基本形式和原理是大致相同的,如图 1 和图 2 所示。

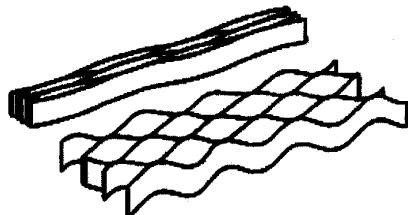


图 1 土工格室结构

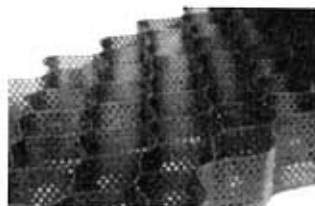


图 2 带排水孔的土工格室

土工格室具有优良的工程使用性能:

(1) 土工格室具有稳定的化学性能,耐酸耐碱,适用于不同的土壤;

(2) 土工格室以聚烯烃为基材,加入特殊的添加剂,具有优良的耐老化性能,经过热氧化试验,在 70℃ 状态下,经过 49 年其拉伸屈服强度才下降至 70%;

(3) 土工格室几何尺寸、焊距、高宽比等参数可选性大,在用于挡土墙和坡面防护工程时,有多种颜色备选,可满足实用和环境美观的要求。

由于土工格室具有以上的特点,并且重量较轻,伸缩自如,运输时可以折叠,施工方便,通过改变格室的深度、格室板块组合等多种方案,可获得刚性或半刚性的板块,因此它已经在国内外广泛应用于软基处理、边坡防护、挡土墙的修建、桥头跳车的处理、沙漠路基处理、滩涂处理和机场建设等。

2 土工格室垫层+碎石桩在高速公路软基处理中的应用

湖南省临湘~长沙高速公路(以下简称临长路)

地处湖南省北部,途经洞庭湖区,工程水文地质条件复杂。路线经过地区存在大量的因冲积、淤积等外力地质作用形成的松软堆积物,因此,临长路沿线地基含有大量的软土地基,必须对其进行妥善的加固处理才能满足公路工程建设的要求。经技术经济分析比较,临长路软基处理采用了以土工格室垫层+碎石桩处理为主的方案。实践表明,处理后的软基较稳定,挖填交界处差异沉降小,保证了路基的施工质量。

2.1 软土基本情况

工程地质报告指出,临长路软土分布广、分布深度差异大,成因以及地形地貌十分复杂;天然地基承载力小,荷载作用下变形很大,不能满足承载力和沉

降要求。沿线软土大都位于池塘、稻田和山间河谷中,冲洪积或地下水浸泡成因较多,尤其以第一标段和第七、八标段最为明显。软土地层的物理力学指标变化较大,与沿海地区软土相比,其含水量较低,而内摩擦角偏高,且临长路软基具有分布不均、含有机质及含砂夹层等特点。

以临长路第一标段为例,软基基本情况如下。该段软土位于稻田中,属冲洪积成因。经现场挖坑揭露,土层分布由上到下依次为:地表为 0.3~0.5 m 厚耕植土;其下为含有机质的较深色软土,深度较大但大小不一;再下为含水量较大的砂卵石层。软土土性指标如表 2 所列。

表 2 第一标段软土土性指标

含水量 %	孔隙比 e	液限 %	塑性指数 I_p	粘聚力 kPa	内摩擦角 φ (°)	压缩系数 M_{Pa}^{-1}	密度 g/cm^3
23.20~50.6	0.71~1.31	36~64	15~34	4~12.5	20~24°	0.40~1.85	1.61~1.88

2.2 软土处理方案

经优化比选,当纵向软土深度 $H=4\sim5$ m 时,采用土工格室垫层或碎石桩处理方案;软土深度 $H>5$ m 时,视地质条件、工程施工条件以及软土深度等情况,采用不同长度碎石桩配以土工格室垫层方法处理。软土深度沿路基横剖面分布不均匀地段,当软土深度 $H_{max}<3$ m 时,挖土换填;当软土深度 $H_{max}=3\sim4$ m 时,对于软土深度沿路基横剖面方向分布是中间低两边高的情况,上部不换填,采用碎石桩或土工格室垫层处理;当软土深度 $H_{max}>4$ m 时,上部不换填,视软土性质一次性采用碎石桩并辅以土工格室垫层方法处理。

振动沉管碎石桩的布置范围:沿路线方向应超出设计加固长度 2~3 排,沿道路横断面应超出基底宽度 2 排。桩的平面布置形式采用正三角形,即梅花形布置。桩长采用分段控制的方法。如果地基软土深度 ≤ 8 m,碎石桩应穿过软土层,达到持力层,建议进入持力层 20~40 cm;如果地基软土深度 > 8 m,碎石桩桩长为 8 m。采用直径 $\phi 325$ 桩管施工,配 $\phi 385$ 的大头型活瓣式桩尖。桩间距为 1.5 m。振动沉管碎石桩桩体材料采用未风化干净砾石。砾石粒径为 20~40 mm,自然级配,含泥量 $< 5\%$ 。

典型的软基处理设计方案如图 3 所示。

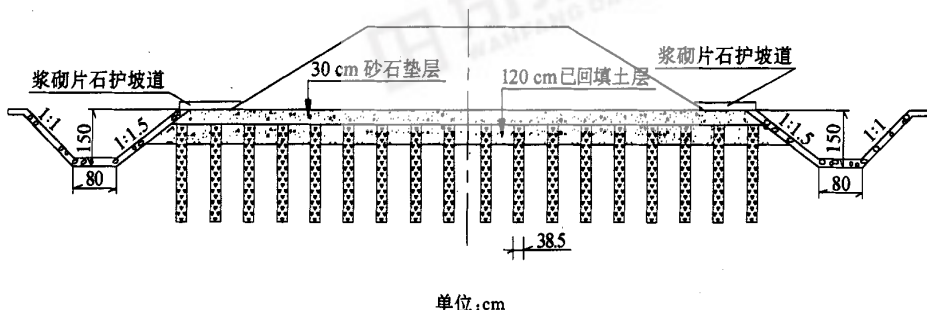


图 3 土工格室垫层+碎石桩处理软基方案

3 土工格室垫层+碎石桩复合地基作用机理

近年来进行了一系列现场及室内模型试验,以对土工格室垫层+碎石桩复合地基的加固机理进行研究^[3~6]。研究表明,土工格室垫层+碎石桩复合地基在路堤荷载的作用下,各个部分相互作用,共同工

作,共同促进了地基承载条件的改善,其作用机理基本上可以概括为以下几个方面。

(1)土工格室垫层的水平向增强作用。土工格室对格室内的填料具有强大的约束力,使得在荷载作用下土工格室与填料共同工作,形成一个具有一定

抗弯、抗剪和抗压强度的柔性筏板基础,能够有效地扩散上部路堤荷载,均化软基顶面的应力分布。

(2)碎石桩的竖向增强作用。土工格室垫层通过改善浅层软土的外部受力环境,提高了地基承载力。而设置在软基中的碎石桩作为竖向增强体,将上部荷载通过桩体向地基深处传递,挤密并置换了部分软土,改善了软土的排水条件,加速了软土中超孔隙水压力的消散,从根本上改善了软土的物理力学特性,提高了地基承载力和抗变形能力。

(3)土工格室垫层与碎石桩组成约束调节与支撑体系。土工格室垫层和碎石桩在荷载作用下相互作用,共同工作。碎石桩复合地基在荷载的作用下,桩间土和桩体分别按一定的比例分担荷载作用。要充分发挥碎石桩的承载力,桩间土的有效约束是必不可少的条件。要使得桩体和桩间土在荷载作用下相互影响、共同工作,必须使得桩体受到有效约束,并且桩体和桩间土分别按各自的承载力分担荷载。土工格室垫层的存在能够有效调节桩土应力比,约束桩顶鼓胀变形并且充分发挥桩间土体的承载能力。在荷载的作用下,土工格室垫层对于桩土应力比的调节是一个十分复杂的过程,其间包括桩顶受到较大的荷载作用首先发生沉降变形,变形达到一定程度后,桩间土开始承受荷载并和桩体共同沉降,以及桩体和桩间土的相互影响并最终达到按一个稳定的比例分担荷载的阶段。荷载经过土工格室加筋碎石垫层的均化和扩散作用,最终由土工格室垫层+碎石桩复合地基共同承担。

此外,碎石桩和土工格室加筋碎石垫层共同构成性能良好的排水体系。通过在软基中设置碎石桩,

大大改善了软土层的排水条件,减小了渗径,在荷载作用下,孔隙水通过向碎石桩渗透并沿着桩体向上逐渐排出,再通过土工格室垫层向路基外侧排出,如图 4 所示。

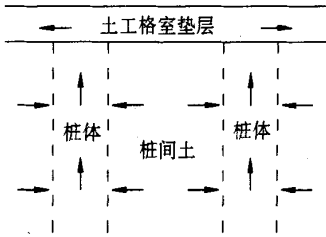


图 4 土工格室垫层+碎石桩复合地基排水体系示意

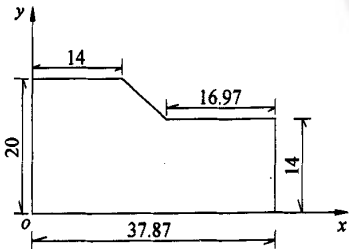
4 土工格室垫层+碎石桩复合地基受力性状分析

土工格室垫层+碎石桩复合地基承载机理有别于一般的复合地基,对于其应力、沉降的分布规律以及影响因素,目前国内外研究很少。本文以有限差分数值计算软件FLAC^{3D}为计算工具,对土工格室垫层+碎石桩复合地基在各种不同条件下受力性状及影响因素,进行了较为深入的探讨。

4.1 计算模型的建立

以某高速公路土工格室垫层+碎石桩处理软基地段原始模型为基础,模型尺寸如图5所示。因为模型沿路面中线对称,所以按对称性原理取半幅宽研究。路线方向为 z 方向。对于本模型中的材料均采用摩尔—库仑模型。

根据所建分析模型和实际情况,可采用的约束条件为:(1)沿路中线对称,在 $x=0$ 处以及模型右端, x 向约束;(2)在 $y=0$ 处, y 向约束;(3)纵向位移为0, z 向约束。



单位:m

图 5 模型横断面及纵断面

4.2 计算结果分析

作用于碎石桩复合地基上的荷载,分别传递给桩体和桩间土。其中,碎石桩的刚度明显大于桩间土,将承担大部分的荷载。图 6~图 9 为某一荷载水

平下,路堤下各深度的桩土应力分布情况,横坐标代表单元中心距中线对称面的距离。由图 6~图 9 所示结果得,碎石桩的平均应力为 10.51 kPa,桩间土的平均应力为 2.18 kPa,碎石桩承担的荷载远大于桩

间软土;桩顶桩土应力比大约在5左右,随着深度的增加,桩土应力比相应减小,至桩底时应力比降至1.5~2左右,桩土应力的差别已不太明显。

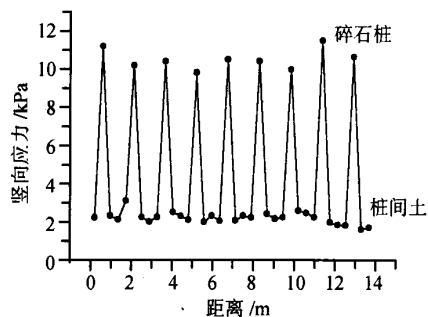


图6 桩顶平面应力分布情况

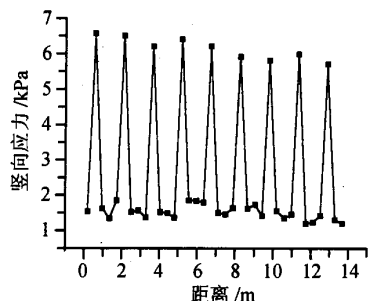


图7 桩顶以下1 m平面应力分布情况

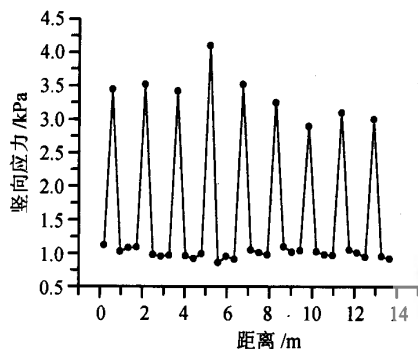


图8 桩顶以下2 m平面应力分布情况

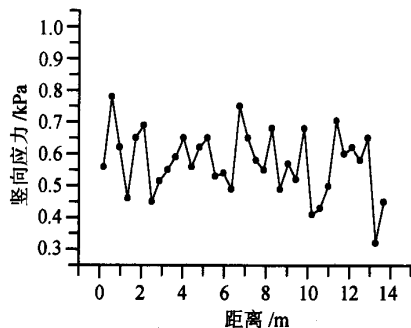


图9 桩底平面应力分布情况

由此可以看出,碎石桩复合地基通过在软基中设置刚度相对较大的碎石桩,增强了地基的承载能力,碎石桩作为竖向增强体,承担了大部分上部荷载,并将上部荷载向地基深部传递,使软基的附加应力向深处发展,加大了附加应力的影响范围。分析结果显示,比之软土路基,复合地基桩底处的附加应力有明显的增大现象。

由于土工格室垫层强度较高,在碎石桩上应用后能增大桩土荷载分担比,让复合地基中的桩体更好地发挥作用,从而改善路基受力性状,提高复合地基承载力,减小复合地基沉降。图10为路堤荷载下,加铺土工格室垫层的复合地基与无垫层的复合地基沉降对比图;图11为加铺土工格室垫层的复合地基与无垫层的复合地基竖向应力对比图(横轴为距中线对称面的距离)。由图10可知,加铺土工格室垫层后,明显减小了复合地基的整体沉降,并使桩土沉降更加均匀。而从图11可以看出,在同一级荷载下,加铺土工格室垫层之后,复合地基碎石桩平均应力由10.51 kPa降至6.21 kPa,桩土应力比也相应减小,地基应力趋于均匀。

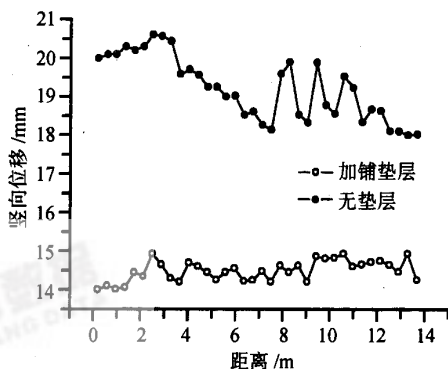


图10 加铺垫层与无垫层沉降对比

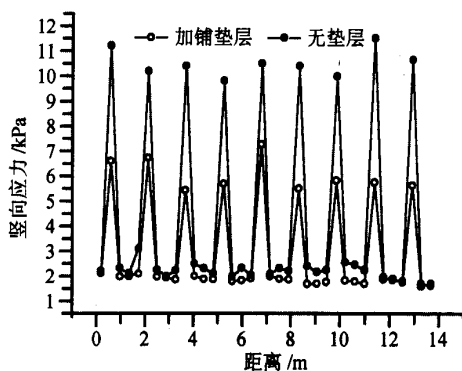


图11 加铺垫层与无垫层应力对比

5 结语

土工格室是一种新型的三维土工合成材料,以其为主体的土工格室垫层+碎石桩等软土地基处理新方式,已在高速公路软土地基处理中得以广泛应用。实践证明,这些方法能满足高速公路对软基处理的高要求。但从目前的研究成果来看,对其作用机理特别是土工格室垫层+碎石桩复合地基体系作用机理研究,尚处于探索阶段。

土工格室垫层+碎石桩复合地基体系,是通过联合设置竖向和水平向增强体处理软基的复合地基。在这样的复合地基中,水平向增强体起到改善下卧软土外部荷载环境的作用,竖向增强体则起到改善软土本身承载性能的作用,水平向增强体和竖向增强体相互作用、共同工作,作为一个有机的整体共同承担外部荷载的作用。实际上这一体系具有很大的外延,在工程实践中可以根据工程需要将这一体系加以推广,比如采用土工格室垫层+粉喷桩复合地基、土工布+碎石桩复合地基、土工格栅+袋装砂井、土工格栅+塑料排水板等形式,只是需要针对具

体情况选用具体的形式进行搭配组合设计。

参考文献:

- [1] 杨宇,陈昌富,陈砚祥. 双向复合地基研究现状及展望[J]. 南华大学学报(理工版),2003,17(4).
- [2] 赵明华,等. 土工格室+碎石垫层结构体的稳定性分析[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2003,30(2).
- [3] 陈艳平. 土工格室碎石垫层+碎石桩复合地基模型试验研究[D]. 长沙:湖南大学,2003.
- [4] 郭燕平. 土工格室柔性筏基加固浅层软弱地基试验研究[J]. 山西交通科技,2001,24(3).
- [5] 方卫民,王炳龙,周顺华. 不同高度土工格室整治路基病害的试验研究[J]. 大坝观测与土工测试,2000,24(6).
- [6] 江辉煌. 土工格室加筋基床表层的模型实验与分析[D]. 北京:铁道部科学研究院,1996.
- [7] 龚晓南. 复合地基理论及工程应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [8] 赵明. 碎石桩复合地基理论分析与试验研究[D]. 长沙:湖南大学,2002.

Application and Research on Geocell and Gravel Pile Composite Foundation in Soft Ground Treatment in Expressway

JIANG Peng-fei¹, CHEN Chang-fu², ZHAO Ming-hua², YANG Yu², YANG Ming-hui²

(1. Hunan Lin-Chang Expressway Construction and Development Corporation Ltd., Changsha 410019, China;

2. Institute of Geotechnical Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: The material characters of geocell and the design scheme for soft ground treated by geocell and gravel pile composite foundation are introduced. Through analyzing the results from on-the-spot and indoor experiments, the formation characters and working mechanism of such composite ground are explained in detail. Combined with numerical analysis methods, the mechanical characters of such composite ground are studied and some meaningful conclusions drawn.

Key words: soft ground treatment; geocell; gravel pile; working mechanism; mechanical character