

EPS 颗粒混合轻质土的施工技术及其应用实例

李明东¹, 朱伟^{2,3}, 马殿光⁴, 姬凤玲⁵

(1. 河海大学岩土所, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098; 3. 河海大学水文水资源与水利工程国家重点实验室, 江苏 南京 210098; 4. 交通部天津水运工程科学研究所, 天津 塘沽 300456; 5. 深圳大学建工学院, 广东 深圳 518060)

摘要: EPS 颗粒混合轻质土是一种轻质、高强、环保、经济的新型土工材料, 但国内还未见工程应用的报道。通过在新安江电厂 88—70 开关站交通道路工程中的应用实践, 探讨了 EPS 颗粒混合轻质土的施工技术, 证实了该材料可以起到缩短工期和提高工程安全性的目的。

关键词: 施工技术; 轻质土; 工程实践; 泡沫塑料; EPS

中图分类号: TU58 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2006)04-0533-04

作者简介: 李明东(1981-), 男, 山东平邑人, 在读博士, 从事 EPS 颗粒混合轻质土的研究工作。

Construction technology and application in-situ of expanded polystyrene treated lightweight soil

LI Ming-dong¹, ZHU Wei^{2,3}, MA Dian-guang⁴, JI Feng-ling⁵

(1. Research Institute of Geotechnical engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Environment Science and Engineering College, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. State Key Laboratory of Hydrology Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 4. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, Tianjin 300456, China; 5. Civil Engineering College, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China)

Abstract: Expanded polystyrene treated lightweight soil is a new geotechnical material with light-density, high-strength, environment-efficacy and low-price, but there wasn't any construction experience with it in China before. It was used in road of 88~70 entrance in Xin'anjiang hydroelectric power plant. Based on this project, its construction technology was summarized. It was proved that the effect of decreasing construction time and improving safety could be achieved.

Key words: construction technology; lightweight soil; engineering practice; expanded polystyrene; EPS

0 前言

发泡聚苯乙烯 (EPS) 颗粒混合轻质土是在原料土中添加 EPS 颗粒、固化材料和水混合搅拌后经固化形成的轻质土工材料。EPS 颗粒混合轻质土的原料土一般可以因地制宜, 淤泥^[1]、砂土^[2]和粘土^[3]都可以使用; 固化材料一般使用水泥^[1-3]; EPS 颗粒既可以使用发泡聚苯乙烯球粒^[1-3], 也可以使用废弃泡沫塑料破碎的颗粒^[4]。它具有密度小^[1]、强度高^[5]、强度可调节^[5]、经济性好的优点^[6]。

EPS 颗粒混合轻质土按照施工方法可以分为两类: 浇注型 EPS 颗粒混合轻质土, 这种施工方法先将原料土、EPS 颗粒、固化材料和水混合成为具有流动性的浆体, 然后以泵为动力提供装置、以管道为媒介将浆体输送到施工现场, 进行浇注施工。其特点是施工方便快捷, 对于高含水率的淤泥和粘性土特别适用; 碾压型 EPS 颗粒混合轻质土, 这种施工方法先将原料土、EPS 颗粒、固化材料和水混合为松散状拌

和物, 然后用货车将拌和物运输到施工现场, 通过分层碾压或者夯实使其密实, 再经过固化形成具有需要强度的整体。其关键技术是含水率的控制, 适宜于低含水率的砂土和粉土^[7]。

日本率先于 20 世纪 80 年代进行了 EPS 颗粒混合轻质土的研究, 并成功地用于路基填土、港口工程中。典型工程有东京国际机场、九州熊本岛码头回填土、北海道石狩湾岸壁加固, 都采用了浇注型 EPS 颗粒混合轻质土, 解决了竖向和水平向土压力过大、沉降过大、稳定性低的问题^[8]。我国对 EPS 颗粒混合轻质土的研究尚处于起步阶段, 仅开展了一些室内试验研究工作^[1-5], 现场应用的事例未见报道。

根据碾压型 EPS 颗粒混合轻质土在新安江电厂辅助交通道路路基工程中的应用, 介绍了碾压型 EPS 颗粒混合轻质土的施工技术, 证实了该材料可以运用已

收稿日期: 2005-03-07

有的仪器设备进行现场施工。通过工后检测证明该材料达到了要求的强度和密度,达到了缩短工期和提高工程安全性的目的。

1 工程概况

新安江电厂“88—70 开关站交通道路”位于新安江右岸大坝下游 100 m 处,是坝肩坡面处连接 88 m 高程平台和 70 m 高程平台的道路。道路按等级外公路标准设计,全长 180 m,起终点间的高差为 18 m,路面净宽为 3.5 m。该路基于 2004 年 10 月 1 日开工,2004 年 10 月 14 日填筑完成,总时间为 14 d。实际施工中采用两种断面形式,分别如图 1、2 所示。

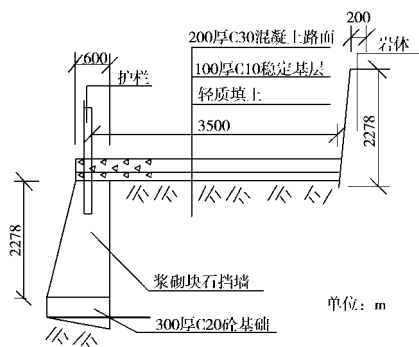


图 1 挖方处设计断面图

Fig. 1 Cross section of excavation site

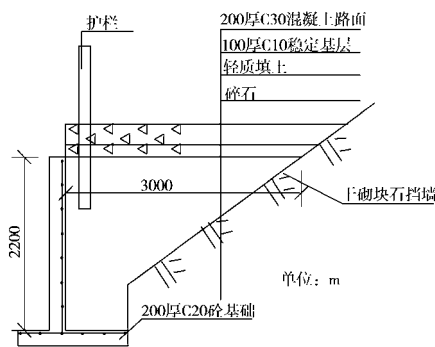


图 2 填方处设计断面图

Fig. 2 Cross section of fill site

由于道路所处山体的坡度较陡,路基工程中存在 3 个技术难题: 挖方处挡土墙的稳定性问题。若在挖方处填筑普通土,会对挡土墙产生较大的土压力,可能引起挡土墙失稳。填方处整体稳定性问题。坡面本身陡峭,最大坡比达到 0.733,若使用普通填土,路基和干砌块石之间的粘结力很小,降雨后,含水率增大,摩擦系数减小,接触面处容易产生整体滑动失稳。填方处不均匀沉降问题。由图 2 可见,断面上各处填土厚度不同,若使用普通填土,容易产生差异沉降,引起路面开裂。除了工程技术外,还存在工期紧张的问题。

为了解决这些问题,设计中采用 EPS 颗粒混合轻质土作路基填土材料。根据现场土料条件,原料土使用了细砂,含水率为 11.4%;轻质填料为 EPS 颗粒,粒径为 2~3 mm,堆积体密度为 0.02 g/cm³;固化材料为浙江省建德市超翔水泥厂生产的 #32.5 普通硅酸盐水泥。设计配方为每吨 EPS 颗粒混合轻质土中添加原料土 904 kg,水泥 82.5 kg, EPS 颗粒 13.5 kg。

2 施工技术

2.1 施工机械

搅拌机:强制 JS500 型混凝土搅拌机,料斗容积为 0.5 m³,每次搅拌 0.3 m³。运输车:载重量为 5 t,每次运输 1.2 m³。夯实机:HZ85 型平板震动夯实机,夯击力 18000 N,夯击面积 0.16 m²。

2.2 原材料添加量

为方便施工,原料土和泡沫塑料的添加量通过体积来控制,水泥添加量通过质量来控制。经现场测试原料土自然堆积密度为 1.28 g/cm³,泡沫塑料堆积体密度为 0.02 g/cm³。根据搅拌机拌和能力计算得每次搅拌加湿土 0.21 m³,加泡沫塑料 0.2 m³,加水泥 25 kg。

2.3 施工工艺

(1) 施工放样 根据道路设计定出相应位置,作为参照点,测量人员在施工现场进行观测修正。

(2) 路基准备 去除表面松散土和残枝败叶,以防在原地基和 EPS 颗粒混合轻质土之间产生薄弱带。

(3) 搅拌 将原料土和 EPS 颗粒根据计算出的单次搅拌用量按体积量测并装入搅拌机,接着将水泥称量后装入搅拌机,开动搅拌机搅拌至原材料均匀混合。对于强制 JS500 型混凝土搅拌机需要搅拌 5 min。

(4) 运输 在运输过程中,如果车速过快,会引起 EPS 颗粒混合轻质土中泡沫塑料颗粒被风吹散。所以限制运输车速度小于 50 km/h,也可以在运输时表面用盖布铺盖。

(5) 摊铺整平 由人工摊铺搅拌好的拌合料,然后进行整平。每层的填土厚度要根据击实功确定,一般情况下取 20~30 cm。在本次施工中,采用平板震动夯实机进行夯实,击实功不大,每层厚度定为 20 cm。

(6) 碾压或夯实 碾压中需要注意的是过重的碾压机械会使 EPS 颗粒发生塑性变形,从而使 EPS 颗粒混合轻质土的密度增大。如果碾压后不拉毛直接铺上一层,容易在层间形成强度薄弱带。由于平板振动夯实机不会使 EPS 颗粒发生永久变形,所以这次工程实践使用的压实机械是平板振动夯实机,每处夯击 2~3 次。

(7) 养护 养护方法和混凝土类似,用湿稻草覆盖

其表面, 并适时洒水以保持其湿润。经室内试验研究发现, EPS 颗粒混合轻质土在 7 d 时的无侧限抗压强度可以达到 28 d 强度的一半, 据此确定养护时间应该超过 7 d。在夏季施工时, 表面水分蒸发快, 要增加洒水量, 在施工间歇时也要注意养护。

施工过程见图 3。

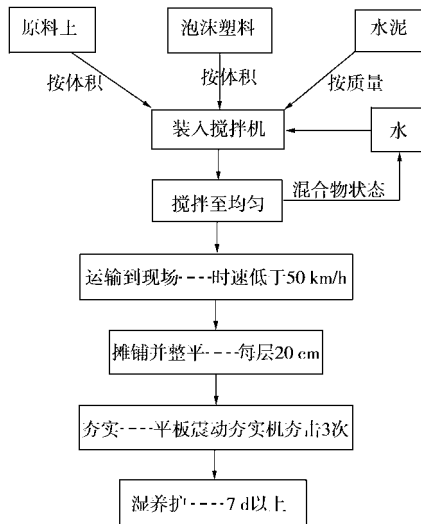


图 3 施工过程示意图

Fig. 3 Sketch map of construction procedure

3 应用效果及监测

3.1 室内实验结果

为了预测现场使用的效果, 依照尽量模拟现场的原则进行了室内试验。原料土、泡沫塑料同现场, 水泥使用江南水泥厂生产的中山牌#32.5 普通硅酸盐水泥, 各材料配比同施工现场。试样直径为 3.91 cm, 高度为 8 cm。在室内击实制样, 在温度为 20 °C、湿度为 100% 的养护条件下养护至 7 d 龄期。进行试验后测得试样的平均密度为 1.278 g/cm³, 平均无侧限抗压强度为 440 kPa。根据应力应变关系曲线, 在路面荷载为 20 kPa 时, 轻质土的应变仅为 0.1% ~ 0.2%。在填土为 2.2 m 深的情况下, 轻质填土层沉降仅为 3 mm 左右。EPS 颗粒混合轻质土的密度较小, 下层土的沉降就较小, 路面沉降将会比填筑普通粘土大为降低。以上试验结果均可以较好的满足工程需要。

3.2 现场测试结果

(1) 轻质土密度 经现场灌水法测试, 密度为 1.13 g/cm³, 可把竖向土压力降低到普通填土路堤的 60%。

(2) 轻质土试块强度在现场将搅拌好的轻质土装入长宽高均为 15 cm 的立方体模具中, 养护到 7 d 和 28 d 进行抗压强度试验。经测定, 抗压强度分别为 0.51 和 0.60 MPa。

(3) 动力触探测试在现场进行了 7 d 和 28 d 龄期

的轻型动力触探测试。测试结果见表 1。

表 1 动力触探实验测试结果

Table 1 Test results of dynamic sounding

深度 /m	龄期 7 d				龄期 28 d	
	击数				深度 /m	击数
	#1	#2	#3	#4	#7	
0.3	69	64	42	86	0.1	53
0.6	79	80	58	87	0.2	45
0.9	96	108	72	74	0.3	40
1.2	109	90	85	135	0.4	58
1.5	124	114	82	125	0.5	41
1.8	74	102	104	145	0.6	67
2.1	67	105	83		0.7	62
2.4		91			0.8	46
					0.9	57
					1	44
					1.1	84
平均	88.3	94.71	75.1	108.7	平均	59.5

根据规范^[9], 对于素填土, N 值为 40 时, 承载力标准值为 160 kPa, 对于粘性土, N 值为 30 时, 承载力标准值为 230 kPa, 对于第四纪粘性土, N 值为 70 时, 承载力标准值为 320 kPa, 对于粉、细砂, N 值为 70 时, 承载力标准值为 270 kPa。经现场测试, 轻质土在 7 d 龄期时, 所有测孔均满足路基承载力要求。28 d 测试表明, 强度又有明显增长。尽管本工程所采用的轻质土为新型土工材料, 没有相关规范, 但测试结果表明, 参照各种土取值, 其强度均满足承载力要求。

4 施工中存在的问题及处理方法

在这次 EPS 颗粒混合轻质土施工中, 还发现了一些问题, 分述如下。

4.1 施工荷载的处理

对 EPS 颗粒混合轻质土来说, 对挡土墙的最大侧压力发生在施工时。碾压机械或者震动夯实机的荷载会使 EPS 颗粒混合轻质土对挡土墙产生较大的土压力, 在施工前最好在挡土墙上附一层泡沫塑料板, 以缓冲施工荷载对挡土墙产生的侧压力, 但考虑到泡沫塑料板是阻水的, 应该和挡土墙一起打孔, 以防产生过大的孔隙水应力, 造成挡墙破坏。

4.2 碾压质量的控制

对于碾压型 EPS 颗粒混合轻质土, 密实度越高, 强度越高, 所以在施工中应该控制其密实度。本工程中这点考虑不周, 动力触探结果波动较大, 尚需进行进一步研究和探讨。

4.3 施工机械的改进

日本有 3 种型号的 EPS 颗粒混合轻质土混合搅拌机, 均为电动机械, 可组装可分解, 对原料自动计量, 产品可以自动排出, 也可以机械排出。3 种机械的型号分别是 150 型、120 型和 90 型, 其对应最大施工能力分别为 150、120、90 m³/d^[7]。由于这次施工是 EPS 颗粒混合轻质土材料第一次在国内施工, 所以也

没有专用施工机械,本次施工使用的是混凝土搅拌机和平板振动夯实机。虽然这次施工效果尚好,但有待施工机械研制人员研究更适合于大型工程施工的专用机械,既要提高质量控制能力,增大施工能力,也要提高自动化程度。由于EPS颗粒混合轻质土中的EPS颗粒在很高的碾压压力下会产生塑性压缩变形,使其达不到“轻”的目的,所以尚需研制适合于它的轻型碾压机械。

4.4 混合搅拌的工艺

在这次施工过程中进行混合时直接将含水率合适的原料土、固化材料和泡沫塑料颗粒进行混合搅拌,而日本的混合搅拌工艺如图4所示^[8],由此产生的区别有待于进一步研究,以期找到最合适的混合方式。

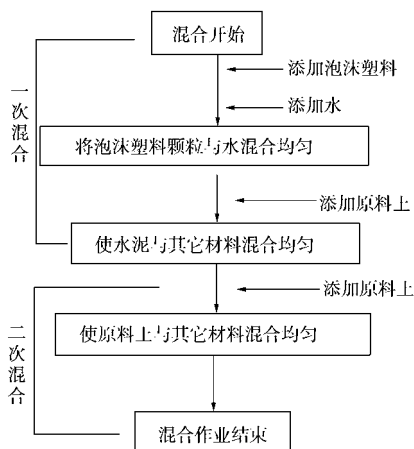


图4 日本轻质土混合搅拌工艺

Fig. 4 Mixing art applied in Japan

4.5 应用范围的拓展

EPS颗粒混合轻质土在日本的应用范围有管道覆土、桥梁基础附近填土、护岸和挡土墙背后填土、住宅地基、道路路基以及堤防用土。原料土曾使用过山砂、火山灰、粘土和废弃土。而在我国仅仅在路基中应用了以砂土为原料土的EPS颗粒混合轻质土,其它的应用尚需进一步研究与实践。

5 结 论

通过EPS混合轻质土在新安江电厂88—70开关站交通道路工程中的应用实践,证实了该材料可以应用混凝土搅拌机、运输车和夯实机进行现场施工,起到了缩短工期和提高工程安全性的目的,并得到一些重要参数,分述如下。

(1) 实际施工得到的EPS颗粒混合轻质土,其密度为 1.13 g/cm^3 ,强度达到 0.6 MPa 。起到了减小竖向土压力、减小沉降、提高工程安全性的作用。

(2) 本次路基施工仅用了14 d,体现了应用EPS颗粒混合轻质土能够起到缩短工期的作用。

(3) 在EPS颗粒混合轻质土利用平板震动夯实机施工时,每层填土的厚度取20 cm,每层夯实3遍是

可以的。

参考文献:

- [1] 姬凤玲,朱伟,范昭平.疏浚淤泥再生泡沫塑料混合轻质土的试验研究[C]//第九届土力学及岩土工程学术会议论文集.2003:1311-1315. (JI Feng-ling, ZHU Wei, FAN Zhao-ping. Experimental study on EPS beads mixed lightweight soil made with dredged silt[C]// The Ninth Soil Mechanics and Geotechnical Engineering Academic Conference Symposium. 2003: 1311-1315.)
- [2] 马时冬.聚苯乙烯泡沫塑料轻质填土(SLS)的特性[J].岩土力学,2001,2:245-248. (MA Shi-dong. The properties of stabilized light soil (SLS) with expanded polystyrene [J]. Rock and Soil Mechanics, 2001, 2: 245-248.)
- [3] 刘汉龙,董金梅,周云东,高玉峰.聚苯乙烯轻质混合土应力-应变特性分析[J].岩土工程学报,2004,26(5):579-583. (LIU Han-long, DONG Jin-mei, ZHOU Yun-dong, GAO Yu-feng. Study on the stress-strain characteristics of light heterogeneous soil mixed with expanded polystyrene [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(5): 579-583.)
- [4] 马殿光,朱伟,姬凤玲.一种新型废弃发泡颗粒轻质土材料的试验研究[J].防灾减灾工程学报,2004: 67-71. (MA Dian-guang, ZHU Wei, JI Feng-ling. Experimental study on disposal of scrap foam plastics mixed lightweight geomaterial[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2004: 67-71.)
- [5] 姬凤玲,朱伟,李明东.废弃泡沫塑料的疏浚泥固化处理技术的研究[J].环境科学与技术,2004(5): 69-72. (JI Feng-ling, ZHU Wei, LI Ming-dong. Solidification technique for disposal of scrap foam plastics and dredged silt [J]. Environmental Science and Technology, 2004(5): 69-72.)
- [6] MIHI Hiroshi. Cost reduction effect due to lightweight embankment[C]// Proceeding of the International Workshop on Lightweight Geo-Materials (IW-LGM2002). Japan: Tokyo, 2002: 1-16.
- [7] 長坂,加藤. 轻量土の施工方法と事例[C]// 轻量地盤材料の開発と適用に関するシンポジウム発表論文集.
- [8] TSUCHIDA Takashi, KANG Minsoo. USE of lightweight soil method in seaport and airport construction project[C]// Proceeding of the International Workshop on Lightweight Geo-Materials. Japan: Tokyo, 2002.
- [9] 中华人民共和国建设部. 建筑地基基础设计规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002. (Ministry of Construction of P R China. Code for design of building foundation[M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2002.)