

轻质混合土技术开发与工程特性

刘汉龙, 董金梅, 高玉峰

(河海大学 岩土工程研究所, 南京 210098)

摘 要: 通过对轻质混合土(由原料土、轻质材料、固化剂、水等组成)的特点、应用范围、施工工艺及工程特性的介绍, 说明轻质混合土的物理、力学特性随配比不同而变化, 具有轻质、高强的工程特性, 在岩土工程领域有广阔的应用前景。

关 键 词: 轻质混合土; 密度; 应力-应变特性

中图分类号: TU 449

文献标识码: A

Technical development and engineering characteristic of lightweight mixed soil

LIU Han-long, DONG Jin-mei, GAO Yu-feng

(Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Through describing the character, application and engineering properties of lightweight mixed soil, the paper demonstrates that its physico-mechanical characteristics are varied with different mixing proportions. It possesses the engineering characteristics of light weight and high strength and has a broad future of application in the field of geotechnical engineering.

Key words: lightweight mixed soil; density; stress-strain properties

1 前 言

随着道路的扩建、住宅面积的开发等, 软土地基上的填土施工急剧增加, 出现了固结下沉问题。轻质混合土是针对天然轻量土砂、聚苯乙烯材料等轻量填土工法的不足, 基于混合土本身的轻量子、易施工性及可利用建设废弃物、弃土淤泥、工业废料等废弃物而开发研制的一种新型填土材料(专利申请号 02112812.X), 在减轻填土荷重、降低护壁土压力方面具有一定的优越性, 可以通过减轻上部填土重量来降低地基中的应力水平, 是一种不需进行地基处理的软基处理方法。目前, 关于轻质混合土工程特性的研究在国外开始较早, 已取得了一定的研究成果, 在岩土工程中也得到了广泛的应用^[1]。我国研究起步较晚, 应用尚属空白^[2]。为使轻质混

合土在我国工程中得到推广应用, 因而此项技术的开发研制意义重大。

2 轻质混合土技术开发与应用

2.1 轻质混合土的组成材料

轻质混合土一般由原料土、轻质材料、固化剂和水等几种材料混合而成, 原料土可以采用标准砂, 也可利用疏浚淤泥、工程弃土、粘性土等。轻质材料通常采用发泡聚苯乙烯颗粒、发泡剂, 也可利用废弃的泡沫塑料或废弃的轮胎粒子等, 达到环保的目的。固化剂一般为水泥, 但也可加入适量的生石灰、粉煤灰、废石膏等, 组成固化剂系, 既可提高混合土的强度, 又可减少工业废料, 达到降低水泥使用量的目的。水为清洁的江河水或自来水, 起调节混合土流动性和促进固化剂固化的目的^[3]。

本次技术开发所采用的材料,原料土为南京市河西區地基深处的弃土为淤泥质粉质粘土,水泥使用南京宁峰水泥厂生产的标号为 425 的普通硅酸盐水泥, EPS 颗粒为球粒,粒径为 2~4 mm,水为自来水^[4]。

2.2 轻质混合土的特点

轻质混合土特殊的组成材料,具有与其他填土材料不同的特点:(1) 重度小,可以减轻对地基、构造物的荷载作用及地震时的惯性力,提高地基支持力和滑坡稳定性^[5]。本次试验中聚苯乙烯轻质混合土的密度变化范围在 0.656~1.177 g/cm³ 之间^[6]。(2) 自立性好。轻质混合土凝固后可直立,在垂直荷载作用下几乎不会产生侧向压力,可支撑简易墙体,还可用作模板^[5]。(3) 具有快硬性^[7],可以缩短填土施工工期,产生时间效益。使用轻质混合土构筑路基,在路基完成后,即可马上铺筑路面,不必担心基层沉降未稳定而造成崩裂和塌陷,如用于工程抢险,则具有快速优势。(4) 流动性好,通过调整含水量,改变轻质混合土的流动性,可以采用输泥管等施工设备进行施工^[7],即使是很小的角落或不规则的洞穴都可进行灌注,施工方便、效率高。(5) 不需要压实^[7],用简易的施工机具就可以完成,在用地有限的地方尤其适用,而且施工后的体积是搬运材料的几倍。(6) 密度、强度可以通过改变轻质材料与固化剂的含量进行调节^[7]。

2.3 轻质混合土的应用

由于轻质混合土具有上述优点,故可广泛用于软弱地基处理、桥头跳车问题、滑坡和边坡填土处理、海港护岸工程等基础设施建设中。其应用前景广阔,值得大力推广应用。目前在岩土工程中主要有以下几个方面的应用(图略):

(1) 软弱地基处理^[8]。对于软弱土,传统的处理方法工期长,工程造价高。采用轻质混合土置换软弱土层,则可减轻上部填土重量,降低地基中的应力水平,提高稳定性和减少沉降,也减少了对地下构筑物的竖向压力。

(2) 减轻高速公路桥头跳车问题^[1]。高速公路桥头跳车,已成为道桥界关注的一大技术难题。一方面是由于地基土软弱,压缩性大;另一方面是由于路堤填土高,土的重度大。二者都易导致桥台与路堤连接处的差异沉降过大,引起桥头跳车现象。用轻质混合土置换软土地基或在引桥路面以下至桥墩之间进行填土,可减小引桥路面沉降和桥墩所受的侧向压力。

(3) 陡坡地区施工^[7]。在陡峭的山坡上开挖或回填土方,回填土的重度对边坡稳定性有重要影

响,普通填土材料重度过大,使滑坡稳定性低,会造成边坡垮塌,施工极为困难。用轻质混合土填方则重度小,有良好的自立性,易在陡坡上保持自身稳定,而且施工非常简单。

(4) 减轻对构造物的土压力^[8]。主要应用于码头(隔墙、板桩挡墙),轻质混合土作为挡土墙后的填土,因其重度小,可减小竖向荷载,而且不产生侧向压力,同时还可减少地震时产生的土压力,提高抗震性能。

(5) 管道填埋^[8]。对于地下天然气管道、油管道、化学管道、污水管道等,由于其圆形结构,在回填土料时,存在压实不密的问题,利用轻质混合土进行填埋,不需要压实,非常有效。

(6) 拓宽填土施工^[9]。在城市拓宽公路路堤,面临用地紧张,作业面狭窄,不能放坡,工期短等困难,采用普通的填土材料难以施工,由于轻质混合土具有良好的自立性,因此,不需要放坡便可保持稳定。而且,轻质混合土重量轻,不会引起大的沉降,可减小对临近建筑物的影响。

2.4 轻质混合土的施工工艺

聚苯乙烯轻质混合土的现场施工顺序为人工撒布固化剂→人工撒布 EPS 颗粒→挖掘、混合→搬运→搬入和铺设→碾压、固化。

(1) 水泥和发泡聚苯乙烯球粒的混合:先采用简单机械撒布水泥,撒布的厚度要均匀;然后人工撒布 EPS 颗粒,最后撒布泥浆,主要是防止铺好的发泡球粒在风的作用下飞散。

(2) 挖掘和混合:在对原料土挖掘后,用油压回转式搅拌机搅拌,混合的速度为 1 m³,需要搅拌 1.8 min,混合后将聚苯乙烯轻质混合土装入卡车进行搬运,搬运距离施工现场可述 500 m 左右。

(3) 铺设、碾压:为了使混合土铺的比较均匀,在混合过程中搅拌均匀,填土施工完成后,用一定厚度的石灰覆盖养护,然后再进行后期施工。

3 轻质混合土工程特性

3.1 轻质混合土的密度

轻质混合土的一个显著特点是密度小,可以通过改变轻质材料的含量,在一定范围内调节,这也是作为填土材料引起关注的主要原因。由于聚苯乙烯轻质混合土是多种材料的混合体,密度与各组成材料的配比密切相关,并随配比的不同而变化,研究密度随配比的变化规律,对调节轻质混合土的目标密度具有指导意义。

EPS 是一种轻型高分子聚合物,具有重度小、

稳定性好的特点,堆积密度只有 0.019 g/cm^3 , 是土密度的 $1/80 \sim 1/100$, 作为轻质混合土中的特色材料, 在混合土中最直观的表现就是降低密度。EPS 颗粒含量与密度的关系为线性关系, 随着 EPS 颗粒含量的增加, 密度有较大幅度的降低^[6]。说明通过加入 EPS 颗粒来实现混合土的轻量化是可行的。

除 EPS 颗粒含量对密度有影响外, 水泥掺入比对密度也有影响, 水泥掺入比增加, 混合土的密度也在增加, 但增大的幅度很小, 说明水泥掺入比对密度的影响程度较小。水泥虽是混合土中密度最大的材料, 但由于所占的比例较小, 所以随着其含量的增加, 轻质混合土密度增加不明显。

水在混合土中的作用, 一是与水泥发生水化反应, 使混合土具有一定的强度; 二是有助于将各种材料混合均匀, 保证混合土的流动性, 方便施工。含水量对轻质混合土的密度也有影响, 含水量增高, 密度有降低的趋势, 但降低幅度不大。在标准养护条件下, 龄期 7 d 以后, 试样体积基本不发生收缩的情况下, 龄期几乎不会对混合土的密度造成影响^[6]。

因此, 对于轻质混合土密度的调节, 主要取决于 EPS 颗粒的含量, 而水泥掺入比、含水量和龄期的影响很小, 在实际工程应用中可以忽略不计。

3.2 轻质混合土的应力-应变特性

轻质混合土的应力-应变关系, 是描述荷载作用下变形与强度特性的基础, 也是评价地基变形与稳定性的前提条件。

3.2.1 单轴应力-应变特性

轻质混合土的单轴应力-应变曲线如图 1 所示。可以看出, 轻质混合土料与坚硬土体的应力-应变曲线有十分相似之处, 属于弹塑性材料, 有明显的峰值应力出现, 应力-应变曲线为加工软化类型曲线。应力-应变曲线分为 3 个阶段: 第 1 阶段是直线段, 初始加载时, 随着应变增大, 对应的应力不断增大, 在达到屈服应力之前, 应力-应变关系接近于线性关系, 试样尚无明显的裂缝出现, 原有裂缝被压密, 变形可以完全恢复。第 2 阶段为材料的塑性屈服阶段, 随着荷载的增加, 试样出现了新的裂缝, 原有裂缝也有所发展, 土由收缩变为膨胀, 此时应变的增长速度大于应力的增长速度, 应力-应变关系明显地转为曲线, 应力增大到峰值。第 3 阶段是破坏后阶段, 应力下降, 曲线的坡度变成负值。因聚苯乙烯轻质混合土为多种材料的混合体, 水泥掺入比、密度、含水量和龄期对单轴应力-应变特性都有影

响。水泥掺入比增高, 应力强度增大; 含水量增高, 应力强度降低; 龄期延长, 强度增加; 密度对应力强度的影响受水泥掺入比高低的控制^[4, 11]。

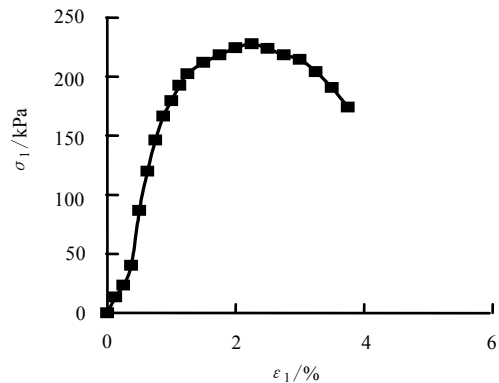


图 1 单轴应力-应变曲线

Fig. 1 Uniaxial stress-strain curve

3.2.2 三轴应力-应变特性

轻质混合土的三轴应力-应变曲线如图 2 所示, 具有如下 2 个特征: ①非线性特征, 主应力差与轴向应变关系的初始阶段为直线, 混合土处于弹性变形状态, 当应力达到某一值 (即屈服应力) 后, 应力-应变关系呈非线性, 表明轻质混合土存在塑性变形, 具有非线性的特征。②硬化特性, 在加载过程中, 材料变形进入弹塑性阶段后, 应力随着应变的增大而不断提高, 曲线没有明显的峰值, 应力-应变关系呈明显的硬化特征^[11]。通过对 UU 试验和 CU 试验的分析, 轻质混合土 UU 试验结果不符合摩尔-库仑强度理论, CU 试验结果符合摩尔-库仑强度理论, 抗剪强度指标随水泥掺入比、含水量和龄期变化而有所不同, 在选定抗剪强度指标时, 须考虑配比的影响^[12]。

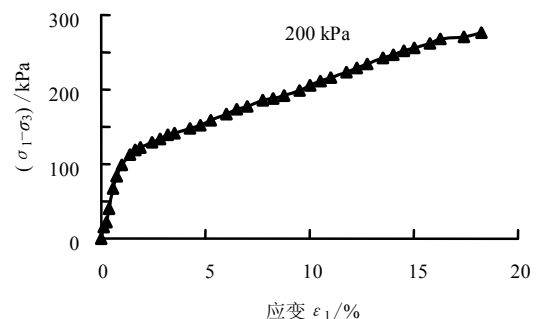


图 2 固结不排水应力-应变曲线

Fig. 2 Stress-strain curve of consolidated-undrained tests of Soil

3.3 轻质混合土的压缩变形特性

研究轻质混合土的压缩变形特性, 对分析轻质混合土的沉降和稳定问题极其重要。压缩屈服应力

和压缩模量为轻质混合土压缩变形特性的 2 个重要指标。压缩模量和压缩屈服应力随混合土的配比和龄期不同也在不断变化。水泥掺入比增高, 压缩模

量和压缩屈服应力变大; 压缩模量与水泥掺入比近似为线性关系, 随着水泥掺入比的增高在逐渐增大, 龄期长, 压缩模量随水泥掺入比增大而增大的幅度大, 龄期短, 增大幅度小; 含水量增高, 压缩屈服应力和压缩模量降低, 压缩模量随含水量的增高在不断降低, 不同龄期的压缩模量降低幅度不太一致, 龄期长、降低幅度大, 龄期短, 降低幅度小。密度对压缩屈服应力影响很小, 但对压缩模量的影响较大, 压缩模量随密度的增大在逐渐增大, 也可近似认为线性增大, 龄期不同, 增大的幅度却大体相同; 龄期长, 压缩屈服应力和压缩模量大。

3.4 轻质混合土的抗压强度特性

抗压强度是轻质混合土的一个重要的力学指标, 可在几十到几百千帕范围内变化。抗压强度也受水泥掺入比、密度、含水量和龄期的影响而变化: (1) 抗压强度与水泥掺入比为指数函数关系, 随水泥掺入比增高在逐渐增大; (2) 与含水量为乘幂函数, 随含水量的增高, 抗压强度在逐渐降低; (3) 与密度的关系受水泥掺入比的影响而不同: 水泥掺入比高时抗压强度与密度成正比关系, 水泥掺入比低时, 抗压强度随密度的变化关系不明显; (4) 与龄期为线性关系, 随龄期的延长而逐渐增大^[4]。通过对抗压强度特性的分析, 可以方便实际工程应用中根据抗压强度大小大致确定混合土的配比。综合分析抗压强度特性的结果为, 水泥含量是影响抗压强度的最主要因素, 其次是含水量和龄期, 密度对抗压强度的影响很小, 可以不加以考虑^[6]。

4 结 论

通过对轻质混合土特点、应用范围、施工工艺和工程特性的分析, 得到如下结论:

(1) 轻质混合土的密度变化范围在 0.656 ~ 1.117 之间。影响密度的主要因素为 EPS 颗粒含量, 密度较小, 在工程中应用具有一定的优势。

(2) 轻质混合土为弹塑性材料, 应力-应变特性随配比不同而变化。

(3) 压缩屈服应力和压缩变形模量随配比不同也在不断变化, 变化的幅度受配比控制。

(4) 抗压强度较高, 在几十到几百千帕范围

内变化, 满足一般的工程设计要求。

(5) 研究轻质混合土, 不但在于它的轻量性, 同时还要考虑施工、环境等方面的问题, 除具有流动性、自硬性、轻量性、均质性、易加工等特点, 还要充分利用建筑废料、工业废料以及弃土淤泥等, 开发研制轻质混合土, 对推进它在岩土工程中的发展和应用有着积极的意义。

参 考 文 献

- [1] 鸠津晃臣. 軽量盛土工法の進展[M]. 土と基礎, 1989, 37(2): 7 - 11.
- [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, 22(3): 245 - 248.
- [3] 汤怡新, 刘汉龙, 朱伟. 水泥固化土工程特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(5): 549 - 554.
- [4] 董金梅, 刘汉龙, 高玉峰, 等. 聚苯乙烯轻质混合土抗压强度特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(12): 1964 - 1968.
- [5] 三木博史, 森范行, 松延正外, 等. 発泡ビ-ズ混合軽量土による海岸堤防裏側ののげ嵩上工事[J]. 土木技術, 1996, 51(2): 90 - 96.
- [6] 刘汉龙, 董金梅, 周云东, 等. 聚苯乙烯轻质混合土物理力学特性的影响因素[J]. 岩土力学, 2005, 26(3): 445 - 449.
- [7] 三岛信雄, 长尾和之. 気泡セメント盛土工法 (FCB 工法) の研究[M]. 日本: 土木学会誌, 1994. 18 - 21.
- [8] 张小平, 包承纲, 李进军. 泡沫轻质材料在岩土工程中的应用[J]. 岩土工程技术, 2000, (1): 58 - 62.
- [9] 横田圣哉, 三嶋信雄. 特集: 新土构造[M]. 気泡モルタル工法—気泡混合軽量土[A]. 1996, 51(2): 73 - 81.
- [10] 刘汉龙, 董金梅, 周云东, 等. 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.
- [11] 董金梅, 刘汉龙, 周云东, 等. 聚苯乙烯轻质混合土压缩变形特性的试验研究[J]. 岩土力学 (待刊).
- [12] 董金梅, 刘汉龙, 高玉峰, 等. 聚苯乙烯轻质混合土三轴试验研究[J]. 河海大学学报, 2005, 33(1): 99 - 103.