

泡沫塑料颗粒种类对轻质混合土力学特性的影响

姬凤玲¹, 李强², 程新民³

(1. 深圳大学土木工程系, 广东深圳 518060; 2. 深圳市南山区建设工程质量监督检验站, 广东深圳 518067; 3. 深圳潮宏基建筑有限公司, 广东深圳 518067)

摘要:轻质混合土是一种新型的轻质土工材料, 具有轻质、环保、高强等特点。本文对添加不同种类泡沫塑料颗粒的轻质混合土试样进行了无侧限抗压强度试验、等向压缩试验及三轴剪切试验。试验结果表明:泡沫塑料颗粒种类对轻质混合试样的力学特性有较大的影响。

关键词:聚苯乙烯颗粒; 轻质混合土; 等向压缩试验; 三轴剪切试验; 力学特性

中图分类号: TU441 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2006)02-0154-05

Effects of the Type of Expanded Poly-styrene Beads on the Mechanical Properties of Lightweight Treated Soil

Ji Feng-ling¹, Li Qiang², Cheng Xin-ming³

(1. Department of Civil Engineering, Shenzhen University, Guangdong Shenzhen 518060, China;
2. Nanshan Construction Engineering Supervision and Test Center, Guangdong Shenzhen 518060, China;
3. Chaohongji Construction Co., LTD, Guangdong Shenzhen 518060, China)

Abstract: The lightweight treated soil (LWTS), a new type of light weight geo-material (LGM), has advantages such as light weight, high strength and environment protection et al. The mechanics properties of two type of the LWTS mixed with different foamed plastic beads are researched by the uniaxial compression test, the isotropic compression test and the triaxial compression test. The results show that the type of beads has greater effect on the mechanics properties of LWTS.

Key words: Expanded poly-styrene (EPS) beads; Lightweight treated soil (LWTS); Isotropic compression test; Triaxial compression test; Mechanics properties.

0 前言

在20世纪80年代,日本等国开始研究将原料土和轻质材料聚苯乙烯泡沫塑料颗粒(expanded poly-styrene, 简称EPS)混合起来,再加入水泥、石灰等固化材料,制成轻质混合土(the lightweight treated soil, 简称LWTS)^[1]。由于轻质混合土具有轻质, 高强, 可根据具体工程需要决定填土材料的密度、强度、压缩模量, 快硬性, 可缩短填土施工工期, 能够再利用废泡沫塑料和建设废土以兼顾环境问题等优点, 因此, 轻质混合土在一些发达国家已有一些研究和用于工程处理的实例^[2-3], 如软弱地基处理、滑坡处理、陡坡地区施工、挡土墙后的填料、拓宽填土施

工、压实施工的回填工程和管道填埋等。

影响轻质混合土力学特性的因素很多^[4]。本文主要研究泡沫塑料颗粒种类对疏浚淤泥泡沫塑料混合轻质土的压缩、剪切特性的影响, 为其在工程中应用提供参考。

1 试样制备及试验方案

试验中所采用的原料土为疏浚淤泥。取泥点位于广东省惠州市大亚湾石油化学工业区内, 为典型的海洋沉积淤泥, 属于第四系沉积层(Q^m)。根据室内试验测定, 其基本参数如表1所示。

试验所用固化材料为南京江南水泥有限公司生

产的《钟山牌》32.5#普通硅酸盐水泥。

表1 试验用硫酸淤泥基本参数

含水率 $w/\%$	液限 ω_L $/\%$	塑限 ω_P $/\%$	比重 G_s	容重 γ $/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	孔隙比 e
>120	60	29.3	2.74	13.9	3.28

试验中采用两种不同的轻质材料来制备试样:发泡聚苯乙烯颗粒(EPS)和废弃聚苯乙烯泡沫塑料颗粒(简称WEPS),如图1、图2所示。EPS颗粒从厂家购买,为圆球状,粒径2~3mm,堆积体的密度为0.0368g/cm³,颗粒密度为0.0613g/cm³。WEPS颗粒是采用专门设计的粉碎机把收集到的包装用废弃聚苯乙烯泡沫塑料粉碎,再筛选适宜颗粒为试验所用。本次试验受粉碎机限制,粉碎粒径小于4mm的颗粒较困难,因此选用平均粒径为4~5mm的颗粒。WEPS颗粒堆积体的密度为0.0158g/cm³,颗粒密度为0.032g/cm³。

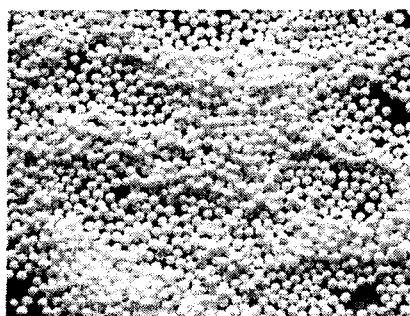


图1 EPS颗粒

Fig.1 Shape of EPS beads.

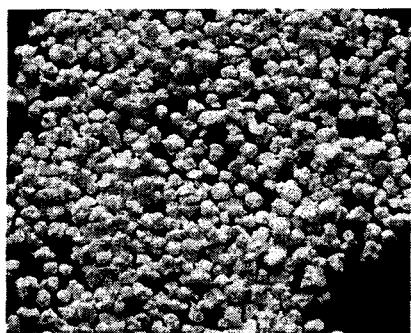


图2 WEPS碎粒

Fig.2 Shape of WEPS beads.

制样时按设计好的轻质混合土配合比,先称取一定量的淤泥,将其倒入B10型三功能搅拌机内,然后按设计好的量加入水泥及泡沫塑料颗粒,通过机械强制搅拌均匀后,将混合料分三层装入内径3.91cm,高8cm的三瓣模具内,每层振动两分钟左右。最后将制备好的试样置入标准养护箱中(温度 $(20\pm 2)^\circ\text{C}$,湿度 $>90\%$),养护24小时脱模,再养护至设计龄期进行试验。

参照水泥土的资料,本次试验中水泥添加量是以1m³淤泥中所添加水泥的质量作为标准,因此水泥添加量的单位统一取为kg/m³。同时为了使添加两种不同轻质材料的轻质混合土试样的力学特性具有可比性,选择以1m³淤泥中所添加泡沫塑料颗粒的体积作为标准,因此泡沫塑料颗粒的添加量均为体积比。

轻质混合土的研究在我国尚处于起步阶段,没有试验规程可循。本次试验均遵循土工试验方法标准(GB/T-50123-1999)进行试验。泡沫塑料颗粒种类对轻质混合土力学特性的影响,是本次研究的主要目的。根据这一目的以及相关的试验条件,采用了如表2所示的试验方案。

表2 试验方案

试验方法	无侧限抗压 强度试验	等向压缩 试验	三轴剪切试验	
			CU试验	CD试验
水泥添加量/kg·m ⁻³	75	75	75	75
泡沫颗粒 添加量/体积比	0, 0.23, 0.69, 1.15, 1.61	0.69	0.69	0.69
养护龄期/天	28, 60	28	28	28
泡沫颗粒种类	EPS, WEPS	EPS, WEPS	EPS, WEPS	EPS, WEPS

2 试验结果分析

2.1 无侧限抗压强度试验

试验在河海大学岩土实验室完成。采用南京电力自动化设备厂生产的SJT-201型应变控制式无侧限压缩仪。试验所采用的应变速率为1.18mm/min。试验方案如表2所示,对不同的配比,每组3个试样,进行平行试验。

试验结果表明,对添加两种不同泡沫塑料颗粒的轻质混合土,养护龄期对试样强度的影响规律是一致的,即随着养护龄期的增大试样的强度增大。但随着泡沫塑料颗粒添加量的增大,龄期对试样强度的影响减弱。同时从图3还可看出:对于相同养护龄期,添加EPS颗粒的试样强度比添加WEPS颗粒的试样的强度高;当泡沫塑料颗粒的添加量较低时,两种试样强度差距较大,这种差距随着泡沫塑料颗粒添加量的增加而降低。这是因为在泡沫塑料颗粒添加量较小时,试样的强度主要受不同泡沫颗粒形状的控制,WEPS颗粒由于形状不规则,比圆球状的EPS颗粒更易在试样内部引起应力集中,使强度降低。随着泡沫颗粒添加量的增加,试样的强度主要受到泡沫塑料颗粒在试样内部所占据的体积的控制。由于两种泡沫塑料颗粒所占据体积相同,因此两种轻质土试样的强度差距减小。

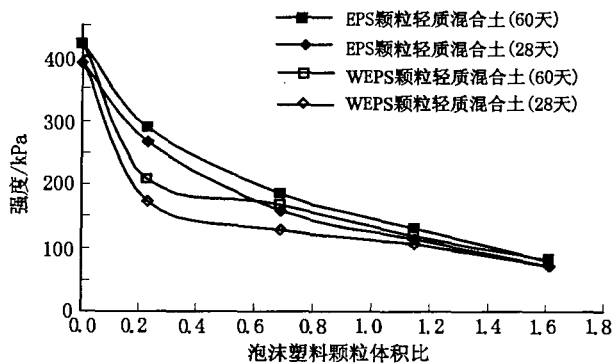


图3 强度与颗粒含量的关系

Fig. 3 Relationship between strength and the beads content.

2.2 等向压缩试验

轻质混合土常作为路堤填土材料,其压缩变形特性是研究的重要内容。对于一般的土体,工程中常采用一维压缩试验。制备试样的环刀尺寸有两种:直径6.18 cm或8 cm,高2 cm。但采用一维压缩试验后,试验结果规律性差,这是因为试验中所采用的EPS颗粒的直径为2~3 mm所致。为此选择各向等压压缩试验来研究其压缩性。

在河海大学岩土试验室,采用南京电力公司南京电力自动化设备厂生产的SJ-1A型应变控制式常规三轴剪力仪进行等向压缩试验与三轴剪切试验。先将养护至28天龄期的试样装入饱和器内,置于抽气缸内盖紧后抽气。当真空度接近一个大气压后,抽气2小时以上,抽气完成后,让试样在水中浸泡24小时以上。试验时等向固结应力(即围压)分级控制为:0 kPa、25 kPa、50 kPa、0 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa、200 kPa、100 kPa、0 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa,每级加载14 h后读数。试验结果如图4所示。

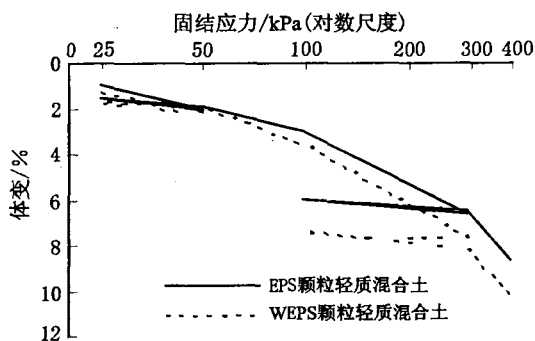


图4 等向压缩曲线

Fig. 4 Curves of isotropic consolidation.

从图4曲线可以看出,两种试样等向压缩曲线的共同点为:以围压为100 kPa作为转折点,大致可分为两段,即平缓段和压密段;当围压为50 kPa时,

卸荷时的曲线比较陡,可恢复的变形较大,说明大部分为可恢复的弹性变形,也有部分塑性变形;当围压为300 kPa时,卸荷曲线比较平缓,可恢复的变形较少,大部分为塑性变形。

两种试样等向压缩曲线的不同点为:与添加WEPS颗粒的试样相比,添加EPS颗粒的试样压缩变形量整体小于前者,其压缩曲线向右偏移,曲线的平缓段也较长,并且卸荷曲线的斜率较大。这是因为轻质混合土中水泥的固化反应为试样提供了结构强度,而泡沫颗粒的添加为试样提供了压缩变形空间。对于两种试样,由于所添加的水泥量及泡沫颗粒体积比一样,因此两种试样的结构强度一样。但随着等向固结应力的增大,由于WEPS颗粒的不均匀性,在试样内部引起的应力集中程度增大,从而使试样的结构容易破坏,试样的强度相应降低,不可恢复的塑性变形量相应增大。

2.3 固结排水试验

试验仪器及试样准备同等向压缩试验。固结排水剪切试验的剪切应变速率为0.015 mm/min,剪切中始终保持孔隙水压力为零,应变控制在20%以内。试验结果如图5、图6所示。围压标注在相应的曲线上方。

试验结果表明:轻质混合土试样的应力-应变-体变关系具有明显的非线性特征。试样强度与一般土体的规律一致,随着围压增大强度增大。但试样的力学特性随着泡沫塑料颗粒种类的变化而变化。

对于添加EPS颗粒的试样,在低围压时曲线分为三个阶段:(1)初始直线阶段:应变范围接近2%,此时试样体积有轻微压缩,并有少许鼓凸现象;(2)峰值前后阶段:在较小应变时试样由剪缩迅速转为剪胀,直至出现达到体变曲线上的拐点,此时其体变率最大,之后随应变的增加试样继续剪胀,试样胶结作用逐渐减弱,于是出现应变软化现象。(3)最大值阶段:随着应变的进一步增大,胶结作用和剪胀现象由减少而消失,在较大应变时达到残余强度。在相对较高围压时曲线也存在斜率较陡的初始直线段,之后随着轴向应变的增加偏应力增大,表现出硬化特性。且围压越大,硬化特性越明显。剪切过程中试样体积变化始终表现为体缩,且初始体缩变形的增长率较大,并随着轴向应变的增大体缩变形的增长率有减小的趋势。添加EPS颗粒的试样,其应力-应变-体变特性类似于超固结粘土或密砂。

添加WEPS颗粒的试样,无论围压的高低,随着

轴向应变的增加偏应力始终增大,其应力-应变关系始终表现为应变硬化的特性,且围压越高硬化特性越明显。剪切过程中试样体积变化始终表现为体缩,围压越大体缩变形越大,且体变量大于添加 EPS 颗粒试样的体变量。添加 WEPS 颗粒的试样,其应力-应变-体变特性类似于正常固结粘土或松砂。

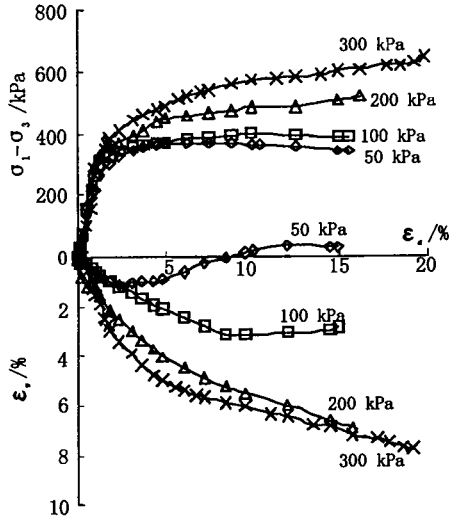


图 5 添加 EPS 颗粒的应力-应变-体变关系

Fig. 5 Stress-strain-volumetric relationship of soil mixed with EPS.

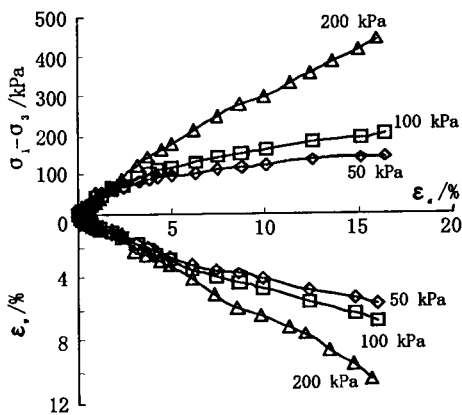


图 6 添加 WEPS 颗粒的应力-应变-体变关系

Fig. 6 Stress-strain-volumetric relationship of soil mixed with WEPS.

2.4 固结不排水试验

试验仪器及试样准备同等向压缩试验。固结不排水剪切试验的剪切应变速率为 0.072 mm/min,应变控制在 20% 以内。试验结果如图 7、图 8 所示。围压标注在相应的曲线上方。

从图 7 可以看出,添加 EPS 颗粒的试样随着围压的增大应力-应变曲线由理想弹塑性向应变硬化型转变。相应的孔压与轴向应变关系曲线为:低围压时孔压随轴向应变的增加先上升然后下降;随着

围压的增大,孔压表现为随着轴向应变的增加,孔压的上升趋势减弱,并趋向于一个稳定值。

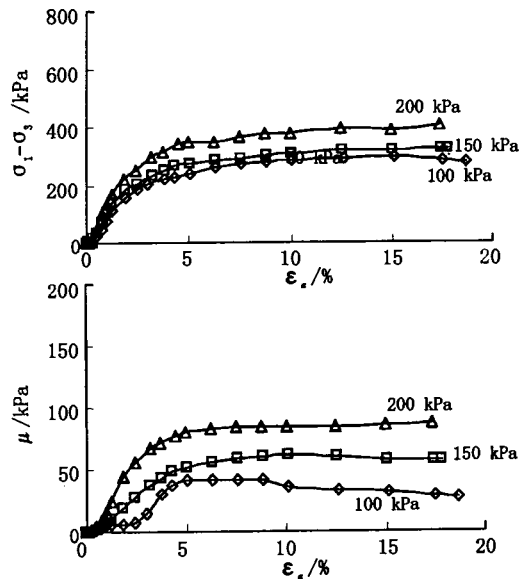


图 7 添加 EPS 颗粒的应力-应变-孔压关系

Fig. 7 Stress-strain-pore pressure relationship of soil mixed with EPS.

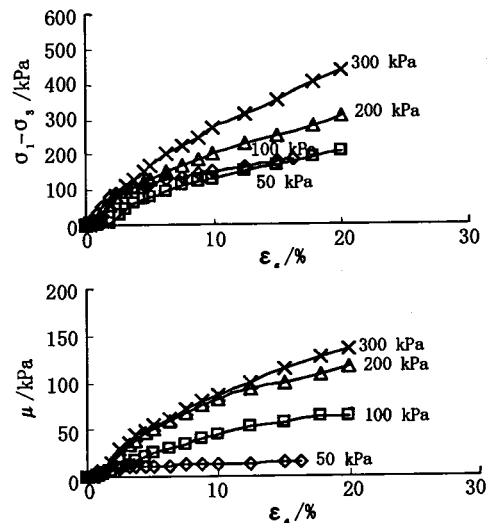


图 8 添加 WEPS 颗粒的应力-应变-孔压关系

Fig. 8 Stress-strain-pore pressure relationship of soil mixed with WEPS.

从图 8 可以看出添加 WEPS 颗粒的试样无论围压的高低,试样的应力应变关系始终表现为应变硬化的特性,且围压越高硬化特性越明显。相应地,随着围压的增大孔压表现为随着轴向应变的增加,且围压越大孔压的上升趋势越明显。

3 结论

(1) 当泡沫塑料颗粒的添加量较低时,添加 EPS 颗粒的轻质混合土试样的无侧限抗压强度高于

添加 WEPS 颗粒的轻质混合土试样。这两种轻质混合土试样强度的差距随着泡沫塑料颗粒添加量的增加而降低。

(2) 与添加 WEPS 颗粒的轻质混合土试样相比,添加 EPS 颗粒的轻质混合土试样等向压缩曲线向右偏移,曲线的平缓段较长,卸荷曲线的斜率较大。

(3) 添加 EPS 颗粒的轻质混合土试样随着围压的增大,固结排水剪时应力-应变关系曲线由软化型向硬化型转化;剪切时体积变化由剪胀转化为剪缩。固结不排水剪时,孔压随轴向应变的增大由低围压时的先上升然后下降型,向上升并趋向于一个稳定值转化。

(4) 添加 WEPS 颗粒的轻质混合土试样,固结

排水剪时应力-应变关系曲线始终为硬化型;剪切时体积变化始终为剪缩。固结不排水剪时,孔压随轴向应变的增大而增大。

[参考文献]

- [1] 例えば,浜野正光,今井五郎,等. 発泡ビーズを混合した軽量安定処理土の力學特性[A]. 見:第27回土質工學研究發表會演講集[C]. 1992,251 5-251 8.
- [2] 及川研,松永康男,池上騰己,等. 岸壁背後土壓軽減のための各種セメント処理土の特性[J]. セメント系安定處理土に関するシンポジウム,1996,2:103-110.
- [3] たとえば,長坂勇二,山田純男,等. 発泡ビーズと建設發生土を用いた軽量混合土[J]. 土と基礎,1994,42(10):25-30.
- [4] 马时冬. 聚苯乙烯泡沫塑料轻质填土(SLS)的特性[J]. 岩土力学,2001,9(2):245-248.

(上接 133 页)

[参考文献]

- [1] 张裕明. 欧亚地震构造图说明书[M]. 北京:地震出版社,1981.
- [2] 徐杰,高祥林. 2004年12月26日印度尼西亚8.7级大地震构造背景的初步分析[J]. 地震地质,2005,27(2):324-331.
- [3] Simoes M, Avouac J P, Cattin R, et al. The Sumatra subduction zone: A case for a locked fault zone extending into the mantle[J]. J. Geophys. Res., 2004,109:B10 402.
- [4] 林怀有,吴延河,周翠英,等. 印度洋8.7级地震及对未来地震趋势的讨论[J]. 国际地震动态,2005,(1):31-36.
- [5] Kalnay E, MKanamitsu, RKistler, et al. The NCEP/NCAR 40 year reanalysis project[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1996,77(3):437-471.
- [6] 徐秀登. 卫星红外异常预测短临地震的系统研究 II——异常的基本特征与新方法基本思路[J]. 科学技术与工程,2003,3(6):540-543.
- [7] 吴庆鹏. 重力学与固体潮[M]. 北京:地震出版社,1997. 206-212.
- [8] Melchior P 著. 杜品仁,等译. 行星地球的固体潮[M]. 北京:科学出版社,1984. 8-79.
- [9] 朱介寿,等. 地震学中的计算方法[M]. 北京:地震出版社,1988. 181-189.
- [10] S R McNutt, R J Beavan. Volcanic earthquakes at Pavlof Volcano correlated with the solid earth tide[J]. Nature, 1981, 294(17):615-618.