

DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.018

EPS 颗粒混合轻质土动强度特性对比研究

周云东^{1,2}, 何奇宝^{1,2}, 丰土根^{1,2}, 陆 睿³

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学岩土工程科学研究所, 江苏 南京 210098; 3. 南京环力建设工程有限公司, 江苏 南京 210036)

摘要:通过室内动三轴试验对黏土和黏土与 EPS 颗粒混合轻质土(LCES)在动荷载作用下的强度特性进行了对比研究. 试验结果表明: LCES 的动强度随着水泥质量分数的增大而增大, 随着 EPS 颗粒质量分数的增大而减小, 当水泥质量分数达到 10% 以上时, 其动强度就超过黏土; EPS 颗粒质量分数越大, 水泥对 LCES 的动强度的影响越小; LCES 和黏土的动强度都随着围压的增大而增大, 但黏土的增幅比 LCES 略大.

关键词:黏土; EPS 颗粒; 轻质土; 动强度特性

中图分类号: TU441+.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-1980(2008)06-0810-04

我国沿海地区广泛分布着深厚软黏土层, 这些软黏土具有低强度、高压缩性等特点, 在此类地基上修建建筑物极易在稳定和变形^[2]方面产生一些问题, 如高速公路桥头跳车、挡土墙稳定等问题. 传统解决方法主要是进行地基加固, 以提高地基的承载力和抗变形能力, 但对地基进行加固不仅造价较高而且施工工期较长, 采用混合轻质土^[1]作为填土材料取代常规填土是一种理想的解决方法. 黏土与聚苯乙烯(expanded polystyrene, EPS)颗粒混合的轻质土(lightweight clay-EPS beads soil, 简称 LCES)是混合轻质土的一种, 由黏性土、水泥、EPS 颗粒和水按照一定的比例混合搅拌而成, 具有重量轻、直立性好、硬化成型快、强度可调节等特点, 因此在国外岩土工程中已经得到了越来越多的应用^[2-3].

为确保工程的安全稳定运行, 研究 LCES 在动荷载作用下的力学特性有着非常重要的理论及实践意义. 由于我国在轻质土动力特性方面开展研究的时间较晚, 成果相对较少, 本文通过室内动三轴试验研究不同配比的 LCES 的动强度特性, 以找出其内在的规律, 并与黏土的动强度特性进行比较, 为 LCES 的工程应用提供理论依据.

1 试验方法及内容

1.1 试样制备

试验所用黏土为南京河西地区 5~7 m 深处的软黏土, 典型物理力学性质指标如下: 密度 1.64 g/cm³, 含水率 45.2%, 孔隙比 1.42, 土粒相对密度 2.73, 塑性指数 $I_p = 20$, 液性指数 $I_L = 0.886$. LCES 的原材料主要有黏土、水泥、EPS 颗粒和水, 水泥采用雨花牌普通硅酸盐水泥, 等级为 32.5 级, 取水灰比为 0.5 时的水泥浆密度为 1.75 g/cm³, 球型 EPS 颗粒密度 0.023 g/cm³, 平均粒径 3 mm, 水为清洁自来水.

现场取样风干后用木碾碾碎, 烘干之后再过 2 mm 筛, 用喷雾器喷洒预计的水量, 拌匀, 然后装入塑料袋扎紧, 润湿一昼夜后备用. 黏土试样设计干密度 $\rho_d = 1.4$ g/cm³, 采用分层击实的方法控制试样密度.

因为试验原料土采用软黏土, 含水量高且处于流塑状态, 体积不易确定, 故 LCES 试样的配比以干土质量^[4-8]为标准, 其他各成分含量均相对于干土质量而言.

本次试验的试样配比方案如表 1 所示. 为便于统计, 对各个配比的试样进行编号. 采用 T_{xy} 的编号方法: 如 T12 即 $\alpha = 5\%$, $\beta = 3\%$ 的试样; T23 即 $\alpha = 10\%$, $\beta = 4\%$ 的试样.

为了能跟黏土的动力特性进行对比,LCES 制样时采用黏土干密度控制的方法,目的是为了保持 LCES 和黏土的干密度一致.LCES 中黏土的干密度就是试样中干土的质量与所占体积的比值,因为水主要赋存于土体的孔隙中,因此可以近似认为黏土所占体积为总体积除去 EPS 颗粒和水泥所占体积,即

$$V_{\pm} = V_{\text{总}} - (V_{\text{水泥}} + V_{\text{EPS}})$$

(1)

干密度的计算方法如下:

$$\rho_d = m_{\pm} / V_{\pm}$$

(2)

确定配比后把原料土倒入搅拌机,加入一定量的水搅拌 5 min,使之成为均匀泥浆,然后加入水泥,搅拌 5 min,使之成为均匀的水泥土,再加入 EPS 颗粒,搅拌 5 min,使 EPS 颗粒均匀分布于水泥土浆体中.将搅拌均匀的混合物分层装入模具中,然后放入标准养护箱内养护 24 h 后脱模,脱模后把试样放入养护箱内继续养护,试样龄期为 14 d,达到龄期后抽真空 0.5 h,再放入水中浸泡 24 h 后进行动力试验.

1.2 试验内容

动三轴试验参照土工试验规程中的动三轴方法进行^[9].试验仪器为全自动多功能三轴仪^[10],围压分别取 30 kPa、60 kPa 和 90 kPa 3 个等级,试样等向固结完成后在不排水条件下施加波形为正弦波的循环荷载,加载频率为 0.1 Hz.

2 LCES 破坏标准的确定

动强度是随着动荷作用的速率效应和循环效应而不同的,通常理解为在一定应力往返作用次数下产生某一指定破坏应变所需的动应力,如果破坏应变的数值不同,相应的动强度也不同,所以动强度和破坏标准密切相关.研究土的动强度特性,就必须合理指定破坏应变,常用的破坏标准主要有孔压标准、屈服标准和应变标准.

LCES 由于加入了水泥和 EPS 颗粒,试样经抽真空饱和、反压饱和以及二氧化碳通水饱和等方法饱和后,仍然不能达到饱和状态,因此以土体处于饱和状态为前提的孔压标准对 LCES 并不适用.

图 1 为不同配比 LCES 在动荷载作用下的动应变时程曲线,从图 1 可以看出,各种配比下 LCES 试样在循环加载过程中表现为明显的偏压,加载过程中 LCES 的应变增长速率比较稳定,并未出现变形急速陡转的情况,由于加载过程中试样并未发生强度破坏,没有明显的剪切破坏面,所以屈服标准对 LCES 也不适用.针对 LCES 的这种特性,本次试验采用应变标准作为破坏标准^[11].

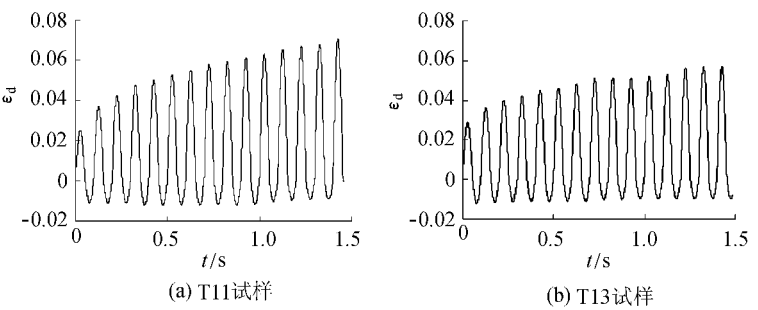


图 1 不同配比下 LCES 的 $\varepsilon_d \sim t$ 曲线

Fig.1 $\varepsilon_d \sim t$ curves of LCES with various mixing proportions

LCES 多应用于公路路基工程,变形控制要求相对较高,再加上动荷载作用过程中,拉应变很小,所以取压应变达到 5% 作为 LCES 的破坏标准较为合适.

3 LCES 与黏土动强度曲线对比分析

3.1 水泥质量分数的影响

60 kPa 围压下,不同水泥质量分数 LCES 与黏土的动强度曲线如图 2 所示.

EPS 颗粒质量分数一定时随着水泥质量分数的增大,LCES 的动强度随之增大.因为水泥具有胶结作用,能增强颗粒之间的黏结力,减小试样的孔隙比,所以水泥质量分数越高,胶结作用越明显,孔隙比越小,试样的强度也就越大.

$\beta = 2\%$ 时,提高水泥质量分数,LCES 的动强度增长幅度明显; $\beta = 4\%$ 时,提高水泥质量分数,LCES 的动强度增长幅度明显减小.不同 EPS 颗粒质量分数的 LCES,在 $\alpha = 10\%$ 时的动强度曲线跟黏土的动强度曲线

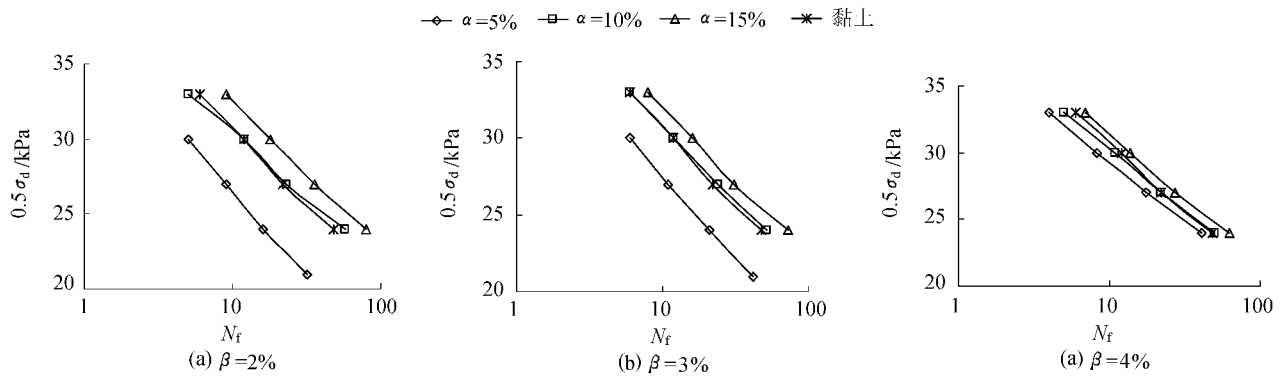


图 2 不同水泥质量分数 LCES 与黏土的动强度曲线

发生交叉或重合.从图 2 还可以发现, $\alpha=5\%$ 时 LCES 的动强度明显小于黏土的动强度,因此对于工程应用, LCES 的水泥质量分数应保持在 10% 以上,提高水泥质量分数能有效提高 LCES 的动强度.

3.2 EPS 颗粒质量分数的影响

60 kPa 围压下,不同 EPS 颗粒质量分数 LCES 与黏土的动强度曲线如图 3 所示.

LCES 中含有大量 EPS 颗粒,从而有效降低了本身的密度,但是 EPS 颗粒之间连接的薄弱面较多,因此水泥水化物的胶结作用和 EPS 颗粒本身两者共同作用构成试样强度的主要部分.

从图 3(a) 可以发现, $\alpha=10\%$ 时,不同 EPS 颗粒质量分数的 LCES 的动强度曲线与黏土的动强度曲线发生交叉重合,根据前面分析,LCES 在 $\alpha>10\%$ 时动强度才大于黏土的动强度.如图 3(b) 所示, $\alpha=15\%$ 时,LCES 的动强度大于黏土的动强度,并且随着 β 的增大,动强度逐渐减小,这是因为随着 β 的增大,相应的水泥土所占比例减小,动强度逐渐降低.

3.3 围压的影响

不同围压下 LCES 与黏土的动强度曲线如图 4 所示.

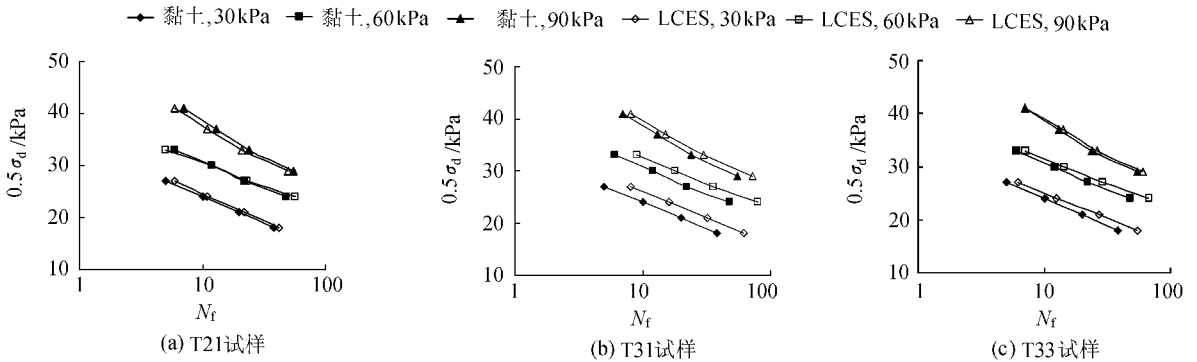


图 4 不同围压下 LCES 与黏土的动强度曲线

围压越大,试样整体抵抗外部荷载的能力也就越强.在相同的条件下, LCES 和黏土的动强度都随着围压的增大而增大.

本次试验共选取了 3 个围压,从图 4 可以发现,围压每增大 30 kPa,黏土的动强度增大 20% ~ 30%. LCES

动强度随围压增长的幅度也在上述范围之内,略低于黏土动强度的增大幅度,其原因可能是 LCES 中水泥水化物增强了试样的结构性,因而受围压的影响相对较小.

4 结 论

- a. 以压应变达到 5% 作为 LCES 的破坏标准在试验操作上是可行的.
- b. 提高水泥质量分数能有效提高 LCES 的动强度. LCES 的水泥质量分数保持在 10% 以上时,其动强度即超过黏土. 水泥质量分数超过 10% 时,LCES 的动强度随着 EPS 颗粒质量分数的增大而减小;EPS 颗粒质量分数越大,水泥对 LCES 的动强度的影响越小.
- c. LCES 和黏土的动强度都随着围压的增大而增大,LCES 动强度的增幅比黏土略低.

参考文献：

[1] 刘汉龙,朱伟,高玉峰,等. 一种轻质混合土及生产方法 中国,02112812.X[P]. 2002-10-09.

[2] 鸠津晃臣. 量盛土工法の进展[J]. 土と基础,1989,37(2):7-11.

[3] 刘汉龙,董金梅. 轻质混合土技术开发与工程特性[J]. 岩土力学,2005,26(增刊):13-16.

[4] 董金梅. 聚苯乙烯轻质混合土工程特性的试验研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[5] 董金梅,王沛,柴寿喜. 聚苯乙烯颗粒对轻质混合土的影响[J]. 水利水电科技进,2007,27(5):26-28.

[6] 朱伟,姬凤玲,李明东,等. 轻质土密度、强度与材料组成的关系研究[J]. 岩土力学,2007,28(7):1411-1414.

[7] 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.

[8] 姬凤玲. 疏浚淤泥泡沫塑料颗粒混合轻质土力学特性研究[D]. 南京:河海大学,2005.

[9] GBSL237—199,土工试验规程[S].

[10] 周云东,刘汉龙,丁晓峰,等. 饱和砂土液化后再固结体变特性研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2003,31(4):403-406.

[11] 王庶懋,高玉峰,张益纯. 动荷载下砂土与 EPS 颗粒混合的轻质土(LSES)的强度标准及破坏机理研究[J]. 河海大学学报:自然科学版,2007,35(2):197-201.

Comparative researches on dynamic strength properties of
lightweight clay-EPS beads soil

ZHOU Yun-dong^{1,2}, HE Qi-bao^{1,2}, FENG Tu-geng^{1,2}, LU Rui³

- (1. Key Laboratory of the Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
- 2. Geo-technical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China ;
- 3. Nanjing Holly Construction & Engineering Co., Ltd., Nanjing 210036, China)

Abstract: Through the laboratory dynamic triaxial tests the comparative researches were performed on the dynamic strength characteristics of soft clay and lightweight clay-EPS beads soil(LCES) under dynamic loads. The test results indicate that the dynamic strength of LCES increases with the increase of the cement content, and it decreases with the increase of EPS content and is larger than that of the soft clay when the cement content exceeds 10%. The larger the EPS content, the smaller influence of cement content on the dynamic strength. The dynamic strengths of the soft clay and LCES both increase with the increase of the confining pressures, but the strength increment of the former is a bit larger than that of the latter.

Key words: soft clay; EPS beads soil; lightweight clay; dynamic strength characteristic