聚苯乙烯颗粒对轻质混合土的影响

董金梅[1],王 沛[2],柴寿喜[2]

(1.南京工业大学土木工程学院,江苏 南京 210009;2.天津城市建设学院土木工程系,天津 300384)

摘要:在室内试验的基础上,对轻质混合土密度、抗压强度、压缩变形特性等进行了分析,结果表明:EPS 颗粒含量变化对降低轻质混合土的密度作用效果显著;EPS 颗粒含量对混合土抗压强度的影响很小,抗压强度主要取决于水泥的含量;在压缩变形特性方面,荷载小于混合土压缩屈服应力时 EPS 颗粒含量对混合土的压缩变形量影响较小。由此认为 EPS 颗粒在降低混合土密度方面具有一定的优越性,但对混合土的抗压强度、压缩变形量影响不明显,所以将混有 EPS 颗粒的轻质混合土作为填土材料具有很好的应用前景。

关键词:EPS 颗粒;轻质混合土;混合土密度;抗压强度;压缩变形

中图分类号:TU53 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-7647(2007)05-0026-03

Effect of expanded polystyrene grains on light-weight mixed soil//DONG Jin-mei[1], WANG Pei[2], CAI Shou-xi[2](1. *College of Civil Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing* 210009, *China*; 2. *Department of Civil Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin* 300384, *China*)

Abstract: The analysis of the density, compressive strength, and compressive deformation characteristics of light-weight mixed soil based on laboratory experiments shows that the variation of EPS grain content is of obvious effects on the decrease of the density of light-weight mixed soil, but it is of little influence on the compressive strength, which depends mainly on the content of cement. It is also concluded that, when the loads on mixed soil are less than the yield stress of the soil, the influence of EPS content on the deformation behavior of soil can be ignored. Therefore, the light-weight soil mixed with EPS grains, used as the filling material, is of wide scope of application.

Key words: EPS grain; light-weight mixed soil; density of mixed soil; compressive strength; compressive deformation

聚苯乙烯(expanded poly styrol,简称 EPS)是一种轻型高分子聚合物,是土工泡沫材料中用得最为广泛的一种,按照发泡的方式分为模压法发泡和挤出法发泡 2 类[1],在成型过程中 EPS 颗粒膨胀形成了许多封闭的空腔,这种结构决定了 EPS 具有质轻、耐久性好、易加工和稳定性好等诸多优良工程特性,且有一定的抗压强度和较高的弹性模量[2]。EPS 一般密度在 0.02 ~ 0.04 g/cm^3 之间,为普通路堤填土密度的 1% ~ 2%,与其他具有同样工程特性的土工泡沫材料相比,EPS 得到广泛应用有下列几点原因:①EPS 是唯一未使用氟利昂或类似气体作为发泡剂的聚合物泡沫,不消耗地球上空的臭氧层,不含有环境荷尔蒙,对地球环境影响很小;②不挥发甲醛,完全燃烧后生成二氧化碳气体,不产生其他有害气体;③化学性质稳定,具有耐水、耐腐蚀、耐微生物、耐某些矿物油,以及耐有机酸、碱、盐、低级醇及它们的水溶液的特性,但不耐氧化性酸及酮类侵蚀,溶于芳烃如苯、甲苯、乙苯及苯乙烯单体等,使用时对环境无任何污染。④具有良好的耐久性,不能够进行生物降解,在水及泥土中呈化学惰性,不能为微生物的滋生提供养料。⑤具有良好的耐热性,温度超过 150 ℃时才会产生熔融[3]。

EPS 是一种多功能的土工合成材料,在国外应用于土木工程已经有 30 多年的历史,不仅能够代替其他土工合成材料,而且还能扮演传统的土工合成材料所不能担当的角色,可以单独使用,也可以与其他土工合成材料复合使用。但由于价格比较昂贵,在工程施工中单独使用不能够得到推广。如果利用它的轻质特性,将 EPS 球粒或废弃的 EPS 碎片作为轻质混合土中的一种组成材料,既起到降低混合土密度的目的,又可利用废弃物,达到降低工程造价、保护环境的目的。同时利用水泥的固化作用,提高混合土的抗压强度,这样所研制的混合土不仅有较低的密度、成本,而且有较高强度,是一种理想的填土材料。

作者简介:董金梅(1974—),女,山西太谷人,讲师,博士,从事软土地基处理研究。E-mail:Djmnj802@163.com

本文选取的聚苯乙烯轻质混合土，是由淤泥质粉质黏土、EPS 颗粒、425 号水泥和水混合而成，具体的试验方法见文献[5-6]。研究 EPS 颗粒对轻质混合土的影响作用，对进一步分析轻质混合土的工程特性具有重要的意义。

1 EPS 颗粒对轻质混合土密度的影响

图 1 为具有相同的水泥掺入比（以干土质量为标准）及含水量，但 EPS 颗粒含量不同的 3 个聚苯乙烯轻质混合土试样，可以看出，密度小的混合土表面 EPS 颗粒较多，试样的上下表面不容易平整，有个别 EPS 颗粒凸起；密度大的混合土表面几乎看不到 EPS 颗粒。

图 1 不同密度的聚苯乙烯轻质混合土试样

EPS 颗粒作为轻质混合土中的特色材料，对轻质混合土最直接的影响就是降低它的密度。由于 EPS 颗粒的密度很小，当轻质混合土中含水量不变，加入不同比例（以干土质量为标准）的水泥和 EPS 颗粒时，对轻质混合土试样的密度进行测定，得到 EPS 颗粒质量百分比、水泥掺入比与试样密度的关系，如图 2 所示。由图 2 可以看出，轻质混合土的密度随 EPS 颗粒质量百分比增加而变化（降低）的趋势较明显，二者呈线性关系。水泥掺入比不同，混合土密度的降低幅度基本上是一致的，而且水泥掺入比相对于 EPS 颗粒质量百分比对混合土密度的影响来说，是比较小的。当然，试样密度也不会随 EPS 颗粒的增加无限制地降低，本次试验的最小密度为 0.676 g/cm^3 左右，当密度降低到一定程度后，混合土就很难制成试样了，因为 EPS 颗粒过多时颗粒之间不能形成稳定的组合结构，水泥在其中的黏结作用也微乎其微，黏结力下降，不容易形成强度特性稳定的试样和光滑的上、下表面，对无侧限抗压强度试验的测试结果会造成较大影响。当混合土中没有 EPS 颗粒加入时，混合土的密度与一般土体密度相当，可见，EPS 颗粒的掺入量对混合土密度的降低影响作用很大。

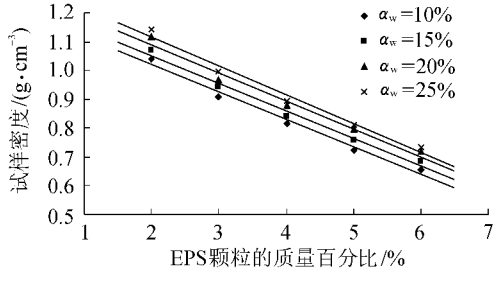

图 2 试样密度随 EPS 颗粒质量百分比变化的关系

2 EPS 颗粒对抗压强度特性的影响

2.1 混合土中抗压强度与组成材料配比的关系

EPS 颗粒含量对轻质混合土抗压强度的影响通过密度体现出来，可归结为密度对抗压强度的影响。决定轻质混合土抗压强度的关键因素是水泥，EPS 颗粒对抗压强度的影响受水泥含量的制约[5]。试验过程中，聚苯乙烯轻质混合土中的各组成材料含量以干土质量为标准，以质量百分比混合，而实际工程应用中水泥含量一般以混合土的体积为标准加入。为服务实际工程，经过换算，将水泥掺入比换算为 1 m^3 混合料（EPS 颗粒、水、土）中的水泥含量，得到抗压强度与水泥质量浓度之间的关系，见图 3。轻质混合土的密度在 0.658 ~ 1.177 g/cm^3 范围内，不同含水量时混合土的抗压强度与水泥质量浓度的关系虽有一定的离散性，但还是接近线性关系（图中抗压强度均为龄期 7 d 的数据）。通过对不同配比的聚苯乙烯轻质混合土抗压强度进行分析，发现抗压强度与水泥质量浓度、含水量之间的关系可以用公式（1）表示，EPS 颗粒对抗压强度的影响可以不考虑。

$$q_u = \frac{KC}{\left(\frac{\omega\rho_s}{100} + 1\right)^2} \tag{1}$$

式中：q_u 为抗压强度；K 为强度系数，可通过配比试验确定，本次试验中 K 取 15；ρ_s 为土粒密度；C 为水泥质量浓度；ω 为含水量。

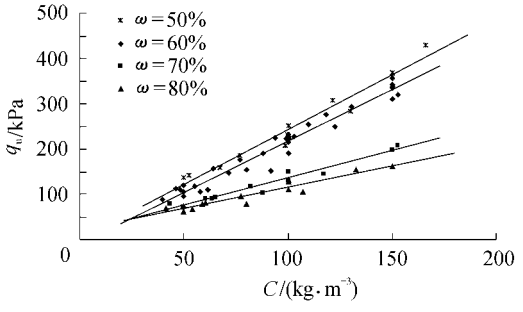

图 3 抗压强度与水泥质量浓度的关系

图 4 表示式（1）所推定的预测抗压强度和试验所测的实测抗压强度之间的对应关系，两者的相关系数为 0.93，表明式（1）所表示的关系式是比较可靠的，在实际工程中借助这种关系，可以根据配比预测混合土的抗压强度。在施工时，当原料土含水量发生变化（人为或自然的）情况下，根据含水量的状态适当调整水泥用量，可以保证聚苯乙烯轻质混合

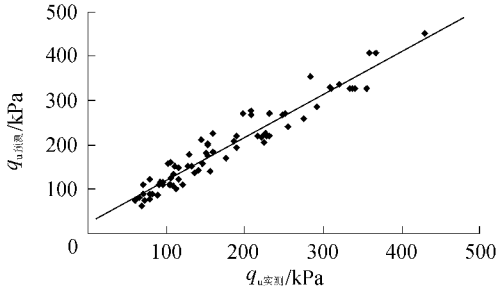

图 4　实测抗压强度与预测抗压强度之间的关系

土在实际工程中达到所需的抗压强度。对聚苯乙烯轻质混合土的抗压强度除了可根据经验公式(1)进行计算外,文献[5]还采用了 SPSS 统计软件,综合考虑聚苯乙烯轻质混合土抗压强度与水泥含量、含水量、密度之间的关系,进行多元线性回归分析,得到 $q = aC + b\omega + c\rho + d$ 的关系式,同样也得到密度对抗压强度影响很小的结果。

2.2　轻质混合土的抗压破坏形式

聚苯乙烯轻质混合土的抗压破坏形式为脆性破坏,如图 5 所示,图中 3 个试样分别对应图 1 中的 3 个试样,有明显的破裂面,大致呈 45°方向破坏,轴向应力具有明显峰值,混合土中虽然有 EPS 颗粒加入,但是抗压破坏形式与一般土体、水泥土有相似性,EPS 颗粒对混合土抗压破坏形式影响不明显。

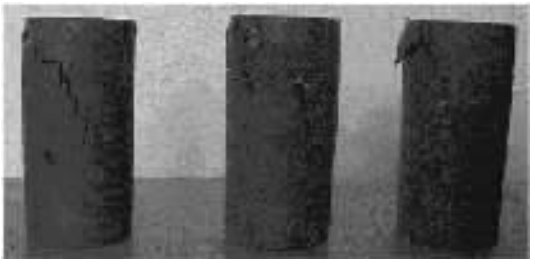

图 5　无侧限抗压强度试验的试样破坏形式

3　EPS 颗粒对混合土压缩变形特性的影响

EPS 颗粒除具有轻质性外,由于其形成过程中的发泡作用,使得颗粒还具有一定的压缩性。根据文献[6]的结论,得到轻质混合土的压缩屈服应力在 200 kPa左右,当荷载超过混合土压缩屈服应力时 EPS 颗粒发生变形,由 EPS 颗粒含量引起聚苯乙烯轻质混合土的压缩变形量较大;而荷载小于压缩屈服应力时 EPS 颗粒含量对压缩变形量的影响则很小。

图 6 为配比相同及荷载相同条件下混合土压缩变形量与密度的关系,可以看出,密度越大,压缩变形量越小,这主要是由于 EPS 颗粒的含量不同导致的。混合土密度大,其中的 EPS 颗粒含量低,由 EPS 颗粒引起的变形量小;混合土密度小,其中的 EPS 颗粒含量高,在荷载作用下 EPS 颗粒发生的压缩变形量大。在荷载为 400 kPa 时,超过混合土本身的压

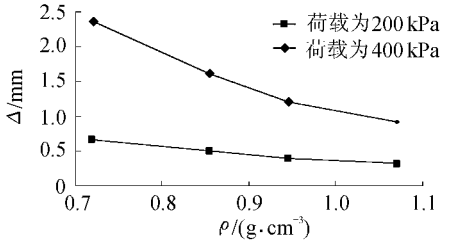

图 6　混合土压缩变形量与密度的关系

缩屈服应力,压缩变形随混合土密度的变化趋势较大,混合土内部主要发生的是 EPS 颗粒的变形。EPS 颗粒含量越高,压缩变形越大,文献[6]中有关于压缩试验前后试样的内部结构的对比图,由此可知压缩试验结束后试样中的 EPS 颗粒已经由原来的圆形变成了椭圆形,说明超过压缩屈服应力后,轻质混合土内部的 EPS 颗粒发生了较大的变形,所以混合土的压缩变形量较大。荷载为 200 kPa 时,小于混合土的压缩屈服应力,土体压缩变形量随密度的变化较小,混合土中的 EPS 颗粒还没有发生完全变形。对于没有 EPS 颗粒的混合土,压缩变形特性与一般水泥土的压缩变形特性相似。

4　结　语

a. EPS 颗粒在轻质混合土中最直接的作用就是降低轻质混合土的密度。颗粒含量越高,混合土密度越小,二者基本上呈线性关系。

b. 通过对抗压强度特性的分析,得到了抗压强度随配比变化的关系式,可知 EPS 颗粒在一定范围内变化时对轻质混合土抗压强度特性的影响较小。

c. 荷载小于压缩屈服应力时由 EPS 颗粒含量引起轻质混合土的压缩变形量很小;荷载大于压缩屈服应力时由于 EPS 颗粒本身的压缩变形比较彻底,对混合土的压缩变形量影响较大。

总之,轻质混合土具有较小的密度和较高的抗压强度,在荷载不超过压缩屈服应力时,作为填土材料使用,具有很好的应用前景。

参考文献:

[1] 钱程,储才元.土工泡沫的生产和应用[J].非织造布应用研究,2000,8(3):35-38.
[2] 王俊奇,王钊.土工泡沫工程性质及其应用[J].工程勘察,2002(4):9-12.
[3] 洪显诚,杨航宇,朱赞凌,等.EPS 材料在桥头软基处理中的试验研究[J].桥梁建设,2001(4):5-7.
[4] 山田纯男,长坂勇二,西田登,等.□生土スチロ-ル片と砂とをした混合□量土[J].土木技术,1989(1):25-30.
[5] 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.
[6] 董金梅,刘汉龙,洪振舜.聚苯乙烯轻质混合土压缩变形特性分析[J].岩土力学,2006,26(5):579-583.

(收稿日期:2006-09-08　编辑:高建群)