

文章编号: 0451-0712(2007)02-0007-04

中图分类号: TU472.6; U416.1

文献标识码: A

# 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土 抗剪强度的影响因素

朱伟<sup>1,2</sup>, 李明东<sup>3</sup>, 汤峻<sup>3</sup>, 张春雷<sup>1,3</sup>

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 南京市 210098; 2. 河海大学环境科学与工程学院 南京市 210098;  
3. 河海大学岩土工程研究所 南京市 210098)

**摘要:** 在疏浚淤泥中添加固化材料和 EPS 颗粒, 制成淤泥 EPS 颗粒混合轻质土, 既可以资源化利用疏浚淤泥, 又可以减少软土的地基处理费用。通过直接剪切试验, 获取了淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的抗剪强度参数, 即粘聚力与内摩擦角。研究发现: 粘聚力随水泥添加量和龄期的增加而增加; 在水泥添加量较小时, 粘聚力随 EPS 添加量增加而增加, 在水泥添加量较大时, 粘聚力随 EPS 颗粒添加量增加而减小; 水泥添加量、EPS 颗粒添加量和龄期对内摩擦角的影响不显著, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的内摩擦角总体分布在  $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$  之间。

**关键词:** 轻质土; 淤泥; EPS 颗粒; 直接剪切试验; 粘聚力; 内摩擦角

对淤泥进行固化资源化处理用作填方用土, 已成为处理大量疏浚淤泥的有效办法<sup>[1]</sup>。但当填方地基为软弱地基时, 仍需要对地基进行处理。在对淤泥进行固化处理的同时, 加入低密度的发泡聚苯乙烯颗粒(简称 EPS 颗粒)进行轻质化处理, 制成淤泥 EPS 颗粒混合轻质土, 可以减少地基处理时的费用<sup>[2, 3]</sup>。该办法已经在国内外许多工程中得到应用, 证实了其优越性<sup>[4, 5]</sup>。

目前对淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的研究主要集中在其密度和无侧限抗压强度上<sup>[2, 6, 7]</sup>。研究发现, 影响其密度的主要因素是 EPS 颗粒的添加量, 影响其无侧限抗压强度的主要因素是水泥掺加量和 EPS 颗粒的掺加量<sup>[6]</sup>。在文献<sup>[6]</sup>的研究中, 对淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的三轴抗剪强度参数进行了测定。对于淤泥 EPS 颗粒混合轻质土, 由于经过水泥改性, 属于结构性土, 这种改性土存在渗透系数小和具有结构应力的特点, 在三轴试验中难以采用常规方法对试样进行饱和以及设定适当的应力水平。

本文采用直接剪切试验的方法, 测定了淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的抗剪强度, 计算了其粘聚力和内摩擦角, 并对其影响因素进行了分析, 以期对 EPS 颗粒混合轻质土的工程设计提供参考。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验材料

试验所用淤泥取自广东省惠州市大亚湾石油化学工业区内, 为海相沉积淤泥, 其含水率为 120%, 比重为 2.74, 容重为  $13.82 \text{ kN/m}^3$ 。采用的 EPS 颗粒为圆球状, 粒径为  $2 \sim 3 \text{ mm}$ , 颗粒密度为  $61.3 \text{ kg/m}^3$ 。试验所用的固化材料为 32.5 级普通硅酸盐水泥。

### 1.2 试验方案

在本研究中, 水泥添加量按每  $\text{m}^3$  淤泥中加入的水泥质量(kg)表示; EPS 颗粒添加量按 EPS 颗粒实体体积与淤泥体积之比表示。

为了研究水泥添加量和 EPS 颗粒添加量对 EPS 颗粒混合轻质土抗剪强度参数的影响, 试验中固定养护龄期为 28 d, 试验方案采用完全试验方案, 因素水平见表 1, 每个配合比制作 4 个试样。

表 1 材料配合比影响试验因素水平(养护龄期: 28 d)

因素	水平				
	1	2	3	4	5
水泥量/( $\text{kg/m}^3$ )	50	75	100	125	150
EPS 颗粒添加量	0	0.23	0.69	1.15	1.61

为了研究养护龄期对 EPS 颗粒混合轻质土抗剪强度参数的影响, 试验中水泥添加量固定为  $150 \text{ kg/m}^3$ , 试验方案采用完全试验方案, 因素水平见表 2, 每个配合比制作 4 个试样。

表 2 龄期影响试验因素水平(水泥添加量:  $150 \text{ kg/m}^3$ )

因 素	水 平				
	1	2	3	4	5
EPS 颗粒添加量	0	0.23	0.69	1.15	1.61
龄期/d	7	28	60		

### 1.3 制样过程

首先按照设计配合比称取淤泥、水泥和 EPS 颗粒, 后将淤泥和水泥倒入搅拌机内进行机械搅拌, 待搅拌均匀再加入 EPS 颗粒进行混合搅拌, 搅拌 5 min 后, 将具有一定塑性的淤泥 EPS 颗粒混合体装入环刀进行振动, 以排出其中的空气。试验所用环刀内径为  $61.8 \text{ mm}$ , 高度为  $20 \text{ mm}$ 。为方便脱模, 装样前先在环刀内壁均匀涂一层凡士林。将制备好的试样置入标准养护箱(温度为  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ , 湿度为  $90\%$ )中养护, 养护 24 h 后将试样从环刀中推出, 再养护至设计龄期进行直接剪切试验。

### 1.4 试验方法

直接剪切试验在 SDJ-1 型应变控制式直剪仪上进行, 试验方法为快剪法, 剪切速率为  $0.8 \text{ mm/min}$ 。法向应力分别取为  $50 \text{ kPa}$ 、 $100 \text{ kPa}$ 、 $150 \text{ kPa}$  和  $200 \text{ kPa}$ 。抗剪强度参数的获取按照规范中的直线法进行<sup>[8]</sup>。

## 2 粘聚力的变化规律

### 2.1 水泥添加量对粘聚力的影响

图 1 是养护龄期为 28 d 时, 在不同 EPS 颗粒添加量下, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力随水泥添加量变化的情况。由图 1 可见, 无论对于哪个 EPS 颗粒添加量, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力都随着水泥添加量的增加而增加, EPS 颗粒添加量越低, 这种增加的趋势越明显。

上述现象产生的原因是: 对于相同的 EPS 颗粒添加量, 轻质土中的粘聚力主要来源于水泥水解、水化作用形成的胶结结构, 随着水泥添加量的增加, 胶结结构越强, 粘聚力越大。同时, 对于相同的水泥添加量, 随着 EPS 颗粒添加量的增加, 胶结结构占有的体积变小, 水泥作用对粘聚力的贡献减少, 所以轻质土粘聚力的增加趋势会减弱。

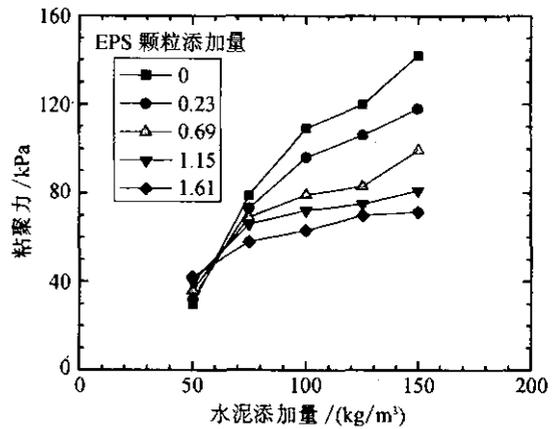


图 1 水泥添加量对粘聚力的影响

### 2.2 EPS 颗粒添加量对粘聚力的影响

图 2 是养护龄期为 28 d 时, 在各种水泥添加量下, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力随 EPS 颗粒添加量变化的情况。由图 2 可见, 在水泥添加量为  $75 \sim 150 \text{ kg/m}^3$  时, 随着 EPS 颗粒添加量的增加, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力呈递减趋势, 水泥添加量越高, 这种递减的趋势越明显; 在水泥添加量为  $50 \text{ kg/m}^3$  时, 粘聚力随着 EPS 颗粒添加量的增加而增加。这是因为当水泥添加量较高时, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的骨架结构强度大, 随着 EPS 颗粒的添加, 胶结结构所占据的空间减少, 所以粘聚力也相应减小; 当水泥添加量较低时, 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力随着 EPS 颗粒添加量增加而增加, 这可能是因为水泥添加量较低时, 对淤泥产生的固化效果较差, 使得土体骨架的强度要低于 EPS 颗粒的强度, 这一现象还有待于进一步研究。

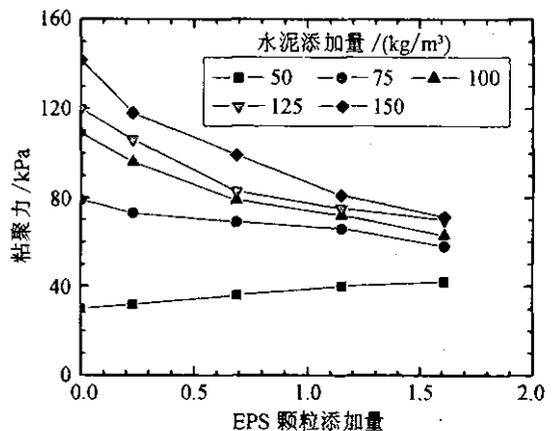


图 2 EPS 颗粒添加量对粘聚力的影响

同时, EPS 颗粒添加量越大, 不同水泥添加量下的轻质土粘聚力相差越小, 这主要是因为随着

EPS颗粒添加量的增加, EPS颗粒所占据的体积增加, 水泥土的骨架所占体积减小, 其强度的差异对整体的贡献减小。

### 2.3 龄期对粘聚力的影响

图3是水泥添加量为 $150 \text{ kg/m}^3$ 时, 在不同EPS颗粒添加量下, 淤泥EPS颗粒混合轻质土的粘聚力随养护龄期变化的情况。由图3可见, 无论对于哪个EPS颗粒添加量, 轻质土的粘聚力都随着龄期的增加而增加。同时, 随着EPS颗粒添加量的增加, 粘聚力随龄期的增加趋势减缓。

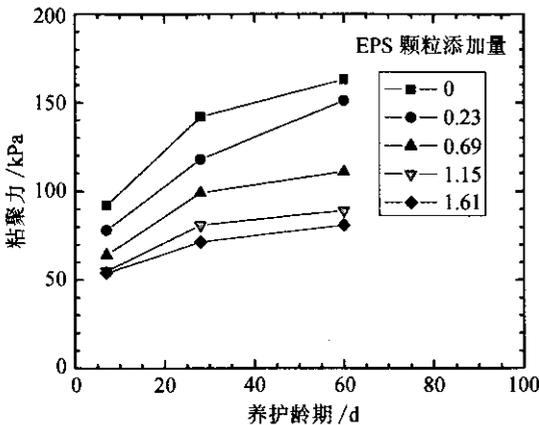


图3 养护龄期对粘聚力的影响

上述现象产生的原因是随着龄期的增加, 水泥的水解、水化作用进一步发生, 使得胶结结构的强度进一步增加。

## 3 内摩擦角的变化规律

### 3.1 水泥添加量对内摩擦角的影响

图4是龄期为28 d时, 在各EPS颗粒添加量下, 淤泥EPS颗粒混合轻质土的内摩擦角随水泥添加量变化的情况。由图4可见, 其内摩擦角都介于 $20^\circ \sim 35^\circ$ 之间, 但随水泥添加量的增加没有明显的变化规律。

### 3.2 EPS颗粒添加量对内摩擦角的影响

图5是龄期为28 d时, 在各水泥添加量下, 淤泥EPS颗粒混合轻质土的内摩擦角随EPS颗粒添加量变化的情况。由图5可见, 其内摩擦角都介于 $20^\circ \sim 35^\circ$ 之间, 但随EPS颗粒添加量的增加没有明显的变化规律。

### 3.3 龄期对内摩擦角的影响

图6是水泥添加量为 $150 \text{ kg/m}^3$ 时, 在不同EPS颗粒添加量情况下, 淤泥EPS颗粒混合轻质土的内

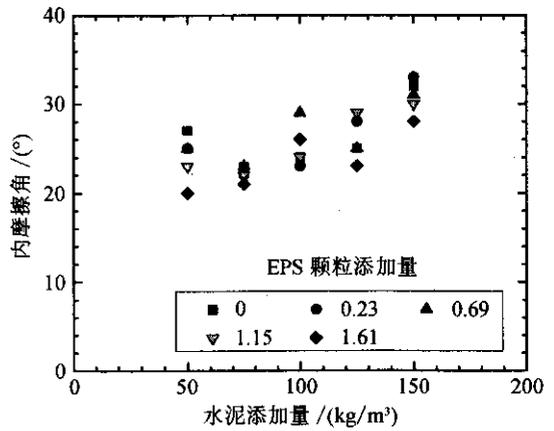


图4 水泥添加量对内摩擦角的影响

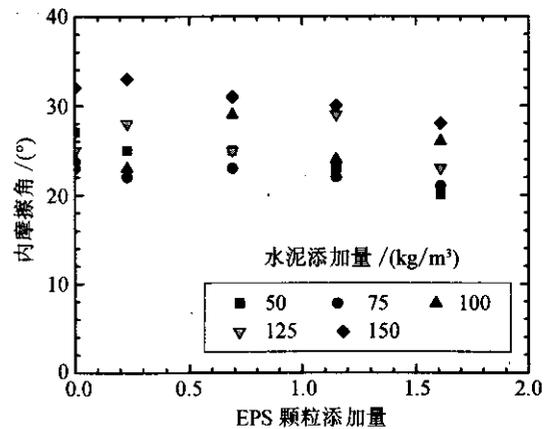


图5 EPS颗粒添加量对内摩擦角的影响

摩擦角随养护龄期变化的情况。由图6可见: 固化土的内摩擦角随龄期的增加而明显增加; 而对于轻质土, 内摩擦角大都介于 $20^\circ \sim 35^\circ$ 之间, 随龄期的增加略有增加, 但这种趋势不是特别明显。

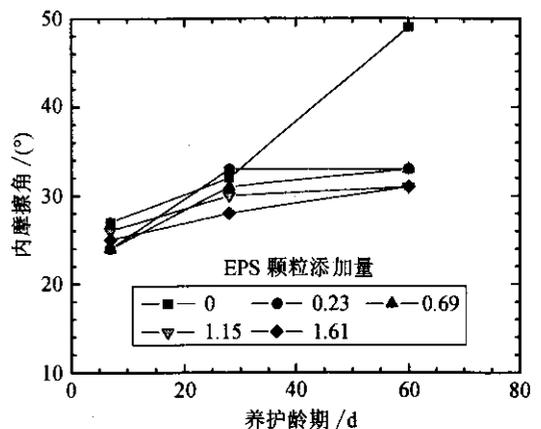


图6 养护龄期对内摩擦角的影响

由此可见, 淤泥EPS颗粒混合轻质土的内摩擦角变化范围较小, 随水泥添加量、EPS颗粒添加量

和龄期变化的规律不明显。但是,考虑到 EPS 颗粒混合轻质土主要应用于围压比较小的工程环境中,摩擦力对强度的贡献比较小,所以笔者在此仅仅给出其变化的大致范围为  $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$ ,这对工程应用具有一定的参考价值。其变化规律和数学表达式的建立,需要有效缩小试验误差的方法和进一步的试验研究。

#### 4 结语

(1) 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力,随水泥添加量和龄期的增加而增加。当水泥添加量较高时,粘聚力随着 EPS 颗粒添加量增大而减小;当水泥添加量较低时,它随着 EPS 颗粒添加量的增加而增加。

(2) 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的骨架是固化淤泥,其强度主要取决于固化淤泥的强度。水泥添加量的增加和养护龄期的延长,使得水泥的水化、水解量增加,提高了土骨架的粘聚力,从而提高了淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的粘聚力。

(3) 淤泥 EPS 颗粒混合轻质土的内摩擦角在  $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$  之间,但受水泥添加量、EPS 颗粒添加量和龄期的影响很小。

#### 参考文献:

- [1] Tang Yixin, Miyazaki Y, Tsuchida T. Practices of reused dredging by cement treatment [J]. Soils and Foundations, 2001, 41(5).
- [2] 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, 27(5).
- [3] Hiroshi Mihi. Cost reduction effect due to lightweight embankment [C]. Proceeding of the International Workshop on Lightweight Geo-Materials (IW - LGM2002), Tokyo, Japan. 2002.
- [4] 李明东, 朱伟, 姬凤玲, 等. EPS 颗粒混合轻质土的施工方法和工程实例[J]. 岩土工程学报, 2006, (4).
- [5] Akashi Tsuchida, Minsoo Kang. Use of lightweight soil method in seaport and airport construction project[C]. Proceeding of the international workshop on lightweight Geo-materials, Tokyo, Japan. 2002.
- [6] 姬凤玲. 淤泥泡沫塑料颗粒轻质混合土力学特性研究[D]. 南京: 河海大学, 2005.
- [7] Takashi Tsuchida, Ali Probaha, Nobuyuki Yamane. Development of a geomaterial from dredged bay mud [J]. Journal of materials in civil engineering, 2001, (2).
- [8] SL 237-1999, 土工试验规程[S].

## Influencing Factors on Shear Strength of Dredged Sediment and EPS Beads-Mixed Lightweight Soil

ZHU Wei<sup>1,2</sup>, LI Ming-dong<sup>3</sup>, TANG Jun<sup>3</sup>, ZHANG Chun-lei<sup>1,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Geotechnical Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Through mixing of dredged sediment with EPS beads and cement can produce a type of lightweight soil, which can not only reutilize dredged sediment, but also reduce the fee of soft foundation treatment. As to this type of lightweight soil, direct shear test is used to study the influencing factors of cement content, EPS beads content and curing time on the shear parameters. Test results show cohesion increases with cement content and curing time increasing. When cement content is low, cohesion increases with EPS beads content increasing. When cement content is high, cohesion decreases with EPS beads content increasing. The factors of cement content, EPS beads content and curing time have little influence on the internal friction angle, the internal friction angles of tested samples totally lie between 20 and 35 degree.

**Key words:** lightweight soil; dredged sediment; EPS beads; direct shear test; cohesion; internal friction angle