



充填土袋排水特性试验研究*

王年香, 顾行文, 朱群峰, 章为民, 任国峰

(南京水利科学研究所, 江苏南京 210024)

摘要: 针对连云港疏浚土, 通过充填土袋排水试验, 研究充填土黏粒含量和充填袋等效孔径对充填土袋排水特性的影响。试验结果表明, 充填土袋的排水率和含水率随时间呈非线性变化: 在初始阶段, 最大排水速率高达数千%/d的量级, 且黏粒含量越小, 最大排水速率越大; 而后排水速率迅速减小, 只有数十%/d的量级, 1 d后小于10%/d。充填土的黏粒含量和布袋的等效孔径显著影响其排水特性, 充填土袋筑堤, 充填土的黏粒含量应小于20%为宜, 充填袋的等效孔径0.15 mm左右为宜。

关键词: 充填土袋; 黏粒含量; 等效孔径; 排水特性; 试验研究

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)10-0156-05

Laboratory study on drainage behavior of soil-filled geotextile bag

WANG Nian-xiang, GU Xing-wen, ZHU Qun-feng, ZHANG Wei-min, REN Guo-feng

(Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210024, China)

Abstract: Laboratory tests are carried out to study the influences of clay content and equivalent pore size on the drainage behavior of soil-filled geotextile bag in Lianyungang harbor. Results show that the drainage effect and water content of soil-filled bag change nonlinearly with time. The drainage rate is up to thousands %/d at initial phase, and then decreases rapidly to dozens %/d, and becomes less than 10%/d after 1 day. The maximum drainage rate is greater with less clay content. The drainage behavior is greatly influenced by the clay content of filled soil and equivalent pore size of geotextile bag. For the construction of embankment with soil-filled geotextile bags in Lianyungang harbor, the clay content of filled soil shall be controlled under 20% and the equivalent pore size of geotextile bag shall be about 0.15 mm.

Keywords: soil-filled geotextile bag; clay content; equivalent pore size; drainage behavior; laboratory study

沿海堤坝修筑是港口航道工程建设的重要内容, 也是围海造陆、解决土地资源紧缺问题的重要途径。经过不断发展, 土工织物充填土袋筑堤技术已广泛应用于水利、交通及海岸等工程领域^[1]。规范要求充填料的黏粒含量应小于10%^[2]。由软黏土形成的淤泥质浅滩在我国沿海地区分布广泛, 港口航道建设、围海造陆工程产生大量的疏浚土及吹填泥, 这类弃土的黏粒含量一般较高。如果能利用当地这类弃土资源作为筑堤充填料,

可大大降低工程建设成本, 实现环境资源保护。

采用充填疏浚土筑堤, 首先必须用大量的水将疏浚土充分稀释, 形成悬浊液后采用水力充填的方式将其灌入袋中, 灌入袋中的悬浊液应尽快排水沉淀, 形成固体。充填土袋排水快慢直接影响筑堤的成败, 然而其排水特性较为复杂, 目前研究不多。Koerner等^[3]进行悬挂袋试验研究不同组合的织物和填料的排水保土特性和淤堵特性, 以便选取合适的织物和填料。Moo-Young等^[4]采用

收稿日期: 2014-03-12

*基金项目: 国家自然科学基金项目(51179106); 国家高技术研究发展计划863项目(2012AA112509); 江苏省交通科学支撑计划项目(BE2011718)

作者简介: 王年香(1963—), 男, 博士, 教授级高级工程师, 从事岩土工程基本理论和试验研究。

加压过滤试验研究不同渗透水头、不同渗透液条件下织物的渗透性保土性。Koerner 等^[5]通过枕状充填袋试验来评价和选取土工织物和充填料的适用性, 结果表明充填材料对整个管袋的渗透特性影响明显, 砂料充填后排水最快, 而粉质黏土排水很慢。影响充填袋中的悬浊液排水沉淀的主要因素为疏浚土的黏粒含量和充填袋的等效孔径, 本文通过充填土袋的排水试验, 研究充填土黏粒含量和充填袋等效孔径对充填土袋排水特性的影响。

1 试验方法

试验土样取自连云港的黏性土和砂性土, 其颗粒组成如表 1 所示。以这 2 种土样的不同配比进行制样, 获得 7 种黏粒含量为 32.5% ~ 6.2% 的试样, 以研究黏粒含量对充填袋土排水特性的影响。

表 1 充填土颗粒组成 %

土样	粒径/mm					
	0.25 ~ 0.075	0.075 ~ 0.05	0.05 ~ 0.01	0.01 ~ 0.005	< 0.005	< 0.002
黏性土	22.8	5.0	24.8	14.9	32.5	14.6
砂性土	55.3	6.3	30.5	1.7	6.2	4.5

充填袋采用质量为 230 g/m² 的 2 种丙纶机织土工布。2 种土工布的主要差异为等效孔径不同: 1# 布的等效孔径为 0.096 mm, 2# 布的等效孔径为 0.155 mm。以研究充填袋布等效孔径对充填袋土排水特性的影响。

对 7 种充填土黏粒含量和 2 种充填袋布共进行 8 组试验, 各模型的充填土黏粒含量和充填袋材料列于表 2。每组试验干土质量为 30 kg, 加 90 kg 的水浸泡, 制成含水率为 300% 的充填土悬浊液。充填袋的尺寸为 70 cm × 50 cm × 50 cm (长 × 宽 × 高), 上部敞口, 并置于塑料筐内。将充填土悬浊液倒入充填袋内 (图 1), 让充填土自然沉淀排水, 测定不同时间充填土悬浊液的排水量, 从而计算充填土的排水率 (排水量与初始水量之百分比, 反映充填袋土的相对排水情况)、排水速率 (某时段内排水率之差, 反映该时段充填袋土的排水速度)、含水率等。

表 2 试验模型

模型编号	黏粒含量/%	充填袋
1	32.5	2# 布
2	27.2	2# 布
3	22.0	2# 布
4	18.0	2# 布
5	14.1	2# 布
6	10.1	2# 布
7	32.5	1# 布
8	6.2	1# 布



图 1 充填袋土排水试验照片

2 黏粒含量对排水特性的影响

图 2 和图 3 分别为不同黏粒含量充填土袋排水率和含水率过程线。从图中可以看出, 不同黏粒含量充填土袋的排水率和含水率随时间呈非线性变化: 在初始阶段, 排水率随时间快速增大, 含水率随时间从 300% 快速下降, 且黏粒含量越小, 排水率随时间增加越快, 含水率随时间下降越快, 而后排水率和含水率随时间变化慢慢减小; 黏粒含量越大, 相同时间排水率越小, 含水率越大; 黏粒含量小于 22% 时, 1 d 以后排水率和含水率随时间的变化较小, 表明充填土袋排水基本稳定。

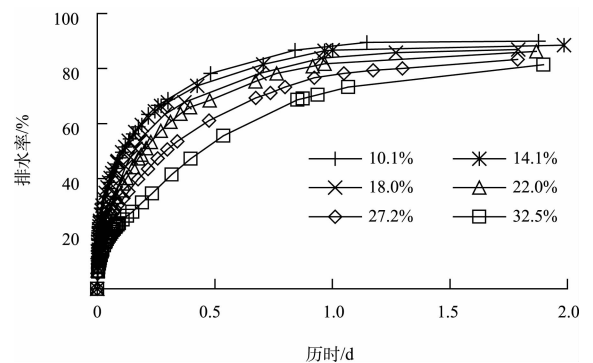


图 2 2# 布不同黏粒含量充填土袋排水率过程线

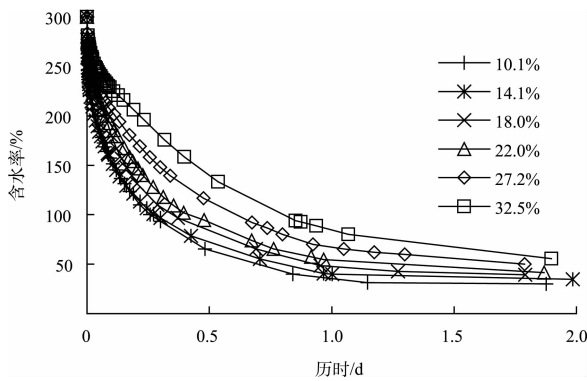


图3 2#布不同黏粒含量充填土袋含水率变化过程线

图4为不同黏粒含量充填土袋排水速率过程线。从图中更可以看出充填土袋的排水特性：在充填后1~2 h内，最大排水速率高达几千%/d的量级，这是因为此时的水力梯度较大，且充填袋内表面尚未被泥皮覆盖，且黏粒含量越小，最大排水速率越大；随着水力梯度减小和充填袋内表面被泥皮覆盖，排水速率迅速减小，只有几十%/d的量级，1 d后小于10%/d；黏粒含量越大，最大排水速率越小，0.5 d后排水速率越大，表明排水效果越差。

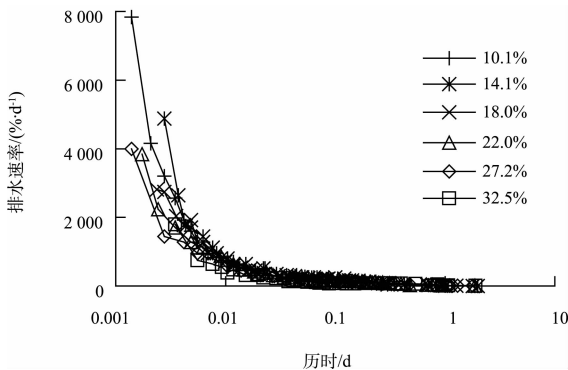


图4 2#布不同黏粒含量充填土袋排水速率过程线

图5和图6分别给出了充填土袋排水率和含水率随黏粒含量的变化关系。从图中可以看出，不同时间充填土袋排水率随黏粒含量的增加而减小，含水率随黏粒含量的增加而增大，均呈两段线性减小或增大的变化规律；当黏粒含量小于22%时，排水率和含水率随黏粒含量变化较小，且

1 d后的排水率和含水率相差不大，排水率能达82%以上，含水率能降到54%以下；当黏粒含量大于22%时，排水率和含水率随黏粒含量变化较大，呈发散状态；时间越短，排水率和含水率随黏粒含量变化越大。因此，从排水率和含水率来看，充填土袋的黏粒含量不宜大于22%。

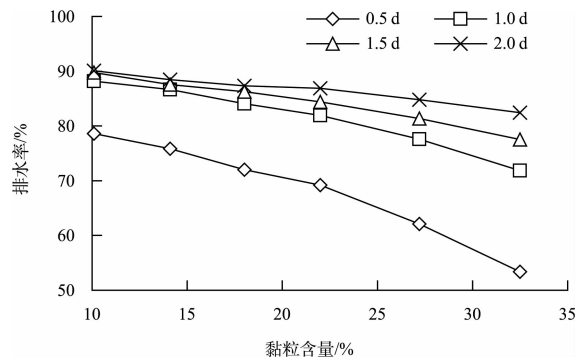


图5 2#布排水率随黏粒含量的变化

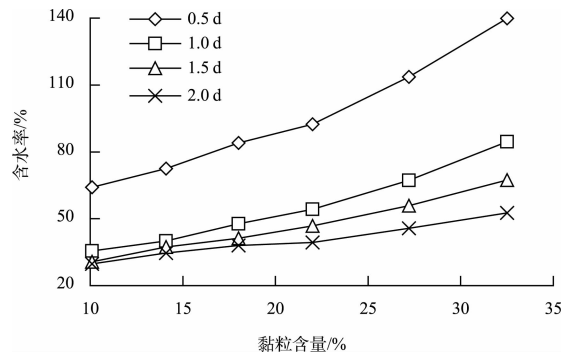


图6 2#布含水率随黏粒含量的变化

图7为充填土袋排水速率随黏粒含量的变化关系。从图中可以看出：当黏粒含量小于18%时，最大排水速率随黏粒含量的增加而快速减小；当黏粒含量大于18%时，最大排水速率随黏粒含量的增加整体上变化不大；0.5、1.0、1.5、2.0 d的排水速率随黏粒含量的增加整体上稍有增大。用充填土袋筑堤，初始排水速率越快，而后期排水速率越小，这样就越有利堤体稳定。试验结果表明，当黏粒含量小于18%时，基本上能满足这一要求。因此，从排水速率来看，充填袋土的黏粒含量不宜大于18%。

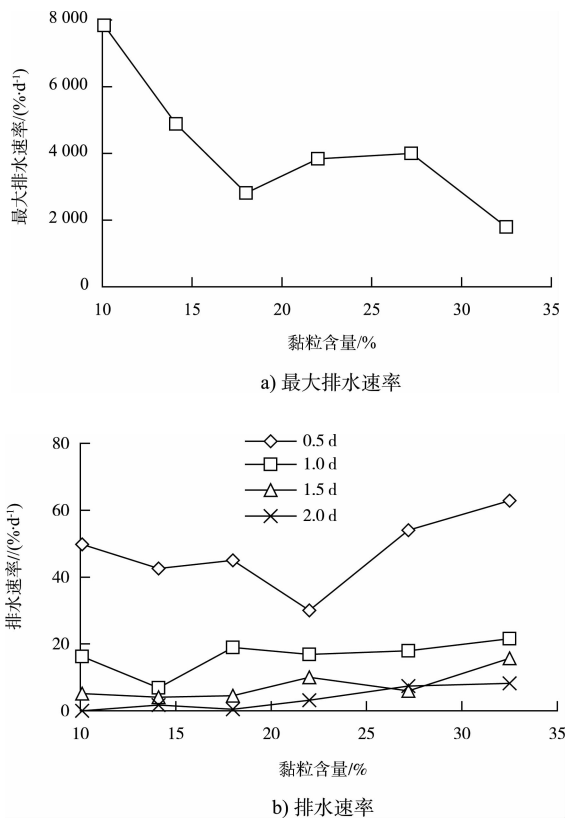


图 7 2#布排水速率随黏粒含量的变化

3 等效孔径对排水特性的影响

表 3 列出了黏粒含量 32.5% 时 1#布和 2#布充填土袋的排水特性对比, 图 8 和图 9 分别给出了 1#布和 2#布充填袋土的排水率和含水率过程线。从图中可以看出: 黏粒含量为 32.5% 的充填土, 采用 1#布 (等效孔径为 0.096 mm) 和 2#布 (等效孔径为 0.155 mm) 作为充填袋时, 排水率和含

水率过程线相差较大。2#布充填土袋与 1#布的相比, 0.5、1.0、1.5、2.0 d 的排水率分别高 35%、22%、9%、7%, 含水率分别低 23%、32%、22%、23%。在 1d 以内, 2#布充填土袋的排水率随时间的增量大于 1#布, 含水率随时间的减小量大于 1#布; 1 d 以后, 2#布充填土袋的排水率随时间的增量小于 1#布, 含水率随时间的减小量小于 1#布。

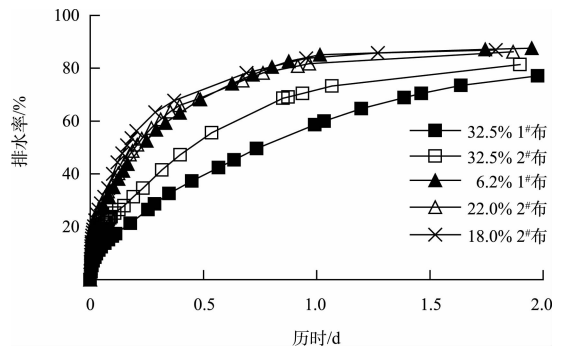


图 8 1#布和 2#布充填土袋排水率过程线

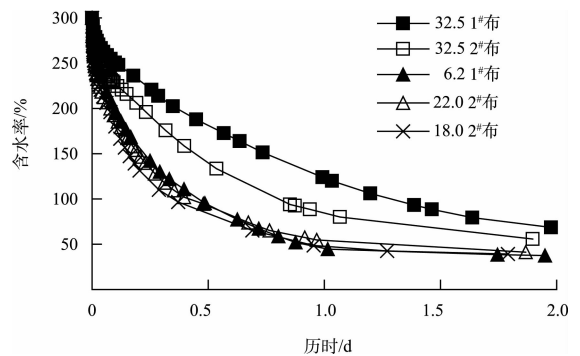


图 9 1#布和 2#布充填土袋土含水率过程线

表 3 黏粒含量 32.5% 时 1#布和 2#布充填土袋排水特性对比

历时/d	排水率			含水率			排水速率		
	2#布/%	1#布/%	2#布/1#布	2#布/%	1#布/%	2#布/1#布	2#布/(%·d ⁻¹)	1#布/(%·d ⁻¹)	2#布/1#布
0							1 792.0	832.0	2.15
0.5	53.39	39.56	1.35	139.8	181.3	0.77	62.9	45.6	1.38
1.0	71.83	58.94	1.22	84.5	123.2	0.68	21.5	34.9	0.62
1.5	77.56	71.11	1.09	67.3	86.7	0.78	15.7	19.8	0.79
2.0	82.44	77.17	1.07	52.7	68.5	0.77	8.2	9.8	0.84

图 10 为 1#布和 2#布充填土袋的排水速率过程线。从图中可以看出: 黏粒含量为 32.5% 的充填土, 采用 1#布和 2#布作为充填袋时, 排水速率过程线相差较大。2#布充填土袋与 1#布相比, 0、

0.5 d 的排水速率高 115.4%、37.8%, 1.0、1.5、2.0 d 的排水速率低 38%、21%、16%。1 d 以内, 2#布充填土袋的排水速率明显大于 1#布; 1 d 以后, 2#布充填袋土的排水速率小于 1#布。充填土

袋的排水率、含水率、排水速率结果表明, 2#布前期排水效果明显优于1#布, 有利于充填土袋的稳定。从图8至图10还可看出, 1#布充填黏粒含量为6.2%的土与2#布充填黏粒含量为18%和22%的土, 三者的排水率、含水率、排水速率相差不大, 表明采用2#布比1#布充填土的黏粒含量可增加15%左右。

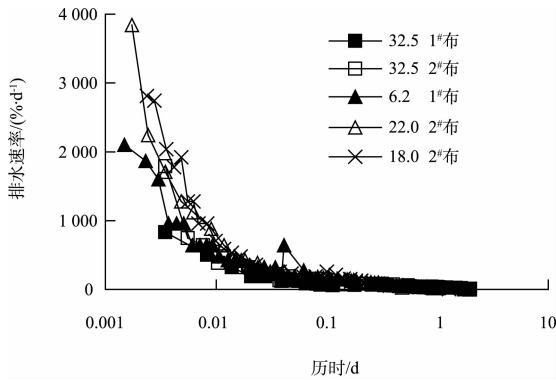


图10 1#布和2#布充填土袋排水速率过程线

4 结论

1) 充填土袋的排水率和含水率随时间呈非线性变化: 在初始阶段, 排水率随时间快速增大, 含水率快速下降, 且黏粒含量越小, 排水率增加越快, 含水率下降越快; 而后排水率和含水率随时间变化慢慢减小。

2) 在充填后1~2 h内, 最大排水速率高达几千%/d的量级, 且黏粒含量越小, 最大排水速率越大; 尔后排水速率迅速减小, 只有几十%/d的量级, 1 d后小于10%/d。

3) 充填土袋排水率随黏粒含量的增加而减小, 含水率随黏粒含量的增加而增大, 均呈两段线性减小或增大的变化规律; 当黏粒含量小于22%时, 随黏粒含量的变化较小, 大于22%时, 变化较大, 呈发散状态。

4) 当黏粒含量小于18%时, 充填土袋最大排水速率随黏粒含量的增加而快速减小; 大于18%时, 变化不大, 0.5、1.0、1.5、2.0 d的排水速率随黏粒含量的增加整体上稍有增大。

5) 充填土袋的排水率、含水率、排水速率结果表明, 2#布前期排水效果明显优于1#布, 采用2#布比1#布充填土的黏粒含量可增加15%左右。

6) 充填土袋筑堤, 充填土的黏粒含量应小于20%为宜, 充填袋的等效孔径0.15 mm左右为宜。

参考文献:

- [1] 李宝强. 土工织物充灌袋在天津港海堤建设中的研究及应用[J]. 中国港湾建设, 2003, 126: 36-38.
- [2] JTJ 239—2005 水运工程土工合成材料应用技术规范[S].
- [3] Koerner G R, Koerner R M. Geotextile tube assessment using a hanging bag test[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2006, 24 (2): 129-137.
- [4] Moo-Young H K, Gaffney D A, Mo X. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2002, 20(5): 289-303.
- [5] Koerner R M, Koerner G R. Performance tests for the selection of fabrics and additives when used as geotextile bags, containers, and tubes [J]. Geotechnical Testing Journal, 2010, 33(3): 1-7.

(本文编辑 郭雪珍)

著作权授权声明

全体著作权人同意: 论文将提交《水运工程》期刊发表, 一经录用, 本论文数字化复制权、发行权、汇编权及信息网络传播权将转让予《水运工程》期刊编辑部。