

管袋充填细颗粒土料高效固结排水试验研究

常广品¹, 吴晓南², 束一鸣¹, 刘云锋¹, 顾克¹

(1. 河海大学 水利水电学院, 南京 210098; 2. 上海交通建设总承包有限公司, 上海 200136)

摘要: 充泥管袋筑堤的施工速度主要受制于管袋充填后的排水固结效率, 后者与所充填土料的级配有关, 土颗粒粒径越小排水固结效率越低。我国东南沿海地区广泛分布的小粒径充进管袋后淤堵严重, 传统的管袋充填施工工艺已经不再适用。通过室内试验对比, 发现细颗粒含量较高的土料充填后会在管袋表层形成软弱泥层, 难以固结; 而在管袋表层开设排泥口后可以有效排除管袋表层的细颗粒泥浆, 提高了排水的效率。通过吊袋沉淀试验发现, 不同级配的土料沉淀后粒径较大的土颗粒大部分于吊袋底部, 粒径较小的细颗粒位于吊袋表层; 管袋表层开设排水口不会造成粗颗粒土料的损失。

关键词: 充泥管袋; 高效固结排水; 放水排泥

中图分类号: TV41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-0901-04

Experimental study of efficient consolidation drainage for tubes filling with soil material of fine particles

CHANG Guang pin¹, WU Xiaoran², SHU Yiming¹, LIU Yunfeng¹, GU Ke¹

(1. Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Shanghai Total Transportation Construction Contracting Ltd., Shanghai 200136, China)

Abstract: The construction speed of embankment with mud filled tubes is constrained by the consolidation drainage efficiency after the filling of tubes, which is related to the gradation of the filling soil material. Smaller soil particle size results in smaller consolidation drainage efficiency. In the southeastern coastal area of China, there are a lot of soil material with small grain size, which can cause serious clogging when they are filled into the tubes, and therefore the traditional construction scheme of tube filling is no longer applicable. The comparative study of laboratory tests showed that filling the tubes with the soil material of high content of fine grained particles can form a soft clay layer at the surface of tubes and cause difficulty for consolidation. However, opening of mud drainage mouth at the surface of tubes can remove the mud with fine grained particles and then increase the drainage efficiency. The punching bag precipitation tests also suggested that most of the soil material with coarser grained particles appear in the bottom of the bags while the soil material with finer grained particles occur at the surface of the bags. The existence of drainage pipe opening at the surface of the bags will not cause loss of coarser grained soil material.

Key words: mud filled tube; efficient consolidation drainage; drainage sludge

近几十年来在沿海围垦、江河堤防等工程中充泥管袋得到了大量应用。管袋是由土工编织布缝制成的大型管状袋, 宽度由几米到几十米不等, 长度可达几十米^[1]。通过管袋顶部预留的充灌袖口向管袋内充填细砂、砂类土等, 管袋滤水留土固结后层层堆叠形成堤坝^[2]。该筑坝方式具有就地取材、节约造价、施工工期短、对地基适应能力强等一系列优点^[3], 是沿海石料缺乏地区围海筑堤的首选坝型。

当管袋充填砂料的粒径较大透水性好时可以采用水下

充灌的方式, 充填后短时间内砂袋即具有一定的承载力。当充填料粒径较小时只能进行陆上充填, 充灌后需要经过一定的固结时间后才能继续进行上层管袋的充灌施工。管袋的排水效率与编织布等效孔径、泥浆含水率、土颗粒粒径、拍打扰动等因素有关^[4]。编织布等效孔径过大会造成砂颗粒的损失, 泥浆含水率过高会降低充灌的效率。当土料的细颗粒含量高时, 淤堵严重, 常用的拍打扰动方式无法加速脱水。《水运工程土工合成材料应用技术规范》(以下简称《规

收稿日期: 2014-07-11 修回日期: 2015-06-23 网络出版时间: 2015-09-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150924.2107.032.html>

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAB03B02)

作者简介: 常广品(1987-), 男, 河南许昌人, 主要从事河口、海岸软基上筑坝工艺、结构分析和渗透稳定性分析研究。E-mail: shshrs0826@163.com

通讯作者: 束一鸣(1952-), 男, 江苏无锡人, 教授, 博士生导师, 主要从事土石坝与堤防工程、河口海岸软基筑坝技术及工艺研究。E-mail: shym@hhu.edu.cn

范》^[5]规定,管袋充填料宜选用透水效果好的砂性土,土料的黏粒含量应低于 10%,砂粒含量应大于 50%。据经验,水上袋子充填厚度控制在 0.7~0.9 m,陆上袋子充填厚度控制在 0.4~0.5 m,充填袋的充盈度应控制在 80% 以上,下层充填袋在固结度达到 70% 后,可以进行上一层充填袋的施工^[6]。本文针对与《规范》要求相接近的土料进行高效排水试验,对比不同排水方式的排水效率,然后把排水效果好的方式应用到砂粒含量低于 50% 的充填料充灌试验中,并验证该方式对低砂粒含量充填料的排水效果。

1 不同脱水方式排水效率对比

1.1 试验装置及方法

高效脱水试验在室内模型箱中进行,室内试验的管袋模型为截取实际管袋的一小段进行。管袋模型长 0.2 m,宽 2 m,高 0.6 m,模型放置于尺寸为 0.2 m × 2 m × 0.6 m 的模型箱中,见图 1。试验过程模拟实际工程中的管袋充灌方式,用真空泵抽吸泥浆,用搅拌机搅拌均匀后充进管袋模型,充灌设备见图 2。渗透压力采用了北京基康(BGK-4500AL)渗压计测量,精度为 0.025% FS,经率定后测量,以消除误差。试验中采用无纺布(只能透水)包住渗压计,将其埋入管袋中。前期达到塑限之前测量的是泥浆压力与孔隙水压力的综合作用压力,后期达到塑限之后为孔隙水压力。

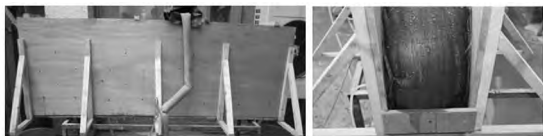


图 1 室内试验管袋模型

Fig. 1 Tube model of the laboratory test

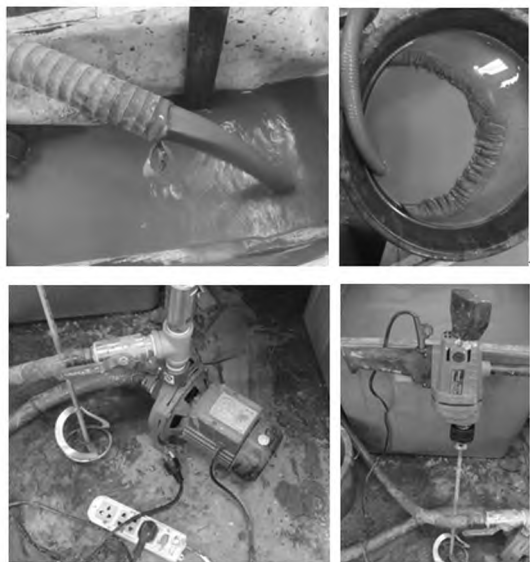


图 2 试验泥浆的搅拌及充灌设备

Fig. 2 Stirring of slurry and filling equipment

试验共分 4 个工况进行,见表 1。各工况制作管袋模型所用编织布的等效孔径都是 0.3 mm,当充填土颗粒粒径较小时,大的等效孔径更有利于水的排出。工况 1~ 工况 3 选用的充填料黏粒含量均为 10%,砂粒含量均为 50%,接近于《规范》中可以用于充填管袋的土料。虽然在工程中可以用

该土料来充填管袋,但其排水效率是可用土料中最低的,选择该土料更能证明不同排水方式的有效性。工况 4 土料的砂粒含量只有 40%,黏粒达到了 15%,该土料不符合施工要求,这是为了验证放水排泥的排水方式对于管袋充填低含砂率充填料时排水的高效性。4 个工况的泥浆浓度都是 25%,模拟了实际工程中的正常泥浆浓度。

工况 1 采用自然脱水的方式,工况 2 采用 1 min 1 次的拍扰动加速排水,工况 3 和工况 4 在管袋侧部 50 cm 高的位置开设排水口,采用人工放水的方式来加速排水。

表 1 试验工况

Tab. 1 Test conditions

工况	黏粒含量 (%)	砂粒含量 (%)	编织布等效孔径	土水比例	脱水方式
1	10	50	0.3 mm	1: 3	自然排水
2	10	50	0.3 mm	1: 3	拍打排水
3	10	50	0.3 mm	1: 3	排水口放水
4	15	40	0.3 mm	1: 3	排水口放水

1.2 试验结果

本文据经验及模型尺寸拟定固结高度 60 cm,施工固结度 75%。工况 1 和工况 2 只进行一次充灌,管袋固结后高度只有 12 cm;工况 3 进行了 4 次充灌,并且第 4 次充灌采用的是边充灌边排水的方式,管袋固结后高度达到 30 cm,说明充灌次数还不够多。管袋充填料的固结过程即为充填泥浆内部孔隙水压力的消散过程。固结度计算根据实测孔隙水压力固结度计算公式^[7]($U = (\Delta U / U_0) \times 100\%$ (U 为孔隙水压力固结度; ΔU 为孔隙水压力消散值; U_0 为初始孔隙水压力)。工况 1~ 工况 3 下三种不同的排水方式管袋底部渗透压力消散曲线见图 3。工况 1 充灌后自然排水 10 h,管袋表层依然有 5 cm 厚的浮水层,完全不能满足拟定高度并且在 6 h 内达到 75% 的施工固结度要求。工况 2 一次充灌管袋表层水预计 3 h 可以排出管袋,但是土体表层已经沉积了大量难以固结的粉粒和黏粒,即使表层水排出了管袋,充灌后 10 h 管袋的固结度也只能达到 30%。工况 3 管袋固结 30 cm 厚度并且达到 75% 的固结度只要 1 h。但是实际工程中的管袋体积较大,一次充灌就需要数小时,多次充灌耗费的时间过长,在砂颗粒损失率小的情况下,应该采用边充灌边排水的方式。

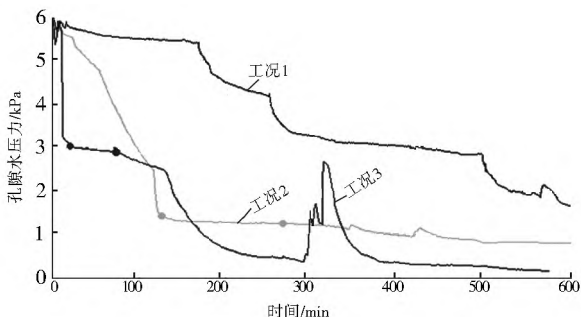


图 3 工况 1~ 工况 3 的管袋底部渗透压力曲线

Fig. 3 Seepage pressure in the bottom of tubes under working conditions 1, 2, and 3

工况 4 所用的土料虽然不适合管袋的充灌施工,但是在管袋侧部开设排水口后,加速排水的同时排掉了管袋表层的

细颗粒,管袋充灌后 6 h,渗透压力消散度大于 75%。满足固结度要求。

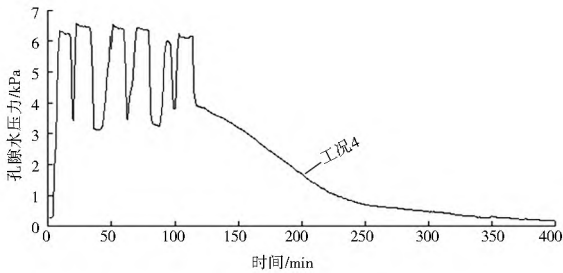


图 4 工况 4 的管袋底部渗透压力曲线

Fig. 4 Seepage pressure in the bottom of tubes under working conditions 4

2 不同粒径土颗粒沉淀分层现象

根据斯托克斯定理⁸¹,相同的液体环境当中,不同粒径的颗粒沉淀速度不同,粒径越大颗粒沉淀越快。因此,同一泥浆液体中所有土颗粒沉淀后大部分粗颗粒应当位于土体底部,大部分细颗粒位于土体上部。为了分析不同级配的土料沉淀后不同部位的具体颗粒组成是否满足砂类土的要求,本文采用小吊袋沉淀试验进行分析。

2.1 试验方法

小吊袋沉淀试验装置见图 5。沉淀试验选 4 种土料进行,4 种土料的颗粒组成见表 2,粉土采用工地取回料。为便于后期观察,土料在配置的过程中砂粒部分采用白色细砂。4 种土料各取 1 kg 按 1:3 的土水比例制成泥浆,充进小吊袋中进行自然固结。由于土料 2、土料 3 的黏粒含量较高,排水固结慢,泥浆充进吊袋后固结 15 d 进行取样测级配。



图 5 小吊袋沉淀试验装置

Fig. 5 Precipitation test device with small punching bags

表 2 小吊袋沉淀试验土料

Tab. 2 Precipitation test soil material with small punching bags

土料编号	黏粒含量(%)	粉含量(%)	砂粒含量(%)	土水比例
1	3.6	56.4	40	1:3
2	10	40	50	1:3
3	15	45	40	1:3
4	20	50	30	1:3

2.2 试验结果

15 d 后剪开吊袋进行取样测级配,固结后的效果见图 6,

可以看出虽然固结了 15 d,吊袋内上部的土体依然呈软泥状,承载力较低。另外,土料 2- 土料 4 沉淀后均产生了明显的砂颗粒分界面,土料 1 粉土颗粒颜色一致,看不到明显的砂颗粒沉淀面。虽然所用 4 种土料的质量相同,但是沉淀后土体的高度却不同,分别是 12 cm、14 cm、18 cm、21 cm。土料 2- 土料 4 砂颗粒的沉淀面高度分别为 4 cm、3 cm、2 cm。分别在土料 1 和土料 2 中的底部、中部、顶部取 3 个土样,在土料 3 和土料 4 中的底部砂、砂泥分界面、中部泥、顶部泥取 4 个土样,进行颗粒分析,结果见图 7- 图 10。

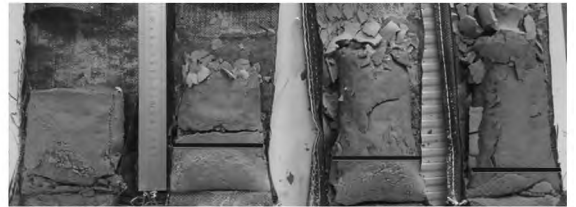


图 6 土料沉淀后的效果

Fig. 6 Soil material after precipitation

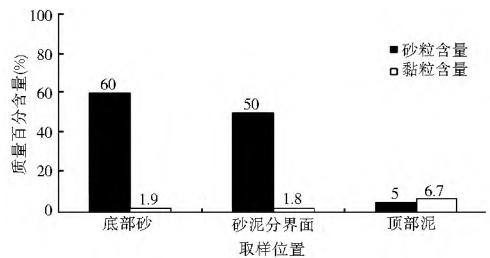


图 7 土料 1 不同部位颗粒组成

Fig. 7 Particle compositions in different positions of soil material 1

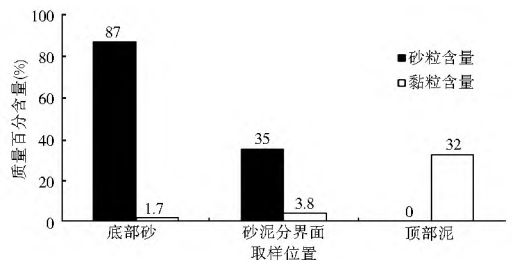


图 8 土料 2 不同部位颗粒组成

Fig. 8 Particle compositions in different positions of soil material 2

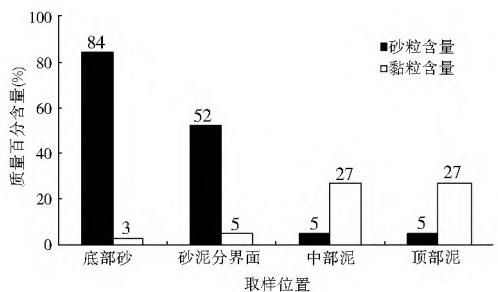


图 9 土料 3 不同部位颗粒组成

Fig. 9 Particle compositions in different positions of soil material 3

从图 7 可知,土料 1 由底部到顶部 3 个取样点的砂粒含量分别是 60%、50%、5%,黏粒含量分别是 1.9%、1.8%、6.7%。虽然顶部的黏粒含量不高,但是砂粒含量同样很低,完全不能满足快速固结的要求;中部土料基本满足砂类土的要求;底部土料完全符合砂类土的要求。可见对于砂粒含量不高的粉土,土颗粒出现了明显的分层现象。

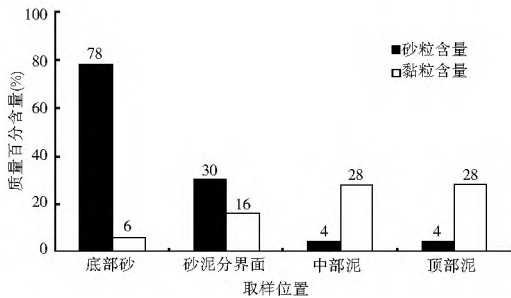


图 10 土料 4 不同部位颗粒组成

Fig. 10 Particle compositions in different positions of soil material 4

从图 8 可见,土料 2 由底部到顶部 3 个取样点的砂粒含量分别为 87%、35%、0,黏粒含量分别是 1.7%、3.8%、32%。土体底部的砂粒含量较高,但中部土体大部分粉粒,而顶部土体主要是黏粒和粉粒。可见,黏粒含量为 10%,砂粒含量为 50%的土料沉淀后分层现象非常明显。

从图 9 可见,土料 3 由低到高 4 个取样点的砂粒含量分别是 84%、52%、5%、5%,黏粒含量分别是 3%、5%、27%、27%。不同部位的土样出现了较大的分层现象,但是由于土料 3 的黏粒含量较高,因此底部黏粒含量达到 3%,同时顶部也有 5%的砂粒没有沉淀下来。

从图 10 可知,土料 4 由低到高 4 个土样的砂粒含量分别是 78%、30%、4%、4%,黏粒含量分别是 6%、16%、28%、28%。由于土料 4 的黏粒含量达到 20%,沉淀后虽然底部砂粒含量达到 78%,但是黏粒含量也达到 6%,同时顶部依然有 4%的砂粒没有沉淀到底部,不过沉淀分层的现象仍然很明显。

3 结论

通过室内试验可以发现,管袋充填的土料细颗粒含量较高时,传统的施工方法排水效率较低,管袋表层容易形成难以固结的细颗粒泥浆。在管袋表层开设排泥口后,对于黏粒含量达到 10%的土料,通过人工放水的方式,可以使管袋在充填后 6 h 左右达到理想固结度。小吊袋沉淀试验表明,不同级配的土料沉淀后都发生了分层现象,粒径较大的粗颗粒

位于吊袋底部,在管袋表层开设排水口放水不会造成粗颗粒的大量损失。本工艺适合用于土料细颗粒含量较高的沿海地区管袋充填施工。

参考文献(References):

- [1] 朱远胜. 土工管袋及其应用前景[J]. 纺织导报, 2005(12). (ZHU Yuan sheng. Geotubes and its application prospect[J]. China Textile Leader, 2005(12). (in Chinese))
- [2] 林刚, 束一鸣, 林勇. 充填管袋填筑的原理与实践[J]. 人民长江, 2005, 36(2): 25-28. (LIN Gang, SHU Yi ming, LIN Yong. Principles and practice of filled bag embankment[J]. Peoples of the Yangtze River, 2005, 36(2): 25-28. (in Chinese))
- [3] 束一鸣, 吴海民. 围垦堤防施工技术研究[J]. 水利经济, 2012, 30(3): 31-34. (SHU Yi ming, WU Hai min. Construction techniques for reclamation dikes in coastal areas[J]. Water Economy, 2012, 30(3): 31-34. (in Chinese))
- [4] 朱远胜, 靳向煌, 方汉明, 等. 堤坝中充泥袋设计初探[J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(6): 71-76, 80. (ZHU Yuan sheng, JIN Xiang huang, FANG Han ming, et al. Study on design of geotube on dam[J]. Journal of China Textile University, 2000, 26(6): 71-76, 80. (in Chinese))
- [5] JTJ 239-2005, 水运工程土工合成材料应用技术规范[S]. (JTJ 239-2005, Technical Code for Application of Geosynthetics for Port and Waterway Engineering[S]. (in Chinese))
- [6] 席明军. 大型充填袋技术施工[J]. 水运工程, 2009(11). (XI Ming jun. Construction technology of large filling bags[J]. Port and Waterway Engineering, 2009(11). (in Chinese))
- [7] 林伟斌. 孔隙水压力消散程度及地基承载力与固结度的关系探讨[J]. 建材技术与应用, 2010(10): 4-6. (LIN Wei bin. Study of relationship between pore water pressure dissipation degree and foundation bearing capacity and degree of consolidation[J]. Building Material Technology and Application, 2010(10): 4-6. (in Chinese))
- [8] PLAUT R H, Suherman S. Two-dimensional analysis of geosynthetic tubes[J]. Aeta Mechanica, 1998, 12(9): 207-218.

(上接第 866 页)

- [15] 李占斌, 秦百顺, 亢伟, 等. 陡坡面发育的细沟水动力学特征性室内试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 64-68. (LI Zhan bin, QIN Bai shun, KANG Wei, et al. Indoor experimental studies on hydrodynamic characteristics of runoff in rill erosion process steep slope[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(6): 64-68. (in Chinese))
- [16] 张乐涛, 高照良, 田红卫. 工程堆积体陡坡坡面土壤侵蚀水动力学过程[J]. 农业工程学报, 2013, 29(24): 94-102. (ZHANG Le tao, GAO Zhao liang, TIAN Hong wei. Hydrodynamic process of soil erosion in steep slope of engineering accumulation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013, 29(24): 94-102. (in Chinese))
- [17] 吴淑芳, 吴普特, 宋维秀, 等. 坡面调控措施下的水沙输出过程及减流减沙效益研究[J]. 水利学报, 2010, 41(7): 870-875. (WU Shu fang, WU Pu te, SONG Wei xiu, et al. Study on the

outflow processes of slope regulated by works and its effects on overland flow and sediment reduction[J]. Journal of hydraulic engineering, 2010, 41(7): 870-875. (in Chinese))

- [18] 李苗苗, 王克勤, 陈志中, 等. 不同坡度下反坡水平阶的蓄水减沙效益[J]. 水土保持研究, 2011, 18(6): 100-104. (LI Miao miao, WANG Ke qin, CHEN Zhi zhong, et al. Storage of water and sediment reduction benefits of reverse slope terrace under the different slopes[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(6): 100-104. (in Chinese))
- [19] 褚利平, 王克勤, 白文忠, 等. 水平阶影响坡地产流产沙及氮磷流失的试验研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(4): 1-6. (CHU Li ping, WANG Ke qin, BAI Wen zhong, et al. Impact of level terrace on runoff, sediment and N & P loss from sloping filed[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(4): 1-6. (in Chinese))