

DOI: 10.11779/CJGE201812024

袋装淤泥质土挡墙现场试验研究

樊科伟¹, 刘斯宏¹, 徐思远¹, 王建磊^{1, 2}

(1. 河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014)

摘要: 在平原地区航道建设过程中, 航道开挖会产生大量的淤泥质土, 将开挖的淤泥质土装入土工袋用于修筑引航道挡墙, 能够有效解决开挖淤泥处理的问题。结合苏州杨林塘航道整治工程, 利用航道开挖的淤泥质土, 通过室内无侧限压缩与固结试验研究了土工袋处理淤泥质土的作用原理; 对 100 m 长的袋装淤泥质土挡墙试验段开展了现场试验, 实测了挡墙施工过程中与竣工后的水平位移、侧向土压力及表面沉降。结果表明土工袋能够加速袋内土体固结, 增大袋内土体强度; 竣工 7 个月后实测墙体最大水平位移为 29.42 mm, 发生在挡墙顶部, 墙顶面沉降位移为 19.2 cm, 基本达到稳定; 由于土工袋层间摩擦作用, 土工袋挡墙墙后土压力从墙内向墙外会逐渐减小; 与常规重力式混凝土挡墙相比, 所设计的袋装淤泥质土挡墙能够有效降低工程造价。

关键词: 挡土墙; 土工袋; 淤泥质土; 现场试验

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2018)12-2341-08

作者简介: 樊科伟(1991-), 男, 博士研究生, 从事土工袋技术及加筋土挡墙结构研究工作。E-mail: fkw@hhu.edu.cn

Field tests on retaining wall constructed with soilbags filled with clayey soils

FAN Ke-wei¹, LIU Si-hong¹, XU Si-yuan¹, WANG Jian-lei^{1, 2}

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Power China Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China)

Abstract: In the construction of approach channels in a plain area, a lot of clayey soils are excavated. If the excavated clayey soils are filled into woven bags, they can be used to build retaining walls. The principle of treating clayey soils with soilbags is studied through laboratory tests. A 100-m testing retaining wall constructed with soilbags filled with clayey soils was designed and applied in the Yanglintang channel project. The behaviors of the retaining wall are studied through the field monitoring of the lateral deformation, lateral pressures and surface settlements of the retaining wall. The test results show that the soilbags can benefit the consolidation of clayey soils in the bags and increase their strength. The monitored maximum lateral deformation and the surface settlement of the retaining wall are 29.42 and 19.2 cm respectively after 7 months of the completion, hence quite stable. The lateral earth pressure on the front retaining structure is positively reduced owing to the interlayer friction of soilbags. The cost of the retaining wall constructed with soilbags has an obvious advantage over that of the conventional gravity concrete retaining wall.

Key words: retaining wall; soilbag; clayey soil; field test

0 引言

长期以来, 水运运输作为一种重要的运输方式极大地促进着国民经济的发展。为满足逐渐增大的水上货运量和货运船舶走向大型化发展的需要, 中国正在快速建设高等级航道, 以全面改善航道通航条件。航道工程大多建在平原地区, 航道开挖会产生大量的淤泥质土。由于开挖出的淤泥质土具有高含水率、高压缩性、低强度的特点^[1], 通常作为废弃料处理, 或经改良后作为墙后填土使用。淤泥质土作为废弃料处理不仅占用土地资源, 而且不可避免地会造成一定的环境污染^[2-4]; 而对其进行改良, 则费用高、工期长。另

一方面, 航道工程中常常需要在引航道两侧修建挡土墙。常规的挡土墙多为混凝土重力式挡墙或加筋土挡墙。重力式挡墙不仅混凝土用量多, 而且对地基的要求高, 淤泥质土地基需要进行处理, 处理费用占工程投资相对密度较大^[5]; 加筋土挡墙由填土、填土中布置的一定数量筋体(拉筋)和墙面板组成, 是一种柔

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379066); 江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX17_0438); 中央高校基本科研业务费项目(2017B624X14)

收稿日期: 2017-10-17

***通讯作者:** (E-mail: sihongliu@hhu.edu.cn)

性结构物，能够较好地适应地基变形，对地基要求相对较低^[6-7]，具有造价低、施工简便、造型美观、抗震性能好的优势。

近年来，刘斯宏等^[8-11]对土工袋增强机理、工程特性等进行了深入的研究，在此基础上将土工袋应用于构筑挡土墙，土工袋挡土墙是一种新型的加筋土挡墙结构。刘斯宏等^[12]通过土工袋挡墙模型试验研究了静荷载作用下土工袋挡墙的破坏模式、墙后土压力分布以及土压力在墙内水平方向的传递规律；土工袋层间摩擦是影响挡墙稳定的重要因素，其与袋内材料、排列方式以及运行环境等因素有关^[13]；大、小振动台模型试验表明土工袋挡墙具有良好的抗震性能^[14-15]，土工袋动剪切模量、等效阻尼比等动力特性参数可以通过室内循环剪切试验确定^[16]；基于对土工袋挡墙的研究成果，刘斯宏等提出了土工袋挡墙法的设计方法^[17]。在日本已有若干土工袋挡土墙的工程实例^[18]，国内也有所应用，如马石城课题组在湖南邵阳修建了一座 5 级袋装碎石重力式挡土墙^[19]。上述研究成果和工程应用表明土工袋挡墙具有常规加筋土挡墙的优势，即质量轻、造价低、施工简便、抗震性能好、对地基要求低。但是在上述试验研究和工程应用中，土工袋挡墙袋内材料和墙后填土为透水性能好的砂性土和碎石，并没有使用过淤泥质土。

本文结合苏州杨林塘航道整治工程，利用航道开挖的淤泥质土，通过室内无侧限压缩与固结试验，研究了土工袋处理淤泥质土的作用原理，在杨林船闸上游引航道左岸修建了 100 m 长的土工袋袋装淤泥质土挡墙，开展了现场试验研究，实测了挡墙现场施工期及竣工后的墙体侧向位移、墙后土压力及墙顶面沉降位移，探讨了该挡墙的工作性态，并与其他施工段的常规重力式混凝土的工程造价进行了对比。

1 土工袋处理淤泥质土作用原理

土工袋处理淤泥质土的作用效果从强度与变形特性两方面考虑，为此进行了袋装淤泥质土土工袋的室内无侧限压缩和固结试验。试验所选用的编织袋原材料为聚丙烯（PP），克重为 100 g/m²，经、纬向抗拉伸强度分别 37.1，28.0 kN/m，经纬向伸长率小于 25%（与现场所用土工袋编织袋材料相同）。袋内装填的是现场开挖淤泥质土，其物理力学指标如表 1 所示。

1.1 无侧限压缩试验

试验在 YE-200A 型万能液压机上进行。试验所用土工袋大小为 66 cm×50 cm×7 cm（长×宽×高），袋内所装淤泥质土质量约 70 kg，占袋子最大容量的 80%。为了减小试验机上下加载台面摩擦对土工袋的

约束影响，竖向叠放 3 层土工袋。试验前对土工袋施加 10 kN 的预压荷载 5 min，保证土工袋表面平整并使得内部土体受力均匀，而后以 3.5 cm/min 的速度抬升试验机的底座对土工袋进行竖向加载，当竖向加载达到某一值时突然减小，表明土工袋已经破裂，则停止加载，共进行了两次试验。

表 1 淤泥质土物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical properties of clayey soils							
含水率 /%	天然密度 /(g·cm ⁻³)	孔隙比	液限 /%	塑限 /%	塑性指数	黏聚力/kPa	内摩擦角 /(°)
50.4	1.75	1.416	37.1	22.0	15	16.0	5.9

图 1 为袋装淤泥质土压缩试验过程与破坏后土工袋的状况。可以明显看到土工袋在压缩过程中有水渗出，反映了编织袋良好的保土滤水效果。土工袋的破裂发生在顶表面的中部，破坏后的土工袋尺寸为 73.2 cm×54.5 cm×5.4 cm。图 2 为两次试验得到的土工袋竖向压力和竖向应变的关系曲线，土工袋破坏时的极限荷载分别为 560，620 kN，对应的抗压强度分别为 1.4，1.55 MPa，接近 C25 混凝土强度（16.7 MPa）的 1/10。

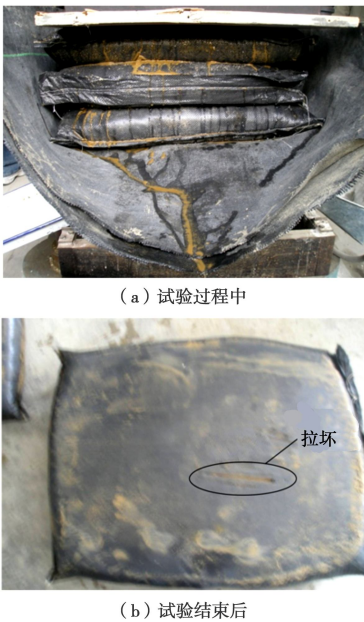


图 1 土工袋压缩试验过程与结束后的状况

Fig. 1 Soilbags under compression and after compression tests

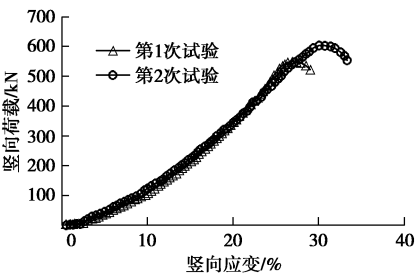


图 2 土工袋无侧限压缩试验结果

Fig. 2 Results of unconfined compression tests on soilbags

试验结束时, 采用烘干法测定了袋内淤泥质土的含水率, 3 个土工袋袋内淤泥土的平均含水率为 46.5%, 比初始含水率 50.4%减小了 3.9%。同时, 采用 ZJ 型应变控制式直剪仪测定了土体的抗剪强度, 其结果如图 3 所示。3 层土工袋袋内土体内摩擦角平均值为 10.8° , 黏聚力平均值为 15.4 kPa。与初始抗剪强度相比, 黏聚力变化不大, 但内摩擦角增大了 4.9° , 说明袋内淤泥质土颗粒间的接触增强。

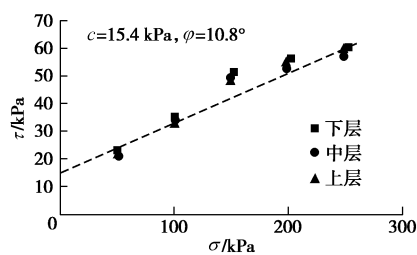


图 3 压缩试验结束后袋内土体抗剪强度线

文献[8]给出了土工袋无侧限极限抗压强度 σ_v 的计算式:

$$\sigma_v = \frac{2T}{B} \left(\frac{B}{H} \cdot K_p - 1 \right) + 2c\sqrt{K_p} \quad (1)$$

式中, B , H 分别为土工袋的宽度和高度, T 为袋子张力, $K_p = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}$, c , φ 分别为土工袋内淤泥土的黏聚力与内摩擦角。根据该公式可以计算土工袋无侧限压缩试验中土工袋极限抗压强度为 $\sigma = 1.45 \text{ MPa}$, 由此得到土工袋极限承载力计算值 $F = 578 \text{ kN}$, 与试验实测值较为吻合。前已叙述, 该抗压强度接近 C25 混凝土强度 (16.7 MPa) 的 1/10, 相当于将淤泥质土通过袋装后转化成块状的“软石头”, 其原因是袋装淤泥质土在上部荷载作用下会被压扁, 使得编织袋周长伸长, 从而在袋中产生了一个张力, 袋子张力会对袋内土体起到一个约束作用, 使得土颗粒间的接触力 N 增加, 进而增大土颗粒间的摩擦强度。

综上, 将淤泥质土装入编织袋后, 由于袋子的滤水保土作用, 在荷载作用下袋内土体含水率降低, 强度提高; 同时由于袋子的张力约束, 袋装淤泥土整体的抗压强度明显提高, 因此袋装淤泥质土可以直接用于堆筑挡墙。

1.2 固结试验

为了研究土工袋袋内淤泥土的固结性状和预测土工袋挡墙的沉降变形, 对两层袋装淤泥质土进行了固结试验。共进行了 4 级竖向荷载下的固结试验, 其应力分别为 12.5, 25.0, 37.5, 50.0 kPa, 每级荷载作用时间大约为半个月, 试验结果如图 4 所示。从图 4 (a) 可以看出, 每级荷载加载瞬间土工袋沉降值都会有突

变, 尔后逐渐趋于稳定, 随着荷载级别的增加, 沉降瞬变值逐渐变小。

图 4 (b) 为在每级荷载作用下剔除瞬时变形值后的土工袋固结沉降速率 v 随时间 t 的变化。可以近似采用对数关系进行拟合, 即 $v = -A \cdot \ln(t) + B$ 。每级荷载作用下沉降速率变化拟合参数 A , B 示于图 4 (b) 中。参数 A 和 B 与竖向应力 σ_1 有关, 同样采用对数拟合得到

$$\left. \begin{aligned} A &= -0.037 \ln \sigma_1 + 0.218 \\ B &= -0.027 \ln \sigma_1 + 1.134 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

根据土工袋沉降速率的变化关系, 可以预测每层土工袋的固结变形。第 i 层土工袋施工后 t_i 的固结变形量为

$$H_i = \int_i^{t+t_i} v dt = \int_i^{t+t_i} (-A \ln(t) + B) dt \quad (3)$$

将每层土工袋固结变形量进行累加, 可以预测袋装淤泥质土挡墙在自重作用下的固结变形量 S (沉降量), 即 $S = \sum H_i$ 。

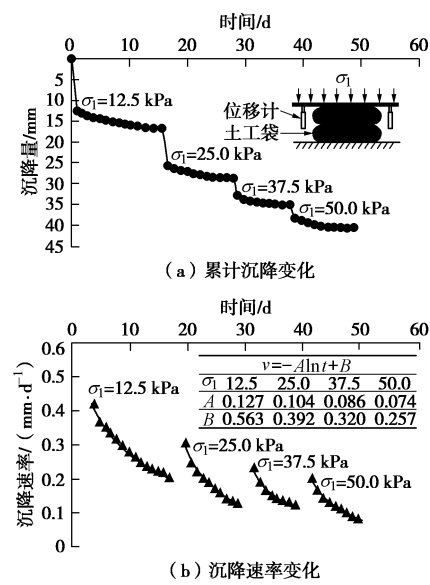


图 4 袋装淤泥质土累计沉降及沉降速率变化

Fig. 4 Evolution of settlement and its rate of soilbags filled with clayey soils

2 挡墙方案设计及现场监测

2.1 挡墙方案设计

图 5 为设计的袋装淤泥质土挡墙断面示意图。由于试验段是一个航道工程, 为防止来往船只的蹭撞对土工袋挡墙的破坏以及保护土工袋免受紫外线的照射, 在土工袋挡墙的前端设置了一个厚 0.6 m 的 L 型混凝土薄壁支挡结构, 基础采用混凝土搅拌桩处理, 顶部高程为 2.2 m, 底板高程为 -2.8 m, 底板宽 3.2 m, 沿航道方向每隔 3.5 m 在内侧设置 0.5 m 厚的肋板。L

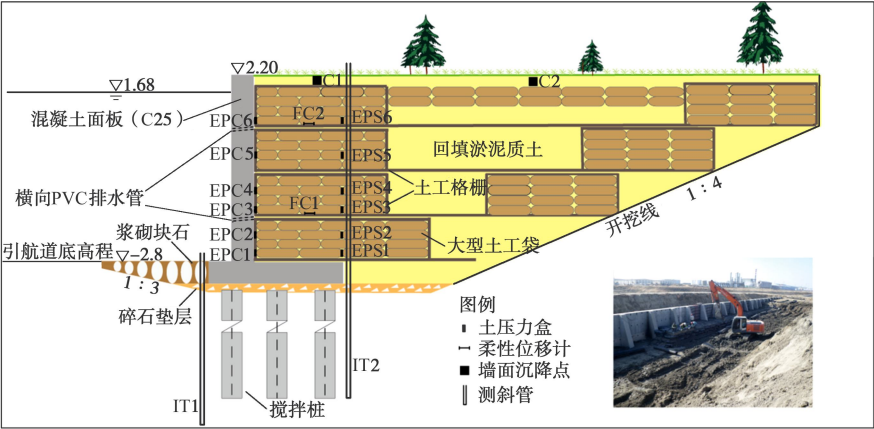


图 5 袋装淤泥质土挡墙断面示意图

Fig. 5 Schematic view of retaining wall constructed with soilbags

型混凝土薄壁支挡结构后侧为土工袋挡墙。土工袋尺寸为 120 cm×120 cm×30 cm，竖直方向上采用交错排列，挡墙前端及开挖斜坡面（1：4）上的部分土工袋每 4 层用土工格栅进行反包，土工袋反包体之间及开挖斜坡面空隙直接采用淤泥质土回填。土工编织袋和袋内土体与上述压缩和固结试验所用材料相同。反包所用土工格栅为 TGDG50 单向 HDPE，纵向抗拉强度大于 65 kN/m，纵向 2%、5%应变时的拉伸强度分别不小于 16 kN/m 和 31 kN/m，峰值应变小于 12%。该设计直接利用了现场开挖的淤泥质土，与普通重力式混凝土挡墙相比，结构重量轻，对地基要求低。

2.2 仪器布置及监测

为了解挡墙的工作性状，实际施工过程中在挡墙断面内埋设了一定数量的监测仪器，测点布置如图 5 所示。图中编号 EPC1~EPC6 和 EPS1~EPS6 为振弦式土压力盒，分别用于量测 L 型混凝土薄壁支挡结构和土工袋挡墙内部所受的侧向土压力，土压力盒竖向埋设，如图 6（a）所示；FC1，FC2 为的柔性位移计，用于量测反包土工格栅的拉伸应变，现场埋设如图 6（b）所示；C1，C2 为挡墙顶表面沉降测点，分别布置在墙后距离面板 1.8 m 及 12.5 m 处，用于量测施工结束后挡墙顶表面的沉降位移；在 L 型混凝土支挡结构底板内、外侧各设置一根测斜管（IT1，IT2），用以量测挡墙及地基的水平位移，测斜管埋入地基深度约为 18 m。

测试时间及内容：L 型混凝土支挡结构施工结束后，土工袋挡墙施工时间为 2015 年 1 月 26 日—1 月 28 日（施工期），挡墙内部土压力、及土工格栅的拉伸应变从仪器埋设后开始量测，支挡结构前端软土地基水平位移从土工袋铺设时开始量测，施工过程中每铺设 4 层土工袋量测一次；竣工后，埋设测斜管 IT2 及顶部沉降位移测点 C1、C2，每月量测一次；2015

年 6 月 4 日开始蓄水，7 月、8 月各测量了一次，量测结果变化不大，后续未再进行量测。



(a) 土压力盒



(b) 柔性位移计

图 6 土压力盒及柔性位移计现场设置

Fig. 6 Setup of earth pressure cells and displacement sensors

3 测试结果及分析

3.1 挡墙水平位移

图 7 为测斜管（IT1、IT2）测量的测试段 L 型支挡结构前端软土地基和袋装淤泥质土挡墙的水平位移。从图 7（a）可以看出，施工期阶段，随着测试段土工袋的逐层铺设（1 月 26 日—1 月 29 日），软土地基水平位移逐渐增大，其中底部土工袋施工对地基水

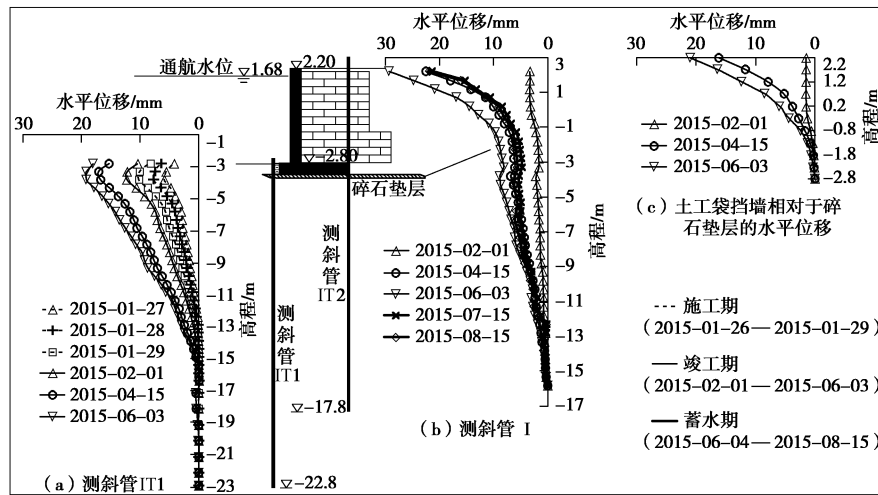


图 7 测斜管 (IT1, IT2) 测量结果

Fig. 7 Measured results of inclinometer tubes IT1 and IT2

平位移影响较为显著, 2015 年 1 月 29 日土工袋施工到墙顶, 实测的最大水平位移为 19.16 mm, 发生在碎石垫层底部位置 (高程为 -4.0 m 左右)。从图 7 (b) 可以看出, 竣工后挡墙顶部水平位移最大, 沿深度方向逐渐减小, 一直影响至高程为 -14 m 处的地基深部; 竣工后由于软土的固结作用, 挡墙与地基的水平位移仍有发展, 其中 2015 年 3 月—4 月, 由于试验段下游挡墙的施工, 施工机械从试验段挡墙顶部通行, 引起该时段实测挡墙及地基的水平位移增加幅度较大; 2015 年 6 月挡墙实测最大水平位移为 29.42 mm, 之后挡墙前航道开始蓄水, 在墙前水压力的作用下, 挡墙及地基水平位移有所减少, 顶部减小量为 6.39 mm; 2015 年 7 月份挡墙实测最大水平位移为 22.5 mm, 8 月份实测值变化不大, 表明挡墙已基本趋于稳定; 挡墙从竣工到稳定过程中, 挡墙相对于墙底面的最大位移始终发生在挡墙顶部, 挡墙顶部与墙底面位移最大时发生在蓄水前 (2016 年 6 月 3 日前), 其值为 20.99 mm, 相对于挡墙高度的 0.42%。根据一般加筋土挡墙现场工程经验, 挡墙最大位移控制在墙高的 1% 以内, 表明挡墙较为安全^[12]。

图 7 中测斜管 IT1 和 IT2 在竣工期测得的墙趾及碎石层位置水平位移量基本相等, 这说明挡墙相对于碎石层并没有发生相对滑动。土工袋挡墙相对于碎石垫层的位移量 (挡墙自身的位移) 如图 7 (c) 所示。可以看出, 竣工后前两个月挡墙呈上部平动、下部转动的位移模式, 这与文献[12]中无支撑结构的土工袋挡墙位移模式相同。竣工 3 个月后, 挡墙上部位移增大, 类似于悬臂梁的变形, 这是由于淤泥土工袋在逐渐固结, 侧向变形在逐渐增大引起的, 前端的 L 型支撑结构对侧向变形有一定的限制作用, 其后作用有侧向土压力 (EPC 系列土压力盒测值, 见图 8)。

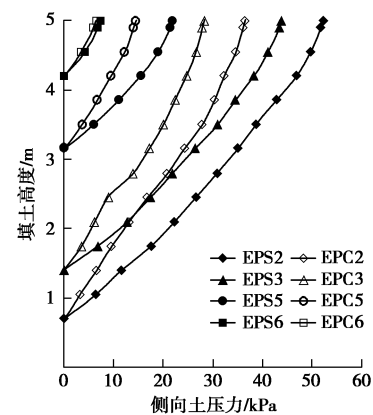


图 8 施工期 L 型薄壁支撑结构与土工袋内部所受侧向土压力随墙后填土高度的变化

Fig. 8 Evolution of lateral earth pressure in slab and wall of soilbags with backfill height during construction

3.2 侧向土压力

图 8 为施工期 EPC、EPS 系列中 #2, #3, #5, #6 测点所测土压力随填土高度的变化曲线。从图 8 可以看出, L 型薄壁支撑结构及土工袋内部所受侧向土压力随填土高度的增加而增大, 但各测点土压力的增长幅度随填土高度增加稍有减小, 因为墙体逐渐发生了水平变形, 导致应力释放。

图 9 为竣工时 EPC、EPS 系列所测土压力沿墙高的分布。EPS 系列所测土工袋内部土压力接近但略小于理论计算的静止土压力, EPC 系列所测 L 型薄壁支撑结构侧向土压力明显小于土工袋内部土压力, 其大小接近主动土压力。造成 L 型薄壁支撑结构侧向土压力明显小于土工袋内部土压力是由于土工袋层间的摩擦作用, 墙后土压力从墙内向墙外逐渐递减。从图 9 还可以看出, L 型薄壁支撑结构侧向土压力与土工袋内部土压力的差值沿墙高逐渐增大, 这是由于土工袋层间摩擦不仅与编织袋本身的摩擦有关, 而且与土工袋层间

的嵌固作用有关,嵌固作用随着上覆荷载的增大而越加明显,即越靠近挡墙底部,土工袋层间的摩擦作用越明显^[13]。

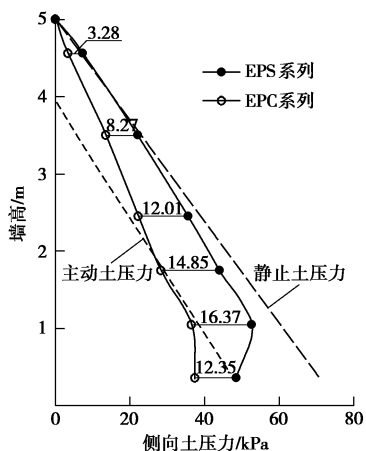


图 9 竣工时 L 型薄壁支撑结构与土工袋内部所受侧向土压力沿墙高的分布

Fig. 9 Distribution of lateral earth pressure in slab and wall of soilbags along wall height at completion

3.3 挡墙顶表面沉降

图10为竣工后挡墙顶表面测点C1, C2的沉降位移曲线。可以看出,竣工后两个月内(2015年2月—5月)两测点沉降量增加较大,而后沉降逐渐趋于稳定;竣工后初期阶段,由于测点C1下部全部为土工袋,袋内淤泥质土固结较快,而测点C2下部有部分淤泥质土,因此测点C1的沉降位移大于测点C2;竣工后2个月到3个月间(2015年4月—5月),由于墙顶面施工机械通行, C2测点沉降位移有较大的增长,超过了测点C1的测值。竣工7个月(2015年8月)测点C1、C2实测沉降值分别为19.2, 22.8 cm, 已基本稳定, 停止量测。根据2.2节中袋装淤泥质土固结试验结果及固结沉降计算公式,预测得到的挡墙施工完成6个月后顶部沉降量约为20.2 cm, 与实测值19.2 cm较为接近。

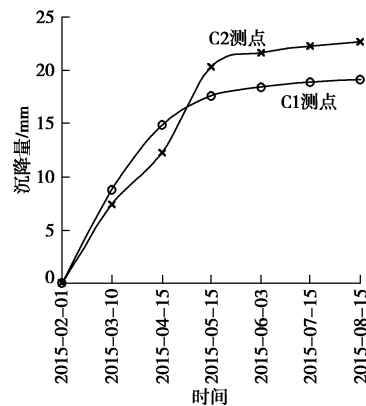


图 10 竣工后墙顶面沉降位移

Fig. 10 Evolution of top surface settlement after completion

3.4 土工格栅应变

图11为竣工后柔性位移计FC1, FC2量测得到的土工格栅拉伸应变随时间的变化曲线。可以看出,测点FC2, FC1的拉伸应变竣工后3个月(2015年3月—5月)内有所增长,增长约0.2%,其后拉伸应变值变化很小,基本趋于稳定;由于挡墙侧向变形(水平位移)从上到下逐渐减小,上部测点FC2所测的土工格栅拉伸应变大于下部测点FC1的测值。6个月后(2015年8月)FC1, FC2所测的土工格栅拉应变分别为0.304%与0.504%,单位长度的拉伸力分别为2.432, 5.248 kN/m, 远小于土工格栅的极限拉伸强度(69.17 kN/m)^[20],即土工格栅仅发挥其极限抗拉强度的3.52%与7.59%,因此可以考虑在此类工程中使用极限抗拉强度较小的土工格栅。

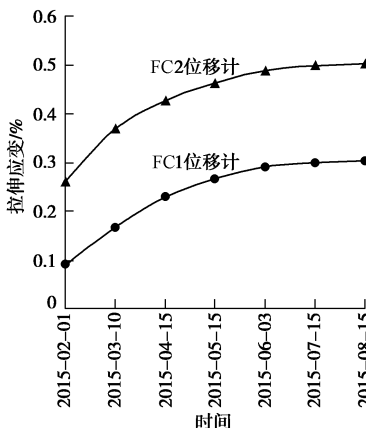
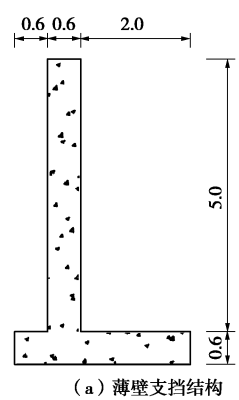


图 11 竣工后土工格栅拉伸应变随时间的变化

Fig. 11 Evolution of tensile strain of geogrids after completion

3.5 经济性对比分析

利用土工袋技术处理高含水率淤泥,将开挖出的淤泥装入土工袋中,用于修筑引航道挡墙,不仅可以工程开挖出的淤泥弃土重新利用起来,变废为宝。而且墙体本身具有较高的强度,可以有效减少墙后填土产生的侧向土压力,大大节省面板混凝土和钢筋的用量。该工程中除了100 m土工袋挡墙试验段之外,其余河岸均采用重力式混凝土挡墙。图12为袋装淤泥质土挡墙和纯重力式混凝土挡墙断面示意图。与纯重



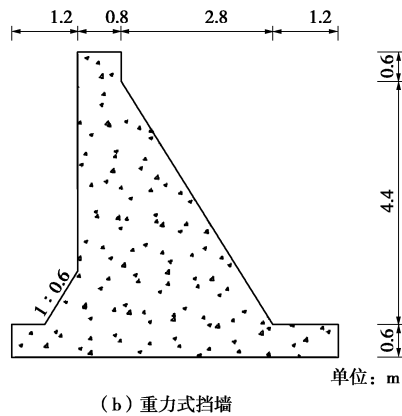


图12 薄壁支挡结构和重力式挡墙混凝土结构横断面比较

Fig. 12 Comparison between concrete volume in thin face slab and that in gravity retaining wall

力式混凝土挡墙相比, 100 m的袋装淤泥质土挡墙试验段节省了大约928 m³混凝土用量。经计算, 100 m试验段所采用的编织袋和土工格栅材料总价约为10.52万元, 机械设备与人工花费为7.76万元, 混凝土价格按300/m³计算, 总造价为37.45万元, 而常规重力式混凝土挡墙100 m长造价为60.4万元, 即100 m长的袋装淤泥质土挡墙要比纯重力式混凝土挡墙节省约23万元, 相当于重力式混凝土挡墙总造价的38%。

4 结 论

结合杨林塘航道整治工程, 开展了土工袋处理淤泥质土的研究, 进行了袋装淤泥质土挡墙现场试验, 根据现场实测的挡墙侧向位移、墙后土压力及墙顶面沉降位移, 分析了土工袋挡墙的工作性态。主要结论如下:

(1) 编织袋不仅具有加筋作用, 而且具有滤水保土作用。将现场开挖的淤泥质土装入编织袋形成土工袋, 能够降低袋内淤泥质土含水率, 加快袋内淤泥质土的固结, 增大袋内淤泥质土的强度, 因此袋装淤泥质土可以接用于修建挡墙;

(2) 试验段挡墙现场检测结果表明袋装淤泥质土挡墙具有良好的工作性状。由于土工袋层间摩擦的作用, 墙后土压力从土工袋挡墙内侧向外侧逐渐减小, L型薄壁支挡结构侧向土压力明显小于土工袋内部土压力, 接近理论计算主动土压力值; 竣工6个月后实测墙体最大水平位移为29.42 mm, 墙顶面沉降位移为19.2 cm, 基本达到稳定。

(3) 将开挖的淤泥质土装入编织袋形成土工袋用于修筑引航道挡墙, 能够将航道建设过程中开挖的淤泥质土重新利用起来, 变废为宝, 而且与常规重力式混凝土挡墙相比, 袋装淤泥质土挡墙工程结构重量轻, 对地基要求低, 工程造价少。

参考文献:

- [1] 丁建文, 刘铁平, 曹玉鹏, 等. 高含水率疏浚淤泥固化土的抗压试验与强度预测[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增刊 2): 55 - 60. (DING Jian-Wen, LIU Tie-ping, CAO Yu-peng, et al. Unconfined compression tests and strength prediction method for solidified soils of dredged clays with high water content[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(S2): 55 - 60. (in Chinese))
- [2] TANG Y X, YOSHIHIKO M, TAKASHI T. Practices of reused dredgings by cement treatment[J]. Soils and foundations, 2001, 41(5): 129 - 143.
- [3] DADOUCH M, GHEMBAZA M S, IKHLEF N S. Study in laboratory of treatment with cement of silty material: improvement of the mechanical properties[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2015, 8(7): 4329 - 4336.
- [4] ZHU W, ZHANG C L, CHIU A C F. Soil-water transfer mechanism for solidified dredged materials[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2007, 133(5): 588 - 598.
- [5] DONG P, QIN R, CHEN Z. Bearing capacity and settlement of concrete-cored DCM pile in soft ground[J]. Geotechnical & Geological Engineering, 2004, 22(1): 105 - 119.
- [6] 朱宏伟, 姚令侃, 张旭海. 两种加筋土挡墙的动力特性比较及抗震设计建议[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(11): 2072 - 2080. (ZHU Hong-wei, YAO Ling-kan, ZHANG Xu-hai. Comparison of dynamic characteristics between netted and packaged reinforced soil retaining walls and recommendations for seismic design[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(11): 2072 - 2080. (in Chinese))
- [7] SKINNER G D, ROWE R K. Design and behaviour of a geosynthetic reinforced retaining wall and bridge abutment on a yielding foundation[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2005, 23(3): 234 - 260.
- [8] 刘斯宏, 松冈元. 土工袋加固地基新技术[J]. 岩土力学, 2007, 28(8): 1665 - 1670. (LIU Si-hong, MATSUOKA Hajime. A new earth reinforcement method by soilbags[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(8): 1665 - 1670. (in Chinese))
- [9] 刘斯宏, 汪易森. 土工袋技术及其应用前景[J]. 水利学报, 2007(增刊): 644 - 648. (LIU Si-hong, WANG Yi-shen. Reinforcement mechanism of soilbags and its applications[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2007(S0): 644 - 648. (in Chinese))

- [10] LIU S, BAI F, WANG Y, et al. Treatment for expansive soil channel slope with soilbags[J]. Journal of Aerospace Engineering, 2012, **26**(4): 657 - 666.
- [11] LIU S, LU Y, WENG L, et al. Field study of treatment for expansive soil/rock channel slope with soilbags[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2015, **43**(4): 283 - 292.
- [12] 刘斯宏, 薛向华, 樊科伟, 等. 土工袋柔性挡墙位移模式及土压力研究[J]. 岩土工程学报, 2014, **36**(12): 2267 - 2273. (LIU Si-hong, XUE Xiang-hua, FAN Ke-wei, et al. Study on the earth pressure and deformation mode of a retaining wall constructed with soilbags[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2014, **36**(12): 2267 - 2273. (in Chinese))
- [13] 刘斯宏, 樊科伟, 陈笑林, 等. 土工袋层间摩擦特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2016, **38**(10): 1874 - 1880. (LIU Si-hong, FAN Ke-wei, CHEN Xiao-lin, et al. Experimental studies on interface friction characteristics of soilbags[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2016, **38** (10): 1874 - 1880. (in Chinese))
- [14] 刘斯宏, 李玲君, 张雨灼, 等. 土工袋挡土墙小型振动台试验[J]. 河海大学学报 (自然科学版), 2015: 236 - 243. (LIU Si-hong, LI Ling-jun, ZHANG Yu-zhuo, et al. Small-scale shaking table tests on retaining wall constructed with soilbags[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2015: 236 - 243. (in Chinese))
- [15] 陈笑林. 土工袋柔性挡土墙模型试验及设计方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2017. (CHEN Xiao-lin. Study on seismic behavior of flexible retaining walls constructed with soilbags[D]. Nanjing: Hohai University, 2017. (in Chinese))
- [16] 李玲君, 刘斯宏, 徐小东, 等. 袋内材料对土工袋动力特性参数影响的试验研究[J]. 岩土力学, 2015, **36**(1): 131 - 136. (LI Ling-jun, LIU Si-hong, XU Xiao-dong, et al. Tests on factors of dynamic characteristics of retaining walls constructed with soilbags[J]. Rock and Soil Mechanics, 2015, **36**(1): 131 - 136. (in Chinese))
- [17] 薛向华. 土工袋柔性挡土墙模型试验及设计方法研究[D]. 南京: 河海大学, 2014. (XUE Xiang-hua. Study on the model test and design of flexible retaining walls built with soilbags[D]. Nanjing: Hohai University, 2017. (in Chinese))
- [18] 刘斯宏. 土工袋技术原理与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2017. (LIU Si-hong. Principle and application of soilbags[M]. Beijing: Science Press, 2017. (in Chinese))
- [19] 孙见松. 一种袋装碎石重力式挡土墙的设计理论与应用研究[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2011. (SUN Jian-song. The study of design theory and application of a gravity retaining wall constructed with soilbags filled with crushed stones[D]. Xiangtan: Xiangtan University, 2011. (in Chinese))
- [20] 杨广庆, 庞巍, 吕鹏, 等. 塑料土工格栅拉伸特性试验研究[J]. 岩土力学, 2008, **29**(9): 2387 - 2391. (YANG Gang-qing, PANG Wei, LÜ Peng, et al. Experimental study of tensile properties of geogrids[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, **29**(9): 2387 - 2391. (in Chinese))

本期广告索引

- 封2 北京筑信达咨询有限公司
封3 南瑞集团水利水电技术分公司
封4 上海分元土木工程有限公司
后插1 重庆地质仪器厂
后插2 北京理正软件股份有限公司