

DOI: 10.11779/CJGE2016S1034

土工合成材料在固化土海上围堤工程中的综合应用

刘爱民^{1, 2, 3}, 梁爱华^{1, 2, 3}

(1. 中交天津港湾工程研究院有限公司, 天津 300222; 2. 港口岩土工程技术交通行业重点实验室, 天津 300222;

3. 天津市港口岩土工程技术重点实验室, 天津 300222)

摘要: 结合现场实际工程, 对土工合成材料的应用情况进行了介绍。结果表明: 机织无纺布、无纺土工布、土工充填袋等土工合成材料均可用于固化土海上围堤工程, 起到相应的排水、反滤、隔离、防护等作用, 解决了利用淤泥筑堤的关键技术难题, 对我国水运工程建设起到了很大的推动作用, 值得进一步推广应用。

关键词: 土工合成材料; 围堤; 排水; 反滤; 隔离

中图分类号: TU5; U656.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2016)S1-0177-04

作者简介: 刘爱民(1969-), 男, 教授级高级工程师, 主要从事海洋岩土工程等方面的设计和科研工作。E-mail: liuaimin1987@163.com。

Comprehensive application of geosynthetics in solidified soil sea dike projects

LIU Ai-min^{1, 2, 3}, LIANG Ai-hua^{1, 2, 3}

(1. Tianjin Port Engineering Institute Ltd. of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd., Tianjin 300222, China; 2. Key Laboratory of

Port Geotechnical Engineering, Ministry of Communications, PRC, Tianjin 300222, China; 3. Key Laboratory of Port Geotechnical

Engineering of Tianjin, Tianjin 300222, China)

Abstract: In combination with the actual project, the application of geosynthetics are introduced. The results show that woven nonwoven geotextile, nonwoven geotextile, filling bags and other geosynthetics can be used to solidify soil sea dike project, and they play the role of draining, filtration, separation, protection and so on. The key technical problems of mud embankment is solved. The construction of water transportation is promoted. They are worthy of further application.

Key words: geosynthetics; dike; drainage; filtration; isolation

0 前言

土工合成材料是指工程建设中应用的与土、岩石或其它材料接触的聚合物材料(含天然的)的总称, 包括土工织物、土工膜、土工复合材料、土工特种材料^[1]。20世纪80年代初, 港口和航道工程中开始大量使用土工合成材料, 如1989年开工的松花江滩群整治工程、1994年开始的长江界牌河段综合整治工程以及1998年开工的长江口深水航道整治工程等, 随着时间迁移, 土工合成材料应用愈加广泛, 近年在围海造陆工程和港珠澳大桥工程等大型工程中也大量使用, 主要起到反滤、排水、隔离、防渗、加筋和防护等作用^[2]。随着土工合成材料新产品、新技术、新工艺的不断研发, 其应用范围和领域也得到了极大的拓展, 目前已广泛应用于航道、堤坝、水库、码头、围堤、铁路、公路、机场等工程中, 尤其是在固化土海上围堤新技术中的成功应用, 解决了利用淤泥筑堤的关键难题, 对我国水运工程建设起到了很大的推动作用。

目前, 我国吹填造陆工程以及人工岛、码头等工

程建设越来越多, 需要修建大量的海堤和围堤。以往围堤的建设多采用抛石斜坡堤或吹填砂被堤, 需要使用大量的砂石料。而天津地区砂石料资源极度匮乏, 已经到了有价无市的地步, 经常因为砂石料短缺影响工程建设, 为此利用天津地区当地廉价的淤泥资源建造围堤变得异常迫切。固化土海上围堤技术的主要做法是直接挖取海底软土, 并在其中掺入固化剂(如水泥), 经机械搅拌均匀形成流动状的拌和土, 再充灌到码放就位的大型土工模袋中形成模袋固化土, 逐层码放充灌后形成海上围堤^[3]。

采用该技术不仅可以节省大量的工程材料费用, 还可以大大减少波浪对围堤的破坏作用, 特别是围堤形成时期的破坏。该技术施工时对周围环境无污染, 同时又可以充分利用港池和航道开挖的淤泥质黏土, 减少了弃土对环境造成的污染, 符合环保要求。正是由于土工合成材料应用技术的持续发展, 使得利用淤

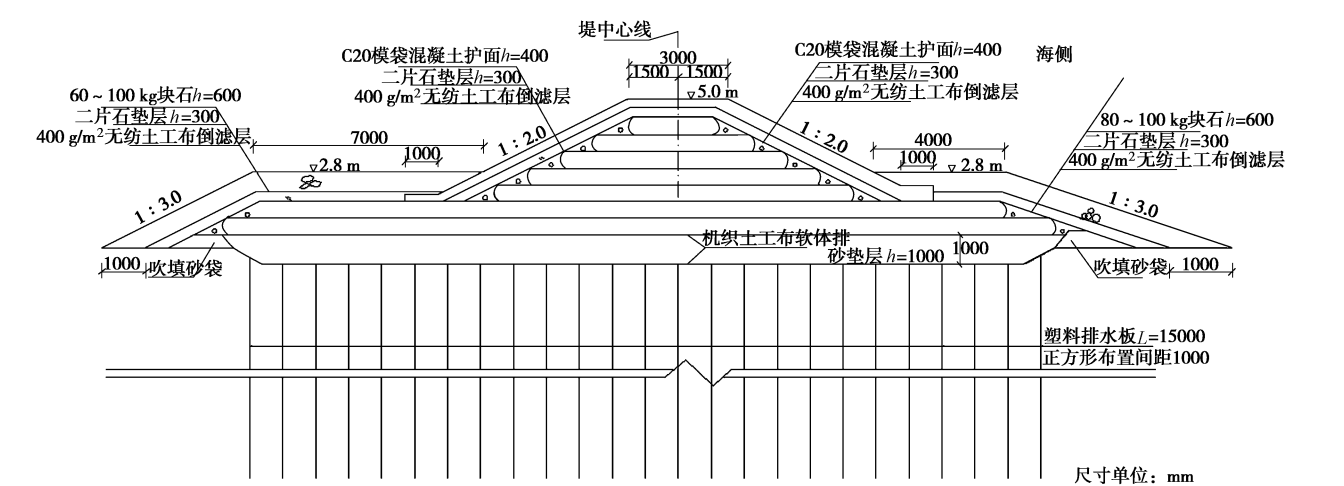


图 1 固化土海上围堤断面示意图

Fig. 1 Sectional view of sea dike solidified soil

泥筑堤成为可能。

1 依托工程介绍

天津港某工程围堤长度为 2000 m，结构安全等级为三级。结构型式为斜坡堤，全部为充填袋结构，充填材料为固化土，护面为混凝土模袋，见图 1。软基处理方法为打设塑料排水板，利用围堤自重进行堆载预压。该围堤处的原始地面标高为+0.2 m~+0.6 m，故其所有施工工艺均应考虑为水上施工，其施工顺序为：在基槽边抛设砂袋子埝→铺设下层土工布软体排→回填 1 m 砂垫层→打设塑料排水板→铺设上层土工布软体排→分级进行充填袋施工→铺设倒滤层土工布→铺设二片石垫层及护面块石、浇筑模袋混凝土→两侧抛石^[4]。

2 土工合成材料应用情况

本围堤工程由于是首次采用固化后的淤泥筑堤，使用了多种土工合成材料，包括塑料排水板、机织无纺布、无纺土工布、各种充填袋等等，利用了土工合成材料的排水、反滤、隔离、防护等多种功能，是各种土工合成材料综合利用的一项典型工程。

2.1 塑料排水板

塑料排水板打设在围堤下面的软土地基中，主要起到排水作用，在围堤自身荷载作用下加速软土的排水固结。塑料排水板采用 B 型板，其技术指标见表 1。塑料排水板打设深度为 15 m，间距为 1.0 m，正方形布置，吹填完砂垫层后利用施工船舶水上打设。

2.2 土工布软体排

土工布软体排采用长丝机织土工布，技术指标见表 2。土工布软体排设置在砂垫层的上下表面，下面的土工布软体排有 2 个作用，首先提高地基土的表层

承载力，在吹填砂垫层时可以避免局部的淤泥隆起，使得砂垫层的吹填厚度较均匀；其次有了这层软体排，可以避免砂垫层和下面的淤泥混合，确保砂垫层的排水效果。上层的土工布软体排可以起到保护砂垫层的作用，避免砂垫层在海流作用下的冲刷流失。

表 1 B 型塑料排水板技术指标

Table 1 Parameters of B-type plastic drainage board			
性能		指标	备注
截面尺寸	宽度/mm	100±2	
	厚度/mm	>4.0	
	每米质量/(g·m ⁻¹)	100~110	
	纵向渗透量/(m ³ ·s ⁻¹)	25×10 ⁻⁶	侧压 350 kN/m ²
	复合体抗拉强度/(kN/10 cm)	>20	伸缩率为 10%时
	滤膜渗透系数/(m·s ⁻¹)	>5×10 ⁻⁶	
滤膜抗拉强度	干态/(N·cm ⁻¹)	>3.0	延伸率为 10%时
	湿态/(N·cm ⁻¹)	>2.0	延伸率为 15%时
	滤膜隔土性/mm	<7.5	孔径以 O ₉₈ 时

表 2 土工布软体排技术指标

Table 2 Parameters of geotextile soft mattress			
项目		单位	指标
单位质量		g/m ²	>340
抗拉强度	纵向	N/50 mm	>4000
	横向	N/50 mm	>2800
延伸率	纵向	%	<35
	横向	%	<30
	顶破强度	N	8000
	孔径 O ₉₅	mm	0.07~0.4
	垂直渗透系数	cm/s	0.2~0.002

2.3 充填袋袋布

充填袋袋布分为两种规格，下层均为聚丙烯编织布，技术指标见表 3。顶面两层袋布应具有一定的抗老化性能，其在阳光下裸露 3 个月的强度指标应不低于其原始强度的 80%，因此顶面两层袋布采用编织无纺针刺复合布，技术指标见表 4。充填袋袋布是固化土的包容体，具有排水保土功能，即充填时多余的水和固化过程中渗出的水可以排出袋布外，而充填进去

的固化土则全部留在袋布内不会排出。同时充填袋袋布在充填后进行人工踩压时能够适应固化土变形要求, 边角处可以充填充实。

表 3 聚丙烯编织布技术指标

Table 3 Parameters of polypropylene woven geotextile			
项目	单位	指标	
单位质量	g/m ²	>130	
经纬密度	pieces/10 cm	56×64	
抗拉强度	纵向	N/50 mm	>750
	横向	N/50 mm	<800
延伸率	纵向	%	<30
	横向	%	<30
顶破强度	N	>1500	
刺破强度	N	>250	
落锥穿透直径	mm	<13	
孔径 O ₉₅	mm	≤0.05	
垂直渗透系数	cm/s	>0.003	

表 4 编织无纺针刺复合布(200g 编制布+150 无纺布)技术指标

Table 4 Parameters of acupuncture nonwoven composite fabric weaves			
项目	单位	指标	
单位质量	g/m ²	>350	
抗拉强度	纵向	N/50 mm	>1300
	横向	N/50 mm	<1100
延伸率	纵向	%	<18
	横向	%	<15
梯形撕裂强度	纵向	N	>400
	横向	N	>300
顶破强度	N	>3000	
刺破强度	N	>400	
落锥穿透直径	mm	<8.0	
孔径 O ₉₅	mm	≤0.05	
垂直渗透系数	cm/s	>0.02	

施工过程中, 充填袋定位与铺设尤为重要。对于最底层充填袋, 先通过测量放线确定围堤轴线位置及充填袋四个角点位置, 设置定位桩, 并清除基层杂物, 防止充填袋铺设时受损, 然后将充填袋充填口向上进行铺设。底层以上的各层充填袋铺设时只需将围堤轴线位置与模袋的轴线标记相符即可。充填袋铺设时上下层充填袋搭接一般不少于 5 m, 相邻充填袋的间距不超过 2 cm。充填袋铺设好以后, 用拉筋将充填袋与下层充填袋、左右相邻充填袋系紧。在充灌过程中人工踩踏, 待充灌到一定充盈度后, 用木棒轻轻拍打袋体四周或镇压砂袋, 保证充填袋的充满性、平整性。必要时可配备真空设备吸水加快袋体排水固结速度, 充至进浆时, 控制充灌压力, 以防止充填袋破裂, 也可在充填袋的内侧两角预留袖口, 将上层浮浆排出。每层充填袋充填厚度一般控制在 0.4~0.5 m 之间, 充填袋的充满度控制在 80%以上, 见图 2, 下层充填袋在固结度达到 70%后, 固化土的抗压强度达到 0.08 MPa 以上时, 可以进行上一层充填袋的施工^[5]。施工过程中, 充填袋不得有破损, 如发现破损, 必须及时进

行等强度修补, 以防袋内充填物流失, 造成堤坝塌陷。



图 2 固化土海上充灌

Fig. 2 Filling sea solidified soil

在施工过程中应设置一定数量的监测断面, 以便对地基的沉降、水平位移和地基土体的孔隙水压力等项目进行监测, 确保各项监测指标在设计允许范围内, 以保证围堤在施工期的安全稳定。

2.4 倒滤层土工布

倒滤层采用涤纶无纺土工布, 技术指标见表 5。倒滤层土工布在堤心成型后开始设置, 倒滤层土工布尽量采用宽幅材料, 以减少搭接处用量。土工布拼接如采用搭接, 搭接宽度水下不小于 1.0 m, 水上不小于 0.5 m; 如采用缝制连接, 则搭接宽度不小于 10 cm, 并用锦纶线缝牢。倒滤层土工布的主要作用是在海水反复冲刷时防止各种筑堤材料流失, 确保堤体稳定。

2.5 土工模袋

土工模袋内层采用全丙纶高强机织布制作, 外层考虑抗老化性能, 采用涤纶高强机织布制作, 技术指标见表 6。土工模袋内充灌混凝土, 作为堤心的外保护层, 模袋上层应进行防老化处理, 设计要求 5 年后强度保持率应大于 70%。模袋混凝土护面结构进一步加强了堤身结构的稳定, 有效地保护了堤心结构, 使其在波浪作用下免受冲刷侵蚀。模袋混凝土浇筑前, 应尽量延长堤心结构的断面荷载作用时间, 以使地基和充填料本身尽量多地发生沉降, 减小后期沉降量。

表 5 倒滤层土工布技术指标

Table 5 Parameters of geotextile of inverted filter layer			
项目	单位	指标	
单位质量	g/m ²	>400	
厚度	mm	3.0	
抗拉强度	纵向	N/50 mm	>625
	横向	N/50 mm	<625
延伸率	纵向	%	25~100
	横向	%	25~100
梯形撕裂强度	纵向	N	>330
	横向	N	>330
顶破强度	N	>2100	
孔径 O ₉₅	mm	0.07~0.2	
垂直渗透系数	cm/s	0.2~0.002	

表 6 土工模袋技术指标

Table 6 Parameters of geotextile bags

项目	单位	指标
单位质量	g/m^2	>600
成型厚度	mm	250 400 600
抗拉强度	纵向	N/50 mm
	横向	N/50 mm
延伸率	纵向	%
	横向	%
顶破强度	N	>4000
孔径 O_{95}	mm	0.08~0.25
垂直渗透系数	cm/s	0.2~0.0002

注：表中单位质量为最低成型厚度的重量。

3 应用效果

本围堤工程综合利用了机织无纺布、无纺土工布、各种充填袋等多种土工合成材料，各种土工合成材料均充分发挥了相应的排水、反滤、隔离、防护等作用，使得固化土围堤能够成功应用，整个围堤建设在半年内全部完成，且质量良好，见图 3。由于采用了塑料排水板对围堤下的软土进行了处理，在围堤施工过程中地基的沉降大部分发生在模袋混凝土浇筑前这段时间，沉降量为 450~1037 mm（根据位置、堤体高度和施工时间的长短有较大的不同），为合理控制堤体标高提供了依据。需要说明的是，模袋混凝土浇筑后也有 200 mm 左右的沉降发生，在设置预留沉降量时应引起重视。



图 3 完工的固化土海上围堤

Fig. 3 Sea dike made of solidified soil

4 结 论

现场实际工程应用结果表明，多种土工合成材料均可以用于固化土海上围堤工程中，起到相应的排水、反滤、隔离、防护等作用，使得固化土围堤能够快速建成，且质量良好。

（1）塑料排水板可以用来加固围堤下面的软土地基，主要起到排水作用，在围堤自身荷载作用下加速软土的排水固结，使得地基的沉降大部分发生在围堤施工过程中，对合理控制堤体标高非常有利。

（2）土工布软体排主要起到隔离和防护作用，它可以提高地基土的表层承载力，在吹填砂垫层时可以避免局部的淤泥隆起，同时还避免砂垫层和下面的淤泥混合，确保砂垫层的排水效果，上层的土工布软体排可以起到保护砂垫层的作用。

（3）倒滤层土工布主要起到反滤和防护作用，在海水反复冲刷作用下防止各种筑堤材料流失，确保堤体稳定。

（4）各类充填袋袋布和土工模袋作为充填物的包容体，是固化土围堤的核心，具有排水保土功能，同时在充填后进行人工踩压时能够适应变形要求。

参考文献：

[1] GB/T50290—2014 土工合成材料应用技术规范[S]. (GB/T50290—2014 Application of geosynthetics technical specifications[S]. (in Chinese))

[2] 于林平, 刘秀民. 土工合成材料技术的发展与应用[J]. 大连海洋大学学报, 2009(增刊 1): 230-231. (YU Lin-ping, LIU Xiu-min. Development and application of geosynthetics technology[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2009(S1): 230 - 231. (in Chinese))

[3] 刘爱民. 模袋固化土海上围埝技术研究[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2009. (LIU Ai-min. Research on cofferdam technology of mold bag solidified soil[R]. Tianjin: Tianjin Port Engineering Institute Ltd of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd, 2009. (in Chinese))

[4] 刘爱民, 阚卫明. 模袋固化土海上围埝原位观测报告[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2009. (LIU Ai-min, KAN Wei-ming. In situ observation report on cofferdam technology of mold bag solidified soil[R]. Tianjin: Tianjin Port Engineering Institute Ltd of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd, 2009. (in Chinese))

[5] 刘爱民, 阚卫明. 模袋固化土海上围埝堤心施工工法[R]. 天津: 中交天津港湾工程研究院有限公司, 2008. (LIU Ai-min, KAN Wei-ming. Construction method of cofferdam technology of mold bag solidified soil[R]. Tianjin: Tianjin Port Engineering Institute Ltd of CCCC First Harbor Engineering Company Ltd, 2008. (in Chinese))

（本文责编 明经平）