

海积相土地区生态型护岸结构研究

陈一梅¹, 宋绍华², 马 骏¹

(1. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096; 2. 盐城航道管理处, 江苏 盐城 224005)

摘要: 结合海积相土地区刘大线航道整治工程, 分析了海积相土地区航道水-土-护岸结构相互作用的机理. 在理论分析基础上, 提出了海积相土地区航道新型生态护岸构建的原则, 将生物技术与工程技术相结合, 选择以海积土地区的砂质粉土以及当地的植物作为护岸材料, 构造了一种阶梯砂管式生态型护岸结构, 并对该护岸结构的稳定性、生态性、亲水性进行了计算分析. 将阶梯砂管式生态型护岸与目前常用的夹石混凝土和透水沉箱式护岸进行比较, 经济性分析表明本文提出的新型护岸结构节约资源, 节约护岸工程投资. 所得成果可为其他海积相砂质粉土地区的护岸工程建设提供借鉴参考.

关 键 词: 海积土; 砂质粉土; 生态护岸

中图分类号: U617.8

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2012)05-0062-05

海积土地区地质条件复杂, 其中的盐渍性粉沙土, 不仅存在渗透破坏, 还对护岸结构具有腐蚀性. 另一方面, 海积土地区大量存在的砂土也是可以利用的资源. 已建浆砌块石、混凝土重力式护岸不仅能耗大、建设费用高, 护岸的“硬化”也带来了生态环境问题^[1]. 自从20世纪90年代出现生物工程护岸技术^[2-3]以来, 我国在部分天然河流、城市河流整治护岸工程中应用了生态护岸的理念, 并取得了初步成效^[4-6]. 但是, 内河限制性航道护岸中生态护岸的应用尚处于探索阶段^[7-8], 对海积土地区生态护岸尚未见报道. 因此, 本文以地处江苏沿海大丰疏港航道刘大线为例对海积相土地区的生态型护岸结构开展研究.

1 基础资料

1.1 工程地质

根据《刘大线航道整治工程初步设计工程地质报告》, 试验河段勘探深度内地层为第四系全新统和上更新统, 其地层特征如下: 表层为全新统上段土层, 以灰色粉土为主, 埋深2~3 m, 中部为全新统下段土层(Q_4^m 或 Q_4^{mc}), 以灰色粉土为主, 层厚15~20 m; 底部为上更新统土层: 灰黄色、蓝灰色粉质黏土, 埋深20 m左右.

全新统1~4层主要物理力学指标: 天然含水率为26.1%, 密度为 1.93 g/cm^3 , 天然孔隙比为0.771, 塑性指数为 $I_p=9.4$, 黏结力为5.7 kPa, 内摩擦角 $\varphi=26.5^\circ$, 平均渗透系数为 $2.82 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$, 平均标贯击数 N 为20.9击, 压缩系数 $a_{e0.1-0.2}=0.19 \text{ MPa}^{-1}$.

1.2 设计水位

根据《内河通航标准》(GB 50139-2004), IV级航道设计最高通航水位是洪水重现期为10年一遇的水位; 设计最低通航水位为多年历时保证率为95%~98%的水位; 刘大线航道设计最高通航水位2.68 m, 设计最低通航水位0.70 m, 高程系统采用废黄河高程系统.

收稿日期: 2012-02-10

作者简介: 陈一梅(1961-), 女, 江苏南京人, 教授, 博士, 主要从事港口航道工程研究. E-mail: chenyme@seu.edu.cn

2 海积相土地区航道水-土-护岸结构相互作用机理

2.1 海积相土地区航道水-土作用关系

水、土之间的相互作用关系可从微观层面和宏观层面进行分析.微观层面,水可以通过物理、化学、生物等作用对土体颗粒的微观结构产生影响,进而引起土体工程特性的变化;宏观层面,水则可以通过力学效应直接改变土体的渗流及应力场,从而引发砂土液化、土体渗透破坏、土体承载力下降等工程问题.

对于海积土地区的砂质粉土而言,水土间的力学作用即渗透作用是引发工程问题的最主要因素之一.渗透破坏通常指流砂和管涌.管涌的发生取决于2个基本条件:一是土中粗颗粒构成的空隙必须大于细颗粒的直径,一般不均匀系数 $C_u > 10$ 才会发生管涌^[9];二是带动细颗粒发生滚动或移动的水力梯度.流砂不仅与土体中渗透力有关,而且与土的物理性质有关,如颗粒级配、密度和透水性等.综合国内外的研究成果,在满足孔隙比 $e > 0.75$,有效粒径 $d_{10} < 0.1 \text{ mm}$, $C_u < 5$ 的细砂极易发生流砂现象^[9].刘大线海积相砂质粉土的级配为 $0.25 \sim 0.075 \text{ mm}$ 占 12%, $0.075 \sim 0.005 \text{ mm}$ 占 80%, 0.005 mm 以下占 8%,不均匀系数 $C_u = 4.6$,不具备发生管涌的几何条件,但具备发生流砂的条件.

海积相砂质粉土的有效黏结力较低,在振动或荷载作用下,其有效应力为零时,会发生液化现象,土体丧失承载能力.

2.2 海积相土地区航道水-护岸结构作用关系

水与护岸结构物间的作用,主要通过水流、船行波等因素对护岸结构产生影响.水流因素引起的冲刷包括边界剪切力的分布和水面横比降两方面的影响.护岸坡脚的冲刷取决于冲刷力,而冲刷力主要由边界剪切力引起,边界剪应力随水深而变,洪峰流量时达到最大,且坡脚处所受的剪应力最大,因此,坡脚处易发生冲刷破坏.水面横比降把上层含沙较少且泥沙较细的水体带到凹岸,而后潜入底部把凹岸下层含沙较多且泥沙颗粒较粗的水体带向凸岸,使得弯曲河段凹岸处的垂直护岸坡脚冲刷剧烈.

船行波对海积土地区护岸结构的破坏作用表现为3个方面.一是船首产生的水位突然下降,会在河岸引起剩余孔隙水压力,从而增加岸坡表面冲刷和大体积塌陷的可能性.当船舶航速较高时,船尾横浪破碎所产生的紊流将增大斜面补给流的潜在冲刷能力,长期作用会造成岸坡冲刷破坏.二是波浪形成过程中,波峰时在岸坡面产生正压力,波谷时出现负压力,护岸结构在短时间内受交替变化的正、负压力作用,岸坡面必须承受瞬间变化的压应力和拉应力(吸力),从而对岸坡产生破坏作用.三是水流和船行波对护岸结构的破坏作用在海积土地区一旦形成,其水体中的一些盐碱离子,会渗透至护岸结构内部,形成电化学反应.如在有氧条件下,铁离子与氧结合形成氧化物,即通常的铁锈,而氯离子重新离解出来,再参与铁的腐蚀过程,促进铁的腐蚀,加快了护岸结构中钢材的损坏.

2.3 海积相土地区航道土-护岸结构作用关系

土与护岸结构之间的作用,主要表现为护岸结构物在土体中的稳定性,包括滑动稳定性、倾覆稳定性以及土体对于结构物的地基承载力.

海积相砂质粉土渗透系数较大,使得雨水或地表径流易在入渗作用下进入河岸内部,导致护岸结构挡墙后作用力增大;此外护岸挡墙前的砂质粉土易在水流或船行波淘刷作用下流失,造成墙前被动土压力的消失;这些都可能导致护岸结构倾覆破坏和滑动破坏的出现.

另一方面,海积土中的盐渍土对结构的腐蚀作用不容忽视.一般来说,属于结晶性质的腐蚀可分为物理侵蚀和化学腐蚀.在地下水位深或地下水位变化幅度大的地区,物理侵蚀相对显著,而在地下水位浅、变化幅度小的地区,化学腐蚀作用显著.

由于砂质粉土本身可压缩性较小,一般都具有较高的地基承载力,因此通常不会出现因砂质粉土地基承载力不够造成护岸结构物失稳的现象.

3 海积相土地地区新型生态型护岸结构构造

3.1 构造原则

构造原则主要含 3 方面:(1)满足护岸的防护功能.护岸结构首先必须安全、稳定和可靠,能够保护河岸,防止水土流失、船行波冲刷、船舶撞击破坏等。(2)保护生态环境.充分考虑当地自然条件,构建具有生态功能的岸坡系统,营造健康的航段生态系统。(3)节约资源且经济合理.护岸结构设计过程中尽量考虑利用当地材料,节约工程建设成本,同时结合全寿命周期经济原理,节约护岸维护成本。

3.2 护岸结构设计

基于海积土地地区水-土-护岸结构相互作用的机理,综合考虑工程造价及环境效益,刘大线航道新型生态型护岸采用上缓下陡护岸结构型式,一级护岸采用阶梯砂管式结构,平台种植当地的大米草,二级护岸采用三维土工网结构种植百喜草,具体结构如下图所示。

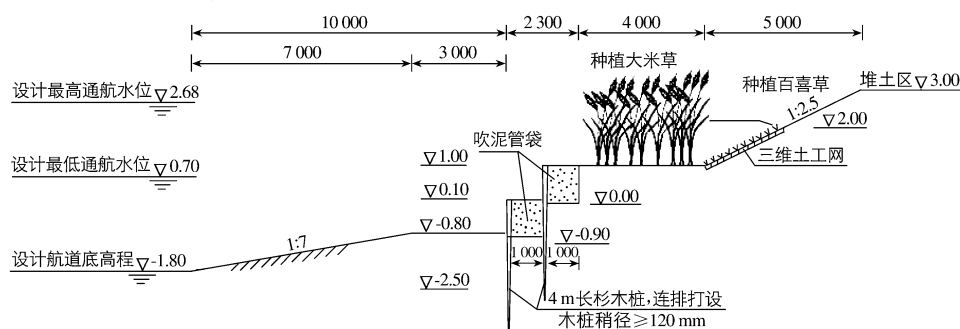


图 1 阶梯砂管式护岸结构(高程:m;其他:mm)

Fig. 1 Structure diagram of revetment of ladder-sand tube (elevation: m; others: mm)

该新型护岸结构型式要点如下:

(1)阶梯砂管式护岸结构.刘大线采用两级阶梯结构(见图1),杉木桩长3m,梢径15cm,经防腐处理后紧密插打,相邻阶梯之间的横向距离为1.0m,最低一级阶梯顶标高定在设计最低通航水位以下0.5m,每级阶梯中放置1个断面尺寸为1m×1m的砂管袋.从经济上看,这种型式充分利用当地砂质粉土可节约工程造价;从安全稳定上看,土工砂管袋可以有效排除岸坡内部的水,防止渗流破坏,临水面紧密插打木桩形成直立挡墙,可以起到防冲作用并保护砂管袋免受来自船舶的破坏;从抗冲及耐久性角度考虑看,木桩和砂袋耐盐碱抗腐蚀。

(2)护岸平台.据现场调研,刘大线航道沿岸自然状态下主要生长的是大米草.大米草具有耐盐、耐淹特征,在消浪、促淤、护岸、减灾、改良土壤等方面具有重要作用^[10].因此,综合考虑大米草较好的消浪性能及种植成本较低的特点,选择大米草作为一级护岸平台的防护植物。

(3)二级护岸.采用三维土工网种植百喜草,进行护坡.在满足边坡抗滑稳定的前提下,兼顾工程造价和美观,取三维土工网护坡坡比为1:2。

4 应用效果分析

4.1 护岸结构的稳定性

根据海积土地地区航道护岸破坏情况调查,结合机理分析可知,刘大线航道护岸结构破坏形式主要有:结构自重、船行波、水位下降、地基不均匀沉降等因素作用下的倾覆破坏;在自身重力、地下水及水位、水流、船行波等因素的共同作用下滑移破坏;渗透破坏发生后造成的岸坡塌陷破坏和滑动破坏;砂土液化造成的护岸结构开裂、陷落破坏,以及盐碱离子侵蚀造成水位变动区的腐蚀破坏.其中,腐蚀破坏在材料选择时已被杜

绝,渗透及砂土液化也在结构选择和基础处理时进行了有效防范.因此,护岸结构稳定性的主要风险是滑移和倾覆破坏.

文中新型护岸的结构稳定性计算具体分为岸坡的整体稳定性和木桩的倾覆稳定性.对于岸坡的整体稳定性,经计算其施工期低水期、施工期高水期以及完建期的岸坡稳定系数分别为1.68、2.02和1.87(均大于1.3),所以岸坡整体稳定性满足规范要求.对于木桩的倾覆稳定性,施工期时木桩挡墙后未回填土不存在倾覆问题,主要计算其完建期的倾覆稳定性.这种阶梯式木桩结构,处于最不利情况的是前排桩,经计算其抗倾稳定系数为2.48,满足规范要求.因此,本文中新型护岸结构稳定性满足要求.

4.2 护岸结构的生态性及亲水性

护岸工程不仅要保证岸坡的稳定和安全,而且要满足生态环境的要求.所设计的护岸结构,就其材料而言,基本为本土自然材料(除了土工布、三维土工网),不会对当地自然环境造成二次污染.就护岸型式而言,阶梯砂管式结构满足了各种水位条件下岸坡植物的生长,同时有效避免由于水位差造成的护岸景观问题,增加了护岸的亲水性.一级护岸采用木桩密排形式,木桩之间存在着较多孔隙,为水生生物提供了必要的生存空间.护岸平台及二级岸坡植物的生长也为航道岸坡营造出了一片生态环境.

4.3 护岸结构的经济性

护岸结构的经济性,可通过与其他护岸结构建设成本的比较来确定.对于其他型式护岸结构的选择可按非生态型和生态型分别选择夹石混凝土重力式护岸和透空箱体式护岸作为特征护岸结构,见图2和图3.3种护岸结构每延米施工定额造价分别为阶梯砂管式护岸2452.2元,透空箱体护岸2718.7元,夹石混凝土护岸2774.6元.可见,阶梯砂管式护岸不仅具有较好的生态特征,还具有价格优势.

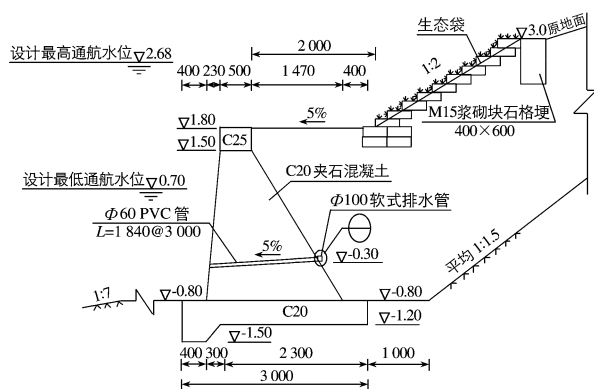


图2 夹石混凝土重力式护岸(高程:m;其他:mm)

Fig.2 Gravity revetment of concrete mixed with stone
(elevation: m; others: mm)

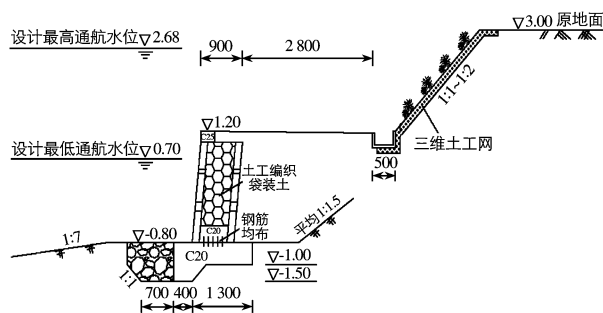


图3 透水沉箱式护岸(高程:m;其他:mm)

Fig.3 Revetment of permeable caisson
(elevation: m; others: mm)

5 结 语

海积相土地区航道水-土-护岸结构相互作用的一个不可忽视的特点是:渗流引起砂质粉土流失,不仅会导致渗透破坏,而且会导致护岸墙后主动土压力增大,墙前被动土压力减小甚至消失,从而护岸结构出现倾覆破坏和滑动破坏;液化现象会使土体丧失承载能力;盐渍土、干湿交替环境下地表水及地下水对混凝土结构中钢筋具有腐蚀性.

基于海积相砂质粉土特性和水-土-护岸结构作用机理,本文提出的阶梯砂管式生态型护岸,以海积土地区的砂质粉土以及当地的植物作为护岸材料,将生物技术与工程技术相结合,不仅节约了护岸结构本身的成本,也节约了资源,降低了工程实施的难度.该护岸结构稳定,护岸效果和生态效果兼有,已在刘大线航道整治工程中成功应用,对其他海积相砂质粉土地区的护岸工程建设具有借鉴作用.

参 考 文 献:

- [1] 封福记, 杨海军, 于智勇. 受损河岸生态系统近自然修复实验的初步研究[J]. 东北师大学报: 自然科学版, 2004, 36(1): 101-106. (FENG Fu-ji, YANG Hai-jun, YU Zhi-yong. Primal research on near natural restoration experiments of the damaged riparian ecosystem[J]. Journal of Northeast Normal University(Natural Science Edition), 2004, 36(1): 101-106. (in Chinese))
- [2] CHOUDHURY P K, DAS A, GOSWAMI D N, et al. Bio-engineering approach with Jute Geotextile for slope stabilization[C]// Proceedings of the 4th Asian Regional Conference on Geosynthetics, Shanghai, 2008: 863-867.
- [3] WOO H. Trends in ecological river engineering in Korea[J]. Journal of Hydro-environment Research, 2010, 4(4):1-10.
- [4] SHI Rui-hua, XU Shi-guo, LI Xu-guang. Assessment and prioritization of eco-revetment projects in urban rivers[J]. River Research and Applications, 2009, 25(8): 946-961.
- [5] 陈小华, 李小平. 河道生态护坡关键技术及其生态功能[J]. 生态学报, 2007, 27(3): 1168-1175. (CHEN Xiao-hua, LI Xiao-ping. The eco-functions of ecological protection techniques of riverbank[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(3): 1168-1175. (in Chinese))
- [6] 徐芳, 岳红艳. 生态型护岸及其发展前景[J]. 重庆交通学院学报, 2005(10): 148-150. (XU Fang, YUE Hong-yan. The ecological revetment and it's development prospect[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2005(10): 148-150. (in Chinese))
- [7] 徐朝辉, 步海滨, 程巍华, 等. 内河航道生态护岸的发展及应用分析[J]. 水运工程, 2009, 432(9): 107-110. (XU Zhao-hui, BU Hai-bin, CHENG Wei-hua, et al. Development and application of ecological protection bank for inland waterway[J]. Port & Waterway Engineering, 2009, 432(9): 107-110. (in Chinese))
- [8] 王伟正. 新型生态护岸在连云港疏港航道中的应用[J]. 水运工程, 2008, 419(9): 135-139. (WANG Wei-zheng. Application of new ecological-type revetment in cargo-distributing channel of Lianyungang Port [J]. Port & Waterway Engineering, 2008, 419(9): 135-139. (in Chinese))
- [9] 东南大学, 浙江大学, 湖南大学, 等. 土力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 81-82. (Southeast University, Zhejiang University, Hunan University, et al. Soil mechanics[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005: 81-82. (in Chinese))
- [10] 周秋华, 刘德启, 顾俊, 等. 盐城湿地大米草-芦苇群落对生活污水净化效果的实验研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(6): 607-609. (ZHOU Qiu-hua, LIU De-qi, GU Jun, et al. Experimental study on purifying efficiency of spartina anglic-reed group to remove sewage in Yancheng circum littoral wetland[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(6): 607-609. (in Chinese))

A study of ecological revetment structure in marine soil area

CHEN Yi-mei¹, SONG Shao-hua², MA Jun¹

(1. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China; 2. Yancheng Waterway Management Office, Yancheng 224005, China)

Abstract: The interaction mechanism among water-soil-revetment structure is analyzed, considering the regulation engineering of Liudaxian channel in marine soil area. Based on the theoretical analysis, the principles of establishing a new ecological revetment in the marine area are proposed. Using sandy silt of marine area and local plants as the revetment materials, and combining biological technology with engineering technology, we propose a new eco-revetment of ladder-sand tube. The stability of the new revetment structure is calculated and discussed, as well as its ecological features and hydrophilicity. By comparing with the common revetment types, such as the gravity revetment of concrete mixed with stone and the revetment of permeable caisson, in economic analysis, this new type of revetment structure not only saves resources, but also reduces the investment. The research results show that the new revetment structure can be applied in the other revetment constructions in the marine area of sandy silt.

Key words: marine soil; sandy silt; ecological revetment