

长江深水航道扬中河段水下护滩堤 软土地基变形监测

陈林¹, 周彦章^{2*}, 何宁²

(1. 长江重庆航道工程局, 重庆 400000; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210024)

摘要: 针对长江深水航道水下护滩堤软土地基变形监测问题, 结合其变形监测技术特点, 提出了水下软基变形监测原则性方案及新型成套技术设备, 实施并得到了施工期及结束后水下软基变形过程规律。根据实测结果, 典型断面抛石期内沉降量占总监测期累积沉降量 83 %, 深层水平位移量占总监测期累积水平位移量 78 %, 抛石加载是水下软基土体分层沉降和深层水平位移发生的主要原因; 经最终沉降量推算, 典型断面地基土体平均固结度 86.2 %, 压缩变形基本完成, 水下软基渐趋稳定。

关键词: 水下护滩堤; 软土地基; 土体分层沉降; 深层水平位移; 现场变形监测; 稳定性分析

中图分类号: U655.54; U656.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2017)06-0048-05

doi: 10.7640/zggwjs201706011

Deformation monitoring of soft soil foundation of underwater beach protection embankment in Yangzhong reach of Yangtze River deepwater channel

CHEN Lin¹, ZHOU Yan-zhang^{2*}, HE Ning²

(1. Changjiang Chongqing Waterway Engineering Bureau, Chongqing 400000, China;

2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Jiangsu Nanjing 210024, China)

Abstract: The principle scheme and the new type of measuring technique and equipment for deformation monitoring of soft soil foundation of underwater beach protection embankment was proposed in this paper, by considering the technical characteristics of deformation monitoring of this kind of soft soil foundation, to solve the problem of deformation monitoring of soft soil foundation of underwater beach protection embankment in Yangtze River deepwater channel. The deformation process and rules of the soft soil foundation under water during and after the construction period was obtained. According to the measured results, the settlement during the construction period accounted for 83 % of the total settlement, and the deep horizontal displacement during the construction period accounted for 78 % of the total deep horizontal displacement in the typical section riprap period. The riprap loading was the prime reason to the layered settlement and deep horizontal displacement of soft soil foundation under water. Based on the final settlement calculation result, the average consolidation degree of the typical monitoring section was 86.2 %. The compression deformation was basically completed, and the soft soil foundation under water was becoming stabilized gradually.

Key words: underwater beach protection embankment; soft soil foundation; layered settlement; deep horizontal displacement; site deformation monitoring; stability analysis

收稿日期: 2017-01-05 修回日期: 2017-03-08

作者简介: 陈林 (1986—), 男, 重庆市人, 工程师, 主要从事港口与航道工程技术管理等工作。

*通讯作者: 周彦章, E-mail: yzzhou@nhri.cn

软土地基天然含水率高、透水性差、压缩性大、强度低, 地基承载力及稳定性差, 荷载作用下软土地基变形量较大^[1-2]。

传统或常规软土地基变形监测技术通常适用

于水面以上的建筑物,或在建筑物填筑出水后钻孔埋设相关设备,难以解决水下建筑物软土地基的变形监测问题^[3]。护滩堤工程始终处于大水深的江底,在堤轴线等关键位置搭设观测平台对施工干扰过大、仪器设备保护极为困难。目前,对于水下建筑物软土地基变形监测技术方法的研究及应用并不多见,尤其是施工及运行期内始终位于水下的建筑物,难以准确测得加载全过程软土地基的土体分层沉降和深层水平位移等变形过程。

为获得抛石加载期地基土体变形过程、确保施工安全稳定、避免干扰施工、维护仪器设备良好工作,提出了水下软基土体变形测量的新型成套技术方法。

1 工程概况

长江南京以下深水航道扬中河段护滩堤工程位于镇江-扬中河段泰兴顺直段鳊鱼沙心滩处,临近泰州长江大桥,通航环境复杂。鳊鱼沙心滩将河槽分为左、右两槽,由于心滩不稳,主航道经常易位,不利水文年常发生冲滩淤槽,甚至出现主槽易位或边滩下移现象^[4],影响深水航道顺利贯通。深水航道整治工程口岸直 I 标在该河段抛石填筑护滩堤 1 道、共 10.6 km,护滩堤两侧建 23 条护滩带、共 4.745 km,护滩堤护底采用混凝土联锁块软体排、堤身采用抛石斜坡堤结构,护滩堤堤顶宽 4 m、堤高 2.0~3.9 m、斜坡堤坡比 1:2。

钻孔资料显示,护滩堤工程所在河段江底土为第四系粉砂、粉质黏土组成的多层结构类型,其表层主要为粉细砂,表层粉细砂在部分钻孔地震工况下会产生不同程度的液化,经计算,在施工阶段和运行工况下(考虑液化土层指标折减),护滩堤等整治建筑物结构整体稳定性均满足要求,无需进行地基处理,由于地基土层的不均匀性,计算所得理论最终沉降量在 9~189 mm 间。地基与堤身结构整体稳定计算的工况包括当护底结构边缘出现冲刷坑并向结构蔓延时对结构的影响和结构荷载作用于地基时对于地基土体的影响。由于河段江底土层属于河湖相沉积黏土或粉质黏土典型软弱地基,整治建筑物护滩堤采用水上软体排铺设和抛石方法施工。

2 监测方案设计与实施

2.1 原则性监测方案

水下软土地基变形监测工作需要与抛石施工交叉作业、避免互相干扰,电测仪器设备必须具

有密封防水功能^[5],能够在水下恶劣环境长期稳定工作,观测期内必须避免监测仪器设备、水上观测平台和江底线缆等遭到破坏。水下软土地基变形监测的原则性方案(图 1)为:在护脚处打设钢管桩平台,护脚处地基分层沉降及深层水平位移监测采用钻孔埋设沉降-测斜管、引至平台以上人工测量,堤轴线处地基分层沉降采用钻孔埋设位移传感器组、经江底引线至护脚处并沿平台管桩引至平台以上人工读数。

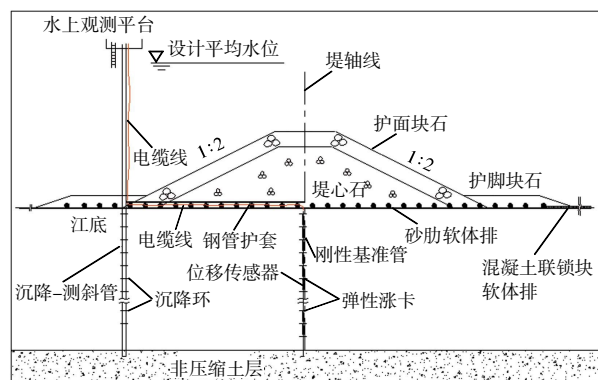


图 1 水下软土地基变形监测断面图

Fig. 1 Sectional drawing of deformation monitoring for the soft soil foundation underwater

2.2 分层沉降监测

水下护滩堤护脚处地基土体分层沉降采用水上钻孔埋设沉降管、引至平台以上人工测量的监测方案,按照分层沉降监测设计的监测位置、监测深度、测点深度及间隔等要求,在施工船上钻孔埋设 ABS 沉降管,沉降管外相应位置固定沉降环随沉降管安装在地基中。沉降环弹性胀卡松开后嵌入被测土层、随土体压缩沿沉降管滑动,埋设完成后,将沉降管向上引出水上观测平台固定保护,利用电磁式沉降仪人工测量。

堤轴线处地基土体分层沉降采用水上钻孔埋设位移传感器、经江底引线至护脚处,并沿平台管桩引至平台以上人工读数的监测方案,按照设计要求,在施工船上钻孔埋设设计数量的位移传感器组及刚性基准管,每个位移计组由位移传感器、固定端、活动连杆、活动端、弹性胀卡及联接件等组成(见图 2)。位移计组的间距按设计间隔由基准管长度调节,土层压缩沉降时,嵌入土层的弹性胀卡随之移动,带动传感器活动端沿基准管滑动,传感器测得活动端相对于固定端位移量,即该土层相对压缩量,得到土体分层沉降量。

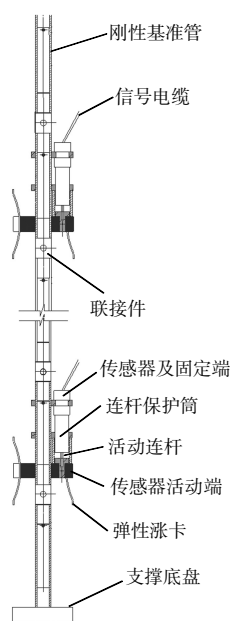


图2 轴线处分层沉降监测仪器结构图

Fig. 2 Structure diagram of the measuring equipment for layered settlement on the axis

为了实时监测和控制护滩堤软土地基在施工期内的变形过程,护脚处和堤轴线处地基土体分层沉降监测需在抛石施工之前完成安装埋设并开始读数测量,因此水上观测平台需打设在护脚处外侧位置。堤轴线处的监测仪器设备埋设完成后,沿江底铺设保护并引线至观测平台以上固定保护,这种采用位移传感器测量地基分层沉降的新型技术具有以下特点:仪器设备安装埋设后不需要从被测位置上方直接引出,不影响被测位置的正常抛石施工;不需要电磁式沉降仪人工读数,直接用读数仪测量引到护滩堤以外的数据电缆即可获得水下地基的分层沉降量^[6]。

根据设计要求,水下护滩堤地基土体分层沉降监测深度为江底土层以下 25 m,每间隔 2~3 m 设置 1 个分层沉降测点,因此在护脚处和堤轴线处 25 m 深地基土体中各设置 10 个测点,即护脚处沉降管需要安装 10 支分层沉降环、堤轴线处装配 10 组位移传感器,要求抛石施工控制分层沉降平均每昼夜不大于 10 mm。

2.3 深层水平位移监测

水下护滩堤护脚处地基深层水平位移采用水上钻孔埋设测斜管、引至平台以上人工测量的监测方案,按照深层水平位移监测设计的观测深度要求,在施工船上钻孔埋设 ABS 测斜管,由于护脚处地基土体深层水平位移监测位置与分层沉降

监测位置重合,因此该测斜管可以与护脚处地基分层沉降观测沉降管共用为沉降-测斜管^[7]。根据设计要求,水下护滩堤地基土体深层水平位移监测深度为江底土层以下 25 m,要求抛石施工控制深层水平位移平均每昼夜不大于 5 mm。

2.4 实施过程

仪器设备安装埋设的基本步骤及流程如图 3。

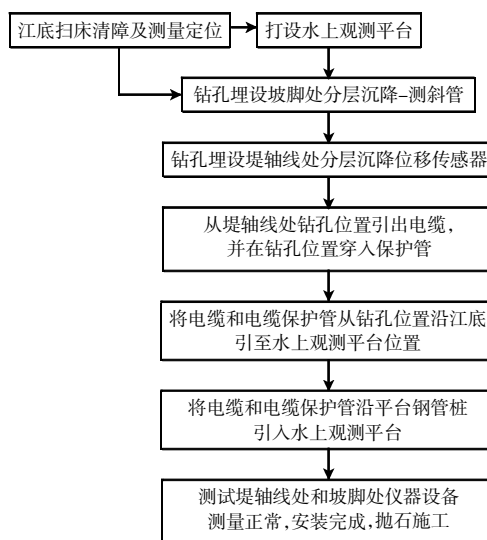


图3 监测仪器安装埋设流程图

Fig. 3 Installation procedure of monitoring equipments

3 监测成果分析

水下软土地基变形监测仪器设备安装完成后,随即开始护滩堤抛填施工及测量各项初始值,作为水下软基土体分层沉降和深层水平位移变形过程的基准值。抛石施工开始后,监测工作进入正常观测期,由专业人员按照设计方案频次要求,定期开展测量观测工作,并为施工提供监测成果及控制依据。

3.1 分层沉降

经过近半年(含抛石期约 1 个月)的测量监测,得到了水下护滩堤施工加载期以及加载结束后轴线处和护脚处软土地基的分层沉降量即土体压缩量。由于护脚处抛石荷载较小,即该处分层沉降量和土体压缩量较小,因此根据典型监测断面堤轴线处分层沉降、土体压缩统计成果及其变化过程曲线(图 4)能够看出:自安装埋设完成、抛石施工开始以来,水下软基分层沉降监测仪器设备工作运行状况良好,根据实测结果计算得到了水下护滩堤工程软基分层沉降及土体压缩变化过程。

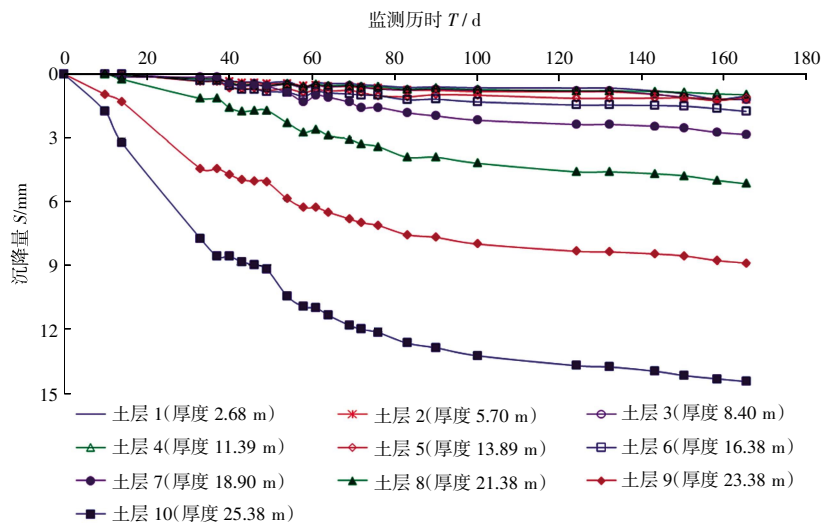


图4 典型断面堤轴线处分层沉降过程曲线

Fig. 4 Process curves of layered settlement on the embankment axis of typical section

土层1至土层10由深至浅分布,各土层的单层土体压缩量、土体总沉降量、土体总压缩率及其最大分层沉降速率等指标均由上至下逐渐降低,说明该断面护滩堤工程江底软基层土体受抛石加载影响显著,最浅层土体厚度2 m,单层压缩量5.58 mm,随深度增加,深部土体的分层沉降量及压缩量逐渐减小,趋近于相对不动的非压缩土层;总厚度25.38 m被测土层的总沉降量(即总压缩量)14.50 mm、总压缩率0.06%,其中最浅层土体的压缩量5.58 mm占总压缩量14.50 mm的38.5%,说明水下软基层沉降主要由江底浅层土体在施工期抛石荷载作用下发生压缩而引起,最大分层沉降速率0.37 mm/d远小于分层沉降安全控制标准,施工期内沉降量12.04 mm占总监测期内累积沉降量83%,抛石结束后进入停工期,分层沉降变形趋于稳定。

3.2 深层水平位移

经过近半年(含抛石期约1个月)的测量监测,得到了水下护滩堤施工加载期以及加载结束后护脚处软土地基的深层水平位移量,根据实测结果计算,能够得到水下护滩堤软土地基深层水平位移变化过程(图5)。典型监测断面软土地基深层水平位移监测历时内江底以下3.41 m深处最大累积水平位移量为12.70 mm,其中施工期内位移量9.86 mm、停工期内位移量2.84 mm,施工期内水平位移量占总监测期内累积位移量的78%,即土体深层水平位移主要发生在施工期,最大深层水平位移速率也远小于侧向水平位移的安全控制标

准,说明水下护滩堤地基土体深层水平位移主要受施工期抛石荷载影响。施工期抛石加载是决定水下护滩堤地基土体深层水平位移发生的主要原因,随着抛石加载结束,停工期内土体深层水平位移量及变形速率逐渐减小,水平位移变形也逐渐趋于稳定。

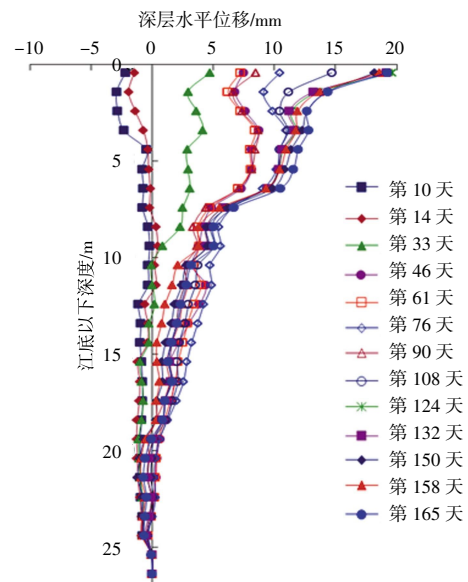


图5 典型断面护脚处土体深层水平位移曲线

Fig. 5 Deep horizontal displacement curves of soil at the toe of typical section

4 水下软基稳定性分析

采用软土地基固结变形理论中有关最终沉降量推算的常用方法,可以计算得到水下护滩堤软土地基最终的沉降量,常用的推算方法包括三点法、Asaoka法和双曲线法等,以典型监测断面最

上部测点与深部基准点间总厚度 25.38 m 被测土层的总沉降量作为监测期内的实测沉降量, 计算得到该断面水下软基最终沉降量的推算值(表 1)。

表 1 水下软基最终沉降量推算结果表

Table 1 Calculated results of final settlement for the underwater soft soil foundation

推算方法	最终沉降量推算值/mm	推求固结度/%	实测沉降量/mm
三点法	15.08	91.7	14.50
Asaoka 法	15.30	94.7	
双曲线法	20.09	72.2	

根据三种推算方法计算得到典型监测断面的最终沉降量分别为 15.08 mm、15.30 mm 和 20.09 mm, 监测期内该断面实测沉降量占不同沉降量推算值的 72.2 %~91.7 % (即推求固结度), 说明施工期及抛石结束停工期内实际测得的累积沉降量占水下软基最终推算沉降量的绝大部分比例, 水下护滩堤软土地基压缩变形已基本完成并趋于稳定。

根据实测结果, 水下软基抛石施工期内沉降量 12.04 mm, 占总监测期累积沉降量 14.50 mm 的 83 %, 施工期内深层水平位移量 9.86 mm 占总监测期累积水平位移量 12.70 mm 的 78 %, 说明施工填筑期内抛石加载是水下软基土体分层沉降和深层水平位移发生的主要原因, 抛石加载结束后沉降变形量及沉降速率逐渐减小, 监测末期平均沉降速率已降至 0.017 mm/d。据水下软基最终沉降量推算结果, 典型监测断面地基土体固结度最小值 72.2 %、最大值 94.7 %、平均值 86.2 %, 工后沉降推算值仅为 2.31 mm, 说明土体压缩变形已基本完成, 地基土体的压缩变化过程随着加载结束而趋缓, 抛石加载结束后水下软基土体分层沉降和深层水平位移变形也逐渐趋于稳定。

5 结语

针对长江深水航道水下护滩堤软土地基变形监测问题, 提出了水下软基土体分层沉降和深层水平位移变形测量的新型成套技术方法, 通过开展现场原型监测, 得到了抛石施工期及其结束后水下软土地基变形过程规律, 主要结论如下:

1) 根据水下护滩堤软土地基变形监测技术特点, 为获得地基变形过程、确保施工安全稳定、避免干扰施工和维护仪器良好工作, 提出了水下软土地基变形监测的原则性方案及相应的成套设备, 经仪器设备选型、优化安装方案、仪器设备埋设及监测实施, 得到了水下软基变形过程规律;

2) 根据典型断面土体分层沉降和深层水平位移变形监测结果, 水下软基抛石施工期内沉降量占总监测期累积沉降量的 83 %, 其中最浅层土体压缩量占土体总压缩量的 38.5 %, 施工期内深层水平位移量占总监测期累积水平位移量的 78 %, 施工抛石加载是水下软基土体分层沉降和深层水平位移发生的主要原因;

3) 通过最终沉降量推算, 可以计算得到水下软基最终沉降量, 典型监测断面地基土体固结度最小值 72.2 %、最大值 94.7 %、平均值 86.2 %, 工后沉降推算值 2.31 mm, 说明土体压缩变形已基本完成, 土体压缩过程随着加载结束而趋缓, 抛石加载结束后水下软基变形渐趋稳定。

参考文献:

- [1] 南京水利科学研究院土工研究所. 土工试验技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
Geotechnical Engineering Department, NanJing Hydraulic Research Institute. Handbook of geotechnical test techniques [M]. Beijing: China Communications Press, 2003.
- [2] JTJ 218—2005, 水运工程水工建筑物原型观测技术规范[S].
JTJ 218—2005, Technical specification of prototype observation for water transport engineering hydrostructure[S].
- [3] DL/T 5316—2014, 水电水利工程软土地基施工监测技术规范[S].
DL/T 5316—2014, Technical specification for soft clay foundation construction safety monitoring of hydropower project[S].
- [4] 曹民雄, 应翰海, 钱明霞. 长江南京以下 12.5 m 深水航道建设一期工程的主要技术问题与研究成果[J]. 水运工程, 2012 (11): 5-13.
CAO Min-xiong, YING Han-hai, QIAN Ming-xia. Main technical problems and research achievement of 12.5 m deep-water channel construction phase I of the Yangtze River below Nanjing city[J]. Port & Waterway Engineering, 2012 (11): 5-13.
- [5] 王美华, 王新新. 土体分层沉降监测技术的现状与发展趋势[J]. 建筑施工, 2016, 38(2): 232-234.
WANG Mei-hua, WANG Xin-xin. Current status and development trends of layered soil settlement monitoring technique[J]. Building Construction, 2016, 38(2): 232-234.
- [6] 谢荣星, 何宁, 周彦章, 等. 土工织物充填泥袋筑堤现场试验研究[J]. 工程勘察, 2013(6): 6-11.
XIE Rong-xing, HE Ning, ZHOU Yan-zhang, et al. In-situ experimental study on the embankment with mud-filled geotextile bags [J]. Journal of Geotechnical Investigation & Surveying, 2013(6): 6-11.
- [7] 龚晓南. 地基处理手册[M]. 3 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
GONG Xiao-nan. The foundation treatment manual[M]. 3rd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008.