

· “长江南京以下12.5 m深水航道建设”专栏(25) ·



长江下游鳊鱼沙护滩堤工程 水下软基分层沉降监测*

卞为东

(长江重庆航道工程局, 重庆 400011)

摘要: 传统监测技术方法难以用于护滩堤工程这类水下建筑物软土地基分层沉降监测。针对鳊鱼沙护滩堤水下软土地基分层沉降的安全监测问题, 提出新型测量仪器设备和技术手段, 可避免干扰施工、保护仪器良好工作并获得地基土体压缩量。通过现场仪器安装埋设、原型监测试验及监测成果分析, 得到施工加载期和结束运行期水下软基分层沉降及土体压缩过程规律。结果表明水下软基保持安全稳定, 验证了水下软基分层沉降新型监测仪器设备及技术方法的可行性及适用性。

关键词: 护滩堤工程; 水下软土地基; 分层沉降; 测量仪器设备; 原型监测试验

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)11-0001-07

Monitoring technique of layered settlement in underwater soft soil foundation of Manyusha beach protection embankment project downstream the Yangtze River

BIAN Wei-dong

(Changjiang Chongqing Waterway Engineering Bureau, Chongqing 400011, China)

Abstract: Because the traditional measuring method is not suitable for the layered settlement monitoring in soft soil foundation of the constructions under water, such as beach protection embankment project, the new type of measuring instrument and technique were proposed for the safety monitoring problem of layered settlement in soft soil foundation under water of Manyusha beach protection embankment project. To avoid interrupting the construction, keep instruments well running, and obtain the compression of soft soil foundation, new instruments were installed on site for the prototype monitoring test. According to the monitoring result analysis, the process rules of the layered settlement and compression of the soft soil foundation under water were obtained during construction and running. It showed that the soft soil foundation of the beach protection embankment under water was safe and stable. The feasibility and applicability of the new instrument and technique for the layered settlement monitoring in soft soil foundation of the constructions under water were tested and verified.

Keywords: beach protection embankment project; soft soil foundation under water; layered settlement measuring; monitoring instrument and equipment; prototype monitoring test

长江南京以下12.5 m深水航道建设工程是落实国家“一带一路”战略要求, 建设沿江经济带、打造长江黄金水道的重点项目——在长江口

深水航道的基础上, 将12.5 m水深从太仓上延至南京。深水航道工程建设中需要建造大量的堤防、护岸、水中潜堤及护滩工程等航道整治建筑物。

收稿日期: 2016-04-20

*基金项目: 国家重大专项项目(2016YFC0402108; 2016YFC0402107)

作者简介: 卞为东(1964—), 男, 高级工程师, 从事港口及航道工程施工及项目管理工作。

这些建筑物基础大多位于水下，属于河湖相沉积而成的黏土或粉质黏土软弱地基，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无法满足工程要求，建筑物荷载作用下土体压缩沉降量较大。施工运行期需要实时监测软土地基分层沉降和及时分析测量数据，以严格控制加载速率、确保工程安全稳定^[1-2]。

常规软土地基分层沉降测量方法大多通过钻孔埋设分层沉降管配以沉降磁环并采用电磁式沉降仪读数的方式实现，传统监测技术适用于最终位于水面以上的建筑物，需在建筑物出水后钻孔或水上钻孔埋设仪器设备。但对于护滩堤工程这类水下建筑物软土地基的分层沉降监测则存在难以解决的技术问题：前者无法监测水下建筑物施工加载期的土体压缩量，后者对施工干扰过大、仪器设备保护异常困难^[3-4]。因此，对于航道护滩堤等水下建筑物软土地基分层沉降监测技术方法的研究和应用极为少见，尤其是施工期和运行全过程始终位于水下的建筑物，极少能够准确反映其加载全过程软土地基的分层压缩沉降过程。

以长江南京以下 12.5 m 深水航道扬中河段鳊鱼沙护滩堤工程为典型工程实例，针对航道护滩

堤这类典型水下建筑物软土地基的分层沉降监测问题，为获得施工加载期土体压缩量、避免干扰施工、保护仪器设备良好工作，对护滩堤轴线处地基土体分层沉降这一重要安全指标提出新型测量技术手段，通过现场原型监测试验及监测成果分析，得到施工加载期和运行期水下软基分层沉降及土体压缩过程规律，验证了水下建筑物软土地基分层沉降新型监测技术方法的可行性及适用性。

1 工程概况

长江南京以下 12.5 m 深水航道建设二期工程口岸直 I 标位于长江下游黄金水道镇江—扬中河段，临近泰州长江大桥，船舶众多，通航环境复杂(图 1)。江中鳊鱼沙心滩将河槽分为左、右两槽，由于鳊鱼沙心滩不稳，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^[5]，这些潜在变化因素对南京以下 12.5 m 深水航道的顺利贯通存在较大影响。口岸直 I 标工程在鳊鱼沙心滩填筑护滩堤 1 道、总长 10.6 km，护滩堤两侧建 23 条护滩带、总长 4.745 km，护滩堤护底采用混凝土连锁片软体排、堤身采用抛石结构(图 2)。

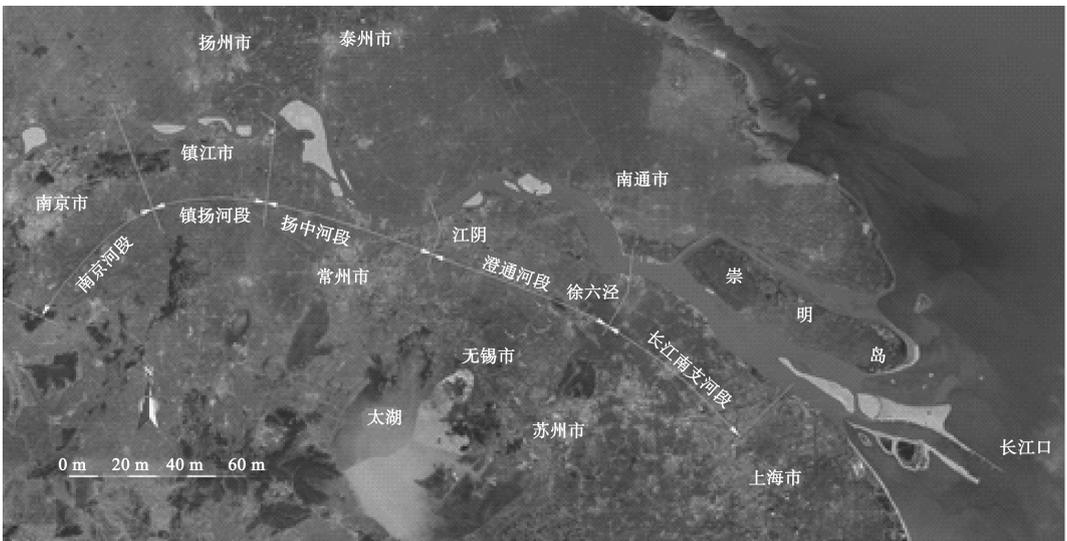


图 1 长江南京以下 12.5 m 深水航道工程河势

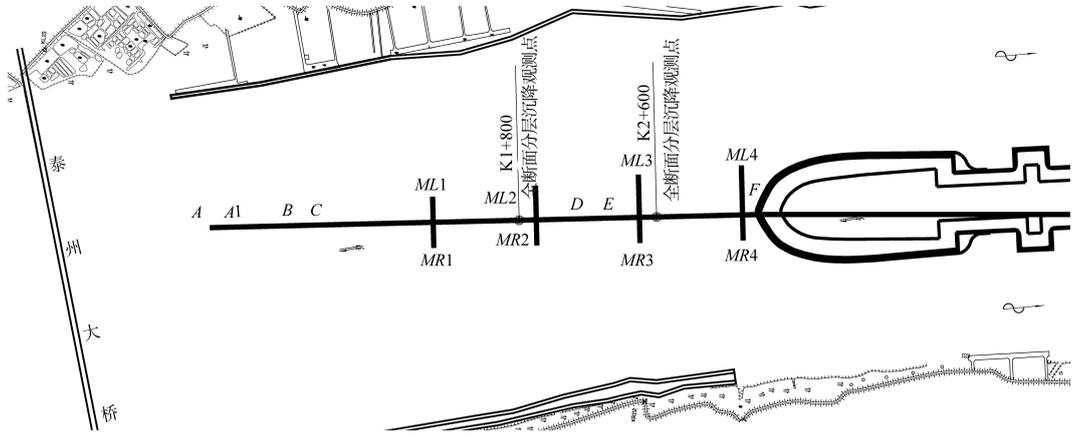


图 2 鳊鱼沙水下护滩堤工程平面位置

鳊鱼沙护滩堤工程河段江底土层松软，属典型软弱地基，河床整治结构主要为水中潜堤及护滩工程，采用水上软体排铺设和抛石方法施工^[6-7]。为保证工程质量及结构稳定，施工过程中需要实时监测水中潜堤及护滩堤下部软土地基分层沉降量，及时分析测量数据、提供安全监测成果。水下建筑物软土地基分层沉降新型监测技术方法对于长江河段整治及类似工程的设计、施工、科研均具有重要的理论意义和实践价值。

2 工作原理

根据鳊鱼沙护滩堤工程水下软土地基分层沉降监测的工作要求，须实时监测施工过程中软基分层沉降量，避免监测设备水上结构对护滩堤抛石施工产生影响，并确保仪器设备良好，稳定工作，需要改进和填补现有分层沉降管配以沉降磁环并采用电磁式沉降仪读数的测量技术缺陷^[8-10]，因此提出一种新型的测量水下地基分层沉降的设备及成套技术(图 3)。其技术要求为：仪器设备安装埋设后不需要从被测位置护滩堤轴线上方直接引出，不影响被测位置护滩堤的正常抛石施工；不需要对分层沉降环采用电磁式沉降仪人工读数，直接用传感器信号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。

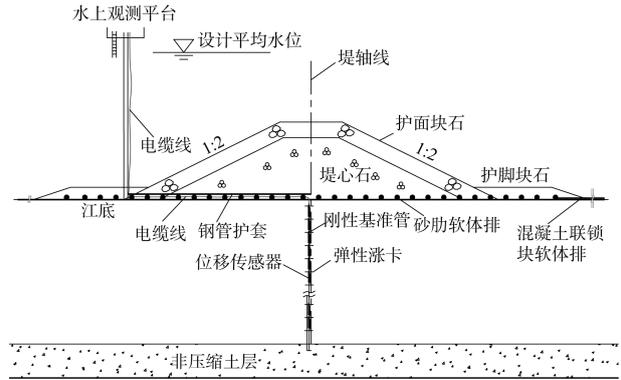


图 3 水下软土地基分层沉降监测 K1+800 断面布置

鳊鱼沙护滩堤工程水下软基分层沉降新型监测技术方法的埋设方式及工作原理如下(图 4)：

1) 抛石施工前，在护滩堤外坡脚、距堤轴线被测位置一定距离处搭建水上观测平台，在堤轴线被测位置处施工定位船上钻孔埋设刚性基准管和设计数量的位移计组，基准管底端坐落在孔底非压缩土(岩)层上，基准管顶部低于孔口一定距离，该距离应略大于地基在荷载作用下的理论推算或经验总压缩沉降量，刚性基准管的长度可根据实际需要加工和调节；

2) 每个位移计组均由大量程位移传感器、传感器固定端、活动连杆、活动连杆保护筒、传感器活动端(或位移块)、弹性涨卡及各联接件等组成；

3) 埋设前，位移计组以并联方式依次组装在刚性基准管上，每个位移计组与基准管组成一个测量单元，位移计组的间距按设计被测土层间隔由基准管调节；

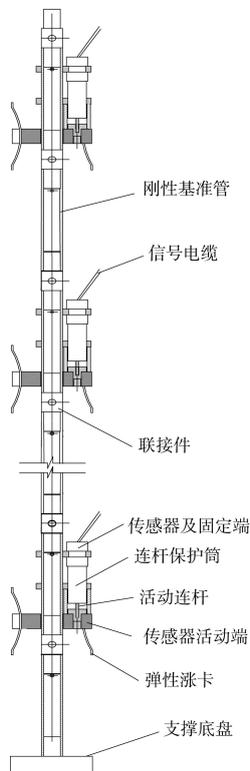


图4 水下软基分层沉降监测仪器结构

4) 每个位移传感器的固定端固定在刚性基准管上, 传感器活动端套装在刚性基准管上、可以沿基准管滑动, 传感器固定端与活动端通过活动连杆连接, 外部套以保护筒, 每个传感器活动端配以3套弹性涨卡;

5) 钻孔完全至设计深度, 并清孔至合适孔径, 参考常规分层沉降环的埋设方式, 依次将刚性基准管和位移计组埋入钻孔内;

6) 埋设完成后, 弹性涨卡张开嵌入被测土层, 当被测土层压缩沉降时, 嵌入土层的弹性涨卡随之移动, 带动传感器活动端及活动连杆沿基准管滑动, 通过传感器测得活动端相对于固定端的位移量, 即该被土层的相对压缩量, 从而得到软基的分层沉降量;

7) 安装完成后, 水下电缆外部套以钢管并预抛少量袋装碎石覆盖保护, 将传感器信号电缆在水下向观测平台处走线并引出水面至平台以上, 供读数测量;

8) 埋设完成后, 堤轴线被测位置至设计外坡脚间可正常抛石施工, 根据测量频次要求, 工作人员利用读数仪测量引到观测平台的数据电缆,

得到每只位移传感器的位移量, 即可获得水下地基的分层沉降量。

3 仪器安装埋设

鳊鱼沙护滩堤工程水下软基分层沉降监测工作处长江江面施工, 易受交通条件和恶劣天气影响, 常规人工监测较为困难, 尤其在风、浪、潮等恶劣天气时, 不具备人员驻守测量的工作条件, 可以根据设计的监测频次要求, 定期测量获取水下软基分层沉降及压缩变形数据, 对于施工安全与质量控制均有重要意义^[11-12]。经过多种方案比选, 鳊鱼沙护滩堤工程水下软基分层沉降监测工作采用“堤轴线处地基分层沉降安装位移传感器引线至水面人工读数测量”的总体原则性方案。

3.1 安装埋设技术要求

1) 根据测量需要及软土地基分层情况选择合适数量和量程的位移计或位移传感器, 选用LVDT电感位移传感器(GD19P55C型), 量程范围200~500 mm, 测量精度0.5%, 活动连杆与仪器元件相互独立且自由活动, 封装完成的位移传感器直径小, 测量精度不受量程范围影响;

2) 现场安装埋设前, 应根据岩土工程安全监测相关规范要求进行检验和率定, 选择满足质量要求的传感器;

3) 水下监测所有电测仪器必须具有良好的密封防水功能, 能够在水下恶劣环境中长期稳定工作;

4) 水下监测仪器的安装埋设需要专业施工船只在江面上定位和钻孔埋设作业;

5) 水下监测仪器的信号电缆、供电电缆外部套以钢管并覆盖袋装碎石保护等专门的铺设方式, 在江底引至观测平台的支撑管桩处, 并沿平台管桩向上引出水面观测平台顶部固定;

6) 水下监测仪器设备的钻孔安装埋设与航道整治工程施工作业相互交叉, 须合理调配施工场地和工作时间, 避免互相干扰;

7) 仪器设备安装及电缆铺设保护完成后, 经

潜水员水下探摸确认，应及时抛填袋装碎石以覆盖保护，避免抛石施工对来往船只造成损坏。

3.2 安装埋设实施过程

根据安全监测设计方案要求，航道二期扬中河段在鳊鱼沙护滩堤工程 K1+800 和 K2+600 桩号设置 2 个监测断面(图 2)，以监测护滩堤轴线处软土地基的分层沉降变化过程，为控制抛石加载速率、确保工程安全稳定提供实测依据。护滩堤轴线处每个分层沉降测点江底高程-10 m、埋设深度 27 m(高程-37~-10 m)，即新型水下地基分层沉降监测设备刚性基准管的底端埋设深度为 25 m。根据地勘资料，该深度作为测量和计算分层沉降量的基准点，可认为该深度以下为相对不动的非压缩土层。为防止抛石护滩堤堤身压缩地基土体直接作用于基准管顶端，基准管顶部须低于孔口一定距离，两断面刚性基准管埋设长度均为 26.5 m，每个基准管上按照 2~3 m 间距依次并联组装 10 套位移计组(图 5)，每个位移计组均由大量程位移传感器、传感器固定端、活动连杆、活动连杆保护筒、传感器活动端(或位移块)和弹性涨卡等部件组成。



图 5 刚性基准管及位移计组

桩号 K1+800 和 K2+600 两监测断面抛石施工之前，专业施工船只在江面上定位，预先在护滩堤外坡脚、距堤轴线一定距离处打设平台支撑管桩并搭建水上观测平台。施工船只移位并定位至堤轴线被测位置处，开展水上钻孔作业，成孔后按照设计长度、间距及数量要求依次将刚性基准管和位移计组埋入钻孔内。两监测断面均在江底高程-37~-10 m 钻孔深度 27 m，刚性基准管埋设长度 26.5 m，沿基准管依次并联组装 10 套位移计组，移计组间距 2~3 m，水下电缆外部套以钢管

并预抛少量袋装碎石覆盖保护，传感器信号电缆沿江底向观测平台处走线并引出水面至平台顶部固定。

鳊鱼沙护滩堤工程水下软基分层沉降监测仪器安装埋设完成后，水下护滩堤工程可正常抛石施工，同时开展监测测量工作。根据设计监测方案的测量频次要求，护滩堤抛石加载期(1~2 个月)每 3 d 测量 1 次，抛石加载结束后 1 个月内每周测量 1 次，抛石加载结束 1~3 个月内每 2 周测量 1 次，抛石加载结束 3~6 个月内每月测量 1 次，抛石加载结束 6 个月至 1 年内每 3 个月测量 1 次，计划总监测期间为 1 a。护滩堤水下软基分层沉降安全控制标准为平均每昼夜不大于 10 mm。

4 水下软基分层沉降监测成果

鳊鱼沙护滩堤工程抛石施工开始后，水下软基分层沉降监测工作进入正常观测期，按照设计方案频次要求，定期开展测量观测工作。监测仪器设备于 2016 年 1 月初安装埋设结束，沙护滩堤工程抛石开始、至 2 月初施工结束，施工历时约 1 个月，至 2016 年 7 月初，已得到施工加载期以及加载完成后一段时间内水下软土地基的分层沉降量即土体压缩量。

埋设完成后，弹性涨卡张开嵌入被测土层，被测土层压缩沉降时，嵌入土层中的弹性涨卡随之向下移动，带动传感器活动端及活动连杆沿基准管向下滑动，通过传感器测得活动端相对于固定端的位移量，即：

$$L_t = K(F_t - F_0) / 1000 \quad (1)$$

式中： L_t 为 t 时刻传感器活动端相对于固定端的位移量(m)； K 为传感器系数(mm/mA)； F_t 为 t 时刻位移传感器读数(mA)； F_0 为位移传感器埋设完成、弹性涨卡张开后的初始读数(mA)。因传感器固定端固定在刚性基准管上，基准管底端座落在孔底非压缩土(岩)层上，可认为传感器固定端与刚性基准管、基准管底端支撑底盘均为固定不动，传感器活动端相对于其固定端的位移量 L_t 即为该活动端弹性涨卡嵌入土层位置至基准管底端之间

的土层的总压缩量。在上覆抛石荷载作用下， t 时刻该土层的厚度为：

$$H_t = H_0 - L_t \quad (2)$$

式中： H_t 为 t 时刻传感器活动端弹性涨卡嵌入土层位置至基准管底端之间的土层厚度(m)； H_0 为该土层的初始厚度(m)，进而可以求出该土层厚度的变化量，即该土层总压缩量(沉降量) $S = H_t - H_0$ 。

自2016年1月初安装完成、抛石施工开始，至2016年7月初已测得该期间位移传感变化值，能够计算得到鳊鱼沙护滩堤工程水下软基分层沉降及土体压缩变化过程(表1、图6)。

表1 K1+800断面堤轴线处分层沉降及土体压缩统计

土层序号	土层厚度/m	单层压缩量/mm	总沉降量/mm	总压缩率/%	最大分层沉降速率/(mm/d)
1	2.68	1.03	1.03	0.04	0.06
2	5.70	0.18	1.21	0.02	0.03
3	8.40	-0.01	1.20	0.01	0.06
4	11.39	-0.22	0.98	0.01	0.06
5	13.89	0.12	1.10	0.01	0.10
6	16.38	0.66	1.76	0.01	0.08
7	18.90	1.09	2.86	0.02	0.11
8	21.38	2.32	5.18	0.02	0.15
9	23.38	3.75	8.92	0.04	0.17
10	25.38	5.58	14.50	0.06	0.37

注：土层序号由下至上；测量时间为2016年1月初安装完成至2016年7月初。

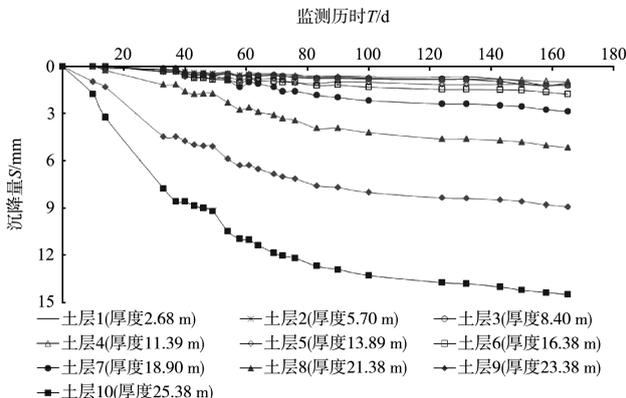


图6 K1+800断面堤轴线处分层沉降过程曲线

由桩号K1+800断面堤轴线处分层沉降、土体压缩统计结果及其变化过程曲线能够看出，2016年1月初安装埋设完成、抛石施工开始以来至

2016年7月初，新型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鳊鱼沙护滩堤工程水下软基分层沉降及土体压缩变化过程。

水下软基分层沉降实测结果及其变化过程曲线反映了10套位移计组传感器活动端所对应10个被测土层的分层沉降量及其压缩变化过程，由下至上的土层1~土层10，即由深至浅分布，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，说明护滩堤工程江底软基浅层土体受抛石加载影响显著，最浅层土体厚度2m，单层压缩量5.58mm，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25.38m被测土层的总沉降量(即总压缩量)14.50mm、总压缩率0.06%，其中最浅层土体的压缩量5.58mm占总压缩量14.50mm的38.5%，说明水下软基分层沉降主要由江底浅层土体在上部荷载作用下发生压缩而引起，最大分层沉降速率0.37mm/d，远小于分层沉降安全控制标准，施工加载期和结束运行期水下软基始终保持安全稳定。

结合鳊鱼沙护滩堤工程的实际堤身抛石施工过程，新型水下软基分层沉降监测仪器钻孔埋设结束后，护滩堤工程桩号K1+800~K2+600范围内抛石施工历时约1个月，最大分层沉降速率发生在仪器安装完成后监测50d左右，说明水下软基的最大分层沉降量发生在抛石施工到顶的最大荷载形成之后，该现象符合软土地基分层沉降发展过程的一般性规律。

5 结论

1) 针对长江下游深水航道扬中河段鳊鱼沙护滩堤工程水下软土地基分层沉降的安全监测问题，提出新型测量仪器设备及技术手段。该成套设备由位移计组组装在刚性基准管上构成，仪器设备安装埋设后沿江底引线至护滩堤抛石施工区外，被测位置护滩堤可正常抛石施工，直接用读数仪

测量引到护滩堤以外的数据电缆即可获得传感器数据。

2) 以长江深水航道扬中段鳊鱼沙护滩堤工程为工程实例, 安装埋设堤轴线处水下软基分层沉降新型监测仪器设备, 钻孔深度 27 m、刚性基准管埋设长度 26.5 m, 沿基准管依次并联组装 10 套位移计组、间距 2~3 m, 新型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鳊鱼沙护滩堤工程施工加载期和结束运行期水下软基分层沉降及土体压缩变化过程规律。

3) 鳊鱼沙护滩堤工程水下软基最浅部土体压缩量占下部地基土体总压缩量的 38.5%, 说明水下软基分层沉降主要由江底浅部土体在上部荷载作用下发生压缩而引起, 最大分层沉降速率远小于分层沉降安全控制标准, 施工加载期和结束运行期护滩堤水下软基始终保持安全稳定, 验证了水下软基分层沉降新型监测仪器设备及成套技术方法的可行性和适用性。

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.
- [2] JTJ 218—2005 水运工程水工建筑物原型观测技术规范[S].

- [3] 闫宏业, 蔡德钧, 姚建平, 等. 装配式分层沉降观测装置在路基沉降观测中的应用[J]. 铁道建筑, 2008(6): 83-85.
- [4] 朱超, 张季超, 许勇, 等. 无线监测系统在真空预压分层沉降观测中的应用[J]. 工程力学, 2010, 27(S1): 141-144.
- [5] 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.
- [6] 马爱兴, 曹民雄, 王秀红, 等. 长江中下游航道整治护滩带损毁机理分析及应对措施[J]. 水利水运工程学报, 2011(2): 32-38.
- [7] 左利钦, 孙路, 陆永军, 等. 长江梯级水库下游重点滩段河势及航道条件变化[J]. 水力发电学报, 2015, 34(3): 79-89.
- [8] 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.
- [9] 许浩, 赵岩, 黄泰, 等. 一种新型自动电测式分层沉降仪的研究[J]. 港工技术, 2015, 52(3): 73-76.
- [10] 凌柏平, 龚永康, 张建跃. 真空预压软基处理分层沉降监测[J]. 水运工程, 2010(12): 129-134.
- [11] 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, 41(6): 6-11.
- [12] 朱群峰, 何宁, 王年香, 等. 大型充填袋筑堤现场监测试验研究[C]//中国土木工程学会. 第 26 届全国土工测试学术研讨会论文集, 2014: 367-372.

(本文编辑 郭雪珍)

· 消 息 ·

中国交建联合体中标长沙市南北横线工程项目

近日, 中国交建与洲泰城市投资控股公司组成联合体中标长沙市南北横线工程建设项目, 项目估算总投资 186.05 亿元。

长沙市南北横线全长 530.13 km, 其中南横线全长 257.73 km, 北横线全长 272.4 km。项目采用“建设-运营-移交”运作方式, 建设期 5 年, 运营维护期 25 年。

长沙市南北横线是长沙市两条东西向交通大通道, 是长沙市重点项目, 是完善长沙道路交通路网体系的重要一环, 对推动城乡一体化发展、促进新型城镇化建设有重要意义。

http://en.ccccltd.cn/cccltd/news/gsyw/201611/t20161108_86499.html (2016-11-08)