

入海水道深淤段软土地基工程特性研究

占鑫杰^{1,2}, 张 娟³, 黎 昱⁴, 杨守华^{1,2}, 陈 浩⁵

(1. 南京水利科学研究院岩土工程研究所, 江苏 南京 210029; 2. 水文水资源与水利工程科学国家重点试验室, 江苏 南京 210029; 3. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009; 4. 江苏省工程勘察研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225002; 5. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要:入海水道二期工程拟在深淤地基上填筑堤防并建设穿堤建筑物。为深入研究入海水道深淤段软土地基的工程特性,在南堤深淤段布置3个典型断面,对控制堤防稳定和变形的关键土层,综合采用钻孔取土、原位测试和室内试验等手段测试了软土地基的工程特性。试验结果表明:深淤段地基是一种典型的河湖相淤泥质软土,其厚度大,含水率和粘粒含量高,普遍含有粉土和砂土薄层。一期工程堤防堆载后,堤身下方淤泥地基强度提升明显,这对二期工程灌溉总渠侧的稳定是有利因素。针对深淤段地基的工程特性,二期工程深淤段堤防扩建工程,应重点关注堤防、穿堤建筑物的工后沉降和差异沉降等。

关键词:堤防扩建工程; 淤泥地基; 工程特性; 低扰动试样; 沉降; 差异沉降

中图分类号: TU43

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2021)12-0013-0005

Research on engineering properties of soft soil foundation in deep siltation section of the waterway into the sea

ZHAN Xinjie^{1,2}, ZHANG Juan³, LI Yu⁴, YANG Shouhua^{1,2}, CHEN Hao⁵

(1. Geotechnical Engineering Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China;
2. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210029, China;
3. Jiangsu Surveying and Design Institute of Water Resources Co., Ltd., Yangzhou 225009, China;
4. Jiangsu Province Engineering Investigation and Research Institute Co., Ltd., Yangzhou 225002, China;
5. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In the second phase of the water inlet project, it is planned to fill the embankment on the deep silt foundation and construct the building through the embankment. In order to study the engineering properties of soft soil foundation in deep siltation section of the waterway into the sea, three typical sections were arranged in the soft soil section of south embankment. For the critical soil layer controlling stability and deformation of embankment, the engineering properties of soft clay foundation were obtained by means of borehole sampling, in-situ testing and indoor testing. The test results show that the foundation of the deep siltation section is a typical river-lake facies silt soft soil. It has a large thickness, high moisture content and clay content, and generally contains thin layer of silt and sand. After the embankment construction in the first stage project, the strength of the silt foundation under the embankment is significantly improved, which is a favorable factor for the stability of the general canal side of the

收稿日期: 2022-10-08

基金项目: 江苏省水利科技项目(2020012)

作者简介: 占鑫杰(1986—),男,高级工程师,博士,主要从事水利工程地基处理、基础工程和环境岩土工程研究工作。E-mail: xjzhan@nhri.cn

second stage project. In view of the engineering properties of the foundation in the deep silt section, the embankment expansion project in the second phase should focus on the post-construction settlement and differential settlement.

Key words: embankment expansion project; silt foundation; engineering properties; low disturbed sample; settlement; differential settlement

淮河入海水道与苏北灌溉总渠平行,紧靠其北侧,西起洪泽湖二河闸,沿苏北灌溉总渠北侧向东,经淮安、阜宁,至滨海的扁担港入黄海,全长 163.5 km。入海水道一期工程设计行洪流量 $2\,270\text{ m}^3/\text{s}$,与入江水道、灌溉总渠和分淮入沂等工程配合,使洪泽湖达到 100 年一遇洪水的防洪标准^[1-6]。入海水道一期工程在河道工程设计上,采用了与苏北灌溉总渠呈“两河三堤”布局,利用入海水道开挖南北两泓,保证了沿线洪水、污水、涝水各行其道;工程水土保持与主体工程同步实施,大大改善了苏北地区的水利生态条件。入海水道二期工程通过全线扩挖深槽、扩建二河、淮安、滨海、海口等枢纽建筑物,改建淮阜控制工程,改建、扩建穿堤建筑物等,加高加固南北堤防等工程(图 1),使洪泽湖防洪标准达到 300 年一遇,有效降低 100 年一遇洪泽湖洪水位。该工程的实施可加大淮河下游泄洪能力、提高洪泽湖及其下游防洪保护区的防洪标准。



图 1 淮河入海水道二期工程总体布置

一期工程资料表明,入海水道阜宁段 K85.5~90.5 范围内,地基为深厚的淤泥质软土,地基强度低,压缩性高,工程设计人员形象地称之为“软豆腐”。本文针对深淤段南堤地基的工程特点,对控制堤防稳定和变形的关键土层,采用以勘察和原位测试为主,结合取土室内试验,获取深淤段地基的工程特性数据。原位测试重点开展十字板试验和双桥静力触探试验,现场取土采用敞口活塞薄壁取

土器以取得低扰动的土样,室内试验重点开展基本物理特性、固结渗透和强度试验等。

1 试验方案

根据淮河入海水道一期工程阜宁软土段的试验资料^[3-6],在南堤深淤段布置了 3 个试验断面,分别为桩号 K87+250、K87+450、K87+650。为更好与一期资料进行对比,现场通过一期工程设计图纸索引以及固定建筑物(阜宁腰闸)的桩号等信息,采用 GPS 放样等方法确定了 K87+250、K87+450、K87+650(一期桩号)3 个断面的位置。

本次试验现场取土及原位测试的平面图如图 2 所示,其中取土孔为 A1~A6,共 6 个;十字板孔为 V1~V6,共 9 个;静力触探试验孔为 J1~J6,共 12 个。K87+250 断面试验孔位布置剖面图如图 2 所示, K87+450 断面、K87+650 断面孔位布置与 K87+250 断面基本一致。考虑到堤身下方和堤身坡脚外侧地基的性质有一定差异,因此在每个断面南堤堤顶和堤身坡脚外侧的平台位置处各布置 1 个试验孔(见图 3 试验位置)。

双桥静力触探试验主要用于测试不同深度地基的锥尖阻力和侧壁摩阻力,进而确定地基的分层,试验方法依据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)^[7]进行。原位十字板试验主要用于测试不同深度地基的十字板强度,并与一期已有资料进行对比,试验方法依据《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)进行^[7]。钻孔取土数量和分布以保证室内试验需要作为控制原则,并兼顾各土层的分布。取土样采用敞口活塞薄壁取土器,以减少对试样的扰动^[7]。在南堤 K87+250、K87+450、K87+650 断面开展钻孔取土试验,每个断面布置 2 个试验位置(图 2、图 3),1 个位于南堤堤顶,1 个位于堤身坡脚外侧。结合一期试验资料,取土试样以 3-1 层和 3-1' 层为主,辅以少量的 A 层和 1-2 层;沿着深度方向, A 层 1 个试样, 1-2 层 1 个试样, 3-1 层 6 个试样, 3-1' 层 4 个试样。室内试验主要用于测试不同分层地基的物理力学性质指标,室内试验方法依据土工试验方

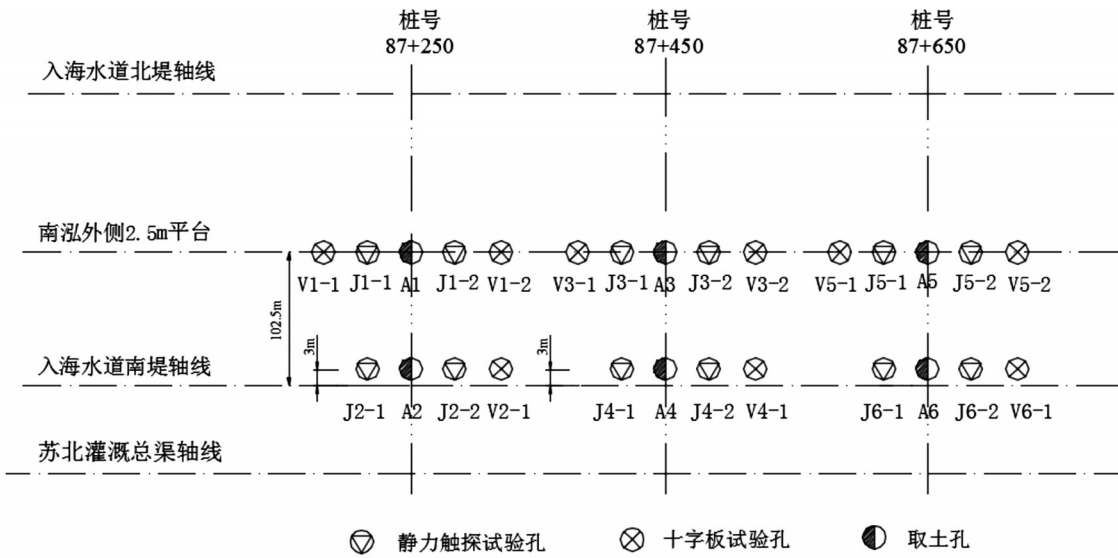


图2 淮河入海水道南堤原位测试及取土孔布置

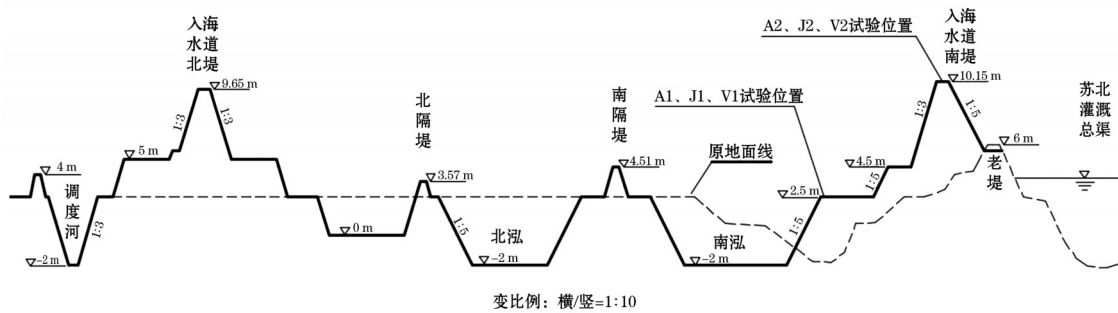


图3 入海水道堤防典型剖面及现场试验位置(单位:m)

法标准(GB/T 50023—2019)^[8]。

2 试验结果及分析

2.1 深淤段地基分层

根据现场钻孔取土描述以及典型的静力触探试验结果,结合一期工程试验资料,得到南堤堤顶位置的土层剖面如图4所示^[9-11]。

从图4中可知:(1)深度0~9.2 m为堤身填土,灰黄色,局部含有植物根茎和碎砖块,可塑到硬塑状态;(2)深度9.2~11.3 m为灰黄色粉质黏土夹粉土层(A层),局部薄层;(3)深度11.3~12.9 m为棕黄色黏土(1-2层),软塑-可塑状态;(4)深度12.9~28.8 m是灰色淤泥质黏土(3-1层),局部夹少量的粉土薄层;(5)深度28.8 m以下为灰褐色粉质黏土(3-1'层),局部夹粉土层和碎贝壳,软塑状。

2.2 深淤地基的物理力学特性

3-1层(淤泥质黏土)的物理特性试验开展了36组,3-1'层(淤泥质粉质黏土)的物理特性试验开

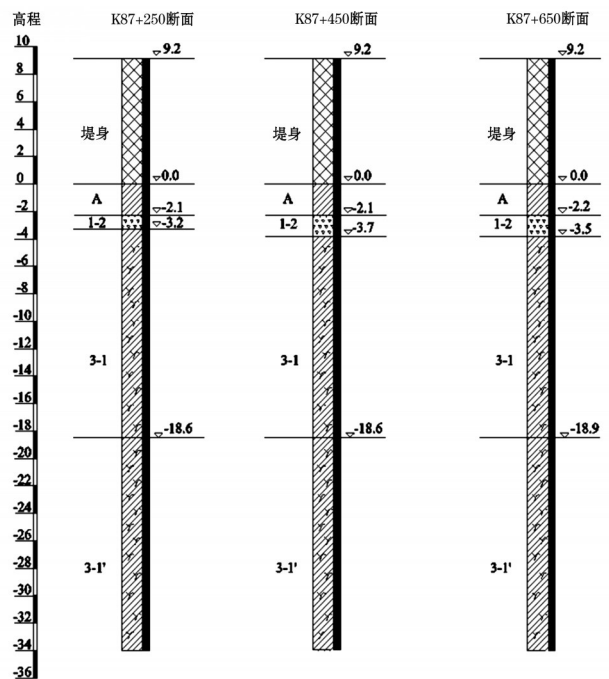


图4 南堤堤顶土层剖面(单位:m)

展了24组。经过统计分析,得到南堤位置深淤地基的物理力学特性指标,如表1所示。

从表1中可知,3-1层淤泥质黏土的含水率较高,为54.7%,为高液限黏土(CH);3-1'层淤泥质粉质黏土的含水率为35.9%,为低液限黏土(CL)。3-1层淤泥质黏土的黏粒含量($<0.005\text{ mm}$)为38.6%;3-1'层淤泥质粉质黏土的黏粒含量($<0.005\text{ mm}$)为22.2%。高黏粒含量是制定3-1层淤泥质黏土地基处理方案的重要考量因素。

2.3 深淤地基的固结渗透特性

深淤地基土层的固结渗透试验结果如表2所示。

从表2可知,3-1层和3-1'层淤泥质黏土地基的垂直渗透系数分别为 $0.59\times 10^{-6}\text{ cm/s}$ 、 $11.2\times 10^{-6}\text{ cm/s}$,虽然淤泥质黏土地基的黏粒含量很高,但现场勘察过程中发现淤泥质黏土试样的竖向层理中普遍存在粉土微薄层,这使得本工程中淤泥质黏土试样的渗透系数高于一般软土地基。同时3-1层和3-1'层地基的水平渗透系数显著大于其垂直渗透系数,约为100倍以上,这也与地基中的粉土(砂土)微薄层结构密切相关。

以上测试结果基本反映了地基的排水固结特性。地基不做处理时,固结排水以竖向为主,进行

表1 南堤位置深淤地基的物理力学指标

土层编号	含水率 $W/\%$	湿密度 $\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	干密度 $\rho_d/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	液限 $W_L/\%$	塑限 $W_p/\%$	塑性指数 $I_p/\%$
A	36.5	1.86	1.36	41.9	22.1	19.8
1-2	37.1	1.86	1.36	71.2	28.9	42.3
3-1	54.7	1.69	1.10	50.0	25.3	24.7
3-1'	35.9	1.79	1.32	39.7	20.1	19.6

表2 深淤地基的固结渗透特性参数统计

土层	渗透系数(垂直) ($\times 10^{-6}\text{ cm/s}$)	渗透系数(水平) ($\times 10^{-6}\text{ cm/s}$)	室内试验 C_v ($\times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{s}$) (100~200 kPa)	
			范围	平均值
A	26.10	/	(3.72~4.54)	4.13
1-2	0.03	/	(1.96~2.22)	2.09
3-1	0.59	207.9	(1.52~3.76)	2.64
3-1'	11.20	296.9	(3.27~3.42)	3.34

固结计算时,可采用室内试验结果的 c_v 值。地基进行竖向排水体处理时,固结排水以水平向为主,可考虑粉土(砂土)微薄层对固结排水的促进作用。

2.4 深淤地基筑堤过程中的强度变化

图5~7分别为南堤87+250断面、87+450断面、87+650断面堤身下方地基的十字板强度测试结果,其中6#~11#试验孔为一期工程(2001年)南堤建设前地基的十字板强度。从图中可知,由于堤防堆载的附加应力作用(单向固结时间约为20 a),地基不同深度的十字板强度大幅提高。

3 结 论

为深入研究入海水道深淤段软土地基的工程特性,在南堤软土段布置3个典型断面,对控制堤防稳定和变形的关键土层,综合采用钻孔取土、原位

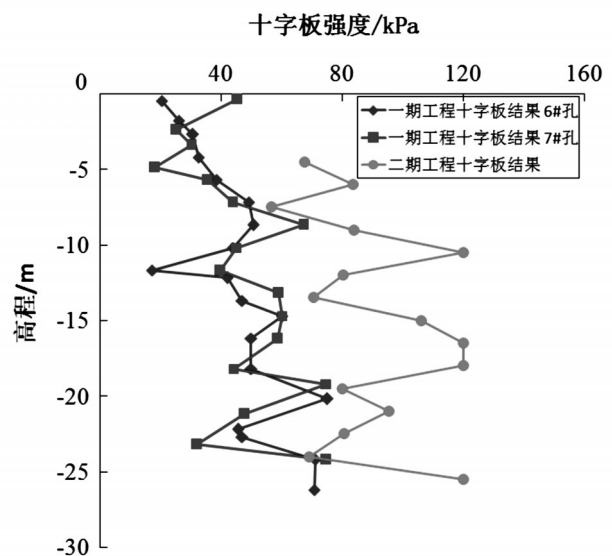


图5 K87+250断面堤顶位置十字板剪切强度试验结果

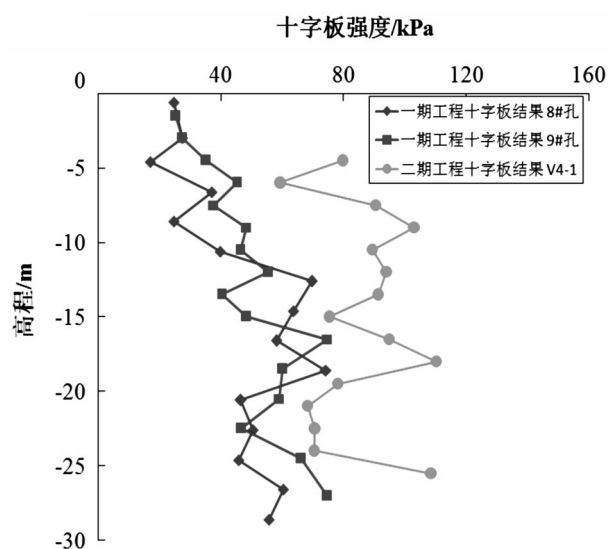


图6 K87+450断面堤顶位置十字板剪切强度试验结果

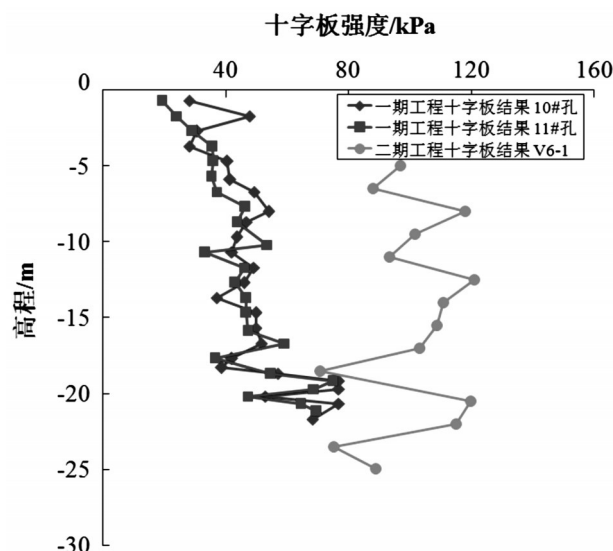


图7 K87+650断面堤顶位置十字板剪切强度试验结果

测试和室内试验等手段获取软土地基的工程特性数据。原位测试重点开展十字板和双桥静力触探试验,现场取土采用敞口活塞薄壁取土器以取得低扰动试样,室内试验重点开展基本物理特性、固结渗透和强度试验等。综合本文研究工作,得到如下结论:

(1)深淤段地基是一种典型的河湖相淤泥质软土,其厚度大,压缩性高,含水率和黏粒含量高,淤泥地基沿深度方向普遍含有砂土和粉土夹层。

(2)深淤段淤泥质软土的灵敏度为3左右。由于取土,制样等环节会对淤泥质土产生不同程度的扰动,建议综合采用原位试验和低扰动的取土试样成果确定地基强度。

(3)一期工程堤防堆载后,南堤堤身下方淤泥地基强度提升明显,这对二期堤防扩建工程灌溉总渠侧的稳定是一个有利因素。

(4)针对深淤段淤泥地基的工程特性,二期工程深淤段堤防扩建工程应重点关注堤防、穿堤建筑物的工后变形和差异沉降等。

参考文献:

[1] 水利部水利水电规划设计总院. 堤防工程设计规范: GB 50286—2013[S]. 北京:中国计划出版社,2013.

[2] 张凌,高长胜,杨守华. 淮河入海水道阜宁软土段补充勘察及土质试验研究报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2001.

[3] 陈生水,张凌. 淮河入海水道软土地基筑堤关键技术研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2004.

[4] 张凌,朱群峰. 淮河入海水道筑堤过程中堤基软土强度检测报告[R]. 南京:南京水利科学研究院,2002.

[5] 徐光明,高长胜,张凌,等. 淮河入海水道阜宁软土段堤防稳定性离心机模型试验研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2003.

[6] 张凌,李东兵,李国英,等. 淮河入海水道阜宁软土段堤基沉降分析[R]. 南京:南京水利科学研究院,2002.

[7] 建设综合勘察设计院. 岩土工程勘察规范: GB 50021—2001[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.

[8] 水利部水利水电规划设计总院,南京水利科学研究院. 土工试验方法标准: GB/T 50123—2019[S]. 北京:中国计划出版社,2019.

[9] 占鑫杰,杨守华. 淮河入海水道二期南堤深淤土段筑堤关键技术研究[R]. 南京:南京水利科学研究院,2022.

[10] 江苏省工程勘测研究院有限责任公司. 淮河入海水道二期河道工程地质勘察报告[R]. 扬州:江苏省工程勘测研究院有限责任公司,2013.

[11] 《工程地质手册》编委会. 工程地质手册[M]. 4版. 北京:中国建筑工业出版社,2007.