

桩基施工对防汛墙的影响分析与控制限值研究

张郁琢

(上海市堤防泵闸建设运行中心, 上海市 200080)

摘要: 黄浦江防汛墙作为上海市防洪体系的组成部分,是保障城市安全与人民生命财产安全的重要屏障,具有长远的战略意义。近年来,在堤防管理及保护范围以外实施的施工项目日益增多,桩基施工对邻近防汛墙结构安全造成的潜在风险逐渐显现,为实现针对该类工程潜藏安全隐患的事前防控,选定有限元法作为主要分析工具,结合回归分析等统计方法,开展挤土桩基施工对防汛墙变形特性的影响规律研究。研究发现断面型式、施打桩基的间距变化对防汛墙的影响有限,施打桩基的桩长、桩径及桩墙距离是影响防汛墙变形的主控因素,在此基础上根据黄浦江上、中、下游不同条件,提出了以桩长、桩径为查询条件,以不同防汛墙距离为查询结果的限值表。

关键词: 挤土桩施工;黄浦江防汛墙;有限元分析;HSS模型;安全限值

中图分类号: TV5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)03-0253-05

Analysis on Impact of Pile Foundation Construction on Flood Control Walls and Research on Control Limits

ZHANG Yuzhuo

(Shanghai Dyke Pumping Station and Sluice Construction and Operation Centre, Shanghai 200080, China)

Abstract: The flood control wall of Huangpu River, as a component of flood control system in China, is an important barrier for safeguarding the urban safety and the lives and property of the people, and has the long-term strategic significance. In recent years, the number of construction projects carried out outside the management and protection scope of embankments is increasing day by day. The potential risks posed by pile foundation construction to the structural safety of the adjacent flood control wall are gradually emerging. To achieve pre-emptive prevention and control of potential safety hazards in such projects, the finite element method is selected as the primary analytical tool to study the impact of displacement pile foundation construction on the deformation characteristics of flood control wall by combining the statistical methods such as regression analysis. It is found that the cross-sectional type and spacing variations of driven piles have limited effects on flood control walls, while the pile length, pile diameter and pile wall distance are the primary factors influencing the deformation of flood control walls. Based on this and according to the different conditions along the upper, middle and lower reaches of the Huangpu River, a limit table is proposed with pile length and pile diameter as the query conditions, and with different distances of flood control walls as the query results.

Keywords: construction of displacement pit; flood control wall of Huangpu River; finite element analysis; HSS model; safety limit

0 引言

上海市黄浦江两岸堤防全长约507km,涉及松江、奉贤、浦东新区、闵行、徐汇、黄浦、虹口、杨浦、宝山9个区,是守护上海城市安全的重要屏障,确保堤防设施安全稳定运行具有重大意义。随着黄浦江两岸开发开放,多项惠民利民的项目相继启动,在堤防管理及保护范围内的施工项目越来越多。桩基础

是工程建设中应用最为广泛的建筑基础之一,桩基施工过程中不可避免的对周围土体造成扰动,给邻近防汛墙造成影响,对邻近防汛墙的安全构成潜在威胁^[1]。

为约束桩基施工活动,有效预控防汛墙安全风险,本文针对上海软土特性,综合运用理论分析和数值模拟方法,评估在防汛墙墙后施打桩基对防汛墙稳定性造成的影响,通过控制防汛墙结构型式、桩长、桩径、桩间距、桩与墙的距离等变量,逐一确认其是否为影响其安全运行的关键因素,并针对关键因素给出保证防汛墙安全运行前提下,墙后施打桩基

收稿日期: 2025-10-14

作者简介: 张郁琢(1995—),女,硕士,工程师,从事堤防建设管理工作。

可控的限值,为设施管理提供理论依据。

1 研究方法

目前,成桩工艺不断发展提高,根据桩的不同目的,桩存在多种分类。桩的分类依据方式大致为桩身材料、桩身形状、成桩方法对土层的影响、桩的作用功能、桩承受荷载类型和荷载传递机理、成桩的方法和工艺、桩长度等,分类依据种类繁多^[2];不同类型工程对采用的桩基均有不同的使用功能和要求,不同种类的桩和桩基均具有独特的特殊性。根据桩的不同功能和分类,挤土预制桩基施工对地层变形影响较明显,对地层变形扰动较大,因此,选取挤土预制方桩施工为防汛墙的安全影响具有典型代表性^[3]。

1.1 研究方法及模型选取

当前研究中常用的方法包括现场实测、室内试验、理论分析以及有限元数值模拟等^[4]。现场实测与室内试验虽然能够提供直接的数据支持,但其结论往往受限于具体试验条件,且实施成本较高。理论分析方法通常假设土体为均匀介质,忽略了实际土体的成层特性、强度及弹性模量随深度的变化,同时也未充分考虑桩土间的摩擦效应以及地基初始应力场的影响,导致分析结果与工程实际之间存在显著差异。相比之下,有限元数值模拟方法能够更全面地考虑土层的分层特性、材料性质的非均匀性、桩基施工过程以及周边建筑物对地基的影响等多种复杂因素,因而在研究中具有较好的适用性与准确性^[5]。

为准确模拟复杂施工工况下的岩土体响应,本研究运用了国际主流有限元分析软件 PLAXIS^[6-7]。该方法的优势在于其卓越的数值计算精度和对不规则几何形状的适应性。研究中针对不同土层,采用了能反映其内在力学机制的本构模型,特别采用了在基坑开挖分析中适用性良好的 HSS 模型^[8-10]。

黄浦江分布范围广,选取统一的地质条件作为分析的依据来规避不同地质条件的影响是不现实也是不合理的^[11],但如果按照防汛墙设计工程进行逐段分析也不现实,故将黄浦江分为上游、中游、下游三段,并通过分析多个典型岸段的结果,得出防汛墙后桩基施工的安全限值。

1.2 数据分析方法

为量化桩基施工对防汛墙产生的影响,得出满足防汛墙正常运行的安全限值,需在总结桩基施工对防汛墙总位移、垂直及水平位移的影响规律基础

上,采用回归分析法对研究数据进行统计处理。回归分析法是一种数理统计方法^[12],通过建立回归方程确定自变量与因变量的关系。在建立回归方程时,采用最小二乘法求解最优方程,在给定边界条件下,计算限值得出结论。

1.3 边界条件

根据现行管理办法,防汛墙保护范围内禁止打桩^[13],因此聚焦保护范围外桩基施工影响,将临近防汛墙研究范围定义为防汛墙墙后 6 m 范围以外。根据上海市地质条件特点及行业相关规范,本研究以防汛墙墙前桩基泥面处 10 mm 的水平位移与墙顶 50 mm 的垂直位移作为控制标准^[14],若计算出的位移值超出此限值,则认为桩基施工已对防汛墙安全构成显著影响。其中水平位移指防汛墙临水侧墙前泥面处水平位移,垂直位移指堤防堤顶位置垂直位移。

2 桩基施工对防汛墙安全影响因素分析

对防汛墙安全影响分析的研究内容,是基于变形控制系统分析挤土桩沉桩对防汛墙安全的影响。研究通过构建模型,重点剖析了五个关键参量:防汛墙的结构型式(因素①),以及在墙后施打桩基的长度(因素②)、直径(因素③)、布桩间距(因素④)和桩-墙距离(因素⑤)。研究每种因素影响时,采用控制变量,其他因素及边界条件保持不变。

2.1 防汛墙结构型式的影响

为研究桩基施工对不同结构防汛墙的安全影响,兼顾适用性和实用性,本次研究以距离防汛墙 6 m 位置施打桩径为 400 mm 方桩的计算成果为例,建立堤式、L 型挡墙式、重力式等三种较为常见的挡墙结构模型,模型见图 1。

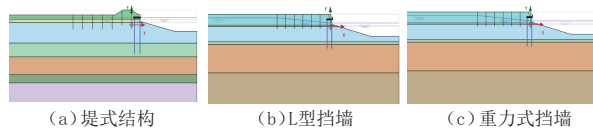


图1 不同防汛墙结构型式有限元模型

图2中(a)为堤式结构,该类型防汛墙在黄浦江上游范围较多,(b)为L型挡墙结构,该类型是当前黄浦江、苏州河普遍采用的结构,(c)为重力式挡土墙结构,常见于建设年代较久的岸段^[15]。桩基施工作用下,不同防汛墙结构型式位移数据见图2。

结合云图分析可以得出以下结论:

(1)桩基施工对不同型式防汛墙的总变形、水平变形、垂直变形影响规律基本一致,仅在靠近防汛墙时存在差异。

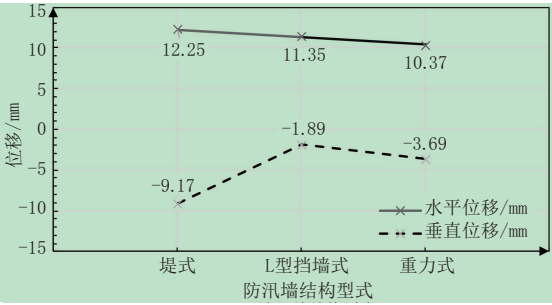


图2 相同桩基施工作用下,不同结构型式防汛墙位移图

(2)总变形高值区集中于桩侧及邻近地表,水平位移高值区分布于桩身中段,而地表竖向位移则以沉桩点为中心,三者均呈现由核心区向周边扩散并逐渐减弱的分布模式。

(3)桩基施工对L型挡墙和重力式挡墙变形影响基本一致,对堤式结构的垂直位移影响较大,即同样条件下桩基施工要重点关注堤式结构岸段的垂直位移变化情况,桩基施工情况较复杂的情况下应尽量避免采用堤式结构断面防汛墙。

2.2 不同桩基长度的影响

为分析桩基桩长的不同对防汛墙的影响,以距离防汛墙 11 m 位置施打桩径为 400 mm 方桩的计算成果为例,建立桩长为 6、9、12、15 m 的有限元模型,具体模型见图 3。

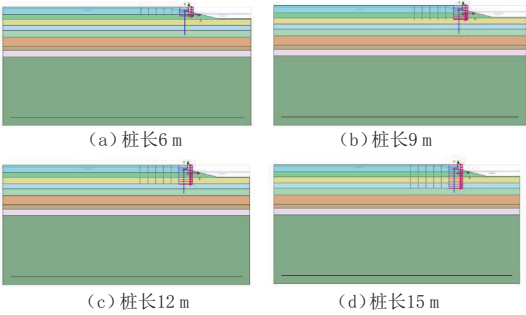


图3 不同长度桩基有限元模型

不同长度桩基施工作用下,防汛墙位移数据见图 4。

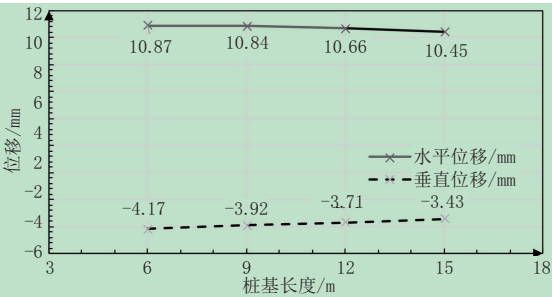


图4 不同长度桩基施工作用下防汛墙位移分析图

结合云图分析可得出以下结论:

(1)桩基施工造成的土体总位移、水平位移、垂

直位移的最大影响范围集中在打桩位置附近,并且逐渐向四周扩散减小。水平变形主要表现为打桩方向中间位置水平位移最大,向周边扩散减小;垂直位移主要表现为靠近打桩位置地表处垂直位移最大,向四周扩散减小。

(2)防汛墙临水侧墙前泥面处水平位移较大,但与施打方桩的桩长相关性较小;不同桩长造成的墙顶垂直位移的变化幅度不大,堤顶垂直位移与桩长的相关性较低,即打桩的桩长不是防汛墙垂直位移的主要影响因素。

2.3 不同桩基直径的影响

为分析施打桩基为不同直径方桩时对防汛墙的影响,以距离堤顶 16 m、施打 6 m 长的方桩为例,建立桩径分为 200、300、400、500 mm 的有限元模型,具体模型见图 5。

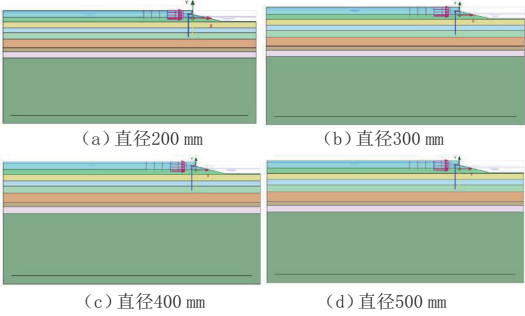


图5 桩基直径不同的有限元模型

不同桩径桩基施工作用下,防汛墙位移数据见图 6。

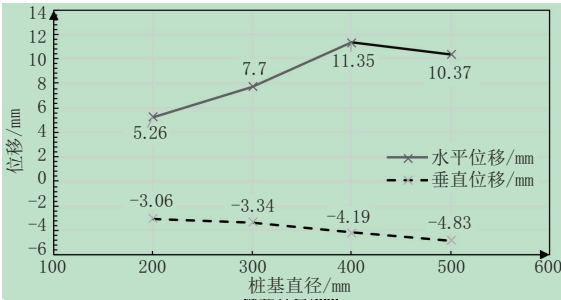


图6 不同桩径桩基作用下防汛墙位移分析图

结合云图分析可得出以下结论:

(1)随着打桩桩径的增大,堤防变形也随之增大,其中水平位移的变幅更为明显。

(2)打入预制桩对土体造成的横向挤压是造成防汛墙水平变形的主要原因,在堤防后方打入大直径预制桩时应该更为注意对防汛墙结构安全的影响。

2.4 不同桩基间距的影响

为分析桩基施打间距不同对防汛墙的影响,本

次研究采用Plaxis 3 D V20软件,以距离防汛墙10 m处施打桩径为400 mm、桩长为6 m的方桩为例,以4倍、5倍和6倍桩径为间距建立模型,见图7。

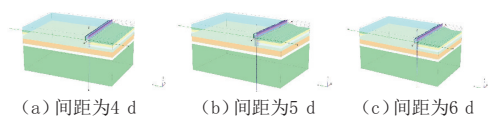


图7 施打不同间距方桩的有限元模型

不同间距桩基施工作用下,防汛墙位移数据见图8。

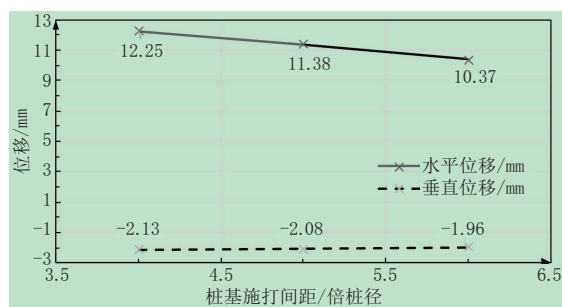


图8 不同间距桩基施工作用下防汛墙位移数据

结合云图分析可得出以下结论:

(1)总变形、水平变形、垂直位移主要表现为靠近打桩位置的两侧影响最大。桩间距越大,防汛墙墙前泥面水平位移越小,但变化不明显。

(2)桩基间距对防汛墙垂直、水平位移的影响有限,可不作为影响防汛墙安全的主要考虑因素。

2.5 与防汛墙距离不同的影响

为分析桩基施打位置距堤顶不同距离对防汛墙的影响,以桩径为400 mm、长度为15 m的方桩为例,按打桩位置距离堤顶6、11、16、21、26、31 m建立有限元模型,具体模型见图9。

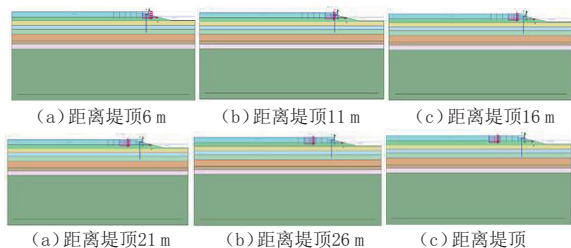


图9 不同桩墙距离的有限元模型

不同桩墙距离条件下,防汛墙位移数据见图10。

分析云图可得出以下结论:

(1)桩长相同时,施打位置距离防汛墙越远,防汛墙水平及垂直位移越小。其中,水平位移受施打距离影响较大,垂直位移受施打距离影响相对较小。

(2)水平位移还与施打桩基的长度有密切关系,且桩长越短,水平变形的变化与距离的关系越敏感。

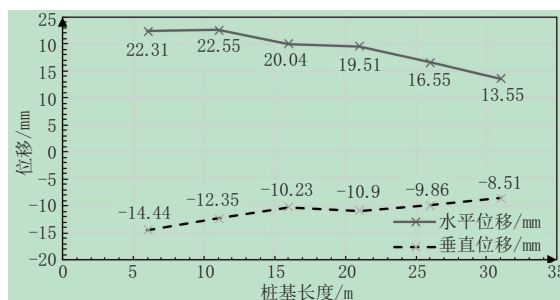


图10 不同桩墙距离条件下,防汛墙位移分析图

以施打6 m和15 m的方桩分别为例,施打位置由墙后21 m移至墙后6 m时,6 m和15 m方桩引起的水平位移变化量分别为60%和84%。

3 桩基施工对防汛墙安全影响限值研究

通过对防汛墙安全影响因素分析可知,不同防汛墙断面型式、不同桩基间距、不同桩长对防汛墙的影响较为一致,上述因素变化产生的影响变化不大,因此不是本次研究的主控因素。桩径及桩墙距离对防汛墙的影响呈现规律性变化,且改变上述两个因素计算出的位移值可能超出限值,对防汛墙安全可能构成显著影响。因此,本研究将上述两个因素作为主控因素。

鉴于采用统一地质条件进行分析或进行逐段详细分析均不现实,故本文采取一种折中方案,将黄浦江划分为上游、中游、下游三个区段作为研究基础。本次研究中HS-Small模型主要参数的取值选取适用于上海软土地基^[16](见表1),并结合黄浦江堤防专项维修工程地质勘察报告确定地质参数。

根据不同桩长、不同距离引起的防汛墙水平位移数据,使用多项式回归分析法确定拟合公式,计算得出不同区位,以桩长、桩径为查询条件,防汛墙距离为查询结果的限值并制表,为堤防安全管理提供科学依据,见表2。

黄浦江上游指浦西西荷泾、浦东千步泾至三角渡范围,中游指徐浦大桥至浦西西荷泾、浦东千步泾范围,下游指徐浦大桥至吴淞口范围。黄浦江沿岸地质条件复杂,不同区域乃至同一岸段内的地层结构均存在差异,这正是导致桩基施工对上、中、下三段区间造成不同影响的主要原因。

6 结 语

本文系统考虑了防汛墙结构、桩长、桩径、桩间距及桩墙距离五个工程变量,分析了其引起防汛墙位移的规律,并确定桩长、桩径及桩墙距离三个因素

表 1 上海地区典型土层 HS-Small 模型主要参数取值方法

土层	$E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$E_{50}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$G_0^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$\gamma_{0.7}(\times 10^{-4})$	v_{ur}	m	$p^{\text{ref}}/\text{kPa}$	R_{f}
黏土	$0.9 E_{\text{s}1-2}$	$1.2 E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$	$6 E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$	$(2.5\sim 4.9) E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	1.5~9.0	0.2	0.8	100	0.9
淤泥质粉质黏土			$8 E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$						0.6
淤泥质粘土									0.6
粉质黏土			$6 E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$						0.9
黏土									0.9

注:表中 $E_{\text{s}1-2}$ 为压缩模量, $E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}$ 为固结试验的参考切线模量, E_{50}^{ref} 为三轴固结排水剪切试验的参考割线模量, $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ 为三轴固结排水载再加载试验的参考再加载模量, G_0^{ref} 为小应变刚度试验的参考初始剪切模量, $\gamma_{0.7}$ 为当割线剪切模量 G_{sec} 衰减为 0.7 倍的初始剪切模量 G_0 时对应的剪应变, v_{ur} 为载再加载泊松比, m 为与模量应力水平相关的幂指数, p^{ref} 为参考应力, R_{f} 为破坏比。

表 2 黄浦江以桩长、桩径为查询条件的限值表

离防汛墙距离/m		桩长/m									
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
桩径/mm	200	上游	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		中游	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		下游	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	250	上游	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		中游	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		下游	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	300	上游	6	6	6	6	6	6	6	6	6
		中游	10	10	10	10	10	10	10	10	10
		下游	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	350	上游	9	9	10	10	11	11	12	12	12
		中游	11	11	12	13	13	14	14	14	14
		下游	14	14	15	15	16	18	19	20	20
	400	上游	11	12	14	15	15	16	17	17	18
		中游	12	13	14	15	16	17	18	18	19
		下游	18	18	19	20	23	25	28	29	30
	450	上游	14	15	16	17	18	19	19	20	21
		中游	14	15	17	18	19	20	21	21	22
		下游	21	23	25	27	30	32	34	36	37
	500	上游	17	18	19	20	21	21	22	23	23
		中游	17	18	19	20	21	22	23	24	24
		下游	25	28	31	34	36	39	41	43	45

为主控因素。据此通过回归分析制成了以桩长、桩径为查询参数,桩墙距离为查询结果的限值表,可直接用于指导黄浦江防汛墙的实际工程防护与运维管理工作。但由于黄浦江岸线情况复杂,工程类型繁多,叠加施工过程中其他不可控因素,本文给出的限值结果可作为初步判断的依据,并在实践中进一步优化调整。在具体工程管理时,还需结合项目实际开展综合评估,必要时开展专项论证。

其中,表层地层类型是影响工程的关键因素。

参考文献:

[1] 周晓峰.深厚软土地区预制群桩施工挤土位移分析[J].工程技术研究,2024,9(13):43-45.
[2] 谢助兵.复杂地质条件下港口工程桩基施工技术[J].价值工程,2024,43(26):115-118.

[3] 姜正凌,徐进.预制桩施工挤土效应对周边环境的影响分析[J].城市道桥与防洪,2025(3):241-244.
[4] 任达,鹿群,贺爱强.静压桩挤土效应近期研究述评[J].山西建筑,2008(1):90-91.
[5] 付红梅,张岩岩.深基坑空间效应研究综述[J].土工基础,2019,33(4):465-470.
[6] 朱世贤.上海市外环西段交通功能提升工程对淀浦河护岸的影响研究[J].城市道桥与防洪,2025(9):276-280.
[7] 唐晓松,郑颖人,邹爱清,等.应用 PLAXIS 有限元程序进行渗流作用下的边坡稳定性分析[J].长江科学院院报,2006(4):13-16.
[8] 林煌超,谢建斌,张水兵,等.HS 模型在高原湖相沉积土层深基坑的应用[J].低温建筑技术,2018,40(1):122-126.
[9] 顾晓强,吴瑞拓,梁发云,等.上海土体小应变硬化模型整套参数取值方法及工程验证[J].岩土力学,2021,42(3):833-845.
[10] 王卫东,王浩然,徐中华.上海地区基坑开挖数值分析中土体 HS-Small 模型参数的研究[J].岩土力学,2013,34(6):1766-1774.
[11] 葛新鹏,沈健,王惠生.紧邻防汛设施与历史建筑的基坑工程设

(下转第 263 页)