

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

朱世贤

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 上海市外环西段交通功能提升工程在淀浦河节点拟保留现状桥作为主线, 桥两侧则新建辅道高架桥。而新建桥梁承台临近现状淀浦河, 且工程段淀浦河直连黄浦江, 水位变化较大。为分析新建承台基坑施工对淀浦河护岸的影响, 首先根据设计方案, 选取2个最不利计算断面, 采用plaxis软件建立HSS小应变强化土有限元模型; 其次根据新建承台与现状护岸的位置关系及基坑方案, 通过选取不同计算水位组合及荷载, 利用所建立的模型分析比较了各计算工况下基坑施工引起的护岸位移情况。计算结果表明, 护岸位移总体可控, 但施工期需加强监测。据此提出了减轻施工影响的荷载控制要求及基坑施工方案。

关键词: 桥梁承台; 基坑; 护岸; plaxis; HSS模型

中图分类号: U656.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)09-0276-05

Study on Impact of Shanghai Outer Ring West Section Traffic Function Upgrading Project on Revetment of Dianpu River

ZHU Shixian

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: In the Shanghai Outer Ring West Section Traffic Function Upgrading Project, the existing bridge is proposed to retain as the main line at the node of Dianpu River, and the auxiliary elevated bridges will be built on both sides of the bridge. The newly built base slabs of the bridge is close to the current Dianpu River, and the engineering section of Dianpu River is directly connected to Huangpu River where the water level fluctuates significantly. To analyze the impact of the construction of the new base slab excavation on the revetment of Dianpu River, firstly, based on the design scheme, two most unfavorable calculation sections are selected, and the plasix software is used to establish a finite element model of HSS small strain reinforced soil. Secondly, based on the position relationship between the newly built base slab and the existing revetment, as well as the excavation scheme, the different combinations of calculated water levels and loads are selected, and the established model is used to analyze and compare the displacement of the revetment caused by excavation construction under various calculation conditions. The calculation results indicate that the displacement of the revetment is generally controllable, but monitoring needs to be strengthened during the construction period. Based on this, the load control requirements and the excavation construction schemes are proposed to reduce the impact of construction.

Keywords: base slab of bridge; foundation pit; revetment; plaxis; HSS model

0 引言

上海市外环西段北起桃浦路, 南至莘朱路, 全长约18.1 km, 仅少数路段设有辅道, 与周边市政道路及地块的连通性较差。随着外环西段两侧土地的高强度开发, 现状建设形式亟待改变, 其中淀浦河节点拟保留现状桥作为主线, 桥两侧则新建辅道高架桥。

新建桥梁承台距离淀浦河护岸较近, 基坑施工过程中的桥梁桩基施工、基坑支护实施、基坑开挖等工序, 对邻近的淀浦河护岸有一定影响。

为分析基坑施工对淀浦河现状护岸的影响, 本文利用plaxis软件建立了HSS小应变强化土有限元模型。该模型目前被广泛应用于基坑开挖数值模拟分析^[1-4], 与HS强化土模型相比, 它可以更好地考虑土体的小应变刚度特性。模型建立后, 根据新建承台与现状护岸的位置关系及基坑方案, 通过选取不同计算水位组合及荷载, 分析比较了各计算工况下

收稿日期: 2024-01-31

作者简介: 朱世贤(1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事水利水电工程设计工作。

基坑施工引起的护岸位移情况,并据此提出了基坑施工的水位、荷载控制要求及减轻影响的措施,用于指导项目施工。

1 工程概况

现状外环主线淀浦河桥分为东、西 2 幅独立桥梁,以 22 m+30 m+22 m 3 跨过河。现状淀浦河河口宽度为 63 m。新建辅道高架桥在淀浦河节点分东、西 2 幅桥,布置在保留的主线老桥两侧,以 80 m 1 跨跨越淀浦河。

外环淀浦河桥总体方案效果图见图 1。



图 1 外环淀浦河桥总体方案效果图

工程段淀浦河位于淀东闸外约 2 km,与黄浦江直接连通,设计高水位 5.30 m,设计低水位 1.00 m,护岸顶标高 5.80 m。新建辅道高架桥承台临近河道,涉及 A、B2 种现状护岸型式(见图 2、图 3)。这 2 种护岸型式均为前板后方的桩基承台结构。

新建辅道高架桥承台与现状淀浦河护岸相对位置关系见表 1。

表 1 新建辅道高架桥承台与现状淀浦河护岸相对位置关系			
承台	位置	护岸	相对关系
FD1-05	主线东侧北岸	A 型	与二级护岸挡墙冲突 与一级护岸底板距离不小于 2.1 m
FD1-06	主线东侧南岸	B 型	与护岸底板距离不小于 1.6 m
FD2-05	主线西侧北岸	B 型	与护岸底板距离不小于 1.9 m
FD2-06	主线西侧南岸	B 型	与护岸底板距离不小于 1.35 m

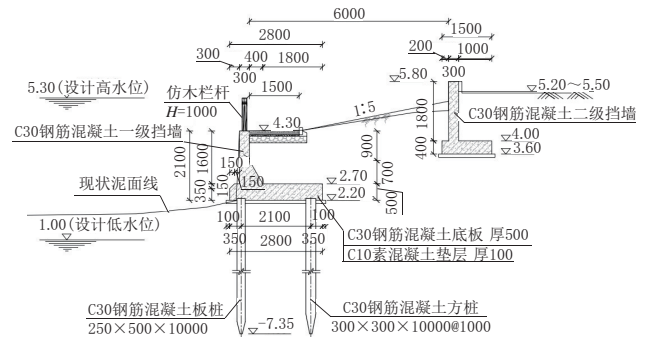


图 2 淀浦河 A 型护岸(单位:尺寸 mm,高程 m)

2 基坑设计

2.1 基坑标准

基坑支护结构使用年限为 1 a;基坑安全等级为

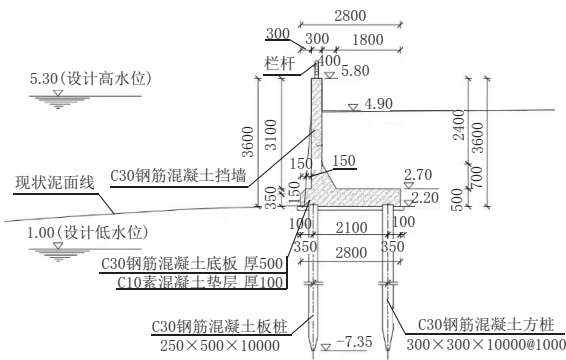


图 3 淀浦河 B 型护岸(单位:尺寸 mm,高程 m)

三级(基坑挖深 $h < 7\text{ m}$);基坑环境保护等级为二级。

2.2 基坑深度

FD1-05:按承台相对于 A 型一、二级护岸间放坡段和二级护岸后方地坪埋深均不小于 50 cm 控制,基坑深度取 3.8 m;为控制影响,拟降低周边地坪 0.7 m,使基坑深度为 3.1 m。

FD1-06、FD2-05、FD2-06:按承台相对于护岸后方地坪埋深不小于 50 cm 计,基坑深度取 3.1 m。

2.3 基坑围护型式

本次基坑围护拟采用 IV 型拉森钢板桩,桩长 9 m。由于基坑距现状护岸较近,为了确保护岸安全稳定,选用整体性好、刚度大、受力好、对控制位移有较大作用的内支撑体系:钢围檩和支撑均采用 400 mm×400 mm×13 mm 的 21H 型钢。平面布置采用斜撑,竖向设 1 道,阴角位置设置钢板角撑。

2.4 简要施工步骤

- (1)整平场地,清除障碍物。
- (2)施工桥梁桩基。
- (3)施工基坑围护结构。
- (4)基坑开挖至支撑中心线以下 0.5 m,设撑。
- (5)土方分层开挖到坑底,铺设素混凝土垫层并浇筑承台结构,待混凝土强度达到设计要求后分层回填压实土至支撑下,拆除支撑。
- (6)土方分层回填压实至原设计标高,完成桥梁下部结构施工,拆除支撑与围护结构。

3 建模分析

3.1 计算断面

取距现状护岸最近的承台 FD2-06 处为最不利断面 1;基坑深度最大的承台 FD1-05 处为最不利断面 2,其具体数据见表 2。计算断面 1、2 处基坑与护岸位置关系示意图见图 4、图 5。

表2 计算断面数据

计算断面	承台	承台护岸关系及基坑深度
1	FD2-06	距护岸底板后边线不小于1.35 m,基坑深度3.1 m
2	FD1-05	距护岸底板后边线不小于2.1 m,基坑深度3.8 m

注:计算断面2按周边地坪降低0.7 m、基坑深度3.1 m建模。

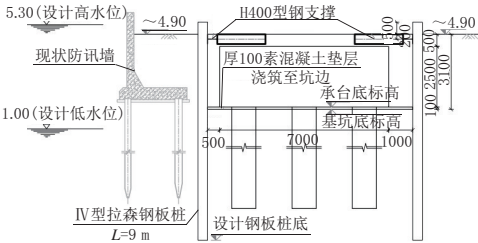


图4 计算断面1处基坑与护岸位置关系示意图
(单位:尺寸mm,高程m)

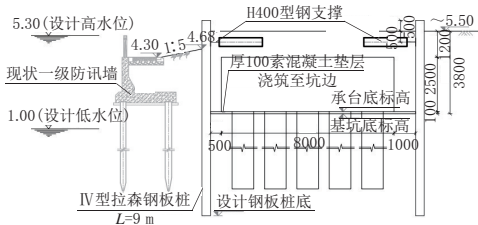


图5 计算断面2处基坑与护岸位置关系示意图
(单位:尺寸mm,高程m)

3.2 模型建立

3.2.1 模型概述

本次基坑开挖对护岸的影响分析采用15节点平面应变分析模型。模型主要包含土体、围护体系、支撑体系、护岸结构等,水平方向为X向,竖直方向为Y方向;水平方向按照实际基坑尺寸建模,模型两侧考虑一定的开挖影响范围,水平方向总长取150 m;竖直方向综合考虑桥梁工程桩和围护结构的设计长度,取地表以下60 m;模型左右两侧进行X向约束,下侧进行Y向约束。采用梁单元模拟围护体系、支撑体系和主体结构。

3.2.2 本构模型参数

本构模型采用小应变强化土HSS模型,土体为弹塑性;围护体系和主体结构采用线弹性模型。

HSS模型常见的参数如下: γ_{unsat} 为土体天然重度, kN/m^3 ; γ_{sat} 为土体饱和重度, kN/m^3 ; C'_{ref} 为有效黏聚力, kPa ; φ' 为有效内摩擦角, $^\circ$; Ψ 为剪胀角, $^\circ$; E_{s1-2} 为压缩模量(压力区间100~200 kPa), MPa ; E_{ref}^{ref} 为固结试验的参考切线模量, kPa ; E_{50}^{ref} 为三轴固结排水剪切试验的参考割线模量, kPa ; E_{ur}^{ref} 为三轴固结排水卸载再加载试验的参考卸载再加载模量, kPa ; v_{ur} 为泊松比; G_0 为小应变刚度试验的参考初始剪切

模量, MPa ; $\gamma_{0.7}$ 为当割线剪切模量衰减为0.7倍的初始剪切模量时对应的剪应变。

土体基本物理力学性质见表3、HSS模型土体参数见表4、HSS模型结构参数见表5。

表3 土体基本物理力学性质

土层	$\gamma_{unsat} / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$\gamma_{sat} / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	C'_{ref} / kPa	$\varphi' / (^\circ)$	$\Psi / (^\circ)$	E_{s1-2} / MPa
① ₁	18.0	18.5	5.0	25.0	0	4.8
① ₂	18.0	18.5	10.0	10.0	0	3.0
③	17.5	17.9	11.3	15.2	0	3.1
④	16.9	17.4	11.0	11.9	0	2.4
⑤ ₁₁	18.2	18.4	15.3	16.0	0	3.7
⑤ ₂	18.8	19.2	5.5	30.3	0.3	9.9
⑥ ₁	19.6	20.2	46.4	16.0	0	7.3
⑦ ₁₁	19.1	19.7	4.4	31.5	1.5	11.3
⑦ ₁₂	19.4	20.1	3.0	32.9	2.9	12.8
⑦ ₂	19.6	20.3	2.5	33.6	3.6	14.8

表4 HSS模型土体参数

土层	刚度/ kPa			v_{ur}	小应变	
	E_{ref}^{ref}	E_{50}^{ref}	E_{ur}^{ref}		$\gamma_{0.7}$	G_0 / MPa
① ₁	4 320	5 184	30 240	0.2	2×10^{-4}	120.96
① ₂	2 700	3 240	18 900	0.2	2×10^{-4}	75.60
②	2 790	3 348	19 530	0.2	2×10^{-4}	78.12
③	2 160	2 592	15 120	0.2	2×10^{-4}	60.48
④ ₁₁	3 330	3 996	23 310	0.2	2×10^{-4}	93.24
⑤ ₂	8 910	10 692	62 370	0.2	2×10^{-4}	249.48
⑤ ₁	6 570	7 884	45 990	0.2	2×10^{-4}	183.96
⑥ ₁₁	11 300	11 300	45 200	0.2	2×10^{-4}	226.00
⑦ ₁₂	12 800	12 800	51 200	0.2	2×10^{-4}	256.00
⑧ ₂	14 800	14 800	59 200	0.2	2×10^{-4}	296.00

表5 HSS模型结构参数

项目	材料	弹性模量 E / kPa	截面尺寸/ mm	泊松比
拉森钢板桩	Q295bz	2.1×10^8	PU400×170	0.3
支撑杆件	Q345	2.1×10^8	H400型钢	0.3
桥梁工程桩	C30	3.0×10^7		0.2
护岸结构	C30	3.0×10^7		0.2
护岸桩基	C30	3.0×10^7		0.2

3.2.3 计算条件假定

计算水位组合:上海市地下水埋深一般为0.5~1.5 m,地勘报告建议高水位时地下水埋深取0.5 m,低水位时地下水埋深取1.5 m;考虑外河水位和护岸后方地下水位不同频变化,本次计算水位组合取表6所示的4种工况。

地面超载:基坑周边5 m以内不大于5 kPa;5 m以外不大于20 kPa。

3.2.4 模拟工况

本次有限元计算对施工步骤模拟如下:

表 6 计算水位组合

水位组合	外河水位/m	墙后地下水位/m
组合 1	设计高水位 5.3	埋深 0.5
组合 2	设计低水位 1.0	埋深 1.5
组合 3	设计高水位 5.3	埋深 1.5
组合 4	设计低水位 1.0	埋深 0.5

- 步骤 0:初始地应力场计算。
- 步骤 1:护岸施工及河道开挖,模拟施工前现状,位移归零。
- 步骤 2:激活桥梁桩基。
- 步骤 3:激活基坑围护。
- 步骤 5:冻结剩余土层至坑底。

3.2.5 计算模型

计算断面 1、2 的有限元模型见图 6、图 7。

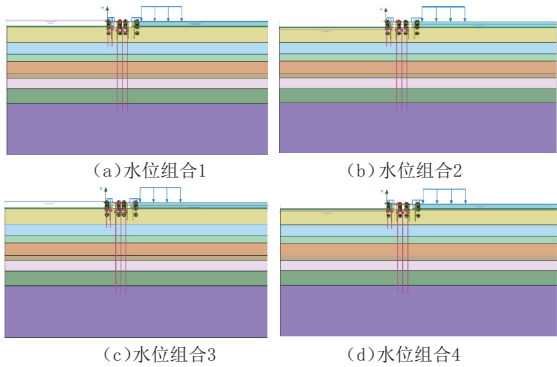


图 6 计算断面 1 有限元模型

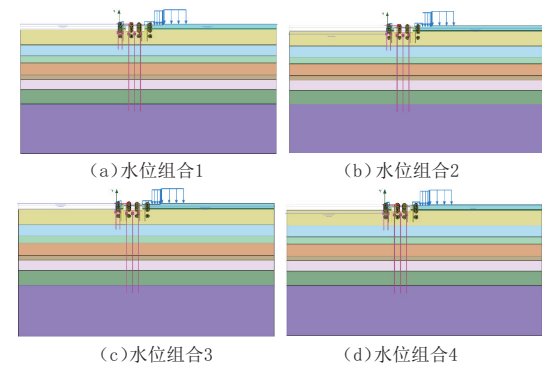


图 7 计算断面 2 有限元模型

3.3 结果分析

计算断面 1、2 的有限元计算位移云图见图 8、图 9。

经计算,各组合水位下基坑施工引起护岸位移的有限元计算结果见表 7。规定:水平位移向河道方向为负,反之为正;竖直位移向下沉降为负,反之为正。

由表 7 可知,计算断面 1 在水位组合 4 工况下基坑施工引起的护岸位移最大,最大水平位移为向河道方向 7.81 mm;最大竖向位移为沉降 1.28 mm,但均满足不超过 10 mm 的位移控制要求。

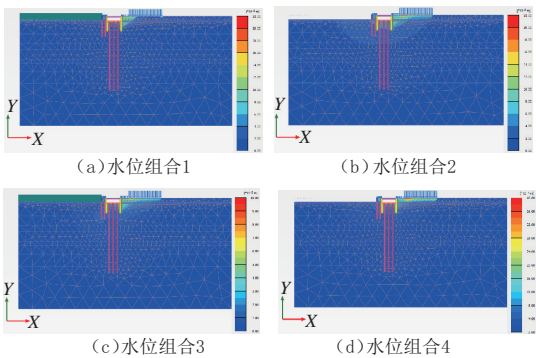


图 8 计算断面 1 有限元计算位移云图(单位:m)

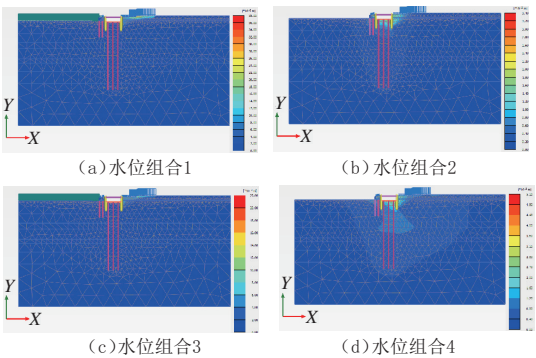


图 9 计算断面 2 有限元计算位移云图(单位:m)

表 7 护岸位移有限元计算结果

计算断面	水位组合	水平位移 U_x /mm	竖直位移 U_y /mm
1	组合 1	-2.33	-0.80
	组合 2	-5.94	-1.07
	组合 3	-0.86	-0.80
	组合 4	-7.81	-1.28
2	组合 1	0.50	-0.20
	组合 2	0.40	0.27
	组合 3	0.19	-0.16
	组合 4	-1.35	0.57

相同水位组合下,计算断面 1 比计算断面 2 护岸位移大,说明计算断面 1 相对为更不利断面,施工期需引起注意;相同计算断面中,水位组合 4 工况下引起的护岸位移最大,说明外河低水位+墙后高水位的水位组合最不利,施工期遇到外河水位骤降的情况,需同步降低墙后地坪的地下水位以确保安全。

另外,为分析荷载和地坪标高对护岸位移的影响,提出如下 2 种假设。

(1)假设 1:取计算断面 1,水位组合 4,将基坑周边荷载由 5 m 以内不大于 5 kPa,5 m 以外不大于 20 kPa 的计算假定统一调整为不大于 20 kPa,以分析施工荷载控制对护岸位移的影响。

(2)假设 2:取计算断面 2,水位组合 4,将基坑两侧及后方降低 0.7 m 地坪再施工的计算假定调整为按原地坪标高施工基坑,以分析降低地坪标高和基坑深度对护岸位移的影响。

荷载及地坪影响有限元计算位移云图见图10。

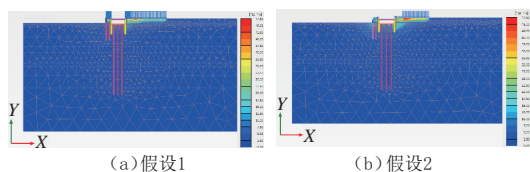


图10 荷载及地坪影响有限元计算位移云图(单位:m)

经计算,假设1下,护岸最大水平位移为向河道方向 $9.11\text{ mm}>7.81\text{ mm}$,最大竖向位移为沉降 $3.1\text{ mm}>1.28\text{ mm}$,说明对基坑周边进行荷载控制可以明显减小护岸位移;假设2下,护岸最大水平位移为 $3.25\text{ mm}>1.35\text{ mm}$,最大竖向位移为沉降 $2.32\text{ mm}>0.57\text{ mm}$,说明对基坑周边地坪降低后再施工可以明显减小护岸位移。

4 结 语

(1)根据有限元计算结果,承台基坑施工引起的淀浦河护岸位移均不超过限值,总体影响较小;考虑到理论计算与实际施工的差别,施工期间需对护岸位移加强监测,确保承台施工对护岸的实际影响可控。

(2)外河低水位+墙后高水位的水位组合最不利,施工期遇到外河水位骤降的情况,需同步降低基坑周边的地下水位以确保安全。

(3)通过控制基坑周边荷载及地坪标高,可有效降低施工对护岸的影响,施工时应严格控制周边荷载。严禁在基坑周边 5 m 内进行堆载,基坑周边 5 m 内施工超载控制不大于 5 kPa , 5 m 以外施工超载控制不大于 20 kPa 。护岸一侧的基坑边严禁施工车辆行驶。

(4)FD1-05承台开挖深度 3.8 m ,在场地整平阶段进行放坡卸土,卸土深度为 0.7 m ,卸土平面范围为基坑周边 10 m (2.5 倍开挖深度),卸土后基坑深度为 3.1 m 。

(5)支撑、围檩以及钢板桩采用焊缝进行连接,以保证支体系的整体刚度。

(6)位于护岸一侧的钢板桩围护不拔除,其余三侧的钢板桩根据现场情况决定是否拔除。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 梁发云,贾亚杰,丁钰津,等.上海地区软土HSS模型参数的试验研究[J].岩土工程学报,2017,39(2):269-278.
- [4] 吴瑞拓,顾晓强,高广运,等.基于HSS模型的上海地铁深基坑开挖变形分析[J].建筑科学与工程学报,2021(6):64-70.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

官方网址:<http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:roadbridgeflood@163.com

