

新建咬合桩式防汛墙对既有地铁隧道影响分析

林劲松

[上海市水务局行政服务中心(上海市海洋局行政服务中心),上海市 200050]

摘要: 为深入研究黄浦江防汛墙改造对下方既有隧道的影响,以西藏南路隧道正上方黄浦江浦西世博园区段堤防专项维修工程为例,提出咬合桩防汛墙和上海市典型的“前板后方”防汛墙等两种改造方案分析比选,并采用 Plaxis 有限元软件模拟两种防汛墙施工方案对下方隧道影响,结合工程施工期监测成果对比分析,结果表明:咬合桩式防汛墙较上海市典型“前板后方”防汛墙可以有效降低对下方既有隧道影响,同时解决场地下方障碍物较深,预制桩无法施工问题;新建咬合桩式防汛墙桩基距离隧道顶 6.2 m、最大开挖深度 2.4 m 时,有限元模拟及实际监测成果表明防汛墙正下方隧道最大位移约 1 mm,远远小于隧道变形报警值 1 cm,对隧道影响较小;Plaxis 有限元模拟结果可在方案设计阶段为隧道上方防汛墙改造提供参考意义。

关键词: 西藏南路隧道;咬合桩式防汛墙;Plaxis 有限元软件;隧道变形监测

中图分类号: TV335

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0245-05

Analysis on Influence of Newly Constructed Secant Pile Flood Control Wall on Existing Metro Tunnels

LIN Jingsong

[Shanghai Municipal Water Resources Administration Service Center (Shanghai Municipal Oceanic Administration Service Center),
Shanghai 200050, China]

Abstract: To further study the impact of the reconstruction of the Huangpu River flood control wall on the underlying existing tunnels, taking the special maintenance project of the embankment in the Puxi Expo Park section of the Huangpu River, directly above the South Xizang Road Tunnel as an example, two reconstruction schemes such as the secant pile flood control wall and the typical “front slab, rear pile” flood control wall in Shanghai are proposed for analysis and comparison. The Plaxis finite element software is used to simulate the impact of the two flood control wall construction schemes on the underlying tunnel. Combined with a comparative analysis of monitoring results during the construction period, the findings indicate that the secant pile flood control wall can more effectively reduce the impact on the underlying existing tunnel, while solving the problem that the prefabricated piles cannot be constructed due to deep obstacles beneath the site compared to the typical “front slab, rear pile” flood control wall in Shanghai. When the pile foundation of the newly constructed secant pile flood wall is 6.2 m from the tunnel crown and the maximum excavation depth is 2.4 m, both finite element simulations and actual monitoring results show that the maximum displacement of the tunnel directly below the flood control wall is about 1 mm, which is significantly less than the tunnel deformation alarm threshold of 1 cm, indicating a minimal impact on the tunnel. The Plaxis finite element simulation results can provide valuable references for the reconstruction of flood control walls above tunnels during the scheme design phase.

Keywords: South Xizang Road Tunnel; secant pile flood control wall; Plaxis finite element software; tunnel deformation monitoring

0 引言

上海属于典型的平原感潮河网地区,平均地面高程低于吴淞口年最高潮位多年平均值,滨江临海

容易遭受风暴潮等自然灾害的侵袭。通过过去长期的规划建设,目前已建成海塘、黄浦江堤防和挡潮水闸组成的一线防洪工程^[1],但随着海平面的上升、地面沉降和防汛墙建成年代久远,目前黄浦江部分已建堤防已无法满足最新的防洪要求^[2],上海市通过堤防专项工程对其进行达标改造,工程不可避免遇到运营地铁隧道正上方防汛墙拆除重建的情况^[3]。

收稿日期: 2025-11-14

作者简介: 林劲松(1988—),男,本科,工程师,从事水利行政审批工作。

隧道正上方拆除重建防汛墙主要涉及到基坑开挖、桩基施打和土方回填,这些施工步骤必然导致土体变形,从而对下方运营地铁隧道产生不利影响,严重的会导致隧道位移过大,管壁破裂,人民的财产生命受到威胁^[4-5]。因此,开展新建防汛墙对下卧运营地铁隧道的影响研究具有重要的工程意义。郑刚等^[6]采用ABAQUS有限元软件结合现场实测数据研究既有箱体两侧的土体加固、浇筑底板与抗浮桩形成“保护箍”以及堆载回压这些措施对既有箱体轨道变形的影响。黄宏伟^[7]等采用PLAXIS-GiD有限元软件分析了基坑开挖引起的下卧隧道附加变形和内力。苏妮等^[8]采用MIDAS /GTS有限元软件对比分析了不同的深基坑开挖支护结构对隧道的变形影响。颜磊^[9]采用Phase2有限元软件探讨了地铁隧道正上方河道开挖过程中盾构的保护措施。翟晶^[10]采用Plaxis有限元计算软件论证了桩基与隧道的距离越近,造成的隧道变形越显著。以上研究内容主要针对的是基坑开挖对地铁隧道的影响,对于不同防汛墙结构施工对隧道影响研究较少。

本文以西藏南路隧道正上方黄浦江浦西世博园区段堤防专项维修工程为例,对咬合桩防汛墙方案和上海市典型的“前板后方”防汛墙方案^[11]作比选,并采用PLAXIS有限元软件计算分析两种防汛墙方案对既有地铁隧道影响,探讨适合运营地铁隧道上方防汛墙结构型式。同时,将实施方案的PLAXIS模拟成果与施工期监测成果作对比,反向分析PLAXIS模拟成果的准确性,为后期隧道上方防汛墙设计及施工提供经验参考。

1 工程概况

西藏南路隧道由北至南下穿黄浦江防汛墙(见图1),由西线盾构隧道和东线盾构隧道组成,黄浦江防汛墙下方的隧道结构顶高程为-15.0 m(上海吴淞高程,下同)。

西藏南路隧道上方的黄浦江防汛墙原结构建设于上世纪80年代末,防汛墙里程桩号为黄浦江左岸33+987~34+021,现状防汛墙为L型钢筋混凝土挡墙,原设计墙顶高程6.7 m,经多年沉降,工程实施前该段防汛墙实测墙顶高程6.4 m,墙前设置了浆砌石护坡,防汛墙原结构见图2。

经复核,该防汛墙建成久远、老化严重,多处墙身表面钢筋出露锈蚀、混凝土骨料外露,且稳定性不足。为提高黄浦江一线堤防的整体稳定性和挡御高

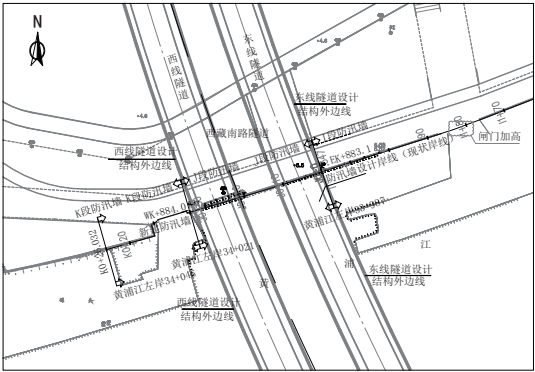


图1 新建防汛墙与隧道的平面关系

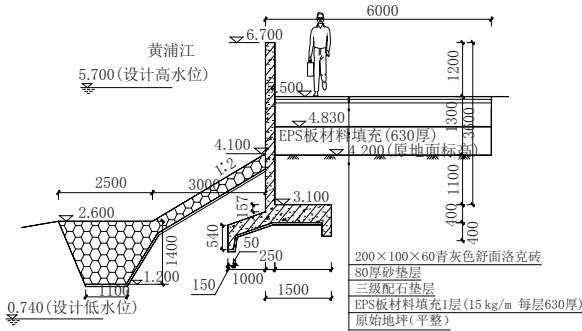


图2 隧道上方原防汛墙结构断面图(高程单位:m,长度单位:mm)

潮位的能力,工程拟对西藏南路隧道上方的防汛墙进行达标改造。工程方案设计中提出了如下两种方案。

(1)方案一:新建咬合桩防汛墙

将原防汛墙结构拆除至3.10 m高程,新建桩基承台结构,墙顶标高为6.70 m,墙厚0.4 m,底板底标高3.10 m,底板宽2.6 m,高1.0 m。下部设一排C30钢筋混凝土咬合桩,桩径1 000 mm,桩长12 m,本次新建防汛墙下方西藏南路隧道的顶标高约为-15.0 m,桩底标高至隧道结构顶最小净距约6.2 m(见图3)。防汛墙结构实施顺序为一土方开挖(含老墙拆除)→桩基施工→防汛墙施工→恢复路面及土方回填等。

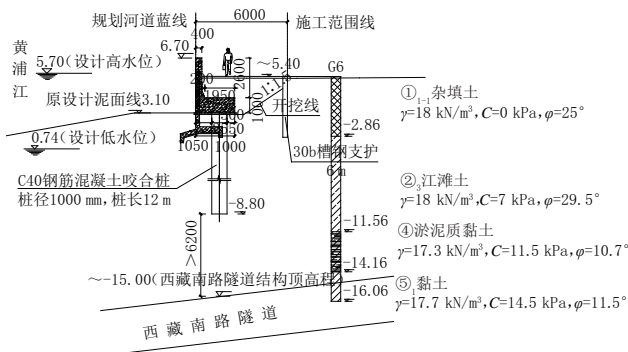


图3 方案一新建咬合桩防汛墙的断面图(高程单位:m,长度单位:mm)

(2)方案二:常规防汛墙改造方案

该方案为前排钢板桩、后排钢管桩的断面型式,将原防汛墙结构拆除至 1.0 m 高程,新建桩基承台结构,墙顶标高为 6.7 m,墙厚 0.4 m,墙后设腋角 2.1 m×0.3 m,底板底标高 1.0 m,底板宽 3.3 m,高 0.6 m。前排采用一排 U 型钢板桩(PU400×170, L=10.0 m),后排采用 φ600 mm 钢管桩(L=10 000@1 500 mm),前后排桩间距 2.35 m。方案二防汛墙改造断面见图 4。

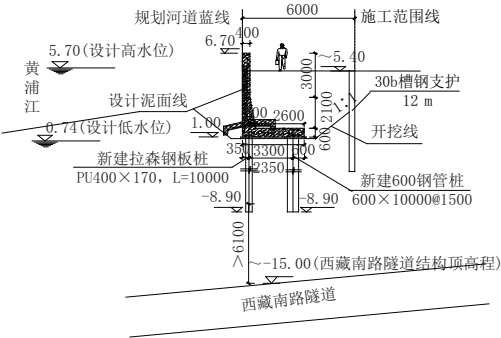


图 4 方案二 常规防汛墙改造图 (高程单位:m,长度单位:mm)

方案一和方案二采用的桩基承台结构作为永久防汛墙可以有效切断滑动面,保障岸段整体稳定安全。方案一咬合桩作为全套筒灌注桩(非挤土桩),施工集成桩和清障工艺为一体,可以减少施工对土

体扰动的影响,对下部隧道的影响在可控范围^[12-13];方案二为预制桩断面型式,施工工期短,施工工艺简单,造价相对便宜^[14],但需对原结构进行清障后方能进行桩基施工,使得该方案开挖深度较大,而且该方案桩基作为挤土桩,施工过程中,难以避免挤土效应对于下部隧道的影响^[15],施工影响不可控。为了更好地保证下部隧道结构安全,工程最终采用了方案一实施。

2 数值模型

为了进一步定量分析两种方案对既有隧道的影响,本次计算采用 Plaxis 有限元软件模拟防汛墙改造对隧道位移的影响。

2.1 模型建立与计算工况

(1)模型建立

土体采用基于 Mohr-Coulomb 的 Hardening-Soil 高级土体弹塑性模型,围护结构采用线弹性模型,同时采用 Goodman 接触单元考虑了土体和围护体之间的相互作用。表 1 所示为区域土体参数(来源于工程勘察报告),表 2 为 Plaxis 模型参数,建立的数值模型见图 5。

表 1 工程区域土体参数

土层名称	重度/(kN·m ⁻³)	孔隙比 e	压缩系数 $a_{0.1-0.2}/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 $E_{s0.1-0.2}/\text{MPa}$	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$
杂填土	18	—	—	—	3.0	20.0
江滩土	18.4	0.878	0.25	7.57	8.0	28.5
淤泥质黏土	17.5	1.169	0.71	3.08	12.0	16.0
黏土	17.8	1.089	0.65	3.32	17.0	14.0

表 2 模型参数

土层名称	$E_{50}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$E_{\text{ocd}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	ν_{ur}	$c_{\text{ref}}/\text{kPa}$	$\varphi/(^\circ)$
杂填土	3.0	3.0	9.0	0.2	3.0	20.0
江滩土	7.9	7.6	24.0	0.2	8.0	28.5
淤泥质黏土	3.5	3.1	15.5	0.2	12.0	16.0
黏土	3.6	3.3	10.8	0.2	17.0	14.0

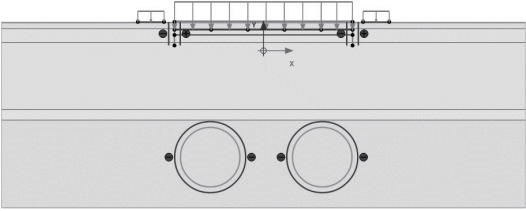


图 5 工程数值模型

(2)计算工况

方案一施工期对西藏南路隧道的影响包括施工期挖土产生的卸载、回填产生的加载、桩基施工产生的施工荷载三类,具体各步骤施工内容及对西藏南

路隧道产生影响如下。

第一步:对现状地坪进行开挖,现状地坪标高约+5.5 m,开挖至+4.0 m。

第二步:开挖完成后,在+4.00m 浇筑钢筋混凝土导墙,导墙规格为 3.10 m×7.0 m×0.35 m(宽×长×高)。

第三步:待导墙强度达标后,安装全回旋套筒钻机机械(35 t)进行咬合桩施工。

第四步:全部咬合桩施工完成后,待相关机械撤离施工现场后继续开挖,开挖至设计标高+3.0 m。

第五步:开挖完成后,实施新建防汛墙工程,墙体实施完成后,回填至原地坪标高并按原样恢复步道。

方案一计算工况见表 3。

方案二计算工况如下。

第一步:对现状地坪进行开挖和原防汛墙结构

表3 方案一计算工况

施工步骤	主要施工内容	对西藏南路产生的影响
第一步	开挖至+4.0 m	卸载
第二步	浇筑导墙	加载
第三步	桩基施工	加载
第四步	开挖至+3.0 m	卸载
第五步	防汛墙施工、回填	加载

拆除,现状地坪标高约+5.5 m,开挖至+1.0 m(原结构底板底标高)。

第二步:进行桩基施打。

第三步:新建防汛墙工程,墙体实施完成后,回填至原地坪标高并按原样恢复步道。

方案二计算工况见表4。

表4 方案二计算工况

施工步骤	主要施工内容	对西藏南路产生的影响
第一步	开挖至+1.0 m	卸载
第二步	桩基施工	加载
第三步	防汛墙施工、回填	加载

2.2 计算结果分析

(1)方案一对隧道的影响分析

新建咬合桩防汛墙施工期对西藏南路隧道位移见表5和图6,可以看出西藏南路隧道东线和西线均产生向上位移(向施工区域),最大累计总位移均发生在施工步骤第四步(土方最大开挖高度),西线总位移量为1.07 mm,东线总位移量为1.08 mm。

表5 方案一施工各阶段西藏南路隧道位移计算表

施工步骤	主要施工内容	对西藏南路西线产生的总位移/mm	对西藏南路东线产生的总位移/mm
第一步	开挖至+4.0 m	0.53	0.56
第二步	浇筑导墙	0.38	0.41
第三步	桩基施工	0.51	0.51
第四步	开挖至+3.0 m	1.07	1.08
第五步	防汛墙施工、回填	0.38	0.39

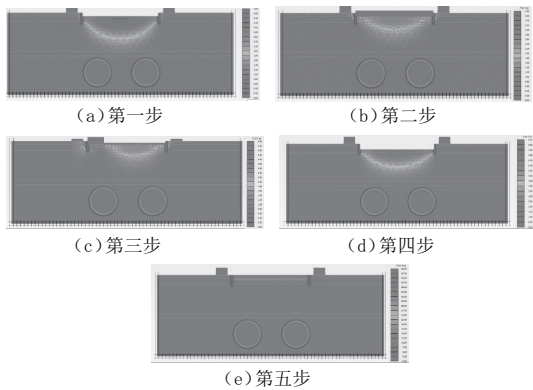


图6 方案一对西藏南路隧道影响图

(2)方案二对隧道的影响分析

新建典型的防汛墙结构施工期对西藏南路隧道位移见表6和图7,可以看出常用防汛墙结构西藏南路隧道东线和西线最大总位移均发生在施工步骤第一步(土方最大开挖高度),西线总位移量为2.59 mm,东线总位移量为2.63 mm。

表6 方案二施工各阶段西藏南路隧道位移计算表

施工步骤	主要施工内容	对西藏南路西线产生的总位移/mm	对西藏南路东线产生的总位移/mm
第一步	开挖至+1.0 m	2.59	2.63
第二步	桩基施工	2.08	2.12
第三步	防汛墙施工、回填	0.45	0.46

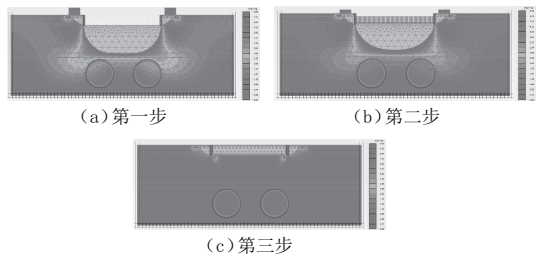


图7 方案二对西藏南路隧道影响图

(3)方案对比影响分析

图8为方案一和方案二施工造成西藏南路隧道位移的对比图。可以看出,随着工程即将完工,两种方案造成的隧道总位移基本一致,但随着施工阶段变化,方案一造成西藏南路隧道位移总体变化不大,整个施工过程,隧道位移稳定可控;方案二造成的最大位移发生在施工第一阶段,且数值为方案一最大位移2倍以上,且整个施工阶段位移均较大。显然,咬合桩式防汛墙(方案一)由于桩基施工可以边施工边清障,无需对旧结构进行完全拆除,有效降低防汛墙施工的开挖高度,对隧道影响较小,优于典型的防汛墙方案(方案二)。

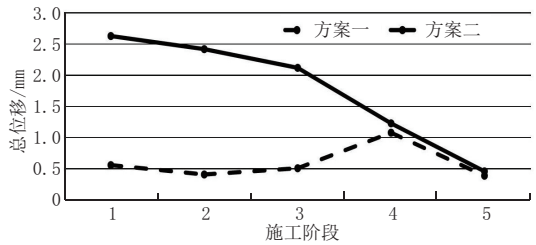


图8 不同防汛墙方案隧道位移对比图

3 施工期监测成果对比分析

工程方案一施工期对西藏南路越江隧道的东线进行了位移监测,防汛墙投影面下方的隧道布置了4个监测点,施工期监测2次位移初值,防汛墙结构拆

除、咬合桩施工、新建桩基承台及上部结构、墙前护坡破损修复等施工期每天监测 1 次,施工结束后每周监测 1 次。根据隧道权属单位要求,隧道变形报警值为 $\pm 1\text{ mm/d}$,累计 $\pm 10\text{ mm}$ 。本工程施工期监测工作自 2024 年 12 月 9 日开始,至 2025 年 3 月 18 日完成,历时 99 d。工程防汛墙施工期附近的西藏南路越江隧道东线位移曲线变化见图 9,结果表明,隧道上方防汛墙施工期对隧道产生的最大位移约 1 mm;防汛墙施工期开挖至最深处时隧道位移累计达到最高值,施工回填后累计位移略有下降后趋于平缓;施工期监测与工程设计阶段数值模拟的位移及趋势基本一致。

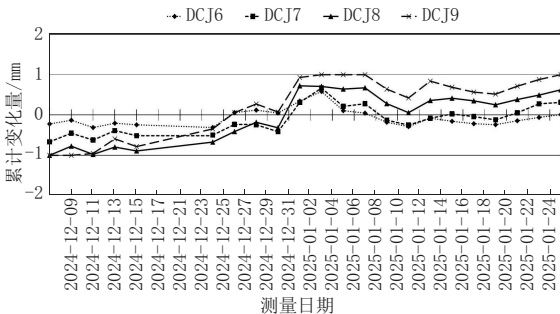


图 9 东线隧道位移历时变化曲线图

4 结 论

本文对西藏南路隧道上方黄浦江防汛墙改造进行了方案比选及对隧道位移影响分析,结合工程现场监测成果,得到以下结论:

(1)咬合桩式防汛墙由于新型的桩基施工工艺,对比传统防汛墙断面既可以有效降低对下方运营的地铁隧道影响,又可以解决场地下方障碍物较深,预制桩无法施工的问题。

(2)新建咬合桩式防汛墙桩基距离隧道顶 6.2 m、最大开挖深度 2.4 m 时,防汛墙正下方隧道位

移约 1 mm,远远小于隧道变形报警值 1 cm,该方案对隧道的影响较小。

(3)经将 Plaxis 有限元模拟结果与施工期监测成果对比,表明在方案设计阶段 Plaxis 有限元模拟结果可为隧道上方防汛墙方案提供参考意义。

参考文献:

[1] 田源.上海市一江一河堤防薄弱岸段安全评价体系分析研究[J].城市道桥与防洪,2025(5):183-187.
[2] 田爱平,朱鹏程.上海黄浦江上游干流段堤防安全风险分析与应对措施[J].中国防汛抗旱,2021,31(8):32-35.
[3] 顾相贤,陈峰,张月运.苏州河环境综合整治三期工程防汛墙的加固改造[J].城市道桥与防洪,2008(2):39-42.
[4] 曾云嵘,吴瀛瀛.浅基坑开挖及桩基施工对邻近隧道影响数值模拟研究[J].建材技术与应用,2025(5):1-7.
[5] 魏纲,赵城丽.基坑开挖引起邻近既有地铁隧道位移计算的研究[J].现代隧道技术,2018,55(1):124-132.
[6] 郑刚,刘庆晨,邓旭.基坑开挖对下卧运营地铁隧道影响的数值分析与变形控制研究[J].岩土力学,2013,34(5):1459-1468.
[7] 黄宏伟,黄栩,Schweiger F.Helmut.基坑开挖对下卧运营盾构隧道影响的数值模拟研究[J].土木工程学报,2012,45(3):182-189.
[8] 苏妮,曹广勇.深基坑开挖支护结构对下穿既有隧道的影响[J].洛阳理工学院学报(自然科学版),2022,32(2):26-29.
[9] 颜磊.地铁正上方实地开河对隧道盾构变形影响分析[J].水利技术监督,2025(11):331-335.
[10] 翟晶.黄浦江防汛墙施工对既有隧道变形影响分析[J].城市道桥与防洪,2025(10):158-161.
[11] 邓雪辉,唐金忠.黄浦江上游防汛墙改建结构型式探讨[J].水利规划与设计,2017(11):111-113,166.
[12] 杨吉新,王耀东,张战彪,等.钢套筒压入对邻近地铁影响的有限元分析[J].交通科学与工程,2021,37(2):14-19.
[13] 李亚奇.桥梁桩基采用全套筒全回转钻机施工对既有隧道的影响分析[J].工程技术研究,2023,8(12):223-225.
[14] 刘向格.黄浦江堤防干流标准断面设计及典型断面桩基造价分析[J].河南水利与南水北调,2024,53(5):68-69.
[15] 蒋辉,路平.ALE 法分析挤土桩对既有隧道变形的影响[J].低温建筑技术,2013,35(3):94-96.

(上接第 207 页)

安:长安大学,2024.
[10] 杨文冲.不均匀正应力作用下节段预制拼装混凝土梁键齿接缝力学行为研究[D].成都:西南交通大学,2023.
[11] 王成煜.节段箱梁预制拼装线形控制及应力分析研究[D].长沙:长沙理工大学,2017.

[12] JTG 3362—2018 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[13] JTG/T 3365—05—2022 公路装配式混凝土桥梁设计规范[S].
[14] JTG D60—2015 公路桥涵设计通用规范[S].
[15] JTG/T 3650—2020 公路桥涵施工技术规范[S].