

黄浦江防汛墙施工对既有隧道变形影响分析

翟 晶

[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: 为了深入分析黄浦江防汛墙施工对既有隧道变形的影响,采用 Plaxis 有限元计算软件,对防汛墙桩基施工过程中既有盾构隧道的变形进行了模拟,并在对比分析模拟结果与施工期间隧道变形监测数据的基础上,进一步探讨了隧道上方堆载、钻孔灌注桩与隧道净距对隧道沉降的影响。研究表明:Plaxis 有限元模型能够有效地模拟防汛墙施工对既有隧道的影响,且可作为后续分析的重要工具;桩基与隧道的距离越近,造成的隧道变形越显著,当距离小于 1.7 m 时,隧道变形将超过报警值;隧道上方堆载对隧道沉降的影响相对不敏感。

关键词: 防汛墙;盾构隧道;有限元法;钻孔灌注桩;隧道变形

中图分类号: TV335

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2025)10-0158-04

Analysis on Influence of Construction of Huangpu River Flood Control Wall on Deformation of Existing Tunnels

ZHAI Jing

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

Abstract: To conduct an in-depth analysis on the impact of the construction of the flood control wall along the Huangpu River on the deformation of existing tunnels, the Plaxis finite element software is used to simulate the deformation of the existing shield tunnels during the construction of the flood control wall pile foundations. Based on a comparative analysis of the simulation results and the monitoring data of tunnel deformation during the construction period, the influence of superloading above the tunnel, and the clear distance between the bored cast-in-place piles and the tunnel on the settlement of the tunnel are further discussed. The research findings indicate that the Plaxis finite element model can effectively simulate the impact of flood control wall construction on the existing tunnels and can serve as an important tool for subsequent analysis. The closer the distance between the pile foundation and the tunnel, the more significant the tunnel deformation becomes. When the distance is less than 1.7 m, the tunnel deformation exceeds the alarm threshold. The influence of superloading above the tunnel on tunnel settlement is relatively insensitive.

Keywords: flood control wall; shield tunnel; finite element method; bored cast-in-place piles; tunnel deformation

0 引 言

随着城市轨道交通的不断发展,城市堤防建设中常常面临防汛墙与隧道交叉或相邻的情况。在工程设计中,必须重点考虑防汛墙施工对既有隧道的潜在影响。相关标准已提出了一系列限制性条款,例如《城市桥梁、隧道安全保护区域技术标准》(沪建交〔2010〕511 号)^[1]根据基坑级别划定了不同隧道类型的 40 ~ 60 m 不等安全保护范围,并就挤土桩和非挤土桩给出了不同隧道类型下的 25 ~ 70 m 不等安全保护范围,并要求在隧道安全保护范围内的作业需

进行专项设计。

针对上述问题,相关学者也进行了深入研究。代志萍^[2]模拟了钻孔灌注桩施工对邻近地铁隧道(净距 7.4 m)的影响,指出由于泥浆护壁的作用,钻孔灌注桩对隧道结构的影响相对较小。董云生^[3]运用 MIDAS GTS NX,对桥梁邻近隧道(净距 12.2 m)的施工过程进行了模拟,结果表明桥梁施工对隧道的安全影响是可控的。罗伟争^[4]则采用 Plaxis 模拟了河道与既有地下隧道垂直交叉和侧向并行的施工工况,验证了有限元软件在模拟地下隧道方面的可行性。

本文基于黄浦江防汛墙提标改造工程的实际案例,模拟该工程实施对既有隧道的影响,并结合隧道监测数据进行对比分析。旨在研究探讨隧道周边范

收稿日期: 2024-10-11

作者简介: 翟晶(1991—),女,硕士,工程师,从事堤防工程设计工作。

表 1 土体参数表

土层	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	C/kPa	$\varphi/(^{\circ})$	$E_{50}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$E_{\text{oe}}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{kPa}$	$\gamma_{0.7}$	G_0/kPa	$P^{\text{ref}}/\text{kPa}$	ν_{ur}	$K_x/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$	$K_y/(\text{m}\cdot\text{d}^{-1})$
① ₁	18.0	1	25.0	3 000	3 000	9 000	0.2×10^{-3}	50×10^3	100	0.2	0.04	0.02
② ₃	18.7	6	30.0	8 350	8 350	33 400	0.2×10^{-3}	133.6×10^3	100	0.2	3.45×10^{-2}	2.35×10^{-2}
③	17.6	13	17.0	3 402	2 835	19 845	0.2×10^{-3}	79.4×10^3	100	0.2	1.99×10^{-3}	3.51×10^{-4}
④	16.8	11	11.5	3 996	1 998	13 986	0.2×10^{-3}	55.9×10^3	100	0.2	1.12×10^{-4}	7.69×10^{-5}
⑤ ₁₋₁	17.4	14	14.0	3 294	2 745	19 215	0.2×10^{-3}	76.8×10^3	100	0.2	1.73×10^{-4}	6.05×10^{-5}
⑤ ₁₋₂	18.4	17	18.5	4 676	3 897	27 279	0.2×10^{-3}	109.1×10^3	100	0.2	5.18×10^{-2}	1.04×10^{-3}
⑥	19.5	41	19.5	7 603	6 336	44 352	0.2×10^{-3}	177.4×10^3	100	0.2	5.18×10^{-3}	1.04×10^{-4}
⑦	18.8	5	33.0	12 690	12 690	50 760	0.2×10^{-3}	253.8×10^3	100	0.2	3.45×10^{-2}	2.35×10^{-2}

拆除)>防汛墙结构施工>土方回填和路面恢复;防汛墙施工导致隧道北线的累积最大沉降为 2.24 mm,隧道南线的累积最大沉降为 2.89 mm。

根据《隧道养护技术规程》(DG/T J08-2175—2015)及类似工程的经验,隧道的变形控制指标为 10 mm。

由防汛墙施工期的位移云图(见图 4、图 5)可见,防汛墙施工导致隧道的变形值小于 3 mm,满足隧道的保护要求,设计和施工方案可行。

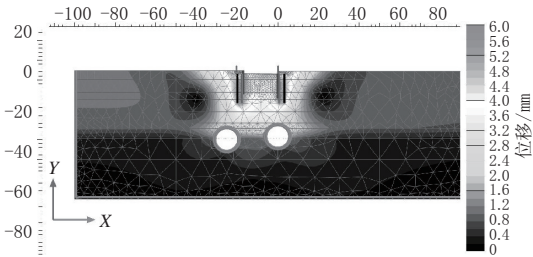


图 4 防汛墙施工期的位移云图

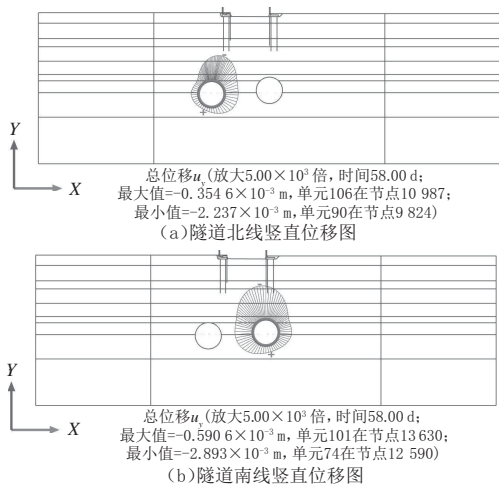


图 5 隧道北线和南线对应的竖直位移图

3 施工期监测

为确保隧道的安全运营,该工程在防汛墙下方的南北线隧道分别设置了 18 个沉降观测点(自东向西依次命名为点号 1 至点号 18)。采用电子水准仪对隧道进行全程观测,监测周期为防汛墙施工前 1

周持续至施工完工后 1 周。由于隧道整体结构变形中垂直沉降变化最为显著,因此本次观测指标着重于垂直变形的测量。表 2、表 3 展示了隧道沉降监测的成果。

表 2 隧道北线沉降监测成果表

点位	施工前高程/m	施工后高程/m	累积沉降/mm
B1	-25.774 7	-25.775 9	-1.2
B2	-26.189 6	-26.190 6	-1.0
B3	-26.610 0	-26.6104	-0.4
B4	-27.035 8	-27.036 4	-0.6
B5	-27.457 3	-27.458 0	-0.7
B6	-27.873 6	-27.873 9	-0.3
B7	-28.299 3	-28.299 8	-0.5
B8	-28.714 3	-28.715 1	-0.8
B9	-29.120 7	-29.121 3	-0.6
B10	-29.555 9	-29.556 4	-0.5
B11	-29.961 7	-29.962 4	-0.7
B12	-30.389 4	-30.390 1	-0.7
B13	-30.827 6	-30.827 9	-0.3
B14	-31.242 7	-31.243 7	-1.0
B15	-31.656 8	-31.657 5	-0.6
B16	-32.089 4	-32.090 4	-1.0
B17	-32.508 9	-32.509 0	-0.1
B18	-32.914 1	-32.914 6	-0.4

隧道施工前后累积沉降值见图 6。结果表明:该工程防汛墙施工前后,北线累积沉降为 0~0.9 mm,南线累积沉降为 0.1~1.2 mm,隧道总体变化趋势良好,未出现报警值。

4 敏感性分析

为进一步分析在隧道上方防汛墙改造过程中,堆载、钻孔灌注桩与隧道净距对隧道变形的敏感程度,本研究结合工程案例进行了敏感性分析,模拟了不同桩长下,不同钻孔灌注桩与隧道净距、堆载条件对隧道变形的影响,结果见表 4、表 5。

由表 4、表 5 可见:钻孔灌注桩距隧道越近,桩基施工对隧道变形的影响越显著,当桩基距离隧道 1.7 m

表 3 隧道南线沉降监测成果表

点位	施工前高程/m	施工后高程/m	累积沉降/mm
N1	-26.068 2	-26.068 2	0
N2	-26.500 1	-26.500 5	-0.4
N3	-26.921 2	-26.921 7	-0.5
N4	-27.340 4	-27.340 4	0
N5	-27.755 3	-27.755 4	-0.1
N6	-28.193 1	-28.193 2	-0.1
N7	-28.577 3	-28.577 4	-0.1
N8	-28.992 5	-28.993 2	-0.7
N9	-29.430 6	-29.430 9	-0.3
N10	-29.826 1	-29.826 3	-0.2
N11	-30.280 7	-30.281 6	-0.9
N12	-30.696 9	-30.697 6	-0.7
N13	-31.111 6	-31.112 5	-0.8
N14	-31.501 5	-31.501 8	-0.3
N15	-31.923 9	-31.924 0	-0.1
N16	-32.357 1	-32.357 9	-0.8
N17	-32.792 7	-32.793 3	-0.6
N18	-33.191 9	-33.192 1	-0.2

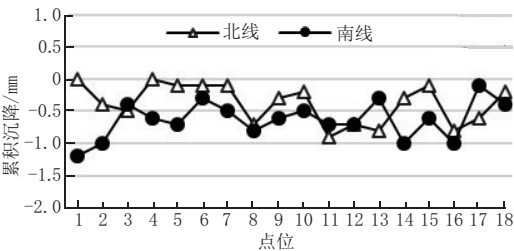


图 6 隧道施工前后累积沉降值

时,隧道位移超过 10 mm 的临界值;隧道上方的堆载大小对隧道沉降的影响相对不敏感。

表 4 不同桩长下,钻孔灌注桩与隧道净距对隧道变形的影响

序号	桩长/m	与隧道净距/m		垂直位移/mm	
		北线	南线	北线	南线
1	25	2.1	0.7	7.5	11.0
2	24	3.1	1.7	7.3	10.4
3	21	6.1	4.7	5.9	8.1
4	18	9.1	7.7	4.6	6.2
5	15	12.1	10.7	2.2	2.9
6	12	15.1	13.7	1.6	2.0
7	9	18.1	16.7	1.0	1.2
8	6	21.1	19.7	1.0	1.2
9	3	24.1	22.7	1.0	1.2
10	1	26.1	24.7	1.0	1.2

表 5 隧道顶部施工荷载对隧道变形的影响

序号	荷载/kPa	北线垂直位移/mm	南线垂直位移/mm
1	0	2.193	2.882
2	5	2.230	2.890
3	10	2.269	2.903
4	15	2.308	2.917
5	20	2.349	2.934

5 结 语

(1)本文采用 Plaxis 建立的有限元模型,分析了防汛墙施工对隧道位移的影响。有限元模拟结果表明:在防汛墙不同施工工序下的隧道变形结果并不相同,导致隧道变形由大到小的施工工序依次为:基桩施工>土方开挖(含老墙拆除)>防汛墙结构施工>土方回填和路面恢复;防汛墙施工导致隧道北线的累积最大沉降为 2.24 mm,隧道南线的累积最大沉降为 2.89 mm。

(2)根据防汛墙施工期间的隧道变形监测成果,隧道北线的累积最大沉降为 0.9 mm,南线的累积最大沉降为 1.2 mm,防汛墙施工导致隧道变形监测值略小于有限元分析结果,验证了有限元分析成果的合理性,同时也说明 Plaxis 有限元分析可作为有效的手段来评估防汛墙施工对既有隧道的影响。

(3)钻孔灌注桩距隧道越近,桩基施工对隧道变形的影响越显著。隧道范围内防汛改造需严格控制桩基与隧道的距离,建议桩基至少距离隧道 2 m 以上,并辅以有限元分析进行验证,以进一步确定合理的设计方案。

参考文献:

[1] 沪建交[2010]511 号.城市桥梁、隧道安全保护区域技术标准[S].
[2] 代志萍.钻孔灌注桩施工对邻近地铁隧道的影响分析[J].路基工程,2015(2):114-116.
[3] 董云生.桥梁施工对既有铁路隧道的影响分析[J].北方交通,2020(4):91-94.
[4] 罗伟争.河道施工对地下隧洞安全影响的 Plaxis 2D 有限元分析研究[J].水利规划与设计,2019(4):110-113.
[5] 董学刚,石永超.黄浦江上海市区段防汛墙墙后堆载限值研究[J].人民长江,2019,50(12):113-117.
[6] 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.