

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2021.06.075

海塘维修加固施工对隧道位移影响研究

杨蔚为

(上海市水利工程设计研究院有限公司, 上海市 200056)

摘要: 上海某海塘位于隧道上方, 由于渗透破坏和堤身土流失等原因, 造成坡面塌陷, 栅栏板悬空、错断, 亟需进行维修加固。为保障施工安全, 采用 FLAC3D 数值模拟的方法计算海塘维修加固施工对于下部隧道位移的影响。计算过程分为抛石施工、高压旋喷桩施工两个阶段, 计算结果表明工程实施对于隧道的影响在可控范围内。

关键词: 海塘加固; 数值模拟; 隧道变形

中图分类号: U656.2

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)06-0296-03

1 概述

海塘又名海堤、防浪堤和海挡, 是防御风暴潮水和波浪对防护区的危害而修筑的堤防工程。上海市北枕长江口, 南濒杭州湾, 由长江南岸、杭州湾北岸及崇明、长兴、横沙三岛组成的海塘担负着保护上海市人民生命财产安全和工农业生产的重任。截止 2013 年, 全市主海塘总长度约 495.4 km, 与主海塘非重合的一线海塘长约 523.0 km, 主要备塘总长约 201.5 km, 零星次要备塘总长约 305.9 km^[1]。

上海地区某海塘位于长兴岛南岸, 下部有长江隧道穿越, 详见图 1 所示。该海塘堤身于 2005 年圈围造地建成, 2011 年在堤身上新建防浪墙使之达到 200a 一遇高潮位加 12 级风(允许越浪)的设防标准。从海塘建成到 2017 年之间陆续发现坡面沉降、局部塌陷, 栅栏板悬空、错断等现象。



图 1 工程位置图

2018 年管理单位委托专业单位采用超声波法对海塘坡面下部进行物探, 结果显示坡面下方堤身土流失严重, 存在较多疏松段。分析海塘损坏形式和物探结果后判断堤身土流失主要有两方面原因: 一

是因堤后圈围区高程较高且排水系统建成较晚, 圈围区雨季长时间处于积水状态, 增加了向外海的渗透压力, 加剧了堤身渗透破坏。二是由于坡面结构层用于反滤的土工布因引桥桩基等施工而损坏, 导致堤身土方从破损位置流失。上述两方面原因造成堤身土流失, 引起了坡面沉降、局部塌陷, 进而造成栅栏板悬空、错断等现象, 详见图 2 所示。基于上述分析, 亟需对海塘坡面进行拆除重建维修, 在坡面大方脚内侧打设高压旋喷桩($\phi 800@500$)截断渗径, 对损坏的坡面进行修复, 加固维修典型断面详见图 3 所示。



图 2 坡面塌陷, 栅栏板错断悬空等现象之实景

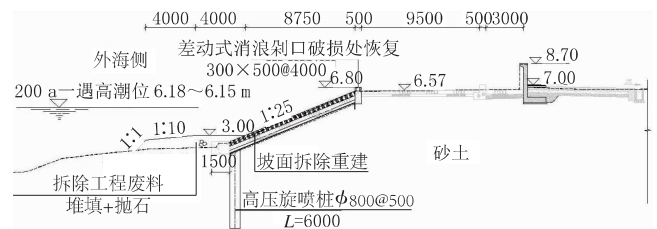


图 3 海塘加固修复典型断面图(单位:mm)

该工程部分大堤位于隧道正上方, 堤脚高压旋喷桩截渗处理本身具有一定挤土作用, 分析研究高压旋喷桩施工对隧道的影响是工程安全实施的重要前提^[2]。

2 隧道情况介绍

隧道整体断面设计为上、下两层双管双向六车道隧道, 上层隧道为排烟通道和高速公路车道层, 下层

收稿日期: 2021-02-01

作者简介: 杨蔚为(1989—), 男, 工程师, 从事水利工程设计工作。

隧道为原轨道交通预留通道和管线廊。隧道单管外径为 15 m,内径为 13.7 m,采用通用环片错缝拼装,管片厚度 650 mm,管片环宽 2 000 mm。越江隧道为双管盾构隧道,盾构隧道之间安全间距为 1 倍隧道直径 15 m,盾构隧道管线区实际宽度为 45 m。隧道盾构段横断面图详见图 4 所示。该工程高压旋喷桩底高程为 -3.50 m,下部隧道管片顶高程为 -25.30 m,高压旋喷桩与隧道顶高程之间的净距约为 21.80 m,详见图 5 所示。



图 4 隧道盾构横断面示意图

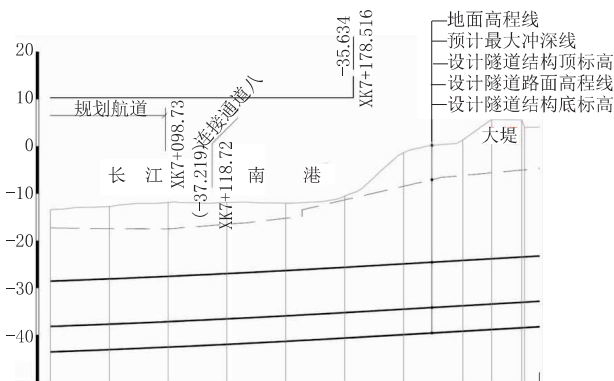


图 5 长江隧道纵断面图

3 模拟计算

3.1 模型建立

计算分析软件采用 FLAC3D 进行。FLAC3D 软件自美国 ITASCA 咨询集团公司推出后,已成为目前岩土力学计算中的重要数值方法之一。

计算模型由土体模型和结构单元模型 2 种组成,其中土体模型用于模拟隧道周边土体,壳结构单元模型用于模拟隧道外壁衬砌结构。

土体模型采用圆柱形外环绕放射状网格(rad-cylinder)模拟隧道周边土体,采用矩形网格(brick)模拟剩余土体。 X 方向建模至隧道两侧边线以外 27.5 m, Y 方向建模长度 25 m, Z 方向上部建模至 2.50 m 高程,下部建模至隧道盾构底面以下 10 m,即 -53.8 m 高程。土体本构模型采用摩尔-库伦模型(Mohr-Coulomb Model)。采用壳结构单元(shell)

模拟隧道外壁衬砌结构。衬砌结构厚 0.65 m,为 C60 钢筋混凝土结构,建成的计算模型详见图 6 所示。

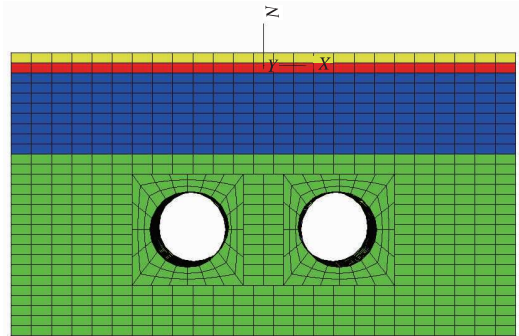


图 6 计算模型图(土体单元+壳结构单元)

3.2 主要参数选取

摩尔库伦模型典型材料参数包括弹性体积模量 K (bulk)、弹性剪切模量 G (shear)、内聚力 C (Cohesion)、内摩擦角 φ (friction)。其中弹性模量 K 和剪切模量 G 根据下式获得^[3]:

$$K = \frac{E}{3(1-2\nu)}$$

$$G = \frac{E}{2(1+2\nu)}$$

式中: E 为弹性模量; ν 为泊松比。

该工程土体泊松比根据一般经验取 0.3,其余参数根据该工程地勘报告计算获得,各层土体参数取值见表 1 所列。模拟隧道壳结构单元材料参数取值主要包括弹性模量、泊松比以及厚度,具体取值见表 2 所列。

表 1 土体材料参数取值表

土层	体积模量 K/MPa	弹性模量 G/MPa	内聚力 C/KPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$
②3 层粉砂	48.3	22.3	4	30
③1 层粉质黏土	16.58	7.65	17	19.5
③2 层砂质粉土	34.46	15.9	4	29.5
⑤层粉质黏土	13.29	6.13	15	15

表 2 壳结构单元材料参数取值表

结构单元	弹性模量 K/MPa	泊松比	厚度 /m
壳结构	36 500	0.25	0.65

3.3 荷载选取

堤脚施工分为堤脚抛石及高压旋喷桩防渗处理两步,堤坡拆除重建后结构型式和老结构相同,因此不考虑额外荷载。相关荷载选取如下:

抛石重度:每延米岸线长度抛石量约为 7.8 m^3 ,抛石宽度范围为 8 m,抛石容重按 15.5 kN/m^3 ;注浆压力:高压旋喷桩压力取 25 MPa,注浆压力范围 1 m,

影响深度范围为-3.50 m~2.50 m;浆液重度:浆液重度注入土体后,将提高原土体的重度。重度增加量一般按照 3 kN/m³ 考虑;施工期机械荷载:高压旋喷桩时,堤脚考虑 15 kN/m² 的施工机械荷载,作用范围为隧道正上方,宽度范围 4 m²。

4 主要计算过程及结果

4.1 初始平衡

模型建立后,确定本构模型,输入模型材料参数,定义边界条件和初始条件。使计算模型生成该工程实施前的初始应力条件。模型在经历 7579 步迭代计算后,整个模型的最大不平衡力已经趋向于 0,模型达到初始应力平衡状态,详见图 7 所示。

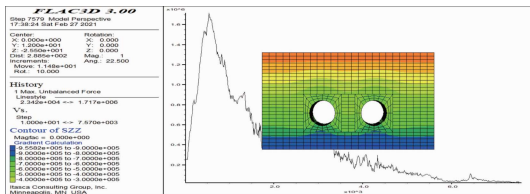


图 7 初始平衡状态下模型竖向初始应力分布图

4.2 实施堤脚抛石

在模型初始平衡基础上施加抛石荷载。计算模型监测了隧道顶面的竖向及水平向位移。进行迭代计算直至模型稳定。计算得到的隧道顶面的竖向、水平向位移分别是 0.46 mm 及 0.10 mm(见图 8)。

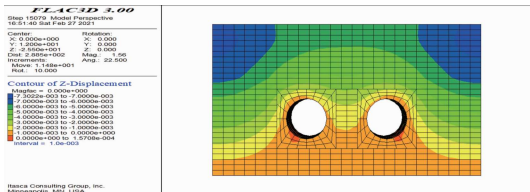


图 8 抛石实施完成后隧道顶面竖向位移云图

4.3 实施高压旋喷桩

抛石施工完成后,实施高压旋喷桩。高压喷射浆液应采用普通硅酸盐水泥拌制,水泥标号不低于 425 #。高压旋喷桩钻孔和喷射机组设备沿大放脚方向顺大堤逐步推进实施。高压注浆自下而上进行,注浆压力按 25 MPa 控制。

高压旋喷桩施工对于隧道变形影响包括三个方面:(1)旋喷桩施工机械荷载对于隧道的影响。(2)旋喷桩注浆压力对于隧道的影响。(3)旋喷桩施工完成后土体重度提高对于隧道的影响。

4.3.1 旋喷桩施工机械荷载及注浆压力对于隧道变形影响

施工机械荷载及注浆压力作用范围较小,随着施工机械沿堤脚大放脚移动作业,不同时间段位于

隧道顶面以上的不同部位,理论上而言荷载作用点随时间动态变化。计算时,假定施工机械荷载作用范围按照 4 m²(2 m × 2 m)考虑竖向作用。注浆压力荷载按照 1 m²(1 m × 1 m)考虑,向土体四周水平作用。按照施工位于单向隧道一侧(位置一)、位于单向隧道正上方(位置二)、位于双向隧道正中央(位置三)三种不同施工位置分别试算,详见图 9 所示。计算结果详见表 3 所列,可以看出由于荷载作用范围小,无论施工位置如何,施工机械荷载及注浆压力均对隧道变形影响较小,为简化计算,可将这部分动态变化的荷载影响忽略不计。

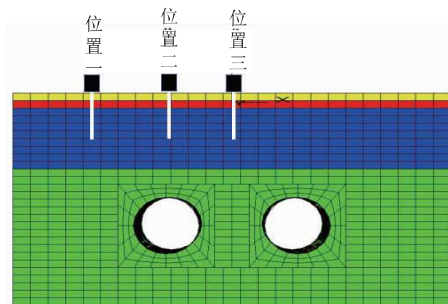


图 9 三种施工位置示意图

表 3 不同位置时施工机械荷载和注浆压力对于隧道位移影响计算结果一览表

作用点	竖向位移 /mm	水平位移 /mm
单向隧道一侧	0.464	0.127
单向隧道正上方	0.473	0.125
双向隧道中央	0.499	0.115

4.3.2 土体重度提高对于隧道变形影响

高压旋喷桩施工完成后,旋喷桩作用范围内土体重度提高。经过迭代计算,隧道顶面的竖向位移由上一阶段的 0.46 mm 逐渐变大至 2.22 mm。水平向位移变化较小,由 0.10 mm 变大至 0.13 mm。隧道顶面竖向位移和水平向位移全过程变化曲线详见图 10、图 11 所示。隧道变形预警值为 5 mm,从计算结果可知工程实施对于隧道的位移影响在可控范围内。

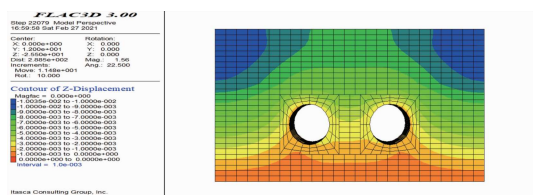


图 10 高压旋喷桩实施完成后隧道顶面竖向位移云图

5 总结

(1)利用 FLAC3D 有限差分软件,计算和分析了

(下转第 308 页)



图2 施工现场图



图3 使用1 a后现场图

5 结语

(1)与密级配改性沥青混合料相比,透水沥青混合料 PAC-13 的最佳拌和温度和成型温度均有所下降。由于该混合料空隙率较大,温度对其性能的影响更大。在环境温度 25 °C 左右时,透水沥青混合料的最佳拌和温度为 180 °C 左右。

(2)由于透水沥青混合料具有开级配、大空隙率等特性,因此相对于密级配沥青混合料而言,温度过高会更容易显现其飞散破损弊端。在其拌和、施工过程中,需要更加关注温度的变化情况。

(3)在温州生态园的应用中,透水沥青混合料的优势凸显。透水沥青混合料对环境友好,扬起的灰尘较少,且透水性能延续性较长,可以在雨水天气下给百姓出行带来方便。

(上接第 298 页)

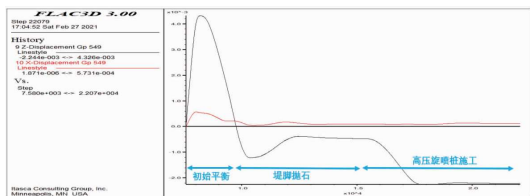


图 11 隧道顶面竖向、水平位移变化曲线图

海塘堤脚抛石和高压旋喷桩施工对于下部隧道的位移影响。采用摩尔库伦模型模拟土体单元,采用壳结构单元模拟隧道管片单元。在模型初始平衡基础上,模型成功模拟了抛石施工、高压旋喷桩施工两个阶段隧道顶面的竖向和水平向位移变化情况。

(2)高压旋喷桩施工机械荷载,以及注浆压力作

用范围小,施工位置随时间动态变化。对三个不同施工位置进行试算,结果显示上述荷载对于隧道位移影响较小,简化计算时可予以忽略。

(3)抛石施工后,隧道顶面竖向、水平向位移分别是 0.46 mm 及 0.10 mm;高压旋喷桩施工后,隧道顶面竖向、水平向位移增加至是 2.22 mm 及 0.13 mm。工程实施对于隧道的位移影响在可控范围内。

参考文献:

[1] 杜小猷,等.上海市海塘开缺临时堤防建设技术标准与论证规范研究[R].2016.
 [2] 龚晓南.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社.2008.
 [3] 彭文斌.FLAC3D 实用教程[M].北京:机械工业出版社.2008.