

深浅基坑设计及分析

肖敏

(上海城市交通设计院有限公司,上海市 200120)

摘要:以上海市杨高路隧道项目深浅基坑设计为例,采用Plaxis有限元软件和同济启明星设计软件对基坑围护结构进行建模分析。结果表明:采用上述2种软件得出的深浅坑围护桩内力和变形计算结果要大于最终基坑实测结果,说明此设计方法安全可信。

关键词:隧道;深浅坑;有限元

中图分类号: TU44

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)03-0256-04

0 引言

随着城市土地资源日益紧缩,“坑中坑”作为一种新型基坑应运而生。“坑中坑”开挖导致土体应力路径比传统基坑更为复杂,但是基坑设计规范及市场设计软件未有统一或建议的计算方式,现有研究一般是通过支护结构或土体刚度进行相应折减来考虑相互影响。

目前有部分涉及“坑中坑”的计算理论^[1]。杨才等^[2]采用强度折减有限元法,对“坑中坑”的坑趾系数、深度比、面积比进行了控制变量研究。丰土根等^[3]对“坑中坑”不同开挖位置、深度及大小对悬臂式支护结构变形的影响规律进行了详细分析。

1 工程概况

上海市杨高路改扩建隧道工程北起自浦东新区世纪大道-杨高路立交隧道(包含),终于浦东新区浦建路跨线桥,属于杨高南路段范围。

改造完成后隧道总长1 747.29 m。隧道全线设置1对出入口匝道,起于浦东新区张家浜河北侧,下穿张家浜并与地面桥合建,在张家浜河南侧接入地面,全长约302 m(不含匝道展宽段)。

2 工程地质

本工程所在区域工程地貌类型为滨海平原,沿线地势平坦,各勘察点地面标高为3.82~5.29 m。

沿线场地内自上而下可划分为7个大层及若干亚层,共计11层。各土层分别为:①1层填土、①2

层灰黑色淤泥、②层褐黄-灰黄色粉质黏土、③层灰色淤泥质粉质黏土、③T灰色砂质粉土、④层淤泥质黏土、⑤层灰色粉质黏土、⑥1层暗绿色粉质黏土、⑥2层草黄色粉质黏土加砂质粉土、⑦1层草黄色砂质粉土、⑦2层灰色粉砂(未揭穿)。

基坑开挖最深处位于第④层,只有很小一段位于⑤层层顶处,最大开挖深度约为19 m,坑底标高约为-13.06 m。场地浅部分布的③、④层淤泥质软弱层及⑤层等软黏性土对工程建设影响较大,要引起重视。

3 工程难点

在隧道主线与匝道合并段存在深浅坑,如先开挖深坑,待深坑结构施工完毕后再开挖浅坑,将对工期影响较大且会在浅坑底板造成1道纵向施工缝,后期易造成隧道渗水。因此基坑先开挖匝道浅坑,再开挖主线深基坑,其中浅坑开挖8.7 m,匝道横断面宽度9 m;深坑开挖深度17.5 m,主通道开挖宽度28 m。由于深基坑开挖时会引起浅层基坑坑底土体扰动,从而造成浅基坑变形增加,内力增大,而常规基坑设计软件无法同时考虑深浅坑,因此,如何确保深坑开挖阶段浅坑的基坑安全成为本工程的一大难点。

本工程设计阶段采用有限元软件Plaxis进行分析,以真实反映实际施工状态下深坑及浅坑围护结构变形及内力,同时通过对深坑开挖阶段浅坑坑底土 m 值进行一定折减来计算浅坑围护结构变形及内力,最终包络取大值进行设计。

4 深浅基坑围护设计

4.1 Plaxis有限元分析模型

基坑围护剖面图见图1,采用Plaxis有限元软件进行分析。模型考虑基坑开挖土体卸载对周边结构的

收稿日期:2021-11-23

作者简介:肖敏(1987—),男,硕士,工程师,从事岩土工程与地下结构设计研究工作。

影响,取 2 倍基坑开挖深度范围为其竖向收敛区域;取 3~5 倍基坑开挖宽度为其周围平面边界收敛区域来建立分析模型。模型沿基坑横向(X 向)为 150 m,沿基坑深度(Y 向)为 50 m,模型上表面为天然地面。

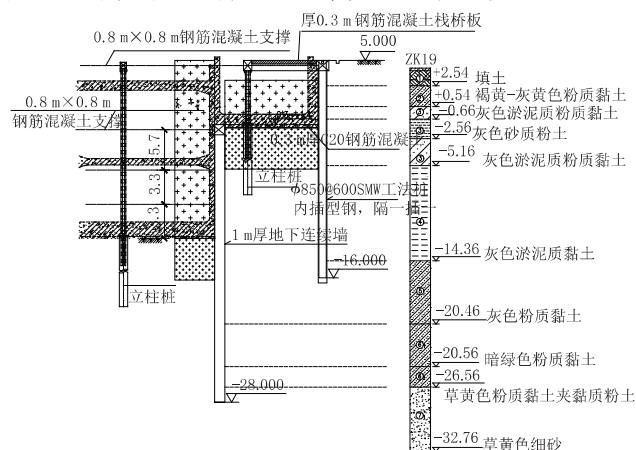


图 1 基坑围护剖面图(单位:m)

模型中,内支撑、地连墙、工法桩结构均按各向同性材料考虑;土体按 H-S 模型考虑;因止水帷幕与围护桩刚度相差较大,计算过程中不考虑其抗弯性,将其作为安全储备。

分析模型中,通过单元的“激活、钝化”来实现土体开挖、结构施作等施工过程,施工过程中考虑 20 kPa 的地表均布超载作用。基坑二维模型见图 2。

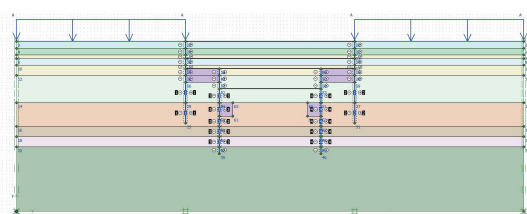


图 2 基坑二维模型图

4.1.1 模型参数选取

模型分析中各土层的物理参数见表 1, 地连墙、工法桩、内支撑结构的几何属性见表 2。

表 1 土层物理参数统计表

序号	土层名称	厚度 /m	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c/kPa	摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	模量参数 1 $E_{50}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	模量参数 2 $E_{\text{oed}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$	模量参数 3 $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}/\text{MPa}$
1	①填土	2.34	18.0	10	10.0	10	10	30
2	②褐黄—灰黄色粉质黏土	1.30	18.7	19	16.8	25	25	75
3	③灰色淤泥质粉质黏土	0.80	17.4	11	15.3	15	15	45
4	③T 灰色砂质粉土	1.90	18.7	3	29.9	30	30	90
5	③灰色淤泥质粉质黏土	3.80	17.4	11	15.3	15	15	45
6	④灰色淤泥质黏土	8.00	16.8	11	11.4	10	10	30
7	⑤灰色粉质黏土	7.10	17.9	15	15.3	20	20	60
8	⑥1 暗绿色粉质黏土	3.40	19.7	48	15.3	40	40	120
9	⑥2 草黄色粉质黏土	2.70	19.1	41	16.8	40	40	120
10	⑦1 草黄色细砂	5.40	19.0	2	31.1	45	45	135
11	加固土		20.0	30	30.0	50	50	150

表 2 主要结构几何属性表

结构名称	材料	截面属性	单元类型
工法桩	钢	700 mm × 300 mm × 13 mm × 24 mm, 间距 1.2 m	平面板
地连墙	钢筋混凝土	1 m	平面板
钢筋混凝土 支撑	钢筋混凝土	0.8 m × 0.8 m, 间距 9 m	梁
钢支撑	钢	$D=609$ mm, $t=16$ mm, 钢管撑间距 3 m	梁

4.1.2 位移边界条件确定

所有边界条件均为位移边界条件。其中:地表为自由边界条件;模型左、右表面水平(X 向)位移限制为零,其他方向自由;模型底部边界的竖向(Y 向)位移限制为零。

4.1.3 初始地应力确定

初始地应力的计算主要考虑土体自重，由有限元程序直接求得初始应力场。

4.1.4 模拟计算工况

综合基坑形状及与桥桩结构的相对位置,为减小基坑开挖卸载过程对于周边既有桥桩结构变形产生的影响,结合实际施工工序,设定计算工况和步骤如下:

工况 1:土体初始应力场计算,位移清零。

工况 2: 施工地连墙和工法桩, 位移清零。

工况 3: 开挖基坑内土体 1 m。

工况 4: 施加第 1 道混凝土支撐。

工况 5:开挖坑内土体至第 2 道支撑下 0.5 m。

工况 6:施作第 2 道钢支撑。

工况 7:开挖基坑内土体至匝道底,施作匝道底板厚 300 mm 钢筋混凝土板。

工况 8: 施作第 3 道支撑。

工况 9:开挖坑内土体至第 4 道支撑下 0.5 m。

工况 10: 施作第 4 道支撑。

工况 11: 开挖至坑底。

在各工况连续计算中, 位移和应力逐次累加, 上一工况的位移和应力将作为下一工况的初始应力和位移状态。

4.2 有限元数值计算结果 & 分析

由计算结果可知: 开挖到底基坑最大水平位移 43.87 mm, 最大竖向位移 137.59 mm。

基坑水平位移云图见图 3; 基坑竖向位移云图见图 4; 浅坑工法桩位移 & 内力图见图 5; 深坑地连墙位移 & 内力图见图 6。

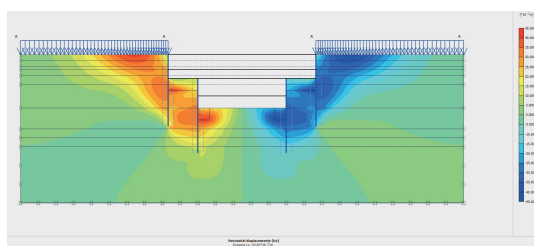


图 3 基坑水平位移云图 (单位: mm)

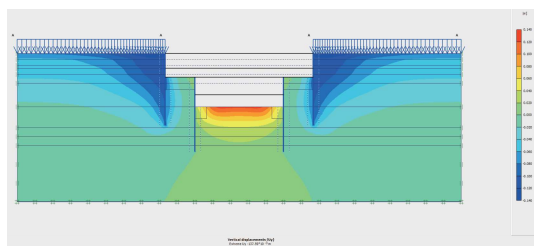


图 4 基坑竖向位移云图 (单位: mm)

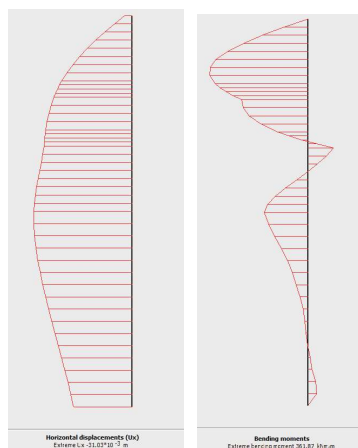


图 5 浅坑工法桩位移 (单位: mm) & 内力图 (单位: kN·m)

由计算结果可知: 浅坑工法桩最大水平位移 31.03 mm, 最大弯矩 361.87 kN·m; 深坑地连墙最大水平位移 34.24 mm, 最大弯矩 1 480 kN·m。

4.3 同济启明星设计软件计算分析

同步采用同济启明星基坑围护设计软件进行分析, 计算时为了模拟深坑开挖对浅坑的影响, 将浅坑下加固土的 m 值进行折减, 取为 $m=4.0 \text{ MN/m}^4$ 。

采用同济启明星设计软件计算的浅坑工法桩位

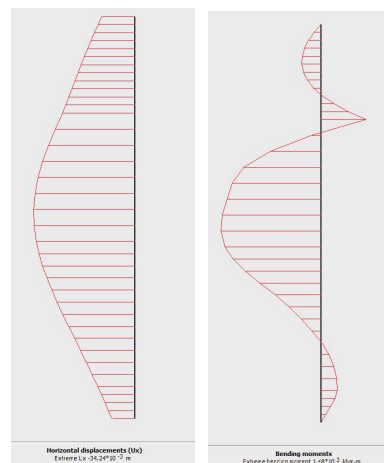


图 6 深坑地连墙位移 (单位: mm) & 内力图 (单位: kN·m)

移 & 内力图见图 7; 深坑地连墙位移 & 内力图见图 8。

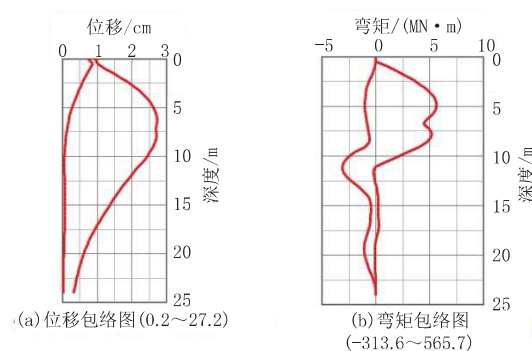


图 7 浅坑工法桩启明星位移 & 内力图

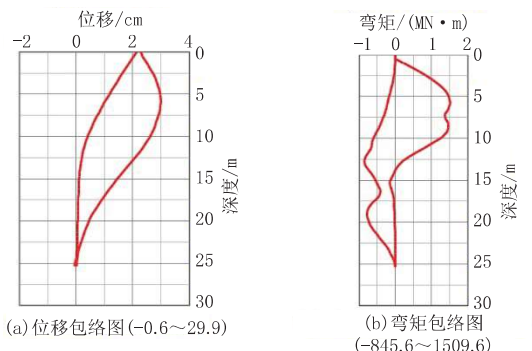


图 8 深坑地连墙启明星位移 & 内力图

4.4 现场实测数据 & 计算结果的对比

现场浅坑、深坑实测累计变形数据见图 9、图 10。

采用有限元软件和同济启明星设计软件的计算结果与现场实测数据对照见表 3。

杨高路隧道已于 2017 年建成通车, 匝道深浅坑处基坑开挖期间的变形值偏小于软件计算值, 基坑整体稳定安全。

5 结 语

(1) 采用同济启明星设计软件和 Plaxis 有限元软件计算的深坑地连墙位移 & 内力结果相差很小, 说明有限元模型 & 相关参数选取合理; 由于同济启明星设计软件计算中加固土 m 值折减取为 4.0 MN/m^4 ,

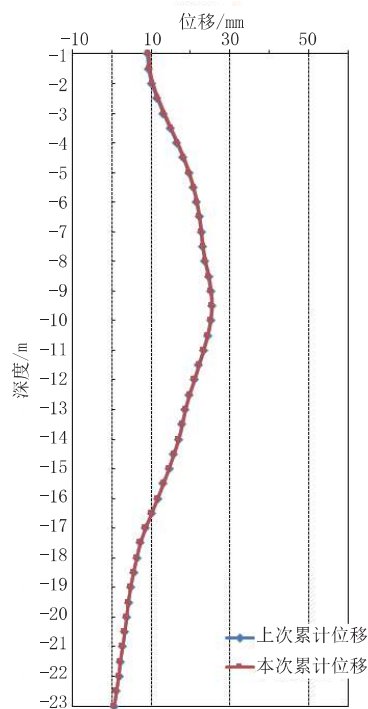


图 9 浅坑实测累计变形

表 3 实测数据与计算结果对照表

数据来源	匝道浅坑		深坑	
	匝道工法桩	匝道工法桩	主线地连墙	主线地连墙
	最大位移 /mm	最大弯矩 / (kN·m)	最大位移 /mm	最大弯矩 / (kN·m)
同济启明星	27.20	565.70	29.90	1 509.6
Plaxis 有限元	31.03	361.87	34.24	1 480.0
实测数据	25.40		31.90	

且有限元模型计算时考虑了匝道底厚 300 mm 的钢筋混凝土板,使得匝道工法桩计算弯矩较同济启明星设计软件的计算弯矩偏小。根据计算结果,最终浅坑采用工法桩,深坑采用地下连续墙。

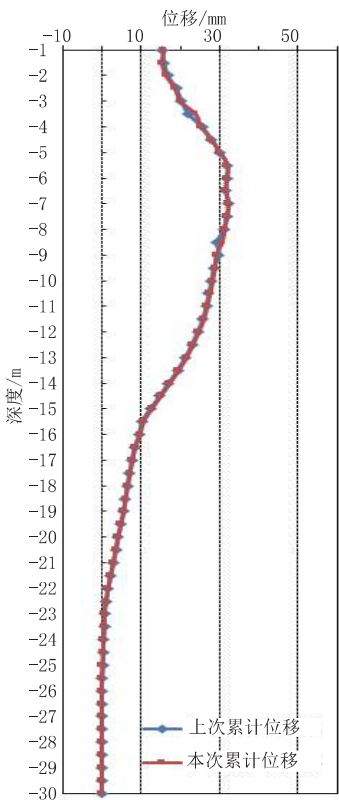


图 10 深坑实测累计变形

(2)采用有限元软件和同济启明星设计软件结合包络计算方法,深浅坑匝道围护设计能满足先浅后深开挖的受力要求。

参考文献:

[1] 申明亮,廖少明,邵伟.考虑内坑影响的“坑中坑”基坑被动土压力叠加算法[J].上海交通大学学报,2012,46(1):79-84.
[2] 杨才,王世君,丰土根.“坑中坑”开挖影响下的基坑稳定性研究[J].水利与建筑工程学报,2019,17(2):52-55,67.
[3] 丰土根,熊中华,余波.“坑中坑”开挖对悬臂式支护结构侧移的影响分析[J].岩土工程学报,2013,35(11):2053-2059.

《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

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com