

DOI: 10.11779/CJGE2019S2024

新型桩-土-撑组合支护体系工程应用研究

王 杰¹, 李迪安², 田宝吉³, 杜佐龙⁴, 韩 磊^{*1}

(1. 中国建筑第八工程局有限公司, 上海 200122; 2. 中建八局第一建设有限公司, 山东 济南 250000; 3. 中国建筑第八工程局有限公司青岛分公司, 山东 青岛 266000; 4. 中国建筑第八工程局有限公司华南分公司, 广东 广州 510663)

摘 要: 以上海某基坑工程为背景, 应用 Plaxis 2D 有限元软件、采用土体硬化本构模型(HS)对新型桩-土-撑组合支护体系进行计算分析, 得到了该组合支护体系在基坑开挖时的变形规律。计算值通过与现场实测值对比分析发现: Plaxis 2D 能够较好地预测新型桩-土-撑组合支护体系实际基坑开挖的围护结构变形; 钢管斜撑的存在改变了传统双排桩的变形规律, 能够有效减小围护桩顶位移; 基坑变形满足基坑安全和变形要求; 该基坑支护体系无内支撑, 不仅方便基坑开挖, 而且不会因为临时支撑的施工和拆除产生大量建筑垃圾, 安全经济、绿色环保, 可以为软土地区的深大基坑工程提供参考。

关键词: 桩-土-撑; 深大基坑; 有限元分析; 现场监测

中图分类号: TU463

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2019)S2-0093-04

作者简介: 王 杰(1960—), 男, 教授级高工, 从事地下深基础工程和桥梁工程方面的研究与施工。E-mail: wangj1960@sina.com。

Theoretical analysis and engineering application of new pile-soil-support system

WANG Jie¹, LI Di-an², TIAN Bao-ji³, DU Zuo-long⁴, HAN Lei¹

(1. China Construction Eighth Engineering Division Corp, Ltd, Shanghai 200122, China; 2. The First Company of China Eighth Engineering Ltd, Jinan 250000, China; 3. China Construction Eighth Engineering Division Corp, Ltd, Qingdao Branch, Qingdao 266000, China; 4. China Construction Eighth Engineering Division Corp, Ltd, South China Branch, Guangzhou 510663, China)

Abstract: The Plaxis 2D finite element software is used to analyze the deformation laws of a new pile-soil-support system with HS model based on a foundation pit in Shanghai. Contrastive analysis is conducted between finite element and measured values. The results show that the Plaxis 2D can predict the deformation of the new pile-soil-support system. The existence of tube-inclined brace changes the deformation laws of the traditional double-row piles and can reduce the displacement of top of the double-row piles effectively. The deformation of retaining piles of the new pile-soil-support system satisfies the safety and deformation requirements of the foundation pit. The new support system has no inner supports, and it avoids a lot of construction waste generated by the construction and demolition of temporary supports. It is safe, economic and green environmental protection, and it can provide reference for deep and large foundation pits in soft land areas.

Key words: pile-soil-support system; deep and large foundation pit; finite element analysis; in-situ monitoring

0 引 言

随着地下空间的大规模开发, 基坑工程正在朝着深、大方向发展^[1-2], 基坑开挖面积已达到 10^5 m^2 量级^[3]。对于软土地区的超大型基坑, 采用常规的钢筋混凝土支撑, 将会产生大量的临时支撑的施工和拆除, 不但施工成本高, 施工工期长, 还污染环境。因此, 需要一种新型基坑支护体系, 既要避免内支撑的施工, 又要保证基坑变形满足设计和规范要求。新型桩-土-撑组合支护体系由前后排桩、桩间土、桩顶连板和钢管斜撑组成, 钢管斜撑顶部位于后排桩, 且完

全位于基坑底板以下, 不但对基坑周边环境没有影响, 且不占用基坑内部空间, 大大提高基坑施工效率。

本文以上海某基坑工程为背景, 采用 Plaxis 2D 有限元软件对新型桩-土-撑组合支护体系进行计算分析, 得到了该体系的变形规律, 并对比分析计算结果与现场实测值。

基金项目: 上海市青年科技英才扬帆计划资助(18YF1425000)

收稿日期: 2019-04-27

*通讯作者 (E-mail: hanleiwel@163.com)

1 工程概况

上海某基坑工程，基坑周长约 790 m，开挖面积 34700 m²。基坑安全等级为二级，环境保护等级为三级。该场地地基土主要由黏性土、粉性土和砂土组成，场地内典型土层分布情况如图 1 所示。地下水由浅部土层中的潜水和深部土层中的承压水组成，场地地下水稳定埋深为 0.8~2.1 m。承压水水位埋深为 3~12 m，低于潜水位，并呈年周期性变化。

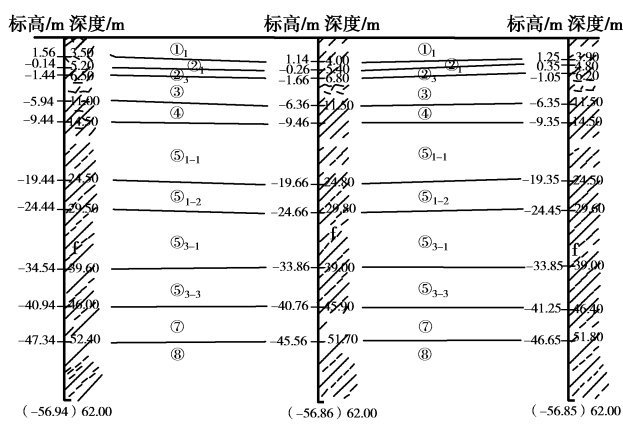


图 1 典型地质剖面图

Fig. 1 Typical geological profile

本基坑围护平面布置如图 2 所示，新型桩-土-撑组合支护体系典型剖面如图 3 所示，前、后排桩为 SMW 工法桩，排桩间距为 5 m，水泥土搅拌桩采用 Φ 850@1200 三轴搅拌桩施工，桩长 17.2 m，水泥掺量 20%，内插型钢型号为 H700×300×13×24，长度为 18 m，前排桩的布置方式为隔一插一，后排桩为隔二插一。桩顶连板为 40 cm 厚的钢筋混凝土盖板，混凝土强度等级 C35。钢管斜撑采用 Φ 377×10 钢管，倾角为 50°，斜撑长 25 m，平均斜撑间距 4.8 m，单根钢管注浆量不少于 6 吨，施工过程中如果与工程桩冲突，则避让工程桩。基坑开挖完成后的现场照片如图 4 所示。

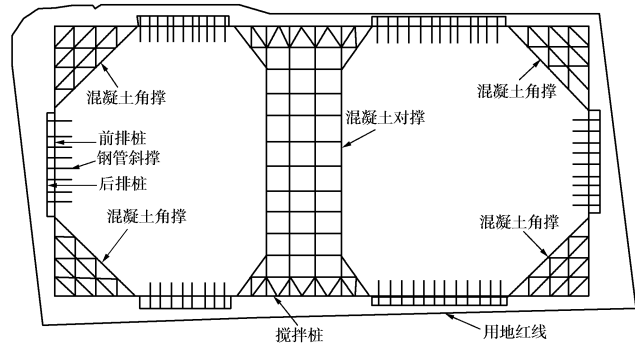


图 2 基坑围护结构平面示意图

Fig. 2 Plan sketch of support system of foundation pit

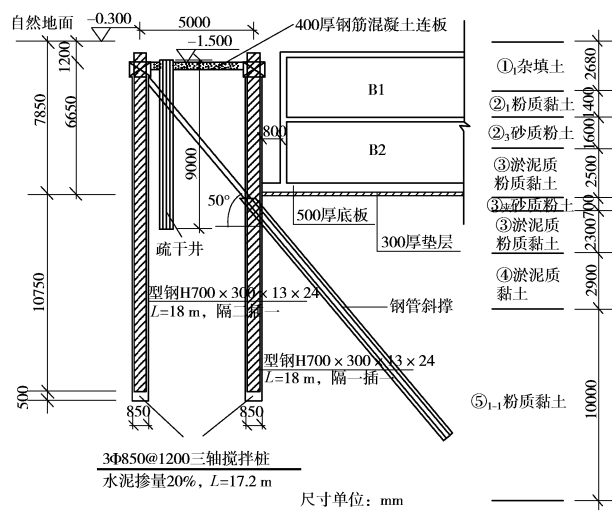


图 3 基坑围护结构剖面示意图

Fig. 3 Sectional view of support system of foundation pit



图 4 新型桩-土-撑体系基坑支护现场图

Fig. 4 Photograph of support system of foundation pit

2 有限元计算与分析

采用 Plaxis 2D 有限元软件进行建模分析，如图 5 所示。为了减小边界条件对计算结果的影响，取模型宽度为 100 m，高度为 60 m^[1-4]。土体采用 15 节点三角形单元模拟，土体本构采用土体硬化模型 (HS)^[5-6]，参数如表 1 所示；双排桩和连板采用板单元模拟， $E=3.15 \times 10^7$ kPa， $\nu=0.2$ ；钢管斜撑采用 Plaxis 特有的 Embedded beam row 单元模拟， $E=2.1 \times 10^8$ kPa。

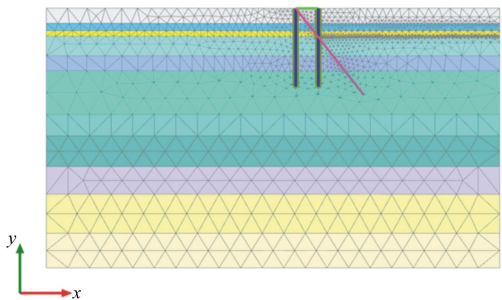


图 5 新型桩-土-撑有限元计算模型

Fig. 5 FEM model for new pile-soil-support

表 1 各土层物理力学参数表
Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layers

土层编号	重度 $\gamma /(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	黏聚力 c'/kPa	内摩擦角 $\varphi'/(^{\circ})$	压缩模量 E_s/MPa	割线刚度 $E_{50}(E_{50}=E_s)/\text{MPa}$	卸载一再加载模量 $E_{ur}(E_{ur}=3E_{50})/\text{MPa}$
① ₁ 杂填土	18.0	3.0	15.0	3.00	3.00	9.00
② ₁ 粉质黏土	18.5	5.0	27.3	4.65	4.65	13.95
② ₃ 砂质粉土	18.9	2.0	35.0	14.55	14.55	43.65
③ 淤泥质粉质黏土	17.6	4.0	31.8	3.65	3.65	10.95
④ 淤泥质黏土	17.0	4.0	21.6	3.23	3.23	9.69
⑤ ₁₋₁ 黏土	17.6	4.0	23.7	3.47	3.47	10.41
⑤ ₁₋₂ 粉质黏土	17.7	6.0	30.3	3.88	3.88	11.64
⑤ ₃₋₁ 粉质黏土	17.9	6.0	33.2	4.12	4.12	12.36
⑤ ₃₋₃ 粉质黏土	18.0	7.0	32.1	4.56	4.56	13.68
⑦ 砂质粉土	18.8	2.0	35.6	12.41	12.41	37.23

基坑开挖过程共分为 3 步: ①开挖地表至深 2 m 的土体; ②开挖深 2~4 m 的土体; ③开挖深 4~7 m 的土体。

3 计算结果分析

基坑开挖到坑底时, 土体水平位移云图如图 6 所示, 从图 6 可以看出, 基坑开挖完成以后, 基坑周边土体发生了向基坑内的位移, 由于钢管斜撑的支撑作用, 土体最大水平位移不是发生在围护桩顶位置, 而是位于前排桩基坑开挖面略向下位置, 土体最大水平位移为 43 mm。

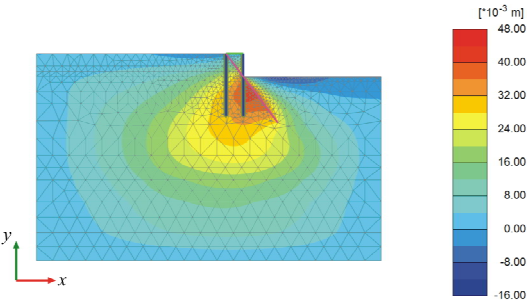


图 6 基坑开挖完成时土体水平位移云图
Fig. 6 Horizontal displacement nephogram of soil after excavation of foundation pit

基坑开挖 2 m、4 m 和 7 m 工况下的前、后排桩水平位移如图 7 所示。从图 7 可以看出: 基坑开挖时, 围护桩发生了向基坑内的变形; 随着开挖深度的增加, 桩体最大水平位移逐渐增大, 最大水平位移位置也逐渐下降; 开挖深度相同时, 前排桩与后排桩顶部和底部的位移大小基本相等; 开挖深度至 7 m 时, 前、后排桩最大水平位移发生在 12 m 深度位置, 前、后排桩最大水平位移分别为 41.3 mm 和 36.1 mm, 最终表

现为中间大、两端小的“弓”形。

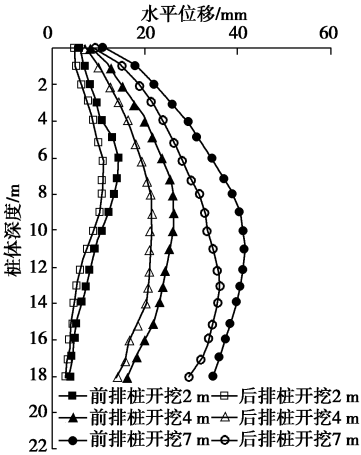


图 7 不同开挖工况下的前、后排桩水平位移
Fig. 7 Horizontal displacements of double piles under different excavation conditions

4 现场监测结果对比分析

由于本基坑开挖较深, 且黏土层较厚, 为保证基坑开挖的顺利进行, 并确保围护结构以及周边道路和地下管线的安全, 对双排桩的水平位移进行了现场监测, 现场监测贯穿整个施工过程。由于本基坑监测时, 只对前排桩进行了监测, 因此, 这里只对前排桩水平位移进行数值计算结果与实测数据的对比分析。

基坑开挖完成时, 桩体水平位移的有限元计算值和现场实测值如图 8 所示, 从图 8 可以看出, 实测前排桩水平位移最大值为 47.5 mm, 略大于最大水平位移允许报警值 40 mm, 前排桩实测值最大水平位移发生在基坑开挖面以下 1~2 m 范围内。与有限元计算值对比可以发现: 前排桩实测水平位移最大值与有限元计算得到的前排桩水平位移最大值 41.3 mm 基本相

当,且都表现为中间大、两端小的“弓”形。综合分析,实测围护桩水平位移变化规律与大小与有限元计算结果基本吻合,支护结构满足基坑支护安全和变形要求。

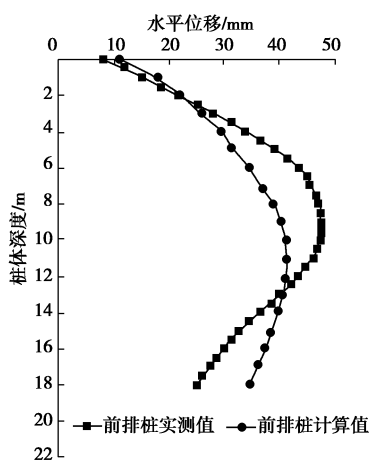


图8 前、后排桩水平位移计算值和实测值对比分析

Fig. 8 Comparison between calculated and measured horizontal displacements of double piles

5 结 论

以上海某基坑工程为背景,采用有限元软件进行计算分析,得到了该组合支护体系的变形规律,并与基坑围护桩水平位移实测值进行了对比分析,验证了该组合支护体系的可靠性,得到如下结论:

(1)有限元计算结果表明:随着基坑开挖深度的增加,桩体水平位移逐渐增大,最大水平位移位置也随着基坑开挖面的下降而逐渐下降;实测的与有限元计算得到的前、后排桩水平位移分布模式和大小基本吻合,表现为中间大、两端小的“弓”形,且都满足基坑安全和变形要求。

(2)钢管斜撑的存在改变了传统双排桩的受力性能和变形规律,可以有效减小双排桩顶位移,使得桩体最大水平位移未出现在桩顶。

(3)背景工程分析表明,本文提出的新型桩-土-撑组合支护体系满足基坑支护安全和变形的要求,而且该支护体系施工工期短、成本低,绿色施工化水平高,可以为类似工程提供参考。

参考文献:

- [1] 韩磊,王杰,王国欣,等.新型桩-土-撑组合支护体系设计和工程应用研究[J]. 工程技术研究, 2018, 32(16): 22 - 23. (HAN Lei, WANG Jie, WANG Guo-xin, et al. Research on the design and engineering application of new pile-soil-support system[J]. Engineering and Technological Research, 2018, 32(16): 22 - 23. (in Chinese))
- [2] 陈锦剑,王建华,范巍,等.抗拔桩在大面积深开挖过程中的受力特性分析[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(3): 402 - 407. (CHEN Jin-jian, WANG Jian-hua, FAN Wei, et al. Behavior of up-lift pile foundation during large-scale deep excavation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(3): 402 - 407. (in Chinese))
- [3] 郑刚,郭一斌,聂东清,等.大面积基坑多级支护理论与工程应用实践[J]. 岩土力学, 2014, 35(增刊 2): 290 - 298. (ZHENG Gang, GUO Yi-bin, NIE Dong-qing, et al. Theory of multi-bench retaining for large area foundation pit and its engineering application[J]. Rock and Soil Mechanics, 2014, 35(S2): 290 - 298. (in Chinese))
- [4] 王成华,段贤伟.基坑开挖对地下管线工作性状影响的数值分析[J]. 地下空间与工程学报, 2013, 9(5): 1166 - 1172. (WANG Cheng-hua, DUAN Xian-wei. Numerical analysis on the influence of foundation pit excavations on the working behavior of underground pipelines[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(5): 1166 - 1172. (in Chinese))
- [5] 王卫东,王浩然,徐中华.基坑开挖数值分析中土体硬化模型参数的试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(8): 2283 - 2290. (WANG Wei-dong, WANG Hao-ran, XU Zhong-hua. Experimental study of parameters of hardening soil model for numerical analysis of excavations of foundation pits[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(8): 2283 - 2290. (in Chinese))
- [6] SCHWEIGER H F, VERMEER P A, WEHNERT M. On the design of deep excavations based on finite element analysis[J]. Geomechanics and Tunneling, 2010, 2(4): 333 - 344.

(责编:明经平)