

DOI: 10.11779/CJGE2019S1041

主动式斜直交替倾斜桩支护基坑数值研究

刁 钰^{1, 2}, 苏奕铭^{1, 2}, 郑 刚^{1, 2}

(1. 滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室, 天津 300072; 2. 天津大学土木工程系, 天津 300072)

摘要: 随着可持续发展在岩土工程行业日益得到重视, 无支撑支护技术得到了大力发展。在此基础上提出一种新型的可以有效控制基坑变形的主动式无支撑支护技术, 将主动控制技术与斜直交替倾斜桩支护技术相结合, 并利用FLAC3D有限差分软件建立三维模型, 针对千斤顶位置、主动控制膨胀位移、主动桩倾角等因素对该技术工作性能的影响展开研究分析。结果发现, 主动式控制技术可以很好地应用在斜直交替倾斜桩支护中; 同时发现液压千斤顶布置于斜桩桩顶效果最佳; 此外, 膨胀位移的增加、主动桩倾角的增大都有利于主动控制效果的增强; 此外, 根据研究结果针对不同工程情况提出一些合理的建议。

关键词: 基坑; 主动式; 无支撑; 有限差分法; 斜直交替桩; 水平位移; 沉降

中图分类号: TU473 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2019)S1-0161-04

作者简介: 刁 钰(1982—), 男, 副教授, 从事岩土与地下工程的教学与研究。E-mail: yudiao@tju.edu.cn。

Numerical study on oblique-straight alternate piles for active support of excavations

DIAO Yu^{1, 2}, SU Yi-ming^{1, 2}, ZHENG Gang^{1, 2}

(1. Key Laboratory of Coast Civil Structure Safety of Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. Department of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: With the increasing emphasis on the sustainable development in geotechnical engineering, the support technology without horizontal support has been vigorously developed. A new type of active controllable support technology without horizontal support that can effectively control the deformation of soils is put forward. The finite difference software FLAC^{3D} is used to create 3D models, in which, the influences of factors such as jack position, expansion displacement, and inclination angle of active piles are studied and analyzed. The results show that the active control technology can be well applied to oblique-straight alternate pile support technology. At the same time, it is found that the hydraulic jack is better to be placed on the inclined pile top. In addition, the increases of expansion displacement and inclination angle of the active control piles are beneficial to the enhancement of the active control performance. Some reasonable suggestions are also proposed for different engineering situations.

Key words: excavation; active control; non-horizontal support; finite difference method; oblique-straight alternate pile; horizontal displacement; settlement

0 引言

随着中国城市化发展的推进, 地下工程数量不断增加和规模的迅速扩大, 深基坑工程已经成为岩土工程研究的重要领域。

近些年国内进行了软土中无支撑支护技术的尝试^[1], 除了目前常用的悬臂排桩、放坡、双排桩、预埋反压土等支护方法, 郑刚等提出新型的倾斜桩支护方法, 无需水平支撑, 用适当角度的倾斜单排桩代替竖直单排桩作为基坑支护结构, 从而能够在相同条件下减小排桩的变形与内力^[1-2]。目前, 倾斜桩支护已经在中国天津红咸里、海河院等基坑工程中成功应用, 国际上如日本^[3]和韩国^[4]等地也有案例报道。

在倾斜排桩支护的基础上, 如在倾斜排桩桩顶设置液压千斤顶, 通过千斤顶对桩身施加控制压力, 则可主动控制支护结构及基坑土体的变形(如图1)。本技术结合了无支撑支护和主动式支护两项技术的优点, 具有高效、主动, 符合智能施工和性能设计的要求。

本文采用有限差分法对主动式斜直交替倾斜桩进行了数值分析。通过分析桩后土体水平位移、坑外沉降、桩身弯矩、桩身轴力, 揭示了主动式倾斜桩控制

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0802008); 国家自然科学基金重点项目(41630641); 天津市科技计划项目(16YDLJSF00040)
收稿日期: 2019-04-30

的机理, 研究了研究分析千斤顶位移、倾斜桩倾角等因素对主动式斜直交替倾斜桩性能的影响。

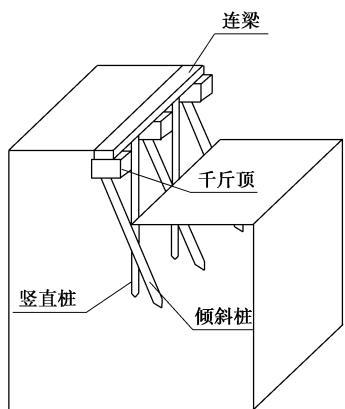


图 1 主动式倾斜桩示意图

Fig. 1 Schematic of active oblique piles

1 计算模型

模型的尺寸及网格条件如图 2 所示。该模型模拟长条形基坑开挖, 沿基坑开挖纵向取厚度为桩间距 (0.75 m) 的计算单元, 单元内各有两根半桩。这样既可以反映三维效应, 有能大幅度节省计算成本。

基坑开挖深度为 10 m, 总共分 4 次开挖。基坑开挖宽度为 40 m, 由于对称性, 仅对一半的基坑进行模拟, 因此模型支护桩顶距基坑中心 20 m。模型总长度和高度分别为基坑开挖深度 6 倍和 5 倍, 保证模型不受边界效应的影响。

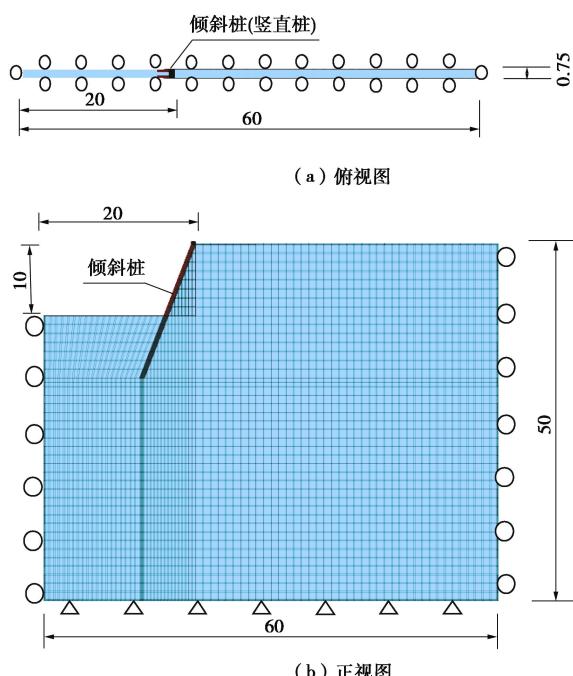


图 2 几何网格模型图

Fig. 2 Model of geometry and mesh

如图 3 所示, 模拟斜直交替倾斜桩支护基坑, 倾

斜桩和竖直桩的长度为 20 m, 选用矩形截面方桩, 截面尺寸为 375 mm×500 mm。此外, 在参数分析中会改变桩的长度和倾角, 具体详见对应章节。

本文采用实体单元进行数值模拟计算。土体构模型采用 Plastic-hardening 硬化土模型, 该模型与广泛采用的 Plaxis 内置 HS 模型相同。模型土体采用均质土, 模拟天津典型 8-1 层粉质黏土, 土体参数通过试验获得^[5], 具体如下: 重度 γ 取 2000 kN/m³, 内摩擦角 φ 取 25°, 黏聚力取 10 kPa, E_{50} 取 5 MPa, E_{ode} 取 5 MPa, E_{ur} 取 40 MPa。桩与冠梁的本构模型采用线弹性模型, 弹性模量 E 取 50 GPa, 泊松比 ν 取 0.2。

边界条件如图 2 所示, 模型的左右两个边界约束水平向位移, 模型底部约束各个方向位移, 沿着模型纵向的位移全部约束。

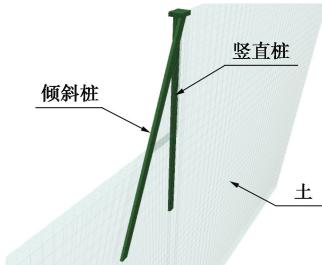


图 3 模拟工况示意图

Fig. 3 Schematic of simulation conditions

2 结果分析

2.1 千斤顶位移的影响

本文将液压千斤顶对于桩施加的主动控制作用等效成液压千斤顶膨胀位移来进行模拟, 通过模拟不同大小的膨胀位移来反应对于桩土施加不同大小的主动控制作用。考虑到当千斤顶置于顶部时施工难度小的因素, 所以将其置于桩顶。

选取倾角 20°, 桩间净距 0.375 m, 桩长 20 m, 桩土面摩擦角 20° 的斜直交替倾斜桩作为基本模型进行数值模拟, 利用液压千斤顶对斜桩施加多组不同大小的轴向主动控制膨胀位移, 每步位移取 0.02923 mm。综合分析桩后土体的水平位移、桩后地表土体沉降、桩身弯矩、主动桩轴力等指标, 具体结果如图 4, 5 所示。

如图 4 所示, 可以发现施加主动控制可以十分有效地减小桩后土体的水平位移, 且该作用随着土体深度的增大而减弱, 总体控制效果良好。同时, 施加主动控制亦可以十分有效地减小桩后地表土体的沉降, 且对于距离桩顶 20 m 范围内的作用较为明显。

随着施加的主动控制位移的增大, 土体水平位移与地表沉降都随之均匀减小, 然而其减小的幅度要明

显小于刚施加主动控制位移时显著减小的幅度, 因为当刚施加主动控制位移推动主动桩时所克服的是土体前移产生的主动土压力, 而随着主动控制位移的增大, 所克服的作用转化成被动土压力, 由于在同等推力作用下, 相比于主动土压力, 被动土压力产生的位移要小很多。因此, 可以得出对于土体施加主动控制作用主要取决于初加千斤顶力的阶段, 由图中结果可以发现, 初加控制阶段的水平位移和沉降量的减小量约占总体控制量的 70%以上。

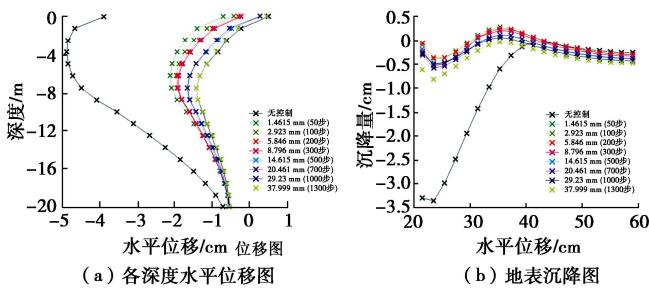


图 4 桩后土体位移图

Fig. 4 Displacements of soils behind piles

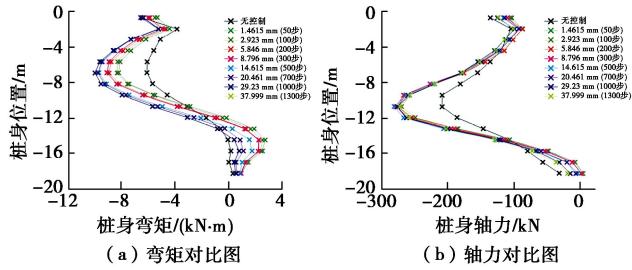


图 5 主动桩内力对比图

Fig. 5 Comparison of internal forces of active piles

此外, 由图 5 可以发现, 施加主动控制之后, 主动桩身弯矩在 7 m 深度处达到最大, 随着施加的控制位移的增大, 开挖稳定后主动桩桩身的弯矩随之增大, 且一开始增大幅度较大, 会有显著的桩身弯矩变化, 之后增大的幅度逐渐减小。

施加主动控制之后开挖稳定后主动桩身轴力也有显著增大, 之后随着控制作用的增强, 轴力增大的幅度显著减小。从两图可以发现, 开挖稳定后弯矩和轴力的大小都在可接受的范围之内。

2.2 主动桩倾角的影响

本节选择 15° 、 20° 、 25° 3 组倾角数据进行对比研究主动桩倾角对于该技术工作性能的影响。在 3 种不同倾角的工况下, 采用基本模型进行模拟, 利用千斤顶对桩身施加相同的轴向主动控制膨胀位移 500 步 (1.465 cm)。监测桩后不同深度土体的水平位移、桩后地表土体沉降、桩身弯矩和轴力等指标, 对比分析不同情况下的工作性能。

如图 6 所示, 可以发现当不施加主动控制时, 随

着斜桩倾角的增大, 开挖后桩后土体水平位移及沉降会明显减小, 这符合之前专家所研究得出的结论, 适当的提高桩身倾角可以更好的限制土体位移, 减小桩身弯矩。

当施加主动控制之后, 可以发现在 3 个工况下均可以有效的限制土体水平位移和土体沉降。然而随着主动斜桩倾角的增大, 相比于不施加主动控制时开挖后土体位移的控制量逐渐减少, 主要原因是由于当桩身倾角增大, 桩后土体本身推动桩体向前产生了主动土压力就小, 因此加以主动控制后位移减小量就相应减少。但是倾角为 15° 的控制结果与 20° 和 25° 的控制结果有较明显的差距, 由前文可知后期增加千斤顶控制位移主要克服的是被动土压力, 因此引起的位移减小量较小, 所以相比之下 15° 的情况即使施加很大的千斤顶控制作用, 也很难达到相同的控制水平。

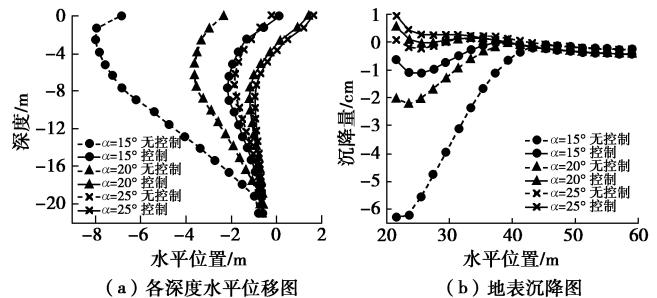


图 6 桩后土体位移图

Fig. 6 Displacements of soils behind piles

如图 7 所示, 随着主动斜桩倾角的增大, 可以明显看出, 开挖稳定后桩身弯矩随之减小, 轴力略有减小。同时, 在 15° 角的工况下, 桩身弯矩远大于 20° 和 25° 的情况, 相比来说更为不利, 所以主动桩倾角的增大对于桩身受力来说是有利的。

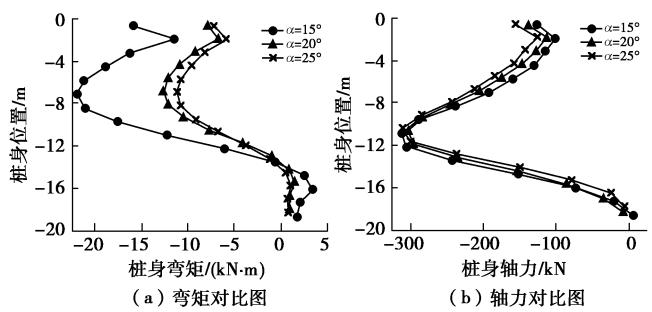


图 7 主动桩内力对比图

Fig. 7 Comparison of internal forces of active piles

综上, 对于土体位移要求不严格的工况可以采用倾角较小一些的主动桩, 这样一方面可以降低造价, 另一方面支护占用空间小、便于施工; 对于土体位移要求较严格的工况建议采用倾角较大的情况, 因为可以很好地控制住桩后土体的位移。

2.3 桩长的影响

采用基本模型进行模拟,拟取斜桩长度为15,17,19,21 m 4 个工况,监测桩后不同深度土体的水平位移、桩后地表的土体沉降、桩身弯矩、桩身轴力等指标,对比分析不同情况下的工作性能。

如图 8 所示,当斜桩长度取 15 m 时,施加主动控制不能够充分发挥其作用,桩后土体的水平位移和沉降不能得到很好的控制。一方面由于斜桩桩长过短,开挖深度与桩身嵌固长度之比已超过 2,排桩对于土体的支护作用已经减弱到一定程度。另一方面,由于桩身嵌固深度较短,桩土接触较少,因此不能够充分发挥主动控制作用。

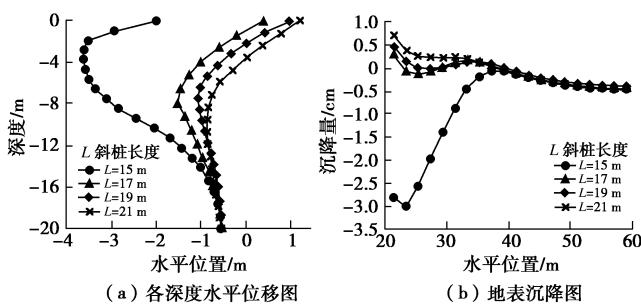


图 8 桩后土体位移图

Fig. 8 Displacements of soils behind piles

可以发现,随着主动桩长的增加,该支护对于土体的约束作用逐渐增强,工作效果变优。

如图 9 所示,在施加相同的主动控制膨胀位移的情况下,随着桩长的增加,主动桩桩身的弯矩和轴力都在逐渐增加,由于桩土接触面积变大,主动控制作用变强,所以桩身内力增大,但内力大小都在可以接受的范围之内。

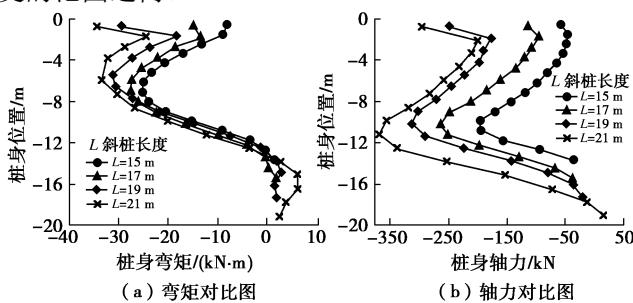


图 9 主动桩内力对比图

Fig. 9 Comparison of internal forces of active piles

3 结 论

本文利用有限差分数值分析软件 FLAC3D 建立单排主动倾斜桩和斜直交替主动倾斜桩模型,进行数

值模拟,得出以下结论:

(1) 数值模拟证实,主动式控制技术可以很好地应用在斜直交替倾斜桩支护中,该技术的确可以很好地实现对土体变形的控制,有效减小土体的位移与变形。

(2) 液压千斤顶施加的位移控制在初始阶段控制效果最佳,约占总体的 70% 以上,后期的控制增量减小,等量的控制对于千斤顶承载要求太高。

(3) 主动桩倾角的增大,虽然会使控制量减小,却能使最终控制效果变优,对于不同的工况要求可以做出合理选择。

(4) 桩长的增大,会使最终控制效果变优;桩长在一定范围内可以实现有效的主动控制。

参考文献:

- [1] 郑刚,聂东清,刁钰,等.基坑多级支护破坏模式研究[J].岩土力学,2017,38(增刊1): 313-322. (ZHENG Gang, NIE Dong-qing, DIAO Yu, et al. Failure mechanism of multi-bench retained foundation pit[J]. Rock and Soil Mechanics, 2017, 38(S1): 313-322. (in Chinese))
- [2] 徐源,郑刚,路平.前排桩倾斜的双排桩在水平荷载下的性状研究[J].岩土工程学报,2010,32(增刊1): 93-98. (XU Yuan, ZHENG Gang, LU Ping. Behaviors of double-row contiguous retaining piles with raking front-row piles under horizontal loads[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(S1): 93-98. (in Chinese))
- [3] MAEDA T, SHIMADA Y, TAKAHASHI S, et al. Design and construction of inclined-braceless excavation support applicable to deep excavation[C]// 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering: Challenges and Innovations in Geotechnics, ICSMGE. Paris, 2013: 2051-2054.
- [4] SEO M, IM J C, KIM C Y, et al. Study on the applicability of a retaining wall using batter piles in clay[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2016, 53(2): 1195-1212.
- [5] ZHENG G, YANG X, ZHOU H, et al. A simplified prediction method for evaluating tunnel displacement induced by laterally adjacent excavations[J]. Computers and Geotechnics, 2018, 95: 119-128.

(责编: 黄贤沙)