

DOI: 10.11779/CJGE2017S2028

不同施工条件下基坑预降水对地连墙侧移影响研究

曾超峰^{1, 2, 3}, 胡 义¹, 薛秀丽¹

(1. 湖南科技大学岩土工程稳定控制与健康监测湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201; 2. 天津大学滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室, 天津 300072; 3. 广西大学工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 广西 南宁 530004)

摘 要: 已有工程实测表明, 基坑开挖前的预降水可引起围护结构和周边环境厘米级的变形, 但相关的报道还是偏少, 基坑预降水引起的基坑变形性状仍未被全面揭示。采用 ABAQUS 建立考虑降水并瞬态降水的二维流固耦合有限元模型, 研究了基坑宽度和预降水深度对预降水引发变形的影响。研究表明, 预降水引发的最大地连墙侧移及地连墙侧移沿深度发展范围随着基坑宽度、降水深度的增加而增大, 并且存在临界基坑宽度使得在临界宽度范围内, 最大地连墙侧移及地连墙侧移深度范围随基坑宽度的增加而快速增加, 而超过临界宽度后, 基坑宽度对地连墙侧移的影响会明显减弱; 同时存在临界降水深度, 使得在其范围内, 最大地连墙侧移随预降水深度的增加而变化缓慢, 而超过临界降水深度后, 降水深度的增大将引起最大地连墙侧移发生较大幅度的增长。

关键词: 深基坑预降水; 地连墙侧移; 有限元计算; 基坑宽度

中图分类号: TU463

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2017)S2 - 0112 - 04

作者简介: 曾超峰(1987 -), 男, 博士后, 讲师, 硕士生导师, 从事岩土工程教学与科研工作。E-mail: cfzeng@hnust.edu.cn。

Wall deflection induced by pre-excitation dewatering under different construction conditions

ZENG Chao-feng^{1, 2, 3}, HU Yi¹, XUE Xiu-li¹

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Geotechnical Engineering for Stability Control and Health Monitoring, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China; 2. Key Laboratory of Coast Civil Structural Safety of the Ministry of Education, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 3. Key Laboratory of Disaster Prevention and Structural Safety of Ministry of Education, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The existing field measurements show that the deformation of retaining wall and surrounding environment induced by pre-excitation dewatering can reach centimeter level, but the relevant researches are still less. The behaviors of pit deformation induced by pre-excitation dewatering are not been fully revealed. In this study, a two-dimensional fluid-solid coupled finite element model is established using ABAQUS to investigate the influences of excavation width and dewatering depth on wall deflection. The results indicate that the maximum wall deflection (δ_{hm}) and the distribution range of wall deflection along depth (H_c) become larger with the increase of excavation width and dewatering depth. There is a critical excavation width, within which δ_{hm} and H_c increase fast with the increase of excavation width. However, with the excavation width being greater than the critical excavation width, the influences of excavation width on wall deflection are weak obviously. Besides, there is a critical dewatering depth, within which δ_{hm} change slowly with the increase of dewatering depth. However, with the dewatering depth being greater than the critical dewatering depth, the increase of dewatering depth will lead to a substantial growth of the maximum wall deflection.

Key words: pre-excitation dewatering; wall deflection; finite element calculation; excavation width

0 引 言

随着中国城市轨道交通建设的大力推进, 大批深基坑工程出现在城市环境中, 深基坑施工引起的变形需要严格控制^[1]。实际上, 深基坑施工引起的变形体现在施工全过程, 李光照等^[2]将深基坑施工全过程归纳为以下几个阶段: 围护结构施工、基坑预降水、土

方开挖、分层疏干与承压水降水、支撑或楼板施工、

基金项目: 国家自然科学基金项目(51578164, 51708206, 11602083); 广西自然科学基金创新研究团队项目(2016GXNSFGA380008); 湖南省自然科学基金项目(2016JJ6044); 湖南省教育厅项目(15C0557); 滨海土木工程结构与安全教育部重点实验室开放课题(2017-KF03)
收稿日期: 2017 - 08 - 02

支撑拆除及回填土、地下水恢复, 其中基坑降水是富水地层中深基坑施工时的一项必不可少的步骤。

文献[3, 4]通过实测揭示了深基坑开挖前降水可引起围护结构及周边环境发生厘米级的变形; 文献[5]通过数值模拟指出降水诱发的渗流场将引起土体位移场和围护结构两侧土压力重分布, 是导致围护结构变形的重要因素。这说明, 降水可引起基坑在土方开挖前出现不小的变形, 然而, 一直以来, 国内外基坑规范^[6-7]及绝大多数基坑施工对环境研究关注的焦点均在土方开挖后的施工过程引起的变形, 也有一部分学者研究了围护结构施工引起的变形, 基坑降水施工引起的变形问题未得到广泛关注, 基坑降水引起的基坑变形性状仍未被全面揭示。

针对以上问题, 本文拟通过 ABAQUS 软件, 采用考虑降水井瞬态降水的二维流固耦合数值模型研究不同基坑宽度和降水深度条件下降水引发基坑变形的规律。本文分别建立了基坑宽度为 120, 60 及 20 m 的二维有限元模型, 考虑 3 个不同的降水深度 (11, 19 及 27 m) 的影响。

1 二维数值模型及其验证

1.1 模型建立

基于文献[3]中工程地质与水文地质条件建立二维的基坑降水模型, 模型的土层厚度为 50 m, 概化为 9 层, 土层采用修正剑桥模型来模拟, 土层分布及其参数见文献[3]; 地下连续墙厚度为 1 m, 墙深 30 m, 降水井深度为 27 m, 地连墙和降水井采用线弹性模型来模拟, 其杨氏模量分别为 2.1×10^8 和 3×10^7 kPa。在有限元软件中, 对 20, 60 及 120 m 宽度的基坑所建立的 1/2 模型的土体尺寸分别为 $110 \text{ m} \times 50 \text{ m}$, $130 \text{ m} \times 50 \text{ m}$, $160 \text{ m} \times 50 \text{ m}$, 基坑宽度为 60 m 的降水井有限元模型见图 1, 其他宽度基坑的降水井平面间距及立面布置与图 1 中相同。

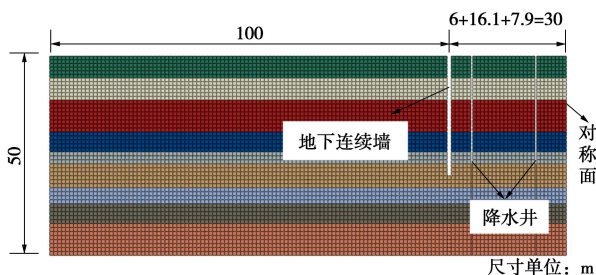


图 1 基坑宽度为 60 m 的降水井有限元模型

Fig. 1 Finite element model for pre-excitation dewatering of pit with 60 m in width

模型中土体采用 CPE4P 单元来模拟, 计算时考虑流固耦合; 墙体采用 CPE4I、降水井采用 CPE4R 单元来模拟, 假定墙体和降水井的力学行为服从弹性理论;

墙体与土体间的摩擦系数取 0.3。

模型土体侧向边界设置水平方向约束, 同时在对称面设置常水头水力补给边界 (总水头在模型顶部), 在对称面设置不透水边界。模型底部设置水平和垂直方向约束, 并设置为不透水边界。地表孔隙压力设置为零以模拟地下水位在地表。本模型采用的降水方法为在对应的降水深度边界设置零孔压, 以模拟实际的疏干井降水过程。

1.2 模型验证

将基坑宽度为 20 m、降水深度分别为 5.5 m 和 11 m 的模型计算结果与文献[3]中 20 m 宽地铁基坑降水实测结果进行比较, 见图 2, 可以看出, 在降水深度、降水时间两个维度下, 降水引发地连墙顶点侧移计算与实测结果能大致吻合, 计算曲线的发展趋势与实测结果反映的规律大致相同。

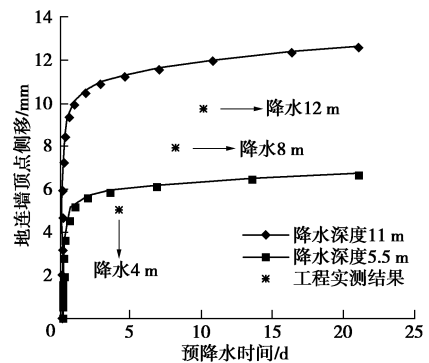


图 2 模型计算结果与工程实测对比曲线

Fig. 2 Comparison curves between model calculation and engineering observation

2 基坑宽度和降水深度对最大地连墙侧移的影响

图 3 以降水深度 27 m 为例, 表示了不同基坑宽度条件下降水引发的地连墙顶点侧移 (即最大地连墙侧移) 随降水时间的变化曲线。可以看出, 随降水时间延长, 最大地连墙侧移大致呈双直线变化, 且侧移在降水初期迅速增加, 而在降水后期侧移增加非常缓慢。这可能是由于本模型采用零孔压的降水方式, 降水迅猛。

图 4 为不同降水深度条件下最大地连墙侧移与基坑宽度的关系, 图 4 中所有数据点均取降水时间为 21 d 时的地连墙侧移值。

图 4 表明: 对于给定的降水深度, 降水引发的最大地连墙侧移随基坑宽度的增大而增大, 在基坑宽度为 20~60 m 时, 地连墙顶点侧移的变化相对较大, 基坑宽度为 60~120 m 时, 地连墙顶点侧移变化趋于平缓。这说明, 基坑宽度对地连墙的侧移有明显

的影响,且存在临界宽度,使得在临界宽度范围内,地连墙的侧移会随着基坑宽度的增加快速增加,但超过临界宽度,基坑宽度对地连墙的侧移影响会明显减弱。

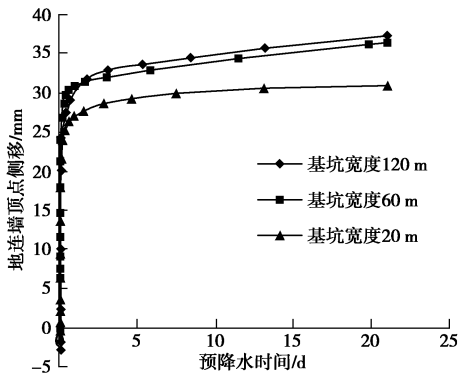


图3 不同基坑宽度条件下最大地连墙侧移时程曲线

Fig. 3 Time-history curves of maximum wall deflection under different excavation widths

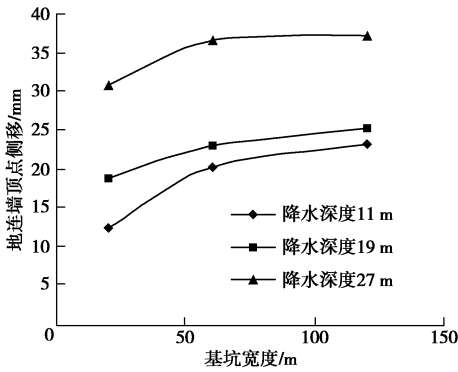


图4 不同降水深度条件下最大地连墙侧移随基坑宽度变化

Fig. 4 Relationship between maximum wall deflection and excavation width under different dewatering depths

图5为不同基坑宽度条件下最大地连墙侧移与预降水深度的关系,图5中所有数据点均取降水时间为21d时的地连墙侧移值。

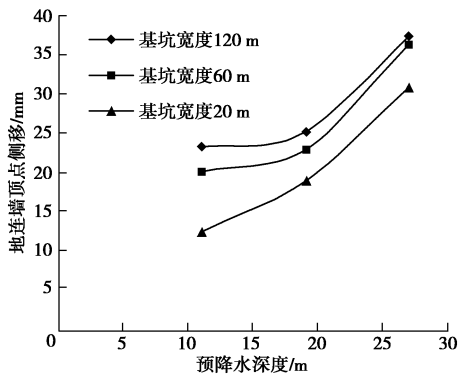


图5 不同基坑宽度条件下最大地连墙侧移随降水深度变化

Fig. 5 Relationship between maximum wall deflection and dewatering depth under different excavation widths

图5表明:对于给定的基坑宽度,预降水引发的最大地连墙侧移随降水深度的增大呈非线性增大,降

水深度为11~19m时,最大地连侧移随降水深度的变化相对较慢,降水深度为19~27m时,最大地连墙侧移随降水深度的变化相对较快。经研究分析,造成此规律的原因是降水深度较大时,发生孔隙水压力减小的地层深度范围更大(尤其是降水井进入深部含水层后),这可有图6看出,根据Zheng等^[5]的研究,这将引起地连墙两侧土压力发生更为明显的重分布,引起更大的地连墙侧移。

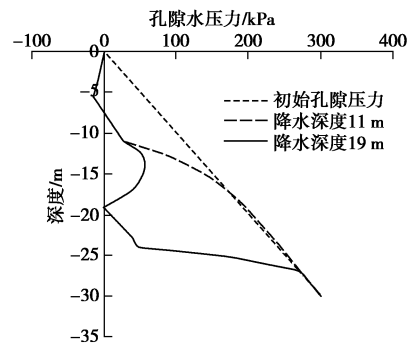


图6 不同降水深度下被动区地连墙位置处土体孔隙水压力沿深度分布

Fig. 6 Distribution of pore water pressure along soil-wall interface in passive zone

3 基坑宽度和降水深度对地连墙侧移深度范围的影响

上文分析了基坑宽度和降水深度对地连墙顶点侧移(即最大侧移)的影响,本节分析这些因素对地连墙侧移沿深度发展范围的影响。

图7为不同基坑宽度下预降水引发的地连墙侧移沿深度发展范围随降水深度的变化曲线,图7中所有数据点均取降水时间为21d时的值。图中, H_c 为地连墙墙顶至地连墙侧移为0点对应的墙体截面的距离, H_m 为地连墙总深度。可以看出,对于同一基坑宽度,地连墙发生侧移的深度范围基本随预降水深度的增大呈线性增大,因此,当基坑周边环境复杂时,对预降水深度的确定需谨慎,以免预降水引起较大深度范围地连墙侧移,并进一步诱发周边环境发生较大变形。

图8为不同预降水深度条件下预降水引发的地连墙侧移沿深度发展范围随基坑宽度的变化曲线,图8中所有数据点均取降水时间为21d时的值。可以看出,对于同一预降水深度,地连墙发生侧移的深度范围随基坑宽度的增大呈非线性增大,在基坑宽度为20~60m时,地连墙发生侧移的深度范围变化相对较大,基坑宽度为60~120m时,地连墙发生侧移的深度范围变化趋于平缓,这与图4中最大地连墙侧移随基坑宽度的变化规律基本一致。

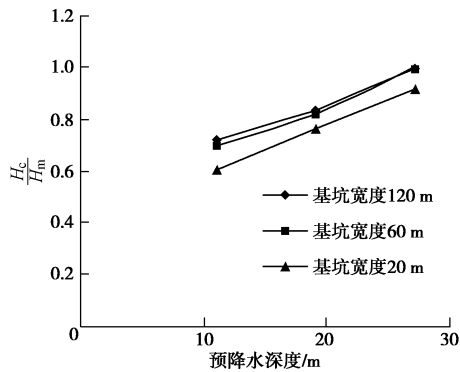


图 7 不同基坑宽度下地连墙侧移深度范围随降水深度变化
Fig. 7 Relationship between distribution range of wall deflection along depth and dewatering depth under different excavation widths

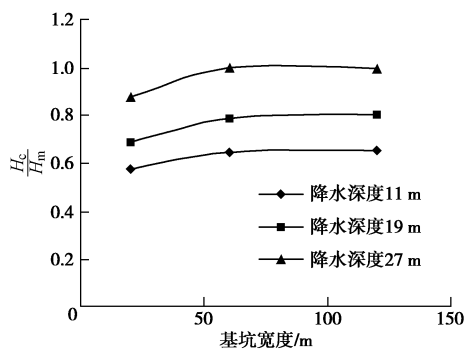


图 8 不同降水深度下地连墙侧移深度范围随基坑宽度变化
Fig. 8 Relationship between distribution range of wall deflection along depth and excavation width under different dewatering depths

4 结 论

本文采用 ABAQUS 建立考虑降水并瞬态降水的二维流固耦合模型, 研究了基坑宽度和预降水深度对预降水引发变形的影响, 得到以下结论:

(1) 基坑宽度对预降水引发的地连墙侧移有较明显的影响, 在降水深度一定时, 最大地连墙侧移及地连墙侧移深度范围均会随着基坑宽度的增大呈非线性增大。存在临界基坑宽度, 使得在临界宽度范围内, 最大地连墙侧移及地连墙侧移深度范围随基坑宽度的增加而快速增加, 而超过临界宽度后, 基坑宽度对地连墙侧移的影响会明显减弱。

(2) 预降水引发的地连墙侧移会随着降水深度增加而非线性增大。存在临界降水深度, 使得在其范围内, 最大地连墙侧移随预降水深度的增加而变化缓慢, 而超过临界降水深度后, 降水深度的增大将引起最大地连墙侧移发生较大幅度的增长。另外, 预降水引发的地连墙侧移深度范围随着降水深度增加基本呈线性

增大。当基坑周边环境复杂时, 对预降水深度的确定需谨慎, 以免预降水引起较大深度范围地连墙侧移, 并进一步诱发周边环境发生较大变形。

参考文献:

- [1] 郑刚, 朱合华, 刘新荣, 等. 基坑工程与地下工程安全及环境影响控制[J]. 土木工程学报, 2016, 49(6): 1 - 24. (ZHENG Gang, ZHU He-hua, LIU Xin-rong, et al. Safety control of supported deep excavation and underground engineering and the impact on surrounding environment[J]. China Civil Engineering Journal, 2016, 49(6): 1 - 24. (in Chinese))
- [2] 李光照, 郑刚. 软土地区深基坑工程存在的变形与稳定问题及其控制——基坑施工全过程可产生的变形[J]. 施工技术, 2011, 40(338): 5 - 9. (LI Guang-zhao, ZHENG Gang. Stability and deformation problems during deep foundation excavation in soft soil area and their control measures—deformation in process of foundation excavation[J]. Construction Technology, 2011, 40(338): 5 - 9. (in Chinese))
- [3] 郑刚, 曾超峰. 基坑开挖前潜水降水引起的地下连续墙侧移研究[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(12): 2153 - 2163. (ZHENG Gang, ZENG Chao-feng. Lateral displacement of diaphragm wall by dewatering of phreatic water before excavation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(12): 2153 - 2163. (in Chinese))
- [4] 曾超峰, 郑刚, 薛秀丽. 大面积基坑开挖前预降水对支护墙变形的影响研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(6): 1012 - 1021. (ZENG Chao-feng, ZHENG Gang, XUE Xiu-li. Study of wall deflection induced by pre-excavation dewatering in large-scale excavation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, 39(6): 1012 - 1021. (in Chinese))
- [5] ZHENG G, ZENG C F, DIAO Y, et al. Test and numerical research on wall deflections induced by pre-excavation dewatering[J]. Computers and Geotechnics, 2014, 62(8): 244 - 256.
- [6] JGJ 120—2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. (JGJ 120—2012 Technical specification for retaining and protection of building foundation excavations[S]. Beijing: China Architecture and Building Press; 2012. (in Chinese))
- [7] BS EN 1997-1:2004+A1:2013 Eurocode 7: Geotechnical design—part 1: General rules[S]. London: British Standards Institution, 2013.