

Analysis of Influencing Factors of Lateral Deformation of Underground Continuous Wall

Jie Yuan, Xun Wu, Qiuwang Peng, Jianping Chen

Guangzhou University, Guangzhou Guangdong

Email: 124771180@qq.com, wx632f@163.com, 1766064178@qq.com, 956276090@qq.com

Received: Feb. 16th, 2018; accepted: Mar. 2nd, 2018; published: Mar. 9th, 2018

Abstract

ABAQUS finite element software is used to analyze the effects of soil properties and surrounding soil overload on the lateral deformation of underground continuous wall. In the analysis we used single factor sensitive analysis, that is, other factors remain unchanged and only a single factor is changed for analysis. The results show that: 1) The change of the soil properties has a great influence on the lateral deformation of the underground continuous wall. The change of the soil properties above the substrate does not cause the lateral deformation of the wall to change; it mainly changes the size of the lateral displacement of the wall. 2) The surrounding load of the foundation pit has a great influence on the lateral deformation of the wall, especially for the underground continuous wall without supporting in the wall crown. The existence of overload makes the lateral displacement of the wall increase, and also changes the form of the lateral deformation of the wall.

Keywords

Underground Continuous Wall, Lateral Deformation, Finite Element

地下连续墙侧向变形影响因素分析

袁 杰, 吴 勋, 彭秋旺, 陈建平

广州大学, 广东 广州

Email: 124771180@qq.com, wx632f@163.com, 1766064178@qq.com, 956276090@qq.com

收稿日期: 2018年2月16日; 录用日期: 2018年3月2日; 发布日期: 2018年3月9日

摘 要

利用ABAQUS有限元软件分析土体性质、周边土体超载两个因素对地下连续墙侧向变形的影响。在分析

中我们采用单因素敏感分析法,即其他因素不变的情况下只改变单一因素进行分析。分析结果显示:1) 土体性质的改变对地下连续墙侧向变形影响较大,基底以上土体性质的变化不会造成墙体侧向变形形式的改变,它主要是改变墙体侧向位移的大小。2) 基坑周边超载对地连墙侧向变形影响很大,特别是对于墙顶无支撑的地下连续墙,超载的存在使得墙体侧向位移增加的同时,也改变了墙体的侧向变形形式。

关键词

地下连续墙, 侧向变形, 有限元

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

刘宗仁等[1]全面深入地阐述了基坑工程支护体系的设计、施工和监测等内容。丛蔼森等[2]系统地介绍了地下连续墙的设计、施工方法及最新的科研成果。俞建霖、龚晓南等[3]在深基坑工程中采用三维空间有限单元法,分析了空间效应在基坑开挖过程中对围护结构侧向变形、侧向土压力分布的影响,并将计算结果与二维平面问题的结果进行了比较,通过工程实例证明了三维分析在基坑工程中的合理性。高文华等[4]将三维有限元计算模型应用在基坑开挖过程中,模型考虑了基坑开挖引起的空间效应及地基流变引起的时变效应,能够计算在任意时刻及位置的变形。熊春宝[5]等采用有限元软件 ABAQUS 对天津某软土深基坑工程进行了三维非线性有限元模拟分析。通过数值分析结果与实际测量数据的比较,验证了有限元分析方法的精度,计算方法及结论,有益于今后对类似基坑工程进行更可靠的分析设计。费康、张建伟等[6]系统地介绍了 ABAQUS 软件用于岩土工程数值分析的功能和方法。杜习磊等[7]将基坑、支护结构及基坑周围土体放在一个系统中进行研究,得到了一些对深基坑设计和施工有实际意义的结论。李胤铎[8]等建立三维有限元模型对上海轨道交通杨浦线(M8)工程复兴路站基坑分步开挖,以及车站主体结构分步浇筑的整个施工过程进行分析,介绍了工程的相关情况。黄传胜、张家生等[9]分析了不同的模型平面尺寸及计算深度对深基坑变形产生的尺寸效应,提出了确定有限元模型合理尺寸的方法。张嘉、罗士梅等[10]探讨了钢筋混凝土排桩联合钢内支撑的基坑支护形式,对比分析基坑及相邻建筑物的受力状态和变形情况,验证了模型的建立和应用是合理和可靠的。

针对地下连续墙侧向变形问题,本文利用 ABAQUS 有限元软件分析土体性质、周边土体超载两个主要因素对地下连续墙侧向变形的影响。在分析中采用单因素敏感分析法,即其他因素不变的情况下只改变单一因素,从而总结出该因素对地下连续墙侧向变形的影响规律。

2. 分析模型的建立

在本文数值模拟分析中,为了减小其他无关因素对计算结果的影响,便于简单分析,因此对模型进行简化。土体模型尺寸为 $200\text{ m} \times 63\text{ m} \times 50\text{ m}$, 基坑开挖宽度为 20.5 m , 开挖深度为 17.5 m , 与工程实例相同。支护结构采用地下连续墙加内支撑,均为钢筋混凝土材料,混凝土强度等级为 C30。地下连续墙墙厚 0.8 m , 墙长 35 m , 取基坑开挖深度的 2 倍。内支撑截面为矩形,截面尺寸取 $0.8\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ 。为了方便分析,将土体分为两层,分别为基坑开挖面以上土体及基坑开挖面以下土体,土层参数如表 1 所示。

对土体及支护结构进行网格划分,为了提高计算精度及计算速度,对连续墙及基坑周边土体网格进行加密处理。土体及支护结构网格划分如图 1 和图 2。

Table 1. Soil parameters
表 1. 土层参数表

土层	重度(kN/m)	粘聚力(kPa)	内摩擦角(°)	弹性模量(MPa)	泊松比
第一层	17.0	8	6	5	0.35
第二层	20.5	35	20	500	0.28

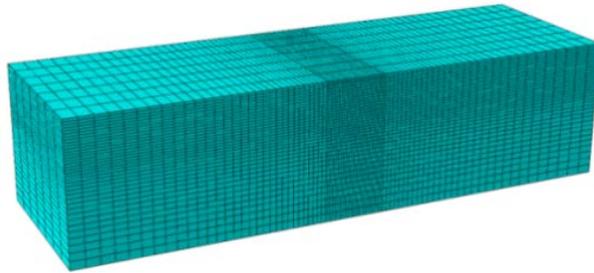


Figure 1. Soil meshing
图 1. 土体网格划分

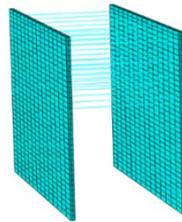


Figure 2. Support structure meshing
图 2. 支护结构网格划分

3. 土体性质对连续墙侧向变形的影响分析

为了研究土体性质对地下连续墙侧向变形的影响，将模型中土体分为两部分进行研究，分别为基坑底面以上土体性质及基坑底面以下土体性质对连续墙侧向变形的影响。连续墙在基底以上及以下具有不同的受力状态，即基底以上墙体主要受到侧向水土压力，其中土压力为主动土压力，基底以下墙体在基坑外部受到的土压力为主动土压力，在基坑内部受到的土压力为被动土压力。影响土体强度的主要因素为粘聚力、内摩擦角、弹性模量、泊松比等，且该四种主要因素之间又有着密切联系。因此通过改变这四个参数来改变土体性质，进而探讨连续墙的侧向变形规律。

3.1. 基底以上土体性质对连续墙侧向变形的影响分析

将基本模型中的土体参数作为对照算例，然后另取三个算例进行分析计算，土体参数如表 2 所示。同时，只改变基底以上土体参数，模型中其他条件保持不变，分析连续墙侧向变形规律。

经分析计算，四个算例对应的基坑开挖完成后连续墙侧向变形随墙体深度的变化曲线如图 3 所示。

四个算例对应的连续墙侧向位移最大值及其位置如表 3 所示。

通过图 3 及表 3 可知，基底以上土层性状越好，墙顶水平位移越小而且连续墙侧向变形越小，且这种效果很明显。从图 3 可以看出，基底以上土体性质变化对连续墙变形形式影响不大，因首层土体开挖完成后连续墙处于悬臂受力状态，墙体有向基坑内部的侧向位移，随着开挖深度的增加，墙体向基坑内部的侧向位移也不断增大，且最大位移位置不断下移，四个算例中墙体最大侧向位移均出现在-10 m 附

Table 2. Soil parameters
表 2. 土层参数表

算例	重度(kN/m)	粘聚力(kPa)	内摩擦角(°)	弹性模量(MPa)	泊松比
原算例	17	8	6	5	0.35
算例 1	17.5	10	10	6	0.35
算例 2	18	12	15	10	0.32
算例 3	18.5	15	20	15	0.3

Table 3. Maximum lateral displacement and position of continuous wall under different soil properties
表 3. 不同土体性质下连续墙最大侧向位移及位置

算例	最大位移值位置(m)	最大侧向位移(mm)
原算例	-9.5	11.74
算例 1	-9.5	10.59
算例 2	-10.5	7.64
算例 3	-10.5	5.95

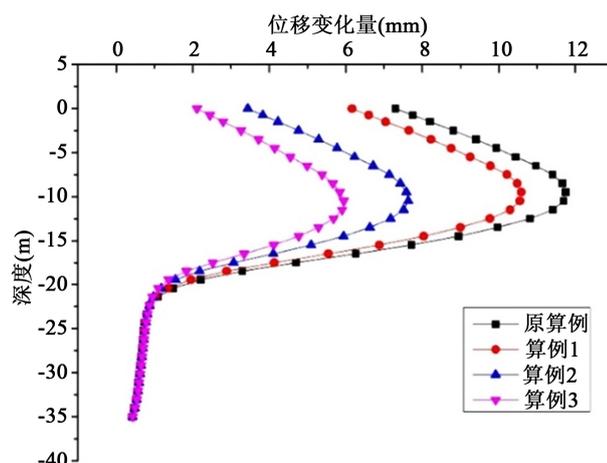


Figure 3. Lateral deformation curve of continuous wall under different soil properties

图 3. 不同土体性质下连续墙侧向变形曲线

近, 墙体最大侧向位移由原算例的 11.74 mm 减小到算例 3 的 5.95 mm, 分别减小 9.8%、27.8% 和 22.1%, 变化十分明显, 最大侧向位移出现位置约为基坑开挖面以上 1/3 深度处。由此可见, 土体性状越好, 对连续墙侧向变形的控制也越好。究其原因, 是因为土层性状越好即土体参数 c 、 ψ 增大, 减小了作用在墙体上的主动土压力, 从而减小了墙体的侧向位移。在墙体达到最大侧向位移后, 随之开挖深度的增加, 连续墙侧向位移逐渐减小, 且减小速率较快, 其原因为连续墙入土深度较大, 且基坑底面以下土体性状较好, 对墙体的嵌固力较强, 基底以下墙体侧向位移受到较大限制, 进而影响上部墙体的侧向位移。因此, 在实际工程中, 特别是在软土地区, 可以通过对土体加固的方法来控制连续墙的侧向位移, 在减小墙体侧向变形的同时, 增加基坑的整体稳定性。

3.2. 基底以下土体性质对连续墙侧向变形的影响分析

为了研究基底以下土体性质对连续墙侧向变形的影响, 将基本模型中的土体参数作为对照算例, 然

后另取三个算例进行分析计算，基底以下土体参数如表 4 所示。同时，只改变基底以下土体参数，模型中其他条件保持不变，分析连续墙的侧向变形规律。

经分析计算，四个算例对应的基坑开挖完成后连续墙侧向变形随墙体深度的变化曲线如图 4 所示。

四个算例对应的连续墙侧向位移最大值及其位置如表 5 所示。

由图 4 及表 5 可知，基底以下土层性质的变化将会引起墙体侧向变形形式的改变。随着基底以下土层性质由好变差，墙体在开挖深度 7.5 m 以上侧向变形变化不大。随着开挖深度的增加，连续墙侧向变形逐渐增大且变形形式有所变化，墙体最大侧向位移由原算例的 10.59 mm 增加到算例 3 的 14.85 mm，且最大侧向变形位置也逐渐下移，由原算例的 -9.5 m 下降到算例 3 的 -12.5 m，变化十分明显。墙体侧向变形在基底以下变化最为显著，随着土层性质的变差。基底以下连续墙逐渐向基坑内部移动，墙体整体变形形态逐渐变为“弓”。究其原因，土层性质在由好变差的过程中，作用在墙体外侧的主动土压力和

Table 4. Soil parameters

表 4. 土层参数表

算例	重度(kN/m)	粘聚力(kPa)	内摩擦角(°)	弹性模量(MPa)	泊松比
原算例	20.5	35	20	500	0.28
算例 1	20.1	32	18	250	0.28
算例 2	20	30	16	100	0.3
算例 3	19	24	14	50	0.32

Table 5. Maximum lateral displacement and position of continuous wall under different soil properties

表 5. 不同土体性质下连续墙最大侧向位移及位置

算例	最大位移值位置(m)	最大侧向位移(mm)
原算例	-9.5	10.59
算例 1	-10.5	11.41
算例 2	-11.5	13.06
算例 3	-12.5	14.85

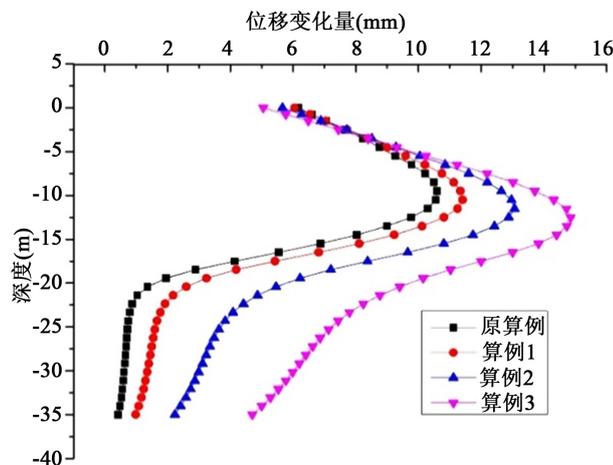


Figure 4. Lateral deformation curve of continuous wall under different soil properties

图 4. 不同土体性质下连续墙侧向变形曲线

作用在墙体内侧的被动土压力逐渐变小, 更重要的原因是土层性质变差, 导致土层相应的刚度也降低, 土体抵抗变形的能力减小, 对墙体的嵌固作用降低, 使墙体在主被动土压力作用下向基坑内部移动。因此, 在基坑工程所处环境条件允许的情况下, 使连续墙底部尽量插入到土层性质较好的地层中, 以控制连续墙的整体变形, 保证基坑工程的整体稳定性。

4. 地面超载对连续墙侧向变形的影响分析

4.1. 墙顶无支撑时超载对连续墙侧向变形的影响分析

在基坑工程进行施工时, 基坑周边一般不允许出现超载, 但在一些特殊情况下, 如基坑施工作业面狭窄, 基坑周边不可避免的会出现超载情况。一般要求基坑周边有超载时其值不应大于 30 kPa, 本小节对基坑周边出现超载时连续墙侧向变形有何变化进行研究, 以基本模型中无超载情况进行对比, 分别取基坑周边超载 20 kPa、30 kPa 和 40 kPa 进行研究, 超载作用在基坑外侧全部土体范围内。模型中其他参数保持不变。

基坑周边出现不同超载时, 连续墙侧向变形曲线如图 5 所示。

基坑周边不同超载时连续墙最大侧向位移及其位置如表 6 所示。

从图 5 可以看出, 基坑周边超载对连续墙侧向位移十分显著的影响。超载载荷的增加, 改变了墙体的侧向变形形式及最大侧向位移位置。因墙顶无支撑存在, 超载对连续墙墙顶的位移变化影响最为明显。随着超载的增加, 墙顶逐渐向基坑内移动, 墙体的侧向变形形式最终与悬臂梁相似, 侧向最大位移位置由无超载时-9.5 m 移动到墙顶, 侧向位移最大值由 10.74 mm 增加到 25.85 m, 变化十分明显。在开挖深

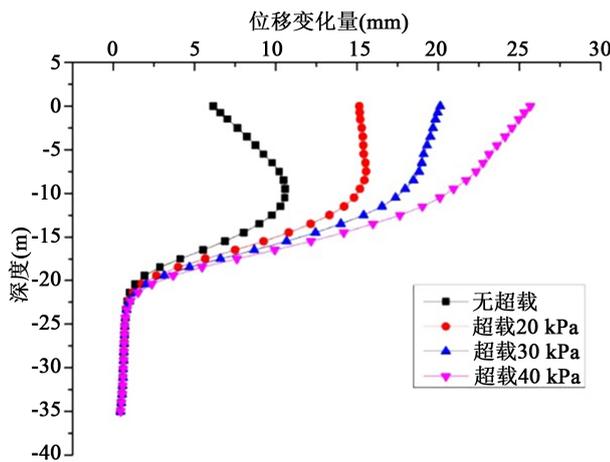


Figure 5. Lateral deformation curve of continuous wall at different overload

图 5. 不同超载时连续墙侧向变形曲线

Table 6. Maximum lateral displacement and position of continuous wall at different overload

表 6. 不同超载时连续墙最大侧向位移及位置

超载	最大位移值位置(m)	最大侧向位移(mm)
无超载	-9.5	10.74
超载 20 kPa	-7.5	15.90
超载 30 kPa	0	20.30
超载 40 kPa	0	25.85

度 10 m 以下, 连续墙侧向变形形式基本相同, 即基坑周边超载主要侧向位移最大值以上墙体有较为明显的影响。究其原因, 基坑周边超载, 会增加作用在墙体上的侧向压力, 而本文模型中首层土体开挖时连续墙处于悬臂状态, 侧向土压力变化对其变形有较为显著的影响。

4.2. 墙顶有支撑时超载对连续墙侧向变形的影响分析

当地下连续墙顶部设置内支撑时, 墙体的受力状态将发生改变, 此时基坑周边地面超载对连续墙侧向变形有何影响, 为本小节研究内容。本节分析模型以基本模型为基础, 在连续墙顶部加设一道内支撑, 其他参数保持不变。

墙顶存在内支撑时, 基坑周边地面不同超载条件下地下连续墙侧向位移随开挖深度的变化曲线如图 6 所示。

基坑周边不同超载时连续墙最大侧向位移及其位置如表 7 所示。

由图 6 可以看出, 墙顶有支撑时基坑周边地面超载对连续墙侧向变形的影响与墙顶无支撑时基坑周边超载对连续墙侧向变形的影响明显不同。墙顶有支撑时, 不同超载作用下, 连续墙侧向变形形式及最大侧向位移位置无明显变化, 最大侧向位移随超载载荷的增加稍有增加, 从无超载到超载 40 kPa, 最大侧向位移分别为 5.99 mm、7.15 mm、8.01 mm 和 9.09 mm, 分别增大了 19.4%、12.03% 和 13.48%, 墙体侧向位移增加较大。由图 6 还可得出, 在有支撑的情况下, 连续墙墙顶侧向位移较小, 基坑以下连续墙最大侧向位移出现位置约为基坑开挖面以上 1/3 深度处。

由以上两种情况的结果分析可知, 基坑周边地面超载对墙顶无支撑的地下连续墙侧向变形影响较大,

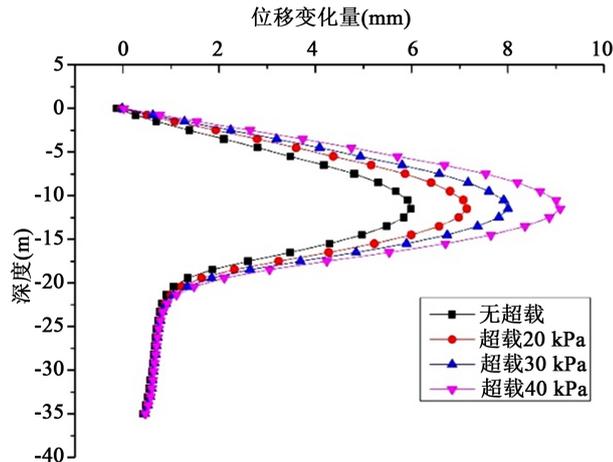


Figure 6. Lateral deformation curve of continuous wall at different overload

图 6. 不同超载时连续墙侧向变形曲线

Table 7. Maximum lateral displacement and position of continuous wall at different overload

表 7. 不同超载时连续墙最大侧向位移及位置

超载	最大位移值位置(m)	最大侧向位移(mm)
无超载	-11.5	5.99
超载 20 kPa	-11.5	7.15
超载 30 kPa	-11.5	8.01
超载 40 kPa	-11.5	9.09

不仅改变了墙体的侧向变形形式，同时，墙体最大侧向位移位置也逐渐向上移动，最终使墙顶位移达到最大。墙顶支撑的设置改变了墙体的受力状态，墙顶向基坑内部的位移得到约束，连续墙最大侧向位移出现在开挖深度中部附近，且侧向位移变化量较墙顶无支撑时显著减小，改善了基坑工程整体稳定性。因此，在实际工程中，应尽量避免基坑周边出现超载情况，当无法避免时，墙顶需要设置支撑以限制墙顶的位移，以避免墙体产生较大的变形，使基坑产生整体稳定性破坏。

5. 小结

本文主要对简化模型进行数值模拟，分析不同影响因素如土体性质、基坑周边超载在基坑开挖过程中对地下连续墙侧向变形的影响。通过计算分析，得出以下几个结论：

1) 土体性质的改变对地下连续墙侧向变形影响较大，基底以上土体性质的变化不会造成墙体侧向变形形式的改变，主要是改变墙体侧向位移的大小。基底以下土体性质的变化不仅会改变墙体侧向位移大小，同时也会改变墙体侧向变形形式。较好的土层性质能够明显限制墙体的侧向变形。在实际工程中，特别是在软土地区，可以采用对土体进行加固的方式，控制墙体的侧向变形。

2) 基坑周边超载对地下连续墙侧向变形影响很大，特别是对于墙顶无支撑的地下连续墙，超载的存在使得墙体侧向位移增加的同时，也改变了墙体的侧向变形形式，因此，在实际工程中，应尽量避免超载的发生。

参考文献

- [1] 刘宗仁. 基坑工程[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2008.
- [2] 丛蔼森. 地下连续墙的设计施工与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [3] 俞建霖, 龚晓南. 深基坑工程的空间性状分析[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(1): 24-28.
- [4] 高文华, 杨林德. 软土深基坑围护结构变形的三维有限元分析[J]. 工程力学, 2000, 17(2): 134-141.
- [5] 熊春宝, 雷礼钢, 葛有志. 土的不同本构关系对三维有限元分析的影响[J]. 天津理工大学学报, 2006, 22(1): 81-84.
- [6] 费康, 张建伟. ABAQUS 在岩土工程中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [7] 杜习磊. 深基坑连续墙支护结构位移变形分析[D]: [硕士学位论文]. 扬州: 扬州大学, 2011.
- [8] 李胤铎, 林旭明, 范伟. 某地铁站基坑开挖支护与主体结构浇筑三维有限元分析[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(2): 143-146.
- [9] 黄传胜, 张家生. 地铁深基坑三维有限元模型尺寸效应分析[J]. 铁道科学与工程学报, 2011, 8(2): 59-63.
- [10] 张嘉, 罗士梅. 复杂边界深基坑三维有限元数值模拟应用[J]. 施工技术, 2015(s2): 73-76.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org