

逆作法开挖坑底工程桩差异回弹有限元分析

王丽^{1,2}, 郑刚¹

(1.天津大学建筑工程学院,天津 300072;2.大连交通大学土木与安全工程学院,辽宁大连 116028)

摘要:逆作法开挖过程,基坑内工程桩的回弹量不同会反作用于地下室结构,引起次生应力.探讨了减小逆作法基坑开挖过程工程桩差异回弹的方法,包括改变工程桩的布置、长度和直径以及改变构件的竖向及水平的连接刚度等.有限元计算结果表明:采用不同长度的工程桩柱可以有效地减小各桩柱顶部的回弹量及回弹差,并保证开挖过程中各桩柱的回弹差基本不变;采用不同半径的工程桩柱仅对减小各桩柱顶部的回弹差有一定的作用,对减小桩柱顶部的回弹量效果不明显;对于非排土桩,增加基坑中心桩柱的数量对桩柱顶部的回弹影响很小;地下室楼板和桩柱表面可以竖向滑动,桩柱之间的回弹差不会导致楼板产生向上的凸起,也就不会带动桩产生向基坑方向的变形,桩身侧移明显减小;当减小桩柱对地下室楼板的水平支撑作用,各桩柱的顶部回弹量和回弹差均明显增加,地下室楼板中心处会在桩柱的带动下产生较大的凸起,带动桩身产生较大侧移.

关键词:逆作法; 差异回弹; 节点连接刚度; 侧向变形; 工程桩

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2017.03.011

引用格式: 王丽,郑刚. 逆作法开挖坑底工程桩差异回弹有限元分析[J]. 中国科学技术大学学报, 2017, 47(3): 274-282.

WANG Li, ZHENG Gang. Finite element analysis of the differential rebound of piles in pit during top-down excavation[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2017, 47(3): 274-282.

Finite element analysis of the differential rebound of piles in pit during top-down excavation

WANG Li^{1,2}, ZHENG Gang¹

(1.School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2.School of Civil and Safety Engineering, Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China)

Abstract: Differential rebounds between piles will bring extra stresses in the basement structure during top-down excavation. Methods for minimizing differential rebounds between piles were discussed, including variations in pile location, pile length and pile radius as well as variations in vertical or horizontal connection stiffness of joint between horizontal bracing system and vertical sustaining structure. Results of the finite element method show that: variation in pile length is an effective way to diminish rebounds and differential rebounds of piles and keep differential rebounds unchanged during pit excavation; variation in pile radius helps to diminish differential rebounds between piles, but their effect on differential rebounds are really small; for non-displacement piles, the impact of variation in pile space on rebounds at pile head

收稿日期:2016-03-01;修回日期:2016-12-12

基金项目:国家自然科学基金(51208071)资助.

作者简介:王丽(通讯作者),女,1974年生,博士/副教授.研究方向:基坑及隧道开挖工程. E-mail: jiaoda_tina@163.com

can be neglected; when piles and retaining wall can slip vertically, the effect of differential rebounds of piles on slabs can be neglected and lateral deflections of piles decrease accordingly; when horizontal support of columns to slabs is weakened, there are sharp increases in rebounds and differential rebounds of piles, resulting in the lateral deflections of piles towards pit center.

Key words: top-down excavation; differential rebound; connection stiffness of joint; deflection; pile

0 引言

逆作法基坑开挖过程, 基坑内土体卸荷回弹会带动工程桩回弹, 不同位置的工程桩的回弹量不同, 这种差异回弹反作用于地下室结构, 引起次生应力。

国内外学者一直在探讨减小基坑开挖过程工程桩之间的回弹差。部分学者提出增加地下室结构构件之间的连接刚度以保证结构作为一个整体而回弹或下沉^[1-2]。与此相反, 另一部分学者提出削弱地下室水平支撑系统(梁板)与竖向支承构件(工程桩柱和地下连续墙)的连接刚度以减小竖向构件的差异回弹的影响^[3]。此外, 通过增加沉降较大的区域的桩基础的长度、数量、减小桩间距等来减小桩基础的不均匀沉降^[4-11]。

文献[12]对上海地铁 10 号线基坑工程^[13]进行有限元模拟分析, 其中图 3 给出有限元计算的柱顶回弹及挡土墙侧移, 有限元计算结果与现场监测结果十分接近。由于篇幅限制, 此处不再给出对比图。这说明文献[12]采用的材料参数能够反映工程实际情况。本文在文献[12]的有限元模型及参数基础之上, 详细探讨减小基坑开挖过程坑底工程桩差异回弹的方法, 主要包括以下几个方面: 改变工程桩的布置、长度和直径; 改变构件的竖向及水平的连接刚度。

1 逆作法工况

关于上海地铁 10 号线工程概况的详细描述、基坑剖面图详见文献[12-13]。有限元模型的土体、桩、柱和地下连续墙的材料参数及模拟开挖步骤等介绍详见文献[13]。

本文模拟基坑长为 69.9 m, 宽为 41.7 m。基坑内桩柱数量为 35 根, 桩间距横向为 8.5 m, 纵向为 5.7 m。为了节省计算成本, 利用对称性取 1/4 基坑面积进行计算。桩编号见图 1。其中 1~6 号桩为圆桩, 7~11 号桩为半圆桩, 12 号桩为 1/4 圆桩。

基坑开挖深度为 26.8 m。基坑内土体分 8 层开挖^[12-13]。地下连续墙长 46 m, 厚度为 1.0 m。基坑内柱长为 26.8 m, 半径为 0.5 m。基坑内桩长为 29 m, 半

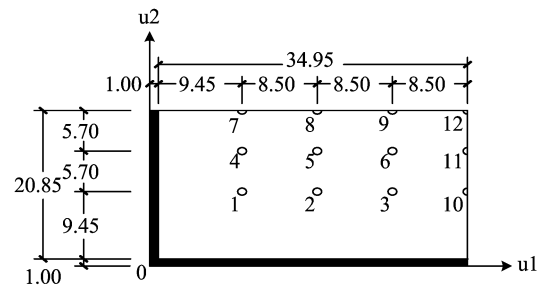


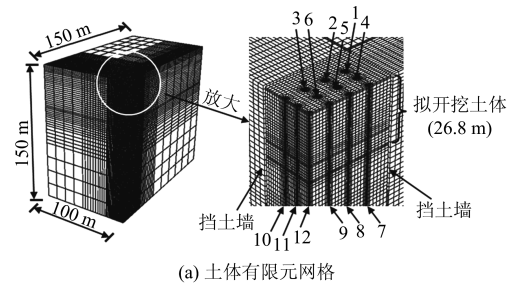
图 1 1/4 基坑平面图

Fig.1 Plan of the pit

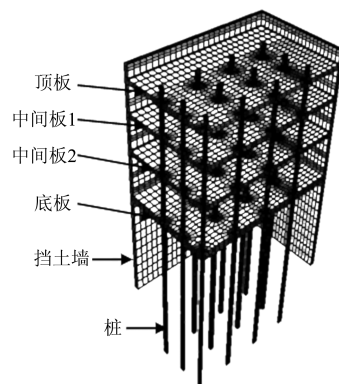
径为 0.5 m。基坑开挖前地下连续墙、桩和柱预埋于土体中。

采用库仑摩擦模型模拟柱-土体、桩-土体和地下连续墙-土体接触面之间的摩擦接触, 摩擦系数为 0.25。

土体长 150 m, 宽 100 m, 高 150 m。有限元网格见图 2。土体顶部不受任何约束, 4 个侧面限制与该面垂直方向的位移, 底部限制竖向及两个水平方向的位移。本文共模拟了 6 个工况, 如表 1 所列。



(a) 土体有限元网格



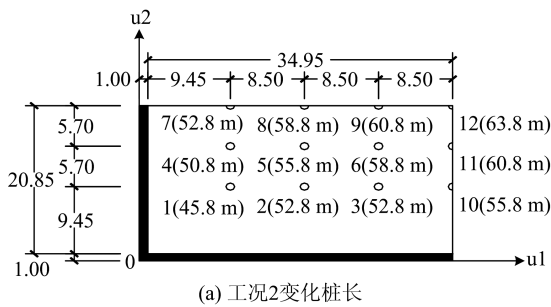
(b) 柱、桩、地下连续墙和多层楼板网格图

图 2 有限元网格

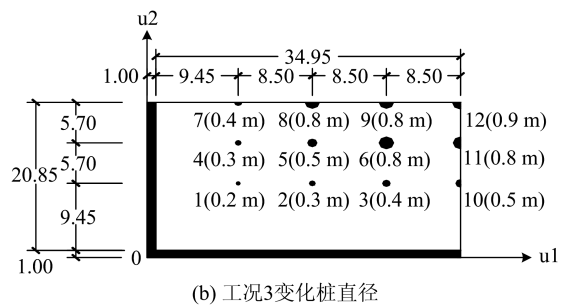
Fig.2 Finite element meshes

表 1 逆作法工况
Tab.1 Cases of top-down method

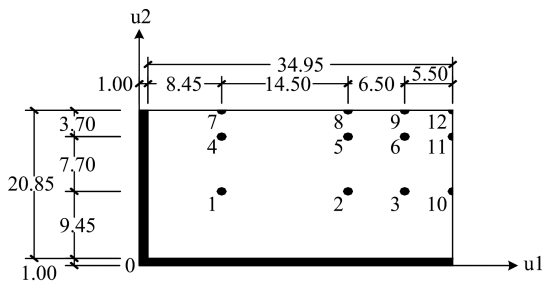
编号	名称	描述
1	标准工况	柱和桩长之和为 $26.8 + 29 = 55.8$ m, 基坑平面见图 1
2	变化桩长	各桩的桩长不同, 见图 3(a), 地下连续墙的长度减小至 36 m
3	变化桩的直径	各桩的桩直径不同, 见图 3(b)
4	变化桩的间距	桩间距不同, 见图 3(c)
5	竖向滑动	楼板与柱、地下连续墙之间可以发生竖向滑动
6	水平滑动	楼板与柱之间可以发生水平滑动, 见图 3(d)和 3(e)



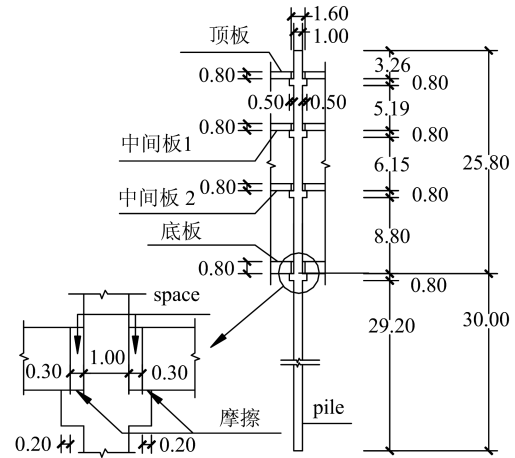
(a) 工况2变化桩长



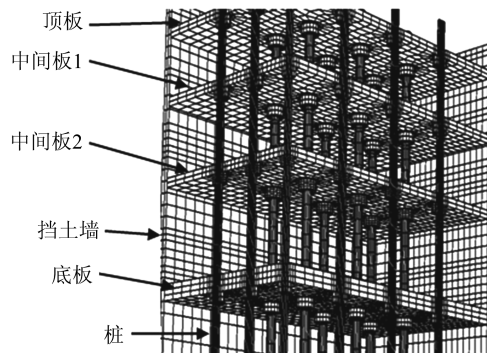
(b) 工况3变化桩直径



(c) 工况4变化桩间距



(d) 工况6



(e) 工况6网格图

图 3 各工况布置图

Fig.3 Figures of different cases

2 有限元计算结果

2.1 回弹及差异回弹

2.1.1 工况 1

图 4(a)为基坑内 1~8 层土体开挖过程 12 根桩柱和地下连续墙顶部的回弹量。

随着基坑开挖深度增加, 基坑内 12 根桩柱之间的柱顶回弹的差异逐渐增加. 地下连续墙的墙顶回弹量始终远小于各桩柱的顶部回弹量. 例如, 基坑内第 8 层土体开挖完成后, 桩 1、桩 12 和地下连续墙的顶部回弹量分别为 32.29, 42.26 和 19.44 mm.

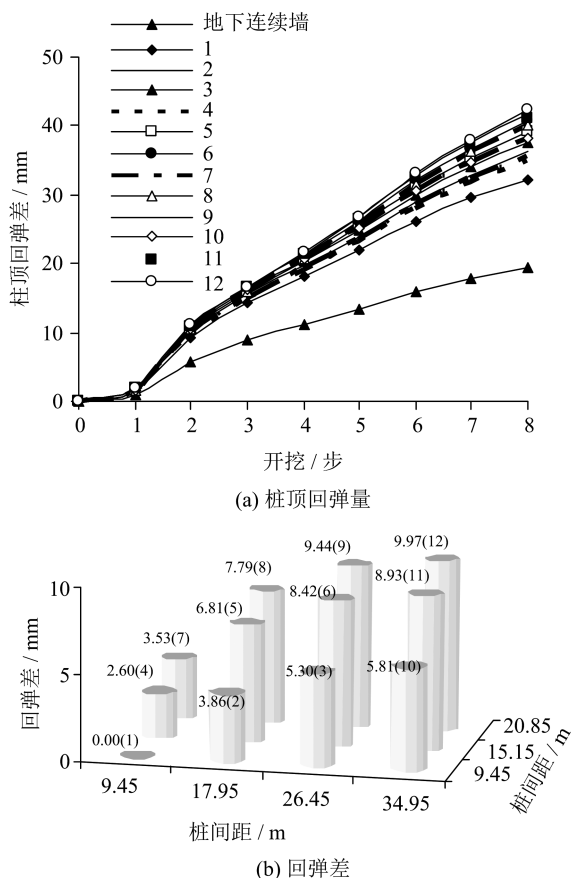


图 4 工况 1 桩顶回弹量及回弹差
Fig.4 Rebound and differential rebound of Case 1

图 4(b)为基坑内第 8 层土体开挖完成后 12 根桩柱顶部的回弹差.图中平面两坐标轴反映桩柱的空间位置, 竖直坐标轴表示桩柱顶部回弹差.图 4(b)中回弹差为各桩柱顶部回弹量与桩柱 1 的顶部回弹量的差值.图 4(b)可以看出, 靠近基坑中间部位的桩柱 12,9,11 和 6 的回弹差较大, 靠近基坑角部的桩柱 1,4 和 2 的顶回弹差较小.

2.1.2 工况 2

依据工况 1 的桩柱顶部回弹量, 将各桩柱的桩长做相应的调整, 以使各桩柱顶部的回弹量尽量接近.柱长仍为 26.8 m, 各桩柱总长见图 3(a).为了减小桩与地下连续墙之间的回弹差, 将地下连续墙的长度由 46 m 减小至 36 m.

图 5(a)为桩长柱调整后基坑内 1~8 层土体开挖过程 12 根桩柱和地下连续墙顶部的回弹量.当桩柱 12 的总长由 55.8 m 增加至 63.8 m 后, 开挖过程桩柱 12 的顶部回弹始终小于其他桩.图 5(b)为第 8 层土体开挖完成后, 各桩柱顶部回弹量与桩柱 12 的顶部回弹量的差值.

与工况 1 相比, 基坑内第 3~8 层土体开挖过程

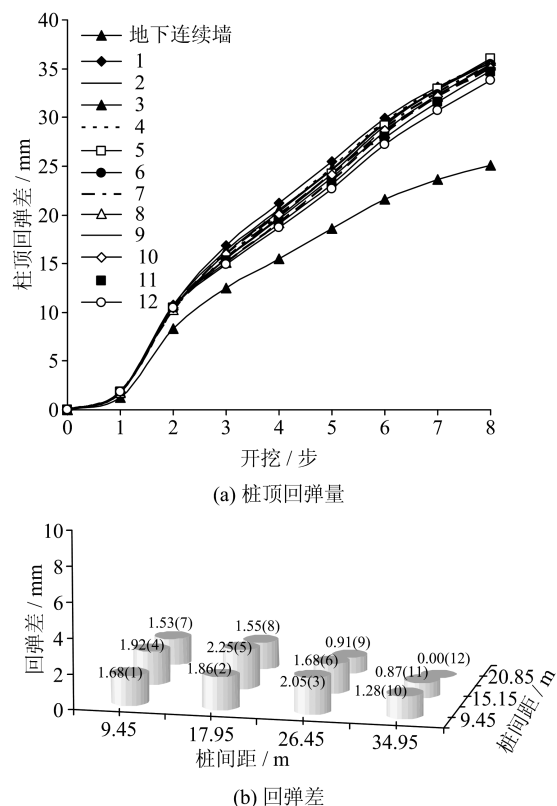


图 5 工况 2 桩顶回弹量及回弹差

Fig.5 Rebound and differential rebound of Case 2

中各桩柱的回弹差值接近, 没有出现随着开挖深度增加各桩柱回弹差增大的现象.例如, 第 5 层土体开挖后, 桩柱 12,3 的顶部回弹分别为 22.63, 24.74, 回弹差为 2.11 mm; 第 8 层土体开挖后, 桩柱 12,3 的顶部回弹分别为 33.81, 35.86, 回弹差为 2.05 mm.

随着开挖深度增加, 各桩柱与地下连续墙顶部的回弹差增加.例如, 第 5、8 层土体开挖后, 地下连续墙顶部回弹分别为 18.59, 25.13 mm, 与桩柱 12 的回弹差分别为 4.04 和 8.68 mm.地下连续墙长度减少 10 m 后, 相同开挖条件下地下连续墙顶部回弹量增加了 5.69 mm(25.13-19.44=5.69).

坑内各桩柱采用不同桩长能够有效地减小桩柱顶部的回弹差, 并使开挖过程中各桩柱的回弹差保持不变, 桩柱顶部的回弹量也减小.

2.1.3 工况 3

将基坑内桩柱的半径进行调整, 将回弹量较大桩柱的半径增加, 减小回弹量较小的桩柱的半径, 目的是使各桩的回弹量尽量接近.调整后的桩柱半径见图 3(b).

图 6(a)为桩柱半径调整后基坑内 1~8 层土体开挖过程 12 根桩柱和地下连续墙顶部的回弹量.图

6(b)为基坑内第 8 层土体开挖完成后,12 根桩柱顶部回弹差(各桩柱顶部回弹量与桩柱 1 的顶部回弹量的差值).

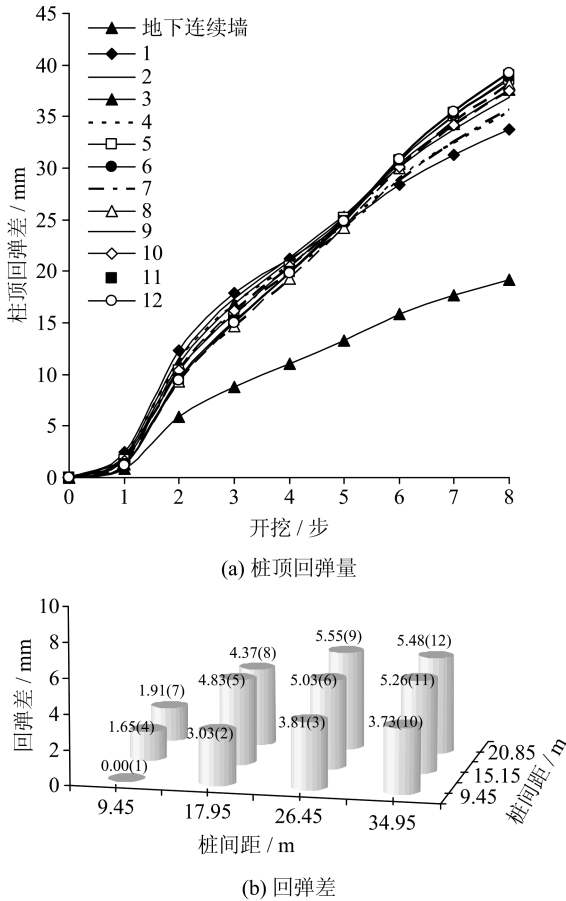


图 6 工况 3 桩顶回弹量及回弹差
Fig.6 Rebound and differential rebound of Case 3

与工况 1 相比,调整桩柱半径后,开挖过程桩柱顶部的回弹量比较接近,回弹差减小.例如,基坑内第 8 层土体开挖完成后,桩柱 1、桩柱 12 顶部回弹量分别为 33.78 mm 和 39.26 mm.各桩柱的最大回弹差为 5.55 mm.

相同开挖条件下,桩柱 1 的半径由 0.5 m 减小为 0.2 m,桩柱顶部回弹量增加了 1.49 mm;桩柱 12 的半径由 0.5 m 增加为 0.9 m,桩柱顶部回弹量减小了 3 mm.

通过改变桩的半径可以减小各桩柱顶部的回弹差.基坑开挖初期,当靠近基坑角部的桩柱 1 的半径较小时,其顶部回弹反而大于基坑中心处的桩柱的回弹.

2.1.4 工况 4

增加回弹较小桩柱的间距,减小回弹较大的桩柱的间距.即加密回弹量较大的基坑中心处桩柱的

密度,减小回弹量较小的基坑角部的桩柱密度,以期达到各桩柱回弹相同的目的.调整后的桩柱布置见图 3(c).

图 7(a)为变化桩柱间距后基坑内 1~8 层土体开挖过程 12 根桩柱和地下连续墙顶部的回弹量.

随着基坑开挖深度增加,基坑内 12 根桩柱之间的柱顶回弹的差异逐渐增加.地下连续墙的墙顶回弹量始终小于各桩柱的顶部回弹量.例如,第 8 层土体开挖完成后,桩柱 1、桩柱 12 和地下连续墙的顶部回弹量分别为 31.07,41.79 和 19.37 mm.

图 7(b)表明,与工况 1 相比,改变桩柱间距对桩柱 12 和桩柱 1 的回弹量变化很小,各桩柱与桩柱 1 的回弹差均有所增加,其中桩柱 2,5 和 8 的回弹差明显增加,增加量分别为 1.93,2.69 和 2.16 mm.

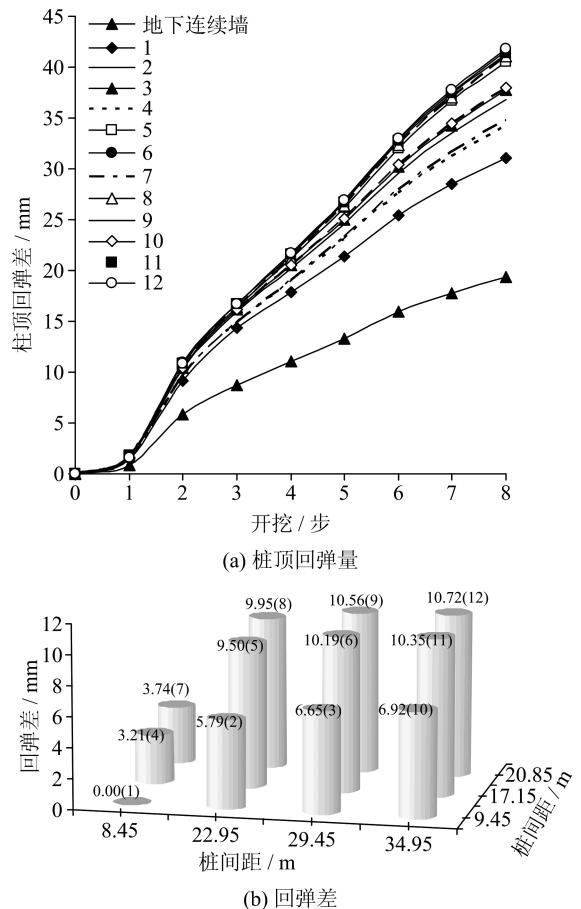


图 7 工况 4 桩顶回弹量及回弹差
Fig.7 Rebound and differential rebound of Case 4

当桩柱直径和长度相同时,桩柱顶部回弹量的大小主要取决于其在基坑中的位置,越靠近基坑中心,桩柱回弹量越大.对于非排土桩(即没有考虑打桩过程对土体的挤压),桩间距变化对桩的回弹影响很小.这与文献[12]采用长短桩加固后桩柱顶部回

弹变化不明显是一致的。

2.1.5 工况 5

地下室楼板与柱和地下连续墙之间采用摩擦连接,即允许楼板与柱和地下连续墙之间发生竖向的滑动,同时柱和地下连续墙又可以作为楼板的侧向支撑.目的是允许桩柱和地下连续墙自由回弹,从而减小桩柱和地下连续墙不均匀回弹引起地下室结构次生应力。

图 8(a)为地下室楼板与柱和地下连续墙之间采用摩擦连接后基坑内 1~8 层土体开挖过程 12 根桩柱和地下连续墙顶部的回弹量。

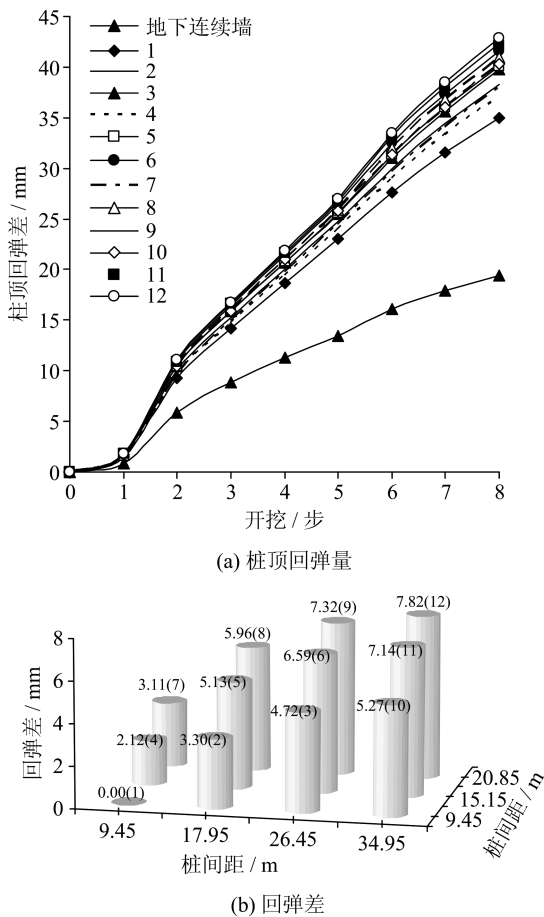


图 8 工况 5 桩顶回弹量及回弹差

Fig.8 Rebound and differential rebound of Case 5

随着基坑开挖深度增加,基坑内 12 根桩柱之间的柱顶回弹的差异逐渐增加.地下连续墙的墙顶回弹量始终小于各桩柱的顶部回弹量.例如,基坑内第 8 层土体开挖完成后,桩柱 1、桩柱 12 和地下连续墙的顶部回弹量分别为 35.01,42.83 和 19.39 mm。

与工况 1 中地下室楼板与柱和地下连续墙之间采用“tie 连接”(即不发生任何转角和位移)相比,当允许楼板与柱和地下连续墙之间发生竖向的滑动

时,靠近基坑角部的桩的回弹有所增加.例如,桩柱 1、桩柱 4 的回弹分别增加了,2.72 mm (35.01—32.29=2.72 mm)和 2.25 mm (37.14—34.89=2.25 mm);基坑中心处的桩柱及地下连续墙的回弹变化很小。

这说明地下室楼板对于限制桩柱和地下连续墙的回弹作用很小,仅对靠近基坑角部的桩的回弹有较小的约束作用。

图 8(b)表明,与工况 1 相比,地下室楼板与柱和地下连续墙之间采用摩擦连接后各桩柱的回弹差都有所减小.这是由于靠近基坑角部的桩柱回弹均有所增加,而基坑中心处的桩柱回弹变化不大,使回弹差减小。

2.1.6 工况 6

桩柱与地下室楼板之间有 0.3 m 的间隙,使得桩柱与楼板可以发生水平的滑动,楼板支承在柱下的“牛腿”上,见图 3(d)和(e).地下室楼板与地下连续墙仍采用“tie 连接”.这种连接方式削弱了桩柱与楼板的水平连接,桩柱仅承担很小的水平力(楼板与柱下牛腿之间的摩擦力),地下连续墙作为楼板的主要侧向支撑.目的是减小地下室楼板对桩柱的水平支撑作用,研究此时桩柱的回弹规律。

图 9(a)为削弱桩柱与楼板的水平连接后基坑内 1~8 层土体开挖过程 12 根桩柱和地下连续墙顶部的回弹量。

在 1~7 层土体开挖过程中,随着基坑开挖深度增加,基坑内 12 根桩柱之间的柱顶回弹逐渐增加.地下连续墙的墙顶回弹量始终小于各桩柱的顶部回弹量.例如,基坑内第 7 层土体开挖完成后,桩柱 1、桩柱 12 和地下连续墙的顶部回弹量分别为 41.08,67.16 和 19.26 mm。

与工况 1 中地下室楼板与柱之间采用“tie 连接”(即不发生任何转角和位移)相比,当削弱桩柱与楼板的水平连接后,各桩柱的顶部回弹量均明显增加,例如,第 7 层土体开挖完成后桩柱 1 和桩柱 12 的回弹量分别增加了 11.54 mm (41.08—29.54=11.54 mm)和 29.12 mm (67.16—38.04=29.12 mm);地下连续墙的回弹也略有增加 1.38 mm (19.26—17.88=1.38 mm)。

这是由于削弱桩柱与楼板的水平连接后,楼板支承在柱的“牛腿”之上,在抵抗基坑开挖引起土体的回弹过程中,地下室各层楼板及地下连续墙的空间刚度没有充分发挥作用,各桩柱回弹量与坑内土

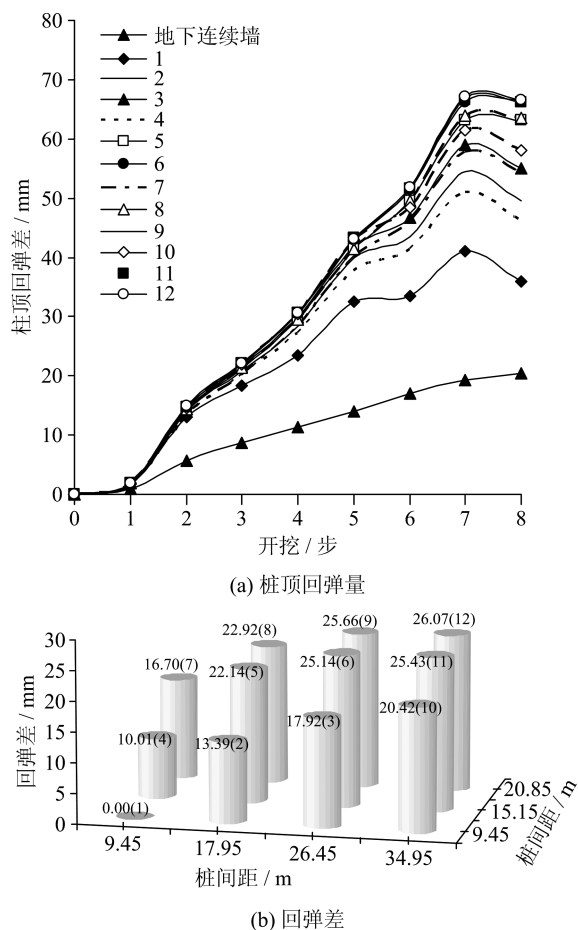


图 9 工况 6 桩顶回弹量及回弹差
Fig.9 Rebound and differential rebound of Case 6

体回弹量接近。

图 9(b)第 7 层土体开挖完成后各桩柱与桩柱 1 的回弹差.当削弱桩柱与楼板的水平连接后,各桩柱顶部的与桩柱 1 的回弹差值均明显增加,例如,桩柱 12 的回弹差增加了 15.1 mm (26.07 - 9.97 = 15.1 mm),桩柱 5 的回弹差增加了 15.33 mm (22.14 - 6.81 = 15.33 mm).

第 8 层土体开挖后桩柱顶部回弹量略有减小.这是由于桩长不变时,桩身发生较大挠曲变形导致桩柱顶部的回弹量减小,见图 11.

2.2 桩身侧移

图 10 为基坑内 1~8 层土体开挖完成后,工况 1 的桩柱 2 沿坐标轴 2 方向的位移 u_2 和桩柱 4 沿坐标轴 1 方向的位移 u_1 .坐标轴方向见图 3.第 2 层土体开挖后,由于地下室各层楼板开始生成,因此随后的开挖过程桩柱顶部的侧移开始减小.随着开始深度增加,地面下 -28.6m 处的桩身侧移逐渐增加,桩柱 2 和桩柱 4 均向基坑中心方向发生挠曲变形.

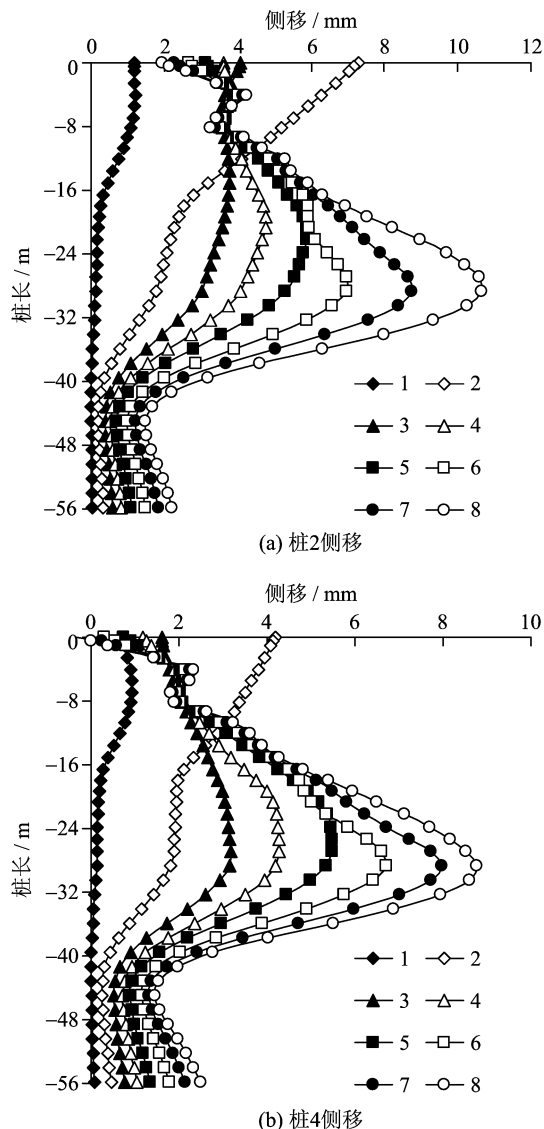


图 10 工况 1 桩身侧移
Fig.10 Deflections of piles in Case 1

桩柱向基坑中心的挠曲变形是由于基坑中心处桩回弹较大,导致地下室各层楼板中心处回弹较大,楼板中心向上凸起而带动周边桩柱产生向基坑中心方向的侧移.

工况 2 变化各桩的长度后,基坑内各桩柱的回弹量比较接近,桩身侧向变形较小.例如,地面下 29 m 处,桩 2 的侧移 u_2 为 6.5 mm.

工况 3 变化各桩的半径后,尽管基坑内各桩的回弹差明显减小,但基坑周边桩的半径减小,桩身侧向变形并没有明显减小,其变形情况与工况 1 十分接近.

工况 4 变化各桩的间距后,基坑内各桩的回弹差略有增加,桩身侧向变形略增加.例如,地面下 28.6 m 处,桩 2 的侧移 u_2 为 11.9 mm.

工况 5 桩柱与地下室楼板采用摩擦接触后, 桩柱变形明显小于工况 1, 而且桩身最大变形的位下移。例如, 桩 2 最大侧移 u_2 位于地面下 -34.1 m 处, 最大侧移 u_2 为 3.0 mm。这是由于地下室楼板和柱表面可以竖向滑动, 桩柱之间的回弹差不会导致楼板产生向上的凸起, 也就不会带动桩产生向基坑方向的变形。

工况 6 削弱桩柱与楼板的水平连接后, 桩柱侧移明显增加。例如, 桩 2 最大侧移 u_2 位于地面下 -13.6 m 处, 最大侧移 u_2 为 29.5 mm, 见图 11。这是由于削弱桩柱与楼板的水平连接后, 地下室各层楼板及地下连续墙的空间刚度没有充分发挥作用, 各桩柱回弹量差显著增加, 地下室楼板支承在柱的“牛腿”上, 楼板中心处会在桩柱的带动下产生较大的凸起, 带动桩身产生较大侧移。

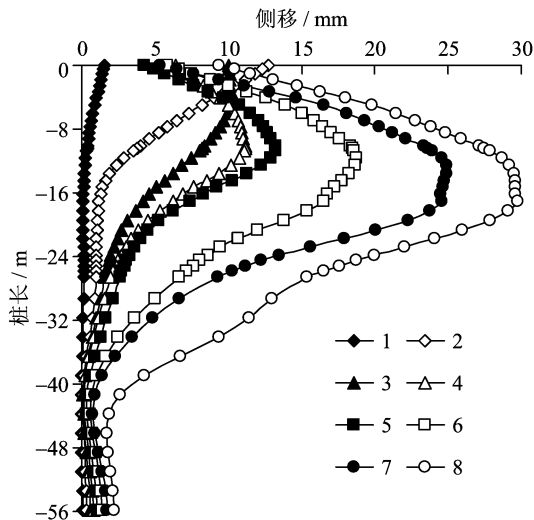


图 11 工况 6 桩 2 侧移

Fig.11 Deflection u_2 of pile 2 in Case 6

3 结论

本文利用有限元方法模拟上海地铁 10 号线基坑开挖工程, 反演有限元模型的土体参数。在此参数基础之上, 通过变化工程桩的布置、长度、直径以及改变构件的竖向和水平的连接刚度等因素探讨减小基坑开挖引起的坑底工程桩差异回弹的方法。

(I) 增大基坑中心处的桩长, 减小基坑周边工程桩的长度可以有效地减小各桩柱顶部的回弹量及回弹差, 并保证开挖过程中各桩柱的回弹差基本不变。

(II) 增大基坑中心处桩的半径, 减小基坑周边桩的半径对减小各桩柱顶部的回弹差有一定的作

用, 但对减小桩柱顶部的回弹量效果不明显。

(III) 对于非排土桩, 增加基坑中心附近的桩的数量对桩柱顶部的回弹影响很小。

(IV) 当允许楼板与桩柱和楼板与地下连续墙之间发生竖向的滑动时, 靠近基坑角部的桩的回弹有所增加, 基坑中心处的桩柱及地下连续墙的回弹变化很小。

由于地下室楼板和柱表面可以竖向滑动, 桩柱之间的回弹差不会导致楼板产生向上的凸起, 也就不会带动桩产生向基坑方向的变形, 桩身侧移明显减小。

(V) 当削弱桩柱与楼板的水平连接后, 各桩柱的顶部回弹量和回弹差均明显增加; 地下室楼板中心处会在桩柱的带动下产生较大的凸起, 带动桩身产生较大侧移。

本文得到的结论将为逆作法基坑工程的设计提供一定的理论依据。在随后的工作中, 将采用实验和有限元方法进一步探讨注浆加固、跃层开挖、增加地下室刚度和上部结构空间刚度等方法来减小基坑开挖引起的坑底工程桩的差异回弹。

参考文献 (References)

- [1] 刘溢, 李镜培, 陈伟. 超大基坑框架逆作法关键施工技术[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增刊 1): 489-494.
LIU Yi, LI Jingpei, CHEN Wei. Key construction techniques for oversized excavation pits using top-down method [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(Supp.1): 489-494.
- [2] 杨学林, 周平槐. 逆作地下室设计中的若干关键问题[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(增刊 1): 238-244.
YANG Xuelin, ZHOU Pinghuai. Some key problems in design of basements using top-down method [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(Supp. 1): 238-244.
- [3] 王卫东, 翁其平, 胡玉银. 新型逆作法结构型式的设计与应用[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(增刊): 1546-1551.
WANG Weidong, WENG Qiping, HU Yuyin. Application and design of new top-down excavation method [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(Supp.): 1546-1551.
- [4] 王涛. 变刚度调平布桩模式下筏底地基土承载性状研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(7): 1014-1021.
WANG Tao. Bearing capacity behaviors of subsoil under optimal design mode of pile foundation stiffness to reduce differential settlement [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(7): 1014-1021.

- [5] 王涛. 变刚度调平设计中桩基承载性状研究[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(4):641-649.
WANG Tao. Bearing capacity of piles in optimized design of pile foundation stiffness to reduce differential settlement [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(4):641-649.
- [6] 王涛, 高文生, 刘金砺. 桩基变刚度调平设计的实施方法研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(4):531-537.
WANG Tao, GAO Wensheng, LIU Jinli. Study on implementation method for optimization design of pile foundation stiffness to reduce differential settlement [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(4):531-537.
- [7] 刘金砺, 迟铃泉, 张武, 等. 高层建筑地基基础变刚度调平设计与处理技术[R]. 北京: 中国建筑科学研究院, 2008.
LIU Jinli, CHI Lingquan, ZHANG Wu, et al. Study on high-rise building optimization design method and treatment technology of foundation stiffness to reduce differential settlement[R]. Beijing: China Academy of Building Research, 2008.
- [8] 刘金砺, 迟铃泉. 桩土变形计算模型和变刚度调平设计[J]. 岩土工程学报, 2000, 22(2):151-157.
LIU Jinli, CHI Lingquan. The modified model of pile-soil deformation calculation and variable rigidity design method for balance settlement[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(2):151-157.
- [9] 郭亮, 周峰, 刘壮志, 等. 自适应位移调节下摩擦桩系列模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(9):1896-1903.
GUO Liang, ZHOU Feng, LIU Zhuangzhi, et al. Model test on friction piles series with adaptive settlement adjusting [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(9):1896-1903.
- [10] 宰金珉. 塑性支承桩-卸荷减沉桩的概念及其工程应用[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(3):273-278.
ZAI Jinmin. Concept of plastically bearing pile and its practical application [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(3):273-278.
- [11] 宰金珉, 周峰, 梅国雄, 等. 自适应调节下广义复合基础设计方法与工程实践[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(1):93-99.
ZAI Jinmin, ZHOU Feng, MEI Guoxiong, et al. Design method and practice of generalized composite foundation by use of self-adaptive adjustor [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(1):93-99.
- [12] WANG Li, ZHENG Gang, OU Ruonan. Differential uplift and settlement between inner column and diaphragm wall in top-down excavation[J]. Journal of Central South University, 2015, 22: 3578-3590.
- [13] TAN Yong, LI Mingwen. Measured performance of a 26 m deep top-down excavation in downtown Shanghai[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2011, 48(5): 704-719.

(上接第 235 页)

的投资者来源, 当然募集到的资金会更多, 再次是预期收益率上限, 说明高收益更能吸引投资者. 研究结果为银行对银行设计、发行理财产品指明了道路, 通过对这 4 个因素的设定、改进可以提高理财产品发行的成功率. 本文的不足之处在于, 仅仅考虑了银行理财产品本身的要素对产品募集情况的影响, 没有将产品的其他相关因素如产品的销售策略、销售人员的数量等纳入模型. 今后可以考虑结合理财产品的营销、经济的发展状况、国家的经济政策、投资者的投资心理和策略的变化等, 进一步完善对理财产品募集达标率的分析 and 预测.

参考文献 (References)

- [1] IFB-中国社会科学院金融研究所数据库. 城乡居民人民币储蓄存款年末余额[EB/OL]. [2015-04-10] <http://ifb.cass.cn>.
- [2] 全国银行业理财信息登记系统. 中国银行业理财市场年度报告(2013年), 中国银行业理财市场半年度报告(2014上半年)[R]. 北京: 中央国债登记结算有限责任公司, 2014.
- [3] Wind中国金融数据库. 银行理财产品[DB/OL]. [2015-04-10] <http://www.wind.com.cn/>.
- [4] 胡云祥. 商业银行理财产品性质与理财行为矛盾分析[J]. 上海金融, 2006(9):72-74.
- [5] 张宇晟. 银行理财产品质押的法律探析[J]. 海南金融, 2008, 238(9):47-51.
- [6] 朱小川. 试析金融理财产品的法律要点[J]. 上海金融, 2010(2):83-87.
- [7] 郑峤. 商业银行理财产品的实际收益研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2009:17.
- [8] 孙兆学. 一种创新型黄金衍生产品的定价研究[J]. 金融研究, 2009, 345(3):171-177.
- [9] 汪航, 李飞. 我国股票挂钩型银行理财产品定价分析[J]. 海南金融, 2009(7):80-83.
- [10] ROBINSON L. Investors being urged to diversify: Commodities seen as an inflation hedge[N]. Bangkok Post, 2008-05-21(3).
- [11] ROOTMAN C, TAIT M, BOSCH J. Variables influencing the customer relationship management of banks[J]. Journal of Financial Services Marketing, 2008, 13(1):52-62.