

## 软土地区深基坑垫层对于支护结构变形影响研究

李斌锦<sup>1</sup>, 宓 绅<sup>2</sup>, 闫希东<sup>2</sup>, 王继成<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 宁波工程学院 浙江宁波

<sup>2</sup> 宁波市轨道交通集团有限公司 浙江宁波

**【摘要】**软土地区深基坑开挖至收底阶段, 容易引发坑底隆起、支护结构严重变形等风险。实践表明, 垫层浇筑是风险控制的有效手段。利用数值模拟方法, 计算深基坑收底阶段不同垫层浇筑方案下支护结构的变形。研究表明, 垫层浇筑对于支护结构变形有明显的改善作用, 垫层面积越大, 支护结构变形越小。研究成果有望应用于基坑的变形控制, 从而提高施工安全性。

**【关键词】**基坑开挖; 垫层厚度; 垫层宽度; 基坑变形

**【收稿日期】**2023 年 5 月 12 日 **【出刊日期】**2023 年 6 月 22 日 **【DOI】**10.12208/j.ace.20231007

### Bracing effect of concrete cushion to lateral deflection of supporting structures of deep foundation pits in soft soil area

Binjin Li<sup>1</sup>, Shen Mi<sup>2</sup>, Xidong Yan<sup>2</sup>, Jicheng Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ningbo University of Technology, Ningbo, Zhejiang

<sup>2</sup>Ningbo Rail Transit Group Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang

**【Abstract】** The excavation of deep foundation pits in soft soil areas can easily lead to risks such as heave at the bottom of the pit and severe deformation of the support structure. It is shown that cushion pouring is an effective means of risk control. Using numerical simulation methods, calculate the deformation of the support structure under different cushion pouring schemes during the last construction stage of deep foundation pits. The research results indicate that cushion pouring has a significant improvement effect on the deformation of the support structure. The larger the cushion area is, the smaller the deformation of the support structure is. The research results are expected to be applied to the deformation control of foundation pits, thereby improving construction safety.

**【Keywords】** Excavation of foundation pit; Cushion thickness; Cushion width; Deformation of the support structure

#### 引言

随着城市建设的发展, 高层及超高层建筑越来越多, 相应的深基坑建设必不可少。基坑工程呈现出面积大、深度深、环境复杂、场地狭小等问题, 其中如何控制基坑支护变形则成了基坑工作的核心问题之一<sup>[1]</sup>。

基坑变形可以分为前期变形、开挖变形、后期变形。其中开挖阶段的基坑变形是整个过程中变形量最大的, 也是基坑变形控制的重点。国内外许多

学者在如何控制基坑开挖卸荷而引发的围护桩结构变形方面做出了许许多多有意义的研究, 提出了不少值得参考的方法<sup>[2-4]</sup>。

从大量的工程实践中可以看出, 混凝土垫层对围护桩结构变形的约束作用有着不可忽略的影响, 在一定条件作用下, 还可以起到保护或支撑围护桩结构的作用。一些学者开展了对于基坑底部的混凝土垫层在围护桩结构变形控制中所发挥作用的研究。卢礼顺等<sup>[2]</sup>结合工程实例, 从理论到实测上初

第一作者简介: 李斌锦 (2002-) 男, 汉族, 浙江, 本科, 工程管理专业。

步分析混凝土垫层控制基坑围护结构变形的支撑效应。李俊才等<sup>[5]</sup>分析了不同支护结构,在深基坑开挖施工中的变形规律发现,浇筑底板所需时间越长,围护结构最终侧向位移越大。刘国彬等<sup>[6]</sup>结合了上海某地铁车站基坑工程的监测数据以及对应工况,对不同基坑土体暴露时间所对应的围护墙墙体变形情况进行了对比分析,发现素混凝土垫层对围护墙体变形具有一定的支撑效应,在一定程度上起到了类似结构底板的作用,垫层对墙体的支撑效果与其自身的平直度等因素有很大关系,因此破坏垫层的整体性会削弱其对围护墙体的支撑作用。徐浩峰等<sup>[7]</sup>用深层土体位移资料分析了土体流变效应,对底板钢筋绑扎期间大直径钻孔灌注桩的水平位移进行研究,发现浇筑混凝土垫层之后,支挡结构的水平变形出现回弹。

原孔雀<sup>[8]</sup>指出,如果考虑到基础混凝土垫层对挡土结构的支撑作用,垫层对基坑支护结构的内力影响相当明显,既可以改善支护结构的受力状态又能大大地减少基坑支护工程的造价。孙志国<sup>[9]</sup>把垫层看做是围护结构的重要组成部分,提出一种达到控制基坑变形的“垫层换撑”的新工艺,以最大化利用垫层来支撑围护体系,从而达到控制基坑变形的目的。吴秀强<sup>[10]</sup>也认为,垫层作用类似于支撑,

在某些情况下可以利用加强垫层代替底道钢支撑,以达到加快施工进度,有效控制基坑变形的目的。

上述研究结果表明,垫层浇筑能够改善基坑支护体系变形,但是垫层规模、厚度、宽度对于支撑效果的影响方面,尚缺乏定量分析研究。本文选取软土地区某基坑工程实例,采用数值模拟的方法,建立考虑施工过程的有限元分析模型,计算不同深基坑垫层浇筑工艺条件下支护结构水平变形,总结垫层浇筑对于支护结构变形的影响规律。

### 1 有限元建模与验证

作某软土地区深基坑工程模型,开挖深度分别为4m,6m,8m,10m,支护体系为600mm厚地下连续墙结合多道锚杆支撑,坑外2m处为施工荷载。考虑到基坑开挖规模和开挖特点,将其简化为平面应变问题,网格划剖面如图1所示。

基坑开挖区域长度取50m,开挖深度分别为4m,6m,8m,10m,模型深度为25m。计算模型边界条件:左右边界x方向位移约束,下边界z方向位移约束,其他边界位移自由。土层计算参数如表1所示。

采用15节点的三角形单元进行网格划分,支护中的地下连续墙、支撑均按弹性材料考虑,分别用梁单元和板单元模拟。

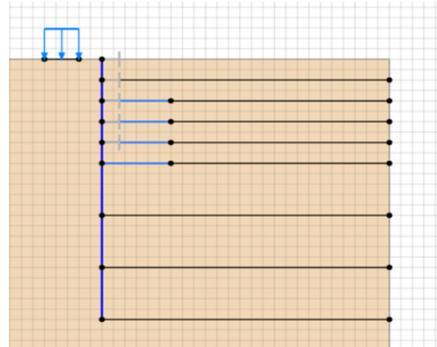


图1 基坑开挖模型

表1 土层力学参数

土层	软土
重度 $\gamma$ / (kN·m-3)	17.0
黏聚力 $c$ / kPa	12
内摩擦角 $\varphi$ / (°)	11
刚度 E50ref(kN·m-2)	12000
修正膨胀指数	8.625×10-3
修正压缩指数	0.04312

## 2 垫层作用研究

为研究混凝土垫层对围护墙体变形的支撑约束效应, 将无垫层时围护墙水平位移最大值与有垫层时的围护墙水平位移最大值进行对比(表2)。数据显示, 增加垫层之后, 墙体变形得到显著缓解。比如基坑深度为 4m, 垫层宽度 3m, 横向变形减小 11.17mm。可见, 在垫层浇筑后, 底板浇筑前, 混凝土垫层对围护结构发挥了较好的支撑作用。这个定量的计算结果, 验证了文献 8-11 的观点。

### 3 不同垫层参数下变形分析

#### 3.1 垫层宽度对围护结构变形影响分析

在垫层厚度不变的情况下, 改变垫层的宽度, 分别以 1m、2m、3m、4m、5m、6m 的宽度进行模拟。

表 3 为模拟结果。通过以上对模拟数据的分析可以发现混凝土垫层施工前后围护墙的变形与垫层宽度呈显著相关关系。在同一开挖深度下垫层的宽度对基坑支护结构围护的作用明显, 垫层的宽度越大, 围护结构变形的改善效果就越明显。同时, 基坑深度越深, 垫层对于围护结构变形的控制效果越好。

#### 3.2 垫层厚度对围护结构影响分析

实际基坑施工过程中, 收底阶段的特定时空范围内, 混凝土总量是有限的, 如何利用有限体积的混凝土, 得到更好的控制效果, 值得探索。以深度 4m 和 8m 基坑为例, 考虑在混凝土质量不变的情况下, 改变垫层的宽度与厚度进行模拟。表 4 和表 5 为模拟结果。

表 2 不同深度时有无垫层的围护结构最大水平位移

基坑深度/m	4	6	8	10
有垫层/mm	18.19	53.67	83.75	132.6
无垫层/mm	29.36	78.05	112.1	167
位移减少/mm	11.17	13.768	31.22	34.4
减少比例/mm	38%	31%	25%	21%

注: 混凝土垫层宽 3m。

表 3 不同深度、宽度垫层条件下支护结构水平位移

基坑深度/m	4	6	8	10
无垫层/mm	29.36	78.05	112.1	167
1m 垫层/mm	25.69	66.51	100.2	148.8
2m 垫层/mm	21.51	59.81	91.99	140.5
3m 垫层/mm	18.19	53.67	83.75	132.6
4m 垫层/mm	17.02	48.89	76.44	126.3
5m 垫层/mm	16.26	45.29	70.96	121.2
6m 垫层/mm	15.71	42.61	68.07	117.7

表 4 垫层体积唯一条件下支护结构水平位移

垫层宽度与厚度	4m 基坑
宽 1m, 厚 0.83m	25.88
宽 2m, 厚 0.42m	21.51
宽 3m, 厚 0.28m	18.14
宽 4m, 厚 0.21m	17.02
宽 5m, 厚 0.17m	16.26
宽 6m, 厚 0.14m	16.71

注: 位移单位 mm

表 5 垫层体积唯一条件下支护结构水平位移

垫层宽度与厚度	8m 基坑
宽 1m, 厚 0.83m	84.44
宽 2m, 厚 0.42m	77.05
宽 3m, 厚 0.28m	69.23
宽 4m, 厚 0.21m	62.47
宽 5m, 厚 0.17m	71.54
宽 6m, 厚 0.14m	70.34

注: 位移单位 mm

从图 4 和图 5 中发现, 当基坑深度为 4m 时, 使用宽 5m, 厚 0.17m 垫层的时候, 整个基坑支护结构效果达到最佳。当基坑深度为 8m 时, 使用宽 4m, 厚 0.21m 垫层的时候, 整个基坑支护结构效果达到最佳。因此当开挖现场基坑垫层的混凝土用量有限时, 应选择恰当的垫层浇筑方案, 可以使垫层对支护结构的围护效果达到最佳。

实际基坑施工过程中, 当出现支护变形过大、坑底隆起等险情时, 反压回填是一项重要的应急措施<sup>[11]</sup>。由于场地、成本等各方面因素影响, 现场用于回填的混凝土等物料总量有限, 如何使有限的物料发挥更大的作用, 本节的计算可以提供一些思路和佐证。

#### 4 结论

(1) 土方开挖至坑底设计标高后应尽可能早地浇筑混凝土垫层, 混凝土垫层能够在一定程度上起到支撑的作用, 能约束围护墙体变形的发展有利于控制墙体的变形。因此, 在施工中应合理设置混凝土垫层的厚度, 尽量保证混凝土垫层的整体性和施工质量, 宜采用早强混凝土。

(2) 在混凝土厚度一定的条件下, 垫层的宽度越大, 对基坑支护结构围护的效果越明显。垫层的宽度对围护墙具有较大的支撑作用, 因此在实际施工中找到合理的垫层宽度, 对基坑安全有非常好的保护效果。

(3) 基坑垫层的混凝土总量有限条件下, 应合理设定垫层的宽度与厚度, 可以使垫层对支护结构的围护效果达到最佳。

(4) 在混凝土宽度一定的条件下, 垫层的厚度对混凝土的支护结构也具有一定的作用, 但尚无法找到明显的规律。今后应进一步深入研究。

#### 参考文献

- [1] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册[M]北京: 中国建筑工业出版社, 1997: 178-184.
- [2] 卢礼顺, 刘建航, 刘国彬. 基坑底混凝土垫层的支撑效应分析[J]. 地下空间, 2004, 24(6): 224-228.
- [3] 崔自治. 深基坑支撑效应[J]. 宁夏大学学报(自然科学版) 2006, 27(1): 39-42.
- [4] 袁聚云, 吴权, 艾智勇. 逆作法基坑围护的变形及邻近建筑沉降实测分析[J]. 地下空间, 2004, 24(1): 44-47.
- [5] 李俊才, 张俤元, 罗国煜. 深基坑支护结构的时空效应研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(5): 812-816.
- [6] 刘国彬, 刘登攀, 刘丽雯等. 基坑坑底施工阶段围护墙变形监测分析[J]. 岩土力学与工程学报, 2007, 26(2): 4386-4394.
- [7] 徐浩峰, 应宏伟, 朱向荣. 某深基坑监测与流变效应分析[J]. 工业建筑, 2003, 33(7): 11-14, 56.
- [8] 原孔雀. 浅述混凝土垫层对深基坑支护结构的支撑作用[J]. 山西建筑, 2006(15): 69-70.
- [9] 孙志国. 软土地区深基坑“垫层换撑”体系的建立与施工技术研究, 2018, 40(06): 847-849.
- [10] 吴秀强. 加强垫层代替底道支撑在上海浦东机场 T1 航站楼改造工程基坑施工中的建筑施工, 2014, 36(06): 648-650.
- [11] 吴桐, 张双. 反压回填法在隧道明洞偏压处治工程中的应用[J]. 黑龙江大学工程学报, 2021, 12(4): 13-18.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS