

Study on the Influence of TBM Construction on the Stability of Pile Foundation

Yi Yang

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400074, China

Abstract: In this paper, the impact of TBM (shield) construction on pile foundation is studied by numerical simulation of geological conditions in a certain area of chongqing, Flac3d 3d modeling software and finite difference method. This paper also describes the simulation process of TBM (shield) construction. The research shows that TBM (shield) construction has different effects on the spacing of different piles. Based on the simulated data, it can be concluded that the vertical displacement at the top of the pile with the same root is larger.

Keywords: TBM; Shield; Flac3d; Numerical simulation; Pile foundation

TBM 施工对桩基的稳定性影响研究

杨毅

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400074

摘要: 本文以重庆市某地区的地质情况进行数值模拟, 采用 Flac3d 三维建模软件, 运用有限差分法进行分析, 研究了 TBM (盾构) 施工对桩基的影响分析。本文也阐述了 TBM (盾构) 施工的模拟过程, 研究显示, TBM (盾构) 施工对不同桩间距有不同的影响, 根据模拟出的数据进行分析, 得到对同根桩, 桩顶的处的竖向位移较大, 本文为以后的工程实例提供一些借鉴。

关键词: TBM; 盾构; Flac3d; 数值模拟; 桩基

1 引言

随着我国“一带一路”建设的开展, 我国目前也处于大量基础设施建设中, 包括大量的农村建设以及城市化建设, 在未来的十年里, 将有接近两亿的人口涌入城市, 所以我国城市现代化建设将增加, 大量的超高层建筑和大量的高架桥将出现在繁华的城市中心, 并且大量的建筑物或者桥梁均采用的是桩基础形式。因为城镇化的提高, 所以现有的交通不能满足人们的出行方式, 许多城市都在加大地铁交通的建设。但是城市建筑物如此密集, 地下管线设施密密麻麻, 错综复杂。如果我们修建地铁还是运用明挖、盖挖法和矿山法等诸如此类的施工技术修建地铁, 这一过程中将面临很大的问题, 如: 施工场地狭窄、既有地面交通不能中断。但城市地下轨道交通的需要发展, TBM (盾构) 施工法由此诞生。TBM (盾构) 施工法施工与传统施工法相比较, 其对城市里的建筑、桥梁、构筑物等影响相对较小, 并且 TBM (盾构) 施工法安全性更高, 降低了施工风险, 其掘进速度相对

较快, 能够减少施工工期, 减少对城市环境的污染, 可以让人们的出行方式快速恢复正常, 所以 TBM (盾构) 施工法目前已经许多地铁建设项目中被运用。但 TBM (盾构) 施工法也因此带来了一些问题, 地铁 TBM (盾构) 施工隧道不可避免的将从既有的建筑物或者桥梁的桩基础附近穿过, 甚至有时会直接穿过桩基。地铁 TBM (盾构) 施工隧道施工的整个过程, 会引起周围地层的移动, 然而地层移动的力将作用于我们既有的建筑物或桥梁的桩体, 进一步会造成桩体产生一些附加变形和附加内力, 最终的结果是影响到桩基础的承载能力和稳定性。桩基的承载力和稳定性, 对于一个建筑物或桥梁至关重要, 所以, 研究 TBM (盾构) 施工对桩基的稳定性影响研究, 迫在眉睫。据此, 本文对于 TBM (盾构) 施工对桩基的影响进行专门的研究, 但也面临着许多问题, 工程所处的地理位置, 地质条件各不相同, 如果采用现场监控或者模型试验, 将给科研团队带来高昂的费用。综合分析, 所以本文运用数值模拟分析法, 进行分析。本文结合重庆市某地区的地质岩土条件,

采用 FLAC3D 软件模拟分析 TBM (盾构) 施工法施工过程中对不同间距桩基, 桩基类型的影响, 并将数值模拟计算结果与理论计算结果进行对比分析。

最后, 再根据收集到的现场监测数据进行分类统计, 并与数值模拟分析结果和理论分析结果进行了对比, 以此来验证数值模拟计算结果的准确性及理论计算分析方法的合理性, 并且为以后类似的工程提供依据。

关于 TBM (盾构) 施工对桩基的影响国内外也有很多的专家学者进行研究, 例如: 王长虹^[1]利用理论分析了盾构施工地面沉降变化规律及其力学行为; 董燕等^[2]研究了隧道开挖对不同桩间距, 桩基的不同类型的影响分析。

2 桩基位移和附加应力

2.1 桩周围土体的位移计算

基于 Loganathan 推导出的解析方法, 因为难以达到完全一致, 所以只能达到近似的求解的结果, 得出因 TBM (盾构) 施工法施工引起的桩周土体位移:

$$U_s = e_0 R^2 \left[\begin{array}{c} \frac{z-h}{s^2 + (z-h)^2} \\ + \frac{z+h}{s^2 + (z+h)^2} \end{array} \right] e^{\left[\frac{138s^2}{(h+R)^2} + \frac{0.69z^2}{h^2} \right]} \quad (1)$$

$$U_x = -e_0 R^2 s \left[\begin{array}{c} \frac{1}{s^2 + (z-h)^2} \\ + \frac{3-4g}{s^2 + (z+h)^2} \end{array} \right] e^{\left[\frac{1.38s^2}{(h+R)^2} \right]} \quad (2)$$

$$e_0 = \frac{4gR + g^2}{4R^2} \times 100\% \quad (3)$$

式中, U_z 表示 TBM (盾构) 施工掘进引起的桩周围土体产生的竖向位移, U_x 表示 TBM (盾构) 施工掘进引起的桩周围土体产生的水平位移, R 表示 TBM (盾构) 施工隧道的开挖半径, h 表示 TBM (盾构) 施工隧道中心轴线与土体表面的竖向深度, z 表示土体中一点距地表的距离, s 表示土体中任意一点距离 TBM (盾构) 隧道中心轴线的距离, g 表示土体的泊松比, e_0 为地层损失比, g 为施工与设计半径的间隙比。

2.2 桩基附加内力计算

TBM (盾构) 施工掘进过程将会引起的桩周土体产生竖向位移, 并且会对桩身产生负摩阻力^[3]。根据文克勒地基模型的知识, 我们将土体假设为线弹性, 桩周土体可以等价视为弹簧。沿着桩基的长度方向, 将桩分成 n 等份, 并且每个小微元体的长度为 h , $h=L/n$, 其中 L 为桩长, 桩基周围的土体的产生的竖向位移, 对桩身引起的负摩阻力为:

$$dp(z) = 2pr_0ku_z dh \quad (4)$$

式中, $dp(z)$ 表示 Z 深度处土体的竖向位移在桩身产生的负摩阻力, r 表示桩基半径, k 为桩侧土体弹簧刚度, 其表达式为:

$$k = \frac{G_s}{r_0 \times \ln \left(\frac{r_m}{r_0} \right)} \quad (5)$$

式中 E 为土体的弹性模量, u 为土体的泊松比。

3 TBM (盾构) 施工模拟

3.1 数值模拟与参数

本文采用 flac3d 三维建模分析, FLAC3D 是利用显式有限差分法为岩土工程提供精确并且十分有效分析的工具, 可以解决其他很多软件不能解决的问题, 并且得到真实的模拟结果。对模型, 地质, 形状等复杂的实际工程问题, 可以相对轻松的实现这些问题, 如分步开挖、大变形大应变、非线性、隧道-土体-基础-结构共同作用的工程问题。本人在充分学习了解 FLAC3D 求解原理的基础上, 知道其强大的功能, 所以选择 flac3d 作为本文的研究分析软件。

首先, 通过 ANSYS 建立一个三维模型, 因为在 flac3d 建立三维模型, 相对较 ANSYS 较困难, 模型的尺寸根据三倍洞径建立。模型空间尺寸为 65.0m(x 方向)、45.0m (y 方向)、45.0m (z 方向); 隧道沿着 y 轴正向开挖, 对模型进行边界约束, 已达到固定模型的目的, 避免其产生位移, 具体边界条件如下: 底部进行全约束, 防止其产生 x 方向与 y 方向的位移; 前面与后面进行法向约束, 以防止其产生法向的位移, 但可以产生竖向位移; 左面与右面进行法向约束, 同理, 目的也是为防止其产生法向的位移, 但可以产生竖向位移, 上表面为自由面, 因为上面为研究面, 模型总共划分 60456 个节点, 240655 个六面体单元 (如图 1 所示)。

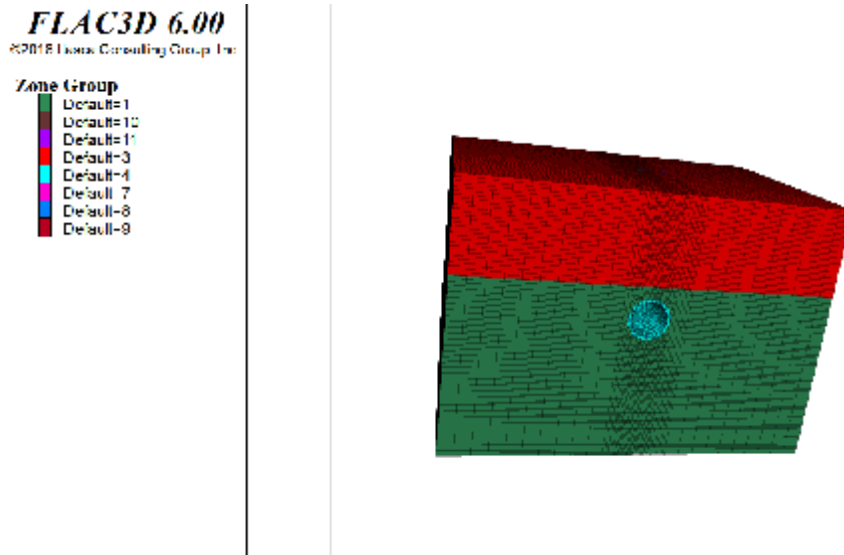


Figure 1. Finite element mesh diagram
图 1. 有限元网格图

建立好单元网格之后，进行初始地应力平衡，地应力平衡需要提别注意，必须符合自然规律，第一步是弹性模型作用下的地应力平衡；第二步是在摩尔—库伦下准则下进行地应力平衡，根据 TBM (盾构机) 的长度尺寸,再将桩所在的实体单元定义为空；第三步

是安装管片，注浆，注浆层的实际强度根据混凝土的凝固时间进行强度计算，并且添加注浆压力；第四步，循环上操作，模拟开挖，具体的开挖尺寸根据实际的工程实践而定，根据不同地质选取的材料参数也不一样，本文采用的材料参数如表 1.

Table 1. Physical model values of the finite element model
表 1. 有限元模型的物理模型取值

地层与岩体	弹性模量/Gpa	密度/(kg · m-3)	泊松比	内摩擦角/(°)	内聚力/kPa
砂质泥岩	0.78	2450	0.31	28	1000
基岩	4.8	2380	0.20	42	2000
TBM 钢壳	200	6800	0.3		
管片	35	2500	0.3		
桩	30	2600	0.23		

4 数值模拟结果分析

由于 TBM (盾构) 施工开挖之后，破坏了原始地层结构，所以 TBM (盾构) 施工之后，周围土体将产生一定的位移，具体位移如图 2，桩体位移如图 3，桩体与隧道的相对位置如图 4。

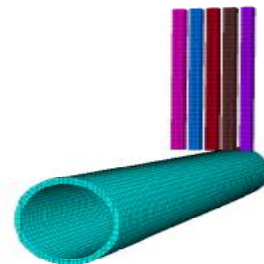


Figure 2. Relative location of pile and tunnel
图 2. 桩体与隧道的相对位置图

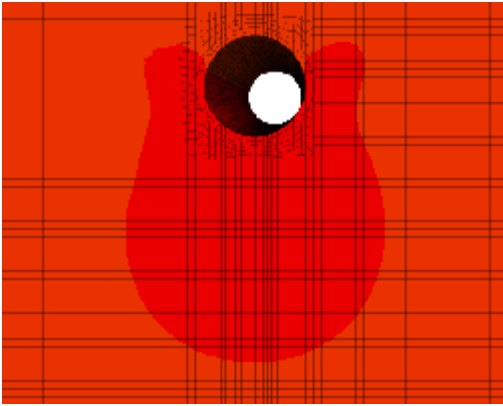


Figure 3. Soil displacement after tunnel excavation
图 3. 隧道开挖之后土层位移图



Figure 4. Pile the moved
图 4. 桩体位移图

图 2 展示了 TBM(盾构)施工中的一种工况即桩与隧道的间距。

由图 3 可以看出, TBM(盾构)施工一旦进行, 土体将产生位移, 隧道正下方的土体将产生回弹, 原因

是因为土体被开挖走, 相当于卸载, 所以土体土体有回弹。

由图 4 可以看出, 由于 TBM(盾构)施工, 将会对桩体产生一定的位移, 由图可看出, 从上到下, 桩体的位移量在逐渐减少, 桩顶的竖向位移最大, 具体的位移量随着桩长的变化在变化, 后期还需要进行定量分析。

5 结语

本文介绍了 TBM (盾构) 施工对桩基模型的建立, 如何模拟 TBM (盾构) 施工的开挖, 并且进行了一组工况的模拟, 研究发现桩与隧道轴线间距越小, 对桩体所产生的位移量越大, 对于同一根桩, 桩的上部产生的位移大于桩底, TBM(盾构)施工刚开始开挖之后土体有一定的回弹, 但后期有回落。本文只模拟了一种工况, 后期还可以进行更多的工况模拟, 本文中的模型可能模拟的过程中还有欠缺的地方, 后期还可以完善。TBM(盾构)施工会对桩基产生一定的影响, 可以为类似的工程提供一些借鉴。

References (参考文献)

- [1] Wang C.H. Influence of shield tunnel construction on surface settlement and adjacent buildings. *Journal of underground space and engineering*. 2011, (2), 354-360.
王长虹. 盾构隧道施工对地表沉降及临近建筑物的影响. *地下空间与工程学报*, 2011, (2), 354-360.
- [2] Dong Y. Influence of tunnel construction on foundation deformation of overlying buildings. *Journal of underground space and engineering*. 2014, 10(1), 144-149.
董燕. 隧道施工对上覆建筑物基变形的影响. *地下空间与工程学报*, 2014, 10(1), 144-149.
- [3] Li X.Y. Causes and countermeasures of shield tunnel construction accidents. *Journal of Underground Space and Engineering*. 2005, 12.
李希元. 盾构隧道施工工程事故的原因与对策. *地下空间与工程学报*. 2005, 12.