

Study on the Spatial Distribution Characteristics of Soil Arch Effect of Anti-Sliding Piles

Quanjiang Huang

Chongqing Jiaotong University, Chongqing, 400041, China

Abstract: Taking actual engineering as an example, this paper conducts a theoretical study on the anti-sliding effect of soil arching between and behind the piles, and establishes a FLAC3D numerical analysis model under static conditions to study the spatial distribution characteristics of anti-sliding piles with different heights of soil arching along the pile body And its changing laws.

Keywords: Anti-Slide pile; Soil arch effect; Spatial characteristics; Numerical simulation

抗滑桩土拱效应的空间分布特性研究

黄全江

重庆交通大学, 重庆, 中国, 400041

摘要: 本文以实际工程为例, 对抗滑桩桩间及桩后土拱效应进行理论研究, 并建立静力条件下的FLAC3D数值分析模型, 研究抗滑桩沿桩身不同高度土拱效应的空间分布特征及其变化规律。

关键词: 抗滑桩; 土拱效应; 空间特性; 数值模拟

1 引言

抗滑桩间土拱效应是由于桩及桩周介质不均匀位移所引起的^[1], 土拱的形成导致桩周土中的应力状态发生改变, 从而引起应力的重分布, 以此通过土拱把作用于桩后的压力传递到拱脚及桩周稳定介质中去。通过进一步的研究发现桩间土拱效应与抗滑桩间距、土体参数都存在相应的关系^[2], 而前面所有对于土拱的研究都是基于同一桩身高度, 忽略了桩身不同深度截面的土拱变化情况, 随着对抗滑桩土拱效应的深入研究, 诸多学者提出土拱效应沿桩身深度上存在着变化, 如果忽略土拱沿桩身空间分布特征, 可能与实际工程情况存在一定的偏差^[3]。本节通过建立如图所示的抗滑桩加固边坡的三维分析型, 考虑桩后滑坡推力、滑坡体自重、桩与桩周岩土体相互作用、桩土接触面作用等相关因素的影响, 证明土拱效应的空间分布特征的存在及其分布规律。

2 模拟方案

2.1 模型建立

为了减小模型及参数改变对计算结果带来的影响, 本次有限元三维计算模型选取的模型中包括四根

全埋式抗滑桩及所形成的三跨土拱。重点研究中间两跨间的土拱效应, 桩间净距取 6m, 抗滑桩模型如下图所示。

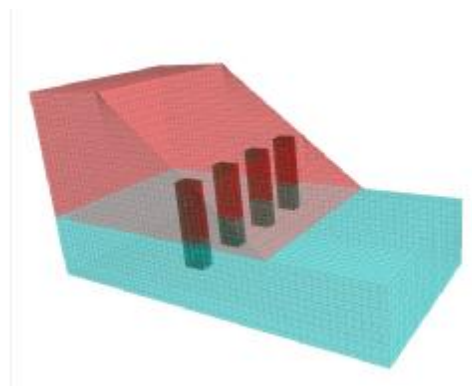


Figure 1. Schematic diagram of the model

图 1. 模型示意图

2.2 参数选取与边界条件

本文研究对象为静力荷载作用下桩-土间的相互作用, 采用大型有限元数值模拟软件 FLAC3D 进行建模分析在本文中模型中岩土体选用摩尔-库伦弹塑性模型^[4]。

根据桩基受力及变形特性，采用线弹性模型。模型中抗滑桩与岩土体均采用实体单元模拟，而对于抗滑桩与岩土体交界面采用无厚度接触面单元^[5]，模型的具体结构参数如下所示。

桩的密度为 2300kg/m³、体积模量 17.3GPa、剪切模量 10.4GPa。

土体的密度为 1850kg/m³、粘聚力为 18kPa、内摩擦角 25°、体积模量 2.5MPa、剪切模量 1.15MPa。

基岩的密度为 2150kg/m³、粘聚力为 350kPa、内摩擦角 16°、体积模量 1GPa、剪切模量 0.6GPa。

模型建立完成以后，首先需要对模型设置边界条件，静力条件下，本文数值模拟中对模型的底部为固定约束；对于模型前后滑动面以下的部分施加 x 方向约束，应对模型左侧上部土体也施加约束，可以限制其在 x 方向的移动，模型两侧分别施加横向约束以限制模型在 y 方向上的移动；在进行重力作用下的初始地应力计算之后，由于要对模型左侧上部土体 x 正方向进行加载，因此需要把此处的约束进行释放^[6]。

本文重点通过 FLAC3D 有限元数值模拟软件研究抗滑桩沿桩身不同高度土拱效应变化规律，根据需要在模拟输出中选择采集不同桩身高度下的桩身位移云图、应力云图以及桩间土体位移等。

2.3 水平加载方法与输出指标

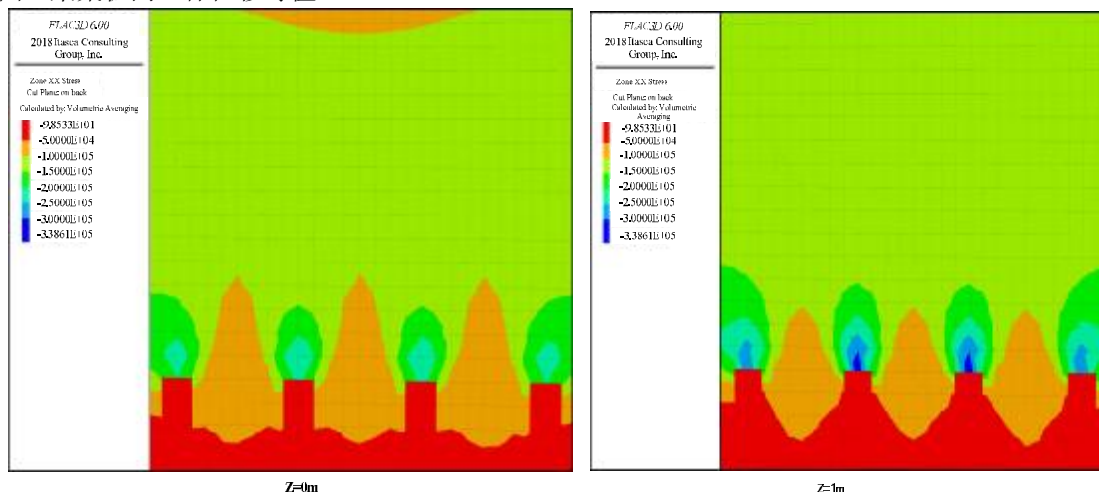
在本文中，主要研究在滑坡推力作用下桩间土拱效应的变化规律，因此需要在桩后边坡左侧施加一个均布的 100kPa 的面力以模拟滑坡推力。计算完毕之后，通过水平切片法截取桩身不同高度截面的位移及应力云图，采集桩间土体位移等值。

3 土拱效应沿深度变化特性研究

此次计算方案中以桩顶为零点，沿桩长埋深方向取竖直向下为正方向，采用水平切片法截取桩身不同截面，以此来研究抗滑桩不同深度处水平土拱效应沿深度的变化特征。沿桩身取 Z=0m(即桩顶)、Z=1m、Z=3m、Z=5m、Z=7m、Z=9m 处截面 x 方向应力云图和桩间土体位移进行对比分析。

3.1 桩身不同截面应力云图

由图 2 可以看出，x 方向应力在不同深度水平面上，桩间和桩后应力等值线均呈拱形分布，桩侧与桩后的应力值要明显大于桩间区域的土拱应力，且在桩后局部受到的应力显著增加，在桩背形成以桩身为拱脚的土拱，也即说明桩后推力在向前传递的过程中受到抗滑桩的阻挡，推力经过土拱结构直接有效的传递到了抗滑桩上。由云图可以发现，随着埋深的增加，在滑体自身重力作用等因素的影响下，拱圈上 x 方向压应力不断增大，与此同时，桩后土拱的拱高发生变化，在 z=0(即桩顶)位置拱高最大，达到 5.5m，随着埋深的增加，拱高逐渐减小，在 z=4m 时，拱高变成 2m，说明随着深度的增加，桩后土拱效应的影响范围也在发生变化，当深度 z=9m 时，桩间土体应力与桩后土体应力接近相等，此时桩间已不能形成土拱，即 x 方向的应力土拱拱高沿桩身自上而下由 5.5m 逐渐减小至 0m，说明土拱效应表现出一定的空间特性，沿着桩身不同位置，土拱效应的发育程度不同。



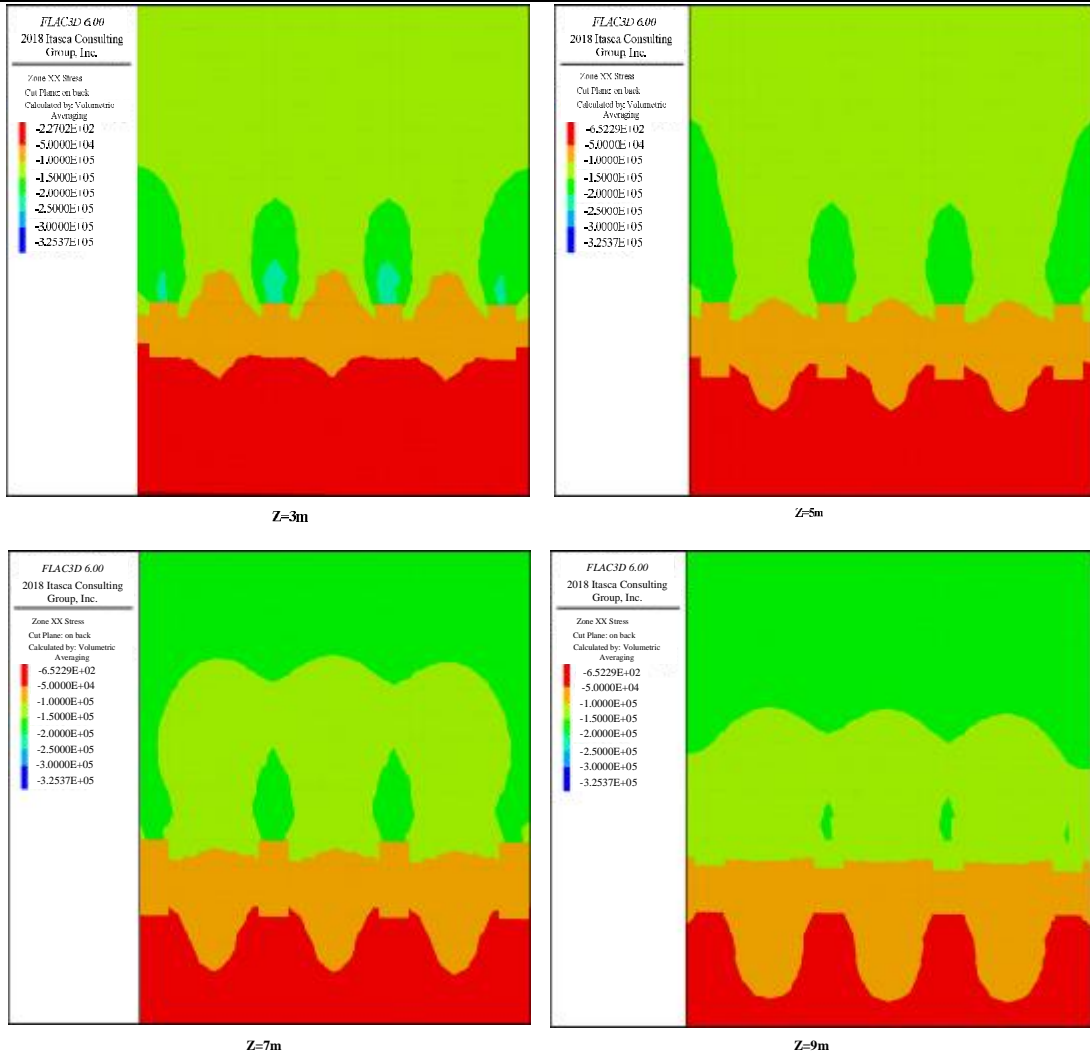


Figure 2. Stress cloud diagrams in the x direction at different depths
图 2. 不同深度处 x 方向应力云图

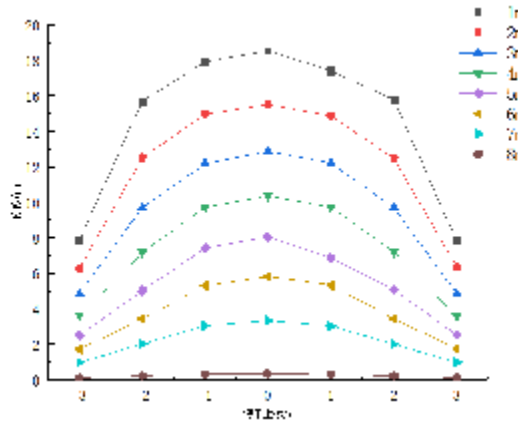


Figure 3. Soil displacement between piles at different buried depths
图 3. 不同埋深处桩间土体位移

3.2 桩间位移云图位移云图

结合图 3 不同埋深处桩间土体位移可知, 桩间土体位移随着埋深的增加而逐渐减小, 当埋深达到 8m 时, 跨中与紧桩侧位置的位移几乎一致, 说明此时此时桩间相对位移较小, 已不能形成有效的土拱。也即证明了土拱在空间存在一定的变化特性, 土拱效应沿着桩身向下逐渐减弱, 与前面的结论一致。

4 结论

土拱效应的形成主要是由于桩土间的相对运动以及土体本身的应力状态相关的, 且土拱效应沿桩身不同高度表现出一定的空间特性, 其土拱形状、土拱影响范围及作用强度自上而下并不一致, 由图 2 图 3 所呈现的规律可以发现, 随着深度的增加, 桩间土体位移逐渐减小, 拱跨比也逐渐减小, 主要原因是随着深度的增加, 土体间自重应力逐渐增大, 从而导致土体承受的荷载较大, 土体间挤压密实, 不易产生位移, 因此, 沿着桩身自上而下, 土拱效应逐渐减弱, 在桩的中上部土拱效应发挥程度最强, 滑动面及以下处土拱效应相对较弱。

References (参考文献)

- [1] Zhang J. Soil arching effect of anti-slide pile retaining structure and its engineering application. Chengdu University of Technology. 2012.
张军. 抗滑桩支挡结构土拱效应及工程应用. 成都理工大学. 2012.
- [2] Jiang L.W., Huang R.Q., Jiang Z.X. Calculation of soil arching effect between piles in cohesive soil and analysis of pile spacing. *Rock and Soil Mechanics*. 2006, 27(3), 445-450.
蒋良潍, 黄润秋, 蒋忠信. 黏性土桩间土拱效应计算与桩间距分析. *岩土力学*. 2006, 27(3), 445-450.
- [3] Zhang J.F., Liu Y.G. Numerical analysis of soil arching in anti-slide piles. *Science and Technology Information*. 2008, 1, 101-102.
张军发, 刘永安. 抗滑桩中土拱效应问题的数值分析. *科技资讯*. 2008, 1, 101-102.
- [4] Dong J. Study on the three-dimensional soil arch effect of cantilever piles and the reaction forces in the embedded section. Chongqing: Chongqing University. 2009.
董捷. 悬臂桩三维土拱效应及嵌固段地基反力研究. 重庆大学. 2009.
- [5] Dong B.B. Analysis of soil arching effect of double-row anti-slide piles. Chongqing University. 2014.
董彬彬. 双排抗滑桩土拱效应分析. 重庆大学. 2014.
- [6] Zhang J.X., Chen F.Q., Jian H.Y. Numerical analysis of soil arching in passive piles. *Rock and Soil Mechanics*. 2004, 25(2), 174-184.
张建勋, 陈福全, 简洪钰. 被动桩中土拱效应问题的数值分析. *岩土力学*. 2004, 25(2), 174-184.