

基于ANSYS的土与深基坑地连墙相互作用研究

舒伟富¹ 李亨²

四川志德岩土工程有限责任公司 四川 成都 610094

摘要: 采用ANSYS软件在地连墙与土体的接触面上设置接触单元, 模拟计算深基坑在分层开挖工况下的变形, 并将数值模拟与现场监测数据进行对比。结果表明: (1) 地面最大沉降位于距坑壁8m处; 8m以外的土体受基坑开挖的影响开始减弱, 在离坑壁60m处地表基本不受开挖的影响。(2) 设置有接触单元时, 计算值与实测值比较接近, 其变化趋势完全一致; 未设置接触单元时, 计算值与实测值差异较大, 其变形形态与实测结果完全不符。

关键词: ANSYS; 深基坑; 土与地连墙相互作用; 变形

0 引言

基坑工程一直在向大体积、大规模的方向发展, 传统的理论计算方法往往把土体对支护结构的作用与支护结构的内力和变形分开来计算, 但土体作用在支护结构上的土压力是动态变化的, 这种简化的处理显然和实际情况存在很大差异。另外, 在深基坑工程中, 支护结构与土体两种材料性质完全不同, 物理力学性质差异很大, 其接触界面的性质相当复杂, 不符合连续介质范畴; 且两者在接触界面上变形不协调, 可能会产生较大的相对滑动或分离, 传统的计算方法无法体现接触面上的这种相互作用。

本文采用有限元方法, 在支护结构与土体的接触面设置接触单元^[1-9], 模拟深基坑的分层开挖。将考虑接触的计算结果与忽略接触的计算结果进行对比, 分析土与连续墙在接触界面的接触状态; 并将数值模拟与现场监测数据进行对比分析, 为优化支护结构设计及现场监测提供了可靠的依据。

1 工程实例介绍

1.1 工程概况

本工程位于上海市浦东新区陆家嘴地区, 主楼结构由一栋3层裙楼和一栋46层框筒结构主楼组成。主楼和开放式地下车库, 设3层地下室, 主楼和裙房的承台底标高分别为-17.200m和-15.000m。

1.2 基坑支护方案

主楼开挖深度为17.15m, 采用地下连续墙支护, 墙厚1m, 有效长度30.15m; 裙房基坑开挖深度分别为14.95m, 采用地下连续墙支护, 墙厚0.8m, 有效长度26.15m。地下连续墙混凝土强度等级均为C30, 基坑开挖

影响范围内地层土的主要物理力学指标见表1。

表1 地层土的物理力学指标

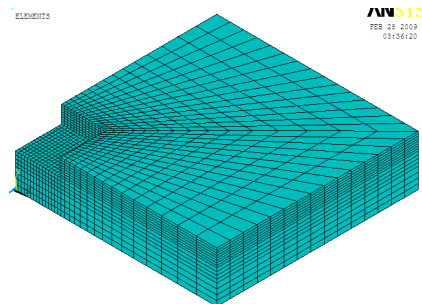
土层名称	弹性模量 E(MPa)	厚度(m)	重度 γ (kN/m ³)	粘聚力 c(kPa)	内摩擦 角 Φ (°)
① ₁ 杂填土		1.78			
② ₃ 砂质粉土	15	7.45	18.8	8.5	30
④淤泥质粘土	4.62	8.85	17.2	13.5	11
⑤粉质粘土	10	6.60	18.5	15.0	19
⑥粉质粘土	12.5	3.70	20.0	42.9	18
⑦ ₁ 砂质粉土	21.16	4.70	18.9	5.0	30
⑦ ₂ 粉细砂	32.1	40.00	19.2	3.5	36

2 模型建立及参数选取

2.1 有限元模型建立

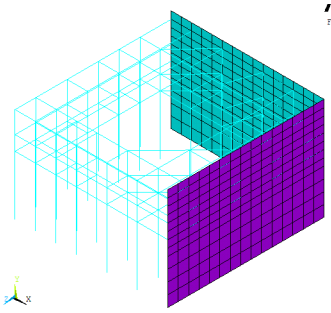
建立如图1所示的有限元模型, 土体尺寸为200m×200m×50m(长×宽×深), 基坑开挖尺寸为45m×46m×17m。土体采用空间8节点的实体单元SOLID45模拟, 每个节点有X, Y, Z三个自由度; 地下连续墙、各层楼板及底板采用四节点空间壳单元SHELL63单元模拟; 水平支撑杆件、围檩、柱、桩采用梁单元BEAM3模拟。

有限元模型共划分为13222个单元, 13431个节点。其中土体单元为10800个, 地下连续墙单元为360个, 梁单元为622个, 接触面单元为1440个。



(a) 土体有限元模型

作者简介: 舒伟富(1981-), 男, 湖南长沙, 硕士, 高级工程师, 主要从事岩土工程勘察、设计及施工管理工作。



(b) 支护结构有限元模型

图1 基坑开挖有限元模型

2.2 计算参数及基本假设

连续墙和支撑的弹性模量取为 $2.4 \times 10^{10} \text{kPa}$ ，泊松比为0.15，土与连续墙之间的摩擦系数取0.2，土体的本构关系采用Drucker-Prager模型。模型的基本假设如下：

- (1) 土体的初始应力按静止土压力计算，开挖以前土体原始应力和性状的改变不予考虑；
- (2) 由于计算的复杂性，不考虑地下水以及围护结构施工对土体扰动的影响；
- (3) 围护结构与土体之间设置三维接触单元，连续墙的两个侧面分别与主动区和被动区的土体接触。

3 计算结果分析

本项目基于ANSYS模拟计算四种工况下，基坑开挖后连续墙的接触状态及位移变形。工况一：开挖至 -2.7m ；工况二：开挖至 -8.5m ；工况三：开挖至 -13.5m ；工况四：开挖至 -17m 。

3.1 地表沉降

开挖至坑底时的地表沉降云图见图2，在离坑壁8m的地方出现沉降槽，且该处变形最大；离坑壁8m以外，土体受基坑开挖影响开始减弱，地表变形开始减小，在离坑壁60m以外，地表沉降接近于零，该处地表已不受开挖的影响。

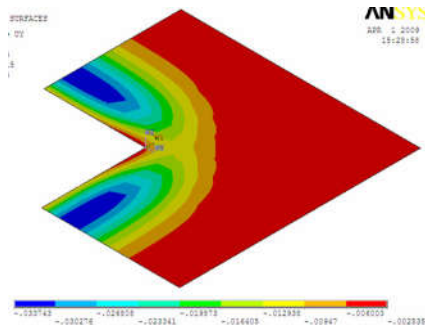
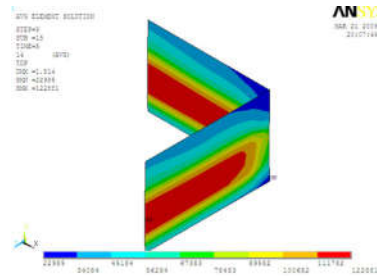


图2 坑底地表沉降云图

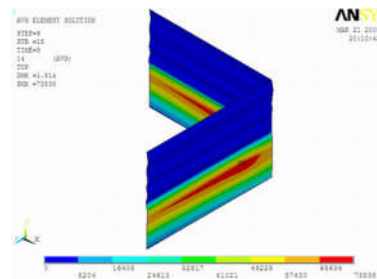
3.2 连续墙接触状态

基坑开挖过程中，由于围护结构与周围土层性质的差异，导致在二者接触面上可能产生错动滑移或开裂，

接触面的力学性质较为复杂。模拟基坑开挖时，使用接触面单元模拟土与连续墙之间的不连续接触面，在连续墙的两侧设置接触面单元，能更真实的反映土体与支护结构的实际工作状态。连续墙在开挖至坑底时的数值模拟结果及分析如下。



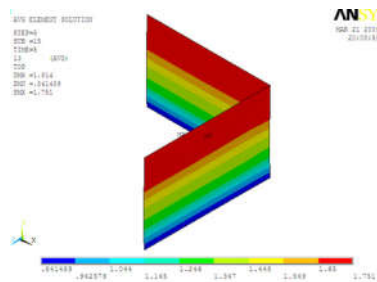
(a) 坑外接触压力



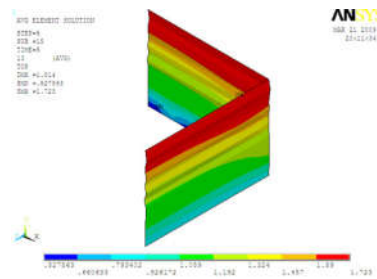
(b) 坑内接触压力

图3 连续墙两侧的接触压力

连续墙两侧的接触压力分布见图3，基坑外侧连续墙中下部接触压力最大，在角部接触压力最小；基坑内侧最大接触压力更接近基坑角部。



(a) 坑外相对位移



(b) 坑内相对位移

图5 开连续墙两侧相对位移

连续墙两侧的土体相对于墙体的位移见图4，坑内侧土体相对于连续墙的位移要比坑外土体相对于连续墙的

位移要小,且自上向下,相对位移逐渐减小,在连续墙的底端接近于零。

3.3 接触单元对计算结果的影响

为研究接触面对基坑变形的影响,对有限元模型分设置接触单元和不设置接触单元进行对比。设置接触单元时在连续墙和土体的接触面添加接触单元,模拟土体与连续墙的相互作用;不设接触单元时将连续墙和土体单元对应的节点耦合起来,认为两者变形协调,不发生相对位移。

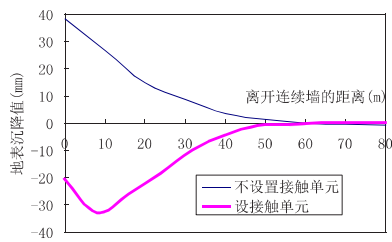


图7 地表沉降对比图

设置和不设置接触单元时地表沉降对比见图7,没有设置接触单元时,地表变形表现为回弹,坑壁处回弹最大,随着距离的增大逐渐减小,基本上没有沉降,其变形形态与实际情况完全不符。设置接触单元时,地表沉降先增大后减小,出现沉降槽,更符合实际情况。

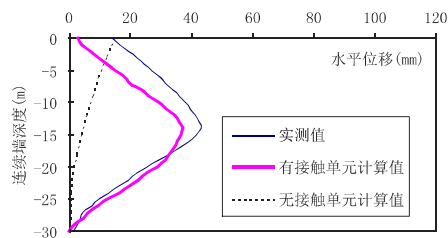


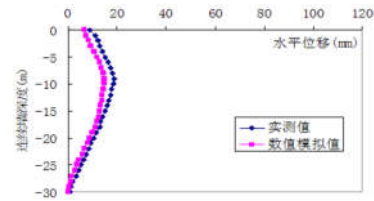
图8 坑壁中部连续墙的水平位移对比图

坑壁中部连续墙在有接触单元、无接触单元、实测情况下的水平位移值的对比见图8,有接触单元时,计算值与实测值比较接近,其变化趋势完全一致;无接触单元时,计算值与实测值和有接触单元的计算值相距甚远,其变形形态与实际情况完全不符。另外,没有接触单元时连续墙的水平位移要比设置接触单元时小的多。

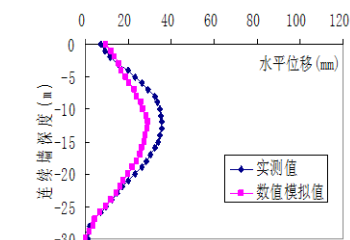
3.4 数值模拟与实测结果对比

基坑角部1/4处和坑壁中部的连续墙在各工况下的水平位移实测值与计算值分别见图9和图10,实测值与数值模拟值的总体变化趋势一致,随着开挖深度的加大,水平位移值持续加大,发生最大水平位移的位置慢慢下移,但位于开挖面附近的位置,计算值要比实测值要小。工况一开挖完成时,计算值与实测值非常接近,位

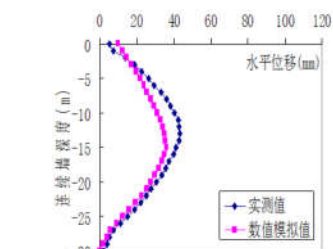
移曲线基本上重合;工况二开挖完成时,最大位移计算值为29.1mm,实测值为35.4mm;工况三开挖完成时,最大位移计算值为35.7mm,实测值为42.9mm;工况四开挖完成时,最大位移计算值为43mm,实测值为49.7mm。另外,位移曲线近乎呈抛物线形分布。



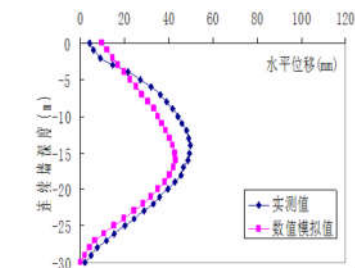
(a) 工况一



(b) 工况二

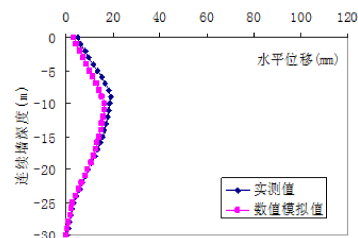


(c) 工况三



(d) 工况四

图9 基坑角部1/4处连续墙水平位移实测值与计算值



(a) 工况一

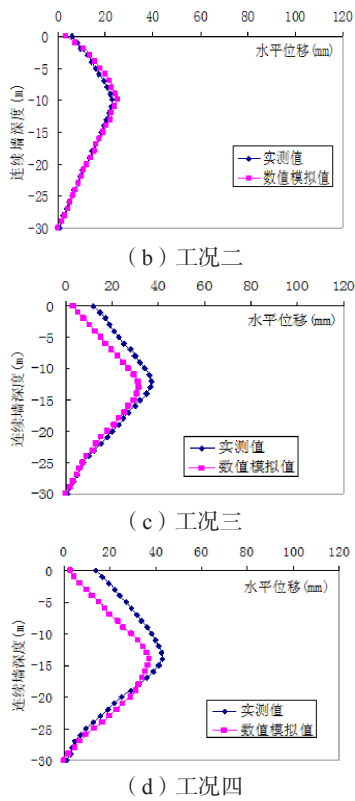


图10 基坑壁中部连续墙水平位移实测值与计算值

4 结论与建议

(1) 地面最大沉降位于离坑壁8m处; 离坑壁8m以外土体受基坑开挖的影响开始减弱, 地表变形开始减小, 在离坑壁60m以外, 地表沉降接近于零, 该处地表已

不受开挖的影响。

(2) 在连续墙与土体的接触界面上设置接触面单元, 随着开挖深度的加大, 地连墙水平位移值持续加大, 发生最大水平位移的位置慢慢下移。实测值与数值模拟值的总体变化趋势一致, 能更真实的反映土体与地连墙的实际工作状态, 且位移曲线近乎呈抛物线形分布。

(3) 数值模拟为不考虑施工偶然因素影响的理想状态, 但在实际工程中, 基坑的安全性受偶然因素的影响较大。因此, 要完全掌握基坑开挖过程中的真实动态, 需通过监测手段, 以施工监测的结果指导现场施工为主, 计算结果为辅。

参考文献:

- [1] 董必昌. 岩土工程仿真中接触单元和相关参数研究[D]. 武汉: 华中科技大学博士学位论文, 2005.
- [2] Hertz. H. Uber die berührung fester elastischer korper[J]. J. Reine and Angewandte Mathematik. 1882, 92: 156-171.
- [3] Galin著, 王君健, 王仁校译. 弹性理论的接触问题[M]. 科学出版社, 1958: 46-72.
- [4] 李润芳等. 接触问题数值方法及其在机械设计中的应用[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1991.
- [5] 马刚, 周伟, 常晓林等. 粗粒土与结构接触面特性的离散-连续耦合数值研究[J]. 岩土力学. 2012, 33(11): 3454-3564.