

深基坑支护结构支撑系统简化空间分析方法的研究

Researches on bracing system of foundation pit using simplified space analytical method

陆培毅, 刘畅, 顾晓鲁
(天津大学 建筑工程学院, 天津 300072)

摘要: 提出了一种考虑土压力随支护体位移变化、支撑力随支撑点处位移变化和土—支护结构—支撑系统相互作用的深基坑支护结构支撑系统简化空间分析方法, 编制了分析计算程序, 该方法能够用于分析相同开挖深度、不同开挖深度及土质不均等情况下支护结构、支撑系统内力、变形的计算。

关键词: 支护结构; 支撑系统; 相互作用; 空间分析

中图分类号: TU 433

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2002)04-0471-04

作者简介: 陆培毅(1962-), 女, 天津人, 博士, 副教授。主要从事基础工程与岩土工程方面的研究工作。

LU Pei-yi, LIU Chang, GU Xiao-lu

(School of Architectural Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Considering earth pressure and bracing force changing with displacement under the consideration of interaction among soil-retaining structure-bracing system, in this paper, a simplified bracing system space analytical method is proposed. Programs for calculating have been edited. The method can be used to analyze the inner forces and deformation in retaining structure and bracing system of the foundation pit with the same or different excavation depth and different soil layer, ect.

Key words: retaining structure; bracing system; interaction; space analysis

1 前言*

支撑系统是基坑设计中保证基坑稳定, 减小支护结构内力变形的重要组成部分。支撑系统可在满足支护桩(墙)内力和变形的前提下按均布力法通过有限元程序计算支撑的内力^[1]。目前通行的计算方法中^[2~4]还有给定支撑予位移或采用一个合适的刚度计算支撑内力, 但这些方法都不能从根本上解决支撑系统与支护桩(墙)共同作用问题, 特别是对有深浅坑、基坑形状不规则或土质不均的情况皆无法准确计算。

严格的理论分析应是支护桩(墙)与支撑体系组成空间结构体系, 两者共同承受土体的荷载。这需要用空间有限元^[5,6]加以解决。但用空间有限元分析往往由于模型、参数及边界条件等问题使计算结果不准确。本文提出一种新的计算方法, 将支护结构体系视为空间结构, 并使支撑体系和支护桩(墙)在联结处实现力和位移相协调。用弹性抗力法和超级SAP程序联合求解, 并采用考虑土与支护结构相互作用的土压力模型, 在支护桩(墙)计算中实现土压力随位移而变化, 从而较好地解决了深浅坑、土质不均等情况基坑开挖的计算问题。

2 支撑系统简化空间分析法构思

2.1 基本假设

忽略支撑与支护桩联结处弯矩和扭矩, 只考虑

水平力, 将整个空间体系简化为水平支撑和竖向支护桩两套静力平衡体系, 将结点处的力和位移进行协调处理。

2.2 荷载

作用在支护桩(墙)上的荷载可按考虑土与支护桩(墙)相互作用的方式确定。

支护结构计算简图见图1。支护桩(墙)与支撑系统用水平链杆相连。

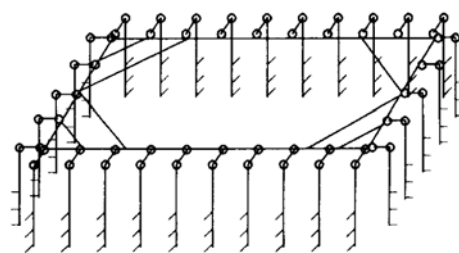


图1 支护结构计算简图

Fig. 1 Computation of retaining structure

这种协调处理的方法对于如图1所示的支撑体系, 采用杆系有限元对其进行计算。其内力、位移与荷载关系有

$$[G]\{V_{\text{框}}\} = \{f_{\text{框}}\} \quad (1)$$

式中 $[G]$ 为水平支撑的整体刚度矩阵; $\{V_{\text{框}}\}$ 为支撑各结点的位移列阵; $\{f_{\text{框}}\}$ 为支撑各结点的力列阵。

然后对支护桩体进行分析, 支撑力 $f_{\text{桩}}$ 是支撑作用处桩体位移 $V_{\text{桩}}$ 的函数, 即

$$f_{\text{桩}} = f(V_{\text{桩}}) \quad (2)$$

对于每一根支护桩来讲, 在支撑点处都有:

$$V_{\text{框}} = V_{\text{桩}} = V \quad (3)$$

$$f_{\text{框}} = f_{\text{桩}} = f(V) \quad (4)$$

将式(3)、(4)代入式(1)得

$$[G]\{V\} = \{f(V)\} \quad (5)$$

解方程组(5), 求得水平支撑体系各结点位移列阵 $\{V\}$, 进而求支撑体系的内力及支护桩的内力和变形。这样就完成了变形协调计算。

3 程序的实现

本计算方法最后一步就是解方程组(5), 求得水平支撑体系各结点位移列阵 $\{V\}$ 。下面就介绍其程序编制时所对应的计算条件。

3.1 当支护桩上的土压力为恒定的主动土压力时程序实现方法

当采用弹性抗力法, 作用在支护桩上的土压力为恒定的主动土压力, 这时荷载列阵 $\{f(v)\}$ 中的每一个荷载值 $f(v)$ 都是位移的线性函数: $f = a + bv$, 形成荷载列阵 $\{A + Bv\}$ 。这样就得到一个线性方程组:

$$[G]\{V\} = \{A + BV\} \quad (6)$$

对其进行变换得到

$$[G - B]\{V\} = \{A\} \quad (7)$$

可以一次求得位移结果, 并能够实现水平支撑体系和支护桩体在其联结处力和位移的协调。

3.2 当考虑土与支护结构相互作用时计算方法

用弹性抗力法对支护桩(墙)计算, 考虑作用在支护桩(墙)上的土压力随支护桩(墙)位移而变化, 采用全 m 系数法土压力模型, 这时支撑力—位移的关系 $f(v)$ 不再是一条直线, 而是非线性函数。这时进行支护桩计算, 将 $f(v)$ 函数直接代入水平支撑体系, 得到的式(7)不再是线性方程组, 无法直接求解。因此用许多小的直线段来模拟支撑力和位移关系曲线以解决这个问题, 即将 $f(v)$ 这个非线性函数由一组线性函数 $f'_1(v), f'_2(v), f'_3(v), \dots$ 来代替, 在计算过程中通过迭代来实现。

基于以上思想, 编制了支护结构空间计算程序, 框图见图2。

4 计算对比

算例: 计算采用的基本数据为支护结构采用 $\Phi 800 @ 1000$ 的灌注桩, 混凝土强度等级为C25, 桩顶加

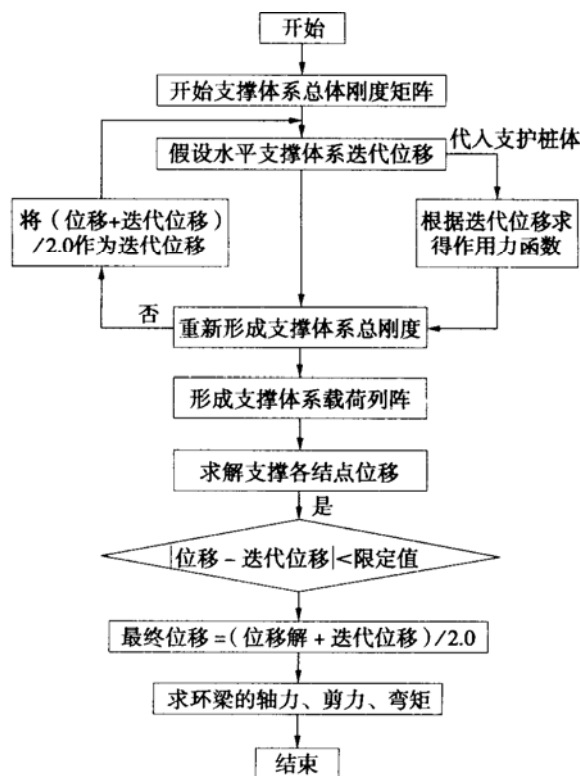


图2 支护结构空间计算程序框图

Fig. 2 Program for 3D calculation of retaining structure

一道钢筋混凝土水平支撑, 中心标高为1.0 m, 坑深剖面见图3。地下水位位于地表下1.0 m。按水土分算考虑。

水平支撑体系采用帽梁+环梁+支撑, 见图4。帽梁为1.5 m × 0.8 m, 环梁为2.0 m × 1.0 m, 内支撑采用0.8 m × 0.8 m。

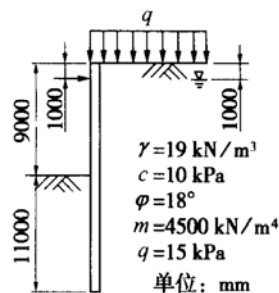


图3 坑深剖面图

Fig. 3 Profile of foundation pit

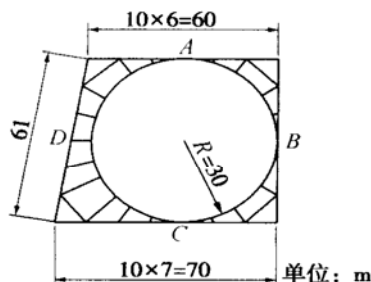


图4 水平支撑体系平面图

Fig. 4 Arrangement of bracing system

计算时分两种情况,一种是整个基坑采用相同的挖深,坑深为 9 m;另一种是采用不同的挖深,在 *ADC* 侧挖深为 9 m, *ABC* 侧挖深为 5 m。两种情况下土压力都分别按恒定的主动土压力和土压力随支护桩位移改变两种方法计算。计算结果见表 1, 2, 支撑系统变形见图 5. 6。

表 1 基坑挖深相同的计算结果

Table 1 Calculated results with same excavation depth of foundation pilt

计算方法	位移 / cm		弯矩 / (kN·m)		轴力 / kN		剪力 / kN	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
主动土压力	1.87	0.70	1504	- 2319	1282	177	915	- 917
帽梁	1.70	0.04	3340	- 3581	6329	4335	1439	- 1403
土压力变化	1.99	0.74	1537	- 2419	1309	180	935	- 936
环梁	1.80	0.05	3411	- 3658	6466	4470	1470	- 1434

表 2 基坑挖深不同的计算结果

Table 2 Calculated results with different excavation depth of foundation pilt

计算方法	位移 / cm		弯矩 / (kN·m)		轴力 / kN		剪力 / kN	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小	最大	最小
主动土压力	4.87	- 3.50	1939	- 2360	1752	178	915	- 890
帽梁	4.10	0.50	4710	- 3471	6112	3770	1651	- 1671
土压力变化	3.70	- 1.70	1864	- 2461	1662	126	907	- 899
环梁	2.70	0.80	4376	- 3548	5921	3589	1550	- 1614

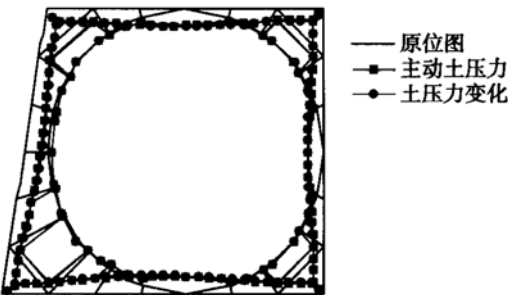


图 5 基坑相同挖深支撑体系位移图

Fig. 5 Deformation of bracing system with same excavation depth of foundation pit

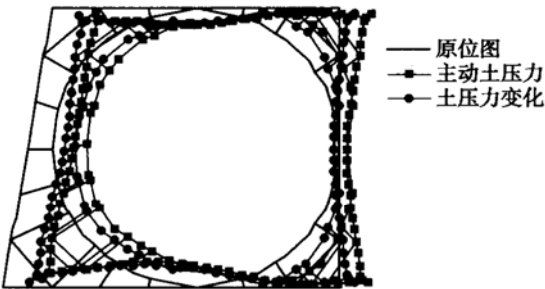


图 6 基坑不同挖深支撑体系位移图

Fig. 6 Deformation of bracing system with different excavation depth of foundation pit

图 7~ 10 给出各种情况下支护桩变形、弯矩图。

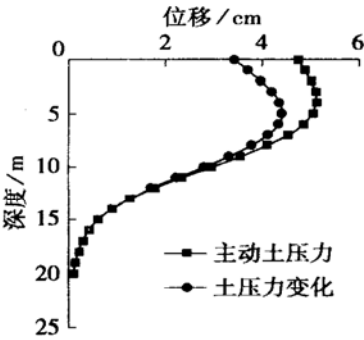


图 7 深坑支护桩变形图

Fig. 7 Deformation curves of retaining piles in deep pit

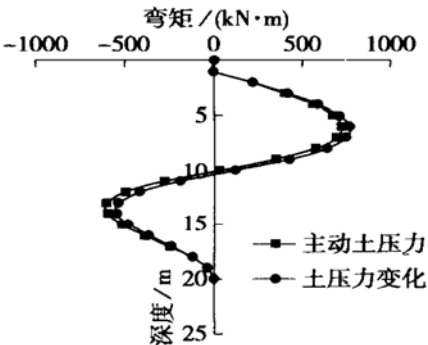


图 8 深坑支护桩弯矩图

Fig. 8 Moment curves of retaining piles in deep pit

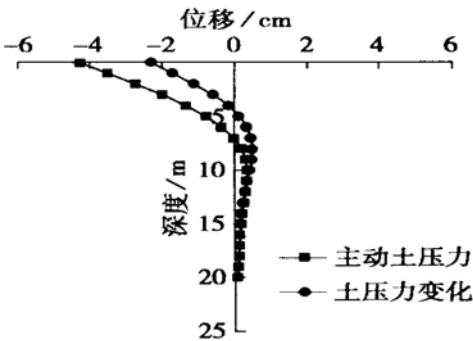


图 9 浅坑支护桩变形图

Fig. 9 Deformation curves of retaining piles in shallow pit

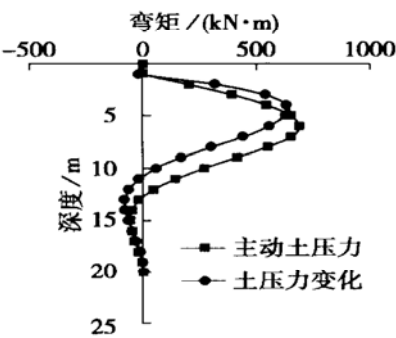


图 10 浅坑支护桩弯矩图

Fig. 10 Moment curves of retaining piles in shallow pit

由图表可看出, 基坑在相同挖深情况下, 土压力

采用恒定主动土压力和变化土压力, 支撑体系内力、位移相差不是很大, 因此, 支护桩体的内力、变形也相似。

当基坑存在深、浅坑的情况下, 即采用不同挖深时, 采用恒定主动土压力和变化土压力, 支撑体系内力、位移发生变化。从图 6 可看出, 整个支撑体系向“浅”坑方向移动。由于采用不同土压力, 支撑体系在同一位置, 变形不一样, 由此造成两种土压力情况下, 支护桩(墙)内力不相同, 图 7~10 给出各种情况下支护桩变形、弯矩图。

在深坑部位, 如图 8 所示, 采用变化土压力, 桩身最大弯矩为 $770.4(\text{kN}\cdot\text{m})$, 而采用恒定主动土压力, 桩身最大弯矩为 $720.8(\text{kN}\cdot\text{m})$, 前者比后者要大 8%。而在浅坑部位, 如图 10 所示, 采用变化土压力, 桩身最大弯矩为 $633.8(\text{kN}\cdot\text{m})$, 而采用恒定主动土压力, 桩身最大弯矩为 $690.1(\text{kN}\cdot\text{m})$, 前者比后者要小约 10%。从而说明, 对于有深、浅坑的计算, 如果按现行的空间计算程序, 采用恒定主动土压力, 会导致浅坑支护桩偏于安全, 深坑支护桩不安全的计算结果。采用变化土压力, 则可以很好地解决此问题, 更准确地确定基坑各部位的桩身内力。

对于基坑采取不同期开挖或基坑周围土质条件不同的情况, 亦应按变化土压力模式进行支护结构的空间分析。

5 结论及展望

支护结构空间计算, 当开挖深度相同, 基坑周围土

质较均匀时, 可不考虑主动区土与支护桩(墙)相互作用; 对于有深、浅坑的计算, 如果按现行的空间计算程序, 采用恒定主动土压力, 会导致浅坑支护桩偏于安全, 深坑支护桩不安全的计算结果。采用变化土压力, 则可以很好地解决此问题, 更准确地确定基坑各部位的桩身内力。因此, 对有深、浅坑, 土质不均, 开挖深度不同步的基坑应按本文提出的考虑土—桩—支撑三者相互作用的空间分析程序计算支撑系统及支护桩的内力。

本文提出的考虑土—桩—支撑三者相互作用的空间分析程序, 不但应考虑支护桩体和水平支撑体系之间的水平相互作用力, 还应将弯矩和扭矩的影响加以考虑, 程序有待进一步完善。

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.
- [2] 何建明, 白世伟. 深基坑排桩—圈梁支护结构协同作用研究[J]. 武汉: 岩土力学, 1997, 18(3): 41–46.
- [3] 曾庆义, 刘明成. 支护桩圈梁的作用机理与计算分析[J]. 岩土力学, 1995, 16(2): 74–81.
- [4] 高印力. 考虑圈梁空间效应支护桩的简化计算[J]. 北京: 建筑结构, 1998, (11): 37–39.
- [5] 王勖或, 邵敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [6] 朱伯芳. 有限元法原理与应用[M]. 北京: 水利电力出版社, 1979.

《西北水电》杂志征订启事

《西北水电》杂志系国家电力公司西北勘测设计研究院主办的技术性期刊。1982 年创刊, 国内外公开发刊。《西北水电》杂志为陕西省优秀科技期刊; 中国学术期刊综合评价数据库来源期刊; 中国科技论文统计源期刊; 中国科学引文数据库来源期刊; 中国学术期刊(光盘版)入编期刊; 《北极星》网站入网期刊; 万方数据数字化期刊群入网期刊; 中国水利水电文摘入编期刊。

本刊内容丰富、信息量大、发行面广、实用性强, 是广大读者了解我国西北地区水电开发建设与发展的重要窗口。

《西北水电》杂志以推动西北地区水利水电科技进步为宗旨, 主要刊登有关大、中型水利水电工程的科技论文, 设置有水文与水资料、地质与勘测、水工与施工、机电与金属结构、计算

机技术、科研与试验、专题研究、工程监理、经营与管理、国外译文、国内外学术活动简讯等栏目。本刊为季刊, 全年 4 期, 每期在 3、6、9、12 月末出版, 刊号 CN61–1260/TV, 大 16 开, 彩色封面及封底。2001 年每期订价 5.50 元, 全年 22 元(包括邮资费)。

欢迎在当地邮局征订(邮发代号 52–130), 也可直接与本刊编辑部联系订阅。

银行汇款 单位: 能源部水利部西北勘测设计研究院《西北水电》编辑部, 开户银行: 西安市商业银行南大街支行, 帐号: 115–03–01–889–000085–77; 邮局汇款 地址: 陕西省西安市电子工业园区丈八东路 18 号, 单位: 国电公司西北勘测设计研究院《西北水电》编辑部, 邮编: 710065, 电话: (029) 8280709, 8280708, 联系人: 王燕, 罗绮。