

SHENJIKENG
GONGCHENG
BIANXINGKONGZHI

深基坑工程变形控制

唐孟雄 陈如桂 陈伟 著

中国建筑工业出版社

深基坑工程变形控制

张其成 张其成 张其成 著

中国水利水电出版社

深基坑工程变形控制

唐孟雄 陈如桂 陈伟 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

深基坑工程变形控制/唐孟雄,陈如桂,陈伟著.

—北京:中国建筑工业出版社,2006

ISBN 7-112-08041-X

I.深… II.①唐…②陈…③陈… III.深基础
—基础(工程)—变形—控制 IV.TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 009740 号

深基坑工程变形控制

唐孟雄 陈如桂 陈伟 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

广州市一丰印刷有限公司印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:29 字数:706千字

2006年12月第一版 2006年12月第一次印刷

印数:1—2000册 定价:54.00元

ISBN 7-112-08041-X
(13995)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是作者多年来从事深基坑工程变形控制理论研究与实践的总结。主要内容包
括:(1)基坑开挖支护体系内力与变形分析的半空间理论及有限元模型;(2)任意剖面挡土桩(墙)变形与周围建筑物变形及管线变形的非线性关系的理论解析解;(3)周围建筑物变形损害和地下管线变形损害的预测;(4)周围建筑物或管线变形超过允许值的报警标准及控制措施和方法;(5)不同类型基坑开挖的土压力、结构内力、锚杆锚固力及支护结构与周边地面、临近建(构)物和地下管线的变形实测研究。可以有效解决深基坑支护结构及周围环境变形预测、控制和险情预报的关键和难点问题。全书共13章:1.深基坑周围地表沉降及变形分析;2.深基坑影响区任意点与管道变形计算;3.深基坑开挖支撑结构的位移算法;4.基坑挡土墙侧向位移拟合方法;5.地下水动态作用与基坑抢险;6.深基坑支护半空间共同作用有限元分析;7.深基坑开挖半空间可视化软件;8.软件算例与分析;9.深基坑工程监测技术;10.深基坑挡土桩侧土压力实测研究;11.深基坑支护预应力锚杆锚固力实测分析;12.深基坑工程信息化监测应用分析;13.深基坑与周边环境监测实录。

本书可供建筑、市政、地下工程和岩土工程等专业的教学、科研和工程技术人员学习参考。

* * *

责任编辑 常 燕

前 言

本书在理论研究的基础上,以广州高层建筑、地铁工程、市政工程的深基坑工程为背景,论述深基坑支护结构与周围建(构)筑物和地下管线变形的关系、变形预测、报警和控制方法。

自 20 世纪 80 年代以来,在我国城市建筑物密集区兴建的高层和超高层建筑越来越多,地下室层数增加,地铁工程、地下商业街和人防工程等基坑开挖的范围和深度越来越大。15~20m 深的基坑越来越普遍,广州最深基坑开挖深度超过 30m。基坑开挖对环境造成影响和损害的问题更加突出。随着国家行业标准《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—99)的颁布实施,基坑侧壁安全等级定为一级的基坑,对环境的影响有严格的要求。基坑开挖对环境造成影响和损害的问题是近年来工程建设领域的研究热点问题。然而,基坑变形与周围建筑物、管线沉降及变形的关系十分复杂,基坑规程没有提出对环境影响预测的计算方法,设计单位对基坑设计主要集中在支护结构本身安全,难以对环境影响程度做出预测和评价。基坑方案评审时,关于基坑对环境的影响凭专家们的经验做出定性评价,强调通过信息化施工来确保基坑工程和周边环境的安全。

作者近几年一直致力于基坑变形与环境影响的关系进行研究,采用理论研究、数值分析及实测研究三种手段,系统深入地研究了五方面的内容:(1)基坑开挖支护体系内力与变形分析的半空间理论及有限元模型;(2)任意剖面挡土桩(墙)变形与周围建筑物变形及管线变形的非线性关系的理论解析解;(3)周围建筑物变形损害和地下管线变形损害的预测;(4)周围建筑物或管线变形超过允许值的报警标准及控制措施和方法;(5)不同类型基坑开挖的土压力、结构内力、锚杆锚固力及支护结构与周边地面、临近建(构)物和地下管线的变形实测研究。

提出了基坑变形和建筑物、地下管线变形的计算理论。建立基坑侧壁多项式位移函数,用正态分布密度函数来描述地表沉降曲线,推导出地表建筑物、地下管线的沉降、倾斜和曲率变形计算理论公式,可以预测基坑开挖过程中任意时间、任意位置的基坑侧壁、地表建筑物、地下管线的位移、沉降和变形。这些地表沉降及变形指标对建筑物、地下管道和电缆的保护具有重要的意义。建立了基坑支护工程数值分析半空间分析理论方法和可视化的动态分析有限元模型,土压力采用随位移线性变化的动态土压力模式,考虑内支撑、锚杆、土钉墙、连续墙、排桩与土体的共同作用,将基坑支护的三维空间问题转化为半空间问题,研制出用于基坑变形计算的半空间共同作用分析软件及周围建筑物、管线变形和损害程度预计的计算软件,为设计者及基坑评审专家组提供有用的计算工具,适合各种复杂的支护体系,可以解决局部内支撑、内支撑与锚杆组合支护计算等问题。提供环境控制设计模块,评价基坑开挖对周边环境的影响。通过动态设计和信息化施工,减少并控制基坑开挖对环境的影响,使地面沉降、建筑物及管线沉降预估值与实测值接近;能预报后续工程施工可能出现的险情,避免基坑坍塌事故,将基坑开挖对环境造成的影响和损害程

度降至最低。提出以位移模式计算支撑轴力的新方法,方法简单可靠,新颖独特。通过对大量现场实测研究成果的总结分析,提出了基坑工程变形报警标准。通过大量工程现场实测,归纳总结了广州地区典型土层的实测土压力规律和锚杆的锚固力和抗拔力的规律,从有效控制变形和保证安全的角度提出了改进预应力锚杆锁定的方法。研究了国家现行有关锚杆抗拔验收试验标准存在的问题,提出新的更合理的验收试验标准方法。总结了20个工程各类支护结构实测变形规律和引起周边建筑物及地下管线变形的规律,对于基坑支护设计、施工和相关规范的修订有一定参考价值。

本书是作者多年从事深基坑支护设计、施工、检测与监测实践的总结。本书的部分理论成果是唐孟雄在同济大学攻读博士学位期间,赵锡宏教授的指导下进行的研究工作。同事黄伟江工程师参与软件的编制,书中的工程实例是作者和广州市建筑科学研究院的同事林泽耿高级工程师、胡辉高级工程师、赵燕云高级工程师等共同完成的。研究工作得到了广州市建设委员会科技基金的资助。在此对他们的辛勤劳动和大力支持表示衷心的感谢。

目 录

| | |
|-----------------------------------|----|
| 第一章 深基坑周围地表沉降及变形分析 | 1 |
| 1.1 概 述 | 1 |
| 1.2 深开挖引起的地表沉降 | 1 |
| 1.3 求挡土桩侧向位移曲线 | 3 |
| 1.4 确定最大下沉值 | 4 |
| 1.5 地表变形计算 | 5 |
| 1.6 算 例 | 6 |
| 1.7 结 论 | 8 |
| 第二章 深基坑影响区任意点与管道变形计算 | 9 |
| 2.1 概 述 | 9 |
| 2.2 挡土墙侧向水平位移计算 | 9 |
| 2.3 基坑周围地表沉降计算 | 10 |
| 2.4 地表任意点的倾斜 | 12 |
| 2.5 地表任意点沿任意方向的曲率 | 12 |
| 2.6 管线允许变形计算 | 13 |
| 2.7 工程实例 | 14 |
| 2.8 结 论 | 15 |
| 第三章 深基坑开挖支撑结构的位移算法 | 17 |
| 3.1 概 述 | 17 |
| 3.2 位移模式 | 17 |
| 3.3 横撑支撑轴力的计算 | 18 |
| 3.4 横撑水平距离的确定 | 19 |
| 3.5 算 例 | 21 |
| 3.6 结 论 | 22 |
| 第四章 基坑挡土墙侧向位移拟合方法 | 23 |
| 4.1 概 述 | 23 |
| 4.2 挡土墙水平位移计算 | 23 |
| 4.3 实例分析 | 24 |
| 4.4 结 论 | 28 |
| 第五章 地下水动态作用与基坑抢险 | 29 |
| 5.1 概 述 | 29 |
| 5.2 基坑降水对周围建筑物的影响 | 29 |
| 5.3 水管爆裂引起连续墙倾斜和邻近建筑物严重裂缝 | 33 |

| | | |
|-------------|--------------------------|------------|
| 5.4 | 地下水冲刷掏空地基土层引起邻近建筑物破坏 | 34 |
| 5.5 | 连续降雨浸泡导致土钉墙支护滑坡 | 34 |
| 5.6 | 长时间地表水灌入地下造成锚杆失效及局部滑坡 | 34 |
| 5.7 | 结 论 | 35 |
| 第六章 | 深基坑支护半空间共同作用有限元分析 | 36 |
| 6.1 | 概 述 | 36 |
| 6.2 | 墙侧土压力位移计算法 | 36 |
| 6.3 | 基坑分步开挖半空间共同作用有限元模型 | 37 |
| 6.4 | 工程实例分析 | 43 |
| 6.5 | 基坑开挖性状分析 | 44 |
| 6.6 | 结 论 | 45 |
| 第七章 | 深基坑开挖半空间可视化软件 | 47 |
| 7.1 | 软件简介 | 47 |
| 7.2 | 计算分析工作流程 | 47 |
| 7.3 | 技术条件 | 48 |
| 第八章 | 软件算例与分析 | 50 |
| 8.1 | 软件算例 | 50 |
| 8.2 | 算例结果比较与分析 | 58 |
| 第九章 | 深基坑工程监测技术 | 61 |
| 9.1 | 概 述 | 61 |
| 9.2 | 深基坑工程监测方法 | 61 |
| 9.3 | 数据处理 | 64 |
| 9.4 | 报警标准 | 65 |
| 9.5 | 基坑工程监测技术发展动态 | 66 |
| 第十章 | 基坑挡土桩侧实测土压力 | 67 |
| 10.1 | 概 述 | 67 |
| 10.2 | 桩锚支护实测土压力 | 69 |
| 10.3 | 桩撑支护结构实测土压力与结构内力 | 74 |
| 10.4 | 桩锚及支撑组合支护结构实测土压力与结构内力 | 92 |
| 第十一章 | 预应力锚杆锚固力实测分析 | 104 |
| 11.1 | 概 述 | 104 |
| 11.2 | 锚杆张拉锁定中钢绞线不均匀受力分析 | 104 |
| 11.3 | 锚杆张拉锁定荷载的预应力损失 | 105 |
| 11.4 | 自由段灌浆体对锚杆张拉的影响 | 108 |
| 11.5 | 基坑开挖过程锚杆锚固力动态 | 109 |
| 11.6 | 锚杆张拉与验收试验标准讨论 | 110 |
| 11.7 | 结 论 | 118 |
| 第十二章 | 深基坑工程信息化监测应用分析 | 120 |

| | | |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------|
| 12.1 | 概 述 | 120 |
| 12.2 | 工程应用实例总结分析 | 120 |
| 第十三章 深基坑与周边环境监测实录 | | 136 |
| 13.1 | 新中国大厦地下连续墙逆作法基坑工程 | 136 |
| 13.2 | 吉祥大厦地下连续墙内支撑基坑工程 | 146 |
| 13.3 | 广仁大厦人工挖孔连续墙逆作法基坑工程 | 168 |
| 13.4 | 文昌花园地下连续墙逆作法基坑工程 | 187 |
| 13.5 | RJ-1 地铁上盖人工挖孔连续墙内支撑基坑工程 | 198 |
| 13.6 | 合银广场人工挖孔排桩锚杆支护基坑工程 | 227 |
| 13.7 | 广州电力调度大楼人工挖孔排桩锚杆基坑工程 | 255 |
| 13.8 | 地铁二号线客村站人工挖孔排桩锚杆基坑工程 | 267 |
| 13.9 | 地铁二号线中大站人工挖孔排桩内支撑基坑工程 | 275 |
| 13.10 | 地铁二号线琶洲塔站及站后折返线钻孔排桩加钢管内支撑基坑工程 | 284 |
| 13.11 | 地铁三号线石牌桥站排桩钢管内支撑基坑工程 | 310 |
| 13.12 | 白云新国际机场轻轨试验段排桩加内支撑基坑工程 | 323 |
| 13.13 | 中山医科大学附属第一医院门诊大楼人工挖孔桩加锚杆支护基坑工程 | 354 |
| 13.14 | 天河北荟雅苑喷锚支护基坑工程 | 367 |
| 13.15 | 广州综合通信枢纽楼基坑工程 | 377 |
| 13.16 | 万国商业广场喷锚支护基坑工程 | 389 |
| 13.17 | 中曦大厦基坑工程 | 406 |
| 13.18 | 积德花苑 H1-4 栋商住楼基坑工程 | 413 |
| 13.19 | 南航大厦基坑工程 | 420 |
| 13.20 | 机场路综合楼基坑工程 | 441 |

第一章 深基坑周围地表沉降及变形分析

1.1 概 述

在城市改造和市政建设中,深基坑开挖引起的周围地基土沉降问题越来越受到人们的重视。由于沉降造成邻近建筑物及地下管道和电缆的破坏和影响带来的损失是很大的。因此,在市区为保护邻近建筑物和地下管线等设施的安全,对基坑周围地基土的移动有严格限制。如《上海市地基基础设计规范》第 10.4.12 条规定:“采取挡土措施开挖基坑时,也应分析邻近原有设施可能产生的位移、下沉和变形及其危害的严重性,事先或在施工过程中采取必要的加固和防护措施。……”由此可见,对深基坑开挖引起的周围地基土的沉降大小进行预测的必要性。

关于基坑周围地表的沉降计算,前人也做过研究,其中应用较广的是 Peck 于 1969 年通过工程实测统计得出的一套与土性及开挖深度有关的估算地表沉降的方法。日本的道路工程规范中也给出了计算基坑开挖时的地表沉降方法。

本研究在前人研究和实测资料基础上,首次提出了按正态分布密度函数拟合地表沉降曲线的方法。并根据对建筑物和地下管线保护需要,引入了两个计算地表变形的指标,并推导出相应的计算公式。

1.2 深开挖引起的地表沉降

设基坑宽度为 b ,开挖深度为 h ,挡土墙深度为 H ,如图 1.2.1 所示。经过大量现场实测和统计分析,有支撑挡土墙侧向位移曲线可用抛物线拟合。基坑开挖产生的地表沉降通常在距坑边一定距离 L 处达到最大下沉值 s_1 。地表沉降范围 AB 可用式(1.2.1)表示:

$$\overline{AB} = L = H \tan\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1.2.1)$$

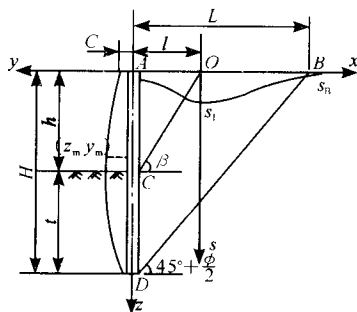


图 1.2.1 基坑开挖引起的侧移和下沉曲线

沉降曲线形态可用正态分布密度函数来描述。以最大下沉点 O 为坐标原点,则沉降可用式(1.2.2)表达。

$$s(x) = s_1 e^{-\pi(\frac{x}{r})^2} \tag{1.2.2}$$

式中 s_1 ——最大下沉值(mm);
 r ——下沉盆地主要影响半径(m)。

$$r = \eta(L - l) \tag{1.2.3}$$

式中 η ——主要影响半径系数。

从挡土墙入土点 C 和地表最大下沉点 O 作连线,其与水平线夹角为 β 。本文定义 β 角为地基土最大下沉角。从五个现场实测资料中统计的 β 角列于表 1.2.1 中。地基土最大下沉角 β 与土层内摩擦角 ϕ 有很好的线性相关关系(图 1.2.2)。相关系数 $\gamma = 0.94$,经线性回归得出:

$$\beta = 82 - 2.36\phi \tag{1.2.4}$$

从挡土墙最深点 D 按 $45^\circ + \frac{\phi}{2}$ 角度作直线与地表相交于 B 点。 B 点即为地表下沉盆地的边界点。五个现场实测的最大下沉值和边界点的下沉值也列于表 1.2.1 中。

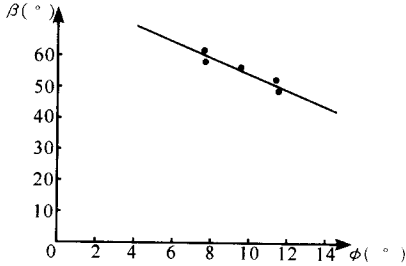


图 1.2.2 β 角与 ϕ 角的关系

实测沉降及参数 表 1.2.1

| 工程名称 | 基坑深 (mm) | 入土深 (mm) | ϕ ($^\circ$) | β ($^\circ$) | s_B (mm) | s_1 (mm) |
|------------|-------------|-------------|------------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| 上海地铁曹宝路车站 | 12.3 | 12.3 | 8 | 65 | 7 | 70 |
| 上海地铁人民广场车站 | 13.5 | 11.1 | 8 | 61 | 5 | 110 |
| 同济大学图书馆 | 9.0 | 7.0 | 12.1 | 52 | 2.3 | 16.5 |
| 奥斯陆某工程 | 8.6 | 6.4 | 10 | 59 | 20 | 266 |
| 新加坡某工程 | 11.1 | 18.9 | 12 | 55 | 11.1 | 127.7 |

从图 1.2.1 上看出,最大下沉点 O 与挡土墙顶点 A 的距离 l 可表达为:

$$l = \frac{h}{\tan\beta} \tag{1.2.5}$$

根据表 1.2.1 中实测值,由式(1.2.2)和式(1.2.3)可以算出系数 η 分别为 1.16、1.01、

1.25、1.10、1.13,变化范围为 1.01 ~ 1.25。一般, $\phi \leq 10^\circ$ 取 η 值为 1.1; $\phi > 10^\circ$, 取 η 为 1.2。

1.3 求挡土桩侧向位移曲线

1. 支撑轴力及位移计算

为了免去求解超静定结构的繁杂性,采用 1/2 荷载分担法近似计算支撑轴力,如图 1.3.1 所示。设第 i 道支撑轴力为 N_i ,则:

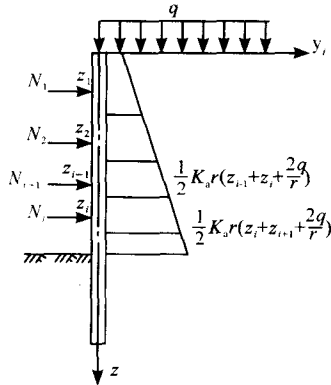


图 1.3.1 挡土墙支撑轴力计算简图

$$N_i = \frac{1}{8} K_a \gamma (z_{i-1} + 2z_i + z_{i+1} + \frac{4q}{\gamma}) \times (z_{i+1} - z_{i-1}) \quad (1.3.1)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})$$

式中 K_a ——主动土压力系数;

γ ——土的重度;

q ——地面超载;

z_i ——支撑点的坐标。

各支撑点的位移用式(1.3.2)计算:

$$y_i = \frac{(N_i - N_{i0}) L_p}{EA} \quad (1.3.2)$$

即 $y_i = \frac{1}{8} \frac{\gamma L_p K_a}{EA} (z_{i-1} + 2z_i + z_{i+1} + \frac{4q}{\gamma}) \times (z_{i+1} - z_{i-1}) - \frac{N_{i0} L_p}{EA}$

式中 N_{i0} ——支撑预加轴力(kN);

N_i ——支撑轴力(kN);

L_p ——支撑杆长度的一半(m);

E ——支撑弹性模量(kN/m²);

A ——支撑截面积(m²)。

2. 确定侧向位移曲线

按最小二乘法求挡土墙侧向位移拟合曲线。设拟合曲线为：

$$f(z) = az^2 + bz + c \quad (1.3.3)$$

系数 a 、 b 、 c 由下列方程组求得：

$$\begin{cases} cn + b \sum_{i=1}^n z_i + a \sum_{i=1}^n z_i^2 = \sum_{i=1}^n y_i \\ c \sum_{i=1}^n z_i + b \sum_{i=1}^n z_i^2 + a \sum_{i=1}^n z_i^3 = \sum_{i=1}^n z_i y_i \\ c \sum_{i=1}^n z_i^2 + b \sum_{i=1}^n z_i^3 + a \sum_{i=1}^n z_i^4 = \sum_{i=1}^n z_i^2 y_i \end{cases} \quad (1.3.4)$$

用矩阵向量表示为：

$$\begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n z_i & \sum_{i=1}^n z_i^2 \\ \sum_{i=1}^n z_i & \sum_{i=1}^n z_i^2 & \sum_{i=1}^n z_i^3 \\ \sum_{i=1}^n z_i^2 & \sum_{i=1}^n z_i^3 & \sum_{i=1}^n z_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c \\ b \\ a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n z_i y_i \\ \sum_{i=1}^n z_i^2 y_i \end{bmatrix} \quad (1.3.5)$$

若有挡土墙测斜管实测资料，可将实测位移 y_i 与对应点坐标 z_i 直接代入式(1.3.5)求解。或根据挡土墙顶点坐标 (o, c) 和极值点 (z_m, y_m) 按式(1.3.6)求出系数 a 、 b 。

$$\begin{cases} a = \frac{c - y_m}{z_m^2} \\ b = -\frac{2(c - y_m)}{z_m} \end{cases} \quad (1.3.6)$$

1.4 确定最大下沉值

挡土墙侧向位移曲线围成的面积：

$$\begin{aligned} A_s &= \int_0^H f(z) dz \\ &= \int_0^H (az^2 + bz + c) dz \end{aligned}$$

积分，得：

$$A_s = \frac{1}{3} aH^3 + \frac{1}{2} bH^2 + cH \quad (1.4.1)$$

下沉盆地面积：

$$A_1 = \int_{-l}^{\infty} s(x) dx \quad (1.4.2)$$

设

$$\begin{aligned}
 A_i &= \int_{-x}^{\infty} s_1 e^{-\pi(\frac{x}{r})^2} dx \\
 &= s_1 \int_{-x}^{\infty} e^{-\pi(\frac{x}{r})^2} dx \\
 &= s_1 \int_{-\infty}^x e^{-\pi(\frac{x}{r})^2} dx \\
 \text{令} \quad \rho &= \sqrt{2\pi} \frac{x}{r}
 \end{aligned}$$

则

$$A_1(x) = s_1 r \int_{-\infty}^{\sqrt{2\pi} \frac{x}{r}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\rho^2} d\rho$$

即

$$A_1(x) = s_1 r \phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x}{r}\right) \quad (1.4.3)$$

式中, $\phi(x)$ 为标准正态分布函数, 以 $\sqrt{2\pi} \frac{x}{r}$ 为自变量可直接查标准正态分布函数表得出 $\phi(\sqrt{2\pi} \frac{x}{r})$ 的值。

当 $x = l$ 时, $A_1(l)$ 即为地表下沉面积。

采用日本的道路工程规范的假设: 挡土墙侧向位移面积等于地表沉降面积。

$$A_1 = A_s \quad (1.4.4)$$

将式(1.4.4)代入式(1.4.5), 得:

$$s_1 = \frac{A_s}{r \phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x}{r}\right)} \quad (1.4.5)$$

1.5 地表变形计算

从保护建筑物和地下管线的角度出发, 除了需要计算地表沉降外, 还需要考虑地表或管线上某点产生变形的大小。这是衡量建筑物或管线是否将遭受破坏的重要指标。因此, 需要计算以下两个变形指标: 倾斜和曲率。

倾斜: 地表下沉盆地沿某一方向的坡度叫倾斜 (T , 单位 mm/m)。对连续函数为下沉的一阶导数。

$$\begin{aligned}
 T(x) &= s'(x) \\
 &= -\frac{2\pi s_1}{r} \cdot \frac{x}{r} e^{-\pi(\frac{x}{r})^2}
 \end{aligned} \quad (1.5.1)$$

由式(1.5.1)得最大倾斜值为:

$$T_m = \pm 1.52 \frac{s_1}{r} \quad (1.5.2)$$

最大倾斜值位置在 $x = \pm 0.4r$ 处。

曲率: 下沉盆地剖面线的弯曲度叫曲率 (k , 单位 1/m)。曲率为倾斜函数的一阶导数。

$$k(x) = T'(x)$$

$$= -2\pi \frac{s_1}{r^2} \left[1 - 2\pi \frac{x^2}{r^2} \right] e^{-\pi(\frac{x}{r})^2} \cdot 10^{-3} \quad (1.5.3)$$

由式(1.5.3)求导可得出最大曲率值为:

$$k_{m(-)} = -6.28 \frac{s_1}{r^2} \cdot 10^{-3} \quad (1.5.4)$$

$$k_{m(+)} = 2.82 \frac{s_1}{r^2} \cdot 10^{-3} \quad (1.5.5)$$

$k_{m(-)}$ 位置在 $x = 0$ 处; $k_{m(+)}$ 位置在 $x = \pm 0.69r$ 处。

1.6 算 例

某大楼基坑有挡土墙的测斜实测资料。已知: $\phi = 10^\circ$, 基坑开挖深度 $h = 8.6\text{m}$, 挡土墙深度 $H = 15\text{m}$ 。

由式(1.2.4), 得:

$$\beta = 82 - 2.36\phi = 82 - 2.36 \times 10 = 58.4^\circ$$

$$\begin{aligned} L &= H \tan(45^\circ - \frac{\phi}{2}) \\ &= 15 \tan(45^\circ - \frac{10^\circ}{2}) = 12.59\text{m} \end{aligned}$$

最大侧向位移点位置:

$$z_m = 0.95h = 0.95 \times 8.6 = 8.17\text{m}$$

最大侧向位移量:

墙顶水平位置: $c = 0$

$$y_m = 210 \times 10^{-3}\text{m}$$

则

$$\begin{aligned} a &= \frac{c - y_m}{z_m^2} = -\frac{210 \times 10^{-3}}{8.17^2} \\ &= -3.1461 \times 10^{-3} \\ b &= -\frac{2(c - y_m)}{z_m} = \frac{2 \times 210 \times 10^{-3}}{8.17} \\ &= 51.4075 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

挡土墙侧移面积:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{3} aH^3 + \frac{1}{2} bH^2 + cH \\ &= -\frac{1}{3} \times 3.1461 \times 10^{-3} \times 15^3 + \frac{1}{2} \times 51.4075 \times 10^{-3} \times 15^2 \\ &= 2.244\text{m}^2 \end{aligned}$$

最大下沉点与挡土墙顶点距离 l 为:

$$l = \frac{h}{\tan\beta} = \frac{8.6}{\tan 58.4^\circ} = 5.29\text{m}$$

主要影响半径:

$$r = \eta(L - l)$$

$$= 1.1(12.59 - 5.29) = 8.03\text{m}$$

$$x = \sqrt{2\pi} \frac{l}{r} = \sqrt{2\pi} \frac{5.29}{8.03} = 1.65$$

查标准正态分布函数表,

$$\phi(\sqrt{2\pi} \frac{l}{r}) = 0.9505$$

最大下沉值:

$$s_1 = \frac{A_s}{r\phi(\sqrt{2\pi} \frac{l}{r})}$$

$$= \frac{2.24 \times 10^3}{8.03 \times 0.9505} = 293\text{mm}$$

按 $x = \pm 1.5, \pm 3.0, \pm 4.5, \pm 6.0$ 取值, 求出相应的沉降值, 并计算出相应点的变形值, 列于表 1.6.1 中。

按表 1.6.1 中沉降值作图, 地表沉降的实测及预计曲线见图 1.6.1。两条曲线吻合较好。按表 1.6.1 中变形值作图, 得到地表变形曲线见图 1.6.2。

预计沉降变形与实测沉降

表 1.6.1

| x 坐标(m) | 0 | ±1.5 | ±3.0 | ±4.5 | ±6.0 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| s(x)计算(mm) | 293.0 | 261.7 | 179.9 | 105.9 | 50.5 |
| s(x)实测(mm) | 260.0 | 245.0 | 193.3 | 123.3 | 41.6 |
| 误差 Δ(mm) | 33.0 | 16.7 | -13.4 | -17.4 | 8.9 |
| T(x) (mm/m) | 0 | ∓36.8 | ∓53.8 | ∓47.6 | ∓30.3 |
| k(x) 10 ⁻³ (1/m) | -27.4 | -19.5 | -2.8 | 9.5 | 12.0 |

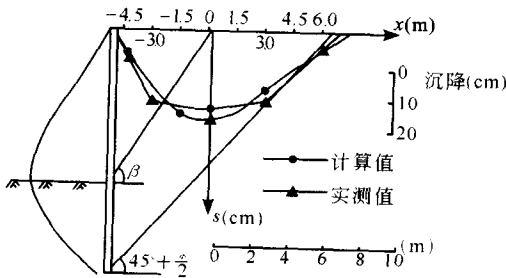


图 1.6.1 某工程实测和预计沉降曲线

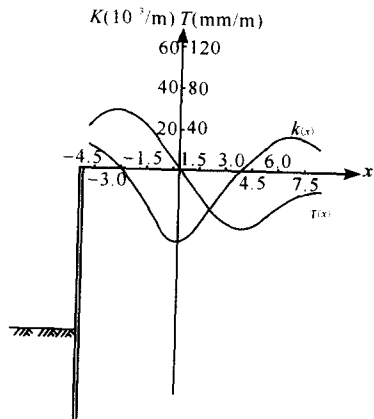


图 1.6.2 基坑周围变形预测曲线