

中国建筑学会工程勘察分会
第七届年会论文集

工程勘察技术

中国建筑学会工程勘察分会 编

知识产权出版社

中国建筑学会工程勘察分会
第七届年会论文集

工程勘察技术

中国建筑学会工程勘察分会 编



知识产权出版社

内容提要

本书为中国建筑学会工程勘察分会第七届年会论文集,收录了近年来我国有关工程勘察技术的论文 46 篇,基本反映了该领域的最新技术成果。论文集内容涉及岩土工程、水文地质与水资源环境、工程物探、工程检测诸多方面。

本书可供从事工程勘察、设计、施工及科研、教学人员参考。

责任编辑:范红延 查显俊

封面设计:雷 励

图书在版编目(CIP)数据

工程勘察技术/中国建筑学会工程勘察分会编.

—北京:知识产权出版社,2004.12

ISBN 7-80198-116-2

I. 工... II. 是... III. 工程测量—文集

IV. TU19-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 113322 号

工程勘察技术

中国建筑学会工程勘察分会 编

知识产权出版社出版、发行

(北京市海淀区马甸南村 1 号 邮编:100088)

<http://www.cnbod.com>

(010)82000890 (010)82000860-8324

中国按需出版网直销

知识产权出版社电子制印中心印刷

787mm×1092mm 16 开 15.625 印张 400 千字

2004 年 12 月第 1 版 2004 年 12 月第 1 次印刷

定 价:65.00 元

ISBN 7-80198-116-2

T·133 (10039)

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题,本社负责调换。

前 言

中国建筑学会工程勘察分会第七届年会于2004年4月21~25日在杭州召开,会议由中国建筑学会工程勘察分会主办,杭州市勘测设计研究院、浙江省电力设计院、浙江省工程勘察院、浙江大学建筑设计研究院联合承办。本次会议已圆满结束,现将会议论文选编后形成论文集由知识产权出版社出版。

我国的基础设施建设正在以前所未有的速度和规模进行着。由于我国的幅员辽阔,生产力发展水平很不平衡,从而产生了各种各样的岩土工程和水文地质问题,这为我们工程勘察领域带来了新的挑战,也为我们提供了新的机会去认识更为复杂的自然环境,从而促使我们去发展更加环保、更加人文化的技术。随着经济的发展和人们自身能力的不断提高,我们国家也更加关注建设活动对生态、环境、文化、经济等的可持续发展的影响,因此工程勘察技术应当也可以成为科学发展观的先锋实践者。近几年的工程实践已经提出了很多新的问题、获得了很多新的经验,我们有责任总结这些经验并把这些经验提供给国内乃至世界的工程界作为参考,这正是我们选编此论文集的目的。

本论文集收录论文46篇,内容涉及岩土工程、水文地质与水资源环境,工程物探、测绘工程、工程检测、技术管理与行业发展等。我们相信这些成果对我国的工程勘察界将提供有益的参考。

在此,我们借论文集出版的机会,对所有关心、支持和参与中国建筑学会工程勘察分会学术活动的各方人士表示衷心的感谢!

2004年10月8日

目 录

深基础工程中的土力学问题	高大钊(1)
城市地下工程自动精密导向系统的应用	潘庆林(11)
某电厂桩基问题及初步分析	张政治(18)
城市污水的再生利用	张政治(21)
地理信息系统在水环境质量综合评价中的应用	孙维芬(26)
单孔同位素示踪法测定含水层的渗透系数	李大毛(31)
桩端灰岩溶洞探测	葛祖煊(36)
勘察质量现状分析及对策	方燎原(40)
城市基础地理信息数据库和数字测图	潘正风(42)
长输管道工程膨胀地质灾害及其防治	郭书太(46)
某渣体边坡的岩土工程设计	黄经秋(53)
勘察总工程师形象与定位	
——对勘总职责与权益等相关问题的几点想法	朱金生(58)
江苏地区电阻率测试分析	戴洪军(61)
粉喷桩在莱阳地区冲积扇底部软土层中应用的探讨	贾永波(68)
西安市地裂缝的工程危害及处理措施的初步探讨	刘雪梅(71)
测绘技术在晋国遗址文物保护中的应用	周建波(75)
探地雷达在公路路基质量检测中应用	谢昭晖(80)
隧道富水程度遥感定量判释评估方法的探讨	卓宝熙(84)
铁路工程勘测技术现状及发展水平预测	卓宝熙(93)
南昆铁路施工阶段遥感工程地质调查的应用	卓宝熙(98)
北京儿童医院门诊楼改扩建工程基坑支护优化设计	朱 襄(108)
DDC 桩消除黄土地基湿陷性试验研究	徐张建(113)
浙江某实验大楼基坑坍塌事故的整体稳定性分析研究	袁建标(119)
人工挖孔嵌岩桩的承载特性及扩底对承载力的影响	谭 奇(128)
建筑物迫降纠倾法在天津地区的应用	刘 杰(133)
斜坡建设场地岩土工程问题研究	时南翔(136)
高密度电法探测地基土均匀性的可能性及其应用前景	刘万恩(142)
弱胶结油藏大孔道出砂机理研究	刘建军(148)
深基坑开挖中渗流—应力耦合分析	刘建军(154)
先春园居住区复合地基处理设计	刘秀凤(159)
大庆油田西部地区水文地球化学环境特征研究	刘梅侠(166)
固底管桩的试验研究	李连营(171)
城市地理信息系统空间基础数据建设探讨	黄林进(177)

静力触探试验在天津地区岩土工程勘察中的应用	孙云文(180)
粗颗粒硫酸盐渍土盐胀变形研究	华遵孟(184)
经典大厦深基坑支护工程实例与分析	郭永成(189)
大坝坝基水文工程地质检测新技术	戴前伟(195)
砂土液化模糊数学综合评判法适用性研究	甘 欣(201)
TDR 边坡监测设备及试验方法的研究	陈 赞(208)
浅析单桩容许承载力可靠度	张建平(214)
西北黄土地区暗埋砂坑砂巷等不良地质体的综合探查方法	华遵孟(217)
孔压静力触探及其在工程勘察中的应用	徐 超(222)
上游法尾矿砂土固结机理及特性初步研究	刘文连(229)
高压喷射灌浆新技术及其应用	阎群英(236)
厚大的弱含水层矿坑地下水放水疏干的空间 窖流场及矿坑疏干的几个问题	郭春奎(239)
近景摄影测量在库木吐拉千佛洞保护中的应用	周建波(243)

深基础工程中的土力学问题

高大钊^{1,2} 李 韬² 张少钦¹ 姜安龙^{1*}

(1. 南昌航空工业学院 南昌 330034; 2. 同济大学 上海 200092)

1 我国深基础工程的发展

在基础工程领域中,深基础工程的发展最为迅速,这是由于最近 10 多年来,我国的城市建设、高速公路、跨江跨海大桥、高速铁路等重大项目的建设以空前的速度发展,对于荷载比较大的工程项目无不采用桩基础、地下连续墙或沉井等各种形式的深基础工程。例如,在一些土质条件比较好,因而过去很少采用桩基础的地区,近年来由于高层建筑层数增多,荷载增大,也不得不采用桩基础。穿越软土地区的高速公路和高速铁路,为了避免路基的过大沉降影响线路的运行,也倾向于采用高架跨越的方案,采用桩基础就成为必然了。跨越大江和海域的大桥,不仅水平荷载大,而且考虑冲刷的因素,基础的埋置深度通常都比较深,其桥墩和桥台必然采用超深基础。例如润杨长江公路大桥南汊悬索桥北锚碇超深、超大基础位于长江中心岛南大堤的内侧,是大桥的控制性工程。北锚碇采用地下连续墙基础,在平面上呈长方形布置,外包主体尺寸为 69m(长)×50m(宽)×56m(深),工程规模庞大,属国内第一、世界罕见。

深基础和超深基础对岩土工程师的勘察、设计和施工提出了一系列技术要求,而由于我们的知识和工程经验的不足,常摸着石头过河。过了河,回头一看,真有点心惊胆怯,总留下一些遗憾。其中,最有切肤之感的莫过于土力学的理论在实践面前的无奈,因而产生了对土力学的信心危机。俞调梅先生曾经说过^[1]:“对土力学信心危机的产生是由于对某些比较重要的理论的发展和延伸,其中难免会有繁琐的、强词夺理的、错误的;这些可能被列入教科书、手册和规范中,因而具有‘权威性’。总要经过时间的考验,才能删繁就简和去伪存真。”

将源于浅基础的一些土力学理论不加区别地用于深基础工程的设计计算,无疑也是俞先生所说的那种“发展和延伸”,其中有没有“繁琐的、强词夺理的、错误的”呢?这正是本文所要讨论的问题。

土力学的发展虽然经历了 200 多年的历史,但形成一门学科却不到 100 年的时间。认为在 1925 年以前,主要是考虑以 Mohr - Coulomb 原理为依据的古典的最大剪应力理论;从 1925 年到 1960 年是太沙基(Terzaghi)土力学阶段,注意到了有效应力、超静水压力,以及不扰动土样与三轴试验等;1960 年以后的土力学注意到了应变的重要性,应力与应变的历史,应变发展过程对强度的影响等。

在太沙基以前,土木工程中的许多土工问题并无合理的计算分析方法,多数仅凭经验设计,因而常发生意外事故。是太沙基首次将各种土工问题归纳成为系统的有科学依据的计算

* 作者简介:高大钊,同济大学、南昌航空工业学院双聘教授;张少钦,南昌航空工业学院教授;姜安龙,南昌航空工业学院硕士生;李韬,同济大学博士生。

理论。然而,太沙基的功绩并不局限于他对土力学的理论贡献,在他将土力学理论广泛应用于大量实际工程时,深刻地洞察到土的力学性质不可避免地受各种复杂因素的影响,他一贯倡导必须注意全面调查实际的工程地质情况并加以综合判断。真如太沙基所说的那样,直到20世纪30年代,地基勘探的惟一办法是根据工长的靴子后跟在基槽土面留下的痕迹作出地基承载力的判断。由于太沙基的倡导和推动,建立了一套野外勘探与室内试验的方法,使土的力学性质的研究和地质条件密切结合,从根本上改造了初期的土力学,填补了地质学和土木工程学之间的空白。太沙基于1948年对初期的土力学研究工作作了如下的评价^[2]:“土力学创始于1776年库伦土压力理论的发表,是个很有才能的开端,但在后来的一个世纪里就几乎没有什么进步。研究工作多少局限于改进干的纯净的无黏性的砂作用于挡土墙背的计算方法。针对此课题所发表的一些论文课题与实际的重要性很不相称。在工程实践中,大多数施工难点与事故是由于渗流所产生的压力引起的,但这些压力并未受到重视。因此,它们对于要面对实际的工程师来说,用处不大,这些理论多半在教室里才会有用处。”正是太沙基最早对砂土管涌现象进行研究,继而试验探索高塑性黏土的固结规律,解释了滨海黏土受压后长期缓慢的沉降及其强度逐渐增长的内在原因和规律,并从此使土力学对自然界许多复杂现象的研究得以逐渐深入。

20世纪中叶,太沙基的《理论土力学》以及太沙基和泼克合著的《工程实用土力学》是对当时土力学研究的全面总结,使岩土工程技术从感性走向理性,具有了坚实的理论基础,成为一门综合性的学科。

在太沙基以后,许多土力学家进行了多方面的努力,丰富了太沙基土力学的宝库,如50年代的梅耶霍夫(Meyerhof),60年代的别列赞策夫和70年代的魏西克等都为我们今天解决深基础工程问题提出了富有开拓性的见解和方法^[3]。

今天我们面临着比太沙基他们所面临的更为复杂和艰难的工程技术问题,当然,今天也具有更多的相关学科的支持条件和先进的设备条件。但我们仍然应当遵循太沙基的处理工程问题的原则,来解决面临的工程问题,发展深基础工程的土力学。

2 深基础工程的环境条件

研究适用于深基础工程的土力学问题时,必须弄清楚深基础工程所处的环境条件,包括地质条件和力学条件。

首先还应当明确什么是深基础工程。人们容易想到按埋置深度来划分,但是遇到了困难。对一根桩来说,10m已经不浅了,但对几千平方米面积的筏基来说,10m并不是很深的,筏基当然是按浅基础的原则进行设计的。于是又用相对埋深,即埋置深度与基础宽度之比,将这个比值大于某个数值的称为深基础。但仍然没有说明深基础与浅基础的本质区别。

有种观点认为,从设计上考虑,浅基础和深基础由于其荷载传递机理和破坏模式不同,其设计计算方法和计算参数也就不同。但大量工程实践表明,就施工技术观点而言,浅基础和深基础的施工方法有很大的差别,似乎没有必要在浅基础和深基础之间划定一个固定的或相对的深度界限。

在上述观点中提到了施工方法的不同,这是非常重要的区别,这个区别不仅是从施工技术考虑,即使是从设计计算考虑,也应当十分重视施工方法的差异对基础物理环境的影响,从而深刻地影响到土的状态和指标,甚至影响到设计计算的原则和方法。

与浅基础相比,深基础有下列一些特点,使之区别于浅基础,也使适用于浅基础的一些土力学的理论与方法不完全适用于深基础。

- (1) 深基础置于深部土层,深部土层的原位应力状态不同于浅基础,应力水平也高于浅基础。
- (2) 深基础将建筑物荷载传到深部土层中,力作用于半无限体的内部,基础与土的接触条件不同于浅基础,在深基础侧面作用着比较大的摩擦力和法向压力。
- (3) 深基础的设置对地基土施加了很强烈的作用,包括正、反两方面的作用,对土的结构扰动将使土的强度减低,而挤压作用将会使周围土体得到强化。

3 深基础的地基承载力问题

深基础的地基承载力是深基础工程设计中一个重要的土力学课题,但目前在各种设计规范中推荐的地基承载力计算公式大多是建立在浅基础假定的基础上。显然,用浅基础的地基承载力公式计算深基础的地基承载力将使估计的数值过低,不能充分发挥地基的承载能力。

例如,在桩基础的持力层下面存在软弱层时,需要验算软弱下卧层,此时该如何提供软弱下卧层的强度?是用现有的地基承载力公式按实际的埋置深度计算,还是用假定比较浅的基础埋置深度计算以后再进行深度修正?又如,扩底桩的端阻力如何确定,能用地基承载力公式计算吗?能用浅基础的地基承载力加深度修正吗?相信还有许多类似的问题需要讨论。

要回答上面的问题,先需要理解梅耶霍夫提出来的概念。从图1可以看出深基础和浅基础的地基失效图式是完全不同的。在图1(a)中,浅基础的滑动线是延伸到地面的,与地面相交在E点。但常用的浅基础地基承载力计算公式都忽略了基底线AB以上的土的抗剪强度,将 D_f 范围以内的土体作为超载考虑。图1(b)是深基础的失效图式,滑动线与基础侧面相交于地面下的某一点E。如果基础的埋置深度 D_f 大于 $\overline{BE}$,就可以作为深基础考虑,将 $\overline{BE}$ 称为最小埋置深度 D_{fmin} ^[3]。

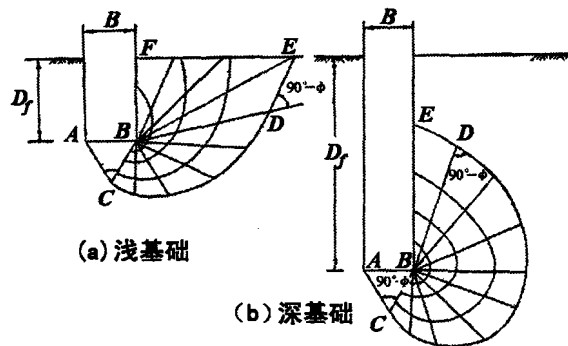


图1 梅耶霍夫课题

基础的最小埋置深度为 D_{fmin} 由下式求得:

$$D_{fmin} = \overline{BC} e^{\theta \tan \varphi} = \frac{B}{2 \sin(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2})} e^{(\frac{3\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}) \tan \varphi} \quad (1)$$

最小埋置深度 D_{fmin} 取决于基础的宽度 B 及土的内摩擦角 φ 。比值 $\frac{D_{fmin}}{B}$ 与内摩擦角的关系见表1。表1可以用于判断是否需要采用深基础地基承载力公式的深度界限。

表 1 相对最小埋置深度与内摩擦角的关系

$\varphi(^{\circ})$	0	10	20	30	40	45
$\frac{D_{fmin}}{B}$	0.707	1.53	3.42	8.53	23.8	44.4

影响梅耶霍夫深基础承载力公式推广使用的主要障碍是宽度项承载力系数中包含了一个必须经过试算确定的 P_p 值。为了方便使用,考虑到一般深基础的宽度与深度之比比较小,可以忽略宽度项,而且是偏于安全的。则深基础的承载力公式由下式表示:

$$p_u = cN_c + \sigma_0 N_q \quad (2)$$

式中, $N_q = \frac{1 + \sin \varphi}{\cos^2 \varphi} \cdot e^{(\frac{\pi}{2} - \varphi) \cdot \tan \varphi}$; $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot \varphi$; $\sigma_0 = \frac{1}{2} \gamma D_f K_0$ 。

березанцев 根据松散体极限平衡轴对称课题及试验研究的结果认为,直径为 B 的基础,其相对埋深 $\frac{D_f}{B}$ 大于 3~4 时,剪切区内滑动面的发展局限在接近于基础底面或压密土楔的很小范围内,而土粒移动的轨迹向侧面偏转也是比较小的。这情况说明,在深基础条件下的极限状态模式不是由于土的挤出,而是由于在过大压力的作用下剪切区和压密区的相互作用,使基础周围的土体得到压密,在形成不大的剪切区的同时,使沉降速率显著增大,但目前还没有得出表征地基破坏的压力值。березанцев 的上述观点值得引起注意,说明不能把浅基础的破坏模式照搬到深基础的分析中来。

在用梅耶霍夫公式计算深基础的地基承载力时,土的抗剪强度指标应当取峰值指标的 2/3 使用,但计算的 N_q 必须满足不小于 $2K_0$ 的条件。

在考虑深基础的承载力问题时,不能忽略深基础侧面的摩阻力。图 2 是根据梅耶霍夫公式,在内摩擦角等于零的条件下,承载力系数与相对埋深的关系,如不考虑深基础四周的侧壁摩阻力,相对埋深超过 1.5 (圆形基础) 至 2.2 (条形基础) 以后,承载力系数就基本不增大了,但如果考虑了深基础四周的侧壁摩阻力,图中注“总”字的曲线显示,承载力系数将呈线性增长。但这并不使人害怕,因为基础底面的总压力也随相对埋深的增大而线性增大,关键是如何计算侧壁的摩阻力。

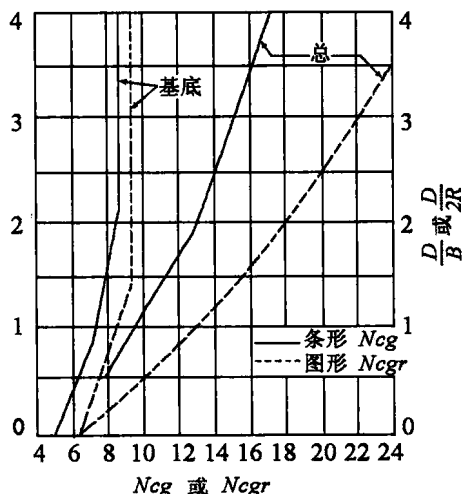


图 2 承载力系数与相对埋深的关系

4 深基础的沉降计算问题

对深基础的沉降计算,在学术界已经形成了共识,需要从两个方面考虑深基础的特点,一是考虑荷载作用在土体的内部,认为用 Boussinesq 课题计算的土中应力偏大,不符合深基础的条件;二是变形指标的取值应当考虑深基础比较高的应力水平,认为从 100kPa 到 200kPa 范围内的平均压缩模量 E_s 偏小,也使计算的沉降不符合实际,而应当用实际的应力变化范围内的平均模量计算。

在附加应力的计算方面,国内已有比较多的研究,并已在工程中应用。例如,在行业标准《建筑桩基技术规范》中,桩基沉降计算时用等效系数修正计算的结果,等效系数就是用 Mindlin 课题的应力解计算得到的^[4]。在沉降控制复合桩基的计算中应用了 Mindlin 课题的应力解,可以计算每一根桩的荷载对土中任意点的应力增量,从而可以估计桩数和沉降的关系,为根据容许沉降量确定桩数提供了计算方法。上海地基规范也采用 Mindlin 课题的应力解计算群桩基础的沉降,从图 3 可以看出,与用 Boussinesq 课题计算的沉降相比较,新的方法更符合实测的沉降值^[5]。

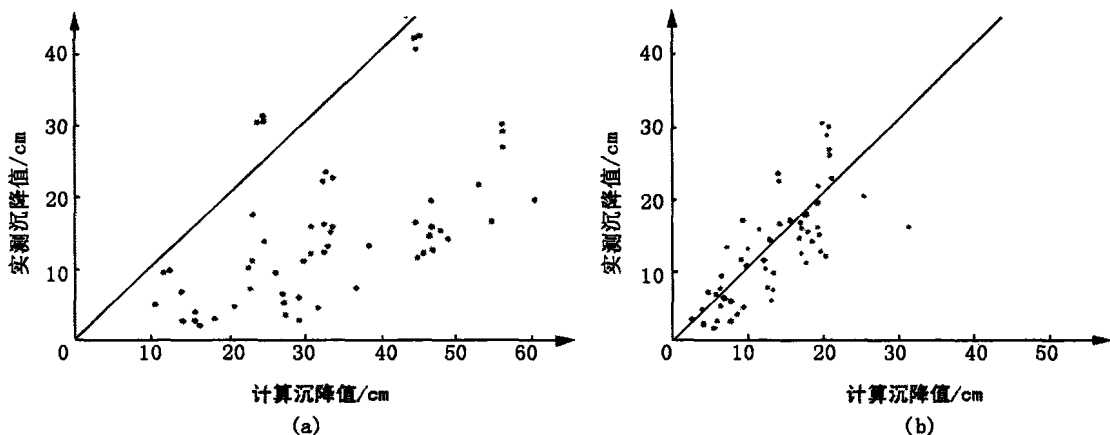


图 3 两种不同计算方法的结果与实测沉降的比较

(a) 用 Boussinesq 课题计算; (b) 用 Mindlin 课题计算

考虑深基础的特点,也可以用简化的方法计算附加应力,例如董建国提出了将深基础的总荷载减去深基础周围的土摩阻力以后再用 Boussinesq 课题计算土中附加应力,也可以使计算沉降比较接近于实测沉降。

在群桩的计算中可以将每根桩桩端的力作为集中力用 Mindlin 课题计算土中应力,但对于单柱单桩的情况来说,就必须考虑桩端的分布荷载作用于土体内部的问题。因此研究圆形竖向均布荷载作用下的土体中应力与变位的计算是十分需要的。在不同版本的专著中可以找到这种解的解析式^[6-8],但计算比较麻烦,为了便于应用,已经编制了应力系数和变形系数的表,见即将出版的岩土工程丛书《深基础工程特殊技术问题》^[9]。下面分别介绍几种计算的情况:

(1) 圆形均布荷载作用下的应力计算

若在半径为 a 的圆形面积上作用的压力为 p ,土体中任意点的竖向应力由下式计算:

$$\sigma_{z0} = k_{\sigma} p \quad (3)$$

应力系数 k_{σ} 可按 m 、 n 和 μ 从《深基础工程特殊技术问题》的有关表中查用。

(2) 圆形均布荷载作用下的竖向变形计算

若在半径为 a 的圆形面积上作用的压力为 p , 竖向变形可以由下式计算:

$$u_z = k_u \frac{p \cdot a}{E} \quad (4)$$

式中, E 土的变形模量, 可用深层平板载荷试验求得; k_u 变形系数, 可按 m 、 n 和 μ 由《深基础工程特殊技术问题》的有关表中查用; μ 土的泊松比; m 、 n 由下式计算:

$$m = \frac{z}{d}, n = \frac{d}{a} \quad (5)$$

式中, z 荷载中心线下应力或位移的计算点距地面的距离; d 荷载作用面距地面的深度; a 荷载作用面的半径。

(3) 矩形均布荷载作用下的应力计算

关于矩形均布荷载作用下的应力计算, 最近 10 年中, 袁聚云、陈光敬和王士杰等都根据 Mindlin 课题的基本解, 分别推导得到了各种分布荷载作用在地基内部时的土中应力公式^[10-14]。在这些成果的基础上, 编制了竖向均布荷载作用下, 矩形面积角点下距离地面 z 处的竖向应力系数表, 见《深基础工程特殊技术问题》。

在矩形均布荷载作用下, 土中应力由下式计算:

$$\sigma_z = k_{\sigma} \cdot p \quad (6)$$

式中, k_{σ} 竖向应力系数, 可按 $m = \frac{b}{a}$, $n = \frac{d}{a}$, $t = \frac{z}{d}$ 由《深基础工程特殊技术问题》的有关表中查用; b 为矩形荷载面积的长度, a 为矩形荷载面积的宽度, 其余符号同前。

(4) 矩形竖向均布荷载作用下的沉降计算

根据相似的方法, 矩形均布荷载作用下, 沉降可由下式计算:

$$u = k_u \cdot \frac{P}{E} \cdot a \quad (7)$$

式中, k_u 竖向应力系数, 可按 $m = \frac{b}{a}$; $n = \frac{d}{a}$; $t = \frac{z}{d}$ 由《深基础工程特殊技术问题》的有关表中查用。

5 深基础施工对地基土作用的理论分析

在深基础施工过程中, 土体的平衡遭到破坏, 土中应力状态和物理状态都发生了变化, 这种变化又反作用于深基础, 对深基础的稳定和变形产生明显的影响。研究深基础和土体的这类相互作用问题可以应用土力学中球形孔和圆筒形孔扩张理论的解。近 20 年来, 孔扩张理论的应用引起了广泛的注意, 研究取得了一些进展, 但还有许多工程问题有待研究解决。

(1) 沉桩对周围土体产生的作用

沉桩对地基土产生挤压, 形成了塑性区, 可以用孔扩张理论研究土体中发生的变化, 用于

分析预制桩沉桩过程中产生的孔隙水压力,分析沉桩对周围环境的影响,分析土体扰动区的范围等。

假定在塑性区范围以外的土体没有受到打桩的扰动,则可用孔扩张理论中塑性区半径的计算公式估计打桩的影响范围:

$$R_p = R_u \sqrt{\frac{E}{2(1+\mu)c}} = R_u \sqrt{I_r} \quad (8)$$

式中, I_r 刚度指标; R_u 桩的半径或等效半径。

从公式(8)可以看出,影响范围与桩径有关,也与土的刚度指标有关。上海淤泥质黏土的刚度指标为 50~130,塑性区的半径近似桩的半径的 7~11 倍;淤泥质粉质黏土的刚度指标为 20~35,塑性区的半径近似桩的半径的 4.5~6 倍,但实际的打桩影响比上述塑性区半径可能要大些^[15]。

在塑性区内,因沉桩作用产生的孔隙水压力可用下式估计:

$$\Delta u = [0.943\alpha_f + 4 \cdot \ln(\frac{R_p}{r})]c \quad (9)$$

沉桩在桩土界面上产生的压力可以用孔扩张课题的最终压力 p_u 来估计:

$$p_u = c[\ln \frac{E}{2(1+\mu)c} + 1] = c(\ln I_r + 1) \quad (10)$$

从公式(10)可知,桩土界面上的压力与桩的直径无关,只取决于土的模量和不排水强度。土的刚度指标越大,挤压力越大,但当刚度指标超过一定数字时,挤压力与强度的比值便接近于定值,故可以估计打桩时的最大挤压力为不排水强度的 7.5 倍^[15]。

(2) PHC 桩沉桩时与土体的相互作用

开口管桩在桩沉入过程中,桩端土一部分将进入管内形成“土塞”,一部分被挤向桩周。进入管内的土塞在沉桩过程中受到管内壁摩阻力作用产生一定压缩。因此土塞的高度及其闭塞效果与土性、管径、壁厚、桩入土深度以及进入持力层深度等诸多因素相关。而桩端土的闭塞程度又直接影响端阻力发挥与破坏性状及桩的承载力,称此为“闭塞效应”。因此土塞高度是一个值得关注的可测施工数据,它综合反映了上述因素的作用。

将孔扩张理论用于分析开口的 PHC 桩沉桩过程中的桩土作用,并对土塞的受力条件作一些简化假定,最终导得土塞高度 h_p 的估算公式^[16]:

$$h_p = \frac{p_b R_i}{2c_u} \quad (11)$$

式中, p_b 桩端的极限承载力; R_i 桩的内半径。

在公式(11)中,桩的内径是已知的,在另外 3 个参数中只要已知 2 个,就可以估计待定的未知参数。

土塞高度综合反映了 PHC 桩沉桩过程中桩和土体共同作用的结果,是一个十分有用的数据,过去对它注意不够。表 2 是施工现场实测的土塞高度,PHC 桩的入土深度为 61m,外径 600mm,内径 400mm,壁厚 100mm,剔除变异性大的 2 号桩,其余的数据变异性比较正常,取平

均土塞高度 20.6m。施工实测压桩的最终阻力:在 40m 深度处,约 100t,50m 处约 200t,都比较集中;但压至最后深度时压桩阻力比较分散,压桩阻力 400 ~ 570t。

表 2 实测 PHC 桩的土塞高度

桩号	桩端深度(m)	土塞顶面深度(m)	土塞高度(m)
1	59	38.8	20.2
2	61	46.1	14.9
3	61	38	23
4	59	38	21
5	61	39.8	21.2
6	61	39.8	21.2
7	61	41.3	19.7
8	61	43.5	17.5
9	61	41	20
10	61	39.3	21.7

根据地质条件,将土体近似作为两层,按平均值的估值进行计算:

40m 以上为淤泥质黏性土层,取 $\phi = 15^\circ$, $c = 12\text{kPa}$, $E_s = 3\text{MPa}$;

40m 以下为粉质黏性土层, $\phi = 25^\circ$, $c = 20\text{kPa}$, $E_s = 8\text{MPa}$;

其中 ϕ 、 c 为室内固结不排水试验结果。

根据其他工程资料,40m 处,⑧1 层的静力触探比贯入阻力平均值为 1.66MPa,50m 左右,⑧2 层的静力触探比贯入阻力平均值为 4.03MPa。

对于桩入土深度 61m 的桩,土塞顶面距离地面高差 40.4m,考虑土塞的作用,计算不同半径处的径向应力随深度的变化见图 4。

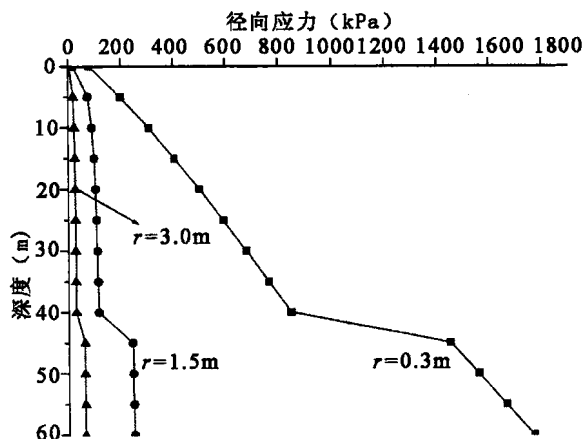


图 4 径向应力随深度的变化

(3) 灌注桩施工对土体的作用

灌注桩施工对土体的作用比较复杂,不同的施工方法对土体的作用完全不同。下面介绍对两种施工情况的分析。

在饱和软土中进行钻孔,常会发生塌孔和缩颈等问题,严重影响施工质量。应用孔扩张理论,可以对钻孔孔壁稳定进行分析,有助于判断和采取技术措施。

在考虑钻孔孔壁稳定时,应力增量和位移的方向与孔扩张理论研究的问题相反,但分析问题的思路和方法是相似的。

考虑了钻孔中泥浆对孔壁的压力、钻孔孔壁上的毛细吸力和凝聚力对孔壁稳定的有利作用,提出孔壁的稳定系数公式为^[17]:

$$F_p = \sin\varphi' \left(\gamma' + 0.625 + \frac{c}{z} \cot\varphi + \frac{p-u}{z} \right) (\gamma - \gamma_s)^{-1} \left(\frac{\rho^2}{a^2} \right) \quad (12)$$

式中, a 钻孔的半径; ρ 钻孔中心到计算点的距离; z 计算点的深度; p 地面均布堆载; u 堆载引起的孔隙水压力; γ_s 钻孔中泥浆的重度。

对灌注桩的后注浆,也可将孔扩张理论用于估计灌注桩后压浆桩端压力。将压浆条件概化为球形扩张,得到注浆极限压力的估计公式^[18]:

$$p_u = (A \cdot I_{rr}^B) (c \cdot \cot\varphi) - c \cdot \cot\varphi \quad (13)$$

式中, $A = \frac{3(1+\sin\varphi)}{3-\sin\varphi}$; $B = \frac{4\sin\varphi}{3(1+\sin\varphi)}$ 。

在求得了刚度指标之后,就可用孔扩张理论分析注浆压力与土的抗剪强度指标之间、上覆压力之间的关系。图 5 是注浆极限压力与内摩擦角关系。

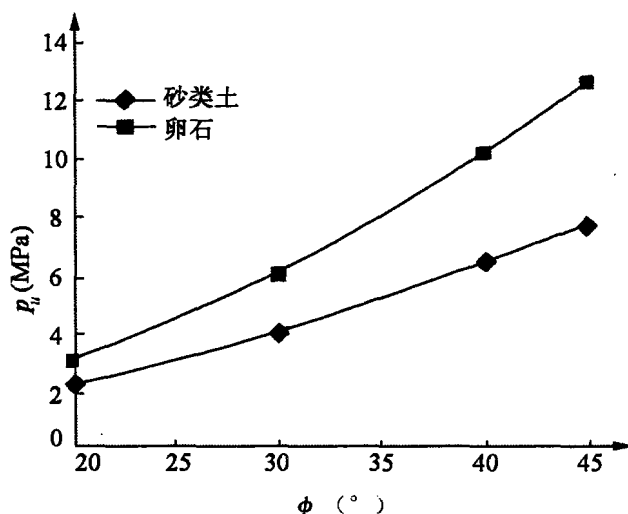


图 5 注浆极限压力与内摩擦角关系

6 结束语

上面简要地讨论了有关深基础工程的土力学理论研究的进展及其已有的应用情况。由于深基础的类型比较多,工程情况也比较复杂,上述这些理论不一定都能解决工程实践中的问题,尚需要作进一步的研究和论证,有些工程问题还没有非常适用的理论研究成果可以应用。同时上述讨论还没有涉及深基础的在横向荷载作用下的性状,这又是一个很重要,但更复杂的领域;此外,在原位测试成果分析中如何应用这些土力学理论,也是一个需要进一步研究的问题。因限于篇幅,这些问题将另文讨论。

参 考 文 献

- 1 俞调梅. 岩土工程的反思. 岩土工程学报, 1986, 11(6): 25 ~ 38
- 2 冯国栋译. 太沙基为岩土技术创刊(1938)所写的前言. 土工基础, 1999(6)
- 3 郑大同. 地基极限承载力的计算. 北京: 中国建筑工业出版社, 1979
- 4 中华人民共和国行业标准《建筑桩基技术规范》(JCJ 94—94). 中国建筑工业出版社, 1994
- 5 上海工程建设标准《地基基础设计规范》(DGJ 08—11—1999)
- 6 B. A. 弗洛林著. 土力学原理. 俞调梅等译. 北京: 中国工业出版社, 1965
- 7 沈珠江. 理论土力学. 北京: 中国水利水电出版社, 2000
- 8 赵锡宏. 损伤土力学. 上海: 同济大学出版社, 2000
- 9 史佩栋主编. 深基础工程特殊技术问题(岩土工程丛书之2). 北京: 人民交通出版社, 2004
- 10 袁聚云等. 竖向均布荷载作用在地基内部时的土中应力公式. 上海力学, 1995, 16(3)
- 11 陈光敬等. 基于 Mindlin 解的桩基础最终沉降计算的应力面积法. 上海力学, 1998, 19(3)
- 12 王士杰等. 对 Mindlin 解求地基附加应力的进一步探讨. 见: 中国土木工程学会第八届土力学及岩土工程学术会议论文集. 北京: 万国学术出版社, 1999, 247 ~ 250
- 13 王士杰等. Mindlin 应力解的应用理论研究. 工程力学, 2001, 18(6): 141 ~ 144
- 14 王士杰等. 深置矩形基础的沉降计算. 土木工程学报, 2002
- 15 胡中雄. 土力学与环境土工学. 上海: 同济大学出版社, 1997
- 16 李韬, 高大钊. 开口管桩压入法沉桩力学机理分析. 上海力学学会 2003 年年会论文集, 2003
- 17 蒋心红, 胡中雄. 钻孔孔壁的稳定性分析. 工程勘察, 1999(3): 7 ~ 10
- 18 张在明. 关于后压浆桩桩端压力确定方法的研究. 工程勘察, 2001(5): 5 ~ 7

城市地下工程自动精密导向系统的应用

潘庆林*

(南京工业大学土木工程学院 南京 210009)

【摘 要】本文论述了城市地下工程自动导向测量系统,通过实例分析比较了自动导向系统与使用人工测量方法的精度与差异,得出了一些有益的结论。

【关键词】自动导向系统 城市地下工程 自动全站仪

随着城市地下工程与高新技术的发展,作为测绘工程新技术的自动精密导向系统得到广泛应用。自动精密导向系统有助于解决工程动态导向中的困难和提高地下工程动态静态导向工作的速度、精度及可靠性,实现信息的自动采集,确保信息的有效性和可靠性,使数据处理及自动分析更为完善,及时反馈并控制盾构掘进的偏差,满足工程的实时控制。目前,我国在地下工程自动精密导向系统研究开发还以掌握施工技术、解决地下工程具体的施工问题为主。盾构掘进机在自动精密导向系统的指挥下沿着地铁(隧道、顶管)的设计方向向前掘进,保证它们按工程设计要求正确贯通。笔者结合亲自参加的上海市过黄浦江底大型顶管工程的动态定位测量(采用德国旭普林公司(Zubline. G)自动导向系统,简称 TUMA 系统,动态导向测量)和南京地铁一号线 TA₇ 标段盾构法施工导向测量(采用德国 VMT 公司 SLS-T 自动导向系统,静态导向测量)的工程实践,简介这两种自动导向系统在地下工程中的应用及其实际达到的精度。

1 德国 TUMA 自动导向系统

1.1 系统的硬件集成与软件设计

该系统硬件设备主要由数台自动驱动全站仪(如 TCA2003),工业计算机(PC 机),遥控觇牌(棱镜 RMT),自动整平基座(AD-12),接线盒及测斜仪、行程显示器和反偏设备等组成。系统软件主要是控制全站仪、计算测量结果和数据显示的系统软件,其测量系统主要包括如图 1 所示的几个功能模块,在总模块调用下,完成自动测量功能。

1.2 系统的工作原理

图 2 为上海市过黄浦江底大型顶管工程施工中应用 TUMA 自动导向系统的布置略图。该工程由浦东工作竖井(深 31.5m、直径 11.5m)开始,单向顶至浦西接收井,全长 760m,顶管开始为平直线 250m,随后为半径 $R = 7326\text{m}$ 的竖曲线至浦西接收井。图 2 中 EXL 为埋设在竖井底洞口顶管中线上的带有强制对中装置的固定观测墩, P_1 、 P_2 为埋设在竖井井壁适当部位的

* 作者简介:潘庆林(1943-),男,汉族,浙江温州市人,教授。