

岩土工程的实践与发展

**PRACTICE AND DEVELOPMENT IN
GEOTECHNICAL ENGINEERING**

——岩土工程系列研讨会论文集
(1999年11月26日~29日 宁波)

主编 魏道堦 顾尧章 洪萼辉

上海交通大学出版社

岩土工程的实践与发展

**PRACTICE AND DEVELOPMENT IN
GEOTECHNICAL ENGINEERING**

——岩土工程系列研讨会论文集
(1999年11月26日~29日 宁波)

主编 魏道垞 顾尧章 洪萼辉



上海交通大学出版社

内容提要

本论文集收编研究论文与成果报告共 81 篇。内容包括岩土力学的基本理论、岩土工程标准化与信息化技术的发展、浅基础与桩基础等的设计与施工方法、深基坑开挖与支护结构的设计计算方法与施工技术、软基加固处理的方法与工程实录以及岩土工程勘察与测试技术等方面。本文集内容广泛、资料丰富、信息新颖,其中不乏近几年来开发和新发展的新理论、新工艺、新技术,因而兼有理论指导和应用参考的价值。可供土建、水利、交通等行业的研究、设计、施工、监测方面科技人员以及大专院校有关专业师生学习参考。

岩土工程的实践与发展

魏道垛 顾尧章 洪萼辉 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话: 64281208 出版人: 张天蔚

立信会计常熟市印刷联营厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 29.25 字数: 727 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1~850

ISBN 7-313-02341-3/TU·045 定价: 55.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

由《岩土工程师》编辑部发起主办的岩土工程系列研讨会之七“岩土工程的实践与发展”学术研讨会,定于1999年11月26日~29日在浙江省宁波市召开。这是《岩土工程师》编辑部继前六次岩土工程系列研讨会之后主办的本世纪最后一次岩土工程技术交流会。

根据此次研讨会最初的立意,试图通过交流对我国建国以来特别是执行改革开放国策以来的20年间,岩土工程技术的理论与方法进行一次综合的回顾与发展前瞻,筹办会议的通知发出后,承蒙同行的关注与支持,迅速得到回应,在不长时间内先后有百余篇论文与报告应征,在此基础上,本刊遴选了其中的81篇文稿,编辑了本次会议论文集。

收编于本次会议论文集集中的文稿,内容广泛,涉及岩土工程技术大部分领域,特别是以各类岩土工程项目的设计与施工方面的技术理论与方法为主,其中不乏近年来开发和得到发展的新理论、新工艺、新技术,为我们展示了岩土工程行业在未来世纪得以高新技术内容服务社会、促进国家现代化建设的可喜前景。

承蒙我国岩土工程界诸多知名专家、学者、教授的关爱与支持,本论文集编辑了十篇专题报告。内容包括岩土力学基本理论的回顾总结和目前岩土工程行业所关切的工程理论进展与技术工艺创新、规范设计与施工标准以及信息化手段的引入等方面的热点与前沿问题。这些知名专家的参与与协助及其提供的宝贵信息无疑为本次研讨与交流活动及其论文集增添了风采。我们特致以衷心感谢。在此还应该提到的也是令人欣喜的是参与本次交流研讨活动及应征文稿的有许多年青的岩土工程同行。这预示着我国岩土工程专业队伍在新的世纪将后继有人,岩土工程事业欣欣向荣。

限于水平与条件,本论文集的编辑难免有不当之处,敬请同仁批评指正。我们还应特别感谢上海交通大学出版社的大力支持与协助,使论文集得以在短时间内出版发行。

祝愿本次研讨会的交流活动取得圆满成功。

编 者

1999年10月25日

主办单位

《岩土工程师》编辑部

协办单位

同济大学地下建筑与工程系

上海隧道工程股份有限公司

宁波市机电工业研究设计院

会议组织委员会名单

主任委员 侯学渊

副主任委员 何国平 杨林德 顾尧章 程 骁

委 员 (以姓氏笔划为序)

马时冬 孔清华 王铁儒 包承纲 刘金砺 杨林德 何广讷 何国平
吴才德 郑颖人 张苏民 侯学渊 洪萼辉 费鸿庆 郭志业 高大钊
宰金珉 宰金璋 徐少曼 钱 征 顾尧章 顾晓鲁 桂业琨 桂淞莉
黄绍铭 黄运飞 程 骁 傅德明 裴 捷 魏道垛

会议技术委员会名单

主任委员 魏道垛

委 员 (以姓氏笔划为序)

孔清华 洪萼辉 宰金璋 顾尧章 桂淞莉 傅德明 魏道垛

目 录

第一篇 专题报告

土力学在我国水利领域中的进展	包承纲	2
非饱和土的工程特性和力学理论及其应用研究	陈正汉	14
岩土工程标准化的现状与展望	高大钊	26
SMW 围护桩在上海地区的开发和应用	傅德明 张冠军	32
桩基施工对环境的影响	桂业琨	43
以沉降量为控制指标的桩基设计	裴捷	54
桩基与地下墙工程技术革新之回顾	孔清华 桂淞莉	58
预压法处理高速公路深厚软基的试验研究	王铁儒 王立中	69
基础工程若干质量事故剖析	顾尧章 何相礼	85
综合地质信息(SGIS)及其应用	杨志法 刘大安 尚彦军等	91

第二篇 理论与设计方法

桩筏基础非线性共同作用设计方法 ——复合桩基设计理论与工程应用	宰金珉	97
建筑边坡岩石压力计算的研究	郑颖人 朱小康	105
废弃物堆场抗震稳定分析现状与发展	周健 贾敏才	114
围压对碎石土加筋效果的影响	黄英 何发祥 保华富等	120
蠕动边坡稳定性动态控制探讨	芮勇勤 徐小荷	127
121m 高办公楼砂土地基桩筏基础与上部结构共同作用实测研究	史佩栋 吴文亚 R. Katzenbach, et al.	132
挡土墙(桩)前堆载反压或预留土体分析与计算方法	金亚兵 吴凌云	137
土性相关距离的求解方法——最大值法	张梅 张吉占 丁继辉等	143
水泥土桩处理软土地基的优化设计	朱志铎 方磊	149
水泥搅拌桩复合地基承载力计算数学模型	程俊贤 肖建中	153
岩土工程理论与实践的认识探讨	李伟利	159
黄土湿陷性的基本属性	张苏民	166

第三篇 桩基技术

黄土地基中超长钻孔灌注桩超高承载力性状试验研究	费鸿庆 王燕 王润昌等	173
软土地基超长桩基础竖向承载特性试验研究	秦福华 陈洋	181
钻孔灌注桩桩底注浆技术的应用效果研究	赵竹占 孙秀容	185
人工挖孔桩承载力的自平衡测试法	顾爱锋 刘金洪 龚维明	189
灌浆加固挖孔桩桩端土的探讨	肖仁成 刘国富	192
浅谈软土地地区锚杆静压桩的应用与发展	何国平 沈俊杰 吴才德	195

试桩未达破坏时极限承载力的可靠性预测·····	黄富华	周泊锟	徐旭霞	199
水闸桩基土受力分析·····	童玉恩	施景裕		205
沉管灌注桩基础设计探讨·····		庄作成		209
在承压水情况下利用工程桩降水方法经验探讨·····		李范龙		214
钻孔嵌岩灌注桩工程监理(简介)·····	贾红征	阎建中		217
山区大直径桩的施工质量监督和检验·····	邵忠心	谢乐才	周 建	222

第四篇 基坑围护与施工经验

支护结构计算中的土抗力法·····	高印立	徐建新	陈 环	228
利用离心模型试验研究土钉墙支护体系的变形性状·····	陈福全	马时冬		233
福建软土深基坑工程土质参数的位移反分析研究·····	徐少曼	艾零件		238
双排支护结构土压力分布强度不含微分解析式的推导·····	康宪泉	王小建	张津莉等	243
SMW 工法的有关技术与设备 ·····	宣嘉伦	章履远		246
喷锚网支护技术在软土基坑工程中的应用·····		林道宏		250
基坑支护土钉墙技术实践与体会·····	李 鸿	申增云	陈敬学	253
沉管式干作业地下连续墙研究与实践·····	徐理华	孔清华	桂淞莉等	257
防渗帷幕中的深基坑降水·····		洪志刚		263
建筑工程中的地下水危害及其防治实例分析·····	郭志业	陈运荣		267
永银大厦深基坑围护设计计算·····	陈 洋	秦福华		273
PHC 桩在深基坑支护工程中的应用探讨·····	吴才德	沈俊杰	徐理华	278
海口市深基坑工程技术现状及新发展·····		王家道		282
宁波北仑电厂二期循环水泵房地下连续墙施工技术·····	朱友往	杨国祥		285
出水高位井预应力结构施工技术·····		倪子明		290

第五篇 地基加固与防渗技术

振冲碎石桩复合地基的功效·····		何广讷		294
振冲碎石桩处理软土地基工程实践·····		蓝 冰		300
杭州滨江中谷粮库基础采用挤密碎石桩加固效果·····		何相礼		305
青铜峡铝厂三期生活区强夯法地基处理·····		刘顺华		311
高压喷射注浆技术在松花江大堤防渗工程中的应用·····	连传波	王 杰	杜嘉鸿	318
粉喷桩复合地基承载力确定方法研究·····		毛由田		321
粉喷桩复合地基在高层建筑中的应用·····	李建华	刘秀英		325
杭州市某住宅楼池塘堆积物压密注浆改良应用实例·····	陈运荣	王智群		330
土壤固化技术在堤防加固工程中的应用·····	侯瑜京	朱 菁	邓 艳	333
锚定树根桩在坝基抗滑稳定中的应用·····		高加成		338
灰土桩与二灰桩处理地基的应用体会·····	傅淑珍	张永欣	高子谦	342
碎石垫层复合桩基试验研究及机理分析·····	宰金璋	陈 龙	黄润磊等	344
水泥土搅拌法处理道路软基沉降的研究·····	王 浩	陈启明	孙维君	351

第六篇 工程治理实录

玛纳斯河夹河子水库大坝除险加固工程实录	栾志刚	360
杭钢 6000m ³ /h 制氧厂房边坡稳定调查分析及边坡治理工程实例	袁建标 张 弭	366
九江市锁江楼塔纠倾与托换加固	顾尧章 蔡泽芳	373
某商场地下室工程上浮事故分析及处理方案论证	叶世建 谢征勋 陈春雷等	377
基础差异沉降引起房屋裂缝的基础处理	阳吉宝	382
锚杆静压纠倾法与应力解除法应用工程实践	邵卫东 沙俊民	386
压力注浆在建筑物伸缩缝相向倾斜加固中的应用	肖建中	390
软土地基房屋沉降分析与基础托换止沉设计探讨	施剑钧 汪国兴 孔清华	393
预沉降纠倾加固工程实例	蔡英达 江成舟 张锡良	401

第七篇 工程勘察与测试技术

珠海市金海岸城区软土工程特征及工程地质问题	陈少平 胡 雄	405
软土地基上顶管施工环境监测	王水林 范欣荣	412
环境岩土工程与地球物理技术	葛双成 郭志业	416
岩土工程勘察钻进技术若干实践经验	虞兴福 张 莉	423
日照市区工程地质区划初探	陈震宇 刘 征 崔建涛等	427
西安城区地基的变形分析	井彦林 南生辉	435
浅论基桩高应变动力检测中的最大动位移与实测贯入度	李 峰	439
城市规划建设应重视地下管线保护和超前勘探定位	武云甫 李国才 金光照等	442
复数法在抽芯钻孔方位测试中的应用	陈镇艺 陈尚桥	447
上海粉土液化的动三轴试验	汪幼江 王天龙	453

第一篇

专 题 报 告

土力学在我国水利领域中的进展

包承纲

(长江科学院, 武汉 430010)

摘 要 本文主要叙述半个世纪来,我国水利水电领域中土力学的发展概况,内容着重于学术上和技术上的成就,其中涉及土力学的若干主要方面,如土的性质;土工数值分析和本构关系;渗流和渗控工程;地基设计和地基处理;桩基工程等。同时,对两种特殊土(膨胀土和黄土)的特性研究以及土的可靠度分析问题也作了简要的介绍。上述内容大量地引用了国内许多专家的资料和文献。

此外,限于篇幅,有关土的动力特性、土工合成材料应用和土工测试和仪器方面内容未曾涉及。

一 概 况

自 1925 年太沙基发表《土力学原理》和土力学成为一门独立的学科后,在 20 世纪 30 年代中国开始有了土力学的课程和研究,但真正发展起来还是在新中国成立以后。在半个世纪历程中,土力学在我国的发展大致分为两个阶段,前者为古典土力学阶段,其特征是以经典的太沙基土力学为基础。70 年代起为现代土力学阶段,当时随着国际动向和计算机技术的发展,我国也逐步开展了土力学课题的数值分析研究,并因此带动了土的本构关系和参数测试技术的发展,同时进一步加深了对土的性质认识。

80 年代初,我国水利学会岩土专业委员会的成立和其学术刊物《岩土工程学报》的创刊,对我国岩土力学的发展起了重大的作用,黄文熙任第一届专业委员会主任并兼任学报编委会主任。稍后,黄文熙又倡导召开“土的抗剪强度与本构关系学术讨论会”,他本人和国内许多著名土力学专家均到会指导,该会由国内土力学方面最有影响的 10 个单位共同筹办,很有特色,它对推动我国土力学界将目光更多地转向现代土力学的领域起了良好的作用。由中国土力学与岩土工程学会主持,已经举办了 8 届的“全国土力学与基础工程会议”对我国土力学的发展产生了积极的影响。

随着国家建设的进展,在不同的年代,与各种岩土工程相联系的某些土力学问题相继成为学术界注意的内容,如 50 年代的软土特性和流变问题,60 年代的砂土动力特性和抗震问题以及对黄土、膨胀土的研究,70 年代开始的本构关系和数值分析研究等都曾是当时的热点。进入 80 年代后,我国土力学者更多地注意工程的实用,但同时在高土石坝填料(如粗粒土)和非饱和土理论方面也有新的进展。

土力学的发展在不同行业或不同领域中还有其本身的特色和着重点。就土力学方面来说,水利水电工程的特点主要表现在:①工程规模巨大;②工程的重要性及其影响(包括失事的后果)严重;③工程涉及复杂的渗流及渗流控制问题;④荷载不仅种类较多,量值较大,而且荷

载的特性也复杂多变,除水荷载外,还有冰压力、泥沙压力、风浪压力、地震荷载、反复循环荷载、建筑物与基础的约束应力、地层中原始的结构应力、渗流压力、建筑物内部的温度应力、膨胀变形压力等等,其中不少荷载(压力)是随时间而变化的。上述的特点必然对土力学方面提出更高的要求,从而客观上也推动了土力学在水利水电工程中的发展。

以下分几方面介绍土力学在水利水电工程中的进展概况,难免挂一漏万,失之片面,本文所述仅供讨论,并就教于读者。

二 土的性质研究

1. 软粘土

我国是在软土地基上修建建筑物最多的国家之一,有大量的工程实践经验和相应的研究成果。1984年出版的《软土地基与地下工程》及以后出版的《地基处理手册》、《复合地基》等著作反映了我国这方面的部分成就。

我国软粘土厚度一般在20m以内,局部地区可达60m,主要有淤泥、淤泥质粘土和淤泥质粉质粘土以及液性指数较高的粉土。各种软土的塑性指数都不很高,约在14~30之间,粘粒含量在30%~60%之间,其中淤泥的塑性指数最高,变化范围在24~30之间,平均值为27,淤泥质粘土平均值为20,粉质粘土平均值为14。各种软粘土灵敏度也不很高,约在3~10之间,属一般灵敏度的正常压密和轻超压密的土。弄清我国软粘土的特点,对研究它的性质和吸取国外工程经验有了依据。

当软粘土受荷时,土体因透水性低而产生很高的孔隙压力。随孔隙压力的逐渐消散,土体固结产生压缩变形,同时其抗剪强度也随之增大,因此就软粘土的工程性质来说,主要有固结和变形以及抗剪强度及其变化两个课题。

软粘土的天然抗剪强度是土体在保持其天然含水率不变条件下剪切破坏时的强度。在50年代,人们普遍认为,正常固结软粘土的天然强度只是其含水率或固结压力的函数,而与其破坏方式和总应力路径无关。其实不然,研究认为,正常固结软粘土不仅与其经受的总应力路径有关,而且由于变形方式和破坏面方向(或主应力方向)的不同,以及取样扰动的重大影响,使室内与现场测得的不排水强度不同于土体实际强度。

确定土的强度变化规律,实质上就是测定土在各种不同条件下的抗剪强度 c 和 φ 值。目前已有各种各样的抗剪强度理论加以探讨。魏汝龙在对现有的抗剪强度理论进行总结的基础上,提出了一种综合性的以真强度理论为基础的饱和粘土抗剪强度理论,其中基本强度指标为 φ' (有效内摩擦角)和 φ_c (真内摩擦角)。在解决工程中的稳定问题时,太沙基的有效应力法得到了广泛的应用。众所周知,采用有效应力法必需确定孔隙水压力。但是,现有的固结理论只能计算球张量引起的孔隙水压力,无法确定孔隙水压力全量,因而一些主张有效应力法者提出采用实测的孔隙水压力,这不仅实施有困难,而且实测的孔隙水压力并不是破坏时的孔隙水压力,这样会导致计算的安全系数偏高。我国学者首先明确地提出有效固结应力法,采用固结不排水或固结快剪强度指标和固结理论计算的孔隙水压力,符合大多数实际工程破坏时(剪坏时)的不排水条件。经过20年来的工程实践,证明这一理论是正确的,这是我国学者对软土地基强度与稳定计算的一个贡献。(引自陈环)

土的固结是土力学中理论性很强的重要课题。我国不少学者对软粘土的固结和流变问题

做过许多工作。钱家欢等人把粘弹性问题的李氏比拟求解方法推广到固结问题,求得了考虑土骨架蠕变固结问题的粘弹性解答,从而将主次固结统一起来。浙江大学曾国熙等对以杜湖水水库软基的处理和长江水利委员会对杜家台分洪闸软基的预压固结的处理,均是我国早期应用固结理论解决工程问题的成功实践;河海大学对新沉积淤土、吹填土和水坠坝冲填土等的固结问题研究,建立了比奥固结理论的有限元方程;南科院从变分原理建立了相应的方程。(引自殷宗泽)

我国学者陈宗基是国际上最早研究软粘土流变问题的专家。他在 1956 年与荷兰盖茨 (Geuge. E. C. W. A) 一起提出了软土的流变理论,在国际上产生了广泛的影响。

2. 压实粘土和非饱和土

20 世纪 80 年代前,压实粘土被广泛用于我国土坝防渗体中,对压实粘土的研究主要是在 50~70 年代进行的。首先是压实标准的研究,我国曾有过“干法”(即高密度低含水率)与“湿法”(即低密度高含水率)之不同做法,但研究认为,实际上不同的土有适应不同功能的能力,不同的功能对应着不同的最优含水率,选择一种与该土的塑限相近的最优含水率所对应的功能可称为该土的“最佳击实功能”,这是一个新概念。以该功能下的最优含水率与最大干密度作为依据,压实土的性能最为优良。经验表明,对许多粘土,该“最佳击实功能”与标准击实功能相近。但对含粉粒较多的壤土或重粉质粘性土等,则可能小于标准击实功能。这些理论已为丹江口土坝及某些膨胀性粘土的实践所证实。对于具有稳定团粒结构粘土或某些残积粘土,虽然其密度不高,但却具有良好的力学性质,对此也不必追求过高的密度,以礼河土坝在这方面提供了很好的经验。

非饱和土在自然界广泛地存在着,在占中国面积 45% 左右的干旱和半干旱地区尤为如此。它属于三相土,由于气相的存在,使它的性质比饱和土远为复杂,因此不论在国际和国内,这方面的研究均进展缓慢。我国这方面的早期成果见之于 60~70 年代,内容涉及气水形态及其运动规律,属基础性研究。以后很长时间未见有这方面成果。90 年代起,有人研究非饱和土的变形和固结课题,并建立了非饱和土三维固结理论的基本框架。90 年代后期,我国学者和香港地区学者开始了将非饱和土理论用于解决实际课题的进程,如非饱和膨胀土渠坡稳定和残积土山坡雨后滑动等问题,使研究具有实用意义。

压实粘性土的水力劈裂问题自 70 年代美国提塘 (Teton) 坝失事后曾引起我国的注意。中国水科院、清华大学、武汉水电大学等单位曾做过不少工作,他们对小浪底土坝心墙土料的研究表明,水力劈裂其实是拉裂,主要是由土体中渗流力引起的有效应力造成的,发生在小主应力面上。有的研究认为产生水力劈裂的条件是最小有效应力大于极限抗拉强度。在工程上应保证心墙上游平整、均匀的渗透性和降低上游面附近填土的低渗透性,并严格做好心墙上下游面的反滤层。

3. 粗粒土(砂土和堆石料)

早期有关砂土的观点是它的力学性质取决于孔隙比(或相对密度),但近几十年来人们不断发现,砂土的强度、压缩性、应力应变关系和液化度并不仅仅取决于孔隙比,且与颗粒排列、孔隙分布、颗粒接触点的密度和方位、颗粒被破碎的可能性等亚微观结构因素有关。因此砂土研究中的试样制备不仅要模拟天然密度,还必须注意其原状结构。但要在天然砂层中取得原状土样的技术比较复杂,为此汪闻韶等人通过模拟原状土的剪切波速来制备试样,进行土的动力特性试验,可以得到与冻结法采取原状样试验定性定量相同的规律,很具实用意义。有关砂

土的结构数值模拟,武汉水电大学刘祖德等采用离散元建立颗粒材料的微观模型,将砂的组构与本构关系建立了联系并用数值方法加以模拟,将粗粒材料组构研究定量化。

堆石料研究随着面板堆石坝的流行而受到重视。首先是研制了一大批适合堆石和砂石料的大型试验仪器,同时在如下几方面取得了成果:

①缩尺效应。由于粗粒料中常有大颗粒,试验中需要缩尺,才能试验,研究出的方法有等量替代法、相似级配法和综合法等。

②不同应力状态的研究。堤坝的受力状态接近于平面应变状态,因此粗粒土的平面应变试验受到重视。长江科学院和南京自动化研究所为三峡工程研制的大型平面应变仪试样尺寸达 $800\text{mm} \times 400\text{mm} \times 800\text{mm}$ 。研究表明,平面应变条件下粗粒土的应力应变曲线与轴对称三轴的不同,强度的峰值偏高 15% 左右,且峰值应变较小。

③粗粒土的湿化变形问题,对于高土坝蓄水后的变形十分重要。四川大学、清华大学、河海大学等的研究表明,湿化与粗粒土的矿物成分、颗粒状态、应力状态、试样状态和试验技术有关,而且存在时间效应。因此,为了避免蓄水初期发生较大沉降,应控制粗粒土中的细粒含量,土坝碾压时加水,并压得较密。

④颗粒的破碎问题。研究表明颗粒破碎将消耗能量,因此是强度的组成部分。它与强度的剪胀分量互为消长,并且是导致粗粒土在高压下强度包线下弯的一个原因。考虑破碎分量的能比方程也有人研究。粗粒土的破碎与其密度、湿度、颗粒和强度、加荷状态和作用时间有关,在高堆石坝中应该注意。

⑤粗粒土的应力应变关系研究。在轴对称三轴试验中,应力应变曲线的峰前段基本符合双曲线关系,峰态平缓,且与围压大小有关,但在平面应变的应力状态下,应力应变曲线较为陡峻、峰态明显,峰值也出现得较早。一般说来,平面应变下的强度值比轴对称下的值高 15% 左右。

4. 膨胀土

膨胀土是一种很重要的地区性土,在我国的华中、华南和西南部分地区广泛地分布着。膨胀土大多数是残积的,也有沉积和冲积的。它们通常在较干旱的、年蒸发量超过年雨量的地区出现,主要矿物成分为亲水的粘土矿物如蒙脱石和水云母等。膨胀土的最主要特性是水分的变化会引起土体剧烈的膨胀与收缩,从而引起建筑物隆起或下沉,对于边坡则会导致开裂与失稳,影响膨胀土性质的内在因素是其物质成分与微结构。活动性粘土矿物和胶结物质的性质及其含量是其特殊性质的物质基础。膨胀与收缩可以用晶格扩张理论和双电层扩散理论来解释,对于同种矿物来说,土的膨胀势取决于吸附离子的价数,价数越低,膨胀势越大。我国土质学工作者对膨胀土的微观特性作过很多研究,成果发现,膨胀土微结构的普遍形式为面-面叠聚体,它还可分为八类,其微结构的形式与自由膨胀量和膨胀总量间存在一定的关系,表明了利用微结构鉴别膨胀势的可能性。由此也可说明微观研究对膨胀土等的特殊土来说是很有意义的。

目前反映膨胀土性质的最常用的两个指标仍是自由膨胀率和膨胀力,我国学者建议以自由膨胀率大于 40% 作为膨胀土的判别标准。

关于膨胀土特性的研究,我国学者卢肇钧、黄熙龄、陈仲颐、柯尊敬、高国瑞等做过许多工作。水是影响膨胀土性质的重要外在因素,水促使土的体积和强度发生变化。水分的移动不仅改变了土的含水率和离子浓度,而且也改变了土中的吸力和有效应力。

由于膨胀土的成分、成因和受荷历史等因素的影响,通常膨胀土具有三性,即胀缩性、裂隙性和超固结性,它们是膨胀土特殊性质的主要表现。在“三性”中,就稳定问题而言,裂隙性是引起破坏的关键因素,胀缩性是造成裂隙的内因,而超固结性是裂隙发展的促进因素。裂隙的存在破坏了土粒间的联结,大大削弱了土的结构粘聚力和原始粘聚力,裂隙面上的擦痕表示颗粒因相互滑移而产生定向排列,使其强度已减至残余强度。上述的“三性”不仅与强度关系密切,而且也是膨胀土的应变软化与强度参数时效性的重要原因。膨胀土的变形特性也有很多研究,有的还将变形与膨胀力联系起来。对膨胀力的特性规律及其影响因素的研究也很有成效,有的还建立了膨胀力与强度之间的定量关系。

作为一种典型的非饱和土,膨胀土的吸力对其力学性质的影响十分重要。吸力是分析膨胀土性状的力学模型中的重要参数,它不仅能反映土中水分的状态,而且反映微结构和孔隙水的化学成分。吸水的变化是引起胀缩的基本原因,而含水率的变化又是土中吸力变化的基本原因,吸水与含水率之间的关系曲线称为土水特征曲线,它是土吸力特性的基本反映。膨胀土的吸力和土水特征曲线以及吸力量测技术曾为铁道科研院、长江科学院和广西大学所研究,香港科技大学在这方面有最新的研究成果。

土中吸力的存在使膨胀土具有很高的强度,但当土中含水率因降雨而增大时,强度急剧降低而导致土坡滑动,这种事故十分常见。南水北调中线南阳地区膨胀土深挖边坡(挖深 40m)曾发生十多处大滑坡即为一例。长江水利委员会勘测局和长江科学院对此做过很多试验、监测和分析工作,在滑坡机理和处理方法研究上都取得了有意义的成果。长科院还对膨胀土滑动的早期预报进行研究,开始了将非饱和膨胀土理论应用于工程实践的进程,颇具新意。武汉水电大学和湖北水利厅对鄂北岗地膨胀土渠坡的研究也很有参考价值。广西大学等对利用膨胀土筑坝的课题进行了研究,四川升钟水库土坝心墙采用膨胀土掺入非膨胀土混合料填筑,效果良好。

5. 黄土

中国黄土分布面积广、厚度大,且大部分具有湿陷性。它广泛分布于我国西北以及东北和华北的部分地区,是我国发展中西部地区必须解决的主要课题之一。黄土是一种以粉粒为主、欠压密、高孔隙、富含可溶性盐等特殊性能的土类,在工程性质上集中地表现为水和力共同作用下的强烈湿陷性,我国对它的工程性质的研究主要在本世纪后半叶才有所发展。建立在大量土工试验和丰富工程经验基础上的中国湿陷性黄土分区,从宏观上给出了轮廓性的指导。对黄土湿陷机理的研究揭示了湿陷的本质,对黄土由在常规试验条件下发展到复杂应力条件下和高应力、动力等条件下的试验研究,更全面和深入地揭示了黄土特性的内在规律。现场的浸水载荷试验、大面积浸水试验和现场渠道防渗试验等加深了对黄土湿陷性的认识,并促进理论与实际相结合的重大发展。迄今为止,黄土作为建筑物的地基或用于碾压法或水坠法筑坝,在国内已获得了很大的成功。黄土中开挖的洞室工程,除在饱水带内有一定的困难外,一般位于深层的 Q_2, Q_3 之中,它有良好的密度和强度,仍是良好的地层。

在目前,黄土地基处理方法已由被动的昂贵的对水防、堵、预浸和对黄土挖除、挤密、强夯以及桩处理等发展为砂夹层浅层阻水法和导渗井深层散水法,这些方法具有既防止湿陷危害,又利用黄土高强度的优点,它们已在室内模拟试验中获得成功。此外,由于新的结构量化参数的研究,结构性土本构关系的建立也有望解决。近年来,非饱和土力学理论、大变理论和弹塑性理论等与黄土湿陷性研究的结合,使黄土研究步入了新的发展阶段。(引自谢定义)

三 土的本构关系和土工数值分析

从 1967 年美国学者 Clough 应用有限元法进行土坝的应力分析开始,土工数值分析作为土力学的一个重要分支获得了飞速的发展,我国从 70 年代起陆续开始这方面的研究,也作出了许多重要贡献。由钱家欢、殷宗泽合编的《土工原理与计算》和朱百里、沈珠江合编的《计算土力学》两本专著部分地反映了这方面的成就。

数值分析的基本问题是把一个工程问题简化为特定的边界条件和初始条件下求解一组数学方程的边值问题。根据对计算域的离散方法的不同,数值分析可分有限元法、差分法和边界元法等几种。最常用的是有限元法,这一方法把空间域离散成有限单元的同时,时间域上一般仍用差分法。(引自沈珠江)

1. 土体本构关系

本构模型是进行数值分析的基础。土力学发展早期主要是应用弹性理论的基本解答,如点荷载作用下的 Boussinesq 解和 Mindlin 解。现代计算技术的发展为考虑土的非线性特性提供了条件,各国学者潜心于这一问题的研究,在不同理论上,已提出了上百个各种各样的本构模型。我国学者在如下几方面取得了成就。

(1) 土体变形特性的试验研究

土体的变形特性是建立本构模型的基础,必须先要弄清。我国许多高等院校和科研单位如清华大学、南京水科院、河海大学等研究了非线性、弹塑性、剪胀性、应力历史和应力路径对变形的影响等。还进行了平面应变、真三轴、扭剪,乃至离心模型等土体变形试验研究。这些研究揭示了土体变形中的一些重要规律。在真三轴试验基础上,殷宗泽所提出的应力应变柔度矩阵应具有的性质,为定性分析变形发展趋势,鉴别本构模型适用条件,改进和发展本构模型提供了依据。

(2) 提出土体本构模型

我国在弹塑性模型和弹性非线性本构模型方面都做了很有意义的工作,建立了数十种模型,其中影响较大的有以下几种:

①黄文熙在 1983 年提出的清华模型 根据试验所得塑性应变增量的方向确定塑性势面或屈服面,以塑性体积应变和塑性剪应变的某种函数组合作为硬化参数,建立了单屈服面方程。

②沈珠江在 1990 年发表的“南水”模型 用主要反映塑性体积应变和主要反映剪性剪应变的两种屈服方程来计算变形。最初采用对数型式,后改为抛物线和椭圆曲线。

③殷宗泽在 1988 年发表的椭圆-抛物线双屈服面模型 它把塑性变形分为引起剪缩和引起剪胀的两部分,分别以椭圆方程和抛物线方程来表示,总塑性变形则是两者之和。

双屈服面模型可以反映多种加荷路径下的变形特性,较为合理,正受到愈来愈多的关注。(引自沈珠江,殷宗泽)

1987 年,成都科大提出改进 K-G 模型可以考虑广义剪应力的影响。

1994 年清华大学提出的改进 K-G 模型,其 K 和 G 不仅与剪应力和平均正应力有关,而且与其增量有关,可反映剪胀性及不同应力路径的影响。

除上述的一般土体本构理论外,又发展了一些特殊问题的本构模型,如结构性粘土的损伤

力学模型,考虑浸水湿化变化的模型,考虑剪胀性的非线性剪胀模型以及非饱和土本构模型等。近来,香港科技大学学者研究了土在小应变下的应力应变特性,并以非线性的块串模型(“bricks on strings model”)表征这些特性。香港理工大学学者提出了考虑软土流变的粘弹塑性模型,均具有开创性。

2. 应用

(1) 土石坝工程

随着土石坝越建越高,变形和开裂问题也愈突出,光凭经验设计已不能满足要求。通过多年的攻关,我国在天生桥、小浪底、三峡深水围堰等高土坝设计中已普遍采用较先进的非线性和弹塑性模型及有效应力和动力分析技术。其中如三峡二期深水围堰工程,在长江科学院的主持下,全国先后有 10 余个单位的 50 多位专家、教授参加,进行了长达 16 年的数值分析工作。他们运用多种非线性和弹塑性模型对不同的方案进行了分析比较,对围堰设计起了十分重要的作用,也取得了本构模型和分析技术上的丰富经验。这是数值分析在工程中成功应用的极好例子,也是我国土工数值分析领域中的一项壮举。其他许多高土石坝也都进行了数值分析研究,并起了重要的作用,可以认为数值分析在我国土石坝中运用的程度在国际上是少有的。

值得指出,我国工程中不仅对非线性弹性模型(如 Duncan - Chang model)已经用得相当广泛和熟练,有了丰富的经验,而且若干弹塑性模型也成功地用于实践。据长江科学院对三峡二期围堰的使用经验,弹塑性模型的应力和应变计算比相应的非线性模型结果略为偏小,差别在 20% 左右,而上面提到的几种弹塑性模型之间,差别更小,“南水”和“河海”两个双重屈服面模型的结果,相当接近,其差值在 10% 左右。上述文字说明,弹塑性本构模型也已接近实用阶段,但在计算时,对其参数及若干计算技巧的处理等应当十分仔细对待。

(2) 土与结构共同作用

土与结构的刚度相差较大,土体变形后容易引起结构开裂破坏,所以这一课题成为土工数值分析的重点对象。研究内容涉及地基与上部结构的共同作用、深基础、桩基础和地下洞室等。

(3) 地基和基坑设计

软土地基的固结沉降,复合地基中应力重分布,土工织物加固地基界面应力分布等复杂的地基课题,必需进行数值分析工作。

模拟基坑开挖过程并考虑基坑与围护结构共同作用的有限元分析是当前的一个热门课题,并且已在许多基坑设计中得到应用。

3. 数值分析方法和土工可靠度分析

(1) 数值分析

数值分析分为定值分析、概率分析及反分析三种。

①定值分析——也叫确定性分析,是指边界条件、初始条件及土性常数均已确定情况下求解数学方程,其目的是求得位移、应力、应变、孔隙压力等值随空间和时间的分布,按照解的唯一性原理,这样求得的解将是唯一的。

②概率分析——也叫随机分析或非确定性分析。这类分析中,假定边界值、初值和土性常数中的一种或多种是随机变化的不确定值,因而求得的解也是不确定的随机值。分析的目的在于求得对应于某一界限值的概率。

③反分析——也叫反馈分析,也即根据观测得到的实际反应,反算土性参数。在这一研究中本构关系是确定的,但认为室内试样测定的参数不可靠,所以要采用边观测、边修正的办法。另一种反分析是认为模型本身也不可靠,需要通过反分析鉴别模型的好坏,这种反分析称为模型识别。(引自沈珠江)

数值分析需要利用已有的商业软件或自编专门的计算机程序进行。国内不少单位均自编了用于各种工程的专用软件,有的已经商业化。同济大学已推出专用于深基坑支护工程结构分析的JK系列计算软件。

(2)土工可靠性分析

土工可靠性分析方法是指以概率理论为基础,运用现代数学工具,分析、研究地基基础和土工构筑物工程性状的设计、计算方法。它主要研究在勘察、设计与施工等各个建设环节中各种计算模式、荷载条件和计算参数的不确定性对计算结果的影响,土工可靠性分析的基本任务是完整地解决应用于各个工程建设环节中的概率统计方法,使之定量化,并对地基基础和土工构筑物从安全、经济与工程进度等方面作出综合的评价。因此,在土工可靠性分析方法基础上形成的应当是一条完整的概率设计途径。(引自高大钊)

土工可靠性分析方法包括:在勘察阶段对勘察成果进行土层剖面的概率分析;在设计和试验研究阶段,对土工指标和其他设计参数的概率统计及其代表性数值的取值方法;地基基础与土工构筑物设计中各种设计模式的可靠性分析和按概率极限状态原则进行设计;在施工阶段,对各种实测数据的概率统计分析和参数的随机反分析;以及关于信息化施工过程中的动态随机分析等。土工可靠性分析性方法的研究应当而且可能与经济分析紧密地结合,用动态的、随机的方法结合工程造价进行优化决策,使工程项目在保证相同技术要求的前提下造价最低,或相同造价的条件下品质最优、失效概率最小。

土工可靠性分析方法是工程结构可靠性设计的重要组成部分。我国工程建设的主管部门已经确定要将我国工程建设设计标准逐渐转到以概率极限状态设计方法为基础的轨道上来的方针。指导各项工程设计的《工程结构可靠度设计统一标准》(GB50153-92)和水利、建筑、铁路、港口和公路等五项行业的设计统一标准亦已颁布。但是岩土工程的可靠性设计尚处于研究阶段,落后于上部结构可靠性分析方法的进展。

我国从80年代初开始研究土工可靠性分析方法,近20年来,在土工参数统计方法研究、地基基础的概率极限状态设计方法,特别是随机场理论的实用化和系统化方面都取得了很大的进展。参数统计方面研究了我国几种主要土类的物理力学指标的统计规律,得到了点变异系数的一般变化范围,与国际上的报道结果相近。从80年代末在建设部支持下开展的“岩土工程可靠度可行性研究”开展了土的自相关特性的研究以来,土工参数的研究进入了一个新的阶段,运用齐次随机场理论研究土工参数的相关距离,在统计方法、自相关机理和相关距离数据的积累等方面都和国际上的研究同步发展,这些研究成果反映在包承纲、高大钊等编著的《地基工程可靠度分析方法研究》一书中。20年来,在土坝、码头、机场、桩基承载力、天然地基承载力与沉降、支挡结构和围堰渗透等领域的可靠性分析方法的研究都取得了许多有意义的成果,提出了这些土工问题的可靠指标的可能变化范围、概率极限状态设计表达式和设计变量的分项系数等,为在工程建设中的应用提供了必要的技术储备。

我国从90年代初开始,土工可靠性分析方法的研究开始进入实用化,建筑桩基技术规范按照概率极限状态设计原则编制颁布,是土工可靠性分析方法在工程设计方面实际应用的第