

PRACTICE AND DEVELOPMENT IN GEOTECHNICAL SOIL TESTING

土工测试技术实践与发展

——第24届全国土工测试学术研讨会论文集

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会土工测试专业委员会

中国水利学会岩土力学专业委员会土工测试专门委员会

中国水利学会岩土力学专业委员会土工离心机分委员会

编



黄河水利出版社

土工测试技术实践与发展

——第24届全国土工测试学术研讨会论文集

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会土工测试专业委员会
中国水利学会岩土力学专业委员会土工测试专门委员会 编
中国水利学会岩土力学专业委员会土工离心机分委员会

黄河水利出版社

内 容 提 要

本论文集汇集了研究论文和成果共 88 篇,内容包括室内土工测试技术、土工离心模拟试验技术、原位土工试验及测试技术以及现场监测技术等几方面,反映了近年来土工测试技术领域的前沿发展水平和发展趋势,其中一些新理论、新技术、新方法,对于今后土工测试技术的实践与发展具有理论指导意义和应用参考价值,可供水利、土建、交通及各行业从事土工测试技术人员和大专院校有关专业师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

土工测试技术实践与发展/中国土木工程学会土力学及岩土工程分会土工测试专业委员会等编. —郑州:黄河水利出版社,2005. 10
ISBN 7-80621-966-8

I. 土… II. 中… III. 土工试验—文集 IV. TU41-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 101669 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940

传真:0371-66022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:850 mm×1 168 mm 1/16

印张:26.75

字数:755 千字

印数:1—1 000

版次:2005 年 10 月第 1 版

印次:2005 年 10 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-966-8/TU·62

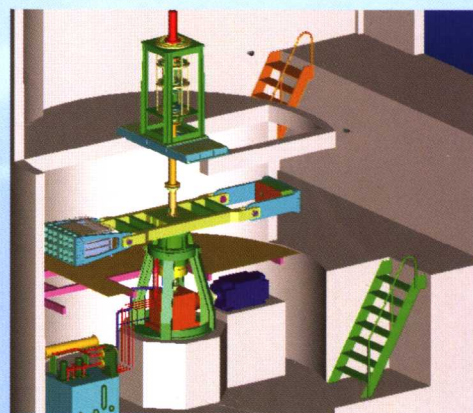
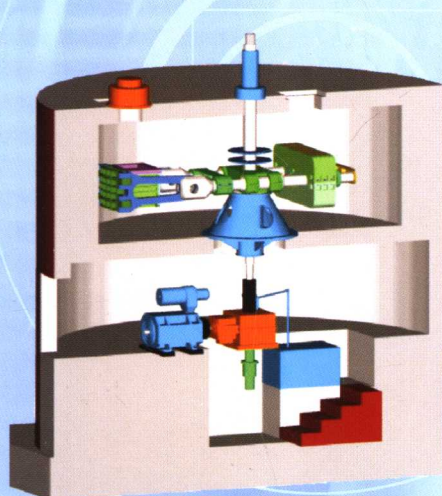
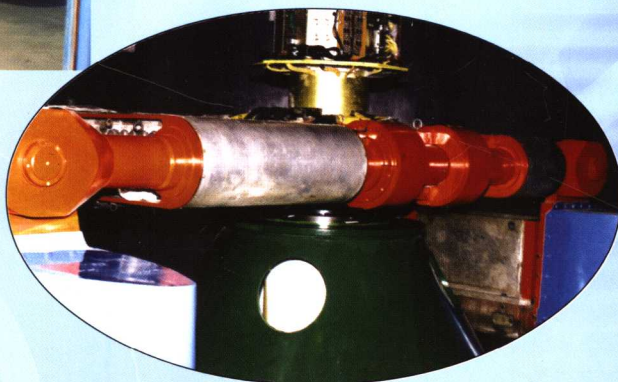
定价:68.00 元

中国工程物理研究院

结构力学研究所 土工离心机

中国工程物理研究院结构力学研究所于二十世纪六十年代就开始了离心机的研制与使用,设计、制造了土工、例行试验、计量标定等大中型离心机三十余台,荣获国家和部委级科学进步奖(一、二、三、四等奖)七项。

在土工离心机研制方面,对主机结构、吊兰、模型箱、控制、摄影、测试及试验用辅助设备(如机械手、激振器等)的设计方面有专门的研究,积累了丰富的理论与实践经验,为国内许多教学、科研单位研制了不同规模的设备。



单位: 中国工程物理研究院结构力学研究所
电话: 0816 - 2487478 2488604

地址: 四川省绵阳市 919 信箱 408 分箱
传真: 0816 - 2281485

前 言

土工测试技术是岩土工程科学技术进步的基石,是提高岩土工程研究、设计和施工建设水平的重要手段。随着测试技术和计算机网络技术的飞速进步,近年来土工室内外测试技术也得到了长足的发展。为促进相互交流学习,第24届全国土工测试学术研讨会于2005年10月26~28日在北京召开,这是土工测试专业委员会换届选举后的第一次盛会,会议内容不仅包括近年来在室内外土工测试技术以及原位观测技术方面取得的进展,也包括了土工离心模拟试验技术以及环境土力学测试技术等方面的研究成果。

会议论文征文得到了国内同行包括海外华人的热情关注和支持,在较短的时间内收到会议论文近百篇,从中遴选出88篇编辑成此次会议的论文集。这些论文展示了作者们在土工测试领域所做的有益探索,其中不乏许多新的试验手段、探测技术、新工艺、新设计、新设备,以及跨行业交融带来的技术创新,反映了当前土工测试领域新的热点和前沿问题。

在论文的评审和选编过程中,不少知名专家以及上一届土工测试专业委员会的常委们对会议论文集和会议期间的技术交流活动提出了许多宝贵的建议,为会议的成功召开奠定了基础,在此表示衷心的感谢,同时感谢广大土工测试专业技术人员的热情参与和支持。相信土工测试技术的实践和发展,使得这一领域已经成为岩土工程界最为活跃的分支之一,必将带动岩土工程技术的进一步提高和发展。

限于编者的水平和条件,本书难免有疏漏之处,敬请各位同仁批评指正。感谢黄河水利出版社的大力协助,感谢广大从事土工测试设备开发、制造和销售的单位和个人对此次会议的赞助和支持。

祝愿第24届全国土工测试学术研讨会圆满成功。

编 者

2005年8月25日

顾问委员会

主席:张在明

委员(按拼音字母为序):

包承刚	陈仲颐	陈祖煜	顾小芸	龚晓南	黄熙龄
贾金生	李广信	刘祖德	卢肇钧	濮家骝	沈珠江
汪闻韶	魏汝龙	吴肖茗	王思敬	谢定义	杨晓东
曾国熙	张建民	郑颖人	周 镜		

学术委员会

主席:蔡正银

委员(按拼音字母为序):

包承刚	陈振建	方涤华	侯瑜京	刘 虔	栾茂田
钱炳生	魏道堦	魏汝龙	徐光明	于玉贞	詹良通
张文权	郑 刚	周小文	祝龙根	朱俊高	朱思哲

编辑委员会

主编:侯瑜京 蔡 红

编委(按拼音字母为序):

柏 红	蔡正银	陈 宁	陈愈炯	陈祖煜	李海芳
刘小生	刘 虔	栾茂田	滕延京	汪小刚	魏迎奇
温彦锋	徐光明	杨 健	于玉贞	赵剑明	朱思哲
周晓光	周小文				

目 录

前 言

第一篇 专题报告

岩土工程中试验与测试的地位·····	李广信(3)
再论土的连续加荷固结试验·····	王正宏 窦宝松(9)
非饱和土的土水特征曲线研究 ·····	龚壁卫(18)
三轴压缩试验技巧 ·····	方涤华(23)
复合桩基非线性共同作用模型试验设计与研究 ·····	宰金珉 蒋 刚 王旭东等(27)
高堆石坝离心模型试验中的主要技术问题 ·····	汪小刚 侯瑜京(33)

第二篇 室内土工测试技术

土工静力—动力液压多功能三轴剪切仪研制中若干问题的探讨

·····	栾茂田 冷 艺 唐洪祥等(41)
弯曲元测试砂土剪切模量的国际平行试验 ·····	周燕国 陈云敏(45)
土的电阻率理论及其应用研究综述 ·····	查甫生 刘松玉(50)
土的电阻率室内测试技术及应用研究 ·····	刘松玉 查甫生 于小军(57)
土工合成材料膨润土衬垫(GCL)的渗透试验 ·····	介玉新 吕 禾 彭 涛等(64)
大型高压三轴蠕变试验仪的研制开发 ·····	温彦锋 蔡 红 汪小刚等(67)
粉煤灰的压实 ·····	蔡 红 温彦锋 边京红等(70)
冻土蠕变试验研究及数据分析 ·····	马进红 李 强(74)
天然海洋土的试验与数值模拟 ·····	周 成 陈晓红(79)
非饱和掺砾黏土料三轴试验研究 ·····	朱俊高 闫勳念(85)
非饱和膨胀土原状样的直剪试验研究 ·····	唐良通 吴宏伟(90)
糯扎渡高心墙堆石坝接触面试验研究 ·····	马 杰 孙 逊 张丙印等(94)
磷石膏特性的试验研究 ·····	王 芳 严丽雪 顾春媛等(98)
黄土改良试验研究·····	王 韞楠(102)
基于数据挖掘技术的黄土湿陷性研究·····	井彦林 仵彦卿 杨丽娜(106)
级配和密度对堆石料强度和变形特性的影响·····	傅 华 李国英(111)
塑料土工格栅拉伸特性测试结果分析研究·····	杨明昌(117)
多级位移测试方法在三轴试验中的应用·····	孔宪京 徐 斌 邹德高等(120)
室内黏土试样制备技术的改进及应用·····	齐剑峰 聂 影 赵 维等(123)
尾矿砂动三轴试验研究·····	何 杨 张振东 许成顺等(127)
土工合成材料测试技术研究·····	杨明昌(131)
影响自由膨胀率试验结果的几个因素·····	郭爱国 孔令伟 陈建斌(136)
沥青混凝土水力劈裂模型试验研究·····	饶锡保 龚壁卫 丁红顺等(141)

影响沥青混凝土力学特性的因素·····	张 计 何晓民(146)
灰岩模拟试验中各弹性参数关系研究·····	刘铁雄 韩金田 彭振斌(150)
有明黏土微观构造的观测方法·····	陆 江 根上武仁(155)
基于水土化学作用的土体细观结构变异的宏观测试分析·····	张信贵 吴 恒 易念平(159)
三轴试验中大级别动应力的稳定实现·····	范明桥 蔡正银 张建卫等(163)
利用表面振动器法粗粒料压实研究·····	孙 陶(166)
新型动三轴地震波输入试验研究·····	孙 悦 袁晓铭(172)
共振柱模量试验误差分析·····	袁晓铭 孙 静(176)
残余强度试验方法探讨·····	车承国(180)
微小应变测试技术在大型动、静三轴试验机上的应用·····	陈 宁 常亚屏 赵剑明等(183)
共振柱仪升级改造技术·····	王 宏 陈 宁(188)
北京地区粉土与黏性土的目力鉴别方法及特征·····	尹兴科 马志强(192)
微型高频土压力传感器及其灵敏度系数测定·····	俞 晓 苏晓科(196)

第三篇 土工离心模拟试验技术

离心模拟技术在土工合成材料与土的共同作用研究中的应用

·····	徐光明 顾行文 王国利等(201)
软土地基路堤施工的离心模拟试验研究·····	周小文 孙常青 程展林等(206)
Centrifuge Modeling of Deep Mixing ·····	F. H. Lee C. H. Lee G. R. Dasari(211)
Simulation of Breaking Wave Loads on Caisson Breakwater in Centrifuge ·····	X. Y. Zhang F. H. Lee C. F. Leung(217)
Influence of Coriolis Force and Wind Resistance on Biaxial Shaking at Centrifuge ·····	Su Dong Li Xiangsong(222)
山区沟谷软土路基加固处理离心模型试验研究·····	曾友金 吐尔逊(227)
加筋风积砂土挡墙离心模型试验研究·····	苏跃宏 刘俊芳 徐光明(232)
抛石防沙堤离心模型试验研究·····	侯瑜京 韩连兵 刑建营等(237)
土工离心机振动台系统性能测试·····	于玉贞 陈正发 邓丽军等(242)
应用于边坡动力离心试验的模型箱设计与试验检测·····	邓丽军 于玉贞 陈正发(246)
定点高速闪光摄影技术在土工离心机中的应用·····	王新伦 赵文凯 林 明(253)
150 g·t土工离心机研制 ·····	林 明(257)

第四篇 原位土工试验及测试技术

多道瞬态面波在既有线路桥过渡段路基评估中的应用·····	蔡德钧 姚建平 陈 锋等(265)
碎石土密实度的波动测试机理及试验研究·····	梁向前 孙进忠 王 园(269)
动力排水固结法加固厚层淤泥路基现场试验·····	刘升贵 薛 茹 安里千(273)
宁淮高速公路路堤施工中“压实度衰减”问题的试验研究·····	张福海 王 杰 王保田等(277)
新型板桩码头超深地下连续墙土压力测试技术·····	蔡正银 焦志斌 王剑平等(280)
深基坑锚杆、土钉抗拔试验与成果分析 ·····	张 俊 杨志银 张兴杰(283)
核子仪现场标定的自适应神经模糊系统法·····	赵寿刚 沈细中 兰 雁等(286)
瞬态瑞雷面波检测碎石桩复合地基承载力研究·····	贺会团(291)

利用载荷试验沉降—时间关系信息确定界限压力的方法·····	陈追田 孙雪峰 唐旭东(295)
管波探测法在大直径嵌岩桩桩底岩溶勘探中的应用·····	周小刚 郭金根 李学文(299)
压电圆锥试验技术的新进展及应用·····	王淑云 鲁晓兵(303)
弹性波检测法在岩土测试中的应用·····	刘铁雄 曹华先 彭振斌(308)
多功能 CPT 测试技术在环境岩土工程中的应用研究现状 ·····	杜广印 刘松玉 童立元等(313)
现代多功能 CPTU 测试技术及其在软土地地区测试要点分析 ···	童立元 刘松玉 杜广印等(318)
孔压静力触探(CPTU)测试技术应用综述 ·····	蔡国军 刘松玉 童立元(324)
落球检测技术及其在道路工程方面的应用·····	黄 新 郭 晔(329)
旁压仪在河床砂砾石原位测试中的应用·····	程永辉 饶锡保 张辉杰(333)
十字板原位测试在黄骅电厂中的应用研究·····	徐文凯 马智杰 孟庆辉等(337)
华能玉环电厂工程静力试桩简介·····	李健平 陈书平 吴 刚等(341)
混凝土灌注桩侧向承载性能的试验研究·····	李从昀 孙进忠 袁加贝等(347)

第五篇 现场监测技术

声发射监测技术及其在工程中的应用·····	朱群峰 朱群鹏 张 凌等(355)
爆炸法处理软土地基效果的原位检验·····	姚建平 蔡德钧(359)
动态荷载对路基压力影响的监测方法·····	孙汝建(364)
青岛滨海公路软基加固效果现场测试与分析·····	顾长存(369)
上海某住宅楼深层位移观测及分析·····	陈龙珠 陈胜立 陈其锋(374)
NDCY 型电测水平位移计在盘石头混凝土面板堆石坝中的应用 ·····	张建宁(379)
牙塘水库沥青混凝土心墙堆石坝原型观测·····	马贵昌(383)
江苏田湾核电站前池基坑支护安全监测·····	赵同新(387)
填海及软基处理工程施工监测浅谈·····	汪新平 蔡巧灵 杨志银(391)
大坝安全监测系统开发中的数据库应用·····	裴安荣(395)
土石坝内部垂直位移监测技术方法浅析·····	田冬成 王万顺 孙建会等(398)
坝式路堤下涵洞沉降变形原位观测技术研究·····	康 佐 谢永利 刘保健(404)
湖光山庄滑坡治理施工监测与分析·····	周红星 曹 洪 周小文等(409)
广州新光大桥钢板桩深水围堰监测方法及结果分析·····	胡纲治 曹 洪 骆冠勇等(413)

第一篇

专题报告

岩土工程中试验与测试的地位

李广信

(清华大学水利水电工程系, 北京 100084)

摘 要: 作为一门实践性很强的学科, 在岩土工程中土工试验与测试起着极其重要的作用。本文回顾了岩土工程学科的历史, 指出土工试验是人们认识和揭示土的力学性质及其应力变形和破坏机理的重要手段; 室内试验和原位测试是确定岩土设计计算参数的主要方法; 土工试验和工程实践是验证理论和计算的惟一标准; 而现场监测和适当的反分析是信息化设计施工的基础。展望当前土力学学科的进展, 本文提出对当前岩土工程科研工作的一些见解, 认为无论是关于土的结构性研究, 还是各种不确定性理论方法在岩土工程中的应用, 重要的是试验技术的提高和测试资料的积累, 否则会走向歧路。

关键词: 土工试验; 测试; 本构模型; 不确定性理论方法

1 前 言

岩土是人类最早接触的自然物质之一, 也是人类能够得到的最古老的材料。人类在广袤深厚的土层上耕耘营造, 生生不息, 建造了宏伟的楼堂殿宇、大坝长堤、千里运河、万里长城, 创造了一个个璀璨夺目的古代和现代文明。“水来土掩”, 人类的祖先在与洪水斗争中, 土是他们最方便和最有效的武器。大禹治水, “兴人徒以傅土”, 也就是大兴土方工程, “左准绳, 右规矩, 载四时, 以开九州, 通九道, 陂九泽, 度九山”, 他“居外十三年, 过家门不敢入”, 这表明他“劳神焦思”成功地治理了洪水, 是建立在利用“准绳”与“规矩”, 勘察与实地勘察测试的基础上^[1]。

在 1925 年土力学作为一个独立的学科建立之前, 人类已经在土工方面实践了几千年, 基本沿着反覆的观察—思考—试验—实践—观测这样的路线前进。而在欧洲工业革命之后, 土力学的先驱们更是有目的地开展试验工作, 奠定了早期的土力学基本理论基础。库仑在简单的直剪试验基础上提出了库仑公式, 成为土的强度理论的基础。达西通过砂土的定水头试验揭示了土的渗透基本规律——达西定律。太沙基不仅是土力学理论的大师, 也是土力学试验与测试的大师。他使用简陋的设备(据说他是用香烟盒开始土的固结试验)进行长期的探索试验, 形成了现代土力学的有效应力原理和土的固结理论。他在麻省理工大学和哈佛大学都设计和制造了许多土工试验仪器。在挡土墙工程中, “他发明了一项非常具有独创性的设备来量测压力和位移, 并且由他自己完成了设备的设计、制造和测试工作”。在芝加哥修建地铁时, 他和 Peck 针对开挖支撑体系与填方挡土墙的不同, 测试得到了与朗肯和库仑土压力分布不同的模型。他甚至在哥伦比亚河一个船闸工地上受雇为临时钻探工人^[2,3]。

20 世纪 60 年代以后, 土的本构关系理论研究成为土力学园地中最为绚烂的花圃。而土工试验则是它们得以生长和开放的沃土。只有土工试验才能揭示土的受力变形机理; 只有通过土工试验才能够确定特定土的计算参数; 土工试验也是验证本构关系理论模型的重要手段^[4]。

土力学的大师们无一例外地强调和重视土工试验与测试, 黄文熙先生前后任职于原中央大学、南京水科院(原南实处)、北京水利水电科学研究院和清华大学, 每到一处, 他总是先筹建或加强实验室, 瞄准国内外学科前沿, 开展试验研究。他在 70 多岁高龄时主持清华大学土力学教研组工作, 领导教研组开展土的本构关系研究, 带领教师、学生和试验人员开始实验室的恢复和建设, 进行了近 10 年承德砂的基本试验, 提出了土的清华弹塑性模型。他还指导开展了旁压仪试验、水力劈裂试验、渗水力模型试验。他带队亲赴欧美考察, 回国后多方奔走呼吁, 终于在国内兴建了多台土工

离心机,大大缩短了我国在这方面与世界先进水平的差距。对于试验数据他往往亲自审查,要求试验数据用钢笔记录,有误只能划掉,不能涂改。他告诫师生们,“试验资料是永恒的”。直至今天,清华大学还完整地保留着这些系统试验原始记录,成为科学研究宝贵的资料^[5]。

2 土力学的学科特点

岩土工程实践性极强,人类从事土工实践已有上万年了,古代的半坡村和河姆渡的遗址都发现有大规模的挖方工程及简单的基础工程的遗迹。人们在长期实践中观察、思考、试验和测试,总结积累了丰富的经验,世代相传,几千年前就建造了宏伟的万里长城和金字塔等巨型建筑物。可是,鼠獭蝼蚁也可以完成相当规模的土方“工程”,但是它们没有对于对象的内在关系和固有机理的深层次的理性的认识。岩土试验是认识其材料特性及其机理的重要手段,古典的土力学理论都是基于对试验的观测和对试验结果的分析之上的。

土是人类接触最多的在地质历史中形成的天然碎散物质,它具有碎散性、多相性和极其强烈的变异性。作为地质历史的产物,地球上的土都经历了漫长的地质历史年代中的风化、搬运、沉积和地壳运动过程,形成其独特的组成与性质。原状土一般是不均匀的,具有各向异性和很强的结构性。严格地讲,世界上没有完全相同的原状土。正如世界上没有两个完全相同的人一样。

土的这些特性使土的力学性质极其复杂。比如其应力应变关系的非线性、弹塑性、压硬性、膨胀性、应变软化、各向异性、流变性、结构性及应力历史和应力路径的相关性等。理论的建立在于科学与合理的简化与抽象,即忽略对象的次要方面,突出其主要的或者实际问题中占主导地位的方面。而随着研究对象复杂性的增加,理论的抽象与简化的难度将迅速提高。因而土力学中纯理论的作用将受到严重的限制。

对于像土这样复杂的介质,人们只能认识和处理具体的土,其他力学学科中许多对于介质的抽象的、严密的理论对于解决土的工程问题往往无能为力,所以在土力学中更多的是感性的认识。人们也正是在千百年的实践中感知它、判断它,使用和处理它。这就是为什么太沙基说“土力学不仅是一门科学(science),而且是一门艺术(art)”。对于这样一种感性的学科,人们应当在生活中、实践活动中、科学试验中去体会和感知。以前人们在童年常常玩砂、玩土、玩泥,其实是尚无明确目的的试验;在学习土力学和土力学研究中,更不能脱离试验。在系统的试验中思索,会培养对土的感觉、对土在所经历过程中的想像,甚至对土的感情。只有如此,才能够更深刻地理解土的理论知识,在工程实践中往往凭微妙感觉可以得到正确的判断。张在明在阅读和比较太沙基(Terzaghi)与派克(Peck)的《工程实践中的土力学》(Soil Mechanics in Engineering Practice)1948年第一版与1996年的第三版(其中增加了另一位作者 Gholamreza Mesri)后,认为50年来尽管工程科技及工程手段发生了巨大变化,但是土力学基本理论骨架没有根本性的变化;工程经验与判断仍然起着不可替代的作用,现场的调查研究仍然十分重要^[3]。

3 土力学理论与试验

如上所述,土力学的理论源于工程实践的需求,也扎根于试验的沃土。20世纪60年代以来,许多重大土木工程(如深覆盖层上的高土石坝、高层建筑及深基坑)的兴建对土的非线性分析和稳定分析提出了要求,而计算机技术的迅速发展为这些分析提供了可能性。于是土的本构关系理论蓬勃发展。随着土的本构关系模型理论研究的进展,反应土的应力应变关系的三轴试验越来越成为重要的试验手段。同时为了揭示土在复杂应力路径下的性状和验证所提出的本构关系模型,各种平面应变试验、真三轴试验、方向剪切仪试验和空心圆柱扭剪试验迅速普及和发展。图1表示的是两种真三轴仪:改造的真三轴仪和盒式真三轴仪。前者是在三轴仪的压力室中加入一对侧向压力板,另一对侧面暴露在压力室中。由于这对自由面上的主应力不可能成为大主应力,所以其试验

的应力路径受到限制。盒式真三轴仪不受这种限制,可以独立施加很大的应变,成为很受欢迎的试验设备。

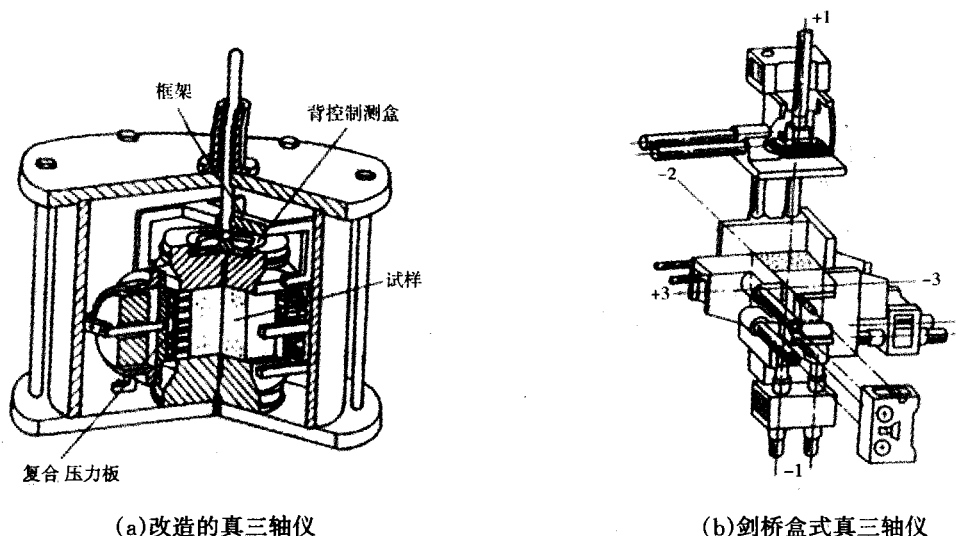


图1 两种真三轴仪

试验又是岩土理论、岩土数值计算与工程设计之间的纽带,亦即通过试验确定参数。Duncan - Chang 双曲线模型之所以受到工程师们的欢迎,其参数物理意义清楚、易于通过常规试验确定是重要原因。正如派克(Peck)所指出的,在数值计算的通用程序选择范围很广的今天,如果使用的模型没有针对性,使用的参数缺乏依据,对于工程问题可能危害不浅^[6]。

土的本构模型如百花齐放,模型的提出者往往用复杂应力路径的试验自己验证,其结果常常“符合得很好”。一时间各夸自家春色好,乱花渐欲迷人眼。如何客观、公正、权威地验证和评价它们成为迫切的问题。20世纪80~90年代欧美至少举办了3次所谓的竞赛(或称考试)。

1980年,美国和加拿大召开了“岩土工程中极限平衡、塑性理论和一般的应力应变关系北美研讨会”^[5];1982年,在法国召开了“土的本构关系国际研讨会”;1987年,在美国克里夫兰召开了“非黏性土的本构关系国际研讨会”^[6]。在这些活动中,首先委托一家或者几家实验室进行基本试验和目标试验。前者结果公布,以便参赛者确定土的参数和认识土性;后者给出试验的条件(如应力路径),然后在全世界范围征求参赛者。各预测的结果上交以后召开研讨会,公布试验观测结果,评分、答辩、总结与研讨。

在1987年的“非黏性土的本构关系国际研讨会”上,利用美国 Case Western Reserve 大学的空心圆柱扭剪仪和法国 Grenoble 大学的剑桥式立方体真三轴仪进行砂土的相同应力路径的试验^[4]。试验内容包括:

- (1) $b =$ 不同常数的不同密度两种砂土的真三轴试验,其中, $b = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3)$;
- (2) 在 π 平面上应力路径为圆周(两周)的真三轴试验。

图2表示了对于 Hostun 密砂(干密度 $\rho_d = 1.65 \text{ g/cm}^3$) 在 $b =$ 不同常数中主应力 $\sigma_2 = 500 \text{ kPa}$ 保持不变,用两种仪器试验得到的轴向应力与轴向应变关系曲线、轴向应变和体应变的关系曲线。可见在 $b = 0$ 和 $b = 0.28$ 时,不同仪器试验结果的差别是很大的。但是在评价它们时,主持者说:对于轴应变,除了 $b = 0.286$ 的结果很差(very poor)以外,其他的曲线符合得很好(very well);而对于图2(b)的曲线认为符合得很优良(excellent)。对比我们的一些论文中对比曲线二者丝丝入扣的符合,就显得很不真实。

1987年“非黏性土的本构关系国际研讨会”,会议征求对真三轴试验和空心扭剪试验结果用

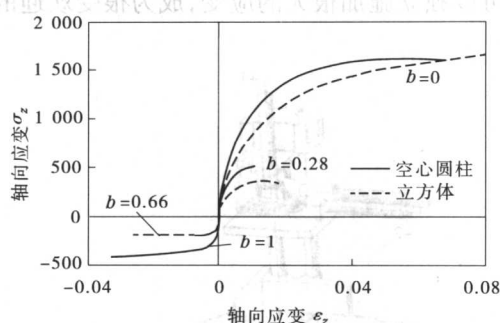
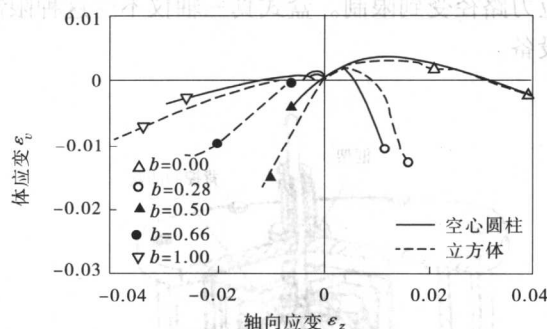
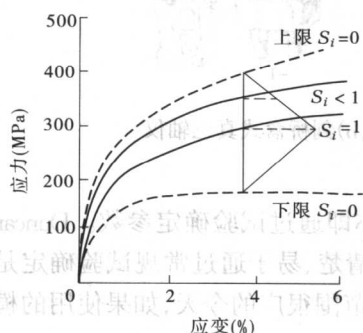
(a) 轴向应力 σ_z 与轴向应变 ε_z 间试验曲线(b) 体应变 ε_v 与轴向应变 ε_z 间试验曲线图2 $b = \text{常数}$ 的真三轴试验与空心圆柱试验的比较

图3 模型预测的评分标准

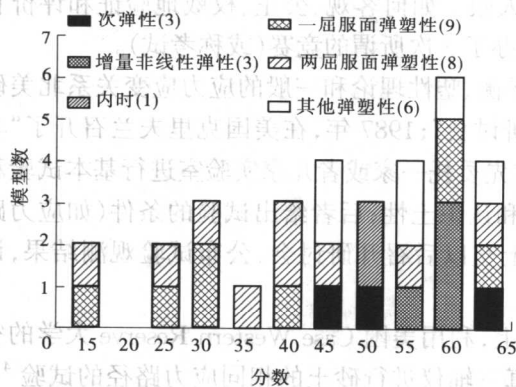


图4 轴向应力应变关系得分

理论模型进行预测。共有世界各国的 32 个土的本构模型参赛。其中包括:3 个次弹性模型(H),3 个增量非线性弹性模型(I),1 个内时模型(E),9 个具有一个屈服面的弹塑性模型($EP1$),10 个具有两个屈服面的弹塑性模型($EP2$),6 个其他形式的弹塑性模型(EP)。

会议将预测结果与试验结果比较,按四个单项评分。评分的标准见图 3。规定了上下限,按统计方法打分。

图 4 与图 5 表示出 $b = \text{常数}$ 的真三轴试验的预测得分情况(满分 100 分)。可见其轴向应力应变关系预测经过还差强人意;而体应变的预测则基本全不及格。

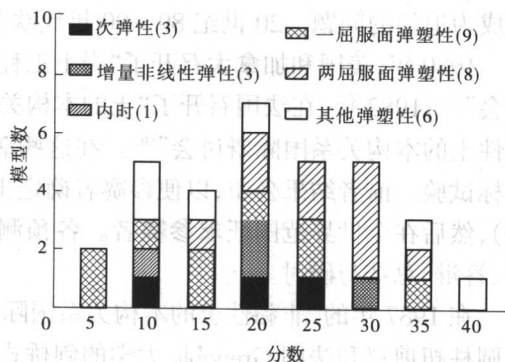


图5 体应变与轴向应变关系得分

这些“考试”基本上反映了人们当前认识和描述土的应力应变关系的能力和水平。正如一个会议的主席在总结发言中所说,“没有给任何一个模型戴上王冠”。它表明,即使对于实验室制作的重塑土试样,其应力应变关系也是相当复杂的。现有的关于土的本构关系的数学模型的描述能力在精度和条件方面都是有限的。有的模型使用了 20 多个甚至 40 多个常数,结果仍然不令人满意。近年来,人们认识到原状土的结构性的重要性,重视土的结构性研究。这是将研究对象从抽象的“土”转向具体的土的进步。但是相应地应当研究开发高质量的取样设备,开发现场测试仪器和方法使我们更准确地获得原状土的信息和数据。可是见到的只是大批的损伤模型的提出和应用,这样的方向使人疑虑。

4 工程实践与试验及测试

如上所述,目前工程经验与判断仍然起着不可替代的作用。而模型试验是快速和低成本取得经验的重要手段。所以足尺试验和土工离心模型试验在工程的方案比较中起重要作用。进行土工设计计算和数值分析的基础是参数的选用,而各种试验,尤其是通过现场测试是取得参数的重要手段,包括各种触探试验、旁压仪试验、载荷试验、现场剪切试验和各种物探方法。值得注意的是,欧美和日本等科技先进的国家,在岩土工程中对于大型的模型试验和足尺试验,甚至野外的原型试验方面,都投入很大的力量。日本兵库县三木震灾纪念公园的大型三维振动试验台,质量1200 t;加速度,水平0.9 g,竖直1.5 g;最大速度,水平200 cm/s,竖直70 cm/s;最大位移,水平100 cm,竖直50 cm。造价约5亿美元,如图6所示,一座四层楼房可以在这个振动台上作原型试验。

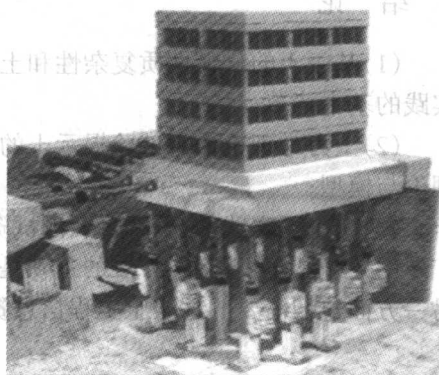


图6 日本的大型振动台

经验与判断除了来自于以前的工程实践外,在同一工程的实践过程中不断测试与监测,取得信息,超前预报,分析反馈,指导下一步的工程实践。这就是所谓的信息化施工。“新奥法”的精髓应当就是这种工程实践的理念,上海的一些学者在基坑和地下工程实践中总结的“时空效应”的理论与方法也是如此。刘建航院士在上海地铁施工中,在现场坚持亲自监测,及时调整设计与采取措施,解决了许多关键技术问题。他所总结的“理论导向,经验判断,精心监测,合理反算”可以成为岩土工程实践的经典。

“吃一堑,长一智”,失败的经验也是宝贵的财富。所谓经验,主要由大量的成败的案例、资料、数据,亦即所谓的“信息”组成。经验的可贵也就是信息的可贵。通过经验、理论与监测的相互配合,往往可以优化工程的设计与实施,经济而有效地达到预期目标。经验的传承可以通过建构信息共享平台来达成,信息共享平台不仅可使科学研究在前人的成果上更进一步地发展,也可减少不必要的浪费。以英国在北海的放射性废物地质处置场的研究为例^[7],由于英国法律规定,钻探资料在钻探完成后5年需向公众公布,使得这些资料得以作为科学家了解北海地质之用。随着陆上放射性废物场址规划的议题日趋严肃,科学家逐渐重视放射性废物近海深层地质处置的可行性,而这些钻探资料起到了很大的作用,也使得英国政府可以节省数百亿美元的花费来启动北海的地质调查计划。从这个案例不难看出建立一个信息共享平台的重要性。

5 不确定性理论与试验及测试资料

近年来,随着数学和软科学的进展,各种不确定性的理论与方法在岩土工程中受到重视,尤其为一些年轻的学者所喜爱。一时间可靠度、数理统计、随机方法、灰色、模糊、分形、神经网络等在岩土工程中也五彩缤纷,煞是好看。应当说,对于岩土这样性质极为复杂的对象,精确、定量的数理方法常常无能为力。L.A.Zadeh说过,“当系统的复杂性日益增加时,我们作出系统特点的精确而有意义的描述的能力将相应降低”。因而,不确定性理论和方法在岩土工程中肯定是有巨大应用前景的。但是以统计为例,参加统计的样本越多,其精度和可靠度越高,亦即它们是建立在丰富的信息和资料的基础上。脱离了试验、测试与监测,进行的不确定性分析计算,可能只是数学游戏。将三根桩的静载荷试验资料,使用神经网络法“学习”10万次,可以得到什么呢?这种情况理所当然地受到从事实际工程实践的专家和工程师们的反感。不认真地进行艰苦的土工试验、土工测试、工程监测,企图从别的学科贩来时髦的东西,并未能解决岩土工程中的实际问题。这样的“研究”,无实

事求是之心,有企图走捷径之嫌,是学术浮躁的表现。

6 结 论

(1)基于土的材料性质复杂性和土力学学科的特殊性,试验与测试是土力学学习、研究和工程实践的基本环节;

(2)土力学理论依靠试验揭示土的性质与机理,通过试验或现场测试确定参数,通过试验验证理论与模型;

(3)在工程实践的正反案例、测试资料和模型与原型试验中取得经验,指导今后的实践;

(4)不确定性理论与方法的基础是信息的积累,一方面需要进行大量的试验、测试和工程监测,另一方面迫切需要的是岩土工程信息资料的共享。

参 考 文 献

- [1] 司马迁.史记.兰州:甘肃民族出版社,1997.5~6
- [2] 卢肇钧.太沙基传.见:世界著名科学家传记·力学家卷.北京:科学出版社,1995.180~187
- [3] 张在明.土力学学习和研究的好教材.岩土工程界,2005,8(2):17~21
- [4] 李广信.岩土工程——学科的特点与进展.见:水利水电工程科学前沿.北京:清华大学出版社,2002.240~264
- [5] 中国科学技术专家传略—工程技术编—土木建筑卷1—黄文熙(李文信撰写).北京:中国科学技术出版社,1994.268~278
- [6] Terzaghi K, Peck R B, Mesri G. Soil mechanics in engineering practice(Third Edition). John Wiley & Sons, Inc. New York. 1996
- [7] Corte J F, et al. Modeling of the behavior of shallow foundation——A cooperative test proceedings of the workshop on limit equilibrium, Plasticity and generalized stress-strain in geotechnical engineering, McGill University, 1980 Programmer, Centrifuge 88, Corte(Ed) Balkema, Rotterdam, 1988
- [8] Stewart S. Exploring the continental shelf for low geological risk nuclear waste repository site using petroleum industry databases: A UK case study. Engineering Geology, 2002, 67(1~2): 139~168