

中国土木工程学会
第七届土力学及基础工程学术会议
论 文 集

中国建筑工程出版社

中国土木工程学会
第七届土力学及基础工程学术会议
论 文 集

中国建筑工程工业出版社

(京)新登字 035 号

1994 年 10 月中国土木工程学会第七届土力学及基础工程学术会议在西安召开。本论文集共选编 6 篇综合报告和 134 篇论文。论文分六个主题：(1) 土的基本性质和测试技术；(2) 区域性土；(3) 浅基础及深基础；(4) 土方构筑物 and 地下岩土工程；(5) 地基处理；(6) 自然灾害和环境岩土工程。这些论文基本反映了上届大会以来我国土力学与基础工程方面的动态与主要成就。

* * *

责任编辑 石振华
特约编辑 颜明志

中国土木工程学会
第七届土力学及基础工程学术会议
论文集

*

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
北京市顺义县板桥印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：43¼ 字数：1053 千字
1994 年 10 月第一版 1994 年 10 月第一次印刷
印数：1—1,800 册 定价：37.00 元
ISBN 7-112-02274-6

TU · 1762 (7299)

目 录

前言

综合报告 (一)	土的基本性质和测试技术	李广信	殷宗泽	闫明礼	(1)
综合报告 (二)	区域性土	顾安全	高岱	楚华栋	(8)
综合报告 (三)	浅基础与深基础	闫澍旺	赵善锐		(19)
综合报告 (四)	土方构筑物和地下岩土工程	陈祖煜	章旭昌	刘前曦	(31)
综合报告 (五)	地基处理	叶书麟	罗宇生		(42)
综合报告 (六)	自然灾害和环境岩土工程	吴世明	王 钊		(54)

一、土的基本性质和测试技术

内外室压力不等的空心圆柱扭剪仪的研制.....	张国平	王洪瑾	周克骥	(65)
初始各向同性砂试样的制备.....	李广信	张年彦		(71)
粘性土拉裂的声发射检测.....	李国维	姜 朴		(75)
关于大型直剪试验测试技术与成果整理的问题.....		汪友平		(80)
HUMPHRES 公式的校正问题	田树玉	史彦文		(84)
预压加固中软基的固结度和强度.....		魏汝龙		(88)
饱和及干缩沉积土先期固结压力的试验研究.....		韩玉明		(92)
深圳软土的次固结变形特性.....	张惠明	张道宽		(97)
镇海电厂吹填粉煤灰的工程性质	梁志荣	曹名葆	叶柏荣	(101)
“二灰”强度的形成机理.....	孙连进	方开泽		(106)
西北口堆石坝垫层渡汛水位骤降离心模型试验	朱维新	易进栋	蔡正银	(110)
冻结法采取深层不扰动饱和砂试样技术研究	高福田	王振宇	王跃三	(114)
粘性土中孔隙压力-圆锥触探试验结果的解释及分析	吴京平	王淑云		(118)
利用旁压试验确定砂类土的变形模量		薛兰明		(123)
非饱和土吸力传感器的研制及应用	李未显	刁玉椿	陈仲颐	(128)
松散地基上特大公路桥梁工程勘察与评价		陈振荣		(133)
土体弹塑性柔度矩阵与真三轴试验研究	殷宗泽	朱俊高	卢海华	(139)
黄土的损伤力学模型探索		沈珠江		(145)
饱和软粘土动力特性的弹塑性分析	王建华	要明伦		(150)
各向异性非线性非均质土综合屈服准则		阮怀宁		(155)
粘性土多种应力路径试验及一种新的非线性 K-G 模型验证				
.....	高蓬士	黄志国	赵红庆	陈学军 (160)
双剪统一多重屈服面理论	俞茂宏	杨松岩		(165)
软土卸荷变形参数及工程应用	侯学渊	刘国彬		(169)

粘弹性模型到粘弹塑性模型的若干探讨	邵生俊	(173)
弹塑性固结变形分析及其在软土工程中的应用	邴能惠 陈生水	蔡 飞 (177)
不排水条件下较高饱和度粘土的有效应力分析	吴佳晔	濮家骢 (181)
非饱和土的应力状态与应力状态变量		陈正汉 (186)
软土地基大变形固结有限元分析	谢永利 潘秋元	曾国熙 (192)
曲线极限法推算土工参数的相关距离	冷伍明	赵善锐 (196)
岩土材料厚壁圆筒的渐进破坏分析	骆志勇	李朝弟 (200)
宽级配土应力路径试验研究	卢廷浩 钱玉林	殷宗泽 (204)
大石河尾矿砂的稳态变形特性	王余庆	辛鸿博 (208)

二、区域性土

强夯法在湿陷性黄土地区的应用	徐志飞	顾安全 (213)
饱和黄土地基固结变形的弹塑性分析	刘祖典	李 靖 (218)
黄土中低承台群桩承载力的分析与计算	孙永丽	高永贵 (222)
黄土崖锚杆加固土拉拔变形机理研究	郭增玉 陈存礼	王景欣 (227)
湿陷性黄土增湿剪切破坏问题	余雄飞	谢定义 (232)
新近堆积黄土增湿时的压缩变形和湿陷变形特性		张 炜 (236)
黄土地区扩底墩基础轴向承载力评价	高广运 王文东	杨忠政 (240)
粉煤灰混凝土桩复合地基的优化设计	胡发秋	巫志辉 (246)
鄂北岗地膨胀土渠道的破坏与防治	王 钊 刘祖德	陶建生 (250)
裂土挡墙的土压力分布		张颖钧 (254)
膨胀土的某些力学行为及影响因素	谭罗荣 张梅英	邵梧敏 (258)
膨胀土吸力特性的研究	刘国楠	吴肖茗 (263)
钙质土的基本特性	吴京平	楼志刚 (267)
昆明泥炭质土的力学特性	张建经	梁鍾琪 (272)
红粘土孔隙分布的分形特征研究	孔令伟 罗鸿禧	谭罗荣 (276)
郑州东区粉土地基承载力的研究与确定	魏道琛 李振明	陈忠汉 (280)
硫酸盐渍土的工程性质	吕文学	顾晓鲁 (284)
红粘土抗剪强度的特性及其规律性	柯尊敬	邝泽民 (287)

三、浅基础与深基础

极限分析方法求极限承载力的问题及改进	闫澍旺 陈 环	(291)
分期施工加载下地基承载力	徐炳锋	(295)
软土地基的极限承载力	高大钊	(300)
斜坡上的地基承载力计算	王晓谋 徐守国	(305)
条形基础结构和承载力的研究	俞茂宏 鲁 宁 杨松岩	高大峰 (309)
一种新型基础——枕式基础		袁内镇 (313)
房屋砂石基础	王海峰	(318)
地基土补偿在大型浮顶油罐基础设计中的应用	崔继明	(322)

复合地基承载特性的计算机模拟分析	谢定义	张爱军	(326)
西南某厂地基载荷试验及成果分析	孙年祥		(332)
复杂系统——多层次地基土强夯	徐祖森		(336)
预制桩基础化学灌浆补强加固地基的工程特点	程鉴基		(340)
基础振动的非线性探讨	申世强		(344)
构架式机器基础的动力分析方法	王天龙	吴晓峰	(348)
浅基础地基承载力计算新方法	王长科	王正宏	(355)
软土地区打入桩临界位移的探讨	陈竹昌	徐和	李长军
桩在垂直荷载下的性状	王幼青		(363)
软土地基超长灌注桩承载力试验研究			
..... 张雁	李华	李根祥	叶平
静力触探估算钻孔灌注桩单桩极限承载力	陈强华	鲁智明	张鹏飞
层状土中扩底桩的沉降特性研究与工程实践 ...	宰金璋	陈文	肖永正
桩土相互作用的有限元分析	赵维炳	施健勇	高正夏
考虑桩承载力随机性的基础梁分析	王貽荪	赵明华	王季柏
单桩竖向承载力概率分析	蔡金标	潘秋元	(392)
挖孔桩受力变形性能和承载力确定		郭满良	(396)
水平荷载作用下群桩模型试验研究	王梅	楼志刚	吴京平
上海超长桩箱(或筏)基础的工作机理及设计建议			
..... 董建国	赵锡宏	殷永安	杨敏
动刚度计算及低应变测桩适用性的讨论		吕承琪	(411)
波动方程的边值及沉桩能力预估的新方法	江礼茂	韦昌富	(415)
高应变动测技术在超长 PHC 桩上的应用	李宝华	张季超	(419)
单桩-土体系竖向非线性振动分析	杨学林	李翼祺	(423)
纪念大直径灌注桩问世 100 周年(1893~1993)	史佩栋	梁晋渝	(427)
黄石长江公路大桥钻孔桩施工技术	李辉	周体生	(432)
对室内桩基模型制作方法的若干探讨		王成华	(437)
桩侧土横向抗力系数 m 值的统计分析		贾庆山	(442)

四、土方构筑物和地下岩土工程

高尾矿坝排洪管道垂直土压力的试验研究			
..... 顾安全	折学森	徐志飞	洪炳章
淮南段淮河北坝水力冲填坝最大冲填高度的研究	桂和荣	陈兆炎	杨学明
高土石坝深覆盖层塑性混凝土防渗墙应力分析	濮家骝	于玉贞	(456)
一种改进的边坡稳定分析的条分法	王元汉	周晓青	(460)
汽车专用公路现场试验分析	施健勇	周春儿	高正夏
机场道面的动力荷载及动力相互作用有限元分析			
..... 许金余	吴彰春	冷培义	支国华
高等级公路湿粘土路基压实性状	冯冠庆	杨世基	(473)

应用聚苯乙烯泡沫塑料 (EPS) 整治路基冻害的试验研究	史存林	叶阳升	俞锡健	杨灿文 (478)
边坡稳定分析的塑性力学上限解				陈祖煜 (484)
顶管工程中特殊技术问题及处理方法				房延懋 (489)
软地层中斜拉土层群锚的非线性分析	戴运祥	侯学渊	李象范 (494)	
加筋土挡墙有限单元分析	石名磊	姚代禄	陈晓龙 (498)	
基坑支护稳定性的非确值分析	何广纳		张彦鹏 (503)	
厦门美仁大厦深基坑围护的点滴经验	黄建南	黄集生	林龙辉 (508)	
双排钢板桩围堰安全监测分析	叶国良	李士菁	肖大平 (512)	
地下连续墙刚性止水接头的施工技术			章履远 (518)	
尾矿土的现场特性分析	金晓媚		王余庆 (521)	

五、地基处理

水泥-磷石膏固化剂的试验研究	胡同安	杨晓刚	刘毅 (525)
软土地基水泥系固化剂适用条件浅析	黄新	周国钧	(529)
工作荷载下水泥搅拌单桩沉降计算方法探讨	王建华	侯学渊	赵维炳 (533)
粉喷桩地基沉降实录及分析	谢树彬	张富	(537)
水泥土桩复合地基的固结特性分析	张捷	韩杰	叶书麟 (542)
南方某深水港码头软基加固稳定性研究	张师德	施鸣昇	叶柏荣 (546)
软土深基开挖组合式桩排支护结构的性状分析	潘秋元	朱向荣	应宏伟 (550)
粉喷桩支护结构计算新方法的应用			白日升 (554)
干振碎石桩设计计算的研究	吴廷杰	杨志红	(559)
碎石桩加固的填土地基性状	孙元生	卢兴诚	甄力军 (563)
沉管挤密碎石桩加固粘质粉土地基的试验研究	蔡袁强	吴世明	(567)
CFG 桩在高层建筑地基处理中的应用			乔来军 (572)
用瑞利波法检验强夯石碴桩的长度			周荣官 (576)
土工织物加固软土路堤的稳定分析			乔正寿 (580)
石灰桩作用机理的新认识			袁内镇 (584)
石灰桩复合地基的承载特性及承载力计算			
.....	袁内镇	汪日新	陈泽涛
关于灰土桩基础的试验和应用研究			陈德春 (590)
树根桩托换基础试验研究	叶书麟	韩杰	王敏 (595)
柔性桩的荷载传递特性	杨卫东	张捷	(600)
复合桩基设计的新方法	龚晓南	段继伟	(605)
用双向复合地基加固宁波软土地基	宰金珉		(611)
用双向复合地基加固宁波软土地基	方永凯	周芝英	周荣官 (616)
地下抽水渗透破坏土层的地基处理	王国体	张启富	尚奎灿 (620)

六、自然灾害的环境岩土工程

饱和砂土的应力比-应变增量比关系	谢定义	姚仰平	陈存礼 (624)
------------------------	-----	-----	-----------

抽灌作用下砂层土变形机理的室内试验研究	卢梅艳 赵锡宏 吴林高	(629)
上海粘土在反复荷载作用下的主次固结特性研究	顾小芸 徐达能	(634)
海底土体稳定性实例分析	顾小芸	(641)
排水条件对海洋粉质土动载后静强度的影响	黄 锋 楼志刚	(646)
动三轴软土震陷分析及抗震性能的评价	李 兰	(652)
随固结而变化的海底粘土剪切模量	顾尧章	(657)
关于地脉动信号及其工程应用	杨学林 吴世明	(661)
环境振动中古建筑的防振保护	杨先健 潘复兰	(665)
预应力锚索加固滑坡体(工程实例)	李聚金	(670)
开采沉陷厚松散层应力变形分析	隋旺华	(675)
作者索引		(679)
第七届全国土力学及基础工程学术会议资助单位		(682)

综 合 报 告

(一)

土的基本性质和测试技术

李广信 (清 华 大 学)

殷宗泽 (河 海 大 学)

闫明礼 (中国建筑科学研究院)

近三十年来,工程和技术的发展,特别是计算机技术的发展,使得对土工问题进行非线性数值分析成为必要和可能。于是各种关于土的本构模型研究在七十年代形成了高潮。为了探求土的应力变形的规律和验证这些本构模型,就需要更精密的室内试验设备和精确的量测手段,以便进行复杂应力路径的试验。另外,模型参数的确定推动了常规室内试验技术的发展。使用本构模型对原位测试结果进行数值分析也加深了人们对原位测试机理的理解,提高了对其成果的判释能力。这一切深化了人们对土的基本性质的认识,以便更有效地解决工程问题,所以土的基本性质研究成为历届国内外土力学及基础工程学术会议的首要专题。

但土的多样性和性质的复杂性,常会使土的本构模型很复杂并且其适用范围也有限,这就限制了它们在工程中的应用。近年来对于标准土进行一般的应力变形特性试验,从而建立普遍的数学模型的研究减少了。而较多的是从特定的室内外试验出发,针对具体工程问题通过实用的分析计算方法解决实际问题。和这种趋势一致,在我国,随着土工研究工作和经济建设密切结合,针对具体工程问题开展的土的性质的研究工作占较大比重。如高土石坝筑坝材料特性研究、沿海软粘土的固结和应力应变强度特性研究、粉煤灰力学特性研究、土的流变性研究、各种区域土如膨胀土和黄土的非饱和土特性研究及反复加载下砂土特性研究等都取得较大的进展,这在理论和工程实践方面都有很大意义。

这次会议共入到有关这一专题的文章 32 篇,其中:土的室内试验和模型试验: 13 篇;原状土取样技术和原位测试: 5 篇;土的本构模型和其他理论研究: 14 篇。

一、室内试验和模型试验

土的室内试验是探索土的物理力学性质,从而建立反映土的特性的数学模型、确定模型参数和验证本构模型的重要手段,也为工程设计和施工所直接需要。而试验仪器和试验技术又是决定性的因素。从单向压缩试验和三轴试验,人们已经发现土的应力应变关系是非线性的,其变形有相当大的部分是不可恢复的塑性变形。后来人们又进一步发现了土的剪胀性,各向异性等。为了探求土在更复杂应力路径下的变形特性,平面应变仪和真三轴

仪得到了发展。它们常被用来研究中主应力、应力路径和应力历史对土的强度和应力应变关系的影响。其中只有盒式的真三轴仪才可真正独立地改变三个方向主应力的的大小和改变大、中、小主应力的地位。而具有刚性边界的真三轴仪，如剑桥式真三轴仪，可产生较均匀的大应变，且应变速率变化范围也大；变形量测和控制均很精确。但仪器造价昂贵，试样的制备、放置和仪器的操作也较难。在几次国际研讨会上，它的试验结果都被用于验证土的本构模型。

由于在真三轴仪的试验中其主应力的方向不能旋转，为了研究有关主应力旋转下土的变形特性，各种方向剪切仪和空心扭剪仪发展和完善起来。后者能独立地变化内、外压力、施加轴向压力和扭矩，因而也是一种广义的真三轴仪。同时还可以在主应力值大小不变的条件下实现主应力方向在轴向与切向间的连续旋转，是一种较全面的仪器。但其试样上的应力实际上是不均匀的，所以必须使试样壁很薄和有合适的高度。对于砂土，这时内、外壁的膜嵌入对体变量测的影响就很大，所以整个试样就要求很大。目前公认的较合适的试样尺寸为外直径 25cm，内直径 20cm，高 25cm 或更高。

国内一些单位在仪器研制和引进方面做了许多有益的工作。中国科学院武汉岩土所和清华大学等单位都研制了真三轴仪；中国建筑科学研究院研制了智能三轴仪，在常规三轴仪的基础上研制成自动应力路径三轴仪。但我国目前在研制和引进先进的仪器设备方面与国际先进水平相比还有不小的差距：现在国内还没有配备有先进的量测和控制装置的刚性边界盒式真三轴仪和方向剪切仪；也没有具有较合适尺寸和功能的空心扭剪仪。

张国平、王洪瑾、周克骥在“内外室压力不等的空心圆柱扭剪仪的研制”一文中介绍了他们研制的仪器。他们将进口的拟静扭剪仪改造成独立变化内外压力和施加轴力和扭矩的空心圆柱扭剪仪。不仅可以做土在复杂应力路径下的静、动力特性的试验，还可以做三个应力不变量的数值不变，只是主应力方向在轴向与切向间旋转的试验。但正如前所述，这个仪器所用的试样尺寸偏小，壁厚相对较厚，在主应力方向旋转角度过大时，试样中的应力不均匀将加剧。

高质量的室内试验成果，除了需要先进的仪器外，还依赖于试样的制备技术、试样尺寸及试验中荷载与变形量的量测。目前室内制备的试样基本上是初始各向异性的。在日本，为了研究制样对土的各向异性的影响，他们将烘干砂通过十数层筛网使其如下雨一样大面积均匀撒下，在中央用一容器接砂。容器装满后，自下而上通 CO_2 气体，然后用脱气水饱和。再在一定复荷下在 -25°C 条件下冻结 12 小时。最后与沉积方向成一定角度削制试样，研究土的各向异性。为了分别研究土的初始各向异性和应力引起的各向异性，最好是在地球的重力场中制备一种初始各向同性的试样。李广信、张年彦在“初始各向同性砂试样的制备”一文中，介绍了一种制样方法：向试样施加一个自下而上的渗透力，使这个体积力的大小正好与砂的浮容重相等，使砂粒在重力场中处于悬浮状态，再立即施加一定的围压，在这个等向压力下可获得初始各向同性的砂试样。用这种方法制备的试样在三向等压固结试验中表明，轴向应变 ϵ_1 和体应变 ϵ_v 之比非常接近于 $\frac{1}{3}$ 。这表明试样基本上是初始各向同性的。与相同干密度的通常试样相比，其应力应变关系表现了不同的特点。

声发射技术在土工领域中应用是另一项新兴的测试和监测技术。七十年代在美国和日本曾做了一系列的试验研究，八十年代我国的一些学者曾在监测土样的管涌中应用。李国

维、姜朴在“粘性土拉裂的声发射检测”一文中分析了路堤和土石坝在荷载下可能发生拉裂破坏和剪切破坏。两种破坏形式有不同的声发射反应。通过单轴压缩、三轴拉伸和劈裂试验发现：粘性土发生拉裂破坏时，声发射信号是一次突发性的，累计曲线为一水平线，比率曲线只有一个方波；剪切破坏声发射信号是连续多发性的，累计曲线是一条向上累加的斜线，比率曲线上有多个方波。根据信号的这些特性，可以判定土体的破坏形式。

在水电部门的堆石坝设计中常需要确定大粒径土料的强度，需要使用大型三轴仪和大型直剪仪。后者的设备和使用都较简单。在直剪试验中除了有剪切面人为固定，存在渐进破坏问题和排水条件不易控制等缺点外，试样上下部分接触面积随着剪切变形而逐渐减小，剪切面上的正应力逐渐增加。对此汪友平在“关于大型直剪试验测试技术与成果整理的问题”一文中，建议用分段调整法控制施加垂直荷载，取剪切位移分段值为 ΔS ， ΔS 选择的合理可以调整垂直荷载使正应力的误差在1.4~1.6%之内。大型三轴仪和大型直剪仪的试验表明，碎石类土的强度包线不是直线，可以用指数方程描述。在实用上也可根据工程中的正应力范围用分段直线近似。

在“Humphres 公式的校正问题”一文中，田树玉、史彦文分析了用常规击实仪测定含有超粒径的粗粒土最大干密度时，当超尺寸粒径含量大于30%时，误差很大。他们建议引入参数 $\eta = d_{\max}/d_{\min}$ （ $d_{\max}$ 与 $d_{\min}$ 分别为最大最小粒径）和超尺寸粒径在总料中的含量 p ，对原有的计算公式进行修正，用修正后公式计算的值与实测值比较一致。

魏汝龙在“预压加固中软基的固结和强度”一文中，提出了软基预压加固中强度指标合理选择及从实测沉降推算固结度的方法。他认为这种情况下的强度指标应选用固结快剪指标 ϕ_{cq} 而不应选用等向固结三轴不排水试验的指标 ϕ_{cu} 。因为前者试验中施加的垂直应力即是固结应力，后者破坏面上法向应力是总应力。作者也假定软土的应变 ϵ 和应力 σ 间呈双曲线关系，并用两个试验常数 E_0 和 n 描述这一关系。从而从压缩土层的平均压缩度 $\bar{u}_t$ 随时间变化过程线，计算任一时刻的固结度 $\bar{u}_t$ 。

韩玉明在“饱和及干缩沉积土先期固结压力的试验研究”一文中，利用北京地区不同塑性指数的粘性土重塑后制成不同初始孔隙比的饱和试样，进行固结试验，得到一系列原始固结曲线。它们在 $e-\lg p$ 坐标系中为一系列直线。它们在横轴 $p=10\text{kPa}$ 时相应的纵轴座标为 e_{10} ；斜率为压缩指数 C_c 。试验结果表明 e_{10} 与 C_c 均与土的液限含水量 w_L 有关。由此出发，作者建议了一个用土的物性指标预估土的先期固结压力的方法：首先测定土的液限 w_L ，按文中的方法求 e_{10} 与 C_c ，再求出土的实际孔隙比 e ，便可利用该文建议的预估先期固结压力的公式，求其先期固结压力 p_c 。

张惠明和张道宽在“深圳软土的次固结变形特性”一文中，介绍了深圳软土室内固结试验和现场测试结果。指出了深圳机场软土的次固结系数随时间增加而有较大的减少，次固结系数与压缩指数之比基本上为一常数，与固结压力无关。超载预压可减少软土的次固结系数，其减少的程度与超固结比、超载作用时间、应力水平等有关。

在“镇海电厂吹填粉煤灰的工程性质”一文中，梁志荣、曹名葆、叶柏荣对这种粉煤灰进行了静力和循环加载试验，发现它的内摩擦角一般比较大，粘聚力很小。与同密度的无粘性土相比，由于粉煤灰重度小，所以抗液化能力比较差。

孙连进和方开泽的文章“二灰”强度的形成机理”是一篇介绍将充分消解的石灰与一定比例的粉煤灰混合形成一种新的材料——“二灰”的文章。这种新材料的抗压强度与制

样的密度、石灰含量、温度、湿度、龄期等有关。对“二灰”混合料的微观分析将有助于对其强度形成的机理有进一步的认识。

土工离心机试验是一种强有力的模型试验手段。近年来,在我国高校,水电和交通部门先后建成和投入运行了不同容量的土工离心机。水利水电科学研究所和南京水利科学研究所分别建成了 450^g 和 400^g 的土工离心机,并配备了较先进的数据采集和控制系统。使我国离心机设备已跃居世界前列。进一步的工作是要取得更多的试验成果和经验。朱维新、易进标、蔡正银在“西北口堆石坝垫层渡汛水位骤降离心模型试验”一文中,介绍了他们利用三种渗透性不同的垫层材料进行水位骤降的离心模型试验,检查了在这些情况下该面板堆石坝垫层的坡面渗透冲刷情况。

二、原状土的取样技术和原位测试

为了确定实际工程设计和施工中所需要的土的性质的参数,进行现场的原位测试和采取不扰动原状土样进行室内试验是两种可靠的手段。从国际学术会议论文中反映的情况看,目前各种原位测试的技术和仪器比室内试验技术和仪器的发展更快。发展了一些新的测试手段和测试领域。

采取完全不扰动的原状土样是一个令人向往而又十分困难的工作。对于饱和砂土这尤为重要,也更加困难,因为用原状饱和砂土进行室内试验以确定其抗液化性能至关重要。用冻结法取不扰动饱和砂土样在一些国家已得到较多的研究和应用。在我国这一技术曾在不同工程领域得到应用,但尚缺少较深入的研究和比较工作。高福田、王振宇、王跃三在“冻结法采取深层不扰动饱和砂试样技术研究”一文中,介绍了这一研究工作。通过现场和室内密度测定和动静强度试验以及野外、室内剪切波速的比较,也在冻结过程中进行了土粒的位移测量,对取样的质量进行了比较。认为在细粒含量不大于 6%,侧限压力在 10kPa 以上时,在径向冻结过程中,饱和砂内的水分呈液态排出,而不会发生砂土的体积膨胀,保持了原状砂土的密度、结构和先期应力历史。他们也讨论了具体的取样技术问题。这是一项很有意义的研究工作。

土层的原位测试是取得原位土层信息的有效手段,深受工程界欢迎。为了在一项试验中尽可能多地得到土层的信息,各种原位测试工具在向多功能化发展。静力触探仪的锥形探头上可量测孔隙水压力、温度和波速;而旁压仪从预钻式发展成自钻式,其头部也安装了孔压传感器,剪切波速测定装置。也将静力触探的锥头安装在旁压仪室之前使二者结合起来,将它压入预定深度而不用其他动力。与侧胀仪相似,Pencil 旁压仪的尺寸很小,直径只有 22.5mm,它可水平向地插入在大孔径的钻孔内,垂直向压缩土层。对于原位测试结果的判释也有较大的发展。这一些在本届会议的论文中也得到了反映。

吴京平和王淑云在“粘性土中孔隙压力——圆锥触探试验结果的解释及分析”的文章中介绍了他们在加拿大某现场进行的一系列可测孔压的圆锥触探试验和侧胀仪试验。他们将测试结果用于土层分类和确定粘性土和砂土的一些物理和力学参数。对于目前的各种经验公式进行了较全面的比较和检验。指出在圆锥探头中孔压量测点的位置有很大影响。这些工作是很具有实际意义的。

旁压仪试验是一种很有用的原位测试手段。但在大多数工程问题中,以重力荷载为主

的荷载总是垂直施加在土层上。而在重力场中沉积与固结而成的天然土层是各向异性的,垂直方向与水平方向表现了不同的力学性质。所以将在水平方向施加荷载的旁压仪试验的成果用于工程的设计计算需要进行修正。薛兰明在他的文章“利用旁压试验确定砂类土的变形模量”中,介绍了19个载荷试验与旁压试验的结果,对从二者得到的土的模量 G_m 和 E 间的关系进行了比较,给出了一个经验系数的范围。这是一项很有意义的工作。砂土中旁压试验得到的变形模量明显小于载荷试验的模量,除了由于二者大主应力方向不同外,在旁压试验中切向的小主应力 σ_3 很小也会减少砂土的变形模量,而不一定是拉应力模量小于压应力模量的原因。

随着高土石坝施工和初次蓄水时应力变形分析及膨胀土和湿陷性黄土含水量与变形关系的研究,近年来在我国非饱和土的研究取得了较大进展。这样,不饱和土的一个重要的力学参数——吸力的量测成为关键的技术问题之一。李未显、刁玉椿、陈仲颐在“非饱和土吸力传感器的研制和应用”一文中,介绍了他们所研制的一种新的吸力传感器。它在探头强度,量测范围和工作特性等方面均优于国外同类产品,并且价格比进口产品便宜。

在“松散地基上特大公路桥梁工程勘察与评价”一文中,陈振荣重点介绍了在我国南方近年来修建的一些特大公路桥地基的地质勘察和设计情况。指出应因地制宜地选择持力层和基础型式。总结了不同设计阶段下特大公路桥地基勘察工作的布置与进行方式。建议了不同情况下的单桩承载力与沉降计算的方法。在目前对这类工程尚无统一的专门勘察规范可循的情况下,这种总结已建工程实例,吸取经验的工作,对今后的工程勘察设计工作是很很有意义的。

三、土的本构关系

土的本构模型理论的发展从剑桥模型问世到现在已有30多年的历史。成为土力学中一个重要的分支,但还存在许多有待开发的课题。本届大会收入的论文有14篇与土的理论问题有关,有半数以上直接论述土的本构关系。这些论文从不同角度阐述了土的应力应变强度的关系,为揭示土的基本力学性质做出了贡献。

土的本构关系研究大体上包含以下几个方面:1. 通过各种不同类型的仪器的试验发现、总结出土的应力变形的基本规律;2. 提出某种能描述这些规律的理论,即建立土的本构模型,提出相应的参数确定方法;3. 通过室内不同应力路径的试验及模型试验、原位测试和实际工程中的边值问题验证所提出的本构模型;4. 将模型用于实际工程问题的设计计算中,并在这种被应用中决定取舍,或得到修正和推广。

试验中所发现的土的应力应变规律,要在定量计算中得到反映,以便用于更一般的应力条件,就要提出数学模型。目前,在不同的理论基础上,已提出了不少类型的模型:各类弹性模型、弹塑性模型、内时理论模型等。其中增量的非线性弹性模型以其概念清楚,能基本反映土变形的特点及其实用简便为工程界所欢迎。土的弹塑性模型仍然是百花齐放。由于经典的塑性理论用于土时有明显的局限性,人们在土的弹塑性模型中提出多姿多彩的形式。多重屈服面、不相适应的流动规律、等向硬化与运动硬化的组合、边界面的概念、主应力空间的旋转、二维滑动面合成等各种手段常被用来描述土的循环加载、应力路径和各向异性对土的应力应变关系的影响。一些人也引进了损伤力学、细观力学、突变理

论、流变理论、分形几何以及统计理论、模糊数学等非确定性理论、力图在这一方面有所突破。

八十年代以来,在国际上召开了多次研讨会对土的本构模型进行验证和总结。继1980年的北美研讨会之后,1982年在欧洲(法国)的Grenoble召开了“土的本构关系国际研讨会”。由德国的Karlsruhe大学和法国的Grenoble工学院分别利用刚性边界的盒式真三轴仪对同样土进行相同试验。这既对两套具有相同条件的试验成果进行了检验比较,也用来验证各种本构模型。1987年在美国Cleveland的Case Western Reserve大学召开了“非粘性土的本构方程国际研讨会”,资料来自Case大学用空心扭剪仪和Grenoble工学院用盒式真三轴仪进行的试验,部分是用两种不同类型的试验仪器进行的相同应力路径的试验。共有32个模型参加了预测,并用统计方法评分。这种不同试验仪器间的比较和试验成果与理论预测间的比较验证是非常有意义的。各种验证结果表明,尽管有些模型的形式相当复杂,有时参数多达20~40个,但对土的某些变形特性如体变的预测能力还不够高。

模型的成功与否,归根结底是看它在工程中的应用。邓肯的双曲线模型由于使用了为工程师听熟悉的增量广义虎克定律的形式,参数物理意义清楚且易于确定,适用土的范围也较广,它在工程应用中又被不断改进、完善、总结和普及,所以目前在工程中应用最广。但也可以说它的总的基调已经确定了,很难有更大的突破。由于土石坝施工和运行中土的应力路径的特殊性,一些有多重加卸载判断准则的 $K-G$ 模型常以不同形式用于土石坝的应力变形分析中。各种弹塑性模型在工程应用上还不普遍。很多模型曲高和寡,仅仅提出者自己在用。只有少数的模型如修正的剑桥模型和莱特-邓肯模型(Lade-Duncan)获得了一定的拥护者。但应看到:在描述一些特殊土类,土在特殊的条件下和土的某些特殊的变形特性时,一些弹塑性模型有很大潜力。

殷宗泽、朱俊高、卢海华在“土体弹塑性柔度矩阵与真三轴试验研究”一文中,指出了在弹塑性模型的实际应用中存在的一个重要的问题是所形成的刚度矩阵 $[D]$ 或柔度矩阵 $[C]$ 不能保证主对角线元素占优。在有限元计算时,如果网格中某一结点周围几个单元都存在这种现象,那么总刚度矩阵就不是正定的,可能会导致错误。柔度矩阵 $[C]$ 中各元素都有其物理意义,可以在真三轴仪或空心扭剪试验中直接量测,其主对角线的元素一般是占优的。而模型计算中出现不占优的情况是塑性应变增量方向仅仅取决于应力状态的假设造成的。从经典塑性理论出发的弹塑性模型所存在的这一缺陷是值得进一步研究的。

沈珠江在“黄土的损伤力学模型探索”一文中,从损伤力学的角度出发,提出了一种可以考虑黄土湿陷变形的弹塑性模型。模型假定原状黄土的变形是弹性变形;受扰动后就产生了损伤,出现了塑性变形。把实际土体看作是原状土与扰动土的合成材料,损伤使原状土向扰动土转化,因此损伤程度就决定了塑性变形的大小。他认为黄土浸水湿化也是一种引起损伤的因素,可通过损伤比来计算引起的塑性变形。这为计算黄土湿陷变形开辟了新的途径。对于其他某些材料也可能有所借鉴。

王建华和要明伦在“饱和软粘土动力特性的弹塑性分析”一文中,在反映粘性土不排水动力特性的Prevost总应力模型的基础上利用非等向硬化模量场的概念,建立了一种新的边界面增量弹塑性模型。它比Prevost模型在运用中更方便,且能描述循环蠕变,计算永久变形。文中还规定了模型参数的确定方法,初步应用的结果表明了与实测结果有较好的一致性。边界面类型的弹塑性模型在我国研究尚少,该文中介绍的工作为开拓这一课题的

研究作出了贡献。

在“各向异性非线性非均质土综合屈服准则”一文中,阮怀宁在 Drucker-Prager 屈服准则的基础上引入各向异性的参数,从而推广到可用于反映土的各向异性。由于原状土呈明显的各向异性,在该模型中这一特性能被反映是重要的,值得深入研究。

高莲士、黄志国、赵红庆、陈学军的论文“粘性土多种应力路径试验及一种新的非线性 $K-G$ 模型验证”反映了他们的研究成果。根据在普通三轴仪上进行的土的复杂应力路径的加载卸载试验结果,他们认为土体是否处于加载状态可以根据平均法向应力 p 、偏应力 q 和它们的比 q/p 分别进行判别。加载时的应变增量率主要决定于应力状态而与应力路径关系不大,在此基础上提出了一种非线性 $K-G$ 模型。

俞茂宏、杨松岩的“双剪统一多重屈服面理论”文章中,在所提出的双剪强度理论的基础上,引入多重屈服面的假设,提出了相应的模型形式。这就结合两方面优点。但如何根据土的应力应变试验确定参数,如何运用于实际计算尚有待于深入。

侯学渊、刘国彬在“软土卸荷变形参数及工程应用”一文中,根据对上海软土的几种卸荷应力路径试验结果,提出了初始卸荷模量,以及在卸荷状态下切线弹性模量计算公式。将这种考虑非线性特性的卸荷模量用于分层总和法,计算基坑开挖引起的隆起量,有较好的实用性。在几种工程实例中计算的与实测的结果较为接近。

在“粘弹性模型到粘弹塑性模型的若干探讨”一文中,邵生俊针对目前在动力应变分析中广泛应用的等效粘弹性模型不能反映塑性变形和剪胀性的缺点,提出了一种所谓瞬态粘弹性模型,考虑剪应力与剪应变关系在振动中的发展,采用随动坐标系,从而建立起剪切模量及阻尼比计算公式。

郦能惠、陈生水、蔡飞在“弹塑性固结变形分析及其在软土工程中的应用”一文中,建议了一种单屈服面的弹塑性模型。并令孔隙水压力也出现在屈服函数中以反映孔压对塑性变形的影响。所含参数可由三轴不排水试验和压缩试验确定。将它运用于某泵房沉井基础的地基充水预压加固的应力变形分析中,所得到的孔压和沉降计算结果与实测结果较接近。

吴佳晔、濮家骝在“不排水条件下较高饱和度粘土的有效应力分析”一文中,对孔隙中气体基本上处于封闭状态的饱和度较高的粘性土,利用气体物理状态的波义耳定律和气体溶解的亨利定律,推导了孔隙中水-气混合体的体积压缩系数的计算公式。将它引入 Biot 固结理论中,并提出起始点应力和起始孔压的确定方法,从而合理地解决了用有限元法解非饱和土固结的问题。

陈正汉在“非饱和土的应力状态与应力状态变量”一文中,从理论上对比分析了有效应力与 Fredlund 所提出的应力状态变量之间的差别和联系。认为对非饱和土,使用应力状态变量更合理。这一分析有利于深入理解非饱和土的强度和变形特性。

谢永利、潘秋元、曾国熙的文章“软土地基大变形固结有限元分析”是一篇有关在固结变形量较大时,如何在反映应变与位移关系的矩阵中考虑这一因素,推导 Biot 固结理论的公式用于有限元法。这一方法适用于具有高孔隙比的软土。

最后还应当说明,在收入本届会议的“土的基本性质和测试技术”专题的论文中,还有 4 篇未在综述中介绍。它们是:冷伍明、赵善锐的“曲线极限法推算土工参数的相关距离”,骆志勇、李朝弟的“岩土材料厚壁圆筒的渐进破坏分析”,卢廷浩、钱玉林、殷宗泽的“宽级配土应力路径试验研究”和王余庆、辛鸿博的“大石河尾矿砂的稳态变形特征”。

综 合 报 告

(二)

区 域 性 土

顾安全 (西 安 公 路 学 院)

高 岱 (贵 州 省 建 筑 设 计 院)

楚华栋 (铁道部科学研究院西北分院)

黄 土 的 工 程 性 质

一、简要回顾

作为区域性土类中主要组成部分的黄土,广泛地分布于我国的西北与华北地区,总面积达 640000km^2 ,长期以来,它一直是我国土力学及基础工程领域里的重要研究对象,并且在这方面已取得大量成果,引起国际岩土工程界的关注,回顾其研究发展过程,大致可分为三个阶段。

第一阶段(建国初期至 1966 年)

50 年代初至 60 年代中期的十余年间,鉴于大规模开展基本建设之需要,我国有关部门的广大科技工作者,在学习苏联经验的基础上,结合工程实践,对黄土的基本性质,展开了大量的室内外试验研究,特别是对兰州、西安、太原、洛阳等地的湿陷性黄土工程性质的研究,取得了丰实成果,主要有以下几个方面:

1. 掌握了黄土的基本性质。包括物理(含状态)、化学、力学及水理性质,都取得了大量数据资料,并在《西北黄土性质》(西北水利科研所编)等书中作了全面总结,为认识我国黄土和服务于工程打下了基础。

2. 获得了黄土湿陷性在总体上的变化规律。由于湿陷性黄土的生成环境、物理成分、地貌位置及埋藏产状等不同,致使各地黄土的湿陷性差别很大;但总的规律是随着地理位置自西向东、由北而南,同一地貌单元从高到低,同一场地自上而下,湿陷性逐渐减弱。

3. 为便于研究与应用,将湿陷性黄土分为自重湿陷型与非自重湿陷型两类。自重湿陷性黄土的判别,以现场试坑浸水试验结果为准,也可以根据室内浸水压缩试验,结合场地地貌、地质条件与工程经验等综合判别。对湿陷起始压力的测定方法,也有新发展,如原陕西省建筑科学研究所提出的饱水法。

4. 明确了湿陷性黄土地基的处理方法及处理范围,应根据场地湿陷类型和地基等级、建筑物类别等方面综合分析确定。同时对一些常用的地基处理方法,如土垫层、重锤表层夯实、土桩挤密、爆扩桩、灌注桩及预浸水等方法,都有程度不同的发展。此外,在黄土的结构特性、强度特性、渗透性及流变性等方面,也取得了一些研究成果。

在上述研究成果中,有些方面已接近或达到国际水平;大部分至今仍具有理论价值和实际意义。1966年4月建筑工程部颁发的《湿陷性黄土地区建筑规范(BJG20—66)》,就是在学习苏联规范的基础上,对我国的研究成果和工程经验的总结。它对当时以及十多年黄土地区的工程建设,发挥了重要作用。

第二阶段(1966~1978年)

由于历史原因,这一阶段的黄土研究工作进展较为缓慢;但我国的一些科技人员在极端困难的情况下,结合工程实践仍然开展了一些研究工作,主要成果有:

1. 在“三线建设”的山沟坡谷地带,进行工程勘察及工程事故处理中,注意到了新近堆积黄土的特殊性。其物理性质指标与 Q_3 黄土相近,但在小压力(50~150kPa)下的湿陷变形敏感,压缩性高,湿陷性变化大,承载力低。经试验研究,其本弄清了其工程特性,并提出了野外鉴别与承载力确定方法。

2. 在地基湿陷性评价方面,通过对一些工程事故的分析研究,对湿陷性的判别标准,浸水压力值,自重湿陷性场地的湿陷评价深度之确定等,更接近实际。同时,根据一些地区的试验结果,提出将自重湿陷场地划分为很敏感、不很敏感及不敏感三类的建议,以资工程区别对待。

3. 在部分消除或全部消除黄土地基湿陷性方面,地基处理方法又有发展。第一阶段采用较多的重锤表层夯实法与换土垫层法,逐渐被灰土桩挤密法所取代。针对黄土地基湿陷事故处理,提出了行之有效的碱液加固法。

4. 基于大量的载荷试验和工程观测,对湿陷性黄土地基的容许承载力进行了较深入的研究,获得了容许承载力 $[R]$ 与含水量(w)及液限孔隙比(w_L/e)的定量关系。

这段时间的研究成果,主要反映在1978年6月国家建委颁布的《湿陷性黄土地区建筑规范(TJ 25—78)》中。

第三阶段,(1978~1990年)

改革开放以来,由于国家基本建设的加速发展,我国在黄土工程性质方面的研究,也进入了一个新的发展时期,取得了显著的成果,主要有:

1. 用电子显微技术分析我国各地黄土微观结构的结果,认为骨架颗粒形态(矿物颗粒接触)、连接形式(胶结程度)与排列方式(孔隙特征)是影响黄土湿陷的主要结构特征。其中又以后者最为重要。按照这三方面特征的组合情况,将黄土的微观结构进一步分类,并探讨了微观结构类型与黄土湿陷性之间的关系。

2. 对黄土的本构关系研究取得了显著成果。原陕西机械学院刘祖典等,先后针对湿陷性黄土、饱和黄土、挤密黄土、击实黄土及高围压下的黄土,提出了应力-应变关系,并在边坡稳定、地基变形与强度分析中得以应用。另外,还有学者提出的凝集切线模量以及弦线模量为基础的非线性本构关系。

3. 对黄土动力特性的研究取得了瞩目进展。原陕西机械学院谢定义、巫志辉等,先后对黄土的动变形强度、震陷特性、地基抗震承载力等方面进行了研究。其主要结论:(1)黄土的动本构关系在低含水量($w < w_s$)时为直线型,其动强度由抗拉强度控制。随着含水量的增大,结构性变弱,本构关系渐变为双曲线型,其动强度由抗剪强度控制;(2)震陷临界动应力与临界含水量关系曲线,可作为产生震陷的标准;(3)经静、动强度试验,提出了黄土地基抗震承载力调整系数。