

南京水利科学研究院土工研究所 编著

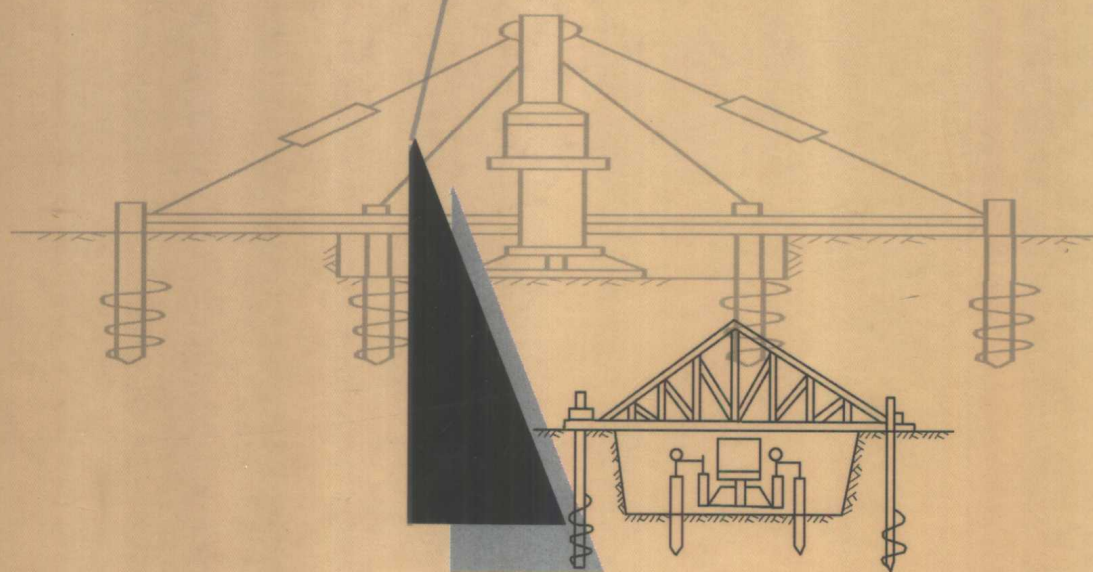


人民交通出版社

China Communications Press

土工试验 技术手册

TUGONG SHIYAN JISHU SHOUC



南京水利科学研究院土工研究所 编著

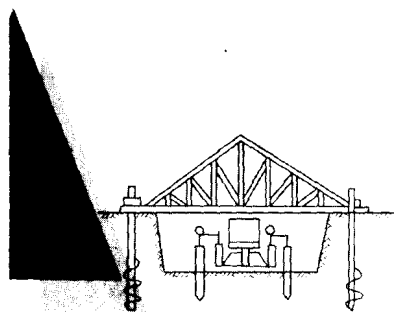


人民交通出版社

China Communications Press

土工试验 技术手册

TUGONG SHIYAN JISHU SHOUCI



内 容 提 要

本手册共分为六篇计 51 章,重点介绍岩土工程与土力学研究中的主要试验研究手段,包括常规土工室内试验、土动力学试验、土工合成材料试验、离心模型试验、原位测试技术与原型观测技术等项内容。手册中对试验的原理、方法和试验中应注意的关键技术问题作了较为详尽的介绍。书中特别增加了土工离心模型试验技术与土工合成材料测试技术的相关篇章,是为了推动新技术的应用与发展。

本手册适合土木、交通、水利、建筑、电力、能源行业相关专业的工程、设计人员和大专院校师生阅读、使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

土工试验技术手册/南京水利科学研究院土工研究所
编著. —北京: 人民交通出版社, 2003
ISBN 7-114-04595-6

I. 土… II. 南… III. 土工试验—技术手册
IV. TU41-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 010228 号

土工试验技术手册

南京水利科学研究院土工研究所 编著
正文设计: 孙立宁 责任校对: 刘高彤 责任印制: 杨柏力
人民交通出版社出版发行
(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京交通印务实业公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 28.75 字数: 707 千

2003 年 4 月 第 1 版

2003 年 4 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0 001—4000 册 定价: 46.00 元

ISBN7-114-04595-6

前言

本手册包括土工室内试验、土工合成材料试验、离心模型试验、原位测试技术与原型观测技术等内容。编写时我们注重内容的实用性,强调为工程设计服务,重点解决工程应用方面的技术问题。为此,我们参阅了国内外有关的手册资料,书中着重介绍了我院几十年期间所取得的经验及国内众多兄弟单位的成果。

为了读者阅读的方便,在编写时各篇保持各自相对的独立性。为使读者对书中内容有较系统的全面了解,各篇章一般均介绍各项技术的发展历史、基本原理、方法的优缺点、操作中应注意的事项以及成果的应用等内容。其目的是希望使初学者能较快地掌握和应用,对要深入研究该项技术的读者,能对该技术的发展现状有一个基本的了解,以便于在前人的基础上有新的发展。

手册共分为六篇,第一篇室内土工试验由盛树馨编写,第二篇土动力特性试验、第三篇土工合成材料由马梅英编写,第四篇原位测试由张诚厚编写,第五篇离心模型试验由章为民编写,第六篇土工原型试验与观测由熊国文、方永凯编写。全书由章为民、陈生水主编、统校。

在编写工作完成之后,我们想强调的是,虽然编写时各部分的内容是独自介绍的,但在解决岩土工程问题时它们的内容是相互联系、相互印证的。岩土材料是最为古老而应用广泛的工程建筑材料,也是性质最为复杂的、多样性的工程建筑材料。在工程实际中,土工试验与岩土力学研究、与工程建设的关系及其作用如图 0-1 所示。钻孔取土进行室内土工试验是工程中常用的方法,它提供了设计、研究所需要的基本物理力学性质参数;原位试验方法是最有发展前途的试验方法,它可以减少或避免由于取样而带来的扰动干扰;离心模型方法是一项土工整体模型试验的新技术,也是研究工程机理、检验计算理论、比选优化设计的有效方法;应用原

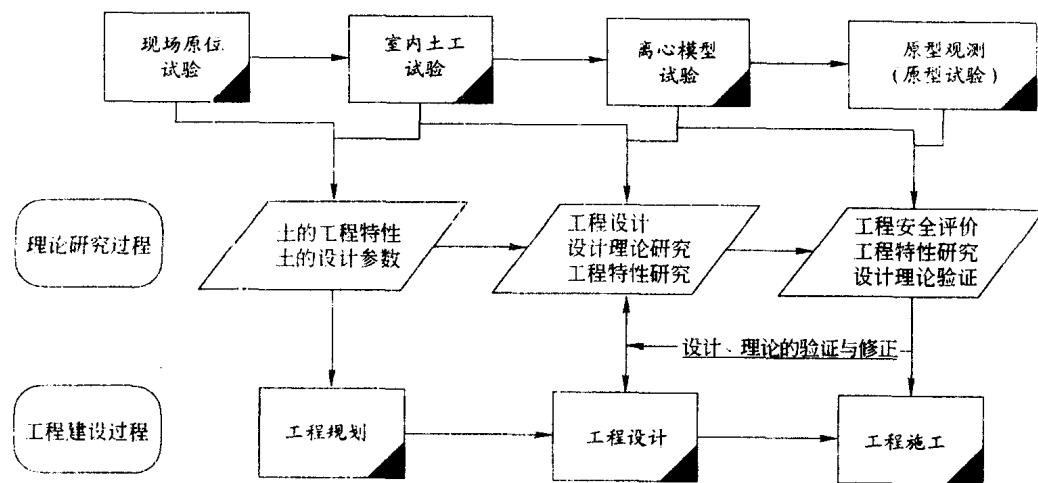


图 0-1 土工试验与工程、研究的关系

型观测技术对工程的施工及运行过程进行监测,一方面用来指导施工过程、评价工程的安全性,另一方面也是检验设计计算理论、积累对工程的认知经验的必要步骤。

由于土的多样性和复杂性,目前的岩土力学理论还不能完善地解决所有的复杂工程问题。采用原位试验与室内测试相结合,离心模型试验与数值计算相结合,原型观测与理论分析相结合的研究方法,是解决岩土工程问题的必由之路。

土工合成材料的出现为解决岩土工程问题开创了一个新的途径。近年来,土工合成材料的应用范围快速拓宽,充分证明了这项技术的生命力。但是在土工合成材料的应用上还存在一些问题,认识上也存在一定的误区。把土工合成材料试验作为单独一篇,符合目前岩土力学的发展趋势与要求,也是为了突出其重要性,希望能够促进土工合成材料应用的健康、快速发展。

综上所述,土工试验的各项内容都是围绕一个共同的最终目的:为工程的安全服务,为工程的经济性服务。应该说,上述原则已为越来越多的人所接受,但在实践中仍存在一些认识上的偏差。如对钻孔原位测试结果的重视程度远不及钻探取土的室内试验,在设计中考虑不足;对室内试验不了解,参数选用错误,导致工程出险;对离心模型试验的作用认识不足,把整体模型试验与单元特性试验混为一谈,实际上将理论计算与模型试验相结合,才是做出安全节省设计的好方法;一些工程的监测工作,在没有深入了解工程设计意图及结构物和地基的受力工作特点的情况下,盲目设置观测项目,没有发挥原型观测检验理论、完善设计、监测运行、确保安全的作用。更有甚者,不能正确分析评价观测数据,以致工程失事后才发现测量数据已显示出工程处于临界状态,而未及时发现。

下面我们列举一些工程实例来说明土工试验技术在工程建设中的实际作用与意义。

一、土的工程特性与土工试验

粘土的工程特性与分类定名对工程选型及施工程序的影响。

湛江一区码头建于20世纪50年代,完工后即发生变形过大的问题,至20世纪70年代已无法使用。为此,交通部要求我院研究码头产生位移的原因。很长时期,工程界一直认为湛江附近的粘土为超压密粘土。在此次调查中,我院进行了较系统的细致研究,从土的物理力学特性中发现了问题:该地区土的压缩特性、强度特性及土的应力—应变关系具有很强的结构性,并非是超压密土而是欠压密土,土的结构性受到破坏后力学特性发生恶化,这是工程失败的主因。根据工程失败的原因,找出了解决的办法,即选择轻型结构、安排合理的施工程序,以免扰动地基土的结构性。新的设计避免了以前的缺点,获得了成功。

20年后在雷州半岛至海口的跨海轮渡码头防波堤的挤淤深度达不到设计要求,其原因也是对此处土性判断不确切所致,土的结构性较大,对预期的挤淤深度估计过大。

二、离心模型试验技术

1. 用离心模型试验确定五湾码头的破坏原因

深圳五湾码头建成二年后发生坍塌。由于码头坍塌前曾进行了挖泥、疏浚,通过理论分析对码头的破坏原因形成了两种意见:一种意见认为由于疏浚开挖,减小了码头前的平衡压力,引起破坏;另一种意见认为地基强度不足是造成坍塌的原因。为了准确分析破坏的原因,进行了离心模型试验。试验结果表明,疏浚开挖所引发的破坏形式是码头向前倾覆;地基强度不足造成的破坏是码头向后倾覆。对照码头实际破坏现象——向后倾滑,由此推断,该码头的破坏

并非是疏浚开挖所致,而是土质较差、地基强度不足所造成的。

2. 离心模型试验比选瀑布沟坝基防渗墙设计方案

瀑布沟水电站坝基覆盖层深厚,达 70 余米,设计拟采用坝基覆盖层防渗墙防渗方案。该坝坝体巨大,覆盖层深厚,防渗墙与心墙的连接形式及其防渗墙的墙体应力是该坝的技术关键。由于深厚覆盖层的防渗墙设计计算尚无成熟的理论可依,对于几个设计方案的优劣难以判断,设计人员难下决心取舍。为此,进行了离心模型试验,目的是验证设计、比选、优化设计方案。通过离心模型试验证实,插入式方案墙体的最大应力不超过 40MPa,消除了设计人员的顾虑,为最终确定方案提供了有力的证据。

三、原位测试技术

1. 孔压静力触探测定固结系数

孔压静力触探试验测定的固结系数更接近实际,能反映透水夹层的作用,所测的固结系数较室内试验大得多,由此所确定的固结过程更接近实际,可以为预压时间的设计提供可靠的依据。

2. 用十字板强度进行施工程序的控制

(1)在软基筑坝的工程中,在坝体自重的作用下,坝基得到加固,强度提高,工程可以采用分期施工的做法,逐级加大坝高。其主要依据是间隔一段时间后,土体发生固结,用十字板试验测定强度的增长情况,采用后续的二期、三期工程使大坝逐级加高。浙江的杜湖水库、英雄水库就是很有名的应用实例。

(2)在宁波等地曾以十字板强度值确定临界填土高度,其值为 2.5~3.0m。在筑坝及筑路堤时,以此临界值将填土分为两个阶段,填土高度低于临界高度可采取较快的施工进度,以此争取到更长的工期,使后面的施工可有充裕的时间进行预压加固。在宁波高速公路路堤及英雄水库大坝都是根据此项原则施工的。

(3)由十字板强度沿深度的分布确定地基滑动面的位置。我们曾在软基筑堤的失稳地段,沿滑动体断面做 3~4 孔十字板试验,在某一深度上测到十字板强度突然降低的情况,把各孔的强度突降点连线,可测知滑动面的位置,依滑动面的分布范围,提出修复方案。

3. 标准贯入试验检验加固效果

在碎石桩加固地基形成复合地基的工程项目中,广泛采用标准贯入试验检测地基加固效果,确定地基承载力提高的数值。在唐山砂土地基,为提高抗液化能力,采取加固措施后,也以标准贯入击数,检验抗液化的能力。

四、原型观测技术

1. 控制施工过程确保施工安全

(1)深基坑开挖(真空降水与基坑开挖联合作用),预计孔压降低数与边坡稳定安全系数的关系,在保证基坑边坡稳定的条件下要求孔隙压力要达到某一数值,当现场观测值达此数值再开始第二级开挖,以确保施工安全。

(2)在高速公路工程中,由沉降过程线推求最终沉降量,确定工后沉降量低于设计值的时间,以此选定路面施工的时间。

(3)在真空预压工程中,以负孔隙压力的数值确定揭膜时间。

(4)由孔压消散、水平位移、沉降等情况,修正软基筑堤的填筑速率,修改设计,加快施工。

进度。

2. 为地基设计提供经验参数

在采用碎石桩形成复合地基时,桩和桩间土分担的压力是不同的,我们在多项工程的荷载试验中,分别测量了桩体及桩间土分担的压力值,由此确定桩土应力比,为复合地基承载力及沉降量的设计提供了经验参数,现已用于复合地基设计规范中。

3. 发现工程隐患,为修改设计方案提供依据

(1)为研究上海张华浜码头损坏的原因,进行了几年的监测与再分析,发现地基的不均匀沉降是造成码头损坏的主因,由此改变了上海地区码头的结构形式,从而避免了不均匀沉降产生的破坏。

(2)在浙江玉环地区一座土坝的观测,测到坝体裂缝的展开及巨大的沉降量(达 10m 以上),对坝体的工作状态有了明确的了解,为修复土坝提供了依据,该坝已修复蓄水。

4. 监测工程运行情况,为运行安全提供决策依据

(1)湖南株树桥坝在 1992 年建成后,大坝渗漏量、沉降、位移及周边缝变形不断增加,经分析是面板止水拉裂,并形成空洞所致。于 2 000 年放空水库进行抢险加固处理,确保了工程安全。

(2)1985 年长江三峡的新滩发生大滑坡,2 000 万 m^3 堆积体连同新滩古镇一并滑入长江,但由于进行了安全监测,滑坡前已作出了准确的预报,险区的居民全部提前撤出,无一伤亡。

编者

2002 年 12 月

序一

土力学的内容包括4个方面,即理论土力学、计算土力学、实验土力学和应用土力学。计算土力学是近代随着电子计算机技术的发展而出现的,而理论土力学和应用土力学(工程实用土力学)则是在20世纪40年代就由土力学奠基人 Terzaghi 撰写过,近年来本人也分别撰写了《理论土力学》和《计算土力学》两本专著。惟有实验土力学,虽然就其个别方面的内容,编写过小册子和手册,但至今缺少一本系统完整的著作。本书的问世在一定意义上填补了这方面的空白。

按照本人的理解,土力学的实验包括3个方面的内容,即机理实验、特性实验和物理模型(模拟)实验。机理实验是少数研究人员专门为研究力学现象发生的机制而做的,只要在发表论文时加以说明即可,没有必要向广大读者介绍。特性实验虽然也有机理实验的内容,但主要是为测定计算参数服务的。物理模型实验的目的则是为了寻求边值问题和工程问题的解答,特别是要预测工程做好以后可能发生的变形和破坏。本书共分六篇,内容包括土的物理、化学和力学特性试验、原位测试和离心模型试验,而且特别对近年来广泛流行的土工合成材料单列一篇予以介绍。至于第六篇原型观测,虽然不属于实验土力学的内容,但两者有密切的联系。本书内容相当完整,可以作为实验土力学的参考读本。

本书的每一部分都从叙述试验方法的基本原理开始,详细介绍试验步骤、相关的测试技术和所用的仪器,以及最后的测试成果的整理,使读者对这一方法有全面的了解,方便读者参照相关内容自己动手进行试验。因此,本书既是一本土工试验人员必备的手册,又可作为土工试验知识的参考读物。本人乐意向广大读者推荐。

中国科学院 院士

沈珠江

2002年12月于清凉山麓

序二

在岩土工程中,土工试验为工程设计提供基本参数,而现场测试则是检验理论计算、监理施工质量和控制工程安全的主要手段。这些方法已经在国内外获得广泛应用,并经过多年实践的积累和考验,已经形成了一定的规矩。但是,现有的一些土工试验和观测方法还远不是十全十美的,特别是近来有不少迹象表明,土工常规试验和观测的质量与以前相比,不但没有提高反而有所降低,其主要原因在于设备老化和人员素质退化。造成这些现象的根本原因不在于技术问题,而在于有关方面不够重视土工常规试验和观测工作。

此外,近年来岩土工程试验技术有了不少新的发展,不仅其测试工作大量地从室内发展到现场,还采用了一些新技术和新方法。例如,土工合成材料已广泛地用于地基加固,但是其性能必须事先经过仔细检验;离心模型试验可用来研究建筑物地基破坏的原因和机理,并用于检验和优选设计方案。这些技术已在实际工程中应用,但是还缺乏适当和统一的规程,以致它们的试验设备和技术等尚不能完全规范化。

本手册参考了国内外有关资料,并着重介绍了南京水利科学研究院在几十年内所取得的成果和国内外许多兄弟单位的经验,其内容不仅包括土工室内试验、原位测试和原型观测,还包含了土工合成材料试验和离心模型试验,适当地补充或填补了这方面的缺口和空白。本手册的编写和出版无疑将大大促进这些试验方法和技术的提高和发展。

中国水利学会、中国土木工程学会
土工试验仪器专业委员会 主席
魏汝龙
2002.12

目录

第一篇 室内土工试验

第一章 概论	3
第二章 土的工程分类	6
第一节 目的和适用范围	6
第二节 一般要求	8
第三节 土的分类	11
第四节 土的简易鉴别和描述	15
第三章 土样和试样制备	18
第一节 目的和适用范围	18
第二节 试样制备	18
第三节 试样饱和	20
第四章 含水率及界限含水率试验	23
第一节 含水率试验	23
第二节 界限含水率试验	26
第五章 密度试验	34
第六章 比重试验	37
第七章 颗粒分析试验	41
第八章 相对密度试验	50
第一节 定义和目的	50
第二节 最大孔隙比试验	50
第三节 最小孔隙比试验	51
第四节 试验方法的比较	52
第九章 击实试验	54
第十章 承载比试验	59
第十一章 回弹模量试验	62
第十二章 渗透试验	65
第十三章 固结试验	70
第一节 试验原理与目的	70
第二节 试验方法	73
第三节 影响试验的几个因素	81
第十四章 三轴压缩试验	86

第一节	目的和试验类型	86
第二节	仪器设备	89
第三节	试样制备和饱和	92
第四节	试验步骤	94
第五节	三轴试验中应注意的问题	98
第六节	特殊三轴仪介绍	99
第七节	非饱和土孔隙压力的测定	102
第十五章	无侧限抗压强度试验	104
第十六章	直接剪切试验	106
第十七章	反复直接剪切试验	111
第十八章	无粘性土休止角试验	115
第十九章	毛细水上升高度试验	118
第二十章	土的化学性试验	121
第一节	概述	121
第二节	易溶盐测定	122
第三节	中溶盐测定	132
第四节	难溶盐测定	134
第五节	有机质测定	136
第六节	酸碱度测定	137
第二十一章	土的矿物组成试验	139
附录		144
附录 A	试验资料的整理与试验报告	144
附录 B	土样的要求与管理	145
附录 C	室内土工仪器通用要求	147
附录 D	Duncan E、 μ 模型参数的整理	148
附录 E	Duncan E、B 模型参数的整理	150
参考文献		153

第二篇 土动力特性试验

第一章	概论	157
第一节	动荷载	157
第二节	常用的土动力指标	157
第三节	测定动力指标的试验方法	159
第二章	动三轴试验	164
第一节	试验原理	164
第二节	试验设备	164
第三节	试验操作要点	165
第四节	资料整理	167
第五节	记录表格	174

第六节 有关问题	175
第三章 动单剪试验	177
第一节 试验原理	177
第二节 试验设备	177
第三节 试验操作要点	177
第四节 资料整理	178
第五节 记录表格	180
第四章 共振柱试验	182
第一节 试验原理	182
第二节 试验设备	182
第三节 试验操作要点	183
第四节 资料整理	184
第五节 记录表格	188
参考文献	189

第三篇 土工合成材料

第一章 概论	193
第一节 简介	193
第二节 土工合成材料的原材料、产品种类及功能	193
第三节 土工合成材料的试验内容	195
第二章 物理和力学特性试验	197
第一节 土工合成材料试验的共同规定	197
第二节 物理性能指标试验	198
第三节 力学性能指标试验	201
第三章 水力特性试验	210
第一节 水力特性试验项目	210
第二节 孔径试验	210
第三节 渗透试验	215
第四章 土与土工合成材料界面摩擦试验	223
第一节 土与土工合成材料相互作用试验	223
第二节 界面摩擦试验	223
第五章 复合型 and 特种土工合成材料试验	228
第一节 两种复合型土工合成材料——塑料排水板和软式透水管的试验	228
第二节 特种土工合成材料土工格栅、土工网及土工带的试验	231
参考文献	238

第四篇 原位测试

第一章 概论	241
---------------	-----

第一节	概述	241
第二节	原位测试与室内试验的比较	241
第三节	常用的原位测试方法及其适用性	242
第二章	载荷试验	245
第一节	平板载荷试验	245
第二节	螺旋板载荷试验	248
第三章	静力触探	251
第一节	概述	251
第二节	主要设备及探头的标定	251
第三节	现场试验操作	254
第四节	测定的影响因素	255
第五节	试验成果的应用	257
第四章	十字板剪切试验	268
第一节	概述	268
第二节	十字板剪切试验设备	268
第三节	试验的技术要求	270
第四节	试验原理	270
第五节	影响因素及实际应用的综合考虑	271
第六节	成果应用	275
第五章	标准贯入试验	282
第一节	概述	282
第二节	试验设备及操作技术要点	282
第三节	成果的校正	284
第四节	标准贯入试验的应用	285
第六章	动力触探试验	289
第一节	概述	289
第二节	设备及技术要求	289
第三节	影响成果的主要因素	290
第四节	成果的应用	292
第七章	旁压试验	295
第一节	概述	295
第二节	仪器设备	295
第三节	一般技术要求	297
第四节	试验资料整理与特征值的选定	298
第五节	影响成果和精度的主要因素	301
第六节	成果的应用	302
第八章	波速测试	305
第一节	跨孔法	305
第二节	单孔法	308
第三节	面波法(又称稳态振动法)	308

参考文献	310
------------	-----

第五篇 离心模型试验

第一章 概论	315
第一节 模型试验的意义	315
第二节 离心模型试验技术的发展简史	316
第三节 离心模型的试验原理与特点	320
第二章 相似原理与相似条件	324
第一节 相似的概念	324
第二节 相似定理	325
第三节 量纲分析方法	326
第四节 根据基本方程推导相似条件的方法	328
第三章 离心模型的主要试验设备	333
第一节 土工离心机	333
第二节 离心模型测试系统	334
第三节 离心模型试验配套设备装置	339
第四章 离心模型试验模拟技术	346
第一节 模型土样的制备	346
第二节 粒径效应与几何尺寸效应问题	349
第三节 边界效应	350
第四节 离心模型试验的误差与精度问题	351
第五节 模型的模拟	353
第六节 土石坝填筑变形的离心模拟方法	354
第五章 应用举例	358
参考文献	370

第六篇 土工原型观测

第一章 概论	375
第一节 土工原型观测的必要性	375
第二节 土工原型观测技术的发展	375
第三节 土工原型观测的主要内容	376
第二章 表面变形观测	378
第一节 观测目的和一般要求	378
第二节 测点、工作基点及基准点的设置	378
第三节 观测方法与精度要求	380
第四节 资料整理与分析	382
第三章 内部沉降观测	385
第一节 目的和一般要求	385

第二节	观测仪器及安装埋设	385
第三节	观测方法与精度要求	392
第四节	资料整理及分析	394
第四章	内部水平位移观测	397
第一节	目的和一般要求	397
第二节	观测仪器与安装埋设	397
第三节	观测方法与精度要求	404
第四节	资料整理与分析	407
第五章	孔隙水压力观测	409
第一节	目的和一般要求	409
第二节	观测仪器与安装埋设	409
第三节	观测方法与精度要求	414
第四节	资料整理及分析	415
第六章	土压力观测	417
第一节	土中土压力观测	417
第二节	接触土压力观测	420
第七章	土工原型观测自动化	423
第一节	目的和一般要求	423
第二节	水管式沉降仪等目测仪器的自动化改造	423
第三节	自动化系统的结构与组成	424
第四节	自动化系统软件的主要功能	425
第八章	工程实例	427
第一节	鲁布革心墙堆石坝原型观测简介	427
第二节	莆田北洋海堤试验段现场测试简介	433
参考文献		442

第一篇 室内土工试验

