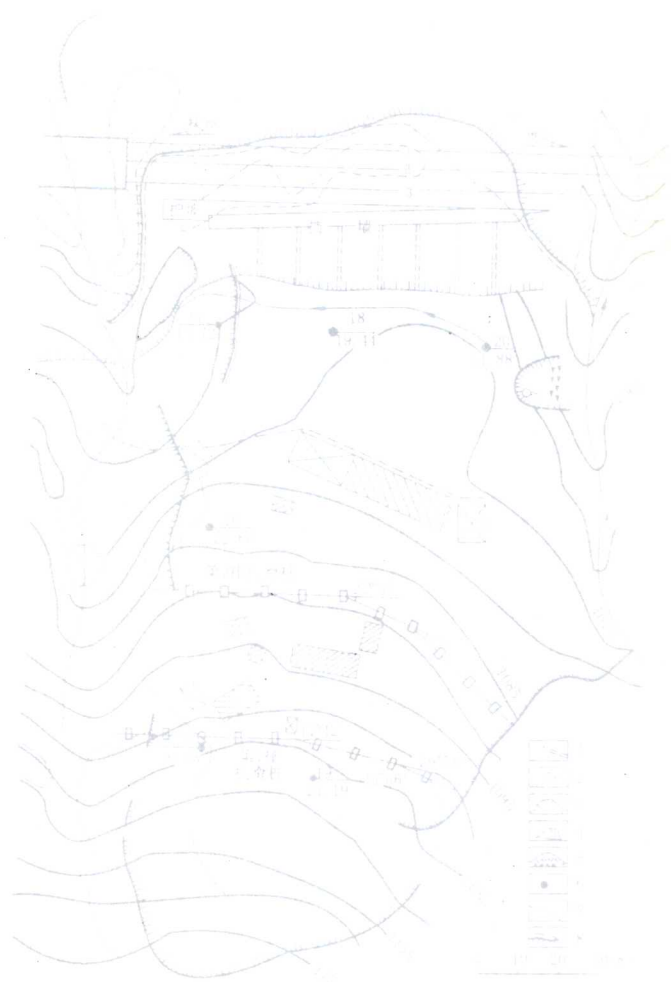


普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

岩土工程

Y T G C

汤康民 主编
彭胤宗 主审



WUTP

武汉工业大学出版社

TJ4
7-454

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审定

岩土工程

主 编 汤康民
主 审 彭胤宗

武汉工业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

岩土工程/汤康民主编. —武汉:武汉工业大学出版社, 2001. 6
ISBN 7-5629-1680-2

I. 岩… II. 汤… III. 岩土工程-高等学校-教材 IV. TU4

内容提要

本书系统地介绍了岩土工程的基本知识、理论和方法。内容包括岩土工程的新进展与展望;工程岩体和土体的设计参数的确定及质量评价;岩土工程勘察;一般土质地基,黄土、红粘土和膨胀土等特殊地基,软弱地基处理,岩石地基;深基坑坑壁土压力的特点,深基坑的支护和排水;锚杆技术,抗滑桩设计计算,挡土结构,岩石边坡的稳定性分析和加固方法;滑坡的勘测、稳定性分析和整治措施;地下洞室的类型及位置选择,围岩压力的分类和计算;岩石边坡的防护,土质边坡的植草防护,冲刷防护措施;载荷、标准贯入、静力触探、动力触探和旁压试验等原位测试技术;土工聚合物在岩土工程中的作用,在岩土工程中土工聚合物作为滤层、地基补强、路堤加固的设计等。

本书为普通高等学校土木工程专业的教学用书,亦可供工程技术人员参考。

出版者:武汉工业大学出版社(武汉市武昌珞狮路122号 邮政编码:430070)

印刷者:武汉市科普教育印刷厂

发行者:各地新华书店

开本:880×1230 1/16

印张:15

字数:497千字

版次:2001年6月第1版

印次:2001年6月第1次印刷

书号:ISBN 7-5629-1680-2/TU·146

印数:1—10 000册

定价:21.00元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

编 审 委 员 会

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫

甘绍熺 施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠

主 任:江见鲸 吕西林 高鸣涵

副主任:朱宏亮 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉

苏三庆 刘立新 赵明华 孙成林

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰 丰定国 毛鹤琴 甘绍熺 白绍良

白晓红 包世华 田道全 成文山 江见鲸

吕西林 刘立新 刘长滨 刘永坚 刘伟庆

朱宏亮 朱彦鹏 孙家齐 孙成林 过静君

李少甫 李世蓉 李必瑜 吴培明 吴炎海

辛克贵 苏三庆 何铭新 汤康民 陈志源

罗福午 周 云 赵明华 赵均海 尚守平

施楚贤 柳炳康 姚甫昌 胡敏良 俞 晓

桂国庆 顾敏煜 徐茂波 袁海庆 高鸣涵

蒋沧如 谢用九 彭少民 覃仁辉 蔡德明

燕柳斌 魏明钟

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

1998年7月,教育部颁布了新的普通高等学校本科专业目录,1999年全国高等学校都已按新的专业目录招生。新的土木工程专业专业面大大拓宽,相应的专业业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的土木工程专业系列教材成为众多院校的翘首之盼。武汉工业大学出版社在中国土木工程学会教育工作委员会的指导和支持下,经过大量的调研,组织国内29所大学的土木工程学科的教授共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问遵照1998年1月建设部全国土木建筑工程专业教学指导委员会昆明会议和1998年5月上海的全国土木工程专业系主任会议的精神,经过充分研讨,决定首批编写出版29种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。中国土木工程学会教育工作委员会组织专家审查了本套教材的编写大纲,决定将其作为“中国土木工程学会教育工作委员会审定教材”出版。作为一套全新的系列教材,本套教材的“新”体现在以下几点:

体系新——本套教材从“大土木”的专业要求出发,从整体上考虑专业的课程设置和各部门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列。整套教材的编写除正文外,大多增加了本章提要、本章重点、例题详解、思考题、习题等,以使教材既适合教学需要,又便于学生自学。

内容新——本套教材中各门课程教材的主、参编人员特别注意了教材内容的更新和吸收各校教学改革的阶段性成果,以适应21世纪土木工程人才的培育要求。

规范新——本套教材中凡涉及土木工程规范的全部采用国家颁布的最新规范。

本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,是面向新世纪、适应新专业的一套全新的教材。能为新世纪土木工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为第一套教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳地希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为教育事业的发展作出贡献。

武汉工业大学出版社

2000.2

前 言

本教材系普通高等学校土木工程专业新编系列教材之一,为该专业本科的专业课教材。在学完土力学和基础工程、工程地质等先修课程的基础上,学生通过本课程的学习,必然对岩土工程的基本知识、理论和方法有全面、系统和深入的了解,具有较强的解决岩土工程实际问题的能力,能从事岩土工程的精心设计和施工,并具有一定的研究和开发能力。

本书共分 12 章,主要内容为岩土体工程性质、岩土工程设计和施工(见绪论 0.4)。编写时将岩体工程和土体工程两部分内容混编在同一章内或不同章中。全书取材面广,内容丰富,尽量反映国内外先进理论和研究成果;且密切联系实际,实用性强;既注意到与土木工程专业的基础课和技术基础课之间的连贯性,又避免了与先修课程的简单重复。

按土木工程专业统一安排,本课程需讲授 50 学时,各章(学时数)建议分配如下:

参考学时数

章节	学时数	章节	学时数
0	1		
1	7	7	4
2	1	8	2
3	11	9	2
4	5	10	4
5	8	11	3
6	2		

参加本书编写的有:西南交通大学周德培教授(第 1.2、1.3、1.5、3.4、5.5 节、第 7、9 章)、张继春教授(第 8 章)、毛坚强副教授(第 5.2 节)、于志强副教授(第 6 章)、汤康民教授(第 0、2 章、第 3.2.2、3.2.3、5.1 节、第 10 章);湖北工学院何世秀教授(第 4 章)、杨雪强副教授(第 5.3、5.4 节、第 11 章);太原理工大学白晓红教授(第 1.1、1.4、3.1、3.2.1、3.3 节)。全书由汤康民主编,西南交通大学彭胤宗教授主审。

本书为我国以岩土工程命名的第一本教材。由于水平有限,编写时间仓促,书中的缺点和错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2000 年 12 月 1 日

目 录

0 绪论	(1)
0.1 岩土工程的定义	(1)
0.2 岩土工程的重要性	(1)
0.3 岩土工程的新进展与展望	(1)
0.3.1 在材料本构关系和计算方面	(2)
0.3.2 在基础结构分析和设计方面	(2)
0.3.3 在地基处理方面	(2)
0.3.4 在土动力学方面	(2)
0.3.5 在材料领域方面	(3)
0.3.6 在地下工程方面	(3)
0.3.7 在岩土构筑物方面	(3)
0.3.8 在岩土试验技术方面	(4)
0.4 《岩土工程》的内容与特点	(4)
1 岩体和土体的工程性质及评价	(5)
本章提要	(5)
1.1 工程土体主要设计参数的确定	(5)
1.1.1 压缩性参数	(5)
1.1.2 渗透性参数	(8)
1.1.3 土的抗剪强度参数	(9)
1.1.4 影响土的工程性质的主要因素	(9)
1.2 工程岩体参数的确定及质量评价	(10)
1.2.1 岩体强度参数的确定	(10)
1.2.2 岩体变形参数的确定	(12)
1.2.3 工程岩体质量评价	(15)
1.3 岩体地应力测试	(17)
1.3.1 应力解除法测岩体地应力的原理和方法	(17)
1.3.2 水压致裂法测地应力的原理和方法	(23)
1.4 土的工程分类	(26)
1.4.1 无粘性土的分类	(27)
1.4.2 粘性土的分类	(27)
1.5 工程岩体的分类	(28)
1.5.1 我国铁路隧道围岩分类	(28)
1.5.2 我国其他工程部门关于坑道围岩质量和稳定性的岩体分类	(30)
1.5.3 其他的岩体分类	(30)
1.5.4 岩体按结构类型分类	(32)
本章小结	(33)
复习思考题	(33)
习题	(33)
2 岩土工程勘察	(35)
2.1 岩土工程勘察的基本任务	(35)

2.2	岩土工程勘察的基本程序	(35)
2.3	岩土工程勘察的分级	(36)
2.3.1	岩土工程的安全等级	(36)
2.3.2	场地复杂程度分级	(36)
2.3.3	地基复杂程度分级	(37)
2.3.4	岩土工程的勘察等级	(37)
2.4	岩土工程勘察阶段	(37)
2.4.1	选址勘察	(38)
2.4.2	初步勘察	(38)
2.4.3	详细勘察	(38)
2.4.4	施工勘察	(38)
2.5	岩土工程勘察的主要工作	(38)
2.5.1	勘察纲要	(38)
2.5.2	工程地质测绘与调查	(39)
2.5.3	勘探工作	(39)
2.5.4	测试工作	(40)
2.5.5	长期观测工作	(40)
2.5.6	岩土工程分析评价与成果报告	(40)
	本章小结	(41)
	复习思考题	(41)
3	土地基和岩石地基工程	(42)
	本章提要	(42)
3.1	一般土质地基	(42)
3.1.1	地基极限承载力计算公式	(42)
3.1.2	粘性土地基承载力	(46)
3.1.3	无粘性土地基承载力	(47)
3.2	特殊土质地基	(48)
3.2.1	黄土地基	(48)
3.2.2	红粘土地基	(52)
3.2.3	膨胀土地基	(56)
3.3	软弱地基处理	(63)
3.3.1	软弱地基的类型及处理原则	(63)
3.3.2	换土垫层法	(65)
3.3.3	振冲法	(68)
3.3.4	深层搅拌法	(69)
3.4	岩石地基	(71)
3.4.1	岩石地基承载力的分析	(71)
3.4.2	岩石地基承载力及沉降的计算方法	(72)
3.4.3	岩石地基加固方法	(74)
3.4.4	嵌岩桩基设计	(74)
	本章小结	(77)
	复习思考题	(77)
4	深基坑的开挖与支护	(78)
	本章提要	(78)
4.1	深基坑坑壁土压力特点	(78)

4.2	深基坑支护类型与设计计算	(81)
4.2.1	板桩墙的设计计算	(81)
4.2.2	地下连续墙的设计计算	(87)
4.2.3	支护结构稳定计算	(87)
4.3	深基坑开挖	(89)
4.4	深基坑排水	(91)
	本章小结	(94)
	复习思考题	(95)
	习题	(95)
5	岩土边坡工程	(97)
	本章提要	(97)
5.1	锚杆	(97)
5.1.1	概述	(97)
5.1.2	锚杆计算	(99)
5.1.3	锚杆的稳定性验算	(101)
5.1.4	锚杆试验与检验	(102)
5.1.5	锚杆的施工要点	(104)
5.2	抗滑桩	(105)
5.2.1	抗滑桩在整治滑坡中的应用	(105)
5.2.2	抗滑桩的设计	(106)
5.2.3	抗滑桩的计算模型	(107)
5.2.4	刚性桩	(108)
5.2.5	弹性桩	(109)
5.3	挡土结构	(116)
5.3.1	重力式挡土墙	(116)
5.3.2	锚杆挡土墙与锚钉墙	(117)
5.3.3	锚碇板挡墙	(119)
5.3.4	加筋土挡墙	(120)
5.3.5	桩板式挡墙	(122)
5.4	支护结构	(124)
5.4.1	浆砌片石与干砌片石护坡	(124)
5.4.2	锚杆框架支护	(124)
5.4.3	锚杆挂网喷浆支护	(125)
5.5	岩石边坡工程	(125)
5.5.1	岩石边坡工程勘探	(125)
5.5.2	开挖岩石边坡稳定性分析	(127)
5.5.3	岩石边坡的加固方法	(129)
	本章小结	(132)
	复习思考题	(132)
	习题	(133)
6	滑坡	(134)
	本章提要	(134)
6.1	滑坡的勘测	(134)
6.1.1	经验推测	(134)
6.1.2	地下勘探	(135)

6.1.3	土工试验	(135)
6.1.4	遥感技术	(136)
6.2	滑坡的类型和稳定性分析	(136)
6.2.1	滑坡的类型	(136)
6.2.2	滑坡稳定性分析	(137)
6.2.3	滑坡推力计算	(138)
6.3	滑坡的整治措施	(140)
6.3.1	截流排水	(140)
6.3.2	卸荷减载	(141)
6.3.3	坡面防护	(141)
6.3.4	土质改良	(142)
6.3.5	支挡抗滑	(142)
6.4	滑坡的监测	(142)
	本章小节	(143)
	复习思考题	(143)
	习题	(143)
7	地下洞室	(144)
	本章提要	(144)
7.1	洞室的类型与位置选择	(144)
7.1.1	洞室的类型	(144)
7.1.2	岩体洞室位置的选择	(145)
7.1.3	土体洞室位置的选择	(146)
7.2	影响洞室稳定性的主要因素	(147)
7.2.1	地质因素	(147)
7.2.2	工程因素	(147)
7.3	围岩压力	(148)
7.3.1	围岩及地下洞室破坏类型	(148)
7.3.2	围岩压力分类	(148)
7.3.3	围岩压力的计算	(150)
7.4	地下洞室支护措施	(158)
7.4.1	锚杆支护	(158)
7.4.2	衬砌	(159)
7.4.3	喷锚支护	(160)
7.5	地下洞室岩爆及其特征	(162)
7.5.1	岩爆成因及分级	(162)
7.5.2	岩爆特征	(162)
	本章小结	(164)
	复习思考题	(164)
	习题	(164)
8	岩土工程爆破	(165)
	本章提要	(165)
8.1	爆破作用原理	(165)
8.1.1	爆破的内部作用	(165)
8.1.2	爆破的外部作用	(166)
8.2	岩土爆破工程的分类	(167)

8.2.1	地下爆破	(167)
8.2.2	露天爆破	(168)
8.3	岩土爆破参数的设计计算	(170)
8.3.1	井巷掘进爆破参数的设计计算	(170)
8.3.2	台阶钻孔爆破参数的设计计算	(171)
8.3.3	硐室爆破的装药量计算	(171)
8.4	爆破器材与起爆方法	(172)
8.4.1	常用工业炸药	(172)
8.4.2	起爆器材	(173)
8.4.3	起爆方法	(174)
8.5	爆破工程施工	(176)
8.5.1	钻孔爆破施工	(176)
8.5.2	硐室爆破施工	(177)
8.5.3	爆破安全技术	(177)
	本章小结	(178)
	复习思考题	(178)
9	岩土工程防护技术	(179)
	本章提要	(179)
9.1	岩石边坡的防护	(179)
9.1.1	主要防护措施	(179)
9.1.2	落石防护的有关计算	(182)
9.2	土质边坡植草防护	(185)
9.2.1	直接植草护坡	(185)
9.2.2	框架内植草护坡	(186)
9.3	喷射混凝土防护	(187)
9.3.1	普通喷射混凝土防护	(187)
9.3.2	喷锚网防护	(187)
9.3.3	钢纤维喷射	(187)
9.3.4	造膜喷射	(188)
9.3.5	质量检验	(188)
9.4	冲刷防护	(188)
	本章小结	(190)
	复习思考题	(190)
10	原位测试技术	(192)
	本章提要	(192)
10.1	载荷试验	(192)
10.1.1	载荷试验设备	(192)
10.1.2	载荷试验方法	(193)
10.1.3	荷载试验资料整理及试验成果	(193)
10.1.4	载荷试验成果的利用	(195)
10.2	十字板剪切试验	(196)
10.2.1	十字板剪切试验的原理	(196)
10.2.2	十字板剪切试验设备	(197)
10.2.3	普通十字板剪切试验方法和步骤	(197)
10.2.4	十字板剪切试验的应用	(198)

10.3	标准贯入试验	(198)
10.4	静力触探试验	(199)
10.4.1	静力触探设备	(199)
10.4.2	静力触探的基本原理	(202)
10.4.3	静力触探成果及其利用	(202)
10.5	动力触探试验	(204)
10.6	旁压试验	(206)
10.6.1	预钻式旁压仪	(206)
10.6.2	旁压试验方法与主要成果	(207)
10.6.3	旁压试验成果的利用	(207)
	本章小结	(208)
	复习思考题	(208)
11	土工聚合物	(210)
	本章提要	(210)
11.1	土工聚合物的特点和类型	(210)
11.1.1	土工聚合物的类型	(210)
11.1.2	土工聚合物的特点	(210)
11.2	土工聚合物在岩土工程中的作用	(211)
11.3	利用土工聚合物的设计	(212)
11.3.1	作为滤层的设计	(212)
11.3.2	作为地基补强时的设计	(215)
11.3.3	作为加固路堤时的稳定性设计	(215)
11.3.4	作为加固垫层的设计	(216)
11.3.5	作为加筋土拉筋的设计	(219)
11.4	岩土工程中应用土工聚合物的施工要点	(221)
	本章小结	(222)
	复习思考题	(223)
	习题	(223)
	参考文献	(224)

0 绪 论

0.1 岩土工程的定义

“岩土工程”这一名词的含义是什么？说它包括岩体工程和土体工程是能被人们接受的。因为土木工程建筑物不是与土体有密切关系，就是与岩体有密切关系。就工程学科而论，要处理好各种条件下的地基，确保工程建筑物地基的强度、变形和稳定性的要求，就必须具有地质学、材料科学、实验及力学、基础等多方面的知识，与这些知识有关的土木工程学科的分支称为岩土工程。可见，岩土工程是土木工程最广泛的边缘学科，它与土木工程所有领域的知识都有关系。在我国因不同的历史沿革形成了传统(或狭义)的岩土工程和广义的岩土工程：传统的岩土工程即 Geotechnical Engineering or Geotechnique，中文可译为土工工程，其前身为土力学和基础工程；广义的岩土工程即 Geo-Engineering，包括土力学和基础工程、岩石力学和地下工程、工程地质 3 个领域。也有人根据中文意思将岩土工程直译为 Rock and Soil Engineering，此意显得不够规范。作为土木学科的分支和上述 3 大主体领域的内容，岩土工程的内容随着全球经济的发展，其重要性越来越突出，内容也越来越丰富。

0.2 岩土工程的重要性

诸如公路、铁路、桥梁、隧道、堤坝、机场、工业与民用建筑等土木工程，其建筑物不是修建在土体或岩体之上(甚至在岩土边坡坡脚附近)，就是修建在土体或岩体之中，或是以土或岩石作为建筑材料，以致岩土体和建筑物之间存在着十分密切的关系。

土木工程包括对各种不同结构及其体系进行分析、设计与施工。作为建筑物的地基起着其上结构和各种荷载的支承与传力作用；作为地下工程，其周围岩土体通过围岩压力对建筑物起着施力作用；作为坡脚附近的建筑物，坡体的稳定性直接关系到建筑物的安全和使用；作为建筑材料，则是最直接地决定土木工程结构本身实现其功能的可靠性。每个建筑场地上岩土工程的性状以及这些建筑物在施工过程中和工程竣工以后与岩土体之间的相互作用，都直接关系着工程的质量、经济和安全生产。

从岩土体本身而言，基于工程影响范围内岩土体边界条件的不确定性，岩土材料性质的可变性、力学性质既取决于应力历史也取决于当前的应力水平，以及岩土工程性质还会随时间变化和受外部环境的影响等多种因素，以致要获得与工程相关的岩土的准确分析资料和设计参数往往难度很大，其复杂性亦反映了岩土工程的重要性。

0.3 岩土工程的新进展与展望

随着科学技术的突飞猛进和人类文明的不断发展，对岩土工程提出了一个又一个需要解决的新课题，面临着一个又一个巨大的挑战，也必然为这门学科展示出广阔的发展前景。主要表现在：

(1)随着全球范围内人口的迅速增加，人类的生存空间在逐渐压缩，生产和生活活动势必向岩土环境复杂的地区扩展；

(2)随着人们对生活质量的要求越来越高，交通居住设施对岩土体变形的要求也更加严格；

(3)随着环境保护和可持续发展的需要，岩土工程的设计与施工必须起好协调作用。我国岩土工程的发展与国民经济的发展战略密切相关，特别是沿海地区经济的飞速前进，高速交通工程系统的全面铺开、西部大开发等，对岩土工程从材料、理论到施工工艺提出了全方位的系统的要求。从事岩土工程的工程师们正处在内外部极好的条件之下，真可谓前景看好，大有可为。

国内外从事岩土工程研究和开发的人员多,学术组织和会议也多。如我国 1986 年在北京召开的国际深基础学术讨论会,1988 年在北京召开的亚洲区域性土力学学术讨论会,1986 年以来召开了多次全国土力学、基础工程学术讨论会,1986 年在上海召开的全国地基处理学术讨论会,还有全国土工织物学术讨论会,全国高层建筑大直径桩墩基础学术讨论会,深基坑开挖支护学术讨论会,全国土动力学学术讨论会,国际上还有专门的国际土力学和基础工程协会等,可见会议频繁,交流活跃。现将岩土工程的新进展与展望概述如下:

0.3.1 在材料本构关系和计算方面

土的性质是十分复杂的,作为典型的多相散粒体材料,在低应力水平下土的应力应变关系(常称为土的本构关系)便呈现出明显的非线性特征。随着计算机的发展,计算方法和试验技术的进步,特别是大型岩土工程(如数百米高的土石坝、核电站地基等)的需要,促使人们更深入地探讨土的应力应变关系,掌握土的变形规律。在 20 世纪 70 年代,土的本构模型的研究形成了高潮,国内外的研究成果也十分突出,我国著名学者黄文熙院士更是发表了一系列关于土的弹塑性应力应变模型理论的文章,并建立了相应的本构关系。关于岩土数值计算方法和依据现场量测信息反演确定有关参数方法的岩土工程反演理论研究也已成为国内外学者普遍关注的课题。还有值得提出的是 1998 年在北京召开的第二届国际非饱和土会议,会上反映了各国对非饱和土方面的研究成果。

0.3.2 在基础结构分析和设计方面

由于传统地基应力的计算方法未能考虑基础埋深和多层土地基的影响,以及经典土力学理论计算中的弹性计算原理的缺陷等原因,使得传统的基础设计计算分析方法中关于沉降计算方法,越来越难以满足现代建筑条件下基础设计时沉降分析的需要。近几年来通过实际工程监测和分析,对传统估算公式的修正系数进行调整,并力图从理论和方法两方面有所突破。

关于高层建筑基础设计中要考虑上部结构、基础和地基的共同作用课题,取得了预期的进展。通过对具体工程基底接触应力、钢筋应力及基础沉降的测试,积累了资料,为共同作用的研究提供了可靠的依据。

单桩与群桩的承载力、变形机理、设计理论和工程应用等取得了新进展,桩型、成桩工艺和施工设备也有所创新。如长大桩的端阻力和摩阻力的尺寸效应;嵌岩桩的承载力机理、承载力计算和嵌岩桩的设计;螺旋成桩法、旋挖成桩法、大小长螺旋套钻成桩法及钻孔桩后压浆法等。

在岩土工程的设计理论方面,随着高速公路和高速铁路等的修建,传统上以“强度”为设计依据的准则,逐渐由“变形”准则并向“功能”准则过渡。在岩土工程的分析中引入了可靠性设计理论,以便适应结构极限状态设计方法的发展趋势,由于岩土工程从材料准备到施工工艺整个过程中的不确定性,使可靠性设计水平要达到定值设计的可靠水平,仍需进行长期的试验检测和数据积累。

0.3.3 在地基处理方面

近 30 多年来,地基处理技术发展最快。在方法上有灌浆加固法、强夯法、砂石桩法、搅拌桩法、排水固结法、真空预压法等。在应用上从解决一般工程软弱地基加固向解决各类超软弱、深厚、深挖等大型工程地基加固方面发展,如在深厚软弱地基上高速公路和深基坑开挖中的应用等。在地基处理的目的是从以提高地基承载力与稳定性为目的向解决基础过大沉降和不均匀沉降为目的方向发展。在设计理论和设计方法上,依据大量的工程实践,修正了地基处理规范和设计手册。但从总体上看,地基处理的设计原理、计算方法、质量检测和评价还滞后于工程的应用,有待今后深入研究和解决。

0.3.4 在土动力学方面

世界上的地震与各种外界振动因素的出现和影响,致使土动力学和土工抗震处于岩土工程的研究前沿,研究的内容主要表现在土的动力特性、动本构关系、震动液化、地震反应分析及土工抗震措施上。如岩土工程界已经认识到中主应力是影响饱和砂土孔隙变化的一个不容忽视的因素,开展了对原状土、非饱和土、垃圾土、冻土、海洋土以及粉土等不同种类土的动力特性的试验研究;采用了压电陶瓷材料制作的弯曲单元(Bender Elements)测定最大剪切模量 $G_{\max}$ 这一重要动力参数;研究了若干描述饱和砂土在往复荷载作用下应力

应变关系的本构模型;提出了用不同的方法来判别砂土液化的可能性和液化引起的土体永久变形,以及提高地基抗液化性能的措施等。

0.3.5 在材料领域方面

主要表现在两个方面:一方面是土工合成材料(Geosynthetics)的迅猛发展和广泛应用,另一方面是特殊土地地区地基土材料的研究。人类有史以来就广泛使用如木材、棉花、皮革和羊毛等天然材料,以后又逐渐扩展到蚕丝、沥青、橡胶等,这些材料的相对分子质量都很高,由几十万到几百万,所以统称为高分子材料,又由于是天然产物,故又称为天然高分子材料。随着社会生产力的发展和科学技术的不断提高,天然高分子材料已不能满足社会生产和人类生活的需要,于是发明了用人工合成的方法制造高分子材料,高分子材料一经合成,就显示出造价低廉和用途广泛的优势,引起了各方面的注意,形成了高分子合成材料工业。合成材料种类很多,可归纳为3大类,即合成树脂、合成橡胶和合成纤维。正式大规模投入工业生产的合成纤维品种尼龙是在1939年。合成材料应用于岩土工程时称为土工合成材料。天然高分子材料和人工高分子材料都具有很高相对分子质量的共同特点,但前者的显著弱点是耐久性差,强度也比较低;而后者则具有较高的强度(一根手指粗的锦纶可吊起一辆满载的解放牌汽车,树脂的抗拉强度仅稍低于钢材),其耐霉烂性和耐腐蚀性更是合成材料独具的优点。土工合成材料正广泛的应用于隔离、防渗、疏排、加固、防护、美化等岩土工程和环境工程中。关于地基土材料研究方面,主要表现在特殊土地地区遇到相应的岩土工程问题,从而促进了对它们的研究,如我国沿海地区的软土,以及西南地区出现较为广泛的膨胀土,西北地区的黄土和我国北方的冻土等。

0.3.6 在地下工程方面

地下工程在地应力的测试、工程设计理论和施工等多方面都取得了很大的进展。这里仅介绍可称之为世界隧道工程中具有划时代技术革命意义的新奥法。

新奥法是一种崭新的隧道工程施工方法。该方法发明于20世纪50年代,60年代更有了迅速的发展。新奥法名称是该法的主要发明者拉布希维兹(L. V. Rabcewicz)教授为了有别于奥地利老方法而取名的。新奥法不用厚壁混凝土衬砌的传统支护方法,而采用了喷射混凝土和锚杆技术,将隧道支护分次构筑。即在洞室断面开挖之后,随即打入锚杆,然后在适当的时候喷射一层混凝土,该层混凝土喷层构成第一次支护,第一次支护喷层应具有一定的柔性,其喷层厚度应有所控制;待围岩变形稳定后,立模浇注混凝土构成第二次支护。在上述二次支护的共同作用下维持围岩平衡,保持洞室稳定。

新奥法虽然利用了喷锚技术,但并不等于一般的喷锚技术。因为新奥法只是利用锚杆使围岩的整体性得到加强,然后掌握围岩开始变形→变形发展→破坏这一过程中的某一有利时机给予喷层支护。第一次喷层既有一定强度又有一定柔性,有利于围岩构成承载环,使围岩的自稳时间得以延长,又使围岩应力释放得以控制。围岩在自稳时间内所释放的应力不再需要混凝土衬砌承担,从而减轻了衬砌的负荷,减薄了传统的衬砌断面的厚度。

0.3.7 在岩土构筑物方面

诸如边坡、堤坝、支挡建筑物、地下岩土工程、环境工程等土工构筑物,亦在实际工程中进行了有针对性的研究和应用,取得了大量的、明显的进展。高边坡工程和滑坡防治是土工构筑物的一个重要领域,采用极限平衡原理的瑞典圆弧法、条分法、传递系数法和块体法,因积累的经验较多,目前工程设计中仍广泛采用,但它们都是粗略的近似方法,计算中未考虑材料的应力应变关系。现在发展的能量法以塑性力学为理论基础,考虑了材料的应力应变关系,不同于前述极限法,在边坡稳定性分析方面是一大进步。而近年又发展起来的数值分析方法,尤其是有限单元法,它能考虑土的实际的非线性应力应变关系,可以求出边坡在各种工作状态下内部应力的分布,以及破坏区的位置和破坏范围的发展情况,确定一个破坏标准,并以此来衡量边坡的安全程度,为边坡稳定分析开辟了一个新途径。

支挡建筑物以及深基坑工程中土压力的计算也取得了进展,主要表现在根据支撑结构的变形特点合理地确定土压力,使用的方法除传统的极限平衡原理外,还有数值计算方法、能量法和离心模型试验方法等。

深基坑工程和地下工程近几年来发展迅猛,基坑深度越来越深(超过20m),并与逆作法施工结合进行,

在理论上也推动了土压力理论、土的变形特性和计算方法的发展。

土工构筑物的加固和改良是土体工程近 20 年来最具革命性进展的领域,如土工合成材料、土钉、土锚和加筋土这样的新概念,被人们视为对传统土力学的挑战,目前已成为国内外广为接受和采用的常规技术。

0.3.8 在岩土试验技术方面

为了更准确地描述岩土材料在复杂应力状态和动力作用下的变形行为,岩土试验设备获得了相应的发展,特别值得提出的是大型动力精密试验设备。另一方面,工业的数字化(digitization)进程又为试验的数据采集和处理提供了前所未有的便利条件,从而提高了试验结果的可靠性。相似材料和模型试验的理论研究与实际应用也随着大型离心机的相继建成和使用得到了进一步发展,从而使得岩土体及相应工程结构物在复杂地质条件和工作状态下的行为能在实验室内得到模拟和研究。目前精密而昂贵的岩土仪器设备主要有真三轴仪、平面应变仪、扭转压缩仪、高压大型三轴仪和离心模型试验机等。

0.4 《岩土工程》的内容与特点

《岩土工程》一书是普通高校土木工程专业新编系列教材中的专业课教材之一。通过本课程的学习,使学生对岩土工程领域相关知识有较全面、系统和深入的了解,具有较强的从事岩土工程实际工作的知识和能力,并能初步具备研究和开发的能力。

本书内容包含 3 大部分,7 个主要课题。阐明岩土体工程性质和建筑场地特征的有岩体和土体工程性质及评价、岩土工程勘察和原位测试技术;讲述主要岩土工程问题的有土质地基和岩石地基工程、边坡工程和滑坡、深基坑的开挖与支护、地下洞室的基本知识与理论;以及使岩土工程面貌为之一新的土工聚合物。此外,对岩土工程的防护技术、岩土工程爆破和岩土工程的新进展与展望也做了一般性介绍。

岩土工程作为专业课而言,内容十分丰富。编者对教与学两方面提出下述建议:(1)要注意到每个章节都是很具体的实际问题,联系实际,培养解决实际问题的能力;(2)本教材的参考资料很多,但编写的目的仍然是为了使学生打好理论和方法的基础,获得未来发展的能力;(3)与先修课程有前后衔接和互相渗透的内容,但不是简单的重复,而是为了保持内容的整体性,有利于更深入的学习;(4)对超出学生所学的基础理论部分,要重在概念理解和实际应用。

1 岩体和土体的工程性质及评价

本章提要

作为建筑物地基的岩体或土体是保证建筑物安全稳定、正常运行的基本要素之一。因此,充分了解岩体和土体的工程性质及其评价原则是非常必要的。

土体工程性质的主要设计参数包括压缩性参数、渗透性参数和强度参数。本章重点讨论以上3类参数的确定方法及其主要影响因素,这些内容对于解决本专业经常遇到的土体利用和处理工程问题极为重要,将是选择合理的地基基础方案的主要依据之一。

岩体工程性质的主要设计参数包括强度参数、变形参数和流变参数。本章不仅讨论这3类参数的确定方法,同时对工程岩体质量的评价和岩体地应力的测试进行了介绍,有助于对工程岩体的工程性质充分了解和掌握,更好地指导工程实践。

在工程实践中常常要进行岩土的分类。本章重点讨论了岩体和土体的分类原则和依据,以便使用者在今后的工程实践中能够正确理解各种分类方法的异同,并且正确判别不同类别土体或岩体的工程性质的差异。

1.1 工程土体主要设计参数的确定

1.1.1 压缩性参数

土在压力作用下体积缩小的特性称为土的压缩性。一般来说,在荷载作用下,透水性大的无粘性土,其压缩过程在短时间内就可以结束;而对于透水性低的饱和粘性土,土体中水的排除所需时间较长,压缩过程的完成持续时间较长,有时甚至几十年。土的压缩随时间而增长的过程叫做固结。因此,在荷载作用下,建筑物的总沉降是由3部分组成,即瞬时沉降、主固结沉降和次固结沉降。

$$s = s_i + s_c + s_s$$

式中 s ——总沉降;

s_i ——瞬时沉降;

s_c ——主固结沉降;

s_s ——次固结沉降。

对于一般工程,常用室内侧限压缩试验确定土的压缩性指标。虽然其试验条件不完全符合土的实际工作状态,但有其实用价值。

1.1.1.1 压缩曲线和压缩性指标

由压缩试验结果绘制土的压力和孔隙比的关系曲线有两种: $e-p$ 曲线或 $e-\log p$ 曲线,这些曲线称为土的压缩曲线,如图1.1所示。对于曲线上任意两点 (p_1, e_1) 和 (p_2, e_2) ,定义压缩系数 a 为

$$a = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1} \times 1000 \quad (1.1)$$

式中,压力单位为kPa,压缩系数单位为 MPa^{-1} 。显然,对于 $e-p$ 曲线上的不同区段, a 值不是相等的。《建筑地基基础设计规范》取 p_1 为上覆土层自重, p_2 为上覆土层自重 p_1 和建筑物产生的附加压力 Δp 之和。为了