

Discussion about Geotechnical Standards

岩土工程规范杂议

付文光 著

《建筑地基基础设计规范》
《岩土工程勘察规范》
《建筑桩基技术规范》
《建筑地基处理技术规范》
《复合地基技术规范》
《建筑基坑支护技术规程》
《建筑边坡工程技术规范》
《复合土钉墙基坑支护技术规范》
《建筑基坑检测技术规范》
《建筑基坑工程监测技术规范》

中国建筑工业出版社

岩土工程规范杂议

付文光 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

岩土工程规范杂议/付文光著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 7
ISBN 978-7-112-19556-5

I. ①岩… II. ①付… III. ①岩土工程-文集
IV. ①TU4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 146186 号

本书选取了典型的三十余部岩土工程规范, 对其在应用过程中容易产生疑惑的规范条文的背景、依据、理由等进行深入挖掘, 帮助读者理解条文所要表达的准确意思并能在工程实践中灵活应用。本书共分 16 章, 第 1~2 章总结了岩土工程规范相关基础知识、国内外岩土规范在技术与管理体制上的差异, 第 3~15 章结合工程实践经验及理论研究成果对岩土工程规范条文进行了深入的思考, 第 16 章是对规范编制及执行的期盼。

本书适合从事岩土工程勘察、设计、施工、审图、管理等相关人员学习参考。

责任编辑: 杨 允

责任设计: 李志立

责任校对: 王宇枢 张 颖

岩土工程规范杂议

付文光 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

北京建筑工业印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 15¼ 字数: 321 千字

2016 年 9 月第一版 2016 年 9 月第一次印刷

定价: 40.00 元

ISBN 978-7-112-19556-5

(28741)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

自序

(1)

为什么要写这本书？

我毕业后即从事岩土工程，早先的十多年里，和绝大多数工程技术人员一样，对工程中各种规范、规程、规定、规则、导则、实施细则、标准、指南、图集、方法、决定、要点、条例、技术要求等技术标准（本书中统称为规范）一直奉若神明、高高在上，偶有不惑，皆归因于自己技术水平低下，对规范不敢有丝毫怀疑。直到十一二年前，作为某项地基处理工程的项目经理，我严格按相关规范施工，检测结果却不尽人意，心里很是不服气。百思不得其解之后，开始对规范产生疑惑。随着实践经验越来越多，疑惑也越来越多。有时与同行们交流一下，发现无论是勘察、设计、施工，还是检测、监测、验收，不能完全理解及执行规范者远不止我一人，这加重了我的疑惑。后来有机会参加全国性学术会议，与各地学者交流发现，同感者大有人在，于是更加疑云重重。

狐疑中，偶然发现了清华大学李广信教授所著《岩土工程 20 讲——岩坛漫话》一书，拜读后恍然大悟：原来顶尖专家们的观点是分流派、有分歧的，规范不可能采纳所有观点，有不同于规范的观点或对规范有不同的理解是正常的！顺藤摸瓜学习了张在明、顾宝和、高大钊、陈祖煜、龚晓南、张旷成等方家鸿儒们关于岩土工程规范的数篇大作，如醍醐灌顶；近几年又有幸参加了几本规范的编写，终于算是揭去了罩在规范上的那层神秘面纱。

胆气不由得壮了起来。掐指一算，工作二十余年，负责过的大大小的岩土工程设计咨询项目二三百个、施工项目五六十个、勘察项目三四十个、检测监测项目二三十个、其他类项目数十个，自诩也算是身经百战，便给自己发了一张能够代表长期摸爬滚打在一线的工程技术人员资格证，借各规范编制征求意见之机，前前后后写了二十余份意见书表达了草根阶层的敬仰与疑惑。均泥牛入海，不见回音，也未见些许采纳。郁闷，叹人微言轻。

我本一介懦弱书呆，擅长逆来顺受忍气吞声，如果不因某事，不愿、也不敢公开表达对规范的疑惑。那是个基坑支护工程，设计方案为排桩加内支撑，桩间设施喷桩止水挡土。施工者偷工减料，桩间旋喷桩及护面混凝土中的钢筋均未做，一场暴雨中，桩间土随素面层大面积崩落，引发安全事故。政府主管部门事故调查，查阅计算书，发现一级基坑抗隆起安全系数为 1.76，不是某规范要求的 1.8，便以设

计不满足规范为由拟处罚。我作为设计人忿忿不平：第一，桩间土侧漏，与基坑是否隆起无关；第二，基坑尚未开挖到底，此时抗隆起安全系数远不止 1.76；第三……官员一句话就将我雷倒：处罚的，是设计不满足规范这种行为！我一时脑梗，弱弱地说：某规范中一级基坑抗隆起安全系数指标为 1.6，某某规范为 1.4，1.8 未必合理，而且 1.76 四舍五入即为 1.8……官员摇头：规范之间矛盾时，以严格的为准。至于 1.8 合理不合理，我们也不懂，你说了也不算，规范这么写的，就得这么执行，对吧？无语，泪奔。不满足规范这根大棒，不知道抡倒过多少江湖好汉！

神经受到了强烈刺激，我要抗议。趁没人注意，憋着胆子悄悄写了两篇论文，对某些岩土规范条文说三道四了一番。未见有人拎板斧上门，就又断断续续发表了数篇，很是发泄了一通不解、不满及不甘，精神上得到了阿 Q 式的满足。

岩土江湖中，我不过一小虾米，以为事情无声无息地就过去了，不料被建工出版社的编辑杨允先生眼尖瞧见，认为有些吐槽还是有些内涵的，建议修整成书。我胆怯。杨先生鼓励再三：学术界就该百家争鸣，不同声音有利于技术进步。我怦然心动，顺杆爬上，点头称是，曰范仲淹不是说了吗，宁鸣而死，不默而生，为明辨是非，我甘做另类，纵被围观践踏淹口水也在所不辞，云云。好吧，我承认这些高大上的豪言壮语都是瞎扯淡，主要还是被某些规范条文踩着了尾巴，疼。

仍有心无胆，担心有二：一怕惹恼了有关专家使我以后难再行走于江湖，二怕我之浅薄嘚瑟出来丢人现眼。我既非名门望族出身，又缺八斗五车才学，也没高瞻之眼界及熟虑之功底，一天到晚闷头干着工匠的活，积攒了点工程经验，观读规范犹如蛙之井底观天，狭隘、肤浅、片面、偏颇、无知在所难免甚或比比皆是，东施效颦，徒增笑料。同事张总工先笑了：别太把自己当根葱。像你这样的草根一抓一大把，人家才懒得理呢。再说了，你身为跪族（跪着挣钱一族）多年，尊严早已扫地，再丢脸还能丢到哪儿去。是啊，不能以我等之心度君子之腹，编写规范的专家我也识得一些，多具高僧大德之德才、闻过则喜之胸襟，谁会和我计较什么呢！

于是挽袖甩膀开干，两年多时光码成此书。自知虽是殚精竭虑、绞尽脑汁，仍难登大雅之堂，聊表心意吧。

(2)

这本书写了点儿啥？

和很多人一样，本人在使用规范的过程中，对一些条文的准确性、适用性、严谨性、合法性、协调性、时效性、针对性、逻辑性、全面性、松紧度或者来源、目的、作用等，产生了一些疑惑。本书尽量去寻找这些条文的背景、依据、理由或作用，力图去理解条文要表达的准确意思；实在理解不了就提出自己的观点；没观点就提出自己的疑惑，期待着能有人解答。因非正解，故为杂议。

这些条文有二百多条，来自三十余部规范。一个普通岩土工程师工作中所用到

的工程规范, 国标及行标有二百多本; 还有若干地标, 如北上广深地区各有几十本; 如果再计上产品标准 (国标及行标), 大多地区都有三四百本, 其中常用的有近百本。本人水平及能力有限, 不能一一深入学习、对照及思考, 选择了认为较为典型的三十余部, 包括:

① 地基基础设计规范类:

《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2011;

《建筑地基基础设计规范》DBJ 15—31—2003;

《地基基础勘察设计规范》SJG 01—2010;

② 勘察工程规范类:

《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001 (2009 版);

《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ 72—2004;

《市政工程勘察规范》CJJ 56—2013;

③ 桩基工程规范类:

《建筑桩基技术规范》JGJ 94—2008;

④ 地基处理及复合地基工程规范类:

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79—2012;

《建筑地基处理技术规范》DBJ 15—38—2005;

《复合地基技术规范》GB/T 50783—2012;

⑤ 基坑工程规范类:

《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120—2012;

《深圳市基坑支护技术规范》SJG 05—2011;

⑥ 边坡工程规范类:

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330—2012;

《建筑边坡工程鉴定与加固技术规范》GB 50843—2013;

⑦ 锚杆及土钉墙等工程专项规范类:

《复合土钉墙基坑支护技术规范》GB 50739—2011;

《土钉支护技术规程》DBJ/T 15—70—2009;

《岩土锚固与喷射混凝土支护工程技术规范》GB 50086—2015;

《高压喷射扩大头锚杆技术规程》JGJ/T 282—2012;

⑧ 检测监测规范类:

《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106—2014;

《建筑地基基础检测规范》DBJ 15—60—2008;

《建筑基坑工程监测技术规范》GB 50497—2009;

《建筑地基检测技术规范》JGJ 340—2015;

《深圳市建筑基桩检测规程》SJG 09—2015;

《工程测量规范》GB 50026—2007;

《建筑变形测量规范》JGJ 8—2007；

《工程测量基本术语标准》GB/T 50228—2011；

《通用计量术语及定义》JJF 1001—2011；

《锚杆检测与监测技术规程》JGJXX—201X（征求意见稿）；

⑨ 施工质量评价与验收规范类：

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202—2002；

《建筑边坡工程施工质量验收规范》GB 5XX—201X（征求意见稿）；

⑩ 施工安全规范类：

《建筑施工土石方工程安全技术规范》JGJ 180—2009；

《建筑深基坑工程施工安全技术规范》JGJ 311—2013。

这些规范按效力，大多数为强制性标准；按适用范围，有国标、行标及地标，行标主要为建筑行业的，地标仅限于深圳及广东地区的；按工程领域，主要为建筑行业；按工程建设阶段，大部分为设计环节，少部分为勘察、施工、检测与监测、质量验收、生产安全等内容；按时效，主要为近十年发布的现行规范，必要时参考了已废止版本及征求意见稿。书中从这些规范引用条文时不再一一注明。选择讨论条文时，主要选择严格程度为很严格及严格的条文，即用词为“必须、严禁、应、不应、不得、不可”的条文；表示稍有选择的条文，即用词为“宜、不宜、可”的条文，疑惑很大时也有挑选。

本书分为16章。第1~2章为对岩土工程相关知识及规范管理体制的一些理解，以作为后文的理解基础。第3~15章体现了本人对岩土工程技术的体会与思考，是二十多年工程实践经验及理论研究成果的总结，主观上是想尽量客观一些谈技术。从勘察及地基基础类规范中挑选的有关勘察的条文集中在第4章中，从桩基及地基基础类规范中挑选的有关桩基的条文集中在第5章中，以此类推；从安全类规范中挑选的条文分散在各章的“构造设计与施工”一节；各规范中的强制性条文可能是未来技术法规的雏形，所以特别挑选了一些集中在第15章；第16章是对规范编制及执行的一些想法与期盼。

(3)

这本书适合谁看？

理论派的？建议看看，看看现场是怎么把活干出来的，为什么有时没按规范的要求去做，规范里的哪些条文惹得现场干活儿的忿忿不平了。

实践派的？建议看看，看看某些理论是怎么回事，别被忽悠了，也别以为几个工程没出事就可以把自己的经验放之五湖四海皆真理了，要上升到理论高度去总结。张在明院士说：经验之果必须生长在理论之树上。

设计者？建议看看。不少依葫芦画瓢做出的设计方案乍看起来好像没啥大毛病，但所依据的理论是否准确，提出的技术要求是否合理，把握住重点了吗，不妨

听听本书的说辞。

施工者？建议看看。别看施工队伍庞大人数众多，但在技术上能够仗义执言的恐怕没几个。看看本书吧，为什么施工质量达不到规范要求，为什么总受相关各方责备，不一定永远都是施工者的错。

审图者？建议看看。有时判断勘察设计文件违反了规范，说不定恰好是审图者或审勘察报告者没有全面准确理解规范的本意呢。

质量监督、工程监理、质量检验及监测等检查监督者……恳请看看。这些人往往执掌着评判使用者行为是否符合规范的生杀大权。

注册岩土工程师考生？考试前别看。咱有言在先，如果看了本书又信了书中的观点导致考试通不过，责任自负。

结构工程师等非本专业人士，建议对感兴趣的内容看看。岩土专业和结构专业不大一样，请用岩土的眼光看待岩土。

(4)

最后，照例秀把谦虚。谦辞打油如下：

原本门外汉，混在岩土里，每日奔波苦，节假不得息。

项目做不少，施工又设计，应用经验多，理论水平低。

才疏学也浅，眼低手亦低，区区一工匠，舞文谈何易。

言辞或过激，实无伤人意，若是肯拍砖，感激至零涕。

恳请不吝者赐教至本人邮箱：zgjy1992@126.com。

付文光

2016年5月于深圳

目 录

自序	
第1章 岩土工程及岩土工程设计法	1
1.1 岩土的概念及工程特点	1
1.2 岩土工程设计法	7
参考文献	13
第2章 岩土工程技术标准及标准管理体制	14
2.1 国内外关于技术标准的若干名词术语	14
2.2 国内外岩土工程技术标准特点比较	16
2.3 国内外工程建设标准管理体制的差异	18
参考文献	20
第3章 若干名词术语与承载力的值态	21
3.1 土钉墙	21
3.2 复合土钉墙	25
3.3 其他名词术语	27
3.4 承载力的值态	31
参考文献	40
第4章 勘察	42
4.1 专门性、专项性及单独勘察	42
4.2 勘探点密度	43
4.3 地基承载力	45
4.4 抗剪强度试验方法	47
4.5 若干小建议	49
参考文献	53
第5章 桩基	54
5.1 单桩承载力计算公式	54
5.2 长摩擦桩的有效长度	58
5.3 大直径桩的尺寸效应	59

5.4 抗拔系数	59
5.5 人工挖孔桩的构造设计	60
参考文献	61
第6章 地基处理	62
6.1 地基承载力	62
6.2 复合压缩模量	64
6.3 是褥垫层, 还是找平层?	66
6.4 填土压实系数	69
6.5 复合地基承载力计算公式	71
6.6 构造设计与施工	74
参考文献	76
第7章 边坡	77
7.1 边坡安全等级	77
7.2 塌滑区范围估算公式与边坡破裂角	78
7.3 岩体等效内摩擦角	80
7.4 查图表设计法	83
7.5 锚喷面板作法的确定依据	87
7.6 主动岩体压力修正系数	87
7.7 岩体分类表	88
7.8 适用范围	92
7.9 构造设计与施工	95
参考文献	96
第8章 基坑	98
8.1 抗隆起验算公式	98
8.2 基坑安全等级判定标准	104
8.3 基坑变形控制标准	105
8.4 拉锚式钢板桩	106
8.5 规范的适用范围	107
8.6 使用年限	108
8.7 构造设计与施工	109
8.8 四节一环保	116
参考文献	117

第 9 章 锚杆	118
9.1 锚固段的有效长度	118
9.2 水平刚度系数	119
9.3 裂缝验算	121
9.4 止浆塞	123
9.5 压力型锚杆的注浆体强度增大系数	125
9.6 抗浮锚杆整体稳定验算	130
9.7 水泥土锚杆的防腐	130
9.8 构造设计与施工	132
参考文献	135
第 10 章 土钉墙	136
10.1 破坏模式种类	136
10.2 整体稳定性	137
10.3 平移、倾覆与墙底压力	138
10.4 单钉拔出与设计抗拔力	140
10.5 杆体拔出、拉断与弯剪	146
10.6 钉间面层破坏	147
10.7 钉头破坏	149
10.8 局部稳定性	150
10.9 构造设计与施工	153
参考文献	156
第 11 章 复合土钉墙	157
11.1 整体稳定性验算通用表达式及存在的差异	157
11.2 研究的技术路线	158
11.3 预应力锚杆复合土钉墙	159
11.4 截水帷幕复合土钉墙	163
11.5 微型桩复合土钉墙	165
11.6 其他类型复合土钉墙	167
参考文献	168
第 12 章 静载荷试验	169
12.1 复合地基试验	169
12.2 锚杆试验	173

12.3 桩的抗拔试验结果与自重	182
参考文献	182
第 13 章 检测与监测	184
13.1 方案论证	184
13.2 检测监测方法的适用性	184
13.3 项目选择	187
13.4 数量、频率与量程	190
13.5 基坑变形测量精确度	192
13.6 检测、监测结果的评价及处理	198
参考文献	199
第 14 章 质量评价与验收	200
14.1 相关验收规范主控项目设置的不足	200
14.2 各分部分项工程中的主控项目设置	202
14.3 主控项目指标的允许偏差水准	206
参考文献	208
第 15 章 强制性条文	209
15.1 勘察	209
15.2 边坡	210
15.3 地基基础	211
15.4 基坑	212
15.5 复合地基	214
15.6 桩基	215
参考文献	216
第 16 章 对规范的几许期盼	217
16.1 对规范严格程度的再认识	217
16.2 指令性规定	218
16.3 指导性规定	220
16.4 执行规范	224
16.5 结束语	227
参考文献	228
致谢	229

第 1 章 岩土工程及岩土工程设计法

1.1 岩土的概念及工程特点

1.1.1 岩石与岩体的概念及力学性质

地质学中,把在各种地质作用下,由一种或几种元素结合形成的具有一定化学成分及结构的化合物称为矿物;天然产出的、由一种或几种矿物按一定规律组成的自然集合体称为岩石;在地质历史过程中形成的、由结构面及结构体组成的、具有一定的结构并赋存于一定的地质环境中的地质体称为岩体。

岩石与岩体的概念不同,岩体=岩石+结构面。尽管岩石具有复杂的成分和结构,影响着岩体的工程地质性质,但通常被认为是一种材料,性质比较单一。岩体由各种各样的结构体及结构面组成,具有一定的结构和构造,形成过程中经受了构造变动、风化作用和卸荷作用等各种内外力地质作用,又生成了各种不同类型的结构面。这些原生的、构造的及次生的结构面,是不同方向、不同规模、不同形态以及不同特性的面、缝、层、带状的地质界面,具有不连续性、非均质性和各向异性,因此,不能以小型的完整的单块岩石作为岩体的代表。

岩体的力学性质首先取决于岩体结构类型与特征,其次是岩石(或结构体)本身的性质及岩体的赋存条件。(1) 岩体中结构体的形状和大小多种多样,外形大致分为柱状、块状、板状、楔形、菱形及锥形 6 种。岩石的力学性质主要包括变形特征、流变特性及强度^[1],变形特性可分为弹性变形及塑性变形,流变特性包括蠕变、松弛、流动特征和长期强度,破坏类型可分为拉断破坏和剪断破坏两种基本形式,其强度分为抗压强度、抗拉强度及抗剪强度等。(2) 结构面类型分为层理、层面、片理、沉积间断面等物质分异面,劈理、节理、断层面、顺层裂缝或错动面、卸荷裂隙、风化裂隙等破裂面,以及软弱夹层或软弱带、构造岩、泥化夹层、充填夹泥(层)等。结构面的特性主要有 5 方面:结构面的规模,通常从数十厘米到数十千米不等;结构面的形态,即平整度、光滑度;结构面的密集程度,反映了岩体的完整情况;结构面连通性,指在某一定空间范围内的岩体中,结构面在走向、倾向方向的连通程度;结构面的张开度和充填情况^[2]。(3) 岩体结构指岩体中结构面与结构体的组合方式,不同岩体结构类型具有不同的工程力学与地质特性(承载能

力、变形、抗风化能力、渗透性等)。岩体结构的基本类型可分为整体状结构、块状结构、层状结构、碎裂状结构与散体状结构 5 类。整体状结构整体强度高,变形特征接近于各向同性的均质弹性体,变形模量、承载能力、稳定性、抗风化及抗渗透能力均较高;散体状结构节理裂隙很发育,岩体非常破碎,岩石强度很低,接近土类;其他 3 类岩体结构特性位于两者之间。(4) 岩体赋存的环境条件直接影响与制约岩体力学性质。一般来说,岩体赋存的环境条件包括地应力、地下水及地温,地应力指存在于岩体中的自然应力,呈三维状态有规律分布而构成地应力场;对地下水在岩体中分布状态、活动规律及其对工程岩体稳定性影响等课题的研究形成了岩体力学的一个分支,即岩体水力学;地温的作用主要是促使岩体风化及力学性质蜕化,以及引起岩体发生热应力变化,但这方面的研究尚很少^[3],有志青年们不妨深入一下。

1.1.2 土与土体的概念及力学性质

一般认为,土是岩石风化后形成的大小悬殊的颗粒、在原地残留或经过不同的搬运方式、在各种自然环境中形成的堆积物;土体则是由土层组成的、具有一定结构形式并赋存于一定地质环境中的地质体。土体与土都是由颗粒(固相)、水溶液(液相)及气体(气相)组成的三相分散体系,颗粒间无联结或有微弱联结,就工程意义而言,可认为差别不大,从术语角度,目前只有“土力学”而没有“土体力学”名词,这与“岩石力学”与“岩体力学”并存的情况有些不同。实际上,土体与岩体也没有严格的界限,如土体可视为正在历经成岩作用的沉积岩,而岩体极度风化后则形成残积土。

土的力学性质主要是由土的物理性质和状态决定的。土通常由固、液、气三相组成,颗粒大小和矿物成分差别很大,三相间的比例差别很大,颗粒与水溶液之间有着复杂的物理化学作用,三相组成性质、比例以及土体的结构和构造等与其形成的年代及成因有关的各种因素,决定了土的轻重、疏密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态。

土的三相组成物质中,固体颗粒(即土粒)构成土的骨架主体,是土的最主要的物质成分,也是最稳定、变化最小的成分;三相之间相互作用中,土粒一般也居主导地位,故本质上,土的工程性质主要取决于组成土的土粒的大小及矿物成分。(1) 土的颗粒大小以直径计,称为粒径,土的粒径从大到小变化时,工程性质也相应变化,故工程上把粒径划分为不同的粒组,同一粒组内的土粒的工程性质接近。一般根据界限粒径(mm) 200、20、2、0.075 及 0.005,把土粒分成漂石(块石)、卵石(碎石)、圆砾(角砾)、砂粒、粉粒及黏粒 6 个粒组。土的矿物成分可分为原生矿物、不溶于水的次生矿物、可溶盐类及易分解的矿物、有机质 4 类,后 3 类为不稳定矿物,对土的工程性质影响极大的黏粒主要就由这 3 类组成。(2) 土中水是溶液,与土粒及气体有着复杂的相互作用关系,根据作用结果使土中水呈现

出的性质差异及对土的影响性质与程度,可将土中水分为结合水(土粒表面结合水)及非结合水两类,结合水又分为强结合水(吸着水)及弱结合水(薄膜水)2小类,非结合水又分为液态水(又分为自由状态的重力水及半结合状态的毛细水)、气态水(水蒸气)及固态水(冰)3小类。(3)土中气体主要为空气和水气,有时含有二氧化碳、沼气及硫化氢等。气体在土孔隙中以封闭气体及游离气体两种形式存在,其中封闭气体对土的性质影响较大。

土体的工程性质及变化还在较大程度上与土体的天然结构和构造因素有关,如土粒间的连结性质和强度、层理特点、裂隙发育程度和方向、土的均匀性等。土体的结构构造指物质成分的连结特点、空间分布及变化形式等,结构性即指土颗粒、孔隙的性状和排列形式及其颗粒之间的相互作用。黏性土中,土粒间除了结合水膜的连接外,往往还有其他盐类结晶、凝胶薄膜等连接存在。根据土粒之间的粒间排列及其连结性质,土的结构可分为单粒(散粒)结构及集合体结构两大基本类型,单粒结构如碎石类土、砾石类土及砂土,其工程性质主要由其松密程度决定;集合体结构为黏性土所特有,分为蜂窝状及絮状两种,对外界条件变化(如应力、振动、干湿以及水溶液成分和性质变化等)敏感,易产生质的变化,为易变结构。土体构造指土体构成上的不均匀性特征的总和,如层理、夹层、透镜体、结核、组成颗粒及裂隙的特征等。

1.1.3 岩土的工程特性

从工程材料的角度,混凝土、钢材、砌体等人工材料的类型、性质、几何尺寸、结构形式、性能等都是清晰的、事先确定的,材质可控、性能均匀、变异性小、不随所处位置而变化、几何尺寸有限、界面清晰;岩土体则不然,与人工材料相比,岩土体具有天然性、不连续性与碎散性、多相性以及变异性等重要特性。

1. 天然性

岩土是自然条件下的产物,在其形成和发展历程中经历了漫长而复杂的风化、搬运、沉积和地质运动,遭受到各种物理化学作用且有不同的赋存条件。其天然性在于:(1)独特性。严格意义上,世界上没有完全相同的原状岩土体,正如世界上没有两片完全相同的树叶一样;(2)多样性。自然界的岩土类型多种多样,性质变化多端,矿物成分、裂隙分布、颗粒大小形状与级配、状态与结构等,使岩土的形态千差万别;(3)边界不确定性。岩土体赋存于复杂的地质环境中,没有明确的边界,或者说边界条件及边界位置不能明确,工程中常假设其为半无限体;(4)渐变性。不同类型的岩土体之间没有明显的界限;(5)唯一性。工程场地确定后,岩土环境条件就是唯一的,没得选择;(6)自相关性,即两点位置距离越近,性质越接近;随着距离增大,这种相关性逐渐减弱直至不相关。

岩土的一些重要工程特性正是源于其天然性,如:(1)结构性及不均匀性。岩土材料是地质过程中形成的天然材料,其关键因素是颗粒之间的胶结,胶结的不均匀性

导致结构的形成^[4]。这种不均匀性可能是原生的,也可能是次生的;(2)各向异性。主要是结构性导致了各向异性,严格意义上岩土体都是非均质的、各向异性的及非线性的;(3)时空性。岩土体的性质随所处环境不同而不同,且随时间而变化。

2. 不连续性与碎散性

岩体与土体都是不连续介质,充满了节理裂隙,土体根本就是碎散的颗粒集合体,岩石的裂隙性和土的孔隙性是岩土材料与人工材料的重要区别。(1)岩石的裂隙性^[5]。岩石总是或稀或密、或宽或窄、或长或短地存在着各种裂隙,这是岩石区别于混凝土的主要特点。这些裂隙有的粗糙、有的光滑,有的平直、有的弯曲,有的充填、有的不充填,有的产状规则、有的规律性很差。裂隙的成因多种多样,在岩体中构成极为多样非常复杂的裂隙系统,人们将岩石和裂隙视为一个整体,即岩体,将裂隙概化为结构面,显然,结构面是岩体中最薄弱的环节。(2)土的孔隙性与碎散性。土是一种散体材料,存在着大量相互连通的孔隙,可以透水透气,使土体具有碎散性。土受到外力以后极易发生变形,其体积变化主要表现为孔隙发生变化。

3. 多相性

饱和土由固、液两相组成,非饱和土由固、液、气三相组成,岩体亦如此,三相间可发生化学反应形成新的矿物,不同的比例关系及其相互作用,以及应力场、温度场及渗流场的共同及耦合作用,使岩土体形成了复杂多变的物理力学性质。

岩体中的地下水沿着岩体中的裂隙和洞穴流动,随着裂隙和洞穴的形态和分布的不同有脉状裂隙水、网状裂隙水、层状裂隙水、洞穴水等不同类型的地下水,不同地段岩体的富水性、透水性及水压力差别非常大,摸清其规律非常困难。土体中压力分为有效压力和孔隙压力,孔隙压力又分为孔隙水压力和孔隙气压力,设计计算中分为总应力法和有效应力法两种原理和方法,有效应力原理是土力学区别于一般材料力学的主要标志。在饱和土中,孔隙水压力的增长和消散导致不同加荷速率下地基承载力不同,是否及时支撑对软土基坑稳定的影响不同,渗透系数和地层组合的差别导致基础沉降速率的不同;超静水压力可导致挤土效应使桩被挤断、挤歪和上浮,地震时的超静水压力导致砂土和粉土液化,等等。非饱和土的孔隙气压力形成基质吸力,基质吸力不稳定,随着土中含水量的增加而降低。膨胀土和黄土随湿度的增加而强度显著降低,非饱和土基坑在雨季容易发生事故,花岗岩残积土边坡在暴雨期间容易发生浅层滑坡,都和基质吸力降低有关^[5]。

4. 变异性

同类岩土在不同区域、同一区域在不同点位、同一点位在不同深度的性能参数都具有一定的差异,有时差异还很大,不太可能以人工材料的精确度来确定岩土参数。

岩土体的这些特性导致了岩土性质的复杂性及不确定性,实际上,岩土的地质历史过程和现状、物质组成、结构构造、性状性质等都无法彻底搞清楚。研究岩土的工程性质及变化规律时,通常要从岩土的成因、成分和结构出发,对岩土体在温

度、湿度、压力、时间等因素影响下的性状变化做出定量的评价,即把地质学的方法与数学、力学的方法结合起来,这样才能得出一个近似的结果。

1.1.4 岩土工程的特点

岩土工程是土木工程的一个分支,以工程为目的,以工程地质学、土力学、岩体力学及基础工程学为理论基础,研究对象是岩土体,包括岩土体中的水。岩土工程包括学科与技术(或称理论与工程技术)两方面,前者是基础,后者是应用。

岩土工程的最大特点是不确定性。

1. 不确定性概念及分类

不确定性是指事件出现或发生的结果不能准确确定,事先不能给出一个准确的预测。按不确定性产生的原因和条件,事物的不确定性可分为随机性、模糊性和认知的不完善性3类。

(1) 随机性。传统的因果律认为,有果必有因,通过因可以完全确定果。随机性是偶然性的一种形式,是由于条件不充分而导致的的结果的不确定性,指具有某一概率的事件集合中的各个事件所表现出来的不确定性,如混凝土的强度误差。随机性弥补了因果律的不足,用可能性取代必然性。

(2) 模糊性。传统的排中律认为,A是B或不是B,意为任一事物在同一时间里具有某种属性或不具有某种属性,而没有其他可能。模糊性是指事物本身的概念不清楚、事物属性的不分明或中间过渡性所产生的不确定性,即一个事物是否属于一个集合是不明确的,如岩石的风化程度。模糊性弥补了排中律的不足,用隶属度来表示肯定、否定或中介过渡状态,是比随机性更为深刻的不确定性。

(3) 认知的不完善性。有些因素既无随机性也无模糊性,纯粹是由于条件限制而对它们认识不清。认知的不完善性分为两类:一是客观信息的不完备,如受勘察测试数量及误差限制,设计信息不完善;二是指知识不足造成的对客观事物认识的局限性,如对地震强度的预测。

就目前的科学发展水平而言,在这三种不确定性中,对随机性的研究比较充分,概率论、数理统计和随机过程理论是描述和研究这种不确定性的工具;模糊性的研究还不完善,描述模糊性问题的方法为模糊数学,模糊可靠性理论正在研究和发展的;认知的不完善性尚无可行的数学分析方法,一般采用经验或专家系统进行处理。岩土工程中存在大量的认识不完善性问题,是可靠度设计方法在岩土工程设计中难以推行的重要原因之一。

2. 岩土工程的不确定性

(1) 岩土体结构及岩土参数的不确定性及固有变异性。岩土参数包括地质参数及材料性质参数,这些参数变异性很大,即使是同一种类型、同一层岩土。岩土参数变异性大的原因包括:岩土体的不均匀性而造成的结构性及各向异性,裂隙水和孔隙水压力的多变性,参数的空间变异性及时间变异性;地质作用和地质演变的复