

地基工程可靠性设计原理 与应用

丁继辉 梁金国 张建平 常万军 著

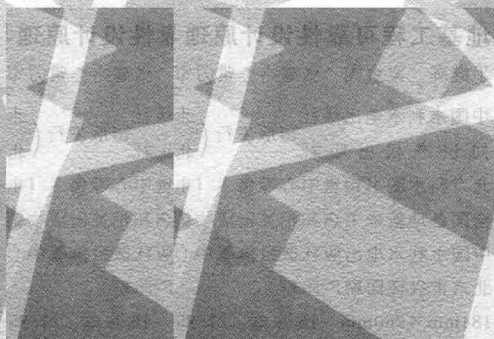
中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

知识产权出版社
www.cnipr.com



地基工程可靠性设计原理 与应用

丁继辉 梁金国 张建平 常万军 著



中国水利水电出版社
知识产权出版社



内容提要

本书系统地介绍了地基基础工程中可靠性设计的基本原理和计算方法,并提供了相应的计算程序。全书共分八个部分,主要包括绪论、土性参数的统计分析、土的随机场理论、可靠性设计的基本概念、可靠指标的计算方法、天然地基的可靠度分析、桩基的可靠度分析和复合地基的可靠度分析。本书给出了典型算例及其主要程序界面和源程序代码。地基承载力可靠度分析程序采用 Visual Basic 6.0 编写,地基变形可靠度分析程序采用 Fortran 语言编写。

本书可供土木工程技术人员、科学研究人员和教师参考,也可以作为土木工程专业本科生高年级和研究生的教学参考书。

选题策划: 阳 淼 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com

责任编辑: 阳 淼

文字编辑: 彭天赦

图书在版编目(CIP)数据

地基工程可靠性设计原理与应用 / 丁继辉等著. —
北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2010.5
ISBN 978-7-5084-7505-9

I. ①地… II. ①丁… III. ①地基—基础(工程)
可靠性设计 IV. ①TU47

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第088661号

地基工程可靠性设计原理与应用

丁继辉 梁金国 张建平 常万军 著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座; 电话: 010-68367658)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村1号; 电话: 010-82005070)
北京科水图书销售中心零售 (电话: 010-88383994、63202643)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

184mm×260mm 16开本 21.25印张 504千字

2010年5月第1版 2010年5月第1次印刷

印数: 0001—3100册

定价: 40.00元

版权所有·侵权必究

如有印装质量问题,可由中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100038, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

前 言

在地基工程设计计算中,由于作用于土体的荷载的大小和土性参数的变异性、土层厚度的不均性以及计算模型的误差等因素导致了计算结果的不确定性。目前,结构设计已经普遍采用概率极限状态设计方法,用分项系数表达,而地基基础工程设计至今仍采用容许应力法和单一安全系数法,因此形成了上、下部结构设计原则不相同、安全控制标准不协调的局面。20世纪40年代发展起来的结构可靠性设计方法采用可靠度描述工程结构的安全性,目前已经形成一套完整的理论并在设计规范中得到了应用。20世纪60年代以来,概率统计的方法开始引入岩土工程领域,从而开辟了一条处理岩土工程不确定性的新思路。这种方法正逐步被工程界所接受,然而,地基基础工程可靠度理论的研究目前尚未达到实用化的程度,但用可靠性理论来解决地基基础工程问题在很大程度上可以改善和弥补确定性方法的不足。随着可靠度分析方法的逐步完善和研究的不断深入,这一方法必将得到越来越广泛的重视。

随着建筑事业的蓬勃发展,所遇到的地基基础工程问题日益增多、日益复杂,如何将计算机知识与地基基础工程的可靠性设计和计算结合起来解决复杂的实际工程问题,是本书的主要目的之一。

本书集合了作者多年教学、科研成果和实际工程经验,并采用了国家颁布的有关地基基础设计的最新规范和规程。本书各章均配有相应的程序界面和工程实例,并在章后附有源程序,地基承载力可靠性分析程序代码采用 Visual Basic 6.0 (以下简称 VB6.0) 编写,考虑到地基变形计算模型的复杂性,其可靠性分析程序采用 Fortran 语言编写。本书为读者提供了一个地基工程可靠性设计计算的平台,读者可以在此基础上添加或引用程序中的有关窗体、模块和子程序,形成自己特色的可靠性分析程序。

本书共分8章,系统地阐述了地基工程中可靠性设计的原理和方法,并提供了相应的计算界面和计算程序。

第1章“绪论”,介绍了地基基础工程可靠性研究的特点以及岩土工程可靠性的发展与研究现状。

第2章“土性参数的统计分析”,重点介绍了土工数据处理、参数的估计方法、参数统计的假设检验和概率分布的优度拟合检验等有关问题。

第3章“土的随机场理论”，主要介绍了土性自相关分析中的随机场理论的基本概念，总结了土性相关距离的各种计算方法，包括空间递推平均法、曲线拟合法、相关函数法、曲线极限法、试算拟合法和平均零跨距法。结合实例，对各种计算方法的计算结果进行了比较与分析，给出石家庄桥东区典型土层（粉质黏土层、粉土层、粉细砂层）的相关距离的范围。

第4章“可靠性设计的基本概念”，重点介绍了不确定性的概念，以及工程结构中的设计变量、结构功能要求、极限状态方程的概念，给出了结构可靠性的定义和可靠度的描述方法。

第5章“可靠指标的计算方法”，阐述了可靠指标的计算方法，包括中心点法、验算点法和蒙特卡洛方法，并通过典型算例分析了各种方法的适用性。对本章算例，采用VB6.0编制了中心点法和验算点法的计算可靠指标的程序。采用蒙特卡洛方法计算可靠指标时，对失效概率较小情况需要相当大模拟次数，建议采用Fortran语言编制蒙特卡洛方法计算可靠指标相应的计算程序。

第6章“天然地基的可靠度分析”，系统地建立了天然地基承载力与地基变形的可靠度分析的概率模型，采用VB6.0编制了天然地基承载力可靠度分析的通用计算程序；采用Fortran语言编制，天然地基变形可靠度分析的计算程序，包括验算点法和蒙特卡洛法。通过算例对讨论各种方法的适用性。

第7章“桩基的可靠度分析”，根据现行《建筑桩基技术规范》（JGJ 94—2008）建立了桩基承载力和桩基变形的可靠度分析的概率模型，采用VB6.0编制了桩基承载力可靠指标的计算程序，采用Fortran语言编制了基于蒙特卡洛模拟法的桩基变形的可靠指标计算程序，并给出了相应的算例。

第8章“复合地基的可靠度分析”，总结了各类型的复合地基极限承载力公式，建立了各类型复合地基的承载力极限状态方程，包括黏结材料桩复合地基、散体材料桩复合地基和多桩型复合地基，讨论了极限状态方程中变量的类型，确定了随机变量的分布类型。建立单一桩型复合地基和多桩型组合桩复合地基变形的可靠度分析的概率模型，讨论了极限状态方程中变量的类型。采用VB6.0编制了JC计算各种类型复合地基可靠指标的计算程序，该程序可以求解基本变量为非正态分布、多变量的、极限状态函数非线性的可靠性问题，因此，其适用性较广。

本书第1章由宇云飞完成；第2章、第3章和附录由张梅、常万军、吕宏飞完成；第4章由张建平、徐晓完成；第5章由丁继辉、景健伟完成；第6章由宇云飞、丁继辉完成；第7章由梁金国、李润伟完成；第8章由丁继辉、程玉姣完成。全书由丁继辉、梁金国负责统稿。书中所有程序的界面设计和程序代码由丁继辉、袁满、郝文秀设计并编制，相关程序源代码可以通过中国

水利水电出版社网站 (www.waterpub.com.cn) 下载。

本书在编写的过程中，引用了许多专家、学者的科研成果，由于篇幅所限，文献目录尚未能全部列出，在此表示衷心的感谢。

限于作者水平，书中不妥之处，恳请读者批评指正。

作者

2010 年 3 月

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 地基基础工程可靠性研究的特点	1
1.2 岩土工程可靠性的发展与研究现状	2
1.2.1 岩土工程可靠性的发展	2
1.2.2 岩土工程可靠性的研究现状	3
第2章 土性参数的统计分析	8
2.1 参数统计中的几个基本问题	8
2.1.1 几个基本概念	8
2.1.2 样本数据的整理与显示	10
2.1.3 样本的统计量和总体参数	12
2.1.4 常见的几种概率分布	13
2.1.5 三大抽样分布	17
2.2 参数估计	20
2.2.1 点估计	21
2.2.2 区间估计	21
2.2.3 推广贝叶斯方法估计分布参数	23
2.2.4 最(极)大似然法估计法	25
2.3 参数的假设检验	27
2.3.1 假设检验的基本概念	27
2.3.2 总体均值为某定值的显著性检验	29
2.3.3 总体比例为某定值的显著性检验	30
2.4 概率分布的优度拟合检验——非参数检验	31
2.5 土性参数统计分析在工程中的应用	33
第3章 土的随机场理论	35
3.1 土性剖面的随机场模型	35
3.2 随机过程	36
3.2.1 随机过程的基本概念	36
3.2.2 随机过程的数字特征	36
3.2.3 平稳随机过程	38
3.2.4 数据平稳性的检验	39
3.3 自协方差函数和变异函数	40

3.4	方差折减系数及相关范围	40
3.5	求解相关距离	41
3.5.1	土性相关距离的定义	41
3.5.2	空间递推平均法	41
3.5.3	曲线拟合法	42
3.5.4	相关函数法	43
3.5.5	曲线极限法	47
3.5.6	试算拟合法	48
3.5.7	平均零跨距法	48
3.5.8	各种方法的综合比较和评述	50
3.6	工程应用	52
3.6.1	数据平稳性、各态历经性的检验及结果分析	52
3.6.2	石家庄市桥东区典型土层的相关距离	54
3.7	本章小结	55
第4章	可靠性设计的基本概念	56
4.1	结构分析中的不确定性	56
4.1.1	随机性	56
4.1.2	模糊性	57
4.1.3	知识的不完善性	57
4.2	结构设计中的变量	57
4.3	结构的功能要求	58
4.4	结构极限状态	59
4.4.1	承载能力的极限状态	59
4.4.2	正常使用的极限状态	60
4.5	极限状态方程	60
4.6	结构可靠性和可靠度	62
4.6.1	结构可靠性	62
4.6.2	结构可靠度	64
4.6.3	结构可靠指标	65
4.6.4	结构可靠指标 β 的几何意义	66
4.6.5	可靠指标 β 与安全系数 K 的关系	68
4.6.6	可靠指标 β 与分项系数的关系	69
4.7	结构可靠性设计方法的分类	70
4.7.1	水准Ⅰ方法	71
4.7.2	水准Ⅱ方法	72
4.7.3	水准Ⅲ方法	72
4.7.4	水准Ⅳ方法	73
4.8	本章小结	73

第5章 可靠指标的计算方法	74
5.1 中心点法	74
5.2 验算点法	77
5.2.1 基本原理	77
5.2.2 当量正态化	83
5.2.3 相关随机变量可靠指标的计算	87
5.3 蒙特卡洛法	90
5.3.1 随机数的产生与检验	91
5.3.2 一般抽样法	96
5.3.3 重要抽样法	97
5.4 本章小结	99
5.5 源程序代码	99
5.5.1 基于斯肯普顿承载力公式的计算程序	99
5.5.2 天然地基承载力可靠度分析程序	113
第6章 天然地基的可靠度分析	132
6.1 天然地基承载力的可靠度分析	132
6.1.1 天然地基承载力极限状态方程一般式	132
6.1.2 天然地基极限承载力的确定方法	132
6.1.3 天然地基承载力极限状态方程的确定及参数分析	136
6.2 天然地基承载力可靠度分析工程实例	136
6.2.1 石家庄某条形基础算例	145
6.2.2 石家庄某住宅楼条形基础算例	145
6.2.3 重要抽样法计算条形基础算例	149
6.3 天然地基变形的可靠度分析	149
6.3.1 天然地基变形极限状态方程的一般式	149
6.3.2 弹性力学方法	150
6.3.3 分层总和法	151
6.3.4 规范推荐方法	152
6.3.5 考虑应力历史的地基最终沉降计算	154
6.3.6 基于布辛奈斯克应力解的单向压缩层法	155
6.3.7 基于布辛奈斯克位移解的分层总和法	156
6.4 天然地基变形可靠度分析算例	157
6.4.1 天然地基沉降可靠度计算模型的比较	157
6.4.2 JC法计算天然地基沉降可靠指标的算例	158
6.4.3 蒙特卡洛法计算天然地基沉降可靠指标的算例	171
6.5 本章小结	173
6.6 源程序代码	173
6.6.1 验算点法计算天然地基沉降可靠指标程序	173

6.6.2	蒙特卡洛法计算天然地基沉降可靠指标程序	184
6.6.3	考虑应力历史的地基最终沉降计算程序	192
第7章	桩基的可靠度分析	197
7.1	桩基竖向承载力极限状态方程的一般式	197
7.2	桩基竖向承载力极限状态方程的确定	199
7.2.1	按静载荷试验法确定极限状态方程	199
7.2.2	按原位测试法确定极限状态方程	200
7.2.3	按经验参数法确定极限状态方程	202
7.2.4	钢管桩极限状态方程的确定	206
7.2.5	嵌岩桩极限状态方程的确定	207
7.2.6	后注浆灌注桩极限状态方程的确定	208
7.3	极限状态方程中的参数分析	209
7.4	桩基变形的可靠度分析	209
7.4.1	桩基变形极限状态方程的一般式	209
7.4.2	桩基变形计算的规范公式	210
7.5	桩基可靠度分析实例	217
7.6	本章小结	220
7.7	源程序代码	220
第8章	复合地基的可靠度分析	241
8.1	复合地基概述	241
8.2	复合地基极限状态方程的建立	242
8.2.1	复合地基承载力极限状态方程一般式	242
8.2.2	复合地基极限承载力的确定	242
8.2.3	复合地基极限状态方程的确定	246
8.2.4	多桩型组合桩复合地基极限状态方程的确定	247
8.2.5	极限状态方程中的参数分析	249
8.3	复合地基承载力可靠度分析实例	249
8.3.1	单一桩型复合地基算例	250
8.3.2	碎石桩和 CFG 桩组合桩复合地基算例	256
8.3.3	夯实水泥土桩和 CFG 桩组合桩复合地基算例	259
8.4	复合地基变形的可靠度分析	262
8.4.1	复合地基变形极限状态方程的一般式	262
8.4.2	单一桩型复合地基变形计算	263
8.4.3	多桩型复合地基变形计算	265
8.4.4	基于布辛奈斯克位移解的复合地基沉降计算	266
8.4.5	复合地基变形可靠度分析实例	267
8.5	本章小结	271
8.6	源程序代码	271

8.6.1	柔性桩复合地基承载力可靠指标计算程序	272
8.6.2	散体材料桩复合地基承载力可靠指标计算程序	290
8.6.3	散体材料桩与 CFG 桩组合桩复合地基承载力可靠指标计算程序	296
8.6.4	夯实水泥土桩和 CFG 桩组合桩复合地基承载力可靠指标计算程序	305
附录 1	标准正态分布表	312
附录 2	χ^2 分布表	313
附录 3	t 分布表	316
附录 4	F 分布临界值表	318
附录 5	标准正态概率密度函数表	322
参考文献		324

第 1 章 绪 论

20 世纪 60 年代以来,岩土工程的可靠性研究已成为许多国家迅速发展的一门学科,有些国家已经开始应用于工程设计。在我国,可靠性分析设计(或称概率极限状态设计法)已在《建筑结构可靠度设计统一标准》(GBJ 68—84)^[1]中明确规定为建筑结构的设计原则,《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—92)也规定对于各类工程结构要采用概率极限状态设计法。土木工程问题往往是结构工程与岩土工程的结合,前者已经运用可靠性分析方法来进行设计,后者如果继续在以后较长时间内沿用传统的定值设计法,显然是不合适的。国内外很多专家、学者都在致力于岩土工程可靠度的研究。岩土工程问题与结构工程问题实行同步的可靠性设计是土木工程发展的国际趋势。

目前,可靠性研究在结构工程中达到了实用阶段,概率极限状态设计方法已得到了广泛应用。地基基础作为建筑工程的一部分,在采用以概率理论为基础的可靠性设计方法时,与上部结构具有许多共同特点,正是基于这些共同点才将结构可靠度分析的一些方法和原则移植过来;但同时也必须看到,地基基础又具有一些与上部结构不完全相同的特点,必须充分研究这些特点,才能得到正确的结果^[2]。

1.1 地基基础工程可靠性研究的特点

地基基础与上部结构相比具有一些明显的差异,这些差异构成了地基基础可靠性问题的特点,主要表现在以下四个方面。

1. 岩土材料性质方面

岩土材料是自然历史的产物,无法人为控制其组成部分和工程性质,它的性质与位置有关,反映了地质成因与年代的影响;它同时具有地域性的特点,不同地方的岩土具有不同的特点。因此,地基设计所依据的土性参数通常由勘察提供,只有初步设计或次要的工程才可采用规范推荐的经验值。岩土材料的性质十分复杂而多变,即使同一地点的同一土层,其变异性也远比一般人工材料(如塑料)或人工加工材料(如钢筋、混凝土等)大,其变异性可以达到 0.3~0.5 以上,从而使岩土工程的可靠度分析精度在更大程度上依赖于土性参数统计分析的精度。岩土工程材料的特性与位置有关,具有场的效应,并有自相关的特性。即使对于同一地点的同一土层,由于形成一定厚度土层的时间很长,成土环境并不完全一样。两点的位置越靠近,成土环境变化越小,则两点的土性关系越密切;随着两点之间的距离的增大,这种相关性逐渐减弱,直至不相关。这种自相关特性在人工材料中并不一定具有,结构可靠性分析中无需考虑材料的自相关性,但在岩土工程可靠性分析中却不能不加以考虑。

2. 失效验算原则方面

地基是一个半无限体，与通常由梁板柱组成的结构体系不同，地基内各点应力与应变的相互影响极为复杂。无论是承载力或是变形问题，求解的都是整个地基的综合反映，而不是像结构构件那样只验算几个截面，这就使岩土工程可靠性分析变得极为复杂。

岩土工程设计计算体系不像梁板柱结构那样简单，也无法区分构件与体系，不能先解决单个构件截面验算再研究体系的可靠性，土力学的可靠性分析从一开始就必须考虑地基半无限体这个复杂的连续介质。因此，结构可靠度分析中的“系统可靠度”概念在岩土工程中应当慎用^[3]。

3. 工程规模方面

岩土工程的尺寸和规模都比结构工程巨大。假如在均匀的地基上仅建一个尺寸很小的结构物，则将地基看作是相对均匀的或许问题不大，但若是涉及较大范围的土层，则问题的性质就不同了，这时就不能将地基概率特性看作是各处相同的了。这引起了两个方面的问题：一是如何选用合适的估计理论，使室内小尺寸的试件较好地代表实际工程的性状；二是由于地基的范围大，所以决定地基性状的不仅是一点的土性，更重要的是一定范围内岩土材料的平均特性。因此，在岩土工程的可靠度分析中，需要研究土性的空间均值及空间均值的方差。

4. 极限状态的含义方面

地基问题极限状态的含义与结构工程中的含义也不相同，前者不仅包括了整体失稳，而且包含了由于土层的位移或局部破坏使上部结构破坏引起的承载力极限状态。也就是说，岩土体的变形也可以是上部结构发生极限状态的原因之一。因此，对于结构上的“正常使用极限状态”在地基中如何体现，还需进一步研究^[3]。

整个岩土工程的问题分析过程包括场地勘察、试验，并利用试验参数进行设计或预测。这些过程都包含了不确定性因素。场地勘察精度、取样时对土的扰动、试验条件与现场的偏差、测试方法的差异、勘探和取样数量的不足、荷载模型及计算模型等都引起不确定性。此外，由于岩土是高度非线性材料，相应的极限状态方程的非线性特性也十分显著，因此，一次二阶矩法必须在破坏面上的一点（验算点）取作线性化点，而不是在基本变量的均值点上线性化。

目前，岩土工程设计正处于从确定论的安全系数法向不确定性分析方法的转变时期，工程的各个环节仍大都沿用各自的传统方法。目前要做的是如何把各个环节的不确定性在设计计算及预测中体现出来，然后再过渡到“广义的可靠度分析”阶段。虽然限于目前的水平，很多不确定性因素只能作近似处理或忽略不计，但即使是这样，也已经比传统的设计方法前进了一大步。

1.2 岩土工程可靠性的发展与研究现状

1.2.1 岩土工程可靠性的发展

可靠度的研究早在 20 世纪 30 年代就开始了。第二次世界大战中，德国曾用可靠度方

法分析过火箭,美国也对 B-29 飞机进行过可靠度分析。可靠度在结构中的应用大概从 20 世纪 40 年代开始。1947 年,苏联的尔然尼钦提出了用一次二阶矩阵理论的方法来估计结构的失效概率^[4]。美国的 Cornell (1969) 提出了用可靠指标 β 作为衡量结构安全度的一种统一数量指标。1976 年国际结构安全度联合委员会 (JCSS) 采用了 Rackwitz & Fiessler 等人提出的通过“当量正态化”^[5]的方法以考虑随机变量实际分布的二阶矩阵模式。至此,二阶矩阵模式的结构可靠度设计计算方法开始进入实用阶段。国际标准化组织 (ISO) 委员会 1986 年批准了以概率理论为指导制定的国际标准《结构可靠度总原则》(ISO 2397)^[6],它是制定一切土木工程结构可靠度设计规则的共同基础。

我国由于 20 世纪 50 年代中期开始采用苏联提出的极限状态设计法。60 年代,土木工程界曾广泛开展结构安全度的研究与讨论。70 年代开始把半经验半概率的方法用到六种有关结构设计的规范中。1984 年实施的《建筑结构设计统一标准》就完全采用以概率统计理论为基础的极限状态设计方法,它规定了各种材料结构的可靠度分析方法和设计表达式。铁道、公路、水运和水利各有关部门也先后成立专门机构,分别编制《铁路工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50216—94)、《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)、《港口工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50518—92)^[7]和《水利水电工程结构设计统一标准》(GB 50199—94)^[8]。同时,上述部门还联合编制《工程结构可靠度设计统一标准》(GB 50153—92),这些规范的通过与实施,使我国的结构设计方法进入一个新的阶段。

岩土工程方面的可靠度研究落后于结构工程的可靠度分析,但也取得了可喜的成果。我国 1994 年颁布的《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—94)^[9]采用了以概率理论为基础的极限状态设计方法,以可靠指标度量桩基的可靠度,用分项系数表达的极限状态设计表达式进行计算。

国外早期的一些研究者大多是借鉴上部结构可靠性分析理论,沿用古典概率理论,把土性看成一个单一的随机变量。但是以单一变量为基础,用土性的“点”的均值和方差来计算地基承载力可靠性指标与工程的实际安全程度不相匹配,用“点方差”计算是可靠性指标偏低,失效概率偏大。

从 20 世纪 60 年代末开始,许多学者进行了关于土的统计性质、概率模型的研究和资料的收集,Cornell^[10]首次提出应该用随机场理论来描述岩土参数。Vanmarcke^[11]在土体参数统计性质研究方面作出了开创性的工作,建立了描述土体空间自相关特性的随机场模型,利用土性剖面的空间均值的方差来计算可靠性指标,提出了“自相关距离”的概念和计算方法。

国内岩土工程可靠性研究始于 20 世纪 70 年代末期,1989 年以前仅限于把土工参数看成简单随机变量,进行“点”特性的研究,大约在 1989 年后开始应用随机场模型。

1.2.2 岩土工程可靠性的研究现状

1. 在岩土工程可靠性基本理论方面

高大钊等^[12~14]研究了地基土主要指标的变异特征和分布规律,给出了上海软土主要参数的分布概率模型,提出了用经验公式估计参数时分析可靠性的方法,讨论了影响可靠

性数值的各种因素。

姚耀武、陈东伟^[15]用 JC 法对土坡稳定可靠度进行了分析,考虑了 c 、 φ 、 γ 等参数的相关关系,可以考虑随机变量的正态分布、对数正态分布或极值型分布,并得出了一些规律性的初步认识。

庞小朝、周小文、温庆博等^[16]研究了岩土工程中多个土性随机参数向量的随机场,将随机场谱表示模拟方法与蒙特卡洛 (MonteCarlo) 法结合,得到了考虑土性参数自相关性与互相关性的蒙特卡洛随机有限元法,并将其应用于堤坡失效概率的计算。

倪红、刘新宇、秦玉^[17]提出了针对土性不确定性的地基承载力的可靠性分析方法,重点讨论了土性参数特性对地基承载力可靠指标的影响规律。

丁继辉、白顺果、张梅等^[18,19]基于随机场理论建立地基承载力的可靠度分析模型,并对可靠指标的影响因素进行了分析。

丁继辉、麻玉鹏、王维玉^[20]以竖向荷载作用下布辛奈斯克 (Boussinesq) 位移解为基础,建立了地基沉降量分析的概率模型和可靠度分析模型,并结合工程实例对地基沉降量的可靠度指标进行计算。

2. 在岩土性状及参数统计方面

Matsuo & Asaoka^[21]研究了饱和黏土的不排水强度的概率模型,提出了其变异性来源于取样扰动和土的内在变异性,并用两种变异性的卷积来描述不排水强度的概率模型。

Asaoka & Grivas^[22]用一阶自回归游动平均模型来描述不排水强度随深度的变异性,并建议了一种去除数据中的非平稳分量的方法。

Ronold^[23]比较了地基破坏问题的两种不同可靠性分析模型,即只考虑土强度的平均特性和按随机场考虑随机分量的变异性。

Soulie & Silvestri^[24]用地质统计学中的半变异函数法和 Krige 估计理论来模拟黏土中不排水强度的空间变异性。

李国周、欧阳葆元^[25]应用经过概率统计处理的软土地基土性指标,对深圳机场跑道软基加固试验段的地基沉降量、固结度及差异沉降进行了比较完整的概率分析,推导了用砂井排水和超载预压联合加固软基时的沉降量和固结度的概率计算模式。

张维秀、盛崇文^[26]提出了地基土抗剪强度指标的方差分离法,将试验误差引起的变异和抗剪强度指标的真实变异分离出来。分析表明,扣除试验误差的影响后,黏聚力 c 的变异系数减小了 0.01~0.16, $\tan\varphi$ 的变异系数减小了 0.01~0.07。

DeGroot & Baecher^[27]用极大似然法来估算土性趋势分量和随机分量,以及随机分量的自相关特性。并认为这种技术优于传统的矩估计法。

闫澍旺等^[28]研究了静力触探数据空间分布的平稳性和各态历经性,讨论了相关函数的选择,并通过大量计算比较了求相关距离的各种方法,认为递推空间法、相关函数法、平均零跨法计算结果接近,且较稳定,而统计模拟法计算结果偏大。

冷伍明、赵善锐^[29]根据影响土工参数不确定性的主要因素,探讨了土工参数不确定性的计算途径。改进了相关距离计算的递推空间法,用双曲线的形式来拟合方差折减函数,消除了人为因素的影响。

Ditlevsen^[30]、Tang^[31]、Der Kiureghian^[32]分别研究了模型的不确定性。

Ingr & Baecher^[33]用砂性土在无超载情况下的模型试验,研究了经 Bjerrum 修正的太沙基 (Terzaghi) 承载力公式的不确定性,认为承载力变异系数在土性变异性较小情况下为 0.2~0.3,如果土性变异性较大,则计算出的承载力的变异性将变得很大。

Wu^[34]计算了海相砂土强度的不确定性,并用贝叶斯 (Bayes) 更新的方法综合了不同测试方法的成果,提高了估算土性统计参数的准确性。

洪昌华、龚晓南^[35]讨论了不排水剪切强度空间变异性的随机场概率统计模型,不仅考虑了抽样所带来的误差,还考虑了土性本身的空间变异性。

丁继辉、宇云飞等^[36]在递推空间平均法的基础上,提出了曲线拟合法计算土性相关举例,该方法克服了以往计算结果受人为影响较大的不足。

张梅、丁继辉、宋向东^[37]对求解土性相关距离的空间递推平均法进行改进,即从相关距离的定义出发,通过 $\Delta ZI^2(\Delta Z) - \Delta Z$ 曲线上的最大值来求相关距离。

3. 在地基承载力可靠度分析方面

闫澍旺、陈环^[38]采用汉森 (Hansen) 承载力公式,按一次二阶矩方法分析了倾斜荷载作用下地基承载力的可靠性。

Cherubini^[39]在假定 φ 为正态分布的前提下,推导出了砂性土上浅基础近似的太沙基承载力公式的概率分布,并采用数值积分求得其累积分布曲线。

Easa^[40]在 Cherubini 的基础上,推导出了将土重度和内摩擦角看作随机变量的砂性土上浅基础近似的太沙基承载力公式的概率分布,用数值积分求得累积分布曲线,并和蒙特卡洛法模拟求出的结果相比较。

Basma^[41]用极值 II 型分布来拟合极限承载力的概率分布,认为应该给浅基础承载力乘上一个风险缩减系数,用来修正确定性设计中的承载力安全系数。这个系数随失效概率及承载力的变异性的变化而变化。

熊启东、高大钊^[42]采用汉森公式对天然地基承载力进行了较为全面的可靠度分析,并探讨了抗剪强度指标的敏感性以及可靠指标和安全系数之间的关系。

白顺果、丁继辉、宋向东^[43]采用汉森公式分析 JC 法和蒙特卡洛方法在计算地基承载力可靠度中的适用性。

丁继辉、宇云飞、李凤莲等^[44,45]结合工程实例给出了基于随机场理论的在倾斜荷载作用下地基稳定分析的概率模型和可靠度分析模型,采用 JC 法分析了可靠指标与土的重度的变异性、水平荷载的变异性、基础尺寸和基础埋深等之间的关系。

4. 在桩基工程可靠度研究方面

李启信等^[46]在桩基承载力分析中引入随机场的理论。

Ochiai^[47]采用标贯确定桩周摩阻系数和桩端承载力,研究了摩擦型钻孔灌注桩的承载力的可靠度。

张庆华^[48]研究了单桩承载力概率评估,考虑了土层之间的空间自相关性,并考虑了端阻与侧阻之间的相关性。

郑建国^[49]按照地质统计学的方法,分析了土性的估计方差和离差方差。由此分析了桩基承载力的方差,并用贝叶斯方法对计算结果进行了更新。

陈晓平^[50]在天然地基承载力以及单桩承载力可靠度研究的基础上,对复合桩基承载

力的可靠度进行了分析,并对复合桩基承载力的分项系数进行了研究。

总之,岩土工程中发展可靠度分析方法,是国内外发展的大趋势。用可靠性理论来解决岩土工程问题在很大程度上可以改善和弥补确定性方法的不足。随着可靠度分析方法的逐步完善和研究的不断深入,这一方法必将得到越来越广泛的重视。

5. 在复合地基可靠度研究方面

目前,有关复合地基承载力可靠度方面的文献并不多,而且集中于单一桩型复合地基的承载力可靠性研究。

肖溟、龚晓南、黄广龙^[51]分析了深层搅拌桩复合地基承载力的概率特性,提出了一个与上部结构相联系的复合地基承载力的可靠度设计方法。

张大巍、杜海金、李燕^[52]利用蒙特卡洛法模拟深层搅拌桩极限承载力,并结合静载荷试验数据对概型分布的数字特征进行贝叶斯更新,得到符合实际的复合地基的概型分布,采用JC法和蒙特卡洛法进行可靠指标计算,并对影响可靠指标的影响因素进行了分析。

彭小云、宫治国、黄兴建等^[53]给出了复合地基承载力可靠度分析的一般方法,并参照上部结构要求给出复合地基承载力可靠指标标准,并以深层搅拌桩复合地基为例进行了分析。

张大巍、杜海金、张高峰^[54]收集了邯郸市6个代表性工程36组深层搅拌桩复合地基静载荷试验数据,借助无量纲计算模式,计算出不同荷载组合下深层搅拌桩复合地基承载力可靠指标,并分析了不同荷载效应比 Q 对可靠指标的影响,为评价规范法设计的复合地基的可靠性提供了一种客观方法。

夏德明^[55]通过水泥土搅拌桩复合地基的承载力设计公式,建立试计比的极限状态方程,利用各随机变量的概率分布及统计参数,计算被统计复合地基的平均可靠指标,分析设计公式的可靠性。

张钢、朱峰、张懿^[56]建立了复合地基的极限状态方程,进而利用概率理论与模糊数学建立复合地基失稳的模糊概率公式,并对参数 c 、 φ 、 γ 之间的关系做了分析。得出地基承载力的模糊概率分析中,主要的影响因素来自于 c 、 φ 的变异,而 γ 的变异系数影响很小,可以忽略不计,计算中可以按常量来计算。

辛洪波^[57]应用可靠度理论采用JC方法对鹤壁市四个工程采用的水泥土搅拌桩工程进行了可靠度分析,并对四个工程的可靠指标进行了比较。

张小敏、郑俊杰、郭秋菊等^[58,59]利用可靠度理论对从国内收集到的CFG桩复合地基承载力试验数据进行了概率统计处理。借助无量纲计算模式,计算了不同荷载组合下CFG桩复合地基承载力的可靠指标,并分析了各随机变量对可靠指标的影响程度。

陈义元、何思明^[60]根据复合地基的承载力特点,建立了相应的可靠度分析概率模型,采用JC法研究了先行设计安全系数法的可靠度指标。

洪昌华、龚晓南^[61]采用圆弧滑动稳定分析方法,按实用的优化方法计算碎石桩复合地基承载力的可靠度指标,并讨论了建立在可靠度基础上的复合地基置换率的设计问题。

张晓君、陈祖云^[62]选用强夯置换碎石桩复合地基承载力的极限状态方程,对随机变量的概率模型进行了分析,并提出了一种可靠度设计方法。