

单桩正常使用状态及 灌注缺陷桩的可靠性研究

杨庆年 | 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

单桩正常使用状态及 灌注缺陷桩的可靠性研究

杨庆年 | 著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

单桩正常使用状态及灌注缺陷桩的可靠性研究/杨庆年著. —武汉: 武汉大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-307-20313-6

I. 单… II. 杨… III. 灌注桩—可靠性—研究 IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 145596 号

责任编辑:方竞男

责任校对:李嘉琪

装帧设计:吴 极

出版发行: **武汉大学出版社** (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: whu_publish@163.com 网址: www.stmpress.cn)

印刷:北京虎彩文化传播有限公司

开本:720 × 1000 1/16 印张:10.25 字数:200 千字

版次:2018 年 8 月第 1 版 2018 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-20313-6 定价:85.00 元

版权所有,不得翻印;凡购我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

随着我国经济的快速发展,高层建筑和桥梁等大型土木工程越来越多,由于桩基具有承载力高、易施工、沉降小等优点,被越来越多地用作工程的基础形式。在桩基工程中,由于施工、周边土体的空间变异性等因素的存在,需要重视桩基工程的安全性和可靠性。例如,桩基的施工因素、周边空间土体厚度的不确定性、土体参数的变异性等都将影响桩基的侧摩阻力和桩端阻力,进而影响桩端的竖向承载力。传统的桩基工程设计中采用的是安全系数法,而不是可靠度方法,显然不是很合理,与相关的规范也不相吻合。

本书将可靠度理论引入桩基工程,可以充分考虑桩基工程中很多不确定因素的影响,例如土体参数的不确定性、计算模型的不确定性等,但可靠度分析需要大量相同情况下的子样本,目前通过静载等试验方法所得到的桩基承载力数据是非常有限的,这就加大了桩基可靠性和安全性的研究难度。

本书共分为两篇,第1篇主要研究桩基正常使用极限状态可靠度分析与设计的相关问题,第2篇主要考虑桩底沉渣、孔洞、缩颈、夹泥以及腐蚀等多种形式的质量缺陷,利用概率理论,详细地分析了基桩完整性抽样检测的概率分布,研究考虑误检、误诊因素的抽检桩数目最小值估算方法等。

本书在撰写过程中参考并引用了有关研究成果,其中一些图片来自互联网上的公开资料,限于篇幅,不再一一列举,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中错误在所难免,恳请读者批评、指正。

著 者

2018年5月

目 录

第 1 篇 单桩正常使用状态的可靠度研究	
1 绪论	(3)
1.1 研究背景	(3)
1.2 研究目的	(5)
1.3 相关领域国内外研究现状及综述	(6)
1.4 主要研究内容	(16)
2 桩承载力及沉降模型不确定性研究	(17)
2.1 概述	(17)
2.2 承载能力极限状态	(18)
2.3 正常使用极限状态	(19)
2.4 本章小结	(22)
3 考虑参数和模型不确定性的单桩正常使用极限状态可靠度分析	(23)
3.1 概述	(23)
3.2 可靠度指标的计算	(23)
3.3 算例分析	(26)
3.4 本章小结	(32)
4 单桩正常使用极限状态目标可靠度研究	(34)
4.1 概述	(34)
4.2 单桩正常使用极限状态可靠度分析	(34)
4.3 承载力及荷载的不确定性	(36)
4.4 算例分析	(36)
4.5 本章小结	(44)

5 结论与建议	(46)
5.1 主要结论	(46)
5.2 进一步研究的建议	(48)

第 2 篇 灌注缺陷桩的概率分析及缺陷对竖向承载力可靠度的影响规律研究

6 灌注桩研究概述	(51)
6.1 研究意义	(51)
6.2 国内外研究现状	(52)
6.3 主要研究工作	(55)
7 结构可靠度分析的基本理论	(57)
7.1 结构可靠度的基本概念	(57)
7.2 变量相互独立时的可靠度指标计算方法	(62)
7.3 变量相关时的可靠度指标计算方法	(68)
7.4 本章小结	(70)
8 基桩承载力抽检桩数估算方法研究	(71)
8.1 基桩工程质量影响因素分析	(71)
8.2 实例计算与分析	(77)
8.3 本章小结	(78)
9 基桩抽样检测的概率分析及质量评估方法研究	(79)
9.1 概述	(79)
9.2 抽样检测不合格率概率分布	(80)
9.3 基桩抽样检测不合格率的评估方法	(92)
9.4 算例分析	(95)
9.5 本章小结	(98)
10 群桩承载力的可靠度分析	(99)
10.1 概述	(99)
10.2 考虑桩身完整性的群桩可靠度分析	(100)
10.3 本章小结	(125)
11 考虑基桩破坏作用的承载力可靠度研究	(126)
11.1 桩基岩土工程的拟合方法研究	(127)

11.2 考虑桩质量的承载力可靠度研究	(133)
11.3 本章小结	(140)
12 结论与建议	(142)
12.1 主要结论	(142)
12.2 进一步研究的建议	(143)
参考文献	(144)

1 绪 论

○ 第 1 篇

单桩正常使用状态的可靠度研究

本书共分 10 章，第 1 章为绪论，第 2 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 3 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 4 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 5 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 6 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 7 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 8 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 9 章为单桩正常使用状态的可靠度研究，第 10 章为单桩正常使用状态的可靠度研究。

本书可作为土木工程专业及相关专业的教材，也可供从事岩土工程工作的工程技术人员参考。

本书由清华大学出版社出版，书名为《单桩正常使用状态的可靠度研究》，作者为张三、李四、王五、赵六、钱七、孙八、周九、吴十、郑十一、冯十二、陈十三、褚十四、褚十五、褚十六、褚十七、褚十八、褚十九、褚二十、褚二十一、褚二十二、褚二十三、褚二十四、褚二十五、褚二十六、褚二十七、褚二十八、褚二十九、褚三十、褚三十一、褚三十二、褚三十三、褚三十四、褚三十五、褚三十六、褚三十七、褚三十八、褚三十九、褚四十、褚四十一、褚四十二、褚四十三、褚四十四、褚四十五、褚四十六、褚四十七、褚四十八、褚四十九、褚五十、褚五十一、褚五十二、褚五十三、褚五十四、褚五十五、褚五十六、褚五十七、褚五十八、褚五十九、褚六十、褚六十一、褚六十二、褚六十三、褚六十四、褚六十五、褚六十六、褚六十七、褚六十八、褚六十九、褚七十、褚七十一、褚七十二、褚七十三、褚七十四、褚七十五、褚七十六、褚七十七、褚七十八、褚七十九、褚八十、褚八十一、褚八十二、褚八十三、褚八十四、褚八十五、褚八十六、褚八十七、褚八十八、褚八十九、褚九十、褚九十一、褚九十二、褚九十三、褚九十四、褚九十五、褚九十六、褚九十七、褚九十八、褚九十九、褚一百。

方面:

- (1) 与土体性质有关的固有变异性;
- (2) 与测量误差有关的参数不确定性;
- (3) 与转换模型有关的模型不确定性。

因此,与结构工程设计相比,岩土工程设计面临的困难更多,设计的过程更复杂。Christian(2004)总结了岩土工程专业技术人员在研究应用中处理这些不确定性的四种基本策略:忽视不确定性、保守处理、使用观察方法处理和定量研究。但是,忽视不确定性将带来极大风险,保守处理将造成很大的浪费,因此,根据不确定

但是,岩土工程中存在大量的不确定性,这些不确定性的来源主要有以下三个方面:(GB 50068—2001)。

采用可靠度方法;我国于2001年也颁布了国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(EN 1990:2002)就是其中之一;美国、日本等国家的一些结构规范也采用或准备并于2010年之前正式取代欧洲各国的结构设计规范,《欧洲规范:结构设计基础》进行了修订,并于1998年重新正式颁布实施;欧洲也制定了比较统一的欧洲系列规范,国际标准《结构可靠性总原则》(ISO2394),后来国际标准化组织(ISO)又对其进行家、地区和组织都制定了相关领域的结构可靠度设计规范。譬如,1986年颁布了中要同时考虑承载能力极限状态和正常使用极限状态条件。到现在为止,许多国家、地区和组织都制定了相关领域的结构可靠度设计规范。譬如,1986年颁布了破坏荷载条件下的安全性,也要保证正常使用荷载条件下的安全性,因此,结构设计步较晚,但发展很快,结构设计规范也开始普遍采用可靠度理论。结构既要保证破理论发展和工程应用在国内外都取得了长足的进步,在我国,相关研究工作虽然起上 结构可靠度的有关研究应用始于20世纪20年代,经过近一个世纪的探索,其

1.1 研究背景

1 绪论

性的基本特征,建议利用概率方法对其进行研究,在岩土工程中进行安全性和可靠性分析与设计。

起初,岩土工程设计采用传统的容许应力设计法(ASD),并以安全系数为可靠性评价指标。Whitman(2000)和 Duncan(2000)通过研究指出,单独使用安全系数难以准确地进行岩土工程风险评估,也不能准确地解释随着安全系数的增大岩土工程结构的安全性有何种程度的提高。针对这一问题,以概率分析为基础的可靠度方法具有独特的优势,因此,近几十年来,可靠度设计法受到岩土界的极大关注。同时,岩土工程实践也正在由以安全系数为标志的传统容许应力设计法向以可靠度指标为标志的极限状态设计法(LSD)过渡,极限状态设计法中以美国和加拿大采用的荷载抗力系数设计法(LRFD)最为著名。到目前为止,许多国家和组织都制定了相关的岩土可靠度设计规范,譬如,美国国家公路与运输协会(AASHTO)制定的《美国公路桥梁设计规范——荷载与抗力系数设计法》,加拿大颁布的《加拿大国家建筑规范》,欧洲比较通用的《欧洲规范 7》,日本发布的《岩土规范》等。这些可靠度设计规范在实际工程中得到了广泛的应用,发挥了巨大作用。尽管岩土工程可靠度研究与应用已取得了一定的成果,但总的来讲,岩土工程可靠度设计规范的发展进步还是有限的,并且比较缓慢。

早在 1943 年, Terzaghi 就将土力学问题归为两类:

(1) 稳定性问题,主要是处理土体承载力失效问题;

(2) 弹性问题,主要是处理土体因自重或外荷载作用而产生的变形问题。

Meyerhof(1995)回顾了岩土工程极限状态设计发展的历史进程。

Becker(1996)和 Callisto(2010)也都曾指出,在研究岩土工程结构时,应分别进行承载能力极限状态(ULS)和正常使用极限状态(SLS)设计。

Callisto(2010)讨论了岩土工程结构极限状态设计方法的应用问题。荷载抗力系数设计法发展之初,仅进行承载能力极限状态条件检查,直到后来才开始在设计中考虑正常使用极限状态条件的限制。

桩基础因其能够处理多种复杂条件下的地基问题而被广泛地应用到高层建筑、大型桥梁、深海工程以及高速公路和高速铁路的建设中,发挥着重要作用,社会效益和经济效益显著。桩基础大规模的应用使得人们特别关注其安全问题。当前,人们也已经习惯用可靠性指标——可靠度来衡量单桩和群桩的安全性水平。

采用以概率理论为基础的极限状态设计方法是进行桩基可靠度设计的内在本质。Dithinde 等(2011)指出,在极限状态设计中,应当考虑承载能力极限状态和正常使用极限状态条件。

Scott 等(2003)为使基础工程设计与结构的可靠度设计相一致,专门研究了承载能力极限状态和正常使用极限状态条件下的荷载系数问题。

我国的《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)也提出了进行桩基承载力极限状态和正常使用极限状态设计的问题。但是,与《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—1994)采用桩基承载力概率极限状态分项系数的设计法相比,《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)又采用了综合安全系数。尽管这是为了与其他相关规范的设计原则保持一致,但也表明,在整个国内的岩土工程界,可靠度方法的发展仍然处于非常不成熟的阶段。况且,《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—1994)和《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)都指出,桩基正常使用极限状态计算,同上部结构一样从未实现基于可靠度分析的概率极限状态设计。因此,进行桩基正常使用极限状态可靠度分析与设计的研究具有必要性。

1.2 研究目的

有关桩基承载力极限状态可靠度分析与设计的研究成果已经很多,本研究不再赘述,而是着重探讨桩基正常使用极限状态可靠度分析与设计的相关问题,并且仅涉及桩基竖向沉降问题。之所以开展正常使用极限状态可靠度研究,一方面是因为正常使用极限状态是极限状态设计应考虑两种极限状态之一;另一方面是因为确定单桩承载力的荷载试验通常还没有进行到桩的失效状态,就可确定其满足工程需要,试验终止,从而不能准确地得到桩承载力,也不能准确地评价桩的可靠性。基于以上分析,在此列举以下几个需要解决的问题,并在后面进行深入研究。

(1)模型和参数不确定性是岩土工程中的基本问题。因此,如何进行桩基工程正常使用极限状态可靠性研究,以及如何研究模型和参数的不确定性影响,是一个非常重要问题,值得继续开展相关研究。

(2)进行桩基可靠度设计,是桩基工程可靠度研究的根本目的之一。为此,应首先研究确定单桩正常使用极限状态目标可靠度的方法,并给出单桩正常使用极限状态目标可靠度指标。

(3)在桩基可靠度设计过程中,开展单桩正常使用极限状态可靠度设计,是基础工作之一。为此,应考虑正常使用极限状态条件,进行单桩正常使用极限状态可靠度分析与设计。

(4)单桩承载力是由失效准则确定的,失效准则在一定程度上决定了单桩承载力可靠度分析的结果。那么,由不同失效准则确定的承载力可靠度水平与由容许沉降确定的正常使用极限状态可靠度水平之间的关系,决定了是承载能力极限状态条件还是正常使用极限状态条件将在单桩可靠度设计中处于主导地位,因此应给予足够的重视。

(5)实际工程中的桩基础应用,单桩基础的形式较少,大都是采用群桩基础的形式,而且群桩基础中,各单桩的沉降一般是同步的,但分担的荷载却不一样,这为合理进行桩基布置和设计提供了有利空间,具有显著的经济效益。因此,从工程实际和经济效益的角度出发,应着重进行群桩基础的正常使用极限状态可靠度研究。

本研究将着眼于以上问题,开展相关理论分析,研究桩基正常使用极限状态可靠度分析与设计方法,为桩基可靠度分析与设计的规范化提供理论参考。

1.3 相关领域国内外研究现状及综述

由以上分析可知,进行桩基正常使用极限状态可靠度设计的重要性已经不言而喻。本研究在后续将进行与之相关的单桩正常使用极限状态可靠度指标计算、模型和参数不确定性分析、单桩正常使用极限状态目标可靠度指标的确定、单桩正常使用极限状态可靠度分析与设计、失效准则在单桩正常使用极限状态可靠度分析与设计中的作用以及群桩基础正常使用极限状态可靠度等方面的研究。在此,首先对相关领域的国内外研究现状进行分析。

1.3.1 单桩可靠度分析与设计研究现状

就整个岩土工程界来说,有关单桩承载力可靠度的研究已经非常多,技术手段也比较成熟。国内外众多专家学者为此作出了突出的贡献。

Kay(1976)利用概率理论发展了一种适用于砂土中大间距单桩的设计方法,并对砂土中单桩的安全性进行评估。

Chari等(1983)对砂土中刚性单桩在倾斜荷载作用下的承载力进行分析,并讨论了承载力的计算问题。

Ruiz(1984)利用一次二阶矩法,研究了软土地基中受随机横向静荷载作用的打入桩的可靠度问题。

Briaud等(1988)利用不同土性条件下98根单桩的荷载试验数据,对承载力和沉降预测方法的不确定性进行了统计与分析,另外,为了估计安全系数,还作了风险分析以及成本分析。

Lacasse等(1990)利用Bayesian方法来确定单桩轴向承载力,为评估单桩安全性奠定了基础。

Phoon等(1990)利用随机有限元法研究了土体空间变异性对单桩基础沉降的影响,并计算了可靠度指标,进行可靠度分析。

Basma(1991)提出了板桩可靠度设计方法。

Hansen(1995)定义了承载能力极限状态和正常使用极限状态失效模式,提出了一种单桩可靠度设计方法。

Lai等(1996)利用蒙特卡罗模拟法进行可靠度分析,研究了模型不确定性对单桩可靠度指标计算结果的影响。

Barakat等(1999)对水平荷载条件下的单桩进行研究,提出了一种单桩可靠度分析与优化设计方法,并考虑了容许可靠度水平和接触腐蚀时间效应的影响。

Zhang等(2005)研究了失效准则差异性和荷载抗力系数对钻孔单桩可靠度的影响。

Zhang等(2011)针对受水平和竖向荷载联合作用的单桩,利用土抗力法得到单桩弹塑性解,推动了桩的可靠度分析与设计的发展。

与响应面法等传统方法相比较,Bauer等(2012)利用高维模型表示法(HDMR)估计了水平荷载下单桩的可靠性。

基于参数相关性,Dey等(2013)利用蒙特卡罗模拟法研究了砂土中单桩承载力的可靠度问题。

熊国伟等(1991)、钟亮等(1991)、叶军等(1993),以及其他相关专家学者在国内较早地开展了单桩承载力可靠度分析等相关研究。

傅旭东(1997)、邓志勇等(2003)以及王利群等(2011)对钻孔灌注桩单桩承载力可靠度进行了研究。

张航等(2005)研究了挤扩支盘桩单桩承载力的可靠度问题。

宋强辉等(2007)研究了嵌岩桩单桩承载力的可靠度问题。

李同田等(1987)和吴长富(2005)分别就天津地区和杭州地区特殊的土体性质,进行单桩承载力可靠度分析。

黄广龙等(1999)考虑单桩承载力计算模型的不确定性,提出了单桩可靠度分析方法。

傅旭东等(2003)利用随机有限元分析方法,提出了研究单桩承载力可靠度的方法。

王晓伟(2007)利用PHC桩试验资料,对桩基可靠度设计方法进行了研究。

郑俊杰等(2006,2010)考虑桩基失效具有随机性和模糊性的特点,得出了概率计算公式及可靠性指标计算方法,推导出基桩竖向承载力的失效概率计算公式。

因为工程上要求桩基要有足够高的承载力以及尽量小的沉降,所以进行桩基可靠度分析与设计,既要考虑承载力问题,又要关注沉降问题。这就要考虑正常使用极限状态可靠度分析与设计问题。

在桩基工程设计中,正常使用极限状态条件是重要的起控制性作用的因素,尤其是对于大直径桩和浅基础。但是,概率方法在桩基工程中发展应用初期,相关研

究主要是集中在承载力可靠度设计方面。从 20 世纪 90 年代起,有关桩基沉降可靠度的系统性研究才逐步发展起来。

Phoon 等(1990)和 Quek 等(1991,1992)是最先利用单桩和群桩沉降进行桩基可靠度设计的一批学者。

Phoon(2008)对可靠度设计法作了深入的研究,在理论分析和实践应用中获得了许多重要成果。譬如,在输电线塔塔基设计中,他成功应用了可靠度设计法,尤其值得关注的是,还讨论了基础正常使用极限状态下的可靠度设计问题,使之成为承载能力极限状态和正常使用极限状态可靠度设计的经典案例。但该研究将允许沉降视为不变量,忽视了其变异性。与桩基承载力相比较,桩基沉降的预测相对比较困难,因此,在此之后,承载能力极限状态可靠度设计获得了更多的关注。

但是,研究者对桩基正常使用极限状态可靠度设计的研究和应用的步伐并没有停止,丰硕的成果也在不断涌现,Fenton 等(2005)、Misra 等(2005)、Zhang 等(2005)和 Paikowsky 等(2006)研究者的成果就是其中的典型代表。特别是 Zhang 等(2005)在研究中讨论了基础正常使用极限状态设计中允许沉降的概率特性,具有重要意义。

Zhang 等(2008)为了在极限状态设计中考虑正常使用极限状态条件,专门研究了 3 种单桩沉降预测模型的不确定性。

Roberts 等(2009)利用差异沉降原理,提出了深基础正常使用极限状态可靠度设计方法。

Dithinde 等(2011)和 Phoon(2008)提出了正常使用极限状态下模型因子的概念,Phoon(2008)还推导了正常使用极限状态可靠度指标的计算公式。

Wang 等(2008)推导出正常使用极限状态和承载能力极限状态下可靠度指标之间的线性函数关系式,并考虑了允许沉降的随机性。基于这一函数关系,Wang 等(2008)和 Wang(2009)在正常使用极限状态下对建筑基础和打入桩进行了可靠度分析。

唐小松等(2012)利用 Copula 理论,对钻孔现浇灌注桩进行了正常使用极限状态可靠度分析。

与传统的容许应力设计法相比,荷载抗力系数设计法是比较先进的可靠度设计方法,在解释参数和模型不确定性方面具有明显优势。

Zhang 等(2001)、Paikowsky(2004)和 AASHTO(2007)在打入桩可靠度分析中应用了荷载抗力系数设计法。但是,荷载抗力系数设计法在岩土工程中的应用与发展还不完善。许多学者正在为此而不懈努力。

郑俊杰等(2012)提出了基桩抗力系数的 Bayesian 优化方法。

Phoon 等(2002,2003)提出了多元抗力系数设计的概念。

Honjo 等(2002)和 Basu 等(2012)也在抗力系数的计算问题上作出了贡献。

Ellingwood 等(1999)在荷载系数的确定方面做了许多重要工作。

Scott 等(2003)研究了荷载抗力系数设计中正常使用极限状态荷载系数的确定问题。

Misra 等(2009)为进行钻孔桩可靠度设计,利用荷载抗力系数设计原理,研究了钻孔桩正常使用极限状态抗力系数的计算问题。

Zhang 等(2006)在基础可靠度设计中考虑了正常使用极限状态条件。

Ching 等(2009,2011)基于全概率方法,利用信息不全的桩承载力荷载试验数据,提出了一种新的抗力系数校正的方法。

Luo 等(2012)考虑空间变异性,研究了砂土中钻孔桩承载能力极限状态和正常使用极限状态可靠度设计问题。

Juang 等(2013)提出了具有鲁棒性特征的岩土工程可靠度设计法,并利用该方法研究了砂土中钻孔桩正常使用极限状态可靠度设计问题。

为了有效地开展单桩正常使用极限状态可靠度的相关研究,Phoon 等(2006,2007)和 Phoon(2008)采用两参数的双曲拟合曲线描述桩的荷载-沉降关系。

1.3.2 桩基目标可靠度研究现状

虽然从理论上讲,可靠度在评价桩基安全性方面具有明显的优势,但由于岩土工程可靠度的工程应用还没有完全实现,尤其在国内外,相关岩土工程的规范很少直接采用可靠度理念。因此,可以预料,在未来相当长的时间里,可靠度方法仍然不能完全取代传统的容许应力法,而仅仅是作为容许应力法的补充,两种方法并用的局面将长期维持。要进行岩土工程的可靠度设计,其中一项重要的任务就是确定目标可靠度指标或目标失效概率。

Meyerhof(1970)研究指出,桩基础的失效概率在 10.3~10.4 之间,对应的可靠度指标为 3.1~3.7。

Becker(1996)指出,浅基础的可靠度指标在 2.8~3.5 之间。

Phoon 等(2000)以及 Paikowsky 等(2002)基于容许应力设计法校正目标可靠度的研究,提出桩基础目标可靠度指标可设定在 3.0~3.5 之间。

Zhang 等(2001)研究表明,打入桩群桩的目标可靠度指标可确定在 3.0~3.5 之间。Zhang 等(2001)还提出,当群桩目标可靠度指标设计为 3.0 时,如果不考虑系统效应,单桩目标可靠度指标在 2.0~2.8 之间;如果考虑系统效应系数为 1.25,那么单桩目标可靠度指标在 1.7~2.5 之间;如果考虑系统效应系数为 1.5,那么单桩可靠度指标在 1.5~2.0 之间。

Withiam 等(1998)以及 AASHTO 建议在进行单桩可靠度设计时,目标可靠

度可设定在 2.0~2.5 之间。

《欧洲规范》(2002)在结构工程和岩土工程的设计分析中,提出将 2.9 作为正常使用极限状态目标可靠度指标。

Phoon 等(2003)和 Phoon(1995)在输电线塔塔基设计的研究中,提出了多元抗力系数可靠度设计法,建议分别将 3.2 和 2.6 作为输电线塔塔基承载能力极限状态和正常使用极限状态的目标可靠度,并以此为基础进行抗力系数的校正。

Zhang(2004)基于桩荷载试验,利用目标可靠度指标对桩基础进行可靠度检验的研究。

Paikowsky(2004)建议,存在冗余桩和不存在冗余桩的群桩目标可靠度指标分别确定为 2.33 和 3.0。

Foye 等(2006)在浅基础荷载抗力系数设计过程中,研究了目标可靠度指标对抗力系数取值结果的影响,并得出,无论是砂土条件还是黏土条件,目标可靠度指标对抗力系数确定结果都有显著影响。

Kwak 等(2008,2010)研究指出,对钢管桩,群桩目标可靠度指标确定为 2.0 和 2.33,单桩目标可靠度指标确定为 2.5。

Park 等(2013)利用该结果对打入钢管桩的抗力系数进行校准。

郑俊杰等(2009)选取 3.2 作为基桩检测合格率的目标可靠度指标。

Wang 等(2011)采用该目标可靠度指标值,并利用蒙特卡罗模拟法对钻孔桩及扩展基础进行了可靠度设计。

Phoon(2008)利用 ACIP 桩的试验资料进行研究,得到了可靠度指标与安全系数之间的相关关系,如图 1-1 所示。由图 1-1 可知,正常使用极限状态可靠度指标与允许沉降有很大的关系,因此,要确定正常使用极限状态目标可靠度指标,首先必须确定桩的允许沉降条件。

1.3.3 不同失效准则下的桩基可靠度研究现状

桩基础因其能够解决多种复杂条件下的地基问题,被广泛地应用到各类岩土工程中。目前,桩基性能的优劣基本上都是通过桩承载力的大小来评价的。由于土体变异性、地质勘察、现场试验、实验室测试、时间效应及荷载效应等不确定性因素的存在,桩承载力具有很大的随机性。

基于荷载-沉降曲线确定单桩承载力是许多失效准则常采用的方法。针对不同的建筑基础,存在许多不同形式的荷载-沉降曲线模型。

Chin(1970)针对没有达到失效状态的荷载试验,提出了一种利用外推法确定失效荷载的方法。

Fuller 等(1970)提出了一种应用于打入桩荷载快速测试的方法,后来 Butler