

地基工程学

可靠性设计的理论和实际

〔日〕松尾 稔 著

万国朝 李杨海 等译



人民交通出版社

TU47

24872

918934

TU47
24872

止
的
载
适
和
来
地
位

地基工程学

Diji Gongchengxue

可靠性设计的理论与实际

〔日〕 松尾 稔 著

万国朝 李杨海 周海涛 译

人民交通出版社

内 容 提 要

本书是地基工程较早应用可靠性设计理论的一部著作。全书大致分三部分，1~8章属于可靠性设计的基础理论，介绍了可靠性设计发展的必然性、优越性及存在问题，并介绍了可靠性设计有关理论；9~13章是可靠性设计在填土、边坡稳定、挡土墙、小直径埋管的应用和实践；14~16章介绍了利用施工观测预测破坏与沉降的方法、动态可靠性设计及今后展望。

地盤工学

信頼性設計の理念と実際

松尾 稔 著

技報堂

地基工程学

可靠性设计的理论与实际

〔日〕 松尾 稔 著

万国朝 李杨海 周海涛 译

人民交通出版社出版发行

（北京和平里东街10号）

各地新华书店经销

人民交通出版社印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：21.25 字数：516千

1990年2月 第1版

1990年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2450 册 定价：12.30元

译 者 的 话

可靠性设计是第二次世界大战后发展起来的一门学科，最早应用于宇宙飞船事业，后来在电子工业、机械行业陆续发展起来。但在地基工程中的应用时间还不长，正如作者所说，此书或许是地基工程最早应用可靠性设计的一部著作。从这种意义上讲，翻译此书，至少可以为我国土木工程界的工程技术人员提供一些这方面的信息，对我国土木工程界应用可靠性设计具有参考价值。

此书内容大致分成三个部分。1~8章属于可靠性设计的基础理论，介绍了可靠性设计发展的必然性，有关可靠性设计的某些基本概念、优越性及存在的问题，决策理论及土质参数的统计性质。9~13章属于可靠性设计在填土、边坡稳定、挡土墙、小直径埋管的应用和实践。14~16章属于动态可靠性设计，即使设计不断优化方法，预测破坏及沉降的方法，今后研究方向。因此可以说，此书是一本既有理论又有实际应用的完整的著作。

此书内容涉及很多新的概念、新的理论及作者的价值观念和思维方法，在翻译过程中不可避免地会存在一些吃不准或曲解作者原意的地方，望广大读者提出宝贵意见，以利改进译文质量，更确切地符合作者原意。

全书由交通部公路规划设计院万国朝、李杨海、周海涛等同志翻译，西安公路学院周兰玉教授对本书前七章理论部分作了详细校对，八至十六章由万国朝同志校对。

译 者

EAD98/04

前 言

本书是从可靠性设计的角度研究地基工程中各种设计问题的一部著作。类似这样的著作目前尚未看到，本书或许是这个领域中最早的成果了。从这种意义上讲，书中常常碰到一些难以理解的问题，最后这些问题都是按照作者个人的思路处理的。这样，书中势必存在很多值得进一步商讨和改进的余地，这一点务请广大读者充分认识。下面将本书的出版经过和内容简单介绍一下。

本书从开始动笔经过了数年，原因是在编写过程中常常发现有资料不足和内容不满意的地方，原稿曾做过二、三次的修改，为了解决这些问题不得不几次搁笔。但是，这些问题并非参考一下现有的参考书或文献就能解决，而必须努力开拓新的研究。因为，地基工程的可靠性设计是一门刚刚发展起来的学科，不但没有解决问题的现成参考文献，就是有一些也没有确定的评价，况且几乎都是阶段性的成果；再说，为了取得新的研究成果，短则需要二、三个月，长则需要二、三年的时间；再有，为了培养共同合作的年轻研究人员，其研究成果在没有作为学术论文发表之前，本书也不便引用。这类难题很多，所以迟迟没有脱稿，也曾几度想把它丢在一边。但是又一想，由于自己的才疏学浅，要达到完全满意的程度恐怕很难做到，所以，书中即使存在某些不满意的地方，也是可以理解的。这样一想也就心安理得了，尽管会受到各种批评的可能，但把目前的成果归纳一下还是有意义的，或许会对地基工程学多少有些贡献。在这种思想指导下，本书脱稿了。但刚一脱稿就感到有很多不足之处，觉得这个问题的论述应该这样写，那个问题再加上一些数值计算和事例分析就更好了，如此等等。为了从这样的情绪中解脱出来，只好不断勉励自己，十年或二十年以后也许可以写出些稍好的著作来。

本书书名也使我绞尽脑汁，最后主标题确定为“地基工程学”。由于本书并不包括地基工程学的全部内容，所以免不了被指责为“名不符实”，但又想，恐怕只有天才才能研究地基工程学全部领域的内容，再说本书提出的各种问题，确属地基工程学的内容，所以还比较乐观。另外，也考虑了下列因素：现在地基工程学的主要范围是土质工程学，但世界的潮流，明显地从土质工程学向地基工程学发展；第八章8.9节加了岩石强度的统计性质；第七章以前介绍的均是地基工程的共性问题，其它章节中即便是以土作为讨论对象，但其考虑方法很多与岩基设计方法相同；第十章地基工程学的中心课题之一——渗透分析的内容占了相当大的篇幅等。但是，书名只用“地基工程学”的确有些笼统，所以又加上了副标题“可靠性设计的理论与实际”。副标题中的“理论”二字不同凡响，也许与作者的身分不大相称，但还是用了。因为本书不仅阐述了客观理论，而且也阐述了作者自己的价值观和思想方法，所以只有把它作为“理论”才合适。

另外，本书几乎没有使用他人的研究成果和资料，只用了作者及其研究小组的成果。因为当初作者收集、阅读了大量文献，并努力尝试把它们按研究方法及具体对象分类写进书中，但写成的稿子象手册似的支离破碎。造成这种结果的主要原因当然是作者的水平不高，但各文献所介绍的方法目前均在研究之中，并没有取得一定的评价，这也是造成上述结果的

原因。同样，作者自己的思想和研究结果也有这样的问题，但作者的一贯原则是，要限于自己研究的范围加以整理，并对这些成果要有一定程度的把握和承担或许出现追究责任的精神准备。按照这样的原则，本书以作者的思想方法和研究成果为主写成了，所以每章结尾的参考文献自然就偏重于个人的文献资料。不过好在参考文献中也列出了其它研究人员的优秀文献，如果能为读者提供索引的话，作者将感到荣幸。

在上面的叙述中，“作者自己可以解决”的原则很重要。从目录中大家可以看到，各章提出的问题并不多，而且限于一定的范围。但是，作者打算尽可能通过具体事例和数值算例深入讨论带有共性的问题。当然，除此之外也有几个曾打算写进去的问题，如关于承载力和沉降的事前设计，以及隧道(特别是 NATM—新奥法)和抗震问题等等，但最后还是放弃了。主要原因是因为要使可靠性设计具有实际工程意义，其前提必须能精确地描述力学特性，否则，设计用的力学公式的精度就不能被实验和经验所证实，那么受其影响的可靠性设计的精度也就无从谈起了。例如：根据 Terzaghi 承载力公式写出基脚承载力的可靠性设计步骤及其理论公式是很容易的，但在现实中，基脚的支承地基被压缩破坏的情况极为罕见，所以我们就不能知道设计公式的精度，即使进行概率方面的精确计算，也只不过是纸上谈兵而已，不如靠经验的安全系数法更有说服力。关于沉降的事前设计，在进行可靠性设计时，精度上也存在很多问题。从这种观点来看，即使是地基工程的中心课题，若由于设计方法的误差较大，而且误差范围也不清楚，也只好把它作为将来的研究课题保留，本书也就作罢了。抗震设计的内容中，也曾想把考虑了构造物的使用年限和不确定外力出现的设计理论写进去，但由于未经实际验证，只是理论阶段的成果，因而也省略了，原因与上述基本相同。

此外，作者曾打算多选入一些设计图表，将预测破坏概率的使用和地基模型的不同对最佳解的影响也用数值示例加以说明。但是，工作总要告一段落，因此决定将有关图表放在准备编写中的“设计图表集”中详细介绍，本书只选入了一部分。在第十章虽然谈到了($c-\phi$)地基进行破坏概率的分析计算是相当困难的，但当本书已经校对结束时，这部分内容很幸运地写成了。这种情况在其它问题上也有发生，这些内容只好放在上述图表集中了。

这就是本书的编写经过。下面将各章的具体内容简单介绍一下：

第一章至第八章是可靠性设计的基础知识。第一章阐述了传统的安全系数法向可靠性设计发展的必然性，并比较了可靠性设计和安全系数法的优缺点。同时叙述了无论是安全系数法，还是可靠性设计法，归根结底均是处理设计和施工中不可避免出现的不确定性的方法。

第二章讨论了不确定性的定义，在什么阶段产生哪种不确定性，及应采用什么相应的措施。虽然只是简单概念上的说明，但重要的是让读者懂得这些问题在工程设计中不能按照确定性问题处理。

第三章，在介绍了可靠性(可靠度)的定义之后，阐述了可靠性与可靠性所需费用之间的关系。因为它们是矛盾的两个方面，所以必须找出它们之间相容的折衷点，并强调这是技术人员责任。同时还简单介绍了以第二次世界大战为契机而发展起来的可靠性工程的历史，和这种方法引入到工程领域的经过。

为了更好地理解第七章以后的内容，在第四章中以饱和粘土地基上填土设计为例，介绍了设计梗概，以使读者对可靠性设计的全部内容有所了解。另外还介绍了破坏概率的定义，各种设计比较方案的破坏概率与安全系数的关系，以及用评价函数确定最佳设计方案的方法。

但是,可靠性设计决不是万能的,还存在很多问题,适用的范围也有限。关于这些问题的讨论放在第五章。主要问题可分为三类,其中以 $\phi_u = 0$ 条件下的圆弧滑动面法为例说明设计方法的误差是决定可靠性设计工程意义的基本问题,强调了具备地基力学特性高精度知识是极其重要的问题。

第六章介绍了事前设计与为修改事前设计而进行的施工观测的关系。当然,施工前的设计应尽可能做的完善,然而,即使最完善的设计也存在着风险,对土木构造物论述了现实中不允许出现这种风险的特殊原因,还介绍了利用施工中的观测(信息)修改设计的必要性。这些内容虽然也可放在第十四章中论述,但因这是本书的一贯立场,也是作者设计理论的基础,所以特意提前作了介绍。

第七章是最佳方案的选择方法,是围绕决策展开的一般性论述。和第九章以后的内容有些重复,但因每个具体问题在细节上不大相同,所以觉得有必要预先介绍一下共同的基本概念。此外,还论述了根据统计决策理论导出的损失函数,其中包括了作者的大胆的简化,但本书用的评价函数还是正确的。

除了决策之外,可靠性设计的主要工作是破坏概率的计算,为此必须搞清地基物理性能值的统计性质。第八章在简单介绍了统计学之后,主要内容是根据大量实验结果来明确与破坏和沉降有关的各参数的统计性质,并提出了概率模型。特别是重点阐述了使用频率较高的饱和粘土的不排水强度的特性及岩石强度统计性质研究。

第九章以后是可靠性设计的分论。第九章首先介绍了饱和粘土层上的填土设计,这是研究中最成熟的课题,也是本书中作者最有把握的一章。接着以相当大的篇幅介绍了中值安全系数、破坏概率以及损失函数公式的推导过程,之后列出了有关填土形状,复合地基等的可靠性设计的具体步骤和结果。最值得指出的一点是,最佳设计方案的中值安全系数大致等于按传统安全系数法计算的标准值1.25左右。

第十章是边坡的可靠性设计。方法与第九章基本相同。这一章主要有两个特点,一是重新评价了边坡稳定理论,进一步精确了Tarlton稳定图表。边坡稳定问题由于是个老问题,是人们共知的问题,因而致使我们盲目地接受了前人的成果,甚至对存在的问题和疑点也接受下来。这些问题明确之后,必须提高用于可靠性设计的稳定图表的精度。另一特点就是,相当严密地从工程的角度分析了状态量因降雨而随时间变化的边坡稳定问题。

第十一章是回填式挡土墙的设计。这一章是否应该删去直到最后还在踌躇不决,因为这一章在工程精度上还存在着相当多的问题。但是最后还是抱着从可靠性设计的角度验证以库仑公式为基础的现行设计法的想法保留下来,并提出了与边坡稳定问题有关的结果。由于没有达到可靠性设计的最后阶段,所用的方法也有点勉强,批评是不可避免的,但希望它能给技术人员提供一些与传统观点不同的信息。

与挡土墙相比,有关板桩和地下墙在现场实测资料很多,所以第十二章介绍的挖方挡土墙的可靠性设计是具有一定程度的把握写成的。在从精度和易用性角度分析了各种设计方法后,还以可靠性设计实例为主进行了论述。与填土情况相同,求得的最佳值与实际对照,结果极其吻合,从而体现了技术人员的经验和聪明才智。

对第十三章的内容有些踌躇,与十一章相比,不可能那样详细地论述,特别是由于破坏概率在理论上存在着不可克服的不足。但是,我想单是大量的实际调查结果也可作为珍贵的参考资料,由于没有小直径埋管设计确定的评价方法,不如找出一种不成熟的设计方法以供参考。

第十四章介绍了利用施工观测预测破坏与沉降的方法。这一章乍一看与可靠性设计无关,实际并非如此。当然,虽与可靠性设计不大切题,但并没有丧失本章的重要作用。这一章的重要意义就在于将第六章的设计理论具体应用到第十五章动态可靠性设计时,预测技术是不可缺少的内容。由于篇幅所限,本章只介绍了作者研究小组开发的方法,也提到一些其它优秀的方法。

第十五章属于动态可靠性设计。它是根据现场观测对事前设计加以修改,使事后设计不断优化方法。作为工具是否使用可靠性设计理论先暂且不论,但相信这是土工领域中最出色的设计和施工理论。通常也被称为信息化施工方法。为了把这种理论用可靠性设计表示,必须建立理论公式。只以抽象的理论推导是难以理解的,所以以分期填土的设计为例进行了公式推导,探讨了设计结果。此外,还介绍了开挖水平撑布置的设计示例。虽然此章篇幅不多,但也是本书中最重要的章节之一。

第十六章是将目前正在研究过程中的,认为将来一定会用于可靠性设计领域中的各种问题未加作者个人观点地记述下来。当然,限于作者的观察能力,可能尚有遗漏的问题。

以上叙述了很多,请通过全书以及各章理解作者的意图。本书如能为读者在应用和研究方面提供一些参考,作者将感到万分荣幸。同时敬请各方面批评指正,使之成为今后研究的动力。

最后,向作者的合作研究人员以及为本书出版而辛勤劳动的诸位表示感谢。本书是根据近二十年来与合作研究人员共同研究的成果写成的,决不是作者个人的成果。这其中,有初期与作者共同进行艰难探索的日本技术开发土木本部构造部次长工学硕士驹田智久先生、京都大学副教授工学博士黑田胜彦先生,有用卓越的理论和数学为作者的设计思想加以公式化,并为以后的研究作出了大量贡献的名古屋大学副教授工学博士浅岡颯先生,有为各种很难的设计问题研究具体解决办法而倾注了全部心血的名城大学教授工学博士堀内孝英先生、金沢工业大学副教授工学博士川村国夫先生、日本土木技术室课长工学博士上野诚先生,有把大量数值计算简化为设计图表的名古屋大学助教工学硕士铃木寿先生和工学硕士板桥一雄先生,还有很多在作者研究室进行大学和硕士课程毕业研究,承担大量的实验和计算的毕业生,对以上各位先生表示衷心的感谢。此外,对作者几次停笔加以鼓励和指导直到本书出版的技报堂出版社的宫崎忍先生,为本书内容编排和版面设计的同森晴人先生,三年多来帮助本书清样、校对的研究室的河村敏子女士深表谢意。

松尾 稔

1984年1月

目 录

第一章 序论 (从安全系数到可靠度)	1
1.1 需要安全系数的理由	1
1.2 不确定性与设计的定义	1
1.3 安全系数法的定义与要求的基本事项	2
1.4 安全系数法的缺点和用可靠度评价安全性	2
1.5 对可靠性设计所寄予的期望	3
第二章 关于不确定性的各种问题	4
2.1 不确定性发生的地点及种类	4
2.2 处理不确定性的方法	7
第三章 可靠性与工程问题	9
3.1 可靠性的定义与可靠度	9
3.2 可靠性与费用	9
3.3 可靠性工程学的发展历史	10
3.4 在土质工程领域中的发展过程	10
第四章 可靠性设计的概念	12
4.1 强度及荷载的变动	12
4.2 破坏概率的定义	13
4.3 破坏概率和中值安全系数的关系	14
4.4 最佳设计方案的确定	15
4.5 可靠性设计的两个工作	17
第五章 可靠性设计存在的问题	19
5.1 代表性的问题	19
5.2 设计法本身具有的误差	20
5.2.1 设计法的定义	20
5.2.2 设计法的误差	20
5.3 可靠性设计法的应用界限	22
5.4 展望	23
第六章 决策和预测问题	24
6.1 事前最佳决策	24
6.2 力学现象预测技术的重要性	24
6.3 施工管理和改变设计	25
6.4 信息的价值	25
第七章 决策	29
7.1 决策所需要的项目	29

7.2 价值和评价项目	29
7.3 评价函数和评价标准	30
7.4 统计决策理论的设计优化	31
7.4.1 损失函数和决策标准	31
7.4.2 地基状态的不确定性和统计决策理论	34
7.4.3 关于预测破坏概率	37
第八章 土的统计性质	39
8.1 调查或试验结果变动的原因	39
8.2 统计整理需要的基础	40
8.2.1 均值、方差、自相关函数	40
8.2.2 土要素大小和在工程上的宏观范围	42
8.3 土的指数性质	43
8.3.1 粒度	43
8.3.2 孔隙比	43
8.3.3 含水量	44
8.3.4 容重	45
8.3.5 稠度	47
8.4 饱和粘土的不排水强度	47
8.4.1 沿深度分布模型	47
8.4.2 自相关性	53
8.4.3 固结产生的迁移特性	55
8.5 不饱和粘土强度	62
8.5.1 抗剪强度	62
8.5.2 强度系数	63
8.6 砂的强度	65
8.7 涉及沉降问题的土质参数	65
8.7.1 压缩指数与压缩比	65
8.7.2 体积压缩系数	67
8.7.3 固结系数	68
8.8 土质参数之间的相关关系	69
8.8.1 指数性质之间的相关关系	69
8.8.2 力学性质与指数性质之间的相关性	71
8.8.3 力学性能相互间的关系	74
8.9 岩石强度的统计性质	75
8.9.1 无侧限抗压强度和无侧限抗拉强度的变化	76
8.9.2 内摩擦角 ϕ 的分布推算	77
8.9.3 凝聚力 c 的分布推算	82
第九章 在饱和粘土层上填土的可靠性设计	85
9.1 填土的破坏和假定	85
9.1.1 破坏的形态和稳定计算法	85

9.1.2 不排水强度、设计法的误差、地基模型化	85
9.2 安全系数计算公式的推导	87
9.3 破坏概率的计算	90
9.3.1 概念说明	90
9.3.2 破坏概率公式推导和滑动面的确定	90
9.4 损失函数的形式	93
9.5 预测破坏概率	95
9.5.1 概念解释	95
9.5.2 未知参数的概率分布	96
9.5.3 预测破坏概率(破坏概率的统计推算)	98
9.6 填土形状的最佳设计	99
9.6.1 计算中值安全系数 $\bar{G}$ 的公式推导	99
9.6.2 破坏概率的计算(B模型)	106
9.6.3 填土边坡坡度的最佳设计示例	109
9.6.4 反压护道的最佳设计示例	113
9.7 复合地基(用压实砂桩加固的地基)的最佳设计	114
9.7.1 稳定分析法	115
9.7.2 中值安全系数的推算公式	116
9.7.3 最小安全系数圆的位置	120
9.7.4 破坏概率的计算	123
9.7.5 复合地基的最佳设计示例	123
9.8 分期(分阶段)填土的最佳设计	126
9.8.1 基本准备事项	126
9.8.2 问题的假设和计算方法	128
9.8.3 损失函数的形式	129
9.8.4 数值计算示例	130
9.9 从不同设计方案中选择最佳方案	132
9.9.1 设计方案的确定步骤	132
9.9.2 数值例分析	132
第十章 边坡的可靠性设计	140
10.1 边坡稳定概论	140
10.1.1 边坡分类	140
10.1.2 边坡稳定分析法的历史回顾	143
10.1.3 只有凝聚力的简单边坡稳定图表的精确化和几个问题的分析	150
10.2 只存在凝聚力的粘土边坡	157
10.2.1 设计对象及中值安全系数的确定	157
10.2.2 破坏概率的计算	158
10.2.3 损失函数	162
10.3 不饱和粘性土边坡	164
10.3.1 不饱和粘性土的强度	164

10.3.2	中值安全系数的计算	164
10.3.3	破坏概率的计算	167
10.3.4	损失函数	170
10.4	边坡在降雨时的可靠性设计	172
10.4.1	降雨引起的土中非稳定渗透分析	173
10.4.2	不用渗透分析推定土中最大含水状态	184
10.4.3	强度随水分变化的迁移特性	186
10.4.4	设计思想	193
10.4.5	边坡上铁塔保护工程的事例研究	196
第十一章	回填式挡土墙的可靠性设计	201
11.1	所研究的挡土墙和讨论的界限	201
11.1.1	回填式土压力和挖方式土压力	201
11.1.2	挡土墙的种类和设计土压力	201
11.1.3	研究的范围和问题	204
11.2	库仑主动土压力的概率分布	205
11.2.1	挡土墙和回填土	205
11.2.2	主动土压力的分布	206
11.2.3	破坏概率的计算	208
11.3	从边坡稳定问题判断土压力	209
11.4	在挡土墙设计上适当安全系数的概略值	212
第十二章	挖方挡土墙的可靠性设计	214
12.1	设计的顺序	214
12.2	设计方法的精度分析	215
12.2.1	作用在挡土墙背面的土压力	215
12.2.2	设计方法存在的误差	220
12.3	挡土墙的最佳设计	223
12.3.1	挖方现场的破坏概率和评价函数	223
12.3.2	利用数值计算的最佳设计例子(已知地基状态时)	224
12.3.3	数值计算的最佳设计示例(按统计法推断地基状态时)	229
12.3.4	与实测例的比较	231
第十三章	小直径埋管的可靠性设计	234
13.1	设计考虑方法	234
13.2	平时的破坏因素分析	235
13.2.1	输水管破坏的实际状态	236
13.2.2	输水管的折断和地基的关系	238
13.2.3	输水管埋设深度和折断的关系	239
13.2.4	输水管折断因素分析	239
13.2.5	因素分析结果对埋管设计的应用	242
13.3	地震时的破坏因素分析	242
13.3.1	影响埋管震害的因素	242

13.3.2	埋管的震害与地基 N 值的关系	244
13.3.3	埋管震害的因素分析	246
13.3.4	因素分析结果在埋管设计上的应用	247
13.4	埋管的破坏概率	247
13.4.1	考虑埋管破坏影响范围的破坏概率	247
13.4.2	地基的 N 值和破坏概率	251
13.4.3	破坏概率对设计的应用	255
13.5	埋管的最佳设计示例	256
13.5.1	最佳设计的评价方法和评价标准	256
13.5.2	埋管设计应确定的事项	257
13.5.3	埋管最佳设计的具体方法	257
第十四章	利用现场观测力学现象的预测技术	261
14.1	预测技术开发的重要性	261
14.2	软粘土地基上填土的破坏预测	262
14.2.1	根据现场实测示例提出的破坏预测法(施工管理图)	262
14.2.2	只测定填土中央处下面的沉降 d 和坡脚处的侧向位移 δ 的力学根据	265
14.2.3	利用数值计算分析变形特性	265
14.2.4	填土施工中荷载比例关系	268
14.3	挖方挡土墙的破坏预测	270
14.3.1	挖方施工现场的安全度	270
14.3.2	破坏预测的考虑方法和实测例	271
14.3.3	不作土压力观测的方法	277
14.4	降雨时边坡的破坏预测	279
14.4.1	灾害的预测	279
14.4.2	利用破坏概率预测技术的意义	279
14.4.3	实际边坡破坏概率的计算	280
14.4.4	破坏预测方法的力学背景	284
14.5	饱和粘土地基沉降的预测	288
14.5.1	固结理论公式的新的展开	289
14.5.2	浅网·松尾方法的特点	291
14.5.3	观测和资料整理的顺序	292
14.5.4	最终沉降量的预测	293
14.5.5	利用短期观测预测近期沉降	293
14.5.6	利用长期观测数据预测沉降	294
14.5.7	应用事例	294
第十五章	动态可靠性设计	299
15.1	动态设计概要	299
15.2	动态设计的最优化(分阶段填土示例)	300
15.2.1	施工观测前的事前信息	300

15.2.2	利用施工观测修正 $\xi(\theta)$	301
15.2.3	动态设计的最优化	304
15.2.4	粘性土地基上多阶段填土的数值算例	306
15.3	地基开挖时水平支撑位置的动态设计示例	309
15.3.1	问题的拟定	309
15.3.2	设计条件及最优决定	309
15.3.3	与施工的关系	312
15.3.4	算例和分析	312

第十六章 今后的展望 319

(1)	按等效多层体系地基分析粘土层上填土的稳定	319
(2)	考虑外力不确定性的可靠性设计	320
(3)	填土及边坡的抗震设计及抗震诊断	320
(4)	NATM 的支护工程设计	321
(5)	桩的承载力	321
(6)	上、下部结构的整体可靠性设计	322
(7)	输电铁塔基础的可靠性设计	322
(8)	沉降的可靠性设计	323
(9)	地基调查规模的确定	323
(10)	设计图表化	324
(11)	设计评价方法	324

第一章 序 论

——从安全系数到可靠度——

在考虑工程问题时，不管具体是哪类问题，“安全性评价”总是最根本而且最重要的课题。有关土质工程学的各种设计和施工问题，当然也不例外。对于安全性评价，传统上一般采用安全系数作为评价尺度。因此，我们首先要简单地整理一下安全系数与安全系数法的概念，同时阐述作为本书主题——可靠性设计产生的必然性。

1.1 需要安全系数的理由

在规划和设计土木构造物时，目前可以说一定要用安全系数的概念。而且，采用多大的安全系数常常成为关键问题。这是由于构造物的规模越大，则安全系数稍有差别，对构造物的安全性和建设费用影响就越大。虽然如此，遗憾的是人们常常没有认识到安全系数的概念和作用，或安全系数对于工程效益的具体影响等等。结果在多数情况下，先机械地估计安全系数为2或3，然后再逼近实际情况。

那么，为什么需要安全系数呢？那是因为人们在规划新设施或建造构造物时，不可能完全正确地（更严密的说“确定地”）预知各种现象所可能造成的后果。换句话说，从我们工程技术人员角度来看，由于这些现象中包含着多种多样的不确定性，尽量正确地处理这些不确定性在设计上是非常必要的，这就要求引入安全系数的概念。

正如1.3节所述，使用安全系数的所谓安全系数法是处理种种不确定性的设计方法之一。

1.2 不确定性与设计的定义

如上所见，为了评价安全性及考虑安全系数问题，首先整理一下有关不确定性的知识则是不可缺少的。有关不确定性的问题将在第二章中详细论述，下面只是简单地介绍一下。

从词典上讲，不确定性的概念有各种各样解释，如“不确定状态”、“不可靠状态”、“多种倾向”、“不稳定状态”、“既不能完全知道又不能正确预测”等等。总之，所谓不确定性是否可以定义为：“即使原因或状态的集合都完全已知，但结果却不能肯定，换句话说，未来的现象或作用的结果不能用因果法则预测”。

那么，设计究竟是什么呢？一句话，所谓设计可定义为“在不确定性的条件下，尽力作出正确决定的工作”，也就是“在不确定性的条件下的最优决定问题”。即所谓设计，就是在很多不确定性的前提下，按照已知限定条件（工期、费用等），“确定当时认为最为合理的方法或断面”。这种情况下，从所设想的很多设计方案中选择和确定认为是最佳方案的方法也有几个，安全系数法是其中之一，而本书的中心课题——可靠性设计法也是其中的一个。

1.3 安全系数法的定义与要求的基本事项

安全系数法的定义有各式各样表示方式,简单地可定义如下:所谓安全系数法,总而言之系指“在通过理论、感度分析或过去的经验与实验,误差的大小或近似度在一定程度上比较明确的情况下,把本应内存于系统中的各种不确定性,概括成某一系数作为系统的输出”的一种方法。也就是说,即使在完全不掌握包括调查、计算、施工方法在内的设计法所具有的不确定性机理的极端情况下,如果将不确定性的机理全部输入到黑箱子^①(black box)后,只要知道在设计上用起来方便而且能弥合与实际现象之间的差别的某个系数就可以了。只要能满足这一点,许多问题都可以用安全系数法解决。

安全系数 F_s 一般可用下列形式表示:

$$F_s = \frac{X}{Y} \quad (1-1)$$

进一步说,对于安全系数法唯一重要而需要的是要掌握设计法与实际现象之间差距的大小,系统的输出以 F_s 概括时,以多大的 F_s 值大体可以满足工程上(“工程上”这句话当然也包括经济性)的要求。从本质上来说,正是这一点才是最关键的,极端地说,上式中 X 和 Y 表示为任何形式都可以。一般来说,往往可以用强度和剪应力之比表示,但从上述安全系数法的基本思想来说,并没有任何必须这样做的理由。正应力之比可以,集中力与其反力之比也可以。象圆弧滑动问题,用抗滑力矩和滑动力矩之比当然也可以。而且,就是将挖方(或填方)高度或挖方(或填方)坡度除以某一基准值直接作为安全系数也无妨碍。

1.4 安全系数法的缺点和用可靠度评价安全性

在上一节我们大致从概念上了解了安全系数法。也就是说,只用安全系数法,安全系数大小本身不可能对工程给出定量的意义。用力矩之比分析滑坡时,如果知道采用 $F_s = 1.2$ 可以大体满足工程上的要求,那就取 $F_s = 1.2$; 对于基础的承载力问题,如果安全系数取 3 可以的话,就取 3。而且,如果采用 $F_s = 10$ 代替更加简化的设计法,在工程上能得到满意的结果,那么也可以。总之, $F_s = 1.2$ 决不意味着 120% 的安全, $F_s = 3$ 也决不是 3 倍的安全。换句话说,安全系数并不是定量表示安全性的尺度。说的粗一些,上面所说的 1.2 也好, 3 也好,或者 10 也好,其实都一样。下面试举出在设计阶段中出现的例子。

作为同一目的和起同样作用的构造物,可以分析一下重力式混凝土坝和土坝。也就是说,在某一地点,这两种坝都可以修建,而都能起到相同的作用。在修建重力式混凝土坝的情况下,例如对于坝体地面与基岩之间的滑动破坏,设计安全系数可估计为 4; 而修建土坝时,对于坝体内部的滑动,安全系数只估计为 1.2。这种情况下,安全系数为 4 的混凝土坝比安全系数为 1.2 的土坝安全 3 倍以上吗? 并不是如此,因为混凝土坝与土坝的计算公式不

① 黑箱法是美国科学家维纳创立的,是认识研究复杂事物的有效方法。这种方法是指人们需要认识复杂事物,由于条件的限制,其内部情况不能或不容易观测到,好象关闭在一个不透明的密封的箱子里,这类事物都可看作黑箱。人们把黑箱看作一个整体,不打开它,在外部进行观察和试验,具体说,就是通过观测外界向黑箱输入的信息和从黑箱里输出的信息,来研究它内部的规律性,探索它内部的结构和机理。

同,设计用的假设和系数确定方法也不一样,所以,以安全系数4设计的混凝土坝和以安全系数1.2设计的土坝,从理论上比较哪种坝比较安全那是不可能的。硬要说的话,按照过去的实践,这两者具有相同的安全度,而且也只能是这样。

这样,根据每个具体问题的不同,应采用的安全系数的大小当然也就不同。并且,即使是同一构造物,假如所用的设计方法不同,安全系数的大小则肯定也不相同。其原因这是由于各种设计方法具有的精度,换句话说,由于各种设计方法采用的各种假设或简化而造成的固有不确定性,以及不同设计方法造成工程实践上的差异。年青的实际工作者中,一定有遇到下列问题的读者。例如,在粘土层上进行填方设计时,“用圆弧滑动法设计的填方与采用泰沙基(Terzaghi)的承载力公式设计的填方,对于相同的承载力问题的设计为什么结果不相同”,并且,“用圆弧滑动法计算时,安全系数采用1.25,而使用承载力公式时,为什么安全系数采用3呢?”这无需再反复解释,其原因就是这两种设计方法考虑问题的方法和得到设计用各参数的试验方法的假设及简化的程度不同;另外,各种设计方法所得到的工程效果也有差别。按圆弧滑动法以 $F_s=1.25$ 设计的结果和用泰沙基承载力公式以 $F_s=3$ 设计的结果,实际从定量上看或许具有相同的安全度。

归结起来,安全系数虽是欲以数值表示安全度的指标,但并不能作为定量表示安全度的尺度。这虽然是个显而易见的问题,但它的重要性目前一般并没引起人们注意。这样,不能够定量的表示安全度是安全系数法最大的缺点。但是,这一点绝不能全面地否定安全系数法在工程上的效用。因为工程上的很多问题是没有必要定量地、详细地求其安全度的大小,同时,由于没有设计方法或设计方法不完善,输入数据的不正确等等,也不能追求定量的安全度,而且在很多情况下,即使可以定量的计算,但在力学上并没有什么意义。

尽管如此,但随着时代文明的进步,以及各种设施或构造物的日臻复杂化及大型化,必然导致产生定量地合理地测定其安全性的要求。因此,将可靠度的概念(或叫破坏概率)引入到安全性评价的时机已经到来。正如第三章将要谈及的,可靠度是以概率表示力学安全度的定量尺度。

1.5 对可靠性设计所寄予的期望

对可靠性设计法寄予的期望主要可分为两个方面。

其一是可靠性设计用的基础参数——可靠度,能不能成为比较所有构造物安全度的基本尺度。如上所述,可靠度可用概率这一量来表示。以安全系数4所设计的混凝土坝的可靠度(称为不破坏的概率)可作为99.99%,另一方面,以安全系数1.25设计的土坝可靠度假如仍为99.99%,则就可以断定这二者具有相同的安全度。这样,就可期望用安全度这个基本尺度来比较各种构造物的安全性了。

可靠性设计的步骤将在第四章介绍,在这种方法论中,力学的尺度——可靠度是与经济性密切相关的。所以,通过引入决策法,就可确定合理的最佳设计方案。也就是说,对可靠性设计寄予的另一个期望那就是与惯用的半经验的、直观上确定的设计相比,可以更科学的评价设计结果,更易于得到广泛的一致意见。