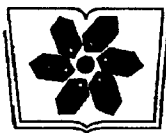


OPTIMAL FORTIFICATION INTENSITY  
AND RELIABILITY OF ASEISMIC STRUCTURES

# 抗震结构的 最优设防烈度 与可靠度

王光远 程耿东 等著  
邵卓民 陈厚群

科学出版社



中国科学院科学出版基金资助项目

# 抗震结构的 最优设防烈度与可靠度

王光远 程耿东 等著  
邵卓民 陈厚群



国家自然科学基金重大项目  
“城市与工程减灾基础研究”  
子项研究成果

科学出版社

1999

## 内 容 简 介

本书是对国家自然科学基金委员会“八五”期间在土木建筑方面唯一的重大项目“城市与工程减灾基础研究”的第二子课题研究成果的总结。全书包括四个相对独立的部分：第一部分是基于最优设防荷载的抗灾结构优化设计；第二部分是基于可靠度的抗震结构优化设计；第三部分是地震作用与结构抗震可靠度标准的研究；第四部分是混凝土坝的抗震可靠性分析。本书主要是针对抗地震结构的设计，其特点是理论和实践并重，在深入的理论研究基础上提出了简便实用的计算和决策方法。

本书可供土木、建筑、水利工程专业的技术人员、科研工作者、研究生及高等院校相关专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

抗震结构的最优设防烈度与可靠度/王光远等著. -北京：科学出版社，1999

ISBN 7-03-007139-5

I. 抗… II. 王… III. ①抗震-建筑结构-防裂-最佳化-结构设计②抗震-建筑结构-可靠性-结构设计 IV. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 35072 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1999 年 7 月第 一 版 开本：850 × 1168 1/32  
1999 年 7 月第一次印刷 印张：13 3/4  
印数：1—2 200 字数：354 000

定价：25.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈新欣〉)

## 前 言

自古迄今,自然灾害都是对人类的最大威胁,地震、海啸、飓风、洪水、火山、泥石流、火灾和旱灾经常造成人们生命财产和社会的巨大损失。例如,具有巨大破坏力的台风、罕见的特大洪水和意外的大地震作用,一旦发生,很可能产生严重的后果。这样的例子在历史上不胜枚举。1976年,我国河北唐山发生里氏7.8级大地震,导致四十多万人伤亡,财产损失和灾后重建工作费用达数百亿元。1994年美国加州北岭大地震和1995年日本阪神大地震所造成的损失更是高达数百上千亿美元。在科学技术尚欠发达的时候,人们只得听天由命,承受大自然的无情摆布。随着科技的不断发展,人们开始考虑和研究抗御和减轻自然灾害的各种手段。当前,这已成为全世界共同重视的重大课题。联合国决定将20世纪的最后10年定为国际减灾年,是很说明问题的。

在我国,国家自然科学基金委员会决定以“城市与工程减灾基础研究”作为“八五”期间土木建筑方面唯一的重大项目,是与当前国际的上述行动相配合的重要举措。本书就是根据该重大项目的第二个子课题的研究成果撰写的,其内容主要是工程结构抗地震设计的理论和实用方法。

人类抵御自然灾害的历史可以一直追溯到遥远的古代。灾情预报和防灾结构设计是人类抵御自然界灾害荷载作用的两条主要途径。限于目前的科技水平,也由于灾害形成的机理、发生的原因、传播规律的极端复杂,人类还无法得到准确的中、长期灾情预报,例如目前还不可能得到比较准确的长期的天气预报。至于地震作用,甚至连短期的预报也往往无法提供。即使有时能得到短期的地震灾情预报,一方面,由于所提供的预报在发震地点、时间和震级等方面的准确程度有限,例如1976年四川松潘地震,发震地点与

预报地点相差 200km,满足不了抗震防灾方面的基本要求,仍然造成人员伤亡和重大财产损失。另一方面,即使提供的灾害预报可以帮助人类避免人员伤亡,但仍然无法避免财产损失,例如 1975 年的海城地震,虽然地震预报相当准确,人们可以及时撤离危险区,但是由于大量的建筑物的破坏和倒塌,仍然造成巨大的经济损失。因此,在加强预报工作研究的同时,建立合理的防灾结构设计理论、方法和可操作的措施,设计有足够防灾能力的工程结构是十分关键的。

工程结构的防灾能力依赖于很多因素,包括建造结构所使用的材料、施工的方法和质量、构造细节、设计方案,还和建造结构的投资有关。如何形成一个合理的设计思想,在工程结构的防灾能力和建造费用之间找到一个较好的平衡,是工程界一直关心的重大课题。

结构的优化设计是结构设计理论的重大发展。因为同一个设计任务,可以有多种不同的可用的设计方案,从所有可用方案中选用最满意的方案自然是理所当然的追求。目前结构优化设计在一些重要的工程中已经得到成功的应用,但在土木和建筑工程界应用得还不普遍。这有三个方面的原因:设计人员不熟悉结构优化的理论和方法,而且优化目标不符合工程需要;现行设计规范和规程中还没有明确规定采用优化设计的方法和要求;目前土木建筑界的管理体制和习惯作法缺乏使人们追求优化设计方案的动力。但这些因素都是暂时的,任何情况下“择优而用”是人们无法回避的要求。

本课题分为四个专题,由哈尔滨建筑大学、大连理工大学、中国建筑科学研究院和中国水利水电科学研究院分别进行研究;本书的四个部分就是相应的研究成果。在四年的研究中四个专题每年都进行交流和讨论,所以在学术思想和研究方法上多有所借鉴,但基本上是分别独立进行的。本书的四个部分虽有一定的联系,但均自成体系,在内容和形式(包括采用的科学名词和符号)上都是独立的。

本书的第一部分是基于最优设防荷载的抗灾结构优化设计的理论和方法,重点针对抗地震结构,但也提出了把这一理论用于抗风结构的可能性和途径。哈尔滨建筑大学从1982年开始研究这个问题,当时就提出了以下一些重要的概念和原则:

(1)在根据工程项目的总体规划对结构的功能要求和现有条件决定了结构的选型和拓扑以后,把抗灾结构的优化分为两个阶段进行:首先对该结构的最优设防水平进行决策;然后对结构进行最小造价设计,以期用最小造价实现为结构所规定的最优设防能力。这样就以非常合理的方式大大简化了抗灾结构的优化运算。

(2)在决策其最优设防水平时必须既考虑结构的近期投资(造价),又考虑长远效益(结构遇灾的损失期望)。早在1972年华裔科学家刘师琦就提出了这一概念,但一直未能实现,主要是因为无法把结构的损失期望表达为设计向量的函数。

(3)当工程项目包括不止一个主要结构时,它们之间必然存在一定的横向联系,分别对每一结构进行优化,所拼凑而成的工程项目不一定优化。因而作者在国际上首次提出对“工程系统”(即工程项目主要结构的集合)进行全局优化的概念。

(4)研究的最后结果应该与我国现行的抗灾结构的设计规范接轨。因为结构优化设计是一门应用性很强的科学,只有和设计规范接轨才有可能为工程技术人员所接受,直接为生产建设服务。

经过十几年的努力和多种探索之后,作者们终于在抗地震结构的优化设计中实现了上述四个原则,提出了一套完整的、切实可行的、与现行设计规范完全接轨的优化设计方法。囿于篇幅的限制,本书第一部分中将只介绍这个理论和应用的方法。关于这种理论在各种工程结构中应用的具体方法,作者们将另撰专著介绍。

关于工程优化问题,作者还提出了“工程项目的全系统全寿命优化”的概念和部分理论。本书的第一部分是这个理论的重要组成部分。

本书第二部分“基于可靠度的抗震结构优化设计”以结构可靠度理论和结构优化理论为基础,针对所涉及到的有关问题进行了

研究,主要包括以下内容:引入荷载粗糙度指标,对结构抗力和荷载效应的离散程度的不同情况进行讨论;结合规范对抗灾结构进行分析,指出灾害荷载可以近似为无限粗糙荷载、非灾害荷载为一般荷载,并提出了灾害荷载下结构体系可靠度计算的近似方法。

本部分介绍了结构体系可靠度的近似方法,利用结构响应的灵敏度信息,对计算结构体系可靠度的重要性抽样进行改进,提高了该方法的效率;讨论了目前基于体系可靠度计算结构失效损失的结构优化设计模型的缺点,给出了一个较为合理的模型;采用该模型,研究了框架结构等的优化设计,说明这个模型可以将概念设计和计算设计较好地统一起来。研究了基于可靠度和结构功能要求的结构抗震优化设计理论,对基于结构功能要求的体系可靠度概念、结构损失期望值估计、目标可靠度的确定、结构局部失效模式及适合实际土木工程结构的优化方法等进行了研究,并对钢筋混凝土高层结构进行了抗震优化设计。另外,从结构的分灾思想、分灾元件、分灾模式、分灾设计基本原则等方面,系统研究了基于分灾模式的结构防灾减灾设计概念,并通过对典型结构设计分析,说明分灾模式的设计概念是可行的。

本书的第三部分介绍了地震作用标准和结构抗震可靠度标准的研究成果。采用抗震设防——效益分析方法来确定工程抗震设防标准,需要建立目标函数,使之取极值求得最佳的决策。在对采用工程决策分析方法的目标函数进行分析的基础上,建立了采用工程决策分析方法确定抗震设防标准的框图、步骤和包括的主要研究内容;通过调查分析郑州市、洛阳市、新乡市和成都市各类房屋的工程造价,首次系统地给出了各种设防烈度下相对于不设防工程造价的增加比例;探讨了工程结构的易损性分析应采用基于可靠度理论的方法,并建立了间接损失与不同破坏状态直接损失的关系;运用工程决策分析方法探讨了我国城市抗震设防的最佳烈度,分析研究了不同重要性房屋和生命线系统中不同重要性元件的抗震设防标准。在结构可靠度分析研究方面,探讨了地震作用下结构承载能力可靠度分析中通过反应谱和运用随机振动方法,

得到结构最大反应概率统计特征的有关问题,并指出应把作用在结构上的恒载和楼面活荷载作为随机变量;提出了钢筋混凝土框架房屋层间屈服和极限位移的分析方法,研究并建立了钢筋混凝土框架房屋不同破坏状态的变形指标及其概率统计特征;对用随机反应谱方法计算滞回结构层间弹塑性最大位移反应的等效参数,提出了改进方法;鉴于场地地震效应是由场地振动效应和场地地面破坏效应两个方面构成的,因此对场地地面破坏效应中的饱和和砂土或粉土液化危害进行了概率分析,并在此基础上首次初步建立了综合影响结构破坏的场地地面破坏效应和场地振动效应的结构抗震可靠度分析的整体框架。

本书第四部分主要介绍从传统的确定性设计方法向概率设计方法方向发展,这是当前结构工程设计的发展趋势。计入作用和结构抗力实际上存在的随机性和将主要依靠直观经验确定的安全系数变为系统地应用统计数学定量给出一定基准期内结构的失效概率和统一可比的可靠指标,无疑是工程设计思想、概念和方法上的突破。对于规模、造价及其对国民经济的影响都十分巨大的水工建筑物,更新以经验为主的确定性设计方法到更为科学的、以统计数学为基础的概率设计方法显得尤为重要。与大多数其他作用相比较,在水工结构设计中考虑地震和地震动的随机性更显迫切和必要。本部分论述了混凝土坝抗震动力可靠度分析方法及其应用。

针对混凝土坝抗震设计的现状和地震工程的发展情况,作者在三个不同深度的层次上较为系统和深入地介绍了混凝土坝抗震可靠度分析的地震作用模型和结构可靠度分析方法。(1)将地震作用和结构抗力都作为随机变量;(2)将地震作用作为一平稳随机过程,考虑地震动沿坝址河谷的空间变异性,用随机振动理论求解结构的随机响应,并基于首超概率确定结构的抗震可靠度;(3)考虑地震作用的强度和频率非平稳性。本部分的重点是前两个层次。第一层的成果已经纳入最近正式批准发布的《水工建筑物抗震设计规范》(DL5073-1997)。第二层次系统地建立了基于平稳随机地震动和地震动场作用的混凝土坝抗震可靠度分析方法。第三层次的

研究工作难度很大,作者将一些探索性的研究成果做了介绍。

抗灾结构的优化设计是一个很复杂和生产上极需解决的课题,而建立既要理论严格又要切实可行的方法就需要解决不少难以处理的问题。因而,本书提出的方法必然还有许多值得进一步研究和改进的地方,诚恳地希望读者提出宝贵的意见和建议。

本书第一部分由王光远、吕大刚、顾平撰写,第二部分由程耿东、李刚、蔡悦撰写,第三部分由高小旺、邵卓民、苏经宇撰写,第四部分由陈厚群、杜修力、梁爱虎撰写。

# 目 录

## 前 言

## 第一部分 抗灾结构最优设防荷载的决策

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第一章 概述</b> .....                | 3  |
| <b>第二章 工程设计理论的发展</b> .....         | 7  |
| 2.1 学科发展的规律 .....                  | 7  |
| 2.2 工程设计的软科学性质 .....               | 7  |
| 2.3 工程设计前期的决策工作 .....              | 10 |
| 2.4 工程结构系统的全局优化 .....              | 15 |
| 2.5 工程项目的全寿命优化 .....               | 18 |
| 2.6 工程项目的分阶段多目标优化 .....            | 20 |
| 2.7 工程设计中不确定信息的科学处理 .....          | 23 |
| <b>第三章 抗灾结构优化设计的特点</b> .....       | 28 |
| 3.1 抗灾结构优化的四个层次 .....              | 28 |
| 3.2 抗灾结构优化设计的目标函数 .....            | 30 |
| 3.3 抗灾结构最优设防水平的探索 .....            | 34 |
| 3.4 抗灾结构最优设防荷载和最优设防可靠度的比较 .....    | 38 |
| <b>第四章 抗灾结构的多级设防与灾害危险性分析</b> ..... | 40 |
| 4.1 抗灾结构的多级设防原则 .....              | 40 |
| 4.2 地震危险性分析的基本概念 .....             | 43 |
| 4.3 危险性分析中地震荷载的决策 .....            | 46 |
| <b>第五章 抗震结构最优设防烈度的决策</b> .....     | 49 |
| 5.1 解决问题的几个原则 .....                | 49 |
| 5.2 解决问题的途径 .....                  | 52 |
| 5.3 抗震结构的三级条件可靠度 .....             | 52 |
| 5.4 设防烈度为 $I_a$ 时结构遭受各级破坏的概率 ..... | 56 |
| 5.5 多级失效准则下的损失期望 .....             | 61 |

|            |                                 |            |
|------------|---------------------------------|------------|
| 5.6        | 最优设防烈度 $I_d^*$ 的决策 .....        | 62         |
| 5.7        | 按最优设防烈度进行优化设计 .....             | 63         |
| 5.8        | 抗震结构三级可靠度的计算 .....              | 66         |
| 5.9        | 抗震结构优化设计的步骤及其简化处理 .....         | 68         |
| <b>第六章</b> | <b>简单工程系统抗震设计的全局优化 .....</b>    | <b>70</b>  |
| 6.1        | 工程系统的概念 .....                   | 70         |
| 6.2        | 简单工程系统全局优化的概念 .....             | 71         |
| 6.3        | 简单工程系统的总造价和总损失期望 .....          | 72         |
| 6.4        | 简单工程系统全局优化的数学模型 .....           | 75         |
| 6.5        | 结构集合的无约束优化 .....                | 76         |
| 6.6        | 简单工程系统的全局优化 .....               | 77         |
| 6.7        | 串联工程系统造价趋小的等抗力准则 .....          | 78         |
| 6.8        | 简单工程系统投资的最优分配 .....             | 79         |
| 6.9        | 串联工程系统的全局优化 .....               | 81         |
| 6.10       | 回顾与小结 .....                     | 82         |
| <b>第七章</b> | <b>指定设防烈度下抗震结构的最小造价设计 .....</b> | <b>85</b>  |
| 7.1        | 二阶段优化设计方法 .....                 | 85         |
| 7.2        | 高层框架结构抗震最小造价设计 .....            | 88         |
| 7.3        | 基于最优设防烈度的高层框架结构抗震优化设计 .....     | 96         |
| 7.4        | 小结 .....                        | 100        |
| <b>第八章</b> | <b>抗风结构最优设防风压的决策 .....</b>      | <b>101</b> |
| 8.1        | 问题的提出 .....                     | 101        |
| 8.2        | 设防风压的概念 .....                   | 102        |
| 8.3        | 抗风结构的多级设防原则 .....               | 104        |
| 8.4        | 设防风压为 $W_d$ 时结构遭受各级破坏的概率 .....  | 106        |
| 8.5        | 多重失效准则下的损失期望 .....              | 109        |
| 8.6        | 设防风压为 $W_d$ 时结构的最小造价 .....      | 110        |
| 8.7        | 最优设防风压 $W_d^*$ 的决策 .....        | 111        |
| 8.8        | 按最优设防风压 $W_d^*$ 进行优化设计 .....    | 111        |
| 8.9        | 小结 .....                        | 112        |
|            | <b>参考文献 .....</b>               | <b>113</b> |

## 第二部分 基于可靠度的抗震结构优化设计

|                                          |     |
|------------------------------------------|-----|
| <b>第一章 概述</b> .....                      | 117 |
| 1.1 本部分研究的意义和国内外研究概况 .....               | 117 |
| 1.2 本部分的主要研究 .....                       | 122 |
| <b>第二章 抗灾结构优化设计中的荷载特性</b> .....          | 124 |
| 2.1 灾害荷载与非灾害荷载的概念与统计特征 .....             | 124 |
| 2.2 荷载粗糙度指标及其与可靠指标的关系 .....              | 128 |
| <b>第三章 结构体系可靠度的近似计算</b> .....            | 136 |
| 3.1 结构体系可靠度计算和重要性抽样法 .....               | 136 |
| 3.2 基于结构响应灵敏度的近似重要性抽样法 .....             | 140 |
| 3.3 灾害荷载作用下结构体系可靠度的近似计算 .....            | 145 |
| <b>第四章 抗震结构优化设计模型探讨和框架结构概念设计</b> .....   | 151 |
| 4.1 基于结构体系可靠度的结构优化设计模型 .....             | 151 |
| 4.2 基于失效损失期望的结构优化 .....                  | 152 |
| 4.3 钢和钢筋混凝土框架结构的优化设计 .....               | 154 |
| 4.4 钢筋混凝土框架结构构件的优化设计 .....               | 159 |
| 4.5 结语 .....                             | 162 |
| <b>第五章 基于可靠度和结构功能要求的高层结构抗震优化设计</b> ..... | 164 |
| 5.1 基于可靠度和结构功能要求的优化模型 .....              | 164 |
| 5.2 基于功能要求的结构体系可靠度分析 .....               | 168 |
| 5.3 基于结构功能要求的失效损失值估计 .....               | 172 |
| 5.4 土木工程结构优化问题的特点和对策 .....               | 174 |
| 5.5 结构局部破坏模式的研究 .....                    | 180 |
| 5.6 基于“投资-效益”准则的目标可靠指标 .....             | 184 |
| 5.7 高层钢筋混凝土结构的抗震优化设计 .....               | 188 |
| <b>第六章 基于分灾模式的结构抗震设计概念</b> .....         | 193 |
| 6.1 结构抗震设计概念的发展 .....                    | 193 |
| 6.2 基于分灾模式的结构抗震设计概念 .....                | 195 |
| 6.3 基于分灾模式的结构抗震设计实例 .....                | 198 |

|           |     |
|-----------|-----|
| 参考文献..... | 200 |
|-----------|-----|

## 第三部分 地震作用与结构抗震可靠度标准

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| <b>第一章 概述</b> .....                                  | 207 |
| 1.1 研究的目的 .....                                      | 207 |
| 1.2 国内外研究概况 .....                                    | 208 |
| <b>第二章 工程抗震设防标准</b> .....                            | 211 |
| 2.1 工程抗震设防标准决策分析的框图 .....                            | 212 |
| 2.2 城市抗震设防标准 .....                                   | 214 |
| 2.3 不同重要性房屋的抗震设防标准 .....                             | 221 |
| 2.4 供水等生命线系统的抗震设防标准 .....                            | 228 |
| <b>第三章 结构承载能力的抗震可靠度分析</b> .....                      | 237 |
| 3.1 结构承载能力抗震可靠度分析的随机变量方法 .....                       | 238 |
| 3.2 结构弹性反应的随机振动分析 .....                              | 243 |
| 3.3 考虑和不考虑恒荷载、活荷载作用的抗震承载能力可靠度<br>分析 .....            | 248 |
| <b>第四章 结构变形能力的抗震可靠度分析</b> .....                      | 250 |
| 4.1 结构抗震破坏准则的选取 .....                                | 250 |
| 4.2 随机激励下结构弹塑性位移反应的改进均值反应谱<br>方法 .....               | 252 |
| 4.3 钢筋混凝土框架结构层间极限变形能力的分析方法 .....                     | 258 |
| 4.4 层间变形指标的概率统计参数 .....                              | 265 |
| 4.5 钢筋混凝土框架房屋变形能力抗震可靠度分析实例 .....                     | 269 |
| <b>第五章 场地液化危害的概率分析</b> .....                         | 274 |
| 5.1 与地震动概率分析相适应的液化危害概率分析 .....                       | 275 |
| 5.2 与规范方法相适应的液化危害估计的概率标定 .....                       | 280 |
| 5.3 计算实例 .....                                       | 284 |
| <b>第六章 考虑地面破坏效应影响的结构整体抗震可靠度<br/>        分析</b> ..... | 287 |
| 6.1 考虑地面破坏效应影响的结构整体抗震可靠度分析<br>框图 .....               | 287 |
| 6.2 考虑地面破坏效应影响的结构整体抗震可靠度分析 .....                     | 288 |

|                     |     |
|---------------------|-----|
| <b>第七章 结语</b> ..... | 290 |
| <b>参考文献</b> .....   | 293 |

## 第四部分 混凝土坝抗震可靠度分析

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| <b>第一章 概述</b> .....                           | 299 |
| <b>第二章 基于随机变量的混凝土坝抗震可靠度</b> .....             | 302 |
| 2.1 水电工程抗震设防概率水准和地震作用的概率模型 .....              | 302 |
| 2.2 混凝土坝可靠度设计中的若干问题探讨 .....                   | 313 |
| 2.3 混凝土坝抗震可靠度设计 .....                         | 320 |
| <b>第三章 等效平稳随机过程激励下的混凝土坝随机振动响应和抗震可靠度</b> ..... | 344 |
| 3.1 重力坝的随机地震响应和抗震可靠度 .....                    | 344 |
| 3.2 随机地震动场及拱坝多点输入的随机振动响应和抗震可靠度 .....          | 364 |
| <b>第四章 非平稳随机地震作用下的混凝土坝随机振动响应和抗震可靠度</b> .....  | 383 |
| 4.1 拱坝坝址非平稳随机地震动场及其时程合成 .....                 | 383 |
| 4.2 基于强度非平稳随机地震动场的拱坝抗震可靠度 .....               | 397 |
| 4.3 频率和幅值非平稳激励下重力坝的随机振动响应和抗震可靠度 .....         | 405 |
| <b>第五章 结语</b> .....                           | 416 |
| <b>参考文献</b> .....                             | 419 |

# CONTENTS

## Preface

### PART I THE DECISION MAKING OF OPTIMAL FORTIFICATION LOAD FOR DISASTER-RESISTANT STRUCTURES

|            |                                                                                        |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapter 1  | Introduction .....                                                                     | 3   |
| Chapter 2  | The development of engineering design theory .....                                     | 7   |
| Chapter 3  | Characteristics of optimum design of disaster-resistant structures.....                | 28  |
| Chapter 4  | Multi-level fortification and risk analysis of disasters .....                         | 40  |
| Chapter 5  | Decision of optimal fortification Intensity for aseismic structures .....              | 49  |
| Chapter 6  | Global optimization of earthquake-resistant simple engineering systems .....           | 70  |
| Chapter 7  | Minimum-cost design of aseismic structures with assigned fortification intensity ..... | 85  |
| Chapter 8  | Decision of optimal fortification wind-pressure for wind-resistant structures .....    | 101 |
| References | .....                                                                                  | 113 |

### PART 2 RELIABILITY-BASED OPTIMIZATION OF ASEISMIC STRUCTURES CONTENTS

|           |                    |     |
|-----------|--------------------|-----|
| Chapter 1 | Introduction ..... | 117 |
|-----------|--------------------|-----|

|            |                                                                                            |     |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapter 2  | Properties of loads in optimal design for hazard-resistant structures .....                | 124 |
| Chapter 3  | Approximate calculation of structural system reliability .....                             | 136 |
| Chapter 4  | Optimal design models for aseismic structures and conceptive design of frames .....        | 151 |
| Chapter 5  | Reliability and performance based optimal design for aseismic high rising structures ..... | 164 |
| Chapter 6  | Hazard-reduction based design for aseismic structures .....                                | 193 |
| References | .....                                                                                      | 200 |

### PART 3 EARTHQUAKE EFFECT AND CRITERION OF STRUCTURAL ASEISMIC RELIABILITY

|           |                                                                                                |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapter 1 | Introduction .....                                                                             | 207 |
| Chapter 2 | Criterion of Engineering Earthquake Protection .....                                           | 211 |
| Chapter 3 | Aseismic Reliability Analysis of Structural Load-Bearing Capacity .....                        | 237 |
| Chapter 4 | Aseismic Reliability Analysis of Structural Deformation Capacity .....                         | 250 |
| Chapter 5 | Probability Analysis of Site Liquefaction Hazards .....                                        | 274 |
| Chapter 6 | Analysis of Structural Overall Aseismic Reliability Considering Site Devastating Effects ..... | 287 |
| Chapter 7 | Concluding Summary .....                                                                       | 290 |
| Reference | .....                                                                                          | 293 |

## PART 4 ASEISMIC RELIABILITY ANALYSIS OF CONCRETE DAM

|           |                                                                                                                                                  |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Chapter 1 | Introduction .....                                                                                                                               | 299 |
| Chapter 2 | Aseismic Reliability Analysis of Concrete Dam Based<br>on Random Variate .....                                                                   | 302 |
| Chapter 3 | Random Vibration Response and Aseismic Reliability<br>of Concrete Dam Induced by Equivalent Stationary<br>Random Earthquake Motion Process ..... | 344 |
| Chapter 4 | Random Vibration Response and Aseismic Reliability<br>of Concrete Dam Excited by Non-Stationary Random<br>Earthquake Motion Process .....        | 383 |
| Chapter 5 | Concluding Summary .....                                                                                                                         | 416 |
| Reference | .....                                                                                                                                            | 419 |