

目次

第 1 章	はじめに	7
1.1	本書の目的	7
1.2	本書の構成と使い方	8
1.3	重要な用語の定義	10
第 I 部	信頼性設計法の概要	13
第 2 章	信頼性設計法の概要	15
2.1	はじめに	15
2.2	信頼性解析	19
2.3	不確実性解析	28
2.4	信頼性設計法における意思決定	34
2.5	信頼性設計法と設計コード	44
2.6	2 章のまとめ	45
第 3 章	地盤構造物の信頼性解析法 GRASP の概要	47
3.1	地盤構造物設計の特徴と不確実性の分類	47
3.2	地盤構造物の簡易信頼性解析法 GRASP の特徴と手順	51
3.3	3 章のまとめ	57
第 II 部	地盤構造物のための信頼性解析法	59
第 4 章	確率場による地盤パラメータの空間的バラツキのモデル化	61
4.1	はじめに	61
4.2	確率場による地盤パラメータの空間的モデル化	62
4.3	モデル・パラメータの推定とモデル選択	70
4.4	地盤パラメータの空間的モデル化の例題	74
4.5	各地盤パラメータの代表的な統計量	80
4.6	4 章のまとめ	85

第 5 章	空間的バラツキの影響評価と統計的推定誤差評価	87
5.1	はじめに	87
5.2	空間的バラツキが地盤構造物の性能に与える影響評価	88
5.3	局所平均の統計的推定誤差評価	103
5.4	5 章のまとめ	122
第 6 章	変換誤差とモデル化誤差	125
6.1	はじめに	125
6.2	変換誤差	125
6.3	モデル化誤差	132
6.4	第 6 章のまとめ	142
第 7 章	MCS による信頼性解析	143
7.1	はじめに	143
7.2	乱数の生成	144
7.3	多変数確率分布と確率場の生成	147
7.4	MCS による信頼性解析	152
7.5	MCS を用いた各不確実性の寄与度分析	158
7.6	付録：MCS の必要回数についての考察	161
7.7	7 章のまとめ	168
第 III 部	性能設計・設計コードとコードキャリブレーション	169
第 8 章	性能設計	171
8.1	はじめに	171
8.2	性能設計の起源と背景	172
8.3	我が国における性能設計の展開	176
8.4	「港湾の施設の技術上の基準」における性能設計	182
8.5	「道路橋示方書」における性能設計	191
8.6	性能設計の将来：我が国社会基盤施設の要求性能（試論）	204
8.7	8 章のまとめ	209
第 9 章	設計コード	211
9.1	はじめに	211
9.2	設計コード	212
9.3	部分係数法による性能照査式の形式	217
9.4	「港湾基準」と「道路橋示方書」の部分係数法による照査式	223
9.5	コードキャリブレーション	226
9.6	コードキャリブレーションを巡る幾つかの事項	238

9.7	9章のまとめ	241
第 10 章	むすび：残された課題	243
10.1	はじめに	243
10.2	設計の観点からみた地盤工学の課題	243
10.3	性能設計と信頼性設計を巡り残された課題	249
付録 A	演習問題	253
A.1	GRASP による地盤工学の幾つかの問題の統計的標準解	253
A.2	地盤構造物の信頼性解析	260
A.3	コードキャリブレーション	265
参考文献		269
索引		281

第 1 章

はじめに

1.1 本書の目的

本書は、次の 2 つの目的を持って執筆された。

目的 I： 著者らが開発してきた地盤構造物のための信頼性解析法（通称 GRASP）を、体系的かつ実務に適用可能な形で提示すること。

目的 II： 「道路橋示方書」，「港湾の施設の技術上の基準」等，わが国の代表的な設計コードが準拠する，性能設計と信頼性設計法について，その全体像を体系的に説明し，またこれらを有効に活用するための方法を実務者に提示すること。

言うまでも無く，これら二つの目的は相反するものではなく，むしろ補完する関係にある。これらの目的について，補足的な説明を以下に加える。

(1) 地盤構造物の信頼性解析

地盤構造物の設計は，鋼やコンクリート構造物の設計とは著しく異なる。地盤構造物はそのサイトに存在する地盤や土を材料として設計されるのが基本であるため，設計に用いる材料についてまず調査・試験を行い，これらの情報に基づいた設計を行う点である。地盤は天然に存在するので，鋼やコンクリートのような工業的に規格化された材料と異なり，著しく不均質である。さらにその性質は一般に極めて限られた数の地盤調査・試験結果に基づくので，統計的な推定誤差を免れない。また設計に用いる力学モデルに直接使用する地盤パラメータを，地盤調査で得られるパラメータから間接的に変換して求めることも多い（N 値による地盤強度や変形に関するパラメータを推定する場合等）。

著者らは，以上のような地盤構造物設計の特徴を考慮した信頼性解析法を，開発してきた。この方法の体系的な説明を試みると共に，多くの例題を提示することにより，実務者が任意の地盤構造物の信頼性解析を自分で実施できるようになることが，本書執筆の目的の一つである。

(2) 性能設計・信頼性設計法に準拠した設計コード

わが国の主要な設計コードが、従来の安全率を用いた設計法から、部分係数設計法に改定されている。この潮流は世界的なものであり、部分係数設計法の背景には信頼性設計法がある。これに前後してわが国では、2000年頃から「性能設計」という概念が台頭し、この概念も設計コード改定の大きな柱になっている。2007年に改定された「港湾の施設の技術上の基準」は、この両者を統合した典型例である。本書は、このような設計思想の変化の背景・意図とその内容を説明することを、一つの目的としている。

さらに、本来的に「性能設計」を進めるためには、信頼性設計法の考え方を理解し、これを設計の一つのツールとして利用することが必要である。本書は、このことの手引きをすることも目的としている。

1.2 本書の構成と使い方

本書は、次のような要求を持つ読者を対象に書かれている。

タイプA：任意の地盤構造物の信頼性設計を実施したい。

タイプB：新しい工法や設計法の開発、また大規模プロジェクトの設計に関わっている実務者で、信頼性設計法の考え方に基づいて、新たに独自の部分係数を更新・設定する方法が知りたい。

タイプC：性能設計や信頼性設計法と、これらの考え方に基づいて作成された設計コードの、基本的な思想の全体像を理解したい。

それぞれのタイプの読者に本書の読み方について説明する前に、本書の構成について述べる。

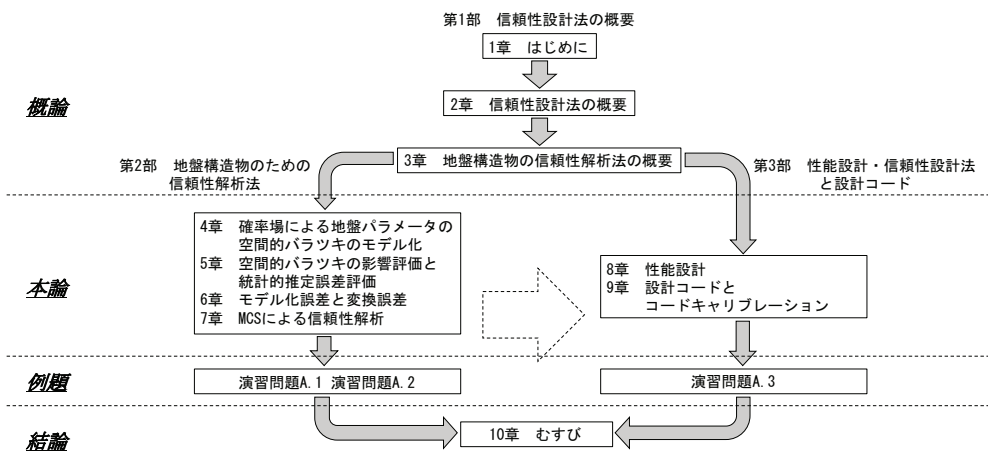


図 1.1 本書の構成

本書は3部より構成され、これらとは独立に「はじめに」と「むすび」の章(1章と10章)が設けられている。図-1.1に、本書の構成を示す。

1章 はじめに	
第1部 信頼性設計法の概要	2,3章
第2部 地盤構造物のための信頼性解析法	4,5,6,7章
第3部 性能設計・信頼性設計法と設計コード	8,9章
10章 むすび：残された課題	

第1部は、「2章信頼性設計の概要」と「3章地盤構造物の信頼性解析の概要」から構成される。2章は、古典的な信頼性設計法の概要を述べたものであり、記述は概念的説明に止めている。信頼性設計法の考え方の基本を説明することが目的である。3章は、地盤構造物を念頭に著者らが開発してきた信頼性解析法 GRASP (Geotechnical Reliability Analysis by a Simplified Procedure) の概要を述べたものである。この詳細は、第2部で展開される。

第2部は、4章から7章で構成され、GRASPの理論を展開している。これらの章には、地盤パラメータの空間的なバラツキに関する定量的情報、変換誤差やモデル化誤差の典型的な統計量等も図表の形で提供されているので、信頼性解析実施時の情報源として、ハンドブック的な使い方も可能である。演習問題 A1 と A2 には、展開した理論に基づく例題が示されている。その解の詳細は、著者らの URL で公開されている。

第3部は、最近の我が国の種々の設計コードに基づく基本的な考え方と、それに基づく意思決定の具体的な表現である、照査式の部分係数を決定する手順を解説している。「8章性能設計」は、2000年前後から我が国の設計コードで根幹的な思想となってきた性能設計について説明している。「9章設計コード」では、信頼性設計法レベル1と言われる部分係数法と、その照査式の部分係数の具体的な値を設定する方法(コードキャリブレーションと呼ばれる)を解説している。さらに演習問題 A3 では、コードキャリブレーションの具体例を示した。その解の詳細は、著者らの URL で公開されている。

「10章むすび」では、種々の地盤構造物の信頼性解析を実施した結果に基づき、構造物の種類、要求性能等の観点から地盤構造物設計の問題点を反省している。信頼性解析の一つの効用は、構造物設計における各種の不確実性が、最終的な設計結果に与える影響を定量的に示すことができることである。(寄与度分布)これに基付いて、設計におけるボトルネックを考える手掛かりが得られる。抽出された問題点は、信頼性設計の課題と言うよりは、地盤工学自身の本質的課題である。さらに、信頼性設計法と性能設計について、残された課題について述べている。

以上のような本書の構成を踏まえて、先に挙げた3つのタイプの読者について、本書で特に読むべき箇所を示す(図-1.1を合わせて参照)。

タイプ A : 第1部と第2部及び10章を読んで頂きたい。またその際、著者らの URL で種々の補足的な資料が提供されているので、それらも十分に活用して頂きたい。設計コードに関心があれば、第3部も読んで頂きたい。

タイプ B : 第1部と第3部及び10章を読んで頂きたい。また7章は、信頼性解析の方法(具体的には MCS)の詳細を説明しているので、参考になると思われる。さらに、特に地盤構造物の設計が問題になる場合は、第2部の内容もある程度知って頂くと、理解が深まると考えられる。

タイプ C : 第1部及び第3部と10章を通読して頂くと、性能設計と信頼性設計法、さらにこれらの考え方に基づいて作成された設計コードの基本的な考え方の全体像をある程度理解できるように記述した。

なお本書では、次のような点を配慮した。

- (1) 著者らは、種々のデータの統計解析や信頼性解析に、統計解析用言語 R を用いている。著者らが作成した R 言語のプログラムの内、汎用性の高いと考えられるものを、別途指定する URL から入手することができる。その他、R 言語に関する情報や関連サイトも紹介している。
- (2) 本書で示した主な例題、また演習問題の R 言語によるプログラムを、できるかぎり公開する。これらのプログラムを自分で実行することにより、本書の理解を深めることを狙ったものである。活用して頂ければ幸いである。

なお、公開したプログラムにバグがあっても、著者らはその計算結果に一切責任を取らないので、読者は十分にプログラムを吟味の上、使用して頂きたい。

1.3 重要な用語の定義

本書を読むに当たり、特に重要な用語の定義を示す¹。本書では説明の便宜のため、意図的に定義を限定して用いている用語があるので、注意されたい。例えば「信頼性設計」と「信頼性解析」、「部分係数法」、「材料係数法」と「荷重抵抗係数法」、「地盤構造物」、「設計コード」等がこれに当たる。

確率変数 (random variables): 「その値の生起が、ある確率分布に従う変数。(CDS)」ある一つの値の生起を示す決定変数 (deterministic variables) に対する定義で、現象の不確実性の記述に用いられる。

統計量 (statistics): 「観測値から計算される数値、ベクトルを言う。標本平均、標本分散、標本相関係数等。目的に応じて、推定量等と呼ばれることもある。(CDS)」拡張して、多くの観測値(サンプル)から推定された、確率変数の平均、分散、変動係数や相関係数の値のこ

¹ 用語の定義に引用したのは、次の文献である。

CDS: Everitt, B.S.(1998), The Cambridge Dictionary of Statistics, Cambridge University Press.

ISO2394: ISO(1998), ISO2394 General principles on reliability for structures.

GC21: 地盤工学会 (2006), 地盤工学会基準 JGS4001-2004 「性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則」。

【著者紹介】

ほんじょうゆうすけ
本城 勇介

1949年神奈川県生，名古屋工業大学土木工学科卒(1973)，京都大学大学院工学研究科修士課程修了(1975)，Massachusetts Institute of Technology Sc.M.(1983)及びPh.D.(1985)取得，竹中土木(株)竹中技術研究所研究員，Asian Institute of Technology 准教授，長岡技術科学大学助教授，岐阜大学教授等歴任，2015年3月より岐阜大学名誉教授。地盤工学会研究業績賞(2013)，土木学会論文賞(2014)，地盤工学会論文賞(2013,2015)，「地盤工学会誌」最優秀賞(2016)，「社会基盤施設の性能設計と信頼性設計法の開発と実用化の研究」で文部科学大臣表彰・科学技術賞(研究部門)(2017)，Wilson Tang Lecturer(2012)，GEOSNet Distinguished Award(2015)。

おおたけ ゆう
大竹 雄

1978年福島県生，法政大学土木工学科卒(2000)，東京工業大学大学院修士課程修了(2002)，岐阜大学より博士(工学)学位取得(2012)，技術士(建設部門)土質及び基礎(第61616号)取得(2007)，株式会社建設技術研究所勤務，岐阜大学特任助教等歴任，2014年10月より新潟大学工学部准教授。地盤工学会論文賞(2013, 2015)，土木学会論文賞(2014)，地盤工学会関西支部賞(2017)，国土交通省新道路技術会議優秀技術研究開発賞(研究代表者)(2016)

信頼性設計法と性能設計の理念と実際
—地盤構造物を中心として—

定価はカバーに表示してあります。

2018年12月10日 1版1刷 発行

ISBN978-4-7655-1859-8 C3051

著者 本 城 勇 介
大 竹 雄
発行者 長 滋 彦
発行所 技報堂出版株式会社

〒101-0051

東京都千代田区神田神保町1-2-5

電話 営業 (03) (5217) 0885

編集 (03) (5217) 0881

F A X (03) (5217) 0886

振替口座 00140-4-10

[http:// jihodbooks.jp/](http://jihodbooks.jp/)

日本書籍出版協会会員
自然科学書協会会員
土木・建築書協会会員

Printed in Japan

© Honjo, Y., Otake, Y., 2018

装幀 富澤 崇

印刷・製本 三美印刷

落丁・乱丁はお取替えいたします。

JCOPY < 出者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構(電話 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。