

## 9. 周辺分野の安全率の考え方と地すべりにおける今後の課題

Beliefs of safety factor in surrounding fields and future issues in landslide field

安全率に関する講座委員会メンバー\* The members of lecture committee in safety factor

## 9.1 周辺分野の安全率の考え方

第2回から第8回まで地すべりの周辺分野の専門家に周辺分野の安全率の考え方についてLectureしていただいた。ここでは、次回の地すべり分野の討論への話題づくりを提供すべく、各分野の安全率の考え方について全体を通して整理する。

講座で紹介された各分野の安全率の定義等、安全率に関する論点、論点のキーワードを表-1に示した。

第2回の「地盤工学における安全率」では、最初に鋼やコンクリートの材料・構造の安全率の考え方が紹介されている。次に、地盤の安全率の考え方において、安全率にかかわる種々の不確定要素について述べ、耐震問題を例にとり性能設計に言及している。不確定要素を克服するための技術のあり方や性能設計における実用的な変形予測の必要性などが今後の課題であるとしている。

第3回の「建築構造物の設計と安全率」では、建築物の構造設計に関わる安全率について、とくに水平震度の概念の導入等について歴史的に概観し、今日の建築構造物の問題点を指摘している。安全余裕度の不明確性を踏まえ、塑性領域まで考慮した設計の必要性と不確定要素を考慮する必要があるとしている。システムとしての破壊確率を考え、安全性を確率論で論じる必要性を強調している。

第4回の「機械分野における安定係数」では、材料の塑性崩壊と破壊モード、設計の考え方について説明し、信頼性設計における安定係数に言及している。信頼性設計では、破壊確率と安定係数の関係、部分安定係数をベースにしたシステムの目標信頼性の考え方を紹介している。

第5回の大規模システムと安全率では、事故例を取り上げ、大規模システムにおいては、人間信頼性の評価の重要性に触れている。システム、環境、人的なもの全体の信頼性設計について述べ、組織の安全性診断システムを紹介している。

第6回の「鉄道と安全率」では、盛土、切土、地すべりにおける設計基準の歴史的変遷について述べている。性能照査型設計法に言及している不均質な物性値や破壊形態に関する確率論的な評価の必要性を強調している。

第7回の「道路のり面と安全率」では、まず安全率と

は何かについて述べ、性能指標としての設計を見据えた安全率の考え方について説明している。安全率が時間的に変化するものとして、その対応として適切な時期、場所で補修や補強をしていくライフサイクルコストやアセットマネジメントの考え方を紹介している。今後の課題として、性能指標の明確化と定量化を挙げている。

第8回の「自然斜面と安全率」では、地すべり分野で培ってきた技術、手法と同じであると断った上で、杭工やアンカー工の対策工を導入した際の安全率の取り扱いについて述べ、地すべり対策事業費の低減や維持管理段階での安全率の評価方法について言及している。社会環境の変化に伴い安全率の考え方も柔軟性が求められるとしている。

## 9.2 安全率を考える際の論点

各分野における安全率の定義、変形や破壊モードを考慮した安全率の考え方、安全率に関わる不確実性要素についての説明、設計手法との関係からの安全率の歴史の変遷、安全率を部材、構造、システム、環境・組織としての様々な角度からの物差しの採用、不確実性を確率論的に評価する手法の検討、安全率に関わる不確定要素の変化に伴い時間軸を導入し安全率を性能指標として考える方法、性能設計・信頼設計への移行等重要事項が盛り込まれている。

また、各分野の安全率の考え方と論点のとり上げ方に多少の違いがあるものの、論点のキーワードとしては共通項も多い。

各分野における安全率で述べられている事項について整理してみると、以下のテーマがみえてくる。

## (1)安全率とは何か

安全率とは、対象物（例えば材料、構造、斜面など）に作用する荷重に対する対象物の抵抗力の比で示されるもの、とよい。力学的には、力であったり、モーメントであったりする。ここで問題となるのは、対象物の抵抗力を示すための基準強度の取り方であると考えられる。

※)「安全率に関する講座委員会」のメンバーは下記の方々です。  
阿部真郎、新井場公德、梅村順、沖村孝、新屋浩明、綱木亮介、山田正雄、吉田信之、吉松弘行

表-1 安全率の考え方の要点

回	巻	号	タイトル	執筆者	安全率の定義, 取り上げ方	安全率に関する論点	論点のキーワード
2	44	3	土木, とくに地盤工学における安全率	東畑郁生 (東京大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全率 = 抵抗力 / 作用荷重</li> <li>不確実性の概念 → 安全係数</li> <li>地盤工学の分野の安全率 3.0 &gt; 構造の分野 ≈ 2.0</li> <li>不確実性 (N値測定方法・換算公式, 判定の個人差等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3次元地盤構造の把握, 情報化施工, サンプリング技術・拘束技術</li> <li>耐震問題における性能設計</li> <li>変形予測手法の必要性</li> <li>対象によるせん断抵抗の決定法が重要</li> <li>変形復旧日数の導入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>不確実性</li> <li>変形予測 (ニューマークによる剛体すべり法)</li> <li>性能設計</li> </ul>
3	44	4	建築構造物の設計と安全率	高橋徹 (千葉大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>建築物の構造設計における安全率 (歴史的に概観)</li> <li>設計荷重の規定, 水平震度法, 長期・短期</li> <li>個々の安全率の積み上げ方式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>塑性領域まで考慮した設計の必要性 (安全率の概念がない)</li> <li>耐震設計における地動, 材料強度・構造物の応答のバラツキ</li> <li>構造物のシステムとしての破壊確率の設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全余裕度の不明確性</li> <li>塑性領域まで考慮</li> <li>システムとしての安全率</li> <li>安全性を確率論で論じる</li> </ul>
4	44	5	材料分野における安全率	小林英男 (横浜国大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全係数: 材料の基準強度に関する裕度 (設計, 供用期間中検査)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>延性破壊では, 1) 塑性崩壊に対応する基準強度 → 降伏応力, 2) 裕度 → 安全係数</li> <li>脆性破壊では, 基準強度として引張り強さとし, 安全係数を設定</li> <li>公式設計と解析設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>塑性崩壊</li> <li>破壊モードと安定係数</li> <li>信頼性設計 → システムの信頼性設計と部分安全係数</li> </ul>
5	44	6	大規模システムと安全率	高野研一 (慶応義塾大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>システム, 社会環境, 組織環境, 人的過誤</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>痴心溶融確率における確率論的安全評価</li> <li>系統的人間信頼性の評価 (組織要因, 意図的過誤を考慮)</li> <li>安全診断システム (アンケート様式, 総合的安全指標による評価)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>情報伝達と公開</li> <li>全体システムの健全性のチェック</li> </ul>
6	45	1	鉄道と安全率	岡田勝也 (国士館大), 杉山友康 (鉄道総研)	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計基準</li> <li>1) 土構造物の設計施工指針</li> <li>2) 建造物設計基準 (RC・NRC, 合成鉄道橋等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>盛土勾配 (条件による) → 盛土材料, 幾何学的形状, 施工管理を規定</li> <li>軟弱地盤の盛土の沈下と安定</li> <li>切り取りのり面勾配</li> <li>土質・岩質別に細分化</li> <li>地すべりの安定 (円弧, 折れ線状すべり), <math>F_s = 1.3</math></li> <li>粘性土地盤での施工中, 開業後</li> <li>ジオテキスタイル, 地盤改良工法に対応</li> <li>盛土の安全性 (盛土の安定, 支持地盤の安定, 列車走行), それぞれ照査指標を設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>性能照査型設計法に推移 (重要度, 復旧の難易度, 補修性等にもとづく)</li> <li>→ 要求性能と性能ランク (切土も盛土と同様)</li> <li>不均質な物性値や不確実性を有するものとして確率論的評価が必要</li> </ul>
7	45	2	道路のり面と安全率	沖村孝 (神戸大), 吉田信之 (神戸大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全率 = 抵抗力 / 滑動力</li> <li>斜面の重要度を加味して設定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>限界状態設計法</li> <li>不確定要因の同定と重み付け</li> <li>→ 合理的な安定性評価</li> <li>維持管理</li> <li>→ 安全率と変形の両指標が必要</li> <li>→ 使用, 修復, 終局限界に分類</li> <li>劣化の概念 (風化・腐食, せん断強度低下, 応力変化, 地震等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>安全率の時間的变化</li> <li>性能指標の明確化と定量化</li> </ul>
8	45	3	自然斜面と安全率	鶴飼恵三 (群馬大)	<ul style="list-style-type: none"> <li>対策工設計における安全率</li> <li>公共事業費の縮減と安全度の確保</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべり面のせん断強度の低減</li> <li>補強斜面と非補強斜面の安定解析</li> <li>杭工, アンカー工で補強された斜面の安全率</li> <li>アンカー工, 地下水排除工の維持管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補強斜面の安全率の算定</li> <li>公共事業費縮減のなかにおける設計安全率の設定方法</li> <li>対策工の維持管理</li> </ul>

(2)安全率を定義する上での基準強度

安全率を定義する上で, まず, 何を基準強度とするかを定める必要がある。基準強度は, 対象物の変形したり, 破壊したりする, そのメカニズムによって異なってくる。変形・破壊のメカニズムの取り扱いによっては, ①極限状態を考える, ②限界条件として性能指標を考える, などの手法がある。また斜面のすべりを考える場合, すべり面のピーク強度, 残留強度の概念があり, 残留強度はすべりの変位量とも関連する。

次に安全とは何か。それには様々な不確定要素・不確実性が伴う。不確定要素・不確実性とは, 材料そのもの, 材料の組合せ (建築, システムなど), 材料の劣化, 境界条件, 水位条件などが考えられる。いままでは, それらを包括した「余裕」として安全率が用いられてきた。とくに相手が自然現象であれば再現性がなく, 安全率を大きめに判断しているのが実情である。

不確定要素・不確実性をどのように捉えるかは, 歴史

的に概観してみても各分野で工夫してきたところであり, まだ未解明な部分も多く, 今後科学技術の進歩によっても変化する代物である。不確実性を不確実なものとして確率分布で表現する手法が, いままでも行われてきており, この方向は一般的な手法として, 今後有効な手法の一つであろう。

(3)設計法における性能指標

近年, 中山間地における地震や時間雨量がきわめて大きい局所豪雨など, 今までの想定以外の現象が起き, 甚大な被害をもたらしている。こうした現象を考慮する上でも, リスクマネジメント手法を設計に取り入れる性能設計や信頼性設計が各分野でなされつつある。性能設計では, 従来のように破壊や降伏の基準強度ではなく, 塑性変位, 移動量などを性能指標とする試みも行われている。

性能指標を設定する際, 例えば従来法よりも基準強度の不確実性を減らす方法などを今後研究する必要がある

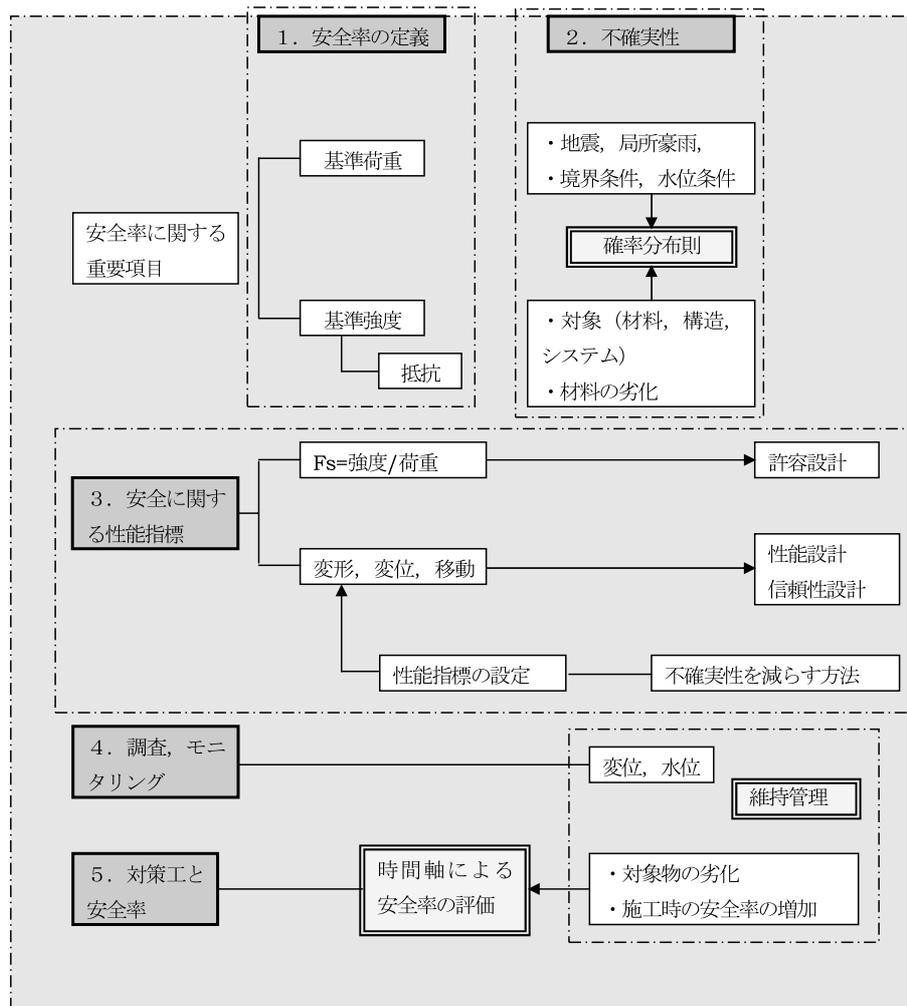


図-1 「安全率を考える」キーワード関連図

う。

#### (4)安全率に関わる調査とモニタリング

斜面災害においては、多くの不確実性を有している。例えば、降雨などによる水位変化である。水位は斜面の安全率と密接に関わっている。また、斜面のすべり面強度等劣化により、いつも同じ状態にあるわけではない。安全率に関わる調査方法の選定は重要であり、変位や水位などの状況を監視するモニタリングが必要となってくる。

#### (5)対策工と安全率の関わり

災害を防止するため、対策工が実施されるが、対策工施工時には、安全率が大きくなる。しかし、例えば、集排水ボーリングの目詰りによる集排水機能の低下やアンカー頭部の変位、変形、腐食によるアンカー材の強度低下など、対策工が常に有効に機能しているとは限らない面もある。対策工の維持管理を行い、時間の経過と共に対策工の安全率の変化を注視しておく必要がある。

### 9.3 地すべりにおける安全率の今後の課題

以上述べたことを地すべり分野では安全率をどのように考えたらいだろうか。現在決まった答えはまだない

といった方が真実に近いだろう。

次回では地すべり分野における安全率について討論が予定されており、ここでは、議論の方向性を提示するにとどめる。

- 1) 地すべりにおける安全率の定義の方法としてどのようなものが考えられるか。
- 2) 安全率を考える上で不確定性要素とは何か。またどのように取り扱ったらよいか。
- 3) 不確定性要素の一つである気象（地震や豪雨）の今日的課題とは。
- 4) 地すべりの安全率を評価する上での有効な性能指標とは。
- 5) 設計法における性能設計、信頼性設計の考え方とは。
- 6) 様々な不確実性を減らす方法としての地すべり技術とは。
- 7) 地すべりの安全率における対策工の定量的評価手法について。
- 8) 維持管理を含めた安全率の時間的変化の考え方とは。などなどである。

(原稿受付2008年9月30日、原稿受理2008年10月1日)