

土検棒で行うレベル3の性能設計

2022年11月20日

日本地すべり学会中部支部のシンポジウムで、国道防災技術の榎田さんの講演「斜面防災分野の応用研究の課題と展望—解析技術と設計技術—」を聴講しました（2022年11月18日）。

信頼性設計のレベルは、下表のようにレベル1からレベル3に分かれるそうです。日本でも港湾では、この信頼性設計法を導入してるとのことでした。斜面分野は、まだ導入されていません。

表3-1 信頼性設計法のレベル（日本港湾協会(2018)に加筆）

設計水準	性能照査式	評価パラメータ
レベル3信頼性設計法	$P_r \geq P_f$	破壊確率
レベル2信頼性設計法	$\beta_r \geq \beta$	信頼性指標
レベル1信頼性設計法	$R_d \geq S_d$	部分係数を用いた設計用値
形式的な部分係数法	$R_d \geq S_d$	部分係数を用いた設計用値

ここに、 P_r :破壊確率の目標値、 P_f :破壊確率、 β_r :目標信頼性指標、 β :信頼性指標、 R_d :限界値の設計用値、 S_d :応答値の設計用値

<引用文献>
日本港湾協会(2018):港湾の施設の技術上の基準・同解説

レベル1の部分係数法を用いる方法は、Eurocode7（地盤分野）を用いる方法だとのことでした。

太田ジオで使っているカナダの Rocscience 社の Slide2 という2次元極限平衡法の斜面安定計算は、世界で使われている信頼性設計が組み込まれています。

表4-1 極限平衡法を用いた海外の斜面对策工設計ソフトの性能設計への対応状況

ソフト名	Eurocode7の限界状態設計法への対応	入力パラメータの確率評価	破壊確率や信頼性指標の算出
Slide2 (Rocscience社、カナダ)	○	○	○
SLOPE/W (Geo-SLOPE社、カナダ →Seequent社(2019) →Bentley社(2021年)、米国)	○	○	○
Slope (GeoStru社、イタリア)	○	?	?
PLAXIS LE (Bentley社、米国) (旧ソフト名はSVSLOPE)	○	○	○

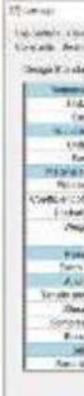


表4-2 全世界でグローバルに利用されている2つの設計ソフトの主な機能

ソフト名	主な機能
Slide2 (Rosscience社、カナダ)	①土質パラメータの感度分析が可能。 ②確率分布による破壊確率やその信頼性指数を算出することができる ③地下水位の感度分析や有限要素法の浸透流解析が可能。 ④切土による応力開放による地盤劣化に関する対象領域の安定度評価機能を有する。 ⑤地盤を異方性材料(異方性強度、異方性機能、異方性線形など)として取り扱う機能を有している。 ⑥非円弧すべりの最小すべり検索にも対応している。 ⑦Eurocode7(Geotechnical design)に対応した限界状態設計法が利用できる。
SLOPE/W (Geo-SLOPE社、カナダ →Seequent社(2019) →Bentley社(2021年)米国)	①入力パラメータの不確実性に対応するため、モンテカルロ確率論的解析を行う機能がある。確率論的解析を行うことで、安全率確率分布、信頼性指標、破壊確率を算出可能。 ②有限要素解析の浸透流解析と連携し、間隙水圧条件をインポート可能。 ③静的有限要素法応力解析と連携し、斜面応力をインポート可能。 ④動的有限要素法応力解析と連携：動的荷重や地震荷重を受ける土構造物をQUAKE/Wで解析し、計算された応力状態を統合できる。 ⑤ブロック破壊モードの解析にも対応。 ⑥Eurocode7(Geotechnical design)に対応した限界状態設計法が利用できる。

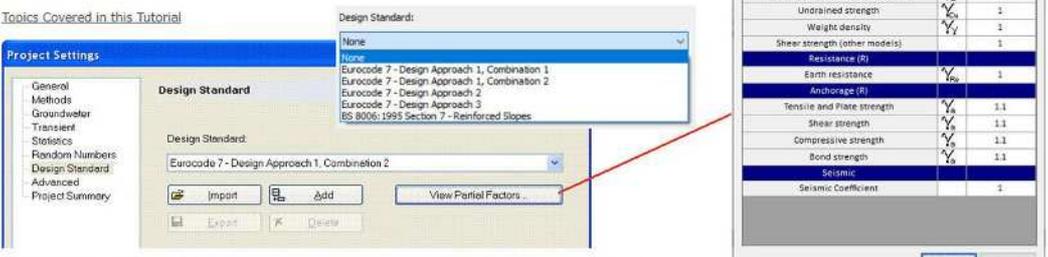
レベル1 Eurocode7 による部分係数法

Tutorial 21 - Slope Design with Eurocode 7 レベル1信頼性設計法

Eurocode 7 is a design document that establishes rules and standards for geotechnical engineering design across Europe (BSI, 2004). Eurocode 7 represents a major change in design philosophy. Traditionally a single, lumped factor of safety accounts for all of the uncertainties in the problem. With Eurocode 7, partial factors of safety are applied to different components of the analysis. The partial factors are applied prior to the analysis to give design values that are used in the calculation. The final result is an over-design factor, which must be greater than 1 to ensure the serviceability limit state requirement is satisfied.

Slope Design with Eurocode 7 (click to view PDF file of tutorial)

Topics Covered in this Tutorial



Design standard option in Project Settings

本格翻訳10の機械翻訳文書

ユーロコード7は、ヨーロッパ(BSI、2004年)を模範して地盤工学デザインのための法則と原器を設定するデザイン文書です。ユーロコード7は設計哲学の大きな変化を表しています。伝統的に、1つの、一まとめにされた安全率は課題における不確定度のすべてを説明します。ユーロコード7によって、安全の部分的なファクターは分析の違うコンポーネントに適用されます。部分的なファクターは、計算に用いられるデザイン値を与えるために分析に先がけて適用されます。最終結果はオーバーデザインファクターです(それは、使用限界状態要件が充足していることを保証する1より大きくなければなりません)。

部分係数

Partial Factors		
Permanent Actions (A)		
Unfavourable	γ_G	1.35
Favourable	γ_G	1
Variable Actions (A)		
Unfavourable	γ_Q	1.5
Favourable	γ_Q	0
Material Parameters (M)		
Effective cohesion	γ_c	1
Coefficient of shearing resistance	γ_ϕ	1
Undrained strength	γ_u	1
Weight density	γ_ρ	1
Shear strength (other models)	γ_s	1
Resistance (R)		
Earth resistance	γ_R	1
Anchorage (R)		
Tensile and Plate strength	γ_R	1.1
Shear strength	γ_R	1.1
Compressive strength	γ_R	1.1
Bond strength	γ_R	1.1
Seismic		
Seismic Coefficient	γ_s	1

Eurocode7 については、下記の文献を参照してください。

(20)EUROCODES 及び EUROCODE 7(土工分野)について

https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12032819_13.pdf

ユーロコードの完全実施と我が国への影響(2010)

https://www.pwrc.or.jp/thesis_shouroku/thesis_pdf/1009-P022-025_matsui.pdf

Probability of Failure

破壊確率 レベル3 信頼性設計法

After a Probabilistic Analysis, the Probability of Failure (PF = ##) for the Global Minimum slip surface, is displayed as shown in the following figure.

Display of Probability of Failure

FS (deterministic) = 1.122
 FS (mean) = 1.130
 PF = 15.000%
 RI (normal) = 1.071
 RI (log-normal) = 1.087

The definition of Probability of Failure in Slide, is simply:

$$\frac{\text{numfailed}}{\text{numtotal}} \times 100\%$$

- numfailed = Number of Analyses with Safety Factor < 1
- numtotal = Total number of analyses (samples)

閾値はあくまでもFs=1

Reliability Index

信頼性指数 レベル2 信頼性設計法

Another commonly used measure of safety, after a Probabilistic Analysis, is the **Reliability Index**. The Reliability Index (RI = ###) is displayed in the Legend as shown in the previous figure. The Reliability Index is defined as follows.

If one assumes that the distribution of safety factors, after a probabilistic analysis, is NORMALLY distributed, then the following equation is used to calculate the Reliability Index:

$$\beta = \frac{\mu - 1}{\sigma} \quad \text{Eqn. 1}$$

where:

- β = Reliability Index,
- μ = Mean Factor of Safety,
- σ = Standard Deviation of FS

表3-1 信頼性設計法のレベル (日本港湾協会(2018)に加筆)

設計水準	性能方程式	評価パラメータ
レベル3信頼性設計法	$R_d \geq R_l$	破壊確率
レベル2信頼性設計法	$\beta_r \geq \beta$	信頼性指標
レベル1信頼性設計法	$R_d \geq S_d$	部分係数を用いた設計用値
形式的な部分係数法	$R_d \geq S_d$	部分係数を用いた設計用値

ここに、 R_d : 破壊確率の目標値、 R_l : 破壊確率、 β_r : 目標信頼性指標、 β : 信頼性指標、 R_d : 限界値の設計用値、 S_d : 応答値の設計用値

土検棒を使うと、土質強度のバラツキを実測から得ることができますので、そのまま破壊確率の計算に持ち込めます。破壊確率も信頼性指標も、閾値はすべて Fs=1 なので、2次元法、3次元法の区別なく使えます。(日本で使われている計画安全率は2次元法で「経験的」に決められたそうなので、3次元法の経験がありません。とはいっても2次元法の経験も根拠が示されているわけではありませんので、けっこう眉唾です)

榎田さんの見解では、日本の斜面解析・設計技術は、欧米と比べて大きく遅れていると
のことです。土検棒を使えば、一気にレベル3の性能設計ができます。

5. まとめ

<結論：日本の斜面对策工の解析・設計技術は、欧米に比べ「大きく」遅れている！！>

<斜面对策工の性能設計手法に関する研究成果>

日本では建築や港湾施設、地盤構造物の性能設計に関する研究成果は多いが、斜面对策工の設計に関する性能設計の研究成果は少ない。

・米国では公的な機関が、斜面对策工の性能設計に関する研究レポートを公開している。

<性能設計手法の斜面对策事業の実務での利用>

・Eurocode7では斜面对策工も性能設計が求められている。

・海外でグローバルに利用されている設計ソフトは、既に斜面对策工の性能設計やEurocode7に対応している。

・日本では斜面对策関係の公的な技術基準で性能設計手法が採用されていないため、斜面对策工の性能設計に対応した市販ソフトも存在しない。

・日本の法枠工の設計で採用されている手法は形式的な部分係数法を利用する方法で、本来の性能設計ではない。