

第 部門 補強土斜面の信頼性設計と安定性評価

関西大学工学部 学生会員 ○岡本 晃一
 関西大学 正会員 西形 達明
 関西大学 正会員 西田 一彦

1.はじめに

これまで安全率法が斜面の設計法として使用されてきたが、斜面の安全性を定量的に表わすことができないためこれからの設計には構造物の信頼度（破壊確率）の概念を取り入れ、土質諸係数のばらつきを¹⁾考慮した信頼性設計の導入が望まれている。そこで、本研究においては補強土工法における性能関数を導き、補強斜面の内部摩擦角、鉄筋本数、のり面工低減係数などが破壊確率に及ぼす影響について考察する。また補強斜面の変形量と破壊確率との関係についても考察を行うことにする。

2.解析概要

まず、補強斜面の安定解析には図-1に示すような円弧滑り解析を用い、解析条件は、それぞれ表-1に示すとおりである。補強材の効果は引留め効果と引締め効果として抵抗側に機能するため、抵抗モーメントは次のようになる。

$$M_R = c(\sum R \ell_j) + \gamma_t \tan \phi (\sum R A_j \cos \theta_j) + \sum T_n \cos \theta + \sum T_n \sin \theta \tan \phi \quad (1)$$

上式中の右辺第3項と第4項が引留め効果と引締め効果を表わしている。

また、現行の設計法では、斜面の施工される壁面工の効果の導入方法として、表-2に示すようなのり面工低減係数 μ ²⁾が用いられている。これらの値を用いて補強材引張り力(1式中の T_n)を補正することで、壁面工の効果としている。本研究では μ の影響についても考察を行うことにする。さらに、破壊確率を算定するためには補強斜面の性能関数が必要になる。式(2)が標準化変数であり分子が補強斜面の安全度を表わす性能関数である。また、分母の μ_c 、 V_c は粘着力の平均値と変動係数、 μ_{yt} は湿潤単位体積重量の平均値であり、斜面の土のばらつきの影響を表わしたものである。

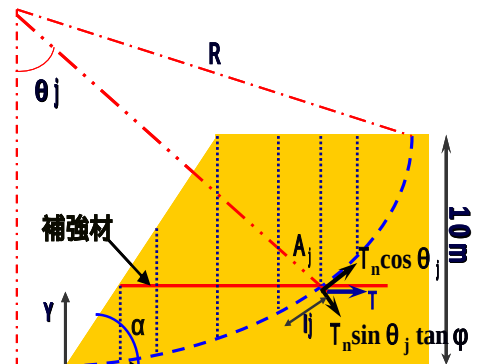


図-1 円弧すべりモデル

表-1 円弧すべり解析条件

ϕ (内部摩擦角) [°]	30, 35, 38, 40
γ_t (単位体積重量) [kN/m ³]	16.0, 17.2, 18.0, 18.5
c (粘着力) [kN/m ²]	10
補強材本数[本]	3, 4, 6, 9
斜面高さ[m]	10
斜面角度 α [°]	60, 80

表-2 のり面工低減係数の目安

のり面保護タイプ	μ
植生工のり面	0
コンクリート吹きつけ工	0.2 ~ 0.6
のり枠工	0.7 ~ 1.0
擁壁類	1

$$Z = \frac{1.0 - \left[\frac{P_1}{Q} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_{yt}} + \frac{P_2}{Q} (a \mu_{yt} + b) + \frac{P_3}{Q} + \frac{P_4 \tan \phi}{Q} \right]}{\frac{P_1}{Q} \cdot \frac{\mu_c}{\mu_{yt}} \cdot V_c} \quad (2)$$

ここで、 $P_1 = \sum R \ell_j$ 、 $P_2 = \sum R A_j \cos \theta_j$ 、 $P_3 = \sum T_n \cos \theta$ 、 $P_4 = \sum T_n \sin \theta$ 、 $Q = \sum h_j A_j$ である。

3.解析結果

図-2は斜面角度が80°、のり面工低減係数が $\mu=0$ (植生工)、 $\mu=0.7$ (のり枠工)である場合の内部摩擦角と破壊確率の関係を示したものである。補強材本数や内部摩擦角が大きくなる程破壊確率が低下することは明らかであるが、内部摩擦角が小さい程、のり面工低減係数の影響が大きく、破壊確率がより低減されていることがわかる。次に、土の粘着力の変動係数が破壊確率に及ぼす影響を調べたものが図-3である。これより、補強材本数が少ない場合には、斜面土の粘着力の変動係数が破壊確率に大きく影響を及ぼし、

Kouiti OKAMOTO, Tatuaki NISHIGATA, Kazuhiko NISHIDA

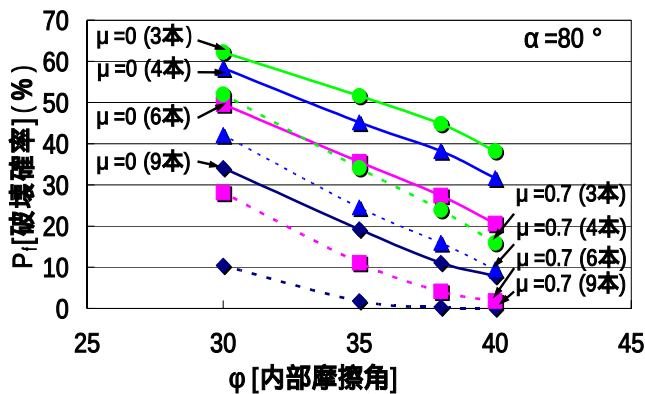


図 - 2 内部摩擦角と破壊確率

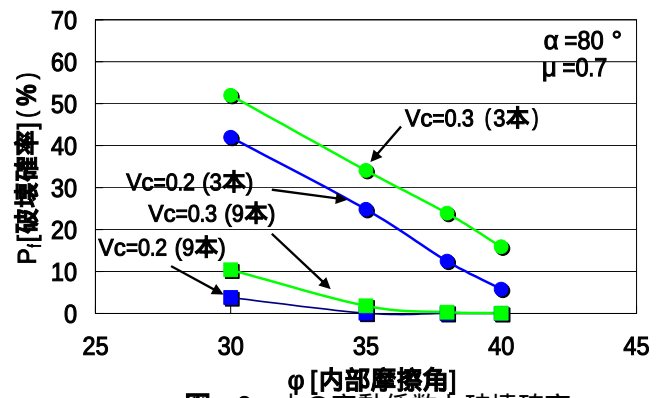


図 - 3 土の変動係数と破壊確率

補強材本数が多くなると、補強斜面自体が安定化するため、変動係数による影響が小さくなっている。

次に補強斜面の変形性能について考察するために、その変形量と破壊確率の関係について考える。本研究では補強斜面の変形量はFEM解析で求め、なお図 - 4 に3次元FEMを示し、表 - 3 に解析条件を示す。図 - 5 はFEM解析による δ_h/H (のり肩水平変位量/斜面高さ) と、信頼性解析による破壊確率との関係を見たものである。図より、のり肩水平変位量 δ_h/H が0.15より小さくなると、急激に破壊確率が低下している。このときの条件は図 - 5 中に示すとおり、斜面土の内部摩擦角が 38° と大きく、かつ補強材本数は6本以上とかなり密に配置された場合に相当している。したがって、補強土としては非常に安定性の高い施工条件であると考えられることから、 $\delta_h/H=0.15\%$ ($P_f=35\%$) は近接施工などの許容変形量が小さい場合の使用限界と考えることができる。また、破壊確率50%を補強斜面の終局限界状態と考えると、このときののり肩水平変位量 δ_h/H は約0.5%となる。日本道路公団では土砂切土砂面の施工管理限界³⁾として、 $\delta_h/H=0.2\%$ 以下を安全レベル、 $0.2 \leq \delta_h/H$

0.4を警告レベル、 $\delta_h/H \geq 0.4$ を危険レベルとしているが、本解析結果の限界状態の変形量もこれと類似したものとなっている。そこで、道路公団の表記に習って、本解析結果による補強土斜面の変形性能をまとめると、表 - 4 のようになる。本研究で行ったように、FEM解析による変形量と信頼性解析による破壊確率を直接関係づけることには問題が残されるが、このような手法によって、補強土斜面の変形性能評価の一手がかりとすることができるものと考えられる。

5.参考文献

- 1) 松尾稔，黒田勝彦：不飽和土の土質諸係数と破壊確率に関する一考察，土木学会論文報告集第208号，pp.65 - 74，1972。
- 2) 切土補強土工法設計・施工指針，日本道路公団，2002。
- 3) 田山聡，緒方健治，永吉哲也，竹内孝光，地山補強土工法を用いた掘削斜面の変形計測による安定管理，土木学会論文集，No.644/VI-46，113，2000。

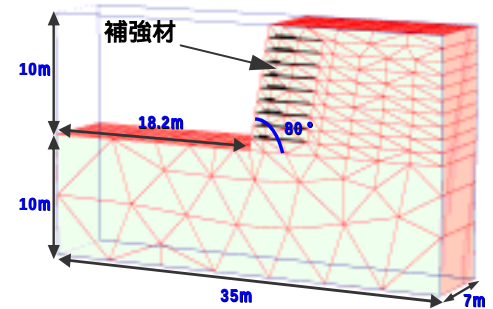


図 - 4 3次元FEM解析モデル

表 - 3 FEM解析条件

γ_t (単位体積重量) [kN/m ³]	18
ヤング率[kN/m ²]	30000
ポアソン比	0.35
ϕ (内部摩擦角) [°]	38, 30
c (粘着力) [kN/m ²]	10
EI (補強材曲げ剛性) [kN・m ²]	40
EA (補強材引張り剛性)	1.6×10^5

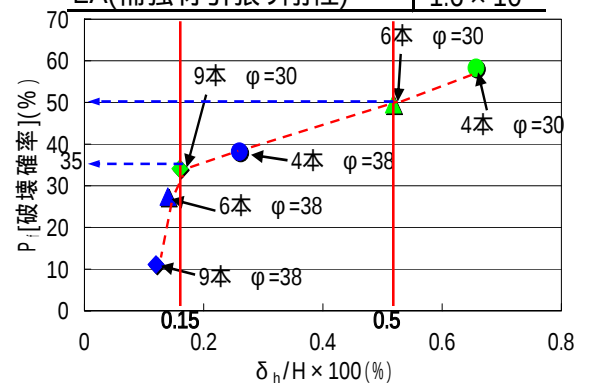


図 - 5 変形量と破壊確率の関係

表 - 4 補強土の変形性能

変形性能レベル	安全レベル	警告レベル	危険レベル
破壊確率(%)	$P_f \leq 35$	$35 < P_f \leq 50$	$P_f > 50$
δ_h/H (%)	$\delta_h/H \leq 0.15$	$0.15 < \delta_h/H \leq 0.5$	$\delta_h/H > 0.5$