

鋼材と地盤の劣化を考慮したグラウンドアンカー補強斜面の安全率算定

九州大学大学院 正会員 ○笠間清伸, 善 功企, 陳 光斉

1. はじめに

切土のり面の安定化工法の一つに、鋼材を引張材として斜面に挿入することで地すべり滑動力に対抗するグラウンドアンカー工法があり、高度経済成長期に数多く施工された。建設後のグラウンドアンカー補強斜面は、降雨や地震などを誘因として、地盤ならびに引張材として用いる鋼材の強度劣化が生じ、経年的に安全率が低下すると予想される¹⁾²⁾。通常ならば、定期的にグラウンドアンカーの調査や残存張力に関する試験などを実施し、補強斜面の健全度が評価される³⁾。しかしながら、経済性や効率性の観点から、全てのグラウンドアンカーを調査し、斜面の健全度を評価することは困難な状況にある。本研究では、地盤および鋼材の強度劣化とそのばらつきを考慮できる新たなグラウンドアンカー補強斜面の健全度評価法を提案することを目的とする。本文では、その第一歩として、確率統計的な観点から地盤および鋼材の強度をモデル化し、グラウンドアンカー補強斜面の安全率および崩壊確率を計算する手法を構築した。

2. グラウンドアンカー補強斜面の崩壊確率の算定

本文において、図-1のような自然斜面に1点鎖線のような切土を行い、グラウンドアンカーで補強するモデル斜面を想定した。斜面の安全率 F_S は、式(1)を用いて修正フェレニウス法で計算した。

$$F_S = R/S \quad (1a)$$

$$R = \sum (W - ud) \cos \theta \tan \phi + \sum c \cdot L \quad (1b)$$

$$S = \sum W \sin \theta \quad (1c)$$

ここで、 R : 抵抗力, S : 滑動力, W : 土塊の自重, u : 間隙水圧, d : 土塊の間隔, θ : 想定すべり面の角度, ϕ : 内部摩擦角, c : 粘着力, L : 想定すべり面の長さを表す。図-1の太線をすべり面と想定した場合、グラウンドアンカーを施工する前のモデル斜面の安全率は、0.984であった。グラウンドアンカーによる抑止力を考慮した斜面の安全率は、式(2)を用いて計算した。

$$F_S = \frac{R + \sum \frac{T}{a \cdot \{\cos(\theta + \alpha) + \sin(\theta + \alpha) \tan \phi\}}}{S} \quad (2)$$

ここで、 T : アンカー力, a : アンカーの水平間隔, α : アンカー傾角を表す。通常は、計画安全率1.2を満足するために必要なアンカー力を計算し、アンカーの詳細な形状や断面などが決定される。本文では、グラウンドアンカーを図-1の位置に9本施工すると仮定した。

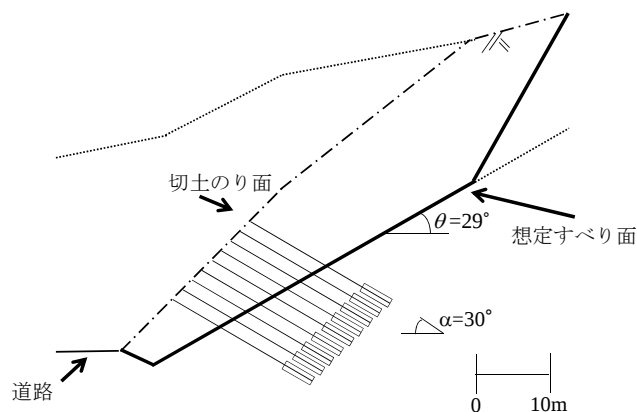


図-1 想定斜面の概略図

地盤の強度劣化およびばらつきを表現するために、地盤の単位体積重量、粘着力および内部摩擦角を確率変数として取り扱った。グラウンドアンカーは、①鋼材の破断、②グラウトと地盤のすべりおよび③グラウトからの鋼材の引抜けを想定し、鋼材の引張力、地盤とグラウトの引抜き力およびグラウトと鋼材の拘束力を確率変数とした。確率変数の平均値は、設計入力値とし、変動係数を入力し、正規分布もしくは対数正規分布でモデル化した。解析したケースは、①鋼材のみ劣化、②地盤のみ劣化および③鋼材と地盤の複合劣化を想定した。以上のケースで1万回のモンテカルロシミュレーションを行い、平均安全率と崩壊確率を算出した。

3. 材料の劣化と補強斜面の健全性の関係

図-2 に、鋼材の劣化のみを考慮した場合の強度比率と平均安全率の関係を示す。強度比率が増加するほど平均安全率は増加した。その増加率は、変動係数が小さいほど高くなった。例えば、強度比率が 100%, つまり、劣化がない場合、変動係数が 0.1 から 0.4 に増加すると平均安全率が 1.20 から 1.11 へと減少した。この原因としては、3つのグラウンドアンカー崩壊状況を想定し、引張力、引抜き力および拘束力の中での最小値が抑止力として選択され、安全率が算出されたためだと考えられる。

図-3 に、地盤の劣化のみを考慮した場合の強度比率と崩壊確率の関係を示す。粘着力の変動係数が 0.2 ~ 0.4 で変化しても崩壊確率には変化が微小だった。内部摩擦角の変動係数が 0.1 ~ 0.2 で変化した場合、粘着力の強度比率 100% の時、崩壊確率は 0.08 の差が生じた。この原因としては、地盤のみを劣化させた場合、粘着力は滑動力の計算にしか影響しないが、内部摩擦角は滑動力と抵抗力の計算に影響するため、内部摩擦角の変動係数の変化による崩壊確率に差が生じたと考えられる。

図-4 に、鋼材の変動係数を 0.1 とした場合の、強度比率と平均安全率の関係を示す。鋼材の強度比率が 40% の場合、内部摩擦角の変動係数が 0.1 の崩壊確率が、内部摩擦角の変動係数が 0.2 の崩壊確率よりも大きくなる場合がある。この原因としては、鋼材の強度比率が 40% の場合、分布形の中心が安全率 1.0 を下回り、変動係数が増加すると安全率が 1.0 を上回る回数が増加するためだと考えられる。

図-5 に、3つの劣化した場合の崩壊確率を示す。鋼材と地盤両方を劣化した場合の崩壊確率が一番高く、鋼材の劣化のみの崩壊確率とは 0.22, 地盤の劣化のみの崩壊確率とは 0.47, 最大で崩壊確率に差が生じた。この原因としては、地盤の粘着性による抵抗力より、グラウンドアンカーの力による抵抗力の方が安全率に与える影響が大きいからだと考える。

【参考文献】1) 松山裕幸, 天野淨行, 山本高司: 吹付けコンクリートの安定性と劣化状況, 土木学会論文集 F, Vol.62, No.3, pp.445-458, 2006. 2) 大津宏康, S.Thamrongsak, 幹拓也, 上出定幸: 点検結果に基づくグラウンドアンカー工の維持補修計画, 土木学会論文集 F, Vol.66, No.1, pp.158-169, 2010. 3) 土木研究所, 日本アンカー協会: グラウンドアンカー維持管理マニュアル, 2008.

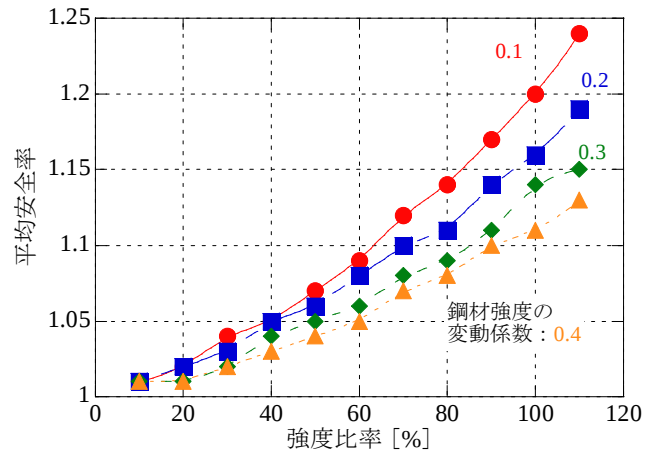


図-2 鋼材の劣化と平均安全率

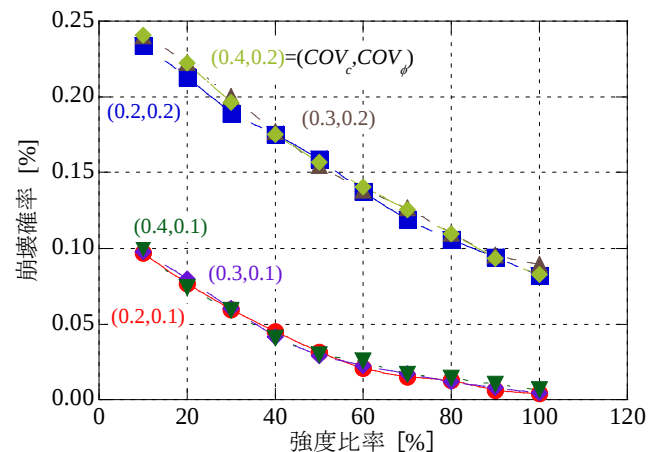


図-3 地盤の劣化と崩壊確率

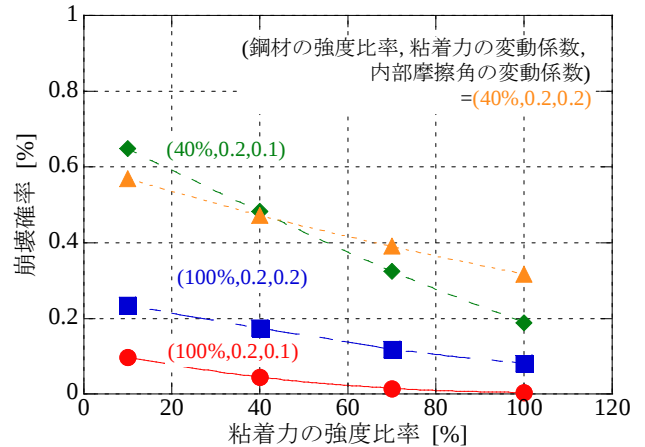


図-4 地盤・鋼材の劣化と崩壊確率

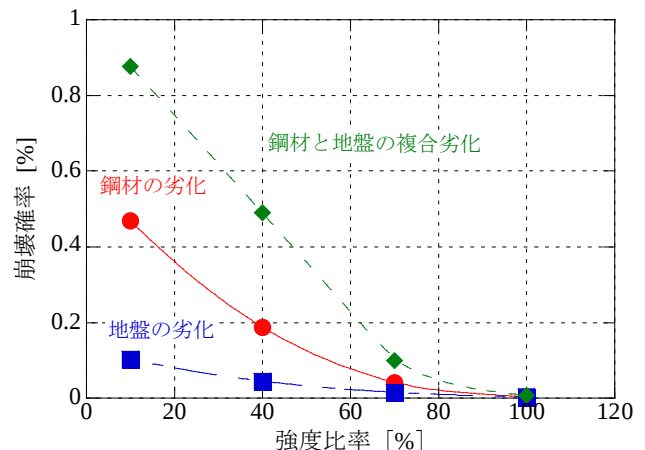


図-5 地盤と鋼材の複合劣化と崩壊確率