

グラウンドアンカーの仰角と斜面安全率に関する FEM 解析

ライト工業(株) 正会員 ○杉井 良平
神戸大学 正会員 芥川 真一

1. はじめに

グラウンドアンカー（以下、アンカー）の仰角は、アンカーの締め付け機能と引き止め機能の配分を決定することとなるため、アンカーの設計において重要な要素である。しかし、アンカーの仰角を合理的に決定する手法に定まったものはない。この議論を困難にしている一因として、従来設計でのアンカー力が直接にすべり面に作用しているという概念が、設計における簡便性からくるものであり、受圧板やアンカー体に与えられた緊張力が周辺の地盤へ広く分散するといった実際の地盤内の力学的挙動を厳密に表すものではないためであることが挙げられる。

一方で FEM 解析は、アンカーを含む斜面全体系に対して有限要素モデルを用いて地盤内の応力や変位の状況を説明できる有効な手法であり、アンカーの設計への活用が期待されている¹⁾。しかし、アンカーの仰角が斜面の安全率に与える影響を検討した例は少なく、さらなる事例の積み重ねが必要と考えられる。そこで本報告では、従来手法によって設計されたアンカーの仰角のみが異なる 3 ケースの斜面について、FEM 解析による安全率を求め、従来手法による安全率と比較した結果を示す。

2. 解析モデル

極限平衡法によりアンカーの設計を行ったモデル斜面と土質パラメータを図-1・表-1 に示す。モデル斜面は繰り返し円弧すべり計算により探索された最小安全率の円弧すべりに対し、アンカーによる補強前の安全率が 1.0 となるように土質パラメータを設定した。表-2 にアンカーの設計結果を示す。アンカーの仰角は 15°、30°、45°とし、それぞれのケースにおいて補強後の安全率が 1.2 となるように設計アンカー力を決定している。図-2 に FEM 解析に用いた解析モデル図 (Case-2) を示す。解析モデルの形状は極限平衡法と同様としており、メッシュサイズは一辺が 1.0m 以下としている。境界条件は下部は完全拘束、左右は鉛直ローラーとした。土質パラメータは極限平衡法に用いたものと同様とし、変形係数は $E=2.0 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 、ポアソン比は $\nu=0.3$ 、ダイレタン

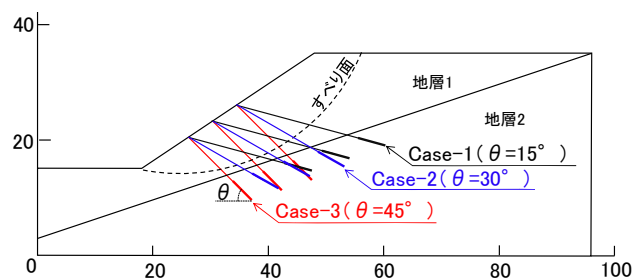


図-1 解析に用いたモデル斜面

表-1 土質パラメータ

地層	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	単位体積重量 γ (kN/m ³)
1	12	29.4	18.82
2	40	294.0	18.82

表-2 アンカーの計算結果

	Case-1	Case-2	Case-3
アンカー仰角	15°	30°	45°
安全率, 補強前	1.00		
必要抑止力 (kN/m)	469		
設計アンカー力	564	636	778
安全率, 補強後	1.20		

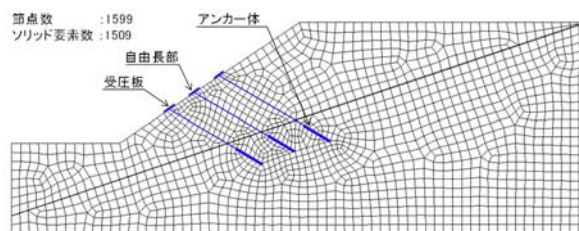


図-2 FEM 解析のモデル図 (Case-2)

表-3 アンカー部材の諸元

部材名	要素タイプ	構成則	弾性係数 (N/mm ²)	断面積 (mm ²)	単位体積重量 (kN/m ³)
自由長部	棒要素	弾性体	194,000	592	77.0
アンカー体 (定着体)	梁要素	弾性体	25,000	10,387	22.5
受圧板	梁要素	弾性体	200,000	37,000	77.0

キーワード グラウンドアンカー, 仰角, FEM, 極限平衡法, 安全率

連絡先 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町 1-16-8 ライト工業(株)西日本支社 TEL 06-6385-3441

シー角は $\psi=0.0$ とした。土質要素は弾完全塑性体として扱い、構成則は降伏基準に Mohr-Coulomb 条件、塑性ポテンシャルに Drucker-Prager 条件を用いた MC-DP モデルを適用した。アンカーのモデル化は、初期緊張力を節点集中荷重で、自由長部を棒要素でモデル化する手法²⁾を用いた。アンカー部材の諸元を表-3に示す。安全率の算出はせん断強度低減法¹⁾を用いて行った。

3. 解析結果

表-4 に各ケースのせん断強度低減法による安全率の計算結果、図-3 に Case-2 における補強前後の全体安全率を求めた最大せん断ひずみ増分の分布図を示す。図-3 では暖色ほどひずみ増分が大きいことを示している。図-3 (a) によると、極限平衡法によって探索された最小安全率の円弧すべりと概ね同様の位置にひずみ増分が大きい範囲が分布している。図-3 (b) によると、ひずみ増分が確認される範囲は補強前と概ね同様であるが、アンカーが配置される範囲及びそれよりも上部の範囲のひずみ増分が小さくなっている傾向が認められる。表-4 によると、算出された補強前の各ケースの安全率は 1.037~1.047 の値を示し、極限平衡法での安全率よりもやや大きい結果が得られた。補強後の各ケースの安全率は 1.210~1.261 の値を示した。Case-1 と Case-2 の FEM 解析による安全率の増分は、従来手法によるアンカー設計時に期待した 0.20 を満足した。しかし、Case-3 の安全率の増分は 0.173 であり、従来手法によるアンカー設計時に期待した 0.20 を満足しなかった。この原因として、Case-3 はすべり面（ひずみ増分が卓越する範囲）勾配に対するアンカーの軸方向の角度が大きいため、アンカーの引張材としての機能が得られにくかったことが考えられる。また、Case-3 はアンカー仰角が大きいため、地表面に作用するアンカー力の鉛直方向の作用力が他のケースよりも大きくなる。この作用力が土塊に滑動力を与える応力として作用している可能性が考えられる。いずれも従来設計法では考慮されていない要素である。

4. まとめ

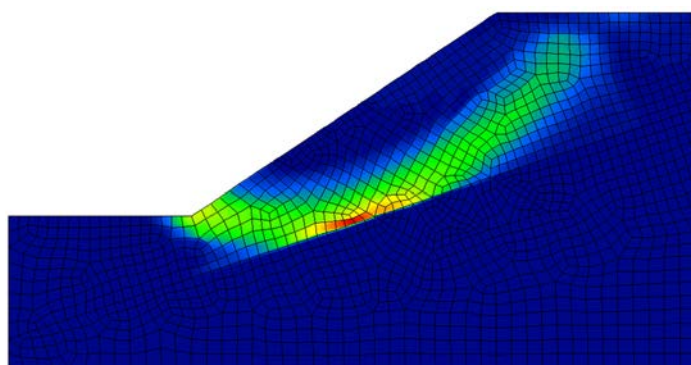
従来手法と FEM 解析によりアンカーを含む斜面の安全率を算出した場合、アンカーの仰角により両者の安全率に差が生じることが確認された。今後、この原因の究明や、非円弧すべり形状のすべり面をもつ斜面での検討を行っていく予定である。

参考文献

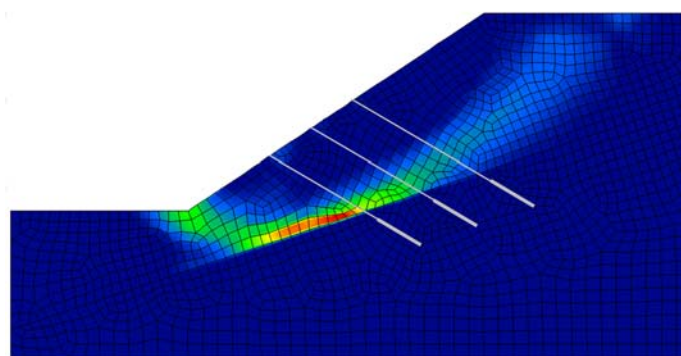
- 1) 日本地すべり学会：有限要素法による地すべり解析，山海堂，pp. 75-85, pp. 63-70, 2006.
- 2) 杉井良平，山崎充，芥川真一：FEM 解析を用いた切土時のグラウンドアンカー緊張力予測手法に関する検討，土木学会論文集 C（地圏工学），Vol. 77, No. 4, 371-385, 2021.

表-4 せん断強度低減法による安全率

	Case-1	Case-2	Case-3
アンカー仰角	15°	30°	45°
安全率, 補強前	1.046	1.047	1.037
安全率, 補強後 ()内増分	1.261 (+0.215)	1.250 (+0.203)	1.210 (+0.173)



(a) 補強前



(b) 補強後

図-3 せん断強度低減法による最大せん断ひずみ増分の分布図 (Case-2)