

Ⅲ-A184 アンカー力を考慮した三次元斜面安定解析事例

東急建設(株)	正会員	和田 洋平
石川県庁	正会員	広瀬 富哉
金沢大学工学部	正会員	太田 秀樹
金沢大学工学部	正会員	大森 晃治

1.はじめに 押さえ盛土・排土などの斜面形状を変える工法の他にアンカー・杭などの構造物による抑止工法を崩壊後の斜面の対策に用いる場合がある。この場合、構造物による抑止工の効果を定量的に計算する手法が必要となる。本研究では、アンカー・杭工の抑止力も考慮した解析を行えるように三次元安定解析プログラム SAFEDRAW¹⁾ (Stability and Force Equilibrium in Discontinuous Rock and Water) を改良した手法とこのプログラムを用いて実際に崩壊した斜面に対してアンカーの計算を行なった解析について述べる。

2.安定計算の手法とアンカー力の評価 不連続面が分布する岩盤斜面で形成されるすべり岩体は不連続面と地表面で囲まれたものとなる。岩体がすべりだすときの形態として平面すべりかくさびすべりが挙げられるが、以下の説明では平面すべり(図-1)を例にとり安定計算を説明する。安定計算は極限平衡解析法を用いている。岩体を構成する面は抵抗力を発揮する面(図-1の面A)とすべりによって隙間が生じる面(図-1の例では1~3の面)に区分される。しかし、すべりによって隙間が生じる面(以下この面を分離面という)には背後からの水圧等(図-1の $U_1 \sim U_3$)が作用するため解析では岩体に作用する外力として考慮する。ここで各面に作用する水圧の方向は面の法線方向に作用すると考える。面の法線は面の傾斜方位角(α)と傾斜角(ψ)で表す事が出来、例として面Aの単位法線ベクトルは式(1)で表される。

$$\mathbf{n}_a = (\sin \psi_a \sin \alpha_a, \sin \psi_a \cos \alpha_a, \cos \psi_a) \quad (1)$$

岩体に作用する力 $\mathbf{F}$ は岩体の自重 $\mathbf{W}$ と各面に作用する水圧 $\mathbf{U}$ から

$$\mathbf{F} = \mathbf{W}\mathbf{g} + \mathbf{U}_a \mathbf{n}_a + \sum (\mathbf{U}_i \mathbf{u}_i) \quad (2)$$

となる。ここで $\mathbf{g}$ は重力の方向を表す単位ベクトルである。図-2に示すように $\mathbf{F}$ をすべり面Aの法線ベクトル成分 $\mathbf{N}_a'$ とすべり面に平行な成分 $\mathbf{S}_a$ に分解すると式(3)、式(4)で求められる。

$$\mathbf{N}_a' = -(\mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_a) \mathbf{n}_a \quad (3)$$

$$\mathbf{S}_a = -(\mathbf{N}_a' + \mathbf{F}) \quad (4)$$

$\mathbf{N}_a'$ と $\mathbf{S}_a$ より安全率を式(5)で算出している。(語句は表-1参照)。

$$F_s = \frac{c_a A_a + N_a' \tan \phi_a}{S_a} \quad (5)$$

図-2 合力 $\mathbf{F}$ の分解

ここで、アンカー力の大きさ T と打設の方向(傾斜方位角 α_t と傾斜角 ψ_t)をもつベクトルとしてアンカーを表すと、アンカー力 T が作用する単位方向ベクトルは、式(6)で表される。

$$\mathbf{t} = (\cos \psi_t \sin \alpha_t, \cos \psi_t \cos \alpha_t, \sin \psi_t) \quad (6)$$

アンカー力も岩体に作用する力の一要素とみなし、式(2)の右辺に $T\mathbf{t}$ を加算して $\mathbf{N}_a'$ と $\mathbf{S}_a$ を求め、安全率を算出することでアンカーの評価を行った。

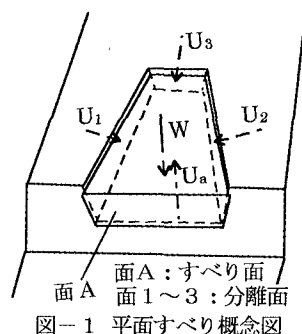
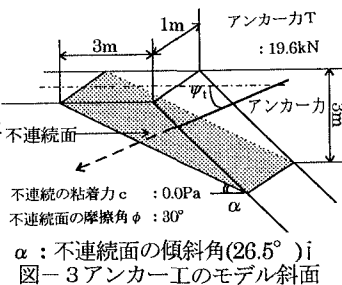


表-1 語句の定義

c_a	すべり面Aの粘着力
ϕ_a	すべり面Aの摩擦角
A_a	すべり面Aの底面積
N_a'	すべり面Aに作用する有効垂直反力
S_a	すべり面Aに作用するせん断力
U_a	すべり面Aに作用する水圧



三次元安定解析、アンカー工、すべり面

〒920 石川県金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部 TEL 0762-34-4629 FAX 0762-34-4632

図-2に示す単位幅のモデル斜面で、従来用いられている計算方法と今回改良した方法との比較を行った。アンカーの傾斜角と安全率との関係を求め、計算方法の違いを見ることにした(図-3)。従来用いられている計算方法としては式(7)~式(9)に示す抑止力を安定計算式(式(10))の P_R の項に代入して算出している

$$P_{R1} = T \cos(\alpha + \psi_1) \quad [\text{アンカーの引止め力を考慮}] \quad (7)$$

$$P_{R2} = T \sin(\alpha + \psi_t) \tan \phi \quad [\text{アンカーの締付け力を考慮}] \quad (8)$$

$$P_{R3} = T\{\cos(\alpha + \psi_t) + \sin(\alpha + \psi_t) \tan \phi\} \quad [\text{式(7)+式(8)}] \quad (9)$$

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \alpha - U) \tan \phi + P_R}{W \sin \alpha} \quad (10)$$

図-3よりSAFEDRAWによる安全率は、アンカーの傾斜角が 40° より大きいところで式(7)~式(9)の解析法とほぼ同じ安全率となっていることが判る。

3.事例解析 石川県小松市地内の切土斜面で高さ約 10m、幅約 15m の斜面崩壊が発生した。厚さ数 mm の軟弱な粘性土を介在した層理面がすべり面となっている。図-5 に崩壊した斜面の鳥瞰図を示す。不連続面の分布を明示するためにすべり土塊を取り除いた図を示している。すべり土塊は断層と分離面とで背後を区切られた形状となっている。

薄い粘性土を介するすべり面の強度を求めるためにブロックサンプリングを行なった。採取試料の等体積一面せん断試験結果より $c'=0.0\text{kPa}$ 、 $\phi'=30^\circ$ が得られた（参考文献2）。崩壊時の地下水位の実測値は得られてはいないが、法面の湧水箇所の分布から図-6に示す小段の位置から1から2m下であるものと推定された。計算では図-6に示すように法尻と小段の位置での水位とを結ぶ線で行くつか地下水位を仮定した。地下水位の上昇による安全率の低下度合いとアンカー力を作用させた場合の安全率の上昇度合いとを図-7に示す。作用させるアンカー力を98kN～490kNまで変化させて解析を行った。図中のTの値がアンカー力である。小段を基準として取った地下水位の高さ（図-6参照）を図の横軸に示す。アンカーをかけない場合、地下水位が小段から約1.25m下がった付近で安全率が1.0となっている。現場付近の法面の湧水高さとほぼ一致した地下水位で崩壊が生じる可能性がある結果となった。安全率を1.2とするためには、アンカー力を250kN～350kN程度作用させればよいことが図から読み取れる。

謝辞 現場での試料採取や解析を行うにあたって便宜をはかっていただいた石川県小松土木事務所の関係者の皆様、元金沢大学学生大倉哲氏（扶桑建設(株)）に感謝の意を表する次第であります。

参考文献 太田秀樹・大森晃治・寺田武彦：不連続性岩盤斜面におけるすべり岩体の特定と安定性の評価、土木学会論文集、No. 424、pp.217～225、1990 2)和田洋平・大倉哲・太田秀樹他：すべり面に介在する軟弱粘性土の強度特性、第 51 回土木学会年次学術講演集、Ⅲ-A206、pp.412～413、1996

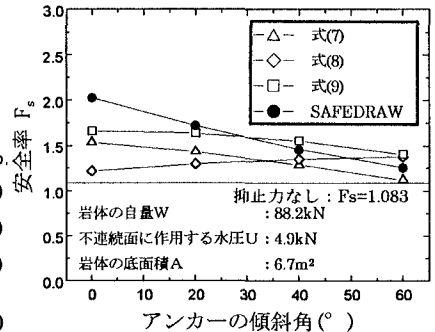


図-4 モデル斜面での安全率の比較

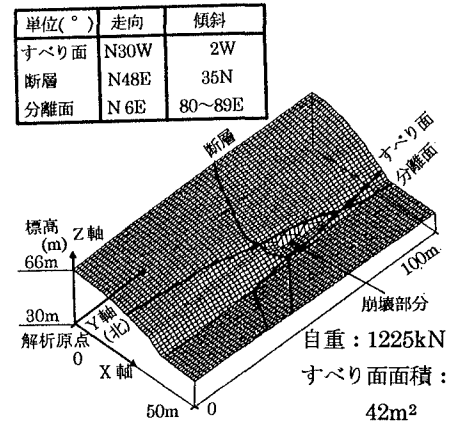
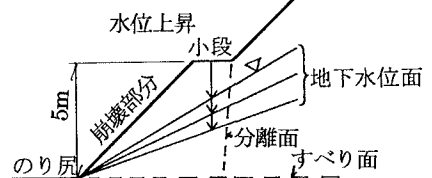


図-5 解析対象地の鳥瞰図

満水位：地表まで地下



地下水位：小段からの距離で表示
図-6 解析に用いた地下水位の仮定

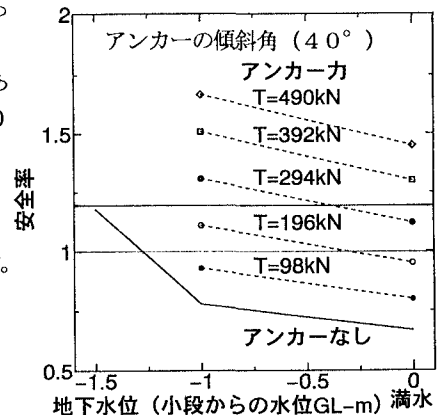


図-7 アンカー力と安全率の関係