

規則的弱面をもつ岩盤斜面の安定

島根県庁 正 ○大塚 三徳
鳥取大学工学部 正 榎 明潔
鳥取大学大学院 学 田中 克実

1. はじめに

岩盤斜面の崩壊は一般に弱面上で起こる。弱面の特徴としては方向性に規則性があり、ある方向には連続でありある方向には不連続である。自然界の風化帯岩盤斜面には土粒子斜面では維持できないような急勾配で存在しているものがある。これは弱面の方向が斜面の傾斜角度に対して逆目である範囲では安全であるためであるが、弱面の方向が流れ目になると斜面が崩れだす危険がある。

本研究では規則的弱面をもつ岩盤斜面の安定解析法を提案し、実際の規則的弱面を想定したアルミニウム角材の岩盤斜面モデルをすべり破壊させ、解析結果と実験結果を比較し検討した。

2. 規則的弱面をもつ岩盤斜面の安定解析

〈異方性 $c-\phi$ 材としての安定解析〉

図-1 のような岩盤斜面を考える。1 群の連続な弱面は水平面から α の角度をなすとする。この岩盤斜面の一部の極限状態にあるすべり岩塊を考える。鉛直方向と水平方向の力のつり合い式は

$$W = F \sin \beta + N \cos \beta \quad (1)$$

$$F \cos \beta = N \sin \beta \quad (2)$$

また、すべり面での破壊条件式は

$$F = N \tan \phi_a + c_a A_0 \quad (3)$$

ここで、 $\phi_a = \mu_a + \beta - \alpha$ 、 $\tan \mu_a = \tan \mu / F_s$ 、 $c_a = c / F_s$ とする。

以上の式(5)、(6)、(7)より安全率 F_s を求め、を変えて F_s の最小値を求めればよい。しかしこの式を計算すると、次式のように F_s は β を含まない形となる。

$$F_s = \frac{\tan \mu}{\tan \alpha} + \frac{L}{W} \frac{c}{\sin \alpha} \quad (4)$$

〈先験的な安定解析〉

規則的弱面をもつ岩盤斜面には図-2 のように規則的弱面に沿ってすべり破壊が生じる。このときすべり岩塊には連続した規則的弱面に平行に速度 v をもつ。重力による外力仕事 E_e とすべり面に沿って消失される内力仕事 E_i は等しいから

$$E_e = W \cdot v \sin \alpha = E_i = W \cos \alpha \cdot \tan \mu \cdot v + cL \cdot v$$

安全率を前述のように考え、安全率 F_s を求めると

$$F_s = \frac{W \cos \alpha \tan \mu + cL}{W \sin \alpha} = \frac{\tan \mu}{\tan \alpha} + \frac{L}{W} \frac{c}{\sin \alpha} \quad (5)$$

式(4)、式(5)をみると結局、異方性 $c-\phi$ 材とみなした安定解析法でも先験的な安定解析でも、安全率 F_s を表す式は同じ式が得られる。この式から次のことが考えられる。

1. $c=0$ の場合、安全率 F_s はすべり面形状に関係なく一定値 $\tan \mu / \tan \alpha$ となる。

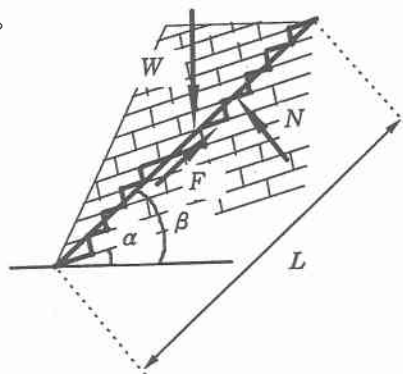


図-1 岩盤斜面モデル

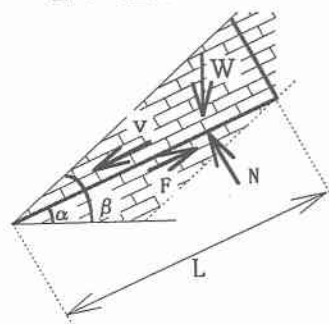


図-2 先験的安定解析法に用いた岩盤斜面モデル

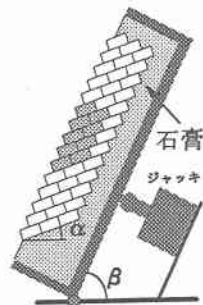


図-3 岩盤斜面モデル

2. $c \neq 0$ の場合、安全率 F_s は、 L/W によって決定され、最小安全率は L/W の最小値により定まる。

3. 斜面模型の傾斜実験

理論式からの考察のもとに図-3 の岩盤傾斜模型で傾斜実験を以下の3通りの条件で行った。(1) 粘着力がない場合、(2) 粘着力がなく摩擦角を増加させた場合、(3) 粘着力がある場合 また、すべり面形状を変化させることにより L/W の値を変えた場合と、すべり面形状を固定しおもりを載せることにより L/W の値を変えた場合の実験をおこなった。

弱面の摩擦角を増加させるためにブロックの表面に耐水ペーパーをはり、粘着力をつけるためブロックの間に粘土をはさんだ。それぞれの条件でのブロックとの摩擦角と粘着力をせん断試験し、結果を表-1 に示す。この数値を式(4)に代入し $F_s=1$ となる傾斜角度を計算し、傾斜実験での斜面崩壊傾斜角度と比較検討した。弱面の方向と水平面との角度を 30° 設けた斜面を傾斜させていきブロックが崩れた時の水平となす角度 θ を測定した。すべり面を固定せずに傾斜させていくと、斜面崩壊したときにブロックがいつきに崩れだし、それと同時にブロックが崩れたことによる2次破壊が生じるためすべり面形状を明確に判断できなかった。そのため実験前にすべり面形状を固定するために、図-3 の色の濃いブロック塊の側方をテープで固定した。実験結果を図-4、図-5 に示す。図の実線はせん断試験の ϕ を用いて理論式から計算した θ と L/W の関係を表している。粘着力がない条件の実験結果は理論式から求めた範囲とほぼ一致する。この結果より斜面の安全率はすべり面形状 L/W に関係なく、摩擦角 μ と斜面の傾斜角度 α とで決定されることがいえる。粘着力がある実験結果でも、理論式から求めた範囲と一致し、 L/W が大きい形状ほど急角度で崩れだすことがいえる。また、 L/W の値が同じでも形が異なるすべり面形状でも同じ傾斜角度で崩れ出すことがいえる。このことは理論式からの考察と一致するところである。

4. おわりに

岩盤斜面の安定解析法として L/W に着目した解析法を提案した。粘着力がない岩盤斜面では、すべり面形状に関係なく摩擦角 μ と α によって決定される。また粘着力がある岩盤斜面では、安全率はすべり面形状 L/W に依存し、岩盤斜面の最小安全率となるすべり面形状は、 L/W を最小化する形状といえる。よって、この解析法は、規則的弱面をもつ岩盤斜面に有効であると考えられる。

参考文献

1) 榎明潔・徳澤政秀・池田勇司・田中克実：規則的弱面の存在する岩盤斜面の安定性、地すべりの地盤工学的諸問題に関するシンポジウム pp. 259-264、1996。

表1 一面せん断機を用いたせん断試験結果

	摩擦角 $\phi_{\min}$ ($^\circ$)	摩擦角 $\phi_{\max}$ ($^\circ$)	粘着力 $c_{\min}$ (gf/cm^2)	粘着力 $c_{\max}$ (gf/cm^2)
cなし ブロック	12.9	18	0	0
ϕ 増加 ブロック	33.42	38.94	0	0
粘土をはさんだ ブロック	14.84	19.29	0.107	0.586

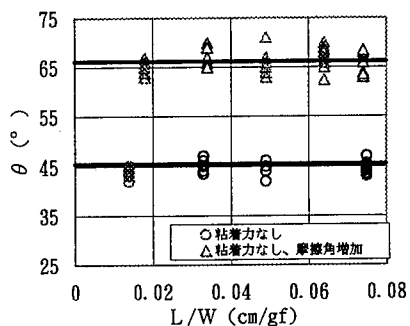


図-4 粘着力がない条件での L/W と θ の関係

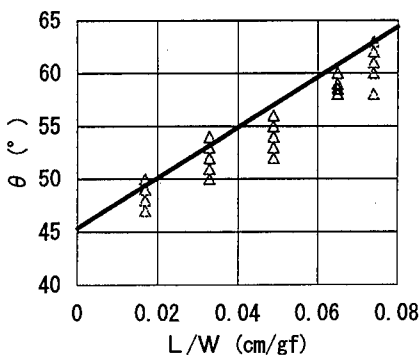


図-5 粘着力がある条件での L/W と θ の関係