

東京都立大学 正 西 村 和 夫
 東京都立大学 正 山 本 悠
 東京都立大学 正 山 崎 良 一

1. まえがき

国土の多くが山岳・丘陵地で占められて平野の少ない我国においては、切り取った斜面を何如に安定させるかは土地の有効利用上また施工上大きな課題と言える。筆者等は、施工に伴う一時的な切り取り斜面（トンネルの坑口付けや開削工法での法面など）の安定に、比較的短いロックボルトを用いた斜面安定工法を提唱している。既に実物の数分の一の斜面モデルによる大型模型実験を行なったが、その安定機構を十分には解明することができなかった。そこで、さらに詳細な調査を行うため、写真撮影によるすべり線の観察実験と、光弾性の応力凍結法を用いた土圧・ボルト軸力測定実験の二種類の小型室内実験を行なった。これらの実験結果からその安定機構を明らかにできたと考えている。

すなわち、比較的短いロックボルトを用いて斜面を安定させた場合、リボルトは地山を一体化（ブロック化）してためみ性擁壁（擬似擁壁）を形成する。2) 形成された擬似擁壁のためみ（ブロックのせり出し）はバールジ型になる。3) このためみによって擬似擁壁に作用する背面土圧は軽減される。4) 高さを正規化した、擁壁に作用する無次元化土圧分布形状は、多数の切ばりを用いた山留めの土圧分布形状に類似している。5) 生じるすべり線は擬似擁壁内部でボルト打設方向に強く規制される。6) 擬似擁壁背後のすべり線を無次元正規化すると、そのすべり線はすべりを生じた位置に関係なく比較的良く一致する。

これらの実験結果を踏まえて、ロックボルトを打設した斜面の安定解析は一般の摩擦円法を拡張した手法によって簡明に実施できることを示し、その概要を述べる。

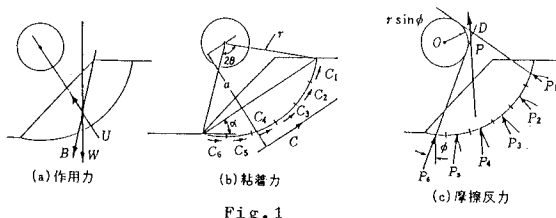
2. 解析法

一般の摩擦円法においては、すべり土塊重量 $\vec{W}$ とすべり面に作用する間げき水圧の合力 $\vec{U}$ との合力 $\vec{B}$ と、すべり面に沿って作用する粘着力の合力 $\vec{C}$ およびすべり面に作用する摩擦反力の合力 $\vec{P}$ のつり合いを考える。 $\vec{B}$ は大きさと傾きが既知であり、 ϕ の安全率 F_ϕ を与えれば $\vec{P}$ の作用線は既知となり、また $\vec{C}$ の作用線も既知であるから $\vec{P}$ と $\vec{C}$ の大きさを決定することができる。この $\vec{C}$ に対して安全率 F_c を計算し、 $F_\phi = F_c$ なる点を求める。すべり線の位置と大きさ（ d と θ ）をいろいろ変えて求められる最小の安全率が系の求める安全率となる。（Fig. 1）

本方法では Fig. 2 の (a) に示すモデルを、まえがきの中の 5), 6) に述べた観察に基づいて、ボルトによって一体化された擬似擁壁 ABDE と、擁壁背後のすべり領域 ABC に分けて考える。（Fig. 2 - (c)）この場合、すべり領域 ABC に作用する力には、前述した $\vec{W}$ （ $\vec{U} = 0$ ）、 $\vec{C}$ および $\vec{P}$ の3つの力の他に、背面土圧 $q(h)$ に対する擬似擁壁からの反力 $\vec{R}$ がある。ここで背面土圧分布 $q(h)$ の分布形状を仮定して、その合力の反力としての $\vec{R}$ の、A点からの作用位置 a を決定する。（Fig. 2 - (c)）

前述したように、一般の摩擦円法では $\vec{P}$ と $\vec{C}$ の作用方向が既知であるから、 $\vec{B}$ の分力として $\vec{P}$ と $\vec{C}$ の大きさを一義的に決定し得る。しかし、本方法では $\vec{P}$ と $\vec{C}$ の他に $\vec{R}$ が存在するために、 $\vec{B}$ の分力として $\vec{P}$ 、 $\vec{C}$ および $\vec{R}$ を一義的に定めることはできない。したがって、計算過程においては常に $F_c = F_\phi = F_\phi$ とおくことによって $\vec{C}$ の大きさを定め、 $\vec{W}$ と $\vec{C}$ の合力に対して $\vec{P}$ と $\vec{R}$ の大きさを求める。（Fig. 2 - (b)）この $\vec{R}$ から背面土圧 $q(h)$ の大きさを決定できる。

擬似擁壁は作用する背面土圧 $q(h)$ にロックボルトによって一体化された地山ブロックのせん断抵抗 S_i で



対抗しなければならない。背面土圧 $q(h)$ は既知であり、上部から i 番目の地山ブロックの力のつり合い (Fig.3) から、その地山ブロック下部でのせん断抵抗 S_i と鉛直力 V_i は次式で与えられる。

$$S_i = \sum_{j=1}^{i-1} (T_j \cos \beta + H_j) \quad (1)$$

$$V_i = \sum_{j=1}^{i-1} (T_j \sin \beta + W_j)$$

W_j : j 番目ブロック自重

これは、クーロンの破壊限界を越えることはできないから、安全率を F_B とすれば F_B は次式で与えられる。

$$F_B = \frac{1}{S_i} (cL + V_i \tan \phi) \quad (2)$$

ϕ : 内部摩擦角

c : 粘着力

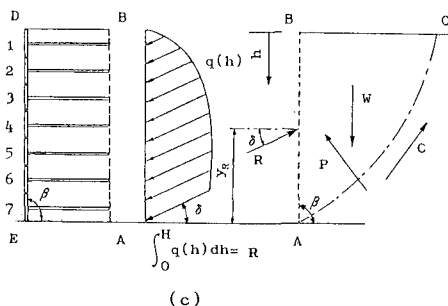
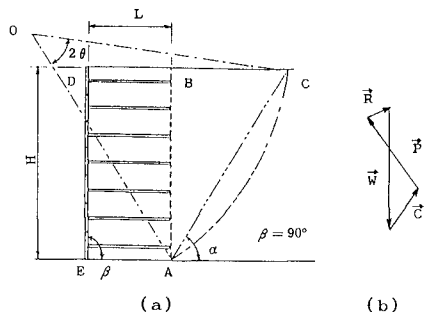


Fig.2

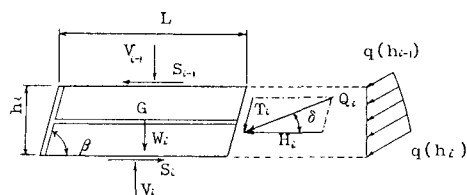


Fig.3

Table 1

H (cm)	δ (deg.)	L (cm)	α (deg.)	θ (deg.)	F_B	Test
70	0	32.5	62	14	1.03	○
		30.0	62	12	0.98	○
	25	22.5	60	30	1.05	○
		20.0	60	26	0.99	—
49	0	22.5	62	14	1.02	○
		20.0	60	10	0.96	○
	25	15.0	60	30	1.02	○
		12.5	60	24	0.94	×

ここで求められた F_B と、前述した $F_{c\phi}$ が等しくなる点を求める。すべり線の位置と大きさ (α と θ) をいろいろ変化させて最小の安全率を求める。

3. 結果と考察

実験および計算に用いた物性値は、 $\gamma_d = 6.8 \text{ g/cm}^3$ (鉛の散弾) $c = 0 \text{ g/cm}^2$, $\phi = 25^\circ$ であり、背面土圧分布形状 $q(h)$ は実験結果から放物線分布とした。Table-1 にこの結果を示す。実験欄の○印は斜面の自立、×印は崩壊、—印はボルトモデルの破壊により実験不可能となったことを示す。 $\delta = 25^\circ$ とすると実験値と計算が極めて良く一致する。擬似擁壁背面 AB はもともと地山自体であることから、実際にも δ は内部摩擦角に近い値になっていると考えられる。また、実験ではボルトにヘッドを付けたものを用いており、十分な引抜抵抗があることから実験では解析と同様、擬似擁壁のせん断抵抗不足で崩壊したと考えられる。

これらの実験と解析の結果から、ロックボルトに十分な引抜抵抗があるならば、ボルトによって形成されるたわみ性擬似擁壁のせん断抵抗が、擬似擁の背面に作用する土圧に抵抗して斜面が安定すると言える。

ロックボルトの引抜抵抗が十分期待できないときは、個々のボルトが、そのベアリングプレートを通して斜面の安定に必要な土圧を地山に還元できるかどうか吟味する必要がある。

4. あとがき

比較的短いロックボルトを用いた斜面の安定には、ボルトが個々には抜け出さずに地山を一体化し、たわみ性の擬似擁壁を形成してそのせん断抵抗で土圧に対抗することが必要である。本文では後者に関する解析法を示したが、前述したようにボルト1本毎の引抜抵抗が十分あることを前提としていることに留意しなければならない。