

斜面安定解析上の仮定が対策工に及ぼす影響

(株)第一コンサルタンツ 右城 猛
(株)第一コンサルタンツ 矢野光明
(株)高南テック ○筒井秀樹

1. まえがき

現状の斜面安定解析では、①すべり面の形状や深さを仮定、②排水工による地下水位の低下量を仮定、③現状の円弧すべりの安全率と地盤の粘着力を仮定して逆解析で得られた c' 、 ϕ' を推定する、など種々の仮定のもとに解析が行われ対策工の設計がなされている。

斜面安定対策工の計算には、一般に簡便分割法が使用されているが、簡便分割法による円弧すべり計算でも、安全率の定義が曖昧なため種々の安全率評価式が提案されている。ところが、解析上の仮定の誤差や評価式の相違が対策工の設計に及ぼす影響については明確にされていない。

そこで、本論文では、簡単なモデル斜面で試算を行い、逆解析で求められたせん断強度定数の誤差と評価式の相違がすべり面の深さによって対策工の効果にどの程度影響を与えるのか調べた。なお、検討の対象とする対策工は、①地下水位低下工、②排土工、③押さえ盛土工、④アンカー工、⑤杭工の 5 種類である。

2. モデル斜面とせん断強度定数

試算を行ったのは図-1 に示す斜面である。すべり面が浅い位置を通る場合と深い位置を通る場合について検討した。

この斜面の現状の円弧すべりの安全率を F とすると、すべり面の平均せん断強度定数は、次式で表される。

$$\tan \phi' = \frac{F \sum W \sin \alpha - \sum c' \cdot l}{\sum N'} \quad (1)$$

ここに、 ϕ' は内部摩擦角、 c' は粘着力、 F は安全率、 W はすべり土塊の分割片の重量、 l は分割片

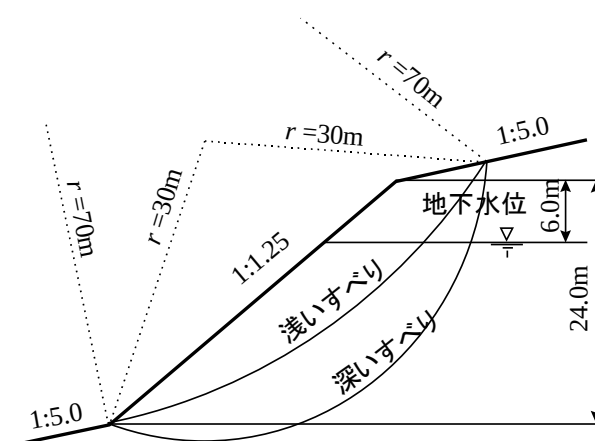


図-1 試算斜面

の底面の長さ、 α は分割片の底面の接線が水平面となす角、 N' は分割片の底面に作用する有効垂直力である。

N' は分割片の重量の考え方によって次の 2 つの式が提案されている。

$$\text{Fellenius} \quad N' = W \cos \alpha - u \cdot l \quad (2)$$

$$\text{修正Fellenius} \quad N' = (W - u \cdot b) \cos \alpha \quad (3)$$

$\gamma = 1.8 \text{ tf/m}^3$ 、 $\gamma' = 0.9 \text{ tf/m}^3$ とすれば、 $F=1.0$ における c' と $\tan \phi'$ の関係は図-2 のように表される。 $\tan \phi' = 0$ のときは、Fellenius 法、修正 Fellenius 法とも同一の c' が得られる。しかし、 $\tan \phi' > 0$ では Fellenius 法に比べて修正 Fellenius 法で逆算されるせん断強度定数は大きくなる。この傾向は $\tan \phi'$ が大きくなる (c' が小さくなる) ほど顕著である。正解の c' 、 $\tan \phi'$ は、 $c' - \tan \phi'$ 線上のどこかにあ

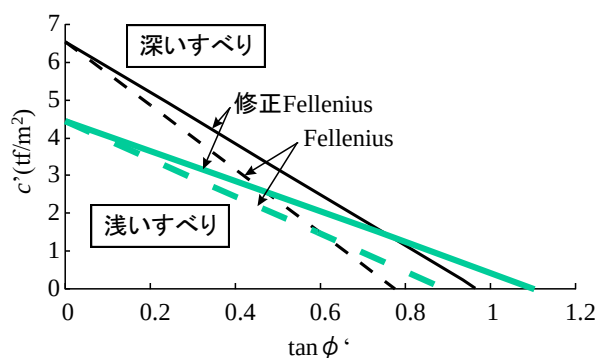


図-2 $F=1.0$ の c' - $\tan \phi'$ 関係図

るのであるが、特定することはできない。このため、設計の実務では、経験的に $c'=0.1Z$ (Z はすべり面の最大深さ) と仮定して c' を決定し、この c' に対応する $\tan \phi'$ を求めている。しかし、 $c'=0.1Z$ の式が成立する理論的根拠はなく、このようにして求められた c' 、 $\tan \phi'$ が正しいという保証はない。

そこで、以後の検討では、 c' 、 $\tan \phi'$ を特定するのではなく、(1)式を満足する何組かの c' と $\tan \phi'$ について計算する。

3. 対策工の種類と安全率評価式

検討の対象とする対策工は、①地下水位低下工法、②排土工、③押さえ盛土工、④アンカー工、⑤杭工の5種類である(図-3 参照)。これらの対策工を用いた場合の安全率は、(4)式～(7)式で評価する。

◆地下水位低下工法、押さえ盛土工、排土工

$$F = \frac{\sum (c' \cdot l + N' \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \quad (4)$$

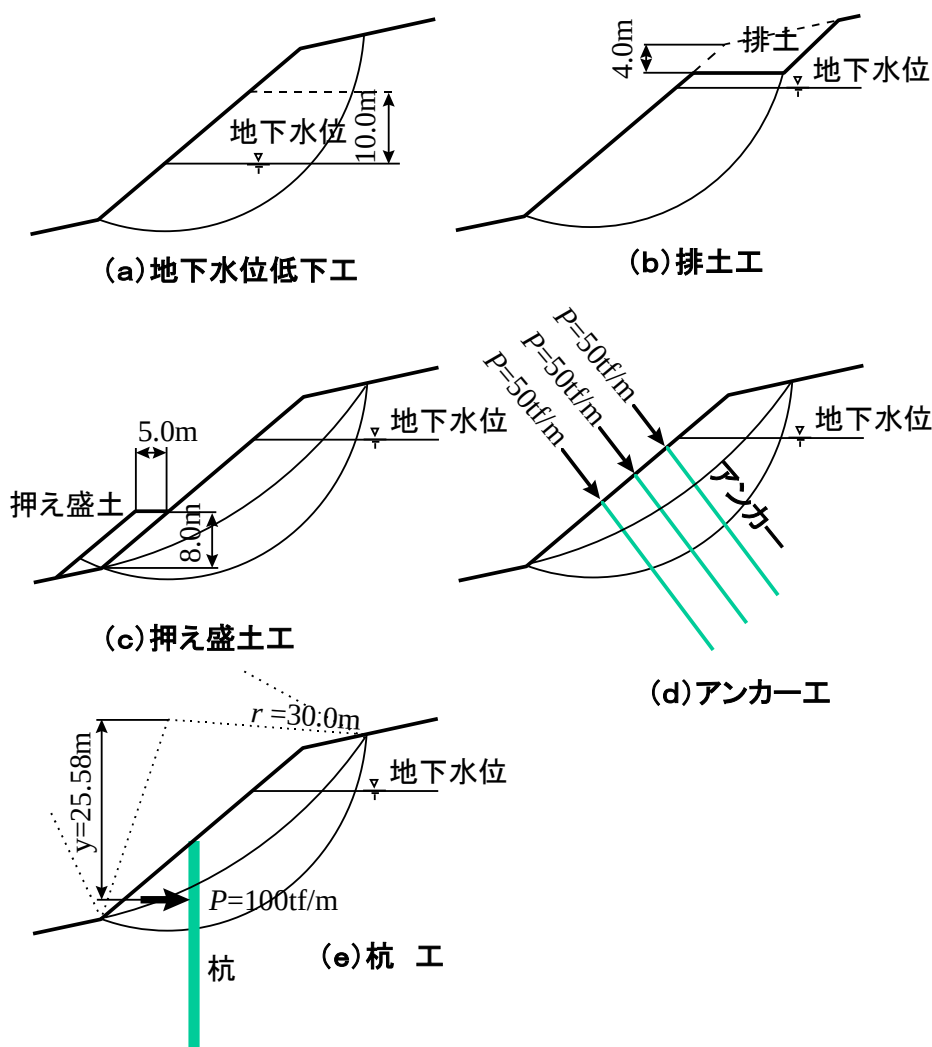


図-3 比較検討した対策工

◆アンカー工

$$F = \frac{\sum (c' \cdot l + N' \tan \phi') + \sum P \sin \theta \tan \phi'}{\sum W \sin \alpha - \sum P \cos \theta} \quad (5)$$

$$F = \frac{\sum (c' \cdot l + N' \tan \phi') + \sum P (\cos \theta + \sin \theta \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha} \quad (6)$$

◆杭 工

$$F = \frac{\sum (c' \cdot l + N' \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha - P} \quad (7)$$

$$F = \frac{\sum (c' \cdot l + N' \tan \phi') + P}{\sum W \sin \alpha} \quad (8)$$

$$F = \frac{\sum (c' \cdot l + N' \tan \phi')}{\sum W \sin \alpha - \frac{y}{r} P} \quad (9)$$

4. 試算結果

(1) 地下水低下工法

深いすべりも浅いすべりも地下水位が 10m 低下した場合について計算した。その結果を図-4 に示す。

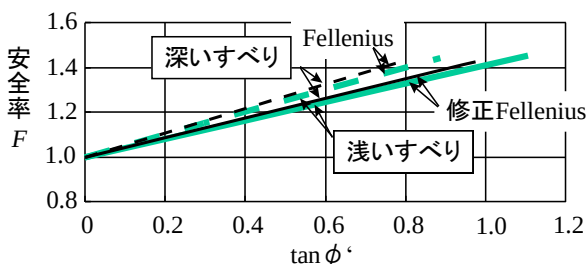


図-4 地下水位低下工

地下水位の低下による安全率は、 $\tan \phi'$ に比例して増加する。その増加率はすべり面が深いほど大きい。また、修正 Fellenius 法に比べて Fellenius 法が安全率が大きく算定される。

(2) 排土工

斜面の肩から 4m 下方まで排土した場合について計算した。その結果を図-5 に示す。

安全率は深いすべりほど大きく算定される。また、安全率は $\tan \phi'$ の増加に伴って減少する。これは c' の低下の影響による。減少率は修正 Fellenius 法よりも Fellenius 法が大きい。

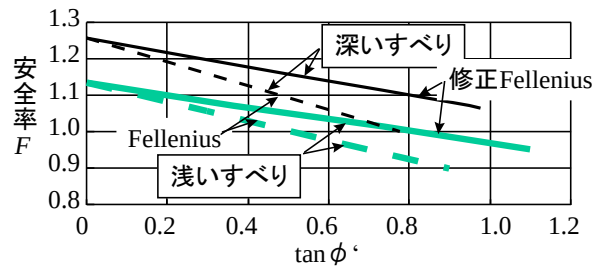


図-5 排土工

(3) 押え盛土工

斜面の法尻部に幅 5.0m、高さ 8.0m で腹付け盛土したものとして計算した結果を図-6 に示す。

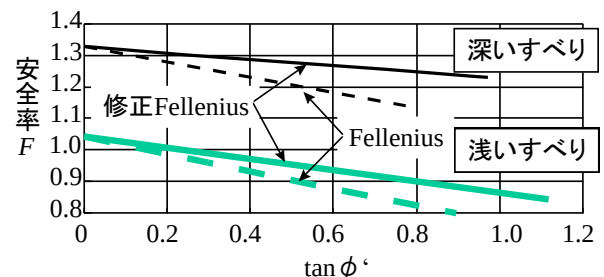


図-6 押え盛土工

安全率の変化の傾向は、排土工の場合と同じである。浅いすべりの場合、 $\tan \phi'$ が大きくなると押さえ盛土工施工前 ($F=1.0$) より安全率が低下する。これは、押さえ盛土地点のすべり面底面の傾斜が大きいためである。

(4) アンカー工

深いすべり、浅いすべりとも、アンカーは 3 段設置し、アンカー 1 本の張力は斜面奥行き 1m 当たり 50tf として計算した。計算結果を図-7 に示す。

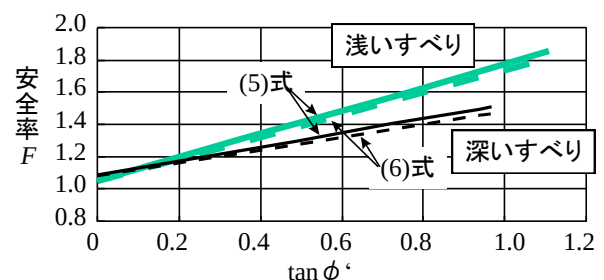


図-7 アンカー工

安全率は $\tan \phi'$ に比例して増加する。増加率は浅いすべりほど大きい。地すべり抑止工として実務で一般的に使用されている(6)式と、より合理的な(5)式では安全率にほとんど差が見られない。

また、修正 Fellenius 法と Fellenius 法では全く同一の計算結果となる。

(5) 杭 工

杭は 1 列打設するものとした。抑止力は、斜面奥行き 1m 当たり 100tf として計算した。計算結果を図-8 に示す。

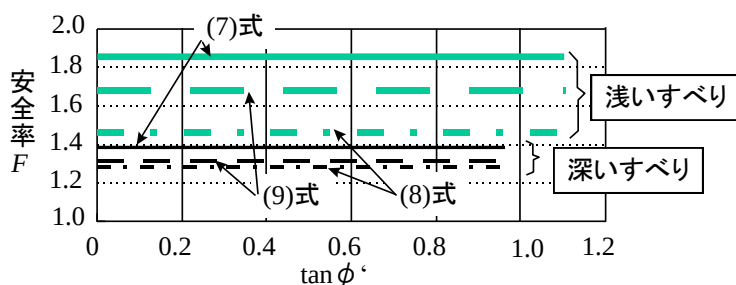


図-8 杭 工

杭工の場合、安全率は $\tan \phi'$ に全く依存しない。安全率はすべり面が浅いほど大きい。これは、深いすべりに比べて浅いすべりのすべり力が小さいにも関わらず抑止力を同一として計算したためである。

計算式によって算定される安全率は大きく異なる。この傾向は、すべり面が浅いほど顕著に現れる。現在、地すべりの抑止工の設計の実務で一般的に使用されている(8)式で算定される安全率が最も小さくなる。

(7)式と(8)式は、抑止力の作用位置をすべり面位置と仮定している。これに対して(9)式は、安全率の考え方は(7)式と同じであるが、抑止力の作用位置をすべり面から突出長の 1/3 の高さで仮定したものである。すべり面が深いほど、抑止力の作用位置の影響が現れ、(7)式と(9)式の安全率の差が開いている。

杭工の場合、修正 Fellenius 法と Fellenius 法による違いは安全率に現れない。

5. 結 論

簡単なモデル斜面で試計算を行い、逆算法で求められたせん断強度定数の誤差と安全率評価式の相違が、対策工の効果に及ぼす影響を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

① 逆算で求められるせん断強度定数は、修正 Fellenius 法と Fellenius 法で異なる。 $\tan \phi'$ が大きいほど修正 Fellenius 法で逆算されるせん断強度

定数の値が大きい。

② 地下水低下工とアンカー工では、 $\tan \phi'$ に比例して安全率も増加する。増加率は、地下水位低下工の場合修正 Fellenius 法より Fellenius 法が大きい。

アンカー工の場合は、修正 Fellenius 法と Fellenius 法の差は少なく、すべり面の深さの影響が大きい。

③ 排土工と押さえ盛土工では、 $\tan \phi'$ が増加すると安全率は逆に減少する。減少率は修正 Fellenius 法に比べて Fellenius 法が大きい。すべり面の深さは、減少率にほとんど関係しない。

④ 杭工の安全率は、 $\tan \phi'$ の影響を全く受けないが、安全率評価式によって大きく異なる。地すべり対策工の設計の実務で用いられている評価式を用いると、安全率は最も小さく与えられる。

⑤ アンカー工と杭工では、修正 Fellenius 法と Fellenius 法による差が安全率に現れない。

⑥ 排土工、押さえ盛土工、杭工では、すべり面の深さによって安全率が大きく異なる。排土工と押さえ盛土工では、すべり面が深いほど安全率が大きく計算される。杭工では逆にすべり面が浅いほど安全率は大きくなる。

斜面安定対策工の設計を行う上で、すべり面のせん断強度定数やすべり面の深さを正確に決定することが大変重要であることがわかった。また、安全率評価式の選択も重要といえる。

以上の結論は、1 種類の斜面に対し修正 Fellenius 法と Fellenius 法で計算した結果に基づいて得られたものである。異なる形状の斜面や、GLEM などの斜面安定解析法を適用した場合に同様の結果が得られるかどうかは全く不明であり、今後の検討課題と考えている。

なお、今回の検討を行うに当たり、文献 1) を参考にさせていただいた。

参考文献

1) 鶴飼恵三：斜面安定工の効果と強度定数 c' 、 ϕ' との関係、第 30 回土質工学会研究発表会、1995.7