

地盤と斜面对策工の相互作用を考慮した斜面安定解析に関する研究

環境防災研究室 田中友宏
指導教官 大塚 悟 磯部公一

1. はじめに

現在、実務で用いられている斜面对策工の設計は極限平衡法に準拠した設計方法である。極限平衡法は解析的に簡便であるが、斜面崩壊の詳細なメカニズムや対策工とすべり土塊の間の相互作用を十分には表現できない問題点がある。既往の研究により剛塑性有限要素法 (RPFEM) を用いると斜面の安定性を合理的に評価できることが明らかになっていることから、本研究では対策工を梁要素にモデル化し、既存の RPFEM に導入することで対策工とすべり土塊の相互作用を表現する方法を提案する。対策工の斜面安定効果に関する数値解析を通して本手法の適用性を検討するとともに、対策効果の定量的評価について考察する。

2. 不連続線に関する検討について

2.1 降伏関数

不連続線での降伏関数は図 1 に示すような降伏関数を仮定したので、式(1)、(2)のように表せる。

$$f(t, F_s) = |t_s| - \hat{c}_s + t_n \tan \hat{\phi}_s = 0 \quad \text{式(1)}$$

$$g(t, F_s) = |t_s| - \hat{c}_s = 0 \quad \text{式(2)}$$

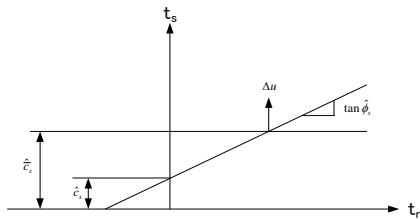


図 1 不連続線の降伏関数

2.2 剛塑性構成式

応力ベクトル \mathbf{t} と相対変位速度ベクトル $\Delta \dot{\mathbf{u}}$ の間に成立する剛塑性構成式を誘導する。図 1 は不連続線での降伏関数を $t_n \sim t_s$ 空間に示したものである。降伏関数上の応力ベクトル \mathbf{t} は流れ則に基づいて次のように表される。

$$\mathbf{t} = \mathbf{t}^{(1)} + \mathbf{t}^{(2)} = \begin{pmatrix} t_s \\ t_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\gamma}_s \cos \hat{\phi}_s \frac{\Delta \dot{u}_s}{|\Delta \dot{u}_s|} + \omega_s \Delta \dot{u}_s \cdot \tan \hat{\phi}_s / |\Delta \dot{u}_s| \\ \hat{\gamma}_s \sin \hat{\phi}_s - \omega_s \end{pmatrix} \quad \text{式(3)}$$

3. 対策工に関する検討について

3.1 降伏関数

対策工には軸力(N)とモーメント(M)が作用するものを仮定する。梁要素での降伏関数は楕円形を仮定したので、式(4)のように表せる。

$$f(N, M) = (\beta M)^2 + (\alpha N)^2 - \sigma_0^2 = 0 \quad \text{式(4)}$$

ここで、 σ_0 : 降伏応力、 $\alpha = 1/A$ 、 $\beta = y/I$

I : 断面 2 次モーメント、 A : 断面積、 y : 図心軸からの距離

3.2 剛塑性構成式

式(4)の降伏関数から塑性理論を用いて剛塑性構成式を導くと、式(5)が得られた。

$$\begin{pmatrix} N \\ M \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_0 & 0 \\ \hat{\alpha}^2 & 0 \\ 0 & \sigma_0 \\ & \hat{\beta}^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \hat{\epsilon}_n^p \\ \hat{\epsilon}_\theta^p \end{pmatrix} \quad \text{式(5)}$$

定式化した梁の剛塑性構成式を既往の斜面安定解析プログラムに組み込むことで、対策工を考慮した斜面の安定解析を行う。

4. 対策工による斜面安定効果の検討

地すべり対策工には、抑制工、抑止工など様々なものがある。ここでは鉄筋挿入工法についての検討を実施する。

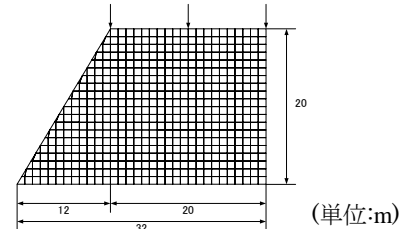


図 2 解析モデル

表 1 解析条件

せん断抵抗角 ϕ	35°
粘着力 c	20kPa
単位体積重量 γ_t	18kN/m ³

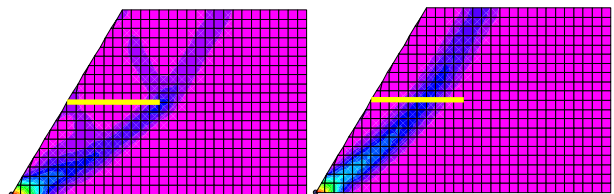
対策工を導入しない普通斜面にて安定解析をおこなった。解析の結果安全率は $F_s=1.052$ となった。

4.1 奥行き方向の挿入間隔

対策工挿入の奥行き方向の長さを変化させた解析を行う。図 2 の解析モデルに対策工を導入した。対策工は長さ 10m のものを底面から 10m の位置に 1 本挿入した。対策工の解析条件は表 2 を用いた。挿入ピッチ 0.5m, 1.0m, 2.0m, 3.0m の 4 ケースについて解析を行った。

表 2 解析条件

接触ジョイントのせん断抵抗角 ϕ_c	35°
接触ジョイントの粘着力 c_c	20kPa
節点ジョイントの粘着力 c_p	0.01kPa
対策工の降伏軸力 N_y	200kN
対策工の降伏曲げモーメント M_y	0.01kN·m
対策工の直径 D	0.2m



(a) ピッチ 0.5m

(b) ピッチ 3.0m

図 3 塑性ひずみ分布

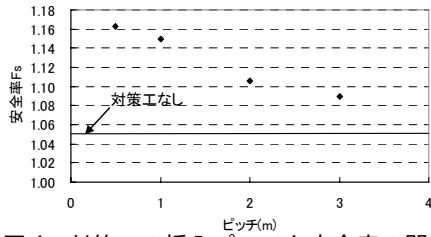


図4 対策工の挿入ピッチと安全率の関係

解析の結果、対策工を導入しない場合の安全率 $F_s=1.052$ に対して、対策工を導入した場合の安全率は各挿入ピッチで増加した。図3の塑性ひずみ速度分布より、挿入ピッチが狭くなるとせん断領域が拡大していることから、対策工の挿入ピッチによる影響を適切に表現しているといえる。また、対策工の挿入ピッチと安全率の関係を図4に示す。図より、挿入ピッチが狭くなるほど安全率が上昇することがわかる。

4.2 対策工の周面摩擦特性の検討

対策工の周面摩擦特性を検討する。図2の解析モデルに対策工を導入した。対策工は長さ10mのものをピッチ2mで底面から10mの位置に1本挿入した。接触ジョイントのせん断抵抗角 $\phi_c=0^\circ$ で、粘着力 $c_c=3,5,10,15,30kPa$ の5ケースの解析を行った

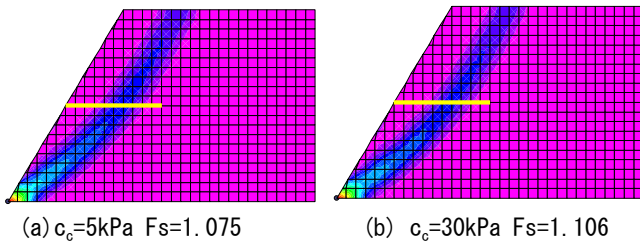


図5 塑性ひずみ分布

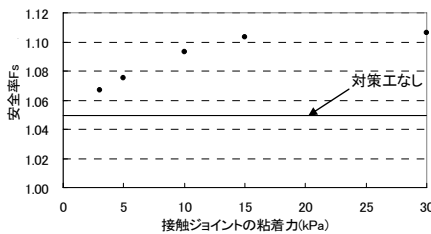


図6 接触ジョイントの粘着力と安全率の関係

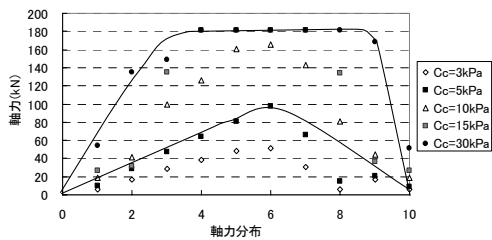


図7 対策工の軸力分布

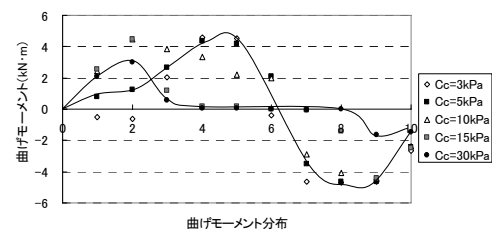


図8 対策工の曲げモーメント分布

解析の結果、対策工を導入しない場合の安全率 $F_s=1.052$ に対して、対策工を導入した場合の安全率は各接触ジョイントの粘着力で増加した。接触ジョイントの粘着力と安全率の関係を図6に示す。図より、接触ジョイントの粘着力が大きくなるほど安全率が上昇することがわかる。今回の解析条件では粘着力が $c_c=15kPa$ までは安全率が増加したが、それ以上の安全率は横ばいとなった。

各ケースでの対策工の軸力分布を図7に示す。 $c_c=5, 30kPa$ には近似線を描いた。図より、接触ジョイントの粘着力が小さいと発生する軸力も小さく、粘着力が大きくと発生する軸力も大きくなり安全率も上昇した。これにより対策工の安定効果と軸力の発生が対応することがわかる。図8に対策工の曲げモーメント分布を示した。 $c_c=5, 30kPa$ には近似線を描いた。曲げモーメントが発生するのは対策工の降伏関数に楕円状の降伏関数を用いているため、構成式の関係上軸力が小さいときには発生する。

4.3 対策工の端部抵抗力と周面摩擦の関係

対策工の端部抵抗力について検討する。対策工の斜面側端部に大きな力を与えることで受圧盤と仮定し解析を行った。図2の解析モデルに対策工を導入した。対策工は長さ15mのものをピッチ2mで底面から10mの位置に1本挿入した。接触ジョイントのせん断抵抗力を $\phi_c=0^\circ$ とし、接触ジョイントの粘着力を $c_c=5kPa$ とした。

受圧盤を考慮する場合は端部節点力に $c_p=10000kPa$ を与え、受圧盤を考慮しない場合は端部節点力に $c_p=0.01kPa$ を与えた。受圧盤を考慮する場合としない場合の2ケースの解析を行った。

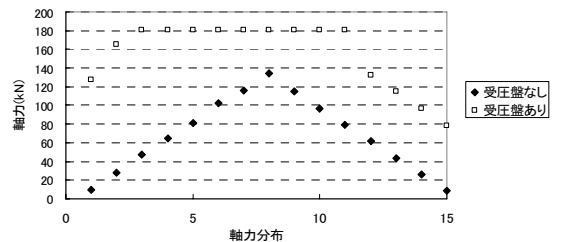


図9 対策工の軸力分布

解析の結果、受圧盤のない場合には安全率 $F_s=1.081$ であり、受圧盤のある場合には $F_s=1.106$ と受圧盤の有無による安定効果が見られた。図9に対策工の軸力分布を示す。図より、受圧盤の無い場合は受圧盤がある場合より小さい軸力を示した。受圧盤がある場合は各対策工長さにおいて受圧盤の無い場合に比べ大きい軸力が発生した。対策工長さ3mから11mは軸力180kNと一定の値となった。このことから受圧盤の斜面安定効果が示されたといえる。

参考文献

- 1)井上由美子, 大塚悟: 対策工の斜面安定効果に関する数値的研究, 2006
- 2)有限要素法ハンドブック I 基礎編, pp206—pp220, 1981
- 3)地盤工学における数値解析入門, pp63—75, 2000 社団法人 地盤工学会