岐阜工業高等専門学校専攻科 学生会員 石川 雄大 岐阜工業高等専門学校 正会員 水野 和憲

1 序論

剛塑性有限要素法¹⁾ (Rigid Plastic Finite Element Method,以後,RPFEMと呼ぶ)は塑性加工分野にお いて開発された計算手法であり,地盤工学の分野では 田村ら²⁾ によって初めて適用された.また,浅岡ら ^{3),4)} は,カムクレイモデルに用いられる降伏関数を RPFEM に導入した「水-土骨格連成極限つり合い解 析」を開発し,様々な地盤の安定問題に適用している.

RPFEM を用いた斜面を有する地盤の安定解析は, 地盤全域において,一定荷重下で際限なく変形が進行 する状態(極限状態)のみを取り扱うため,地盤の有 限要素メッシュと材料定数及び強度定数を入力するこ とで,地盤が本来破壊までに経験する応力や変形に関 係なく,斜面の安全率 *F*_s および破壊形態が得られる 計算手法である.

本研究はこの計算手法を用いて,典型的な均質-様な斜面における安定計算を実施し,入力する解析 条件(斜面形状,材料定数および強度定数)と出力さ れる斜面の安全率 F_s 及び破壊形態との関係を明らか にすることを目的とする.また,テイラーの安定図表 を基にしたテルツァギーの安定係数との比較を行い, RPFEMの有用性も再度検討する.

2 斜面の諸量が安全率や破壊形態に与える影響

2.1 解析条件

本研究は左右対称性を考慮した半断面地盤を用意 し,2次元平面ひずみ条件の下で解析を行う.斜面は 盛土を想定した.盛土高さをH,盛土底面幅をB,斜 面勾配を θ とし,斜面法尻部に特異点処理⁵⁾を施し た.解析に用いた有限要素メッシュの一例を図-1に 示す.また,地盤及び盛土材はともに飽和した粘性土 ($\phi = 0$)とし,簡単のため,地盤内の粘着力c及び単位 体積重量 γ_t は均質一様であり,等方性材料($K_0=1$)と 仮定した.本計算に用いたパラメータを表-1に示す.

本研究は,斜面勾配 θ 毎に,盛土高さH,単位体積 重量 γ_t 及び粘着力cを種々変えて(一つの斜面勾配 で27通り),得られる斜面の安全率 F_s との関係を調 べた.ただし,盛土底面幅Bは地盤の境界が解析結果 に影響を与えないよう解析領域を十分に確保した.



図-1 有限要素メッシュの一例(斜面勾配 $\theta = 62^\circ$)

表-1 計算に用いたパラメータ

斜面勾配 <i>θ</i> [°]	20~90 (12 種類)
盛土高さ H [m]	3.0, 4.0, 5.0
土の単位体積重量 $\gamma_{ m t} \; [m kN/m^3]$	7.0, 14.0, 21.0
土の粘着力 $c \; [{ m kN/m^2}]$	7.0, 14.0, 21.0

2.2 解析結果

斜面の諸量を表す $\gamma_{\rm t} H/c$ と斜面の安全率 $F_{\rm s}$ の関係 を図-2 に示す.12 種類の斜面勾配 θ に対して解析を 行ったが,図の繁雑さを避けるため,図-2 では斜面勾 配 θ =45°,67°,90° における結果のみを掲載する.

図-2 を見ると, $\gamma_t H/c$ と斜面の安全率 F_s の関係は, 斜面勾配毎に一本の曲線で表され,しかも概ね反比例 の関係であることがわかった.つまり,土質試験によ り単位体積重量 γ_t および粘着力 c を求め,斜面勾配 θ および盛土高さ H を決めれば,斜面の安全率 F_s が簡 単に求まることを表しており,工学的に意義のある結 果が得られた.また,斜面が崩壊する安全率 $F_s=1.0$ に着目すると,単位体積重量 γ_t ,粘着力 c および斜面 勾配 θ を指定すれば,限界盛土高さ H_c を推定できる ことを表している.本計算条件下では,各斜面勾配 θ において表-2 の $\gamma_t H_c/c$ を超えると,斜面は崩壊する ことがわかった.

2.3 テルツァギーの安定図表との比較

表-2に示した $\gamma_t H_c/c$ は,テルツァギーの安定係数 N_s に相当する.改めて斜面勾配 θ と安定係数 N_s の関係を図-3に示すとともに,テルツァギーの安定図表を併記する.図-3より,RPFEMの結果はテルツァギーの安定図表と概ね一致する結果が得られた.破壊



図-2 $\gamma_{\rm t} H/c$ と安全率 $F_{
m s}$ の関係

表 -2 各科面勾配 $ heta$ における $\gamma_{ m t} H_{ m c}/c$
--

斜面勾配 θ	$\gamma_{ m t} H_{ m c}/c$	斜面勾配 θ	$\gamma_{ m t} H_{ m c}/c$
20	5.52	61	5.15
30	5.30	62	5.13
35	5.23	67	4.95
45	5.17	70	4.85
53	5.22	80	4.47
60	5.16	90	4.06

形態については, テルツァギーの安定図表において斜 面勾配が 53°を境に底部破壊と斜面先破壊に大別する とされている⁶⁾が, RPFEMにおいては盛土高さに 関係なく, 62°より緩ければ,地盤を含む全般的な破 壊(図-4, 図-5)を示し, 62°以上であれば,斜面先を 通る局所的な破壊(図-6)に大別することができた. ここで,全般破壊か局所破壊の選別は,底部破壊のよ うに変位速度場が斜面先の前方まで卓越しているか否 かで判断した.破壊形態を大別する斜面勾配が異なっ た要因として,円弧すべり法(摩擦円法)では「円弧状 のすべり破壊面」を仮定していることが考えられる.



図-3 斜面勾配 θ と安定係数 $N_{\rm s}$ の関係



図-4 *θ*=53°の破壊時変位速度場(全般破壊)



図-5 $\theta=61^{\circ}$ の破壊時変位速度場(全般破壊)



図-6 *θ*=62°の破壊時変位速度場(局所破壊)

3 結論

本研究では,均質一様な飽和粘土地盤での斜面安定 解析に RPFEM を適用した結果,図-2より盛土高さ H,斜面勾配 θ ,単位体積重量 γ_t ,粘着力cを与えれ ば,容易に斜面の安全率 F_s が得られることが明らか となった.また,図-3よりテルツァギーの安定図表と 同様な結果が得られ,計算に先立ちすべり破壊面を設 定する必要のない RPFEM の有用性も再確認できた. 破壊形態では斜面勾配 $\theta=62^\circ$ を境に全般破壊と局所 破壊に大別する結果となった.

参考文献

- 1) 小林史郎ら:マトリックス法による剛 塑性体変形の解析, 塑 性と加工, Vol.14(153), pp.770-778, 1973.
- Tamura, T., Kobayashi, S. and Sumi, T. : Limit analysis of soil structure by rigid plastic finite element method, Soils and Foundations, Vol.24, No.1, pp.34–42,1984.
- 3) 浅岡顕:支持力と有効応力、土と基礎、Vol.36、No.6、pp.43-49、1988.
- 4) 小高猛司:水-土骨格連成極限つり合い解析に基づく複合地盤 の支持力に関する研究,名古屋大学学位論文,1993.
- 5) 沖見芳秀,右近八郎,吉清孝:剛塑性有限要素法による支持力 解析におけるモデル化について,第44回土木学会年次学術講 演会講演概要集,III,pp.966-967,1989.
- 6) 柴田徹 他:地盤力学,山海堂, pp.189–190, 2003.