

斜面のひずみ監視システムのFEM解析

(株)東京電機
国立長野高専 正会員
信州大学工学部

○伊藤正洋
古本吉倫
高橋拓生

1. はじめに

地震や集中豪雨により工事中の斜面が崩落する事故が多発している。斜面の動きを監視し、土砂崩れ災害監視システムを構築するには、設置が簡単であり低コストで運用できるスクリー型ひずみセンサーが有効である。本研究では、地盤工学会主催の「わかって使う FEM 講習会」にて使用されている弾塑性有限要素法プログラムにより、スクリー型ひずみセンサーによる斜面のひずみ監視システムの有効性を確かめることを目的として、斜面の安定解析を行い実験結果と比較した。

2. 有限要素法による斜面の安定解析

FEM ソフトは GA3D^[1] を用いた。このソフトでは降伏基準に Mohr-Coulomb 式を用い、塑性ポテンシャルに Drucker-Prager 式を用いた、非関連流れ則に基づく弾完全塑性モデルの解析が出来る(MC-DP モデル)。弾塑性解析を行うことで、より実際の地盤に近いシミュレーションを行うことが出来る。この他に、設定可能なパラメータは、ヤング率 E 、ポアソン比 ν 、粘着率 c 、内部摩擦角 ϕ 、ダイレタンシー角 ψ 、単体重量 γ 、静止土圧係数 K_0 である。これにより、砂質土や粘土などの地盤材料の詳細な仮定を行うことが出来る。

予備的解析として、以下のような仮定のモデルを用いて FEM 解析を行い、材料定数が解析結果にどう影響するのかを調べた。まず、基本のモデル ($E:10000\text{Pa}$, $\nu:0.4$, $c:15\text{Pa}$, $\phi:20\text{deg}$, $\psi:0\text{deg}$, $\gamma:18\text{kN/m}^3$, $K_0:0.5$) の解析結果を以下に示す(図-1)。なお、自重のみで考慮する。次に内部摩擦角が 0° の時のモデルでも同様に解析した(図-2)。二つの図を比べてみると、すべり線が下のほうに移り、なおかつひずみが増大していることが分かる。内部摩擦角とは拘束圧が増加したときのせん断強度の増分の割合のことであるが、この値が 0° になることで、下の地盤での強度が出ずに応力だけ増加したためにすべり線が下方に移ったと考えられる。

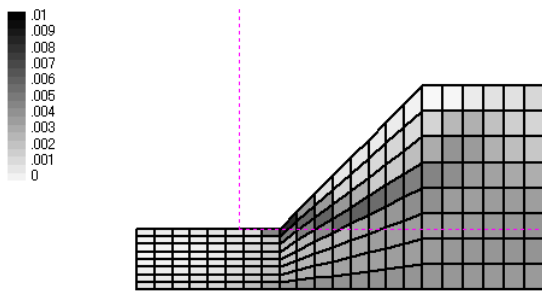


図-1 予備的解析例 1

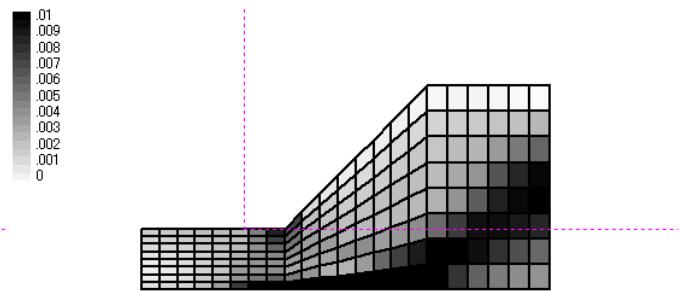


図-2 予備的解析例 2 (内部摩擦角 0°)

3. 斜面掘削のシミュレーション

労働安全衛生総合研究所特別研究報告^[2]より、実際のモデル地盤を用いた実験のデータを FEM でシミュレーション化し、実測値と合うのか検証した。図-3がモデルとなる地盤の模式図である。実験では、斜面の場所を下から徐々に掘削していく切土工事を想定している。実験では掘削幅を一段階で 0.5m とし、全 7 段階+透かし掘りを行って崩壊までの斜面のひずみ状態を計測している。また、実験では関東ローム層をブルドーザーで 5 回締め固めた地盤を用いており、 N 値のみ計測している。しかし、FEM で解析する際には、

その他様々な定数が必要となるため、粘着力 C と内部摩擦角は N 値からの推定式により、それぞれ $C=12.5\text{kN/m}^2$, $\phi=21.32^\circ$ とした。解析を行った。掘削前と掘削中（7段階）と透かし掘りのメッシュ全9種作り、解析を行った。

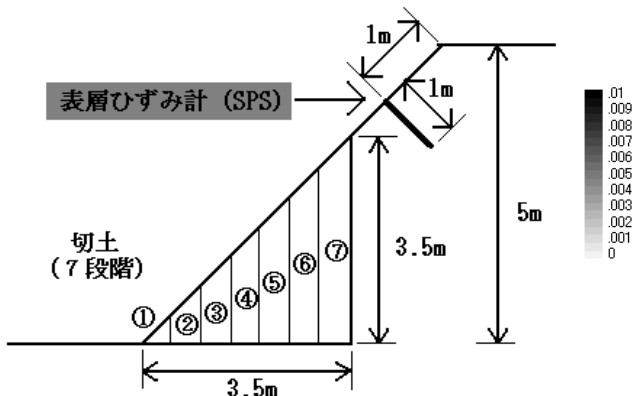


図-3 斜面掘削のモデル

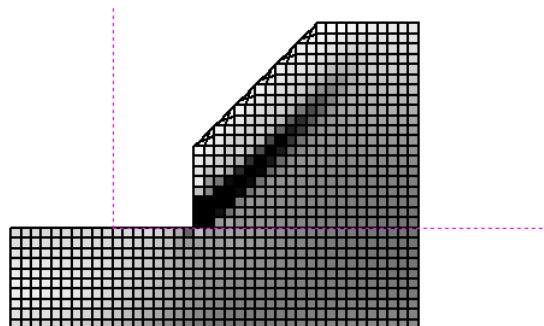


図-4 ひずみ分布（第4段階）

図-4がひずみ（第4段階）を図示したものである。どの段階においてもすべり線が法尻から上へとはっきり現れている。図-5は安全率とひずみの関係を表したグラフである。安全率は地盤全体の安全率で、ひずみは上のメッシュで切ったときのモデル図の黒い部分でのひずみを抽出した部分である。ひずみを抽出した部分はどの段階においても同じ位置の要素とした。

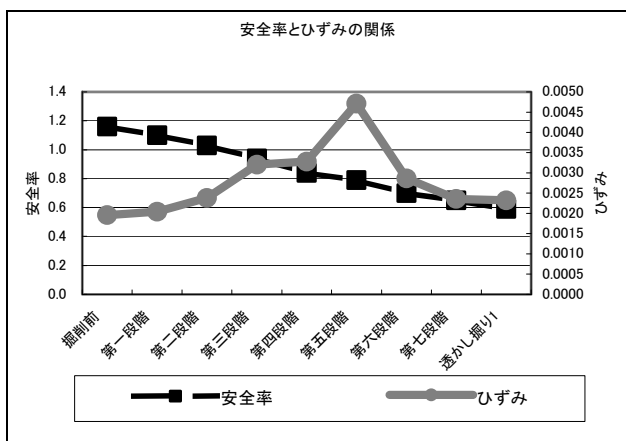


図-5 安全率とセンサー部のひずみの関係

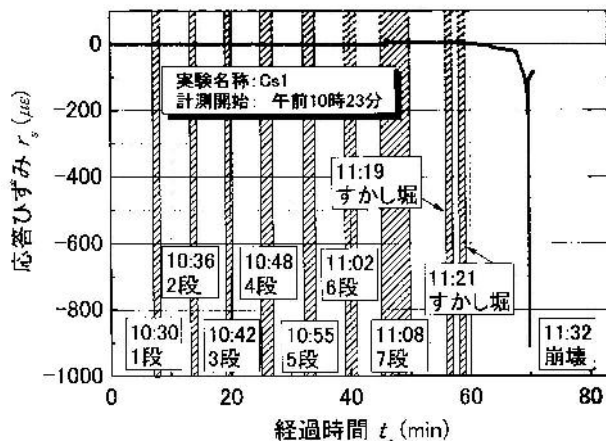


図-6 実験値

図-5のグラフによると、安全率は掘削と同時に徐々に下がっていき、それと連動して地表面のひずみセンサー設置箇所でのひずみが増大していくのが分かる。ただし、安全率が0.8となった第5段階以降、ひずみは逆に低下し始めた。掘削のため土塊の自重自体が現象したためではないかと考えられる。比較のため、以下に実際の地盤でのひずみの遷移を表したグラフを示す(図-6)。実験ではすかし掘りの段階でようやくひずみ値が増大したが、計算値は安全側の値を示したといえる。

3. まとめ

地表のひずみの増大と斜面の安全率の低下が同時に起こることが FEM 解析により明らかとなった。地表にひずみセンサーを配置することにより、斜面の崩壊を予測できる可能性を示した。

参考文献

- 1) 地盤技術者のための FEM シリーズ①・②・③ (社団法人 地盤工学会)
- 2) 労働安全衛生総合研究所特別研究報告 JNOSH-SRR-No.35(2007) (独立行政法人 労働安全衛生総合研究所)