

斜面の安定解析における粒子法と極限平衡法の比較

防衛大学校 正 ○野々山栄人
防衛大学校 正 宮田 喜壽

1. はじめに

斜面の安定性評価では、斜面の変形を考慮した検討や崩壊前から崩壊に至るまでを連続的に検討した事例は少ない。また、各種災害に対する取り組みでは、自然斜面や盛土に崩壊が生じた後の復旧方法の検討や、斜面変状レベルより崩壊に至るかどうかの判定をスムーズに行うために、崩壊後までを対象にした斜面安定解析の必要性が高まっている。古典的な極限平衡法では上記の要求に応えるような解析結果を得ることができず、有限要素法においても技術的な課題が多く残されている。著者らは、粒子法をベースにした斜面安定解析法について基礎的研究を行っている¹⁾。本研究では粒子法をベースとした斜面安定解析を実施し、土の強度や斜面勾配が斜面の変形・崩壊パターンに及ぼす影響を調べた。

2. 数値解析の概要

粒子法 (SPH 法) とは、解析対象を多数の粒子 (計算点) の集合と考える Lagrange 型のメッシュフリー解析手法である。今回の解析では、粒子法の考え方で離散化された運動方程式と連続の式を相互に段階的に解く方法を用い^{1,2)}、 $c-\phi$ 材料で構成された均質斜面が自重で崩壊する問題を解いた。解析モデルを図-1 に、解析パラメータを表-1 に示す。構成モデルについては、関連流れ則に基づく Drucker-Prager モデルを用いた。斜面角度 ($\beta=90, 75, 60^\circ$) と粘着力、内部摩擦角を変化させて解析を実施した。粘着力、内部摩擦角については、安定図表³⁾より限界高さを求め、その値を基準に設定した。計算は運動が収束するまで実施し、計算終了時点と計算初期の値から着目位置の粒子移動量を算出した。境界条件は、側面を x 方向固定、y 方向をフリーとし、底面は x 方向・y 方向ともに固定した。初期応力は、鉛直方向は土被り圧、水平方向はそれに静止土圧係数 ($K_0=0.5$) をかけたものとした。

3. 結果と考察

解析結果として、強度安全率 FS (=解析条件の粘着力および内部摩擦角/極限平衡法で全体安全率が 1 になるときの粘着力および内部摩擦角) が 0.85 から 1.05 までの条件に対する斜面の最終形状とせん断ひずみ分布を図-2 に示す。FS が 1 を下回ると、ひずみの局所化が連続化し、崩壊領域が明確に形成されるようになる。また、斜面角度が 60° のケースでは円弧上の変形を示したのに対し、 $75, 90^\circ$ のケースでは、直線上のせん断ひずみが卓越し、安全率の低下に伴って斜面が崩壊した。次に、法肩の鉛直移動量 D_v と斜面高さ H の 1/2 の高さでの水平移動量 D_h の 2 つの移動量をそれぞれ斜面高さ H で正規化し、2 つの移動量と強度安全率の関係を図-3, 4 にプロットした。図より、FS=1 をしきい値にして、その値を下回ると変形量が大きくなる傾向があると言える。また、 D_v/H と D_h/H の関係をプロットしたのが図-5 である。なお、FS が 1 以上と 1 以下でプロットの色を変えて表している。図-5 からわかるように、両者の関係は線形関係にあり、FS が評価される限界移動量を水平・鉛直移動量それぞれに設定できる可能性があることを示唆する結果が得られた。

4. まとめ

土の強度や斜面勾配が斜面の変形・崩壊パターンに及ぼす影響を粒子法で調べた。斜面内のせん断ひずみ分布や 2 か所の鉛直・水平方向移動量に着目して考察を行い、土の強度で定義される FS=1 が崩壊に至るかどうかのしきい値になっていることや、移動量にも安定性を判定するための限界値があるという結果が得られた。

キーワード 斜面の安定, 粒子法, 変形解析

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL046-841-3810

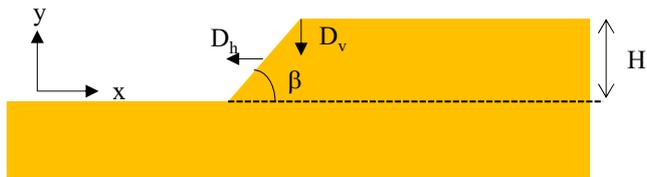


図-1 解析モデル

表-1 解析パラメータ

E	[MPa]	100
ν		0.3
γ	[kN/m ³]	19.6
c	[kPa]	$c=FS c_{cr}$
ϕ	[°]	$\phi=\tan^{-1}(FS \tan \phi_{cr})$
ψ	[°]	$\psi=\phi$

c_{cr}, ϕ_{cr} : 安定図表より算出

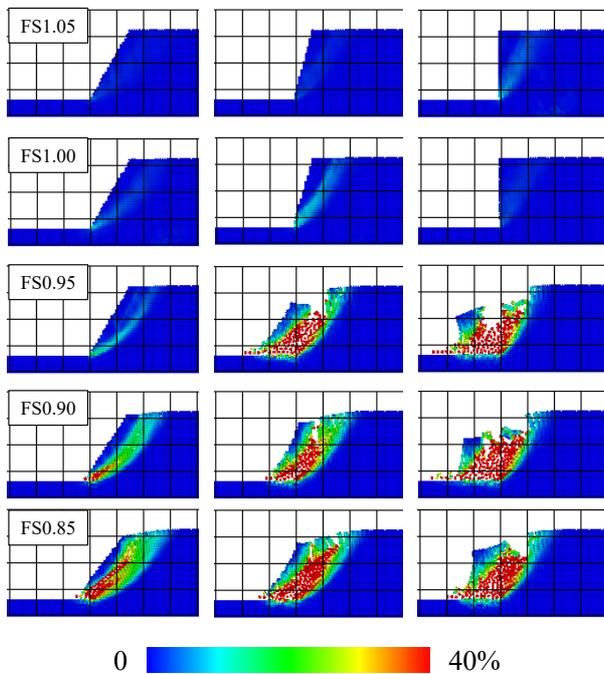


図-2 せん断ひずみ分布 (左から $\beta=60, 75, 90$)

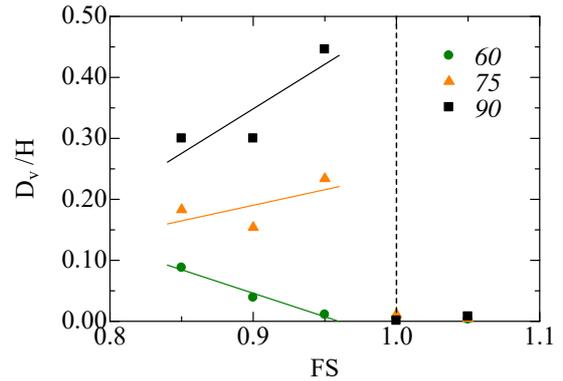


図-3 強度安全率と法肩の鉛直移動量

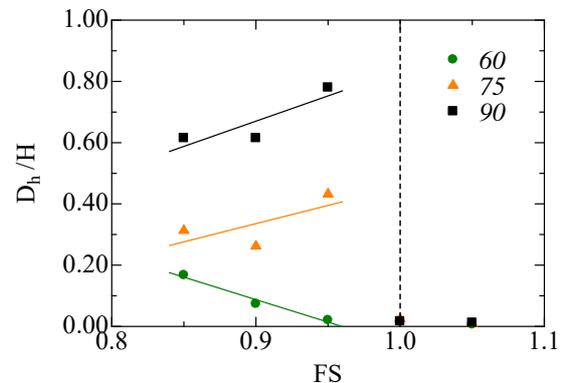


図-4 強度安全率と斜面の水平移動量

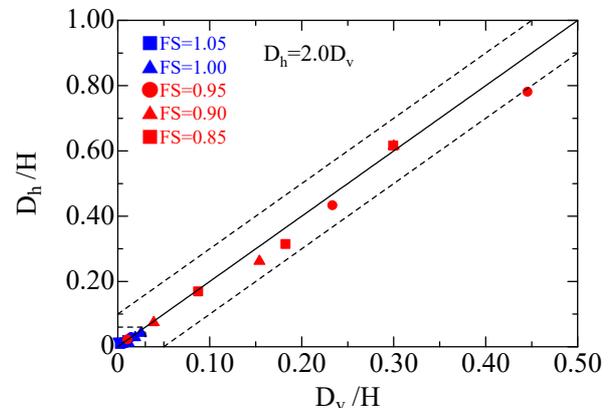


図-5 法肩の鉛直移動量と斜面の水平移動量

参考文献

- 1) Nonoyama, H., Moriguchi, S., Sawada, K. and Yashima, A.: Slope stability analysis using smoothed particle hydrodynamics (SPH) method. S&F 55(2) 458-470, 2015.
- 2) Bui, H. H. Fukagawa, R. Sako, K. and Wells, J. C.: Slope stability analysis and discontinuous slope failure simulation by elasto-plastic smoothed particle hydrodynamics (SPH). Geotechnique 61(7) 565-574, 2011.
- 3) Janbu, N.: Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameters, Soil Mechanics Series No.46, Harvard University, 81p, 1954.

謝辞

本研究は科学研究費補助金(26820191)による助成を受け実施したものであり、ここに謝意を表します。