

3次元有限要素法によるすべり面探索手法の提案とその検証

(株) 構造計画研究所 正会員 ○岡村 航 正会員 三橋 祐太
(一財) 電力中央研究所 正会員 小早川 博亮 高柳 秀秋 正会員 岡田 哲実

1. 目的

原子力発電所等の安全上重要な施設・設備の基礎地盤や背後斜面の安定性の評価では、長年 2 次元解析による検討が行われている。同一な形状が連続する斜面など 2 次元による検討が合理的である対象は多いが、複雑な地形による 3 次元効果が無視できない対象もあり、3 次元解析による検討の重要性が指摘されている。すべり安全率による安定性評価においてはすべり安全率が小さくなるすべり面を決定する必要がある。3 次元でのすべり面探索では楕円体すべり面を仮定した先行研究¹⁾が挙げられるが、任意形状のすべり面探索についての研究は多くない。そこで本研究では、3 次元 FEM モデルに対する任意形状のすべり面探索手法について提案し、実際にすべり安全率の計算を実施することで有用性を確認した。3 次元すべり安全率の算出には POST-S/3D (構造計画研究所) を用いた。

2. 3次元での任意形状のすべり面探索手法

本研究では、以下の手順により最小すべり安全率をとる 3 次元での任意形状のすべり面探索を行う。

- ① 解析モデルに対して三角形パッチで構成された任意の平面を定義する。
- ② ①で定義した三角形パッチ頂点の高さ方向の座標をパラメータとして移動させ、すべり安全率がより小さい値をとるようなすべり面を探索する (図 1)。
- ③ 最小すべり安全率をとるすべり面を決定する。

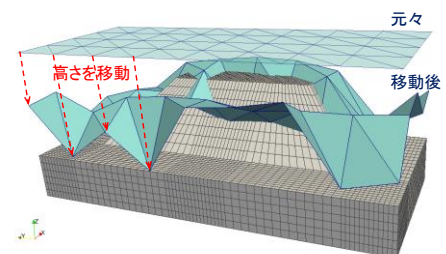
3. 遺伝的アルゴリズムを用いたすべり面探索

3 次元でのすべり面探索について、総当たりですべり面を探索することは計算量の観点から現実的ではなく、探索を有効に行う何らかのアルゴリズムが必要である。本研究では、遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて、すべり面探索を行う (図 2)。

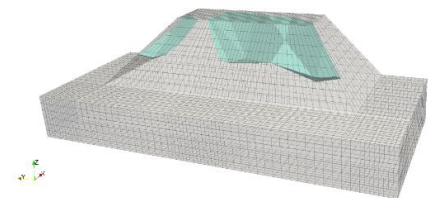
4. GA の適用性の検討

すべり面の探索アルゴリズムとしての GA の適用性を評価するため、比較的簡単な解析モデルを用いて総当たりと GA による探索の比較を行った。総当たりでの探索により最小すべり安全率をとるすべり面を求め、それを厳密な最適解 (厳密解) とした (図 3)。GA による探索で得られる最小すべり安全率をとるすべり面が厳密解をどれだけ再現できるかを統計的に評価することにより、すべり面探索における GA の適用性を検討した。GA による探索は、その探索手法から初期値により得られる答えが異なることが知られている。そこで異なる初期値を用いる GA による探索を 100 回行い、GA で得られるすべり面が総当たりの厳密解と一致する確率 (一致確率) を評価した。解析モデルは一様地盤とし、自重解析を実施した。すべり方向は法尻方向に固定し、すべり安全率を算定した。

GA のパラメータの設定次第で一致確率は大きく変動するが、パラメータを最適化することで一致確率は 94% となり、厳密解をよく再現することが分かった。よって、探索アルゴリズムとしての GA の適用性は十分



(a) 構成節点の高さの移動



(b) すべり面

図 1 すべり面探索

キーワード 安定性解析, 斜面, 3次元有限要素法, すべり面探索

連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央 4-5-3 (株) 構造計画研究所 防災・環境部 TEL 03-5342-1137

にあると考えられる。また、GA を探索アルゴリズムとして用いることによって、総当りで 2 時間程度かかったすべり面探索が 1 分程度に短縮したことから、GA 等の探索方法を用いる有効性が確認できた。

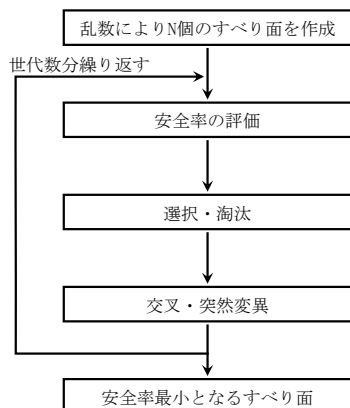


表 1 GA のパラメータ

個体数	500
世代数	10
選択・淘汰方法	ランキング選択
選択確率	0.98
交叉方法	一様交叉
突然変異率	10%
突然変異型	コーシー分布

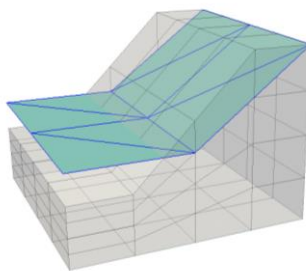


図 2 GA を用いたすべり面探索の流れ 図 3 総当りで得られた厳密解

5. 凸型・凹型の斜面モデルの安全率の算定

凸型および凹型の 3 次元斜面モデル (図 4) に対してすべり面探索を行い、最小すべり安全率を算定する。モデル中央断面の斜面およびすべり面形状を 2 次元モデル化し従来の 2 次元のすべり面安全率を別途算定し、3 次元のすべり安全率と比較することで 3 次元効果によりすべり安全率がどのように変化するかを評価した。

解析モデルは一様地盤とし、自重および静的震度 ($K_H=0.30$, $K_V=0.15$) を付与した静的解析を実施した。すべり方向は法尻方向に固定して、すべり安全率を算定した。

探索により得られた凸型モデルの最小すべり安全率は 0.67, 凹型モデルの最小すべり安全率は 0.71 となった。図 4 に最小すべり安全率となったすべり面を赤色で示す。別途算定した従来の 2 次元のすべり安全率は、凸型モデルで 0.59, 凹型モデルで 0.60 となり、3 次元のすべり安全率より小さい値となった。3 次元性を考慮することにより凸型モデルでは奥行方向の滑動力の低減, 凹型モデルでは周囲の拘束力が得られ、3 次元のすべり安全率が向上したと考えられる。

すべり安全率 : 0.67

すべり安全率 : 0.71

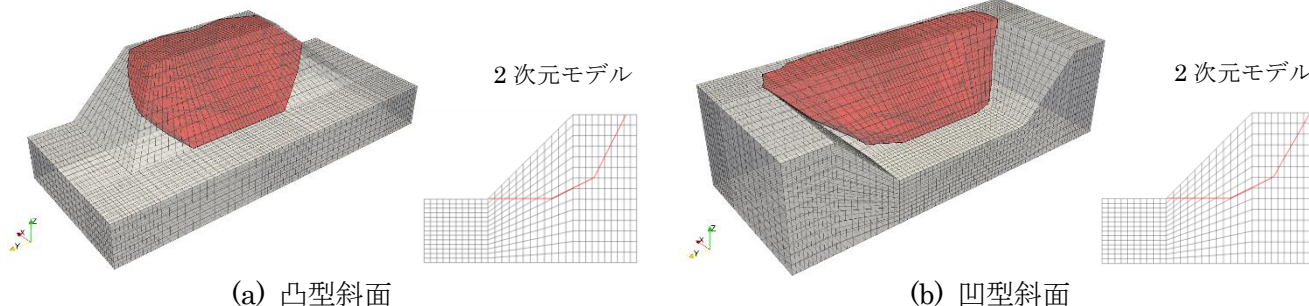


図 4 GA によるすべり面探索で得られた斜面形状

6. まとめ

3 次元斜面の FEM モデルに対して任意形状のすべり面探索を行う手法を開発し、実際に最小すべり安全率を算定した。探索アルゴリズムに GA を用いることで計算量の削減を行った。GA によるすべり面探索では、適切なパラメータを設定することにより厳密解をよく再現することができたことから、すべり面探索アルゴリズムとしての GA の適用性は高いと考えられる。3 次元斜面モデルに対してすべり面探索を行い、2 次元モデルの安全率と比較した。得られた 3 次元性を考慮した最小すべり安全率は従来の 2 次元のすべり安全率より大きくなっており、3 次元性を考慮することによりすべり安全率が向上することが確認できた。

参考文献

- 1) 金戸俊道ら：3 次元性を考慮した斜面の安定解析について，電力土木，No.296，16-21，2001。
- 2) 岡村航ら：3 次元有限要素解析を用いたすべり安定性評価における基礎的検討，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016