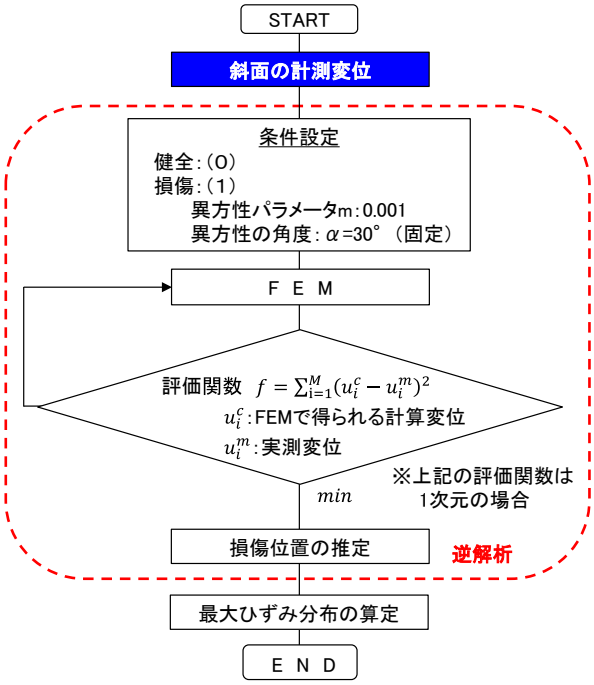
遺伝的アルゴリズムを用いた斜面における損傷位置の推定可能性

電源開発（株）　正会員　○庄路　友紀子
電源開発（株）　正会員　高畠　正治
（株）JP ビジネスサービス　正会員　鈴木　隼人

１．はじめに

斜面の地すべり規模を把握するためには、従来から地質調査や土質試験を行い、その結果から得られた弱面をつなぎ合わせて、すべり線形状を設定してきた。近年は、航空撮影や航空レーザ測量等のモニタリング技術が進歩しており、地表面の計測変位ベクトルの方向からすべり線形状を推定することが実用的に行われている[1)]。この手法は、すべり線の頭部と末端の位置を予め指定した上で計測変位ベクトルの方向のみを用いてすべり線を推定するため、簡便である反面、すべり線を一義的に定めてしまうという欠点がある。

そこで、本稿では、地表面の計測変位から斜面内部におけるすべり線や弱部などの損傷位置を柔軟に推定することを目的に、パラメータ推定手法である遺伝的アルゴリズムを用いて、モデル斜面の損傷位置を推定した。



図－1　損傷位置の推定フロー

２．遺伝的アルゴリズムによる損傷位置の推定方法

斜面内部における損傷位置の推定にあたっては、トンネルや斜面掘削中の現場計測変位から斜面の挙動を逆解析的に求める手法に着目した。この手法では、斜面や地盤の非弾性的挙動は材料に発生する損傷に起因するという考えに基づき、異方性材料のヤング率とせん断弾性係数との比で表される異方性パラメータという指標を導入し、損傷が生じる可能性のある領域の異方性パラメータとヤング率を、計測変位と FEM で得られる計算変位との差の二乗和が最小となるように逆算している[2)]。

一方、著者らは、損傷が生じる可能性のある領域の異方性パラメータとヤング率をある値で決めた上で、モデルを未知数として、健全な位置と損傷位置のどちらかを、計測変位と FEM で得られる計算変位との差の二乗和が最小となるように遺伝的アルゴリズムにより推定した（**図－1**）。遺伝的アルゴリズムは生物の進化過程をモデル化したものであり、計算機内に仮想生物（ここではメッシュ上の健全な位置と損傷位置の組み合わせ）を大量に生成させ、組み合わせの選択・淘汰を繰り返し、世代を重ねるごとに、最適解を探索する手法である。

３．検証解析

遺伝的アルゴリズムによる損傷位置の推定可能性について確認するために、検証解析を行った。はじめに、入力値となる計測変位を設定するために、自然斜面の直線すべりと円弧すべりを想定したモデルで順解析を行い、計測変位として解析結果の地表面における変位を抽出した。解析条件は、ヤング率、ポアソン比、単位体積重量、異方性パラメータをそれぞれ、200MPa、0.3、16.0kN/m^3、0.001 に設定した。**図－2** に計測変位として抽出した地表面の変位ベクトルを示す。

この計測変位を入力値とし、推定に用いたメッシュモデル（**図－3**）において、モデル内の損傷位置を遺伝的アルゴリズムにより推定した。推定は、次式に示す評価関数 f を最小にする形で行った。

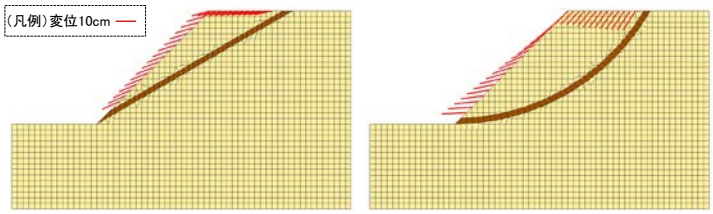
キーワード：逆解析、遺伝的アルゴリズム、損傷位置
連絡先：　〒253-0041　神奈川県茅ケ崎市茅ヶ崎 1-9-88　電源開発（株）茅ヶ崎研究所　ＴＥＬ0467-87-1211

$$f=\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left[(u_i^m-u_i^c)^2+(v_i^m-v_i^c)^2\right]}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left[(u_i^m)^2+(v_i^m)^2\right]}}$$

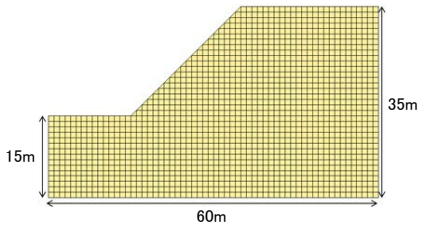
ここで、N は計測変位の数、u_i^m 、v_i^m は計測変位の水平成分、鉛直成分、u_i^c 、v_i^c は計算変位の水平成分、鉛直成分を表す。このとき、自然斜面の変形挙動を引き起こす力は地山自身の自重であると仮定するという奥山ら[3)]の考え方に則り、計算変位については、異方性を考慮したケースと等方性を考慮したケースとの変位差とした。なお、世代数は 1,000 とした。

図－4 に、1,000 世代における損傷位置の推定結果を示す。直線すべり、円弧すべりを想定したケースはともに、はじめに順解析で設定したすべり線（**図－2**）に近い位置に、推定した損傷位置は集中していたものの、すべり線とは関係ないメッシュにおいても損傷位置が推定される結果となった。

次に、この損傷状態の推定結果を考慮して、FEM 解析を行った。**図－5** に最大せん断ひずみ分布を示す。直線すべり、円弧すべりを想定したケースにおいて、ともに、最大せん断ひずみが卓越する領域を明確に確認することができる。また、直線すべりに比べて、円弧すべりを想定したケースのほうが、最大せん断ひずみが卓越する領域は深くなる傾向がみられた。

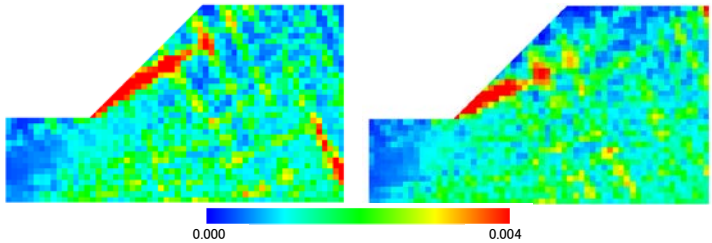


図－2　計測変位として抽出した地表面の変位ベクトル
（左：直線すべり、右：円弧すべり）



図－3　推定に用いたモデル（縦 1m×横 1m）

図－4　損傷位置の推定結果（□健全、■損傷）
（左：直線すべり、右：円弧すべり）



図－5　最大せん断ひずみ分布
（左：直線すべり、右：円弧すべり）

4．まとめと考察

本稿では、遺伝的アルゴリズムを用いて斜面における損傷位置を推定することを目的に、直線すべりと円弧すべりのモデル斜面に対して、損傷位置の推定を行った。その結果、モデル斜面のすべり線に近い位置に損傷位置や最大せん断ひずみが卓越する領域が集中し、損傷位置の推定可能性は確認できた。しかしながら、この検証解析からは、損傷位置を明確に推定できたとは言い難く、現時点では以下の課題が考えられる。

1) 検証解析では、変状が発生した部分のみを入力変位としてのみを考慮しており、変位が発生していない部分についても入力変位として考慮した場合、精度が向上する可能性が高い。
2) 地表面の計測変位に限らず、地中変位や地形等の情報も考慮することで精度が向上する可能性が高い。

今後、これらの課題を解決し、実斜面を含めて検証を重ねていく予定である。

【参考文献】

1) 独立行政法人土木研究所ら. 地すべり線の形状推定法. 鹿島出版会. 2013.
2) 櫻井春輔, 清水則一. GPS による切取り斜面の変位測定と計測結果の逆解析に基づく安定性の評価, 地盤と建設, vol. 11, No. 1, pp. 129-138, 1993.
3) 奥井祐三, 徳永理, 進士正人, 森誠一郎. 現場計測結果に地すべり挙動の逆解析手法, 岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, vol. 28, pp. 92-96, 1997.