

### III-A 216 間隙水圧を考慮した RBSM による簡易斜面安定解析

明星大学 正会員 竹内 則雄  
 東京電力 正会員 前原 雅幸  
 日本工営 正会員 田中 弘  
 日本工営 高橋 昌弘

#### 1. はじめに

斜面安定問題の解析法として、分割法を中心とする解析法が実務上よく利用されている。著者らは分割法と同程度のデータで簡便的に RBSM による非線形解析を行う手法を提案した[1]。この方法は、間隙水圧の取り扱いが不十分であり、間隙水圧が無い場合には  $r_{min}$  法による荷重増分解析が可能であるが、間隙水圧を考慮する場合には応力遷移法に依らざるを得なかった。応力遷移法を利用した場合、破壊が進行すると収束が悪化し、細片数が 100 程度でも数千回の繰り返し計算を要することもあり、あまり実用的とはいえない手法であった。また、応力遷移法は基本的には弾性計算の繰り返しであり、RBSM に適した解析法とはいえない。

このような現状を鑑み、著者らは自重をもとに  $r_{min}$  法により荷重増分解析を行った後、間隙水圧に基づく外力を新たに設定し、 $r_{min}$  法によって斜面安定解析を行うアルゴリズムを開発した。本報告ではこの手法の考え方を述べるとともに、簡単な数値計算例から得られる解の特性を示す。

#### 2. RBSM の 1 要素モデルの考え方

RBSM は任意多角形を要素として利用できるため、図 1 の網掛け部分に示したような扇型の要素を考える。この要素の自由度は円弧の中心に設けた 3 自由度 ( $u, v, \theta$ ) のみである。外力は、図のように各細片の自重を円弧中心の外力に換算して作用させる。また、円弧面上に細片分割に応じて積分点を設け、この点での表面力をもとに非線形解析を行う。このようなモデル化によれば 3 元連立 1 次方程式を解くだけでよく、計算の効率化を図ることができる。

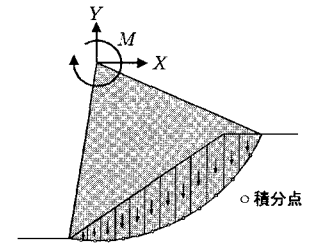


図 1 RBSM の 1 要素モデル

#### 3. 間隙水圧の取り扱い

図 2 は本報告で提案する  $r_{min}$  法と応力遷移法における間隙水圧の取り扱い方を示した図である。図中、点線が間隙水圧が無い場合のモール・クーロンの降伏関数であり、間隙水圧の発生によって初期の降伏関数が実線のように平行移動したと考える。

応力遷移法では、この降伏関数に対する余剰力を再配分しながら、すべての部分において降伏条件を破らないように収束計算を行う。一方、 $r_{min}$  法は、降伏条件を破らないような荷重増分率をプログラム内部で計算により求め、一旦降伏した箇所については流則に従い降伏曲面上を移動させる方法である。本報告では、関連流則に従う塑性化後の剛性行列を利用したが、非関連流則に変更することは容易である。

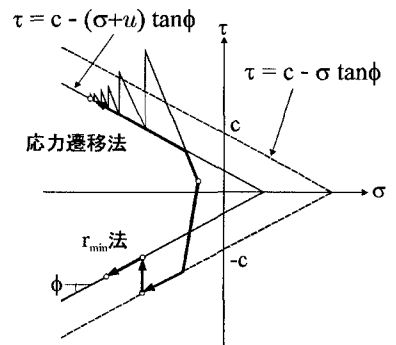


図 2  $r_{min}$  法と応力遷移法

本報告で提案する  $r_{min}$  法によるアルゴリズムは、一旦間隙水圧を無視し自重による非線形計算を従来の  $r_{min}$  法を用いて行う。その後、図に示すように点線と実線との差、すなわち間隙水圧を考慮する前と後とのせん断応力の差を新たな外力として再び従来の  $r_{min}$  法を適用して非線形計算を行う。もし間隙水圧が再度変化するような状態を考えるなら、この計算を何度か繰り返せばよい。

#### 4. 数値計算例

##### (1) 細片分割数による収束状況

図3には細片分割数の増加に伴う安全率の変化を調べるために用いたモデルが示されている。間隙水圧は自重から簡便的に求めている。図4は横軸に細片分割数を縦軸に安全率をとった図である。解析法の相違により収束値は異なるが、本手法も比較的良好な収束状況を示している。実務上は、安全率をここまで計算する必要がないため、比較的粗い細片分割でも解析が可能である。

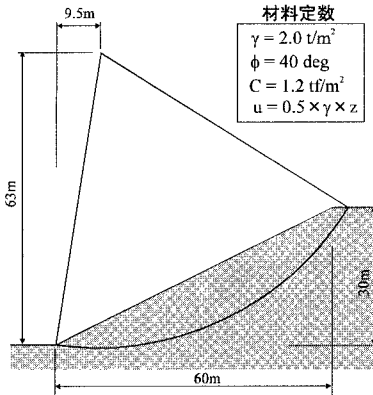


図3 収束状況のためのモデル

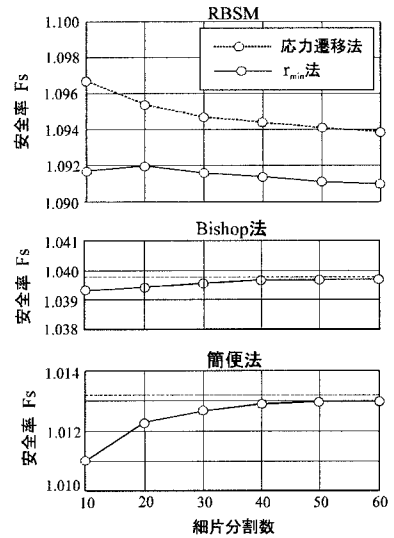


図4 各種解析法における収束状況

##### (2) 最小安全率の相違

図5は各種解析法における最小安全率とその位置を示した図である。最小安全率を与える円弧中心の位置は  $r_{min}$  法と応力遷移法とも同じ位置となった。ただし、最小安全率は両者の間に若干の相違がある。これは応力遷移法の収束判定条件が  $r_{min}$  法より緩いためのものであると思われる。

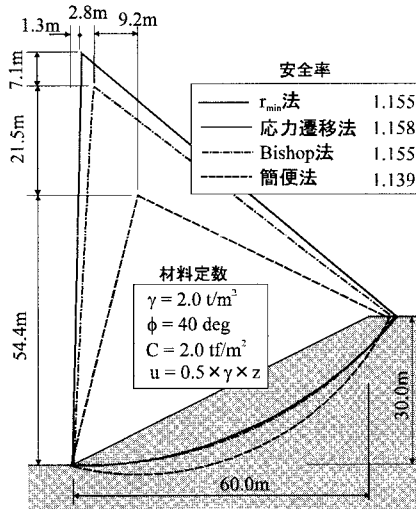


図5 最小安全率を与える円弧

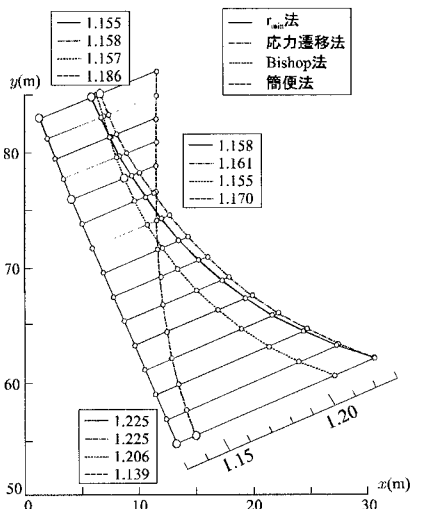


図6 円弧中心の相違による安全率

##### 図6は各種解析

法の最小安全率を与える円弧中心座標を結んだ線上の安全率の分布状況を示した図である。Bishop 法と RBSM による解は同様な曲線を描くが、簡便法はこれらと異なった状況を示している。

#### 5. むすび

間隙水圧を新たな外力として  $r_{min}$  法により簡便的な斜面安定解析を行うアルゴリズムを提案した。本アルゴリズムは収束状況もよく、崩壊近傍まで安定した解を得ることができる。また、すべり線が発達する状況（安全率 1.5 以下程度）では応力遷移法より効率的な解析が可能である。本手法は非線形解析でありながらパソコン程度で解析が可能であり、通常の方法による解析の補助的な解析法として利用できるものとする。

参考文献 竹内：地盤力学における離散化極限解析，培風館，1991。