

竹中技術研究所 正員 ○堀 淳二 加倉井 正昭 山下 清  
(株) 竹中土木 神崎 靖

### 1. まえがき

斜面安定問題の多くは、円弧すべりなどの極限平衡法により地山のピーク強度を用いて検討されている。しかし、過圧密粘土のように破壊強度がひずみと共に低下する塑性材料においては、斜面は進行性破壊を起こすことが指摘されている。このような場合に、ピーク強度を用いた斜面安定解析は安全率を過大評価するため、適正な安全率を与える解析方法が必要となる。

本報告はRBSM手法<sup>1)</sup>にひずみ軟化特性を考慮して斜面の進行性破壊を解析したものである。特に土の応力～ひずみ関係における降伏後の強度の持続性が進行性破壊に及ぼす影響について検討を行った。

### 2. 解析方法

本解析法で用いた土の応力～ひずみ関係の模式図を図-1に示す。すなわち、土はせん断応力 $\tau$ がピーク強度 $\tau_p$ に達するまで弾性的な性状を示し、ピーク強度に達した後はせん断ひずみ $r$ が増大してもせん断応力 $\tau$ は増大しない状態が続き、せん断ひずみ $r$ がさらに増大して $r_r$ に達したときにひずみ軟化を生じ、せん断応力 $\tau$ が残留強度 $\tau_r$ まで減少するものとした。

本解析で用いた斜面形状とその要素分割を図-2に示す。地盤は $\phi=0$ 、ピーク強度 $\tau_p=C$ 、残留強度 $\tau_r=C/2$ の材料とし、地表面より比較的浅い所に水平な基盤層が存在するものを想定した。ひずみ軟化特性は斜面先より上部の部分でのみ生ずるとし、ピーク強度の持続性の違いによる効果については $r_r/r_f$ の比を1.0～3.0まで変化させて検討した。

解析は土の単位体積重量 $\gamma$ を増加させる方法により行い、変形が急激に増加した時を破壊と判定し、その時の $r$ を用いて安定係数 $N=\frac{r \cdot H}{C}$ を求めた。

### 3. 解析結果

せん断応力がピーク強度に達した後、急速にひずみ軟化を生ずる場合( $r_r/r_f=1$ )の解析結果について、破壊時の変形モードを図-3に、その時のすべり線の発生状況を図-4に示す。破壊パターンは斜面先破壊となっている。また、図-4にはヤングの図表<sup>2)</sup>によりピーク強度 $\tau_p=C$ を使って求めた臨界円を合わせて示した。その結果は底部破壊となり、本解析の破壊パターンとは異なったものとなっている。

せん断応力がピーク強度に達した後その応力が持続して、その後にひずみ軟化を呈する場合( $r_r/r_f=2$ )の解析結果について、破壊時の変形モードを図-5に、その時のすべり線の発生状況を図-6に示す。破壊パターンは斜面先破壊となっているが、 $r_r/r_f=1$ の場合に比べるとすべり線の発生範囲が広がっている。また、ヤングの図表により求めた臨界円と本解析の破壊パターンとの対応は良くない。

ひずみ軟化特性のない場合(斜面全体がピーク強度 $\tau_p=C$ )の解析結果について、破壊時の変形モードを図-7に、その時のすべり線の発生状況を図-8に示す。ひずみ軟化特性のある場合に比べるとすべり線の発生範囲が増加しており、破壊パターンは底部破壊となっている。この場合はヤングの図表より求めた臨界円と本解析の破壊パターンとは良い一致を示している。

図-9は $r_r/r_f$ の値に対して安定係数がどのように変化するかを示したものである。せん断応力がピーク

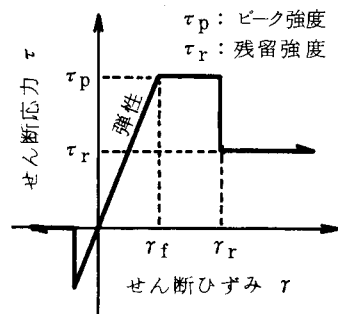


図-1 土の応力～ひずみ関係

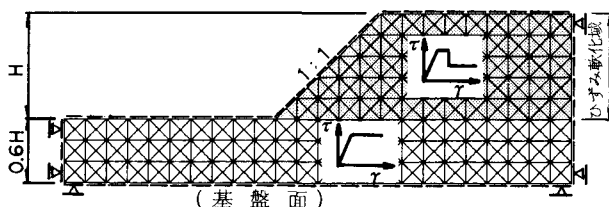


図-2 要素分割

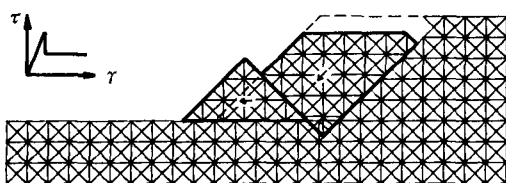


図-3 破壊時の変形モード ( $r_r/r_f=1$ )

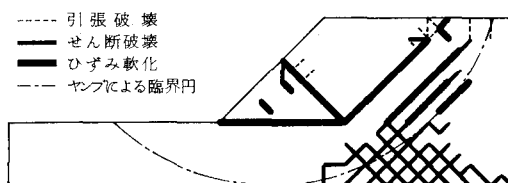


図-4 すべり線の発生状況 ( $r_r/r_f=1$ )

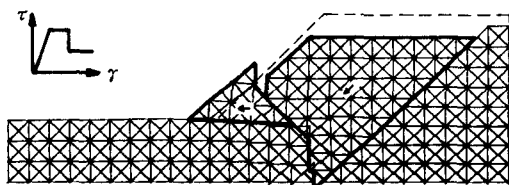


図-5 破壊時の変形モード ( $r_r/r_f=2$ )

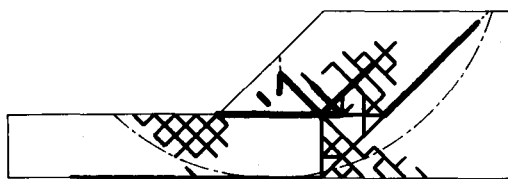


図-6 すべり線の発生状況 ( $r_r/r_f=2$ )

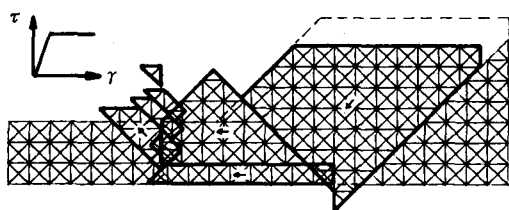


図-7 破壊時の変形モード (ひずみ軟化なし)

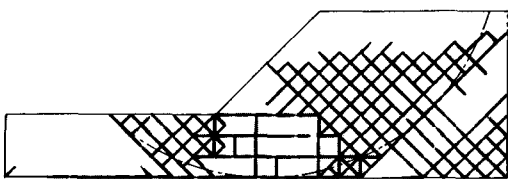


図-8 すべり線の発生状況 (ひずみ軟化なし)

強度に達した後、急速にひずみ軟化を呈する場合 ( $r_r/r_f=1$ ) の安定係数は、ひずみ軟化特性のない場合 (斜面全体がピーク強度  $\tau_p=C$ ) に比べると3割程度低下した値となっている。 $r_r/r_f$  の増加に伴い安定係数は増加するが、 $r_r/r_f=3$  程度においてもひずみ軟化特性のない場合に比べると2割程度低下した値となっており、ピーク強度が比較的持続する場合においてもひずみ軟化特性の影響があることを示している。

#### 4. まとめ

地盤のひずみ軟化特性を考慮した斜面の安定

問題にRBSM手法を適用し、破壊パターン、安定係数について考察した。その結果、ひずみ軟化特性を有する斜面の安定問題を検討する場合、進行性破壊の現象を表現する方法として本解析法が有用であると判断された。今後は実現象との比較、ケーススタディについて検討をおこなってきたい。

最後に、多くの御指導と御助言をいただいた東京大学生産技術研究所 川井忠彦教授、竹中技術研究所 伴野松次郎主席研究員に厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 川井忠彦 : 物理モデルによる連続体力学諸問題の解析, 生研セミナーテキスト, 1980
- 2) N.Janbu : Stability analysis of slopes with dimensionless parameters, Cambridge, Massachusetts January, 1954

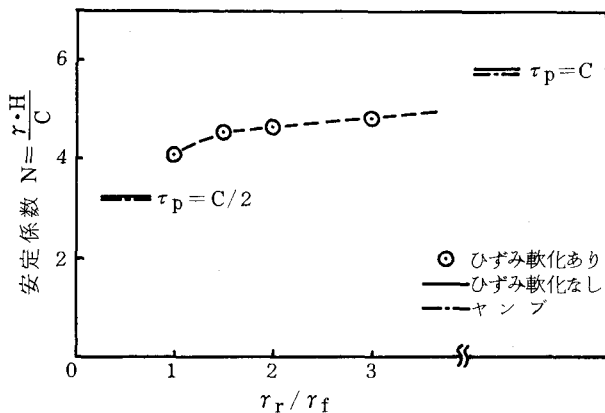


図-9 安定係数と  $r_r/r_f$  の関係