

## 不連続性岩盤斜面の安定機構に関する基礎的研究

九州大学工学部 正会員 江崎哲郎 蔣 宇静  
 学生員 岡田哲実 ○永富雅幸  
 九州共立大学 正会員 亀田伸裕

## 1. はじめに

岩盤斜面の破壊様式に、岩塊の回転を含む動力学的な破壊様式であるトップリングがある。このトップリング破壊は、不連続面の分布や特性がその破壊挙動に著しく関与し、特に垂直に近い節理の卓越した斜面でよく発生する。しかし、その崩壊機構や安定性の評価についてはあまり解明されていない。

本研究では、トップリング破壊について岩盤を不連続面で区切った剛体ブロックの集合体と仮定し、特に、その破壊に影響を及ぼすと考えられるき裂の密度を主要なパラメータとして検討を行う。その評価法として、まず、個別要素解析(UDEC)を用いて数値解析によりき裂の密度、不連続面の傾き、破壊領域の関係について把握し、この問題に対して有効と考えられる底面摩擦実験を行い、両者の比較検討をする。

## 2. 解析概要

解析モデルを、Fig.1 に示す。一般的な斜面を想定し、斜面高さ(H)を13m、のり面の角度( $\beta$ )を $70^\circ$ として斜面の形状および解析領域を固定した。ブロックの形状は縦横比(b:t)が2:1で、かみ合いの長さ(p)がブロックの半分(b/2)の位置になるように千鳥状とした。また、ブロックは剛体で、重力のみの作用下で破壊領域が明確になるまで計算を行った。使用した物性値をTable 1に示す。

変動パラメータとして、次の2つのケースを検討した。(I) 不連続面の角度( $\alpha$ )とブロックの密度(斜面高さ/ブロックの短辺= $H/t$ )について、安定と破壊の境界を推定した。 $\alpha$ については、トップリングが起りやすいと思われる $5^\circ \sim 30^\circ$ の範囲をとった。 $H/t$ については、ブロックの大きさ(t)を変化させた。次に、(II)不連続面の角度が $15^\circ$ の場合について、 $H/t$ が大きくなるにしたがい、破壊領域がどのように変化するかを調べた。

## 3. 実験概要

ケース(II)について、斜面の形状、ブロックの形状など解析に合わせて底面摩擦模型実験を行った。 $H/t$ は、16.25, 13.00, 9.75, 6.50, 3.875 と変化させた。実験材料は、石膏:石灰:水=重量比で1:2:2.5の割合

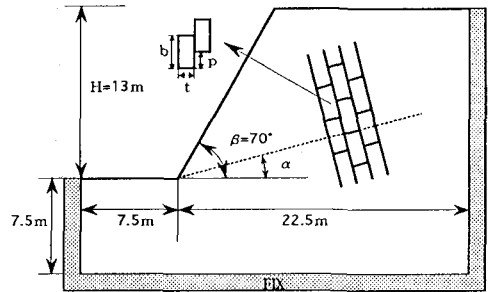


Fig.1. Geometry of UDEC model.

Table 1. Rock properties used in UDEC analysis.

| Parameter            | Unit               | Value             |
|----------------------|--------------------|-------------------|
| Density              | kgf/m <sup>3</sup> | 2500              |
| Normal stiffness     | Pa/m               | $1.0 \times 10^8$ |
| Shear stiffness      | Pa/m               | $1.0 \times 10^8$ |
| Joint friction angle | °                  | 31                |
| Joint cohesion       | Pa                 | 0                 |
| Round length         | m                  | 10% of t          |

で混合した試料を型枠に流しこみ乾燥させた後、縦24mm×横12mm×厚さ18mmのブロックに加工した。この材料の底面摩擦板上での不連続面相互間の内部摩擦角は $31^\circ$ であり、粘着力は0である。

このブロックを底面摩擦実験装置上に並べてモデルを作製し、実験を行った。なお、本装置は電動スクリーニアにより摩擦盤を直接駆動する方式であり、模型の挙動は装置上方に吊り下げたビデオカメラによりビデオフロッピーに分割画面として記録する。実験結果は画像解析装置を用いてグラフィック処理し、XYプロットで出力させる。

## 4. 解析および実験結果と考察

ケース(I)より、 $H/t$ と $\alpha$ との関係をFig.2に示す。この図の曲線は、安定と破壊の境界を推定したものである。これより、 $H/t$ が大きくなれば破壊しやすく、

小さくなれば破壊しにくいことがわかる。そして、その境界は $H/t$ が10くらいである。また、 $\alpha$ が $10^\circ$ から $20^\circ$ の間が最も破壊しやすく、それ以外の範囲では、破壊しにくくなる。

次に、ケース(II)について、 $H/t$ と安定角( $\theta$ )との関係について、解析及び実験の結果をFig. 3に示す。ただし、ここで安定角とは、斜面上の安定部分と破壊部分との境界を定義するために、のり先から安定頂部のブロックを結ぶ線が水平面となす角度である。Fig. 3より、解析も実験も共に $H/t$ の増加により、破壊領域が増加して $\theta$ が減少しているのがわかる。しかし、その割合は緩やかになっていくようである。

また、この結果のうち、 $H/t$ が13の場合の解析結果をFig. 4に、実験結果をFig. 5に示す。Fig. 4より解析では、法先から12列目までが破壊して $\theta$ は $56^\circ$ である。Fig. 5より実験では、法先から15列目までが破壊して $\theta$ は $49^\circ$ となり、解析に比べて破壊領域が大きくなった。これは、実験のブロックの加工精度や内部摩擦角のばらつきによる影響が大きいと推測される。し

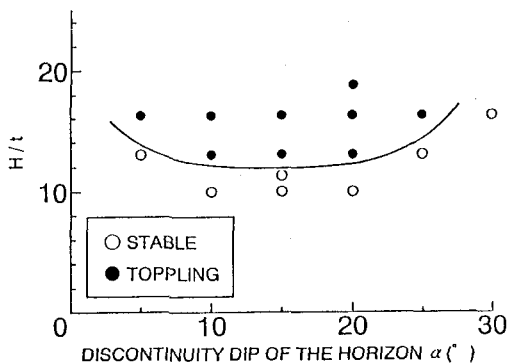


Fig. 2. Relationship between  $H/t$  and discontinuity dip of the horizon.

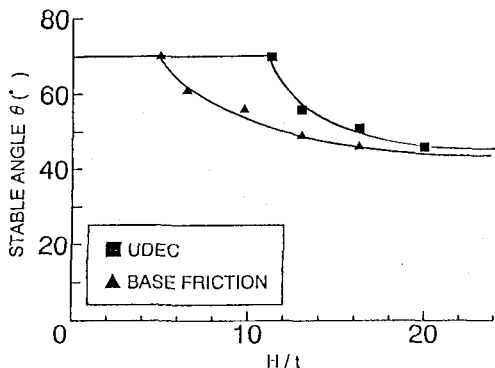


Fig. 3. Relationship between stable angle and  $H/t$ .

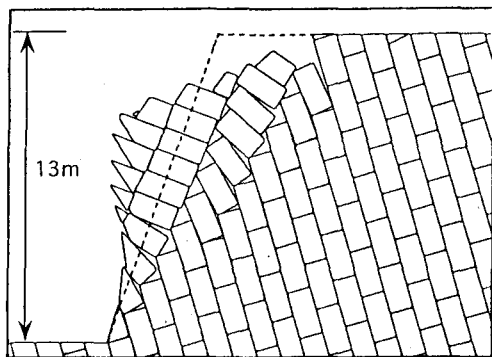


Fig. 4. UDEC result ( $\alpha = 15^\circ$ ,  $H/t = 13$ ,  $\theta = 56^\circ$ ).

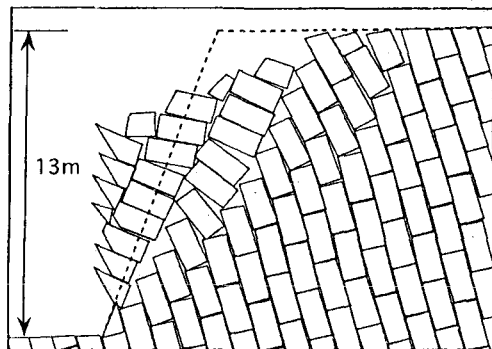


Fig. 5. Test result ( $\alpha = 15^\circ$ ,  $H/t = 13$ ,  $\theta = 49^\circ$ ).

かし、全体的な破壊のパターンは非常によく似ている。また、この両図からGoodman & Bray<sup>1)</sup>の限界平衡解析のような階段状の破壊面は見られず、後列に破壊が進展するにしたがい破壊領域が深部に移行している点も注目される。

## 5. おわりに

本論文では、ブロックの密度( $H/t$ )を主要なパラメータとして、個別要素解析(UDEC)と底面摩擦模型実験を用いて安定性の検討を行った。しかし注意すべき点は、これはブロックの形状が長方形で、縦横比2:1、法面の角度 $70^\circ$ 、 $\phi = 31^\circ$ など、様々なパラメータとなる要因を固定して得た結果であり、これらのどれかが変化することにより、その結果が大きく変わる可能性もある。したがって、今後は固定した条件にも十分注意を払いつつ、トップリング破壊に大きな影響を与える要因を探りながら、その崩壊機構の解明につとめたい。

## <参考文献>

- 1) E. フック・J. W. ブレイ(小野寺透・吉中龍之進訳)  
: 岩盤斜面工学, 朝倉書店, 1979年