

不連続性岩盤斜面の安定性評価

九州大学工学部 正会員 江崎哲郎 蔣 宇静
 学生員 永富雅幸 ○後藤直人

1. はじめに

近年、土木構造物が自然の岩盤斜面に近接して立地したり、構造物の一部として、あるいは用地確保のために、長大な切り取り岩盤斜面が形成される場合が多くなっている。この場合、岩盤斜面の安定性は、岩盤が本来有している節理、層理等といった不連続面の幾何的分布状態や物性値に大きく影響されるため、安定性評価を行う場合、連続体力学にもとづく方法でなく、不連続面を忠実に表現できる方法で行う必要がある。

そこで、本研究では、差目方向に貫通した不連続面とそれと垂直に階段状に配列する2セットの不連続面によって区切った岩盤斜面を考えて、不連続体の挙動の評価に有効な個別要素法(D.E.M.)を用いて安定評価を行い、また、Zanbakの提案した限界平衡法(L.E.M.)、および底面摩擦模型実験によって比較検討する。

2. 解析概要

2-1 個別要素法(D.E.M.)の概要

D.E.M.は、不連続性岩盤をブロックの集合体として扱い、ブロック間をバネでモデル化し、バネの剛性を調整することにより、異なる不連続面の特性を表現する方法である。個々の剛体ブロックの挙動はニュートンの第2法則に従って判断される。また、運動方程式の解は、連続的な時間経過の繰り返しにより得られる。

2-2 限界平衡法(L.E.M.)の概要

Zanbakは、不連続性岩盤斜面のトップリング機構を評価するために、階段状の基盤上に並んだ剛体ブロックについて考えた。この各ブロック間の相互作用により、岩盤斜面崩壊を防ぐためにのり先ブロックに対して必要な力を P_0 とし、 $P_0 \leq 0$ に従い斜面全体の安定性を評価する。

2-3 解析モデル

不連続性岩盤斜面の解析モデルを図1に示す。これは、熊本県のある崩壊斜面をもとにしてモデル化したものである。なお、L.E.M.ではある基礎面上にブロックをのせて考え、D.E.M.では、不連続面の配列を貫通したものとこれに垂直して貫通せず階段状に配列した2セットの不連続面を考えた。そして、それらで区切ってできたブロックの形状は、縦横比(b/t)を2、ブロック間のかみ合い比(p/b)を $1/4$ 、 $1/2$ になるように構成した。また、ブロックは剛体で、重力場のみを考えた。

解析ケースとしては、D.E.M.、L.E.M.および模型実験を用いて不連続面の傾斜角(α)と斜面のり面の角度(β)の関係を求め、各手法の妥当性を調べる。その結果を踏まえて、不連続面の傾斜角(α)と不連続面の相対密度($H/t \leq 20$)の関係を調べる。

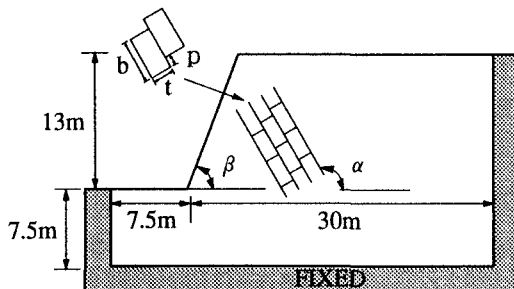
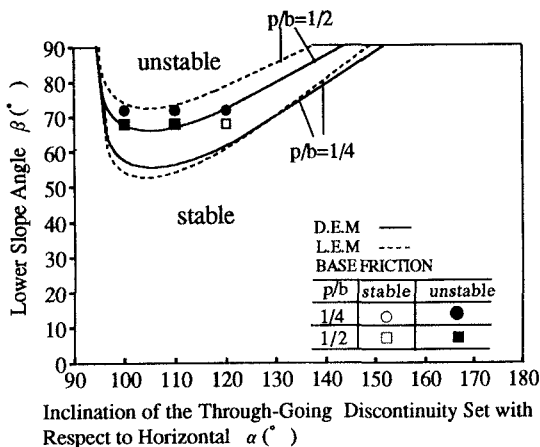


Fig.1 Geometry of analytical model.

Fig.2 Relationship between β and α .

3. 実験概要

図1に示したような解析領域と同様に、斜面形状、ブロック形状を決定し、底面摩擦模型実験を行った。なお、不連続面の相対密度(H/t)を13($p/b=1/2, 1/4$)、6.5($p/b=1/4$)と不連続面の傾斜角(α)を 100° 、 110° および 120° と変動させた。実験材料は、石膏:石灰:水を重量比1:2:2.5の割合で混合した試料を型枠に流し込み乾燥させた後、縦24mm×横12mm×厚さ18mmのブロックに加工し、このブロックを底面摩擦プレート上に並べて斜面モデルを製作した。底面摩擦プレート上での不連続面相互間の摩擦角は 31° 、粘着力は 0.0kgf/cm^2 である。

4. 解析および実験結果と考察

不連続面密度(H/t)が13の場合について、不連続面の傾斜角(α)と斜面のり面の角度(β)の関係を図2に示す。なお、斜面の安定性は、1つのブロックではなく、斜面全体を基準にして評価を行った。両解析の比較を行

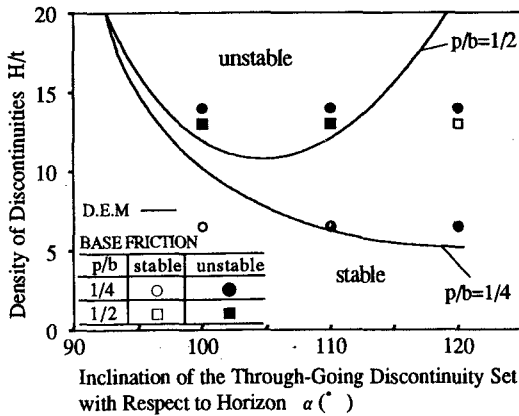
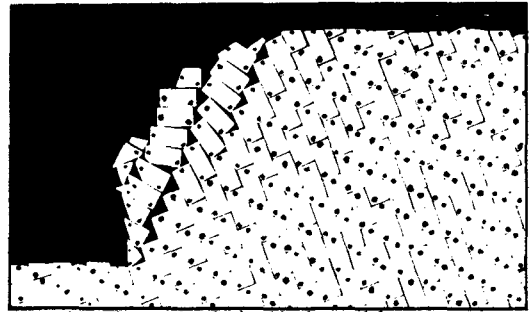


Fig.3 Relationship between H/t and α .

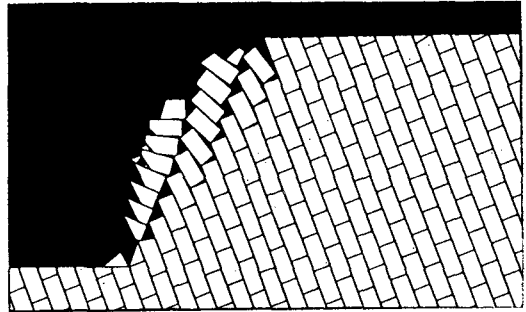
うと、かみ合い比 $p/b=1/4$ の場合では、 $\alpha \leq 94^\circ$ で水平方向の分力が小さく回転モーメントによる崩壊が生じないため安定となる。そして、 α の増加に従い急激に不安定領域が増加し、 $\alpha=105^\circ$ 付近で極小値を取った後、緩やかに安定領域が増加する。そして、 $\alpha < 121^\circ$ の範囲では、L.E.M.による不安定領域がD.E.M.で得られた結果よりやや大きく、 $\alpha > 121^\circ$ になると逆の傾向が得られた。しかし、全体の安定性の境界はほぼ一致したと考えられる。次に、 $p/b=1/2$ の場合では、全体の曲線の変化は、 $p/b=1/4$ の場合と同様になるが、 $\alpha \geq 94^\circ$ で両解析で得られた曲線は大きく異なる。これは、 $1/4$ の場合では崩壊形状が、両解析ですべて階段状に崩壊するのに対して、 $1/2$ では、D.E.M.が、階段基礎面以下のブロックの変形も考慮され、斜面奥行きにつれ深部に崩壊が進む形式であるためであると考えられる。また、模型実験との比較では、L.E.M.よりもD.E.M.で得られた領域とよく一致することが分かる。よって、実際の現場を考慮した場合、 p/b が大きくなるとL.E.M.に限界があり、D.E.M.や模型実験を用いた方がより正確な結果が得られることが分かった。

以上の結果を踏まえて、D.E.M.と模型実験とを用いて、 $\beta=70^\circ$ の場合についての不連続面の傾斜角 (α) と不連続面の相対密度 (H/t) の関係を図3に示す。これより、 $\alpha < 121^\circ$ の範囲では、 $p/b=1/4$ で α の増加に従い不安定領域が増すのに対して、 $p/b=1/2$ では対称形に境界が変動し、大きく異なるのが分かる。この原因には、 p/b が大きくなるにつれブロック間の拘束力が大きくなり斜面が崩壊しにくくなるためである。また、どの α においても H/t が増加すると、斜面は不安定になる。また、模型実験との比較を行うと、D.E.M.により得られた曲線と $p/b=1/4, 1/2$ とともによく一致し、不連続体を取り扱うのに対して有効であるのが分かる。

次に、斜面のトップリング性状を $H/t=13$ 、 $\alpha=110^\circ$ 、 $p/b=1/2$ に関してD.E.M.と模型実験との結果を図4に示す。この図より先に述べたように、L.E.M.解析で仮定



(a) The results obtained in the model test.



(b) The results obtained in UDEC analysis.

Fig.4 Failure style of slopes under conditions of $b/t=2$, $\alpha=110^\circ$ and $p/b=1/2$.

された階段状の崩壊が見られず、奥行きに進むにつれ深部に崩壊しており非常に一致した。つまり、このような崩壊現象の場合、L.E.M.に限界がある。

5. おわりに

今回は、D.E.M.、L.E.M.および模型実験の3手法を用いて岩盤斜面のトップリング崩壊について比較的検討を行った。それらによって以下の点が分かった。

(1) L.E.M.は、基礎面上のブロックによる安定解析であるため、基礎面下のブロックの影響を考慮することができず、また、不連続面の幾何学的特性に限界がある。一方、D.E.M.は斜面全体のブロックの挙動を把握しながら解析を行うため、斜面の安定性を比較的忠実に評価することが可能であり、複雑な現場の安定解析を行う際正確な結果を得られる。

(2) D.E.M.は、模型実験との比較によりほぼ同様の結果が得られ、また、不連続面の相対密度の増加にともない不安定領域が広がる。

今後は、個別要素法と模型実験との組み合わせによって斜面の安定機構を詳細に解析し、実際の現場への適用を検討していく所存である。

<参考文献>

- Zanbak.C. 1983. Design Charts for Rock Slopes Susceptible to Toppling. J.Geotech. Engng. ASCE,109, pp.1039-1062.
- Ayddan .O.,Shimizu.Y., and Ichikawa.Y. 1989. The Effective Failure Modes and Stability of Slope in rock Mass, Rock Mechanics and Rock Engineering, Vol.22, pp.163-188.