

亀裂を含んだ矩形ブロックモデルの破壊進展挙動について

国立大分高専 正 員 相川 明
国立大分高専 学生員○ 大隈 渚

1. はじめに

本研究は、不連続性岩盤斜面の崩壊挙動におけるエネルギー損失を把握する出発点として、不連続面と直交する方向に分布する不連続面傾度（斜面を構成する個々のブロックの相対的寸法）、および、不連続面の開口の影響について基礎的な検討を行うものである。まずは、二次元の剛体矩形ブロックの集合体と想定し、その中の1個に仮想変位に相当する微小回転変位を与え、周辺ブロックの応答を求めて、不連続面傾度が力の伝達機構に与える影響を数値実験的に調べた。解析には不連続変形法 (DDA) を用い¹⁾、数値は全て無次元量とした。

2. 不連続面傾度の影響に関する解析方法

図-1は、隣接するブロックの一方に回転力を加えたときの、応力の伝達状況を模式的に示したものである²⁾。左側のブロックから回転力が伝わり、図(a)は右側のブロックが同じ向きに少し回転した状況を、また、図(b)は、右側のブロックが回転できずに、ひっかかった状況を示す。図(a)では、右側のブロックにも回転が生じたことから、辺がお互いに接したままであり、したがって、応力も辺を介して十分に伝達される。破壊現象に関しては、ブロック間の不連続面にわずかなずれ（せん断変位）が生じ、このずれにより頂点部分に正方形の隙間が生じる。一方、図(b)では、ブロックの角が引っかかったために、頂点の1点を介して応力が伝達され、頂点近傍に破壊が集中的に発生することになる。この場合、右側のブロックには逆回転のモーメントが発生するため不連続面が開口し、不連続面が法線方向に広がることからダイレーションも大きくなる。

3. 解析モデルの作成と解析条件

解析モデルは縦、横 10 の正方形領域に 2:1 の傾斜で正方形の小ブロックを配置したものである。小ブロックサイズのみが異なる 3 種類を用い、辺長は大中小の順で $6/\sqrt{5}$ 、 $4/\sqrt{5}$ 、 $2/\sqrt{5}$ とし、順にモデル 1、モデル 2、モデル 3 とした。载荷条件は、領域左端および下端に反力板を固定し、上端および右端に載荷板を置き、変形に追従できるように、内部領域との間に緩衝材を挟んだ。載荷板中央に集中荷重 0.5 もしくは 10 を加え、内部に等分布荷重を作用させる。

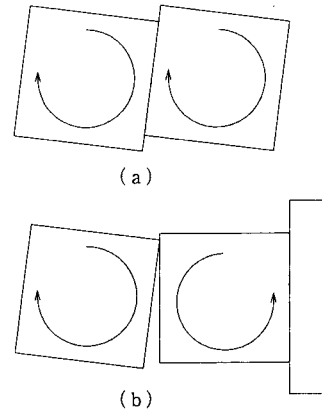


図-1 隣接するブロック間の応力伝達に関する模式図

物性値はすべて単位体積重量 0.1、内部摩擦角 0° 、ポアソン比 0、変形係数 10^4 とし、緩衝材のみ変形係数を 10^2 とした。解析では、モデルの中心に作用点間隔 0.1 の間をあけて、4 方向に集中荷重 $F = 10$ を作用時間 0.1 で加えて回転力を発生させた。

4. 解析結果

(1) ブロックの移動量

重心の移動量を図-2 左側に示す。図より、ほとんどのブロックは領域中心から外側に広がるように動いており、外側に行くにしたがって、移動量がわずかに大きくなる傾向がみられる。中心部分では放射状に広がるが、外側に行くにしたがって、境界の拘束の影響を受け、回転方向に回り込むような動きが見られる。また、ブロックが大きい場合は、隣り合うブロック相互で移動量や向きが急激に変化しているところがあるが、ブロックが小さくなるにしたがって、隣り合うブロック間での急激な変化は生じず、挙動に連続性が見られるようになる。細かいブロックになるほど外力に対する変形性能が高く、不連続体でありつつも、連続的性質が大きくなるのがわかる。

(2) ブロックの回転方向

図-2 右図に、偶力と同じ向きの回転を白抜きで、逆回転を斜線で示す。図より、大きなブロックでは境界の拘束の影響が内部まで及び、多くのブロックが引っかかり逆回転を生じた。一方、ブロックが小さくなるにつれて、逆回

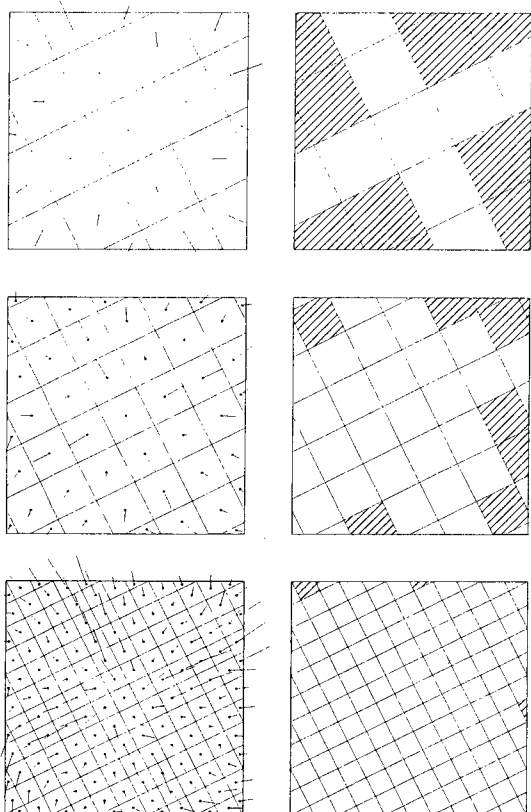


図-2 重心の移動量とブロックの回転方向
図左：重心の移動量 (100 倍して表示)
図右：回転方向 (白抜き：順回転 斜線：逆回転)

転ブロックは極端に減少し、力が広範囲に十分伝達された状況が読みとれる。このことから、細かいブロックの方が外力に対する変形性能が大きいことがわかる。

5. 考察

解析結果によると、大きなブロックでは、境界の拘束条件の影響が中心まで及び、角が引かったことにより、頂点を介して応力が伝達されるため、その点に応力集中が発生し、さらに大きな荷重が加わると、そのブロックに破壊が誘発される可能性が大きい。ダイレイションも一部に集中する。一方、小さいブロックでは、応力が面を介して広い範囲に連続的に力が伝達されたことがわかる。ダイレイションも一部に集中することなく全体的に生じている。

表-1 に挙動に関する諸量をまとめる。平均移動量は、全体的なダイレイションに関係し、全体にわたる平均的な破壊の程度を示すものと考えられるが、3 者とも大差はなく、平均的な破壊の程度はいずれも同程度といえる。しかしな

がら、中心ブロックの回転量を比べると、小さいブロックの方が 1 桁大きな回転角を生じており、ブロックが小さくなるほど破壊が広範囲に少しずつ分散され、したがって、小さいブロックの方が相対的に大きな荷重を吸収しようとえられる。このことは不連続面の長さを比べると、小さいブロックでは大きなブロックの 2.67 倍の延長となり、単位面積あたりで消費するエネルギーの差異を生じることとなり、そのことが力の伝達に関与していることが分かる。

表-1 ブロックの移動と回転に関する諸量

	拘束圧	モデル 1	モデル 2	モデル 3
ブロック辺長		$6/\sqrt{5}$	$4/\sqrt{5}$	$2/\sqrt{5}$
不連続面延長 (延長の比)		183.108 (1.00)	263.607 (1.44)	490.791 (2.67)
平均移動量	0.5 10	0.00548 0.00694	0.00526 0.00425	0.00578 0.00467
最大移動量	0.5 10	0.01409 0.01077	0.01053 0.00905	0.01518 0.01073
中心ブロック の回転角度	0.5 10	0.37860 0.00103	0.00973 0.00271	2.41562 0.02761
逆回転したブ ロック面積比	0.5 10	47.2% —	19.2% —	1.0% —

6. まとめ

本研究は不連続性の岩盤斜面の崩壊挙動を把握するという観点から、斜面を構成する相対的寸法の大小が不連続体の破壊挙動にいかなる影響を与えるかについて簡単なモデルを用いて数値実験的に調べた。解析結果によると、ブロックが小さく、不連続面の頻度が大きくなるほど、不連続面の総量が相対的に増えることから、荷重が広い範囲に分散され、結果的に不連続面に多くのエネルギーを消費しうることが解明できた。また、不連続面の頻度が大きくなるほど、外力による変形に追従する能力も高く、したがって、不連続体でありながらも、破壊が不連続面に集中することなく全体的に広がり、いわゆる連続体に近い挙動を示すことが明らかとなった。なお、今回の解析では、不連続面での摩擦角は 0 としており、結果の差異は、不連続面の頻度の違いのみの影響であり、摩擦角の影響によりもたらされたものではない。今後は、同様の解析を、不連続面の頻度、摩擦角、開口状態、ブロック形状を変えて実施することにより、全体的な挙動との関連性を明らかにする必要がある。

参考文献

- 1) G.H.Shi and M.R.Yeung (1996): Discontinuous Deformation Analysis Program Version 96 User's Manual, p.25.
- 2) Wang, B. and Garga, V.K. (1993): A Numerical Method for Modelling Large Displacements of Jointed Rocks, Can. Geotech. J., 30, pp.96-108.