# 複合降伏モデルによるブロックせん断試験の解析的検討

中電技術コンサルタント 正会員 〇岩田 直樹 サンコーコンサルタント 正会員 佐々木 猛 埼玉大学 吉中 龍之進 正会員

#### 1. はじめに

岩盤上に建設される構造物の安定性を検討するために原位置岩盤においてブロックせん断試験が行われるが、試 験より求まる岩盤の強度は、岩盤内に分布する不連続面の卓越方向の違いにより異方性が生じることが一般的に知 られている。そこで本研究では、複合降伏モデルによりブロックせん断試験の解析的検討を行い、不連続面の分布 の違いによるせん断強度の違いや破壊のメカニズムについて比較を行った.

## 2. 解析内容

複合降伏モデルは、有限要素法による等価連続体解析の一種で あり、有限要素法の構成則に弾性コンプライアンス理論を適用し たものである. これは、様々な不連続面を含む岩盤の変形が母岩 と節理群の変形の和として表現できると仮定しており、母岩と不 連続面の特性を個別に考慮することができる. この不連続面の変 形特性に、載荷-除荷過程における弾塑性変形特性1)を考慮した.

図-1 に示す解析モデルを用いてブロックせん断試験の検討を行 った. コンクリートブロック(以降, ブロックと呼ぶ)前面の傾 斜荷重作用面の傾斜角は 15° とし、荷重はブロック上面に鉛直荷 重,前面に傾斜荷重を作用させる.また,モデルの境界条件は, 側方を鉛直ローラー、底面を固定とした.表-1 は解析用物性値を 示す. 不連続面は、変形及び強度特性が同じ直交する 2 組の不連 続面が 0.3m 間隔で分布するものとし、不連続面の傾斜角を 15°刻 みに変えたケースを設定した.

解析は、自重計算を行い岩盤の初期応力状態を設定し、初期垂 直荷重を作用させた後に、傾斜荷重を作用させる. このとき初期 垂直荷重は 0.1, 0.5, 1.0MPa の 3 ケースとした.

## 3. 解析結果

図-2 は初期鉛直荷重 0.1 MPa を作用させた場合のブ ロックに作用するせん断応力 とせん断変位の関係を示す. また、図-3 はこのときのせん 断変位と鉛直変位の関係を示 す. ここに、ブロックのせん 断変位は, ブロック背面中央 位置の水平変位,鉛直変位は ブロック上面中央位置の鉛直

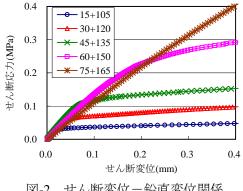
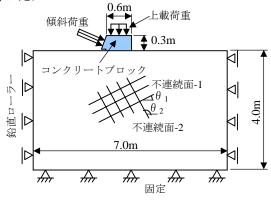


図-2 せん断変位-鉛直変位関係



解析モデル 図-1

表-1 解析用物性值

X 1 /1/11/11/11/11/11/11/11/11		
母岩	単位体積重量γ	25kN/m <sup>3</sup>
	弾性係数 E	20GPa
	ポアソン比 ν	0.2
不連続面	初期垂直剛性 K <sub>ni</sub>	10GN/m <sup>3</sup>
	初期せん断剛性 K <sub>si</sub>	$1$ GN/ $m^3$
	強度φ, τo	$30^{\circ}$ , $0.1 \text{MPa}$
	間隔S	0.3m
	最大閉合量 V <sub>m</sub>	0.1 mm
	傾斜角 θ	15+105°, 30+120° 45+135°, 60+150° 75+165°
ブロック	単位体積重量γ	25kN/m <sup>3</sup>
	弾性係数 E	30GPa
ク	ポアソン比ν	0.2

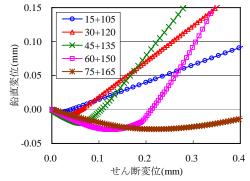


図-3 せん断応力ーせん断変位関係

キーワード 不連続面,ブロックせん断試験,有限要素法

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐 2-3-30 中電技術コンサルタント(株) TEL082-255-5501 変位とした.不連続面-1 が低角度の場合, せん断変位ーせん断応力曲線において明確な変曲点が生じ, 鉛直変位が沈下から浮上がりに転ずる浮上がり点は,変曲点とほぼ一致する. なお,変曲点は高角度になるほど不明瞭となり,75+165°の組み合わせでは,浮上がり点は存在するが,変曲点は見られない.

図-4 及び図-5 は不連続面の傾斜角 15+105°, 初期垂直荷重 0.5MPa としたケースにおいて、浮上がり後に鉛直変位がゼロとなるとき(以降、破壊時と呼ぶ)の変形図及び最小主応力(引張応力)分布を示す。ブロックは、浮上がり点付近までは背面側へ倒れ込むように沈下するが、浮上がり点を越えると、不連続面-1 の方向に滑りあがるような変形が生じる。この変形は、図-5 に見られるように、ブロックと岩盤の接触部の不連続面-2 が引張破壊し、不連続面-1 のせん断変形により生じる。なお、浮上がり点は、ブロックと岩盤の接触部の不連続面-2 が全て引張破壊に達したときと一致する。

図-6 及び図-7 は不連続面の傾斜角 75+165°, 初期垂直荷重 0.5MPa としたケースにおける破壊時の変形図及び最大主応力分布を示す. 傾斜角 15+105°のケースと異なり, ブロックは浮上がり点を越えた後もブロック背面へ回転するような変形が生じ, この回転によってブロック天端中央の鉛直変位が見掛け上, 沈下から浮上がりに転じる. 応力分布は, 図-7 に見られるようにブロック底面から不連続面-2 の方向への圧縮応力が卓越し, この圧縮領域内の不連続面-1 には圧縮応力, 圧縮領域周辺の不連続面-2 にはせん断破壊が生じる. なお, 本ケースでは, 母岩が破壊するほどの圧縮力がブロック端部に発生していないが, 母岩が破壊した場合には, 急激に大きな変形を生じるものと考えられる.

図-8 は、破壊時のせん断応力をもとに Mohr-Coulomb の破壊規準より求まる岩盤の粘着力 c を不連続面-1 の傾斜角毎にプロットしたものを示す. 岩盤の粘着力 c は不連続面の傾斜角の増加とともに指数関数的に増加し、一般的な不連続面の分布方向の違いによるせん断強度の異方性とよく一致した傾向を示す.

以上のことから、不連続面の傾斜角の違いにより岩盤の破壊形態や浮上がりが発生するメカニズムが異なり、これによりせん断強度に違いが生じるものと考えられる.

### 4. おわりに

母岩と不連続面の特性を個別に考慮した解析を行うことにより、 ブロックせん断試験の現象を定性的に説明できることが分かった. 今後は、計測データに基づくシミュレーション解析を行い、実挙 動の検証を行う予定である.

参考文献;1)岩田直樹,佐々木猛,吉中龍之進:複合降伏モデルによる多重繰返し載荷における平板載荷試験の解析的検討,第 40 回地盤工学研究発表会講演論文集,pp. 1221-1222,2005.

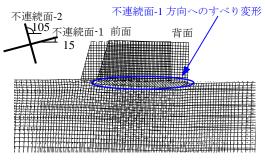


図-4 破壊時の変形図(15+105°)

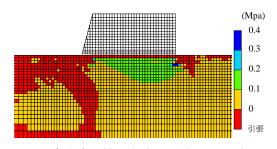


図-5 破壊時の最小主応力分布(15+105°)

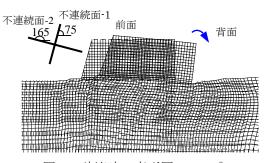


図-6 破壊時の変形図(75+165°)

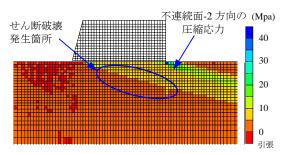


図-7 破壊時の最大主応力分布(75+165°)

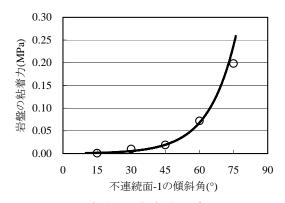


図-8 不連続面の傾斜角の違いによる せん断強度の異方性