

仮想石膏模型の数値実験による原位置岩盤せん断試験 2 種の比較
Comparison between two types of the in-situ rock shear tests through numerical
experiments for virtual plaster model tests

○西山竜朗* 長谷川高士**

○ Tatsuro Nishiyama* and Takashi Hasegawa**

1 目的

ダム基礎岩盤の強度評価における理論的解釈への貢献を目的として、著者ら¹⁻²⁾はこれまでに、原位置岩盤せん断試験を想定した石膏模型実験とともに、ひび割れを考慮した有限要素法による模型実験の再現解析を実施し、破壊機構ならびに発現強度に対する考察を進めてきた。

ここに、既報の実験・解析は、原位置岩盤せん断試験のうちのロックせん断試験を想定した条件下で実施されている。一方で、実際のダム事業においてはロックせん断試験ではなくブロックせん断試験が採用される場合が多く、岩盤強度に対する解釈を得ようとする以上、ブロックせん断試験を対象とする検討は不可欠である。そこで、本研究では新たにブロックせん断試験に条件を類似させた石膏模型実験を仮想し、その条件下での有限要素解析を実施した。

ブロックせん断試験に対する検討としては、本来ならば模型実験の実施、あるいは実際の原位置試験を想定した解析の実施が考えられるところである。しかし、ブロックせん断試験を想定した石膏模型実験はブロック着岩面接着の困難のために実現が難しく、実際の原位置試験の再現解析を行った場合には解析結果の妥当性を保証する情報が十分に得られない。本研究ではブロックせん断試験に対する検討の第一段階として、これまでに得られているロックせん断試験型の計算結果との比較を考えるとともに、実現困難な条件での数値実験としての意味で、解析を実施した。

2 手法

解析手法には、既報²⁾の有限要素法によるひび割れ解析の手法を用いた。既報のロックせん断試験型の解析モデルを基本として、石膏材料のブロック部が被覆枠と同材料であることを仮想し、該当部弾性係数の変更ならびに節点位置の修正を施したモデルを用いた。解析モデルの概要を図1に示す。

ひび割れは岩盤を想定した基盤部のみに生じることとした。ただし、このモデルに対してひび割れ解析を実施すると、想定せん断面直下の基盤部にひび割れが生じる。そのひび割れを計算上活性化させる都合から、想定せん断面を境界に持つ基盤部要素にひび割れが生じ、そのひび割れをブロック内に延長する必要がある場合限定して、ブロック内の要素にもひび割れを進展させた。

これら以外の解析条件は既報のロックせん断試験型と同様とし、無傷模型に対して初期垂直応力を変化させた計8ケースとした。ただし、これらのうち初期垂直応力0のケースではブロックせん断試験型では適正に計算を実行できなかった。物性値等は既報に同じであり、掲載を割愛する。

3 結果

図2において、ブロックせん断試験型から得られたせん断抵抗は、垂直応力が小さい範囲ではロックせん断試験型の場合より小さく、垂直応力が大きい範囲では同等あるいはより大きい。

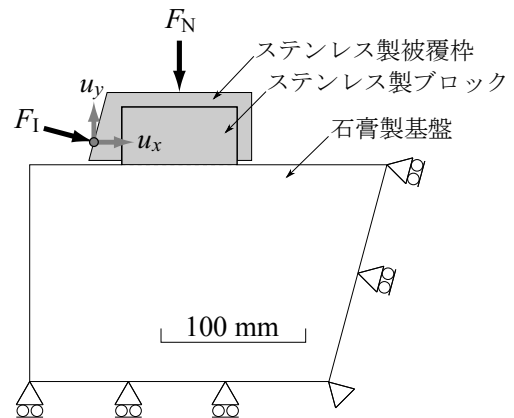


図 1: 解析モデルの概略 Virtual model.

* 愛媛大学農学部 Faculty of Agriculture, Ehime University; ** 京都大学名誉教授 Professor Emeritus, Kyoto University; 岩盤力学, 構造物の設計手法, 数値解析

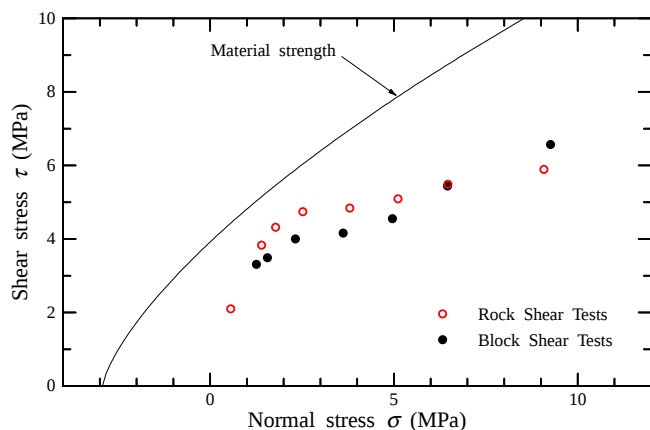


図 2: せん断抵抗の計算値
Shear strength values.

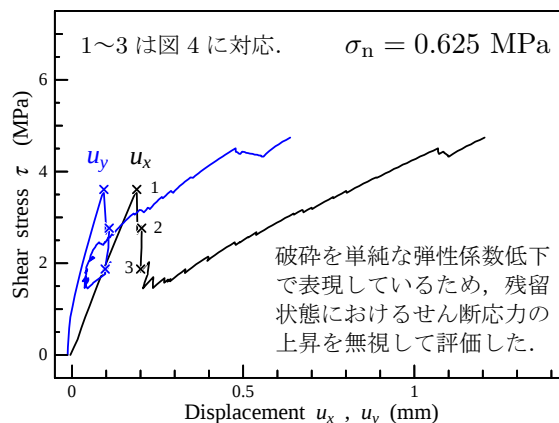


図 3: 変位—せん断応力関係
Relations between displacement and shear stress.

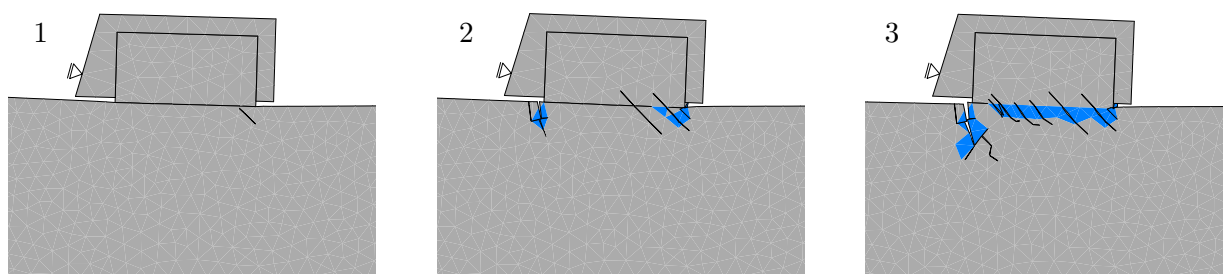


図 4: 亀裂の分布 (初期垂直応力 $\sigma_n = 0.625$ MPa. 青色は破砕部.) Cracking sequence.

ロックせん断試験型においては垂直応力の規模によって見かけ上の摩擦角が変化し、その原因として破壊機構の相違が確認されている。しかし、ブロックせん断試験型においては、垂直応力の全範囲に対してより直線に近いデータ点の並び方が現れているように見える。

図 3 の u_x - τ 関係には、同条件のロックせん断試験型との明らかな相違は見出されない。一方、図 4 の破壊様式には、ロックせん断試験型とは異なる傾向が現れている。まず、全ケースを通して、想定せん断面直下部のうち載荷面と逆側の局所における小規模な破壊の発生が、せん断応力の最大値に対応している。このとき、図 3 の u_y - τ 関係には、浮き上がりがすでに明確に現れている。その後、その局所から載荷面側へ向かって、徐々に局所的な破壊が進行し、やがて想定せん断面直下全体の破壊に至っている。最終的に想定せん断面直下を横断して形成される破壊領域は、全ケースを通して、ロックせん断試験型と比較して想定せん断面により近い範囲に限定された。

4 議論

ブロックせん断試験型ではブロック部が基盤部よりも硬く、ロックせん断試験型と比較して想定せん断面直下により一様に近い応力分布が生じるため、検討当初は発現強度の増加を予想した。しかし、ブロック部の硬さは一方で、載荷面と逆側の基盤内局所に負担を伝えやすくし、耐荷能力に対して致命傷となる局所破壊がより起こりやすくなるという結果が得られた。

本稿には一ケースのみを例示したが、ケース間、すなわち初期垂直応力による特性の相違はロックせん断試験型と比較して小さかった。ただし、亀裂の長さや方向の詳細に注目するとケース間で若干の特性の相違も見られ、その相違がせん断抵抗値データ点の並び方に影響を与えているようである。現時点では因果関係を整理するに至っていないので、改めて検討したい。

参考文献 1) 西山・長谷川 (2002) 応用力学論文集 5 349-356. 2) Nishiyama, T. and Hasegawa, T. (2014) *Proc. 14th ICIACMAG* 323-327.