

## 分断コンクリートブロックのせん断摩擦抵抗特性

独立行政法人土木研究所 正会員 ○小島裕之、金銅将史、切無沢徹

### 1. 目的

大規模地震に対するダムの耐震性能照査<sup>1)</sup>では、地震によるダムの損傷過程も考慮する必要がある。このため、重力式コンクリートダムの照査では、堤体の引張亀裂の発生・進展を考慮できる地震応答解析を行い、亀裂が上下流面間に貫通して堤体が分断されるおそれがないことを確認することで耐震性能の確保を判断している。しかし、堤体が分断しても上部堤体ブロック全体が不安定化しなければ耐震性能は維持されると考えられる。堤体の分断が生じるような状態まで想定してダムの耐震性を評価するには、分断後の上部堤体ブロックの挙動を何らかの方法で推定する必要がある。現在、剛体計算や個別要素モデルを用いた解析法の研究<sup>2)</sup>などがあるが、そのような手法においては、分断ブロックの挙動を推定する上でコンクリートブロック間のせん断摩擦抵抗を適切に考慮する必要がある。

本報告では、亀裂分断状態を模擬したコンクリート供試体を用いた一面せん断試験により、分断時及び分断後のコンクリートブロック間のせん断摩擦抵抗特性について実験的検討を実施した結果について報告する。

### 2. 試験方法

一面せん断試験の概要を図-1に示す。コンクリート供試体は、寸法 200mm×200mm×200mm で、分断面性状、粗骨材最大寸法、目標圧縮強度、垂直応力(=垂直荷重/供試体断面積)の組合せを変えて試験を行った。供試体はあらかじめ高さ 100mm の位置から供試体を水平方向に割裂分断させてせん断面を形成した。分断面の性状は以下の3ケースとした。

- (A) 地震動により任意箇所から亀裂が発生し貫通したと想定した供試体(以下、割裂供試体と呼ぶ): 作製した一体のコンクリート供試体を材齢 28 日で分断させたもの。
- (B) 堤体コンクリートの水平打継目に沿って亀裂が発生し貫通したと想定した供試体(以下、打継+モルタル供試体と呼ぶ): 1 層目打設後、ワイヤーブラシにより打継目の表面に浮いたレイタンスを除去して表面を粗にした上でモルタルを 10mm 敷き、1 層目打設から 3 日後に表面に剥離剤を塗布した後に 2 層目を打設し、2 層目打設から 28 日後に供試体を分断させたもの。
- (C) 堤体コンクリートの施工不良の水平打継目に沿って亀裂が発生し貫通したと想定した供試体(以下、打継供試体と呼ぶ): 打継+モルタル供試体と同様の作製方法であるが、打継目はモルタルの打設を行わなかった。

試験ケースを表-1に示す。試験は、せん断応力(=水平荷重/供試体断面積)がピーク強度を越え、せん断面において一定の摩擦抵抗力(残留強度)を示すようになるまでせん断荷重を载荷した。

### 3. 試験結果

#### (1) ブロック間相対変位の増加に伴う分断コンクリートブロックのせん断摩擦抵抗の変化

図-2, 図-6に、2.で述べた分断面性状(A~C)毎に、水平変位とみかけの摩擦係数(=せん断応力/垂直応力)の関係を示す。図-2より、分断面性状がいずれの供試体においても、分断コンクリートブロックのせん断摩擦抵抗特性は、ブロック間の相対変位の増加に伴って以下のように変化することがわかった。

- I. プレピーク強度領域: 相対変位の増加に伴いせん断摩擦抵抗(みかけの摩擦係数)が増大する。分断面の凹凸を乗り越える前の、分断面の凹凸のかみ合わせ内で相対変位している過程と考えられる。
- II. ピーク強度: せん断摩擦抵抗が最大となる。分断面の凹凸を乗り越え始める時点と考えられる。
- III. 残留強度領域: 相対変位の増加に伴いせん断摩擦抵抗が減少し一定値に近づく。相対変位の増加によって分断面の凹凸が削られていく過程と考えられる。

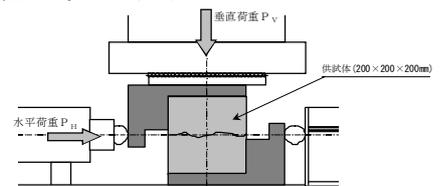


図-1 一面せん断試験概要

キーワード コンクリートダム, 耐震性能照査, 分断ブロック, せん断摩擦抵抗特性, 一面せん断試験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 土木研究所水工研究グループ水工構造物チーム TEL 029-879-6781

**(2) 分断面性状の違いが分断面のせん断摩擦抵抗に与える影響**

図-2, 図-6 より, 割裂供試体のせん断摩擦抵抗は, 他の供試体のそれらに比べピーク強度時 (5mm 変位時) および残留強度時 (15mm 変位時) において大きい。これは, 割裂供試体では他の供試体に比べ分断面の凹凸が大きく, 凹凸を乗り越えるのに必要なせん断力が大きいためと考えられる。ただし, 打継+モルタル供試体では, ピーク強度時のせん断摩擦抵抗は割裂供試体よりやや小さい程度であるが, 残留強度時のそれは打継供試体と同程度まで小さくなる。これは打継+モルタル供試体の分断面におけるモルタルに由来する局所的な凹凸部の影響によるものと考えられる。

**(3) 粗骨材最大寸法の違いが分断面のせん断摩擦抵抗に与える影響**

割裂供試体の中で, 粗骨材最大寸法が異なる供試体 (A-1, A-2) についての試験結果の比較を図-3, 図-7 に示すが, 粗骨材最大寸法の違いによるピーク強度時および残留強度時のせん断摩擦抵抗の相違は顕著にはみられない。これは, 粗骨材寸法が分断面の凹凸に比べ相対的に大きいためと考えられる。

**(4) 目標圧縮強度の違いが分断面のせん断摩擦抵抗に与える影響**

割裂供試体の中で, 目標圧縮強度が異なる供試体 (A-1, A-3) についての試験結果の比較を図-4, 図-7 に示すが, 目標圧縮強度が 30N/mm<sup>2</sup> の供試体のせん断摩擦抵抗は, 20N/mm<sup>2</sup> の供試体に比べピーク強度時および残留強度時において大きい。これは, 圧縮強度が大きいコンクリートの方が, 相対変位が生じるための凹凸部の局所的破壊に要する荷重が大きいためと考えられる。なお, 本報では結果を示していないが, 別途実施した他の分断面性状の供試体についても同様の傾向であった。

**(5) 垂直応力の違いが分断面のせん断摩擦抵抗に与える影響**

割裂供試体の中で, 垂直応力が異なる供試体 (A-1, A-4) についての試験結果の比較を図-5, 図-7 に示すが, 垂直応力が小さい供試体ほどピーク強度時のせん断摩擦抵抗が大きくなる傾向がある。これは, 垂直応力が小さい方が凹凸部のかみ合わせが緩く, かみ合って破壊に至るまでに要する荷重が大きいためと考えられる。残留強度時のせん断摩擦抵抗は両供試体間で同程度であった。なお, 本報では結果を示していないが, 他の分断面性状の供試体についても同様の傾向であった。

**4. まとめ**

- ・分断コンクリートブロック間のせん断摩擦抵抗特性は, ブロック間の相対変位の増加に伴い, 一旦増加しピーク値に達した後, 次第に減少し一定値に近づく。
- ・分断コンクリートブロック間のせん断摩擦抵抗は, 分断面の凹凸の状態, コンクリートの圧縮強度, 分断面に作用する垂直応力の大きさにより変化する。
- ・大規模地震に対するコンクリートダムへの耐震性能照査において, 亀裂による塊体分断まで想定して分断ブロック安定性の評価を数値解析等により行う際には, 以上のようなコンクリートブロック間のせん断摩擦抵抗特性を適切に考慮する必要がある。

**参考文献**

- 1) 国土交通省河川局: 大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説, 2005. 3.
- 2) M. Kondo, T. Kirinashizawa, H. Kojima & Y. Yamaguchi: Seismic Performance Evaluation of Concrete Dams Considering Ultimate Stability of Detached Upper Block, ICOLD International Symposium, 2012. 6. (投稿中)

表-1 試験ケース

供試体名	分断面性状	粗骨材最大寸法 (mm)	目標圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	垂直圧縮応力 (N/mm <sup>2</sup> )	数量
A-1	割裂	40	20	1	4
A-2		20	20	1	3
A-3		40	30	1	3
A-4		40	20	0.5	2
B-1	打継+モルタル	40	20	1	2
C-1	打継	40	20	1	8

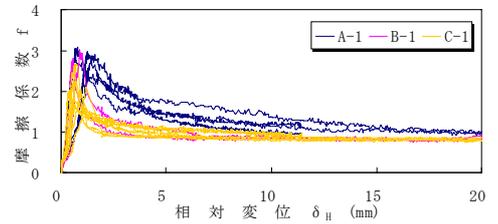


図-2 分断面性状毎の相対変位と摩擦係数

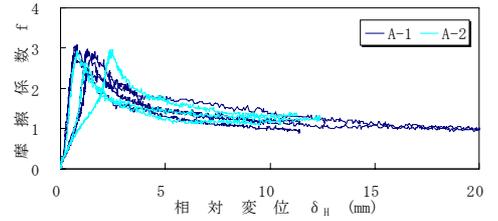


図-3 粗骨材最大寸法毎の相対変位と摩擦係数

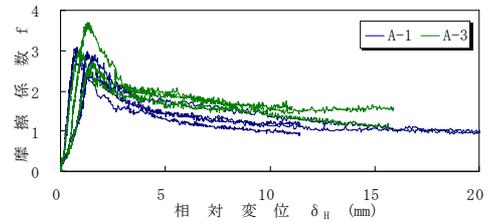


図-4 目標圧縮強度毎の相対変位と摩擦係数

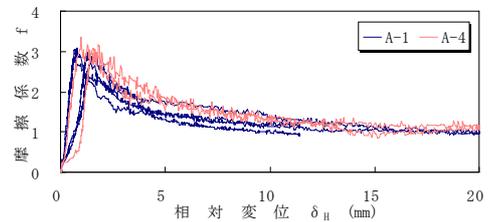


図-5 垂直圧縮応力毎の相対変位と摩擦係数

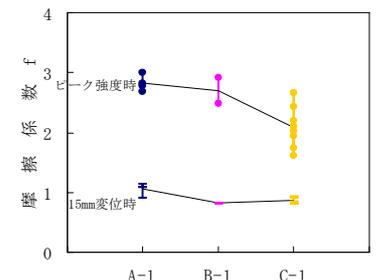


図-6 分断面性状毎の摩擦係数

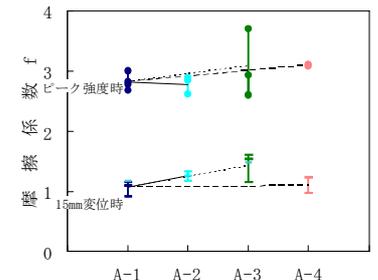


図-7 試験条件毎の摩擦係数