

軟岩部が出現するダム基礎岩盤のせん断強度に関する数値解析的検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○金子裕司 木藤賢一 中村洋祐 市原裕之 佐々木隆 山口嘉一

1. はじめに

重力式コンクリートダムの滑動に対する安全性を検証する際には、軟岩部の出現位置等に関係なく、岩級分類毎に設定されたせん断強度を用いて、出現面積毎の加重平均によりダム基礎岩盤のせん断強度が設定されている。

しかし、硬岩部と軟岩部の変形性の違いに起因して、鉛直応力・せん断応力の分布が、硬岩均一岩盤の分布から変化し、基礎岩盤部または軟岩部のどちらか一方が先にせん断破壊を生じる恐れがある。せん断破壊が生じた部分のせん断強度は急激に低下し、その時点で基礎岩盤全体の破壊へと一挙に進行する恐れがあるため、面積加重平均で求められるせん断強度を発揮できないことが懸念される。

本研究では、軟岩部が出現する場合、基礎岩盤がせん断破壊に至る過程を数値解析モデルにより再現し、その特性を分析する。

2. 数値解析モデル

解析モデルの対象は、人工岩盤を用いたせん断実験¹⁾との対比を想定し、図-1に示すブロックとした。基礎岩盤の種類は、①硬質の均一基礎岩盤の場合、②軟質の均一基礎岩盤の場合および③硬質岩盤中に軟質岩盤がせん断面で50%出現（中央部）する場合の3ケースを想定した。

また、解析は2次元の弾性体FEMとするが、せん断ブロックと岩盤部の境界に、せん断破壊後、歪軟化する特性を持ったジョイント要素を配置した（図-2参照）。解析モデルでのせん断破壊の定義は、ジョイント要素が全てせん断破壊するまでとし、鉛直荷重を0.49N/mm²と1.47N/mm²の2ケースとして、せん断荷重を徐々に増加（102.4N）させた解析を行い、せん断破壊荷重を算定した。

解析に使用した平面要素の物性値は、基礎岩盤の材料試験結果より表-1の通り設定した。ジョイント要素のせん断・歪軟化特性は、硬質および軟質均一岩盤のせん断試験における破壊荷重¹⁾と解析結果が等しくなるよう、表-2のように設定した。

3. 検討結果

3.1 軟質部が出現する場合の応力分布

①硬質の均一基礎岩盤と③硬質岩盤中に軟質岩盤が出現する場合の基礎岩盤に、同一の鉛直荷重（0.49N/mm²）、せん断荷重（1,536N）を載荷した場合の、せん断ブロック直下の鉛直応力 σ_y 分布図、およびせん断応力 τ_{xy} 分布図を、図-3および4に示す。なお、鉛直応力 σ_y は、引張り領域が正值である。これより、③硬質岩盤中に軟質岩盤が出現する場合には、軟質部に作用する応力が低減し、硬質部に応力が集中する傾向が見られる。

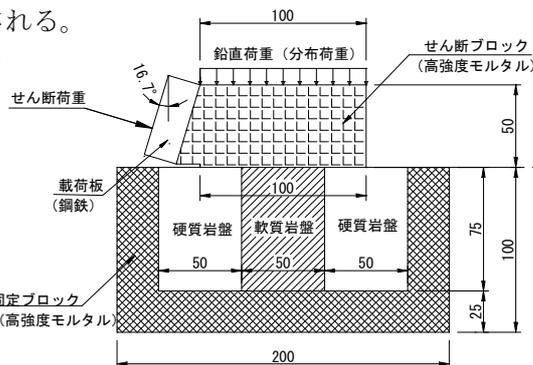


図-1 モデルの諸元（単位：mm）

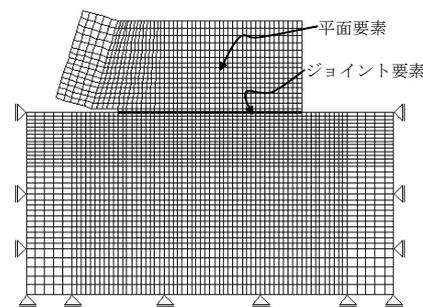


図-2 解析モデル図

表-1 数値解析に用いた物性値

要素種類	物性値	記号	設定値
硬質岩盤	弾性係数	E	13,364N/mm ²
	ポアソン比	ν	0.2
軟質岩盤	弾性係数	E	5,439N/mm ²
	ポアソン比	ν	0.2
せん断ブロックおよび固定ブロック	弾性係数	E	23,981N/mm ²
	ポアソン比	ν	0.2

表-2 ジョイント要素のせん断強度・歪軟化特性

要素種類	物性値	記号	設定値→せん断破壊後の設定値
硬質岩盤	せん断強度	τ	7.246N/mm ² →0.000N/mm ²
	内部摩擦角	ϕ	30°→30°
軟質岩盤	せん断強度	τ	1.651N/mm ² →0.000N/mm ²
	内部摩擦角	ϕ	30°→30°

キーワード：ダム、基礎岩盤、せん断強度、軟岩、非線形解析

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1番地6 TEL029-879-6781 FAX029-879-6737

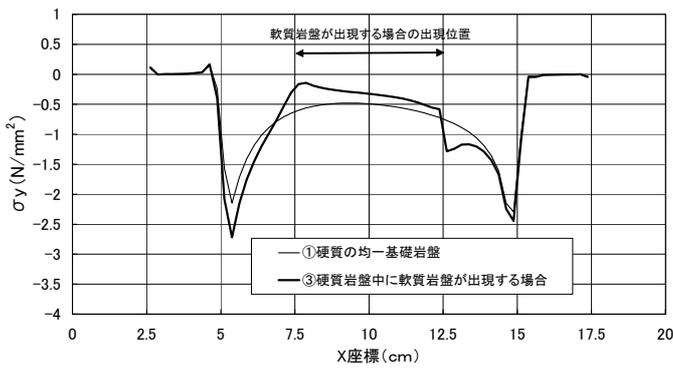


図-3 せん断ブロック直下の鉛直応力分布

3.2 せん断破壊の進行状況

鉛直荷重が 0.49N/mm^2 の場合において、①硬質の均一基礎岩盤でのせん断荷重の増加に伴うせん断ブロック直下の点安全率分布を図-5に示したが、せん断荷重載荷側の点安全率が小さい。このため、せん断破壊は、点安全率 1.3 程度の荷重段階で載荷側から発生し、瞬時に全体破壊へ進行した。すなわち、ブロック後方の点安全率は 3.0 程度と大きいものの、一部にせん断破壊が発生するとその影響はせん断面全体に及ぶことになる。

一方、③硬質岩盤中に軟質岩盤が出現する場合でのせん断ブロック直下の点安全率分布を図-6に示したが、軟質部の点安全率が小さく、軟質部において先にせん断破壊が生じることになる。しかし、全体のせん断破壊は瞬時には発生せず、軟岩部が受け持っていたせん断応力が硬岩部へ再配分され、その後せん断荷重の増加によって、硬質部載荷側の点安全率が 1.4 程度の荷重段階で全体破壊へ進行する結果となった。

しかし、全体破壊時の硬岩部ブロック後方での点安全率は 2.2 程度まで低下しているように、硬質部載荷側とブロック後方の点安全率の値は近いことから、硬質部が有するせん断強度をより多く発揮できるものと考えられる。

3.3 せん断破壊基準線

解析より算定したせん断破壊強度および推定されるせん断破壊基準線を図-7に示す。③硬質岩盤中に軟質岩盤が出現する場合のせん断破壊基準線は、面積加重平均により求まるせん断破壊基準線とほぼ一致する結果となった。

4. まとめ

軟質部が出現する場合のせん断強度は、今回解析を実施した条件下においては、面積加重平均により求まる強度とほぼ一致する。しかし、硬岩部、軟岩部の配置が複雑な場合などについて検討を実施する際には、進行破壊を考慮したFEM解析による検討が必要であると考えられる。

参考文献：1) 中村・市原・佐々木ほか、硬軟複合岩盤のせん断強度評価法に関する実験的検討、土木学会第58回年次学術講演会講演会投稿概要

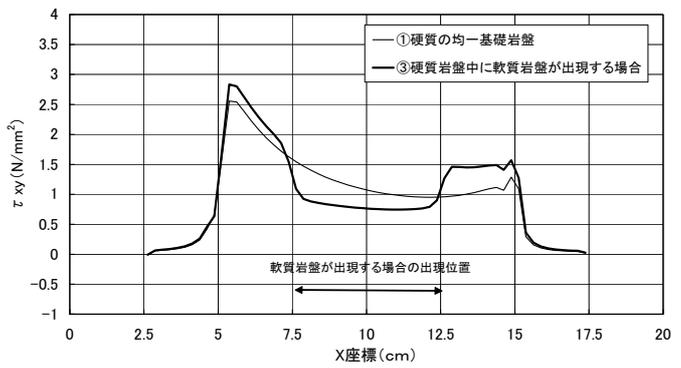


図-4 せん断ブロック直下のせん断応力分布

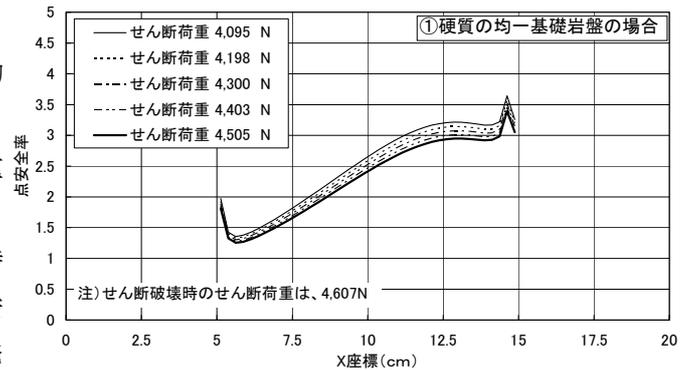


図-5 せん断荷重の増加に伴う点安全率の変化

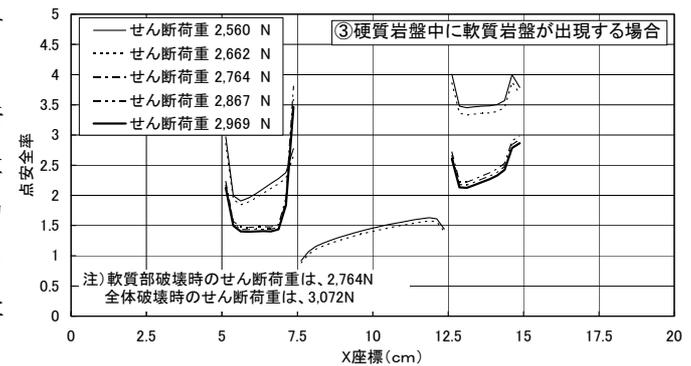


図-6 せん断荷重の増加に伴う点安全率の変化

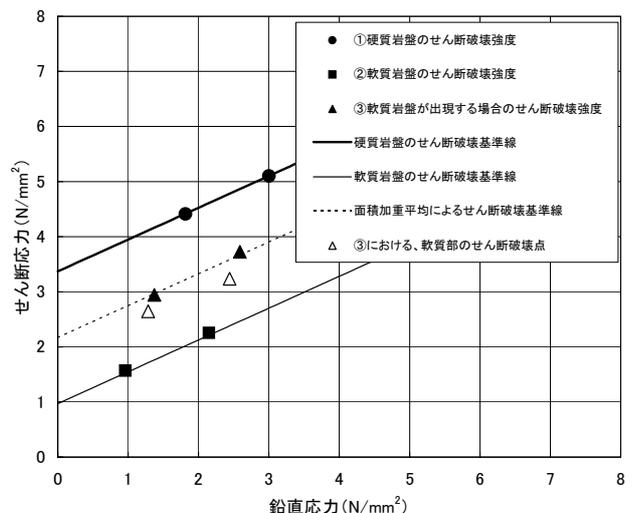


図-7 せん断破壊強度とせん断破壊基準線