

硬軟複合岩盤のせん断強度評価法に関する実験的検討

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

1. はじめに

近年、複雑な地質条件を有する基礎岩盤に重力式コンクリートダムを建設する事例が増えてきている。基礎岩盤が、硬軟複数の岩種・岩級で構成されている場合、安全で合理的なダム設計を行うためには基礎岩盤を構成する各岩種・岩級の強度、変形性を考慮したより精度の高い岩盤のせん断強度特性評価手法の開発が望まれている。本論文では、硬軟複合岩盤模型に対するせん断試験により、硬軟複合岩盤の構成条件がせん断強度へ与える影響について検討を行うとともに、従来の面積加重平均による方法との比較を行った。

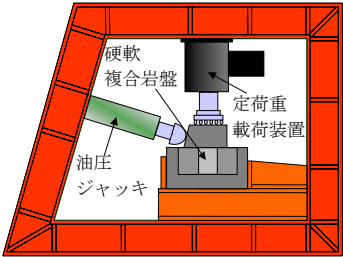


図-1 せん断試験概要図

2. 試験ケースと試験条件

室内せん断試験は原位置ブロックせん断試験を模擬し、図-1 に示す試験装置を用いて行った。せん断試験に用いる供試体は、人工岩盤に外周ブロック、せん断ブロックの順で打設して作製した。それぞれの材料となる早強ポルトランドセメント、珪砂、水の配合を表-1 に示す。人工岩盤となる硬岩(A 岩盤)、軟岩(C 岩盤)は打設後セメントが固化するまで排水状態で 1.0MPa の応力で圧密し、その後 28 日の水中養生の後試験に供した。供試体は A 岩盤および C 岩盤の均質ケースと、図-2 に示す硬軟複合岩盤 5 ケースを作製した。硬軟複合岩盤境界面は、連続性を確保するためセメントペーストで接着した。試験は、定荷重荷重装置により初期上荷重 V を 4.9kN、9.8kN、14.7kN の 3 パターン設定し各パターン 2 供試体を油圧ジャッキにてせん断荷重を与え破壊した。試験時は、せん断ブロックの垂直変位および、水平変位の測定、人工岩盤のせん断荷重載荷方向に 3 軸ゲージを載荷側から No.1～No.6 の順に並べて設置し、内部応力分布の測定を行った。

表-1 配合表

配合	水:セメント:砂 質量比	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (MPa)
A 岩盤	1.0:1.0:4.7	9.34	0.92	13,360
C 岩盤	2.6:1.0:8.4	3.12	0.37	5,440
外周ブロック せん断ブロック	1.0:2.0:3.2	38.38	3.01	23,980

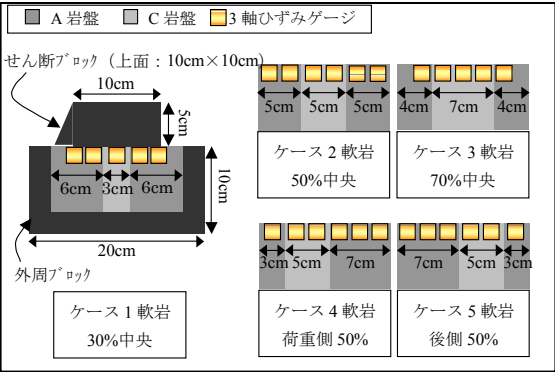


図-2 複合岩盤ケース概要図

3. 試験結果と考察

3.1 均質岩盤のせん断強度

図-3 に均質 A 岩盤および C 岩盤のせん断試験結果と Mohr-Coulomb の破壊基準を示す。図中に示す各岩盤のせん断強度は、室内せん断試験の最大せん断荷重により評価した。Mohr-Coulomb の破壊基準の内部摩擦角 ϕ は別途実施した三軸圧縮試験によって A 岩盤、C 岩盤ともに 30° 程度の値をもつことが確認されたため 30° で固定し、 τ_0 は、最小二乗法により求めた。また、図中には、A 岩盤と C 岩盤の破壊基準により求められる面積加重平均強度 (軟岩 30%, 50%, 70%: 中央に出現) を示した。

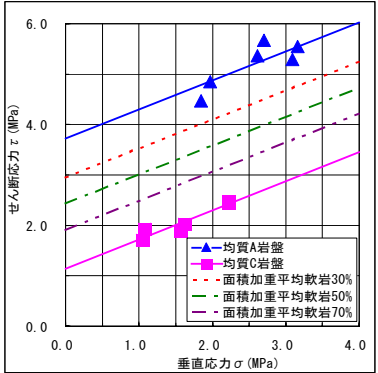


図-3 均質岩盤試験結果

3.2 硬軟複合岩盤のせん断強度と面積加重平均

3.2.1 軟岩の面積比率と強度の関係

図-4 に軟岩が中央に出現した場合の面積比率とせん断強度の関係を示す。また、各岩盤および、面積加重平均の内部摩擦角 ϕ を 30° とし、せん断強度 τ_0 を最小二乗法により求めた結果を表-2 に示す。せん断強度 τ_0 は供試体毎のバラツキがあるものの面積加重平均せん断強度と試験値によるせん断強度 τ_0 の差は概ね 10% 程度以下であった。

3.2.2 軟岩の出現位置を変化させた場合の比較

図-5 は、軟岩の出現位置をせん断荷重方向に変化させた場合の試験結果を示したものである。せん断強度は、軟岩が後側に出現するケースがもっとも低くなる傾向が現れた。 τ_0 は表-2 に示すとおり面積加重平均強度に対して 10% 程度の増減が現れた。

表-2 せん断強度一覧表

ケース	τ_0 (MPa)	試験値/面積 加重平均(%)
均質 A 岩盤	3.721	
均質 C 岩盤	1.142	
面積加重 30%	2.947	
面積加重 50%	2.432	
面積加重 70%	1.916	
軟岩中央 30%	3.122	105.9
軟岩中央 50%	2.540	104.5
軟岩中央 70%	2.161	112.8
軟岩載荷側 50%	2.612	107.4
軟岩後側 50%	2.186	89.9

【キーワード】硬軟複合岩盤、せん断強度、面積加重平均

【連絡先】〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 Tel.029-879-6781 Fax.0298-79-6737

3.2.3 軟岩出現位置と内部応力分布

図-6～11に軟岩面積率50%で軟岩出現位置が変化するケースについて、ひずみゲージの計測値と供試体の弾性係数から算出した応力分布を示す。図中、直線が硬軟境界部、点線がせん断面位置を示す。応力は、せん断荷重 $\tau=0\text{MPa}$ 時点零点として $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$ の形で表示した。例示した試験ケースは、軟岩面積50%の試験中最もせん断強度が低くなった初期上載荷重14.7kN、軟岩後側配置ケース(図-8, 図-11)と、同初期上載荷重の中央出現ケース(図-6, 図-9)、載荷側出現ケース(図-7, 図-10)とした。以下に各ケースの破壊までの応力状態の推移を記す。

(軟岩50%中央)

$\Delta\sigma_x$: せん断荷重増加とともに載荷側で引張応力、後側で圧縮応力を生じている。

$\Delta\sigma_y$: $\tau=1.0\sim 2.0\text{MPa}$ の間で軟岩部の引張応力の増加が起こり、その後、載荷側、後側の硬岩部で $\tau=3.0\text{MPa}$ から引張応力の増加が生じ始め、3.5MPa 付近より全面に急激な引張応力の増加が生じ、4.1MPa で全体破壊に至っている。

(軟岩50%載荷側)

$\Delta\sigma_x$: せん断荷重の増加とともに載荷側の軟岩と、硬岩後側で圧縮応力が増加、載荷側の硬岩と後側の軟岩で引張応力が生じている。

$\Delta\sigma_y$: $\tau=1.0\sim 2.0\text{MPa}$ の間で最後部の硬岩で大きな引張応力が生じている。3.0MPa 付近より軟岩部、及び後側硬岩部で引張応力の増加が生じ初め、3.8MPa から全面に急激な引張応力の増加が生じ、4.1MPa で全体破壊に至っている。

(軟岩50%後側)

$\Delta\sigma_x$: $\tau=1.0\text{MPa}$ 付近より軟岩部、後側硬岩部において大きく圧縮応力の増加が起きている。

$\Delta\sigma_y$: $\tau=1.0\sim 2.0\text{MPa}$ の間に軟岩部で引張応力が増加、2.0MPa 付近より載荷側硬岩部で引張荷重が増加、その後2.8MPa から全面に急激な引張応力の増加が生じ、3.2MPa で全体破壊に至っている。

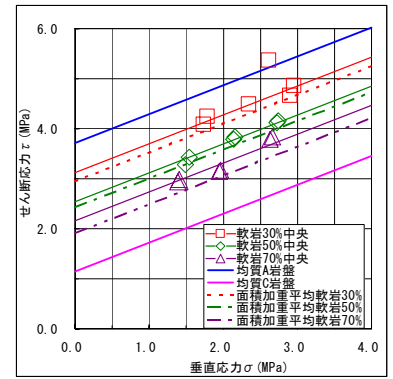


図-4 複合岩盤試験結果
(軟岩の面積比率)

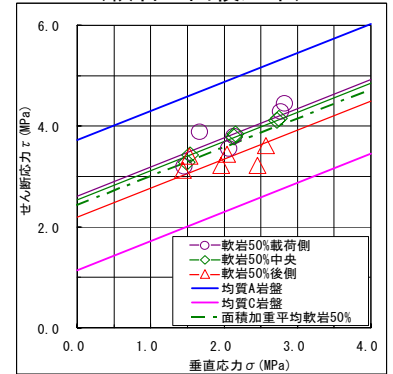


図-5 複合岩盤試験結果
(軟岩の出現位置)

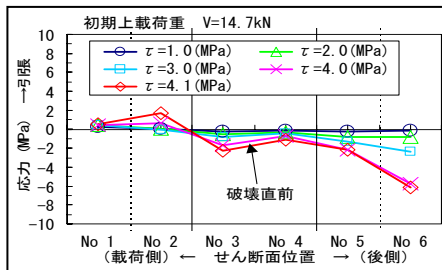


図-6 軟岩50%中央 $\Delta\sigma_x$

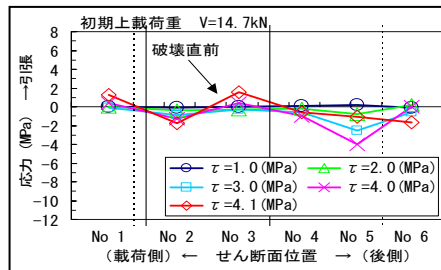


図-7 軟岩50%載荷側 $\Delta\sigma_x$

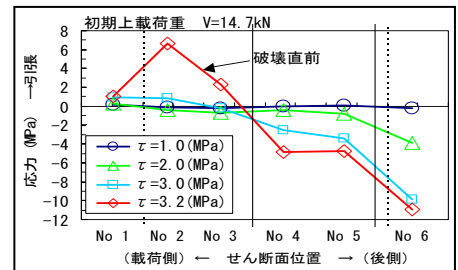


図-8 軟岩50%後側 $\Delta\sigma_x$

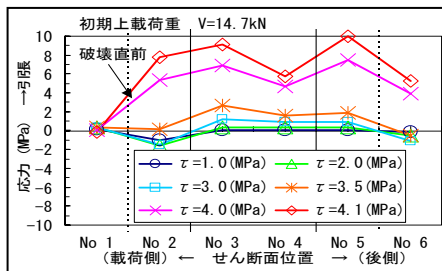


図-9 軟岩50%中央 $\Delta\sigma_y$

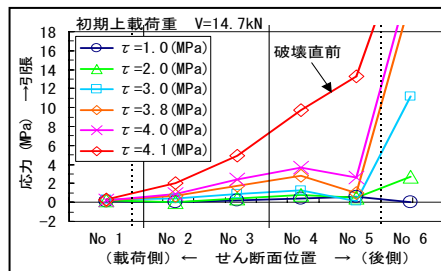


図-10 軟岩50%載荷側 $\Delta\sigma_y$

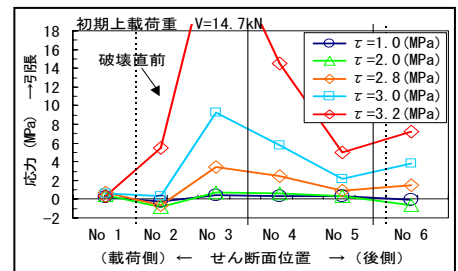


図-11 軟岩50%後側 $\Delta\sigma_y$

4. まとめ

本研究の結果をまとめると以下ようになる。

- ① 複合岩盤中央に軟岩が出現する場合のせん断強度は概ね面積荷重平均に近い値となる。
 - ② 複合岩盤の軟岩の出現位置が中央より後側に移動すると、面積加重平均強度を下回ることがある。
- 内部応力については今後さらに数値解析を含めて詳細な検討を行い、局所破壊の開始進展状況について考察する。

【参考文献】

- 1) 建設省河川局監修：多目的ダムの建設—昭和62年度版—，第3巻，設計I編，pp.54-56，1987年9月。