

(III-26) 亀裂を有する岩盤模型のせん断強度に関する実験的検討

建設省土木研究所ダム部ダム構造研究室 正会員 ○西村 義、永山 功、太田 道男

1. はじめに

ダム基礎岩盤のせん断強度は、岩盤を数種類の岩級に分類し、各岩級ごとにせん断試験を実施して求められている。岩級区分は、①岩片の硬さ、②亀裂の頻度、③亀裂の状態の組合せによって決められるが、同一岩級区分の岩盤であってもせん断試験結果はばらつくことが多く、岩級区分の基準についてはさらに詳細な検討が必要である。本論文は、岩盤のせん断強度に影響を与える要素として④亀裂の方向に着目し、亀裂の方向をさし目とした岩盤亀裂模型の破壊試験を行い、亀裂の方向が岩盤のせん断破壊特性に与える影響についてとりまとめたものである。

2. 試験方法

岩盤亀裂模型のせん断強度を求める試験方法は、図-1 に示すダイス型せん断試験装置によった。荷重はアムスラー型圧縮試験機によって行い、荷重の大きさはロードセルによって測定、制御した。想定せん断面上の平均せん断応力 τ と平均垂直応力 σ は次式によって求められる。

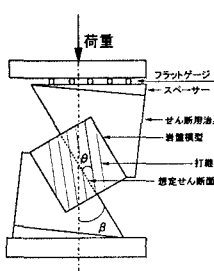


図-1 せん断試験装置

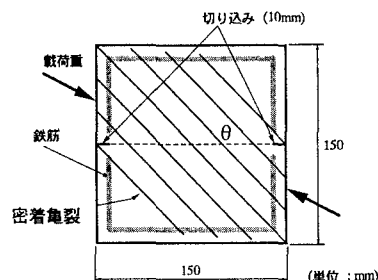


図-2 岩盤亀裂模型の形状

$$\tau = (P/A) \cos \beta \quad \sigma = (P/A) \sin \beta$$

ここに、P：荷重、A：想定せん断面の面積、 β ：荷重角度である。

表-1 試験ケース

亀裂方向 θ (°)	荷重角度 β (°)
20	10, 15, 20, 25, 30
30	10 20, 25, 30, 35
45	10 20, 25, 30, 35

3. 岩盤亀裂模型の作成と試験ケース

岩盤亀裂模型の形状を図-2 に示す。亀裂の方向 θ は表-1 のように設定した。亀裂は、石膏を層状（層厚 15mm）に打ち継ぐことにより表現した。模型は脱型した後約 25℃ の恒温室内で約 1 ヶ月間養生し試験を行った。試験ケースを表-1 に示す。また石膏の材料強度を求めるために、石膏の一軸圧縮強度試験と一面せん断試験を併せて実施した（表-2）。

表-2 石膏材料の強度

一軸圧縮強度	129 kgf/cm ²
弾性係数	65,000 kgf/cm ²
せん断強度（石膏）	$\tau = 19.9 \text{ kgf/cm}^2 + 1.29 \sigma$
せん断強度（石膏打継目）	$\tau = 11.8 \text{ kgf/cm}^2 + 1.06 \sigma$

4. 試験結果

試験結果から破壊時の応力状態を示すと図-3 のようになる。岩盤亀裂模型の破壊規準線は曲げ破壊からなる領域（ $\beta < \theta$ ）とせん断破壊からなる領域（ $\beta > \theta$ ）で構成され、 $\beta = \theta$ 付近で折れる線となっている（ただし、 $\theta = 45^\circ$ は $\beta < \theta$ のため曲げ破壊の領域しか存在しない）。 $\beta < \theta$ の領域では、亀裂の方向 θ が大きいほど低い荷重で曲げ破壊が生じることを示している。また $\beta > \theta$ の領域では破壊規準線は概ね同一の線になり、亀裂の方向 θ はせん断強度の大きさにあまり影響しない結果となっている。

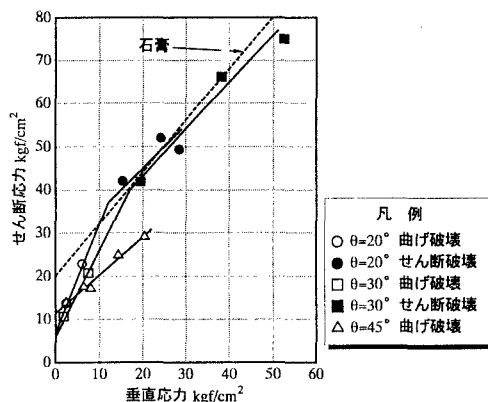


図-3 破壊規準

5. 考察

いま、図-4 に示すようにせん断破壊が生じたと考える。このとき、亀裂面は既に開口し、亀裂面に応力が発生しないものと仮定すると、想定せん断面に作用する平均応力 τ 、 σ に対する破壊規準は次式で表される。

$$\tau = \frac{\tan \theta}{(\tan \theta + \tan \alpha)(1 - f \tan \alpha) \cos^2 \alpha} \tau_0 + \frac{f + \tan \alpha}{1 - f \tan \alpha} \sigma \quad (1)$$

ここに、 θ ：亀裂の方向、 α ：岩片の破壊面と想定せん断面のなす角度、

τ_0 ：石膏のせん断強度、 f ：石膏の内部摩擦係数である。図-5 (1) は表-2 に示した

τ_0 、 f を用いて $\theta = 20^\circ$ の場合に(1)式をグラフ化したものである。図によれば $\sigma \approx 7 \text{ kgf/cm}^2$ を境界に $\alpha \neq$

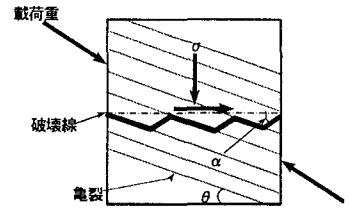
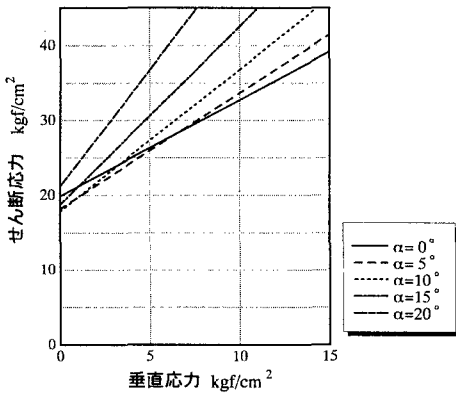
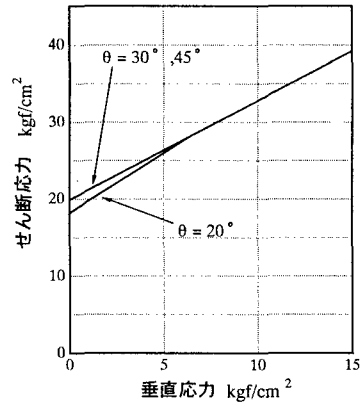


図-4 せん断破壊形状



(1) α と破壊規準 ($\theta=20^\circ$)



(2) θ と破壊規準

図-5 理論より得られる岩盤亀裂模型の破壊規準

0° と $\alpha = 0^\circ$ となる面でせん断破壊が生じることを示している。

ここで、 $\alpha = 0^\circ$ は想定せん断面に沿ってせん断破壊が生じることを表し、そのときのせん断強度は石膏のせん断強度と一致する。したがって、 $\sigma \geq 7 \text{ kgf/cm}^2$ の領域では、亀裂の強度は岩盤亀裂模型の破壊荷重に影響を及ぼさないことになる。今回の試験に用いた3種類の亀裂方向について破壊規準線を求めると図-5 (2) のようになる。図によれば、 $\theta = 30^\circ$ 、 45° の場合、破壊規準線は石膏の破壊規準線に一致し、 $\theta = 20^\circ$ の場合も破壊規準線は石膏の破壊規準線にほぼ一致している。このため亀裂の方向が岩盤亀裂模型の破壊荷重に大きな影響を及ぼさなかったものと考えられる。

6. まとめ

岩盤亀裂模型の破壊規準は、 $\beta < \theta$ の領域の破壊規準と $\beta \geq \theta$ の領域の破壊規準から構成され $\beta = \theta$ 付近で折れ曲がる。 $\beta < \theta$ の領域では岩盤亀裂模型の破壊規準は亀裂の方向 θ に応じた値を示したが、 $\beta \geq \theta$ の領域ではその破壊規準は模型材料である石膏の破壊規準と概ね同じになった。これは理論的な考察によっても確認された。

参考文献

- 1) 永山功・則松秀晴・片平博・小沢裕二・森田信吾：岩盤のせん断強度に及ぼす節理の角度と節理面のせん断強度の影響について、第9回岩の力学国内シンポジウム pp. 391-396, 1994. 1.
- 2) 永山功・片平博・森田信吾：岩盤のせん断強度に及ぼす節理の方向および節理面のせん断強度の影響に関する実験的研究、建設省土木研究所資料第3240号, 1994. 3.