

III-638

岩盤のせん断強度に及ぼす節理の角度の影響に関する実験的考察

大成建設

建設省土木研究所

建設省土木研究所

正会員 森田 信吾

正会員 永山 功

正会員 片平 博

1. はじめに

ダム設計にあたっては、基礎岩盤の強度特性を正確に評価することが必要である。岩盤の強度特性に影響を与える要因には、岩盤を構成する岩片の硬さ、節理の間隔、節理の状態等が挙げられるが、これらの3要素以外にも節理の方向（角度）の影響も大きいことが指摘されてきた。¹⁾本研究では、岩盤のせん断強度に及ぼす節理の角度の影響を把握するため、石膏で作製した岩盤模型に対してせん断試験を実施した。また、せん断面でのせん断に対する安全率を解析的に求めたところ、実験より得られた節理の角度の変化に伴う破壊形態の変化との間に明確な関係があることがわかった。

2. せん断試験の概要

せん断試験は、土木研究所で作製した一面せん断試験用治具を圧縮強度試験機に取り付けて実施した。試験機の概要を図-1に示す。本試験では、せん断角度 β （図-1参照）を 20° 、 25° および 30° とした。また、供試体の大きさは一辺15cmの立方体とし、珪藻土を重量比で30%混合した石膏で作製した。また、岩盤の節理は打継目によって表現し、節理の角度は石膏の打継目の角度 θ （図-1参照）によって表現するものとした。なお、打継目の間隔は1cmである。表-1に供試体の種類を示す。

3. せん断試験結果

3.1 節理の角度と破壊荷重の関係

図-2に節理の角度 θ と破壊荷重の関係を示す。流れ目（ $\theta \geq 0^\circ$ ）では、 $\theta = 0^\circ$ の時に最も破壊荷重が小さく、 θ が大きくなると破壊荷重も徐々に増加して $\beta + \theta = 50^\circ \sim 60^\circ$ で節理のない場合の破壊荷重に達している。一方、さし目（ $\theta \leq 0^\circ$ ）では、 θ が 0° から徐々に小さくなるに従って破壊荷重が急増しているが、これは、節理の角度 θ がせん断角度 β に接近し、節理間の岩片が柱となって抵抗し、強度が大きくなったためである。また、 $\beta + \theta = -20^\circ$ 付近で破壊荷重が極小値を示しているが、これは、荷重の作用方向が節理に対してさし目となり、節理の開口に起因した曲げ破壊が発生するためである。

3.2 節理の角度とせん断破壊基準の関係

図-3に、せん断試験結果から求めた流れ目のせん断破壊基準線を示す。多少のバラツキはあるが、同一の垂直応力の下では、節理の角度の増加とともに破壊

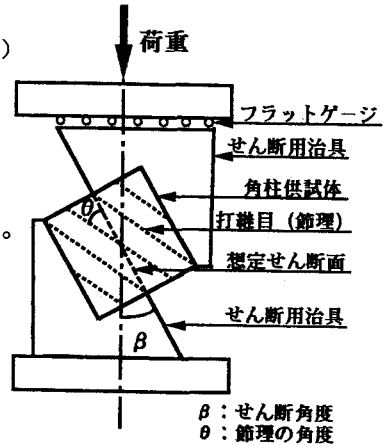


図-1 せん断試験機の概要

表-1 供試体の種類

種類	節理の角度 $\theta(^{\circ})$
節理無	
流れ目	0, 10, 15, 20, 30, 45, 90
さし目	0, 15, 25, 30, 35, 45, 60, 90

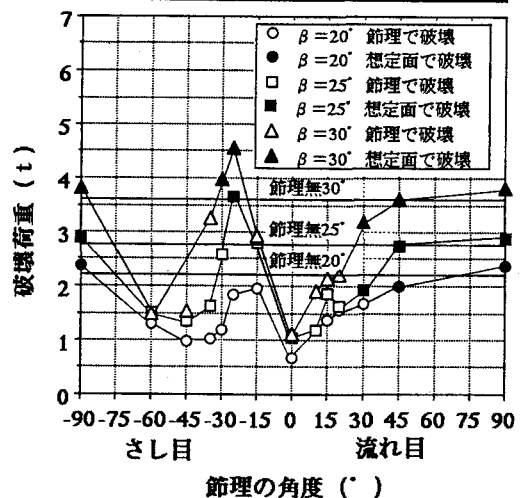


図-2 節理の角度と破壊荷重の関係

時のせん断応力も増加していることがわかる。同様にさし目についてもせん断破壊基準線を求め、節理の角度 θ と純せん断強度 τ 。および内部摩擦係数 f の関係をまとめたものが図-4である。 τ_0 はさし目の $-25^\circ \leq \theta \leq -15^\circ$ 、 f はさし目の $-35^\circ \leq \theta \leq -25^\circ$ で比較的大きい値となっているが、これは、前述のように、節理の角度と荷重の作用方向が接近して岩片が柱となって抵抗したためであり、特殊なケースである。これを除くと、概略の傾向として、流れ目、さし目とも節理の角度の絶対値の増加にしたがって純せん断強度 τ_0 は増加し、内部摩擦係数 f はバラツキがあるが、概ね一定の値となっている。

4. 節理の角度と安全率の関係

次に、供試体の破壊特性をより詳細に把握するため、表-2に示す物性値を使用してFEM解析を実施した。想定せん断面近傍での応力の流れは良好で、主応力の大きさおよび方向はほぼ一定で、顕著な応力集中もみられなかった。せん断面を節理方向としたときのせん断に対する安全率 $((\tau_0 + f\sigma)/\tau)$ を n_1 、せん断面を想定せん断面としたときのせん断に対する安全率を n_2 とし、破壊時の荷重に対してせん断面の安全率を求めた。なお、せん断面のせん断強度は図-3の節理無および $\theta = 0^\circ$ の試験結果を用いた。

節理の角度と n_1 、 n_2 の関係を図-5に示す。図によれば、 $-60^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ では $n_1 \leq n_2$ となっている。また、 $\theta = 30^\circ$ では、せん断角度によって n_1 と n_2 の大小関係は変化し、 $\beta = 20^\circ$ では $n_1 \leq n_2$ であるが、 $\beta = 25^\circ$ および 30° では $n_1 \geq n_2$ である。実際の試験でも破壊は、 $-60^\circ \leq \theta \leq -35^\circ$ および $-15^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ では節理で発生している。また、 $\theta = 30^\circ$ の場合には、 $\beta = 20^\circ$ では破壊が節理で発生しているのに対して、 $\beta = 25^\circ$ および 30° では破壊が想定せん断面で発生しており、解析結果はせん断試験結果と概ね一致している。

5. まとめ

今回の試験結果および解析結果をまとめると、以下のとおりである。

- ①流れ目（ $\theta \geq 0^\circ$ ）では、節理の角度 θ が小さいと節理の影響が顕著であるが、 θ の増加とともに節理の影響は減少する。
- ②節理の角度と荷重の作用方向が接近している場合を除くと、さし目（ $\theta \leq 0^\circ$ ）でも、節理の角度 θ の絶対値の増加とともに節理の影響は減少する。
- ③節理の角度の変化に伴うせん断面の破壊形態の変化はFEM解析結果から求めた安全率の計算結果と概ね一致している。

参考文献

- 1) 永山功, 片平博: 板状節理を含んだ岩盤模型のせん断試験, 土木技術資料, Vol. 31, No. 4, pp. 25-30, 1989.

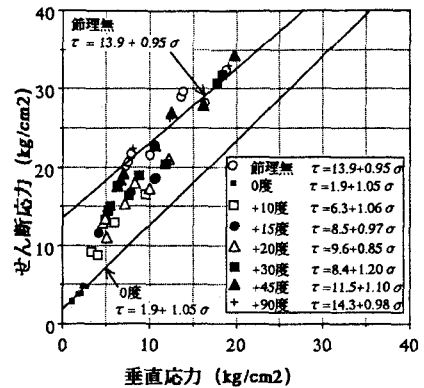


図-3 せん断破壊基準線の変化（流れ目）

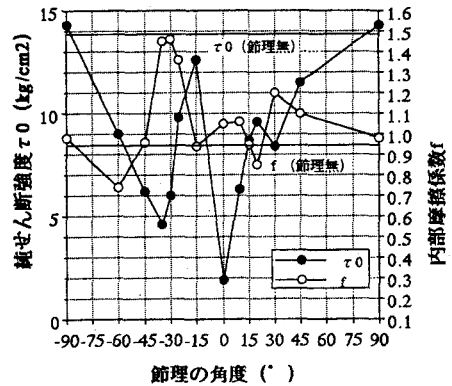


図-4 節理の角度と τ_0 および f の関係

表-2 解析に用いた物性値

	弾性係数(kg/cm ²)	ポアソン比
石膏	70,000	0.2
鋼材	2,100,000	0.3

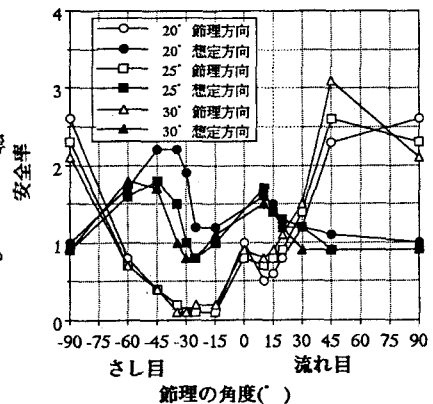


図-5 節理の角度に対する安全率の変化