

徳島大学工学部 正員・藤井清司
(株)鴻池組 正員 井上 了

まえがき 岩盤内に存在する種々のわれ目により、原位置岩盤せん断強度が大きく影響されることは明らかであるが、そのせん断荷重方向に対するわれ目の傾きによる影響を調べるために以下の試験を行った。本試験中、破壊状況を把握するため、突起部前、後方の基盤部面上2ヶ所でアコースティック・エミッション(A.E.)の測定を行う。また、進行性破壊を考慮した有限要素法解析により破壊シミュレーションを行ったのであわせて報告する。なお、これらの試験法、解析法は本学会年次講演会にて前回までに発表してきたものと同じである。

試験体 試験はモルタルセメント(重量比:水:普通ポルトランドセメント:細骨材=1:2:6)で作製した模型試験体による。これはモルタルセメントが現場岩石と非常に類似した強度特性を示すとともに、われ目の位置のみが異なり他の条件を同じくした試験体を簡単に多数作れ、その材料強度試験用供試体($\phi 10 \times 20$ cm)も得やすいためである。試験体寸法、われ目の作製は前回と全く同じで、仮想せん断面 10×10 cm² を有する。(図-1参照)

われ目方向 われ目の数は試験体の形と仮想せん断面の大きさにより多数設けることは困難であるので2本とし、その位置は仮想せん断面を3等分する場所とする。その方向は、流れ目と差し目の各々 $60^\circ, 45^\circ, 15^\circ$ の3種類である。そして基盤部には $18 \sim 27$ cm 入り込んでいる。前回の報告では、原位置での試験時に行う突起部まきだてを想定して、流れ目 45° のわれ目先端より突起部を2 cm 大きくしてあったが、これによるわれ目への影響が不明のため、今回はわれ目の直接の影響を知るため突起部上面、後側面ともわれ目が縁端部まで貫いている。しかし、差し目においては、せん断荷重の載荷のためわれ目は載荷部の三角形部手前までである。

せん断試験 試験体を載荷枠に固定し、垂直荷重 V はローラーを介して等分布に載荷し、一定に保ちつゝせん断荷重を1 ton きざみの繰返し増加荷重として加え、突起部がせん断破壊される時の最大せん断荷重 F_{max} を求める。その後、破壊面の断面図、スケッチを描き、基盤部をこわして内部へのひびわれ進展を調べ、各種材料強度試験を行う。

試験結果と考察 試験より得られた V と F_{max} の値を τ - σ 座標面上にプロットすると図-2 のようになり、これらの点を結ぶと各々のわれ目方向に対する直線式が得られる。これとA.E.の測定より以下の考察を行う。

われ目方向が 15° の場合、切れ込み先端とわれ目、われ目間の垂直距離が小さいため、また傾斜角も小さいため次のような破壊を示す。流れ目では、切れ込み先端から引張破壊が斜め下方向のわれ目に進む。しかし、われ目面の傾斜角が小さいため、われ目面を横切る破壊は生じず、われ目面に沿ったすべりを起そうとするが、垂直荷重と登りわれ目斜面がくさびとなり、 V の

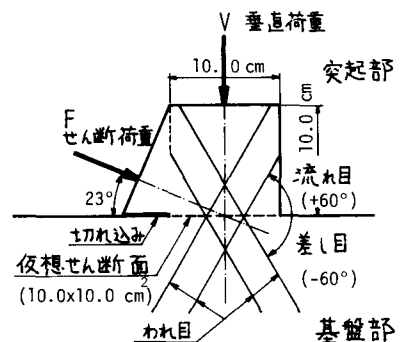


図-1 せん断試験状態

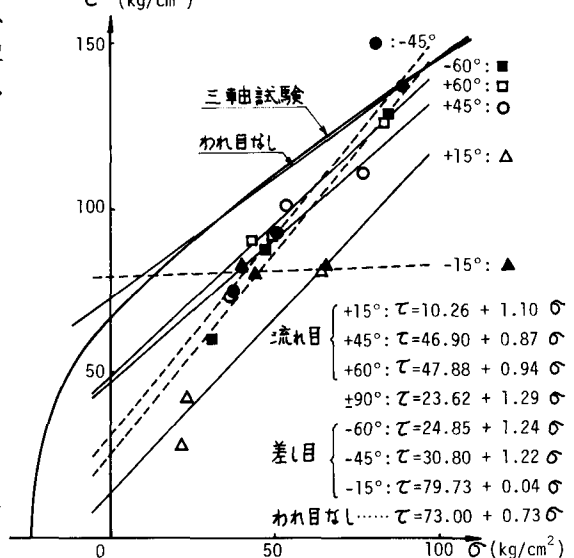


図-2 せん断試験結果

大きさに影響された破壊を示す。差し目では、切れ込み先端よりゆるやかに斜め上方のわれ目へせん断破壊を生じると、後は降り斜面に沿ったすべりだけであるので、せん断の抵抗力はある程度大きい。その破壊後は抵抗力がなくVの大きさにあまり関係しない破壊を示す。

われ目が45°, 60°の場合、これくらいの角度になるとわれ目を通過する破壊が進むようになる。流れ目では、初期の荷重において引張りひびわれが切れ込み先端水平方向より-60°~-80°にわれ目まで進む。しかし、こゝではその面を横切る破壊は進まない。そして仮想せん断面に対して上にヤ>凸な単純な山型が、水平面のせん断面を形成して最大荷重で一気に破壊する。このためわれ目の存在は全体の強度を小さくはするが、われ目のない場合に近い状態になる。こゝで、われ目角度が大きい方がせん断荷重とわれ目が垂直に近くなりわれ目の存在の影響は小さくなりせん断強度が増す。差し目では、切れ込み先端から引張りひびわれが基盤部内に進展するが、われ目までの距離が大きいので基盤部内で止まる。次に、せん断荷重が相当増加した時点で水平が、ヤ>斜め上方へせん断破壊がわれ目面まで進む。そして、われ目を通過してわれ目面方向の影響で破壊は下向きに進み基盤部に掘れ込み、一浪長の浪型か、下に凸なくぼみ型の破壊面を示す。そのくぼみ面と垂直荷重のため流れ目よりも差し目の方がVの大きさの影響を強く受ける。また、われ目方向45°の方がせん断荷重方向と近いので掘れ込みの影響を強く受けせん断強度が大きくなる。しかし、突起部のせん断破壊を上では切れ込み先端より順を追って考察したが、試験体表面にひびわれの進行が認められることは、流れ目において基盤部の方の上面に見られることが1, 2例あるだけで他は全くなく、破壊は一瞬に破壊音を発して起る。われ目方向が±15°と±30°の間の角度を選んでいないため、われ目を通過した破壊の進行する限界角がとうえられていない。また、破壊面が上に凸型から波型への移行についても検討が必要である。図-3は、われ目方向によるFmax値主極座標で示し、Vの値ごとに結んだもので、±15°でFmaxの値は小さくなる。Vの値により異なるが、差し目60°~90°あたりに遷移域があるようである。下の図はF.E.M.により破壊をシミュレーションしてFmaxを求めたものである。両者のFmaxはよく一致している。しかし、全ての解析が終わっていない、±15°においても計算は仮想せん断面に沿った破壊を仮定した欠点がある。図-4は、解析による仮想せん断面上での破壊状況の一例を示した。まず、どの場合も比較的小さい荷重で切れ込み先端で引張り破壊が起る。Vが大きくなると混合、せん断で破壊が生じる。差し目と流れ目では破壊の順序は異なるが、最終的に多くの点が最大荷重値で破壊する。これは実験の破壊状況とよく一致している。*

*参考文献：年次講義集第29回~32回 藤井他「せん断荷重・荷傾角……その1~その4」

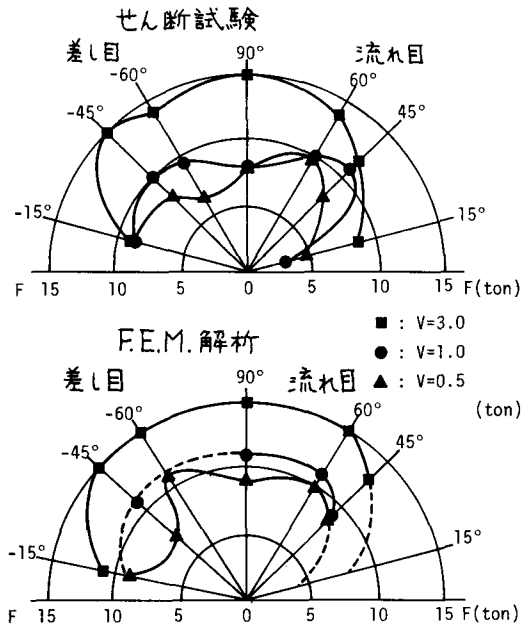


図-3 試験および解析結果

解析例	垂直荷重	仮想せん断面の破壊モード・順序・荷重
流れ目 +60° 	V=0.5	 1 7 5 2 3 4 6 4 5 7 8 8 6 10 9 7 8 9 10 9 9 10 10 10 (tons)
	V=3.0 tons	 1 4 9 2 3 7 11 5 6 8 10 10 10 14 15 12 13 15 15 14 14 15 15 15 (tons)
差し目 -60° 	V=0.5	 1 3 2 2 8 7 5 5 7 4 4 6 4 8 8 8 11 11 11 11 11 8 11 (tons)
	V=3.0 tons	 1 2 4 3 6 5 5 5 7 5 5 6 8 13 15 14 15 15 15 15 15 15 15 (tons)

◎ 引張り破壊 ● せん断破壊 ● 混合破壊

図-4 解析による破壊進展状況

図-4は、解析による仮想せん断面上での破壊状況の一例を示した。まず、どの場合も比較的小さい荷重で切れ込み先端で引張り破壊が起る。Vが大きくなると混合、せん断で破壊が生じる。差し目と流れ目では破壊の順序は異なるが、最終的に多くの点が最大荷重値で破壊する。これは実験の破壊状況とよく一致している。*