

徳島大学工学部 正員 ○井 上 了

正員 藤 井 清 司

まえがき 岩盤中には、断層、層理、節理などの地質学的分離面、あるいは潜在クラックが存在し、これらの影響のために原位置岩盤のせん断強度は、岩盤を構成する岩石材料のせん断強度とは非常に異なり、その力学的特性も複雑なものとなっている。そこで本報告においては、昨年度のわれ目がせん断荷重方向に対して垂直(N系列)、水平(P系列)方向に1~2本ある岩盤せん断試験の上に、われ目が傾斜(±45°)している場合について試験を行ったので、その結果および簡単な仮定のもとに行ったF.E.M解析について検討を加える。

試験体 模型試験体としては、直方体基盤部(30×40×70cm)上面中央に、図-1に示すような傾角23°の載荷三角形部の付いているせん断突起部が基盤部と一体化したもので、載荷部斜面下と基盤部との間には、切れ込みを入れてある。流れ目の場合は、突起部に傷をつけないようにわれ目を設けるために、差し目の場合より2cm大きくしてあるが、基盤部との間には切れ込みを入れ、仮想せん断面積を一定にしてある。われ目は仮想せん断面を3等分する位置に厚さ1mmの鉄板を2枚設置し、まず外層部(基盤部、突起部のほぼ全体)を打設、翌日鉄板を取り去り、鉄板のあった面にグリースをぬり、内層部を打設した打継ぎ目で、試験体を完全には3分していない。なお、内層部縁端部では外層部と一体化するように努める。われ目の全長は26cmで、仮想せん断面より上方に長い方が6cm、短い方が3.2cmのものである。この試験体に使用するセメントモルタルの配合、および養生方法は前回報告のものと同じで、打設後7日目に試験を行う。内層部は材令が一日少ないが、強度は外層部とはほとんど同じである。

せん断試験 せん断荷重方向に対するわれ目の方向によって大きく試験を2系列に分け、表-1に示すようにその各々に垂直荷重Vを3種類作用させる。まず、試験体を載荷枠に固定し、垂直荷重を突起部上面にローラーを介して等分布載荷し、常に一定に保ちながら斜方向せん断荷重Fを1tonさごみに繰り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。突起部破壊後は、破壊面の観察、スケッチを行い、ひびわれを調べる。また各試験体作製時に、その材料中よりφ10×20cmの供試体を作り、各種の強度試験を行い材料定数の決定と同時に各試験体の均質化を図る。その結果は図-2中に示すとおりで、三軸試験包絡線は、引張強度、一軸圧縮強度、側圧50, 100, 150, 200, 250 kg/cm²の試験結果より求める。

せん断試験結果 各試験のVと F_{max} を表-1に示す。この結果を τ - σ 座標面上にプロットすると図-2となり、各試験系列の破壊線式を求め、昨年度の結果と合わせて表-2に示す。表-2中の1-N系列とはN系列のうちで、われ目が1本を意味している。各破壊線式が τ 軸と交わる点をせん断強度とすれば、われ目なしが一番強く、ほぼ三

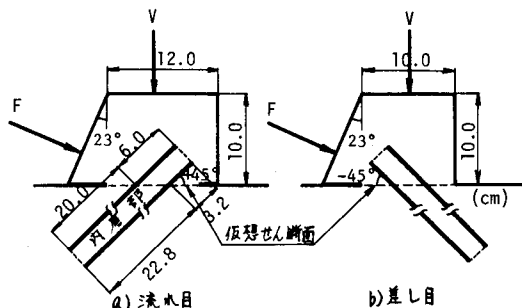


図-1 試験体われ目状態

表-1

試験種類	V (ton)	F_{max} (ton)
流れ目	0.5	10.00
	1.0	10.00
	3.0	14.80
差し目	0.5	8.00
	1.0	10.00
	3.0	15.00

表-2

試験種類	破壊線式 (kg/cm ²)
われ目なし	$\tau = 73.00 + 0.73 \sigma$
1-P系列	$\tau = 49.37 + 0.98 \sigma$
流れ目	$\tau = 42.89 + 1.06 \sigma$
2-P系列	$\tau = 35.12 + 1.16 \sigma$
1-N系列	$\tau = 31.81 + 1.16 \sigma$
差し目	$\tau = 30.80 + 1.22 \sigma$
2-N系列	$\tau = 23.62 + 1.29 \sigma$

軸包絡線と一致し、2-N系列が一番弱い、内部まごつ角はちやうどせん断強度の順と逆で2-N系列が一番大きく、われ目なしが一番小さい。流れ目と差し目を比較すると、せん断強度に与える影響は後者の方が大きいことがわかる。図-3に破壊面横断面図と突起部の表面ひびわれを示す。これより、流れ目では、切れ込み先端から上方へ向かい、次にわれ目に沿い、乗り越えるように破壊が進んでいる。差し目では切れ込み先端より少し上方へ、そしてわれ目に沿ってくい込むように破壊している。これは、仮想せん断面を横切るわれ目の存在とその方向に入さく影響されているためである。一般的にいて、われ目を有する場合はそれを有しない場合に比べて約40~60%せん断強度低下を示す。しかし、垂直荷重 $V=3.0\text{ton}$ では、 $F_{\max}$ はほぼ一定値になり、われ目の影響がそれほど顕著ではなくなる。次に突起部切れ込み先端下のひびわれ(図-2に示す α)は、流れ目で $\alpha=58^\circ$ 、差し目で $\alpha=40^\circ$ で、これらの値はN系列と比較するとかなり傾斜がゆるく、ひびわれの深さも浅い。また、今回突起部の表面に載荷斜面、後方よりわれ目に向かうひびわれを生じているのが観察でき、特に差し目の場合に著しい。これらのことは解析結果ともよく一致している。ところが、本試験においては、最終的には破壊は、ほぼ仮想せん断面に沿って破壊音を発していき生じており、これらの基盤部内部へ進展するひびわれは直接、破壊には影響していない。

F.E.M.解析結果 本解析においては、われ目の不連続性を考慮し、Goodmanの「Joint Element」をわれ目に適用し、他は一樣な弾性体として行う。このJoint要素の垂直剛度 $K_n=160,000\text{kg/cm}^2$ 、せん断剛度 $K_s=130,000\text{kg/cm}^2$ 、まごつ角 $=33.23^\circ$ 、粘着力 $=2.42\text{kg/cm}^2$ を試験体と同じ方法で設けたわれ目を有する伏試体から求める。われ目が破壊後は、 $K_n=0$ 、 $K_{s,\text{residual}}=0.53K_s$ とする。せん断破壊は試験結果より仮想せん断面で起こるとし、面上節点の応力を表わすMohrの応力円が、 $\sigma_c=24.0\text{kg/cm}^2$ 、 $\tau=77.9+0.65\sigma$ の2直線のいずれかと交われば起こり、破壊後はその節点を2節点に分割する。これら解析の手順は昨年度と同じで、解析から求めた4系列の破壊様式を表-3に示す。表-2と比較すると差し目と2-N系列の順番が代わっているが、値としてはかなり試験結果とよく一致し、垂直荷重 $V=3.0\text{ton}$ では $F_{\max}=15\sim16\text{ton}$ で各系列ともに破壊し、試験結果の傾向とよく合っている。仮想せん断面上節点の破壊形式を上記2直線との関係によりせん断破壊、引張破壊、その両方によって起こる破壊の3種類に分類すると、各系列に通じえることは初期載荷荷重より突起部の切れ込み先端に応力集中を生じ、引張破壊を起こし、次にはその近傍われ目付近の節点が破壊している。垂直荷重が大きい場合、面上節点はせん断破壊による割り合いが大きくなる。次に、各要素の最大せん断応力とその応力円を中心から破壊線までの距離の比をRATIOとし、RATIO ≥ 1 のとき要素がせん断破壊するとしてRATIO分布をみると、流れ目では切れ込み先端下より仮想せん断面の下方に破壊域が広がっていくが、差し目では、まず切れ込み先端下に破壊域が広がり、仮想せん断面上下に等しく破壊域が拡大していく。 *参考文献:年次講演 オ29回,オ30回,オ31回 藤井他「せん断荷重載荷傾角……その1,その2,その3」

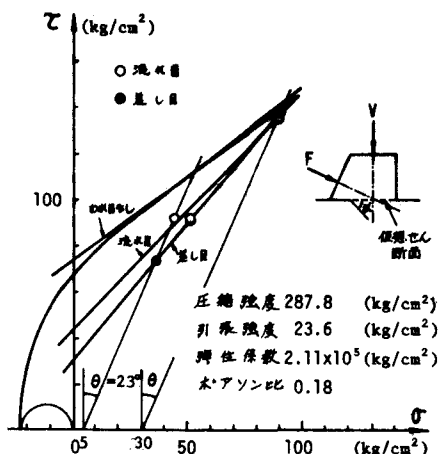


図-2 せん断試験および三軸試験結果

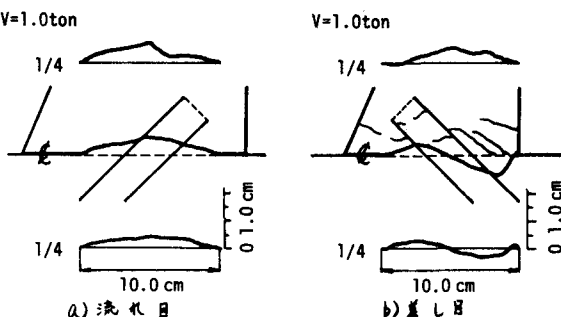


図-3 破壊面横断面図

表-3

試験種類	破壊様式 (kg/cm ²)
われ目なし	$\tau = 62.64 + 0.87\sigma$
1-N 系列	$\tau = 42.08 + 1.10\sigma$
2-N 系列	$\tau = 39.71 + 1.12\sigma$
差し目	$\tau = 27.13 + 1.28\sigma$