

### III-115 岩盤せん断試験におけるジョイントの影響について

徳島大学工学部 正員 藤井 清司  
愛媛県庁 正員 杉本 寧  
徳島大学大学院 学生員 中川 喜仁

**まえがき** 原位置岩盤せん断試験を行うとき、その内部にジョイントを含む場合の影響は非常に大きいものと思われる。そこで、これが岩盤せん断試験に与える影響を調べるため模型による試験を行い一様の成果を得たのでその結果につき報告する。また、試験時における試験体の破壊状況を破壊力学を導入して有限要素法を用いて解析したところ、試験時の状態をよく再現できていると思われるのでこれについてもあわせて報告する。

**岩盤せん断試験** 原位置試験にかいては、同じ岩盤状態での試験体を多く得なければならぬ。そこで、本研究ではモルタルセメントで試験体模型を作製することにより同じ条件の供試体を多数得ることとした。試験体は基盤部を  $70 \times 40 \text{ cm}$  高さ  $30 \text{ cm}$  の直方体とし、その上面中央に図-1に示すごとく仮想せん断面  $10 \times 10 \text{ cm}$  を介して切り残し載荷部に相当する突起部を有する。そして、この試験体に載荷試験を行うが、垂直荷重は突起部の水平方向の変位を拘束しないようにローラーを介して鉛直方向  $5, 10, 30 \text{ kgf/cm}^2$  の等分布となる一定載荷を行う。せん断荷重は突起部傾斜面に仮想せん断面の斜面への投影面部分にのみ載荷する。そして、荷重は合力で  $1.0 \text{ tf}$  の繰り返し増とし、破壊に至るまで増していき最大せん断荷重を得る。

**ジョイント** 試験体内のジョイントであるが、これも同じ状態のものをいくつも作るため次の様にする。試験体作製時にジョイント面となるべき位置にあらかじめ所要の形の鉄板を2枚入れておき、2枚の鉄板外側の試験体の大部分にまずモルタルを打ち込み、1日後鉄板を取り去り、その面にグリスを塗ってその内部にモルタルを打ち込む。そのグリスを介した打ち接ぎ面をジョイントとする。ジョイント面の方向は、図-1に示すように左方よりのせん断荷重に対して仮想せん断面の右方向への延長線より左回りを流れ目 正とし、右回りを差し目 負とする。ジョイント面は仮想せん断面を3等分する位置に2本入っており、突起部内のジョイントは流れ目ではその後端まで、差し目では図の位置までで、基盤部内には約  $20 \sim 30 \text{ cm}$  入っている。そして、せん断荷重に対して直角方向左右には試験体表面にまで達している。

**材料強度** 試験体材料の各種強度試験を行い、その材料本来の強度を知るとともに、多くの試験体の強度的ば管理を行う。そのため、 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$  の円柱供試体を各試験体ごとに  $10 \sim 20$  本作り一軸、圧裂、三軸(側圧  $0 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$ ) 試験を行う。また、後の解析に用いる Goodman のジョイント要素の剛性を得るため上記ジョイントと同じ作製法による  $10 \times 10 \times 20 \text{ cm}$  の直方体供試体による載荷試験を行う。

**試験結果** (最大せん断荷重の水平成分)/(仮想せん断面積) =  $\sigma$ 、(最大せん断荷重の垂直成分+垂直荷重)/(同面積) =  $\tau$  として座標面にプロットし、同じジョイント傾角ごとに結

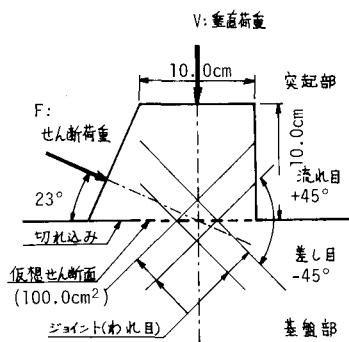


図-1 せん断試験体

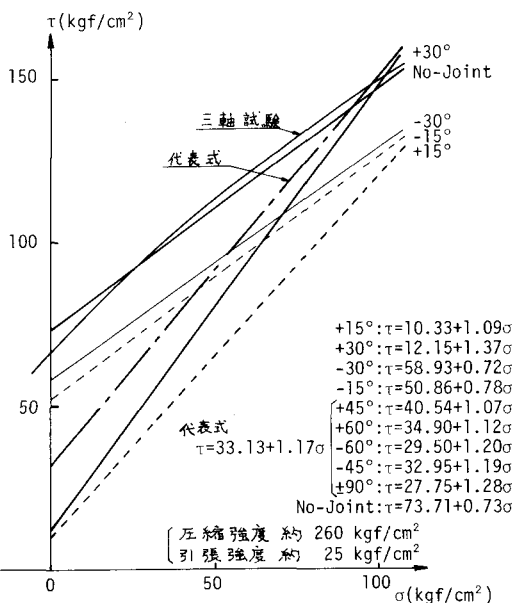


図-2 試験結果による破壊様式

びと図-2のような直線式を得る。ジョイントのない場合と三軸試験の結果がほぼ一致することより条件がよければ岩盤せん断試験により岩盤本来の強度を得ることが出来る。ジョイントが入れば軸切片であるせん断強度はいずれも小さくなるが、その様子は流れ目、差し目とも方向角が $45^\circ$ より大きくなればその存在の影響は角度によらず、代表式で示されるように約 $1/2$ となる。しかし、垂直荷重が3倍と大きい時はその影響がなくなりジョイントのない場合と同じ破壊荷重となるため、内部摩擦角は大きくなったような結果となる。ジョイント角が $\pm 15^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ となれば、その影響は非常に大きく流れ目ではジョイント面でのすべりのため、差し目ではジョイント面間がくさびの作用をするためせん断強度、内部摩擦角にも影響する。図-3は破壊荷重を垂直荷重別にジョイント方向に

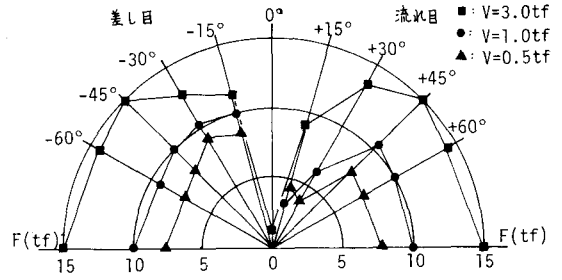


図-3 試験による最大せん断荷重

図示したが他の研究による結果と材料、ジョイント、載荷方法を要にするにもかかわらずよく似た異方性を得ている。

**破壊力学による解析** せん断試験における試験体の破壊状況、最大せん断荷重等を破壊力学を導入し下有限要素法を用いて計算により求める。そのため、試験体を一樣な三角形要素とGood-

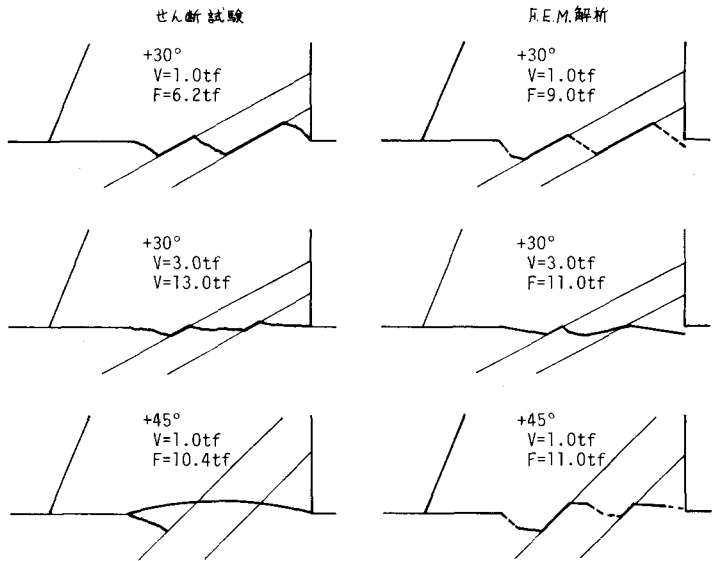


図-4 き裂進展経路と最大せん断荷重

----- 開口型(引張)破壊  
—— せん断型破壊

manのジョイント要素で表わし、切れ込み先端より逐次破壊(き裂)が進展していくものとする。そのき裂発生条件として破壊力学による応力拡大係数破壊じん性値  $K_{Ic}$ ,  $K_{IIc}$  による判定を行う。き裂進展方向はモードIの開ロ型の破壊時は最大主応力と直角方向に、モードIIの面内せん断型では最大主応力と $45^\circ$ をなす方向で仮想せん面に近づく向きものを選ぶ。一度のき裂進展量は、それに伴うエネルギー解放率とエネルギー吸収率の平衡式より定量的に求め、次のき裂発生があるまでき裂は停留し同じ荷重値によるき裂進展がなければ荷重増加を行う。き裂先端部では応力の特異性を精度よくとらえる特異要素を導入し、K値算定には村上の簡便決定法を用いる。しかし、き裂がジョイントに行き合った後、その後面からの解析にはき裂が存在しないので破壊力学が適用できないため、ジョイント面に沿った要素における応力による判定でき裂を発生させ、その後は、上述の方法で同じく解析を続ける。なお、き裂の表現は要素境界による。

**解析結果** 図-4にジョイントの存在の影響の大きい流れ目 $30^\circ$ の垂直荷重の異なる場合と、ジョイントの影響の少ない流れ目 $45^\circ$ の場合を例として示す。これらからも明らかなようにき裂進展経路は試験におけるものとは一致しており、ジョイントの影響も十分に現われている。また、開口(引張)型とせん断型の破壊状況も試験後の破壊面をよく再現している。しかし、最大せん断荷重については少し違いがみられる。

参考文献 \*藤井「せん断荷重」……「土木学会第34回年次講演集」III-168, 1979. \*\*土質工学会編「岩の工学的性質」……の内P.285 川本らによる研究, 1970. \*\*\*藤井他「破壊力学による」……「土木学会第36回年次講演集」III-133, 1981.