

埼玉大学工学部 正 員 吉中 龍之進
 埼玉大学工学部 正 員 山辺 正
 埼玉大学大学院 学生員 ○関根 一郎

1. はじめに 岩盤には節理、亀裂といった多くの不連続面が存在するため、複雑な変形挙動を示す。前報⁽¹⁾では、不連続性岩盤の強度特性及び中間主応力が変形係数に与える影響について考察したが、本報では引き続き不連続性岩盤モデルの載荷試験を行い、その変形特性について考察し、さらに変形係数の推定を試みた。

2. 不連続性岩盤モデルの特徴 岩盤モデルは気乾状態の大谷石から成り、その大きさは50cm×50cm×30cmである。図1のように内部に粗さ・連続性が一定な直交する2系列の不連続面を一定間隔で設け、その主応力となす角 θ と中間主応力 σ_2 をパラメーターとして平面応力状態で載荷した。図2はそのようにして求めた応力-ひずみ曲線の一例であるがそれは非線形な関係を示している。

また、本研究では σ_3 面上での個々の要素間の変形量をコンタクトゲージを用いて実測した。図3は不連続面のすべり量を示したものであるが、個々の不連続面は不均一な挙動を示しており、岩盤モデルの挙動はモデル全体でとらえなければならないことがわかる。

3. 不連続性岩盤モデルの変形特性 本研究では不連続性岩盤の変形を①式のように岩石実質部分の変形と不連続面における変形に分離して考えた。

$$\Delta \delta T = \Delta \delta I + \Delta \delta J \quad \text{--- ①}$$

ここに $\Delta \delta I$: 岩盤全体の変形量, $\Delta \delta I$: 岩石実質部分の変形量, $\Delta \delta J$: 不連続面における変形量である。図4から不連続面による変形量の各主応力方向成分 $\Delta \delta J_1$, $\Delta \delta J_2$ は、

$$\begin{aligned} \Delta \delta J_1 &= \left(\frac{\Delta U_n}{K_n} \cos \theta + \frac{\Delta U_s}{K_s} \sin \theta \right) + \left(\frac{\Delta U_n'}{K_n} \cos \theta' + \frac{\Delta U_s'}{K_s} \sin \theta' \right) \\ \Delta \delta J_2 &= \left(\frac{\Delta U_n}{K_n} \sin \theta - \frac{\Delta U_s}{K_s} \cos \theta \right) + \left(\frac{\Delta U_n'}{K_n} \sin \theta' - \frac{\Delta U_s'}{K_s} \cos \theta' \right) \end{aligned} \quad \text{--- ②}$$

こゝに、 K_n : 不連続面の垂直剛性, K_s : せん断剛性である。岩石実質部分のポアソン比 ν , 変形係数 E と与えれば

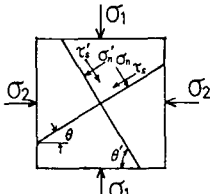


図4

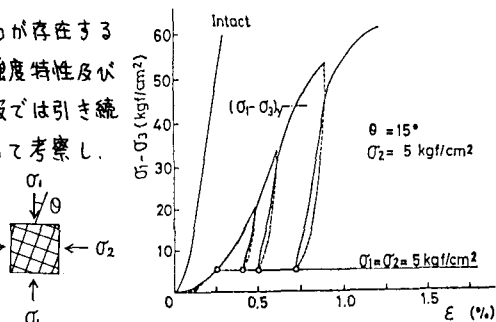


図2 不連続性岩盤モデルの応力-ひずみ関係

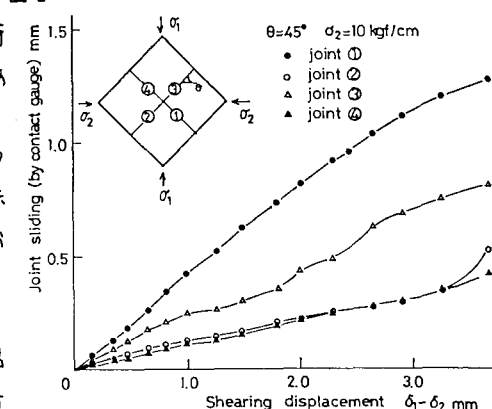


図3 不連続面のすべり量

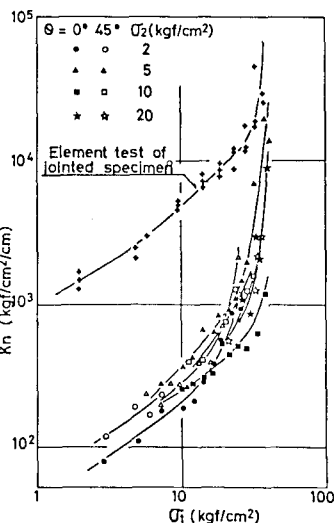


図5 K_n と σ_1 の関係

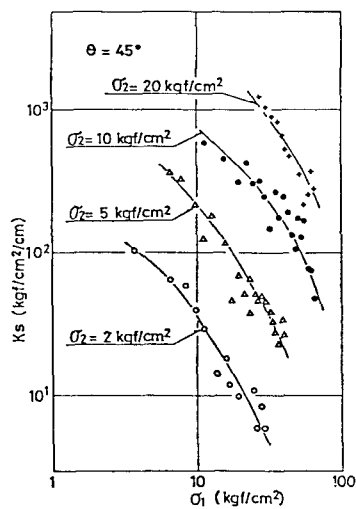


図6 K_s と σ_1 の関係

$\Delta\sigma_{T1}$, $\Delta\sigma_{T2}$ は実験値から求まるので、②式より K_h , K_s が得られる。図5はこのようにして求めた岩盤モデルの K_h と σ_1 の関係を両対数表示したものである。直径10cm高さ20cmの不連続面を含む円柱体試体から Goodmanの手法⁽²⁾により求めた K_h と σ_1 の関係も併記した。どちらも低応力下では直線関係にあり、ある応力以上では K_h は無限大となることがわかる。図6は K_s と σ_1 の関係を $\theta=45^\circ$ の場合について示したもので K_s は σ_2 の影響を強くうけている。

図7は簡易型一面せん断試験機による不連続面のせん断試験結果であるが、岩盤モデル載荷試験とは応力経路が異なるため、直接比較することはできない。そこで図6の結果を図8のようにして σ_1 について整理し、一面せん断試験から得た K_s と岩盤モデル載荷試験から得た K_s の比較を行ったのが図9である。この図から K_s は σ_1 の増加に伴って減少し、両者は同様な傾向を示すことがわかった。

4. 不連続性岩盤の変形係数の推定 不連続性岩盤の変形が、岩石実質部分の変形、不連続面のせん断方向の変形、垂直方向の変形から成ると考えると、不連続面が直交する場合、 $\theta=90^\circ$ のより不連続性岩盤の σ_1 方向の変形係数 ER_1 は、

$$ER_1 = \frac{L}{\frac{L}{E_1} + \frac{1}{3\sigma_1 K_s} + \frac{1}{N\sigma_1 K_h}}$$

$$\sigma_0 = \frac{2}{\sin 2\theta (\sin \theta + \cos \theta)}$$

$$N\theta = \frac{2}{\cos \theta (1 + \cos 2\theta) + \sin \theta (1 - \cos 2\theta)}$$

こゝに L は岩盤モデルの σ_1 方向長さである。この式は Duncan, Goodman⁽³⁾の式に新たにせん断変形による項を追加した形になっている。この式によつて $\theta=45^\circ$ のときの K_s , K_h の値を用いて他の角度の変形係数の推定を試みたのが図10である。計算値と実験値はほぼ一対一に対応し、応力レベルに応じて複数の点が得られている。これを σ_1 をパラメーターとして表示したのが図11である。 $\sigma_2=40 \text{ kgf/cm}^2$ の計算値は K_s を主応力の関数として求め、 K_h を図5の傾向線から推定して得たものであり、不連続性岩盤の変形係数の異方性をほぼ表現することができたと言える。

5. まとめ 不連続性岩盤モデルの垂直剛性 K_h とせん断剛性 K_s を求め、要素試験と比較した。また、不連続面の方向、応力レベルに応じた変形係数を推定することが可能となった。

最後に、本研究を行うにあつて河野寛、鈴木清高、吉岡博之の3君の多大なる協力を得たことを記して深く感謝します。

<参考文献> (1) 吉中山・北条(80)土木学会年報, (2) Goodman, Taylor, Brekke (68) ASCE SM3, (3) たとえば Raphael, Goodman (79) ASCE GTII

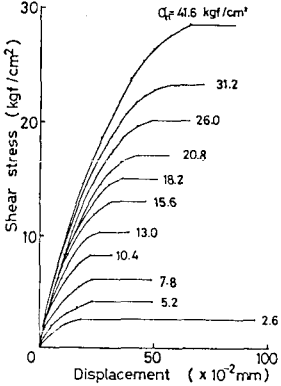


図7 不連続面のせん断試験結果

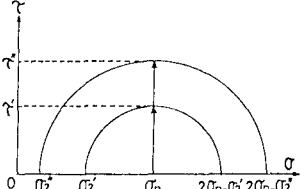


図8

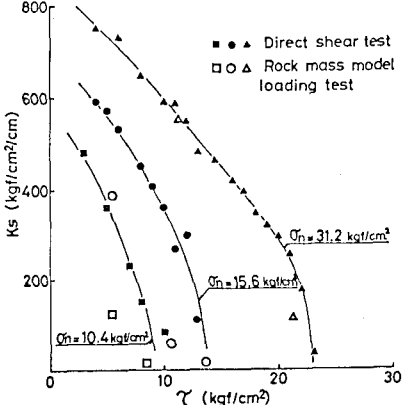


図9 K_s の比較

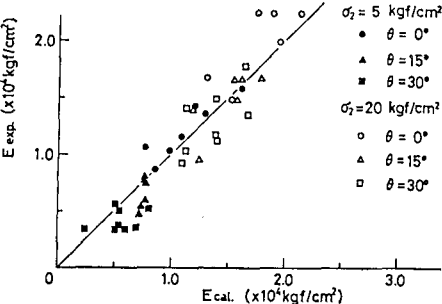


図10 実験値と計算値の比較

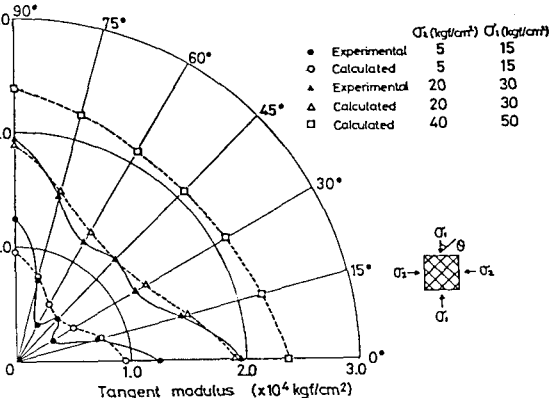


図11 極座標表示による変形係数