

埼玉大学 工学部
熊谷組
東亜建設

正員 ○ 山辺 正
石川 晋
星野 勝明

1. はじめに

岩盤の強度・変形特性は、内在する不連続面の力学的な性質に強く支配される。本報では、不連続面の基本的な変形特性として、接線垂直剛性 K_n と接線せん断剛性 K_s に着目し、それらの不連続面を含むモデル岩盤の変形特性と、変形解析手法の適用性について検討した。

2. 試料、不連続面及びモデル岩盤について

実験に用いた試料は気乾状態の凝灰岩で、物理諸量は前報¹⁾と同一である。本報で用いた不連続面は、サンド・ブラスト加工を施して作成した不連続面(SB面)、Tension Joint の不連続面(TJ面)、ダイヤモンド・ソーで作成した不連続面(CD面)の3種類である。また、モデル岩盤では1つのブロックが $12.5 \times 12.5 \times 15 \text{ cm}^3$ で、これを $50 \times 50 \times 30 \text{ cm}^3$ に組合せたもので、内部には直交する二系列の不連続面を有し、その粗さはSB面、CD面である。

3. 不連続面の変形特性

3.1 垂直変形特性 図1は、不連続面に作用する垂直応力 σ_n と不連続面の閉裂量 ΔV の関係を一軸圧縮応力下で求めた結果である。用いた供試体は直径 10 cm 、高さ 20 cm で、高さ 10 cm の部分に一本の水平な不連続面を有する。 ΔV はコンタクト・ゲージを用いて計測しており純粋に不連続面の変形量といえる。図中、T-SBとあるのはTuffのSB面の意味である。図1の結果から、各々の不連続面について最大可能閉裂量 V_{mc} ²⁾を求め、 V_{mc} で無次元化した変位 $\Delta V/V_{mc}$ と、接線垂直剛性 $K_n (=d\sigma_n/d\Delta V)$ の関係を調べると図2となる。いずれの粗さの場合にも変形の進行に伴ない、 K_n の値が10倍以上に増加することが見られる。また図2の関係及び K_n の定義式から次の(1),(2)式を得る。

$$K_n = M \exp(\Delta V/V_{mc}) \quad \dots (1)$$

$$V = (V_{mc}/l) \{ \log_e \sigma_n - \log_e (M V_{mc}/l) \} \quad \dots (2)$$

ここで、 M, l は材料及び面の粗さに依存する定数であるが、(1),(2)式から K_n は結局(3)式で求まる。

$$K_n = (l/V_{mc}) \sigma_n \quad \dots (3)$$

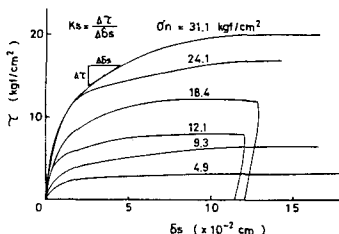


図3 不連続面のせん断特性

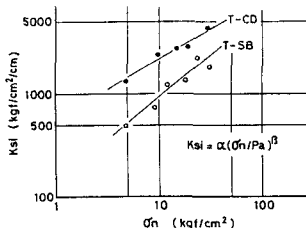


図4 K_{si} の σ_n 依存性

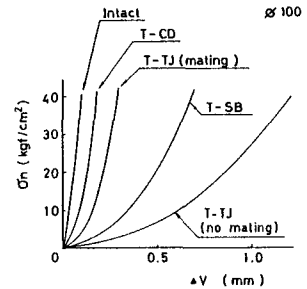


図5 不連続面の垂直変形特性

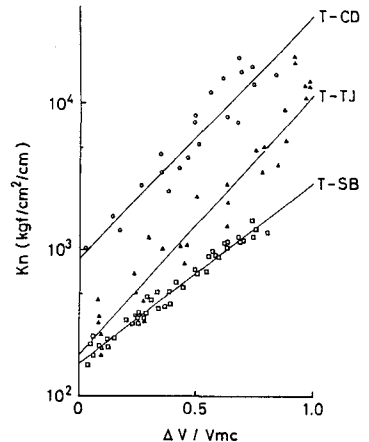


図6 K_n の粗さによる違い

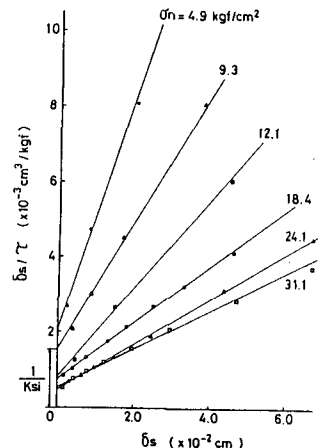


図7 双曲線近似

3.2 セン断変形特性 T-SB面についての一面セン断試験結果を図3

に示す。全体的に非線形性が強い事、各垂直応力 σ_m に従って強度が増加する事がわかる。この種の非線形性の表現には、Duncan-Changの双曲線近似が適当である事は既に¹⁾発表した。その適用性を調べると図3に示す通り良好な近似となっている事がわかる。更に、初期セン断剛性 K_{si} の σ_m 依存性を調べると図4となる。図4には、CD面とSB面の結果をプロットしてあり、いずれの場合にも σ_m の増大と共に、 K_{si} も増加するが面の接触状態の違いにより K_{si} の増加の程度も異なる事を示している。以上により K_{si} は次式で表現する事が可能である。¹⁾

$$K_{si} = \alpha (\sigma_m / p_a)^\beta \quad \dots (4)$$

ここで、 α, β は材料定数、 p_a は大気圧である。1つの材料定数 α の寸法効果について調べると、図6となる。図中、横軸の $\sqrt{A}$ はセン断面積を A とした時の平方根で、換算長さを表わす。縦軸は、 $\sqrt{A} = 13.7^{cm}$ の時の α の値を基準として無次元化したもので、CD面、SB面を比較すると、同一材料では同様な寸法効果の傾向を示すことがわかる。

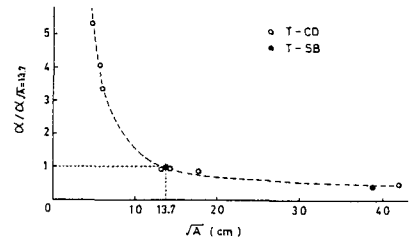


図6 $\alpha = K_{si} [\sigma_m = 1]$ の寸法効果

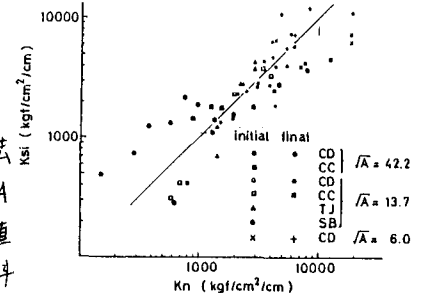


図7 K_{si} と K_n の関係

3.3 K_{si} と K_n の関係 種々の粗さ及び断面積を有する供試体について初期セン断剛性 K_{si} と接線歪直剛性 K_n を両対数軸上にプロットすると、図7となる。図中、同一の印によるプロットは σ_m の違いを示しており、直線は $K_{si} = K_n$ の関係を示す。この直線は、不連続面を鉛直方向に変形させた時の最終段階での接線歪直剛性が、その状態からセン断方向に変形させる時の初期の接線セン断剛性に等しい事を意味し、第1次近似として採用しうる事を意味する。

4. モデル岩盤の変形特性

モデル岩盤の二軸荷重試験結果の一例を図9に示す。主応力と不連続面のなす角 θ によって強度変形特性が著しく変化することがわかる。 $\theta = 0^\circ$ の場合について、モデル岩盤全体の变形量から、モデル岩盤の K_n を求め3.1に述べた要素試験結果と比較すると図8となる。両者の傾きは実験範囲内でほぼ等しく、(3)式でいえば β が両者において一定である事を示している。ただし、 K_n の絶対値はモデル岩盤のそれが要素試験結果の約7割となっている。次に、不連続面を含むモデル岩盤を等価な連続体として評価する手法^{3), 4)}と、3.1に述べた要素試験結果を用いて、図9の実験結果をシミュレートすると図10となる。計算値では変形が大きくなる傾向を示すが、ほぼ良好な近似となっている事がわかる。本解析手法の基礎岩盤への適用性については、別途報告する⁵⁾。

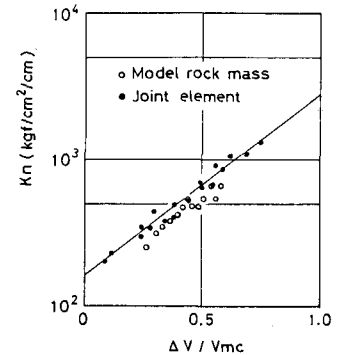


図8 モデル岩盤と要素の K_n

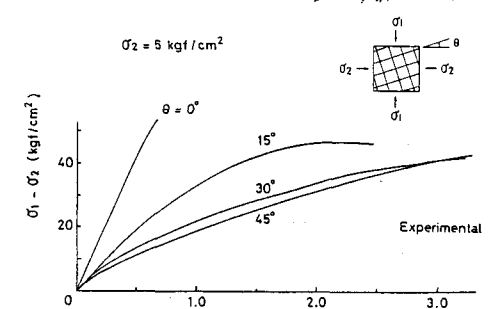


図9 モデル岩盤の変形特性(実験値)

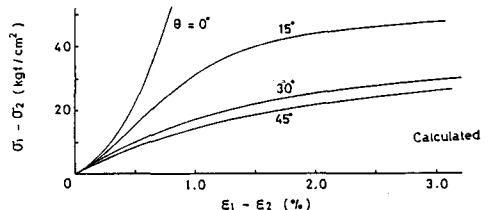


図10 モデル岩盤の変形特性(計算値)

謝辞 筆筆ながら、本研究をすすめるにあたり御指導いただいた吉中龍一進教授に感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉中他(1982) 土木学会年報 III-112
- 2) Goodman (1976) Methods of Geological Engineering
- 3) Yoshimaka et al. (1983) 5th ISRM Congress
- 4) 関根他(1982) 第14回岩盤工学に関するシンポジウム
- 5) 倉持他(1983) 土木学会