

埼玉大学工学部 正員 吉中龍元 山辺 正
埼玉大学工学部 元学生 加藤 彰 須藤 繁久

1. はじめに

岩盤内に含まれる多くの不連続面に着目し、その基本的な力学的性質を実験的に研究し、変形特性の表現式について考察する。前報¹⁾では不連続面を多数含む大型岩盤モデルの垂直剛性 K_v とせん断剛性 K_s を求め、要素試験として実施した一面せん断試験結果と比較した。その結果、不連続面の方向、応力レベルに応じた変形係数を想定しうる事を示した。本報では、不連続面の粗さと断面積を変化させた一面せん断試験を実施し、変形特性に与える影響を調べた。

2. 試料及び不連続面の種類

実験に用いた試料は、気乾状態の凝灰岩と安山岩であり、その一軸圧縮強度は各々 110 kgf/cm², 420 kgf/cm² である。これらの試料に、あらかじめ粗さと断面積の異なる不連続面を導入し、この面のせん断変形特性を一面せん断試験により調べた。導入した不連続面は三種類でそれぞれ、ダイヤモンドソー及びチェーンソーによる切断面(CD面, CC面)と引張破壊面(TJ面)である。その粗さの代表例を図1に示す。同図には、Bartonの分類によるJRC(Joint Roughness Coefficient)²⁾の値も併記しているが、本報で用いた不連続面が最も平滑な面から最も粗い面までを含んでいることがわかる。また、用いた供試体の断面積は、19.4 cm² から 1780 cm² の五種類としたが本報では以後、断面積をその平方根をもって表わすこととする。

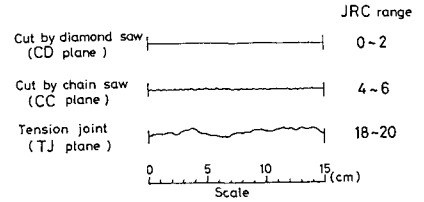


図1 面の粗さ

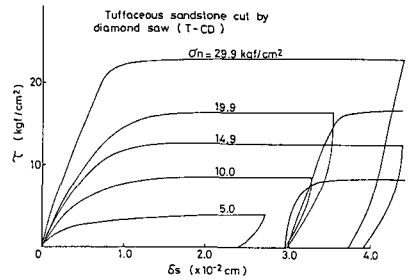


図2 一面せん断試験結果

3. 不連続面の変形特性

不連続面の一面せん断試験においては岩石実質部分の変形量と、不連続面を含む部分の変形量をコンタクトゲージを用いて計測し、その差を不連続面の変形量とした。この計測方法については、既に発表した³⁾。図2は、このようにして求めた δ_s と、せん断応力 τ との関係の一例を示している。図2に示した $\tau \sim \delta_s$ 関係は、拘束圧 σ_m の低い時、特に強い非線形性を示すことがわかる。この曲線の傾き K_s は、 $K_s = d\tau/d\delta_s$ で表わす事ができ、こ

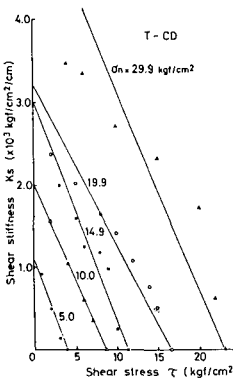
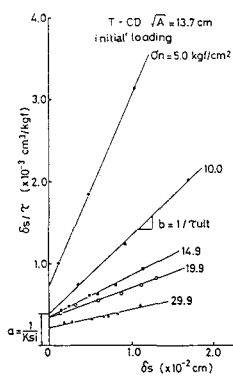
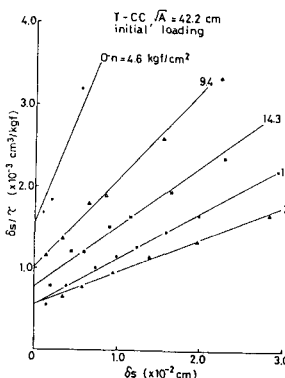


図3 $\tau \sim \delta_s$ 曲線の
指数関数近似



(a) T-CD $\bar{A} = 13.7 \text{ cm}$



(b) T-CC $\bar{A} = 42.2 \text{ cm}$

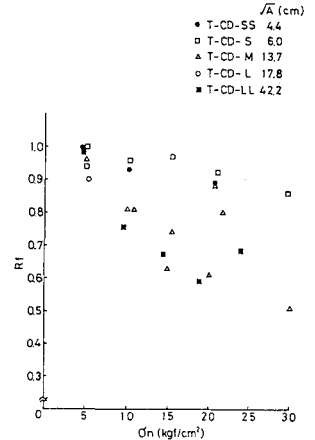


図5 $R_f \sim \sigma_m$ の関係

の関係は $\tau \sim \sigma_n$ 曲線が指数関数形であることを示している。 $\tau = 0$ の時の K_s , すなわち初期セン断剛性 K_{si} を境界条件として与えた時の実験値との対比をみると図3となる。図3では拘束圧力 σ_n が増大すると近似の度合いが低下し、その傾きにも σ_n に対する整合性がなくなる。図3と同一のデータを双曲線近似の手法⁴⁾で整理すると、図4(a)となり、この場合には低拘束圧から高拘束圧まで良く近似し得ている。図4(a)は、図1のCD面に相当する不連続面を含む供試体の例であるが、図4(b)には粗さと断面積の異なる供試体による実験結果と双曲線近似式をプロットした。図4(b)の場合にも良い近似となっていることがわかる。図4の表現とした場合、縦軸の切片が初期セン断剛性 K_{si} の逆数となり、直線の傾きが双曲線の漸近値 T_{uet} の逆数を与える。従って、接線セン断剛性 K_s は次式で与えられる。

$$K_s = K_{si} (1 - \tau / T_{uet})^2 = K_{si} (1 - \tau \cdot R_f / \tau_f)^2 \quad \dots \textcircled{1}$$

ここで、 R_f は双曲線の漸近値 T_{uet} とセン断強度 τ_f の比で($R_f = \tau_f / T_{uet}$)あり、非線形性の程度を表わしている。この R_f の値を拘束圧力 σ_n に対してプロットすると図5となる。図5より拘束圧力 σ_n の増大に伴ない R_f の値が低下し、断面積の大きなもの程その傾向が強いといえる。なお、図5は凝灰岩にCD面(図1参照)を導入した供試体の初期載荷に対する $\tau \sim \sigma_n$ 曲線から求めた結果であるが、安山岩を用いた場合にも同様の結果が得られた。次に、拘束圧力 σ_n と初期セン断剛性 K_{si} の関係を、断面積をパラメータとして両対数グラフ上にプロットすると図6となる。断面積の増加とともに初期セン断剛性 K_{si} が低下する事、 σ_n の増加に伴ない K_{si} が増加し、その増加率が断面積にかかわらずほぼ一定である事などがわかる。この関係は近似的に次式で表現しうる。

$$K_{si} = \alpha (\sigma_n / p_a)^\beta \quad \dots \textcircled{2}$$

ここで、 α, β は材料定数で p_a は大気圧である。①, ②式の表現はCloughら⁵⁾の表現と同様のものとなる。図6の直線の傾き β は不連続面を構成する材質、充填物の有無、面の粗さなどに影響されるであろうが、本報告で用いた拘束圧力、断面積の範囲内ではほぼ一定である。その時、材料定数 α の断面積に関する寸法効果を図7に示す。図7によれば材料定数 α は、断面積の増加に伴ない一定値に漸近する傾向にありこの場合、 $\sqrt{A} = 15 \sim 20 \text{ cm}$ 程度の時、ほぼ収束している。この傾向は粗さと材質の異なる場合にも同様であった。最後に、 K_{si} と垂直剛性 K_m の関係を図7に示す。断面積と粗さの異なる多くのデータが一連の傾向線の上にあることがわかる。

4. まとめ

粗さ、断面積及び材質の異なる供試体を用いて不連続面の一面セン断試験を実施した結果、セン断応力～変位関係が双曲線で近似しうる事、初期セン断剛性は拘束圧力のべき乗で近似でき著しい寸法効果を有する事、寸法効果は材料定数 α によって表現し得る事などが判明した。本筆ながら本研究を進めるにあたり、元院生の関根一郎君に多大なる協力を得た事を記して感謝します。

参考文献 1) 神山・山田(80)地盤工学 11: 129. 2) Barton, N. ('73) Engng. Geology 7, 287-322. 3) 関根・神山(82)土木試験学 3: 61-65. 4) Duncan, J.M. & Chang, C.Y. ('70) ASCE, SM5, 1629-1653. 5) Clough, G.W. & Duncan, J.M. ('69) U.S. Army Engng. W.E.S. 5: 61-6

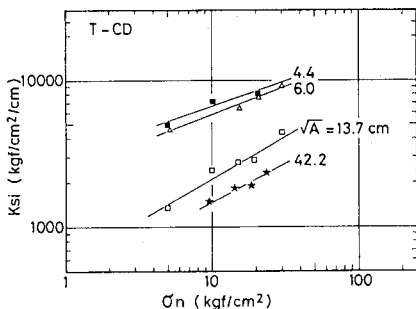


図6 K_{si} と σ_n の関係

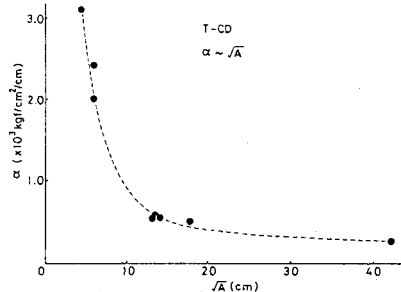


図7 材料定数 α の寸法効果

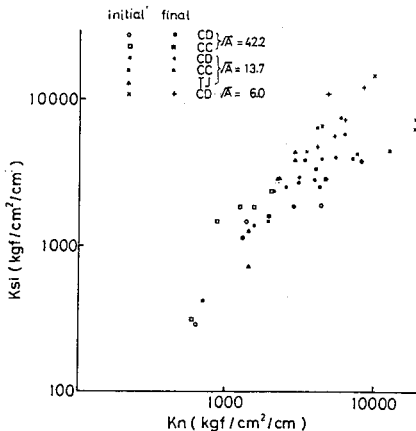


図8 K_{si} と K_m の関係