

第 部門

岩盤不連続面の一面せん断状態における剛性に関する基礎的研究

大阪大学工学部 学生員 ○八百谷 浩司 大阪大学大学院 正会員 谷本 親伯
 大阪大学大学院 学生員 守屋 明日香

1. はじめに トンネルやダムなどの土木構造物が基礎とする岩盤内には節理や層理などの不連続面が存在する．そのせん断特性は表面の粗さ，材料強度，拘束状態，せん断履歴，風化の進展度合いなど非常に多くの影響を受ける．本研究では，不連続面のせん断特性のうち，変形特性に着目し，自然のラフネスを模擬した単一不連続面を含む石膏供試体を用いて一面せん断試験を実施し，一面せん断状態の不連続面の剛性を算出した．試験は，せん断中に供試体に与える垂直荷重を一定に保った条件(垂直荷重一定試験)と，供試体の垂直変位を一定に保った条件(垂直変位一定試験)の二つの試験条件の下で行い，それぞれ異なる拘束条件の下で複数のラフネスに対し不連続面の剛性を求め，その表面形状及び拘束状態との関連性について考察を行った．

2. ラフネスの定量化 本研究で用いた供試体の材質には石膏(重量配合比 石膏：水 = 1：0.24, $q_w/E = 3.1 \times 10^{-3}$)を使用した．不連続面には 8 種類のラフネスを採用し，レーザー変位計を搭載した形状計測装置(TOK - 3 DPR)によって計測点を測線間隔 0.5mm，測点間隔 0.2mm の格子状に配し，その標高を計測することでそれらの形状を測定した．得られたラフネスデータをもとに，ラフネスの粗さ指標である M_s 値¹⁾を求めラフネスの定量化を図った．各ラフネスの M_s 値の算出結果は，表面が滑らかなものから順に，0.161, 0.174, 0.204, 0.251, 0.316, 0.418, 0.447, 0.643 である．

3. 一面せん断状態の不連続面の剛性²⁾ 一面せん断試験における不連続面の変位量は，試験機が示した検出量から，供試体に付与する荷重によって発生する供試体基質部のひずみ量を除いたものとして表した(図 - 1 参照)．ひずみ量の算出に際して別途不連続面を含まない石膏供試体を対象に一軸圧縮試験を行い，本試験で用いた一面せん断試験装置の垂直載荷能力が 20kN であることを踏まえ，垂直荷重が 20kN までの応力 - ひずみ関係から求めた弾性係数($E = 8.04 \times 10^3$ MPa)を用いて垂直方向のひずみ量を表した．これにより不連続面の垂直変位 t を(1)式のように表した(σ : 供試体に生じる垂直応力, L_1 : 供試体全体の高さ)．一方，せん断方向のひずみ量は，供試体基質部を弾性等方体とみなして弾性係数とポアソン比($\nu = 0.35$)から求めた剛性率($G = 2.98 \times 10^3$ MPa)を用いて表した．これにより不連続面のせん断変位 s を(2)式のように表した(τ : 供試体に生じるせん断応力, L_2 : 供試体を収めた型枠からはみ出た供試体の高さ)．

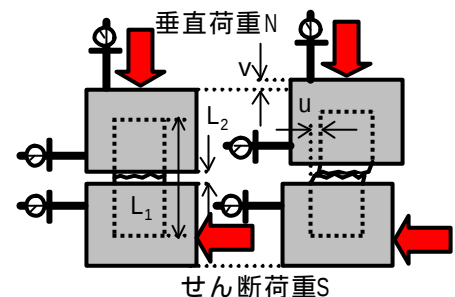


図 - 1 不連続面の一面せん断状態

$$t = \nu - \frac{\sigma}{E} L_1 \quad \dots (1) \quad s = u - \frac{\tau}{G} L_2 \quad \dots (2)$$

Ⅰ) 垂直荷重一定試験における不連続面の剛性 本試験では 8 つのラフネスを用いて，0.25 MPa, 0.5 MPa, 1.0MPa, 1.5MPa, 2.0MPa の 5 種類の初期拘束圧の下でせん断変位速度を毎分 0.2mm に設定し，せん断変位が 8.0mm に達するまで測定を行った．ここでは，せん断開始から強度発現に至るまでの弾性域のせん断挙動に着目し，この間の不連続面のせん断剛性 K_s 及び垂直剛性 K_n を求めた．せん断剛性は不連続面に関するせん断応力 - せん断変位曲線について原点から強度発現点の二点を結んだ割線の勾配によって求めた．一方，垂直剛性は不連続面に関する垂直応力 - 垂直変位曲線を一次近似し，その回帰直線の勾配によって求めた．得られたせん断剛性及び垂直剛性に関して，表面粗さとの関係を図 - 2 と図 - 3 に，拘束圧との関係を図 - 4 と図 - 5 にそれぞれ示す．またせん断剛性と垂直剛性の関係を図 - 6 に示す．

Ⅱ) 垂直変位一定試験における不連続面の剛性 本試験では，垂直荷重一定条件の下(初期拘束圧は 0.25 MPa に設定する．)で試験を開始し，事前に設定した垂直変位に達した時点から，拘束圧を変化させることによってそ

の後のダイレイタンスの発生を制御した状態でせん断を行う。本試験で得られるせん断応力 - せん断変位曲線について、垂直変位の増加を許した定荷重区間の弾性域のせん断剛性 K_{se} は) と同様に原点と強度 (または変位の拘束を開始する点) までの割線の勾配として求め、一方ダイレイタンス拘束時のせん断剛性 K_{sd} は、変位の拘束を開始した点からの立ち上がり部分を適宜捉え、その勾配によって表した。拘束する変位量を 0.5mm, 0.8mm, 1.0mm の 3 種類設定し、8 つのラフネスに対してそれぞれ試験を行った。変位拘束時のせん断剛性と表面粗さの関係を図 - 7 に示す。また変位拘束時のせん断剛性と弾性域のせん断剛性の比 K_{sd}/K_{se} について表面粗さとの関係を図 - 8 に、拘束変位量との関係を図 - 9 にそれぞれ示す。

4.まとめ 垂直荷重一定試験より以下のことが分かった。

- ・ 図 - 2, 図 - 3 より、不連続面のせん断変形及び垂直変形は拘束圧に強く依存し、拘束圧が高くなるほど剛性が増す。
- ・ 一方、図 - 4, 図 - 5 よりラフネス (Ms 値) の依存度は低く、せん断中の上下不連続面の凹凸の噛み合いや接触状況は、拘束による影響を強く受けたものと考えられる。
- ・ 図 - 6 より、概ねせん断剛性と垂直剛性は正の相関を示した。

垂直変位一定試験より以下のことが分かった。

- ・ 垂直変位を拘束した時のせん断剛性は、拘束しない時に比べて大きくなる。また、図 - 8 と図 - 9 より、そのせん断剛性の比 K_{sd}/K_{se} は概ねラフネスの形状が粗いほど、あるいは拘束するダイレイタンスが小さいほど大きくなる傾向がある。ダイレイタンスの拘束に伴う垂直拘束圧の増加によって、せん断過程で凹凸どうしが密着する面積が広がり、凹凸で発生するせん断抵抗が増したものと考えられる。

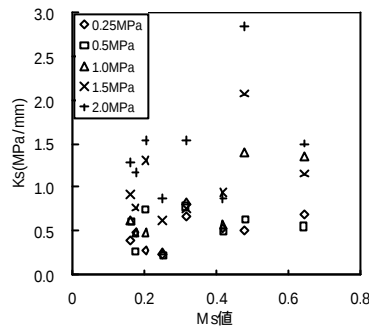


図 - 2 せん断剛性 K_s と Ms 値の関係

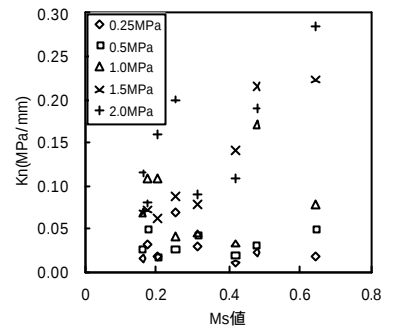


図 - 3 垂直剛性 K_n と Ms 値の関係

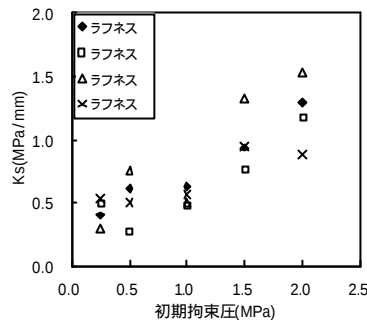


図 - 4 せん断剛性 K_s と初期拘束圧の関係 (ラフネス , , ,)

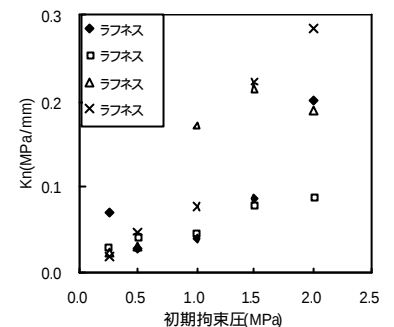


図 - 5 垂直剛性 K_n と初期拘束圧の関係 (ラフネス , , ,)

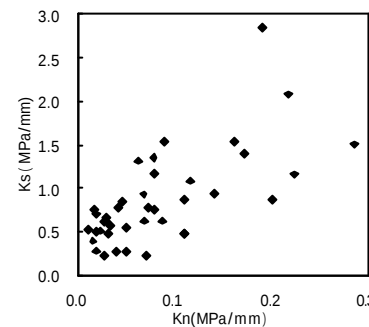


図 - 6 せん断剛性 K_s と垂直剛性 K_n の関係

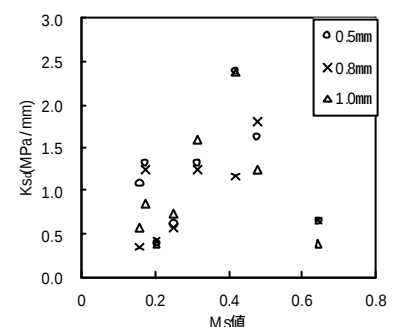


図 - 7 変位拘束時のせん断剛性 K_{sd} と Ms 値との関係

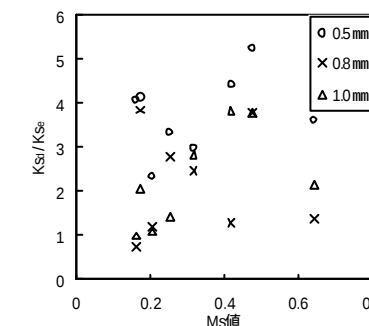


図 - 8 せん断剛性の比 K_{sd}/K_{se} と Ms 値の関係

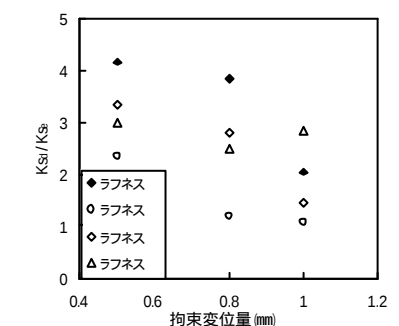


図 - 9 せん断剛性の比 K_{sd}/K_{se} と拘束する変位量 (ラフネス , , ,)

参考文献 1) 谷本親伯, 岸田潔, 梅澤孝行: 岩盤不連続面のせん断特性とラフネスに関する基礎的研究, 第 24 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.206-210, 1992. 2) 守屋明日香: 岩盤不連続面の剛性に関する基礎的研究, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集, - 335, pp.669, 2003.