

単一不連続面のせん断特性に関する基礎的研究

大阪大学大学院工学研究科 正会員 谷本 親伯
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○八百谷 浩司
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 守屋 明日香

1. はじめに トンネルやダムなどの地中構造物が基礎とする岩盤には、節理や層理といった不連続面が含まれる。不連続面の性状は、岩盤の力学的・水理学的挙動に大きく影響を及ぼすため、岩盤と一体となった構造物を設計・施工するにあたっては、常に不連続面の影響を考慮に入れる必要がある。不連続面の発達する地山に空洞を掘削する場合、岩盤中の応力が開放されることによる緩み域の発達を適切に捉え、それを踏まえた効果的な支保の選定と慎重な施工管理が肝要となる。本報告では、不連続性岩盤の掘削後の緩んだ状態と、それを抑制するために支保工を施した後の状態を想定し、単一不連続面を有する模擬岩を用いた一面せん断試験においてそれらの力学状態を模擬することを試みた。それぞれの試験の測定結果に基づいて、一面せん断状態におけるせん断強度及びせん断剛性とラフネスとの関係について考察した。

2. ラフネスの計測及び定量化 試験の模擬岩試料は全て石膏(吉野石膏株式会社製)を材質とし、石膏:水 = 1:0.24の重量比の下で配合したものを用いた。ここで、石膏材料の係数比 q_0/E は 3.1×10^{-3} 、基本摩擦角 ϕ_0 は 36° である。8種類のボーリングコアなどから得られたラフネスを用い、レーザー変位計を搭載した形状計測装置(TOK-3DPR)によって計測点を測線の間隔を0.5mm、測点の間隔を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、ラフネスの指標である M_s 値¹⁾を求めラフネスの定量化を行った。各ラフネスの M_s 値の算出結果は値の低いもの、すなわち、表面が滑らかなものから順に、0.137, 0.197, 0.200, 0.205, 0.248, 0.276, 0.306, 0.453 である。また、参考のために Z_2 ²⁾の算出結果を示すと、0.178, 0.246, 0.265, 0.241, 0.356, 0.279, 0.306, 0.547(相関係数0.96)である。

3. 単一不連続面のせん断試験³⁾ **1) 垂直応力一定試験** 本試験は、岩盤掘削後の自由面近傍の緩み域が広がり、岩盤ブロックが比較的低い拘束圧の下で不連続面上を乗り上げる状況でのせん断挙動を想定した。上記のラフネスを持つ供試体を用意し、それぞれ0.25 MPa, 0.5 MPa, 1.0 MPa, 1.5 MPa, 2.0 MPaの5種類の一定の垂直拘束圧を不連続面に負荷させた状態で一面せん断試験を行った。**2) 垂直変位一定試験** 1)の試験に対し本試験では岩盤掘削後、人工的に支保部材を構築することによって、岩盤ブロックの乗り上げによる変形を制御した状態でのせん断挙動を再現することを試みた。せん断開始時は一定の垂直拘束圧0.25 MPaを不連続面に加え、所与の0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 0.8 mm, 1.0 mmの5種類のダイレイタンシーに到達した時点からそれぞれ供試体の垂直変位を剛に固定した状態での試験を行った。1)と2)の試験についてせん断変位速度は毎分0.2 mmとし、供試体端部に作用するモーメントの影響を考慮してせん断変位が5.0 mmまたは8.0 mmに達するまでの測定を行った。

4. せん断強度及びせん断剛性の算出結果³⁾ 1)と2)の試験の測定結果を用い、既往の報告3)の方法に準じてピークせん断強度(τ_p)及びせん断剛性(K_s , K_{s1} , K_{s2})をそれぞれ求めた。**1) 垂直応力一定試験** せん断剛性 K_s 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とピーク強度を結んだ割線の勾配として求めた。図-1(a), (b)にラフネス(M_s)とせん断強度 τ_p 及びせん断剛性 K_s との関係を、図-2(a), (b)に拘束圧0.25 MPaを基準にとったせん断強度及びせん断剛性の増減比を示す。但し、グラフの体裁上一部のラフネスについては割愛している。図-1から M_s とせん断強度及びせん断剛性との間に概ね相関が認められた。また、図-2からは垂直拘束圧の増加とともにせん断強度及びせん断剛性が向上することが分かった。これより、地山の「緩み」が進展した不連続性岩盤のせん断破壊は周囲から受ける拘束圧の規模と不連続面の粗さに依存すると言える。**2) 垂直変位一定試験** K_{s1} は、 K_s と同様の垂直応力一定区間でのせん断剛性であり、一方 K_{s2} はダイレイタンシーを拘束する間の強度の立ち

キーワード 一面せん断, ラフネス, ダイレイタンシー, せん断強度, せん断剛性

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1 大阪大学工学研究科 地球総合工学専攻 TEL06-6879-7558

上がりの勾配によって表した .図-3 にラフネス

の拘束量 0.5 mm の試験ケースを例にとったせん断剛性 KS_1 と KS_2 の概念図を示す .(曲線上の丸印はダイレイタンスの拘束を開始した点を表す .) 図-4 (a) , (b) に拘束するダイレイタンスとせん断剛性 KS_2 及びせん断剛性の比 KS_2/KS_1 の関係を示す .これも同様に , 一部のラフネスについては割愛している . 本試験では許容するダイレイタンスに達するまでの間は垂直応力一定条件でせん断変位を与え続けるため , KS_2 を評価する際は拘束前のせん断挙動の影響と拘束位置も加味する必要がある . 拘束値が低いほど , 試験を開始して間もなく , すなわち , 弾性域内で拘束開始点に達することでより大きい強度と剛性が得られる . 例えば , 拘束値 0.1 mm や拘束値 0.3 mm の試験ケースで得られたせん断剛性 KS_2 が示すように , 先の垂直応力一定試験の結果と比べても , 強度の立ち上がり方が顕著であることが分かる . 加えてダイレイタンスの拘束値が 0.2 ~ 0.3 mm 変化するだけでせん断強度が 3 ~ 4 倍程度 , せん断剛性が 5 ~ 10 倍程度変化する . つまり , 不連続面のダイレイタンスをわずかに拘束するだけで , より大きいせん断強度やせん断剛性が得られることが分かった . 今回の試験結果では , こうしたダイレイタンスの拘束の効果は表面形状の違いによる変化はあまり明確ではなく , 拘束がより増すことで不連続面を構成する凹凸の凝着が進み , ラフネスの幾何学的な特性の影響よりも , 材料自体の強度や摩擦角などの特性が支配的になると考えられる .

5. まとめ 垂直応力一定試験では , 概してラフネスが粗い不連続面ほど強度・剛性がともに向上することが確かめられた . 一方 , 垂直変位一定試験では , わずかな拘束値の変化によって , いずれのラフネスに対しても供試体不連続面の強度・剛性がともに大きく増加することが確認できた . また , 今回の試験では前者の試験における不連続面のせん断特性は比較的材料物性よりもラフネスに依存し , 後者の試験における不連続面のせん断特性はラフネスよりも材料物性に大きく影響されと考える .

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) Tse, R. and Cruden, D.M. : Estimating joint roughness coefficients, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 16, pp.303-307, 1979. 3) 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.

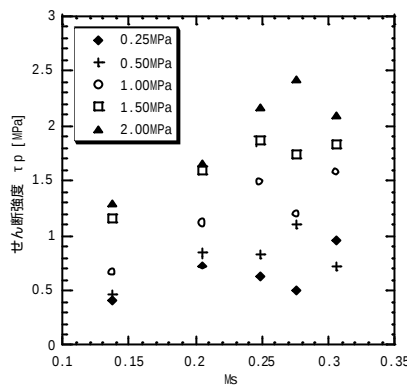


図-1(a) Ms とせん断強度の関係

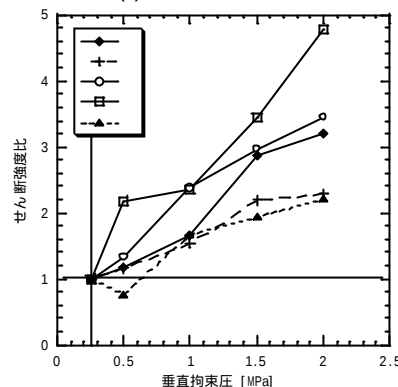


図-2(a) せん断強度の変化

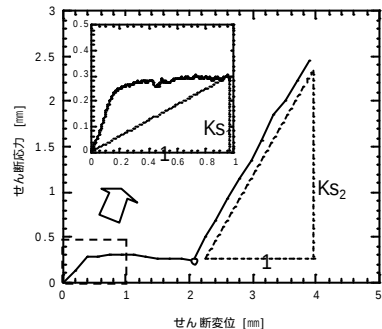


図-3 せん断剛性 KS_1 と KS_2

(ラフネス の拘束量 0.5 mm のケース)

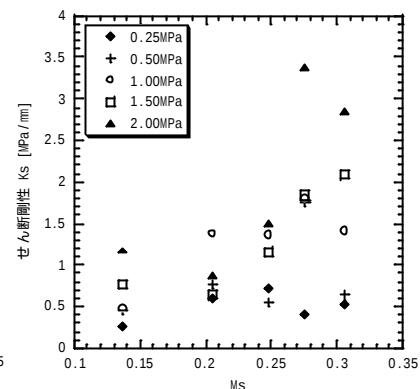


図-1(b) Ms とせん断剛性の関係

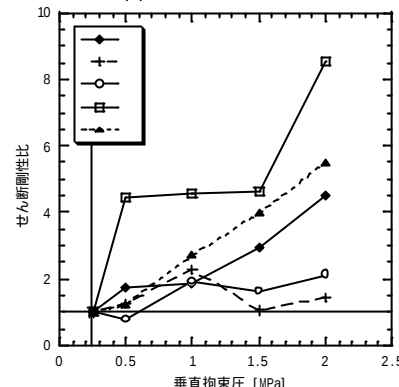


図-2(b) せん断剛性の変化

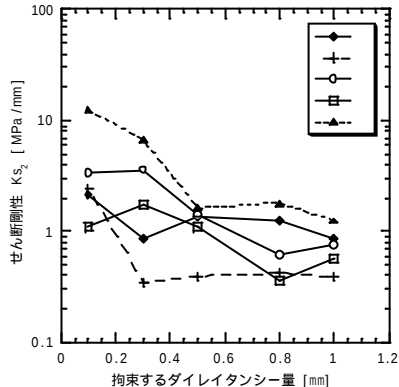


図-4(a) ダイレイタンスの拘束値と

せん断剛性 KS_2 の関係

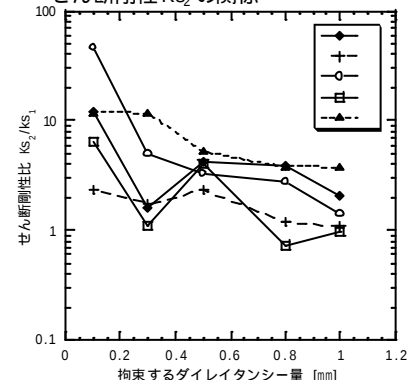


図-4(b) ダイレイタンスの拘束値と

せん断剛性比 KS_2/KS_1 の関係