

大阪大学工学部 学生員 ○中原拓郎 大阪大学大学院 正会員 谷本親伯
大阪大学大学院 正会員 川崎 了 大阪大学大学院 学生員 鈴木淳也

1. はじめに 山岳トンネル、ダム、核燃料廃棄物地下処理場などの土木構造物の多くが、岩盤を基盤としている。これらの構造物の設計の際、事前調査として弾性波探査を行い地山状況の予測がなされる。しかし、現在行われている弾性波探査では岩盤の不均質性や不連続性のために地山の状況を十分に把握できていたとは言えず、実際に掘削した後に設計や掘削法を見直さざるを得なくなることが多い。土木構造物の設計、施工時に問題となる岩盤の力学的性質は、岩盤ブロックの不連続面におけるせん断特性に影響される。本研究は岩盤内の不連続面におけるせん断特性と弾性波との関係を調べることを目的としている。人工岩を用いて垂直拘束圧一定条件下とダイレイタンス拘束条件下の2種類のせん断状態で弾性波を測定し、不連続面のせん断破壊の進展の程度を弾性波により評価した。

2. 試験概要 本研究では、ボーリングコアから採取された自然状態のジョイントのラフネスから同じ形状のレプリカを複製し、不連続面を有する石膏供試体($q_u=47.62\text{MPa}$ 、縦:52mm×横:42mm×高さ:110mm)を作製した。

i) **ラフネスの定量化** ラフネスの形状は、弾性波伝播挙動とせん断特性に影響があるものとされるので定量化する必要がある。本研究では2種類のラフネスを用意した。レーザープロファイラー(TOK-3DPR)を用いて、供試体のせん断方向に0.5mm間隔で測線を80本設け、測線上に0.2mm間隔で測点を256個設けて表面形状を測定した。ラフネスの定量化には、表面形状の粗度を表す指標である M_s 値を用いた。 M_s 値が大きいほどラフネスが粗いことを示す。 M_s 値の測定結果を表-1に示す。以下、 M_s 値が小さい方のラフネスをラフネス A、 M_s 値が大きい方のラフネスをラフネス B と記す。

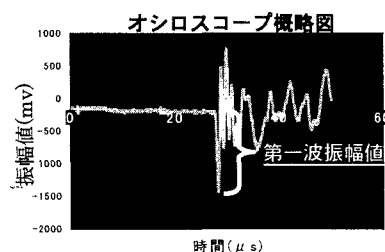
表-1 M_s 値測定結果

供試体	M_s 値
ラフネス A	0.001913
ラフネス B	0.002983

ii) **一軸圧縮状態における弾性波測定試験** 不連続面を透過する弾性波は、ラフネスの形状の変化や不連続面に作用する拘束圧により影響をうける。本研究では、一軸圧縮状態における弾性波測定を行い弾性波速度(P 波速度: V_P)と弾性波振幅値(A_0)がラフネスの形状の変化と載荷圧の変化により受ける影響を調べた。試験条件を表-2に示す。図-3に載荷圧と P 波速度に関する測定結果を示し、図-4に載荷圧と第一波振幅値に関する測定結果を示す。第一波振幅値は最初に測定される弾性波の振幅値のことでオシロスコープ概略図に示す。これらの測定結果より一軸圧縮状態において第一波振幅値の方が V_P よりも載荷圧の変化を鋭敏に反映した。以後の試験から、第一波振幅値のみの測定結果を示す。

表-2 試験条件

ラフネス	A, B
載荷圧 (MPa)	0, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0



iii) **一面せん断状態における弾性波測定試験(垂直拘束圧一定条件)** 本研究で用いた一面せん断試験装置(誠研舎製)は、せん断箱が上下2分割され上箱が固定されており、下箱が水平方向に移動する仕組みになっている。垂直拘束圧一定せん断試験は、供試体に一定の垂直拘束圧を与えた状態でせん断変位を与える試験である。本試験の水平変位制御は毎分0.2mmで行い、せん断応力が最大値をとった後、低下し一定値に漸近するまで行った。以下、せん断応力が一定値に漸近

表-3 試験条件(垂直拘束圧一定)

ラフネス	A, B
載荷圧 (MPa)	0.25, 0.5, 0.8, 1.0

した状態を残留強度と記す。なお弾性波の測定はせん断開始からせん断終了まで 30 秒間隔で測定し、入力波の入力周波数を 100kHz、振幅値を 4.8V 一定で試験を行った。表 - 3 に試験条件を示し、図 - 5 と図 - 6 に垂直拘束圧が 0.8MPa における測定結果を示す。図 - 5 と図 - 6 の縦軸である第一波振幅比とは、せん断試験中に測定された弾性波の第一波振幅値をせん断開始前に測定された第一波振幅値で除したものである。

iv) 一面せん断状態における弾性波測定試験(ダイレイタンスー拘束条件) ダイレイタンスー拘束せん断試験は最初に垂直拘束圧一定の状態ですせん断を始める。事前に設定したダイレイタンスーが生じた時点(図 - 7, 図 - 8 中の黒●)でダイレイタンスーを拘束してさらにせん断を行い、せん断応力が残留強度に至るまで行った。弾性波の測定は、せん断開始から残留強度に達するまで 30 秒間隔で測定した。試験条件を表 - 4 に示し、図 - 7 にラフネス A について拘束ダイレイタンスーが 0.25mm の測定結果を示し、図 - 8 にラフネス B について拘束ダイレイタンスーが 0.35mm の測定結果を示す。

3. 結果

- i) 垂直拘束圧一定試験 垂直拘束圧一定条件下での試験結果から以下のことがわかった。
 - Ms 値が大きいほどピークせん断強度は大きくなった(図 - 5, 図 - 6 参照)。
 - 第一波振幅比はピークせん断強度が発生するまで急激に減衰し、その減衰率はラフネス B の方がラフネス A に比べて大きかった(図 - 5, 図 - 6 参照)。
- ii) ダイレイタンスー拘束試験 ダイレイタンスー拘束条件下での試験結果から以下のことがわかった。
 - ダイレイタンスーを拘束すると第一波振幅比は増加した(図 - 7, 図 - 8 参照)。これは、ダイレイタンスーを拘束すると起伏の破壊が進み接触面積が増加するためと考えられる。
 - ダイレイタンスー拘束後、ラフネス B の方がラフネス A に比べてせん断応力の増減と第一波振幅比の増減との間に強い正の相関関係が見られた。

4. まとめ 本研究の結果より、弾性波の第一波振幅値がせん断破壊の進展の程度を鋭敏に反映することが分かった。Ms 値とせん断応力の間には正の相関関係があることが確認できた。

参考文献 1) 宮田健次郎, 谷本親伯, 川崎了: 弾性波特性による岩盤の緩み領域の評価, 第 30 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.78-182, 2000.

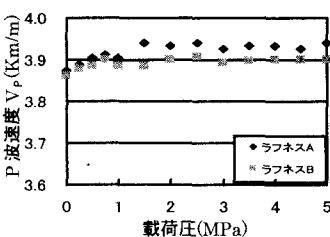


図 - 3 載荷圧-P 波速度

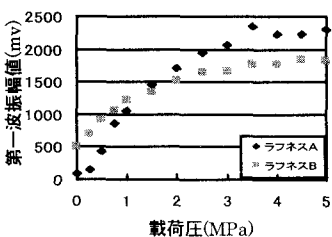


図 - 4 載荷圧-第一波振幅値 (mv)

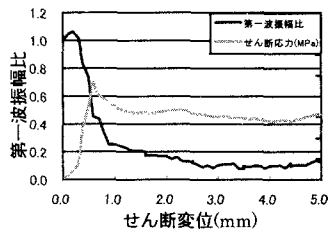


図 - 5 垂直拘束圧一定: 0.8MPa

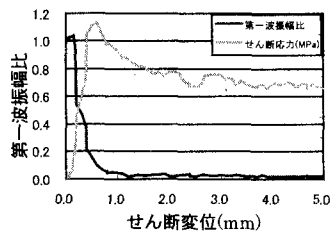


図 - 6 垂直拘束圧一定: 0.8MPa

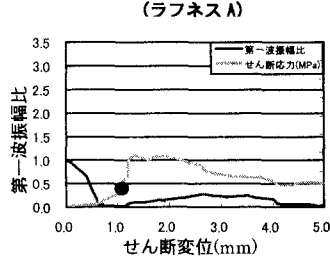


図 - 7 拘束ダイレイタンスー: 0.25mm

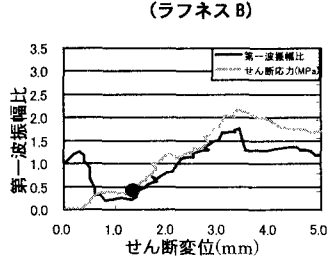


図 - 8 拘束ダイレイタンスー: 0.35mm

(ラフネス A)

(ラフネス B)

表 - 4 試験条件(ダイレイタンスー拘束)

ラフネス	A, B
拘束ダイレイタンスー (mm)	A (0.1, 0.15, 0.18, 0.2, 0.25, 0.4, 0.6) B (0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.5, 0.7, 0.9)
初期載荷圧	0.25MPa