

第 部門 岩盤不連続面における弾性波伝播挙動に関する基礎的研究

大阪大学大学院 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，岩盤を対象としている．これらの構造物を設計する際，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るとは言えず，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．また，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伝播挙動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シー拘束条件下の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．

**)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とされる<sup>1)</sup>ので定量化する

表 - 1 Ms 値測定結果

供試体	Ms値
ラフネスA	0.001913
ラフネスB	0.002983

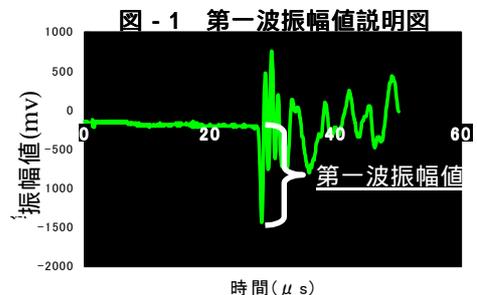
必要がある．本研究では2種類のラフネスを用意した．レーザープロファイラー(TOK-3DPR)を用いて，供試体のせん断方向に0.5mm間隔で測線を80本設け，測線上に0.2mm間隔で測点を256個設けて表面形状を測定した．ラフネスの定量化には，表面形状の粗度を表す指標であるMs値を用いた．Ms値が大きいほどラフネスが粗いことを示す．Ms値の測定結果を表1に示す．以下，Ms値が小さい方のラフネスをラフネスA，Ms値が大きい方のラフネスをラフネスBと記す．

**)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)** 本試験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で下箱が水平方向に移動する仕組みになっている．上下のせん断箱に弾性波を送受信できるAEセンサーを装着することにより供試体をせん断させながら弾性波を測定できる．垂直拘束圧一定せん断試験では，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，せん断応力および弾性波第一波振幅値を測定した．第一波振幅値は受信側のAEセンサーで測定される最初の弾性波の振幅のことである(図-1参照)．試験は，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．弾性波の測定は30秒ごとに行い，せん断応力の測定は1秒ごとに行った．以下，せん断応力が一定値に漸近した状態を残留強度と記す．なお，本試験のせん断変位制御は毎分0.2mmで行い，入力する弾性波の入力周波数を100kHz，振幅値を4.8V一定で行った．表2に試験条件を示し，図-2と図-3にラフネスAとラフネスBに関するせん断変位 せん断応力の関係を示し，図-4と図-5にラフネスAとラフネスBに関するせん断変位 第一波振幅比の関係を示す．図-4と図-5の縦軸である第一波振幅比とは，せん断試験中に測定した弾性波の第一波振幅値をせん断開始前に測定した第一波振幅値で除したものである．

表 - 2 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



**)一面せん断状態における弾性波測定試験(ダイレイタンシー拘束条件)** ダイレイタンシ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，事前に設定したダイレイタンシーが生じた時点でダイレ

イタンシ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．弾性波の測定は約 30 秒ごとに行い，せん断応力の測定は 1 秒ごとに行った．試験条件を表 3 に示し，図 - 6 と図 - 7 にラフネス A とラフネス B に関するせん断変位 せん断応力の関係を示し，図 - 8 と図 - 9 にラフネス A とラフネス B に関するせん断変位 第一波振幅比の関係を示す．

表 - 3 試験条件(ダイレイタンシー拘束)

ラフネス	A, B
拘束ダイレイタンシー (mm)	A(0.2, 0.4, 0.6) B(0.3, 0.5, 0.7)
初期載荷圧	0.25MPa

### 3. 結果

1) 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，以下のことが分かった．

- Ms 値が大きい方がピークせん断強度は大きくなった(図 - 2, 図 - 3 参照)．
- 垂直拘束圧が大きいほどピークせん断強度発生時のせん断変位は小さいかった(図 - 2, 図 - 3 参照)．
- ラフネスの形状によらずピークせん断強度発生時まで第一波振幅比は，初期値の約 10% ~ 30% まで減衰した．さらにせん断応力が残留強度に至ると第一波振幅比は，初期値の約 5% ~ 10% まで減衰した．(図 - 4, 図 - 5 参照)．

2) ダイレイタンシー拘束試験 ダイレイタンシー拘束条件下での試験結果から，以下のことがわかった．

- ダイレイタンシーを拘束すると，せん断変位の進行にともない第一波振幅比は増加した(図 - 8, 図 - 9 参照)．これは，ダイレイタンシーを拘束するとラフネスの凹凸の破壊が進み接触面積が増加するためと考えられる．
- ラフネス A について，拘束するダイレイタンシー量が 0.2mm, 0.4mm では，せん断応力が残留強度に至ると第一波振幅比は初期値の約 30% まで減衰した．拘束するダイレイタンシー量が 0.6mm では，第一波振幅比は初期値の約 40% まで減衰した．つまり，第一波振幅比の減衰量は拘束するダイレイタンシー量に依存する(図 - 8 参照)．

### 4. まとめ

本研究の結果より，せん断応力が残留状態に至ると第一波振幅比は初期値の約 5% ~ 40% まで減衰することが確認でき，弾性波の第一波振幅値がせん断破壊の進展の程度を反映することが分かった．

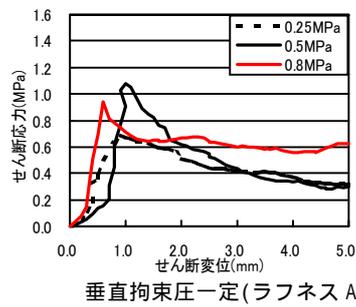


図 - 2 せん断変位 - せん断応力

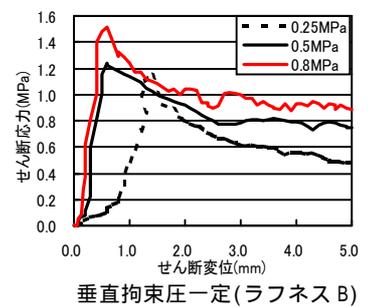


図 - 3 せん断変位 - せん断応力

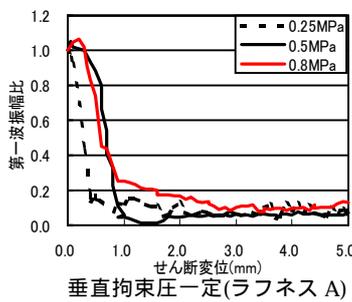


図 - 4 せん断変位 - 第一波振幅比

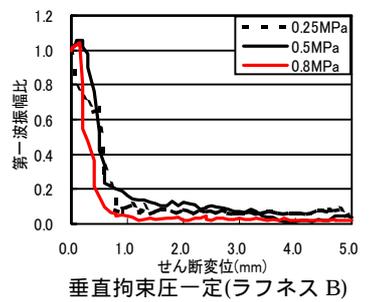


図 - 5 せん断変位 - 第一波振幅比

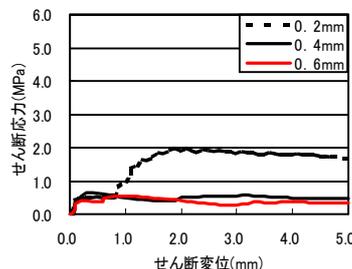


図 - 6 せん断変位 - せん断応力

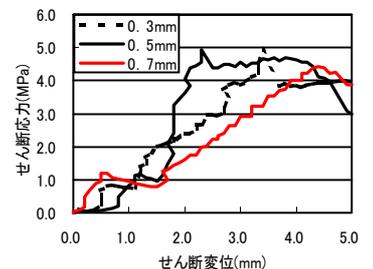


図 - 7 せん断変位 - せん断応力

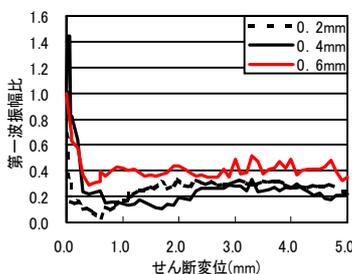


図 - 8 せん断変位 - 第一波振幅比

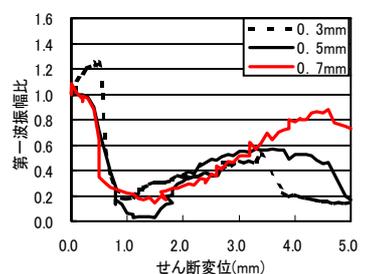


図 - 9 せん断変位 - 第一波振幅比

1) 参考文献 宮田健治朗，谷本親伯，川崎了：弾性波伝播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，pp78 - 182，2000．