

## 大型岩石試料を用いたせん断試験における二次元的な破壊の伝播の推定

土田琴世<sup>1</sup>・川方裕則<sup>1,2</sup>・福山英一<sup>2</sup>・山下太<sup>2</sup>・溝口一<sup>3,2</sup>

1. 立命館大学, 2. 防災科学技術研究所, 3. 電力中央研究所

### ・はじめに

破壊伝播過程を捉えた先行研究として、数 10 cm 程度の岩石試料を用いたせん断試験がおこなわれてきた。これらの結果に基づいた摩擦すべりに関する構成関係を構築した研究 (例えば Dieterich, 1992; Matsu'ura et al., 1992) やその関係を用いた地震発生のシミュレーションも多数おこなわれてきた。Ohnaka and Kuwahara(1990)は、 $28W \times 5D \times 28H$  [cm<sup>3</sup>]の岩石試料を直角二等辺三角柱 2 つになるように切断して得られた、縦横比 1/10 程度の断層面上でせん断試験をおこなった。断層面に沿った一次元的なセンサ配置によって得られたひずみゲージの記録から、緩やかなせん断ひずみの低下フェーズが低速で伝播し、伝播速度の上昇を伴って高速なすべり破壊に至ることを示している。また、このような現象は強度の低い震源核を与えたシミュレーションによっても再現されており、破壊の先行現象として自然地震観測においても期待されている。しかし、実際の自然地震では、このような核形成過程は未だ明瞭には観測されておらず、一連の過程が、センサが一次元的に配置されていたこと、断層面が小さく、その縦横比が 1/10 程度と細長いことなどの実験固有の環境によってもたらされたものであることは否定しきることはできない。室内実験において、破壊伝播過程に影響する条件を明らかにすることは、実際の自然地震と室内実験から得られた現象をつなぐ上で、重要な知見となると考える。

本研究では、断層面の大きさをメートルスケールにスケールアップするとともに、縦横比を 1/3 に改善させた大型岩石試料を使用してせん断摩擦試験をおこなった。さらに、面状 (二次元) に配置したセンサによって計測されたひずみ、弾性波の記録から破壊伝播が試料表面 (断層面) 上で二次元的にどのように伝播するかを検討した。

### ・実験

防災科学技術研究所所有の大型振動台を用いて、図 1 のような二軸せん断試験をおこなった。試料には、上側  $1.5W \times 0.5D \times 0.5H$  [m<sup>3</sup>]、下側  $2.0W \times 0.5D \times 0.5H$  [m<sup>3</sup>]のメートルスケールのインド産ギャブロを使用した。上側試料は反力床に置かれたバーに固定され、下側試料は振動

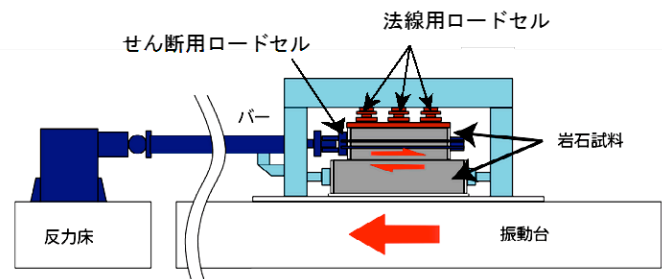


図 1. 実験装置概略図.

台に固定されており、上下に重ねた試料の上からは 1.33 [MPa]の法線応力を 3 点のアクチュエーターから一定にかけた。この状態で、振動台を 0.025 [mm/s]の低速度で西方向に 20 [mm]動かす

ことで、上下の試料境界においてすべり破壊（スティック・スリップ・イベント）が発生した。また、下側試料の内部には、AE センサ及び歪ゲージを 24 ヶ所の面状に埋め込み、側面には、AE センサを 16 ヶ所、ひずみゲージを 24 ヶ所に貼り付けた（図 2）。これらの各センサによって連続収録された弾性波及びひずみの記録を用いて、以下の解析を行った。

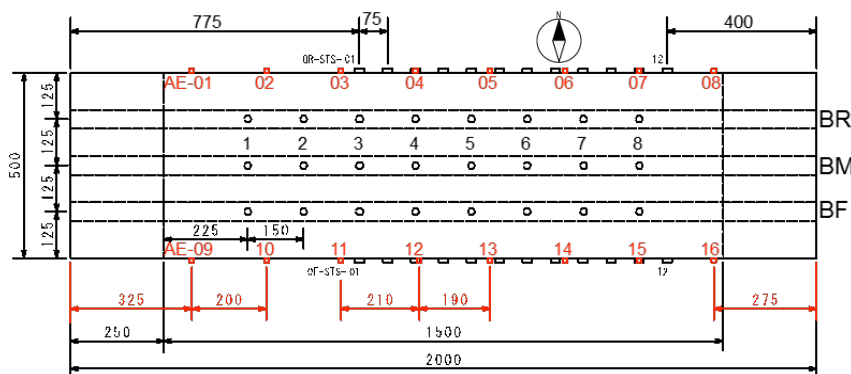


図 2. センサ配置図(下側試料上面). ○ は埋め込まれた内部センサの位置, 北及び南側側面□ は AE センサ, □ はひずみゲージの貼り付け位置を示す.

### ・解析結果

実験中、連続収録された膨大な弾性波の記録から、イベントを含む時間帯である可能性の高いタイムウィンドウを抽出するため、全時間帯の弾性波記録に対して、0.1 秒間毎の累積絶対値振幅を求め振幅の大きくなる時間帯を 87 個抽出した。抽出された時間帯はすべて、法線応力に対するせん断応力の比の変化が著しく降下する時間帯と一致したため、これらをメインのイベント群と考えた。また、せん断ひずみの記録からは、抽出したイベント群に対応した著しいひずみ低下が見られた。著しいひずみ低下の直前に緩やかなひずみの低下があり、このフェーズはすべり方向に平行に伝播していることが分かった（図 3）。収録開始後 538.706 秒～539.706 秒の間に観測されたイベント（Event36）に対して、

BF Event36(538.706 ~ 539.706)

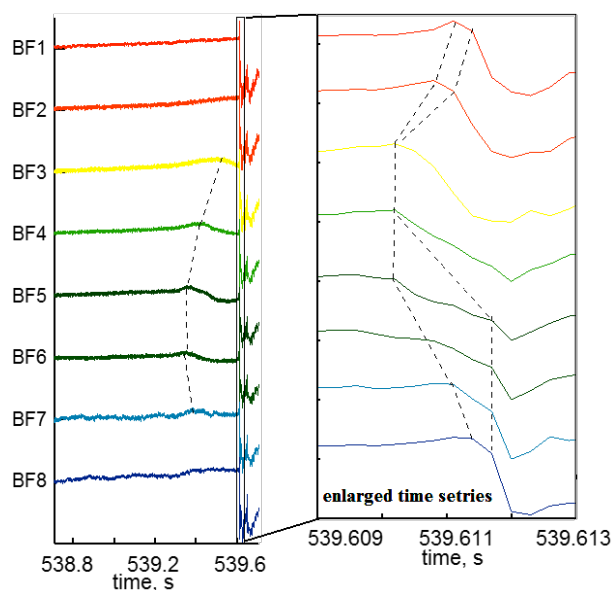


図 3. Event36 に相当する時間に BF1～8 で観測されたせん断ひずみ(左)と 539.609～539.613 秒の拡大(右). 点線はひずみ低下が伝播している様子を示している.

特徴的な 3 つのフェーズを Slow, Medium, Rapid phase と名付け、試料内部に埋め込んだ 24 ヶ所のひずみゲージの記録を用いて、せん断ひずみの二次元分布の時間変化を調べた。およそ  $10^{-6}$  [ $s^{-1}$ ] 程度の Slow phase は、すべり方向に平行な辺の付近（北側端）から開始し、およそ 100 [m/s] 以下で加速を伴いながら対辺側（南南東方向）へ伝播した。一方、すべり方向にはある限られた範囲までしか伝播せず、伝播速度も低下した。また、Slow phase の開始地点は、せん断ひずみの蓄

積量が最大、最小といった局所ではなかった。そして、試料端まで伝播が到達した際に、ひずみの蓄積量が小さくなる範囲がすべり方向にほぼ直交する方向に帯状に広がった。Slow phase の伝播が対辺（南）側に到達すると同時に、到達位置付近からおよそ  $10^{-4}$  [s<sup>-1</sup>]程度の Medium phase が開始し、およそ 100~200[m/s]の速度で Slow phase と逆（北北西）方向へ伝播した。さらに、メインイベントに相当する Rapid phase は直前のせん断ひずみ低下が試料端まで伝播した後、それらの到達位置とは関連のない西側の試料端（すべり方向に直交する辺）から開始した。

以上の結果から、破壊とその伝播過程はメートルスケールの大規模岩石試料を用いて 1 対 3 のアスペクト比を持つ幅の広い断層面を再現しても、試料端の影響を受けていることが言える。よって、このような実験やシミュレーションで得られた結果を考える上で、試料端の影響を考慮する必要があることが示唆された。

#### ・謝辞

本研究は、防災科学技術研究所プロジェクト研究「地殻活動の観測予測技術開発」、科学研究費補助金基盤研究（B）23340131 の助成を受けた。