

大型二軸摩擦実験におけるスティック・スリップ・イベントの二次元的破壊伝播 Observation of 2-D rupture propagation for stick-slip events during large-scale biaxial frictional experiments

土田 琴世^{1*}; 川方 裕則¹; 福山 英一²; 山下 太²; 溝口 一生³

TSUCHIDA, Kotoyo^{1*}; KAWAKATA, Hironori¹; FUKUYAMA, Eiichi²; YAMASHITA, Futoshi²; MIZOGUCHI, Kazuo³

¹立命館大学, ²防災科学技術研究所, ³電力中央研究所

¹Ritsumeikan University, ²National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, ³Central Research Institute of Electric Power Industry

地震発生過程のモデルとして期待される一つに Ohnaka and Kuwahara(1990) によって提案されたプレスリップモデルがある。このモデルでは、破壊伝播速度が亀裂(破壊)の成長に伴い加速することが示されている。しかし、観測からは地震に先行するプレスリップ現象は明瞭には捉えられていない。Ohnaka and Kuwahara(1990)は、試料端(表面)で計測した歪の記録を用いて、破壊伝播速度を一次元的に調べた。一次元の破壊伝播速度は、空間的広がりを考えた際に見かけの破壊伝播速度を示す。さらに、試料表面における計測であるため、表面が存在することによって与える破壊への影響は無視できない。したがって、破壊を二次元的に捉えることで、なぜプレスリップが地震に対して捉えられていないのかを再検討する必要がある。

福山ほか(2012, 2013, 地震学会)は、メートルスケールの大型岩石試料を用いたせん断すべり実験を行った。本研究では、特に、破壊を二次元的に捉えるため、AEセンサー及び歪ゲージを試料内部に面状に配置させるという新たな試みをした第二期の実験(福山ほか, 2013, 地震学会)のうち、最も低速(0.025 m/s)で実施された実験(LB03-008)で計測された微小破壊による弾性波及び歪の記録を扱い、繰り返し発生するスティック・スリップ・イベントの二次元的な破壊伝播を検討するとともに、イベントの特徴について調べた。

実験は、防災科学技術研究所所有の大型振動台を用いて、上側に $1.5W \times 0.5D \times 0.5H \text{ m}^3$ 、下側に $2.0W \times 0.5D \times 0.5H \text{ m}^3$ のインド産ギャブロ試料を配置し、せん断方向に滑らせた(福山ほか, 2013, 地震学会)。計測には、AEセンサーと歪ゲージを用いた。AEセンサーは、下側試料の内部に長さ(W)方向 150 mm 間隔で 8ヶ所、奥行き(D)方向 125 mm 間隔で 3列の計 24ヶ所に埋め込まれ、両側の側面 8ヶ所ずつに 75 mm 間隔で貼り付けられた。また、歪ゲージは AEセンサー同様に下側試料の内部 24ヶ所に埋め込まれ、両側の側面 12ヶ所ずつに 75 mm 間隔で貼り付けられた。また、同時にロードセルを用いてバルクの法線応力とせん断応力も計測された。

土田ほか(2013, 地震学会)は、弾性波の記録から S波速度よりも遅い速度で伝播する波を確認した。この波がイベントによって放射されたものであると考え、実験を行った全時間帯の記録を眺めた。イベント群は、法線応力に対するせん断応力の比がもっとも低下したイベントを境に、前半と後半で、数 10 ms 程度の時間間隔で数回認められる場合と、20 ms 程度以内に密集して 1つだけ存在する場合に大別されることが分かった。

そこで本研究では、イベントのある時間帯に着目し、その際の歪変化について検討した。まず、全時間帯、全 ch の歪変化の概要を把握するため、1024[sp] で平均することでノイズを低減させ、各 ch 毎の時間変化を調べた。どの ch においても、バルクの値から求めた摩擦係数の変化と同様に、イベントのタイミングに著しい歪低下が見られた。また、幅 100 mm の試料において確認された(福山ほか, 2013 地震学会; 溝口ほか, 2013 地震学会)のと同様に、その直前に弾性波を伴わないゆっくりとした歪の低下も確認出来た。一方、バルクのせん断応力に変化が見られないイベントに関しては、歪ゲージの記録でも顕著な変化は見られず、弾性波でしか捉えられないような極めて小さな破壊があったことが推察される。また、実験後半においては slip 直前の摩擦係数の最大値がほぼ一定となるのに対し、実験後半の歪の蓄積量はほぼ一定となる場合、増加し続ける場合、減少する場合と様々で、蓄積量の大きさ自体も位置によって異なることが分かった。

次に、イベント付近の歪変化を詳しく見るため、イベントを含む 1秒間の歪変化を見た。顕著な歪変化が見られない時間帯の歪の記録に対して自己相関関数を調べたところ、およそ 4~8[sp] で相関値が上がるのがわかり、これをノイズの卓越周期であると判断し、平均をとるデータ数を 300[sp] まで絞った。イベントごとに各 ch の変化を比べたところ、弾性波を用いて大別された 2パターンのイベントの内、前半のあるイベントにおいて、緩やかにせん断歪が低下する(およそ $1\sim 3\mu\text{strain}$) イベントが試料前面付近から奥行き方向へとゆっくりと伝播しているのが見られた。このタイプのゆっくりとしたイベントを繰り返し、最終的には伝播が加速し、高速なせん断歪の低下、すなわち、動的なイベントに達している。弾性波の観測される時間は、この高速なせん断歪の低下の際及びその後の不安定な歪変化に対応している。今後、この加速の開始点、及び、加速する方向と試料表面の亀裂(破壊)の成長、弾性波との関係について検討する。

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。

キーワード: スティック・スリップ・イベント, 破壊伝播, 大型二軸試験

Keywords: stick-slip event, rupture propagation, large-scale biaxial frictional experiment