

大型スティック・スリップ試験機による岩盤不連続面の摩擦特性について

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○岩田 直樹, 清田 亮二
琉球大学 正会員 藍檀 オメル, 渡嘉敷 直彦

1. はじめに

スティック・スリップ現象とは、物体間の接触面においてせん断変形中に発生する滑りと応力の蓄積を繰り返す現象であり、地震が繰り返し発生するメカニズムと考えられている。このため、岩石の摩擦現象と地震の発生機構を関連付けた研究がなされるようになった。これまでの岩石を用いた室内試験は、大半は圧縮試験機が用いられており、観測される滑り量が $1\mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ と非常に小さい。そこで筆者らは、これまでの室内実験よりも大きな滑り量に対するスティック・スリップ現象を観測できるような実験装置を製作し、スティック・スリップ挙動に関する検討を行ってきた¹⁾。本報告では、更に大きな供試体に対して試験が行えるように、大型の試験装置を新たに開発し、実験を行った結果を報告する。

2. 実験装置および実験方法

図-1および図-2に新たに製作した大型実験装置を示す。実験装置はゴム製のコンベアーベルトと固定フレームからなり、コンベアーベルトの移動速度は自由に変えることができる。下部ブロックはコンベアーベルトに、上部ブロックはバネを介してフレームに固定する。コンベアーベルトを作動させると、初期は上部と下部ブロックは共にバネが伸張する方向に移動するが、ある変位を超えるとバネの復元力により上部ブロックに滑りが生じる。この挙動の繰り返しがスティック・スリップ現象である。従来の実験装置は、ベルトコンベアーのベルト部の長さが約50cmであったが、新しい実験装置では約100cmとした。これにより、従来、上部ブロックの滑動部の面積が $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ であったものが、 $10\text{cm}\times 20\text{cm}$ 程度に大きくすることができるようになった。

スティック・スリップ時の上部ブロックに作用する力を計測するために、バネと固定フレームの間にはロードセルを設置し、コンベアーベルト移動方向の水平加速度を計測するために、上部ブロックと下部ブロックの側面に加速度計を設置した。運動中の上部ブロックと下部ブロックのコンベアーベルト移動方向の水平変位は、フレームに固定した非接触型レーザー変位計によりフレームとの距離を計測した。計測時間間隔は1msとして、変位、荷重および加速度を動ひずみアンプを用いてPCに記録した。

3. 実験結果

図-3に新たに製作した実験装置で、花崗岩の供試体を用いた場合の上部ブロックの変位と加速度、およびバネ荷重の経時変化を示す。滑り発生直前のバネ荷重や滑り終わった直後のバネ荷重、また滑り前後のバネ荷重の変化量も定常的でなく、滑りイベント毎に大きく異なる。これはアスペリティの影響によるものである。そして、上部ブロックに発生している加速度の大きさは、滑り量に比例して大きくなる傾向がみられる。

図-4は、上部ブロックの累積滑り量(=下部ブロックの変位-上部ブロックの変位)とバネ荷重および上部ブロックの加速度の関係を示す。累積滑り量は、上下のブロックが固着して移動しているときはゼロであり、滑りが生じ

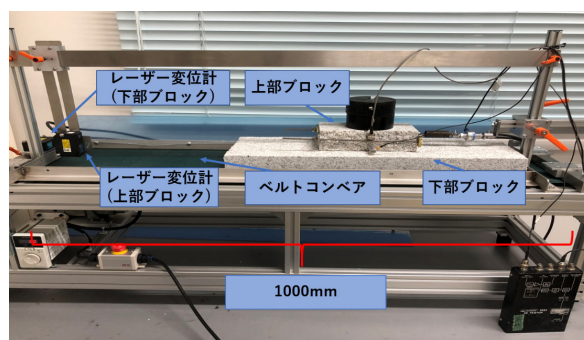


図-1 新しく製作した実験装置の全景

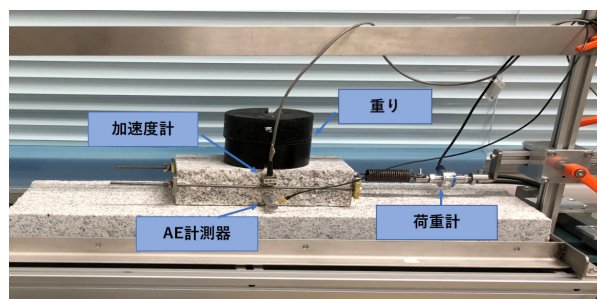


図-2 上部ブロック周辺の計測システムの状況

キーワード スティック・スリップ, 不連続面, 摩擦

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐 2-3-30 中電技術コンサルタント(株) 原子力プロジェクト室 TEL 082-225-3416

たときに加算される。このため、累積滑り量とバネ荷重の関係は、計測変位のノイズの影響等によりやや不明瞭であるが、累積滑り量が一定の状態ではバネ荷重のみが増加した後、バネ荷重がピーク荷重に達すると累積滑り量の増加に伴ってバネ荷重が低下することを繰り返す。

図-5は、図-4の累積滑り量が10mm以下の1つのスティック・スリップイベントを拡大したものを示す。累積滑り量が0mmおよび9mm付近では、上下ブロックが固着して移動しているため累積滑り量は本来一定であるはずだが、計測機器のノイズ等の影響により $\pm 2\text{mm}$ 程度の誤差が生じている。このノイズの影響により、荷重低下時の累積滑り量は、若干の増減を伴いながら低下している。この荷重低下時の初期段階の累積滑り量とバネ荷重の関係における傾きは、破線で示した上部ブロックに接続したバネの変位と荷重の関係（バネ定数）よりも大きくなっており、荷重低下時の全体としては下に凸の形状となっている。これは、滑りにより解放されるエネルギーが滑りを進展させるのに余りある場合に生じる挙動であり、一般的に不安定滑りと呼ばれている²⁾。また、加速度は、荷重低下が終了した累積滑り量7~8mm付近でゼロとなっており、その後、加速度をほとんど生じないゆっくりした滑りにより累積滑り量が9mm付近まで生じているように見える。

一方、従来の実験装置で安山岩の供試体を使った場合の累積滑り量とバネ荷重および上部ブロックの加速度の関係を図-6に示す。この荷重低下時の累積滑り量とバネ荷重の関係は上に凸となっており、一般的に安定滑りと呼ばれている²⁾。この時、加速度応答は荷重低下過程でプラスからマイナスに転じている。この挙動は、滑り発生時の強度低下によってブロックが動き出し、残留強度まで応力解放された後に、運動しているブロックにバネ反力がブレーキとして作用して停止する現象を示している。なお、これら新・旧実験装置で観測された異なる挙動は、岩種を変えても概ね観測されている。

4. おわりに

新・旧実験装置で観測された荷重低下時の異なる挙動（滑りの安定性・不安定性）は、滑り面の強度だけでなく、周辺媒体の剛性（本実験では供試体の弾性係数、上下のブロック接触部の剛性、バネ定数など）とも関連すると考えられている²⁾。新・旧実験装置で大きく異なる点はブロック接触面の面積であり、寸法効果による接触面の強度や剛性の影響とも考えられるが、各装置の計測機の精度やデータ取得間隔が異なっていることから単純な比較はできない。今後は、旧実験装置で利用した小さな供試体を用いて新実験装置で実験を行い、計測精度や装置の違いによる影響がないことを確認するとともに、どのような条件で不安定滑りが生じるかを検討していく予定である。

【参考文献】1)岩田ほか：スティック・スリップ現象の断層運動への適用性に関する実験的および解析的検討，第14回岩の力学国内シンポジウム講演集，講演番号71，2017。2)大中・松浦：地震発生の物理学，東京大学出版，pp.103-105，2002。

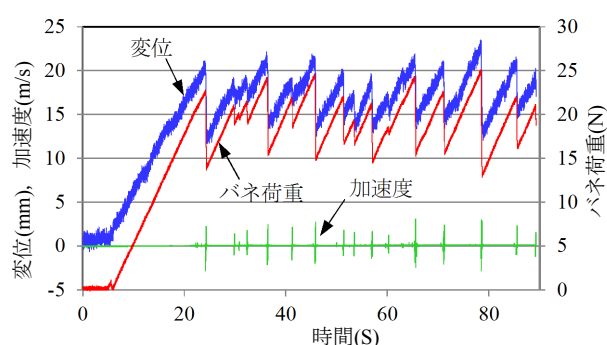


図-3 ブロック挙動の経時変化(新実験装置)

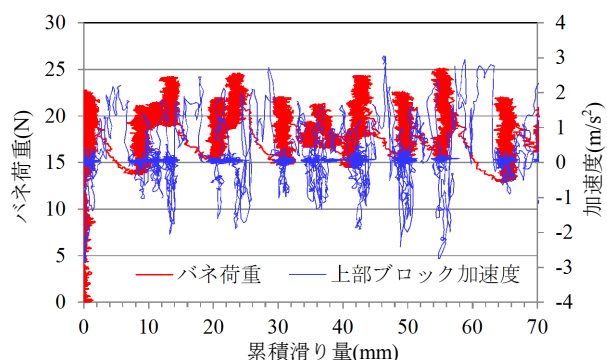


図-4 累積滑り量とバネ荷重および加速度の関係

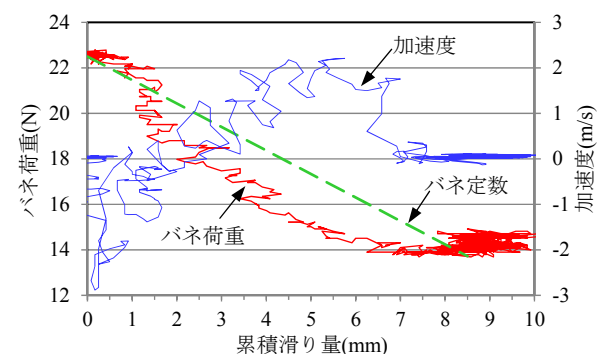


図-5 新実験装置で見られた不安定滑り挙動

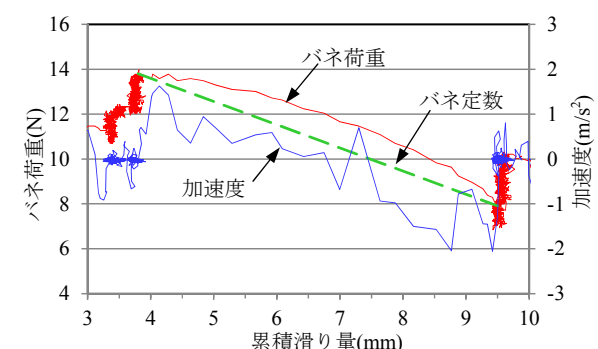


図-6 従来の実験装置で見られた安定滑り挙動