

京都大学	博士 (理学)	氏名	江 耀 (JIANG Yao)
論文題目	Experimental Study on the Frictional Instability and Acoustic Emission in Sheared Granular Materials with Implications for Landslide Mobility		
(論文内容の要旨)			
<p>通常、地すべりのすべり面におけるせん断現象は、粒状体としての土の変形・破壊過程として近似的に考える事ができる。しかし、地すべり現象のように大変形を伴う粒状体の力学特性を検討した例はほとんど見られない。そこで本論文では、アコースティック・エミッション (AE) に注目し、室内実験によって粒状体のせん断破壊メカニズムを検討した。論文は6章より構成され、2章では実験手法、3章では粒状体のせん断挙動、4章ではAEと粒状体のせん断挙動の関係、5章では実験結果に基づく地すべりの運動特性の解釈について述べられている。粘着力の影響を避けるため、実験材料としては粒径が均質なガラスビーズを用いた。これらを大型リング試験装置の供試体とし、定圧乾燥状態でせん断試験を行った。せん断中に発生するAEを捉えるため、供試体のせん断面近くにセンサーを配置し、サンプリング周波数1MHzで計測する事によって波動を観測した。その結果、粒状体においては、せん断の進行と共にせん断抵抗の低下イベントとAEが頻繁に発生しており、それぞれ以下の関係にある事が判明した。</p> <ol style="list-style-type: none">1. せん断速度が同じ場合、粒径が大きいほど、規模の大きなせん断抵抗の低下イベントが、発生し、再来時間間隔も長くなる。2. 粒径が同じ場合、せん断抵抗の低下イベントの規模と再来時間間隔は、せん断速度の増加と共に低下する。3. せん断抵抗の低下イベントの規模とAEの規模はべき乗則の関係にある。4. AEの発生頻度は、粒径が小さくせん断速度が速いほど大きい。5. 主要なAEは、せん断抵抗の低下イベントの開始時期よりも数ミリ秒早く発生する。 <p>AEの発生は、粒子構造の局所破壊に、せん断抵抗の低下イベントはより大きな範囲での粒状体構造の破壊にそれぞれ対応していると考えられる。したがって、上記の実験結果は、全体の破壊に先行して局所破壊が連続することを意味し、破壊の伝播現象が粒状体内部で起きていることを示唆する。さらに、せん断抵抗の低下イベントの規模が大きい場合は、せん断抵抗の低下が見られない場合に比べて、全体のせん断エネルギーは小さい。実験結果によれば、粒径の大きいほどせん断抵抗の低下イベントの規模が大きいので、エネルギーは効率的に消費される事になる。地すべりの規模と等価摩擦係数 (崩壊高さ / 土砂到達距離) の関係は、巨視的に見ると逆相関であるが、分散も大きい事が知られている。本論文の結果は、この関係に見られるデータのばらつきの原因について、新たな視点を加えるものである。また、本論文での実験結果は、他の岩盤崩落実験で得られた結果とも整合的であり、地すべり土砂の輸送メカニズムにおけるせん断抵抗の低下イベントの重要性を示している。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

地すべりなどの斜面崩壊が、地すべり面付近における局所破壊の連続であることは、フィールド現象から室内試験までの様々なレベルで観察されている。したがって、局所破壊を検出し、その総体として、斜面の破壊を理解しようとする試みは、数多く行われてきた。しかし、そうした試みが斜面の力学の体系化に役立っていないのも事実である。それは、土の局所破壊における基礎的な物理現象の検出が難しいため、たとえ土の局所破壊が検出できたとしても、土の局所破壊と全体破壊（地盤の破壊）をつなぐ理論の構築が難しいためである。

本論文は、大型のリングせん断試験装置を利用し、土のモデルとしてのガラス粒状体のせん断時に放出されるアコースティック・エミッション波動（AE）を高時間密度で観測して、局所破壊の検出を従来よりも高精度に行おうとする試みである。AEを破壊のマーカーに使う試みは以前からあるが、本論文ではリングせん断試験装置によって、せん断速度、応力レベルを制御しつつ、AE観測を格段に高精度で実施した点が新しい。

その結果、本論文は、粒状体のせん断過程において頻繁にせん断抵抗の低下イベントが起きていること、それらに先だってAEが出ていることを明らかにした。AEの発生は粒子構造の局所破壊に、せん断抵抗の低下イベントはより大きな範囲での粒状体構造の破壊にそれぞれ対応していると考えれば、この実験結果は、全体の破壊に先行して局所破壊が連続することを意味し、破壊の伝播現象が粒状体内部で起きていることを示唆する。AEは、岩盤の破壊現象との関連で研究されてきた経緯があり、粒状体におけるAEの発生過程に関する理解は乏しい。その意味で、本論文は、粒状体内部の複雑な摩擦挙動を理解し、局所破壊と全体破壊の関係を探るための有力な手法を提案したと言える。

さらに、本論文の指摘は、局所破壊が連続する地すべりの野外観測結果と調和的なだけで無く、AE観測による崩壊発生予測の妥当性を裏付けるものであり、応用的な意義も認められる。また、地すべりの規模と等価摩擦係数（崩壊高さ／土砂到達距離）は、巨視的に見れば逆相関であるが、ばらつきも大きいため、土砂の運動メカニズムについては様々な議論がなされてきた。本論文では、せん断エネルギーの検討を通じて、粒径の大きい場合ほど、効率的にエネルギーが消費されることを示し、データのばらつく問題について、新たな視点を提供している。

以上の様に、本論文は、粒状体のせん断挙動を高精度で観察することにより、斜面における基礎的な物理現象の理解を深めるだけでなく、地すべりの発生・運動予測にも貢献できるものと評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成28年7月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。