

管理番号

2025 年度「深田研究助成」研究報告書概要

（深田地質研究所のホームページで公開します）

研究課題名 （和文）	スロー地震と通常地震の遷移を支配する変形機構の解明		
研究課題名 （英文）	Deformation mechanisms governing the transition between slow and regular earthquakes		
研究代表者	氏名	（漢字）	佐々木 勇人
		（カタカナ）	ササキ ユウト
		（英文）	Yuto Sasaki
	所属機関・職名		大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻・博士後期課程 3 年

概要（600 字～800 字程度にまとめてください。図表、写真添付の場合は 1 ページ以内 2 枚まで）

地震には通常の地震とスロー地震の 2 種類があり、両者は規模別頻度分布と規模-継続時間関係という 2 つの統計則において異なる性質を示す。しかしその発現機構は未解明であった。本研究では、粒子群の剪断実験と離散要素法数値シミュレーションにより、この統計性の違いを生む条件を調べた。

実験では、ハイドロゲル粒子もしくはガラスビーズを重液液面に浮遊させた単層系と、ガラスビーズを乾燥状態で 3 次元封入した系を用い、充填率・歪速度・流体の有無などを変化させながら回転剪断実験を行った。トルク降下量としてすべりイベントの規模を定義して統計性を調べた結果、規模別頻度分布は主に歪速度と粒子弾性に依存し、歪速度が大きい場合や粒子が柔らかい場合には指数分布に、歪速度が小さい場合や粒子が硬い場合にはべき分布に従うことが明らかになった。また、規模と継続時間の関係は流体の有無と封圧に依存し、流体存在下では線形関係（スロー地震型）、乾燥 3 次元封入条件では 3 乗関係（通常地震型）となった。すなわち、規模と継続時間の線形関係を維持しながら、規模別頻度分布は歪速度に応じてべき分布と指数分布との間を遷移するという、地震学的観測事実と整合的な結果が得られた。

数値シミュレーションでは、粒子層内に応力集中が鎖状に発達するフォースチェーン構造が確認された。封圧（あるいは充填率）や流体粘性が増加するとフォースチェーンが系全体に伸長してネットワーク化し、逆に減少すると応力分布が一様化してフォースチェーンが局在化することがわかった（図）。

以上より、スロー地震と通常地震の統計性の遷移は、断層内フォースチェーンの座屈ダイナミクスの違いに起因すると考えられる。本研究の成果は、ブロックインマトリクス構造を持つ断層岩がスロー地震の発生源となりうることを実験的に支持するものである。

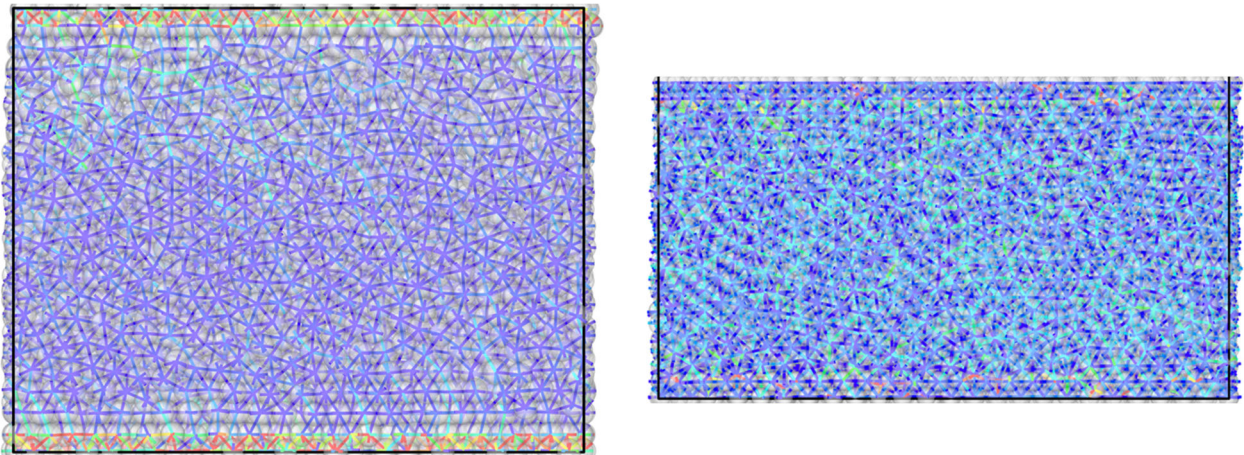


図 離散要素法数値シミュレーションの結果。固定底面に対して上面を左方向へ一定速度で動かし剪断させた時の粒子層内の応力分布。接触粒子間の力の大きさをカラーコンターで示し、スケールは共通。（左）充填率 0.56，粘性 1 Pas，摩擦 0.7。（右）充填率 0.80，粘性 1 Pas，摩擦 0.7。

発表文献等（この研究を発表した雑誌・図書・学会等について記入してください。印刷中は in press と記入してください。著者名は省略せず、全てを記入し、自分の名前に下線を引いてください。欄が足りない場合は、増やして記入してください。）

雑誌	論文標題					
	著者名					
	雑誌名					
	ページ	～	発行年		巻号	
雑誌	論文標題					
	著者名					
	雑誌名					
	ページ	～	発行年		巻号	
図書	書名					
	著者名					
	出版社		発行年		総ページ	
学会等	演題	Microscopic dynamics governing the slow and fast earthquake statistics: Reproduction by analogue experiments using fluid-granular multiphase flow				
	発表者名	<u>Yuto Sasaki</u> , Hiroaki Katsuragi				
	学会名	JpGU-AGU Joint Meeting 2026			発表年	2026

英文抄録（100 語～200 語程度にまとめてください。）

Slow earthquakes and regular earthquakes differ in two statistical properties: the size–frequency distribution and moment–duration scaling relation. However, the underlying mechanisms remain poorly understood. To investigate the conditions governing these statistical differences, we conducted rotary shear experiments on granular layers and discrete element method simulations.

Experiments using hydrogel particles or glass beads under various packing fractions, strain rates, and fluid conditions revealed that the size(torque drop)–frequency distribution depends primarily on strain rate and particle elasticity: higher strain rates and softer particles yield exponential distributions, while lower strain rates and harder particles yield power–law distributions. The moment–duration scaling depends on fluid presence and confining pressure, transitioning from a linear relation under fluid conditions to a cubic relation under dry three–dimensional confinement. Notably, the linear moment–duration relation was maintained while the size–frequency distribution transitioned between power–law and exponential, consistent with seismological observations.

Simulations confirmed force chain structures within the granular layer. Increasing confining pressure or fluid viscosity promoted system–spanning force chain networks, while decreasing these parameters led to stress homogenization and force chain localization. These results suggest that force chain buckling dynamics govern the statistical transition between slow and regular earthquakes.