

岩石破壊実験での地震波速度のモニタリング Monitoring of seismic velocity during rock fracture experiments

○片山郁夫 (広島大学)

○Ikuro Katayama (Hiroshima University)

Laboratory experiments show systematic changes in elastic wave velocities (V_p and V_s) and amplitudes in fine-grained granite during triaxial deformation under dry and wet conditions. These changes are related to the development and closure of microcracks in the sample; however, the experimental results show a greater change in amplitude (i.e. attenuation) than in velocity during deformation. These behaviors are potentially applicable to recent observations of change in seismic velocity and attenuation prior and after earthquakes.

1. はじめに

地震の物理モデルとして提案されているダイラタンシー拡散モデルは、岩石破壊に至る前にマイクロクラックが発生することから、地震の準備段階で地震波速度などの異常がみられると論じた (Scholz et al. 1973)。このモデルは、地震を予測することが原理的に可能であることを期待させ、1970年代は地震予知研究が盛んに行われた。しかし、そのような異常はそれ以降の物理観測ではみられないことも多く、その規模は観察できるほど大きくないのではないかと現在考えられている。このように、少し後退気味であるダイラタンシー拡散モデルではあるが、実験室での岩石破壊では、マイクロクラックの生成・成長によるダイラタンシーは普遍的にみられる現象である。本講演では、我々が最近行っている実験を基に、岩石が破壊する際に地震波速度がどのように応答するのか、そしてそれらはどのような観測に検出され得るかを再検討する。

2. ダイラタンシーとは

岩石の三軸圧縮試験では、変形初期で応力は歪みとともに線形に増加するが (弾性変形)、高応力下では歪みと応力の関係は非線形になり、体積歪みは圧縮から膨張に転じる。これは、試料内に亀裂が生成されるためであり、マイクロクラックの生成・成長により体積が増加する現象をダイラタンシーとよぶ。一般に、ダイラタンシーは破壊応力の 30-50%の応力状態から観察され、試料内に発達するクラックが増殖し相互作用することで応力の局在下が起り、岩石は巨視的な破壊に至る

と考えられる。このように、岩石は破壊に至る前に微小なクラックが普遍的に発達し、それらの発生を捉えることが地震発生予測においても重要と考えられる。

3. ダイラタンシーによる地震波速度の変化

岩石中にマイクロクラックが生成・成長するダイラタンシー時には、地震波速度はクラックの形成により遅くなる。ドライな条件では、 V_p の速度低下は V_s よりも大きく V_p/V_s はやや減少する一方、水の存在下では、クラックが水で充填されることで体積弾性率の変化が小さく V_p/V_s は増加する。このように、水の有無によってクラックの生成が地震波速度へ与える影響が異なることは、ダイラタンシー拡散モデルで重要な要素となる。また、速度変化に加え、地震波の減衰や浸透率など流体の輸送特性もクラックの形成・成長により大きく変化する (Zaima and Katayama 2018)。

4. 地震プロセスとの関連性

ショルツのダイラタンシー拡散モデルは、これら巨視的な破壊に至る前の微小破壊による物性変化を捉えることで、地震発生を予測することができると論じた。しかし、微小破壊による地震波速度の変化は大きくても数%程度であり、地震波の伝搬経路に対する破壊ゾーンの広がりを考えても、観測で異常が検出できるかは微妙といえる。一方、地震波の減衰や浸透率などはクラックの形成・成長によりオーダーで変化する性質を示すため、これらの物性の変遷を捉える方がより現実的なのかもしれない。