

岩石破壊時における透過P波のコヒーレンスと位相の時間変化

Temporal changes in coherence and phase of elastic P wave transmitting through fracturing Westerly granite

吉光 奈奈 [1]; 川方 裕則 [1]; 高橋 直樹 [2]; 高橋 学 [3]

Nana Yoshimitsu[1]; Hironori Kawakata[1]; Naoki Takahashi[2]; Manabu Takahashi[3]

[1] 立命館大・理工; [2] 三井住友建設; [3] 産総研

[1] Ritsumeikan Univ.; [2] Sumitomo Mitsui Construction; [3] GSJ

これまでに室内実験において、Lockner et al. (JGR, 1977) などにより、破壊強度に先行して岩石試料中を伝播する波の振幅と速度が変化することが報告されている。この波の変化は、クラックの閉塞や開口によって起こると考えられるが、これまでは狭帯域のセンサーによる集録が行われてきたため、詳細なクラックのイメージを推定することができなかった。

Yoshimitsu et al. (2008, ASC) は、破壊強度後を含む破壊過程におけるクラック生成を詳細に観察するために、川方他 (2007, 地震学会秋季大会) によって開発された従来よりも広帯域のセンサーを使用できる計測システムを用いて岩石の三軸圧縮試験を行い、載荷軸方向の透過弾性P波の集録を行った。実験は、直径50 mm、高さ100 mmの円筒形のウェスターリー花崗岩を試料として用い、封圧80 MPa、常温、乾燥環境下で行われた。試料の上下に200 - 800 kHzで高感度なトランスデューサーを取り付け、1/40 s毎に50 Vの矩形パルスを一側から透過させ、もう一方のトランスデューサーで得られた波形が100 MS/sで2 ms間集録された。記録された波形を調べた結果、100 - 1000 kHzで十分なS/Nが得られたため、彼らは、透過P波の振幅について周波数依存性の時間変化を調べた。その結果、ダイラタンシー開始からしばらくはすべての周波数帯で透過波の減衰が起こっているのに対し、破壊強度直前ではいくつかの特定の周波数帯の減衰が見られた。さらに、破壊強度後には低周波側でのみ減衰が見られた。また同時に、透過P波の初動について、ダイラタンシー以降振幅はおよそ一定の割合で減少し続け、破壊強度以降に振幅が急激に低下したことが報告された。その一方で、速度はダイラタンシー以降およそ一定の割合で減少し続け、破壊強度以降にはほぼ一定となった。これらの結果から、彼らは、減衰の周波数依存変化、初動振幅と初動速度の変化を併せて考え、クラックの生成と成長過程について検討を行った。

本研究では、透過波の伝搬時間の周波数依存変化を調べるため、Yoshimitsu et al. (2008, ASC) と同じ実験データを用いて、クロススペクトル解析を行い、波形のコヒーレンスと位相変化を観察した。集録された透過弾性波のP波到達0.027 ms前から顕著な反射波を含まない0.197 ms間を切り出して解析に用いた。解析期間は、ダイラタンシーが始まった直後から破壊強度を超えた後の除荷開始までである。解析周波数帯は100 - 1000 kHzとし、50 sごとの波形データを用いて、隣合う波形同士のコヒーレンスと位相の時間変化を見た。

その結果、解析対象の全波形について、コヒーレンスはほとんどの周波数帯において1に近い値を示した。位相には顕著な周波数依存した遅れは見られず、実験時間の経過とともに少しずつ(50 sごとに0.2 microsec以内)遅れていった。また、破壊強度付近では、すべての周波数帯で位相変化がなかったことがわかった。

本結果とYoshimitsu et al. (2008, ASC) による結果を併せて考えると、圧縮軸に平行なパスについて、破壊強度付近では透過弾性P波の初動走時、全周波数帯における位相ともに変化は見られないということがわかった。また、このパスでは透過弾性波のスペクトル振幅や初動振幅に比べ、初動走時や位相は破壊の成長に対して鈍感であるということがわかった。