

## 三軸圧縮試験時の岩石の破壊成長にともなう Q 値の時間変化 — 較正波形の初動振幅を用いた推定 —

吉光奈奈・川方裕則(立命館大)

### 〇はじめに

地震波の散乱減衰は地殻の不均質構造を知る上で重要な現象である。減衰を定量的に評価するパラメータとして、Q 値がある。

岩石圧縮試験では、透過波の速度や振幅の変化から载荷中の試料内部の状態を推定することができる。しかし、技術的な問題により、狭帯域での波形集録しか行われてこなかったため、地震学の一般的な解析手法を適用して Q 値を推定することはできなかった。

Kawakata et al. (2009, IASPEI) により開発された広帯域波形集録システムを用いて三軸条件下での透過波集録を行うことで、Yoshimitsu et al. (2009, EPS) は破壊強度以降に初動振幅が加速的に減少していることを発見した。Yoshimitsu and Kawakata (BSSA, in press) はこのデータの波形補正を行い、理論波形と比較することで、初動 rise time から Q 値の時間変化を推定した。この際に、初動振幅の変化から期待されるような急激な Q 値の変化は、明瞭には得られなかった。本研究では、rise time に代えて初動の両振幅を使うことにより、理論波形と補正波形の比較から Q 値の推定を試みた。

### 〇実験概要

直径 50 mm, 高さ 100 mm の円筒形の Westerly 花崗岩を用いて、封圧 80 MPa, 常温, 乾燥条件下で三軸圧縮試験を行った。試料の上下に取り付けた金属容器内部に P 波型の広帯域圧電トランスデューサを取り付け、载荷中を通して上側のトランスデューサに 1/40 s 毎に 50 V の矩形ステップを与え、下側のトランスデューサで得た波形を 100 MS/s で集録した。破壊強度 (710 MPa) 後、軸応力が約 8 MPa 低下するまで周変位速度一定の制御下で载荷を行い、波形集録を継続しながら準静的に破壊を進展させた。集録波形を 100 回スタックし、200-1200 kHz で十分な S/N を得た。ただし、初動部分に重なる AE が発生している波形はスタックから除いた。

### 〇解析手法

まず、波形の補正を行った。6MHz までフラットな位相特性を持ち、振動面の絶対速度を計測できるレーザードップラー振動計を用いて、トランスデューサの記録特性を得た。この記録特性で観測波形を Deconvolution することによって、速度波形 (補正波形) を得た。

岩石試料を透過した波のコーダ部分は、試料表面での反射波やそれらの干渉によって乱され、内部の不均質による散乱波以外の波を含んでいる。そこで本研究では、初動を利用して Q 値の推定を行った。Stacey et al. (1975, Geophys. Surveys) は、変位波形の初動 rise time, 走時から Q 値を求める経験式を提示した。これは、Azimi et al. (1968, Phys. Solid Earth) によって提案された、Q 値をパラメータとして含むパルス型の衝撃応答に関する理論式を満たすも

のであった。Azimiの理論式は一般的な自然地震と同じDouble couple型パルス力源に対する変位波形について提案されたものだが、トランスデューサによる力源はSingle forceであり、変位波形の積分がパルス応答に相当するため、補正で得た速度波形を2回積分してQ値推定をする必要がある。Yoshimitsu and Kawakata (BSSA, in press) は、補正波形を2回積分する代わりにAzimiの理論波形の2回微分を行い、得られた波形のrise timeと $Q^{-1}$ 値の間の線形関係から直接Q値を推定した。

理論波形を2回微分すれば、rise timeのみではなく振幅情報も利用することができる。両振幅を取れば、ベースラインの揺らぎによって推定されるQ値がばらつくことを防ぐことから、本研究では、Azimiの理論波形における初動の両振幅とQ値の関係から、Q値の推定を行った。ただし、初動両振幅とQ値には線形関係がなかったため、様々なQ値に対する理論振幅を補正波形の振幅と比較することによって推定をした。

### ○結果

解析の結果、2.5秒ごとに、ばらつき1以下という高い精度でQ値の時間変化が推定された。初動両振幅を用いて推定したQ値について、载荷開始時のQ値は21.7程度で、ダイヤ

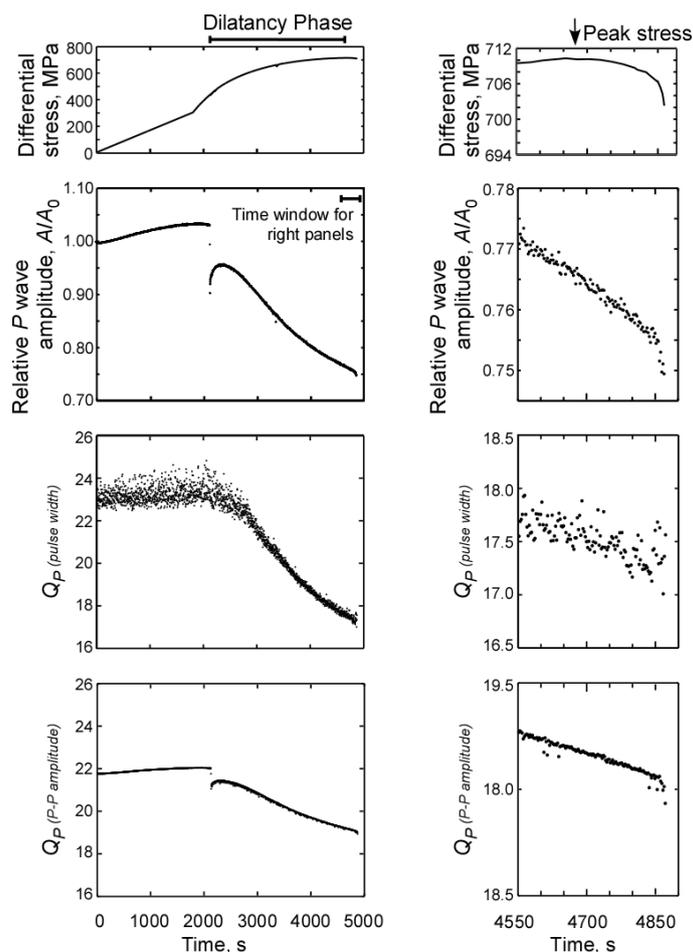


図 上段から順に、差応力、初動両振幅、初動 rise time から推定した Q 値、初動両振幅から推定した Q 値。左列は载荷開始～終了、右列は破壊強度付近。

タンシー開始にかけて僅かに増加して 22 程度となった。さらに载荷を続けダイラタンシーが進行すると Q 値は減少をはじめ、破壊強度付近では 19 程度になった。一方、初動 rise time を用いて推定された Q 値は、载荷開始時の Q 値は 23 程度で、ダイラタンシー進行とともに 17 程度まで減少した。Q 値のばらつきは、期待されたとおり、振幅から推定したもののほうが小さかった。また、破壊強度後には、差応力の急激な低下に対応するような、Q 値の低下も見られた。

得られた Q 値の変化は試料内のクラック閉塞・生成を反映したものであると考えられる。破壊の準備過程において、パス内の亀裂は局所化し、特徴的なサイズを持つ。2 手法による推定値には僅かな違いがあるが、これは理論波形を作る際に、周波数一定、パス内で Q 値が一樣、という仮定をしたために生じた可能性がある。