

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(2)

Temporal change in Q value of a fracturing rock sample under a triaxial condition (2)

吉光 奈奈^{1*}, 川方 裕則¹, 高橋直樹², 高橋 学³

Nana Yoshimitsu^{1*}, Hironori Kawakata¹, Naoki Takahashi², Manabu Takahashi³

¹立命館大学, ²三井住友建設株式会社, ³産業技術総合研究所

¹Ritsumeikan University, ²Sumitomo Mitsui Construction Co., Ltd., ³AIST

○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 (quality factor) 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、これまでは技術的な困難から狭帯域での波形集録しか行うことができず、記録された電圧値の加速度や速度などへの補正も行われてこなかった。そのため、地震学の一般的な解析手法を実験で得られた透過波に適用して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い、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。吉光他 (2009, SSJ) はこのデータの波形補正を行い、初動パルス幅からQ値の時間変化を推定した。この際、解析に適した形にするために補正波形を2回積分すると長周期成分で波形が乱れてしまうという問題があったが、補正波形と集録波形の初動パルス幅がほぼ等しかったことから、集録波形の2回積分を行いQ値を推定をした。その結果、応力の増加にともなうQ値の減少が見られたが、破壊強度以降の振幅の急激な減少に対応するような明瞭なQ値の変化は見えなかった。本研究では、理論波形を用いることによって2回積分による問題を解消する新たな式を提案し、より正確なQ値の推定を試みた。

○実験概要

直径50 mm, 高さ100 mmの円筒形のWesterly花崗岩に、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の矩形パルスを与え、下側のトランスデューサで得られた波形を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、200-1000 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。

○解析手法・結果

まず、波形補正のため、6MHzまでフラットな位相特性を持ち正確な振動面の絶対速度計測が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デコンボリューションすることによって、速度波形を得た。

岩石試料を透過した波のコーダ部分は、試料表面での反射や干渉により試料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、初動の立ち上がりを利用する手法でQ値の推定を行った。Stacey et al. (1975, Geophys. Surveys) は、経験的に変位波形の初動パルス幅、走

時からQ値を求める式を提示した。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。我々はAzimiの式において、 Q^{-1} 値とパルス型応答を2回微分した波形のパルス幅に、線形関係があることを見出し、新たな式を提案し、集録波形の補正で得られた速度波形のパルス幅から直接Q値を推定した。

解析の結果、2.5秒ごとに、誤差1以下という高い精度でQ値の時間変化が推定できた。載荷開始時のQ値は23程度で、載荷初期のQ値は荷重の増加にともなってわずかに増加した。これは試料内の既存クラック閉塞を反映していると考えられる。さらに載荷が進みダイラタンシーが開始し、圧縮によって試料内部に新たに亀裂が生成されはじめるとQ値は減少をはじめ、破壊強度付近では17.5程度になった。常温乾燥下の実験であるため内部減衰の変化は考えにくく、Q値の変化は散乱減衰の変化と考えられる。

キーワード:室内実験,三軸圧縮破壊試験, Q値,断層面形成過程,透過弾性波

Keywords: laboratory experiment, triaxial compression test, Q value, fault formation process, transmitting elastic wave