

III-285 異方性岩石における水圧破砕き裂進展のAE測定による検討

工業技術院 資源環境技術総合研究所 正会員 瀬戸政宏 正会員 歌川学
正会員 勝山邦久

1. はじめに

水圧破砕技術は岩盤中に削孔した孔井に水圧を作用させて岩盤を破壊し、地下の応力計測や地下高温岩体開発のためのき裂造成に対して利用される。しかし、地下の天然の岩盤は異方性を有しており、その異方性が水圧破砕き裂の進展に影響することが予想される。そこで、本研究では、石目を有する異方性岩石を用いてAE計測と組み合わせた水圧破砕実験を行い、水圧破砕き裂の進展に及ぼす岩石の有する異方性の影響について検討した。

2. 実験およびAE計測方法

実験に使用した岩石は、寸法が $300 \times 300 \times 300$ mmで立方体形状の茨城県稲田産の花崗岩（以降、稲田花崗岩）を用いた。水圧破砕用の孔井は直径11mm、深さ250mmで、試料の中心部を通るように削孔した。また、孔井内における加圧区間のシールにはデュアルタイプのカパッカーを用い加圧区間長は42mmとした。この加圧区間への水の注入は流量一定（4.0～4.5cc/min）の条件で行った。

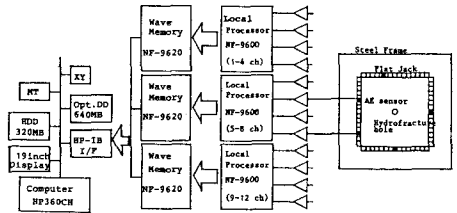


図1 AE計測システム

AEの計測は12個のセンサー（NF製904DM型、共振周波数500KHz）を岩石試料に取り付けて行った。AE計測に用いたシステムの概略を図1に示すが、センサーで検出されたAE信号は、プリアンプとAE計測装置内の主増幅器で合計80dB増幅した。増幅されたAEの内、しきい値（260mV）を越えたAE信号は、AE波形記憶装置に送られ、そこでサンプリング速度100nsec/wordでA/D変換され、1Kワードのデジタル波形データとして逐次ハードディスクに記録した。

記録されたAE波形データを用いたAE震源の標定は、P波初動到達時刻を用いた繰り返し最小二乗法によって行った。また、震源決定計算におけるP波速度値は、実験開始前に計測した直交する3方向の速度値を用いた。計算にあたっては、これら3方向の速度値を主軸とする回転楕円体でP波速度構造を近似して任意の方向の速度値とした。震源決定精度については、各実験に先立ち試料表面で弾性波を発生させ、これをAEと同様な方法で記録した波形から発生位置を求め、実際の弾性波発生位置と比較することによって検討した。その結果、発生位置が直交する3方向（X,Y,Z）でそれぞれ ± 5 mm以内の精度で決定された。

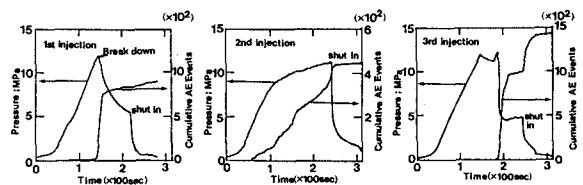


図2 水圧-AE-時間曲線（無負荷）

記録されたAE波形データを用いたAE震源の標定は、P波初動到達時刻を用いた繰り返し最小二乗法によって行った。また、震源決定計算におけるP波速度値は、実験開始前に計測した直交する3方向の速度値を用いた。計算にあたっては、これら3方向の速度値を主軸とする回転楕円体でP波速度構造を近似して任意の方向の速度値とした。震源決定精度については、各実験に先立ち試料表面で弾性波を発生させ、これをAEと同様な方法で記録した波形から発生位置を求め、実際の弾性波発生位置と比較することによって検討した。その結果、発生位置が直交する3方向（X,Y,Z）でそれぞれ ± 5 mm以内の精度で決定された。

3. 実験結果と考察

本研究では、岩石試料に対して封圧を作用させない無負荷条件と、直交する2方向（X,Y方向）から封圧を作用させた二軸応力条件の2種類の条件で検討を行った。

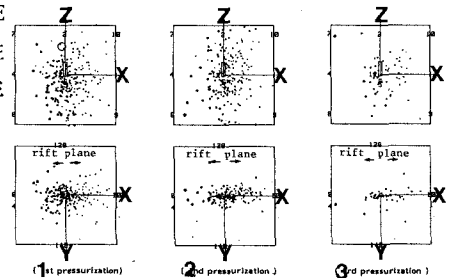


図3 AE震源分布図（無負荷）

（1）無負荷条件での検討： 本検討では、水圧破砕孔井を石目（リフトプレーン）に平行に削孔し、試料のほぼ中心部に水圧を作用させた。この時の水圧-AE-時間曲線を図2に示す。注入1回目においては破壊に伴う急激な水圧低下（プレイクラク）が発生している。AEは注入1回目ではこのプレイクラクの発生直前において、注入2回

目以降においては水圧破砕き裂の再開口に起因して、水圧カーブの変曲点以降急増している。各注入時におけるAE震源分布図を図3に示すが、同図においては石目の方向も併せて示してある。同図から分かるように、AE震源は石目の走行方向と平行に分布している。すなわち、無負荷条件下においては、水圧破砕き裂は石目に影響されて、石目を押し開くように形成されることが分かる。また、注入1回目におけるブレイクダウンを挟んだ10秒間におけるAEの時空間分布を図4に示す。同図における○印の大きさはAEの相対的規模の違いを示しており大きいほど最大振幅の大きいAEが発生したことを示している。同図より、ブレイクダウン発生前において既に多数のAEが最終的なき裂形成領域において広い範囲で発生していることが分かる。このことから、ブレイクダウンによって巨視的クラックが形成される前段において、マクロクラックの形成が行われているフラクチャード・レジオンが形成されているものと考えられる。

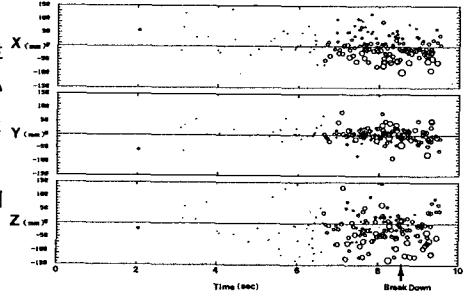


図4 AE時空間分布図（無負荷）

（2）二軸応力条件での検討：

本検討では、X軸方向から11.8MPa、Y軸方向から5.88MPaの封圧をフラットジャッキによって作用さ

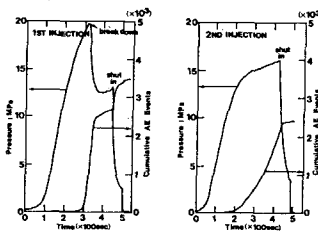


図5 水圧-AE-時間曲線（二軸）

せた条件で検討を行った。なお、石目の走行方向はY軸に平行な方向である。図5は、水圧-AE-時間曲線を示している。AEの発生パターンと水圧変化との関係は無負荷条件の場合とほぼ同様である。図6は、1回目注入時におけるAEエネルギー率の変化を示しており、図7は図6におけるA及びB段階でのAE震源分布を示している。A段階においてはAE震源は最大封圧の作用方向と平行な平面状に分布しているが、B段階になるとAE震源はY方向に広がりを持つように分布の形態が変化している。つまり、ブレイクダウンの発生直前においては、応力条件を反映しない石目に影響されたクラックの形成が行われていることが推察される。図8は2回目注入時におけるAE震源分布を示している。AE震源分布の特徴は、X-Y平面投影図でみると孔井近傍では最大封圧と平行な方向（X方向）に分布しているが、孔井から離れるにしたがって一部のAE震源が石目方向に分布していることが挙げられる。つまり、水圧破砕き裂の成長に伴って石目の影響を受けてき裂の成長方向が石目方向に方向転換するものと考えられる。

4. おわりに

異方性岩石である稲田花崗岩において、水圧破砕き裂の進展に対する石目の影響をAE震源の追跡によって明らかにした。すなわち、き裂の初生時には最大封圧方向に進展するが、き裂の成長に伴ってその進展方向が石目方向に方向転換する。

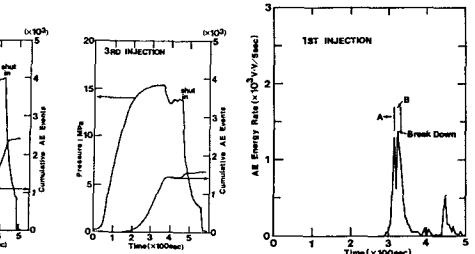


図6 AEエネルギー率変化

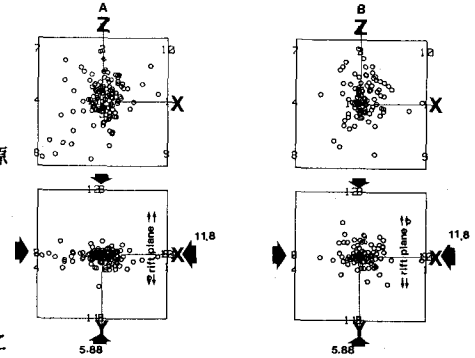


図7 注入1回目のAE震源分布

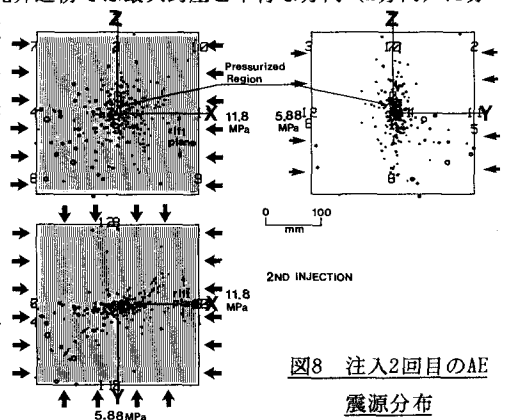


図8 注入2回目のAE震源分布