

ポイント

- ・ 紫外線をあてると発光する樹脂を用いて水圧破碎を行い、それによって生じる微小破壊を測定することで、造成亀裂の詳細形状・亀裂進展が観察できる室内実験を行った。
- ・ 微小破壊が放射する波形を24個のAEセンサにより10 MHz サンプリングで連続収録した。収録装置の進化により、このような大量のデータの連続収録が可能となった。
- ・ 設置の影響による特性変化の考慮が難しいというAEセンサ特有の問題を解決し、地震学で行われているような震源メカニズム、絶対規模、コーナー周波数推定を実現した。
- ・ 機械学習を利用して大量のAEの震源メカニズムを求め、既存亀裂と流体の相互作用がどのような微小破壊活動を起こすのかを明らかにした。
- ・ 水圧破碎実験では、通常の地震に比べて低周波が卓越するイベントが多く発生していることがわかった。震源域の高い間隙圧が原因である可能性がある。
- ・ 機械学習を利用することで、室内実験におけるAEカタログを大きく改善できることがわかった。

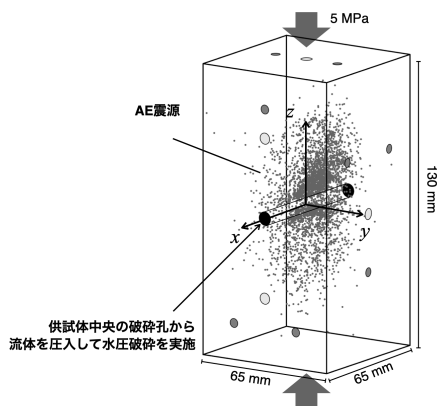


図1. 蛍光観察とAE計測による水圧破碎亀裂造成プロセスの可視化実験 (Tanaka et al. 2021). 上下方向に5 MPaの一軸圧縮をかけた状態で供試体中央部の孔から、紫外線照射下で発光する樹脂を注入して水圧破碎を引き起こす。造成した亀裂の詳細形状を、破碎後の供試体の断面観察、顕微鏡観察で詳しく調べることができる。亀裂の時間発展は、AEセンサで微小破壊をモニタリングすることで調べることができる。

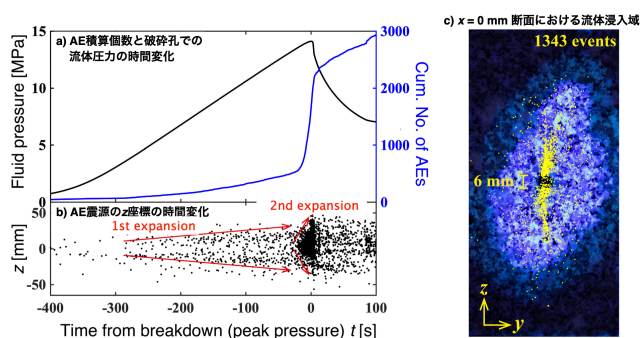


図2. 黒髪島花崗岩供試体における実験結果の例 (Tanaka et al. 2021). a) 破碎孔での流体圧とAE積算個数の時間変化。時刻の原点は破碎時刻 (破碎孔圧力がピークに達した時刻) に対応している。b) AE震源のz座標の時間変化。実験開始後、破碎孔周辺に流体が徐々に浸透することによって三次元的にAE活動が広がり (1st expansion phase), 破碎の数秒前からは主亀裂造成に対応するとみられる二次元状AE分布の拡大 (2nd expansion phase) が生じたと解釈している。c) 破碎後の供試体断面を紫外線照射下で観察したもの。青白く発光している部分が流体の浸入域に対応する。黄色の点は、断面付近に求まった微小破壊の震源。

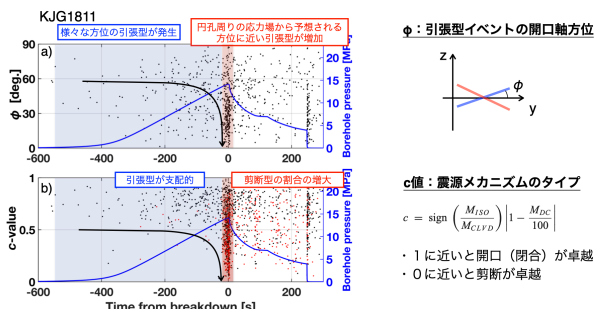


図3. 黒髪島花崗岩供試体の実験で観察されたモーメント・テンソル解の時間変化 (Tanaka et al. 2021; Naoi et al. 2022). a) 引張型イベントの開閉軸の時間変化。はじめは様々な方向の破壊が発生していたが、主破壊の造成 (Breakdown; t=0) 前後には、鉛直方向の亀裂が水平方向に開閉するタイプの破壊 (孔の周りの応力場から予想される方向の破壊) が多数生じている。b) 震源メカニズムのタイプの指標 (c値) の時間変化。黒点は開閉成分を持つもの、赤点は閉閉成分を持つものに対応している。はじめは引張型が支配的だが、主破壊造成前後で剪断型の割合が急増したことがわかる。

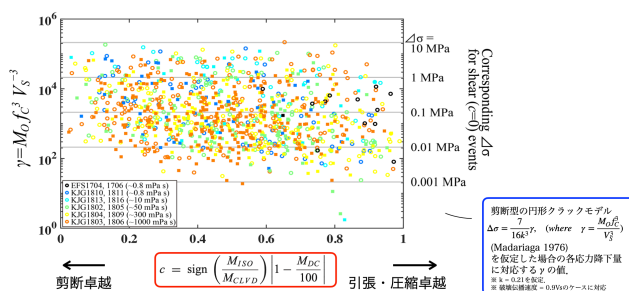


図4. 震源メカニズムのタイプ (c値) と  $\gamma$  値の関係。  $\gamma$  値は破壊の規模と卓越周波数の関係を表す指標で、せん断破壊の場合には、  $\gamma$  値から計算できる  $\Delta\sigma$  (図中右縦軸) が0.1-10MPaの範囲に収まることが知られている (応力降下量一定則)。本実験で  $\gamma$  値が得られたイベントの半分程度はこの範囲に収まるが、残りの半分は1-2桁小さな値を示している。これは、規模の割に低周波が卓越したイベントが多かったことを示している。