

既存亀裂を有する岩盤における新規水圧破碎亀裂発生機構の AE 測定による検討

岡山県（元山口大学学生） 正会員 ○中島雅子
 山口大学大学院 学生会員 大池泰弘
 山口大学工学部 正会員 石田 毅
 （株）日本パブリック 正会員 中山芳樹
 山口大学工学部 正会員 水田義明

1. はじめに

国の面積が狭く人口が大都市に集中するわが国では、地下空洞の利用が進み亀裂を有する岩盤に地下空洞を掘削せざるを得ない場合も増えてきている。地下空洞の設計や施工にあたって、初期地圧状態と呼ばれる空洞掘削以前の応力状態の把握は重要である。初期地圧を原位置で精度よく測定する方法として水圧破碎による方法があるが、亀裂が存在する浸透性の高い岩盤においては、水が亀裂に浸透し岩盤を破壊することができない。Zoback et al.¹⁾によると水圧破碎の破碎流体に粘性の高い泥水を利用することにより、既存亀裂の影響を受けずに新たな水圧破碎亀裂を発生させることができる。従って粘性の高い流体を用いれば、亀裂を有する岩盤においても地圧測定が行える可能性がある。本研究では、水を用いた水圧破碎で発生させた亀裂を既存亀裂とみなし、粘性の高い破碎流体を用いて新規水圧破碎亀裂を造成する室内実験を行い、AE と圧力を計測して新規亀裂の発生機構を検討する。

2. 実験方法

実験には破碎流体として水（粘度 1 cP、体積弾性係数 2.22 GPa）と油（粘度 80 cP、体積弾性係数 1.86 GPa）を用いた。供試体は図-1 に示す 1 辺 190 mm の中国産糠目花崗岩である。岩石の異方性が亀裂の発生方向に影響を与えないように、石目に直交する Z 方向に直径 20 mm のボーリング孔を削孔した。

まず、X 方向に 7.5 MPa、Y 方向に 2.5 MPa の拘束圧を載荷し、水による水圧破碎を行い X 方向に亀裂を造成した。これを既存亀裂を有する供試体とみなし、最大載荷方向を 90 度逆転させ、X 方向に 5 MPa、Y 方向に 15 MPa 載荷し、油による水圧破碎を行った。

3. 結果と考察

3.1 AE 発生頻度と圧力の経時変化

図-2 に圧力及び AE 発生頻度の経時変化を示す。圧力時間曲線を見るとほぼ 8 cm³/s の一定流量で油の注入を行っているにもかかわらず、孔内圧力は矢印で示すように 4 度のピークを示した後、大きな圧力低下を示した。AE 発生頻度は 0.1 秒間に発生した AE をトリガー・レベル 250 mV に設定して、リングダウン計数法で測定した 12ch の平均値を示す。AE 発生頻度を見ると孔内圧力が 25 MPa に達すると発生しはじめ、4 度目の圧力のピーク直後に最大になっている。

3.2 AE 震源の空間分布と供試体表面の亀裂

AE 震源は供試体の速度異方性を考慮し、各センサーへの P 波初動の到達時刻から求めた。考察の対象と

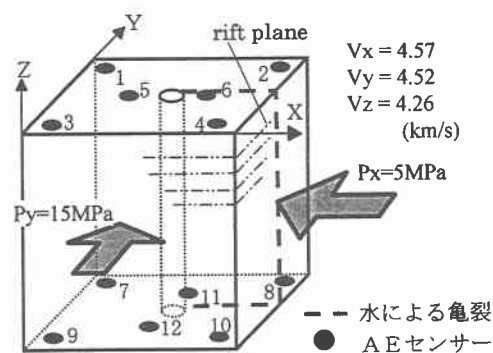


図-1 供試体の載荷状態と AE センサー

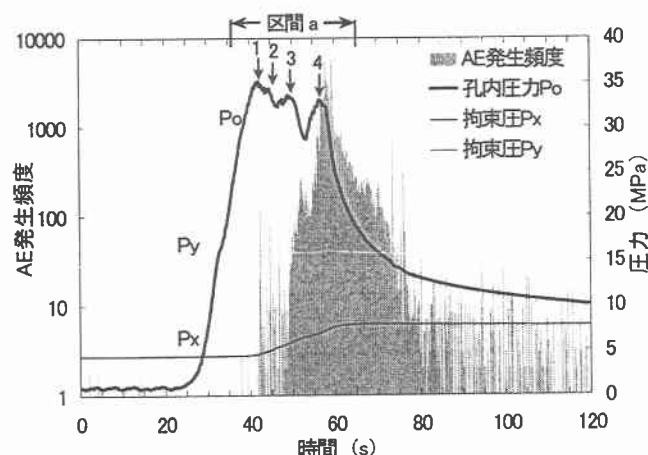


図-2 圧力と AE 発生頻度の経時変化

した震源は、P波初動を読み取れたセンサー数(データ数)が5以上、走時残差の標準偏差が $3\mu\text{s}$ 以下などの条件を満たした震源のみであり、震源決定の誤差は数 mm 程度、最大でも 20mm 程度である。実験で測定された AE イベントの総数は 5427 個であった。今回は 35 秒から 65 秒(図-2, 区間 a)までに発生した 2600 個について震源決定を行った。このうち上述の条件を満たした 180 個の AE 震源の各平面への投影図を図-3に示す。XY 平面図を見ると AE 震源は破碎孔から X 方向及び Y 方向に直線的に分布している。この結果を図-4に示した実験後に観察した亀裂のスケッチと比べると、X 方向の震源は水による破碎で造成された既存亀裂に沿って発生している。また、最大載荷方向である Y 方向の震源は新規亀裂の発生に伴って発生した AE であると考えられる。

3.3 AE 震源の時空分布

AE の震源分布の経時変化を明瞭に示すため、図-5に AE 震源の時空分布を示す。(a)(b)図の点線は破碎孔の中心座標 $X=95\text{mm}$, $Y=95\text{mm}$ をそれぞれ示し、(c)図の破線は、加圧区間の両端 $Z=65\text{mm}$, $Z=125\text{mm}$ の位置を示す。また、(d)図として孔内圧力と AE 発生頻度の経時変化を示す。図-5では 55 秒を境に AE 震源に顕著な変化が見られる。55 秒までは Y 方向では破碎孔を中心とした狭い範囲かつ、X 方向では破碎孔から“+”の方向に分布している。つまり既存亀裂で AE が発生している。55 秒を過ぎると Y 軸の“+”の方向かつ、X 方向では破碎孔を中心とした狭い範囲で AE が発生していることから、最大載荷方向に新規亀裂が発生したことがわかる。

これらの結果より、最初の 3 度(図-5(d))のピークは、パッカー内に残っている水が少しずつ既存亀裂に浸入して生じたものと考えられる。3 度目のピーク後は過去 2 回のピーク後の圧力低下に比べて、大きな圧力低下が生じている。AE 発生頻度と震源決定の結果より、3 度目のピークの後、パッカー内に残っている水が一気に既存亀裂に浸入していると考えられる。その後、パッカー内が油で満たされ圧力が再び上昇し、最大載荷方向に新規亀裂が造成されたと考えられる。

4. おわりに

本研究の結果、亀裂を有する供試体に破碎流体として油を用いたとき、まず既存亀裂の方向に AE が発生し、それに伴って小さな圧力低下を数度繰り返した後、圧力が再び上昇し、最大載荷方向に新規亀裂が造成された。これは、パッカー内に残っていた水が既存亀裂に浸入した後、粘性の高い油は既存亀裂に浸入できず、最大載荷方向に新規亀裂が造成できたものと考えられる。従って、亀裂が存在する浸透性の高い岩盤においても、粘性の高い流体を利用することにより、既存亀裂の影響を受けずに新たな水圧破碎亀裂発生させ、地圧測定できる可能性のあることがわかった。

<参考文献> M.D.Zoback et al., Int.J.Rock Mech.Min.Sci.&Geomech.Abst., Vol.14., pp.49-58, 1977.

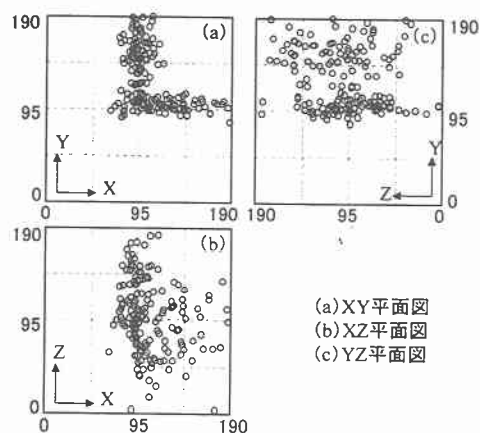


図-3 AE 震源の空間分布図

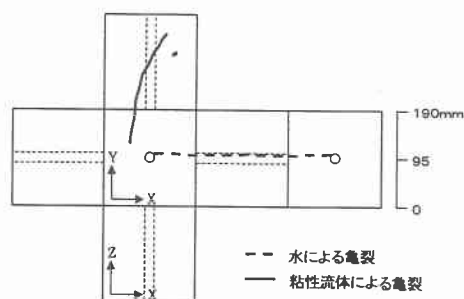


図-4 可視亀裂のスケッチ

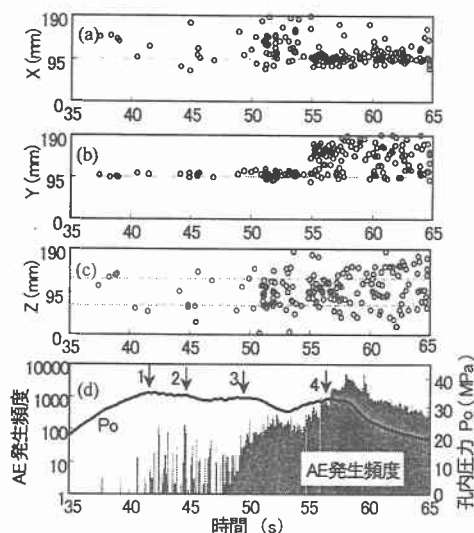


図-5 AE 震源の時空分布