

|           |     |          |
|-----------|-----|----------|
| 鹿島建設技術研究所 | 正会員 | ○日比谷 啓 介 |
| 同 上       | 正会員 | 渥 美 博 行  |
| 同 上       | 正会員 | 青 木 謙 治  |

## 1. はじめに

水圧破碎による地圧測定法は、深部における測定が可能であること、操作が比較的簡便であること等種々の長所を有しているため近年その適用が増大する傾向にある。筆者らは、水圧破碎による三次元地圧測定法の実用化のために各種検討を行っているが、ここでは本法に関し解決すべきいくつかの問題点のうち特に重要と考えられるき裂再開口圧の流量依存性の問題を取り上げ、正確なき裂再開口圧を求める手順について検討した。

## 2. き裂再開口圧

水圧破碎法による場合、三次元地圧は以下のように解析される。すなわち、破碎時に生成されるき裂には孔井の軸に沿って初生する場合と天然のき裂が開き孔軸を横切るように初生する場合とがある。前者の場合には孔井に垂直な平面内における二次元応力状態（最大、最小主応力； $\sigma_1, \sigma_2$ ）と水圧破碎時の水圧代表値との間に、また後者の場合にはき裂に垂直な応力成分 $\sigma_n$ と水圧代表値との間にそれぞれ以下の関係があることから、方向の異なる複数の孔井で求めた応力を組合せることによって三次元地圧を算定する。<sup>1)</sup>

$$3\sigma_2 - \sigma_1 = P_r + P_0 \quad (\text{孔軸方向き裂の場合})$$

$$\sigma_n = P_s \quad (\text{孔軸を横切るき裂の場合})$$

( $P_r$ ：き裂再開口圧、 $P_0$ ：間げき水圧、 $P_s$ ：き裂閉合圧)

水圧代表値の中で、き裂再開口圧 $P_r$ を正確に決定することは閉合圧 $P_s$ の正確な決定と共に、正しい地圧を求めるために必要不可欠である。ここにき裂再開口圧とはき裂を初生した後一時閉合し、再び開口させるために必要な水圧であり、図-1に示すように再開口時の圧力-時間曲線（P-T曲線）が初生時のP-T曲線から離脱する点で決定する。<sup>2)</sup>この再開口圧が、地圧による孔壁まわりの応力集中状態を正確に反映するためには、再開口前にき裂を十分に進展させておく必要がある。<sup>3)</sup>しかし、進展の際に孔壁が部分的に損傷を受けたり、付随して開口するマイクロクラックが岩体中の比較的大きな天然き裂とつながったりすることによって孔壁まわりの岩体の透水性が増大する可能性がある。再開口時に一定流量で圧送される水は、孔井内の圧力増加に寄与する部分と、岩体内に浸透して圧力増加に寄与しない部分との二者に分かれるが、き裂を十分に進展させた後には後者の割合が増大するため、場合によってはき裂を再開口するには至らず再開口圧を決定できない場合が生じる。

図-2は  $200 \times 200 \times 200$  (mm) に成形した稲田花崗岩に直径11mmの孔を作製し、石目方向に $\sigma_1 = 50 \text{ Kg/cm}^2$ 、石目に垂直方向に $\sigma_2 = 20 \text{ Kg/cm}^2$ の拘束圧を作用させストラドルバッカーを介し流量  $1.18 \text{ cm}^3/\text{min}$  で石目方向にき裂を初生し十分に進展させた後、種々の流量でき裂を再開口させた時の見掛けの再開口圧である。再開口時の拘束圧は $\sigma_1 = 50 \text{ Kg/cm}^2$

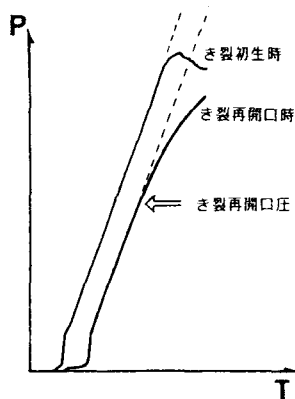


図-1 き裂再開口圧の決定法

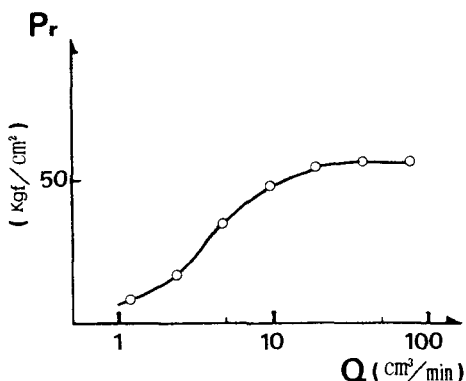


図-2 見掛けのき裂再開口圧

$\sigma_2 = 33.3 \text{ kg/cm}^2$ とした。図-2から、計算上の再開口圧  $50 \text{ kg/cm}^2$ と比較して流量が  $10 \text{ cm}^3/\text{min}$  程度となるまでは正しいき裂開口圧が得られていないことがわかる。

### 3. き裂再開口圧の求め方

正しいき裂再開口圧を求めるためには、再開口時のP-T曲線を図-1に示したように初生時のP-T曲線と比較するのではなく、孔壁からの浸透損失をも考慮した理論P-T曲線と比較する必要があると考えられる。孔壁から岩体中への水の浸透がDarcy則にしたがうとすれば、浸透量  $Q_{\text{leak}}$  は透水係数  $k$  を含む比例定数を  $\lambda$ 、孔井内圧を  $P$  として

$$Q_{\text{leak}} = \lambda P \quad (1)$$

で十分近似される。また流量を  $Q$ 、ポンプ、配管、ストラドルバツカー内加圧区間中の加圧水の全体積を  $v_0$ 、水、配管系を含めた総合的な圧縮率を  $\kappa$  とすると圧縮率の定義から  $v_0$  が十分に大であるとして次式を導ける。

$$\frac{dP}{dt} = \frac{Q - Q_{\text{leak}}}{\kappa v_0} = \frac{Q - \lambda P}{\kappa v_0} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} + C_1 P = C_2 \quad (C_1 = \frac{\lambda}{\kappa v_0}, C_2 = \frac{Q}{\kappa v_0}) \quad (3)$$

初期条件 ( $P = 0; t = 0$ ) で③式を解くと

$$P = \frac{C_2}{C_1} (1 - e^{-C_1 t}) \quad (4)$$

ここで、 $C_2$  は孔壁からの浸透量が十分に小さい ( $Q_{\text{leak}} \approx 0$ ) と考えられるき裂初生時のP-T曲線の初期立上がり勾配を実測して②式から求め、また  $C_1$  は再開口直前に実施したき裂閉合時のP-T曲線から実測される。以上の手順によって求まる理論P-T曲線を図-3に示す。き裂再開口圧は実測P-T曲線がこの理論P-T曲線から離脱する点をもって決定することが妥当と考えられる。

しかし、以上に示した手順は現場で試験と並行して実施するには多少繁雑である。また図-2に示した各流量でのP-T曲線の初期立上がり勾配をまとめた図-4を図-2と対照すれば、勾配が理論勾配に漸近する流量においては見掛けのき裂開口圧は正しい値を示していることがわかる。ここに図-4中の理論圧力勾配は孔壁の透水性が十分に小さいと考えられるき裂初生時の圧力勾配をもとに、流量が増大しても浸透流出がないとして算出したものである。従って、実測値が理論勾配の直線に漸近することは圧送流量のほとんどが孔井内圧増加に寄与し、浸透損失が結果に寄与する割合が十分に小さくなっていることに相当する。この流量範囲で再開口を行うならば、前述のような浸透を考慮した理論P-T曲線を求めるまでもなく、実測P-T曲線から図-1に示す方法によって実用上十分な精度で再開口圧を決定できるものと考えられる。

(謝辞) き裂再開口の考え方や実験の手法に関し通産省工業技術院公害資源研究所の厨川、小林、松永各主任研究官および小杉研究官から多くの示唆を得たことを記し、ここに深甚の謝意を表させていただきます。

(参考文献) 1) 厨川 他; Determination of In-Situ Stress to Predict the Direction of Hydraulically Created Fracture for the Development of Hot Dry Rock Geothermal Reservoir (GRC Annual Meeting, 1985) 2) S.H. Hickman et al.; The Interpretation of Hydraulic Fracturing Pressure-Time Data for In-Situ Stress Determination (Workshop on Hydraulic Fracturing Stress Measurement, 1981) 3) 石島 他; 水圧破碎に及ぼす封圧と流量の効果について—破壊力学に基づく検討— (日本鉱業会誌, 1980. 11)

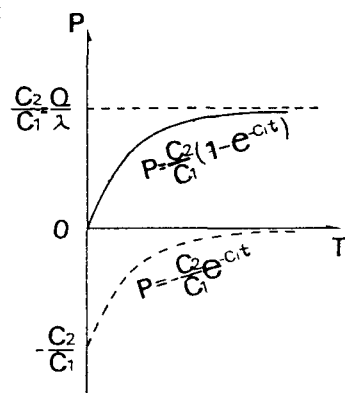


図-3 理論P-T曲線

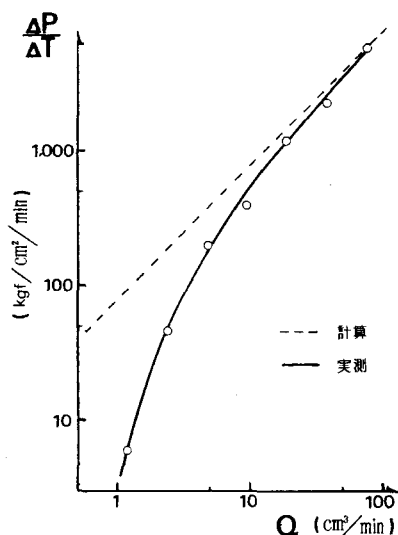


図-4 P-T曲線の立上がり勾配