

## 珪藻質泥岩における水圧破碎法・ブレイクアウト法による初期地圧の評価

(独)日本原子力研究開発機構 正会員 ○中村 隆浩 真田 祐幸 杉田 裕  
(株)明間ボーリング 加藤 春實

### 1. はじめに

幌延深地層研究計画における坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第2段階)では、坑内からの地質環境データを取得し、これまで地上部から得られた調査結果をもとに作成した地質環境モデルの妥当性確認および更新を目標の一つとしている。初期地圧については、これまで地上からのボーリング調査において研究所設置地区内に分布している水平面内(2次元)の初期地圧の評価がなされている。本研究では、幌延深地層研究センターの地下施設周辺岩盤の応力場を把握するため、深度140mの換気側・東側第1ボーリング横坑からボーリング孔を掘削し、水圧破碎法およびブレイクアウト法を用いて3次元初期地圧測定を実施した。

### 2. 実施内容

初期地圧測定は、図-1に示す深度140mの換気・東側第1ボーリング横坑で実施した。この第1ボーリング横坑から孔径76mm、長さ20mのボーリング孔をそれぞれ3本ずつ掘削した。ボーリング孔の方位と傾斜は、それぞれN60W、上向き5°(①孔)、N、上向き5°(②孔)、N30W、下向き30°(③孔)、S60E、下向き5°(④孔)、S、下向き5°(⑤孔)、S30E、下向き35°(⑥孔)である。対象岩盤は、声間層と呼ばれる新第三紀の珪藻質泥岩で一軸圧縮強さ5MPa以下、有効空隙率約60%の特徴を有している。水圧破碎法には、伊藤ほかの方法に従い、圧力を精度良く求めるため、流量計から加圧区間までの加圧系の体積をできるだけ小さくした高剛性水圧破碎システムを使用した。流量計とストラドルパッカーの接続には、加圧系の体積の小さい、長さ30m、内径2mmのステンレスパイプを使用し、加圧区間への水の圧入は、最大吐出量400ml/minの小型プランジャーポンプによって行った。加圧区間への水の圧入はバルブで制御し、加圧区間の水圧はストラドルパッカーの近傍に設置した圧力変換器によって測定し、坑内で測定された流量とともにA/D変換し、5Hzのサンプリング周波数でパーソナルコンピュータに記録した。

### 3. 評価方法

**<水圧破碎法の評価条件>**通常、水圧破碎試験を行うと縦き裂あるいは横き裂が確認できる。しかし、今回実施した地点は多くの弱面を有する岩盤であったため、水圧破碎試験を行った結果、誘起されるき裂は横き裂であり縦き裂の発生は確認できなかった。そこで、初期地圧の算出には「横き裂のき裂閉口圧はき裂に垂直な応力に等しい」との仮定<sup>2)</sup>を用いた。ボーリング孔周辺の岩盤の応力状態が均一であると仮定すると、横き裂の閉口圧と横き裂の法線応力成分との関係は次式で与えられる。

$$\sum_{i,j=1}^3 \tau_{ij} \lambda_i^{(k)} \lambda_j^{(k)} = P_s^{(k)} \quad (k = 1, 2, \dots, K) \quad \dots\dots (I)$$

ここで、 $K$ は水圧破碎試験で生じた横き裂の総数、 $P_s^{(k)}$ は $k$ 番目のき裂閉口圧、 $\tau_{ij}$ ( $i, j=1, 2, 3$ )はボーリング孔掘削前のボーリング孔周辺岩盤の応力、 $\lambda_i^{(k)}$ はき裂面の外向きの単位法線ベクトルの方向余弦を表す。

**<ボアホールブレイクアウトの評価条件>**水圧破碎法により3次元初期地圧を測定した3本×2箇所(換気側・東側)のボーリング孔では、ボーリング孔まわりの応力集中によって孔壁が破壊するボアホールブレイクアウトが、き裂の型取り記録より観測された。そこで、この情報を用いた初期地圧の評価を試みた。ボーリング孔壁の任意の位置に作用する最大圧縮応力 $\sigma_c$ は、図-2に示す応力の円筒座標系を用いると次式で与えられる。

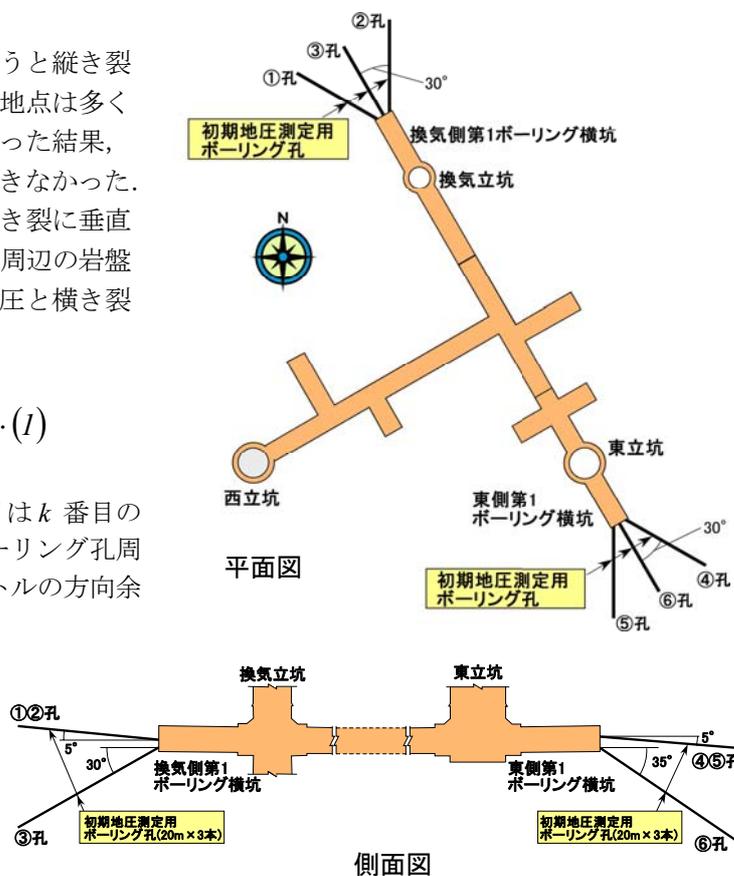


図-1 深度140m調査坑道平面図・側面図

キーワード 幌延深地層研究計画, 珪藻質泥岩, 水圧破碎法, ブレイクアウト, 初期地圧

連絡先 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432 番 2 (独)日本原子力機構研究開発機構 TEL01632-5-2022

$$\sigma_c = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_\theta + \sigma_z + \sqrt{(\sigma_\theta - \sigma_z)^2 + 4\sigma_{\theta z}^2} \right\} \dots(2)$$

ここで、 $\sigma_\theta$ 、 $\sigma_z$ 、 $\sigma_{\theta z}$ は円柱座標系に関する孔壁面の応力成分、 $\theta$ はZ軸からの角度を表す。本報告では、ブレイクアウトがMohr-Coulombの破壊基準にしたがって発生すると仮定し、 $C_0$ を岩石の一軸圧縮強度とすると $\sigma_c \geq C_0$ を満足する位置にブレイクアウトができる。従って、図-3に示すブレイクアウト発生位置と方向に関して次式が得られる。

$$\sigma_c|_{\theta=\theta_b^{(l)}} = C_0^{(l)} \quad (l = 1, 2, \dots, L) \dots\dots(3)$$

$$\frac{\partial \sigma_c}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\theta_{min}^{(m)}} = 0 \quad (m = 1, 2, \dots, M) \dots\dots(4)$$

ここで、 $\theta_b^{(l)}$ 、 $\theta_{min}^{(m)}$ はそれぞれブレイクアウトが開始する位置および破壊域中央の方向、 $L$ 、 $M$ は、それぞれ $\theta_b^{(l)}$ 、 $\theta_{min}^{(m)}$ が既知であるブレイクアウトの総数を表す。

<(1),(3),(4)式を用いた初期地圧の評価>初期地圧の評価を(1),(3),(4)式を用いた逆解析問題と考え、まず、 $d_k(k=1, 2, \dots, N; N=K+L+M)$ を定義する。横き裂の場合、 $d_k(k=1, 2, \dots, K)$ はk番目のき裂開口圧 $P_S^{(k)}$ に等しく、ブレイクアウト縁部までの角度 $\theta_b^{(k)}$ が既知の場合、 $d_k(k=K+1, \dots, L)$ は、 $C_0^{(k)}$ に等しい。また、 $\theta_{min}^{(k)}$ が既知の場合、 $d_k(k=L+1, \dots, N)$ はゼロである。従って、次のような非線形の観測方程式が得られる。

$$d_k = f_k(\lambda_1^{(k)}, \lambda_2^{(k)}, \lambda_3^{(k)}, \tau_{11}, \tau_{22}, \dots, \tau_{13}) \dots\dots(5)$$

(5)式を先験的に推定した応力 $\tau_{ij}^0(i, j=1, 2, 3)$ のまわりにTaylor展開し、二次以上の項を省略して線形に引き直し、逐次近似法によって初期地圧 $\tau_{ij}(j=1, 2, 3)$ の最確値を求めた。

4. 結果

深度140mの換気側・東側第1ボーリング横坑でそれぞれ実施し得られた、横き裂に作用する法線応力とブレイクアウトのデータに本解析手法を適用した。その結果、図-4に示すように深度140m換気側・東側第1ボーリング横坑における主応力の方向と大きさは類似している結果が得られた。図-5は今回得られた結果と地上からの調査で実施されたHDB-1,3,6,9,11の鉛直ボーリング孔より得られた初期地圧測定結果を表したもので、それぞれ水平面内最大・最小主応力値と深度の関係、水平面内最大主応力方向と深度の関係を表したものである。図-5より地下の2地点で評価した水平面内最大主応力値は、その深度における岩盤の土被り圧とほぼ一致しているものの、水平面内最小主応力値については、わずかに小さな値が得られた。また、水平面内最大主応力の方向については、これまで深度によらずほぼ東西方向である結果が得られていたが、今回の結果では、東西方向から反時計回りに26°、46°の方向にある結果が得られた。

5. おわりに

本論では、水圧破碎法で測定した方向の異なるき裂の法線応力とボーリング孔に生じたブレイクアウト発生位置のデータから初期地圧を算出する方法を新たに提示した。解析結果より、新たな3次元初期地圧算出方法は、天然き裂を多く含む、ブレイクアウトが発生するような珪藻質泥岩に対して適用可能であると考えられる。今後、各深度での初期地圧測定を順次実施し、データの蓄積を図る予定である。

参考文献

1) Ito T., Igarashi A., Kato H., Ito H. and Sano O., Crucial effect of system compliance on the maximum stress estimation in hydrofracturing method : Theoretical considerations and field-test verification, Earth Planets Space, 58, pp.963-971, (2006).  
 2) Hayashi K., Sato A. and Ito T., In situ stress measurements by hydraulic fracturing for a rock mass with many plane of weakness, Int. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., vol.34, pp.45-48, (1997).

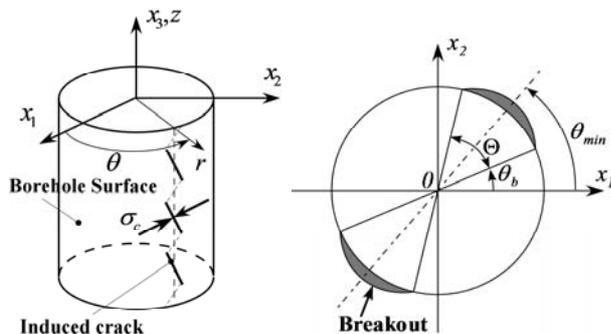


図-2 円筒座標系

図-3 ブレイクアウトの位置

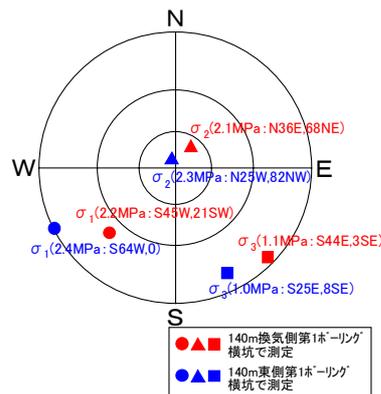


図-4 深度140mでの初期地圧の下半球投影図

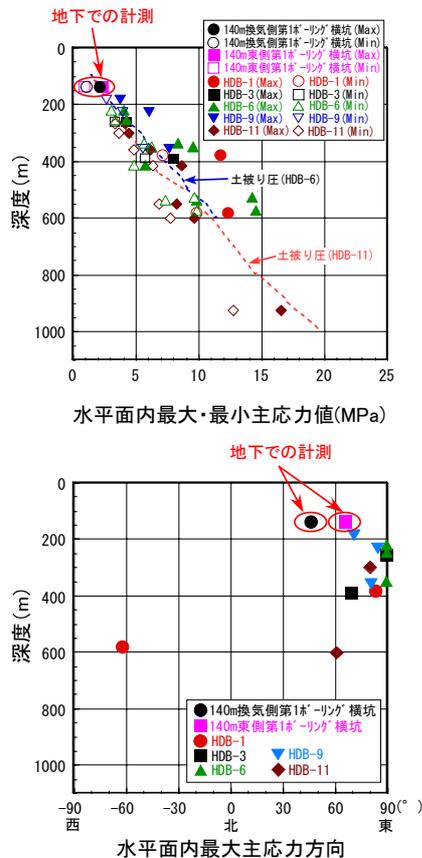


図-5 既存の初期地圧測定結果との比較