

III-284

若編層頁岩のA E法による3次元応力状態の推定

三井建設㈱技術研究所
資源環境技術総合研究所○正会員 木山 保、 正会員 中田雅夫
正会員 勝山邦久、 正会員 瀬戸政宏

1. はじめに

圧縮空気エネルギー貯蔵(CAES)等の地下岩盤を利用した構造物を構築する場合に、原位置の初期応力状態の調査は設計・施工のために重要である。近年、原位置採取岩石の室内試験から、応力状態を推定する方法が注目されており、このうちカイザー効果を利用したA E法は有望とされている。今回、地表下約400mより採取した岩石試料から方向の異なるコアを抜き出し、繰り返し一軸圧縮試験を行なった。この際のA E発生特性から載荷軸方向の先行応力を推定し¹⁾、さらに3次元応力状態の推定を試みたので報告する。

2. 試験方法

供試岩石は、坑道引立岩盤に方位を記した後に、手堀でブロック状に採取した。水平面内引立方向をX軸、水平面内で引立に向かって左方をY軸、鉛直上方をZ軸に座標軸を定め、ブロックから、XY、YZおよびZX面内でそれぞれ30°毎に計15方向のコアを抜き出した。供試体は、直径30mm、長さ60mmの円柱状に、すべて乾式で整形し、15方向のうち夾みやき裂の見られない10本のコアを選定し、試験に供した。なお岩石採取現場は石狩層群若編層の頁岩層で、走向・傾斜はそれぞれN5°E、71°W、一軸強度は75.5MPaである。コアの側面に500KHz共振のA Eセンサーを4個取り付け、図1に示す応力経路で、最大24.5MPaまで4回の繰り返し一軸圧縮試験を行なった。受振されたA Eは、プリアンプ、ローカルプロセッサでそれぞれ40dB増幅し、イベント、リングダウンカウントおよびエネルギーをディスクに記録した。図2にこれらを示す。

3. 載荷軸方向の先行応力履歴の読み取り

原位置で応力履歴を受けた岩石供試体に載荷すると、多くの場合、複数のA E急増点が見れる。このうち1つは載荷軸方向の先行応力履歴に、他は載荷軸以外の先行応力履歴に対応すると考えられる。したがって、3次元応力状態を推定するためには、複数のA E急増点から載荷軸方向の先行応力を特定する必要がある。瀬戸らは、岩石に人工的に二軸または三軸に異なる先行応力を与えた場合、載荷軸方向の先行応力は載荷回数が増すにつれて不明瞭または認められなくなるとしている²⁾。また、採取後長時間経過した岩石では、1回目載荷時に明瞭なA E急増点が認められない¹⁾。そこで今回の試験では、瀬戸らによって提案された方法に従って、1回目載荷時の結果は使用せず、2回目から4回目載荷時に認められた急増点のうち、回を増すにつれ不明瞭または認められなくなる急増点に対応する応力を、載荷軸方向先行応力と推定することにした。

4. 試験結果および考察

Y軸方向の供試体による試験で、2回目から4回目載荷時に発生したA Eのリングダウンカウントの経時変化を図3に示す。同図には応力-時間関係も示した。○で示したA E急増点は3、4回目に不明瞭となるのに対し、●で示したA E急増点は4回目においても読み取ることができる。そこで、○に対応する応力(16.2MPa)を載荷軸方向の先行応力として推定した。実際には、イベント、リングダウンカウントおよびエネルギーのデータを併せて検討し、推定値を決定した。表1に各コアの載荷軸方向の先行応力推定値を示す。さらにこれらを各方向の直応力成分とし、最小自乗法で3次元応力状態を計算した。この結果を表2に示す。最大、中間および最小主応力は、それぞれ17.8、15.0および8.7MPaと推定された。また鉛直方向の応力成分は10.9MPaと推定され、地表からの深度約400mおよび岩盤の比重2.7とした場合に予測されるかぶり圧10.6MPaとよい一致を示した。推定した3次元応力状態から各コア軸方向の最確値および残差を求め、表1に付記した。残差は、YZ面内でやや大きい、応力レベルに比較すると小さい値を示し、各コア軸方向の推定値は妥当な値であり、ブロックが受けていた応力履歴をよく反映していると考えられる。岩石を採取した原位置において、水圧破砕による応力測定が実施されている³⁾。試験孔が2孔のため3次元応力状態は明かではないが、孔に直交する面内の応力状態が測定されている。そこでA E法で推定された応力状態から、水圧破砕試験孔に直交する面内の応力状態を計算し、水圧破砕測定結果と比較して表3に示す。No.8孔において、主応力方向が約20°ずれているものの、両者はよい一致を示した。

5. まとめ

今回試験に供した頁岩は、坑道引立からブロックで採取したため、掘削にともなう応力再配置、ゆるみ領域および掘削後の時間の影響を受けている可能性があるため、本試験結果が原位置の3次元応力状態を示しているかどうかに関しては疑問の残るところであるが、A E法によれば比較的よく初期時圧が抽出されるので^{1) .4) .5)}、水圧破碎法による測定結果および予測されるかぶり圧とはよい一致を示したと思われる。

参考文献

- 1) 瀬戸政宏 他:土木学会論文集, 445/Ⅲ-18, PP.93-100, 1992
- 2) 瀬戸政宏 他:第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, PP.321-326, 1990
- 3) 石島洋二 他:資源と素材, Vol.107 No.7, PP.461-466, 1991
- 4) 瀬戸政宏 他:土木学会論文集(投稿中)
- 5) 歌川 学 他:土木学会第47回全国大会発表予定

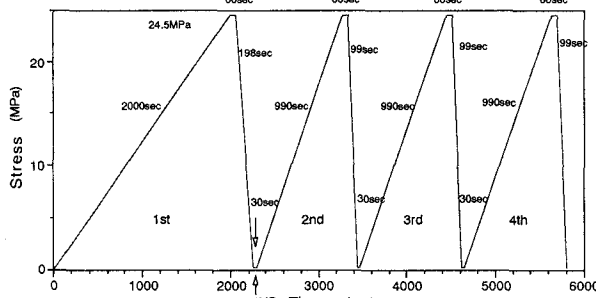


図1 繰り返し軸圧縮試験の応力経路

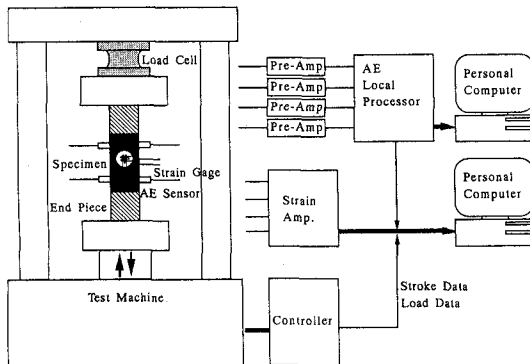


図2 試験装置の概要

表1 載荷軸方向の推定値、最確値および残差

No.	α (°)	β (°)	推定値 (MPa)	最確値 (MPa)	残差 (MPa)
1	0	30	15.4	15.6	0.2
2	0	90	16.2	16.5	0.3
3	0	120	14.9	15.1	0.2
4	30	90	11.2	12.5	1.3
5	90	90	9.2	10.9	1.7
6	60	90	12.3	9.7	-2.5
7	120	90	15.0	14.9	-0.1
8	150	90	18.8	17.7	-1.1
9	30	0	15.5	15.1	-0.4
10	60	0	13.0	13.4	0.4

α : 上向きを正とした仰角

β : X軸から反時計廻りの回転角

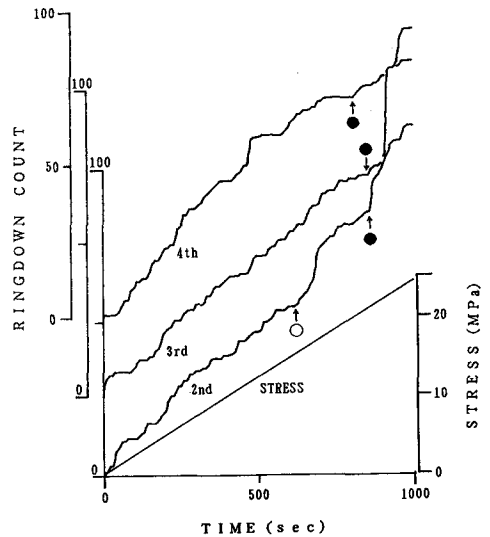


図3 繰り返し試験時に発生したA E(リングダウンカウント)

表2 先行応力から推定した3次元応力状態

応力成分	(MPa)	主応力値 (MPa)	α (°)	β (°)
σ_{xx}	14.2	最大主応力 σ_1	17.8	-22.9
σ_{yy}	16.5			
σ_{zz}	10.9			
σ_{xy}	1.0	中間主応力 σ_2	15.0	21.1
σ_{yz}	-3.0	最小主応力 σ_3	8.7	-58.0
σ_{zx}	2.0			

表3 A E法と水圧破碎法による水圧破碎孔直交面内の主応力

	No. 7孔 (13.66m)		No. 8孔 (13.55m)	
	$\alpha=4.0, \beta=20.0$		$\alpha=4.0, \beta=-8.0$	
	A E法	水圧破碎	A E法	水圧破碎
σ_1 (MPa)	17.5	18.5	17.8	18.5
σ_2 (MPa)	8.9	8.9	9.6	8.7
θ (°)	-28.2	-20.0	-20.9	-1.0

XYZ座標系のX軸を α 、 β 回転したときのY'Z'平面における面内主応力; θ はY'軸と σ_1 のなす角度