

## CO<sub>2</sub>MB注入法を想定した岩盤評価パラメータ抽出試験法の開発

### Development of test methods for rock evaluation parameter extraction that assume to inject CO<sub>2</sub>MB

宮澤 大輔<sup>1\*</sup>, 木山 保<sup>1</sup>, 石島 洋二<sup>1</sup>

Daisuke Miyazawa<sup>1\*</sup>, Tamotsu Kiyama<sup>1</sup>, Yoji Ishijima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>幌延地圏環境研究所

<sup>1</sup>H-RISE

非構造性帯水層へのCO<sub>2</sub>地中貯留法の一つとして、CO<sub>2</sub>マイクロバブル（以後MBと略記）注入法が提案されている。MBとは微細気泡の中で50 μm以下の気泡のことを呼ぶ。水中で泡が発生した場合、通常の泡は急速に上昇して最終的に水面で破壊して消滅するのに対し、MBは微細でゆっくりとした浮揚性を有するために水中における滞在時間が長く、気体の溶解能力にも優れているため、水中においてさらに縮小し、ついには水中で完全溶解するという特性をもつ。CO<sub>2</sub>MB注入法は、CO<sub>2</sub>MB水を作りこれを非構造性帯水層に注入して地下水中にCO<sub>2</sub>を貯留しようとするもので、大きなバブルが形成されないMBの特徴を生かしCO<sub>2</sub>を安定的に地下に貯留することができる。さらに、CO<sub>2</sub>MB注入法では、CO<sub>2</sub>が液相や超臨界相にならない比較的浅い帯水層をターゲットにできるため、貯留サイトの選択肢が広がると期待されている。しかしながら、非構造性帯水層でCO<sub>2</sub>MB注入法を実施する場合、周辺岩盤への影響について検討すべき項目がいくつか考えられる。本研究では、非構造性帯水層でCO<sub>2</sub>MB注入法を実施する場合の周辺岩盤影響を評価するための岩盤変形シミュレーション試験方法について検討した。

非構造性帯水層へのCO<sub>2</sub>マイクロバブル注入法の一つのオプションとして、まず原位置地下水を揚水井から汲み上げ、還元井孔底でこの地下水にCO<sub>2</sub>MBを混入して地層に還元する方法が考えられる。本研究ではこれに準じ、水で飽和させた供試体を装置にセットし、初期状態、揚水過程、還元過程の順に試験を行った。初期状態ではCO<sub>2</sub>MB注入法実施前の原位置における応力状態を仮定して再現し、揚水過程ではCO<sub>2</sub>MB注入法の実施による地下水位の低下を模擬するため間隙水圧を下げ、還元過程ではCO<sub>2</sub>MB水注入による膨張現象を再現するため間隙水圧を上げる。また地下水が揚水され、その後還元される過程において、岩盤の水平方向の拘束条件は、変位が変化しないいわゆるK<sub>0</sub>状態にあると考えられるため、揚水・還元過程はK<sub>0</sub>状態で試験を実施した。還元過程における間隙流体はCO<sub>2</sub>MB水を用いるのが本来であるが、本試験では岩盤変形シミュレーション試験方法の確立を目的としているため、間隙流体は水とした。

本試験で使用した岩石試験装置MTS815は、軸載荷4500kN、封圧80MPa、間隙圧80MPa、設定温度200℃の能力を有する。本試験では、間隙圧は制御が簡便で制度が高いISCO社シリンジポンプ500D型を使用した。三軸セル内の供試体には、軸ひずみ計と周変位計が取り付けられており、軸荷重は内部ロードセルで測定する。封圧は、封圧発生装置の圧力計で測定する。比較的難易度の高い室内におけるK<sub>0</sub>試験を実現するために、三軸セル内の周変位計の出力を封圧発生装置にフィードバックし、周変位が変化しないように封圧を制御した。軸方向の全応力は、内部ロードセルの出力を供試体断面積で除した軸差応力と封圧の和となるので、これを制御装置の内部で演算し、全応力が一定となるように制御した。たとえば、シリンジポンプを調整して間隙圧を減少した際には、K<sub>0</sub>状態を維持、すなわち周変位を一定とするために封圧が低下するように制御されるが、これに連動して全応力を一定とするために軸差応力が増加するように自動的に制御される。初期応力条件は、コア採取深度を基に算出し決定した。また初期条件を与える際に、封圧と

間隙圧を少しずつ増加し、設定有効応力以上の有効応力を履歴しないように注意し、軸応力は制御の利便から1MPaだけ封圧より高くした。初期応力条件設定後、圧密変形が安定するまで観察し、3t法に従って圧密の終了を判断した。ここで、封圧の制御は周変位が変化しないモードに、軸応力の制御は軸方向の全応力が変化しないモードに切り替え、 $K_0$ 状態とする。この状態で72時間保持し、その後間隙圧を1MPaもしくは0.5MPa減少させた。これに対応して周変位が変化しないように封圧が制御され、軸方向の全応力が変化しないように軸荷重が制御された。一つのステージはすべて72時間に統一した。その後、間隙圧を3ステージの設定圧に1MPaもしくは0.5MPaずつ減少させた。次に、間隙圧を1MPaもしくは0.5MPa増加させた。増加に関しても間隙圧を3ステージの設定圧に変化させ、一連の試験を終了した。

本試験で得られた結果から、周変位計による封圧制御で、安定的に $K_0$ 状態を構築することができることが分かった。また本パラメータ抽出試験によって、体積圧縮係数、体積膨張係数および軸ひずみ回復率を評価することが可能であることが分かった。

キーワード: CO<sub>2</sub>, マイクロバブル,  $K_0$ 試験

Keywords: CO<sub>2</sub>, Micro bubble,  $K_0$  experiment