

## 地域分散型 CCS の成立性に関する調査研究 その2 —CO<sub>2</sub> マイクロバブルの注入井・揚水井併用方式地中貯留システム—

鹿島建設(株) 笹倉剛 (株)大林組 人見尚 大成建設(株) 小川豊和  
大成基礎設計(株) 中野勝志 (株)竹中工務店 稲葉薫  
一般財団法人 エンジニアリング協会 佐藤一浩

### 1. はじめに

CCS (Carbon Dioxide Capture & Storage) において、実現性を高めるためにはトータルコストを下げることに必須である。わが国の排出源は、100 万 t-CO<sub>2</sub>/年を超える大規模なものから年間 10 万 t-CO<sub>2</sub> 以下の排出となる中小規模なものまであり、大規模排出源を対象とした集中型貯留地点への輸送を避け、排出源直下または近傍に貯留することがコスト低減の一つの方策である。「その1」<sup>1)</sup>で述べた条件の下で、CO<sub>2</sub> 溶解水を注入井と揚水井を用いて、注水量と揚水量を調整しながら比較的浅部 (-300m ~ -500m 程度) の地層に貯留する方法(これを注入井・揚水井併用方式地中貯留システムと呼ぶ)を検討した。この報告では、井戸理論を用いたパラメータスタディを行い、貯留をコントロールできるかの検討を行った結果を報告する。

### 2. 貯留システム概念および検討概要

「その1」<sup>1)</sup>におけるマイクロバブル貯留は、かん水を地下から揚水し、CO<sub>2</sub> を溶解させた後に地中へ還元する方式を前提としているため、注入井の周囲に溶媒となるかん水を確保するための揚水井を配置する組み合わせを1貯留ユニット(図1)とする。この注入井・揚水井併用方式地中貯留システムは、水圧上昇を抑えることによる遮蔽層への負荷低減、CO<sub>2</sub> 貯留をコントロール下において実施できるなどの点で有効な手法と考えられる。注入井1本あたり1万t-CO<sub>2</sub>/年を仮定した場合、注入するCO<sub>2</sub> 溶解水の量は22.2万t/年となる(溶解度は45kg/m<sup>3</sup>H<sub>2</sub>Oとした<sup>1)</sup>)。この量を注入井・揚水井併用方式で貯留する場合、1貯留ユニット当りの水循環について、群井の井戸理論式を用いて検討した。

(1)式から必要注入水頭差  $s$  を算出し、(2)式から算出される揚水による注入井位置での水頭低下量  $s_r$  を加えることにより注入井での必要注入圧(水頭)  $s_l$  が求まる(図2)。

$$Q = \frac{2\pi R_c k D s}{\ln(R/r_0)} \quad (1) \quad s_r = \frac{1}{2\pi R_c k D} \sum_{i=1}^n \left( q_i \ln \frac{R}{r_i} \right) \quad (2)$$

ただし、 $Q$  は注入井からの注水量(m<sup>3</sup>/s)、 $R_c$  は不確実性を考慮した低減率、 $k$  は注入層の透水係数(m/s)、 $D$  は注入層の層厚、 $s$  は水頭差(m)、 $R$  は影響半径(m)、 $r_0$  は井戸半径(m)、 $q_i$  は揚水井  $i$  からの揚水量(m<sup>3</sup>/s)、 $r_i$  は揚水井  $i$  からの水頭計算地点までの水平距離(m)、 $n$  は揚水井の本数(本)である。 $R_c$  の低減効果は透水係数の低減により表現し、また、影響範囲  $R$  は経験式 ( $R = 3000s\sqrt{R_c k}$ ) を用いた。

文献<sup>2)</sup>より、透水係数  $k=1 \times 10^{-6}$  m/s、層厚  $D=100$  m とし、低減率、井戸径、注入井と揚水井の離隔距離によるパラメータスタディを行った。揚水井本数  $n$  は4本とし、揚水量  $q_i$  は Sichardt の限界揚水量の80%とした。

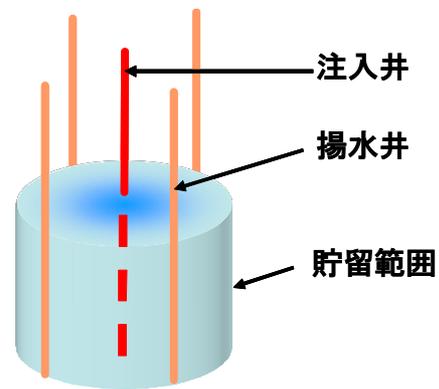


図1 貯留ユニットの説明図

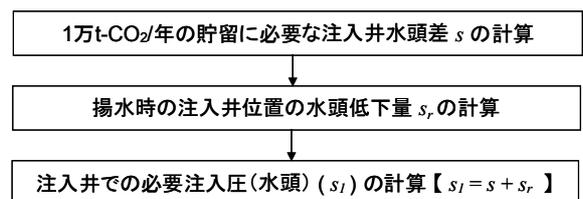


図2 検討フロー

キーワード 地域分散型 CCS, 貯留量評価, 井戸理論

連絡先 〒105-0003 港区西新橋 1-4-6 一般財団法人エンジニアリング協会 地下開発利用研究センター  
03-3502-3671

### 3. 結果および考察

水循環計算結果の一覧を表1に示す. 低減率を1.0とした場合, 1万 t-CO<sub>2</sub>/年以上の貯留のための必要注水圧は, 水頭換算で96~99m程度(1MPa程度)であり, 実現可能な値である. 貯留量を2万 t-CO<sub>2</sub>/年にする場合には, 注入井を1本のまま必要注水圧を2倍の2MPa程度にすることも対応可能であるが, 遮蔽層や井戸の遮蔽構造についての力学的安定性評価がより重要となろう. このため, 力学的安定性を考慮して必要注水圧を1MPa程度とする場合には, ユニットの増やす必要がある.

注入井と揚水井の離隔距離を変化させた場合の水頭分布を図4に示す. 揚水井近傍で局所的に水頭低下が生じる形態となり, 注入井付近への影響は小さく, 注入井付近の地層への負荷低減にはあまり効かない結果となった. しかし, 注入井の影響範囲内で揚水井との間隔を任意に選ぶことが可能で, その際, 揚水井の外側は水頭増減の影響が少ないことから, 揚水井で囲まれる1貯留ユニット内を貯留管理領域とすることができる. なお, 離隔距離100mと150mでの貯留可能量は, それぞれ4.2万 t-CO<sub>2</sub>, 9.5万 t-CO<sub>2</sub>である.

低減率1.0の場合の注水量と揚水量は, それぞれ0.42, 0.47m<sup>3</sup>/分となり, 溶媒としての水の確保は可能である. しかし, 低減率の減少とともに4本の揚水井で確保できないリスクは高まる. この場合, 井戸径を200mmにするなど安全側の設計を行う必要があると考えられる.

### 4. まとめ

注入井・揚水井併用方式地中貯留システムでは, 貯留ユニットでの注水圧力, 貯留能力, 注水量/揚水量の収支を考えねばならない. パラメータスタディにより検討した結果, (1)必要注水圧は水頭換算で96m程度, (2)貯留能力はユニット半径(注入井・揚水井間隔)100mの場合4.2万 t-CO<sub>2</sub>となる. (3)低減率1の場合に注水量/揚水量の水収支がおよそバランスすることが認められた. これらの結果は, 低減率に依存するが, 段階的な調査により調査精度の向上が見込まれ, Rc=1と仮定できると思われる. また, 貯留量を確保するために貯留ユニットの配置方法を経済性も考慮して検討することが今後の課題である.

本研究は, (財)JKAによる競輪の補助金を受けて, 一般財団法人エンジニアリング協会で実施した.

**参考文献** 1) 鈴木他: 地域分散型 CCS の成立性に関する調査研究その1, 土木学会年次学術講演会, (2011). 2) RITE: 二酸化炭素地中貯留技術研究開発成果報告書, (2007).

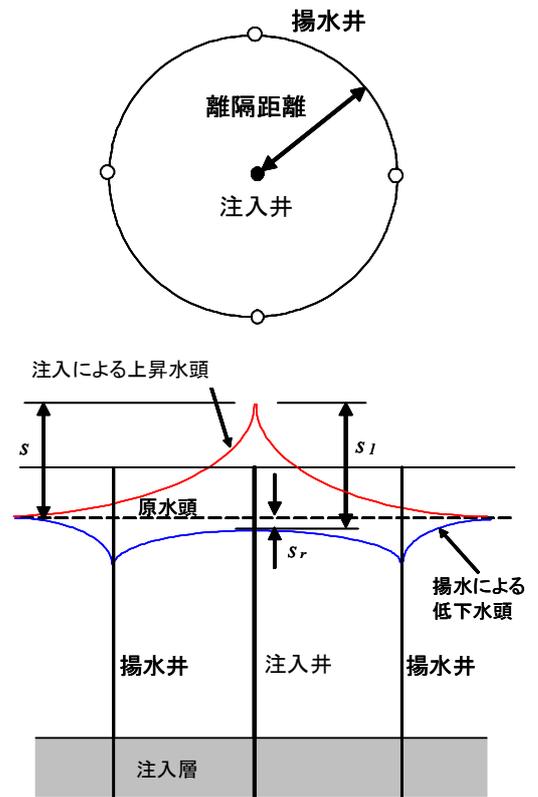


図3 水循環量の計算方法説明図

表1 計算結果一覧

| Case | 低減率  | 井戸径 (mm) | 井戸の離隔 (m) | 必要注水水頭 (m) | 注水の影響半径 (m) | 揚水の影響半径 (m) | 注水量 (m <sup>3</sup> /分) | 揚水量 (m <sup>3</sup> /分) |
|------|------|----------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------------------|
| 1-1  | 1.0  | 116      | 50        | 99         | 288         | 66          | 0.42                    | 0.47                    |
| 1-2  |      |          | 100       | 96         |             |             |                         |                         |
| 1-3  |      |          | 150       | 96         |             |             |                         |                         |
| 2-1  | 0.5  | 116      | 50        | 204        | 424         | 64          | 0.42                    | 0.33                    |
| 2-2  |      |          | 100       | 200        |             |             |                         |                         |
| 2-3  |      |          | 150       | 200        |             |             |                         |                         |
| 3-1  | 0.25 | 116      | 50        | 421        | 626         | 60          | 0.42                    | 0.23                    |
| 3-2  |      |          | 100       | 417        |             |             |                         |                         |
| 3-3  |      |          | 150       | 417        |             |             |                         |                         |
| 4-1  | 0.25 | 200      | 50        | 424        | 584         | 113         | 0.42                    | 0.40                    |
| 4-2  |      |          | 100       | 394        |             |             |                         |                         |
| 4-3  |      |          | 150       | 389        |             |             |                         |                         |

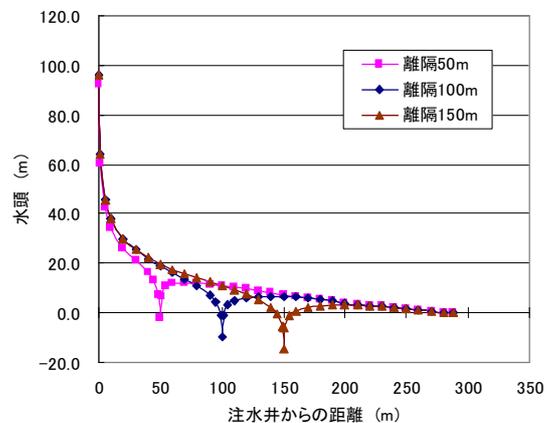


図4 注入井と揚水井の離隔距離の水頭分布への影響