

# 低アルカリ性セメントを用いた吹付けコンクリートの原位置適用性試験 (その 4) —幌延 URL における低アルカリ性吹付けコンクリート及び岩石の物質移行特性—

大成建設 (株) 正会員 ○宮原 茂禎<sup>1)</sup>, 岡本 礼子<sup>1)</sup>, 武田 均<sup>1)</sup>  
(独) 日本原子力研究開発機構 佐藤 治夫<sup>2)</sup>, 中山 雅<sup>2)</sup>, 伊藤 誠二<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

日本原子力研究開発機構は地層処分技術開発の推進のために堆積岩を対象に、幌延深地層研究センターにおいて地下施設の建設を行っている。昨年度、地下施設の 140m 調査坑道において低アルカリ性セメント (HFSC) および普通ポルトランドセメント (OPC) を用いた吹付けコンクリートの原位置吹付け施工性試験を実施した。本研究は、コンクリート材料からの高アルカリ物質等が天然バリアを構成する岩盤へ与える影響を調査するために、施工試験を実施した坑道壁面からコアを採取し、吹付けコンクリートや岩石の性質に関する各種の化学分析や物性試験を実施したものである。本報では、これらのうち実効拡散係数および空隙構造の試験結果について報告する。

## 2. コンクリートの配合及び試験方法

表-1 吹付けコンクリートの配合

吹付けコンクリートの配合を表-1 に示す。吹付け施工後 3 ヶ月で坑道壁面からコンクリートと岩石の界面部のコアを採取し、それぞれについて塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) およびヨウ化物イオン (I<sup>-</sup>) の実効拡散係数ならびに空隙構造を測定した。

| 配合<br>記号 | 水結合<br>材比<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |      |             |             |      |     |
|----------|------------------|-------------|--------------------------|------|-------------|-------------|------|-----|
|          |                  |             | 水                        | 結合材  |             |             | 細骨材  | 粗骨材 |
|          |                  |             |                          | セメント | シリカ<br>フューム | フライ<br>アッシュ |      |     |
| OPC      | 43.3             | 56.9        | 173                      | 400  |             |             | 1068 | 806 |
| HFSC     | 30.0             | 60.0        | 175                      | 200  | 100         | 200         | 974  | 655 |

※使用混和剤 OPC:高性能減水剤 HFSC:高性能 AE 減水剤

表-2 実効拡散係数試験条件

実効拡散係数の試験条件を表-2 に示す。コンクリートに対しては JSCE-G-571 に準じて電気泳動法に

| 種別     | 試験方法                | 試験体<br>寸法 mm | トレーサーセル<br>(陰極側セル)                           | 測定セル<br>(陽極側セル)                |
|--------|---------------------|--------------|----------------------------------------------|--------------------------------|
| コンクリート | 電気泳動法<br>JSCE-G-571 | φ 100×50     | 0.5mol/l NaCl 溶液<br>溶液量 940ml                | 0.3 mol/l NaOH 溶液<br>溶液量 940ml |
| 岩石     | 透過拡散法               | φ 50×10      | KI 溶液 500mg/l (I <sup>-</sup> )<br>溶液量 180ml | イオン交換水<br>溶液量 180ml            |

より、岩石に対しては透過拡散法により、それぞれの媒体に対する Cl<sup>-</sup>および I<sup>-</sup>の実効拡散係数を測定した。電気泳動実験での印加電圧は 15V とした。

岩石の透過拡散試験では、図-1 に示す拡散セルを用いて高濃度側のトレーサーセルに 500mg/l (I<sup>-</sup>) のヨウ化カリウム水溶液を、低濃度側の測定セルにイオン交換水を注入し、定期的に測定セルから 5ml の溶液を採取してイオンクロマトグラフィーにより I<sup>-</sup>濃度を測定した。溶液採取後は同量のイオン交換水を補充した。実効拡散係数は定常状態における時間と濃度の傾きから式 1 を用いて計算した。

$$Cd = \frac{Sr \cdot H \cdot C_0}{Vm} \cdot \left( \frac{De \cdot t}{H^2} - \frac{\alpha}{6} \right) \quad \text{式 1}$$

$Cd$ : 測定セル中のトレーサー濃度 (mg/l),  $Sr$ : 試料の断面積 (m<sup>2</sup>),  $H$ : 試料の厚さ (m),  $C_0$ : トレーサーセル中のトレーサー濃度 (mg/l),  $Vm$ : 測定セル中の溶液体積 (m<sup>3</sup>),  $De$ : 実効拡散係数 (m<sup>2</sup>/s),  $t$ : 時間 (s),  $\alpha$ : 収着容量  $n + \rho \cdot Kd$  ( $n$ : 試料の有効空隙率,  $\rho$ : 試料の乾燥密度 (kg/m<sup>3</sup>),  $Kd$ : 分配係数 (m<sup>3</sup>/kg))

空隙構造は水銀圧入式ポロシメータを用いて 3nm~350μm の空隙量および空隙分布を測定した。

## 3. 測定結果

表-3 にコンクリートおよび岩石中の各イオンの実効拡散係数を、図-2 に HFSC, OPC および岩石中の各イオンの

キーワード: 吹付けコンクリート, 低アルカリ性セメント, 実効拡散係数, 空隙構造

連絡先 1) 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 土木技術研究所 TEL 045-814-7228

2) 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432 番 2 (独) 日本原子力研究開発機構 TEL 01632-5-2022

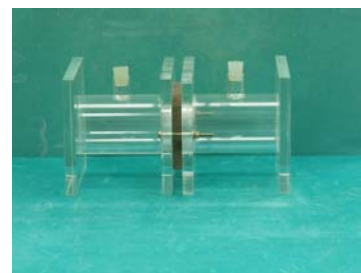


図-1 岩石の透過拡散試験セル

透過曲線の測定結果の一例を示す。HFSC は OPC と比較して小さな傾きを示した。吹付けコンクリートであるため、同一水セメント比の通常のコンクリートと比較すると実効拡散係数は若干大きめの値を示している<sup>1)</sup>。岩石は HFSC 吹付け部と OPC 吹付け部の両方で試験を行ったが同程度の値を示し、位置による差異は確認されなかった。調査箇所は声間層の珪藻

質泥岩であるが、調査位置が深いこともあり同層の既往の実効拡散係数と比較すると小さい値を示した<sup>2)</sup>。また、I<sup>-</sup>の濃度はほぼ原点から直線的に増加しており試料への吸着(式1の第2項)がほとんど見られなかった。これは既往の報告と同様の傾向であった<sup>2)</sup>。

表-3 実効拡散係数試験結果

| 部位           | 単位                 | コンクリート                 | 岩石                     |
|--------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| HFSC<br>吹付け部 | cm <sup>2</sup> /年 | 0.81                   | 2.17                   |
|              | m <sup>2</sup> /s  | $2.57 \times 10^{-12}$ | $6.87 \times 10^{-12}$ |
| OPC<br>吹付け部  | cm <sup>2</sup> /年 | 3.60                   | 3.06                   |
|              | m <sup>2</sup> /s  | $1.14 \times 10^{-11}$ | $9.66 \times 10^{-12}$ |

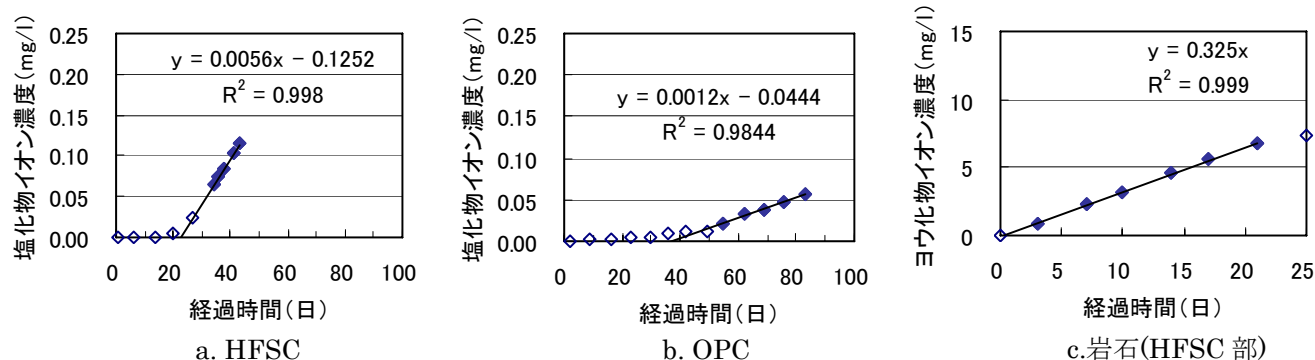


図-2 コンクリートおよび岩石の実効拡散係数試験結果

表-4 に水銀圧入法によるコンクリートおよび岩石のかさ密度と空隙率を、図-3 に空隙量と細孔径分布を示す。岩石の空隙率は50%以上と大きかったが、上述のように実効拡散係数は小さく、移行経路が屈曲しているものと推察される。細孔径分布に関しては、岩石は100~500nm に多くの空隙が分布しており、これまでの結果とも整合している。コンクリートでは OPC で10~100nm に存在する空隙が HFSC では存在せず、より緻密であることが確認された。

表-4 水銀圧入法による密度と空隙率

| 部位           | 項目                        | コンクリート | 岩石    |
|--------------|---------------------------|--------|-------|
| HFSC<br>吹付け部 | かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.231  | 1.150 |
|              | 空隙率 (Vol%)                | 10.1   | 59.3  |
| OPC<br>吹付け部  | かさ密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.298  | 0.965 |
|              | 空隙率 (Vol%)                | 10.3   | 57.8  |

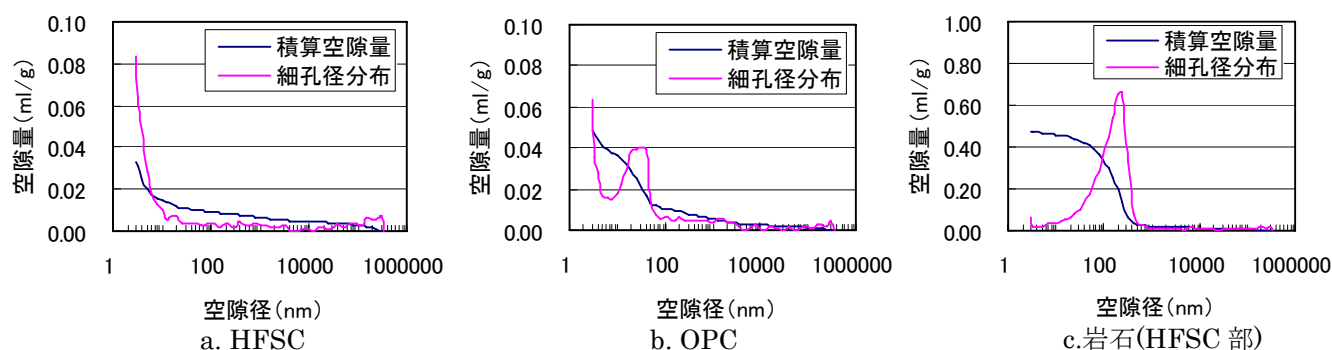


図-3 コンクリートおよび岩石の空隙構造

#### 4. まとめ

低アルカリ性セメント (HFSC) を用いた吹付けコンクリートや地下140mの岩石に関する物性の初期データを取得した。HFSC は OPC と比較して、実効拡散係数が小さく、空隙もより小径側に分布しており緻密なコンクリートであることが確認された。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート中の鋼材の腐食性評価と防食技術研究小委員会 (338 委員会) 委員会報告書、コンクリート技術シリーズ 86, 2009
- 2) 下茂道人ほか：亀裂を有する堆積岩の水理・物質移行評価のためのデータ取得・解析 (Ⅲ), JAEA-RESEARCH 2009-060