

## 各種モルタル細孔溶液中のアルカリ金属イオン濃度の測定

群馬大学大学院 学生会員 ○室伏 瞳

群馬大学大学院 学生会員 Worapatt Ritthichauy

群馬大学工学部 正会員 杉山 隆文

## 1. はじめに

セメント硬化体中のイオンの移動は、主として細孔溶液を介して進行することから、細孔溶液の組成の解明は重要である。そこで本研究では、4種類のモルタル供試体における細孔溶液中の $\text{Na}^+$ および $\text{K}^+$ を自然拡散法と電気泳動法を利用して溶出させ、細孔溶液中の濃度を算出した。また、両手法による結果の比較をした。

## 2. 実験概要

## (1) 供試体

表-1 に本研究で使用したセメントの化学成分を、表-2 に供試体の配合および諸性状を示す。混和材料であるフライアッシュ（密度： $2.43\text{g/cm}^3$ 、ブレン比表面積： $3330\text{cm}^2/\text{g}$ ）の置換率は、結合材の30%とした。練混ぜ水は蒸留水を、細骨材は旧豊浦標準砂を用いた。

表-1 セメントの化学成分

| 使用セメント・混和材        | 化学成分 (%) |                  |                                |                                |                 |                   |                  |      |
|-------------------|----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------|------------------|------|
|                   | CaO      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | MgO  |
| 普通ポルトランドセメント(OPC) | 64.3     | 20.9             | 5.24                           | 2.88                           | 2.05            | 0.27              | 0.40             | 1.33 |
| 高炉セメントB種(BB)      | 56.5     | 25.0             | 8.36                           | 2.02                           | 2.10            | 0.21              | 0.39             | 3.01 |
| フライアッシュ(FA)       | 0.98     | 54.7             | 18.7                           | 15.7                           | -               | 0.20              | 1.50             | -    |

表-2 モルタルの配合および諸性状

| 供試体名   | W/B | S/B | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |                |      | スランブフロー<br>(mm) | 28日圧縮強度<br>N/mm <sup>2</sup> |
|--------|-----|-----|--------------------------|-----|----------------|------|-----------------|------------------------------|
|        |     |     | W                        | C   | C <sup>S</sup> | S    |                 |                              |
| OPC-65 | 65% | 2.0 | 359                      | 553 | 0              | 1106 | 225             | 37.3                         |
| OPC-50 | 50% |     | 303                      | 605 | 0              | 1210 | 160             | 45.3                         |
| FA     | 65% |     | 354                      | 381 | 163            | 1088 | 200             | 27.2                         |
| BB     |     |     | 357                      | 549 | 0              | 1098 | 240             | 45.3                         |

## 5 フライアッシュ (FA)

モルタルは直径 100mm、高さ 200mm の円柱型枠に打ち込み、91 日間飽和水酸化カルシウム中で養生した。各モルタル供試体は厚さ 1cm に切断し、自然拡散試験では円周面および片面を、電気泳動試験では円周面のみをエポキシ系樹脂の塗料でコーティングした。4 日間室温で乾燥させた後、飽和水酸化カルシウム溶液を用いて 24 時間減圧吸水を実施した。試験は恒温・恒湿(温度:20℃、湿度:55%)の条件の中で行った。

## (2) 自然拡散試験

図-1 に自然拡散試験の概略図を示す。セルは塩化ビニル管を用い、その端にアクリル板を接着剤で貼り付け、供試体とセルの隙間をシリコン系樹脂で埋めた。試験溶液は 0.5L の蒸留水とした。

溶液のサンプリングは試験開始 2 週間までは 3 日に 1 回、その後は 1 週間に 1 回行い、その都度溶液の全量を交換した。サンプリング溶液は、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 濃度を原子吸光分光光度計を用いて測定した。また、伝導率とpHも測定した。

## (3) 電気泳動試験

図-2 に電気泳動試験の概略図を示す。試験装置はアクリル製の試験体を使用し、両極ともスティールメッシュの電極を用い、試験溶液はそれぞれ 1L の蒸留水、印加電圧は 15V とした。

溶液のサンプリングは陰極側の溶液だけを 2 日おきに行い、溶液交換もその都度両極ともに行った。測定は、自然拡散試験と同様に $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 濃度、伝導率、pHの測定を行った。

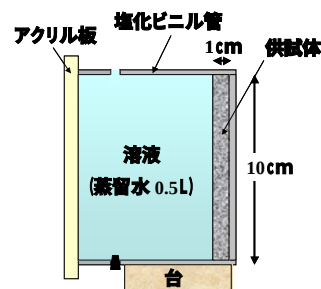


図-1 自然拡散試験の概略図

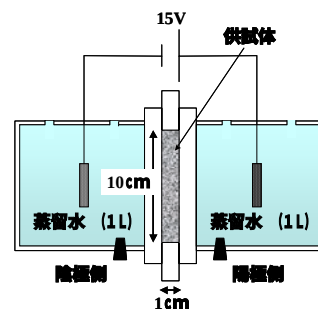


図-2 電気泳動試験の概略図

キーワード：自然拡散試験、電気泳動試験、アルカリ金属イオン

連絡先：群馬県桐生市天神町 1-5-1 TEL 0277-30-1613 FAX 0277-30-1601

### 3. 実験結果

#### (1) 自然拡散試験

図-3 にNa<sup>+</sup>およびK<sup>+</sup>の溶出試験結果を示す。OPC-65、OPC-50 における溶出量は大きく、Na<sup>+</sup>およびK<sup>+</sup>の双方とも196日後では溶出が収束していると判断できる。また、K<sup>+</sup>の溶出量がNa<sup>+</sup>の溶出量よりも大きく、この相違はW/Cに無関係である。一方FAおよびBBの溶出は、196日経過後もなお継続している。これは、細孔構造が緻密であるために、溶出する速度が遅いからであると考えられる。また、FA、BBともに、K<sup>+</sup>の溶出量がNa<sup>+</sup>の溶出量よりも大きく、OPCと同じ傾向であった。FAのK<sup>+</sup>の溶出が、BBよりも大きくなっているのは、フライアッシュのK<sub>2</sub>O成分の含有量が比較的多いことに関連していると思われる。

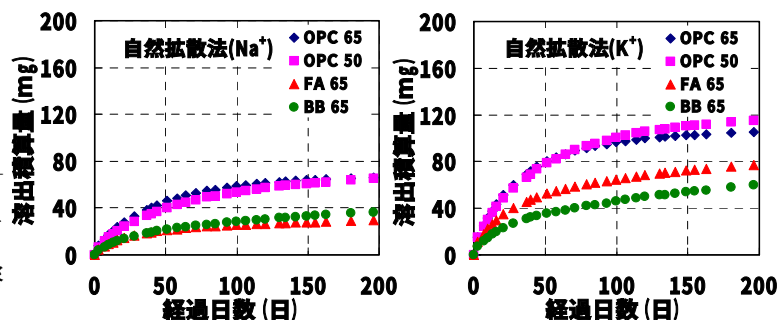


図-3 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>溶出の経時的変化（自然拡散試験）

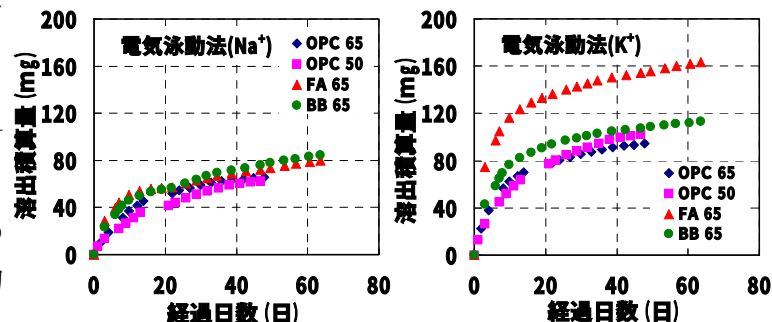


図-4 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>溶出の経時的変化（電気泳動試験）

#### (2) 電気泳動試験

図-4 にNa<sup>+</sup>およびK<sup>+</sup>の溶出試験結果を示す。Na<sup>+</sup>の溶出は、セメント種類に無関係な傾向を示し、K<sup>+</sup>の溶出は、FAにおける溶出量が多い。また、それぞれの経時的変化は、試験開始直後に急な傾きを示し、その後傾きは小さくなり、2段階に分かれている。この溶出傾向は、斉藤<sup>1)</sup>の試験結果と同様であり、セメント水和組織中におけるアルカリ金属イオンの存在形態を反映しているためである。斉藤<sup>1)</sup>は、初期に溶出するものは主としてイオンの状態でモルタル中に存在し、それ以降に溶出するのは主としてセメント水和物中に固溶していると説明している。

#### (3) 細孔溶液中のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>濃度

両手法による試験結果から式(1)を用いて細孔溶液中のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>の濃度を算出し、図-5に結果を示す。

$$C_i = \frac{Q_i / M_{wi}}{V_c \times \varepsilon} \quad (1)$$

C<sub>i</sub>：イオン濃度(mol/L)、Q<sub>i</sub>：イオン溶出積算量(g)、M<sub>wi</sub>：元素量(g/mol)、V<sub>c</sub>：体積(L)、ε：空隙率

なお、イオン溶出積算量は、各試験における最終溶出積算量(自然拡散法：196日間、電気泳動法：

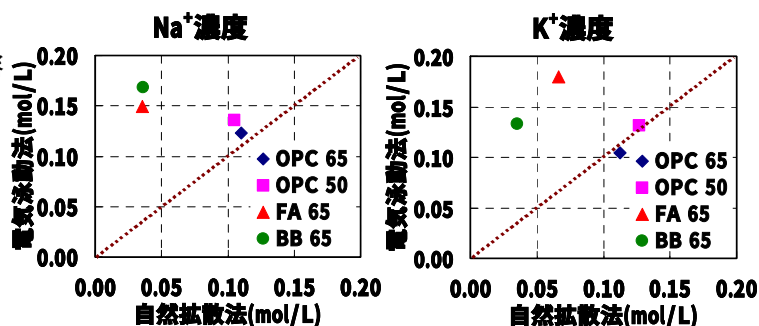


図-5 両試験法により算出したNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>濃度

OPC-65、OPC-50：47日間、FA、BB：64日間)を使用した。また、εは試験終了後の供試体を用いて、105℃の炉乾燥から蒸発した水分量より計算した。OPCは自然拡散、電気泳動の両方から求めたイオン濃度がほぼ等しくなった。FA、BBは、電気泳動試験により求めたイオン濃度が高くなっている。自然拡散試験では196日後においても、細孔溶液中のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>の移動が完全に終了していないことが原因であると思われる。したがって、電気泳動法によりNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>の溶出を促進させることで、迅速に細孔溶液中の濃度を算出できると考えられる。

#### 4. まとめ

細孔溶液中のNa<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>濃度を自然拡散法、電気泳動法の溶出試験結果から算出したところ、OPCは両方法からほぼ同程度の濃度を算出できたが、FA、BBは電位勾配による溶出促進の影響が顕著に見られた。

**謝辞**：本研究の一部は、科学研究員補助金(基盤(B)(1)、課題番号:14350236、代表者:河野広隆 土木研究所主席研究員)を受けて実施したものです。

**参考文献** 1) 斉藤裕司 電気化学的促進手法による水と接するコンクリートの長期耐久性予測に関する基礎研究 群馬大学博士論文、1998年3月