

# 混和材を配合したコンクリートの遮塩効果に関する実験的検討

東日本旅客鉄道 正会員 ○大野 直也  
 東日本旅客鉄道 正会員 井口 重信  
 東日本旅客鉄道 正会員 小泉 秀之

## 1. はじめに

フライアッシュ（以下、FA とする）や高炉スラグ微粉末（以下、BFS とする）を混和材として配合したコンクリートは、塩化物イオン浸透抵抗性が高いとされている。現在の土木学会や鉄道の設計基準では、混和材使用時の塩化物イオンの浸透抵抗性を一定程度加味しているものの、混和材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透抑制効果については、説明できないほど大きな効果も報告されており<sup>1)</sup>、これらの効果は実設計に生かされるまでには至っていない。

本報告では、混和材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透性について設計で考慮することを目的とし、BFS を用いたコンクリートや、BFS と FA を併用した三成分系セメントを用いたコンクリートについて塩水浸漬試験を実施し、その遮塩効果について確認するとともに、塩分浸透の予測を試みた。

## 2. 試験方法

### 2. 1 試験体

試験体はφ100×200mm 円柱供試体を使用し、試験体の配合を表-1 に示す。

コンクリートの配合は、設計基準強度 48N/mm<sup>2</sup> となるように配合し、普通コンクリートの「N」を基準に、セメントの 50% を BFS で置換した「B50」、50% を BFS 及び 10% を FA で置換した「B50+FA10」の 3 種類を用意した。コンクリートの打設直後に図-1 に示す蒸気養生を行った後、15°C の温度で水中養生を 3 日間行い、

さらに 28 日間の気中養生を行った。

### 2. 2 塩水浸漬試験

養生を終えた試験体は、両端 25mm を切断、除去した後、側面にのみエポキシ樹脂を塗布し、下側半分が塩水に浸かるように浸漬した。塩水の濃度は 10% とし室温 20°C の環境下で保管した。

所定の塩水浸漬期間が経過した試験体は、圧縮試験機により縦方向に割裂し、割裂面にドリルで削孔して試料を採取した。試料の採取位置は、0、10、30、50、70、90、110mm の位置とし、採取したコンクリート粉を蛍光 X 線装置にかけて塩化物イオン量を測定した。

## 3. 試験結果

図-2 に 9 か月間浸漬した時点における各配合のコンクリートの塩化物イオン濃度分布を示す。また、Fick の第二法則に基づく拡散方程式 (式-1) により近似した曲線 (図中実線) も合わせて示す。

$$C(x,t) = C_i + C_0 \{ 1 - \text{erf}(x / (2\sqrt{D \cdot t})) \} \quad \text{式-1}$$

ここで、x : 浸漬面から全塩化物イオン濃度を測定した箇所までの距離(cm)、t : 供用期間(年)(ここでは、浸

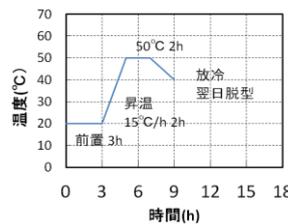


図-1 蒸気養生

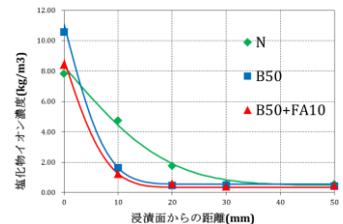


図-2 塩化物イオン濃度

表-1 コンクリートの配合

| 記号       | W/P [%] | S/a [%] | 粉体量 [kg/m³] | 置換率 [%]  | 空気量 [%] | 混練量 [kg] | 表面水 [kg/m³] | 単位量(kg/m³) |       |      |       |      |         |          |          |               |    |    |    |    |    |
|----------|---------|---------|-------------|----------|---------|----------|-------------|------------|-------|------|-------|------|---------|----------|----------|---------------|----|----|----|----|----|
|          |         |         |             |          |         |          |             | 水 (補正)     | セメント  | スラグ  | 珪砂    | 膨張材  | フライアッシュ | 細骨材 (補正) | 粗骨材 2005 | S-300E (※に準じ) | 計量 | 計量 | 計量 | 計量 | 計量 |
| N        | 42.4    | 40.0    | 330         | 0        | 2       | 50       | 0.00        | 140        | 297   | 0    | 33    | 0    | 799     | 1168     | 0.80     | 2.640         |    |    |    |    |    |
|          |         |         |             |          |         |          |             | (140)      | 14.85 | 0.00 | 1.65  | 0.00 | 39.97   | 58.41    | 0.1320   |               |    |    |    |    |    |
| B50      | 38.5    | 40.0    | 364         | B50      | 2       | 50       | 0.00        | 140        | 145.6 | 182  | 36.4  | 0    | 782     | 1142     | 0.57     | 2.075         |    |    |    |    |    |
|          |         |         |             |          |         |          |             | (140)      | 7.00  | 7.28 | 9.10  | 1.82 | 0.00    | 39.09    | 57.12    | 0.1037        |    |    |    |    |    |
| B50+FA10 | 34.1    | 40.0    | 410         | B50+FA10 | 2       | 50       | 0.00        | 140        | 123   | 205  | 41    | 41   | 759     | 1109     | 0.55     | 2.255         |    |    |    |    |    |
|          |         |         |             |          |         |          |             | (140)      | 7.00  | 6.15 | 10.25 | 2.05 | 2.05    | 37.94    | 55.45    | 0.1128        |    |    |    |    |    |

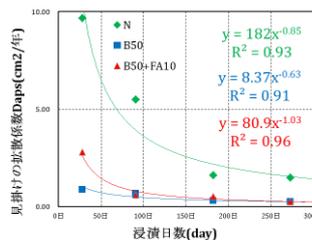


図-3 見掛けの拡散係数

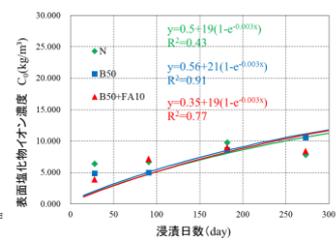


図-4 表面塩化物イオン濃度

キーワード 塩化物イオン, 拡散係数, 混和材, 高炉スラグ微粉末, フライアッシュ

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木二丁目 2 番 6 号 TEL. 03-3379-4353 E-mail : naoya-ono@jreast.co.jp

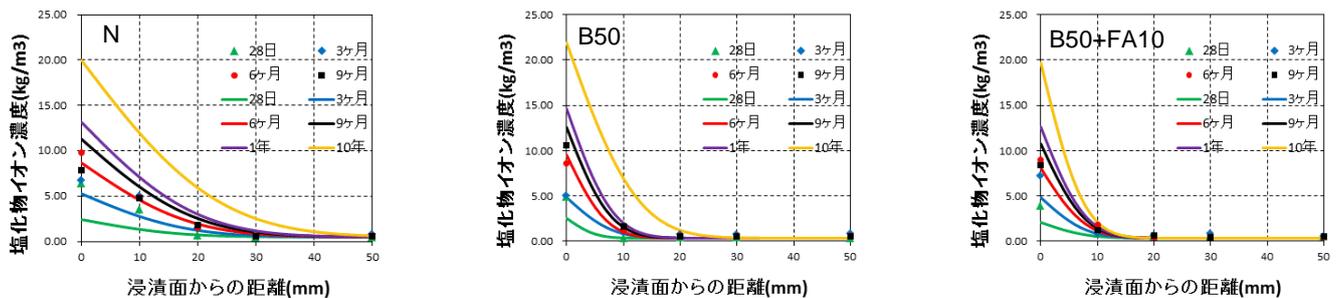


図-5 時間依存性を考慮した塩化物イオン濃度分布の推定値（点：実測値，実線：推定値）

漬期間(年)),  $C(x,t)$ : 距離  $x$ (cm), 供用期間  $t$ (年)において測定された全塩化物イオン濃度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $C_0$ : コンクリートの表面における全塩化物イオン濃度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $C_i$ : 初期含有全塩化物イオン濃度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $D$ : コンクリートの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{年}$ ),  $\text{erf}$ : 誤差関数である。

浸漬面から 20mm 深さの位置での塩化物イオン濃度は, N が  $1.77\text{kg}/\text{m}^3$ , B50 が  $0.482\text{kg}/\text{m}^3$ , B50+FA10 が  $0.587\text{kg}/\text{m}^3$  となっており, 混和材を用いたコンクリートの遮塩効果について確認した。

#### 4 考察

筆者ら<sup>2)</sup>は, 拡散係数及び表面塩化物イオン濃度の時間依存性を考慮し, 実測値から算出した近似式を Fick の拡散方程式に反映させることで, 混和材使用時の塩化物イオンの浸透停滞現象を再現している(式-2)。

$$C(x,t) = C_i + C_0(t) \{1 - \text{erf}(x / (2\sqrt{D(t) \cdot t}))\} \quad \text{式-2}$$

ここで,  $C_0(t)$ : 時間依存性を考慮したコンクリートの表面における全塩化物イオン濃度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $D(t)$ : 時間依存性を考慮したコンクリートの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{年}$ )である。

図-3 に各配合の拡散係数の実測値(点)及び近似式(実線), 図-4 に表面塩化物イオン濃度の実測値(点)及び近似式(実線)を示す。拡散係数の近似式の決定係数( $R^2$ )は, 0.9~1.0 となり, 実測値を良く表現している。一方で, N の表面塩化物イオン濃度の近似式は, 決定係数が 0.427 であり, 供試体の違いと試料採取のばらつきが現れたと考えられる。

図-5 に, 式-2 により算出した各配合の塩化物イオン濃度分布の推定値を示す。浸漬面から 20mm 位置の塩化物イオン濃度に着目すると, N では浸漬期間の増加に伴って塩化物イオン濃度も増加するのに対し, B50 と B50+FA10 では浸透期間 1 年までの塩化物イオン濃度は変化せず, 混和材使用時の塩化物イオンの浸透停滞現

象が再現されている。推定値と合わせて記載した浸漬期間 9 ヶ月目までの実測値も, B50 と B50+FA10 では浸漬面から 20mm 位置で塩化物イオン濃度が一定となっており, 推定値は実測値を良く再現しているといえる。

また, 推定値により浸漬期間 10 年を想定した場合に, B50 では浸漬面から 30mm の位置まで塩分が浸透しているのに対し, B50+FA10 では依然として浸漬面から 20mm の位置で塩分が停滞しており, FA を加えた方が塩分浸透抵抗性の高い結果を示している。表面塩化物イオン濃度の近似式に大きな差が見られない(図-4)ことから, 拡散係数の影響によるものと考えられる。今後, 長期間の塩水浸漬試験を実施し, 検証を行いたい。

#### 5. まとめ

本報告では, 浸漬期間 9 ヶ月の短期間の実験結果であるが, 混和材を用いたコンクリートの遮塩性効果を確認できたと考える。また, BFS 及び三成分系セメントを用いた場合の塩化物イオンの浸透停滞現象についても拡散係数及び表面塩化物イオン濃度の時間依存性を考慮することで再現することが出来た。

今後, 長期間の塩水浸漬試験の実施や, 養生条件, 配合などの差異による影響について検討を行い, 混和材を用いたコンクリートの塩化物イオン浸透性の予測精度向上に寄与したい。

#### 参考文献

- 1) 高橋佑弥, 井上翔, 秋山仁志, 岸利治: 実構造物中のフライアッシュコンクリートへの塩分浸透性状と調査時材齢の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, vol.32, No.1, 2010
- 2) 井口重信, 松田芳範: フライアッシュを混和材に用いたコンクリートの遮塩効果に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, vol.32, No.1, 2016