

## 実構造物における統計分析に基づく塩化物イオンの拡散係数と表面濃度の影響因子の抽出

東北大学 学生会員 ○蓮見 亮 正会員 皆川 浩 正会員 久田 真  
電源開発 正会員 佐藤 道生 正会員 頭本 忠夫

## 1. はじめに

近年、既存構造物の高経年化に伴い、日本全国で実構造物の維持管理の在り方が注目を集めている。本研究では実構造物から採取した複数のデータを用いて、フライアッシュ(FA)の有無、年間平均気温、供用期間などの影響因子が塩化物イオンの見かけの拡散係数( $D_{cl}$ )や表面塩化物イオン濃度( $C_0$ )に与える影響について考察をした。

## 2. 対象構造物の概要

本研究で用いたデータの概要を表-1に示す。西日本を中心に点在する構造物、計6ヶ所を対象としており、うち3ヶ所ではFAセメントA種、B種に相当する添加率でFAを使用している。対象構造物は栈橋などの海岸構造物が主であり、ほぼ全ての構造物の供用環境は飛沫帯に分類される。分析試料の採取方法はJIS A 1125 附属書1に準拠し、コア試料のスライス厚は15~20mm、ドリル粉末は20mm間隔で採取した。本研究ではデータに統一性を持たすため、水セメント比が $55 \pm 2.5\%$ のデータを用いて以降の分析・考察を行った。

## 3. 分析結果

## (1) 実構造物データの分布性状

今回用いた実構造物のデータと2002年版コンクリート標準示方書改訂資料に記されている普通ポルトランドセメント(OPC)のデータ<sup>1)</sup>を比較すると、図-1のようになった。実構造物のデータは大きくばらついているが、概ね分布は一致している。

(2) FAの有無による影響( $D_{cl}$ ,  $C_0$ )

図-2は全219データのうち、FAの有無による $D_{cl}$ の影響を比較した図である。この図より、実構造物においてもFAを用いた構造物の方が $D_{cl}$ の値が小さくなる傾向であることが累積分布より読み取れる。表-2中の混和材にFAを用いたデータに着目すると、 $D_{cl}$ の平均値ではFAを用いていない場合の約0.3倍、標準偏差は約0.18倍と非常に小さな値を示している。これより、FAを用いたコンクリートは塩分遮蔽性が高く、施

表-1 実構造物データ

| 構造物 | 年間平均<br>気温(°C) | 供用年数(年)              | 結合材種   | 添加率     | 個数 | 計  |
|-----|----------------|----------------------|--------|---------|----|----|
|     |                | 【点検年度】               |        |         |    |    |
| A   | 16.3           | 44.0                 | OPC+FA |         | 0  | 11 |
|     |                | 8.28.37              | OPC    |         | 11 |    |
| B   | 16.0           | 41.0                 | OPC+FA |         | 0  | 29 |
|     |                | 32.35.36.40          | OPC    |         | 29 |    |
| C   | 15.7           | 41.0                 | OPC+FA | 10%(A種) | 32 | 59 |
|     |                | 17.22.24.25.32.36.41 | OPC    |         | 27 |    |
| D   | 17.1           | 19.0                 | OPC+FA | 10%(A種) | 22 | 22 |
|     |                | 12.15.18             | OPC    |         | 0  |    |
| E   | 16.7           | 29.0                 | OPC+FA | 15%(B種) | 31 | 31 |
|     |                | 16.21.26.28          | OPC    |         | 0  |    |
| F   | 23.4           | 23.0                 | OPC+FA |         | 0  | 67 |
|     |                | 12.16.17.18.19.22    | OPC    |         | 67 |    |

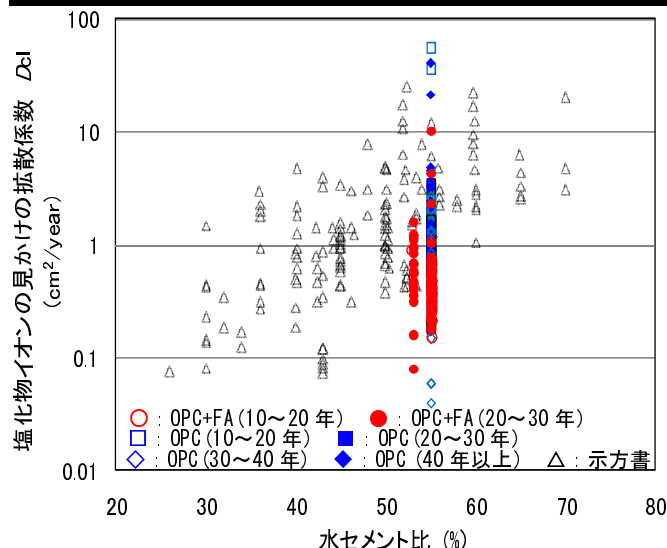


図-1 実構造物データと示方書データの比較

工品質が安定していると考えられる。しかし、 $C_0$ の平均値に着目するとFAを添加した構造物の方がOPCのみの構造物よりも値が大きくなっていることがわかる。

図-3はFAの有無による $C_0$ の影響を比較した図である。これらの図と表よりFAを用いた場合の $C_0$ はOPCのみのものと比較して、ばらつきは同等であるが値は大きくなることがわかる。これらの結果は、FAを用いたコンクリートの表層の $C_0$ が高くなる傾向があるという既往の知見<sup>2)</sup>と同様である。

(3) 温度による影響( $D_{cl}$ ,  $C_0$ )

図-4は全134データ(OPCのみ)のうち、表-1の年間平均気温を基に平均気温が約16°C(構造物A,B,C)と23°C(構造物F)の2グループに分類し、 $D_{cl}$ を比較した図である。この図より、年間平均気温が最も高い23°C

キーワード 塩化物イオンの見かけの拡散係数 表面塩化物イオン濃度 実構造物 フライアッシュ

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 022-795-7430

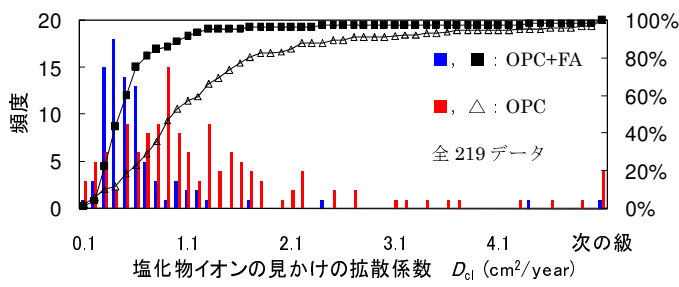


図-2 FAの有無による頻度と $D_{cl}$ の関係

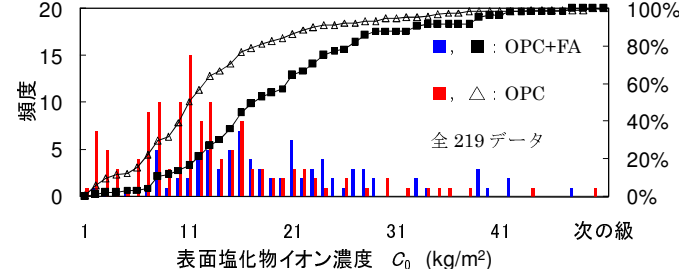


図-3 FAの有無による頻度と $C_0$ の関係

表-2 データ概要 (FAの有無)

| 混和材 | 見かけの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{year}$ ) |      |      |      | 表面濃度分布( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) |      |       |
|-----|---------------------------------------|------|------|------|----------------------------------|------|-------|
|     | データ数                                  | 平均   | 標準偏差 | 中央値  | 平均                               | 標準偏差 | 中央値   |
| 全体  | 219                                   | 1.76 | 5.37 | 0.71 | 15.13                            | 9.52 | 12.85 |
| FA  | 85                                    | 0.68 | 1.17 | 0.42 | 19.21                            | 9.43 | 17.47 |
| なし  | 134                                   | 2.27 | 6.60 | 0.95 | 12.77                            | 8.58 | 10.91 |
| 計   | 219                                   |      |      |      |                                  |      |       |

のデータの方が、 $D_{cl}$ が大きい傾向が累積分布より読み取れる。これらの結果は、 $D_{cl}$ には温度依存性があり、温度が上昇するにつれて拡散係数が高くなるという既往の知見<sup>2)</sup>と同様である。

一方で、図-5は年間平均気温毎に $C_0$ を比較したものである。表-3中より、 $C_0$ の分布はほぼ温度に影響されていないことが累積分布よりわかる。

(4) 供用年数、分析試料の採取位置と $C_0$ 、 $D_{cl}$ の関係

図-6はFAを用いた構造物のデータの中から栈橋のデータを抽出し、構造物の供用年数、分析試料を採取した位置毎に分類した $C_0$ と $D_{cl}$ の関係を示した図である。表-4中にデータの概要を示す。これらの図と表より、若材齢の場合 $D_{cl}$ は小さく、材齢が増すにつれてばらつきが大きくなる。 $C_0$ は若材齢の方が大きく、長期材齢の方が小さい。供用20~30年に着目すると下面の $D_{cl}$ が大きくなっているが、側面と比較して構造物内部がより湿潤であったことに加え、クラックや浮きの存在が確認されたことが原因と考えられる。また $C_0$ と $D_{cl}$ の関係について、その傾向は必ずしも一致しないと既往の知見<sup>2)</sup>では述べられているが、本研究では $C_0$ の減少に伴い $D_{cl}$ が増加する傾向が示唆された。

4. まとめ

本研究の実構造物データの分析結果を以下に示す。

- ・ $D_{cl}$ は、FAを用いた方がOPCのみの場合よりも値

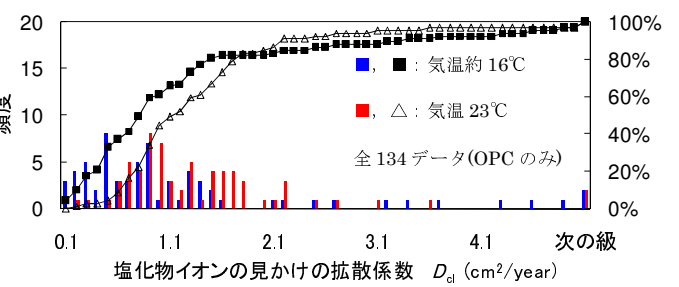


図-4 年間平均気温の差による頻度と $D_{cl}$ の関係

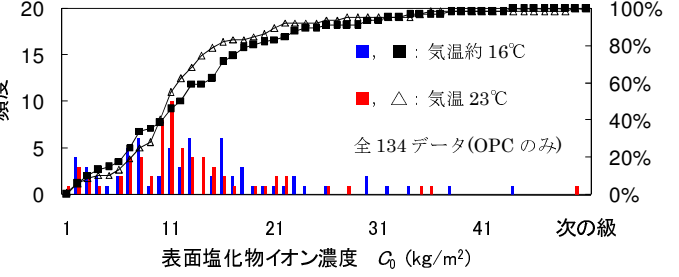


図-5 年間平均気温の差による頻度と $C_0$ の関係

表-3 データ概要 (年間平均気温の差)

| 年間平均気温  | 見かけの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{year}$ ) |      |      |      | 表面濃度分布( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) |      |       |
|---------|---------------------------------------|------|------|------|----------------------------------|------|-------|
|         | データ数                                  | 平均   | 標準偏差 | 中央値  | 平均                               | 標準偏差 | 中央値   |
| 全体(OPC) | 134                                   | 2.27 | 6.60 | 0.95 | 12.77                            | 8.58 | 10.91 |
| 約16℃    | 67                                    | 1.99 | 5.43 | 0.81 | 13.24                            | 8.92 | 11.64 |
| 23℃     | 67                                    | 2.54 | 7.58 | 1.15 | 12.29                            | 8.20 | 10.74 |
| 計       | 134                                   |      |      |      |                                  |      |       |

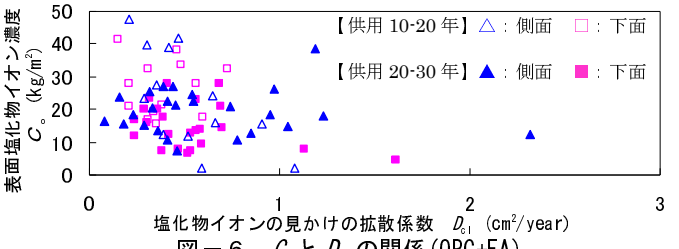


図-6  $C_0$ と $D_{cl}$ の関係 (OPC+FA)

表-4 データ概要 (供用年数、OPC+FAのみ)

| 供用年数       | 見かけの拡散係数( $\text{cm}^2/\text{year}$ ) |      |      |      | 表面濃度分布( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) |       |       |
|------------|---------------------------------------|------|------|------|----------------------------------|-------|-------|
|            | データ数                                  | 平均   | 標準偏差 | 中央値  | 平均                               | 標準偏差  | 中央値   |
| OPC+FA     |                                       |      |      |      |                                  |       |       |
| 10~20年【側面】 | 13                                    | 0.53 | 0.24 | 0.47 | 23.28                            | 14.51 | 23.45 |
| 20~30年【側面】 | 13                                    | 0.63 | 0.47 | 0.45 | 19.39                            | 6.73  | 18.59 |
| 10~20年【下面】 | 25                                    | 0.39 | 0.16 | 0.35 | 26.54                            | 8.23  | 27.93 |
| 20~30年【下面】 | 25                                    | 1.08 | 2.03 | 0.53 | 14.77                            | 6.43  | 13.81 |
| 計          | 76                                    |      |      |      |                                  |       |       |

が小さい方に分布する。OPCのみの場合、平均気温が高くなるほど $D_{cl}$ の値が大きい方に分布する。

- ・ $C_0$ は、FAを用いた方がOPCのみの場合よりも値が大きい方に分布する傾向がみられた。またOPCのみの場合、平均気温による差はあまりみられない。
- ・FAを用いた場合、供用年数、分析試料の採取位置毎に $C_0$ と $D_{cl}$ の分布形状が異なる。

参考文献

- 1) 2002年版コンクリート標準示方書改訂資料、コンクリート標準示方書改訂小委員会 p85-88 土木学会
- 2) 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, p1-63 2009 コンクリート委員会 土木学会