

第 部門

EPMA 法によるコンクリートの塩化物イオン浸透予測に適したコア径の決定

立命館大学理工学部
立命館大学理工学部
太平洋セメント（株）

学生員 ○宮地 修平
正会員 水田 真紀・岡本 享久・児島 孝之
正会員 小川 彰一・森 寛晃

1. はじめに

近年，様々な環境下におけるコンクリート構造物の劣化が問題となっている．そうした中で重要となるのは，正確な劣化状況の把握や推定とその対処法である．そこで本研究では，電子プローブマイクロアナライザー（以下，EPMA）法の面分析で，コンクリート構造物の塩化物イオンの浸透を精度良く予測することを目的とし，統計解析によるコア径決定方法を示した．

2. 研究計画

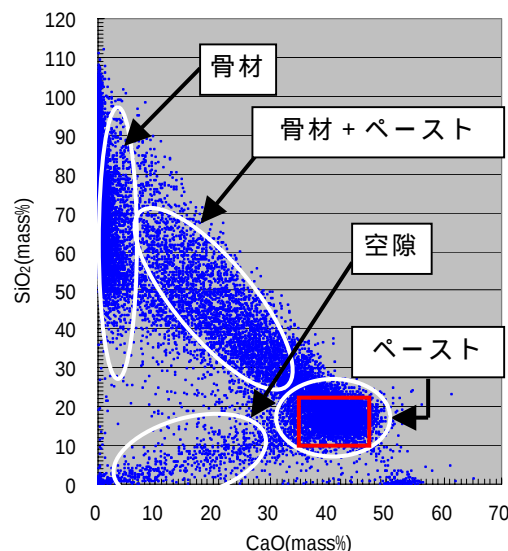
2.1 研究目標

研究の最終目標はコンクリート構造物の健全性と耐久性を保證できる診断方法として，EPMA法を適用した小径コア試験法を提案することである．小径コア試験法の簡便さと EPMA 法の精密さを兼ね備えた劣化診断方法を確立できれば，診断回数を増やすことによる劣化の早期発見と劣化進行の推定精度の向上，診断部位を増やすことによる構造物全体の健全度の把握への貢献が期待できる．

2.2 研究条件

本研究では，EPMA法による Cl^- 濃度プロファイルの作成に影響を与えと考えられる要因として骨材の偏在を挙げる．

一般的に，骨材部分において塩分浸透は極小で，EPMA法によって求めた濃度データにおいても骨材部分は極めて濃度の低い値となる．そのため，骨材の影響を考慮しなければ正確な Cl^- 濃度プロファイルが作成できないという問題がある．よって本研究では，骨材を，構成成分によって分類する従来の手法¹⁾を用いることにした（図 - 1）．そして， CaO と SiO_2 の含有量における分類によって骨材部分を排除し， Cl^- 濃度プロファイルを作成した（図 - 1の赤い四角部分）．

図 - 1 CaO と SiO_2 含有量

2.3 分析試料

EPMA 法によって濃度を測定したサンプルを表 - 1 に示す．このサンプルを解析に使用する．

表 - 1 分析試料

W/C	40%
浸漬条件	NaCl 3%溶液 20 浸漬 3 年
試料寸法	75mm × 60mm
ピクセル寸法	1 ピクセル：0.1 × 0.1mm

2.4 検討方法

小径コアを用いた EPMA 法の手法の提案にあたって，本研究では（a）セメントペーストの濃度データから同一環境下のコンクリート全体の濃度分布の推定（b）コア径幅（必要データ数）を確認し，小径コアの直径を決定する．具体的には統計学的手法を用い，（a）セメントペースト部の濃度データの分散，ピクセル数からコンクリート全体の信頼限界を求め（b）コンクリート全体の濃度分布の推定から求めたコア径におけるセメントペーストのピクセル数での濃度分布確率が正規分布に従っているかを検討する．

3. 統計分析結果

(a) 母集団の区間推定

セメントペースト部分のデータからコンクリート全体の塩化物イオン濃度プロファイルを推定する。その手法としては、一部分のセメントペーストの濃度データ（以下標本とする）から同一環境下のコンクリート全体（以下母集団とする）の平均 Cl^- の区間推定を行っていく。母集団の区間推定には式 - 1 を用い、母集団の平均の上限と下限の推定値を求める。

$$\text{信頼限界} = \text{標本平均} \pm k \sqrt{\frac{\text{標本分散}}{\text{データ数}}} \quad (\text{式 - 1})$$

k の値 { データ数 30 以下のときは t 分布表使用
データ数 30 のときは正規分布表使用

この区間推定と、EPMA 法による濃度データの分割幅を変化させたものを比較し、上限・下限間に収まる場合は有効な径と判断する。

母集団平均の区間とコア径が 30mm, 40mm, 50mm を比較したものを、図 - 2 に示す。

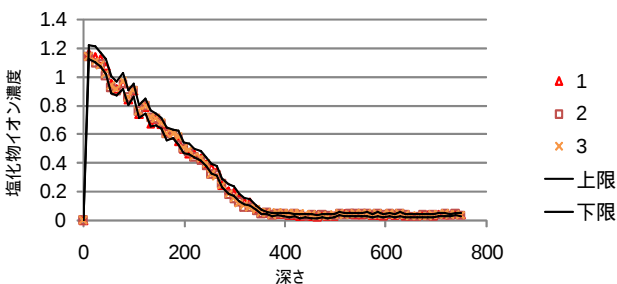
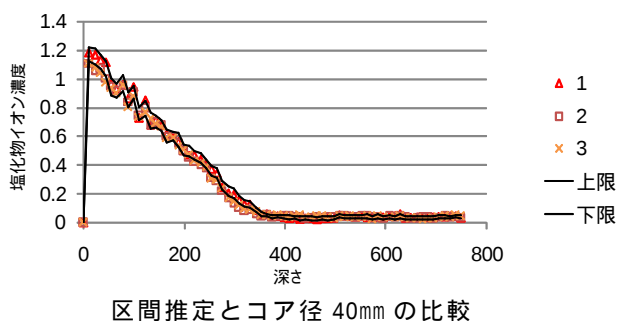
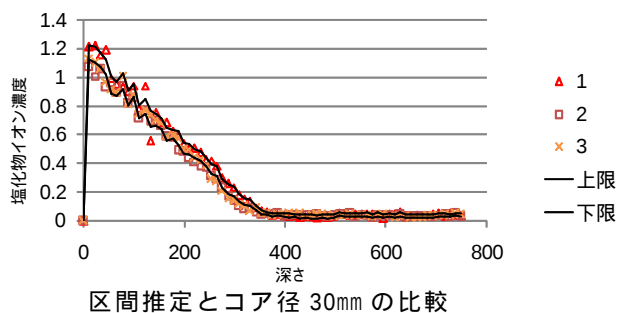


図 - 2 各コア径と区間推定の比較

(b) 必要データ数の確認

母集団の区間推定と、各幅の平均の比較から、40mm, 50mm のコア径が有効であると考えられる。しかしながら、コア径を小さくすることでセメントペーストのピクセル数が減少し、正確な塩化物イオン濃度プロファイル作成が困難となる可能性がある。つまり、コア径を小さくすることで濃度の分布確率が変化し、正規分布に従わない危険性がある。濃度分布が正規分布に従わない場合、塩化物イオン濃度の抽出の精度は、低くなり、信頼性に欠ける可能性がある。よって本研究では、セメントペーストのピクセル数と、塩化物イオン濃度データの分布確率の関係性を検討した。その結果、セメントペーストのピクセル数が 40 以上あれば濃度データは概ね、正規分布に従っているという結果が出た。

直径 60mm のコアの場合、セメントペーストのピクセル数は平均 70 前後で、直径 50mm や直径 40mm の場合では、セメントペーストのピクセル数の平均は 60 前後や、50 前後になると推定されるため、セメントペーストのピクセル数が不足する危険性は低いと考えられる。

4. 結論

(1) 母集団（コンクリート全体）の区間を、標本（セメントペースト部）のデータの分散や、平均を用いて求める手法の検討によると、コア径は、40mm, 50mm 程度あれば信頼性のある Cl^- 濃度プロファイルを作成できる（図 - 2）。

(2) セメントペーストのピクセル数の分析可能最低数は、40 個前後であるため、本研究で信頼性があると考えられたコア径 40 mm や、50 mm でも正確な Cl^- 濃度プロファイルを作成するためのデータ数は確保できると判断された。

(3) しかしながら、今回は分析データの数が 1 種類のみであったため、今後は配合や、採取する部位などの影響因子の関係性を考慮することが実用化へ向けて不可欠であると考えられる。実用化に向けては、現存する塩化物イオン浸透プロファイル作成の手法と EPMA 法の比較も必要であると考えられる。

参考文献

- 1) EPMA 法 WG: 硬化コンクリートのミクロの世界を拓く新しい土木学会基準の制定, 土木学会, コンクリート技術シリーズ, pp64-pp64, 2006