実構造物から採取した小径コアを用いたＥＰＭＡによる塩害劣化調査

（株）太平洋コンサルタント　　正会員　○大竹淳一郎
（株）太平洋コンサルタント　　　　　　　塚本　師子
（株）構研エンジニアリング　　正会員　　高橋　浩司
（株）構研エンジニアリング　　正会員　　吉井　康訓

１．はじめに

コンクリート構造物の劣化調査では，調査時点での劣化の度合いを定量的に把握することにより，その調査結果は構造物が健全であるか否かを判定するための貴重な情報となる．また，精度の高い調査結果を基に劣化予測を行うことは，構造物の将来的な維持管理の効率化に大きく寄与することができると期待されている．現在行われている調査方法は，躯体から直径 75～100mm のコア供試体が採取され，これが強度，中性化深さおよび塩化物イオン量の分析などの試験に用いられるのが一般的である．しかし，近年の RC 構造物は，耐震性能への要求が厳しく過密配筋となっていることや，PC 構造およびプレキャスト部材等についても鉄筋ピッチが小さく，鉄筋を避けてコアを採取することが困難な場合が多くなりつつある．また，高強度コンクリートの使用や建設後間もない時期など，劣化が極めて表面付近に限定される場合もあり，EPMA の採用は，劣化調査診断予測の分野において，より有効な調査手法であると考えられる．そこで筆者らは，鉄筋切断のリスクが少ない直径 25mm の小径コアを用いた，EPMA による劣化調査技術の可能性について検討した．本報告は，劣化因子の中で最も調査の要望が多い塩害（塩化物イオン Cl^-）を対象とした．

２．試験方法

一般国道 336 号線北海道広尾町（通称「黄金道路」）に設置されている，供用年数が 16 年と３年の２ヶ所の覆道の柱（写真１参照）から，試料となる直径 25㎜ の小径コアを近傍から各２本採取した．これらの概要は表１に示すとおりである．かぶり深さはコア採取の際に行った RC レーダーから推測された数値である．採取した小径コアは，試料調整の後，電子線マイクロアナライザ（EPMA）により Cl^-，SiO_2，CaO，SO_3 の濃度分布を測定した．さらに，この結果を基に，土木研究所が提供するコンクリート中の塩化物イオン濃度分布簡易シート（http://www.pwri.go.jp/renewal/relation/enkabutsu/enkabutsu.xls）を参考にして，見掛けの拡散係数を算出して，塩害劣化予測を行った．

写真１　覆道の外観と小径コア

表１　小径コアの概要

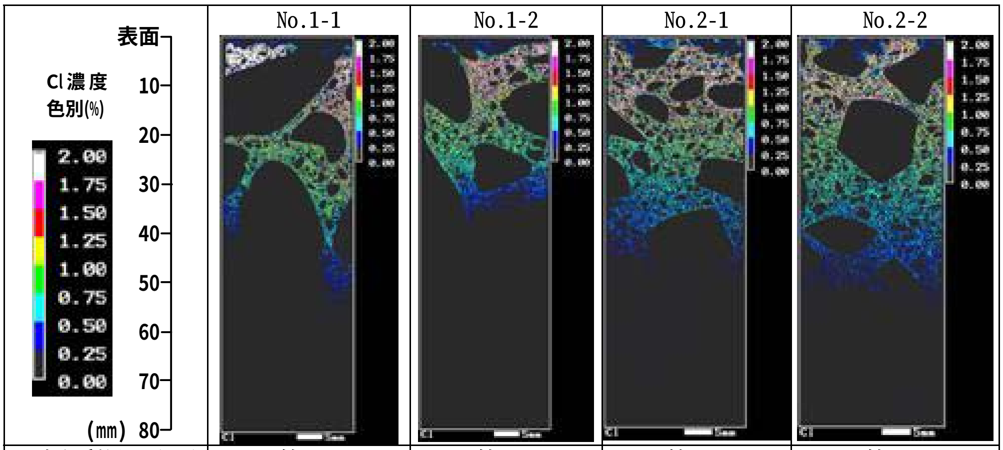
躯体番号	供用年数	コア採取付近のかぶり (cm)	直径 (mm)
No.1	16 年	4.5	25
No.2	3 年	不明	25

３．結果

３．１　ＥＰＭＡによる塩化物イオンマッピング

図１には，各小径コアの Cl^-のマッピングと，その結果から推定した Cl^-浸透深さと中性化深さを示した．Cl^-濃度は左端のカラーバーで表しており，また画像中の黒色は骨材を示している．いずれの画像でも，表面付近で Cl^-濃度が高く，内部に向かって徐々に濃度が低減する現象が視認できる．また，No.1-1 の表面付近には，2%以上の高い Cl^-濃度の領域が存在することが分かる．一方，マッピングを見ると，多くの領域で骨材が存在しているため，Cl^-濃度を評価することは困難であるように感じられる．しかし，EPMA は高い分解能を有しており，本分析面では 100 ミクロンの分析が可能である．さらに，既往の検討[1]によって，EPMA の定量精度が確認されている．したがって，ペースト部のみで濃度分布を測定しても十分な精度を得ることが

キーワード　小径コア，ＥＰＭＡ，塩化物イオン，拡散係数，塩害，調査
連絡先　　〒285-8655　千葉県佐倉市大作 2-4-2　（株）太平洋コンサルタント研究センター　ＴＥＬ043-498-3882



Cl浸透深さ(mm)	約 60	約 40	約 45	約 50
中性化深さ(mm)	1～5	2～5	2～10	5～10

図１　EPMA による Cl⁻濃度マッピング

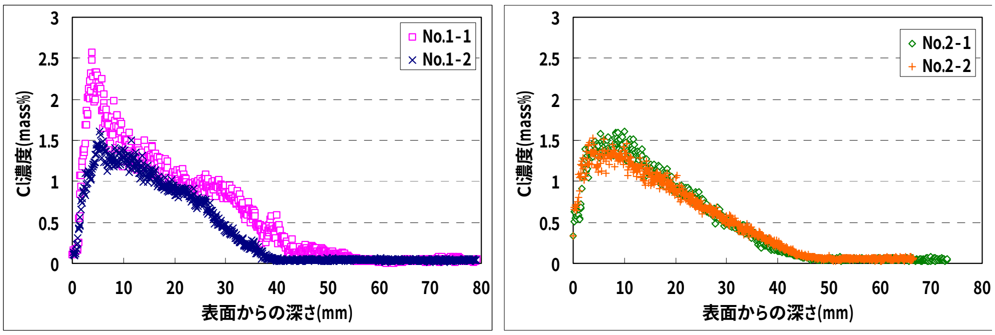


図２　骨材を除去した場合（ペースト部）の Cl 濃度分布

できると考えた．そこで，SiO_2 濃度が 40％以上で SO_3 濃度が 0.2%以下を示す部分を骨材と見なし，データから排除することで，ペースト部における塩化物イオンの濃度を求めた．骨材を除去した場合の Cl^- 濃度分布を図２に示す．同図では，表面から 7mm付近までの Cl^-の濃度分布について，No.1-1 と No.1-2 とが乖離していることが分かる．これは，前述の通り No.1-1 の表面付近に，高い濃度の Cl^-が存在しているためである．一方，No.2 の構造物では，No.2-1 と No.2-2 の Cl^-濃度分布がほぼ一致していた．なお，いずれの小径コアにも表面から 5～10mm付近に Cl^-のピークが見られるが，これは中性化による Cl^-の濃縮を表していると思われる．したがって拡散係数を算出する際には，Cl^-濃縮位置よりも表面側のデータは考慮しないこととした．

３．２　見かけの拡散係数の推定

Cl^-濃度分布の結果から，見かけの拡散係数（D_a)を算出した結果を表２に示す．No.1 のコアは 18(%)と高い誤差を示したが，No.2 のコアでは 6(%)程度の誤差であった．これは，D_aが小さいと，誤差が大きくなりやすい傾向を示している．D_aが小さい場合，鉄筋位置の Cl^-濃度が腐食限界値に達する期間が長く予測されるため，最も高い D_aを用いて安全側で予測し，将来的に腐食限界値に達する前に，再度調査を行うことが望ましい．

表２　拡散係数算出結果

コア番号	表面 Cl^- 濃度(mass%)	初期 Cl^- 濃度(mass%)	見かけの拡散係数(D_a) (cm²/年)	平均	誤差(%)
No.1-1	2.16	0.041	0.25	0.22	18.2
No.1-2	1.86	0.038	0.18		
No.2-1	2.01	0.046	1.00	1.06	5.7
No.2-2	1.77	0.056	1.11		

４．まとめ

本検討により，実構造物から採取した直径 25mm の小径コアを用いた，EPMA による Cl^-濃度分布分析および見掛けの拡散係数の推定が行え，塩害劣化に関する新たな調査技術の可能性を見出した．本技術は，とりわけ鉄筋が過密になりがちな PC 構造やプレキャスト部材の鋼材切断リスク，コア採取による躯体の損傷，およびコア抜きと補修に要する作業量を軽減する調査方法として有効な手段と考える．今後は，コアの小径化に伴う拡散係数の推定精度を検証し，塩害劣化予測として適切な試料本数などについて検討したい．

参考文献

1) D. Mori et al.：Applications of electron probe micro analyzer for measurement of Cl concentration profile in concrete,Journal of Advanced Concrete Technology Vol.4, No.3,pp.369-383 (2006)