

コンクリート用各種表面被覆材の塩化物イオン拡散係数の同定

長岡技術科学大学
中部電力（株）
鹿島技術研究所

学生員 池津 和弘 正会員
児玉 守広 正会員
フェロー 坂田 昇 正会員

下村 匠
中村 昭男
横関 康祐

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を向上させる方法として、各種表面被覆材が適用されているが、その物質遮蔽性を定量化した研究は少ない。その主たる理由は、表面被覆材の物質遮蔽性が大きいために、コンクリートと同様の試験方法を用いたのでは物質を透過させるのが困難であること、表面被覆材の物質遮蔽性を表す材料特性値が一般化されていないことによる。著者らは、連続繊維シート接着工法に用いるエポキシ樹脂層の物質遮蔽性を通電試験により定量評価し、数値解析を併用することにより、シートと樹脂より成る層の塩化物イオン拡散係数を同定する方法を開発し、その妥当性を検証した¹⁾。本稿では、同様の方法を6種類のコンクリート用表面被覆材に適用し、手法の一般性を検証するとともに、これら表面被覆材の塩化物イオン拡散係数を検討する。

2. 解析方法

2.1 概要

図-1は著者らの提案する表面被覆材の塩化物イオン拡散係数同定手法¹⁾の概要を示したものである。本法は、通電試験により得られた塩化物イオンを含むコンクリート中のイオンレベルの物質の透過性に関する実験結果と、濃度拡散メカニズムを仮定したコンクリート中の塩化物イオンの移動解析結果が、一定の相関関係を満足することを利用したものである。この関係が、被覆材を用いた場合にも成立するものと仮定し、被覆材を用いた供試体の通電試験結果から、逆解析により被覆材の塩化物イオン拡散係数を同定するものである。既報¹⁾では、連続繊維シート接着工法には、本法が適用可能であることを確認している。

2.2 表面被覆材中の物質移動モデル

コンクリート表面における塩化物イオンの移動に関する境界条件は、熱伝導問題における熱伝達境界と類似の考え方を適用し、自然境界条件により表現する。表面より出入りする塩化物イオンの流束を次式で表す。

$$J_{\text{diffCl}} = -D_{\text{Cl}} \frac{C_{\text{free}(0)} - C_{\text{ext}}}{h_{\text{Cl}}} \quad (1)$$

ここに、 J_{diffCl} ：境界における塩化物イオンの流束（流入を正とする）[kg/m²/s]、 D_{Cl} ：水中における塩化物イオンの拡散係数[m²/s]、 $C_{\text{free}(0)}$ ：コンクリート表面の自由塩化物イオン濃度[kg/m³]、 C_{ext} ：コンクリート外部の液状水中の自由塩化物イオン濃度[kg/m³]、 h_{Cl} ：コンクリート表面近傍に形成される塩化物イオン濃度勾配の層（境界層）の厚さ[m]である。 h_{Cl} は、本来、表面近傍における流体（液状水）の対流の状況等に依存する量である。本研究では、表面被覆材の塩化物イオン遮蔽効果を、式(2)に示すように表面の境界層の厚さ h_{Cl} を仮想的に増加させることにより表現する。

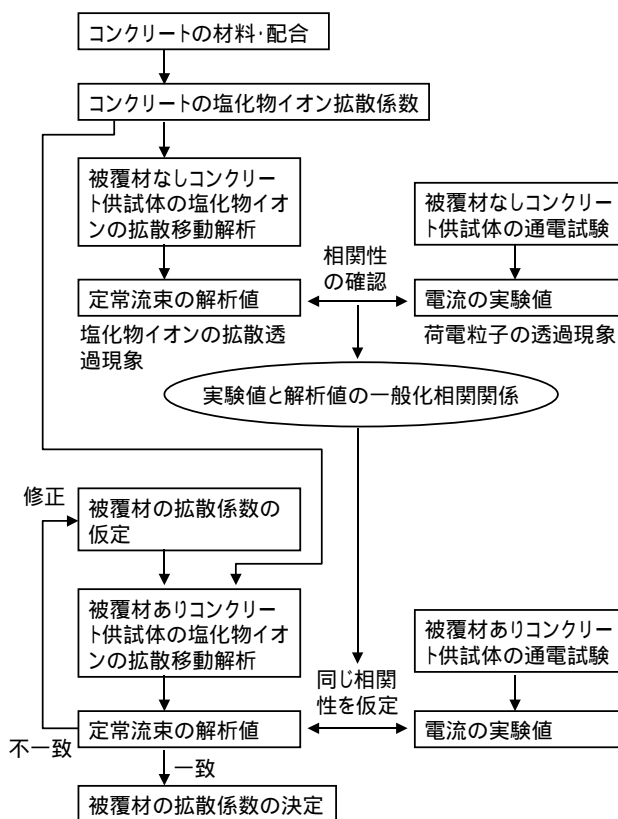


図-1 被覆材の拡散係数同定方法の概要

キーワード：表面被覆材、塩化物イオン拡散係数、逆解析

連絡先：〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 TEL 0258-47-9603 FAX 0258-47-9600

$$h'_{Cl} = h_{Cl} + h_{cf} \cong h_{cf} \quad (2)$$

ここに、 h_{cf} :被覆材の仮想厚さ[m]であり以下で定義する．

$$h_{cf} = t_{cf} \frac{D_{Cl}}{D_{cf}} \quad (3)$$

ここに、 t_{cf} :表面被覆材の実際の厚さ[m]、 D_{cf} :表面被覆材の塩化物イオンの拡散係数[m²/s]である．なお、本研究では、 t_{cf} はすべての被覆材に対して 1.0mm と仮定して、被覆材の塩化物イオン拡散係数を算出している．

3．解析結果

3．1 実験結果と解析結果の相関性の検討

実験に用いた表面被覆材の種類を表 - 1 に示す．

まず、表面被覆材を施さない W/C55% の普通コンクリートのシリーズの結果³⁾を用いて、通電試験結果と拡散移動解析結果との相関性を検討する．実験結果の代表値として供試体を流れる平均電流 I [A] を、解析結果の代表値として定常状態において供試体中心の鉄筋表面の境界を通過する塩化物イオン流束 J [kg/m²/s] を選び²⁾、両者の関係をプロットした結果を図 - 2 に示す．図には以下の近似曲線も記入した．

$$J = 4 \times 10^{-8} \times I^{1.6} \quad (4)$$

図 - 2 より、実験結果と解析結果には明確な相関関係が認められる．

3．2 逆解析による拡散係数の同定

次に、実験結果と解析結果の関係式(4)が表面被覆材を施したシリーズの結果にも成り立つものと仮定し、実験結果 I と解析結果 J がこの関係を満たすように、仮定、修正を繰り返してシートの拡散係数 D_{cf} の値を求める．このよう

にして求めた D_{cf} を表 - 2（普通コンクリート供試体に表面被覆材を施したシリーズ）、表 - 3（中庸熱コンクリート供試体に表面被覆材を施したシリーズ）に示す．

普通コンクリートの実験結果からも、中庸熱コンクリートの実験結果からも、オーダー的には一致した各種表面被覆材の拡散係数を同定することができた．なお、拡散係数が 0.1 以下と示しているものは、物質透過がきわめて生じにくいと、本方法では有限な値で拡散係数を求められなかったものである．これらは、通電試験においても電流がほとんど測定されなかったもので、実質的には、ほとんど塩化物イオンを透過させないと判断してよいと思われる．

参考文献

- 1) 笠原裕子, 下村 匠, Y CHENNA: 連続繊維シート接着によるコンクリート中への塩分侵入抑制効果の定量評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.311-316, 2003.6
- 2) 下村 匠, 笠原裕子: 連続繊維シートによるコンクリート構造物の補修補強機構のモデル化, 応用力学論文集, Vol.6, pp.1157-1168, 2003.8
- 3) 中村昭男ほか: コンクリート用各種表面被覆材の物質遮蔽効果に関する実験的検討, 第 59 回土木学会全国大会年次学術講演会, 2004, (投稿中)

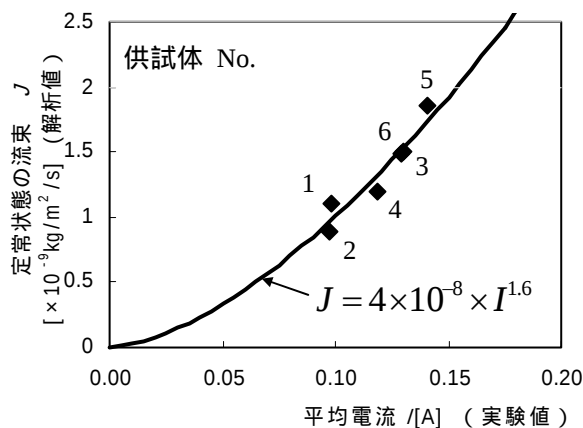


図 - 2 通電試験結果と拡散移動解析結果の相関

表 - 1 表面被覆材の種類

記号	A	B	C	D	E	F
分類	浸透性改質材	浸透性改質材	表面被覆材	表面被覆材	表面被覆材	表面被覆材
主成分	珪酸ナトリウム	シラン・シロキサン	ポリウレア樹脂	シリコーン樹脂	エポキシ樹脂	アクリル樹脂

表 - 2 各種表面被覆材の拡散係数（普通コンクリート）

記号	A	B	C	D	E	F
W/C (%)	55					
I (実験値) [A]	0.116	0.086	0.00005	0.015	0.038	0.007
$J \times 10^{-10}$ (推定値) [kg/m ² /s]	12.71	7.85	0.00005	0.48	2.13	0.14
$D_{cf} \times 10^{-14}$ (同定値) [m ² /s]	45.53	8.83	0.1 以下	0.27	1.34	0.11

表 - 3 各種表面被覆材の拡散係数（中庸熱コンクリート）

記号	A	B	C	D	E	F
W/C (%)	中庸熱 53					
I (実験値) [A]	0.109	0.054	0.004	0.004	0.037	0.013
$J \times 10^{-10}$ (推定値) [kg/m ² /s]	11.47	3.78	0.06	0.05	2.05	0.37
$D_{cf} \times 10^{-14}$ (同定値) [m ² /s]	17.02	1.48	0.1 以下	0.1 以下	1.18	0.19