

既補修構造物から採取したコアより求めた断面修復材等の拡散係数

四国総合研究所 正会員 ○横田 優
四国電力 非会員 中廣 政之
四国電力 非会員 平田 正憲

1. はじめに

一般に、鉄筋コンクリート構造物の塩害劣化予測には塩化物イオン(以下、Cl⁻とする)の見掛けの拡散係数が用いられる。よって、補修後の塩害劣化予測については、補修に用いる表面被覆材や断面修復材の見掛けの拡散係数を設定する必要がある。一方、これら補修材料はコンクリートと比較して、組織が緻密で遮塩性に優れていることから、拡散係数は小さく、短期間での塩化物イオンの浸透深さは浅いことが予想される。そこで、補修材料の拡散係数に関する情報を比較的短期間で得ることを目的に、既補修構造物から採取したコアを対象に、従来からの粉砕法と EPMA 法による塩化物量の分析から見掛けの拡散係数を算出するとともに、現状では適用範囲がコンクリートに限定されている電気泳動試験から実効拡散係数を求めた結果について報告する。

2. 実験概要

表 1 に試験の一覧を示す。供用年数が 41 年で、補修後 8 年と 20 年経過した既補修構造物(栈橋上部工)から採取した補修材料(ポリマーセメントモルタル系断面修復材)を対象に、電気泳動試験と、EPMA 法による深さ方向の Cl⁻濃度分析を実施

した。また、同構造物の未補修箇所から採取したコンクリートを対象に、従来からの破砕法による深さ方向の Cl⁻濃度分析と電気泳動試験を実施した。電気泳動試験から実効拡散係数を、粉砕法と EPMA 法による深さ方向の Cl⁻濃度分布から見掛けの拡散係数をそれぞれ求めた。なお、コア採取位置の標高は平均水位から+2.0~+2.1m 以上、平均満潮水位から+0.6~+0.7m 以上で、常時は気中に位置する箇所である。

EPMA 法による面分析結果および深さ方向の Cl⁻濃度分布の一例を図 1 に示す。図より、外部環境から侵入してきた Cl⁻濃度分布から、見掛けの拡散係数を求めることとした。見掛けの拡散係数の算定には、土木学会規準では表面 Cl⁻濃度一定とした解を用いているが、ここでは外部から一定の Cl⁻量、W が連続して浸透すると仮定した時の Fick の拡散方程式の解、式(1)を用いた。

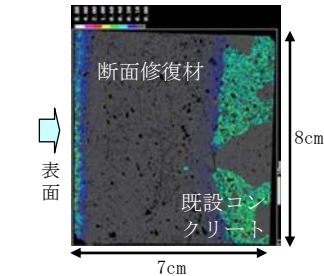
$$C(x,t)=W\cdot\left[2\sqrt{\frac{t}{\pi D_c}}\cdot\exp\left(-\frac{x^2}{4D_c t}\right)-\frac{x}{D_c}\left\{1-\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D_c t}}\right)\right\}\right]+C' \quad (1)$$

ここに、C(x,t)：深さ x(cm)、経過時間 t(sec)における Cl⁻濃度(wt%)、C'：初期混入 Cl⁻濃度(wt%)、D_c：見掛けの拡散係数(cm²/sec)、erf(・)：誤差関数、W：表面に付着した飛来塩分のうちコンクリート内部へ浸透する量[付着塩分量](wt%/cm²/sec)である。

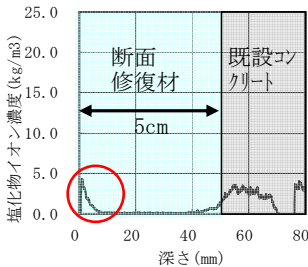
表 1 試験の一覧表

試験対象材料			試験項目		
材料区分	材料種別		見掛けの拡散係数		実効拡散係数 電気泳動試験
			粉砕法	EPMA 法	
断面修復材①	ポリマーセメントモルタル	A 社	—	○*	○
断面修復材②	トモタル	B 社	—	○*	○
既設コンクリート		-	○	—	○
土木学会規準：JSCE (2010)			G-576	G-574	G-571

*試験対象は、断面修復材と既設コンクリートからなる(表面から 14cm 程度まで分析)。



(a) 面分析結果



(b) 深さ方向の Cl⁻濃度分布
図 1 EPMA 法分析結果
(断面修復材②)

キーワード 断面修復材、見掛けの拡散係数、実効拡散係数、電気泳動試験、EPMA 法

連絡先 〒761-0192 香川県高松市屋島西町 2109 番地 8 TEL 050-8802-4782

3. 実験結果

(1) 見掛けの拡散係数

表2にEPMA法等による深さ方向の Cl^- 濃度分布から求めた見掛けの拡散係数を示す。ポリマーセメントモルタル系断面修復材の見掛けの拡散係数は②が $0.00718\text{cm}^2/\text{年}$ 、①が $0.00133\text{cm}^2/\text{年}$ であり、既設コンクリートの $0.216\text{cm}^2/\text{年}$ に対し、それぞれ1/30、1/160と非常に小さくなっている。3材料の見掛けの拡散係数を大きい順に並べると、既設コンクリート >>> 断面修復材② > 断面修復材①となり、コンクリートと断面修復材とでは Cl^- の拡散特性が大きく異なっていることが分る。

(2) 実効拡散係数

表3に電気泳動試験から得られた実効拡散係数を示す。既設コンクリートについては、供試体厚さ $51.1\sim 56.0\text{mm}$ の範囲で、 $0.439\sim 0.606\text{cm}^2/\text{年}$ と、通常のコンクリートと同程度の値を示した。

断面修復材①については、供試体厚さ $18.5\sim 56.9\text{mm}$ の範囲で、 $0.0233\sim 0.207\text{cm}^2/\text{年}$ の値を示し、

10倍程度の相違が見られた。20mm程度と薄い場合には拡散係数がやや大きくなる傾向があるが、33mmと57mmの実効拡散係数はほぼ同程度の値を示した。断面修復材②については、供試体厚さ $21.6\sim 43.8\text{mm}$ の範囲で、 $0.984\sim 1.81\text{cm}^2/\text{年}$ の値を示した。

(3) 実効拡散係数と見掛けの拡散係数の関係について

土木学会規準 JSCE-G 571-2010 には、附属書において、電気泳動試験から得られた実効拡散係数を用いて、コンクリート中の Cl^- の見掛けの拡散係数に換算する方法ならびに換算係数 $k_1 \cdot k_2$ (参考図1)が示されている。たとえば、普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの場合、水セメント比が $0.3\sim 0.65$ の範囲で、換算係数 $k_1 \cdot k_2$ 値は $0.3\sim 1.0$ の値をとるとしている。今回試験した3材料について、換算係数 $k_1 \cdot k_2$ に相当する見掛けの拡散係数と実効拡散係数の比を求めると、コンクリートは0.44となり、参考図1の $0.3\sim 1.0$ の範囲内の値であったが、断面修復材は①が0.012(または0.053)、②が0.055と非常に小さい値となっていた。この理由としては、参考図1はいずれの拡散係数も完全飽水状態での試験体を対象に計測した結果から推定したものであるのに対し、今回試験した3材料の見掛けの拡散係数は、常時気中に位置して不飽和状態で形成された Cl^- 濃度分布から求めた値であることが考えられる。特に、ポリマーセメントモルタル系の断面修復材は、コンクリートと比較して、保水能力が低いいためか、同じ環境下にあっても含水率が低く、空隙内を占める水量が少ない(水膜厚さが薄い)ために、 Cl^- の拡散移動が制限されているものと推察される。

4. おわりに

補修後8年および20年経過した既補修構造物の気中部に位置する箇所から採取したコアを用いて、2種類のポリマーセメントモルタル系断面修復材の拡散係数を推定した結果、EPMA法による深さ方向の Cl^- 濃度分布から求めた見掛けの拡散係数は、電気泳動試験から求めた実効拡散係数の $1/20\sim 1/100$ であることが確認された。不飽和状態にある部材に対し、断面修復工法による補修後の塩害劣化予測に、電気泳動試験から求めた Cl^- の実効拡散係数をそのまま使用すると、かなり安全側の評価になるものと思われる。このため、実効拡散係数から見掛けの拡散係数への換算にあたっては、構造物の使用環境下での含水状態を考慮して決定する必要があると考えられる。

表2 見掛けの拡散係数

材料区分	供試体番号	見掛けの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)	備考
断面修復材①	A社	No. 10	0.00133
断面修復材②	B社	No. 7	0.00631
		No. 8	0.00804
既設コンクリート	-	0.216	粉砕法

・既設コンクリートの見掛けの拡散係数は採取コア12本の平均値

表3 電気泳動試験により得られた実効拡散係数

材料区分	採取箇所	供試体番号	供試体寸法(mm)		実効拡散係数	
			厚さ	直径	($\text{cm}^2/\text{年}$)	平均
断面修復材①	N 栈橋	#4	56.9	104	0.0233	0.111 (0.0251) カッコ内、#4と12の平均
		#5	22.2	99.3	0.186	
		#11	18.5	79.8	0.207	
		#12	32.9	104	0.0268	
断面修復材②	Y 栈橋	#6	35.7	80.7	1.81	1.30
		#7	21.6	99.9	0.984	
		#13	43.8	80.6	1.10	
既設コンクリート	Y N	#8	56.0	103	0.440	0.495
		#9	51.1	103	0.606	
		#10	56.0	104	0.439	