

# 浸透性コンクリート保護材の塩害抑制効果確認暴露試験報告 (1年経過後)

大田孝二・平林克己

## 1. はじめに

一般財団法人土木研究センターでは平成24年度から、「撥水性を有する浸透性コンクリート保護材性能試験（以下「性能試験」という。）」を実施している<sup>1)</sup>。その性能試験に適合した浸透性コンクリート保護材（以下「保護材」という。）のメーカーから応募を募り8社の参加を得て、首都高速道路(株)の敷地にて壁高欄を模した供試体の暴露試験を実施している。その試験の概要、供試体の仕様については暴露試験開始時点で報告した<sup>2)</sup>。

本試験は3年にわたり、直射日光や降雨に曝され、さらに冬期には塩水を噴霧されるという環境の中で、保護材の有無や種類の違いによる、コンクリート表面からの塩分の浸入程度等の塩害抑制効果の確認を目的とする。

試験の項目は、塩分の浸透深さ、濃度を測定するEPMA（電子線マイクロアナライザ）面分析、および保護材の浸透深さ、中性化深さである。

本書は、1冬経過時点の各種測定結果を報告するものである。

## 2. 暴露試験の実施

### 2.1 暴露試験場の飛来塩分量

暴露試験は首都高速道路(株)（以下「首都高(株)」という。）所有の換気塔施設内の緑地エリアで海岸から約100mの位置において実施している。暴露状況を写真-1（奥が東側の東京湾）に示す。供試体の周面（4面）は防水用樹脂で被覆し、残る2面に保護材を塗布した。

東京湾に面していることから海塩粒子の飛来が予想される環境であり、飛来塩分量を検討した。

文献<sup>3)</sup>から、関東地区の飛来塩分量の値を海岸から1km離れで0.287mdd（ $\text{mg}/(\text{dm})^2/\text{day}$ ）を採用すると、1年、 $\text{m}^2$ あたりでは、365倍に面積の100倍（ $\text{デシm}$ は1m/10）を掛け、 $\text{g}$ 単位で約10.5gとなる。飛来塩分の距離減衰の式

$C=C_1X^b$ （ $b=-0.6$ ）に $C_1=10.5(\text{g})$ 、 $X=0.1$ （ $\text{km}$ ）を代入すると、 $C \approx 41.8\text{g}/\text{y}/\text{m}^2$ となる。



写真-1 暴露試験状況

### 2.2 塩水の噴霧

塩水の噴霧状況を写真-2に示す。暴露試験体は各メーカーの塗布供試体である8体のほかに、比較のために無塗布試験体1体を加えた。

冬期に実施する塩水噴霧は、供試体の両面に施すこととしているが、コア採取は、西側(写真-1の左側)から材厚（150mm）の半分程度までとし、東面は今後、評価対象項目の追加の可能性に対応するため、塩水噴霧以外、手を加えていない。

塩水は首都高(株)が実際に路面に散布する凍結防止剤と同じ濃度の塩化ナトリウム水溶液である。噴霧量は暴露面両面に十分噴霧できる量として首都高(株)の立会の上、決定した。路面に散布された凍結防止剤が車両の通過で跳ねて壁高欄に付着することを想定し、同じ濃度の塩水を供試体に直接噴霧した。

塩水噴霧の回数は、過去の凍結防止剤散布の実態を調査した上で冬季12月から翌年3月まで、毎月3回、1冬で計12回とした。なお、散布の予定日に降雨予想がある場合は、その日を避け、噴霧直後に塩水が降雨で洗い流される状態を回避した。

散布塩分量を計算すると、 $1000\text{g}/\text{y}/\text{m}^2$ を大きく超え、結果として2.1の飛来塩分は噴霧塩分量の4%以下であった。この量は今回の暴露試験に与える影響は大きくないと判断した。



写真-2 塩水噴霧の状況

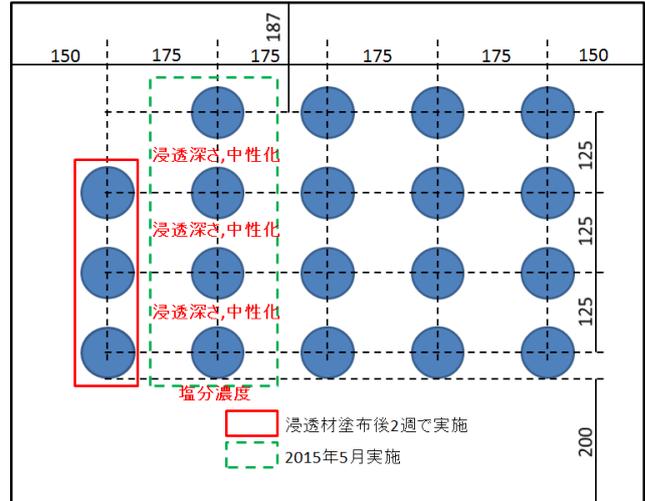


図-1 コア採取の計画図

### 3. コア採取の計画と実施

供試体（1000×800×150）のコア採取予定位置（西面）を図-1に示す。コアはφ75mmとし、深さ方向は供試体の厚さの半分の75mm程度とした。図に示すように、試験体の左端を初期値測定用の列とし、以降、右に向かい1、2、3年時のコア採取列とし、最右の列は予備とした。

各列の鉛直方向の4か所のコア採取位置のうち、上側の3つのコアはすべてを割裂し、片方を各暴露時点での中性化深さ、もう一方を保護材浸透深さの測定に供した。それぞれの断面から得られる各値（3つ）の平均をその保護材の中性化深さ、浸透深さの値とした。

最下位置から得られたコアは、噴霧した塩水が垂れ落ちる等、最も塩分濃度が高くなるとの予想から、これを塩分濃度測定用としてEPMA面分析に供した。EPMA面分析のための試料調整は既報<sup>2)</sup>の通りとした。

なおコア採取痕は、無収縮モルタルで埋戻した後、表面を防水用樹脂で被覆（写真-2では初期値用コア採取位置の被覆痕が見られる）し、コア採取位置からの水等外来因子の浸入を抑制した。

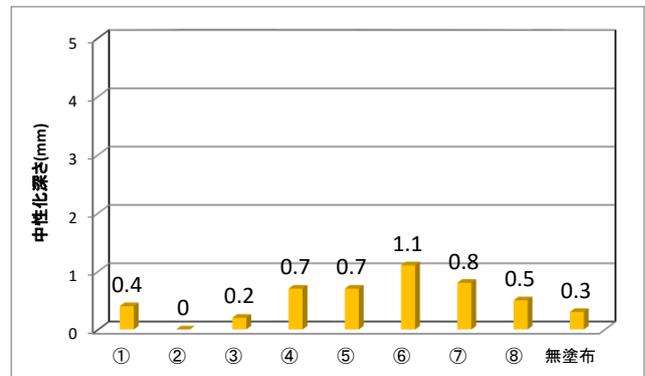


図-2 暴露1年の中性化試験結果



写真-3 暴露1年の中性化試験結果の例

### 4. 1年経過時点の計測結果

#### 4.1 中性化深さ

中性化深さの測定はJIS A 1152 「コンクリートの中性化深さの測定法」に基づいて実施した。結果を図-2、試験状況を写真-3に示す。

これによると、暴露期間がまだ1年であることもあって、中性化の深さは大きなものでも1mm程度で、保護材の違いによる影響は現時点では大きくないと判断した。

#### 4.2 保護材の浸透深さ

保護材の浸透深さは墨汁法で行った。コアの幅（75mm）から等間隔の8点で非着色部深さを測定し、これを3つのコアで実施してその平均値を浸透深さとした。結果を図-3、表-1、試験状況を写真-4に示す。各メーカーによって浸透深さの差異は見られたが、初期値と比べた限りでは大きな変化はなかった。

土研センター

ただ、表-1にある室内試験（当センターの性能試験）時のデータと比較すると、今回の暴露試験での測定値はいずれも性能試験時の値を下回っていることがわかる。性能試験の保護材の塗布はコンクリートの塗布面を水平にして実施しているのに対し、今回の暴露試験の供試体は鉛直面に塗布していることがその原因であると考えられる。これらの保護材は、實際上、構造物の鉛直面に塗布することがほとんどであり、今回の暴露試験の浸透深さの結果はより現実的な値であったと考えられる。

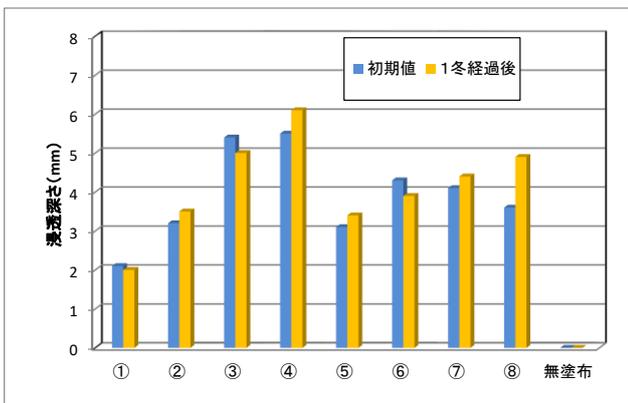


図-3 暴露1年の保護材浸透深さ測定結果

表-1 暴露1年の浸透深さ試験結果

	浸透深さ(mm)		
	暴露試験		室内試験
	初期値	1冬経過後	
①	2.1	2.0	8.0
②	3.2	3.5	6.0
③	5.4	5.0	7.2
④	5.5	6.1	6.7
⑤	3.1	3.4	3.6
⑥	4.3	3.9	7.0
⑦	4.1	4.4	10.2
⑧	3.6	4.9	5.2
無塗布	-	0	-

4.3 塩素の浸透深さおよび濃度

EPMA面分析は、電子線を照射した微小領域における構成元素の比率（濃度）を分析するものである。今回の測定では、メインである塩素（Cl）に加え、コンクリート劣化調査において、判定の指標となるSiO<sub>2</sub>、CaO、SO<sub>3</sub>の4つについて分析した。EPMA面分析測定結果のうちの代表的なものを写真-5、6、7に示す。ここでは今回の塩水噴霧の影響をみるために塩素元素（Cl）の浸透に焦点を当て、その測定結果のみを示している。写真-5は無塗布試験体である。10mmスケールから塩素が浸入した深さは20～30mm程度であった。



写真-4 暴露1年の塩素（Cl）浸透深さ試験の例

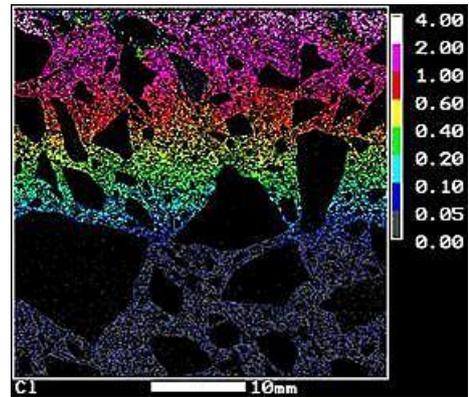


写真-5 塩素の浸透深さと濃度（無塗布）

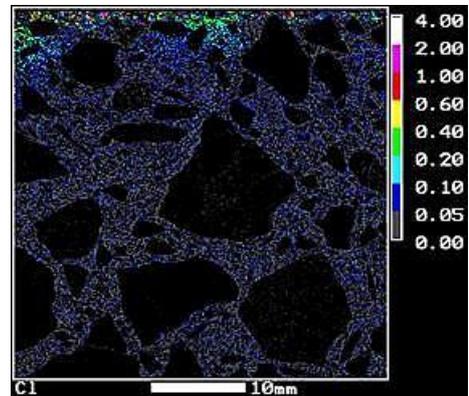


写真-6 塩素の浸透深さと濃度（A社試験体）

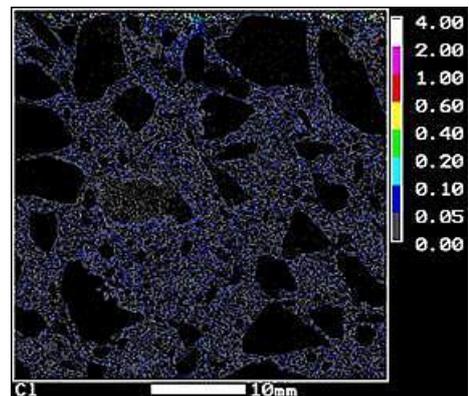


写真-7 塩素の浸透深さと濃度（B社試験体）

写真-6、7はいずれも写真-5に比べて塩素の浸透はわずかで、保護材が塩分の浸透防止に寄与したことがわかる。ただ、詳細に見ると写真-6はわずかではあるが塩分の浸透を示す変色が見られ、変色がほとんど見られない写真-7と比べると塩素の浸透に若干の差異が確認できる。今後の経過によってはこの差が大きくなる可能性もあり、注意深く見守りたい。

試験に供した8つの保護材の塩素浸透濃度（Cl濃度）と暴露面からの距離との関係を図-4に示す。

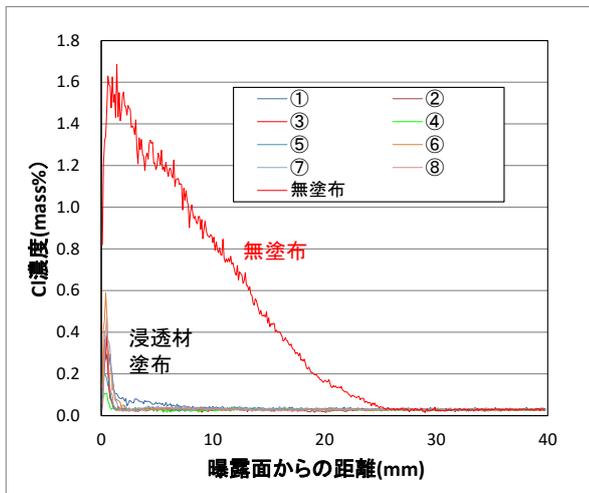


図-4 保護材の塩素浸透濃度と表面からの距離

これによれば、保護材を塗布した供試体への塩素の浸透深さは、すべてが1mm程度以下であるのに対し、無塗布材では25mm程度まで浸入していることがわかる。塩素濃度は保護材塗布の有無で大きな差が表れており、各保護材に遮塩効果があることが明らかとなった。

### 5. 1年経過時点での評価

壁高欄を模した供試体に対し、冬場の4か月、12回の塩水噴霧を含む暴露試験において、1年経過時の時点で以下のことがわかった。

- ① いずれの保護材も1年経過時点では中性化深さは最大でも1mm程度と小さく、材の違いによる影響は現時点ではなかった（図-2参照）。
- ② いずれの保護材も1年経過時点と初期時点では保護材浸透深さの違いは確認されなかった（図-3参照）。

- ③ 塩分の浸透深さ、濃度は保護材の種類によって多少の差は認められるが、無塗布のものとの比較では大きな差があり、各保護材の遮塩効果が確認できた（図-4参照）。

### 6. 今後の課題

今後の課題として以下の2点を挙げる。

- ① 性能試験で実施した試験体の水平面への保護材塗布による判定結果は、実態の塗布（鉛直壁への塗布）とは条件が異なっており、今回の暴露試験と室内性能試験では浸透深さにかなりの差が見られた（表-1参照）。保護材浸透深さは、コンクリート表面付近での紫外線劣化により変化することが懸念され、これはコンクリートそのものの耐久性に影響する。今後、浸透深さの経年変化には留意する必要がある。
- ② 今回の暴露試験の環境は、比較的散布する塩分が少ない環境条件で実施されている。北陸や東北では散布される塩分の量は今回に比べるとはるかに多いと聞いている。今後、そのような条件下での暴露試験も必要と考える。

### 参考文献

- 1) 柴田、五島、大田：撥水性を有する浸透性コンクリート保護材性能試験、土木技術資料、第54巻、第9号、pp.60～63、2012
- 2) 柴田、大田、五島：浸透性コンクリート保護材の塩害抑制効果確認のための暴露試験の概要、土木技術資料、第56巻、第11号、pp.58～61、2014
- 3) 建設省、土木研究所：飛来塩分量全国調査（IV）、土木研究所資料第3175号、p.17、1993.3

大田孝二



（一財）土木研究センター  
企画・審査部長兼コンクリート研究室長、工博、  
Dr.Koji OHTA

平林克己



（一財）土木研究センター  
企画・審査部次長  
Katsuki HIRABAYASHI