

(財)日本塗料検査協会

西支部 検査第一課

奥野 博昭

1. はじめに

コンクリート内の鉄筋腐食によるコンクリート構造物の劣化要因としては中性化、塩化物の存在、かぶり厚さ不足などがある。これら劣化要因の中で、コンクリート中の塩化物の存在は塩害と呼ばれており鉄筋が腐食し、コンクリートにひび割れ、はく離、はく落などの損傷をもたらされる原因となっている。このため、コンクリート構造物が完成した後に海水飛沫、飛来塩分、融雪剤などに含まれる塩化物がコンクリート表面から内部に浸透するのを防止するために、コンクリート表面を塗料等で被覆する手段が講じられている。

これら被覆材料の遮塩性能を評価する方法としては、被覆材料の遊離膜（フリーフィルム）の塩素イオン透過度を測定する試験が広く採用されている。本報告は実際の塩害対策用表面被覆材の施工内容を考慮し、塗装系での評価を行う遮塩性試験方法について検討した。また、試験条件として現場環境を考慮し塩分濃度および測定温度についても検討を行ったので、その概要を報告する。

2. 現行の遮塩性試験方法について

① (社)日本道路協会 道路橋の塩害対策指針(案)・同解説の付録1 コンクリート塗装材料の品質試験方法(案)(3)による試験方法【引用文献(1)】

：試験片として、ピンホールのない1辺約70mmの正方形の遊離塗膜（フリーフィルム）を使用しフィルム表面側のセルに3%食塩水を接し裏面側のセルに蒸留水を接して、20℃で30日間放置後、蒸留水側のセルより溶液を一定量を採取し溶液中の塩素イオン(ppm)を測定する方法である。塩素イオンの分析方法としては、イオンメーターや電位差測定法が規定されている。図-1に塩素イオン透過量測定装置の模式図を示す。

塩素イオン透過量の計算方法は次の通りである。

塩素イオン透過量(mg/cm²・日) = 蒸留水量(g) × 分析結果(ppm) × 10⁻³ / {透過面積(cm²) × 30(日)}、なお、この方法は、JIS K 5400 8.18塩素イオン透過度として定められており、日本道路公団規格、首都高速道路公団、建設省総合技術開発プロジェクト（土木研究セン

ター)、本州四国連絡橋公団等でも用いられている。
②阪神高速道路公団・日本材料学会のコンクリート構造物の表面保護工便覧(案)・同解説【引用文献(2)】
：試験方法の内容は、①とほとんど同じである。但し、浸透系材料の場合は厚さ5mm、1辺64mmの正方形のセメントモルタルに標準使用量を塗布したものを試験片とするとなっている。

また、参考試験方法（化学分析方法）として、試験体にコンクリート供試体（100×100×200mm）の全面を標準使用で材料を塗布・養生したものを使用する方法が記されている。この方法は、塗布・養生した試験体を3%食塩水に完全浸漬し、63日まで7日ごとに取り出し外観調査および重量変化を測定する。浸漬完了（2ヶ月浸漬）後に、ドリリングして表面より1cmごとの深さの試料（約1mg）を抜き取り浸透塩分量を自動測定装置によりN/100硝酸銀溶液で電位差滴定を行い分析するものである。

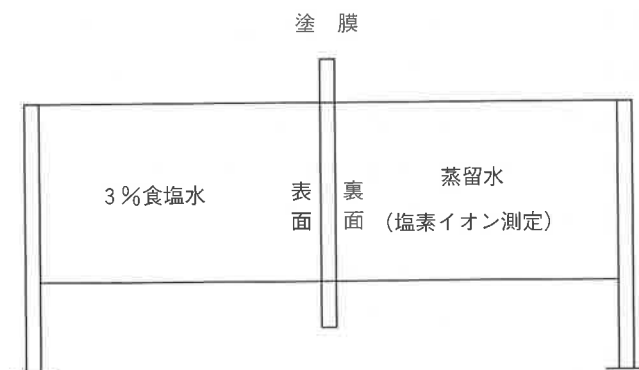


図-1 塩素イオン透過量測定装置の模式図
(フリーフィルム法)

3. 試験方法の検討項目

1) 試験方法について

コンクリート表面の被覆は、一般にプライマー、主材、上塗材の塗装系で行われる。第1層目のプライマーはコンクリートへの含浸性の機能をもっており、コンクリート層の中に薄い遮断層ができると思われる。このため、プライマー単膜およびプライマーを含む塗装系の遊離膜（フリーフィルム）を作製することができない場合は、遊離塗膜を用いる現行の遮塩性試験法ではプライマーを省略した形で行われており、実際の塩害対策用表面被覆材の施工内容と異なっている。そこで、塗装系での評価を行うことを目的として、モルタル板の片面に塗装した試験片を用いて塩素イオン透過度を測定することとした。（以下、モルタル法と呼ぶ。）また、塩分濃度、測定温度、上塗材の影響についての検討も行った。

2) 試験片

モルタル板（68φ×10mm）を使用した。モルタル板の質量配合比は、セメント20、標準砂40、水13で水・セメント比は65%であった。

3) 塗装系

供試塗装仕様は、プライマー、主材、上塗材の塗装系とし、プライマーとしてエポキシ樹脂、主材としてエポキシ樹脂塗料、上塗材としてポリウレタン樹脂塗料を使用した。また、アルカリ骨材反応抑制表面被覆材は水蒸気透過性の大きい材料が適しているために埋設部は上塗材がない方が良くとも云われている。そこで、外来塩分の遮断性に及ぼす上塗材の効果を調査する目的で上塗材有りとしの二水準について検討した。

4) 試験片の作製

モルタル板の片面に塗装仕様に従って塗料を刷毛塗りした。塗装後温度20℃±1℃、相対湿度65±5%の恒温恒湿室で、28日間養生したものを試験片とした。塗装乾燥膜厚は、上塗材有りの塗装系では約220μm、上塗材無しの塗装系では約190μmであった。

5) 試験条件

①塩分濃度：塩分濃度は、現行の試験方法である3%食塩水を標準とし、寒冷地での融雪剤散布濃度であ

る10%食塩水、付着塩分が乾燥等により濃縮された時を対象に26%食塩水の三水準について検討した。

②測定温度：コンクリート構造物の夏季における温度は40℃位まで上昇すると考え標準温度20℃と40℃の二水準について検討した。

③測定期間：従来は試験開始から1ヶ月の塩素イオン濃度で評価を行っているが、塩素イオン濃度勾配が一定になるまでの評価をするために6ヶ月後まで測定を行った。

6) 測定方法

養生期間終了後、試験測定条件で試験を行った。試験開始1ヶ月後にイオン交換水側の試料液を約5ml採取しイオンクロマトグラフによる塩素イオン定量分析法で測定した。また、定量下限値は前処理操作によって異なるが約0.4ppmであった。但し、試料液がアルカリ性を示したために予め中和処理を行った。以下、1ヶ月毎に6ヶ月目まで同じ操作で測定を行った。図-2に塩素イオン透過量測定装置の模式図を示す。

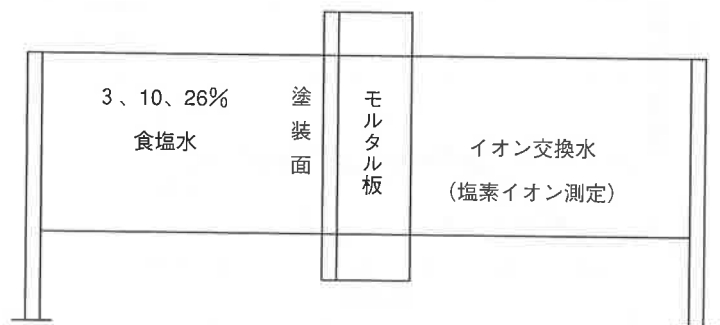


図-2 塩素イオン透過量測定装置の模式図（モルタル法）

4. 試験結果および考察

①測定温度による影響：温度20℃場合、1ヶ月と6ヶ月では塩分濃度に関係なく塩素イオン透過量はほとんど変化が見られなかった。（図-3、図-4）

一方、温度40℃の場合、塩分濃度により塩素イオン透過量に大きな違いが認められた。3%食塩水では、経時的に透過量が增大している。10%食塩水、26%食塩水でも、増大傾向は認められるが3%食塩水ほど顕著ではなかった。しかしながら温度20℃の場合よりも高い値を示しており温度

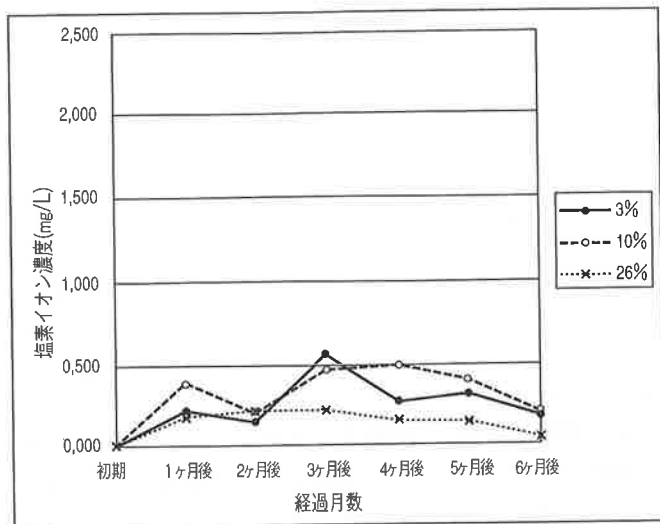


図-3 上塗材有 20°C

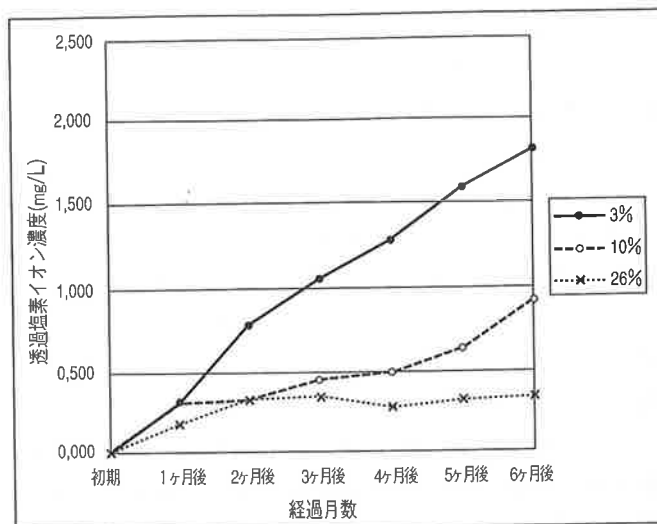


図-6 上塗材無 40°C

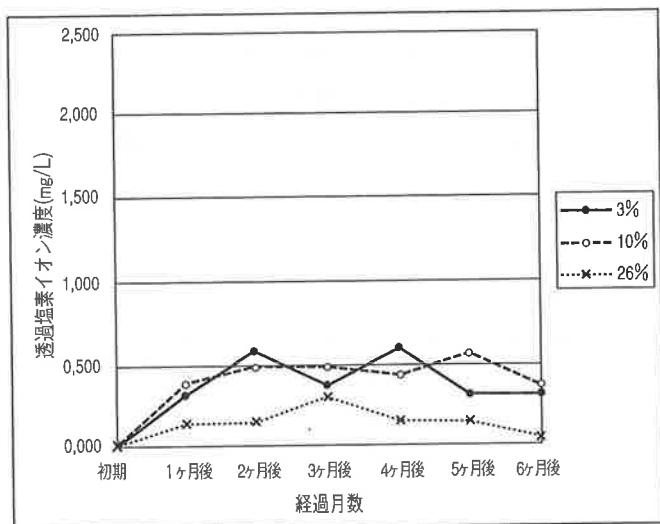


図-4 上塗材無 20°C

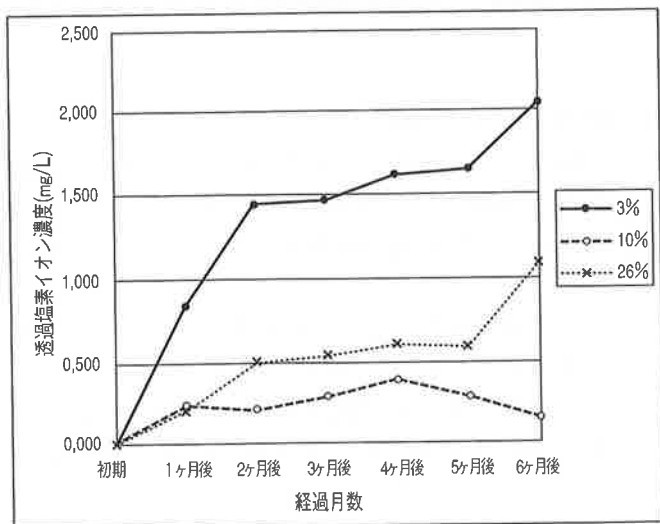


図-5 上塗材有 40°C

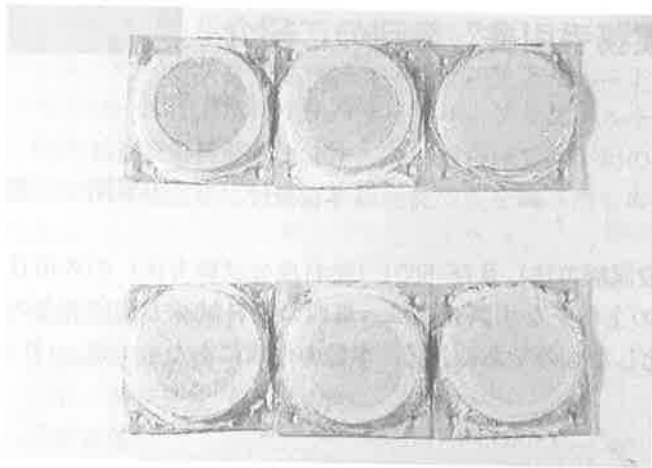
40°Cは、塩素イオン透過量を促進させている。

(図-5、図-6)

②塩分濃度の影響：3%食塩水、10%食塩水、26%食塩水の塩素イオン透過量を比較すると、特に40°Cの3%食塩水が高い値を示した。(図-5、図-6)

③上塗材有無の差：温度20°Cと40°Cともに塩素イオン透過量は、殆ど差は認められなかった。この結果から耐侯性が必要のない土中埋設部などは上塗材は不要と考えられる。(図-3～図-6)

④塗膜の外観観察：6ヶ月後に行った結果、温度20°Cおよび40°Cの3%食塩水は塗膜全面に、ふくれが発生した。また、温度40°Cでは著しい黄変色が認められた。これらの結果より、塗膜に対する劣化の影響は温度と塩分濃度による相乗効果によるものと思われる。(写真-1)



3%食塩水 10%食塩水 26%食塩水

写真-1 6ヵ月後の塗膜の外観（上塗材無、温度40℃）

5. まとめ

6ヶ月間の試験結果から、以下の結果が得られた。

- ①モルタル板片面に塗装した試験片の塩素イオン透過量は、温度20℃の塩分濃度三水準では低い値を示し、塩素イオンがほとんど透過していないと思われる。一方、測定条件として温度40℃の3%食塩水は特に高い値を示し、10%食塩水、26%食塩水は5ヶ月後から少しずつ高くなる傾向が見られた。
- ②温度20℃、3%食塩水の1ヶ月間のフリーフィルムでの試験結果と、モルタルでの試験結果を比較するとモルタルの方が遮塩性効果があるのではないと思われる。これは、モルタルにプライマーを含浸させ試験片を作製しているために、遮断性能が高くなっていると考えられる。
- ③塗装系による上塗材有りと、上塗材無しの塩素イオン透過量は6ヶ月間の試験では、ほとんど差がなくエポキシ樹脂プライマーと主材のエポキシ樹脂塗料の仕様、すなわち上塗材無しの塗装系でも遮塩性効果があると推定される。
- ④試験片として従来の遊離塗膜を用いる方法は、遊離塗膜を得るのにアマルガム法により水銀を使用するため安全管理上問題であるが、ここで検討した方法はこのような問題はなく安全に行うことができる。

6. 今後の検討課題

- ①試験温度、塩分濃度などの試験条件を変動させてフリーフィルム法とモルタル法の比較検討を行

い、遮塩性試験方法としての検証を行う。

- ②試験片を透過する塩素イオンの拡散係数・浸透圧との関係を明らかにする。
- ③塩素イオン透過量の膜厚依存性についても検討する必要がある。
- ④塩素イオン透過量と電気的変化量との関係を求めて新たな評価方法を検討する。
- ⑤暴露された塗装試験体で試験を行い、実構造物との関係を調査する必要があると考える。

7. 引用文献及び参考文献

- (1) (社)日本道路協会：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説
- (2) 阪神高速道路公団 日本材料学会：コンクリート構造物の表面保護工便覧（案）・同解説
- (3) 日本道路公団試験研究所：材料施工資料（第1号）コンクリート保護工
- (4) JIS K 5400 (1990)
- (5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説
- (6) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成3年版）改訂資料およびコンクリート技術の今後の動向
- (7) 土木学会：コンクリート構造物の維持管理指針（案）
- (8) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針（案）
- (9) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリートの構造物の腐蝕・防食に関する試験方法ならびに規準（案）