

凍結防止剤が播かれる環境下での樹脂系塗膜材が コンクリート床版へ与える影響

Effect of Coating Material on RC Slab Under Deicing Salt

奥 山 康 二*・西 村 次 男*・魚 本 健 人*

Koji OKUYAMA, Tsugio NISHIMURA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリート床版の下面にひび割れが存在した場合に、ひび割れを通して酸素、水、塩化ナトリウムなどの劣化要因物質の侵入が容易になり、コンクリート構造物中の鉄筋へ進行しやすくなると考えられる。そのため、鉄筋腐食に及ぼす影響があるこれら外部から侵入してくる劣化要因物質を抑制するためにコンクリート表面に樹脂系塗膜材を用いてひび割れ補修を行っている。

しかし、樹脂系塗膜材でコンクリート床版を補修した場合の樹脂系塗膜材の疲労特性に関して報告した¹⁾が、コンクリート床版にひび割れおよび貫通ひび割れが存在した際には、ひび割れ部分に水が蓄積され、水の影響によって樹脂系塗膜材に早期に亀裂が生じることがわかっている。

そのことを踏まえて、本研究ではコンクリート床版の下面に発生するひび割れを樹脂系塗膜材で補修し、コンクリート床版の上面から凍結防止剤²⁾が浸透した場合にどのような影響を及ぼすのか検討を行った。

特に本研究では、松井³⁾が研究報告しているが、コンクリート床版が活荷重による疲労劣化が進行すると、コンクリート床版の鉛直方向を縦断する貫通ひび割れが発生するとされている。そこで、本研究では、コンクリート床版に生じる貫通ひび割れを樹脂系塗膜材を用いて補修した際に前報の塗膜材が早期に破断する場合（表面亀裂あり）と破断しない場合（表面亀裂なし）の2種類に分けて、樹脂系塗膜材の補修影響について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 凍結防止剤と中性化の複合劣化試験

本研究に使用した示方配合を表1に示す。供試体の寸法に関しては、図1に示す通りである。供試体の中心部分に貫通ひび割れとテーパー管を連結させ、凍結防止剤が注入

*東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター

表1 示方配合

W/C	s/a	W	C	S	G	AE減水剤	AE助剤
55	45	177	322	800	1000	3220ml	2575g

※1 AE 減水剤は 4 倍希釈で表示

※2 AE 助剤は 100 倍希釈で表示

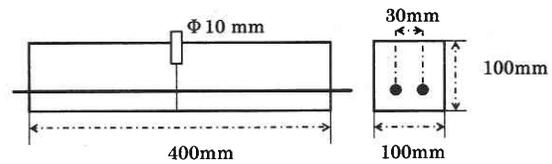
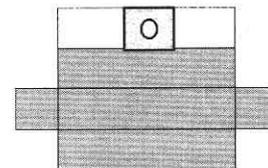


図1 試験に用いた供試体の寸法



□ 無塗布部分

■ 塗布部分

図2 塗膜材の塗布部分

できるようにした。図2は、供試体の塗布部分に関して示したものである。供試体の上面以外すべての面に関して樹脂系塗膜材を塗布した。また、供試体からはみ出ている鉄筋に関しては、ハイボンドテープを巻きつけて鉄筋腐食を受けないようにした。図3は実験概要を示したものである。本研究では、道路橋床版に生じると予想される中性化も考慮して、二酸化炭素による中性化と凍結防止剤による鉄筋腐食の影響を再現するために促進中性化と凍結防止剤の乾湿繰り返しで供試体中の鉄筋の腐食に及ぼす影響について検討を行った。促進中性化の設定に関してはCO₂濃度5%、相対湿度50%、温度40°C一定環境下で、凍結防

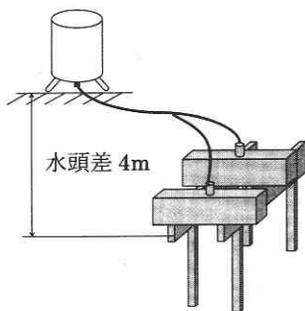


図3 実験概要図

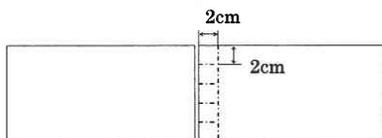


図4 塩分分析用試料採取図

止剤の設定は、凍結防止剤の濃度 NaCl 3% 水溶液、温度 20°C 一定とし、ひび割れ中に凍結防止剤が注入できるように水頭差を約 4m 程度設けた。また、乾湿の期間に関しては、中性化による乾燥条件を 4 日、凍結防止剤による湿潤条件を 3 日として合計 1 週間 1 サイクルとして試験を行った。

2.2 測定方法

ひび割れを有した供試体を樹脂系塗膜材を用いて補修した場合に、樹脂系塗膜材の表面に亀裂が生じていないもの、いるものの 2 つについて鉄筋腐食に及ぼす影響について比較した。測定試料は 4, 8, 12 サイクルのそれぞれの供試体を測定した。

比較項目として、樹脂系塗膜材による補修によって中性化抑制効果が発揮されるかを確認するために供試体の割裂試験後にフェノールフタレイン 1% 溶液を用いて中性化の程度を観察した。コンクリート中の塩分量を測定するために図 4 に示すような貫通ひび割れ付近のコンクリートをドライカッターでそれぞれ 2cm ずつ高さ方向に切り出した。そして、採取したコンクリート片を『硬化コンクリート中に含まれている塩分の分析方法』⁴⁾に基づいて測定を行った。

また、鉄筋腐食がどの程度進行しているのかを割裂試験後に鉄筋を取り出して、鉄筋に付着した付着物をクエン酸アンモニウム 10% 溶液に約 1 日程度浸漬して取り除いた。レーザー変位計の機械的な制約のために図 5 に示すような鉄筋腐食を受けている部分から両側に約 2cm に関して測定を行った。また、測定データの相対化を行い、異なる鉄筋の表面高さに関して同様の評価ができるように以下の

中性化状況

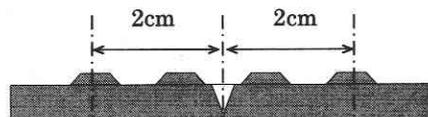


図5 レーザー変位計による測定範囲

式を導入した。

局部粗度 (%) =

$$\frac{\text{鉄筋表面の最小表面高さ (mm)} - \text{鉄筋表面の平均高さ (mm)}}{\text{鉄筋径 (mm)}} \times 100 \dots (1)$$

この式は部分的に鉄筋腐食が生じている場合に高くなるものであり、腐食が進行していない場合には低い値となる。

3. 実験結果

写真 1, 写真 2 はそれぞれ 12 サイクルの供試体を割裂試験後に中性化試験を行った結果である。両者とも貫通ひび割れを模擬したテーパから炭酸ガスが進入しているのにもかかわらず、この結果を見ると塗膜材に亀裂が生じているもののほうが、塗膜材に亀裂の生じていないものに比べて貫通ひび割れ付近において中性化が進行していることがわかる。このことより、道路橋床版のように上面に樹脂系塗膜材による補修が難しい箇所が存在しても中性化抑制効果がある程度期待できる可能性が判明した。

また、このような中性化抑制効果が発揮された原因として、図 6 に示すようなコンクリート供試体中の凍結防止剤の移動が存在していると考えられる。

塗膜材に亀裂が生じている場合には、貫通ひび割れの両面から供試体の乾燥が進行していくものと考えられる。それに対して、塗膜材に亀裂が生じていないものに関しては、供試体の上面のみから乾燥が進行するために両者の供試体間で乾燥の程度に差が生じたものと考えられる。その結果、表面亀裂あり供試体では、乾燥が速く進行してしまうためにコンクリートの含水率が極端に低下し、炭酸ガスが貫通ひび割れに侵入してきた場合に貫通ひび割れ付近で中性化が生じたと推測される。

図 7, 図 8 は貫通ひび割れ付近の塩分量に関して示したものである。図 8 は塗膜材に亀裂が生じている場合のコンクリート中の塩分量である。この図からサイクル数を追うごとに塩分量がコンクリート供試体の下面に行くほど、塩分量が多くなっていることがわかる。それに対して、塗膜材に亀裂が生じていないものは、コンクリート供試体の中心部分で塩分量が多くなっていることがわかる。このよう

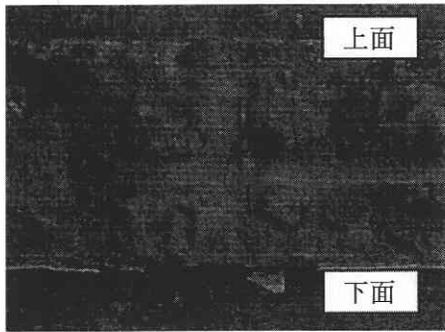


写真1 12サイクル後の塗膜供試体の中性化状況

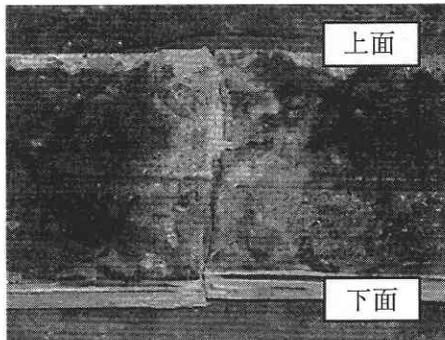


写真2 12サイクル後の皮膜亀裂供試体の中性化状況

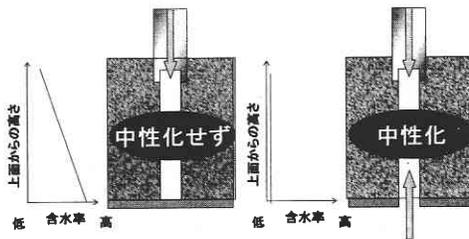


図6 表面亀裂の有無による中性化の違い

な結果となったのは、中性化試験結果の考察と同様に凍結防止剤の乾燥過程の違いが生じさせたものと考えられる。

図9は、塗膜材の亀裂の有無が供試体の塩分移動に及ぼす影響について示した図である。この図から凍結防止剤が乾燥の影響を受けると、次第に濃縮し、乾燥の影響を受けない部分に移動していると考えられる。塗膜材に亀裂が生じていないものを説明すると、乾燥の影響を受けるのは、コンクリート供試体の上面部分のみからであり、そのため供試体の上面部分では、塩分濃度が低いままで早期に乾燥し、下面部分に塩分が濃縮して移動するために塩分濃度が高くなる傾向となっていると考えられる。また、塗膜材に亀裂が生じているものに関して説明すると、供試体の両側から乾燥を受けるため、凍結防止剤は両側から濃縮されつつ、乾燥の影響を受けない供試体中央部分に移動している

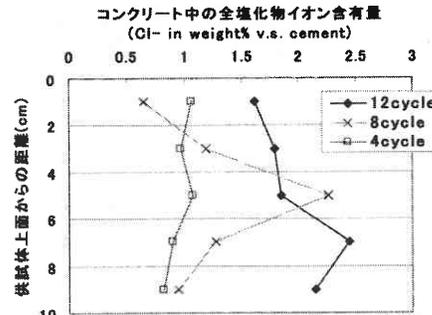


図7 表面亀裂なしの全塩化物イオン量

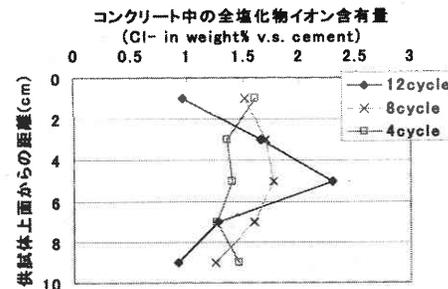


図8 表面亀裂ありの全塩化物イオン量

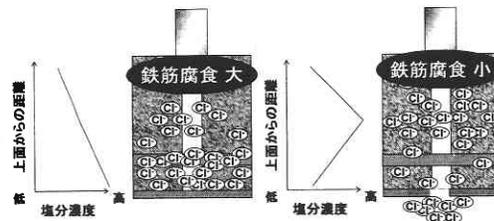


図9 乾燥による塩化物イオンの移動の違い

と考えられる。さらに、塗膜材に亀裂が生じている場合に塩分濃度が下面で減少している原因として乾燥過程で毛管圧力等の影響により貫通ひび割れ部分にある凍結防止剤が供試体外に排出していることも目視により確認することができた。

この考察により、道路橋床版の下面を樹脂系塗膜材で補修することは、床版中の水の移動に大きく影響することがわかった。そして、樹脂系塗膜材で補修して水の移動を妨げた場合、床版下面において塩分が非常に蓄積されやすい傾向となり、引張側の鉄筋の腐食に及ぼす影響が非常に大きいもの予想される。

そこで、鉄筋腐食の形態を調べるためにマイクロスコープを用いて写真観察を行った。その結果が写真3である。この写真を見ると、鉄筋の一部分に丸い穴が存在していることがわかる。このことより、鉄筋に孔食が発生している

研 究 速 報

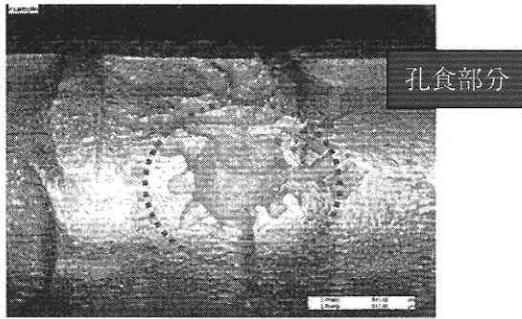


写真3 乾燥による塩化物イオンの移動の違い

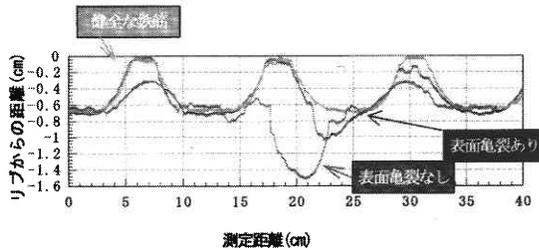


図10 レーザー変位計による測定結果

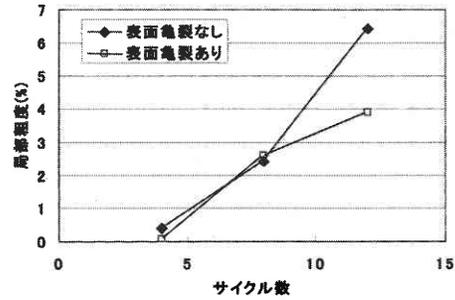


図11 表面亀裂の有無による鉄筋腐食の違い

ことが確認できた。

具体的に孔食が及ぼす影響についてレーザー変位計を用いて測定を行った結果を図10に示す。図10はそれぞれ12サイクル目の樹脂系塗膜材に亀裂が生筋と比較した結果である。貫通ひび割れ存在している箇所になるこの図の中央部分をそれぞれ比較すると、腐食を受けていない鉄筋に関しては、突起状に表面から出ているリブが形よく存在しているのが図から見て取れるが、塗膜材に亀裂が生じていないもの、いるものにかかわらず、中央部分においてリブがなくなるほどの腐食を受けていることがわかる。

さらに、この結果を式(1)で示した評価式を用いると図11となる。この図より、4、8サイクル目において両者の鉄筋腐食はあまり差が生じていないが、12サイクル目において両者の鉄筋腐食の差が大きくなっていることがわかる。このことより、樹脂系塗膜材に亀裂が生じていないほうが鉄筋腐食に及ぼす影響が大きいことがわかった。

5. ま と め

本研究では、道路橋床版を樹脂系塗膜材で補修した際に凍結防止剤が撒かれる環境下における補修効果について検討を行った。その結果を以下にまとめると、

- ①コンクリート床版の上面部分に樹脂系塗膜材によるひび割れ補修を行わなくともコンクリート床版中の含水率がある程度存在している場合には、中性化抑制効果が期待

できることがわかった。

- ②凍結防止剤がコンクリート床版に与える影響について検討を行った結果、貫通ひび割れ等の物質移動をしやすくなる要素がある場合、樹脂系塗膜材に亀裂が生じない時には床版の下面部分にたまりやすい傾向がある。
- ③割裂した後に取り出した鉄筋の表面を観察した結果、鉄筋に丸い円状の腐食が生じており、孔食が確認できた。また、レーザー変位計を用いて測定を行った結果、樹脂系塗膜材に亀裂が生じていないもののほうが亀裂が生じているものに比べて孔食の進行が早い傾向を示した。

6. 今後の検討課題

本研究において、コンクリート床版に対して樹脂系塗膜材の補修効果について検討を行った。その結果、樹脂系塗膜材による補修が必ずしもコンクリート床版に良い影響を与えないことがわかった。このことより、部材単位において塗膜材の補修を検討する必要がある。また、床版中に水が蓄積されるために活荷重の影響が樹脂系塗膜材を塗布しない場合に比べ大きくなると予想される。そのため水中疲労に近い状態になり、疲労特性が減少すると考えられる。そのため、疲労特性に関してより詳細に調べ、樹脂系塗膜材による補修がコンクリート床版に対して有効であるかを検討する必要があると考えられる。

(2003年4月9日受理)

参 考 文 献

- 1) 奥山康二, 勝木太, 西村次男, 魚本健人: コンクリート用表面コーティング材の防水性に関する研究. 生産研究投稿予定
- 2) (社)日本コンクリート工学協会; 融雪材によるコンクリート構造物劣化研究委員会報告・論文集, 1999.11
- 3) 松井繁之: 移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, vol. 9, No. 2
- 4) (社)日本コンクリート工学協会: コンクリートの腐食・防食に試験方法ならびに基準(案)1987