

## 論文

## 排水柵とコンクリートとの界面処理による止水性向上の検討

神頭峰磯\*, 赤江信哉\*\*, 吳承寧\*\*\*

\*日本車輛製造株式会社 輸機・インフラ本部技術計画室(〒456-8691 愛知県名古屋市中区三本松町1-1)

\*\*太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 機能性材料グループ(〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2)

\*\*\*博士(工学), 愛知工業大学教授 工学部土木工学科(〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247)

床版に設置される橋梁の排水柵は、コンクリートとの界面の付着切れにより、凍結防止剤の塩分を含む水分が、界面を伝わり床版や橋桁に深刻な劣化をもたらす場合がある。このような状況を改善するため、排水柵とコンクリートとの付着力向上を目的に、ポリマーセメントモルタルによる被覆を検討した。本論文では、ポリマーセメントモルタルを用いて各種材質の排水柵とコンクリートとの付着性改善効果を小型試験体および実物大試験体で確認した結果を報告する。

キーワード：排水柵, 付着, 漏水, ポリマーセメント, 止水性, 界面

## 1. はじめに

道路橋の集水設備である排水柵は、車輛の走行安全性を確保するための重要な付属設備である。その排水柵に使用される材質は、鋼材、ねずみ鋳鉄、FRPなどが用いられている。排水柵の側面は、床版コンクリートに接しており、コンクリートとの付着強度が低いことから、漏水に至り、床版コンクリートや床版下面のコンクリート桁、鋼桁の劣化を誘発する要因となっている<sup>1)</sup>。床版コンクリートへの漏水防止のため、床版上面には防水層や排水柵周囲に止水材を設けて、対策を行うことが一般的であるが、防水層の破損や止水材の材料劣化などにより、止水機能が低下する場合がある。特に降雪地域や寒冷地域のように凍結防止剤を大量に散布する地域では、集水された雨水に大量の塩分を含んでおり、漏水は床版下面の構造物の劣化を促進する要因となる。

本研究では、排水柵とコンクリートとの付着強度を向上し、界面からの漏水リスクを低減することを目的に、排水柵をポリマーセメントモルタルで被覆することを検討した。

## 2. 小型試験体による付着強度の評価

## 2.1 付着強度試験

排水柵に使用される各種材料とコンクリートとの付着強度を、建研式引張試験機を用いた付着試験により確認した。試験片は、40mm×40mmとし、図-1に示す幅250mm、長さ350mm、厚さ90mmの木製型枠に6枚設置する試験体型枠とした。試験片の型枠への設置は、型

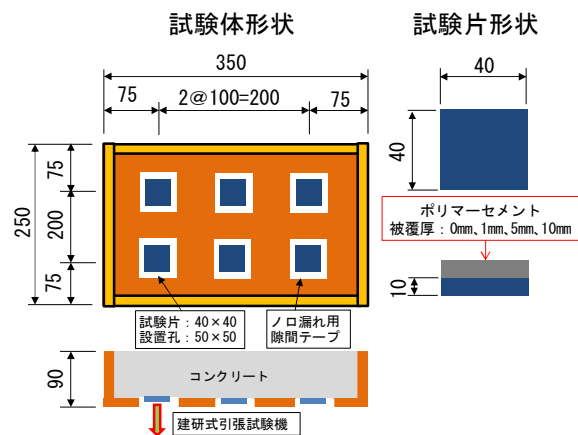


図-1 試験体および試験片形状

枠底面に50mm×50mmの箱抜きを行い、試験片設置後にコンクリートが漏れないように周囲をスポンジテープで養生した。試験は、母材の表面粗さの違いによるコンクリートとの付着強度の変化を確認するために、母材表面処理の有無を水準とした場合と、表面処理の有無にポリマーセメントモルタルの被覆を加えて、その効果を確認する場合の2ケース行った。試験は、試験体型枠にコンクリートを打込み、5日間湿潤養生を行い、材齢28日まで20℃、RH60%の環境下で気中養生した後に行った。また、ポリマーセメントモルタルの被覆を行う試験では、試験片へのポリマーセメントモルタルの施工後に、試験片を材齢28日まで20℃、RH60%の環境下の恒温室により気中養生を行った。その後、試験体型枠に試験片を設置し、前述と同様の条件で付着試験を行った。なお、ポリマーセメントモルタルの試験片への付着は、モルタルガンによる吹き付けによって行った<sup>2)</sup>。

## 2.2 使用材料

試験片に使用する材質は、鋼材(SS400)、ねずみ鉄鉄(FC250)、および FRP とした。鋼材とねずみ鉄鉄は、実際の排水桝と同様に、表面に無機ジンクリッチペイント(目標膜厚 30 μm)を塗装した。FRP は、排水桝に一般的に使用されているガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂で構成されているものを使用した。

ポリマーセメントモルタルは、鋼材類との付着性が良好で、止水性が期待できる SBR 系ポリマーセメントモルタルを使用しているものを採用した<sup>3)</sup>。この材料は、速硬セメント、細骨材、混和材などをプレミックスしたパウダーと、スチレンブタジエンゴムを主成分とするポリマーディスパージョンを含む混和液から構成されており、材齢 28 日の圧縮強度は、36.0N/mm<sup>2</sup>であった。また、試験体に打込むコンクリートは、粗骨材を茨城県桜川市産の砕石、細骨材を静岡県掛川市産の砕砂を使用し、材齢 28 日の圧縮強度が、47.1N/mm<sup>2</sup>であった。ポリマーセメントモルタルの配合を表-1 に、コンクリートの配合を表-2 に示す。

表-1 ポリマーセメントモルタルの配合

水セメント比 (%)	ポリマーセメント比 (%)	砂セメント比	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )	
			パウダー	混和液
27.0	18.0	1.86	1925	302

表-2 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
50.0	45.0	165	330	791	1000	0.83

表-3 FRP 試験片の表面粗さと付着強度

表面処理	表面粗さ		付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )
	Rz(μm)	Ra(μm)	
無処理	20.9	2.8	0.09
ブラスト処理	73.8	11.9	0.23
けい砂仕様	—	—	0.50

表-4 被覆前の試験片の表面粗さ

	表面処理	表面粗さ	
		Rz(μm)	Ra(μm)
鋼材(SS400)	塗装	47.0	7.4
	ブラスト	85.0	14.1
ねずみ鉄鉄(FC250)	塗装	57.2	9.3
	ブラスト	94.5	15.7
FRP 樹脂	無処理	17.2	2.7
	ブラスト	76.5	13.2

## 2.2 表面粗さと付着強度

排水桝とコンクリートとの界面の付着強度は、FRP のように表面が滑らかなほど、付着強度が低下すると考えられる。そのため、表面の素地調整による粗さと付着強度の関係を FRP の試験片で確認した。試験水準は、試験片の表面を無処理および、ブラスト処理(ISO Sa2.5)としたものに加え、一部の高速道路会社で採用されている表面にけい砂を付着させた仕様とした。試験片は各水準 3 枚とし、表面粗さは、触針式表面粗さ計を用いて各試験片の最大高さ Rz と算術平均粗さ Ra を計測した。また、表面粗さおよび付着強度は試験片 3 枚の平均とした。表面粗さと付着強度の結果を表-3 に示す。

けい砂仕様の試験片では、凹凸が激しいため、表面粗さの計測はできなかったが、表面が無処理の試験片は、Rz が 20.9μm、Ra が 2.8μm と滑らかであった。一方、ブラスト処理を行うと Rz は 73.8μm まで増加し、Ra も 11.9μm となり、表面が凹凸を有する粗い状態になった。また、FRP の付着強度は、粗さが増加するごとに大きくなる結果となり、表面粗さが粗いほどコンクリートとの付着強度が高くなることを確認した。しかし、最も付着強度が高くなったけい砂仕様の試験片でも界面剥離の防止を期待できるほどの付着強度は得られなかった。なお、付着試験の破壊形態は、全て試験片とコンクリートとの界面剥離であった。

## 2.3 ポリマーセメントモルタルによる被覆効果

次に試験片の付着強度を改善するために、ポリマーセメントモルタルによる被覆を試験片に施し、同様の付着試験により付着強度を確認した。試験片は、鋼材(SS400)、ねずみ鉄鉄(FC250)、FRP の 3 種類とし、鋼材とねずみ鉄

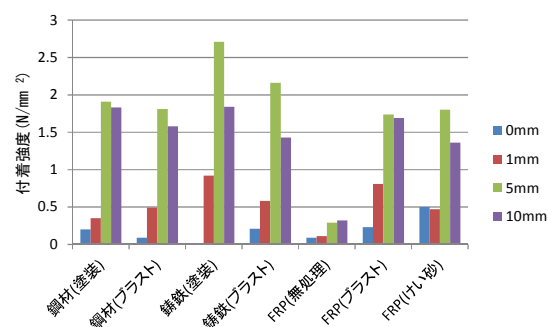


図-2 ポリマーセメントの被覆厚と付着強度

鉄は、無機ジンクリッチペイントを目標膜厚 30 μm (平均塗膜厚 39 μm) で塗布した塗装仕様および、塗装後の試験片をブラスト処理した 2 種類とした。また、FRP は、無処理およびブラスト処理とし、けい砂仕様の試験片の上にポリマーセメントモルタルを被覆する種類も加えた。試験水準は、試験片の材質、表面処理の他に、ポリマーセメントモルタルの被覆厚を 0mm、1mm、5mm、10mm とした。各試験片の表面粗さを表-4 に、付着強度を図-2 に示す。

鋼材およびねずみ鉄鉄の塗装面の表面粗さは、Rz で 50μm、Ra で 8 μm 程度であり、ブラスト処理すると Rz

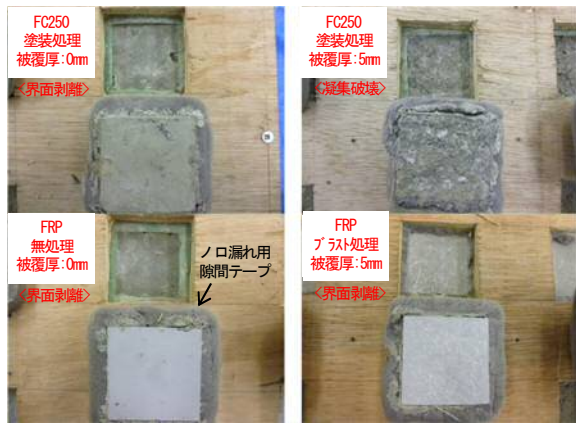


図-3 試験片の界面状態

が  $80\mu\text{m}$ ,  $Ra15\mu\text{m}$  程度に向上している。FRP の表面粗さもブラスト処理後は  $Rz$  が  $76.5\mu\text{m}$ ,  $Ra$  が  $13.2\mu\text{m}$  と鋼材やねずみ鋳鉄と同様の値となった。ブラスト処理後の付着強度は、全ての水準において界面剥離を防止できるほどの結果が得られておらず、表面処理のみによるコンクリートとの付着強度改善は難しいと考えられる。しかし、ポリマーセメントモルタルの被覆を行うと、付着強度は改善し、 $5\text{mm}$  の被覆厚で  $1.5\text{N}/\text{mm}^2$  以上となった。一方、FRP もポリマーセメントモルタルによる被覆を行うことで、付着強度が改善する結果となった。ただし、無処理に被覆した場合は、改善効果が小さく、被覆を行っても界面の付着切れを起こす懸念がある。また、付着強度は、ポリマーセメントモルタルの被覆厚が  $1\text{mm}$  より  $5\text{mm}$  の方が大きくなり、被覆厚さが付着強度に寄与するものと考えられる。しかし、被覆厚を  $10\text{mm}$  とした場合は、 $5\text{mm}$  より付着強度が低下する結果となり、被覆厚さによる付着強度改善効果に上限があり、最適厚さが存在するものと考えられる。今回の場合は試験結果より、ポリマーセメントモルタルの被覆厚は  $5\text{mm}$  程度が最適であることが判った。特に表面が滑らかである FRP においては、ブラスト処理または、けい砂仕様にポリマーセメントモルタルを被覆することにより付着強度が  $1.5\text{N}/\text{mm}^2$  程度まで改善できる。また、図-3 に示すように、鋼材およびねずみ鋳鉄の試験片は、ポリマーセメントモルタルによる被覆を行うことで、破壊形態がコンクリート界面の剥離から、ポリマーセメントモルタルの凝集破壊へと変わることを確認した。なお、FRP は、ポリマーセメントモルタルと試験片の界面剥離であったが、コンクリートとポリマーセメントモルタルが一体となっていることを確認した。また、FRP のブラスト処理およびけい砂仕様の試験片では、被覆厚を  $10\text{mm}$  とした場合は、一部の試験片が界面剥離ではなく、ポリマーセメントモルタルの凝集破壊へと破壊形態が遷移した。

## 2.4 付着強度のタフネス性

ポリマーセメントモルタルの被覆により、付着強度が改善されることが確認されたため、破壊に至るまでのタ

表-5 試験水準と付着強度

試験体番号	材質	表面処理	被覆厚	付着強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
No.1	FC250	塗装	0mm	0.56
No.2			5mm	1.70
No.3	FRP	無処理	0mm	0.37
No.4			5mm	0.23
No.5		ブラスト	0mm	1.61
No.6			5mm	2.59
No.7	けい砂	0mm	0.34	
No.8		5mm	2.33	

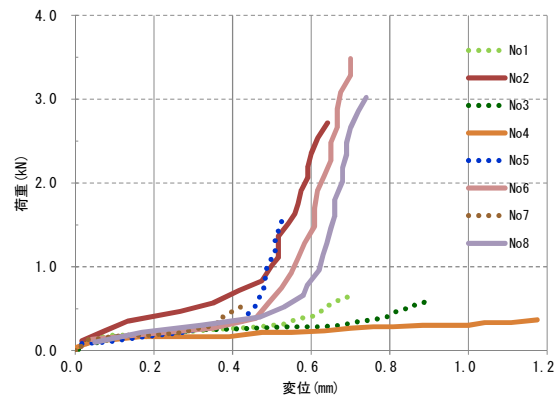


図-4 荷重-変位グラフ

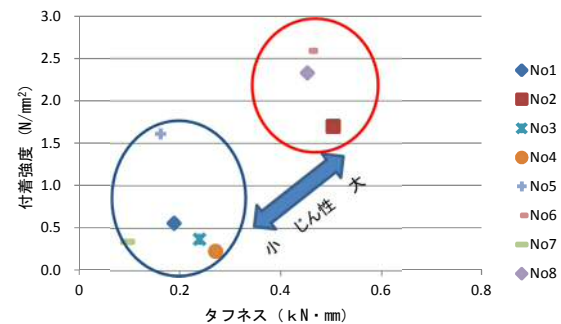


図-5 被覆によるタフネス性

フネス性について確認を行った。試験片の材質は、道路橋での使用頻度が多い、ねずみ鋳鉄(FC250)と FRP とした。試験片の表面処理は、ねずみ鋳鉄の試験片を無機ジンクリッチペイントによる塗装、FRP の試験片を前述の条件と同様に無処理、ブラスト処理およびけい砂仕様とした。ポリマーセメントモルタルの被覆厚は、 $0\text{mm}$  と  $5\text{mm}$  の2水準として、試験片の数は1試験体につき6枚とした。ここでは、建研式引張試験機による付着試験時に荷重-変位を記録してタフネスを算出した。試験水準と付着強度を表-5、荷重-変位図およびタフネス性を、それぞれ図-4、図-5 に示す。

FRP を無処理の状態でもポリマーセメントモルタルによる被覆を行った No.4 の試験水準以外は、被覆により付着

強度が改善した。破壊形態と破断位置は、No.4 以外の被覆試験片は、ポリマーセメントモルタル内で凝集破壊となっており、残りは試験片界面との剥離であった。図-4 の荷重-変位図から得られる破壊に至るまでエネルギーは、ポリマーセメントモルタルによる被覆を行った試験片が高くなっており、図-5 に示すように、じん性も大きく改善されることが判った。

## 2.5 温冷繰り返し後の付着強度

橋梁の排水柵で使用される FRP は、軽い上に強度が高いため、施工性も容易で近年多くの橋梁の排水柵で採用されている。しかし、コンクリートとの線膨張係数が 10 倍程度異なることから、温度変化による付着強度の著しい低下が懸念される。そのため、温冷繰り返し条件における付着強度への影響を確認した。試験は、JIS A 1171 を準用し、試験体のコンクリートの材齢が 28 日を経過した後、20℃で 18 時間経過後に-20℃を 3 時間、50℃を 3 時間とする 24 時間の温冷繰り返しを 1 サイクルとし、10 サイクル後に建研式引張試験機を用いて付着試験を行い、付着強度を計測した。温冷繰り返し後の付着強度を表-6 に示す。付着強度はブラスト処理を行った水準が若干低下の傾向にあるが、被覆なしと比較すると付着強度は 4 倍程度改善されており、温冷繰り返しによる著しい低下は確認できなかった。

表-6 温冷繰り返し後の付着強度

試験体番号	材質	表面処理	被覆厚	付着強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No. 3	FRP	無処理	0mm	0.36
No. 4			5mm	0.25
No. 5		ブラスト	0mm	0.29
No. 6			5mm	1.32
No. 7		けい砂	0mm	0.55
No. 8			5mm	2.29

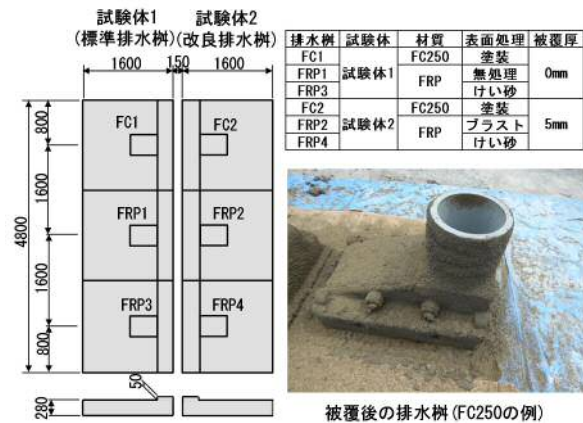


図-6 試験体概要と使用した排水柵の例

## 3. 実物大試験体による評価

### 3.1 実験方法

小型試験体において、ポリマーセメントモルタルの被覆が、排水柵表面とコンクリートとの付着強度を改善させることが確認できたため、実際の排水柵に対する止水効果の有無を実物大の試験体によって確認した。実物大の試験体は、幅 1600mm、長さ 4800mm、厚さ 280mm の模擬床版とし、一般的に現場で使用する標準仕様の排水柵を設置する試験体 1 と、ポリマーセメントモルタルで被覆し、コンクリートとの付着強度を改善した排水柵を設置する試験体 2 の 2 体作製した。模擬床版の概要図を図-6 に示す。設置した排水柵は、ねずみ鋳鉄(FC250)、FRP(無処理)、FRP けい砂仕様とした。ポリマーセメントモルタルは、排水柵に吹き付け施工で 5mm になるように、専用ゲージを用いて管理しながら施工した。なお、試験体 2 に設置する FRP2 排水柵はブラスト処理後にポリマーセメントモルタルで被覆した。ポリマーセメントモルタルの被覆後、排水柵は 7 日間シートで屋外養生を行い、その後コンクリート打込みまで屋内にて保管した。ポリマーセメントモルタルのフレッシュ性状と硬化性状は、15 打フローが 190mm×188mm で、材齢 28 日の圧縮強度は 36.0N/mm<sup>2</sup>であった。

試験体は、床版コンクリートの乾燥収縮による排水柵界面の剥離からの漏水を確認するため、コンクリートの



図-7 色水による湛水状況

打込みを 10 月下旬に行い、湿度の低くなる冬季に 3 ヶ月間静置して乾燥収縮を進行させた。また、試験期間中の外気温は、最高温度 24℃、最低温度-1.5℃の温度差 25.5℃であった。試験体は、呼び名が 30-8-20N のコンクリートを使用し、材齢 28 日の圧縮強度が、37.2N/mm<sup>2</sup>であった。なお、試験体の鉄筋には、ひずみゲージを設置して、静置期間 3 ヶ月の収縮状況を記録し、十分に乾燥収縮が進行していることを確認した。打込みから 3 ヶ月後に、試験体は十分な収縮が得られたため、1 ヶ月間水性染料による赤色の色水で床版上面を湛水させた。色水による試験体の湛水状況を図-7 に示す。1 ヶ月間色水で湛水させた後に、コンクリートカッターを用いて排

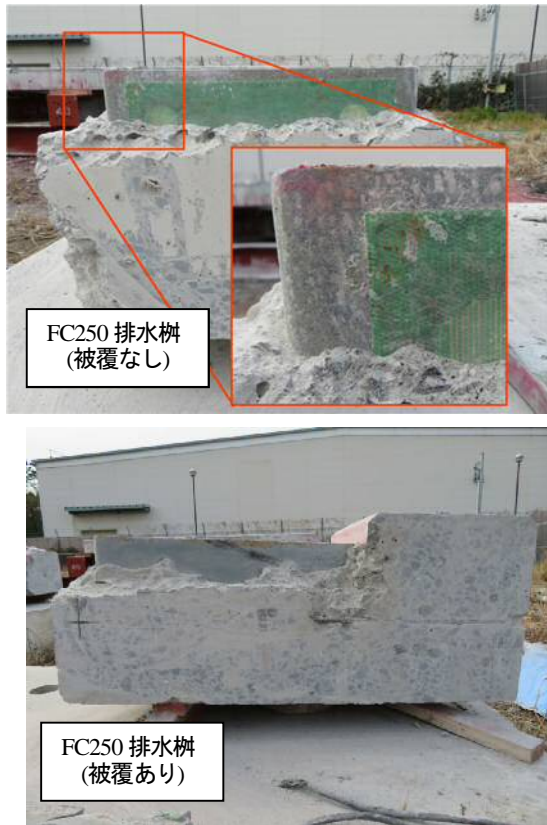


図-8 FC250 排水樹の状況



図-9 FRP 製排水樹の状況

水樹を試験体から切り離し、排水樹上方の側面コンクリートを剥がして、排水樹とコンクリートとの界面の漏水状況を観察した。

### 3.2 実験結果

図-8は、ねずみ鋳鉄製(FC250)排水樹の側面コンクリートを剥がした状況である。被覆を行っていない排水樹は、概ね色水の浸水は確認されなかったが、一部浸水を確認した。一方、ねずみ鋳鉄製(FC250)排水樹をポリマーセメントモルタルで被覆した場合は、浸水の痕跡が見当たらなかった。小型試験片では、約3倍に付着強度が増加していたことから、その効果により止水性が改善したものと考えられる。次に図-9に示すFRP製排水樹では、無処理の状態では、あらゆる側面に浸水の痕跡が認められた。付着強度が低いために乾燥収縮を受ける状態でも、容易に界面剥離を起こして漏水していると考えられる。このことから、一般的なFRP製排水樹を床版コンクリートに設置する場合は、防水層の入念な敷設やシーリング処理などの止水処理が必須となる。一方、ポリマーセメントモルタルで被覆した場合は、排水樹とコンクリートとの一体性が向上し、漏水の痕跡は一切認められなかった。次にFRP製けい砂仕様の排水樹とけい砂上にポリマーセメントモルタルを被覆した排水樹の状況を図-10に示す。無処理のFRP製排水樹ほどではないが、ポリマーセメントモルタルの被覆の有無に関わらず、漏水が確認される結果となった。特にけい砂上へポリマーセメン



図-10 FRP 製(けい砂仕様)排水樹の状況

トモルタルを被覆した排水樹の漏水箇所は、排水樹からけい砂が取れて排水樹表面が赤く染まっていた。小型試

験体における試験結果では、けい砂上へポリマーセメントモルタルを被覆した場合の付着強度が最も高くなり、止水性が期待できる仕様であったが、漏水に至ってしまった。この原因を特定するため、剥離したコンクリート片を詳細に調べることとした。

### 3.3 漏水原因の確認

小型試験体による試験結果と実物大試験体との間で結果が異なった FRP 製けい砂仕様について検証を行った。検証は、実物大試験体で剥がした側面のコンクリート片を詳細に観察する方法で行った。観察は、目視の他にデジタルカメラによる拡大観察および、レーザー電子顕微鏡による観察とした。剥離したコンクリート試験体の状況を図-11 に示す。剥離したコンクリート片の表面には、白い粒子状のけい砂が表面に付着しており、剥離片の表面全体が赤く染まっていた。断面を観察すると染色は表面のみで、ポリマーセメントモルタル内に浸透していないことが確認できた。次にコンクリート片の一部をレーザー顕微鏡で撮影して観察を行った。図-12 に示すようにレーザー顕微写真でも表面のみ染色されており、モルタル内に浸透はしていない。したがって、乾燥収縮によって、FRP 上のけい砂が排水柵より剥がれて水みちを作ったと推察される。本来、FRP の表面上にけい砂を付着させた仕様もコンクリートとの付着強度向上が目的であるため、FRP へのポリマーセメントモルタルの被覆は、無処理の FRP の表面を素地調整した後に被覆するのが良いと考えられる。

### 4. まとめ

本検討では、排水柵からの漏水リスクの抑制を目的として、各種排水柵の材料による小型試験体による試験と、実物大試験体における検証を行った。今回の試験結果から以下の知見を得た。

- (1) 一般的に道路橋で使用される、ねずみ鉄(FC250)や FRP 製の排水柵は、付着強度が低く、排水柵とコンクリートとの界面からの漏水リスクが高い。
- (2) FRP 製排水柵は、コンクリートと接する部材表面を素地調整によって粗くすることにより、付着強度の改善が期待できる。
- (3) 排水柵の材料を SBR 系ポリマーセメントモルタルで、被覆を行うことにより、付着強度とタフネス性が向上する。
- (4) ポリマーセメントモルタルによる被覆効果は、厚さによって得られる効果が異なり、排水柵に使用される材料では、5mm 程度が最適厚さと考えられる。
- (5) FRP 製排水柵をポリマーセメントモルタルで被覆する場合は、表面の素地調整を行い、ポリマーセメントモルタルを被覆する方法が適する。

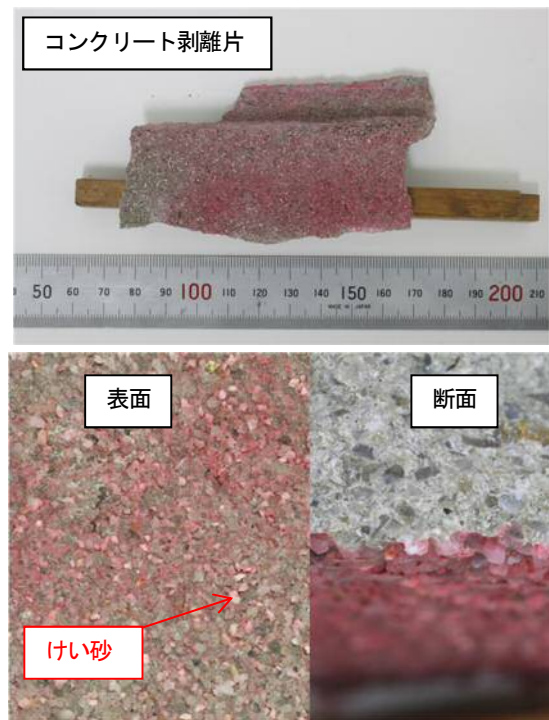


図-11 剥離試験片の状況

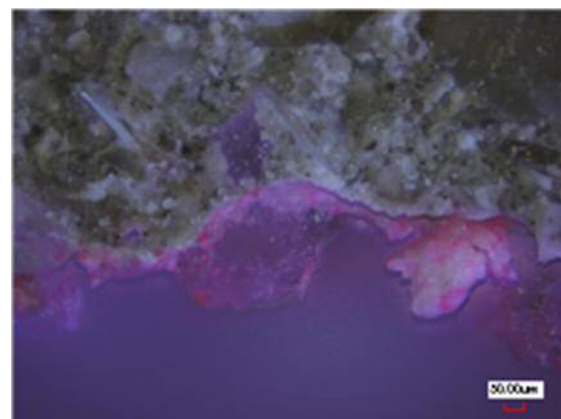


図-12 レーザー顕微鏡による拡大図

### 参考文献

- 1) 岡田慎哉, 澤松俊寿, 西弘明: 道路橋床版の耐久性の向上に向けた排水ますの開発, 第8回道路橋床版シンポジウム論文報告集, PP.269-274, 2014
- 2) 杉野雄亮, 神頭峰磯ほか: ポリマーセメントモルタルの吹付け性状および強度特性に関する検討, 土木学会第68回年次学術講演会, V-192, pp.383-384, 2013
- 3) 神頭峰磯, 佐竹紳也, 大久保藤和, 杉野雄亮: ポリマーセメントモルタルによる鋼・コンクリート複合構造の一体性に関する検討, 土木学会第69回年次学術講演会, V-456, pp.911-912, 2014

(2018年7月20日受付)