

# 論文 粘着材を用いた塗膜防水シート工法の耐衝撃性に関する検討

松田 芳範<sup>\*1</sup>・石橋 忠良<sup>\*2</sup>・三村 典正<sup>\*3</sup>・本田 誠<sup>\*4</sup>

**要旨:** 鉄道構造物軌道内に防水工などの塗膜系被覆工法を施工する場合、車両通過に伴う風圧やバラスト・雪氷飛散等の衝撃作用による塗膜の剥離や損傷などについて考慮する必要がある。また、ひび割れが存在する場合などでは、気温変化によるコンクリートの伸縮や車両通過時の振動等によるひび割れ部の開閉により劣化損傷が懸念される。そこで、開閉するひび割れに追従し、耐疲労性を有する粘着材を用いた塗膜防水シート工法を用い、飛石試験装置等による耐衝撃性に関する検討を行った。その結果、当工法は、接着型塗膜系材料と比較して耐衝撃性を有することがわかった。

**キーワード:** 接着型塗膜, 粘着材, 塗膜防水シート工法, プラスト機, 飛石試験装置, 耐衝撃性, 耐疲労性

## 1. はじめに

コンクリート構造物では、劣化損傷によりひび割れが生じる。この劣化損傷の進行を抑制するため、コンクリートへの劣化因子の侵入を防止することを目的とし、表面保護工法による補修が行なわれることがある。鉄道構造物軌道内のコンクリート構造物においても、同様の理由により表面保護工法による補修が必要となる場合がある。しかし、軌道内では、車両通過時の列車風圧やバラスト・雪氷飛散等の衝撃作用による表面保護工法のワレ、はく離、削れ、剥がれ等の損傷が懸念される。そこで、衝撃作用に対する表面保護工法の耐久性をプラスト機及び飛石試験装置を用いて検討を行った。また、列車風圧による負圧による剥離への影響などを検討するため、実際に営業中の軌道面において暴露試験を行ったので紹介する。

コンクリート構造物にひび割れが生じている場合、気温の変化によるコンクリートの伸縮から、生じているひび割れが開閉し動きが生じる。また、鉄道構造物では車両通過時の列車荷重や衝撃、振動などによってひび割れに同様の動きが生じる。このため、検討する表面保護工法には、開閉するひび割れに施工しても追従可能な粘着材を用いた塗膜防水シート工法<sup>1)</sup>と従来から使用されている接着型塗膜工法を用いた。粘着材を用いた塗膜防水シート工法は、従来の接着材の材料に換えて、新たに粘着材をコンクリート表面への接着材として用いている。検討方法は従来の接着型塗膜である塗膜系材料と比較し評価を行なうこととした。

## 2. 塗膜防水シート工法

塗膜でも特に高い防水性を要求される場合には、防水性能の高い有機系の塗料が用いられている。しかし、基

材となるコンクリートは日々の気温の変動や直射日光などによる温度の変化によって収縮や膨張が生じる。このため、構造物にひび割れが生じている場合、ひび割れには開閉の動きが生じ、これを覆う塗膜には伸縮作用が生じる。塗膜防水シート工法は、このようなひび割れ部での疲労耐久性を満足するため、新たに伸縮性のある粘着材を接着材とした工法である。

### 2.1 工法概要

粘着型シートは接着面側に厚み 0.8mm の粘着材、暴露面側に塗膜系材料の上塗に相当するフッ素樹脂フィルムを配置した構成となっている。なお、粘着材の厚みは、0.4~1.2mm の厚みで検討した結果、①貼付時の被着体への密着性能、②伸縮時の変形性能確保から 0.8mm とした。

既存の有機系塗膜上に施工する場合、既存塗膜にはく離等が発生していなければ、コンクリートと既存塗膜との接着性確認後、シンナー拭きや高圧洗浄水による水洗いのみで、乾燥後この粘着型シートを貼付ける。

コンクリート面に施工する場合は、コンクリート面への密着性を確保するため、エポキシ樹脂系プライマーやエポキシ樹脂系パテ材による有機系下地材を施工することを基本としている。

### 2.2 性能概要

検討した塗膜防水シート工法の性能を下記に示す。

#### (1) コンクリートへの劣化因子の侵入阻止性能

コンクリートへの劣化因子の侵入阻止性能一覧を表-1に示す。

#### (2) 接着性能

コンクリートへの接着性能を①付着力強さ、②90度はく離強さによって確認した結果を表-2、表-3に示す。

#### (3) ひび割れ追従性能

ひび割れ追従性能は、①静的なひび割れ追従性、②長

\*1 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 構造技術センター副課長 (正会員)

\*2 東日本旅客鉄道(株) 建設工事部 構造技術センター所長 工学博士 (正会員)

\*3 ショーボンド建設(株) 営業本部開発企画部

\*4 日東電工(株) 豊橋事業所資材部

周期的疲労耐久性, ③短周期疲労耐久性により確認した結果を示す。静的なひび割れ追従性は, JSCE K 532 のひび割れ追従性試験に準拠し, -20℃, 20℃, 60℃の各温度で実施した。試験結果を図-1 に示す。気温変化によるコンクリートの伸縮を考慮した長周期疲労耐久性は JIS A 6909 の疲労試験に準拠し, 図-2 に示す試験温度, 変位量, 疲労回数, 疲労速度で実施した。車両通過時の振動を考慮した短周期疲労耐久性は JIS A 1436 の疲労試験に準拠し, 図-3 に示す試験温度, 変位量, 疲労回数, 疲労速度で実施した。いずれの疲労試験後においても, シートのズレ, 剥がれ, 破断等の損傷は発生せず, ひび割れを模擬した部分でシートが伸び, 表面にシワが発生したのみであった。静的ひび割れ追従性試験及び疲労試験の各試験状況を写真-1 に示す。

表-1 劣化因子の侵入阻止性能

項目	試験方法	規格値	試験結果
塩化物イオン透過阻止性	JHS 425	0.005g/m <sup>2</sup> ・日以下 <sup>注1)</sup>	0.0021g/m <sup>2</sup> ・日(検出限界値)以下
酸素透過阻止性	JHS 417	0.05mg/cm <sup>2</sup> ・日以下 <sup>注2)</sup>	0.03mg/cm <sup>2</sup> ・日
水蒸気透過阻止性	JHS 417	5.0mg/cm <sup>2</sup> ・日以下 <sup>注2)</sup>	0.07mg/cm <sup>2</sup> ・日
水分透過阻止性	JIS A 6909 防水試験 B法	0.5ml/日以下 <sup>注3)</sup>	0.2ml/日
中性化阻止性	JHS 417	1mm以下 <sup>注2)</sup>	0mm

注1)はく落防止耐久性の規格値 (NEXCO)  
 注2)コンクリート塗装材の規格値 (NEXCO)  
 注3)防水系塗材の規格値 (建築用仕上塗材)

表-2 付着力試験結果

試験温度	付着強さ (N/mm <sup>2</sup> )	破壊形態
-20℃	2.6	モルタル板母材破壊100%
20℃	1.1	粘着材凝集破壊100%
60℃	0.9	粘着材凝集破壊100%

注)試験方法はJIS A 6909付着力試験に準拠し塗膜防水シートの粘着材のみで試験

表-3 90度はく離試験結果

試験温度	はく離強さ (N/25mm)	破壊形態
-20℃	118	シート破断
20℃	64	粘着材凝集破壊100%
60℃	39	粘着材凝集破壊100%

注)試験方法はJIS Z 0237の90度はく離試験に準拠

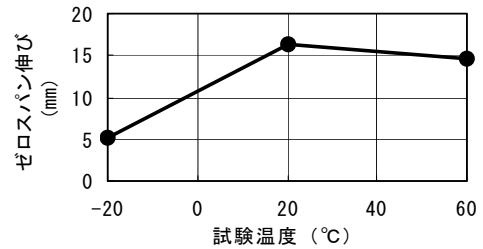


図-1 静的ひび割れ追従性試験結果

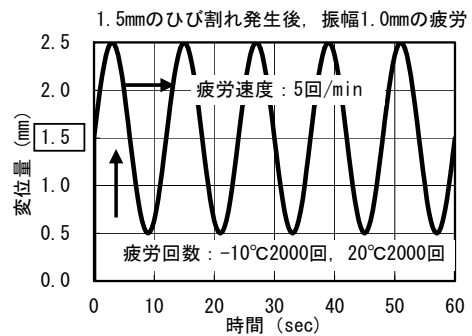


図-2 長周期疲労試験時の試験概要

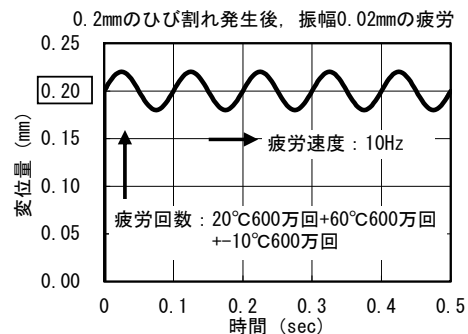


図-3 短周期疲労試験時の試験概要



静的ひび割れ追従性試験

疲労試験

写真-1 ひび割れ追従性能の試験状況

### 3. 衝撃試験の概要

自動車等の塗装材では, 走行時に跳ね上げられた小石等の衝突で塗膜が局所的にはく離等の損傷を受けるチップング現象について検討されており, その方法の一つとして飛石試験装置を用い直接塗膜材に小石を衝突させ塗膜材の耐チップング性が評価されている。

そこで, 本研究においても直接塗膜材表面に研磨材や小石を衝突させる衝撃試験により検討した。衝撃試験は, ①ブラスト機で粒度 0.180~0.425mm の研磨材を射出圧

力 0.5MPa で衝突させるブラスト衝撃試験，②飛石試験装置で骨材粒度 4.8～8.0mmの小石を射出圧力 0.5MPa で衝突させる飛石衝撃試験の2通りとした。

ブラスト衝撃試験は，フレキシブル板に試験体を作製し，90度の正面方向と30度の斜め方向の2通りとした。

飛石衝撃試験は，試験体の基材をフレキシブル板とコンクリート板の2通りとし，90度の正面方向と30度及び60度の斜め方向への衝撃を与えて行った。コンクリート板に作製した試験体は，下地材との接着性を確認する下地材別試験とし，試験後に透水試験を行い損傷程度の評価を行なった。

### 3.1 ブラスト衝撃試験(90度正面)

試験体は，厚み 6mm のフレキシブル板にエポキシ樹脂系プライマーを塗布して作製した下地材に，粘着型シートを貼付けて作製した。比較試験体には一般的な表面保護工法として使用されている塗膜系材料を選定し，標準的な膜厚で作製することとした。ブラスト衝撃試験体一覧を表-4 に示す。比較試験体はフレキシブル板にエポキシ樹脂系プライマー塗布後，エポキシ樹脂系パテ材を膜厚 0.4mm で塗布した下地材に，表-4 の No.2～No.5 に示す塗膜系材料を膜厚 30 $\mu$ m 以上となるように塗布して作製した。なお，いずれの試験体も，試験前に 20℃環境下で1ヶ月以上養生を行なった。

衝撃試験は，作製した試験体を 200×250mm に切断後，ブラスト機の側面に試験体を固定し，図-4 に示すように90度方向で400mm離れた位置より試験体の中心部へ射出圧力 0.5MPa でブラスト作業を30秒間行い，塗膜の損傷状態を観察した。なお，塗膜の損傷状態を観察しやすくするため，試験体にあらかじめマジックインキで2cmのメッシュを記入した。ブラスト機には(株)不二製作所製のニューブラスター(型式: SFK-2)を用い，研磨材には昭和電工(株)製の褐色電融アルミナ研磨材: モランダム A-43 (粒度の種類: F-60, 0.180～0.425mm)を用いた。

### 3.2 ブラスト衝撃試験(30度斜め)

試験体は，表-4 の塗膜材 No.1, No.2 の試験体に 20×80mmの粘着型シートを貼付けて作製した。なお，塗膜材 No.1 にシートを貼付けたものは施工時の継手部(粘着型シートの継手長さ: 20mm)を想定した継手部試験体，塗膜材 No.2 にシートを貼付けたものは施工時の端部を想定した端部試験体とした。

衝撃試験は，図-5 に示すようにブラスト機の底面に試験体を固定した後，30度方向で100mm離れた位置から射出圧力 0.5MPa でブラスト作業を行い，シート端部からの離れの有無について観察した。継手部試験体の衝撃試験は30秒，60秒，90秒，120秒，180秒の5通り，端部試験体の衝撃試験は60秒，120秒の2通りで試験を行った。

表-4 ブラスト衝撃試験体一覧

No.	塗膜材の構成		エポキシ樹脂系プライマー
	粘着型シート		
1	フッ素樹脂フィルム (膜厚: 30 $\mu$ m以上)	粘着材 (膜厚: 0.8mm)	
2	柔軟型アクリルウレタン樹脂塗料 (膜厚: 30 $\mu$ m以上)	エポキシ樹脂系パテ材 (膜厚: 0.4mm)	
3	柔軟型アクリルシリコン樹脂塗料 (膜厚: 30 $\mu$ m以上)		
4	柔軟型フッ素樹脂塗料 (膜厚: 30 $\mu$ m以上)		
5	硬質型フッ素樹脂塗料 (膜厚: 30 $\mu$ m以上)		

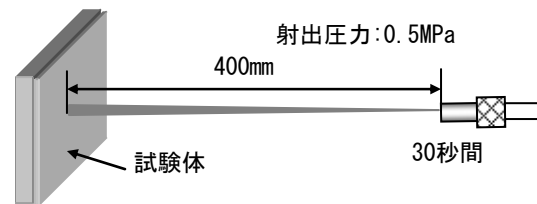


図-4 ブラスト衝撃試験(90度正面)

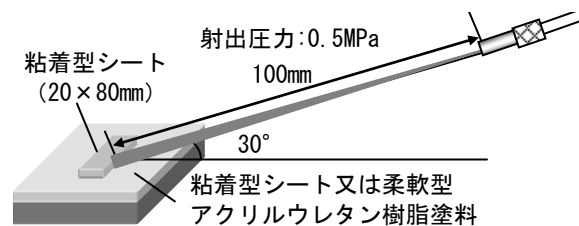


図-5 ブラスト衝撃試験(30度斜め)

### 3.3 飛石衝撃試験

試験体は，厚み 6mm のフレキシブル板にエポキシ樹脂系プライマーを塗布して作製した下地材に，粘着型シートを貼付けて作成した。①標準部を想定し全面に貼付けた標準試験体，②端部を想定し半分のみ貼付けた端部試験体，③継手部を想定し中央部に20mmのラップを作製した継手部試験体の3種類とした。また，比較試験体は，塗膜端部を想定し，フレキシブル板の半分のみにエポキシ樹脂系プライマー塗布後，エポキシ樹脂系パテ材を膜厚 0.4mm で塗布した下地材に塗膜系材料の柔軟型アクリルウレタン樹脂塗料を塗布して作製した。

衝撃試験は，試験設置面より 350mm 離れた位置から粒径 4.8～8.0mm の碎石 5000g を 0.5MPa の射出圧力で噴出し，試験温度 23℃環境下で行った。試験体と飛石との角度は，90度，60度，30度の3通りとし，標準試験体は90度，端部試験体と継手部試験体は60度と30度で試験を行なった。飛石衝撃試験体と試験種類一覧を表-5，飛石衝撃試験概要図を図-6 に示す。図-6 に示すように，試験体の横寸法は，衝撃が試験体中心部に集中するよう

に、90度では60mm、60度では70mm、30度では120mmとし、縦寸法はすべて120mmとした。なお、試験体の角度は、設置箇所にも木製治具を取り付けて調整した。飛石試験装置はスガ試験機(株)製JA400を用いた。

表-5 飛石衝撃試験体と試験種類一覧

No.	試験体の種類	塗膜材	飛石角度
6	標準部試験体	粘着型シート + エポキシ樹脂系 プライマー	90度
7	端部試験体		60度
8	継手部試験体		60度
9	端部試験体		30度
10	継手部試験体		30度
11	端部試験体	柔軟型アクリル ウレタン樹脂塗料 + エポキシ樹脂系 パテ材及びプライマー	60度
12	端部試験体		30度

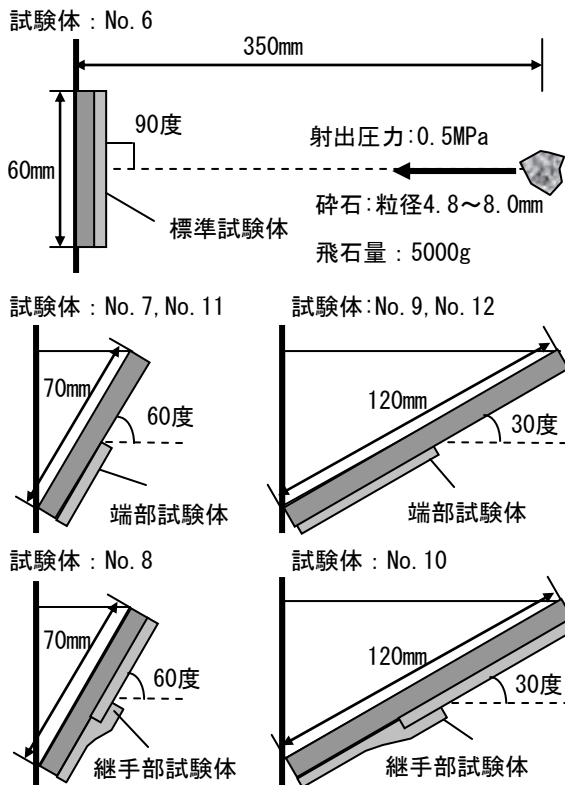


図-6 飛石衝撃試験概要図

### 3.4 下地材別飛石衝撃試験

試験体は、コンクリート板をコンクリートカッターで所定の寸法に切断した後、エポキシ樹脂系プライマーで作製した下地材に、粘着型シートを貼付けて作製した。試験体寸法は、飛石角度30度の場合120×120×30mm、飛石角度60度の場合70×120×30mmで作製した。また、

シートと下地材との密着性を確認するため、プライマー無しで直接コンクリートにシートを貼付けた試験体とプライマーのみの試験体を作製した。作製した下地材別飛石衝撃試験体と試験種類一覧を表-6に示す。

飛石衝撃試験は、試験体を23℃環境下で24時間水中全浸漬した後、直ちに試験体を水中から取り出し、飛石試験装置に設置後、350mm離れた位置から粒径4.8～8.0mmの砕石5000gを0.5MPaの射出圧力で噴出した。

試験後の表面状態を確認後、JIS A 6909 透水試験B法に準拠し、24時間あたりの透水量により飛石衝撃試験後の試験体の防水性能を評価した。なお、透水試験時のローテは直径60mmのものを用いた。

表-6 下地材別飛石衝撃試験体と試験種類一覧

No.	試験体の種類	塗膜材		飛石角度
13	標準試験体	粘着型 シート	エポキシ樹脂系 プライマー	30度
14	標準試験体		エポキシ樹脂系 プライマー	60度
15	プライマー無し の標準試験体	—	—	60度
16	プライマーのみ の試験体	—	エポキシ樹脂系 プライマー	60度

## 4. 試験結果及び考察

### 4.1 プラスト衝撃試験(90度正面)

いずれの試験体についても、正面方向から30秒の衝撃試験により、表面が削られて光沢がなくなり、指触でザラつくような損傷が発生した。試験後の代表的状況を写真-2および写真-3に示す。

粘着型シートでは、写真-4に示すように波うつような幾何学的模様の凹凸が発生した。これは、図-7に示すようにプラストの研磨材が粘着型シート上に衝突した際、プライマーやシートの層間等で粘着材がはく離することなく、フッ素樹脂フィルムと粘着材がプラスト研磨材の衝撃を吸収しているため、結果として表面のフッ素樹脂フィルムが伸びた状態となり、シワのような凹凸のある表面状態になったと考えられる。

顕微鏡による200倍の拡大観察では、粘着型シートにははく離や剥がれによる穴等はないが、塗膜系材料では、いずれも写真-5に示すような塗膜材の削れ、剥がれ等が発生し、パテ材表面の露出箇所が数箇所発生していた。

### 4.2 プラスト衝撃試験(30度斜め)

継手部試験体及び端部試験体とも、衝撃によるシート表面のシワや研磨材が付着したことによる黒い汚れ以外、下地材との剥がれやシート内での層間はく離等は生じなかった。一方、表-4の塗膜材No.2の塗膜系材料を下地材とした端部試験体の下地材部では、衝撃試験60秒で塗



膜系材料が消失し、120秒で基材であるフレキシブル板に穴が開くほどの損傷が発生した。ただし、下地材の消失は粘着型シート貼付け端部までで、シートが貼付けられている箇所は粘着材が衝撃を吸収しているために、消失することはなかった。写真-6に継手部試験体の衝撃試験180秒後の状況、写真-7に端部試験体の衝撃試験120秒後の状況を示す。

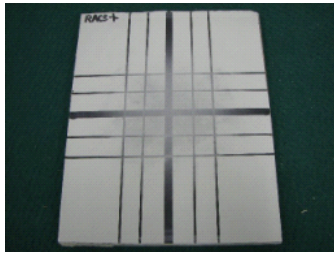


写真-2 粘着型シート試験体：No. 1

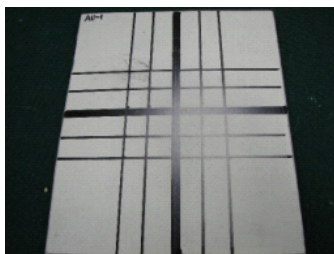


写真-3 塗膜系材料試験体：No. 2

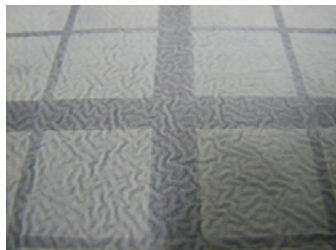


写真-4 凹凸のあるシワの発生状況

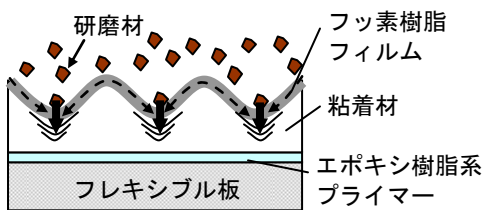


図-7 凹凸発生要因概念図

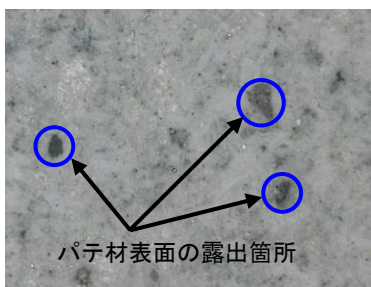


写真-5 塗膜系材料試験体：No. 4 (200倍拡大)

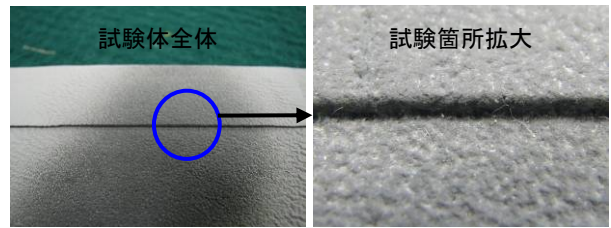


写真-6 継手部試験体 (ブラスト衝撃試験 180秒後)

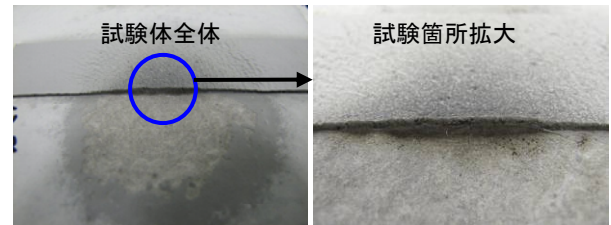


写真-7 端部試験体 (ブラスト衝撃試験 120秒後)

#### 4.3 飛石衝撃試験

シートを貼付けた試験体は、いずれも下地材との剥がれやシート内での層間はく離等は生じなかった。ただし、写真-8に示すように表面の凹凸状態は、ブラスト衝撃試験時のシワと異なり1~5mm程度の大きな飛石の衝突痕が生じ、その一部では、フッ素樹脂フィルムが破れているものがあった。これは砕石がシート表面に衝突する際、砕石表面の鈍角部や平坦部であればフッ素樹脂フィルムが破れることなくシート表面が凹んだ衝突痕の形で衝撃を吸収することができるが、砕石表面の鋭角部や角部であれば刃物のような集中した衝撃が加わるため、フッ素樹脂フィルムに破れが生じたと考えられる。

一方、No.7, No.9の端部試験体のプライマー部分や、塗膜系材料を塗布したNo.11, No.12の端部試験体では、飛石の衝撃を吸収しきれず、塗膜材にワレ、はく離、剥がれ等の傷が発生し、基材のフレキシブル板が剥き出し状態となった箇所もあった。No.9の試験後試験体を写真-9, No.11の試験後試験体を写真-10に示す。

#### 4.4 下地材別飛石衝撃試験

飛石衝撃試験後の透水試験結果を表-7に示す。

No.13, No.14の標準試験体は、飛石衝撃試験後も表-1の透水試験結果と同等であり、防水性を保っていることを確認した。これは、飛石の衝撃により表面のフッ素樹脂フィルムが破れていても、その損傷がコンクリート面にまで到達していないために防水性を保っていると考えられる。飛石衝撃試験後の表面状態を写真-11に示す。

No.15のプライマー無しの標準試験体については、プライマー有りのものと比較し若干透水した。これは、コンクリート表面のあばた等の角に飛石があたり、塗膜が切断されている、あるいはプライマー無しでは若干コンクリート面への密着性に劣るため、飛石により衝撃を受けた際の粘着型シートに変形や亀裂が生じやすくなって

いるためと考えられる。

No.16のプライマーのみの試験体では、写真-12に示すように飛石の衝撃によりプライマー表面にワレが発生しコンクリートが露出した状態となった。その結果、透水試験でも他の試験体よりも透水量が多かった。

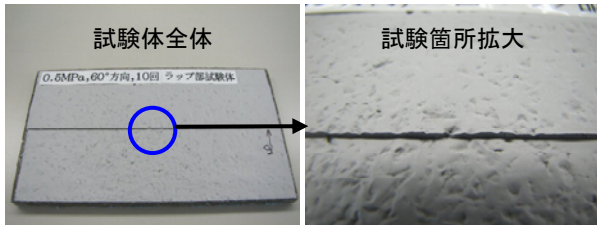


写真-8 粘着型シート継手部試験体：No. 8

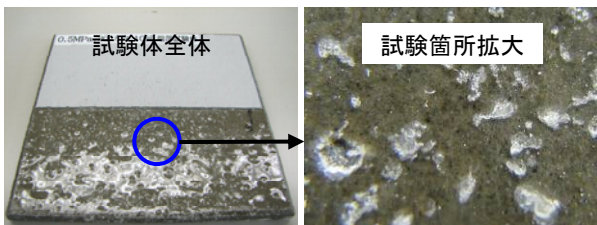


写真-9 粘着型シート端部試験体：No. 9

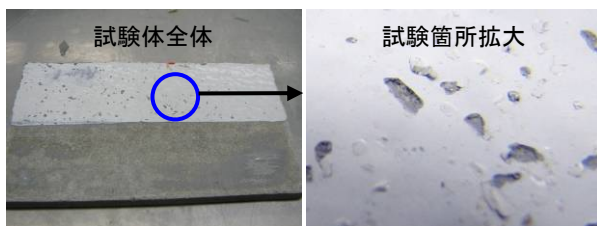


写真-10 塗膜系材料端部試験体：No. 11

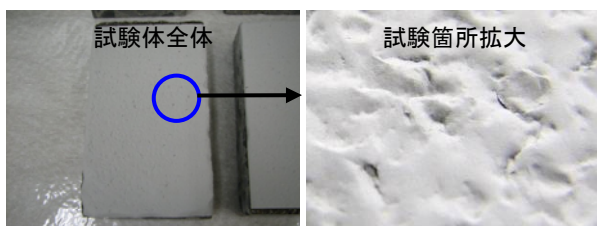


写真-11 粘着型シート標準試験体：No. 14

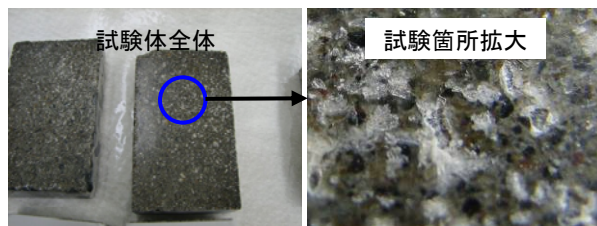


写真-12 プライマーのみの試験体：No. 16

表-7 飛石衝撃試験後の透水試験結果

No.	試験体の種類	飛石角度	透水量 (ml/日)
13	標準試験体	30度	0.18
14	標準試験体	60度	0.20
15	プライマー無しの標準試験体	60度	0.57
16	プライマーのみの試験体	60度	2.99

## 5. まとめ

本研究では、鉄道構造物軌道内のコンクリート構造物の表面保護工法の検討にあたり、開閉するひび割れを有する部材に施工しても追従することができる塗膜防水シート工法の耐衝撃性を、既存の塗膜系材料との比較により検討した。

その結果、粘着材を用いた塗膜防水シート工法は、既存の接着型塗膜である塗膜系材料と比較して、本研究で検討したブラスト機や飛石試験装置を用いた衝撃作用に関して、抵抗性があることがわかった。

これらの結果より、実際に高速列車が走行し列車風圧の影響を受ける鉄道高架橋の軌道部に表面保護工法として塗膜防水シート工法を施工し暴露試験を継続している。これまで1年以上経過しているが、はく離、剥がれ等なく良好な状態を保っている。

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- (1) 粘着型シートは、本研究での衝撃作用により、表面に衝撃吸収によるシワや凹凸等の痕跡は残すが、塗膜材としての基本性能となる劣化因子の侵入阻止性能に影響するはく離、剥がれ等の損傷は発生しなかった。
- (2) 既存の塗膜系材料は、本研究での衝撃作用により、劣化因子の侵入阻止性能に影響するワレ、はく離、剥がれ等の損傷が発生した。
- (3) 粘着型シートは、飛石衝撃試験による衝撃作用で表面のフッ素樹脂フィルムが破れても、シート内の粘着材が膜として残存していれば、防水性を確保することがわかった。
- (4) 粘着型シートは、飛石衝撃試験による衝撃作用に対し、有機系下地材等の施工による基材との密着性確保が衝撃吸収性に優位であることがわかった。

## 参考文献

- 1) 松田芳範, 三村典正, 本田誠: 粘着材を用いた塗膜防水シート工法の開発, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 第8巻, pp.349-356, 2008.10