

# 論文 シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートと表面被覆材の接着性と再補修性

熊谷 慎祐<sup>\*1</sup>・櫻庭 浩樹<sup>\*2</sup>・宮田 敦士<sup>\*3</sup>・西崎 到<sup>\*4</sup>

**要旨:** 表面含浸材を塗布したコンクリートに損傷が生じた場合、その補修時には、コンクリートと補修材との接着性が問題となる。本研究では、表面含浸材を塗布したコンクリート基材と表面被覆材の接着性、接着性改善策および再補修性について検討している。その結果、既にシラン系表面含浸材が塗布されたコンクリートの表層を研磨することで、接着性が著しく改善し、再補修可能な下地が得られた。又、適切な種類の表面含浸材と表面被覆材を組み合わせると、膨れの抑制と良好な接着性が得られ、互いの欠点を補い合う効率的な複合保護層を構築できる可能性を示した。

**キーワード:** シラン系表面含浸材, 表面被覆材, 接着性, 破壊部位, 表面処理, 再補修

## 1. はじめに

コンクリート構造物の長寿命化を目的として、表面含浸材や表面被覆材が用いられている。表面被覆材は、コンクリート構造物の表面に樹脂系の被膜を形成させることで、水、塩化物イオン、二酸化炭素、酸素などの劣化因子の浸入を抑制している。一方、シラン系表面含浸材は、水や塩化物イオンの浸入は抑制し、二酸化炭素や酸素などの気体は透過する。表面被覆材は、優れた遮蔽性を有するが、施工時や供用時の環境によっては、コンクリートとの一体性を失い、膨れや剥がれが生じることもある<sup>1)3)</sup>。表面被覆材とコンクリートの一体性が低下する場合、表面被覆材近傍のコンクリート中の水が影響している事例が報告されている<sup>2)3)</sup>。

表面含浸材と表面被覆材を組み合わせて複合保護層を形成することで、表面被覆材への水の影響を排除できれば、表面被覆材とコンクリートの一体性低下のリスクを低減し、且つ、高耐久な複合保護層を形成できる可能性がある<sup>4)</sup>。しかし、シラン系表面含浸材は、その含浸層のコンクリートに撥水性を付与して、水の浸透を抑制するが、補修材との濡れ性も変化させ、接着性の低下を招く可能性がある。これは、表面含浸材と表面被覆材を組み合わせた複合保護層の形成の課題となるが、表面含浸材を塗布したコンクリート構造物の再劣化、又は地震や疲労などによる損傷により、補修、補強を行いたい場合にも問題となる。

本研究では、表面含浸材の吸水抑制能を利用して表面被覆材の耐膨れ性を改善し、高耐久な表面保護システムの可能性について検討している。更に、表面含浸材を塗布した基材の表面処理方法が、補修材としての表面被覆

材の接着性に及ぼす影響を検討し、表面含浸材が塗布されたコンクリート構造物が損傷を受けた際の再補修性について考察している。

## 2. 使用材料

### 2.1 基材

#### (1) モルタル基材

モルタル基材は、JIS R 5210(ポルトランドセメント)に規定される普通ポルトランドセメントを用い、JIS R 5201(セメントの物理試験方法)の 10.4.2 に規定される配合のモルタルを調製して、寸法 70×70×20mm に成形し、23°Cの室内で 28 日(日:d と略称)静置したものをを用いた。試験面は打設底部の型枠面とし、その表層は、JIS C 9610(携帯電気グラインダ)に規定される携帯電気グラインダを用いて研磨処理を施し、表層のペーストリッチな層を除去した。

#### (2) コンクリート基材

コンクリート基材は、JIS A 5371(プレキャスト無筋コンクリート製品)の附属書 B に規定する寸法 300×300×60mm の普通平板を用いた。試験面は打設底部の型枠面とし、モルタル基材の場合と同様に、その表層は研磨処理を施した。

### 2.2 表面含浸材

表面含浸材は、シラン・シロキサン(Si と略称)、アルキルアルコキシシラン(ASi と略称)、アミノ基含有アルキルアルコキシシラン(AASi と略称)を主成分とする、種類の異なる 3 種類のシラン系表面含浸材を使用した。表-1 には、シラン系表面含浸材の性質を示す。シラン系表面含浸材は、補修材との濡れ性を考慮して、撥水性の有無

\*1 (国研) 土木研究所 先端材料資源研究センター 交流研究員 博士(工学) (正会員)

\*2 (国研) 土木研究所 先端材料資源研究センター 研究員 博士(工学) (正会員)

\*3 (国研) 土木研究所 先端材料資源研究センター 元交流研究員 (正会員)

\*4 (国研) 土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員 博士(工学)

に着目して選定した。

### 2.3 表面被覆材

表面被覆材は、エポキシ樹脂系表面被覆材(EP と略称)を使用した。表-2 には、エポキシ樹脂系表面被覆材の構成と塗装仕様を示す。

表-1 シラン系表面含浸材の性質

種類	塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	撥水性
Si	0.20	0.89	あり
ASi	0.26	0.88	なし
AASi	0.53	0.88	なし

表-2 エポキシ樹脂系表面被覆材の構成と塗装仕様

種類	構成材料の名称	主成分	塗布量 (kg/m <sup>2</sup> )	塗布間隔
EP	プライマー	エポキシ	0.10	23°C1d
	パテ	エポキシ	0.50	23°C1d
	中塗り	エポキシ	0.20	23°C1d
	上塗り	アクリルウレタン	0.12	—

### 3. シラン系表面含浸材と表面被覆材から成る複合保護層の耐膨れ性

#### 3.1 試験の目的

シラン系表面含浸材は、塗布したコンクリートの含浸層に吸水抑制能を付与することで、コンクリートへの水の浸入を抑制している。表面被覆材は、その供用環境によっては、コンクリート内部から放出される水や水蒸気に起因する背面圧により、膨れが生じることがある。

本試験では、シラン系表面含浸材とエポキシ樹脂系表面被覆材を組み合わせた供試体を作製して、温水浸漬前後の外観観察および接着性試験を行い、複合保護層の耐膨れ性について検討している。

#### 3.2 供試体の作製

モルタル基材の試験面に、メーカーの仕様に従って、シラン系表面含浸材を塗布して23°Cの室内で7d静置後、エポキシ樹脂系表面被覆材を塗布し、23°Cの室内で7d静置して供試体を作製した。表-3 には、シラン系表面含浸材およびエポキシ樹脂系表面被覆材から成る複合保護層の構成を示す。

表-3 複合保護層の構成

複合保護層の構成を表す記号	主成分	
	表面含浸材	表面被覆材
無塗布/EP	無塗布	エポキシ
Si/EP	シラン・シロキサン	エポキシ

### 3.3 温水浸漬

供試体を容器に入れて水を張り、60°Cの恒温器内に設置し、60°Cの温水に7および28d浸漬して、膨れの発生を促した。なお、表面被覆材に温水による背面圧が作用しやすくするために、温水浸漬に先立ち、供試体の側面をエポキシ樹脂系塗料でシールし、モルタル打設面(試験面の裏面)は研磨処理とした。図-1 には、温水浸漬による耐膨れ性の試験状況を示す。

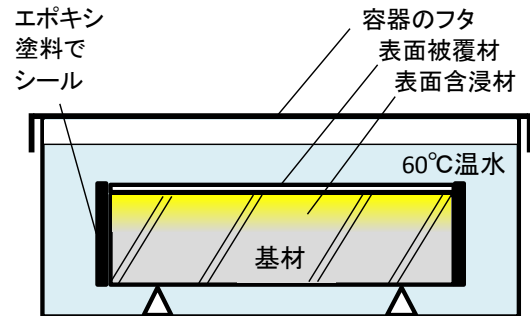
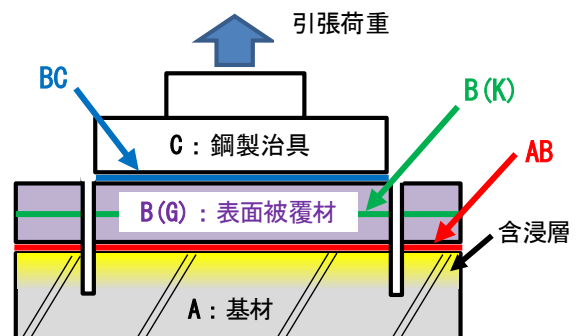


図-1 温水浸漬による耐膨れ性の試験状況

### 3.4 接着性試験

JIS A 1171(ポリマーセメントモルタルの試験方法)に従って、温水浸漬前後の供試体の接着性試験を行った。供試体に寸法40×40mmの鋼製治具をエポキシ樹脂系接着剤を用いて張付けた後、鋼製治具の周囲を、コンクリートカッターを用いて基材に達するまで切込みを入れた。次に、変位制御型引張試験機を用いて、クロスヘッドスピード0.5mm/minで引張荷重を載荷し、引張接着強さの測定および破壊部位の観察を行った。図-2 には、複合保護層の構成と破壊部位を表す記号を示す。



- BC : 鋼製治具と表面被覆材の界面破壊
- B(K) : 表面被覆材間の界面破壊
- B(G) : 表面被覆材内の材料破壊
- AB : 基材と表面被覆材の界面破壊
- A : 基材の材料破壊

図-2 複合保護層の構成と破壊部位を表す記号

### 3.5 試験結果および考察

図-3には、60°C28d 温水浸漬後の外観を示す。図-4には、引張接着強さを、図-5には、破壊部位とその面積率を示す。複合保護層の構成を「無塗布/EP」としたものの温水浸漬前の引張接着強さは、3.42MPaを発現し、モルタル基材の材料破壊で、その面積率は100%であった。複合保護層の構成を「無塗布/EP」としたものの引張接着強さは、60°Cの温水浸漬期間の増加に伴い著しく減少した。



無塗布/EP Si/EP  
複合保護層の構成

図-3 複合保護層の60°C28d 温水浸漬後の外観

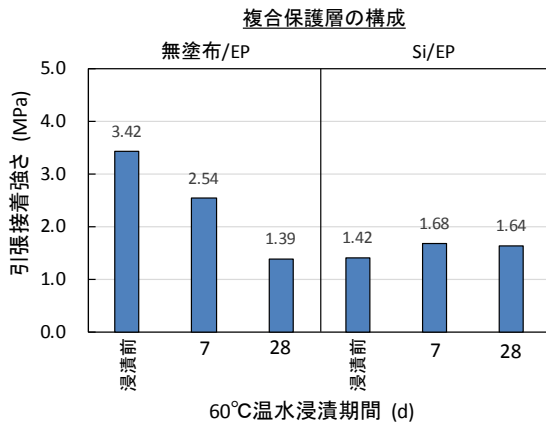


図-4 引張接着強さ

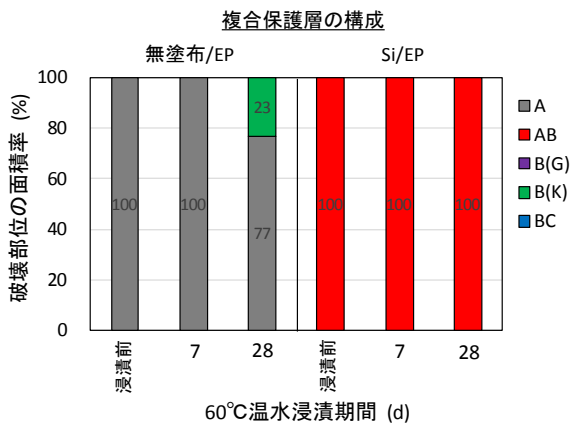


図-5 破壊部位とその面積率

温水浸漬 28d 後の表面被覆材の外観には、図-3 に示すように、膨れが生じていた。60°C28d 温水浸漬後の引張接着強さは、1.39MPa を発現し、モルタル基材の材料破壊で、その面積率は77%、且つ、表面被覆材の層間の界面破壊で、その面積率は23%であった。一方、複合保護層の構成を「Si/EP」としたものの温水浸漬前の引張接着強さは、1.42MPa を発現し、モルタル基材と表面被覆材の界面破壊で、その面積率は100%であった。複合保護層の構成を「Si/EP」としたものの引張接着強さは、60°C28d 温水浸漬後においても引張接着強さを維持しており、1.68MPa および 1.64MPa を発現したが、モルタル基材と表面被覆材の界面破壊で、その面積率は100%であった。本試験の限りでは、複合保護層の構成を「Si/EP」とすることで、60°C28d の温水浸漬によっても、エポキシ樹脂系表面被覆材に膨れなどの変状は認められなかった。これは、シラン・シロキサン系表面含浸材の塗布により基材に形成された撥水層が、表面被覆材の背面近傍への水の浸入を抑制し、表面被覆材に作用する背面圧を減少させたため、膨れの発生が抑制されたものと推察される。

### 3.6 結語 (複合保護層の耐膨れ性の検討)

シラン・シロキサン系表面含浸材をモルタル基材に塗布することで、表面被覆材との接着性は低下するが、背面水による膨れの発生は抑制される。しかし、モルタル基材と表面被覆材の界面破壊が100%であること、並びに、温水浸漬期間が28d と短く、長期的なリスクの検証は不十分であるため、更なる検証が必要である。

## 4. 異なる種類のシラン系表面含浸材と表面被覆材の接着性

### 4.1 試験の目的

前述の3. では、撥水性を有する表面含浸材をモルタル基材に塗布した場合、表面被覆材との接着性は低下するが、膨れは抑制されることが確認された。本試験では、撥水性は有さないが吸水抑制能を発揮する、2種類の表面含浸材を塗布したコンクリート基材への表面被覆材の接着性について検討している。

### 4.2 供試体の作製

コンクリート基材に、シラン系表面含浸材およびエポキシ樹脂系表面被覆材を、メーカーの仕様に従って、それぞれ塗布し、供試体を作製した。表-4には、シラン系表面含浸材およびエポキシ樹脂系表面被覆材から成る複合保護層の構成を示す。

### 4.3 接着性試験

前述の3.4と同様の方法で接着性試験を行った。なお、本試験では、温水浸漬による耐膨れ性試験は行っていない。

表-4 複合保護層の構成

構成を表す記号	主成分	
	表面含浸材	表面被覆材
Si/EP	シラン・シロキサン	エポキシ
ASi/EP	アルキルアルコキシシラン	エポキシ
AASi/EP	アミノ基含有アルキルアルコキシシラン	エポキシ

#### 4.4 試験結果および考察

図-6には、引張接着強さを、図-7には、破壊部位とその面積率を示す。

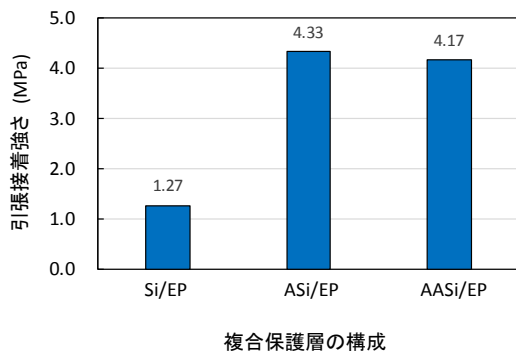


図-6 引張接着強さ

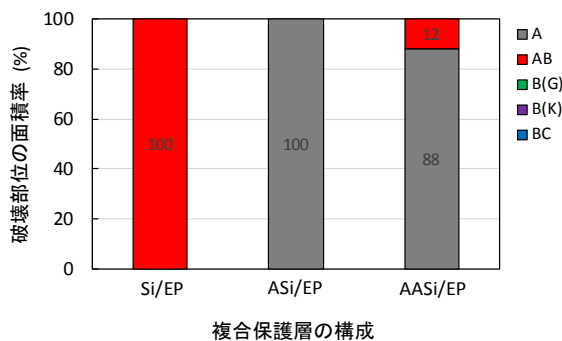


図-7 破壊部位とその面積率

複合保護層の構成を「Si/EP」とした供試体の引張接着強さは、1.27MPaを発現し、モルタル基材と表面被覆材の界面破壊で、その面積率は100%であった。複合保護層の構成を「ASi/EP」としたものの引張接着強さは、4.33MPaを発現し、コンクリート基材の材料破壊で、その面積率は100%であった。複合保護層の構成を「AASi/EP」としたものの引張接着強さは、4.17MPaを発現し、コンクリート基材の材料破壊が88%、且つ、コンクリート基材と表面被覆材の界面破壊が12%であった。

一般に、接着性試験においては、引張接着強さと同様に、破壊部位とその面積率により、接着の質が判定され

る。塗装における接着とは、液状の異種材料の塗布、積層により一体化させる操作において、異種材料の界面の結合力そのものと解される。従って、界面の結合力が十分で、界面破壊を生じず、構成材料自体の強度で破壊する材料破壊であれば、十分接着していたということになる。従って、破壊部位とその面積率は、塗装材料の一体性(=接着性)を表す指標として重要であり、界面破壊よりも材料破壊であることが好ましい。即ち、「Si/EP」のように界面破壊を生じた箇所は、本質的には、接着力が発揮されておらず、長期的な観点では、膨れや剥がれなど、一体性低下のリスクが含まれることを示唆している。但し、界面破壊の部位の存在が、即座に一体性低下につながるとは限らない。

#### 4.5 結語 (含浸材の種類を検討)

シラン系表面含浸材の種類によっては、表面被覆材と良好な接着性を発揮する。適切な表面含浸材と表面被覆材を組み合わせることにより、良好な接着性と耐膨れ性を兼ね備えた、表面保護層として効率的な補修システムを構築できる可能性が見出された。

### 5. 表面含浸材を塗布した基材の表面処理方法の検討

#### 5.1 試験目的

前述の4.では、表面含浸材と表面被覆材の組合せによっては、表面被覆材と基材との一体性が低下する場合があることを確認している。シラン・シロキサン系表面含浸材が含浸した基材を、表面被覆材などの補修材で再補修する場合は、何らかの手法で表面処理を施し、基材の接着性を確保することが望ましい。本研究では、シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリート基材について、研磨、溶剤拭き、酸による表面処理を施し、基材と表面被覆材との接着性改善を試みている。

#### 5.2 供試体の作製

##### (1) 表面含浸材の塗布

コンクリート基材の試験面に、メーカーの仕様に従って、表面含浸材を塗布し、23℃の室内で7d静置した。

##### (2) 表面処理

表面含浸材を含浸させたコンクリート基材に、次のa)からd)の表面処理を行った。

##### a) 研磨処理

JIS R 6251(研磨布)に規定する研磨布(研磨剤の粒度:P120)を用いて研磨した後、圧搾空気で粉じんを除去し、研磨処理とした。

##### b) 溶剤拭き処理

キシレンと布ウェスをを用いて、表面含浸材を含浸させた基材の表面を拭いて清掃し、溶剤拭き処理とした。

c) 酸処理

表面含浸材を含浸させた基材に、刷毛を用いて、6mol/l に調整した希塩酸を塗布して 5 分後にウェスで拭き、酸処理とした。

d) 未処理

比較のために、表面処理を施さない未処理のものも準備した。

(3) 表面被覆材の塗布

メーカーの仕様に従って、表面処理後の基材に表面被覆材を塗布し、複合保護層の構成が「Si/EP」である供試体を作製した。

5.3 接着性試験

前述の 3.4 と同様の方法で接着性試験を行った。なお、本試験では、温水浸漬による耐膨れ性試験は行っていない。

5.4 試験結果および考察

図-8 には、引張接着強さを、図-9 には、破壊部位とその面積率を示す。

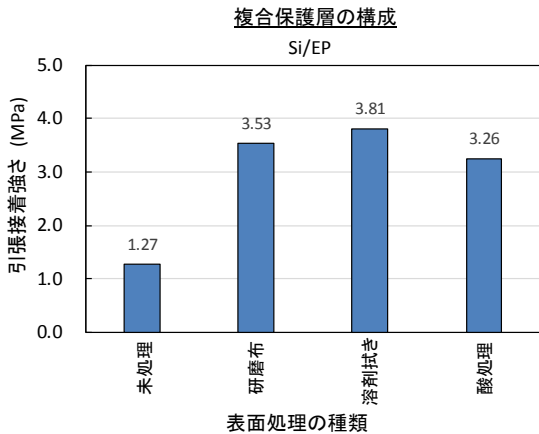


図-8 引張接着強さ

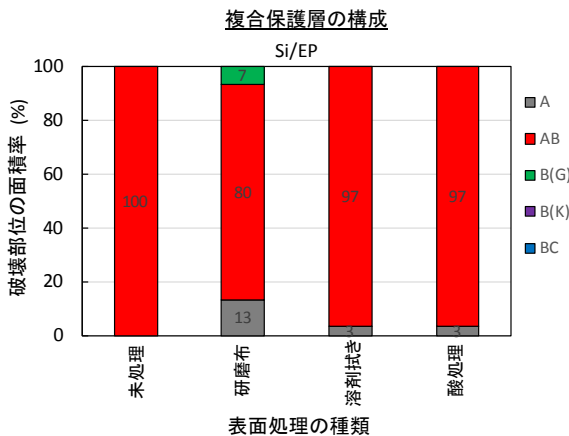


図-9 破壊部位とその面積率

表面処理を施していない基材に表面被覆材を塗布した場合、引張接着強さは 1.27MPa を発現し、基材と表面被覆材の界面破壊で、面積率は 100% であった。表面処理方法において、a) 研磨処理は、表面含浸材の含浸層の除去、b) 溶剤拭き処理は、コンクリート表層に付着している表面含浸材の除去、c) 酸処理は、表面含浸材の付着母体であるセメント水和物の除去による新たなセメント水和物相の表出、を促す操作により接着性の改善を試みたものである。その結果、表面処理を施すことで接着性は改善し、3.26~3.81MPa を発現した。破壊部位とその面積率は、表面含浸材の種類と表面処理方法によって異なるが、界面破壊となる面積率は減少した。シラン・シロキサン系表面含浸材が塗布された基材と表面被覆材の引張接着強さは、研磨処理、溶剤拭き処理および酸処理により、著しく改善されるものの、界面破壊の面積率の低減効果は小さい。これは、シラン・シロキサン系表面含浸材の塗布により形成された撥水層は、補修材との接着阻害層として機能し、本研究の手法による撥水層の改質効果が不足していた可能性も考えられる。

5.5 結語 (表面処理方法の検討)

研磨処理、溶剤拭き処理、酸処理などの表面処理を行うことで、シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリートの接着性は改善する。しかし、シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリートに表面処理を施しても、界面破壊となる面積率が高いため、表面被覆材などの補修材を用いて再補修する場合は、他の表面処理方法も検討する必要がある。

6. 表面含浸材の含浸層の除去深さの検討

6.1 試験の目的

前述の 5. では、シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリートと表面被覆材などの補修材の接着性を改善するためには、含浸層の表面処理が有効であることが確認された。本試験では、表面含浸材と表面被覆材の接着性改善を目的として、1, 5 および 10mm の深さまで含浸層を除去した供試体の接着性試験を行い、表面被覆材の接着性に及ぼす含浸層の除去深さの影響について検討している。

6.2 供試体の作製

前述の 5.2 と同様の方法で、表面含浸材を塗布したコンクリート基材を準備し、ディスクグラインダーおよびコンクリートカッターを用いて深さ 1, 5 および 10mm まで含浸層を除去、清掃した後、メーカーの仕様に従って表面被覆材を塗布して、複合保護層の構成が「Si/EP」である供試体を作製した。

6.3 接着性試験

前述の 3.4 と同様の方法で接着性試験を行った。なお、

本試験では、温水浸漬による耐膨れ性試験は行っていない。

#### 6.4 試験結果および考察

図-10には、引張接着強さを、図-11には、破壊部位とその面積率を示す。

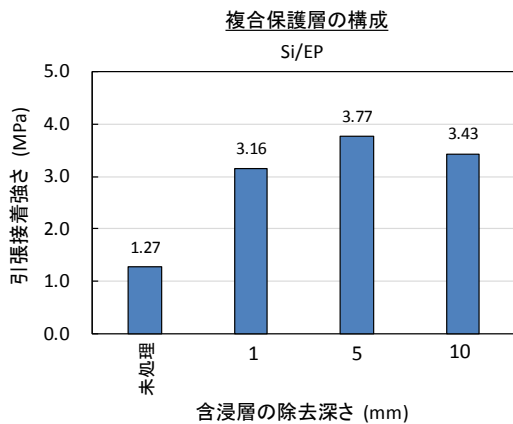


図-10 引張接着強さ

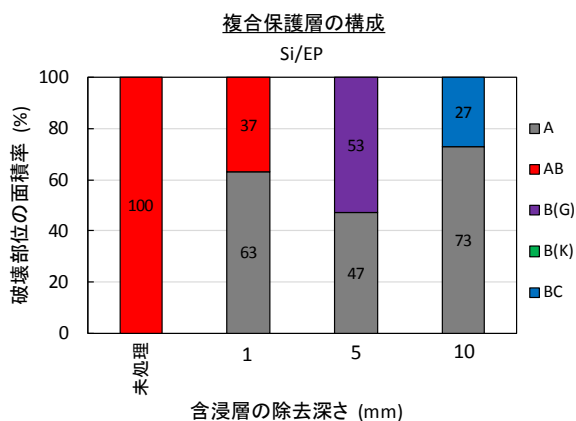


図-11 破壊部位とその面積率

表面含浸材の含浸層の一部を除去することで、表面含浸材を塗布したコンクリートへの表面被覆材の接着性は著しく改善し、コンクリート基材の材料破壊面積率の増加、並びに、基材と表面被覆材の界面破壊面積率の減少をもたらす。本試験の限りでは、除去深さ 1mm とすると引張接着強さは著しく改善するが、破壊部位 AB (基材と被覆材の界面破壊) の面積率が 37%認められた。除去深さ 5mm とすると引張接着強さは更に改善し、破壊部位 AB となる界面破壊は認められなかった。最適な除去深さは、使用材料の組合せや表面含浸材の含浸深さにより異なると思われるため、更なる検証が必要である。引張接着強さおよび破壊部位とその面積率の両方を勘案して接着性を判断することで、使用材料の組合せや構造物に応じた、適切な材料選定が可能になるとと思われる。

#### 6.5 結語 (含浸層の除去深さの検討)

シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリートと表面被覆材との接着性を改善するためには、含浸層のある程度の深さまで除去することが有効である。

#### 7. まとめ

本研究で得られた結果をまとめると次の通りである。

- (1) 複合保護層の構成を「Si/EP」とすることで、接着性は低下するが、60°C28d 温水時浸漬による表面被覆材の耐膨れ性は向上する。
- (2) 撥水性を有さない表面含浸材(ASi および AASi)による含浸層は、補修材との接着性を阻害しない。
- (3) 表面含浸材と表面被覆材を適切に組み合わせれば、接着性の確保と耐膨れ性を兼ね備えた、長寿命化に寄与する表面保護塗装システムを構築できる可能性がある。但し、長期耐久性については、本研究の限りでは不十分で、別途、詳細な検討が必要である。
- (4) 表面含浸材と補修材の組合せによっては、表面含浸材が含浸したコンクリート構造物を再補修する際に、適切な表面処理が必要となる。
- (5) シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリート基材への表面被覆材の接着性は、表面処理を行うことで改善する。
- (6) シラン・シロキサン系表面含浸材を塗布したコンクリートと補修材の接着性を改善するためには、ある程度の深さまで含浸層を除去することが有効である。

#### 参考文献

- 1) 安藤幹也, 藤原俊明, 山本雅貴, 山田卓司: コンクリート構造物の塗装系防食材の追跡調査報告, 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, Vol.5, pp.399-404, 2005.10
- 2) 熊谷慎祐, 櫻庭浩樹, 宮田敦士, 佐々木巖, 西崎到: 表面被覆工および断面修復工による補修を施したコンクリート構造物の再劣化, 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, Vol.14, pp.271-276, 2014.10
- 3) 櫻庭浩樹, 熊谷慎祐, 宮田敦士, 佐々木巖, 西崎到: 水の挙動に着目した表面被覆材の変状に関する一考察, 第 31 回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 第 5 部門, pp.350-353, 2013.11
- 4) 遠藤裕丈, 田口史雄, 田端浩太郎, 川村浩二: コンクリート構造物における表面被覆材端部の剥がれ防止方法の一提案, 寒地土木研究所月報, No.715, pp.11-19, 2012.12