U.D.C 642.191.9

コンクリート面を対象とした塗布型表面被覆材の剥離抵抗性に関する研究

前原　聡*　鈴木　将充**　早川　健司**

要　約：　RC 構造物における表面被覆工法では，下地コンクリート面の素地状態や湿潤状態によって，施工後に表面被覆材の浮き，膨れや剥がれ，縮みなどの変状が発生することがある。これらの変状に対する抵抗性の指標の一つとして，表面被覆材と下地コンクリートの付着性があげられ，一般的には，建研式接着試験機などを用いた一軸引張方向の付着強さにより評価されることが多い。ただし，一定以上の付着強さが確保されていても，表面被覆材端部から引剥がそうとする際の抵抗力（見掛けの剥離抵抗性）が適切に確保されない場合もある。

そこで，本研究では，下地コンクリート面の粗さ，表面含水率およびプライマーの塗布方法が，コンクリート面と表面被覆材の見掛けの剥離抵抗性に及ぼす影響について検討した。その結果，湿潤面においてもモルタル表面の粗さを大きくし，プライマーを塗布する際に圧力を加えることで，見掛けの剥離抵抗性が大きくなることが確認された。

ｷｰﾜｰﾄﾞ：　表面被覆，補修，防水，付着力，見掛けの剥離抵抗性

目　次：

1. はじめに
2. 実験概要
3. 実験結果および考察
4. まとめ

1. はじめに

近年，土木分野における RC 構造物おいては，中性化などの劣化が進行した既設構造物で，水分などの劣化因子の侵入を抑制することを目的として，表面被覆工法による補修対策がなされている。この塗布型表面被覆材では，既往の研究によると施工後に表面被覆材の浮き，膨れや剥がれ，縮みなどの変状が発生することが報告されている[1)~3)]。また，道路橋 RC 床版の塗膜系床版防水工法においても，同様の変状が発生することがあり[4)]，それらを防止するために各指針[5) 6)] において，施工管理方法が整理されている。ただし，塗膜系床版防水工法では，防水層上にアスファルト舗装などの保護層が設けられることから，防水層の端部からの剥がれの変状が着目されることが少ないものと考える。一方で，塗布型表面被覆材を用いた補修対策では，構造物の表面に施されることが多く，構造物全体を被覆できずに部材毎に補修する場合があり，端部からの剥がれの変状においても留意する必要がある。

これらの変状の原因は，主に以下の３つ（調査，設計，施工）に分類されており[3)]，新設のコンクリート表面に施工する場合とは別に，ある程度，劣化したコンクリート表面に施工する場合として，下地コンクリート面の素地状態や湿潤状態などに留意する必要がある。

・補修対策前の劣化診断（発生原因の特定や劣化程度の判定）において不適切であった場合（調査）。
・補修材料，工法の選定や補修計画において不適切であった場合（設計）。
・補修対策時の施工管理，対策時の環境条件などにおいて，不適切であった場合（施工）。

この中で，施工管理に起因する不具合は，比較的早期に変状が発生するため，構造物の性能低下や第三者への影響，維持管理に関する経済性に影響を及ぼすことから，特に避けるべき事象である。施工管理に関わる事項には，下地コンクリート面の粗さや塗布面の湿潤状態などがある。特に，降雨や漏水などにより水分供給があり，塗布面が湿潤状態であると，変状が発生しやすく，塗布面を乾燥させることや湿潤面に適したプライマーを使用するなどの対応が必要となる。

ここで，表面被覆材と下地コンクリートの付着性は，一般的に，建研式接着試験機などを用いた一軸引張方向の付着強さにより評価されることが多い。ただし，一定以上の付着強さが確保されていても，端部から引剥がそうとする際の抵抗力（見掛けの剥離抵抗性）が適切に確保されないことがあると報告[7)] されている。しかし，その関係に着目して検討した事例は少ない。

以上より，本研究では，施工管理に関わる下地コンクリート面の粗さと表面含水率およびプライマーの塗布方法が，コンクリート面と表面被覆材の付着強さと見掛けの剥離抵抗性に及ぼす影響について，実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1　使用材料および供試体概要

表１に表面被覆材の使用材料を示す。表面被覆材は，ポ

＊土木事業本部　営業統括部　土木第一営業部　営業第一グループ
＊＊技術研究所　土木材料グループ

リオール，水およびイソシアネートプレポリマーの二液混合型プライマーとウレタン・ウレア塗膜の二液混合型主材を用いた。

モルタル供試体の基板は，JSCE-K 511-2018 表面被覆材の耐候性試験方法に準拠して，水セメント比が 50%，砂セメント比が 3.0 とし，普通ポルトランドセメントと標準砂を用いた。モルタルは，練混ぜ後に専用の型枠（70×70×20 mm および 150×70×20 mm）に打ち込み，材齢 24 時間までは 20℃，80%RH の環境下に静置した。その後に脱型し，材齢 7 日までは水中標準養生，それ以降は恒温恒湿室（20℃，60%RH）での気中養生とした。

表 2 に実験条件の水準を示す。モルタル供試体は，材齢 91 日以降に打込み面を対象として素地調整を行った。素地調整方法は，研磨紙（素地調整①）とカップブラシ（素地調整②），カップサンダー（素地調整③）を用いて，モルタル表面をケレンした。表 3 に，既往の研究[8] における素地調整後の外観と特徴を示す。今回の素地調整では，①が 150 番研磨紙，②がワイヤーブラシ，③がカップサンダーで素地調整を行った程度の外観の状況であり，①＜②＜③の順に粗くなるように設定した。

塗布面の表面含水率を 2 条件とするため，素地調整の後，乾燥面のモルタル供試体は，恒温恒湿室（20℃，60%RH）にて静置した。湿潤面とするものは，水道水に 24 時間以上浸漬させ，プライマー塗布直前に水から取り出し，塗布面の浮き水を布で拭き取った。その際に，電気抵抗式含水率計（kett 社製 HI-100）を用いて，モルタル供試体の表面含水率[9] を把握した。乾燥面では含水率計読み値で 2.2±0.2%，湿潤面で 5.0±0.2% であった。

プライマーの塗布方法は，刷毛により圧力をかけずに塗布する条件とコテを用いて人力による圧力を作用させた状態で塗布する 2 条件とした。プライマー塗布後は，4 時間程度静置させ，指触にてプライマーが皮膜していることを確認した後に，主材を塗布した。その後，14 日間，恒温恒湿室（20℃，60%RH）にて気中養生した後に各試験を実施した。

2.2　試験方法

（1）　付着強さ

モルタル供試体（70×70×20 mm）に鋼製治具（40×40 mm，厚さ 12 mm）を接着剤にて設置し，24 時間養生後に JIS A 6909 建築用仕上げ塗材，JSCE-K 531 表面被覆材の付着強さ試験方法を参考として，建研式接着試験機を用いて付着強さを評価した。

（2）　見掛けの剥離抵抗性

図 1 に見掛けの剥離抵抗性の試験概要を示す。モルタル供試体（150×70×20 mm）は，短辺平行方向の片側端部から 20 mm の箇所にモルタルのみを切断するカッター溝（幅 2 mm，深さ 20 mm 程度）を設けた。また，長辺平行方向の両側端部から 15 mm の箇所に表面被覆材を切断するカッター溝（幅 2 mm，深さ 2 mm 程度）を設け，剥離範囲の幅を 40 mm 程度とした。

試験は，万能材料試験機（インストロン社製，5 kN ロードセル）を用いて，モルタルのみを切断した端部に載荷治具を設置し，変位制御 50 mm/min の載荷速度で，表面被覆材を引き剥がすように載荷した。

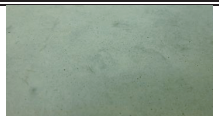
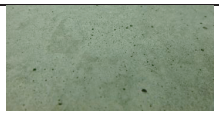
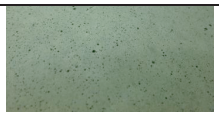
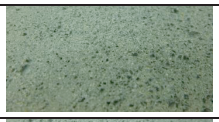
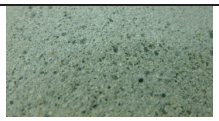
表 1　表面被覆材の使用材料

材料	概要
プライマー	A 剤ポリオールおよび水：B 剤イソシアネートプレポリマー＝105：145 標準使用量 0.2～0.4kg/m^2
主材	ウレタン・ウレア塗膜　A 剤：B 剤＝100：180，標準使用量 1.5kg/m^2

表 2　実験条件の水準

塗布面の湿潤状態	素地調整方法	塗布圧力	付着強さ	剥離抵抗性
乾燥面	③	なし	N＝2	N＝2
湿潤面	①	あり	N＝2	N＝2
	②	あり	N＝2	N＝2
	③	なし	N＝2	N＝2
		あり	N＝2	N＝2

表 3　素地調整後の外観と特徴[8]

素地調整方法	素地調整後の表面状況	特徴
清掃 水拭き		表面がツルツルしており，色が白っぽい。
150 番 研磨紙 素地調整①		表面がツルツルしており，清掃と比較すると灰色が目立つ。
ワイヤー ブラシ 素地調整②		表面の凹凸が分かり始め，表面に無数の引っかき傷が確認できる。
カップ サンダー 素地調整③		表面がザラザラしており，細骨材が露出している。
バキューム ブラスト		表面がザラザラしており，細骨材だけでなく一部に粗骨材も露出している。

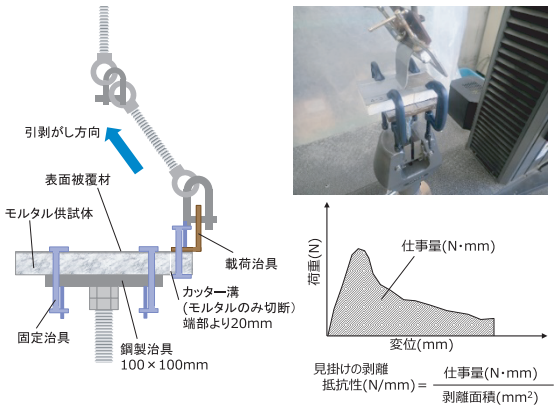


図 1　見掛けの剥離抵抗性試験の概要

見掛けの剥離抵抗性は，既往の研究を参考[7]に，試験時の荷重変位曲線より剥離に要した仕事量（N・mm）を表面被覆材が剥離した面積で除することで求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果

（1） 付着強さ

図 2 に付着強さの結果を示す。図内には，供試体の破断箇所（A：基板破壊，AB：基板と表面被覆材プライマーの界面破断）を併せて示す。付着強さは，それぞれの実験水準で，平均で概ね 1.5 N/mm^2，最小で 1.0 N/mm^2 以上となった。道路橋の塩害対策指針（案）・同解説[10]などの指針では，表面被覆材の要求性能として付着強さを規定しており，その基準値として 1.0 N/mm^2 または 1.5 N/mm^2 とされている。図 2 より，すべての実験水準において，付着強さが 1.0 N/mm^2 以上となったことから，一定の性能が確保されていると判断できる。なお，供試体の破壊箇所は，乾燥面では基板破壊であり，湿潤面の他水準では基板と表面被覆材のプライマー間における界面破断であった。

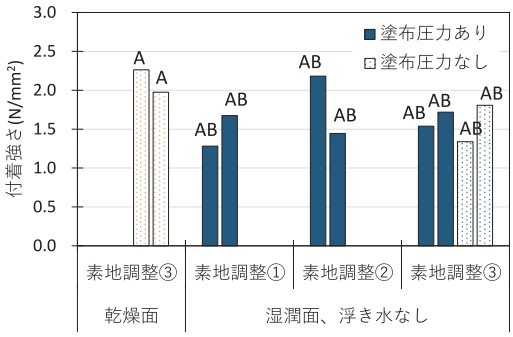


図 2 付着強さの結果

（2） 見掛けの剥離抵抗性

図 3 に湿潤面に塗布圧力を加えた状態でプライマーを塗布した水準の見掛けの剥離抵抗性の結果を示す。素地調整①～③の水準では，塗布面の表面が粗くなるほど，見掛けの剥離抵抗性は大きくなる傾向を示した。特に，湿潤面素地調整①の水準では，最大荷重で 60 N 程度，表面被覆が引き剥がされる段階で 20 N 程度と非常に小さな作用荷重で表面被覆材が引き剥がされた。

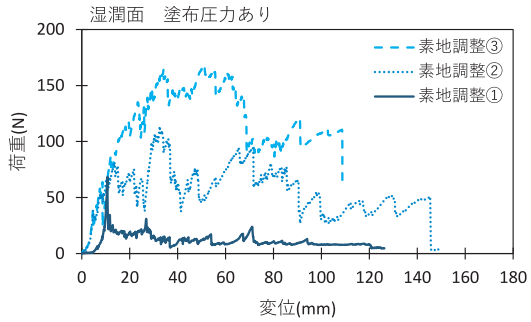


図 3 見掛けの剥離抵抗性試験の結果（荷重–変位関係）

図 4 に見掛けの剥離抵抗性の結果を示す。図内には，供試体の破断箇所（AB：基板と表面被覆材プライマーの界面破断，B：表面被覆材の破断）を，図 5 には試験後の破壊状況を示す。乾燥面と湿潤面素地調整③の塗布圧力ありの水準では，破壊箇所が表面被覆材の破断となった。これは見掛けの剥離抵抗性が表面被覆材の引張耐力よりも大きく，この 2 水準では，表面被覆材の引張耐力の影響を受けており，図 4 の実験結果以上の見掛けの剥離抵抗性があると考えられる。なお，今回使用した表面被覆材では，JSCE-K532-2013 表面被覆材のひび割れ追従性試験方法（案）による試験を実施し，塗布面の乾湿状態によって，引張耐力などに大きな違いがないことを確認している。

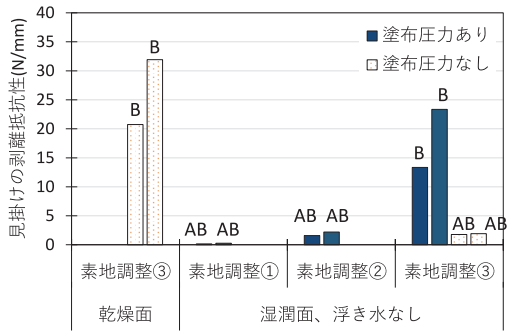


図 4 見掛けの剥離抵抗性の結果

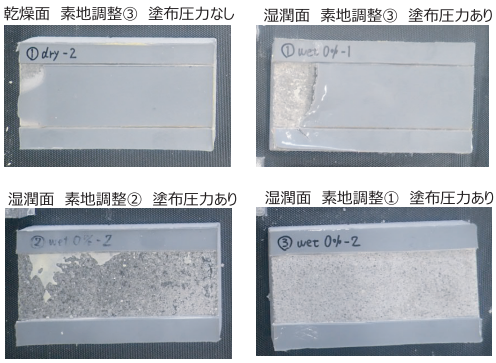


図 5 見掛けの剥離抵抗性試験の破壊状況

一方で，湿潤面のその他の水準では，破壊箇所が基板と表面被覆材プライマー間の界面破壊となり，見掛けの剥離抵抗性は表面被覆材の破断となった 2 水準よりも著しく小さくなった。これより，一軸引張方向の付着強さが同程度であっても見掛けの剥離抵抗性では異なる結果となることが確認された。

3.2 見掛けの剥離抵抗性に及ぼす影響

図 6 に今回の実験水準（素地調整①，塗布圧力なし）と同様に乾燥面と湿潤面に表面被覆材を塗布し，硬化後に表面被覆材をカッターにて剥がしたモルタル供試体表面を対象とした SEM-EDX 観察の一例を示す。SEM-EDX 観察は，日本電子製の JSM-IT500LA を用いて観察した。観察元素は，プライマーに含有されている炭素とし，加速電圧 15 kV でマッピングした。

乾燥面のモルタル供試体では，細骨材周辺のセメントペーストにプライマー由来の炭素が確認できる。それに対して，湿潤面のモルタル供試体では，炭素が少ないことが確

認できる。これは，乾燥面ではセメントペースト部の凹凸にプライマーが浸入し，プライマー層が複雑に形成されることで，表面被覆材を剥がした後でも，モルタル表面にプライマーが残ったものと考える。一方で，湿潤面では，モルタル表面の水分がプライマーの浸入を阻害することで，モルタル表面とプライマー界面で，プライマー層が平坦的に形成され，表面被覆材を剥がした後に，モルタル表面にプライマーが残らない状況であったと考える。

図 4 の湿潤面の素地調整③塗布圧力ありでは，湿潤面においても，モルタル表面の粗さを大きくし，プライマーを塗布する際に圧力を加えることで，浸入程度が大きくなったと推測される。これらの要因が，一軸引張方向の付着強さが確保されていても見掛けの剥離抵抗性が著しく小さくなる要因の一つであると考えられるが，今後，より詳細な分析を進めることで，見掛けの剥離抵抗性に及ぼす影響を整理できると考える。

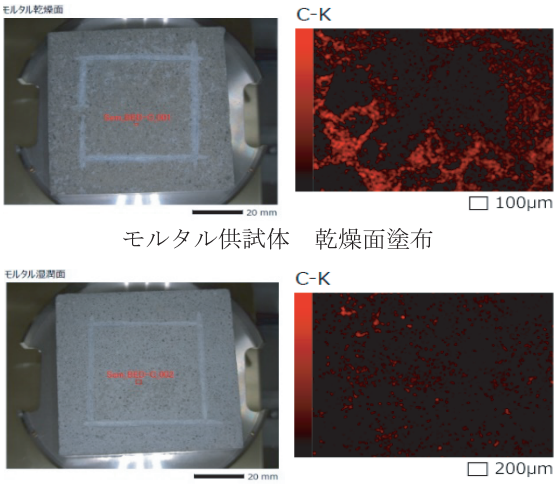


図 6　SEM-EDX 観察結果

4. まとめ

本研究の範囲内で得られた知見を以下に示す。

（1） 今回使用した表面被覆材では，下地コンクリート表面の粗さ，表面含水率およびプライマーの塗布方法によって，一軸引張方向の付着強さが同程度であっても湿潤面では見掛けの剥離抵抗性が著しく小さくなる条件がある。

（2） 表面被覆材の見掛けの剥離抵抗性は，セメントペースト部の凹凸へのプライマーの浸入程度が要因の一つとして影響すると推測され，今回使用した表面被覆材では，湿潤面で表面の粗さを大きくし，プライマーを塗布する際に圧力を加えることで見掛けの剥離抵抗性が大きくなる。

参考文献

1）土木学会：コンクリートライブラリー 119 表面保護工法設計施工指針（案），2005.4
2）R.N. Swamy，谷川伸：表面被覆材によるコンクリート構造物の長寿命化，工文社，2015.11
3）土木研究所：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案），2016.8
4）松井繁之，太田孝二，西村和廣：RC 床版とその損傷（その 2），橋梁と基礎，1998.6
5）土木学会：道路橋床版防水システムガイドライン（案），2012.6
6）日本道路協会：道路橋床版防水便覧，2007.3
7）山田卓司：コンクリート構造物に用いられる表面被覆工法の耐久性評価手法に関する研究，京都大学博士論文，2014.3
8）鈴木将充，前原聡，早川健司，伊藤正憲：コンクリートの表面粗さと表面被覆材の付着強度に関する検討，土木学会第 73 回年次学術講演会，Vol. 73, V-114, 2018.9
9）三浦康治，榎園正義，谷倉泉，宮永憲一：電気抵抗式水分計の開発による床版上面の水分量管理に関する研究，土木学会第 8 回道路橋床版シンポジウム論文報告集，2014.10
10）日本道路協会：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説，1984

STUDY ON THE PEELING RESISTANCE OF SURFACE COATING MATERIAL ON CONCRETE

S. Maehara, M. Suzuki, and K. Hayakawa

In the surface coating for RC structures, deformation such as floating, swelling, peeling and shrinking of the surface covering material may occur after construction depending on the roughness of concrete surface and surface moisture content of concrete surface. In this study, the effect of roughness of concrete surface, surface moisture content and primer application method on the peeling resistance of surface coating material on concrete was investigated through experiments.

It was found that, the peeling resistance of surface coating material does not depend on the uniaxial tensile. Consequently, when the surface roughness is increased and the primer is applied while applying pressure, the peeling resistance of surface coating material is lager due to primer bites into the unevenness of cement paste.