

施工環境が表面被覆材の付着性に及ぼす影響

櫻庭浩樹・熊谷慎祐・加藤智丈・佐々木 徹・西崎 到

1. はじめに

コンクリート構造物の補修工法の一つに、表面被覆工法がある。表面被覆工法は、コンクリートの表面に表面被覆材を塗布し、塩分や水分等の劣化因子の浸入を抑制する効果を有する塗膜を形成することで、コンクリート構造物の劣化の進行を抑制する工法である。

しかし、コンクリートと表面被覆材の一体性が部分的に失われ、膨れや剥がれ等の変状が生じる事例が報告されている¹⁾。表面被覆材に変状が生じた場合、遮蔽性等の性能が低下し、期待した補修効果が得られないことがあるため、表面被覆材に変状を生じさせる要因を把握することは重要である。

そこで、筆者らは、表面被覆材の膨れや剥がれ等の変状発生要因を把握し、その対策としての施工管理方法の提案を目的とした研究を実施した^{2),3)}。その結果、漏水や結露等による水と硬化前の表面被覆材が接触すると、硬化不良等によって不具合が発生する可能性が高くなるため、下地コンクリートの含水状態や結露を防止するための温湿度の管理が重要であることを示した¹⁾。

本報では、下地コンクリート含水状態および施工時の温湿度が、表面被覆材の膨れや剥がれ等の変状発生に及ぼす影響を把握するため、付着性試験と屋外暴露試験を実施した結果について述べる。

2. 付着性試験および屋外暴露試験の方法

表面被覆材の膨れや剥がれ等の変状が生じる要因を把握するため、寒冷地（新潟）、温暖地（茨城）および亜熱帯（沖縄）で想定される過酷な施工環境を設定し、付着性試験および屋外暴露試験を実施した。具体的には、施工環境（下地モルタルの含水状態および施工時の温湿度）が異なる条件で、下地モルタルに表面被覆材を塗布して供試体を作製し、付着性試験を行うとともに、供試体

表-1 下地モルタルの配合

下地種類	水 (kg/m ³)	セメント (kg/m ³)	けい砂 (kg/m ³)			
			4号	5号	6号	7号
標準品質	254	509	1221	—	—	305
低品質	337	450	—	337	337	675

表-2 表面被覆材の施工環境と暴露場所

No.	施工環境名称	下地モルタル含水状態	施工時の温湿度	暴露場所
1	低温湿潤	湿潤状態	5℃, 90%以上	糸魚川
2	常温乾燥	乾燥状態	23℃,60%	つくば
3	常温湿潤	湿潤状態	23℃,60%	暴露無
4	高温湿潤	湿潤状態	40℃, 90%以上	大宜味

を複数の屋外暴露場（新潟県糸魚川市、茨城県つくば市、沖縄県大宜味村）に設置し、約30ヶ月の期間で屋外暴露後の外観変状を調査した。

2.1 供試体

表面被覆工法により補修されるコンクリート構造物の表層コンクリートは、経年劣化により、品質が低下することが想定される。表層コンクリートの品質が低下した場合、疎な組織構造となって吸水性が高くなり、表面被覆材が水の影響を受けやすくなると推察される⁴⁾。そこで、品質の異なる2種類の下地モルタルを供試体に用いた（表-1）。下地モルタルは、寸法30×30×6cmの型枠に平打ちで打設し、室内に28日静置して作製した。2種類の下地モルタルを、それぞれ、標準品質下地および低品質下地と称した。

施工環境は、表-2に示すように、低温湿潤、常温乾燥、常温湿潤あるいは高温湿潤とした。下地モルタルの含水状態は、湿潤状態あるいは乾燥状態に調整した。施工時の温湿度は、温度5℃湿度90%以上（以下「5℃90%以上」という。）、温度23℃湿度60%（以下「23℃60%」という。）あるいは温度40℃湿度90%以上（以下「40℃90%以上」という。）に設定した。

湿潤状態は、5℃90%以上、23℃60%あるいは40℃90%以上に調整した試験室内にバットを設

表-3 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 ²)
EP	プライマー	エポキシ	0.10
	パテ	エポキシ	0.50
	中塗り	エポキシ	0.20
	上塗り	アクリルウレタン	0.12
PU	プライマー	エポキシ	0.10
	パテ	エポキシ	0.30
	中塗り	ウレタン	0.26
	上塗り	ウレタン	0.12

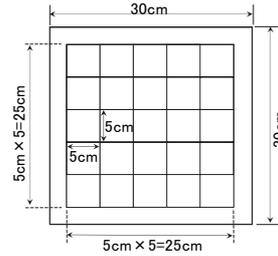


図-2 表面被覆材の変状観察用アクリル板

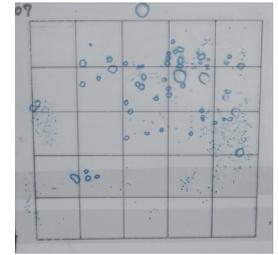


図-3 表面被覆材の変状(膨れ)の例

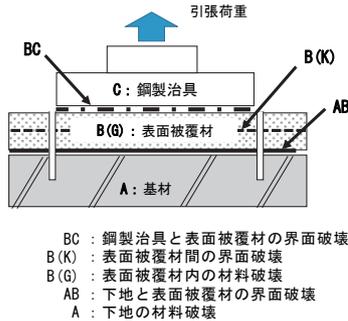


図-1 試験の概要と破壊部位を表す記号

置して水を張り、下地モルタルを平置きで16時間以上水中浸漬した後、下地の厚みの半分程度が浸るように水位を調整し、試験面の水をウェスで除去して5分以内の状態とした。

乾燥状態は、常温の室内に16時間以上静置した状態とした。

下地モルタルの含水状態および施工時の温湿度を調整後、表-3に示す市販のエポキシ樹脂系表面被覆材 (EP) およびウレタン樹脂系表面被覆材 (PU) を、製造メーカーの仕様に従って下地モルタルに塗装し、各環境条件で7日養生して供試体とした。なお、低温湿潤および高温湿潤での施工に際しては、塗装直後にバットを覆蓋した。

2.2 付着性試験方法

図-1に試験の概要と破壊部位を表す記号を示す。寸法 40×40mm の鋼製治具をエポキシ樹脂系接着剤を用いて供試体に接着し、その周囲をコンクリートカッターを用いて下地に達するまで切込みを入れた後、建研式接着力試験器を用いて付着強さを測定した。試験数は1体の供試体で3箇所とし、それらの平均値を付着強さとした。また、破壊状態を観察し、図-1に示す記号に従って分類して破壊部位の面積率を求めた。

2.3 屋外暴露試験方法

表-2に示す、低温湿潤、常温乾燥あるいは高温湿潤の環境条件で施工した供試体を、それぞれ、

糸魚川、つくばおよび大宜味の屋外暴露場に設置した。屋外暴露場に設置した供試体数量は、各材料で4体とし、約30ヶ月の期間、定期的に外観調査を行った。

外観調査では、表面被覆材に生じた膨れや浮きの外周部ならびに割れを、それぞれ、青色ならびに赤色のペンで描き、図-2に示すような格子を有する透明なアクリル板を供試体に設置して、格子内に観察された変状を記録した。1種類の暴露環境および材料に対して、4体の供試体で評価したため、合計100個 (=4体×1体当たり25個の格子) の格子を評価対象とした。格子内に膨れ、浮きおよび割れがある場合を、「変状が生じた格子」と判定し、その数を記録した。図-3には、表面被覆材に生じた変状(膨れ)の例を示す。

3. 付着性試験および屋外暴露試験の結果

3.1 付着性

図-4に施工環境が異なる表面被覆材の付着強さと破壊部位の面積率を示す。以下では、低温湿潤、常温乾燥、常温湿潤および高温湿潤で施工された表面被覆材の付着性試験の結果について述べる。

3.1.1 低温湿潤での施工

低温湿潤の環境条件で施工した結果、付着強さと破壊部位は、表面被覆材の種類により異なっている。EPの場合、3.2MPa、2.4MPaの付着強さを発現し、破壊部位はA(下地の材料破壊)が100%であった。一方、PUの場合、EPと比べて付着強さは低下し、破壊部位B(G)(表面被覆材内の材料破壊)もしくはAB(下地と表面被覆材の界面破壊)が認められる。これは、低温の環境条件において、構成材料の一部が硬化遅延したことに起因すると推察される。硬化が遅延した場合、常温時と比べて水の影響を長く受けることとなり、付着性の低下を招いたと思われる²⁾。

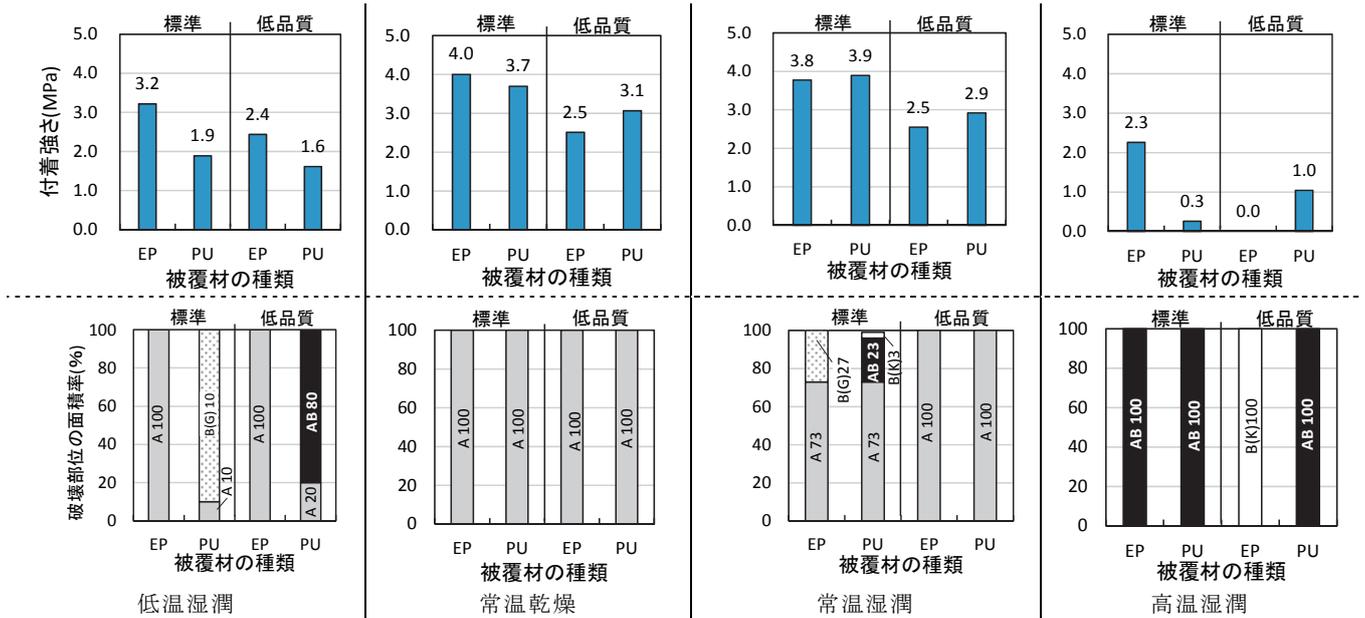


図-4 施工環境が異なる表面被覆材の付着強さと破壊部位の面積率

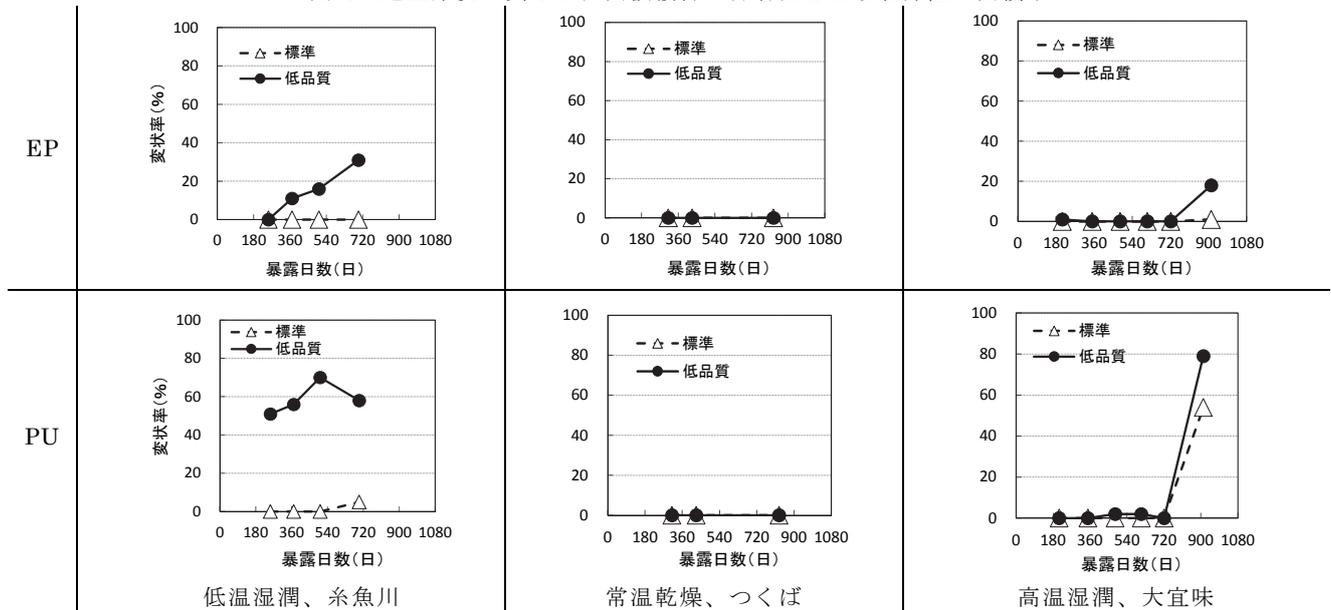


図-5 屋外暴露試験後の表面被覆材の変状率

3.1.2 常温乾燥および常温湿潤での施工

常温乾燥の環境条件で施工した結果、2.5～4.0MPaの付着強さを発現し、破壊部位とその面積率は、Aが100%であった。

常温湿潤の環境条件で施工した場合、2.5～3.9MPaの付着強さを発現した。破壊部位は、EPはB(G)、PUはABおよびB(K)（表面被覆材間の界面破壊）が認められ、常温乾燥の場合と比較して破壊部位が変化した。これは、湿潤状態の下地に施工したため、表面被覆材の下地への濡れが妨げられ、付着性が低下したものと推察される。

3.1.3 高温湿潤での施工

高温湿潤の環境条件で施工した場合、EPとPUの付着強さは、それぞれ、標準品質下地で

2.3MPa、0.3MPa、低品質下地で0.0MPa、1.0MPaとなり、付着強さは著しく低下した。破壊状態とその面積率は、ABもしくはB(K)が100%であった。高温湿潤での施工時には、各構成材料の塗布時に著しい白化が認められた。これは、エポキシ樹脂の硬化剤として用いられるアミンが周囲の水分や二酸化炭素と反応して炭酸塩が生成され、炭酸塩の生成によって付着強さが低下したと思われる²⁾。

3.2 屋外暴露試験後の外観変状

図-5に屋外暴露試験後の表面被覆材の変状率を示す。つくば、糸魚川、大宜味での最長の暴露日数は、それぞれ、828日、699日、912日である。

低温湿潤の環境条件で施工し、糸魚川に暴露し

た場合、表面被覆材の種類および下地モルタルの品質により、変状率は異なる。EPおよびPUの標準品質下地の場合、変状はほとんど認められない。一方、低品質下地に施工した場合、PUでは暴露180日程度で変状が発生し、EPでは暴露初期には変状は無いが暴露360日程度で変状が認められた。これは、低品質下地の方が、吸水率の大きい疎な組織構造を有し、表面被覆材が水の影響を受けやすくなるためと推察される⁴⁾。なお、PUの低品質下地の暴露日数503日と669日の結果では、後者の方が変状率は小さい。これは、表面被覆材の膨れや浮きは、下地の含水状態によって目視で確認できないことがあるためである。暴露日数669日時点では、調査日前に降雨が少なく、下地の含水状態が比較的低かったと推察される。

常温乾燥の環境条件で施工し、つくばに暴露した場合、EPおよびPUは暴露828日までに変状は認められなかった。

高温湿潤の環境条件で施工し、大宜味に暴露した場合、EPおよびPUは暴露912日に変状が認められた。標準品質下地と低品質下地を比較すると、後者の方が、変状率は高い傾向にある。これは、上述のように、低品質下地の方が水の影響を受けやすくなるためと思われる。

4. まとめ

本報では、施工環境が異なる表面被覆材の付着性試験と屋外暴露試験後の外観調査を行った結果について述べた。以下に、本報のまとめを示す。

- 1) 湿潤状態の下地に低温多湿の環境条件で表面被覆材を施工する場合、未硬化塗膜への水の作用と低温による硬化遅延により付着性が低下することがある。
- 2) 湿潤状態の下地に高温多湿の環境条件で表面

被覆材を施工する場合、塗装に白化が生じ、付着性が低下することがある。

- 3) 湿潤状態の下地に低温多湿もしくは高温多湿の環境条件で施工した表面被覆材を屋外暴露した結果、暴露初期には変状が認められない場合でも、暴露1年から2年半程度で、変状が発生し得ることが確認された。
- 4) 本報の結果から、施工時の温湿度や下地の含水状態の管理が重要であることが確認された。この結果に基づき、補修対象構造物の施工箇所あるいはコンクリート平板に実際の施工と同時に塗装したものをを用いて付着性試験を行い、実環境で施工された表面被覆材で付着性の品質管理を行うことを提案したり。

5. おわりに

表面被覆工法による補修効果を確保するためには、適切な施工管理とともに、環境条件や適用部位に応じた材料選定が重要である。今後は、表面被覆工法の材料選定の考え方について検討したい。

参考文献

- 1) 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）、土木研究所資料、第4343号、pp.Ⅱ-1～Ⅱ-64、pp.V-1～V-42、2016
- 2) 熊谷慎祐、櫻庭浩樹、宮田敦士、佐々木 徹、西崎到：過酷な環境で施工された表面被覆材の接着性、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15巻、pp.23～28、2015
- 3) 熊谷慎祐、櫻庭浩樹、加藤智丈、佐々木 徹、西崎到：施工環境および暴露環境が表面被覆工の接着性と遮塩性に及ぼす影響、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16巻、pp.421～426、2016
- 4) 櫻庭浩樹、熊谷慎祐、佐々木 徹、西崎到：塗装下地の表層部に着目した含水状態の評価について、コンクリート工学年次論文集、Vol.37、No.1、pp.1573～1578、2015

櫻庭浩樹



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 研究員、博(工)
Dr.Hiroki SAKURABA

熊谷慎祐



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 元交流研究員、博(工)
Dr.Shinsuke KUMAGAI

加藤智丈



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 交流研究員、博(工)
Tomotake KATO

佐々木 徹



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 主任研究員、博(工)
Dr.Iwao SASAKI

西崎 到



土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ 上席研究員、博(工)
Dr.Itaru NISHIZAKI