

塗装施工時の温湿度がコンクリート表面被覆材の性能・耐久性に与える影響

佐々木 巖* 西崎 到**

1. はじめに

コンクリートの補修対策には表面被覆、断面修復、およびひび割れ注入などがある。表面被覆工法はコンクリート構造物の補修工法の一つとして古くから実施されており、国内の各機関が要求性能や試験方法を提案しているが、統一した基準が確立するまでには至っていない。環境に応じた適用条件や他の補修工法との使い分けなども定まっているとは言えない状況であり、設計施工の確立を図る必要がある。

とくに、期待した性能が発揮されず早期に再劣化する事例が見られる。これは現場条件をあまり考慮していない工法選定や施工管理の不備等に起因したものと考えられる。

筆者らは、コンクリート表面被覆材の要求性能や耐久性とともに、不具合の発生要因に注目し、その要因把握と対策としての施工管理方法を提案することを目的として試験研究を行っている。本報では、表面被覆工法の不具合発生要因の調査、室内試験による不具合発生要因の影響の検証実験、施工環境の観測結果を述べる。

2. 要求性能と不具合発生要因

2.1 施工環境と表面保護工の性能

既往の資料¹⁾等をもとに、表面被覆に求められる性能と対応する評価指標の例を整理した結果を表-1に示す。

表面被覆工法は、コンクリート構造物の最外面に位置し、外部環境からの水をはじめとした劣化促進物質を遮断することが最大の性能項目である。その遮断性能を達成するためには、一般にコンクリート表面に十分に接着されている必要がある。遮断性能とともに、景観演出が求められることもある。これらの被覆層は、現場で簡易かつ信頼性をもって施工できる必要があり、その性能は所定の期間にわたり確保されるものでなければならない。さらに、屋外環境において使用するこれらの材料は、揮発性物質や有害物質といった施工者および環境への安全性が

担保されていることも求められる。

表-1 表面被覆工法の要求性能と評価項目の例

| 要求性能項目 | 評価指標の例 |
|--------|---|
| 遮蔽性能 | 防水性、水蒸気透過性 CO ₂ 遮断性、Cl ⁻ 遮断性、O ₂ 遮断性 耐酸性、耐アルカリ性 ひび割れ追従性 |
| 接着性能 | ひび割れ追従性 付着(含浸)性、はく落抵抗性 凍結融解抵抗性、摩耗性 |
| 施工管理 | 下地粗度、被塗面清浄度 可使時間、養生時間 施工可能温度、適応湿度 表面水分影響 |
| 維持管理 | 劣化視認性、旧膜除去、再塗装 |
| 美観景観 | 色調変化、光沢変化、異物付着 |
| 環境安全 | 有機溶剤、有害物質 |

2.2 表面被覆の性能を損なう施工条件と劣化要因

コンクリート表面に施工される表面保護被覆は、ほぼ全てに樹脂材料が使用されており、その樹脂が外観上硬化していれば一定の遮蔽性能があるとみられがちである。しかしながら、外見上正常な被覆層であっても、施工条件や供用環境によっては、早期の剥離が生じたり十分な物質遮断性能を有していないなどの不具合が内在している可能性がある。

まず、接着性能および遮蔽性能に影響を与える劣化要因について、事例調査、聞き取り、作業工程の確認などから施工条件を整理するとともに、劣化機構を勘案し、供用中の早期劣化を誘発する可能性のある環境項目について整理した。

これら要因の検証については、室内試験による検証結果と環境の観測例として本報後半で述べる。

2.2.1 接着性能を損なう施工条件

接着性能を損なう施工条件としては、施工面の含水状態、結露、表面塩分、塵埃、研掃、低温時塗布、塗重ね間隔などが挙げられる。とくに、樹脂系材料は表面水分の影響が大きいとされ、それを誘発する塩分や塵埃についても管理が必要である。研磨に関

Effects of paint application temperature and humidity to the performance and durability of concrete surface coatings

しては、粗面になるほど接着性能は向上することから、平滑面への接着性が確保されているかが基本になるものと考えられる。塗重ねにおいては、養生不足や硬化後の長時間経過にも注目する必要がある。

2.2.2 遮蔽性能を損なう施工条件

遮蔽性能を損なう施工条件には、樹脂硬化養生時の温度条件、湿潤状態での硬化、過剰希釈、混合不良などがある。樹脂材料の反応は温度による影響が大きく、硬化物の品質は養生時の環境条件に大きく左右され、硬化した膜が外見上正常に見えても十分な遮蔽性能を有していないことが懸念される。また、被覆層は一定の膜厚をもって遮蔽性能を達成するものであるため、粗面になるほど局所的な膜厚不足のリスクが高まり面としての物質遮断性能は低下する。

2.2.3 長期供用時の性能低下要因

材料は長期供用中に劣化してゆくが、それを促進する要因として、乾湿繰返し、凍結融解、膨張収縮率の相違、疲労（外力/膨張収縮）、紫外線等による分解などの材料劣化が挙げられる。これらの劣化要因は素材により基本性状がある程度定まるものの、現場での施工条件によってその性能低下速度が大きく異なることも想定される。

3. 施工環境による性能低下等の室内試験

3.1 施工条件による影響の評価試験

前項で整理した性能低下要因の施工管理条件としての影響を明らかにするため、室内試験により付着性と遮蔽性の確認試験を行った。施工条件の評価試験項目は、湿潤状態、低温条件、表面粗度(平滑面で実施)、塵埃、未硬化分、若材令、養生不足、塗重ね日数放置、表面塩分である。

塗布時の温湿度が接着性能及び遮蔽性能に与える影響について評価するために、市販の標準的な表面被覆材を規定量塗布した試験体を用いて、付着強さ試験(JSCE-K531)ならびに水蒸気拡散浸透速度の測定を行った。その結果の一例を紹介する。

表面被覆の水分遮断性能評価としては、常圧や加圧の透水試験がある。しかしながら、水分は水蒸気の状態では浸入することが多く、液体としての水の透過性の評価のみでは不十分である。

水蒸気の透過性試験としては、塗料のみを成形した被膜(遊離塗膜)やモルタル板を用いた評価法がある^{1),2)}が、これらは片面を極端な乾燥状態におく試験である。実構造物で湿潤含水が問題となる状況に

比べると、塗膜やコンクリート中の細孔の含水状態がかなり異なる状況である。そこで、コンクリート及び表面被覆材が実際に使用される環境に近い条件で評価できるように計画し試験評価³⁾を行った。

3.2 塗布時の温湿度と接着性能

水浸状態や養生条件により基盤面の含水状態を変化させた場合のエポキシ系プライマの付着強度を図-1に示す。基盤乾燥状態が不十分なほど、また低温高湿になるほど、被覆材の付着強度は低下し、塗布および養生条件の組み合わせによっては多くの機関から提案されているプルオフ(建研式)付着強度の基準値⁴⁾も満足しないことがある。

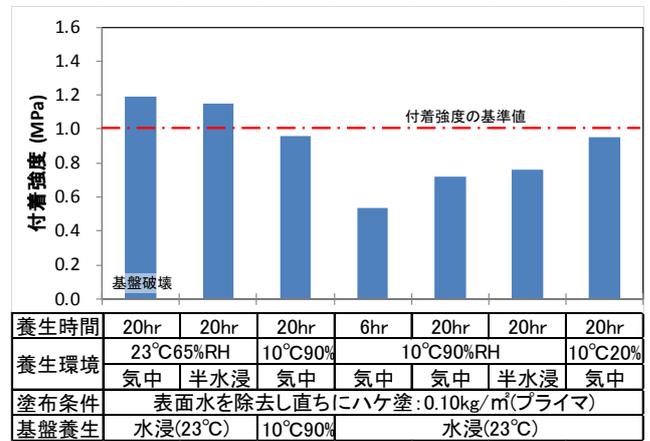


図-1 基盤面の含水状態とプライマの付着強度

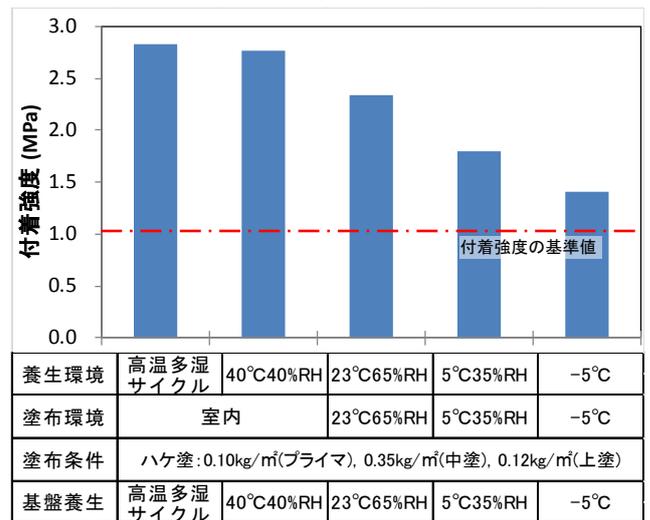


図-2 表面被覆施工時の温湿度条件と付着強度

図-2は、塗布時の温度条件に注目して、表面被覆(プライマ、中塗: エポキシ、上塗: ウレタン)の付着強度を試験した結果の例である。この結果から、施工時の温度が低くなるほど付着強度は低下することがわかる。本試験はほぼ乾燥した条件でのもので

あるが、とくに低温時は相対湿度が高く結露を生じやすいことから注意を要する。化学反応により硬化する樹脂材料である表面被覆材は、湿潤状態とともに、塗布時の温度条件が重要な管理項目であることが確認できる。

これらの結果から、高分子系樹脂材料である表面被覆材の施工条件が付着強度に与える影響は大きく、とくに湿潤時や低温時に施工すると接着強度が低下することが確かめられた。施工条件を適切に管理しないと、初期の外観は正常であっても、早期のはがれ等の再劣化を生じる要因となりうる。

3.3 塗布時の温湿度と遮蔽性能

3.3.1 透湿性の評価試験方法

塗布時の温湿度が表面被覆の遮蔽性能に与える影響を評価した。これは、表面被覆材を塗布し密封さ

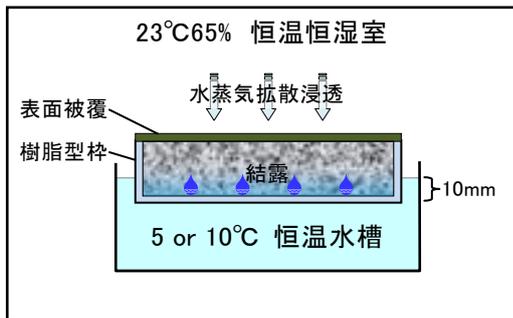


図-3 蒸気圧差による透湿性(吸湿速度)試験



図-4 透湿(吸湿)試験状況

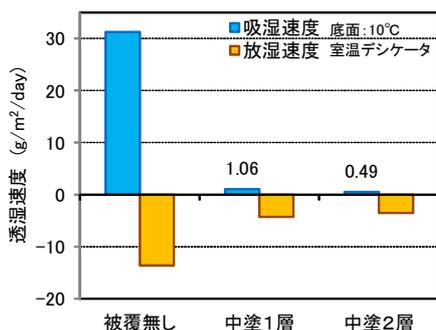


図-5 表面被覆の水蒸気遮蔽性能

れた供試体を、図-3のように恒温恒湿の環境条件におき、被覆層を透過し底面にて結露する水分量を測定することにより、被覆材の遮蔽性（水蒸気の拡散浸透速度）を評価するものである。

3.3.2 表面被覆の遮蔽性能

23°C65%の室内で塗布した被覆材（プライマ、中塗：エポキシ、上塗：ウレタン）の供試体を底面10°Cとして試験した結果を、吸湿開始3日目から28日間の平均水蒸気透過速度として図-5に示す。表面被覆すると、吸湿速度は被覆無しのモルタル面と比べて数十分の一となり、樹脂系被覆材の遮湿効果が確認できる。中塗を2層とし層厚を増した供試体の吸湿速度は1層の約半分であり、塗付厚に応じて遮蔽性が向上することがわかる、吸湿試験と放湿試験ではその温度や蒸気圧の条件が異なるため速度の値そのものの比較はできないものの、吸湿側と傾向は同じであった。

3.3.3 施工時の温湿度と遮蔽性能

市販の被覆材料4種類（エポキシ+ウレタンの3種と、ポリマーセメント系1種）を、標準条件の23°C 65%、ならびに、規定の塗布環境をやや逸脱する5°C90%にて施工した供試体の吸湿試験結果を図-6に示す。23°C65%で塗布した場合の透湿速度は、被覆材によって異なるものの1~6 g/(m²・day)であった。一方、低温高湿状態の5°C90%で塗布した被覆供試体は、標準環境での施工に対して2~7倍の透湿速度を示していることがわかる。

硬化後の被覆材の外観にはなんら違いは見られないものの、水分の遮蔽性能が大きく異なる。材料によっては被覆無しのモルタル面の半分程度、透湿速度で同じオーダーの遮蔽性しか有しておらず、水分の遮断性能が十分に発揮されているとは言い難い状況である。外見上は被覆層として硬化しているもの

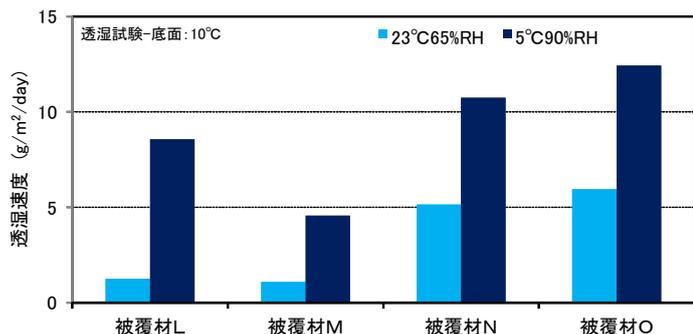


図-6 表面被覆の材料と塗布環境による透湿性の差異

の、低温条件によりエポキシ樹脂等の3次元構造が不完全になり、十分な物質遮断性能が発揮できないものと考えられる。

4. 施工面の温湿度環境

4.1 施工面となるコンクリート表面の局所環境

温湿度環境により表面被覆の各種性能が損なわれることが確認できたが、実際の施工現場では環境条件は恒温恒湿槽内のように一様ではない。床版裏や地面近傍など、局部的に大きく異なる環境変化をしているものと想像され、施工面全体において適正な性能を確保するためには、実際の構造物の各所において季節ごとの変動を観測し、品質不良防止のために注目すべき箇所や時間帯等の管理指標を明らかにする必要がある。このため、図-7に示す土木研究所構内の実橋をはじめとした各所において、温湿度の長期観測を実施している。

4.2 実橋における長期観測結果の例

コンクリート表面付近の温度の長期観測結果を、気温の推移とともに月平均値として集計した例を図-8に示す。コンクリート構造物の南東面では冬期に、(当該橋台では西日の影響を受ける)北西面においては春から夏にかけて平均気温が高めに推移することがわかった。



図-7 実橋におけるコンクリート表面温湿度の長期観測

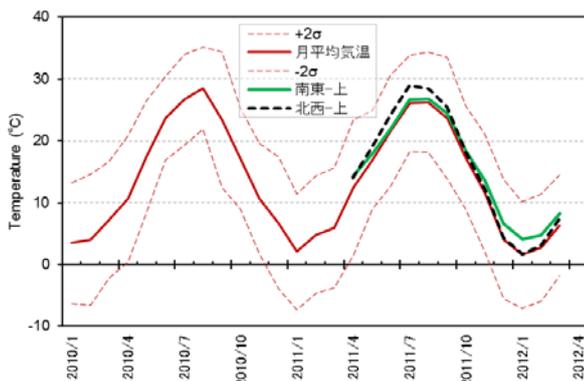


図-8 コンクリート表面付近の温度変化の例

今回の集計では平均温度の季節変動として整理したが、湿度の変化、日ごとのばらつき、作業時間帯での変化、降雨との関連、コンクリート面の結露状況、排水設備やジョイント等からの漏水など影響について、さらにデータ収集と分析を続けてゆく必要がある。

5. まとめ

コンクリート構造物の長寿命化のための表面被覆工法の適切な設計施工技術の確立を目的に、性能要件と不具合発生要因について調査を行った。あわせて、不具合発生事由の検証実験を行った。室内試験からは、湿潤や低温時の施工が、硬化被膜の付着性や遮蔽性に大きな影響を与えることがわかった。施工環境として重要となる構造物周辺の温湿度の観測結果から得られる知見をもとに、施工基盤の結露等を評価することが重要である。

現場での施工管理を実効あるものにするためには、施工箇所における環境条件を把握し、これに即した管理項目を設定し運用することが求められる。たとえば温湿度については、表面被覆材の施工箇所全面を迅速に判定し、不具合の発生を最小限に抑えられるような面的な管理記録手法を確立してゆく必要がある。また、施工条件が変化した場合の長期耐久性の確認も重要である。

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
- 2) 阪神高速道路公団：コンクリート構造物表面保護要領(案)、1996
- 3) 佐々木 巖、西崎 到、守屋 進：表面保護被覆の水蒸気透過性状と施工時の環境条件の影響、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、pp.473~476、2012.

佐々木 巖*



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源
研究グループ新材料
チーム 主任研究員、博
(工)
Dr. Iwao SASAKI

西崎 到**



独立行政法人土木研究所
つくば中央研究所材料資源
研究グループ新材料
チーム 上席研究員、博
(工)
Dr. Itaru NISHIZAKI