

13.4 コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立(2)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：材料資源研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎到、守屋進、佐々木 巖

【要旨】

コンクリートの補修工法には表面被覆、断面修復、およびひび割れ補修などがあるが、当研究チームではこのうちの表面被覆を担当する。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等を提案している。しかしながら、外見的な健全さを簡単に得られることから安易に適用してしまうこともあり、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が定まっていられない状況である。さらに、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が、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不備等に起因したものと考えられる。そこで本研究では、コンクリート表面被覆材の要求性能や耐久性の設定とともに、簡易かつ信頼性の高い施工管理を実現するための対応策の確立を目的とした。23 年度は初年度であり、表面被覆工法の性能要件と不具合発生要因について調査を行うとともに、室内試験により不具合発生事由の検証実験を行った。また、これらの施工条件を変化させた試験体の暴露試験を開始した。あわせて、重要な施工環境因子である構造物周辺の温湿度の観測結果を整理した。

キーワード：コンクリート、補修材料、表面被覆材、品質規格、施工条件、再劣化

1. はじめに

コンクリートの補修材策には表面被覆、断面修復、およびひび割れ補修などがある。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等を提案しているが、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られない状況であり、基盤技術として設計施工の確立をはかる必要がある。

また、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不備等に起因したものと考えられる。

そこで本研究では、コンクリート表面被覆材の要求性能や耐久性の設定とともに、不具合発生要因に注目し、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いる。23 年度は、表面被覆工法の不具合発生要因の調査を行うとともに、室内試験による不具合発生要因の影響の検証実験と施工環境の観測を行った。

2. 要求性能と不具合発生要因の整理

2. 1 施工環境と表面保護工の性能

既往の資料¹⁾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 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
遮断性能	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	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

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、現場でできるだけ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環境安全性が担保されているものでなければならない。

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や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を損なう施工条件について、事例調査、聞き取り、作業工程の確認などから、再劣化を誘発する要因を整理するとともに、劣化機構を勘案し供用中の早期再劣化を誘発する供用劣化項目について整理した。

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、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性状に見えても十分な遮蔽性能を有さ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（温度/湿度）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であるが、現

場での施工条件によりその性能低下速度が大きく異なる場合がある。その確認には多くの調査試験が必要となるが、その因果関係を把握し施工管理につなげることは、表面被覆の信頼性向上において大変重要である。

3. 施工環境による性能低下等の室内試験

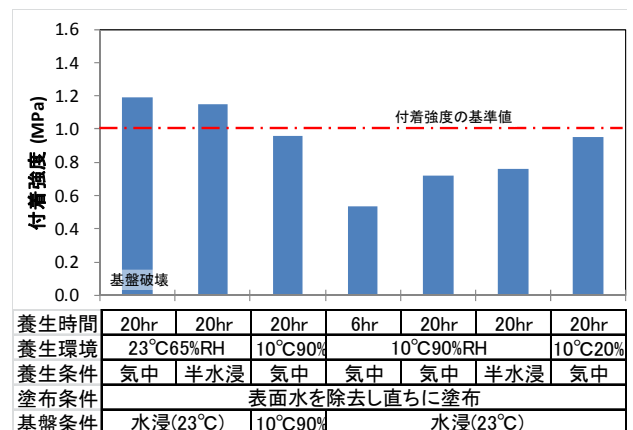
3. 1 施工条件の評価試験

□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について、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。

断面修復に用いられる無収縮モルタル基板に、市販の標準的な表面被覆材（プライマ、中塗：エポキシ、上塗：ウレタン）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て、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した。

3. 2 塗布時の温湿度と接着性能

図－1に、水浸状態や養生条件により基板面の含水状態を変化させた場合のプライマ付着強度を示す。基板の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（建研式）付着強度の基準値¹⁾も満足しないことがある。

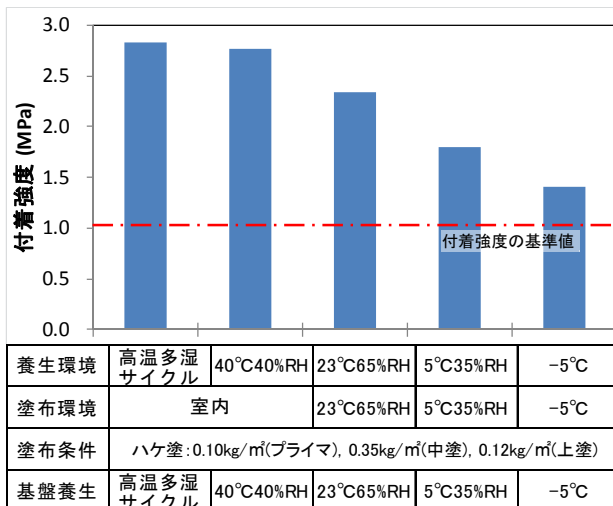


図－1 基板面の含水状態とプライマの付着強度

図－2は、塗布時の温度条件に注目して、表面被覆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、塗布時の温度条件も重要な管理項目であることが確認できる。

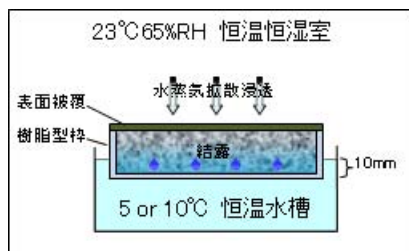
これらの結果から、高分子系樹脂材料である表面被覆材の施工条件が付着強度に与える影響は大きく、とくに湿潤時や低温時に施工すると接着強度が低下することが確かめられた。施工条件を適切に管理しないと、初期の外観は正常であっても、早期のはがれ等の再劣化を生じる要因となりうるということがわかった。



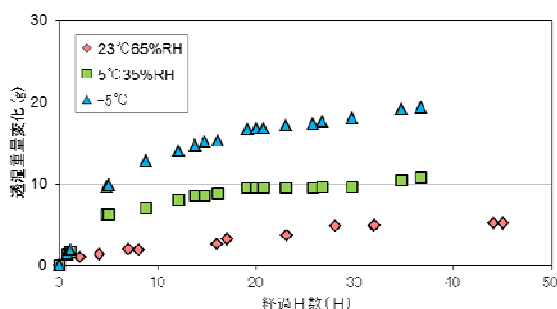
図ー2 表面被覆施工時の温湿度条件と付着強度

3. 3 塗布時の温湿度と遮蔽性能

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れた供試体を、図ー3のように恒温恒湿の雰囲気におき、被覆層を透過し底面に結露する水分量を測定して遮蔽性（水蒸気の拡散浸透速度）を評価するものである。



図ー3 透湿性(吸湿速度)評価試験

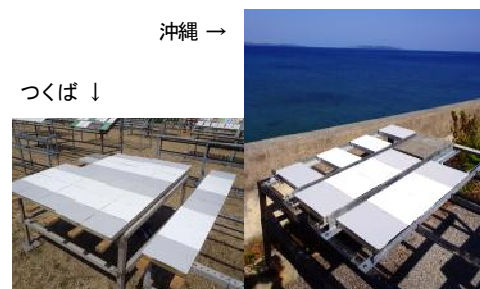


図ー4 塗布時の温湿度と表面被覆の遮蔽性能

図ー4に、塗布時の温湿度と遮蔽性能の試験結果を示す。表面被覆の物質遮断性能は塗布施工時の温湿度により異なり、低温状態で硬化させた被覆層は適正条件(23°C 65%RH)での塗膜の2～4倍程度も水分を通しやすいことがわかった。-5°Cで施工された被覆は、被覆無しの場合の透湿速度の1/3程度であり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. 実環境下での長期暴露試験

□温湿度条件をはじめとした表面被覆材の施工条件は、被覆層の長期耐久性にも影響を与え、コンクリート構造物の早期の再劣化の要因となり得るものと考えられる。このため、不具合が懸念される施工条件での供試体を屋外の実環境において長期的に観察し、必要に応じて定量的な測定評価を行う必要がある。低温時や湿潤面塗布をはじめとした、不具合誘発が懸念される様々な施工条件における供試体を作製し、つくば、沖縄、朝霧(静岡)に設置して屋外暴露試験(図ー5)を開始した。これらの長期観測結果から、施工管理条件の目安を提案する予定としている。



図ー5 施工条件を変化させた表面被覆材の暴露試験

5. 施工面の温湿度環境の長期観測

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、図ー6に示す実橋各所において、温湿度の長期観測を開始した。

コンクリート表面付近の温湿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-7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。

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。

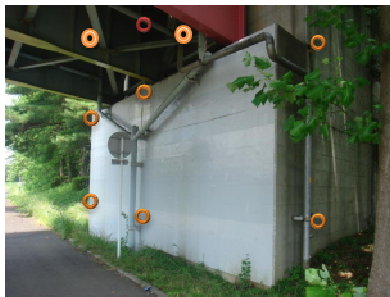


図-6 実橋におけるコンクリート表面温湿度の長期観測

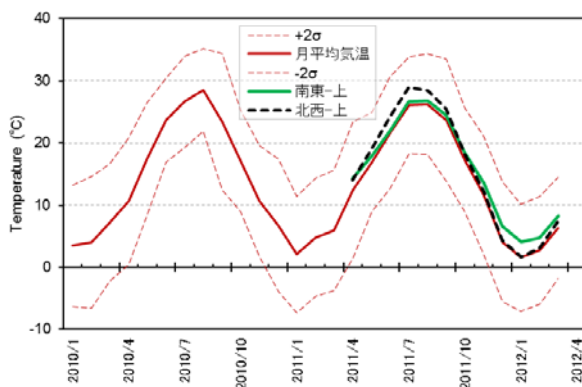


図-7 コンクリート表面付近の温湿度の変化

6. 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。また、これらの施工条件を変化させた表面被覆試験体の屋外暴露試験を開始した。さらに、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を整理した。

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手法を確立してゆく必要がある。

今後、性能に影響を与える要因についてさらに実験研究を進めるとともに、施工環境を簡易かつ信頼性の高い方法で管理記録できるような手法について検討を加え提案してゆく予定としている。

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

ESTABLISHMENT OF REPAIR TECHNOLOGIES TO PROLONG THE SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURES

Budget : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Advanced Materials Research Team

Author : NISHIZAKI Itaru, MORIYA Susumu, SASAKI Iwao

Abstract : Surface coating with polymer material is one of the conventional and common repair methods for existing concrete structures. However, performance requirements as well as painting works quality control procedures for the repair materials have not been established as the national technical standards in Japan. One of the purposes of this research project is to develop performance test methods and to identify performance requirements for repair materials and systems of the concrete restoration. In this study, performance requirements and risks of incipient failures and re-deterioration are summarized firstly. Subsequently, because bond strength and barrier performance are important properties, laboratory tests were conducted to clarify the execution quality control factors. From the test results conducted in this fiscal year, temperature and humidity of painting works affect the bond strength and barrier performance. Painting construction environment temperature and humidity, around actual bridges was also summarized. In addition, field exposure tests launched using specimens with various failure conditions to prevent re-deterioration and to achieve enough durability for repaired concrete structures

Key words : Concrete, Repair materials, Surface coating, Quality standard, Painting environment, Re-deterioration