

戦-8 コンクリート表面保護工の施工環境と耐久性に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 26

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】

コンクリートの表面保護工法は表面被覆および断面修復がある。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。しかしながら、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、これは現場条件をあまり考慮していない工法選定や、塗布時の環境をはじめとした施工不備等が主な要因であると考えられる。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を確保するための、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。22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、重要な施工環境因子である構造物周辺の温湿度の長期観測を開始し、その初年度データを整理した。また、不具合発生事由の検証のための室内試験を行った。

キーワード：コンクリート、補修材料、表面保護工、品質規格、再劣化、施工条件、環境評価

1. はじめに

コンクリート構造物の表面に断面修復材ならびに塗装等被覆材を接着させる表面保護工は、塩害やASRの補修や耐震補強、あるいは増改築や景観対策などとして広く行われている。表面保護工は、腐食要因物質の遮断等のための重要な機能層であるが、その施工は現場作業となる。このため、温湿度をはじめとした施工環境が一樣ではなく、条件によって十分な接着性が得られないほか、供用中の早期再劣化のリスクをはらんでいる。しかしながら、管理基準としては、試験精度に課題を残す表面水分計による目安があるほか、被塗面の清浄度や湿潤状態の具体的な規定は不十分である。施工環境を簡易に評価できる試験方法や施工可否の判断のための明確な指標はないこともあり、施工環境管理レベルは現場技術者の経験や感覚に任されているのが実情であり、コンクリート補修工事の際の管理基準の不備が問題となっている。

コンクリート表面保護工の施工における、基盤養生条件、現場温湿度、断面修復材等の材料特性等の違いによる耐久性を明確にする必要がある。さらに、現場において簡易かつ面的に評価できる環境測定法を開発することにより、信頼性が高く長期耐久性を確保できるコンクリート構造物の整備保全を図ることができる。22年度は、表面被覆工法の施工環境と不具合発生の要因調査を行う

とともに、施工環境の観測と室内試験による不具合発生要因の影響の検証実験を行った。

2. コンクリート表面保護工の施工時の環境条件に起因する接着不良要因の検討整理

2.1 施工環境と表面保護工の性能

表面保護工法は、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。

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、再劣化を誘発しう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しう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. 構造物周辺の施工環境評価

3.1 橋台各部の温湿度変化（分布）の長期観測

温湿度環境により表面保護工の各種性能が損なわれることが示唆されたが、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みられ、これら分布で施工環境が特に厳しい箇所において補修材の再劣化等の不具合が発生するものと考えられる。

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-1に示す実橋各所において、温湿度の長期観測を開始した。対象構造物は、土木研究所つくば構内の橋台で、床版裏面やジョイント近傍含む複数の箇所において、温湿度データロガーを用いた自記記録によりコンクリート表面近傍の長期環境観測を実施している。



図-1 実橋におけるコンクリート表面温湿度の観測状況

初年度に得られたコンクリート表面付近の温湿度の長期観測結果から、温湿度の推移ならびに月平均値と標準偏差を図-2に示す。

コンクリート混合物近傍の温度は、8月が高く1月が低い、概ね気温と同様な変化を示すことがわかる。その日中の変動幅をみると、夏季よりも冬季の方が温度の振幅が小さいことがわかる。湿度については、平均湿度は50～80%であるものの、日間の変動幅は、温度と変動幅と密接に関係することもあり秋から冬にかけてその環境変化が大きいことがわかる。

図-3には、床版裏面と橋台外面の秋から冬の温湿度環境変化の相違を示す。同じ橋梁まわりの位置が違っただけであるが、温度と湿度ともにその平均値は異なる。とくに、寒冷期の湿度の日間変動幅が大きく、コンクリート躯体の温度変化を考慮すると結露の発生が懸念され、表面保護工の施工信頼性に影響を与えうることがわかった。

そのほか、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などもわかった。構造物の置かれた環境と、施工のための足場をはじめとした養生により、施工環境は一様でなく、表面保護工の施工の信頼性確保のための留意点の1つであることがわかる。

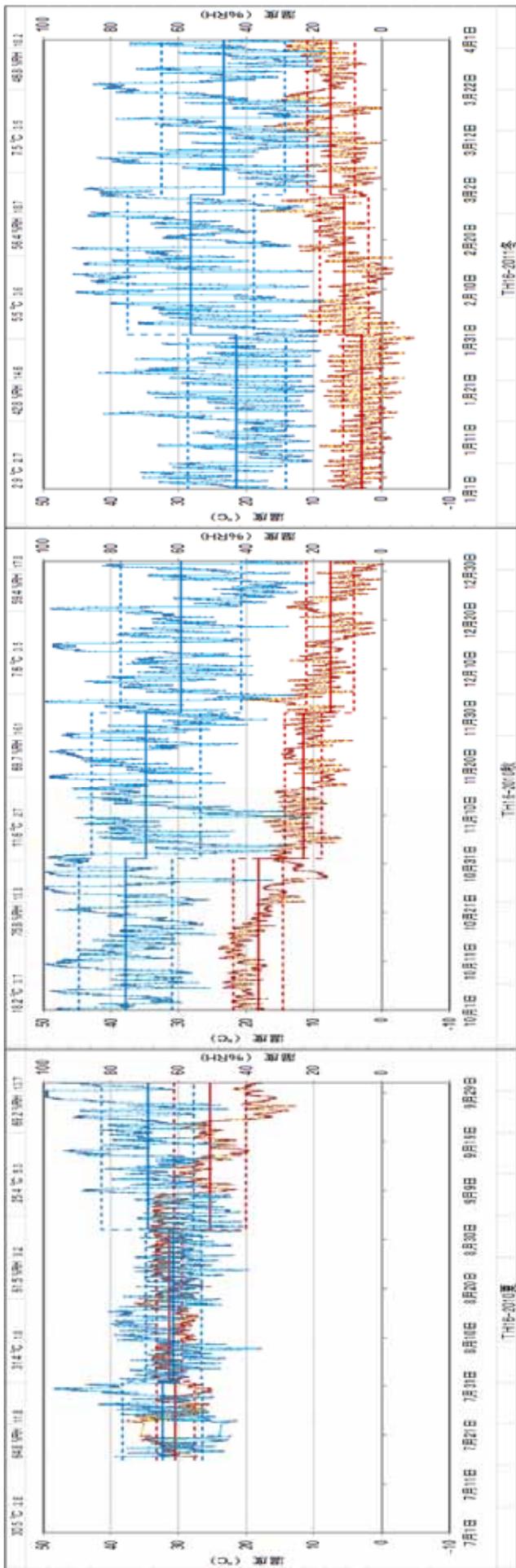


図-2 コンクリート表面付近の温湿度の変化(夏・秋・冬:平22年度 第2~4半期)

今回の集計では季節毎の推移ならびに平均温度の月変動として整理したが、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。

3.2 コンクリート躯体温度と気中温湿度

コンクリート構造物は一般に容積があり熱容量が大きいことから、気温とは異なる温湿度変化を生じているものと考えられる。コンクリートと大気との温湿度が異なる場合、表面での結露が生じ、これは表面保護工の施工の信頼性確保において大きな問題となる。

コンクリートの躯体温度と気中温湿度の観測として、つくば暴露場内の擁壁の断面修復箇所において、図-4に示すように、深さ方向に複数(修復表面、基盤コン層間、コン内部)の位置における温湿度観測を行った。



図-4 コンクリート擁壁深さ方向の温湿度観測

図-5に、コンクリート表面付近の温湿度の変化の代表例2日分の観測結果を示す。コンクリートの温度は、表面から内部にいくにしたがってその変動は緩慢になり、また、時間的な位相遅れが生じていることがわかる。南東面と北西面の時間変化からわかるように、表面付近の温度は日照の影響を大きく受けることもわかる。湿度については、コンクリート構造物表面では大気湿度と同様な変動を示すが、コンクリート内部に埋設された湿度センサの値は、コンクリートのわずか5 cm内部でも高湿度で安定し、わずかな変化が見られるのみであった。

大気温湿度とコンクリートの温度が異なるということは表面に結露が生じるリスクが非常に高いということであり、これは表面保護工の施工の信頼性に大きな影響を与える事であり注意を要する。とくに、構造物下面、特に支障周り等の暗部では日射がないことからコンクリートの温度が常に低く結露しがちであるため、施工環境管理について留意が必要である。

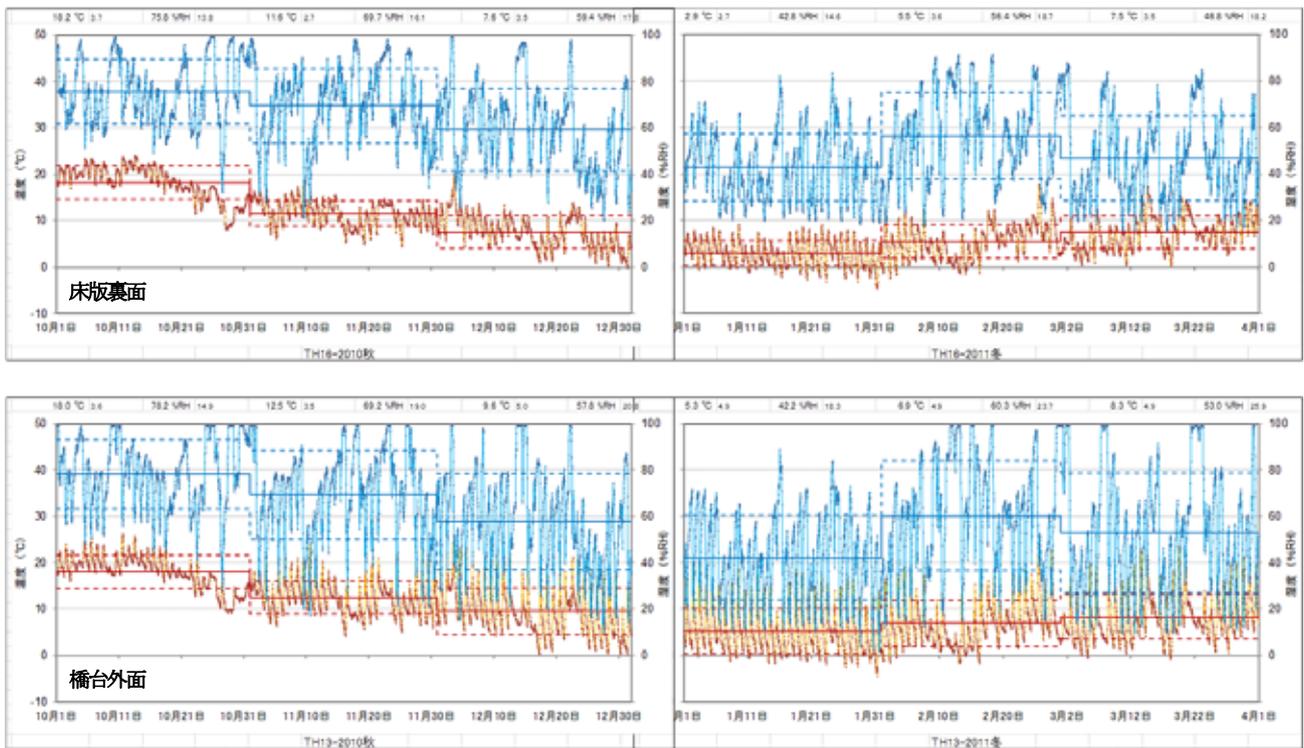


図 - 3 コンクリート表面付近の温湿度の床版裏面と橋台外面の相違

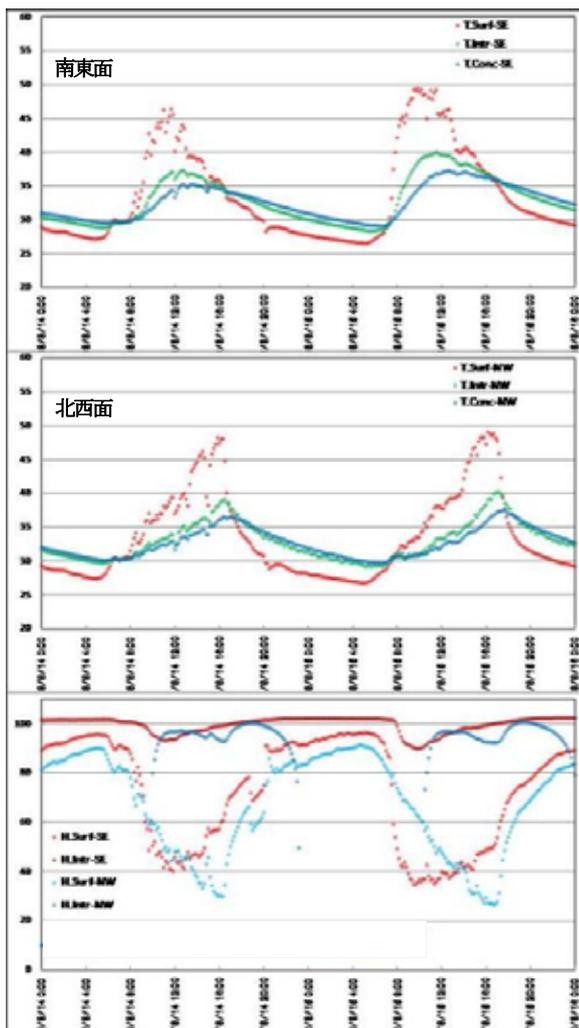


図 - 5 コンクリート表面付近の温湿度の変化の例

4. コンクリート表面水分変化と測定精度

コンクリート保護工の施工管理として、施工表面の水分管理が重要であることがわかった。施工時のコンクリート表面水分の管理を、有効かつ簡易に、精度良く達成するかが重要である。表面水分状態の評価手法としては、高周波容量式や直流電気抵抗法などの表面水分計があるが、その適用性や精度を確認しておく必要がある。

コンクリート供試体表面水分の変化を、脱型直後、絶乾後、水浸後等に、質量変化ならびに表面水分計により測定 (図-6) した。



図 - 6 コンクリートの表面水分変化の測定

無収縮モルタル(A)、断面修復用モルタル材(B)、断面修復用ポリマーセメントモルタル(C)の、打設脱型直後の水分量変化の測定した。

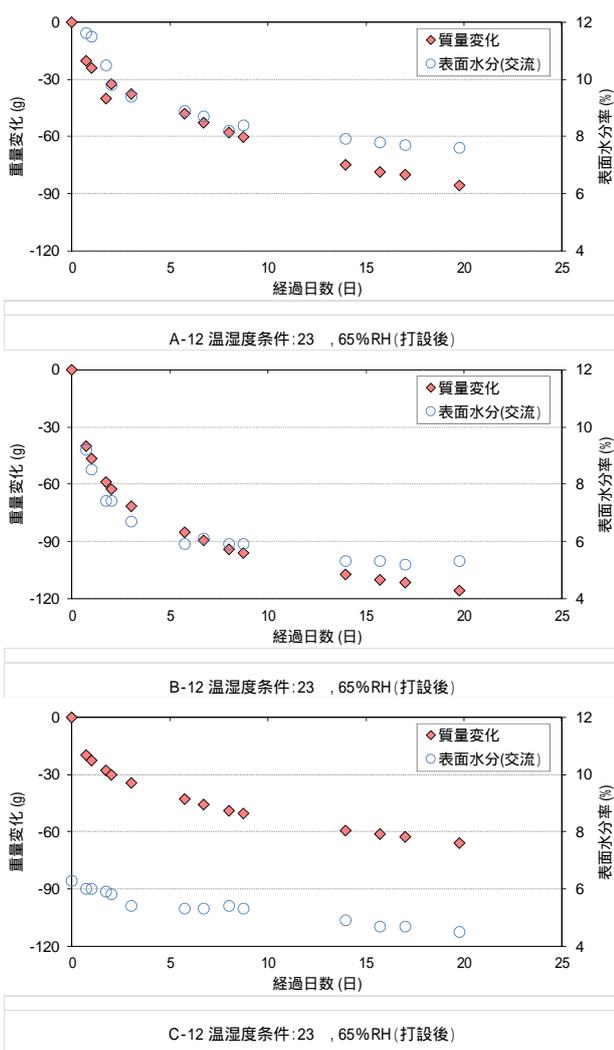


図 - 7 乾燥過程における水分量変化

図-7に示すように、質量法と水分計とも、打設脱型後に 23°C65%の恒温恒湿槽中での水分蒸発による含水率の減少の様子が確認された。ただし、ポリマーを含まない材料については定量的な線形対応関係がみられたが、ポリマーセメントモルタルの指示値とは異なっていた。

一方、図-8に示すように、同一供試体を 105°Cにて絶乾させた後に 23°C65%にて気中水分を吸着する過程においては、質量変化でみられる含水量の上昇を表面水分計でとらえることはできなかった。

現場で容易に実施できる方法として、大気露点温度と表面温度を目安に管理規準を設定することも有効と考えられる。面的な測定を可能とする、たとえば、色などの目視や指触確認等の簡易な方法でコンクリート表面の水分状態を把握し、試験紙等による判定と記録や透気等の活用をあわせた、現場で手軽に実施可能な施工環境管理試験方法を開発することが望ましい。

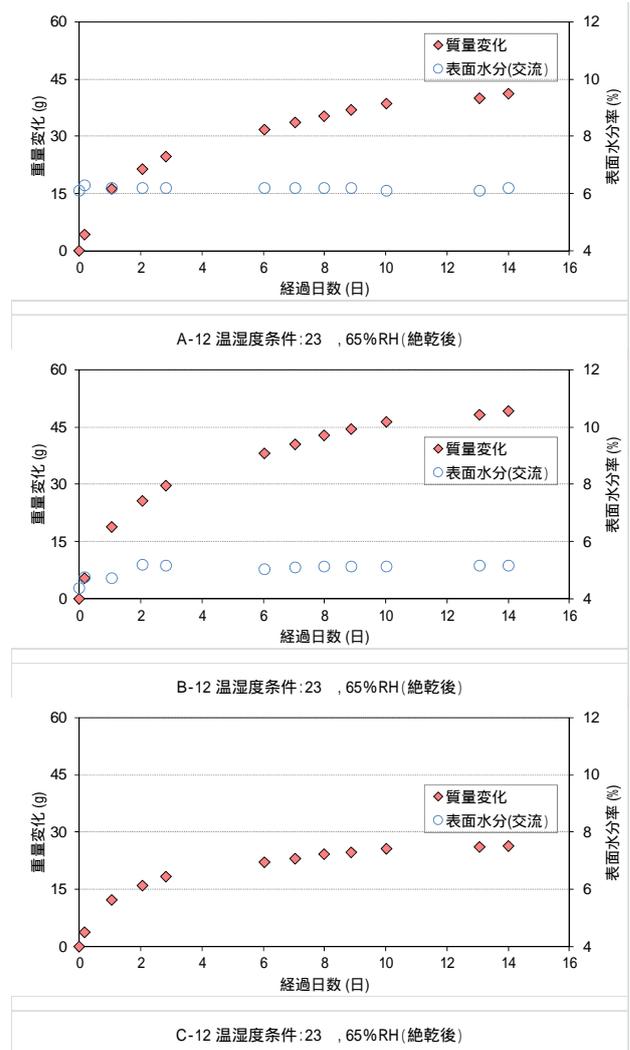


図 - 8 湿潤過程における水分量変化

5. まとめ

本研究は、塩害やASRの補修や耐震補強あるいは増改築や景観対策など、コンクリート構造物の整備と管理における重要な対策工である表面保護工の品質確保のための試験調査である。断面修復材ならびに塗装等被覆材を接着させる表面保護工は、コンクリート等の素地調整、被塗面の清浄度、含水状態、現場の温湿度環境など、施工時の管理条件が性能や耐久性を左右する。セメント系材料およびポリマ系材料ともに低温時には硬化速度が大きく低下することから、冬季や寒冷地において施工後の性能や耐久性に与える影響も大きい。また、特に補修工事においては、ひび割れの状態や浸透塩分の程度などにより、適用可否や材料選定等の対策の検討が重要となってくる。

コンクリート構造物の長寿命化のための表面保護工法の性能確保のための施工管理技術の確立を目的に、施工

環境と不具合発生要因について調査を行った。湿潤や低温時の施工が、硬化被膜の付着性や遮蔽性に影響を与えることが懸念された。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長期観測を開始し、その結果を整理した。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。

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

STUDY ON THE EXECUTION ENVIRONMENT AND DURABILITY OF SURFACE PROTECTION MATERIALS FOR CONCRETE STRUCTURES

Budget : Grants for operating expenses General account

Research Period : FY2010-2014

Research Team : Advanced Materials Research Team

Author : NISHIZAKI Itaru, MORIYA Susumu, SASAKI Iwao

Abstract : Surface protection materials are 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.

Key words : Concrete, Repair materials, Surface protection, Quality standard, Re-deterioration, Execution condition, Environment evaluation