

## ⑬-3 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

### 13.3 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

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（基礎材料、新材料チーム）  
寒地保全技術研究グループ（耐寒材料）

研究担当者：渡辺博志、西崎到、島多昭典、片平博、佐々木巖、  
櫻庭浩樹、三原慎弘、内藤 勲、吉田行、遠藤裕丈、  
野々村佳哲、水田真紀、山田正二、川村浩二、渡邊  
尚弘、横山博之、高玉波夫、鳥谷部寿人、市川清一、  
藤田裕司、高田尚人、渡辺淳、鈴木哲、鶴澤利樹

【要旨】 コンクリート構造物の長寿命化の実現には補修対策の確立が重要である。コンクリートの補修材策には主に表面被覆、断面修復、および、ひび割れ補修などがあり、これらを3チームで分担して研究を行っている。26年度は、補修対策後の不具合事例の類型化を行い、補修工法の選定手順等との関連を整理した。さらに、各種補修工法のうち、断面修復工法に関しては、断面修復材の圧縮強度試験方法や、下地コンクリートとの付着強度試験方法等についての検討、表面被覆工法に関しては、コンクリート構造物の温湿度等の長期観測、現場に適用可能な簡易な含水状態評価および施工条件が異なる表面被覆材の屋外暴露試験を実施と、温湿度や含水状態が表面被覆材の性能に及ぼす影響を検討、ひび割れ修復工法に関しては、低温環境でのひび割れ注入材の流動性や充填性およびエフロッセンスが析出したひび割れに対するひび割れ注入工法の適用性の検証等を実施した。

キーワード：コンクリート、補修、再劣化、表面被覆、断面補修、ひび割れ注入

#### 1. はじめに

今後急速に増加する高齢化したコンクリート構造物を安心して利用するには、適切な補修等によるコンクリート構造物の長寿命化技術の確立が必要不可欠である。補修対策技術には、様々な補修材料や補修工法が存在するものの、期待した補修効果が得られていない場合もあるなど、未だ十分に確立していないのが現状である。

本研究課題は、補修技術の妥当性を検証する標準的な考え方（補修メカニズムとこれに基づく要求性能、性能評価方法など）を検討し、コンクリート補修に関わる体系化されたマニュアルとして取り纏めることを目標としている。本研究では、代表的な補修工法である、断面修復、表面被覆およびひび割れ修復について、建設材料に関連する3チームで分担し、かつ、横断的に連携しながら総合的な補修技術の体系化を目指すものである。

26年度は、補修後の不具合事例の類型化を進め、補修工法の選定手順等との関連を整理した。また、各種補修工法について、断面修復工法は、断面修復材の圧縮強度試験方法や、下地コンクリートとの付着強度試験方法等の検討、表面被覆工法は、コンクリート構造物の温湿度等の長期観測、現場に適用可能な簡易な含水状態評価および施工条件が異なる表面被覆材の屋外暴露試験の実施、温湿度や含水状態が表面被覆材の性能に及ぼす影響を検

討、ひび割れ修復工法は、低温環境でのひび割れ注入材の流動性や充填性およびエフロッセンスが析出したひび割れに対するひび割れ注入工法の適用性の検証等を実施した。

#### 2. 不具合事例の類型化と補修工法選定手順の検討

コンクリート構造物の補修は、コンクリート構造物の劣化を抑制し、耐久性等の性能を回復・向上させることを目的としている。しかし、補修されたコンクリート構造物に早期に再劣化が生じ、期待した効果が発揮されていない事例が見られている。

本研究課題では、上述の背景のもと、25年度までに補修後に再劣化が生じている事例を調査し、劣化状況、工法選定理由および施工方法等から不具合となる劣化要因を推察し、改善策を取り纏めた不具合事例集の作成を行った。26年度は、収集した不具合事例をさらに類型化して補修工法の選定手順等との関連を整理し、それらの関連を踏まえて補修対策施工マニュアル案の作成を進めた。

##### 2.1 不具合事例の類型化

不具合事例の整理は、次の3段階で行った：1) 各補修工法の不具合事例を収集、2) 劣化機構で不具合事例を分類、3) 分類した劣化機構に基づいた不具合事例の発生要因等を検討。結果として、表-2.1 に示すイメージのよう



図-2.1 道路橋コンクリート床版の再劣化事例



モルタル面のひび割れ



モルタルの土砂化

図-2.2 河川コンクリート堰堤の再劣化事例



ひび割れとエフロレッセンス



沈下ひび割れ

図-2.3 河川コンクリート樋門の再劣化事例

に補修工法の種類に依らず、劣化状況判断（調査時等）、工法選定（設計時等）および現場管理（施工時等）の3つのパターンに分類できた。以下に、これら3つの不具合発生パターンによる不具合事例を紹介する。

2.2 劣化状況の判断（調査時等）に関する不具合

図2-1は、道路橋コンクリート床版の再劣化事例を示す。本橋梁は海岸付近にあり、コンクリート床版と桁の塩害劣化による損傷部を断面修復工法で補修した際に、予防処置として塗装系の表面被覆を行ったが、数年後に表面被覆の浮きや錆汁等が発生し、その後、被覆材が大きく剥がれ落ちた。これは、コンクリートの塩分除去が不十分であったと考えられ、劣化状況の判断に誤りがある場合の典型的な事例である。このような場合では、補修対策が十分に効果を発揮せず、結果として再劣化を生じる場合があることがわかる。

2.3 材料選定（設計時等）に関する不具合

図2-2は、河川コンクリート堰堤の再劣化事例を示す。この堰堤は寒冷地域のコンクリート構造物であり、凍害により劣化したコンクリート表面を除去した後、モルタル吹付けにより補修した。補修後、モルタル面に多数のひび割れとモルタルが土砂化した再劣化が生じた。再劣化した直接の原因は凍害であるが、吹付けモルタルは施工時にエントレインドエアが消失し易いこと<sup>り</sup>、本事例のモルタルにはポリマーが含有されていないこと等、耐凍害性に劣る材料を使用したために不具合が生じたと推察される。本事例より、補修に用いる材料の選定を誤る

表-2.1 不具合事例の類型化のイメージ

不具合発生要因	工法	ひび割れ修復	断面修復	断面修復&表面被覆	表面被覆	その他
劣化状況判断 (調査時等)						
材料選定 (設計時等)		補修工法の種類に依らず、3つの不具合発生パターンで、不具合事例の類型化が可能				
現場管理 (施工時等)						



図-2.4 劣化要因と補修工法の選定手順等の関連

と、不具合が生じる場合があることがわかる。

2.4 現場管理（施工時等）に関する不具合

図2-3は、河川コンクリート樋門の再劣化事例を示す。本事例は、凍害劣化部を除去して断面修復し、予防措置として表面被覆が実施されたものである。補修2年後に被覆表面にひび割れが確認され、その後、ひび割れの拡大とエフロレッセンスの析出が確認された。調査の結果、この再劣化は、冬期に断面修復を実施した際、接着面にプライマー処理をせず、さらに十分な養生日数を経ずに脱型したために僅かな沈下が生じたことに起因することがわかった。本事例より、現場の施工管理に不備がある場合は、品質に問題が生じ、期待した補修効果が得られないことが示された。

2.5 劣化要因と補修工法の選定手順等の関連

図-2.4に、要求性能と劣化要因、補修工法の選定手順等の関連を示す。劣化状況の判断（調査時等）、材料・工法選定（設計時等）、現場管理（施工時等）を誤った場合、結果として、補修に対する要求性能の設定を満足しない。このため、期待した補修効果を得るためには、適切な補修工法の選定手順が重要であり、上述した3つの不具合発生要因に留意することが重要であることを示している。

本検討に基づき、不具合発生の抑止がなされるような、コンクリート補修の基本的な考え方を示す、補修対策施工マニュアル案の作成を進めている。

3. 断面修復工法に関する研究報告

3.1 概要

断面修復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いるが、要求性能や評価試験方法に関して、国内において統一した基準が確立するには至っていない。そこで断面修復工法に必要な要求性能およびその検査試験方法を確立することを目的に研究を行っている。

断面修復材の重要な性能として、断面修復材そのものの強度や変形性、耐久性や、下地コンクリートとの付着強度特性等があげられる。現在、これらの試験方法としては、JIS や土木学会規準、あるいはNEXCO の社内規格等において、いくつかの方法が提案されているが、各種試験方法が統一されるのは至っていない。そこで 26 年度は、断面修復材の圧縮強度試験方法と、下地コンクリートとの付着強度試験方法について、試験体寸法や載荷速度等が測定強度に与える影響について実験的な検討を行った<sup>2)</sup>。

また、断面修復材の施工では、塗布厚さが薄いことから、養生の影響を強く受けることが予想される。そこで、環境温度と養生日数が断面修復材の圧縮強度、引張強度（割裂強度）、および付着強度に与える影響について検討を行った。

3.2 断面修復材の配合

実験に使用した断面修復材の配合を表-3.1 に示す。市販の断面修復材の標準的な配合条件を参考として水結合材比を 46% とし、粘性を確保するため一般的に使用されている石灰石微粉末を添加した。また、はく離抵抗性やひび割れ抵抗性を確保するために短繊維や膨張材、収縮低減剤を混入した。H-0 はセメントモルタルの配合であり、H-A5 はこれにポリアクリル酸エステル系のポリマーを混入したポリマーセメントモルタルの配合である。また、H-0 と H-A5 は早強ポルトランドセメントを使用した配合であるのに対して N-A5 は普通ポルトランドセメントを使用した配合である。

3.3 圧縮強度試験方法の検討

断面修復材料を対象とした圧縮強度試験方法には、一般に以下の 1)~3)の方法が用いられている。そこで、こ

の 3 通りの試験方法の結果を比較した (図-3.1 参照)。

- 1) 40×40×160mm 角柱供試体で曲げ試験を行い、その試験片を用いる方法 (JIS A 5201 セメントの物理試験方法)
- 2) φ50×100mm 円柱供試体を用いる方法
- 3) φ100×200mm 円柱供試体を用いる方法 (JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法)

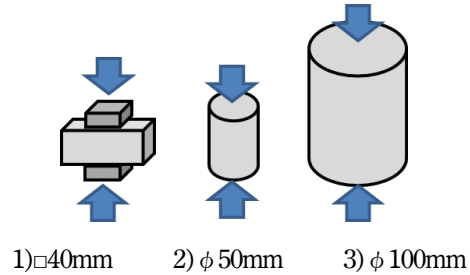


図-3.1 圧縮強度試験方法の比較

H-0 と H-A5 配合を対象に上記 1)~3)の供試体を 3 本ずつ作製し、湿布養生を 28 日行った後に、圧縮強度試験を実施した (1)については試験片 6 体)。試験結果は図-3.2 に示すように得られる圧縮強度は 1)>2)>3)の順となった。圧縮強度に差が生じた原因は、供試体の形状や寸法の違いによるもので、コンクリートの試験で見られる一般的な傾向<sup>3)</sup>と同様であった。仮に 3)の強度を標準と考えると 1)の結果は約 2 割、2)の結果は約 1 割大きい傾向であり、この傾向を把握しておくことで、どの圧縮強度試験方法を用いても圧縮強度の管理が可能と考えられる。

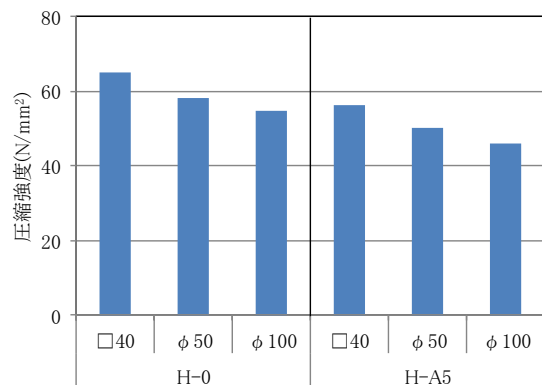


図-3.2 圧縮強度試験結果

表-3.1 断面修復材の配合

配合名	水結合材比 (wt%)	ポリマー結合材比 (wt%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								
			水	セメント	膨張材	石灰石粉	細骨材	ピニロン繊維	収縮低減剤	ポリマー	
										アクリル系	SBR系
H-0	46	0	356	早強 744	30	244	712	2.6	16.7	—	—
H-A5	46	5	356	早強 744	30	244	712	2.6	16.7	39	—
N-A5	46	5	356	普通 744	30	244	712	2.6	16.7	39	—

3.4 付着強度試験方法の検討

下地コンクリートと断面修復材の付着強度を求める方法にはいくつかの方法があるが、建研式接着力試験機に代表されるような片引き試験（図-3.3）は、その利便性から広く普及している。そこで、この片引き試験に着目して、載荷面の形状や面積、載荷速度等が試験結果に与える影響について検討した。

試験体は、図-3.4に示すように100×100×400mmの角柱とし、型枠天端よりも12mm低い位置まで下地コンクリート（ $G_{max}$ 20mm、W/C50%）を打ち込み、コンクリー

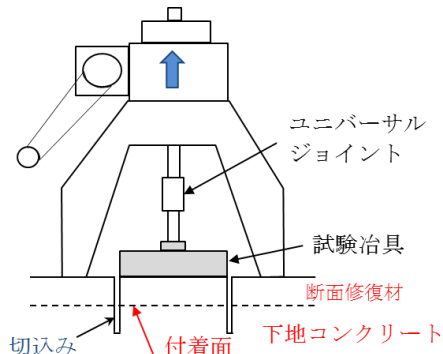


図-3.3 片引き試験の概要

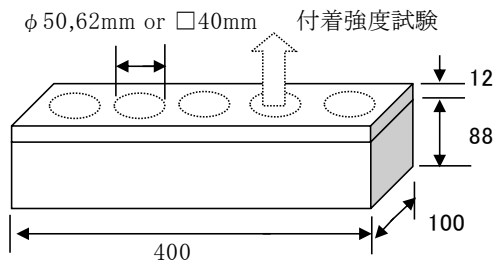


図-3.4 付着強度試験用の試験体（単位:mm）

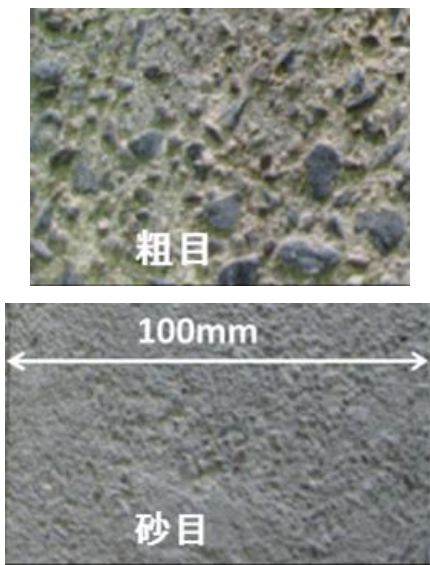


図-3.5 下地コンクリートの表面粗さ

トの表面粗さを図-3.5に示すところの砂目と粗目の2水準に設定した。また、断面修復材塗布前の下地コンクリート表面に対して、ドライアウト防止のための下地調整として水湿し処理、またはプライマー処理（アクリル系ポリマーを塗布）を施した。断面修復材（H-0）を塗布し、7日間の湿布養生後に、載荷条件を種々に変えた付着強度試験を実施した。

載荷面の形状をφ50mm（コアマシンによる湿式切削）、φ62mm（同）、□40mm（ハンドカッターによる乾式切削）の3水準とした。付着強度試験結果を図-3.6に示す。

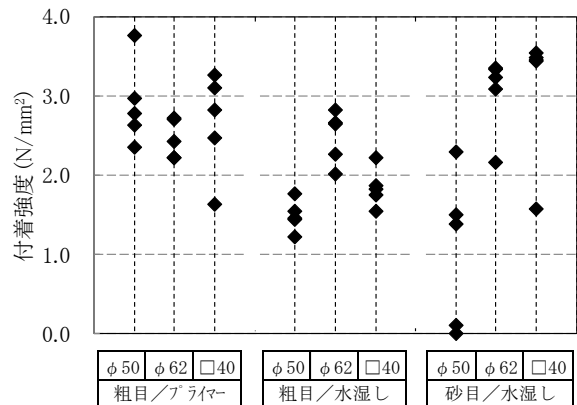
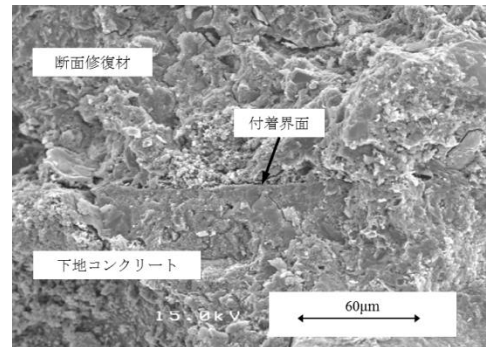
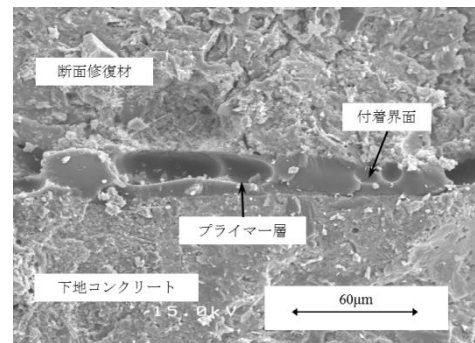


図-3.6 載荷面形状、寸法と付着強度の関係



(a) 水湿し処理



(b) プライマー処理

図-3.7 付着面の電子顕微鏡写真

これによれば、下地処理がプライマー処理の条件ではいずれの形状でも高い付着強度が得られた。水湿し処理の条件ではφ50mmの場合、表面粗さが粗目の条件でやや付着強度が低下し、砂目の条件では2箇所が切削中にはく離するなど、付着強度が低くなった。

この原因を探るために、付着面の状態を電子顕微鏡で観察した。なお、この電子顕微鏡観察に用いる試験体は、観察を容易にする目的から、下地コンクリートの表面を平らに仕上げた状態で水湿し処理、またはプライマー処理を施し、そのうえに断面修復材を塗布した。電子顕微鏡写真を図-3.7に示す。プライマー処理の場合は画面の中央部にプライマーの層が確認でき、このプライマー層によって下地コンクリートと断面修復材が密着していることが確認できる。これに対して、水湿し処理の場合には、付着面の大部分は密着しているものの、部分的に僅かな隙間が確認された。特に付着面の凹凸が小さい条件では、この微細な空隙が水平方向に連続する確率が高くなり、そこに切削抵抗がかかることで、はく離が生じたものと考えられる。なお、水湿し処理、プライマー処理の双方とも、付着面付近の修復材には良好な水和生成物が確認されており、ドライアウトの発生は確認されなかった。

図-3.8は載荷速度が付着強度に与える影響である。現状において、片引き試験の載荷速度を規定した規格はなく、ここでは「JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法」に規定されている付着強度試験方法の載荷速度0.02N/mm<sup>2</sup>を中心に、低速側を1/5、高速側を5倍の載荷速度として実験を行った。この結果によれば、載荷速度が速くなるほど得られる付着強度は高くなり、バラツキは大きくなる傾向を示した。この傾向はコンクリートでも見られる現象<sup>4)</sup>である。

このように載荷面形状、寸法や載荷速度は試験結果に影響を与えるため、試験方法の標準化が必要と考えられる。

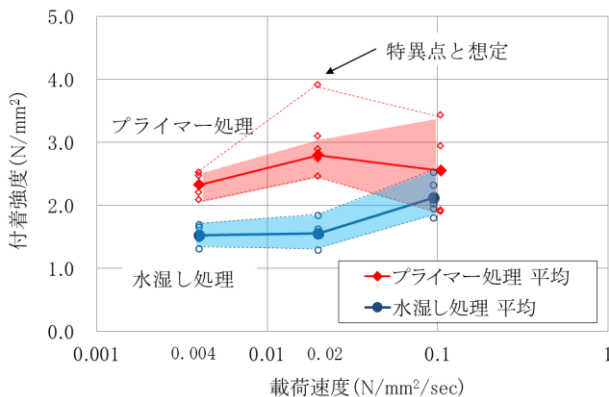


図-3.8 載荷速度と付着強度の関係

### 3.5 環境温度と養生日数の影響

表-3.2に示すように、実験室内の温度を5°C,20°C,35°C(相対湿度はいずれも60%)として断面修復材を塗布した。断面修復材の種類は凝結速度の違いの影響をみるためにH-A5とN-A5とした。塗布後の湿布養生日数を0,1,2,7日と設定し、塗布後28日を経過した後に建研式接着力試験機による付着強度試験を実施した(図-3.3および3.4参照)。

表-3.2 実験条件

室内環境	温度	5, 20, 35°Cの3水準
	湿度	60%RH一定
圧縮強度試験	湿布養生日数1,2,7,28日時	
割裂強度試験	点で強度試験	
付着強度試験	湿布養生期間を0,1,2,7日とし、その後は上記室内環境で材齢28日まで放置、その後付着強度試験実施	

また、練混ぜた断面修復材を用いて圧縮強度用供試体(φ50×100mm)と割裂強度用試験体(φ50×75mm)を作製し、湿布養生1,2,7,28日経過時点で各2本ずつ強度試験を行った。

圧縮強度試験結果を図-3.9および図-3.10に示す。いずれの配合でも温度の影響を強く受け、5°Cの条件では強度増加が遅く、逆に35°Cの条件では速くなった。図-3.11に圧縮強度と割裂強度の関係を示すが、環境温度やセメントの違いに関係なく、一定の対応関係を示した。

付着強度試験結果を図-3.12~14に示す。図には試験体1体あたり(5個)の平均値を示した。ちなみに5個の試験値の標準偏差は概ね0.1~0.3N/mm<sup>2</sup>程度で、温度や養生日数とバラツキの大小との関連は見られなかった。

下地調整方法の違いによる付着強度の上限値は、どの環境温度においても、水湿し処理では2N/mm<sup>2</sup>程度、プライマー処理では3N/mm<sup>2</sup>程度であり、養生日数が短い場合にはそれよりも低い強度となった。この低い強度となった箇所の破断位置を調べると、そのほとんどが断面修復材での破断であり、付着面での剥離は見られなかった。

5°Cと20°Cの付着強度の傾向は類似しており、養生日数が0日あるいは1日の条件での付着強度はやや低くなった。言い換えれば、養生を2日行えば高い付着強度が得られると見ることもできる。ただし、今回の実験条件は、いずれの場合も材齢28日までの温度が一定で、湿布養生終了後の湿度環境も60%RH一定での条件である。屋外での環境を考えると、温度の日内変動があり、

⑬-3 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

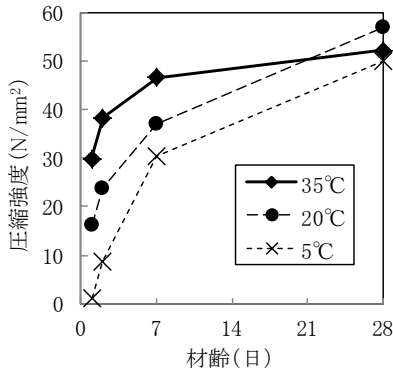


図-3.9 圧縮強度試験結果 (H-A5)

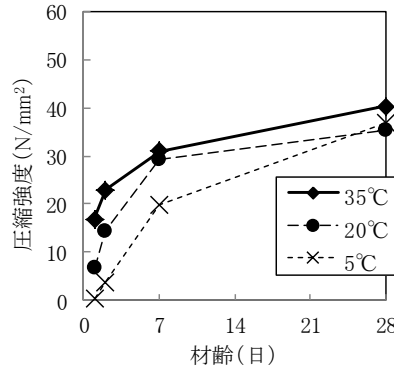


図-3.10 圧縮強度試験結果 (N-A5)

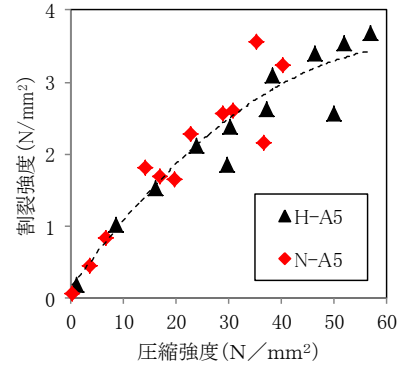


図-3.11 圧縮強度と割裂強度の関係

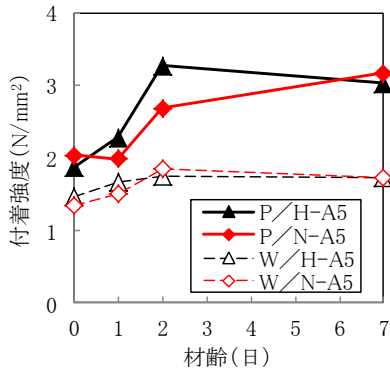


図-3.12 付着強度試験結果 (5°C)  
(凡例のP: プライマー, W: 水湿し)

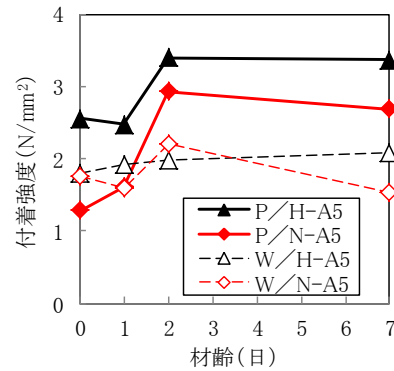


図-3.13 付着強度試験結果 (20°C)

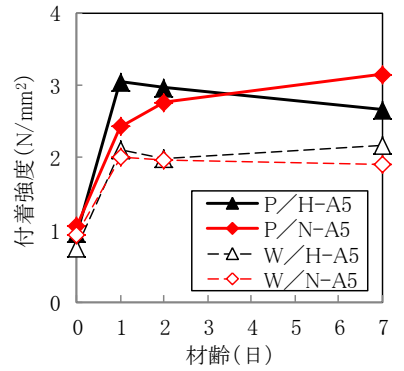


図-3.14 付着強度試験結果 (35°C)

湿度条件も 60%RH よりも厳しい場合も想定され、そのような場合には、さらに長い養生期間が必要となる可能性が考えられる。また、図-3.9や図-3.10に示すように、環境温度が5°Cの場合には強度増加がかなり遅れることから、ある程度の強度に達するまでは養生を継続する必要があると考えられる。

図-3.14に示す35°Cの付着強度は、養生日数0日の条件で極端に小さな値を示した。この状態では、断面修復材の打ち込み直後から水分の蒸発が起り、表面に微細な乾燥ひび割れが見られ、破断位置も全てが断面修復材の中での破断となった。シャーレ状の容器に水を溜め、一日当たりの水の蒸発量を測定したところ、5°Cで1.0kg/m<sup>2</sup>、20°Cで1.3kg/m<sup>2</sup>、35°Cで8.5kg/m<sup>2</sup>となり、同じ湿度60%RHでも35°Cの条件での蒸発量が大きいことが確認できた。

3.6 まとめと課題

断面修復工法に関して26年度は、圧縮強度試験方法、付着強度試験方法について、試験体寸法や荷重速度等が測定強度に与える影響について実験的な検討を行った。

この結果、圧縮強度試験方法に関しては、試験体の形状や寸法の影響を受けるが、その影響度合いはコンクリートでのものと同程度であることが分かった。

付着強度試験に関しては、片引き試験を対象に検討を

行った。荷重面形状については、円形コアで切削する場合、断面が小さい場合には強度低下が起きる可能性があること、下地調整方法に関しては水湿し処理よりもプライマー処理のほうが密着性に優れていること、荷重速度の影響については、荷重速度が速くなると見かけの強度が高くなり、試験値のバラツキが大きくなること等を明らかとなった。これらの結果を踏まえて、試験方法の標準化を図る必要がある。

また、環境温度と養生日数が付着強度に与える影響について実験的な検討を行った。今回の結果によれば、付着面での剥離は見られなかったものの、環境温度が低い場合は断面修復材の強度発現が遅れること、環境温度が高い場合には施工直後からの水分の逸散で断面修復材表面に微細なひび割れの発生が確認され、特にそのような条件下では十分な養生が必要であることが分かった。なお、今回の実験は温・湿度の日内変動の影響を考慮していないために、日内変動の影響を考慮した確認試験を行う必要がある。

断面修復材に関しては、上記以外にも、これまでに強度・変形性特性、耐久性(塩分浸透性や中性化抵抗性)、下地コンクリートとの付着性(表面粗さと付着強度の関係)等、様々な検討を行ってきている。また、長期的な耐久性を確認するための暴露試験も実施中である。今後はこれらを取りまとめ、断面修復工法の施工マニュアルをとりまとめる予定である。

## 4. 表面被覆工法に関する研究報告

### 4.1 概要

表面被覆工は、エポキシ樹脂等の有機系材料やポリマーセメント系の材料をコンクリート構造物の表面に塗布することで、遮蔽性の高い被膜を形成し、コンクリート構造物を保護する工法である。しかしながら、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する表面被覆材の膨れや内部の滞水等が生じ、早期に再劣化する事例が見られている。表面被覆材の材料品質については、国内の各機関が要求性能や試験方法を提案しているが、環境に応じた適用範囲や適切な施工条件などが十分に定まっているとは言えない状況であり、設計施工の管理技術の確立を図る必要がある。

このため、本研究では、表面被覆材の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た。25年度までに、湿潤や低温時の施工が、硬化被膜の遮蔽性や付着性にも影響を与えること、厳しい条件で施工された被覆材の性能低下を明らかにしている。26年度は、コンクリート構造物の温湿度等の長期観測、現場に適用可能な簡易な含水状態の測定および施工条件が異なる表面被覆材の屋外暴露試験を実施し、温湿度や含水状態が表面被覆材の性能に及ぼす影響を検討した。

### 4.2 コンクリート構造物表面の温湿度環境の長期観測

表面被覆等のコンクリート補修材は、施工時の温湿度条件が材料特性に大きく影響することを25年度までの研究で明らかにしている<sup>5)</sup>。このため、補修工事の施工においては適切な施工管理が必要であるが、同一構造物周辺でも、桁端部や床版裏、地面近傍や河川上部など、部位によって施工環境条件は一様ではない。湿潤空気とコンクリートの接触による結露や漏水もあり、施工環境を面的に把握して品質不良を防止するための管理項目を設定するとともに、施工管理およびその記録において、

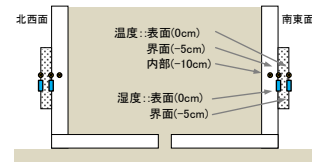


図-4.1 コンクリート擁壁における温湿度の測定位置

どこが不具合の発生リスクが高い箇所や時間帯なのか等を予測評価する必要がある。

本研究では、温湿度に関連した施工管理指標を明らかにするために、複数の実橋梁等において温湿度の分布と経時変化を長期観測している。26年度は、これまでに観測した、季節や日変動、結露リスク、降雨との関連、橋梁設置環境等を整理した<sup>6)</sup>。

#### 4.2.1 コンクリート擁壁の温湿度環境の経時変化

コンクリートの躯体温度と躯体近傍の大気の温湿度条件を調査するために、図-4.1に示すコンクリート擁壁（土木研究所つくば構内）において、表面からの深さ方向に複数の位置（地表から約100cmの高さ）で温湿度観測した。測定箇所に温度（T型熱電対）および湿度（高分子感湿型電子式）センサを設置し、温度および相対湿度を直接測定しデータロガーで記録した。なお内部湿度は、不織布で巻き左官仕上げ断面修復材で埋設された湿度センサの指示値である。

図-4.2は、当該擁壁の温湿度の観測結果を示す。コンクリートの温度は、表面から内部になるにしたがってその変動は緩慢になり、また、深さ方向に時間的な位相遅れが生じている。湿度は、コンクリート表面では周辺の大気湿度と同様な変動を示しているが、コンクリート内部の値は深さわずか5cmでも高湿度で安定し、昼間にいくらか変化が見られることが分かった。8月10日の午前中に表面の温湿度および日照時間が比較的急な変化を示しており、わずかな降雨があったものとみられるが、内部の状態変化は大きなものではない。降雨の影響は表層

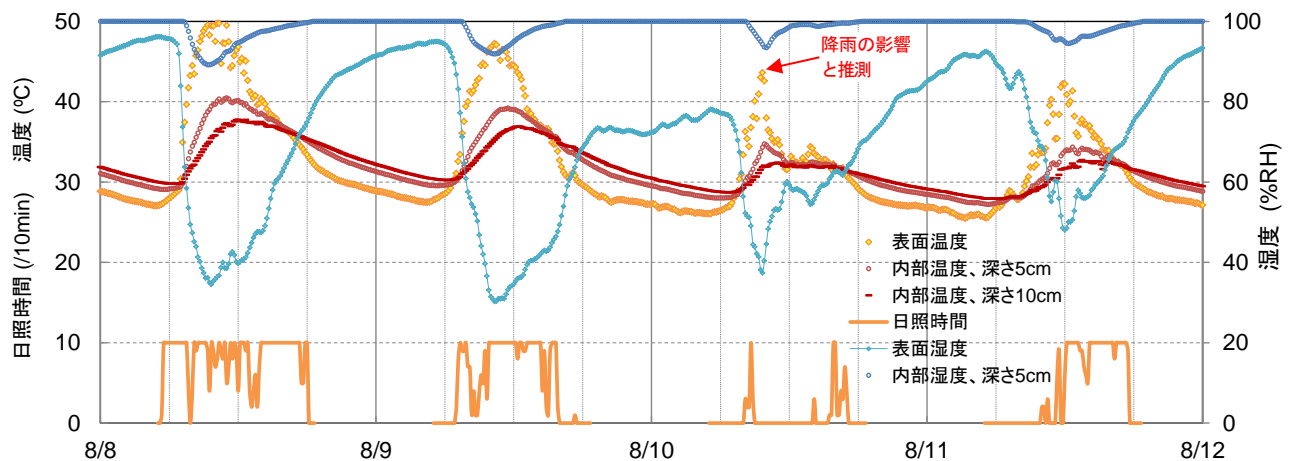


図-4.2 コンクリート擁壁の温湿度の観測結果



図-4.3 ジョイント漏水と樹木生育のある橋梁での観測



図-4.4 小河川に架かる橋梁での観測 (PC 桁端部の桁間および北側面ウェブ)

部ほど顕著で、表面深さ 5cm 以上であれば水分分布の変動はきわめて小さいとの調査事例<sup>7)</sup>にもあるように、コンクリート内部の湿潤状態は温度変化に伴い相対湿度は変化するものの、水分の移動に支配されるため変化は緩やかである。このように、コンクリート内部は高湿度で安定的に推移しており、常に水分を抱えていると考えるべきであることがわかった。

#### 4.2.2 コンクリート構造物の部位と温湿度環境の相違

コンクリート構造物の部位と温湿度環境の相違を調査するため、地域や気象条件が同一で、橋梁の設置環境や管理状態が異なる橋梁において温湿度観測を行った。温湿度の観測は、図-4.3 および 4.4 に示す、ジョイントでの漏水と樹木生育のある橋梁および小河川に架かる橋梁で行った。

図-4.5 は、ジョイントでの漏水と樹木生育のある橋梁の橋台前面上端部の温湿度変化の観測例を示す。コンクリート表面近傍の温湿度は、気温低下する秋から冬の変動幅が大きく、構造物の部位によってその変化量が異なり、結露発生を懸念すべき状況を把握しておく必要があることがわかった。

図-4.6 は、小河川に架かる橋梁での温湿度の観測例を示す。結果として、変動幅は図-4.3 と同じ程度でも、湿潤状態が常に 5%程度高めに推移している。滞水や周囲の植生等の状況により、コンクリート表面近傍の湿度は高めに推移する可能性があることがわかる。コンクリート表面の環境条件は地域や地形、構造物の周辺状況等の存置条件によっても大きく異なることが明らかになった。実

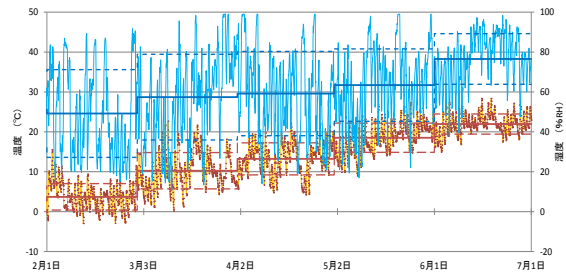


図-4.5 ジョイント漏水と樹木生育のある橋梁の観測例

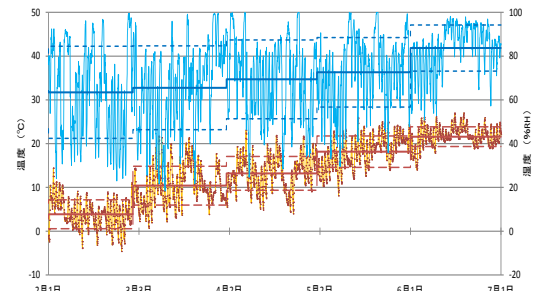


図-4.6 小河川上橋梁の観測例

際の施工現場では環境条件は一様ではなく、桁端部、床版裏および地面近傍など、一つの工区内でも局部的に異なる環境変化をすると推察される。

これらの結果から、橋台での滞水や周囲の植生等の状況により、コンクリート表面近傍の湿度は高めに推移する可能性があることがわかった。施工面全体に欠陥のない性能を確保するためには、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の明確化が必要である。基礎情報として実際の構造物の各所において季節ごとの変動を把握しておき、環境変化のリスクを一定の予測範囲の中で安全側に判定するような運用が考えられる。

#### 4.3 下地表層部の含水状態の評価

表面被覆材の接着性には、塗装下地の表層部の含水状態が影響することが、25 年度までの研究で明らかとなった。しかし、現場では含水状態の適切な評価は難しく、表面被覆材の施工においては、塗装下地の表面から数 mm の範囲の含水状態の評価が特に重要とある。そこで、本研究では、塗装下地の表面から数 mm の範囲に着目し、現場で簡易に適用可能な塗装下地の含水状態の評価手法を検討した。

##### 4.3.1 含水状態の測定方法

含水状態の評価は、測定原理が異なる場合、評価に影響する深さも変化すると考えられる<sup>8)、9)</sup>。図-4.7 は、含水状態の評価に影響する深さの概念図を示す。本研究では、評価に影響する深さを検討するため、液体の水・水蒸気に反応する変色紙 (水分検知紙・塩化コバルト紙)、質量測定に基づいた吸湿量 (ガーゼ・ろ紙) および水分



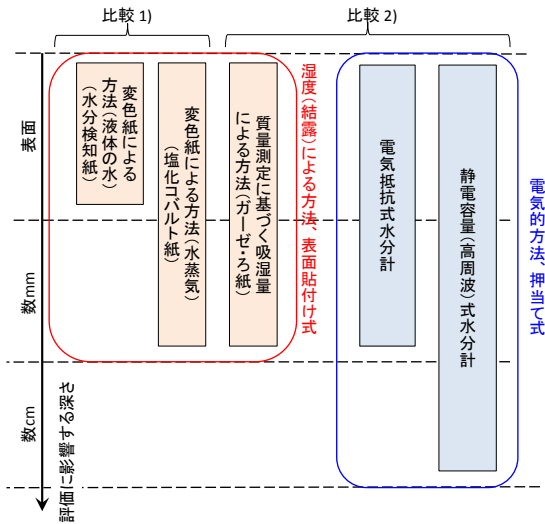


図-4.7 含水状態の評価に影響する深さの概念図

表-4.1 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			圧縮強度 (MPa)	吸水率 (%)
		水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)		
50	2.84	263	525	1490	46.7	7.4
75	2.17	394	525	1137	22.6	11.6

計による水分値（静電容量式・電気抵抗式）の比較評価を行った<sup>10)</sup>。

表-4.1は、試験に用いたモルタルの配合を示す。モルタル基材は、寸法30×30×6cmに成形した。水セメント比50%および75%のモルタル基材を2枚ずつ使用し、それぞれをW/C50-1、2およびW/C75-1、2として示す。モルタル基材の評価面は打設面とし、評価面には研磨処理は施していない。モルタル基材は、7日間水中浸漬させ、高含水状態とした。モルタル基材を水中浸漬から取り出し、ウェスを用いて評価面の表面水を取り除き、各方法による評価を行った。モルタル基材は、15°C25%RHの環境に静置した。

#### 4.3.2 含水状態の測定結果

図-4.8に含水状態の測定結果を示す。水分検知紙と塩化コバルト紙による測定結果では、水分検知紙の場合よりも塩化コバルト紙の場合の方が、湿潤状態(1:湿潤状態, 0:乾燥状態)と判定される時間が長い結果であった。これは、水分検知紙が液体の水に反応して変色するが、塩化コバルト紙は液体の水および水蒸気に反応して変色することによると考えられる。

ガーゼおよびろ紙の吸湿量の場合、時間の経過とともに吸湿量が小さくなる傾向が確認され、モルタルの水セメント比の違いによって測定結果が異なっている。また、

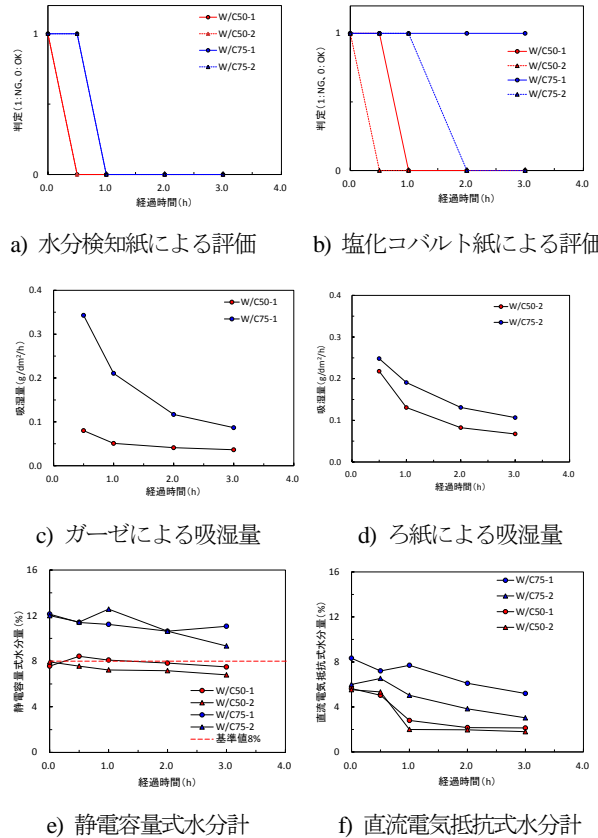


図-4.8 含水状態の測定結果

モルタル基材を水中浸漬から取り出し後、時間の経過とともに吸湿量が低下していることから、モルタル基材が乾燥していく過程を、ガーゼおよびろ紙による吸湿量を用いて定量化できると考えられる。

静電容量式水分計の場合、水中浸漬から取り出し後の経時変化は、1~3%の範囲であり、3時間経過後も、国内で使用されている静電容量式水分計による水分量の基準値<sup>11)</sup>を上回っている場合もある。直流電気抵抗式水分計の場合、水中浸漬から取り出し後の経時変化は、3~4%の範囲であり、静電容量式水分計の場合と比較し、水中浸漬から取り出し後に水分量が低下する傾向がある。

以上より、含水状態の測定原理の違いによって、含水状態の傾向が異なることが確認された。これらの方法を施工環境や使用材料の性質に合わせて選択し、塗装下地の表層部の含水状態を管理、記録することが重要と考える。

#### 4.4 屋外暴露試験による施工環境が表面被覆材の耐久性に及ぼす影響の検討

4.2節および4.3節で述べた検討を踏まえ、温湿度や含水状態等の施工環境が表面被覆材の性能に及ぼす影響を屋外暴露試験により検討することとした。

暴露試験の供試体は、表4.1に示す2種類の配合のモ

⑬-3 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

ルタル基材 (30×30×6cm) に表-4.2 に示す表面被覆材を塗布して作製した。表面被覆材の塗装は、表-4.3 に示す施工環境で行った。作製した供試体を、図-4.9 に示す新潟県糸魚川市市振の屋外暴露場に2014年7月に設置し、表面被覆材の長期耐久性を検討することとした。

暴露試験開始から9か月経過後に、表面被覆材の種類が異なるいくつかの供試体について、接着性の評価を行った。接着性の評価は、JIS K 5600-5-6 : 1999 [塗料一般試験方法]を参考にし、クロスカット試験を行った。

幅5mmのクロスカットガイドとカッターナイフを用いて、全9マスの切込みを入れた後、透明粘着テープを貼りつけて引き剥がし操作を行った。次に、塗膜の破壊部位を記録し、マス目の数から破壊部位の面積率を算出した。破壊部位は図-4.10のように区別した。

図-4.11 に破壊部位の面積率を示す。23°C60%、乾燥基材の場合、EP2の破壊部位が「B(K) : 表面被覆材層間の界面破壊」であることを除いて、破壊部位は「BC : 透明粘着テープの剥離」となり、表面被覆材は概ね良好な接着性を発現していることを確認した。一方、5°C90%、湿潤基材の場合、破壊部位は「AB : 基材と表面被覆材の界面破壊」、「B(G) : 表面被覆材内の凝集破壊」および「B(K) : 表面被覆材層間の界面破壊」が認められ、接着性は著しく低下した。これらの結果により、低温高湿で基材が湿潤状態で施工された表面被覆材は、長期耐久性の観点からは、接着性の低下に起因する、膨れや剥がれ等の不具合が生じる可能性があると考えられる。低温高湿で基材が湿潤状態の条件で施工する可能性がある場合は、その影響を考慮した上で施工計画を立てる必要があると考えられる。

4.5 まとめと今後の課題

実橋梁等において温湿度の分布と経時変化を長期観測するとともに、含水状態の評価方法の検討および施工条件を変化させた表面被覆材の屋外暴露試験を行った。長期観測の結果より、表面被覆材の不具合発生を抑止するためには、施工において注目すべき箇所や時間帯等の管理指標を明確化する必要があることを示した。含水状態の評価では、測定原理に留意し、含水状態を管理することが重要であること示した。施工条件を変化させた表面被覆試験体の屋外暴露試験については、低温湿潤環境で施工する場合に表面被覆材の接着性は著しく低下することを確認し、同環境で施工する場合の影響を明らかにした。

今後、表面被覆材の塗布時の施工条件、供用中に受ける環境履歴あるいは構造物の重要度等に応じた、材料選定に関する設計手法および施工管理項目の提案、表面被覆工法の施工標準マニュアル(案)の作成を行っていく。



図-4.9 市振暴露場における表面被覆材の屋外暴露

表-4.2 表面被覆材の仕様

名称	EP1	UR	UT	PCM	EP2
中塗主成分	エポキシ	変性ポリウレア	ウレタン	アクリル系 EMS*	エポキシ

\*EMS : エマルジョン

表-4.3 表面被覆材の施工環境

温湿度	モルタル基材の含水状態	モルタル基材の品質
低温低湿 5°C90%	湿潤基材	低品質 (W/C75%)
		標準品質 (W/C50%)
常温常湿 23°C60%	乾燥基材	低品質 (W/C75%)
		標準品質 (W/C50%)

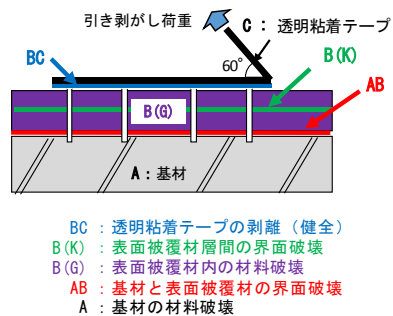


図-4.10 試験の概要と破壊部位を表す記号

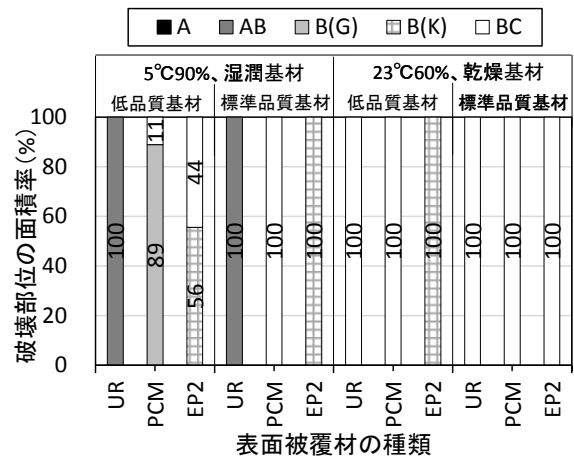


図-4.11 破壊部位の面積率

5. ひび割れ修復工法に関する研究報告

5.1 概要

コンクリートのひび割れは、水や塩分等の浸入口となり、コンクリートの劣化を早める原因<sup>12)13)</sup>となるため、早期に修復することが望ましい。ひび割れ修復工法は、古くから多くの現場で使用されているが、修復後に漏水やエフロレッセンス析出などが生じている事例もあり、長寿命化に資する確実な修復が求められている。

平成 26 年度は、施工性の検討において、低温環境でのひび割れ注入材（以下、注入材）の流動性や充填性を室内実験で検証し、冬期施工による留意点等を検討した。また、注入材の詳細な充填状態を確認する X 線 CT 測定も試験的に実施した。さらに、エフロレッセンスが析出したひび割れにひび割れ注入工法（以下、注入工法）の試験施工を実施して適用性の検証を行った。耐久性の検討においては、注入材とひび割れ充填材（以下、充填材）の紫外線照射試験による耐候性の検証を開始した。

5.2 施工性の検討

5.2.1 低温環境での注入実験

過年度の注入実験結果において、冬期施工の防寒囲い内で注入作業を実施したケースを想定し、コンクリートの温度が低温の状態での注入した場合（注入材は常温）、ひび割れ内の低温の影響を受けて注入材の流動が滞り、注入充填性が低下することを確認している<sup>14)</sup>。平成 26 年度は、防寒囲いを必要としない低温環境における注入作業を想定し、注入工法の一般的な施工の適用最低温度である 5℃の条件において、過年度と同様に注入実験を行った。実験に使用した模擬ひび割れ試験体（以下、ひび試験体）は過年度と同様、山本らの既往の研究<sup>15)</sup>を参考にした内径 107mm（厚 3.1mm）×長さ 200mm の塩び管を型枠として、表-5.1 に示す配合のコンクリートを打設して作製した円柱供試体を、脱型せずに 28 日間水中養生した後、割裂引張荷重により 0.2~0.4mm 程度のひび割れを発生させて作製した。その後、低温 5℃の条件で、表-5.1 に示す 4 種類の注入材を用いて注入作業を実施し、注入

材がひび試験体背面から排出する時間（以下、排出時間）と固化後に注入充填率を測定する試験を行った。試験は、5℃の低温室で実施し、試験体を 12 時間以上存置した状態において、貫通した縦ひび割れを想定して排出面は開放した状態で注入を実施した。なお、注入器やシール材の設置作業は、注入時に注入材の横漏れなどによる影響が極力少なくなるように 20℃の環境で行った。注入充填率の測定は、注入材の固化が安定する一般的な期間として、有機系注入材（以下、有機系）は注入から 1 週間後、無機系注入材（以下、無機系）は注入から 4 週間後に実施した。注入器とシール材の撤去は、有機系無機系共に注入から 3 日後まで 5℃の低温室でそのまま静置・養生した後に行った。試験体を 20℃の恒温室で所定の期間を養生した後、図-5.1 に示すように、試験体の注入面から 5cm、10cm、15cm の位置で輪切りに切断し、ひび割れに充填されている注入材をルーペで目視計測して注入材の充填分布を 1mm 間隔で測定した。

図-5.2 および図-5.3 に、過年度の実験結果も含めた注入材別の排出時間と注入充填率を示す。

有機系のエポキシ樹脂系注入材（以下、エポキシ系）では、試験体の温度が低いと注入材の排出時間が長くなった。これは、注入材が低温になるほど粘性が上がる性能が影響している。また、室温 5℃、注入材温度が 5℃、試験体温度が 5℃で注入した場合のほうが、室温 20℃、注入材温度が 20℃、試験体温度が 0℃で注入した場合よりも排出時間が長くなった。これは、0℃の試験体のひび割れ内で 20℃の注入材が冷やされて粘性は上がったが、室温 20℃で徐々に試験体温度が上昇したため、注入材の流動が復活したことによると思われる。しかし、アクリル樹脂系注入材（以下、アクリル系）では、エポキシ系と同様に注入材の低温による流動性の低下は見られたが、注入材 20℃、試験体 0℃のケースでは、途中で流動が停止し、排出しなかった。これは、注入材の温度が高いと硬化時間短くなる性能が影響したと思われる。0℃の試験

表-5.1 コンクリートの配合と注入材の種類

セメントの種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				Slump (cm)	Air (%)	Cl <sup>-</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
				W	C	S	G			
普通ポルト	20	52.1	43.8	156	300	812	1032	7.5	5.5	0.054
注入材の種類と記号	有機系		無機系							
	エポキシ系	アクリル系	ポリマーセメント系	セメント系						
	硬質系 (I) 低粘度型		ポリマー含有	ポリマーなし						
	EP	AC	PC	C						
粘度 (mPa·s)	594 (20℃)		300 (5℃)		208 (20℃)		71 (20℃)			
可使用時間 (min)	50 (20℃)		15 (15℃) 30 (5℃)		-		-			
適用温度	5~20℃		-10~15℃		5~30℃		5~30℃			

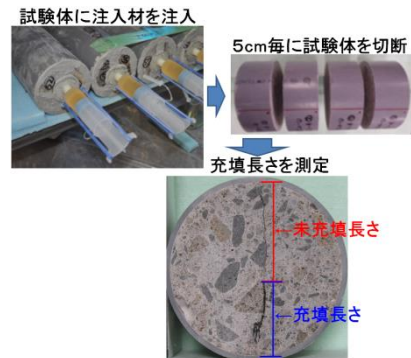


図-5.1 コンクリートの配合と注入材の種類

体に冷やされてひび割れ内部では粘性は上がったが、注入時の注入材の温度は20℃のため、注入口付近の注入材が先に硬化したことが原因である。

一方、無機系では、有機系に比べて粘性が非常に低い  
ため、排出時間は極めて短い、有機系と同様に、試験  
体の温度が低いと注入材の排出時間は長くなる傾向が見  
られた。なお、セメント系注入材（以下、セメント系）  
では、0℃の試験体で流動が停止して排出しなかった。こ  
れは、ひび割れ内部で冷やされた注入材が凍結したことが  
原因であるが、その後、試験体の温度が上昇しても流動  
は復活しなかった。ポリマーセメント系注入材（以下、  
PMC系）も0℃の試験体で流動が若干滞っていた。

注入充填率の結果では、低温のケースのほうが注入充  
填率は低くなる傾向が見られ、低温で粘性が上がること  
等によって充填性が低下する結果となった。なお、流動  
が停止したケースは注入材が途中まで充填されて奥は未  
充填となっていることが確認できる。

このことから、注入工法の冬期施工における留意点と  
して、注入材が低温となる条件において未充填が発生し  
易くなるため、注入時には、注入材、コンクリート、お  
よび施工環境の適切な温度管理が非常に重要であること  
がわかった。

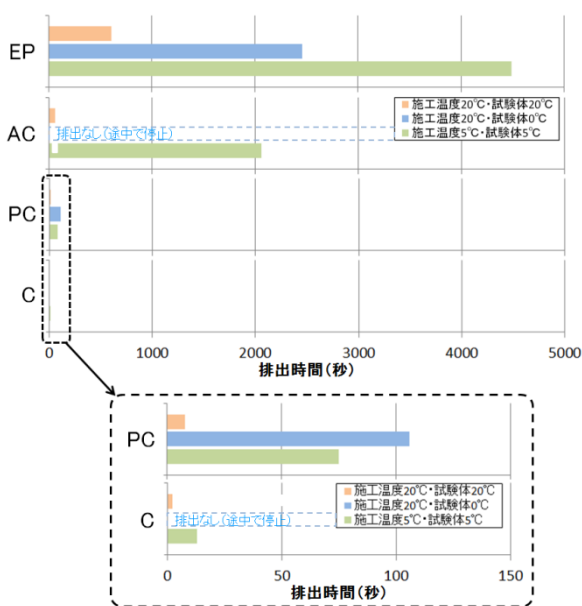


図-5.2 排出時間結果

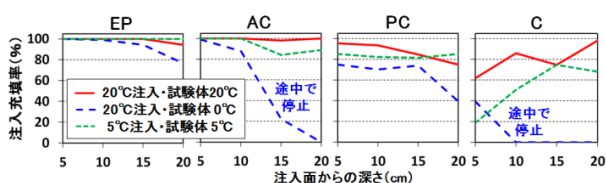


図-5.3 注入充填率結果

### 5.2.2 X線CT測定による注入材の充填状態

図-5.4に示すようなX線CT試験装置を用いて、注入  
材の充填状態を定量的に把握することが可能かどうかを  
試験的に実施した。試験は、表-5.1と同じ配合のコンク  
リートで作製した400×400×200mmの直方体（28日間封  
かん養生）から、径50×200mmのコアを採取し、コアを  
内径56mm×長さ200mmの塩ビ管に挿入して塩ビ管との隙  
間を無収縮モルタルで充填した後（28日間封かん養生）、  
引張割裂で施したひび割れ幅0.2mmのひび試験体を作製  
し、前項の注入実験と同様の方法で注入を実施した。試  
験ケースは、表-5.2に示すように、注入材の注入量を少  
なくして未充填となるケースと、排出面に排出口を設け  
てほぼ100%注入材を充填させるケースの2ケースとし  
た。注入前と注入後に、マイクロフォーカスCT装置（最  
大管電圧320kV、検出器画素数1024×1024ピクセル、撮  
影方式 コーンビーム方式）を用いて試験体の内部観察を  
行った（以下、X線CT試験）。塩ビ管厚約2mmを含めた  
外径60mm×200mmの円柱に対して、管電圧170kV、115μA、  
露光時間1.0secでX線CT試験を実施し、得られたデー  
タの画像解析（解像度0.06mm<sup>3</sup>）を行い、注入面から深  
さ方向に10mm毎に分割して深さ10mmから190mmまで  
の18区間における空隙量を立体的に求めた。ここで得ら  
れた注入前と注入後の空隙量の差をひび割れ内部に充填さ  
れた注入材量として算出した。

図-5.5に、X線CT試験の画像解析から得られた注入前  
と注入後の空隙量の分布、図-5.6に、画像解析後の断面  
写真の例（ケース2の深さ4cm断面、赤色は空隙箇所）  
を示す。両ケース共に、空隙量を示す折れ線の軌跡が、  
注入前と注入後ではほぼ同じ軌跡となっており、注入後  
の空隙量の減少は注入材が空隙に充填されたことを意味  
する。注入材の充填状態は、ケース1で深さ16cm付近で注  
入前後の空隙量が同じとなったことから、注入材が途中  
で足りなくなり、試験体背面まで注入材が到達しなかつ



図-5.4 X線CT試験装置

表-5.2 試験ケース

試験ケース	注入材の種類	粘度 (mPa·s)	可使時間 (min)	適用温度	注入器内注入材量	試験体背面シール
ケース1	エポキシ系 硬質系(I)	594 (20℃)	50 (20℃)	5~ 20℃	4ml	なし
ケース2	低粘度型				30ml	あり

### ⑬-3 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

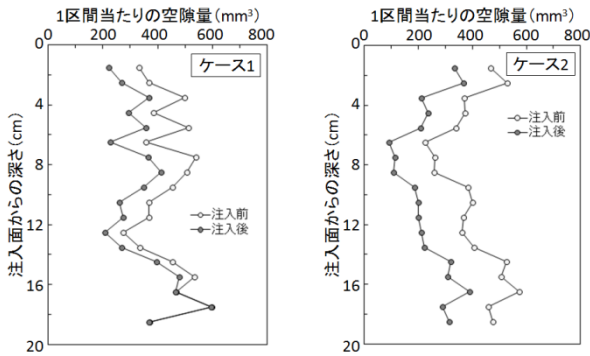


図-5.5 注入前と注入後の空隙量の分布

ケース2: 深さ4cm断面(赤色は空隙)

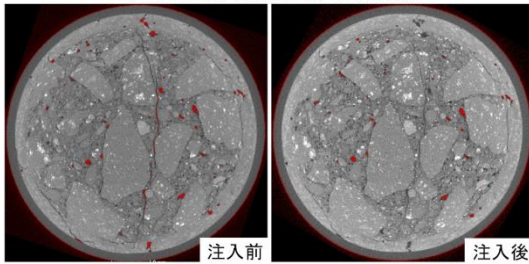


図-5.6 注入前と注入後の断面写真の例

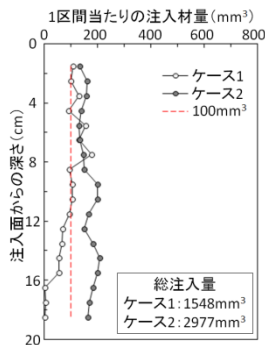


図-5.7 ひび割れ内部の注入材量

た状態が確認できる。一方、ケース2では、ひび割れ内に注入材がほぼ充填された状態が確認できる。図-5.7に注入前と注入後の空隙量の差から算出したひび割れ内部の注入材量を示す。なお、目安として、1区間の計算上の空隙量  $100\text{mm}^3$  (ひび割れ幅  $0.2\text{mm}$  × 長さ  $50\text{mm}$  × 厚さ  $10\text{mm}$ ) を図示した。総注入材量はケース1が  $1548\text{mm}^3$  (約  $1.5\text{ml}$ )、ケース2が  $2977\text{mm}^3$  (約  $3\text{ml}$ ) であり、実際に試験体に充填された注入材量と概ね一致した。このことから、ひび割れ内部の注入材の充填状態や注入材量のある程度の精度で定量的に評価することが可能であり、今後、実構造物への適用性を含めた検討を行っていく。

#### 5.2.3 試験施工

実構造物のひび割れ修復において、エフロレッセンスが析出したひび割れでは修復方法の選定に現場が苦慮している。ひび割れが詰まって注入出来ないとの理由から、Uカットひび割れ充填工法(以下、充填工法)が採用されている場合が多い。しかし、エフロレッセンスが析出し

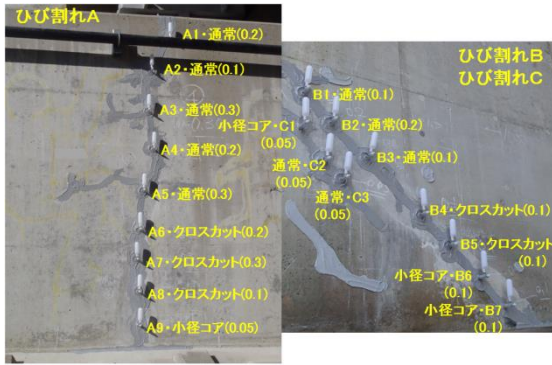
ている=水分が供給されているひび割れは、ひび割れ内部の露出した鉄筋が腐食し易いことから、水分供給を遮断し、露出した鉄筋を保護する修復を行うことが本来望ましい。特に、寒冷地では、ひび割れ内に滞留した水分で凍害が生じる可能性もあり、注入工法でひび割れ内を充填して鉄筋を保護する補修の実施が、コンクリート構造物としての健全性を保つために必要であると考えられる。

本検討では、エフロレッセンスが析出したひび割れに対して、エフロレッセンスの生成深さ調査を行い、さらに、ひび割れ表面のエフロレッセンスを除去して注入を行う手法を提案し、実際の補修工事において、施工性や注入充填性の検証を行った。エフロレッセンスの生成深さは、目詰まりがあっても多くは表面から深さ概ね  $5\text{mm}$  程度<sup>16)</sup>が多い。このため、これらを切除して、注入工法の注入口を確保出来れば、ひび割れ内部への注入が容易となると考えられる。そこで、図-5.8に示すように、表面付近のひび割れに直交して切り込み(深さ  $10\sim 20\text{mm}$ )を入れる手法(以下、クロスカット)と、径  $25\text{mm}$  の小径コアを深さ約  $20\text{mm}$  削孔する手法で、部分的に詰まった箇所を取り除き、注入口を確保する方法を試みた。なお、この手法は、建築系の現場で使用されている方法であるが、特に施工基準等は定められていない。この手法を用いた試験施工を、国道橋の補修工事の1橋梁において、橋台のひび割れ3箇所で行った。なお、この補修工事では、エフロレッセンスが析出しているひび割れは、ひび割れ幅に関係なく、Uカットによる充填工法が設計されていた。選定理由は、目詰まりによる注入困難である。

図-5.9に、注入前の注入器の配置状況、注入口処理手法と表面ひび割れ幅を示す。注入材は一般的な硬質系低粘度型のエポキシ系を使用し、注入工法は自動低圧注入工法で実施した。エフロレッセンスが析出している箇所はクロスカットと小径コアを削孔して注入器を据え付けることを基本とし、それ以外は通常実施される注入器の設置を行った。注入作業は注入器内の注入材の流動が止まるまで注入材を追加し、注入器毎に注入量を記録した。表-5.3に各ひび割れにおける注入器毎の注入量を示す。なお、クロスカット分および小径コア削孔分の体積は減じた。すべての注入器において注入材が順調に注入されたが、クロスカット部の注入量が他よりも多くなる結果となった。これは、クロスカットによって注入口の断面積が広くなり、注入材がより入り易くなったためと考えられる。小径コア箇所の注入量も比較的多くなったことから、エフロレッセンスが析出しているひび割れでも、クロスカット等で注入口を確保することで容易に注入が可能であることを検証できた。また、本試験の注入手法は注入性の向上も見込ま



図-5.8 クロスカット状況



※ 通常・通常注入、括弧内の数値は各注入口の表面ひび割れ幅(mm)

図-5.9 試験注入を実施したひび割れ

表-5.3 注入器毎の注入材量

項目	位置	注入口	ひび幅	間隔	注入量	計算深さ	注入口別	全体
単位	№	処理	(mm)	(cm)	(ml)	(m)	平均深さ(m)	平均深さ(m)
ひび割れA	A1	通常	0.20	16	86.7	1.55	3.07	4.87
	A2	通常	0.10	24	114.7	4.68		
	A3	通常	0.30	25	164.7	2.29		
	A4	通常	0.20	23	188.7	3.93		
	A5	通常	0.30	25	204.7	2.90		
	A6	クロスカット	0.20	22	221.7	5.68	6.15	
	A7	クロスカット	0.30	17	251.7	4.79		
	A8	クロスカット	0.10	18	143.7	7.98		
	A9	小径コア	0.05	18	105.0	10.00		
ひび割れB	B1	通常	0.10	18	22.0	0.86	0.82	2.28
	B2	通常	0.20	15	24.0	0.71		
	B3	通常	0.10	19	22.0	0.90		
	B4	クロスカット	0.10	30	111.7	4.65	4.97	
	B5	クロスカット	0.10	18	97.7	5.28		
	B6	小径コア	0.10	19	36.3	2.14	1.79	
	B7	小径コア	0.10	15	23.7	1.44		
ひび割れC	C1	小径コア	0.05	16	31.7	2.76	2.76	2.63
	C2	通常	0.05	14	26.0	4.33	2.57	
	C3	通常	0.05	10	6.0	0.80		

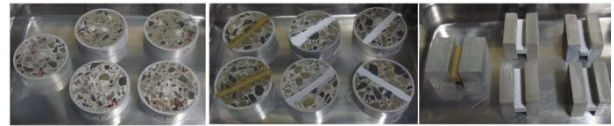
れる結果であった。

注入施工から1ヶ月後にコアを採取し、注入材の注入充填確認を実施した。最長で深さ300mmまでの確認であるが、採取した全てのコアにおいて、目視で確認できる範囲内はひび割れに注入材が完全に充填されている状態であった。

### 5.3 耐久性の検討

#### 5.3.1 紫外線照射による促進耐候性試験

ひび割れ注入後およびひび割れ充填後の紫外線の影響による不具合発生の有無を検証するため、図-5.10に示すような注入試験体および充填試験体を作製した。塗



注入試験体(円柱) 充填試験体(円柱) 充填試験体(H型)

図-5.10 耐候性試験用試験体

表-5.4 充填材の種類

充填材の種類と記号	可とう性エポキシ系		エポキシ系	変成シリコン系	ポリウレタン系	ポリマーセメント系
	充填材A	充填材B	充填材C	充填材D	充填材E	充填材F
	EJ1	EJ2	EJ3	SJ	PUJ	PCJ

料の促進耐候性試験法 JIS-K5600-7-8 やプラスチックの促進耐候性試験法 JIS-K7350-3 を参考にして、UVB-313nm (ピーク波長) の紫外線蛍光灯の照射による促進耐候性試験を開始した。試験は、温度 20℃、湿度 60% の恒温恒湿室において、試験体に平均約 21.7W/m<sup>2</sup> の照度で紫外線を延べ 1000 時間および 3000 時間照射する方法とした。表-5.4 に実験に使用した充填材の種類を示す。なお、注入材は注入実験で用いた種類の注入材を使用した。

試験ケースは、照射時間の違いのほか、試験体が乾燥した状態と塩水に浸漬した 2 ケースとした。試験サイクルは、1 日 16 時間照射とし、塩水の浸漬は照射後 8 時間浸漬する工程とした。照射延べ時間 250 時間毎に試験体と修復材の状態を観察し、設定した照射延べ時間終了後、付着試験および引張割裂試験等を行い、施工後の注入材と充填材の紫外線劣化による不具合発生の有無について検証予定であり、現在、試験の継続中である。

#### 5.4 まとめと今後の課題

(1) 施工条件が低温 (5℃) の場合、注入材の粘性が上がる等により注入し難くなり、未充填が生じ易いことから、防寒対策等で温度変化が生じやすい冬期施工では、注入材、コンクリート、施工環境の温度管理が重要である。  
 (2) X線CT測定により、ひび割れ内部の注入材の充填状態や注入材量のある程度の精度で定量的に評価すること可能である。今後、実構造物への適用性を含めた検討を行っていく。

(3) エフロッセンスが析出したひび割れであっても、クロスカットや小径コア等により注入口を確保する方法によって容易に注入が可能であり、注入性の向上も見込まれる。

(4) ひび割れ注入後、およびひび割れ充填後の紫外線の影響による不具合発生の有無を検証するため、紫外線照射による促進耐候性試験を開始し、現在、継続実施中である。

今後、ひび割れ修復工法に関する課題や問題点、耐久性などを整理し、ひび割れ修復工法の施工標準マニュアル (案) の作成を行っていく。

## 6. おわりに

26年度は、25年度までに収集した不具合事例をさらに類型化して補修工法の検討手順との関連を整理し、それらの関連を踏まえて、補修対策施工マニュアル案の作成を進めた。

各種補修工法において、断面修復工法では、圧縮強度試験の供試体形状に関する検討を行い、供試体形状が及ぼす影響を把握すれば、圧縮強度の管理が可能であることを明らかにした。また、付着試験については、載荷面形状、寸法や載荷速度は試験結果に影響を与えることを確認し、試験方法の標準化が必要であることを示した。

表面被覆工法では、実橋梁等において温湿度の分布と経時変化の長期観測を行い、施工において注目すべき箇所や時間帯等の管理指標の明確化が必要であることを示した。含水状態の測定では、測定原理に留意し、含水状態を管理することが重要であることを示した。施工条件を変化させた表面被覆試験体の屋外暴露試験では、低温湿潤環境で施工する場合に表面被覆材の接着性は著しく低下することを確認した。

ひび割れ修復工法では、防寒対策等で温度変化が生じやすい冬期施工では、注入材、コンクリート、施工環境の温度管理が重要であることを明らかにした。また、X線CT測定により、ひび割れ内部の注入材の充填状態や注入材量のある程度の精度で定量的に評価可能であることを示した。さらに、エフロレッセンスが析出したひび割れであっても、クロスカットや小径コア等により注入口を確保する方法によって容易に注入が可能であることを確認した。

今後、各種補修工法で実施中の室内試験および暴露試験等の結果を取り纏めていくとともに、収集および類型化した不具合事例も参考にして、補修対策施工マニュアルを作成し、総合的な補修技術の体系化を図りたい。

## 参考文献

- 1) 田口史雄, 栗橋祐介, 三上浩, 岸徳光: PVA 短繊維および注入微小球を混入した補修・補強用吹付けコンクリートの材料特性, 土木学会論文集 E, Vol.64 No.1, pp.94-109, 2008.2.
- 2) 川上明大, 片平博, 渡辺博志: 片引き試験による断面修復材の付着強度試験方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, 2015.7
- 3) H.F.Gonnerman : Proc.of ASTM(1925)
- 4) M.C.Henry & Shideler : ASTM Spec.Publ.、No.185, 1956
- 5) 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, 日本材料学会アップグレードシンポジウム, 2012.11.
- 6) 佐々木巖, 西崎到, 櫻庭浩樹: 補修施工管理のためのコンクリート構造物表面近傍の温湿度の長期観測, 日本材料学会アップグレードシンポジウム, 2014.11
- 7) 柳東佑, 高正遠, 兼松学, 野口貴文: コンクリート中の水分分布に及ぼす降雨の影響, 日本建築学会関東大会学術講演梗概集, pp.517-518, 2006.9.
- 8) 笠井芳夫: コンクリート総覧, 技術書院, pp.689-693, 1998.6
- 9) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇, 逸見義男, 佐藤弘和: 乾燥度試験紙によるコンクリートの含水状態の評価, 日本建築士学会論文報告集, 第5巻, 第1号, 1998.3
- 10) 櫻庭浩樹, 熊谷慎祐, 佐々木巖, 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, pp.1573-1578, 2015.7.
- 11) 東日本構造道路株式会社, 中日本構造道路株式会社, 西日本構造道路株式会社: 構造物施工管理要領, 高速道路総合技術研究所, pp.3-41, 2013.7
- 12) 竹田宣典ほか: 凍害と塩害の複合劣化作用がコンクリートの耐久性に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.427-432, 2001
- 13) 渡辺博志: コンクリート構造物の信頼性の向上ーひび割れの影響ー, 土木技術資料 平成 24 年 1 月号, pp.42-45, 2012.1
- 14) 内藤勲ほか: ひび割れ注入工法の現状調査と凍結融解作用が注入後の耐久性に及ぼす影響, 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13巻, pp.517-522, 2013.11
- 15) 山本昌宏ほか: 微細なひび割れを持つコンクリート試験体の作製方法とそれを用いたひび割れ補修材の性能確認試験方法に関する研究, 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12巻, pp.467-472, 2012.11
- 16) 内藤勲ほか: 積雪寒冷地におけるひび割れ注入工法の耐凍害性と施工方法に関する検討, 寒地土木研究所月報, No.743, pp.12-22, 2015.4

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

**Budget** : Grants for operating expenses General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Team** : Materials and Resources Research Group (Concrete and Materials Team, Advanced Materials Research Team), Cold-Region Technology Promotion Division (Materials Research Team)

**Author** : WATANABE Hiroshi, NISHIZAKI Itaru, SHIMATA Akinori, KATAHIRA Hiroshi, SASAKI Iwao, SAKURABA Hiroki, MIHARA Norihito, NAITOH Isao, YOSHIDA Susumu, ENDOH Hirotake, NONOMURA Yoshinori, MIZUTA Maki, YAMADA Shoji, KAWAMURA Koji, WATANABE Masahiro, YOKOYAMA Hiroyuki, TAKADAMA Namio, TOYABE Toshihoto, ICHIKAWA Seiichi, FUJITA Yuuji, TAKADA Naoto, WATANABE Jun, SUZUKI Satoshi, TSURUSAWA Toshiki

**Abstract** :

In this fiscal year, deteriorations after the executions of concrete repairs were studied and further classified. The experimental study on three conventional repair methods for concrete structures, which are surface coating, recasting mortar, and filling of cracks are carried out as well. As for repair method with recasting mortar, compressive test method for recasting mortar and adhesive test method for substrate are discussed. As for repair method with surface coating, a long-term observation on temperature and humidity of concrete structures, evaluation methods of moisture content in the surface portion of substrate and an outdoor exposure test of surface coating materials made with different execution conditions are discussed. As for repair method with filling of cracks, the performance of filling and of flow property under low temperature and applicability to cracks having efflorescence are discussed.

**Key words** :Concrete, Repair, Re-deterioration, Surface coating, Recasting mortar, Filling of cracks