

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（旧基礎材料、旧新材料チーム）
寒地保全技術研究グループ（耐寒材料チーム）

研究担当者：渡辺博志、田口史雄、西崎到、古賀裕久、島多昭典、馬場道隆、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、中村拓郎、水田真紀、山田正二、榎木俊一、川村浩二、宮本修司、中村直久、数馬田貢、北谷沙紀子、渋谷直生、渡邊尚弘、田中忠彦、横山博之、高玉波夫、安田裕一、稲垣達弘、村中智幸、鳥谷部寿人、市川清一、藤田裕司、高田尚人、吉澤淳、渡辺淳、鈴木哲、佐藤好茂、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。コンクリートの代表的な補修対策として表面被覆・表面含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法があり、これらを 3 チームで分担して研究した。その結果をとりまとめたコンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）を作成した。このマニュアルは、共通編、各補修工法編、および補修後の不具合事例集で構成されている。共通編では、補修方針の設定、各種補修工法選定上の留意点を取りまとめた。各補修工法編では補修材の品質確認方法や、施工上の留意点について取りまとめた。不具合事例集では、収集した不具合のメカニズムを推定し、その知見を共通編や各補修工法編に反映した。
キーワード：コンクリート、補修、再劣化、表面被覆・含浸、断面修復、ひび割れ修復

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、必要に応じて補修等を行うなど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。

そこで、代表的な補修工法である、表面被覆・表面含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法を主な対象として 3 チームで分担研究し、「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）」を作成した（図-1.1）。このマニュアルでは、適切な補修を行うための標準的な考え方（補修方針の設定、補修メカニズムと要求品質、各種補修工法の選定方法など）を検討し、その内容を共通編として取りまとめた。また、表面被覆・表面含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法について補修材の品質確認方法や、施工上の留意点を取りまとめた。さらに、補修後の再劣化等の不具合事例を収集し、そのメカニズムを推定し、その知見を共通編や各工法編に反映した。

本報では、まず、不具合事例を紹介し、その後、共通

編、各工法編の概要を紹介する。なお、本研究課題では、国際貢献も研究目的に含まれており、コンクリート構造物の補修に関する ISO 規格の制定状況について調査し、意見を提出している。その概要についても、共通編の中で紹介する。

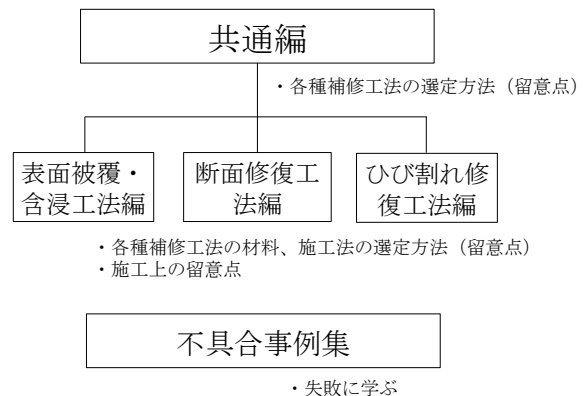


図-1.1 コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）の構成

2. 不具合事例の検討

コンクリート構造物の補修は、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が早期に再劣化し、期待した効果が発揮されていない事例も見られている。

そこで、補修後に再劣化が生じた事例を調査し、劣化の調査状況、工法選定方法および施工方法等から不具合の要因を推察し、改善策を取り纏めた不具合事例集を作成した。また、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コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）に反映した。

2. 1 不具合事例の類型化

不具合事例の類型化を行ったところ、不具合が生じた要因は、補修工法の種類に依らず、劣化状況判断（調査時等）に関するもの、工法選定（設計時等）に関するもの、および現場管理（施工時等）に関するものの3つのパターンに分類できた。これら3つの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に、道路橋コンクリート床版の不具合事例を示す。本橋梁は海岸付近にあり、コンクリート床版と桁が塩害劣化したため、損傷部を断面修復工法で補修し、塗装系の表面被覆を行っていた。しかし、数年後に表面被覆の浮きやさび汁等が発生し、その後、被覆材が大きく剥がれ落ちた。その原因として、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。このように劣化状況を適切に判断できていないと、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。

2. 3 材料選定（設計時等）に関する不具合

図-2.2に、堰堤の不具合事例を示す。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。土砂化の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、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。このように、補修に用いる材料の選定を誤ると、不具合が生じる場合がある。

2. 4 現場管理（施工時等）に関する不具合

図-2.3に、樋門の不具合事例を示す。本事例では、凍害劣化部を除去して断面修復し、さらに表面被覆が実施されていた。しかし、補修2年後に被覆表面にひび割れ



図-2.1 道路橋コンクリート床版の不具合事例



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不具合事例



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不具合事例

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、この事例では、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ていたことがわかった。本事例より、現場の施工管理に不備があると、品質に問題が生じ、期待した補修効果が得られない場合がある。

3. 共通編

3. 1 補修工法検討の流れ

前章で述べたように、補修後の不具合事例では、調査時、設計時および施工時に、それぞれ発生要因があることが分かった。

そこで、これらの不具合発生要因をできるだけ回避する補修工法検討の流れを検討した。この結果を図-3.1に示す。すなわち、構造物に変状が生じた原因と設置されている環境条件、構造物に求められる性能などを踏まえて、補修方針を設定し、それに応じた補修工法と材料を選定するというものである。また、各補修工法に関して

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

は、補修材料の品質確認方法および、現場で確実な施工を行うための施工管理手法が定められていることが重要である。

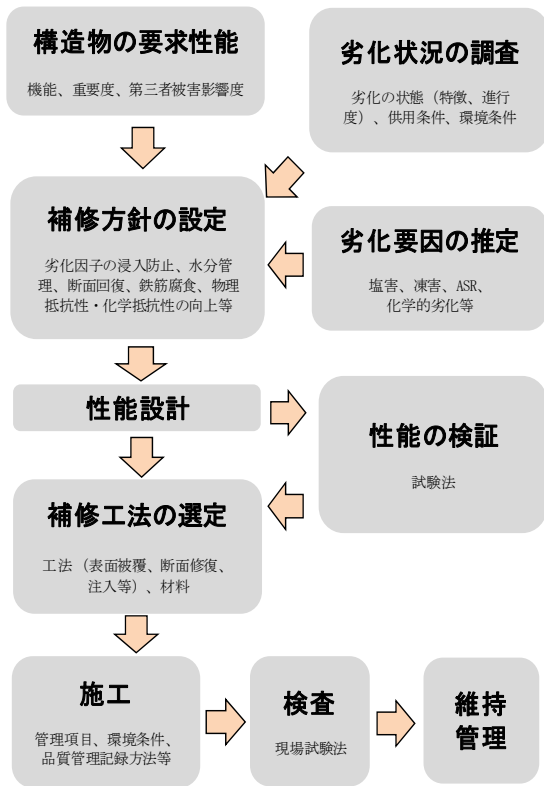


図-3.1 補修工法検討の流れ

3.2 国際規格との関連

このような考え方に基づく補修工法の検討は国際規格でも採用されている。表-3.1に、ISO 16311 Maintenance and repair of concrete structures (コンクリート構造物の維持管理と補修) に示されている補修方針の分類を示す。

このISOは、本プロジェクト研究の期間中に原案作成、意見照会、そして制定がなされた。このため、原案の内容を調査し、国内審議団体を通じて意見を提出した。すなわち、原案ではEN規格(欧州規格)を強く意識した内容となっていた。しかし、これらの試験方法案に記載されている試験条件と実構造物における供用条件との適合性が明確ではなく、また試験結果に基づく要求性能の評価も困難であると考えられる。このような点を考慮して、根拠が明確になっていないと考えられる試験方法を特定し、それらを削除する修正案の提案を行い、その修正案が採択された。

3.3 劣化要因、劣化段階に応じた補修の考え方

表-3.1によると、補修方針がメカニズムごとに非常に原理的に分類されている反面、補修対象となる構造物の劣化原因や劣化の程度と結びつけられていないため、このままでは現場への適用が難しいものとなっている。

そこで、補修方針選定の考え方に基づく補修の設計方法を、現場に適用可能とするため、想定される劣化機構ならびに劣化程度と、それに応じて選択可能な補修方針の関連付けを行った。具体的には、劣化の種類(要因)として比較的報告例の多い凍害、塩害、アルカリシリカ反応を挙げ、それぞれの劣化要因毎に劣化の段階を4段

表-3.1 ISOでの補修方針と補修工法の例

No.	補修方針	補修工法の例
1	劣化要因の遮断	1.1 撥水性表面含浸 1.2 表面含浸 1.3 表面被覆 1.4 ひび割れの表面処理 1.5 ひび割れ充填 1.6 ひび割れの注入 1.7 外部パネルの設置 1.8 薄膜の適用
2	水分の浸入抑制	2.1 撥水性表面含浸 2.2 表面含浸 2.3 表面被覆 2.4 外部パネルの設置 2.5 電気化学的処理
3	コンクリートの復元	3.1 モルタルによる被覆 3.2コンクリートの再打ち込み 3.3 吹き付け 3.4 部材の取り替え
4	構造的補強	4.1 補強鋼材の追加 4.2 アンカー 4.3 補強版接着 4.4 増し打ち 4.5 ひび割れ、空洞部への注入 4.6 ひび割れ、空洞部への充填 4.7 プレストレスの導入
5	表面改質/ 物理的抵抗性の向上	5.1 表面被覆 5.2 表面含浸 5.3 モルタル、コンクリートによる増厚
6	化学的抵抗性の向上	6.1 表面被覆 6.2 表面含浸 6.3 モルタル、コンクリートによる増厚
7	不動態皮膜の保護、 復元	7.1 かぶりの増厚、塗装 7.2 コンクリートの打換え 7.3 電気化学的再アルカリ化 7.4 再アルカリ化(浸透性) 7.5 電気化学的脱塩 7.6 薄膜の適用
8	含水率の増加抑制	8.1 撥水系含浸 8.2 表面含浸 8.3 表面被覆
9	カソード反応抑制	9.1 飽水もしくは表面被覆による酸素供給量の抑制
10	カソード防食 (電気防食)	10.1 防食電流の印加による防食電位の維持
11	アノード反応の制御	11.1 鉄筋の表面被覆 11.2 鉄筋の表面保護 11.3 防錆剤の適用 11.4 犠牲陽極の設置

表-3.2 劣化要因と劣化段階に応じた補修方針と主な補修方法の例（塩害の場合）

外観の変状なし (鉄筋位置における塩化物イオン濃度が発錆限界以下)			外観の変状なし (鉄筋位置における塩化物イオン濃度が発錆限界以上、鉄筋腐食が始まる)			ひび割れや浮き、錆汁			耐力低下が懸念される劣化					
劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例			
なし (鉄筋位置における塩分量が閾値以下)	劣化因子の遮断, 水分の浸入抑制(1,2)	水処理	鉄筋腐食開始, ひび割れ無し	劣化因子の遮断, 水分の浸入抑制(1,2)	水処理*	鉄筋腐食, ひび割れ発生	劣化因子の遮断, 水分の浸入抑制(1,2)	水処理*	鉄筋腐食, ひび割れ進展	劣化因子の遮断, 水分の浸入抑制(1,2)	水処理			
		表面含浸			表面含浸*			表面含浸*			表面含浸			
		表面被覆			表面被覆*			表面被覆*			表面被覆			
	不動態被膜の保護・復元(7)	脱塩		不動態被膜の保護・復元(7)	断面修復		不動態被膜の保護・復元(7)	断面修復						
鉄筋防食(9~11)	電気防食	鉄筋防食(9~11)	鉄筋防食(9~11)	電気防食	鉄筋防食(9~11)	防錆剤	鉄筋防食(9~11)	電気防食	防錆剤					
同一構造物の他の部位で変状が確認された場合, あるいは予防保全として実施			*断面修復が行われる場合は, その後に実施			鉄筋腐食, ひび割れ発生	剥落防止	アンカー, 巻立て	剥離, 剥落	剥離, 剥落	コンクリートの復元(3)	断面修復		
				*断面修復が行われる場合は, その後に実施			鉄筋腐食, ひび割れ発生	剥離, 剥落		コンクリートの復元(3)	鉄筋の腐食	鉄筋の回復	鉄筋の交換	
								鉄筋腐食, ひび割れ発生		剥離, 剥落		コンクリートの復元(3)	耐力の低下	構造的補強(4)

()の数値は表-3.1に示す要求性能No.

階に設定して、外観変状に応じて、補修方針とその一般的な対策工法の例について整理した。なお、表-3.1のNo.9~11は「鉄筋防食」として統合し、また、「剥落防止」と「鉄筋の回復」を追加した。塩害の例を表-3.2に示す。このように、劣化の状態、補修方針と補修方法を関連づけることで、誤った補修工法選定のリスクが軽減できるものとする。

劣化の進行の表現として、潜伏・進展・加速・劣化などの期に分けて表現することがあるが、補修対策においては劣化の種類ごとにその期の意味合い（部材の耐力などへの影響度や補修の困難さ）が同じとは限らないため、表-3.2では部材の劣化状況をもとにした横軸で構成した。補修方法を選定後、各工法のマニュアルに従って材料選定や施工方法を決定することで、期待する補修効果が得られるものとする。

表-3.2の最左列は、劣化の兆候が外観からではほとんど認められない状況であり、予防保全的な位置づけである。ただし、対策工の設計においては、劣化が顕在化した部位に隣接する箇所や環境が類似した部位を併せて対象とすることもあり、対策範囲の設定等で重要な段階となる。この段階では、劣化因子である水分や塩分の遮断が主な対策となる。ここで、水分の浸入抑制は、凍害・塩害・アルカリシリカ反応のいずれに対しても効果的であり、特に水処理は最も基本的、かつ重要な予防対策となる。このため、管理者の技術レベルによらず、水処理は実施することを基本とした。

水処理とは、次のような処置である。1)構造物の上面に水たまりができないように僅かな勾配を設置、2)排水溝、排水管の目詰まり防止、3)配水管の位置、径、長さ、向きの工夫、4)構造物側面から下面への流水に対して水切りの設置、5)橋梁の桁間、桁端から下部工への雨水の落下対策（樋の設置）、6)道路床版における表面防水層の設置等である。

劣化の進行に応じて補修方針が変化し、それに応じた補修工法を選定することとなる。劣化が進行した段階での補修方法の選定については、専門的な知識が必要となるため、その留意点についても整理した。

3.4 施工および施工後の点検

共通編の施工の章では、まず、施工前調査の重要性を示した。補修設計のための調査の場合、調査のための足場が無い等の理由で全ての対象箇所の調査が出来ない場合があり、また、設計時の調査から施工までに時間が経過した場合には、劣化が進行している場合もある。このため、施工前の調査で劣化の状態や劣化の範囲を確認することが重要である。設計条件と施工前調査の結果が合致しない場合には、設計変更も視野に入れる必要があることを明記した。

施工管理として、安全衛生や廃棄物処理について記載した。

施工後の初期点検時期に関しては、施工条件等が悪い場合等には施工後1年以内に変状が出る場合が多いことから、1年以内に初期点検を行うこととした。

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

4. 表面被覆・含浸工法編

材をコンクリート構造物表面に塗布して劣化因子の浸入を抑制する層を形成し、コンクリート構造物の耐久性を回復もしくは向上させる工法である。しかし、下地コン

4.1 概要

表面被覆・含浸工法は、表面被覆材もしくは表面含浸

表-4.1 表面被覆・含浸工法に必要な施工管理の項目

項目	表面被覆工法		表面含浸工法		
	樹脂系	ポリマーセメントモルタル系	シラン系	けい酸塩系	
作業環境	気象条件	○	○	○	○
	温度	○	○	○	○
	湿度	○	○	○	○
	露点温度	○	△	○	△
	風	○	○	○	○
	粉じん等	○	○	○	○
	付着塩分量	○	○	○	○
	照度	○	○	○	○
	養生環境, 時間	○	○	○	○
	含水状態 (コンクリート面)	○	△	○	△
作業工程	施工数量	○	○	○	○
	施工工程の進捗	○	○	○	○
	施工面の状態	○	△	○	△
	塗り重ね面の状態	○	○	○	○
	補修材料の種類, 配合, 攪拌方法, 可使時間, 塗装間隔	○	○	○	○
	補修材料の使用量	○	○	○	○

※ 施工管理の必要性 ○：必要，△：選定した補修材料の種類に応じて判断

表-4.2 作業環境の主な管理方法

項目	管理方法	頻度	判定基準
気象条件	目視など	施工日毎	雨や雪などの影響を直接受けしないこと
温度	温度計	施工日毎	5℃から 40℃の範囲であること
湿度	湿度計	施工日毎	85%未満であること
露点温度 ^{※1}	表面温度計など	施工日毎	下地コンクリート表面の温度が露点温度より 3℃以上高いこと ^{1),2)}
風	風速計など	施工日毎	強くないこと (参考. 5m/s 以下 ¹⁾)
粉じん等	目視など	施工日毎	多くないこと
付着塩分量 ^{※2}	ガーゼ拭きとり法など	適宜	付着性や含浸性への影響がないこと
照度	目視など	施工日毎	十分な照度があること
養生環境, 時間	目視, 温湿度記録計など	養生日毎	雨や雪などの影響を直接受けしないこと 硬化養生に十分な条件であること
含水状態 ^{※1} (コンクリート面)	含水状態を測定する機器	施工日毎	適切な含水状態であること

※1 表面被覆工法のポリマーセメントモルタル系材料や表面含浸工法のけい酸塩系表面含浸材では、選定した補修材料の種類により不要となる場合がある。

※2 付着塩分が予想される場合に管理し、付着性や含浸性が阻害されると考えられる付着塩分量が測定された場合は適切な処理を施す必要がある。

クリートの含水状態や温湿度等の施工条件に起因して、表面被覆材や表面含浸材に不具合が生じ、早期に劣化する事例が見られている。そこで、本研究では、表面被覆材および表面含浸材の不具合の発生要因に注目し、不具合を防ぐための施工管理および品質管理方法を確立することを目的として研究を行い、その成果をマニュアルとしてとりまとめた。

4.2 表面被覆・含浸工法の施工管理

施工管理には、材料管理、施工状況管理および品質管理がある。いずれも重要であるが、施工状況管理における作業環境に関する項目については、特に注意して管理する必要がある。

表-4.1 は、表面被覆・含浸工法に必要な施工管理の項目であり、材料の系統によっては、選定した補修材料の種類に応じて管理の要否が異なる項目があることを示している。例えば、樹脂系表面被覆材およびシラン系表面含浸材は、一般に施工面を乾燥状態とするのに対し、ポリマーセメントモルタル系表面被覆材およびけい酸塩系表面含浸材では施工面を湿潤状態とする場合がある。施工面を湿潤状態とする必要があるにもかかわらず、下地コンクリートの含水状態を乾燥させるような管理を実施すると、誤った施工方法となり、期待される性能を発揮できないこととなる。したがって、選定した補修材料(工法)ごとに定められた管理方法や管理基準に従って、適切な管理を実施することが必要である。

表-4.2 は、作業環境の主な管理方法を示しており、管理項目によって、管理方法、頻度および判定基準が異なることを示している。以下では、特に重要な項目である、施工面近傍の湿度および下地コンクリートの含水状態について述べる。

4.2.1 施工面の近傍の湿度

施工面の近傍の湿度が高い場合は、下地コンクリートの表面に結露が生じ、表面被覆材の付着性や表面含浸材の含浸性に影響を及ぼすことがある。コンクリートは熱容量が大きく、大気温度変化に対して温度変化が一般に緩慢であることから、気象条件によっては、大気温度よりもコンクリートの温度が低い場合もある。このような場合でも、結露の発生を避けて安全側に管理するため、湿度の判定基準を85%と設定した。

図-4.1 は、他の部位と比べて湿度が高くなる傾向にある部位を示す。すなわち、橋梁上部構造では水勾配の下端側やジョイント部の止水処理が不良となった桁端部付近、橋梁下部構造では地表面付近などである。また、構造物の近傍に樹木等が生育している場合も同様に湿度が高くなり易い。このような箇所では他の部位に比べて、

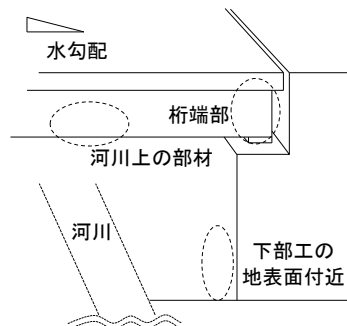


図-4.1 湿度管理に注視すべき箇所の例



図-4.2 橋梁Aの湿度の観測箇所

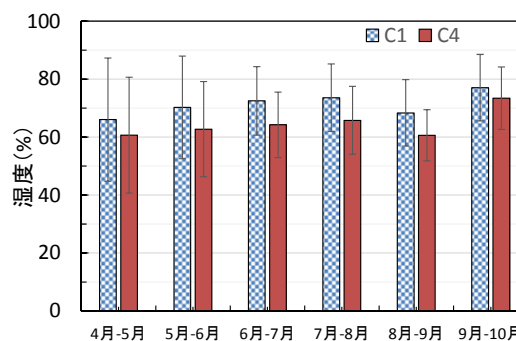


図-4.3 橋梁AのC1とC4での湿度の観測結果の例

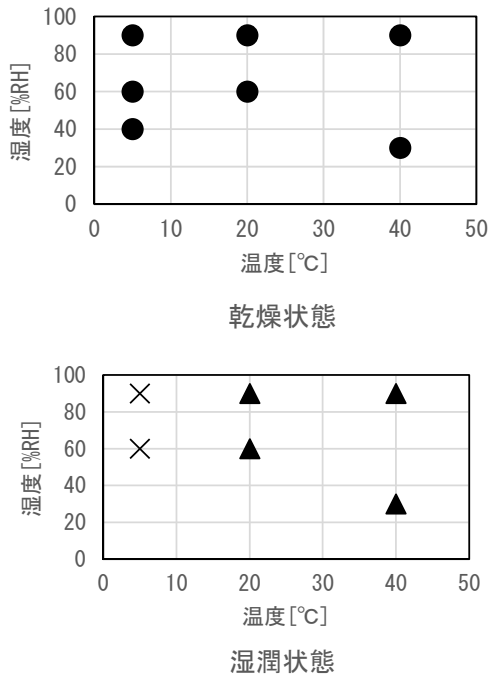
5~10%程度、相対湿度が高くなることが本研究により明らかになった³⁾。橋梁の異なる部位(図-4.2)、において湿度を測定した例を図-4.3に示す。

したがって、施工状況管理において湿度管理を実施する際は、これらの部位のように他の部位と比べて湿度が高くなり易い箇所で測定することが望ましく、このような安全側の管理により施工時の不具合を減らすことができる。

4.2.2 下地コンクリートの含水状態

図-4.4 は、下地コンクリートの含水状態および温湿度が表面被覆材の変状発生に及ぼす影響を示す⁴⁾。本試験は、3種類の樹脂系被覆工法を用いて、温湿度条件および下地コンクリートの含水状態を変化させ、表面被覆材の膨れの発生の有無等の変状の発生状況を確認したものである。下地コンクリートの含水状態は、下地コンクリートを気乾状態とした乾燥状態、飽水状態とした湿潤状

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



(● : 合格率 3/3, ▲ : 合格率 2/3 または 1/3, × : 合格率 0/3)
 図-4.4 下地コンクリートの含水状態および温湿度が表面被覆材の変状発生に及ぼす影響

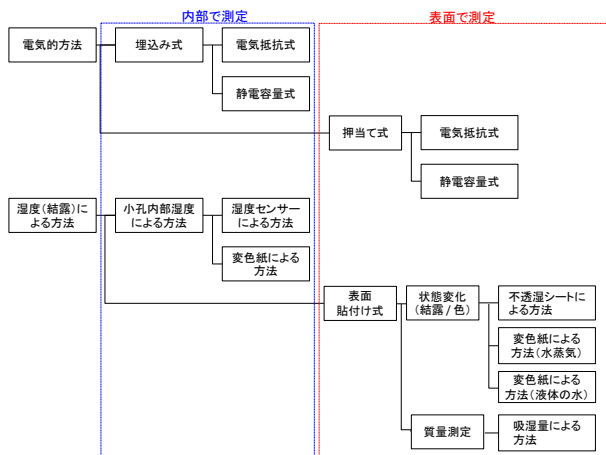


図-4.5 塗装下地の表面水分の評価方法

態の2種類とした。その結果、下地コンクリートが乾燥状態の場合は、いずれの温湿度条件でも変状は発生しなかったが、湿潤状態の場合はすべての温湿度条件で変状が発生した。これらより、表面被覆材の変状の発生には下地の含水状態が大きく影響することが明らかになり、含水状態の管理が重要であることが示唆された。

施工面の含水状態を適切に管理するための項目として、表面水分に着目した。ここで、表面水分とは構造物(施工面付近)に含有している水分量を示すものである。また、施工面に結露が生じた場合、下地コンクリートの表面に水分が付着するため、結露を防ぐための項目とし

て露点温度にも着目した。ここで、露点温度とは大気中に気体として含まれる水(水蒸気)が液体化する温度、つまり結露が生じる恐れのある温度を示すものである。

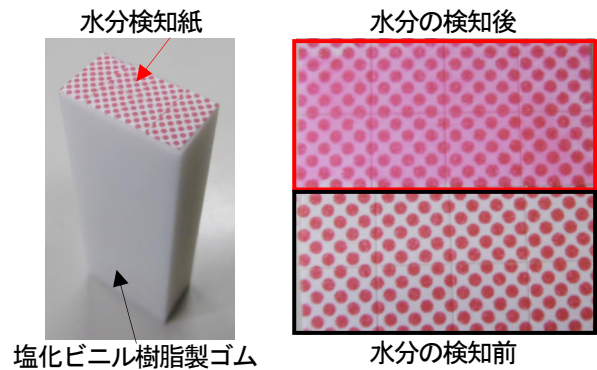


図-4.6 水分検知紙による方法

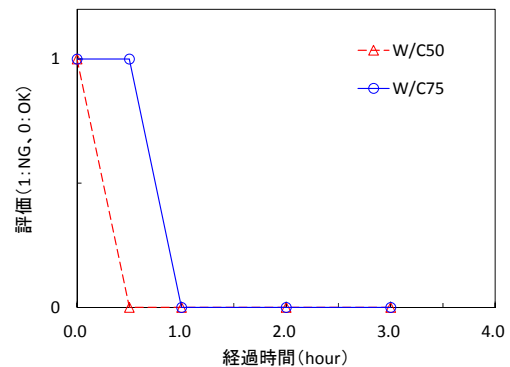


図-4.7 水分検知紙による表面水の有無の測定結果

(1) 表面水分

表面水分を測定する方法としては、図-4.5の「表面で測定」に示した方法があり、一般的には構造物の施工面に押し当てて測定する電気抵抗式や静電容量式(高周波容量式)の機器が用いられている。これらの方法は、施工する直前に測定ができ、使用方法も簡便であるが、方式によって測定値が異なるため、使用する機器ごとに管理基準が異なることに注意する必要がある。

一方、近年では、水分に反応して変色する水分検知紙などが表面水分の評価方法として注目されている。本研究では、下地コンクリートの表面水の有無を現場で簡易に測定する方法として、水分検知紙による表面水の測定方法(図-4.6)を提案した⁵⁾。図-4.7は、水中浸漬させたW/C50%およびW/C75%のモルタル基材を水中から取り出した後、ウェスをを用いて評価面の表面水を取り除き、水分検知紙による測定を行った結果である。モルタル基材は、15°C25%RHの環境に静置した。その結果、W/C50%の場合はモルタル基材を水中基材から取り出して30分後まで表面水有り判定され、W/C75%の場

表-4.3 品質管理における主な管理項目

分類	管理項目	管理方法	頻度	判定基準
施工の各段階	施工面の状態	目視	下地処理完了後	変状、段差、不陸などがないこと
		プルオフ法や反発度法など※1	下地処理完了後	表面被覆・含浸工に支障がないこと
	付着塩分量※1	ガーゼ拭き取り法など	素地調整完了後	100mg/m ² 以下
	被膜厚さ（施工段階）	ウェット塗膜厚ゲージや補修材料の使用量など	施工日毎	施工計画書のとおりであること
	仕上がり状態	目視、打音検査など	各層完了後	異常がないこと
施工完了後	付着強さ※2 （表面被覆工法）	「附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法（案）プルオフ法」に準拠	施工完了後	1.0N/mm ² 以上および界面破壊がないこと
	撥水性（シラン系表面含浸工法）	水を噴霧後に目視など 浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案）⑥	施工完了後	撥水性を有すること ・1ロット※3 5測定点全てが1%未満であること

※1 必要がある場合に限る ※2 モルタル、またはコンクリート平板による
 ※3 1ロットの大きさは50m²～100m²程度とする

合は1時間後まで表面水無しと判定された。本結果は、目視による表面水の浮きの状況と一致し、表面水の有無を変色により測定できる方法であることが確認された。

(2) 露点温度

露点温度は、温度と相対湿度から把握することができる。特に、河川上の構造物のように相対湿度が高い環境である場合や冬季の作業開始時などの施工面の温度と環境温度との温度差が大きい場合には露点温度の確認が必要である。関連する基準として、「ISO16311-4」では環境温度が露点温度より3℃以上高くないと施工できないとしている²⁾。また、「一般塗装系塗膜の重防食塗装系への塗替え塗装マニュアル（一般社団法人日本鋼構造協会）」では、鋼橋を対象としているものの、施工面の温度が露点温度より3℃高いことを確認したうえで作業を進めることとしている³⁾。このように露点温度の管理では、環境温度を用いるか施工面の温度を用いるかについては判断が難しいものの、コンクリートは熱容量が大きく、周囲の温度変化に対して敏感でないことから、施工面の温度を用いることで安全側の管理とすることができる。そこで、表-4.2では、下地コンクリート表面の温度が露点温度より3℃以上高いことを確認することとした。

4.3 表面被覆・含浸工法の品質管理

表面被覆・含浸工法における品質管理は、施工面が所定の品質であることや形成された保護層の品質に異常がないことを確認するものである。表-4.3は、品質管理における主な管理項目を示す。以下では、品質管理項目として特に重要な付着強さについて述べる。

付着強さは、本来、実際の施工箇所では試験を実施する

ことが望ましいが、本試験は破壊試験であるため、施工された表面被覆の連続性を損なう可能性がある。したがって、コンクリート平板を用いて実施することとした。付着強さ試験の供試体の作製にあたっては、実際の施工と同時に補修材料の塗布や塗り重ねを行うものとした。

図-4.8は、下地コンクリートの含水状態と温度が表面被覆材の付着強さに及ぼす影響を示す。気乾状態の下地コンクリートを用いて施工温度と養生温度を23℃乾燥とした場合と比較して、湿潤状態の下地コンクリートを用いて施工温度と養生温度を5℃とした場合は、付着強さが低下することが確認された⁷⁾。

これらの試験結果も踏まえ、コンクリート平板への施工と養生を行う場所については、施工箇所内において最も過酷な環境と考えられる位置（例えば、図-4.1など）で行うことを原則とした。また、品質管理結果の記録では、付着性強さの結果と併せて、供試体の設置状況を写真や図などにより記録して報告するものとした。

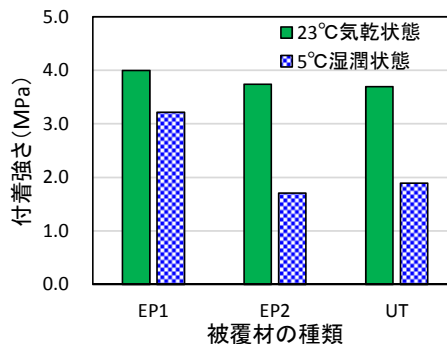


図-4.8 下地コンクリートの含水状態と温度が表面被覆材の付着強さに及ぼす影響

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

5. 断面修復工法編

5.1 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、要求品質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品質およびその試験方法を確立することを目的に研究を行い、

その成果と施工上の留意点をマニュアルとしてとりまとめた。

5.2 補修方針に基づく要求品質の設定

表-3.1 に示す補修に求める補修方針のうちで、断面修復工法に求める補修方針は(1)劣化因子の遮断、(2)不動態被膜の保護、およびコンクリートの復元である。このうち、コンクリートの復元には、単に(3)断面を回復すると

表-5.1 補修方針と断面修復材に求める品質項目との関係

補修方針		本マニュアルの範囲			
		(1)劣化因子の遮断	(2)不動態皮膜の保護	コンクリートの復元	
断面修復材に求める性能				(3)劣化部分の断面の回復	(4)構造物としての耐力の回復
断面修復材	凍結融解抵抗性	○			
	中性化抵抗性	○	○		
	塩分浸透抵抗性	○	○		
	マクロセル腐食防止*		○		
	ひび割れ抵抗性	○	○		○
	強度				○
	弾性係数				○
付着界面	付着強度			○	○
	劣化因子遮断性***	○	○		

※ マクロセル腐食は本研究の対象外 ※※付着界面の劣化因子遮断性は付着強度で評価する。

表-5.2 断面修復材に求める品質とその確認方法

品質項目	要求品質	品質確認方法と留意点	
		セメントモルタル, ポリマーセメントモルタル (メーカー開発のプレミックス品)	高流動コンクリート
使用材料の品質	—	—	・JIS A 5308 の規格を満足している
施工性	適切な施工が可能	・製造メーカーの配合に従い、練上りに対して粘性, 流動性を確認する	・「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」(土木学会)を参照
凍結融解抵抗性	部材コンクリートに求める要求性能と同等以上	・凍結融解試験(JIS A 1148) ・コンクリートの W/C による見なし規定は適用不可	・凍結融解試験(JIS A 1148) ・W/C による照査 (ただし AE コンクリートであること)
中性化抵抗性	同上	・促進中性化試験(JIS A 1153)	・中性化促進試験(JIS A 1153) ・W/C による照査
塩分浸透抵抗性	同上	・浸漬試験(JSCE-G 572) ・電気泳動法(非定常法), ポリマーを含まない配合で試験を実施 ・W/C がコンクリートより 5%以上小さい	・浸漬試験(JSCE-G 572) ・電気泳動法(非定常法) ・W/C による照査
ひび割れ抵抗性	有害なひび割れが生じない	・付着供試体による1年間の暴露試験 ・付着供試体による乾燥湿潤試験	・コンクリートの長さ変化試験(JIS A 1129) (類似配合の既存結果の確認で可)
換算圧縮強度	養生を終了してよい強度	・□40mm, φ100mm, φ50mm のいずれの方法でも可(換算係数を附属資料に示す) ・製品の仕様として養生期間が明記されている場合は, それを守る	・φ100mm (JIS A 1108)による ・コンクリート標準示方書[施工編]の養生日数を守る
断面修復材の配合製造および施工が適切に行われたことを確認する指標として, 標準養生 28 日での圧縮強度も試験により確認する			

いう方針と、(4)構造体としての耐力を回復させるという方針に大別される。本マニュアルでは、(1)～(3)を対象とし、(4)を対象とする場合には「プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き(案) [断面修復工法]」⁸⁾等を参照することとした。

補修方針を達成するために断面修復工法に求める品質を整理すると表-5.1 のようである。そこで、これらの品質項目についての照査方法の提案を行った。なお、劣化因子の遮断、不動態皮膜の保護、断面の回復の補修方針からは、必ずしも断面修復材の強度は求められないが、養生終了時期の判断要素として圧縮強度を設定した。また、規格値は特に設けないが、施工された断面修復材の品質確認のための参考値として、標準養生 28 日の圧縮強度も試験により確認することとした。

なお、断面修復材に求める品質としては、断面修復材単独での品質の他に、下地コンクリートとの付着界面に求める品質がある。この品質としては、付着強度と界面における劣化因子の遮断性があげられる。ただし、劣化因子の遮断性を個々に照査するのは煩雑となるため、便宜的に付着強度によって評価することとした。

5.3 高流動コンクリートに求める品質とその照査方法

断面修復材に求める品質とその確認方法を表-5.2 に整理した。表中の一つの欄に複数の確認方法が記載してある場合は、そのいずれかの方法で確認できれば良い。

断面修復材の種類は、セメントモルタルまたはポリマーセメントモルタルの配合で市販されているプレミックス品と、高流動コンクリートに大別できる。

高流動コンクリートについては、レディーミクストコンクリート工場で配合設計が行われることを想定している。この場合、使用材料が JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) に規定されている品質規格を満足していることを前提として、通常のレディーミクストコンクリートと同様に耐久性に関わる多くの性能の照査を水セメント比で行って良いこととした。高流動コンクリートの配合および製造方法は「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」(土木学会)⁹⁾を参照すると良い。

5.4 プレミックス品に求める品質とその照査方法

プレミックス品は、使用材料や配合の詳細が開示されていないものが多く、断面修復材を構成する使用材料の品質を確認することが困難である。このため、プレミックス品の品質については、試験で確認することを基本とした。新たに必要となる試験方法(案)については、附属資料として整理した。

表-5.2 に示す品質項目のうち、中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性、ひび割れ抵抗性、換算圧縮強度について、以

下に概説する。

(1) 中性化抵抗性

JIS A 1153 「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠した試験によって、断面修復材の中性化抵抗性が、その部材コンクリートに求められる性能と同等以上であることを確認することとした。

図-5.1 は断面修復材に対して促進中性化試験を実施したときの試験期間と中性化深さとの関係を示した例¹⁰⁾である。H-0 はセメントモルタル、H-A10 はポリアクリル酸エステル系のポリマーをセメント量の 10% 混入したポリマーセメントモルタルであるが、ポリマーの有無が中性化深さに与える影響は小さかった。その一方で、養生日数の影響は大きく、7 日間湿潤養生を行った場合に比較して、1 日しか養生を行わなかった場合の中性化深さは約 2 倍に達した。このように、中性化抵抗性は養生日数の影響を強く受ける。左官工法や吹付け工法等に用いるプレミックス品については、現場においてコンクリート工事と同様の養生日数が確保できない現場も多く、中性化促進試験に用いる供試体の養生日数は、現場で実際に実施可能な養生日数としなければならない。

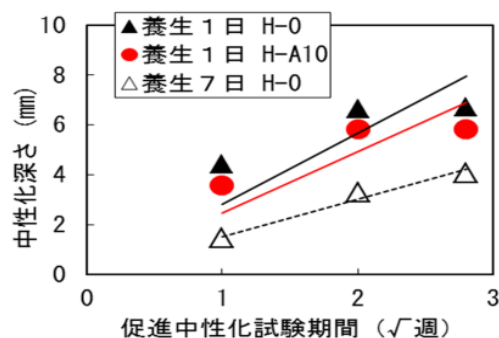


図-5.1 養生日数と中性化深さの関係

(2) 塩分浸透抵抗性

塩害環境に用いる場合に必要となる性能である。JSCE G 572 「浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験法」に準拠した試験を行い、断面修復材の塩分浸透抵抗性が、その部材コンクリートに求められる性能と同等以上であることを確認することとした。なお、この試験は長期間を要することから、電気泳動法(非定常法)による照査(試験方法は参考文献⁸⁾による)でも良い。ただし、電気泳動法の場合、断面修復材に添加されているポリマーの種類によっては実際よりも塩分浸透抵抗性が高く(危険側に)評価される場合があることから、ポリマーを含まない配合で電気泳動法による試験を行うのが良い¹¹⁾。

(3) ひび割れ抵抗性

下地コンクリートの表面粗さ、プライマーの種類、断面修復材の厚さ等を変えた付着強度試験用供試体（図-5.2）を作製して暴露試験を実施した。1年および3年経過後に断面修復材表面に発生する乾燥ひび割れを観察したところ、ひび割れは暴露開始から1年間で発生し、1～3年でのひび割れの進展は見られなかった。これより、ひび割れ抵抗性を暴露試験によって評価する場合の暴露期間は1年間とした。

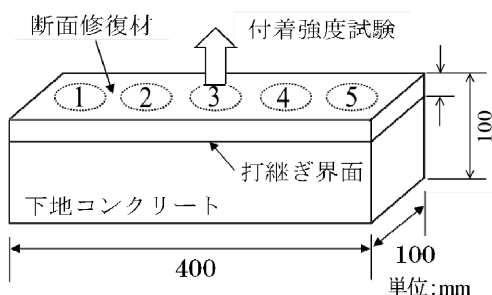
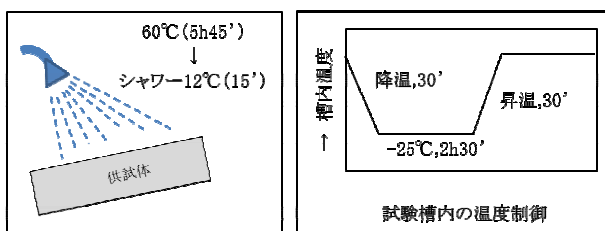
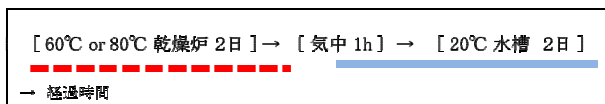


図-5.2 付着強度試験体の例



(a)サンダーシャワー試験 30サイクル

(b)ドライサイクル試験 30サイクル



(c)乾燥湿潤試験 10サイクル(20サイクル)

図-5.3 比較検討した促進試験の概要

	平-P-12	平-P-24	平-E-12	凸-P-12	凸-E-12
(a) 暴露1年		無し			
(b) サンダーシャワー	無し	無し	無し	無し	無し
(c) ドライサイクル	無し	無し	無し	無し	無し
(d) 乾燥湿潤 60°C, 10cycle	無し	無し	無し	無し	無し
(e) 乾燥湿潤 80°C, 10cycle	無し	無し			
(f) 乾燥湿潤 80°C, 20cycle					

ひび割れ幅はいずれも0.15mm以下

図-5.4 供試体表面に生じたひび割れ

次に、この暴露試験と同様のひび割れが発生する促進劣化試験方法について検討した。ヨーロッパの断面修復材の試験規格にあるサンダーシャワー試験、ドライサイクル試験、および乾燥湿潤試験（土木学会関連基準）を実施した。各試験の概要を図-5.3に示す。これらの試験の結果、ひび割れの発生状況について暴露試験と最も良い対応を示したのは乾燥湿潤試験であった（図-5.4）。この理由としては、試験体が暴露環境と同等な乾燥状態に達するには長期間の乾燥期間が必要であり、そのような試験方法が乾燥湿潤試験方法のみであったためと考えられる¹²⁾。そこで、ひび割れ抵抗性は暴露試験または乾燥湿潤試験によって評価することとした。

(4) 換算圧縮強度

断面修復材の圧縮強度を求める方法としては、複数の方法があり、統一されていなかった。そこで比較試験を実施した。断面修復材の配合として、セメントモルタルの配合とポリマーセメントモルタルの配合を設定し、JIS R 5201、JSCE A 505 および JIS A 1108 の各方法（図-5.5）に従って圧縮強度を求めた¹³⁾。

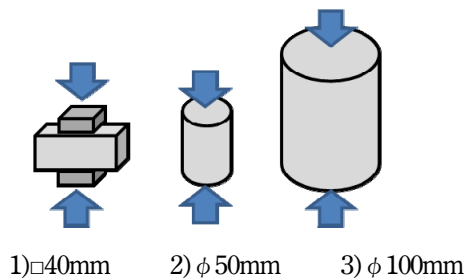


図-5.5 圧縮強度試験方法の比較

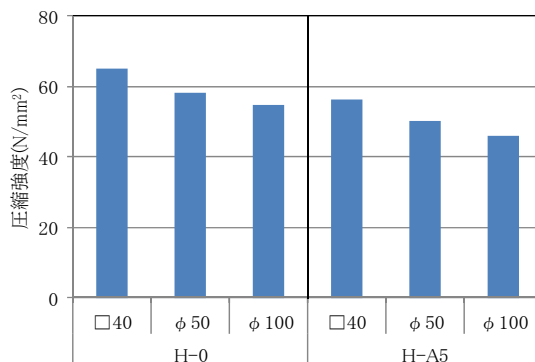


図-5.6 圧縮強度試験方法の比較

この結果を図-5.6に示す。これによれば、JIS R 5201（□40×40mm）による圧縮強度が最も大きく、JSCE A 505（φ50×100mm）、JIS A 1108（φ100×200mm）の順に得られる圧縮強度が小さくなっていく傾向が得られた。この傾向は一般的なコンクリート供試体で見られる傾向と同様であった。すなわち、供試体の寸法が小さ

表-5.3 付着界面に求める品質とその照査方法

品質項目	要求品質	品質確認方法と留意点
付着強度	密着している	・付着強度試験を5箇所以上実施し、その平均が1.5N/mm ² 以上、最低値が0.75N/mm ² 以上、充填工法の場合は、順打ちと逆打ちの双方で実施 ・ブリーディング水が認められないこと
劣化因子遮断性	密着している	付着強度の品質を満たしていること
気中における耐久性	密着している	・暴露試験または乾燥湿潤試験を実施し、試験終了後の付着強度の平均値が1.0N/mm ² 以上、最低値が0.5N/mm ² 以上 ・鉄筋裏まではつり取り、鉄筋を絡めた断面修復とするか、アンカー等による剥落防止対策
水中における耐久性	密着している	・付着強度試験用供試体を用い、水中耐久性試験を実施、試験終了後の付着強度の平均値が1.0N/mm ² 以上、最低値が0.5N/mm ² 以上

いほど、また、供試体の幅に対する高さの比が小さくなるほど、圧縮強度試験結果は高く出る傾向を示した。そこで、供試体の形状に応じた補正係数（□40mm:0.84、φ50mm:0.92、φ100mm:1.00）を掛けることで、換算圧縮強度を求めることとした。

5.5 付着界面に求める品質とその照査方法

5.2 で述べたように、断面修復工法の場合、断面修復材そのものの品質以外に、下地コンクリートとの付着界面の性能も重要である。付着界面に求める性能とその照査方法を表-5.3 に整理する。

また、断面修復材を施工する場合は、下地コンクリート表面に対して、吸水防止対策として、水湿し処理またはプライマー処理が施されるが、使用するプライマー等は断面修復材の製造者から指定されている場合が多い。このため、付着界面の性能の評価は、このプライマー（水湿しの場合もある）と断面修復材をセットとして評価することとした。表中の各品質照査法について、以下に概説する。

(1) 付着強度と劣化因子遮断性

付着強度の試験方法としては両引き試験と片引き試験があるが、試験の簡便さから片引き試験（建研式接着力試験器）を標準とした。断面修復材を施工する下地はコンクリートとし、材料・配合および形状等の標準を示した。また、断面修復材の練混ぜ、施工厚さ等の標準を示した。片引き試験の方法については、載荷面の形状、大きさ、載荷速度について規定した。図-5.7 は載荷速度と付着強度の関係であり、載荷速度が速くなるほどバラツキが大きく、また付着強度が高くなる傾向を示した¹⁴⁾。このため、載荷速度を0.02N/mm²/sec以下とした。

付着強度の規格値は、実施した多くの試験結果のバラツキ等の分析¹⁵⁾や、他の業界規格等の兼ね合いから表-5.3の規格値を設定した。

劣化因子の遮断性に関しては、付着強度の要求品質を満足することで、照査して良いこととした。

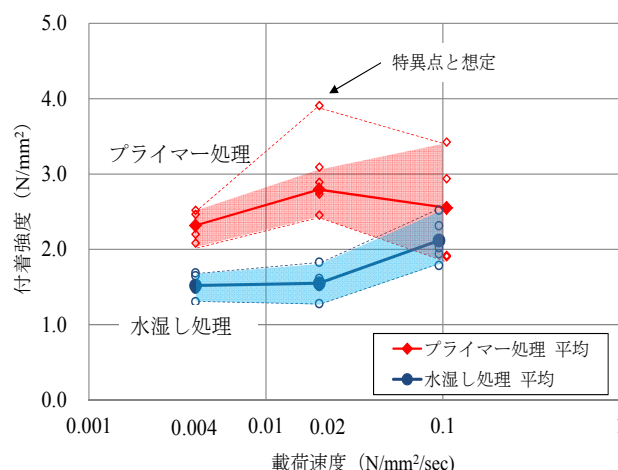


図-5.7 載荷速度と付着強度の関係

(2) 気中における耐久性

表-5.2 のひび割れ抵抗性の照査と同様の試験を行い、試験後の付着強度で照査することとした。

(3) 水中における耐久性

吸水防止処理に用いるプライマーの種類によっては、水中に長期間置かれると、プライマーが再乳化し、付着強度が著しく低下するものがあることが今回の研究で分かった。そこで、常に水に接する箇所に断面修復を行う場合には、水中耐久性試験によって付着強度が低下しないことを確認することとした。試験の方法としては、付着供試体を作製し、切り込みを入れた状態で1ヶ月間水中に浸漬した後に付着強度試験を行うものである。

5.6 断面修復工法の施工

施工の手順と留意点を整理した。特に、下地コンクリートのはつりや吸水防止処理、断面修復材施工後の養生の重要性について記載した。また、検査項目の例を示した。

6. ひび割れ修復工法編

6.1 概要

コンクリートに生じた過大なひび割れは、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^{16),17)}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、ひび割れの規模や劣化状態、修復後の要求性能等に応じて、様々な工法が古くから多くの現場で実施されており、ひび割れを壊さずに直接修復する工法である。しかし修復後のひび割れから漏水や性出物が再発する事例も見られる。ひび割れ修復材の品質や評価試験方法は、各種指針等に表示されているが、ひび割れ修復工法の施工における基準等はなく、このような不具合は、適切な工法や材料の選定および施工がなされていない可能性が考えられる。そこで、ひび割れ注入工法とひび割れ充填工法において、材料特性や施工性等に関する研究を行い、材料選定方法や施工時の留意点、検査項目等をマニュアルとしてとりまとめたものである。

6.2 ひび割れ修復工法の選定方法

6.2.1 補修に求める性能

コンクリートにひび割れが生じる要因は様々であるが、ひび割れ修復工法の補修方針は、ひび割れからの劣化因子の浸入防止もしくは抑制と、鋼材の保護によりコンクリート構造物本来の機能（耐久性等）を回復させることである。これらの2項目を対象として、ひび割れ注入材とひび割れ充填材に求められる性能を表-6.1のように整理した。ひび割れ修復材の主な品質規格は、建設省総合技術開発プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」¹⁸⁾などに規定されており、主な品質試験方法は、土木学会コンクリート標準示方書標準編等に表示されている。

表-6.1 ひび割れ修復材に求められる性能

材料に求められる性能と 主な品質規格(JIS A6024 など)		補修方針	①劣化因子の 浸入防止・抑制	②鋼材の腐食 抑制
ひび割れ 注入材	充填性・密実性	粘性、流動性、収縮率	○	○
	材料強度	圧縮、引張、曲げ強さ	○	○
	ひび割れ追従性	伸び率	○	
	接着耐久性	接着強さ、接着耐久性	△	
	(耐候性等)	(耐凍害性等)	○	
ひび割れ 充填材	材料強度	圧縮、引張、曲げ強さ	○	
	ひび割れ追従性	弾性復元率、伸び率	○	
	接着耐久性	接着強さ、接着耐久性	△	
	(耐候性等)	(耐凍害性、紫外線等)	○	

6.2.2 工法・材料の選定

ひび割れ注入工法（以下、注入工法）とひび割れ充填工法（以下、充填工法）の工法選定、およびひび割れ注入材（以下、注入材）とひび割れ充填材（以下、充填材）の選定は、対象となるひび割れの補修後の要求性能を満足することが原則となる。各種指針等には一般的な選定方法が示されているが、ひび割れの状態や置かれている環境に応じた工法や材料の選定等に統一された基準はなく、修復後の品質管理方法にも明確な方法はない。実際に、適切な材料選定や施工がなされていないことが原因とした不具合も多い。例えば、図-6.1に示す^{19),20)}ように、実際の橋梁補修工事において自動低圧注入で施工したひび割れからコアを採取し、表面から深さ10cmまでの注入材の充填状態を調査した結果、部分的に未充填となっている事例も多いことを確認している。このような未充填となった要因として、事前調査や補修設計（工法選定や材料選定）の不備、もしくは施工時の不具合が考えられ、過去の経験や部位、経済性等によって画一的な選定をしていたケースも多く、適切な選定ではなかった可能性もある。したがって、要求性能を満足させる補修方針を適宜考え、最適な工法と材料を選定できる補修システム等の構築が必要である。

以上から、本研究における工法と材料の選定では、ひび割れの状態に応じた最適な工法と材料を選定するために必要な項目として、表面ひび割れ幅、ひび割れの規模や状態、漏水や析出物の有無はもちろんのこと、構造物の存置環境も考慮した。例えば、樹脂系注入材の選定例は表-6.2のように整理した。選定に必要となる項目は、表面ひび割れ幅、ひび割れ幅と深さとの関連、貫通ひび割れ、ひび割れの挙動、構造物の置かれている環境の内、寒冷環境と湿潤環境とした。寒冷環境に着目している理由として、一般的に低温環境において、修復材自体が常温時と同様の施工性や品質等を得られ難く、施工に注意を要することが挙げられる。

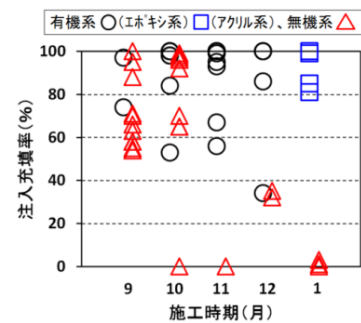


図-6.1 補修工事での注入材の充填調査

表-6.2 樹脂系注入材の選定例

	硬質系				軟質系		
	超低粘度	低粘度	中粘度	高粘度	低粘度	中粘度	高粘度
粘度 (mPa·s)	250以下	1000以下	20000以下	—	1000以下	20000以下	—
表面ひび割れ幅 (mm)	0.1~	0.2~1.0	0.5~5.0	1.0~5.0	0.2~1.0	0.5~5.0	1.0~5.0
ひび割れ幅と深さとの関連	狭・深:○ 広・深:×	狭・深:○ 広・深:△	狭・深:△ 広・深:○	狭・深:× 広・深:○	狭・深:○ 広・深:△	狭・深:△ 広・深:○	狭・深:× 広・深:○
貫通ひび割れ	△	○	○	○	○	○	○
挙動有り		×			○		
湿润環境	○(水中硬化型)△(一般用)						
寒冷環境	○	○(一般用 or冬用)	×	×	○(一般用 or冬用)	×	×

これらを裏付ける注入工法における実験結果を以下に記載する。図-6.2 に示すような方法で行った注入実験結果^{21)~24)}では、貫通ひび割れでは流動性の低い注入材はひび割れ内部で流下して未充填部をつくること、低温の影響によって、樹脂系注入材では流動性が低下して停滞・停止し、セメント系では凍結により停滞・停止すること等

から、ひび割れの状態や置かれている環境によってひび割れ内部に未充填が発生することを検証した。したがって、注入工法では、ひび割れの状態によって材料を適切に選定することや、冬期施工等では躯体コンクリートの温度管理が重要であり、防寒囲いによってコンクリート温度を上昇させることは勿論のこと、注入時間が遅延することを考慮した作業工程を組むこと等も重要であることがわかった。

なお、注入工法における設計注入量の考え方は、ひび割れの空隙を注入材で全て充填（充填）させること、ひび割れ内部の鋼材を保護することを原則としているため、ひび割れ幅、深さ、長さから注入量を設計する。したがって、ひび割れ深さの測定や推定を確実にし、貫通ひび割れの場合においては、部材厚をひび割れ深さとする設計が望ましい。

6.3 ひび割れ修復工法の施工方法

6.3.1 施工前調査

ひび割れ修復工事は、ひび割れの調査・設計を経て実施されるため、調査時から時間が経過している場合が多い。この経過時間が長いほど、構造物の状態は変化してひび割れが進行する可能性が高くなる。ひび割れが進行した状態で、当初設計通りの補修を行っても適切な補修とはならない場合もある。したがって、施工前調査によって補修対象のひび割れの状態を再度把握し、ひび割れの進行が確認されて当初設計が適用できない場合は、設計段階に戻って工法変更や材料変更の検討を実施しなければならない。

例えば、ひび割れ修復工法には注入工法と充填工法の工法検討があり、ひび割れ幅が大きくなっていた場合には、注入工法から充填工法への変更を検討する等がある。また、ひび割れが析出物で閉塞して注入出来ないことから充填工法に変更するケースも見られるが、この場合はひび割れからの漏水があるため、ひび割れへの水分供給源の止水対策を実施す

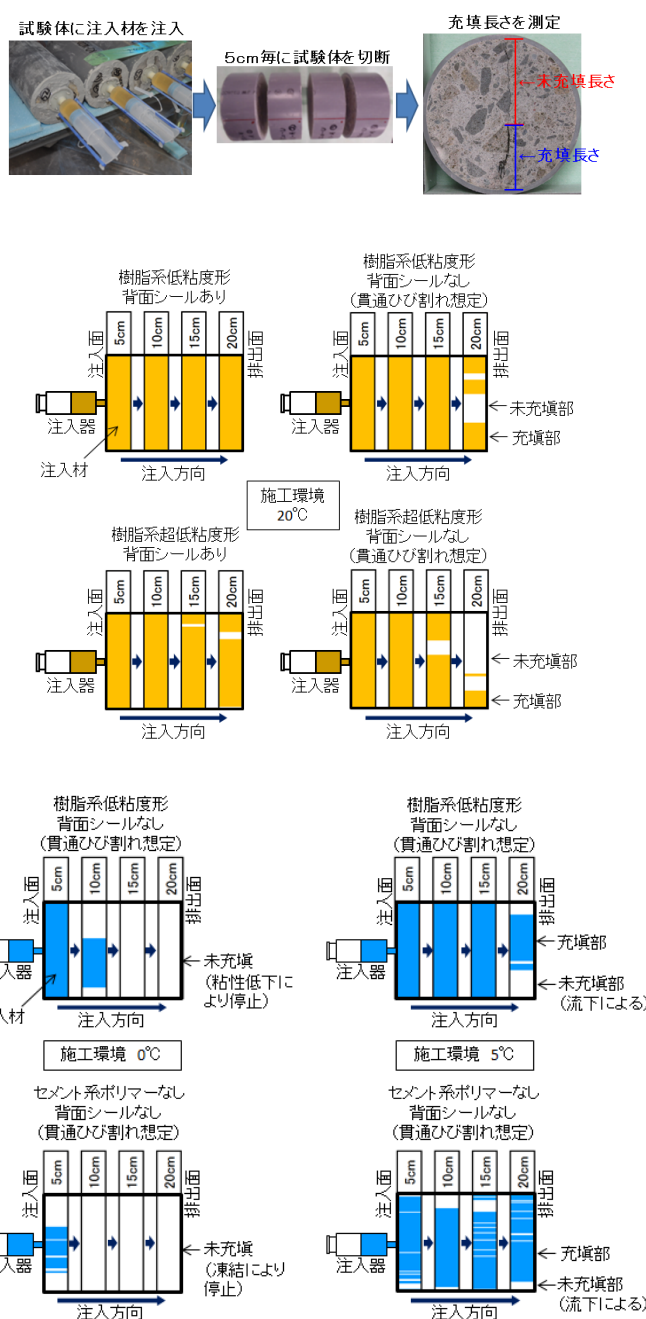


図-6.2 注入実験

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

ることが大前提である。しかし、実際には止水対策が完全にできないケースも多く、このようなケースの対処方法として、次項以降に記述する析出物の閉塞を部分的に除去する方法を用いて注入工法を実施する手法等の採用の検討を行うと良い。

6.3.2 施工時の留意点

注入工法および充填工法の施工時において、施工ミス等による不具合を防ぐために留意すべき主な点を以下の表-6.3に整理した。

注入工法では、注入材の流動の停滞、注入器やシール材からの注入材の漏れが、ひび割れ内部の未充填を招く大きな要因となる。特に樹脂系注入材では、硬化時間を適切に把握しないと未充填となるケースもある。また、充填工法では、接着面の状態によって充填材の接着力が低下して剥離等の要因となることがある。施工時にこのような点に留意することで、施工ミス等による不具合は改善できることから、本研究では、注入器およびシール材の固定を簡易に確認する試験方法と注入材の硬化時間と硬化確認方法について提案した。

6.3.3 析出物のあるひび割れへの対処方法

ひび割れ修復において、現場では析出物が析出したひび割れの修復方法に苦慮しているケースが見られる。ひび割れが析出物で詰まって注入出来ないと判断し、Uカット等による充填工法を採用するケースが多い。しかし、析出物＝水分が供給されているひび割れは、充填工法で

はひび割れ内部に露出した鋼材の腐食を防止できないため、水分供給を遮断し、露出した鋼材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による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鋼材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。そこで、析出物のあるひび割れに対して、析出物の生成深さ調査を行い、さらに、その調査箇所を注入口と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²⁵⁾²⁷⁾。提案した手法は、図-6.3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 10～20mm）を入れ（以下、クロスカット）、詰まった箇所を部分的に取り除き、析出物の閉塞深さ測定と注入口を確保する方法とした。この手法を用いた試験施工を、国道橋の補修工事1橋梁において、橋台のひび割れ2箇所で行った。なお、この補修工事では、析出物のあるひび割れは、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おり、選定理由は「目詰まりによる注入困難」であった。調査の結果、析出物の生成深さは表面から深さ概ね5mm程度であった。表-6.4に各注入器の注入量、および各注入器との中点間と表面ひび割れ幅と注入量から算出した計算注入深さの比較結果を示す。クロスカット箇所の注入量が通常注入の

表-6.3 施工時の留意点

注入工法・充填工法共通	
品質管理	材料の正確な調合
	降雨・降雪時は避けるか適切な養生の実施
	低温時は必要に応じた養生時間の設定
	高温時は可使時間に留意
安全管理	換気に十分注意
	火気の近くで作業しない
注入工法	
品質管理	注入器やシール材の確実な固定
	ひび割れの下から上の順に注入
	注入材が硬化するまで器具等をはずさない
充填工法	
品質管理	ひび割れに沿ったカット
	充填材と接着するプライマーを使用（原則）
	マスキングはすぐに剥がす
	施工後の適切な養生（施工後の降雨対策等）

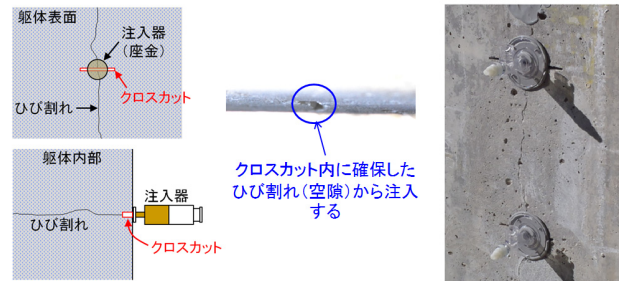


図-6.3 クロスカットによる注入器の設置例

表-6.4 注入量の比較結果

	位置 №	表面ひび割れ幅 (mm)	注入量 (ml)	計算注入深さ (m)	注入口 処理方法	方法別 平均深さ (m)
ひび割れ A	A1	0.20	86.7	1.55	通常注入	3.07
	A2	0.10	114.7	4.68		
	A3	0.30	164.7	2.29		
	A4	0.20	188.7	3.93		
	A5	0.30	204.7	2.90	クロスカット	
	A6	0.20	221.7	5.68		
	A7	0.30	251.7	4.79		
	A8	0.10	143.7	7.98		
ひび割れ B	B1	0.10	22.0	0.86	通常注入	0.82
	B2	0.20	24.0	0.71		
	B3	0.10	22.0	0.90		
	B4	0.10	111.7	4.65	クロスカット	
	B5	0.10	97.7	5.28		

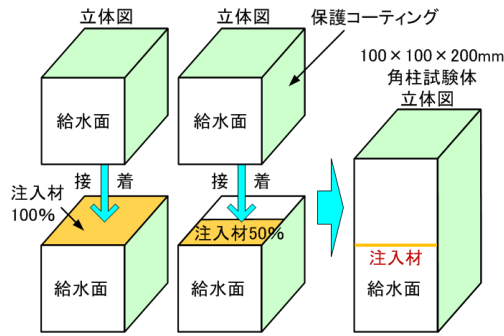


図-6.4 模擬注入供試体の作製イメージ

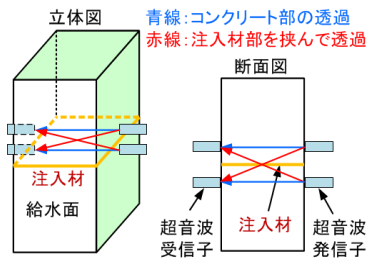


図-6.5 超音波測定方法

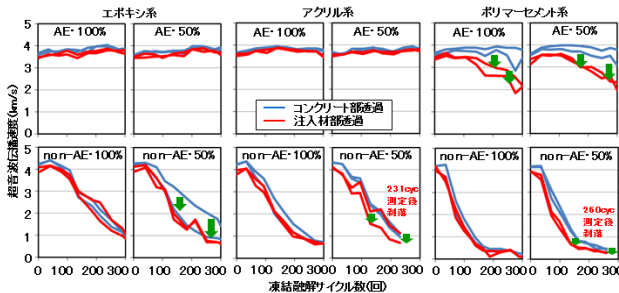


図-6.6 超音波測定結果

表-6.5 ひび割れ注入工法の検査項目の例

分類	検査内容	検査方法	合否判定
施工時	使用材料	品質証明等	仕様どおりか
	コンクリートの表面温度	表面温度計	材料の適用温度以内か
	施工環境温度	外気温計	材料の適用温度以内か
	注入器とシール材の固定確認	サンプルでの固定確認	漏れ、剥離の有無
	注入材の混合量	計量値の確認	材料の仕様混合比か
	注入材の排出確認	排出口での排出確認	排出の有無
	注入材の硬化時間と硬化確認	サンプルでの硬化確認	設計量との整合と十分な硬化
完了時	注入量	注入器毎に記録	設計注入量以上
	シール撤去後の出来映え	目視	仕上がりの良さ

箇所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、注入材がより入りやすくなったためと考えられる。これらの結果から、析出物のあるひび割れでも、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れる結果であった。

6.4 ひび割れ修復後の耐久性の検討

注入時の不具合等でひび割れ内部に未充填が生じてしまった場合、未充填が注入修復後のコンクリートの耐久性等に及ぼす影響について、模擬注入供試体を用いた室内試験および屋外暴露試験による検証実験を行った。図-6.4に模擬注入供試体の作製イメージを示す。未充填の有無を想定し、表面からの注入材の充填率を100%と50%の2ケース作製した。供試体のコンクリートは、凍害に強いAEコンクリートと、凍害劣化を促進させるためAE剤無添加のコンクリート（以下、non-AEコンクリート）の2種類とし、注入材は、エポキシ系、アクリル系、ポリマーセメント系の3種類を使用した。凍結融解作用は、JIS A 1148（A法）に準拠した凍結融解試験を300サイクルで実施した。耐久性の評価は、所定のサイクル毎に超音波（透過法）測定（図-6.5）により、コンクリートの凍害劣化の程度と、ひび割れ内部の注入材とコンクリートとの付着状態を確認した。図-6.6に超音波測定結果を示す。注入材部を挟んで超音波を透過した超音波伝播速度（赤線）がコンクリート部を透過した超音波伝播速度（青線）よりも低下した場合、注入材との付着が低下したと判断する。試験結果では、non-AEコンクリートにおいて、注入材の充填率50%の供試体で注入材との付着が弱まる結果が得られたことから、ひび割れ注入後に未充填部があり、背面等からひび割れに多くの水分が供給されて凍害劣化が進行するような箇所では、付着が低下しやすく、漏水や析出物が再発し易いと考えられる。なお、北海道の海岸線（増毛町）で凍害と塩害が複合する厳しい環境に暴露試験も継続中である。

これらの結果を含め、本研究で得られた結果から、一例として表-6.5に注入工法の検査項目（案）を示す。注入工法は施工後の状態を確認することが困難であるため、主に施工時の検査項目において、施工ミス等を極力なくするための検査項目を設定した。特に、シール材の接着力や硬化前の注入材は、温度によって性質等が変化するため、各種温度と硬化確認は十分に行う必要があり、これらの検査を実施して確実な施工を行うことで、注入後の再劣化が発生する可能性は低くなる。

7. おわりに

今回、3 チーム連携による 5 年間の研究成果として、コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル (案) を策定した。コンクリート構造物の適切な補修工事の一助になれば幸いである。なお、補修補強に関する技術は日進月歩であり、本マニュアルもそれに対応すべく、今後も新たな研究成果等を得て更新していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本鋼構造協会：一般塗装系塗膜の重防食塗装系への塗替え塗装マニュアル JSS IV 11-2014, pp.69-70, 2014.5
- 2) ISO16311-4: 2014 Maintenance and repair of concrete structures – Part4: Execution of repairs and prevention, 2014
- 3) 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の温湿度分布の長期観測、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、Vol.14、pp.595-602、2014.10
- 4) 櫻庭浩樹、熊谷慎祐、宮田敦士、佐々木巖、西崎到：施工環境に起因して変状が生じた表面被覆材の屋外暴露、Vol.15、pp.29-35、2015.10
- 5) 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、Vol.37、pp.1573-1578、2015.10
- 6) 土木研究所：コンクリート表面保護工法の施工環境と耐久性に関する研究-浸透性コンクリート保護材の性能持続性の検証と性能評価方法の提案-、土木研究所資料第 4186 号、2011.1
- 7) 熊谷慎祐、櫻庭浩樹、宮田敦士、佐々木巖、西崎到：過酷な施工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、アップグレードシンポジウム、Vol.15、pp.23-28、2015.10
- 8) プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き (案) [断面修復工法]、(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会、2009
- 9) 高流動コンクリートの配合設計・施工指針、コンクリートライブラリー136、土木学会、2012
- 10) 片平博、渡辺博志、渡邊健治：混和材料の種類と養生日数の違いが断面修復材の物性に与える影響、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、第 13 巻、pp.317-322、2013.11
- 11) 片平博、渡辺博志：断面修復材の塩分浸透抵抗性の評価試験方法に関する検討、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、第 15 巻、pp.313-318、2015.10
- 12) 片平博、川上明大、古賀裕久：断面修復材の付着性に関する促進劣化試験方法の検討、第 16 回コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム、2016.10 (投稿中)
- 13) 川上明大、片平博、渡辺博志：供試体の形状や寸法が断面修復材の圧縮強度に及ぼす影響、土木学会年次学術講演会講演概要集、Vol.70、No.5、pp.1175-1176、2015.9
- 14) 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、pp.1603-1608、2015.7
- 15) 片平博、渡辺博志、山田宏、渡邊健治：付着面の条件や養生条件が断面修復材の付着強度に与える影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.35、pp.1663-1668、2013.7
- 16) 竹田宣典、十河茂幸：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
- 17) 渡辺博志：コンクリート構造物の信頼性の向上-ひび割れの影響-、土木技術資料 平成 24 年 1 月号、pp.42-45、2012.1
- 18) 建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発、財団法人土木研究センター、1989.5
- 19) 内藤勲、田口史雄、島多昭典：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
- 20) 渡辺博志、西崎到、佐々木巖、櫻庭浩樹、片平博、島多昭典、内藤勲：コンクリート構造物の補修に関する研究-コンクリート、表面被覆、ひび割れ修復、断面修復-、第 43 回プレストレストコンクリート技術講習会テキスト、2015.6
- 21) 山本昌宏、谷村成、藤井隆史、安藤尚、綾野克紀：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
- 22) 内藤勲、島多昭典、三原慎弘：施工時の低温環境がひび割れ注入工法の注入充填性に及ぼす影響、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文

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

報告集、第14巻、pp.303-308、2014.10

- 23) Isao Naitoh, Akinori Shimata, Norihiro Mihara : Study on The Filling Ability of Crack Injection into Concrete in a Cold Snowy Region, The 6th International Conference of Asian Concrete Federation (ACF2014), pp.1180-1183, 2014.9
- 24) 内藤勲、島多昭典 : ひび割れ注入工法の低温における充填性と耐凍害性、土木技術資料 12月号、No.57、pp.32-35、2015.12
- 25) 内藤勲、島多昭典、下山直也、竹島康永、尾藤陽介、山内匡、友澤明央、金沢智彦、徳永健二 : 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
- 26) 内藤勲、島多昭典 : エフロレンセスがあるひび割れの調査と修復方法に関する検討、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.77-82、2015.10
- 27) Norihiro Mihara, Isao naitoh, Akinori Shimata : Basic Consideration on How Effective Insufficient Filling Deteriorates Repaired Cracked Concrete in Frost Damage, The 6th International Conference of Asian Concrete Federation (ACF2014), pp.1157-1162, 2014.9

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, TAGUCHI Humio, NISHIZAKI Itaru, KOGA Hirohisa, SHIMATA Akinori, BABA Michitaka, KATAHIRA Hiroshi, SASAKI Iwao, SAKURABA Hiroki, MIHARA Norihito, NAITOH Isao, YOSHIDA Susumu, ENDOH Hirotake, NONOMURA Yoshinori, NAKAMURA Takuro, MIZUTA Maki, YAMADA Shoji, KASHIKI Shunichi, KAWAMURA Koji, MIYAMOTO Syuji, NAKAMURA Naoyuki, KAZUMATA Mitsugu, KITAYA Sakiko, SHIBUYA Naoki, WATANABE Masahiro, TANAKA Tadahiko, YOKOYAMA Hiroyuki, TAKADAMA Namio, YASUDA Yuichi, INAGAKI Tatsuhiko, MURANAKA Tomoyuki, TOYABE Toshihoto, ICHIKAWA Seiichi, FUJITA Yuuji, TAKADA Naoto, YOSHIZAWA Jyun, WATANABE Jun, SUZUKI Satoshi, SATO Yoshishige, TSURUSAWA Toshiki

Abstract:

In order to prolong the service life of existing concrete structures, adequate repair should be carried out, if necessary. In this research project, surface coating, impregnation, patching repair and crack repair have been studied by Concrete and Materials Team, Advanced Materials Research Team and Cold-Region Technology Promotion Division. Based on this study, the manual of repair technologies for concrete structures is developed. The manual consists of general part, surface coating and impregnation part, patching repair part, crack repair part and case study part of deterioration after repair. The general part describes how to select principles for repair of concrete structures and points of attention in the selection of repair methods. The surface coating and impregnation part, the patching repair part and the crack repair part show test methods for repair materials and points of attention in an execution of certain repair techniques. The case study part shows cases where repair materials and/or executions of repair were inadequate, and the knowledge is reflected to the other parts.

Key words: Concrete, Repair, Re-deterioration, Surface coating, Impregnation, Patching repair, Crack repair