

ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第4433号

土木研究所資料

コンクリート構造物の 補修対策施工マニュアル 2022年版

令和4年12月

国立研究開発法人土木研究所

先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ
寒地土木研究所 寒地保全技術研究グループ 耐寒材料チーム

Copyright © (2022) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

コンクリート構造物の 補修対策施工マニュアル 2022年版

先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ

グループ長	西崎 到
上席研究員	新田 弘之
上席研究員	古賀 裕久
総括主任研究員	佐々木 巖
特任研究員	片平 博
主任研究員	櫻庭 浩樹
主任研究員	川島 陽子
主任研究員	加藤 祐哉
研究員	小沢 拓弥
上席研究員	島多 昭典
主任研究員	内藤 勲
主任研究員	遠藤 裕丈
研究員	長谷川 諒

寒地保全技術研究グループ 耐寒材料チーム

要 旨：

コンクリートの代表的な補修対策として表面被覆・含浸工法，断面修復工法，ひび割れ修復工法について研究し，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。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。2022年版は，表面被覆・含浸工法，吹付けによる断面修復工法等における研究成果を反映して改訂したものである。

キーワード：補修，表面被覆・含浸工法，断面修復工法，ひび割れ修復工法，補修後の不具合

まえがき

コンクリート構造物の耐久性に関しては、1970年代に塩害やアルカリシリカ反応による早期劣化の問題が顕在化し、建設省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」（1985～1987年度、以下、耐久性総プロ）を行って、産学官の研究者がこの問題に取り組んだ。このうち、劣化したコンクリート構造物の補修技術に関する研究の成果は、塩害やアルカリシリカ反応被害を受けた土木構造物に対する補修指針（案）として耐久性総プロ報告書にまとめられるとともに、早期劣化したコンクリート構造物の補修に適用された。

その後、一般的な土木コンクリート構造物の補修材料・工法については、国土交通省として整理された技術資料が作成されていない。このため、例えば、「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン（案）」（ASRに関する対策検討委員会、平成20年）に引用されているなど、耐久性総プロの成果の一部は、その後も長期にわたって参照されていた。しかし、検討から約30年が経過し、補修材の品質試験方法や施工管理方法についても、新たな知見が得られつつある。

そこで、土木研究所では2011～2015年度にプロジェクト研究「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」を実施し、その研究成果を盛り込んで、「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）」（土木研究所資料 第4343号、2016年8月）（以下、マニュアル（案）2016年版）をその試案として作成した。

コンクリートの補修に関しては学協会からも多くの指針類が発行されている。それらは、「点検～調査～対策の選定～補修・補強」といった維持管理全般にわたる基本理念をとりまとめたものと、個別の補修工法についてとりまとめたものに分類される。前者には、「コンクリート標準示方書〔維持管理編〕」（土木学会）などがあり、後者には、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針」（日本コンクリート工学会）、「表面保護工法設計施工指針（案）」（土木学会）などがある。これらの資料を参考にすることで補修に対する総合的な知見が得られるが、大部であり、相互に参照する必要があることから、具体的な補修を計画する実務者がこれらの内容を網羅的に理解することは、必ずしも容易ではない。また、発注者としては、特に、補修した箇所が再劣化しないように、補修が適切に設計・施工されるよう指導、監督、検査を徹底する必要がある、留意点を把握しておかなければならない。そこで、マニュアル（案）2016年版では、補修に関わる基本理念から、各補修工法の選定方法、選定した補修工法の設計・施工方法に至るまで、特に早期の再劣化を防ぐための施工管理の要点を、共通の考えに基づいて1冊の本に取り纏めた。

海外に目を向けると、2014年にコンクリート構造物の維持管理および補修に関して、ISO16311 Maintenance and repair of concrete structures が制定された。このISOも、基本理念から各補修対策工法の手法までを体系化している。アジアをはじめ諸外国においても補修対策技術に対する期待は高まっており、日本で開発されている補修技術の世界展開を見据えると、このISOの内容に準じて体系を構築しておくことは重要と考えられ、マニュアル（案）2016年版の作成にあたって参考にした。

コンクリート補修材料・工法の研究・開発は各方面で日々精力的に行われており、土木研究所においても、マニュアル（案）2016年版の作成以降も、より信頼性の高いコンクリート補修材料・工法の確立に向けた研究を継続して行っている。2021年度に土木研究所の第4期中長期計画が終了しており、そこで得られた最新の成果を盛り込んだ改訂を行い、「コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版」（以下、本マニュアル）として公表する次第である。本マニュアルは、基本的なとりまとめ方針や構成は、マニュアル（案）2016年版と同様であり、その概要と2022年版で改訂・追加された主要な項目は以下に示す通りである。

本マニュアルは、[共通編]、[表面被覆・含浸工法編]、[断面修復工法編]、[ひび割れ修復工法編]および補修後の[不具合事例集]によって構成されている。2022年版では、表面被覆・含浸工法、吹付けによる断面修復工法等における研究成果を反映するとともに不具合事例を追加した。各編の主な提案内容は次のようである。

[共通編]では、補修に共通する一般事項を整理したうえで、各種補修工法をどのように選定すればよいか、という観点から、補修方針の設定、劣化要因と劣化段階に応じた各種補修工法の選定上の留意点について整理した。また、補修箇所が早期に再劣化することを防ぐためには、施工前調査が重要であることを示し、加えて、補修後の維持管理上の留意点を整理した。2022年版では、各編の改訂に対応するように、各種補修工法の選定上の留意点等を見直した。

[表面被覆・含浸工法編]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提案した。2022年版では、表面含浸工法（特にシラン系表面含浸工法）に関する情報を充実させた。例えば、施工した表面含浸材の含浸深さを現場で簡易に測定できる方法等について提案した。また、表面含浸材の塩化物イオンの侵入に対する抵抗性等に関する長期暴露試験の結果も掲載した。

[断面修復工法編]では、断面修復材の品質や、下地コンクリートとの付着性について、品質確認方法を整理し、いくつかの試験方法を提案した。また、施工上の留意点や検査方法についても提案した。2022年版では、吹付け工法の内容として、施工上の留意点や強度試験体作製上の留意点等の内容を充実させた。また、積雪寒冷地等の環境の厳しい地域での適用を想定し、はつり面の脆弱部にエポキシ系の浸透性塗布材を浸透させて付着性を改善する方法を提案した。さらに、はつり作業によって露出した鉄筋の防せい処理として採用されることの多い防せい剤、塩分吸着剤、犠牲陽極について、それぞれの特徴と留意点を整理した。

[ひび割れ修復工法編]では、ひび割れ注入工法とひび割れ充填工法において、低温等の環境条件に着目した材料選定方法を提案した。また、施工時の留意点、検査項目等についても提案した。2022年版では大きな改訂はないが、より適切に運用がなされるように記載を見直した。

なお、各編の改訂内容については、巻末に詳細をまとめているので参照頂きたい。

本マニュアルの適用により、コンクリート構造物の補修において現在課題となっている点の改善に役立つものと期待できる。今後、実際の維持管理事業の中で本マニュアルの妥当性が検証されるとともに、コンクリート構造物の信頼性の高い維持管理に幅広く活用されることを期待したい。今後も、コンクリート構造物の補修に関する研究を行い、本マニュアルの改訂を継続する所存である。

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル

2022年版

総目次

- I 共通編
- II 表面被覆・含浸工法編
- III 断面修復工法編
- IV ひび割れ修復工法編
- V 不具合事例集
- VI 改訂資料

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル
2022年版

I 共通編

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版

I [共通編]

目次

1. 総則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 本マニュアルの構成	2
1.3 用語の定義	3
2. 補修設計	5
2.1 一般	5
2.2 劣化機構と調査の留意点	7
2.3 補修工法の種類	15
2.4 補修方針の設定と補修工法の選定	21
3. 補修の施工	31
3.1 施工のための調査	31
3.2 施工管理	34
3.3 安全管理	34
3.4 廃棄物の処理	35
3.5 施工の記録	36
4. 検査	37
4.1 一般	37
4.2 検査項目と判定基準	37
4.3 検査の記録	37
5. 補修後の維持管理	38
5.1 一般	38
5.2 補修の施工後の点検	38
5.3 評価・判定	42

1章 総 則

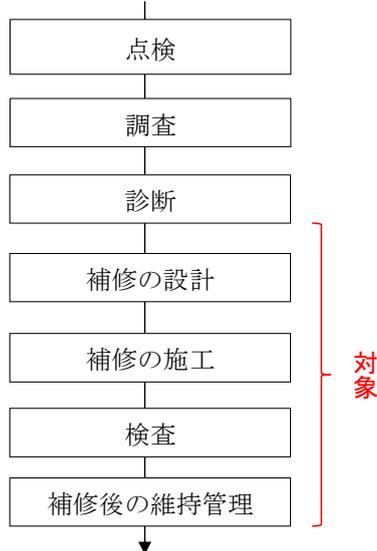
1.1 適用範囲

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（以下、本マニュアルという）は、土木コンクリート構造物の耐久性の回復もしくは向上を目的とした補修に適用する。

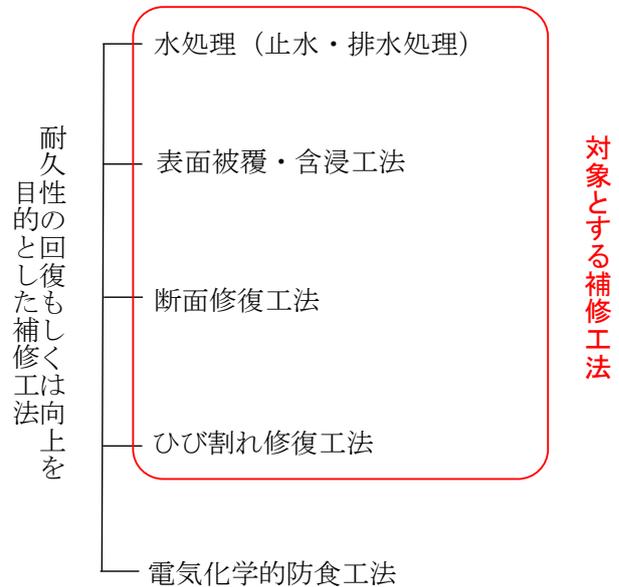
【解 説】

本マニュアルは、土木分野におけるコンクリート構造物の耐久性の回復あるいは向上を目的とした、既設コンクリート構造物の補修における標準を示すものである。解説 図-1.1.1 は、一般的な補修の流れを示す。補修工事に着手する段階においては、劣化の主因と対策の方針が確認されていることを前提とし、その適用範囲や使用材料の効果的な選択と、現場での施工管理を効率的に進めるための技術的事項を示した。本マニュアルは、補修の設計、補修の施工、検査、補修後の維持管理に関する記述を含む。また、解説 図-1.1.2 は、本マニュアルで対象とする補修工法を示す。耐久性の回復もしくは向上を目的とした補修工法のうち、水処理、表面被覆・含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法を対象とする。

補修の流れ



解説 図-1.1.1 補修の流れ



解説 図-1.1.2 対象とする補修工法

補修を実施したコンクリート構造物において、必ずしも当初期待していた補修効果が得られない場合がある。確実な補修効果を得るためには、劣化機構に基づいた適切な工法選定に加え、使用する補修材料の品質や適用条件、それらを現場において確実に仕上げるための施工管理の配慮などが特に重要である。

こうした背景から、本マニュアルでは、補修されたコンクリート構造物の再劣化を抑制するための劣化状況に応じた工法の選定と施工管理方法について要点を示す。

1.2 本マニュアルの構成

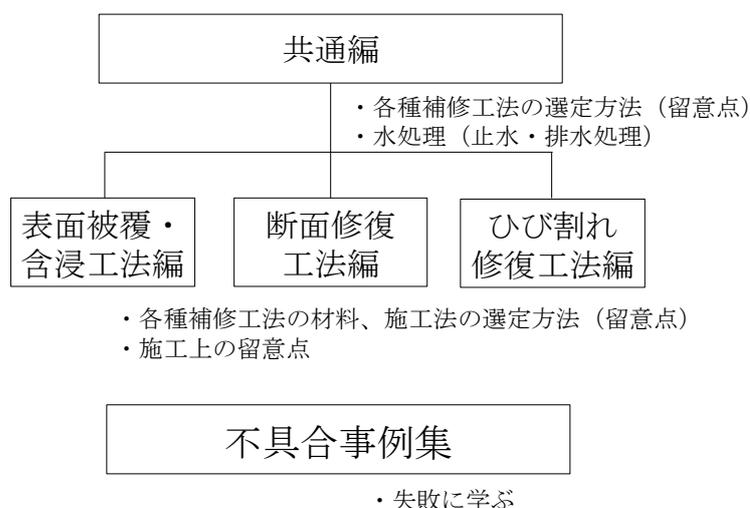
本マニュアルは、**共通編**、**表面被覆・含浸工法編**、**断面修復編**、**ひび割れ修復工法編**で構成される。

【解説】

本マニュアルの構成を**解説 図-1.2.1**に示す。**共通編**では、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）も参考にして、コンクリート構造物の補修に求められる性能を整理し、補修対象となる構造物の劣化機構および劣化段階と補修に求める性能とを結びつけ、各種補修工法の選定上の留意点をまとめた。なお、最も基本的な措置である水処理（止水・排水処理）は、各種補修工法を実施するにあたって共通に考慮が必要な事項であるため、**共通編**の中で記載した。

各工法編では、コンクリート構造物の補修工法において、主な補修工法と考えられる、表面被覆・含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法を取り扱うこととし、これら工法の、材料および施工法の選定上の留意点、ならびに、施工上の留意点をまとめた。

さらに、補修後のコンクリート構造物に不具合（劣化）が生じた事例を調査、分析し、**不具合事例集**をまとめた。**不具合事例集**では、不具合が生じた要因を、劣化状況判断（調査時等）が不適切であったこと、材料選定（設計時等）が不適切であったこと、現場管理（施工時等）が不適切であったことの3つに分類し、想定される劣化因子や補修後に劣化が生じたメカニズムを分析した。**表面被覆・含浸工法編**、**断面修復工法編**、**ひび割れ修復工法編**では、これらの不具合事例を考慮し、材料および施工法の選定上の留意点、ならびに、施工上の留意点をまとめた。



解説 図-1.2.1 コンクリート構造物の補修対策施工マニュアルの構成

1.3 用語の定義

本マニュアルでは次のように用語を定義する。

補修方針：補修工法の選定において根拠となる考え方。

予防保全：構造物に劣化を発生あるいは顕在化させない、もしくは、性能低下を生じさせないための予防的措置を計画的に実施する行為。

水処理：コンクリート構造物にできるだけ水が接触しないように水回り、排水を工夫すること。

再劣化：補修されたコンクリート構造物に再び劣化が顕在化すること。

【解説】

本マニュアルを使用するうえで重要な用語として、条文で定めた用語の他に変状、初期欠陥、損傷、劣化、第三者影響度、補修、補強などがある。これらの用語は、2018年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編：本編〕において以下のように定義されている。

変状 何らかの原因で、コンクリートやコンクリート構造物に発生している、本来あるべき姿でない状態、初期欠陥、損傷、劣化等の総称。

初期欠陥 施工時に生じた変状のうち、有害となる可能性のあるひび割れや豆板、コールドジョイント、砂すじなどの変状、かぶり不足やPCグラウト充填不良などを含む。

損傷 地震や衝突等によるひび割れや剥離のように、短時間のうちに発生し、その後は時間の経過によっても進行しない変状。

劣化 時間の経過に伴って進行する変状。

第三者影響度 構造物から剥落したコンクリート片などが器物および人に与える傷害などへの影響度合い。安全性に含まれる。

補修 第三者への影響の除去あるいは、外観や耐久性の回復もしくは向上を目的とした対策。ただし、供用開始時に構造物が保有していた程度まで、安全性あるいは、使用性のうちの力学的な性能を回復させるための対策も含む。

補強 供用開始時に構造物が保有していたよりも高い性能まで，安全性，あるいは使用性のうちの力学的な性能を向上させるための対策。

2章 補修設計

2.1 一般

本マニュアルにおける補修設計は、主な劣化機構である塩害、中性化、凍害、アルカリシリカ反応による変状、および初期欠陥が見られる構造物に適用するものであり、その補修設計における基本的な考え方および留意点等を示すものである。

【解説】

本章では、土木分野のコンクリート構造物の適切な補修設計を行うために必要な以下の事項、コンクリートの劣化機構と調査の留意点、補修工法の種類、補修方針の設定、および補修工法選定上の留意点について解説する。解説表-2.1.1に主に対象とする劣化の種類を示す。表中の「○」が本マニュアルで主に対象とする劣化機構であり、これらの劣化機構と調査の留意点等を2.2 劣化機構と調査の留意点に示す。

解説表-2.1.1のなかの「△」のうち、初期欠陥に含まれるものは、本マニュアル内で詳述はしないものの、本マニュアルに示す対策を準用することで対応が可能と考えられる劣化機構である。複合劣化に関しても、その劣化の程度によっては同様に準用することが可能と考えられるが、環境条件等によっては複合劣化の形態や劣化の進行速度が異なってくるので慎重な検討が必要となる場合も考えられる。

表中に「-」で示した化学的侵食、疲労、外力損傷については、構造物の条件やこれらの劣化要因に対応した設計が必要であり、補強の併用が必要となるなど、本マニュアルで扱う工法では再劣化を防止できないケースが多いことから、別途の検討が必要となる劣化機構である。

解説 表-2.1.1 劣化の種類と本マニュアルの主な対象

劣化の種類	劣化機構（概略）	本マニュアルでの取扱い※	
塩害	コンクリートに塩化物イオンが浸透し、鋼材の不動態皮膜が破壊されて鋼材が腐食することで鋼材の体積膨張によりコンクリートにひび割れが発生する現象。	○	
中性化	コンクリートに侵入した二酸化炭素とセメント水和物の水酸化カルシウムが反応して炭酸化して、強アルカリ性のコンクリートの pH が低下し、鋼材の不動態皮膜が破壊されて鋼材が腐食することで鋼材の体積膨張によりコンクリートにひび割れが発生する現象。	○	
凍害	コンクリート中の水分の凍結融解作用によりコンクリートにひび割れが発生する現象。	○	
アルカリシリカ反応	コンクリート中に含まれる水酸化物イオンと反応性シリカ成分を含む骨材が反応した反応生成物（アルカリシリカゲル）の体積膨張によりコンクリートにひび割れが発生する現象。	○	
化学的侵食	土壌、下水施設、工場、温泉等の環境における化学物質がコンクリートを侵食して劣化させる現象。酸性劣化、硫酸塩劣化、微生物劣化等がある。	—	
疲労	道路橋床版に多く見られる劣化で、繰り返し荷重（輪荷重）によってコンクリートが劣化・損傷する現象。過大な荷重や配筋不足により損傷は加速。	—	
外力損傷	地震、地盤沈下、土圧、水圧、波圧等の外力によってコンクリートが損傷する現象。	—	
複合劣化	凍害、塩害、中性化などが複合して作用し、劣化が促進される現象。	△	
初期欠陥	乾燥収縮ひび割れ	コンクリートが乾燥収縮することによってひび割れが生じる現象。	○
	温度ひび割れ	セメントの水和反応に伴う発熱とその後の温度降下により、コンクリート表面と内部との温度差による拘束（内部拘束）や既設コンクリートとの拘束(外部拘束)によってひび割れが生じる現象。	○
	豆板	コンクリートを打設するときの材料の分離、締固め不足、型枠下端からのセメントペーストの漏れなどにより、コンクリートの一部に粗骨材が多く集まってできた空隙の多い不良部分が生じる現象。	△
	表面気泡	コンクリート打設時の締固め中にエントラップトエアが型枠表面に集まり、コンクリート表面に気泡跡が発生する現象。	△
	コールドジョイント	先に打設したコンクリートに後から打設するコンクリートを打ち重ねる際、打ち重ね部が一体化されず不連続な面が生じる現象。	△
	沈下ひび割れ	ブリーディングが進みコンクリートの沈みと凝固が同時進行する過程で鉄筋等が拘束することでひび割れが生じる現象。または、コンクリートが硬化し始める時期に、型枠や支保工が変形することでひび割れが生じる現象。	△

※ ○：本マニュアルで主に対象とする劣化機構。

△：本マニュアルによる対策が準用できると考えられる劣化機構。

—：別途検討が必要となる劣化機構。

2.2 劣化機構と調査の留意点

補修設計を行うにあたっては、補修しようとする箇所に生じている劣化または初期欠陥のメカニズムを考慮して、必要な調査を行う。

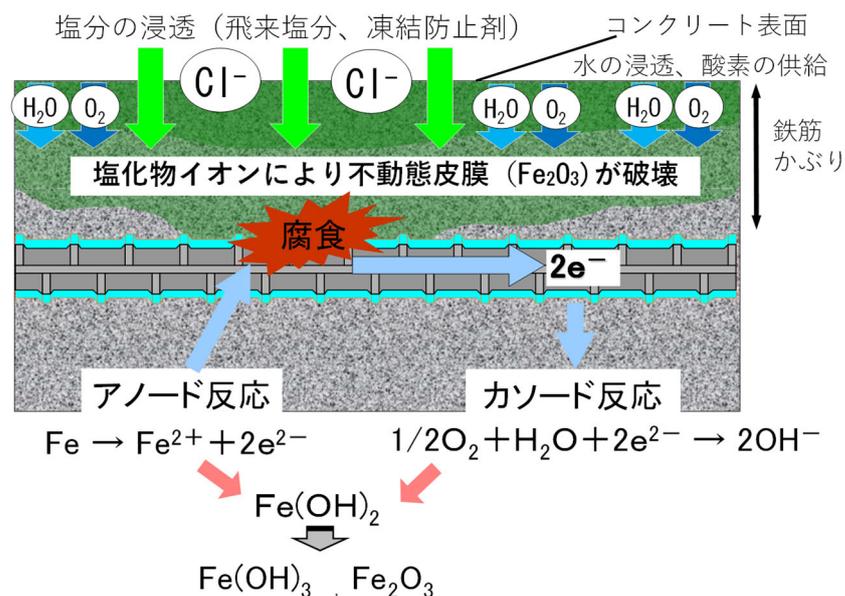
【解説】

適切な補修設計を行うためには、補修しようとする箇所の劣化や初期欠陥のメカニズムについて、把握しておくことが求められる。そこで、塩害、中性化、凍害、アルカリシリカ反応、初期欠陥の乾燥収縮ひび割れと温度ひび割れの発生メカニズムと調査時における主な留意事項について説明する。

(1) 塩害

劣化機構

コンクリート中の鋼材の表面は通常、不動態皮膜 (Fe_2O_3 等) により腐食から守られているが、コンクリートの細孔溶液中に一定以上の塩化物イオンが含まれると不動態皮膜が破壊され、アノード反応 (酸化反応) とカソード反応 (還元反応) によってさび ($\text{Fe}(\text{OH})_2$: 水酸化第1鉄) が発生する (解説 図-2.2.1)。さらに塩化物イオンと水や酸素が供給されると酸化が進行し、水酸化第2鉄 ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) や酸化第2鉄 (Fe_2O_3) 等となって体積が増大し、その結果、コンクリートにひび割れが生じて剥落したり (解説 写真-2.2.1), 鉄筋の断面が減少したりするなどの損傷が生じる。塩害の原因となる塩化物イオンの供給源は、塩分を含んだ骨材 (海砂など) を使用するなど建設時の材料に起因するもの (初期塩分) と、海からの飛来塩分や凍結防止剤として硬化後にコンクリート表面から浸透するもの (外来塩分) に分類される。



解説 図-2.2.1 塩害の発生メカニズム (塩分浸透)



解説 写真-2.2.1 桁の下面における塩害による劣化事例

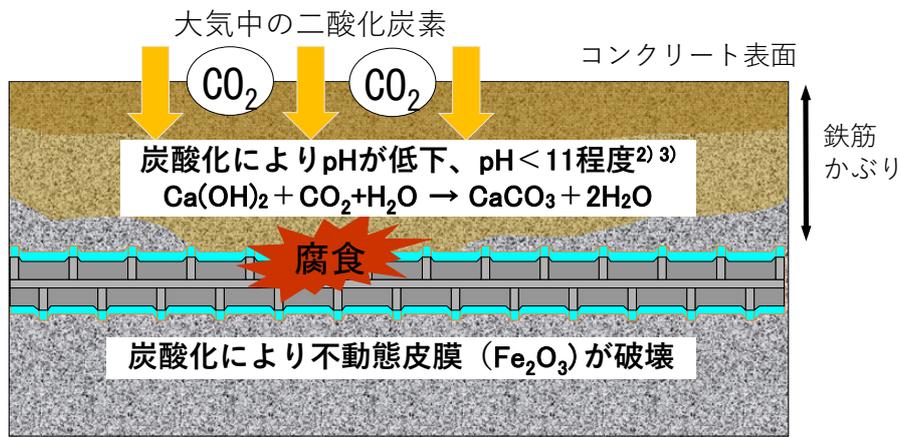
調査における留意点

- ・ 除塩が不十分な海砂等を用いるなど、塩化物イオンが当初からコンクリート中に含まれている場合、構造物の内部まで腐食環境となっているおそれがあるため、塩化物イオンの深さ方向の分布を調査する。
- ・ かぶりが薄い箇所は、外部から侵入する塩化物イオンが鋼材近傍に達しやすいため、構造物の中でかぶりが特に小さい範囲がないか調査する。
- ・ 塩化物イオンを含む部位が中性化した場合、中性化していない部位に塩化物イオンが移動し、塩化物イオンの濃縮現象が生じるため、中性化深さも同時に調査する。
- ・ コンクリート中で鋼材の腐食が発生する限界の塩化物イオン量は、厳密には、セメントの種類や水セメント比などによって異なる^り。一方で、既存構造物では、実際に使用されたコンクリートのセメントの種類や水セメント比を確認することは、必ずしも容易ではない。その場合、従来から想定されている腐食限界塩化物イオン量（目安として 1.2kg/m^3 以上）を想定しておけば、安全側の評価と考えることができる。
- ・ 塩害が疑われる場合、橋梁の床版下面や桁端部、路面排水が回り込む箇所等で劣化が生じやすいため、これらの箇所に留意する。
- ・ 塩害による鋼材の腐食は、一様に平均的に進行するのではなく、部分的に激しく進行するため、腐食箇所の見落としがないように留意する。
- ・ 鋼材腐食によって、ひび割れから顕著なさび汁が確認されることもある。

(2) 中性化

劣化機構

中性化の原因となる二酸化炭素は、大気中に存在し、コンクリート表面から侵入することで、コンクリート中の水和生成物（水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ））と反応して炭酸カルシウム（ CaCO_3 ）となる（炭酸化）。この炭酸化によって強アルカリであるコンクリートの pH が低下するため、鋼材部分まで炭酸化が到達し、pH が 11 程度未満²⁾³⁾となると鋼材の不動態皮膜（ Fe_2O_3 ）が破壊されてさびが発生する。鋼材のさびによる膨張圧によってコンクリートにひび割れが生じて、そのひび割れからさらに二酸化炭素が供給されて炭酸化が進行しやすくなり、鋼材の腐食が増大してコンクリートのひび割れが拡大、剥落が発生する（解説 図-2.2.2）。



解説 図-2.2.2 中性化の発生メカニズム

調査における留意点

- 鉄筋コンクリート構造物が適切に設計・施工されている場合、中性化で内部の鋼材が腐食するまでには相当な期間を要する。中性化による腐食は、施工の結果、かぶりが適切に確保されていない箇所が生じている例が多い（解説 写真-2.2.2）。
- 中性化は、コンクリートが乾燥しやすい部位で早い傾向がある。一方で、鋼材の腐食には水の供給が必要である。このため、中性化の進行が早い部位が最も腐食が生じやすいとは限らない点に留意する必要がある。中性化による劣化は、日射や水掛かりなどの影響で乾燥と湿潤が繰り返されやすい箇所で見られやすい。
- ひび割れや豆板などの欠陥部では、中性化深さが局所的に大きくなる。
- 交通量の多い道路等では二酸化炭素濃度が高く、中性化の進行が早まる傾向がある。
- 塩害と比較して、腐食速度は緩やか。



解説 写真-2.2.2 かぶりの薄い箇所における中性化による劣化事例

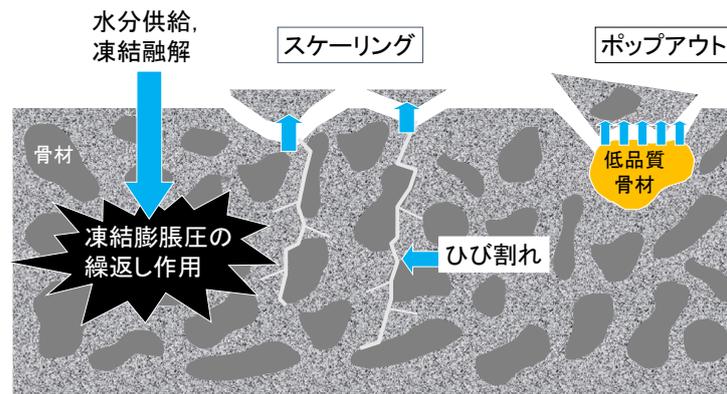
(3) 凍害

劣化機構

凍害発生メカニズムは諸説ある。ここでは水圧説と浸透圧説について解説する。温度の効果に伴って、コンクリート中の比較的大きな細孔内の水から凍結して体積膨張により未凍結の水がより微細な細孔に移動し、次いで小さな細孔内の水が凍結する際に、逃げ場のない膨張圧が細孔内の壁に作用してひび割れが生じると考えられる。この圧力が繰り返し作用することによって劣化が進展する、これが水圧説である。また、コンクリートの凍結によってコンクリート内の空隙中のアルカリ濃度が増大し、濃度が低い近傍の水分が空隙に引き寄せられて氷の成長が促進され、凍結に伴う水の体積変化によってひび割れが発生する、これが浸透圧説である。AE コンクリートでない場合は、氷の体積変化による圧力を緩和できる自由空隙が少ないため、劣化の進行が顕著となる。

凍害によって、コンクリート表面がフレーク状に剥がれる現象をスケーリングと言ひ、塩水が供給される環境ではスケーリングが生じやすいことが知られている。また、低品質な骨材がコンクリート表面に存在した場合、骨材の空隙に浸入した水分が凍結膨張し、コンクリート表面のモルタル分を押し出して剥離する。この劣化現象をポップアウトという（解説 図-2.2.3）。

凍害劣化は、水分の供給と凍結融解作用を繰り返すことにより進行し、ひび割れの拡大や部分欠損等の剥落が発生する。



解説 図-2.2.3 凍害の主な劣化現象

調査における留意点

- ・ 凍害は、多量の水分が供給され、かつ、日射を受ける箇所で生じやすいため、調査対象の構造物がそれらの作用を受けるかに留意する（解説 写真-2.2.3）。
- ・ 硬化コンクリート中の気泡分布の測定を行い、AE コンクリートであるか否かを確認する。
- ・ スケーリングは、凍結防止剤の散布や海水飛沫によりコンクリート中に塩化物イオンが供給される場合に促進されるため、それらの作用があるかに留意する。
- ・ ポップアウトは、骨材の品質が悪い場合によく観察されるため、骨材の品質に留意する。

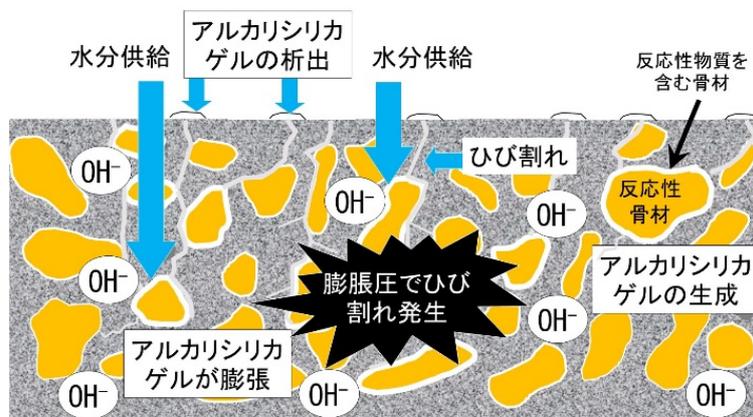


解説 写真-2.2.3 橋面排水が流下する箇所の凍害による劣化事例

(4) アルカリシリカ反応

劣化機構

アルカリシリカ反応は、コンクリート中の水酸化物イオン (OH^-) と骨材中のシリカ鉱物等の反応性物質が高アルカリ環境下で反応して生成物 (アルカリシリカゲル) が生成され、アルカリシリカゲルが吸水膨張することにより、骨材の割れやセメントペースト部のひび割れを生じさせ、これらが進展するとコンクリート全体が膨張したひび割れが発生する。さらに、ひび割れからアルカリシリカゲルの析出が認められることがある。鋼材等によるコンクリートの拘束が小さい場合、コンクリート表面に亀甲状のひび割れが生じる。拘束が大きい場合は、コンクリートを拘束する鋼材等に沿った方向に顕著なひび割れが生じやすい。このアルカリシリカ反応の膨張力により、鋼材の曲げ加工部などで破断する場合もある。



解説 図-2.2.4 アルカリシリカ反応の発生メカニズム

調査における留意点

- ・ アルカリシリカ反応は、日射、雨掛かり、海水および凍結防止剤等の影響を受けやすい箇所で行うため、調査対象の構造物がそれらの作用を受けるかに留意する (解説 写真-2.2.4)。
- ・ 鋼材による拘束の有無により、アルカリシリカ反応によるひび割れ性状が変化することが診断のうえで参考となるため、鋼材の配置状況に留意する。



解説 写真-2.2.4 雨掛かりのある箇所でのアルカリシリカ反応による劣化事例

(5) 初期欠陥

劣化機構

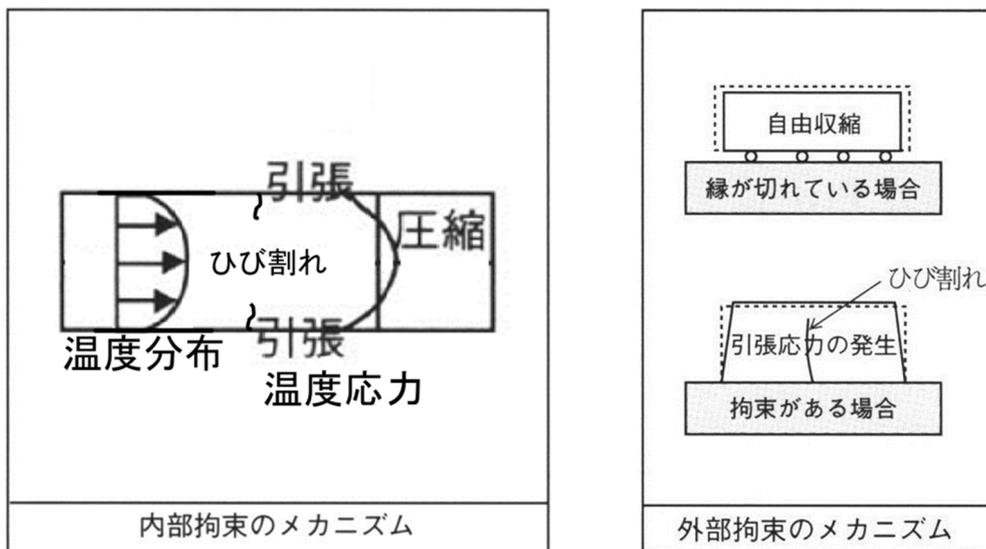
コンクリートの初期欠陥は、硬化中のコンクリートが持つ特性や施工による不備等、様々な要因で発生する。乾燥収縮ひび割れ、温度ひび割れ、豆板、あばた、施工不良によるかぶり不足、コールドジョイント、沈下等が一般的に見られる初期欠陥であるが、ここでは、乾燥収縮ひび割れと温度ひび割れ（解説 写真-2.2.5）について説明する。

乾燥収縮ひび割れは、主にコンクリート表面が乾燥して収縮し、この収縮が拘束を受けると応力が生じて微細なひび割れが発生する。乾燥収縮ひび割れはほとんどがコンクリートの表層部分のみに発生する。

温度ひび割れは、セメントの水和熱とその後の温度降下によってコンクリート部材内外に温度差が発生し部材表面に引張応力が生じてひび割れが発生する内部拘束と、新たに打設したコンクリートの温度降下時に生じる収縮が既設コンクリートに拘束されることでひび割れが生じる外部拘束がある（解説 図-2.2.5）。



解説 写真-2.2.5 初期欠陥の事例（乾燥収縮ひび割れ・温度ひび割れ）



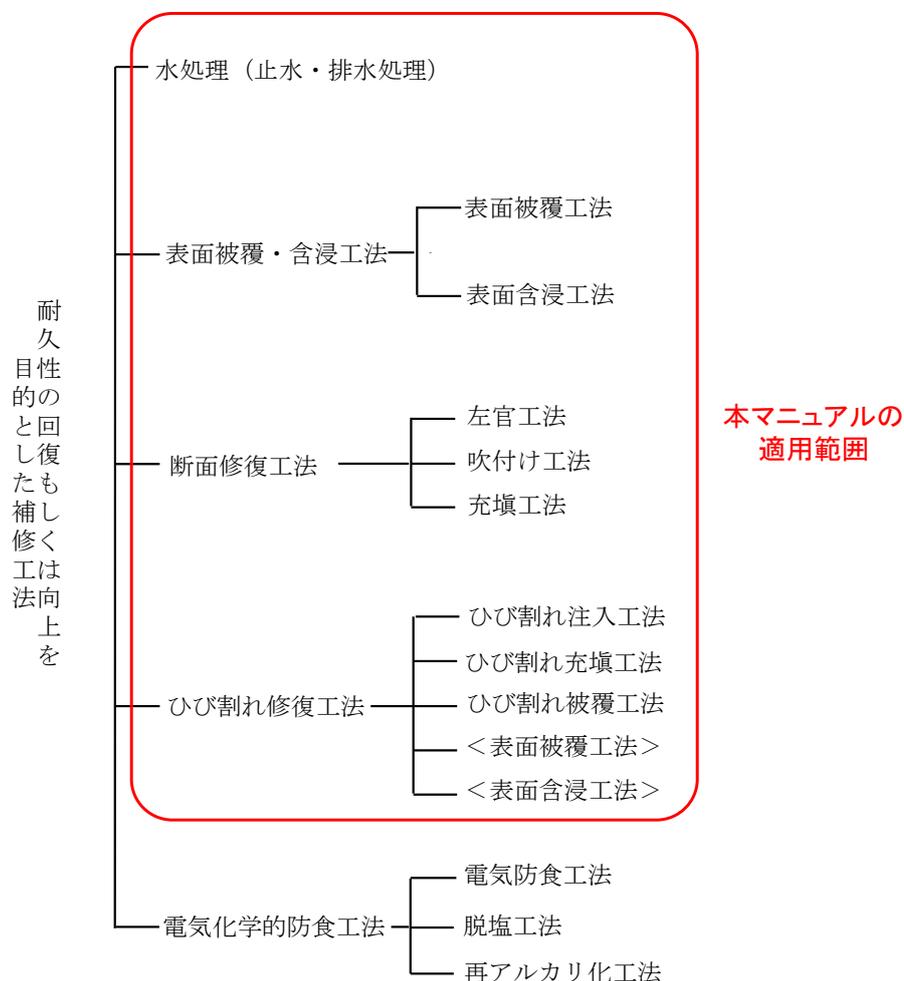
解説 図-2.2.5 温度ひび割れの発生メカニズム

2.3 補修工法の種類

補修工法には、水処理、表面被覆・含浸工法、断面修復工法、ひび割れ修復工法および電気化学的防食工法などがある。

【解説】

耐久性の回復もしくは向上を目的とした主な補修工法の種類を解説 図-2.3.1 に示す。補修設計においては、これらの各工法を十分に理解したうえで、工法選定を行う必要がある。その手順と留意点は2.4 補修方針の設定と補修工法の選定に示す。



解説 図-2.3.1 主な補修工法

(1) 水処理（止水・排水処理）

水処理は最も基本的な処理工法である。塩害、中性化、凍害、アルカリシリカ反応のいずれも、水または水に溶解した塩分が劣化要因となる。すなわち、コンクリート構造物にできるだけ水が接触しないように水回り、排水を工夫することが予防保全として重要であり、これを水処理と呼ぶ。

特に、雨水が当たる構造物の上面、排水溝周辺、部材の側面から裏面に続く隅角部、橋梁の桁端部、上部構造からの排水があたる下部構造の桁受け部など、湿潤状態となりやすい箇所については、水処理を行うことが望ましい。

具体的な方法の例としては、以下のようなものが挙げられる。

- ・ 構造物の上面については、水たまりができないように、わずかな勾配を設置
- ・ 排水溝、排水管の目詰まり防止（ゴミ、落ち葉、土砂の排除）
- ・ 配水管の位置、径、長さ、向きの工夫
- ・ 構造物側面から下面への水回りの防止として、水切りの設置
- ・ 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）
- ・ 道路床版における防水層の設置

などである。水処理についてはコンクリート標準示方書〔維持管理編〕にも記載されているので、参考にとすると良い。

解説 図-2.3.2 に橋梁の桁端における樋の設置の例を示す。



解説 図-2.3.2 橋梁の桁端における樋の設置（資料提供：土木研究所 CAESAR）

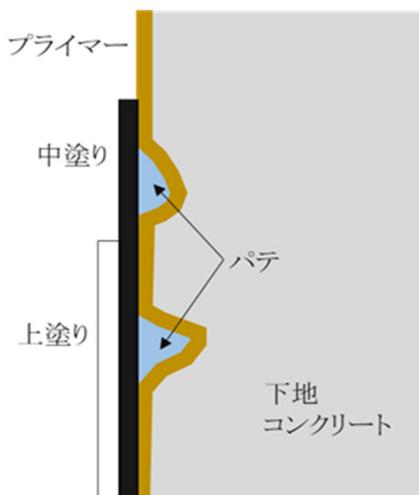
（2）表面被覆・含浸工法

表面被覆工法

表面被覆工法は、劣化因子の侵入やコンクリートのはく落を抑制または防止する効果を有する塗膜をコンクリート構造物の表面に形成させる工法である（解説 図-2.3.3）。樹脂系もしくはポリマーセメントモルタル（PCM）系などの表面被覆材が用いられる。樹脂系もしくは PCM 系被覆材は、一般に、プライマー、不陸調整材（パテ）、中塗りおよび上塗りから構成され、各層が機能することで、材料自体の一体性や耐久性を確保し、劣化因子の侵入が抑制される。なお、表面被覆工法は、ひび割れ修復を目的として適用されることがあるため、ひび割れ修復工法の一部にも分類されている。

表面含浸工法

表面含浸工法は、所定の効果を発揮する材料をコンクリート表面から含浸させ、コンクリート表層部の組織を改質して、コンクリート表層部への特殊機能の付与を実現させる工法である（解説図-2.3.4）。表面含浸工法において、コンクリート表面から内部に含浸させる材料を表面含浸材という。コンクリートに対する含浸性に加え、コンクリートの表層部を改質あるいは空隙を充填させることが求められる。また、表層部を改質あるいは空隙を充填した部分には撥水性やアルカリ性を付与したり、その他の特殊な機能を付与したりする性能も要求される。一般には、撥水型（シラン系）あるいは緻密化型（けい酸塩系）の表面含浸材が用いられる。なお、表面含浸工法は、ひび割れ修復を目的として適用されることがあるため、ひび割れ修復工法の一部にも分類されている。



解説 図-2.3.3 表面被覆工法

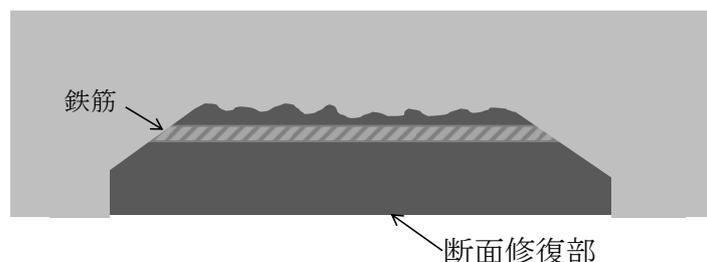


解説 図-2.3.4 表面含浸工法

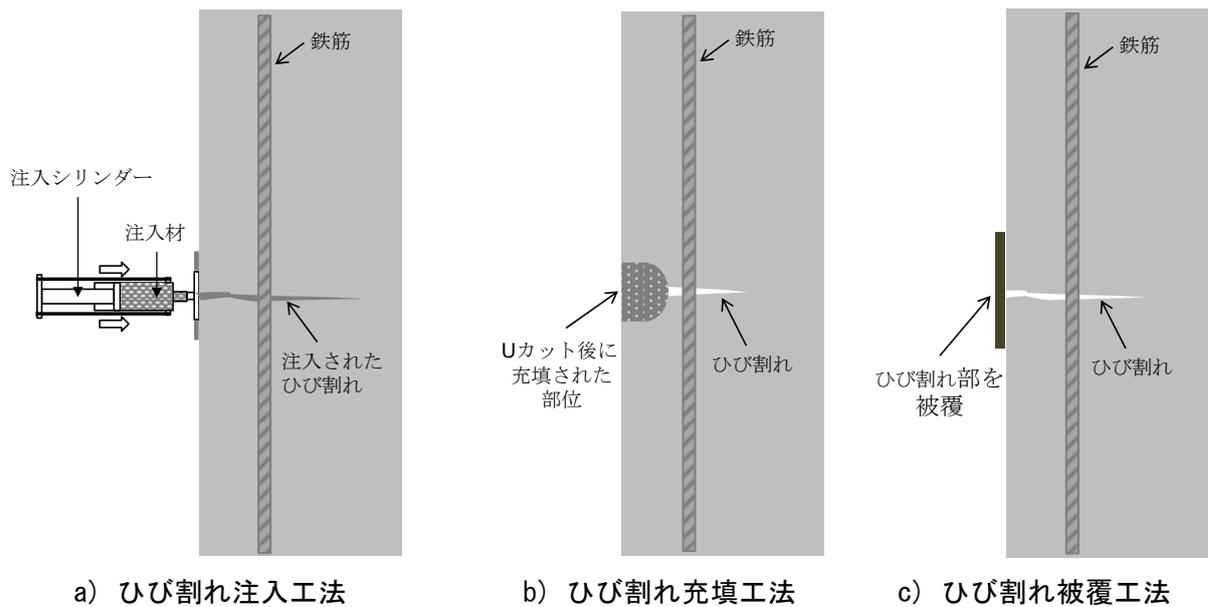
(3) 断面修復工法

断面修復工法は、コンクリートの劣化や鋼材の腐食等によって欠損したコンクリート断面、または、許容限度以上の劣化因子を含むコンクリート部分を除去し、その後の断面を供用開始時の性能および形状、寸法に戻す工法である。

下地コンクリートのはつりおよび仕上げ、鉄筋の処理、はつり面への吸水防止処理、断面修復材の施工等の工程を必要とする。断面修復材の施工方法には、左官工法、吹付け工法および充填工法がある（解説図-2.3.5）。



解説 図-2.3.5 断面修復工法



解説 図-2.3.6 ひび割れ修復工法

(4) ひび割れ修復工法

ひび割れ修復工法とは、コンクリートの劣化や初期欠陥等によって生じたひび割れに対し、コンクリートのひび割れ部を塞ぐことで劣化因子の侵入防止やコンクリートの一体化を図り、コンクリートの劣化進行を抑制する工法である（解説 図-2.3.6）。

コンクリートの変状は、そのほとんどがひび割れから始まる。ひび割れが発生する要因は様々であるが、ひび割れは水や塩分等の劣化因子の侵入口となり、コンクリートの劣化を加速させる要因となる。そのため、ひび割れ修復工法は、ひび割れ内部に修復材を充填させる、もしくはひび割れ表面を修復材で塞ぐ等、ひび割れ部に直接施す対策によって、ひび割れからの劣化因子の侵入を防ぎ、これ以上のコンクリートの劣化進行を抑える対策の一つとして、事後保全、予防保全の両方に適用する工法である。

ひび割れ修復工法の主な工法は、ひび割れ注入工法、ひび割れ充填工法、ひび割れ被覆工法、表面被覆工法、表面含浸工法に大別され、ひび割れ注入工法はコンクリートのひび割れの内部まで対策する工法であるのに対し、ひび割れ充填工法、ひび割れ被覆工法、ひび割れに対する表面含浸工法はコンクリート表面のひび割れを対策する工法である。それぞれの工法は、ひび割れを補修するコンクリート構造物の要求性能に応じて適用される。また、これらの工法毎に様々な作業方法（手法）や修復材料があり、コンクリートのひび割れ状態、劣化や損傷の程度、および用途に応じて設定・実施される。以下に、ひび割れ注入工法とひび割れ充填工法の主な特徴を記す。

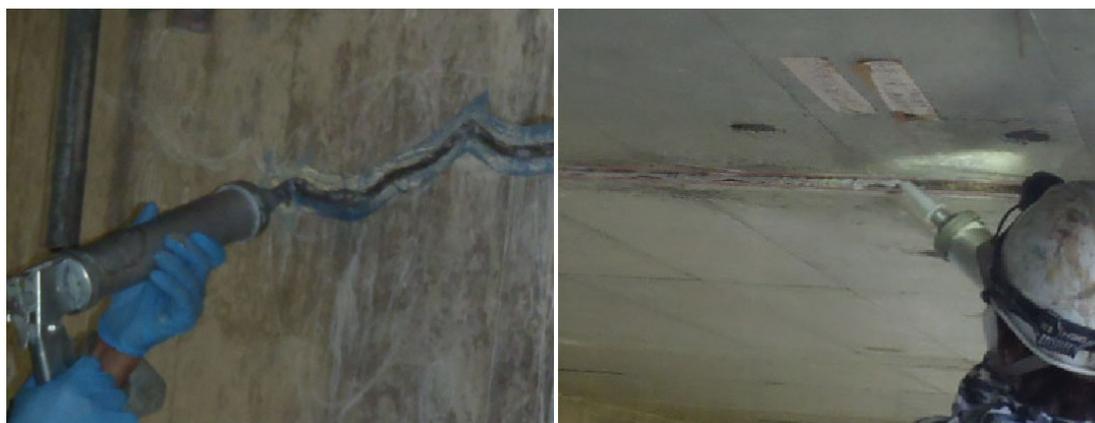
ひび割れ注入工法

ひび割れ注入工法は、コンクリートに生じたひび割れ内部まで注入材を充填させることにより、ひび割れへの劣化因子（水や塩分等）の侵入を防止し、鉄筋の発せいや腐食の進行を抑制してコンクリート構造物の耐久性等を向上させることを目的とした工法である（解説 写真-2.3.1）。ひび割れ注入工法は、ひび割れの空隙を注入材で完全に充填することを補修の基本とし、ひび割れを通じての劣化因子の侵入を防止できることが最大の特徴である。ここが、コンクリート表面の防水性を向上させることで外部劣化因子の侵入を防止するひび割れ充填工法や表面被覆工法等との大きな違いである。

ひび割れ注入工法は、コンクリートとの一体化により、劣化したコンクリートの強度回復、鉄筋の防せい効果、鉄筋とコンクリートとの付着回復等が期待できる。また、これらの性能回復と同時に外部劣化因子の侵入防止が行えることによりコンクリート構造物の耐久性向上が期待できる。



解説 写真-2.3.1 ひび割れ注入工法の施工例



解説 写真-2.3.2 ひび割れ充填工法の施工例

ひび割れ充填工法

ひび割れ充填工法は、コンクリート表面のひび割れを U 字もしくは V 字に切削し、その切削部に充填材を充填させることによって、構造物のコンクリート表面のひび割れからの劣化因子（水や塩分等）の侵入を防止することを目的とした工法である（解説 写真-2.3.2）。ひび割れ表面からの水分や塩分などの外部劣化因子の侵入を遮断することにより、鉄筋の発せいや腐食の進行を抑制してコンクリート構造物の耐久性を向上することが期待できる。1.0mm 程度以上の比較的大きな幅のひび割れや劣化が進行しているひび割れで、かつ、鉄筋が腐食していないと考えられる場合の補修に適した補修工法である。ひび割れ表面からの水の浸入は遮断できるが、ひび割れ内の空隙は未充填となっており、水の滞留を完全には防げないため、鉄筋腐食の進行や発せいを防止できない。また、ひび割れ注入工法とは異なり、ひび割れの一体化による構造的な補修ではないため、構造物の建設時の性能までの回復は期待できない。しかし、ひび割れ注入工法と比べると、補修効果では見劣りするが、経済性から採用されることも多い。また、ひび割れの挙動が大きい場合には、ひび割れ充填材の大きな変形性能（追従性）により、表面からの劣化因子の侵入に対して高い防止性能が期待できる工法である。

(5) 電気化学的防食工法（参考）

電気化学的防食工法は、電気防食工法、脱塩工法、再アルカリ化工法および電着工法に分類される。電気防食工法は、コンクリートを介して鋼材に防食電流を供給し、鋼材表面におけるアノード反応を停止させる工法である。鋼材付近に高濃度の塩分があっても、腐食の進行を止めることができる。脱塩工法は、コンクリート表面に仮設陽極材を設置し、コンクリート中の塩化物イオンを電気泳動させることにより除去する工法である。再アルカリ化工法は、コンクリート表面に仮設陽極材を設置し、コンクリートにアルカリ性の電解質溶液を電気浸透させることで、中性化しているコンクリートのアルカリ性を回復させる工法である。

電気化学的防食工法の実施にあたっては、各工法についての専門的知識が必要である。また、維持管理については土木研究所の共同研究報告書「電気防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する共同研究報告書－電気防食工法の維持管理マニュアル（案）－」⁴⁾等を参考とされたい。

2.4 補修方針の設定と補修工法の選定

2.4.1 補修方針の設定

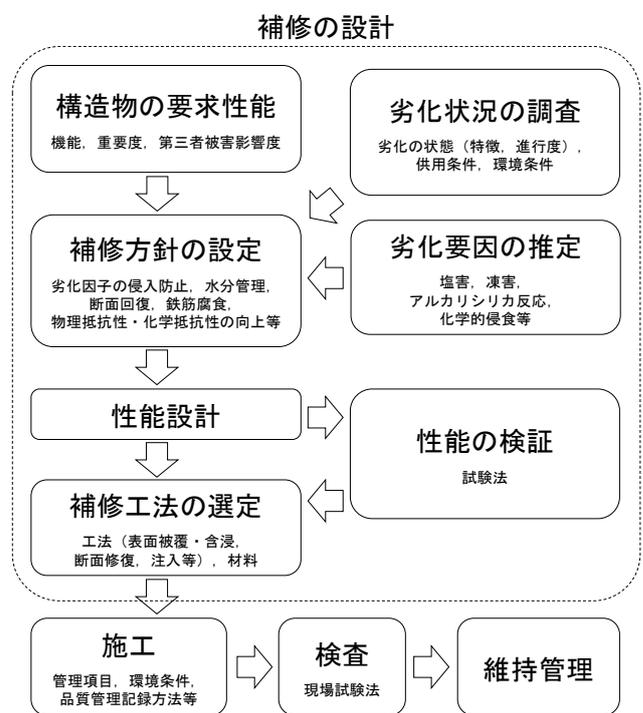
- (1) 補修設計を行う場合には、補修方針を明確にしたうえで、適切な補修工法を選定しなければならない。
- (2) 構造物の置かれている環境条件や劣化の状況、今後の供用計画によっては、経過観察や、構造物の再構築という選択も必要である。

【解説】

(1) について

コンクリート構造物の補修では、解説 図－2.4.1 に示すように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必要がある。また、補修工法には、現場で確実に実施するための施工管理手法が定められていることが不可欠である。

このような考え方に基づく補修の設計方法は国際規格でも採用されている。解説 表－2.4.1 に、コンクリート構造物の維持管理、補修補強にかかる ISO 規格である、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）の補修に対する補修方針の分類を示す。解説 表－2.4.1 によると、補修方針が



解説 図－2.4.1 補修工法検討の流れ

解説 表－2.4.1 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	劣化因子の侵入防止	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	電気抵抗の増加 (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

解説 表-2.4.2 劣化要因, 劣化レベルに応じた補修方針の概要と主な補修工法の例(1/2)

()の数値は解説 表-2.4.1に示す要求性能No.

塩 害											
外観の変状無し (鉄筋位置における塩化物イオン濃度 が腐食発生限界未満)			外観の変状無し (鉄筋位置における塩化物イオン濃度 が腐食発生限界以上、 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	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例
なし (鉄筋位置 における塩 分量が閾値 以下)	劣化因子の侵入 防止, 水分の 浸入抑制(1,2)	水処理	鉄筋腐食 開始, ひび割れ 無し	劣化因子の侵入 防止, 水分の 浸入抑制(1,2)	水処理*	鉄筋腐食, ひび割れ発 生	劣化因子の侵入 防止, 水分の浸 入抑制(1,2)	水処理*	鉄筋腐食, ひび割れ進 展	劣化因子の侵入 防止, 水分の浸 入抑制(1,2)	水処理*
		表面被覆			表面被覆*			表面被覆*			
	表面含浸	表面含浸*		表面含浸*							
	不動態皮膜の 保護・復元(7)	断面修復		断面修復							
鉄筋防食(9~ 11)	電気防食	脱塩	不動態皮膜の 保護・復元(7)	脱塩	電気防食	鉄筋防食(9~11)	電気防食	防せい処理	鉄筋防食(9~11)	防せい処理	
											脱塩
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 する			*断面修復が行われる場合は,その後に実施 する			剥離、剥落	コンクリートの復元(3)	断面修復	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,その後に実施す る			鉄筋の腐食	鉄筋の回復	鉄筋の交換
									耐力の低下	構造的補強(4)	補強, 再構築
						*断面修復が行われる場合は,その後に実施する					

中性化

外観の変状なし (中性化と水の浸透によって鋼材に腐 食が発生するまでの期間)			外観の変状無し (鉄筋腐食が発生してから、ひび割れ が発生するまでの期間)			ひび割れや浮き, 錆汁			
劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	
なし (pHが低下す るも, 腐食環 境には達して いない)	なし		鉄筋腐食 開始, ひび割れ 無し	劣化因子の侵入 防止, 水分の 浸入抑制(1,2)	表面被覆	鉄筋腐食, ひび割れ発 生	劣化因子の侵入 防止, 水分の浸 入抑制(1,2)	表面被覆*	
・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する ・経過観察とする場合も多い			*断面修復が行われる場合は,その後に実施す る				不動態皮膜の保 護・復元(7)	断面修復	
							鉄筋防食(9~11)	防せい処理	再アルカリ化
							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,その後に実施する			

凍 害

外観の変状無し			表面的な劣化			骨材の露出や剥落			かぶりコン剥落, 鉄筋露出・腐食		
劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例
なし	水分の浸入抑制 (2)	水処理	表面的な スケーリング, 微 細ひび割 れ, ポップアウト	水分の浸入抑制 (2)	表面被覆	スケーリング, ひび割れ, ポップアウト	水分の浸入抑制 (2)	水処理*	スケーリング, ひび割れ, ポップアウト, 剥落	水分の浸入抑制 (2)	水処理*
		表面含浸			表面被覆			表面被覆*			
	表面含浸	表面含浸		表面含浸*							
	コンクリートの復元 (3)	断面修復 (ポップアウト部)		断面修復							
*断面修復が行われる場合は,その後に実施する			*断面修復が行われる場合は,その後に実施する			コンクリートの復元(3)	断面修復	鉄筋の腐食	鉄筋の回復	鉄筋の交換	
						耐力の低下	構造的補強(4)	補強, 再構築			

解説 表-2.4.2 劣化要因, 劣化レベルに応じた補修方針の概要と主な補修工法の例(2/2)

アルカリシリカ反応											
膨張はあるが, ひび割れ無し			ひび割れ発生			ひび割れ進展			ひび割れ増大, 耐力低下が懸念される劣化		
劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例
膨張のみ	水分の浸入抑制(2)	水処理 表面含浸	ひび割れ発生	水分の浸入抑制(2)	水処理	ひび割れ進展	水分の浸入抑制(2)	水処理	ひび割れ増大	水分の浸入抑制(2)	水処理
		表面被覆			表面被覆*			表面被覆			
		表面含浸			表面含浸			表面含浸			
		ひび割れ被覆・充填			ひび割れ被覆・充填			ひび割れ被覆・充填			
		ひび割れ注入			ひび割れ注入			ひび割れ注入			
				剥落防止	繊維・シート	剥落防止	繊維・シート	剥落防止	繊維・シート	剥落防止	繊維・シート
				ひび割れ抑制	巻立て	ひび割れ抑制	巻立て	ひび割れ抑制	巻立て	ひび割れ抑制	巻立て
						*はひび割れ注入と併用			剥離、剥落	コンクリートの復元(3)	断面修復
									鉄筋破断	鉄筋の回復	鉄筋の交換
									耐力の低下	構造的補強(4)	補強、再構築

温度・乾燥ひび割れ								
ひび割れ幅 小(0.2mm以下) 一般的には補修不要の範囲			ひび割れ幅 中(0.2~1mm)			ひび割れ幅 大(1mm以上)		
劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法例	劣化現象	補修方針	補修工法
ひび割れ	(塩害環境での)塩分の侵入防止, 水分の浸入抑制(1,2)	表面含浸	ひび割れ	劣化因子の侵入防止, 水分の浸入抑制(1,2)	ひび割れ被覆・充填 ひび割れ注入	ひび割れ	劣化因子の侵入防止, 水分の浸入抑制(1,2)	ひび割れ被覆・充填 ひび割れ注入

メカニズムごとに非常に原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と考えられる。

そこで, 補修方針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, それに応じた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塩害, 中性化, 凍害, アルカリシリカ反応ならびに, 初期欠陥として温度・乾燥ひび割れを挙げ, それぞれの劣化要因ごと劣化程度の段階を3~4段階に設定して, 段階に応じて, 補修に求める方針とそれに対応する補修工法の例について整理した。なお, 解説 表-2.4.1のNo.9~11は「鉄筋防食」として統合し, 「剥落防止」「ひび割れ抑制」「鉄筋の回復」を追加した。また, 水分の浸入抑制の対策例として「水処理」を追加した。この結果を解説 表-2.4.2に示す。このように, 劣化の種類と劣化の段階に応じて, 補修方針と補修工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。

劣化の種類によって, 劣化程度の段階の深刻度は異なる。例えば, 塩害では外観の変状が無い段階でも, かぶりコンクリートに多量の塩分が浸透してしまうと部材の健全性を大きく損なうことにつながる。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, 劣化の種類ごとにその段階の意味合いが異なることから, 解説 表-2.4.2では部材の劣化の状況をもとにした横軸で構成している。

解説 表-2.4.2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, この段階での補修は予防保全的な位置づけである。ただし, 補修の設計においては, 劣化部位の隣接箇所や類似環境の部材を補修工事の対象とすることもあり, 対策範囲等を設定するうえ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等の侵入抑制・防止が主な対策となる。水分の浸入抑制は, 凍害・塩害・アルカリシリカ反応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, 水処理は実施されることを推奨する。

水処理の方法については2.3 補修工法の種類を参照されたい。

劣化の進行に応じて補修方針が変化し、それに伴っ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工法を選定については、専門的な知識が必要となる。

劣化の要因ごとに、劣化の特徴と補修対策選定の概要を以下に述べる。

1) 塩害

他の劣化要因に比較して劣化の進行が早く、また、鉄筋の腐食が始まると、補修を行っても劣化の進行を抑えることが困難な場合が多い。その一方で、劣化の初期段階では外観に変状が現れにくいので、塩害環境にある構造物では特に注意深い点検が必要となる。

劣化の初期段階、あるいは予防保全としては、劣化因子である塩分と水分の侵入抑制・遮断の方策がとられる。また、電気防食が行われる場合もある。さらに、塩分の浸透が明確な場合には、塩分の侵入状況（経路や分布等）を適切に把握したうえで、規定量以上の塩分が浸透したかぶりコンクリートを除去し、必要に応じて鉄筋の防せい処理等によって塩分で損傷した鋼材の不動態皮膜を回復させ、断面修復を行うか、もしくは鉄筋の電位制御により腐食の進行を防止する方法を採用することとなる。また、はく落防止の目的で繊維・シートや巻立て工法が用いられる。

劣化がさらに進行すると、構造体の機能を保持するために著しく腐食した鉄筋の交換など耐力回復のための各種対策がとられることとなる。なお、劣化が深刻化すると補修を行っても再劣化するリスクも高まることから、解体・再構築も視野に入れる必要がある。

2) 中性化

中性化は塩害と同様に鉄筋が腐食する劣化であり、塩害の塩化物イオンの侵入を炭酸化に置き換えることで説明ができる。ただし、塩害の進行に比較して中性化による鉄筋の腐食速度は緩やかであり、中性化による鉄筋腐食が問題となった事例の多くは、かぶりが不足した部材で生じている。適切なかぶりが確保されている構造物で中性化による著しい鉄筋腐食が生じることは稀である。

中性化の進行は緩やかであることから解説 表-2.4.2 の最左列の段階で対策を講じることはほとんど無い。また、鉄筋表面の腐食が軽微で、直ちに構造物の安全性の低下につながらない場合は、経過観察とする場合も多い。中性化のみの影響で「耐力低下が懸念される劣化」に至ることはほとんど無いことから解説 表-2.4.2 では中性化の最右列は記載しないこととした。

3) 凍害

凍害は水の凍結融解の繰返し作用によって発生することから、予防保全としては、コンクリート表面に長時間に及ぶ水掛かりや滞水が生じないように、水処理を検討し、実施することが第一に重要である。

凍害はコンクリート表面から深部に向かって徐々に進行することから、撥水効果のある表面含浸材等で表面を覆うことで凍害の進行を遅らせる効果が期待できる。ただし、コンクリート内部の水分の凍結を完全に防ぐことはできないので、劣化を完全に止めることは難しい場合が多く、やがて、ポツアウトやスケーリング等の劣化へと進行する。この段階の補修でも、水分の浸透を抑制・防止することが主な補修方針となる。また、断面欠損部や脆弱部分については、はつり取っての断面修復等の対処が行われる。さらに劣化が進行し、鉄筋腐食やコンクリート断面の欠損等が顕著になると、構造体の機能を保持するために鉄筋交換や耐力回復のための各種補修対策が必要となる。

4) アルカリシリカ反応

凍害や塩害と異なり、劣化が確認されても、その劣化が必ずしも加速していくとは限らず、次第に劣化速度が収束する場合も少なくない。このため、劣化の進行予測が必要となるが、促進試験方法等

で正確な劣化予測を行うことは、現時点では困難であり、定期的な点検から劣化の進展状況を経年的に把握することが重要となる。

アルカリシリカ反応によるひび割れが確認されたとしても、そのひび割れが有害なもの（構造的に悪影響がある、鉄筋が腐食するなど）でなければ、即座に補修を行わずに、経過観察を行うという選択もある（むしろ、そのような場合が多い）。有害なひび割れであれば、ひび割れを修復する必要があるが、膨張が収束しているか否かで、例えばひび割れ注入材料の硬化後の硬度（ひび割れ追従性）を変えるなどの考慮が必要である。

アルカリシリカ反応によるコンクリートの劣化は、pH の高いコンクリート中の水酸化物イオン（OH⁻）、骨材中の反応性を有する物質の存在、水分の供給の3要素によって生じるため、出来上がった構造物への対策としてはコンクリート中への水分の浸透抑制・遮断が有効と考えられている。ただし、構造物の設置状況や補修する部位によっては、外部からの水の供給を絶つことが困難な場合もある。

ひび割れが進展した場合には、ひび割れを通じた水の供給や、鉄筋への劣化因子（水、塩）の侵入防止の目的からひび割れ注入、充填等が行われている場合が多い。また、はく落防止のために繊維・シートや巻立て工法が用いられる。巻立て工法は、アルカリシリカ反応によるひび割れの進展を力学的に抑制する目的でも実施される。

アルカリシリカ反応による劣化が著しい構造物では、鉄筋曲げ加工部等において破断が生じている例もある。表中ではそのような場合も想定して鉄筋の回復を含めている。

5) 温度・乾燥ひび割れ

温度ひび割れや乾燥ひび割れなどの初期ひび割れでひび割れの程度が顕著なものが存在すると、そのひび割れを通じて、水分、塩分等の劣化因子が侵入し、上記の塩害、中性化、凍害、アルカリシリカ反応等の劣化が進行する恐れがあるため、それを防止する目的で、何らかの方法でひび割れを塞ぐ必要がある。

ひび割れ幅 0.2mm 以下のひび割れについては、一般的な環境下であれば耐久性にほとんど影響を与えないことや、ひび割れ注入等で補修することが容易ではないことから、補修の対象としないのが一般的である。ただし、特に塩害環境下などで、ひび割れを通じて塩分等を含んだ水が浸透して、鉄筋が腐食する懸念がある場合等には、表面含浸工法等によってひび割れ補修を行う。

ひび割れ幅が概ね 0.2mm を超えるひび割れに対しては、ひび割れ幅や、そのひび割れ幅の変動の有無によって、ひび割れ充填工法やひび割れ注入工法が選択される。

(2) について

構造物の置かれている環境条件や劣化の状況、耐用年数等によっては、2.3 補修工法の種類で述べた各種の補修工法（水処理を除く）を適用せずに、経過観察とする場合もある。例えば、劣化速度が緩やかな中性化による劣化で、構造物の安全性に与える影響が当分の期間生じないと判断されるような場合や、アルカリシリカ反応の場合で劣化の進行が緩やかな場合等には、経過観察も視野に入れて検討するとよい。ただし、水処理に関しては最も基本的な予防保全となるために実施することを基本とする。

逆に、劣化の速度が速い塩害劣化に関しては、劣化が進行してしまうと、大規模な補修工事を行っても、再劣化するリスクが高くなるため、再構築も視野に入れて検討する必要がある。

2.4.2 補修工法選定上の留意点

補修工法の選定にあたっては、各種補修工法の特徴、適用条件、施工条件、費用等の留意点を十分に把握したうえで、選定しなければならない。

【解説】

解説表-2.4.2 に補修対象となる構造物の劣化原因や劣化の程度に応じた補修工法の例を示したが、補修工法を選定する場合には、各種補修工法の得失を十分に理解したうえで、その構造物の劣化状態に応じた補修工法を選択する必要がある。この解説表-2.4.2 に対応する形式で、主な補修工法ごとの特徴と選択する上での主な留意点を解説表-2.4.3 に示すとともに以下に解説する。

1) 水処理

凍害、塩害、アルカリシリカ反応ともに、水分の浸入が一因である。塩害も、水とともに塩分が侵入することにより生じる。予防保全として、コンクリート表面に長時間の水掛かりや滞水が生じないように、水回りを検討し、適切に排水処理を行うことが第一に重要であり、最も基本的な措置である。排水溝、排水孔の目詰まり防止対策もこれに含まれる。

断面修復の形状や後付けの水切り設備により、部材の側面から底面にまわりこませない水切り形状を施す。橋梁で凍害劣化が生じやすい桁端部に対して、後付けで雨樋を設置し、桁端部に雨水が回らない工法なども開発されている。凍害等でスケーリングが進行すると、コンクリート表面に滞水しやすくなるために、排水方法等の見直しが必要である。

2) 表面被覆工法

コンクリート表面を塗膜で覆うことで、水分（およびそれに含まれる塩分）等の浸透を防ぐ工法である。樹脂系と PCM 系の表面被覆工法では水蒸気による水分排出機能が異なり、後者では、施工後の長期変動として内部を乾燥させることも期待できる（表面被覆・含浸編 2.1 補修に求める性能を参照）。表面被覆工法は、雨水や結露などの水が浸入する経路を確実に覆うようにすることが理想であるが、これが難しい場合には、補修しようとする部材への主要な水の浸入経路や表面被覆工法を適用できる範囲などを総合的に考慮して適否を検討することが求められる。施工にあたっては、環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、付着性を確保することが重要である。

塗膜は一般に数 10 年の耐久性が確認されているが、特に付着性について経年劣化することがあるので、環境や塗膜の品質にもよるが 10 数年で塗り替えが必要になる場合もある。また、不透明な被覆を施すとコンクリートの表面状態を目視観察できなくなるため、透明な被覆材の活用も検討する。将来的に再補修する場合、既に表面含浸工法が施工された箇所に塗布すると、表面被覆材の付着性が低下する場合があるため、既存の含浸層と塗布材料の相性をあらかじめ確認しておく必要がある。

塩害の場合、構造体または部材への水分およびそれに含まれる塩分の浸透を防ぐことを目的に施工される。塩害対策として、外部からの侵入の抑制は可能であるが、既に内部に入った塩分の拡散は防止できないので、内部の塩分量の調査が必要である。塩分の再拡散等により内部で劣化が進行した場合に、それによるひび割れや浮きの状態が、被覆を施していない状態とは違った形態で顕在化することがある（不具合事例集 No. 1, 18）。

解説 表-2.4.3 補修工法選定上の留意点 (1/2)

この表は解説 表-2.4.2に対応しており、斜線は、この劣化段階では一般に採用されないことを意味する

塩 害				
劣化状態	変状なし (塩分量が発せい限界以下)	変状無し (鉄筋腐食が始まる)	ひび割れや浮き、さび汁	耐力値低下が懸念される劣化
水処理	・実施することが基本	・実施することが基本	・実施することが基本	
表面被覆	・塗布面以外から水分および塩分の侵入がある場合、塩害が進行するおそれ ・施工環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、付着性を確保することが必要 ・塗膜が剥がれる等の劣化が生じた場合、劣化部位から劣化因子が侵入	・同左 ・既に内部に入った塩分に対しては効果が無い (内部拡散の影響も考慮する)	・同左 ・断面修復工法が行われる場合には、断面修復後に実施	・補修内容は同左、ただし、延命措置と考え、再構築を計画する
表面含浸	・製品によって性能に差がある ・耐久性の実証データは少ない (15年程度までの実証データあり) ・施工環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、含浸性を確保することが必要	・同左 ・既に内部に入った塩分に対しては効果が無い (内部拡散の影響も考慮する) ・表面含浸は外見が変化せず、目視のみでは施工されているか確認が難しい場合があるため、再補修の設計では留意が必要	・同左 ・断面修復工法が行われる場合には、断面修復後に実施	
断面修復		・はつり規模に対する耐力の照査が必要 ・第三者被害が想定される箇所では剥落防止対策が必要	・同左	
脱塩	・コンクリート表面に電解質溶液等を配置するなど大掛かりな設備が必要 ・アルカリシリカ反応の発生が懸念	・同左	・同左	
電気防食	・機器のメンテナンスを考慮	・同左	・同左	
防せい処理			・断面修復工法編 3.3 鉄筋の処理を参照	
繊維・シート			・構造物の条件に適した工法の選定が必要	
鉄筋の交換				・付着、定着を適切に確保
補強、再構築				・構造検討が必要

中性化

劣化状態	変状なし (鋼材に腐食が発生するまでの期間)	変状無し (鉄筋腐食が始まる)	ひび割れや浮き、さび汁
表面被覆		・コンクリート内部への水の浸入および二酸化炭素や酸素等の供給を抑制できること	・同左 ・断面修復工法が行われる場合には、断面修復後に実施
表面含浸		・コンクリート内部への水の浸入を抑制できること	・同左 ・断面修復工法が行われる場合には、断面修復後に実施 ・表面含浸は外見が変化せず、目視のみでは施工されているか確認が難しい場合があるため、再補修の設計では留意が必要
断面修復	中性化のみでの腐食速度は塩害に比べると緩やかであるので、経過観察とすることも考慮に入れる		・はつり規模に対する耐力の照査が必要 ・第三者被害が想定される箇所では剥落防止対策が必要
再アルカリ化		中性化のみでの腐食速度は塩害に比べると緩やかであるので、経過観察とすることも考慮に入れる	・コンクリート表面に電解質溶液等を配置するなど大掛かりな設備が必要 ・アルカリシリカ反応の発生が懸念
防せい処理			・断面修復工法編 3.3 鉄筋の処理を参照
繊維・シート			・構造物の条件に適した工法の選定が必要

凍 害

劣化状態	変状無し	表面的な劣化	骨材の露出や剥落	かぶりコン剥落、鉄筋露出・腐食
水処理	・実施することが基本	・実施することが基本	・劣化の進行によって滞水しやすくなる	
表面被覆		・内部の水の凍結は防げない ・背面や継目から水の浸入がある場合、内部に水を閉じ込め、凍害を促進する可能性 ・塗膜が劣化すると滞水が生じ、凍害を促進する可能性	・同左 ・断面修復工法が行われる場合には、断面修復後に実施	
表面含浸	・表面被覆に比較して水の遮断性能は低い ・内部の水の凍結は防げない。水が表面に常時滞留しやすく、浸入する場合、凍水化された細孔での未凍結水の流れにくさに起因して水圧が高まり、吸水防止層が凍害に至る可能性 ・製品によって性能に差がある ・耐久性についての実証データは少ない (15年程度までの実証データあり) ・施工環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、含浸性を確保することが必要	・同左	・同左 ・断面修復工法が行われる場合には、断面修復後に実施 ・表面含浸は外見が変化せず、目視のみでは施工されているか確認が難しい場合があるため、再補修の設計では留意が必要	
ひび割れ注入			・ひび割れ発生部に対してはひび割れ注入が行われる場合がある。ただし、浮いている部分は除去して断面修復を実施すべき	
断面修復		(ポップアウト等の軽微な補修)	・はつり規模により耐力の照査が必要 ・第三者被害が想定される箇所では剥落防止対策が必要	・同左
鉄筋の交換				・付着、定着を適切に確保
補強、再構築				・構造検討が必要

解説 表-2.4.3 補修工法選定上の留意点 (2/2)

アルカリシリカ反応				
劣化状態	膨張はあるが、ひび割れ無し	ひび割れ発生	ひび割れ進展	ひび割れ増大、耐力低下が懸念される劣化
水処理	・実施することが基本	・実施することが基本	・実施することが基本	・実施することが基本
表面被覆		・背面や継目から水の浸入がある場合、内部に水を閉じ込め、アルカリシリカ反応を促進する可能性 ・塗膜が劣化すると滞水が生じ、アルカリシリカ反応を促進する可能性 ・膨張が収束していない場合は、変形追従性のある表面被覆材を使用	・同左 ・ひび割れ注入と併用	・同左
表面含浸	・表面被覆に比較して遮断性能は低い ・製品によって性能に差がある ・耐久性の実証データは少ない(15年程度までの実証データあり) ・施工環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、含浸性を確保することが必要	・同左 ・膨張が収束していない場合は、新たなひび割れから劣化因子が浸入するため、ひび割れ注入の併用も検討	・同左 ・表面含浸は外見が変化せず、目視のみでは施工されているか確認が難しい場合があるため留意が必要	・同左
ひび割れ被覆・充填		・膨張が収束していない場合は、ひび割れ追従性が必要	・同左 ・ひび割れ注入と併用	・同左
ひび割れ注入		・ひび割れ幅や施工温度に応じた適切な粘度の選定 ・膨張が収束していない場合は、ひび割れ追従性が必要	・同左	・同左
繊維・シート、巻立て			・全周を巻き立てないと効果が小さい	・同左
断面修復				・残存膨張による影響を考慮
鉄筋の交換				・付着、定着を適切に確保
補強、再構築				・この時点で膨張が収束していない場合には補修は暫定措置、再構築を検討すべき
その他		・現状のひび割れの有害性を検討し、補修の必要性がない場合は経過観察	・同左	

温度・乾燥ひび割れ			
劣化状態	ひび割れ幅 小 (0.2mm以下) 一般的には補修不要の範囲	ひび割れ幅 中 (0.2~1mm)	ひび割れ幅 大 (1mm以上)
表面含浸	・製品によって性能に差がある ・耐久性の実証データは少ない(15年程度までの実証データあり) ・施工環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、含浸性を確保することが必要		
ひび割れ被覆・充填		・塩害箇所では、十分な遮塩性が得られない可能性あり	・同左
ひび割れ注入		・ひび割れ幅や施工温度に応じた適切な粘度の選定	・ひび割れ幅が大きいと完全な注入が困難

凍害対策の場合、表面を被覆しても内部の水の凍結は防げない。塗膜はコンクリート表面からの水の蒸発も遮断してしまうので、被覆部位以外の経路（特に背面や継目）から水の浸入がある場合に表面被覆を施すとコンクリート内部に水分が保持される状態を作ってしまう場合もあり、この場合は、内部で凍害が進行する可能性もある（不具合事例集 No. 4）。被覆部位以外からの水分の浸透が懸念される場合には、水切りなどの水処理の併用も検討するとよい。塗膜が劣化すると、劣化した塗膜とコンクリートの隙間に水分が保持されやすくなり、この場合も凍害を促進してしまうおそれがある。

アルカリシリカ反応対策の場合、構造物の上面や背面からの水の浸入がある場合に表面被覆を施すと、内部に水を溜め込むことになり、かえってアルカリシリカ反応の進行を促進する可能性がある（不具合事例集 No. 8）。このように、水の浸入経路と塗布可能な面について事前の調査が必要である。

3) 表面含浸工法

コンクリート表面に塗布・含浸させることでコンクリート表層部の劣化因子（水など）の浸透性を抑制するなどの品質改善効果を得る工法である。主な材料の種類にはシラン系とけい酸塩系があり、品質改善のメカニズムや程度が異なる。また、製品によって補修効果を有する成分の含有量なども大きく異なる。このため、目的や用途に適合した性能を有する製品を選定することが重要である。

表面含浸工法は、構造体または部材への水分（およびそれに含まれる塩分）の浸透を抑制すること

を目的に施工する場合には、雨水や結露といった水が浸入する経路を確実に覆うことが理想である。しかしながら、全ての経路を覆うことは必ずしも容易でない場合も多い（例えば、橋梁下部工構造では、側面は塗布できるが上面は施工が困難な場合が多い）。したがって、適用にあたっては、補修しようとする部材への主要な水分浸入経路や表面含浸工法を適用できる範囲などを総合的に考慮して適否を検討することが求められている。なお、シラン系表面含浸工法では水蒸気による水分排出機能を有するため、施工後の長期変動として内部を乾燥させることも期待できる（**表面被覆・含浸編 2.1 補修に求める性能**を参照）。施工にあたっては、環境に応じて、塗布面に対して乾燥状態を保つ等の適切な処置を施し、含浸性を確保することが重要である。

表面含浸材の耐久性（性能の持続性）に関しては、実環境で 15 年程度の効果が確認された事例もある。また、将来的に再補修する場合、表面含浸材を塗布した面には、含浸層の残存程度にもよるが、塗膜や断面修復材等が付着しにくくなる場合があるため、材料の相性をあらかじめ確認しておく必要がある。このため、含浸材の塗布範囲を記録として保存することが重要である。

塩害対策の場合、外部からの塩分の侵入抑制は可能であるが、既に内部に入った塩分の拡散は防止できないので、内部の塩分量の調査が必要である。

中性化対策の場合、シラン系表面含浸材を塗布して水分の浸入を抑制することで、鋼材の腐食発生を抑制することが期待できる。シラン系表面含浸材を適用したコンクリート構造物にみられる特徴の一つとして、中性化が進行しやすいことがあるが（**表面被覆・含浸編 5.3 点検の項目と方法**を参照）、近年では、中性化による鋼材腐食には水分が必要であることを勘案して評価することが標準となっている。このため、補修箇所の中性化の程度や補修しない状態での含水状態等を調査し、補修を適用可能な範囲等も考慮した上で、シラン系表面含浸材の塗布により期待される吸水抑制の効果を評価するとよい。

凍害対策の場合、スケーリングを抑えるには撥水を持続させるために、紫外線抵抗性の高いシラン系表面含浸材製品の適用や、定期的な再塗布を検討することが望ましい。なお、水が表面に常時滞留しやすく、浸入する場合、疎水化された細孔での未凍結水の流れにくさに起因して水圧が高まり、吸水防止層が凍害に至るおそれがあるため（**表面被覆・含浸編 2.2 表面被覆・含浸材の品質**を参照）、水の供給が止まるとすぐに乾燥が始まるように、水切りなどの水処理の併用も検討するとよい。

アルカリシリカ反応対策の場合、水分の浸入抑制によって進行を抑制することが期待できる。ただし、膨張が収束していない場合は、新たなひび割れから劣化因子が侵入するおそれがあるため、ひび割れ注入の併用も検討するとよい。

4) 断面修復工法

劣化部の十分な除去が必要である。特に、塩害で鉄筋の腐食が確認される場合は、鉄筋裏まではつり取ることで鉄筋回りの塩化物を除去するとともに、鉄筋の塩分除去、必要に応じて顕著に腐食した鉄筋の交換を行ったうえで断面修復を行う必要がある。また、はつりを行った状態で、構造体としての耐力が確保されることを事前に確認しなければならない。

第三者被害が想定される場所では、落下防護（鉄筋裏側までのはつりや、アンカー等）を検討すると良い。

既に表面含浸工法が施工された箇所に断面修復を行う場合には、はつり面に表面含浸材が残っていると断面修復材の付着強度が低下する場合がある。

5) ひび割れ修復工法

ひび割れ修復工法には、ひび割れ被覆、充填、注入工法がある。ひび割れ幅に応じて適切な工法を

選択することに加え、漏水の有無、ひび割れの開きが収束しているか、現在も進行している状況か、またはひび割れ幅が周期的に変化しているかを見極めたうえで、材料および工法を選択する必要がある。また、塩害環境の場合、充填工法は注入工法に比較して遮塩性が劣ることも念頭に入れる必要がある。

鉄筋の腐食膨張によるひび割れの場合は、ひび割れの修復のみを行っても、鉄筋の腐食は止められないので、さらなる腐食の進行による再劣化が予想される。このため、ひび割れ修復工法は採用せず、腐食した鉄筋のはつり出し、鉄筋のさびの除去、交換を行ったうえで断面修復を行う必要がある。

ひび割れ箇所のコンクリートに浮きがある場合には、ひび割れ修復工法は採用せずに、浮きの部分をはつり取って断面修復を行うか、巻立て等の落下防止対策を行う必要がある。

6) 脱塩工法

脱塩工法の選択にあたっては、全ての塩化物イオンが抜けるわけではないこと、アルカリ金属イオンの濃縮により施工後にアルカリシリカ反応発生の懸念が生じることを念頭に置く必要がある。

7) 電気防食工法

コンクリート内部に侵入した塩分の除去が不要であり、多量の塩化物イオンが浸入してしまった場合でも鉄筋の腐食を停止させることができる。電極の位置や防食電流密度など適切な設計が必要である。防食電流が停止するとただちに腐食が進行することになるため、設置後は設備のメンテナンスが重要であることも念頭に置かなければならない。適用にあたっては参考文献⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾を参照されたい。

8) 防せい処理

鉄筋の防せい処理には、防せい剤を用いる方法、塩分吸着剤を用いる方法、犠牲陽極を用いる方法等があり、**断面修復工法編 3.3 鉄筋の処理** にこれらの特徴と留意点を整理したので参照されたい。

9) 巻立て工法

主に、耐震補強工事、剥落防止やアルカリシリカ反応によるひび割れ進展抑制の目的等で実施される。アルカリシリカ反応抑制の場合には部材断面の全周を巻き立てないと効果が小さいので、設計段階での事前検討が必要である。

参考文献

- 1) 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，pp.156-160，2018.3
- 2) Marcel Pourbaix: Applications of electrochemistry in corrosion science and in practice, Corrosion Science, Volume 14, Issue 1, pp.25-82, 1974.
- 3) 小林豊治：コンクリート中の鋼材の腐食機構，コンクリート工学，Vol.19, No.3, pp.25-28, 1981.3
- 4) 土木研究所，東北大学，日本エルガード協会，コンクリート構造物の電気化学的防食工法研究会：電気防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する共同研究報告書－電気防食工法の維持管理マニュアル（案）－，土木研究所共同研究報告書第 501 号，2018.7
- 5) 土木研究所，土木研究センター：コンクリート構造物の電気防食に関する共同研究報告書，土木研究所共同研究報告第 14 号，1988.8
- 6) 土木研究所，プレストレスト・コンクリート建設業協会：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書，共同研究報告書第 256 号，2000.12
- 7) 土木学会：電気化学的防食工法指針，コンクリートライブラリーNo.157，2020.9

3 章 補修の施工

3.1 施工のための調査

3.1.1 一般

(1) 施工にあたっては、事前に補修範囲について調査を行い、特に構造物の現況について設計条件との整合を確認しなければならない。

(2) 施工のための調査により、補修設計時の条件と構造物の条件とが合致しないことが明らかになった場合は、必要に応じて補修材料や補修工法、工期などの補修設計の変更を行うこととする。

【解説】

(1) について

補修設計のために実施される調査では仮設作業床の設置困難などの理由により、対象構造物の全ての範囲を調査できていない場合がある。このため、補修の施工に先立ち、改めて調査する必要がある。施工のための調査は調査方法により、図書調査と現地調査とに分けられる。図書調査とは、橋梁台帳や設計図書、補修設計のために実施した調査の記録などを調査、確認するものである。一方、現地調査とは、施工直前の構造物の劣化状況や立地条件、環境条件などの施工条件を把握するために実施する調査である。現地調査における調査項目は、「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）」¹⁾などを参考にすると良い。

現地調査では、劣化状況や劣化範囲を確認する必要がある補修設計時の調査から補修の施工までに長期間が経過しないことが望ましいが、設計と施工の時間経過により、構造物の劣化が進行していることもある。構造物の現況や劣化の進行状況を把握するために注視すべき点の例を以下に記す。

- ・ ひび割れの有無や長さ、ひび割れ幅
- ・ ひび割れからの漏水（漏水痕）、析出物やさび汁の有無
- ・ 浮きや剥離、剥落の発生範囲

(2) について

施工のための調査によって設計していた補修条件で対応できないことが明らかになった場合は、補修材料や補修工法、また、設計の際に想定した施工工程などを見直す必要があるため、関係者間で協議を行い、補修設計を変更する必要がある。補修設計の変更を検討する例について以下に記す。

① 施工時に水の影響が懸念された場合

現地調査の結果、補修の施工時に漏水などの水の影響が懸念され、補修設計において水処理が計画されていない場合は補修設計の変更を検討しなければならない。このような場合、水処理の実施や湿潤面に対応が可能な補修材料への変更などの設計変更が考えられる。補修設計の変更を行わずに水処理を実施しなかった場合、補修の施工後に**解説 写真-3.1.1（不具合事例集 No. 24）**のような変状が起こるおそれがある。



解説 写真－3.1.1 ひび割れ修復工法の施工後に発生した変状の例

②施工環境条件が設計当初と異なった場合

施工環境条件が設計の際に想定していた条件と異なる例として、施工する季節による温湿度の相違が挙げられる。この場合には、施工環境に適した補修材料の再選定や加温養生のための仮設備計画、施工工期の見直しなど、補修設計の変更を検討する必要がある。補修設計が施工条件と異なるにも関わらず、補修の施工を実施した場合、補修材料の硬化不良や施工工期の遅れなどが生じるおそれがあり、結果として施工後の品質低下や設計した耐用年数が保持できないなどの不具合を招くこととなる。

3.1.2 補修対象部位に供給される水分に関する調査

施工のために実施する現地調査では、特に気体や液体として構造物に供給される水分に着目して調査する。

【解説】

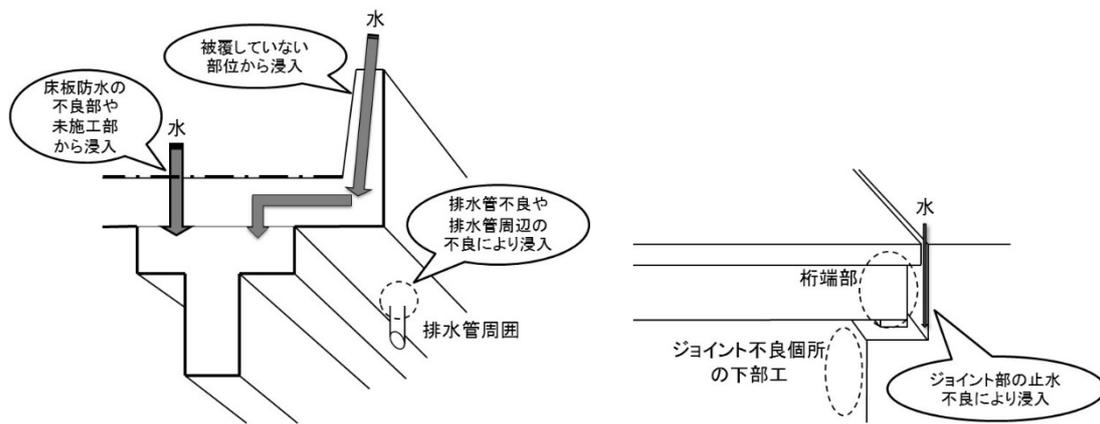
補修材料に発生した変状では、水分に起因したと考えられる変状が多く報告されている。補修材料の種類によっては、湿潤面に対応した補修材料も存在するが、費用が高くなる場合が多いため、補修設計では一般的に湿潤面に不適な補修材料が選定される傾向にある。このため、施工のために実施する現地調査では、供給される水分に注意して調査することが望ましい。断面修復材では吸水防止処理として水湿しを行う場合や、けい酸塩系表面含浸材ではあらかじめ下地コンクリートを湿潤状態にすることが推奨される場合などがあるが、必要以上の水分の供給は望ましくない。したがって、適用する補修工法に用いる補修材料の種類によって、供給される水分に関する調査を実施することが必要である。ただし、変状からの漏水や水掛り部など、流れのある水は、施工した補修材料を押し流すことが想定されるため、適切な水処理が必要である。

水分はその形態により水蒸気と水に分類される。水蒸気が補修の施工に影響を及ぼす例としては、高湿度環境において施工する場合が挙げられる。特に、立地条件が河川上の構造物や施工時期が冬季であるなど、結露しやすい環境と想定される場合は施工管理が不十分であると、解説 写真－3.1.2(不具合事例集 No. 7) のように補修の施工後に不具合が発生するおそれがある。



解説 写真-3.1.2 結露が要因となり発生した塗膜の剥離

一方、水が影響を及ぼす例としては、解説 図-3.1.1 に示すように水掛りが想定される箇所や構造物の変状から漏水がある箇所で施工を行う場合が挙げられ、硬化前に補修材料が水と接触すると硬化後の品質が悪くなり、所定の性能が得られないこととなる。このように水分は補修の施工に影響を与える可能性が大きいため、現地調査では特に注意して確認する必要がある。



解説 図-3.1.1 水による変状が生じやすい箇所の例

3.2 施工管理

補修の施工では、確実な施工を行うため、施工計画書に則り、工程ごと、補修工法（材料）ごとに定められた管理項目を適切な方法で管理しなければならない。

【解説】

確実な施工を行うためには、適切な施工管理を実施することが重要である。施工管理は、下記の通り材料、施工状況および品質を管理する必要がある。

- ・ 材料管理・・・要求される性能および施工環境に見合う適切な品質の補修材料を用いること
- ・ 施工状況管理・・・適切な作業環境、作業条件において施工がなされ、定められた方法で実施すること
- ・ 品質管理・・・構造物の施工面の品質や施工により得られた補修材料の品質が適切であること
ただし、施工する補修工法によって、管理する項目は異なるため、管理項目、および管理方法の詳細は各補修工法編を参照すること。

3.3 安全管理

補修の施工にあたっては、作業員、および第三者の安全に配慮して実施しなければならない。

【解説】

通常の工事と同様、補修工事にあたっては、作業員の安全と健康を確保すること、および第三者に対して配慮することが重要である。第三者に対する措置として、作業場や関連施設等に関係者以外立ち入り禁止を示す表示を掲示することやロープなどを用いて立ち入り禁止範囲を明示するなどを講じる必要がある。

補修工事では、引火点の低い材料や有機溶剤に該当する材料を用いることが多い。また、補修材料が該当しない場合でも、希釈剤や工具類の洗浄剤がこれに該当する場合がある。特に、リスクアセスメントが義務付けられているものや安全データシート（Safety Data Sheet：SDS）交付義務が定められているものもある。有機溶剤などの取扱いについては、労働安全衛生法の中に「有機溶剤中毒予防規則」、「特定化学物質障害予防規則」として定められている。選定した補修材料が上記法令に該当しない場合であっても、法令に準ずる措置をとって作業することが望ましい。一方、補修材料を誤って漏洩させた場合、補修材料の製造業者が発行している SDS に示された処置にしたがって処理する必要がある。

以下に記した関連する主な法令を挙げる。なお、関連する法令については最新のものを参照すること。

- ・ 消防法，危険物の規制に関する政令，危険物の規制に関する規制
- ・ 労働安全衛生法
- ・ 労働安全衛生法施行令
- ・ 労働安全衛生規則
- ・ 粉じん障害防止規則
- ・ 有機溶剤中毒予防規則
- ・ 特定化学物質障害予防規則
- ・ 酸素欠乏症等防止規則
- ・ 毒物及び劇物取締法
- ・ 環境基本法
- ・ 大気汚染防止法
- ・ 同法施行令
- ・ 同法施行規則
- ・ 悪臭防止法
- ・ 土壌汚染対策法

3.4 廃棄物の処理

補修の施工により発生した廃棄物は，関係法令にしたがって産業廃棄物として適切に処理しなければならない。

【解説】

廃棄物の処理にあたって遵守すべき法令としては，「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下，廃棄物処理法と称す）」，同施行令，同施行規則などがある。廃棄物は産業廃棄物と一般廃棄物とに分類され，補修工事等の事業で発生した廃棄物は産業廃棄物となる。また，補修の施工により発生する廃棄物において，未硬化の樹脂系材料や廃溶剤は特別管理産業廃棄物の廃油に分類されるため，注意が必要である。これら廃棄物の処分にあたっては，廃棄物処理法により産業廃棄物の排出業者が責任をもって処理することが義務付けられており，マニフェスト制度にしたがって，収集運搬業者に運搬を，処分業者に最終処分をそれぞれ委託することになる。

以下に記した関連する主な法令で最新のものを参照すること。

- ・ 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
- ・ 同法施行令
- ・ 同法施工規則
- ・ 建設廃棄物処理マニュアル-建設廃棄物処理ガイドライン改訂版
- ・ 建設廃棄物処理指針
- ・ 建設副産物適正処理推進要綱

3.5 施工の記録

施工管理結果などの補修の施工に関する情報を補修工事報告書として記録するとともに、構造物の管理者は構造物を供用する期間、これを保存すること。また、補修工事報告書には施工前の構造物の劣化状況や施工中の施工困難な部分などの特徴的な部分の有無とその対策についても記録する。

【解説】

補修した構造物の維持管理において、補修の施工に関する情報は非常に重要である。例えば、要求される性能を満たす補修材料であっても、施工に注意が必要な環境条件や下地条件であれば、予定していた耐用期間より短くなる場合がある。したがって、補修の施工後に補修材料に変状が発生した場合、変状の発生要因を予測するうえで、施工に関する情報は重要な判断材料となるため、これを補修工事報告書として記録し、構造物の管理者は構造物を供用する期間、これを保存することが必要である。なお、補修工事報告書に記載する内容の例としては、「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）（公益社団法人土木学会）」などを参考にし、特に施工前の構造物の劣化状況、主な変状や、施工に際して一般部と異なり施工困難な部分などの特徴的な部分の有無とその対策について記載すると良い。なお、補修の施工記録を構造物に付すことは、記録保持の確実性の観点から有益である。表面被覆・含浸工法編 3.7 施工の記録にその例を示しているので必要に応じて参照するとよい。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.4

4章 検 査

4.1 一般

検査は、事前に検査計画を定め、その検査計画に基づき、発注者の責任において実施する。

【解 説】

発注者は、補修工事が適切に行われたことを確認するために検査を行わなければならない。検査計画は工事の着工前に定めることとし、発注者と施工者が合意した内容としなければならない。なお、補修工事の範囲や仕様等の契約条件が変更になる場合には、それに合わせて検査計画も見直す必要がある。

4.2 検査項目と判定基準

(1) 検査には、材料の検査、施工段階の検査、完了時の検査等があり、各段階において適切な検査項目および判定基準を設定することを標準とする。

(2) 検査の結果、不合格と判定された場合には、補修方針を満たすために適切な措置を講じなければならない。

【解 説】

(1) および (2) について

検査項目と判定基準については、II～IV編に詳述されているので、それに従うものとする。特に補修工事の不具合は、下地処理等の完了後に確認できなくなる箇所の施工状態に起因することも多く、各段階において適切な検査を行う。

4.3 検査の記録

補修工事の検査結果は、検査記録として保管することを標準とする。

【解 説】

補修工事後から実施される維持管理において、補修の検査記録は非常に重要な情報となる。特に、補修工事の不具合箇所から再劣化が生じる場合が多いことから、検査の合否判定だけでなく、発生した不具合や、それに対して実施した処置なども併せて記録、保存することが重要である。

5章 補修後の維持管理

5.1 一般

補修の施工後、コンクリート構造物の維持管理を適切に行うため、維持管理計画を策定して、これに基づき点検を実施し、構造物の健全性を確認する。

【解説】

補修したコンクリート構造物の維持管理にあたっては、施工後、構造物を定期的に点検し、早期に変状を発見して適切な対策を講ずることが望ましい。一般的には補修工事を実施することで、構造物の供用期間を長くすることが可能となる。しかしながら、要因は様々であるものの、**不具合事例集**に示すように補修後のコンクリート構造物に早期に変状が発生する場合がある。したがって、補修箇所の状況を定期的に確認することが、コンクリート構造物の維持管理を行ううえで重要である。また、早期に変状を発見できれば、比較的軽微な対策で済む場合が多く、維持管理費用の面から考えても有益となる。

補修後のコンクリート構造物に発生する変状は主に補修材料の変状であることから、**5.2.3 点検の項目と方法**では代表的な変状の事例を補修後の点検に関する着目点と併せて示した。また、点検の結果とこれに基づき考えられた対策についての記録を残すことが、適切な維持管理を行うためには必要である。

5.2 補修の施工後の点検

5.2.1 一般

点検の実施に先立ち、対象コンクリート構造物の種類や施工された補修工法、補修材料の種類に応じて、点検計画を作成することとする。

【解説】

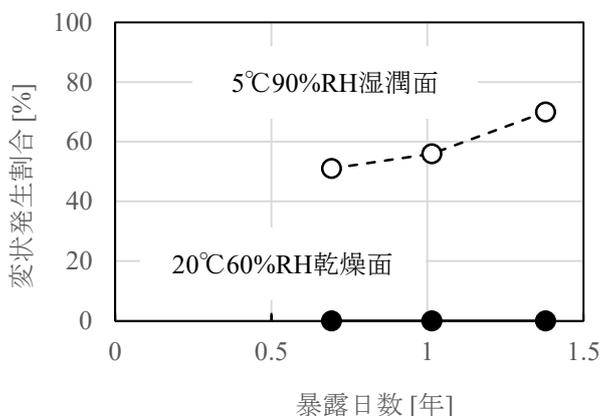
補修後のコンクリート構造物の点検を適切に行うためには、事前に点検計画を作成する必要がある。点検計画では、①既往資料の調査、②点検項目と方法、③点検体制、④現地踏査、⑤管理者協議、⑥安全対策、⑦緊急連絡体制、⑧緊急対応の必要性が生じた際の連絡体制、⑨工程などについて計画することが望ましい。①既往資料の調査では、構造物の諸元や立地条件などについて橋梁台帳などを参考に調査するとともに、補修工事の工事報告書や各種検査結果について調査することが必要である。また、既往資料の調査結果により、②点検項目と方法を定めると良い。点検項目と方法の設定については、**5.2.3 点検の項目と方法**に記す。

5.2.2 点検の頻度

補修の施工後に実施する定期点検は、初回点検を補修の施工から1年程度で実施し、その後は適切な頻度で実施する。

【解説】

施工条件が不適切な場合、季節が一巡した補修後1年以内の早期に補修箇所の再劣化が生じるおそれがある。**不具合事例集 No. 11**にある表面被覆材の膨れのような変状が生じる場合がある。また、例として、**解説 図-5.2.1**に施工条件の相違が表面被覆材に発生する変状に及ぼす影響について検討した結果を示す。本実験は、基材にW/C=75%のモルタルを用い、基材の表面水分率と施工環境を変化させて表面被覆材を施工し、屋外暴露試験により表面被覆材の変状の有無を確認したものである。この結果から、20°C60%RHの雰囲気乾燥面（8%以下の表面水分率）に施工した表面被覆材は、暴露日数約600日でも変状が発生しなかったものの、5°C90%RHの雰囲気湿潤面（8%を上回る表面水分率）に施工した表面被覆材は暴露日数約250日で変状が発生し、暴露日数の増加とともに変状割合は増加傾向を示した。このように、補修後早期に不具合が生じた場合は、補修工事の際に何らかの不具合があったか、補修効果が不足して、コンクリート構造物の劣化を抑制できなかった可能性が考えられる。このため、補修の施工から1年間は、日常点検の際に注意して観察するとともに、季節が一巡した1年程度で初回の点検を実施することが必要である。一方、寒冷地では冬季を過ぎた春頃に変状が出る傾向にあるため、注意が必要である。また、初回の点検以降に実施する定期点検の頻度は、コンクリート構造物の種類や機能、重要度を考慮して、適宜設定する。例えば、橋梁の場合、5年に1回の頻度が基本とされている²⁾。日常点検や定期点検の結果、変状が確認され、点検結果の範囲で原因が特定できないと判断された場合は追加の調査を実施する必要がある。



解説 図-5.2.1 施工条件の相違が表面被覆材の変状の発生に及ぼす影響の例

5.2.3 点検の項目と方法

補修の施工後に実施する点検の項目と方法は、コンクリート構造物の種類や補修工法、補修材料の種類により、適切に設定することとする。

【解説】

コンクリート構造物の種類は、橋梁、ダム、護岸、水路、擁壁など、多岐に渡るため、補修後のコンクリート構造物の点検の方法は、コンクリート構造物の種類により適切な方法を採用する。構造物の種類ごとに定められた点検方法があれば、それに従うと良い。

補修が施工されたコンクリート構造物に生じる変状は、適用した補修工法や補修材料により異なる。例えば、ひび割れ修復工法では、ひび割れ注入による補修を行うことにより、ひび割れ近傍の応力伝達が回復して、ひび割れ修復部の近傍で新たにひび割れが生じることがある。断面修復工法では、断面修復箇所の近傍における鉄筋のマクロセル腐食、断面修復部と下地コンクリートの境界部における浮きやひび割れなどがある。表面被覆工法では、表面被覆材が下地コンクリートとの一体性を失って、膨れや剥がれを生じることがある。これらの変状は、補修の施工時の作業環境や施工後の供用環境に起因する変状や、構造物の劣化が進行して生じる変状など様々である。したがって、適用した補修工法や補修材料に応じた点検項目と点検方法を設定する必要がある。この例を**解説 表-5.2.1**に示す。なお、点検に際して着目する点は、表に示した点検項目を参考にすると良い。

点検の方法は、近接して目視により行うことが好ましいが、変状の種類によっては目視だけでは検出できない可能性もある。そのような場合、**解説 写真-5.2.1**に示した器具を用いた触診や打音による調査を含めた非破壊試験が有効であることも多く、必要に応じて、これら目視以外の方法も併用すると良い。ただし、過度の打撃による打音調査は補修材料を損傷させるおそれがあるため、注意が必要である。一方、調査器具や調査機器を用いた調査触診や打音による検査、赤外線調査などの非破壊検査では、機器の性能や調査者の技量など様々な条件が調査精度に影響を及ぼすため、事前に適用範囲や調査方法の詳細について検討しておくことが必要である。

なお、**解説 表-5.2.1**に示した点検方法により変状が確認され、追加の調査が必要と判断された場合は詳細点検を実施する必要がある。詳細点検では、日常点検や定期点検で実施した項目について、より詳細に点検を行うとともに、場合によってはコンクリートコアの採取や既設鉄筋のはつり出しなどの破壊試験について実施の検討をする必要がある。ただし、できる限り小規模な範囲で実施することが望ましい。これらの詳細は、参考文献 2), 3), 4), 5)などを参考にすると良い。

解説 表-5.2.1 補修工法に応じた点検項目と方法の例

補修工法	点検項目 (点検の際に着目すべき点)	点検方法	対応する不具合事例 (事例 No.)
表面被覆工法	浮き, 膨れ	目視, 触診	2, 3, 10, 11
	剥がれ	目視	4, 5, 6, 7
	ひび割れ	目視, クラックスケール	1, 16, 21
	漏水, 遊離石灰, さび汁などの滲出	目視	8, 9, 15, 17, 18
	変退色, 白亜化, 光沢の低下などの美観の低下	目視, 触診, 光沢度計など	—
	発泡, ピンホール	目視	—
	縮み	目視	—
表面含浸工法	表面撥水性 (シラン系)	噴霧, 目視	—
	吸水防止層の有無 (シラン系)	コア採取	26
	吸水抵抗性 (シラン系)	水分供給および水分計	—
断面修復工法	断面修復後の浮き, 剥がれ, 剥落	目視, 触診 打音検査, 赤外線調査	12, 14, 16, 20
	断面修復材表面のひび割れ	目視, クラックスケール	13
	ひび割れからの漏水, 遊離石灰, さび汁などの滲出	目視	—
	摩耗や凍害によるスケーリング	目視	—
ひび割れ修復工法	ひび割れ	目視, クラックスケール	—
	漏水, 遊離石灰, さび汁などの滲出	目視	22, 23, 24
	補修材料の押し出し	目視	—



解説 写真-5.2.1 触診や打音による調査に用いる器具の例

5.2.3 点検結果の記録

点検の結果は適切な方法で記録し，構造物を供用する期間はこれを保存する。

【解説】

点検結果の記録は，維持管理を行ううえで非常に重要であるため，コンクリート構造物の種類や機能に応じて，適切な方法で記録し，構造物を供用する期間は保存する必要がある。構造物の種類に応じて既に定められた方法や書式があれば，それらを参考にすると良い。例えば，橋梁であれば，「橋梁定期点検要領 付録-3 定期点検結果の記入要領」や「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案）」⁵⁾が参考になる。

5.3 評価・判定

点検結果の評価・判定を行い，適用した補修工法の状況を把握して維持管理計画に反映する。また，必要に応じて講じる対策について検討する。

【解説】

点検結果の評価・判定を行い，適用した補修工法が設計時に設定された性能を満足しているかを確認する必要がある。変状が確認された場合は，変状の発生要因を推定することが重要である。すなわち，補修材料の変状であるか，またコンクリート構造物の劣化によるものかである。また，変状の発生した範囲についても留意する必要がある。点検結果の評価・判定を行った後，点検頻度の見直しや点検項目の追加など，維持管理計画を見直すこと，また必要に応じて再補修対策を検討する必要がある。なお，評価・判定・対策については，各種指針類²⁾³⁾⁴⁾を参考にすると良い。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局国道・技術課，橋梁定期点検要領，2019.
- 2) 土木学会，コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，2018.
- 3) 土木学会，表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.
- 4) 日本コンクリート工学会，コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2022，2022.
- 5) 国土交通省道路局：橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案），2004

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版

Ⅱ 表面被覆・含浸工法編

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版

Ⅱ [表面被覆・含浸工法編]

目次

1. 総則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	2
2. 表面被覆・含浸工法の補修設計	5
2.1 補修に求める性能	5
2.2 表面被覆・含浸材の品質	14
2.3 施工範囲の設定	21
3. 表面被覆・含浸工法の施工	26
3.1 一般	26
3.2 施工のための調査	27
3.3 施工計画	29
3.4 施工工程	29
3.5 施工管理	31
3.6 安全管理	42
3.7 施工の記録	44
4. 検査	46
4.1 一般	46
4.2 検査項目と合否判定	46
4.3 検査の記録	49
5. 補修後の維持管理	50
5.1 一般	50
5.2 点検の頻度	51
5.3 点検の項目と方法	52
5.4 点検結果の記録	55
5.5 点検結果の評価・判定	56
附属資料	57
附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法（案）	57
附属資料 B 下地コンクリートにおける表面水の確認方法（案）	61
附属資料 C 施工時の温湿度および下地コンクリート表面温度の測定方法（案）	63
附属資料 D 表面被覆材の外観調査方法（案）	66
附属資料 E 表面被覆材の塩化物イオン遮蔽性試験方法（案）	68
附属資料 F 表面含浸材の性能評価試験（案）	71
附属資料 G シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法（案）	74

1章 総 則

1.1 適用範囲

表面被覆・含浸工法編（以下、本編という）は、共通編における補修工法選定において、表面被覆工法もしくは表面含浸工法を選択した場合に適用する。表面被覆工法もしくは表面含浸工法の補修設計および施工を行う際に、遵守すべき事項と配慮することが望ましい事項を示したものである。

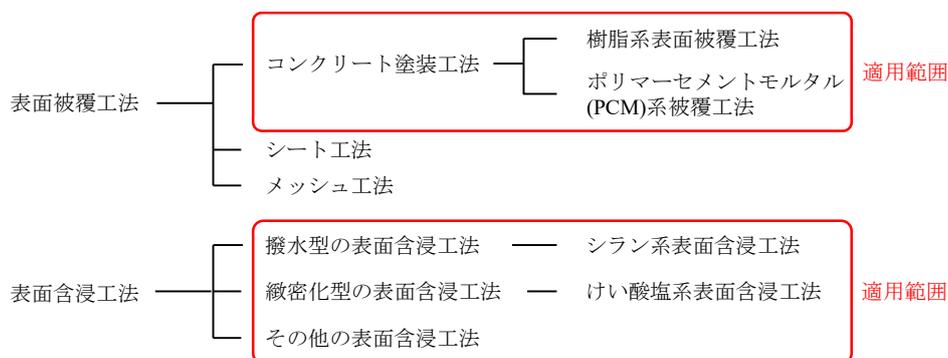
【解 説】

本編は、共通編 1.1 適用範囲に示したように、一般的な補修の流れにおいて、工事に着手する段階で補修方針が確認されていることを前提としている。本編は、表面被覆・含浸工法を採用する際に、その補修の設計、施工、検査、補修後の維持管理に適用する。さらに、表面被覆・含浸工法を適用する場合の適用範囲や使用材料の効果的な選択と、現場での施工管理を有効に進めるための技術的事項を示す。

表面被覆・含浸工法により補修したコンクリート構造物において、必ずしも期待していた効果が得られない場合がある。補修効果を得るためには、劣化のメカニズムに基づいて、適切な工法および補修に求められる品質を有する材料を選定し、それらを適切な方法で施工することが必要である。

補修工事では、現場に足場等を設置して既存の対策部分や劣化部位等を除去しないとその劣化程度を判定することが困難な場合があり、施工中に新たな劣化が見つかることもある。また、補修したコンクリート構造物の再劣化は、不適切な施工管理に起因することも多い。こうした背景から、本編では、再劣化を抑制するためのメカニズムに応じた工法や材料の選定と施工管理方法を示している。

本編は、劣化因子の侵入抑制や制御を主目的とした、表面被覆・含浸工法を対象とする（解説 図一 1.1.1）。以下では、それらの工法を合理的かつ有効に進める際に必要となる事項について具体的に解説する。なお、掲載している図、表について、表面被覆に関するものにはキャプションの後ろに〔被〕、表面含浸に関するものには〔含〕、双方に共通するものには〔被・含〕を付記している。



解説 図一 1.1.1 表面被覆・含浸工法編の対象工法〔被・含〕

表面被覆工法について

表面被覆工法は、塗装工法とシート工法、メッシュ工法に分類される。塗装工法には、樹脂系表面被覆工法およびポリマーセメントモルタル系表面被覆工法（以下、PCM系表面被覆工法という）がある。シートおよびメッシュ工法は、第三者被害防止のためのはく落抵抗性を期待する工法であるため、はく落抵抗性の検討が別途必要となる。

表面含浸工法について

表面含浸工法には、シラン系表面含浸工法、けい酸塩系表面含浸工法およびその他の表面含浸工法がある。その他の表面含浸工法には、シラン系やけい酸塩系を組み合わせ、樹脂成分等の機能の異なる表面含浸材を用いたものがある。表面含浸工法は、表面含浸材の主成分によってその効果が異なるため、特にその他の表面含浸工法を適用する際には、別途検討が必要となる場合がある。

1.2 用語の定義

本編では、次のように用語を定義する。ここに定義していない用語については、コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会）、表面保護工法 設計施工指針（案）（土木学会、コンクリートライブラリー119）による。

シラン系表面含浸材：コンクリートに含浸し、コンクリートの水酸基と疎水基を化学的に結合させ、コンクリート表層部に撥水性を付与する機能を有する材料。

けい酸塩系表面含浸材：コンクリートに含浸し、水酸化カルシウムとの反応によるC-S-Hゲルの生成、または主成分の固化により、コンクリート表層部を緻密化し、改質させる機能を有する材料。反応型と固化型がある。

下地コンクリート：表面被覆・含浸工法を施工する既設コンクリート。

施工性：施工のしやすさだけでなく、施工時の温度や下地コンクリートの含水状態等の施工時の環境への対応性も含めた性能。

含浸層：表面含浸材によって撥水化もしくは緻密化した部分。

保護層：表面被覆材や表面含浸材の適用により、塗膜、含浸層など、コンクリート表面または表面近傍に設けられた層の総称。

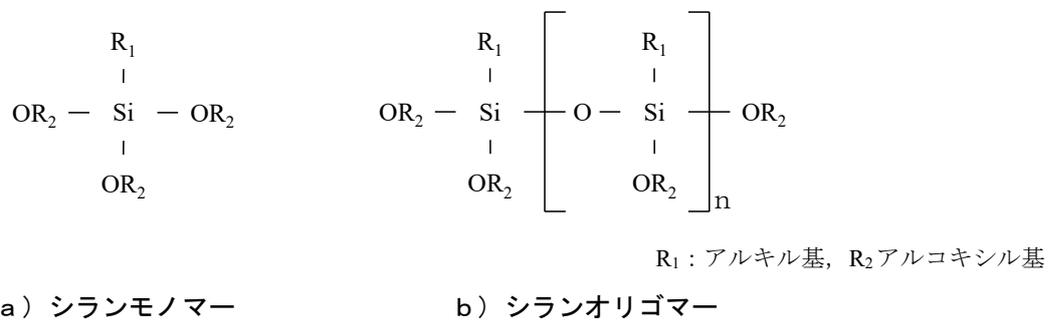
【解 説】

シラン系表面含浸材

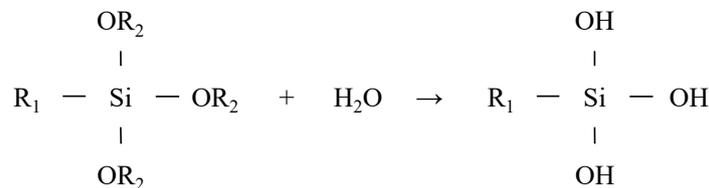
シラン系表面含浸材は、アルキルアルコキシシラン（シランモノマー）、アルコキシシロキサン

(シランオリゴマー) , またはこれらの混合物を主成分としており、シランオリゴマーを含むものはシラン・シロキサン系、含まないものはシラン系に分類される。これらの構造式を解説 図-1.2.1 に示す。また、これら主成分を希釈する材料により、溶剤系、水系、無溶剤系に分類される。

シラン系表面含浸材をコンクリートに塗布 (含浸) した際に起きる反応の概要を解説 図-1.2.2 に示す。反応の第一段階では、アルキルアルコキシシランのアルコキシ基が大気中、またはコンクリート中の水と反応して加水分解反応を生じる (解説 図-1.2.2 a)。その後、コンクリート表面の水酸基と化学的に結合することでコンクリートに固着する (解説 図-1.2.2 b)。このとき、表面側に疎水基であるアルキル基が配向するため、コンクリートへ外部から供給される水に対して、撥水性を呈すこととなる。一方、コンクリートの細孔は閉塞されないため、コンクリート内部から外部への水蒸気の透過が可能であり、コンクリート内部の水分を発散することができる特徴を有している。

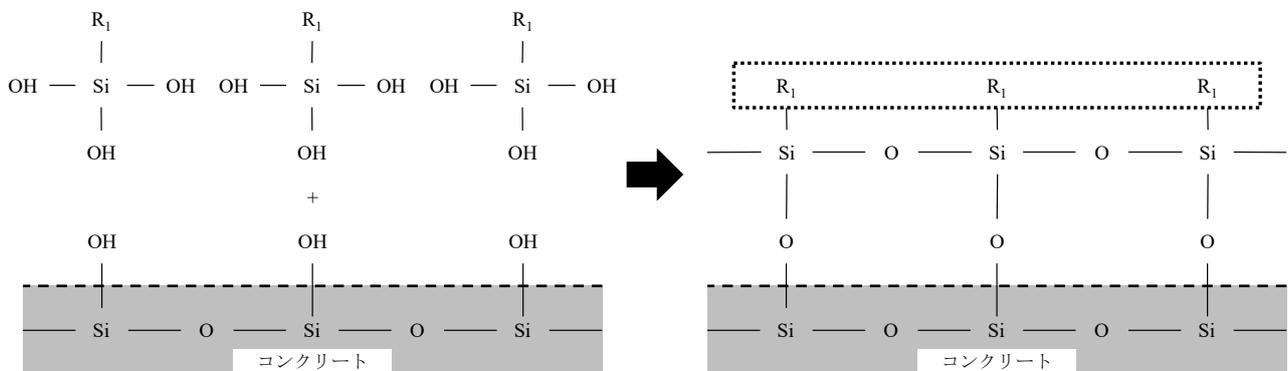


解説 図-1.2.1 アルキルアルコキシシランの構造式 [含]



R₁ : アルキル基, R₂アルコキシ基

a. 第一段階 : 加水分解反応



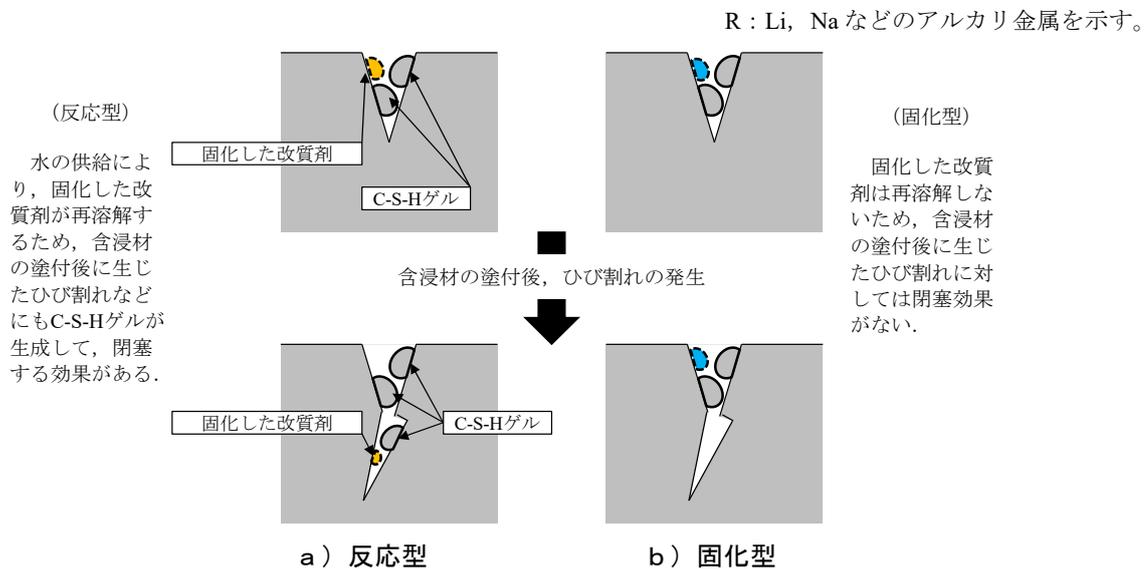
R₁ : アルキル基 (疎水基)

b. 第二段階 : コンクリートの水酸基との化学的な結合反応

解説 図-1.2.2 シラン系表面含浸材の塗布によって起きる反応概要図 [含]

けい酸塩系表面含浸材

けい酸塩系表面含浸材は主成分により、反応型と固化型に分類される²⁾。反応型と固化型の効果の違いを解説 図-1.2.3 に示す。反応型とは、塗布（含浸）後の初期段階でコンクリート中のセメント水和物と反応した残りの成分が、一時的に乾燥して固化するものの、水の供給に伴って再度溶解し、セメント水和物との反応を繰り返す材料であり、代表的な主成分にけい酸ナトリウムがある。一方、固化型とは、塗布（含浸）後の初期段階で反応した残りの成分が乾燥に伴って難溶性の固化物となり、これにより空隙などを充てんする効果を得る材料であり、代表的な主成分にけい酸リチウムがある。いずれにおいてもセメント水和物と下式の反応によって、カルシウムシリケート水和物（C-S-Hゲル）が生成する。この生成物によりコンクリート中の組織を固化する目的で使用される。



解説 図-1.2.3 けい酸塩系表面含浸材の種類による反応の違い〔含〕

含浸層

表面含浸材によりコンクリート表面や表層が撥水、緻密化され、効果が発揮される。なお、シラン系表面含浸材の塗布によって撥水化した含浸層に関しては、吸水防止層、疎水層、撥水性ゾーン等と呼ばれることもある。本編では、これらの表現を使用している箇所もある。

保護層

コンクリート表面に表面被覆材が成膜され、硬化したものが塗膜である。モルタル系の材料や繊維等を含み膜厚が厚いものについては、層（単層、複層など）として呼ばれることもある。表面被覆工法および表面含浸工法の施工により設けられた層を総称して保護層と呼ぶ。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.4
- 2) 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案），コンクリートライブラリー137，2012.7

2章 表面被覆・含浸工法の補修設計

2.1 補修に求める性能

(1) 表面被覆・含浸工法の設計を行う場合には、**共通編 2.4 補修方針の設定と補修工法の選定**に示される方針にしたがって、表面被覆・含浸工法による補修に求める性能を明確にした上で、それを達成するための工法と材料の選定および施工範囲の設定を行わなければならない。

(2) 表面被覆・含浸工法の保護層に求める性能は、劣化機構とその進行程度に応じて必要となる性能を考慮して、これを適切に設定しなければならない。

(3) 劣化機構に関わらず求める保護層の基本的な性能として、施工性、耐久性、維持管理性、環境適応性を明確にしておくことを必須とし、必要に応じて美粧性や意匠性も検討しなければならない。

【解説】

(1) について

コンクリート構造物の補修では、補修箇所の状態や施工、供用される環境が一様でなく、様々な個別工法を組み合わせる実施される場合が多い。本編では、**共通編 2.4 補修方針の設定と補修工法の選定**に示される方針にしたがって補修方針を設定し、表面被覆・含浸工法の選定を行うこととしている。

(2) について

解説 表-2.1.1 および **解説 表-2.1.2** は、それぞれ、表面被覆工法による塗膜に求める性能と劣化機構の関係、および表面含浸工法による含浸層に求める性能と劣化機構の関係を示す。これらの表に示すように、各劣化機構に対応する保護層に求める性能は異なるため、補修対象のコンクリート構造物の劣化機構に基づき選定する必要がある。これに対応する表面被覆・含浸材の試験方法および評価基準は **2.2 表面被覆・含浸材の品質** に示す。なお、表に示したものの以外の劣化機構や初期欠陥に対して表面被覆・含浸工法を適用する場合は、別途検討が必要となる。

解説 表-2.1.1 表面被覆工法による塗膜に求める性能と劣化機構の関係〔被〕

補修方針	塗膜に求める性能	劣化機構			
		塩害	凍害	ASR	中性化
劣化因子の遮断	塩化物イオンの侵入に対する抵抗性	◎	△	△	△
	二酸化炭素の侵入に対する抵抗性				◎
	酸素の侵入に対する抵抗性	※			
	ひび割れ追従性	○	○	○	○
水分の制御	水の浸入に対する抵抗性	○	◎	◎	○
	水蒸気の浸入に対する抵抗性		△	△	△
	水蒸気透過性		△	△	△

◎：主として必要なもの，○：副次的に必要なもの，△：場合により必要となるもの

※：酸素の侵入に対する抵抗性は，コンクリート部材の外表面全てを完全に被覆できる場合のみ考慮する

解説 表-2.1.2 表面含浸工法による含浸層に求める性能と劣化機構の関係〔含〕

補修方針	含浸層に求める性能	劣化機構		
		塩害	凍害	ASR
劣化因子の遮断	塩化物イオンの侵入に対する抵抗性	◎	△	△
水分の制御	水の浸入に対する抵抗性	○	◎	◎
	水蒸気透過性		○	◎

◎：主として必要なもの，○：副次的に必要なもの

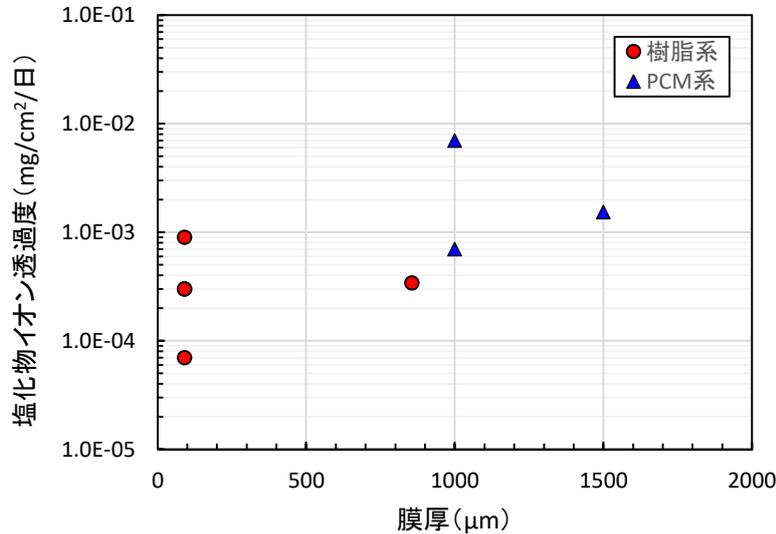
・劣化因子の遮断

表面被覆工法と表面含浸工法では，一般に劣化因子を遮断する機構が異なる。表面被覆工法は塗膜自体が劣化因子の侵入（浸入）に対する抵抗性を有するのに対して，表面含浸工法では下地コンクリートの品質を変えることにより劣化因子の侵入（浸入）に対する抵抗性を向上させる。下地コンクリートのひび割れについては，表面被覆工法では塗膜のひび割れ追従性が，劣化因子の遮断に求める性能の設定において求められる。また，けい酸塩系表面含浸工法では，解説 表-2.1.2 には記載していないが，ひび割れ充填性が求められることがある。

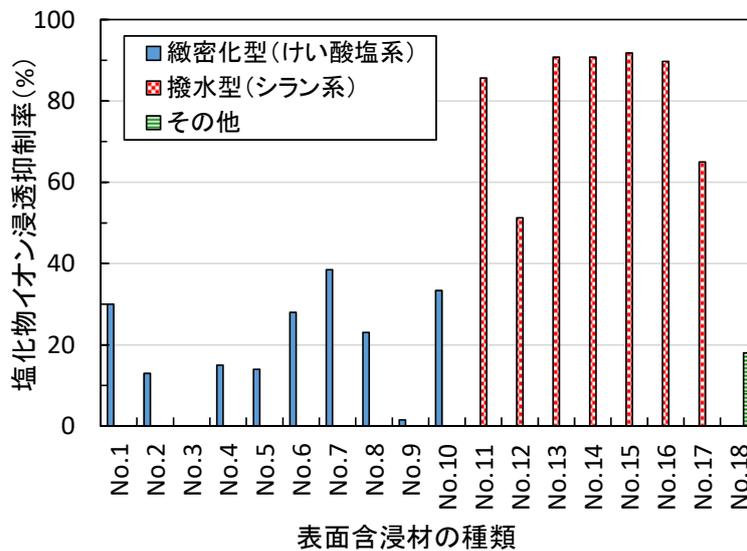
劣化因子の遮断に対応する塗膜に求める性能には，塩化物イオンの侵入に対する抵抗性，二酸化炭素の侵入に対する抵抗性，酸素の侵入に対する抵抗性，およびひび割れ追従性がある。表面被覆工法の設計にあたっては，これらの性能の中から，劣化機構に対応するものを選定する必要がある。また，表面被覆工法では，材料の種類および膜厚によって劣化因子の侵入（浸入）に対する抵抗性が異なるため，材料の種類と膜厚を適切に設計する必要がある。一例として，解説 図-2.1.1 に，樹脂系およびPCM系表面被覆材における塩化物イオン透過度と膜厚の関係を示す。

劣化因子の遮断に対応する含浸層に求める性能には，塩化物イオンの侵入に対する抵抗性，水の浸入に対する抵抗性，ひび割れ充填性などがある。表面含浸工法の設計にあたっては，これらの性能の中から，劣化機構に対応するものを選定する必要がある。また，表面含浸工法では，材料の種類によって劣化因子の侵入（浸入）に対する抵抗性が異なるため，材料の種類を適切に設計する必要がある。例えば，各種表面含浸材の塩化物イオン浸透抑制率は，解説 図-2.1.2 に示すように，シラン系の方

がけい酸塩系よりも浸透抑制効果が高い場合が多い。しかしながら、下地コンクリートの水分状態などの施工性やコストなどが異なるので、補修対象構造物の環境、劣化状態や施工条件に応じて、表面含浸工法による含浸層に求める性能を明らかにしておく必要がある。



解説 図-2.1.1 表面被覆材における塩化物イオン透過度と膜厚の関係の例〔被〕¹⁾から作成



解説 図-2.1.2 表面含浸材の塩化物イオン浸透抑制率〔含〕^{1), 2)}から作成

酸素の侵入に対する抵抗性は、コンクリート部材の外表面全てを完全に保護できる場合のみに考慮する性能である。これは、鉄筋位置での酸素を欠乏させることが非常に困難であるためである。二酸化炭素の大気中濃度は高くないうえ、コンクリート全体で反応が進むため拡散律速になりやすい。ところが、酸素は大気中に高濃度で存在するとともに、コンクリート中では気体状態で広範囲に拡散しうる。このため、保護されていない箇所、保護層のひび割れ、添架支持材のためのあと施工アンカーの隙間など、わずかな不連続部や欠損部があると、大気開放部から数 10cm 以上離れた位置でも酸素は十分に供給されることがわかっている³⁾。また、遊間等の狭隘部や、背面盛土等の部材裏側には未施工部

分が残り、これらも酸素の侵入経路となる。さらに、表面含浸工法では気体の侵入に対する抵抗性を有する連続した含浸層を確保することは困難であり、表面含浸材で鉄筋への酸素供給を遮断することはできない。したがって、表面被覆・含浸工法によって酸素を遮断することにより鉄筋の腐食を抑制できるのは、コンクリート内への酸素の侵入拡散経路が完全に断たれている場合に限られ、たとえばプレキャストブロックのような部材の外面全体を表面被覆できる場合、あるいは、被覆されていない部分が常時水中にあるような場合に限られる。

・水分の制御（水分コントロール）

表面被覆工法と表面含浸工法では、コンクリート内の水分の制御機能が大きく異なる。これを考慮し、水分コントロールを表す性能として、水および水蒸気の侵入に対する抵抗性と、水蒸気透過性に分けることとした。なお、表面被覆と表面含浸の使い分けに関しては、本編 2.3 においても記述しているので、参照するとよい。

コンクリート構造物の劣化機構では、鋼材の腐食、凍結融解、アルカリシリカ反応（以下、ASR）、中性化（二酸化炭素透過性）など、いずれも水分が主な劣化の要因となる。このため、コンクリート内部の水分状態をいかに制御するかが補修設計としての主要な検討事項となる。一般的には、コンクリート内部を乾燥状態に保つことが補修設計の要点となる。一方、コンクリート中の水分がほとんど移動せず、凍害の影響もない場合、内部を飽水状態に保って酸素や二酸化炭素の供給を絶つことにより塩害や中性化の進行を抑制する対策も考えられる。

表面被覆工法の塗膜に求める水分の制御に対応する性能には、水および水蒸気の侵入に対する抵抗性および水蒸気透過性がある。樹脂系の表面被覆材は、水蒸気を含めた完全な物質遮断性をめざしたものが多く、PCM 系の表面被覆材には、ある程度の水蒸気透過性を有し蒸発散を促すような品質をもたせたものもある。表面被覆工法の設計にあたっては、これらの性能の中から、劣化機構に対応するものを選定する必要がある。

表面含浸工法の含浸層に求める水分の制御に対応する性能は、水を遮断することについては同様であるが、水蒸気に関してはこれを積極的に外部へ透過させてコンクリート内の水分排出を期待するものが多い。表面含浸工法の設計にあたっては、これらの性能の中から、劣化機構に対応するものを選定する必要がある。一般に、表面含浸工法は、水の侵入に対する抵抗性は期待できるが、水蒸気の侵入に対する抵抗性は期待できない。しかし、内部に存在する水分を外部へ蒸散させられるため ASR の抑制につながる等、この特徴が有効となる場合があるため、補修対象とするコンクリート構造物の劣化機構および劣化段階を考慮して適切に設計する必要がある。シラン系表面含浸材等で乾燥状態を恒常的に維持できる場合には、塩分浸透や中性化がある程度進んだとしても（本編 5 章で解説）、水分が供給されにくいため、鋼材腐食を抑える効果が期待される。

コンクリートの内部温度が気温や表面温度よりも低いと、浸入した水蒸気が内部で結露し、コンクリートが湿潤状態を保つ状態になりやすい。コンクリート部材の設置位置や環境によっては、鉄筋位置やその内部の湿潤時間が長くなることがある。表面被覆・含浸工法の設計においては、それぞれの特徴を理解した上で、補修対象となるコンクリートの温度変化や水分の侵入経路を考慮し、水蒸気を積極的に蒸散させコンクリート内の水分を排出する工法を選定するとよい。

(3) について

解説 表-2.1.3 は、劣化機構に関わらず求める保護層の基本的な性能と特徴を示す。補修対象のコンクリート構造物に対して、表面被覆・含浸材を適切に施工するための施工性は重要な性能である。補修された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ためには、保護層自体にも耐久性が求められる。以下では、これらの性能について解説する。

解説 表-2.1.3 劣化機構に関わらず求める保護層の基本的な性能と特徴〔被・含〕

項目	塗膜（表面被覆）	含浸層（表面含浸）
施工性	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に、4工程での施工 ・施工時の温度条件によって可使時間、硬化時間および粘度等が変化 ・下地コンクリートの含水状態を調整 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に、1工程での施工 ・施工時の温度条件によって粘度等が変化（粘度が低い場合、施工方向によっては液だれや偏りが生じる恐れがある） ・下地コンクリートの含水状態を調整
耐久性	<ul style="list-style-type: none"> ・数10年程度の耐久性が見込まれる 	<ul style="list-style-type: none"> ・シラン系では少なくとも10～15年程度の耐久性が見込まれる
求める性能	<ul style="list-style-type: none"> ・付着性，耐アルカリ性，耐候性，凍結融解抵抗性 	<ul style="list-style-type: none"> ・吸水抵抗性，凍結融解抵抗性
維持管理性	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に、施工後は下地コンクリートの目視が不可能 ・既存の塗膜や含浸層に塗り重ねる場合は、既存の塗膜等と塗り重ねに用いる材料の相性をあらかじめ確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に、下地コンクリートの目視が可能 ・既存の含浸層に塗り重ねる場合は、既存の含浸層と塗り重ねに用いる材料の相性をあらかじめ確認
環境適応性	<ul style="list-style-type: none"> ・使用する材料によっては、引火点の低い有機溶剤などの保管や使用における量的な規制に該当 ・補修工事を行う現場の周辺環境や作業環境（閉鎖的な作業環境など）から必要となる事項を確認 	
美粧性 意匠性	<ul style="list-style-type: none"> ・適用することにより外観を変えることができるため、周辺景観に合わせた色彩設計が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・外観を変化させない

・施工性

表面被覆工法は、一般に、プライマー、不陸調整材（パテ）、中塗り、上塗りの4工程が必要であり、各工程で適切な施工管理が必要となる。一方、表面含浸工法は、一般に1工程で施工が完了するため、表面被覆工法よりも早期に施工が完了する。補修対象のコンクリート構造物において、施工上の支障になりうる事項、所定の施工管理が可能であるか、施工がしやすいかといった要件を確認する必要がある。なお、施工時間や施工費用と、劣化因子の遮断性能や水分の制御に対応する性能が比例するとは限らない。したがって、施工性と、劣化因子の遮断性能や水分の制御について要求される性能は独立して評価する必要がある⁴⁾。

コンクリート構造物の補修の施工は、供用中の現場において行うため、現場の温湿度や下地コンクリート温度と水分状態などの施工環境の制御が困難な場合がある。補修の施工は、春秋の他に、夏季および冬季に実施することがあり、施工時の温度は時期によって異なる。低温時には表面の結露にも留意が必要である。表面被覆工法には、樹脂やセメント等の温度変化に敏感な素材を使用することが多いことから、想定される温度条件下での可使時間、硬化時間および粘度等をあらかじめ確認しておく必要がある。表面含浸工法は、表面含浸材の粘度によっては、上向き施工もしくは横向き施工の場合に液だれや偏りなどが生じることがあるため、施工方向の影響を確認しておくことが望ましい。

解説 表-2.1.4 は、表面被覆・含浸材の施工時に求める下地コンクリートの一般的な含水状態を示す。樹脂系表面被覆材、シラン系表面含浸材およびけい酸塩系表面含浸材の固化型では、下地コンク

リートの含水状態は、一般に乾燥状態とする必要がある。一方、けい酸塩系表面含浸材の反応型では、下地コンクリートの含水状態を湿潤にすべき場合もあり、乾燥している場合には湿潤処理が求められる。PCM系の表面被覆材については、選定した表面被覆材の仕様によって、必要な含水状態は異なることが多い。このように、表面被覆・含浸材の種類によって、施工時に必要な下地コンクリートの含水状態は異なることに注意し、施工現場において実現可能な環境を踏まえて選定する必要がある。

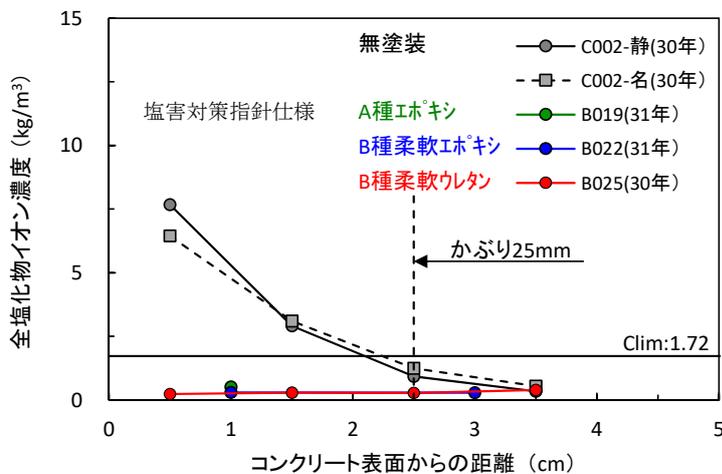
解説 表-2.1.4 表面被覆・含浸材の施工時に求める下地コンクリートの一般的な含水状態〔被・含〕

表面被覆材		表面含浸材		
樹脂系	PCM系	シラン系	けい酸塩系	
			反応型	固化型
乾燥状態	選定した材料の仕様による	乾燥状態	湿潤状態※	乾燥状態

※下地コンクリートが乾燥状態の場合には湿潤処理が必要となる。

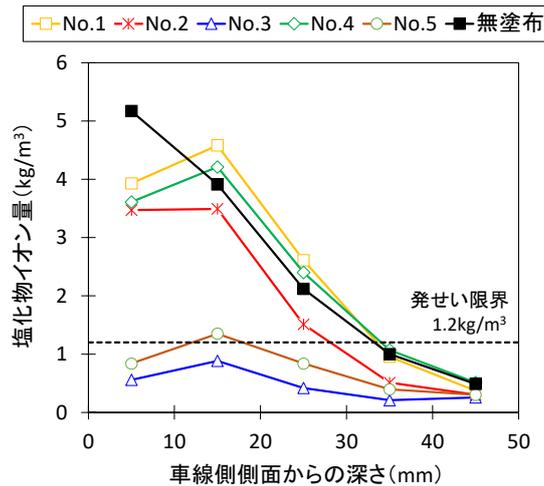
・耐久性

表面被覆工法は塗膜によりその性能を確保するため、適切に施工し、塗膜に変状が生じなければ一般に数10年の耐久性は期待できる。例えば、解説 図-2.1.3 に示すように、樹脂系の表面被覆工法で30年以上の塩化物イオン遮断性能を確認した事例もある⁵⁾。

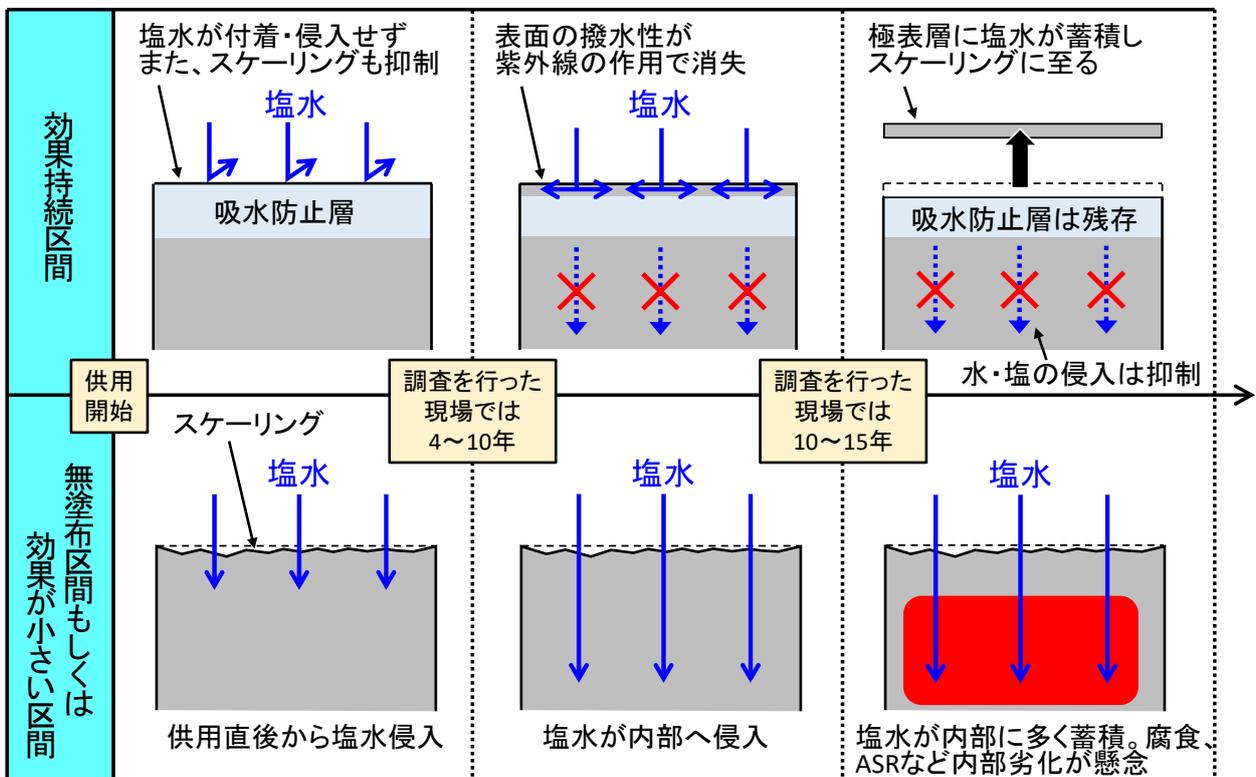


解説 図-2.1.3 表面被覆工法の塩化物イオン遮断性能〔被〕⁵⁾

表面含浸工法は、耐久性に関するデータは少ないものの、例えば、シラン系表面含浸工法では、解説 図-2.1.4 (No.1~5は使用した製品名) に示すように、凍結防止剤が散布される寒冷地の道路橋の地覆に5種類のシラン系表面含浸材を塗布し、塗布から15年間調査を行い、製品によって傾向は異なるが、効果の高い製品を適切に施工した場合、紫外線の経年作用に起因する表面撥水機能の低下による水分付着と、厳しい凍結融解を受け続けた影響によるスケーリングは確認されたものの⁶⁾、コンクリート表層に形成された含浸層(吸水防止層)は15年経過しても基本的に消失せず残存し、塩化物イオンの侵入量や侵入速度を抑える効果が実証された事例もある⁷⁾。解説 図-2.1.5は、寒冷地の道路橋地覆での15年間の追跡調査で確認された経年変化をまとめたものである。スケーリングについては、塗布後数年間は撥水作用によって抑制が期待されるが、経年すると紫外線による表面の撥水機能の低



解説 図-2.1.4 シラン系表面含浸材を塗布した寒冷地の道路橋地覆における塗布 15 年後の塩化物イオン量調査結果〔含〕⁷⁾から作成



解説 図-2.1.5 シラン系表面含浸材を塗布した寒冷地の道路橋地覆での 15 年間の追跡調査で確認された経年変化〔含〕⁷⁾から作成

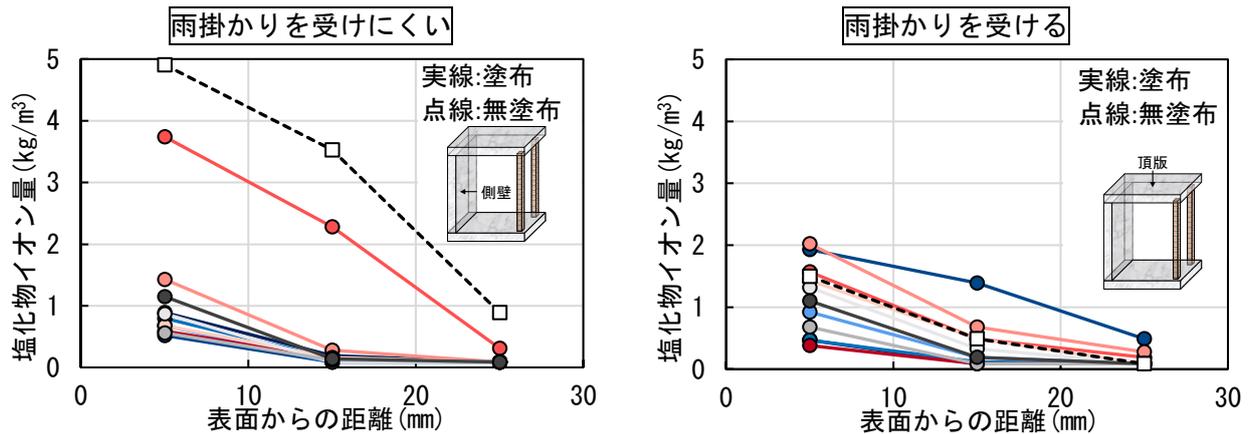
下等の影響でスケールリングが進行することもある。吸水防止層については、15 年を経ても残存するため水分浸入による劣化の抑制は期待できる一方、スケールリングを抑えるには撥水を持続させるため、紫外線抵抗性の高いシラン系表面含浸材製品の適用や、定期的な再塗布を検討することも望ましい。

工法の選定にあたっては、補修対象のコンクリート構造物を供用する期間および保護層の耐久性を考慮する必要がある。保護層には、解説 表-2.1.5 に示すように、付着性、耐アルカリ性、耐候性および凍結融解抵抗性が求められる。解説 図-2.1.6 は、11 種類のシラン系表面含浸材を使用し、新潟県沿岸部で行ったコンクリート暴露実験 5 年目の結果を示している。雨掛かりを受けにくい場合、塗布

解説 表-2.1.5 保護層に求める性能〔被・含〕

		塗膜（表面被覆）	含浸層（表面含浸）
項目	補修後のコンクリート部材としての耐久性に関わる項目	各種劣化因子*遮断性, 耐アルカリ性, 耐候性, 凍結融解抵抗性	塩化物イオン侵入抵抗性, 吸水・透水抵抗性, 凍結融解抵抗性
	補修材料自体の耐久性に関わる項目	付着性, ひび割れ追従性	含浸深さ（含浸性状）, ひび割れ充填性（けい酸塩系）

※) 塩化物イオン, 二酸化炭素, 水, 水蒸気など



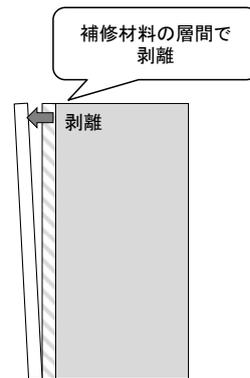
解説 図-2.1.6 新潟県沿岸部での暴露5年目のシリル系表面含浸材塗布コンクリートの塩化物イオン量の測定結果〔含〕⁴⁾から作成

した方が塩化物イオン量は小さくなっている。これに対し、雨掛かりを受ける場合、複数の種類において、塗布したコンクリートと無塗布コンクリートの塩化物イオン量が同程度となっている。これらのコンクリート表面はいずれも骨材が見えている状態にあり、紫外線劣化によって吸水抑制機能が低下し、冬季の凍結融解によって表面がスケールリングして吸水防止層の一部が消失する等、効果が低下した可能性がある。このように、保護層は、風雨、下地コンクリートからのアルカリ作用および紫外線等を受けるため、設計においてはそれらに対してどの程度の抵抗性が求められるかを確認しておく必要がある。特に寒冷地において表面被覆材（特にPCM系）や表面含浸材を使用する場合は、凍結融解抵抗性について確認しておく必要がある。

・維持管理性

表面被覆工法は、一般に、施工後は下地コンクリートを目視で確認できないため、劣化の進行がとくに懸念される場合においては、補修後の点検方法を検討した上で選定する必要がある。一方、表面含浸工法は、一般に、外観の変化は無いもしくはわずかな（濡れ色を呈する程度の）変化であるため、施工後にも下地コンクリートの目視が可能である。

表面被覆・含浸工法は、既設の補修材料が施工されているコンクリートへの塗り重ねとして適用される場合がある。また、補修する構造物が将来再補修される場合も考えられる。過去にシラン系表面含浸材が塗布されたが劣化している、あるいは保護層の形成が不十分で、水の浸入に対する抵抗性の向上効果が発揮されていない場合、再塗布することで性能回復を図ることができる⁴⁾。ただし、塗り重ねる場合は、既存の塗膜もしくは含浸層と塗り重ねに用いる材料の相性をあらかじめ確認しておく必要がある。相性によっては、既存の塗膜と塗り重ねた塗膜の剥離（解説 図-2.1.7）や、期待した含浸性が得られない場合がある。



解説 図-2.1.7 塗り重ねた新設塗膜の
既設塗膜からの剥離〔被〕

・環境適応性

表面被覆・含浸材によっては、引火点の低い有機溶剤などの保管や使用における量的な規制に該当するものがある。補修材料が該当しない場合でも、希釈剤や工具類の洗浄剤がこれに該当する場合もある。表面被覆工法では、表面含浸工法よりも使用する材料の種類が多くなることもあり、安全管理に十分注意する必要がある。補修工事を行う現場の周辺環境や作業環境（閉鎖的な作業環境など）から必要となる事項をよく整理しておく。

・美粧性、意匠性

コンクリート構造物が置かれる地点や利用形態により、美観や意匠の確保が重要となる場合がある。表面被覆工法は、適用することにより外観を変えることができるため、周辺景観に合わせた色彩設計が可能である。一方、表面含浸工法は、外観を変化させないことが多く、外観を維持したまま補修できる。

補修が必要となる箇所は、雨水や漏水等の影響を受けることが多く、カビや苔の発生、劣化によるひび割れ、滲出物等によって外観が大きく変化することもある。補修の設計においては、施工直後の外観だけでなく、供用中における外観変化への考慮が必要になる場合がある。

2.2 表面被覆・含浸材の品質

表面被覆・含浸材は、劣化機構に応じて選定される表面被覆・含浸工法に適用可能なもの、ならびに、劣化機構に関わらず求める表面被覆・含浸材の基本的な性能を考慮して、適切な品質を有するものを選定しなければならない。

【解説】

表面被覆・含浸材の品質は、次の項目について確認する。

(1) 劣化機構に応じて求める品質

1-1) 表面被覆材 1-2) 表面含浸材

(2) 劣化機構に関わらず求める基本的な品質

2-1) 表面被覆材 2-2) 表面含浸材

劣化機構に応じて選定される性能は、2.1 補修に求める性能で述べたように、塩化物イオンの侵入に対する抵抗性、二酸化炭素の侵入に対する抵抗性、酸素の侵入に対する抵抗性、ひび割れ追従性、水の侵入に対する抵抗性、水蒸気の侵入に対する抵抗性および水蒸気透過性がある。補修方針にもとづいて設定される補修対象部位に求められる性能を満足する品質の表面被覆・含浸材を選定する。表面被覆・含浸材の品質は、求められる品質と対応する適切な試験方法で評価する必要がある。

表面被覆・含浸材には、劣化機構に関わらず求められる基本的な性能があり、まず表面被覆・含浸工法を現場で適切に施工するための施工性を確認する。そして、保護層の性能を供用する期間にわたり確保するための、付着性、耐アルカリ性、耐候性、凍結融解抵抗性を確認する必要がある。また、維持管理性、環境適応性、美粧性もしくは意匠性についても確認する。

(1) 劣化機構に応じて求める品質

1-1) 表面被覆材

劣化機構に応じて選定される表面被覆材に求める品質は、解説 表-2.2.1 に示される通りであり、それぞれの品質の項目に対して評価方法と評価基準が設定される。解説 表-2.2.1 には、主な劣化（塩害、凍害、ASR、中性化等）への対策に用いる表面被覆材に求める品質とその評価方法を示す。

・塩化物イオンの侵入に対する抵抗性

塩化物イオンの侵入に対する抵抗性は、塩化物イオン透過量により評価することとした。評価方法は、附属資料 E 表面被覆材の塩化物イオン遮蔽性試験方法（案） 3.1 表面被覆材の品質確認とする。評価基準は、腐食環境が厳しい場合に $1 \times 10^{-3} \text{ mg}/(\text{日} \cdot \text{cm}^2)$ 以下、その他の場合に $1 \times 10^{-2} \text{ mg}/(\text{日} \cdot \text{cm}^2)$ とする。

・二酸化炭素の侵入に対する抵抗性、酸素の侵入に対する抵抗性

これらの品質の評価方法は、JIS もしくは土木学会の規準に従うこととした。評価基準については、

解説 表-2.2.1 表面被覆材に求める品質とその評価方法〔被〕

品質	劣化機構				評価項目	評価方法	評価基準
	塩害	凍害	ASR	中性化			
塩化物イオンの侵入に対する抵抗性	◎	△	△	△	塩化物イオン透過量	附属資料 E 表面被覆材の塩化物イオン遮蔽性試験方法 (案)	腐食環境が厳しい場合： 1×10 ⁻³ mg/(日・cm ²)以下， その他の場合：1×10 ⁻² mg/(日・cm ²)以下
二酸化炭素の侵入に対する抵抗性				◎	中性化深さ	JIS A 1153	無塗布の場合と比較して効果があること
ひび割れ追従性	○	○	○	○	塗膜の伸び	鋼道路橋防食便覧 コンクリート塗装材料の品質試験方法，もしくは JSCE-K 532	鋼道路橋防食便覧 ⁸⁾ コンクリート塗装： 高追従型 4%以上， 低追従型 1%以上 JSCE-K 532： 高追従型 0.40mm 以上， 低追従型 0.15mm 以上
水の浸入に対する抵抗性	○	◎	◎	○	透水量	JIS A 6909 7.12 B 法	20mL/(m ² ・日)以下
水蒸気の浸入に対する抵抗性		△	△	△	透湿量	JIS A 1171 7.11	5g/(m ² ・日)以下
水蒸気透過性		△	△	△			15g/(m ² ・日)より大きいこと

◎：主として必要なもの，○：副次的に必要なもの，△：場合により必要となるもの

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) [工種別マニュアル編]¹⁾等の既存の指針を参考に，材料の系統に応じた適切な評価基準を設定するとよい。

二酸化炭素の侵入に対する抵抗性は，中性化深さにより評価することとした。評価方法は，JIS A 1153 とする。評価基準は，無塗布の場合と比較して効果があることを確認することとした。寸法が100×100×100mm の供試体の一面に表面被覆材を塗布し，促進中性化試験後に供試体中央部を割裂して表面被覆材塗布面の中性化深さを測定することとする。なお，供試体に用いる基材の中性化深さを事前に測定し，中性化が生じていないことを確認しておく必要がある。

酸素の侵入に対する抵抗性は，2.1 補修に求める性能の(2)で述べたようにコンクリート部材の外表面全てを完全に被覆できる場合のみに必要となる品質であるため解説 表-2.2.1 には記載していないが，JSCE-K 521 の酸素透過量で評価できる。

・ひび割れ追従性

ひび割れ追従性は，塗膜の伸びにより評価することとした。評価方法は，鋼道路橋防食便覧⁸⁾におけるコンクリート塗装材料の品質試験方法もしくは JSCE-K 532 とする。前者を用いた場合の評価基準は，高追従型 4%以上，低追従型 1%以上とする。後者を用いた場合の評価基準は，高追従型 0.40mm 以上，低追従型 0.15mm 以上とする。

・水の浸入に対する抵抗性

水の浸入に対する抵抗性は、透水量により評価することとした。評価方法は、JIS A 6909 7.12 とする。評価基準は、20mL/(m²・日)以下とする。

・水蒸気の浸入に対する抵抗性もしくは水蒸気透過性

補修設計の方針によって水分コントロールの方策が異なり、水蒸気を含めて浸入を完全に防ぐ場合と、内部の水分を水蒸気として排出する場合がある。その方針に応じて、水蒸気の浸入に対する抵抗性もしくは水蒸気透過性を、透湿量により評価することとした。評価方法は、JIS A1171 7.11 とする。評価基準は、水蒸気の浸入に対する抵抗性を求める場合には 5g/(m²・日)以下、水蒸気透過性を求める場合には 15g/(m²・日)以上とした。

1-2) 表面含浸材

劣化機構に応じて表面含浸材に求められる品質は、それぞれの品質項目に対して評価方法と評価基準が設定される。解説 表-2.2.2 には、主な劣化（塩害、凍害、ASR）への対策に用いる表面含浸材に求める品質とその評価方法を示す。

表面含浸材は、施工面の下地コンクリートの品質によってその効果が左右される。補修が必要となるコンクリートは劣化が進行し、新設時の品質とは異なる場合がある。また、締固め不足や打ち継ぎの不良等が要因で下地コンクリートの品質が低下していることもある。以下に示す表面含浸材に求める品質は、表面含浸材を塗布していない供試体（無塗布供試体）との相対値で評価されるため、下地コンクリートの品質によって表面含浸材の効果が異なる場合がある。したがって、表面含浸材の品質は、補修対象のコンクリート構造物での試験施工、あるいはその品質を想定した供試体で評価することが望ましい。

解説 表-2.2.2 表面含浸材に求める品質とその評価方法〔含〕

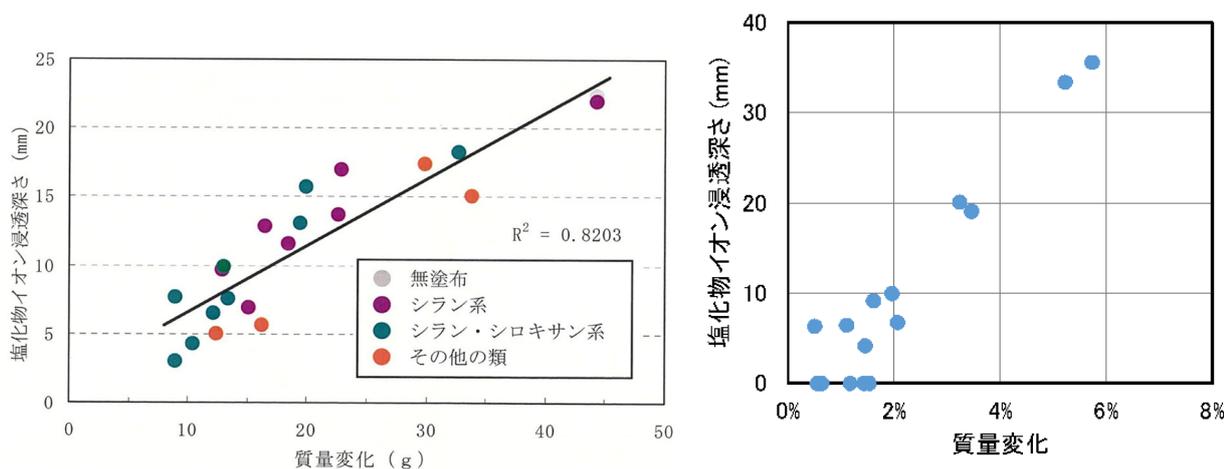
品質	劣化機構			評価項目	評価方法	評価基準
	塩害	凍害	ASR			
塩化物イオンの侵入に対する抵抗性	◎	△	△	塩化物イオン浸透深さ	JSCE-K 571,572	無塗布の場合よりも塩化物イオン浸透深さが小さいこと
水の浸入に対する抵抗性	○	◎	◎	吸水率	JSCE-K 571,572	無塗布の場合よりも吸水率が小さいこと
水蒸気透過性			◎	透湿量	JSCE-K 571,572	無塗布の場合と比較して適切な透湿量であること

◎：主として必要なもの、○：副次的に必要なもの

・塩化物イオンの侵入に対する抵抗性

塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の評価方法は、土木学会の規準に従うこととした。評価基準については、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）[工種別マニュアル編]¹⁾、および、コンクリートライブラリー137 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）²⁾を参考に、材料の系統および劣化機構に応じた適切な評価基準を設定するとよい。

また、塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の簡易な評価方法として、**附属資料 F** に規定する表面含浸材の性能評価試験を採用してもよい。この場合の評価基準は、浸漬 30 日の質量変化率で 0.3%以下である⁸⁾。なお、**解説 図-2.2.1**に示すように、塩化物イオンの侵入に対する抵抗性は、コンクリートの吸水性（図では塩水浸漬によるコンクリートの質量変化で表示）との相関関係が確認されており、塩化物イオンの侵入に対する抵抗性を、吸水性からおおよそ把握する際は参考にする^{9), 10)}。



a)表面含浸材 21 製品の試験結果⁹⁾

b)下地品質と表面保護材を組合せた試験結果¹⁰⁾

解説 図-2.2.1 塩水浸漬によるコンクリートの質量変化と塩化物イオン浸透深さの関係〔含〕^{9), 10)}

・水の侵入に対する抵抗性，水蒸気透過性

これらの性能の評価方法は、土木学会の規準に従うこととした。評価基準については、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）[工種別マニュアル編]¹⁾，および、コンクリートライブラリー137 けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）²⁾を参考に、材料の系統および劣化機構に応じた適切な評価基準を設定するとよい。

（2）劣化機構に関わらず求める基本的な品質

2-1) 表面被覆材

解説 表-2.2.3 は、劣化機構に関わらず表面被覆材に求める基本的な品質を示す。以下では、各項目について解説する。

・施工性

施工性に関する表面被覆材の品質の項目としては、可使時間，硬化時間および粘度等がある。これらの品質については、材料製造者が事前に性能試験を行って得られた試験成績表等によって確認するのがよい。また、想定される施工時の温度等の条件で、試験成績表等に示される性能が発揮されるかを、材料製造業者の作業標準等が示す時間の目安をもとに事前に確認する必要がある。温度条件で硬化速度が異なるものは、夏用や冬用等といったものが用意されている場合が多く、想定される温度条件に適したものを選定する。

解説 表-2.2.3 表面被覆材に求める基本的な品質の項目〔被〕

要求性能に関連する項目	表面被覆材の品質の項目	品質確認方法と留意点
施工性	可使時間, 硬化時間, 粘度等	<ul style="list-style-type: none"> 材料製造者が事前に性能試験を行って得られた試験成績表等によってその性能を確認 想定される施工時の温湿度等の条件が, 試験成績表等に示される適合しているかを事前に確認
付着性 ^{※1,※2}	付着強さおよび破壊状態	<ul style="list-style-type: none"> 附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法(案)プルオフ法により, 1.0N/mm²以上および界面破壊がないことを確認
耐アルカリ性	塗膜の健全性	<ul style="list-style-type: none"> 鋼道路橋防食便覧⁸⁾ コンクリート塗装材料の品質試験方法により, 飽和水酸化カルシウム溶液に 30 日浸漬後, 塗膜に膨れ, 割れ, 剥がれ, 軟化および溶出がないことを確認
耐候性	塗膜の健全性	<ul style="list-style-type: none"> JIS K 5600 により, 促進耐候性試験を 300 時間行ったのち, 白亜化がほとんどなく, 塗膜に割れや剥がれがないことを確認
凍結融解抵抗性 ^{※3}	塗膜の健全性	<ul style="list-style-type: none"> JIS A 6909 7.11 (温冷繰り返し試験) により, 膨れ, 割れ, 剥がれがないことを確認
維持管理性	下地コンクリートを目視できること, 塗り重ね性等	<ul style="list-style-type: none"> 施工後に下地コンクリートを目視できない材料を使用する場合はこれを考慮して工法を選定する必要がある 既設の保護層の上に新たな表面被覆材を塗布する場合はそれらの付着性(相性)を確認しておく必要がある
環境適応性	有機溶剂量, 廃棄物量等	<ul style="list-style-type: none"> 材料製造者が提供する SDS (安全データシート) によって確認
美粧性, 意匠性	色差, 汚れ除去性等	<ul style="list-style-type: none"> 表面被覆材は, 着色や意匠表現も可能であり, 補修対象のコンクリート構造物の周辺環境と調和するような色を選定するとよい

※1 補修対象構造物の下地コンクリートの品質が劣化している場合は, その品質を想定した下地コンクリートを用いて付着性を確認することが望ましい。

※2 補修対象構造物の下地コンクリートの含水状態が高いことが想定される場合は, その含水状態を想定した下地コンクリートを用いて付着性を確認することが望ましい。

※3 凍結融解作用を受けることが想定される場合

・付着性

下地コンクリートとの付着性は, 付着強さおよび破壊状態により評価する。評価方法は, 附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法(案)プルオフ法とする。評価基準については, 付着強さ 1.0 N/mm²以上および被覆材と下地コンクリート間の界面破壊でないことを満たすこととした。界面破壊が生じた場合, 潜在的に表面被覆材に変状が生じる恐れがあるため, これを評価基準として設定している。付着性試験に用いる基板には, JIS 普通平板を用いることを標準とした。ただし, 補修対象構造物の下地コンクリートの品質が劣化している場合は, 現場での試験施工や, その品質を想定した下地コンクリートを用いて付着性を確認することが望ましい。また, 補修対象構造物の下地コンクリートの含水状態管理が困難であることが想定される場合は, その含水状態を想定した下地コンクリートを用いて付着性を確認することが望ましい。

・耐アルカリ性

耐アルカリ性は, 塗膜の健全性により評価する。評価方法は, 鋼道路橋防食便覧⁸⁾ コンクリート塗装材料の品質試験方法により, 飽和水酸化カルシウム水溶液に 30 日間浸漬後に外観を評価するものとした。評価基準は「水酸化カルシウムの飽和溶液に 30 日浸漬後, 塗膜に膨れ, 割れ, 剥がれ, 軟化および溶出がないこと」とした。

・耐候性

耐候性は、塗膜の健全性により評価する。評価方法は JIS K 5600 とし、評価基準は「促進耐候性試験を 300 時間行ったのち、白亜化がほとんどなく、塗膜に割れや剥がれがないこと」とした。

・凍結融解抵抗性

凍結融解抵抗性は、凍結融解による作用を受けることが想定される場合に必要な品質であり、塗膜の健全性により評価する。評価方法は JIS A 6909 7.11 とし、評価基準は「膨れ、割れ、剥がれがないこと」とした。

・維持管理性

表面被覆材の塗布後は、一般に下地コンクリートの目視が困難になるため、これを考慮して工法を選択する必要がある。表面被覆材の再塗装に当たり、既設の表面被覆材や含浸層の上に新たな表面被覆材を塗布する場合は、それらの付着性（相性）を確認しておく必要がある。

・環境適応性

環境適応性に関する表面被覆材の品質の項目としては、有機溶剂量および廃棄物量等がある。これらの品質については、材料製造者が提供する SDS（安全データシート）を確認するのがよい。

・美粧性，意匠性

美粧性や意匠性の品質の項目としては、色差や汚れ除去性がある。表面被覆材は、着色や意匠表現も可能である。表面被覆材を選定する場合には、補修対象のコンクリート構造物の周辺環境と調和するような色を選定するとよい。

2-2) 表面含浸材

解説 表-2.2.4 は、劣化機構に関わらず表面含浸材に求める基本的な品質を示す。以下では、各項目について解説する。

・施工性

施工性に関する表面含浸材の品質の項目としては、粘度や含浸性等がある。これらの品質については、材料製造者が事前に性能試験を行って得られた試験成績表等によって確認するのがよい。なお、シラン系表面含浸材の含浸性について、解説 表-2.2.5 に示すように、道路構造物の管理者が現場へ適用する材料の選定のため（出来高の管理基準ではない）規格値を設定している場合もある。

また、施工時に想定される下地コンクリートの温度や水分状態、施工方向において、試験成績表等 に示される性能が発揮されるかを事前に確認する必要がある。必要に応じて、附属資料 G によっておおよその含浸状況を確認してもよい。

解説 表-2.2.4 表面含浸材に求める基本的な品質の項目〔含〕

要求性能に関連する項目	表面含浸材の品質の項目	品質確認方法と留意点
施工性	粘度等	<ul style="list-style-type: none"> 材料製造者が事前に性能試験を行って得られた試験成績表等によってその性能を確認 施工時に想定される温度や施工方向において、試験成績表等に表示される性能が発揮されるかを事前に確認
	含浸性	<ul style="list-style-type: none"> 試験成績表等によって含浸性能を確認 現場での確認に際しては、必要に応じて、附属資料 G による確認
凍結融解抵抗性*	含浸層の健全性	<ul style="list-style-type: none"> 一面凍結融解試験により、スケーリングの進行が無塗布よりも遅延傾向にあることを確認
ひび割れ充填性(けい酸塩)	ひび割れ透水抑制効果	<ul style="list-style-type: none"> JSCE-K 572 に準じたひび割れ透水性試験により、無塗布の場合と比較して透水量が小さいことを確認
維持管理性	下地コンクリートを目視できること、塗り重ね性等	<ul style="list-style-type: none"> 施工後も一般に下地コンクリートの目視が可能であるが、これが適切であるかを事前に確認 既設の含浸層の上から表面含浸材を塗布する場合は、適切な含浸性が得られるかを確認しておく必要がある
環境適応性	有機溶剂量、廃棄物量等	<ul style="list-style-type: none"> 材料製造者が提供する SDS (安全データシート) によって確認
美粧性、意匠性	色差等	<ul style="list-style-type: none"> 表面含浸材の塗布による外観の変化の程度を事前に確認

※凍結融解作用を受けることが想定される場合

解説 表-2.2.5 含浸性能に関する材料選定規格の一例(シラン系表面含浸材)〔含〕^{11), 12)}

機関名	国土交通省北海道開発局	東日本、中日本、西日本 高速道路株式会社
性能試験に使用する試料	水セメント比 55%のコンクリート	水セメント比 50%のモルタル
含浸深さの規格値	6mm 以上	4mm 以上*

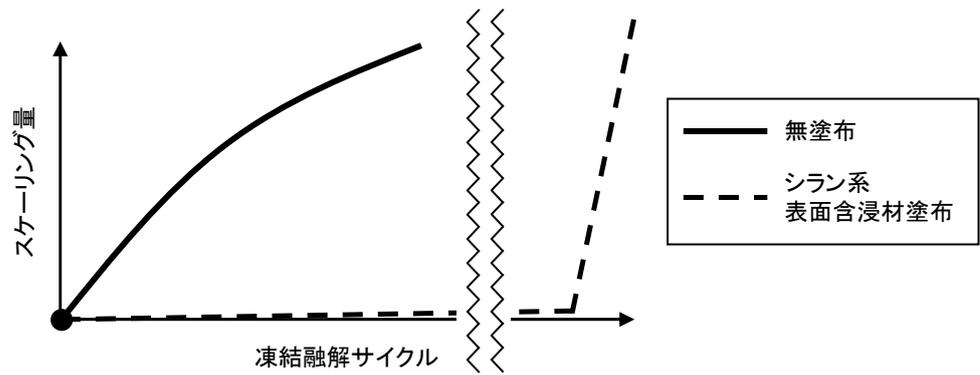
※スケーリングが懸念される地域については、別途検討した上で規格値を設定

・凍結融解抵抗性

凍結融解抵抗性は、凍結融解による作用を受けることが想定される場合に必要な品質であり、含浸層の健全性により評価する。

シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートの凍結融解試験は基準化されておらず、ASTM C 672 や RILEM CDF が準用される場合がある。一般に、シラン系表面含浸材を塗布したコンクリート表面に水を張り、実験室で一面凍結融解試験を行うと、**解説 図-2.2.2** に示すように、表面撥水および含浸層の吸水抑制作用により、試験開始からしばらくの間は極めて小さいスケーリングで推移し、塗布の効果が発揮される。

なお、凍結融解を継続して長期に与えると、ある時点で突然、スケーリングが増加に転じることがある。シラン系表面含浸材を塗布すると、細孔壁面に疎水基が固着するため吸水は抑えられるものの、完全な防水効果はない。そのため、水中浸漬下で凍結融解を与え続けると、長期的には、表面に張った水がコンクリート表層から浸透することは避けられない。この状態で凍結過程に入ると、未凍結水は細孔内を流動してエントレインドエアなど未飽和領域へ移動しようとするものの、細孔壁面に固着した疎水基が未凍結水の流動を阻害するため、圧力が高まる。これが、スケーリングが突然増加に転じる理由である¹³⁾。このため、適用部位については、スケーリングによる含浸層(吸水防止層)の消失を極力抑えるため、水の供給が止まるとすぐに乾燥が始まるような部位を基本とするのがよい。



解説 図-2.2.2 シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートの
一面凍結融解試験でよくみられる傾向〔含〕

一方、けい酸塩系表面含浸材を塗布した場合のスケーリング抵抗性は、JSCE-K 572により評価される。なお、現在のところ測定値の許容上限は設定されておらず、無塗布のコンクリートの試験結果との比較を行って性能を確認することが基本となる。

・ひび割れ充填性

けい酸塩系表面含浸材は、下地コンクリートのひび割れについてひび割れ充填性が求められる場合がある。このような場合は、JSCE-K 572に示されるひび割れ透水性試験等を参考にひび割れ充填性を評価するとよい。

・維持管理性

表面含浸材の塗布後、下地コンクリートの目視が可能であるがを事前に確認しておく必要がある。表面含浸材の再塗布に当たり、既設の含浸層の上から表面含浸材を塗布する場合は、適切な含浸性が得られるかを確認しておく必要がある。

・環境適応性

環境適応性に関する表面含浸材の品質の項目としては、有機溶剂量および廃棄物量等がある。これらの品質については、材料製造者が提供する SDS（安全データシート）を確認するのがよい。

・美粧性，意匠性

表面含浸材の塗布による外観の変化は、一般に変化無しもしくはわずかな変化（濡れ色を呈する程度の変化）であるが、外観に及ぼす影響を事前に確認しておく必要がある。

2.3 施工範囲の設定

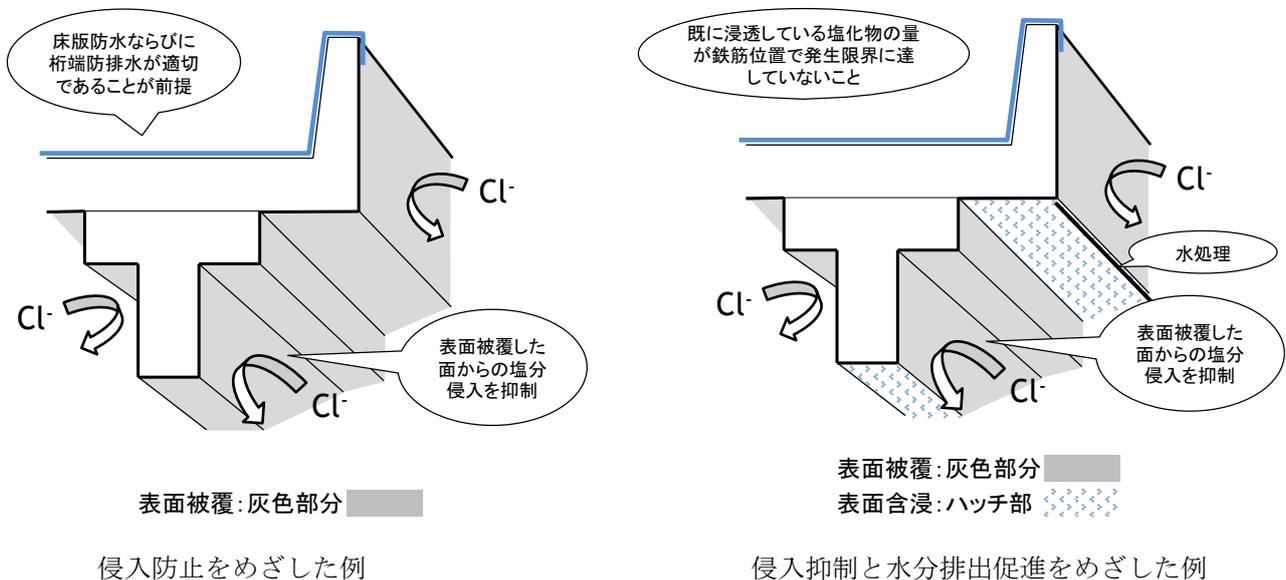
構造物の劣化状況の調査結果に基づいて、表面被覆・含浸工法の施工範囲を適切に設定しなければならない。

【解説】

表面被覆・含浸工法の施工範囲は、塩化物イオンや水分等の劣化因子の侵入が想定される全ての面とすることが望ましい。しかし、実際には劣化因子が侵入する全ての面に施工することは困難であり、表面被覆・含浸材を塗布していない部位から劣化因子が侵入する場合がある。特に、床版防水の未施工部位や欠陥部を通じて桁に塩化物イオン等の劣化因子が侵入する場合、高欄コンクリートからのまわりこみや、パラペットに面した桁端部の遊間等から劣化因子が侵入する場合があり、これらの処置が適切になされていることを確認して表面被覆・含浸工法を適用する。

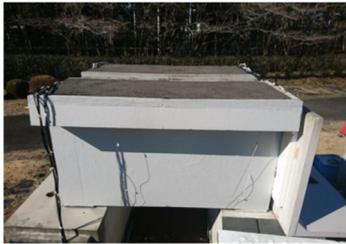
全面を被覆・含浸できない場合には、施工可能な範囲に表面被覆・含浸工法を適用した場合に、期待する補修効果が得られるかを検討する必要がある。すでに塩化物イオンが内部に浸透している構造物を補修する場合には、塩化物イオンの浸透分布を把握し、被覆・含浸施工後に再拡散があっても鉄筋位置が発せい限界を超えないことを確認したうえで適用する必要がある。発せい限界を超える塩分が存在する場合には、断面修復や電気化学的工法を用いた対策が必須である。

解説 図-2.3.1 は、床版防水ならびに桁端防排水が適切である場合において、橋梁の桁に表面被覆工法を適用することにより劣化因子の侵入を防止する方策や、侵入抑制と水分の排出促進をめざしている例を示している。コンクリート内部の水分状態は液状水や水蒸気の浸入と排出の収支であるが、コンクリートは気温とは異なる温度変化をするため、水蒸気として浸入し内部結露することにより湿潤することがある。コンクリート中の含水率は、飽和水蒸気圧の関係から季節的に変動し、冬季に高くなりやすい。



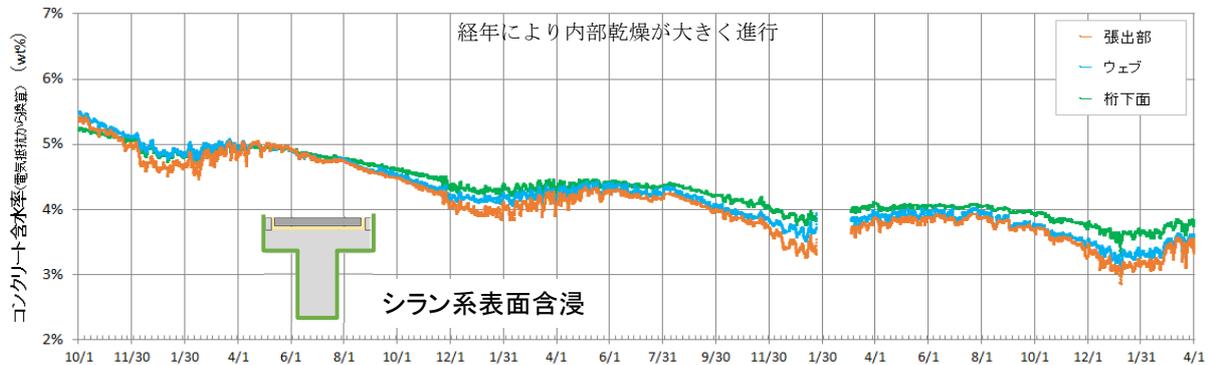
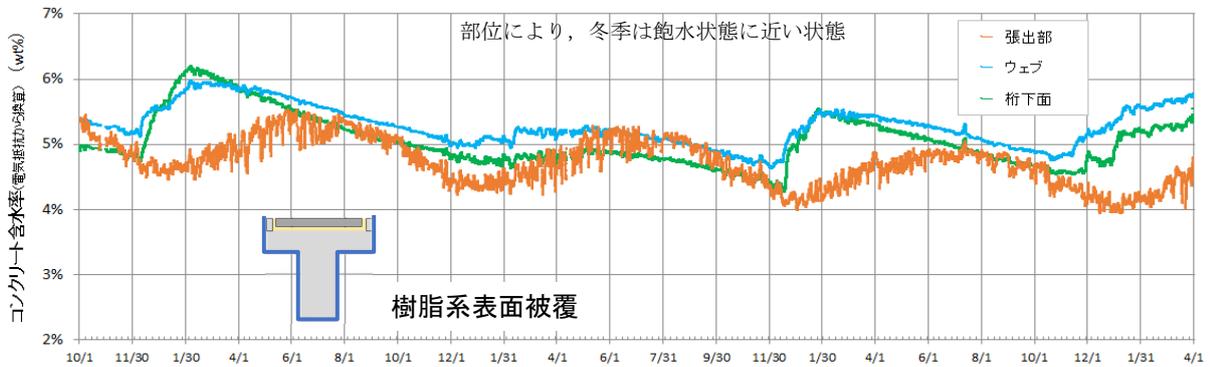
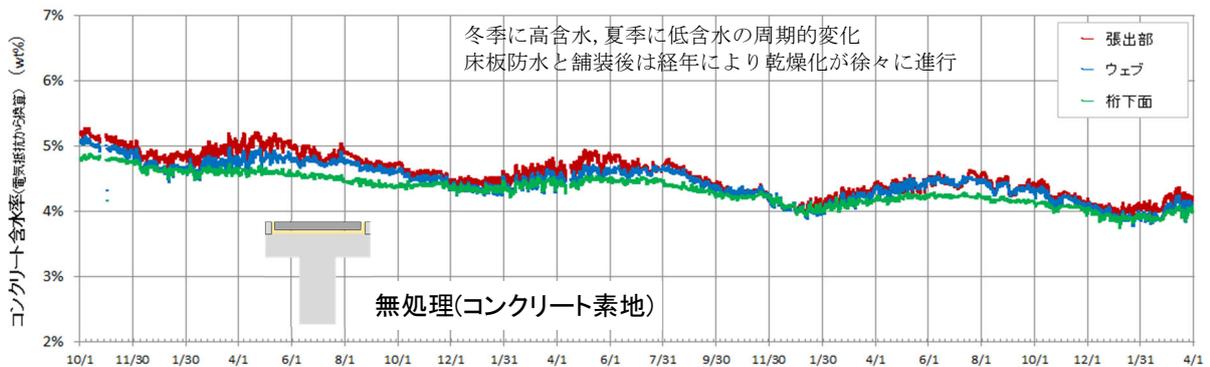
解説 図-2.3.1 水分および塩化物イオン侵入に対するコントロールの方策〔被〕

樹脂系の表面被覆では、水蒸気蒸散がほぼないため含水率が高くなりやすく、漏水がある場合にはその高含水化傾向は大きい。一方、水蒸気による水分排出機能があるシラン系表面含浸材や PCM 系の表面被覆材では、施工後の長期変動として内部を乾燥させることが期待できる（解説 図-2.3.2）¹⁴⁾。塩害、凍害、ASR の劣化対策においては、水処理を適切に行うとともに、水分コントロールに留意して材料選定と施工範囲の設定をするとよい。



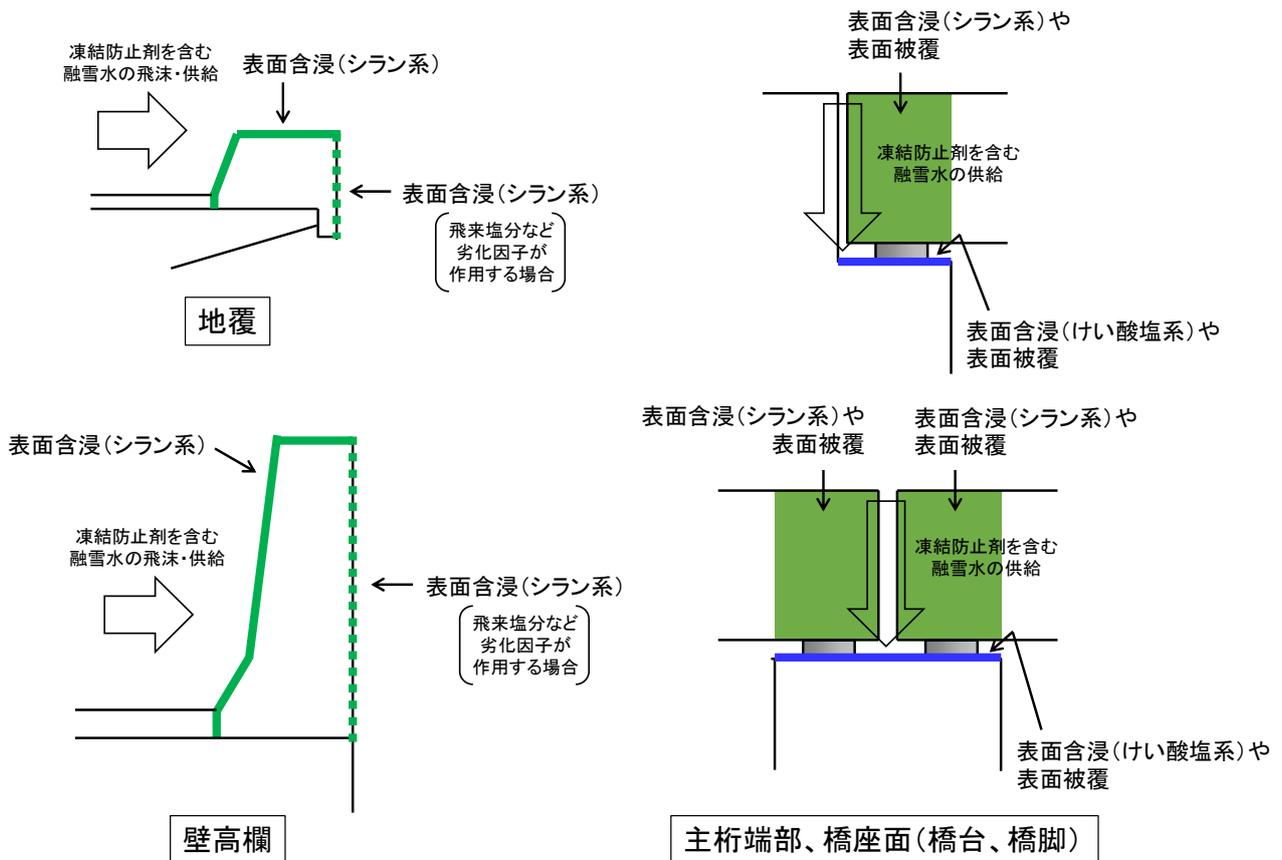
実大断面コンクリート桁による長期観測事例

- ・床板防水/舗装/表面保護工から 3.5 年間の測定結果
- ・電極プローブセンサを鉄筋かぶり深さに多数埋設
- ・PC 配合のコンクリートで飽水状態の質量含水率は 6~7%



解説 図-2.3.2 表面被覆/含浸材が異なるコンクリート桁の含水率の変化〔被・含〕¹⁴⁾

解説 図-2.3.3 は、凍結防止剤が散布される道路橋での劣化因子浸（侵）入防止策の例を示している¹⁰⁾。凍結防止剤を含む融雪水の飛沫・供給を受けやすい地覆や主桁端部では、遮塩効果が比較的高いシラン系表面含浸材を適用すると、水や塩化物イオンの浸（侵）入抑制が期待できる。なお、飛来塩分などが懸念される場合、解説 図-2.3.3 に同じく、水切り部まで施工することが望ましい。橋台や橋脚の橋座面は、桁間等から流れ落ちる路面融雪水の供給を受ける場合があるが、水分が滞留しやすく、解説 図-2.2.2 で述べたように、シラン系表面含浸材ではスケーリングが懸念される。このような部位では、細孔の充填，組織の緻密化が図られるけい酸塩系表面含浸材などの適用を検討するとよい。状況によっては表面被覆材の適用も検討することが望ましい。



解説 図-2.3.3 凍結防止剤が散布される道路橋での劣化因子浸（侵）入防止策の例〔被・含〕¹¹⁾から作成

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.4
- 2) 土木学会：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案），コンクリートライブラリー137，2012.7
- 3) 佐々木徹，加藤智丈，熊谷慎祐，櫻庭浩樹，西崎到：表面被覆の施工範囲が塩害環境における鉄筋の腐食状態に与える影響，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，Vol.16，pp.177-182，2016.10
- 4) NETIS 新技術提供システム：施工性の良好なコンクリート含浸材技術(塩害対策)，<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubtheme/themesettings>
- 5) 土木研究所，プレストレスト・コンクリート建設業協会：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書－暴露期間 30 年の調査報告，2016.3
- 6) 遠藤裕丈，島多昭典：寒冷環境下における約 10 年間のシラン系表面含浸材の効果に関する追跡調査，第 58 回（平成 26 年度）北海道開発技術研究発表会，2015.2
- 7) 遠藤裕丈，安中新太郎，丹羽敏和：シラン系表面含浸材の試験施工を行った美幌橋地覆コンクリートでの追跡調査 15 年目の評価，第 63 回（令和元年度）北海道開発技術研究発表会発表概要集，2020.2
- 8) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，2014.5
- 9) 土木研究所：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－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－，付属資料-2 浸透性コンクリート保護材の性能基準（暫定案），土木研究所資料第 4186 号，2011.1
- 10) 佐々木徹，新田弘之，西崎到：表面保護材料の遮塩性評価における試験条件の基礎的研究，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，Vol.21，pp.249-254，2021.10
- 11) 北海道開発局：北海道開発局道路設計要領，第 3 集，第 2 編，参考資料 B
- 12) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領
- 13) 遠藤裕丈，田口史雄，宮本修司，村中智幸，後藤浩之，林大介，坂田昇，名和豊春：シラン系表面含浸材による寒地コンクリート構造物の耐久性向上効果，土木学会論文集 E2（材料・コンクリート構造），Vol.67，No.1，pp.69-88，2011.2
- 14) 佐々木徹，櫻庭浩樹，新田弘之：電気抵抗測定によるコンクリート桁内部の含水率変化と表面保護材料の影響，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，Vol.22，pp.267-272，2022.10

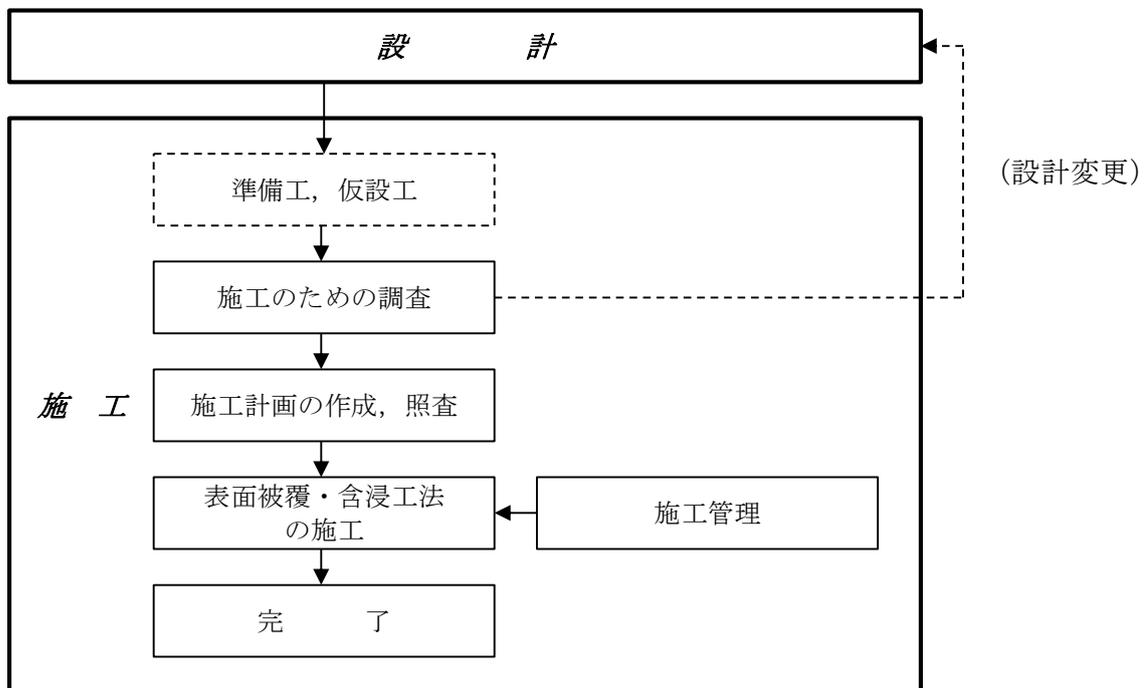
3章 表面被覆・含浸工法の施工

3.1 一般

表面被覆・含浸工法の施工は、本工法を適用する目標に基づいて定められた要求性能を満足させるために、施工のための調査を実施し、適切な施工計画を立案し、適切な施工管理のもと、実施する。

【解説】

定められた品質の保護層を形成するためには、適切な補修材料を選定するとともに、適切な施工を行う必要がある。これを実現するためには、施工のための調査による構造物の現状把握が必要不可欠であり、得られた調査結果と設計とを反映した施工計画の策定を行わなければならない。施工計画の策定にあたっては、安全性、経済性、環境への配慮を考慮しながら、余裕を持って円滑に施工ができるように施工工程を作成することが必要である。また、施工に際しては選定した補修工法（材料）ごとに定められた管理方法による施工管理を行い、保護層に定められた性能を発揮するために適切な施工を行うことが重要である。解説 図-3.1.1 に一般的な表面被覆・含浸工法の施工の流れを示す。



解説 図-3.1.1 表面被覆・含浸工法の施工フローの例〔被・含〕

3.2 施工のための調査

3.2.1 一般

(1) 表面被覆・含浸工法の施工にあたっては、事前に補修範囲について調査を行い、特に構造物の現況について設計条件との整合を確認しなければならない。

(2) 施工のための調査により、補修設計時の条件と構造物の条件とが合致しないことが明らかになった場合は、必要に応じて補修材料、補修工法、補修範囲、工期などを変更することとする。

【解説】

(1), (2) について

表面被覆・含浸工法の施工に先立ち、設計条件との整合を確認するために施工のための調査を実施する必要がある。また、施工のための調査によって設計していた補修条件で対応できないことが明らかになった場合は、補修材料や補修工法、補修範囲、また、設計の際に想定した施工工程などを見直す必要があるため、関係者間で協議を行い、補修設計を変更する必要がある。なお、施工のための調査については、**共通編 3.1 施工のための調査**に詳細が記載されているため、これを参照するとよい。

表面被覆工法の施工では、**2.1 補修に求める性能**で記したとおり、既設の補修材料を一部残して施工する場合がある。この場合、下地コンクリートの品質が適切であることを確認するとともに、場合によっては施工する補修材料と既設の補修材料の一体性についても確認することが望ましい。また、調査の結果、一体性が確保できないなど、設計と異なる状態であった場合は、適切な処置を講ずるよう設計変更を行う必要がある。

3.2.2 補修対象部位に供給される水分に関する調査

施工のために実施する現地調査では、特に気体や液体として補修対象部位に供給される水分に着目して調査する。

【解説】

補修後の再劣化に関しては、水分に起因したと考えられる変状が多く報告されている。樹脂系の補修材料でも湿潤面に対応した補修材料は存在するが、費用が高くなりがちであるため、補修設計では一般的に湿潤面に不適な補修材料が選定される傾向にある。このため、施工のために実施する現地調査では、供給される水分に注意して調査する必要がある。一方、必ずしも水分が悪い影響とならない場合がある。たとえば、断面修復材では吸水防止処理として水湿しを行う場合や、けい酸塩系表面含浸材ではあらかじめ下地コンクリートを湿潤状態にすることが推奨される場合などがある。したがって、適用する補修工法に用いる補修材料の種類によって、供給される水分に関する調査を実施するこ

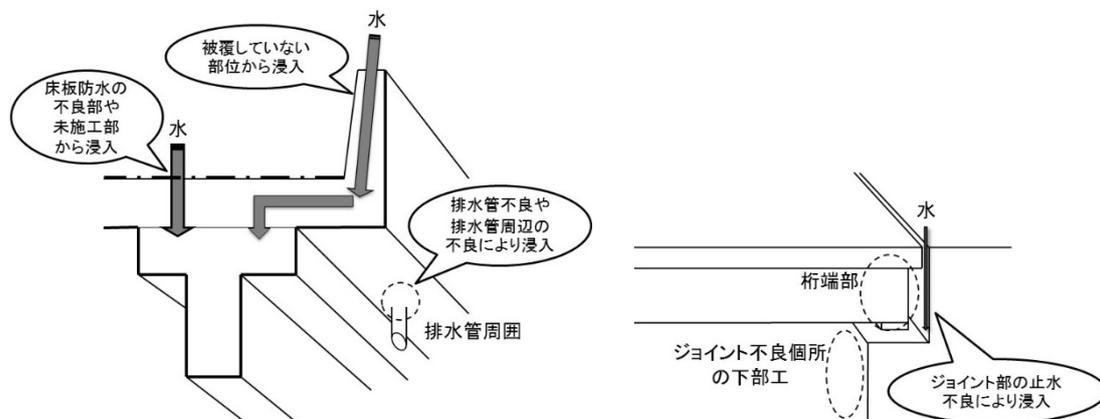
とが必要である。ただし、漏水や水掛り部など、流れのある液体としての水分は、施工した補修材料を押し流すこと等が想定されるため、適切な水処理が必要である。

水分には、気体として大気中に存在するものと液体として存在するものなどがある。気体として存在する水分が補修の施工に影響を及ぼす例としては、高湿度環境において施工する場合は挙げられる。特に、構造物が河川上に位置する場合や下地コンクリートの温度が低い状態で気温が上昇する場合（冬季の午前など）など、結露しやすい環境と想定される場合は施工管理が不十分であると、**解説 写真-3.2.1（不具合事例集 No. 7）**のように補修の施工後に不具合が発生するおそれがある。このように気体として存在する水分（水蒸気）が補修の施工に影響を及ぼすと考えられる場合は、補修の施工時に空気を循環させるなどの下地コンクリートの表面を結露させないための仮設計画の検討などが必要である。



解説 写真-3.2.1 気体の水分（水蒸気）の結露が要因となり発生した塗膜の剥離〔被〕

一方、液体として存在する水分が影響を及ぼす例としては、**解説 図-3.2.1** に示すように水掛りが想定される箇所や漏水がある箇所で施工を行う場合が挙げられ、硬化前に補修材料が水と接触すると硬化後の品質が悪くなり、所定の性能が得られないこととなる。このように水分は補修の施工に影響を与える可能性が大きいため、現地調査では特に注意して確認し、水分が補修の施工に影響を与える懸念がある場合は、適切に水処理を行う必要がある。



解説 図-3.2.1 液体の水分による変状が生じやすい箇所の例〔被〕

3.3 施工計画

(1) 施工計画は、3.2 施工のための調査で明らかになった事項や選定する補修工法の施工方法などを考慮して策定する。

(2) 策定した施工計画について、関係者間で十分に確認し、必要があれば修正、変更を行う。

【解説】

(1) について

表面被覆・含浸工法の施工では、あらかじめ定められた性能を発揮するための適切な施工が必要である。このためには適切な施工計画の策定が重要であり、設計時の思想を十分に理解したうえでいき、かつ、3.2 施工のための調査により把握した施工環境や施工条件などを反映することが重要である。また、選定した補修工法（材料）ごとに施工方法や施工管理方法などが異なる場合もあるため、これらを考慮して策定する必要がある。なお、策定した施工計画に基づき作成する施工計画書は、土木工事共通仕様書などを参考にするのがよい。

(2) について

策定した施工計画は、安全性や環境に対する影響に十分に配慮したものであり、補修工法（材料）に定められた性能を発揮するための施工が実施できるものでなければならない。したがって、施工や施工管理に関しては、本マニュアルや他の文献、および過去の施工実績などと照査するなどして、関係者間で確認することが必要である。また、施工工程は、工事中に予想される種々の変動（天候不順など）を考慮して、余裕を持って円滑に施工が実施できるものとすることが望まれる。

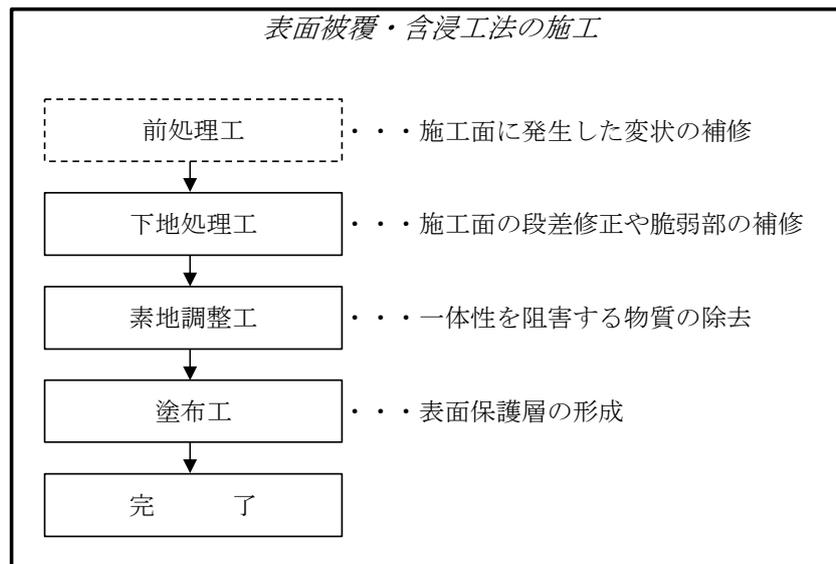
施工中において、構造物の現状が設計時に想定された状況と異なる場合や施工条件の変更を余儀なくされた場合などにおいては、関係者間で協議を行い、補修材料や施工方法などの施工計画の修正や変更を行う必要がある。この場合においても、設計思想を考慮しつつ、施工計画の修正や変更は最小限にとどめることが望ましい。

3.4 施工工程

表面被覆・含浸工法の施工は、前処理工、下地処理工、素地調整工、塗布工ごとに、各補修工法（材料）に定められた手順や仕様に基づき、適切に実施する。

【解説】

表面被覆・含浸工法の施工工程、および各工程の目的を解説 図-3.4.1 に示す。また、各工程における留意事項など詳細について、以下に記す。



解説 図-3.4.1 表面被覆・含浸工法の施工工程と各工程の目的〔被・含〕

1. 前処理工

表面被覆・含浸工法の下地コンクリートにひび割れや断面欠損などの変状がある場合、均一な保護層の形成を阻害するだけでなく、要求された性能を予定された期間保持できないおそれがある。このため、表面被覆・含浸工法の施工に先立ち、これらの変状を補修する必要がある。ひび割れ修復工法および断面修復工法に関する材料選定や施工などについては、**ひび割れ修復工法編**および**断面修復工法編**を参考にされたい。

一方、表面含浸工法に使用する表面含浸材は、コンクリートに浸透して所定の性能を付与するものである。このため、過去に補修されているコンクリート表面において、樹脂系の表面被覆材が表面に残っていると表面含浸材は浸透しない。また、PCM系表面被覆材が残っている場合においても、樹脂系の表面被覆材同様に浸透しない場合や変色する場合があります。これらが生じない場合であっても材料の含水状態や密実性によって含浸性がコンクリートに対して期待したものと異なることがある。したがって、表面含浸工法の施工において前処理が必要な場合は、事前に表面含浸材の製造会社に確認する、または試験的な施工を行うことによって確認することが望ましい。事前確認の結果、設計時に期待した効果が得られない場合などは、必要に応じて補修設計の変更について協議する必要がある。

2. 下地処理工

表面被覆工法の施工面に段差などの不陸や脆弱部などの変状がある場合、均一な保護層の形成を阻害することや要求された性能を予定された期間保持できないことが考えられる。このため、段差がある場合は、凸部を削る方法や不陸修正材（PCM系表面被覆材やパテなど）により擦り付ける方法などで施工面を平滑にする必要がある。また、脆弱部や気泡痕などの変状がある場合は、除去した後に不陸修正材により復旧し、施工面を平滑にする必要がある。なお、多少の不陸や気泡痕は表面被覆工において修正が可能である。各材料の修正可能深さについては、カタログなどを参考にして、事前に調べておくことが望ましい。

表面含浸工法に使用する表面含浸材については、前述「1.前処理工」を参照するとよい。

3. 素地調整工

下地コンクリートに付着した埃、汚れ、塩分などは表面被覆・含浸材や保護層の性能を低下させる要因となり得るため、これらを除去する必要がある。素地調整工の施工方法としては、水を使用した湿式処理方法と、ブラスト工法や動力工具工法（ディスクサンダーなど）などの乾式処理方法とがある。いずれの方法においても、周囲を汚染しないためのシート養生の設置などの周辺環境への配慮が必要であり、また、作業者に保護具を着用させるなどの安全管理を徹底する必要がある。

湿式処理方法では、水の使用により施工面が湿潤状態となるため、適用する補修工法（材料）によっては、施工面を乾燥させる必要がある。また、乾式処理方法では、粉じん等が発生するため、保護メガネ、防塵マスクなどの着用が必須である。施工面への付着については、残った粉じんを除去するなど、十分な管理が必要である。

4. 塗布工

塗布工は、はけやローラー、ヘラやコテ、噴霧機器を用いて実施する。主に補修材料の粘度が低いもの（液状）は、はけやローラー、噴霧機器を使用し、粘度が高いもの（パテ状）はヘラやコテを使用する。

一般的に保護層の形成では、表面被覆工法が複数種類の表面被覆材を塗り重ねて行うのに対して、表面含浸工法は1種類もしくは2種類の表面含浸材を塗布する。いずれの場合についても、各材料の性質を理解して、定められた施工方法で適切な施工管理のもと、施工する必要がある。特に、表面被覆工法では複数の塗膜が形成されるため、施工に際しては各表面被覆材の施工環境（温度など）に応じた塗り重ね間隔について留意するとともに、塗り重ね部への付着を阻害する物質（埃や塩分など）の付着に注意する必要がある。表面含浸工法について、シラン系表面含浸材に関しては表層へ含浸させるため、例えば乾燥状態を保つなど適切な処置が必要である。

3.5 施工管理

3.5.1 一般

確実な施工を行うため、施工計画書に則り、工程ごと、補修工法（材料）ごとに定められた管理項目を適切な方法で管理しなければならない。

【解説】

確実な施工を行うためには、適切な施工管理を実施することが重要である。また、施工管理の項目や方法は、施工計画書の作成時に計画しておく必要がある。施工管理は、要求される性能に見合う適切な品質の補修材料を用いること（材料の管理）、適切な作業環境、作業条件において施工がなされ、定められた方法で実施すること（施工状況の管理）、構造物の施工面や施工により得られた保護層の品質が適切であること（品質の管理）などについて管理しなければならない。

3.5.2 材料の管理

材料の管理では、選定した補修材料が適切な品質であることや数量、保管状況について管理することとする。

【解説】

材料の管理では、選定した補修材料が2.2に記した品質規格に適合しているかを性能証明書により補修材料の受入れ前に確認すること、また受け入れた補修材料が適切な品質であることを確認することなどが求められる。解説表-3.5.1に材料の管理に関する主な管理項目を示す。なお、補修材料に関する安全管理については、3.6 安全管理を参考にすること。

解説表-3.5.1 材料の管理に関する主な管理項目〔被・含〕

補修材料の管理項目	管理方法	頻度	判定基準
品質	品質証明書	材料ごとに受入前	設計で設定した品質規格に適合すること
	試験成績表	ロットごと	製造会社の製品規格に適合すること
	目視 使用期限	ロットごと	異物の混入などがないこと 使用期限を超えないこと
数量	出荷証明書 搬入数量	ロットごと	設計数量、注文数量が納品されていること
保管環境	目視、温湿度等	適宜	適切な保管状況であること

3.5.3 施工状況の管理

施工状況の管理では、適切な作業環境や作業工程で施工されていること、また施工計画に従って施工が進められていることを管理することとする。

【解説】

施工状況の管理における管理項目は、作業環境と作業工程とに分類される。両者とも重要であるが、作業環境に関する管理項目については十分注意して管理しなければならない。たとえば、要求された性能を満たす補修材料であっても、不適切な作業環境で施工がなされた場合、設計時に設定された補修材料の性能を保持する期間が短くなることや、補修後に劣化が生じることとなる。また、作業工程では、工程の進捗に遅れが生じていないかを計画工程表に照らし合わせて管理することが必要である。

選定する補修材料（工法）により管理項目などは異なる場合がある。けい酸塩系表面含浸材を用いた表面含浸工法では、施工に先立ち、下地コンクリート表面の湿潤化が必要な場合がある。この際、管理項目として含水状態を選択し、下地コンクリートの表面を乾燥させる管理を実施すると、誤った施工方法となり、期待する性能が発揮されないこととなる。したがって、選定した補修材料（工法）

解説 表-3.5.2 補修工法による必要な管理項目の例〔被・含〕※1

管理項目		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	○	○	○	○
	含水状態 (コンクリート面)	○	△※2	○	△※2
	照度	○	○	○	○
	養生環境, 時間	○	○	○	○
作業工程	施工数量	○	○	○	○
	施工工程の進捗	○	○	○	○
	下地コンクリート表面の 状態	○	△※3	○	△※3
	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	○	○	○	○

※1 適否 ○：必要，△：選定した補修材料の種類に応じて判断

※2 ポリマーセメントモルタル系被覆材やけい酸塩系表面含浸材では，下地コンクリートが湿潤であった方がよい場合がある。

※3 ポリマーセメントモルタル系被覆材やけい酸塩系表面含浸材では，塗り重ねを行わない場合がある。

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。解説 表-3.5.2 に補修工法による必要な管理項目の例，解説 表-3.5.3 に作業環境に関する主な管理項目，解説 表-3.5.4 に作業工程に関する主な管理項目をそれぞれ示す。

作業環境の管理

・気象条件

補修の施工で使用する樹脂系の補修材料は，一般的に水分と接触すると硬化不良などの不具合が生じる。また，補修材料全般において，雨や雪が補修材料の硬化前に当たると流されるおそれがある。したがって，これらの影響を直接受けないようにすることが求められる。さらに，風が強い条件では，補修材料の硬化前に埃やごみなどが付着する懸念が高くなって硬化後の外観を損ねる可能性があり，補修材料の塗り重ねを行う場合では付着を阻害する要因となる。したがって，このような環境での施工は避ける必要がある。

温度について，一般に補修材料は温度が低くなると硬化が遅くなり，温度が高くなると硬化が速くなる。特に温度が 5℃を下回る場合や 40℃を上回る場合にはこれらの現象が顕著となる。温度が 5～40℃の範囲から外れる場合は施工を避けるのが原則であるが，適用が可能な補修材料を選定することや仮設機械などにより施工範囲の温度を調整するなどの対策を講じる対応も考えられる。湿度については，高湿度となると下地コンクリートや塗り重ね面が結露するなどにより，施工した補修材料の美観を損なう恐れがあるため，仮設機械を用いて乾燥した空気を循環させるなどの対策が必要となる。

解説 表-3.5.3 施工状況の管理（作業環境）に関する主な管理項目〔被・含〕※1

管理項目		管理方法	判定基準
気象条件	天候	目視など	雨や雪などの影響を直接受けにくいこと
	風	風速計など	強くないこと (参考, 5m/s 以下 ¹⁾)
	温度	温度計	5°Cから 40°Cの範囲であること
	湿度	湿度計	85%未満であること
照度		目視など	十分な照度があること
下地コンクリートの表面状態	粉じん等	目視など	多くないこと
	付着塩分量※2	ガーゼ拭きとり法など	多くないこと (参考, 100mg/m ² 以下 ³⁾)
下地コンクリートの含水状態	下地コンクリートの表面温度（露点温度）※3	表面温度計など	下地コンクリートの表面温度が露点温度より 3°C以上高いこと ^{1), 2)}
	表面含水率※2	含水状態を測定する機器	含水率が高くないこと
補修材料の養生条件	養生環境, 時間	目視, 温湿度記録計など	雨や雪などの影響を直接受けにくいこと 硬化養生に十分な条件であること

※1 施工状況の管理（作業環境）の頻度は、予測される環境の変化やこれに伴う作業環境の変化に応じて、適宜設定する。

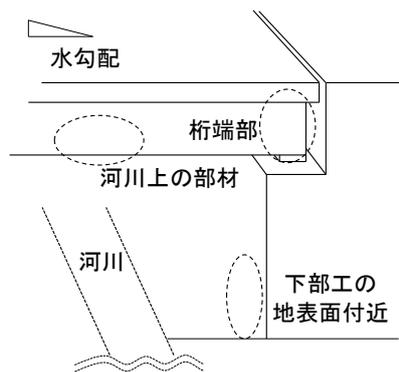
※2 飛来塩分が予想される場合に限る。

※3 ポリマーセメントモルタル系被覆材やけい酸塩系表面含浸材では、下地コンクリートが湿潤であった方がよい場合がある。

解説 表-3.5.4 施工状況の管理（作業工程）に関する主な管理項目〔被・含〕

管理項目	管理方法
施工数量	設計数量との照査
施工工程の進捗	工程表との照査
補修材料の種類, 配合, 攪拌方法, 可使時間, 塗装間隔	施工計画書との照査
補修材料の使用数量	空缶

橋梁を例に、他の部位と比べて湿度が高くなる傾向にある部位を解説 図-3.5.1 に示す。すなわち、上部工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、下部工では地表面付近などである。また、河川上に架設された構造物の部材や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やすい。このような箇所では他の部位に比べて、5~10%程度、相対湿度が高くなることが明らかとなっている⁴⁾。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やす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リスクを軽減することができる。表面含浸工法も、非出水期である冬季に工事が実施されることがある。なお、冬季のコンクリートは温度が低く、湿潤していることが多い。湿潤状態のコンクリートにシラン系表面含浸材を塗布すると、早期に加水分解しやすく、深く含浸しにくくなる。そのため、シラン系表面含浸材を塗布するときは、塗布に先立ち、給熱を行い、コンクリート表層を十分乾燥させることが重要である⁵⁾。



解説 図-3.5.1 湿度管理に注視すべき箇所の例〔被・含〕

・照度

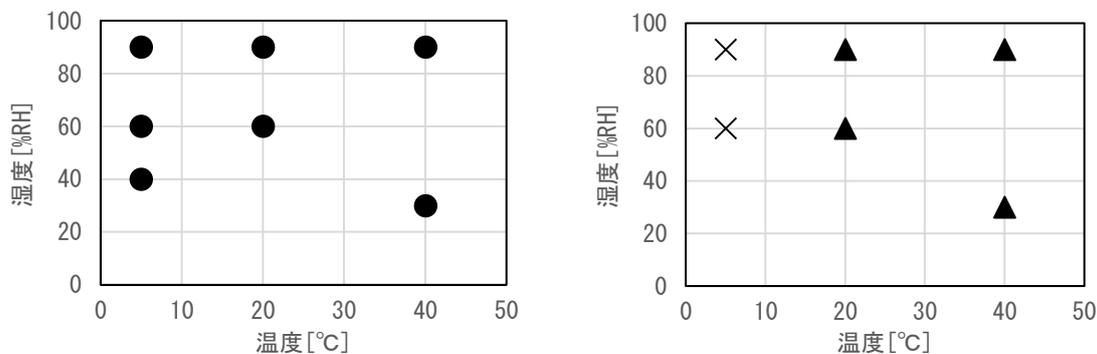
作業場内に十分な照度が確保されないと、下地コンクリートの変状を見落とす場合や補修材料の塗布にムラが生じるおそれがある。また、作業員の安全確保の面からも適切とは言い難いため、十分な照度を確保することが必要である。

・下地コンクリートの表面状態

下地コンクリートに粉じんやゴミなどが付着していると、補修材料と下地コンクリートとの一体性が確保できないおそれがあるため、これらは取り除く必要がある。特に下地処理工や素地調整工での粉じん作業後は十分に注意する必要がある。また、下地コンクリートの表面に付着した塩分は同様に補修材料と下地コンクリートとの一体性を阻害する要因となり得るため、水洗いなどにより除去する必要がある。特に飛来塩分が想定される立地条件では注意する必要がある。

・下地コンクリートの含水状態

下地コンクリートの含水状態が表面被覆材の一体性に及ぼす影響について検討した例を解説 図-3.5.2 に示す。本検討は、3種類の樹脂系被覆材を用いて、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て一体性を確認したものである。下地コンクリートの含水状態は、乾燥状態が気乾状態、湿潤状態が飽水状態である。検証の結果、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



下地コンクリート：乾燥状態

下地コンクリート：湿潤状態

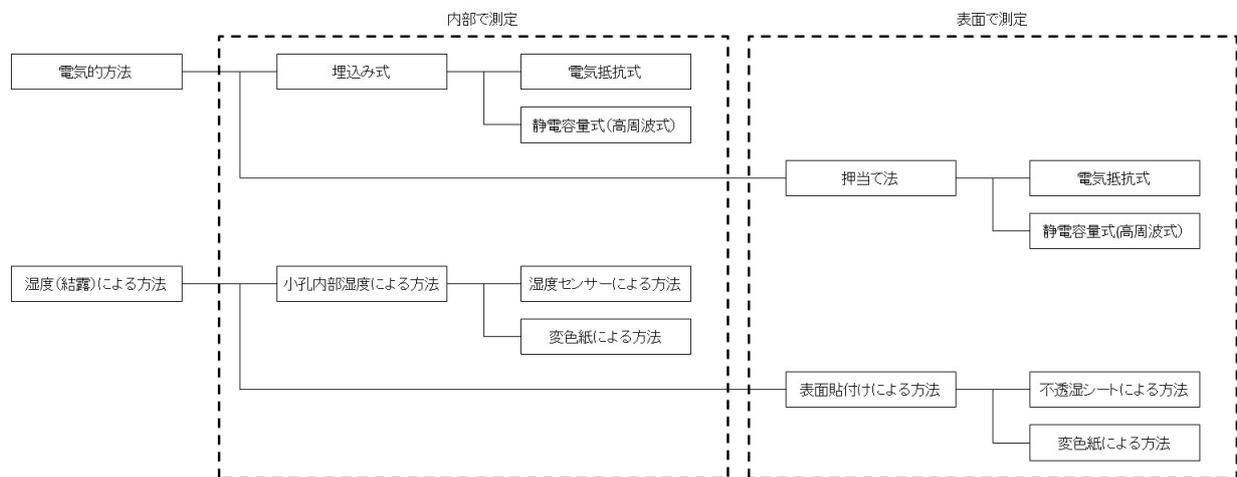
(凡例：合格率が●は3/3, ▲は2/3または1/3, ×は0/3を示す)

解説 図-3.5.2 施工環境による表面被覆材（有機系）の変状発生図〔被〕

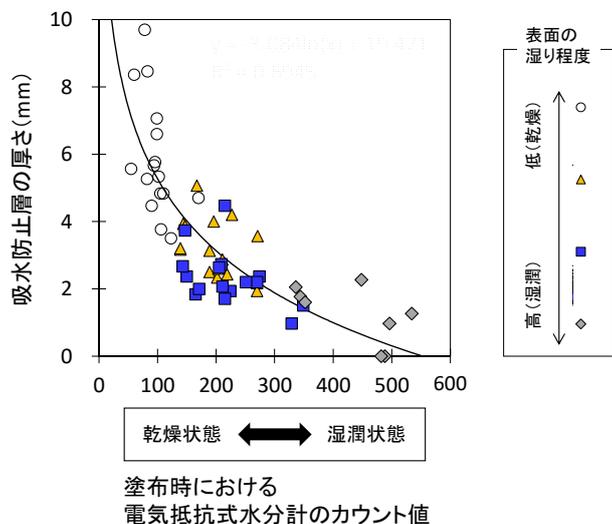
れらより、補修材料の一体性は下地コンクリートの含水状態が大きく影響することが明らかになり、含水状態の管理が非常に重要であることが示唆された。

下地コンクリートの含水状態について、注視すべき管理項目は表面含水率と露点温度である。ここで、表面含水率とは構造物（下地コンクリートの表面付近）に含有している水の量を直接的に示すものであり、露点温度とは大気中に含まれる水（水蒸気）の凝結が始まる温度、つまり結露が生じるおそれのある温度を示すものである。

表面含水率を測定する方法としては、解説 図-3.5.3 に示した方法があり、一般的には下地コンクリートの施工面に押し当てて測定する電気抵抗式のものや静電容量式（高周波容量式）のものが用いられている。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。解説 図-3.5.4 に示すように、シラン系表面含浸材を塗布する直前に調べた電気抵抗式の表面水分計の測定値は、塗布によりコンクリート表層に形成される含浸層（吸水防止層）の厚さと対応することが確認されており⁷⁾、塗布可否を判定する方法として有用である。



解説 図-3.5.3 構造物の含水状態を測定する方法の例〔被・含〕⁶⁾



解説 図-3.5.4 塗布直前の表面水分計（電気抵抗式）の測定値と塗布後に形成される含浸層（吸水防止層）の厚さ〔含〕⁷⁾から作成

なお、方式ごとの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。また、静電容量式（高周波容量式）の測定器では、含水率の測定範囲（深さ方向）を変えることができるものもあり、降雨などの直後では測定範囲を浅く設定した場合の方が含水率は高くなる傾向にある。表面被覆・含浸工法の施工ではいずれも構造物の表面近傍に保護層を形成するため、測定範囲を標準の設定値とした場合と併せて、測定範囲を浅く設定した場合の含水率についても計測することが望ましい。

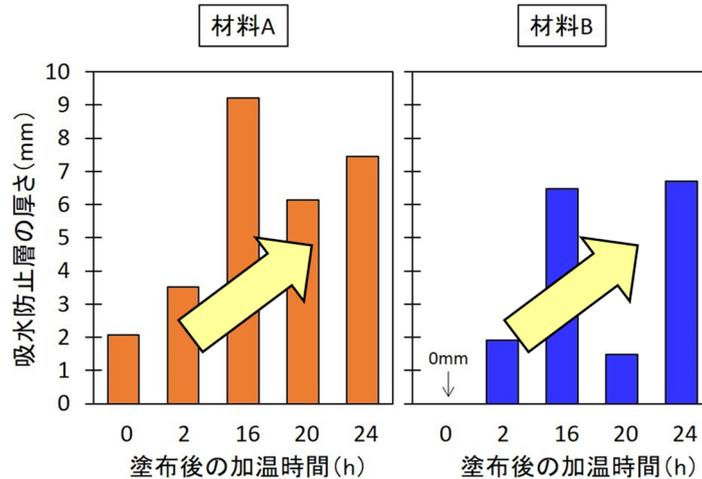
また、コンクリート温度が氷点下の場合、水分が多く含まれていても（氷の状態の水も含む）、測定値が小さく表示される傾向にある⁸⁾。これは、水が氷に変化したことで比誘電率が低下し、電気が流れにくくなっているためである。この測定値をもって「乾燥状態」と誤って判断して施工を行ってしまうと不具合が発生することになるので、測定前にあらかじめコンクリート表面を温めるなど、温度に配慮する必要がある。一方、近年、水蒸気により変色する原理を利用した変色紙などを用いた簡便な測定技術が報告されており、本研究においても検討を実施したので、参考にするるとよい（**附属資料 B 下地コンクリートにおける表面水の確認方法（案）**）。

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、河川近傍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下地コンクリート表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、下地コンクリート表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¹⁾。このように露点温度の管理では、環境温度を用いるか下地コンクリート表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、下地コンクリート表面の温度を用いた管理とすることで安全側の管理とすることができる。露点温度および下地コンクリートの表面温度の測定方法については、**附属資料 C 施工時の温湿度および下地コンクリート表面温度の測定方法（案）**を参考にするるとよい。

一方、下地コンクリートが湿潤状態であった場合でも一体性を確保できる補修材料も存在する。しかしながら、一般的な補修材料に比べて高価な場合もあるため、経済性を考慮して選定するとともに、選定した補修材料の仕様に従って含水状態を管理するのがよい。

・補修材料の養生条件

補修の施工に使用する樹脂系の補修材料は、硬化するために養生が必要である。補修の施工時に適切な温湿度管理がなされていた場合でも、養生の際の温湿度管理が適切でないと補修材料に硬化不良等が生じて本来得られるはずの性能が得られない場合もある。したがって、補修材料の規定の硬化時間までは、施工時と同様に適切な温湿度管理が必要であり、これらを記録することが望ましい。シラン系表面含浸材に関しても冬季に塗布を行う場合、**解説 図-3.5.5**に示すように、コンクリート表層を十分乾燥させてから塗布を行い、シラン系表面含浸材塗布後もさらに加温を続けると（**解説 図-3.5.5**の場合、加温によって表面に接する空気の温度は約 40℃まで上昇）温度低下によるコンクリート表層の湿潤の進行が抑えられ、シラン系表面含浸材も深く含浸し、厚い吸水防止層が形成されやすくなる。このことから、特に冬季にシラン系表面含浸材を施工する場合、塗布前の加温はもちろんであるが、加えて塗布後も施工翌朝までは加温を続けることが望ましい⁵⁾。



解説 図-3.5.5 含浸層（吸水防止層）の厚さに及ぼす塗布後の加温時間の影響〔含〕⁵⁾から作成

作業工程の管理

作業工程の管理では、施工数量が設計数量と合致しているか、工程があらかじめ作成した工程計画どおり進捗しているかなどを管理する。また、使用する補修材料について、あらかじめ作成した施工計画書などと照らし合わせて、配合方法や攪拌方法、可使時間などを管理することで適切に施工がなされていることを確認する必要がある。さらに補修材料の使用量が設計数量と合致しているかは、使用後の空体量などから確認する。

3.5.4 品質の管理

品質の管理では、施工により形成された保護層が適切な品質を有しているかなどを確認するものとする。

【解説】

品質の管理は、施工により処理した下地コンクリートの表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。解説 表-3.5.5 に品質の管理に関する主な管理項目を示す。

下地コンクリート表面の状態

下地処理完了後に実施する必要がある管理項目は、下地コンクリートが健全であることを確認するため、下地コンクリートの塗布面に変状がないことやプルオフ法などの方法により機械的な強度を測定する方法などがある。また、下地コンクリートの塗布面に段差や不陸などがある場合、補修の施工により形成された保護層の均一性を損なう要因となり得るため、これらが無いことを確認する必要がある。

解説 表-3.5.5 品質の管理に関する主な管理項目〔被・含〕

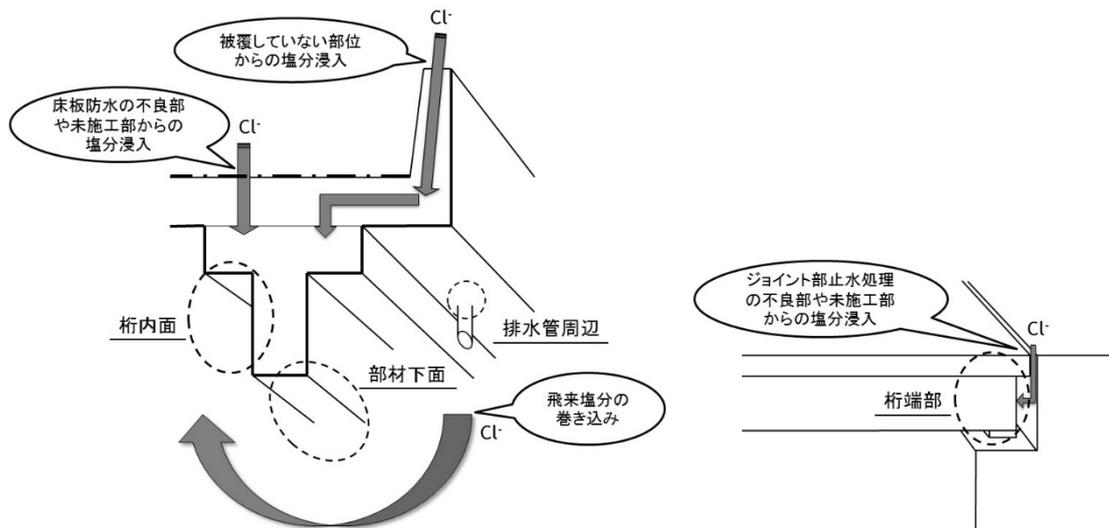
管理項目	管理方法	頻度	判定基準
下地コンクリート表面の状態	目視，触診など	下地処理完了後	変状や，段差，不陸などが無いこと
	プルオフ法や反発度法など※1	下地処理完了後	表面被覆・含浸工に支障が無いこと
付着塩分量※1	ガーゼ拭き取り法など	素地調整完了後	100mg/m ² 以下 ³⁾ であること
膜厚（施工段階）	ウェット塗膜厚ゲージや補修材料の使用量など	施工日ごと	施工計画書のとおりであること
仕上がり状態	目視，触診など	各層完了後	異常が無いこと
付着強さ（表面被覆工法）	附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法（案）プルオフ法に準拠	施工完了後	1.0N/mm ² 以上および界面破壊が無いこと
撥水性（シラン系表面含浸工法）	水を噴霧後に目視など	施工完了後	撥水性を有すること
	浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法（案） ⁹⁾	施工完了後	1 ロット※2 5 測定点全てが 1%未満であること
吸水防止層の形成状況※1（シラン系表面含浸材）	附属資料 G シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法（案）に準拠	施工完了から 3 日後以降	表面に設けた塗布範囲と無塗布範囲の境界から無塗布範囲側に撥水域が形成されていること

※1 必要がある場合に限る

※2 1 ロットの大きさは 50m²～100m²程度とする。

付着塩分量

付着塩分量の管理方法は，ガーゼ拭き取り法などにより実施されているが，測定する箇所や構造物の部位により，付着塩分量は異なる。したがって，解説 図-3.5.6 に示したように，付着塩分量が多いと想定される箇所において測定し，安全側の管理を行うことが望ましい。



解説 図-3.5.6 付着塩分量の高濃度が想定される部位，箇所の例〔被・含〕

膜厚（施工段階）

表面被覆工法において，補修の対象が鋼部材である場合，全ての補修材料が施工された時点で乾燥塗膜厚の測定によって塗膜厚を確認することが可能である。補修の対象がコンクリート部材である場合は，鋼部材で使用されている電磁式では直接測定することができない。下地コンクリートの塗布面

に鋼板を貼り付けて他の補修範囲と同様に施工を行い、測定することも可能であるが、将来的に鋼板がさびる懸念があることや異物を設置するという点から、本マニュアルではこの方法は適用しないこととした。ただし、表面被覆工法において、補修材料の膜厚は補修設計で重要であるため、工程ごとにウェット膜厚計を使用したウェット塗膜厚の測定を行い、補修材料の被膜厚、塗膜厚を管理する必要がある。一方、表面含浸工法は塗膜を形成するものではなく、所定量の補修材料が下地コンクリートに含浸して効果を発揮するものであるため、使用量の管理により、設計数量が塗布されていることを確認する方法とした。

仕上り状態

表面被覆・含浸工法の施工では、一般的に複数の補修材料を使用して保護層を形成する。全ての工程が完了した後では、各層の表面状態を確認することが困難であるため、各層の完了時に異物等の混入や不具合がないことを確認する必要がある。

付着強さ

付着強さの確認は、実際の施工箇所で行うことが望ましい。ただし、本試験は破壊試験であるため、試験後の補修が困難である場合や試験箇所が当該構造物における重要な部材で施工された表面被覆の連続性を損なうことが望ましくない場合は、関係者間の協議の上、試験基板にコンクリート平板を用いて実施してもよい。試験基板には、補修対象の構造物の下地コンクリートと同等品質の基板を用いることが望ましいが、現場での入手性を考慮して、JIS 普通平板を用いることを標準とした。

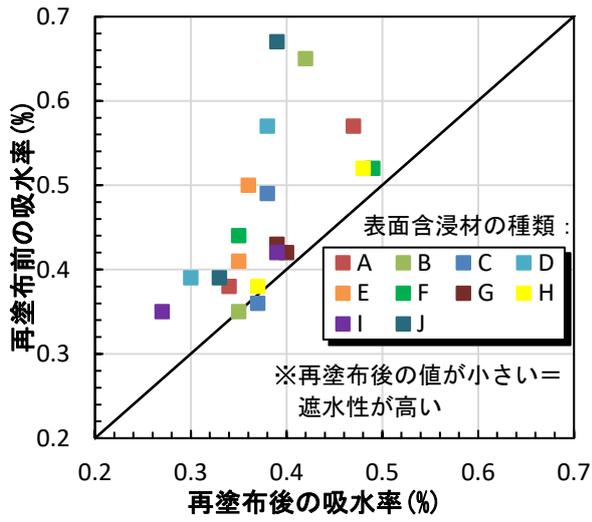
下地コンクリートの品質が低下している場合は、品質の低下により下地コンクリートが疎な組織構造となって吸水率等が大きくなる可能性がある¹⁰⁾。これにより、表面被覆材への水の作用が大きくなり、JIS 普通平板を用いる場合よりも付着性が低下する可能性がある。このため、実際の施工箇所、あるいは低品質な試験基板を用いて付着強さを確認することが望ましい。

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する。また、補修材料の硬化のための養生を行う場所については、原則施工箇所で行うものとし、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、**解説 図-3.5.1** など）で行うことを原則とする。品質管理結果の記録では、付着性試験の結果と併せて、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必要がある。

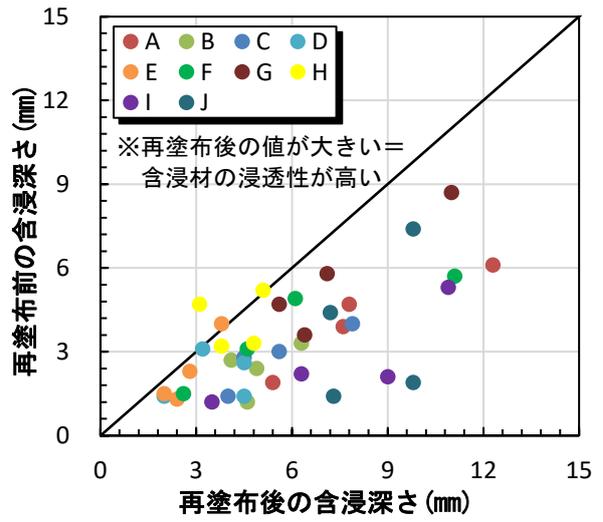
撥水性、吸水防止層の形成状況

シラン系表面含浸材を用いた表面含浸工法は、補修の施工後に形成される保護層が撥水性を有することとなる。したがって、撥水性を確認することにより、シラン系表面含浸材が塗布されていることを確認することができる。管理方法は、施工後に水を噴霧して撥水状態を目視で定性的に確認する方法や、測定機器を用いて定量的に確認する方法などがある。

一方、含浸層（吸水防止層）の形成状況の確認は、直接的には削孔を行ってコアを採取し、コアを割裂して水を噴霧する方法が基本であるが、本章の**附属資料 G** にシラン系表面含浸材の含浸状況を非破壊で管理する方法が掲載されている。おおよその含浸状況を非破壊で確認する必要がある場合は参考にするとよい。なお、過年度にシラン系表面含浸材が塗布されているものの、保護層の形成が不十分で、水の浸入に対する抵抗性の向上効果が発揮されていない場合、機能回復を図ることが大切である。**解説 図-3.5.7** に示すように、シラン系表面含浸材の再塗布は、吸水率の回復に有効であり、含浸材の浸透深さも大きくなることが確認されている¹¹⁾。



a) 吸水率



b) 含浸深さ

解説 図-3.5.7 シラン系表面含浸材の再塗布による性能回復〔含〕¹¹⁾から作成

3.6 安全管理

3.6.1 一般

表面被覆・含浸工法の施工にあたっては、作業員、および第三者の安全に配慮して実施しなければならない。

【解説】

通常の工事と同様、表面被覆・含浸工法の施工にあたっては、作業員の安全と健康を確保すること、および第三者に対して配慮することが重要である。第三者に対する措置として、作業場や関連施設等に関係者以外立ち入り禁止を示す表示を掲示することやロープなどを用いて立ち入り禁止範囲を明示するなどを講じる必要がある。

一方、表面被覆・含浸工法では、前処理として既設の補修材を除去する場合や下地コンクリート表面の処理として研削材を用いたブラスト処理を行う場合、「粉じん障害防止規則（平成 27 年 8 月）」に規定された粉じん作業に該当することとなる。その対策としては、休憩設備の設置、呼吸用保護具の使用など適切な措置を行うこととなっており、飛散防止ネットの設置、ブラスト方法の選定（バキュームブラスト）や研削材の選定により粉じんの飛散を軽減することができる。

また、表面被覆・含浸工法で使用する補修材料によっては、引火点の低いものや有機溶剤に該当するものが多く、補修材料が該当しない場合でも、希釈剤や工具類の洗浄剤がこれに該当する場合がある。有機溶剤などの取扱いについては、労働安全衛生法の中に「有機溶剤中毒予防規則（平成 26 年 11 月）」、「特定化学物質等障害予防規則（平成 27 年 9 月）」として定められており、これらを遵守して作業する必要がある。選定した補修材料が上記法令に該当しない場合であっても、法令に準ずる措置をとって作業することが望ましい。万が一、補修材料を誤って漏洩させた場合、補修材料の製造者が発行している SDS（安全データシート：Safety Data Sheet）に示された処置に従って処理する必要がある。

3.6.2 材料の保管

選定した補修材料は SDS（安全データシート：Safety Data Sheet）などにより消防法で分類される危険物の種類を確認して、適切な方法で保管しなければならない。

【解説】

消防法により分類される危険物の種類によって、指定数量などは異なるため、選定した補修材料の SDS などにより、事前に確認する必要がある。また、指定数量以下であっても各地方自治体による危

険物取締り条例で規制されていることがあるので確認が必要である。一方、補修材料の希釈剤や工具等の洗浄に用いる洗浄剤などについても、補修材料と同様に消防法等の関連法令を遵守して保管する必要がある。これら使用材料の保管にあたっては、引火爆発や有機溶剤等による中毒に注意して直射日光を受けない場所に保管することが必要である。

搬入した補修材料は製造年月を確認するとともに、有効期限を確認して期限内に使用する必要がある。したがって、搬入数量や有効期限、保管場所などについて管理シートを使用して記録するのが望ましい。

3.6.3 廃棄物の処理

表面被覆・含浸工法の施工により発生した廃棄物は、関係法令に従って産業廃棄物として適切に処理しなければならない。

【解説】

廃棄物の処理にあたっては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法と称す）」、同施行令、同施工規則などの関連法令を遵守して行わなければならない。廃棄物は産業廃棄物と一般廃棄物とに分類され、補修工事等の事業で発生した廃棄物は産業廃棄物となる。また、表面被覆・含浸工法の施工により発生する廃棄物において、未硬化の樹脂系材料や廃溶剤は特別管理産業廃棄物の廃油に分類されるため、注意が必要である。これら廃棄物の処分にあたっては、廃棄物処理法により産業廃棄物の排出業者が責任をもって処理することが義務付けられており、マニフェスト制度に従って、収集運搬業者に運搬を、処分業者に最終処分をそれぞれ委託することになる。

以下に記した関連する主な法令について参照すること。なお、関連する法令については最新のものを参照すること。

- ・ 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
 - 同法施行令
 - 同法施行規則
- ・ 建設廃棄物処理マニュアル 建設廃棄物処理ガイドライン改訂版
- ・ 建設廃棄物処理指針
- ・ 建設副産物適正処理推進要綱

3.7 施工の記録

- (1) 施工管理結果など補修の施工に関する情報を補修工事報告書として記録するとともに、構造物の管理者は構造物を供用する期間、これを保存することとする。また、補修工事報告書には施工前の構造物の劣化状態や施工中の施工困難な部分などの特徴的な部分の有無とその対策についても記録する。
- (2) 施工記録は構造物に付すことを原則とする。

【解説】

(1) について

補修した構造物の維持管理において、補修の施工に関する情報は非常に重要である。例えば、要求される性能を満たす補修材料であっても、施工に注意が必要な環境条件や下地条件であれば、予定していた耐用期間より短くなる場合がある。したがって、補修の施工後に補修材料に変状が発生した場合、変状の発生要因を予測するうえで、施工に関する情報は重要な判断材料となるため、これを補修工事報告書として記録し、構造物の管理者は構造物を供用する期間、これを保存することが必要である。なお、補修工事報告書に記載する内容の例としては、「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）」¹²⁾などを参考にし、特に施工前の構造物の劣化状態、主な変状や、施工に際して一般部と異なり施工困難な部分などの特徴的な部分の有無とその対策について記載するとよい。

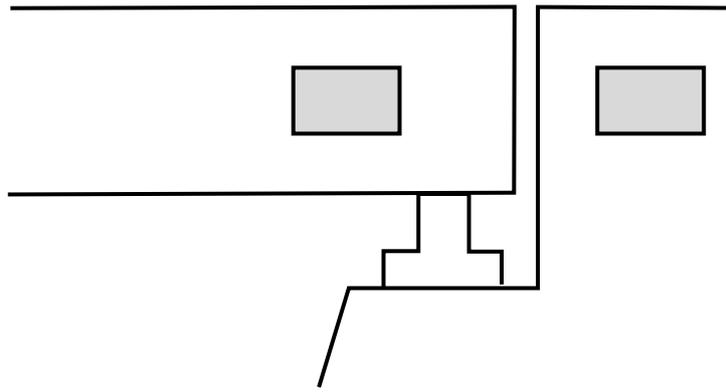
(2) について

補修工事の施工年月や使用した補修材料などの施工記録を構造物に付すことは、補修の施工後に実施される維持管理や追跡点検に有益となる。構造物に付す施工記録の例を解説表-3.7.1に、設置位置の例を解説図-3.7.1に示す。

解説表-3.7.1 施工記録の例〔被・含〕

構造物名	〇〇橋		
施工年月	〇年〇月〇日		
施工部位 ^{※1}	地覆 (L・R, 天端, 側面)		
補修材料 (設計塗布量) ^{※2} ^{※3} ^{※4}	シラン系表面含浸材 〇〇〇〇 (商品名) (0.25kg/m ²)	()	()
材料製造者	〇〇〇株式会社		
発注者	〇〇地方整備局 〇〇河川国道事務所		
設計者 (設計責任者氏名)	株式会社〇〇コンサルタント (〇〇 〇〇)		
施工者 (工事責任者氏名)	〇〇建設工業株式会社 (〇〇 〇〇)		

- ※1 例、主桁（端部、下面、側面）、橋台（A1・A2、橋座、胸壁、堅壁、翼壁）、橋脚（P1・P2、橋座、柱部）、床版、地覆（L・R、天端、側面）、防護柵（壁高欄）（L・R、天端、側面）など
- ※2 前処理で断面修復工やひび割れ補修工を施工した場合は、これらに使用した補修材料を記す。
- ※3 補修材料は上段に一般名、下段に商品名を併記する。
- ※4 表面被覆・含浸工法の工種ごとに補修材料名を明記する。
(例. 樹脂系被覆工法の場合、プライマー、パテ、中塗、上塗など)



解説 図-3.7.1 施工記録の設置位置の例〔被・含〕

参考文献

- 1) 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.
- 2) ISO16311-4:2014 Maintenance and repair of concrete structures – Part4:Execution of repairs and prevention
- 3) 日本道路協会：道路橋の塩害対策指針（案）・同解説，pp.56-57，1984.
- 4) 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，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，Vol.14，pp.595-602，2014.10
- 5) 遠藤裕丈，島多昭典：冬期におけるシラン系表面含浸材の最適な施工方法に関する研究，寒地土木研究所月報，No.826，pp.12-20，2022.1
- 6) 笠井芳夫：コンクリート総覧，技術書院，p.690，1998.
- 7) 遠藤裕丈，安中新太郎：冬期の施工環境がシラン系表面含浸材の含浸深さに及ぼす影響，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，Vol.20，pp.417-422，2020.10
- 8) 遠藤裕丈，安中新太郎：低温下でのシラン系表面含浸材の施工管理に関する基礎的研究，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，Vol.19，pp.355-360，2019.10
- 9) 土木研究所：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－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 4186 号，付属 27-29，2011.1
- 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，No.1，pp.1573-1578，2015.7
- 11) NETIS 新技術提供システム：施工性の良好なコンクリート含浸材技術（塩害対策），
<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubtheme/themesettings>
- 12) 土木学会：表面保護工法設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.4

4章 検査

4.1 一般

検査は、事前に検査計画を定め、その検査計画に基づき、発注者の責任において実施することを標準とする。

【解説】

発注者は、表面被覆・含浸工法の施工が適切に行われたことを確認するために検査を行わなければならない。検査計画は施工前に定めることとし、発注者と施工者が合意した内容としなければならない。なお、施工範囲や仕様等の契約条件が変更となる場合は、それに合わせて検査計画も見直す必要がある。

4.2 検査項目と合否判定

(1) 検査は、表面被覆・含浸工法の施工において管理される項目を把握し、あらかじめ検査計画を策定して、これに則って実施する。

(2) 検査の結果、不合格となった場合は、適切な処置を講じる。

【解説】

(1) について

検査では、補修の施工により形成される保護層が必要な性能を有することを確認する。検査は補修を完了した後に行うのが基本的だが、完了時の検査のみで補修が適切に行われたことを確認することは、現状の技術では必ずしも容易ではない。このため、必要に応じて使用材料が適切であることや、施工方法が適切であることなどを施工中に随時確認することが必要になる。検査項目、検査方法は、補修材料や補修工法、施工工程ごとに異なることから、事前に検査計画を策定し、これに則って実施する必要がある。また、検査は施工において実施された施工管理の結果と実際とを比較、照査して実施するのが一般的であることから、施工管理の項目や管理方法について、あらかじめ把握する必要がある。

検査は、使用する補修材料の品質や数量について検査する材料の検査、施工環境や施工工程が適切であること、また補修の施工により形成された保護層の品質が適切であることなどを検査する施工中の検査に分類され、これに加えて完了時に実施される完了時の検査がある。

・材料の検査

材料の検査では、選定した補修材料の品質が適切であることや使用量が適切であることなどを検査する。材料の検査に関する主な項目を解説 表-4.2.1 に示す。

解説 表-4.2.1 材料の検査に関する主な項目〔被・含〕

検査項目	検査方法	頻度	判定基準
補修材料の品質	品質証明書	材料ごとに受入前	設計で設定した品質規格に適合すること
	試験成績表	ロットごと	製造会社の製品規格に適合すること
	目視 使用期限	ロットごと	異物の混入などがないこと 使用期限を超えないこと
補修材料の搬入数量	出荷証明書 搬入数量	ロットごと	設計数量、注文数量が納品されていること
補修材料の使用数量	空缶	適宜	設計数量以上であること

・施工中の検査

施工中の検査には、施工範囲の検査、工程の検査、品質の検査がある。施工範囲の検査とは、施工範囲が設計、および施工計画書に定められた範囲と一致しているかを確認する目的で行われるものであり、工事着手前に実施される。工程の検査では、施工があらかじめ計画された工程表と大差なく進捗していることを検査する。品質の検査では、各工程の完了時における施工面の状態を検査する。たとえば、樹脂系の表面被覆工法の場合、各工程の仕上がり面（構造物の施工面、プライマー、パテ、中塗りなど）は完了後に確認することはできないため、これらに不良箇所があった場合、劣化の要因となるおそれがある。表面含浸工法の場合、例えばシラン系表面含浸材においては、コンクリート表面に水分が多く存在している場合、適切に含浸せず、早期劣化に至ることが懸念される。したがって、施工の検査は施工した補修材料の耐久性に大きく関わる部分となるため、非常に重要であり、適切に実施する必要がある。施工の検査に関する主な項目を解説 表-4.2.2 に示す。また、補修の施工が適切な作業環境で実施されていない場合、補修材料の耐久性の低下を招き、補修材料の早期劣化につながるおそれがあるため、作業環境についても 3.5.3 施工状況の管理 解説 表-3.5.3 を参考に確認することが望ましい。

解説 表-4.2.2 施工の検査に関する主な項目〔被・含〕

検査分類	検査項目	検査方法	頻度	判定基準
施工範囲の検査	施工数量	設計数量との照査	着手前	設計数量と同じであること
工程の検査	施工の進捗	計画工程表との照査	適宜	計画工程表のとおりであること
品質の検査	下地コンクリート 表面の状態	目視、触診など	下地処理 完了後	変状や段差、不陸などがないこと
		水分計、プルオフ 法、反発度法など※		表面被覆・含浸工に支障がないこと
	仕上がり状態	目視、触診など	各層完了後	異常がないこと

※ 必要がある場合に限る

・完了時の検査

完了時の検査は、書類検査と現場検査によって実施する。書類検査は材料検査や施工検査などの結果の記録や工事報告書などの施工管理記録により施工中に適切な施工管理がなされていたかを確認して実施する。現場検査では施工した範囲が設計数量と一致していることを確認し、目視検査などの定められた品質試験により、補修の施工により形成された保護層の品質が設計で定められた品質と一致することを確認する。解説表－4.2.3に現場検査に関する主な項目を記す。

解説表－4.2.3 現場検査に関する主な項目〔被・含〕

検査項目	検査方法	判定基準
施工数量	設計数量との照査	設計数量と同じであること
仕上がり状態	目視による	異常がないこと
付着強さ (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	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) ¹⁾	撥水性を有すること 1ロット ^{※1} 5測定点全てが1%未満であること
吸水防止層の形成状況 ^{※2} (シラン系表面含浸工法)	附属資料G シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法(案)に準拠	表面に設けた塗布範囲と無塗布範囲の境界から無塗布範囲側に撥水域が形成されていること

※1 1ロットの大きさは50m²～100m²程度とする。

※2 必要がある場合に限る。

(2) について

各検査段階において検査の結果、不合格となった場合、適切な処置を速やかに行う必要がある。不合格の場合の対処方法は様々であり、施工途中での部分的な手直しで対応できる場合もあるが、手直しが大規模になる場合や維持管理段階での対処を考える場合などもある。いずれの場合でも関係者間で協議を行い、対処方法を決定する必要がある。

4.3 検査の記録

検査結果は施工後の維持管理において重要な情報となるため、検査結果を記録して、構造物を供用する期間は保存する。

【解説】

補修工事の施工後から実施される維持管理において、補修の施工に関する記録や各種検査結果は非常に重要な情報となる。したがって、これらを記録し、構造物を供用する期間は保存する必要がある。なお、発生した不具合や実施した処置なども併せて記録、保存することが必要である。また、これらの記録については正確かつ客観的なデータであること、検査方法が一定の方法で行われていることが望ましいため、構造物に応じた記録の方法をあらかじめ定めておくとともに、わかりやすいデータシートで行うとよい。

参考文献

- 1) 土木研究所：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－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 4186 号，付属 27-29，2011.1

5章 補修後の維持管理

5.1 一般

(1) 補修の施工後、コンクリート構造物の維持管理を適切に行うため、維持管理計画を策定して、これに基づき点検を実施し、適切に維持管理を行うこととする。

(2) 点検の実施に先立ち、対象コンクリート構造物の種類や施工された補修工法、補修材料の種類に応じて、点検計画を作成することとする。

【解説】

(1) について

補修したコンクリート構造物の維持管理にあたっては、施工後、構造物を定期的に点検し、早期に変状を発見して適切な対策を講ずることが望ましい。一般的には補修工事を実施することで、構造物の供用期間を長くすることが可能となる。しかしながら、要因は様々であるものの、**不具合事例集**のように補修後のコンクリート構造物に早期に変状が発生する場合がある。したがって、補修箇所の状況を定期的に確認することが、その後の維持管理を進めていくうえで非常に重要である。また、早期に変状を発見できれば比較的軽微な対策で済む場合が多く、維持管理費用の面から考えても有益となる。

補修後のコンクリート構造物に発生する変状は主に補修材料の変状であることから、**5.3 点検の項目と方法**では代表的な変状の事例を補修後の点検に関する着目点と併せて示した。また、点検の結果とこれに基づき考えられた対策についての記録を残すことが、適切な維持管理を行うためには必要である。

(2) について

補修後のコンクリート構造物の点検を適切に行うためには、事前に点検計画を作成する必要がある。点検計画では、①既往資料の調査、②点検項目と方法、③点検体制、④現地踏査、⑤管理者協議、⑥安全対策、⑦緊急連絡体制、⑧緊急対応の必要性が生じた際の連絡体制、⑨工程などについて計画することが望ましい。①既往資料の調査では、構造物の諸元や立地条件などについて橋梁台帳などを参考に調査するとともに、補修工事の工事報告書や各種検査結果について調査することが必要である。また、既往資料の調査結果により、②点検項目と方法を定めるとよい。点検項目と方法の設定については、**5.3 点検の項目と方法**に記す。

5.2 点検の頻度

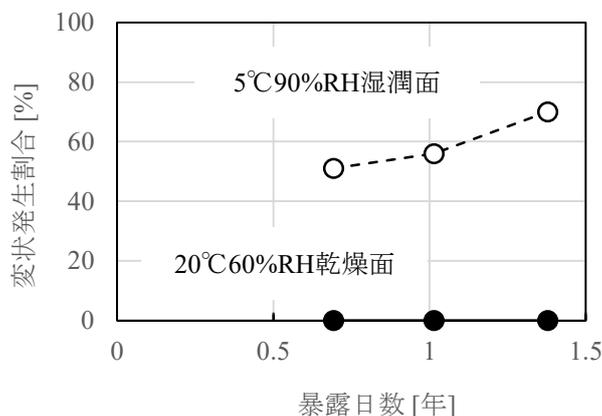
補修の施工後に実施する定期点検は、補修の施工から1年程度で初回（初回点検）を実施し、その後は適切な頻度で実施することとする。

【解説】

施工条件が不適切な場合、補修後1年以内の早期に補修箇所の再劣化が生じるおそれがある。例として、解説図-5.2.1に施工条件の相違が表面被覆材に発生する変状に及ぼす影響について検討した結果を示す。本実験は、基材にW/C=75%のモルタルを用い、基材の表面水分率と施工環境を変化させて表面被覆材を施工し、屋外暴露試験により表面被覆材の変状の有無を確認したものである。この結果から、20°C60%RHの雰囲気乾燥面（8%以下の表面水分率）に施工した表面被覆材は、暴露日数約600日でも変状が発生しなかったものの、5°C90%RHの雰囲気湿潤面（8%を上回る表面水分率）に施工した表面被覆材は暴露日数約250日には変状が確認され、暴露日数の増加とともに変状割合は増加傾向を示した。このように、補修後早期に不具合が生じた場合は、補修工事の際に何らかの不具合があったか、補修効果が不足して、コンクリート構造物の劣化を抑制できなかった可能性が考えられる。

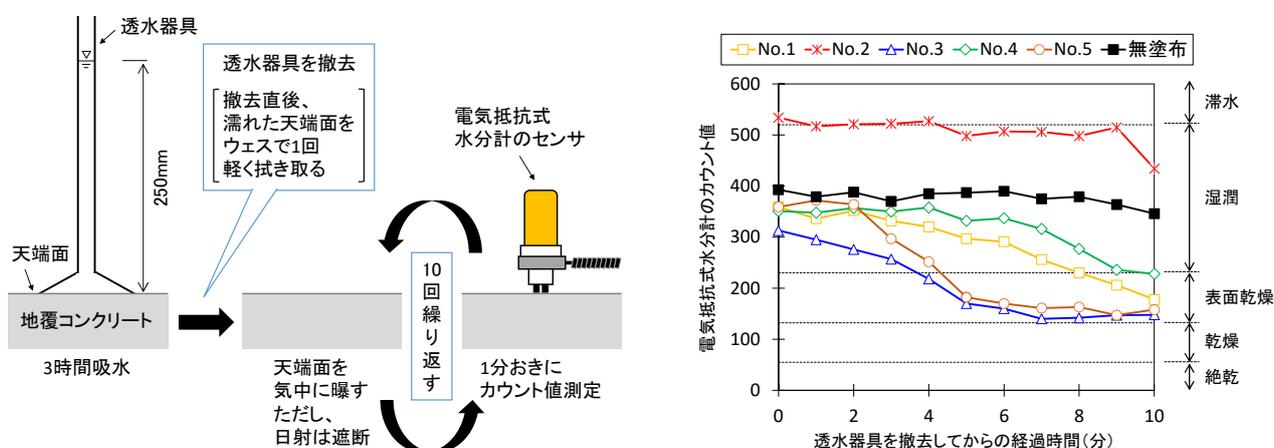
このため、補修の施工から1年間は、日常点検の際に注意して観察するとともに、季節が一巡した1年程度で初回の点検を実施することが必要である。施工後はじめて迎える梅雨期および夏季に変状が発生しやすいほか、寒冷地では冬季を過ぎた春頃にも変状が出ることが多い傾向にあるため、注意が必要である。初回の点検以降に実施する定期点検の頻度は、コンクリート構造物の種類や機能、重要度を考慮して、適宜設定する。例えば、橋梁の場合、5年に1回の頻度が基本とされている¹⁾。日常点検や定期点検の結果、変状が確認され、詳細な点検が必要と判断された場合は追加の調査を実施する必要がある。

一方、表面含浸工法の場合、シラン系表面含浸材については、表面被覆材とは対照的に、材料がコンクリートと一体化すること、2.1 補修に求める性能で示しているように、紫外線の影響を受けない表層に適切に形成された含浸層（吸水防止層）は、スケーリング等による物理的な剥離欠損を除いて、



解説図-5.2.1 施工条件の相違が表面被覆材の変状の発生に及ぼす影響の例〔被〕

消失することは少ない。解説 図-5.2.2 は、塗布 15 年経過した道路橋地覆において吸水抵抗性を調べた調査の一例である。15 年を経ても吸水防止層の存在が確認されている No.3 と No.5 は透水器具撤去後、電気抵抗式水分計のカウンタ値が早い時点で低下し始め、4 分後には湿潤状態から表面乾燥状態へ移行している。一方、吸水防止層が確認されず、施工当初から吸水防止層が形成されていなかったと思われる No.1, No.2, No.4, 無塗布は、これに比べるとカウンタ値の低下は緩やかで、無塗布と No.2 に至っては透水器具を撤去してから 10 分経過した時点でも表面は湿潤状態のままである。これは供給された水が内部へ深く浸透しているため、透水器具を撤去しても水分の蒸発が進む表面へ向けて、内部から緩やかに水の移動や水蒸気の拡散が続いていることを意味し、No.3 と No.5 の吸水抑制効果がこの中で最も高いことを示している。このため、吸水防止層が存在していることを確認することが基本となる。



(No. 1, No. 3, No. 5 は、吸水防止層が確認されている)

解説 図-5.2.2 シラン系表面含浸材塗布 15 年経過後の道路橋地覆での吸水抵抗性調査の例〔含〕²⁾

5.3 点検の項目と方法

補修の施工後に実施する点検の項目と方法は、コンクリート構造物の種類や補修工法、補修材料の種類により、適切に設定することとする。

【解説】

コンクリート構造物の種類は、橋梁、ダム、護岸、水路、擁壁など、多岐に渡るため、補修が施工されたコンクリート構造物に実施する点検の方法は、構造物の種類により適切な方法を採用する。また、構造物の種類ごとに定められた点検方法があれば、それに従うとよい。

補修が施工されたコンクリート構造物に生じる変状は、適用した補修工法や補修材料により異なる。また、発生する変状の種類は、補修の施工時の作業環境や施工後の供用環境に起因する変状や、構造物の劣化が進行して生じる変状など様々である。したがって、適用した補修工法や補修材料に応じた点検項目と点検方法を設定する必要がある。表面被覆・含浸工法において補修材料の変状に着目した

点検項目と点検方法の例を解説表-5.3.1に、表面被覆工法の施工後に発生した変状の例を解説図-5.3.1に示す。なお、点検に際して着目する点は、表に示した点検項目を参考にするとよい。塗膜の外観調査を定量的に記録する場合は、附属資料D 表面被覆材の外観調査方法(案)を参考にするとよい。

点検の方法は、近接して目視により行うことが好ましいが、変状の種類によっては目視だけでは検出できない可能性もある。そのような場合、解説図-5.3.2に示した器具を用いた触診による調査を含めた非破壊試験が有効であることも多く、必要に応じて、これら目視以外の方法も併用するとよい。ただし、過度の打撃による調査は補修材料を損傷させるおそれがあるため、注意が必要である。一方、調査器具や調査機器を用いた調査では、機器の性能や調査者の技量など様々な条件が調査精度に影響

解説表-5.3.1 点検項目と点検方法の例〔被・含〕

補修工法	点検項目 (点検の際に着目すべき点)	点検方法	対応する不具合事例 (本マニュアル不具合事例集の事例 No.)
表面被覆工法	浮き, 膨れ	目視, 触診	2, 3, 10, 11
	剥がれ	目視	4, 5, 6, 7
	ひび割れ	目視, クラックスケール	1, 16, 21
	漏水, 遊離石灰, さび汁などの 滲出	目視	8, 9, 15, 17, 18
	変退色, 白亜化, 光沢の低下などの美観の低下	目視, 触診, 光沢度計など	—
	発泡, ピンホール	目視	—
	縮み	目視	—
表面含浸工法	表面撥水性 (シラン系)	噴霧, 目視	—
	吸水防止層の有無 (シラン系)	コア採取	26
	吸水抵抗性 (シラン系)	水分供給および水分計	—



a) 浮き, 膨れ



b) 剥がれ



c) 縮み

解説図-5.3.1 表面被覆工法の施工後に発生した塗膜の変状の例〔被〕



解説図-5.3.2 触診による調査に用いる器具の例〔被〕

を及ぼすため、事前に適用範囲や調査方法の詳細について検討しておくことが必要である。また、塗膜の膨れや剥がれは、温湿度や天候の変化により状態が変化するため、点検を実施する時期によっても点検結果が異なる場合がある。たとえば、雨上がりや冬季で日射を受けた際などは、コンクリートに含まれる水分や空気の蒸気圧の変化により、膨れなどの変状が顕在化することが予想される。このため、点検を実施する時期についても考慮するとよい。

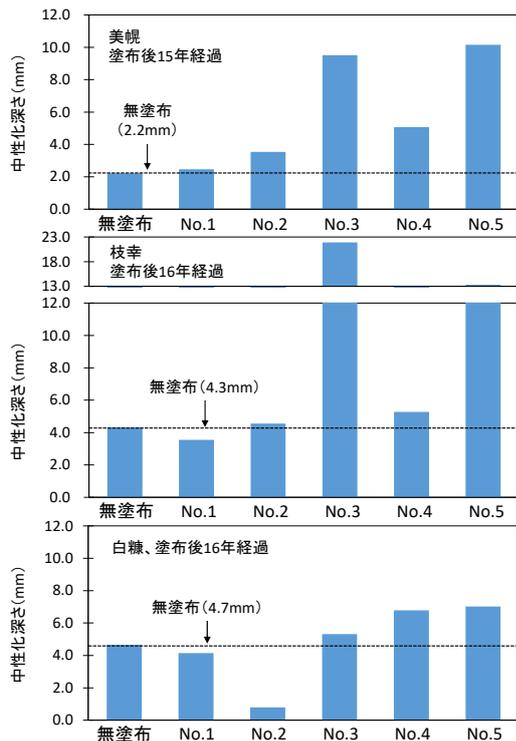
なお、**解説 表-5.3.1** に示した点検方法により変状が確認され、さらに詳しく調べる必要があると判断された場合は追加の調査を実施する必要がある。追加の調査では、日常点検や定期点検で実施した項目について、より詳細に点検を行うとともに、場合によっては**附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法（案）クロスカット法**やコンクリートコアの採取、既設鉄筋のはつり出しなどの破壊試験について実施の検討をする必要がある。ただし、できる限り小規模な範囲で実施することが望ましい。これらの詳細は、参考文献 1), 3), 4), 5)などを参考にするとよい。

一方、表面含浸工法の場合、シラン系表面含浸材については、吸水防止層の状態や吸水機能の有無をチェックすることが基本となる。場合によっては、**解説 図-5.3.3** に示すようにコンクリートコアを採取して水を噴霧し、確認する必要がある。ここでは採取したコアの側面に水を噴霧した様子を載せているが、コアリングにおけるコアビットの摩擦の影響で吸水防止層が変質し、コア側面に水を噴霧しても撥水の様子を明確に確認できない場合もある。そのため、採取したコアを乾燥させ、乾燥後にコアを割裂し、割裂面に水を噴霧して確認するとよい。

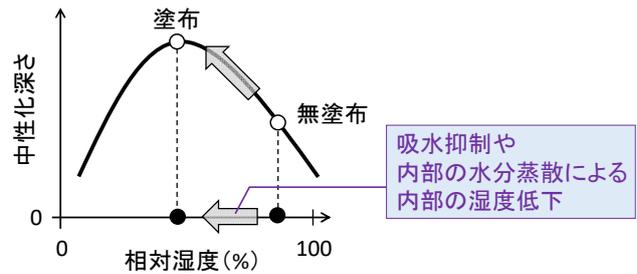


解説 図-5.3.3 含浸層（吸水防止層）の確認の様子（塗布 16 年経過）〔含〕

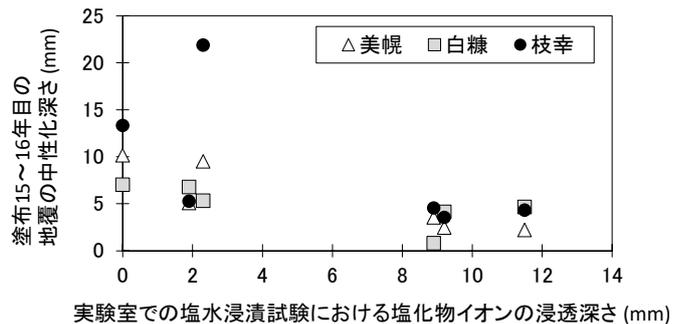
なお、シラン系表面含浸材を適用したコンクリート構造物にみられる特徴の一つとして、**解説 図-5.3.4⁶⁾**に示すように、中性化が進行しやすいことがあげられる。これは、**解説 図-5.3.5⁶⁾**に示すように、無塗布のコンクリートは外部からの水分供給を受け、中性化しにくい飽水状態になりやすいのに対し、塗布したコンクリートは外部からの水分の供給抑制ならびに内部の蒸発水分の外気逸散により、内部の相対湿度が中性化しやすい値まで低下しやすいためとされている。そのため、**解説 図-5.3.6⁶⁾**に示すように、塩水の侵入抑制効果が高い製品を適用したコンクリート構造物ほど、中性化しやすい傾向にある。しかし一方で、このようなコンクリートでは、シラン系表面含浸材が担う吸水抑制機能が持続している可能性が高い。近年では、中性化による鋼材腐食には水分が必要であることを勘案して評価することが標準となっている。このため、シラン系表面含浸材の塗布による吸水抑制と中性化の進行の両方を考慮して評価する必要がある。よって、吸水防止層の残存状況の確認が重要となる。



解説 図-5.3.4 道路橋地覆コンクリートで実施した中性化深さの調査結果〔含〕⁶⁾
(No. 1~5 は製品名)



解説 図-5.3.5 シラン系表面含浸材塗布箇所の中性化促進要因〔含〕⁶⁾



解説 図-5.3.6 実験室での塩水浸漬試験における塩化物イオン浸透深さと現場での中性化深さとの関係〔含〕⁶⁾

5.4 点検結果の記録

点検の結果は適切な方法で記録し、構造物を供用する期間はこれを保存する。

【解説】

点検結果の記録は、維持管理を行ううえで非常に重要であるため、コンクリート構造物の種類や機能に応じて、適切な方法で記録し、構造物を供用する期間は保存する必要がある。構造物の種類に応じて既に定められた方法や書式があれば、それらを参考にするとよい。例えば、橋梁であれば、「橋梁定期点検要領 付録-3 定期点検結果の記入要領」や「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案)」¹⁾が参考になる。

5.5 点検結果の評価・判定

点検結果の評価・判定を行い、適用した補修工法の状況を把握して維持管理計画に反映すること。また、必要に応じて講じる対策について検討する。

【解説】

点検結果の評価・判定を行い、適用した補修工法が設計時に設定された性能を満足しているかを確認する必要がある。変状が確認された場合は、変状の発生要因を推定することが重要である。すなわち、補修材料の変状であるか、コンクリート構造物の劣化によるものかである。また、変状の発生した範囲についても留意する必要がある。点検結果の評価・判定を行った後、点検頻度の見直しや点検項目の追加など、維持管理計画を見直すこと、また必要に応じて再補修対策を検討する必要がある。なお、評価・判定・対策については、各種指針類³⁾、⁴⁾、⁵⁾を参考にするとよい。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領，2019.
- 2) 遠藤裕丈，安中新太郎，丹羽敏和：シラン系表面含浸材の試験施工を行った美幌橋地覆コンクリートでの追跡調査 15年目の評価，第63回（令和元年度）北海道開発技術研究発表会発表概要集，2020.2
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2018.
- 4) 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.
- 5) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，2022.
- 6) 遠藤裕丈，島多昭典：シラン系表面含浸材を塗布して 15～16年経過した北海道の道路橋地覆コンクリートでの追跡調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.1，pp.1498-1503，2022.7

附属資料 A

表面被覆材の付着性試験方法（案）

1. 適用範囲

この規定は、表面被覆材の付着性を評価する方法について規定する。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

JIS A 5371 プレキャスト無筋コンクリート製品

JIS K 5600-5-6 塗料一般試験方法—第5部：塗膜の機械的性質—第6節：付着性(クロスカット法)

JIS R 5201 セメントの物理試験方法

3. 試験対象

この試験方法は、補修対象構造物の下地コンクリートならびに標準品質もしくは低品質の平板に塗布された表面被覆材に適用する。

標準品質の平板に塗布する場合は JIS A 5371 に規定される普通平板（呼び 300mm，厚さ 60mm），低品質の平板に塗布する場合は水セメント比 75%，砂とセメントの質量比が 3:1 のモルタル平板を用いる。普通平板もしくは低品質の平板のコンクリート打込み時の底面を，カップ形ホイールを装着したディスクグラインダ等の電動工具を用いて研磨し，研磨後の表面を清掃する。その後，製造者の定める仕様に従って，コンクリート打込み時の底面に表面被覆材を施工したものを供試体とする。なお，試験方法によっては，研磨紙を用いて研磨を行う場合もあるが，実際の施工での処理を想定して，ディスクグラインダ等の電動工具を使用することとしている。

4. 試験方法

4.1 プルオフ法

4.1.1 試験手順

- 供試体を水平に静置し，施工した表面被覆材にエポキシ樹脂系接着剤等を塗り，寸法 40mm×40mm，載荷面積 1,600mm² の引張用鋼製治具を接着する。その後，接着剤が十分に硬化するまで静置する。
- 図 1 に示すように，鋼製治具の周囲を，ダイヤモンド刃を装着したディスクグラインダ等の電動工具を用いて下地コンクリートに達するまで切込みを入れる。
- 引張用鋼製治具に，自在継手（接合部が回転可能な継手）を有するロッドを接続し，建研式接着力試験器の本体を設置する。
- 載荷は表 1 に示す載荷条件に従って行い，破断時の最大荷重を記録する。
- 破断後に，破断が生じた箇所を詳細に観察し，図 2 に従って，破壊部位（BC，B(K)，B(G)，AB，A）を記録する。また，破壊部位のおおよその面積率を示す。

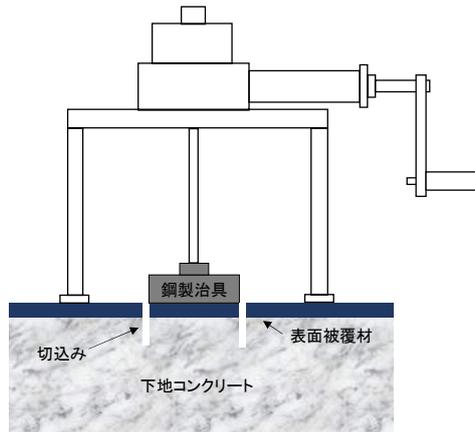
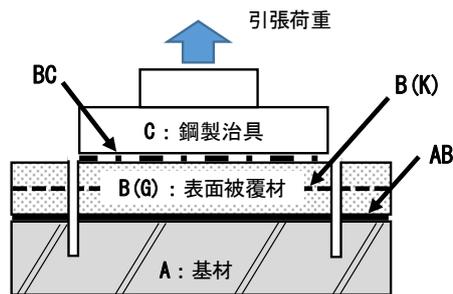


図1 プルオフ法の概要〔被〕

表1 载荷条件〔被〕

試験数	3箇所以上
载荷面形状・寸法	40×40×10mm, 载荷面積 1,600mm ²
载荷速度	1500～2000 N/min



- BC : 鋼製治具と表面被覆材の界面破壊
- B(K) : 表面被覆材間の界面破壊
- B(G) : 表面被覆材内の材料破壊
- AB : 基材と表面被覆材の界面破壊
- A : 基材の材料破壊

図2 破壊部位〔被〕

4.1.2 計算方法

測定した最大荷重から次式によって付着強さを計算する。また、試験数の平均値を求める。

$$\sigma = \frac{T}{A}$$

ここに、 σ : 付着強度 (N/mm²) , T : 破壊荷重 (N) , A : 断面積 (mm²)

4.1.3 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 試験日
- b) 試験時の温湿度
- c) 基板の種類

- d) 供試体の養生日数
- e) 供試体養生時の温湿度
- f) 表面被覆材の仕様
- g) 最大引張荷重 (N)
- h) 破壊部位 (面積率)
- i) 付着強さ

4.2 クロスカット法

4.2.1 試験手順

- a) 供試体を水平に静置し、幅 5mm のクロスカットガイド (図 3) とカッターナイフを用いて、JIS K 5600-5-6 7.2.1~7.2.5 (手動手順による塗膜の切込み及び除去) の手順に従って、供試体に全 9 マス (1 マス : 5mm 格子) の切込みを入れる。試験の前に、刃の部分を検査し、刃を研ぐかまたは取換えによってその状態を維持する。

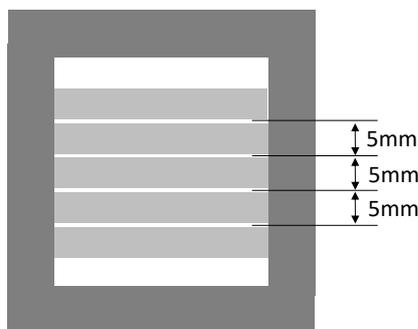
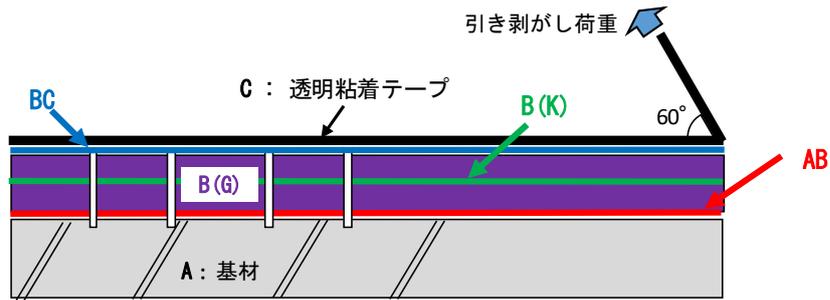


図 3 クロスカットガイドの例〔被〕

- b) 透明感圧付着テープは、25mm の幅当たり 10±1N の付着強さを持つものとする。これは、JIS K 5600-5-6 のクロスカット試験用として市販もされている。新しいシリーズを始める際には、透明感圧付着テープのリールから完全に 2 巻きのラップを取り外し捨てる。一定の速度でテープを取り出して、約 75mm の長さの小片にカットする。
- c) JIS K 5600-5-6 7.2.6 (手動手順による塗膜の切込み及び除去) に従って、図 4 のように透明感圧付着テープを供試体表面に貼り付け、透明感圧付着テープを引き剥がす操作を行う。
- d) 塗膜に正しく接触させるために、指先でしっかりとテープをこする。テープを付着して 5 分以内にテープを引き剥がすが、できるだけ 60°に近い角度でテープの端をつかみ (図 4)、0.5~1.0 秒で確実に引き離すようにする。
- e) マス目の残存数およびそれぞれのマス目の破壊部位を記録する。破壊部位は、図 4 のように区別する。



- BC : 透明粘着テープの剥離（健全）
- B(K) : 表面被覆材層間の界面破壊
- B(G) : 表面被覆材内の材料破壊
- AB : 基材と表面被覆材の界面破壊
- A : 基材の材料破壊

図4 試験の概要と破壊部位を表す記号〔被〕

4.2.2 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 試験日
- b) 試験時の温湿度
- c) 基板の種類
- d) 供試体の養生日数
- e) 供試体養生時の温湿度
- f) 表面被覆材の仕様
- g) マス目の残存数
- h) マス目の破壊部位

附属資料 B

下地コンクリートにおける表面水の確認方法（案）

1. 適用範囲

この規定は、水分検知紙を用いて、下地コンクリートにおける表面水の有無を確認する方法について規定する。

2. 測定方法

2.1 水分検知紙

下地コンクリートにおける表面水（浮き水）の有無を確認する場合に用いる。水分検知紙は、水に触れると赤点が滲む（不可逆性）のものとする（図 1）。このような水分検知紙は、例えば、電子機器の水没管理用として市販されている。

2.2 測定手順

- a) 測定は、図 2 に示すように、寸法 1cm×2cm×5.5cm の弾性材料（塩化ビニル樹脂製の消しゴム等）の 1cm×2cm の面に水分検知紙を貼りつけたものを用いる。
- b) 水分検知紙を貼り付けた消しゴムを、測定部位に 1 回当たり 3 秒押し当て、水分検知紙の滲みの有無を確認する。水分検知紙に滲みがある場合は、測定部位に表面水（液体の水）があると判定する。



図 1 水分検知による滲み〔被・含〕

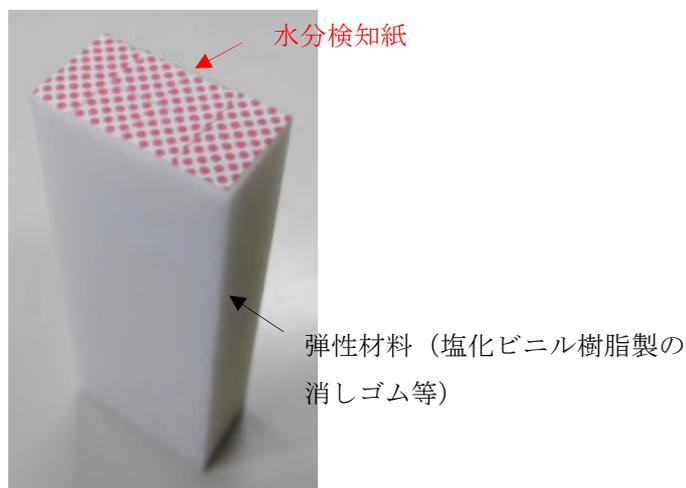


図 2 水分検知紙による方法〔被・含〕

3. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 試験日
- b) 試験時の温湿度
- c) 測定部位の凹凸の程度
- d) 水分検知紙の滲みの有無
- e) 試験前後の水分検知紙の写真記録

附属資料 C

施工時の温湿度および下地コンクリート表面温度の測定方法（案）

1. 適用範囲

この規定は、表面被覆工法もしくは表面含浸工法を施工する際の温湿度および下地コンクリート表面温度の測定方法について規定する。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

JIS Z 8704 温度測定方法-電気的方法

JIS Z 8806 湿度-測定方法

3. 測定方法

- a) 施工時の温湿度は、JIS Z 8704 および JIS Z 8806 に規定される適切な機器を用いて測定する。
- b) 測定箇所は、**図 1** を参考に、湿度が高くなりやすい下地コンクリートの施工面の近傍で測定することを標準とする。
- c) 測定した温湿度と**表 1** を比較し、露点温度を求める。
- d) 下地コンクリート表面温度は、JIS Z 8704 に規定される適切な表面温度計を用いて測定する。**図 2** には、接触式表面温度計を用いた表面温度の測定例を示す。表面温度は、測定値の変動が $1^{\circ}\text{C}/5\text{min}$ 以下の時に有効とする。表面温度が安定しない場合は、寸法 $70\times 70\times 7\text{cm}$ 程度の発泡ポリスチレンで測定箇所を覆って断熱し、測定するとよい。
- e) 測定した温湿度から求めた露点温度と下地コンクリートの表面温度を比較する。

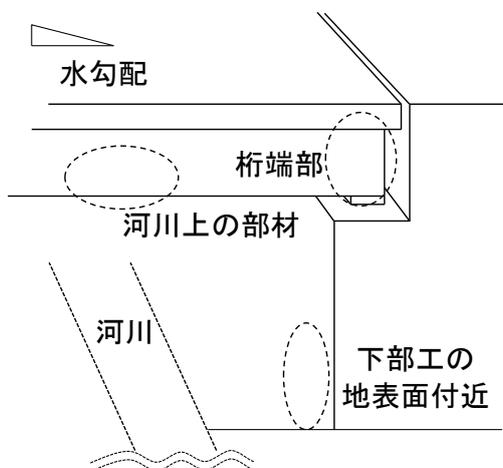


図 1 湿度管理に注視すべき箇所の例〔被・含〕

表1 各温湿度における露点温度〔被・含〕

環境温度 (°C)	湿度に対応した露点温度(°C)												
	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
35	19.2	21.1	22.8	24.3	25.8	27.1	28.3	29.5	30.6	31.6	32.6	33.5	35.0
34	18.4	20.2	21.9	23.4	24.9	26.2	27.4	28.6	29.6	30.7	31.7	32.6	34.0
33	17.5	19.3	21.0	22.5	23.9	25.3	26.5	27.6	28.7	29.7	30.7	31.6	33.0
32	16.6	18.4	20.1	21.6	23.0	24.3	25.5	26.7	27.8	28.8	29.7	30.7	32.0
31	15.7	17.6	19.2	20.7	22.1	23.4	24.6	25.7	26.8	27.8	28.8	29.7	31.0
30	14.9	16.7	18.3	19.8	21.2	22.5	23.7	24.8	25.9	26.9	27.8	28.7	30.0
29	14.0	15.8	17.4	18.9	20.3	21.6	22.7	23.9	24.9	25.9	26.9	27.8	29.0
28	13.1	14.9	16.5	18.0	19.4	20.6	21.8	22.9	24.0	25.0	25.9	26.8	28.0
27	12.2	14.0	15.6	17.1	18.4	19.7	20.9	22.0	23.0	24.0	24.9	25.8	27.0
26	11.3	13.1	14.7	16.2	17.5	18.8	19.9	21.0	22.1	23.0	24.0	24.9	26.0
25	10.4	12.2	13.8	15.3	16.6	17.8	19.0	20.1	21.1	22.1	23.0	23.9	25.0
24	9.6	11.3	12.9	14.3	15.7	16.9	18.1	19.1	20.2	21.1	22.0	22.9	24.0
23	8.7	10.4	12.0	13.4	14.7	16.0	17.1	18.2	19.2	20.2	21.1	21.9	23.0
22	7.8	9.5	11.1	12.5	13.8	15.0	16.2	17.2	18.3	19.2	20.1	21.0	22.0
21	6.9	8.6	10.2	11.6	12.9	14.1	15.2	16.3	17.3	18.2	19.1	20.0	21.0
20	6.0	7.7	9.3	10.7	12.0	13.2	14.3	15.3	16.3	17.3	18.2	19.0	20.0
19	5.1	6.8	8.3	9.7	11.0	12.2	13.3	14.4	15.4	16.3	17.2	18.0	19.0
18	4.2	5.9	7.4	8.8	10.1	11.3	12.4	13.4	14.4	15.4	16.2	17.1	18.0
17	3.3	5.0	6.5	7.9	9.2	10.3	11.5	12.5	13.5	14.4	15.3	16.1	17.0
16	2.4	4.1	5.6	7.0	8.2	9.4	10.5	11.5	12.5	13.4	14.3	15.1	16.0
15	1.5	3.2	4.7	6.0	7.3	8.5	9.6	10.6	11.5	12.4	13.3	14.1	15.0
14	0.6	2.3	3.8	5.1	6.4	7.5	8.6	9.6	10.6	11.5	12.3	13.1	14.0
13	-0.3	1.4	2.8	4.2	5.4	6.6	7.7	8.7	9.6	10.5	11.4	12.2	13.0
12	-1.2	0.5	1.9	3.3	4.5	5.6	6.7	7.7	8.6	9.5	10.4	11.2	12.0
11	-2.1	-0.5	1.0	2.3	3.6	4.7	5.7	6.7	7.7	8.6	9.4	10.2	11.0
10	-3.0	-1.4	0.1	1.4	2.6	3.7	4.8	5.8	6.7	7.6	8.4	9.2	10.0
9	-3.9	-2.3	-0.8	0.5	1.7	2.8	3.8	4.8	5.7	6.6	7.4	8.2	9.0
8	-4.8	-3.2	-1.8	-0.5	0.7	1.8	2.9	3.9	4.8	5.6	6.5	7.2	8.0
7	-5.7	-4.1	-2.7	-1.4	-0.2	0.9	1.9	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0
6	-6.6	-5.0	-3.6	-2.3	-1.2	-0.1	1.0	1.9	2.8	3.7	4.5	5.3	6.0
5	-7.5	-5.9	-4.6	-3.3	-2.1	-1.0	0.0	1.0	1.9	2.7	3.5	4.3	5.0

※水の飽和水蒸気圧は JIS Z 8806 に記載されている SON-NTAG の式により求め、水蒸気圧に対する露点温度は文献 1) の式(7)により算定した。



図2 接触式表面温度計を用いた表面温度の測定例〔被・含〕

4. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 測定日
- b) 測定時の温湿度
- c) 測定箇所
- d) 露点温度
- e) 下地コンクリート表面温度

参考文献

- 1) 富高四郎：水蒸気圧に対応する露点温度の算出法について，日本気象学会機関誌「天気」，35,2, pp.47-58, 1988.2

附属資料 D

表面被覆材の外観調査方法（案）

1. 適用範囲

この規定は、表面被覆材の外観を調査する方法について規定する。

2. 外観調査方法

2.1 外観調査用の格子の設定

表面被覆材が塗布された部材ごとに、外観調査用の格子を設定する。格子の1辺の長さは、対象とする部材の寸法や表面被覆材の種類等によるため一概には設定できないが、部材の寸法や表面被覆材に生じた変状の程度を考慮し、数 10cm 程度を目安に設定するとよい（図 1）。

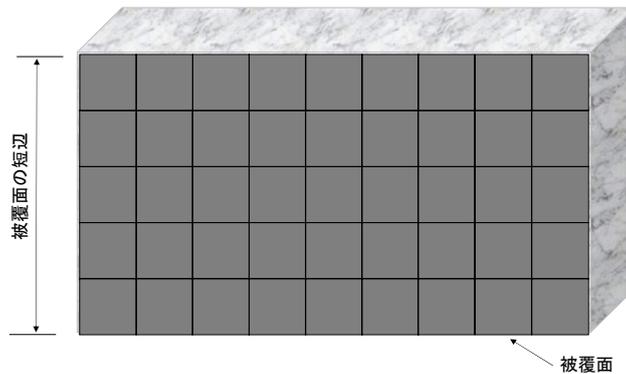


図 1 外観調査用格子の配置の例〔被〕

2.2 調査手順

調査対象面に汚れがある場合は、ウェス等で汚れを拭き取る。2.1 で設定した格子内に膨れ、浮きおよび割れがある場合を、「変状が生じた格子」と判定し、変状が生じた格子数および格子内の変状の種類（膨れ、浮き、剥がれ、割れ等）を記録する。表面被覆材の膨れの例を図 2 に示す。

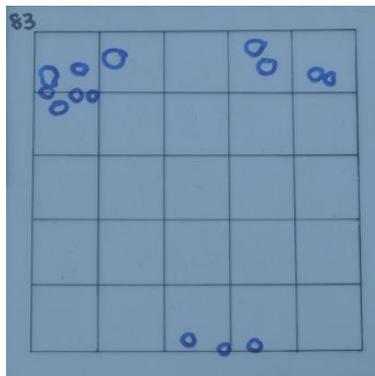


図 2 表面被覆材の膨れの例（膨れの輪郭を閉曲線で描いた）〔被〕

3. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 調査日
- b) 調査時の温湿度
- c) 表面被覆材の仕様
- d) 格子数
- e) 変状が生じた格子数
- f) 格子内の変状の種類（膨れ，浮き，剥がれ，割れ等）

附属資料 E

表面被覆材の塩化物イオン遮蔽性試験方法（案）

1. 適用範囲

この規定は、表面被覆材における塩化物イオンの侵入に対する抵抗性を評価する方法について規定する。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

JIS K 0101 工業用水試験方法

JIS K 8150 塩化ナトリウム（試薬）

3. 塩化物イオンの侵入に対する抵抗性試験

3.1 表面被覆材の品質確認

3.1.1 試験手順

- ピンホールのない 1 辺約 70mm の正方形の表面被覆材の塗膜（フリーフィルム）を作製する。
- 塗膜の膜厚を、塗膜の周辺約 20mm を除いた部分の任意の 3 箇所測定する。
- 図 1 に示すようなガラス製もしくはアクリル製の測定セルに塗膜をはさむ。
- 塗膜の表面側のセルには 3%塩化ナトリウム水溶液を、裏面側には蒸留水を入れる。この時の試験溶液量は、塗膜の両面全体が完全に溶液に浸せきするまでとし、その質量をそれぞれ 0.1g の単位まで測定する。塩化ナトリウムは JIS K 8150 に示す試薬あるいはこれと同等品とする。
- 20°C で 30 日間静置した後、蒸留水側のセルから溶液を一定量採取し、JIS K 0101 に準じて塩化物イオン量を測定する。ただし、測定検出限界は、0.1ppm とする。
- 下式より塩化物イオン透過量を算定する。

$$Q = \frac{V \times m \times 10^{-3}}{A \cdot t}$$

ここに、 Q ：塩化物イオン透過量（mg/(cm²・日)）、 V ：塗膜裏側の蒸留水量（g）、 m ：蒸留水中の塩

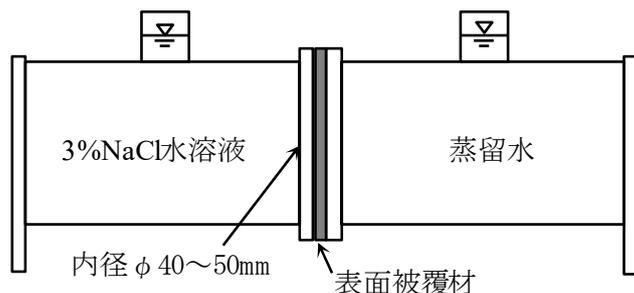


図 1 表面被覆材の品質確認方法の概要 [被]

化物イオン測定量 (ppm) , A : 拡散セルの透過面積 (cm²) , t : 試験時間 (=30 日)

3.1.2 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 試験日
- b) 試験時の温湿度
- c) 表面被覆材の仕様
- d) 表面被覆材の膜厚の測定値
- e) 塩化物イオン量の分析方法およびその検出限界値
- f) 塩化物イオン透過量

3.2 供用中の表面被覆材における塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の確認

3.2.1 試験手順

- a) 表面被覆材が塗装されたコンクリート構造物の表面から直径 75mm 程度、長さ 30mm 以上のコアを採取する。
- b) 表面被覆材を含めて、厚さが 10±0.5mm の円盤試料となるように加工する (図 2)。
- c) 円盤試料のコンクリートが、3%NaCl 水溶液を入れるセル側を向くように円盤試料を設置する (図 3)。
- d) 円盤試料の周囲は、漏水しないように、シーリング材などによりシール処理を行う。
- e) 下地コンクリート側のセルには 3%NaCl 水溶液を、表面被覆材側のセルには蒸留水を入れる。この時の試験溶液量は、塗膜の両面全体が完全に溶液に浸せきするまでとし、その質量をそれぞれ 0.1g の桁まで測定する。塩化ナトリウムは JIS K 8150 に示す試薬あるいはこれと同等品とする。
- f) 20°C で 30 日間静置した後、蒸留水側のセルから溶液を一定量採取し、JIS K 0101 に準じて塩化物イオン量を測定する。ただし、測定検出限界は、0.1ppm とする。
- g) 下式より塩化物イオン透過量を算定する。

$$Q = \frac{V \times m \times 10^{-3}}{A \cdot t}$$

ここに、 Q : 塩化物イオン透過量 (mg/(cm²・日)) , V : 塗膜裏側の蒸留水量 (g) , m : 蒸留水中の塩化物イオン測定量 (ppm) , A : 拡散セルの透過面積 (cm²) , t : 試験時間 (=30 日)

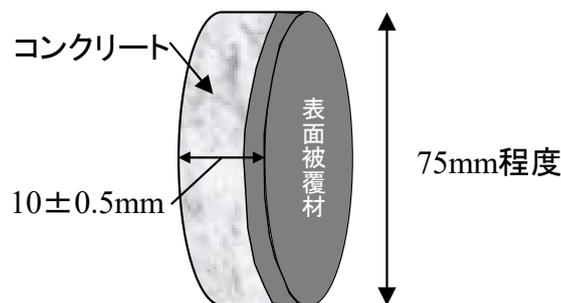


図 2 円盤試料の概要 [被]

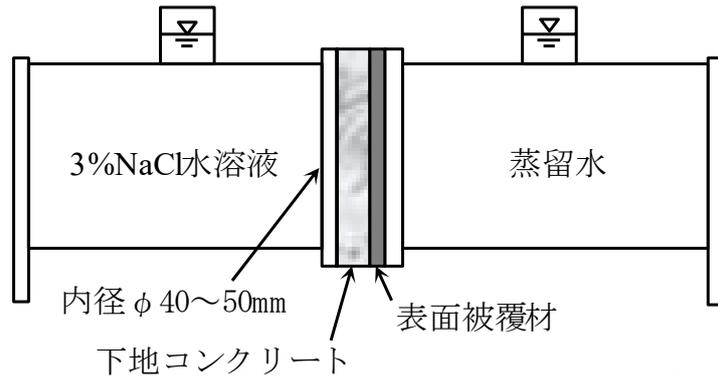


図3 供用中の表面被覆材における塩化物イオンの侵入に対する抵抗性の確認方法の概要〔被〕

3.2.2 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 試験日
- b) 試験時の温湿度
- c) 表面被覆材の仕様
- d) 表面被覆材の変状の有無（試験前後）
- e) 円盤試料の厚さ
- f) 下地コンクリートの配合
- g) 塩化物イオン量の分析方法およびその検出限界値
- h) 塩化物イオン透過量

附属資料 F

表面含浸材の性能評価試験（案）

1. 適用範囲

この規定は、表面含浸材の性能を評価する方法について規定する。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方

JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

JIS A 5308 レディーミクストコンクリート

JIS A 6204 コンクリート用化学混和剤

JIS R 5210 ポルトランドセメント

土木研究所資料第 4186 号，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－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－，附属資料-2 浸透性コンクリート保護材の性能基準（暫定案）

3. 性能評価試験

3.1 基材の作製

基材の材料，配合，寸法等を表 1 に示す。

3.2 シール処理

切断面以外の面には，エポキシ樹脂系のプライマー，パテ及び中塗りを塗布し，シール処理を行う。

表 1 基材の作製方法〔含〕

使用材料	セメント：JIS R 5210 に規定する普通ポルトランドセメント 水，細骨材，粗骨材：JIS A 5308 附属書 A および C に準拠 化学混和剤：JIS A 6204 に準拠
配合およびコンクリートの品質	水セメント比：55%，粗骨材最大寸法：20mm，空気量：4.5±1.5%
寸法	100×100×100mm：100×100×400mm のコンクリートに成形して養生後，図 1 のように切断して作製
作製	JIS A 1132 および JIS A 1138 に準拠
養生	温度 20±2℃，相対湿度 90%以上の状態で 24 時間経過したのち脱型してから，温度 20±2℃の水中で 6 日間養生し，さらに，温度 23±2℃，相対湿度 50±10%で 28 日間養生
研磨	カップ形ホイールを装着したディスクグラインダ等を用いて切断面および型枠面を研磨

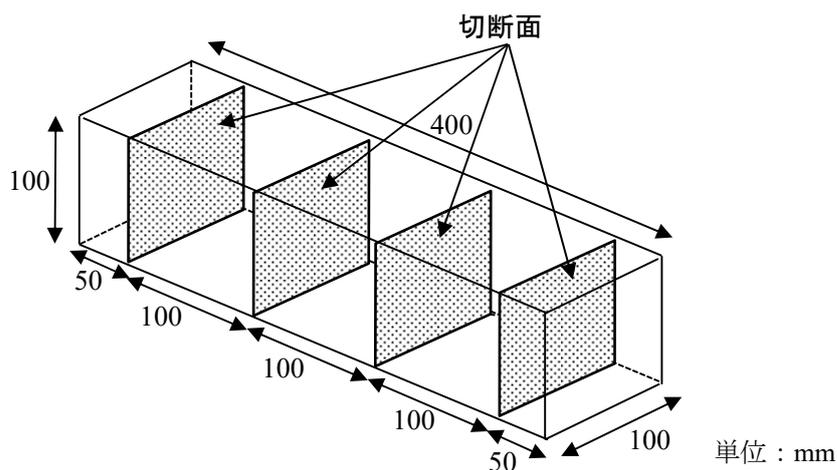


図1 基材の切断面〔含〕

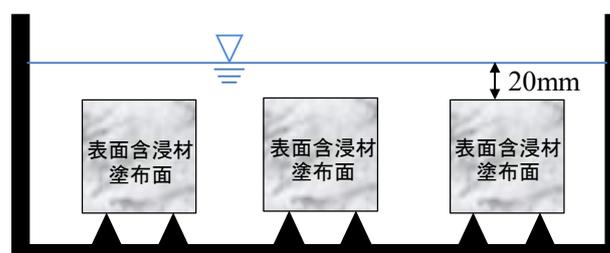


図2 供試体の浸漬方法〔含〕

3.3 表面含浸材の塗布

製造者の定める仕様に従って、基材の切断面の2面に表面含浸材を塗布し、室温で14日間養生したものを供試体とする。試験体の個数は、3個とする。なお、揮発性の表面含浸材を塗布する場合は、表面含浸材の蒸気によって意図せずに、他の試験体に撥水性等が付与される可能性があるため、施工および養生場所に留意する必要がある。

3.4 試験手順

- 表面含浸材の養生終了後、供試体の質量を0.1gまで測定する。
- 試験容器に水道水を溜め、供試体の上面から水面までの距離が20mmとなるように供試体を浸漬する（図2）。浸漬の際は、表面含浸材を塗布していないシール面が上側を向くように、供試体を設置する。浸漬する水は、2週間に1回程度の頻度で交換する。
- 浸漬30日を終了後、供試体の表面に付着している水を拭き取り、直ちに供試体の質量を測定する。
- 下式により浸漬試験30日後の質量変化率を算定する。質量変化率は、小数点以下3桁目を四捨五入して小数点以下2桁に丸める。

$$W = \frac{w_n - w_0}{w_0} \times 100$$

ここに、 W ：浸漬試験30日後の質量変化率（％）， w_n ：浸漬試験30日後の供試体の質量（g）， w_0 ：浸漬試験前の供試体の質量（g）

4. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 試験日
- b) 試験時の温湿度
- c) 基材の使用材料
- d) シール処理に用いた材料（プライマー、パテ、中塗り）の仕様
- e) 表面含浸材の仕様
- f) 表面含浸材の塗布条件
- g) 供試体 3 個の浸漬 30 日の質量変化率

附属資料 G

シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法（案）

1. 適用範囲

この規定は、コンクリートにシラン系表面含浸材を塗布した際の含浸状況を非破壊で管理する方法について規定する。

2. 測定方法

2.1 測定の概要

シラン系表面含浸材の含浸状況は、塗布後にコンクリートを削孔し、採取したコアを割裂し、JSCE-K 571 に準じて割裂面に水を噴霧することで直接的に把握できる。しかし、この方法はコンクリート部材に損傷を与えるため、すべての現場に適用することは難しい。

図1に示すように、シラン系表面含浸材は深さ方向に加えて、表面方向へも含浸する特徴を有している。また、深さ方向へ含浸しやすいコンクリートにシラン系表面含浸材を塗布すると、表面方向の含浸距離は大きくなる傾向にある¹⁾。

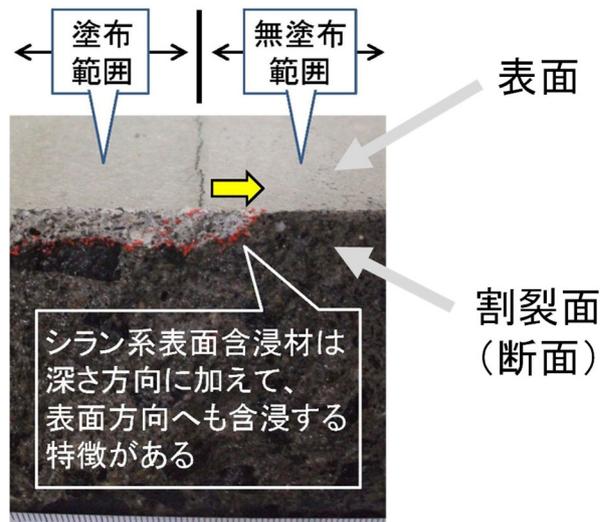


図1 シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートを割裂して割裂面に水を噴霧したときの様子〔含〕

本方法（案）は、この特徴を応用し、図2に示すように、コンクリート表面の一部分に無塗布範囲を設け、塗布範囲と無塗布範囲の境界から無塗布範囲の表面方向に形成される撥水域の有無や拡がり方をもとに、シラン系表面含浸材の含浸状況を非破壊で管理することをねらいとし、その手順を示したものである。

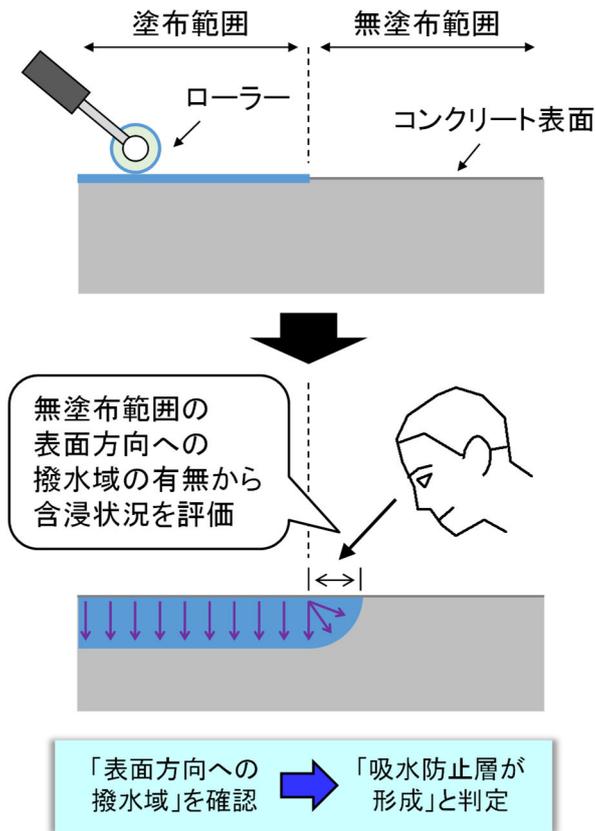


図 2 測定の概要〔含〕

2.2 測定方法

図 3 に測定方法を示す。なお、図に示すコンクリートは、コンクリート構造物の表面に見立てている。

- 塗布に先立ち、評価面となる無塗布範囲を設定する。評価面の大きさは $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ を標準とする。なお、部材の表面が狭隘で $10\text{cm}\times 10\text{cm}$ のスペースを確保することが難しい場合、評価に差し障りのない範囲で、評価面の面積を狭めてもよい。評価面の位置が決まったら、評価面と塗布範囲の境界を鉛筆で明示する。
- 100 番の紙やすりを使用して、評価面の表面を細骨材が見える程度まで研磨する。これは、後述の h)において水を噴霧した際、撥水域を認識しやすくするために行うものである。
- 前述の a)において鉛筆で引いた境界線の評価面側に、幅 5cm の養生テープを隙間のないようにしっかり貼る。これは、シラン系表面含浸材が含浸する表面方向と深さ方向の環境をあわせるため、評価面を気中に触れさせないための措置である。
- 塗布を行う。
- 塗布を終えたら、養生テープを一旦、剥がす。これは、コンクリート表面と養生テープの隙間にシラン系表面含浸材が侵入することを防ぐため、養生テープの端部に付着するシラン系表面含浸材を絶つための措置である。
- 剥がした後、すぐに、新しい養生テープを再び貼り直す。なお、この際、シラン系表面含浸材と養生テープが付着しないよう、図 4 に示すように鉛筆で引いた境界線と養生テープの間は約 1mm あけることとする。

- g) 塗布を終えてから原則3日以降経過後、養生テープを剥がす。これは、経時的に変化する含浸深さは、塗布後およそ3日で一定値に達する²⁾ことに鑑みたものである。
- h) 養生テープを剥がしたら、すみやかに水を噴霧する。シラン系表面含浸材は揮発性のため、すぐに水を噴霧しないと、揮発したシラン系表面含浸材の成分が評価面に付着し、適切な評価が行えなくなることがあるので、注意が必要である。

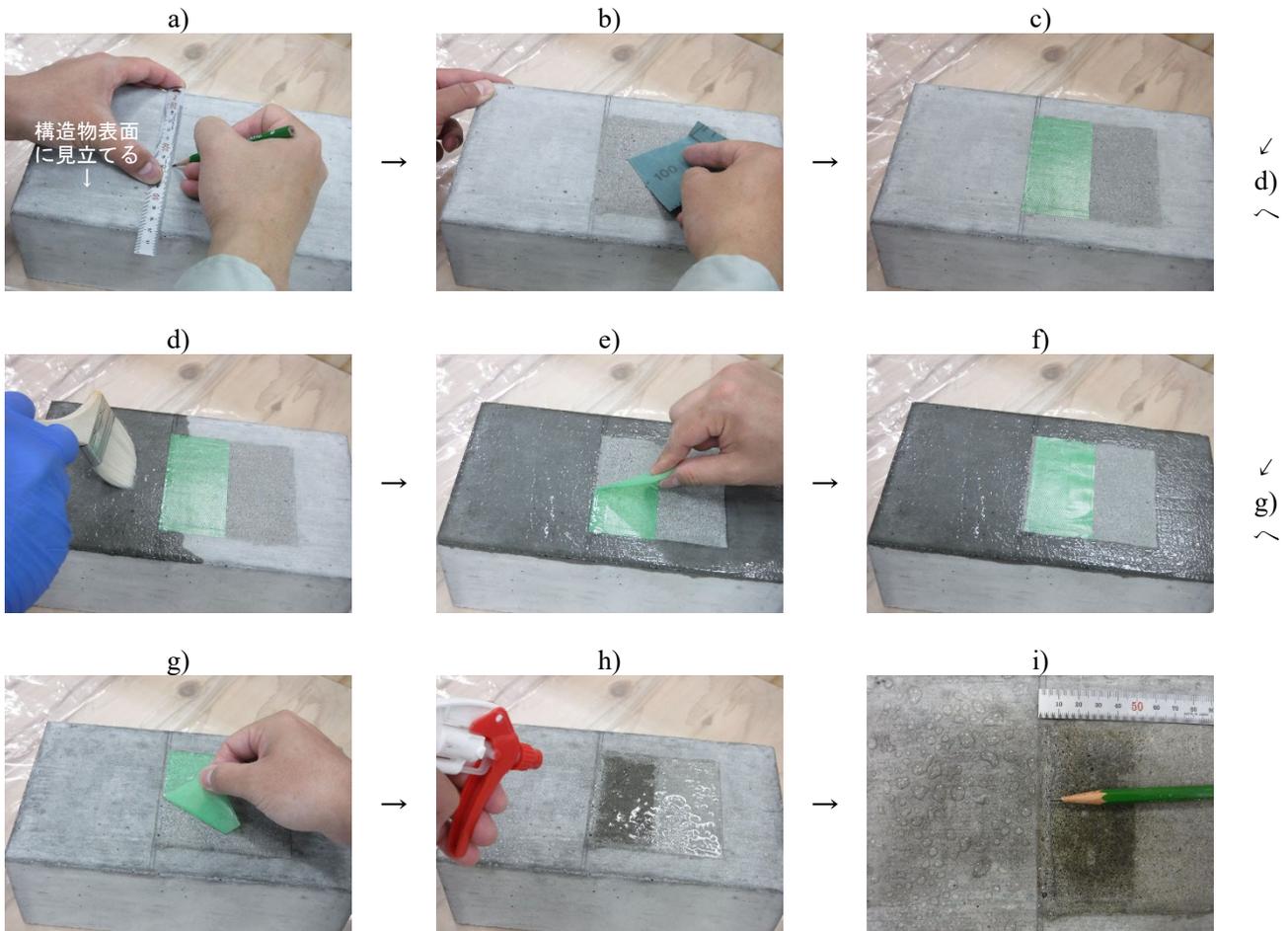


図3 測定方法〔含〕

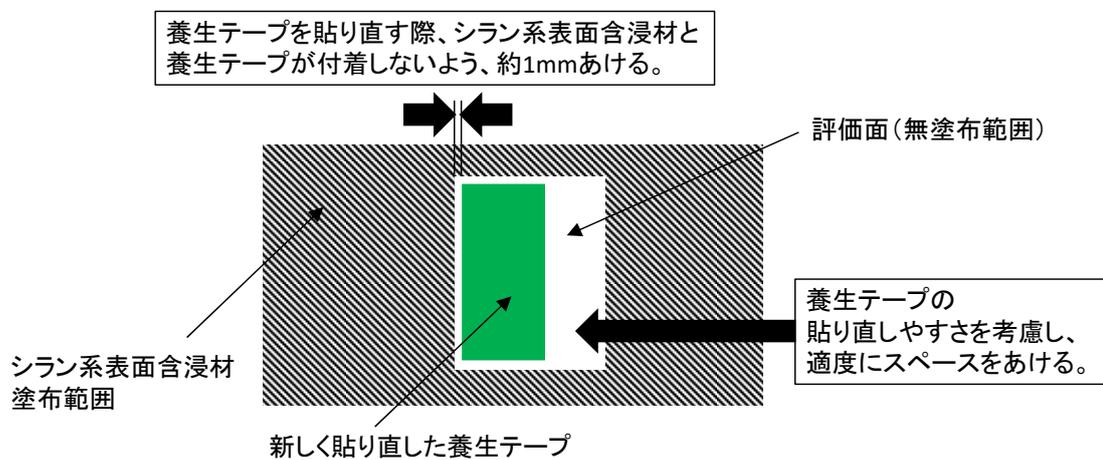


図4 図3のf)における留意点〔含〕

- i) 鉛筆で引いた境界線から評価面側に撥水域が形成されているかを確認する。境界線から撥水を呈した部分までの最長距離が数 mm 以上であれば「含浸層（吸水防止層）が形成されている」と評価する。境界線から撥水を呈した部分までの最長距離が大きいほど、厚い吸水防止層が形成されていることが期待される。最長距離幅が極めて小さい、もしくは撥水域の形成が確認されなかった場合は、原則として塗布をやり直す。

3. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 測定日
- b) 測定箇所
- c) 鉛筆で引いた境界線から評価面側に形成される撥水域の有無
- d) 境界線から撥水を呈した部分までの最長距離

4. その他

測定を終えた後、2.2 測定方法の a) で設定した無塗布状態にある評価面を十分乾燥させ、評価面にシラン系表面含浸材を塗布する。これにより、すべての工事数量の塗布作業が完了することになる。

参考文献

- 1) 遠藤裕丈，安中新太郎：シラン系表面含浸材の含浸状況の非破壊評価方法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.1486-1491，2020.7
- 2) 降旗翔，大塚秀三，八木修，中田善久：シラン系表面含浸材の定着時間に及ぼす温度の影響に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.36，No.1，pp.1930-1935，2014.7

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル
2022年版

Ⅲ 断面修復工法編

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版

III [断面修復工法編]

目次

1. 総則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	1
2. 断面修復工法の補修設計	5
2.1 補修方針の設定	5
2.2 構造物の劣化状態の確認と施工範囲の設定	6
2.3 施工方法の設定	7
2.4 断面修復材の品質	8
2.5 付着面の品質	17
3. 断面修復工法の施工	24
3.1 断面修復工法の施工手順	24
3.2 既存コンクリートのはつり	25
3.3 鉄筋の処理	26
3.4 下地コンクリートの改善処理	28
3.5 付着面の処理	28
3.6 断面修復材の管理	29
3.7 左官工法による施工	30
3.8 湿式吹付け工法による施工	31
3.9 乾式吹付け工法による施工	33
3.10 充填工法による施工	35
3.11 施工時の環境条件に応じた留意点	36
3.12 仕上げ面の処理	36
3.13 養生	37
3.14 安全衛生	37
4. 検査	39
4.1 一般	39
4.2 検査項目と判定基準	39
4.3 検査の記録	41
5. 補修後の維持管理	42
5.1 一般	42
5.2 点検の頻度	42
5.3 点検の項目と方法	44
5.4 点検記録	45
附属資料	46
附属資料 A 断面修復材の圧縮強度の求め方 (案)	46
附属資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方 (案)	50
附属資料 C 砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法 (案)	54
附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法 (案)	58
附属資料 E <参考>断面修復材の乾燥湿潤試験方法 (案)	62
附属資料 F 断面修復材の水中耐久性試験方法 (案)	67

1章 総則

1.1 適用範囲

この断面修復工法編（以下、本編という）は、共通編における補修工法選定において、断面修復工法を選択した場合に適用する。断面修復工法の補修設計および施工を行う際に、遵守すべき事項と配慮することが望ましい事項を示したものである。

【解説】

劣化の種類と程度に応じた補修工法の選定は共通編に従って行う。その結果、断面修復工法が選択された場合に、その補修設計および施工を行う際に遵守すべき事項、および配慮することが望ましい事項について記載する。

本編は、土木研究所における最新の研究成果をもとに提案した内容を中心にとりまとめている。このため、本編に記載していない事項については、以下の指針、マニュアル等の最新版を参照されたい。

- ・土木学会：コンクリート標準示方書〔維持管理編〕¹⁾
- ・土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案）（コンクリートライブラリー119）²⁾
- ・土木学会：吹付けコンクリート指針（案）〔補修・補強編〕（コンクリートライブラリー123）³⁾

断面修復工法に求める補修方針には、主に(1)劣化因子の侵入防止、(2)鉄筋の不動態皮膜の保護、(3)断面形状の回復、(4)構造体としての耐力の回復等がある。本編は(1)、(2)および(3)を対象とした断面修復工法に適用する。(4)を方針とする場合は、本編の記載内容に加え、部材に作用する荷重の条件、新たに導入するプレストレス力の設計などを適切に考慮して、構造的、力学的な照査を行う必要がある。これに関しては上記の文献に加えて「プレストレスコンクリート構造物の補修の手引き（案）〔断面修復工法〕」⁴⁾を参照されたい。

なお、耐震補強工事等で既存の構造部材をコンクリートによって巻き立てることで増厚するような場合は、構造的な検討は別途必要となるが、施工方法に関しては断面修復工法と同一となる場合が多いため、本編の施工方法を参照することが可能である。

1.2 用語の定義

本編では、次のように用語を定義する。

フェザーエッジ：コンクリートをはつり取った際に生じるはつり面端部の角度が緩やかなスロープ状となるはつり形状

浸透性塗布材：固化前は高い流動性を有し、はつりにより下地コンクリートに生じる微細ひび割れや空隙

等に浸透して固化する性能を持つ塗布材

ドライアウト：フレッシュ状態の断面修復材の水分が下地コンクリートに吸収され、セメントの水和が阻害される現象

吸水防止処理：ドライアウトを防止する目的で、下地コンクリートの表面を湿潤状態に保つか、プライマー処理を行う行為

水湿し処理：吸水防止処理の手法の一つであり、下地コンクリートの表面に散水するなどして湿潤状態を保つ行為

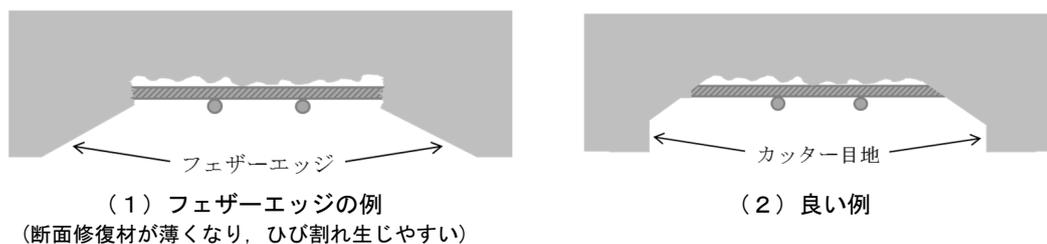
プライマー処理：吸水防止処理の手法の一つであり、下地コンクリートの表面にセメント混和用ポリマーディスパージョンまたはその希釈液、エポキシ樹脂等を塗布あるいは吹きかける行為

しごき：左官工法において、最初に下地コンクリートに断面修復材を少量薄塗りして、コテで圧力をかけながら擦り付ける行為

付着耐久性：断面修復材とコンクリートとの付着力が持続する程度

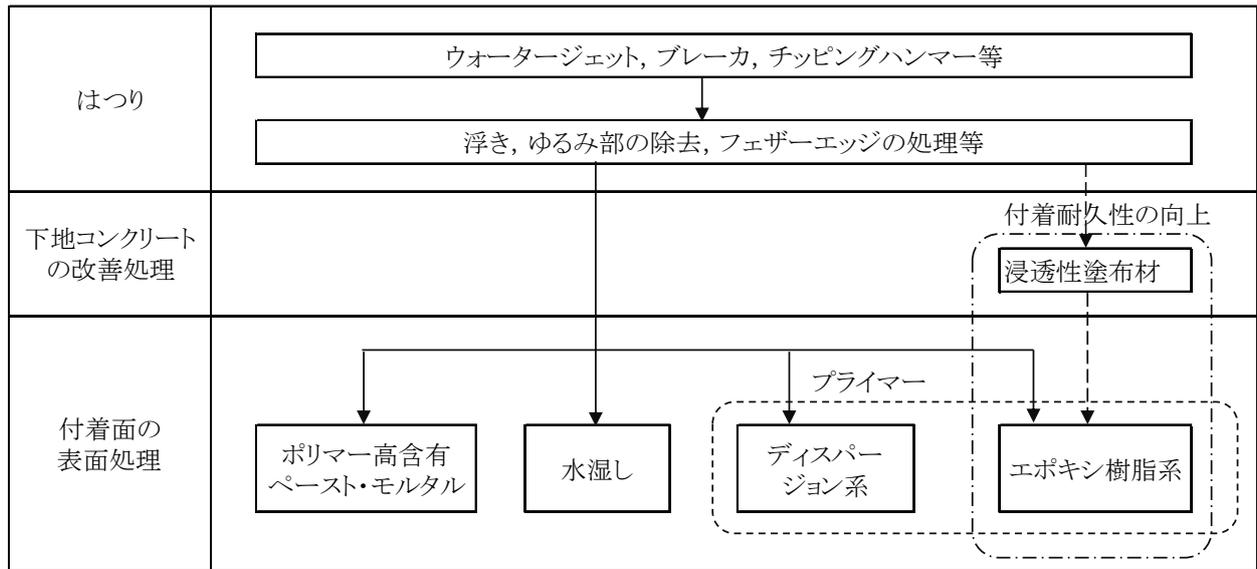
【解説】

フェザーエッジについて コンクリートのはつり工程において、**解説 図-1.2.1**に示すようなフェザーエッジを作ると、そこに塗布される断面修復材の厚さが極端に薄くなり、乾燥ひび割れや浮きが生じるリスクが高くなる。このため、端部についてはカッター目地を入れる等、適切に処理するのが良い。



解説 図-1.2.1 フェザーエッジ

付着面の処理について 付着面の処理は、下地コンクリートと断面修復材との付着性と耐久性を確保するために、下地コンクリートの付着面において、吸水防止処理や必要に応じて下地コンクリートの改善処理等を施すものである。これらの処理方法には、**解説 図-1.2.2**に示すように、いくつかの方法があり、これによって断面修復に必要な付着性と付着耐久性が得られる。



解説 図-1.2.2 付着面の処理方法

浸透性塗布材について ブレーカ等による打撃系のはつり処理を行うと、下地コンクリートに微細なひび割れが生じやすい。浸透性塗布材は、この微細なひび割れが生じた下地コンクリートを改善することが可能な材料であり、これにより断面修復後の付着耐久性の向上を期待するものである。2.5 付着面の品質（2）および3.4 下地コンクリートの改善処理で詳述する。

ドライアウト, 吸水防止処理, 水湿し処理, プライマー処理について 下地コンクリートが乾燥していると、フレッシュ状態の断面修復材の水分が下地コンクリートに吸収され、セメントの水和が阻害される。これをドライアウトという。このドライアウトを防止するために吸水防止処理を行う必要がある。水湿し処理は、下地コンクリートを水で湿らせる方法で、簡便であることから、小規模な断面修復箇所で行われる。ただし、水分が多すぎると、表面の水膜が付着を妨げることがあるため注意が必要である。また、長時間にわたって良好な湿り気を維持するのは困難であることから、大規模な施工箇所には不向きである。

ディスパージョン（エマルジョンと呼ばれることもあるが、ここではディスパージョンに統一）系のプライマーを用いる方法は、下地コンクリートの表面にプライマーの層を作ることによって、水分の移動を防止するものであり、あわせて、下地コンクリートや断面修復材との優れた付着性を発揮する。ディスパージョン系のプライマーにはポリアクリル酸エステル（PAE）系やエチレン酢酸ビニル系（EVA）等があり、下地コンクリートに塗布し、乾燥すると薄いポリマーの膜が形成され、この膜によって水分の移動を遮断する。施工面に一度塗布すれば、施工面が汚れたり、水がかかたりしない限り、ある程度時間が経過しても性能が低下しないため、施工性に優れている。また、ポリマー含有率の高いモルタルまたはペーストを薄く塗る場合もある。

プライマーの一種としてエポキシ樹脂系接着剤がある。このプライマーとして用いられるエポキシ樹脂系接着剤は、硬化コンクリート同士を接着する用途のコンクリート打ち継ぎ用接着剤を転用したものが多く、高い付着性が得られることに加えて吸水防止効果も併せ持つ。特に水中に曝される箇所ではディスパージョン系プライマーよりも高い耐久性を示すものが多い。また、付着面の改善処理でエポキシ樹脂系の浸透性塗布材を使用する場合にも、プライマーとしてエポキシ樹脂系接着剤を併用することでより高い付着性と耐久性を得ることができる。なお、プライマーとしてエポキシ樹脂系接着剤を使用する場

合、接着剤が硬化する前の粘着性がある状態で断面修復材を施工する必要があり、ディスパージョン系のプライマーの使用方法とは異なる。接着剤が硬化した後では断面修復材との付着性能が低下するため注意が必要である。

付着耐久性について 断面修復工法による補修では、下地コンクリートと補修材が一体として挙動すること、かつ、その一体性が長期にわたって持続することが重要である。しかし、環境作用や荷重作用の繰返し、水分の浸入、補修材そのものの経年劣化など様々な要因から、補修材と下地コンクリートの一体性を持続させることは容易ではない。この点について注意喚起するため、ここでは、付着耐久性という用語を定めた。

なお、ここで定義していない用語については、参考文献^{1)~4)}を参照されたい。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2018.
- 2) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.
- 3) 土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[補修・補強編]，コンクリートライブラリー123，2005.
- 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：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]，2009.

2章 断面修復工法の補修設計

2.1 補修方針の設定

断面修復工法の設計を行う場合には、断面修復工法に求める補修方針を明確にしたうえで、それを達成するための施工範囲の設定、施工方法の設定、および材料の選定等を行わなければならない。

【解説】

断面修復材に求める補修方針としては**共通編 解説 表—2.4.2**に示すように、「劣化因子の侵入防止」や「水分の浸入抑制」、「不動態皮膜の保護」、「コンクリートの復元」が該当する。このうち、コンクリートの復元に関しては単に劣化部分の断面を回復する場合と、構造体としての耐力の回復までを含める場合に分類できる。これらの補修方針と、それを実現するために断面修復材に求められる品質項目との関係を**解説 表—2.1.1**に整理する。断面修復材に求められる品質項目としては、断面修復材そのものに求められる項目と下地コンクリートとの付着界面に求められる項目の双方がある。

表中の補修方針のうち、本編では主に(1)～(3)を対象とした。(4)を考慮する場合には「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]」¹⁾等を参照すると良い。

解説 表—2.1.1 補修方針と断面修復材等に求められる品質項目との関係

補修方針 断面修復材に 求める品質項目		(1)劣化因子の侵入 防止や水分の浸入 抑制	(2)不動態皮膜 の保護	(3)劣化部分の 断面の回復	(4)構造体として 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	○	○		
	ひび割れ抵抗性	○	○		○
	マクロセル腐食防止		○		
	強度				○
	弾性係数				○
付着界面	付着強度、付着耐久性			○	○
	劣化因子の侵入防止 [*]	○	○		

※付着界面の劣化因子の侵入防止を直接確認するのは困難なので付着強度で確認する

断面修復材そのものに求める品質として、まず、補修方針「(1)劣化因子の侵入防止や水分の浸入抑制」に必要な性能としては凍結融解抵抗性、中性化抵抗性、塩分浸透抵抗性、ひび割れ抵抗性があげられる。このうち凍結融解抵抗性については、凍害地域において、劣化因子および水分の遮断（侵入抑制）、凍結の防止のみならず、断面修復材そのものに凍結融解に抵抗する性能が要求されることから、「(3)劣化部分の断面の回復」の欄にも○を付した。これに対して中性化、塩分浸透およびひび割れ抵抗性は、主に鉄筋を保護するための性能であることから「(2)不動態皮膜の保護」に○を付した。マクロセル腐食防止の性能も「(2)不動態皮膜の保護」のために必要な性能である。ただし、マクロセル腐食はコンクリート中に多量の塩化物イオンが存在する箇所を断面修復する場合に留意する事項であり、塩分を取り除けばその影

響は小さくなる。また、ミクロセル腐食に比較してその影響は小さいとの知見もあり²⁾、今回は検討の対象としなかった。強度および弾性係数は、「(4)構造体としての耐力の回復」のために必要となる性能となり、本編の対象外となるが、養生終了時期の判断要素と、適切な配合混合および施工がなされたことを確認する指標として圧縮強度試験を位置づけている（2.4 断面修復材の品質を参照）。

付着界面に求める性能としては、回復した断面を保持するための付着強度と付着耐久性、および付着界面における劣化因子の侵入防止が挙げられる。このうち、付着界面の劣化因子の侵入防止を直接確認するのは困難なため、本指針の中では付着強度で確認することとした。それぞれの確認方法は2.4 断面修復材の品質および2.5 付着面の品質による。

なお、付着面の性能に関しては、断面修復材の性能のほか、はつりによる微細ひび割れの発生や残存劣化部等の下地コンクリートの状態が大きく関与する。2.5 付着面の品質ではこの2つを分けて整理した。

2.2 構造物の劣化状態の確認と施工範囲の設定

(1) 構造物コンクリートの品質、劣化の状態および劣化因子の侵入状態等の調査結果ならびに、劣化部位のはつり中の構造物の応力状態を考慮したうえで、断面修復の施工範囲を適切に設定しなければならない。

(2) 構造物の劣化の状態によっては、ひび割れ修復工法や表面被覆工法との併用、使い分けを検討しなければならない。

【解 説】

(1) について

断面修復工法においては、すり減り、スケーリング、ひび割れ、浮き等で劣化したコンクリート部分や、鋼材腐食発生限界濃度以上の塩化物イオン含有量（目安として 1.2kg/m^3 以上）等の劣化因子を含むコンクリート部分をはつり取ることとなる。はつり作業の方法にもよるが、はつり取らない部分にも多少なりともダメージが生じることから、はつり範囲を必要以上に大きく設計することは部材または構造体に対して必ずしも好ましいことではない。はつりによる断面欠損が大きい場合は、施工中の安全性についても検討し、場合によっては、補強を検討するか、断面修復工法そのものを断念して再構築を検討する等も決断できるように、あらかじめ計画しておくのが良い。

構造体もしくは部材のコンクリートそのものの品質が悪く、断面修復を行っても残存する下地コンクリート部分から再劣化する場合もあるため、既存コンクリートの品質の確認も重要である。

劣化の形態によっては設計段階で設定したはつり範囲に対して、実際にはつりを行った状態の判断で、はつり範囲を変更したほうが良い場合がある。このため、あらかじめ、数量変更が可能な契約方法等も検討しておくのが良い。

(2) について

断面修復工法を採用する段階では、比較的劣化が進行している場合が多く、劣化の状況に応じて、ひび割れ修復工法や表面被覆工法等の他の補修工法との併用、あるいは使い分けを検討しなければならない。

例えば、アルカリシリカ反応による劣化の場合、ひび割れが密集してコンクリートが緩んでいる箇所や浮きを確認できる箇所には断面修復工法を採用し、ひび割れは認められるもののコンクリートに浮きや緩みが認められない箇所にはひび割れ修復工法を採用するなどである。また、断面修復を実施するためにははつりを行った結果、鉄筋のかぶりがないことが判明したような場合には、かぶり部の塩分浸透抵抗性や中性化抵抗性を高める目的から、断面修復材に遮蔽性と付着性が高い補修材料等の適用や、表面含浸工法や表面被覆工法を併用することも検討に値する。各種補修工法の選定上の留意点は**共通編 2.4 補修方針の設定と補修工法の選定**を参照されたい。また、ひび割れ修復工法や表面被覆工法の詳細は各マニュアルを参照されたい。

2.3 施工方法の設定

- (1) 構造物の種類，施工部位，施工規模に応じて，適切なはつり方法を選定しなければならない。
- (2) 構造物の状態，施工箇所，施工規模，環境条件に応じて，断面修復工法の適切な施工方法を選定しなければならない。

【解 説】

(1) について

断面修復工法におけるはつり作業では、一般的に人力はつり方法と機械はつり方法がある。はつり方法は構造物の種類，施工部位，施工規模によって効率的かつ経済的に選定され，構造物へのダメージを極力少なくするはつり方法を選定することが望ましい。ダメージが少ない方法として機械はつりのウォータージェット工法があり，ウォータージェットによる方法を標準としている発注機関もある¹⁸⁾。しかしながら，ウォータージェット工法はブレーカ処理等に比較して一般に装置が大がかりで費用もかかることから，全ての断面修復工事に最良とは言い難い面もある。打撃系のはつりは，施工機械がウォータージェット工法に比較してコンパクトで，施工規模に関係なく，幅広く採用されているが，打撃によって下地コンクリートの付着面に微細ひび割れ等が発生する可能性がある。このため，補修の規模や補修方針に応じて，適材適所ではつり方法を選択する必要がある。

なお，はつりによるダメージへの対応や，技術的にはつり取れない脆弱部分が残存する場合もあることから，例えば過酷な凍結融解作用を受ける環境条件等では付着耐久性の改善の観点から，付着面の改善処置（**2.5 付着面の品質 (2)** および **3.4 下地コンクリートの改善処理**を参照）を検討するとよい。

(2) について

断面修復工法には左官工法，吹付け工法，充填工法等があり，それぞれの工法ごとに **3.7 左官工法による施工**～**3.10 充填工法による施工**にて特徴（長所，短所）を整理しているため，施工面の向きや施工する部位の大きさおよび構造物が置かれている環境条件等も考慮して，適した施工方法を選択しなければならない。なお，必要に応じて「表面保護工法 設計施工指針（案）」（土木学会）³⁾，「吹付けコンクリート指針（案）[補修・補強編]」（土木学会）⁴⁾を参照されたい。

2.4 断面修復材の品質

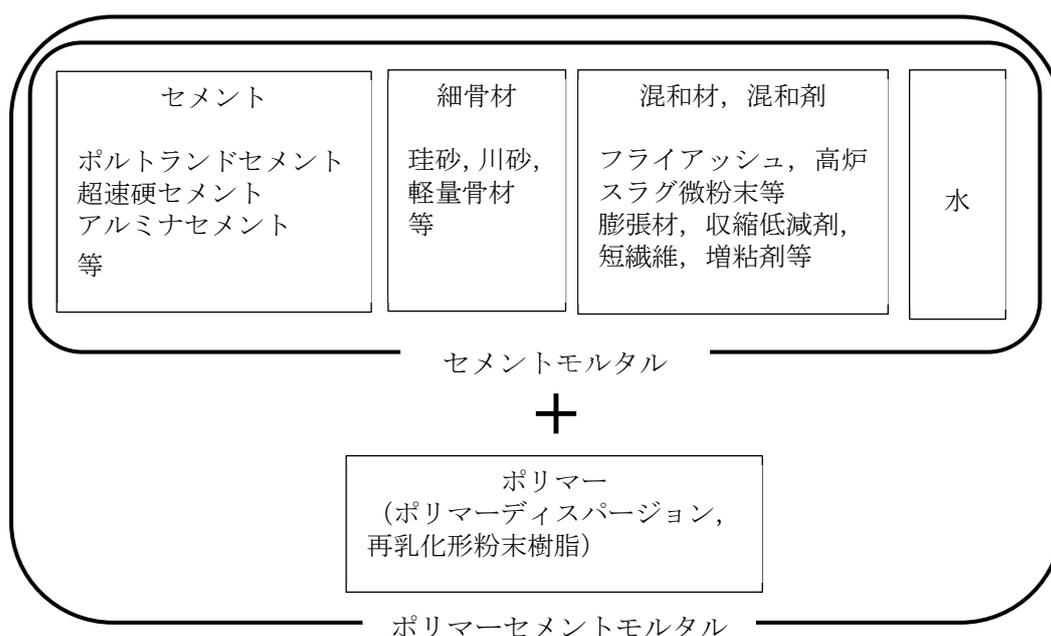
- (1) 2.3 施工方法の設定で設定した施工方法に適した断面修復材を選定しなければならない。
- (2) 断面修復材に求められる硬化後の品質項目としては、強度やひび割れ抵抗性、各種耐久性が挙げられる。構造物が置かれる環境条件等に応じて必要とされる品質項目を選定し、これらを満足する材料であることを試験成績表等によって確認しなければならない。
- (3) 断面修復材の品質を試験によって確認する場合は、試験の目的と適用する断面修復工法に応じた適切な方法で供試体を作製しなければならない。

【解説】

(1) について

断面修復材は、主に、プレミックスされたモルタル系の材料（以下、プレミックス品という）と、高流動コンクリートに大別される。プレミックス品は多くの製造者から、施工方法、施工条件等に応じた多様な商品が開発され、流通しているため、施工方法に適した材料を選定する必要がある。

プレミックス品は、水セメント比が40%前後のセメントモルタルまたは、これにポリマーを混入したポリマーセメントモルタルであることが多い。ポリマーは、付着性の向上や劣化因子の侵入抵抗性の向上、弾性係数の低減等の目的で混入される。かつてはセメント量に対するポリマー含有率が10%を超えるような断面修復材も開発されていたが、ポリマーの混入によって電気抵抗値が変化し、電気防食工法等の支障となることが分かってきて、近年ではセメント量に対するポリマー含有率は数%程度のものが多くなっている。また、ひび割れ抵抗性を向上するために膨張材、収縮低減剤、繊維等が必要に応じて少量混入されている。プレミックス品のセメントモルタルとポリマーセメントモルタルの関係は解説 図-2.4.1 のようである。



解説 図-2.4.1 セメントモルタル、ポリマーセメントモルタルの構成材料の例

高流動コンクリートは、充填工法によって比較的大規模な断面修復工事を行う際に適用される場合がある。配合設計はレディーミクストコンクリート工場で行う必要があり、この配合設計の詳細は「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」(土木学会)⁵⁾を参照すると良い。なお、逆打ちで充填工法を行う場合は、ブリーディングが生じるとその分コンクリートが沈下して付着界面に隙間が生じてしまうため、ブリーディングが発生せず、寸法安定性に優れたコンクリートとする必要がある。

(2) について

硬化後の断面修復材に求められる品質として、強度、各種耐久性(断面修復材自体の凍結融解抵抗性、中性化や塩分浸透に対する抵抗性、ひび割れ抵抗性)等があげられる。プレミックス品はほとんどの場合、使用されている材料や配合が開示されておらず、強度や各種耐久性等に関しても、断面修復材の製造者が各種試験によってその品質を確認している。このため、構造物が置かれている環境条件等に応じて必要とされる品質項目を選定し、これらの品質を試験成績表等によって確認する必要がある。一方で、高流動コンクリートは、レディーミクストコンクリート工場において品質が確認された材料を用いて製造されるため、一般のレディーミクストコンクリートと同様に水セメント比や空気量によって各種耐久性等を確認することが可能である。

ここでは、プレミックス品と高流動コンクリートに分けて、品質項目ごとに検討した品質確認手法の例を解説表-2.4.1に示す。この解説表-2.4.1において、一つの欄に複数の確認方法の記載がある場合は、そのいずれかの方法によって確認すれば良い。なお、確認の方法は、この表に記されている方法が全てではないため、断面修復材の製造者が独自の手法で品質を確認している場合は、その試験方法の妥当性も含めて確認することになる。吹付け工法に用いる断面修復材の品質を確認する際には、吹付けの前と後とで物性が変化するため、吹き付けた後の材料で供試体を作製する必要がある。

以下に表中の各品質の確認方法について解説する。

使用材料の品質について 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れば、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品質の確認は水セメント比で行うことが可能となり、品質確認にかかる時間と手間を大幅に省略することができる。このため、高流動コンクリートに関しては使用材料がJIS A 5308の品質規格を満足することを確認することが重要である。

これに対してプレミックス品は、使用材料や配合の詳細が開示されていないものが多く、使用材料の品質を確認することが困難である。このため、プレミックス品については使用材料の品質確認は行わず、耐久性等の各種品質は試験成績表等または試験で確認する必要がある。

凍結融解抵抗性について 凍結融解作用を受ける地域に施工する場合に必要となる品質であり、断面修復を行う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が求められる。JIS A 1148「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠した試験を行い、その結果得られる耐久性指数で照査する方法がある。なお、プレミックス品の試験を行う場合の注意点として、水中凍結融解試験を行う際の供試体寸法はコンクリートと同じ100×100×400mmとする必要がある。これは、供試体寸法が異なると供試体を入れるゴム容器内の水量が変わることになるが、水の比熱はコンクリートの5倍であることから、想定した速度で凍結融解作用を与えられなくなるためである。

解説 表-2.4.1 断面修復材に求める品質とその確認方法の例

品質項目	要求品質	品質確認方法と留意点※ ¹	
		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) 主に製造者の試験成績表で確認	高流動コンクリート 主に配合表等で確認
使用材料の品質	—	—	・JIS A 5308 の規格を満足している
凍結融解抵抗性 (凍害地域)	部材コンクリートに求める品質と同等以上	・凍結融解試験 (JIS A 1148) ・コンクリートの W/C によるみなし規定は適用不可 (エントレインドエアの量が確認できないため)	・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 (塩害地域および凍結防止剤散布地域)	同上	・浸漬試験 (JSCE-G 572) ・電気泳動法 (非定常法), ただしポリマーを除いた配合で試験を実施 ・一般的な断面修復材の配合の範囲であれば, W/C がコンクリートより 5% 以上小さいことを確認	・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	・付着強度供試体による暴露試験 (1 年, 参考としての提案)※ ² ・付着強度供試体による乾燥湿潤試験 (附属資料 E, 参考としての提案)※ ²	・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)
圧縮強度	養生を終了して良い強度	・試験方法は □40mm (JIS R 5201), φ100mm (JIS A 1108) または φ50mm (JSCE-F 561) のいずれの方法でも可だが, □40mm または φ50mm の方法で得られた強度は φ100mm の方法で得られる強度に換算することを標準とする (附属資料 A) ・製品の仕様として養生期間が明記されている場合は, それを守ること	・φ100mm (JIS A 1108) による ・コンクリート標準示方書 [施工編] の養生日数を守ること
		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。補修方針に構造的な耐力の回復を含める場合には, 部材に求める圧縮強度と同等以上	

※¹ 複数の確認方法が示されている欄については, そのいずれかの方法で確認すれば良い

吹付け工法に用いる断面修復材は, 吹き付けた材料で供試体を作製する

※² 現状では, ひび割れ抵抗性を精度よく推定するのは困難であり, 暴露試験と乾燥湿潤試験は参考としての提案にとどめる。

「コンクリート標準示方書 [設計編]」⁶⁾によれば AE コンクリートの場合, 凍結融解試験による照査を行わなくても, 水セメント比を所定の値以下にすることで耐凍害性は確保できる, とするいわゆる「みなし規定」がある。そこで, 空気量が 4.5±1.5% の範囲内にある高流動コンクリートの場合は水セメント比による確認が良い。この水セメント比による照査は, AE コンクリートに対してのみ適用できる。プレミックス品のモルタルの場合, 空気量の管理および確認試験が困難であること, また, 特に吹付け工法の場合には, 吹き付けることで空気量が低下してしまう⁷⁾ことから, 水セメント比によるみなし規定は困難と考えられる。

中性化抵抗性について 断面修復を行う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が求められる。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方法がある。具

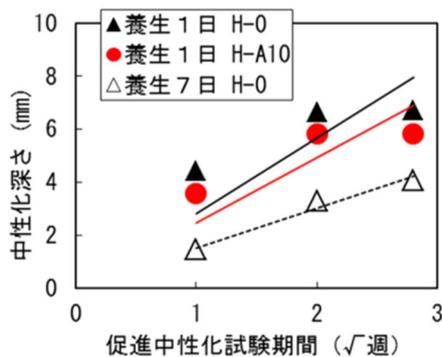
体的には、補修の対象となる構造物で想定している中性化速度係数を念頭におき、そこから逆算して想定する水セメント比を設定し、その水セメント比で作製したコンクリート供試体（比較基準供試体）と断面修復材の中性化進行速度を比較して、比較基準供試体以下であれば良い。

「コンクリート標準示方書〔設計編〕」⁶⁾によればコンクリートの場合、促進中性化試験を行わなくても、水セメント比を所定の値以下にすることで中性化抵抗性は確保できる、とするいわゆる「みなし規定」がある。このため、高流動コンクリートの場合は水セメント比による照査でも良い。

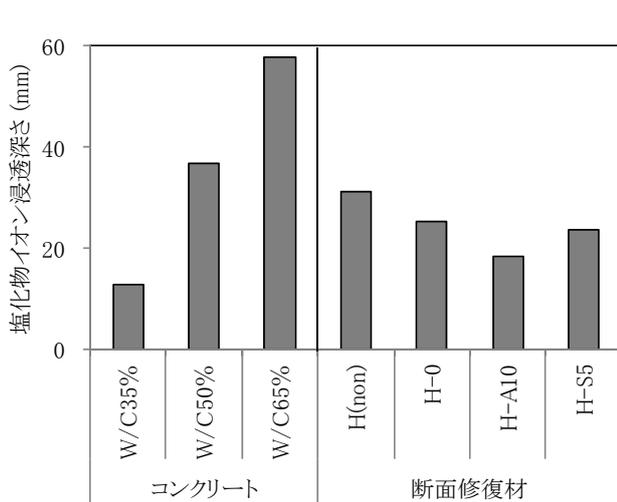
解説 図-2.4.2 は断面修復材に対して促進中性化試験を実施したときの試験材齢と中性化深さとの関係を示した例である。H-0 はセメントモルタル、H-A10 はポリアクリル酸エステル系のポリマーをセメント量の 10%混入したポリマーセメントモルタルであるが、ポリマーの有無が中性化深さに与える影響は小さかった。その一方で、養生日数の影響は大きく、7日間湿潤養生を行った場合に比較して、1日しか養生を行わなかった場合の中性化深さは約 2 倍に達した。このように、中性化抵抗性は養生日数の影響を強く受ける⁸⁾。高流動コンクリートの場合は充填工法となることから、一般的なコンクリートの施工と同じ養生日数まで型枠を存置して湿潤養生を行うことが可能である（そうすることを基本とする）が、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い。このため、中性化促進試験に用いる供試体の養生日数は、実際の現場で実施可能な養生日数としなければならない。ここで言う実施可能な養生日数は 20°Cの環境下での養生日数を基本とし、温度条件が異なる現場施工では 20°Cの養生日数と同様の養生効果が得られる日数を適切に設定することになる。

塩分浸透抵抗性について 塩害環境に用いる場合に必要となる性能であり、断面修復を行う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が求められる。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」⁹⁾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方法がある。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¹⁾¹⁰⁾¹¹⁾による）でも良い。ただし、プレミックス品の場合、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、ポリマーを除いた配合で電気泳動法による試験を行うのが良い。なお、これらの試験を実施する場合には、補修の対象となる構造物に適用される水セメント比で作製したコンクリート供試体を比較基準供試体として試験を行うのが良い。

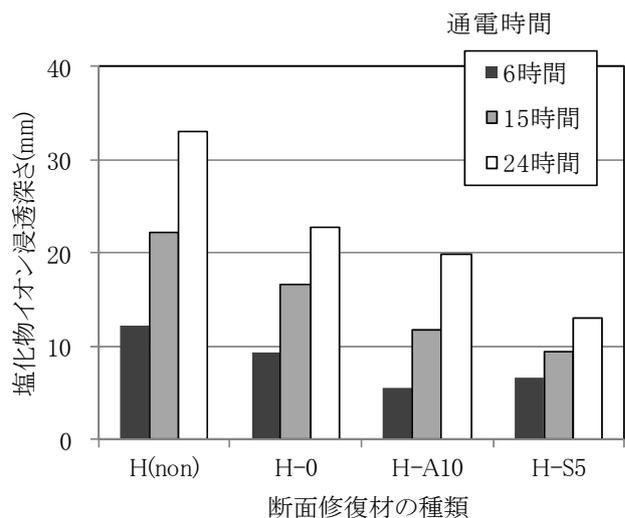
解説 図-2.4.3 に浸漬試験と電気泳動法による試験結果の例を示す¹²⁾。浸漬試験の結果には水セメン



解説 図-2.4.2 養生日数と中性化深さの関係



(1) 浸漬試験の結果

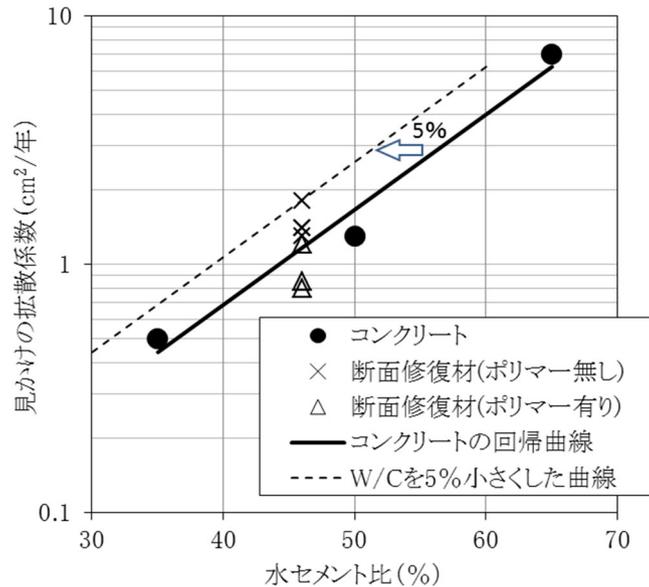


(2) 非定常電気泳動法の結果

解説 図-2.4.3 塩分浸透抵抗性に関する試験結果の例¹²⁾

ト比を変化させたコンクリートの結果も示しているが、塩分の浸透深さは水セメント比の影響を強く受けていることが分かる。これに対して断面修復材の配合は、いずれも W/C=46%の配合であり、浸透深さに大きな差はないが、セメントモルタル配合である H(non)に対して、収縮低減剤を添加した H-0 や、さらにポリマーを添加した H-A10 (PAE系ポリマーをセメントに対して10%添加) や H-S5 (SBR系ポリマーをセメントに対して5%添加) では僅かながら浸透深さが小さくなる結果が得られている。次に、電気泳動法の試験は4つの断面修復材の配合を対象に、通電時間を6、15、24時間の3段階に設定して、塩分の浸透深さを測定した。この結果を浸漬試験と比較すると、H-A10とH-S5の大小関係が逆転しており、使用されるポリマーの種類によっては、適切な評価が難しいことが判明した。このため、ポリマーを除いた配合で試験を行うのが良い。

「コンクリート標準示方書 [設計編]」によれば、コンクリートの場合は確認試験を行わなくても、水セメント比を所定の値以下にすることで塩分浸透抵抗性は確保できる、とするいわゆる「みなし規定」がある。従って高流動コンクリートの場合は水セメント比による照査が良い。プレミックス品の場合は、配合が開示されていないものに対して、このみなし規定を適用することはできない。ただし、断面修復材の配合が確認できる場合で、次の()内の条件が満足できる場合(セメントモルタルまたはポリマー含有率がセメント量の10%未満のポリマーセメントモルタルであること、細骨材の物理的品質が JIS A 5308 附属書 A を満足していること、膨張材、収縮低減剤、繊維等を少量含んで良い)であれば、コンクリートに求める水セメント比の上限値よりも、さらに5%以上小さい水セメント比であることを確認することで照査して良い。これは、解説 図-2.4.4 に示すように、セメントモルタル(ポリマー無し)はコンクリートに比較して粗骨材が無い分だけ塩分浸透抵抗性が低いことから水セメント比を5%程度低くする必要があり、ポリマー有りの配合はポリマー無しに比較して塩分浸透抵抗性はやや高く(見かけの拡散係数が小さい)、ポリマーの添加は安全側の評価になることによる¹²⁾。



解説 図-2.4.4 コンクリートとプレミックス品の拡散係数の比較¹²⁾

ひび割れ抵抗性について プレミックス品の多くは粗骨材を含まないモルタル（またはポリマーセメントモルタル）配合でありペースト部分の乾燥収縮を抑制する粗骨材が含まれない分だけ、コンクリートよりも乾燥収縮率が大きくなる。また、断面修復材の施工厚さが薄くなるほど下地コンクリートの拘束が大きくなり、ひび割れ発生リスクが高くなる。このため、市販のプレミックス品には膨張材や収縮低減剤、短繊維等が含まれているが、これらの混和材（剤）の効果を定量化することは難しい。膨張材を用いることで硬化時に膨張させ、最終的な収縮量をある一定値以下に抑えたものに対して「無収縮モルタル」と呼ぶことがあるが、膨張した後は一般のモルタルとほぼ同様の収縮が生じる。膨張によるひび割れ低減効果は、膨張時にどれだけの拘束があったかによって異なる。拘束があって、断面修復材内部に圧縮応力が発生すれば、その分だけ乾燥収縮に対して有利に働くが、拘束がない状態では自由に膨張するだけでその効果は無いに等しい。このように、プレミックス品のひび割れ抵抗性を照査することは容易ではない。このため、以下に示す品質確認方法は参考としての提案にとどめる。

付着強度試験用供試体を用いて暴露試験を実施し、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。この結果、ひび割れの生じた供試体と生じなかった供試体とがあったが、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確認出来なかった。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年間と提案した。

次に、この暴露試験と同様のひび割れが発生し得る促進劣化試験として、ヨーロッパの断面修復材の試験規格¹³⁾にあるサンダーシャワー試験¹⁴⁾、ドライサイクル試験¹⁵⁾、および土木研究所でコンクリートの耐久性試験方法として提案している乾燥湿潤試験（土木学会関連基準）¹⁶⁾を実施した。この結果、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。この理由としては、供試体を暴露環境と同等な乾燥状態にするには長期間の乾燥期間が必要であり、そのような環境となる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。このため、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確認する方法を提案し、**附属資料 E**に参考として掲載した。なお、この乾燥湿潤試験方法では、供試体を80°Cで乾燥させる工程が含まれており、高温に対する抵抗力が小さい材料に対しては厳しい試験条件となる。

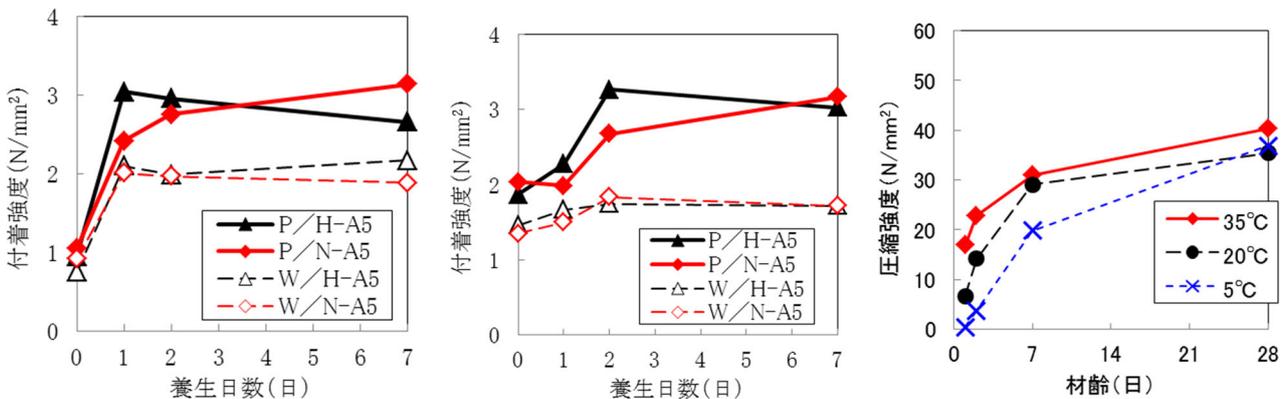
コンクリートの場合、乾燥ひび割れのリスクはコンクリートの乾燥収縮率によって評価される場合が多い。断面修復に用いる高流動コンクリートについても、一般のコンクリートと同様に JIS A 1129 「モルタルおよびコンクリートの長さ変化測定方法」に従い、6ヶ月経過時点の長さ変化率で評価する方法がある。なお、高流動コンクリートは現場近郊のレディーミクストコンクリート工場で配合設計・製造される場合が多いが、この場合、6ヶ月間の長さ変化試験を行う工期的な余裕は無いため、類似配合の既存の試験結果の確認が良い。

断面修復材表面に生じるひび割れの発生要因には、乾燥収縮のみならず、降雨や日照による乾燥湿潤の繰り返し作用、外気温の季節的変動や日変動、下地コンクリートとの物性の違い等、様々な要因があると考えられ、その全てが解明されているわけではない。乾燥湿潤試験やコンクリートの長さ変化試験による評価方法を参考として示したが、不明な点が多く、今後とも検討していく必要がある。

ひび割れの発生を一切認めないような規格値を設定すると、材料や施工にかかるコストが著しく増大する可能性もあり、引き続き、慎重な検討が必要である。温度ひび割れや乾燥収縮ひび割れは、補修工事完了後から数ヶ月程度で発生するため、発生したひび割れは、その程度にもよるが、その後の補修で対処するという柔軟な設計方針もある。

強度について 2.1 補修方針の設定で述べたように、本マニュアルでは断面修復による構造的な耐力の回復を補修方針に含める場合には、別途の検討を行うこととした。このため、それ以外の補修方針（解説表-2.1.1）に対しては、強度に関する規定を設定する必然性はない。ただし、最低限必要な養生期間を確保することを目的に、養生終了時の圧縮強度として 10N/mm^2 以上であることを確認することを提案した。これは、季節ごとの養生期間の実験を行った結果による¹⁷⁾¹⁸⁾。35°Cおよび5°Cの環境条件下で、付着強度供試体を作製し、湿潤養生日数を0,1,2,7日と変化させ、材齢28日後に付着強度試験を行った。この結果を解説図-2.4.5に示す。これによれば35°Cで養生0日の条件では付着強度が低くなった。この条件では断面修復材塗布の後に著しい水分の蒸発によって断面修復材の表面に微細ひび割れが発生し、付着強度試験での破断面は全て断面修復材となった。一方、5°Cの条件では、断面修復材表面からの水分の逸散は緩慢で、養生日数の違いによる差は小さかったが、圧縮強度の発現速度が緩慢になるため、やはり、一定期間の養生が必要であることが分かった。この実験の結果に基づき、養生期間の制限として、圧縮強度が 10N/mm^2 に達するまでの期間とした。なお、プレミックス品の場合で、製品の仕様として適切な実験データをもとに養生期間が定められており、それが守られて施工される場合は圧縮強度試験を省略して

(P:プライマー処理, W:水湿し, H:早強セメント, N:普通セメント, A5:PAEポリマー5%含有の断面修復材)



(1) 35°Cでの養生日数と付着強度 (2) 5°Cでの養生日数と付着強度 (3) 温度と強度発現の関係 (Nセメント)

解説図-2.4.5 季節の温度条件を考慮した養生期間と付着強度の関係および圧縮強度の発現¹⁷⁾

良い。また、高流動コンクリートの場合で、「コンクリート標準示方書[施工編]」¹⁹⁾の養生日数が守られている場合にも、圧縮強度試験を省略して良い。

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と良い。圧縮強度試験の方法については、高流動コンクリートについては JIS A 1108「コンクリート圧縮強度試験方法」に従ってφ100×200mm の円柱供試体を用いて試験を行う。プレミックス品については、JIS R 5201「セメントの物理試験方法」に従って曲げ試験後の 40×40×160mm 角柱供試体の折片を用いる方法や、JSCE-G 505「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）」に従ってφ50×100mm の円柱供試体を用いる方法等があり、これまで統一されていなかった。本編では、どの試験方法でも良いこととし、試験方法の違いに対しては、換算係数を設定してφ100×200mm の圧縮強度に換算することとした。詳細は**附属資料 A**に示す。

(3) について

(2) の試験に用いる供試体の作製は、適切に行う必要があり、工法に応じた供試体の作製方法の例を**解説表-2.4.2**に示す。吹付け工法を採用する場合には、吹付け前と吹付け後で断面修復材の品質が変化する可能性があるため、硬化後の品質性状を確認する供試体は吹付けによって作製する必要がある。なお、表中の JSCE-F 561 および 562 の方法とは、所定のパネル型枠に断面修復材を吹き付け、硬化後に所定の寸法に切り出して供試体を作製する方法である。

解説表-2.4.2 工法ごとの供試体作製方法の例

供試体の種類	工法	
	左官または充填	吹付け
φ100×200(mm) φ100×150(mm) 円柱供試体	・JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」	・JSCE-F 561「吹付けコンクリート(モルタル)の圧縮強度試験用供試体の作り方」 ・φ100×200(mm)の円柱型枠に直接吹き付けて作製 ・高さ150mmとする場合は切断して調整
φ50×100(mm) 円柱供試体	・JSCE-F 506「モルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方(案)」	・JSCE-F 561「吹付けコンクリート(モルタル)の圧縮強度試験用供試体の作り方」 ・φ50×100(mm)の円柱型枠に直接吹き付けて作製
100×100×400(mm) 角柱供試体	・JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」	・JSCE-F 562「吹付けコンクリート(モルタル)の耐久性試験用供試体の作り方」 ・100×100×400(mm)の角柱型枠に直接吹き付けて作製
40×40×160(mm) 角柱供試体	・JIS R 5201「セメントの物理試験方法」附属書 C「強さ試験」	・JSCE-F 561「吹付けコンクリート(モルタル)の圧縮強度試験用供試体の作り方」 ・40×40×160(mm)の角柱型枠に直接吹き付けて作製
付着強度供試体	・附属資料 B「断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)」	・附属資料 B「断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)」

※ 複数の供試体種類および作製方法の記載がある場合は、そのいずれかの方法を用いて良い

また、湿式吹付け工法の場合で、重ね吹きを行わずに1層のみの供試体を作製したい場合は、型枠を水平な位置に設置して下向きに吹き付けて作製しても良いこととした。解説 写真-2.4.1(1)にφ50×100mmの円柱型枠に湿式吹付け工法で直接吹き付けて作製した供試体の例を示すが、外観に異常は確認できなかった。解説 図-2.4.6(1)に、パネル型枠からコア採取したφ50×100mmの円柱供試体と、φ50×100mmの円柱型枠に直接吹き付けて作製した円柱供試体によるJSCE-E 505の強度試験結果の比較を示すが、供試体ごとのバラツキはいずれの方法でも少なかった。

乾式吹付け工法の場合は、液体と粉体がノズル先端で混合されることから、吹付けの初期段階では、ペーストと十分に混合されない粒子がはね返り、これを適切に除去できないと型枠底面に吹き溜まって豆板が生じる可能性がある。そのため、JSCE-F 561またはJSCE-F 562に示すパネル型枠では、開放部からはね返った粒子を適切に落下させたり、型枠面近傍を避けて供試体を採取したりするなど、供試体に不良箇所が含まれないようにする工夫が必要である。開口部の大きさに対して深さのある円柱型枠等に直接吹き付けて供試体を作製すると、解説 写真-2.4.1(2)に示すように、不良箇所が生じることがある。また、解説 図-2.4.6(2)に、パネル型枠からコア採取したφ50×100mmの円柱供試体と、φ50×100mmの円柱型枠に直接吹き付けて作製した円柱供試体の強度試験結果の比較を示すが、円柱型枠に直接吹き付けた場合は、パネル型枠からコア採取した場合と比べて、供試体ごとの圧縮強度の値はバラツキが大きくなることがある。

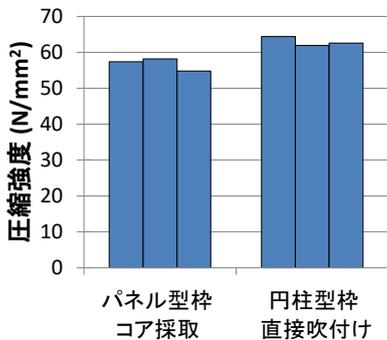


(1) 湿式吹付け工法

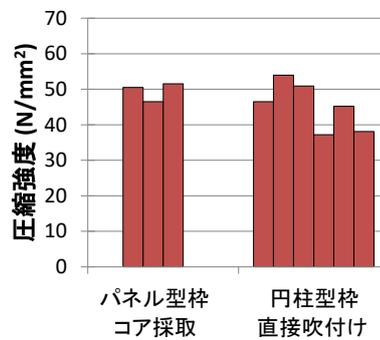


(2) 乾式吹付け工法 (豆板発生の場合)

解説 写真-2.4.1 φ50×100mmの円柱型枠に直接吹き付けて作製した供試体の外観の例



(1) 湿式吹付け工法



(2) 乾式吹付け工法

解説 図-2.4.6 作製方法の異なるφ50×100mmの円柱供試体の圧縮強度

2.5 付着面の品質

(1) 断面修復材の付着面の品質として、付着強度、付着耐久性および劣化因子の侵入防止等について確認しなければならない。

(2) 必要に応じて、下地コンクリートのはつりの影響を考慮し、下地コンクリートの状態、はつり方法、環境条件等によって、品質改善等の方法を検討するとよい。

【解説】

(1) について

2.1 補修方針の設定で述べたように、断面修復材の付着界面に求める品質項目としては付着強度と付着面に沿った劣化因子の侵入防止が挙げられる。これらの品質は下地コンクリートの品質やはつり方法の違いの影響も受けるため、健全な下地コンクリートを用いた試験結果で確認する必要がある。これらの品質確認はプレミックス品の場合は断面修復材の製造者が行い、施工者は試験成績表等で確認するのが一般的である。ここでは、本マニュアルを制定するにあたって検討した品質確認方法の例を以下に紹介する。

付着界面に求める品質項目には付着強度と劣化因子の侵入防止があるが、様々な劣化因子の侵入防止を個別に確認することは煩雑となるため、これらの品質も付着強度で判定することとした。また付着耐久性の確認方法も検討した。なお、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、付着面処理として、水湿し処理またはプライマー処理が施される。多くの場合はプライマー処理が行われ、それに使用されるプライマーが断面修復材の製造者から指定されている。このため、付着界面の評価は、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。品質確認方法の例を解説表-2.5.1に示す。また、表中の各品質の確認方法について、以下に解説する。

付着強度について 付着強度は、実際の下地コンクリートの品質やはつり方法等の影響を受けるが、設計段階でそれら全てを精査することは困難であることから、標準となる下地コンクリート（配合および表面粗さの範囲を規定）を作製し、それに断面修復材を塗布した供試体を作製し、その供試体を用いた試験によって品質を確認する方法を提案した。

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（望ましい範囲）を示した。また、断面修復材を施工する場合のプライマー塗布等の付着面処理の方法、断面修復材の練混ぜ、施工厚さ等の標準を示した。これら付着強度試験用供試体の作り方を附属資料Bに示す。片引き試験の方法については、載荷面の形状、大きさ、載荷速度の範囲について示した。試験方法を附属資料Dに示す。また、付着強度は養生日数の影響を強く受けるため、供試体の養生条件は、実際の施工現場で実施可能な養生条件に見合ったものであることが重要である。

付着強度試験は一つの条件に対して5箇所以上実施し、その平均値が 1.5N/mm^2 以上、最低値が 0.75N/mm^2 以上であることとした。付着性能において重要なことは、付着界面の付着強度が下地コンクリートまたは断面修復材の引張強度と同等以上であることである。

解説 表—2.5.1 付着界面に求める付着面の品質とその確認方法の例

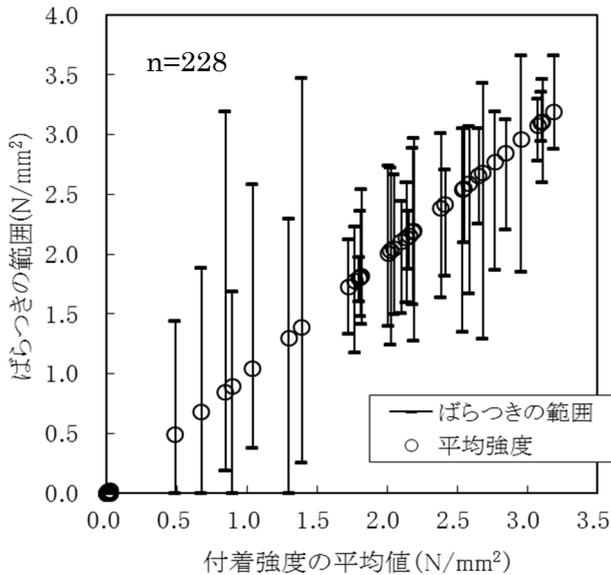
品質項目		要求品質	品質確認方法と留意点 ^{※1}
付着強度		密着している	<ul style="list-style-type: none"> ・建研式接着力試験器による付着強度試験(供試体の作り方を附属資料 Bに、付着強度試験方法を附属資料 Dに示す)による。5箇所以上実施し、その平均が1.5N/mm²以上、最低値が0.75N/mm²以上であること。充填工法の場合は、順打ちと逆打ちの双方で試験を実施する。 ・断面修復材の品質試験において、作製した各供試体の表面にブリーディング水が認められないこと
劣化因子の侵入防止		密着している	<ul style="list-style-type: none"> ・付着強度に要求する品質を満足すること
付着耐久性	気中における付着耐久性	密着している	<ul style="list-style-type: none"> ・付着強度試験用供試体を用い、1年間の暴露試験または乾燥湿潤試験(附属資料 E)を実施し、試験終了後の付着強度の平均値が1.0N/mm²以上、最低値が0.5N/mm²以上^{※2}
	水中における付着耐久性(常に水に接する箇所)	密着している	<ul style="list-style-type: none"> ・付着強度試験用供試体を用い、水中耐久性試験(附属資料 F)を実施、試験終了後の付着強度の平均値が1.0N/mm²以上、最低値が0.5N/mm²以上

※1 複数の方法が示されている欄については、そのいずれかの方法で良い

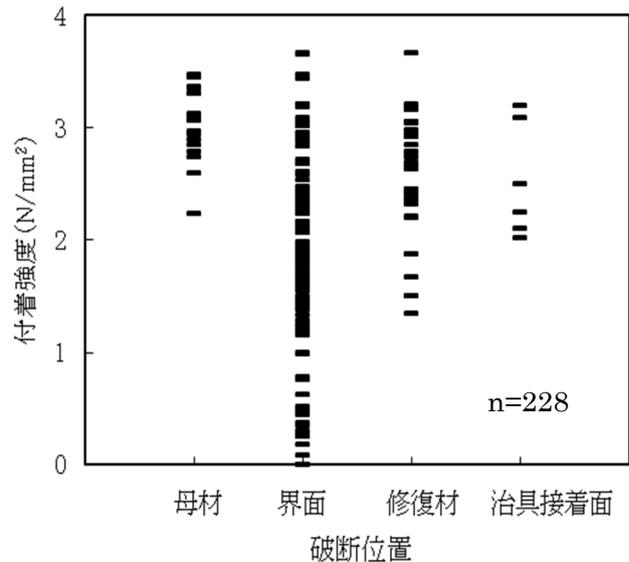
※2 気中における付着耐久性の確認は、現状では精度よく確認できる簡易な方法がなく、参考としての提案に留める。

土木研究所の研究において、付着界面の性状や吸水防止処理の種類、断面修復材の種類、養生日数等を種々に変えて建研式接着力試験器を用いた付着強度試験を実施した。この試験では、供試体1体あたり5～6箇所の付着強度試験を実施しており、その平均付着強度と1供試体ごとの試験値のバラツキの範囲を整理した²⁰⁾。この結果を**解説 図—2.5.1**に示す。これによれば、平均付着強度が概ね1.5N/mm²以上の範囲では付着強度の試験値のバラツキは小さく、それ以下の範囲ではバラツキの範囲が大きくなる傾向を示した。また、**解説 図—2.5.2**は、これらの付着強度試験結果について、破断面の位置を調べたものである。これによれば、まず、界面とは無関係に下地コンクリートもしくは断面修復材部分で破断した場合の強度は概ね2.0～3.5N/mm²程度であり、この値が、欠陥部が無い状態での付着(引張)強度と考えられる。これに対して界面で破断した場合の付着強度は広範囲に分布しており、付着界面の性状が付着強度に与える影響が大きいことが分かる。なお、付着強度が1.5N/mm²以下を示したデータのほとんどは界面での破断であった。この実験結果や、道路事業者や鉄道事業者が定めている仕様書²¹⁾等でも1.5N/mm²が採用されていることが多いことも配慮し、本編でも付着強度の平均値が1.5N/mm²以上であることを基本とした。

また、付着界面に対する僅かな施工状態等の違いから、付着強度に極端に大きなばらつきが生じるような補修材料は、確実な施工を期待するうえで好ましい材料ではない。そこで、そのような材料を排除する目的から付着強度の最低値を設定した。**解説 図—2.5.1**に示した付着強度試験結果のうち、良好な試験結果を示している平均付着強度が1.5N/mm²以上の全データを対象に、変動係数を求めた結果、17%となった。平均付着強度を1.5N/mm²として、データのバラツキの範囲を変動係数の3倍まで許容すると、付着強度の範囲は概ね0.75～2.25N/mm²となる。このことより、付着強度試験の最低値を0.75N/mm²とした。

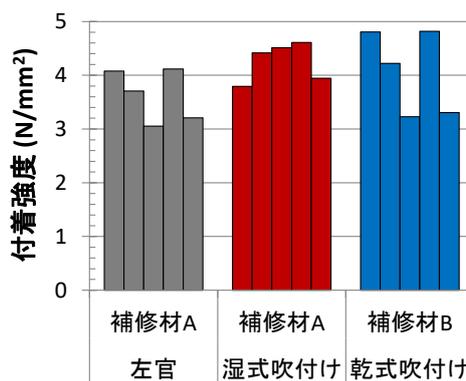


解説 図-2.5.1 付着強度の平均値とバラツキの範囲¹⁹⁾



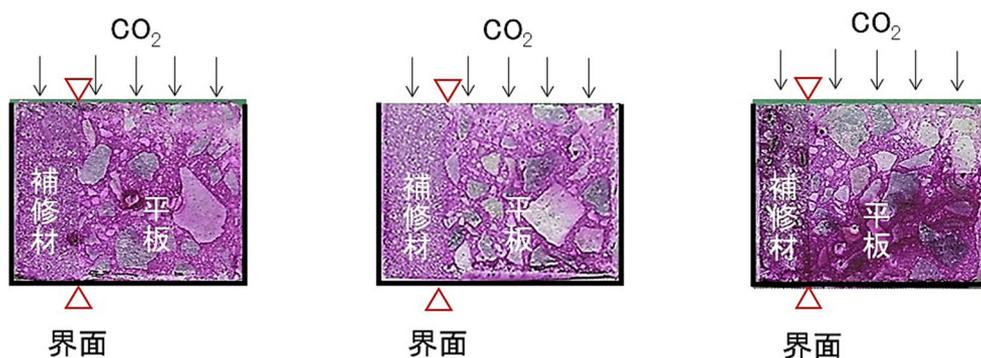
解説 図-2.5.2 破断面の位置¹⁹⁾

逆打ちに用いる断面修復材に関しては、ブリーディングが生じると既存コンクリートとの間に水膜が形成されて付着が阻害される。このため、ブリーディングが生じない材料を選定しなければならない。特に充填工法に用いる材料に関しては、付着強度試験も、供試体を逆打ちで作製して確認するのが良い。劣化因子の侵入防止について 付着界面の劣化因子の侵入防止を直接確認するのは困難である。解説 図-2.5.3 は、コンクリート平板に左官工法、湿式吹付け工法、乾式吹付け工法で補修材を約 20mm 施工した供試体（7日間封かん養生、その後室内静置）の約 1 ヶ月後の付着強度（それぞれの試験数は 5 回）を示したものである。これによると 3 つの工法とも平均付着強度 1.5N/mm² 以上、最低値は 0.75N/mm² 以上あり、付着強度に求める品質を満足している。



解説 図-2.5.3 コンクリート平板と補修材の付着強度の例

この供試体で 22 週間促進中性化試験を行った結果を解説 写真-2.5.1 に示すが、付着界面の中性化深さは補修材や平板（下地コンクリート）と差がなく、付着界面が CO₂ 侵入の弱点にはなっていないかった。



(a) 左官(補修材 A) (b) 湿式吹付け(補修材 A) (c) 乾式吹付け(補修材 B)

解説 写真-2.5.1 促進中性化試験 22 週後にフェノールフタレインを噴霧した結果

このため、本指針の中では、下地コンクリートと密着性が確保されていることで、劣化因子の侵入防止が確保されていると見なし、付着強度で確認することとした。

気中における付着耐久性について 一般的な気中環境における付着の耐久性を確認する目的から、1年間の暴露試験および乾燥湿潤試験（附属資料 E）を参考として提案した。これらの試験方法は 2.4 断面修復材の品質におけるひび割れ抵抗性試験と同一の試験方法である。ただし、付着界面の耐久性に関しては、現時点でも不明な点が多く、断面修復を施した実構造物の追跡調査や暴露試験の継続等により、今後もデータを収集し、基準を適宜見直していく必要がある。このため、実施工では、2.5 付着面の品質（2）に示すように、鉄筋を巻き込むかアンカー等による対策や付着面の改善処理等を検討するとよい。

水中における付着耐久性について 断面修復材のプライマーには水溶性ポリマーが用いられる場合が多いが、ポリマーの種類によっては、水中に長期間置かれると、ポリマーが再乳化し、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ついては、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。附属資料 F に試験方法を掲載した。なお、エポキシ樹脂系のプライマーには、水中においても高い耐久性を示すものがある。

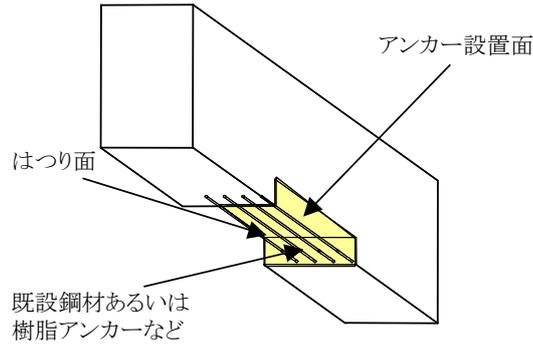
(2) について

実施工では、はつりによる下地コンクリートへのダメージ等によって、2.5 付着面の品質（1）について示した検証試験と同等の耐久性が得られない可能性がある。しかし、その予測は現状では難しい。

2.3 施工方法の設定（1）や 3.2 既存コンクリートのはつりに示すように、はつりにはいくつかの方法があり、ダメージが少ない工法にはウォータージェット工法がある。打撃によるはつりの場合は微細ひび割れ等のダメージが残る可能性があり、断面修復の施工当初は良好な付着強度を示しても、積雪寒冷地等の過酷な環境下の場合等では、ダメージ部から再劣化が進行し、付着強度が低下する可能性もある。このような再劣化を防止するため、以下に 2 つの予防対策を参考として記述する。

鉄筋を巻き込むかアンカー等による対策

断面修復材の剥離・剥落を防止する対策として、コンクリートを鉄筋裏まではつりとして、鉄筋を巻き込んだ断面修復とする方法や、アンカー（さし筋）を設置して、仮に付着強度が低下しても断面修復部分が剥離、落下しない工夫を行う方法がある（解説 図-2.5.4 を参照）。

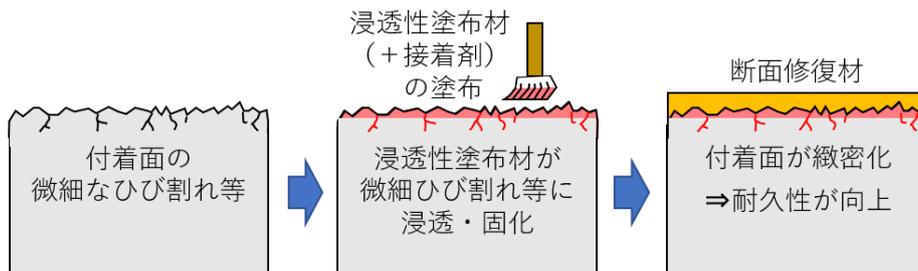


解説図－2.5.4 アンカーによる剥落防止工法の例¹⁾

下地コンクリートの改善処理による再劣化防止対策

過酷な凍結融解作用を受ける条件等で、再劣化が懸念されるような条件の場合の一つの対策として、下地コンクリートの改善処理について紹介する。打撃によるはつり等によって下地コンクリートに生じた微細なひび割れや技術的に確認できない部分的に残存した脆弱部等に浸透性塗布材を浸透・固化させることで、下地コンクリートの付着面を緻密化して改善する方法²²⁾²³⁾を提案する。この改善処理によって、下地コンクリートの劣化が抑制され、断面修復箇所の耐久性向上を期待するものである。解説図－2.5.5に、下地コンクリートの改善処理の概念図を示す。断面修復を施工する箇所において、付着耐久性に懸念がある(過去に再劣化した経験がある)ような場合や付着耐久性の向上を必要とする場合に採用を検討すると良い。

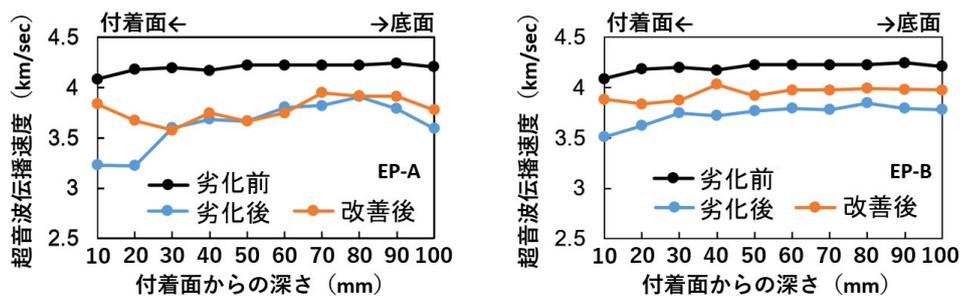
なお、過酷な条件下においては、ウォータージェット工法によるはつり箇所であっても必要に応じて同様の改善処理を検討することが望ましい。



解説図－2.5.5 下地コンクリートの改善処理の概念図

浸透性塗布材には、エポキシ樹脂系とけい酸塩系等があるが、厳しい寒冷環境条件下等における断面修復箇所の再劣化防止を目的とした検証実験結果において、耐凍害性の向上に効果が確認できたエポキシ樹脂系の浸透性塗布材の適用を標準とする。解説図－2.5.6は、浸透性塗布材による改善効果を調べるため、凍結融解試験によって品質を低下(凍害劣化)させたコンクリート供試体の付着面に2種類のエポキシ樹脂系浸透性塗布材(EP-A, EP-B)を塗布して改善処理を施し、改善前後の(見かけの)超音波伝播速度を測定することで改善状態を調べた実験結果である。打撃系はつりによるダメージと劣化によるダメージの状態は異なるが、部分的に残存する脆弱部の改善をイメージしている。(見かけの)超音波

伝播速度は付着面から深さ方向に 10mm 刻みで測定した。はつり前の健全なコンクリートの超音波伝播速度は 4.0km/sec 強程度であるが、品質を低下させたことで超音波伝播速度は 3.5km/sec 前後まで低下した状態となっている。これに改善処理を施すと、EP-A は付着面付近、EP-B は全体的に超音波伝播速度が増加したことから、下地コンクリートが改善されていることが確認できる。この実験では、健全なコンクリートの状態までは回復していないが、部分的に残存した脆弱部の改善が確認できたことから、はつりで生じた微細ひび割れ等への改善効果も期待できるものである。



解説 図-2.5.6 改善処理前後の超音波伝播速度の変化

エポキシ樹脂系浸透性塗布材の品質について

エポキシ樹脂系接着剤の品質規格は、「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」、日本工業規格の「JIS A 6024:2015 建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂」、土木学会規準の「JSCE-H 101-2013 プレキャストコンクリート用樹脂系接着剤（橋げた用）品質規格（案）」、および日本接着剤工業会規格「JAI 13-1996 エポキシ樹脂系建材用接着剤」に、用途に応じて注入用エポキシ樹脂や含浸接着エポキシ樹脂等の品質規格が定められているが、コンクリートの脆弱部等の改善を目的としたエポキシ樹脂系浸透性塗布材の品質規格は定められていない。浸透性塗布材の主目的は微細なひび割れや空隙を閉塞して脆弱部を改善することであるため、求められる材料性能は、脆弱部に確実に浸透・閉塞するための流動性及び粘度、硬化後の引張強度である。したがって、適切な性能のエポキシ樹脂系浸透性塗布材を選定するには、粘度と可使用時間および引張強度が重要となってくる。微細ひび割れ等に確実に浸透するためには、粘度が低く、可使用時間は長いほうがよいが、まだ固まらない状態の断面修復材、接着剤、浸透性塗布材それぞれが付着界面で混合することから、付着性能を上げるには断面修復材と硬化する時間を極力合わせる必要がある。

エポキシ樹脂系浸透性塗布材に求める品質としては、粘度は JIS A 6024:2015 における硬化前の粘度で「低粘度形」の 1000mPa・s 以下、可使用時間は断面修復材の硬化時間を考慮して定め、引張強度は断面修復材および下地コンクリートの引張強度以上とした。

参考文献

- 1) プレストレスト・コンクリート建設業協会：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]，2009.
- 2) 渡辺博志，木村嘉富，古賀裕久，中村英佑：塩害環境下にあるコンクリート中鉄筋のマクロセル腐食形成機構，土木研究所資料，第 4131 号，2009.1
- 3) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針（案），コンクリートライブラリー119，2005.

- 4) 土木学会：吹付けコンクリート指針（案）[補修・補強編]，コンクリートライブラリー123，2005.
- 5) 土木学会：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136，2012.
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，2017年制定，2018
- 7) 例えば，伊藤正憲，富山徹，大槻直紀，魚本健人：吹付けコンクリートの圧送前後のスランプ，空気量の変化に関する研究，土木学会第55回年次学術講演会，V-225，2000.9
- 8) 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
- 9) 土木学会：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方法（案），土木学会基準，JSCE-G 572-2018
- 10) 中村英佑，皆川浩，宮本慎太郎，久田真，古賀裕久，渡辺博志：通電後の塩化物イオン浸透深さをを用いたコンクリートの遮塩性能の評価，土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)，Vol.72, No.3, pp.304-322, 2016.8
- 11) 日本コンクリート工学会：電気化学的手法を活用した実効的維持管理手法の確立に関する研究委員会，委員会報告書，pp.1-62，2018.9
- 12) 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
- 13) Products and systems for the protection and repair of concrete structure – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity, BS EN1504 ,2005.
- 14) Products and systems for the protection and repair of concrete structure –Test methods– Determination of thermal compatibility– Part 2: Thunder-shower cycling (thermal shock), BS EN13687-2, 2002.
- 15) Products and systems for the protection and repair of concrete structure –Test methods– Determination of thermal compatibility– Part 4: Dry thermal cycling, BS EN13687-4, 2002.
- 16) 土木学会：コンクリートの乾燥湿潤試験方法（案），土木学会関連規準，土木研究所資料第4042号，附録，pp.23-27，土木研究所，2007.1
- 17) 片平博，渡辺博志：環境温度と養生日数が断面修復材の強度に与える影響，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.70, No.5, pp. 1177-1178, 2015.9
- 18) 片平博，古賀裕久：養生日数が温度変化を受ける断面修復箇所の付着強度に与える影響，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.71, No.5, pp.439-440, 2015.9
- 19) 土木学会：コンクリート標準示方書[施工編]，2017年制定，2017
- 19) 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, No.1, pp.1663-1668, 2013.7
- 20) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領，2020.
- 21) 宇野剛志，内藤勲，横田弘：脆弱部を改善した補修箇所の凍害環境下での耐久性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.41, No.1, pp.1643-1648, 2019.7
- 22) 内藤勲，安中新太郎，宇野剛志，横田弘：断面修復箇所の耐凍害性の向上を目的とした残存劣化部の改善対策に関する検討，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19巻，pp.343-348, 2019.10

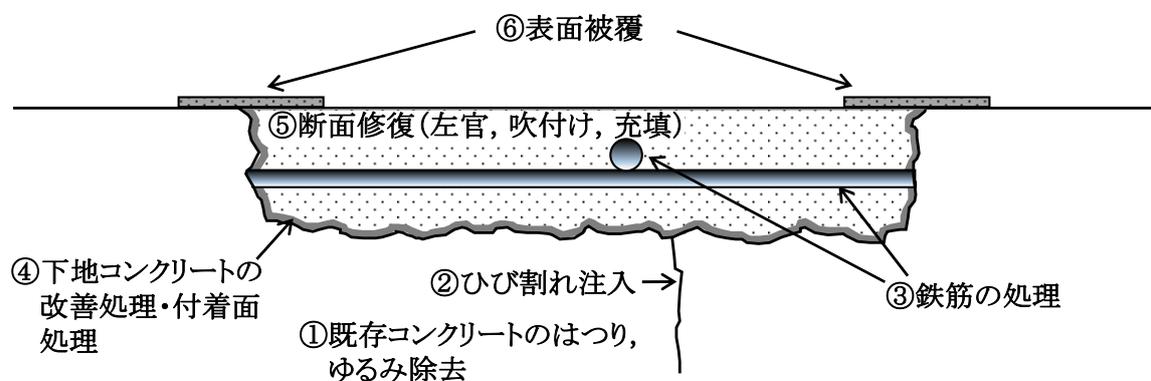
3章 断面修復工法の施工

3.1 断面修復工法の施工手順

断面修復工法の施工では、既存コンクリートのはつり、鉄筋の処理、下地コンクリートの改善処理、付着面の処理、断面修復材の管理、断面修復材の施工、養生等の各工程があり、それぞれの工程ごとの留意点を把握したうえで、適切に施工しなければならない。

【解説】

断面修復工法の施工においては、解説図-3.1.1に示すように、既存コンクリートのはつり、鉄筋の処理、下地コンクリートの改善処理、付着面の処理、補修材料の施工（材料管理、計量・混合、断面修復材の施工、養生等）などの工程が含まれ、それぞれの工程作業を適切に実施しなければ所定の性能を確保することができない。また、断面修復工法は、必要に応じてひび割れ修復工法や表面被覆工法等と併用される。これらの工法の詳細はひび割れ修復工法編や表面被覆・含浸工法編を参照されたい。



解説 図-3.1.1 断面修復工法の概要

3.2 既存コンクリートのはつり

- (1) 既存コンクリートのはつり範囲については、断面修復工法による補修効果が十分に発揮できるように定めなければならない。
- (2) はつり作業は、可能な限り付着面へのダメージを最小限になるように行わなければならない。
- (3) はつり作業後に、ひび割れや浮き、ゆるみ、フェザーエッジがある場合には、それを取り除かなければならない。
- (4) 逆打ちの充填工法の場合、不陸が大きいと、空気だまりが生じて大きな空隙が残存することとなるため、はつり形状には特に注意を払わなければならない。
- (5) 下地コンクリートの表面が平滑の場合は目荒らしを行うことを標準とする。

【解 説】

(1) について

劣化部の除去においては、ひび割れ部や鉄筋腐食部は全て除去する必要があり、鉄筋が腐食している場合には鉄筋裏まではつる必要がある。また、鋼材腐食発生限界濃度を超える塩化物イオンが浸透している範囲は確実に除去する必要があり、鉄筋が腐食していなくても塩化物イオンの浸透が鉄筋まで到達している場合には、予防処置として鉄筋裏まではつることが望ましい。特に、塩分については部位によって浸透の程度にばらつきが想定されるため、実際にはつりを行い、塩分の除去が十分であるかを現地で確認するとよい^{1),2)}。塩分の浸透状況や内部の鉄筋の劣化状態が設計と異なっている場合ははつり範囲を変更する必要がある。

(2) について

はつりの方法には、2.3 施工方法の設定で述べたように、主にチップングハンマー等による人力はつり方法や、ブレーカやウォータージェットによる機械はつり方法がある。チップングハンマーやブレーカのような打撃系のはつり方法の場合、鉄筋等の鋼材を痛めないように注意する必要がある。また、打撃による衝撃で既存コンクリートに微細なひび割れが生じることによって付着性能が低下する場合があるため注意が必要である。また、近年ではウォータージェット装置の小型化も進んでおり、はつり処理の浅い部分をブレーカ処理で行い、仕上げ段階で付着界面に近い部分のみにウォータージェット工法を用いるなどの工夫を行う場合もみられる。

(3) について

はつり作業を行った後は、ひび割れや浮き、ゆるみが無いかどうかを目視、または打音ハンマー等で確認しなければならない。ひび割れについては、それが有害なひび割れの場合は、ひび割れ修復工法によって補修しなければならない。その詳細はひび割れ修復工法編を参考にするとよい。

はつり形状の凹凸が大きい場合には、後の断面修復材の打ち込みを容易にする目的から、窪みを埋めるなどの不陸調整を行う場合がある。これに用いる材料（断面修復材およびプライマー等）についても、2.4 断面修復材の品質および2.5 付着面の品質に示す品質規格を満足するものでなければならない。

はつり面が構造物の表面に出現する部分については、フェザーエッジとなると、断面修復材の塗布厚さが極めて薄くなって、そこにひび割れが発生しやすくなることから、フェザーエッジとならないようなはつり形状とする必要がある。

(4) について

逆打ちで充填工法を行う場合には、特にはつり形状には注意が必要である。大きな不陸があると、空気だまりとなって大きな空隙が残存することとなる。このため、充填時に空気だまりが生じないようにはつり形状を工夫するとともに、適宜、空気抜き孔を設ける必要がある。

(5) について

新設構造物のように滑らかなコンクリート表面に断面修復材を塗布する場合の留意点である。下地コンクリートの表面が鏡面のように平滑な場合は、断面修復材の付着強度が低下するため、そのような場合はサンドブラスト等を用いて目荒らしを行うと良い。表面粗さの程度としては、土木研究所の研究では、きめ深さ 0.15mm 以上(算術平均粗さとして 0.07mm 以上)において良好な付着性能が得られている³⁾。表面粗さの測定方法については**附属資料 C**に掲載する。

3.3 鉄筋の処理

(1) 鉄筋(鋼材)の損傷が著しい場合は、交換、増設等を行う。

(2) 塩害環境における断面修復の場合は、はつりによって露出した鉄筋(鋼材)に対して除塩を行うとともに、必要に応じて防せい処理を行う。

【解 説】

(1) について

塩害環境において、鉄筋周辺のコンクリート中の塩化物イオン量が増加すると、鉄筋が腐食する。コンクリートにひび割れが生じるような段階になると、腐食が著しい場合が多い。また、アルカリシリカ反応による膨張が大きい場合や地震荷重を受けた場合などでは、鉄筋が破断している場合がある。このような場合には、鉄筋を交換または増設する必要がある。塩害環境の場合には樹脂塗装鉄筋等が用いられる。

(2) について

除塩について

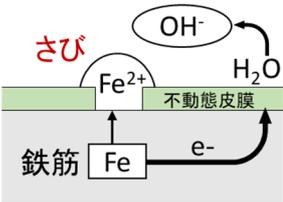
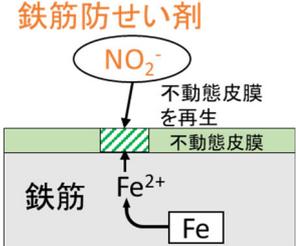
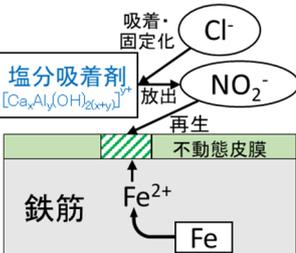
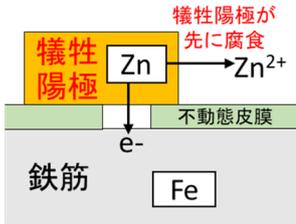
塩害環境にある構造物に対する断面修復の場合、鉄筋が著しい腐食に至ってない場合でも、塩分が付着している場合には、可能な限り鉄筋に付着している塩分を丁寧に除去する必要がある。除去の方法としては、鉄筋に付着したペーストを丁寧に落とし、多量の流水で洗う、温水で洗う等の方法がある。ただし、腐食部分に入り込んだ塩分までを完全に除去することは難しい。

防せい処理について

鉄筋の防せい処理として、鉄筋防せい剤や塩分吸着剤を鉄筋に塗布する方法、犠牲陽極を設置する方法等が開発、適用されている。各方法の概要を**解説 表-3.3.1**に示す。

各工法とも鉄筋のケレンの状況や浸透してくる塩化物イオンの量が防せい効果やその持続時間に大きく影響するなど恒久対策としては不確実な部分も多い。このため、工法・製品のメカニズムを理解した上で、現段階では延命化方策としての位置付けで選定するとともに、施工後の再劣化進行状況のモニタリングが望ましい。また、亜硝酸系の鉄筋防食剤とロダン系混和剤を使用した断面修復材を組み合わせるとシアンガスが発生する恐れがあるため、組み合わせで使用してはならない。

解説 表-3.3.1 鉄筋の防せい処理方法

	特徴	留意点	防せい原理のイメージ
(無対策)			
鉄筋防せい剤	<ul style="list-style-type: none"> ・亜硝酸イオンを含むものが多い。 ・鉄筋に塗布，はつり界面を防せいペーストとして被覆または断面修復材に混入することにより，腐食した不動態皮膜を亜硝酸イオンが再生・安定化して防せいする材料。 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋付近の断面修復材や下地コンクリートに含まれる塩化物イオン含有量に対して，対応できる量の亜硝酸イオンが供給されることが再劣化防止に必要。 	
塩分吸着剤	<ul style="list-style-type: none"> ・カルシウム・アルミニウム複化合物であり，静電気力によって層間に塩化物イオンを吸着・固定し，亜硝酸イオンを放出する。 ・鉄筋に塗布またははつり界面を防せいペーストとして被覆することにより，残存さび層の塩化物イオンを吸着するとともに亜硝酸イオンを放出し鉄筋表面の不動態皮膜を再生・安定化する。 	<ul style="list-style-type: none"> ・室内実験では，普通セメントよりも高炉セメントにおいて腐食抑制効果が高い(拡散係数が小さいことにより，塩分吸着剤の塩分固定化時間が確保される)。 	
犠牲陽極	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄よりもイオン化傾向の大きい亜鉛等を断面修復部に埋め込み，鉄筋より先にさびることで鉄筋の腐食を抑制。 ・電気防食と同じ原理であり，塩化物イオン量が多い環境下でも設置当初は安定した腐食抑制効果を発揮。 	<ul style="list-style-type: none"> ・電気防食は，通電や陽極の交換によって防食効果が持続するのに対し，犠牲陽極は埋設のため，断面内部で亜鉛が消耗すると腐食が急速に進行する。 ・比較的成本が高く，一定以上のかぶり厚も必要。 	

3.4 下地コンクリートの改善処理

積雪寒冷地等の過酷な環境下で標準的な工法では断面修復後の早期再劣化が懸念される箇所には、必要に応じて浸透系塗布材による下地コンクリートの改善処理を実施する。

【解説】

過酷な凍結融解等の作用を受ける条件下では、断面修復箇所内部に残存する脆弱部から劣化が進行して再劣化が発生しやすい。特に、打撃系はつり後の下地コンクリートに発生する微細ひび割れや、はつりきれずに部分的に残存する脆弱部から劣化が進行する場合がある。このような微細ひび割れ等は、エポキシ系の浸透性塗布材を浸透・固化させることで改善することが可能であり、これによって付着耐久性の向上が期待できることから、必要に応じて改善処理を行うことが望ましい（2.5 付着面の品質（2）を参照）。ただし、改善処理を施すと下地コンクリートの表面が緻密化されて、断面修復材との凸凹による付着性能が低下するため、下地コンクリートの改善処理を実施する場合には、付着面処理においてエポキシ樹脂系接着剤をプライマーとして用いることで断面修復材との付着力を確保することを標準とする。エポキシ樹脂系の浸透性塗布材とエポキシ樹脂系接着剤を併用すると、エポキシ樹脂同士の強い接着性と吸水防止効果が得られて付着耐久性の向上が期待できる。

エポキシ樹脂は、硬化反応中に表面が固まり始めて粘着性は残っているが指で触っても樹脂が指に接着しない粘性状態で断面修復材を打設しないと接着力の低下が懸念されるため、下地コンクリートの品質改善処理、エポキシ樹脂系接着剤によるプライマー処理、断面修復材の施工は、それぞれの硬化時間を考慮して連続的に行わなければならない。

3.5 付着面の処理

付着面の処理方法には、主に水湿し処理とポリマーディスパーション系やエポキシ樹脂系接着剤によるプライマー処理があり、補修する箇所や施工環境、使用する断面修復材の性質等に応じて適切な手法を選択しなければならない。

【解説】

乾燥したコンクリート面に断面修復材を施工すると、断面修復材中の水分がコンクリートに吸収されて、断面修復材中の水和反応が阻害されるドライアウト現象が生じることから、これを防止する目的とした吸水防止処理を行う。吸水防止処理には主に、水湿し処理とポリマーディスパーション系のプライマー処理が用いられ、ポリマー含有量の高いポリマーセメントモルタル等が用いられる場合もある。また、吸水防止に加えて付着耐久性の向上を目的としたエポキシ樹脂系接着剤をプライマーとして用いる場合もある。一般的に、その断面修復材に適したプライマーが指定されている。

水湿し処理は、断面修復材の施工前にコンクリート表面を水で湿らせる方法であり、簡易ではあるが、

湿潤状態を長時間保持することが困難であることから、小規模な補修工事で主に用いられる。逆打ちの場合に水分が多いと、付着面に水膜が形成されて十分な付着が得られない場合があるため、余剰水の有無を十分に確認するか、塗布した断面修復材を一度かき落として再塗布するなどの対応が必要である。

ポリマーディスパージョンは、下地コンクリートに塗布し、乾燥すると薄いポリマーの膜が形成され、この膜によって水分の移動を遮断する。ポリマーディスパージョンは施工面に一度塗布すれば、施工面が汚れたり、水がかかったりしない限り、ある程度時間が経過しても性能が低下しないため、施工性に優れている。ただし、施工面が湿潤状態で乾燥しない状態ではポリマー膜が形成されないため、十分な効果は期待できない。また、補修工事完了後の供用時の環境が、例えば河川構造物のように常に水に接する環境では、長時間かけてポリマー膜が再乳化し、下地コンクリートと断面修復材との付着強度が低下してしまう材料もあるため、そのような箇所に使用するプライマーに対しては水中耐久性試験（**附属資料 F 断面修復材の水中耐久性試験方法（案）**）による確認が必要である。これらの、プライマーの施工に関しては、プライマー製造者の指針等に従って、適切に施工しなければならない。

常時、水に接する箇所や、下地コンクリートの品質改善を行った場合等で、断面修復材との付着耐久性をより求める条件の場合には、断面修復材と下地コンクリートとの付着面にエポキシ樹脂系接着剤を接着プライマーとして使用する。ただし、エポキシ樹脂の硬化時間以内に断面修復材を施工しなければ十分な付着強度が得られないため、十分な施工管理が必要となる。また、施工時の環境温度が高温や低温の場合では接着性能が低下する場合がある。さらに、施工後の耐久性に関しては、一般的な環境下であれば比較的高い耐久性を発揮するが、環境温度が高温となるような箇所では、接着後の接着性能が低下する場合がある。

3.6 断面修復材の管理

断面修復材は、劣化または風化しないように適切に管理しなければならない。

【解 説】

プレミックス品の断面修復材はセメントモルタルを主体としたものであり、管理状態が悪かったり、長期間経過したりするとセメントが風化するため、湿気を防ぎ、長期保存する場合にはビニール袋に梱包するなど、適切に管理しなければならない。添加するポリマー、吸水防止処理に用いるプライマー、接着系の樹脂系プライマー、付着面改善処理に用いる浸透性塗布材においても、性能を補償する有効期限と保存方法が定められているため、それを守らなければならない。

なお、吹き付け工法等では、はね返り等による材料のロスがあるため、その量を考慮して断面修復材を準備する必要がある。

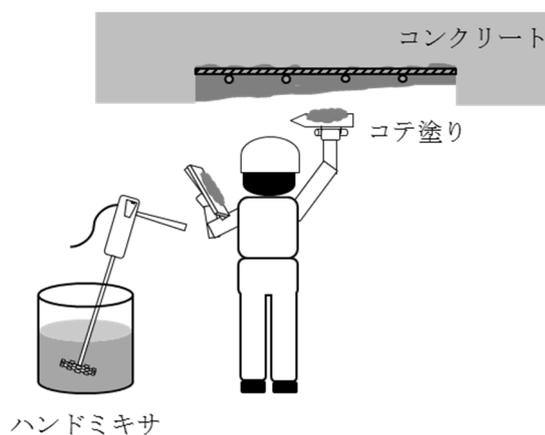
3.7 左官工法による施工

- (1) 左官工法に用いる断面修復材の計量は正確に行い、十分に練混ぜ混合しなければならない。
- (2) 練り上がった断面修復材の粘性について、施工が可能な適切な粘性であること、また、施工可能時間を事前に確認しておくが良い。
- (3) 左官工法の特徴を十分に理解したうえで、適切に施工しなければならない。
- (4) 施工厚さが厚く、塗り重ねを行う場合は、塗り重ね界面が弱点とならないように、適切に施工しなければならない。

【解説】

(1) について

左官工法は、小断面の補修や、補修箇所が点在している場合に用いられることが多い。圧送用のポンプやエアコンプレッサー等の機材を必要とせず、断面修復材を混練した後、左官ごてを使用し、下地コンクリートに塗りつける工法である（解説 図-3.6.1 を参照）。



解説 図-3.6.1 左官工法の例

一般的に、セメントモルタルの断面修復材は、水以外の材料がプレミックスされており、これに定められた水量を現場で加えて練混ぜ混合する。ポリマーセメントモルタルの場合は、ポリマーも粉体化してプレミックスされたものもあるが、ポリマーディスパージョンを別に添加するものもある。このため、添加の忘れに注意が必要である。また、現場での計量となるために、レディーミクストコンクリートのような工場での計量・製造に比較すると、バラツキが大きくなるリスクが高いと考えられるため、注意深く行う必要がある。特に、水の計量は正確に行う必要がある。

練混ぜは断面修復材の製造者の指定する方法に従って、適切に行わなければならない。ミキサを使用する場合もあるが、小規模の施工の場合にはバケツにハンドミキサ（攪拌機）を用いる場合などもあり、バケツの端部等に練り残しが無いように、適切に練混ぜを行わなければならない。

(2) について

適切な粘性の程度は施工方法や作業の方向によって異なるため、施工方法、作業の方向に応じて、コテ

作業における感触等によって適切に設定する必要がある。

適切な粘性が保持できる時間内に作業を完了しなければならないことから、施工可能時間を事前に確認しておくが良い。この施工可能時間は気温や下地コンクリートの温度といった温度条件によって異なることに注意が必要である。

(3) について

塗りつけの最初は少量の断面修復材を施工面に強く擦り付ける「しごき」を十分に行い、付着面に空隙が生じないように配慮する。なお、付着面にエポキシ樹脂系接着剤をプライマーとして塗布する場合も、断面修復材を接着プライマーに混ぜ込むように「しごき」を行うことが重要である。「しごき」が終わった後に、コテ塗りによって断面修復材を所定の形状となるように塗布し、仕上げる。

(4) について

逆打ちや構造物の側面に施工する場合、断面修復材の変形や、だれ落ちによって、1回に施工できる塗り厚が制限される。このため、施工厚さが厚い場合には、数回に分けて断面修復材を塗り重ねる必要がある。この場合は、先に施工した断面修復材が凝結して指触硬化状態（指で軽く触れても変形しない程度の状態）となるまで待つて、次の塗り重ねを行う。その間、先に施工した断面修復材の表面は直射日光や風雨を避けるなど、適切に養生しなければならない。次の施工の前に、先に施工した断面修復材の表面が乾燥すると、強度発現が阻害されるばかりか、塗り重ねの界面にドライアウトが生じ、付着が不十分になる恐れもある。工程の都合により、翌日施工になるなど、時間が経過して先に施工した断面修復材が完全に硬化する場合は、断面修復材の種類にもよるが、吸水防止処理としてプライマーを塗布することが推奨されている場合も多い。なお、製品によっては、季節・気温に応じて次の施工までの目安時間を示している場合や、厚付けが可能な製品も開発されている。

3.8 湿式吹付け工法による施工

- (1) 湿式吹付け工法に用いる断面修復材の計量は正確に行い、十分に練混ぜ混合しなければならない。
- (2) 練り上がった断面修復材の粘性について、施工が可能な粘性であること、吐出状態が安定していることなどを試し吹きによって確認しなければならない。
- (3) 湿式吹付け工法の特徴を十分に理解したうえで、適切に施工しなければならない。
- (4) 施工厚さが厚く、重ね吹きを行う場合には、重ね吹き界面が弱点とならないように、適切に施工しなければならない。

【解 説】

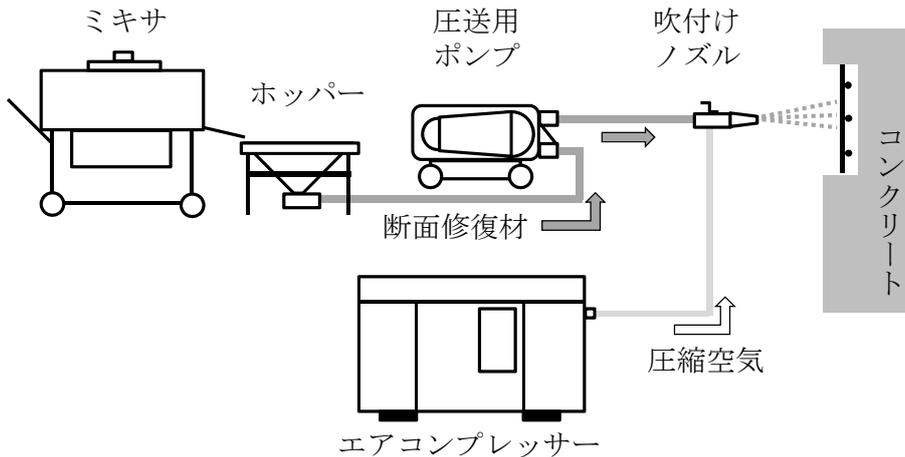
(1) について

吹付け工法は型枠を必要とせず、中～大規模な断面修復工事に採用される。湿式吹付け工法は、予めミキサで混練した断面修復材をポンプで圧送し、エアコンプレッサーの圧縮空気を利用して、下地コンクリートに吹き付ける工法である（解説 図-3.8.1を参照）。

一般的に、セメントモルタルの断面修復材は、水以外の材料がプレミックスされており、これに定められた水量を現場で加えて混合する。ポリマーセメントモルタルの場合は、ポリマーも粉体化してプレミッ

クスされたものもあるが、ポリマーディスパージョンを別に添加するものもある。このため、添加忘れに注意が必要である。また、現場での計量となるために、レディーミクストコンクリートのような工場での計量・製造と比較すると、バラツキが大きくなるリスクが高いと考えられるため、注意深く行う必要がある。特に、ポリマーディスパージョンと水の計量は正確に行う必要がある。

湿式吹き付け工法の場合、練混ぜはミキサで行われることになるため、それに適したミキサを用い、均質になるまで十分に練り混ぜる必要がある。



解説 図-3.8.1 湿式吹き付け工法の例

(2) について

練り上がった断面修復材に対して、施工（ポンプ圧送）に適した粘性を有しているか、だれに対する抵抗性を有しているかについて、ミニランプ試験、モルタルフロー試験等によって確認する。また、試し吹きにより、吐出状態にムラが無いか、吹付け後、想定する施工厚さまで問題なく施工できるか（だれの状況や浮き、はらみ等が無いか）などについて目視確認等を行う。適切な粘性の範囲は施工に用いる機材の性能、吹付け作業の方向、気象条件等によって異なるため、これらの条件に応じて、配合等を適切に調整する必要がある。

適切な粘性が保持できる時間内に吹付け作業を完了する必要性から、施工可能時間を確認しなければならない。この施工可能時間も気温等によって変化するため配慮が必要である。

(3) について

吹付けの良否は、ノズルマンの技量によるところが大きく、特に鉄筋裏側等に空隙が生じないように施工することが重要である。このため、ノズルマン技能検定制度がある。また、断面修復材にエントレインドエアを混入している場合は、吹き付けることによってエントレインドエアが抜けてしまい、耐凍害性が低下する場合がある（不具合事例集 No. 4 を参照）ため注意が必要である。また、吹付け工法ははね返り等による材料のロスがあるため、その分を見越して、材料の量に余裕をみる必要がある。さらに、防護服や防護マスク、防護メガネの着用等、施工環境に応じた装備も必要となる。

(4) について

湿式吹き付け工法で、上向きや横向きに施工する場合、1回に施工できる吹付け厚が制限される。このため、総施工厚さが厚くなる場合には、数回に分けて断面修復材を重ね吹きする必要がある。この場合、先に施工した断面修復材が凝結して指触硬化状態となるまで待って、次の吹付けを行う。その間、先に施工

した断面修復材の表面は直射日光や風雨を避けるなど、適切に養生しなければならない。製品によっては、季節・気温に応じて次の施工までの目安時間を示している場合もあるため参考にすると良い。次の施工の前に、先に施工した断面修復材の表面が乾燥すると、強度発現が阻害されるばかりか、重ね吹きの界面にドライアウトが生じ、付着が不十分になる恐れもある。工程の都合により、翌日施工になるなど、時間が経過して先に施工した断面修復材が完全に硬化する場合は、断面修復材の種類にもよるが、吸水防止処理としてプライマーを塗布することが推奨されている場合も多い。

なお、近年、ノズルで急結剤等を混合させることで、1回の施工厚さを厚くすることが可能な湿式吹付け工法も開発されている。

3.9 乾式吹付け工法による施工

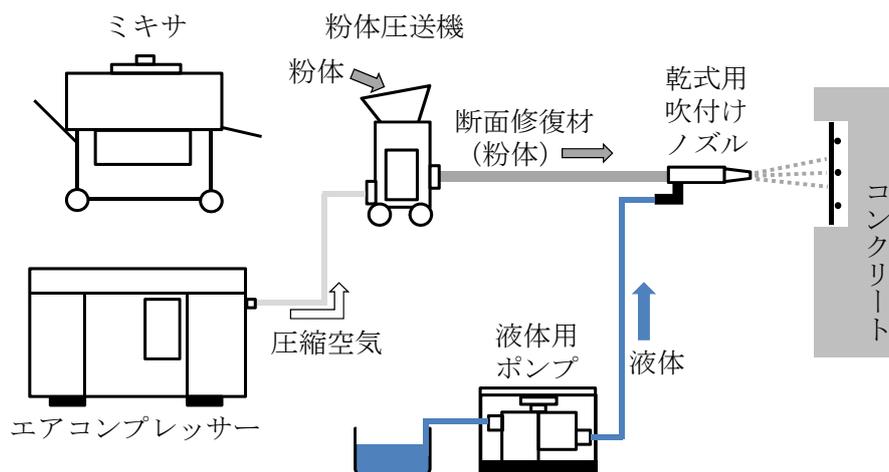
- (1) 水とポリマーを事前に混合する場合は、計量を正確に行い、十分に混合しなければならない。
- (2) 断面修復材の粉体と液体の流量比が適切で安定していること、吹付けノズル内部で十分に混合していること、吐出状態が安定していること、適切な施工が可能であることなどを試し吹きによって確認しなければならない。
- (3) 乾式吹付け工法の特徴を十分に理解したうえで、適切に施工しなければならない。

【解 説】

(1) について

吹付け工法は型枠を必要とせず、中～大規模な断面修復工事に採用される。乾式吹付け工法は、エアコンプレッサーの圧縮空気を利用して、断面修復材の粉体を空気圧送し、吹付けノズル内部で瞬時に液体と混合し、吹付ける工法である（解説 図-3.9.1 を参照）。乾式吹付け工法は湿式吹付け工法と比較して圧送性に優れ、また1回の施工厚さを厚くすることが可能であるなど施工性に優れ、より大規模な断面修復工事に採用される。

一般的に、乾式吹付け工法で用いる断面修復材は、ポリマーセメントモルタルであることが多い。プレミックスされた粉体と液体（水または水+ポリマー）とに分かれている。ポリマーは、粉体に予めプレミックスされたタイプや、ポリマーエマルジョンを水に混入するタイプがある。後者の場合、現場で、ポリマーエマルジョンと水を定められた割合で混合する必要がある。現場での計量となるため、注意深く行う必要がある。



解説 図-3.9.1 乾式吹付け工法の例

(2) について

乾式吹付け工法では、別々に圧送された粉体と液体とが吹付けノズル内で瞬時に混合され、吹付けノズルから吐出される。吐出された断面修復材は、硬練りで粘性がほとんど無いため、ミニランプ試験やモルタルフロー試験で粘性を確認することができない。そのため、工法開発者等によって、粉体と液体の流量比率の適切な範囲が予め定められている。

試し吹きを行って、粉体と液体が定められた流量比率の範囲内で圧送されていること、吹付けノズル内部で粉体と液体が十分に混合されていること、吐出状態が安定していること、吹付け後にだれが生じないことなどを確認しなければならない。また、施工に適した流量比率は、気温等によっても変化するため、適切に調整する必要がある。

(3) について

吹付けの良否は、ノズルマンの技能によるところが大きく、特に吹付けノズル内部の混合状態や安定性の確認、鉄筋裏側等に空隙が生じないような施工を行う必要がある。乾式吹付け工法は、ノズル内部での混合となることから、吹付けの初期段階では、ペーストと十分に混合されない骨材粒子や一体化できなかったモルタル粒子がはね返り、施工の条件によってはそれが吹き溜まり、豆板が生じる可能性がある。このため、このような骨材粒子などが滞留しないよう、適切に除去しながら施工する技術が必要となる。また、湿式吹付け工法と比較して粘性が極めて低いことから、鉄筋裏や狭さく部等への充填不良等のリスクも高いことが考えられる。

施工は、乾式吹付け工法の特徴を理解するノズルマンによって行わなければならない。提案されている工法ごとにノズルマンの教育が行われている。また、工法によって材料のはね返りやだれ、粉塵の発生の程度が異なるため、その分を見越して、材料を準備する必要がある。さらに、防護服や防護マスク、防護メガネの着用等、施工環境に応じた装備も必要となる。

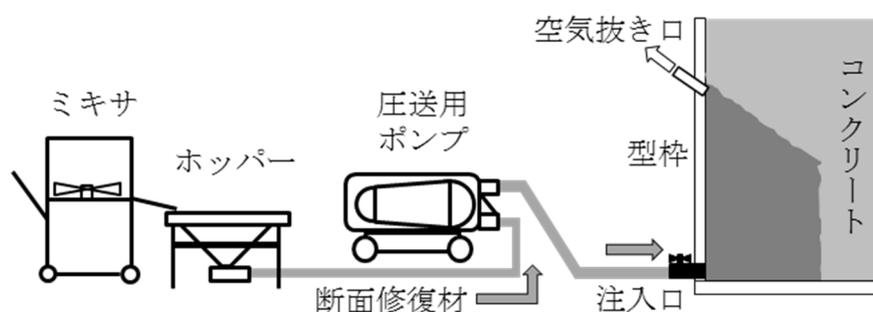
3.10 充填工法による施工

- (1) 充填工法に適した流動性を有するコンクリートまたはモルタルを用いなければならない。
- (2) 充填工法の特徴を十分に理解したうえで、適切に施工しなければならない。

【解説】

(1) について

充填工法は、型枠を設置し、流動性の高いコンクリートまたはモルタルを型枠の内部に充填する工法であり（解説 図-3.10.1）、補修断面が大きな場合に適している。



解説 図-3.10.1 充填工法の例

充填工法を採用する場合は施工量が多い場合がほとんどのため、それに用いる高流動コンクリートやモルタルは、レディーミクストコンクリート工場で製造することが多い。工場と入念な打合せを行い、施工に必要な流動性と材料分離抵抗性が確保されるか、事前に試し練り等で確認する必要がある。流動性の確認はスランプ試験（JIS A 1101）またはスランプフロー試験（JIS A 1150）によって行うことを標準とする。また、流動性の保持時間を確認することも重要である。さらに、逆打ちに適用する場合、充填した断面修復材が凝結時に収縮を起こすと下地コンクリートとの間に空隙が生じて付着しなくなるため、ノンブリーディングで硬化収縮のない（あるいは膨張性のある）材料を選定する必要がある。AEコンクリートの場合は空気量が所定の範囲（一般的には $4.5 \pm 1.5\%$ ）に入っていることを確認しなければならない。

(2) について

充填工法では、特に流動性の管理が重要である。順打ちの場合は締固めを行うことが可能であるが、逆打ちの場合は自己充填性に優れた材料でなければならない。また、空気だまりが出来ないように、はつり形状に注意し、空気抜き孔を設ける等の工夫が必要である。さらに、型枠を設けるために、特に逆打ちの場合は充填状況が目視出来ないため、充填が確認できる観察窓を設けるなどの工夫をすると良い。粗骨材を先に詰めておいて、そこにペースト等を充填するプレパックド工法もあるが、粗骨材と充填材との間に空隙が残存する可能性があることから、高い品質を求める場合には適さない。

3.11 施工時の環境条件に応じた留意点

施工時の環境条件に応じた留意点を確認し、適切に施工しなければならない。

【解 説】

断面修復材は、その施工厚さがコンクリート部材に比較して薄いことから、コンクリートの施工以上に季節毎の環境に注意しなければならない。

夏季の場合、気温と直射日光による水分蒸発が著しい。特にコンクリート表面に直射日光が当たるような場合にはコンクリート表面温度が外気温よりも 20℃以上上昇する場合もあることから、水分逸散には十分注意する必要がある。断面修復材に亜硝酸系の鉄筋防せい剤が混合されている場合も、亜硝酸塩がセメントの凝結を促進するため、高温時の施工可能時間が短くなる。

冬季の場合、凝結および強度発現にかかる時間が長くなる。また、凍結の心配のある期間では寒中コンクリートと同様の配慮が必要である。

3.12 仕上げ面の処理

断面修復材の仕上げ面は平滑に仕上げることを基本とする。

【解 説】

左官工法や吹付け工法の仕上げ面は、コテ仕上げ等によって平滑に仕上げることを基本とする。乾式吹付け工法の場合は、仕上げ吹付け（表面の仕上げ面付近の吹付け）の配合のみ、水セメント比（粉体と液体の流量比率）を耐久性に影響のない範囲で調整して、コテ仕上げ等が可能な粘性に調整すると良い。平坦に仕上げる理由は、美観に加えて、平滑にすることで水や塩化物等の劣化因子が仕上げ面に付着しにくくなるためである。充填工法の場合も、天端面についてはコテ仕上げが必要である。なお、コテをかけ過ぎるとプラスチックひび割れが発生しやすくなるため注意が必要である。

3.13 養生

断面修復材の施工後は、設定した物性が発揮されるまでの期間、適切に養生しなければならない。

【解 説】

養生とは湿潤状態を保持することであり、養生シート等によって直射日光や風を遮り、必要に応じて養生剤の散布や水分の供給を行う。

断面修復材の品質は養生期間によって異なってくる。このため、**2.4 断面修復材の品質**と**2.5 付着面の品質**に示した断面修復材の品質確認についても、現場で実施可能な養生期間の条件で判定することとしている。断面修復材の製造者は、製品の仕様として適切な実験データをもとに養生期間と養生方法を明示する必要がある。施工者は、その仕様に従って確実に養生を行う必要がある。なお、断面修復材の強度発現はコンクリート同様に温度環境によって異なる。このため季節に応じて、**2.4 断面修復材の品質**と**2.5 付着面の品質**の性能確認に用いた標準養生期間と同等の養生効果が得られる養生日数を適切に設定しなければならない。また、冬季の場合は凍結しない配慮が必要である。高流動コンクリートの場合では、「コンクリート標準示方書〔施工編〕」⁴⁾の養生日数を守ることを標準とする。

なお、上記によらない場合(養生に関する仕様が製品仕様に明記されていない場合や、その工事独自の養生を行う場合等)は、養生を継続する期間の判断基準として、現場養生した供試体の圧縮強度が 10N/mm^2 に達するまでの期間を標準とする。

3.14 安全衛生

断面修復工事においては、安全衛生に留意しなければならない。

【解 説】

通常の工事と同様に、断面修復工事においては、作業員の安全と健康を確保すること、および第三者に対して配慮することが重要である。

コンクリートのはつり工事においては、ブレーカ等の重機やウォータージェットの装置等、作業に危険を伴うものがあるため、安全への配慮が重要である。また、はつり範囲を誤ると、部材または構造物の崩壊を招く恐れもある。

吹付け工法による断面修復を行う場合は、はね返り、粉塵によって作業環境が悪化するため、マスク、保護手袋、保護メガネ、防護服などの装着や換気、外部への飛散防止等の配慮が必要となる。これらの詳細は「吹付けコンクリート指針(案)〔補修・補強編〕」(土木学会)⁵⁾を参照すると良い。

エポキシ樹脂系接着剤や樹脂系の浸透性塗布材の使用に当たっては、換気やマスクの着用等、施工環境に配慮が必要である。

亜硝酸系の鉄筋防せい剤を使う場合、地下水に硝酸性・亜硝酸性窒素の環境基準が設定されていること

も考慮した流出対策が必要である。また、ロダン系混和剤を使用した断面修復材に対しては、シアンガスが発生する恐れがあるため、使用してはならない。

参考文献

- 1) 櫻庭浩樹, 古賀裕久: 携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた硬化コンクリート表面の塩分量測定の検討, 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 19 巻, pp.373-378, 2019.
- 2) 土木研究所: コンクリート構造物の目視困難な損傷・変状に対する先端技術を用いた状態把握の適用性と性能評価に関する共同研究報告書 (I) - 塩分センサを活用したコンクリート構造物の簡易な塩化物イオン量推定方法 -, 共同研究報告書 第 517 号, 2020.
- 3) 片平博, 渡辺博志: 付着面の表面粗さが断面修復材の付着強度に与える影響, 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 14 巻, pp. 265-270, 2014.10
- 4) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], 2017 年制定, 2017
- 5) 土木学会: 吹付けコンクリート指針 (案) [補修・補強編], コンクリートライブラリー123, 2005.

4章 検 査

4.1 一般

検査は、事前に検査計画を定め、その検査計画に基づき、発注者の責任において実施することを標準とする。

【解 説】

発注者は、断面修復工事が適切に行われたことを確認するために検査を行わなければならない。検査計画は工事の着工前に定めることとし、発注者と施工者が合意した内容としなければならない。なお、補修工事の範囲や仕様等の契約条件が変更になる場合には、それに合わせて検査計画も見直す必要がある。

4.2 検査項目と判定基準

(1) 断面修復工法の検査には、材料の検査、施工段階の検査、完了時の検査等があり、各段階において適切な検査項目および判定基準を設定することを標準とする。

(2) 検査の結果、不合格と判定された場合には、補修方針を満たすために適切な措置を講じなければならない。

【解 説】

(1) について

断面修復工法の検査として、工事が完了した後に検査・確認できる項目は限られる。また、非破壊試験等によって得られる測定データは必ずしも精度の高いものとは言い難い。このため、材料の検査、施工段階の検査および完了時の検査と段階を分け、それぞれに対して適切な検査項目を設定することを基本とした。

解説 表-4.2.1 に検査項目とその判定基準の例を示す。ここでは、まず、断面修復に用いる断面修復材および付着面処理に用いるプライマー等の品質について、2.4 および 2.5 に示す品質規格を満足することとした。

施工段階の検査については、各施工段階における確認行為を検査の主体として構成した。発注者は、検査行為の他に監督、指導行為を行うが、施工の検査の項目は、監督、指導行為と読み替えても良い。

施工段階の検査のうち、試験による検査として断面修復材の粘性の検査、圧縮強度の検査および付着強度の検査を例示した。このうち、付着強度の検査は、事前に下地コンクリート用の平板等を用意しておき、そこに補修工事と同様の方法で断面修復材を塗布（または吹付け、あるいは充填）することで供試体を作製し、実構造物と同様の状態で養生した後、付着強度試験を実施する。供試体の作製および試験に掛

解説 表-4.2.1 検査項目の例

分類	検査項目	検査方法	判定基準の目安
材 料 の 検 査	断面修復材およびプライマー等の品質検査	・2.4 断面修復材の品質および2.5 付着面の品質の項目を試験成績表等で確認	2.4 および2.5による
施 工 段 階 の 検 査	はつり方法と範囲	・施工計画書の確認と、実際にはつり取った状態の確認	適切であること
	はつり後の浮き、ゆるみ、フェザーエッジ等	・目視確認、打音検査等	異常が認められないこと
	はつり後の残存塩分	・現地で塩分量を測定できる方法により確認 ^{1),2)}	多量に含まれないこと
	鉄筋の処理	・塩分除去作業の目視確認 ・新たに配置する鉄筋の配置状況の目視確認 ・防せい処理の方法、品質確認、施工状態の目視確認	適切であること
	下地コンクリートの改善処理	・施工状態の目視確認（湿潤 or 乾燥） ・浸透性塗布材の可使用時間の確認 ・エポキシ樹脂接着剤の可使用時間の確認	適切であること
	付着面処理	・施工状態の目視確認（湿潤 or 乾燥） ・エポキシ樹脂を使用する場合の可使用時間の確認	適切であること
	断面修復材の混合状況の検査	・混合に使用する用具および混合方法の確認 ・混合状況の目視確認 ・フレッシュ性状（粘性の確認）（乾式吹付け工法以外）	適切であること
	施工状態の検査	・施工状況の目視確認（しごき状況の確認、塗布または吹付け状況、注入状況の確認、打ち重ねや重ね吹きにおける湿潤状態の確認、仕上げ状態の確認等） ・粉体と液体の流量比の管理（乾式吹付け工法）	適切であること
	養生方法の検査	・養生日数の確認、養生状態の目視確認、養生終了時の圧縮強度の確認	指定の養生日数に達していること、または所定の圧縮強度に達していること
	圧縮強度の検査	・現場において供試体を作製（養生終了時の強度確認、材齢28日の強度確認）	2.4による
付着強度の検査	・現場において必要に応じて供試体を作製（構造物と同等の養生条件後に付着強度を確認）	2.5による	
完 成 時 の 検 査	出来形	・形状、寸法の確認	許容範囲内であること
	浮き・ゆるみ、ひび割れ等の不具合	・目視確認、打音検査等	異常が認められないこと

※上記の検査項目等は例であって、工事の規模や重要度等に応じて適宜、選定すると良い

かる手間が大きいため、その実施の必要性については、工事の規模、重要度、施工の難易度、過去の実績等を考慮して検討すると良い。

(2) について

検査の結果、不合格となった場合は直ちに材料や施工を見直さなければならない。不合格となった材料がすでに使用されてしまった場合や、不適切な施工が既に行われてしまった場合には、その部分に対してリバウンドハンマー³⁾の適用やコアの採取などにより、施工された断面修復箇所の性能を確認しなければならない。なお、断面修復工法は修復厚さが薄く、通常のコアでは十分な長さの供試体が採取できない場合もあるため、小径コア⁴⁾による試験を検討すると良い。

リバウンドハンマーやコア試験の結果、例えば劣化因子の侵入防止が確保されていないことが確認された場合には、表面被覆工法や表面含浸工法の適用（**表面被覆・含浸工法編**を参照）を検討すると良い。また、付着界面の性能に不安がある場合には、浮きや緩みがないことを打音検査等によって入念に検査し、必要に応じて補修箇所に対して付着強度試験を実施する。これらの結果、付着界面に不良部分があることが確認された場合には、その部分をはつきり取って、再び断面修復工法をやり直すなど、適切に対処する必要がある。なお、断面修復材の表面に発生する乾燥収縮ひび割れについては、断面修復の施工厚さ等の条件によっては、これを完全に無くすることが困難な場合もあるため、発生したひび割れに対して、**ひび割れ修復工法編**に従って対処すると良い。

4.3 検査の記録

断面修復工事の検査結果は、検査記録として保管することを標準とする。

【解 説】

補修工事後から実施される維持管理において、補修の検査記録は非常に重要な情報となる。特に、補修工事の不具合箇所から再劣化が生じる場合が多いことから、検査の合否判定だけでなく、発生した不具合や、それに対して実施した処置なども併せて記録、保存することが重要である。

参考文献

- 1) 櫻庭浩樹, 古賀裕久: 携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた硬化コンクリート表面の塩分量測定 of 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 19 巻, pp.373-378, 2019.
- 2) 土木研究所: コンクリート構造物の目視困難な損傷・変状に対する先端技術を用いた状態把握の適用性と性能評価に関する共同研究報告書 (I) - 塩分センサを活用したコンクリート構造物の簡易な塩化物イオン量推定方法 -, 共同研究報告書 第 517 号, 2020.
- 3) 土木学会規準 JSCE-G 504, 硬化コンクリートのテストハンマー強度の試験方法 (案), 土木学会, 2013.
- 4) 小径コア試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領, (株) 錢高組・前田建設工業(株)・日本国土開発(株)・(独) 土木研究所, 土木研究所ホームページ, <https://www.pwri.go.jp/jpn/results/offer/hihakai/kyodo.syokeikoa.pdf>, 2006. 5

5 章 補修後の維持管理

5.1 一般

断面修復工事の施工後、コンクリート構造物の維持管理を適切に行うために維持管理計画を策定して、これに基づき点検を実施し、点検の結果から対策の要否を判定することを標準とする。

【解説】

コンクリート構造物の維持管理にあたっては、補修の施工後、構造物を定期的に点検し、変状がある場合には早期にこれを発見して、適切な対策を講ずることが望ましい。一般的には補修工事を実施することで、構造物の供用期間を延長することが可能となる。しかしながら、断面修復工事の場合には、既存コンクリート部材の劣化部分や塩化物等の劣化因子浸透部分をはつり取って修復することから、そのはつり範囲が適切でなかったり、はつりによるダメージが残存したりするような場合には、再び劣化が進行する可能性もあり、補修後の点検、維持管理は極めて重要である。

点検には日常点検、定期点検、詳細点検および臨時点検があり、これらの内容は各種指針・マニュアル等¹⁾²⁾³⁾⁴⁾に詳述されているので、これらを参照されたい。本章では、このうち、定期点検の初回点検に着目し、断面修復工事施工後の点検に関する着目点、留意点等を整理した。

5.2 点検の頻度

断面修復の工事後に実施する定期点検について、初回の点検は補修完了から1年程度で実施し、その後は適切な頻度で実施することを標準とする。

【解説】

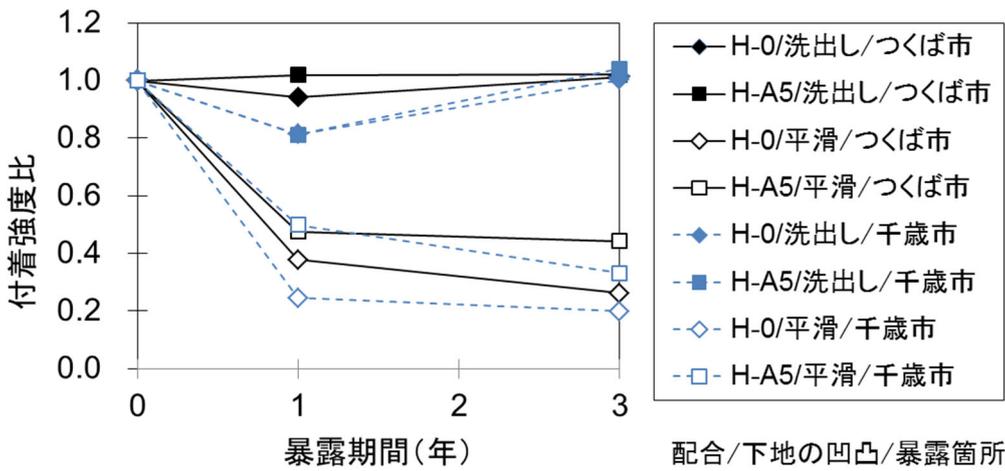
補修後の変状については、補修完了から1年までの期間で生じるものが比較的多い。

解説 図-5.2.1 に断面修復材の暴露試験結果の例を示す。下地コンクリート上に断面修復材を塗布した供試体を作製し、これを茨城県つくば市および北海道千歳市に暴露した。下地コンクリートの表面粗さを2種類（洗出しによる凹凸仕上げと研磨紙による平滑仕上げ）、断面修復材の種類を2種類（H-0:セメントモルタル、H-A5:ポリマーセメントモルタル（セメント量に対するポリマー含有率5%））設定し、吸水防止処理としては全ての供試体でプライマー処理（ポリアクリル酸エステル系のポリマーを塗布）とした。暴露期間は1年及び3年とし、断面修復材表面に生じるひび割れと付着強度を測定した。この結果、**解説 図-5.2.1** に示すように暴露1年で、いくつかの供試体で断面修復材表面にひび割れが発生し、付着強度が低下したが、暴露3年ではひび割れの進展は無く、付着強度の低下も緩やかであった⁵⁾⁶⁾。

このように最初の1年間での劣化が生じるのは、夏季の高温、冬季の凍結、乾燥期の乾燥といった過酷

な環境に初めて晒されることで、性能に低下が生じるものと考えられる。このため、補修の完了から1年間は、日常点検において特に注意して観察するとともに、季節が一巡した1年程度で初回の定期点検を実施するのが良い。なお、寒冷地等では冬季を過ぎた春頃に変状が出る場合も多いため、この時期の日常点検を強化し、必要に応じて初回点検の時期を判断するのが良い。

初回の定期点検以降に実施する定期点検の頻度は、コンクリート構造物の種類や機能、重要度を考慮して設定する。例えば、橋梁の場合、5年に1回の頻度が基本とされている¹⁾。日常点検や定期点検の結果、変状が確認され、詳細な点検が必要と判断された場合は追加の点検を実施する必要がある。



(1) 付着強度の変化



(2) 暴露1年でのひび割れの状況



(3) 暴露3年でのひび割れの状況

解説 図-5.2.1 断面修復材の暴露試験結果

5.3 点検の項目と方法

(1) 補修の施工後に実施する点検の項目は、コンクリート構造物の種類や劣化の状態、補修の工法等を考慮し、適切に選定しなければならない。

(2) 点検方法は、近接目視、打音検査などを主体として、適切に選定しなければならない。

【解 説】

(1), (2) について

コンクリート構造物の種類は、橋梁、ダム、護岸、水路、擁壁など、多岐に渡るため、補修が施工されたコンクリート構造物に実施する点検の方法は、構造物の種類により適切な方法を採用する。また、構造物の種類ごとに定められた点検方法があれば、それに従うと良い。

新設構造物に比較して、補修を実施した構造物の点検では、特にその補修箇所の点検が重要である。断面修復工事を行った場合は、その断面修復材の部分に加えて、下地コンクリートとの付着界面に対して点検を行うことが重要である。これらの着目点の例を解説表-5.3.1に示す。点検方法は日常点検や定期点検を想定した点検方法であり、目視を主体として、ひび割れに対してはクラックゲージ、浮きに対しては打音検査をあげている。

これらの検査によって変状が確認された場合は、追加の点検を実施する必要がある。追加の点検では、日常点検や定期点検で実施した項目について、より詳細に点検を行うとともに、場合によってはコアの採取や既設鉄筋のはつり出しなどの破壊試験についても検討をする必要がある。特に塩害環境の場合は、断面修復を行った部材の表面は健全に見えても、内部で鉄筋腐食が進行している場合があるため、特に、さび汁が確認されるような場合には、自然電位の測定や、鉄筋のはつり出しによる確認等が必要となる。鉄筋の防せい処理として鉄筋防せい剤、塩分吸着剤、犠牲陽極が施工されている場合は、やがて防せい効果が低下し、鉄筋腐食が急速に進行する恐れもあるため、工法の原理や製品のメカニズムを理解した上で、施工後の再劣化進行状況をモニタリングしていくことが望ましく、また、そのための技術開発が望まれる。

解説 表-5.3.1 断面修箇所における点検ポイントの例

対象	点検項目 (着目すべきポイント)	点検方法
断面修復材	ひび割れ	目視, クラックゲージ
	ひび割れからの漏水	目視
	ひび割れからのさび汁	目視
	スケーリング	目視
付着界面	浮き, 剥がれ, 剥落	目視, 打音, クラックゲージ
	漏水	目視
	さび汁	目視

5.4 点検記録

点検の結果は適切な方法で記録し、構造物を供用する期間はこれを保存しておくことを標準とする。

【解 説】

点検記録を保存しておくことは維持管理を行ううえで非常に重要である。このため、コンクリート構造物の種類や機能に応じて、適切な方法で記録し、構造物を供用する期間は保存することを標準とした。構造物の種類に応じて既に定められた方法や書式があれば、それらを参考にすると良い。例えば、橋梁であれば、橋梁定期点検要領 付録-3「定期点検結果の記入要領」や「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領（案）」¹⁾が参考になる。

参考文献

- 1) 国土交通省 道路局国道・技術課：橋梁定期点検要領，2019.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 維持管理編，2018.
- 3) 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.
- 4) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2022，2022.
- 5) 渡邊健治，片平博，渡辺博志：環境が異なる地域に1年間暴露した断面修復材の付着強度，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.69，No.5，pp.449-450，2014.9
- 6) 川上明大，片平博，古賀裕久：三年間暴露した断面修復材の付着強度，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.71，No.5，V-548，pp.1095-1096，2016.9

附属資料 A

断面修復材の圧縮強度の求め方（案）

1. 適用範囲 この「断面修復材の圧縮強度の求め方」は断面修復材の圧縮強度を求める方法について規定する。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

JIS R 5201 セメントの物理試験方法 附属書C 強さ試験

JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法

JSCE-G 505 円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）

JSCE-F 561 吹付けコンクリート（モルタル）の圧縮強度試験用供試体の作り方

3. 試験方法 断面修復材がコンクリート配合の場合は JIS A 1108 に従って試験を行う。断面修復材がモルタル配合またはポリマーセメントモルタル配合の場合は 2. に示した JIS R 5201, JIS A 1108, JSCE-G 505 のいずれかの試験方法によって試験を行う。

吹付け工法で供試体を作製する場合は、JSCE-F 561 の方法または 40×40×160mm, φ100×200mm, φ50×100mm の型枠に直接吹き付けて作製する。厚吹きが困難な湿式吹付け工法で 1 層の吹付けのみで供試体を作製する場合は、下向きに吹き付けても良い。

乾式吹付け工法で供試体を作製する場合は、吹付けの初期段階で、ペーストと十分に混合されない骨材粒子がはね返り、それが吹き溜まることによる不良箇所を生じさせないために、パネル型枠の開放部から落下させたり、型枠面近傍を避けて供試体を採取したりして作製する。

4. 供試体の本数 供試体の本数は一つの条件あたり 3 本以上とする。

5. 計算 試験結果から以下の方法によって圧縮強度を求める。

a) 試験で得られた最大荷重を供試体の断面積で除して圧縮強度の試験値を求める。

b) 圧縮強度の試験値に表 1 の換算係数を乗じることで、換算後の圧縮強度（JIS A 1108 から得られる圧縮強度相当の値）を求める。

表 1 換算係数

試験方法	供試体寸法(mm)	換算係数
JIS R 5201	40×40×160mm の折れ片 圧縮面は□40×40mm	0.84
JSCE-G 505	φ50×100mm	0.92
JIS A 1108	φ100×200mm	1.00

c) 3 本以上行った試験の平均値を求める。

6. 報告 報告は以下の事項について行う。

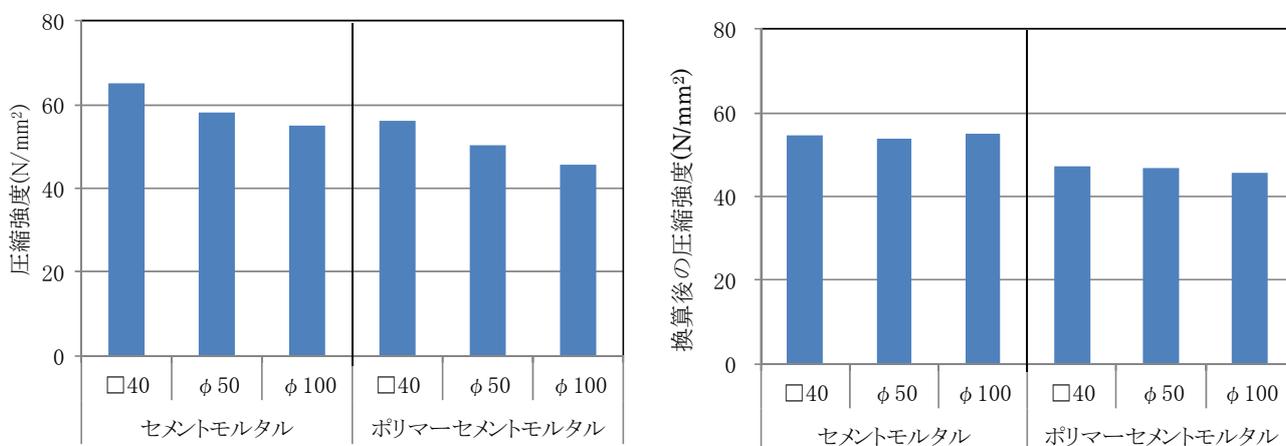
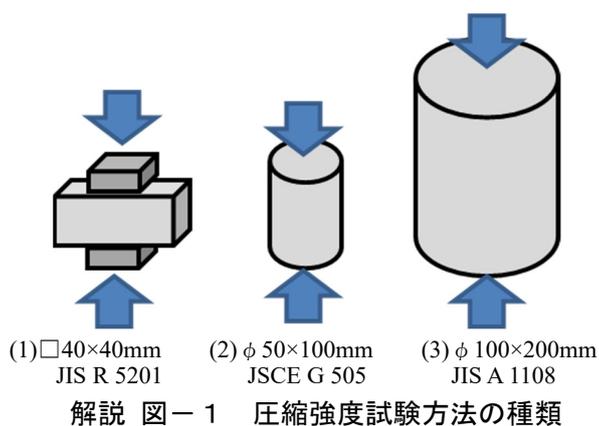
- a) 圧縮強度の試験方法および供試体の作製方法
- b) 養生条件
- c) 圧縮強度の試験値
- d) 換算後の圧縮強度
- e) c)および d)の平均値

<解説>

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。そこで以下の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, JIS A 1108 および JSCE-G 505 の各方法（解説 図－1）に従って圧縮強度を求めた。この結果を解説 図－2 (1) に示す。これによれば、JIS R 5201 (□40×40mm), JSCE-G 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いほど、圧縮強度試験結果は高く出る。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（解説 図－3 および 4）。そこで、供試体の形状に応じた換算係数を設定することで、強度試験の方法は、上記の3方法のいずれの方法でも良いこととした。なお、断面修復材料として使用される高流動コンクリートに関しては、粗骨材寸法の関係から必然的に JIS A 1108 が採用されることから、JIS A 1108 を標準（換算係数 1.00）として、他の試験法の換算係数を設定した。解説 図－2 (2) は、解説 図－2 (1) の試験結果に対して表－1 に示す換算係数を乗じた換算後の圧縮強度を比較したものであり、試験方法によらず、ほぼ同一の圧縮強度が得られていることが分かる。

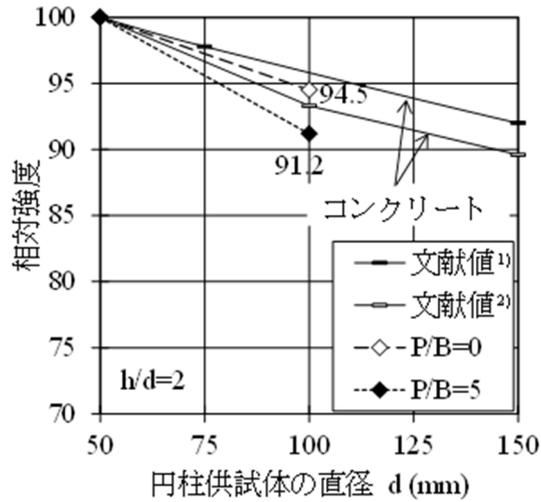
なお、今回は限られた試験結果から換算係数を求めているため、今後、試験データを増やして換算係数の見直しを行うのが望ましい。



(1) 圧縮強度試験結果の比較

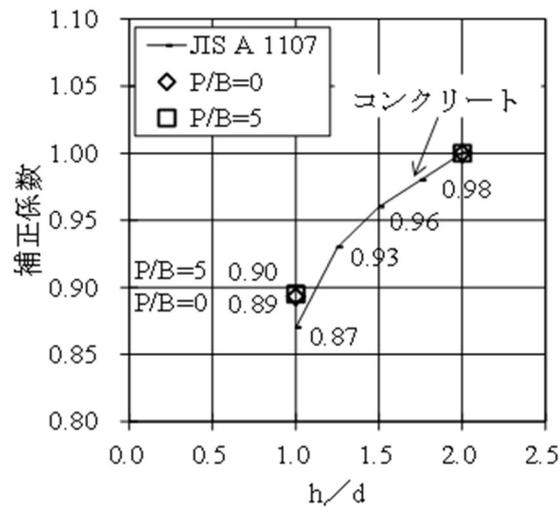
(2) 換算後の圧縮強度の比較

解説 図－2 圧縮強度の比較



※P/Bはセメント量の対するポリマー含有率
 ※参考文献1)2)はコンクリート供試体に対する文献

解説 図-3 供試体寸法と圧縮強度の関係³⁾



解説 図-4 供試体の幅(d)と高さ(h)の比と圧縮強度の関係³⁾

参考文献

- 1) H.F.Gonnerman, Effect of Size of Test Specimen on Compressive Strength of Concrete, Vol.25, Part II, Proc.of ASTM, 1925.
- 2) 土木学会：コンクリートの力学特性に関する調査研究報告，コンクリートライブラリー69，p.106，1991.7
- 3) 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

附属資料 B

断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方（案）

1. 適用範囲 この規定は断面修復材の付着強度を測定するための試験用供試体の作り方について規定する。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

JIS R 5210 ポルトランドセメント

JIS A 1132 コンクリートの強度試験用供試体の作り方

JIS A 1138 試験室におけるコンクリートの作り方

JIS A 1129 モルタル及びコンクリートの長さ変化測定方法

JIS A 6204 コンクリート用化学混和剤

JIS A 5308 レディーミクストコンクリート

JIS B 0601 製品の幾何特性仕様（GPS）-表面性状：輪郭曲線方式-用語，定義及び表面性状パラメータ

附属資料 C 砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法（案）

附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法（案）

3. 供試体の作製方法

3.1 下地コンクリート

下地コンクリートの材料，配合，形状・寸法，作製方法等の標準を表-1に示す。

表-1 下地コンクリートの作製条件の標準

使用材料	セメント：JIS A 5210 に規定する普通または早強ポルトランドセメント 水，細骨材，粗骨材：JIS A 5308 附属書 A および C に準拠 化学混和剤：JIS A 6204 に準拠
配合およびコンクリートの品質	粗骨材最大寸法：20mm 水セメント比：50±5% 空気量：4.5±1.5% 乾燥収縮率：JIS A 1129 により，20°C，60%RH の環境で6ヶ月間の乾燥収縮率が (6±2)×10 ⁻⁴ の範囲であること（暴露試験や乾燥湿潤試験等の乾燥収縮の影響を受ける試験に供する場合に適用する）
形状・寸法	400×100×50mm 以上，または 300×300×50mm 以上
作製	JIS A 1132 および JIS A 1138 に準拠
表面粗さ	試験の目的に応じて適切に設定する（表面粗さの測定方法は附属資料 C による）
養生	20°C水中養生 28 日後に，室内において気乾養生を3ヶ月以上

表－1に示す各種条件は、付着強度に影響を及ぼすため、その標準を示した。なお、表面粗さについては、実験の目的に応じて望ましい範囲が異なるため、目的に応じて適切に設定することとした。解説に今回実施した実験結果の例を示したので参考にすると良い。また、表面粗さの測定はJIS B 0601や**附属資料 C 砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法(案)**を参照すると良い。

標準とする下地コンクリートの作製または入手が困難な場合には、発注者と断面修復材の製造者、施工者の協議によって、下地コンクリートの条件を定めて良い。市販されているコンクリート平板等を用いる場合には、**附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法(案)**に従って、コンクリート平板自体の引張強度を測定し、それが、付着面に求める付着強度の規格値を上回っていることを事前に確認しなければならない。

3.2 断面修復材の施工

3.1で作製した下地コンクリートに断面修復材を施工する場合の標準を表－2に示す。断面修復材を施工する前に、付着面処理を施す。この方法には水湿し処理、プライマー処理があり、断面修復材の製造者ごとにその仕様が定められているので、その仕様に従う。断面修復材の材料・練混ぜも製造者によって仕様が定められているので、それに従う。断面修復材の施工厚さは10mm以上、かつ実際の施工で想定される最小施工厚さ以下とする。付着性能は養生の影響を強く受けるため、供試体の養生は、実際の施工現場で実施可能な養生条件としなければならない。

高流動コンクリートの場合は、断面修復材の練混ぜや施工は、実際の工事を想定した方法で行う。充填工法に用いる材料の場合は、逆打ちの状態も想定して供試体を作製する。

表－2 断面修復材の施工の標準

付着面処理	断面修復材の製造者の指定に従う（高流動コンクリートの場合には設計者の指示に従う）
断面修復材の材料	使用する断面修復材の仕様による（高流動コンクリートの場合は配合設計に従う）
断面修復材の混合	実際の工事で実施可能な方法による
断面修復材の施工	実際の工事での施工方法（左官、吹付け、充填、施工の方向等）に準じる 施工厚さは10mm以上で、かつ実際の施工で想定される最小施工厚さ以下とする
養生条件	試験目的に応じて適切に設定する

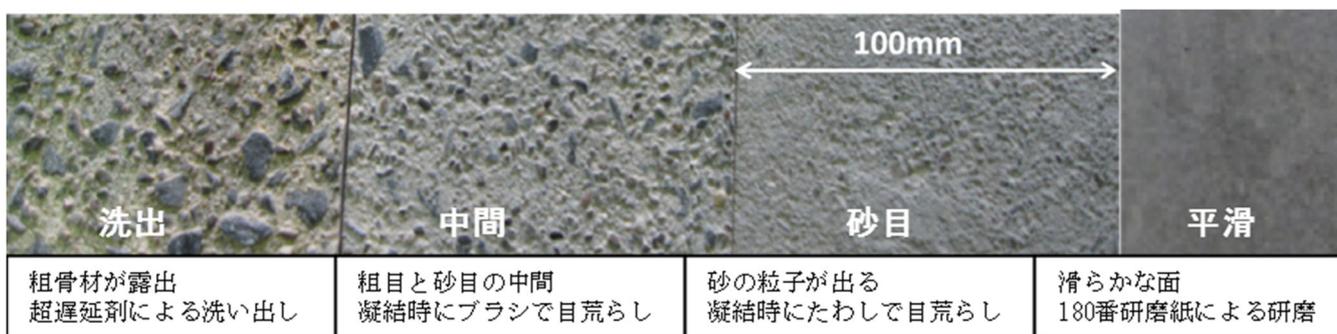
4. 報告 報告は以下の事項について行う。

- a) 供試体の寸法形状
- b) 下地コンクリートの材料、配合、表面粗さの程度と目荒らしの方法、養生方法
- c) 下地コンクリートが購入品の場合は、下地コンクリートそのものに対して、**附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法(案)**に従って実施して得られた引張強度の試験結果
- d) 付着面処理の方法、断面修復材の材料、配合、練混ぜ方法、施工方法、養生方法

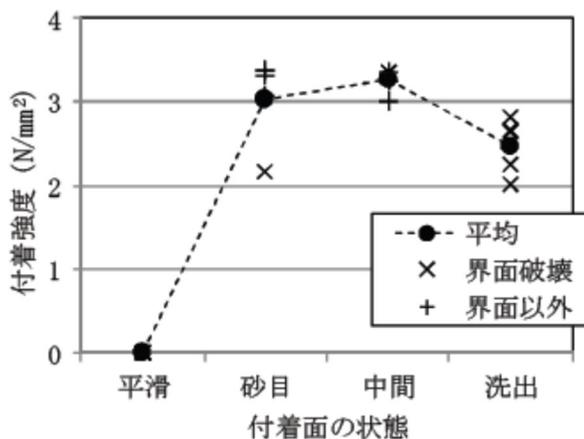
<解説>

下地コンクリートは水セメント比 50%前後の一般的なコンクリート配合とし、形状は 400×100×100mm の角柱供試体や 300×300×50mm の平板供試体用の型枠が使用可能な形状を標準とした。

断面修復材を塗布する面の表面粗さは付着強度に大きな影響を与える。表面粗さの程度を種々に変えた実験を行ったところ、砂の凹凸が僅かに見られる程度の目荒らし状態であれば安定した付着強度を示すが、研磨紙でコンクリート表面を研磨して平滑とする条件では付着強度が大幅に低下する場合が確認された（解説 図-1）。それぞれの面の表面粗さの測定結果は**附属資料 C 砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法（案）**に示しているので参照されたい。表面の目荒らしの方法としては、下地コンクリートの打ち込みの翌日にワイヤーブラシ等を掛ける方法（これによって**解説 図-1**の砂目程度の表面粗さとなる）や、打ち込み直後に超遅延剤を散布して、翌日に洗い流す方法、コンクリート硬化後にウォータージェットで目荒らしを行う方法等がある。チップング等の機械的な衝撃で目荒らしをすることも可能だが、その場合には下地コンクリートに衝撃による微細ひび割れが生じることに配慮が必要である。



(1) 下地コンクリートの表面粗さの状態



(2) 付着強度試験結果の例（水湿し処理）

解説 図-1 下地コンクリートの表目粗さの程度と付着強度の関係¹⁾

表-1に示した下地コンクリートの条件は、良好な付着強度試験結果を得るために推奨する標準的な条件を示したものである。このため、断面修復材の製造者あるいは施工者が認める場合は、必ずしもこの標準に従う必要はない。例えば、市販のコンクリートブロック等の使用を妨げるものではない。ただしこの場合は、コンクリートブロックの引張強度が、付着面に求める付着強度の規格値を上回っていることを、事前に試験によって確認しておく必要がある。なお、市販のコンクリートブロックを使用する場合に

は、グラインダー等で表面のケレンが行われる場合が多い。

断面修復材の施工は、実際の施工方法に準じたものでなければならない。これは、例えば吹付け工法の場合、断面修復材中のエントレインドエアが吹付けによって減少すること、充填工法に用いる断面修復材の場合は流動性が高く、凝結までの間にグリーディングが生じると逆打ち工法では付着面に隙間が生じるなど、施工方法が断面修復材や付着面の性能に直接影響を与えるためである。

断面修復材の施工厚さは10mm以上で、かつ実際の施工で想定される最小施工厚さ以下の範囲とした。これは、本マニュアルでは高流動コンクリートも対象としていることから、施工厚さを一定値として規定することが必ずしも適切でないと考えたためである。

参考文献

- 1) 片平博，渡辺博志：付着面の表面粗さが断面修復材の付着強度に与える影響，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14巻，pp.265-270，2014.10

附録資料 C

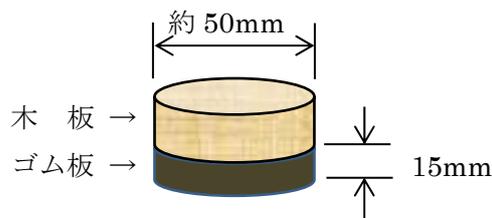
砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法（案）

1. 適用範囲 コンクリート表面のきめ深さを，砂を用いて測定する方法について規定する。
2. 引用規格 次に掲げる規格は，この規定に引用されることによって，この規定の一部を構成する。これらの規格は，その最新版を適用する。

JIS Z 8801 試験用ふるいー第 1 部：金属製網ふるい

3. 測定用具

- a) メスシリンダー（10mL）
- b) コテ 直径約 5cm の円形木板に厚さ 1.5mm のゴム板を貼付したもの（図－1 参照）



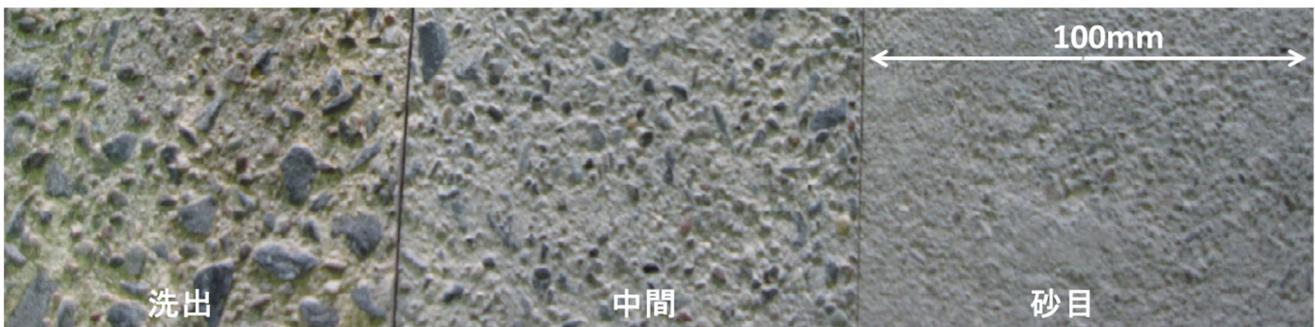
図－1 コテの例

- c) 砂 良く乾燥した粒径 150～75 μm のもの。
- d) スケール（鋼製直尺，鋼製巻尺，折尺等）

4. 測定方法

- a) 150～75 μm の砂を適量^{注1)}，メスシリンダーに採取し，その容量を正確に測定する。

注1) c) で測定される直径が概ね 50～100mm の範囲となるように，砂の量を設定する。図－2 のような表面状態に対して行った試験結果の例を表－1 に示すので参考にとすると良い。



図－2 コンクリートの表面粗さの例

表－1 敷き広げた砂の直径（測定値の例） 単位：mm

表面の状態 砂の量	洗出	中間	砂目
5mL	75		
2mL	45	70	
1mL	35	50	90

- b) きめ深さを求める対象物の表面に砂を山状にあけ，コテのゴム板を貼付した面を用いて，砂の山をできるだけ広い円形に敷き広げる。
- c) 敷き広げた砂の円の直径を，スケールを用いて直交する2方向でmm単位まで測定する。

5. 計算

2方向で測定した直径の平均値から円の面積を計算し，次式により敷き広げた砂の平均厚さを求めて，これをきめ深さとする。きめ深さはmm単位とし，小数点以下2桁まで求める。

$$t = V/A \times 10$$

ここに， t ：きめ深さ(mm)

V ：砂の体積(mL)

A ：敷き広げた砂の面積(cm²)

6. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 砂の粒径
- b) 試験面にあけた砂の量（容積）
- c) 敷き広げた砂の直径
- d) きめ深さ

＜参考＞ きめ深さの概略値を簡易に判定する方法

1. **適用範囲** コンクリート表面のきめ深さの概略値を，砂を用いて測定する方法について規定する。
2. **引用規格** 次に掲げる規格は，この規定に引用されることによって，この規定の一部を構成する。これらの規格は，その最新版を適用する。
JIS Z 8801 試験用ふるいー第1部：金属製網ふるい
3. **測定に必要な砂** JIS Z 8801 の金属ふるいによって表－1 に示す各粒度にふるい分けられた砂

表－1 砂の粒度とコンクリート表面に撒く砂の量の目安

砂の粒度(mm) ^{注1)}	5-2.5	2.5-1.2	1.2-0.6	0.6-0.3	0.3-0.15	0.15-0.075
撒く量の目安(g) ^{注2)}	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3

注1) 砂の粒度は，求めるきめ深さの程度によって，必要な粒度を適宜選定する

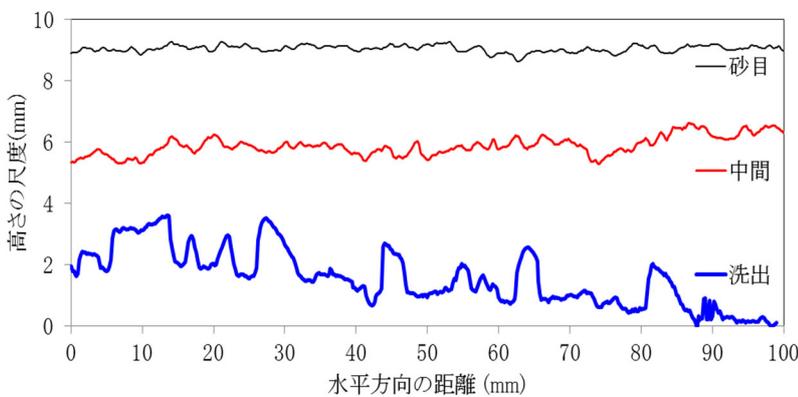
注2) 撒く量はあくまで目安であって，正確に計量する必要はない

4. **測定方法** ふるい分けた砂を，粒子の大きいものから順にコンクリート表面に少量（表－1 参照）を撒き，人差し指の腹で軽く払う。この作業を繰り返し，砂粒子の大半が指で払えなくなった（コンクリート表面の凹凸に残存する）ときの砂の粒度を記録する。
5. **報告** 大半が払えなくなった砂の粒度の最大粒子径を「きめ深さの概略値」として報告する。例えば，大半が払えなくなった砂の粒度が 0.3-0.15mm であった場合は，きめ深さの概略値は 0.3mm とする。

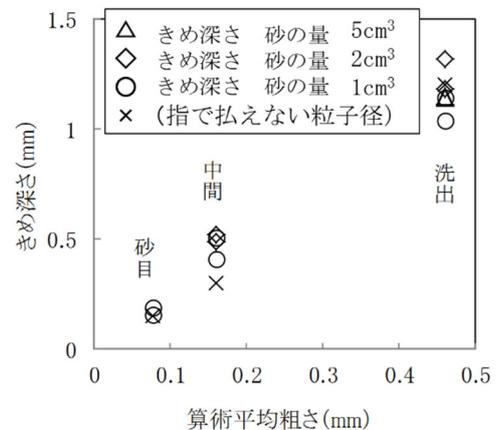
<解説>

附録資料B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)の解説に示してあるように、断面修復材の付着強度には下地コンクリートの表面粗さが影響を与える。このため、下地コンクリートの表面粗さを定量化するための試験方法について検討を行った。

この検討では、図-2に示す3とおりの表面粗さに対して、(1)非接触レーザー変位計を用いた測定、(2)砂を用いたきめ深さ測定方法、(3)きめ深さの概略値を簡易に判定する方法(指で払えない砂の粒子径)の3とおりの方法で測定を行った¹⁾。レーザー変位計の測定結果を解説図-1に示す。また、レーザー変位計測定結果から算出した算術平均粗さときめ深さ、指で払えない砂の粒子径の関係を解説図-2に示す。3とおりの測定方法は比較的良く対応する結果となり、いずれの方法で評価しても良いようである。ただし、レーザー変位計を用いる方法は実施が容易ではないため、残る2つの方法を規格化した。



解説 図-1 レーザー変位計の測定結果



解説 図-2 算術平均粗さときめ深さ、指で払えない砂の粒子径の関係

「砂を用いたきめ深さ測定方法」は、舗装路面のきめ深さを測定する方法²⁾を参考に試験法を提案している。この試験を実施する場合は、特殊なコテが必要であり、また、ある程度まとまった量の0.15-0.075mmの粒度の砂が必要となる。ふるい分けによってその量を確保するには手間がかかる。そこで、ふるい分けた砂をごく少量だけ使用して実施する簡易な方法を<参考>提案したものである。

附録資料B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)においては、断面修復材の下地コンクリートの望ましい表面粗さの範囲として、きめ深さで0.1mm以上を標準としている。この規定に対する評価のみを行うのであれば、0.15-0.075mmの粒度の砂の試験のみを行い、指で払えなければ、きめ深さが0.1mm以上(きめ深さの概略値が0.15mm)と評価できる。

参考文献

- 1) 片平博, 渡辺博志: 付着面の表面粗さが断面修復材の付着強度に与える影響, 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14巻, pp.265-270, 2014.10
- 2) 日本道路協会: 砂を用いた舗装路面のきめ深さ測定方法, 舗装調査・試験法便覧[第1分冊], pp.131-135, 2019.3

附録資料 D

断面修復材の付着強度試験方法（案）

1. 適用範囲 この規定は断面修復材の付着強度を求める方法について規定する。
2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。
これらの規格は、その最新版を適用する。

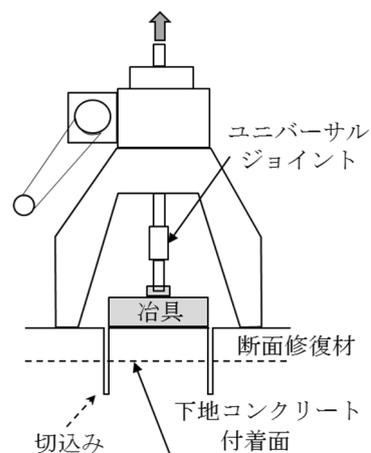
附録資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)

3. 供試体の作製方法 附録資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)による。

4. 付着強度試験

4.1 試験装置 試験は 3. で作製した供試体に対して建研式接着力試験器（図一 1）を用いることを標準とする。なお、この試験では、供試体の切込みを入れるためのコアカッターまたはハンドカッター（サンダー）が必要であり、また、治具を断面修復材に接着するための接着剤が必要である。

4.2 载荷条件 载荷条件を表一 1 に示す。



図一 1 建研式接着力試験器

表一 1 载荷条件

試験数	5 箇所以上
载荷面形状・寸法	矩形または円径，面積が 1,600mm ² 以上
载荷速度	0.02N/mm ² /sec 以下

4.3 試験の手順

(1) 切込みの加工

図一 1 に示すように、付着面から 10mm 程度の深さまで切込みを入れる。载荷面形状が矩形の場合はハンドカッターを用い、円形の場合はコアカッターを用いる。なお、コアカッターの場合は、付着面に作用する回転力を低減する目的から湿式切削とすることが望ましい。

(2) 治具の接着

切込みを入れた後に、治具を接着する断面修復材の面を清掃し、脆弱部がある場合は必要に応じてケレン処理等で取り除く。治具は、アセトン等で汚れを除去する。その後、エポキシ樹脂系接着材等で治具を断面修復材の面に接着する。接着剤が十分に硬化するまで静置する。

(3) 载荷試験

治具にユニバーサルジョイントを有するロッドを接続し、建研式接着力試験器の本体を配置する。载荷は表一 1 に示す载荷速度に従って行い、破断時の最大荷重を記録する。

(4) 破断面の観察

破断後に、破断が生じた箇所（下地コンクリート、付着界面、断面修復材の別）を詳細に観察する。

5. 計算

測定した最大荷重から次式によって付着強度を計算する。また、試験数の平均値を求める。

$$\sigma = \frac{T}{A}$$

ここに、 σ ：付着強度（N/mm²）

T ：破壊荷重（N）

A ：断面積（mm²）

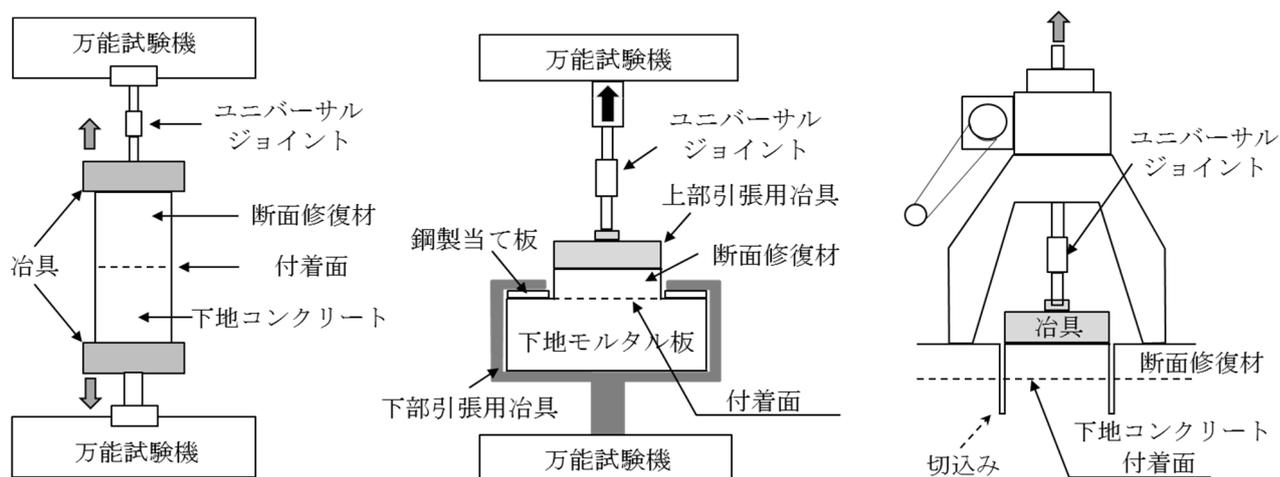
6. 報告

報告は以下の事項について行う。

- a) 供試体の寸法形状
- b) 下地コンクリートの材料、配合、表面粗さの程度と目荒らしの方法、養生方法
- c) 表面吸水処理の方法、断面修復材の材料、配合、練混ぜ方法、施工法、養生方法
- d) 付着強度試験の付着面の形状・寸法、載荷速度、切り込みの入れ方
- e) 個々の試験の最大荷重と付着強度、およびその平均値
- f) 破断面の観察結果

<解説>

解説 図-1 に示すように、付着強度の試験方法には、いくつかの方法が提案されており、主に両引き試験と片引き試験の 2 種類に大別される。このうち、両引き試験は万能試験機と特殊な治具が必要となり、その実施は容易ではない。一方、片引き試験は、建研式接着力試験器に代表されるが、可搬式の試験装置が開発されており、現場試験も含め、広く普及している。このことから、建研式接着力試験器による付着強度試験方法を標準とした。



(1) 両引き試験の例 (a)

(2) 両引き試験の例 (b)

(3) 片引き試験の例

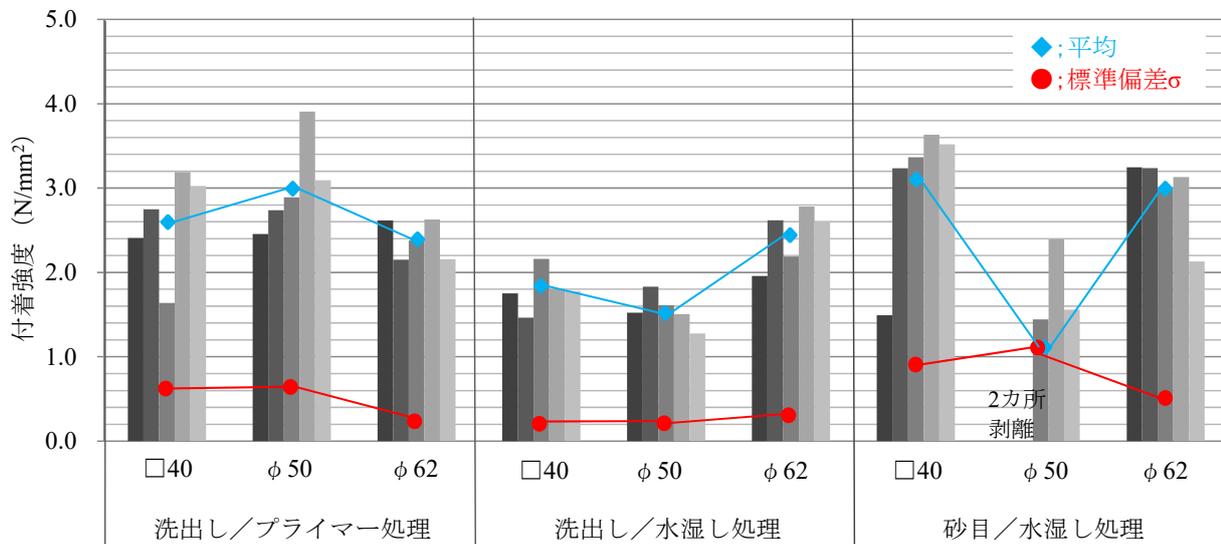
解説 図-1 付着強度試験の例

試験条件の設定としては、まず、試験を実施する箇所数は 3. で作製した供試体 1 体で試験が可能な箇所数と、試験結果にある程度のばらつきが生じることを想定して 5 箇所以上とした。載荷面の面積は大きいほうが試験結果のばらつきが小さくなるが、試験装置の能力の関係から上限がある。接着力試験器の載荷能力が 10kN の場合、φ 62mm 程度の載荷面積が上限となる。なお、現場で簡易に付着強度試験を行う場合には、ハンドカッターによる切り込みを入れることで 40×40mm の矩形 (□40) の断面が採用される場合も想定されることから、最小面積を 1,600mm² とした。

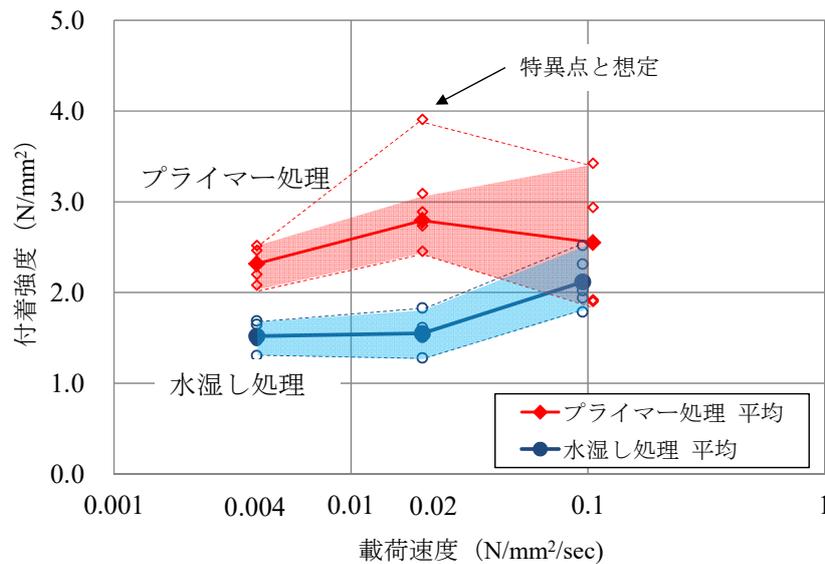
載荷面の形状寸法と付着強度試験結果との関係を解説 図-2 に示す。この実験では、下地コンクリートの表面粗さ (洗い出しと砂目) と吸水防止処理方法 (プライマー処理と水湿し処理) の組合せを 3 とおり設定し、載荷面形状・寸法を 3 水準 (□40mm, φ 50mm, φ 62mm) 設定した。□40 はハンドカッターによる乾式切削、φ 50 と φ 62 はコアカッターによる湿式切削である。付着強度試験は 1 条件あたり 5 箇所で行っている。これによれば、表面粗さで凹凸が大きな洗い出しでは有意な差はみられなかったが、凹凸が小さい砂目では、φ 50 の結果でばらつきが大きく、2 箇所で行った切削時に剥離して強度試験に至らなかった。コア切削では付着面にトルク荷重が作用するため、特にコア径が小さい場合には留意が必要と考えられる。

載荷速度に関しては、解説 図-3 に示すように載荷速度が速くなるほど破断する荷重が高くなり、また、ばらつきが大きくなる傾向が見られた。このことから、表-1 に示す載荷条件を定めたものであ

る。0.02N/mm²/sec 以下という荷速度は、解説 図-1 (2) に示す試験方法 (JISA 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法) に規定されている荷速度と同等である。



解説 図-2 荷面の形状寸法と付着強度試験結果との関係



解説 図-3 荷速度と付着強度の関係

参考文献

- 1) 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, No.1, pp.1603-1608, 2015.7

附属資料 E

〈参考〉断面修復材の乾燥湿潤試験方法（案）

1. 適用範囲

この規定は断面修復材の付着性に関する乾燥湿潤試験方法について規定する。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版を適用する。

附録資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)

附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法(案)

3. 試験用器具

3.1 乾燥器

乾燥器は、 $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ の温度に保持できるものとする。

3.2 恒温水槽 恒

温水槽は $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ の水温に保持できるものとする。

4. 供試体の作製方法

附録資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)に従うこととし、作製した供試体の側面（供試体表面に打ち継ぎ界面が認められる面）には防水加工（シリコーンシーラント、エポキシ樹脂塗装等）を施す。

5. 試験方法

5.1 温度の管理

乾燥湿潤試験時の温度の管理は、試験槽（乾燥器、恒温水槽）内の温度を測定することによって行う。

5.2 1サイクルの所要時間

乾燥は $80\pm 3^{\circ}\text{C}$ の乾燥炉に 47 時間、1 時間の自然放置を行った後に、湿潤は $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ の水中に 48 時間浸漬することとし、1 サイクルで 96 時間（4 日）を標準とする。ただし、休日での作業が困難な場合は、乾燥または湿潤の時間について 16 時間を超えない範囲で延長して良い。この場合のサイクルタイムの例を図-1 に示す。

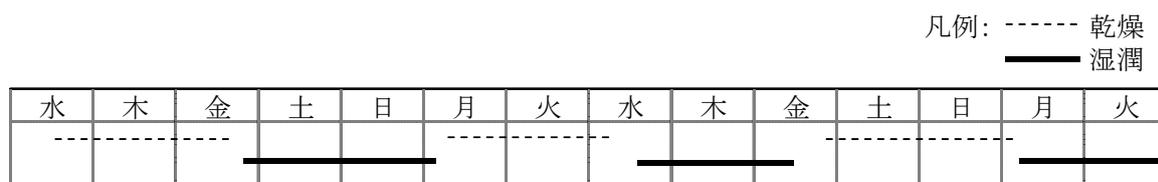


図-1 休日を考慮したサイクルタイムの設定例

5.3 繰り返し回数

5.2に示す工程を1サイクルとし、供試体を乾燥炉と水槽に交互に入れる作業を10回繰り返す。

5.4 供試体の観察

試験の終了した供試体に対して、以下の観察を行う。

- a) 断面修復材表面のひび割れ発生状況（発生位置とひび割れ幅）
- b) 付着界面の浮き、ひび割れ等
- c) その他の変状

5.5 試験中断時の供試体の扱い

試験を中断する場合には、供試体を気乾状態（ $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $60\pm 5\%\text{RH}$ ）で保存しておくことを標準とする。

5.6 付着強度試験

乾燥湿潤試験終了後に、**附属資料D 断面修復材の付着強度試験方法(案)**に従って付着強度試験を行う。

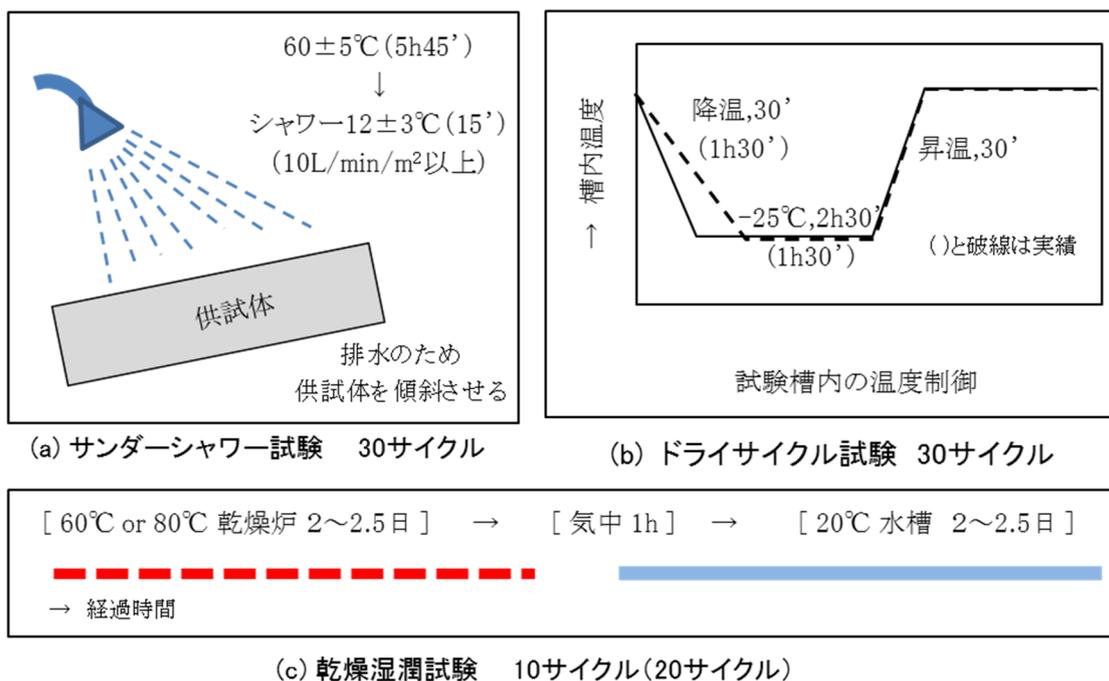
6. 報告

報告には、次の事項のうち必要なものを記載する。

- a) 供試体の作製方法（報告内容は**附属資料B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)**に従う）
- b) 乾燥および湿潤のサイクルタイムおよび温度
- c) 試験の中断の有無とその間の供試体の保管状況
- d) 試験終了のサイクル数
- e) 試験終了後の供試体の観察結果
- f) 付着強度試験結果（報告内容は**附属資料D 断面修復材の付着強度試験方法(案)**に従う）

<解説>

付着強度試験用供試体を用いて暴露試験を1年間実施し、断面修復材表面に発生する乾燥ひび割れを観察した。次に、この暴露試験と同様のひび割れが発生し得る促進劣化試験として、ヨーロッパの断面修復材の試験規格¹⁾にあるサンダーシャワー試験、ドライサイクル試験、および土木研究所でコンクリートの耐久性試験として提案している乾燥湿潤試験（土木学会関連基準）²⁾を実施し、暴露試験結果との対応を検討した。各試験法の概要を解説図-1に示す。試験に供した供試体は、附属資料B断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)に従って作製し、下地コンクリートの表面粗さ、下地調整（吸水防止処理）および断面修復材の塗布厚さを解説表-1のように設定した。断面修復材はセメントに対するポリマー含有率が5%のポリマーセメントモルタルである。

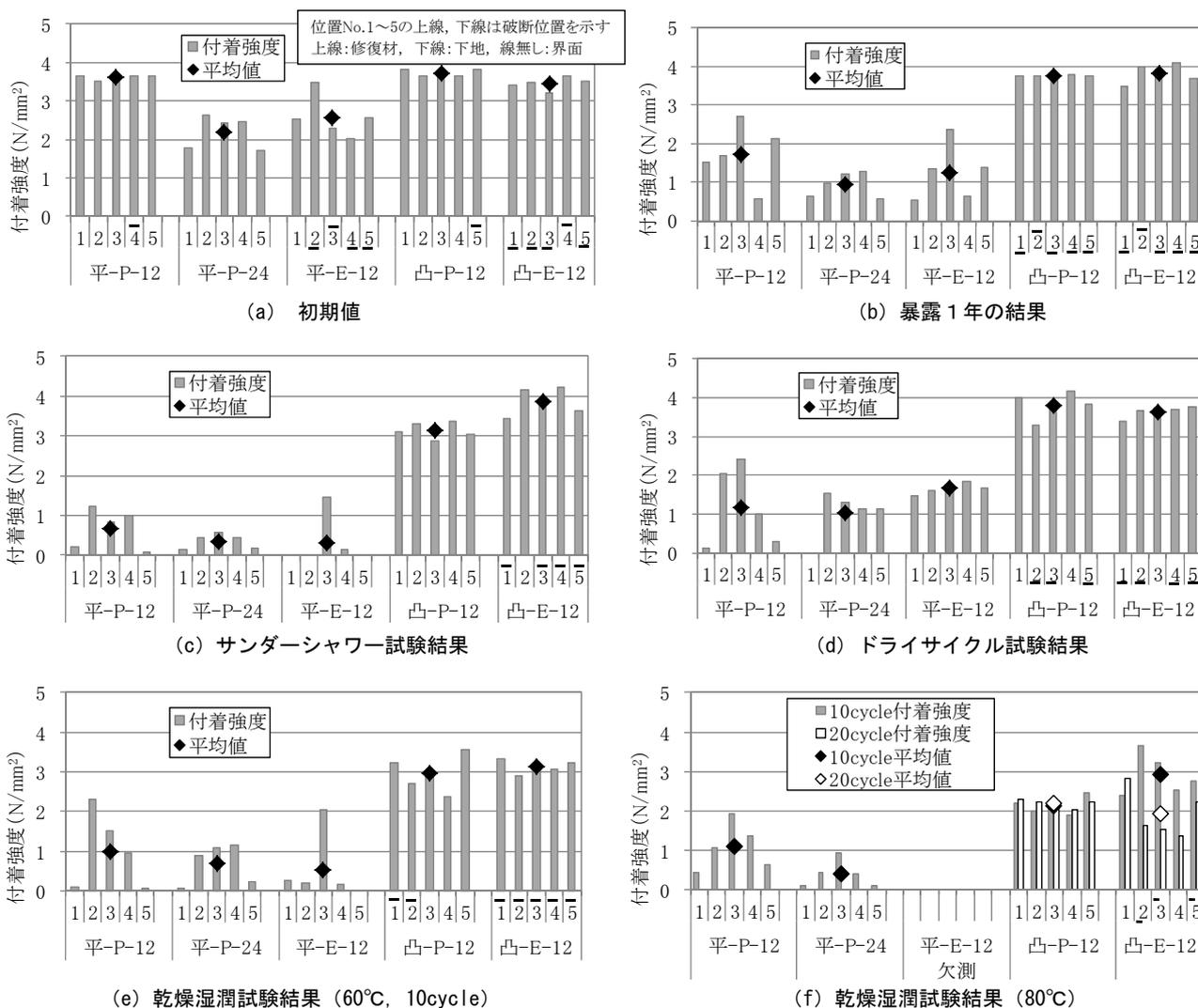


解説図-1 比較試験を行った促進劣化試験の概要³⁾

解説表-1 供試体の条件³⁾

項目	条件	記号
表面粗さ	平滑仕上げ(研磨紙による研磨)	平
	遅延剤による洗い出し	凸
下地調整	PAEポリマーの塗布	P
	エポキシ樹脂の塗布	E
塗布厚さ	12mm	12
	24mm	24
供試体作製時の上記条件の組合せ 平-P-12, 平-P-24, 平-E-12, 凸-P-12, 凸-E-12		

付着強度試験結果を解説図-2に示す。これによれば、(a)初期値は、いずれの条件の供試体でも $2\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の付着強度を示し、破断位置は下地コンクリート、付着界面、断面修復材のいずれの位置のものも確認された。これに対して、(b)暴露1年の結果については、表面粗さが「平」の全ての供試体で付着強度が低下し、これらの破断位置は全て付着界面となった。促進劣化試験後の付着強度試験結果についても図中の(c)~(f)に示すように、表面粗さが「平」の全ての供試体で、初期値に比較して付着強度が低下し、これらの破断位置は全て付着界面となった。このように、付着強度に関しては、各促進劣化試験結果とも、暴露試験の結果を概ね再現できていると考えられる。

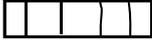


解説図-2 付着強度試験結果³⁾

解説図-3は、暴露および各促進劣化試験後の供試体について、断面修復材の表面に表れたひび割れを観察した結果である。暴露試験では塗布厚さが 12mm の全ての供試体でひび割れが発生した。これに対して、促進劣化試験でひび割れが発生したのは乾燥湿潤試験(80°C)の条件のみであった。暴露環境では(1)直射日光、(2)温度、湿度の日変動、年変動、(3)降雨と晴天による乾湿の繰り返し、(4)凍結融解などの様々な環境作用が供試体に影響を与える。このうち、(3)の乾燥湿潤作用は、実環境下では数日~数十日といった長期間で乾燥湿潤を繰り返す作用であり、この湿潤~乾燥の繰り返し作用を促進劣化試験として取り込めているのは乾燥湿潤試験のみと考えられる³⁾。

そこで、暴露試験と最も類似した結果を示した乾燥湿潤試験を**附属資料 E 断面修復材の乾燥湿潤試験方法(案)**として整理したものである。

なお、断面修復材表面に生じるひび割れの発生要因には、乾燥収縮のみならず、降雨や日照による乾燥湿潤の繰り返し作用、外気温の季節的変動や日変動、下地コンクリートとの物性の違い等、様々な要因があると考えられ、その全てが解明されているわけではない。乾燥湿潤試験による評価方法を参考として示したが、不明な点が多く、今後とも検討していく必要がある。

	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,10cycl	無し	無し	無し	無し	無し
(e) 乾燥湿潤80°C,10cycl	無し	無し			
(f) 乾燥湿潤80°C,20cycl					

ひび割れ幅はいずれも0.1mm以下

解説 図-3 断面修復材の表面に発生したひび割れ³⁾

参考文献

- 1) EN 1504 Products and systems for the protection and repair of concrete structures
-Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity-, Part 3: Structural and non-structural repair, British Standard, 2005.
- 2) 土木学会：コンクリートの乾燥湿潤試験方法（案），2018年制定コンクリート標準示方書[規準編]，関連規準，pp.607-609，2018
- 3) 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，pp.233-238，2016.10

附属資料 F

断面修復材の水中耐久性試験方法（案）

1. 適用範囲

この規定は断面修復材の水中耐久性試験方法について規定する。

2. 引用規格

次に掲げる規格は、この規定に引用されることによって、この規定の一部を構成する。これらの規格は、その最新版を適用する。

附属資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方（案）

附属資料 C 砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法（案）

附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法（案）

3. 試験用器機

a) 水槽 供試体を水中に 28 日間浸漬するための水槽。水温が 20℃程度であることが望ましい。

4. 供試体の作製方法

附属資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方（案）に従う。

ただし、下地コンクリートの表面粗さについては、JIS B 0601 の算術平均粗さが 0.15mm 以下、または、附属資料 C 砂を用いたコンクリート表面のきめ深さ測定方法（案）によるきめ深さが 0.4mm 以下とする。具体的には、打ち込みの翌日に打ち込み面をワイヤーブラシ等で目荒らしし、砂の粒子の凹凸が出現する程度とするのが良い。5.2 c) の付着強度試験で良好な付着強度が得られるのであれば、さらに平滑な条件であっても良い。

5. 試験方法

5.1 試験の個数

一つの条件（断面修復材とプライマーの組合せ）ごとに、水中浸漬前と水中浸漬後において付着強度試験を 5 箇所以上で行う。従って、供試体は 2 体以上必要である。

5.2 試験手順

- a) 付着面に使用するプライマーおよび断面修復材が所定の性能を発揮するまでの養生を完了した時点から試験を開始する。
- b) 供試体に対して、付着強度試験を行う全ての箇所に切込みの加工を施す。
- c) 供試体の 5 箇所以上に対して付着強度試験を実施する^{注1)}。
- d) 供試体を 28 日間、水槽に浸漬する。
- e) 供試体を水中から取り出し、1 日間、室内で乾燥させる。
- f) 供試体の 5 箇所以上に対して付着強度試験を実施する^{注1)}。

注 1) 供試体の個体間の差を無くす意味で、c) と f) の試験箇所は、同一の供試体で交互に設定すると良い。

5.3 試験方法

5.2 の b), c), f) の試験方法は附属資料 D 断面修復材の付着強度試験方法の 4. 付着強度試験の方法に従う。

6. 計算

測定した最大荷重から次式によって付着強度を計算する。また、試験数の平均値を求める。

$$\sigma = \frac{T}{A}$$

ここに、 σ ：付着強度 (N/mm²)

T ：破壊荷重 (N)

A ：断面積 (mm²)

7. 報告

報告は以下の事項について行う。

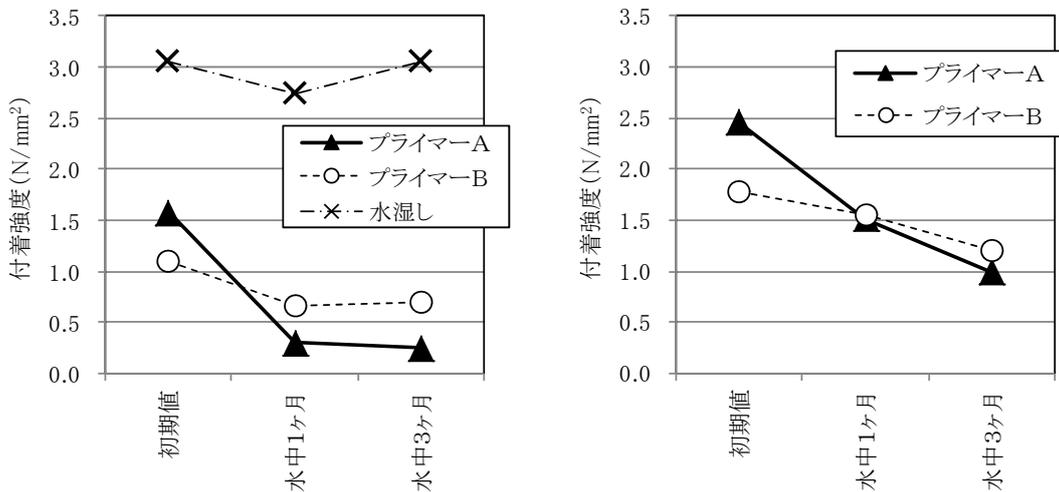
- a) 供試体の寸法形状
- b) 下地コンクリートの材料、配合、表面粗さの程度と目荒らしの方法、養生方法
- c) 表面吸水処理の方法、断面修復材の材料、配合、練混ぜ方法、施工法、養生方法
- d) 付着強度試験の位置、付着面の形状・寸法、切込みの入れ方、載荷速度
- e) 個々の試験の最大荷重と付着強度、水中浸漬前および後の付着強度の平均値
- f) 水中浸漬前に対する水中浸漬後の付着強度の割合（必要に応じて報告する）
- g) 破壊面の観察結果

<解説>

提案した試験方法に従って水中耐久性試験を実施した例を紹介する。まず、**附属資料 B 断面修復材の付着強度試験用供試体の作り方(案)**の方法に従って 100×100×400mm の付着強度試験用の供試体を作製した。このとき、下地コンクリートの表面粗さは**附属資料 B**の解説にある砂目と洗出の2種類を設定した。吸水防止処理としては、成分の異なる2種類のプライマー処理および水湿し処理の3とおりを設定した。断面修復材はセメントモルタル配合とし、左官で厚さ12mmに仕上げた。

水中耐久性試験の結果を**解説 図-1**に示す。なお、今回の試験では水中浸漬期間を3ヶ月まで延長して1ヶ月と3ヶ月で付着強度を求めた。**解説 図-1**の(1)は、下地コンクリートの表面粗さが砂目の条件の結果である。これによれば、まず、水湿しの条件では付着強度の低下は見られなかった。プライマーBでは初期の付着強度が小さく、水中1ヶ月でやや強度の低下が見られた。プライマーAでは、初期強度は1.5N/mm²程度を有していたにも拘わらず、水中1ヶ月後には0.3N/mm²まで付着強度が低下した。このように、プライマーの種類によっては水中に1ヶ月程度浸漬することで付着強度が極端に低下する材料があることが分かった。なお、水中浸漬期間が1ヶ月と3ヶ月とでは付着強度に大きな変化は無かったことから、水中浸漬期間を1ヶ月と定めた。

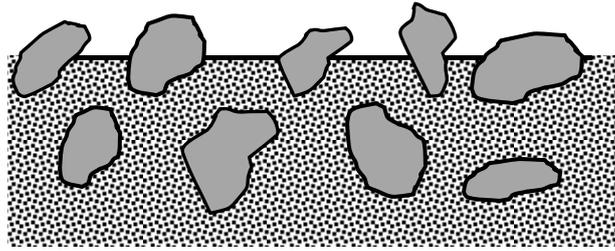
解説 図-1の(2)は、下地コンクリートの表面粗さが洗出の条件の結果である。これを(1)の砂目の結果と比較すると、水中浸漬による付着強度の低下傾向は緩やかであった。洗出の条件では、下地コンクリートの表面に**解説 図-2**に示すような状態で骨材が露出することとなり、骨材の下縁に断面修復材が入り込むことで投錨(ひっかけり)効果が発生し、例えプライマーが劣化しても、付着強度が低下しにくくなっていると考えられる。このことから、付着面の表面粗さを必要以上に粗くすると、水中浸漬による強度低下が評価されにくくなると考えられ、本試験では、下地コンクリートの表面粗さの範囲に上限値を設定した。



(1) 下地の表面粗さが砂目の条件

(2) 下地の表面粗さが洗出の条件

解説 図-1 水中耐久性試験の結果の例



解説 図-2 洗い出しによるコンクリート表面の状態（イメージ図）

参考文献

- 1) 片平博, 古賀裕久:断面修復材用プライマーの水中耐久性に関する研究, 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, 日本材料学会, Vol.17, pp.41-44, 2017.10

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル
2022年版

IV ひび割れ修復工法編

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版

IV [ひび割れ修復工法編]

目次

1. 総則	1
1.1 適用範囲	1
1.2 用語の定義	1
2. ひび割れ修復工法の補修設計	3
2.1 補修方針	3
2.2 ひび割れ注入材の種類	4
2.3 ひび割れ充填材の種類	5
2.4 工法・材料の選定および設計数量の考え方	6
3. ひび割れ修復工法の施工	15
3.1 施工前調査	15
3.2 施工計画	15
3.3 施工方法	16
3.4 施工管理における留意点	26
3.5 施工記録	28
3.6 安全管理	28
4. 検査	31
4.1 一般	31
4.2 検査項目と合否判定	31
4.3 検査の記録	33
5. 補修後の維持管理	34
5.1 一般	34
5.2 点検の頻度	34
5.3 点検項目と方法	35
5.4 点検結果の記録	36
附属資料	37
附属資料 A 注入器およびシール材の簡易固定確認方法（案）	37
附属資料 B ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法（案）	38
附属資料 C ひび割れ注入材の注入充填確認方法（案）	39

1 章 総 則

1.1 適用範囲

このひび割れ修復工法編（以下、本編という）は、共通編における補修工法選定において、ひび割れ注入工法もしくはひび割れ充填工法を選定する場合に適用する。ひび割れ注入工法もしくはひび割れ充填工法の補修設計および施工を行う際に、遵守すべき事項と配慮することが望ましい事項を示したものである。

【解 説】

劣化の種類と程度に応じた補修工法の選定は共通編に従って行う。その結果、ひび割れ注入工法もしくはひび割れ充填工法を選定する場合に、その補修設計および施工を行う際に遵守すべき事項、および配慮することが望ましい事項について記載する。また、本編では、ひび割れ修復材料は一般的な樹脂系補修材とセメント系補修材を対象としている。なお、ひび割れ被覆工法（ひび割れのみを対象とした表面被覆工法）、ひび割れ部に実施する表面含浸工法については、本マニュアルの表面被覆・含浸工法編を参照されたい。

本編は、土木研究所における最新の研究成果をもとに提案した内容を中心にとりまとめている。このため、本編に記載していない事項については、以下の指針、マニュアル等の最新版を参照されたい。

- ・コンクリート標準示方書〔維持管理編〕（土木学会）¹⁾
- ・コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針 2022（日本コンクリート工学会）²⁾
- ・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）³⁾

1.2 用語の定義

本編で用いる用語を次のように定義する。

漏水：コンクリート構造物の打継ぎ部、ひび割れ、豆板等から、雨水、地下水等が漏れ出すこと

前処理：ひび割れ周辺の漏水箇所の止水処理，UカットやVカット処理等のひび割れ修復工の準備段階の工程

Uカット：ひび割れ充填工法の前処理で、ひび割れを挟んでコンクリートをひび割れに沿ってU字形にはつり取る方法

Vカット：ひび割れ充填工法の前処理で、ひび割れを挟んでコンクリートをひび割れに沿ってV字形にはつり取る方法

ドライアウト：フレッシュ状態のセメント系のひび割れ注入材の水分がコンクリートに吸収され、セメントの水和が阻害される現象

水通し：セメント系のひび割れ注入材が、ひび割れ内部でドライアウト現象を生じることを防止するために
行う作業で、ひび割れ注入材を注入する前に先行して水を注入する行為

自動低圧注入工法：ひび割れ注入工法の一つで、ゴムやばねの復元力、圧縮空気を利用して加圧注入
する方法、専用の注入器具を利用し、ひび割れに低圧かつ低速で注入材を注入する
工法

注入器具：ひび割れに注入材を注入するための器具の総称、注入座金、注入シリンダー、注入プラグ
等がある

シール材：ひび割れ注入工法で、注入座金の固定や注入材が流出しないようにひび割れ表面をシール
する材料

一液形：容器から必要な量を取り出し、そのまま使用する材料、一成分形ともいう

二液形：主剤および硬化剤を定められた割合に計量し、直ちに均質になるまで混合又は混練して使用
する材料、二成分形ともいう

超低粘度形：樹脂系の材料の区分の一つ、主にひび割れの補修に使用する極めて粘度の低いもの

低粘度形：樹脂系の材料の区分の一つ、主にひび割れの補修に使用する低粘度のもの

中粘度形：樹脂系の材料の区分の一つ、主にひび割れや浮きの補修に使用する中粘度で、チキソトロ
ピー性を付与したもの

高粘度形：樹脂系の材料の区分の一つ、主に大きなひび割れや浮きの補修に使用する高粘度で、高い
チキソトロピー性を付与したもの

チキソトロピー性（揺変性）：材料特性の一つで、静置状態では流動性をもたないが、力が加わると流
動性をもち、これを静置すると再び元に戻る性質

可とう性：材料特性の一つで、柔軟性があり折り曲げても表面にひび割れが生じない、あるいは折れ
ない性質、弾性ほどの伸びはないため、微弾性ともいう

追従性：材料特性の一つで、硬化した材料がコンクリートの変形やひび割れの進展等に対応する能力
で、伸び率に関係する

注入充填性：ひび割れ注入材がひび割れ内部に注入される際の流動性と充填性の双方の性質

【解 説】

樹脂系の材料区分について、低粘度形、中粘度形、高粘度形は JIS A 6024:2015「建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂」⁴⁾における粘性規格である。超低粘度形は低粘度形に属するが、微細なひび割れに対応した特に粘度の低いものとする（詳細は 2.4.1 ひび割れ修復工法およびひび割れ修復材の選定に記載）。

参考文献

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2018.
- 2)日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，2022.
- 3)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
- 4)JIS A 6024:2015 建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂，日本規格協会，2015.1

2章 ひび割れ修復工法の補修設計

2.1 補修方針

ひび割れ修復工法の補修方針は、ひび割れへの劣化因子（水や塩分等）の侵入防止・抑制によるひび割れの進行・拡大の防止、鋼材の不動態被膜の保護等によるコンクリート構造物の耐久性の回復である。

【解説】

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侵入を防止もしくは抑制して、ひび割れの進行・拡大を防止することと、鋼材の不動態被膜の保護により、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。

本編では、①劣化因子の侵入防止・抑制、②鋼材の腐食抑制の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る品質や性能を解説表-2.1.1のように整理した。

解説表-2.1.1 補修方針とひび割れ修復材に求められる品質や性能との関係

材料に求められる 品質や性能		主な品質規格 (JIS A6024, NSKS-003 など)	補修方針	
			①劣化因子の 侵入防止・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	○	
	付着耐久性	接着強さ, 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	○	
	付着耐久性	接着強さ, 耐久性	○	
	(耐候性等)	(耐凍害性, 紫外線劣化等)	○	

○：必要となる基本的な品質や性能

ひび割れ注入工法では、対象となるひび割れにひび割れ注入材がすべて充填・充満することが前提であり、ひび割れ注入材でひび割れ内部を完全に満たすことによって上記①②の補修方針を満足することが可能となる。ここが、ひび割れの表面のみを修復するひび割れ充填工法やひび割れ被覆工法との大きな違いである。したがって、ひび割れ注入材に求められる品質や性能は、ひび割れ内部への充填性や密実性（一体性）、材料強度、ひび割れ追従性、および耐候性等に関連したひび割れ界面との付着耐久性であり、ひび割れ注入材の注入量が不足した場合やうまく注入されなかった場合には、ひび割れ内部に

未充填箇所が生じて、劣化の進行や鋼材の腐食等の再劣化が発生することになる。一方、ひび割れ充填工法は、ひび割れ注入工法とは異なり、コンクリート表面部分のひび割れを閉塞させることで、表面からの劣化因子の侵入防止・抑制を行う補修工法である。ひび割れ充填材に求められる品質は、材料強度、ひび割れ追従性、および耐候性等に関連したコンクリートとの付着耐久性である。これらの品質や性能に関する主な品質規格は、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」¹⁾、日本規格協会 JIS A 6024:2015「建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂」²⁾、日本建築仕上材工業会 (NSK)の NSKS-003「補修用注入ポリマーセメントスラリー」³⁾、JIS A 5758「建築用シーリング材」⁴⁾等で規定されている。また、主な品質試験方法については、JIS A 6024:2015のほか、土木学会コンクリート標準示方書規準編 JSCE-K 541-2013「コンクリート構造物補修用有機系ひび割れ注入材の試験方法(案)」⁵⁾⁶⁾⁷⁾等に示されている。

なお、ひび割れが密集している、ひび割れ幅が大きい等によって、ひび割れ部のみの修復が困難である場合は、断面修復工法等の工法を検討する必要がある。

2.2 ひび割れ注入材の種類

ひび割れ注入材は、樹脂系とセメント系に大別され、修復するひび割れの状態（ひび割れの幅、長さ、深さ、湿潤、進行や挙動の有無等）に対応した品質や性能（流動性や充填性、追従性等）を有した様々なものがある。

【解説】

ひび割れ注入材の種類は、樹脂系とセメント系の二つに大きく分けられる。

以下に、それぞれの特徴を解説するが、一般に使用されているひび割れ注入材の多くは、既往の基準の品質規格を満足するように作られているため、使用にあたっては基準を満足していることを確認することとする。

(1) 樹脂系注入材

樹脂系の注入材は、エポキシ系が一般的であり、アクリル系やポリウレタン系等もある。「建設省総合技術開発プロジェクト」¹⁾では、ひび割れの進行度と粘度の違いによってひび割れ注入材の種類が例示されており、土木補修用エポキシ樹脂注入材 1種～3種の3種類に分類されている。また、JIS A 6024:2015「建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂」²⁾では、硬化後の材質によって硬質形と軟質形に分類され、さらに、硬化前の粘性によって、低粘度形、中粘度形、高粘度形の3種類に分けられている。また、微細なひび割れに注入する等のために、低粘度形よりもさらに低い粘度の超低粘度形の製品も流通している。

ひび割れの進行が懸念される場合には追従性のある軟質形が一般的に使用されることが多い。なお、アクリル系やポリウレタン系等もエポキシ系の基準を準用している。

ひび割れ注入材の流動性の指標は主に粘度であり、ひび割れの微細な空隙に注入できることが最も重要となる。狭く屈曲したひび割れに対して流入していく高い流動性は、ひび割れ注入材の特徴である。また、ひび割れの空隙にひび割れ注入材が充填されて接着するために寸法安定性も重要であり、JIS A

6024 では、長期的な収縮が少ないことも求めており、硬化収縮率と加熱促進による加熱変化（重量、体積）も規定している。ひび割れ注入材の長期的な体積変化は、補修したひび割れ周辺に影響を与え、劣化の原因となり得る。

コンクリートに対する優れた接着性も重要なであり、かつ、ひび割れ内部が雨水などの影響により湿潤状態であることが多いため、十分な接着性を確保するために優れた湿潤面接着性が重要視されている。充填された注入材の硬化物性、並びに、その耐久性も重要である。

（２）セメント系注入材

セメント系注入材は、セメントの粉碎技術および分級技術の進歩により、普通ポルトランドセメントの1/4程度の粒径である超微粒子セメントを主原料とした注入材が一般的に使用されている。超微粒子セメントの主な化学組成は、酸化カルシウム(CaO)と二酸化けい素(SiO₂)であり、通常セメントと同様に水和反応でカルシウムシリケートを生成して硬化する。セメント系注入材には、超微粒子セメントと混和材を水だけで混合して使用する超微粒子セメント注入材と、ポリマーエマルジョンを混合して使用する超微粒子ポリマーセメント注入材に二分される。

一般的にセメント系注入材は、躯体が湿潤状態であっても付着性が良く、耐火、耐熱性に優れるという特徴がある。なお、ひび割れの内部が湿潤状態の場合、躯体コンクリートとの接着が低下することを理由に樹脂系注入材の使用を懸念する向きもある。

セメント系注入材の流動性は、Jロート試験等で流下時間を確認するのが一般的である。超微粒子セメント系の注入材は、非常に高い流動性を有しており、コンクリート内部の非常に微細なひび割れにも充填できる。

セメント系の注入は、一般的にひび割れ内部が湿潤状態において注入することが原則である。乾燥したひび割れに注入した場合、硬化後のセメントが水分を吸収する性質により、ひび割れ内のコンクリートがひび割れ注入材の水分を吸収するドライアウト現象が発生し、ひび割れ注入材の水和が阻害され、また、ひび割れ注入材の流動性が低下して未充填が発生しやすくなるためである。このことから、セメント系注入材の注入作業においては、先行水を注入（水通し）してからひび割れ注入材を注入するケースがほとんどである。

注入後の品質としては樹脂系注入材と同様に硬化収縮率や、コンクリートとの接着性も重要である。これらの材料規格は、日本建築仕上材工業会の NSKS-003「補修用注入ポリマーセメントスラリー」³⁾等に規定されている。

2.3 ひび割れ充填材の種類

ひび割れ充填材は、樹脂系とセメント系に大別され、修復するひび割れの状態（ひび割れの幅、長さ、進行や挙動の有無）に対応した品質や性能（追従性等）を有した様々なものがある。

【解説】

ひび割れ充填材の種類は、樹脂系とセメント系の二つに大きく分けられる。

以下に、それぞれの特長を解説するが、材料の品質規格は既往の基準類を参考にするとよい。

(1) 樹脂系充填材

樹脂系充填材としては、可とう性エポキシ樹脂系やシーリング材が一般的であり、硬化物が比較的柔らかく、ひび割れの進行に追従できることが特長である。汎用的には、可とう性エポキシ樹脂が使用されることが多く、ひび割れの進行が速い場合や大きなひび割れで挙動が大きい場合には、シーリング材が使用されることが多い。可とう性エポキシ樹脂は、1液型と2液型に大きく分類できるが、その品質や性能に大きな差はない。1液型の方が、煩雑な作業がないために作業性に優れるが、湿潤硬化型が多いことから、表面から硬化していくために内部硬化性に劣る。シーリング材には、ポリウレタン系、変成シリコーン系やポリサルファイド系がある。水性のアクリル系やブチル系、油性系のシーリング材もあるが、硬化後の体積収縮が大きく、一般的にはあまり使用されていない。

樹脂系充填材の材料規格は、建築改修工事監理指針「ひび割れ部 U カット充てん用可とう性エポキシ樹脂の品質基準（案）」⁸⁾に適合している充填材が使用されることが多い。

(2) セメント系充填材

セメント系充填材では、ポリマーセメントモルタルが多く使用されている。セメント系充填材はひび割れの動きに追従しないため、進行や挙動の無いひび割れに主に使用される。セメント系充填材は、ひび割れ充填材として定められた規格はなく、断面修復材の規格が準用されることが多い。断面修復材の材料規格等については、本マニュアルの断面修復工法編を参照されたい。

2.4 工法・材料の選定および設計数量の考え方

2.4.1 ひび割れ修復工法およびひび割れ修復材の選定

ひび割れ修復工法およびひび割れ修復材の選定は、対象となるコンクリート構造物の補修後の要求性能を満足するように行うものとする。

【解説】

近年、ひび割れ修復工法の施工後、比較的早期にひび割れからの漏水の再発やひび割れ充填材の剥離等が発生する再劣化の事例が多く見られ、材料選定や施工が適切になされていないケースが多い⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。ひび割れ修復工法における工法や適用材料の一般的な選定方法は、建設省総合技術開発プロジェクト¹⁾やコンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針¹²⁾等において記載されているが、実際のひび割れの劣化状態や置かれている環境等の違いによる選定や設計数量の考え方についての明確な記載はない。

上記を踏まえて、ひび割れ注入材およびひび割れ充填材の選定例を、解説表-2.4.1、解説表-2.4.2、および解説表-2.4.3に示す。

(1) 工法の選定

ひび割れ注入工法もしくはひび割れ充填工法の選定は、表面ひび割れ幅で判断されるのが一般的である。そこで、解説表-2.4.1、解説表-2.4.2、および解説表-2.4.3においても、表面ひび割れ幅を工法選定の目安とし、ひび割れ注入工法を表面ひび割れ幅0.1mm～5.0mm、ひび割れ充填工法を表面ひび割れ幅1.0mm以上とした。表面ひび割れ幅が1.0mm以上であれば、どちらの工法を採用しても良いが、ひび割れ充填工法はコンクリート表面のひび割れに蓋をする工法であるため、ひび割れ内部は空

いている状態となり、ひび割れ内の鋼材の腐食環境を改善する効果は小さい。また、ひび割れ充填工法の採用は、止水されていることが原則となる。止水対策が万全でない場合、ひび割れ内に水分が溜まってひび割れ充填材の接着が弱まり、漏水や析出物が再発することが懸念される。このようなケースでは、特に積雪寒冷地では、滞水した水分の凍結融解作用によってひび割れが進行し、ひび割れ内部の鋼材を保護するどころか、水分が滞水する悪影響によって早期再劣化を招きかねない。補修設計において、ひび割れ注入工法とひび割れ充填工法は比較選定されることが多いが、補修のコンセプトが異なることから、ひび割れ充填工法の採用は、コンクリート表面以外からの劣化因子の侵入が少なく、内部の鋼材に腐食がないひび割れや、ひび割れ幅が広く、ひび割れ注入材の硬化収縮による影響が大きいひび割れ等に適用することを基本とする。

解説 表-2.4.1 樹脂系ひび割れ注入材の選定例

	硬質形				軟質形		
	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	—
対象となる表面 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	幅狭・深：○ 幅広・深：×	幅狭・深：○ 幅広・深：△	幅狭・深：△ 幅広・深：○	幅狭・深：× 幅広・深：○	幅狭・深：○ 幅広・深：△	幅狭・深：△ 幅広・深：○	幅狭・深：× 幅広・深：○
貫通ひび割れ	△ ※1	○ ※1	○	○	○ ※1	○	○
進行・挙動有り	×				○		
湿潤環境	○ (水中硬化型), △ (一般用) ※2						
寒冷環境	○	○ ※3	×	×	○ ※3	×	×

○:適用可, △:一部適用可, ×:適用不可

※1: 高温では排出面で流下する可能性あり ※2: 一般用でも多少の湿潤に適用可 ※3: 一般用でも養生条件では適用可

解説 表-2.4.2 セメント系ひび割れ注入材の選定例

	ポリマーなし		ポリマーあり	
	貫通なし	貫通あり	貫通なし	貫通あり
対象となる表面 ひび割れ幅 (mm)	0.1~5.0	0.1~0.5 ※1	0.1~5.0	0.1~1.0 ※1
ひび割れ幅と 深さとの関連	幅狭・深：○ 幅広・深：×	幅狭・深：○ 幅広・深：×	幅狭・深：○ 幅広・深：×	幅狭・深：○ 幅広・深：×
貫通ひび割れ	○	△ ※1	○	△ ※1
進行・挙動有り	×			
湿潤環境	○ ※2			
寒冷環境	△ ※3		○ ※3	

○:適用可, △:一部適用可, ×:適用不可

※1: 排出面で流下する可能性あり ※2: 常時湿潤箇所への適用には検討必要

※3: 耐凍害性があり, 凍結しない環境での適用が原則

解説 表-2.4.3 ひび割れ充填材の選定例

	樹脂系		セメント系
	可とう性エポキシ樹脂	シーリング材	
対象となる表面 ひび割れ幅 (mm)	1.0 以上		
貫通ひび割れ	○		
進行・挙動有り	○		×
湿潤環境	△ ※1		
寒冷環境	△ ※2		○ ※3

○:適用可, △:一部適用可, ×:適用不可

※1: 水分供給源の止水対策を施していないひび割れへの適用は不可

※2: 下地コンクリートの温度も含めて, 製品の適用最低温度以下での適用は不可

※3: 0℃以下の環境での適用は不可

また, 実際の設計において, 表面ひび割れ幅が 1.0mm 未満であっても, エフロレッセンス等の析出物がコンクリート表面のひび割れを覆っていると, 注入ができないと判断されることが多く, 止水対策に関係なくひび割れ充填工法が採用される事例も多い。しかし, このような析出物のあるひび割れは水分供給されている状態のため, ひび割れ充填工法では再劣化を招きやすい。したがって, 漏水や析出物のあるひび割れにおけるひび割れ修復工法の選定には十分な検討が必要であり, 検討にあたっては, 後述する 3.3.5 析出物のあるひび割れへの対処方法を参照されたい。

(2) ひび割れ注入材の選定例

樹脂系注入材の選定例

樹脂系注入材の解説 表-2.4.1 に示す超低粘度形は, JIS 等では低粘度形に含まれる。低粘度形の一般的な粘度が 23℃で 500mPa・s 前後であるのに対し, 粘度が 250mPa・s 以下程度のもを超低粘度形と呼ぶことが多い。従前から微細なひび割れへの注入が必要なケースなどで使用実績があり, 特に低温では粘性が常温の低粘度形程度となることから, 低温環境での注入充填性に優れているため, 冬季の注入工事において使用されるケースも多い。このことから本編では, 超低粘度形と低粘度形を区別して選定例を示した。しかし, 貫通ひび割れやひび割れ幅が大きいと超低粘度形や低粘度形はひび割れ内部で流下する可能性があるため, 低粘度形はひび割れ幅 0.2mm~1.0mm を標準とし, 超低粘度形は必要に応じて 0.1mm 以上に採用することとした。中粘度および高粘度は, 硬化収縮の影響を考慮して 0.5mm~5.0mm および 1.0mm~5.0mm を標準とし, 寒冷環境 (冬季環境) では粘性が高くなり流動性が低下するため適用不可とした。なお, 冬季施工では低粘度の冬用が一般的に使用されているが, 十分な養生環境が確保できる状態では一般用も使用可能である。

また, ひび割れ内部に水が溜まっているような状態で一般的な樹脂系注入材を使用すると接着性が低下するため, 常に水分供給があるひび割れ等に対しては水中硬化型を標準とする。なお, ひび割れ内部が湿潤の場合, 湿潤に馴染むセメント系注入材を適用するケースも多いが, 一般的な樹脂系注入材はひび割れ内部が多少湿っている程度であれば, 接着性は低下しない製品が多いため, 水分供給が少ない湿潤状態での適用は可能である。

セメント系注入材の選定例

セメント系注入材は非常に流動性が良いため、表面ひび割れ幅 0.1mm 以上を適用可能範囲とした。ただし、貫通ひび割れでは流下しやすいため、ポリマーなしでは 0.1mm～0.5mm までを適用範囲とし、粘性のあるポリマーありでは 0.1mm～1.0mm までを適用範囲とした。なお、ひび割れが貫通していない場合や背面等にシールが可能な場合は流下しても下から充填・充満していくため、ひび割れ幅 0.1mm～5.0mm を標準とした。セメント系注入材はひび割れ追従性が期待できないため、進行や挙動が予測されるひび割れには適用不可とした。寒冷環境（冬季環境）では、ひび割れ注入材や先行水の凍結により、未充填が発生するケースもあることから、凍結しない温度以上での適用を原則とし、耐凍害性のある製品を適用する必要がある。また、セメント系注入材は、ひび割れ内でのドライアウト防止のため、ひび割れ内が乾燥している場合は先行水を注入してからひび割れ注入材を注入する。したがって、湿潤状態のひび割れへの適用性は良いが、硬化が遅いため、十分に硬化する前に降水等による水分供給があるとひび割れ注入材が流れてしまった事例もあることから、水分供給源の止水対策を実施していないひび割れへの適用は不可とした。

（３）注入材の充填性に関する留意点等

ひび割れ注入工法は、ひび割れ注入材がひび割れ内を拡散しながら全体に充填される状態が理想である。しかし、ひび割れ注入材の流動性や粘性（チキソトロピー等）の違いや解説 写真-2.4.1 のように同じ注入材であってもひび割れ幅が異なることで充填性は変化する。流動性の良いひび割れ注入材は、幅が狭いひび割れにも充填されるが、幅が広いひび割れでは流下して未充填が生じやすくなる。逆に、粘性が高いひび割れ注入材は、幅が狭いひび割れには充填しにくい、幅が広いひび割れには充填しやすい。したがって、ひび割れ幅とひび割れ注入材の流動性や粘性の関係を把握した上でひび割れ注入を選定することが望ましい。また、解説 図-2.4.1 の実験（附属資料 C による測定）結果のように、貫通ひび割れにおいて、樹脂系の低粘度形や超低粘度形ではひび割れ注入材の流下が生じやすい、セメント系ではひび割れ注入材の流下や空隙の大きい箇所に集中しやすい等、ひび割れ注入材の粘性が低いと流動性は良いが未充填となるケースもある。ひび割れが貫通していてひび割れの背面にシール等の処理が出来ない場合には、ひび割れ注入材がひび割れの背面から排出される際に、ひび割れ注入材が流下してひび割れ内に空気が入り未充填となる。特に、流動性の良いセメント系注入材や樹脂系注入材の超低粘度形を貫通ひび割れに採用すると未充填が発生し易い。このことから、貫通ひび割れには、セメント系注入材では粘性の比較的高いポリマー系、樹脂系注入材では中粘度形を設定することが望ましい。ただし、樹脂系注入材の中粘度形は注入口のひび割れ幅が狭いと注入しにくく充填されにくいため、超低粘度形、低粘度形、中粘度形の順に連続して充填させる方法もある。さらに、解説 図-2.4.2 の実験結果では、ひび割れ内部が凍結した状態においては、ひび割れ注入材が冷やされて粘性が高くなり、流動性が低下することでひび割れ注入が停滞するケースや、セメント系ではひび割れ注入材が凍結して注入が停止するケースもある。このことから、寒冷環境にあるコンクリート構造物のひび割れ注入工法の補修設計を立案する際には、冬季施工の温度条件を考慮した設計が必要となる。ひび割れ注入材の流動性は製品毎に異なるため、選定する際に材料メーカー等の技術指導を受けることを推奨する。

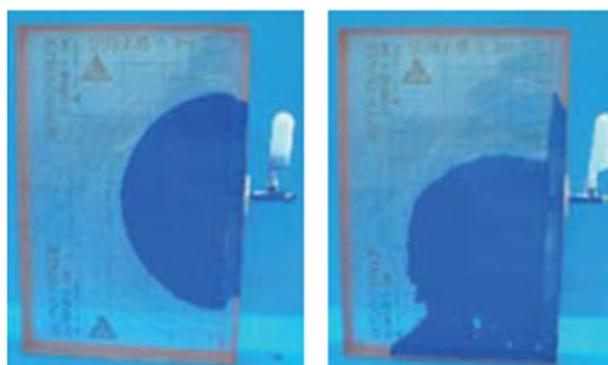
（４）水分供給があるひび割れへの対応例

水分が供給されやすいひび割れに注入する場合、注入後の再劣化が生じるケースもあることから、まずは漏水の根源を断つ止水対策をできる限り実施することを原則とする。しかし、止水対策が万全にできないケースもある。ひび割れ内が多少の湿潤状態であれば、樹脂系注入材およびセメント系注入材共

に硬化後の材料の品質には大きく影響しない。ただし、樹脂系注入材はひび割れ内の接着界面が濡れていると、ひび割れ界面との接着性が低下する。特に、硬質系よりも軟質系のほうが接着は低下しやすい。したがって、ひび割れに常時水分が供給される場合には急速に止水が可能な水中硬化型等やセメント系の急結材を使用することが望ましく、雨天時にのみ漏水が見られるひび割れは、晴天時に注入は可能であるが、硬化に時間がかかるひび割れ注入材を適用すると、硬化する前に降水等によってひび割れ注入材が流されてしまう可能性がある。したがって、このようなひび割れには、硬化時間が比較的短いひび割れ注入材を注入することが望ましい。また、漏水や析出物がみられる場合には、ひび割れ内に水分が供給されている状態であることが明白である。析出物のあるひび割れの対処は、できる限り水分供給源の止水対策を行い、ひび割れ内にひび割れ注入材をしっかりと充填する必要がある。

(5) ひび割れの進行が予測されるひび割れや挙動があるひび割れへの対応例

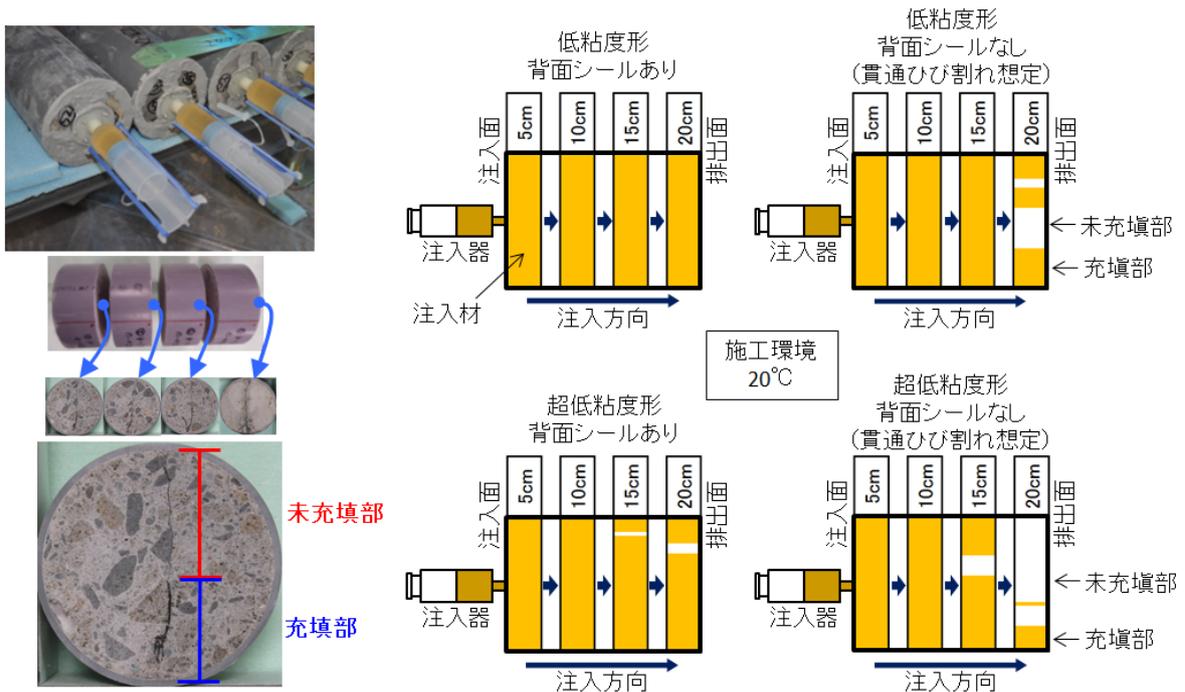
また、ひび割れの進行が予測されるひび割れや挙動があるひび割れにおいては、ひび割れ追従性のある注入材（樹脂系の軟質系）の使用を標準とする。ただし、ASRにおいてセメント系注入材を使用する場合は、混和材等を混合してセメント分を低減した（アルカリ付与を抑えた）製品を使用することが望ましい。ひび割れに挙動がない、ひび割れの進行が今後ほとんど予測されない等の場合は、樹脂系の硬質系やセメント系の使用を標準とする。なお、ASRの抑制効果がある修復材料（リチウム系等）も開発されているが、適用にあたっては抑制効果のモニタリング等を実施することを推奨する。



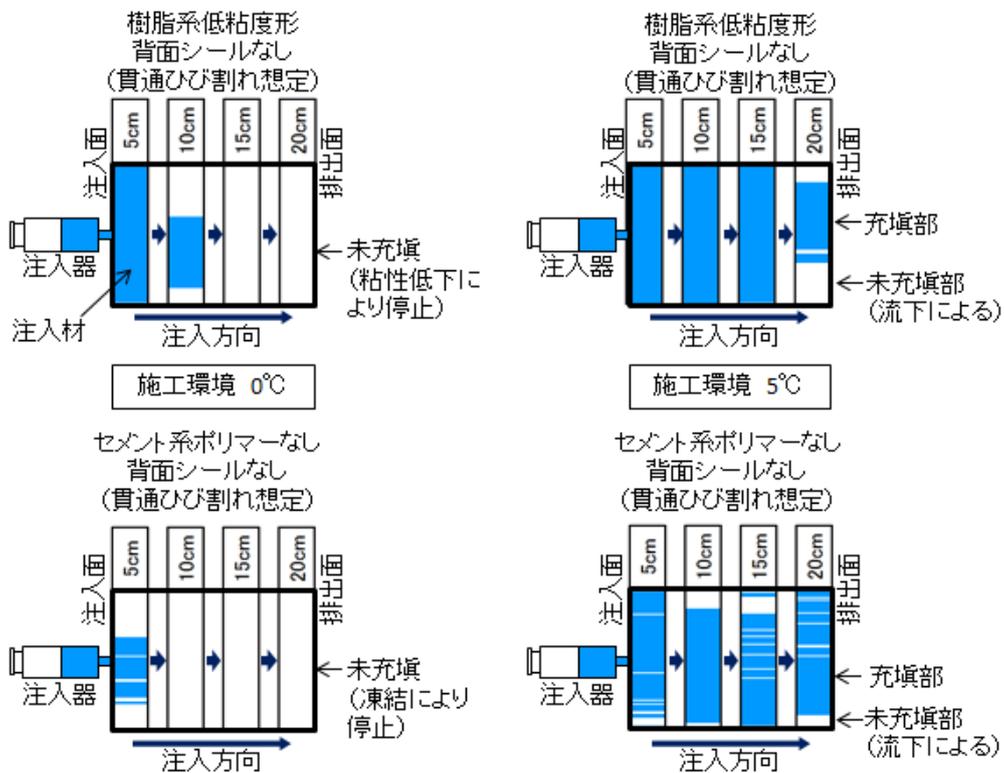
拡散した注入材
(ひび割れ幅狭い)

流下した注入材
(ひび割れ幅広い)

解説 写真-2.4.1 樹脂系ひび割れ注入材のひび割れ幅による充填性の変化¹³⁾



解説 図-2.4.1 ひび割れ注入材の流下による未充填¹⁴⁾



解説 図-2.4.2 寒冷施工でのひび割れ注入材の停滞による未充填¹⁴⁾

(6) ひび割れ充填材の選定例

ひび割れ充填材の解説 表-2.4.3 に示す選定例では、表面ひび割れ幅は 1.0mm 以上を標準とした。ひび割れが貫通していてもひび割れ注入材と異なり、ひび割れ内部まで充填しないため、貫通ひび割れにも適用可能である。ひび割れの進行や挙動がある場合には、追従性のある樹脂系を適用することを標準とした。寒冷環境では、施工温度が重要であり、温度が低いとひび割れ充填材と下地のコンクリートとの接着力が低下しやすい。特に、樹脂系充填材では、品質低下を防ぐために各製品の適用最低温度以下での適用は不可とした。セメント系充填材は、一般的に 0°C 以下では混練水が凍結するため、適用は不可とした。樹脂系充填材は樹脂系の接着プライマーを塗布することが多いため、下地のコンクリートが濡れている状態では接着力の低下を招く。セメント系充填材は断面修復材を準用する製品が多いことから、ドライアウト防止用のディスパージョン系プライマーを塗布することが多い。プライマーを使用しない場合、湿潤状態において馴染みは良くなるが、水分が多いと接着力の低下を招く。また、工法選定でも記述したとおり、ひび割れ内に水分供給があるとひび割れ充填材で蓋をしてしまっってひび割れ内に滞水する等の悪影響も懸念される。したがって、水分供給源の止水対策を施していないひび割れへの適用は不可とした。

ひび割れ充填材の種類では、進行や挙動がないひび割れにはセメント系や樹脂系の硬質形、進行や挙動が大きく、ひび割れ注入材では追従しきれないひび割れには樹脂系の軟質形を選定することが望ましい。セメント系充填材は断面修復材を準用している製品が多いため、一般的には、追従性を必要とするひび割れには適さない。

2.4.2 ひび割れ注入工法の設計数量の考え方

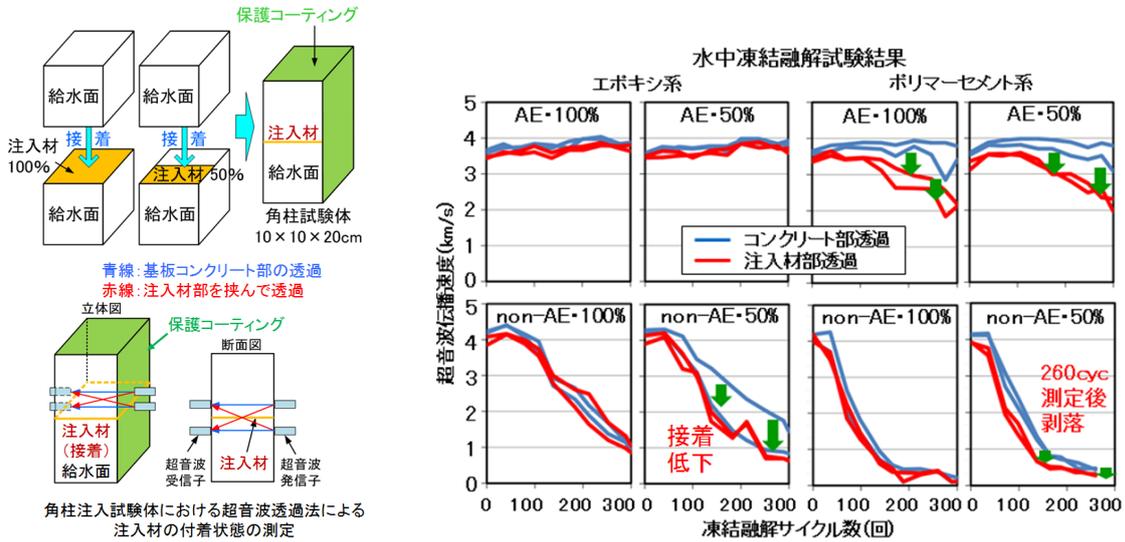
ひび割れ注入材の設計数量は、対象ひび割れをひび割れ注入材で完全に充填させる量とする。

【解説】

2.4.1 ひび割れ修復工法およびひび割れ修復材の選定で述べたように、ひび割れ注入工法は、ひび割れ注入材がひび割れ内を拡散しながら全体に充填される状態が理想であり、補修後の要求条件として、ひび割れの空隙をひび割れ注入材ですべて充満（充填）させることと、ひび割れ内部の鋼材を保護することが原則である。したがって、ひび割れ注入工法における設計数量（注入量）の考え方は、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、ひび割れ深さをすべて計算して注入量を設計しなければならない。

特に貫通ひび割れにおいては、部材厚をひび割れ深さとする設計が望ましい。さらに、貫通ひび割れの場合は、ひび割れ背面からの流出を考慮したひび割れ注入材の種類と注入量を設定することが重要である。ひび割れ深さの測定には超音波法などがあるが、実際のひび割れ深さを確実に測定することは難しく、ひび割れ内部で枝分かれしているケースもある。したがって、設計段階ではひび割れの状態やコンクリートの劣化状態等から推定で注入量を設計する必要があるが、実際の注入量は流出等で多くなるケースが多いことから、それを考慮して少し多めに設定することが望ましい。また、設計数量にとらわれず、注入状況に応じた数量変更が必要であり、ひび割れの空隙をすべて充填させる施工とすることが、ひび割れ修復工法の補修後の要求条件を満足することになる。例えば、解説 図-2.4.3 の実験結果の

ように、ひび割れ内部に注入材の未充填部が生じているケースでは、樹脂系、セメント系にかかわらず、未充填部に浸入した水分による凍結融解の影響でコンクリートが劣化してひび割れ注入材との接着が低下する。これは、実際の構造物でも起こり得る現象であり、存置環境の厳しい構造物のひび割れ内部に未充填部を作ること、再劣化を発生させる原因となる。



解説 図-2.4.3 凍害の影響によるひび割れ注入材とコンクリートとの接着低下⁹⁾¹⁵⁾

参考文献

- 1)財団法人土木研究センター：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，1989.5
- 2)日本規格協会：JIS A 6024:2015 建築補修用及び建築補強用エポキシ樹脂，2015.1
- 3)日本建築仕上材工業会：規格 NSKS-003 補修用注入ポリマーセメントスラリー，1992.10
- 4)日本規格協会：JIS A 5758:2016 建築用シーリング材，2016
- 5)土木学会：コンクリート標準示方書 [規準編]，JSCE-K 541-2018，コンクリート構造物補修用有機系ひび割れ注入材の試験方法（案），2018.
- 6)土木学会：コンクリート標準示方書 [規準編]，JSCE-K 542-2018，コンクリート構造物補修用セメント系ひび割れ注入材の試験方法（案），2018.
- 7)土木学会：コンクリート標準示方書 [規準編]，JSCE-K 543-2018，コンクリート構造物補修用ポリマーセメント系ひび割れ注入材の試験方法（案），2018.
- 8)建築保全センター：建築改修工事監理指針，ひび割れ部 U カット充てん用可とう性エポキシ樹脂の品質基準(案)，国土交通省大臣官房官庁営繕部監修，2019.12
- 9)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，報文，pp.12-22，2015.4
- 10)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.1157-1162, 2014.9.
- 11)村中智幸，内藤勲，島多昭典：ひび割れ修復工法の選定および施工実態に関する調査，第 57 回（平成 25 年度）北海道開発技術研究発表会，HP 掲載，2014.2.
- 12)日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，2022
- 13)ダイフレックス HP：SK グラウトプラグ A 法，
http://www.dyflex.co.jp/sealing/tag-sealing/sk_groutsystem/（2022 年 12 月閲覧）
- 14)内藤勲，島多昭典：冬期施工におけるひび割れ注入工法の流動性と充填性，第 59 回（平成 27 年度）北海道開発技術研究発表会，HP 掲載，2016.2
- 15)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 57-12, pp34-37, 2015.12

3 章 ひび割れ修復工法の施工

3.1 施工前調査

施工前に実施する調査は、設計で選定されたひび割れ修復工法を実施する前に、補修対象のひび割れの現状を把握し、適切な施工を実施するために実施する。なお、この施工前調査において、ひび割れの状態が大きく変化していた場合には、工法変更を検討しなければならない。

【解 説】

ひび割れの補修工事は、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、ひび割れの状態は変化し、ひび割れの変状が進行する可能性が高くなる。変状が進行した場合、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り、その場合は、施工しても再劣化が発生するリスクが高まる。このような再劣化を防止するため、施工前調査によって補修対象のひび割れの状態を把握し、変状の進行が確認された場合には、当初設計の補修工法や補修材料の適用が可能かどうかを判断する必要がある。適用できない変状の場合には、設計段階に戻り、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、ひび割れ修復工法では、ひび割れ注入工法とひび割れ充填工法の比較検討を行うのが一般的である。ひび割れが進行し、ひび割れ幅が大きくなっていった場合には、ひび割れ注入工法からひび割れ充填工法への変更を検討する。また、ひび割れの進行や挙動が大きく追従性のある軟質系の注入材でも追従できないと判断した場合には、ひび割れ充填工法への変更を検討する、等である。なお、ひび割れが析出物で閉塞しているため注入出来ないと判断し、ひび割れ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、水分供給源の止水対策を実施することが大前提である。しかし、止水対策により完全に水分供給が遮断されたとしても、水分供給されやすい箇所であるケースが多いことから、**3.3.5 析出物のあるひび割れへの対処方法**に従って析出物を除去した後にひび割れ注入工法を行うことが望ましい。

この他、ひび割れの進行が非常に早く、調査時よりも劣化の状態が激しい場合には、断面修復工法への変更も検討する。

3.2 施工計画

ひび割れ修復工法の施工計画は、選定された補修工法の施工方法等と、**3.1 施工前調査**で明らかになった事項を考慮して策定する。なお、関係者間で十分に施工計画を検討し、必要に応じて修正・変更を行う。

【解 説】

ひび割れ修復工法では、設計時の思想を十分に理解したうえで、そのひび割れ注入工法及びひび割れ充填工法の補修目的を達成するため、あらかじめ定められた品質を達成するための適切な施工計画の立案が重要である。かつ、**3.1 施工前調査**で明らかとなった事項を反映させて、適切な施工を実施することが重要である。なお、施工計画書の作成は、土木工事共通仕様書等を参考にするのが良い。また、安全性や環境に対する配慮も十分に検討することが望ましく、施工や施工管理に関しては、本編や他の文献、及び過去の施工実績等を関係者間で確認し、検討することも必要である。さらに、施工工程は、工事中に予想される天候不順等の変動を考慮し、余裕を持った施工計画とすることが望ましい。特に、寒中施工や暑中施工においては、ひび割れ修復材の品質低下や施工性の低下が懸念されるため、きめ細かな施工計画の策定が必要である。

3.3 施工方法

3.3.1 ひび割れ注入工法の種類と選定

ひび割れ注入工法には、手動式・機械式注入工法と自動低圧注入工法があり、適切な工法を選定するものとする。

【解 説】

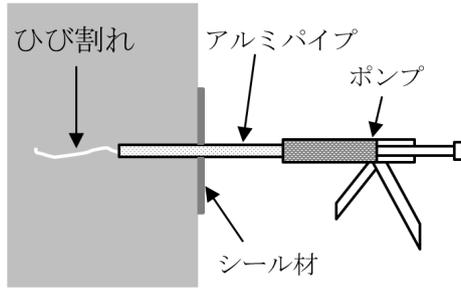
ひび割れ注入工法は、ひび割れ表面から注入器等を使用して直接ひび割れに圧力をかけて注入材をひび割れに注入し、注入材をひび割れの空隙に全て充填させる工法である。そのため、施工時の注入圧力による注入材の漏れを防止するため、予めひび割れ表面にシール材を施してから注入を実施する。注入後、注入材の硬化を確認し、電動工具等を用いてシール材を除去して施工完了となる。一般的な工程は、シール材塗布1日、注入1日、撤去1日の3日間の施工工程となる。速硬化型のシール材やはく離が容易なシール材を用いることで作業の簡略化なども可能である。ひび割れ注入工法には、高圧で短時間で注入できる手動式・機械式注入工法と、低圧、低速で時間をかけて注入する自動式低圧注入工法の2種類がある。以下に、2種類の施工方法について詳細を解説する。

(1) 手動式・機械式注入工法

手動式注入工法は、**解説 図-3.3.1**に示すように、ひび割れにアルミパイプ等の注入器具を取り付けて注入口とし、グリースポンプ等の手動式のポンプを用いて注入する工法である。

手動式注入工法の特徴を以下に示す。

- ・特殊な道具立てをする必要がなく、簡便な注入工法である。
- ・注入口は、単純なパイプやパイプにバルブを付けたもの、空気式タンクを用いた専用注入器具など、多様な器具が使用できる。
- ・注入は、固定したパイプの一端から行き、隣のパイプから注入材の流出を確認した後、注入材が流出したパイプにポンプのノズルを移し注入を行う。これを順次繰り返す。



解説 図-3.3.1 手動式・機械式注入工法の例

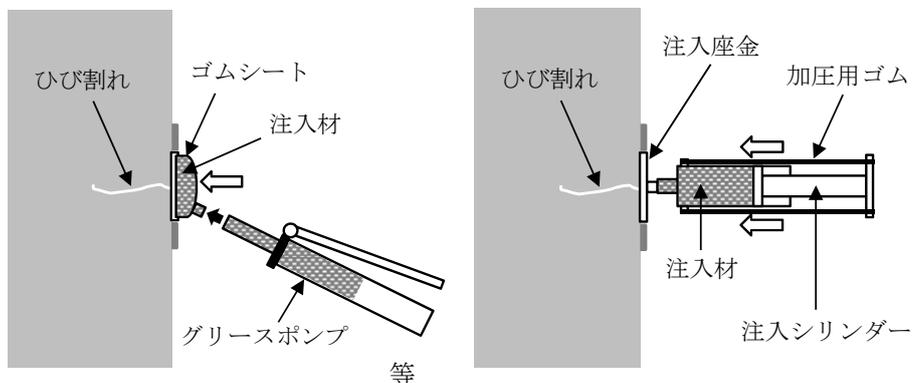
機械式注入工法は、比較的大型の注入装置を用い高圧で注入するため、大断面構造物等の大きな現場に向いている工法である。施工手順は手動式とほぼ同じであるが、注入作業には手動ポンプではなく足踏み式ポンプや電動ポンプ等を用いる点異なる。

手動式・機械式注入工法では、注入圧力を高めたほうが作業効率は高まるが、ひび割れを押し広げてしまう場合もあり、施工には熟練工を必要とする。

(2) 自動低圧注入工法

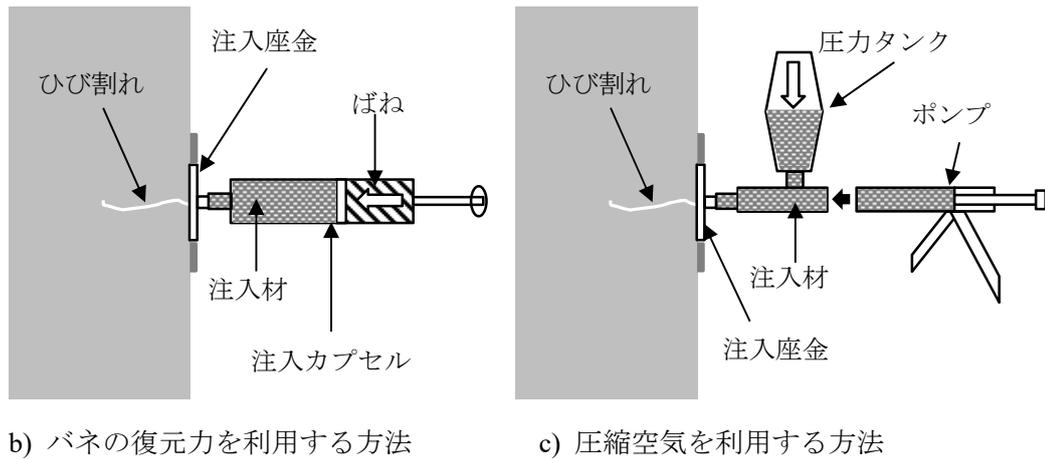
自動低圧注入工法の特徴を以下に示す。

- ・注入器具には解説 図-3.3.2 に示すような種々の専用器具があるが、注入性に大きな違いはない。
- ・注入圧は 0.4N/mm^2 以下が望ましい¹⁾。
- ・専用器具に補修材料を充填すれば、後は人手が不要で、補修材料は専用器具の加圧で自動的にひび割れ内に注入される。低圧であるためにシールからの漏れも少ない。注入の作業は簡便であり、補修材料が確実かつ安定してひび割れに注入できるので、施工管理が容易である。
- ・補修材料を充填する専用器具は透明度が高いものが多いので、肉眼で補修材料の充填量を把握できる。
- ・注入圧力が低圧であるため、注入圧力によってひび割れや浮きが助長されない。
- ・補修材が硬化する（流動性がなくなる）まで加圧されているので、微細なひび割れにも注入される。また、吸い込みによる空隙が発生しない。
- ・自動式低圧注入工法の特徴としては専用器具の貼付間隔が $200\sim 300\text{mm}$ であり、手動式・機械式注入工法の注入パイプの取り付け間隔より広くすることができる。



a) ゴムの復元力を利用する方法

解説 図-3.3.2 自動低圧注入工法の例 (1/2)



解説 図-3.3.2 自動低圧注入工法の例 (2/2)

3.3.2 ひび割れ注入工法の施工

ひび割れ注入工法の施工にあたっては、事前に施工手順を確認し、選定した注入工法や注入材料の留意点、シール材の種類と使用上の留意点等を確認したうえで、確実な施工を行う。

【解説】

ひび割れ注入工法は、高圧や低圧、手動式や機械式等の手法によって施工手順は若干異なるが、共通する標準的な施工手順と施工時の留意点、シール材の種類と使用上の留意点について解説 表-3.3.1～3.3.3 に示す。

解説 表-3.3.1 標準的な施工手順

施工手順	施工内容
1	ひび割れが生じているコンクリート表面の清掃（前処理）
2	注入口の決定
3	注入器具等の設置
4	シール材の塗布
5	注入器具等とシール材の硬化確認（附属資料 A 参照）
6	ひび割れ注入材の攪拌
7	注入作業
8	ひび割れ注入材の硬化確認
9	注入器具等とシール材の撤去
10	表面仕上げ（必要に応じて）および後片付け

解説 表-3.3.2 施工時の留意点

管理項目	留意点
品質管理	降雨、降雪時は、施工を避けるか適切な養生を実施する。
	ひび割れ注入口に詰まりがないかを確認する。
	注入口は 20cm 間隔程度とし、ひび割れ注入材の拡散が重複するようにする。ただし、ひび割れの状況に応じて間隔を狭める等の検討も必要（標準間隔に固執しない）。
	注入器具等やシールは、注入圧力で剥がれないように確実に固定する。標準使用量に固執しないことも必要。（附属資料 A 参照）
	ひび割れ注入材が漏れないように近傍の微細ひび割れもシールする。
	シールからの漏れ確認や注入器の注入材残存量の確認が必要。
	ひび割れ注入材の調合は指定された分量を正確に計量する（分量が異なると硬化不良となる）。
	調合後、速やかに注入を実施する。
	注入はひび割れの下から上の順に注入することを基本とする。
	低温時の施工は、必要に応じて保温養生を実施する。
安全管理	樹脂系の高温時の施工は、可使時間に注意し、一度に多くの調合・攪拌を実施しない。
	ひび割れ注入材が硬化するまで注入器具やシールは撤去しない（十分な養生を行う）。
安全管理	火気の近くでは作業しない。
	屋内もしくは囲い内での作業は、換気に十分注意する。

解説 表-3.3.3 シール材の主な種類と使用上の留意点（次頁に続く）

シール材の主な種類	主な特徴と使用上の留意点
樹脂系一液形	<p>[主な特徴]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変成シリコン系タイプのシール専用品が多く、カートリッジ型で扱いやすい。 ・硬化後に電動工具を使用しなくても簡単に剥がれるものが多い。 ・削り粉等があまり出ないため、はく離後のシール材の回収や廃棄も容易であり、環境衛生面は良い。 <p>[使用上の留意点]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・硬化時間が比較的長く、硬化後の下地コンクリートとの接着力も低いため、養生を十分行って硬化させないと注入器具の固定等に影響が出る場合がある。 ・特に、低温では硬化時間が長くなり、下地コンクリートとの接着力も低下するため、養生環境を整える必要がある。
樹脂系二液形	<p>[主な特徴]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エポキシ樹脂系の速硬化タイプが多く、シール専用品から接着剤を準用している製品もある。

	<ul style="list-style-type: none"> ・二液形なので、主剤と固化剤を混合攪拌して使用する。 ・一液形よりもコストが高い。 ・短時間での施工が必要な場合に使用されることが多い。 ・シール材から注入材が漏れた場合のシール補強にも使用される。 <p>[使用上の留意点]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・接着力が非常に強く、硬化後は容易に剥がすことはできない。 ・除去時に電動工具や加熱器具を使用するため、粉塵等が発生することから環境衛生面を考慮し、作業に当たっては防塵マスク等の配慮が必要である。
急結セメント	<p>[主な特徴]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・超早強セメントがベースの速硬性のセメントペーストをシール材として使用するものである。 ・自動低圧注入器を固定することは難しいため、手動式・機械式注入工法で使用される場合が多い。 ・速硬性のため、早期の施工が必要な場合にも適用可能である。 ・セメント系注入材を使用した場合、先行水やひび割れ注入材の水分がひび割れのシール部に浸み出してくることで、ひび割れ注入材が充填されていることを確認できる利点もある。 <p>[使用上の留意点]</p> <ul style="list-style-type: none"> ・除去時に電動工具や加熱器具を使用するため、粉塵等が発生することから環境衛生面を考慮し、作業に当たっては防塵マスク等の配慮が必要である。
シール材に共通する使用上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・シール材の役割は注入器の固定と注入口以外のひび割れ部の閉塞が目的であり、注入時の注入圧に耐えられる接着力が必要。 ・シール材からひび割れ注入材が漏れてしまうと、ひび割れ内に注入圧がかからなくなり、ひび割れ内に未充填が発生する原因となることから、シール材の設置作業と固定は非常に重要である。

3.3.3 ひび割れ充填工法の種類

ひび割れ充填工法は、Uカット充填工法とVカット充填工法から適切な工法を選定するものとする。

【解説】

ひび割れ充填工法の施工方法には、Uカット充填工法とVカット充填工法がある。施工方法は、ひび割れに沿って幅10mm、深さ10～15mmでコンクリート躯体をU字形、または、V字形にカットした後、カット部分にグラウトガン等を用いてひび割れ充填材を充填し、表面を平滑にして仕上げる。U字形にカットする方法は、ディスクグラインダー等に刃の部分がU字形をしたディスクを付けてひび割れに沿って削る方法である。V字形にカットする方法も同様に、刃の部分がV字形のディスクを用いる方法

やひび割れに沿って左右から小型のコンクリートカッター等を用いて V 字状の目地を設ける方法がある。いずれのカット方法もカット面の底部にひび割れが収まるようにカットする必要があるが、ひび割れは直線的に発生していることは稀で蛇行していることが多いため、左右からコンクリートカッターを入れて V カットする場合は、ひび割れがカット面の底面に収まりにくく、幅や深さを大きくカットして施工することが多い。また、V カットでは、フェザーエッジ（施工材料端部が薄くなり乾燥等による収縮で反り返る現象）を防ぐため、端部が薄くならないようにコンクリートカッターを入れる角度に留意が必要である。このようなことから、現在は U カット充填工法の適用が多くなっているが、現場条件に応じて選定すると良い。



解説 図-3.3.3 Vカット（左）とUカット（右）の例

3.3.4 ひび割れ充填工法の施工

ひび割れ充填工法の施工にあたっては、事前に施工手順を確認し、ひび割れ充填工法の施工時の留意点、ひび割れ充填材の種類と仕様上の留意点を確認し、確実な施工を行う。

【解説】

ひび割れ充填工法である U カット充填工法と V カット充填工法に共通する標準的な施工手順と留意点について解説 表-3.3.4~3.3.5 に示す。

解説 表-3.3.4 標準的な施工手順（次頁に続く）

施工手順	施工内容
1	ひび割れが生じているコンクリート表面の清掃（前処理）
2	UカットもしくはVカットの実施
3	カット後の切り粉、表面の油分等の清掃
4	マスキングテープの貼付
5	プライマーの塗布（充填材の種類に応じて）
6	二液形のひび割れ充填材の攪拌（一液形は攪拌なしで施工）
7	ひび割れ充填材の充填
8	充填後、速やかにヘラなどで平滑に仕上げる

9	硬化する前に速やかにマスキングテープを剥がす
10	ひび割れ充填材の硬化確認
11	後片付け

解説 表-3.3.5 施工時の留意点

管理項目	留意点
品質管理	降雨、降雪時は、施工を避けるか適切な養生を実施する。
	カットはひび割れの中心を外さないように注意する。
	所定のカット幅とカット深さを確保する。
	カット時の削り粉は排除する。特に、充填材の接着面に削り粉が付着している場合はブロー等で排除する。
	プライマーは指定された製品を使用し、塗り残し、塗りむらのないよう均一に塗布する。
	ひび割れ充填材の調合は指定された分量を正確に計量し、指定された攪拌時間を守る。
	調合後、速やかに充填を実施する。
	マスキングテープを剥がすのが遅れると充填材の一部を引き剥がしてしまい品質が低下する。
	低温時の施工は、必要に応じて保温養生を実施する。
	樹脂系の高温時の施工は、可使時間に注意する。
	施工後に降雨が予想される場合はシート囲いなどで養生する。
	施工後は振動などをなるべく与えないようにして静かに養生する。
硬化後、浮き等がないかを確認する。	
安全管理	火気の近くでは作業しない。
	屋内もしくは囲い内での作業は、換気に十分注意する。

3.3.5 析出物のあるひび割れへの対処方法

表面に析出物のあるひび割れについては、表面の閉塞部を部分的に除去して注入口を確保し、ひび割れ注入工法で対処する検討を行う。

【解説】

ひび割れ表面のエフロレッセンス等の析出物は、コンクリート中の可溶成分であるセメント水和物 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) やアルカリ成分等がひび割れ等の空隙から水分と共に溶出し、ひび割れ表面で蒸発して結晶化、もしくは空気中の炭素ガスと反応して炭酸カルシウム (CaCO_3) や炭酸塩 (Na_2CO_3) などに結晶化 (白華現象) した物質²⁾である。したがって、コンクリート表面付近で結晶化していることが多い。このような析出物のあるひび割れを修復する場合補修設計では析出物の閉塞深さ等がわからないこと

から、ひび割れ注入工法を敬遠して U カット充填工法を設定する場合が多い。また、施工時に析出物を除去した削り粉がひび割れ表面を閉塞してしまうケースもある³⁾ことから、施工時にひび割れ注入工法から U カット充填工法に変更するケースも少なくない。しかしながら、析出物があるひび割れには水分供給があるため、ひび割れ内の鋼材の保護やひび割れ充填材による滞水の悪影響を考えると、ひび割れ注入工法でひび割れを充填する対処方法のほうが望ましい。

析出物はひび割れの表面付近で結晶化し、ひび割れの表面のみを閉塞している場合が多いことから、この表面の析出物を部分的に除去することで注入口を確保し、そこから注入する対処方法を提案する³⁾。以下に、対処方法の手順と実例による注入作業の結果を示す。

(1) 対処方法の手順

析出物のあるひび割れへの対処手順の例を解説 表-3.3.6 に示す。

解説 表-3.3.6 析出物のあるひび割れへの対処手順の例

施工手順	施工内容
1	析出物の撤去（一般的な作業）
2	析出物の閉塞深さ調査
3	閉塞調査箇所を準用した注入口の確保
4	注入器とシール材の設置（一般的な作業）
5	注入作業（一般的な作業）
6	注入器とシール材の撤去（一般的な作業）
7	後処理（一般的な作業）

(2) 析出物の閉塞深さ調査の例

析出物の閉塞調査は、一般的なコア採取による方法があるが、ここでは、調査箇所を注入口として準用するために、注入間隔を考慮して析出物を部分的に除去して測定する方法を紹介する。

測定方法は、表面の析出物を電動工具やヘラ状の工具で除去した後、電動工具（グラインダー等）でひび割れに直交する切り込み（以下、クロスカット）を入れ、そのクロスカット内部のひび割れの空隙を確認することで、閉塞深さを測定する。解説 写真-3.3.1 および解説 図-3.3.4 に、実例における測定手順および測定結果を示す。なお、比較のために一般的なコア採取による調査も実施している。

本編での提案方法

☆切り込み(クロスカット)による調査

表面のエフロレッセンスを除去し、ひび割れに直交する切り込み(刃厚2.3mm、深さ1~2cm)を入れて内部を確認

表面のエフロレッセンスを除去

ひび割れに対して直角に切り込み(クロスカット)

ルーペ等を用いた目視やデジタルカメラの近接撮影で切り込み内部のひび割れの閉塞の有無と閉塞深さを確認・測定

一般的なコア採取による方法

☆小径コア(φ5×10~20cm)による調査

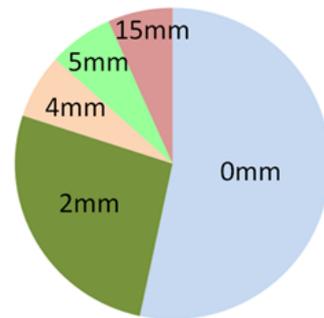
コア孔内

コア側面

ルーペ等を用いた目視で、コア孔内とコア側面のひび割れの閉塞の有無と閉塞深さを確認・測定

解説 写真-3.3.1 析出物の閉塞深さ調査の例

調査番号	橋梁名	部位	表面ひび割れ幅(mm)	表面のエフロレッセンス最大厚さ(mm)	表面からの閉塞深さ(mm)	
					コア側面・孔内	クロスカット
1	橋梁①	橋台	0.8	4	2	—
2	橋梁②	橋脚	0.3	2	0	—
3		橋脚	0.3	1	15	—
4	橋梁③	橋台	0.2	1	0	—
5	橋梁④	橋脚	0.4	1	0	—
6	橋梁⑤	床版	0.2	1	0	—
7	橋梁⑥	橋台	0.2	1	5	—
8		橋台	0.2	2	0	—
9		床版	0.2	10	2	—
10		床版	0.2	2	2	0
11	橋梁⑦	橋台	0.2	6	4	4
12	橋梁⑧	橋脚	0.2	10	0	0
13		橋脚	0.2	4	0	0
14	橋梁⑨	橋台	0.2	3	0	0
15		橋台	0.1	2	2	2



調査結果における析出物の閉塞深さの割合

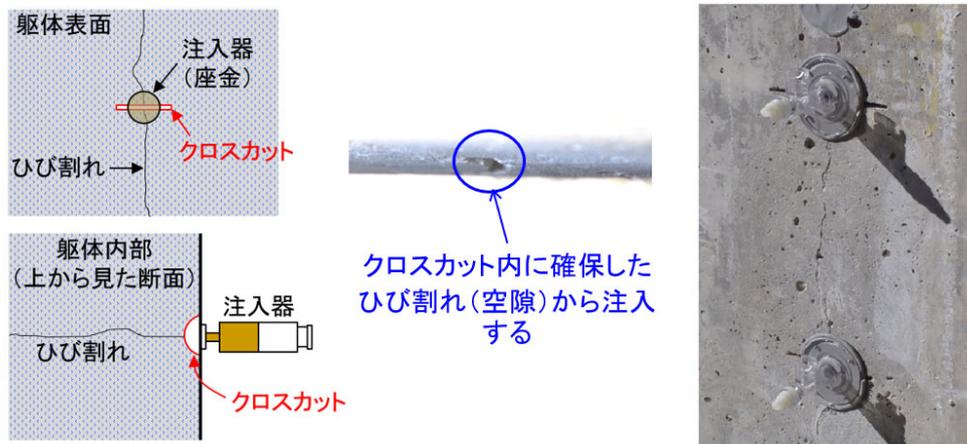
・析出物は表面付近に多く、ひび割れの閉塞深さは0~5mm程度

解説 図-3.3.4 析出物の閉塞深さ調査結果の例(赤の網掛けはクロスカットを実施)

(3) 閉塞調査箇所を再利用した注入口の確保と注入器の設置

クロスカットにより析出物の閉塞深さ調査を行った箇所において、解説 図-3.3.5 に示すように、クロスカット内にひび割れの空隙が確保されているため、この空隙からひび割れ注入材を注入することが可能である。座金タイプの注入器であれば設置は可能であり、クロスカット箇所に注入

器を設置してシールすることで、析出物が出ていたひび割れであっても、容易にひび割れ注入工法の施工が可能となる。



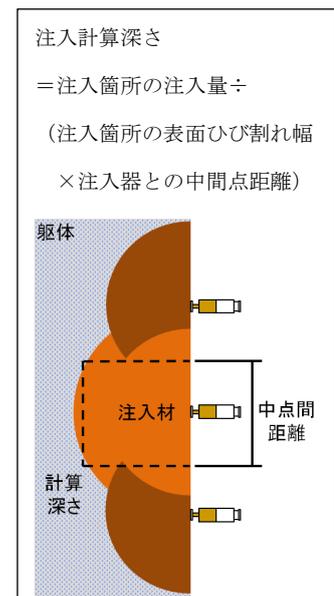
解説 図-3.3.5 クロスカットを再利用した注入器の設置例

(4) クロスカット箇所からの注入

解説 表-3.3.7 に、実際に析出物が出ているひび割れにおいて、通常注入とクロスカット箇所からの注入を実施した注入量の比較結果を示す。なお、ひび割れ A は位置 No.A1～A5 までは析出物がなく、位置 No.A6～A8 に析出物が出ていたひび割れであり、ひび割れ B は位置 No.B1～B5 までのすべてに析出物が出ていたひび割れである。注入量の結果は、ひび割れ幅に関係なく通常注入箇所よりもクロスカット箇所のほうが注入量は多くなる結果となった。このことから、析出物があるひび割れへの対処方法として、本編が提案する方法は有効であるため、施工時の一技術として活用願いたい。

解説 表-3.3.7 通常注入とクロスカット箇所注入の注入量比較結果の例

	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		
	A6	0.20	221.7	5.68	クロスカット	6.15
	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	4.97
	B5	0.10	97.7	5.28		



3.4 施工管理における留意点

ひび割れ修復工法の施工管理において、設計で設定された工法及び修復材の品質を確保するために、以下の管理項目が特に重要であり、これらの管理項目の留意点を把握した施工管理を実施することが望ましい。

- (1) ひび割れ修復材の保管
- (2) 各種温度管理（施工環境温度、ひび割れ修復材の温度、コンクリートの温度）
- (3) コンクリートの表面水分量
- (4) ひび割れ注入材の硬化時間
- (5) ひび割れ注入材の注入量

【解説】

(1) ひび割れ修復材の保管

使用するひび割れ修復材は、製造者の指定に従い、直射日光、火気、湿気、水等を避けて保管する。

(2) 各種温度管理（施工環境温度、ひび割れ修復材料の温度、コンクリートの温度）

ひび割れ修復材は、温度によって流動性や粘性、硬化時間が変化するため、施工時の温度管理が非常に重要である。ひび割れ修復材自体の温度管理は勿論のこと、ひび割れ修復材の品質に影響する施工環境温度や施工時のコンクリートの温度管理も重要である。

ひび割れ注入材は、注入時（硬化前）にひび割れ内に十分に充填される流動性が必要であり、硬化後にはコンクリートとの十分な密着による遮蔽効果を得ることが必要である。そのためには、使用するひび割れ注入材の特性を十分に理解・把握し、品質が低下しない環境において施工しなければならない。

特に、樹脂系注入材は、温度によって粘性と硬化時間が変動するため、条件によってはひび割れ注入材が途中で硬化し、所定の注入量が充填されずに未充填が生じるケースもある。また、セメント系注入材は、寒中施工において、ひび割れ注入材の水分や先行水の凍結により、注入が停止するケースもある。

ひび割れ充填材は、U カットもしくは V カットの切削部のコンクリートとの十分な接着が必要であり、そのためには、ひび割れ注入材と同様に、使用するひび割れ充填材（プライマー含む）の特性を十分に理解・把握した上で施工を実施しなければならない。

ひび割れ充填材も接着するコンクリートの温度が低いと接着力は低下する。また、湿気硬化型では厚付け施工となった場合にはひび割れ充填材内部の硬化不良が生じる場合もある。

このことから、ひび割れ修復材の品質を確保するためには、各種温度管理を確実に実施しなければならない。なお、修復箇所のコンクリートの温度については、表面温度管理を標準とする。コンクリートの表面温度の測定方法は、**表面被覆・含浸工法編の附属資料 C**を参照のこと。

(3) コンクリートの表面水分量

ひび割れ注入工法では、ひび割れ内の湿潤状態の有無によってひび割れ注入材の品質等に影響するが、注入施工時にはコンクリート表面にシール材を塗布することから、特に樹脂系シール材は下地となるコンクリートの表面が湿潤状態だと接着が低下し、注入時の施工性に影響しやすい。このことから、シール材の塗布前にコンクリートの表面水分量を測定管理することが必要である。コンクリートの表面水分測定方法は、**表面被覆・含浸工法編の附属資料 B**を参照のこと。

(4) ひび割れ注入材の硬化時間

温度管理と並行して、ひび割れ修復材の硬化時間の管理も品質を確保する上で重要である。ひび割れ注入工法の自動低圧注入工法では、ひび割れ注入材の流動が止まると流入完了となるが、注入器の箇所によって停止時間に差があるため、何らかの原因で注入が停滞してひび割れ内に未充填が発生している場合もある。ひび割れ内に注入材が完全に充填したのか、あるいは途中で注入が停滞してしまったのかを判断する指標はなく、この判断は作業者の経験値に左右されやすい。注入の停滞を発見することは未充填防止に繋がることから、これを発見する方法の一つとして、現地条件におけるひび割れ注入材の硬化時間を確認して各注入器の注入状態を推測する方法がある。注入時に練り混ぜたひび割れ注入材の一部を硬化時間管理用として別容器で管理し、現地温度での実際の硬化時間を確認する方法である（**附属資料 B** 参照）。得られた実際の硬化時間と各注入器における注入状況を比較し、注入停止時間が硬化時間と大きく異なる場合には停滞が疑われ、注入停止時間が硬化時間に近ければ、適切に注入されていると判断することができる。さらに、同一構造物で注入箇所が複数存在する場合には、先に得られた硬化時間と注入量等の結果を基にして、他の注入箇所の充填深さや必要注入量を精査することで、作業の効率化や未充填防止につながる。そして、ひび割れ注入材が硬化によって流動が停止したことを確認した上で、注入器の撤去を行うことができる。ひび割れ注入材が硬化する前に自動低圧注入器を撤去すると、注入圧力が開放されてひび割れ注入材が逆流して漏れてしまうことを防止するためである。

樹脂系の注入材は、冬季施工においては硬化時間が極端に長くなり、逆に暑中施工においては硬化時間が極端に短くなるなど、施工条件によって硬化時間が大きく異なることから、硬化時間の確認・管理を行うことは品質管理において重要である。

(5) ひび割れ注入材の注入量

ひび割れ注入材の注入量は、設計数量を基本に管理するが、実際のひび割れの空隙量を正確に推測するのは困難であることから、設計数量と実施数量に差異が出ることが多い。一方で、注入口毎（注入器毎）に注入量を記録・管理することで、ひび割れの状態やひび割れ注入材の充填状態を推測できる。例えば、設計数量よりも大幅に実施数量が大きくなった場合、貫通ひび割れの背面からひび割れ注入材が排出し続けている状態が考えられる。反対に、設計数量よりも極端に実施数量が少なくなった場合は、ひび割れ注入材が途中で停滞している状態が考えられる。このような状態における対処方法の一例として、粘度の異なるひび割れ注入材に変更する、注入圧力を上げる等があるが、補修材料や用いる器具に応じての対処が必要であり、ひび割れ注入材および注入機器の製造者に確認するとよい。

3.5 施工記録

ひび割れ修復工法の施工記録は、補修したひび割れ箇所とひび割れの状態（ひび割れ幅、ひび割れ長さ、劣化原因）、実施した工法、使用したひび割れ修復材の種類や銘柄、設計数量と実施数量、施工温度と施工時間等を記録すること。

【解説】

ひび割れ修復工法の施工記録では、まず、補修したひび割れ前の状態について、ひび割れの箇所、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、漏水の有無に加えて、ひび割れが発生した原因や劣化要因も合わせて補修図面と共に記録する。

ひび割れ注入工法では、実施した工法（高圧、低圧、工法名）、使用したひび割れ注入材の種類と銘柄（樹脂系、セメント系、材料メーカー、製品名）、設計数量と実施数量、施工時のコンクリート表面温度、施工環境温度、外気温、天候、ひび割れ注入材の硬化時間等を記録する。

ひび割れ充填工法では、使用したひび割れ充填材の種類と銘柄（樹脂系、セメント系、材料メーカー、製品名、プライマーの種類と製品名）、施工時のコンクリート表面温度、施工環境温度、外気温、天候、ひび割れ充填材の養生時間等を記録する。

これらは、補修後の品質を確認するための資料とするとともに、ひび割れの次回点検までに変状が生じた場合の対策資料にもなる。

3.6 安全管理

3.6.1 一般

ひび割れ修復工法の施工にあたっては、安全衛生に配慮して実施しなければならない。

【解説】

通常の工事と同様ひび割れ修復工法の施工にあたっては、作業員の安全と健康を確保すること、および第三者に対して配慮することが必要である。第三者に対する措置として、作業場や関連施設等に関係者以外立ち入り禁止を示す表示を掲示することやロープなどを用いて立ち入り禁止範囲を明示するなどを講じる必要がある。また、前処理として、ひび割れ注入工法では電動工具によるひび割れ表面の清掃（析出物の除去含む）、ひび割れ充填工法では U カット等の電動工具による切削を行う場合、「粉じん障害防止規則」に規定された粉じん作業に該当することとなる。その対策としては、休憩設備の設置、呼吸用保護具の使用など適切な措置を行うこととなっている。

樹脂系のひび割れ注入材やひび割れ充填材は可燃性物質であり、主剤は消防法の危険物第 2 種引火性固体、硬化剤は指定可燃物の合成樹脂類（その他のもの）に該当するものが多い。健康上に注意を要する物質が含まれている場合が多く、皮膚に付着するとかぶれを生じる場合もあるため、取扱いには十分

注意し、保護メガネや保護マスク、手袋等を着用することが望ましい。また、工具類の洗浄剤には有機溶剤に該当するものがあり、有機溶剤などの取扱いについては、労働安全衛生法の中に「有機溶剤中毒予防規則」、「特定化学物質障害予防規則」として定められており、これらを遵守して作業する必要がある。選定したひび割れ修復材が上記法令に該当しない場合であっても、法令に準ずる措置をとって作業することが望ましい。万が一、ひび割れ修復材を誤って漏洩させた場合、製造業者が発行している SDS（製品安全データシート）に示された処置に従って処理する必要がある。

なお、関連する法令については最新のものを参照すること。

3.6.2 材料の保管

選定したひび割れ修復材は SDS などにより消防法で分類される危険物の種類を確認して、適切な方法で保管しなければならない。

【解説】

消防法により分類される危険物の種類によって、指定数量などは異なるため、選定したひび割れ修復材の SDS などにより、事前に確認する必要がある。また、指定数量以下であっても各地方自治体による危険物取締り条例で規制されていることがあるので確認が必要である。一方、工具等の洗浄に用いる洗浄剤などについても、ひび割れ修復材と同様に消防法等の関連法令を遵守して保管する必要がある。これら使用材料の保管にあたっては、引火爆発や有機溶剤等による中毒に注意して直射日光の受けない場所に保管することが必要である。

搬入したひび割れ修復材は製造年月を確認するとともに、有効期限を確認して期限内に使用する必要がある。したがって、搬入数量や有効期限、保管場所などについて管理シートを使用して記録するのが望ましい。

3.6.3 廃棄物の処理

ひび割れ修復工法の施工により発生した廃棄物は、関係法令に従って産業廃棄物として適切に処理しなければならない。

【解説】

廃棄物の処理にあたっては、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律（以下、廃棄物処理法と称す）」、同施行令、同施行規則などの関連法令を遵守して行わなければならない。廃棄物は産業廃棄物と一般廃棄物とに分類され、補修工事等の事業で発生した廃棄物は産業廃棄物となる。また、ひび割れ修復工法の施工により発生する廃棄物において、未硬化の樹脂系材料等は特別管理産業廃棄物の廃油に分類されるため、注意が必要である。これら廃棄物の処分にあたっては、廃棄物処理法により産業廃棄

物の排出業者が責任をもって処理することが義務付けられており、マニフェスト制度に従って、収集運搬業者に運搬を、処分業者に最終処分をそれぞれ委託することになる。

以下に関連する主な法令を記す。なお、関連する法令については最新のものを参照すること。

- ・ 廃棄物の処理及び清掃に関する法律
 - 同法施行令
 - 同法施行規則
- ・ 建設廃棄物処理マニュアルー建設廃棄物処理ガイドライン改訂版
- ・ 建設廃棄物処理指針
- ・ 建設副産物適正処理推進要綱

参考文献

- 1) 低圧樹脂注入工法協議会：自動式低圧樹脂注入工法ガイドブック 2018 年度版，2019.3
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリート診断技術 '10，基礎編， pp. 23-24, 2010.2
- 3) 内藤勲，島多昭典：エフロッセン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

4章 検査

4.1 一般

検査は、事前に検査項目を定めて、発注者及び施工者の責任において実施する。

【解説】

ひび割れ修復工法が適切に施工されたことを確認するための検査を実施しなければならない。検査項目は着工前に定めることとし、発注者と施工者が合意した内容とする。

4.2 検査項目と合否判定

- (1) ひび割れ修復工法の検査項目には、施工時の検査および施工完了時の検査があり、各段階において適切な検査項目を設定すること。
- (2) 検査の結果、不合格と判定された場合には、補修工事に求める要求性能を確保するために適切な措置を講じなければならない。

【解説】

(1) について

ひび割れ修復工法における検査項目には、施工時の検査として、使用材料、コンクリート表面温度、施工環境温度、シール材の出来形と硬化確認、注入器の固定確認、Uカット処理等の出来形、材料の混合量、プライマーの塗布量、ひび割れ注入材の充填確認、ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認があり、施工完了時の検査として、実施数量の検査、出来形、出来映え等がある。

ひび割れ修復工法には、材料以外は定められた検査基準がない。また、施工後のひび割れ内の状態を確認することは困難であることから、本章では適切な施工状況と実施数量を検査することで、品質確保を実施することとしている。

解説表-4.2.1 および解説表-4.2.2 に、ひび割れ注入工法およびひび割れ充填工法の主な検査項目の例を示す。

解説 表-4.2.1 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
施工時の検査	使用材料	2.4に基づいた選定 品質証明・試験成績	2.4の選定かどうか
	コンクリート表面温度	表面被覆・含浸工法編 附属資料C に記載	材料の適用温度以内
	施工環境温度	温度計	材料の適用温度以内
	シール材の出来形と硬化確認	①使用量 ②目視と触診	①設計使用量以上 ②十分な硬化
	注入器の固定確認	本編 附属資料A に記載	漏れがないこと
	ひび割れ注入材の混合量	計量値の確認	材料の仕様混合比
	ひび割れ注入材の充填確認	ひび割れ注入材の排出確認	排出面からのひび割れ注入材の排出
	ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認	本編 附属資料B に記載	設計ひび割れ深さとの整合と十分な硬化
完了時の検査	ひび割れ注入材の実施注入量	注入器毎の注入量の記録, もしくは使用量(重量等)の記録	設計注入量以上 以下の場合でも変更理由があれば可
	シール材撤去後の出来映え	目視	シール材の残存なし 仕上がりの良さ

解説 表-4.2.2 ひび割れ充填工法の検査項目の例

分類	検査内容	検査方法	合否判定
施工時の検査	使用材料	2.4に基づいた選定 品質証明・試験成績	2.4の選定かどうか
	コンクリート表面温度	表面被覆・含浸工法編 附属資料C に記載	材料の適用温度以内
	施工環境温度	温度計	材料の適用温度以内
	Uカット処理等の出来形	幅と深さの測定	設計値以上
	プライマーの塗布量	塗布量の確認	設計値以上
	ひび割れ充填材の混合量	計量値の確認	材料の仕様混合比
完了時の検査	出来形	幅と表面の確認	設計値以上
	出来映え	目視	仕上がりの良さ

4.3 検査の記録

検査結果は施工後の維持管理において重要な情報となるため、合否判定にかかわらず全て記録し、構造物の供用期間内は保存する。

【解説】

ひび割れ修復後から実施される維持管理において、修復時に検査した記録は非常に重要な情報となることから、これらを全て記録すること。なお、合否判定で否となり、是正措置を施した後の検査結果も併せて記録する。構造物は何度も再補修が実施される可能性があるため、供用期間内は検査記録を常に保存し、次の補修時の参考情報としなければならない。特に、ひび割れ注入工法は、施工後のひび割れ内の状況が目視確認できないため、多くの検査情報を残しておくことが重要である。

5 章 補修後の維持管理

5.1 一般

ひび割れ修復工法の施工後、コンクリート構造物の維持管理を適切に行うため、維持管理計画を策定して、これに基づく点検を実施し、点検の結果から修復後の構造物の健全性等を確認する。

【解説】

補修したコンクリート構造物の維持管理にあたっては、施工後、構造物を定期的に点検し、変状を発見した場合、出来る限り早期に適切な対策を講ずることが望ましい。一般的には補修工事を実施することで、構造物の供用期間を延命することが可能となる。しかしながら、要因は様々であるものの、「**不具合事例集**」のように補修後のコンクリート構造物に変状が発生する場合もある。このような変状を放置すると、変状が進行し、補修後の要求性能を満足できなくなるばかりか、補修前よりも状況が悪化する場合もある。したがって、補修箇所の状況を定期的に確認することが、その後の維持管理を進めていくうえで非常に重要である。また、変状を早期に発見して対策を講じれば、比較的軽微な対策で済む場合も多く、維持管理費用の面から考えても有益となる。点検には日常点検、定期点検、詳細点検および臨時点検があり、これらの内容は各種指針・マニュアル等¹⁾²⁾³⁾に詳述されているので、これらを参照されたい。

ひび割れ修復後のコンクリート構造物に発生する主な変状は、修復後のひび割れからの漏水やひび割れの進展であり、本章において、施工後の点検に関する着目点、留意点等を整理した。

5.2 点検の頻度

ひび割れ修復工法の施工後に実施する定期点検は、補修の施工から1年程度で初回を実施し、その後は適切な頻度で実施する。

【解説】

ひび割れ修復後に早期に生じる変状は、ひび割れ修復完了から1年までの期間に生じることが多い。この場合に多くみられる変状は、**解説 写真-5.2.1**に示すように、ひび割れからの漏水や析出物の再発であり、その多くは、ひび割れ内部への水分供給が原因である。このような早期の再発事例は、ひび割れへの水分遮断対策が不十分だった場合、もしくはひび割れ修復工法による改善効果が十分でなかった場合に多く見られる。また、構造物の置かれる環境によっては、2~3年後や数年後に再発するケースもある。

以上のことから、ひび割れ修復の完了から1年間は、日常点検において特に注意して観察するとともに、季節が一巡した1年程度で初回の定期点検を実施するのが良い。また、積雪寒冷地においては、施工後に冬季を迎え、冬季を過ぎた春頃に変状が出る場合も多い。したがって、この時期の日常点検を強

化し、必要に応じて初回点検の時期を適宜判断するのが良い。初回の定期点検以降に実施する定期点検の頻度は、コンクリート構造物の種類や機能、重要度を考慮して、適宜設定する。例えば、橋梁の場合、5年に1回の頻度が基本とされている^りが、日常点検で変状が確認され、詳細な点検が必要と判断された場合には、定期点検を待たずに詳細点検を実施することが望ましい。



ひび割れ注入後（10ヶ月後）の漏水と析出物



ひび割れ充填後（約1年後）の析出物

(不具合事例集 No. 21)

解説 写真－5.2.1 ひび割れ修復後の変状

5.3 点検項目と方法

- (1) ひび割れ修復工法の施工後に実施する点検の項目と方法は、コンクリート構造物の種類やひび割れ修復工法、ひび割れ修復材の種類により、適切に設定すること。
- (2) 点検方法は、近接目視や触診による検査、ひび割れ幅の測定、打音検査などの非破壊検査によることを標準とする。

【解説】

(1)、(2)について

コンクリート構造物の種類は、橋梁、ダム、護岸、水路、擁壁など、多岐に渡るため、補修が施工されたコンクリート構造物に実施する点検の方法は、構造物の種類により適切な方法を採用する。また、構造物の種類ごとに定められた点検方法があれば、それに従うと良い。

ひび割れ注入工法とひび割れ充填工法において、補修したひび割れ表面の変状に着目した点検項目と点検方法の例を解説 表－5.3.1に示す。なお、点検に際して着目する点は、表に示した点検項目を参考にすると良い。点検方法は、日常点検や定期点検を想定した点検方法であり、目視とクラックゲージを主体として、ひび割れ充填材の浮きに対しては触診検査や打音検査をあげている。

これらの検査によって変状が確認され、詳細な点検が必要と判断された場合は詳細点検を実施する。詳細点検では、日常点検や定期点検で実施した項目について、より詳細に点検を行う。場合によってはコアの採取などの微破壊を伴う試験の実施も検討する必要がある。特に漏水や析出物が再発した場合は、ひび割れ修復工法による改善効果が低下しているため、早急に確認することが望ましい。

解説 表-5.3.1 ひび割れ修復工法の点検ポイントの例

対象	点検項目 (着目すべきポイント)	点検方法
ひび割れ注入 工法	表面ひび割れ幅	目視, クラックゲージ
	漏水	目視
	析出物	目視
	さび汁	目視
ひび割れ充填 工法	浮き, 剥がれ, 縮み	目視, 触診, 打音
	変色 (紫外線劣化)	目視
	漏水	目視
	析出物	目視
	さび汁	目視

5.4 点検結果の記録

点検の結果は適切な方法で記録し、構造物を供用する期間はこれを保存する。

【解説】

点検結果の記録は維持管理を行ううえで非常に重要であるため、コンクリート構造物の種類や機能に応じて適切な方法で記録し、構造物を供用する期間は保存する必要がある。構造物の種類に応じて既に定められた方法や書式があれば、それらを参考にすると良い。例えば、橋梁であれば、橋梁定期点検要領 付録-3「定期点検結果の記入要領」や「橋梁の維持管理の体系と橋梁管理カルテ作成要領(案)」¹⁾が参考になる。

参考文献

- 1)国土交通省 道路局国道・技術課, 橋梁定期点検要領, 2019.
- 2)土木学会: コンクリート標準示方書 [維持管理編], 2018.
- 3)日本コンクリート工学会: コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針, 2022.

附属資料 A

注入器およびシール材の簡易固定確認方法（案）

1. 適用範囲

この「注入器およびシール材の簡易固定確認方法（案）」は、ひび割れ注入工法の自動低圧注入器とシール材の固定確認方法について規定する。

2. 確認方法

ひび割れに注入器を設置する（本設）方法と同じ方法で、注入するひび割れと同じコンクリート面のひび割れのない箇所注入器をサンプル設置（写真-1）し、所定の養生後、注入器を固定しているシール材の硬化を確認して、本施工のひび割れ注入材の注入を実施する前に、このサンプル注入器に水を入れて実際に注入する時と同じ注入圧をかけて、シール材からの水漏れや注入器のはく離が生じないかを確認する。

3. 確認数

同一コンクリート面で1箇所以上。

4. 評価と対策

水漏れや注入器のはく離が生じなければ合格とする。

不具合が生じた場合、本設した注入器の固定シール材とひび割れのシール材を増量（養生含む）して固定を強化する。もしくは、本設のシール材をすべて剥がし、本設のシール作業のやり直しを実施する。



写真-1 注入器とシール材のサンプル設置の例

単独で注入器をシール材で固定した状態で、注入材の代わりに水を入れて圧をかけ、シール材からの水漏れや注入器のはく離がなければ合格。

附属資料 B

ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法（案）

1. 適用範囲

この「ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法（案）」は、注入時のひび割れ注入材の可使用時間充填を把握するため、ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法について規定する。

2. 確認方法

実際に注入するひび割れ注入材の主剤と硬化剤を混合して攪拌し、注入器に充填した後、攪拌した容器内にひび割れ注入材を少量残して、実際と同じ環境の場所で静かに保管し、容器内のひび割れ注入材が硬化していく時間と硬化した状態を確認する。容器内の注入材に攪拌棒を挿し入れたり、容器を傾けたりして注入材の硬化状況を確認し、変形がしなくなるまで（硬化まで）の時間を測定して記録する。

3. 確認量と確認数

例として、300mL ビーカー程度の容器に深さ 2mm 程度 1 個と深さ 10mm 程度 1 個の計 2 個。

同一コンクリート面に対して 1～2 回程度の実施。ただし、同一コンクリート面で攪拌時の環境温度が大きく変化した場合は、温度変化に応じて適宜実施する。

4. 評価

ひび割れ注入材の温度や施工環境温度、修復する箇所のコンクリートの温度によってひび割れ注入材の硬化時間は変化する。温度が変化し、ひび割れ注入材の硬化時間も変化した場合、ひび割れ注入材の変更を検討する。硬化が確認できた後に注入器の撤去を実施する。

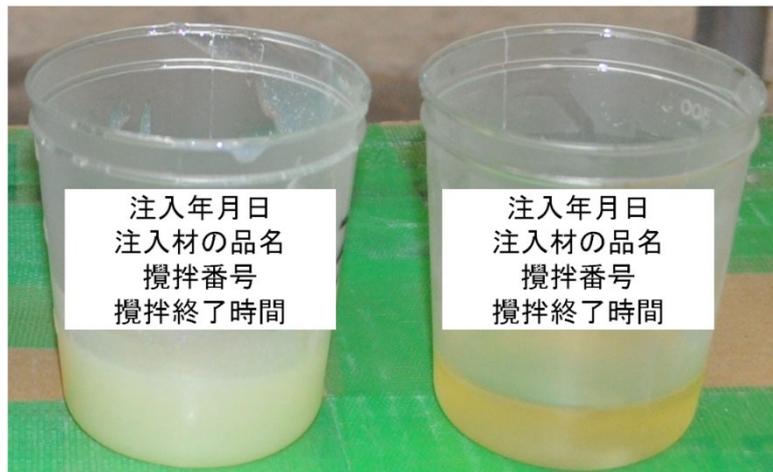


写真-1 ひび割れ注入材の硬化時間の確認例

附属資料 C

ひび割れ注入材の注入充填確認方法（案）

1. 適用範囲

この「ひび割れ注入材の注入充填確認方法（案）」は、注入後のひび割れ内の注入充填確認方法について規定する。ただし、任意とする。

2. 確認方法

ひび割れに注入後、直径 5cm の小径コアでひび割れ注入箇所を削孔してコアを採取し、コア側面のひび割れ内に充填されているひび割れ注入材の充填率を測定する。セメント系注入材の場合、ひび割れ面で割裂出来る場合は、割裂面のひび割れ注入材の充填面積を測定する。

削孔深さは 10cm 程度を標準とする。20～30cm でも確認は可能。

3. 確認数

同一コンクリート面で 1 箇所程度

4. 評価

注入充填率が低い結果の場合、未充填が生じている。

注入充填率の合否閾値は設定できないため、注入後は経過観察を実施し、再劣化が生じた場合に再補修を実施する。

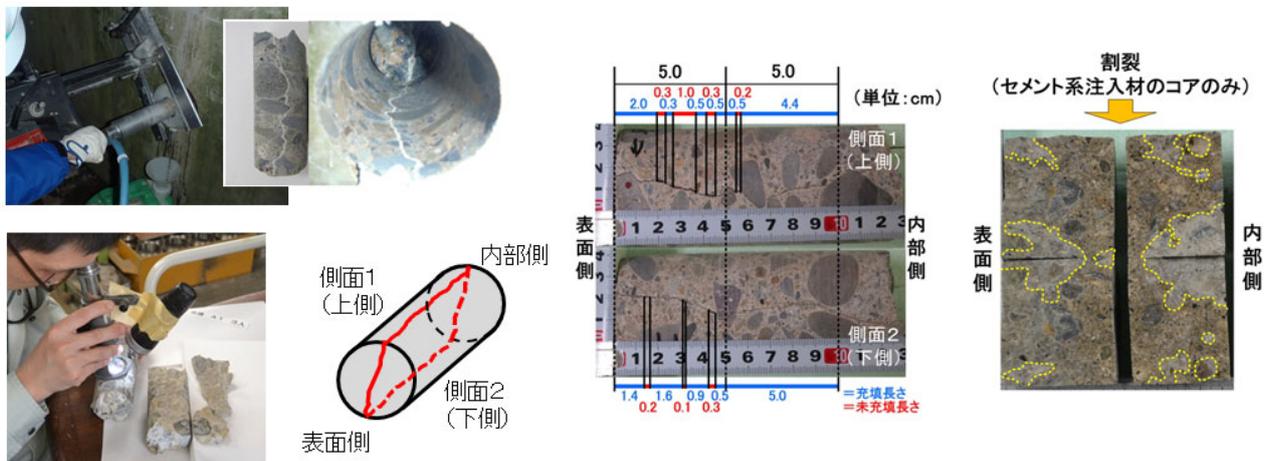


図-1 ひび割れ注入材の充填状況の確認例

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル
2022年版

V 不具合事例集

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版

V [不具合事例集]

目次

はじめに	1
1. 表面被覆材の割れ，剥離	3
2. 表面被覆材の膨れ	5
3. 表面被覆材（ポリマーセメントモルタル）の浮き，剥離	7
4. 寒冷地における樹脂系被覆材の劣化ならびに吹付けモルタルの劣化	9
5. 表面被覆材の剥離（プライマー無塗布面への中塗りの塗装）	11
6. 表面被覆材の剥離（粉塵の付着）	13
7. 表面被覆材の剥離（結露による付着性の低下）	15
8. 表面被覆材の浮き，割れ，漏水	17
9. 表面被覆材の表面に線状のさび汁痕	18
10. 表面被覆材の局所的な膨れ	19
11. 表面被覆材の大きな膨れ	21
12. 断面修復材の剥落	22
13. 断面修復材のひび割れ	23
14. 断面修復材の界面剥離	24
15. 断面修復部付近の表面被覆材の局所的な膨れ	25
16. 表面被覆材の割れと断面修復箇所の剥落	27
17. 断面修復材上に施工した表面被覆材の割れ部からの漏水	29
18. 鋼材の腐食と表面被覆材・断面修復材の剥離	31
19. 鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落（床版下部）	32
20. 鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落（桁の下面，側面）	33
21. ひび割れ注入箇所からの漏水とエフロッセンスの析出	35
22. ひび割れUカット充填箇所の凍害による劣化	37
23. ひび割れ注入後の短期間でのエフロッセンス析出	39
24. 電気防食パネルの劣化と表面被覆材の割れや剥離	41
25. 流電陽極材の劣化と表面被覆材の割れや剥離	42
26. 表面含浸工法の含浸層（吸水防止層）の未形成	43

はじめに

コンクリート構造物の補修後、その補修効果が持続せずにより劣化が進行し、早期に再補修を求められることがある。補修を繰り返すことは、ライフサイクルコストの観点から望ましくなく、そのような状況に陥った原因究明が必要である。

このような背景から、補修後のコンクリート構造物に劣化（不具合）が生じた事例を調査し、不具合事例集（以下、本事例集という）を作成した。図-1に、検討の流れを示す。本事例集では、耐久性の回復もしくは向上を目的とした補修工法のうち、表面被覆工法、断面修復工法およびひび割れ修復工法を中心に、不具合が生じた事例を収集し、その要因を分析している。本マニュアルの表面被覆・含浸工法編、断面修復編、ひび割れ修復工法編には、これらの事例を考慮し、遵守すべき事項や配慮することが望ましい事項として反映させた。

表-1に、収集した事例の一覧を示す。不具合が生じた事例を分析した結果、不具合が生じた要因は、劣化状況判断が不適切であったこと、材料選定が不適切であったこと、現場管理が不適切であったことの3つに分類された。表-1では、これら3つの要因から該当する要因を選び、黒丸（●）で示している。3つの要因のうち、複数もしくは全てに該当する場合もある。以下に各要因について事例を示す。

劣化状況判断が不適切であったために不具合が生じる場合には、例えば、ひび割れ部の背面から水分が供給されている可能性があるにもかかわらず、背面水の処理が困難な場合には採用が適切でない、ひび割れ充填工法を採用し、ひび割れ充填部からエフロッセンスが析出した事例がある（事例 No.22）。

材料選定が不適切であったために不具合が生じる場合には、例えば、吹付けモルタルはエントレインドエアが入りにくいために配合によっては耐凍害性に劣る場合があるが、凍害が懸念される寒冷地のコンクリート構造物の補修に適用され、吹付けモルタルにひび割れや土砂化が生じた事例がある（事例 No.4）。

現場管理が不適切であったために不具合が生じる場合には、例えば、閉鎖空間での表面被覆材の塗装作業時において、下地処理で発生した粉塵の清掃が不十分であったため、粉塵が塗装作業時に舞い上がり、塗装面に付着することで塗膜の付着性が低下し、剥離が生じた事例がある（事例 No.6）。

以降の頁では、各事例の概要、想定される劣化因子、劣化機構および考えうる対策などを示していく。なお、改訂にあたり事例を追加したほか、想定される要因や対策について最新の知見を反映した。

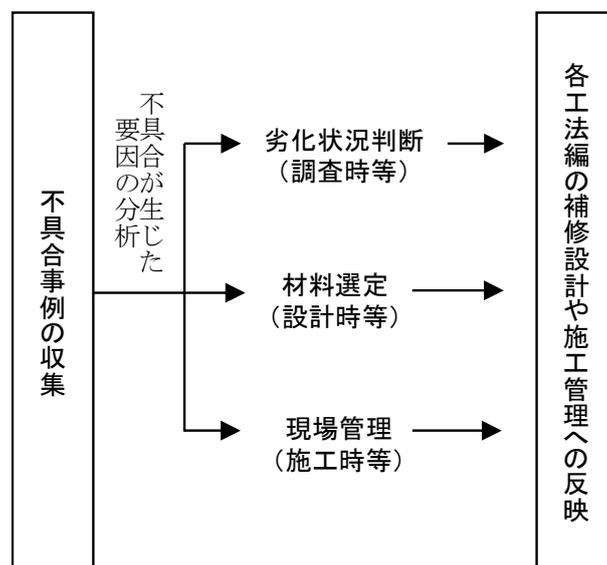
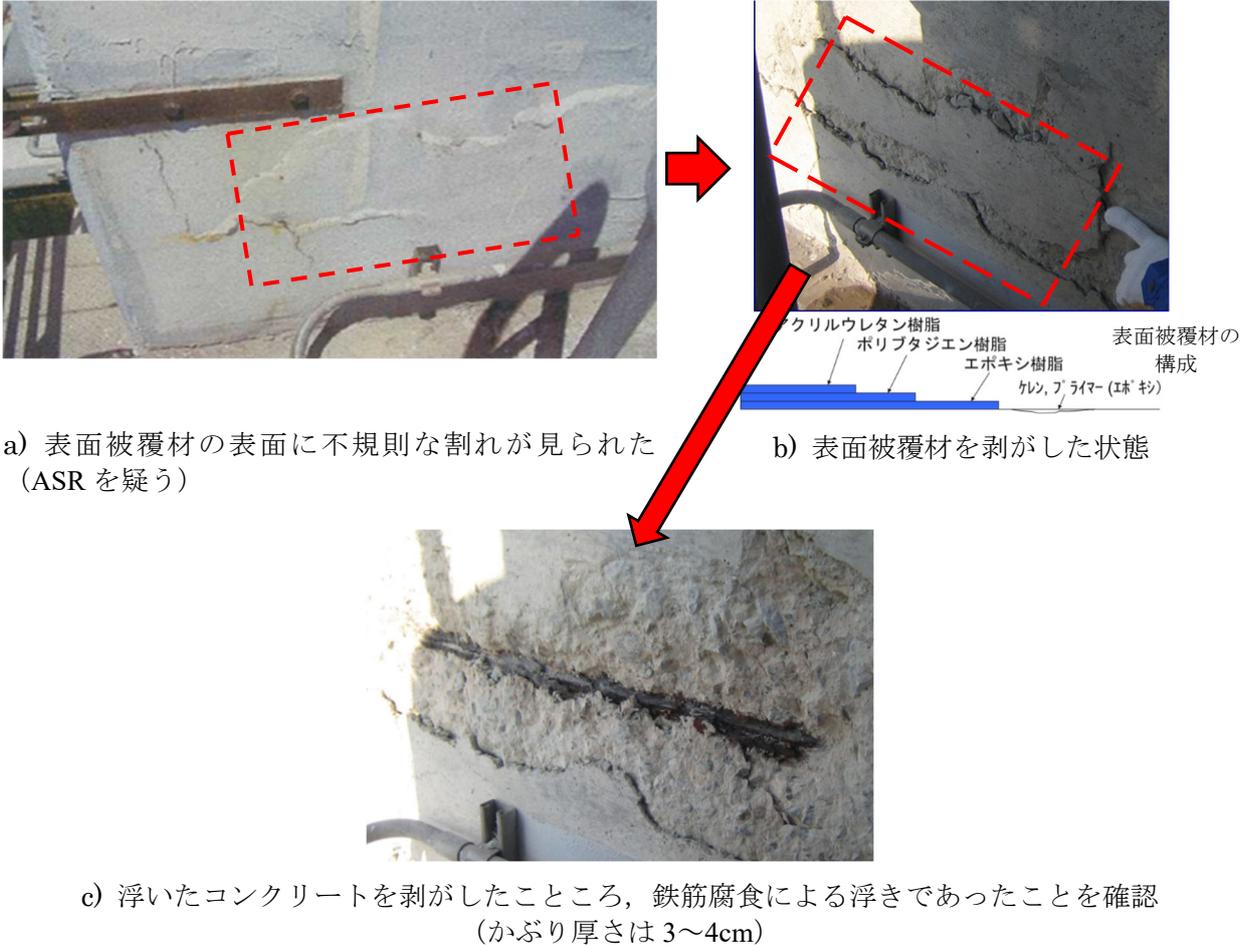
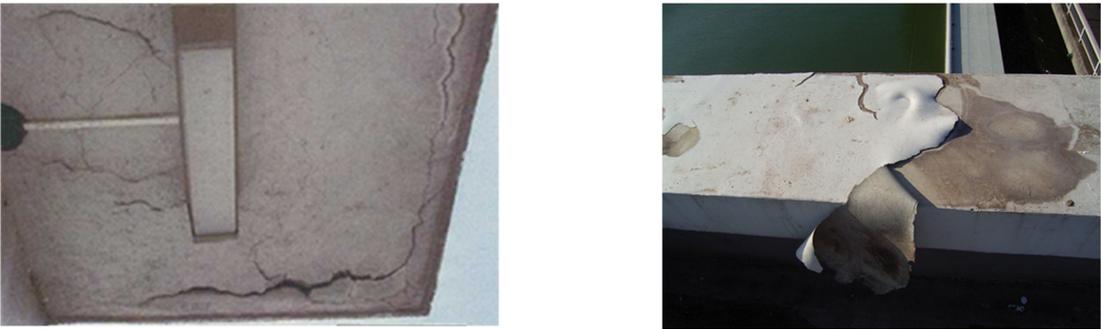


図-1 検討の流れ

表-1 不具合事例の一覧

No.	工法種類	事例	不具合が生じた要因		
			劣化状況判断 (調査時等)	材料選定 (設計時等)	現場管理 (施工時等)
1	表面被覆	表面被覆材の割れ, 剥離	●		
2		表面被覆材の膨れ		●	●
3		表面被覆材 (ポリマーセメントモルタル) の浮き, 剥離		●	●
4		寒冷地における樹脂系被覆材の劣化ならびに吹付けモルタルの劣化	●	●	
5		表面被覆材の剥離 (プライマー無塗布面への中塗りの塗装)			●
6		表面被覆材の剥離 (粉塵の付着)			●
7		表面被覆材の剥離 (結露による付着性の低下)			●
8		表面被覆材の浮き, 割れ, 漏水	●		
9		表面被覆材の表面に線状のさび汁痕	●		
10		表面被覆材の局所的な膨れ		●	●
11		表面被覆材の大きな膨れ	●		●
12	断面修復	断面修復材の剥落	●	●	●
13		断面修復材のひび割れ		●	●
14		断面修復材の界面剥離		●	●
15	断面修復 + 表面被覆	断面修復部付近の表面被覆材の局所的な膨れ	●	●	
16		表面被覆材の割れと断面修復箇所の剥落	●	●	●
17		断面修復材上に施工した表面被覆材の割れ部からの漏水			●
18		鋼材の腐食と表面被覆材・断面修復材の剥離	●		
19		鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落 (床版下部)	●		
20		鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落 (桁の下面, 側面)	●		
21	ひび割れ修復	ひび割れ注入箇所からの漏水とエフロレッセンスの析出	●	●	
22		ひび割れ U カット 充填箇所の凍害による劣化	●	●	
23		ひび割れ注入後の短期間でのエフロレッセンス析出	●	●	●
24	その他	電気防食パネルの劣化と表面被覆材の割れや剥離	●		
25		流電陽極材の劣化と表面被覆材の割れや剥離	●		
26	表面含浸	表面含浸工法の含浸層 (吸水防止層) の未形成			●

事例1 表面被覆材の割れ, 剥離
構造物: 海岸に面した堰のゲート操作室
補修工法: 表面被覆工法 (樹脂系被覆材)
不具合の概要: 表面被覆材の表面に不規則な割れや剥離が確認された。
不具合の分類: 劣化状況判断 (調査時等)
不具合箇所と発生状況:
 <p>a) 表面被覆材の表面に不規則な割れが見られた (ASR を疑う)</p> <p>b) 表面被覆材を剥がした状態</p> <p>c) 浮いたコンクリートを剥がしたところ, 鉄筋腐食による浮きであったことを確認 (かぶり厚さは3~4cm)</p> <p>写真1-1 表面被覆材の表面に見られた不規則な割れとはつり後の状態</p>
 <p>a) 不規則な割れ</p> <p>b) 塗膜の剥離</p> <p>写真1-2 写真1-1以外で確認された表面被覆材の不具合</p>

想定される劣化因子：

- ・塩分の浸透を抑える目的で表面被覆工法を実施したが、既に内部入った塩分の拡散で塩害が進行し鉄筋腐食によるひび割れが生じた。
- ・表面被覆工法を行ったことで、構造物表面へのひび割れの現れ方が変化し、あたかも ASR を疑うようなひび割れ形態を示した。

不具合の模式図：

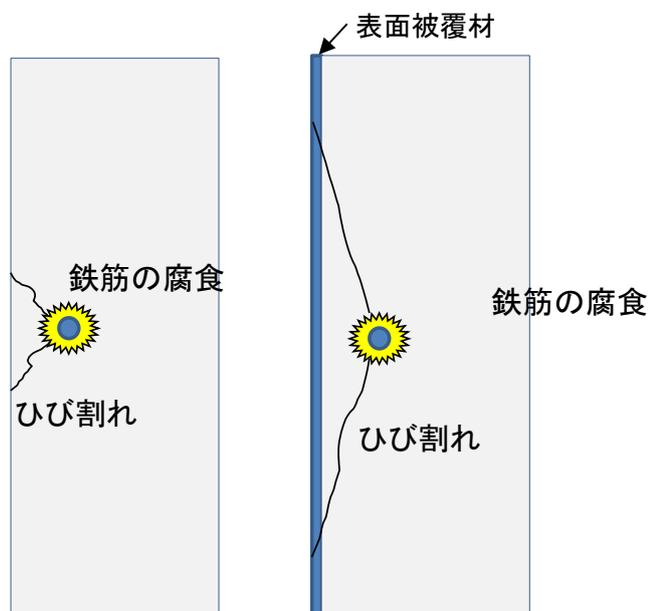


図 1-1 鉄筋腐食による表面被覆材の割れ

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・塩分による鉄筋腐食、ひび割れが確認される場合は、塩分の除去、腐食鉄筋の交換が必要であり、表面被覆工法のみでは不十分であった。
- ・腐食発せい限界濃度以下の塩分量であれば、表面被覆工法は有効であったと考える。
- ・定期的なメンテナンス（点検等）が必要。

事例 2 表面被覆材の膨れ
構造物：開水路側壁
補修工法：不陸修正工法（ポリマーセメントモルタル）、表面被覆工法（樹脂系被覆材）
不具合の概要：ポリマーセメントモルタルと樹脂系被覆材との界面に膨れが発生した。
不具合の分類：材料選定（設計時等）、現場管理（施工時等）
不具合箇所と発生状況： <div style="text-align: center;">  <p>写真 2-1 表面被覆材の膨れ</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>写真 2-2 樹脂系被覆材の引き剥がし面 （ポリマーセメントモルタルと樹脂系表面被覆材との付着不良）</p> </div>
想定される劣化因子： <ul style="list-style-type: none"> ・ポリマーセメントモルタル硬化初期に、モルタル表面が炭酸化して組織が緻密化し、樹脂系被覆材（プライマー）との濡れ性（なじみ）が低下したため、付着性が低下した。 ・プライマー塗布時の表面水により、ポリマーセメントモルタルへのプライマーの付着性が低下した。

不具合の模式図：

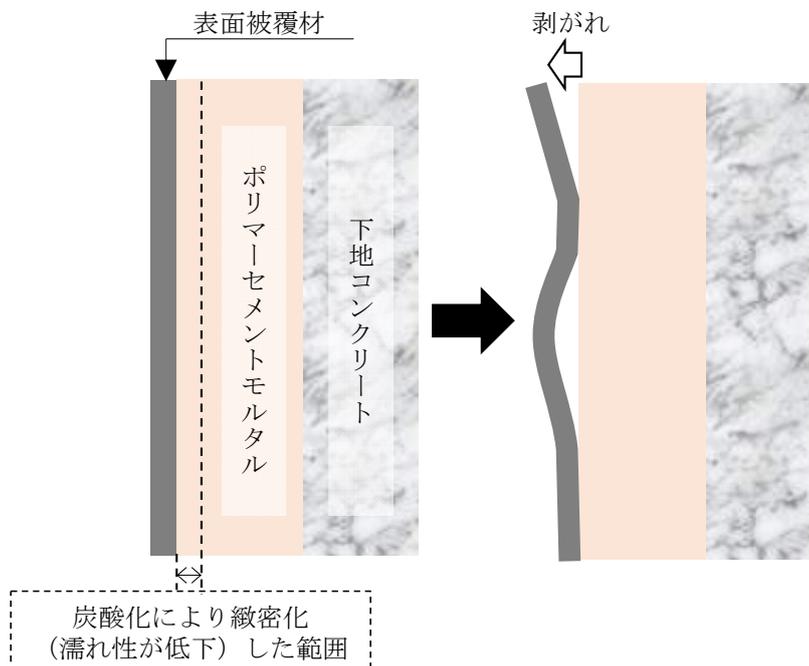


図 2-1 ポリマーセメントモルタル表面の炭酸化による樹脂系被覆材の剥離

考える（とるべきであった）対策：

- ・不陸修正材の硬化初期の炭酸化による不具合は、一部のポリマーセメントモルタルにおいて見られる現象である。ポリマーセメントモルタル表面の炭酸化やドライアウトを防ぐため、被膜養生剤などにより適切な養生が必要である。また、ポリマーセメントモルタルの施工後に表面被覆工法を予定している場合には、表面被覆材との付着性が確保できる被膜養生剤を選定することが必要である。さらに、表面被覆工法のプライマー施工時に濡れ性（なじみ）が悪い場合には、プライマーの施工前にディスクサンダーなどによる下地処理を行い、付着性を確保する。
- ・表面被覆材の施工時に、表面水の確認や含水率を測定し、塗布時の水の混入による付着不良や硬化後の透湿性に影響しないように、下地のポリマーセメントモルタルをよく乾かしてから施工する。
- ・表面被覆材のプライマーが硬化する際に炭酸塩が生成し（アミン、水、二酸化炭素の反応から炭酸塩ができる現象をアミンブラッシングという）付着不良を生じることがある。使用材料の特徴を調べておくとともに、施工時には下地含水率を測定するなど硬化時の環境条件を管理する。アミンブラッシングが生じた場合には、ポリマーセメントモルタル表面の溶剤清掃やペーパー掛け等の処理を行う。
- ・事前に試験施工を実施して、付着性などを確認する。

<p>事例 3 表面被覆材（ポリマーセメントモルタル）の浮き，剥離</p>
<p>構造物：橋梁（下部構造）</p>
<p>補修工法：表面被覆工法（ポリマーセメントモルタル）</p>
<p>不具合の概要：ポリマーセメントモルタルの打継ぎ面において，浮きおよび剥離が発生した。</p>
<p>不具合の分類：材料選定（設計時等），現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <div data-bbox="440 622 1161 1151" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">ポリマーセメントモルタルの剥離部</p> <p style="text-align: center;">写真 3-1 表面被覆材（ポリマーセメントモルタル）の剥離</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ポリマーセメントモルタル硬化初期にモルタル付着面が乾燥（ドライアウト）し，表面強度が低下したため，付着性が低下した。

不具合の模式図：

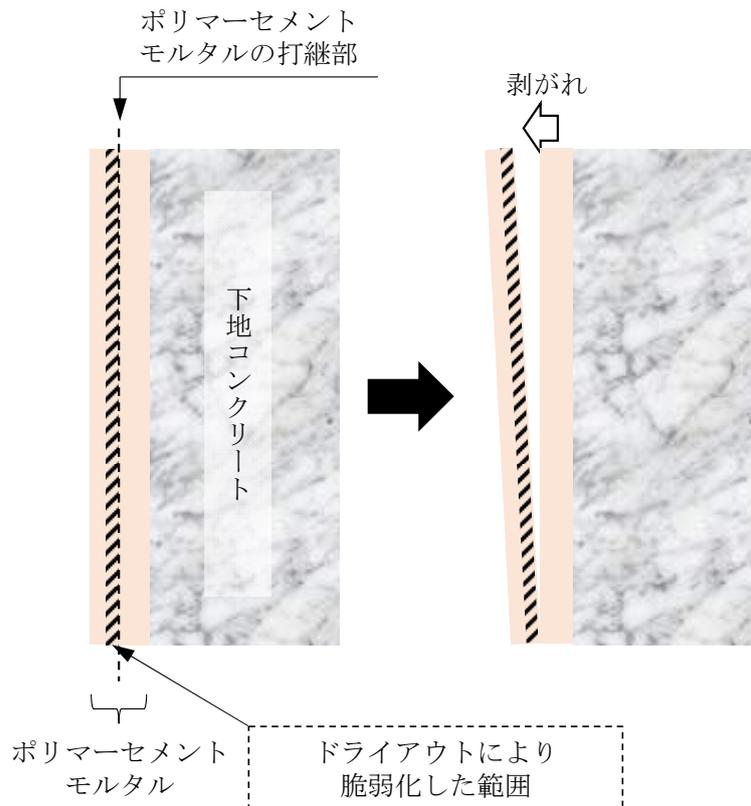


図 3-1 2層目のポリマーセメントモルタル裏面のドライアウトによる浮き，剥離

考えうる（とるべきであった）対策：

- ドライアウト対策として，被膜養生剤などにより，ポリマーセメントモルタル表面からの水分の逸散を防止する。
- 打ち継ぐ際には1層目と同様に，吸水防止等の前処理を行う。
- 複数回に分けてポリマーセメントモルタルを打ち継ぐ場合，あらかじめ使用する材料（被膜養生剤や吸水防止材など）の付着性を確認する。

<p>事例 4 寒冷地における樹脂系被覆材の劣化ならびに吹付けモルタルの劣化</p>
<p>構造物：寒冷地に築造された堰堤</p>
<p>補修工法：凍害によって劣化した堰堤の鉛直面に対して、樹脂系被覆材による表面被覆工法、傾斜面に対して、モルタル吹付けによる表面被覆工法</p>
<p>不具合の概要：鉛直面の樹脂系被覆材の塗布部において、樹脂の剥離、コンクリートの浮き等の劣化が発生した。また、傾斜面のモルタル吹付け部において、モルタル面にひび割れや土砂化が生じた。</p>
<p>不具合の分類：劣化状況判断（調査時等）、材料選定（設計時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <ul style="list-style-type: none"> 鉛直面：樹脂が劣化し、コンクリートも劣化していることが確認された。また、樹脂が劣化していない箇所においてもコンクリートの浮きを確認された。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="248 801 715 1256"> </div> <div data-bbox="810 801 1425 1256"> </div> </div> <p>a) 樹脂の劣化部分に滞水し、コンクリートの劣化が加速</p> <p>b) 樹脂が劣化していない箇所（樹脂を剥がした状態） コンクリート表面は綺麗でも、浮きを確認できる箇所</p> <p style="text-align: center;">写真 4-1 鉛直面における不具合の発生状況</p> <ul style="list-style-type: none"> 傾斜面：吹付けモルタル部分にひび割れや土砂化が確認された。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="178 1462 555 1895"> </div> <div data-bbox="596 1462 1414 1895"> </div> </div> <p>a) モルタル部分が土砂化</p> <p>b) モルタル表面のひび割れ</p> <p style="text-align: center;">写真 4-2 モルタル部分の土砂化とモルタル表面のひび割れの状況</p>

想定される劣化因子：

凍害によるものと推定

- ・そもそものコンクリートが耐凍害性に劣るコンクリートであった。
- ・樹脂は、ごく表面の耐凍害性を向上させるが、内部の凍害が進行し、浮きが生じた。
- ・劣化した樹脂は、水分を滞留させ、凍害を促進させる。
- ・吹付けモルタルは、エントレインドエアが入りにくいので、配合や施工条件によっては耐凍害性が低くなる場合がある。
- ・これらの要因により、凍害による再劣化が進行したものと推定される。

不具合の模式図：

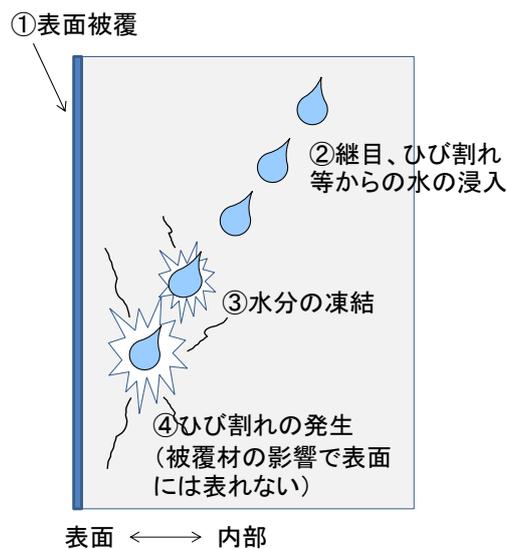


図 4-1 劣化のメカニズム

考えうる（実施済み）対策：

- ・鉛直面：表面被覆材の樹脂を剥がし、劣化部分をはつり、断面修復
- ・傾斜面：表面数十 cm 程度の全面打ち替え

<p>事例 5 表面被覆材の剥離（プライマー無塗布面への中塗りの塗装）</p>
<p>構造物：上水道施設，浄水場沈殿池</p>
<p>補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材）</p>
<p>不具合の概要：プライマー塗布範囲を越えて中塗りを塗布したため，プライマー無塗布面で中塗りが剥離した。</p>
<p>不具合の分類：現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <div data-bbox="347 658 1241 1384" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">写真 5-1 表面被覆材の剥離</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <p>一次施工後，プライマー塗布範囲を越えて二次施工の中塗り塗装を実施したため，期待した付着性が得られず，剥離した。</p>

不具合の模式図：

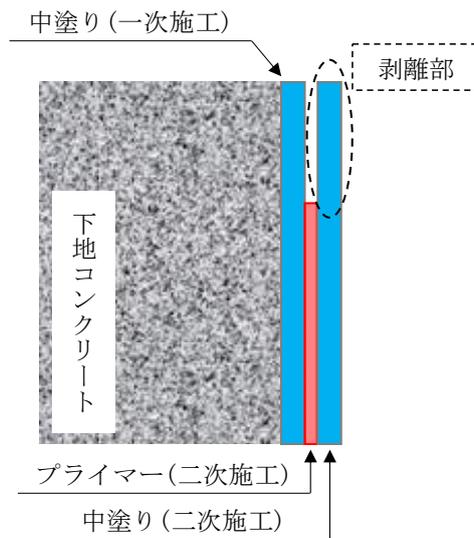


図 5-1 剥離が生じた部位の塗装状況

考えうる（とるべきであった）対策：

- 一部の塗装材料で見られる現象であり，同じ素材の塗り重ねでも剥離が起こる場合がある。メーカー仕様に基づき，塗り重ね時には前処理（プライマーの塗布）を実施する必要がある。
- 前処理範囲を越えないように，二次施工範囲を明確にする。

<p>事例 6 表面被覆材の剥離（粉塵の付着）</p>
<p>構造物：コンクリート製円形サイロ</p>
<p>補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材），気密ライニング</p>
<p>不具合の概要：粉塵が塗布予定面に付着し，下地コンクリートとの付着性が確保できず，表面被覆材が剥離した。</p>
<p>不具合の分類：現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <div style="text-align: center;">  <p>写真 6-1 塗膜の剥離面への粉塵の付着：事例 1</p>  <p>写真 6-2 塗膜の剥離面への粉塵の付着：事例 2</p> </div>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 閉鎖空間であり，塗布予定面の下地処理後，足場上の清掃が不十分であったため，塗装作業時に粉塵が舞い上がり，塗装面に粉塵が付着し，下地コンクリートとの付着性が確保できず，表面被覆材が剥離した。

不具合の模式図：

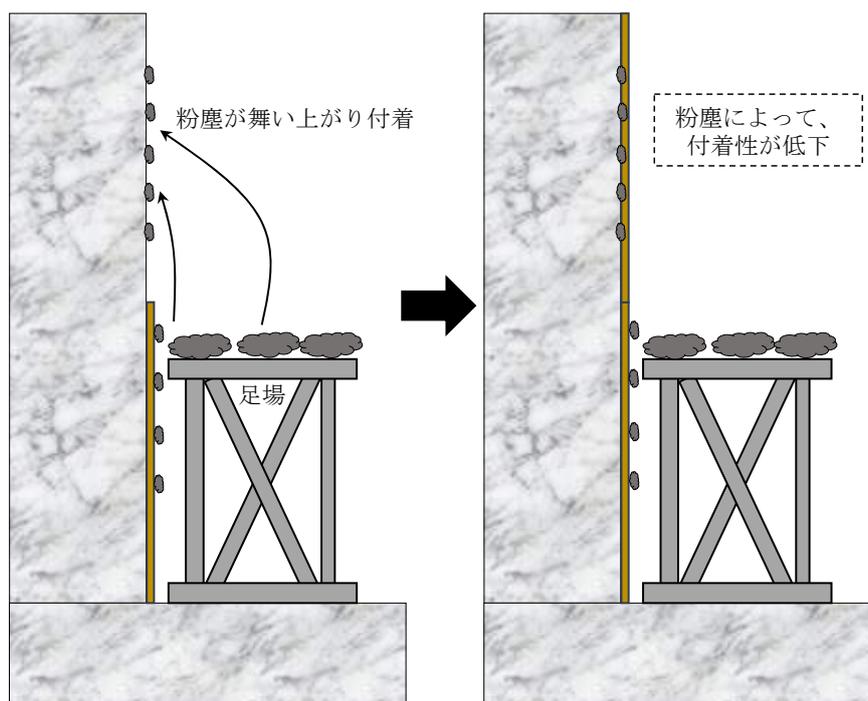
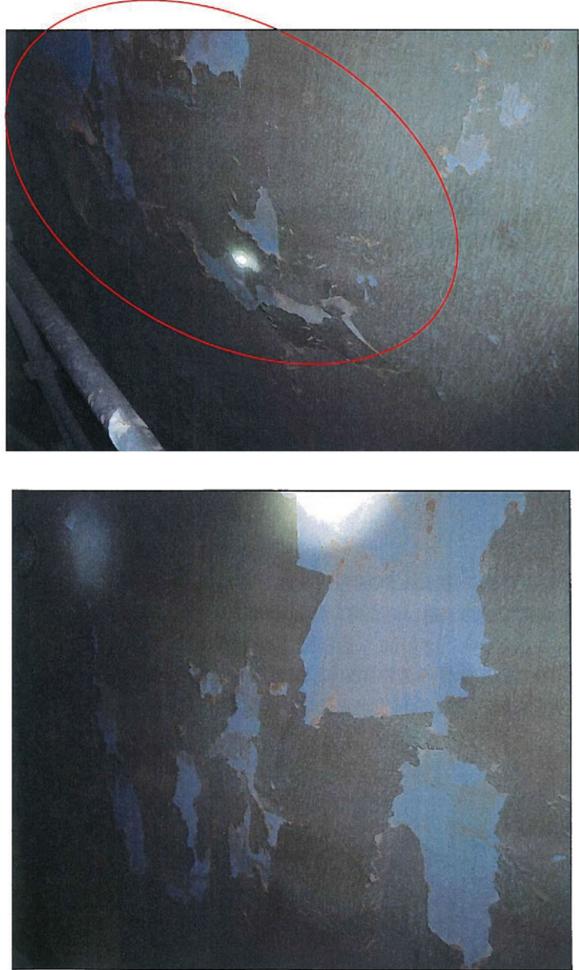


図 6-1 粉塵の付着による表面被覆材と下地コンクリートとの付着性の低下

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・ 閉鎖空間では、次工程に移る前に足場上等の粉塵を清掃し、塗装時の粉塵の舞い上がり、塗装面への付着を防止する。
- ・ 塗装直前に塗装面の表面状態を確認し、粉塵の付着がないことを確認する。
- ・ 閉鎖空間では、照明不足により塗装面の表面状態が観察しづらくなるため、十分な照明を準備する。

事例 7 表面被覆材の剥離（結露による付着性の低下）
構造物 ：コンクリート製円形サイロ
補修工法 ：表面被覆工法（樹脂系被覆材），気密ライニング
不具合の概要 ：塗装面の結露により，下地の塗膜との付着性が確保できず，上塗りした樹脂系被覆材が剥離した。
不具合の分類 ：現場管理（施工時等）
不具合箇所と発生状況 ：  写真 7-1 表面被覆材の剥離状況
想定される劣化因子 ： <ul style="list-style-type: none">・サイロ内の空気はサイロ外に比べて暖かく水分を含んでおり，サイロ内外の温度差により，塗装面に結露が生じたため，下地の塗膜との付着性が確保できず，上塗りした樹脂系被覆材が剥離した。

不具合の模式図：

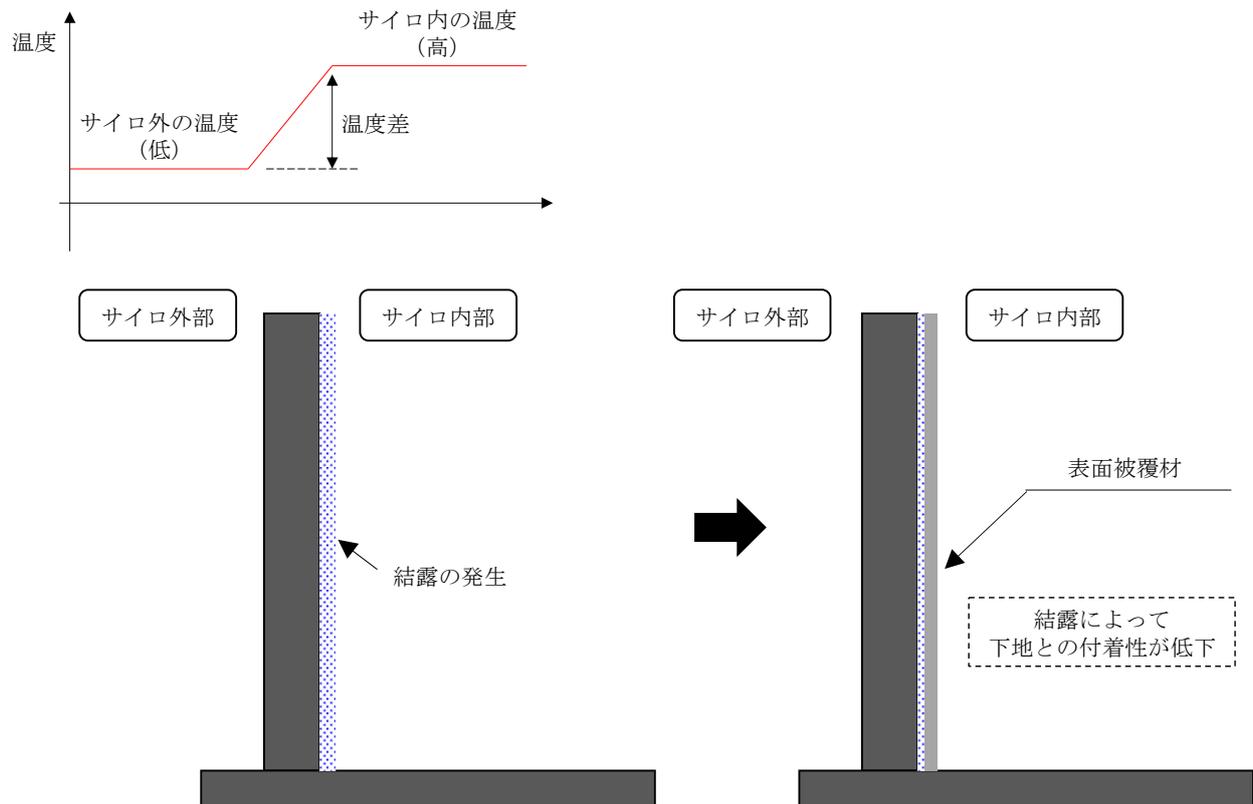


図 7-1 サイロ内外の温度差による結露

考える（とるべきであった）対策：

- ・ 温湿度を管理する。
- ・ 塗装面の表面温度を測定し、露点温度を確認する。
- ・ 表面水分計などにより、塗装面の表面水分率を測定、管理する。
- ・ 指触により塗布予定面の乾燥状態を確認する。
- ・ 送風機などにより空気を循環させて、結露を防止する。
- ・ 閉鎖空間では、照明不足により塗装面の表面状態が観察しづらくなるため、十分な照明を準備する。

事例 8 表面被覆材の浮き，割れ，漏水
構造物：橋台
補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材）
不具合の概要：橋台に ASR 対策として樹脂系被覆材による表面被覆工法が適用されたが，補修後，表面被覆材に浮きと割れおよび漏水が発生した。
不具合の分類：劣化状況判断（調査時等）
不具合箇所と発生状況
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>a) 橋台全体</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>b) 漏水</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>c) 浮き</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>d) 割れからの漏水</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">写真 8-1 橋台に適用された表面被覆材の変状</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 橋台背面からの水分供給による ASR の発生 ・ 水分による表面被覆材の付着性の低下
<p>考える（とるべきであった）対策：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 桁端部への排水装置の設置などによる水処理 ・ 内部の含水率低下をはかる表面含浸工法等の他の対策の検討

事例 9 表面被覆材の表面に線状のさび汁痕
構造物 ：橋梁（上部構造）
補修工法 ：表面被覆工法（樹脂系被覆材，炭素繊維シート）
不具合の概要 ：表面被覆材の表面線状にさび汁痕が発生した。
不具合の分類 ：劣化状況判断（調査時等）
不具合箇所と発生状況 ： <ul style="list-style-type: none"> ・さび汁跡の直上は車道と歩道の境界部であり，境界部付近から水分が浸入し，鋼材が腐食したものと考えられる。当該橋梁は海岸線の近くにあり，水分の浸入時に塩分が侵入した。 ・歩車道境界部の防水不備により上面から漏水した。 ・桁端部に床版水抜き孔が設置されているが，桁間の水平排水を含めて漏水への排水設備が不十分で，塩水が滞留した。

写真 9-1 線状に並んださび汁の発生状況（歩車道境界線直下）
想定される劣化因子 ： <ul style="list-style-type: none"> ・車道と歩道の境界部周辺からの水分および塩分の浸入 ・浸透水の排水対策の不備による下地コンクリートと塗膜の間での滞水
考えうる（とるべきであった）対策 ： <ul style="list-style-type: none"> ・床版上面での確実な防水 ・水分浸入への配慮 ・浸透水に対する適切な排水装置の設置

<p>事例 10 表面被覆材の局所的な膨れ</p>
<p>構造物：橋梁（上部構造）</p>
<p>補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材）</p>
<p>不具合の概要：橋梁の桁に樹脂系被覆材による表面被覆工法が適用されたが、桁端部において、表面被覆材の局所的な膨れが発生した。</p>
<p>不具合の分類：材料選定（設計時等）、現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">写真 10-1 桁端部周りの状況</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p style="text-align: center;">写真 10-2 桁端部における局所的な膨れ</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 湿潤状態の下地コンクリートへの施工による付着性の低下 ・ 橋台上面、桁端部、床版上面の水や水蒸気による湿気の滞留 ・ コンクリートへの水や水蒸気の浸入による湿潤化と表面被覆材裏面への蒸気圧の作用

不具合の模式図：

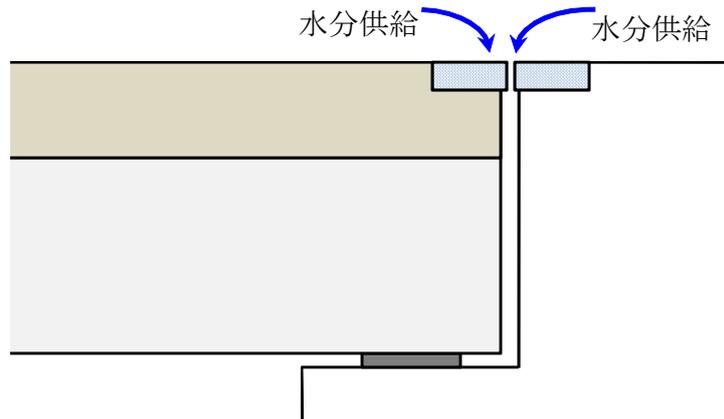


図 10-1 桁端部からの水分供給

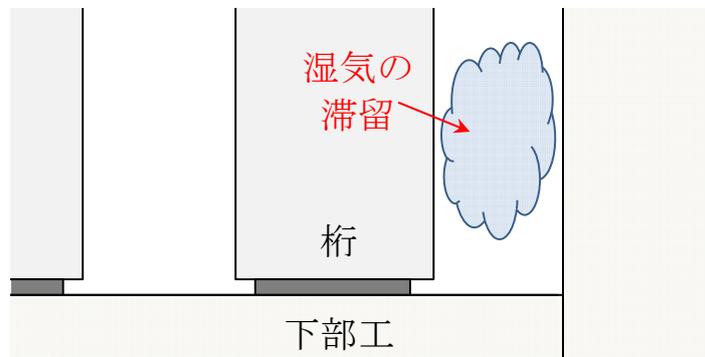


図 10-2 桁端部における湿気の滞留

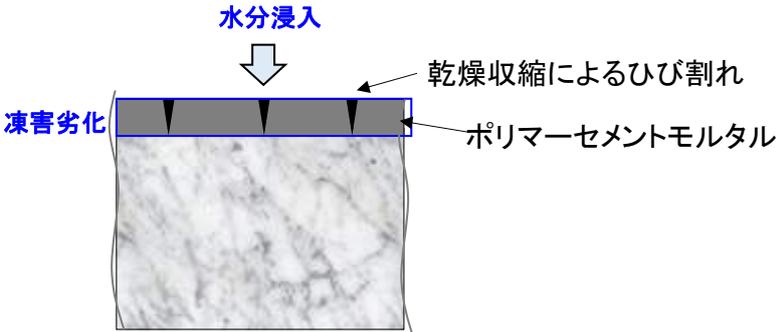
考えうる（とるべきであった）対策：

- ・ 湿潤状態の下地コンクリートへの塗装が可能な材料の選定
- ・ 遊間への漏水対策，橋台上面の排水等による，桁端部からの水分供給の抑制
- ・ 内部の含水率低下をはかる表面含浸工法等の適用の検討

<p>事例 11 表面被覆材の大きな膨れ</p>
<p>構造物：橋梁（下部構造）</p>
<p>補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材）</p>
<p>不具合の概要：橋脚の全面に塗布された樹脂系被覆材に大きな膨れが発生した。</p>
<p>不具合の分類：劣化状況判断（調査時等），現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">写真 11-1 下部構造における表面被覆材（中塗り）の大きな膨れ</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中塗りの混合不良や配合比の間違いにより中塗りの硬化不良が生じたこと，および，湿潤状態の不陸調整材への中塗りの塗布等によって，中塗りと不陸調整材との付着が不十分であった可能性がある。 ・表面被覆材背面から水分が浸入して表面被覆材に圧力が作用し，その圧力によって中塗りと不陸調整材との付着が不十分であった部位に膨れが生じたと考えられる。
<p>考えうる（とるべきであった）対策：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・中塗りの硬化不良を防ぐため，攪拌方法や補修材料の使用量などの作業工程を適切に管理することが必要であった。 ・湿潤状態の不陸調整材に施工しないように，表面の含水状態を適切に管理することが必要であった。 ・上部（この場合は橋脚天端）に水処理を実施し，下部構造内への水分浸入を抑制することが必要であった。

事例 12 断面修復材の剥落
構造物：橋梁（上部構造）
補修工法：断面修復工法
不具合の概要：鉄筋の腐食により断面修復材が剥落した。
不具合の分類：劣化状況判断等（調査時等），材料選定（設計時等），現場管理（施工時等）
不具合箇所と発生状況： <div style="text-align: center;">  <p>a) 断面修復材の剥落前</p>  <p>b) 断面修復材の剥落後</p> </div> <p>写真 12-1 断面修復部の剥落状況</p>
想定される劣化因子： <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋位置における腐食発生限界を超える塩化物イオン濃度 ・不確実な付着面の処理（下地処理） ・断面修復材の乾燥収縮や，下地コンクリートとの線膨張率の相違による変形差
考えうる（とるべきであった）対策： <ul style="list-style-type: none"> ・はつりを鉄筋背面まで実施し，鉄筋位置での塩化物イオンを除去 ・付着界面の適切な処理 ・鉄筋の防せい処理 ・乾燥収縮が少なく線膨張率が同程度の断面修復材の選定

<p>事例 13 断面修復材のひび割れ</p>
<p>構造物：橋梁（下部構造）</p>
<p>補修工法：断面修復工法（ポリマーセメントモルタル）</p>
<p>不具合の概要：ポリマーセメントモルタルによる断面修復工法により橋梁の下部構造（橋台）を補修したが、断面修復材にひび割れが発生した。</p>
<p>不具合の分類：材料選定（設計時等）、現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p>  <p>写真 13-1 橋台における断面修復材のひび割れ</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・断面修復材の養生不足 ・断面修復材の乾燥収縮
<p>考えうる（とるべきであった）対策：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・十分な養生 ・乾燥収縮の少ない断面修復材の選定 ・発生したひび割れに対してひび割れ修復工法による補修を実施

<p>事例 14 断面修復材の界面剥離</p>
<p>構造物：橋梁（上部構造）</p>
<p>補修工法：断面修復工法（ポリマーセメントモルタル）</p>
<p>不具合の概要：橋梁の地覆部において，ポリマーセメントモルタルによる断面修復工法を用いた補修が行われたが，断面修復材の界面剥離が生じた。</p>
<p>不具合の分類：材料選定（設計時等），現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">写真 14-1 地覆における断面修復材の界面剥離</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 断面修復材の乾燥収縮 ・ ひび割れ部からの水分浸入 ・ 不適切な付着面の処理
<p>不具合の模式図：</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">図 14-1 乾燥収縮によるひび割れ部からの水分浸入</p>
<p>考えうる（とるべきであった）対策：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 適切に断面修復材を養生し，乾燥収縮によるひび割れを抑制すること ・ 付着面の適切な処理 ・ 乾燥収縮の小さな断面修復材の選定 ・ 早期のひび割れ修復

事例 15 断面修復部付近の表面被覆材の局所的な膨れ

構造物：PC5 径間単純ポステン T 桁橋

補修工法：断面修復工法（ポリマーセメント）、表面被覆工法（樹脂系被覆材）

不具合の概要：塩害劣化した PC 桁を断面修復工法（ポリマーセメントモルタル）および表面被覆工法（樹脂系被覆材）により補修したが、断面修復箇所の下側境界部付近を中心に、表面被覆材に局所的な膨れが生じた。

不具合の分類：劣化状判断（調査時等）、材料選定（設計時等）

不具合箇所と発生状況：

- ・日本海沿岸の河口に位置する中央径間 PC 桁の海側最外面（北北西面）
- ・ウェブ断面修復箇所とその外周
（1 回目補修で厚膜弾性エポキシ系、2 回目で上塗りのみを塗り重ね）
- ・断面修復箇所下端からの漏水、断面修復部の外周に局所的な表面被覆材の膨れ（内部には液体）



桁の切断面（断面修復部が見える）



局所的な膨れ



断面修復部とコンクリートの境界に沿って、ひび割れと漏水跡、その延長上に局所的な膨れが発生

写真 15-1 桁側面における局所的な膨れやさび汁

想定される劣化因子：

- ・水（内部浸透水：表面被覆されていない地覆部からの浸透，舗装や継目部分からの浸入）
→ コンクリート中（主に打ち継ぎ界面）の浸透水の流れと，表面被覆の塗膜裏面での滞留
- ・付着不良が生じた塗膜
→ 施工時の表面水分や下地処理等に起因した付着不良
→ 日射等の温度上昇による被覆内部滞留水のブリストリングで塗膜の付着層が破壊

不具合の模式図：

表面被覆されていない地覆部や舗装端部等から浸透した塩化物を含む水分が、側面と下面を表面被覆された桁内に浸透滞留した。特に、主桁のひび割れや断面修復背面の肌すき等を伝った水分が、断面修復箇所下部等を中心に集中し、施工時の表面水分や下地処理が不十分で塗膜の品質が低下した部位で多数の膨れが生じたと考えられる。

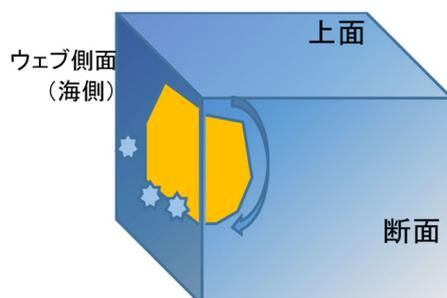
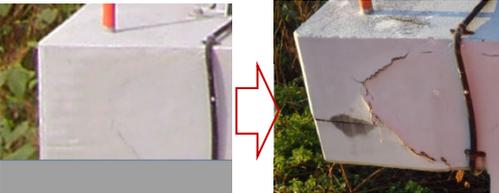
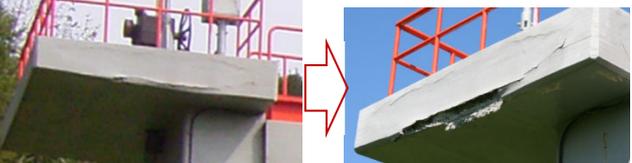


図 15-1 局所的な膨れ近傍の状況

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・水分の浸入状況と浸透経路を考慮した工法や材料の選定
- ・湿潤状態の下地に塗布しないよう、表面の水分状態を適切に管理

事例 16 表面被覆材の割れと断面修復箇所への剥落
構造物：門柱式コンクリート樋門
補修工法：断面修復工法（メタクリル樹脂系修復材），表面被覆工法（メタクリル樹脂系被覆材）
不具合の概要：凍害劣化により剥落した樋門操作台と門柱を断面修復および表面被覆工法により補修したが，表面被覆材に割れが生じ，補修3年後には断面修復箇所を中心に剥落した。
不具合の分類：劣化状況判断（調査時等），材料選定（設計時等），現場管理（施工管理等）
不具合箇所と発生状況： <ul style="list-style-type: none"> ・北海道北部の内陸に位置し，積雪寒冷地の中でも特に気温が低く，豪雪地域でもある ・操作台の表面被覆材の割れが年々拡大し，新たな割れも発生している ・断面修復箇所の剥落が年々拡大している
  <p>操作台角部の表面被覆材の割れ</p>  <p>管理橋台側面の表面被覆材の割れ</p>  <p>操作台側面の割れと断面修復材の剥落</p>  <p>操作台角部に新たな割れを確認 (補修後7年)</p>  <p>(補修後2年7ヶ月) (補修後10年8ヶ月) 表面被覆材の割れの拡大状況</p>  <p>(補修後2年7ヶ月) (補修後3年6ヶ月) 断面修復材の剥落発生状況</p>
写真 16-1 コンクリート樋門に生じた不具合の状況

想定される劣化因子：

①表面被覆材の施工不良

→ 冬季施工時の防寒対策不足によって、下地コンクリートと表面被覆材との付着性が不十分となり、収縮により表面被覆材の割れが発生

②劣化部の除去不足による断面修復材の付着不足

→ 除去時に取り切れなかった劣化部が残ったまま断面修復を実施 → 補修界面の付着不良

③水（被覆内残留水と外部からの浸入水）

→ 残存した劣化部の残留水と表面被覆材の割れ部からの浸入水の滞留，表面被覆材による滞留

→ 凍結融解作用により補修界面から剥離・剥落が発生

不具合の模式図：

除去不足により残ってしまった劣化部で、残留水の凍結融解により劣化が促進し、施工時の防寒対策不足による表面被覆材の付着不良で表面被覆材に割れが発生した。さらに、その割れから雨水や融雪水が浸入して凍結融解を繰り返したことにより、補修界面（断面修復および表面被覆）から凍害劣化が進行したことによると考えられる。

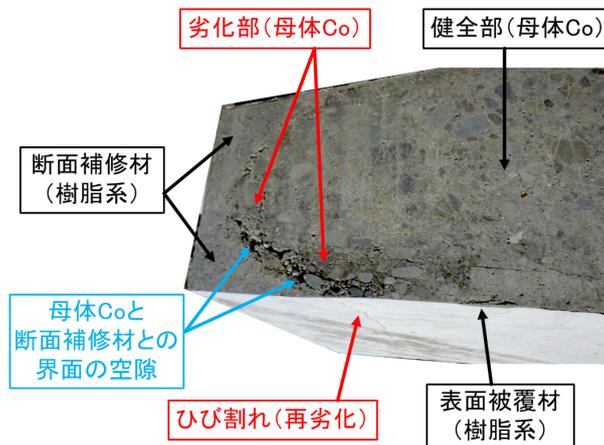


図 16-1 劣化した部位の断面

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・劣化部の確実な除去
- ・施工時の適切な防寒対策
- ・適切な補修調査と補修設計

本事例は、断面修復工の施工不良による典型的な再劣化事例であるが、特に、積雪寒冷地の凍害地域では、再劣化の発生および進行が非常に速く、このような施工を実施すると早期に再劣化が発生するため、確実な補修施工を実施する必要がある。

<p>事例 17 断面修復材上に施工した表面被覆材の割れ部からの漏水</p>	
<p>構造物：門柱式コンクリート樋門，1970 年代完成，2000 年代補修</p>	
<p>補修工法：断面修復工法（ポリマーセメント系断面修復材（繊維入り）），表面被覆工法（一液型アクリル系樹脂被覆材）</p>	
<p>不具合の概要：樋門操作台と門柱のコンクリートで凍害劣化した箇所を断面修復および表面被覆工法により補修を実施したが，短期間で表面被覆材に割れが生じ，その後，降雨時に割れ部から漏水がある。割れは年々拡大している。</p>	
<p>不具合の分類：現場管理（施工管理等）</p>	
<p>不具合箇所と発生状況：</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ・北海道東部の内陸に位置し，積雪は比較的少ないが気温はかなり低い地域である ・操作台の表面被覆材の割れが年々拡大し，エフロレッセンスの析出が拡大している 	
	
<p>樋門（操作台と門柱）</p>	<p>降雨時に操作台底面の小さな割れから漏水が発生しているのを確認 （補修後 2 年 9 ヶ月）</p>
	
<p>操作台底面の割れが拡大（補修後 7 年 11 ヶ月）</p>	<p>操作台上面の割れ状況</p>
<p>写真 17-1 コンクリート樋門における断面修復材上に施工した表面被覆材の劣化状況</p>	

想定される劣化因子：

①断面修復材の側面厚付けによる沈下

→ 劣化部はブレード取り壊しとブラスト処理を実施しており、劣化部の除去には特に問題はない。操作台側面に断面修復材を型枠流し込みで厚付け（約 10cm）したが、脱型後に養生不足で断面修復材が自重によって沈下し、プライマーを使用していないために下地コンクリートと断面修復材との付着性も不十分であったことから、コンクリートと断面修復材との界面に剥離が生じたと考えられる。

②表面被覆材の施工時期

→ 断面修復材は 11 月に施工し、表面被覆材はその後の 12 月に施工予定であったが、低温による表面被覆材の付着不良を懸念して、表面被覆材の施工は暖かくなった 3 月に実施している。その間、断面修復材に生じていた剥離は、一冬期間処理されない状態であった。

→ 表面被覆材の施工時は断面修復材の界面剥離による隙間が微細であったため、処理せず実施した。微細ひび割れの表面被覆工法の処理としては本来有効な補修工法である。

③水（融雪水）の浸入と凍結融解の繰り返し

→ 断面修復材補修直後の一冬期間に界面剥離部から融雪水が浸入（下記、図 17-1 参照）した。

→ 表面被覆材は 3 月に施工したため、界面剥離部に融雪水が保水されたままの状態に閉じ込めた。

→ 表面被覆材の乾燥収縮や断面修復材の界面剥離部の凍結融解が進行したことにより、表面被覆材に割れが生じ、その割れからさらに雨水や融雪水等が浸入して凍結融解が繰り返される。

→ 表面被覆材に閉じ込められた状態で凍結融解が繰り返され、界面剥離による隙間が拡大（現在も進行中）している。

不具合の模式図：

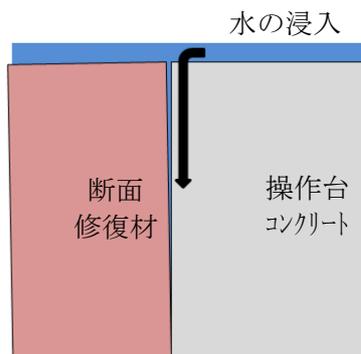


図 17-1 断面修復材の自重による沈下と付着性の不十分によって発生した界面剥離部から水が浸入（イメージ）

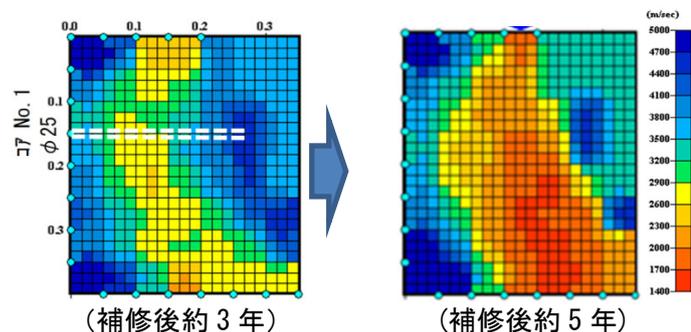


図 17-2 超音波トモグラフィによる内部のひび割れ状況
※赤い部分ほどひび割れが多数発生

- ・断面修復材の側面厚付けで自重による沈下によって界面剥離が発生
- ・表面被覆材の乾燥収縮および界面剥離部の凍結融解により、表面被覆材に割れが発生
- ・表面被覆材の割れ部からの水の浸入と表面被覆材による水分の閉じ込めで、凍害劣化が促進

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・断面修復の脱型を遅らせて養生期間を長くする、もしくはプライマーにより、断面修復材の付着性を向上させる。
 - ・防寒養生を確実にやり、断面修復後、表面被覆材を連続して施工し、一体化を図る。
- 本事例は、断面修復材が沈下するというよくある不具合が、凍害によってさらに促進した事例である。水かかりの箇所では、断面修復材の付着界面への水分の浸入や凍結融解による断面修復材の付着性の低下が懸念されるため、表面被覆材で保護するケースも多いが、被覆内に水分を閉じ込めた状態で凍結融解が作用すると、さらに凍害劣化が促進される場合が多いため、注意が必要である。

<p>事例 18 鋼材の腐食と表面被覆材・断面修復材の剥離</p>
<p>構造物：橋梁（上部構造）</p>
<p>補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材），断面修復工法（ポリマーセメントモルタル）</p>
<p>不具合の概要：コンクリート床版と桁の補修として，樹脂系被覆材による表面被覆工法およびポリマーセメントモルタルによる断面修復工法が適用されたが，さび汁と表面被覆材・断面修復材の剥離が発生した。</p>
<p>不具合の分類：劣化状況判断（調査時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート床版と桁の塩害による劣化部を断面修復した際に，予防処置として樹脂系被覆材による表面被覆工法で補修を行ったが，補修数年後に表面被覆材の浮きやさび汁等が発生し，その後，表面被覆材や断面修復材が剥がれ落ちた。 <div data-bbox="397 833 1190 1422" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">写真 18-1 さび汁と表面被覆材・断面修復材の剥離</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・はつり不足 ・表面被覆材による塩分の閉じ込め ・飛来塩分を含む水の浸入 ・断面修復材のかぶり厚さの不足
<p>考えうる（とるべきであった）対策：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適切な塩分除去（鉄筋背面までのはつり） ・内部鋼材の防せい処理 ・断面修復材のかぶり厚さの確保 ・上記対策による内在塩分がない状態での適切な表面被覆工法の適用

事例 19 鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落（床版下部）
構造物：橋梁（上部構造）
補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材）、断面修復工法
不具合の概要：床版下部に断面修復を行い、樹脂系被覆材が塗装されたが、鉄筋の腐食によって、床版下面の断面修復材が剥落した。
不具合の分類：劣化状況判断等（調査時等）
不具合箇所と発生状況：
 <p>写真 19-1 床版下部における断面修復材の剥落</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補修前から侵入していた塩化物イオンの拡散による鉄筋腐食 ・桁端部であり地覆や遊間からの水分供給が多い ・塩害環境（凍結防止剤） ・膨張や地震時等の上部構造の移動による橋台への接触
<p>考えうる（とるべきであった）対策：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・適切な深さまでの塩分除去 ・内部鋼材の防せい処理 ・床版防水や桁端排水処理 ・十分な遊間を確保した上で断面修復を実施

事例 20 鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落（桁の下面，側面）
構造物：橋梁（上部構造）
補修工法：表面被覆工法（樹脂系被覆材），断面修復工法
不具合の概要：表面被覆工法によって補修された桁のかぶりコンクリートが，鉄筋腐食によって剥落した。
不具合の分類：劣化状況判断（調査時等）
不具合箇所と発生状況： <div style="text-align: center;">  </div>
<p>写真 20-1 表面被覆工法により補修された桁でのかぶりコンクリートの剥落状況</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・補修前から侵入していた塩化物イオンの拡散による鋼材腐食 ・床版からの水分浸入

不具合の模式図：

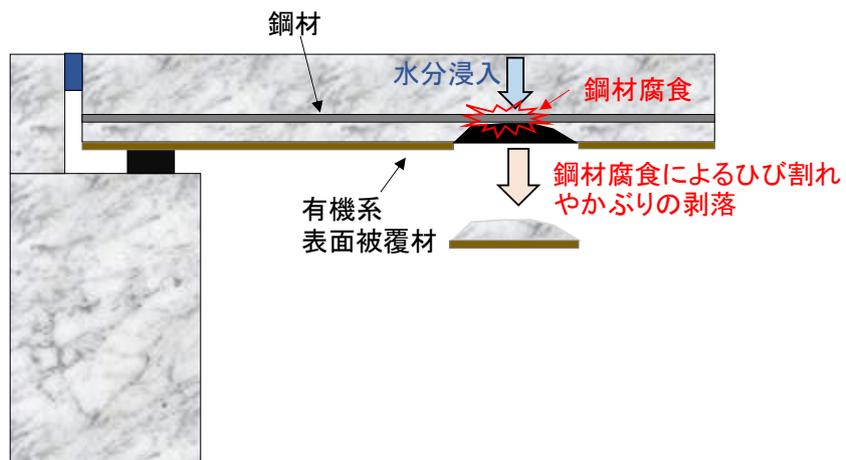


図 20-1 かぶりコンクリート剥落の機構

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・鉄筋背面までのはつり
- ・床版防水等による水分浸入への対策
- ・電気化学的な工法等による鋼材腐食の停止

<p>事例 21 ひび割れ注入箇所からの漏水とエフロレッセンスの析出</p>
<p>構造物：樋門の翼壁（背面土有り）</p>
<p>補修工法：ひび割れ注入工法（エポキシ樹脂系注入材）</p>
<p>不具合の概要：エポキシ樹脂注入材によるひび割れ注入工法で、樋門の翼壁のひび割れが補修されたが、補修箇所からの漏水とエフロレッセンスの析出が発生した。</p>
<p>不具合の分類：劣化状況判断（調査時等）、材料選定（設計時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 樋門の翼壁下面に発生したひび割れに対し、ひび割れ注入工法による補修が施された。ひび割れ注入工法は、ひび割れ幅を基に選定された。また、背面土圧によるひび割れ開口を考慮し、樹脂系注入材が採用された。 ・ 水抜き孔近傍のひび割れ注入箇所から漏水とエフロレッセンスの析出が確認された。 <div data-bbox="263 840 1327 1630" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">写真 21-1 水抜き孔近傍の漏水とエフロレッセンス析出の状況</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水抜き孔の排水不良 ・ 設計注入量の不足（表面から 10cm までの設計） ・ 設計注入量が不足し、ひび割れへの充填が不十分であったためにひび割れから水分が浸透し、その水分が凍結融解

不具合の模式図：

本事例では、翼壁の背面土圧によるひび割れとそこからの凍害によってひび割れが進行し、エポキシ樹脂注入による補修がなされた。このようなひび割れにエポキシ樹脂系ひび割れ注入材は有効であるが、本事例では設計注入量が足りないことで注入不足となった。なお、ひび割れ部が湿潤状態の場合は、水中硬化型の材料を選定することも重要である。

また、水抜き孔により排水はされていたが、地下水位が比較的高く、設置された水抜き孔では排水不良となったため、背面水が溜まって凍害により劣化した。

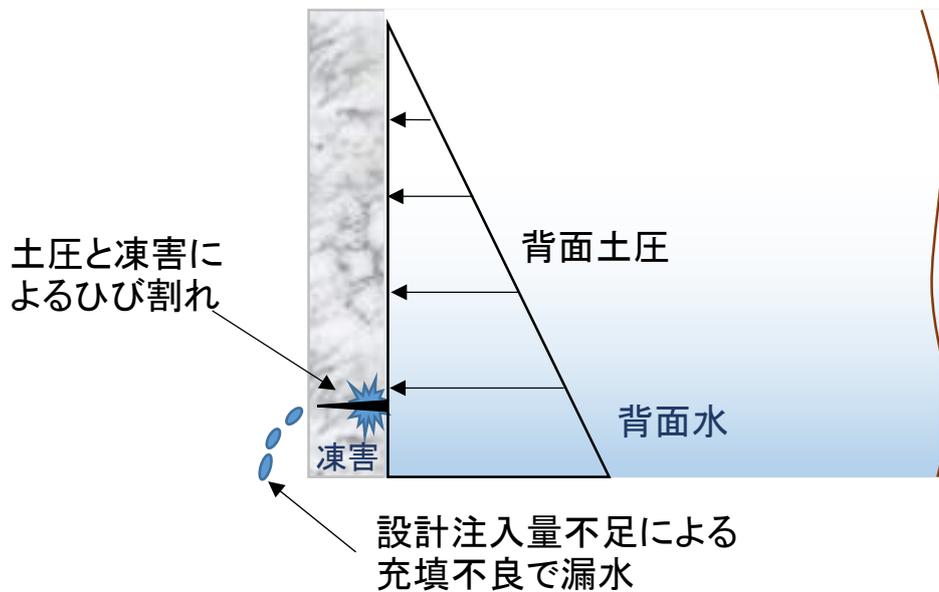


図 21-1 注入量不足と凍害による劣化

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・背面水の処理（水抜き孔の増加等）
- ・設計注入量の見直し

<p>事例 22 ひび割れ U カット 充填箇所の凍害による劣化</p>
<p>構造物：樋門の翼壁</p>
<p>補修工法：ひび割れ U カット 充填工法（ポリマーセメントモルタル）</p>
<p>不具合の概要：ひび割れ U カット 充填工法により，樋門の翼壁のひび割れが補修されたが，補修箇所が凍害により劣化した。</p>
<p>不具合の分類：劣化状況判断（調査時等），材料選定（設計時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 樋門の翼壁において外部拘束による貫通した温度ひび割れが発生し，翼壁背面からの水の供給によってエフロレッセンスが析出した。 ・ 発生したひび割れ部に対し，ひび割れ U カット 充填工法による補修が施されたが，補修箇所が凍害で劣化したため，再度エフロレッセンスが析出した。 <div data-bbox="341 842 1251 1509" data-label="Image"> </div> <p>写真 22-1 ひび割れ充填工法の適用箇所とエフロレッセンス析出の状況</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 背面水の処理不足による凍害劣化 ・ 背面水がある状況でのひび割れ充填工法の採用

不具合の模式図：

本事例では、エフロレッセンスの析出によってひび割れ注入工法の適用が困難であるため、ひび割れ充填工法が採用された。しかし、背面から水分供給が有ったため、ひび割れ充填材により表面が閉塞することによってひび割れ内に水分が溜まり、凍害が発生した。凍害によって発生したひび割れによって水分浸透が促進され、ひび割れ充填部からエフロレッセンスが再度析出した。

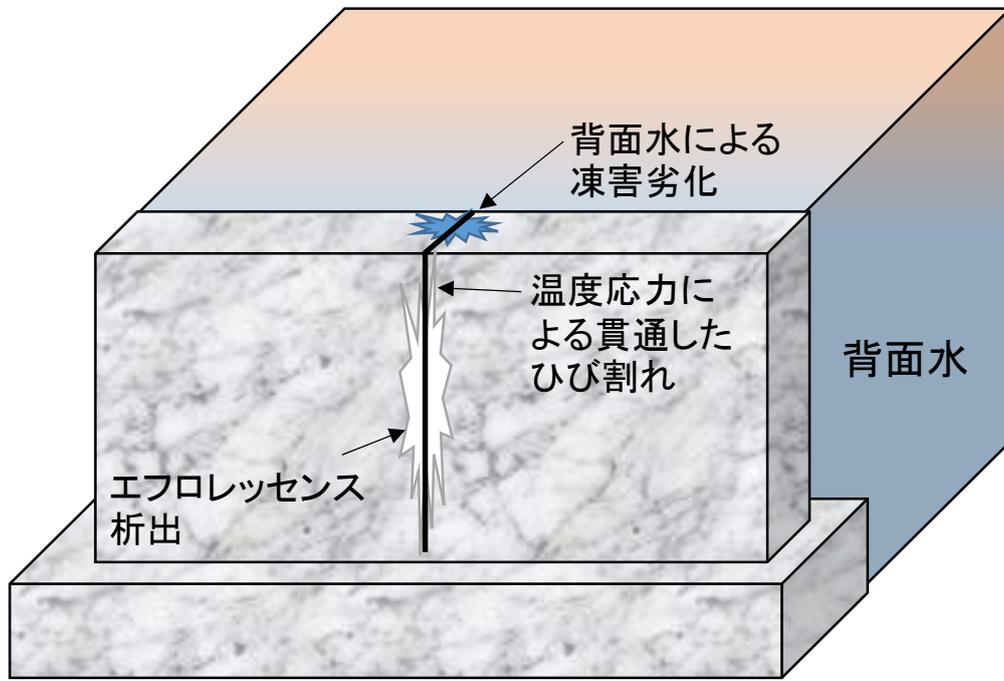


図 22-1 エフロレッセンスの発生状況と凍害による劣化

考える（とるべきであった）対策：

- ・エフロレッセンスの析出は、背面からの水分供給が存在する可能性を示すものであり、まず背面水の処理が必要であった。
- ・背面水の処理が可能な場合は、ひび割れUカット充填工法による補修が適しているが、背面水の処理が困難な場合はエフロレッセンスの処理後、ひび割れ注入工法による補修が適していた。

<p>事例 23 ひび割れ注入後の短期間でのエフロレッセンス析出</p>
<p>構造物：橋梁橋台，PC ポステン 3 径間連続ラーメン箱桁橋，1990 年代建設，2010 年代補修</p>
<p>補修工法：ひび割れ注入工法（超微粒子ポリマーセメント）</p>
<p>不具合の概要：橋台堅壁の表面ひび割れ幅 0.3mm のひび割れ（エフロレッセンス多少あり）に，超微粒子ポリマーセメント注入材を用いて自動低圧注入工法により補修を 6 月に実施したが，2 ヶ月後の 8 月下旬にひび割れ下部から補修前よりも多くのエフロレッセンスが析出していた。</p>
<p>不具合の分類：劣化状況判断（調査時等），材料選定（設計時等），現場管理（施工時等）</p>
<p>不具合箇所と発生状況：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・北海道中央部の内陸（郊外）の河川上に架設された橋梁 ・橋台堅壁のひび割れで，上部から水が常に供給されている ・ひび割れは，橋台堅壁に等間隔で発生しているため，温度ひび割れと考えられる <div data-bbox="437 842 1155 1469" data-label="Image"> </div> <p style="text-align: center;">写真 23-1 ひび割れ注入後に短期間で析出したエフロレッセンスと漏水</p>
<p>想定される劣化因子：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水（雨水の浸入） <ul style="list-style-type: none"> → 橋梁上部のジョイントの部分欠損により，常に雨水が供給される → 防水対策がなされていない → 7～8 月に台風による大雨の影響も考えられる → 注入材が完全に凝結していない状態で水が浸入

不具合の模式図：

6月の北海道で温度条件が良い状態で施工したが、橋梁上部の防水対策の工事工程が後になっていたことから、注入後も上部から水が常に供給される状態であった。その結果、未充填箇所へ水が浸入し、大雨の影響で大量の水が供給されたことから、ひび割れに新たに供給された注入材のアルカリ分により、短期間の内にエフロレッセンスが生成されたと考えられる。

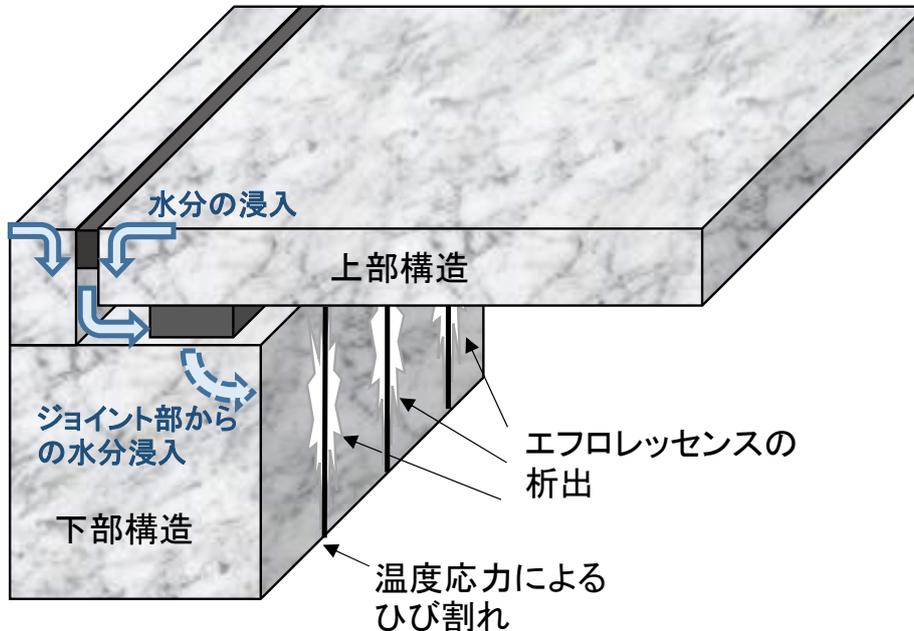


図 23-1 水分浸入とエフロレッセンス析出の状況

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・ 上部の防水対策後に注入を実施
- ・ 水が供給されやすい箇所であるため、防水対策後であっても樹脂系注入材を使用

本事例は、注入後に短期間にエフロレッセンスが生じた珍しい事例であるが、水かかりの箇所は補修後に再劣化が発生し易いため、先に防水対策を行わなければこのような再劣化が生じる典型的な不具合事例である。

事例 24 電気防食パネルの劣化と表面被覆材の割れや剥離
構造物：橋梁（上部構造）
補修工法：電気防食工法（電気防食パネル）、表面被覆工法（樹脂系被覆材）
不具合の概要：橋梁の横桁に、電気防食パネルの設置および樹脂系被覆材の塗装が行われたが、電気防食パネルの劣化と表面被覆材の割れや剥離が生じた。
不具合の分類：劣化状況判断等（調査時等）
不具合箇所と発生状況： <div data-bbox="363 658 1227 1391" data-label="Image"> </div> <p>※電気防食パネルは表面被覆材で覆われているため目視できない 写真 24-1 桁側面における表面被覆材の割れや剥離</p>
想定される劣化因子： <ul style="list-style-type: none"> ・電気防食パネルの劣化によって鉄筋腐食が発生 ・鉄筋腐食によって電気防食パネルが剥離し、表面被覆材に割れや剥離が生じた ・塩害環境（海岸線）
考えうる（とるべきであった）対策： <ul style="list-style-type: none"> ・電気防食パネルの交換 ・表面被覆材の塗替え

事例 25 流電陽極材の劣化と表面被覆材の割れや剥離
構造物：橋梁（上部構造）
補修工法：電気防食工法（流電陽極材）、表面被覆工法（樹脂系被覆材）
不具合の概要：橋梁の横桁に流電陽極材の設置および樹脂系被覆材の塗装が行われたが、流電陽極材の劣化と表面被覆材の割れや剥離が生じた。
不具合の分類：劣化状況判断等（調査時等）
不具合箇所と発生状況： <div data-bbox="341 660 1252 1429" data-label="Image"> </div> <p>※流電陽極材は表面被覆材で覆われているため目視できない 写真 25-1 桁側面における表面被覆材の割れや剥離</p>
想定される劣化因子： <ul style="list-style-type: none"> ・流電陽極材の劣化によって鉄筋腐食が発生 ・鉄筋腐食によって流電陽極材が剥離し、表面被覆材に割れや剥離が生じた ・塩害環境（海岸線）
考えうる（とるべきであった）対策： <ul style="list-style-type: none"> ・流電陽極材の交換 ・表面被覆材の塗替え

事例 26 表面含浸工法の含浸層（吸水防止層）の未形成

構造物：道路橋（上部構造）主桁下面

補修工法：沿岸に位置する道路橋主桁への塩化物イオンの侵入を抑えることを目的とした表面含浸工法（シラン系）

不具合の概要：冬期にシラン系表面含浸材の施工を行った主桁の一部において、吸水防止層の形成が確認されなかった。

不具合の分類：現場管理（施工時等）

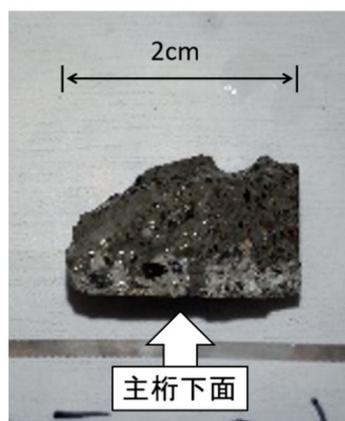
不具合箇所と発生状況：

冬期作業のため、施工を行う主桁下面を囲い、熱風式ヒーターを使用して加温を行い、コンクリートを乾燥状態に調整した後、シラン系表面含浸材を塗布。塗布後、主桁下面から $\phi 2\text{cm} \times 1\text{cm}$ のコアを採取し、割裂して水を噴霧し、吸水防止層の形成状況を調べたところ、吸水防止層が形成されていない不具合箇所が一部において確認された。

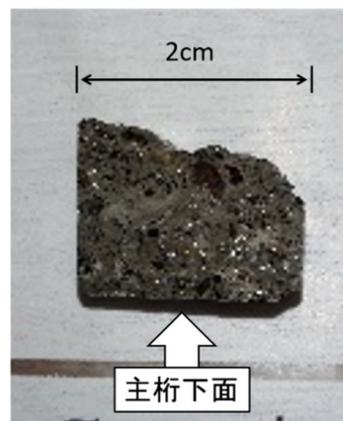


写真 26-1 施工現場の様子

不具合事例



表層撥水
(吸水防止層形成)



表層無撥水
(吸水防止層未形成)

写真 26-2 吸水防止層の形成状況（採取した $\phi 2\text{cm} \times 1\text{cm}$ コアの断面に水を噴霧）

想定される劣化因子：

- ・ 冬期のコンクリート表面は温度が低く、川霧や結露で濡れやすい。シラン系表面含浸材は、主成分が含浸しながら加水分解を起こし、コンクリートの表面や空隙壁面と化学的に結合することで吸水防止層を形成する。このため、コンクリートに水分が多く含まれていると、塗布後、早期に加水分解が発生し、表面近傍の空隙に大半の主成分が固着し、主成分が深く含浸せず、十分な厚さの吸水防止層が形成されにくくなる。
- ・ 塗布に先立ち、熱風式ヒーターを使用して加温を行い、コンクリート表層を乾燥状態に調整する対応は適切であったが、空間内の温度にムラがあり、一部の主桁表面に十分な熱が行き渡らずに水分が蒸発せずに残り、水分によって含浸が阻害されたことが要因と考えられる。

考えうる（とるべきであった）対策：

- ・ 施工空間全体に熱が均等に行き渡るよう、温度管理を入念に行う。

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版

VI 改訂資料

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022 年版

VI [改訂資料]

目次

共通編	1
表面被覆・含浸工法編	4
断面修復編	6
ひび割れ修復工法編	9
不具合事例集	11

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版 [共通編] 改訂の概要

該当箇所 (赤字は新規に設けた節)	内容	改訂の理由
1. 総則		
1.2 本マニュアルの構成	<ul style="list-style-type: none"> ・解説 図-1.2.1に、以下を追加した。(p.I-2) ・共通編：「水処理 (止水・排水処理)」 	<ul style="list-style-type: none"> ・最も基本的な措置の「水処理 (止水・排水処理)」は、共通編に記載しているため、本マニュアルの構成を示す解説 図-1.2.1に未掲載だったことから追記し、共通編に記載されていることを明示した。 ・コンクリート中に水分が入ることを「浸入」、水分以外の劣化因子が入ることを「侵入」と整理した。
1.3 用語の定義	<ul style="list-style-type: none"> ・用語の定義には記載しないが、「浸入」と「侵入」の使い分けを整理した。(本マニュアル全体) 	
2. 補修設計		
2.1 一般	<ul style="list-style-type: none"> ・解説文の内容を以下のように修正した。(p.I-5) ・「コンクリートの劣化等に対する補修の適用範囲、コンクリートの主な劣化機構、主な補修工法の種類、補修に求める要求性能の設定と補修工法の選定、補修工法の選定上の留意点、及び管理レベルに応じた補修工法の選定」→「コンクリートの劣化機構と調査の留意点、補修工法の種類、補修方針の設定、および補修工法選定上の留意点」 ・解説 表-2.2.1を以下の様に修正した。(p.I-6) ・「本マニュアルの主な対象」→「本マニュアルでの取扱い」 ・○、△※、-を○、△、-に改め、意味を追記 ・中性化：「セメントの水酸化カルシウム」→「セメント水和物の水酸化カルシウム」 ・アルカリシカリカ反応：「コンクリート中のセメントに含まれる」→「コンクリート中に含まれる」 ・乾燥収縮ひび割れ：「コンクリート表面が乾燥」→「コンクリートが乾燥収縮」 ・温度ひび割れ：「発熱により」→「発熱とその後の温度低下により」 ・豆板：全体的に見直し ・「沈下」→「沈下ひび割れ」：「変形することと生じる現象」→「変形することとひび割れが生じる現象」 	<ul style="list-style-type: none"> ・2章の内容を2.2~2.4.2のタイトルと整合させて整理した。 ・本マニュアルの主な対象の行にある○、△※、-の意味が説明されていないため、意味を説明して再整理した。 ・劣化機構 (脚略) の説明文に不正確な部分があったため、全体的により正確・丁寧に修正した。
2.2 劣化機構と調査の留意点	<ul style="list-style-type: none"> ・(1) 塩害 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-7) ・「アノード反応とカソード反応」→「アノード反応 (酸化反応) とカソード反応 (還元反応)」 ・解説 図-2.2.1に水の浸透と酸素の供給を追記 	<ul style="list-style-type: none"> ・アノード反応とカソード反応の意味を理解しやすくするために、酸化反応、還元反応を追記した。 ・鋼材の腐食には水と酸素が必要のため、図に追加した。
<ul style="list-style-type: none"> ・(1) 塩害 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-8) ・解説 写真-2.2.1を調査・設計上の留意点から劣化機構の部分に移動 	<ul style="list-style-type: none"> ・(1) 塩害 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-8) ・「除塩が不十分な海砂等を用いるなど、塩化物イオンが当初からコンクリート中に含まれている場合、構造物の内部まで腐食環境となっておそれがあるため、塩化物イオンの深さ方向の分布を調査する。」を追記 ・「外部から浸入する塩化物イオン濃度」→「外部から浸入する塩化物イオン」 ・コンクリート中の鋼材の腐食が発生する限界塩化物イオン量に関する記述を追記 	<ul style="list-style-type: none"> ・解説 写真-2.2.1は塩害によってコンクリート中の鋼材が腐食し、コンクリートにひび割れが生じて剥落した事例の写真であるため、それを説明している劣化機構の部分に移動した。 ・初期塩分に関する留意点を追記した。 ・外部から浸入するのは塩化物イオンのため、修正した。 ・コンクリート中の鋼材の腐食が発生する限界の塩化物イオン量に関する記述 (セメントの種類や水セメント比により異なること、確認できない場合は1.2kg/m³以上を目安と想定すれば安全側であること) を追記した。
<ul style="list-style-type: none"> ・(2) 中性化 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-9) ・解説 図-2.2.2にpH<11と記載されているため、本文中に「pHが11程度未満となる」とを追記 ・上記の根拠の文献を図にも追記、図中は「11」→「11程度」と修正 	<ul style="list-style-type: none"> ・(2) 中性化 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-9) ・解説 図-2.2.2に「pHが11程度未満となる」とを追記 ・上記の根拠の文献を図にも追記、図中は「11」→「11程度」と修正 	<ul style="list-style-type: none"> ・解説 図-2.2.2に、pH<11と記載されているため、根拠を追記するとともに、本文にも追記した。なお、不動態皮層を破壊する閾値は11ちょうどではないため、11程度と記載した。 ・記載されていない知見等を追記した。
<ul style="list-style-type: none"> ・(3) 凍害 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-11) ・凍害のメカニズムに、水圧説を追記 ・「スケーリング劣化」→「スケーリング」 ・塩水が供給される環境ではスケーリングが生じやすいことを追記 ・解説 図-2.2.3中の「氷結膨張圧」→「凍結膨張圧」 	<ul style="list-style-type: none"> ・(3) 凍害 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-11) ・凍害のメカニズムに、水圧説を追記 ・「スケーリング劣化」→「スケーリング」 ・塩水が供給される環境ではスケーリングが生じやすいことを追記 ・解説 図-2.2.3中の「氷結膨張圧」→「凍結膨張圧」 	<ul style="list-style-type: none"> ・凍害のメカニズムとして、浸透圧説の内容が記載されているが、もう1つの有力な説である水圧説を追記した。 ・近年の研究成果として、塩水によってスケーリングが生じやすいことを追記した。

	<ul style="list-style-type: none"> ・(3) 凍害 調査・設計上の留意点について、以下のように修正した。(p.I-11) <ul style="list-style-type: none"> ・「硬化コンクリート中の気泡分布の測定を行い、AEコンクリートであるか否かを確認する。」を追加 ・(4) アルカリシリカ反応 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-13) <ul style="list-style-type: none"> ・「主筋と直角にひび割れが発生する」→「コンクリートを拘束する鋼材等に沿った方向に顕著なひび割れが生じやすい」 ・(4) アルカリシリカ反応 留意点について、以下のように修正した。(p.I-13) <ul style="list-style-type: none"> ・解説 写真-2.2.4のタイトル:「路面排水の影響を受ける箇所」→「雨掛かりのある箇所」 ・(5) 初期欠陥 劣化機構について、以下のように修正した。(p.I-14) <ul style="list-style-type: none"> ・本文を解説 表-2.1.1の修正内容に整合 ・解説 図-2.2.4と解説 写真-2.2.5の場所を入れ替え 	<ul style="list-style-type: none"> ・記載されていない知見等を追記した。 ・「主筋と直角に」という語句を修正し、丁寧な表現に修正した。 ・解説 写真-2.2.4は路面排水の影響ではなく、雨掛かりのある箇所であるため、修正した。 ・本文について、解説 表-2.1.1の修正に合わせて、詳細な説明を追記した。 ・本文の順序と合わせて、解説 図-2.2.4と解説 写真-2.2.5の場所を入れ替えた。 ・表面被覆工法により形成される際の名称を「被覆」から「塗膜」に統一した。 ・表面含浸工法には、コンクリートの表層部を改質(撥水性を付与するなど)させるもの他に、空隙の充填させるものがあるため、追加した。 ・解説 図-2.3.3 表面被覆工法について、不陸調整材(パテ)を表面の不陸を平滑にする目的に合わせて、図を修正した。 ・「ひび割れ含浸工法」はここにしか記述されておらず、用語の定義もなされていない。実際は表面含浸工法をひび割れ補修に用いる例もある、という意味であることから、「ひび割れに対する表面含浸工法」に修正した。 ・電気化学的防食工法の維持管理に関する新たな報告書、「電気防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する共同研究報告書—電気防食工法の維持管理マニュアル(案)一」を発刊したため、記述を追記した。 ・ISO 16311の原文について、No.1は「Protection against ingress」であり、訳語として「劣化因子の侵入防止」の方が適切と考えられたため修正した。 ・また、No.8の原文は「Increasing resistivity」であり、直訳では「電気抵抗の増加」となる。初版は意識した「含水率の増加抑制」と記載したが、No.8は直訳と意訳を併記した方が理解しやすいと考えられたため、「電気抵抗の増加(含水率の増加抑制)」に修正した。
<p>2.3 補修工法の種類</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・(2) 表面被覆・含浸工法 表面被覆工法について、以下のように修正した (p.I-16) <ul style="list-style-type: none"> ・「被覆」→「塗膜」 ・(2) 表面被覆・含浸工法 表面含浸工法について、以下のように修正した。(p.I-17) <ul style="list-style-type: none"> ・表面含浸工法の機能の説明に、空隙の充填に関する記載を追加 ・解説 図-2.3.3 表面被覆工法を差替え ・(4) ひび割れ修復工法について、以下のように修正した。(p.I-18) <ul style="list-style-type: none"> ・「ひび割れ含浸工法」を「ひび割れに対する表面含浸工法」に修正 ・(5) 電気化学的防食工法について、以下のように修正した。(p.I-20) <ul style="list-style-type: none"> ・土木研究所の共同研究報告書「電気防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する共同研究報告書—電気防食工法の維持管理マニュアル(案)一」に関する記述を追記 	<ul style="list-style-type: none"> ・「Protection against ingress」であり、訳語として「劣化因子の侵入防止」の方が適切と考えられたため修正した。 ・また、No.8の原文は「Increasing resistivity」であり、直訳では「電気抵抗の増加」となる。初版は意識した「含水率の増加抑制」と記載したが、No.8は直訳と意訳を併記した方が理解しやすいと考えられたため、「電気抵抗の増加(含水率の増加抑制)」に修正した。
<p>2.4 補修方針の設定と補修工法の選定 2.4.1 補修方針の設定</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・解説 表-2.4.2について、以下のように修正した (pp.I-22-25) <ul style="list-style-type: none"> ・中性化の表を新たに作成するとともに、解説の文章を追加した。 ・「劣化因子の遮断」を「劣化因子の侵入防止」に修正 ・「防錆剤」→「防せい処理」 ・塩害の補修方針「剥落防止」に対する補修工法例の「アンカー」を削除(解説文からも削除) 	<ul style="list-style-type: none"> ・2.2 劣化機構と調査の留意点に示した劣化機構に基づいた表だが、中性化に関する記述は塩害とはほぼ同一との記述のみだったため、他の劣化因子と同様の中性化の表を新たに作成するとともに解説の文章を追加した。 ・解説 表-2.4.1の修正(和訳の見直し)に合わせて、「劣化因子の遮断」を「劣化因子の侵入防止」に修正した。 ・補修工法例として「防錆剤」と記載した部分を方法の表現にするため、「防せい処理」と修正した。 ・塩害の剥落防止に対する補修工法例の「アンカー」は一般的な補修工法ではないため、削除した。これにあわせて解説本文からも削除した。

2.4.2 補修工法選定上の留意点	<ul style="list-style-type: none"> 2) 表面被覆工法について、以下のように修正した。(pp.I-26-28) <ul style="list-style-type: none"> 透明な被覆材の活用に関する記述の追加 不具合事例の追加 	<ul style="list-style-type: none"> 新たに研究開発されている透明な被覆材に関する記述を追加した。 <ul style="list-style-type: none"> 塩害について、内部で劣化した場合に被覆を施していない状態とは違った形態でひび割れや浮きが顕在化した例として、不具合事例No.18を追加した。また、アルカリシリカ反応について、表面被覆を施した場合にかえって劣化進行を促進させた例として、不具合事例No.8を追加した。
<ul style="list-style-type: none"> 3) 耐久性 (性能の持続性) に関して、15年程度の効果が確認された事例について記述 	<ul style="list-style-type: none"> 解説表-2.4.3について、以下のように修正した。(pp.I-27-28) <ul style="list-style-type: none"> 中性化の表を新たに作成 防せい処理を追加 表中の斜線の意味を追記 表面被覆・含浸工法の留意点を全体的に見直し 	<ul style="list-style-type: none"> 解説表-2.4.2の修正に基づき、中性化の表を新たに作成するとともに、塩害と中性化の表中に防せい処理を追加した。 斜線の箇所は、この劣化段階では一般に採用されない工法を意味しているとの説明文を追記した。 表面被覆・含浸工法については、新たな知見として、留意点を全体的に見直した。
<ul style="list-style-type: none"> 7) 電気防食工法について、以下のように修正した。(pp.I-29-30) <ul style="list-style-type: none"> 参考文献に土木研究所の共同研究報告書第501号を追加 参考文献の「電気化学的防食工法指針」を改訂版に情報更新 	<ul style="list-style-type: none"> 改訂前のマニュアル (土木研究所資料第4343号) 発行後にまとめた、土木研究所共同研究報告書第501号「電気化学的防食工法を用いた道路橋の維持管理手法に関する共同研究報告書—電気防食工法の維持管理マニュアル(案)一」を追加した。 参考文献に記載した「電気化学的防食工法指針」は改訂版が発行されたため、情報を更新した。 	<ul style="list-style-type: none"> 表面含浸材の耐久性 (性能の持続性) について、長期の検証結果が得られたため、15年程度の効果が確認された旨、追記した。
<ul style="list-style-type: none"> 8) 防せい処理を新規追加した。 	<ul style="list-style-type: none"> 解説文の内容を以下のように修正した。(pp.I-34-35) <ul style="list-style-type: none"> 関連法令の年月を削除 上記関連法令などについては、最新のもの参照することを記載 解説文の内容を以下のように修正した。(p.I-36) <ul style="list-style-type: none"> 「なお、補修の施工記録を構造物に付すことは、記録保持の確実性の観点から有益である。表面被覆・含浸工法編 3.7 施工の記録にその例を示しているの必要に応じて参照するとよい。」を追記 	<ul style="list-style-type: none"> 解説表-2.4.2の修正に基づき、新たな研究成果として、防せい処理を追加した。
3. 補修の施工		
3.3 安全管理		
3.4 廃棄物の処理		
3.5 施工の記録		
4. 検査		
4.1 一般		
4.2 検査項目と判定基準		
4.3 検査の記録		
5. 補修後の維持管理		
5.2 補修の施工後の点検		
5.2.2 点検の頻度		
5.2.3 点検の項目と方法		
5.2.3 点検の項目と方法	<ul style="list-style-type: none"> 点検はあらかじめ計画した項目を確認するもので、さらに詳細な事項を確認するためには、追加で調査を行うことが一般的であるため、「詳細な点検」を「追加の調査」に修正した。 表面含浸工法については、 <ul style="list-style-type: none"> 点検項目：変色 (白化) 点検方法：目視 対応する不具合事例：一のみだったが、新たな知見として不具合事例No.26を追加し、全体的に見直した。 	<ul style="list-style-type: none"> 各編との対応を図るため、共通編にも検査の章を設けた。

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版 [表面被覆・含浸工法編] 改訂の概要

該当箇所 (赤字は新規に設けた節)	内容	改訂の理由
1. 総則		
1.1 適用範囲	<p>掲載している図、表、写真、写真について、表面被覆に関するものには「被」、表面含浸に関するものには「含」、双方に共通するものには「被・含」を付記した。(p.II-1)</p>	<p>対象となる工法、材料が明確になるようにした。</p>
1.2 用語の定義	<p>・用語の定義に、以下を追加した。(p.II-2) 含浸層：表面含浸材によって撥水化もしくは緻密化した部分。 保護層：表面被覆材や表面含浸材の適用により、塗膜、含浸層など、コンクリート表面または表面近傍に設けられた層の総称。 ・上記用語の解説として、以下を追加した。(p.II-4) 含浸層：表面含浸材によりコンクリート表面や表面が撥水、緻密化され、効果が発揮される。なお、シラン系表面含浸材の塗布によって撥水化した含浸層に関しては、吸水防止層、疎水層、撥水性ゾーン等と呼ばれることもある。本編では、これらによる表現を使用している箇所もある。 保護層：コンクリート表面に表面被覆材が成膜され、硬化したものが塗膜である。モルタル系の材料や繊維等を含み膜厚が厚いものについては、層(単層、複層など)として呼ばれることもある。表面被覆工法および表面含浸工法の施工により設けられた層を総称して保護層と呼ぶ。 なお、表面被覆材の成膜は、基本的に「塗膜」として統一した。</p>	<p>・表面含浸工法の呼び方として、機能面から分類することを意図して、「撥水型表面含浸工法」(シラン系表面含浸工法)、「緻密化型表面含浸工法」(けい酸塩系表面含浸工法)としていたが、一般的な用語ではないことを鑑み、「撥水型の表面含浸工法」、「緻密化型の表面含浸工法」に改めた。</p> <p>・表面含浸材および表面被覆材を塗布した部位の名称が混在していたため、用語の定義を追加して全体を整理した。</p>
2. 表面被覆・含浸工法の補修設計		
2.1 補修に求める性能	<p>・以下のように用語を修正し、II編全体に反映した。(p.II-6) 「塩化物イオン遮断性」→「塩化物イオンの侵入に対する抵抗性」 「二酸化炭素遮断性」→「二酸化炭素の侵入に対する抵抗性」 「酸素遮断性」→「酸素の侵入に対する抵抗性」 「遮水性」→「水の浸入に対する抵抗性」 「水蒸気遮断性」→「水蒸気の浸入に対する抵抗性」</p> <p>・コンクリート内部を乾燥状態に保つことが補修設計の要点であること鑑み、水蒸気を積極的に蒸散させコンクリート内の水分を排出する工法の選定に関する記述を追記した。(p.II-8)</p> <p>・解説表-2.1.3において、「耐久性」としてコンクリートに求める性能と補修材料自体に求める性能が混在していたため、これらを区別した。(p.II-9)</p> <p>・表面含浸材の選定に資する情報として、以下の記述を追記した。(p.II-9) なお、施工時間や施工費用と、劣化因子の遮断性能や水分の制御に対応する性能が比例するとは限らない。したがって、施工性と、劣化因子の遮断性能や水分の制御について要求される性能は独立して評価する必要がある。</p> <p>・表面被覆材は塗布から30年後、表面含浸材は塗布から5年後あるいは15年後の塩化物イオンの浸透状況を検証した事例として、解説図2.1.3～図2.1.6を追加した。(pp.II-10-12)</p> <p>・表面被覆材に求める品質とその評価方法(解説表-2.2.2)、劣化機構ごとに示していたが、情報の重複が見られたため、情報の重複をそれぞれ1つの表にまとめて示すように見直した。</p> <p>・表面含浸材を塗布したコンクリートの塩化物イオンの侵入に対する抵抗性は、吸水試験における質量変化率(吸水率)から評価した事例として、解説図-2.2.1を追加した。(p.II-17)</p> <p>・けい酸塩系表面含浸材の「ひび割れ充填性(けい酸塩)」は、従来は劣化機構に充当して求めた品質としていたが、表面含浸材に求める基本的な品質として、解説表-2.2.4に整理した。(p.II-20)</p> <p>・シラン系表面含浸材を塗布したコンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関する情報として、解説図-2.2.2を追記した。(p.II-21)</p> <p>・表面含浸材の材料選定の参考情報を示すため、北海道開発局等の規格を解説表-2.2.5として追加した。(p.II-20)</p>	<p>・用語として、「遮断」と「遮蔽」があるが、使い分けが不明瞭であった。用語を見直した結果、「遮断」、「遮蔽」にあたる用語として侵入/浸入に対する抵抗性に改めた。</p> <p>・表面被覆材と表面含浸材の塗布による含水状態の変化に関する知見が充実したため追加した。</p> <p>・表面被覆材と表面含浸材に求める性能を再整理した。</p> <p>・新たな研究成果として、表面含浸材の特徴について追加した。</p> <p>・新たな研究成果として、表面被覆材と表面含浸材の長期の調査結果を追加した。</p> <p>・表面含浸材に求める品質とその評価方法を再整理した。</p> <p>・新たな研究成果として、表面含浸材の評価試験に関する情報を追加した。</p> <p>・表面含浸材に求める品質を再整理した。</p> <p>・新たな研究成果として、表面含浸材の評価試験に関する情報を追加した。</p> <p>・表面含浸材の材料選定に関する情報を充実させ</p>
2.2 表面被覆・含浸材の品質確認		

			た。 <ul style="list-style-type: none"> 新たな研究成果として、表面被覆材および表面含浸材の施工範囲が含水率に与える影響の情報を追加した。 新たな研究成果として、表面含浸材の適用事例に関する情報を追加した。
2.3 施工範囲の設定	<ul style="list-style-type: none"> 表面被覆/含浸材が異なるコンクリート桁の含水率の変化の事例として、解説 図-2.3.2を追加した。樹脂系の表面被覆では、水蒸気蒸散がほぼないため含水率が高くなりやすく、漏水がある場合にはその高含水化傾向は大きい、水蒸気による水分排出機能があるシラン系表面含浸材やPCM系の表面被覆材では、施工後の長期変動として内部を乾燥させることが期待できることを示した。(p.II-23) 凍結防止剤が散布される道路橋での劣化因子浸(侵)入防止策の例として、解説 図-2.3.3を追加した。凍結防止剤を含む融雪水の飛沫・供給を受けやすい地覆や主桁端部では、遮塩効果が比較的高いシラン系表面含浸材を適用すると、水や塩化物イオンの浸(侵)入抑制が期待できることを示した。(p.II-24) 		
3. 表面被覆・含浸工法の施工			
	<ul style="list-style-type: none"> シラン系表面含浸材の施工において、コンクリート表層を乾燥させることで吸水防止層の厚さを確保できることおよびその管理方法に関する情報として、解説 図-3.5.4を追加した。シラン系表面含浸材を塗布する直前に調べた電気抵抗式の表面水分計の測定値は、塗布によりコンクリート表層に形成される含浸層(吸水防止層)の厚さと対応することが確認されており、塗布可否を判定する方法として有用であることを示した。(p.II-36) シラン系表面含浸材の冬季の施工において、加温によって含浸性を確保できることに関する情報として、解説 図-3.5.5を追加した。特に冬季にシラン系表面含浸材を施工する場合、塗布前の加温および塗布後も施工翌朝までは加温を続けることが望ましいことを示した。(p.II-38) シラン系表面含浸材の含浸状況を非破壊で管理する方法として、附属資料 Gを追加したことを解説 表-3.5.5に記載した。(p.II-39) 過去にシラン系表面含浸材が塗布されているものの、保護層の形成が不十分で、水の浸入に対する抵抗性の向上効果が発揮されていない場合、シラン系表面含浸材を再塗布することで、水の浸入に対する抵抗性や含浸深さの改善が可能であることを示した。解説 図-3.5.7を追加した。(p.II-41) 従来から、構造物に付す施工記録として解説 表-3.7.1、設置位置の例として解説 図-3.7.1を示していたが、内容を修正した。(p.II-44-45) 		<ul style="list-style-type: none"> 新たな研究成果として、表面含浸材の施工管理に関する情報を追加した。 新たな研究成果として、表面含浸材の再塗布による効果に関する情報を追加した。 実態にあわせて情報を追加、更新した。
3.5 施工管理			
3.7 施工の記録			
4. 検査			
4.2 検査項目と合否判定	<ul style="list-style-type: none"> 4.2節を追加して構成を整理した。(pp.II-46-48) 現場検査に関する主な項目(解説 表-4.2.3)に、吸水防止層の形成状況を追加した。(p.II-48) 		<ul style="list-style-type: none"> 他編の構成との整合を考慮して節を追加して情報を整理した。
5. 補修後の維持管理			
5.2 点検の頻度	<ul style="list-style-type: none"> シラン系表面含浸材塗布15年経過後の道路橋地覆での吸水抵抗性調査の例として、解説 図-5.2.2を追加した。(pp.II-51-52) 		<ul style="list-style-type: none"> 新たな研究成果として、表面含浸材の供用後の調査事例を追加した。
5.3 点検の項目と方法	<ul style="list-style-type: none"> 解説 表-5.3.1に示す表面含浸工法に関する点検項目を追加した。場合によっては、解説 図-5.3.3に示すようにコンクリートコアを採取して水を噴霧し、確認する必要があることを追記した。(pp.II-53-54) シラン系表面含浸材を適用したコンクリート構造物にみられる特徴の一つとして、中性化が進行しやすいことを解説 図-5.3.5として示した。近年では、中性化による鋼材腐食には水分が必要であることが標準となっているため、シラン系表面含浸材の塗布による吸水抑制と中性化の進行の両方を考慮して評価することが重要であることを示した。(pp.II-54-55) 		<ul style="list-style-type: none"> 新たな研究成果として、表面含浸材の供用後の調査事例や特徴を追加した。
5.4 点検結果の記録	<ul style="list-style-type: none"> 5.4節を追加して構成を整理 (p.II-55) 		<ul style="list-style-type: none"> 他編の構成との整合を考慮して節を追加して情報を整理した。
附属資料			
附属資料 A 表面被覆材の付着性試験方法 (案)	<ul style="list-style-type: none"> 試験方法によっては、研磨紙を用いて研磨を行う場合もあるが、実際の施工での処理を想定して、ディスクグラインダ等の電動工具を使用するように規定していることを追記した。(p.II-60) 		<ul style="list-style-type: none"> ディスクグラインダ等の電動工具を使用する意図を記載した。
附属資料 G シラン系表面含浸材の含浸状況非破壊管理方法 (案)	<ul style="list-style-type: none"> シラン系表面含浸材は、塗布後、目視で含浸状況を確認できないことから、非破壊で管理できる方法を付録として追加した。コンクリート表面の一部に無塗布範囲を設け、塗布範囲と無塗布範囲の境界から無塗布範囲の表面方向に形成される幹水域の有無や疵ががり方をと、シラン系表面含浸材の含浸状況を非破壊で管理することをねらいとし、その手順を示した。(p.II-74-77) 		<ul style="list-style-type: none"> 新たな研究成果として、表面含浸材の施工管理に関する方法を追加した。

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版【断面修復編】 改訂の概要

該当箇所 (赤字は新規に設けた節)	内容	改訂の理由
1. 総則		
1.1 適用範囲		
1.2 用語の定義	<ul style="list-style-type: none"> 以下の用語を新たに定義した。(pp.III-1-2) 浸透性塗布材 付着耐久性 以下の用語の定義を削除した。 換算圧縮強度 「ここで定義していない用語については参考文献(1)~(4)による。」は条文としてふさわしくないので解説に移動した。 【解説】における従来の「ドライアウトと吸水防止処理について」に関して、まず、「付着面処理について」として修正した解説図-1.2.2付着面の処理方法を用いて全体を説明し、その後、「浸透性塗布材について」を新設し、その後「ドライアウト、吸水防止処理、水置し処理、プライマー処理について」として、それぞれを詳述した。(p.III-3) 	<ul style="list-style-type: none"> 下地コンクリートの改善処理を加えるにあたり、それに必要な用語を定義し、解説にも修正を行った。 換算圧縮強度は、あえて用語として定義しないまでも、附属資料Aに換算方法が示されているので用語の定義からは除外した。
2. 断面修復工法の補修設計		
2.1 補修方針の設定	<ul style="list-style-type: none"> 解説表-2.1.1補修方針と断面修復材等に求められる品質項目との関係の断面修復材に求める品質項目のうち、「付着強度」の行に「付着耐久性」を追加した。また、「劣化因子遮断性」を「劣化因子の侵入防止」に変更した。(p.III-5) 【解説】の最後の段落に以下の文章を追加した。(p.III-6) 「なお、付着面の性能に関しては、断面修復材の性能のほかに、はつりによる微細ひび割れの養生や残存劣化部等の下地コンクリートの状態が大きく関与する。2.5付着界面の品質確認ではこの2つを分けて整理した。」 条文において、 (1)に適切なのはつり方法の選定に関する条文を追加し、従来の断面修復工法の適切な選定に関する条文(2)とした。(p.III-7) 【解説】(1)において、ウォータージェット工法と打撃系はつりの得失、および、下地コンクリートの改善処理について解説した。(p.III-7) 【解説】(2)において、「それぞれの工法ごとに3.7左官工法による施工~3.10充填工法による施工にて特徴(長所、短所)を整理している」旨の説明を追記した。(p.III-7) 条文の(3)として、供試体の作製方法に関する記載を新たに追加した。(p.III-8) 	<ul style="list-style-type: none"> 付着耐久性を定義したこと、また解説表-2.4.1におけるISOの補修方針の和訳の変更に伴う修正。 2.5付着面の品質(2)で下地コンクリートの品質改善を追記したことに伴う追記と、記載内容の充実
2.2 断面修復材の品質	<ul style="list-style-type: none"> 【解説】(1)の末尾に高流動コンクリートの逆打ちでの留意事項を追記した。(p.III-9) 【解説】(2)および解説表-2.4.1断面修復材に求める品質とその確認方法の例において、メーカー開発のプレミックスは、主に製造者の試験成績表で確認すること、高流動コンクリートに関しては、主に配合表等で確認することを明記した。(p.III-9) 【解説】(2)の解説表-2.4.1断面修復材に求める品質とその確認方法の例のひび割れ抵抗性の品質確認試験のうち、暴露試験と乾燥潤試験に注記として「現状では、ひび割れ抵抗性を精度よく推定するのは困難であり、参考としての提案にとどめる。」と追記した。また、解説の文章中にも「提案する品質確認方法は参考としての提案にとどめる。」と追記した。(p.III-10) 【解説】(3)として、解説表-2.4.2工法ごとの供試体作製方法の例、解説写真-2.4.1φ50×100mmの円柱型枠に直接吹き付け作製した供試体の外観の例および解説図-2.4.6作製方法の異なるφ50×100mmの円柱供試体の圧縮強度を新たに掲載することともに、断面修復工法の工法ごとの供試体の作製方法について新たに追記した。(p.III-15-16) 	<ul style="list-style-type: none"> 特に吹付け工法に関する知見が充実したので、追記した。 施工の前でも記載されている内容だが、設計の段階でも考慮すべき重要な事項であるため、追記した。 具体的な確認手法を明記した。 試験方法の提案を行ったものの、ひび割れ抵抗性の確認は現状では難しいことから、参考情報であることを明確にした。 特に吹付け工法に関する知見が充実したので、追記した。
2.3 施工方法の設定	<ul style="list-style-type: none"> 【解説】(1)において、断面修復材の付着界面に求める品質項目としては付着強度と付着面に沿った劣化因子の侵入防止が挙げられる。これらの品質は下地コンクリートの品質やはつり方法の影響も受けるため、健全な下地コンクリートを用いた試験結果で確認する必要がある。(p.III-17) 【解説】(1)について 	<ul style="list-style-type: none"> はつりによる下地コンクリートへの影響に関して、従来は詳述していなかったが、今回、下地コンクリートの改善処理を提案することとした。 (1)は付着に関する断面修復材自体の品質であり、下地コンクリートの品質やはつりの状態を受けない品質であることを明確にした。
2.4 付着面の品質	<ul style="list-style-type: none"> 【解説】(1)について 	<ul style="list-style-type: none"> はつりによる下地コンクリートへの影響に関して、従来は詳述していなかったが、今回、下地コンクリートの改善処理を提案することとした。 (1)は付着に関する断面修復材自体の品質であり、下地コンクリートの品質やはつりの状態を受けない品質であることを明確にした。
2.5 付着面の品質	<ul style="list-style-type: none"> 【解説】(1)について 	<ul style="list-style-type: none"> 付着耐久性を定義したことによる修正、条文を

	<p>・用語の定義として「付着耐久性」を定義したことにより、解説表-2.5.1中の、気中における耐久性と水中における耐久性を付着耐久性とした。また、気中における付着耐久性の品質確認方法として記載してあった「鉄筋裏まではつり取って、鉄筋を絡めた断面修復とするか、アンカー（差し筋）等による剥落防止対策を施す」は、(2)に関する内容であることから削除した。さらに注記として、「気中における付着耐久性の確認は、現状では精度よく確認できる簡易な方法がなく、参考としての提案に留める。」と追記した。(pp.III-17-18)</p> <p>【解説】(1)について</p> <p>・解説表-2.5.1中の「劣化因子の遮断性」を「劣化因子の侵入防止」に変更し、「劣化因子の侵入防止について」の解説文を新たに追記した。(pp.III-18-19)</p> <p>【解説】(1)について</p> <p>・「気中における付着耐久性について」の文末に以下の文章を追記した。</p> <p>「このため、実施工では、2.5 付着面の品質(2)に示すように、鉄筋を巻き込むかアンカー等による対策や付着面の改善処理等を検討するとよい。」(p.III-20)</p> <p>【解説】(2)について</p> <p>・本文の新設により、その解説を新たに追記した。内容は、これまで気中における耐久性について、に記載されていた「鉄筋を巻き込んだ断面修復としたり、アンカー（差し筋）を設置したりする」方法に加えて、今回新たに「下地コンクリートの改善処理による再劣化防止対策」について追記することとし、また、これに関連して「エポキシ樹脂系浸透性塗布材の品質について」を追記した。(pp.III-20-22)</p>	<p>(1)と(2)に分けたことによる修正、さらに、気中における付着耐久性の品質確認方法は、まだ十分に確立した方法ではないので、表中でそれが増えるように注記を加えた。</p> <p>・解説表-2.4.1におけるISOの補修方針の和訳の変更に伴う修正と、実験による新たな知見の追加</p> <p>・条文を(1)と(2)に分けたことによる追記。</p> <p>・新たな研究成果として、下地コンクリートの改善処理を掲載した。</p>
<p>3. 断面修復工法の施工</p> <p>3章の構成</p>	<p>(改正後)</p> <p>3. 断面修復工法の施工</p> <p>3.1 断面修復材の施工手順</p> <p>3.2 既存コンクリートのはつり</p> <p>3.3 鉄筋の処理</p> <p>3.4 下地コンクリートの改善処理</p> <p>3.5 付着面の処理</p> <p>3.6 断面修復材の管理</p> <p>3.7 左官工法による施工</p> <p>3.8 湿式吹付け工法による施工</p> <p>3.9 乾式吹付け工法による施工</p> <p>3.10 充填工法による施工</p> <p>3.11 施工時の環境条件に応じた留意点</p> <p>3.12 仕上げ面の処理</p> <p>3.13 養生</p> <p>3.14 安全衛生</p>	<p>・以下のように変更した(下線部)。</p> <p>(改正前)</p> <p>3. 断面修復材の施工</p> <p>3.1 断面修復材の施工手順</p> <p>3.2 既存コンクリートのはつり</p> <p>3.3 鉄筋の処理</p> <p>3.4 吸水防止処理</p> <p>3.5 断面修復材の管理および計量・混合</p> <p>3.6 断面修復材の施工</p> <p>3.7 養生</p> <p>3.8 安全衛生</p>
<p>3.2 既存コンクリートのはつり</p>	<p>【解説】(1)について</p> <p>・塩化物イオンが浸透している場合はつりの留意点を追記するとともに、塩分除去の現場での確認方法として参考文献1),2)を追記した。(pp.III-24-25)</p>	<p>・研究の成果により、13.4 下地コンクリートの改善処理」を新たに追加した。また、湿式吹付け工法および乾式吹付け工法の施工上の留意点が明らかとなったので、従来の3.6を各種工法別の筋(3.7～3.10)に分けて詳述することとした。新たな3.11と3.12は従来の3.6に記載されていた内容の再整理である。</p> <p>・留意事項の追記</p>
<p>3.3 鉄筋の処理</p>	<p>【解説】(2)について</p> <p>・除塩について解説文を追記した。(p.III-26)</p> <p>・防せい処理について、解説表-3.3.1 鉄筋の防せい処理方法を新たに掲載し、鉄筋防せい剤、塩分吸着剤、犠牲陽極の各手法の概要を整理するとともに留意点を追記した。(p.III-27)</p>	<p>・2.3(1)を新設したことにより、設計に係る内容を2.3の解説に移動。</p> <p>・鉄筋について、除塩の方法と防錆処理に関して、新たな知見を追記した。</p>
<p>3.4 下地コンクリートの改善処理</p>	<p>【解説】</p> <p>・従来の3.4 吸水防止処理を3.5 付着面の処理に改めるとともに、3.4 下地コンクリートの品質改善処理を新たに設けた。(p.III-28)</p> <p>・浸透性塗布材を用いた下地コンクリートの品質改善処理について、解説を新たに追加した。(p.III-28)</p>	<p>・新たな研究成果として、下地コンクリートの改善処理を掲載した。</p>

3.5 付着面の処理	<p>・従来の3.4 吸水防止処理を3.5 付着面の処理に改め、従来の条文(1)と(2)をひとつにまとめた。(pp.III-28-29)</p> <p>【解説】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・逆打ちでの水湿し処理の留意点を追記した。 ・下地コンクリートの品質改善を行った場合はエポキシ樹脂系接着剤をプライマーとして使用すること、また、エポキシ樹脂系接着剤の使用上の留意点を追記した。(pp.III-28-29) 	<p>・吸水防止処理に加えて付着耐久性の向上を目的としたエポキシ樹脂接着剤の解説を充実したため、補打タイトルを「吸水防止処理」から「付着面の処理」に変更した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水湿し処理の留意点の追記を行った。 ・新たな研究成果として、下地コンクリートの改善処理を実施したときのプライマーの選定上の留意点を掲載した。 ・節構成の変更に伴う修正。
3.6 断面修復材の管理	<p>・従来の3.5 断面修復材の管理および計量・混合の内容のうち、保管管理に関する記載を再整理して記載した。(p.III-29)</p>	
3.7 左官工法による施工	<p>・従来の3.5 断面修復材の管理および計量・混合の計量・混合に関する内容および3.6 断面修復材の施工に記載されていた内容のうち、左官工法に関する記載を再整理した。(pp.III-30-31)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・節構成の変更に伴う修正。
3.8 湿式吹付け工法による施工	<p>・従来の3.5 断面修復材の管理および計量・混合の計量・混合に関する内容および3.6 断面修復材の施工に記載されていた内容のうち、湿式吹付け工法に関する記載を再整理するとともに、品質管理方法等について新たな知見を追記した。(pp.III-31-33)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな研究成果として湿式吹付け工法による施工の留意点を整理した。
3.9 乾式吹付け工法による施工	<p>・従来の3.5 断面修復材の管理および計量・混合の計量・混合に関する内容および3.6 断面修復材の施工に記載されていた内容のうち、乾式吹付け工法に関する記載を再整理するとともに、品質管理方法や施工上の留意点等についての新たな知見を追記した。(pp.III-33-34)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな研究成果として乾式吹付け工法による施工の留意点を整理した。
3.10 充填工法による施工	<p>・従来の3.5 断面修復材の管理および計量・混合の計量・混合に関する内容および3.6 断面修復材の施工に記載されていた内容のうち、充填工法に関する記載を再整理した。(p.III-35)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・節構成の変更に伴う修正。
3.11 施工時の環境条件に応じた留意点	<p>・従来の3.6 断面修復材の施工の(3)の内容であり、これに重碳酸系の鉄筋防せい剤が混合される場合の留意点を解説に追加した。(pp.III-36)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・節構成の変更に伴う修正と、新たな留意点の追記
3.12 仕上げ面の処理	<p>・従来の3.6 断面修復材の施工の(4)の内容であり、これに乾式吹付け工法の留意点を解説に追記した。(p.III-36)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・節構成の変更に伴う修正と、新たな留意点の追記
3.14 安全衛生	<p>・解説において、重碳酸系の鉄筋防せい剤を使用する場合の留意点を追記した。(p.III-37)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋防せい剤に関する留意点の追記
4. 検査		
4.2 検査項目と判定基準	<p>・解説表-4.2.1中の「吸水防止剤」を「プライマー等」に変更した。また、施工状態の検査の欄に「・粉体と液体の流量比の管理(乾式吹付け工法)」を追記した。(p.III-40)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・用語の適切化、および乾式吹付け工法独自の検査項目の追加
5. 補修後の維持管理		
5.3 点検の項目と方法	<p>【解説】(1)、(2)について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋の防せい処理を行った場合の点検上の留意点を新たに追記した。(p.III-44) 	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな知見の追加
附属資料		
附属資料A 断面修復材の圧縮強度の求め方(案)	<p>・タイトルを「断面修復材の換算圧縮強度の求め方」から「断面修復材の圧縮強度の求め方」に変更した。また、文章中で「換算圧縮強度」と「補正圧縮強度」の2つの用語が混在していたことから「換算圧縮強度」に統一した。(pp.III-46-49)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・換算圧縮強度のみの内容ではないことからタイトルを修正し、また、用語の統一を図った。
附属資料E 断面修復材の乾燥湿潤試験方法(案)	<p>・タイトルに「<参考>」を追記した。</p> <p>・解説の文末に、「断面修復材のひび割れ発生要因のすべてが解明されているわけではないから、乾燥湿潤試験による評価方法を参考として示したが、今後とも検討していく必要がある」旨の文章を追記した。(pp.III-62-66)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・試験方法の提案を行ったものの、ひび割れ抵抗性の確認は現状では難しいことから、参考情報であることを明確にした。

	<p>とした。なお、背面等にシールが可能な場合は、貫通していない場合と同様に0.1mm～0.5mmまでを適用可能とする。」 →「なお、ひび割れが貫通していない場合や背面等にシールが可能な場合は流下しても下から充填・充満していくため、ひび割れ幅0.1mm～0.5mmを標準とした。」 ・「挙動が予測される」→「進行や挙動が予測される」 ・「耐凍害性のある製品を適用することが望ましい。」→「耐凍害性のある製品を適用する必要がある。」</p>	<p>・充填させるための量を確保することが明確になるように修正した。</p>
2.4.2 ひび割れ注入工法の設計数量の考え方	<p>・条文の内容を以下のように修正した。(p.IV-12)</p> <p>・「ひび割れ注入材の設計数量は、対象ひび割れをひび割れ注入材で完全に充填させることを原則とする。」 →「ひび割れ注入材の設計数量は、対象ひび割れをひび割れ注入材で完全に充填させる量とする。」</p>	
3. ひび割れ修復工法の施工		<p>・注入圧力に関する留意点を追記した。</p>
3.3 施工方法		
3.3.1 ひび割れ修復工法の種類と選定	<p>・解説 図-3.3.1 手動式・機械式注入工法の例のイメージ図を修正した。 ・「施工手順は手動式とほぼ同じであるが、パイプへの注入作業は人力を用いず足踏み式ポンプや電動ポンプ等を用いる点と異なり、施工は熟練工を必要とする。」 →「施工手順は手動式とほぼ同じであるが、注入作業には手動ポンプではなく足踏み式ポンプや電動ポンプ等を用いる点と異なる。手動式・機械式注入工法では、注入圧力を高めたい場合作業効率は高まるが、ひび割れを押し広げてしまう場合もあり、施工には熟練工を必要とする。」</p>	<p>・注入圧に関して誤解がないように表現を修正した。 ・Vカットの入れ方等に関する留意点を追記した。</p>
3.3.3 ひび割れ充填工法の種類	<p>・「・注入圧は0.4N/mm²以下の加圧と定義されている。」→「・注入圧は0.4N/mm²以下が望ましい。」 ・解説文の内容を以下のように修正した。(pp.IV-20-21)</p> <p>・「ひび割れは直線的に発生していることが少なく蛇行していることが多く、Vカットでは、ひび割れがカット面の底面に取まりにくく、・・・」 →「ひび割れは直線的に発生していることは稀で蛇行していることが多く、左右からコンクリートカッターを入れてVカットする場合は、ひび割れがカット面の底面に取まりにくく、・・・」 ・「端部が薄くならないようにカット方法を工夫する必要がある。」 →「端部が薄くならないようにコンクリートカッターを入れる角度に留意が必要である。」 ・「現在はUカット充填工法の適用が多くなってきているが、Vカット充填工法でも十分補修可能であるので、現場条件に応じて選定するとよい。」 →「現在はUカット充填工法の適用が多くなってきているが、現場条件に応じて選定するとよい。」</p>	<p>・表内の説明不足を補足した。</p>
3.3.4 ひび割れ充填工法の施工	<p>・解説 表-3.3.5の表内に以下の内容を追記。(pp.IV-22)</p> <p>「カット時の削り粉は排除する。特に、充填材の接着面に削り粉が付着している場合はブロア等で排除する。」</p>	<p>・対処方法の手順を見直した。</p>
3.3.5 析出物のあるひび割れへの対処方法	<p>・解説文の内容を以下のように修正した。(p.IV-22)</p> <p>・「まず、析出物を電動工具やヘラ状の工具等を用いて除去を行うが、」を削除。</p>	<p>・硬化時間についての誤解がないように表現を見直した。</p>
3.4 施工管理における留意点	<p>・解説文の(4) ひび割れ注入材の硬化時間について、解説文全体を修正追記した。(p.IV-27)</p>	
附属資料		
附属資料B ひび割れ注入の硬化時間と硬化確認方法(案)	<p>・説明文の内容を以下のように修正した。(p.IV-38)</p> <p>1. 適用範囲</p> <p>・この「ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法(案)」は、注入時のひび割れ注入材の注入充填性と注入作業完了を把握するため、ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法について規定する。」 →「この「ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法(案)」は、注入時のひび割れ注入材の可使用時間を把握するため、ひび割れ注入材の硬化時間と硬化確認方法について規定する。」</p> <p>2. 確認方法</p> <p>・「容器内に攪拌棒を入れたり、容器を傾けたりして硬化状況を確認しながら、同時に硬化までの時間も測定して記録する。」 →「容器内の注入材に攪拌棒を押し入れたり、容器を傾けたりして注入材の硬化状況を確認し、変形がなくなるまで(硬化まで)の時間を測定して記録する。」</p>	<p>・適用範囲と確認方法についての誤解がないように表現を見直した。</p>

コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル 2022年版 [不具合事例集] 改訂の概要

該当箇所 (赤字は新規に追加した事例)	内容	改訂の理由
事例 2 表面被覆材の膨れ	下地コンクリートの水分状態の管理に関する留意点や、表面被覆材のプライマーが硬化する際の炭酸塩（アミン、水、二酸化炭素の反応から炭酸塩ができる現象をアミンブラスティングという）の生成に関する留意点を追記した。	近年の知見も踏まえて事例の説明を見直した。
事例 4 寒冷地における樹脂系被覆材の劣化ならびに吹付けモルタルの劣化	吹付けモルタルはエントレインドエアが入りにくく耐凍害性が低い、と記載していたが、耐凍害性は配合や施工条件にもよるため記述を見直した。	
事例 9 表面被覆材の表面に線状のさび汁痕	劣状の状況を精査し、橋面からの排水管の容量が不足しているのではなく、歩車道境界部の防水不備や、排水対策の不備が想定されることを追記した。	
事例 10 表面被覆材の局所的な膨れ	考えうる対策に、遊間への漏水対策や橋台上面の排水等による桁端部からの水分供給への抑制や、内部の含水率低下をはかる表面含浸工法等の適用の検討を追記した。	
事例 11 表面被覆材の大きな膨れ	湿潤状態で不陸調整材へ塗装したことで付着性が低下したことが想定されるため、施工時における表面の含水状態の管理に関する留意点を追記した。	
事例 12 断面修復材の剥落	断面修復材が剥落した要因のひとつとして、下地コンクリートとの線膨張率の相違による変形差も想定されることを追記した。	
事例 15 断面修復部付近の表面被覆材の局所的な膨れ	表面被覆材の膨れを防ぐために、湿潤状態の下地コンクリート表面の水分状態の管理に関する留意点を追記した。	
事例 19 鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落 (床版下部)	想定される劣化因子に「膨張や地震時等の上部構造の移動による橋台への接触」、考えうる対策に「十分な遊間を確保した上で断面修復を実施」を追記した。	
事例 20 鋼材腐食によるかぶりコンクリートの剥落 (桁の下面、側面)	考えうる対策に「電気化学的な工法等による鋼材腐食の停止」を追記した。	
事例 26 表面含浸工法の含浸層 (吸水防止層) の未形成	冬期にシラン系表面含浸材の施工を行った主桁の一部において、吸水防止層の形成が確認されなかった事例を追加した。	表面含浸工法の事例を追加した。

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI
No.4433 December 2022

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754