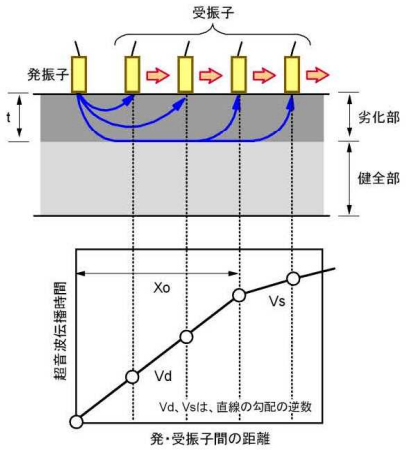
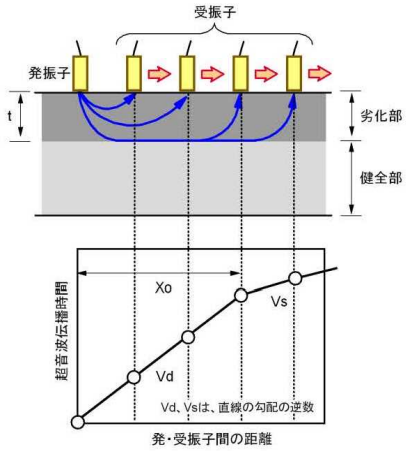


凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 新旧対比表

ページ	現 行	平成29年5月 改 定 案	備 考
表紙	凍害が疑われる構造物の 調査・対策手引書（案） 平成 <u>28</u> 年 <u>1</u> 月 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所	凍害が疑われる構造物の 調査・対策手引書（案） 平成 <u>29</u> 年 <u>5</u> 月 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 新旧対比表

ページ	現 行	平成２９年５月 改 定 案	備 考
目次	目 次 頁 はじめに..... 1 1. 凍害のメカニズムと劣化の概要..... 2 2. 凍害が疑われる構造物に対する対応フロー..... 5 3. 外観調査..... 7 3-1 スケーリング.....8 3-2 ひび割れ.....10 3-3 ポップアウト.....13 3-4 その他の凍結膨張による変状.....14 4. 詳細調査および簡易現場計測..... 15 4-1 図書調査.....15 4-2 凍害損傷程度等を把握する調査（非破壊試験・破壊試験）.....18 4-3 複合劣化の可能性を把握する調査.....22 4-4 簡易現場計測.....22 5. 凍害劣化の予測および評価・判定..... 23 6. 凍害劣化に対する対策..... 26 6-1 対策の選定.....26 6-2 補修・補強対策の選定.....26 6-3 表面処理工法.....27 6-4 ひび割れ注入.....29 6-5 断面修復.....30 6-6 水分の供給を防ぐ補修対策.....31 6-7 補強対策.....31 7. 調査結果および補修・補強方法の記録..... 32 8. 定期的な観察..... 33 別紙１：凍害調書の記入例 別紙２：凍害調書の様式 参考資料１：凍害の発生メカニズム 参考資料２：凍害に関する複合劣化 参考資料３：凍害に対する耐久性照査，配合設計および施工 参考資料４：凍害の調査 参考資料５：凍害の劣化予測および耐久性設計 参考資料６：凍害劣化を受けたコンクリート部材の力学的性能 参考資料７：国道橋の橋梁定期点検と本手引書との関係 参考資料８：樋門の凍害劣化事例集	目 次 頁 はじめに..... 1 1. 凍害のメカニズムと劣化の概要..... 2 2. 凍害が疑われる構造物に対する対応フロー..... 5 3. 外観調査..... 7 3-1 スケーリング.....8 3-2 ひび割れ.....10 3-3 ポップアウト.....13 3-4 その他の凍結膨張による変状.....14 4. 詳細調査および簡易現場計測..... 15 4-1 図書調査.....15 4-2 凍害損傷程度等を把握する調査（非破壊試験・破壊試験）.....18 4-3 複合劣化の可能性を把握する調査.....22 4-4 簡易現場計測.....22 5. 凍害劣化の予測および評価・判定..... 23 6. 凍害劣化に対する対策..... 26 6-1 対策の選定.....26 6-2 補修・補強対策の選定.....26 6-3 表面処理工法.....28 6-4 ひび割れ修復工法.....30 6-5 断面修復工法.....32 6-6 水分の供給を防ぐ補修対策.....32 6-7 補強対策.....32 7. 調査結果および補修・補強方法の記録..... 33 8. 定期的な観察..... 34 別紙１：凍害調書の記入例 別紙２：凍害調書の様式 参考資料１：凍害の発生メカニズム 参考資料２：凍害に関する複合劣化 参考資料３：凍害に対する耐久性照査，配合設計および施工 参考資料４：凍害の調査 参考資料５：凍害の劣化予測および耐久性設計 参考資料６：凍害劣化を受けたコンクリート部材の力学的性能 参考資料７：国道橋の橋梁定期点検と本手引書との関係 参考資料８：樋門の凍害劣化事例集	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正

ページ	現 行	平成２９年５月 改 定 案	備 考
p. 20	(3) コンクリート表面の超音波伝播速度の計測（トモグラフィー法による凍害劣化範囲）¹⁸ 凍害を生じていると思われるコンクリート表面を格子に分割し交点間の超音波伝搬速度を測定し、速度の変化点を求めることにより凍害範囲とする手法も提案されている。 最近の寒冷地における被覆補修された河川樋門の調査研究¹⁹によると、トモグラフィー法、採取コアの透過法による超音波伝播速度の測定および付着強度試験の結果から、被覆補修構造物内部の劣化位置を超音波トモグラフィー法による非破壊調査で確認する手法も提案されている。 (4) コンクリート表面の超音波伝播速度の計測（表面走査法による凍害深） 非破壊試験であることや簡便性から図 4.3に示す表面走査法による超音波伝播速度測定を用いた凍害深さの推定も試みられている。これは、凍害による劣化部を微細ひびわれが発生した範囲とみなすことで、凍害深さを非破壊で測定する手法である。 コンクリートの表層に劣化した部分が存在する場合、超音波は劣化部をなるべく迂回し、健全部を伝播経路に選びながら、最も短い時間で受振子に到達しようとする性質がある。発・受振子間の距離がある値以上になると、超音波の伝播経路は健全部の縁端位置に全て一本化される。その結果、発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝播距離の増加の割合は小さくなり、これに連動して伝播時間が早まりグラフの直線の傾斜が変わる。  図 4.3 表面走査法による超音波速度測定 4-2-2 破壊試験（コア採取等） 採取コア等による試験では、対象構造物から採取したコンクリートコアを用いた凍害深さの測定、鋼材の位置と腐食状況の把握、実構造物の変形の測定等が有効である。 【解説】 凍害深さ（スケーリング深さ、微細ひび割れによる劣化深さ）の代表的な試験方法を以下に示すが、詳細については「参考資料 4 凍害の調査」に示す。 (1) コア試料を用いた計測：コア直径の透過法による凍害深さの計測 凍害深さは、スケーリング深さや微細ひび割れによる劣化深さをいう。後者の微細ひび割れによる劣化深さの計測方法の一つにコア直径の透過法がある。これは、採取コアの直径方向に超音波伝播速度を計測し、震度方向の速度変化から凍害深さを求める方法である。 超音波伝播速度は骨材の種類の他に含水率の影響を受けることから、超音波伝播速度を用いて凍害深さをより的確に評価しようとする場合は、乾燥させたコアを用いることが望ましいとの研究成果²⁰もある。 (2) コア試料を用いた計測：細孔径分布測定による凍害深さの計測 細孔径分布はコアを表面から数 cm 間隔で切断し、細孔径毎の細孔量の変化を求め、凍害による劣化深さを判定する。細孔径分布の測定は広範囲の細孔径分布を比較的簡単に測定できることから水銀圧入法が広く用いられているが、測定結果にばらつきが大きいことなど評価が難しい場合もあり、今後多くのデータの蓄積が必要である。 ¹⁸ 山下英俊：コンクリート構造物の凍害劣化評価と予測に関する研究，北海道大学学位論文，p45，1999. 3 ¹⁹ 内藤勲，田口史雄，石谷隆始，畠秀樹，出合寿男：河川樋門コンクリートの凍害劣化と再劣化に関する調査，寒地土木研究所月報，No. 678，pp. 17-26，2009. 11 ²⁰ 土木研究所寒地土木研究所：平成 21 年度 重点プロジェクト報告書（11.2 コンクリートの凍害，塩害との複合劣化挙動及び評価に関する研究），2010. 3	(3) コンクリート表面の超音波伝播速度の計測（トモグラフィー法による凍害劣化範囲）¹⁸ 凍害を生じていると思われるコンクリート表面を格子に分割し交点間の超音波伝搬速度を測定し、速度の変化点を求めることにより凍害範囲とする手法も提案されている。 最近の寒冷地における被覆補修された河川樋門の調査研究¹⁹によると、トモグラフィー法、採取コアの透過法による超音波伝播速度の測定および付着強度試験の結果から、被覆補修構造物内部の劣化位置を超音波トモグラフィー法による非破壊調査で確認する手法も提案されている。 (4) コンクリート表面の超音波伝播速度の計測（表面走査法による凍害深） 非破壊試験であることや簡便性から図 4.3に示す表面走査法による超音波伝播速度測定を用いた凍害深さの推定も試みられている。これは、凍害による劣化部を微細ひびわれが発生した範囲とみなすことで、凍害深さを非破壊で測定する手法である。 コンクリートの表層に劣化した部分が存在する場合、超音波は劣化部をなるべく迂回し、健全部を伝播経路に選びながら、最も短い時間で受振子に到達しようとする性質がある。発・受振子間の距離がある値以上になると、超音波の伝播経路は健全部の縁端位置に全て一本化される。その結果、発・受振子間の距離の増加に対する超音波の伝播距離の増加の割合は小さくなり、これに連動して伝播時間が早まりグラフの直線の傾斜が変わる。<u>この傾斜（勾配）をもとに凍害の程度や範囲（凍害深さ）を評価する。評価マニュアルおよび評価に必要な計算プログラムは Web 上に公開されている²⁰。なお，図に示す折れ線の出現パターンは，凍害の発生形態に応じて変わる。</u>  図 4.3 表面走査法による超音波速度測定 4-2-2 破壊試験（コア採取等） 採取コア等による試験では、対象構造物から採取したコンクリートコアを用いた凍害深さの測定、鋼材の位置と腐食状況の把握、実構造物の変形の測定等が有効である。 【解説】 凍害深さ（スケーリング深さ、微細ひび割れによる劣化深さ）の代表的な試験方法を以下に示すが、詳細については「参考資料 4 凍害の調査」に示す。 (1) コア試料を用いた計測：コア直径の透過法による凍害深さの計測 凍害深さは、スケーリング深さや微細ひび割れによる劣化深さをいう。後者の微細ひび割れによる劣化深さの計測方法の一つにコア直径の透過法がある。これは、採取コアの直径方向に超音波伝播速度を計測し、震度方向の速度変化から凍害深さを求める方法である。 超音波伝播速度は骨材の種類の他に含水率の影響を受けることから、超音波伝播速度を用いて凍害深さをより的確に評価しようとする場合は、乾燥させたコアを用いることが望ましいとの研究成果²¹もある。 ¹⁸ 山下英俊：コンクリート構造物の凍害劣化評価と予測に関する研究，北海道大学学位論文，p45，1999. 3 ¹⁹ 内藤勲，田口史雄，石谷隆始，畠秀樹，出合寿男：河川樋門コンクリートの凍害劣化と再劣化に関する調査，寒地土木研究所月報，No. 678，pp. 17-26，2009. 11 ²⁰ <u>国立研究開発法人土木研究所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：表面走査法によるコンクリートの凍害点検・診断マニュアル（案）（http://zairyo.ceri.go.jp/ceri_zairyo/topics5/souse-dr.html）。</u> ²¹ 土木研究所寒地土木研究所：平成 21 年度 重点プロジェクト報告書（11.2 コンクリートの凍害，塩害との複合劣化挙動及び評価に関する研究），2010. 3	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正

ページ	現 行	平成 2 9 年 5 月 改 定 案	備 考																																							
p. 26	6. 凍害劣化に対する対策 凍害による性能低下が生じ対策が必要と判定された場合には、要求性能を満足するような対策を選定しなければならない。性能照査に基づいた対策の選定が難しい場合には、構造物の外観上のグレードを基準として対策を選定してもよい。 【解説】 6-1 対策の選定²⁸ 性能評価の結果、対策が必要と判断された場合には対策工を選定する必要があるが、定量的な評価に基づく判定が困難な場合には、外観上の劣化グレードを基準として行うことができる。構造物の種類や重要度、劣化の進行速度、維持管理区分によって対策が異なるが、標準として表 6.1 に従うことができる。 表 6.1 構造物の外観上のグレードと対策 <table><tr><th>構造物の外観上のグレード</th><th>点検強化</th><th>補修</th><th>補強*</th><th>供用制限</th></tr><tr><td>I（潜伏期）</td><td>（○）</td><td>（○）</td><td>（※）</td><td></td></tr><tr><td>II（進展期）</td><td>◎</td><td>◎</td><td>※</td><td>○</td></tr><tr><td>III（加速期）</td><td>○</td><td>◎*</td><td>※</td><td>◎</td></tr><tr><td>IV（劣化期）</td><td></td><td>○*</td><td>※</td><td>◎</td></tr></table> ◎：標準的な対策〔◎*：力学的性能の回復を含む〕 ○：場合によっては考えられる対策〔○*：力学的性能の回復を含む〕 ※：外観上のグレード以外の基準により実施される対策 **：力学的性能を初期の性能より向上させる場合 6-2 補修・補強対策の選定 補修とは、第三者への影響の除去あるいは、美観・景観や耐久性の回復もしくは向上を目的とした対策である。ただし、建設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、力学的な性能を回復させるための対策を含む。また、補強とは、建設時に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、力学的な性能を向上させるための対策²⁹である。 凍害に対する補修、補強の目的は、劣化した部分の除去、さらに劣化が進行した場合の耐力力および剛性の回復にある。凍害による劣化は、コンクリート自体の劣化が主となるため、凍害を受けた部分のコンクリートの物性値は大きく低下している場合が多く、水の供給を防ぎ、凍害を受けた箇所を取り換える対策が有効である。対策時期として、構造物ができるだけ乾燥していることが望ましい。 劣化の程度に応じて対応する工法を表 6.2 に示す。 表 6.2 補修・補強に期待する効果と工法の例（予防を含む）³⁰ <table><tr><th>期待する効果</th><th>工法例</th><th>補修</th><th>補強</th></tr><tr><td>水の供給を抑制</td><td>表面処理、ひび割れ注入、排水処理</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>劣化部を取り除く</td><td>断面修復、ひび割れ注入</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>耐力力の向上</td><td>増厚、打換え、巻立て</td><td></td><td>○</td></tr></table> 次に、期待する効果と劣化過程毎の補修・補強工法の選定例を表 6.3 に示す。	構造物の外観上のグレード	点検強化	補修	補強*	供用制限	I（潜伏期）	（○）	（○）	（※）		II（進展期）	◎	◎	※	○	III（加速期）	○	◎*	※	◎	IV（劣化期）		○*	※	◎	期待する効果	工法例	補修	補強	水の供給を抑制	表面処理、ひび割れ注入、排水処理	○		劣化部を取り除く	断面修復、ひび割れ注入	○		耐力力の向上	増厚、打換え、巻立て		○
構造物の外観上のグレード	点検強化	補修	補強*	供用制限																																						
I（潜伏期）	（○）	（○）	（※）																																							
II（進展期）	◎	◎	※	○																																						
III（加速期）	○	◎*	※	◎																																						
IV（劣化期）		○*	※	◎																																						
期待する効果	工法例	補修	補強																																							
水の供給を抑制	表面処理、ひび割れ注入、排水処理	○																																								
劣化部を取り除く	断面修復、ひび割れ注入	○																																								
耐力力の向上	増厚、打換え、巻立て		○																																							

²⁸ 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，p134，2008. 3

²⁹ 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕 p6,2008. 3

³⁰ 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕 p135，2008. 3 に補修・補強の別を加筆。

²⁹ 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕，p134，2008. 3

³⁰ 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕 p6,2008. 3

³¹ 土木学会：2007 年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕 p135，2008. 3 に補修・補強の別を加筆。

ページ	現 行	平成29年5月 改 定 案	備 考																																																																																																																																																																													
p. 26 ↓ p. 27	表 6.3 凍害と塩害を対象とした場合の構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例³¹⁾ <table><tr><th>構造物の外観上のグレード</th><th>標準的な工法</th><th>補修工法</th><th>補強工法</th></tr><tr><td>I（潜伏期）</td><td>表面処理（予防的に実施される工法）</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>II（進展期）</td><td>表面処理</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td rowspan="3">III（加速期）</td><td>表面処理</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>ひび割れ注入</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>断面修復</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">IV（劣化期）</td><td>ひび割れ注入</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>増厚</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>打換え</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>巻立て</td><td></td><td>○</td></tr></table> 6-3 表面処理工法 (1) 工法概要³²⁾ 凍害劣化対策として使用される表面処理工法としては、「遮水・遮塩系」（ここでは表面被覆材という）、「撥水系」（ここでは表面改質材という）の2種類があり、これら表面処理の概要を表6.4に示す。 <table><tr><th colspan="2">表 6.4 表面処理工法の概要</th></tr><tr><th></th><th>工法の概要</th></tr><tr><td>遮水・遮塩系 <u>（表面被覆材）</u></td><td>外部からコンクリート中に侵入する劣化要因を遮断することを目的として、コンクリート表面に塗装材料やポリマーセメントモルタルを塗布する方法や、フィルム状やシート状の材料を貼り付ける方法、さらには成形パネル材料を取り付ける方法などがある。</td></tr><tr><td>撥水系 <u>（表面改質材）</u></td><td>シリコーン系、非シリコーン系あるいはそれらの混合系の材料をコンクリート表面に塗布含浸させ、コンクリート表面に吸水防止層を形成することによって、外部からの水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸透を抑制し、劣化速度を抑えることを目的とした工法である。</td></tr></table> (2) 表面被覆材 表面被覆材は、潜伏期において凍害の原因となる水分を遮断して耐久性を向上する目的で予防的に使用される。進展期においては、微細なひび割れやスケールリングなどの現象が見られるため、水分の遮断に加え美観の向上やはく落防止を目的に使用される。また、塩害環境下では塩化物が凍害を促進する可能性があるため、遮塩性が要求される。 表面被覆材自体の耐久性および凍害劣化を抑制・防止する性能に関する評価指標を表6.5に示すが、様々な機関において仕様が定められている。³³⁾ ³¹⁾ 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕p135、2008.3に補修・補強の別を加筆。 ³²⁾ 日本コンクリート工学会：複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書、p107、2001.5 ³³⁾ 土木学会：コンクリート技術シリーズ58、コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状、p95-96、2004.2	構造物の外観上のグレード	標準的な工法	補修工法	補強工法	I（潜伏期）	表面処理（予防的に実施される工法）	○		II（進展期）	表面処理	○		III（加速期）	表面処理	○		ひび割れ注入	○		断面修復	○		IV（劣化期）	ひび割れ注入	○		増厚		○	打換え		○	巻立て		○	表 6.4 表面処理工法の概要			工法の概要	遮水・遮塩系 <u>（表面被覆材）</u>	外部からコンクリート中に侵入する劣化要因を遮断することを目的として、コンクリート表面に塗装材料やポリマーセメントモルタルを塗布する方法や、フィルム状やシート状の材料を貼り付ける方法、さらには成形パネル材料を取り付ける方法などがある。	撥水系 <u>（表面改質材）</u>	シリコーン系、非シリコーン系あるいはそれらの混合系の材料をコンクリート表面に塗布含浸させ、コンクリート表面に吸水防止層を形成することによって、外部からの水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸透を抑制し、劣化速度を抑えることを目的とした工法である。	表 6.3 凍害と塩害を対象とした場合の構造物の外観上の劣化グレードと標準的な工法の例³²⁾ <table><tr><th>構造物の外観上のグレード</th><th>標準的な工法</th><th>補修工法</th><th>補強工法</th></tr><tr><td>I（潜伏期）</td><td>表面処理（予防的に実施される工法）</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>II（進展期）</td><td>表面処理</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td rowspan="3">III（加速期）</td><td>表面処理</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>ひび割れ注入</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>断面修復</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">IV（劣化期）</td><td>ひび割れ注入</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>増厚</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>打換え</td><td></td><td>○</td></tr><tr><td>巻立て</td><td></td><td>○</td></tr></table> 表 6.4 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方法の例³³⁾ <table><tr><th colspan="11">凍 害</th></tr><tr><th colspan="3">外観の変状無し</th><th colspan="3">表面的な劣化</th><th colspan="3">骨材の露出や剥落</th><th colspan="2">かぶりコンクリート剥落、鉄筋露出・腐食</th></tr><tr><th>劣化現象</th><th>補修方針</th><th>補修方法例</th><th>劣化現象</th><th>補修方針</th><th>補修方法例</th><th>劣化現象</th><th>補修方針</th><th>補修方法例</th><th>劣化現象</th><th>補修方針</th></tr><tr><td>なし</td><td>水分の浸入抑制(2)</td><td>水処理 表面被覆</td><td>表面的なスケールリング、微細ひび割れ、ポツ／アツ外</td><td>水分の浸入抑制(2) 表面被覆材 コンクリートの復元(3)</td><td>水処理 表面含浸 表面被覆材 断面修復（ポツ／アツ部）</td><td>スケールリング、ひび割れ、ポツ／アツ、剥落</td><td>水分の浸入抑制(2) 断面修復 コンクリートの復元(3)</td><td>水処理* 表面含浸* 表面被覆材* ひび割れ注入</td><td>スケールリング、ひび割れ、ポツ／アツ、剥落</td><td>水分の浸入抑制(2) コンクリートの復元(3) 鉄筋の腐食 鉄筋の回復 鉄筋の交換</td></tr><tr><td colspan="6"></td><td colspan="3">断面修復が行われる場合は、その後に美観</td><td>耐力の低下</td><td>構造補修(4) 補修、再構築</td></tr></table> 表 6.5 補修工法選定上の留意点³⁴⁾ <table><tr><th colspan="5">凍 害</th></tr><tr><th>劣化状態</th><th>変状無し</th><th>表面的な劣化</th><th>骨材の露出や剥落</th><th>かぶりコンクリート剥落、鉄筋露出・腐食</th></tr><tr><td>水処理</td><td>・実施することが基本</td><td>・実施することが基本</td><td>・劣化の進行によって滲水しやすくなる</td><td></td></tr><tr><td>表面被覆材</td><td></td><td>・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、凍害が進行する恐れ ・定期的な塗り替えが必要。被覆材が劣化すると滲水が生じ凍害が促進</td><td>・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</td><td></td></tr><tr><td>表面含浸</td><td></td><td>・被覆に比較して遮断性能は低い ・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、凍害が進行する恐れ ・性能に差がある ・耐久性についての実証データは少ない ・表面被覆や断面修復の付着性を阻害する可能性</td><td>・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</td><td></td></tr><tr><td>ひび割れ注入</td><td></td><td></td><td>・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</td><td></td></tr><tr><td>断面修復</td><td></td><td></td><td>・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</td><td>・同左</td></tr><tr><td>鉄筋の交換 補強、再構築</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table> ³²⁾ 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔維持管理編〕p135、2008.3に補修・補強の別を加筆。 ³³⁾ 土木研究所資料第4343号：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）、I-19、2016.8 ³⁴⁾ 土木研究所資料第4343号：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案）、I-23、2016.8	構造物の外観上のグレード	標準的な工法	補修工法	補強工法	I（潜伏期）	表面処理（予防的に実施される工法）	○		II（進展期）	表面処理	○		III（加速期）	表面処理	○		ひび割れ注入	○		断面修復	○		IV（劣化期）	ひび割れ注入	○		増厚		○	打換え		○	巻立て		○	凍 害											外観の変状無し			表面的な劣化			骨材の露出や剥落			かぶりコンクリート剥落、鉄筋露出・腐食		劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	なし	水分の浸入抑制(2)	水処理 表面被覆	表面的なスケールリング、微細ひび割れ、ポツ／アツ外	水分の浸入抑制(2) 表面被覆材 コンクリートの復元(3)	水処理 表面含浸 表面被覆材 断面修復（ポツ／アツ部）	スケールリング、ひび割れ、ポツ／アツ、剥落	水分の浸入抑制(2) 断面修復 コンクリートの復元(3)	水処理* 表面含浸* 表面被覆材* ひび割れ注入	スケールリング、ひび割れ、ポツ／アツ、剥落	水分の浸入抑制(2) コンクリートの復元(3) 鉄筋の腐食 鉄筋の回復 鉄筋の交換							断面修復が行われる場合は、その後に美観			耐力の低下	構造補修(4) 補修、再構築	凍 害					劣化状態	変状無し	表面的な劣化	骨材の露出や剥落	かぶりコンクリート剥落、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滲水しやすくなる		表面被覆材		・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、凍害が進行する恐れ ・定期的な塗り替えが必要。被覆材が劣化すると滲水が生じ凍害が促進	・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		・被覆に比較して遮断性能は低い ・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、凍害が進行する恐れ ・性能に差がある ・耐久性についての実証データは少ない ・表面被覆や断面修復の付着性を阻害する可能性	・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		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			・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 補強、再構築					赤表示→削除 青表示→追加 または訂正
構造物の外観上のグレード	標準的な工法	補修工法	補強工法																																																																																																																																																																													
I（潜伏期）	表面処理（予防的に実施される工法）	○																																																																																																																																																																														
II（進展期）	表面処理	○																																																																																																																																																																														
III（加速期）	表面処理	○																																																																																																																																																																														
	ひび割れ注入	○																																																																																																																																																																														
	断面修復	○																																																																																																																																																																														
IV（劣化期）	ひび割れ注入	○																																																																																																																																																																														
	増厚		○																																																																																																																																																																													
	打換え		○																																																																																																																																																																													
	巻立て		○																																																																																																																																																																													
表 6.4 表面処理工法の概要																																																																																																																																																																																
	工法の概要																																																																																																																																																																															
遮水・遮塩系 <u>（表面被覆材）</u>	外部からコンクリート中に侵入する劣化要因を遮断することを目的として、コンクリート表面に塗装材料やポリマーセメントモルタルを塗布する方法や、フィルム状やシート状の材料を貼り付ける方法、さらには成形パネル材料を取り付ける方法などがある。																																																																																																																																																																															
撥水系 <u>（表面改質材）</u>	シリコーン系、非シリコーン系あるいはそれらの混合系の材料をコンクリート表面に塗布含浸させ、コンクリート表面に吸水防止層を形成することによって、外部からの水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸透を抑制し、劣化速度を抑えることを目的とした工法である。																																																																																																																																																																															
構造物の外観上のグレード	標準的な工法	補修工法	補強工法																																																																																																																																																																													
I（潜伏期）	表面処理（予防的に実施される工法）	○																																																																																																																																																																														
II（進展期）	表面処理	○																																																																																																																																																																														
III（加速期）	表面処理	○																																																																																																																																																																														
	ひび割れ注入	○																																																																																																																																																																														
	断面修復	○																																																																																																																																																																														
IV（劣化期）	ひび割れ注入	○																																																																																																																																																																														
	増厚		○																																																																																																																																																																													
	打換え		○																																																																																																																																																																													
	巻立て		○																																																																																																																																																																													
凍 害																																																																																																																																																																																
外観の変状無し			表面的な劣化			骨材の露出や剥落			かぶりコンクリート剥落、鉄筋露出・腐食																																																																																																																																																																							
劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針	補修方法例	劣化現象	補修方針																																																																																																																																																																						
なし	水分の浸入抑制(2)	水処理 表面被覆	表面的なスケールリング、微細ひび割れ、ポツ／アツ外	水分の浸入抑制(2) 表面被覆材 コンクリートの復元(3)	水処理 表面含浸 表面被覆材 断面修復（ポツ／アツ部）	スケールリング、ひび割れ、ポツ／アツ、剥落	水分の浸入抑制(2) 断面修復 コンクリートの復元(3)	水処理* 表面含浸* 表面被覆材* ひび割れ注入	スケールリング、ひび割れ、ポツ／アツ、剥落	水分の浸入抑制(2) コンクリートの復元(3) 鉄筋の腐食 鉄筋の回復 鉄筋の交換																																																																																																																																																																						
						断面修復が行われる場合は、その後に美観			耐力の低下	構造補修(4) 補修、再構築																																																																																																																																																																						
凍 害																																																																																																																																																																																
劣化状態	変状無し	表面的な劣化	骨材の露出や剥落	かぶりコンクリート剥落、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滲水しやすくなる																																																																																																																																																																													
表面被覆材		・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、凍害が進行する恐れ ・定期的な塗り替えが必要。被覆材が劣化すると滲水が生じ凍害が促進	・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		・被覆に比較して遮断性能は低い ・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、凍害が進行する恐れ ・性能に差がある ・耐久性についての実証データは少ない ・表面被覆や断面修復の付着性を阻害する可能性	・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																																																																																																																																																																													
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			・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 補強、再構築																																																																																																																																																																																

ページ	現 行	平成 2 9 年 5 月 改 定 案	備 考																																																													
p. 27 ↓ p. 28		6-3 表面処理工法 (1) 工法概要³⁵⁾ 凍害劣化対策として使用される表面処理工法としては表面被覆材，<u>シリコン系表面含浸材</u>の 2 種類があり，これら表面処理の概要を表 6.6 に示す。 <table><tr><th colspan="2">表 6.6 表面処理工法の概要</th></tr><tr><th></th><th>工法の概要</th></tr><tr><td>表面被覆材</td><td>外部からコンクリート中に侵入する劣化要因を遮断することを目的として，コンクリート表面に塗装材料やポリマーセメントモルタルを塗布する方法や，フィルム状やシート状の材料を貼り付ける方法，さらには成形パネル材料を取り付ける方法などがある。</td></tr><tr><td><u>シリコン系表面含浸材</u></td><td>シリコン系，非シリコン系あるいはそれらの混合系の材料をコンクリート表面に塗布含浸させ，コンクリート表面に吸水防止層を形成することによって，外部からの水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸透を抑制し，劣化速度を抑えることを目的とした工法である。</td></tr></table> (2) 表面被覆材 表面被覆材は，潜伏期において凍害の原因となる水分の<u>浸透を抑制</u>して耐久性を向上する目的で予防的に使用される。進展期においては，微細なひび割れやスケーリングなどの現象が見られるため，水分の<u>浸透抑制</u>に加え美観の向上やはく落防止を目的に使用される。また，塩害環境下では塩化物が凍害を促進する可能性があるため，遮塩性が要求される。<u>表 6.7 に表面被覆工法に求める性能と劣化機構の関係を示す。</u> 表面被覆材自体の耐久性および凍害劣化を抑制・防止する性能に関する評価指標を表 6.8 に示すが，様々な機関において仕様が定められている。 <table><tr><th colspan="6">表 6.7 表面被覆材に求める性能と劣化機構の関係³⁶⁾</th></tr><tr><th rowspan="2">補修方針</th><th rowspan="2">表面被覆工法に求める性能</th><th colspan="4">劣化機構</th></tr><tr><th>塩害</th><th>凍害</th><th>ASR</th><th>中性化</th></tr><tr><td rowspan="4">劣化因子の遮断</td><td>塩化物イオン遮蔽性</td><td>◎</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>二酸化炭素遮蔽性</td><td></td><td></td><td></td><td>◎</td></tr><tr><td>酸素遮蔽性</td><td>※</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>ひび割れ追従性</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td rowspan="3">水分の制御</td><td>遮水性</td><td>○</td><td>◎</td><td>◎</td><td>△</td></tr><tr><td>水蒸気遮蔽性</td><td></td><td>○</td><td>△</td><td>△</td></tr><tr><td>水蒸気透過性</td><td></td><td></td><td>△</td><td></td></tr></table> ◎：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 ※：酸素遮蔽性は，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 35 日本コンクリート工学協会：複合劣化コンクリート構造物の評価と維持管理計画研究委員会報告書，p107，2001.5 36 <u>土木研究所資料第 4343 号：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案），Ⅱ-6，2016.8</u> 28	表 6.6 表面処理工法の概要			工法の概要	表面被覆材	外部からコンクリート中に侵入する劣化要因を遮断することを目的として，コンクリート表面に塗装材料やポリマーセメントモルタルを塗布する方法や，フィルム状やシート状の材料を貼り付ける方法，さらには成形パネル材料を取り付ける方法などがある。	<u>シリコン系表面含浸材</u>	シリコン系，非シリコン系あるいはそれらの混合系の材料をコンクリート表面に塗布含浸させ，コンクリート表面に吸水防止層を形成することによって，外部からの水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸透を抑制し，劣化速度を抑えることを目的とした工法である。	表 6.7 表面被覆材に求める性能と劣化機構の関係 ³⁶⁾						補修方針	表面被覆工法に求める性能	劣化機構				塩害	凍害	ASR	中性化	劣化因子の遮断	塩化物イオン遮蔽性	◎	○	○	○	二酸化炭素遮蔽性				◎	酸素遮蔽性	※				ひび割れ追従性	○	○	○	○	水分の制御	遮水性	○	◎	◎	△	水蒸気遮蔽性		○	△	△	水蒸気透過性			△		赤表示→削除 青表示→追加 または訂正
表 6.6 表面処理工法の概要																																																																
	工法の概要																																																															
表面被覆材	外部からコンクリート中に侵入する劣化要因を遮断することを目的として，コンクリート表面に塗装材料やポリマーセメントモルタルを塗布する方法や，フィルム状やシート状の材料を貼り付ける方法，さらには成形パネル材料を取り付ける方法などがある。																																																															
<u>シリコン系表面含浸材</u>	シリコン系，非シリコン系あるいはそれらの混合系の材料をコンクリート表面に塗布含浸させ，コンクリート表面に吸水防止層を形成することによって，外部からの水や塩化物イオンなどの劣化因子の浸透を抑制し，劣化速度を抑えることを目的とした工法である。																																																															
表 6.7 表面被覆材に求める性能と劣化機構の関係 ³⁶⁾																																																																
補修方針	表面被覆工法に求める性能	劣化機構																																																														
		塩害	凍害	ASR	中性化																																																											
劣化因子の遮断	塩化物イオン遮蔽性	◎	○	○	○																																																											
	二酸化炭素遮蔽性				◎																																																											
	酸素遮蔽性	※																																																														
	ひび割れ追従性	○	○	○	○																																																											
水分の制御	遮水性	○	◎	◎	△																																																											
	水蒸気遮蔽性		○	△	△																																																											
	水蒸気透過性			△																																																												

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 新旧対比表

ページ	現 行	平成 2 9 年 5 月 改 定 案	備 考																																																																																				
p. 28 ↓ p. 29	表 6.5 表面被覆材に対する要求性能に関する評価指標 <table><tr><th colspan="2">要求性能</th><th>評価指標</th></tr><tr><td rowspan="4">表面被覆材自体の耐久性能</td><td>耐候性</td><td>付着強度、色調、光沢、テクスチャー 白亜化、はくり、われ、はがれなど</td></tr><tr><td>温度変化抵抗性</td><td>ふくれ、われ、はがれ、付着強度</td></tr><tr><td>凍結融解抵抗性（塩分環境）</td><td>ふくれ、われ、はがれ、付着強度</td></tr><tr><td>耐アルカリ性</td><td>ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出、付着強度、色調</td></tr><tr><td rowspan="5">コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能</td><td>防水性（遮水性）</td><td>透水量</td></tr><tr><td>ひび割れ追随性</td><td>塗膜の伸び量</td></tr><tr><td>塩分遮断性（遮塩性）</td><td>塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数</td></tr><tr><td>水蒸気透過性（透湿性）</td><td>水蒸気透過性</td></tr><tr><td>凍結融解抵抗性（塩分環境）</td><td>相対動弾性係数、質量減少率</td></tr></table> (3) 表面改質材 表面改質材は建設時もしくは建設後の初期欠陥や初期の劣化などに対して、凍害の原因となる水分を遮断して耐久性を向上する目的で予防的に使用される。表面被覆材に比べ凍害環境が穏やかな地区などに限定的に使用されるものと考えられている。表面被覆材と同様に塩害環境下では塩化物が凍害を促進する可能性があるため、遮塩性も要求される。 表面改質材自体の耐久性および凍害劣化を抑制・防止する性能に関する評価指標を表 6.6 に示す。しかし、表面改質材自体の凍害劣化に関してはその試験・評価方法は確立していないようであり、耐候性、耐アルカリ性など、コンクリート表面の外観評価とならざるを得ないと思われる。また、コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能に関しては基準を示している機関は少ない状況にある。³⁴ 写真 6.1 は新設橋梁の地覆に表面改質材を塗布している試験施工の状況である。  写真 6.1 表面改質材施工状況 表 6.6 表面改質材に対する要求性能に関する評価指標 <table><tr><th colspan="2">要求性能</th><th>評価指標</th></tr><tr><td rowspan="2">表面改質材自体の耐久性能</td><td>耐候性</td><td>浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状</td></tr><tr><td>耐アルカリ性</td><td>浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状</td></tr><tr><td rowspan="5">コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能</td><td>撥水性</td><td>吸水量、水の接触角</td></tr><tr><td>防水性（遮水性）</td><td>透水量</td></tr><tr><td>塩分遮断性（遮塩性）</td><td>塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数</td></tr><tr><td>水蒸気透過性（透湿性）</td><td>水蒸気透過量</td></tr><tr><td>凍結融解抵抗性（塩分環境）</td><td>相対動弾性係数、質量減少率等</td></tr></table> ³⁴ 土木学会：コンクリート技術シリーズ 58、コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状、p136-137、2004.2	要求性能		評価指標	表面被覆材自体の耐久性能	耐候性	付着強度、色調、光沢、テクスチャー 白亜化、はくり、われ、はがれなど	温度変化抵抗性	ふくれ、われ、はがれ、付着強度	凍結融解抵抗性（塩分環境）	ふくれ、われ、はがれ、付着強度	耐アルカリ性	ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出、付着強度、色調	コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	防水性（遮水性）	透水量	ひび割れ追随性	塗膜の伸び量	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過性	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率	要求性能		評価指標	表面改質材自体の耐久性能	耐候性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状	耐アルカリ性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状	コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	撥水性	吸水量、水の接触角	防水性（遮水性）	透水量	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過量	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率等	表 6.8 表面被覆材に対する要求性能に関する評価指標³⁷ <table><tr><th colspan="2">要求性能</th><th>評価指標</th></tr><tr><td rowspan="4">表面被覆材自体の耐久性能</td><td>耐候性</td><td>付着強度、色調、光沢、テクスチャー 白亜化、はくり、われ、はがれなど</td></tr><tr><td>温度変化抵抗性</td><td>ふくれ、われ、はがれ、付着強度</td></tr><tr><td>凍結融解抵抗性（塩分環境）</td><td>ふくれ、われ、はがれ、付着強度</td></tr><tr><td>耐アルカリ性</td><td>ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出、付着強度、色調</td></tr><tr><td rowspan="5">コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能</td><td>防水性（遮水性）</td><td>透水量</td></tr><tr><td>ひび割れ追随性</td><td>塗膜の伸び量</td></tr><tr><td>塩分遮断性（遮塩性）</td><td>塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数</td></tr><tr><td>水蒸気透過性（透湿性）</td><td>水蒸気透過性</td></tr><tr><td>凍結融解抵抗性（塩分環境）</td><td>相対動弾性係数、質量減少率</td></tr></table> (3) シラン系表面含浸材 シラン系表面含浸材は建設時もしくは建設後の初期欠陥や初期の劣化などに対して、凍害の原因となる水分を遮断して耐久性を向上する目的で予防的に使用される。<u>適切に使用することで、凍・塩害の抑制効果の持続が期待される^{38,39}。</u>なお、表面被覆材に比べ凍害環境が穏やかな地区などに限定的に使用されるものと考えられている。表面被覆材と同様に塩害環境下では塩化物が凍害を促進する可能性があるため、遮塩性も要求される。 シラン系表面含浸材自体の耐久性および凍害劣化を抑制・防止する性能に関する評価指標を表 6.9 に示す。しかし、シラン系表面含浸材自体の凍害劣化に関してはその試験・評価方法は確立していないようであり、耐候性、耐アルカリ性など、コンクリート表面の外観評価とならざるを得ないと思われる。また、コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能に関しては基準を示している機関は少ない状況にある。⁴⁰ 写真 6.1 は新設橋梁の地覆にシラン系表面含浸材を塗布している試験施工の状況である。  写真 6.1 シラン系表面含浸材施工状況 表 6.9 シラン系表面含浸材に対する要求性能に関する評価指標 <table><tr><th colspan="2">要求性能</th><th>評価指標</th></tr><tr><td rowspan="2">シラン系表面含浸材自体の耐久性能</td><td>耐候性</td><td>浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状</td></tr><tr><td>耐アルカリ性</td><td>浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状</td></tr><tr><td rowspan="5">コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能</td><td>撥水性</td><td>吸水量、水の接触角</td></tr><tr><td>防水性（遮水性）</td><td>透水量</td></tr><tr><td>塩分遮断性（遮塩性）</td><td>塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数</td></tr><tr><td>水蒸気透過性（透湿性）</td><td>水蒸気透過量</td></tr><tr><td>凍結融解抵抗性（塩分環境）</td><td>相対動弾性係数、質量減少率等</td></tr></table> ³⁷ 土木学会：コンクリート技術シリーズ 58、コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状、p95-96、2004.2 ³⁸ 遠藤裕丈：シラン系およびけい酸塩系表面含浸材の適切な使い方、道路構造物ジャーナル NET、鋼構造出版、2014.10（https://www.kozobutsu-hozen-journal.net/series/detail.php?id=6&page=1）。 ³⁹ 遠藤裕丈：実環境でのシラン系表面含浸材の効果の持続性について考える、道路構造物ジャーナル NET、鋼構造出版、2015.3（http://www.kozobutsu-hozen-journal.net/series/detail.php?id=17&page=1）。 ⁴⁰ 土木学会：コンクリート技術シリーズ 58、コンクリートの表面被覆および表面改質に関する技術の現状、p136-137、2004.2	要求性能		評価指標	表面被覆材自体の耐久性能	耐候性	付着強度、色調、光沢、テクスチャー 白亜化、はくり、われ、はがれなど	温度変化抵抗性	ふくれ、われ、はがれ、付着強度	凍結融解抵抗性（塩分環境）	ふくれ、われ、はがれ、付着強度	耐アルカリ性	ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出、付着強度、色調	コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	防水性（遮水性）	透水量	ひび割れ追随性	塗膜の伸び量	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過性	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率	要求性能		評価指標	シラン系表面含浸材自体の耐久性能	耐候性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状	耐アルカリ性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状	コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	撥水性	吸水量、水の接触角	防水性（遮水性）	透水量	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過量	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率等	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正
要求性能		評価指標																																																																																					
表面被覆材自体の耐久性能	耐候性	付着強度、色調、光沢、テクスチャー 白亜化、はくり、われ、はがれなど																																																																																					
	温度変化抵抗性	ふくれ、われ、はがれ、付着強度																																																																																					
	凍結融解抵抗性（塩分環境）	ふくれ、われ、はがれ、付着強度																																																																																					
	耐アルカリ性	ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出、付着強度、色調																																																																																					
コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	防水性（遮水性）	透水量																																																																																					
	ひび割れ追随性	塗膜の伸び量																																																																																					
	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数																																																																																					
	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過性																																																																																					
	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率																																																																																					
要求性能		評価指標																																																																																					
表面改質材自体の耐久性能	耐候性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状																																																																																					
	耐アルカリ性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状																																																																																					
コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	撥水性	吸水量、水の接触角																																																																																					
	防水性（遮水性）	透水量																																																																																					
	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数																																																																																					
	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過量																																																																																					
	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率等																																																																																					
要求性能		評価指標																																																																																					
表面被覆材自体の耐久性能	耐候性	付着強度、色調、光沢、テクスチャー 白亜化、はくり、われ、はがれなど																																																																																					
	温度変化抵抗性	ふくれ、われ、はがれ、付着強度																																																																																					
	凍結融解抵抗性（塩分環境）	ふくれ、われ、はがれ、付着強度																																																																																					
	耐アルカリ性	ふくれ、われ、はがれ、軟化、溶出、付着強度、色調																																																																																					
コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	防水性（遮水性）	透水量																																																																																					
	ひび割れ追随性	塗膜の伸び量																																																																																					
	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数																																																																																					
	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過性																																																																																					
	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率																																																																																					
要求性能		評価指標																																																																																					
シラン系表面含浸材自体の耐久性能	耐候性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状																																																																																					
	耐アルカリ性	浸透深さ、色調、コンクリート表面の変状																																																																																					
コンクリート構造物の劣化を抑制・防止する性能	撥水性	吸水量、水の接触角																																																																																					
	防水性（遮水性）	透水量																																																																																					
	塩分遮断性（遮塩性）	塩素透過量、塩化物イオンの拡散係数																																																																																					
	水蒸気透過性（透湿性）	水蒸気透過量																																																																																					
	凍結融解抵抗性（塩分環境）	相対動弾性係数、質量減少率等																																																																																					

ページ	現 行	平成 2 9 年 5 月 改 定 案	備 考																																																																		
p. 29 ↓ p. 30	6-4 ひび割れ注入 (1) 工法概要³⁵⁾ ひび割れ補修工法は一般に、ひび割れ幅やひび割れの動きに応じて、ひび割れ部の表面処理工法、注入工法、充填工法に分けられ、これらの概要を表 6.7 に示すが、凍害劣化対策としてはひび割れ注入工法が採用されている。 <table><caption>表 6.7 ひび割れ補修工法の概要</caption><tr><th></th><th>工法の概要</th></tr><tr><td>(ひび割れ部の) 表面処理工法</td><td>一般的には 0.2mm 程度未満の微細なひび割れを対象として、ひび割れ表面をシールする工法である。 ひび割れ幅の変動がない場合はバテ状エポキシ樹脂を用い、変動がある場合には可とう性エポキシ樹脂を用いる。</td></tr><tr><td>ひび割れ注入工法</td><td>概ね 0.2mm を越えるひび割れを対象にして、ひび割れ内部に樹脂やセメント系材料を注入充填する工法であり、最も多用されているひび割れ補修工法である。 注入材料には主にエポキシ樹脂やセメントスラリーが用いられ、ひび割れ幅やその変動の有無、使用環境（季節、湿潤の度合い）、注入工法、経済性などを考慮して選定される。</td></tr><tr><td>充填工法</td><td>ひび割れ幅が 0.2mm 程度を越えるものやひび割れ幅の変動が大きいものを対象として、表面を U カットしてカット部分を充填する工法である。 充填材はひび割れ幅とその変動が大きい場合にはシーリング材を用い、動きが小さいが変動しない場合には可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメントを用いる。</td></tr></table> (2) 補修を必要とするひび割れ幅 補修を必要とするひび割れ幅は、表 6.8 の鋼材の腐食に対する許容ひび割れ幅などを参考に設定する。例えば、一般の環境の場合純かぶりを 70mm とすると許容ひび割れ幅は 0.005×70mm=0.35mm となる。 <table><caption>表 6.8 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w a (mm)³⁶⁾</caption><tr><th rowspan="2">鋼材の種類</th><th colspan="3">鋼材の腐食に対する環境条件 (表 6.9 参照)</th></tr><tr><th>一般の環境</th><th>腐食性環境</th><th>特に厳しい腐食性環境</th></tr><tr><td>異形鉄筋・普通丸鋼</td><td>0.005 c</td><td>0.004 c</td><td>0.0035 c</td></tr><tr><td>PC 鋼材</td><td>0.004 c</td><td>----</td><td>----</td></tr><tr><td>注)</td><td colspan="3">適用できるかぶり c は 100mm 以下を標準とする。</td></tr></table> <table><caption>表 6.9 鋼材の腐食に対する環境条件の区分³⁷⁾</caption><tr><td>一般の環境</td><td>塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等</td></tr><tr><td>腐食性環境</td><td>1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等</td></tr><tr><td>特に厳しい腐食性環境</td><td>1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等</td></tr></table>		工法の概要	(ひび割れ部の) 表面処理工法	一般的には 0.2mm 程度未満の微細なひび割れを対象として、ひび割れ表面をシールする工法である。 ひび割れ幅の変動がない場合はバテ状エポキシ樹脂を用い、変動がある場合には可とう性エポキシ樹脂 を用いる 。	ひび割れ注入工法	概ね 0.2mm を越えるひび割れを対象にして、ひび割れ内部に樹脂やセメント系 材料 を注入 充填 する工法であり、最も多用されているひび割れ 補修 工法である。 注入材料には主にエポキシ樹脂やセメントスラリーが用いられ、ひび割れ幅やその変動の有無、使用環境（季節、湿潤の度合い）、注入工法、経済性などを考慮して選定される。	充填 工法	ひび割れ幅が 0.2mm 程度を越えるものやひび割れ幅の変動が大きいものを対象として、表面を U カットしてカット部分を 充填 する工法である。 充填材はひび割れ幅とその変動が大きい場合にはシーリング材を用い、動きが小さいが変動しない場合には可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメント を用いる 。	鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件 (表 6.9 参照)			一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	異形鉄筋・普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c	PC 鋼材	0.004 c	----	----	注)	適用できるかぶり c は 100mm 以下を標準とする。			一般の環境	塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等	腐食性環境	1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等	特に厳しい腐食性環境	1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等	6-4 ひび割れ修復工法 (1) 工法概要⁴¹⁾ ひび割れ修復工法は、一般にひび割れ幅やひび割れの動きに応じて、ひび割れ部のひび割れ表面処理工法、ひび割れ注入工法、ひび割れ充填工法に分けられ、これらの概要を表 6.10 に示すが、凍害劣化対策としてはひび割れ注入工法が主に採用されている。 <table><caption>表 6.10 ひび割れ補修工法の概要</caption><tr><th></th><th>工法の概要</th></tr><tr><td>ひび割れ表面処理工法</td><td>一般的には 0.2mm 未満の微細なひび割れを対象として、ひび割れ表面をシールする工法である。 ひび割れ幅の変動がない場合はバテ状エポキシ樹脂、変動がある場合には可とう性エポキシ樹脂が一般的に用いられる。</td></tr><tr><td>ひび割れ注入工法</td><td>概ね 0.2mm を越える表面ひび割れを対象にして、ひび割れ内部に樹脂系やセメント系の注入材を注入充填する工法であり、最も多用されているひび割れ修復工法である。 注入材料には主にエポキシ樹脂やセメントスラリーが用いられ、ひび割れ幅やその変動の有無、使用環境（季節、湿潤の度合い）、注入工法、経済性などを考慮して選定される。</td></tr><tr><td>ひび割れ充填工法</td><td>ひび割れ幅が概ね 1.0mm を越えるものやひび割れ幅の変動が大きいものを対象として、表面を U カットもしくは V カットしてカット部分を充填材で充填する工法である。 充填材はひび割れ幅とその変動が大きい場合にはシーリング材、動きが小さいが変動しない場合には可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメントが一般的に用いられる。</td></tr></table> (2) 補修を必要とするひび割れ幅 補修を必要とするひび割れ幅は、表 6.11 および表 6.12 に示す鋼材の腐食に対する許容ひび割れ幅および環境条件の区分などを参考に設定する。例えば、一般の環境の場合純かぶりを 70mm とすると許容ひび割れ幅は 0.005×70mm=0.35mm となる。しかし、凍害環境においては、ひび割れに浸入した水分の凍結融解作用によってひび割れの進行・拡大が生じやすくなるため、ひび割れ幅に関わらず早期にひび割れへの対策を検討することが重要である。 <table><caption>表 6.11 鋼材の腐食に対するひび割れ幅の限界値 w a (mm)⁴²⁾</caption><tr><th rowspan="2">鋼材の種類</th><th colspan="3">鋼材の腐食に対する環境条件 (表 6.12 参照)</th></tr><tr><th>一般の環境</th><th>腐食性環境</th><th>特に厳しい腐食性環境</th></tr><tr><td>異形鉄筋・普通丸鋼</td><td>0.005 c</td><td>0.004 c</td><td>0.0035 c</td></tr><tr><td>PC 鋼材</td><td>0.004 c</td><td>----</td><td>----</td></tr><tr><td>注)</td><td colspan="3">適用できるかぶり c は 100mm 以下を標準とする。</td></tr></table> <table><caption>表 6.12 鋼材の腐食に対する環境条件の区分⁴³⁾</caption><tr><td>一般の環境</td><td>塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等</td></tr><tr><td>腐食性環境</td><td>1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等</td></tr><tr><td>特に厳しい腐食性環境</td><td>1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等</td></tr></table>		工法の概要	ひび割れ表面処理工法	一般的には 0.2mm 未満の微細なひび割れを対象として、ひび割れ表面をシールする工法である。 ひび割れ幅の変動がない場合はバテ状エポキシ樹脂、変動がある場合には可とう性エポキシ樹脂が 一般的 に用いられる。	ひび割れ注入工法	概ね 0.2mm を越える 表面 ひび割れを対象にして、ひび割れ内部に樹脂系やセメント系の 注入 材を注入 充填 する工法であり、最も多用されているひび割れ 修復 工法である。 注入材料には主にエポキシ樹脂やセメントスラリーが用いられ、ひび割れ幅やその変動の有無、使用環境（季節、湿潤の度合い）、注入工法、経済性などを考慮して選定される。	ひび割れ 充填工法	ひび割れ幅が 概ね 1.0mm を越えるものやひび割れ幅の変動が大きいものを対象として、表面を U カットもしくは V カットしてカット部分を 充填材 で 充填 する工法である。 充填材はひび割れ幅とその変動が大きい場合にはシーリング材、動きが小さいが変動しない場合には可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメント が一般的 に用いられる。	鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件 (表 6.12 参照)			一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境	異形鉄筋・普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c	PC 鋼材	0.004 c	----	----	注)	適用できるかぶり c は 100mm 以下を標準とする。			一般の環境	塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等	腐食性環境	1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等	特に厳しい腐食性環境	1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正
	工法の概要																																																																				
(ひび割れ部の) 表面処理工法	一般的には 0.2mm 程度未満の微細なひび割れを対象として、ひび割れ表面をシールする工法である。 ひび割れ幅の変動がない場合はバテ状エポキシ樹脂を用い、変動がある場合には可とう性エポキシ樹脂 を用いる 。																																																																				
ひび割れ注入工法	概ね 0.2mm を越えるひび割れを対象にして、ひび割れ内部に樹脂やセメント系 材料 を注入 充填 する工法であり、最も多用されているひび割れ 補修 工法である。 注入材料には主にエポキシ樹脂やセメントスラリーが用いられ、ひび割れ幅やその変動の有無、使用環境（季節、湿潤の度合い）、注入工法、経済性などを考慮して選定される。																																																																				
充填 工法	ひび割れ幅が 0.2mm 程度を越えるものやひび割れ幅の変動が大きいものを対象として、表面を U カットしてカット部分を 充填 する工法である。 充填材はひび割れ幅とその変動が大きい場合にはシーリング材を用い、動きが小さいが変動しない場合には可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメント を用いる 。																																																																				
鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件 (表 6.9 参照)																																																																				
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境																																																																		
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c																																																																		
PC 鋼材	0.004 c	----	----																																																																		
注)	適用できるかぶり c は 100mm 以下を標準とする。																																																																				
一般の環境	塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等																																																																				
腐食性環境	1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等																																																																				
特に厳しい腐食性環境	1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等																																																																				
	工法の概要																																																																				
ひび割れ表面処理工法	一般的には 0.2mm 未満の微細なひび割れを対象として、ひび割れ表面をシールする工法である。 ひび割れ幅の変動がない場合はバテ状エポキシ樹脂、変動がある場合には可とう性エポキシ樹脂が 一般的 に用いられる。																																																																				
ひび割れ注入工法	概ね 0.2mm を越える 表面 ひび割れを対象にして、ひび割れ内部に樹脂系やセメント系の 注入 材を注入 充填 する工法であり、最も多用されているひび割れ 修復 工法である。 注入材料には主にエポキシ樹脂やセメントスラリーが用いられ、ひび割れ幅やその変動の有無、使用環境（季節、湿潤の度合い）、注入工法、経済性などを考慮して選定される。																																																																				
ひび割れ 充填工法	ひび割れ幅が 概ね 1.0mm を越えるものやひび割れ幅の変動が大きいものを対象として、表面を U カットもしくは V カットしてカット部分を 充填材 で 充填 する工法である。 充填材はひび割れ幅とその変動が大きい場合にはシーリング材、動きが小さいが変動しない場合には可とう性エポキシ樹脂やポリマーセメント が一般的 に用いられる。																																																																				
鋼材の種類	鋼材の腐食に対する環境条件 (表 6.12 参照)																																																																				
	一般の環境	腐食性環境	特に厳しい腐食性環境																																																																		
異形鉄筋・普通丸鋼	0.005 c	0.004 c	0.0035 c																																																																		
PC 鋼材	0.004 c	----	----																																																																		
注)	適用できるかぶり c は 100mm 以下を標準とする。																																																																				
一般の環境	塩化物イオンが飛来しない通常の屋外の場合、土中の場合等																																																																				
腐食性環境	1. 一般の環境に比較し、乾湿の繰返しが多い場合および特に有害な物質を含む地下水位以下の土中の場合等鋼材の腐食に有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で海水中や特に厳しくない海洋環境にある場合等																																																																				
特に厳しい腐食性環境	1. 鋼材の腐食に著しく有害な影響を与える場合等 2. 海洋コンクリート構造物で干満帯や飛沫帯にある場合および激しい潮風を受ける場合等																																																																				

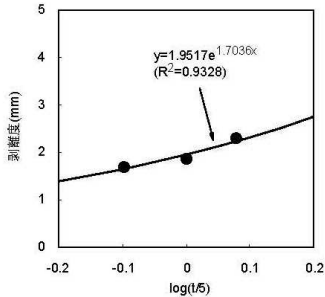
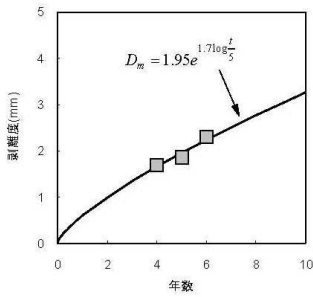
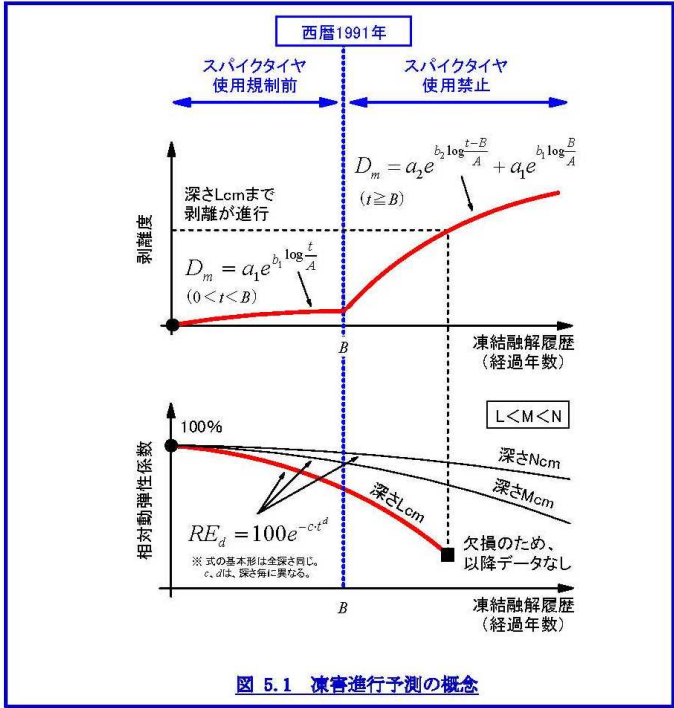
<

ページ	現 行	平成２９年５月 改 定 案	備 考																																																											
p. 30 ↓ p. 31	(3) ひび割れ注入材の特徴 ひび割れ注入材は有機系，無機系に区分され，材料の性質や施工上の留意点が異なるため注意が必要である。表 6.10 に代表的なひび割れ補修材の特徴を示す。 <table><caption>表 6.10 代表的ひび割れ補修材の特徴</caption><tr><th></th><th colspan="2">有機系ひび割れ補修材料</th><th>無機系ひび割れ補修材料</th></tr><tr><th></th><th>エポキシ樹脂</th><th>アクリル樹脂（MMA樹脂）</th><th>超微粒子セメントスラリー</th></tr><tr><td>熱による性質</td><td>熱で溶けないビスケット型 ＜熱硬化性樹脂＞</td><td>熱で柔らかくなるチョコ型 ＜熱可塑性樹脂＞</td><td>熱しても焦げない</td></tr><tr><td>反応の種類</td><td>主剤と硬化剤が架橋反応し，共有結合して徐々に硬化する</td><td>硬化剤，促進剤の混合により発生したラジカルの連鎖反応（ラジカル重合）により急激に硬化する</td><td>水和反応により C-S-H を生成して硬化する</td></tr><tr><td>長所</td><td>接着性に優れる 充填性に優れる 硬化収縮が 0.1～1.0%と小さい ひび割れ幅の変動に対応： →硬質形・軟質形 ひび割れ幅に対応： →低・中・高粘度形 揮発性なし</td><td>接着性に優れる ゴム状から高弾性まで 耐候性に優れる 低温下（-10～-20℃）で硬化 湿潤面の接着可 ラフな量比・攪拌で硬化</td><td>湿潤面への適用可 取り扱いが容易，安全 熱収縮量が小さい 鉄筋防錆作用有り</td></tr><tr><td>短所</td><td>湿潤面の接着不可 （湿潤面の接着には湿潤面用） 低温下（+5℃）で硬化不良 正確な量比・攪拌が必要 紫外線により白亜化（チョーキング）</td><td>硬化収縮がエポキシより大 高温時の可視時間が短い 空気（酸素）面は硬化が遅い 揮発性があり特有の臭気</td><td>乾燥面ではドライアウト[※] 接着性に劣る 有機系より強度が小さい 充填性に劣る</td></tr></table> 注）ドライアウトとはモルタルなどの練り材料（セメント系補修材を含む）が，直射日光，風，下地の吸水などによる水分の急減で正常な凝結硬化をしないことをいう。このため，ひび割れ注入に無機系材料を使用する場合にはひび割れ内部が湿潤な状態で施工する必要がある。 6-5 断面修復 (1) 工法概要 断面修復工法は，既に劣化が顕在化した部分に対しては補修範囲が外観上明確であり，補修後には劣化損傷部がきれいに修復されることから，様々な劣化損傷に適用されている。 凍害により劣化したコンクリートにおいては，劣化損傷を受けた範囲（面積および深さ）を明確にして適切な範囲を補修する必要がある。 (2) 補修工法および補修材料 劣化範囲のはつり除去方法は，人力はつりやウォータージェット工法などがある。 断面修復の方法は補修範囲の大きさによって，型枠を組んで充填やプレパックドコンクリートとする方法，吹き付けによる方法，左官による方法などがある。 補修材料としては，母材のコンクリートと置き換わるために， ・ SBR 系ポリマーセメントモルタル（コンクリート） ・ アクリル系ポリマーセメントモルタル（コンクリート） ・ 無収縮セメントポリマーセメントモルタル（コンクリート） ・ 軽量エポキシ樹脂パテ 等が用いられ，母材コンクリートと同等あるいはそれ以上の物理的性質や耐久性が求められる。		有機系ひび割れ補修材料		無機系ひび割れ補修材料		エポキシ樹脂	アクリル樹脂（MMA樹脂）	超微粒子セメントスラリー	熱による性質	熱で溶けないビスケット型 ＜熱硬化性樹脂＞	熱で柔らかくなるチョコ型 ＜熱可塑性樹脂＞	熱しても焦げない	反応の種類	主剤と硬化剤が架橋反応し，共有結合して徐々に硬化する	硬化剤，促進剤の混合により発生したラジカルの連鎖反応（ラジカル重合）により急激に硬化する	水和反応により C-S-H を生成して硬化する	長所	接着性に優れる 充填性に優れる 硬化収縮が 0.1～1.0%と小さい ひび割れ幅の変動に対応： →硬質形・軟質形 ひび割れ幅に対応： →低・中・高粘度形 揮発性なし	接着性に優れる ゴム状から高弾性まで 耐候性に優れる 低温下（-10～-20℃）で硬化 湿潤面の接着可 ラフな量比・攪拌で硬化	湿潤面への適用可 取り扱いが容易，安全 熱収縮量が小さい 鉄筋防錆作用有り	短所	湿潤面の接着不可 （湿潤面の接着には湿潤面用） 低温下（+5℃）で硬化不良 正確な量比・攪拌が必要 紫外線により白亜化（チョーキング）	硬化収縮がエポキシより大 高温時の可視時間が短い 空気（酸素）面は硬化が遅い 揮発性があり特有の臭気	乾燥面ではドライアウト [※] 接着性に劣る 有機系より強度が小さい 充填性に劣る	(3) ひび割れ注入材の特長 ひび割れ修復材は，ひび割れ注入工法やひび割れ充填工法等にそれぞれ使用される専用の材料がある。ここでは，凍害劣化対策として主に採用されるひび割れ注入材の特長を記す。 ひび割れ注入材は樹脂系とセメント系に大別され，材料の性質や施工上の留意点が異なるため注意が必要である。 樹脂系注入材は，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。硬化後の材質によって硬質形と軟質形に分類され，ひび割れの進行が懸念される場合には軟質形を使用する。樹脂系注入材の硬化前の性能は温度に影響されやすく，温度が高いと粘性は低下して硬化時間が減少し，温度が低いと粘性は増加して硬化時間が増大する特長を持つ。この性能から，施工温度によって流動性や充填性が変化することから，施工時の品質確保には温度管理が重要である。特に低温施工においては， また，樹脂系注入材はコンクリートの湿潤に対して接着性が一般的に低下するが，標準的な樹脂系注入材は多少の湿潤には対応している製品が多いため，漏水が顕著なひび割れでなければ使用可能である。漏水が顕著なひび割れに対しては水中硬化型の注入材を使用することが望ましい。 セメント系注入材は，セメント粒径の小さい超微粒子セメントを主原料とした注入材が一般的である。ポリマーエマルジョンを混合したタイプもある。セメント系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性能を持つ。施工時には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。これは，硬化後のセメントの性質である水分を吸収する性質により，乾燥したひび割れに注入した場合，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，ひび割れ注入材の流動性が低下して未充填が発生しやすいからである。 表 6.13 に補修方針とひび割れ修復材に求められる性能との関係を示す。特に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，補修方針（劣化因子の浸入防止・抑制と鋼材の腐食抑制）を満足することが可能となる。 <table><caption>表 6.13 補修方針とひび割れ修復材に求められる性能との関係⁴⁴</caption><tr><th rowspan="2">材料に求められる性能</th><th rowspan="2">主な品質規格 (JIS A6024, NSRS-003 など)</th><th colspan="2">補修方針</th></tr><tr><th>①劣化因子の浸入防止・抑制</th><th>②鋼材の腐食抑制</th></tr><tr><td rowspan="5">ひび割れ注入材</td><td>充填性・密実性</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>材料強度</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>ひび割れ追従性</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>接着耐久性</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>(耐候性等)</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td rowspan="4">ひび割れ充填材</td><td>材料強度</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>ひび割れ追従性</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>接着耐久性</td><td>○</td><td></td></tr><tr><td>(耐候性等)</td><td>○</td><td></td></tr></table> ○：必要となる基本的な性能	材料に求められる性能	主な品質規格 (JIS A6024, NSRS-003 など)	補修方針		①劣化因子の浸入防止・抑制	②鋼材の腐食抑制	ひび割れ注入材	充填性・密実性	○	○	材料強度	○	○	ひび割れ追従性	○		接着耐久性	○		(耐候性等)	○		ひび割れ充填材	材料強度	○		ひび割れ追従性	○		接着耐久性	○		(耐候性等)	○		赤表示→削除 青表示→追加 または訂正
	有機系ひび割れ補修材料		無機系ひび割れ補修材料																																																											
	エポキシ樹脂	アクリル樹脂（MMA樹脂）	超微粒子セメントスラリー																																																											
熱による性質	熱で溶けないビスケット型 ＜熱硬化性樹脂＞	熱で柔らかくなるチョコ型 ＜熱可塑性樹脂＞	熱しても焦げない																																																											
反応の種類	主剤と硬化剤が架橋反応し，共有結合して徐々に硬化する	硬化剤，促進剤の混合により発生したラジカルの連鎖反応（ラジカル重合）により急激に硬化する	水和反応により C-S-H を生成して硬化する																																																											
長所	接着性に優れる 充填性に優れる 硬化収縮が 0.1～1.0%と小さい ひび割れ幅の変動に対応： →硬質形・軟質形 ひび割れ幅に対応： →低・中・高粘度形 揮発性なし	接着性に優れる ゴム状から高弾性まで 耐候性に優れる 低温下（-10～-20℃）で硬化 湿潤面の接着可 ラフな量比・攪拌で硬化	湿潤面への適用可 取り扱いが容易，安全 熱収縮量が小さい 鉄筋防錆作用有り																																																											
短所	湿潤面の接着不可 （湿潤面の接着には湿潤面用） 低温下（+5℃）で硬化不良 正確な量比・攪拌が必要 紫外線により白亜化（チョーキング）	硬化収縮がエポキシより大 高温時の可視時間が短い 空気（酸素）面は硬化が遅い 揮発性があり特有の臭気	乾燥面ではドライアウト [※] 接着性に劣る 有機系より強度が小さい 充填性に劣る																																																											
材料に求められる性能	主な品質規格 (JIS A6024, NSRS-003 など)	補修方針																																																												
		①劣化因子の浸入防止・抑制	②鋼材の腐食抑制																																																											
ひび割れ注入材	充填性・密実性	○	○																																																											
	材料強度	○	○																																																											
	ひび割れ追従性	○																																																												
	接着耐久性	○																																																												
	(耐候性等)	○																																																												
ひび割れ充填材	材料強度	○																																																												
	ひび割れ追従性	○																																																												
	接着耐久性	○																																																												
	(耐候性等)	○																																																												

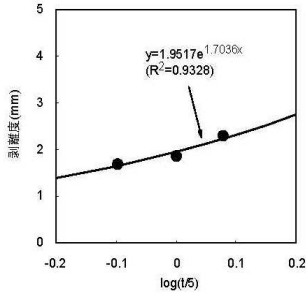
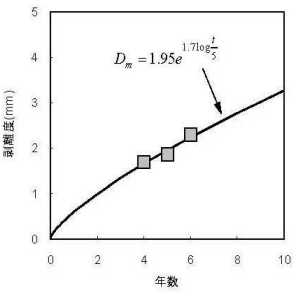
⁴⁴ 土木研究所資料第 4343 号：コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル（案），IV-3，2016.8

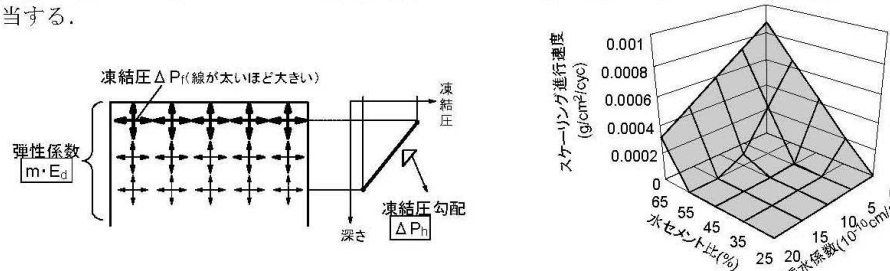
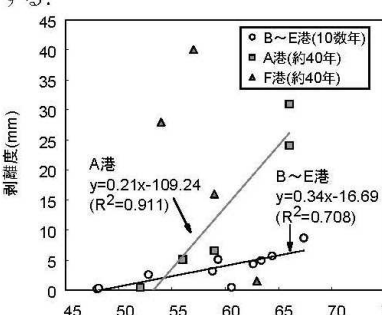
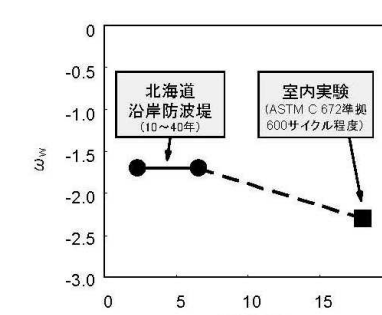
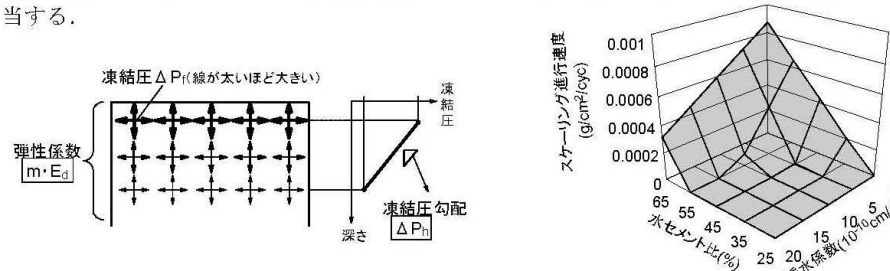
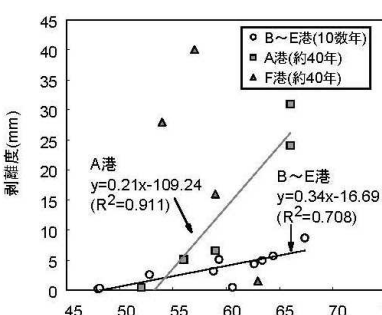
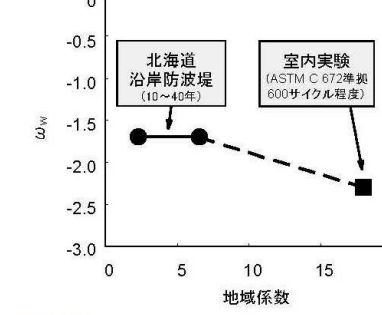
凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 新旧対比表

ページ	現 行	平成２９年５月 改 定 案	備 考
p. 31 ↓ p. 32	6-6 水分の供給を防ぐ補修対策³⁸ 凍害は水分の供給により劣化が進行するため、特に橋台・橋脚などの橋梁下部構造物などでは、上部構造から流下する雨水の通りみちなどで、著しい変状が見られることが多い。このため、変状が見られる箇所への水分の供給を防ぐことを目的とした次の対策が重要である。 1) ジョイント部の漏水対策工 ・非排水型伸縮装置の採用 ・ジョイント部周辺への防水シートの採用 ・排水樹、配水管の補修・更新 2) その他、上部構造からの漏水防止 6-7 補強対策 (1) 増厚 既設コンクリート部材にモルタルやコンクリートなどのセメント系補強材を打設し、部材断面を増加させることにより補強を行う工法³⁹であるが、凍害劣化部材への適用事例は多くないと思われる。 (2) 打換え 打ち換え工法には、損傷している部分だけを取り除いて新たにコンクリートを打設して損傷を受けていない部分と同程度の機能に回復させる部分打ち換え工法と、部材を全面的に撤去して新たに打ち換える全面打ち換え工法とがある。いずれの工法も、耐荷力やたわみ性の回復に対する効果は確実である。⁴⁰ 道路橋の床版等の適用事例が多い工法である。 (3) 巻立て 巻き立て工法では、一般に既設コンクリート部材に鉄板や連続繊維シートなどの補強材を接着剤あるいは充填材を介して巻き立てることにより補強を行う工法⁴¹であるが、凍害劣化部材への適用事例は多くないと思われる。 ³⁸ 国土交通省：「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領（案）」、H15.3」「7. 補修対策工の検討、解説（6）」 ³⁹ 土木学会：コンクリートライブラリー95、コンクリート構造物の補強指針（案）、付属資料Ⅰ 補強工法マニュアル、p67, 1999.9 ⁴⁰ 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書、p207, 1998.10 ⁴¹ 土木学会：コンクリートライブラリー95、コンクリート構造物の補強指針（案）、付属資料Ⅰ 補強工法マニュアル、p62, 1999.9	6-5 断面修復工法 (1) 工法概要 断面修復工法は、既に劣化が顕在化した部分に対しては補修範囲が外観上明確であり、補修後には劣化損傷部がきれいに修復されることから、様々な劣化損傷に適用されている。 凍害により劣化したコンクリートにおいては、劣化損傷を受けた範囲（面積および深さ）を明確にして適切な範囲を補修する必要がある。 (2) 補修工法および補修材料 劣化範囲のはつり除去方法は、人力はつりやウォータージェット工法などがある。 断面修復の方法は補修範囲の大きさによって、型枠を組んで充填やプレバックドコンクリートとする方法、吹き付けによる方法、左官による方法などがある。 補修材料としては、母材のコンクリートと置き換わるために、 ・SBR系ポリマーセメントモルタル（コンクリート） ・アクリル系ポリマーセメントモルタル（コンクリート） ・無収縮セメントポリマーセメントモルタル（コンクリート） ・軽量エポキシ樹脂パテ 等が用いられ、母材コンクリートと同等あるいはそれ以上の物理的性質や耐久性が求められる。 6-6 水分の供給を防ぐ補修対策⁴⁵ 凍害は水分の供給により劣化が進行するため、特に橋台・橋脚などの橋梁下部構造物などでは、上部構造から流下する雨水の通りみちなどで、著しい変状が見られることが多い。このため、変状が見られる箇所への水分の供給を防ぐことを目的とした次の対策が重要である。 1) ジョイント部の漏水対策工 ・非排水型伸縮装置の採用 ・ジョイント部周辺への防水シートの採用 ・排水樹、配水管の補修・更新 2) その他、上部構造からの漏水防止 6-7 補強対策 (1) 増厚 既設コンクリート部材にモルタルやコンクリートなどのセメント系補強材を打設し、部材断面を増加させることにより補強を行う工法⁴⁶であるが、凍害劣化部材への適用事例は少ない。 (2) 打換え 打ち換え工法には、損傷している部分だけを取り除いて新たにコンクリートを打設して損傷を受けていない部分と同程度の機能に回復させる部分打ち換え工法と、部材を全面的に撤去して新たに打ち換える全面打ち換え工法とがある。いずれの工法も、耐荷力やたわみ性の回復に対する効果は確実である。⁴⁷ 道路橋の床版等の適用事例が多い工法である。 (3) 巻立て 巻き立て工法では、一般に既設コンクリート部材に鉄板や連続繊維シートなどの補強材を接着剤あるいは充填材を介して巻き立てることにより補強を行う工法⁴⁸であるが、凍害劣化部材への適用事例は少ない。 ⁴⁵ 国土交通省：「道路橋のアルカリ骨材反応に対する維持管理要領（案）」、H15.3」「7. 補修対策工の検討、解説（6）」 ⁴⁶ 土木学会：コンクリートライブラリー95、コンクリート構造物の補強指針（案）、付属資料Ⅰ 補強工法マニュアル、p67, 1999.9 ⁴⁷ 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物のリハビリテーション研究委員会報告書、p207, 1998.10 ⁴⁸ 土木学会：コンクリートライブラリー95、コンクリート構造物の補強指針（案）、付属資料Ⅰ 補強工法マニュアル、p62, 1999.9	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正
	31	32	

ページ	現 行	平成29年5月 改 定 案	備 考
参 5-6 ↓ 参 5-7	5-2 凍害と塩害との複合劣化予測および耐久性設計 5-2-1 凍害と塩害の複合劣化（スケーリング）予測 （スケーリング予測式） 凍結融解と塩化物の複合作用によるスケーリングは、<u>ひび割れの進展が主な</u>一般の凍害とは劣化形態が異なるため、<u>凍害の劣化予測手法をそのまま用いることはできない</u>。寒地土木研究所の成果⁶⁵より、長期的なスケーリングの進行性は、<u>指数関数である</u>式 5.2 を用いることで、評価できることが示された。 $D_m = pe^{q \log \frac{t}{A}} \quad (t=0 \text{ のときは } D_m=0 \text{ とする}) \quad \text{式 5.2}$ <u>ここに、D_mは剥離度(mm)、tは供用年数、Aはtを無次元化させるための係数、p、qは現場の条件によって決定される係数である。ただし、劣化抑制対策が施されている場合は、適用対象外とする。</u> （スケーリング予測式の算出例） <u>図 5.1</u>、<u>図 5.2</u> に道路橋地覆垂直面を対象としたスケーリング予測式の算出例を示す。この<u>図</u>では、供用から 4、5、6 年目に剥離度を測定している（剥離度は 4 年目が 1.7mm、5 年目が 1.8mm、6 年目が 2.3mm）。A を 4～6 年の平均をとって 5 とし、$\log(t/5)$と D_m の関係をグラフ化し、指数回帰を行うと <u>図 5.1</u> に示す回帰式が得られる。この回帰式から <u>p、q</u> が定まり（$p=1.95$、$q=1.7$）、予測式が決定される。供用年数と剥離度の関係（<u>図 5.2</u>）より、実測値と求めた予測式は良く対応していることがわかる。  <u>図 5.1</u> $\log(t/A)$ と剥離度の関係（$A=5$）  <u>図 5.2</u> 供用年数と剥離度の関係	5-2 凍害と塩害との複合劣化予測および耐久性設計 5-2-1 凍害と塩害の複合劣化（スケーリング・<u>相対動弾性係数</u>）予測 （スケーリング・<u>相対動弾性係数</u>予測式） 凍結融解と塩化物の複合作用による<u>凍害</u>は、<u>塩化物が作用しない</u>一般の凍害とは劣化形態が異なる。寒地土木研究所の成果⁶⁷より、<u>凍結融解と塩化物の複合作用を受けるときの</u>長期的なスケーリング・<u>相対動弾性係数</u>の進行性は、式 5.1～式 5.1 を用いることで、評価できることが示された。 $D_m = a_1 e^{b_1 \log \frac{t}{A}} \quad \text{（散布開始前）} \quad \text{式 5.2}$$D_m = a_2 e^{b_2 \log \frac{t-B}{A}} + a_1 e^{b_1 \log \frac{B}{A}} \quad \text{（散布開始以降）} \quad \text{式 5.3}$$RE_d = 100 e^{-c \cdot t^d} \quad \text{（欠損に至るまで）} \quad \text{式 5.4}$ <u>ここに、D_mは剥離度(mm)（平均剥離深さと測定範囲（50×50cm）に占めるスケーリング面積の割合との積）もしくはスケーリング量（g/cm²）、RE_dは相対動弾性係数(%）、tは凍結融解履歴（一般に供用年数（年）、$t>0$ とし、$t=0$ のときは $D_m=0$mm）、A は年数を無次元化させるための値、B は供用後、凍結防止剤の散布が開始されるまでの期間（年）（ただし、$B=0$ の場合、$\log(B/A)=0$）、a_1、b_1、a_2、b_2、c、d は係数である（現在、散布路線で供用されているコンクリート構造物の予測においては、a_1と b_1 を 0 とすることで安全側に評価できる）。<u>図 5.1</u> に予測の概念を示す。ただし、式 5.1～式 5.1 の適用対象は、劣化抑制対策が施されていないコンクリートとする。式 5.2、式 5.3 の A は、t を無次元化させることが目的の任意の値である。前掲の寒地土木研究所の</u>  <u>図 5.1</u> 凍害進行予測の概念	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正 式追加・係数記号変更（式の骨格は変更なし）
	-参 5-6 -	-参 5-6 -	

⁶⁷ 遠藤裕丈，島多昭典，川村浩二：環境条件の変遷を考慮した凍害予測に関する基礎的研究，第 14 回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，pp.141-148，2014.10

ページ	現 行	平成29年5月 改 定 案	備考
参 5-6 ↓ 参 5-7		成果は、散布開始以降、調査実施時までに散布環境下に曝された期間の1/2に相当する値をAとしているが、Aに連動してa_1、a_2も変化するため、曝された期間が不明な場合は「$A=1$」としても差し支えない。なお、Aが小さいほどa_1、a_2は小さく表示される（小数点以下の桁数が多くなる）ため、なるべくならt/Aが小さくなるようAを設定した方が望ましい。 凍害は、凍結融解履歴の増加に伴って大きく進行する場合と、初期に大きく進行して以降は緩やかに進行する場合があります。単年に得た1つの測定値のみでは基本的に予測が難しく、予測を精度良く行うには、複数年にわたって多くの測定値を集めて式に近似させる必要がある。また、点検データが蓄積されたら都度、予測の確認・修正を行うことが望ましい。 （スケーリング予測式の算出例） 図5.2、図5.3に道路橋地覆垂直面を対象としたスケーリング予測式の算出例を示す。この部材は凍結防止剤の散布が本格化した1992年に降に建設されている。よって、a_1、b_1はゼロとなる。この部材では、供用から4、5、6年目に剥離度を測定している（剥離度は4年目が1.7mm、5年目が1.8mm、6年目が2.3mm）。Aを4～6年の平均をとって5とし、$\log(t/5)$とD_mの関係をグラフ化し、指数回帰を行うと図5.2に示す回帰式が得られる。この回帰式からa_2、b_2が定まり（$a_2=1.95$、$b_2=1.7$）、予測式が決定される。供用年数と剥離度の関係（図5.3）より、実測値と求めた予測式は良く対応していることがわかる。  図 5.2 $\log(t/A)$ と剥離度の関係 ($A=5$)  図 5.3 供用年数と剥離度の関係	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正

ページ	現 行	平成29年5月 改 定 案	備考
参 5-6 ↓ 参 5-7	5-2-2 複合劣化（スケーリング）の耐久性設計 スケーリングは、コンクリートの表層に凍結圧が蓄積されやすい品質（弾性係数が小さく、凍結圧勾配は表面側が大きく、内部で小さい状態）ほど進行しやすい（図 5.3）。例えば、弾性係数と密接な関係にある水セメント比が大きく、凍結圧勾配と密接な関係にある透水係数が小さい（図 5.4、一例として水セメント比が高く、高炉セメント B 種が用いられている場合）状態がこれに該当する。  図 5.3 スケーリングの進行速度に及ぼす影響因子 寒地土木研究所⁶⁵では、この知見をさらに発展させ、凍結融解と塩化物の複合作用によるスケーリングに対する耐久性の照査式として次式を提案した。 $\omega_w = \left(\frac{W/C}{45} - 1.67 \right) \left(\frac{k}{3.5 \times 10^{-10}} + 2.31 \right)$ （$\omega_w - \omega_{wd} \leq 0$であれば、スケーリングが大きく進行する可能性は小さい） ここに、ω_w はスケーリングの進行速度を表す指標値、ω_{wd} はスケーリングの進行速度を表す指標値の設計値、W/C はコンクリートの水セメント比(%), k はコンクリートの透水係数(cm/s)である。 スケーリングを長期に亘って極力抑える要求性能を満足するには、ω_w が設計値 ω_{wd} を下回るよう設計するとよい。しかしながら、ω_{wd} すなわちスケーリングの抑制が期待される ω_w に関する情報は未だ少ない。例えば、北海道の沿岸防波堤（高炉セメント B 種使用）での調査では、水セメント比が 45%以下になるとスケーリングの進行が大きく抑えられる傾向が確認されている（図 5.5）。ここで、$W/C=45$、$k=0.6 \times 10^{-10}$（実験により求めた値）を式に代入すると ω_w は-1.7 となり、北海道の沿岸防波堤に関しては、この値を ω_{wd} とすることができる（図 5.6）。各地域・部材毎の ω_{wd} が整備されるまでの当面の間、個々の調査データから ω_{wd} を設定し、照査を行うものとする。  図 5.5 水セメント比と剥離度の関係の例（北海道内の沿岸防波堤）  図 5.6 スケーリング抑制が期待される ω_w の例（室内実験の $\omega_w = -2.3$ は、600 サイクルにおけるスケーリング最大深さの許容上限を 2.5mm と仮定した場合の値）	5-2-2 複合劣化（スケーリング）の耐久性設計 スケーリングは、コンクリートの表層に凍結圧が蓄積されやすい品質（弾性係数が小さく、凍結圧勾配は表面側が大きく、内部で小さい状態）ほど進行しやすい（図 5.3）。例えば、弾性係数と密接な関係にある水セメント比が大きく、凍結圧勾配と密接な関係にある透水係数が小さい（図 5.4、一例として水セメント比が高く、高炉セメント B 種が用いられている場合）状態がこれに該当する。  図 5.4 スケーリングの進行速度に及ぼす影響因子 寒地土木研究所⁶⁵では、この知見をさらに発展させ、凍結融解と塩化物の複合作用によるスケーリングに対する耐久性の照査式として次式を提案した。 $\omega_w = \left(\frac{W/C}{45} - 1.67 \right) \left(\frac{k}{3.5 \times 10^{-10}} + 2.31 \right)$ 式 5.5 （$\omega_w - \omega_{wd} \leq 0$であれば、スケーリングが大きく進行する可能性は小さい） ここに、ω_w はスケーリングの進行速度を表す指標値、ω_{wd} はスケーリングの進行速度を表す指標値の設計値、W/C はコンクリートの水セメント比(%), k はコンクリートの透水係数(cm/s)である。 スケーリングを長期に亘って極力抑える要求性能を満足するには、ω_w が設計値 ω_{wd} を下回るよう設計するとよい。しかしながら、ω_{wd} すなわちスケーリングの抑制が期待される ω_w に関する情報は未だ少ない。例えば、北海道の沿岸防波堤（高炉セメント B 種使用）での調査では、水セメント比が 45%以下になるとスケーリングの進行が大きく抑えられる傾向が確認されている（図 5.5）。ここで、$W/C=45$、$k=0.6 \times 10^{-10}$（実験により求めた値）を式に代入すると ω_w は-1.7 となり、北海道の沿岸防波堤に関しては、この値を ω_{wd} とすることができる（図 5.6）。各地域・部材毎の ω_{wd} が整備されるまでの当面の間、個々の調査データから ω_{wd} を設定し、照査を行うものとする。  図 5.6 水セメント比と剥離度の関係の例（北海道内の沿岸防波堤）  図 5.7 スケーリング抑制が期待される ω_w の例（室内実験の $\omega_w = -2.3$ は、600 サイクルにおけるスケーリング最大深さの許容上限を 2.5mm と仮定した場合の値）	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正

凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 新旧対比表

ページ	現 行	平成２９年５月 改 定 案	備考
裏表紙	凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 発 行 日：平成 17 年 3 月 初版 平成 23 年 3 月 第 1 回改訂 平成 23 年 10 月 第 2 回改訂 平成 28 年 1 月 第 3 回改訂 監修・発行：国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 TEL：011-841-1719（寒地保全技術研究グループ 耐寒材料チーム直通） 【ご案内】 ・本書は、寒地土木研究所もしくは耐寒材料チームの HP からダウンロードできます。 寒地土木研究所 URL：http://www.ceri.go.jp/ 耐寒材料チーム URL：http://zairyo.ceri.go.jp/ ・本書の著作権は、寒地土木研究所にあります。なお、一部の図表は、社団法人土木学会、技報堂出版株式会社および論文の著者に著作権があり、許可を頂いて本書に転載しております。本書の内容を無断で引用・転載することはお断りいたします。 ・本書に関するご質問等は、上記電話番号（耐寒材料チーム）へご連絡下さい。	凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書（案） 発 行 日：平成 17 年 3 月 初版 平成 23 年 3 月 第 1 回改訂 平成 23 年 10 月 第 2 回改訂 平成 28 年 1 月 第 3 回改訂 <u>平成 29 年 5 月 第 4 回改訂</u> 監修・発行：国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 TEL：011-841-1719（寒地保全技術研究グループ 耐寒材料チーム直通） 【ご案内】 ・本書は、寒地土木研究所もしくは耐寒材料チームの HP からダウンロードできます。 寒地土木研究所 URL：http://www.ceri.go.jp/ 耐寒材料チーム URL：http://zairyo.ceri.go.jp/ ・本書の著作権は、寒地土木研究所にあります。なお、一部の図表は、社団法人土木学会、技報堂出版株式会社および論文の著者に著作権があり、許可を頂いて本書に転載しております。本書の内容を無断で引用・転載することはお断りいたします。 ・本書に関するご質問等は、上記電話番号（耐寒材料チーム）へご連絡下さい。	赤表示→削除 青表示→追加 または訂正