

# コンクリートの劣化状態に応じた予防保全技術に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 31～令 3

担当チーム：耐寒材料チーム

研究担当者：安中新太郎、島多昭典、  
菊田悦二、内藤勲、内田侑甫

## 【要旨】

凍害・塩害の複合する厳しい環境にあるコンクリート構造物の劣化進行は速いことから、初期の軽微なひび割れは早期に補修することが望ましい。しかし、その修復効果や適用性は明確になっていない。本研究では、遮水効果が期待できる数種の簡易な修復材で軽微なひび割れを修復した供試体の耐久性評価を行い、凍害・塩害が複合する劣化環境における軽微なひび割れに対する早期修復効果とその有効性について検討を行った。その結果、軽微なひび割れであっても水分や塩化物イオンがコンクリート内部に多く浸透していくことから、凍害や塩害の劣化が進行する厳しい環境では、早期にひび割れを修復することによってコンクリート構造物の耐久性を向上できる可能性が高いことを確認した。

キーワード：軽微なひび割れ、早期修復、凍害・塩害、塩化物イオン、耐久性

## 1. はじめに

昨今の既設コンクリート構造物の老朽化問題等において、補修、補強等によるコンクリートの延命化対策が数多く実施されているが、従前の事後保全型の対策から近年は予防保全型の対策に転換されてきており、さらなるライフサイクルコスト縮減が求められている。過年度の研究において、補修に関する施工管理技術等を整理した補修マニュアル(案)<sup>1)</sup>を発刊したが、事後保全対策と予防保全対策の適用区分や混在した場合の対処方法等の課題は残っており、適切な予防保全対策の展開のためには、コストや施工難度を抑制可能な補修技術等が必要であり、それらを適用できる環境は未だ整っていない。また、事後保全対策後でも、早期に再劣化が生じる事例もあり、これらを防止する視点の予防保全対策の検討も必要である。このような背景から、予防保全対策として新たに適用可能な補修方法等の検討、開発が必要であり、本研究において、新たな補修技術等の適用方法や作業時の問題点、適用後の予防効果や耐久性等について検討を行った。

本報告は、新たな予防保全技術を含めた各種補修方法等の比較的軽微なコンクリートの劣化状態への補修効果等を検証し、これらが適用可能な現場条件や適用箇所等を明らかにするための基礎的な実験結果を報告するものである。これらの結果から、適切な時期に必要な箇所への迅速な予防対応が可能になれば、既設コンクリート構造物の延命化あるいは長寿命化における

技術的課題の解消に資するものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 対象としたひび割れ

コンクリート構造物にひび割れが発生し、凍害や塩害等によってその後劣化が進行するとコンクリート構造物の耐久性は低下することから、ひび割れ修復等によってコンクリート構造物の延命化が図られてきた。ひび割れ修復は一般にひび割れ幅 0.2mm 以上が対象とされ、0.2mm 未満の軽微なひび割れは修復されないことが多い。これは、鉄筋コンクリートの標準的なかぶり厚において、ひび割れ幅 0.2mm 未満では鋼材が腐食しにくい<sup>2)</sup>こと、また、ひび割れ幅 0.2mm 未満のひび割れ修復による劣化抑制効果は明確ではないことによる。しかし、凍害や塩害等が生じるような過酷な環境下では劣化の進行が非常に速い<sup>3)4)</sup>ことから、できるだけ早期に軽微なひび割れに予防保全対策を施すことで結果的に維持管理費の低減に繋がると考える。したがって、本実験で対象としたひび割れは、ひび割れ幅 0.2mm 未満の軽微なひび割れとし、これを早期に予防処置することによるコンクリート構造物の長寿命化への有効性を検討した。

### 2.2 軽微なひび割れの予防保全技術の概要

ひび割れ幅 0.2mm 未満のひび割れ修復方法には、既存の工法としてひび割れ被覆工法やひび割れ含浸工法がある<sup>5)</sup>。しかしながら、これらの既存工法において

も劣化抑制効果や費用対効果は不明確であり、特に、積雪寒冷環境下や塩害環境下等の過酷な条件に晒されるコンクリート構造物における有効性を検討した事例はほとんどない。そこで本実験では、これらの既存工法に加えて、費用対効果を考慮した簡易で安価な種々の修復材の適用性も検討した。例えば、表面含浸材のようにコンクリートに浸透して固化するエポキシ樹脂系の浸透性塗布材、ひび割れ表面を閉塞する防水テープやシール材等である。このような新たな修復材等も用いてひび割れを修復した供試体(以下、修復供試体)を作製し、遮蔽性試験や塩水浸漬試験による塩分浸透抑制効果の検証、および凍結融解試験や乾湿繰り返し試験等の耐久性試験による修復効果の持続性について検証を行った。

### 2.3 修復供試体の作製

#### 2.3.1 軽微なひび割れ供試体

各種修復材のひび割れ修復後の性能を評価するためには、供試体に軽微なひび割れを導入し、さらに導入したひび割れがほぼ同じような状態となる必要がある。そこで、山本らが提案した作製方法<sup>7)</sup>を用いてひび割れ供試体を作製した。表-2.1に示すモルタルおよびコンクリートの配合で塩化ビニル管(以下、塩ビ管)を型枠代わりにした円柱供試体を作製し、28日間の水中養生をした後、塩ビ管を外さずに円柱供試体を横向きにして載荷割裂する方法でひび割れ幅0.1mm程度の軽微なひび割れを導入した。モルタルで作製したひび割れ供試体(以下、モルタル供試体)は直径(塩ビ管内径)83mm、高さ10mm、30mm、40mmの3種類、コンクリートで作製したひび割れ供試体(以下、コン

表-2.1 モルタルおよびコンクリートの配合

#### モルタルの配合

セメントの種類	W/C (%)	単用量(kg/m <sup>3</sup> )			Slump flow (mm)	Air (%)
		W	C	S		
普通ポルトランド	55	291	529	1587	227.55	6.0

#### コンクリートの配合

セメントの種類	W/C (%)	AEの有無	単用量(kg/m <sup>3</sup> )				Slump (mm)	Air (%)
			W	C	S	G		
普通ポルトランド	55	有り	155	282	845	1040	135	6.1

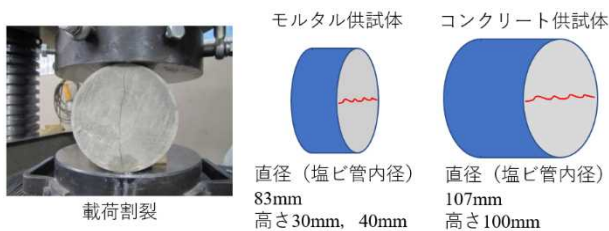


図-2.1 ひび割れ供試体

クリート供試体)は、直径(塩ビ管内径)107mm、高さ100mmとした(図-2.1)。なお、ひび割れの状態や形状等の違いによる各種性能試験への影響を極力少なくするため、ほぼ鉛直に1本のひび割れが生じた供試体を選定している。

#### 2.3.2 ひび割れの修復方法

軽微なひび割れの修復に使用した各種修復材の種類と主な諸元を表-2.2示す。修復材E1とE2はエポキシ樹脂系の浸透性塗布材であり、E1とE2の違いは硬化前の粘度が異なる。修復材KLはけい酸リチウム、修復材SLはシラン・シロキサンの表面含浸材である。修復材CEはセメント系のひび割れ修復材でスプレー缶の吹付タイプである。修復材KLはひび割れ含浸工法に該当する。同じく表面含浸材である修復材SLはひび割れ含浸工法としては一般的に適用されないが、今回の実験において適用を試みた。修復材E1とE2も微細な空隙やひび割れに浸透して固化するコンクリート用の予防保全材であるが、ひび割れ含浸工法やひび割れ被覆工法等の既存工法には該当しないため、新たな予防保全技術として試用した材料である。修復材UJ

表-2.2 各種修復材の種類と主な諸元

修復材	主成分	施工方法	単位施工量	主な特徴や用途
E1	エポキシ樹脂	刷毛塗布	300g/m <sup>2</sup>	粘度80mPa・s
E2	エポキシ樹脂		300g/m <sup>2</sup>	粘度7mPa・s
KL	けい酸リチウム		400g/m <sup>2</sup>	浸透深さ3mm
SL	シラン・シロキサン	スプレー吹付	200g/m <sup>2</sup>	浸透深さ4~7mm
CE	超早強セメント		304g/m <sup>2</sup>	2回塗り
UJ	シリコン樹脂		667mL/m <sup>2</sup>	落書き防止
MS	変成シリコーン	ヘラ塗り付け	1mm厚塗り	注入用シール材
BT	ブチルゴム+アルミ	手貼付	幅50mm 厚さ0.6mm	防水用テープ
NC	無対策・ひび割れ有り			
NN	無対策・ひび割れ無し			

※数値はカタログ値より

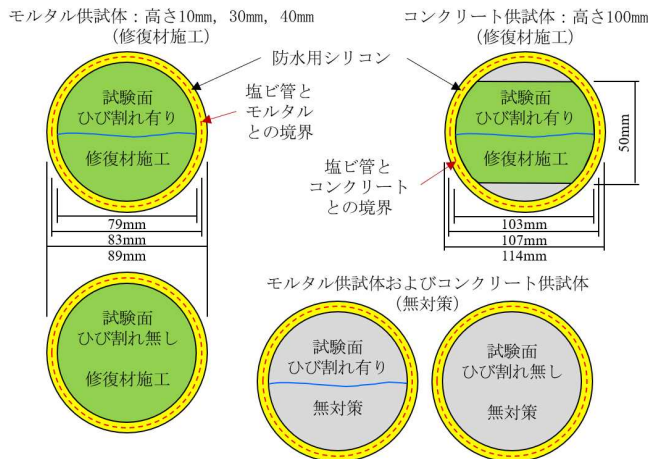


図-2.2 修復方法と修復範囲

はシリコン樹脂系のコンクリート用落書き防止スプレー、修復材 MS はひび割れ注入工法の仮設材の注入用シール材で材質は変成シリコーン、修復材 BT はポリエステル加工された軟質アルミ箔と粘着性ブチルゴムとの2層構造の高性能な防水シールであり、これら3つの修復材はコンクリートのひび割れ修復を用途とした材料ではないが、防水効果が期待できることから今回の実験において試行的に適用した材料である。

ひび割れ供試体への各種修復材の修復方法と修復範囲は、図-2.2 に示すように、モルタル供試体は1面(試験面)の全面に修復材を施工、コンクリート供試体は1面(試験面)のひび割れを中心にしてひび割れに沿って50mm幅で修復材を施工した。施工方法は、写真-2.1 に示すように、E1、E2、KL、SL は刷毛による塗布、CE と UJ は300mm程度離れた位置から吹付け、MS はへら塗り付け、BT は手貼付けとした。施工量はそれぞれの製品の標準量に準拠し、室温20℃の恒温室内で施工して、施工後は7日間静置して養生した。なお、塩ビ管とモルタルおよびコンクリートとの境界からの水分浸入等を防止するために防水用シリコンで保護加工を施した。また、比較ケースとして、無対策のひび割れ有り無しの場合、およびモルタル供試体はひび割れ無しで各種修復材を施工したケースも作製した。

## 2.4 試験ケースと各種性能試験の概要

試験ケースを表-2.3 に示す。各種修復材の劣化因子

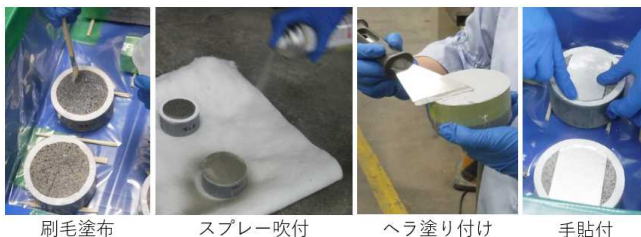


写真-2.1 修復材の施工方法

表-2.3 試験ケース

修復材	塩水浸漬		遮蔽性		凍結融解		乾湿繰り返し	
	ひび割れの有無							
	有り	無し	有り	無し	有り	無し	有り	無し
E1	○	○	○	○	○	○	○	○
E2	○	○	○	○	○	○	○	○
KL	○	○	○	○	○	○	○	○
SL	○	○	○	○	○	○	○	○
CE	○	○	○	○	○	○	○	○
UJ	○	○	○	○	○	○	○	○
MS	○	○	○	○	○	○	○	○
BT	○	○	○	○	○	○	○	○
NC	○	○	○	○	○	○	○	○
NN	○	○	○	○	○	○	○	○

の遮蔽性や侵入抑制効果を評価するため、モルタル供試体を用いた塩水浸漬試験と遮蔽性試験を実施した。また、各種修復材の修復後の耐久性等を評価するため、モルタル供試体で凍結融解試験、コンクリート供試体で乾湿繰り返し試験を実施した。以下に、各種性能試験と耐久性試験の概要を記す。

### 2.4.1 塩水浸漬試験

塩水浸漬試験は、図-2.3 に示すイメージ図のように、高さ40mmのモルタル供試体の試験面(修復面)を塩水に浸漬させて一定期間静置する試験を行った。浸漬方法は、試験面を下向きにして塩化物イオン濃度3%の塩水に深さ5mmまで浸漬し、90日間静置した。測定は、供試体を浸漬した直後から塩水が供試体背面(上面)まで浸透する状態を目視で観察し、浸漬期間終了後は、供試体のひび割れ面に硝酸銀溶液を噴霧して塩化物イオンの浸透状態の確認と、試験面から10mmまでのモルタルに含まれる塩化物イオン濃度の測定を行った。塩化物イオンの浸透状態の確認方法は、ひび割れ有りのモルタル供試体は塩ビ管を脱型してひび割れ面を、ひび割れ無しのモルタル供試体は載荷割裂させてから塩ビ管を脱型して割裂面をそれぞれ露出させ、ひび割れ面および割裂面に1mol/Lの硝酸銀溶液を噴霧して1時間静置し、塩化物イオンに反応して白く変色した範囲をデジタル画像からトレースして一般的な画像解析ソフトを用いてその面積を算出した。また、塩化物イオンの浸透状態を測定した後、試験面から深さ10mm分を切断して供試体から採取した試験片を用いて、電位差滴定法による塩化物イオン濃度の測定を行った。

### 2.4.2 遮蔽性試験

遮蔽性試験は、図-2.4 に示すように、高さ10mmのモルタル供試体を試験装置<sup>8)</sup>の中心に設置して、修復材を施した試験面側に塩化物イオン濃度3%の塩水、背面側に蒸留水を入れた状態で一定期間静置し、背面側の蒸留水の塩化物イオン濃度を測定して遮蔽効果を

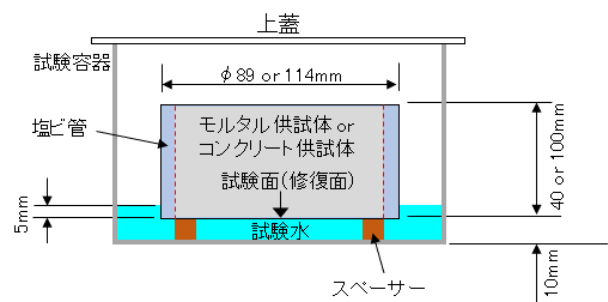


図-2.3 塩水浸漬試験のイメージ図



評価する方法である。例えば、蒸留水から塩化物イオンが検出された場合、塩水が修復材を浸透・通過して背面側の蒸留水に到達したことになる。本試験では90日間静置した後に蒸留水の塩化物イオン濃度を電位差滴定法で測定した。

### 2.4.3 凍結融解試験

凍結融解試験は、高さ30mmのモルタル供試体を用いてRILEMに準じたCDF試験<sup>9)</sup>を行った。CDF試験方法のイメージ図を図-2.5に示す。試験方法は、供試体の試験面(修復面)を下向きにして5mmの深さまで試験水(塩化物イオン濃度3%の塩水)に7日間浸漬した後、10°C/hの低速で-20°Cまで4時間冷却して-20°Cで3時間保持、10°C/hの低速で+20°Cまで4時間加熱して+20°Cで1時間保持する12時間1サイクル工程の凍結融解試験を行った。本試験では56サイクルまで実施し、約7サイクル毎にスケーリング量を測定して、累計スケーリング量を算出した。また、試験終了後の試験面を目視観察して劣化状態の評価を行った。

### 2.4.4 乾湿繰り返し試験

乾湿繰り返し試験は、コンクリート供試体を用いて、20°Cの塩化物イオン濃度3%の塩水に8時間浸漬、70°Cに設定した乾燥機で40時間乾燥させる工程を1サイクルとして、65サイクル実施した。塩水への浸漬方法は、塩水浸漬試験と同様に試験面(修復面)を下向きにして5mmの深さまで試験水に浸漬した(図-2.3)。測定は、乾燥40時間後のコンクリート供試体の質量

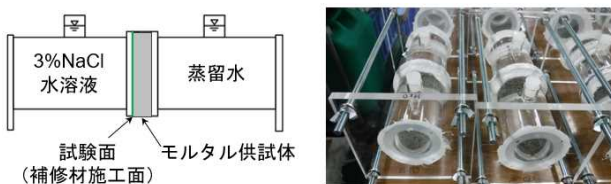


図-2.4 遮蔽性試験のイメージ図と試験状況例

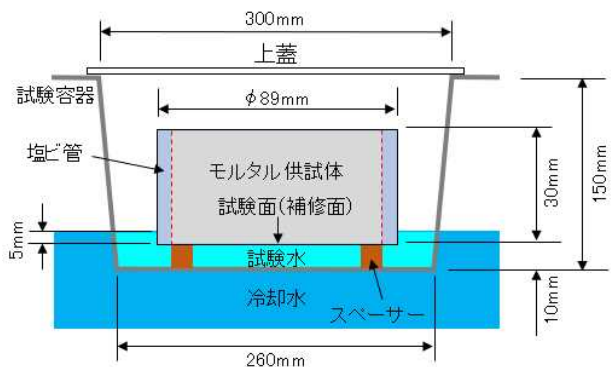


図-2.5 CDF試験のイメージ図

を6~7サイクル毎に測定し、0サイクル時の初期質量に対する質量変化量を算出した。なお、初期質量は、供試体に修復材を施工して室温20°Cの恒温室で7日間養生し、試験水(塩水)に浸漬する直前の自然乾燥した状態で測定した値とした。

## 3. 実験結果

### 3.1 塩化物イオンの浸透状態と修復材の遮蔽効果

表-3.1にモルタル供試体上面への塩水浸透状態の

表-3.1 モルタル供試体上面への塩水浸透状態の記録

試験ケース	ひび割れの有無	浸漬時間					
		1時間	1日	3日	7日	45日	90日
E1	有り	×	×	×	×	×	×
	無し	×	×	×	×	×	×
E2	有り	×	×	×	×	×	×
	無し	×	×	×	×	×	×
KL	有り	×	△	△	○	○	○
	無し	×	×	×	×	×	×
SL	有り	×	×	×	×	×	×
	無し	×	×	×	×	×	×
CE	有り	△	△	○	○	○	○
	無し	×	×	×	×	×	×
UJ	有り	△	△	○	○	○	○
	無し	×	×	×	×	×	×
MS	有り	×	×	×	×	×	×
	無し	×	×	×	×	×	×
BT	有り	×	×	×	×	×	×
	無し	×	×	×	×	×	×
NC	有り	△	△	○	○	○	○
	無し	×	×	×	×	×	×
NN	有り	×	×	×	×	×	×
	無し	×	×	×	×	×	×

※ 供試体上面(背面)への塩水の浸透状態  
 ×: 浸透なし  
 △: ひび割れから徐々に浸透  
 ○: 上面全体に浸透

試料名	1時間後	1日目	3日目	浸透状態	同一ケース
NC				1時間後にはひび割れから上面まで浸透し、3日目に上面全体に浸透	UJ ひび割れ有り
CE					
KL				3日目を以降に上面全体に浸透	なし
NN				浸漬試験終了時の90日目まで上面に浸透なし	ひび割れ無しの全ケース E2, SL, MS, BTのひび割れ有り
E1					

写真-3.1 塩水浸透状態の例

記録、および塩水浸漬試験開始から1時間後、1日後、3日後のモルタル供試体上面の塩水浸透の状況例を写真-3.1に示す。ひび割れ有りで無対策のNC、セメント系のCEおよびシリコン樹脂系のUJは、浸漬開始1時間後にはひび割れを伝って塩水が上面に達した。そ

の後、徐々に浸透が広がって浸漬3日目には上面全体に浸み状態となった。これらに少し遅れてけい酸リチウムのKLも1日目にはひび割れを伝って徐々に浸透し、3日目から7日目までの間に上面全体に浸み状態になった。その他の試験ケースでは、浸漬90日後でも上面への塩水の浸透は見られなかった。この結果から、KL、CE、UJはひび割れからの塩水の浸入を防止できなかったと言える。

写真-3.2に塩水浸漬試験における浸漬90日後の硝酸銀溶液が塩化物イオンに反応した範囲と算出した反応面積を示す。KL、CE、UJおよびNCのひび割れ面は広く変色しており、上述した塩水がひび割れを伝って背面まで浸透したことを裏付ける結果となった。また、ひび割れ無しのKL、CE、UJおよびNNの割裂面においても試験面から10mm程度の深さまで変色が見られたことから、KL、CE、UJは塩水が浸漬する条件下では塩化物イオンの浸透抑制効果をほとんど得られないと結果となった。一方で、ひび割れ有りのE1、E2、SL、MS、およびBTでは、試験面から深さ5mm程の変色が見られるが、ひび割れ無しではほとんど変色していないことから、塩化物イオンの浸透抑制効果が高いと言える。

次に、塩水浸漬試験の浸漬90日後における試験面から深さ10mmまでのモルタルに含まれる塩化物イオン濃度を図-3.1に示し、遮蔽性試験の90日後におけ

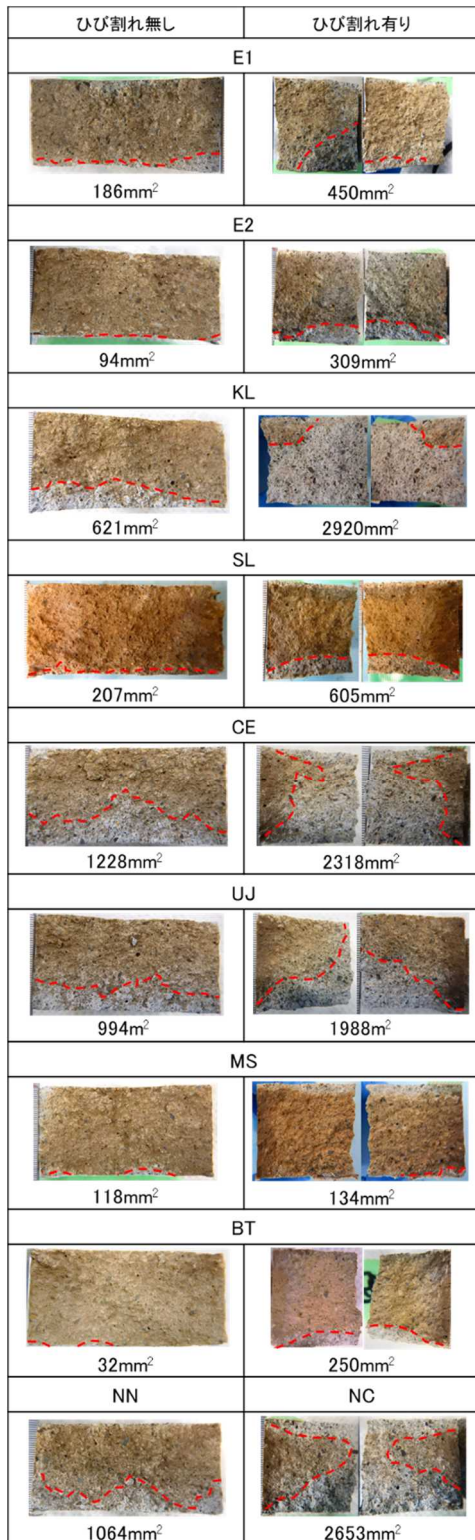


写真-3.2 浸漬90日後の塩化物イオンの反応範囲と反応面積 (白く変色した部分に塩化物イオンが存在)

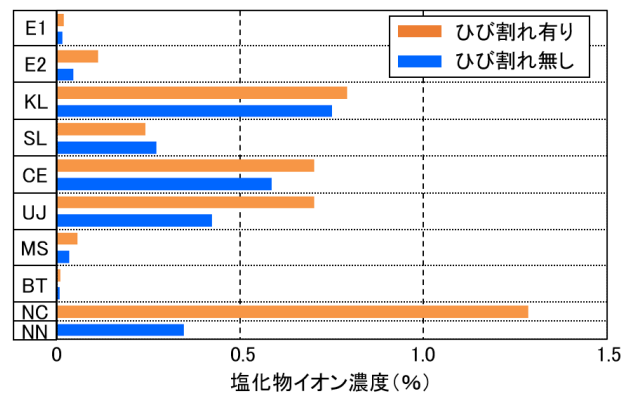


図-3.1 塩水浸漬試験における塩化物イオン濃度

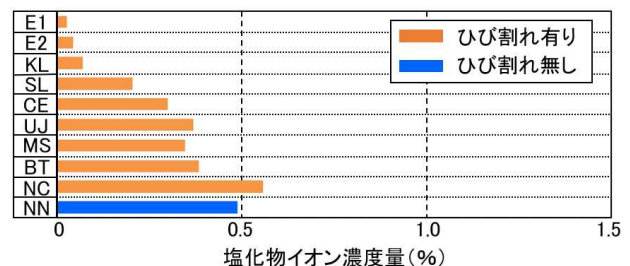


図-3.2 遮蔽性試験における塩化物イオン濃度



る蒸留水の塩化物イオン濃度を図-3.2に示す。無対策のNCとNNを比較すると、塩水浸漬試験ではひび割れの有無で大きく差が出ているが、遮蔽性試験ではNCとNNの塩化物イオン濃度の差はほとんどない。この違いは、塩水浸漬試験では塩水が供試体の厚さ40mmのひび割れを伝って、モルタル内部に多くの塩化物イオンが浸透・蓄積されたと考えられ、一方で遮蔽性試験では供試体の厚さが10mmと薄く、両面からの水分供給でモルタル内はすぐに水分飽和状態となり、ひび割れがあっても塩化物イオンの移動があまりなかったと推測する。E1とE2は、ひび割れの有無に関わらず両試験共に塩化物イオン濃度が非常に低いことから、高い遮蔽効果が得られていると言える。一方で、両試験共に塩化物イオン濃度が高いCEとUJは、遮蔽効果が非常に低いと言える。SLは両試験共に塩化物イオン濃度は無対策の半分程度であり、ある程度の遮蔽効果を発揮していると言える。塩分浸漬試験で塩化物イオン濃度が高いKLは遮蔽性試験では低くなっている。逆に、塩水浸漬試験で塩化物イオン濃度が低いMSとBTは、遮蔽性試験では塩化物イオン濃度が高くなっている。KLは、緻密化することで遮水効果は得られるが水分浸透を完全には抑制できないため、遮蔽性試験では深さ10mm分のひび割れは閉塞できたが、塩水浸漬試験の深さ40mmのひび割れを完全には閉塞できず、塩水がひび割れを伝って徐々に内部に浸透して塩化物イオンが蓄積したと推測する。MSとBTは、修復面側からの塩水浸透は密封できるため、塩水浸漬試験では遮蔽効果を発揮したが、遮蔽性試験では背面側から蒸留水が浸透するため、付着界面まで達した蒸留水が修復材の付着力を弱めて隙間が生じ、その隙間から修復面側の塩水が蒸留水側に浸入したと推測できる。

以上の結果から、微細なひび割れでも塩化物イオンはひび割れを伝って内部に浸透・蓄積していくこと、軽微なひび割れを簡易な修復方法でも早期に修復することで塩化物イオンの浸透抑制効果を得られることが確認できた。

### 3.2 耐凍害性に関する評価

図-3.3および写真-3.3に、CDF試験における凍結融解サイクル数の増加に伴う累計スケーリング量、および試験終了後の試験面の劣化状況を示す。ひび割れ有りで無対策NCの累計スケーリング量の増加が一番大きく、ひび割れ近傍から大きく欠損していることから、ひび割れの影響で塩水による凍害劣化が進行したことが示唆される。CEとUJもNCに次いで累計スケーリング量が大きく増加してひび割れ近傍から大き

く欠損しており、前述した塩化物イオンの浸透抑制効果が非常に低いことから、耐凍害性も含めて修復効果は期待できない結果となった。次いで、累計スケーリング量が多いひび割れ無しの無対策NNとKLはほぼ同程度の劣化状態であり、1面からの給水であれば、KLはある程度の耐凍害性を得られる結果となった。上記以外のケースでは、CDF試験56サイクル後もスケーリングによる欠損はほとんど見られず、耐凍害

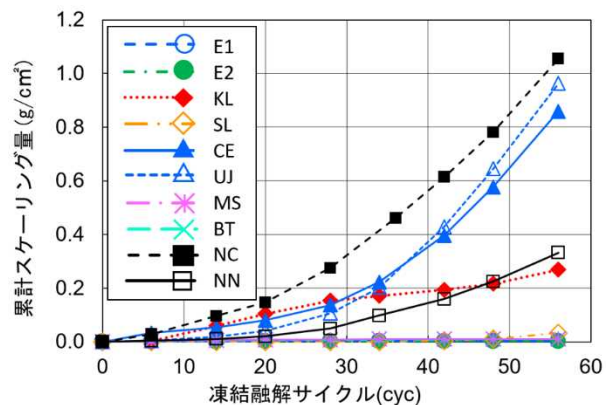


図-3.3 累計スケーリング量

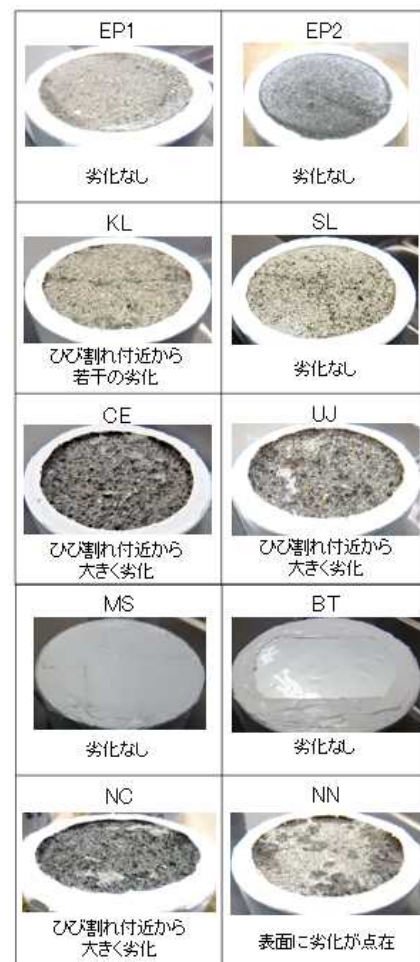


写真-3.3 試験面の劣化状況

性の向上に非常に有効であることを確認した。

### 3.3 乾湿繰り返し耐性の評価

図-3.4 および写真-3.4に、乾湿繰り返し試験におけるサイクル数の増加に伴う供試体質量の変化、および試験開始0サイクル、中間37サイクル、試験終了65サイクル時の試験面の劣化状況を示す。なお、MSは早期に剥離したため、0、11、31サイクルの劣化状況を示す。供試体の質量変化では、すべてのケースでサイクル数の増加に伴って一旦質量が減少した後に増加し、その後高止まりになる傾向にあった。最初に減少した理由は、初期値である自然乾燥状態の質量から乾燥機の強制乾燥によって供試体の含水量が一時的に大きく減少したことと、試験面がサイクル序盤ではまだ緻密さを保持して塩水の浸透が少なかったためと思われる。その後質量が増加したのは、少しずつ劣化し始めた試験面からの浸水量が徐々に多くなり、70°Cで40時間の乾燥工程ではコンクリート内部の水分が蒸発せずによく残ってしまったこと、浸透した塩水が表面付近で蒸発する際に結晶化したこと、および塩ビ管とコンクリートとの境界の浸水防止用シリコンの接着が弱まり、塩ビ管との隙間にも滞水が発生したことが原因と考えている。写真-3.4をみると、表面の欠損が顕著なのは無対策のNCとNNであり、特にひび割れ有りのNCは一番多く欠損している。修復材を施したケースにおいても、サイクル数の増加とともに試験面表面のモルタル分は徐々に欠損している。このため、供試体の質量は徐々に減少していくと予想していたが、試験終了の65サイクルの段階で質量は減少していないことから、欠損した質量よりも内部の滞水量のほうがまだ多い状態であると推測している。今後、その後の状態変化については再実験を行う予定である。

なお、今回実施した乾湿繰り返し試験の範囲では、適用した各修復材によって軽微なひび割れを修復することで無対策よりも表面の欠損を抑制できていることから、乾湿繰り返し環境での適用には有効であること

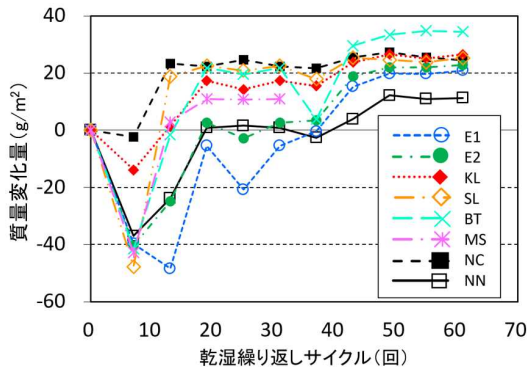


図-3.4 供試体の質量変化量

を確認した。

### 3.4 修復効果の向上に関する考察

塩水浸漬試験と凍結融解試験の結果から、ひび割れ無しで無対策のNNの塩化物イオン量と累計スケーリ

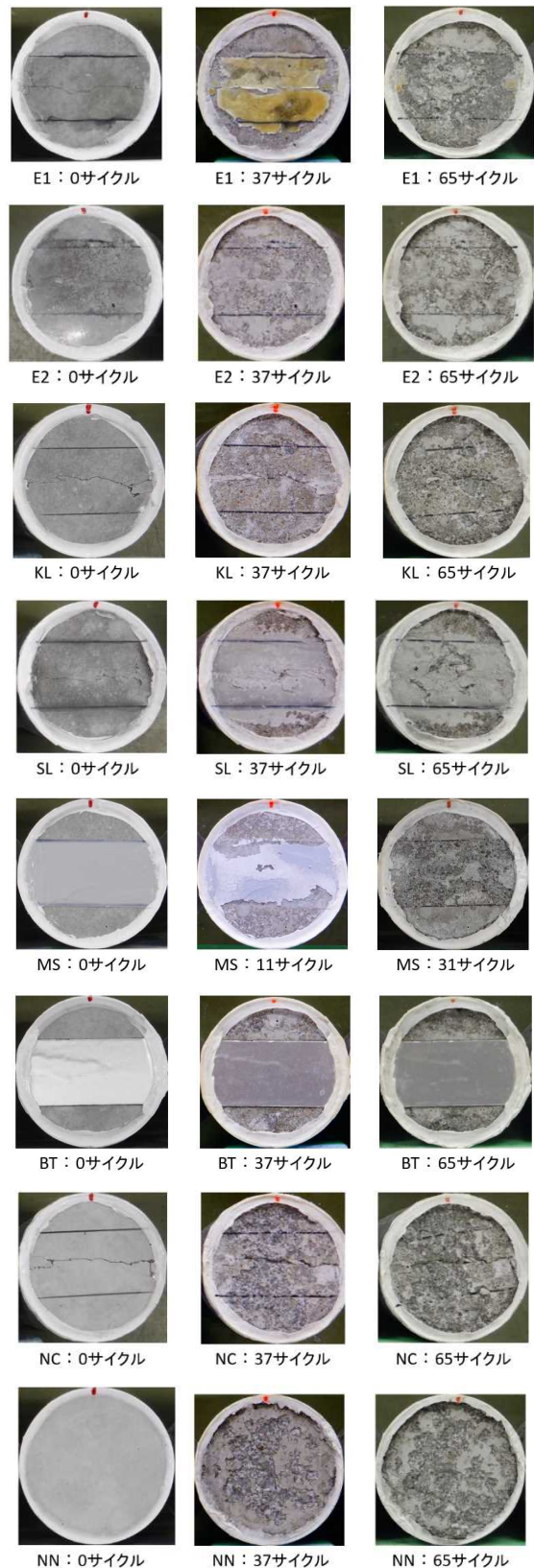


写真-3.4 試験面の劣化状況



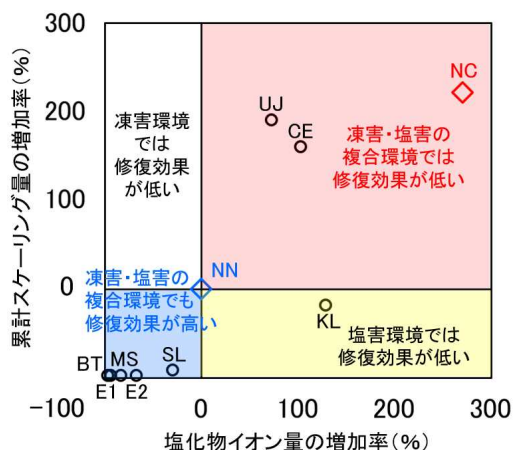


図-3.5 塩化物イオン濃度と累計スケーリング量の増加率の関係

ング量を基準値として、基準値に対する各ケースの塩化物イオン量の増加率と累計スケーリング量の増加率を求めた。図-3.5 にその関係を示す。この図では、各修復材の修復効果の良否を基準値に対する増減から判断して環境条件における各修復材の有効性を示した。ひび割れ有り而无対策の NC は、塩化物イオン量と累計スケーリング量の両方共に増加率が一番大きく、無対策では塩害と凍害の劣化が進行することがわかる。CE と UJ も増加率が両方共大きいため、凍害と塩害の複合環境では軽微なひび割れへの修復に適さないと判断できる。KL は累計スケーリング量の増減はないが塩化物イオン量の増加率は大きいことから、厳しい塩害環境での適用は難しいと言える。それ以外の修復材は、塩化物イオン量と累計スケーリング量共に基準値よりも減少範囲にあり、ひび割れ無しは無対策 NN よりも劣化等が進展しないことから、修復効果が高く、軽微なひび割れへの修復に有効であると判断できる。このことから、修復効果が高い E1、E2、SL、MS、BT の各修復材は、厳しい塩害と凍害の複合環境における簡易な修復材として適用できる可能性が高いと考える。

#### 4. まとめ

本研究では、コンクリートのさらなる耐久性向上を目的として、通常では修復が見送られる軽微なひび割れにおいて、厳しい環境では劣化因子が多く侵入し、劣化も進行しやすいことを確認し、その劣化予防としての簡易な材料および方法によるひび割れ修復効果と有効性について検討を行った。以下に、本研究で得られた知見を記す。

- 1) 厳しい塩害環境では軽微なひび割れでもコンクリート内部に塩化物イオンが多く侵入する。
- 2) 軽微なひび割れを状況に応じた修復材で早期に適

切に修復することによって、塩分の浸透抑制や耐凍害性の向上が期待できる。

- 3) 塩分浸透抑制や耐凍害性の向上に効果が期待出来る修復材は、乾湿繰り返し作用に対しても修復効果が期待できる。
- 4) 今回試用した簡易な修復材の内、修復効果が高い修復材は、厳しい塩害と凍害の複合環境における早期予防処置へ適用できる可能性が示された。

以上の結果から、本研究において、軽微なひび割れに対する早期の予防保全対策の有効性についての基礎データを得ることができた。

**謝辞：** 本実験を実施するにあたり、各修復材メーカー等の関係者に多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚な謝意を表する

#### 参考文献

- 1) 土木研究所：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.
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書、設計編、p.149、2017.
- 3) 土木研究所：コンクリートひび割れ部の塩分浸透性と鋼材腐食に関する暴露試験、土木研究所資料、第 4130 号、2009.
- 4) 田口史雄、小尾稔、遠藤裕丈：コンクリートの凍害および塩害による複合劣化に関する調査、コンクリート工学年次論文集、Vol.28、No.1、pp.971-976、2006.
- 5) 土木研究所：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、V 不具合事例集、2016.
- 6) 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 2013、2013.4
- 7) 山本昌宏、谷村成、藤井隆史、安藤尚、綾野克紀：微細なひび割れを持つコンクリート試験体の作製方法とそれを用いたひび割れ補修材の性能確認試験方法に関する研究、コンクリート構造物の補修、強、アップグレード論文報告集、第 12 巻、pp. 467-472、2012.
- 8) 土木研究所：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、II 表面被覆工法編、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）、pp.II-59-II-61、2016.
- 9) Jochen Stark、Bernd Wicht（訳：太田利隆、下林誠一、佐伯昇）：コンクリートの耐久性、第 2 版、セメント協会、2003.



# RESEARCH ON PREVENTIVE MAINTENANCE TECHNIQUES FOR CONCRETE DETERIORATION

Research Period: FY2019-2021

Research Team: Material Research Team,  
Cold-Region Maintenance Engineering  
Research Group

Author: YASUNAKA Shintaro

SHIMATA Akinori

KIKUTA Etsuji

NAITO Isao

UCHIDA Yusuke

**Abstract:** Since concrete deteriorates more easily when receiving combined frost and salt damage, it is commonly recommended to repair cracks as soon as possible before they develop further. However, it is still unclear how effective an early repair may be to prevent cracks from expanding. In this study, evaluated durability against repair of small cracks on test mortar pieces using different water-repellent and hydrophobic materials and examined effectiveness of the early repair to control combined frost and salt damage. As a result, it was verified that a large amount of water and chloride ions penetrated inside the concrete from small cracks. Therefore, in a severe of frost and salt damage environments, it was confirmed that early repairing of cracks is effective in improving the durability of concrete structures.

**Keywords:** Small crack, Early repair, Frost and salt damage, Chloride ion, Durability