

ひび割れ注入工法の耐寒性能に関する基礎的研究

(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○内藤 勲
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 田口 史雄
(独) 土木研究所寒地土木研究所 道北支所 渋谷 直生

ひび割れ注入工法は、コンクリート構造物の補修等に広く用いられているが、低温環境下におけるひび割れ注入材料の接着性や耐凍害性等は明らかではなく、注入箇所の再びび割れ等、凍害の影響と思われる再劣化が生じている事例も多い。本報告は、ひび割れ注入工法において、積雪寒冷地に適した注入工法や注入材料、および施工管理方法等を検討することを目的として、北海道におけるひび割れ注入工法の実績調査から現状を把握するとともに、室内試験において、模擬ひび割れ注入供試体を用いた凍結融解試験や超音波測定等を行い、ひび割れ注入工法の耐寒性能等について基礎的な研究を行ったものである。

キーワード：ひび割れ注入工法、低温環境下、耐寒性能、超音波測定

1. まえがき

コンクリートに発生したひび割れは、水や塩分等の浸入口となり、コンクリートの劣化を早める原因となる。特に、積雪寒冷環境下では、凍害と塩害との複合作用等によって劣化が急速に進行することから、早期にひび割れ対策を実施する必要がある、ひび割れ対策に対する現場のニーズは非常に高い。しかしながら、積雪寒冷地におけるひび割れ状況に応じた適切な対策や施工時期等に明確な基準がないこと、低温環境下における注入・充填等のひび割れ修復材料特性、施工性、耐久性等が十分に明らかになっていないこと等から、写真-1.1 のような注入不足等による再劣化や再びび割れ等が生じている事例もある。このような背景から、積雪寒冷環境に対応した適切なひび割れ修復対策を確立することが望まれる。

本研究では、既存ひび割れ注入工法の耐寒性能等を明らかにすることを目的として、今現在実用されているひび割れ注入材や工法等の実態調査から現状の把握等を行い、また、室内試験において、模擬ひび割れ注入供試体

による割裂試験や凍結融解試験、超音波測定等の各種試験を行い、ひび割れ注入材の付着性能、充填性能、耐凍害性等に関する基礎的な検討を行った。

2. 実態調査

既存ひび割れ注入工法の実態調査は、インターネットによる検索と公益社団法人日本コンクリート工学会（以下、JCI）北海道支部ひび割れ対策研究委員会によるひび割れ補修工法アンケート調査結果¹⁾から収集・整理を行い、ひび割れ注入材（以下、注入材）の種類や北海道における使用実績の割合等を分析した。図-2.1に注入材の主成分別割合を示す。エポキシ系を主成分とする製品が全体の6～7割程度を占めている。その他、セメント系、アクリル系、ポリウレタン系等がそれぞれ全体の1割程度となっていた。コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2009；JCIにおいて、ひび割れ注入工法（以下、注入工法）の選定は、ひび割れ幅0.2mm～1.0mmに適用すると記述されているが、注入材の選定では、エポキシ樹脂系注入材の品質規格は、JIS A6024:2006 に規定されて



写真-1.1 注入不足等による再びび割れの例

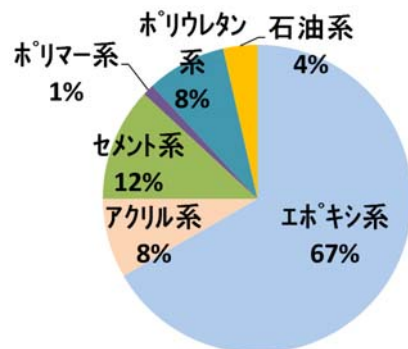


図-2.1 ひび割れ注入材の主成分割合

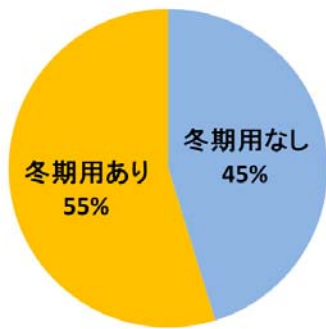


図-2.2 冬期用の有無

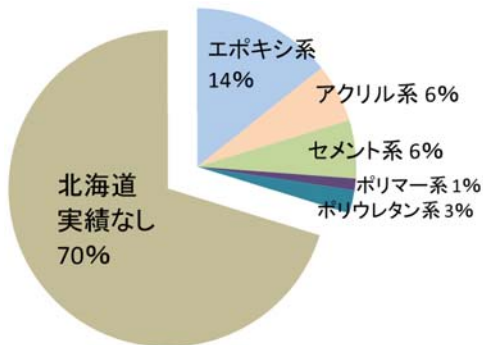


図-2.3 北海道使用実績

おり、セメント系注入材は日本建築仕上材工業規格 NSKS-0003に品質基準(案)が提案されているが、アクリル系やポリウレタン系注入材には明確な規定等はなく、上記品質規格等を準用し、補修目的に合った材料を選定すると記述されている²⁾。また、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（土木構造物に関する研究成果）³⁾では、ひび割れの進行区分と幅によって使用する注入材とひび割れ充填材（以下、充填材）の品質規格を規定している。しかしながら、これらの注入材および充填材の耐凍害性に関する品質規格はなく、凍害が原因であるひび割れに対しての評価においても、コンクリート自体の劣化進行については不明な点が多く、概ね5年程度の耐久性評価に留まっているのが現状である⁴⁾。

図-2.2は、調査した既存ひび割れ注入材の製品中、冬期専用もしくは冬期も使用可能である製品数の割合を示したものである。全体の半数強が冬期にも使用出来る製品であった。次に、図-2.3に北海道における使用実績を示す。メーカー等への聞き取り調査は行ってないため、今回の調査範囲での集計数量であるが、北海道で使用実績のある製品は既存製品全体の約3割程度であり、使用実績のある製品はすべて冬期用であった。このことから、北海道のひび割れ注入工事は、冬期施工が多い、もしくは冬期施工を見越した製品を選択したケースが多いと推測できる結果となった。

3. 室内試験概要

室内試験では、注入材の接着性能や耐凍害性等の基礎的な性状を把握するため、模擬ひび割れ注入供試体による割裂試験や凍結融解試験等を行った。以下に、概要を記す。

(1) 母体コンクリート供試体の寸法と配合

母体コンクリート供試体（以下、母体）は、割裂試験用に1種類と凍結融解試験用に2種類を作製した。割裂試験用は、D13の丸鋼鉄筋を中心に配置し、寸法□15×15×53cmの供試体とした。凍結融解試験用は、寸法□10×10×40cmの供試体で、D10の丸鋼鉄筋を中心に配置した有筋供試体と無筋供試体の2種類とした。母体のコンクリート配合を表-3.1に示す。なお、凍害劣化を促進させるためAE減水剤等は未使用とした。母体は、コンクリート打設・脱型後、水中養生を行い、材齢28日とした。

表-3.1 母体のコンクリート配合

| セメントの種類 | Gmax (mm) | W/C (%) | s/a (%) | 単用量(kg/m ³) | | | | スランブ(cm) | 空気量 (%) |
|---------|-----------|---------|---------|-------------------------|-----|-----|------|----------|---------|
| | | | | W | C | S | G | | |
| NN | 20 | 45 | 43 | 160 | 356 | 838 | 1102 | 8 | 4.5 |

※NN:普通ポルトランドセメント
※AE減水剤不使用

(2) 模擬ひび割れの作成

模擬ひび割れ注入供試体を作製するにあたり、先ず、模擬ひび割れを発生させるため、有筋供試体において、既往の研究⁵⁾を参考に JISA1106 のコンクリートの曲げ強度試験法に準じた方法で試みた。3点支持による単純荷重により、ひび割れ幅 0.15~0.40mm の範囲でひび割れを作ることが出来たが、より直線的なひび割れとするため、図-3.1 の概念図に示すように、ひび割れ誘発Vカットを設けて、Vカット部に丸鋼を挟んだ状態で荷重を行い、母体供試体に引張応力を与えることによりひび割れを発生させる工夫を試みた。この方法において、ひび割れ幅と深さのコントロールには今後調整等が必要であるが、ひび割れ幅 0.15~0.50mmの直線的な模擬ひび割れを作成することが出来た。

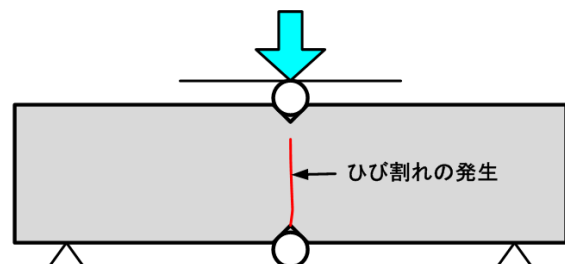


図-3.1 模擬ひび割れ発生の概念図

(3) 試験ケースと模擬ひび割れ注入供試体の作製

表-3.2 に試験ケースを示す。今回使用した注入材は、広く一般に使用され、北海道使用実績があるものとし、エポキシ系樹脂注入材、アクリル系樹脂注入材、ポリマー系注入止水材、超微粒子ポリマーセメント系注入材の4種類を選定した。また、模擬ひび割れ注入供試体は注入工法によって作製した供試体（以下、注入供試体）と接着による供試体（以下、接着供試体）の2種類とした。

注入供試体は、模擬ひび割れにひび割れ注入工法を用いて注入材を注入して作製した。注入工法は、低圧注入工法を採用した。注入工法には、高圧注入工法等もあるが、最近では比較的簡易で熟練度をあまり必要としない自動式低圧注入工法が主流となっている。自動式低圧注入器具には注入を開始してから注入材を継ぎ足せる器具と継ぎ足せない器具があるが、固化が比較的早い冬期用の注入材は継ぎ足しが難しいこと等から、本試験では、継ぎ足しの出来ない自動式低圧注入器具を使用した。なお、自動式低圧注入工法は、0.4MPa以下の加圧によることが国土交通省官庁営繕公共建築改修工事仕様書（建築工事編）⁶⁾に定められているが、加圧管理に明確な方法等

はない。したがって、粘性や流動性等の異なる様々な既存注入材において、ひびわれ状況等に応じた加圧管理方法の確立が望まれるが、今回は、すべての注入において、同一加圧力とした。注入方法は、写真-3.1に示すように、上面を注入面としてひび割れにシール材と取付器具を施し、側面と下面のひび割れは、エポキシ樹脂接着剤でシールした。注入材が内部に充填して流出するように、下面の両端部を空気孔と流出孔として開放した。各注入材の製品仕様等に基づいて練り混ぜた後、注入材を低圧注入器具で注射器のように吸い上げ、取付器具にセットし、ゴムバンドで加圧して下面から注入材が流出した時点で注入完了とした。注入材の固化時間はそれぞれ異なるが、注入後、15℃の恒温室内で7日間静置し養生した。なお、ポリマー系とセメント系の注入材は、ひび割れに水を注入し、内部を湿潤状態にしてから注入を行った。

次に、接着供試体は、無筋の母体供試体を半分に切断し、両切断面をレイタンス除去等の表面清掃処理後、注入材で切断面同士を接着する方法で作製した。なお、注入材厚さは0.5mmとし、注入材練り混ぜ後、型枠を付けた片方の切断面にヘラ等で0.5mm厚に均等に塗布し、もう片方を重ねて接着させ、固定器具で固定して恒温室内で7日間養生した。

表-3.2 試験ケース

| 記号 | 注入材 主成分 | 供試体 サイズ | 鉄筋 有無 | ひび 割れ | 注入 方法 | 実施試験項目 | | |
|----|---------------------------|------------|----------|----------|----------|--------|------|-----|
| | | | | | | 割裂 | 凍結融解 | 超音波 |
| A1 | エポキシ 系樹脂 | □15×53 | 有筋 | 割裂 | 注入 | ○ | — | — |
| A2 | | □10×40 | 無筋 | 切断 | 接着 | — | ○ | ○ |
| A3 | | | | | | — | ○ | ○ |
| A4 | | φ5×10 | — | — | — | — | ○ | — |
| B1 | ポリマー 系止水 | □15×53 | 有筋 | 割裂 | 注入 | ○ | — | — |
| B2 | | □10×40 | 無筋 | 切断 | 接着 | — | ○ | ○ |
| B3 | | | | | | — | ○ | ○ |
| B4 | | φ5×10 | — | — | — | — | ○ | — |
| C1 | 超微粒子 ポリマー セメント 系 | □15×53 | 有筋 | 割裂 | 注入 | ○ | — | — |
| C2 | | □10×40 | 無筋 | 切断 | 接着 | — | ○ | ○ |
| C3 | | | | | | — | ○ | ○ |
| C4 | | φ5×10 | — | — | — | — | ○ | — |
| D1 | アクリル 系樹脂 | □15×53 | 有筋 | 割裂 | 注入 | ○ | — | — |
| D2 | | □10×40 | 無筋 | 切断 | 接着 | — | ○ | ○ |
| D3 | | | | | | — | ○ | ○ |
| D4 | | φ5×10 | — | — | — | — | ○ | — |



写真-3.1 自動式低圧注入工法による注入状況

(3) 試験方法

a) 割裂試験

模擬ひび割れ供試体の作製方法と同様に、割裂試験用の注入供試体において曲げ試験法による割裂試験を行い、供試体に引張り応力を再度与えてひび割れを発生させ、割裂状態や注入材の接着状態等の確認を行った。

b) 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148（A法）に準じて300サイクルを行い、約30サイクル毎に相対動弾性係数の測定を行った。なお、凍結融解試験用の注入供試体および接着供試体は、注入面以外はすべてエポキシ樹脂でコーティングを施し、注入面から凍結融解作用を受ける状態とした。また、注入材単体についてもφ5×10cmのモルタル供試体を作製し、同様にA法に準じて300サイクルの凍結融解試験を行った。

c) 超音波測定

超音波の測定方法は、図-3.2に示すように、側面を横に4cm間隔等で測定するトモグラフィー法⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾で行った。トモグラフィー法は、計229測線測定し、凍結融解試験の約30サイクル毎に測定を行った。

4. 調査結果および考察

(1) 割裂試験結果

写真-4.1に、割裂用注入供試体の割裂状況を示す。エポキシ系とアクリル系の注入材は、注入界面で割裂せず

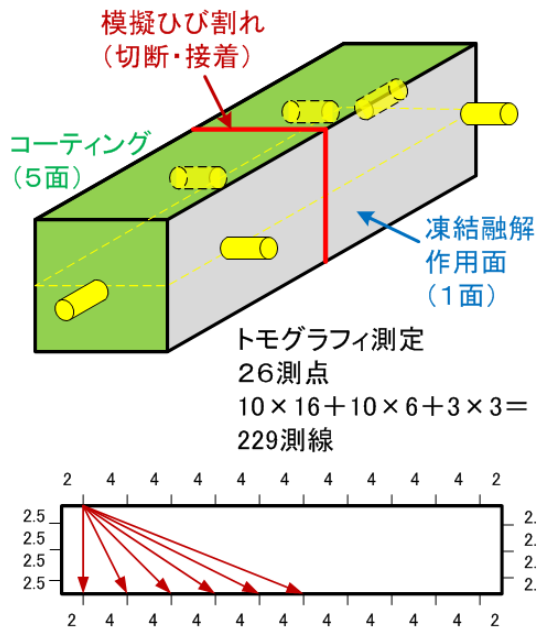
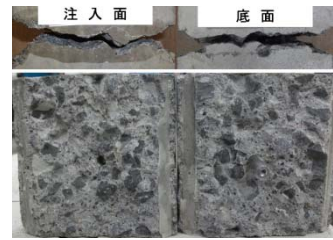


図-3.2 超音波トモグラフィ法の測定

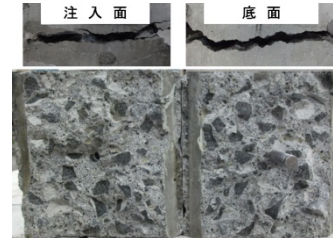
に別の新しい位置でひび割れが発生したことから、十分な接着強度を有していることが確認できた。しかしながら、注入材の注入不足等の面的な充填率は割裂試験では確認できなかった。一方、ポリマー系と超微粒子ポリマーセメント系はひび割れ注入界面で割裂した。割裂面を見ると注入材がほぼ全体に充填されている供試体と注入不足箇所がある供試体があった。今回注入を行った注入供試体のひびわれ幅は0.20~0.50mmの範囲であり、使用した注入材の適用範囲内で注入面積も小さい。しかしながら、このように注入不足が確認できたことから、実際の現場においても、ひび割れの状況によって十分に注入材が行き渡らない場合も多いと推測できる。このような注入不足による空隙は、積雪寒冷環境下では再劣化の要因の一つになると考えられる。

(2) 凍結融解試験結果

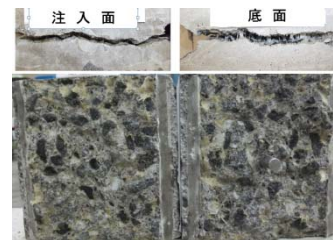
図-4.1 に各試験ケースにおける相対動弾性係数の結果、及び図-4.2 に各注入材単体の相対動弾性係数を示す。母体供試体のコンクリートはAE減水剤等を使用していないため、すべてのケースにおいてサイクル数の増加に伴い相対動弾性係数は大きく低下しており、耐凍害性は低い結果となった。また、全体的に注入供試体よりも接着供試体のほうが低下が大きい傾向が見られる。これは、切断面よりも割裂面のほうが比表面積が大きいことから、注入供試体のほうが接着力が大きいと考えられる。主成分別では、エポキシ系、アクリル系、ポリマー系ともに、ほぼ同一の結果となり、耐凍害性にあまり差異は見られなかった。なお、超微粒子ポリマーセメント系は耐凍害性が一番低い結果となったが、今回は1製品による結果であることから、今後さらにデータ収集が必要である。



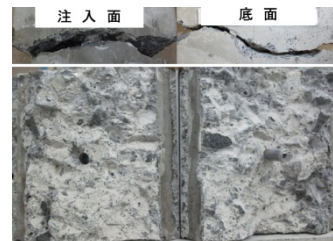
エポキシ樹脂系：注入面以外で割裂



アクリル樹脂系：注入面以外で割裂



ポリマー系：注入面で割裂
(ほぼ全面に注入材は行き渡っている)



超微粒子ポリマーセメント系：注入面で割裂
(ほぼ全面に注入材は行き渡っている)



注入不足の供試体例
下：ポリマー系、上：超微粒子ポリマーセメント系

写真-4.1 注入後の割裂状況と注入材充填状況

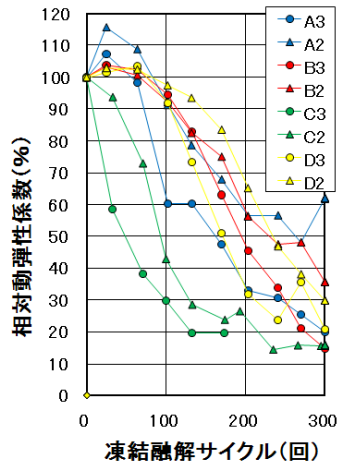


図-4.1 試験ケースの相対動弾性係数

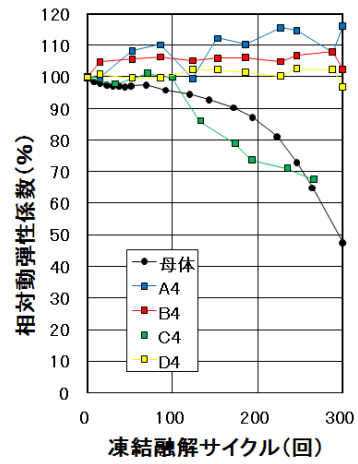


図-4.2 母体および注入材単体の相対動弾性係数

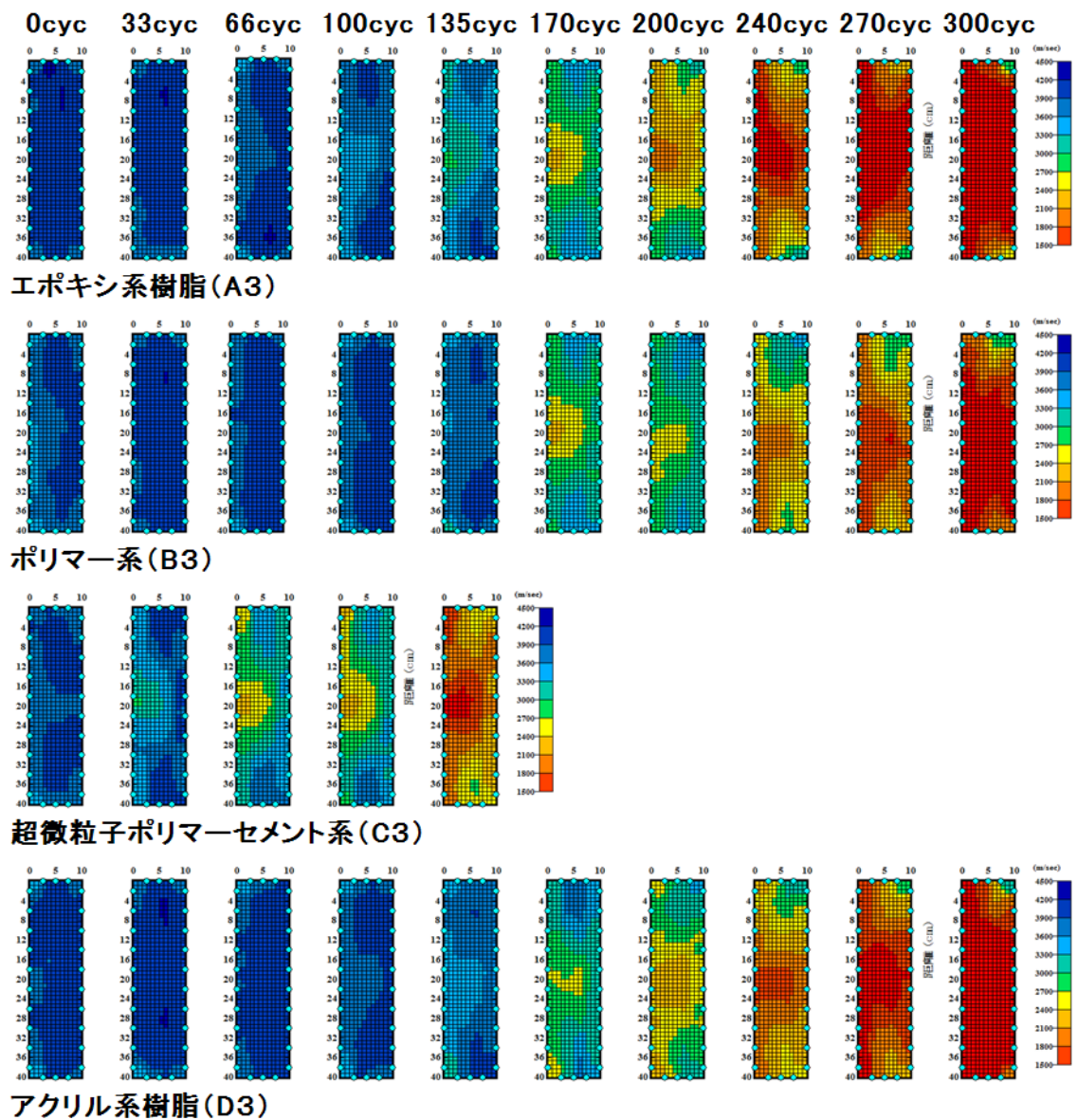


図-4.3 超音波トモグラフィー法の結果

(3) 超音波測定結果

図-4.3 にトモグラフィ法によるサイクル毎における接着供試体内部の超音波伝播速度（以下、速度）分布を示す。全てのケースにおいて、サイクル数の増加に伴い、接着部分から内部に向かって徐々に速度が遅い範囲が広がる結果となった。速度が遅い箇所は何らかの異常が生じた箇所であるが、サイクル数が進んでからこの現象が発生していることから、凍結融解作用によって、母体と注入材との間に微細な剥離（隙間）が発生し、そこから水分が浸入し徐々に凍害による劣化が進行した結果であると推測される。主成分別でみると、エポキシ系、ポリマー系、アクリル系は、170 サイクル頃から接着部分に部分的に劣化が発生し、300 サイクルまでに徐々に全体に劣化が進行しているが、最終的に剥離は生じていない。前項の凍結融解試験結果において、これら3主成分の注入材単体の凍害劣化はほとんどないことから、これらの注入材については、母体と注入材との接着力が凍結融解作用によって低下したと考えられる。これに対し超微粒子ポリマーセメント系は、66 サイクル頃に接着部分が劣化し始め、133 サイクルで母体全体に劣化が進行し、その後母体の剥離が生じている。超微粒子ポリマーセメント系は、単体においても耐凍害性があまり良い結果ではなかったことから、注入材も凍害劣化したことにより母体との接着不良が急速に進行し、早い段階で剥離に至ったと考えられる。

5. まとめ

本実験で得られた結果は、以下の通りである。

- (1) エポキシ系とアクリル系は十分な接着強度を有していたが、本試験においては、注入不足等の面的な充填率を確認することはできなかった。
- (2) 注入材の種類やひび割れの状況によって注入不足が生じている箇所がある可能性が大きい。
- (3) 凍結融解作用によって母体と注入材の接着力等が低下し、徐々に凍害劣化が内部に進行する。

今回の実験結果において、既存ひび割れ注入工法の耐凍害性はあまり良くない結果となった。本試験では、母体に凍害劣化し易いコンクリートを使用したことから、

コンクリートの凍害劣化が進行している実構造物におけるひび割れ注入工法の適用には注意が必要な場合もあると思われる。また、注入材自体の耐凍害性が良くないケースもあった。これらの結果を踏まえて、低温環境下においても補修後の要求性能を満足するひび割れ注入工法等を確立する必要がある。今後は、実構造物における事例調査等から積雪寒冷地におけるひび割れ注入後の現状の把握、実環境下における暴露試験等による検証、凍結融解作用が注入材の充填率と接着力との関係等に及ぼす影響等の検討、および注入材の接着力低下を抑制する対策の検討等の研究を行い、積雪寒冷地に適したひび割れ注入工法の提案等を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本コンクリート工学会北海道支部ひび割れ対策研究委員会：ひび割れ補修工法アンケート調査結果，第6回改訂版作製，コンクリートの補修工法1（ひび割れ），<http://www.jci-h.org/crack/table551.html>，2011.7
- 2) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2009，pp.121-129，2009.3
- 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，pp.242-245，2002
- 4) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針2009，p.88，2002.1
- 5) 土木研究所：土木研究所資料 第3962号，塩分環境下におけるコンクリート中の鉄筋腐食に関する実験的研究，2004.3
- 6) 国土交通省官庁営繕：公共建築改修工事標準仕様書（建築工事編）4章 外壁改修工事 4.3.4 樹脂注入工法，p.55，2010.10改訂
- 7) 魚本健人，加藤潔，広野進：コンクリート構造物の非破壊検査，森北出版，1990
- 8) 木村芳幹：超音波トモグラフィ法によるコンクリート構造物品質の推定，（財）日本建築総合試験所機関誌 GBRC，Vol.33，No.2，pp.13-21，2008.4
- 9) 内藤勲，田口史雄：表面被覆補修コンクリート構造物の超音波伝播速度測定による凍害再劣化調査，土木学会第64回年次学術講演会論文集，V-212，2009.9
- 10) 内藤勲，田口史雄，畠秀樹：補修したコンクリート構造物の凍害による再劣化診断手法に関する検討，土木学会第66回年次学術講演会論文集，V-072，2011.9