

### 13.3 コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立(3)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：耐寒材料チーム、寒地技術推進室各支所

研究担当者：田口史雄、島多昭典、内藤 勲、吉田 行  
遠藤裕丈、野々村佳哲、水田真紀、川村浩二、宮本修司  
中村直久、数馬田貢、北谷沙紀子、安田裕一、佐藤好茂

#### 【要旨】

コンクリートの主な補修工法には表面被覆、断面修復、およびひび割れ修復などがあるが、当研究チームではこのうちひび割れ修復を担当する。ひび割れ修復（注入工法や充填工法）はコンクリート構造物の補修工法の一つとして古くから実施されているが、要求性能や補修工法に関する試験方法について、国内において統一した基準が十分に確立するには至っていない。そこで本研究では、ひび割れ注入工法と充填工法に必要な要求性能および施工標準等を確立することを目的に研究を行っている。平成 24 年度は、ひび割れ注入工法において、要求性能等の整理と不具合発生要因を検討するための現地充填率調査を行うとともに、注入充填率が凍害劣化に及ぼす影響について室内検証実験を行った。さらに、注入後の耐久性等を検証するため、異なる環境条件で注入充填率を変化させた供試体の暴露試験を開始した。以上の結果、ひび割れの状態に応じた工法・材料選定が十分に成されていない事例もあることや注入材の種類によって注入不足状況が異なること、また、注入不足が凍害による再劣化に大きく影響することなどがわかった。

キーワード：コンクリート、ひび割れ修復、注入不足、再劣化、耐久性、凍害劣化

#### 1. はじめに

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<sup>1)2)</sup>ことから、ひび割れ対策に対する現場のニーズは非常に高い。コンクリートのひび割れ注入工法（以下、注入工法）とひび割れ充填工法（以下、充填工法）は、古くから多くの現場で使用されているが、修復後の検査方法が確立していないことから、注入不足や接着不良等による再劣化が生じている事例もある。そこで本研究では、このような再劣化を防止するため、ひび割れ修復工法の材料・施工管理標準を提案することを目的として研究を行っている。平成 24 年度は、前年度に引き続き、実際の補修工事で行われた注入工法におけるひび割れ注入材（以下、注入材）の充填確認調査と工法および材料選定理由等について現場聞き取り調査を行い、実施工における注入工法の実態把握を行った。また、模擬ひび割れ注入供試体を用いて、室内試験と屋外暴露試験によるひび割れ注入後の耐久性の検証を行った。

#### 2. ひび割れ修復工法の要求性能の整理

コンクリートのひび割れに対する修復について、材料自体の一般的試験方法はコンクリート標準示方書

（規準編）<sup>3)</sup>、修復手法に関しては、社団法人日本コンクリート工学会（以下、JCI）の「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2009 改訂版」に、材料特性に基づいた工法選定方法や修復材料の物性指標値等が規定されている<sup>4)</sup>。しかしながら、注入工法と充填工法の修復に求められる要求性能や施工標準等についての基準は十分に整備されていない。このため、注入工法と充填工法における修復後の要求性能と評価項目

表-2.1 ひび割れ修復工法に関する  
要求性能と評価項目、管理対象と管理項目の例

##### ◎要求性能と評価項目（注\*場合によって必要となる項目）

要求性能	評価項目の例
遮断性能	遮水性、遮塩性
接着性能	ひび割れ追従性、引張破壊伸び
	接着強さ（標準、湿潤、乾湿、低温等）、引張強さ、曲げ強さ、引張せん断接着強さ、凍結融解抵抗性、収縮、紫外線劣化
美観	補修跡処理
施工性能*	（可使時間の長さ、粘度の保持時間）

##### ◎管理対象と管理項目

管理対象	管理項目の例
施工管理	粘度、可使時間、硬化収縮率 ひび割れ進行、ひび割れ状態（湿潤・乾燥等）、施工温度、養生温度、養生時間、注入量、注入材排出管理、注入充填率、充填材付着強度
維持管理	経年変化モニタリング （ひび割れ進行、漏水、析出物等）

および管理対象と管理項目を整理した。その結果を表-2.1 に示す。要求性能の評価項目については、以下を考慮し整理した。注入工法は、コンクリート表面のひび割れから内部に向かって充填され、ひび割れ全体を塞ぎ、且つ一体化することで、コンクリート内部への劣化因子等の浸入を防ぐことが主な目的である。また、充填工法も、コンクリート表面からの劣化因子等の浸入を防ぐことが主目的である。このため、これら修復後の性能を十分に発揮させるには、注入不足がなく確実に充填させ、かつ、注入材やひび割れ充填材（以下、充填材）の付着持続性や溶出・欠損等に対する耐久性も必要である。しかしながら、現状として注入工法は、注入後の注入充填状況を確認する手法はほとんどなく<sup>5)6)</sup>、唯一、一般的な手法としてコア削孔による注入材の充填状況を確認する方法があるのみで、標準検査手法として確立していないため、通常竣工時の検査には実施されていない。また、充填工法においても、修復後の充填材の付着強度等を検査する手法は標準化されていない。現在、注入工法と充填工法で実施されている施工時における品質管理方法等は、注入材の注入量管理や排出確認、U カット等の幅と深さ管理といった注入材や充填材の固化前の管理のみである。したがって、修復終了後に注入不足や接着不良があった場合、目視確認できない部分は検査時に確認されずに竣工されているのが現状である。上記より、ひび割れ修復工法に対する要求性能とその評価項目や品質管理方法、施工管理標準等を提案することが、補修後の構造物に所定の耐久性が確保されることに繋がる。

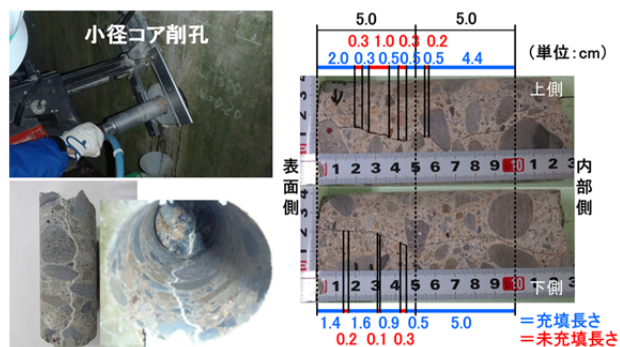


写真-3.1 コア削孔と注入充填率の計測例

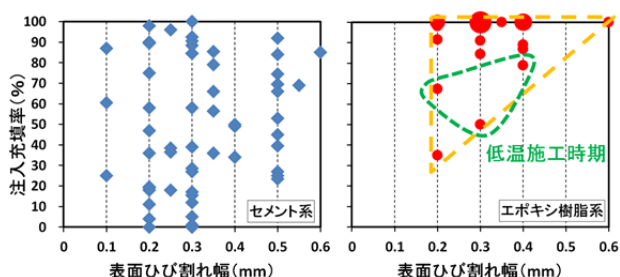


図-3.1 表面ひび割れ幅と注入充填率

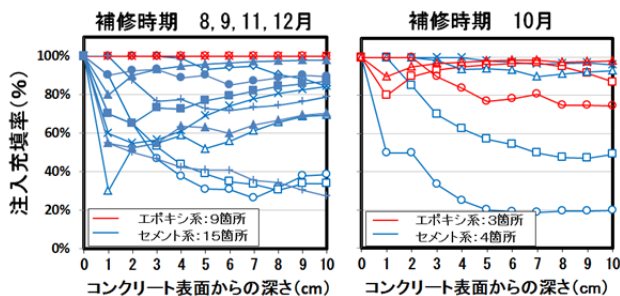


図-3.2 施工時期と注入充填率

### 3 現場調査

#### 3.1 ひび割れ注入後の充填確認調査

ひび割れ注入後の充填確認調査は、平成 23~24 年度に、北海道の国道および直轄河川で実施したひび割れ注入工事において、計 22 構造物（橋梁 19、覆道 1、樋門 2）のひび割れ 47 箇所から計 66 個のコア（径 50mm、削孔深さ 200mm 程度）を注入方向に採取し、写真-3.1 に示すように、表面から 10cm までの両側面の注入材の垂直長さから充填率（以下、注入充填率）を求めて評価を行った。なお、施工はすべて自動低圧注入工法であった。図-3.1 に、表面ひび割れ幅毎の注入充填率を示す。エポキシ系はひび割れ幅が広いほど注入充填率が高くなる傾向が見られ、セメント系はバラツキが大きいなど、注入材の種類によって注入充填率の違いが見られた。また、図-3.1 や図-3.2 に示すように、低温施工の影響と思われる注入不足事例も見られ、実際の

注入工事における注入不足の実態を把握することができた。

#### 3.2 ひび割れ修復工事のアンケート調査

充填確認調査を行った平成 24 年度の工事において、ひび割れ注入工と充填工の工法選定や材料選定、品質管理や施工管理の実態について、補修設計を担当したコンサルタントと工事を担当した施工業者に、以下の調査項目でアンケート調査を実施した。

- ・補修設計根拠（コンサルタント）
- ①ひび割れ注入工法・充填工法の選定理由
- ②注入材料・充填材料の選定理由
- ・施工実態（施工業者）
- ③実際に工事に用いた工法と材料
- ④設計変更した場合の変更理由
- ⑤注入工法および充填工法の品質管理方法

図-3.3 に工法選定理由、図-3.4 に材料選定理由のグラフを示す。工法選定理由として、ひび割れ幅に関係なく、「実績」や「目詰まりで注入不可のため充填工法」で選定した回答も多いことから、工法の選定となる基準等が確立されていないことによる影響が伺える。また、材料選定においても、「経済性」や「実績」と言った回答が多く、実績に関しては単に多く使われているのみの理由で、ひび割れの状態に応じた材料選択が成されていない現状が明らかとなった。なお、工法変更があった工事は1件だけ（注入工法→充填工法：理由は目詰まり）であり、ひび割れの現地状況に応じた変更は積極的に実施されていない。また、図-3.5 に注入工法の品質管理実施の有無を示すが、注入工法の

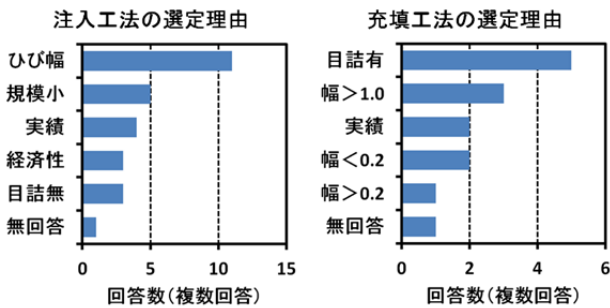


図-3.3 工法の選定理由 (コンサルタント)

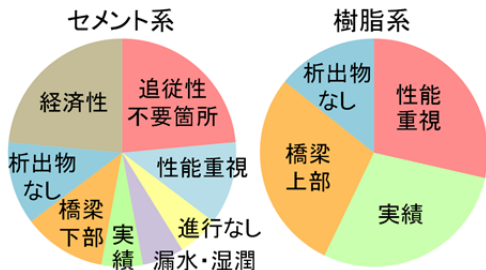


図-3.4 材料の選定理由 (コンサルタント)

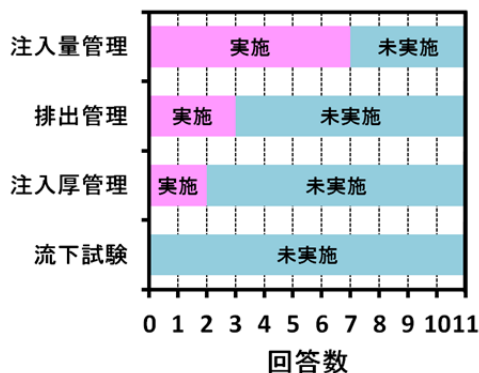


図-3.5 注入工法の品質管理実施の有無 (工事業者)

一般的な施工管理方法である注入量管理も6割程度しか実施していないなど、施工時の品質管理は十分に行われていない結果であった。

#### 4 室内実験

室内実験では、注入充填率が凍害劣化に及ぼす影響について把握するため、異なる注入充填率(100%、80%、50%)の模擬供試体（以下、模擬注入供試体）に凍結融解作用を与え、注入材と母体コンクリート（以下、母体Co）との付着状況を超音波測定によって確認する実験を行った。

##### 4.1 注入充填率の違いによる耐凍害性への影響

模擬注入供試体は、図-4.1 に示すように、無筋の□10×10×40cmの供試体を半分に分断し、注入材で切断面同士を接着する（厚0.5mm）方法で作製した（以下、接着供試体）。注入材の種類は、エポキシ系3種類、アクリル系1種類、セメント系2種類とし、母体Coは、凍害劣化を促進させる目的で、AE 剤を不使用とした。接着供試体に与える凍結融解作用は、JIS A 1148（A法）に準じて実施し、注入面（1面）から水分供給を受ける状態とした。注入材の付着状況を確認するため、図-4.2 に示すように、接着供試体の側面中心から超音

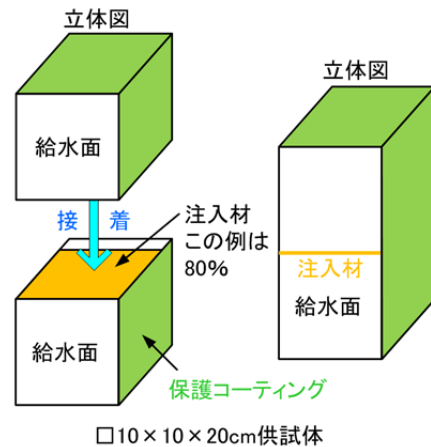


図-4.1 接着供試体の作製 (一例)

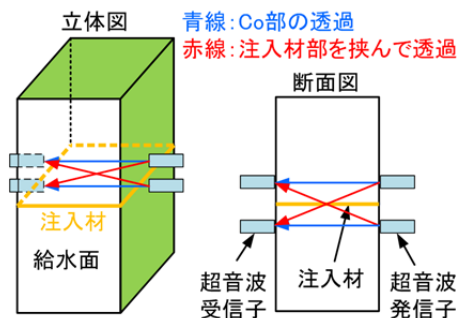


図-4.2 超音波測定方法 (透過法)

波測定器の送受信子を当て、透過法による超音波伝播速度の測定を行った<sup>7)8)9)</sup>。測線は、母体 Co の劣化状態を評価する母体 Co を透過した 2 測線と注入材と母体 Co との接着状態を評価するため、ひび割れ面を交差して透過した 2 測線とし、測定は約 30 サイクル毎に行った。図-4.3 に、エポキシ系とセメント系の凍結融解サイクル毎の超音波伝播速度の一例を示す。母体 Co の劣化が進行すると、エポキシ系は充填率 50%、セメント系は充填率 80%、50% で注入材の剥離が生じている。このことから、注入材の注入不足が凍害劣化による再劣化に大きく影響することを確認した。

### 5 暴露試験の開始

注入後のコンクリート構造物の耐久性を検証するため、実環境下における暴露試験を開始した。コンク

リートの劣化形態や劣化の進行は、設置されている箇所の環境条件によって大きく左右されるため、暴露試験は、環境条件の異なる以下の 4 地域で実施した。

- ①増毛（北海道・海岸線）：凍害・塩害の複合
- ②小利別（北海道・内陸）：凍害、厳寒-30℃超
- ③朝霧（静岡・高地）：紫外線
- ④大宜味村（沖縄・海岸線）：塩害、紫外線

各地域に暴露した供試体は、注入材と母体 Co の接着耐久性評価、塩化物イオンの浸透評価、注入材単体の性能評価の 3 タイプとした。接着耐久性評価では、室内実験と比較するため、NonAE の同じ物を作製するとともに、AE 剤を使用した供試体も同数作製した。塩化物イオンの浸透評価では、既往の研究<sup>10)</sup>を参考に、鉄筋を配置した□20×20×100cm の供試体に 3 点曲げ載荷で発生させた 0.2~0.5mm のひび割れに自動低圧

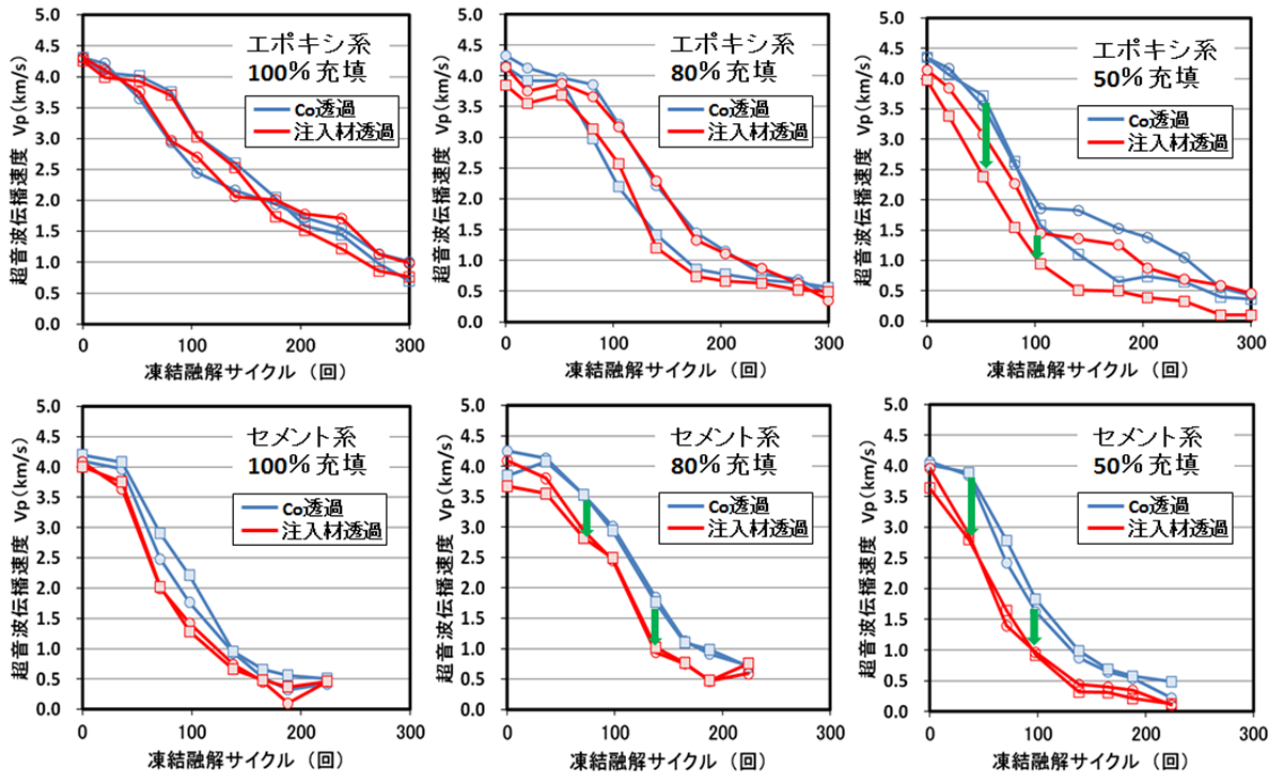


図-4.3 凍結融解サイクルと超音波伝播速度の関係（一例）

- |  |   |                           |  |
|--|---|---------------------------|--|
| <p>増毛（北海道・海岸線）<br/>・凍害の複合<br/>（飛来塩分）</p> | <p>小利別（北海道・内陸）<br/>・凍害（内陸）<br/>・厳寒(-30℃超)</p> | <p>朝霧（静岡・高地）<br/>・紫外線</p> | <p>大宜味村（沖縄・海岸線）<br/>・塩害（飛来塩分）<br/>・紫外線</p> |
|--|---|---------------------------|--|



写真-5.1 暴露試験状況

注入工法で注入して作製しており、鉄筋腐食に及ぼす影響も併せて行っていく。なお、注入供試体への注入作業は、注入材メーカー各社との共同研究により、メーカー各社の専門技術者がそれぞれ推奨する注入方法で実施した。写真-5.1 に、4 地域の暴露状況を示す。

## 6. まとめと今後

ひび割れ修復工法に関して、要求性能毎の評価項目等の整理および現地調査での工事における不具合事例やアンケートによる修復の実態把握、また、室内試験において、地域特性等の違いとして模擬供試体による凍結融解試験を行い、以下の知見を得ることができた。

- (1) 注入材料の種類によって注入充填率に違いが見られ、また、工事における注入不足の実態把握から、施工環境等による注入充填率への影響が把握できた。
- (2) 工事において、現地ひび割れの状態に応じたひび割れ修復工法の選定や修復材料の選定が適切に行われていない事例も判明した。
- (3) 室内実験において、注入不足が凍害による再劣化に大きく影響することを確認した。
- (4) 設置環境の違いによる劣化を把握するための暴露試験を開始した。

今後、低温条件等の施工環境と注入充填率との関係や、凍害・塩害環境等における注入不足と耐久性との関係を更に詳しく把握し、ひび割れ注入工法の施工管理方法や品質管理方法等の整理を行い、補修対策技術の体系化を行っていく。また、ひび割れ充填材についても同様の実験を進める予定である。

## 参考文献

- 1) 独立行政法人土木研究所；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. 1
- 2) 渡辺博志；コンクリート構造物の信頼性の向上－ひび割れの影響－，土木技術資料 平成 24 年 1 月号，pp. 42-45，2012. 1
- 3) 土木学会；コンクリート標準示方書（規準編），pp. 378-399，2010. 11
- 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，pp. 120-176，2009. 3
- 5) 山口岳思，鎌田敏郎，寺田孝，六郷恵哲；超音波によるコンクリートひび割れ注入材の充填確認方法，コンクリート工学年次論文集，vol. 27, No. 1, pp. 1681-1686, 2005
- 6) 深町卓也，原田耕司，伊藤幸広；構造物検査用内視鏡を用いたひび割れ注入管理技術の開発，コンクリート工学年次論文集，vol. 33, No. 2, pp. 1519-1524, 2011
- 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，pp. 37-39, 1990
- 8) 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
- 9) 内藤勲，田口史雄，島秀樹；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
- 10) 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，独立行政法人土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム，2005. 3

## ESTABLISHMENT OF REPAIR TECHNOLOGIES TO PROLONG THE SERVICE LIFE OF CONCRETE STRUCTURES (3)

**Budget** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Materials Research Team  
Cold-Region Technology Promotion Division

**Author** : TAGUCHI Fumio, SHIMATA Akinori  
NAITOH Isao, YOSHIDA Susumu

ENDOH Hirotake, NONOMURA Yoshinori

MIZUTA Maki, KAWAMURA Kohji

MIYAMOTO Syuji, NAKAMURA Naohisa

KAZUMATA Mitsugu, KITAYA Sakiko

YASUDA Yuichi and SATOH Yoshishige

**Abstract** : Main repair methods of concrete are surface coating, patching and crack repair, and our team in charge of crack repair. Crack repair (Crack injection or Crack filling) is one of the conventional and common repair methods for existing concrete structures. However, performance requirements as well as performance testing methods for the repair materials have not been established as the national technical standards in Japan. One of the purposes of this research is to develop performance test methods and to identify performance requirements for repair materials and systems of the concrete restoration. In FY2012, we made site investigations on the factors involved in the failure of injection to repair cracks in concrete, and we conducted laboratory tests to clarify the effect of incomplete crack injection on frost damage. We also carried out exposure tests of specimens under different environmental conditions and degrees of crack filling, toward examining the durability of injected concrete structures. The site investigations identified inappropriate crack repair methods and materials, in some cases, and they found the incompleteness of injection to vary by type of materials. The laboratory tests revealed that results of incomplete injection in accelerated re-deterioration of concrete structures from frost damage.

**Key words** : concrete, crack repair, incomplete crack injection, re-deterioration, durability, frost damage