

戦略 67 積雪寒冷地における充填・注入によるコンクリートのひびわれ修復対策に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 22～平 26

担当チーム：耐寒材料チーム

研究担当者：馬場道隆、内藤 勲、吉田 行、
遠藤裕丈、野々村佳哲、中村拓郎

【要旨】

本研究は、積雪寒冷地のコンクリート構造物におけるひびわれ修復対策において、低温環境やひびわれ状況等に応じた対策方法等を検討するため、ひびわれ修復材料の基本物性を把握することを目的として、既存ひびわれ充填・注入材の種類や材質および北海道の施工実績等のデータの収集整理、さらに、ひびわれ補修後の品質に大きく影響を及ぼす要因であるひびわれ深さを精度良く判定するため、各種非破壊試験等による実構造物の事例調査等を行った。その結果、超音波の直角回折波法によるひび割れ深さ測定が一番精度の良いことが判明した。また、予備実験として、模擬ひびわれ供試体の作成を行い、注入方法等について検討したが、供試体作成におけるひびわれ幅等のコントロールは難しく、今後ひびわれ作成精度を上げる必要があることや、ひびわれの状態によっては十分に注入されない場合もあることがわかった。

キーワード：積雪寒冷地、充填・注入、ひびわれ修復材料、材料特性、ひびわれ供試体

1. はじめに

コンクリートに発生したひびわれは、水や塩分等の侵入口となり、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、早期にひびわれ対策を実施する必要があり、ひびわ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わ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充填・注入等のひびわれ修復材料特性、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、積雪寒冷環境に対応した適切なひびわれ修復対策を確立することが求められている。

平成 22 年度では、充填・注入によるひびわれ修復材料の低温環境下における耐久性や施工性等を把握するための基礎資料として、既存ひびわれ充填材と注入材の種類、北海道における施工実績、および実構造物のひびわれ調査事例の収集・整理等を行った。また、予備実験として、模擬ひびわれ供試体の作成方法や注入方法等について検討を行った。

査結果¹⁾から収集・整理を行い、ひびわれ修復材料における種類や物性等の傾向を分析した。図-1.1 に注入材と充填材の主成分別割合を示す。注入材・充填材共にエポキシ系を主成分とする材料が全体の 6～7 割程度を占めている。その他、注入材ではセメント系、アクリル系、ポリウレタン系、充填材シーリング材ではポリウレタンとシリコンがそれぞれ全体の 1 割程度

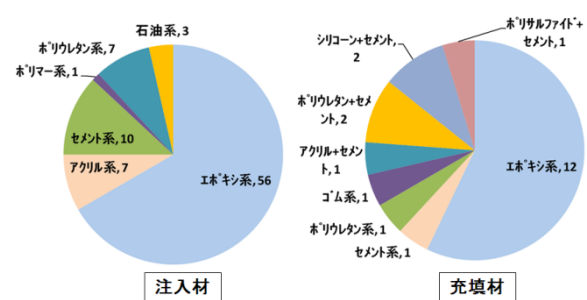


図-1.1 主成分別割合

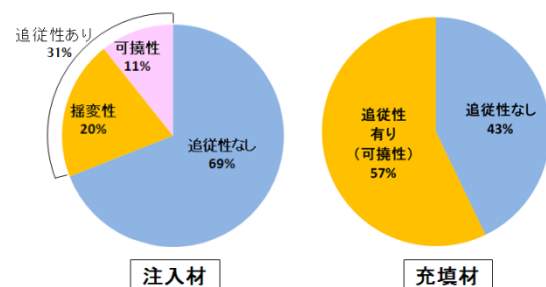


図-1.2 追従性の有無

2. 基礎資料の収集・整理

2.1 既存ひびわれ注入材と充填材の種類

既存ひびわれ注入材と充填材の種類に関する調査は、インターネットによる検索および社団法人日本コンクリート工学協会（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

となっていた。図-1.2 に追従性の有無を示す。追従性のある種類が注入材では全体の 3 割程度であったが、充填材は全体の半数強であった。なお、追従性を表す物性として、揺変性（チキソトロピー）と可撓性に区分した。揺変性は揺らしたり混ぜたりするとゾル（分散媒液状体）になるが、放置するとゲル状（ゾルが固体になったもの）になる性質であり、可撓性は固化後もたわむことが出来る性質である。図-1.3 は、主成分別に注入工法の累計数を示しており、低压注入用、高压注入用および両方に対応した種類があり、ひびわれの状況等に応じた材料と工法を選択できる種類もあった。コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2009; JCI²⁾ 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基準等はなく、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。充填材のシーリング材に関する規格は、JISA5758:2004 に規定されている。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、ひびわれの進行区分と幅によって使用する注入材と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わ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²⁾。

2.2 北海道における施工実績

図-1.4 に北海道における使用実績を示す。北海道実績は上述した既存注入材等の調査から集計を行ったが、メーカー等への聞き取り調査は行っていないため、今回、調査できた範囲での集計数量である。注入材・充

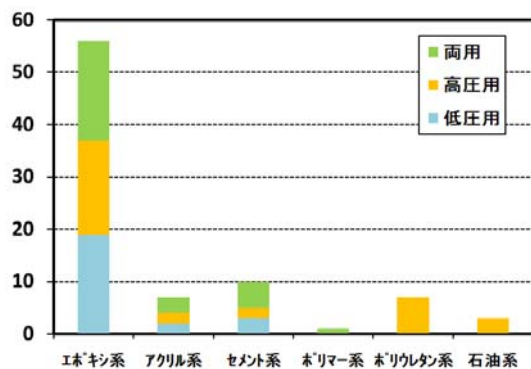


図-1.3 主成分別注入工法の累計数

填材共に、全体の約 3 割の材料において北海道実績があった。図-1.5 は冬用の有無を示したものであり、注入材の冬用は全体の半数強、充填材の冬用は全体の 14% であった。北海道実績調査の結果において、注入材はすべて冬用が用いられていたが、充填材は通年用の材料を用いている箇所が多かった。

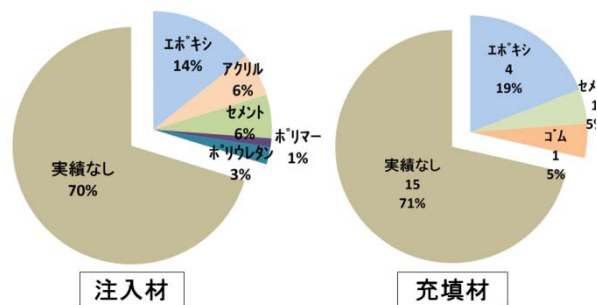


図-1.4 北海道実績の有無

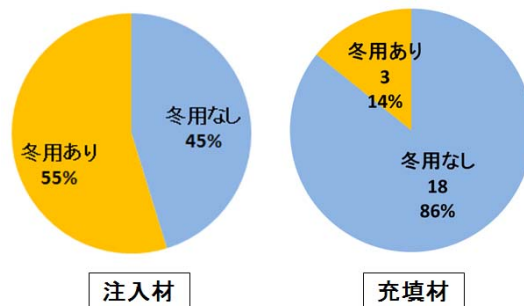


図-1.5 冬用の有無

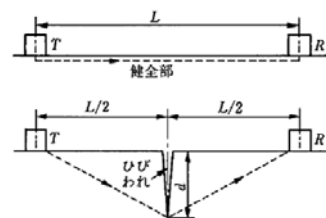
2.3 実構造物のひびわれ調査事例

ひびわれの修復方法は、ひびわれの幅と進行程度によって規定されている²⁾が、実際の施工においては、ひびわれ長さやひびわれ深さによって修復範囲や使用量が異なるため、施工前のひびわれ調査・試験ではひびわれ長さやひびわれ深さの測定も行っている。ひびわれ幅や長さは目視等によるスケール測定、ひびわれ深さは非破壊試験等で比較的容易に確認できる。本調査では、超音波法による測定を採用し、ひびわれ深さ測定の代表的な測定法である Tc-To 法、修正 BS 法、直角回析波法の 3 測定法⁴⁾⁵⁾を用いて実構造物のひびわれ深さの実測を行い、測定値の精度確認を行った。測定は、北海道内各地に現存する樋門コンクリート構造物と橋梁で行い、21 樋門の操作台、門柱、擁壁と 2 橋梁の橋台において計 90 箇所の測定を行った。表-1.1 に、測定結果表の一例を示す。Tc-To 法は、図-1.6 に示すように、健全部の超音波伝播速度（以下、速度）とひびわれ部の速度を測定し、その速度差から式(1)

表-1.1 超音波法によるひびわれ深さ測定結果表の一例

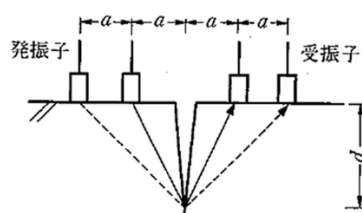
構造 物名	部位	ひび割れ 幅 (mm)	ひび割れ 長 (m)	超音波伝 播速度 (m/sec)	ひび割れ深さ(cm)						劣化推定原因(外観上)
					① tc-to法	② 修正BS法	③ 直角回析 波法	誤差 ①-②	誤差 ①-③	誤差 ②-③	
A樋門	門柱	0.06	0.3	3,992	2.6	1.6	—	1.0	—	—	乾燥収縮や不動沈下等
	門柱	0.08	0.3	4,000	2.9	1.9	2.1	1.0	0.8	-0.2	
	門柱	0.04	0.2	3,891	1.4	1.2	—	0.2	—	—	
B樋門	擁壁	0.20	1.8	3,945	5.0	4.2	4.6	0.8	0.4	-0.4	沈下
	擁壁	0.20	1.8	3,861	6.1	4.2	4.3	1.9	1.8	-0.1	
	擁壁	0.15	1.8	3,976	5.5	4.0	4.5	1.6	1.1	-0.5	
C樋門	門柱	1.10	0.2	2,620	4.3	4.1	4.1	0.3	0.2	0.0	中性化
D樋門	操作台	0.04	0.5	3,527	2.9	2.8	—	0.1	—	—	補修部の再劣化
E樋門	操作台	2.00	1.7	3,396	12.2	3.5	10.8	8.7	1.4	-7.3	乾燥収縮や温度ひび割れ(セ ハレート位置で鉄筋に沿ったひ び割れ。測定値は鉄筋の影響 を受けた可能性有り)
	操作台	2.20	0.9	3,396	12.7	5.6	15.6	7.0	-2.9	-10.0	
	操作台	0.60	1.1	3,361	7.8	2.2	4.8	5.6	3.0	-2.6	
F樋門	門柱	0.10	0.5	4,651	2.8	2.4	—	0.3	—	—	凍害
	門柱	0.15	0.5	4,651	4.5	3.3	—	1.2	—	—	
	門柱	0.10	0.9	4,651	3.0	2.3	—	0.7	—	—	
(他22樋門は省略)											
G橋	縦壁	0.50	1.5	3,759	5.5	4.8	14.8	10.5	0.5	-10.0	補修部の再劣化
	縦壁	0.50	1.5	3,759	15.3	2.8	14.5	10.5	-1.2	-11.7	
	縦壁	0.10	0.9	3,306	13.3	6.5	7.0	0.4	0.0	-0.5	
H橋	縦壁	0.30	3.2	3,824	9.8	3.6	15.0	6.2	-5.2	-11.4	乾燥収縮や温度ひび割れ
	縦壁	0.30	3.2	3,824	11.5	6.8	11.5	4.7	0.0	-4.7	
	縦壁	0.20	3.2	3,824	5.0	3.8	4.0	1.2	1.0	-0.2	
誤差の平均								1.3	0.4	-1.3	

によって、ひびわれ深さを求める方法である。修正 BS 法は、図-1.7 に示すように、ひびわれ部を挟んで測定端子の測定間距離を変えて速度を測定し、その速度差から式(2)によってひびわれ深さを求める方法である。直角回析波法は図-1.8 のように、超音波の入射角が反転する回析理論を利用して、両端子とひびわれ最深部との角度が直角になる位置を求めることによってひびわれ深さを測定する方法である。今回、3 測定法の実測結果から測定誤差をそれぞれ算出し、誤差の少ない 2 測定法の内、深い値をひびわれ深さ(真値)とした。その結果、3 測定法で最も真値を獲得したのは直角回析波法であり、Tc-To 法と修正 BS 法は同数となった。直角回析波法が測定出来ない箇所においては、Tc-To 法の方が真値を獲得する数が多い結果となった。したがって、今回の実測結果においては、直角回析波法の測定精度が最も良い結果となり、次に Tc-To 法と言う結果となった。



$$d = \frac{L}{2} \sqrt{\left(\frac{T_c}{T_0}\right)^2 - 1} \quad \dots\dots \text{式(1)}$$

図-1.6 Tc-To 法の概念図



$$d = a \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} \quad \dots\dots \text{式(2)}$$

図-1.7 修正 BS 法の概念図

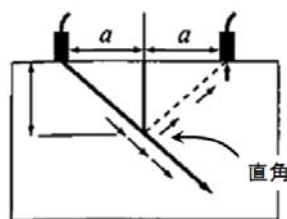


図-1.8 直角回析波法の概念図

表-1.2 真値を得た測定法の獲得数

3種類の測定法を実施できた箇所

ひび割れ幅	Tc-to法	修正BS法	直角回析波法
0.1mm未満	1	0	4
0.1～0.2mm未満	2	5	6
0.2mm以上	5	13	18
計	18	18	28

直角回析波法が測定不能な箇所

ひび割れ幅	Tc-to法	修正BS法	直角回析波法
0.1mm未満	15	3	—
0.1～0.2mm未満	3	4	—
0.2mm以上	8	6	—
計	26	13	—

しかしながら、誤差が大きい箇所もあったことや Tc-To 法、修正 BS 法もそれぞれ全体の約 3 割弱が真値となったことから、実際に真値を求める方法としては、直角回析波法と Tc-To 法の両測定値を先ず測定し、誤差が大きい場合は修正 BS 法にて確認を行うことが有効であると思われる。

3. 予備実験

3.1 模擬ひびわれ供試体作成方法に関する検討

ひびわれ注入・充填工法の方法特性や耐久性等の各種室内試験を行うにあたり、ひびわれ幅、ひびわれ深さをコントロールした模擬ひびわれ供試体の作成が必要である。そのため、今回、予備実験として、様々なひびわれ発生手法を検討して模擬ひびわれ供試体の作成を試みた。ひびわれは、①初期ひびわれ、②外力によるひびわれ、③経年劣化によるひびわれに大別できるが、本検討では、①、②のケースについて予備実験を行った。図-2.1 に検討したひびわれ作成方法を示す。ケース A は、コンクリートの先打ち後打ちによる打重ねひびわれ（コールドジョイント）を期待したが、打重ね部は一体化してしまった。今回は、先打ち後打ち共に同一配合のコンクリートを使用したが、今後、異なる配合や膨張剤等を混入して再検討したい。ケース B は、硬化中に型枠を変形させて沈下等による段ズレひびわれを想定したが、写真-1.1 のように、コンク

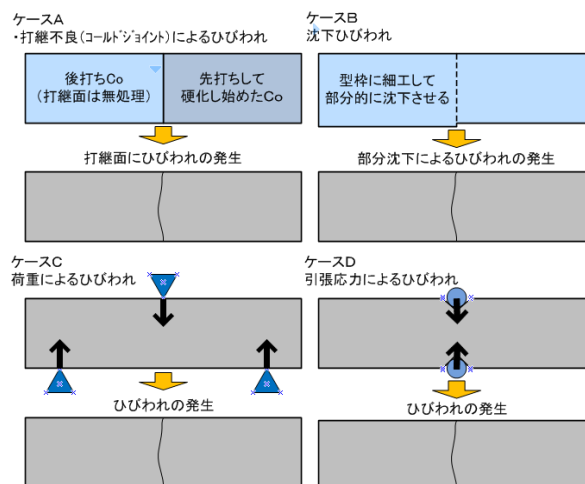


図-2.1 模擬ひびわれ供試体試作方法概念図



写真-1.1 ケースBの表面剥離発生状況



写真-1.2 ケースCの斜めひびわれ発生状況

リート表面が剥離する結果となり、期待したひびわれは発生しなかった。ケース C は、既往の研究⁶⁾を参考に、JISA1106 のコンクリートの曲げ強度試験方法に準じた方法である。3 点支持により単純荷重を行い、ひびわれ幅 0.15～0.40mm の範囲でひびわれを作成することが出来たが、写真-1.2 のように、ひびわれが斜めに発生したり、ひびわれ箇所のコンクリート表面が欠損する場合も多かった。そこでケース D として、ひびわれ誘発 V カットを設け、V カット部に丸鋼を挟んだ状態で荷重を行い、供試体に引張応力を与えることによりひびわれを発生させる工夫を試みた。ひびわ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、ひびわれ幅 0.15～0.50mm の範囲でひびわれを作成することが出来た。なお、供試体のコンクリートの配合は表-2.1 に示す。供試体の寸法は□10×10×40cm と□15×15×53cm の 2 種類とし、D10 および D13 の丸鋼鉄筋を供試体中心部に入れて作成した。

表-2.1 模擬ひびわれ供試体のコンクリート配合表

セメントの種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(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

3.2 ひびわれ注入方法に関する検討

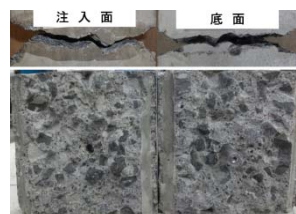
ひびわれ注入方法には、低圧注入と高圧注入があるが、最近では比較的簡易で熟練度をあまり必要としない自動式低圧注入が主流となっている。自動式低圧注入は、0.4MPa以下の加圧によることが国土交通省官庁営繕公共建築改修工事仕様書（建築工事編）⁷⁾に定められているが、加圧管理に明確な方法等はない。したがって、粘性や流動性等の異なる様々な既存注入材料において、ひびわれ状況等に応じた加圧管理方法の確立が望まれる。自動式低圧注入器具には注入を開始してから注入材料を継ぎ足せる器具と出来ない器具があるが、冬用に多い固化が早い材料の継ぎ足しは難しいことから、本実験では、写真-1.3のような継ぎ足しの出来ない低圧注入器具を今回使用した。



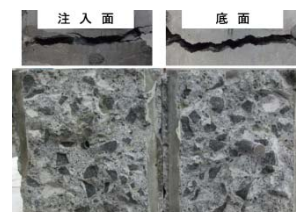
写真-1.3 実験に使用した低圧注入器具

3.3 ひびわれ注入工法に関する予備検討

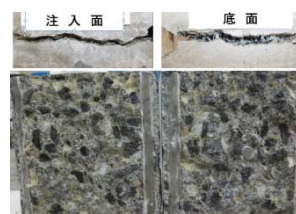
今回使用した注入材は、広く一般に使用され、北海道実績があるものを用いた。エポキシ系、アクリル系、ポリマー系、超微粒子ポリマーセメント系をそれぞれ主成分とする4種類の注入材とした。注入の予備実験は、□15×15×53cmのひびわれ供試体に自動式低圧注入工法で行った。注入面（上面）のひびわれにはシール材と取付器具を施し、側面のひびわれはエポキシ樹脂接着剤でシールした。下面のひびわれは注入材が流れ出るように開放したままとした。シール材等の固化時間を1日とし、翌日に注入を行った。施工方法は、練り混ぜた注入材を低圧注入器具で注射器のように吸い上げ、取付器具にセットし、ゴムバンドで加圧する方法であり、作業は比較的容易である。しかしながら、取付器具は接着が弱いと加圧で外れたり、ひびわれ状況等に応じた明確な加圧管理値設定がないことから、注入状態によって加圧の調整が必要であること等、あ



エポキシ樹脂系：注入面以外で割裂

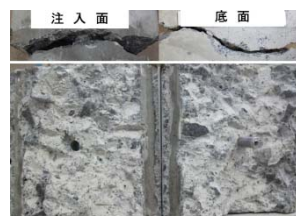


アクリル樹脂系：注入面以外で割裂



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モルタル系：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

上：ポリマー系、下：超微粒子ポリマーセメントモルタル系

写真-1.4 注入後の割裂状況と注入材充填状況

る程度の経験を要する。注入は下面から注入材が流出した時点で完了とし、注入材の固化後、再度供試体に引張り応力を与えてひびわれを発生させ、注入材の接着状態等を確認した。その結果、写真-1.4 に示すように、エポキシ系とアクリル系は注入界面で割れず、別の位置にひびわれが発生したことから、注入材は十分な接着強度を有していることがわかった。しかしながら、全体に注入材が充填されているかどうかの確認はできなかった。一方、ポリマー系と超微粒子ポリマーセメント系はひびわ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一部で注入材が行き渡っていない供試体があった。今回注入を行った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ある。しかも注入面積は小さい。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、ひびわれの状況によっては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大きな原因の一つになると考えられる。

4. まとめ

充填・注入によるひびわれ修復対策に関して、既存工法の種類や北海道実績などの基礎資料の整理、ひびわれ供試体の作成や低圧注入工法の予備実験等を行った結果、以下の知見を得ることができた。

- (1) エポキシ系を主成分とする充填材・注入材が全体の 6～7 割を占める。また、追従性のある材料は、充填材が全体の半数強、注入材が全体の約 3 割であった。
- (2) 北海道で実績のある修復材料は全体の約 3 割であった。また、注入材の冬用は全体の約半数であったが、充填材の冬用は全体の 14% と少なかった。
- (3) 超音波による現地ひびわれ深さ調査では、一番精度の良かった測定値は直角回析波法であったが、他の Tc-To 法や BS 法も併用して真値を求めたほうが有効である。
- (4) ひびわれ供試体の作成において、引張り応力を与えてひびわれを発生させる方法は有効であると思われるが、ひびわれ幅や深さのコントロールに今後さらなる調整が必要である。

- (5) 低圧注入工法において、作業は比較的容易であるが、注入状態によって加圧の調整が必要であり、ひびわれ状況によっては十分注入されない場合もある。

5. 今後の課題

今回、幾つかの材料と工法で注入の予備実験を行ったが、注入材は様々な種類があり、低圧注入器具も色々な種類があることから、さらに多くの事例について実験を進め、積雪寒冷地に適した施工管理方法や耐久性を検討していく。また、充填材についても今後実験を進めたい。

参考文献

- 1) <http://www.jci-h.org/crack/index.html> ; (社) 日本コンクリート工学協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
- 2) コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針 2009 ; 社団法人日本コンクリート工学協会, pp. 127-130, 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(土木構造物に関する研究成果) ; (財) 土木研究センター, pp. 237, 1989. 5
- 4) 魚本健人, 加藤潔, 広野進 ; コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ 5 コンクリート構造物の非破壊検査, 森北出版, pp. 33-36, 1990. 4
- 5) 平田隆洋, 魚本健人 ; 超音波法によるコンクリート構造物のひび割れ調査に関する研究(1) - 複合手法によるひび割れ深さ測定精度の検討 -, 東京大学生産技術研究所生産研究 52 巻 10 号, pp. 493-496, 2000. 10
- 6) 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
- 7) 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, 国土交通省官庁営繕, pp. 55, 2010. 10 改訂