

実構造物におけるひび割れ注入後の 品質管理に関する検討

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 ○村中 智幸
(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

コンクリートのひび割れ注入工法は、補修対策として一般的に広く実施されているが、注入不足等による漏水や凍害等による再びひび割れが生じている事例もある。また、注入後の耐久性については不明確であり、品質管理方法等も未だ確立していない。本研究は、注入工法の現状把握と品質管理方法の確立を目的として、実際の補修工事において注入充填確認調査を行い、ひび割れ幅や注入材の種類が注入充填性等に及ぼす影響について検討を行った。

キーワード：注入不足、再びひび割れ、品質管理、充填確認

1. はじめに

既存ストックの増加、老朽化、公共事業費の削減という状況下において、コンクリート構造物を延命させて有効に活用することが重要になってきており、適切な補修等による長寿命化技術の開発や適用が求められている。また、これに起因して補修や補強等の工事数も増加し、多くの補修材料や補修工法が現場で選択され施工されており、工法選定や耐久性、LCC（ライフサイクルコスト）等に関する技術的な相談も増えている。

ひび割れ注入工法は、コンクリートのひび割れ修復方法として一般的に使用されているが、注入後に写真-1のような再びひび割れ等が生じている事例もある。積雪寒冷環境下においては、このような再びひび割れが水や塩分等の劣化因子の浸入口となり凍害や塩害等、もしくはこれらの複合作用によりさらに劣化が急速に進行する場合が多い。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方法等に明確な基準がないこ



写真-1 注入不足等による再びひび割れの例

と、注入後の充填確認方法がないこと、さらに、注入不足等が補修後の耐久性等に及ぼす影響等が明らかになっていないなど、注入後のコンクリートの品質管理に関する課題は多い。このような背景から、早急に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。このため、既存ひび割れ注入工法の現状把握と品質管理方法の確立を目的として、昨年度から実構造物による現地調査¹⁾を実施している。

本報告は、ひび割れ注入工法のひび割れ幅や注入材の種類が、注入充填性等に及ぼす影響について昨年度の調査結果を含めて検討を行ったものである。

2. 注入工法の現状把握

最初に、北海道内におけるひび割れ注入工法（以下、注入工法）の実態調査を行った。図-1にひび割れ注入材（以下、注入材）の主成分割合を示す。調査方法は、昨年度の調査²⁾と同様に、公益社団法人日本コンクリート工学会北海道支部のホームページに公開されているひび割れ対策研究委員会のひび割れ補修アンケート結果³⁾を分析し整理した。この結果、エポキシ系とセメント系を主成分とする製品が全体の8割程度を占めていた。その他、アクリル系、ポリウレタン系などがそれぞれ1割程度となっている。有機系の注入材（エポキシ系、アクリル系、ポリウレタン系など）と、無機系の注入材（セメント系）の割合をみると、7：3程度の割合であった。なお、最近では、比較的安価なセメント系注入材（以下、セメント系）の採用が増えている。

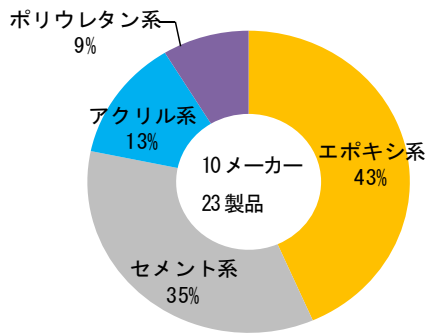


図-1 北海道におけるひび割れ注入材の主成分割合

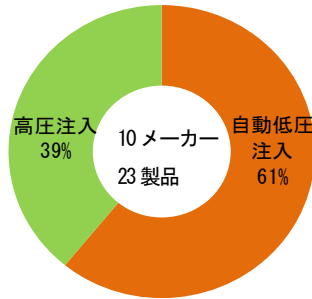


図-2 注入手法の割合

図-2に注入手法の割合を示す。取り扱いが容易な自動低圧注入工法が6割以上を占め主流となっている。

図-3に現地のひび割れ幅毎の注入材の主成分割合を示す。コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針⁴⁾では、ひび割れ幅0.2mm～1.0mmに注入工法を適用するとされているが、0.2mm未満や1.0mmを超えるひび割れ幅にも有機系、無機系ともに使用されていた。指針の適用範囲を超える高性能な注入材が開発・使用された場合と、適用範囲を越えた施工を行っている場合が考えられるが、今回の調査では、特定できなかった。

3. 調査概要

(1) 調査対象構造物と注入材の種類

注入材の充填確認調査は、平成23年度と平成24年度に施行された北海道各地のひび割れ注入工事において、平成23年度は5橋梁6箇所、1覆道2箇所、2樋門3箇所、平成24年度は12橋梁17箇所の計28箇所で行った。

対象部位は、平成23年度は橋台、橋脚、覆道の面壁、樋門の翼壁、平成24年度は橋台、橋脚、袖擁壁であり、調査の実施はひび割れ注入後とした。

表-1に充填確認調査を行った対象構造物とひび割れの諸元を示す。今回、調査を実施したひび割れ注入工事における注入手法は全て自動低圧注入工法であった。

(2) 削孔コアによる注入材の充填確認調査

注入材の充填確認調査は、ひび割れ注入固化後、注入

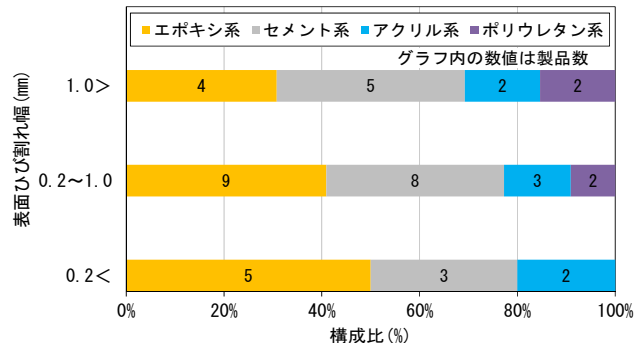


図-3 ひび割れ幅毎の注入材主成分の割合

表-1 調査対象構造物とひび割れの諸元

調査年度	記号	構造物	対象部位	表面ひび幅 (mm)	補修時期 (月)
H23	C1	橋梁A	橋台	0.1	12
	C2	橋梁B		0.2	10
	C3	橋梁C	橋脚	0.6	11
	C4	橋梁D	橋台	1.2	10
	E1	樋門A	翼壁	0.35	12
				0.35	12
	E2	橋梁E	橋台	0.2	10
	E3	覆道	面壁	0.4	10
	E4			0.6	9
	E5	樋門B	翼壁	1.3	9
	E6			0.3	11
H24	C6	橋梁F	橋台	0.2	8
	C7	橋梁G		0.2	8
	C8	橋梁H	橋脚	0.2	9
	C9		橋台	0.3	9
	C10		擁壁	0.4	9
	C11	橋梁I	橋台	0.25	10
	C12			0.4	10
	C13	橋梁J	橋台	0.3	9
	C14	橋梁K	橋脚	0.3	9
	C15	橋梁L	橋台	0.3	8
	C16	橋梁M	擁壁	0.35	8
C17	橋梁N	橋台	0.5	9	
E7	橋梁O	橋脚	0.2	11	
E8			0.3	11	
E9			0.4	11	
E10	橋梁P	橋脚	0.3	11	
E11	橋梁Q	橋台	0.4	10	

※表中の記号Cはセメント系注入材、Eはエポキシ系注入材を示す。

箇所から直径5cm×深さ10cm以上のコアを表面から垂直に採取し、コア両側面において、コンクリート表面から10cmの深さまでに注入材が充填されている垂直長さ（以下、垂直充填長さ）をスケールで計測し、コア長さに対する垂直充填長さの割合を注入充填率として求めた（写真-2）。次に、ここで得られたコンクリート表面から深さ10cmまでの注入充填率（以下、充填率）を用いて、ひび割れ注入箇所における注入材の充填性評価を行った。なお、評価深さについては、内部に向かって斜めひび割れや屈曲が大きいひび割れもあることや鉄筋のかぶりも考慮し、コンクリート表面から深さ10cmまでを今回の評価対象とした。

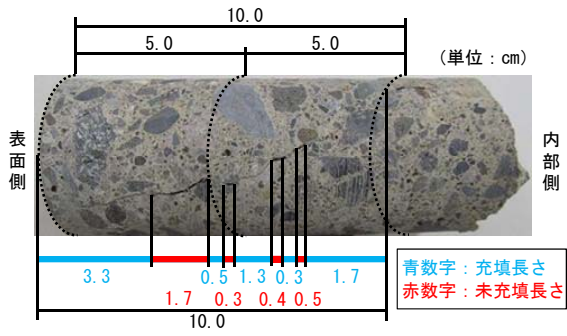


写真-2 削孔コアのひび割れ充填計測例



写真-3 削孔コアと削孔内の状況例

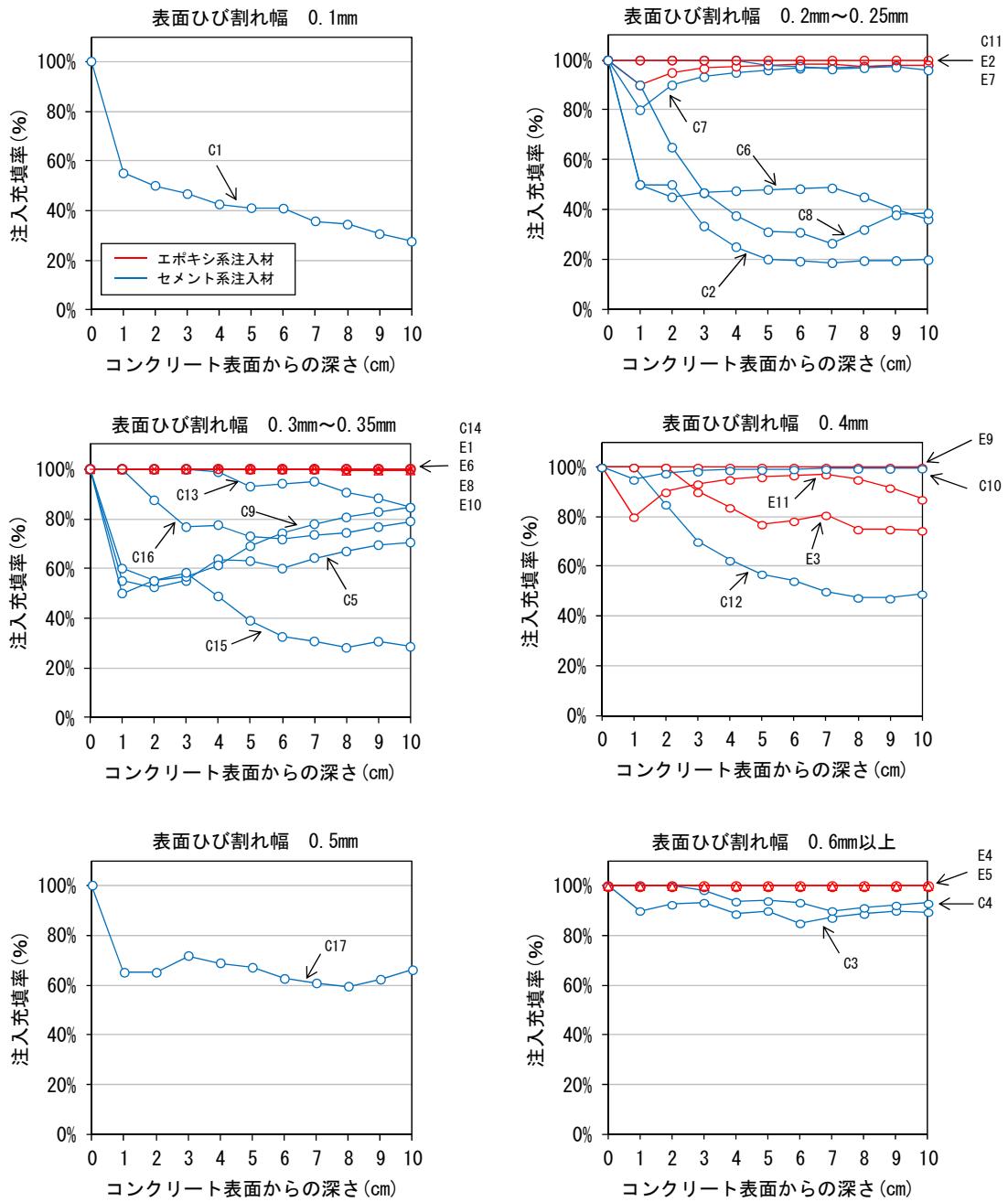


図-4 表面ひび割れ幅と表面から深さ10cmまでの深さ毎の注入充填率

4. 調査結果と考察

ひび割れ注入工法の充填性を評価するため、注入不足の要因と考えられる施工環境や注入材の種類に着目し、充填率との関係について分析を行った。要因として考えられる項目は、表面ひび割れ幅と内部ひび割れ状況、および積雪寒冷地であることから施工時期の3項目とした。

(1) 表面ひび割れ幅と注入充填率

図-4に表面ひび割れ幅とコンクリート表面から10cmまでの深さ毎の充填率、写真-3に削孔コアと削孔内の状況例を示す。エポキシ系注入材（以下、エポキシ系）は全体的に高い充填率となった。表面ひび割れ幅が0.2mmと0.4mmの3ケースにおいて充填率が低くなるケースも見られたが、これ以外は、ほとんどが充填率100%であったことから、表面ひび割れ幅以外の要因が考えられる。一方、セメント系は、表面ひび割れ幅が大きくなると充填率も高くなる傾向が若干見られたが、充填率100%のケースは少なく、全体的に充填率が低く、ばらつく傾向にあり、表面から深さ毎に充填率が徐々に減少していくケースや表面から1cmの表面付近で充填率が大きく減少するケースが見られた。

(2) 補修時期と注入充填率

図-5に補修時期とコンクリート表面から深さ10cmまでの深さ毎の充填率を示す。セメント系は補修時期による大きな違いは見られなかった。一方、エポキシ系は10月に充填率が下がるケースが見られる。これらは、前述した充填率が低くなった表面ひび割れ幅が0.2mmと0.4mmの3ケースであった。積雪寒冷地では、一般的に11月から冬期施工期間⁵⁾となり、防寒対策が実施されるが、10月施工の場合、日中の気温が5℃以上（エポキシ系補修材は5℃以上での施工が一般的）であっても、コンクリートの内部温度が低くなっており、注入材の流動性が低下することによって注入不足が生じる場合もあると判断される。特にこの3ケースの構造物（橋梁）は、北海道でも特に寒冷環境の厳しい道北に位置していることから、低温による注入不良が原因と考えられる。したがって、積雪寒冷地の10月にひび割れ注入を実施する場合、適切な温度管理を行い、気温によっては、必要に応じて防寒対策を実施すべきである。

(3) 内部ひび割れ状況と注入充填率

写真-4にセメント系の高い充填率と低い充填率の削孔コアの一例を示す。表面ひび割れ幅の大小に拘わらず、ひび割れ屈曲が大きいと充填率が低くなる傾向があった。

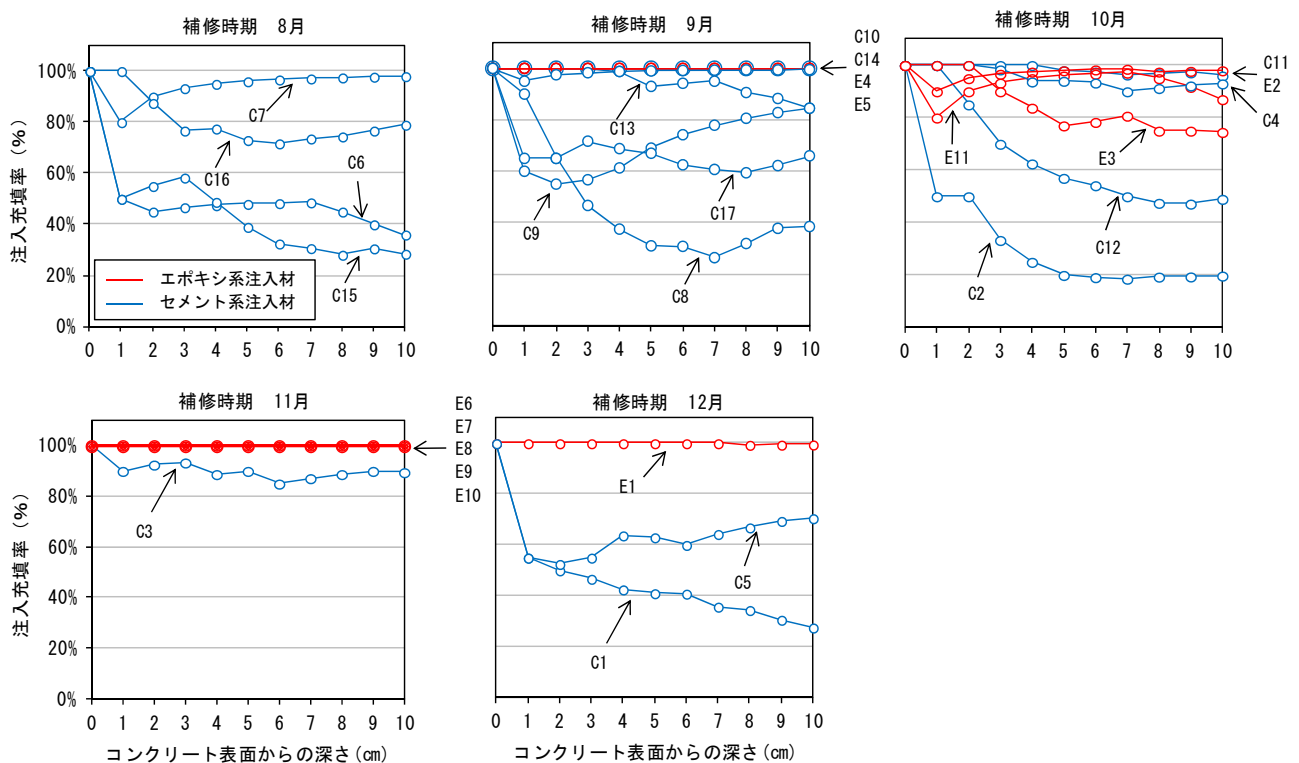


図-5 補修時期と表面から深さ10cmまでの深さ毎の注入充填率

このことから、セメント系の充填率は、内部ひび割れ状況に左右され易い傾向があると言える。なお、セメント系は材料として、非常に流動性が高いことから、本来、注入材がひび割れ内部に浸入し易い。しかしながら反面、エポキシ系などの有機系注入材と比べて固化が遅く、ひび割れに接着し難いことから、ひび割れの状況や構造物の部位によっては注入方法や粘性等を変える工夫が必要である。また、施工方法として、注入の充填性を上げるため、セメント系を注入する際は、先ず、注入時に注入材の水分が乾燥した既存コンクリートに吸収されるドライアウトにより流動性が低下しないようにするため、ひび割れに水通しを実施してから注入する前準備も必要である。これらを適切に実施しないと充填率は低下すると考えられる。今回の調査結果において、セメント系の充填率が全体的に低くなった要因の一つとして、前述のよるなひび割れ状況に応じた適切な適用や施工が実施されていないことが懸念される。

一方、エポキシ系は、今回の調査結果において、内部

ひび割れの屈曲が大きい箇所が多いにも拘わらず、調査箇所7割以上（エポキシ系全11ケースの内8ケース）が充填率100%であったことから、内部ひび割れ状況の影響は少ないと推測できる。なお、写真-5に充填率が低くなったケースの一例を示す。内部ひび割れの屈曲の大小に拘わらず、部分的に注入不足が生じていることから、エポキシ系で部分的に充填が低くなった要因は、前述した低温の影響が大きいと考えられる。

以上の結果から、削孔コアによって充填率を確認することにより、注入後の品質管理に活用できる可能性があることがわかった。しかしながら、注入固化後にこのような注入不足が確認された場合の対処方法や防止策等については、今後の検討課題である。なお、注入不足を防止する方法の一つとして、注入前のひび割れ調査は重要であり、特に今回の調査結果を踏まえると、注入前に内部ひび割れ状況を確認し、注入材や工法の選定を検討することも必要であると考えられる。

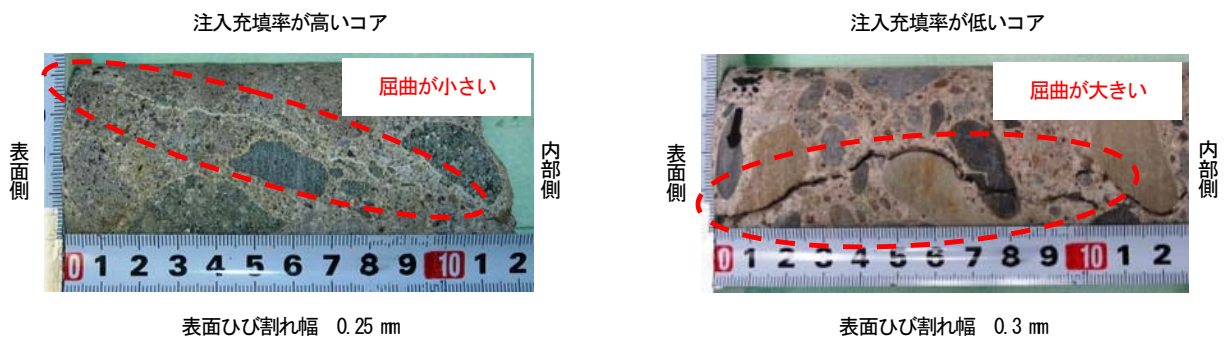


写真-4 セメント系注入材の削孔コアの例



写真-5 エポキシ系注入材の注入充填率が低い削孔コアの例

5. まとめ

本研究のまとめは、以下の通りである。

- (1) セメント系の注入充填率は、表面ひび割れ幅の大小、および内部ひび割れ状況による影響が大きい。
- (2) 積雪寒冷地の低温環境下においてエポキシ系注入材を施工する場合、適切な温度管理と防寒対策を必要に応じて実施することが必要である。
- (3) 削孔コアによるひび割れ充填率を確認することにより、注入後の品質管理に活用できる可能性がある。

以上のことから、実際の注入工事において注入不足が生じている現状や注入材の種類別による充填状態等を把握することができた。なお、直径5cmのコアでは、途中でひび割れがコアから外れたり、鉄筋に沿ったひび割れなどは鉄筋位置までしか削孔できないケースもあったが、構造物への影響を考慮すると直径5cm程度の小径コアが妥当であり、コア長さについても、斜めひび割れや鉄筋のかぶり等を考慮すると削孔長は10cm程度が適当であると思われる。

今後の課題として、注入充填率を向上させる施工方法等の検討、注入後の評価方法の確立、注入不足および注入充填率の違いによる耐久性への影響等や対処方法等の検討を実施する予定である。

謝辞：本論文を投稿するにあたり、構造物調査等にご協力頂いた北海道開発局の関係各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 内藤勲, 田口史雄：実構造物におけるひび割れ注入後の品質管理に関する基礎的研究, 土木学会第67回年次学術講演会論文集, V-043, 2012. 9
- 2) 内藤勲, 田口史雄, 渋谷直生：ひび割れ注入工法の耐寒性能に関する基礎的研究, 第55回(平成23年度)北海道開発技術研究発表会, ふ-14, 2012. 2
- 3) 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7回改訂版作成, コンクリートの補修工法1(ひび割れ), <http://www.jci-h.org/crack/table551.html>, 2012. 7
- 4) コンクリートのひび割れ調査, 補修・補強指針 2009: 公益社団法人日本コンクリート工学会, pp. 120-123
- 5) 土木工事標準積算基準書(共通編)平成24年度4月版: 国土交通省, I-2-②-38