

# 報告 各種補修工法によるアルカリ骨材反応抑制効果に関する 実験的検討

土門 勝司<sup>1)</sup>・守屋 進<sup>2)</sup>・益田 豊<sup>3)</sup>・多記 徹<sup>4)</sup>

**要旨:** コンクリート躯体の背面に水が浸透してくる道路橋の取付擁壁や橋台等の構造物が、アルカリ骨材反応（以下、ASRと略す）で損傷した時の補修工法について検討した。補修工法は、断面修復工法やひび割れ注入工法及び表面被覆工法を組み合わせた21種類の工法について、取付擁壁や橋台及び橋脚を想定した環境の供試体に対する反応抑制効果を、5年間の屋外曝露試験で検討した。その結果、外観的評価によって抑制効果が認められた補修工法は、6種類であった。

**キーワード:** アルカリ骨材反応、補修工法、供試体、曝露試験、補修効果の評価

## 1. はじめに

ASRで損傷したコンクリート構造物に対する補修方法は、ひび割れ樹脂注入と表面被覆工法の組み合わせが大半である。しかし、コンクリート躯体の背面に水が浸透してくる道路橋の取付擁壁や橋台等の構造物の補修においては、対策後4～5年で反応生成物等による塗膜のフクレやひび割れを生じる例が見受けられている。

本検討は、道路橋の橋台、取り付け擁壁及び橋脚を想定した環境において、ASRによって被覆塗膜がひび割れない、コンクリート面に新しいひび割れが発生しない等の膨張反応抑制効果のある適切な補修工法と補修材料を選定するために行った。

本検討は、実験を計画した1993年当時、抑制効果があると文献等で報告された工法・材料から21種類の補修工法を用いて、屋外曝露試験によって評価したものである。

## 2. 実験計画及び実験方法

### 2.1 コンクリート供試体の作製

本検討で使用したコンクリート供試体は、表-1に示すコンクリート配合で、橋台、擁壁を想定したL型擁壁供試体及び、橋脚を想定した角柱供試体である。それぞれの形状と寸法を図-1、図-2に示す。

表-1 コンクリート配合

セメントに対する全アルカリ量(%)	NaOH添加量(kg/m <sup>3</sup> )	単位置量(kg/m <sup>3</sup> )				粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(cm)	空気量(%)
		水	セメント	細骨材	粗骨材			
3.0	10.46	190	345	785	990	25	13.5	4.0

セメントはアルカリ量がNa<sub>2</sub>O当量換算で0.65(%)の普通ポルトランドセメントを用い、コンクリートのNa<sub>2</sub>O換算アルカリ量は、セメントに対する全アルカリ量を3.0(%)とするため、NaOH 10.46(kg/m<sup>3</sup>)を練り混ぜ水に溶解して調整した。

反応性粗骨材はH産<sup>1)</sup>(輝石安山岩; 化学法で無害でない)を用い、ベシマムを考慮して非反応性の粗骨材S産(硬質砂岩; 化学法で無害)4:1に混合した。細骨材には化学法で無害な骨材を用いた。

\*1 ショーボンド建設(株) 技術本部 補修工学研究所 調査・診断研究室 (正会員)

\*2 国土交通省 土木研究所 材料施工部 化学研究室 主任研究員

\*3 コニシ(株) ボンド事業本部 研究開発第四部 (正会員)

\*4 大日本塗料(株) 技術本部 基礎研究第一部 (正会員)

コンクリートは5m3/バッチ×3バッチに分けて15m3 打ち込み後、1日間湿空養生し13日間空中養生した。

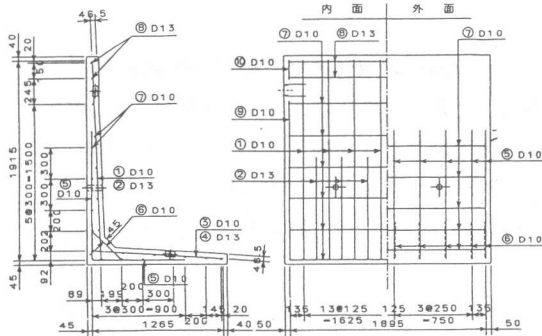


図-1 L型擁壁供試体の形状

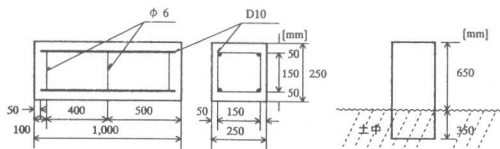


図-2 角柱供試体の形状 図-3 自然養生

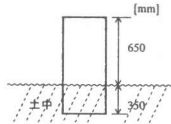


表-2 ひび割れ注入工法と注入材の品質・性能及び特長

材料名	品質・性能及び特長	
①エポキシ樹脂注入材3種	伸び率 100%粘度 1000cps	建設省総合技術開発プロジェクト 1989.5 区分A <sup>2)</sup>
②エポキシ樹脂柔軟形-2	伸び率 200%粘度 1000cps	同上
③エポキシ樹脂注入材2種	伸び率 50% 粘度 4±1(注-1)	同上 区分B <sup>2)</sup>
④エポキシ樹脂注入材1種	硬質標準 粘度 1000cps	同上 区分B <sup>2)</sup>
⑤セメント系 <sup>3)</sup>	亜硝酸リチウム*1 及び同 添加超微粒子セメント系*2	*1 亜硝酸リチウム濃度 40% *2 配合比 プレミックスセメント/エマルジョン=5.0/3.7 (kg)
⑥セメント系 <sup>4)</sup>	注水及び、改質セオライト 添加超微粒子セメント系*3	*3 配合比 プレミックスセメント/清水=2.5/1.7 (kg)

(注-1) チキソトロピック係数(揺変性): 2rpm/20rpm の粘度で表す。

角柱供試体は22体作製し、図-3に示すように、供試体上面より下へ65cmのところまでを補修対象とした。残り35cmの部分は土中埋設の自然養生とした。L型擁壁供試体は12体作製し、図-4に示すような配置で背面に盛り土し、散水養生(4時間/日、2年2ヶ月未満凍結期間の12-3月休止)とした。

## 2.2 補修工法と材料

本検討で用いた補修工法と材料は、以下に示すひび割れ注入工法と注入材、表面被覆工法と被覆材並びに断面修復工法と修復材である。

### (1) ひび割れ注入工法と注入材

ひび割れ注入工法はゴム圧式注入工法を用い、ひび割れ注入材は、表-2に示す品質・性能

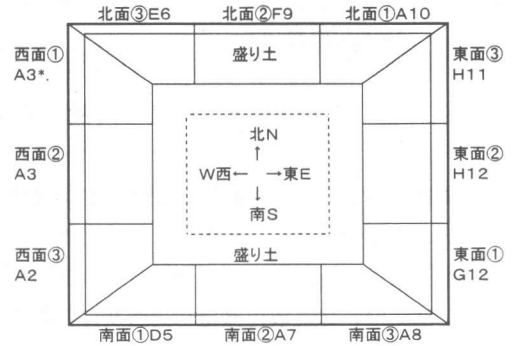


図-4 擁壁供試体の配置と補修工法

及び特長を有するものを用いた。

### (2) 表面被覆工法と被覆材

表面被覆工法はその仕様で使われる中塗り材の名称、又は材料系統名で表し、表-3に示す品質・性能、特長及び仕様のものを用いた。上塗り材には柔軟形ポリアウレタン樹脂塗料上塗り

を用いた。前処理IとIIのプライマー、パテはエポキシ樹脂系を用い、その他は表外の備考に示した。

### (3) 断面修復工法と修復材

表-4に、断面修復工法と修復材の品質・性能及び特長を示す。

#### 2.3 補修工法の組み合わせ

補修工法は、表-5に示す組み合わせとし、角柱供試体で19種類、擁壁供試体で11種類となり、両方で重複しない工法は21種類となった。

## 2.4 実験方法

### (1) 屋外曝露試験

21種類の補修工法の評価・検討は、国土交通省土木研究所構内の建設材料研究施設(茨城

表-3 表面被覆工法と被覆材の品質・性能、特長並びに仕様

工法及び材料名	総合膜厚及び 中塗り材の品質・性能、特長	標準使用量 (kg/m <sup>2</sup> )			
		前処理 I、II プライマー		各層 中塗り 上塗り	
①柔軟形エポキシ樹脂塗料1	区分 B <sup>2)</sup> 200mm 伸び率 100%	0.10	0.50	0.35×1	0.12
②柔軟形エポキシ樹脂塗料2	区分 B <sup>2)</sup> 350mm 伸び率 100%	0.10	0.50	0.35×2	0.12
③柔軟形エポキシ樹脂塗料3	区分 A <sup>2)</sup> 500mm 伸び率 100%	0.10	0.50	0.35×3	0.12
④柔軟形ウレタン樹脂塗料1	区分 B <sup>2)</sup> 200mm 伸び率 100%	0.10	0.50	0.35×2	0.12
⑤エポキシCFRP(2層) <sup>3)</sup>	1,200mm	0.10	0.50	0.40/CF/0.30×2	0.12
⑥アクリルゴム系 <sup>1)</sup>	1,200mm	*.a	*.b	0.50+0.80+0.70	0.15
⑦発水系ホリマーセメント I <sup>6)</sup>	400mm 透湿性 240g/m <sup>2</sup> 日	*.c-1	*.d	*.e	—
⑧発水系ホリマーセメント II <sup>6)</sup>	400mm 透湿性 35g/m <sup>2</sup> 日	*.f	0.40	0.60 + 0.30	—
⑨水性シラン <sup>4)</sup>	濃度 60%	—	—	0.15×2	—
⑩油性シラン <sup>4)</sup>	濃度 12.5%	—	—	0.10×1	—
⑪ポリウレタン樹脂塗料	2,000mm 防水/高弾性/高耐久性	*.c-2	*.g	2.00*.h	0.12

備考: \*.a: 亜硝酸リチウム(濃度40%)塗布浸透 0.15(kg/m<sup>2</sup>)×2  
 \*.b: セメントフラー 3.00(kg/m<sup>2</sup>)×1  
 \*.c: セメント系下地調整材 c-1 1.80(kg/m<sup>2</sup>)×1、c-2 1.50(kg/m<sup>2</sup>)×1  
 \*.d: 弾性仕上げ塗料用下塗り塗料 0.09(kg/m<sup>2</sup>)×1  
 \*.e: 透湿形単層弾性仕上げ塗料 0.30(kg/m<sup>2</sup>)×3  
 \*.f: 発水系ホリマーセメントIIを50%希釈 0.15(kg/m<sup>2</sup>)×1  
 \*.g: エポキシ樹脂プライマー 0.20(kg/m<sup>2</sup>)×1  
 \*.h: 衝突混合型スプレー装置を使用

表-4 断面修復工法と修復材の品質・性能及び特長

工法及び材料名	品質・性能及び特長	
①注入用低収縮モルタル <sup>7)</sup>	長さ変化率 -5.9×10 <sup>-4</sup> プリテンション率 0	セメント/骨材/特殊混和材・繊維/亜硝酸リチウム添加* 配合比 フレックスモルタル(粉体)/清水=20/3.0 (kg)

\*.亜硝酸リチウム添加量: モル比[Li/(Na+K)]0.5以上

表-5 補修工法の組み合わせと割り付け

表面被覆工法 注入工法と 断面修復工法	膜厚 (mm)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	合計
	柔軟形エポキシ	エポキシ	柔軟形エポキシ	柔軟形エポキシ	柔軟形ウレタン	エポキシCFRP	アクリルゴム系	発水系ホリマー I	発水系ホリマー セメント II	水性シラン	油性シラン	ポリウレタン樹脂塗料	無塗装		
A	200	350	500	200	1200	1200	400	400	60%	—	—	2000			8
B	○	△	△*	○			○	△	○	△	○	△			6
C	○	○	○												2
D	○	○	○				○								0
E								○							3
F								△							1
G											○	△			1
H													○	△	0
合計	2	4	4	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	20
角柱供試体(○)	2	4	4	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	20
擁壁供試体(△)	0	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	12

△\*: 擁壁供試体、水抜きパイプ有り

県つくば市)において補修供試体を作製、養生後、屋外曝露試験によって行った。

外曝露している円柱供試体(φ 100×200mm)を用い、JIS A 1108 に従って材令 28 日、補修時、補修後 5 年において圧縮強度を測定した。

(2) 測定項目と測定方法

1) コンクリート強度

コンクリート強度は、角柱供試体の近傍に屋

2) 膨張量

膨張量は、以下の供試体について、ミクロン

ストレインゲージを用いて測定した。①円柱供試体(φ 100×200mm)は脱型後、膨張測定リングを設置固定して、角柱供試体の近傍に曝露した。所定の曝露時間毎に20℃ 65±5% RH室内で、16時間以上静置後24時間以内に測定した。②擁壁供試体は所定の位置に設置後、0.2mm以上のひび割れが発生した段階で、東西南北各①～③の12面について、コンタクトゲージ用チップをひび割れを跨ぐ位置で貼り付け(N=3)、測定を開始した。

### 3) コンクリート外観

コンクリート外観はひび割れ幅と長さ、及びその他の変状について目視観察と測定を行い、①ひび割れ発生率、②ひび割れ幅、③その他の変状にまとめた。角柱供試体は5cmの格子目を、擁壁供試体は25cmの格子目を各面に引いてひび割れをマーキングし、ひび割れ状況の展開図を作成した。観察範囲は、角柱供試体については地上部650mmの各面、擁壁供試体においては2000×1995mmの1面である。

コンクリート外観は、補修前と補修後5年観察した。

①ひび割れ発生率(%)は、(ひび割れが発生した格子目の数/全格子目数)×100で算出する。

②ひび割れ幅(mm)はクラックスケールを用い

て測定し、角柱供試体については〔各面に発生した最大ひび割れ幅の総和/5(面)〕で、擁壁供試体については〔最大ひび割れ幅〕で示す。

③その他の変状は、塗膜のふくれ、はがれについて目視観察を行い、記録する。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 補修前のコンクリート供試体

#### (1) コンクリート外観

補修前のコンクリート外観を表-6の左側に示す。

#### (2) 膨張性状

円柱供試体の膨張性状を図-5に、擁壁供試体を図-6に示す。補修までの曝露時間は円柱供試体で810日、擁壁供試体で340日である。

図-6の東面①は、補修後は測定していない。

### 3.2 補修供試体の作製

表-6に示すように、ひび割れ幅が0.3mmを超えて補修レベルに達したため、前述の図-4のような割り付けで補修を行った。

### 3.3 補修5年後

#### (1) コンクリート強度

コンクリートの圧縮強度は、材令28日、2年(補修時)、7年(補修5年後)でそれぞれ25.5、33.8、31.2(N7mm<sup>2</sup>)であった。

表-6 コンクリート外観

項目 補修 工法	補修前				補修5年後				その他の変状	
	ひび割れ				ひび割れ				角柱 供試体	擁壁 供試体
	角柱供試体		擁壁供試体		角柱供試体		擁壁供試体			
発生率(%)	幅(mm)	発生率(%)	幅(mm)	発生率(%)	幅(mm)	発生率(%)	幅(mm)			
A-1	37.5	0.32	—	—	4.9	0.46	—	—	なし	なし
A-2	61.4	0.42	34.4	0.45	1.1	0.16	0	0	なし	なし
A-3	43.9	0.35	28.1	0.30	0.4	0.16	0	0	なし	なし
A-3*	—	—	56.3	0.50	—	—	0	0	なし	なし
A-4	53.7	0.30	—	—	36.5	0.72	—	—	ふくれ	なし
A-7	50.9	0.36	53.1	0.30	0	—	0	0	なし	なし
A-8	58.6	0.36	40.6	0.40	7.7	0.34	10.9	0.10	なし	ふくれ
A-9	56.8	0.40	—	—	48.8	0.73	—	—	なし	—
A-10	57.9	0.60	26.6	0.30	57.9	1.02	18.8	0.80	なし	なし
B-2	48.8	0.49	—	—	1.1	0.16	—	—	なし	—
B-3	47.7	0.42	—	—	0	0	—	—	なし	—
C-1	55.4	0.35	—	—	3.5	0.22	—	—	なし	—
C-2	50.2	0.36	—	—	0	0	—	—	なし	—
C-3	46.7	0.47	—	—	0	0	—	—	なし	—
D-2	48.4	0.34	—	—	0	0	—	—	なし	—
D-3	56.1	0.32	—	—	0	0	—	—	なし	—
D-5	60.7	0.50	39.1	0.50	0	0	0	0	なし	なし
E-6	51.9	0.30	37.5	1.00	0	0	0	0	なし	なし
F-9	59.6	0.38	32.8	0.50	49.8	0.38	59.4	0.30	なし	なし
G-12	—	—	25.0	0.35	—	—	46.9	0.25	なし	なし
H-11	47.0	0.41	28.1	0.30	0	0	0	0	なし	なし
H-12	56.5	0.40	25.0	0.40	61.1	0.71	92.2	0.80	—	—

備考: A-3\*: 水抜きパイプを設置している。

## (2) 膨張性状

円柱供試体の膨張性状を図-5に、擁壁供試体の膨張性状を図-6に示す。

図-5より、無補修である円柱供試体の補修5年後(2610日)までの膨張性状は、補修直後の'95/10/12(810日)から最大で0.102(%)、最小で0.032(%)、平均で0.064(%)と緩やかな膨張と収束を示している。図-6より、無補修の擁壁供試体・東面②H12における補修5年後(2100日)までの膨張性状は、補修直後の'95/10/12(304日)から0.009(%)の収縮と収束を示している。

膨張性状から見た反応抑制効果は、擁壁供試体での膨張性状が種々の測定要因から不正確ではあるものの、補修5年後で無補修の円柱供試体の膨張量0.064(%)と擁壁供試体の各種補修工法の膨張量を比較して表-7のように評価・判定し、参考に止めることとした。0.064(%)より小さい場合を効果がやや認められる『ややあり』、大きい場合を効果が『不明』とした。

## (3) コンクリート外観

表-6に、補修5年後のコンクリート外観を補修前と併記して示す。

擁壁供試体の無補修・東面②H12において、前項の膨張性状では収縮から収束傾向にあるものの、ひび割れ発生率が25.0(%)から92.2(%)へ増加すると共に、平均最大ひび割れ幅が0.40mmから0.80mmへ増加し、膨張反応は収束していないと判断される。

コンクリート外観から見た反応抑制効果の評価は、表-6から次のような基準で行った。

①表面被覆工法の塗膜系(A1-4, 7-8, B2-3, C1-3, D2-3, 5, E6, H11)において、塗膜のひび割れは、膨張反応そのものを抑制していないことによるコンクリートのひび割れ発生とそのひび割れに追従できないため、また、塗膜による遮水性が失われるため、抑制効果なしとした。

②表面被覆工法のシラン系(A9-10, F9)においては、補修前後のひび割れ発生率と平均最大ひび割れ幅が同程度であれば、抑制効果ありとした。

③断面修復工法Gの無塗装G12は、はつり前

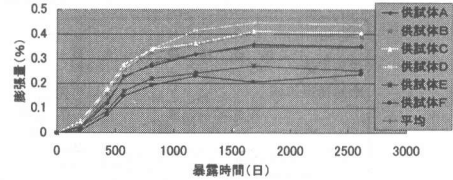


図-5 円柱供試体の膨張性状

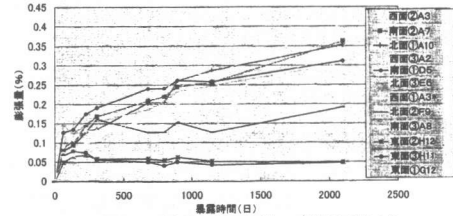


図-6 擁壁供試体の膨張性状

表-7 膨張性状と反応抑制効果

補修工法 No.	補修直後から5年後の膨張量(%)	円柱供試体における膨張量(%)	評価	反応抑制効果判定(参考)
D5	0.121	平均値 0.064 最大値 0.102 最小値 0.032	> 0.064	不明
A7	0.194		> 0.064	不明
A8	-0.018		< 0.064	ややあり
H11	-0.008		< 0.064	ややあり
A10	0.218		> 0.064	不明
F9	0.031		< 0.064	ややあり
E6	0.151		> 0.064	不明
A3*	0.109		> 0.064	不明
A3	0.291		> 0.064	不明
A2	0.212		> 0.064	不明

のひび割れ状況が表-6に示しているが、はつり後の表面状況の記録がないため、補修5年後のひび割れが躯体からの骨材反応による貫通ひび割れか、または乾燥収縮ひび割れか不明である。従って、抑制効果は不明である。

本検討は、今後の追跡調査を考慮して部分的な破壊調査で行っているため、塗膜下のひび割れ状況観察は割愛した。しかし、未発表の報告(平成7年社会資本総70)ではあるが、赤外線法による塗膜下のひび割れが定量化されている。今後の追跡調査では実施して行く計画である。

## 4. まとめ

コンクリート外観を主体に、参考とした膨張性状を加味した総合評価を、表-8に示す。

未測定の間隔が一つでもあれば、総合評価ができないため不明とし、次ぎの一つでも×があれば総合評価は×とした。膨張性状の判定は参考に止めているため、コンクリート外観の評価如何で総合評価を決定した。本実験の範囲内より、反応抑制効果が認められた補修工法は、次

表-8 各種補修工法のアルカリ骨材反応抑制効果

注入工法 断面修復工法	表面被覆工法 膜と厚(μm) 反応抑制効果 の評価	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		柔軟形 エポキシ 伸比率 100% 200	柔軟形 エポキシ 伸比率 100% 350	柔軟形 エポキシ 伸比率 100% 500	伸比率 100% 200	エポキシCFRP	アクリルゴム系	発水系 ポリマー セメント I	発水系 ポリマー セメント II	水性 シラン 60%	油性 シラン 12.5%	ポリウレ ア樹脂塗 料 2000	無塗 装
A エポキシ注入材3種 伸比率 100%<	コンクリート外観(角柱)	x	x	x	x								
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
B エポキシ柔軟形2 伸比率 200%<	コンクリート外観(角柱)		x										
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
C エポキシ注入材2種 伸比率 50%<	コンクリート外観(角柱)	x											
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
D エポキシ注入材1種	コンクリート外観(角柱)												
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
E セメント系1 亜硝酸リチウム入り	コンクリート外観(角柱)												
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
F セメント系2 改質セオウト添加	コンクリート外観(角柱)												
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
G 断面修復 亜硝酸リチウム入り	コンクリート外観(角柱)												
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												
H 無処理	コンクリート外観(角柱)												
	コンクリート外観(擁壁)												
	擁壁の膨張性状(参考)												
	総合												

注) 3\*:水抜きパイプあり ○:効果あり △:ややあり x:なし -:不明 空欄:判定なし(未測定のため)を示す。

の通りである。①A 7: エポキシ注入材3種と発水系ポリマーセメントIとの組み合わせ  
②A 10: 同上と油性シランとの組み合わせ  
③D 5: エポキシ注入材1種とエポキシCFRPとの組み合わせ④E 6: セメント系1注入工法とアクリルゴム系被覆との組み合わせ⑤F 9: セメント系2注入工法と水性シランとの組み合わせ⑥H 11: ポリウレア樹脂塗料被覆工法

謝辞

本検討を実施するにあたり御協力を頂きました福田英夫、安井正宏(日本ペイント(株))、野田和明、飯田真二(関西ペイント(株))、内田富雄(コニシ(株))の各氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 福田英夫、守屋進、多記徹、野田和明: 被覆材によるアルカリ骨材反応の抑制、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.17, No.1, pp943-948 1995.6 2) 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に関する調査報告書、国土開発技術研究センター、

pp.371-385、1988.3 3) 入田一ほか: 表面被覆材と亜硝酸リチウムによるアルカリシリカ反応抑制効果に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文報告集、13-1、pp.751-756、1991.  
4) 立松英信ほか: アルカリ骨材反応抑制型補修材に関する一研究、コンクリート工学年次論文報告集、14-1、pp.939-942、1992.6 5) (財) 鉄道総合技術研究所: 設計施工業務参考資料、コンクリート構造物に関する調査と補修の手引き (ーアルカリ骨材反応ー)、拘束工法に使用する材料、pp.50-55、1987.7 6) 阪神高速道路公団: コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会、土木材料検討部会、道路構造物の補修要領 第2編コンクリート構造物表面保護要領(案)、1996.7 7) 岡井賢一ほか: 塩害を受けた橋りょう上部工の全面修復ー北陸自動車道 手取川橋ー、コンクリート工学、Vol.34、No.2、pp.33-42、1996.2 8) 日本道路公団: 試研究所技術資料第121号、材料施工資料(第1号) コンクリート保護工、日本道路公団試験研究所、試験研究推進委員会、材料施工研究、pp.114-115, pp.117-122 平成6年3月(1994.3)