

# 報告 北陸地方における ASR 劣化構造物の補修工法の適用性とその評価

野村 昌弘<sup>\*1</sup>・鳥居 和之<sup>\*2</sup>

**要旨：**北陸地方の ASR 劣化構造物に適用した表面被覆工法，連続繊維シート接着工法，表面含浸工法，コンクリート巻立てによる断面修復工法について追跡調査を実施してきた。この結果，表面被覆工法では 14 年間 ASR の進行を抑制し，良好な状態を持続するものがあったこと，連続繊維シート接着工法では 13 年経過後に損傷が目立ちはじめ ASR 抑制効果が期待できないものがあったこと，表面含浸工法では長期にわたる ASR の抑制効果が期待できなかったこと，コンクリート巻立てによる断面修復工法では 12 年間ほぼ良好な状態を持続していたこと，が確認できた。

**キーワード：**アルカリシリカ反応，補修，表面被覆，連続繊維シート，表面含浸材，NaOH 溶液浸漬法

## 1. はじめに

北陸地方では，アルカリシリカ反応（ASR 略記）による劣化が昭和 55 年（1980 年）ごろより顕在化し<sup>1)</sup>，過大な膨張が発生した橋脚のはりやフーチングではせん断補強筋が曲げ加工部で破断している事例など，構造物の耐荷性能に影響を及ぼすような重大な事例の発生も報告されている<sup>2)3)</sup>。また，当該地域では，平成 3 年 3 月のスパイクタイヤの使用禁止以後に，道路に散布する凍結防止剤（塩化ナトリウムが主体）が増えてきており<sup>4)</sup>，その影響を受けた道路構造物では ASR や塩害が促進されるとともに，これらの劣化現象が組み合わさった複合的な劣化事例も発生していた<sup>5)</sup>。また，平成 11 年末（1999 年）に報道された山陽新幹線でのコンクリート塊落下現象も平成 13 年（2001 年）以降に発生が目立ってきた。

北陸地方の道路構造物における ASR 補修は，昭和 60 年（1985 年）ごろより，ひび割れ注入と表面被覆工法により行ってきた<sup>6)</sup>。しかし，**写真-1**のように凍結防止剤の影響を受ける上部工掛違い部に位置するような橋脚・橋台では，数年後に被覆材にひび割れが発生する事例が多く報告された。また，第 2 次補修を実施したが ASR の進行とともに被覆材の損傷が再度発生し，第 1 次補修前とほぼ同じ箇所ではひび割れが発生している事例も少なくなかった<sup>1)</sup>。

本報告では，富山県地方で実施した道路構造物における ASR 補修のうち，表面被覆工法，連続繊維シート接着工法，表面含浸工法，コンクリート巻立てによる断面修

復工法について，それらの経年変化を追跡調査した結果を紹介する。なお，調査対象は昭和 48 年（1973 年）～昭和 55 年（1980 年）に供用開始していること，セメントのアルカリ濃度が高い時期に建設されたこと<sup>7)</sup>，コンクリート用骨材として富山県内の庄川，神通川，常願寺川から採取した川砂，川砂利が使用されていること，骨材中の安山岩や溶結凝灰岩が激しく ASR を生じていること，ひび割れが構造物のほぼ全面に発生しており ASR としてかなり進行していること，が特徴である。また，補修前後にコアの残存膨張試験として NaOH 溶液浸漬法を実施し，その試験結果より ASR 膨張の継続性を把握することで，北陸地方の ASR 劣化構造物を維持管理する上で必要とされる補修工法の適用性について評価する。

## 2. 表面被覆工法による補修

構造物 A, B, C, D, E では，供用から約 13 年後に柔軟型エポキシ系のひび割れ注入とエポキシ系の表面被覆材による ASR 補修を実施したが，数年後に被覆材の膨れや剥がれによる損傷が発生した。ASR の第 2 次補修として，柔軟型エポキシ系のひび割れ注入を実施した後，**表-1**に示す 4 種類の表面被覆材を適用して経年変化を追跡してきた<sup>6)</sup>。本工法の目的は，凍結防止剤の浸透を抑制し，鉄筋の腐食を防止することであった。補修後の状況を**写真-2**に示す。構造物 A, C では表面被覆工法の未施工部で遊離石灰（エフロレッセンス）が発生しているが，被覆箇所では劣化が表面に現れていなかった。一



(1)供用（昭和 50 年）から 12 年後の状況，(2)第 1 次補修（昭和 63 年）から 17 年後の状況，(3)第 2 次補修（平成 17 年）から 10 年後の状況

写真-1 表面被覆の ASR による再損傷の事例<sup>1)</sup>

\*1 株式会社 野村昌弘の研究所 代表取締役，(株)フルテック 取締役 博(工) (正会員)

\*2 金沢大学 理工研究域環境デザイン系 教授 工博 (正会員)

表-1 表面被覆材の種類と現況<sup>6)</sup>

補修材料	アクリルゴム系塗装	ポリウレタン系塗装	ウレタン系塗装	エポキシ系塗装
構成	上塗：アクリルウレタン系 (300g/m <sup>2</sup> ) 中塗：アクリルゴム系 (2000g/m <sup>2</sup> ) 下塗：エポキシ系 (200g/m <sup>2</sup> )	上塗：アクリルシリコン系 (100g/m <sup>2</sup> ) 中塗：ポリウレタン系 (500g/m <sup>2</sup> ) 下塗：シラン系 (150g/m <sup>2</sup> )	上塗：フッ素系 (300g/m <sup>2</sup> ) 中塗：ウレタン系 (2500g/m <sup>2</sup> ) 下塗：ウレタン系 (200g/m <sup>2</sup> )	上塗：ポリウレタン系 (120g/m <sup>2</sup> ) 中塗：エポキシ系 (700g/m <sup>2</sup> ) 下塗：エポキシ系 (400g/m <sup>2</sup> )
構造物名	A	B	C	D, E
供用年	1975	1975	1975	1975
補修年	2001	2001	2001	2004
部位	橋台 (部材厚 1.5m)	橋台 (部材厚 1.5m)	橋台 (部材厚 1.5m)	橋脚 (部材厚 2m)
現況※	良好	損傷	良好	損傷
コア採取位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受ける、地盤より 0.3m 程度の高さの位置			

※2015年12月での状況

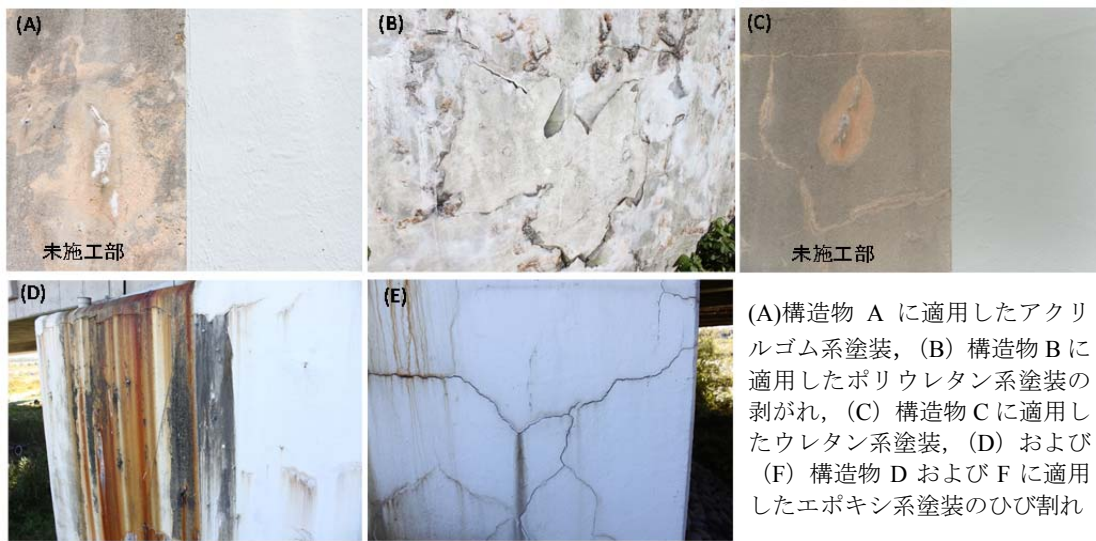


写真-2 表面被覆材の損傷状況 (2015年)

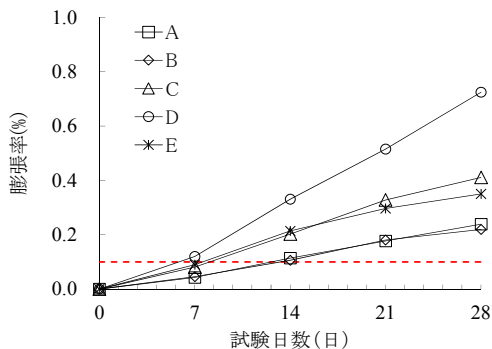


図-1 NaOH 溶液浸漬法の結果 (補修前)

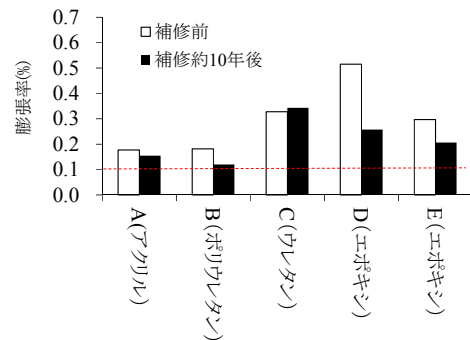


図-2 NaOH 溶液浸漬法 (試験日数 21 日) の比較結果<sup>6)</sup>

方、構造物 B, D, E では ASR による膨張を抑制できず、被覆材にひび割れや剥がれが発生していた。これらの損傷の発生により、凍結防止剤がコンクリート中に深く浸透し、鉄筋腐食を助長する可能性があった。

補修前と補修 10 年後に実施した NaOH 溶液浸漬法によるコアの促進養生試験の結果を図-1 および図-2 に示す。補修前ではすべてのコアの膨張率が右肩上がりの傾向を示し、構造物にて ASR による膨張が継続する可能性が推測された。一方、補修 10 年後における膨張率 (試

験日数 21 日) の比較では、表面被覆材の状態が良好であった構造物 A, C ではほとんどコアの膨張率に変化はないが、被覆材に損傷が発生した構造物 B, D, E ではコアの膨張率が低下していた。このことは被覆材の状態が良好であった構造物 A, C に適用したアクリルゴム系、ウレタン系は ASR の進行を抑制していたのに対して、構造物 B, D, E は ASR の進行が抑制できなかったことを評価できていると考えられた<sup>6)</sup>。上塗材の耐候性に衰えが見られなかったことから、この相違は、被覆材における

中塗材と下塗材の塗布量の差によるものであり、健全なものはこれらの塗布量の計が 2,200g/m<sup>2</sup> 以上であった。したがって、特にひび割れ追従性のある中塗材を厚くすることで、ASR 膨張による膨張を抑制でき、被覆材自身の損傷のリスクを大きく低減できるものと考えられた。

### 3. 連続繊維シート接着工法による補修

構造物 F では、柔軟型エポキシ系のひび割れ注入を実施した後、表-2 に示す 3 種類の連続繊維シート接着工法を適用して経年変化を追跡してきた<sup>6)</sup>。本工法の目的は ASR が発生した構造物にてコンクリートのはく落片防止対策としてのシート材料の適合性有無の判断にあった。補修 10 年後では目立った損傷は見受けられなかった

表-2 連続繊維シートの種別と現況<sup>6)</sup>

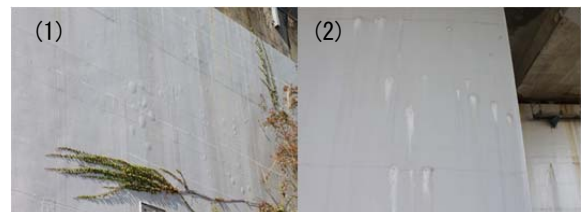
構成	上塗：アクリル系 (300g/m <sup>2</sup> )
	炭素繊維 (繊維目付317g)
	含浸接着剤：エポキシ系
構成	上塗：アクリル系 (300g/m <sup>2</sup> )
	アラミド繊維 (繊維目付650g)
	含浸接着剤：エポキシ系
構成	上塗：アクリル系 (300g/m <sup>2</sup> )
	ポリエチレン繊維 (繊維目付189g)
	含浸接着剤：エポキシ系
構造物名	F
供用年	1980
補修年	2002
部位	橋台 (部材厚 2m)
現況※	一部損傷
コア採取位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受ける、地盤より 1m 程度の高さの位置

※2015 年 12 月での状況

が、13 年経過後では写真-3 に示すような遊離石灰の滲出しや水膨れが目立つようになってきた。補修前と補修 10 年後に行った NaOH 溶液浸漬法によるコアの促進養生試験の結果を図-3 に示す。コアの膨張率は補修 10 年後の方で低下しており、構造物にて ASR が進行し、残存膨張性が低下したものと推測された。連続繊維シート接着工法では、ASR 自身を抑制する効果が低いものと考えられた<sup>6)</sup>。なお、現場の状況からはく落防止としての機能は持続していると推察された。しかし、遊離石灰の発生箇所では樹脂が硬化しており、繊維シート自体の耐久性について今後、検証することが必要と考えられた。

### 4. 表面含浸工法による補修

表面含浸工法は、水や塩分の侵入を抑制すること、安全なこと、コンクリートの外観を大きく変えないため施工後の目視による点検も可能であること、から使用す



(1)炭素繊維シートに発生した水膨れ, (2)ポリエチレン繊維シートに発生した遊離石灰

写真-3 連続繊維シート接着材の損傷状況

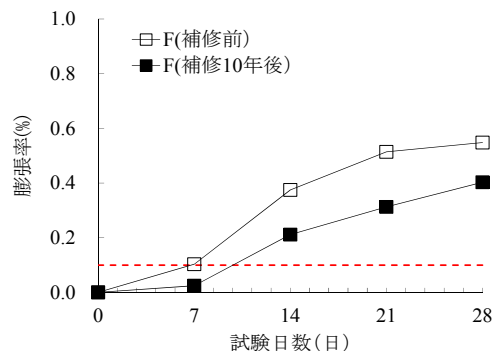


図-3 NaOH 溶液浸漬法の比較結果 (構造物 F)

表-3 表面含浸材の種別と現況

材料	ケイ酸ナトリウム系表面含浸材		シラン系表面含浸材				
			ひび割れ注入			ひび割れ充填工	
構造物名	G	H	I	J	K	L	M
供用年	1973	1973	1973	1976	1979	1979	1973
補修年	1997	1995	2010	2013	2013	2013	2010
部位	カルバートボックス内壁 (部材厚 0.6m)	橋脚 (梁部材厚 2m)	橋脚 (壁部材厚 1.5m)	橋台 (部材厚 1.5m)			カルバートボックス
現況※	損傷	損傷	一部損傷	良好	一部損傷	一部損傷	良好
コア採取位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受けない、地盤より 1m 程度の高さの位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受ける、地盤より 1m 程度の高さの位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受ける、地盤より 1m 程度の高さの位置	構造物 H のみ地盤より 5m 程度の高さ			—

※2015 年 12 月での状況



る機会も増えてきているようである<sup>8)</sup>。本工法の目的は、凍結防止剤の浸透を抑制し、鉄筋の腐食を防止することにあつた。適用した表面含浸材は表-3 に示すケイ酸ナトリウム系およびシラン系であつた。

#### 4.1 ケイ酸ナトリウム系表面含浸材<sup>9)</sup>

構造物 G, H では、ケイ酸ナトリウム系 ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  を主成分)、Z 社製の表面含浸材を塗布して経年変化を追跡してきた。本材料は、マグネシウム (Mg) を主体とする触媒性化合物がコンクリート深部に浸透するとともに毛細管空隙や遷移帯さらに微細なひび割れに新たなセメント結晶物 (CSH) を増殖させ、コンクリートを緻密化することで ASR を抑制するとされていた。しかし、数年後にはひび割れが顕在化し、その範囲は年々増加していた (写真-4 参照)。補修 3 年後および補修 17 年後に実施した NaOH 溶液浸漬法によるコアの促進養生試験の比較を図-4 に示す。コアの膨張率は補修 17 年後の方が低下しており、構造物にて ASR がさらに進行し、コンクリートの残存膨張性が低下したものと推測された。主剤の化学成分や鉱物組成を EDS による定量分析し、まとめた結果を表-4 に示す。溶解性のある炭酸ナトリウムを 9% 含有し、本材料を塗布すると遊離した  $\text{Na}^+$  の影響により、



写真-4 ケイ酸ナトリウム系表面含浸材塗布後の損傷状況 (2015 年の状況)

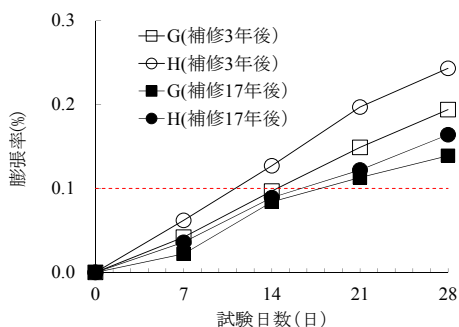


図-4 NaOH 溶液浸漬法の比較結果 (構造物 G, H)

表-4 ケイ酸ナトリウム系表面被覆材 (主剤) の分析結果

構成材料		含有率 (%)
骨材	石英砂	33
セメント	ポルトランドセメント	43
触媒性化合物	水酸化カルシウム	3
	水酸化マグネシウム	5
無機系混和材	炭酸ナトリウム	9
有機系混和剤	フマル酸	9

ASR を加速させる可能性があることも推察された<sup>10)</sup>。この結果は、コアによる残存膨張性の結果と合致した。

#### 4.2 シラン系表面含浸材とひび割れ注入による補修

構造物 I, J, K, L では、柔軟型エポキシ系のひび割れ注入を実施した後、シラン系の表面含浸材を塗布した。しかし、スポイトによる散水で含浸材の撥水機能が確認されるもののひび割れ注入箇所の一部には写真-5 に示すようなひび割れ注入材が ASR の膨張に追従できずに隙間が発生するものや、写真-6 に示すような新たなひび割れが発生し、コンクリート内部に水が浸透して鉄筋が腐食する可能性があつた。補修前に実施した NaOH 溶液浸漬法の結果を図-5 に示す。コアの膨張率は右肩上がりの膨張傾向を示しており、構造物にて ASR による膨張が今後も継続する可能性があつた。このような調査結果より判断すると、シラン系の表面含浸材とひび割れ注入による補修では、わずか 2 年で ASR による膨張に対応できず、内部鉄筋の腐食抑制という目的を達成できなくなつていた。

#### 4.3 シラン系表面含浸材とひび割れ充填工による補修

構造物 M では ASR による遊離石灰が発生しており、対策としてポリウレタン系弾性シーリング材によるひび割れ充填工を実施した後、シラン系の表面被覆材を塗布した (写真-7 参照)。なお、躯体内部の水対策として導水工のパイプが約 20cm ピッチで配置されており一部のパイプから水の排出も確認できた。補修 5 年後ではスポイトによる散水で含浸材の撥水機能が確認され、ひび割れ充填材に損傷は発生していなかつた。本工法では内部鉄筋の腐食抑制という目的を發揮しているものと考えられた。



写真-5 ひび割れ注入材の損傷状況 (構造物 L) 写真-6 新しいひび割れの発生 (構造物 I)

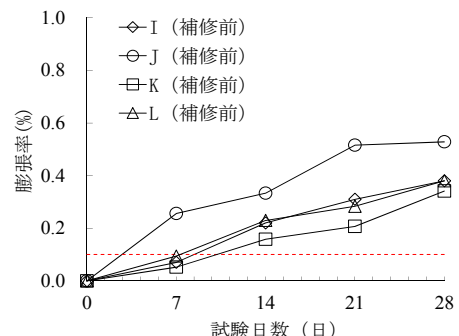


図-5 NaOH 溶液浸漬法の結果 (構造物 I, J, K, L)



(1)補修前 (2)補修後 (3)ひび割れ充填工と導水工  
写真-7 シラン系表面含浸材とひび割れ充填工による補修

### 5. コンクリート巻立てによる断面修復工法による補修<sup>6)</sup>

構造物 N, O, P は、供用から約 13 年後に柔軟型エポキシ系のひび割れ注入とエポキシ系の表面被覆材による ASR 補修を実施したが、数年後には被覆材の膨れや剥がれによる損傷が発生したものであった。ASR の第 2 次補修として、表-5 に示すかぶり部分を除去し、追加鉄筋 (D13@300) を配置後、コンクリートにて巻立てる断面修復工法を適用して経年変化を追跡してきた。使用したコンクリートの示方配合を表-6 に示す。なお、構造物 Q は、本工法を適用した最初の補修事例であった。本工法の目的は、凍結防止剤の浸透抑制やコンクリートはく落片の防止を目的としていた。ASR が顕著に発生した道路構造物の下部工鉄筋には降伏点を超える応力が作用し

ており<sup>11)</sup>、追加鉄筋を配置することで既設の鉄筋の応力負担が軽減されること、ASR 膨張によって引張力が発生していたかぶり部分を除去し、新たなコンクリートで断面修復することでかぶり部分の引張力を一度リセットしていること、ならびに断面修復のコンクリートにはビニロン繊維 (K 社製) をセメント量の 0.5% を混入しひび割れ防止に努めていることから、ASR 補修工法としてかなり有効なものであった。なお、コスト的には高価なものとなるが、長期的に補修の目的を持続できるのであれば得られる費用対効果は大きいものと判断された。追跡調査の結果、構造物 P では補修 10 年後より写真-8 に示すような一部に遊離石灰の発生が目立ってきたが、他の構造物 N, O, Q では補修 12 年後も良好な状態を保っていた。

表-5 コンクリート巻立てによる断面修復法と現況<sup>6)</sup>

構成			
	構造物名	N, O	P
供用年	1975	1975	1980
補修年	2003	2004	2003
部位	橋台 (部材厚 2m)		
現況※	良好	一部損傷	良好
コア採取位置	直接日射の影響を受けない、凍結防止剤の影響を受ける、地盤より 0.3m 程度の高さの位置、表面から 30cm 程度の深さ		

※2015 年 12 月での状況

補修前と補修 10 年後に行った NaOH 溶液浸漬法によるコアの促進養生試験の結果を図-6 および図-7 に示す。補修前の結果ではすべてのコアの膨張率が右肩上がりの傾向を示しており、構造物にて ASR による膨張が継続する可能性が推測された。一方、補修 10 年後における膨張率 (試験日数 21 日) の比較では、コンクリート巻立ての状態が良好であった構造物 N, O, Q ではコアの膨張率が低下していたが、一部に損傷が発生した構造物 P ではコアの膨張率に大きな変化はなかった。本工法では、

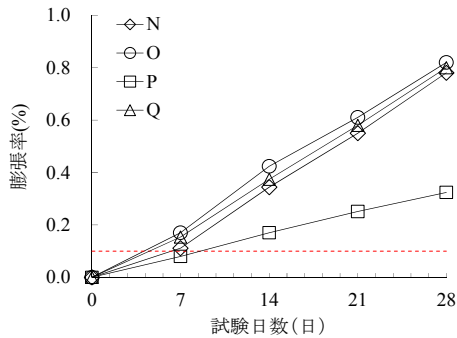


写真-8 遊離消石灰の滲出し (構造物 P)

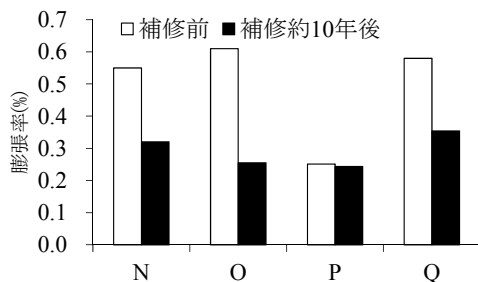
表-6 コンクリート巻立てに使用したコンクリートの示方配合表

W/C (%)	Gmax (mm)	SL (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	S	G	混和剤 A	混和剤 B
56%	25	21.5	6.2	47.8	171	303	827	952	30	2.997

ビニロン繊維：長さ 30 mm, 混入率 0.5% (6.5kg/m<sup>3</sup>), 混和剤 A：膨張剤 混和剤 B：高性能 AE 減水剤



図一 6 NaOH 溶液浸漬法の結果 (補修前)



図一 7 NaOH 溶液浸漬法 (試験日数 21 日) の比較結果<sup>6)</sup>

外部からの水の浸透を抑制することで ASR の進行も抑制する効果がある場合と ASR の進行過程における適用であっても外部からの水の浸透抑制ならびに追加鉄筋により ASR の膨張力を負担する構造的効果によって膨張を抑制できる場合とがあり、12 年以上、凍結防止剤の浸透抑制やコンクリートはく落片の防止効果が期待できるものと考えられた。

## 6. まとめ

ASR 劣化構造物における膨張が継続している過程で適用した各種 ASR 補修の追跡結果について主要な部分をまとめると以下のとおりである。

- 1) アクリルゴム系およびウレタン系の表面被覆材は、14 年間 ASR を抑制する効果を示した。これらの被覆材に共通することは中塗材と下塗材の塗布量の計が  $2,200\text{g/m}^2$  以上のものであった。特にひび割れ追従性のある中塗材厚くすることで、ASR による膨張を抑制し、被覆材自身の損傷のリスクを低減できた。
- 2) 連続繊維シート接着工法は、コンクリートはく落防止の性能は持続するものの ASR を抑制する効果は期待できず、13 年経過後より水膨れや遊離石灰の発生が顕在化した。なお、遊離石灰の発生箇所では、シートの性能を検証することが必要であった。
- 3) 本調査で追跡したケイ酸ナトリウム系の表面含浸材は、主剤中に炭酸ナトリウムを含み、成分中の  $\text{Na}^+$  が ASR を促進させた可能性があった。
- 4) シラン系表面含浸材と柔軟型エポキシ系のひび割れ注入による組み合わせでは、注入箇所のひび割れが開く

とともに新たなひび割れが発生するなど、鉄筋腐食を抑制できない場合が確認された。

- 5) シラン系表面含浸材とポリウレタン系弾性シーリング材によるひび割れ充填工は 5 年間健全な状態を継続していた。
- 6) コンクリート巻立てによる断面修復工法は、断面修復の構造によって ASR 膨張を処理する場合がありますが、12 年以上、凍結防止剤の浸透抑制やコンクリートはく落片の防止効果が期待できた。

## 参考文献

- 1) 野村昌弘ほか：ASR 劣化構造物から採取したコアの残存の膨張性の検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.1, pp.349-354, 2010
- 2) 久保善司ほか：アルカリ骨材反応によるコンクリートの劣化損傷事例と最新の補修・補強技術，コンクリート工学，Vol.40, No.6, pp.3-8, 2002
- 3) Dadai, T., et al. : A Proposal of Rehabilitation for ASR-affected Bridge Piers with Fracture of Steel Bars, Proc. of 13<sup>th</sup> ICAAR Conference, pp.42-49, 2008
- 4) 矢野峻規ほか：凍結防止剤影響下の実構造物の塩分浸透分布に基づく簡易予測手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.36, No.1, pp.916-921, 2014
- 5) 石川裕夏ほか：凍結防止剤がコンクリート構造物に及ぼす影響に関する実態調査，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1, pp.766-771, 2012
- 6) 小松原昭則ほか：北陸地方における ASR 構造物の NaOH 溶液浸漬法を用いた補修工法の選定手法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.37, No.1, pp.877-882, 2015
- 7) Nomura, M., et al. : The Alkali-leaching Property of Sands and Inspection on Alkali-leaching from Aggregate in Structures, Proc. of 13<sup>th</sup> ICAAR Conference, pp.1054-1063, 2008
- 8) 澤田 巧ほか：表面含浸材の耐久性向上効果に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.665-670, 2011
- 9) 小松原昭則：高速道路におけるコンクリートの ASR 調査診断技術と舗装の耐久性向上に関する研究，金沢大学学位請求論文，pp.56-75, 2015
- 10) 麻田正弘ほか：珪酸ナトリウム系補修材料によるアルカリシリカ反応の促進作用検証，土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集，V-474, pp.947-948, 2014
- 11) 野島昭二ほか：ASR を生じたコンクリート構造物の鉄筋ひずみとコアの残存膨張性，コンクリート工学年次論文集，Vol.31, No.1, pp.1267-1272, 2009