

報告 バサルトネット工法による塩害および ASR が発生したコンクリート構造物での剥落防止対策の検証

津田 誠^{*1}・上田 信二^{*2}・青木 崇浩^{*3}・鳥居 和之^{*4}

要旨：のと里山海道（旧能登有料道路）は海岸に隣接した区間が長く、一部のコンクリート構造物に ASR の反応性が高い骨材が使用され、塩害や ASR が発生している。このため、昭和 50 年代から劣化度や重要度等により適宜、補修、補強工事が実施されてきた。しかし、近年いくつかの構造物にて、再劣化と推察される損傷が発生している。そこで本研究では、塩害や ASR により劣化したコンクリート構造物に、主に第三者被害防止を目的としてバサルトネット工法を適用した。その結果、実構造物において表面を改質する効果があり、付着力は基準値を上回り、さらに塩化物の浸透を抑制する効果が確認された。

キーワード：バサルトネット、塩害、ASR、再劣化、第三者被害、剥落防止対策

1. はじめに

石川県の地形は北側には日本海に突き出た能登半島があり、南側は白山を含む山岳地帯を有している。能登半島では安山岩が広く分布しており、砂利資源に乏しい、能登地方では安山岩などの火山岩類は重要な骨材資源である。その一方で、能登半島では半島を回り込むように国道および主要地方道があり、これら安山岩砕石を使用したコンクリートで深刻なアルカリシリカ反応（以下、ASR と記す）による劣化が発生している。また、冬期間の季節風により海岸からの飛来塩分に加えて、凍結防止剤の散布による塩害が一部で発生している¹⁾。一方 ASR に関しては近年、北陸地方を中心として調査、対策、診断、対策に至る取組が精力的に行われている^{2) 3)}。

のと里山海道は海岸に隣接した区間が約 35km あり、さらに能登で産出される安山岩砕石などの ASR の反応性が高い骨材が使用された構造物が多い。このため塩害や ASR が発生したコンクリート橋やボックスカルバート（以下、BOX と記す）が多数存在する。これらより、昭和 50 年代から有機および無機材のモルタルでの断面補修、ひび割れ注入、厚膜型樹脂塗料による表面被覆などの補修が行われ、阪神淡路大震災以降ではコンクリート巻立て等の補強工事が実施されてきた⁴⁾。しかし、補修・補強を行った一部の構造物において、点検の結果、再劣化と考えられる状況が発生している。既往の研究より⁵⁾、かぶりコンクリートが脱落することで鉄筋の腐食速度が加速し、塩害劣化の進行が急激に進む原因として報告されている。

図-1 に示すように、急速膨張性の反応鉱物を含む岩石として新第三紀と第四紀の新しい火山岩類は日本全国に分布しており、日本各地で ASR が発生してもおかしく

ない状態であることが分かる。このため、現在 ASR の発生が報告されていない地域でも潜在的に ASR 劣化した構造物が多く存在し、それら ASR 劣化に対するリスクマネジメントについても研究が進められている^{2) 7)}。

以上より、これら塩害および ASR 劣化構造物に対して補修工法の確立が、今後の構造物の長寿命化対策では重要であると考えられる。

一方、石川県内の繊維企業および建設関係の企業による研究会にて、高強度および高耐久なバサルト繊維を用

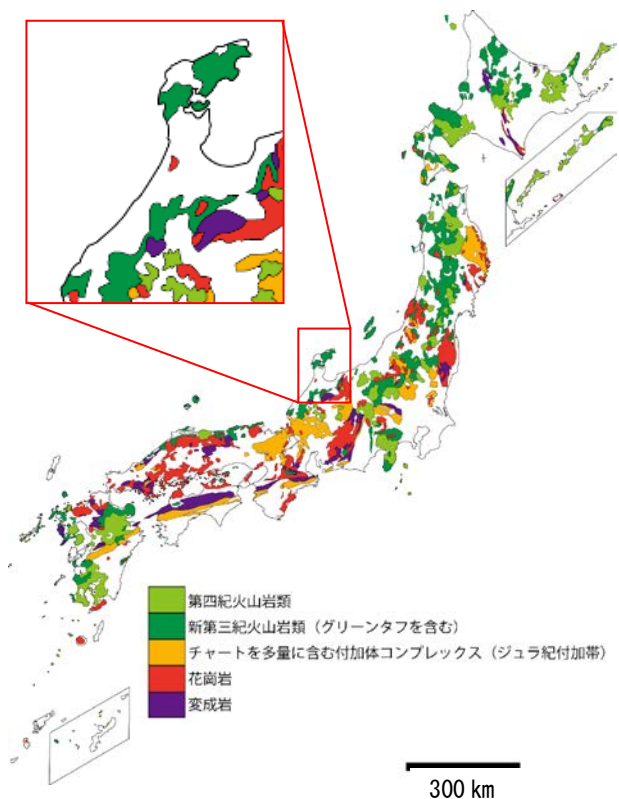


図-1 ASR と関連の深い代表的な地層や岩体⁶⁾

*1 石川県中能登土木総合事務所のと里山海道維持管理課 博士（工学）（正会員）

*2 真柄建設（株）土木事業本部 土木技術部

*3 青木織布（株）

*4 金沢大学 理工研究域環境デザイン学系 教授 工博（フェロー会員）

表－１ 対象構造物の諸元と補修・補強工法

対象BOX	劣化要因	構造形式	断面形状(内空)	延長	建設年	補修年	補修工法
A	塩害	RCボックスカルバート	縦2500×横2000	23.5m	平成4年	平成23年	剥落防止工法(バサルトネット工法)
B	ASR	RCボックスカルバート	縦3900×横4500	83.5m	昭和53年	平成10年 平成28年	断面打換え・ひび割れ注入＋表面被覆工法 剥落防止工法(バサルトネット工法)＋ひび割れ注入

いた剥落防止工法を開発した。

そこで本研究では、当該地方のコンクリート構造物の劣化原因で深刻な塩害およびASRに着目し、塩害環境下とASRの反応性が高い骨材が使用された2つのRC BOXにて第三者被害防止を目的としてバサルトネット工法を実施し、室内試験と実構造物での施工性や性能の比較を行い、その補修効果の検証を行った。

2. 対象構造物および補修工法の概要

2.1 対象構造物の諸元と補修概要

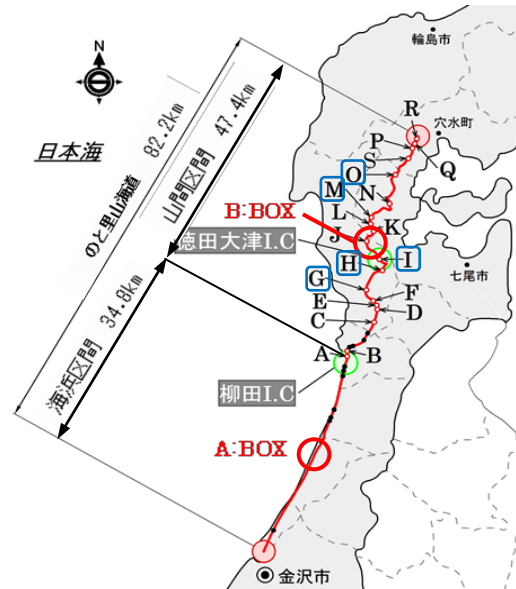
表－1 に対象構造物および補修概要を示す。対象構造物は図－2 に示す石川県能登半島に位置し、自動車専用道路で緊急輸送路に指定されている、のと里山海道の横断BOXである。両BOXとも建設後約20年にて一度目の補修としてAのBOXは剥落防止工法、BのBOXはひび割れ注入と断面打換え後に表面被覆塗装を行っている。さらに、ASR劣化をしているBのBOXにおいては、一度目の補修後18年でASR膨張の継続が原因と推測されるひび割れや漏水が生じ、2回目の補修を実施した。

AのBOXは海岸に隣接した区間に位置し、塩害対策区分Sに該当し、冬期間には北陸地方特有の北西の季節風を海岸から受けている。これらの供用環境より、AのBOXには風によって海岸部の砂が飛来し、構造物の表面に、サンドブラストに近い状況が作用している。

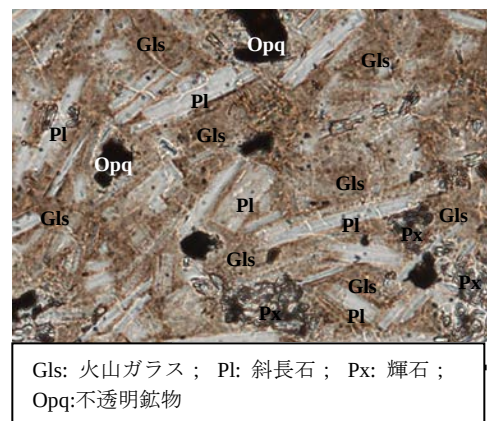
2.2 使用骨材の岩石学的特徴とアルカリシリカ反応性

BのBOXは写真－1 に示すように、粗骨材は石川県奥能登産の安山岩砕石で、反応性鉱物として火山ガラスを比較的多く含む両輝石安山岩であった。

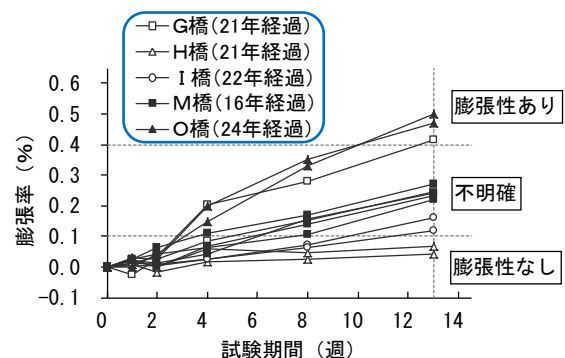
BのBOX周辺の橋梁からコアを採取し、ASR反応試験の1手法である飽和NaCl溶液浸漬法を実施した。これらの橋梁には対象BOXと同様の安山岩砕石が使用されており、試験コアを採取した時点で1橋を除き20年以上経過していた。図－3 よりH橋以外の橋梁すべてで「膨張性あり」もしくは「不明確」の結果になり、長期間にわたってASRの反応性が継続していることが推察された。さらに、既往の報告より⁸⁾、対象BOXで使用された安山岩砕石はその含有鉱物である火山ガラスや粘土鉱物などから長期間にわたりアルカリがコンクリート中に溶出しており、調査対象のBOXは建設後40年以上が経過した現在でもASRが収束していないと推測された。



図－2 対象BOXおよび隣接橋梁位置図



写真－1 安山岩砕石の薄片試料による偏光顕微鏡写真



図－3 飽和NaCl溶液浸漬法による促進膨張量試験

3. バサルトネット工法の概要

3.1 工法の概要

バサルトネット工法ははく落防止工法の1つで、図-4に示すとおり、バサルトネットをアクリル樹脂にて含浸させ貼り付ける補修工法である。バサルト繊維は紫外線に対して劣化しない特徴があるため、繊維の劣化を防止するための保護層が不要であることから、コンクリート断面を可視化でき、施工後の変状を早期にかつ容易に発見することができる特徴がある。

3.2 バサルトネットの特徴

使用する繊維は、図-5に示すとおり、玄武岩(Basalt: バサルト)を熔融し精製したもので、コンクリート用骨材とほぼ同成分であることから高い耐候性がある。この繊維をネット状に製作したもので(写真-2)、強度は4840MPaとガラス繊維の3450 MPaより大きく、炭素繊維の3500~6300 MPaと比較しても同等の性能がある。さらに、適用可能温度が-260℃~+820℃であり、耐火性が高い材料である。コスト面においてはガラス繊維や炭素繊維と比較し安価である。

3.3 含浸材(アクリル樹脂)の特徴

バサルトネット接着を行う材料は2液混合のアクリル樹脂で硬化後半透明になり、補修後の表面の観察が可能である。湿潤面や油面でも接着が可能で、-10℃でも硬化するため冬期においても施工ができる。

材料の含浸深さを旧日本道路公団試験研究所規格「ひび割れ含浸材料の試験方法」に準じて実施した。

表-2に示すとおり、含浸深さは標準偏差がNo.2を除き2前後とばらつきが少なく約20mmである。この結果より、ひび割れ注入が難しい0.2mm以下の微細なひび割れへの浸透および今後表面の改質効果も評価できる可能性が考えられる。また、エポキシ樹脂と異なり燃焼時に青酸ガスの発生がなく、トンネル等火災によるリスクが高い閉塞した空間でも使用が可能である。

4. バサルトネット工法の室内試験結果

4.1 押し抜き試験

押し抜き試験はNEXCOの試験規格であるJHS424に準拠して実施した。供試体および試験方法を図-6に示す。繊維シートが剥離もしくは破断するまでの最大荷重を押し抜き荷重とした。表-3に示すとおり、押し抜き試験の結果、いずれの供試体も押し抜き最大荷重および変位量とも規格値を満足し、かつ破壊形態も繊維が破断することがない結果となった。

写真-3より、試験後バサルトネットの状況は大きく滑らかに変位し、ネット内の状況も把握することができた。これより、実構造物においても、第三者被害を防止でき損傷状況の発見が容易であると考えられる。

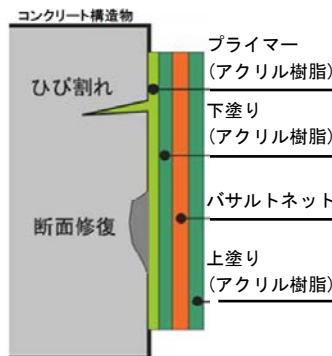


図-4 バサルトネットによる補修断面概要図

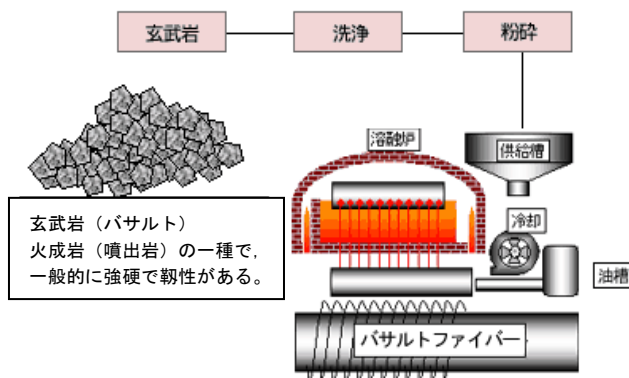


図-5 材質および製造手順図



写真-2 製織後のバサルトネットの外観

表-2 アクリル樹脂の含浸深さ測定結果

供試体 No	各測点での含浸深さ(mm)					平均	標準偏差
	a	b	c	d	e		
1	25	26	23	21	19	23	2.57
2	27	23	24	9	13	19	6.94
3	21	19	18	16	21	19	1.90
4	22	20	21	17	17	19	2.10
5	21	16	19	20	19	19	1.67

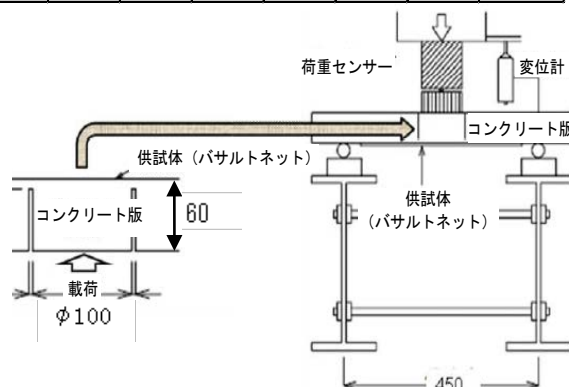


図-6 押し抜き試験の試験概要図

4.2 引張強度

引張強度試験は NEXCO の試験規格である JHS425 に準拠し実施した。表-4 より引張強度は試験温度に関係なく、基準値を上回る結果となった。この値が実構造物で実施した引張試験との比較するための基準となる。

5. 実構造物での試験結果

5.1 塩害環境での RC ボックス (ABOX)

(1) 目視調査結果

剥落防止工試験施工後 5 年の現在の状況を写真-4 に示す。施工後 5 年経過した時点においても有害なひび割れ等の損傷はなく、かつコーナー部面取り部についても浮きがなく構造物に良好に付着していた。

(2) 引張試験結果

引張り試験は施工後 3 年 8 か月後に建研式接着力試験器を用いて実施し、試験箇所は BOX 内部側壁部と直接西日と冬期風浪の影響を受ける面壁部で行った。

表-5 より引張強度は基準値の 1.5N/mm^2 を上回る結果となった。しかし、室内試験結果と比較し全体的に値が小さく 60% のケースがあった。この原因として、剥落防止ネット施工前にコンクリート表面を平滑にするためにパテ材を施工し、そのパテ材とシートとの付着が不足し、写真-5 に示すとおり破壊形態がコンクリートの母材破壊ではなくパテ材とシート面で剥離したためと推察される。このため、本工法では前処理材との相性を調査することが重要であると考えられる。

(3) 塩化物含有量試験結果

ドリル法によりコンクリートを採取し、塩化物含有量試験を実施した結果を図-7 に示す。バサルトネットによる補修を実施した場合、未実施の箇所と比較し、塩化物の含有量が少ない結果となった。この結果より、含浸材として使用したアクリル樹脂が表-2 の結果よりコンクリート表面に浸透し表面を改質した結果、塩化物浸透に関して抑制する効果があると推察された。

5.2 ASR 劣化した RC ボックス (BBOX)

(1) 第一回目の劣化および補修の概要

本 BOX は昭和 53 年に建設され、供用後 20 年経過時点の状況は写真-6 に示すよう ASR 劣化していた。ひび割れ調査の結果、図-8 のとおり BOX 天井面 ($4.5 \times 10.5\text{m}$) には幅 0.2mm 以上のひび割れが 144m あり、密度として 3.05m/m^2 となり、写真-7 に示すように、網の目状に無機系のひび割れ注入を充填した。さらに、損傷が進んでいるブロックは劣化箇所をはつり無機系セメントモルタルによりモルタル充填工法を行った。

ASR を促進させる原因は背面の地下水の浸透と推測され、写真-8 に示すように、先端部に集水機能を持った法面防災用の水抜きパイプを設置し、BOX 背面の地下

表-3 押抜き試験の結果

供試体 No	繊維密度 (本/吋)	押抜き最大荷重 (kN)		変位 (mm) (10mm 以上)	判定	破壊形態
		試験値	規格値			
1	12	1.58	1.5	22.7	OK	繊維剥離
2		1.65		25.0	OK	繊維剥離
3		1.60		21.9	OK	繊維剥離
平均		1.61				
4	15	2.27	1.5	30.1	OK	繊維剥離
5		1.95		27.1	OK	繊維剥離
6		2.00		22.8	OK	繊維剥離
平均		2.07				
7	18	2.10	1.5	24.3	OK	繊維剥離
8		2.17		22.9	OK	繊維剥離
9		2.17		27.6	OK	繊維剥離
平均		2.14				



写真-3 押抜き試験後の状況

表-4 引張試験の結果

供試体 No	試験温度 (°C)	作製条件	引張強度 (N/mm ²)	基準値 (N/mm ²)
1	-30	湿潤	2.85	1.5
2	23	湿潤	2.61	
3	60	湿潤	1.95	



写真-4 剥落防止工施工後の状況 (施工後 5 年)

表-5 引張強度試験の結果 (施工後 3 年 8 か月)

調査箇所	表面状況	引張強度 (N/mm ²)	室内 23°C との比率	破壊形態
側壁	健全	2.00	0.76	シート下面で剥離
側壁	健全	1.75	0.67	シート上面で剥離
側壁	劣化	1.50	0.57	シート下面で剥離
面壁	健全	1.56	0.60	シート下面で剥離



写真-5 引張強度試験後の状況

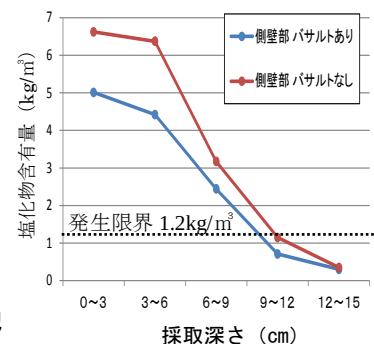


図-7 コンクリートの塩化物含有量試験



写真-6 補修前の状況
(建設後 20 年)

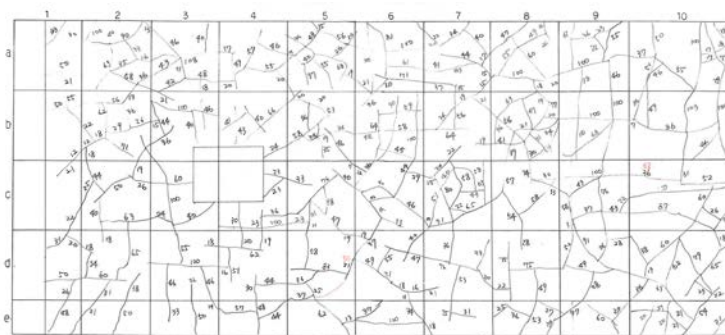


図-8 天井面ひび割れ状況

水の排除を行っていた。さらに、表面保護を目的として膜厚 510 μ の柔軟型エポキシ樹脂塗装が施工されていた。

(2) 再劣化後の再補修の状況 (2 回目の補修)

写真-9 に補修後 18 年後の BOX の状況を示す。厚膜型塗膜面に網の目状のひび割れが見られ、一部のひび割れより遊離石灰のつららが確認された。写真-10 に示すように、補修塗膜をウォーターブラストにより剥いだ状況は、モルタル充填にて断面補修を行った面にもひび割れが網の目状に発生しており、モルタル面のひび割れが塗膜表面に現れたと推測された。

補修時に充填したモルタル面に網の目状のひび割れが生じた原因として、劣化箇所の撤去を行った際、撤去箇所がかぶりのみで、未撤去の部分に存在している ASR にて発生したひび割れに注入等の処理を実施せず断面修復を行っており、図-3 に示すとおり、ASR 反応が長期間継続し、さらに表面保護工により水分を逸散することができないため、ASR をより促進させ、未撤去部分が膨張し、当該箇所にあるひび割れが開き、モルタル部分に貫通ひび割れが発生したものと考えられた。

このため、補修を実施する上で ASR 劣化が今後も長期間継続することを考慮し、構造物そのものの耐久性を確保すること以外に補修後も点検が容易でかつ第三者被害を防止可能なこれら条件に合致する補修工法を選定した。

塗膜を除去し、当初補修を行った躯体について調査を実施した結果、モルタルにて断面修復を行った箇所については前述のとおり網の目状のひび割れが生じてはいたが、たたき点検の結果、浮きや空洞箇所は見られなかった。また、断面修復未実施部でひび割れ注入を行った箇所については一部でひび割れが伸展し、この箇所も浮きや空洞がなかった。さらに、ひび割れからの錆汁もないため、鉄筋等の腐食の可能性が低いと判断し、今回の補修では躯体に発生しているひび割れのうち 0.2mm 以上は、低粘度型エポキシ樹脂にて低圧注入を行った。さらに、表面は、プライマーが燃焼時に有毒ガスの発生がなく、表面改質効果が期待でき、躯体面が目視可能で第三者被害を防止ができるバサルトネット工法を採用した。

写真-11 に示すとおり、施工が難しい上向きとなる



写真-7 ひび割れ注入状況



写真-8 水抜き設置



写真-9 再劣化状況



写真-10 塗膜撤去状況



写真-11 バサルトネット
施工状況



写真-12 バサルトネット
施工後

表-6 引張試験結果 (ASR 劣化 BOX)

供試体 No	調査箇所	引張強度 (N/mm ²)		破壊形態
		試験値	規格値	
1	天井部	4.74	1.5	母材コンクリート
2	断面修復	4.08		母材コンクリート
3	なし	5.53		母材コンクリート
平均		4.78		
4	天井部	2.39	1.5	母材コンクリート
5	断面修復	3.74		母材コンクリート
6	あり	4.38		母材コンクリート
平均		3.50		



供試体 1~3 (断面修復未実施面)



供試体 4~6 (断面修復実施面)

写真-13 付着力試験後供試体

BOX 天井面において、作業員がシートの仮抑え時に治具を使用する必要がなく、バサルトネットと含浸用のアクリル樹脂の付着効果のみで設置を行うことが可能であった。バサルトネット施工後、コンクリート面のひび割れを写真-12 のとおり目視可能であることが確認できた。

バサルトネット施工後の付着力を確認するため、A ボックスと同様に建研式接着力試験器を用いて実施した。試験結果は、表-6 に示すとおり、断面修復の有無に関わらず、引張強度は規格値を満足する結果となり、破壊形態はコンクリートの母材破壊であった。B の BOX の断面修復を行っていない箇所で反発硬度を測定し簡易的に圧縮強度を推定した結果、設計基準強度の 21 N/mm^2 に対して 32.4 N/mm^2 となり、引張強度を推定すると約 2.3 N/mm^2 になり、直接的には比較できないが、表-6 の結果との差の理由はプライマーの表面改質効果があったものと推察される。

しかしながら、断面修復を行った供試体 No.4~6 は断面修復未施工の ASR 劣化した元のコンクリートが残っている供試体 No.1~3 と比較し、引張強度が小さい結果となった。この理由として写真-13 に示すとおり、断面補修面に対して、断面補修を行っていない場合のほうが母材の深い位置で破壊していることがわかる。これは断面修復を行っていないポーラスなコンクリート面にプライマーが浸透して表面を改質した結果、コンクリートの表面の強度が増加したため、引張強度が高くなったものと推定される。断面修復を実施したモルタル面は密実であることから、プライマーの浸透が小さかったものと推察された。これらの結果より、ASR 反応性が継続するコンクリート構造物の再補修においてバサルトネット工法が補修工法の 1 つとして適用が可能であると考えられる。

6. まとめ

本研究により得られた主要な結果をとりまとめると、次のとおりである。

- (1) バサルトネット工法を施工した供試体の押し抜き試験結果は押し抜き最大荷重は規格値の 1.5 kN に比較し約 1.43 倍の 2.14 kN 、変位量は規定値の 10 mm の 2 倍以上の値となり、かつ破壊形態も繊維が破断することがない結果となった。
- (2) 付着性能はすべての試験温度で基準値を上回る結果となり、実構造物施工後 3 年 8 か月経過した後引張り試験を行った結果、基準値は満足しているものの、室内試験結果を下回る結果となった。原因として表面処理で使用したパテ材の影響が考えられた。
- (3) バサルトネット工法でのプライマーの浸透性能を調査した結果、含浸深さはばらつきが少なく約 20 mm であり、ひび割れ注入工法が難しい 0.2 mm 以

下の微細なひび割れへの浸透が推測され、今後表面の改質効果も評価できる可能性が考えられる。

- (4) バサルトネットによる補修を実施した場合、未実施の箇所と比較し、塩化物の浸透量が少ない結果となり、含浸材として使用したアクリル樹脂がコンクリート表面に浸透し表面を改質した結果、塩化物浸透に関して抑制する効果があると推察された。
- (5) ASR 反応が長期間継続する骨材を使用し、さらに背面から水分の供給があるコンクリート構造物の補修を行う場合、表面保護工の施工によってコンクリート中の水分の逸散を止めることになり ASR を促進させる可能性があることが判明した。
- (6) バサルト工法でのプライマーが浸透して表面を改質した結果、コンクリート表面の強度が増加し、ASR 反応が継続するコンクリート構造物の再補修にバサルトネット工法の適用が可能であった。

参考文献

- 1) 鳥居和之、樽井敏三、大代武志、平野貴宣：能登半島の ASR 劣化構造物に関する一考察、コンクリート工学年次論文集、Vol.28, No.1, pp.779-784, 2016
- 2) 鳥居和之、橋本徹：今、何故、北陸地方でフライアッシュコンクリートなのか、セメント・コンクリート、No.810, pp.18-23, 2014
- 3) 金沢大学 SIP-WG2 (ASR 部会)：金沢大学 SIP・「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造的な評価に基づくトータルマネージメントの開発研究成果報告書」-北陸地方における ASR 問題の解決を目指して-、2016.9
- 4) 津田 誠、浦 修造、湊 俊彦、鳥居和之：ASR が発生したコンクリート橋の調査診断と補強・打替技術の検証、コンクリート工学年次論文集、Vol.38, No.2, pp.1555-1560, 2016
- 5) 平野誠志、石川貴之、宮里心一、青山實伸：凍結防止剤による塩害進展機構の解明とその現象に適した効果的な補修方法の提案、土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)、Vol.71, No.3, pp.220-234, 2015
- 6) 広野真一、山田一夫、佐藤友美、鳥居和之：わが国の代表的な反応性骨材と ASR の発生に関するデータ整理、コンクリート工学年次論文集、Vol.38, No.1, pp.1035-1040, 2016
- 7) 日本コンクリート工学会：ASR 診断の現状とあるべき姿研究会報告書、2014
- 8) 鳥居和之、野村昌弘、南善導：北陸地方の川砂のアルカリシリカ反応性とアルカリ溶出性状、セメント・コンクリート論文集、No.60, pp.390-395, 2006