

高品質が期待されるプレキャストボックスカルバートに生じたひび割れと今後の対応について

二口 卓史¹・佐藤 柊輝²

^{1,2}九州地方整備局 福岡国道事務所 道路保全課 (〒813-0043 福岡県福岡市東区名島3丁目24-10)

プレキャストコンクリート製品は工場で作られるため、高品質な構造物の構築が期待されているが、福岡国道事務所管内の一般国道202号バイパス（福岡外環状道路）に架橋されたプレキャストボックスカルバートにおいて、橋梁定期点検により頂版や側壁に多数のひび割れが発生していることが確認された。そこで本研究において、プレキャストボックスカルバートに発生したひび割れの主原因を推定するための詳細調査、主原因として推定された劣化機構に応じた補修方針の検討および今後のモニタリングについて検討した結果を示す。

キーワード プレキャストボックスカルバート、ひび割れ、ASR、補修、モニタリング

1. はじめに

我が国の道路構造物は、高度経済成長期における集中的な整備等を経て順次ストックとして蓄積され、その機能を発揮してきたところである。今後、これらの補修や更新を行う必要性が急激に高まることが見込まれており、厳しい財政状況にある中、いかに的確に対応するかが重要な課題となっている。

このような背景の中、コンクリート構造物は更なる長寿命化が求められており、とりわけ、あらかじめ工場において製作されるプレキャストコンクリート製品は建設現場の生産性向上に向けた*i-Construction*の取り組みにおいても注目が集まっている。一般的にプレキャストコンクリート部材は、製造設備が整った工場において打設・仕上げ・養生等の作業が行われるため、品質が高く、安定して製造されると認識されている。しかし、コンクリートに用いる材料、製造方法および養生方法は、地域や工場によって異なり、これらの要因がコンクリートの性能に与える影響は小さくない。

本研究では、福岡国道事務所管内に架橋され、供用後20年が経過した溝橋（道路下を横断する道路や水路等の空間を確保するために設けられる構造物で、橋長2m以上かつ土被り1m未満のボックスカルバート）において、橋梁定期点検により頂版や側壁に確認された多数のひび割れに対して、ひび割れの主原因を推定するための詳細調査、主原因として推定された劣化機構に応じた補修方針の検討および今後のモニタリングについて検討を行った。ここではその結果を報告する。

2. 対象溝橋の概要

対象溝橋であるプレキャストボックスカルバートの諸元を表-1に示す。また、全体写真を写真-1に示す。

表-1 橋梁諸元

路線名	一般国道202号バイパス（福岡外環状道路）
竣工年	2002年（平成14年）
橋長	L=5.90m
全幅員	W=43.10m（車道、歩道、中央分離帯）
ボックス形式	上下2分割プレキャストボックスカルバート
ブロック数	全29ブロック
補修・補強履歴	無し
交差物件	水路（樋井川水系七隈川）
周辺状況	トンネル：無し、交差点：無し
塩害対策区分	塩害の影響を受けない
凍結防止剤の散布	散布しない



写真-1 全体写真

3. 外観劣化状況

(1) ひび割れの進展状況

2016年に実施された初回点検において、ボックス内空の頂版および側壁にひび割れが確認されていた。2020年に実施された2巡目の定期点検では、新たなひび割れの発生や初回点検で確認されたひび割れの幅や長さに進展が確認された。2021年にひび割れの原因推定を行うため外観調査を行った結果、2020年の定期点検からひび割れの進展が確認された。写真-2に変状写真、図-1にひび割れの進行状況を示す。

(2) 幅員構成とひび割れとの関係性

幅員構成は図-2に示すように車道、歩道（植樹帯含む）、中央分離帯で構成されている。頂版や側壁のひび割れは、車両輪荷重の影響を受ける車道部のブロックだけでなく、歩道部や中央分離帯のブロックにもひび割れが発生していた。ただし、同じ幅員構成に位置するブロックであっても、ひび割れが多く発生しているブロックとひび割れが殆ど発生していないブロックが混在していた。

(3) ひび割れの形態と規則性

頂版で確認されたひび割れの形態は網目状を呈していたが、幅が大ききひび割れ（最大 $w=1.4\text{mm}$ ）は主鉄筋方向（橋軸方向）に発生していた。また、側壁で確認されたひび割れも主鉄筋方向（鉛直方向）に発生しており、規則性が有るひび割れであった。



写真-2 変状写真 (左: 頂版, 右: 側壁)

(4) その他の外観変状

橋面防水工の有無は不明であったが、ひび割れからの漏水は無く、遊離石灰や錆汁の析出も確認されなかった。コンクリートに浮きや剥離は確認されなかったが、ひび割れ箇所のコンクリート表面に1mm未満の段差が確認された。

4. ひび割れの原因推定

ひび割れの原因推定は、補修・補強の要否判定や補修・補強方法を選定するために重要である。ひび割れの原因の推定方法には、設計図書類や施工記録等の資料調査や外観調査に基づく原因推定と詳細調査に基づく原因推定がある。ここでは、本溝橋に関する設計図書類や施工記録等の資料が保存されていなかったため、外観調査と詳細調査によってひび割れの原因を推定した。

(1) 外観調査に基づく原因推定

ひび割れの発生原因は材料、施工、使用環境、構造・外力に分類して示すと表-2のようなものがある。そこで、外観調査に基づく表-3に示す①ひび割れのパターン（発生時期、規則性、形態）による分類や表-4に示す②コンクリートの変形の種類（コンクリートの変形要因（収縮性、膨張性、沈下・曲げ・せん断）、ひび割れに関する範囲（材料、部材、構造体））による分類、表-5に示す③ひび割れの配（調）合による分類の各分類から、共通して検出される原因がひび割れの主要原因の可能性があるととして、絞り込みを行った。

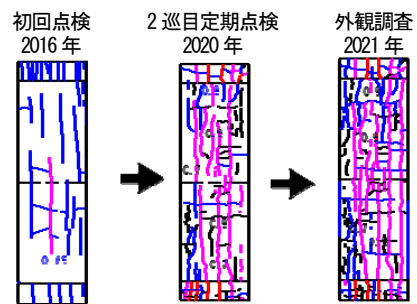


図-1 頂版ひび割れの進行状況

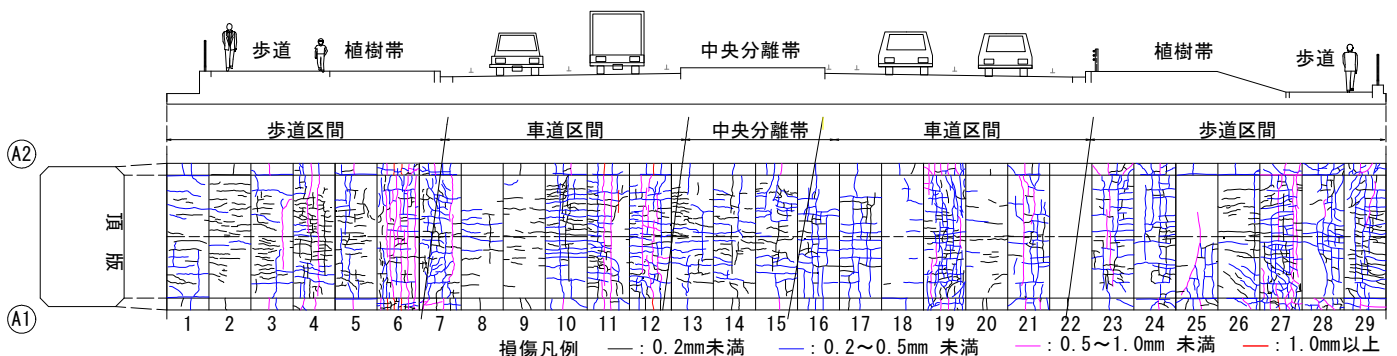


図-2 幅員構成と頂版ひび割れの状況

ここで、プレキャストコンクリート製品は、製造効率を高めるため一般的に高温蒸気養生が行われているが、高温養生を行ったコンクリートに生じる特有の劣化現象である遅延生成エトリングライト（DEF）も本溝橋のひび割れの主原因の可能性があると推定した。

表-6に外観調査に基づきひび割れの主原因の可能性があると推定されたものを示す。

(2) 詳細調査に基づく原因推定

表-6に示す主原因の可能性があると推定したひび割れの原因に対して、各種品質試験等の詳細調査を行い、主原因の絞り込みを行った。表-7に詳細調査で実施した調査・試験項目を示す。なお、詳細調査にあたっては、ひび割れが多いブロックと殆ど無いブロックとが混在していたため、その原因を把握するため損傷部と健全部で各種品質試験を行った。

a) 実体/偏光顕微鏡観察

コンクリート中の骨材の種類やアルカリシリカ反応（アルカリシリカ反応性鉱物を含有する骨材がコンクリ

ート中の高いアルカリ水溶液と反応し、コンクリートに異常な膨張およびそれに伴うひび割れが発生する現象。以下、ASRと記す）の発生状態、ASR反応性鉱物の有無を確認するため、実体/偏光顕微鏡観察を行った。写真-3に実体顕微鏡観察の結果を示すが、損傷部と健全部の粗骨材や細骨材にASRゲルの滲出や反応リムが認められた。また、偏光顕微鏡観察の結果、変斑れい岩、珪質頁岩、流紋岩に遅延膨張性のASR反応性鉱物である微晶質～隠微晶質石英が認められた。

b) 促進膨張試験

ASRによるコンクリートの残存膨張性を確認する目的で促進膨張試験を行った。試験方法はカナダ法およびJCI-S-011-2017法とし、損傷部と健全部で4本の試料を用いて行った。カナダ法では、4試料ともに養生材齢21日の膨張率が0.1%未満であり残存膨張性は低いと評価された。JCI-S-011-2017法においても13週間養生した促進膨張率が0.05未満であり残存膨張性は低いと評価された。

c) 配合推定試験（セメント協会法）

プレキャストコンクリート製品であり、セメント量が多く使用されたと想定されたため配合推定試験を行った。試験の結果、損傷部と健全部はいずれもセメント量が

表-2 ひび割れの発生原因

大分類	中分類	小分類	番号	原因	
A材料	使用材料	セメント	A1	セメントの異常凝結	
			A2	セメントの水和熱	
			A3	セメントの異常膨張	
		骨材	A4	骨材に含まれている泥分	
			A5	脈晶質骨材	
	コンクリート	A6	反応性骨材（アルカリ骨材反応）		
		A7	コンクリート中の塩化物		
		A8	コンクリートの沈下・フリーディング		
		A9	コンクリートの乾燥収縮		
		A10	自己収縮		
B施工	コンクリート	練りまぜ	B1	混和材料の不均一な分散	
			B2	長時間の練りまぜ	
		運搬	B3	ポンプ圧送時の配合の不適當な変更	
			B4	不適當な打込み順序	
			B5	急激な打込み	
			B6	不適當な締め	
		養生	B7	硬化前の振動や載荷	
			B8	初期養生中の急激な乾燥	
			B9	初期凍害	
			B10	不適當な打継ぎ処理	
	鋼材	鋼材配置	B11	配筋の乱れ	
			B12	かぶり（厚さ）の不足	
	型枠	型枠	B13	型枠のほらみ	
			B14	型枠からの漏水	
	その他	支保工	B15	型枠の早期除去	
			B16	支保工の沈下	
	C使用・環境	物理的	コールドジョイント	B17	不適當な打重ね
				B18	グラウト充てん不良
			温度・湿度	C1	環境温度・湿度の変化
				C2	部材表面の温度・湿度の差
C3				凍結融解の繰り返し	
化学作用		C4	火災		
		C5	表面加酸		
		C6	酸・塩の化学作用		
		C7	中性化による内部鋼材のさび		
		C8	塩化物の浸透による内部鋼材のさび		
D構造・外力	荷重	長期的な荷重	D1	設計荷重以内の長期的な荷重	
			D2	設計荷重を超える長期的な荷重	
		短期的な荷重	D3	設計荷重以内の短期的な荷重	
	D4		設計荷重を超える短期的な荷重		
	構造設計	D5	断面・鋼材量不足		
D6		構造物の不同沈下			
支持条件	D7	凍上			
	Eその他	E1	DEF（遅延生成エトリングライト）		

表-6 外観調査に基づき推定したひび割れの原因

大分類	中分類	小分類	番号	原因
A材料	使用材料	骨材	A6	反応性骨材（アルカリ骨材反応）
B施工	鋼材	鋼材配置	B11	配筋の乱れ
C使用・環境	化学作用		B12	かぶり（厚さ）の不足
			C7	中性化による内部鋼材のさび
D構造・外力	荷重	長期的な荷重	D1	設計荷重以内の長期的な荷重
			D2	設計荷重を超える長期的な荷重
		短期的な荷重	D3	設計荷重以内の短期的な荷重
			D4	設計荷重を超える短期的な荷重
		構造設計	D5	断面・鋼材量不足
			D6	DEF（遅延生成エトリングライト）

表-7 詳細調査で実施した調査・試験項目

大分類	番号	原因	調査・試験項目
A材料	A6	反応性骨材試験（7日骨材反応）	走査型電子顕微鏡観察（SEM-EDS）
			偏光顕微鏡観察（岩種判定）
B施工	B11	配筋の乱れ	促進膨張試験（カナダ法）
	B12	かぶり厚さの不足	水溶性アルカリ量試験（総フロ法）
C使用・環境	C7	中性化による内部鉄筋の錆	配合推定試験（セメント協会法）
			ひび割れ深さ調査（コア法）
D構造・外力	D1	設計荷重以内の永久荷重・長期荷重	鉄筋探査（電磁波レーダー）
			鉄筋探査（電磁誘導）
			中性化試験（コア法）
			鉄筋探査（電磁波レーダー）
			鉄筋探査（電磁誘導）
Eその他	E1	DEF（遅延生成エトリングライト）	復元設計
			積載試験（静的載荷）
			応力頻度測定
			脆性試験（静的載荷）

表-3 ひび割れのパターンによる分類

ひび割れのパターン		推定されるひび割れの原因	
発生時期	規則性	形態	
数10日以上	有	網目状	A6, A9, B2, B3, B2
		発露	A6, A7, A9, A10, B2, B3, B11, B12, C1, C2, C7, C8, D1, D3, D5
		貫通	A9, A10, B2, B3, B4, B10, B18, C1, D2, D4, D5, D6

表-4 コンクリートの変形の種類による分類

コンクリートの変形要因	ひび割れに関係する範囲	推定されるひび割れの原因
収縮性	材料	A1, A2, A4, A9, A10, B1, C1, C3, C4, C5
	部材	A2, A9, A10, B2, B3, B8, B14, B15, B17, C1, C2, C3, C4, C5
	構造体	A9, B2, B3, B8, B15, C1, C2, C3, C4, C5
膨張性	材料	A3, A5, A6, B1, C1, C3, C4, C5, C6
	部材	A7, B1, B12, B18, C1, C2, C3, C4, C5, C7, C8
	構造体	A7, C1, C4, C5
沈下・曲げ・せん断等	材料	A5, A6, C1
	部材	A8, B4, B5, B6, B7, B9, B10, B11, B12, B13, B16, B17
	構造体	B6, C1, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7

表-5 コンクリートの配（調）合による分類

コンクリートの条件	推定されるひび割れの原因	目安
富配（強）合	A2, A6, A9, A10	単位セメント量350kg/m ³ 以上
貧配（弱）合	A8, C3, C6, C7, C8	単位セメント量270kg/m ³ 以下

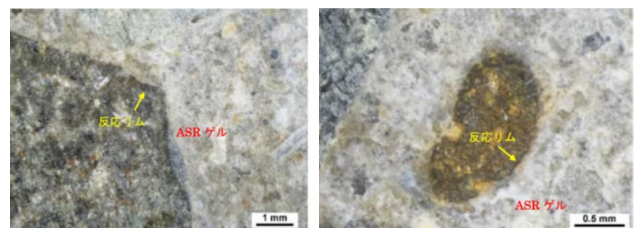


写真-3 実体顕微鏡観察の結果
（左：粗骨材，右：細骨材）

500kg/m³以上使用されていることが確認され、富配合のコンクリートであることが判明した。

d) 水溶性アルカリ量試験（総プロ法）

ASRによる劣化進行に影響を及ぼすコンクリート中のアルカリ量を確認するため、水溶性アルカリ量試験を行った。試験の結果、損傷部の全アルカリ量は、アルカリ骨材反応抑制対策におけるアルカリ総量の規制値3.0kg/m³を超える3.44kg/m³のアルカリ量が検出された。健全部の全アルカリ量は2.31～2.94kg/m³であり規制値以下であることが確認された。

e) 中性化試験（コア法）

中性化の進行による鉄筋の腐食膨張によって生じたひび割れであるか確認するため、中性化試験を行った。中性化試験はコア法により行った。試験の結果、中性化深さは1.2mm～4.6mmであり、健全部と損傷部で大差は無く、中性化残りも鉄筋の腐食開始時期の判定基準となる10mm以上の26.9mm～34.6mmが確認された。

f) 圧縮強度試験（リバウンドハンマー）

ひび割れが多いブロックと殆ど無いブロックが混在していたため、コンクリート強度の乱れの有無を確認するため圧縮強度試験を行った。試験はリバウンドハンマーで行った。試験の結果、損傷部と健全部でコンクリート強度に差は認められず、設計基準強度30N/mm²（想定）よりも高い51N/mm²～60N/mm²が確認された。

g) 鉄筋探査（電磁波レーダー法、電磁誘導法）

ひび割れが多いブロックと殆ど無いブロックが混在しており、鉄筋量や配筋の乱れの有無を確認するため、鉄筋探査を行った。鉄筋探査は電磁波レーダー法と電磁誘導法により行った。鉄筋探査の結果、損傷部と健全部でかぶり厚さや鉄筋径、配筋ピッチに違いは認められなかった。

h) はつり調査

ひび割れの深さおよび鉄筋の腐食状況を確認するため、はつり調査を行った。調査の結果、ひび割れの深さは主鉄筋位置でとどまっており、部材断面を貫通したひび割れではないことが確認された。また、鉄筋の腐食は認められなかった。

i) 走査電子顕微鏡観察・EDS 定性分析

遅延生成エトリンサイト（DEF）を確認するため、走査電子顕微鏡（SEM：JSM-IT-300HR）による観察を行った。また、生成物の化学成分の確認にはエネルギー分散型スペクトル検出装置（EDS；JED-2300）を用いて、定性分析を行った。EDSによる成分分析ではCa、S、Al、Siが検出され、そのピーク高さの比率からエトリンサイトであることが確認された。しかし、走査電子顕微鏡下において、コンクリート中にASRのひび割れ以外には、DEFの特徴的な骨材周囲の隙間およびセメントペースト中の網目状のひび割れは確認されなかった。

(3) ひび割れの主要原因の推定

外観調査や詳細調査の結果、コンクリートの強度不足や鉄筋量不足といった構造上の問題は認められず、かぶり厚さ不足や配筋の乱れといった施工上の問題も認められなかった。また、外力の影響による頂版支間中央付近の曲げひび割れやハンチ部付近のせん断ひびわれも認められなかった。中性化や遅延生成エトリンサイト（DEF）についても品質試験の結果、本溝橋で発生したひび割れの原因でないことが判明した。しかし、ASR試験として実施した実体／偏光顕微鏡観察の結果、骨材周辺にASR特有の反応リムやASRゲルの滲出が確認されたほか、骨材に遅延膨張性のASR反応性鉱物である微晶質～隠微晶質石英が認められたことから、本溝橋のプレキャストボックスカルバートで発生したひび割れの主要原因はASRであると推定した。

ここで、ひび割れが多く発生しているブロックと殆ど発生していないブロックが混在していたが、水溶性アルカリ量試験の結果、ひび割れが多く発生していたブロックはコンクリート中のアルカリ総量が、アルカリ骨材反応抑制対策におけるアルカリ総量の規制値3.0kg/m³を超える値が検出されたのに対し、ひび割れが殆ど発生していないブロックでは規制値以下であったことが要因として推察される。

本溝橋は2002年に竣工していることから、1989年に通達された「アルカリ骨材反応抑制対策について」に基づき製造されたと推察される。この時点での抑制対策は、①安全と認められる骨材の使用、②低アルカリ形セメントの使用、③混合セメント等の使用、④アルカリ総量の抑制の4つの対策の中のいずれか一つをとらなければならなかった。しかし、遅延膨張性骨材については、一般的な骨材試験では反応性を検出できないといった問題等から2002年に抑制対策が改定されている。この改定された抑制対策では、③混合セメント等の使用と④アルカリ総量の抑制を優先することが明記された。

今回実施した詳細調査の結果、骨材に遅延膨張性のASR反応性鉱物である微晶質～隠微晶質石英が認められたことから、骨材試験では反応性を検出できなかったものと推察される。また、製造時点でアルカリ総量の抑制を優先して実施することが規定されていなかったことも本溝橋のプレキャストボックスカルバートにおいてASRによる劣化が生じたものと推察される。

5. 補修対策

(1) 補修で十分であるかの検討

ASRにより劣化した本溝橋の対策が補修で十分であるか判断するため、ASRによる変状が本溝橋の耐荷性能に及ぼす影響の有無を評価した。

評価にあたっては、以下の3項目のいずれかに該当す

る場合は、耐荷性能に影響を及ぼしているおそれがあると評価した。

a) 構造物中の鉄筋が破断している場合、または破断しているおそれがある場合

ASRによる鉄筋破断箇所は、既往の研究報告では限定されており、せん断補強筋では曲げ加工部、主鉄筋では曲げ加工部、圧接部である。鉄筋破断に起因する要因として①鉄筋加工時の曲げ半径が小さい（1R前後）、②鉄筋形状が旧JIS規格による、③腐食環境にあるといったものが考えられている。

ボックスカルバートの配筋において曲げ加工を行っている箇所は、図4に示すように一般的に出隅部の主鉄筋（曲げ半径10R程度）であり、鉄筋破断が発生する場合は、出隅部で発生すると想定される。

出隅部に対して鉄筋破断のおそれがある損傷を確認するためには、頂版上面の土砂を撤去した上で外観調査やはつり調査を行う必要がある。今回の調査では上載土を撤去した調査は行っていないが、鉄筋破断が発生していた場合に耐荷性能の低下によって生じる曲げひび割れの有無について外観調査を行った。調査の結果、頂版下面には耐荷性能の低下によって生じた想定される曲げひび割れは認められなかったため、鉄筋が破断している可能性は低いと評価した。

b) コンクリートと鉄筋の付着や定着が損なわれているおそれがある場合

コンクリートと鉄筋の付着および鉄筋のコンクリートへの定着は、RC構造が成立するための前提条件であり、付着強度の低下および定着不良は構造物の耐荷性能の低下をもたらすものである。そのため、耐荷性能の評価においては、鉄筋に沿ったひび割れが多数発生し、うきが鉄筋位置まで到達している場合は、付着や定着が損なわれているおそれがあると評価することとした。

外観調査の結果、ひび割れが多数発生したコンクリート面に浮きや剥離が認められなかったため、付着や定着が損なわれている可能性は低いと評価した。

c) 上記以外に耐荷性能に影響を及ぼすと考えられる変状が認められる場合

a), b)以外に耐荷性能に及ぼすと考えられる損傷として、①腐食による鉄筋の断面欠損が疑われるような損傷（ひび割れからの錆汁の析出）、②曲げモーメントが大きい位置（頂版や側壁の支間中央付近）に生じる曲げひび割れ、③せん断力が大きい位置（ハンチ部）に生じるせん断ひび割れ、④頂版や側壁の異常なたわみやひずみ

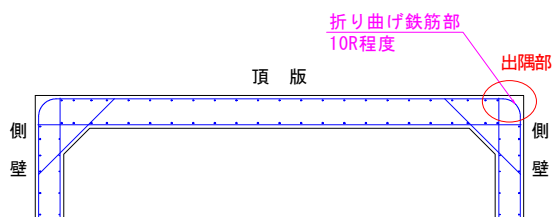


図4 ボックスカルバートの曲げ加工鉄筋

といった項目が考えられたが、外観調査の結果、上記に該当する損傷は認められなかった。

外観調査の結果、a)~c)の3項目に該当する変状が認められなかったため、ASRによる変状が耐荷性能に影響を及ぼしているおそれはなく、補修で十分であると評価した。

(2) 補修手法

ASRによる劣化の進行を抑制するためには、外部から供給される水分を遮断する必要がある。しかし、本溝橋の交差条件は水路であり、橋面や側壁背面からの雨水の浸透や地下水を完全に遮断することは困難である。また、現状ではASRの劣化進行を完全に抑制できる補修方法はなく、補修効果を予測することも難しい。そのため、補修対策の検討と合わせて、ASRによるひび割れ進展や耐荷性能の低下に影響を及ぼす損傷を早期発見するためのモニタリング方法についても検討を行うこととした。

a) ひび割れ注入工

頂版下面や側壁内側で確認されたひび割れは、部材断面を貫通しておらず、ひび割れからの漏水や遊離石灰が認められなかったため、ASRの劣化の要因となる水分の供給は、ボックスの内空断面を流れる水の蒸発水や結露が影響していると推察された。そのため、ASRによって生じたコンクリート表面のひび割れから劣化因子である水分の浸入を防止し、コンクリートが鉄筋を腐食から守る性能を回復することを目的としてひび割れ注入工を行う計画とした。

ここで、促進膨張試験の結果、ASRの残存膨張性は低いと判定されたが、過去に実施した定期点検の結果、ひび割れの進展が確認されているため、ASRによる残存膨張性については潜在的リスクがあると判断した。そこで、亜硝酸リチウムによるASRゲルの吸水膨張抑制効果や鉄筋腐食抑制効果を付与したひび割れ注入工法を選定した。

b) 表面保護工

ボックスの内空断面を流れる水の蒸発水や結露のコンクリート内部への浸入を遮断することを目的として表面保護工を行う計画とした。

従来は、コンクリートの表面に水分を通さない遮水系表面保護工が採用される事例が多かった。しかし、ASRによる劣化の進行によって保護塗装のひび割れや剥がれが発生することで水分が浸入し、再劣化している事例も少なくない。加えて、遮水系表面保護工を適用すると保護塗装によって補修後に目視でコンクリートのひび割れを観察できなくなるという問題もある。そこで、外部からの水の供給を防ぐ一方で、内部からの水の逸散は妨げず、補修後もコンクリート表面を観察できる撥水系表面保護工法（表面含浸材）を採用した。また、ひび割れ注入工と同様に、亜硝酸リチウムによるASRゲルの吸水膨張抑制効果や鉄筋腐食抑制効果を付与した撥水系表面保護工法（表面含浸材）を選定した。

6. モニタリング

ASRにより劣化した本溝橋に対して補修対策を行っても、外部からの水分供給を遮断しない限り、ASRの進行を完全に抑制することは困難である。また、現状ではASRの劣化進行を完全に抑制できる補修方法はないため、ASRによるひび割れ進展や耐荷性能の低下に影響を及ぼす損傷の早期発見、補修対策の有効性を確認するため定期的にモニタリングを行う必要がある。そこで、今後のモニタリング方法について検討を行った。

(1) モニタリングにおいて把握すべき変状

ASRによる劣化が生じた本溝橋のモニタリングにおいて特に把握すべき変状は、新たに発生したひび割れの有無、ひび割れ幅が比較的大きなひび割れの進展状況、補修を行った箇所のひび割れ再発の有無、析出物の有無、浮きや剥離の有無、鉄筋の著しい腐食が懸念される顕著な錆汁の有無、外部からの水分の供給状況の変化である。

(2) 装置を用いたモニタリング手法

定期的なモニタリングは、近接目視による外観調査によって変状の変化を観察することが基本である。しかし、ASRによる劣化が生じた本溝橋のモニタリングは、

(1) で示した変状の変化を精度良く把握することが重要となる。そこで、装置を用いたモニタリング方法について検討を行い、以下に示す装置を用いて定期的なモニタリングを行う計画とした。

a) デジタル画像による全体変状管理とひび割れ画像の自動検出

分割して撮影した写真を自動合成する技術を用いて、溝橋全体の変状を写真で管理し、変状の変化を把握する技術である。また、撮影した画像をもとにひび割れを自動検出して損傷図を作成することで、新たに発生したひび割れの有無やひび割れ幅の進展状況等を正確に記録することが可能となるため、点検者によるひび割れの抽出精度のバラツキを低減することが可能である。本装置を使用したモニタリングは、補修前と補修直後で実施したのち、5年に1度の定期点検と定期点検の中間年（2～3年）に1度の頻度で実施する計画とした。

b) 3次元レーザー計測器による測定

3次元計測器によりプレキャストボックスカルバートの内空形状の測定を行うことで、ASRの進行によって生じるコンクリート表面の膨張や耐荷性能の低下に起因するひずみ、地盤沈下等による溝橋全体の挙動を正確に把握する測定である。本装置を用いたモニタリングの実施頻度は、5年に1度の定期点検とその中間年（2～3年）に1度の頻度で実施する計画とした。

c) クラックゲージによる計測

代表ひび割れに対してクラックゲージを設置することで

ひび割れ幅の進展状況を把握する技術である。クラックゲージの目盛りを読み取ることで進展状況を把握することができるため、点検者による計測精度のバラツキをなくすることが可能となる。実施頻度は、特殊な装置を必要としないため、1年に1度の頻度で実施する計画とした。

7. おわりに

本研究では、高品質が期待されるプレキャストボックスカルバートに生じたひび割れについて、ひび割れの主要原因を推定するための詳細調査、主要原因として推定された劣化機構に応じた補修方針の検討および今後のモニタリングについて検討を行った。

ひび割れの原因推定にあたり、外観調査や詳細調査を実施した結果、本溝橋のプレキャストボックスカルバートに生じたひび割れの主要原因はASRであると推定した。

本溝橋は1989年に通達された「アルカリ骨材反応抑制対策について」に基づき製造されたと推察されるが、一般的な骨材試験では反応性を検出できない遅延膨張性のASR反応性鉱物である微晶質～隠微晶質石英が認められたことからASRによる劣化が生じたものと推察される。しかし、アルカリ骨材反応抑制対策におけるコンクリート中のアルカリ総量が規制値の 3.0kg/m^3 以下のブロックではひび割れが殆ど生じていなかったことを踏まえると、製造時にアルカリ総量の抑制を優先的に行うことがアルカリ骨材反応抑制対策として有効であると考えられる。

補修対策の検討にあたっては、ASRによる劣化進行を抑制する目的で亜硝酸リチウムを併用したひび割れ注入工法や表面保護工法を行う計画とした。しかし、本溝橋は外部からの水分供給を完全に遮断することは困難であり、また、現状ではASRによる劣化進行を完全に抑制できる補修方法もない。そこで、ASRによって耐荷性能の低下に影響を及ぼす損傷を早期発見するため、今回検討した装置を用いたモニタリング方法によって、今後定期的な監視を行っていく必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたり、ご協力いただきました九州大学大学院 工学研究院 佐川康貴准教授、梶田幸秀准教授に感謝致します。

参考文献

- 1) ASRに関する対策検討委員会：アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン
- 2) 日本コンクリート工学会：コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013
- 3) 日本コンクリート工学会：膨張性骨材による構造物被害分析委員会