

## 報告 既設構造物における ASR 診断手法及び対策時期の判定に関する検討

川端 雄一郎<sup>\*1</sup>・松下 博通<sup>\*2</sup>・猪野 和歌人<sup>\*3</sup>・山田 一夫<sup>\*4</sup>

**要旨:** ASR による損傷を生じた構造物の診断および維持管理の手法は十分に確立されておらず、過度な対策を行った構造物や再劣化を生じた構造物は少なくない。本報告は、既往の ASR 診断手法の問題点について考察し、長崎河川国道事務所管轄の鈴田橋側道橋をケーススタディとして ASR 診断におけるモニタリングの重要性を論じた。変状を生じた構造物の原因調査において ASR 診断方法として詳細調査は非常に有効であるが、ASR と ASR による損傷は必ずしも対応しないことを指摘した。また、構造物に顕著な性能低下が見られず、必ずしも ASR 損傷と判定できないケースでは、モニタリングを行うことを推奨した。

**キーワード:** ひび割れ, ASR, 診断, モニタリング, 岩石学的評価

### 1. はじめに

アルカリシリカ反応(ASR)の膨張力による鉄筋破断が指摘され、全国的に ASR を生じた構造物のスクリーニングが行われるなど、ASR に関する動向が活発である。また、新設および既設構造物における ASR 抑制対策に関する注目は高く、関連の研究が盛んに行われている。

新設構造物については、国土交通省九州地方整備局が平成 14~16 年度に「九州地区長寿命コンクリート構造物検討委員会」を設置し、九州という地域性を考慮した対策の有効性について検討した<sup>1)</sup>。その中で、ASR に対しては、九州地方において多く産出される火山岩を安全かつ効率的に使用することを推進することとしている。具体的には、混合セメントの使用を標準とし、外部からアルカリが供給される環境では混合材の量を増加することとした。また、骨材の岩石学的評価の必要性についても記載している。さらに、RILEM TC 191-ARP では、ASR 抑制のための種々の指針が提案されている<sup>2)</sup>。構造物の重要度と ASR に関連する環境の組合せによって適切な ASR 抑制方針を設定するというものである。

一方、既設構造物における ASR 診断や補修・

補強の必要性の判断には難しい面がある。ASR 診断を行う際、骨材の岩石学的評価といった詳細調査は非常に有効な手法であるが、そのデータの解釈には高度な専門性を要し、それらがさらに ASR による損傷を受けた構造物の維持管理方法の設定を困難にしているといえる。

本報告は、既往の ASR 診断における問題点について考察し、長崎河川国道事務所管轄の鈴田橋側道橋をケーススタディとして、劣化構造物の詳細調査結果およびモニタリングを併用した ASR 診断手法について報告するものである。

### 2. ASR 診断と補修・補強の必要性の判断

#### 2.1 現状における ASR 診断

図-1 は一般的に行われていると推定される ASR 劣化を診断するための標準的な手順のフロー図(ASR 診断フロー)を示している。ひび割れの存在を確認した際、まず外観調査によってひび割れの原因を推定する。このひび割れが ASR 劣化に特有とされるひび割れパターンと類似している場合、「ASR 劣化の疑いがある」と判断される。ASR 劣化の損傷レベルや今後の劣化予測を考える際には、詳細調査を行うことが推奨され

\*1 九州大学大学院 工学府 建設システム工学専攻 博士後期課程 修士(工学) (正会員)

\*2 九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 教授 工博 (正会員)

\*3 国土交通省 九州地方整備局 長崎河川国道事務所 道路管理二課 課長

\*4 太平洋セメント(株) 中央研究所 セメント化学チーム 博士(工学) (正会員)

る。ASR に関する詳細調査の調査項目には、例えば以下のようなものが挙げられる。

- 1)骨材の岩種判定(偏光顕微鏡および XRD)
- 2)SEM-EDS による ASR ゲルの同定
- 3)アルカリ量分析

一般的には、上記のこれらの詳細調査結果を総合的に勘案して補修・補強の必要性を検討することになる。また、補修・補強が必要ない場合にはモニタリングを行うことが推奨される。

## 2.2 ASR による損傷を生じた構造物の現状

現状における ASR 診断および補修・補強の必要性の判断は ASR 診断フローを基として行われている。しかし、現状において軽微な損傷に対して過大な対策を行ったケースや補修・補強後に再劣化を生じたケースが存在している。

山口らは 69 件の構造物を対象として、実構造物における劣化の進行状況を整理した非常に有益なデータを示している<sup>3)</sup>。過去の調査時点において構造物の約 1 割は補修が行われていたが、現時点では約 6 割が補修・補強等の対策を採られていること、過去に一度も補修・補強を行われていない構造物のうち約 9 割が現時点において経過観察の状態にあることを報告している。このデータから、ASR によって重大な損傷が生じているケースは少ないといえる。現時点において約 6 割の構造物が何らかの対策を講じられているが、それらの中でも適切な補修・補強が行われたものは少ないと推察される。

これらの実状は、反応である ASR が生じても必ずしも構造物における ASR による損傷(ASR 損傷)にはつながらないためといえる。ここで、本検討では「ASR」はアルカリとシリカ鉱物の反応によるものであり、「ASR 損傷」は ASR により発生する膨張力で構造物にひび割れを生じ、何らかの性能低下を生じた場合や鋼材腐食といった他の劣化の進行を促進した場合を示す。上述した ASR 診断フローにおいて、構造物のひび割れの原因が「ASR 損傷」と判定するには、詳細調査を「総合的に」判断することが必要である。

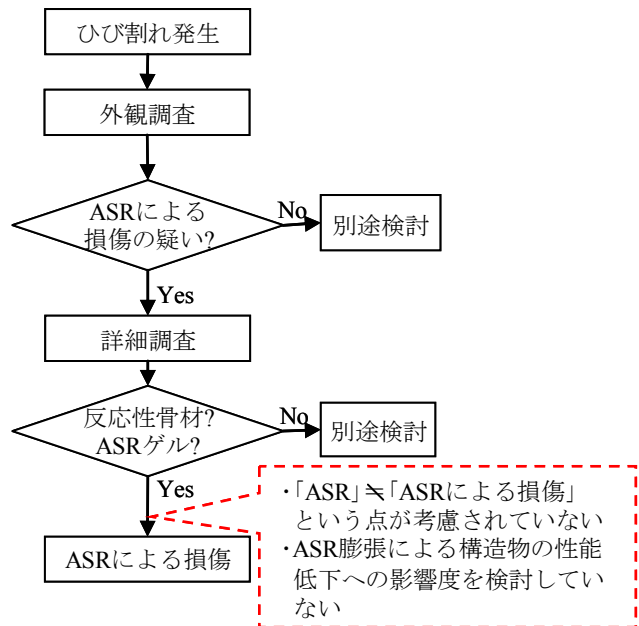


図-1 一般的な ASR 診断フロー

## 2.3 詳細調査の有効性

上述した詳細調査は ASR 診断において非常に有効な手法であるが、データの解釈によってはその有効性が失われる場合もある。

例えば、岩石学的評価は骨材の ASR 反応性の可能性を評価することができるが、その骨材の現状における反応程度および今後の反応量までは十分には分からない。また、日本は火山帯に属し、骨材として反応性の安山岩が用いられることも多いが、安山岩といっても多様であり、一概に反応性を評価することは困難である<sup>1)</sup>。

このほか、日本において使用される骨材には反応性シリカ鉱物を含有している場合が少なくない。現在の骨材の ASR 反応性の判定法は反応性シリカ鉱物の量やその反応を評価し、工学的に簡便のため大別するものであり、実際には完全に「無害」と「無害でない」に区分することは難しい。つまり、「無害」の骨材を使用することで完全に ASR を回避できるわけではない。さらに、SEM 観察は微小領域を対象としており、コンクリート中でも局所的な情報を与えるものである。SEM でコンクリート中のミクロな領域で少量の ASR ゲルを確認したことが必ずしもコンクリートの劣化や損傷につながっているとはいえない。生成した ASR ゲルの量も問題となる。また、こ

これらのデータは試料の採取位置にも影響される。

詳細調査で得られる結果はコンクリートの劣化に対する状況証拠であり、必ずしも構造物の劣化原因を特定するために満足する結果が得られるわけではない。状況証拠のみでひび割れを「ASR 損傷」と位置づけることが上述したような不適切な補修・補強に至る。調査結果を適切に判断するには、ASR 以外にも構造的な要因や他の劣化要因についても詳細に検討する必要がある。他の劣化要因の可能性を排除して適切に ASR 診断を行うためには、モニタリングで ASR 膨張挙動を捉えることが重要である。ASR を生じたほとんどの構造物は経過観察でよいから、モニタリングにより膨張挙動を明確にし、適切な対策時期を判定することが可能になるといえる。



写真-1 鈴田橋側道橋の外観

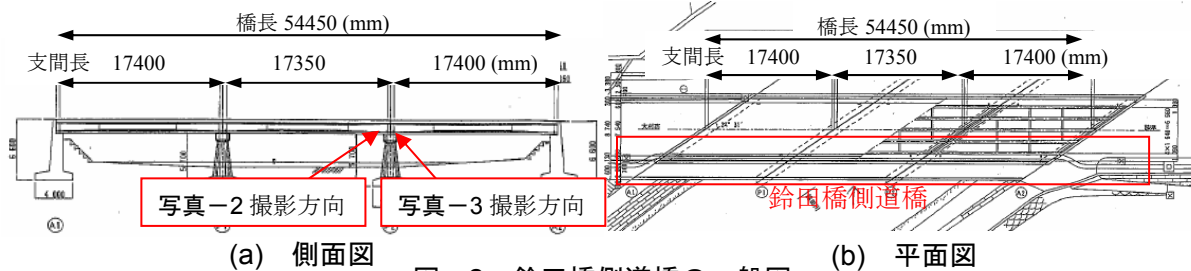


図-2 鈴田橋側道橋の一般図

### 3. 鈴田橋側道橋の概要

本検討では鈴田橋側道橋をケーススタディとし、詳細調査を行い、ASR 診断を行った。以下にその概要を示す。

#### 3.1 鈴田橋側道橋の構造諸元

鈴田橋側道橋は1980年に竣工されたT型ポストテンション構造の側道橋である。写真-1は鈴田橋側道橋の外観を示している。河川と約34°の斜角をなした2主桁の3径間54.45mで1960年に施工された本線よりも後に施工されている。図-2は鈴田橋側道橋の一般図を示している。

#### 3.2 ひび割れ状況

現地調査における鈴田橋に発生しているひび割れの状況は以下の通りである。まず、主桁のハンチ部に橋軸方向に連続したひび割れが発生しており、ひび割れ幅は、ほとんどが0.2~0.5mmであるが、最大で1.0mmのものも認められた。写真-2に主桁ハンチのひび割れ状況を示す。また、主桁のダイヤフラムに亀甲状のひび割れが発生していた。このダイヤフラムのひび割れから、ASR 損傷が疑われ、詳細調査が行われた。写真-3は主桁ダイヤフラムのひび割れ状況を示している。斜角の緩い部位においてひび割れが顕著であった。最大ひび割れ幅は1.5mmと大

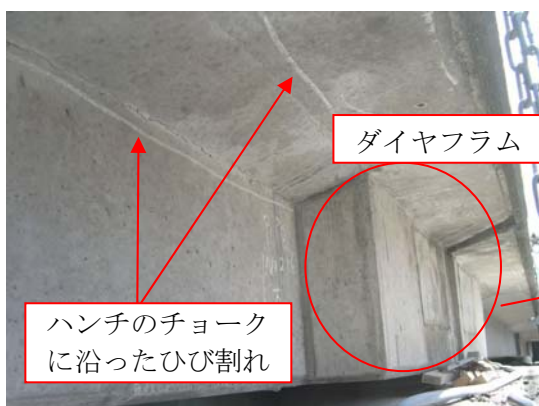


写真-2 ハンチのひび割れ状況



写真-3 ダイヤフラムのひび割れ状況

きかった。斜角がきつい部位においてはほとんどしくは全くひび割れが確認されなかった。ひび割れ状況としては、斜角という構造条件に制約を受けていると推察された。

### 3.3 コアの採取箇所

上流側の桁のダイヤフラムと下流側の桁のダイヤフラムのそれぞれから径 50mm のコアドリルを用いてサンプルを採取した。

## 4. 鈴田橋におけるひび割れ診断

### 4.1 使用骨材の岩石学的評価

#### (1) 骨材の岩種判定

ASR 損傷が構造物のひび割れの一因である場合、使用骨材の岩石学的評価は重要である。よって、鈴田橋側道橋から採取したコアの粗骨材および細骨材の岩種判定を行った。骨材の岩種判定は実体顕微鏡および偏光顕微鏡による観察を行った。また、ASR ゲルの発生状況も同時に観察した。表-1 は鈴田橋側道橋から採取したコア中の骨材の岩種判定結果を示す。

観察の結果、粗骨材は実体顕微鏡観察下において変斑レイ岩の単一岩種からなる碎石であることが確認された。通常、変斑レイ岩は非反応性骨材として知られており、粗骨材界面に ASR ゲルと疑われる生成物は確認されなかった。

一方、細骨材は川砂と推定された。安山岩、花崗岩等の多岩種からなる岩片粒子と、石英、斜長石等の多種の鉱物粒子が確認された。また、一部に安山岩片周囲のクラックや気泡が生成物で充填された状態も確認された。

写真-4 に細骨材として含まれる安山岩の偏光顕微鏡写真を示す。安山岩は斑状組織を示し、斑晶に斜長石、単斜輝石、斜方輝石、磁鉄鉱等が認められた。石基を構成する鉱物はいずれも粒径 0.05mm 以下で、斜長石、斜方および単斜輝石、不透明鉱物およびクリストバライト等が認められ、粒間を火山ガラスが充填するインターサータル組織を示していた。

図-3 はコアから採取した安山岩片の XRD 分

表-1 使用粗骨材および細骨材の岩種

種別	岩種・鉱物種	割合(%)	
粗骨材	変斑レイ岩	100	
細骨材	岩片粒子	安山岩	40
		花崗岩	12
		変斑レイ岩	7
		その他	5
	鉱物粒子	石英	15
		斜長石	12
		輝石	5
		その他	4
計		100	

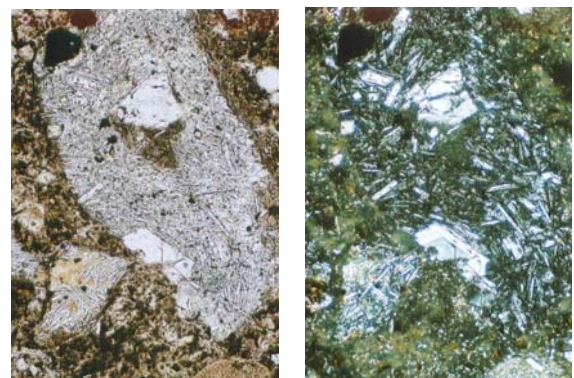


写真-4 安山岩片の偏光顕微鏡写真

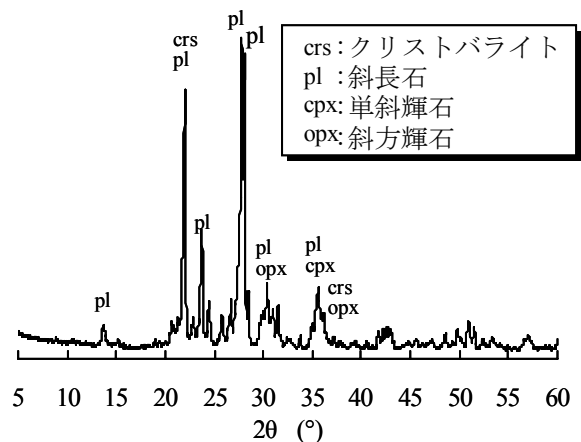


図-3 安山岩片の XRD 分析結果

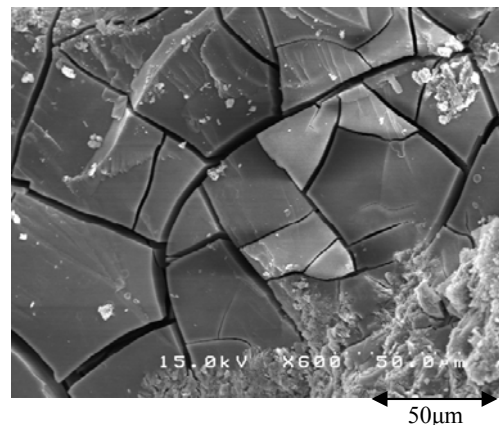


写真-5 安山岩片界面の ASR ゲル

表-2 採取したコアの圧縮強度、静弾性係数および超音波伝播速度

	直径d (mm)	高さh (mm)	h/d	単位容積質量 (kg/m <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	土木学会予測式による 静弾性係数の推定値 (kN/mm <sup>2</sup> )	超音波 伝播速度 (km/s)
上流側コア	45.5	64.7	1.42	2490	56.2	31.2	34.2	4.76
下流側コア	45.5	64.2	1.41	2570	53.3	25.6	33.7	4.98

析結果を示している。図より、クリストバライトの強いピークが確認された。よって現在も安山岩片には未反応シリカ鉱物が多く含有されており、今後 ASR がさらに進行する可能性がある。

## (2) SEM-EDS による ASR ゲルの同定

コア中の安山岩片の周囲に認められた生成物について、SEM-EDS による分析を行った。写真-5 に、安山岩片界面に確認された透明の生成物の SEM 像を示す。生成物はゼリー状を呈しており、この生成物について EDS 分析を行ったところ、アルカリ-カルシウム-シリカ型の ASR ゲルと確認された。この ASR ゲルはコアの表面付近だけでなく、内部においても観察された。

以上から、細骨材中の安山岩片が ASR を生じていることが確認された。さらに、安山岩片中には未反応のクリストバライトが多く含有されており、今後 ASR が進行する可能性がある。

## 4.2 コンクリートの健全性の評価

コンクリートの健全性の評価を行うため、圧縮強度および静弾性係数試験、透過法による超音波伝播試験を行った。表-2 はコアの圧縮強度および静弾性係数、超音波伝播速度を示している。また表中には、土木学会式により圧縮強度から算定した静弾性係数をあわせて示す。

どちらのコアにおいても圧縮強度に大きな違いは見られない。ASR 膨張を生じたコンクリートの圧縮強度はほとんど低下しないが、静弾性係数は 1/3~1/5 程度にまで低下する。本試験より、上流側コアの静弾性係数は推定値に対するほぼ 9 割以上であり、下流側コアについても 7 割程度であった。よって、本試験結果から静弾性係数の低下はさほど見られず、ASR 膨張による劣化は顕在化していないと推察された。

また、超音波伝播速度に関してもどちらのコアも一般に健全なコンクリートの目安とされる

表-3 採取したコアの塩化物イオン濃度およびアルカリ総量

	上流側コア		下流側コア	
	0-10	50-60	0-10	55-65
コア表面からの距離 (mm)				
塩化物イオン濃度 (%)	0.027	0.004	0.021	0.007
アルカリ総量 (%)	0.12	0.09	0.17	0.09

4.00km/sec を上回り、劣化の進行は確認されない。鈴田橋側道橋から採取されたコアは一般的に ASR を生じたコアの状況と異なる傾向を示した。

## 4.3 環境の評価

### (1) 中性化性状

上流側、下流側のコアの中性化深さの平均値はそれぞれ 1.7mm、2.4mm であった。

### (2) 塩化物イオン濃度およびアルカリ総量

表-3 に全塩化物イオン濃度およびアルカリ総量を示す。上流側、下流側ともにコア表面における塩化物イオン濃度がコア内部よりも高く、外来塩分の影響を受けていることが分かる。

アルカリ総量に関しては、上流側、下流側ともにコア表面部において高く、特に下流側における Na<sub>2</sub>O 量が若干高い。表-2 に示した単位容積質量を用いてアルカリ総量を求めたところ、コア内部のアルカリ総量は約 2.2kg/m<sup>3</sup> であり、総量規制値の 3.0kg/m<sup>3</sup> よりも小さい。しかし、下流側コアの表面部におけるアルカリ総量は 4.4kg/m<sup>3</sup> であった。外来アルカリの供給がある場合、ASR は促進されるため、今後、未反応シリカ鉱物による ASR の進行の可能性がある。

## 4.4 鈴田橋側道橋の総合的なひび割れ診断

以上より、ASR 反応性がある安山岩が使用されていること、コアに ASR ゲルが発生していることから、一般的な診断フローでは鈴田橋側道橋のひび割れの原因は ASR と判断される。しかし、静弾性係数、超音波伝播速度が一般的なコ



(a) ハンチへの変位計設置状況



(b) ダイヤフラム及び主桁への標点貼付状況

写真-6 鈴田橋側道橋におけるモニタリング状況

ンクリートとほぼ同等であり、ASR により劣化を生じたコンクリートの劣化状況と異なる。よって、鈴田橋側道橋のダイヤフラムに生じたひび割れは ASR の可能性も否定できないが、ハンチに生じたひび割れは施工時もしくは構造的な要因とも考えられ、現時点では適切な ASR の影響度の判定が困難であると判断した。ただし、今後外来アルカリによる ASR 損傷が生じる可能性はある。また、現時点において構造物にたわみや振動といった性能低下は見られず、早急な対策は必要ないと考えられる。以上を勘案して、将来的に適切な ASR 診断を行うために写真-6 に示すようにハンチとダイヤフラムを対象としてモニタリングを行うこととした。

このように、詳細調査によって ASR と判定されるものが、総合的に判断すると ASR 損傷と対応しないケースが多く存在するといえる。図-1 における一般的な ASR 診断フローでは鈴田橋側道橋は ASR 損傷と診断されるが、必ずしもその判定が正しいとはいえない。また、ASR を生じた構造物の抜本的対策は開発されておらず、早急に対策を講じることが必ずしも良いとはいえない。よって、構造物に顕著な性能低下が見られず、ASR 損傷の判定が困難なケースでは、モニタリングを積極的に行い、適切な ASR 診断および対策の必要性の有無を検討することが必要である。このようなケースを適切に判断することが ASR 損傷を生じた構造物の最適な維持管理につながり、そのためには実構造物におけるモニタリング手法を確立させることが必要である。

## 5. まとめ

本報告は現行の ASR 診断手法の問題点を指摘し、そのあり方について論じた。

変状を生じた構造物の原因調査において ASR 診断方法として詳細調査は非常に有効であるが、反応である ASR と ASR による損傷は必ずしも対応しないため、その解釈によって不適切な維持管理となることを指摘した。ASR を劣化原因として適切に判定するためには、構造物の性能低下が著しい場合を除いてモニタリングにより膨張挙動を捉えることが有効であることを述べた。

ケーススタディとした鈴田橋側道橋は一般的な ASR 診断では ASR 損傷と判定されるが、実際には構造的な要因の可能性が大きいものと推察され、適切に ASR 診断が困難であると判断した。よって、今後モニタリングを行うことで、適切な時期に対策を行うことを提案した。

## 参考文献

- 1) 松下博通ほか: 骨材のアルカリ反応性判定法に関する問題点-ASR 抑制を目指した九州基準にむけて-, コンクリート工学, Vol.43, No.10, pp.9-17, 2005.10
- 2) 山田一夫: 最近の国際的なアルカリ骨材反応対策-関連基準の動向, セメント・コンクリート, No.704, pp.16-25, 2005.10
- 3) 山口順一郎ほか: アルカリ骨材反応により劣化したコンクリート構造物の経時変化, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1861-1866, 2005.6