

北海道におけるアルカリシリカ反応が疑われる コンクリート構造物の目視調査に関する一報告

国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○白井 良明
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 遠藤 裕丈
国立研究開発法人土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 三原 慎弘

近年、寒冷な北海道でもアルカリシリカ反応(以下、ASR)によるコンクリート構造物の劣化が確認されている。また、北海道開発局の橋梁点検でもASRが疑われる橋梁が報告されている。ASRの進行は、一般に温度など環境条件の影響が極めて大きいことが知られている。そこで、現地での温湿度の測定、コア採取による残存膨張試験、アルカリ量などの詳細調査の実施に先立ち、実態把握のため、ASRが疑われる橋梁を抽出し、現地で目視による簡易な調査を行った。

キーワード：アルカリシリカ反応、目視調査、橋台、気温、

1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下、ASR)は、橋梁の三大損傷(アルカリシリカ反応、疲労、塩害)の一つである。

ASRは、骨材に含まれる反応性のシリカ鉱物(SiO_2)とコンクリートに内在もしくは外部から供給されるアルカリイオン(Na^+ 、 K^+)が反応し、骨材周囲に吸水膨張性を有するアルカリシリカゲル(以下、ゲル)が形成され、このゲルが、既に構造物の内部に蓄積されている水分や外部から浸入する水の作用によって大きく膨張し、コンクリートにひび割れを生じさせる劣化現象である。ASRは1940年にアメリカで発見され、日本では1982年に阪神地区でASRによるコンクリートの劣化が発見されて以降、各地で被害が報告されている。近年は、写真-1に示すように寒冷な北海道でも確認されている¹⁾。

新設構造物におけるASR抑制対策は、1989年に旧建設省から通達された「アルカリ骨材反応抑制対策について」に基づいて、(1)コンクリート中のアルカリ総量の規制(3kg/m^3 以下)、(2)抑制効果のある混合セメントの使用、(3)無害な骨材の使用、のうち、いずれか一つを選択することとなっている。しかし、例えば通達がまだ発令されていない時代に無対策のまま造られた既設コンクリート構造物においては、今後、加速度的にASRが進行することが懸念される。

ASRは、反応性を有する骨材、水分、アルカリイオン(Na^+ 、 K^+)の3条件が揃って初めて生じる化学反応である。また、これらの条件に加えて、コンクリート構造物が供用される環境条件(温度、水分、外部からのアルカリイオンの供給等)や拘束条件(外部拘束の有無、鋼材量)の影響も指摘されている²⁾、³⁾。実構造物においては、これら複数の条件が複雑に作用し合っており、その支配

性や重みの違いは明らかになっていない。例えば、直射日光が当たりやすく、高温となる箇所ではひび割れが顕著に現れている。一方、日陰になりやすい箇所や、干満を繰り返すもしくは水中部の岸壁では、ひび割れが少ない。また、擁壁では、直射日光を受ける前面側にひび割れが多く生じているのに対し、背面部では水の供給が十分にあるにもかかわらず、ひび割れは生じていなかったことが報告されている²⁾、³⁾。

なお、環境条件としては温度の影響が極めて大きいことが指摘されている²⁾、³⁾。これが、1980年代に入って広範囲で確認され始めたASRが、近年になって寒冷な北海道で遅れて確認され始めた要因の一つに推察されるが、ASRが生じた北海道内の構造物において、周辺環境など諸条件の影響を評価するには、現地で温湿度の測定、コア採取による残存膨張の確認、アルカリ量の把握などを詳細に行い、整理していく必要がある。

そこで詳細な現地調査に先立ち、北海道開発局の協力を得て、橋梁定期点検記録をもとにASRが疑われる橋梁を任意に抽出し、橋台を対象にひび割れ形態の特徴などを目視によって簡易に調査した。本論文では、その調査結果について述べる。



写真-1 ASR (北海道)

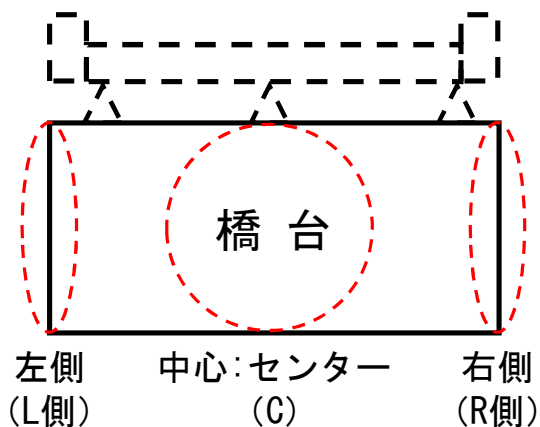


図-1 橋台での目視調査箇所
(28橋梁：起点側28基、終点側27基)

表-1 目視でのASRによるクラックの状態

No.	竣工年	橋台	L側	C	R側
1	—	A1	×	×	×
		A2	○:亀, 段	×	△:亀
2	1953	A1	○:亀, 段	×	×
		A2	×	×	×
3	1956	A1	×	×	△:亀
		A2	×	×	×
4	1961	A1	△:亀	×	△:亀
		A2	△:亀	△:亀	△:亀
5	1962	A1	×	×	×
		A2	×	×	△:亀
6	1962	A1	×	△:鋼	×
		A2	△:亀	×	△:亀
7	1962	A1	×	×	△:亀
		A2	×	×	△:亀
8	1964	A1	△:亀	×	△:亀
		A2	×	×	×
9	1970	A1	○:亀, 段	×	×
		A2	○:亀, 段	×	○:亀, 段
10	1970	A1	○:鋼	○:鋼	○:鋼, 亀
		A2	×	×	×
11	1971	A1	○:亀, 段	×	×
		A2	×	○:亀, 段	×
12	1971	A1	△:亀	×	×
		A2	△:亀	×	×
13	1973	A1	○:鋼, 亀	○:鋼	○:鋼, 亀
		A2	○:鋼, 亀	○:鋼	○:鋼, 亀
14	1973	A1	×	×	△:亀
		A2	○:亀, 段	×	○:亀, 段
15	1975	A1	△:亀	×	△:亀
		A2	○:亀, 段	×	○:亀, 段
16	1978	A1	△:亀	×	△:亀
		A2	△:亀	×	△:亀
17	1978	A1	×	×	○:亀, 段
		A2	×	×	△:亀
18	1982	A1	×	×	×
		A2	○:亀, 段	×	×

2. ASRが疑われる橋台の目視調査

橋梁定期点検記録からASRが疑われる28橋梁を任意に抽出し、傍近で橋台（起点側28基、終点側27基）のひび割れ（以下、クラック）状況を目視で調査した。ここでは図-1に示すように、橋台の左側（以下、L側）、中心（以下、センター）、右側（以下、R側）を対象に、クラックの有無や形態について調査した。また、日射や水の有無についても調査を行った。

(1) 目視調査の結果

a) 調査箇所とひび割れ状況の関係

表-1に目視でのASRによるクラックの状態を示す。

なお、ASR劣化の可能性については「ASRの可能性大」、「ASRが疑われる」、「ASRの可能性は低い」の3段階で評価している。記号は、

○：ASRの可能性大

△：ASRが疑われる

×：ASRの可能性は低い

A1：橋台起点側

A2：橋台終点側

亀：亀甲クラック

段：ひび割れ段差

鋼：鋼材軸方向クラック

を示している。

竣工年別でみると、年代とひび割れ発生傾向の関係に大きな偏りはなかった。これは、いずれも1989年に旧建設省から「アルカリ骨材反応抑制対策について」が通達される以前に竣工された橋梁であり、対策が施されていないため、満遍なくASRが進行していることを示唆する。

表-2はクラックの発生状況を橋台の箇所別に比較したものである。「ASRの可能性大」(○)の件数は、A1ではL側で5基、R側では3基、A2はL側で6基、R側4基でほぼ同一数であった。「ASRが疑われる」(△)および「ASR

表-2 ASRによるクラックの箇所別比較

	橋台	L側	C	R側
○	A1	5 (17.9%)	2 (7.1%)	3 (10.7%)
	A2	6 (22.2%)	2 (7.4%)	4 (14.8%)
△	A1	5 (17.9%)	1 (3.6%)	7 (25.0%)
	A2	4 (14.8%)	1 (3.7%)	7 (25.9%)
×	A1	18 (64.3%)	25 (89.3%)	18 (64.3%)
	A2	17 (63.0%)	24 (88.9%)	17 (59.3%)

※ (%) は割合を示す。

表-3 ASRによるクラックの種類

	橋台	L側				C				R側			
		亀	鋼	亀, 段	亀, 鋼	亀	鋼	亀, 段	亀, 鋼	亀	鋼	亀, 段	亀, 鋼
○	A1	－	1	3	1	－	2	－	－	－	－	1	2
	A2	－	－	5	1	－	1	1	－	－	－	3	1
△	A1	5	－	－	－	－	－	－	－	7	－	－	－
	A2	4	－	－	－	1	1	－	－	7	－	－	－



写真-2 亀甲クラック、ひび割れ段差
(ASRの可能性大)



写真-4 亀甲クラック
(ASRが疑われる)



写真-3 亀甲クラック、鋼材方向クラック
(ASRの可能性大)



写真-5 鋼材方向クラック
(ASRが疑われる)

の可能性は低い」(×)の件数についても、A1、A2のLR側でほぼ同数で同様の傾向がみられた。

センターについては、A1、A2のLR両側ともに「ASRの可能性大」と「ASRが疑われる」の割合は35%程度で、「ASRの可能性は低い」の割合は65%程度であったのに対し、センターは「ASRの可能性大」と「ASRが疑われる」の割合は10%程度にとどまり、「ASRの可能性は低い」は90%と高い値となり、L側・R側と異なる傾向を示した。

b) クラックの形態

表-3および写真-2～6に目視で観察された代表的なクラックの形態を示す。「ASRの可能性大」と診断された箇所では、A1、A2のLR両側ともに亀甲クラックに加えて、ひび割れ段差(写真-2)や鋼材方向クラック(写真-3)の2種類の発生がみられた。「ASRが疑われる」と診断された箇所では、A1、A2もLR両側のすべてで、亀甲クラックの単独発生が観察された(写真-4)。また、A1、A2のLR両側ともに亀甲クラックが多かった。



写真-6 ASRによるクラックは確認出来ない
(ASRの可能性は低い)

一方、センターでは、A1、A2ともに「ASRの可能性大」もしくは「ASRが疑われる」と診断された箇所の双方において、LR両側に比べるとクラックの数が減少していた。また、LR両側とは対比的に亀甲クラックが減少

表4 水および日射が作用している箇所の数

	橋台	L 側				C				R 側			
		水	日射	水+日射	無作用	水	日射	水+日射	無作用	水	日射	水+日射	無作用
○	A1	0	0	5	0	0	0	2	0	0	0	3	0
	A2	0	0	6	0	2	0	0	0	0	0	4	0
△	A1	0	2	3	0	0	0	1	0	0	0	7	0
	A2	1	1	2	0	0	0	1	0	0	1	6	0
×	A1	1	1	16	0	8	1	6	10	1	2	12	3
	A2	1	3	13	0	6	2	7	9	1	4	9	3

し、鋼材方向ひび割れの割合が高い傾向となった（写真-5）。

「ASRの可能性は低い」と診断された箇所は写真-6に示すように、ASRによるクラックは確認出来なかった。

(2) 環境作用の影響に関する考察

前項a)、b)では、ASRの発生箇所、ASRによるクラックの傾向について述べた。本項では水や日射の調査結果をもとに、その影響の有無について考察した。

a) ASRの箇所およびクラックの傾向

表-4に水および日射が作用している箇所数を橋台箇所およびASR劣化の程度ごとに整理したものである。「ASRの可能性大」と診断された箇所（○）では、水および日射が作用する箇所にASRによる劣化が多い傾向にある。また、前節で述べたようにクラックの形態は、亀甲クラックに加えて、鋼材方向クラックやひび割れ段差の2種類のクラックが複合している傾向がみられた。これは水と日射の影響により、乾湿状態が繰り返し作用したことで、ASRが大きく進行したものと考察できる。

「ASRが疑われる」と診断された箇所（△）では、前節で述べたように、亀甲クラックの単独の発生が高い傾向にあった。これらの箇所でも水と日射の作用を受けている傾向が見られ、今後、繰り返し乾湿状態の作用を受け続けることで鋼材方向クラックやひび割れ段差が発生し、ASRが進行することが懸念される。

一方でセンターでは、A1、A2ともに「ASRの可能性大」および「ASRが疑われる」と診断された箇所の双方とも、LR両側に比べるとクラックの数が減少した。これは、床板上の道路が拌み勾配となっており、端部のLR側へ水が流れたこと、また、床板が屋根の役割を果たし、センターの橋台面は日射があたらずに影ができ、無作用の状態となったことで、ASRが潜伏期の段階から進行していないと考察できる。

今回の調査では「ASRの可能性大」もしくは「ASRが疑われる」と診断された橋台の中に「ASRの可能性は低い」と診断された箇所が混在していたが、橋台全体は同配合で施工されている可能性が高いことから環境要因の影響が高く、このような箇所はASRの潜伏期の段階にあると考察できる。

なお、今回は目視調査からの考察であるため、ASRの正確な判定には、残存膨張試験やアルカリ量等の詳細な

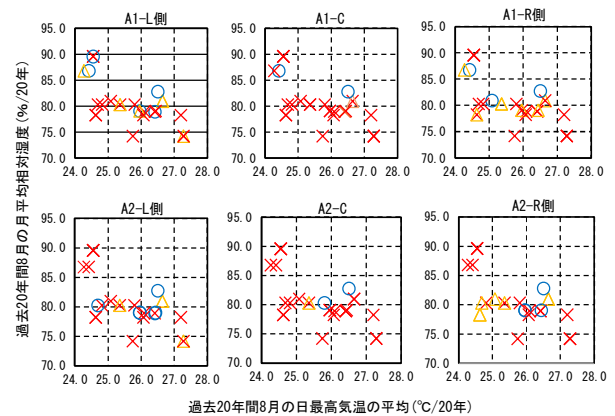


図-2 ASRと温度、湿度との関係

試験が必要である。これについては今後、検討を進めて行きたい。

b) ASRと温度、湿度との関係の推察

今回の調査結果で得られた「ASRの可能性大」、「ASRが疑われる」、「ASRの可能性は低い」、それぞれの橋台と気温、湿度との関係性を調べるために、調査橋梁近郊の気象庁過去の気象データ⁴⁾を用いてプロットしたグラフを図-2に示す。なお、○、△、×の凡例は2章(1)のa)に同じである。なお、気温は、過去20年間8月の日最高気温の平均、湿度は過去20年間8月の月平均相対湿度を用いている。

「ASRの可能性大」、「ASRが疑われる」、「ASRの可能性は低い」、いずれのケースにおいても、気温、湿度との相関関係はなかった。しかし、構造物の位置ではなく近郊の気象庁データを使用しているためデータの重複もある。したがって、現地で気温、湿度を計測し、検討する必要がある。

3. コンクリート表面温度に関する予備実験

自然環境下では、コンクリート表面に直射日光があたるため、外気温とコンクリート表面に温度差が発生すると考えられる。ここでは、今後の構造物での詳細調査に向けての予備実験として、気温とコンクリート表面温度の関係を基礎的に調べるため、寒地土木研究所の屋外の地上と屋上において温度差の簡易的な測定を2024年8月

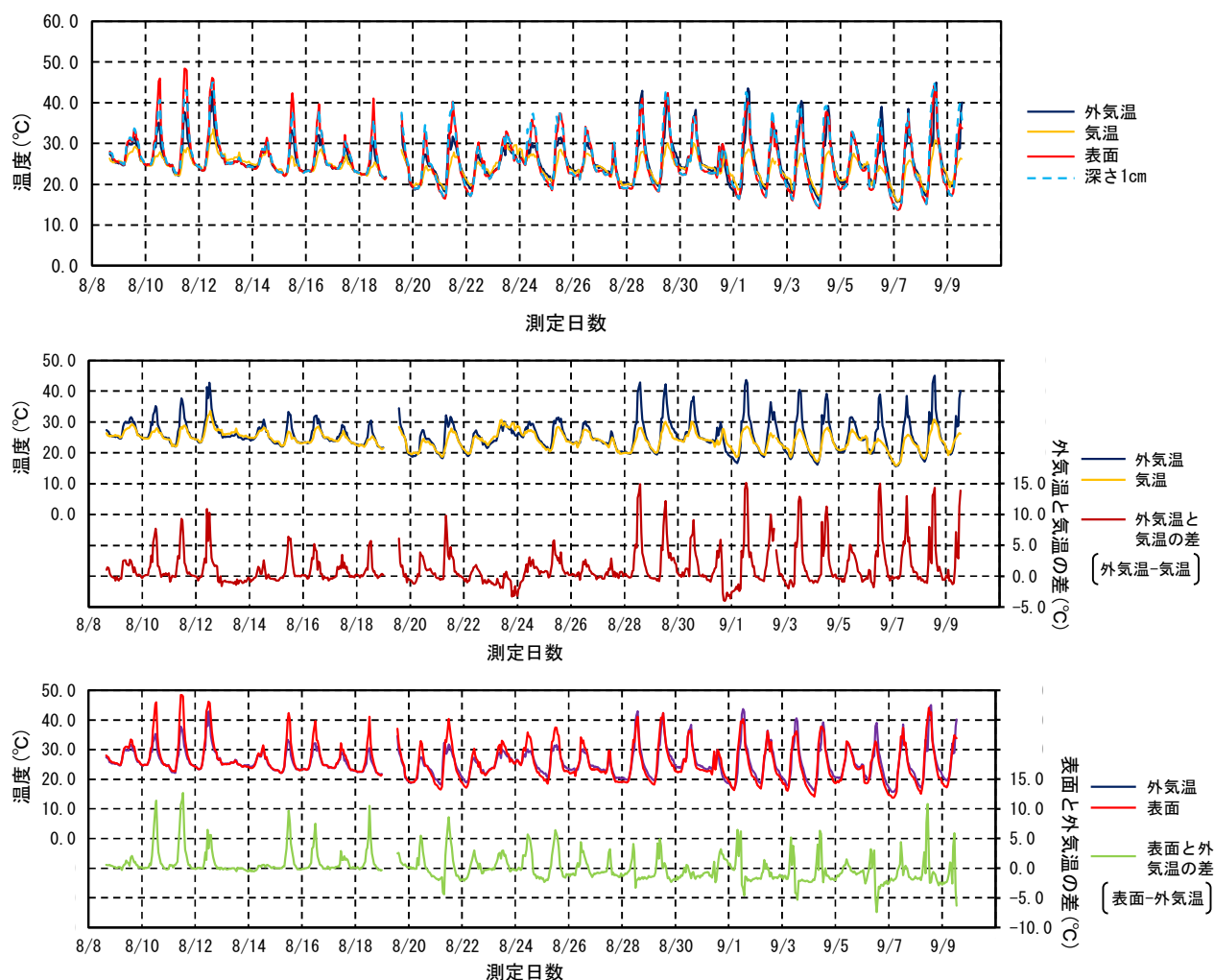


図-3 気温とコンクリートの温度（凡例の「気温」は気象庁発表の値、「外気温」は写真-6に示す屋外の実際の気温を指す、8/18までは地上、8/19以降は屋上で計測）



写真-6 コンクリートの温度測定状況
(測定期間：2024年8月8日～9月9日)

から1ヶ月間行った。

ここでは、写真-6に示す簡易的な温度測定装置を作成し、外気温、コンクリート表面、深さ1cmでの温度の測定を行った。測定結果を図-3に示す。コンクリート表面と深さ1cmでは相違は見られなかった。気象庁の気温と外気温を比べると外気温のほうが高く、最大で15℃程度、外気温が高い日があった。また、コンクリート表

面と外気温の差は8月では最大で10℃程度高い日があったが9月になると5℃程度まで下がった。しかし、外気温が高ければ、北海道においても自然環境下ではコンクリートの表面では温度が約40℃まで上昇する日が多く、8月中旬では約50℃まで上昇することが確認出来た。

4. まとめ

本論文では、橋梁定期点検の記録からASRが疑われる28橋梁を任意に抽出し、傍近で橋台(起点側28基、終点側27基)のひび割れ(以下、クラック)を確認できる橋台において目視調査を行い、ASRが疑われ箇所や、ASRによるクラックによる劣化、水や日射の影響の推察を述べた。結果をまとめると、以下のようになる。

- (1) クラックの状況を橋台の箇所別に比較すると、A1、A2、L・R側による違いはみられなかった。センターについては、調査した全橋台に示す「ASRの可能性は低い」の件数は90%と高い値であった。

- (2) A1、A2橋台いずれも、「ASRの可能性大」、「ASRが疑われる」と判定された部位は、水と日射の影響を受けていた。センターは床板等が屋根の役割を果たし、水や日射が作用していない状況にあった。
- (3) A1、A2橋台いずれも「ASRの可能性大」、「ASRが疑われる」箇所のほかに「ASRの可能性は低い」の箇所もあったが、同配合で施工されていることから、このような箇所はASRの危険性がない訳ではなく、ASRが潜伏期の状態にあると捉えることが適当である。
- (4) 環境要因によっては、北海道においても真夏ではコンクリート表面が40℃程度の温度が続き、約50℃まで上昇する日が確認された。

本論文は橋梁定期点検から、ASRが疑われる28橋梁を任意に抽出し、傍近で橋台のクラックを目視調査を行った。ASRを確定するためには、残存膨張試験やアルカリ量の調査が必要である。今後さらに橋台を絞り込み、ASRが確定した橋台に温度、湿度計を設置し、現地での環境要因の調査を進める予定である。

参考文献

- 1) 遠藤裕丈、長谷川諒、島多昭典：ASRによるコンクリート劣化に及ぼす環境の影響および対策、寒地土木研究所月報「寒地土木技術研究」、No.839、pp、28-33、2023.1
- 2) 米倉亜州夫、伊藤秀敏、政所暢利、：アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張に及ぼす影響、広島工業大学紀要研究編、第41巻、pp、53-60、2007.
- 3) 栗林健一、米倉亜州夫、伊藤秀敏、牛尾正孝：アルカリ骨材反応を生じたコンクリート擁壁も劣化性状、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、pp、585-590、2022.
- 4) 気象庁ホームページ：
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>、2023.12
(2023年12月5日確認)