

アルカリ骨材反応の進展期におけるコンクリートの補修方法について

山城 渉¹

¹兵庫県中播磨県民センター姫路土木事務所 道路第2課(〒670-0947 兵庫県姫路市北条1-98)

アルカリ骨材反応の進展期におけるコンクリートの対策について、これまでは発生要因のひとつである水の進入の遮断を目的とした手法が多く施工されている。しかし、従来の手法では水の完全な遮断が困難であり、補修後に再度アルカリ骨材反応が進展する事例が分かってきた。本文は水の遮断による抑制対策のみならずアルカリ骨材反応を根本的に抑制できる工法を紹介するものである。

キーワード アルカリ骨材反応、亜硝酸リチウム、ASR リチウム工法

1. はじめに

京見橋は兵庫県の姫路市南部の夢前川に架かる主要橋梁である。当橋は1971年に竣工され46年が経過しており、橋台及び橋脚に亀甲状のひび割れ（アルカリ骨材反応（ASR））が発生している。ひび割れの原因はアルカリシリカゲルの吸水による膨張であり、建設当時の生コンの骨材にアルカリ成分と化学反応を起こすシリカ鉱物が含まれていたことに起因している。

従来の補修方法は、アルカリシリカゲルへの水の遮断を目的とした、ひび割れ注入工法と表面被覆工法、(もしくはひび割れ注入工法と表面含浸工法)を実施していた。しかし、従来の工法では補修後に再度ひび割れが進展する事例があることが分かってきた。それは、表面被覆工法の高い遮水性によってコンクリート内部に水分を閉じ込めてしまい、吸水膨張性が残存するアルカリシリカゲルの吸水膨張を助長してしまったせいである。また、橋台の背面や橋脚天端の支承やアンカーバー部などをつたい水が進入するため、水分の進入を完全に遮断することが困難なためである。

本報告の京見橋においても過去にASR対策とし

て表面被覆工法を実施したが、再劣化した。写真は亀甲状のひび割れである。(写真-1)再発の原因は、アルカリシリカゲルの吸水膨張性がコンクリート内部に残存しており、水の進入を遮断できなかったためである。そこで、従来の工法と違い、アルカリシリカゲルそのものを非膨張化させるASRリチウム工法で補修することとした。

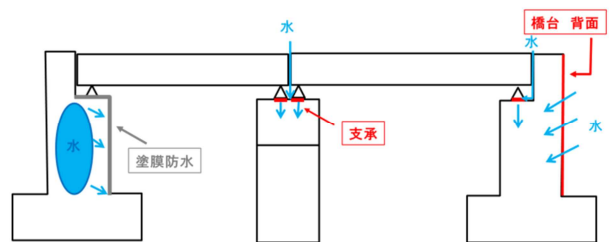


図-1 水分の完全な遮断が困難な事例

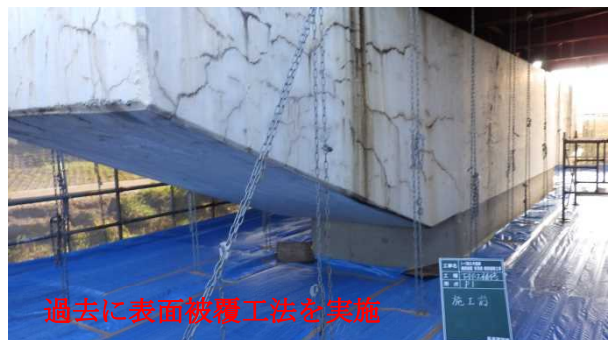


写真-1 京見橋の下部工での再劣化事例

2. アルカリ骨材反応について

(1) コンクリート損傷事例

ASRによるコンクリート構造物の損傷は、ひび割れ、変位・変形、段差、変色、ゲルの滲出など表面化することが多く、中でもひび割れの発生状況が特徴的で、無筋や鉄筋量の少ないコンクリートでは網の目状又は亀甲状のひび割れが多くみられる。また、ASRは構造物の置かれた環境条件(温度、湿度、日照、雨掛かりなど)の影響を大きく受けるため、同一のコンクリート構造物においても部位や位置によってASRの劣化程度が大きく異なる。そのため、橋脚においては柱や梁の中央部より、梁の張出部し部においてひび割れが発生する。京見橋においては橋台の堅壁及び橋脚の梁部で亀甲状のひび割れが発生していた。(写真1)



写真-2 京見橋におけるコンクリート損傷事例

(2) ASRの発生メカニズム

ASRの発生はコンクリートのアルカリ金属イオンと骨材中の反応性シリカ、十分な水の3つの条件が揃ったときに生じる。

コンクリートは本来高いアルカリ性を有しているが、そのアルカリ分がコンクリートに使用されたある種の反応性骨材(シリカ鉱物など)と科学反応を起こし、反応生成物である「アルカリシリカゲル」を生成する。アルカリシリカゲルは強力な吸水膨張性をもっており、コンクリート外部からの水分供給により膨張し、コンクリート内の組織に内部圧力をかける。結果、反応性骨材周囲のセメントペーストを破壊する。さらに時間の経過に伴ってASRが進行すると、反応性骨材の周囲に発生した微細なひび割れがコンクリート表面への巨視的なひび割れへと進展する。

	第1ステージ アルカリシリカゲルの生成	第2ステージ アルカリシリカゲルの膨張
概念図		
反応式	$nSiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 + H_2O$ (シリカ鉱物) (アルカリ) (アルカリシリカゲル)	$Na_2O \cdot nSiO_2 + mH_2O \rightarrow Na_2O \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$ (アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張)

図-2 ASRの劣化進行過程

3. 従来のASR対処方法

(1) 表面被覆工法

目的は外部からの水分侵入の抑制である。ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞した後、コンクリート表面に表面被覆材を塗布し、外部からの水分の侵入を抑制する。

a) 長所

- ・外部からの水分侵入を抑制することにより、以後のアルカリシリカゲルの吸水膨張の進行を抑制する。
- ・表面含浸材よりも遮水性は高い。
- ・施工後の美観性の向上。

b) 短所

- ・ASRの進行速度の低減でありアルカリシリカゲルの吸水膨張性は残存する。
- ・表面被覆材の高い遮水性により、コンクリート内部に水分を閉じ込める可能性がある。
- ・表面被覆材による目視点検の困難性。

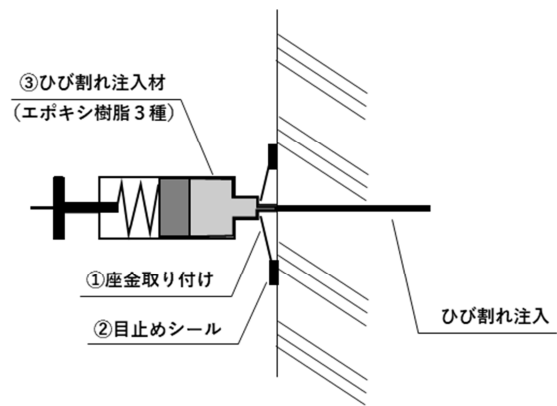


図-3 ひび割れ注入工法

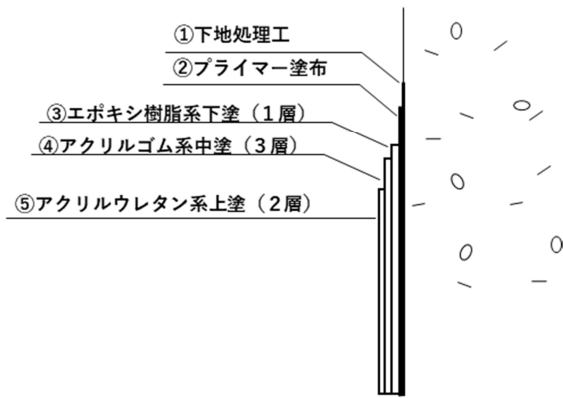


図-4 表面被覆工法

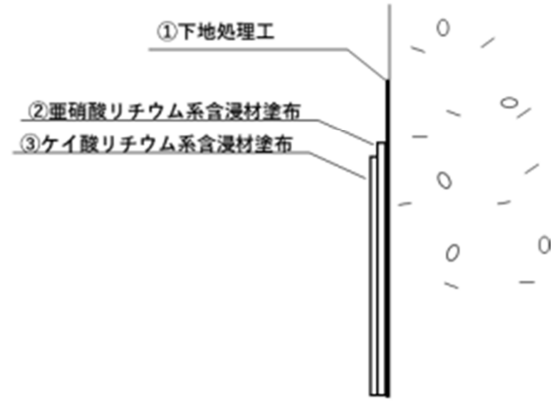


図-6 表面含浸工法

(2) 表面含浸工法

目的は外部からの水分侵入の抑制とアルカリシリカゲルの非膨張化である。ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞し、亜硝酸リチウム^{※注}を塗布含浸させた後、ケイ酸塩素系含浸材を塗布することにより、亜硝酸リチウム浸透範囲のアルカリシリカゲルの非膨張化及び外部からの水分の侵入を抑制する。

a) 長所

- ・ 外部からの水分侵入を抑制する。
- ・ 亜硝酸イオンによる鉄筋の腐食を抑制。
- ・ リチウムイオンによるアルカリシリカゲルの非膨張化。
- ・ 施工後も表面の外観を変えないため、以後のモニタリングが可能。
- ・ 表面被覆材よりコストが安価。

b) 短所

アルカリシリカゲルにおける非膨張化の効果はひび割れ注入部及び表面含浸にて拡散した範囲にとどまり、部材深部でのアルカリシリカゲルの膨張性は残存する。

4. ASR リチウム工法での ASR 対処方法

目的は外部からの水分侵入の抑制とアルカリシリカゲルの非膨張化である。ひび割れ注入工法にてひび割れを閉塞し、コンクリート前面から水平方向にφ20mmの削孔を行い、そこから浸透拡散型亜硝酸リチウムを内部に圧入した後、高分子系浸透性防水材料を塗布することにより、アルカリシリカゲルの非膨張化及び外部からの水分の侵入を抑制する。

a) 長所

- ・ 亜硝酸リチウムをコンクリート全体に供給することができる。
- ・ 亜硝酸イオンによる鉄筋の腐食を抑制。
- ・ リチウムイオンによるゲルの非膨張化。
- ・ 施工後も表面の外観を変えないため、以後のモニタリングが可能。

b) 短所

- ・ 施工工種が多く施工日数がかかる。
- ・ 従来の工法より高価。

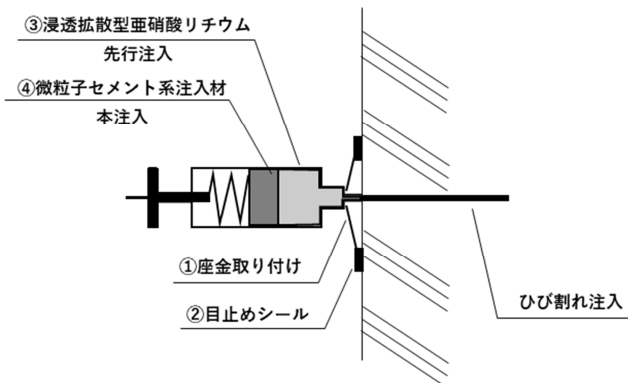


図-5 ひび割れ注入工法

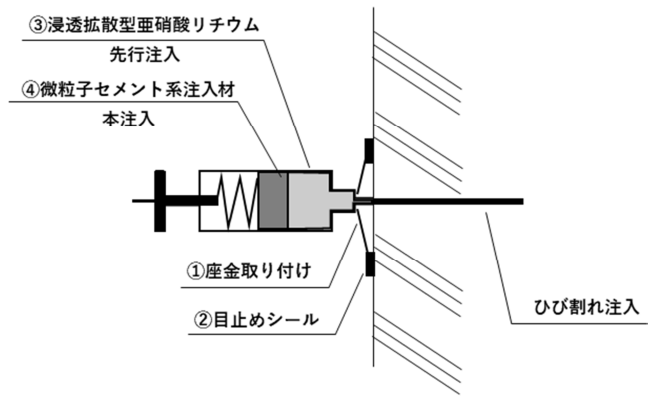


図-7 ひび割れ注入工法

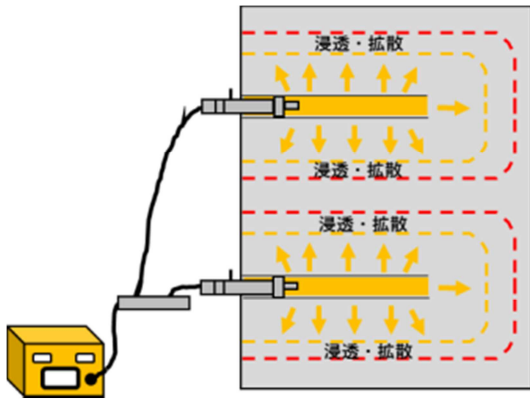


図-8 ASR リチウム工法

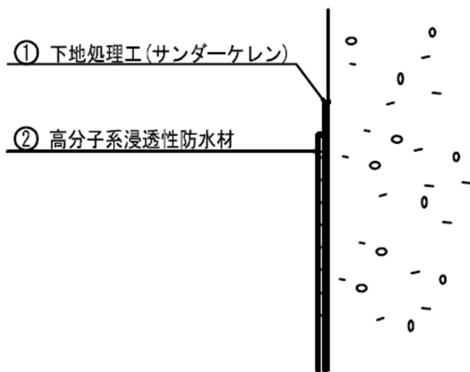


図-9 表面含浸工法

5. まとめ

本報告では、アルカリシリカゲルの吸水膨張性が残存するコンクリートに対して従来の工法とASR リチウム工法での補修を比較した結果を以下にまとめる。

- (1) 表面被覆工法においては表面被覆材の高い遮水性により外部からの水分抑制効果は高いが、いったんコンクリート内部に水が入ると滞留し、再補修の可能性がある。
- (2) 表面含浸工法におけるアルカリシリカゲルの非膨張化の効果は、ひび割れ注入部及び表面含浸にて拡散した範囲にとどまり、コンクリートの部材深部ではアルカリシリカゲルの膨張性は残存し再補修の可能性がある。
- (3) ASR リチウム工法は、コンクリート全体のアルカリシリカゲルを非膨張化させ、ASR の根本的な抑制が期待できる。

6. おわりに

今回紹介した ASR リチウム工法でのコンクリートの補修は、コンクリート全体における ASR を根

本的に抑制が期待できる工法である。当橋においても継続的に変状を観察し、根本的な ASR 対策に繋がったか確認する必要があるが、今回紹介した補修工法は ASR 対策の一つとして大きく貢献できる技術である。本工事の実績が、今後の同様の補修の参考となれば幸いである。



写真-4 京見橋の下部工（施工後）

注釈：

亜硝酸リチウムを用いた補修工法の概要

亜硝酸リチウムイオンの成分であるリチウムイオンが初めて ASR の抑制効果を示されたのが 1951 年の MacCoy の発表した論文である。それ以降多くの実験的研究が国内外でなされ、ASR 膨張が抑制されることが検証されている。

亜硝酸リチウムは (LiNO₂) の正の電荷を帯びたリチウムイオン (Li⁺) は、アルカリシリカゲル (Na₂O・nSiO₂) と反応し、リチウムモノシリケート (Li₂・SiO₂) 又はリチウムジシリケート (Li₂・2SiO₂) に置換され、アルカリシリカゲルを非膨張化させる。

	第2ステージ アルカリシリカゲルの膨張	リチウムによるゲルの非膨張化
概念図		
反応式	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ <p>(アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張)</p>	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \xrightarrow{\text{NaとLiのイオン交換}} \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$

図-10 亜硝酸リチウムを用いた補修概要

参考文献

- 1) (一社)コンクリートメンテナンス協会：コンクリート構造物の維持管理～塩害・中性化・ASR の効果的な補修技術～