

ASRリチウム工法によるコンクリート構造物のアルカリ骨材反応抑制工法の概要

ASRリチウム工法協会
(為石 昌宏*¹, 江良 和徳*²)

1. はじめに

日本で最も多く見られるアルカリ骨材反応は、コンクリート中のアルカリ金属イオン (Na^+ , K^+) と骨材中の反応性シリカ成分が化学反応を起こし、吸水膨張性を有するアルカリシリカゲルを生成するアルカリシリカ反応 (以下、ASRと呼ぶ) である。ASRにより劣化したコンクリート構造物は、ASRひび割れの発生により耐久性能が低下するとともに、コンクリート強度や弾性係数が低下、鉄筋の付着や定着の低下、さらには鉄筋破断など、構造物の耐荷性能の低下までもが懸念される。

ASR劣化したコンクリート構造物の補修対策として防水処理は極めて有効であり、従来、ASR補修対策として表面保護工による水分遮断を目的とした工法が多く選択されてきた。しかし外部からの水分を完全に遮断することは容易ではなく、止水効果の不十分な箇所から水分が浸入してASRが再劣化した事例や、表面被覆材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ることとなり、結果的にASRを助長した事例なども報告されている。このように、環境条件によっては水分遮断を目的とする補修対策に限界が

ある場合もあり、ASRを根本から抑制する手法が望まれていた。

そのような中、近年ではリチウムイオンを用いてASR膨張性そのものを抑制する手法が目立ってきている。本稿では、リチウムイオンをコンクリート内部へ圧入する補修工法、『ASRリチウム工法』の概要と施工事例を紹介する。

2. ASRリチウム工法の概要

2.1 リチウムイオンによるASR抑制

リチウムイオンにASR膨張抑制効果があることは国内外の実証的論文により多数報告されているが、その抑制メカニズムに関しては不明な点が残されている。現在、抑制メカニズムの有力な一説として、反応性骨材周囲に生成したアルカリシリカゲル ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) にリチウムイオン (Li^+) が作用し、ゲル中の Na^+ と Li^+ とがイオン交換することにより、水に対して膨張性を示さないリチウムシリケート ($\text{Li}_2\text{O} \cdot x\text{SiO}_2$) に変化するという説が提案されている (図-1 参照)。

リチウムイオンを用いたASR補修工法には、塗布工法、ひび割れ注入工法および内部圧入工法の3種類がある。塗布工法は、リチウムイオンをコンクリート表面に塗布、含浸させることによってコンクリートのASR膨張を抑制する工法である。ひび割れ注入工法

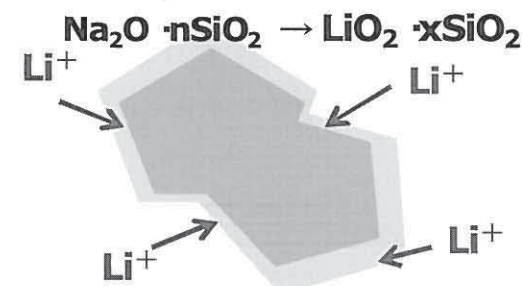


図-1 リチウムイオンのASR抑制メカニズム

は、低圧注入器を使用してひび割れからリチウムイオンを注入する工法で、塗布工法と併用されることが多い。ただしこれらの工法ではリチウムイオンの供給範囲がコンクリート表層部およびひび割れ周辺部に限定されるという問題が指摘されており、それらに代わり、コンクリート内部にまでリチウムイオンを供給できる内部圧入工法『ASRリチウム工法』が開発、実用化されるに至った。

2.2 工法概要

ASRリチウム工法は、リチウムイオンによるASR膨張抑制効果を最も積極的に活用するASR補修工法である。まず、ASR劣化した構造物の表面に小径の孔 (圧入孔) をコアカッターにて削孔し、そこから亜硝酸リチウムを主成分とする抑制剤 (以下、抑制剤と呼ぶ) を加圧注入 (圧入) する。これにより、抑制剤がコンクリート内部の微細ひび割れや連続空隙などを通じてコンクリートの広い範囲に浸透拡散し、アルカリシリカゲルに到達することによって、以後のASR膨張が抑制される。また、抑制剤中の亜硝酸イオンには鉄筋の不動態皮膜を再生する効果があるため、鉄筋の防錆作用をも期待することができる。したがって、ASRと塩害の複合劣化に対しても有効な工法であるといえる。図-2 にASRリチウム工法のイメージ図を示す。

2.3 圧入仕様の設計

ASRリチウム工法の圧入仕様は、対象構造物の劣化の程度に応じてそれぞれ定める。以下に本工法の圧入仕様の設計概要を示す。

(1) 抑制剤の注入量

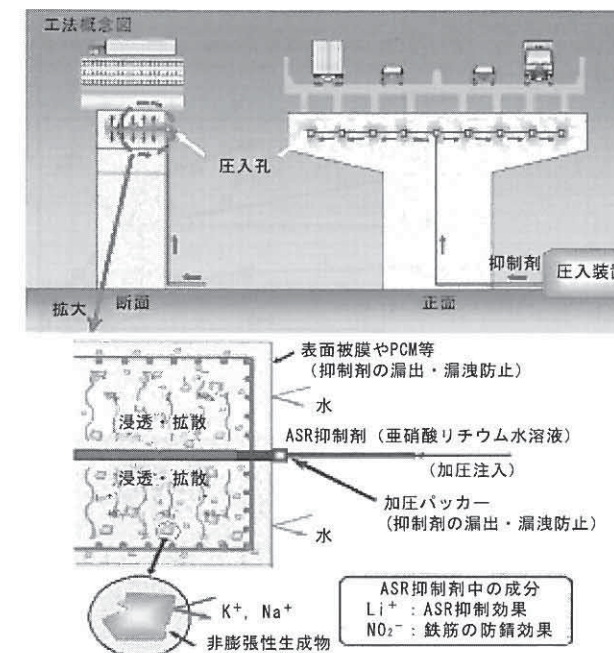


図-2 ASRリチウム工法のイメージ図

ASR膨張を抑制するために必要となるリチウムイオン量に関する既往の研究成果に基づき、コンクリート中のアルカリ総量に応じて抑制剤の量を決定する。すなわち、対象構造物より採取したコア試料のアルカリ量分析結果から、アルカリ総量 (単位体積あたりの Na^+ および K^+ の量を Na_2O に換算した質量) を算出し、その Na^+ に対して抑制剤の Li^+ がモル比で等価となる量 (Li/Na モル比=1.0) を設計抑制剤量として構造物に圧入する。たとえば、対象構造物のアルカリ総量が Na_2O 換算で $5.0\text{kg}/\text{m}^3$ の場合、抑制剤 (亜硝酸リチウム40%水溶液) の設計注入量は $21.4\text{kg}/\text{m}^3$ となる。

(2) 設計注入圧力

設計注入圧力は、抑制剤をコンクリート内部に効果的に浸透させることができ、かつASR構造物内部のひび割れを助長することのない範囲に設定する必要がある。供試体実験および試験施工の結果、設計注入圧力を $0.5\text{MPa} \sim 1.5\text{MPa}$ の範囲に設定すると、抑制剤の過度な漏出・漏洩もなく抑制剤を所定の範囲内に浸透させることができることを確認している。また、ASRにより強度が低下している構造物も多数存在することから、コンクリートコアの圧

筆者：*1 (ためいし・まさひろ) ASRリチウム工法協会、*2 (えら・かずのり) ASRリチウム工法協会

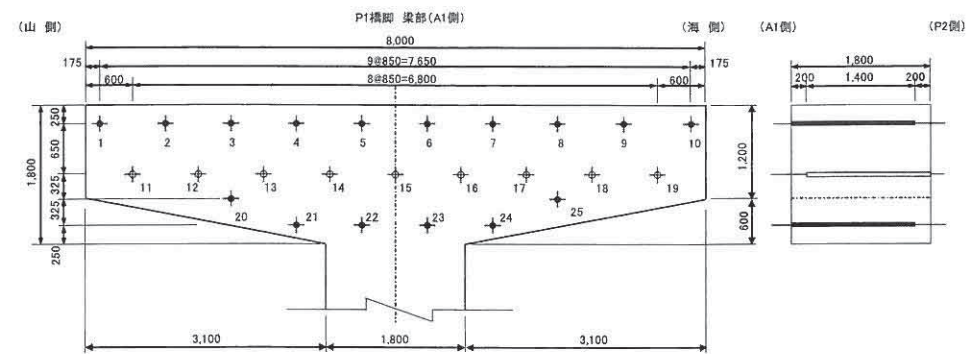


図-3 T型橋脚梁部の配孔例



写真-1 陶橋—施工前のASR劣化状況



写真-2 陶橋—施工後4年経過した外観状況

縮強度結果から推定される引張強度に対し、安全率を考慮して3で除したものを上限注入圧力として注入圧を制限している。たとえば、現状の圧縮強度が $21\text{N}/\text{mm}^2$ の場合、上限注入圧力は $0.7\text{N}/\text{mm}^2$ となる。

(3) 圧入孔間隔、圧入期間

圧入孔の間隔は、これまでの施工実績を基に500mm～750mmを標準とし、抑制剤が均一に行き渡るように千鳥配置とする。図-3にT型橋脚梁部の配孔例を示す。

圧入期間は特に対象構造物の劣化程度によって大きく左右される項目であり、ASR劣化が進行している構造物ほど圧入期間が短くなる傾向にある。これまでの施工実績によると、10～60日程度（8時間/日とした場合）と大きくばらつく結果となっている。当協会では、これまでの施工データからコンクリートの劣化程度、注入圧力および注入速度の関係を表す経験式を提案し、設計抑制剤量を圧入するのに要する時間（圧入期間）を算出し、管理を行っている。

3. 施工現場の事例と効果

3.1 適用例①～橋台への適用と4年後の状況

(1) 対象構造物のASR劣化状況（補修前）

本工法を国道32号の陶橋補修工事（官庁工事）に適用した。補修前のA1橋台の劣化状況を写真-1に示す（2005年9月撮影）。亀甲状のひび割れが全面に発生し、ひび割れの一部からは白色ゲル析出および漏水が認められた。また、躯体から採取したコア試料の圧縮強度は $35.4\text{N}/\text{mm}^2$ と設計基準強度を十分満足していたにもかかわらず、静弾性係数は $12.7\text{kN}/\text{mm}^2$ と標準値に比べて半分以下にまで低下していた。アルカリ含有量は $4.6\text{kg}/\text{m}^3$ 、残存膨張量はカナダ法で0.112%の膨張率があり、今後もASRによる膨張、劣化が予想されたため、本工法によるASR補修対策が採用された。

(2) 4年後の状況

本工法施工後4年が経過した外観状況を写真-2に示す（2009年8月撮影）。本補修工事では表面に表面被覆工を施していないため、コンクリート表面

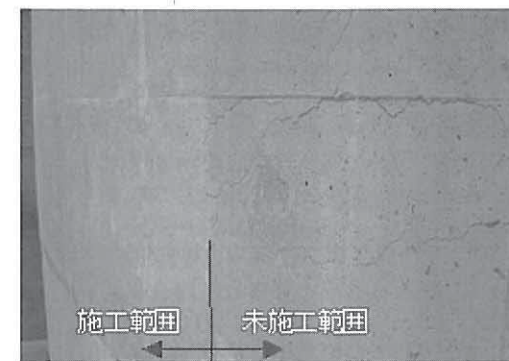


写真-3 陶橋 施工境界付近の状況

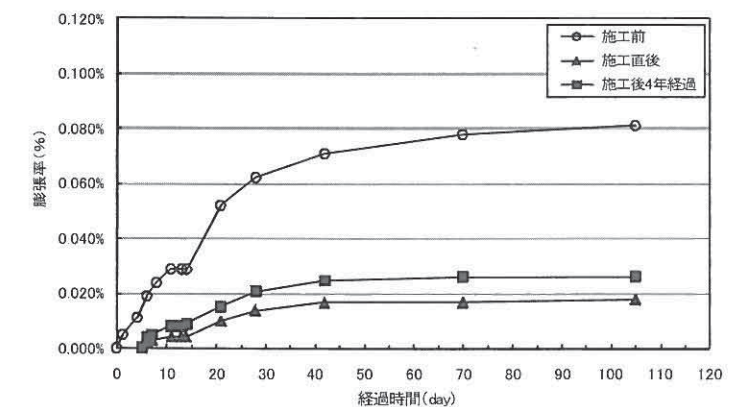
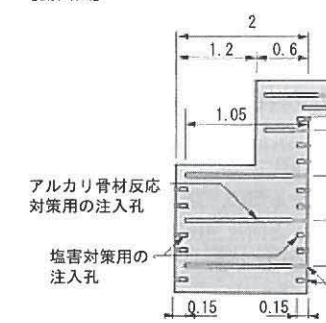


図-4 施設内擁壁の残存膨張率の経時変化（JCI-DD2法）

●注入孔の配置図

〔側面図〕



〔注〕図はP1橋脚の梁部を示す

〔正面図〕

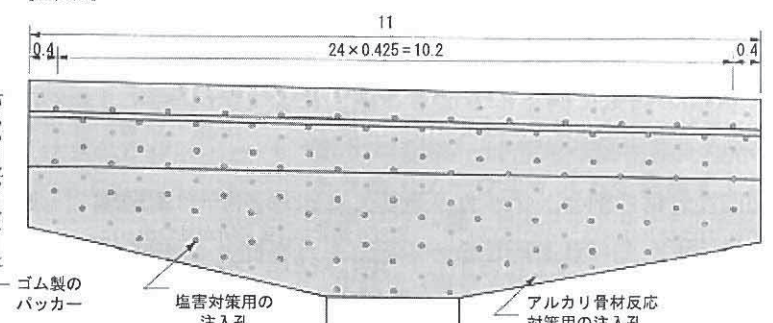


図-5 時御前P1橋脚梁部の配孔図

の状況を目視調査することができる。その結果、再劣化またはその前兆とみなせるようなひび割れ等の外観変状は認められなかった。抑制剤の内部圧入に先立って幅0.2mm以上のひび割れに超微粒子セメント系注入材を注入した箇所に着目すると、注入材がひび割れ追従性も持たないにもかかわらず、健全な状態が保たれていた。また、A1橋台側面の施工範囲と未施工範囲の境界付近の状況（写真-3）に着目すると、未施工部分には幅2.0mm以上のひび割れが見られたが、本工法施工範囲には新たなひび割れなどの変状は見られていない。これらの結果から、本工法を施工してから現在までの4年間、ASRの進行をうかがわせるような変状やその兆候は認められないことを確認した。

3.2 適用例②～4年経過した構造物の残存膨張量

本工法を某施設内の擁壁補修工事（試験施工）に適用した。本工法の施工直前、施工直後および施工後4

年経過時にそれぞれ躯体から採取したコア試料にて実施した残存膨張量試験の結果（JCI-DD2法）を図-4に示す。まず、施工前と施工直後の全膨張量の結果を比較すると、施工前では0.081%を示していたのに対し、施工後は0.018%となっており、施工前の22.2%にまで低減されていた。この低減幅がASRリチウム工法によるASR膨張抑制効果とみなすことができる。次に、施工後4年経過時の全膨張量を見ると、施工直後の数値とほぼ同等の0.025%を維持しており、依然として高いASR膨張低減効果が持続していることを確認することができた。

3.3 適用例③～ASRと塩害の複合劣化対策

本工法を国道2号の地御前跨線橋補修工事（官庁工事）に適用した。本橋はASRが「加速期」の段階であり、劣化がさらに進行することが予想された。また、海岸から200mに位置しており、鉄筋腐食は生じていないものの、鉄筋位置で約 $4.2\text{kg}/\text{m}^3$ の塩化物イオン

量を含有していた。そのため、ASR劣化の補修に加えて、今後発生が予想される塩害劣化にも対応するために本工法が採用された。

本工事においては、ASR対策として通常のコンクリート内部への抑制剤の圧入に加え、かぶり部に浅い圧入孔を増設することにより、鉄筋周囲にも抑制剤が均一に行き渡るようにした(図-5参照)。設計抑制剤量は、まずASR対策としてLi/Naモル比を等価とする抑制剤量を算出し、次いで塩害対策としてLi/Clモル比を等価とする抑制剤量を算出して、その両者を考慮して定めた。

4. まとめと今後の課題

ASRは、人間の病気に例えるのなら「癌」に似ている。その発生時期や進行具合は、環境やコンクリート配合(反応性骨材の割合、アルカリ量等)により多種多様であり、また、一旦進行し始めると、それを抑制することが極めて困難な場合が多い劣化現象である。本工法は、そのようなASRに対して、抜本的な膨張抑制が期待できる極めて有効な補修対策のひとつであると考えられる。しかし、様々なASRの劣化状況や環境に応じて、その状況を的確に把握したうえで、対策工法を選択し、かつ組み合わせで補修することにより、最適な維持管理を実施していくには、今後、さらなる研究が必要なところであると考えられる。

今後、本工法がわが国に多数存在すると言われる

ASR構造物の延命化、ひいては高品質な社会資本の維持に貢献できれば幸いである。

5. ASRリチウム工法の概要と活動状況

ASRリチウム工法協会(2005年7月29日発足、会長 齊藤久克(㈱鴻池組) <http://www.asrli.jp/>)は、ASRにより劣化したコンクリート構造物の補修工法である『ASRリチウム工法』の普及拡大に向け、ゼネコン、専門工事会社、メーカーらで組織する。平成17年より毎年、主要都市にて「コンクリートの劣化に関するフォーラム」と題した技術講習会を開催しており、平成21年度は札幌から那覇までの全国8都市においてフォーラムを実施した。当協会員として今年度新たに3社が加わり、現在の会員は以下の通りとなっている。なお、本工法の開発にあたっては、本協会の技術顧問でもある京都大学大学院の宮川豊章教授のご指導を頂いた。

<正会員>

株式会社鴻池組、極東興和株式会社、株式会社大阪防水建設社、株式会社ジオダイナミック、福德塗装工業株式会社、井上建設株式会社、広島ガステクノ株式会社

<賛助会員>

大日本塗料株式会社、三興塗料株式会社、日産化学工業株式会社、日星産業株式会社、田島ルーフィング株式会社

■2010年度・河川技術に関するシンポジウムー新しい河川整備・管理の理念とそれを支援する河川技術に関するシンポジウム■：土木学会

○開催日=2010年6月3日・4日 ○場所=東京大学農学部(東京・本郷) ○問い合わせ先=国土技術政策総合研究所・藤田(☎029-864-2211)

■第70回空間研究小委員会研究会「四川大地震からの復興ー都市から建築へー」■：日本建築学会

○開催日=2010年6月12日 ○場所=建築会館3階会議室(東京・三田) ○問い合わせ先=日本建築学会研究事業グループ・森田(☎03-3456-2057)

■講演会「国際建設マネジメント論ー日本の建設産業の国際化のためにー」第3回「先進諸国はなぜ国際競争力があるのか?ー欧米企業の事例をもとに考えるー」■：土木学会

○開催日=2010年6月14日 ○場所=土木学会講堂(東京・四谷) ○問い合わせ先=土木学会国際室・柳川

■日本材料学会関東支部 講演と見学の会「首都高速道路中央環状品川線トンネル工事」■：日本材料学会

○開催日=2010年6月15日 ○場所=首都高速道路中央環状品川線トンネル工事現場(東京・品川シーサイド) ○問い合わせ先=ものづくり大学技能工芸学部建築技能工芸学科・高橋(e-mail:takahashi@iot.ac.jp)

■PC構造物の復元設計手法の確立研究委員会報告会■：(社)プレストコンクリート技術協会

○開催日=2010年6月16日 ○場所=タワーホール船堀 2階イベントホール(東京・船堀) ○問い合わせ先=(社)プレストコンクリート技術協会(☎03-3260-2521)

■シンポジウム「暑中コンクリート工事に関する技術の現状と対策」ー大阪広域生コン協組における実機での凝結試験結果の報告を中心としてー■：日本建築学会近畿支部

○開催日=2010年6月23日 ○場所=ヴィアール大阪(大阪市) ○問い合わせ先=日本建築学会近畿支部(児玉・森田)(☎06-6443-0538)

■第83回北海道支部研究発表会■：日本建築学会北海道支部

○開催日=2010年7月3日 ○場所=室蘭工業大学(室蘭市) ○問い合わせ先=日本建築学会北海道支部(☎011-219-0702)

■コンクリート工学年次大会2010(さいたま)

■：日本コンクリート工学会

○開催日=2010年7月7~9日 ○場所=大宮ソニックシティ(さいたま県大宮市) ○問い合わせ先=日本コンクリート工学会

■2010年度北陸支部大会研究発表会■：日本建築学会北陸支部

○開催日=2010年7月18日 ○場所=新潟工科大学(新潟県柏崎市) ○問い合わせ先=日本建築学会北陸支部(☎076-220-5566)

■「積雪寒冷地コンクリート複合劣化要因研究委員会」活動報告会■：日本コンクリート工学会北海道支部

○開催日=2010年7月22日 ○場所=(独)土木研究所 寒地土木研究所1階講堂(札幌市) ○問い合わせ先=(独)寒地土木研究所 耐寒材料チーム・草間(☎011-841-1719)

■コンクリート診断士試験■：日本コンクリート工学会

○開催日=2010年7月25日 ○場所=札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、広島県福山市、高松、福岡、沖縄 ○問い合わせ先=日本コンクリート工学会

■「コンクリート価値復活戦略ーカーボンニュートラル・ノーウェイストを目指す」に関するシンポジウム■：日本コンクリート工学会

○開催日=2010年7月30日 ○場所=東京大学弥生講堂(東京・東大前) ○問い合わせ先=日本コンクリート工学会学術課「コンクリート復活シンポ」係(☎03-3263-7204)

■第5回アジア土木技術国際会議■：

○開催日=2010年8月8~12日 ○場所=シドニーコンベンションセンター(シドニー市・オーストラリア) ○問い合わせ先=土木学会国際室(柳川)

■第45回地盤工学会研究発表会■：地盤工学会

○開催日=2010年8月18~21日 ○場所=愛媛大学城北キャンパス(松山市) ○問い合わせ先=地盤工学会一般事業課(☎03-3946-8673)

■The 35th Conference on OUR WORLD in CONCRETE & STRUCTURES■：

○開催日=2010年8月26~27日 ○場所=シンガポール ○問い合わせ先=CI-Premier Pte Ltd.(☎+65 67332922)

【日本建築学会】

<http://www.aij.or.jp/>
東京都港区芝5-26-20
☎03-3456-2051 FAX03-3456-2058

【土木学会】

<http://www.jsce.or.jp>
東京都新宿区四谷1丁目無番地
☎03-3355-3441

【日本コンクリート工学会】

<http://www.jci-net.or.jp>
東京都千代田区麹町1-7
相互半蔵門ビル12F
☎03-3263-1571 FAX03-3263-2115

【セメント協会】

<http://www.jcassoc.or.jp/>
東京都中央区八丁堀4-5-4

ダヴィンチ桜橋7階

☎03-3523-2701 FAX03-3523-2700

【全国生コンクリート工業組合連合会】

<http://www.zennama.or.jp>

東京都中央区八丁堀1-6-1

協栄ビル4階

☎03-3553-7231 FAX03-3553-9590

【プレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)】

<http://www.pcken.or.jp/>

東京都新宿区津久戸町4-6

第3都ビル

☎03-3260-2535 FAX03-3260-2518

【プレストレストコンクリート技術協会】

東京都新宿区津久戸町4-6

第3都ビル

☎03-3260-2521 FAX03-3235-3370

【コンクリートパイル建設技術協会

(COPITA)】

e-mail:copita@c-pile.or.jp

東京都港区浜松町2-7-15

日本工築2号館3階

☎03-5733-5881 FAX03-3433-5414

【日本建材産業協会】

<http://www.jkiss.or.jp/>

東京都中央区日本橋浜町2-17-8

浜町花長ビル ☎03-5640-0901

【セメント新聞社】

<http://www.cement.co.jp/>

東京都中央区京橋3-12-7

京橋山本ビル6階

☎03-3535-0621 FAX03-3535-5632