

亜硝酸リチウム高圧注入によるアルカリ骨材反応抑制工法（リハビリ高圧注入工法）の開発

江良 和徳^{*1}， 岡田 繁之^{*2}， 三原 孝文^{*3}， 河原 健児^{*4}

Control of the Alkali-Aggregate Reaction by Nitrous Acid Lithium Power Injection

Kazunori ERA^{*1}, Shigezuki OKADA^{*2}, Takafumi MIHARA^{*3} and Kenji KAWAHARA^{*4}

要旨：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補修工法として，コンクリート内に亜硝酸リチウムを高圧で注入するリハビリ高圧注入工法を開発した．注入圧力およびコンクリートの物性が亜硝酸リチウムの浸透性能に与える影響を供試体実験により確認し，注入圧力を 1.0MPa，注入期間を最大 21 日間，注入間隔を 500mm と設定した．島根県の日御碕砂防擁壁の補修工事として本工法が初採用され，実構造物のアルカリ骨材反応対策工事として実施した．

キーワード：アルカリ骨材反応，亜硝酸リチウム，高圧注入，浸透性能

1. はじめに

リチウムイオンにアルカリ骨材反応（以下，ASR と称す）を抑制する効果があることが知られており¹⁾，亜硝酸リチウムを表面に塗布，または断面修復材に亜硝酸リチウムを混入してコンクリートへ含浸させる工法などが実用化されている．しかしこれらの工法ではリチウムイオンの浸透速度が遅いため，供給範囲がコンクリート表面付近に限られるという難点がある．

そこでコンクリート内に亜硝酸リチウムを高圧で注入するリハビリ高圧注入工法を開発し，本工法によるリチウムイオンの浸透性能を供試体実験によって確認した．

2. 工法概要

リハビリ高圧注入工法は，コンクリートに 20mm の注入孔を 500mm 間隔で削孔し，そこから

亜硝酸リチウム水溶液を 0.5～2.0MPa の圧力で注入することにより，コンクリート全体にリチウムイオンを供給する工法である．工法概要図を図-1 に示す．ASR により反応性骨材の周囲に

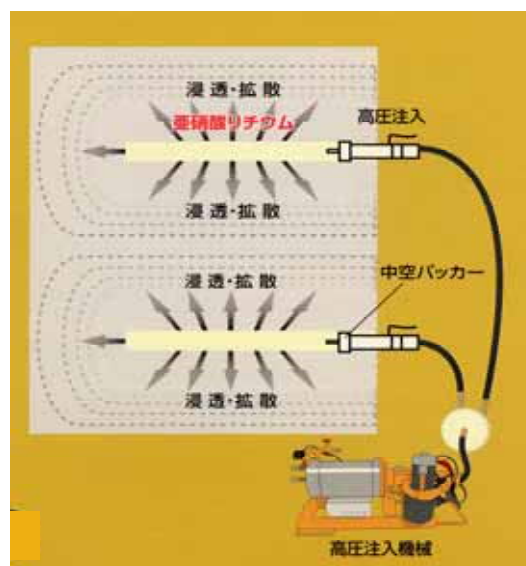


図-1 工法概要図

- *1 極東工業株式会社 技術本部技術部補修課
 *2 極東工業株式会社 技術本部技術部補修課 課長
 *3 極東工業株式会社 技術本部技術部補修課
 *4 福德塗装工業株式会社 コンクリート補修部 次長

生成したアルカリ・シリカゲル ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$) と、本工法により供給されたリチウムイオン (Li^+) との反応により骨材の膨張反応が収束するため、以後、コンクリートのひび割れは進行しない。これがリチウムによる ASR 抑制のメカニズムである。

本工法はバッテリー駆動の油圧シリンダーにより加圧するシステムを採用しているため、施工機械が非常にコンパクトであり、かつ、施工中に騒音・振動が発生しないという特長がある。施工機械を図-2 に示す。



図-2 施工機械

注入圧力およびコンクリートの物性が亜硝酸リチウムの浸透性能に与える影響を確認するために、供試体による要素実験を行った。実験に用いた供試体は W/C = 40, 45, 55, 65% の 4 種類の配合とした 300×H300 のコンクリート円柱とし、配合毎に 20 本、合計 80 本製作した。供試体の配合を表-1 に示す。

これらの供試体の上面側から亜硝酸リチウム 40% 水溶液を 1.0MPa の圧力で注入し、所定時間

表-1 供試体の配合

W/C (%)	細骨材率 (%)	単用量(kg/m ³)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	AE 減水剤
40	44	165	413	413	786	2.48
45	45.5	165	366	366	830	2.20
55	47	169	307	307	874	1.84
65	50	174	268	268	942	1.61

の注入完了後、速やかに供試体を割裂させ、亜硝酸リチウムの浸透距離を計測した。注入時間は 0.5, 1・2・4・8・12 時間, 1・2・4・8 日の計 10 ケースとした。浸透確認は、割裂面への呈色液 TDI (トルエン・ジ・イソシアナート) 噴霧による呈色反応試験にて行った。無色透明の呈色液 TDI は亜硝酸リチウムと反応することにより茶褐色へと変色する性質を持つ。呈色反応試験の状況を図-3 に示す。

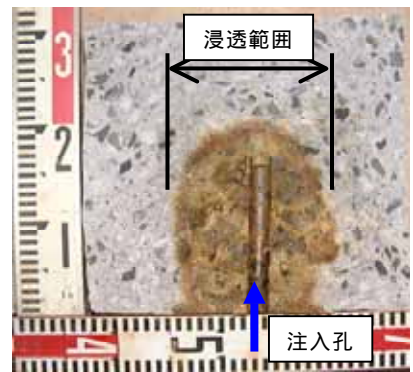


図-3 呈色反応試験状況

3. 供試体実験結果

W/C=65% のケースにおける亜硝酸リチウムの浸透距離と経過時間 (注入時間) との関係を図-4 に示す。このグラフの横軸を経過時間の平方根とすると、浸透距離と (経過時間) との間に概ね比例関係が見出せる (図-5)。

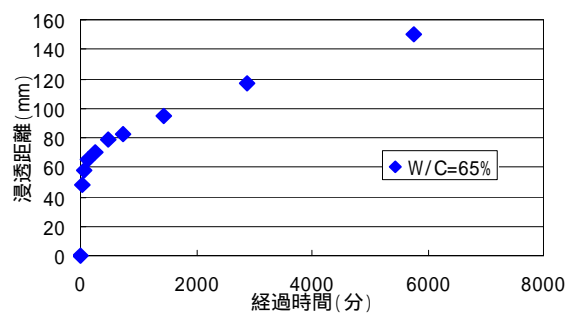


図-4 浸透距離と経過時間との関係

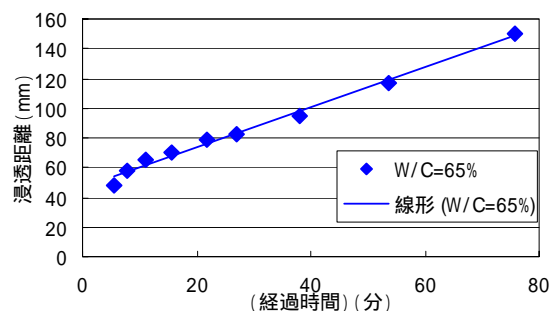


図-5 浸透距離と (経過時間) との関係

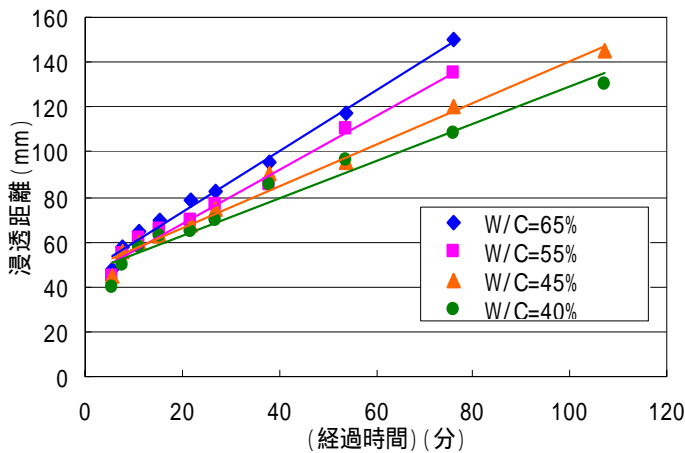


図-6 浸透距離と（経過時間）との関係（全ケース）

全ケースの浸透距離と（経過時間）と関係を図-6に示す。この図より、同一の注入圧力条件下（本実験では1.0MPa）における亜硝酸リチウムの一定距離の浸透に要する時間は、W/Cが大きなコンクリートほど短くなっている。すなわち、コンクリートのW/Cが大きくなるほど亜硝酸リチウムが浸透しやすいという傾向が読み取れる。さらに、浸透距離と（経過時間）の関係式（線形近似式）を導くことにより、亜硝酸リチウムを任意の範囲に浸透させるのに必要な注入時間の目安が算出できる。例えば、W/C=65%の場合、注入孔から250mm浸透させるのに必要な時間は約16日となる。

亜硝酸リチウムは注入孔位置を中心とする同心円状に浸透し、注入時間が長くなるとその同心円が拡大するように浸透が進む状況が確認できた。

5. 試験施工

供試体実験の結果を踏まえ、打設後20年が経過した矩形コンクリートブロック（ $W=900 \times H=800 \times L=3000\text{mm}$ 、圧縮強度 $\approx 29 \sim 31\text{N/mm}^2$ ）3体を用いて高圧注入試験施工を6セット行い（図-7）施工上最適となる注入時間と注入孔間隔を検討した。注入圧力を1.0MPaとし、注入開始から7、14、21日後に、亜硝酸リチウムが注入孔位置から浸透した距離を計測した。計測結果を図-8に示す。250mm浸透させるために要し



図-7 試験施工状況

た日数は14日から21日の範囲となった。これは供試体実験におけるW/C=65%（圧縮強度 $\approx 30\text{N/mm}^2$ に相当）のケースでの線形近似式から算出される浸透距離と注入時間との関係と概ね一致する。

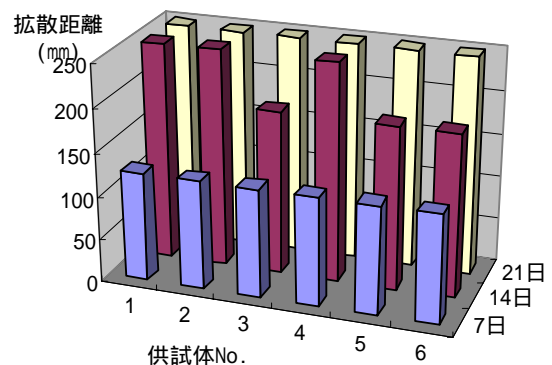


図-8 浸透距離と所要日数の関係

以上の結果より、圧縮強度 30N/mm^2 程度までのコンクリート構造物（RC橋脚や擁壁など）に本工法を適用する場合、亜硝酸リチウムの注入孔間隔を500mmと設定し、1.0MPaの圧力で最大21日間連続注入することにより、コンクリート全体に亜硝酸リチウムを満遍なく供給できると判断した。

本論で述べた供試体実験により、同一の圧力で亜硝酸リチウムを注入する場合において、W/Cが大きなコンクリートほど浸透しやすくなる傾向が見られ、浸透距離と注入時間との間の相関関係を見出すことができた。また、要素実験結果を基に実構造物での試験施工を実施し、注入圧力、時間、注入孔間隔などの施工パラメータを検討した。これらの知見をもとに、平成15

年 8 月に実構造物（日御碕砂防擁壁）に対して
本工法による ASR 補修工事を施工した。

6. 日御碕擁壁施工報告

6.1 施工概要

工 事 名：日御碕地区砂防修繕工事（急傾斜）

工事場所：島根県簸川郡大社町日御碕地区

発 注 者：島根県出雲土木建築事務所

工 期：平成 15 年 8 月～平成 15 年 12 月

施工内容：コンクリート擁壁の ASR 補修工

擁壁延長 L=11.5m H=1.5m

ひび割れ注入工 1 式

リハビリ高圧注入工 A=19.1 m²

本工事の対象擁壁は昭和 50 年代に建設され
た重力式の砂防擁壁で、ASR によるひび割れ（幅
0.2～5.0mm 程度）が主に水平方向に発生してい
た。図-9 に対象擁壁の施工箇所を示す。



図-9 日御碕擁壁施工箇所

6.2 リハビリ高圧注入工法の施工

(1) 施工手順

日御碕砂防擁壁における本工法の施工フロー
チャートを図-10 に示す。図中の各工種の概要
について以下に記す。

(2) 準備工

擁壁前面の幅 1.0m の範囲に足場を設置し、そ
の足場内に施工機械、資材を設置・搬入した。
施工機械が小型軽量であるため、このような狭
隘なスペースでの配置が可能となった。

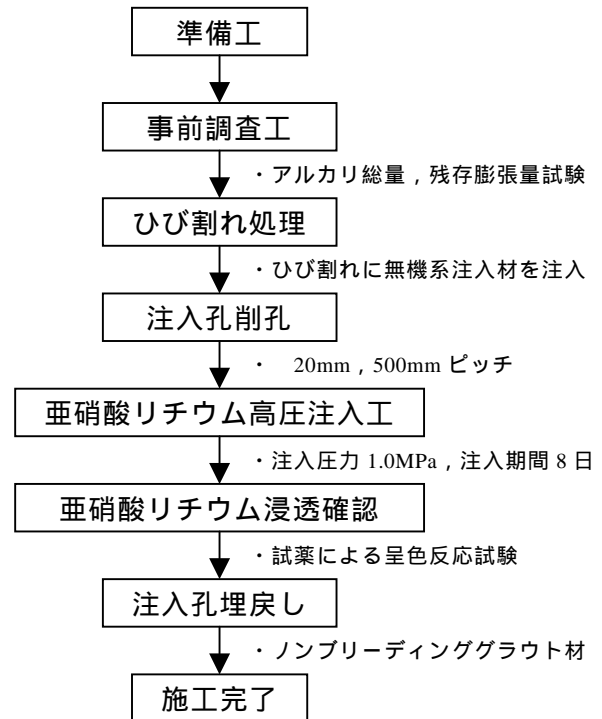


図-10 施工フローチャート

(3) 事前調査工

施工前の擁壁から 100mm のコンクリートコ
アを採取し、圧縮強度試験，アルカリ総量試験
および残存膨張量試験を実施した。

圧縮強度試験の結果は 10.9N/mm² であった。
アルカリ総量 (Na₂O) は 4.1kg/m³ であった。こ
の結果を基に、リチウムイオン (Li⁺) とナトリ
ウムイオン (Na⁺) のモル比を 1.0 とする亜硝酸
リチウムの量を算出し、必要供給量として定め
た。施工前の残存膨張量 (JCI-DD2 法による)
は 0.055% であった。

(4) ひび割れ処理

コンクリート表面に発生している幅 0.2mm 以
上のひび割れに高炉スラグ系超微粒子注入材を
注入した。また、幅 0.2mm 未満のひび割れはポ
リマーセメントモルタルにて表面シールを行っ
た。ひび割れを残したままで亜硝酸リチウム水
溶液を高圧注入すると、ひび割れからコンクリ
ート表面へ流出してしまうため、このひび割れ
処理は特に入念に行う必要がある。図-11 にひ
び割れ注入状況を示す。



図-11 ひび割れ注入状況

(5) 注入孔削孔

削孔径は 20mm，削孔位置は 500mm 間隔の千鳥配置とし，ダイヤモンドコアドリルを用いて行った．施工対象が鉄筋コンクリート構造物の場合は，削孔に先立ち鉄筋探査を行い，削孔作業による既存鉄筋への干渉を防ぐ．

(6) 亜硝酸リチウム高圧注入工

削孔箇所中空パッカーを設置し，1 箇所ずつ試験的に加圧注入を行い，注入孔からコンクリート背面側への漏出の有無を確認した．漏出の有無は機械本体およびパッカーに設置した圧力計の挙動により検出することができる．

全注入孔位置で漏出等の不具合がないことを確認した後，注入圧力を 1.0MPa と設定し注入工を開始した．注入孔間隔は 500mm であるため，各注入孔から半径 250mm の範囲に浸透させることによりコンクリート全体に亜硝酸リチウムが行き渡ることとなる．本擁壁の場合，亜硝酸リ



図-12 高圧注入工施工状況

チウムを 250mm 浸透させるのに 8 日間を要した．施工対象のコンクリート構造物の品質，環境条件，劣化状態等によって，亜硝酸リチウムの浸透に要する時間は大きく変化すると考えられる．図-12 に亜硝酸リチウム高圧注入工施工状況を示す．

高圧注入工における施工上の管理項目は以下のとおりとした．

擁壁コンクリート表面からの亜硝酸リチウムの漏出の有無

擁壁背面から土砂側への亜硝酸リチウムの漏出の有無

機械本体およびパッカー位置での圧力管理
亜硝酸リチウム供給量，供給速度の管理

(7) 亜硝酸リチウム浸透確認

所定量の亜硝酸リチウムを注入完了した段階で，想定した範囲に浸透しているか否かを確認するために，注入孔から 250mm 離れた位置から採取したコンクリートコアに対し，試薬 TDI による呈色反応試験を実施した．呈色反応試験は 1 箇所/5m² の頻度で行い，全箇所において茶褐色の呈色反応が確認できたため，本擁壁全体に亜硝酸リチウムを浸透させることができたと判断した．図-13 に亜硝酸リチウムの浸透確認試験状況を示す．



図-13 亜硝酸リチウム浸透確認

(8) 注入孔埋戻し

注入孔から中空パッカーを撤去した後，注入ホースと空気抜きホースを挿入し，孔口を超速

硬モルタルでシールする。埋戻し材料はノンブリーディングタイプグラウト材とし、手動式のグラウトポンプを用いて空気を抜きながら充填した。

(9) 施工完了

グラウト注入跡をディスクサンダーにてケレンし、コンクリート表面を平滑に仕上げ、施工完了とした。立地条件によっては最後に表面被覆工を行う場合もある。図-14 に施工完了後の状況を示す。



図-14 施工完了状況

6.3 追跡調査計画

本工法にて、ASR により劣化したコンクリートにリチウムイオンを供給し、以後のアルカリ・シリカゲルの膨張抑制を図った。本工法による ASR 抑制効果を定量的に確認する手段として、施工完了後の擁壁コンクリートコアの残存膨張量測定をしている。ここで得られる施工後の残存膨張量と、施工前に実施している残存膨張量とを比較することで、リチウムイオン供給による ASR 抑制効果が数値的に示すことが可能であると考える。

また、注入孔からの距離とリチウムイオンの濃度との関係を明らかにすると共に、注入孔から 250mm 離れた位置においても必要濃度以上のリチウムイオンが存在することを確認するために、擁壁から長さ 1.5m の長尺コンクリートコア

を採取して、リチウムイオンの定量分析試験を実施する予定である。

これらの追跡調査の結果については別の機会に報告したいと考えている。

7.まとめ

本報告をまとめると以下のとおりである。

(1) ASR により劣化したコンクリート構造物の補修工法として、亜硝酸リチウムを用いるリハビリ高圧注入工法を開発した。

(2) 供試体実験の結果、圧縮強度 30N/mm² 程度までのコンクリートに本工法を適用する場合、亜硝酸リチウムの注入孔間隔を 500mm と設定し、1.0MPa の圧力で最大 21 日間注入することにより、コンクリート全体に亜硝酸リチウムを満遍なく供給できることが確認できた。

(3) 同一の圧力で亜硝酸リチウムを注入する場合において、W/C が大きなコンクリートほど浸透しやすくなる傾向が見られ、浸透距離と注入時間との間の相関関係を見出すことができた。

(4) 日御碕砂防擁壁において本工法による ASR 補修工事を施工し、実構造物に対しても良好な亜硝酸リチウムの浸透を確認できた。

現在、国土交通省広島国道事務所より発注された「海田高架橋橋脚補強工事」にて、本工法による RC 橋脚を対象とした ASR 対策工事を施工している。本工法の施工実績を重ね、追跡調査結果も含めたデータを蓄積することにより、一層精度の高い ASR 抑制工法へと確立させていく所存である。

参考文献

- 1) 齊藤満, 北川明雄, 榎場重正: 亜硝酸リチウムによるアルカリ骨材膨張の抑制効果, 材料, Vol.41, 1992
- 2) 金好昭彦, 内田博之, 狩野裕之: 大型コンクリート部材におけるリチウムの ASR 抑制効果に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, 2001