

亜硝酸リチウムを用いた内部圧入工法によるASRの抑制効果の検証

極東工業(株) 三原 孝文
極東工業(株) 岡田 繁之
極東工業(株) 江良 和徳
福徳塗装工業(株) 河原 健児

Verification of Controlling Effect of the Alkali-Aggregate Reaction by the Internal Press Fit Method Using Lithium Nitrite

Internal press fit of the lithium nitrite solution was carried out at the concrete structure which deteriorated by alkali-aggregate reaction, and repair work which controls future ASR expansion was carried out.

In order to verify the expansion control effect by lithium nitrite, the promotion expansion examination by test construction and real construction was carried out. From these results, it checked that expectation was possible for the control effect of ASR expansion of the lithium by this method of construction enough.

1. はじめに

コンクリート構造物中の鉄筋がアルカリ骨材反応（以下、ASRと称す）によるコンクリートの膨張によって破断するという深刻な事態が明らかになったこともあり、現在、ASRは極めて注目を集めている劣化現象であると言える。

従来、ASRの補修工法は、外部からの水分供給遮断を目的とする表面保護工を中心とした工法が適用されてきた。しかしこれらの施工事例の中には、十分な効果が得られず再劣化しているケースも見受けられ、より根本的な対策方法が模索されてきた。

一方、リチウムによるASR膨張の抑制効果に関する研究¹⁾が国内外でなされており、亜硝酸リチウムに代表されるリチウム塩をコンクリート中に供給することで、アルカリシリカゲルが非膨張性の物質へと変化し、ASR膨張が抑制されるというメカニズムが提案されている。このようなリチウムのASR膨張抑制効果を期待し、コンクリート内部に亜硝酸リチウムを高圧で注入して骨材周囲のアルカリシリカゲルの膨張を抑制するASR補修工法の開発、実用化が図られている²⁾³⁾⁴⁾。

本稿では、リチウム系化合物に亜硝酸リチウムを用いた内部圧入工法であるASRリチウム工法について、試験施工でのASR抑制効果の検証結果と併せて、これまでの施工事例の紹介とモニタリング状況について紹介する。

2. 工法概要

内部圧入工法（ASRリチウム工法）の工法概要を図-1に示す。対象構造物に小径の削孔を行い圧入孔を設け専用の治具（加圧バッカー）を設置し加圧装置と接続する。その後ASR抑制剤として亜硝酸リチウム水溶液を加圧注入し以降の膨張反応を抑制する事で劣化の進行を抑止する工法である。施工手順を図-2に示す。

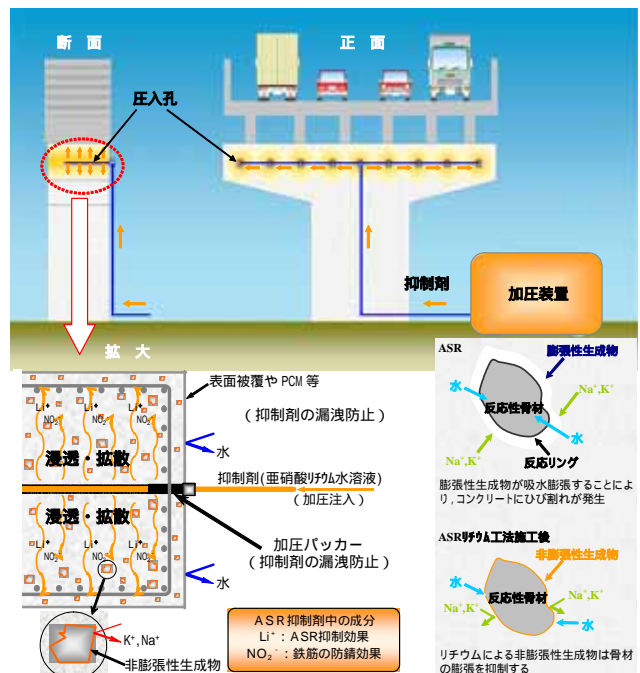


図-1 工法概要図

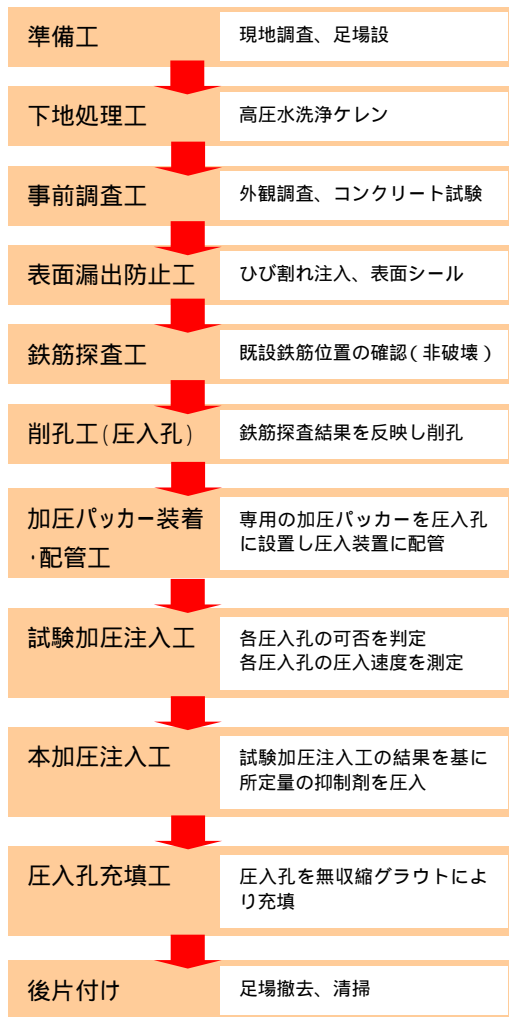


図-2 施工フロー

2. 試験施工

岡山県内の下水道施設において A S R によるコンクリートの劣化がみられた為、調査しその結果を基に実構造物に対し部分的な試験施工を実施した。ここでは、調査結果と試験施工によるコンクリート膨張抑制効果の検証結果について紹介する。

2.1 試験施工概要

工事場所：岡山県

数量：10 m²

対象構造物：下水道施設内擁壁部

竣工年度：昭和 50 年

施工内容：A S R 抑制工



写真-1 A S R による劣化状況（全景）



写真-2 A S R による劣化状況（接写）

2.2 事前調査

事前調査について以下に示す。

- ・外観目視調査
コンクリート表面の広い範囲に格子状のひび割れが生じていた。
- ・圧縮強度試験
一軸圧縮試験の結果 $c=21\text{N}/\text{mm}^2$ であった。擁壁として十分な強度を有している。
- ・静弾性係数試験
静弾性係数試験の結果 $E = 0.877 \times 10^4\text{N}/\text{mm}^2$ であった。 $c=21\text{N}/\text{mm}^2$ の場合 $2.35 \times 10^4\text{N}/\text{mm}^2$ である事を考えると 37% までに低下している。これは特徴的な A S R による劣化状況である。
- ・アルカリ含有量試験
規定とされる $3.0\text{kg}/\text{m}^3$ に対し 1.8 倍の $5.5\text{kg}/\text{m}^3$ が認められた。A S R の進行を助長する環境である。
- ・中性化試験
10mm 程（30 年間）であった写真-3。鉄筋の純かぶりか 40mm であったので中性化残りは 30mm となる。十分な中性化残りを有している。

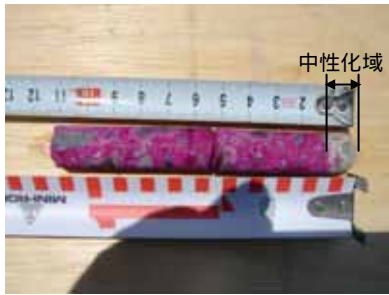


写真-3 中性化試験

・岩種構成定量

岩種構成結果を表-1 に示す。

古銅輝石安山岩の粗骨材砕石であることが判明した。この安山岩は反応性が高く、過去に阪神地域で多数の被害例がある。

表-1 コア試料中の粗骨材の岩種構成

岩相	古銅輝石安山岩		
	ガラス質 黒色～ 灰黒色	ややガラス質 褐色	結晶質 淡褐色～ クリーム色
		反応リムあり	反応リム顕著
含有量 (体積%)	25.1	37.3	37.6

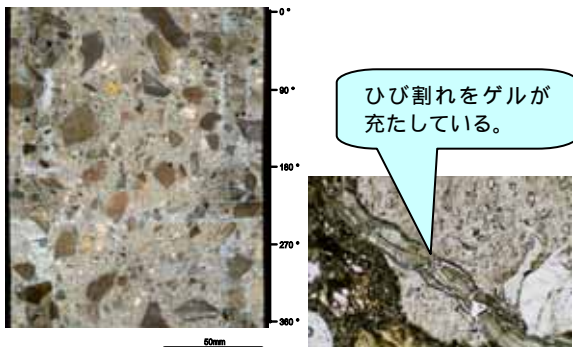


写真-4 展開写真(左) 偏光顕微鏡(右)

2.3 試験施工

事前調査を基に、本構造物はアルカリ骨材反応により劣化が進行していると判断し管理者に承諾を得た上で部分的な試験施工を実施した。以下に施工の手順を写真で示す。



写真-5 試験施工位置(10 m²)



写真-6 足場工



写真-7 表面漏出防止工



写真-8 鉄筋探査工



写真-9 削孔工



写真-10 加圧パッカー設置工



写真-11 加圧注入工



写真-12 圧入孔充填工



写真-13 表面保護工（含浸工法）

結果と同様、施工前の残存膨張試験結果に比べ施工後の全膨張量が緩やかになっている事が分かる。施工前 0.081% に対して施工後 0.018% にまで低減している。残存膨張量も 0.052% に対し 0.014% と大幅な改善(低減率 73%)が確認された。これにより以後の膨張ひびわれの生じる可能性が著しく低下したものと考えられる。

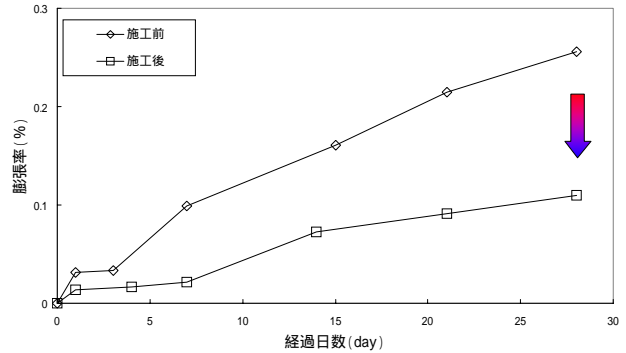


図-3 促進膨張試験結果（80℃, 1mol/L NaOH）

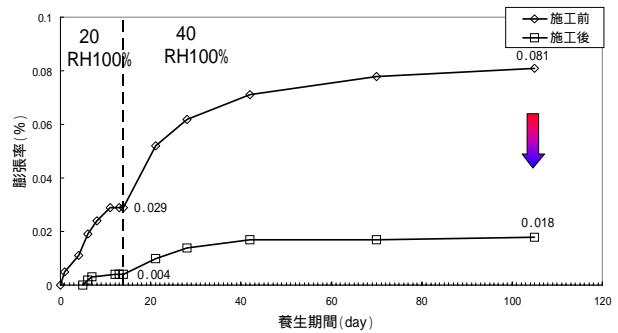


図-4 促進膨張試験結果（40℃, RH100%）

2.4 効果の検証

効果の検証は二種類の促進膨張試験により施工前・後の残存膨張量を計測しコンクリートの膨張性能の低減状況を確認した。

促進膨張量試験結果を以下に示す。また、その他のコンクリート試験結果について表-2に示す。

・促進膨張試験-1（80℃, 1mol/L NaOH）

温度 80℃ の 1N の NaOH 溶液中での促進膨張試験の結果を図-3に示す。施工前の結果に比べ施工後の膨張量が緩やかになっている事が分かる。28日後の結果では施工前 0.256% に対して施工後 0.110% にまで低減している。これにより以後の膨張ひびわれの生じる可能性が著しく低下するものと考えられる。

・促進膨張試験-2（40℃, RH100%）

温度 40℃、相対湿度 100% 中での促進膨張試験の途中結果を図-4に示す。促進膨張試験-1の

表-2 コンクリート試験結果一覧表

試験施工	単位	結果	備考
圧縮強度試験	N/mm ²	20.9	
静弾性係数試験	N/mm ²	0.877 × 10 ⁴	設計値 2.35 × 10 ⁴
アルカリ含有量試験	kg/m ³	5.5	
中性化試験	mm	10	
岩種構成定量	-	古銅輝石 安山岩	
促進膨張試験 (80℃, 1mol/L NaOH)	施工前	%	0.256 (4週)
	施工後	%	0.110 (4週) -0.146%
促進膨張試験 (40℃, RH100%)	施工前	%	0.081 (13週)
	施工後	%	0.018 (13週) -0.063%

3. 施工事例紹介

実施工において、幾つかの物件で継続的にモニタリングを行っている。また、試験施工により立証した残存膨張量の低減も同様に確認されている。本稿では、2つの事例（擁壁・橋梁下部工）についてモニタリング方法とその結果について紹介する。

施工事例 -

工事名：日御碕地区砂防修繕工事（急傾斜）

工事場所：鳥根県簸川郡大社町日御碕地区

発注者：鳥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

対象構造物：砂防擁壁

施工内容：コンクリート擁壁補修工

擁壁延長 L=11.5m H=1.5m

ひび割れ注入工 1 式

A S R 抑制工 A=15m³

モニタリング：促進膨張試験（施工前・後）

外観調査（半年毎）



写真-14 施工状況（擁壁）

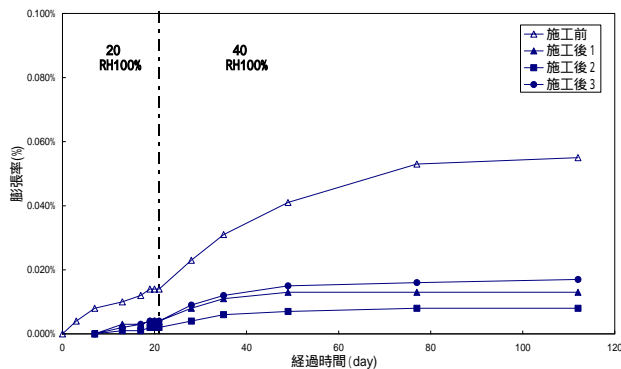


図-5 促進膨張試験結果（日御碕擁壁, 40 RH100%）

促進試験によりコンクリートの残存膨張量が24%（平均値）まで低減している事が確認された。促進試験結果を図-5 に示す。また、外観調査により2年半の後まで再劣化が生じていない事が確認されている。



写真-15 外観状況（擁壁：2年半後）

施工事例 -

工事名：国道2号海田高架橋橋脚補強工事

工事場所：広島県安芸郡海田町地内

発注者：国土交通省広島国道事務所

工期：H16年6月～H16年10月

対象構造物：道路橋下部工（橋脚・橋台）

施工内容：橋脚7基，橋台2基

ひび割れ注入工 1 式

表面保護工 1 式

A S R 抑制工 A=250m³

モニタリング：促進膨張試験（施工前・直後）

外観モニタリング（半年毎）

表面変化計測（半年毎：コンタクトゲージ法）



写真 - 16 施工状況

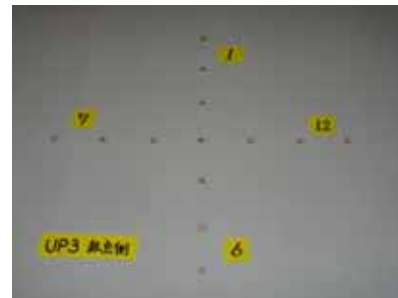


写真 - 17 表面変化計測箇所

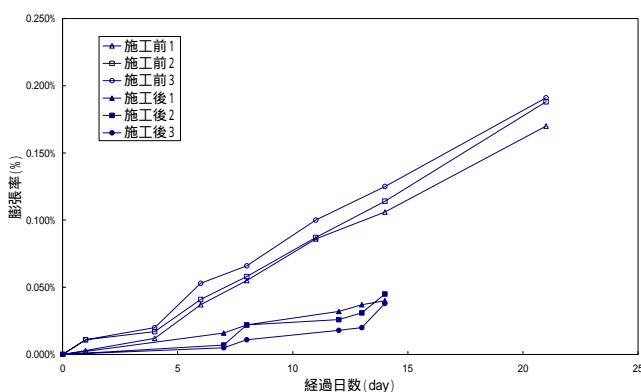


図-6 促進膨張試験-1 結果 (海田, 80 , 1mol/L NaOH)

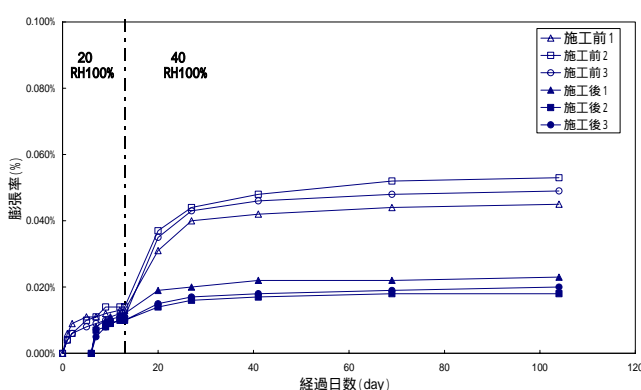


図-7 促進膨張試験-2 結果 (海田高架橋, 40 , RH100%)

表-3 躯体変化測定

位置	変化量の平均	
	鉛直方向の平均 【測点 1~6】	水平方向の平均 【測点 7~12】
UP3 橋脚 起点側	-0.83 μm (-0.0008 mm)	-1.33 μm (-0.0013 mm)
備考	鉛直, 水平方向ともに微収縮	



写真 - 18 外観モニタリング (2年後)

促進膨張試験によりコンクリートの残存膨張量が促進試験-1 で 36% (平均値) 促進試験-2 で 24% (平均値) まで低減された事が確認された。異なる二種類の促進方法により行ったが、同程度の結果を得る事ができた。また、外観調査により 2 年間再劣化が生じていない事が確認されており、併せて躯体の表面測定を行った結果表-3 A S R による有害な膨張 (再劣化) の兆候は認められない事を確認している。

4. まとめ

リチウム系化合物の A S R 抑制効果は広く知られており、この材料の特徴を活かすために開発した A S R リチウム工法は、亜硝酸リチウムを用いたアルカリ骨材反応抑制工法として平成 12 年度からこれまでに 14 件の施工実績を重ねてきた。しかしながら、長期的な効果の確認が求められており本稿で紹介した通り、幾つかの施工事例において定期的なモニタリングを実施し効果の検証を行っている。モニタリングについては、今後も引き続き実施していく予定である。

【参考文献】

- 1) 例えば齊藤満, 北川明雄, 加場重正: 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, No. 468, pp. 1375-1381, 1992
- 2) 江良和徳, 岡田繁之, 三原孝文, 河原健児: 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, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, Vol. 4, pp. 117-122, 2004
- 3) 江良和徳, 岡田繁之, 三原孝文, 河原健児: 亜硝酸リチウム高圧注入によるアルカリ骨材反応抑制効果の検証, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム論文報告集, Vol. 5, pp. 189-194, 2005
- 4) 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, pp. 403-408, 2001
- 5) 大脇英司, 宮原茂禎, 上東泰, 野島昭二: 促進膨張試験によるコンクリートコアのアルカリ骨材反応性の検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集第 5 部, pp. 137-138, 2003