

屋島大橋

ASRリチウム工法現場見学会

令和元年 11月 8日

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会
極東興和株式会社

1

工事名：屋島大橋橋梁修繕工事(4工区)

発注者：高松市役所

施工者：タチバナ工業株式会社

工事概要：橋梁下部工ASR補修

橋脚1基 橋台1基

- ・ASRリチウム工法（下り線P1橋脚）
- ・リハビリ工法（下り線P1橋脚、上下線A2）
- ・断面修復工（下り線P1）
- ・表面保護法（下り線P1、上下線A2）

施工前コンクリート試験結果（P1橋脚）：以下の通り

- ・圧縮強度 27.6N/mm²
- ・アルカリ含有量 5.8kg/m³
- ・塩化物イオン含有量 最大1.61kg/m³
- ・施工前の残存膨張量 0.235%（カナダ法）

2

亜硝酸リチウム内部圧入工による ASR補修の実例と効果検証

一般社団法人コンクリートメンテナンス協会
極東興和株式会社 営業本部 補修技術課

江良 和徳

3

コンクリート構造物の劣化

～アルカリシリカ反応(ASR)～

4

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化メカニズム

原因

- ・コンクリート中は高アルカリ環境である
- ・コンクリート構造物は雨水や地下水などにより水分を供給されやすい
- ・コンクリートの骨材として反応性骨材が使用された

劣化進行

- ・コンクリート中の反応性骨材が、アルカリ分と反応してアルカリシリカゲルを生成
- ・アルカリシリカゲルの吸水膨張により、コンクリートにひび割れが生じる

性能低下

- ・ひび割れ進展、白色ゲル析出、段差、異常変形など
- ・圧縮強度、静弾性係数の低下、鉄筋腐食、鉄筋破断など

5

【アルカリシリカ反応(ASR)】… アルカリシリカゲル

	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	$n\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (シリカ鉱物) (アルカリ) (アルカリシリカゲル)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張!)

6

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化事例



橋台のASR劣化事例

7

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化事例



橋台のASR劣化事例

8

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化事例



上部工(RC桁、PC桁)のASR劣化事例

9

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化事例



ASRによる鉄筋破断の事例(橋脚はり上縁側鉄筋曲げ加工部)

10

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例



エポキシ樹脂注入+有機系表面被覆工の再劣化

11

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例



エポキシ樹脂 + シラン系表面含浸工法の再劣化

12

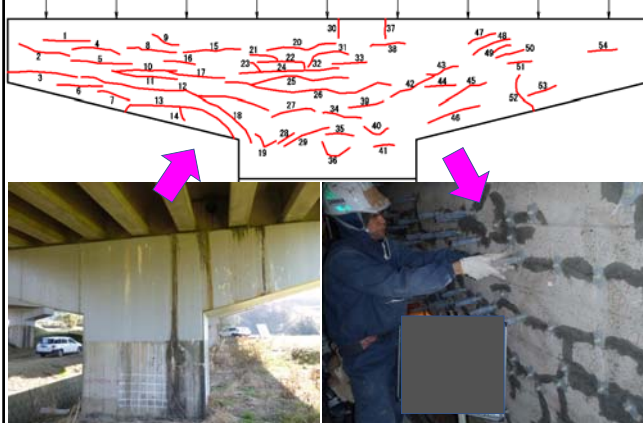
【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例



橋脚のASR再劣化事例(塗膜を剥がしてみると・・・)

13

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例



14

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例



橋梁名 : 二郷橋(ふたごうばし)
 位置 : 男鹿市北浦
 竣工年 : 昭和63年10月 (29年経過)
 コンクリート試験結果 : 下記のとおり
 ・中性化・・・影響なし
 ・塩化物イオン量・・・影響なし
 ・圧縮強度・・・低下なし
 ・静弾性係数・・・著しく低下
 アルカリ骨材反応判定試験
 ・骨材周囲にASRゲルを確認
 ・反応性鉱物の存在を確認
 ・残存膨張量は**有害判定**(H18業務)

二郷橋(秋田県)のASR劣化事例

15

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 秋田県内での劣化事例

平成17年度点検結果
 ASRのひび割れが多数発生している ⇒ これを受けて平成18年度に補修設計業務

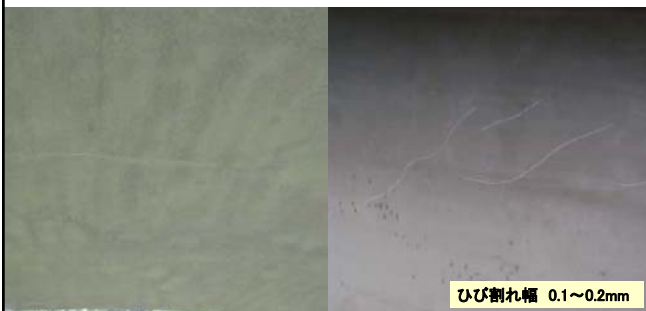


二郷橋(秋田県)のASR劣化事例

16

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 秋田県内での劣化事例

平成22年度点検結果
 補修設計に準じてケイ酸塩系含浸材にて補修済
 ⇒ ひび割れはほとんど認められない



二郷橋(秋田県)のASR劣化事例

17

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 秋田県内での劣化事例

平成27年度点検結果
 22年度点検時に比べて明らかにひび割れ幅、延長が増大
 ⇒ ASR再劣化の可能性



二郷橋(秋田県)のASR劣化事例

18

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 補修工法と要求性能

- ①劣化因子の遮断(外部からの水分の浸入を低減)
 - 【表面被覆工法】
 - 【表面含浸工法】
 - 【ひび割れ注入工法】
- ②ゲルの非膨張化(アルカリシリカゲルの膨張性を消失、低減)
 - 【ASR抑制剤(亜硝酸リチウム)内部圧入工法】
- ③コンクリートの膨張拘束(外部拘束によりASR膨張を物理的に抑制)
 - 【部材接着工法・巻立て工法】

19

亜硝酸リチウムによる補修技術

- ・亜硝酸リチウムとは
- ・亜硝酸リチウム内部圧入工法

20

【亜硝酸リチウム】

- ・リチウム系化合物のコンクリート補修材料
- ・原材料は「ナフサ」、「リシア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・濃度は40%(限界濃度)

Lithium Nitrite : LiNO_2 

亜硝酸イオン
 NO_2^-

不動態被膜の再生により
鉄筋腐食を抑制する

『塩害・中性化対策』

リチウムイオン
 Li^+

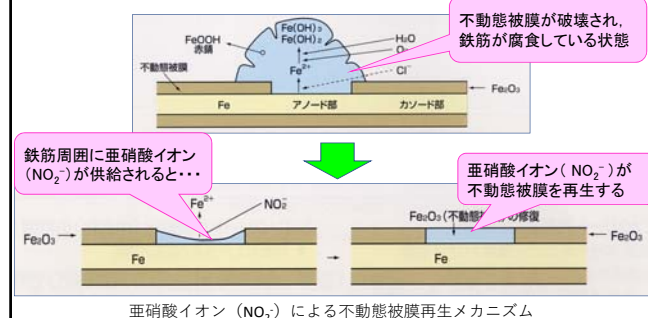
アルカリシリカゲルを
非膨張化する

『ASR対策』

21

【亜硝酸リチウム】… 亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制

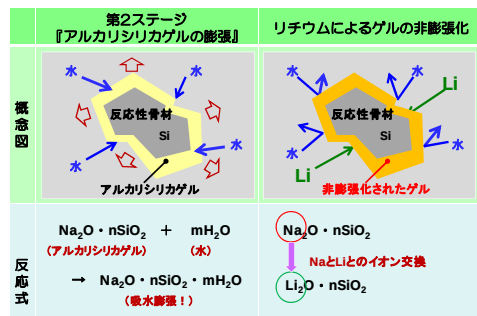
- ・塩害、中性化はいずれも不動態被膜の破壊による鉄筋腐食の問題
⇒ 塩害、中性化対策とは、共に鉄筋腐食の抑制を図ること
- ・亜硝酸イオン(NO_2^-)の防錆効果に関する研究は1960年代から多数報告



22

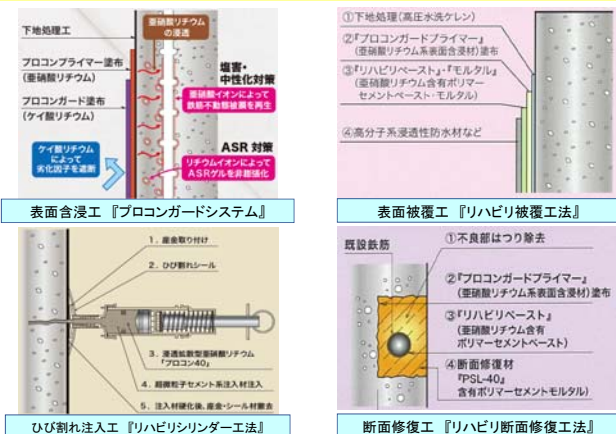
【亜硝酸リチウム】… リチウムイオンによるゲル非膨張化

- ・ASRは反応性骨材周囲に生成したアルカリシリカゲルの吸水膨張
⇒ ASR対策とは、ゲルの吸水膨張を抑制すること
- ・リチウムイオン(Li^+)のASR膨張抑制に関する研究は1950年代から多数報告



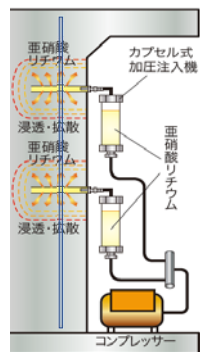
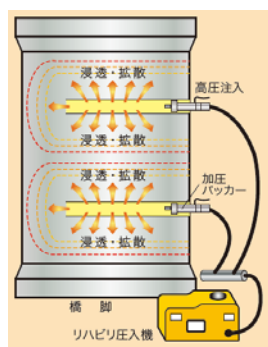
23

【亜硝酸リチウム】… 従来工法にプラスアルファ



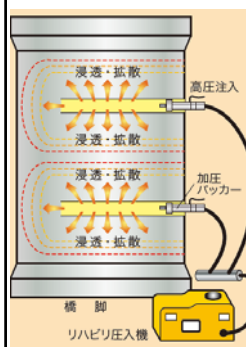
24

【亜硝酸リチウムを用いた補修工法】… 内部圧入工法

『リハビリカプセル工法』
(塩害補修)『ASRリチウム工法』
(ASR補修)

25

【ASRリチウム工法】… 内部圧入工によるASR補修



注入量 : Li/Naモル比0.8となる LiNO_2
 削孔径 : 20mm
 削孔間隔 : 標準@750mm
 注入圧力 : 0.5MPa～1.5MPa
 注入期間 : 20日～40日程度

- ①ひび割れ注入および表面シールにより、コンクリート表面のひび割れを閉塞する
- ②コンクリートに小径の削孔を行い、圧入孔とする
- ③油圧式圧入装置、配管、パッカーを設置して、浸透拡散型亜硝酸リチウムを加圧注入する
- ④所定の量の亜硝酸リチウムをコンクリート内部に圧入した後、削孔箇所を無収縮グラウト材にて埋め戻す

以後のASR膨張を根本的に抑制する

リチウムイオンによるゲルの非膨張化を最も積極的に活用する工法

26

【ASRリチウム工法】… 施工状況



27

実際の補修事例

- ・補修設計事例
- ・施工事例

28

【屋島大橋の補修設計事例】

工事名 : 屋島大橋橋梁修繕工事(3工区)
 対象構造物: P2(下り線)橋脚⇒亜硝酸リチウム内部圧入工法
 P5・P6(上下線)⇒ひび割れ注入、表面含侵工
 発注者 : 高松市

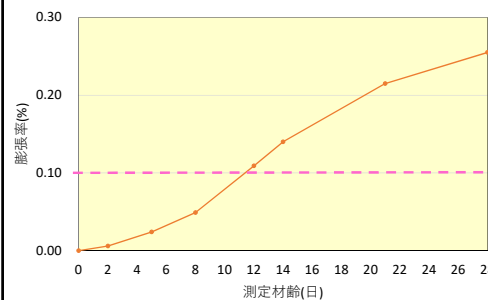


29

29

【屋島大橋 施工前の残存膨張量】

カナダ A2橋台にて

判定の目安
0.1%

施工前の残存膨張量が大きい

⇒ 今後もASR膨張はさらに進行することが予測される。

30

【屋島大橋 ASRリチウム工法の採用理由】

①残存膨張量が大きい

…今後もASR膨張はさらに進行することが予測される。

②重要度が高い

…交通量も多くこれ以上の耐久性能低下を許容できない。

③定期的な再補修工事を実施しにくい

…交通量の多い橋梁のため、調査のための足場設置でさえも多大な労力を時間を要する。



ASR膨張を根本的に抑制できる工法を適用すべき

31

【ASRリチウム工法 施工手順】



①表面漏出防止(ひび割れ注入)

コンクリート表面からの漏出防止として、ひび割れ注入工を実施する(幅0.2mm以上)



②表面漏出防止(表面シール)

同様に、幅0.2mm未満のひび割れやジャンカ等に対し、表面シールを行う

32

【ASRリチウム工法 施工手順】



③鉄筋探査工

圧入孔の削孔時に鉄筋を損傷させることのないよう、事前に鉄筋探査を行う



④圧入孔削孔

圧入孔としてφ20mmのコア削孔を行う。本橋では削孔ピッチを750mm間隔とした。

33

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑤配管工

圧入孔に加圧バッカー、耐圧ホース、分配器をつなぎ、圧入装置まで配管する



⑥圧入装置の搬入

油圧式圧入装置を必要台数設置する

34

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑦試験加圧注入工

全孔を1孔ずつ試験的に加圧注入する
背面への漏出など不適切な孔を検出する
各孔の圧入速度を測定する



⑧本加圧注入工

所定量の浸透拡散型亜硝酸リチウムをコンクリート部材全体に加圧注入する

35

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑨圧入孔充填工

圧入完了後、配管を撤去し、無収縮グラウト材にて圧入孔を充填する



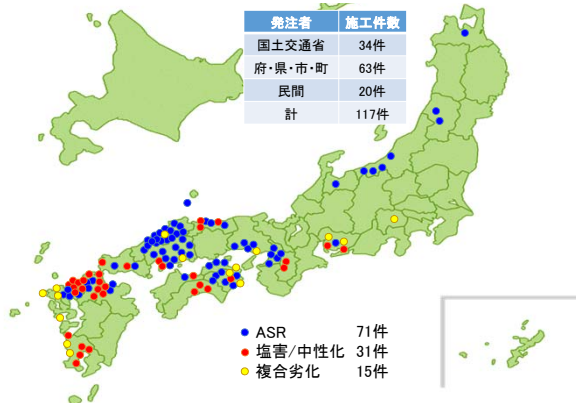
⑩表面仕上げ工

コンクリート表面に表面含浸材もしくは表面被覆材を塗布し、仕上げる
本橋では高分子系浸透性防水材料を塗布した

36

【亜硝酸リチウム内部圧入工 施工実績】

亜硝酸リチウム内部圧入工 施工実績図 (2019年5月現在)



37

【ASRリチウム工法採用例】 残存膨張性が有害

- ASR膨張によって著しいひび割れ発生、静弾性係数の低下などが見られる
 - ⇒ これ以上の耐久性能低下を許容できないと判断された場合、ひび割れ注入工や表面保護工などの従来工法では不十分
 - 部材全体に亜硝酸リチウムを供給することによってASR膨張を根本的に抑制
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用
 - 全てのアルカリシリカゲルが非膨張化するため、以後のASR膨張は進行しない
- 再劣化・再補修を繰り返すシナリオか、これ以上再劣化を許容しないシナリオかの2択
重要性、LCC等を考慮して総合的に判断した結果、内部圧入工法が選定された事例

【施工例】H28. 29年高松市役「屋島大橋」



38

【ASRリチウム工法採用例】 ASRの再劣化が生じたRC構造物の補修

- 過去に行ったASR補修が再劣化を生じている事例が多数
 - ⇒ 水分遮断の目的で以下の補修が実施されたが、再劣化
ひび割れ箇所：ひび割れ注入工(エポキシ樹脂3種)
部材全体：表面被覆工(柔軟型厚膜被覆)
- 従来工法(追従性あり)ではその構造物のASR膨張を止めることができなかったという状況証拠
 - ⇒ これ以上再補修を繰り返したくない場合には根本的に膨張抑制
亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用

ASR再劣化事例に対し、次の一手としてASRリチウム工法が採用される事例多数

【施工例】H28年 兵庫県中播磨県民センター「京見橋」



39

【ASRリチウム工法採用例】 落橋防止構造を設置するコンクリート部材

- 耐震補強として落橋防止構造を設置するコンクリート部材がASRにより劣化していた
 - ⇒ ASR劣化の進行により、コンクリートと鋼材との付着性能低下が懸念される
 - ⇒ ASR膨張性が高い状態を放置したまま落橋防止構造を設置した場合、将来的なASR膨張により落橋防止構造のアンカー定着部が設計で考慮した耐震性能を満足できなくなる可能性がある。
 - ⇒ さらに、その段階では適切な補修工事を施すことができなくなっている。
 - まずASR膨張性を低減した後に落橋防止構造を設置する
 - ⇒ 亜硝酸リチウム内部圧入工『ASRリチウム工法』を適用
 - ⇒ ASR膨張性を消失させたうえで追加部材をアンカー定着する
- 設計思想どおりの耐震性能を保障するためのコンクリート健全性を確保した事例



【施工例】
H24年
愛媛県東予地方局建設部
「一ツ橋」

40

40

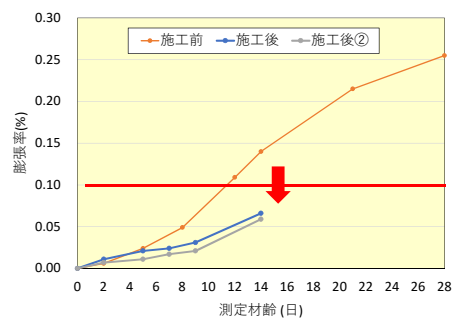
補修効果の検証

残存膨張量試験による検証
外観目視による追跡調査

41

【残存膨張量試験による検証】

屋島大橋 P2橋脚にて



施工後の残存膨張量が大幅に低減されている
⇒ 将来的にASR膨張が進行する可能性は限りなく低い

42

【残存膨張量試験による検証】

No.	年度	名称	発注者	残存膨張量 (施工前)	残存膨張量 (施工後)	備考
11	H16	陶橋	四国地整	0.081%	0.018%	JCI-DD2法
17	H19	御手洗橋	中国地整	—	—	外観変状
22	H22	第2東保見架道橋	民間	—	—	Li浸透量
27	H24	湯村大橋	島根県	0.065%	0.019%	JCI-DD2法
31	H24	山内高架橋	佐賀県	0.180%	0.012%	JCI-DD2法
32	H24	上関大橋	山口県	—	0.020%	NaOH浸漬法
33	H24	大橋	香川県	—	0.039%	JCI-DD2法
34	H24	御山大橋	香川県	0.213%	0.008%	JCI-DD2法
37	H24	石川橋	香川県	—	0.007%	JCI-DD2法
38	H24	楠川橋	香川県	—	0.026%	JCI-DD2法
46	H25	東宮新橋	山形県	0.280%	0.025%	JCI-DD2法
56	H25	仁多大橋	島根県	—	0.024%	JCI-DD2法
—	H25	第4木曾川橋りょう	JR東海	0.140%	0.008%	NaOH浸漬法

43

【外観目視による追跡調査】・・・陶橋（国土交通省四国地方整備局）



施工前(2005年)



施工後10年経過(2015年)

44

【外観目視による追跡調査】・・・御手洗橋（国土交通省中国地方整備局）

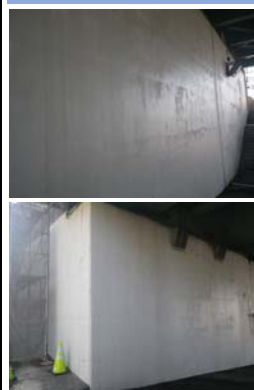


施工前(2007年)

施工後8年経過(2015年)⁴⁵

45

【外観目視による追跡調査】

西庄跨線橋(四国地整) H17度施工(ASR)
H28年4月撮影米岡小橋(鳥取県) H22度施工(ASR)
H27年5月撮影

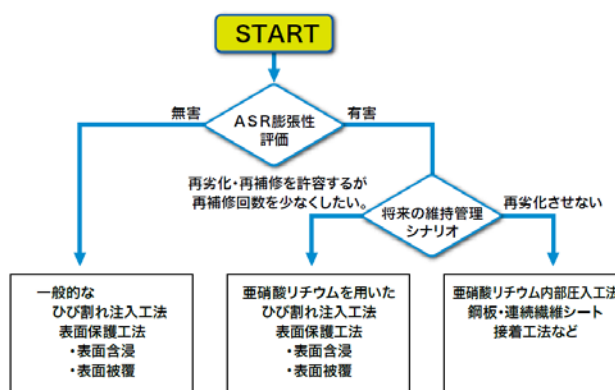
46

【外観目視による追跡調査】

大橋(香川県) H24度施工(ASR)
H28年4月撮影仁多大橋(島根県) H26度施工(ASR)
H27年10月撮影

47

【ASRで劣化したコンクリートの補修工法選定フローの例】



48