

亜硝酸リチウムを用いたASR抑制対策 現場見学会

～ASRで劣化した須川橋の補修工事～

令和2年2月18日

主催：一般社団法人コンクリートメンテナンス協会
東北地区連絡協議会
共催：ASRリチウム工法協会
協力：堀川土建株式会社

1

【スケジュール】

10:00～10:30 集合・受付
10:30～12:00 第1部 座学
工事概要・補修技術の説明
12:00～13:00 昼休憩
13:00～13:30 現場(須川橋)へ移動
13:30～15:00 第2部 現場見学
施工手順・施工状況・質疑応答
15:00～ 解散

2

【第1部 座学】

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

江良 和徳

3

工事名：令和元年度 上山地区下部工補修工事

場所：山形県上山市宮脇 地内

発注者：国土交通省東北地方整備局 山形河川国道事務所

施工者：堀川土建株式会社

工事概要：橋梁下部工のASR補修

橋台1基(A2橋台)

- ・工法名：ASRリチウム工法(亜硝酸リチウム内部圧入工)
- ・施工面積：90m²
- ・亜硝酸リチウム圧入量：1,100kg
- ・圧入孔数：180孔

※いずれも設計時の数量

4

【須川橋 ASR劣化状況】



5

コンクリート構造物の劣化

～塩害とアルカリシリカ反応(ASR)～

6

【塩害】…劣化メカニズム

原因

- 種々の原因で塩化物イオンがコンクリート中に浸入
- 侵入した塩化物イオンはコンクリート表面から内部へ浸透

劣化進行

- 塩化物イオンが鉄筋位置に到達
- 鉄筋位置の塩化物イオン量が一定量(腐食発生限界)を超えると、鉄筋の不動態皮膜が破壊され、鉄筋腐食が生じる

性能低下

- ひび割れ、コンクリートの浮き・はく離、鉄筋露出など
- コンクリートと鉄筋との付着が低下
- 鉄筋断面の減少

7

【塩害】…劣化事例

必ず鉄筋腐食の進行に伴ってコンクリート構造物(部材)の性能低下が生じる

8

【塩害・中性化】… 不動態皮膜と鉄筋腐食

●不動態皮膜 : 高アルカリ環境下の鋼材において、鋼材表面に酸素が化学吸着して緻密な酸化皮層を形成し、腐食しにくい状態

●不動態皮膜の破壊 : 腐食発生限界を超える塩化物イオン存在下(塩害) 鋼材周囲のpH低下(中性化)

●アノード反応 : 電子2個を鉄筋中に残し、鉄がイオンとなって溶出する反応

●カソード反応 : アノード反応によって生じる電子を消費する反応

この2つの反応が同時に生じるのが鉄筋腐食反応

9

【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

10

【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!)

11

【アルカリシリカ反応(ASR)]… 劣化事例

橋台のASR劣化事例

12

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 劣化事例



橋台のASR劣化事例

13

【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

14

【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)

15

【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

16

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例



エポキシ樹脂注入 + シラン系表面含浸工法の再劣化

T橋(山形県)のASR再劣化事例

17

【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…)

18

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 再劣化事例

19

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 青森県内での複合劣化事例

〇橋(青森県) ASRと凍害の複合劣化事例

20

【アルカリシリカ反応(ASR)】… 補修工法と要求性能

- 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】
- 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】
- 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】

21

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

22

【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』

23

【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

亜硝酸イオン (NO_2^-) による不動態被膜再生メカニズム

24

【亜硝酸リチウム】… リチウムイオンによるゲル非膨張化

・ASRI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

	第2ステップ 『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	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (アルカリシリカゲル) (水) (吸水膨張!)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + \text{Li}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ NaとLiとのイオン交換

リチウムイオン(Li+)によるアルカリシリカゲルの非膨張化

25

**ひび割れ注入工法
『リハビリシリンダー工法』**

NETIS:CG-110017-VR

26

【リハビリシリンダー工法】… 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『ひび割れ注入材による劣化因子の遮断』
付加価値 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与

- ①自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ②亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ 鉄筋防錆
- ③超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

鉄筋腐食抑制効果を併せ持つひび割れ注入工法

27

27

**表面含浸工法
『プロコンガードシステムS』**

NETIS:CG-150013-A

28

28

【プロコンガードシステムS】… 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『シラン・シロキサン系含浸材による劣化因子の遮断』
付加価値 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』を付与

- ①コンクリート表面を下地処理する
- ②亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸させる ⇒ 鉄筋防錆
- ③劣化因子の侵入を抑制するために、シラン・シロキサン系含浸材を塗布する ⇒ 劣化因子の遮断

鉄筋腐食抑制効果(表層部)を併せ持つ表面含浸工法

29

29

断面修復工『リハビリ断面修復工』

30

30

【リハビリ断面修復工法】… 塩害、中性化の補修の場合

基本性能 『コンクリート脆弱部の除去と修復』
付加価値 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』

- ① 不良部はつり除去
- ② 『フロコンガードプライマー』 (亜硝酸リチウム系表面含浸材) 塗布
- ③ 『リハビリペースト』 (亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントペースト)
- ④ 断面修復材 『PSL-40』 (含有ポリマーセメントモルタル)

- ① かぶりコンクリートの不良部はつりとり、鉄筋を露出させる
- ② 露出した鉄筋の錆をケレンした後、亜硝酸リチウム系含浸材および亜硝酸リチウム含有ペーストを塗布する ⇒ **鉄筋防錆**
- ③ 亜硝酸リチウム含有ポリマーセメントモルタルにて断面欠損部を修復する

鉄筋腐食抑制効果を併せ持つ断面修復工法

31

31

内部圧入工法(その1) 『リハビリカプセル工法』

NETIS:CG-120005-A

32

32

【リハビリカプセル工法】… 工法概要(塩害、中性化の補修の場合)

基本性能 『亜硝酸イオンによる鉄筋腐食の抑制』 (NETIS:CG-120005-VR)

- ① コンクリートにφ10mm、L=100mm程度の削孔を500mmの間隔で行う
- ② カプセル式加圧装置にて浸透拡散型亜硝酸リチウムを部材表層部に内部圧入する
- ③ 削孔箇所を充填材にて埋め戻す

不動態皮膜を早急かつ確実に再生する

亜硝酸イオンによる鉄筋腐食抑制効果のみを目的とした工法

33

33

【リハビリカプセル工法】… 施工状況

34

34

内部圧入工法(その2) 『ASRリチウム工法』

35

35

【ASRリチウム工法】… 工法概要(ASRの補修の場合)

基本性能 『リチウムイオンによるゲルの非膨張化』

圧入量 : Li/Naモル比0.8となるLiNO₂
削孔径 : φ20mmを標準
削孔間隔 : @750mmを標準
注入圧力 : 0.5MPa~1.3MPa程度
注入期間 : 20日~40日程度

- ① コンクリートにφ20mmの削孔を行う
- ② 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部材全体に内部圧入する
- ③ 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、圧入孔を埋め戻す

リチウムイオンによるASR膨張抑制効果のみを目的とした工法

36

36

【ASRリチウム工法】… 工法概要(ASRの補修の場合)



37

37

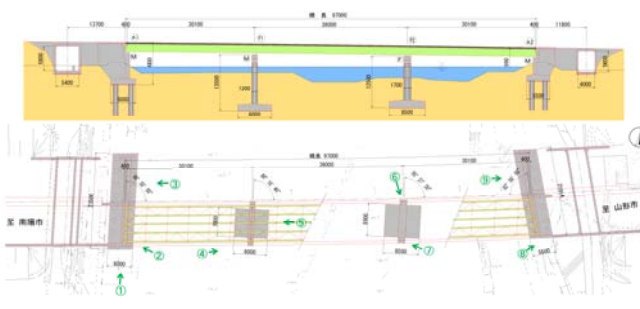
実際の補修事例

- ・補修設計事例
- ・施工事例

38

【須川橋の補修設計】

- ・橋梁名 : 須川橋
- ・竣工年 : 1988年(昭和63年)
- ・一般図 : 下図の通り



39

39

【須川橋の補修設計】

・過年度の点検調査の調査 ⇒ ひび割れが年々増大していることを確認



劣化機構をASRと推定し、それを特定するための各種試験を実施

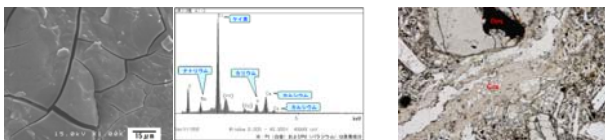
40

40

【須川橋の補修設計】

・劣化機構の特定のため、以下の試験を実施

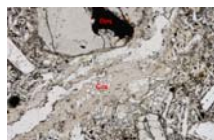
- ①SEM観察 ⇒ アルカリシリカゲルを確認
- ②コア破断面の観察 ⇒ 骨材の割れ、反応リムを確認
- ③電子顕微鏡観察 ⇒ クリストバライト等の反応性鉱物を確認



①SEM観察



②コア破断面観察



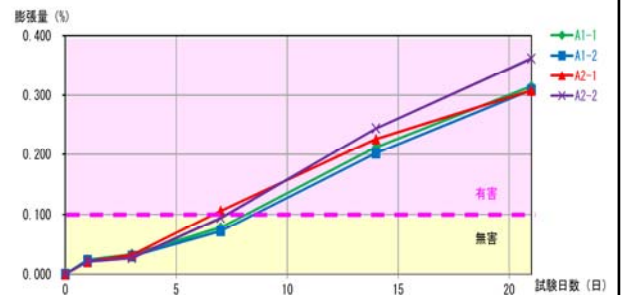
③偏光顕微鏡観察

41

【須川橋の補修設計】

・ASR膨張性の評価のため、残存膨張量試験を実施

試験方法 : カナダ法
判定基準 : 14日間で0.1%以上を有害



42

【須川橋 ASRリチウム工法の採用理由】

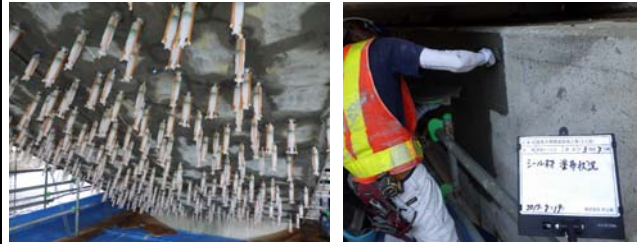
- (1) 残存膨張量が有害
 … 今後もASR膨張はさらに進行することが予測される。
- (2) 維持管理シナリオの検討
 … 一般的なASR補修では早期に再劣化することを前提とする
 ⇒シナリオ① 再劣化と再補修を繰り返す維持管理シナリオ
 ⇒【ひび割れ注入工+表面保護工を定期的を実施】
 シナリオ② 再劣化を許容しない根本的な維持管理シナリオ
 ⇒【亜硝酸リチウム内部圧入工を1度だけ実施】
- (3) ライフサイクルコスト(LCC)の評価
 … 短いサイクルで再補修を繰り返すシナリオ①よりも、根本対策を講じるシナリオ②のほうが総合的に安価となる。



ASR膨張を根本的に抑制するASRリチウム工法

43

【ASRリチウム工法 施工手順】



① 表面漏出防止(ひび割れ注入)

② 表面漏出防止(表面シール)

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)

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

44

【ASRリチウム工法 施工手順】



③ 鉄筋探査工

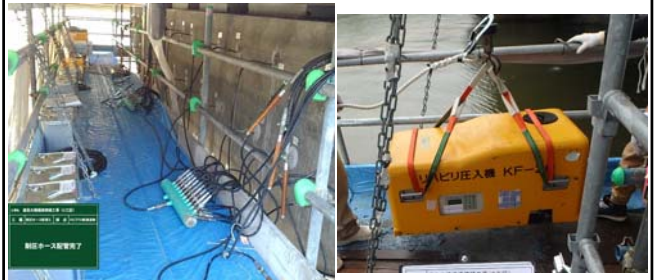
④ 圧入孔削孔

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

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。

45

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑤ 配管工

⑥ 圧入装置の搬入

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

油圧式圧入装置を必要台数設置する

46

【ASRリチウム工法 施工手順】



⑦ 試験加圧注入工

⑧ 本加圧注入工

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

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

47

【ASRリチウム工法 施工手順】



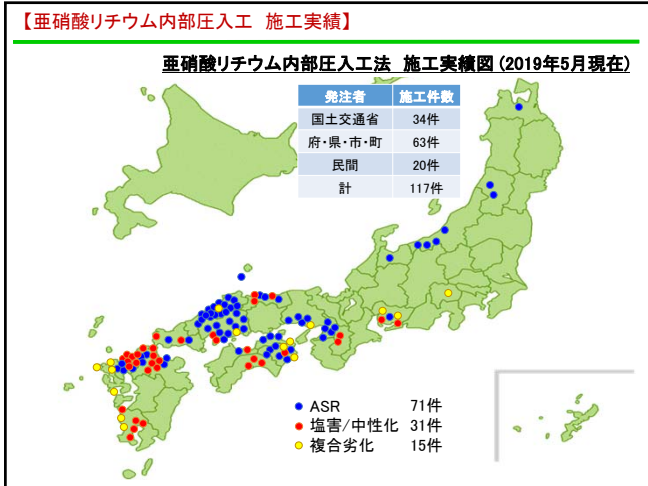
⑨ 圧入孔充填工

⑩ 表面仕上げ工

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

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

48



49

【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
重要度、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」

50

【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(追随性あり)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」

51

【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附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

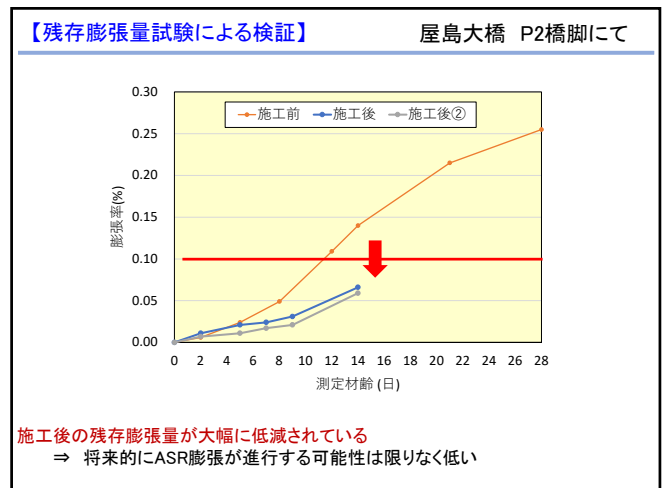
【施工例】H24年 愛媛県東予地方局建設部「一ツ橋」

52

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

53



54

【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

55



56



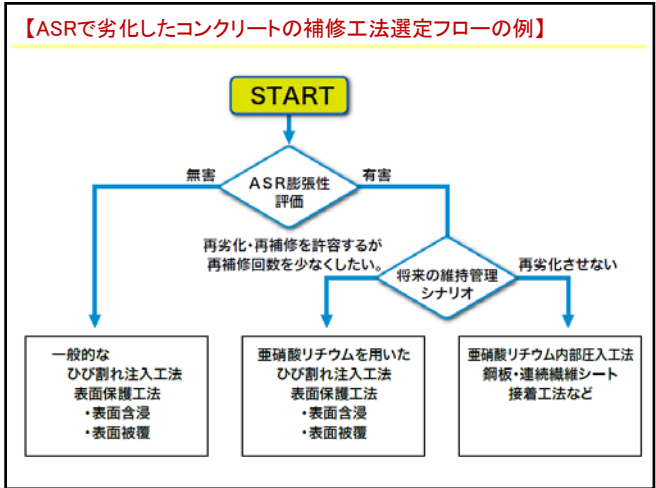
57



58



59



60