

ASRリチウム工法

～亜硝酸リチウムによるASR抑制対策～

工法概要

1. ASRとは
2. ASRの劣化事例
3. ASRの対策
4. ASRリチウム工法の概要
5. 適用範囲および適用構造物
6. 設計手順
7. 施工手順



ASRリチウム工法協会

1. ASRとは



アルカリ骨材反応 (Alkali aggregate reaction ; AAR)

アルカリシリカ反応 (Alkali silica reaction ; ASR)

【ASRとは】

- コンクリート中の反応性骨材中に含まれるシリカ鉱物と、セメント中のアルカリに由来する水酸化アルカリ (NaOH, KOH) が化学反応し、骨材周囲に**アルカリシリカゲル**が生成する。
- アルカリシリカゲルは**吸水膨張**する性質があり、水分の供給により長期間にわたり膨張する。
- アルカリシリカゲルの膨張は、コンクリートに**異常膨張**や**有害なひび割れ**、**鉄筋破断**などを発生させる。

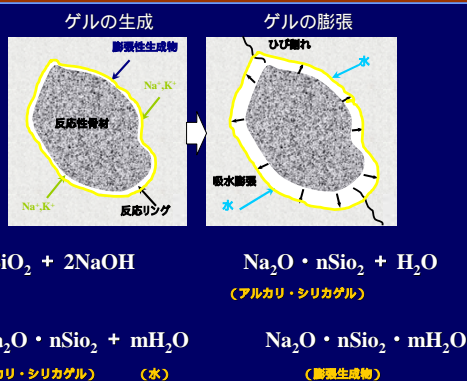
【簡略化すると・・・】

- コンクリートの骨材として、膨張性のある「**反応性骨材**」が使用された。
- コンクリートは高「**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。



反応性骨材がアルカリ分、水分と反応して膨張することにより、コンクリートに有害なひび割れが生じる。

【図にすると・・・】



【ASRによるコンクリートの劣化】

【外観変状】

- 無筋コンクリートや鉄筋量の少ないコンクリート構造物では、**網目状**、**亀甲状**のひび割れがみられる
- 鉄筋量の多いコンクリート構造物やPC構造物では、拘束力の大きい**鋼材の方向に沿った**ひび割れがみられる
- アルカリ骨材反応によるひび割れからは、**白色のゲル状**の析出物がみられることがある
- コンクリート表面が内部の膨張力によって盛り上がり、ひび割れ部に**段差**を生じる場合がある

【力学的性能の低下】

- コンクリートの**圧縮強度**、**静弾性係数の低下**
- 鉄筋とコンクリートとの**付着力の低下**
- **鉄筋破断**による耐荷性能低下

2. ASRによる劣化事例

【擁壁の例】



擁壁のような無筋コンクリートや鉄筋量の少ないコンクリートでは、**網目状**、**亀甲状のひび割れ**がみられることが多い

擁壁には表面から雨水が、背面から地下水が供給される。



7

【橋脚の例】



ASRのひび割れから**白色のゲル**の滲出がみられることがある。

橋脚には表面から雨水が、天端には伸縮継手からの水分が供給されることが多い。



8

【鉄筋破断の例】

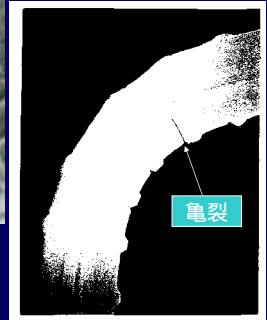


鉄筋破断は、曲げ加工部に見られることが多い。



9

【鉄筋破断の例】



10

【橋台、フーチングの例】



フーチングなどの地下に埋設された構造物もASRによる劣化がみられる。

橋台では、水平方向のひび割れが卓越してみられることが多い。



11

【上部工の例】

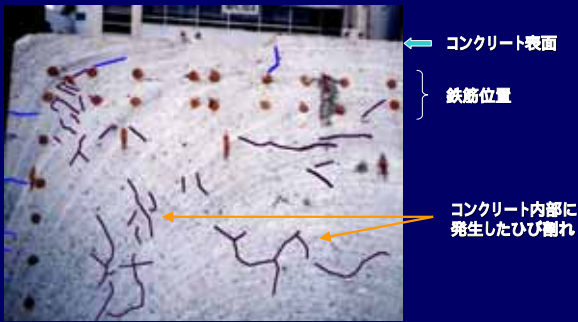


鉄筋量の多いコンクリート構造物やPC構造物では、拘束力の大きい鋼材に**平行なひび割れ**がみられる



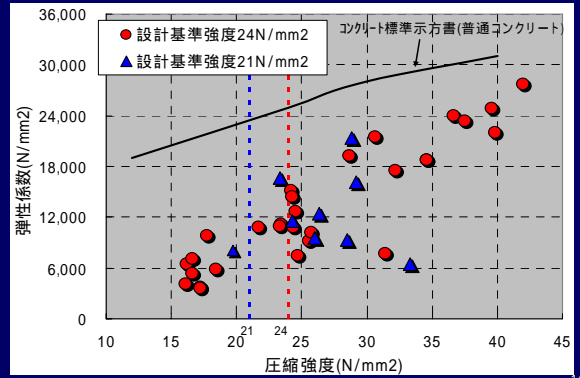
12

【コンクリート内部のひび割れの例】



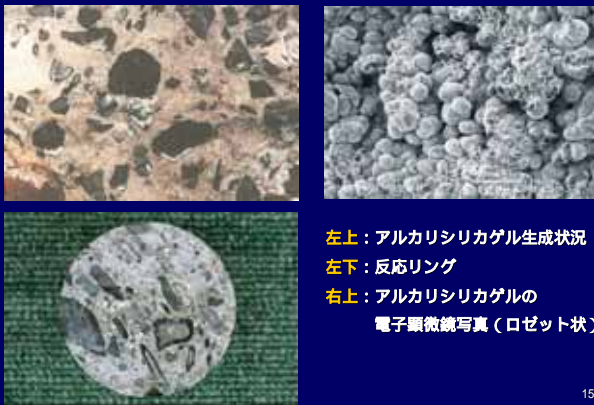
13

【圧縮強度，静弾性係数の低下の例】



14

【反応生成物の例】



左上：アルカリシリカゲル生成状況
 左下：反応リング
 右上：アルカリシリカゲルの電子顕微鏡写真（ロゼット状）

15

【ASRの劣化過程 ～潜伏期・進展期・加速期・劣化期～】

潜伏期		<ul style="list-style-type: none"> ・アルカリシリカゲルの生成段階。 ・外観上の変化なし。
進展期		<ul style="list-style-type: none"> ・アルカリシリカゲルの吸水膨張が継続的に進行。 ・ひび割れが発生。 ・コンクリートの強度低下が始まる。

16

【ASRの劣化過程 ～潜伏期・進展期・加速期・劣化期～】

加速期		<ul style="list-style-type: none"> ・アルカリシリカゲルの吸水膨張が大きく進展。 ・膨張速度が最大を示す。 ・ひび割れ密度増大。
劣化期		<ul style="list-style-type: none"> ・ひび割れ，変位，変形が大きく進展。 ・過大な膨張によりコンクリート強度が著しく低下し鋼材の破断が発生するなど耐力に影響を及ぼす。

17

【ASRによる劣化の実態】



反応性のある骨材の分布状況

「コンクリートの耐久性向上技術の開発(土木研究センター)」より

18

3. ASRの対策



表面被覆工



ひび割れ注入工



表面含浸工



リチウムイオン内部圧入工

【土木学会では】



「アルカリ骨材反応対策小委員会報告書, 平成17年8月より」

【国土交通省では】

ASRに関する対策検討委員会 H16年7月～

(委員長: 宮川豊章 京都大学大学院教授)

ASRの発生した橋台、橋脚等に関して、ASRの進行状況に応じた調査・補修・補強方法などについて最新の知見をもとに検討



「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」
平成20年3月

国土交通省近畿地方整備局HPよりダウンロード可

【国土交通省では】

「アルカリ骨材反応による劣化を受けた道路橋の橋脚・橋台躯体に関する補修・補強ガイドライン(案)」 H20年3月より

【海外では】

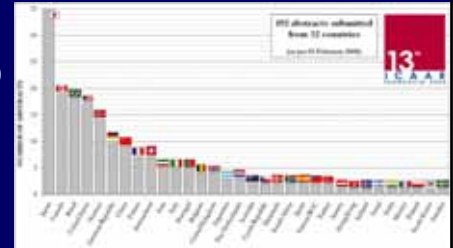
13th ICAAR TRONDHEIM 2008



【13th ICAAR TRONDHEIM 2008】

第13回 アルカリ骨材反応に関する国際会議

- 期間 2008年6月16日～20日
- 開催地 ノルウェー(トロンハイム)
- 参加国 32ヶ国
- 論文発表数 123編
- セッション
 - 反応性骨材の性質
 - ASRのメカニズム
 - ASRの調査、試験方法
 - ゲルの化学分析
 - ASRによる性能低下
 - ASRコンクリートの耐荷性能
 - 補修、補強
 - リチウムによる膨張抑制



セッション名と発表数

	英文タイトル	和文タイトル	発表題数
1	Performance Testing	性能試験	6
2	Diagnosis and appraisal I	診断と評価 I	6
3	The PARTNER Program and other projects	共同研究ほかプロジェクト	6
4	Diagnosis and appraisal II	診断と評価 II	6
5	Mitigation	緩和・軽減	6
6	Reinforcement and bonding	補強と接着	6
7	Strategies against damage (Recommendations)	損傷対策(提案)	7
8	Lithium and coatings	リチウムと表面被覆	7
9	Mitigation - Lithium	緩和・軽減-リチウム	6
10	Alkali Carbonate Reaction and Petrography	アルカリ炭酸塩反応と岩石分類学	6
11	Chemical aspects of AAR	アルカリ骨材反応の化学的側面	6
12	Case studies I	事例研究 I	6
13	Chemical and mineral properties of AAR gel	アルカリ骨材反応のゲルの化学および鉱物特性	7
14	Case studies II	事例研究 II	7
15	Supplementary Cementing Materials (SCM)	補助的なセメント系材料	5
16	Strength properties and structural aspects	強度特性と構造特性	7
17	Mitigation - Testing	緩和・軽減-試験	7
18	Structural modeling	構造モデル	6
19	Other Test Methods	他の試験方法	5
20	Petrography	岩石分類学	5
		合計	123



リチウムイオン内部圧入工に関する発表

海外でのリチウムイオンを用いたASR補修工事例



リチウム路面噴霧



リチウムイオン電気化学的浸透



リチウム化合物の真空注入

1) 外部からの水分浸入の抑制

- ・表面被覆工 (有機系, 無機系など)
- ・表面含浸工 (シラン系撥水材など)
- ・ひび割れ注入工 (有機系, 無機系注入材)

2) ASR膨張の進行抑制

- ・リチウムイオン内部圧入工 (ゲルの非膨張化)

3) ASR膨張の拘束

- ・拘束 (鋼板, FRPシート, PC巻立てなど)

【表面被覆工】～外部からの水分浸入の抑制～

- 《概要》
- ・有機系または無機系の表面被覆材をコンクリート表面に塗布することにより, 外部からの水分の浸入を抑制する。
 - ・その結果, アルカリシリカゲルの吸水膨張反応が抑制される。
 - ・期待される補修効果は『劣化進行の遅延』である。

- 《長所》
- ・ASR対策としての実績は最も多い。
 - ・イニシャルコストは比較的安価である。

- 《短所》
- ・環境, 構造条件によっては, 表面被覆材の遮水性により逆にコンクリート内部の水分逸散を阻害し, 再劣化した事例もある。
 - ・定期的に再補修を行う必要があり, LCCでは不経済となる場合もある。



無機系被覆工の例



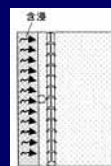
有機系被覆工の例

【表面含浸工】～外部からの水分浸入の抑制～

- 《概要》
- ・シラン系撥水材などをコンクリート表面に塗布し, 含浸させることにより, 外部からの水分の浸入を抑制するとともに, 内部からの水分逸散を助長する。
 - ・その結果, アルカリシリカゲルの吸水膨張反応が抑制される。
 - ・期待される補修効果は『劣化進行の遅延』である。

- 《長所》
- ・施工性に優れ, イニシャルコストも安価である。
 - ・近年, 研究開発が数多くなされており, 施工実績も増えている。

- 《短所》
- ・含浸性能, 撥水性能, 長期耐久性などにおいて課題がある。
 - ・定期的に再補修を行う必要があり, LCCでは不経済となる場合もある。



表面含浸材のイメージ



表面含浸材塗布状況

【ひび割れ注入工】～外部からの水分浸入の抑制～

- 《概要》
- 有機系または無機系のひび割れ注入材をコンクリートのひび割れに注入することにより、外部からの水分の浸入を抑制する。
 - その結果、アルカリシリカゲルの吸水膨張反応が抑制される。
 - 期待される補修効果は「劣化進行の遅延」である。
 - ひび割れ注入工単独ではなく、表面被覆工や表面合浸工などと併用されることが多い。



無機系注入材の例

31

【拘束】～ASR膨張の拘束～

- 《概要》
- 劣化したコンクリート部材の周囲を、RC・鋼板・FRPシートなどで巻立てることにより、コンクリートの膨張を物理的に拘束する。
 - 補脚耐震補強などと併用して適用されることもある。
 - 期待される補修効果は「劣化進行の遅延」である。
- 《長所》
- 鉄筋破断を伴う劣化がみられる場合には、耐荷性能を向上させる対策と併用して適用されることもある。
- 《短所》
- 対策後はコンクリートの状況のモニタリングが困難である。
 - 膨張拘束に必要な補強量を合理的に算出することが困難である。
 - イニシャルコストは比較的高価である。



鋼板巻立工の施工状況

32

【リチウムイオン内部圧入工】～ASR膨張の進行抑制～

- 《概要》
- 亜硝酸リチウムを主成分とするASR抑制剤をコンクリート内部へ加圧注入する。
 - リチウムイオンがコンクリート内部のアルカリシリカゲルを非膨張化することにより、構造物のASR膨張を停止させる。
 - 期待される補修効果は「劣化進行の停止」である。
 - 工法名：「ASRリチウム工法」
- 《長所》
- ASRによる劣化を根本から抑制することができる。
 - 再劣化を生じないため、LCCでは経済的となることが多い。
- 《短所》
- 新工法であるため、他工法に比べて施工実績が少ない。
 - イニシャルコストが比較的高価となる。

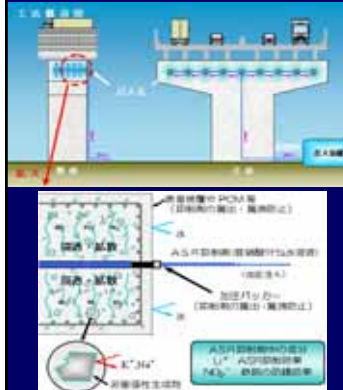


ASRリチウム工法の施工状況

33

4. ASRリチウム工法の概要

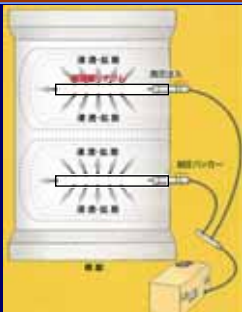
【工法概要図】



- ASRによる劣化進行を根本的に抑制する補修工法。
- コンクリートに削孔し、亜硝酸リチウムを主成分とする抑制剤を加圧注入する。
- コンクリート内部に浸透したリチウムイオンがアルカリシリカゲルを非膨張化し、以後の膨張を抑制する。
- 一般名称は「リチウムイオン内部圧入工法」

34

【工法概要】



目的

- コンクリート内部膨張の抑制（アルカリシリカゲルの非膨張化）
- 塩害対策（不導体被膜の再生）

使用材料および注入量

- 抑制剤主成分：亜硝酸リチウム
- 注入量：Li⁺/Na⁺モル比1.0相当量

圧入孔の削孔

- 直径 10, 20, 38mm
- 間隔 500mm ~ 750mm

圧入圧力

- 0.5MPa ~ 1.5MPa程度
- （コンクリートの強度や劣化度による）

平均圧入時間

- 10日間 ~ 60日間程度
- （コンクリートの強度や劣化度による）

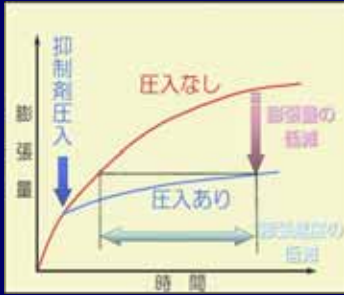
35

【圧入装置】

	ガス圧式圧入装置	油圧式圧入装置
装置		
能力	<ul style="list-style-type: none"> 圧力供給原理：窒素ガス 圧力範囲：0.3 MPa ~ 2.0MPa 	<ul style="list-style-type: none"> 圧力供給原理：油圧シリンダー（バッテリー駆動） 圧力範囲：0.5MPa ~ 2.0MPa
仕様	<ul style="list-style-type: none"> 形状寸法： <ul style="list-style-type: none"> 外径 216（内径 204） ×高さ890mm 容量：26.2 	<ul style="list-style-type: none"> 形状寸法： <ul style="list-style-type: none"> 全長960mm × 全幅460mm ×全高455mm 容量：14.0

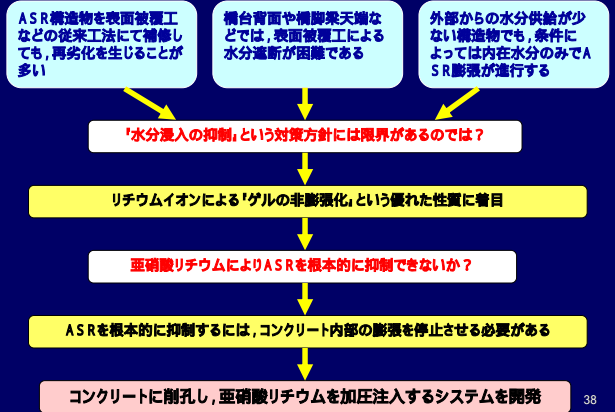
36

【ASR膨張抑制イメージ図】



- 亜硝酸リチウムを加圧注入することで、構造物内部コンクリートの将来的な膨張を低減する。
- 膨張抑制のイメージは左図のようになる。

【ASRリチウム工法の開発】



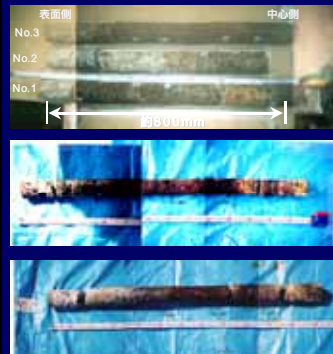
【ASRリチウム工法の開発過程】

(課題)

(検証方法)

- | | |
|---|--|
| 加圧注入により、コンクリート内部にまでリチウムイオンを浸透させることが可能か？ | 呈色反応試験により浸透状況を確認することにより検証 |
| 加圧注入により、ASR膨張は抑制することが可能か？ | 加圧注入前後の残存膨張量を比較することにより検証 |
| ASR膨張抑制に必要な亜硝酸リチウム注入量は？ | 亜硝酸リチウム注入量をパラメータとした供試体実験により検証 |
| 適切な施工仕様は？ | 注入圧力、注入時間、注入間隔などをパラメータとした供試体実験、試験施工により検証 |

【加圧注入により、コンクリート内部にまでリチウムイオンを浸透させることが可能か？】

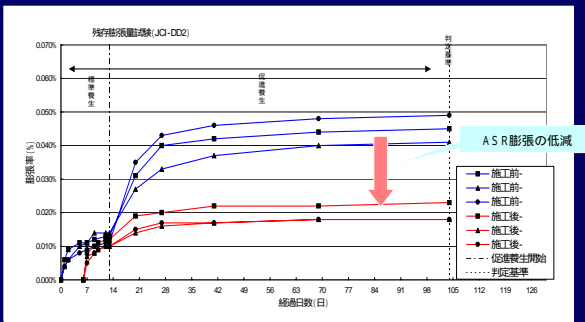


呈色反応試験により浸透状況を確認することにより検証

- 試験TIDは亜硝酸リチウムと反応すると、無色透明から茶褐色に変色する
- 加圧注入後のコンクリートから長尺コアを採取し、呈色反応試験を実施した
- コアの呈色状況から、コンクリート内部にまでリチウムイオンが浸透していることを確認した

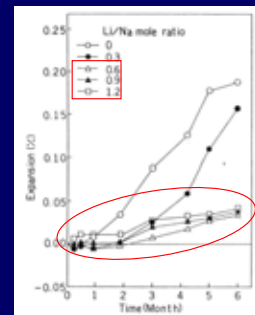
【加圧注入により、ASR膨張は抑制することが可能か？】

加圧注入前後の残存膨張量を比較することにより検証



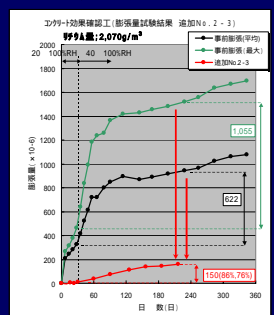
【ASR膨張抑制に必要な亜硝酸リチウム注入量は？】

亜硝酸リチウムを混和剤としてコンクリート打設時に混入



出典：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 Sep.1992

亜硝酸リチウムを硬化コンクリートに加圧注入



抑制剤(亜硝酸リチウム40%水溶液) Li+/Na+モル比 1.0 と設定

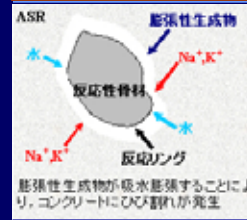
【使用材料】 ～亜硝酸リチウム～

『亜硝酸リチウムとは』

- ・原材料は「ナフサ」, 「リチア輝石」
- ・外観は青色または黄色の透明水溶液
- ・「リチウムイオン」はアルカリシリカゲルを非膨張化する
(ASR対策として期待できる)
- ・「亜硝酸イオン」は不動態被膜の再生により鉄筋腐食を抑制する
(塩害対策として期待できる)



【リチウムによるゲルの非膨張化】



『アルカリシリカゲルの吸水膨張』



膨張性生成物が吸水膨張することにより、コンクリートにひび割れが発生

『リチウムによるゲルの非膨張化』



リチウムによる非膨張性生成物は骨材の膨張を抑制する

『亜硝酸リチウムの安全性』

- ・毒物・劇物には該当していない]
- ・ガン研究機関, 各国政府による発ガン性物質のリストにリストアップされていない
- ・硝酸性窒素または亜硝酸性窒素としての環境基準値: 10mg/
(水質汚濁に係わる環境基準 平成15年11月5日)
- ・使用上の注意
飲用, 多量に吸引すると急性中毒を起こすことがある
皮膚に付着するとかぶれることがある

5. 適用範囲および適用構造物

【適用範囲】

- (1) 劣化過程が【進展期】以上であり、かつコアの膨張量が各機関の定める基準値を超える構造物
- (2) 劣化過程が【進展期】以上であり、かつコアの弾性係数がコア圧縮強度から推定される健全なコンクリートの弾性係数より低下している構造物
- (3) 劣化過程が【進展期】以上であり、かつコアの圧縮強度が設計基準強度より低下している構造物



【潜伏期】

【進展期】

【加速期】

【劣化期】

【適用構造物】

- ・RC構造物全般
例) 橋梁上部工, 下部工, 基礎工, 擁壁, ロックシェッド, 護岸構造物, ダム, etc.
- ・PC構造物に対する適用は要検討。

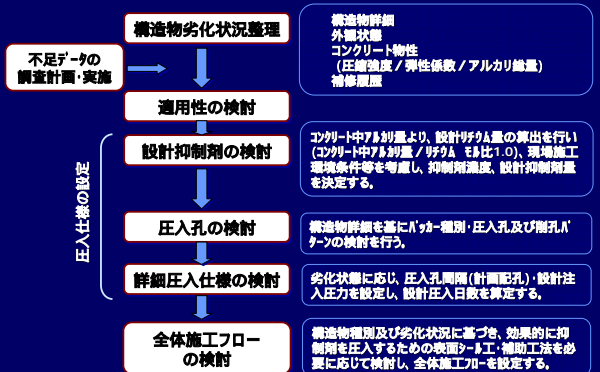
【適用構造寸法】

- ・圧入孔削孔の直線性確保の観点から, 最大部材厚6,000mm程度。

【適用環境】

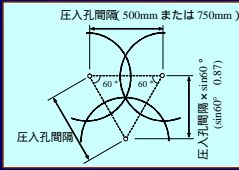
- ・上下水道施設に対する適用は要検討。
- ・水中施工は不可。

6. 設計手順

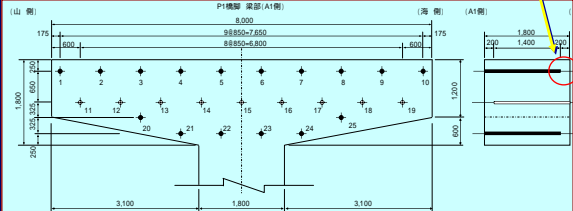


【基本圧入孔間隔及び計画配孔】

【基本圧入孔間隔】

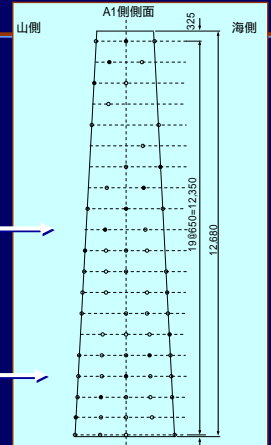
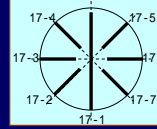
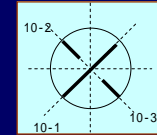


配孔例 1 橋脚梁部



49

配孔例 2 橋脚柱部



50

【設計注入圧力】

標準設計圧力 0.5 ~ 1.5 MPa

(1.5 MPaを超える場合、躯体表面からの抑制剤の漏出が懸念される)

躯体強度から定まる上限注入圧力

- ・推定引張強度 = 圧縮強度(コンクリート物性調査結果) / 10
- ・上限注入圧力 = 推定引張強度 / 安全率

(安全率;3)

圧縮強度 (N/mm ²)	推定引張強度 (N/mm ²)	上限注入圧 (MPa)
20	2.0	0.67
25	2.5	0.83
30	3.0	1.00

51

【設計抑制剤量】

コンクリート中のアルカリ量(Na⁺換算)に対し抑制剤中のLi⁺がモル比1.0となる量を設計抑制剤量とする。

[標準仕様]Na⁺/Li⁺モル比 1.0

亜硝酸リチウム40%水溶液 換算表

コンクリート中のAl ₂ O ₃ 換算 Na ₂ O換算 (kg / m ³)	Al ₂ O ₃ 換算に対する Na ⁺ 質量; (kg / m ³)	モル比1.0となる Li ⁺ 質量 (kg / m ³)	ASR抑制剤量 (40%水溶液) (kg / m ³)
3.0	2.230	0.677	12.815
4.0	2.970	0.903	17.093
5.0	3.710	1.129	21.370
6.0	4.450	1.355	25.648

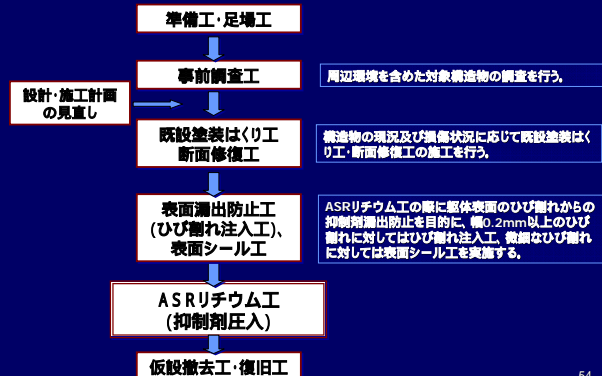
52

【標準圧入日数】

構造物の圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	上限注入圧力 (MPa)	k (m/hour)	設計注入圧力 (MPa)	部材厚 L (m)	コンクリート中のAl ₂ O ₃ 換算 Na ₂ O換算 (kg/m ³)	圧入孔径 D (mm)	圧入孔深 深さ (mm)	圧入に要する時間t (hour)	設計圧入日数T (day)	(8時間/日の場合)
25.0	12,000	0.8	7.53E-07	0.5	1.0	5.0	34.0	500	101	13	29
								750	228	51	
				0.7	1.0	5.0	34.0	500	72	10	21
								750	163	37	
				1.0	1.0	5.0	34.0	500	51	7	7
								750	114	15	
33.0	18,000	1.1	3.69E-07	0.5	1.0	5.0	34.0	500	207	26	59
								750	466	104	
				0.7	1.0	5.0	34.0	500	148	19	42
								750	333	74	
				1.0	1.0	5.0	34.0	500	104	13	30
								750	233	30	
								1,000	414	52	

7. 施工手順

全体施工フロー



54

ASRリチウム工施工フロー

