



# 「アクアカーテン®」を適用した コンクリートの再アルカリ化工法

安藤ハザマ  
技術研究所 土木研究部

齋藤 淳

2017年2月9日



1. 電気化学的な補修方法「再アルカリ化工法、脱塩工法」の紹介
2. 給水養生工法「アクアカーテン」の紹介
3. 再アルカリ化工法および脱塩工法のアクアカーテンを用いた新しい施工方法の紹介



# 1. 電気化学的な補修方法 「再アルカリ化工法、脱塩工法」の紹介

# コンクリートの耐久性



## 鉄筋コンクリート構造物は、半永久的に使用できる??



中性化による鉄筋の腐食

(出典:コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-)

### 【スペック】

- ・コンクリート調配合

湿潤養生が重要

- ・かぶり厚

:

### 【環境】

- ・乾湿繰返し
- ・凍結融解
- ・沿岸、凍結防止剤

:



# 鉄筋コンクリート構造物の主な劣化原因

## 中性化

コンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$  [pH12~13]が、 $\text{CO}_2$ と反応  
⇒  $\text{CaCO}_3$  [pH8.5~10]を生成 (コンクリートのpHが低下)

## 塩害

コンクリート中の塩化物イオン量( $\text{Cl}^-$ )が多くなる現象  
(潮風、凍結防止剤、洗浄不十分な海砂の使用等が原因)



コンクリート自体には悪影響はないが...

鉄筋周囲のpHが低い  
鉄筋周囲に $\text{Cl}^-$ が多量に存在

不動態皮膜が破壊  
鉄筋腐食 ⇒ 膨張, 欠損

鉄筋周囲の環境を健全化することが重要



## 劣化過程に応じた標準的な補修工法

劣化過程	中性化	塩害
潜伏期 (グレードⅠ)	表面処理、再アルカリ化、 増厚	表面処理
進展期 (グレードⅡ)	表面被覆、断面修復、 再アルカリ化	表面処理、脱塩、電気防食、 断面修復
加速期前期 (グレードⅢ-1)	電気防食、再アルカリ化、 断面修復、表面被覆	断面修復、脱塩、電気防食、 たたき落とし、剥落防止
加速期後期 (グレードⅢ-2)	断面修復、表面被覆	断面修復、鋼材の増設や 交換、叩き落とし、剥落防止
劣化期 (グレードⅣ)	断面修復、鋼板、FRP接 着、巻立て、増厚、表面 被覆	断面修復、鋼材の増設や 交換、FRP接着、巻立て、 増厚、叩き落とし、剥落防止

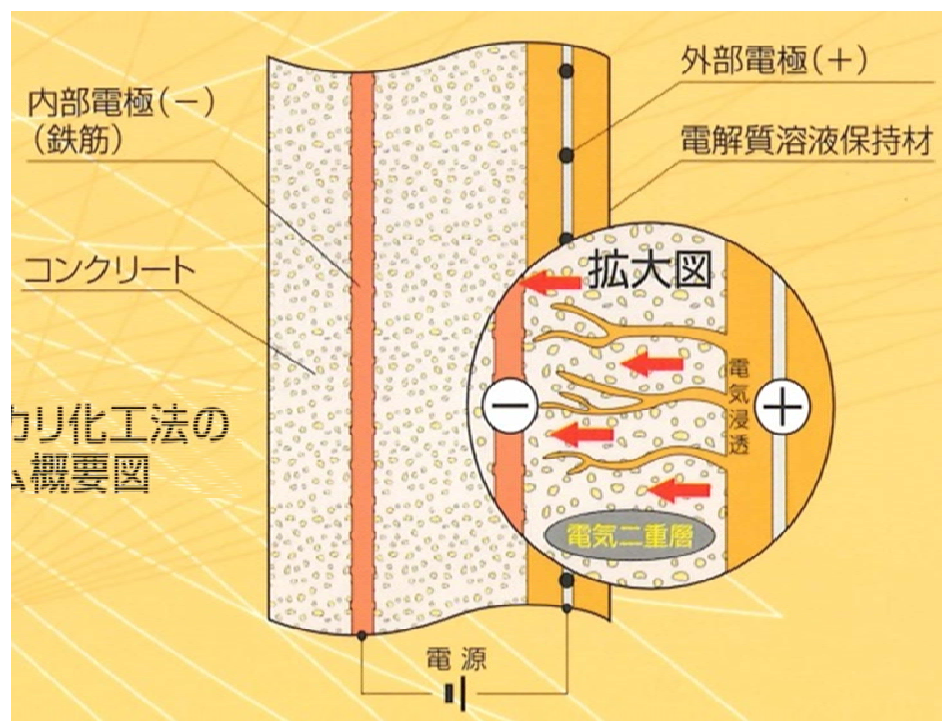
※出典：土木学会 コンクリート標準示方書 維持管理編



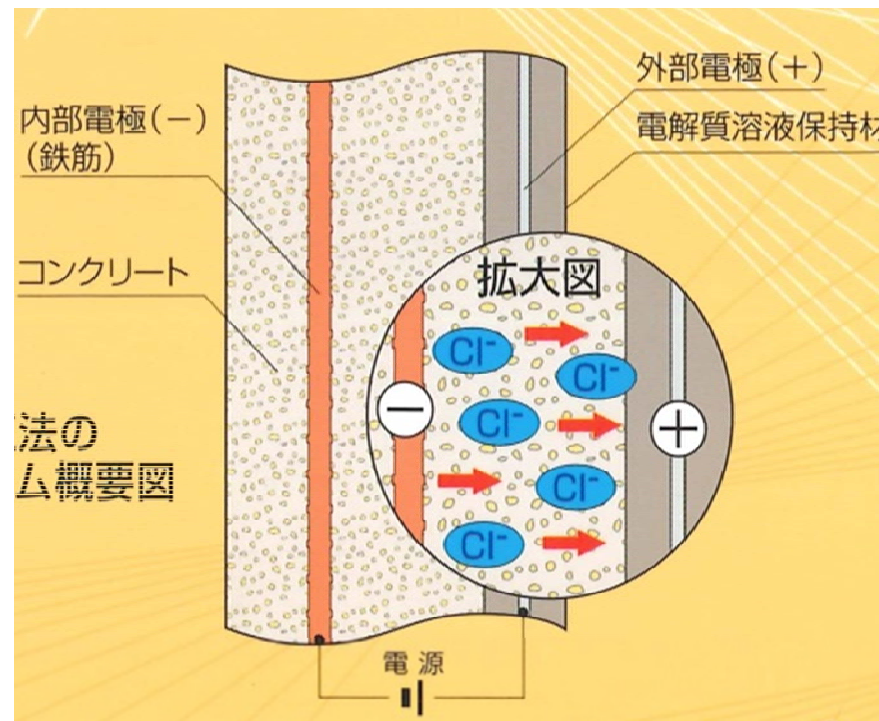


# 再アルカリ化工法、脱塩工法の概要

- 土木学会 電気化学的防食工法 設計施工指針(案)



再アルカリ化工法



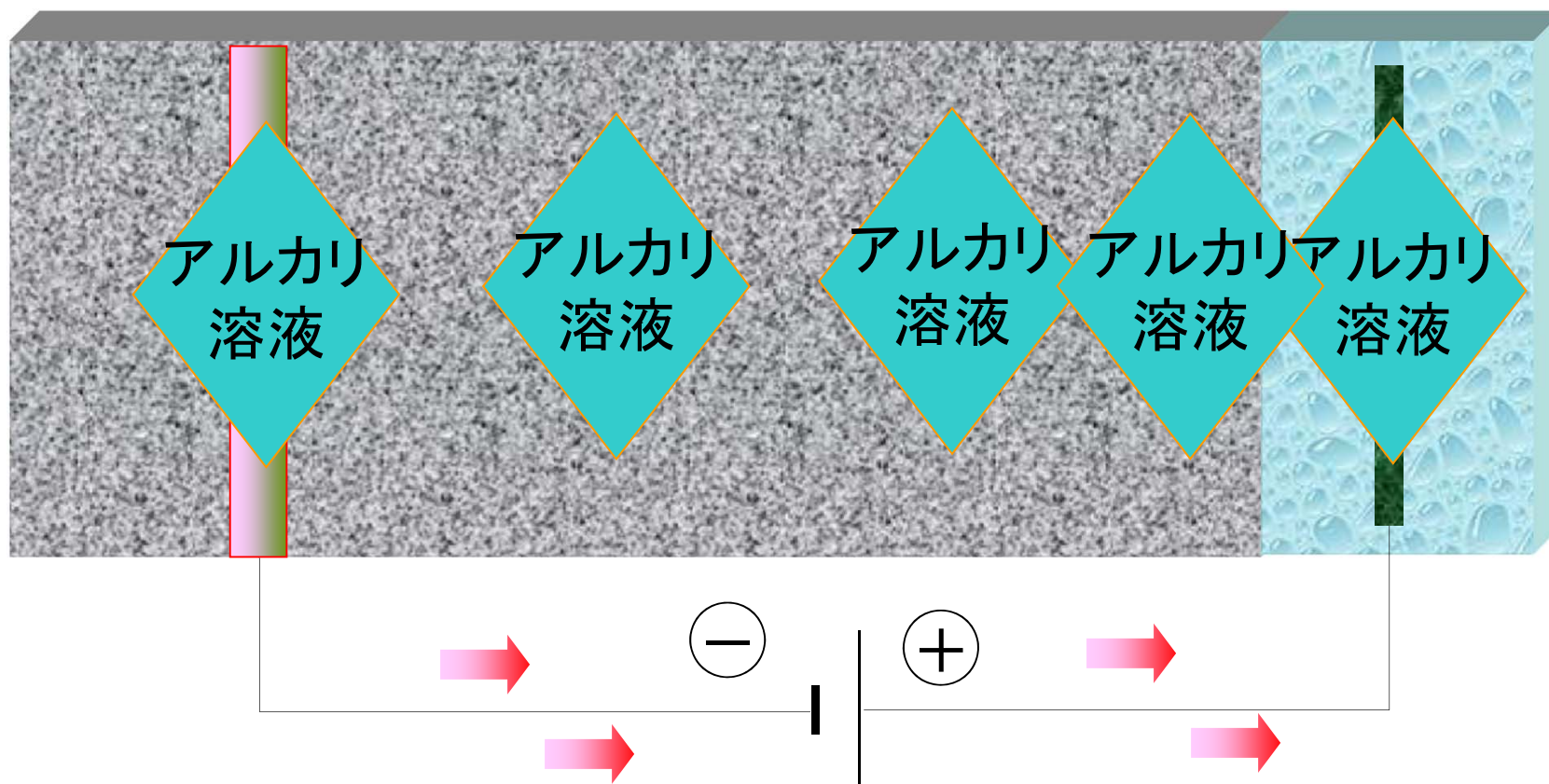
脱塩工法

陸上構造物への適用時には、  
**電解質溶液の供給と陽極材の保持に工夫が必要**



## 再アルカリ化工法の原理

- 内部鉄筋を陰極とし、外面に仮設陽極を設けて、アルカリ溶液を電気浸透



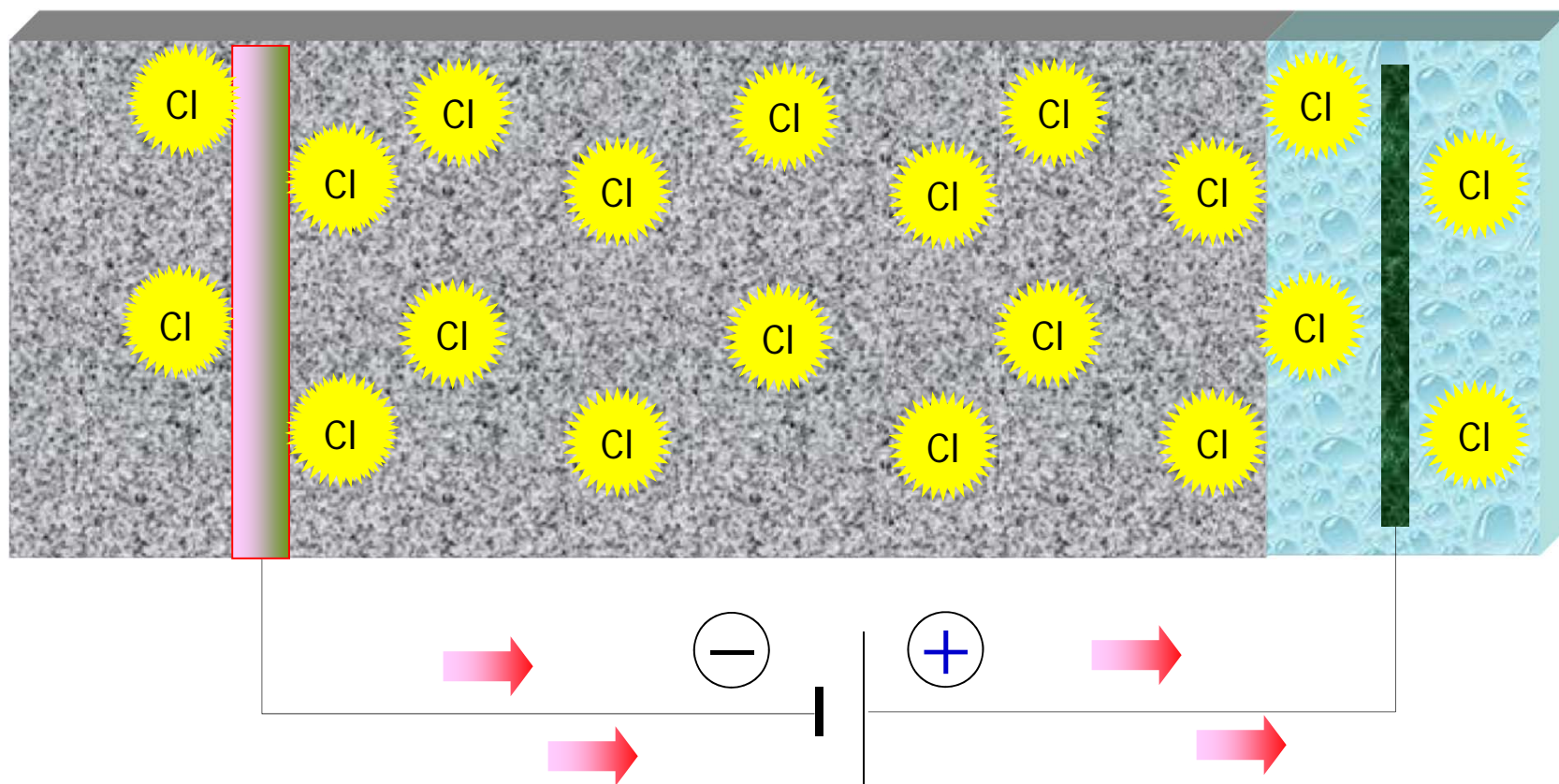
※資料提供: デンカ(株)





## 脱塩工法の原理

- 内部鉄筋を陰極とし、外面に仮設陽極を設けて、塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )を電気泳動



※資料提供: デンカ(株)



# 既往の施工方法

## 【施工方式】



ファイバー方式



パネル方式



ボンディング方式

## 【陽極材】

溶接金網、チタン、チタン合金、貴金属メッキ合金など

## 【電解質溶液】

炭酸Na、炭酸K、炭酸Li、水酸化Ca、ホウ酸Liなど

※資料提供：デンカ(株)

# 再アルカリ化の事例（横浜情報文化センター）



## 構造物の概要

- ・歴史的建築物
- ・昭和3年7月竣工（約70年経過）
- ・RC構造



## 再アルカリ化工法選定理由

歴史的構造物であるため、保存されることとなった。

中性化深さの測定を行なったところ外観上健全と思われる箇所においても**最大80mmの中性化**の進行が確認された。鉄筋が部分的に腐食しており、**塩害、中性化、アル骨、その他自然電位調査等**を実施したところ、**中性化対策を実施することで今後の耐久性を確保**できるとの判断であった。複数のひび割れ、浮きが発生していたため、**断面修復等の後、再アルカリ化処置**を施すこととなった。

※資料提供  
デンカ(株)



# 再アルカリ化の事例（横浜情報文化センター）



## 施工概要

コンクリート表面の前処理

鋼材への陰極の接続

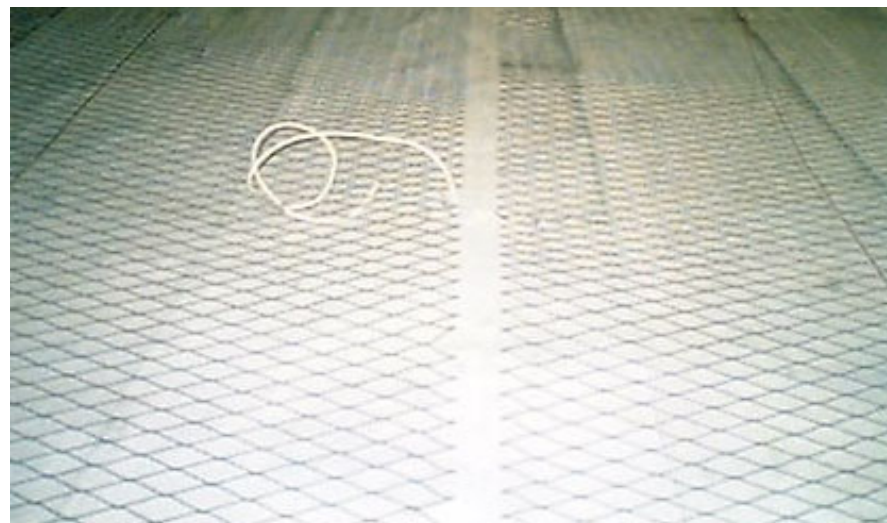
シート、陽極材の設置  
電解質溶液供給

直流電流の通電

溶液の補給

再アルカリ化効果の確認

撤去、清掃、片付け



※資料提供：デンカ(株)

# 再アルカリ化の事例（横浜情報文化センター）



## 施工結果

中性化深さ：処理前の**最大80mm** ⇒ 処理後は**0mm**



$\text{Na}_2(\text{CO})_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaHCO}_3$ （炭酸ナトリウム水溶液の安定式）

炭酸ナトリウムを主成分とする溶液は、重炭酸塩に変化するが、**一般環境下において、ある一定の濃度（pH10.7以上）で平衡状態が保たれる。**非常に耐久性のある補修工法といえる。

※資料提供：デンカ(株)

# 脱塩の事例(洞川橋[国道8号])



## 構造物の概要

海岸の波打ち際に位置する一般道路橋脚で建設後30数年経過していた。日本海の季節風を受けて、海水飛沫による塩害を発生していた。



※資料提供:デンカ(株)



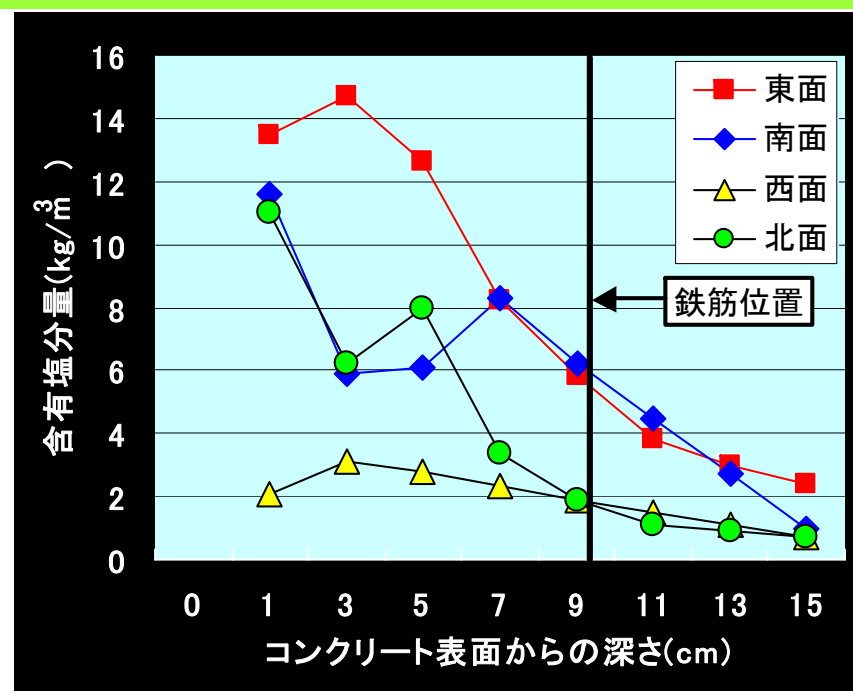


# 脱塩の事例(洞川橋[国道8号])

## 脱塩工法選定理由

橋脚のコンクリート表面から深さ方向の含有塩化物イオン量の分布を図に示す。橋脚の東西南北各面において、飛来塩分による塩化物イオン量の増加が認められる。また、鉄筋位置(かぶり=約9cm)における塩化物イオン量も腐食発生限界塩化物イオン濃度を大幅に超えている。

鉄筋位置における塩化物イオン量が腐食発生限界塩化物イオン濃度を大幅に超えている状態では、いかなる補修を行っても塩害の再発を抑制できない。鉄筋位置における塩化物イオン量を腐食発生限界塩化物イオン濃度以下に低減することが最善であると判断し、脱塩工法を選定した。

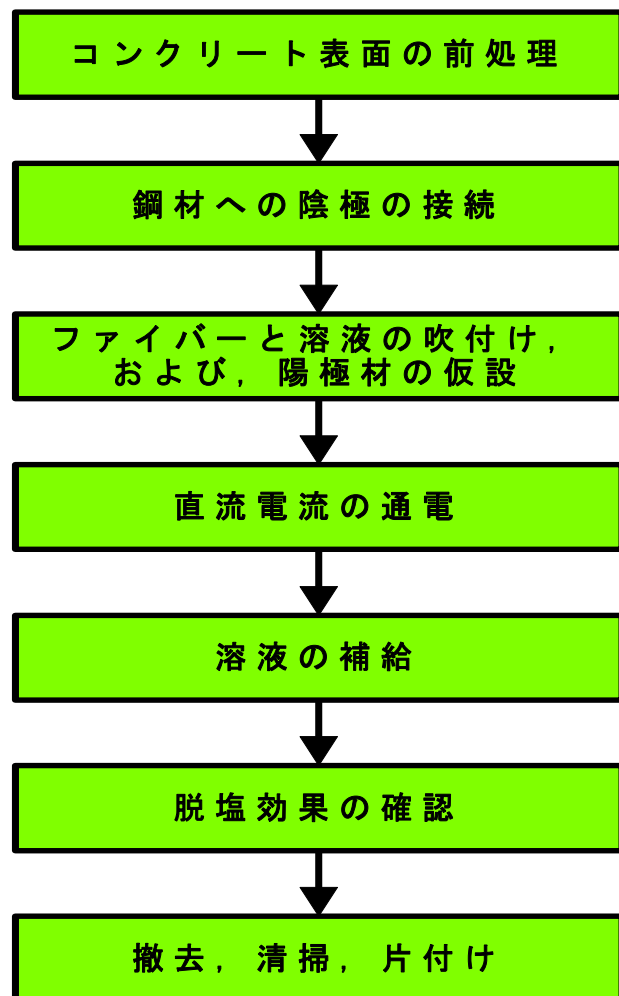


※資料提供:デンカ(株)



# 脱塩の事例(洞川橋[国道8号])

## 施工概要



※資料提供: デンカ(株)

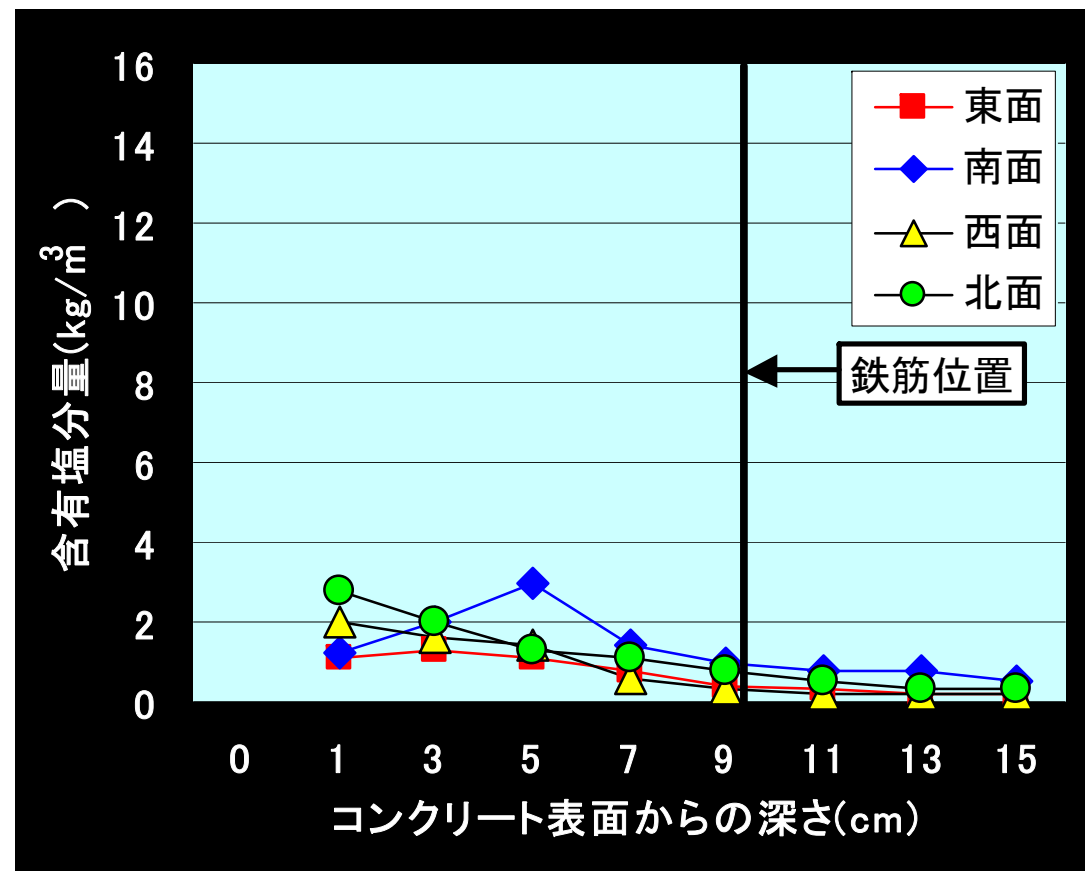


# 脱塩の事例(洞川橋[国道8号])

## 施工結果

コンクリート表面積  $1\text{m}^2$  当たり  $1\text{A}$  の直流電流を8週間通電して、脱塩処理を行った。脱塩処理後の含有塩化物イオン量を図に示す。

鉄筋位置における含有塩化物イオン量は、いずれの面でも約  $1.0\text{kg}/\text{m}^3$  以下に低減した。

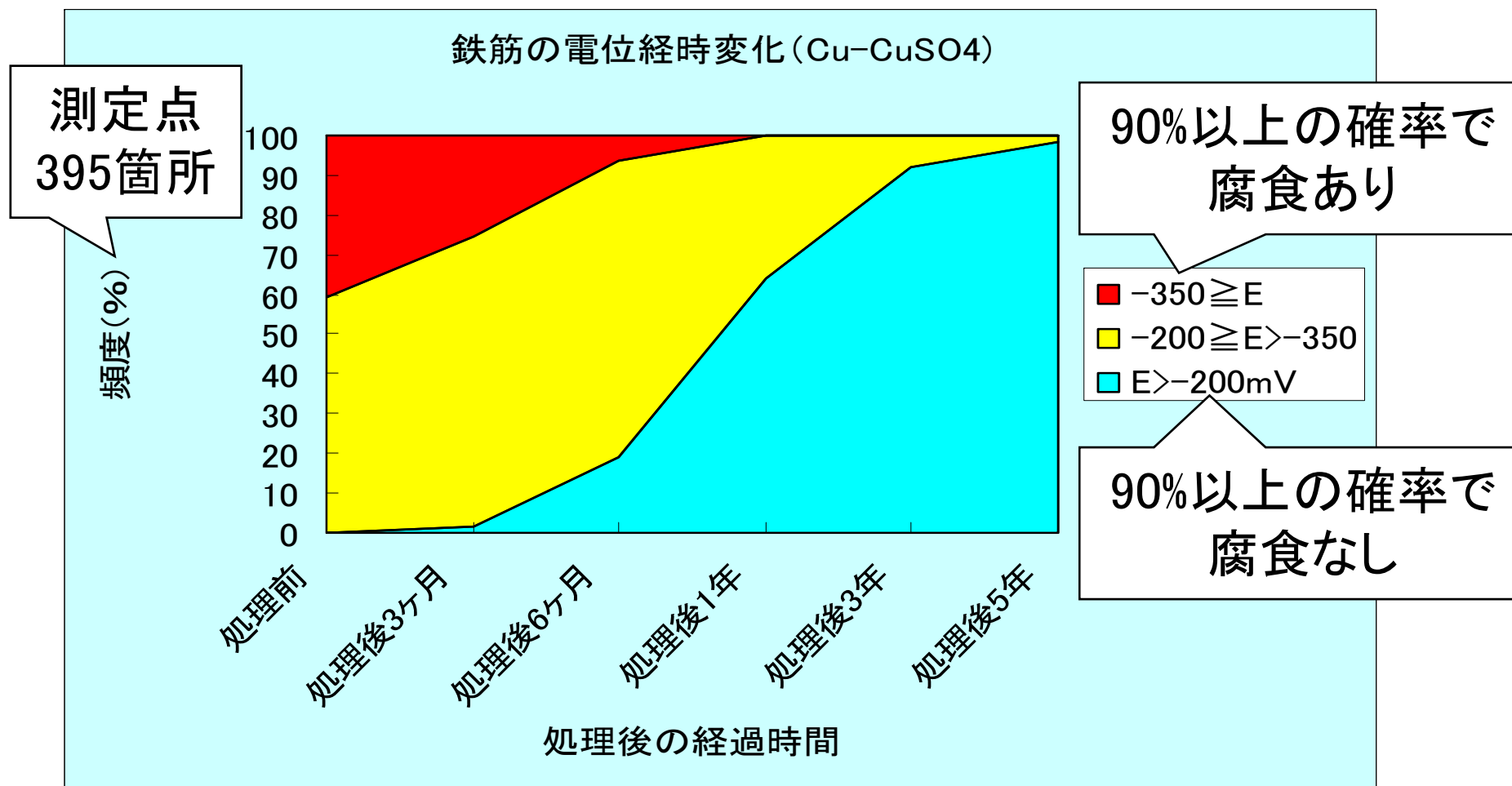


※資料提供: デンカ(株)



# 脱塩の事例(洞川橋[国道8号])

## 自然電位の経年変化



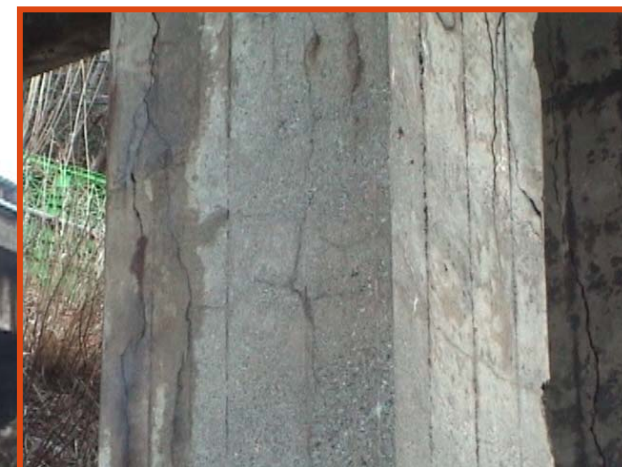
※資料提供:デンカ(株)

# 脱塩の事例(洞川橋[国道8号])



脱塩施工後10年目の状況

脱塩施工部



脱塩未施工部

洞川橋:1993年施工

※資料提供:デンカ(株)



## まとめ(再アルカリ化工法、脱塩工法)

### 施工実績

- ・再アルカリ化工法: 5.5万m<sup>2</sup>
- ・脱塩工法: 2.2万m<sup>2</sup>

### 主な適用構造物

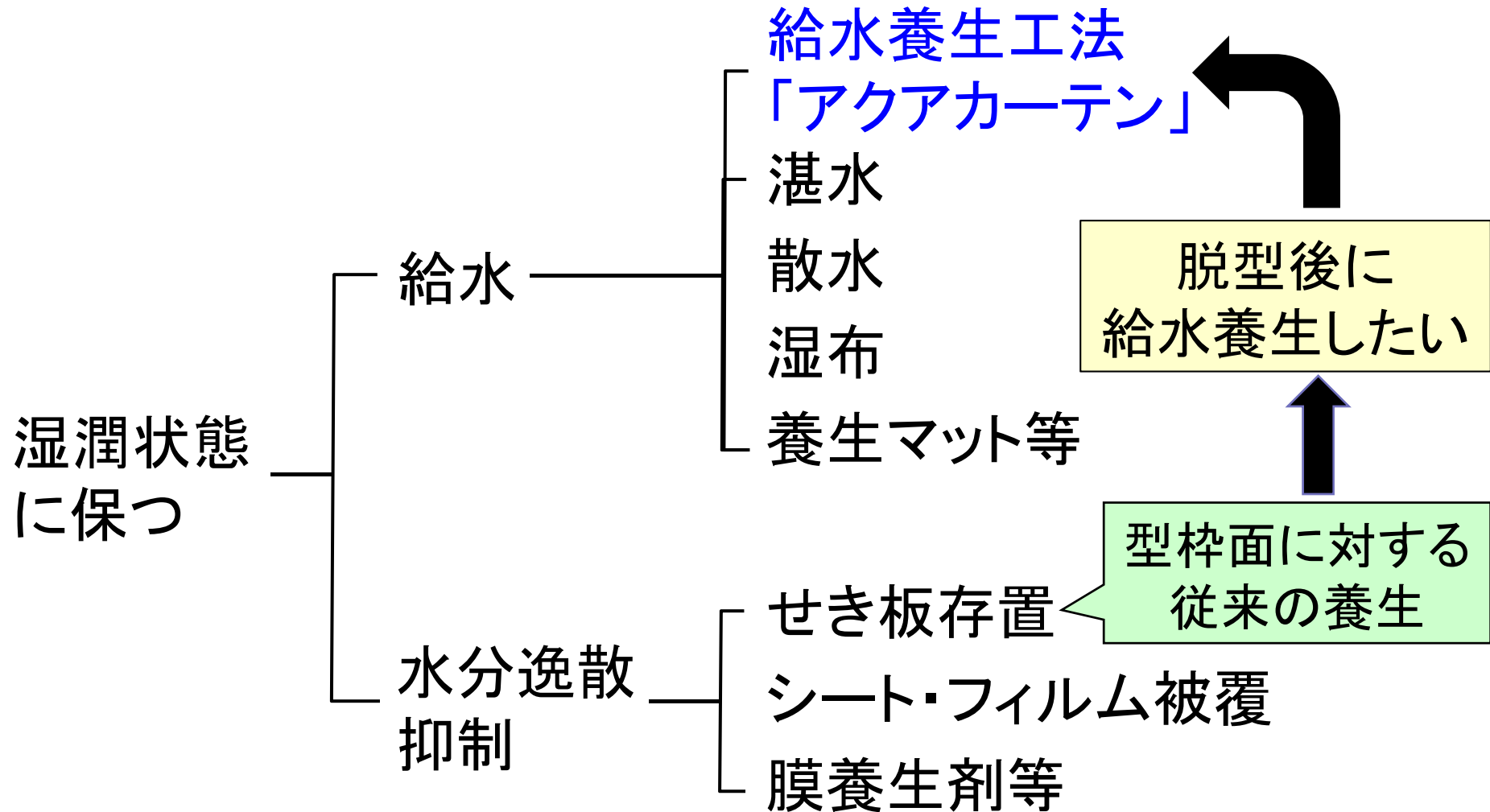
- ・再アルカリ化工法: 橋梁や建築物
- ・脱塩工法: 橋梁





## 2. 給水養生工法 「アクアカーテン」の紹介

# コンクリートの湿潤養生方法の分類

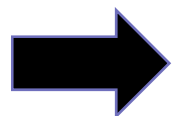


土木学会 コンクリート標準示方書 施工編における分類



## 給水養生の必要性

- ・コンクリートには**余分な水**がもともと含まれてます



なぜ**養生水**が必要なのでしょうか？



ブリーディングによるセメントペーストの分離(締固め後3時間)

余分な水は、締固め後にブリーディングで分離してしまう



## 給水養生の必要性

セメントペーストが硬化すると体積が減少し、空隙が増大

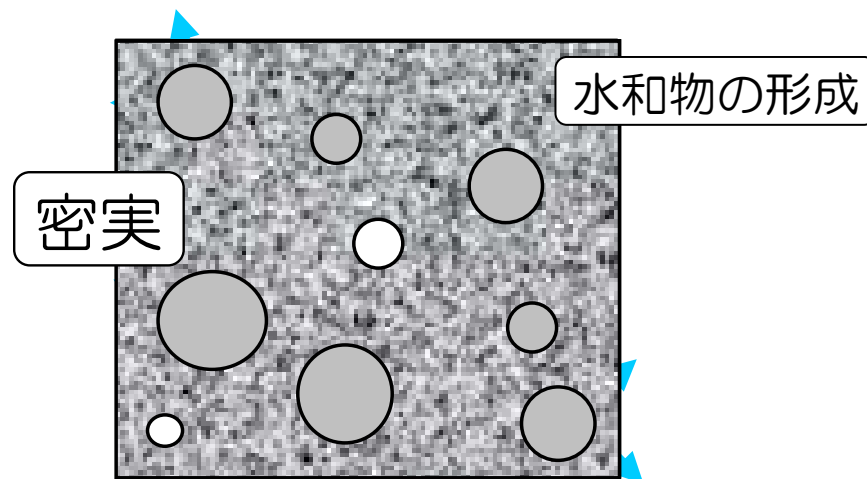


この空隙を水で満たすと

空隙内に水和物を形成



均質で密実なコンクリート





# 給水養生工法「アクアカーテン」の概要

## 技術概要

- ・コンクリート構造物の表面に水膜を形成することで、**水中養生に類似した養生環境**を提供

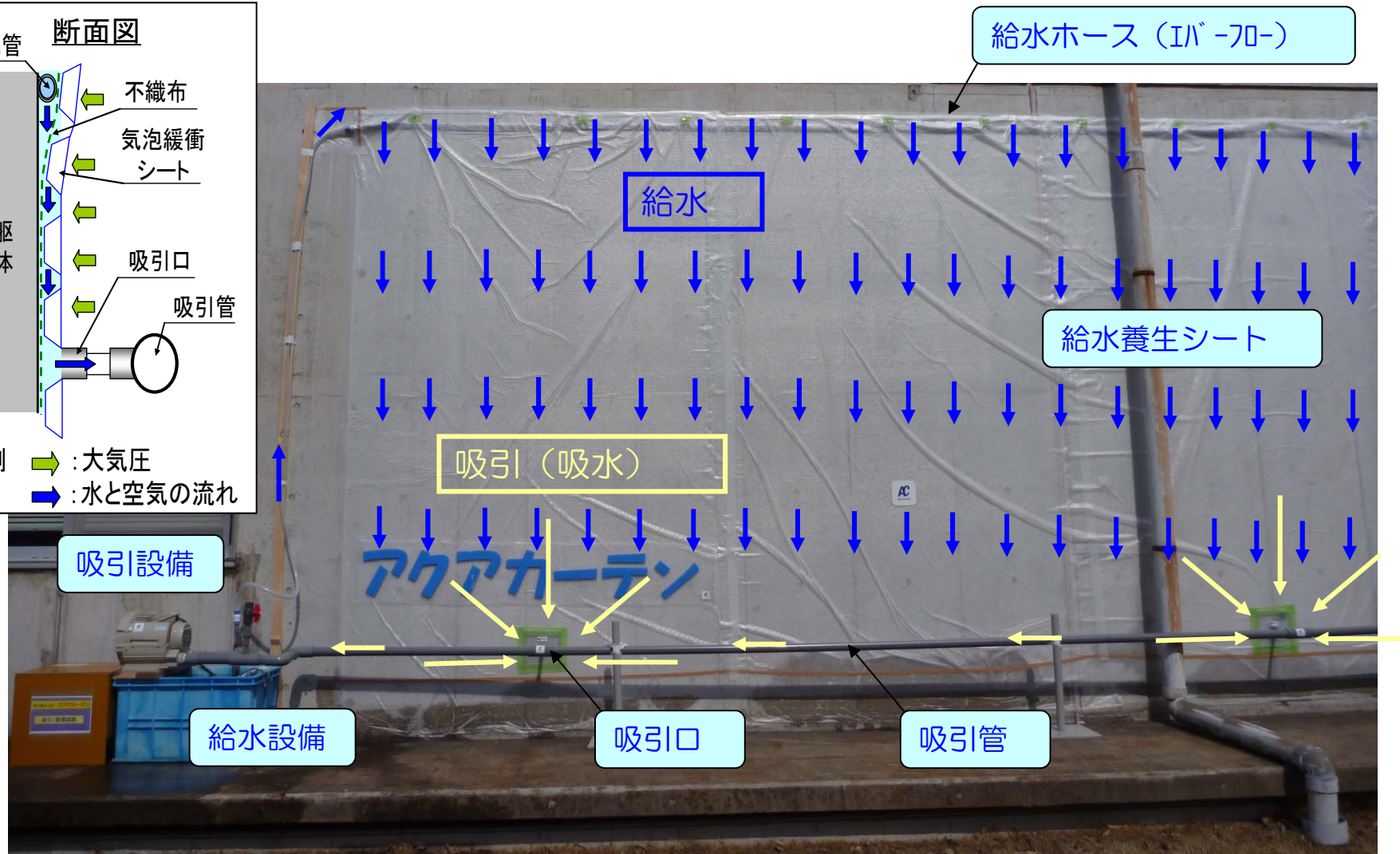
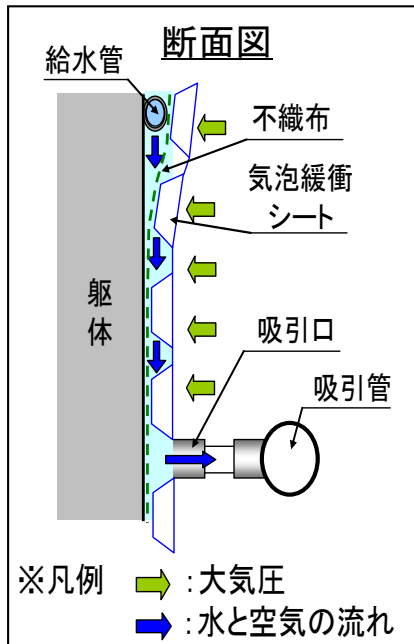
## 技術登録

- ・**NETIS登録**(HR-110011-VE)
- ・**ARIC登録**(1032)

## 表彰

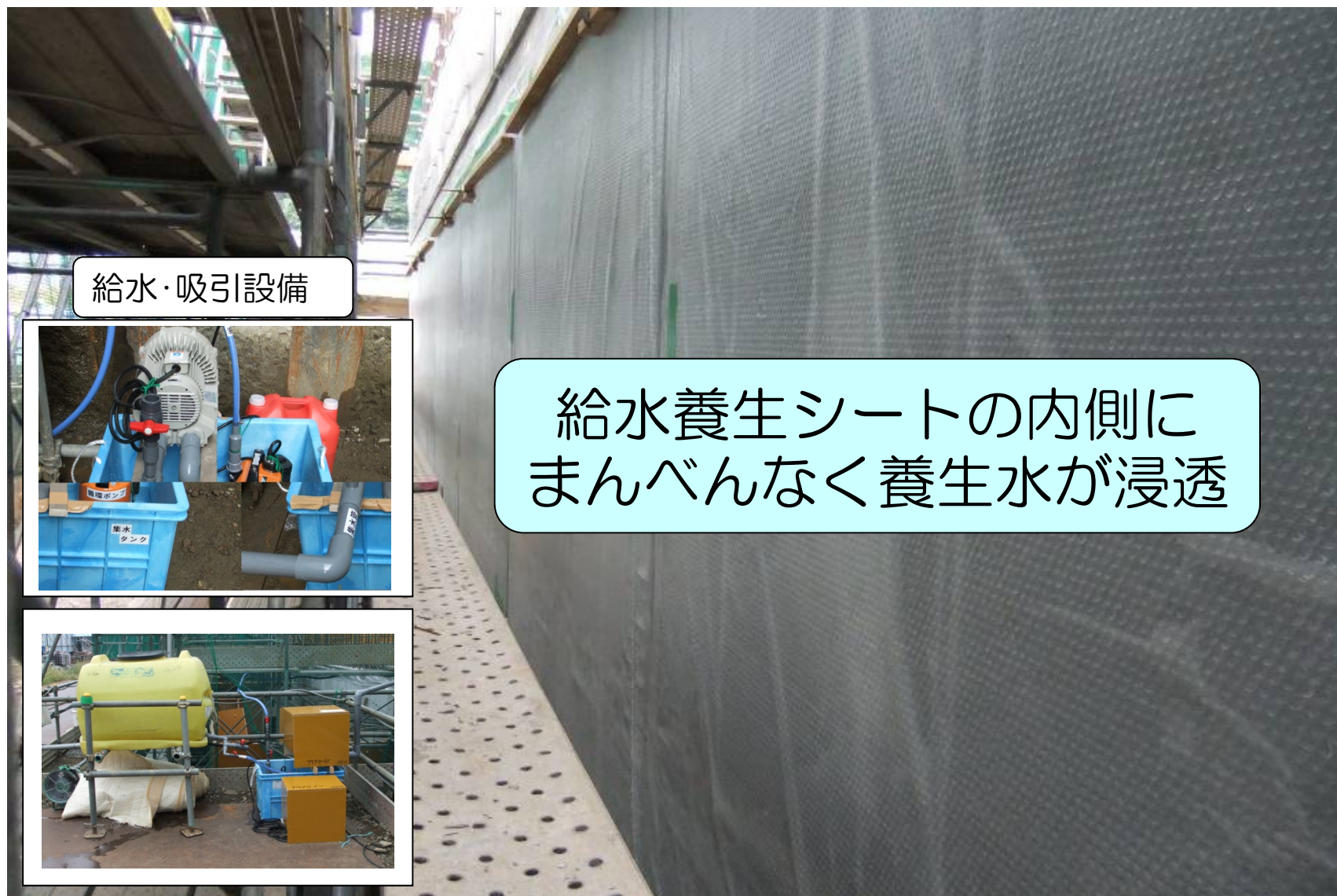
- ・平成23年度**土木学会技術賞**(技術開発賞)
- ・2012年**日本コンクリート工学会賞**(技術賞)等

# 給水養生工法「アクアカーテン」の仕組み





# アクアカーテンの施工事例(生田浄水場)



給水・吸引設備

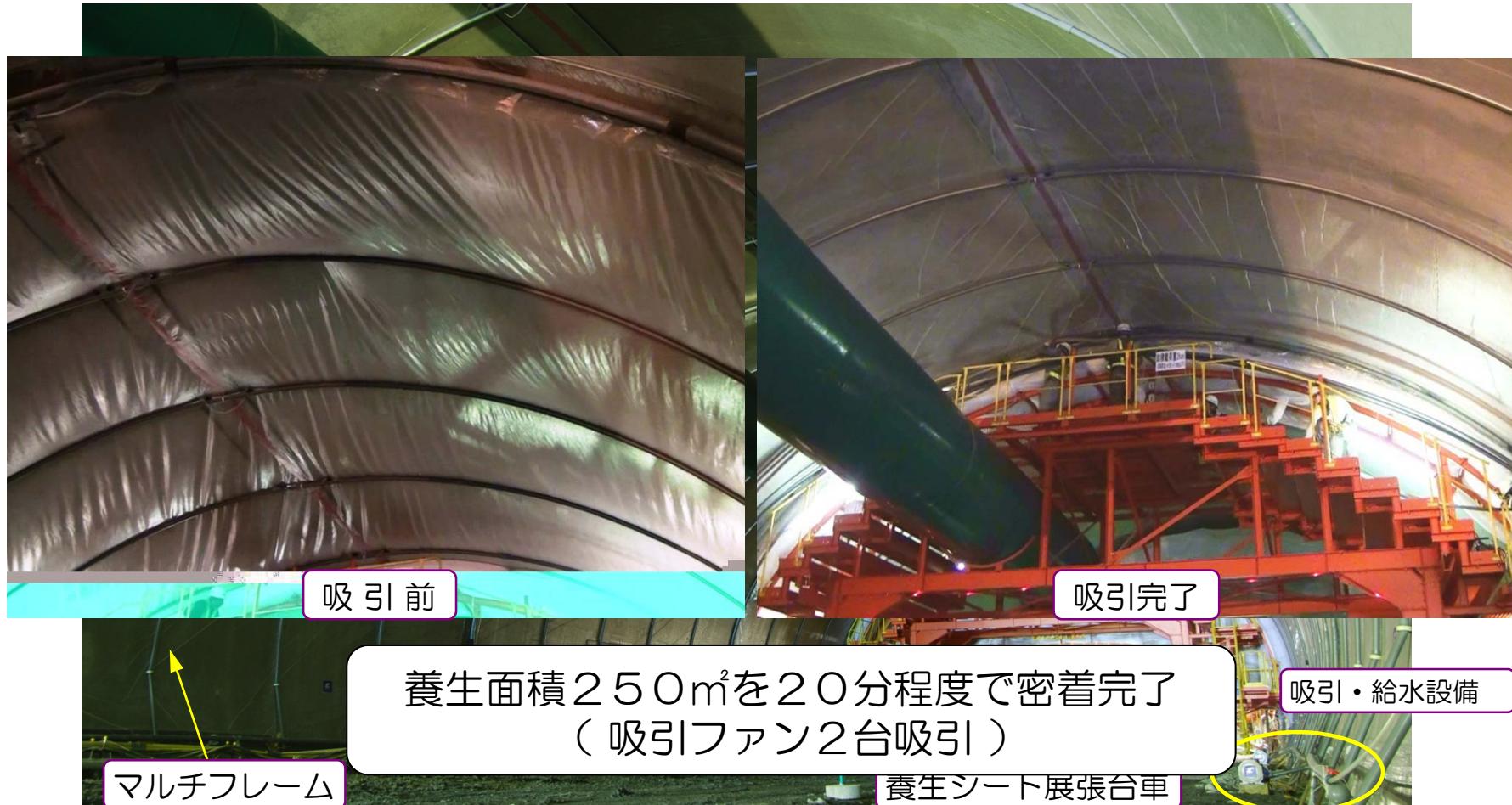


給水養生シートの内側に  
まんべんなく養生水が浸透

# アクアカーテンの施工事例(葛原トンネル)



内空94m<sup>2</sup>の大断面トンネルに適用  
セントル後方の3スパンを1週間養生





## まとめ(アクアカーテン)

### 特長

- ・水中養生に類似した養生環境
- ・長期間の給水養生が可能
- ・市販品を用いた経済性
- ・型枠取外し後短期間で設置可能

### 施工実績(2010年～2016年)

- ・工事件数:91件
- ・適用面積:90.0万m<sup>2</sup>(他社分:約75%)



### 3. 再アルカリ化工法および脱塩工法の アクアカーテンを用いた新しい施工方法 の紹介





## 再アルカリ化、脱塩の新しい施工方法を開発

### アクアカーテンの特徴を活かす

- ・コンクリート表面に均一な水膜を形成  
➡ 電解質溶液の供給
- ・負圧でシートを保持  
➡ 陽極材の保持、作業環境の向上
- ・多数の施工実績  
➡ 施工性の向上

電気化学的補修の専門家による指導の下で開発  
【東工大】大即名誉教授、西田元助教(現京大特定准教授)

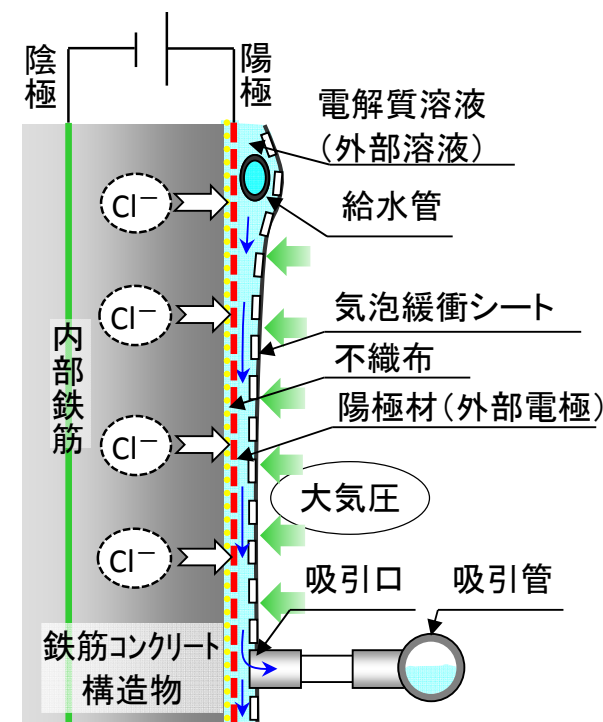
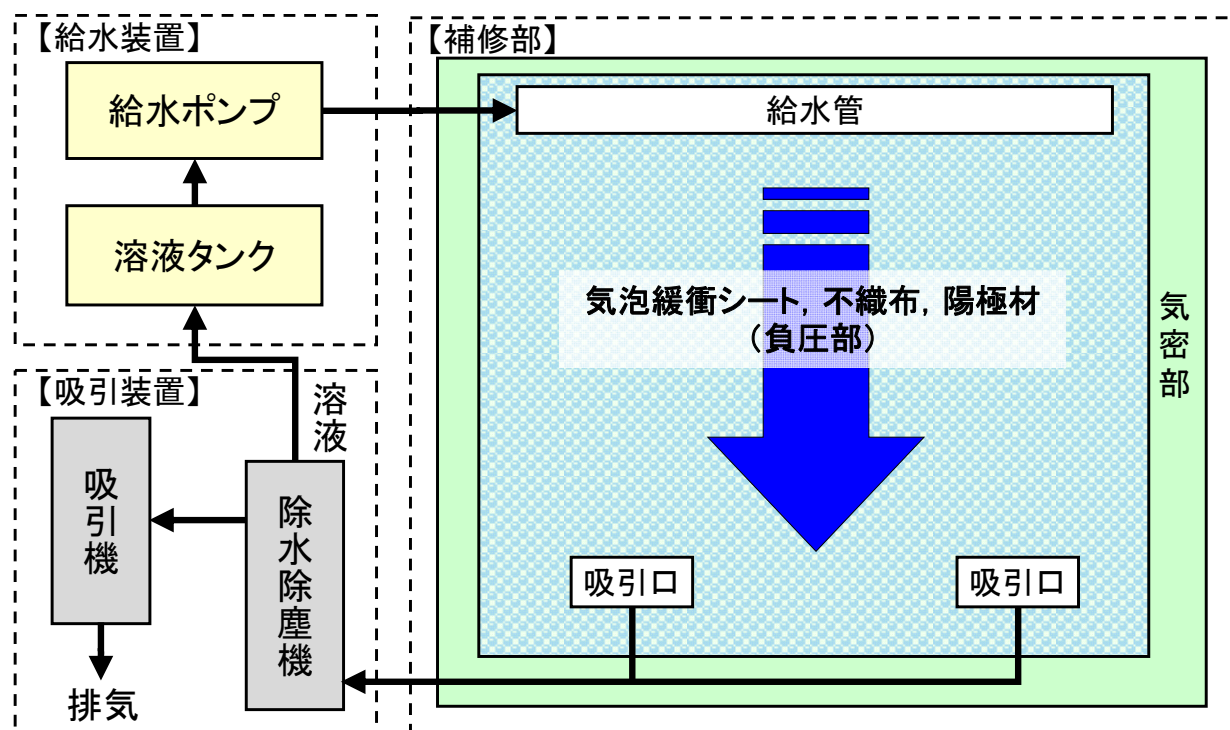


# アクアカーテンを用いた施工方法の概要

## 電解質溶液の安定供給、陽極材の安定保持の実現

- ・給水養生装置の改良 (除水除塵機による気液分離等)

負圧と給水量を向上



新しい施工方法の仕組み

補修部断面図(脱塩)





# 再アルカリ化工法のアクアカーテンによる施工事例

## 構造物の概要

- ・1988年に竣工した建物（供用年数27年）
- ・中性化深さ：最大30mm、ひび割れ：無し

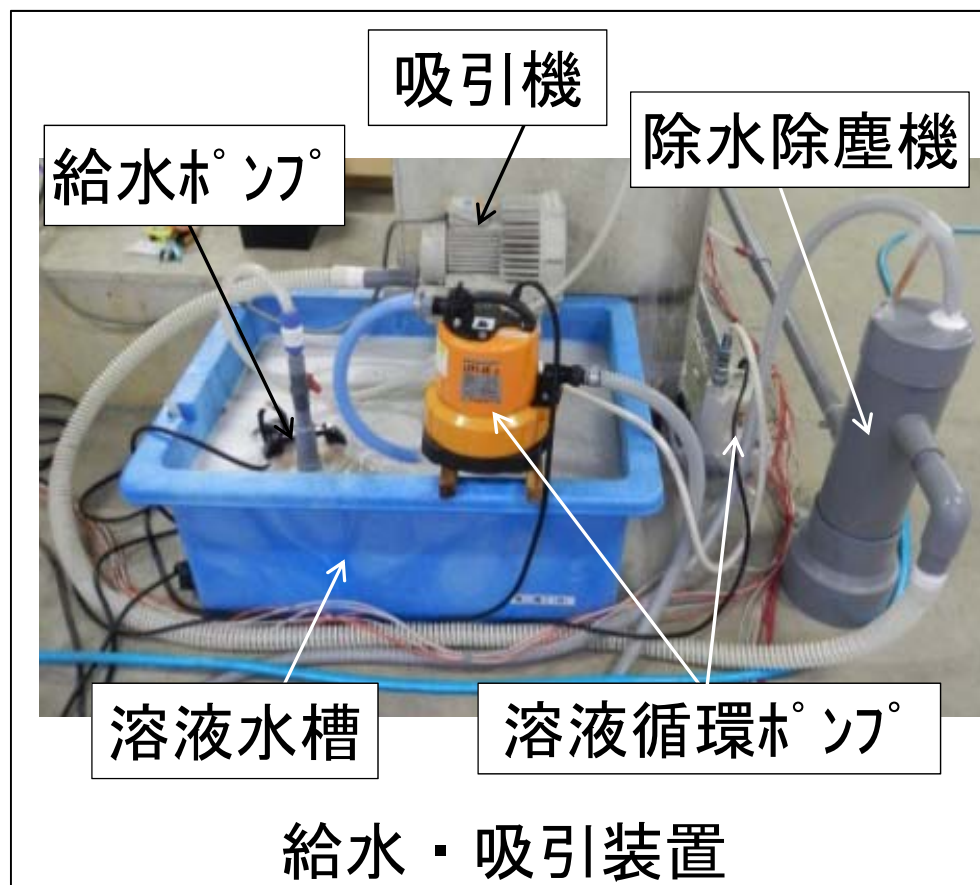
アクアカーテンを用いた再アルカリ化工法を施工  
（施工範囲：高さ1.7m，延長30m）

## 通電条件

- ・電解質溶液：1.2mol/l炭酸カリウム水溶液
- ・電流密度：1.0A/m<sup>2</sup>で2週間の通電
- ・陽極材：チタンメッシュ
- ・陽極距離：0mm（不織布挿入）

実施工での  
一般的な条件

# 再アルカリ化工法のアクアカーテンによる施工事例



**良好な作業環境を実現**  
(粉塵の発生や電解質溶液の飛散が無い)



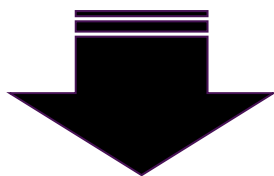
# 再アルカリ化工法のアクアカーテンによる施工事例

## 施工状況

- ・一般作業員4名で、設置2日、撤去1日で実施
- ・電解質溶液は、3日に1回の頻度で溶液水槽に補充
- ・2週間の連続通電実施(シート脱落や漏水など無し)

## 再アルカリ化効果

- ・補修前: 中性化深さ 30mm



補修後: 中性化深さ 0mm  
想定どおりの補修効果!!



屋内壁面の中性化深さ



## アクアカーテンを適用した コンクリートの再アルカリ化工法の特徴

★施工性、作業環境 ➡ 良好

★補修効果 ➡ 従来方式と同様



ご清聴ありがとうございました