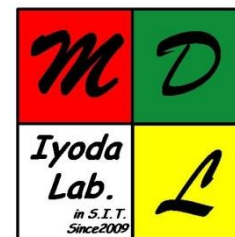


# 維持管理工学

## ～第十三回 補修技術～

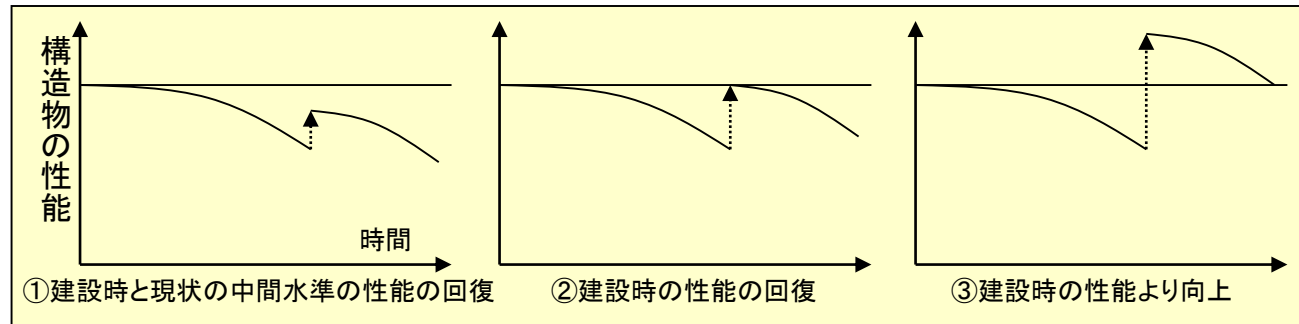
マテリアルデザイン研究室  
伊代田 岳史



# 評価・判定後の対策（RC示方書）

## 評価・判定

- ・即時に要補修
- ・残存期間中に要補修
- ・早期に要補修



## 対策

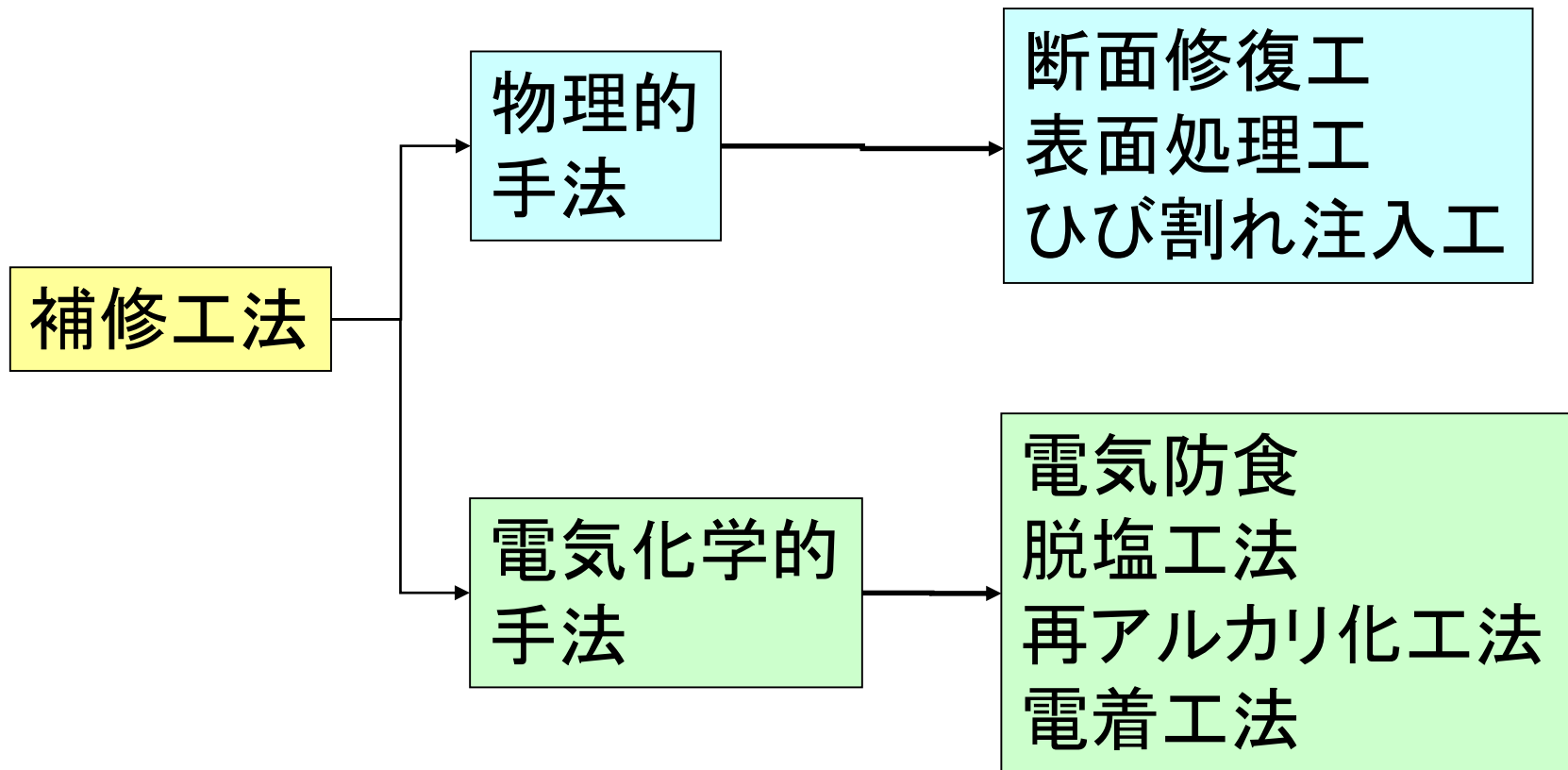
- ・点検強化
- ・補修
- ・補強
- ・修景
- ・信用性回復
- ・機能性向上
- ・供用制限
- ・解体・撤去

残存供用期間？  
ライフサイクルコスト？  
維持管理の難易度？

## 対策の種類

| 構造物の<br>基本性能 | 対策の目標水準         |          |                |
|--------------|-----------------|----------|----------------|
|              | 建設時と現状の<br>中間性能 | 建設時の性能   | 建設時よりも高い<br>性能 |
| 耐久性能         | 補修              | 補修・補強    | 補強             |
| 安全性能         |                 | 補強       | 補強             |
| 使用性能         |                 | 使用性回復・補強 | 機能性向上・補強       |
| 第三者影響度に関する性能 | 補修              | 補修       |                |
| 美観・景観        |                 | 修景       | 修景             |

# 補修工法の分類



# 補修工法（物理的手法）

断面修復工：除去したコンクリートの修復

表面処理工：劣化因子（水、炭酸ガス、酸素、化学物質など）のコンクリート中への浸透防止、剥落防止など

ひび割れ注入工：劣化因子のコンクリート中への局所的浸透防止、物理特性の改善

# 補修工法（電気化学的手法）

電気防食工法：継続的な通電を行うことによってコンクリート中の鋼材の腐食反応を電気化学的に制御

脱塩工法：仮設陽極を設置して通電を行うことによってコンクリート中に存在する塩化物イオンを電気化学的に除去もしくは低減

再アルカリ化工法：中性化したコンクリートに仮設陽極を設置し通電を行うことによって電気化学的にアルカリ性を付与

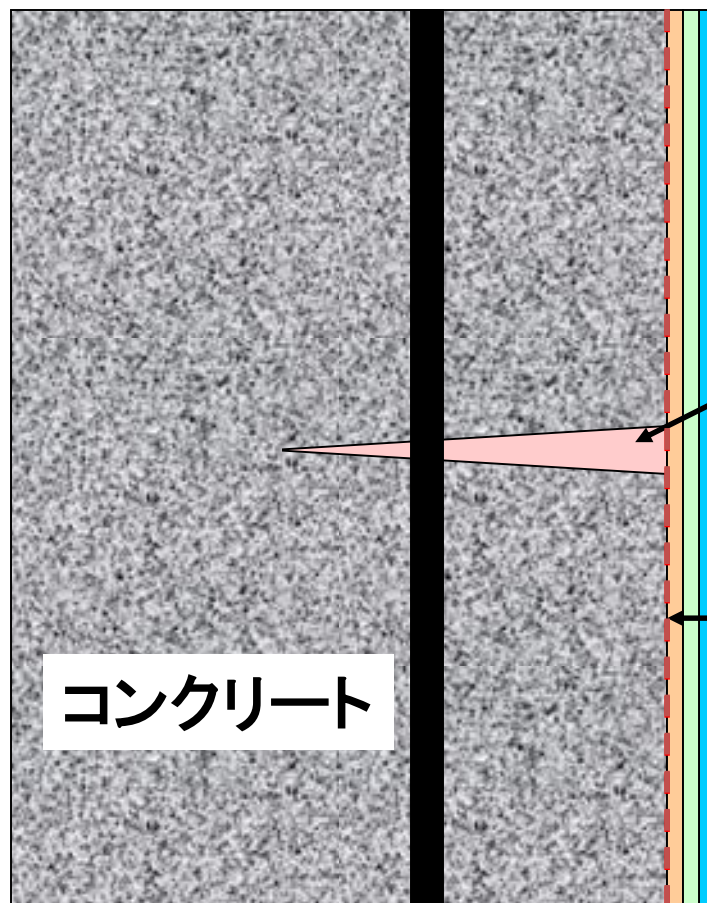
電着工法：仮設電極を設置し通電を行うことによってコンクリートに発生したひび割れやコンクリート表面に無機系物質の電着物を電気化学的に析出

# 劣化機構と補修計画（RC示方書）

| 劣化機構                 | 補修方針                                                                                                              | 補修工の構成                                                                                    |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 中性化                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・中性化したコンクリートの除去</li> <li>・補修後のCO<sub>2</sub>水分の浸入抑制</li> </ul>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復工</li> <li>・表面処理工</li> <li>・再アルカリ化</li> </ul> |
| 塩害                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・進入したCl<sup>-</sup>の除去</li> <li>・補修後のCl<sup>-</sup>,水分,酸素の浸入抑制</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復工</li> <li>・表面処理</li> <li>・脱塩</li> </ul>      |
|                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄筋の電位制御</li> </ul>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・陽極材料</li> <li>・電源装置</li> </ul>                    |
| 凍害                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化したコンクリートの除去</li> <li>・補修後の水分浸入抑制</li> <li>・コンクリートの凍結融解抵抗性の向上</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復工</li> <li>・ひび割れ注工</li> <li>・表面処理</li> </ul>  |
| 化学的侵食                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・劣化したコンクリートの除去</li> <li>・有害化学物質の浸入抑制</li> </ul>                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面修復工</li> <li>・表面処理</li> </ul>                   |
| アルカリ骨材反応             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・水分の供給抑制</li> <li>・内部水分の散逸促進</li> <li>・アルカリ供給抑制</li> </ul>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れ注工</li> <li>・表面処理</li> </ul>                  |
| 疲労(道路橋鉄筋コンクリート床版の場合) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・軽微な場合にはひび割れ進展の抑制(大半は補強に該当する)</li> </ul>                                   |                                                                                           |

# ひび割れ注入工と表面処理工

ひび割れ注入工



コンクリート

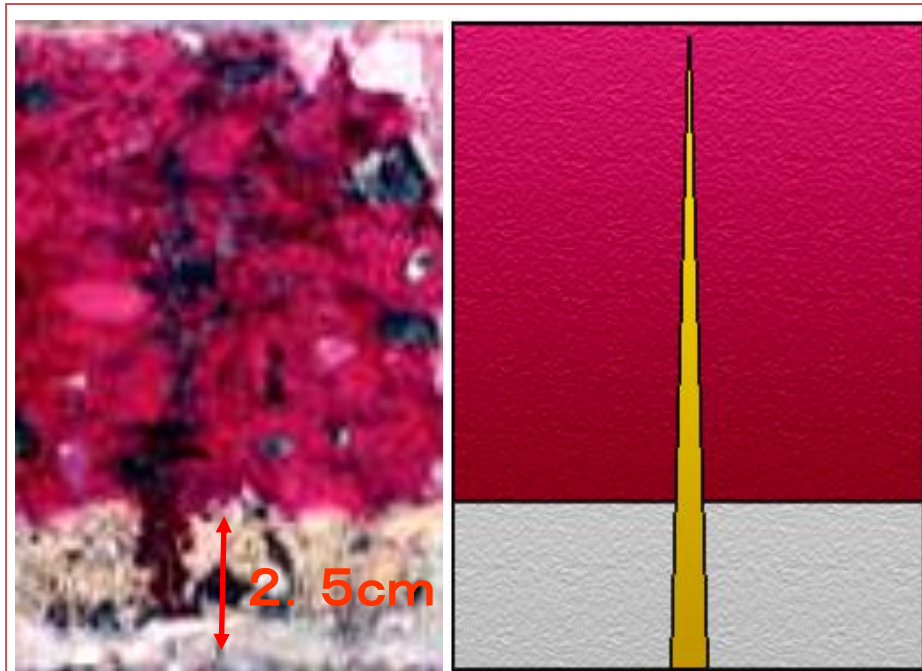
鉄筋

表面処理工

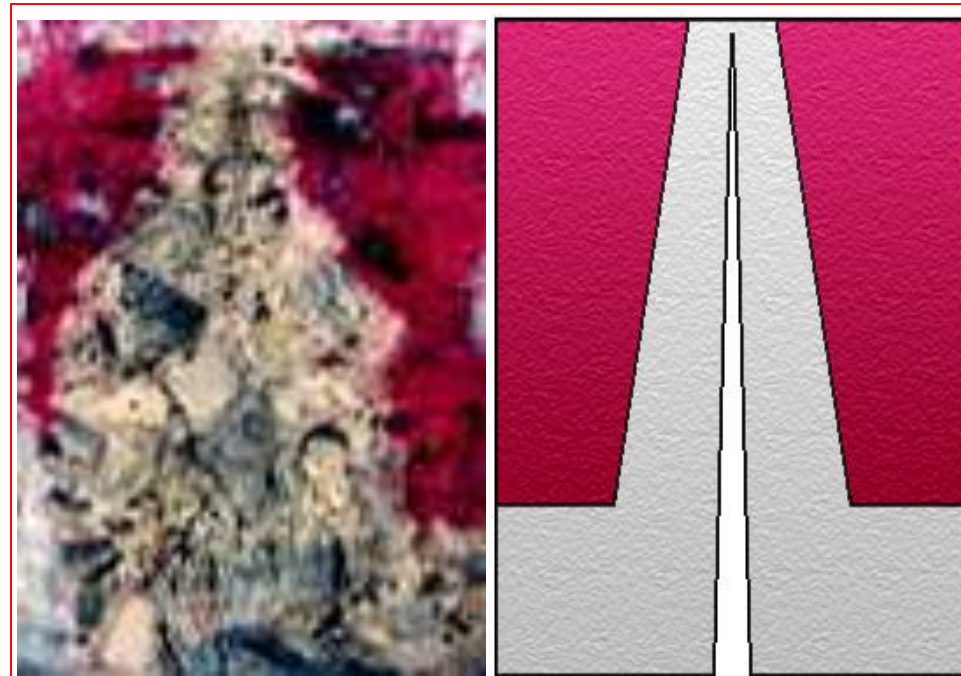
ひび割れ  
注入剤

下塗材、中塗材、  
上塗材

# ひび割れ注入後の中性化

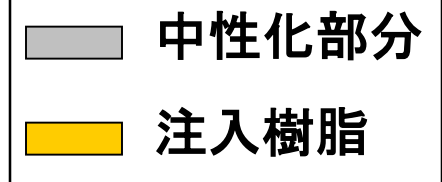


完全注入



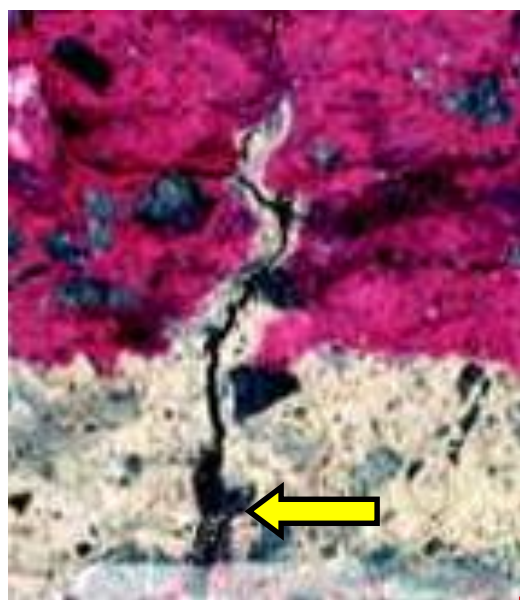
注入無し

促進中性化：材令8週間



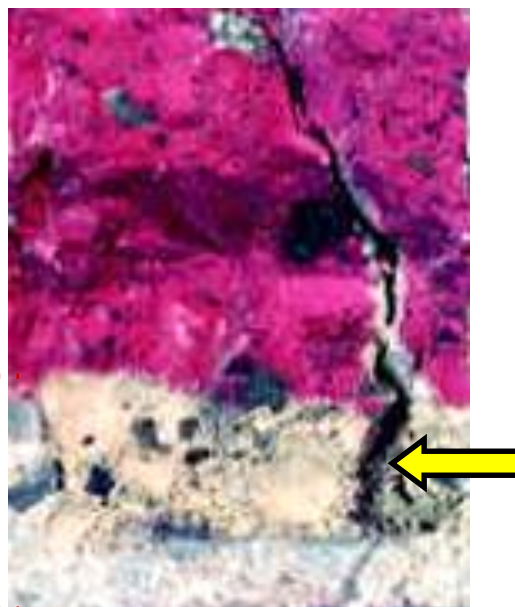


# ひび割れ注入後の中性化（部分注入）

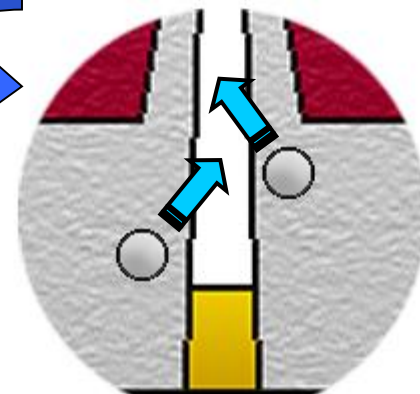
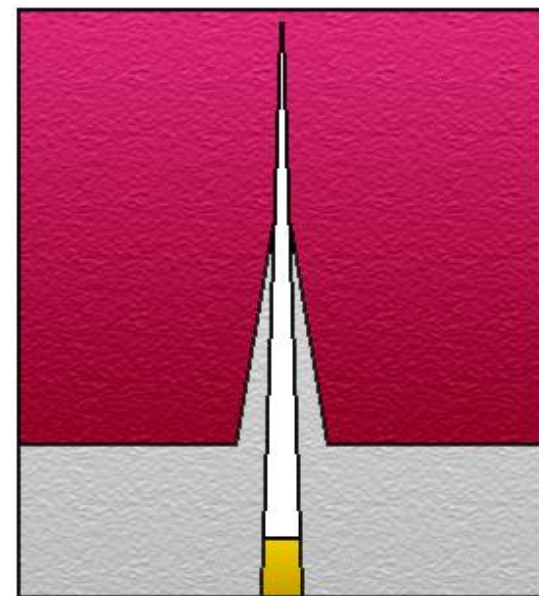


注入程度1cm

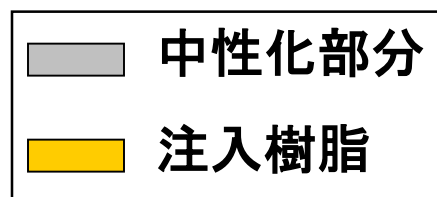
2.5cm



注入程度2cm



拡大図



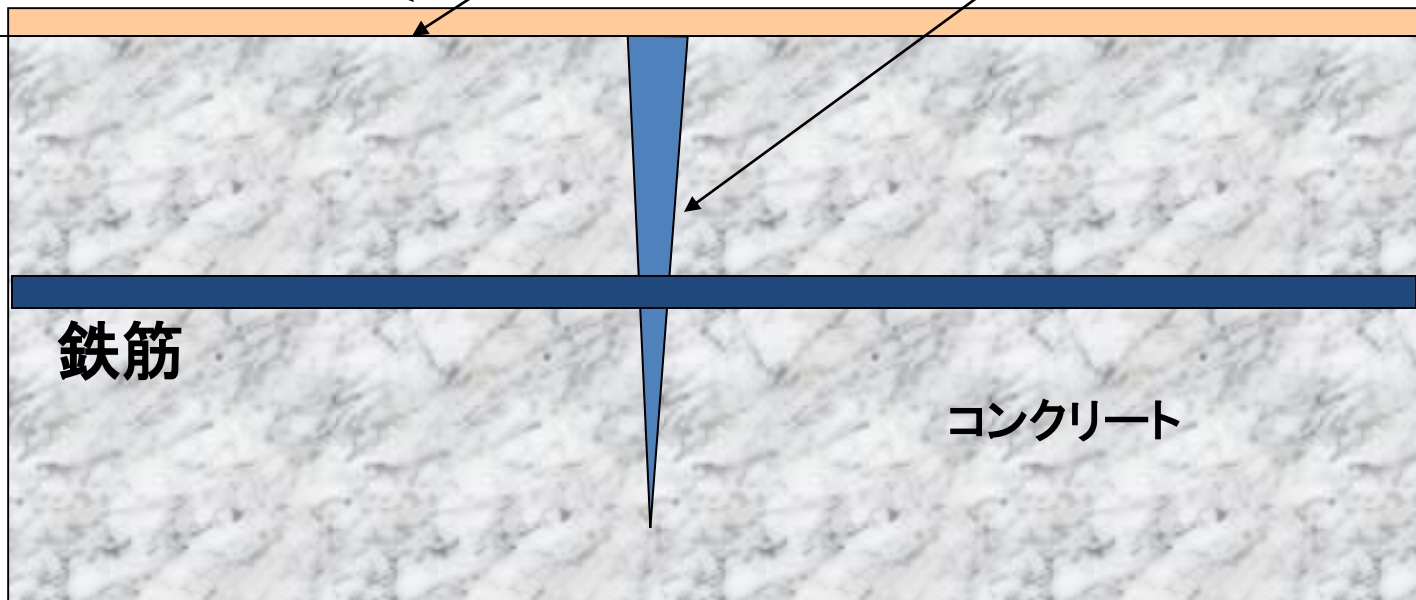
# ひび割れ箇所の処理

○ひび割れ箇所の注入  
○表面コーティング

コーティング  
(樹脂、繊維)

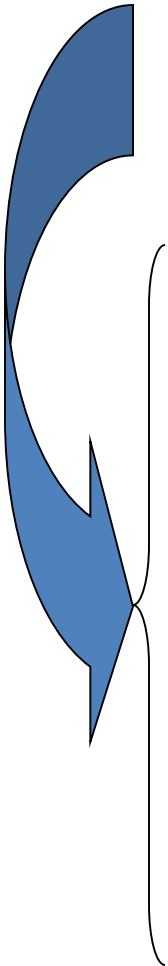
表面処理  
(ブラスト処理)

ひび割れ注入  
(樹脂系)



# 補修の原理（中性化）

- 腐食原因となる**酸素と水**の遮断
- 中性化深さの進展制御



中性化（小）

コーティング

中性化（中）

ひび割れ注入  
と部分撤去

＋ コーティング

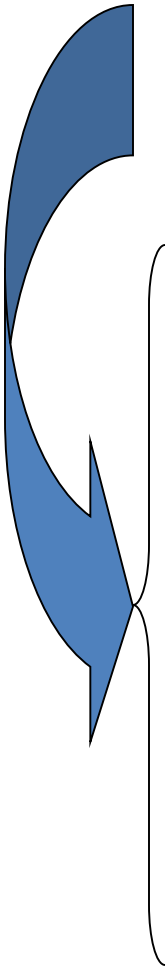
中性化（大）

再アルカリ化

＋ コーティング

# 補修の原理（塩化物イオン）

- 腐食原因となる**酸素と水**の遮断
- 塩化物イオンの撤去と浸透制御



塩化物イオン(小)

コーティング

塩化物イオン(中)

ひび割れ注入  
と部分撤去

+ コーティング

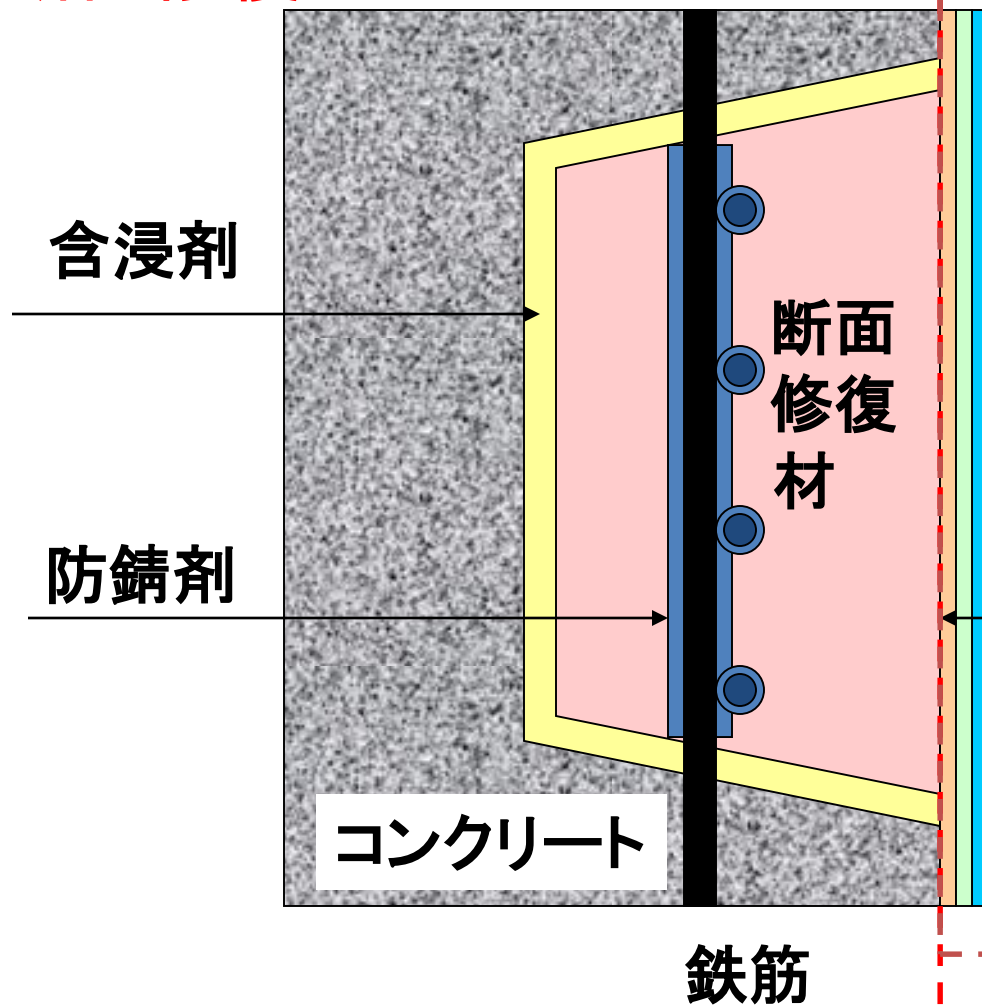
塩化物イオン(大)

塩化物イオン  
含有箇所撤去

+ コーティング

# 断面修復工と表面処理工

## 断面修復工

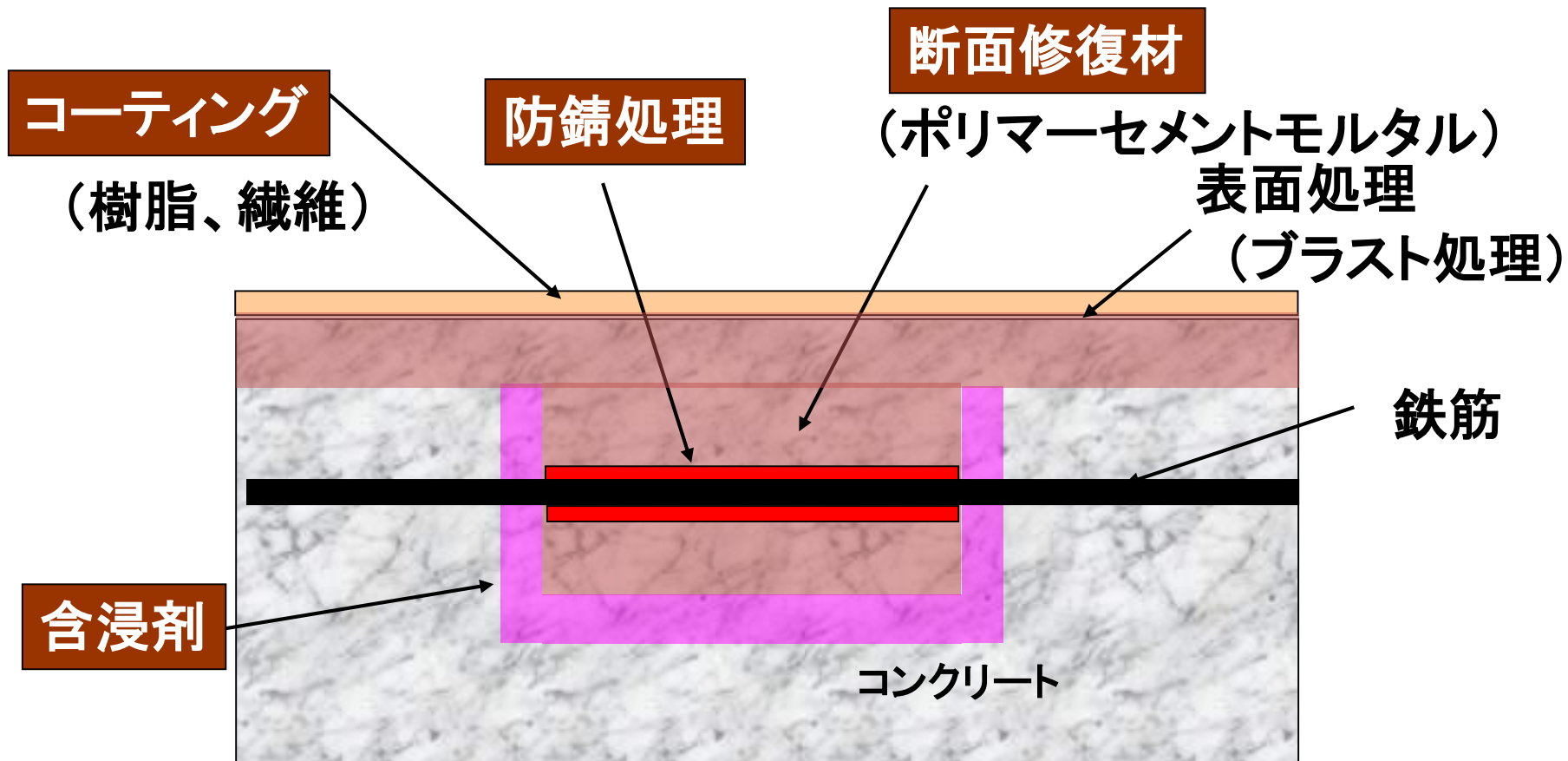


## 表面処理工

下塗材、中塗材、  
上塗材

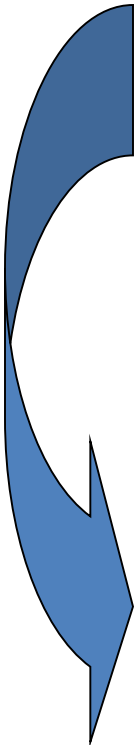
## 断面修復方法（塩化物イオン）

- 損傷部分のはつりと断面修復
- 鉄筋防錆と表面コーティング



# 補修の原理（塩化物イオン＋中性化）

- 腐食原因となる**酸素と水**の遮断
- 塩化物イオンの撤去と浸透制御
- 中性化深さの進展制御



塩化物イオン  
含有箇所撤去

ひび割れ注入  
と部分撤去

+

表面処理工

# 補修工法に関する対策

補修工法を考えると

- ・補修後の劣化予測はどうか
- ・再補修は必然である
- ・再補修をどうすればよいか

明らかにされていないことが多い

早急に研究  
する必要がある！

補修工法  
の評価・選定

劣化の進行が  
少ないものから  
試しては？

現在は不明

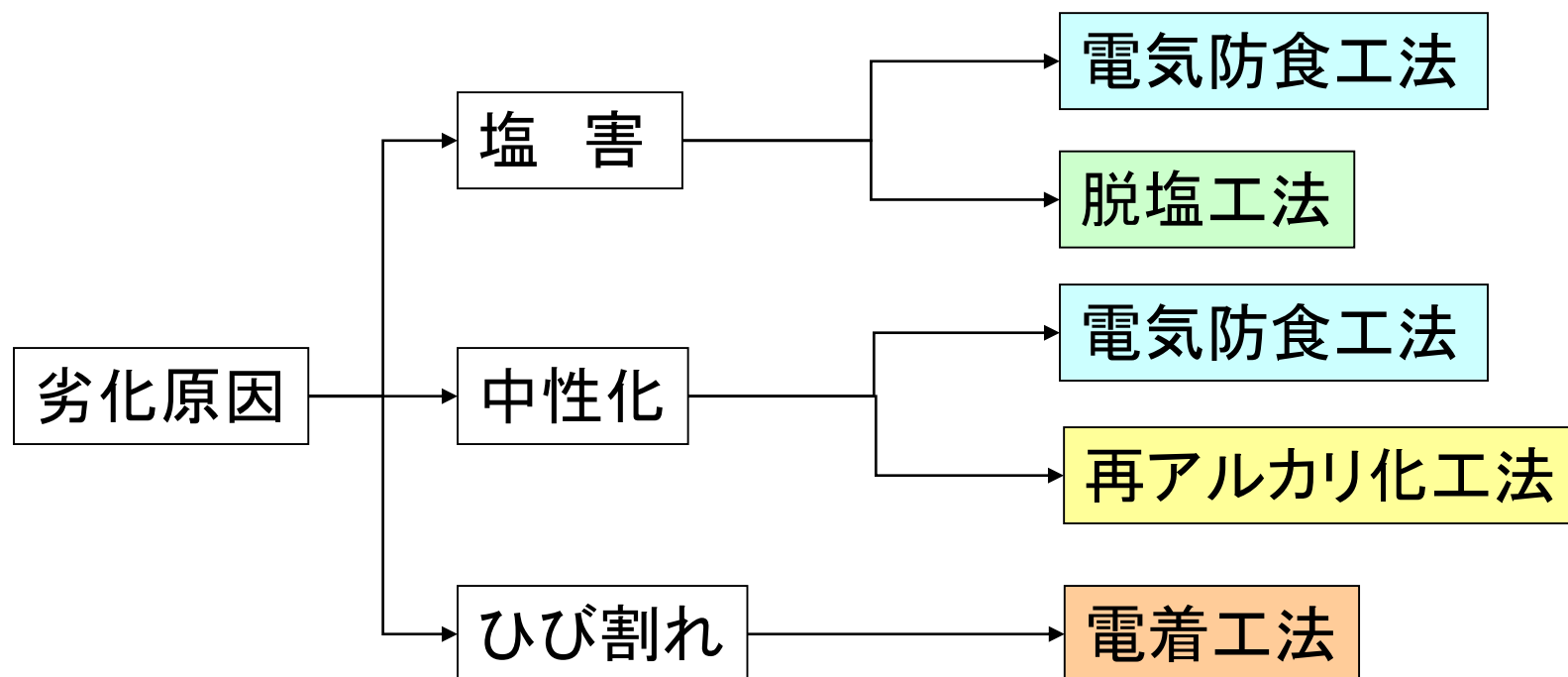


## 各種電気防食システムの例（コンクリートライブラリー107）

|         | 電気防食工法                     | 脱塩工法                    | 再アルカリ化工法                             |
|---------|----------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
| 通電期間    | 防食期間中継続                    | 約8週間                    | 約1～2週間                               |
| 電流密度    | 0.001～0.03A/m <sup>2</sup> | 1A/m <sup>2</sup>       | 1A/m <sup>2</sup>                    |
| 通電電圧    | 1～5V                       | 5～50V                   | 5～50V                                |
| 電解液     | —                          | Ca(OH) <sub>2</sub> 水溶液 | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 水溶液等 |
| 効果確認の方法 | 電位または電位変化量の測定              | コンクリートの塩化物イオン量の測定       | コンクリートの中性化深さの測定                      |
| 効果確認の頻度 | 数回/年                       | 通電終了後                   | 通電終了後                                |

# 電気化学的防食工法の選定（コンクリートライブラリー107）

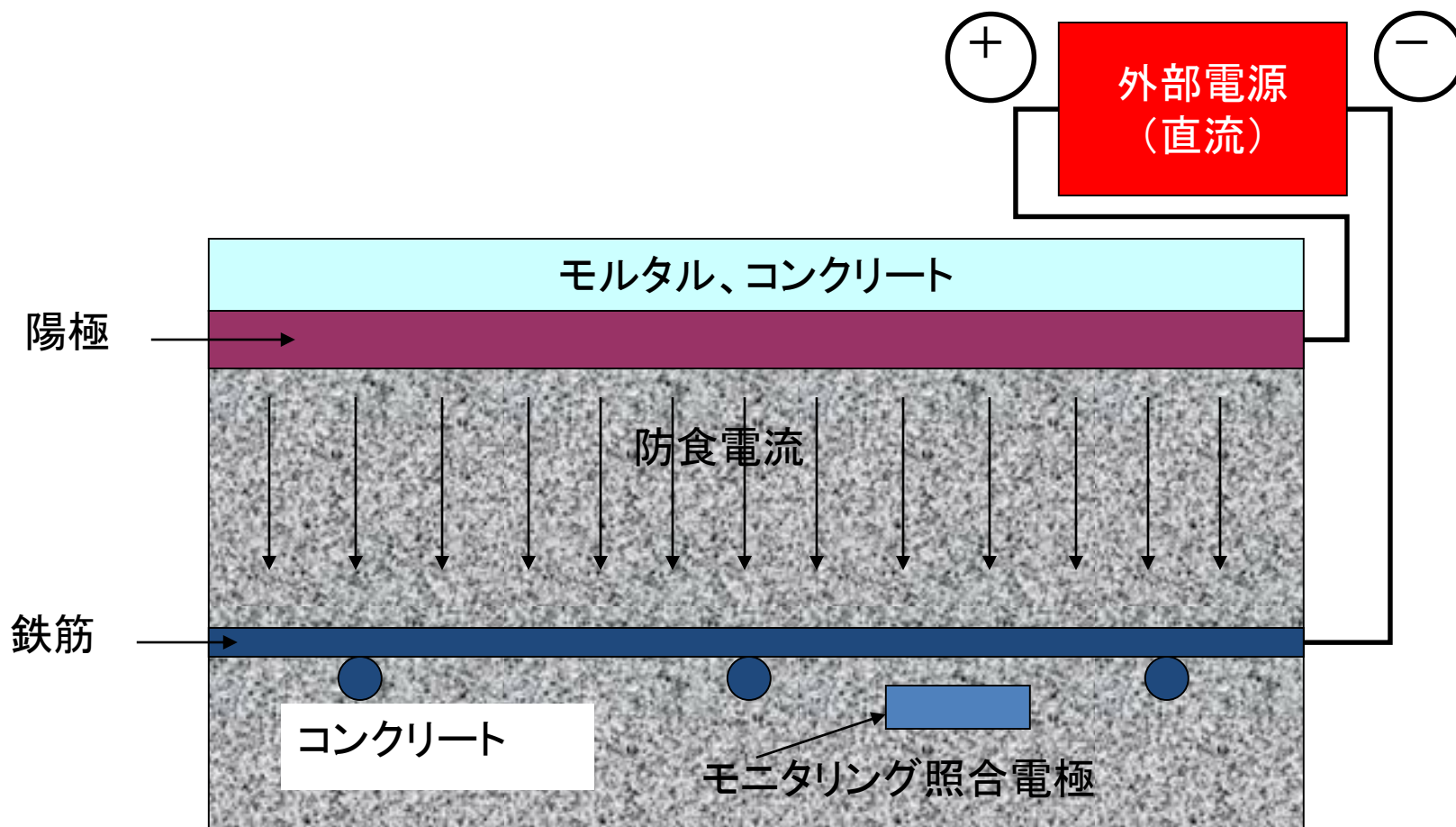
| 電気化学的防食工法 | 防食対策       | 期待される主な効果   |
|-----------|------------|-------------|
| 電気防食工法    | 腐食反応の抑制    | 腐食電池の抑制     |
| 脱塩工法      | 鋼材の腐食環境の改善 | 塩化物イオン濃度の低減 |
| 再アルカリ化工法  |            | アルカリ性の回復    |
| 電着工法      | 腐食因子の供給低減  | ひび割れの閉塞と緻密化 |



# 各種電気防食システムの例（コンクリートライブラリー107）

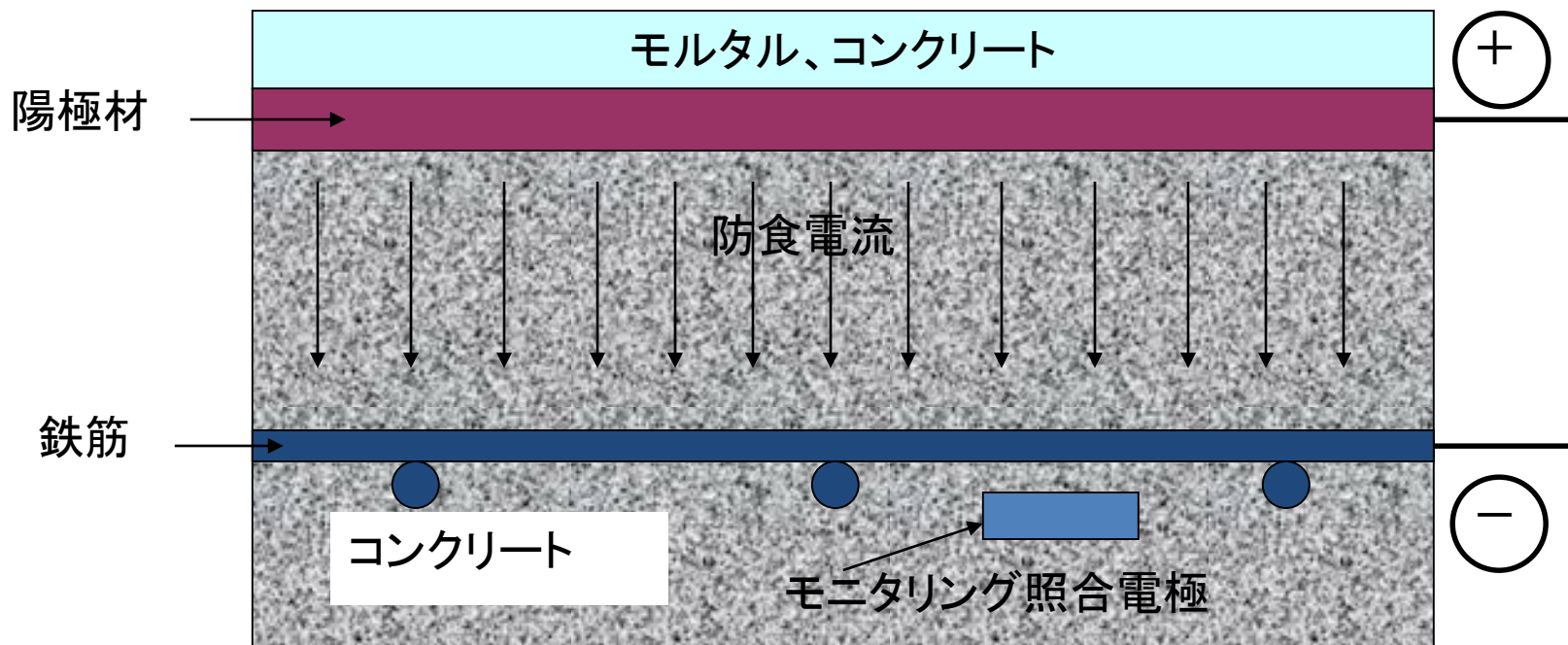
| 電源方式による分類 | 陽極材による分類 | 電気防食方式                                                                 |
|-----------|----------|------------------------------------------------------------------------|
| 外部電源      | 面状陽極     | チタンメッシュ陽極方式<br>パネル陽極方式<br>導電性塗料方式<br>チタン溶射方式<br>チタン亜鉛溶射方式<br>導電性モルタル方式 |
|           | 線状陽極     | チタンリボンメッシュ方式<br>チタングリッド方式                                              |
|           | 点状陽極     | チタンロッド方式                                                               |
| 流電陽極      | 面状陽極     | 亜鉛シート方式<br>亜鉛アルミ擬合金溶射方式                                                |

# 電気防食工法概念図（外部電源方式）



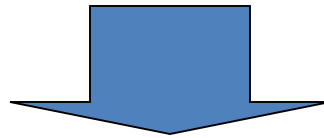
# 電気防食工法概念図（流電陽極方式）

\* 陽極材としては鋼材よりも  
卑な金属が用いられる。



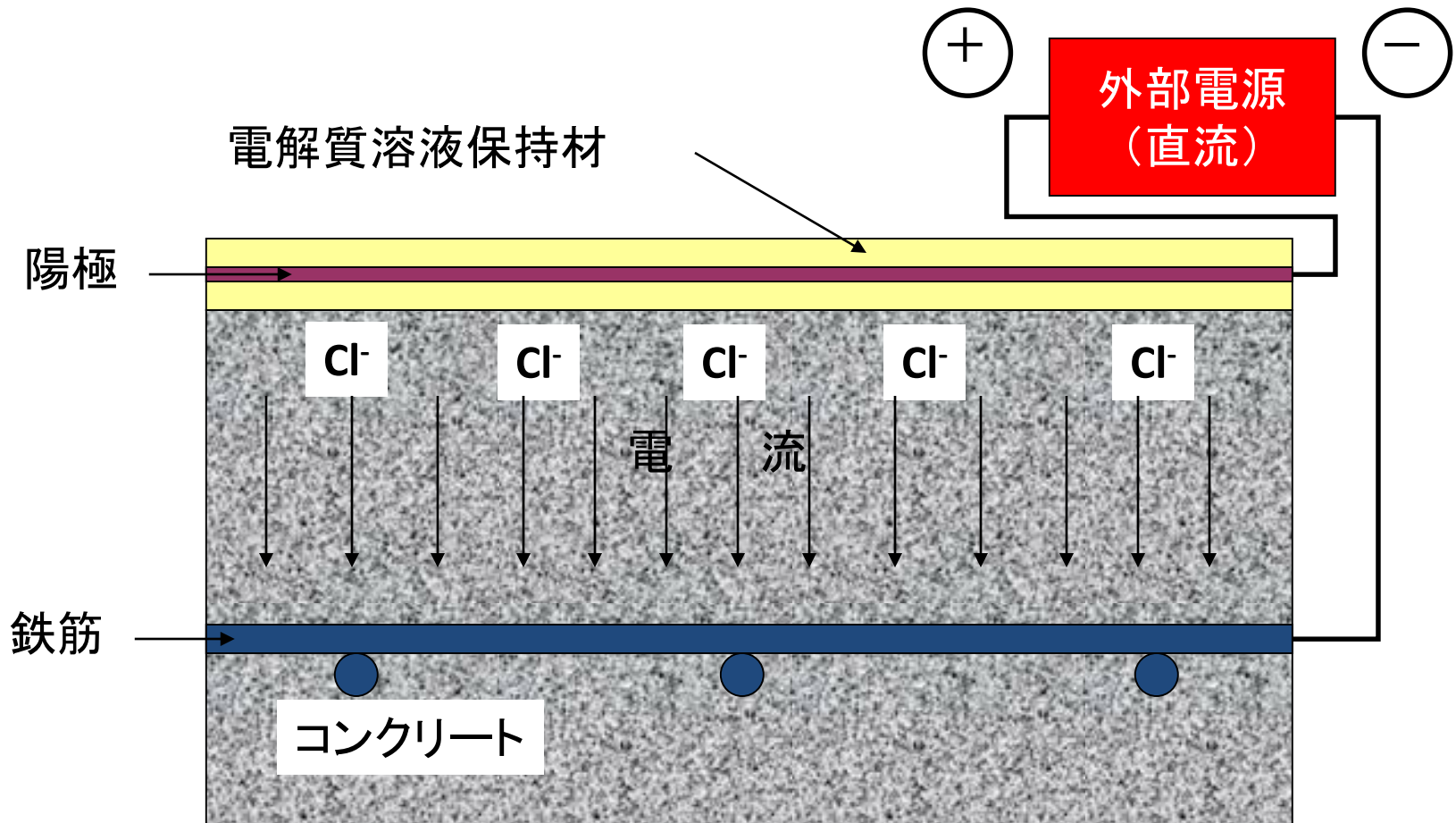
# 脱塩工法の原理

脱塩工法は、コンクリート構造物の表面に電解質溶液と陽極材からなる陽極電極を仮設し、コンクリート中の鋼材との間に直流電流を一定期間流すことにより、電気泳動の原理でコンクリート中の塩化物イオンをコンクリート外に抽出する工法である。

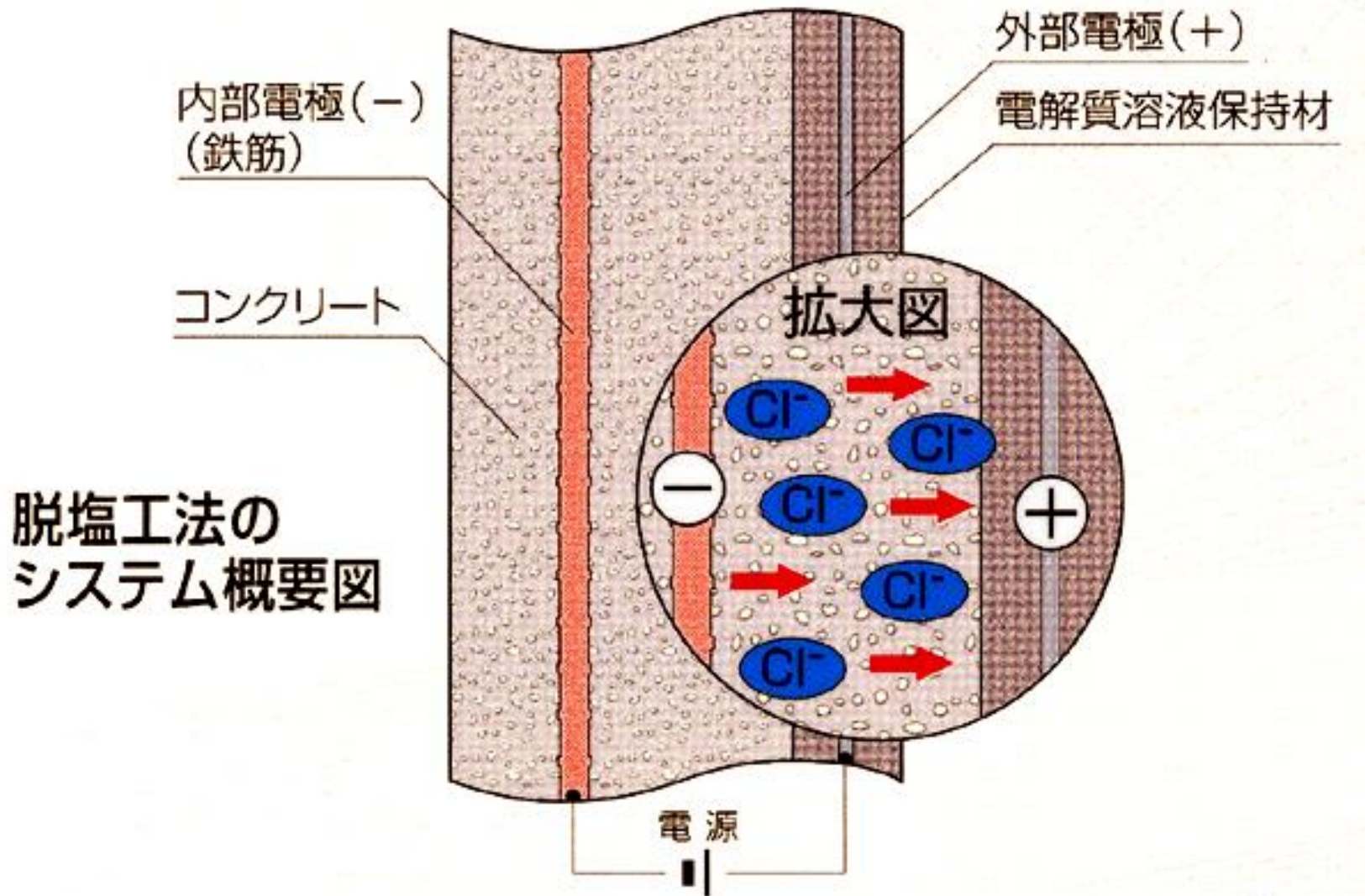


未洗浄の海砂等が使用された構造物や海洋から大量の塩分が供給された構造物の脱塩が主目的である。

# 脱塩工法概念図



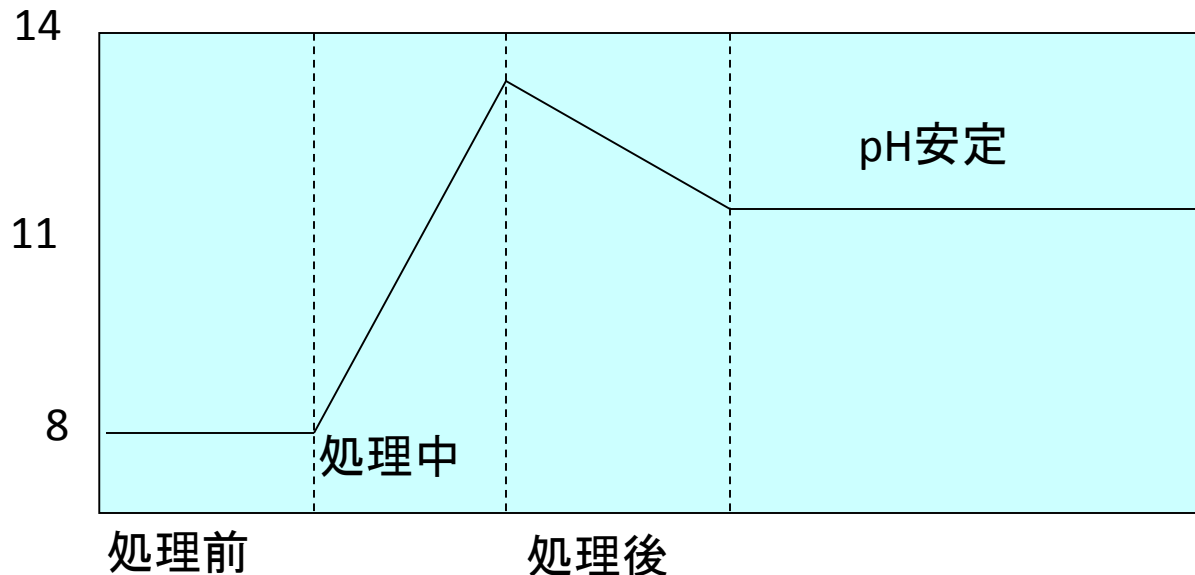
# 脱塩工法の例



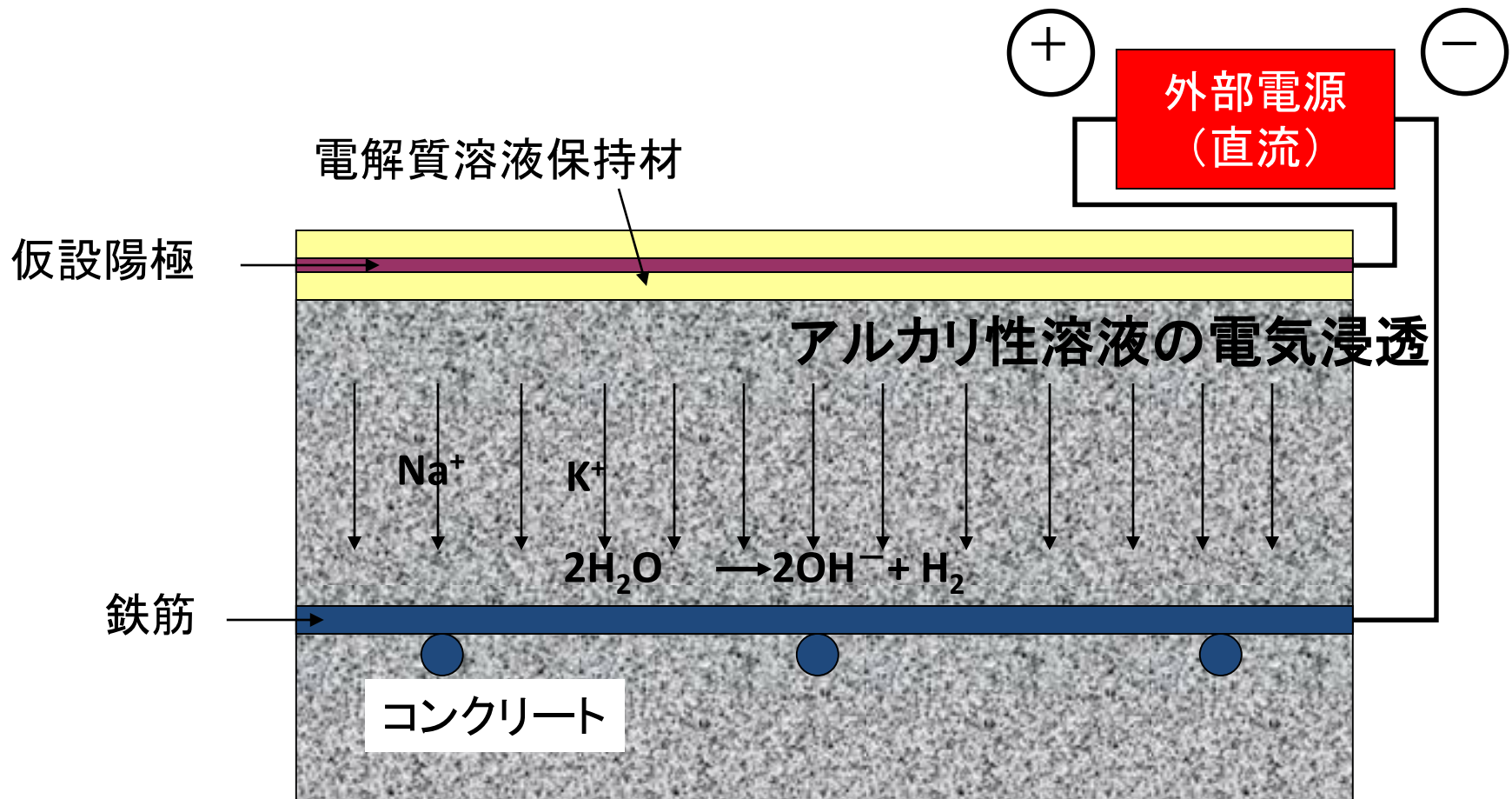


# 再アルカリ化工法の原理

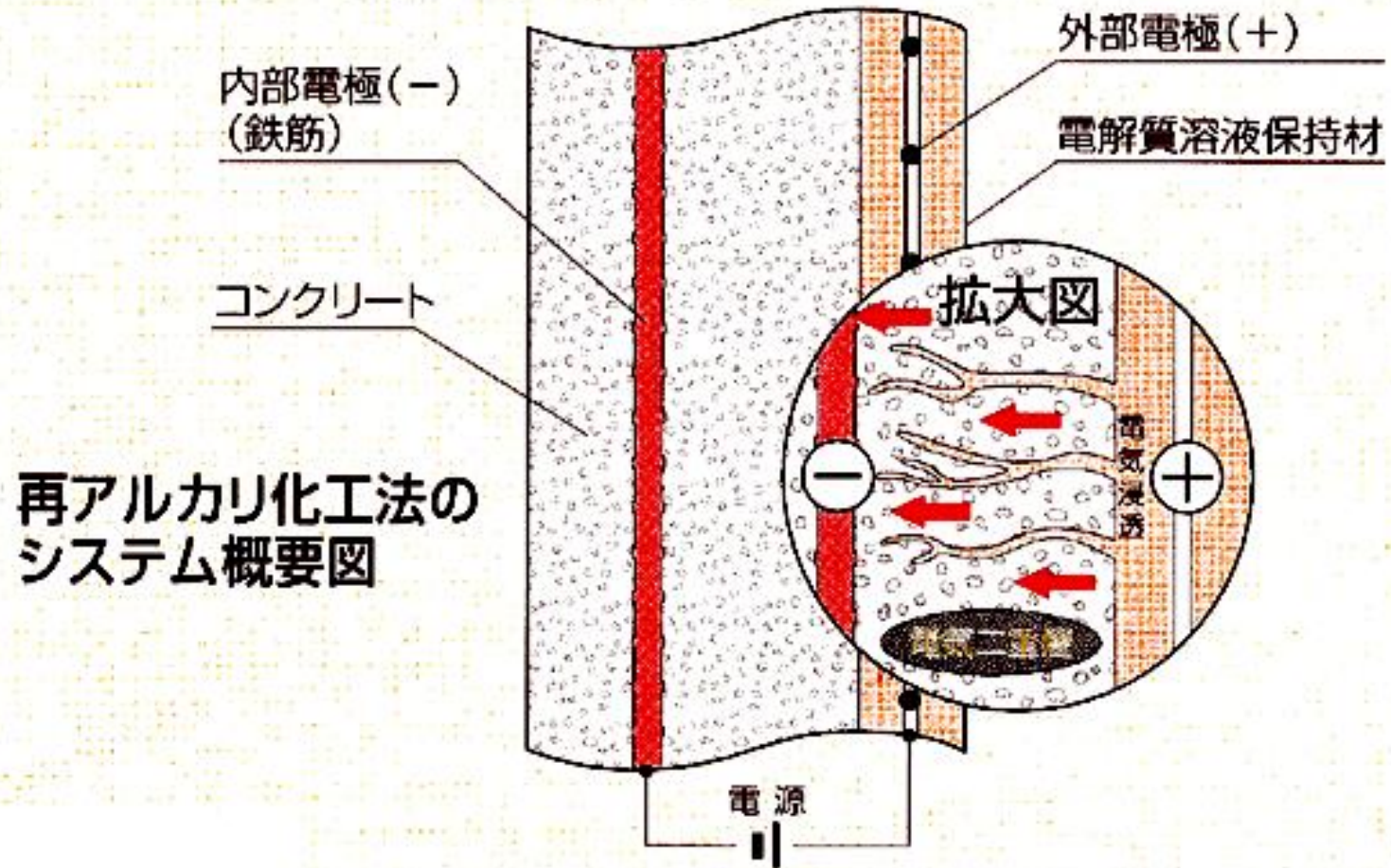
再アルカリ化工法は、コンクリート構造物の表面にアルカリ性の電解質溶液等を設置し、陽極材からコンクリート中の鋼材に直流電流を一定期間流すことでコンクリートへアルカリ性の電解質溶液を電気浸透させ、中性化しているコンクリートのアルカリ性を回復させる工法である。



# 再アルカリ化工法概念図



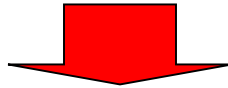
# 再アルカリ化工法の例



# 再アルカリ化工法の施工フロー

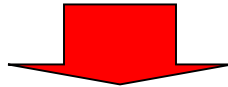
## 前処理

コンクリート表面の被覆材除去  
コンクリート劣化部の補修  
コンクリート表面の電氣的障害処理



## 通電 システム 組立

鋼材への陰極リード線の接続  
仮設外部電極の取り付け  
直流電源の設置、配線

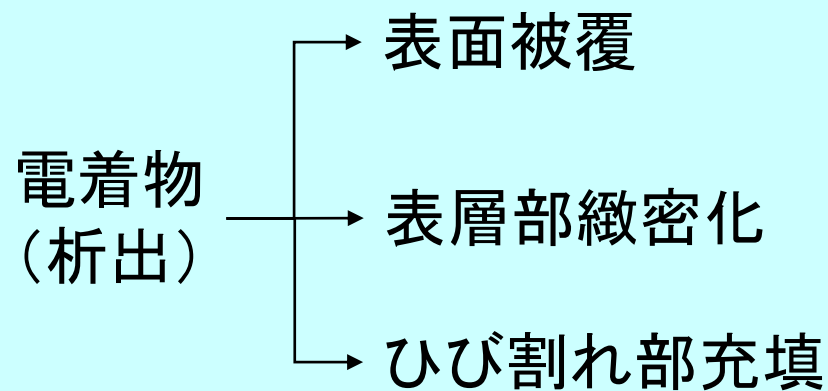


## 直流電流 通電処理

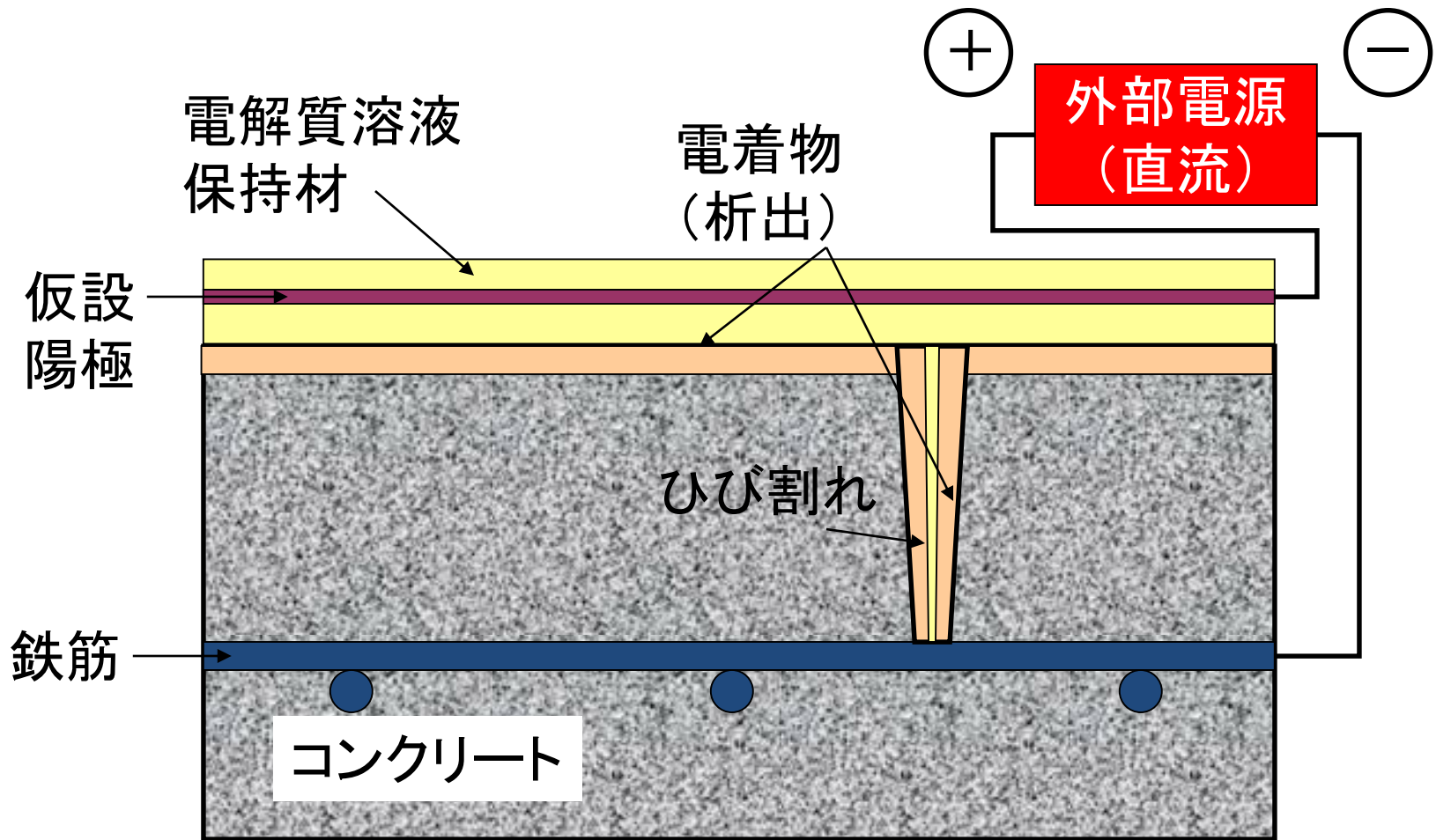
電解質溶液の供給  
直流電流の通電  
再アルカリ化処理効果の確認

# 電着工法の原理

電着工法は仮設電極を設置し通電を行うことによってコンクリートに発生したひび割れやコンクリート表面に無機系物質の電着物を電気化学的に析出させる工法である。



# 電着工法概念図



# 電着工法（システム）概念図

