

A decorative graphic on the left side of the slide, consisting of a network of light blue lines and small circles, resembling a circuit board or a stylized tree structure, set against a blue gradient background.

5. コンクリート構造物の補修・補強基礎

5.0 はじめに

コンクリート構造物の変状の種類

- 初期欠陥：ジャンカ、コールドジョイント、---
- 経年劣化：ひび割れ、剥落、錆、---
- 構造的変状：たわみ、変形

劣化していく原因＝空気や水の侵入

- 中性化：水分に溶け込んだ CO_2 の侵入
- 鉄筋腐食：水分に溶け込んだ O_2 と鉄筋の酸化反応
- アルカリ骨材反応、凍結融解作用によるコンクリートの膨張：水分の侵入



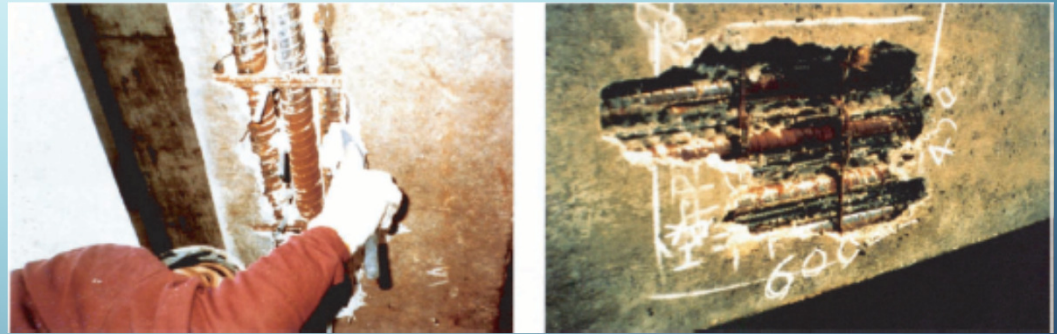
劣化し易いのは空隙などの欠陥やひび割れの多いコンクリート

初期欠陥について

不十分な締固め

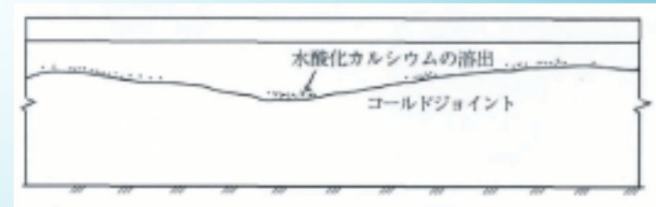


外壁下部の豆板



PC桁とシース管

不適当な打継処理

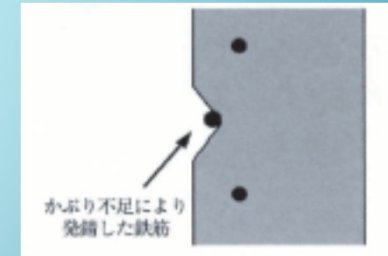


擁壁の打継部

かぶり厚さの不足



道路の側壁



建物の柱

乾燥収縮



建物窓隅角部

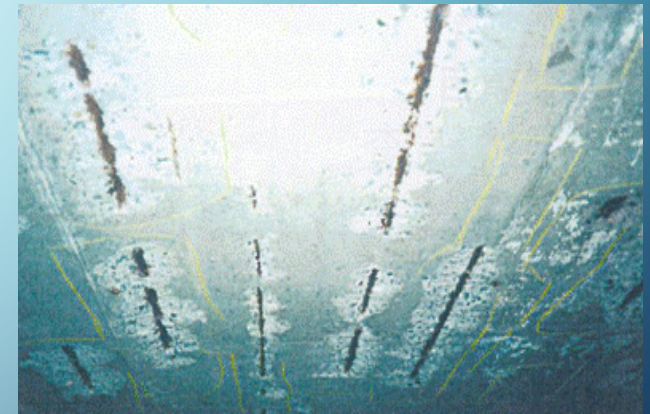
5.1 コンクリート構造物の劣化機構

コンクリート構造物の劣化機構—中性化

- 大気中の二酸化炭素がコンクリート内に侵入・拡散
- セメント水和物と炭酸化反応



- アルカリ性が喪失
- 鋼材表面の不動態皮膜が破壊
- 鉄筋に腐食反応が進行
- コンクリートにひび割れやはく離



コンクリート構造物の劣化機構—塩害

- 内在塩分または外部環境からの飛来塩分
- 塩化物イオンの存在により不動態被膜の破壊
- コンクリート中の鋼材が腐食
- 腐食生成物の体積膨張⇒コンクリートひび割れ、はく離
- 鋼材の断面積減少⇒部材耐力の低下



図 2.2 PC 上部工主桁の塩害事例

コンクリート構造物の劣化機構ー凍害

- コンクリート中の水分が 0°C 以下になった時の凍結膨張
- コンクリート中の空隙が凍結した水により閉塞
- 行場を失った水が凍結時膨張を拘束される
- コンクリート内部に過大な内圧が作用
- 凍結と融解の繰返しによりコンクリートが徐々に劣化
- コンクリート表面にスケーリング、微細ひび割れ、ポップアウト



図 2.3 橋台に生じた凍害の事例

コンクリート構造物の劣化機構—アルカリ骨材反応

- セメントと反応性骨材との反応によってコンクリートが膨張
- アルカリシリカ反応 (ASR), アルカリ炭酸塩反応およびアルカリシリケート反応
- 膨張圧によりコンクリートにひび割れ



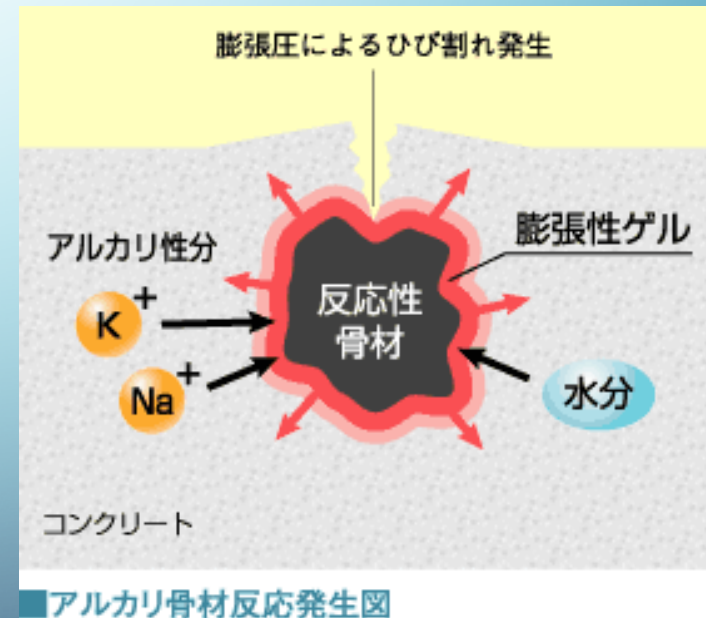
図 2.4 PC 上部工における ASR 劣化事例



図 2.5 ASR 劣化による鉄筋破断事例²⁻⁵⁾

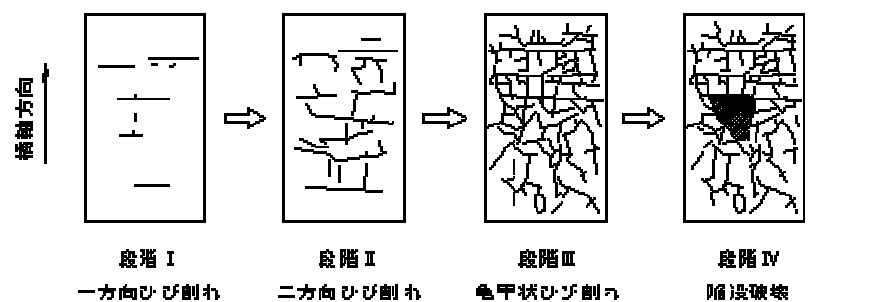
アルカリ骨材反応

- 骨材中のシリカ成分とセメント中のアルカリ金属イオン(Na^+ , K^+) とが化学反応
- 吸水膨張性のアルカリシリカゲル生成
- 水分供給を受けて体積膨張



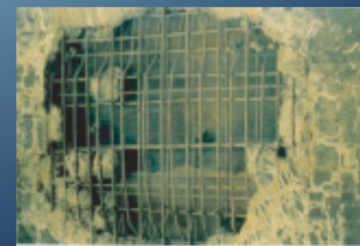
コンクリート構造物の劣化機構— 鉄筋コンクリート床版(RC床版)の疲労

- 粗骨材とセメント硬化体間の付着力低下、低応力下でのマイクロクラック
- 湿潤下のコンクリート: 水分がマイクロクラックに滲入⇒荷重を受けると水圧⇒気中と比べて疲労促進 例: 輪荷重下でのRC床版



注・RC床版下面の損傷過程

図 2.6 RC床版の疲労損傷過程²⁻⁹⁾



コンクリート構造物の劣化機構—化学的侵食

- 塩酸、硫酸などがコンクリート中の水和生成物と化学反応
- 水和生成物を可溶性物質に変化させる
- コンクリート表面浸食、ひび割れ、剥落。露出鉄筋は激しい腐食



下水からの硫化水素⇒バクテリアにより酸化⇒硫酸

プレストレストコンクリート部材の鋼材腐食

- シースにグラウト未充填部分がある場合
- ひび割れがPC鋼材部分まで達する場合
- 一定量を超える塩化物イオンが侵入する場合



高張力が作用しているPC鋼材の不動態皮
膜が破壊⇒腐食が進行

プレストレストコンクリート部材のグラウト非充填

- ブリージングや施工不良によるグラウトが非充填
- 未充填部への雨水や海水, 凍結防止剤を含んだ水の侵入



- ・PC鋼材が腐食、破断
- ・プレストレスカの解放衝撃力によりかぶりコンクリートはく落



PC主桁のグラウト不良による
ひび割れ発生事例

シース内に侵入した水分が凍結・融解
繰り返し⇒シースに沿うひび割れ

5.2 コンクリート構造物の調査および診断

維持管理の手順

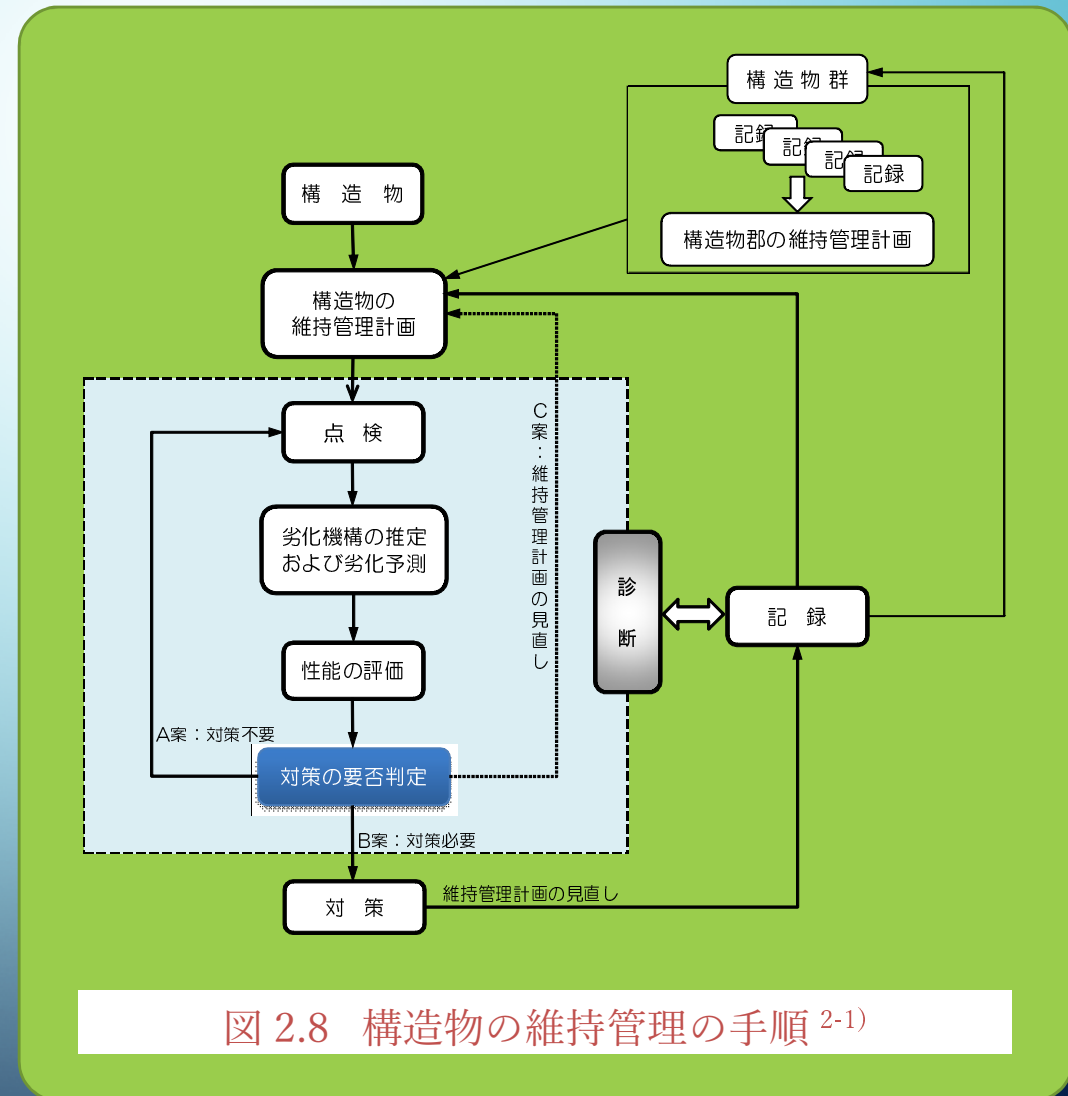


図 2.8 構造物の維持管理の手順²⁻¹⁾

劣化機構に応じた調査および診断

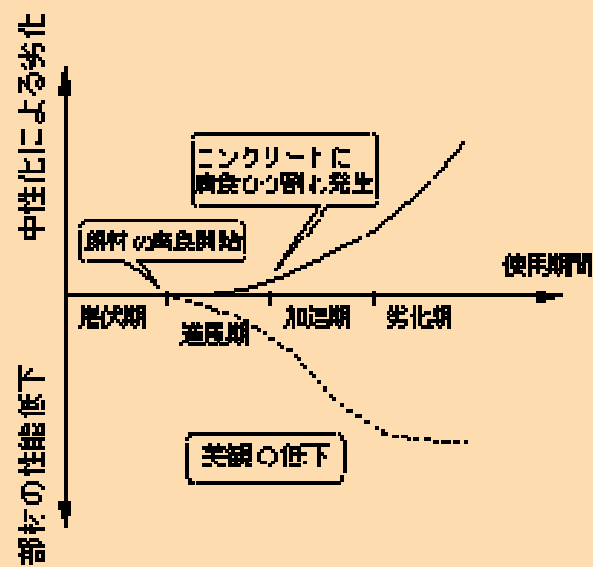
- 施工時およびその直後に生じた初期欠陥か？
- 各種劣化機構によって生じる劣化か？
- 外力による損傷か？



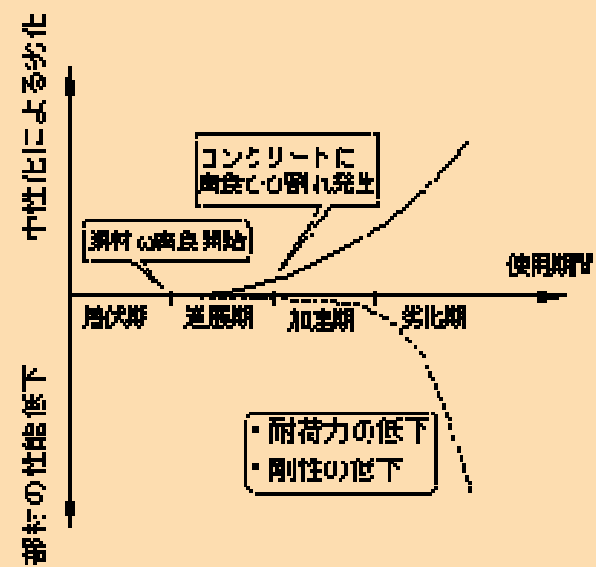
劣化機構による場合：

ひび割れ、剥離・剥落、変色、鉄筋の露出・錆汁、遊離石灰等の有無や程度、⇒補助的調査 ⇒劣化機構推定

劣化過程（中性化を例に）



(a) 美観・易観に著目した場合



(b) 安全中に著目した場合

劣化過程の定義

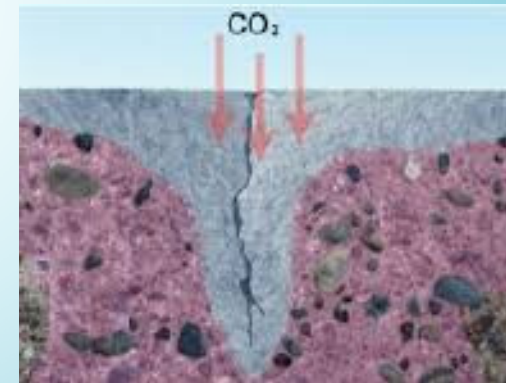
劣化機構	潜伏期	進展期	加速期	劣化期
中性化	中性化深さが鋼材の腐食発生限界に到達するまで	腐食ひび割れ発生	腐食速度増大	耐荷力低下
塩害	鋼材表面の塩化物イオン濃度が腐食発生限界濃度に達するまで			
凍害	凍結融解作用を受けスケーリングが発生するまで	骨材露出、剥離	腐食開始	
ASR	ASRそのものは進行するもののひび割れがまだ発生しない	膨張によりひび割れ発生		

調査内容と方法

劣化機構	調査内容	方法	推定法
中性化	・中性化深さと範囲 ・鋼材のかぶり、腐食状態 ・将来中性化深さ	・フェノールフタレインの1%エタノール溶液を噴霧する方法 ・ドリル削孔粉を用いる方法 ・採取コアを用いる方法	中性化速度式 ($\sqrt{t}$ 則)
塩害	・塩化物イオン濃度分布 ・鋼材のかぶり、腐食状態 ・将来の濃度分布	・コア採取による塩化物イオン含有量試験 - 表面分析法 (Electron Probe Micro Analyzer) ・塩化物イオン浸透解析	拡散方程式 (フィックの第2法則)
凍害	・強度および強度分布 ・内部欠陥 ・細孔径分布 ・気泡分布	・反発硬度法 (シュミットハンマー) ・超音波法 ・水銀圧入法、気体吸着法	
ASR	・ひび割れ、ゲルの滲出状況 ・採取コアによる室内試験	・超音波法や電磁誘導法 (鉄筋破断検査) ・骨材のアルカリシリカ反応性試験 ・残存膨張量測定 ・骨材の岩種および反応性鉱物の種類判定試験	

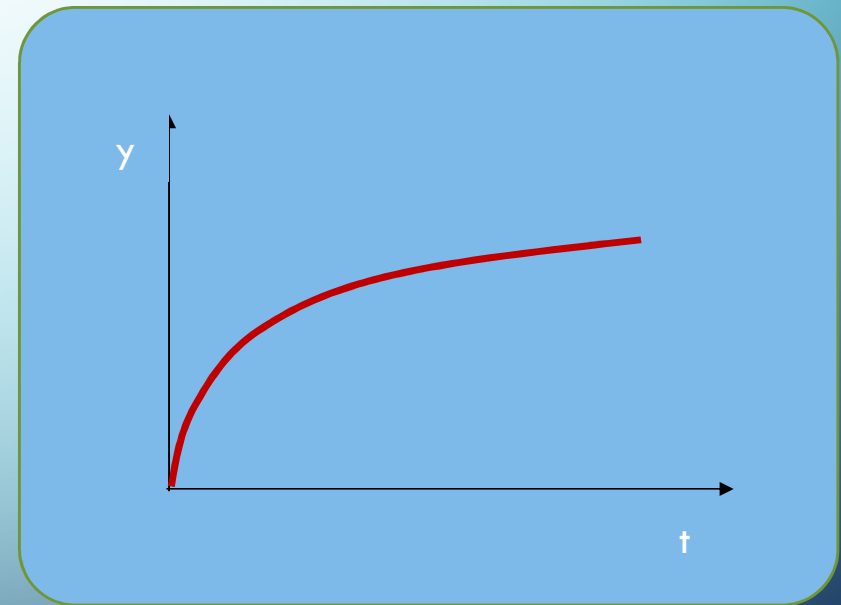
中性化深さ調査法

- フェノールフタレインの1%エタノール溶液を噴霧する方法
- ドリル削孔粉を用いる方法
- 採取コアを用いる方法



中性化速度式($\sqrt{t}$ 則)

- $y = b\sqrt{t}$
- y : 中性化深さ(mm)
- t : 経過時間(年)
- b : 中性化速度係数(mm/ $\sqrt{\text{年}}$)



塩害：拡散方程式(フィックの第2法則)

$$C(x,t) = C_2 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) - C_1$$

ここに、 $C(x,t)$: 深さ $x(\text{cm})$, 経年時間 t (年) における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_1 : 初期混入塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_2 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

D : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

erf : 誤差関数

凍害：反発硬度法と超音波法



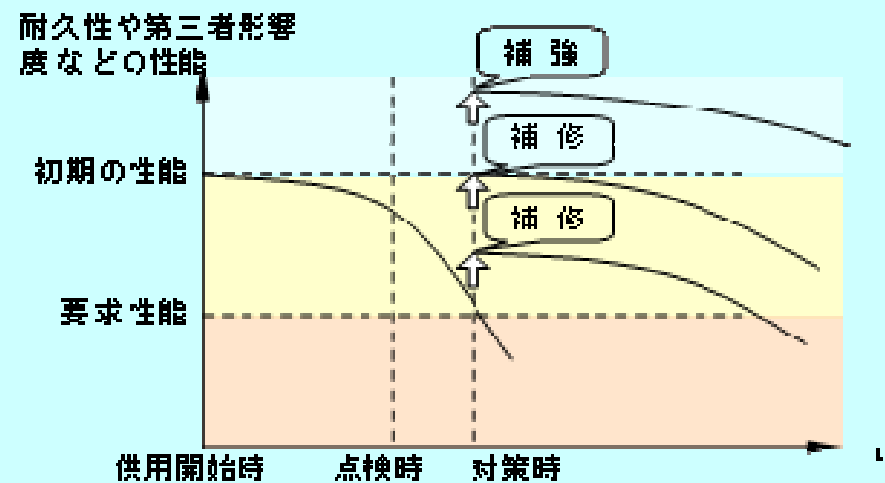
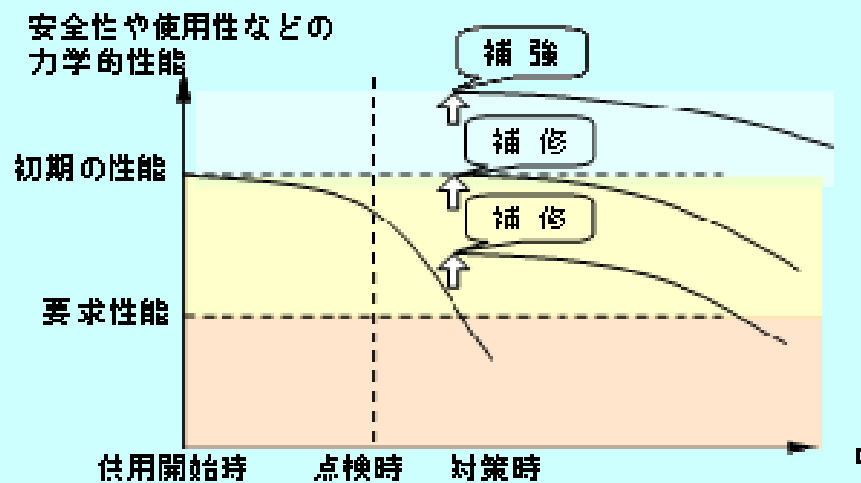
シュミットハンマー



超音波法

5.3 コンクリート構造物の補修・補強

補修および補強の定義



補修の目的と内容

- 目的＝使用性の回復
- 劣化因子の除去
- コンクリート片落下等による第三者影響の防止
- 修景

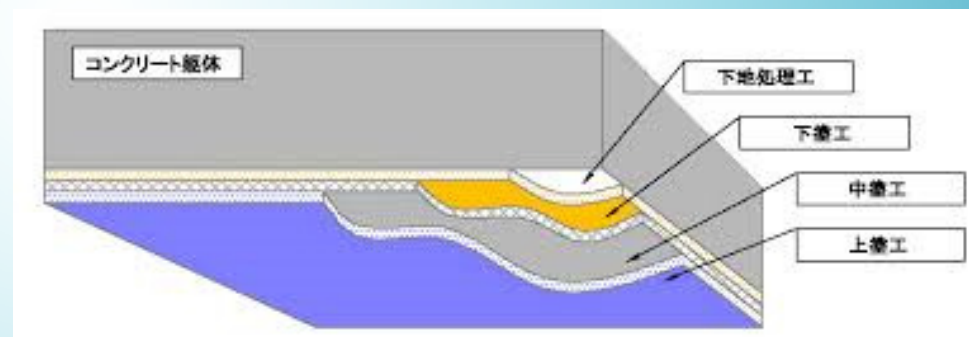
補強の目的と内容

- 目的＝力学性能の向上
- 部材の交換・追加
- 断面の増加
- 補強材の追加
- プレストレスの導入

補修方法

- 表面被覆工法
- ひび割れ注入工法
- 表面含浸工法
- 断面修復工法
- 再アルカリ化工法(中性化)
- 脱塩工法(塩害)
- リチウムイオン圧入工法(ASR)
- 電気防食工法

表面被覆工法



●標準施工仕様

ソルシャットPE工法（陸上、飛沫帯）

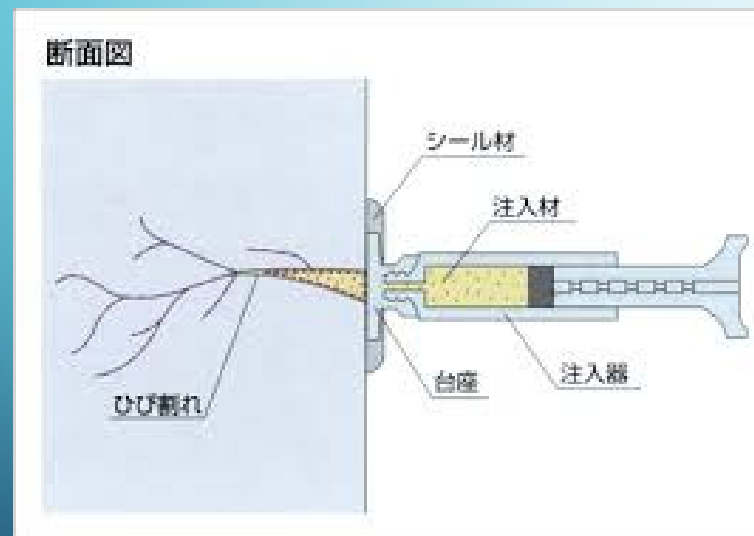
柔軟性アクリルウレタン樹脂
柔軟性エポキシ樹脂
柔軟性エポキシ樹脂
アクリルゴム
水性プライマー
コンクリート

ソルシャットSEE工法（干満帯）

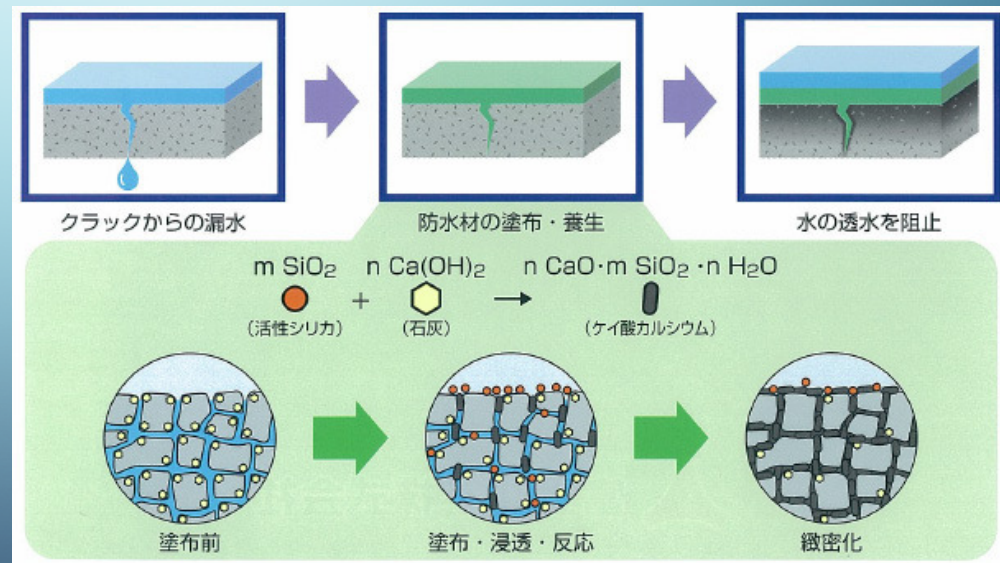
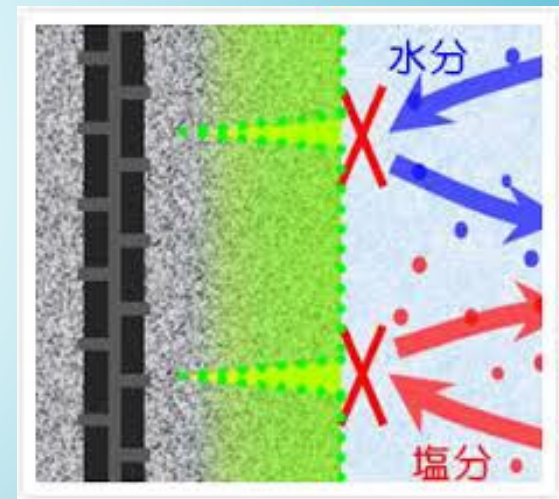
柔軟性アクリルウレタン樹脂
柔軟性エポキシ樹脂
柔軟性エポキシ樹脂
浸透型用柔軟性エポキシ樹脂
コンクリート

項目	性能	
遮塩性	$0.3 \times 10^{-3} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下	$0.3 \times 10^{-3} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{日}$ 以下
酸素透過阻止性	$1.0 \times 10^{-3} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{日}$	$1.0 \times 10^{-3} \text{mg/cm}^2 \cdot \text{日}$
水蒸気透過阻止性	0.2mg/cm^2	0.2mg/cm^2
中性化阻止性	0.0mm	0.0mm
コンクリートとの付着性	乾燥面 被覆材の凝集破壊	2.0N/mm ² (20kgf/cm ²) 以上又はコンクリート破壊
ひび割れ追従性	2mm以上	1mm以上

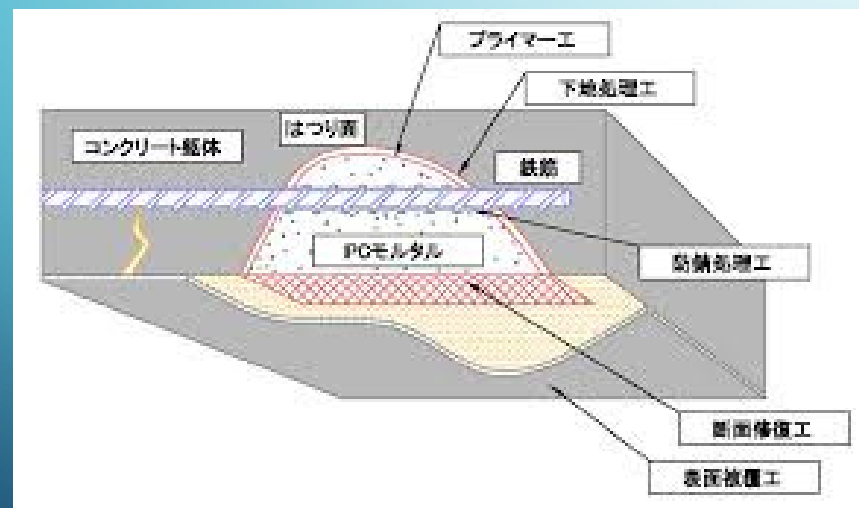
ひび割れ注入工法



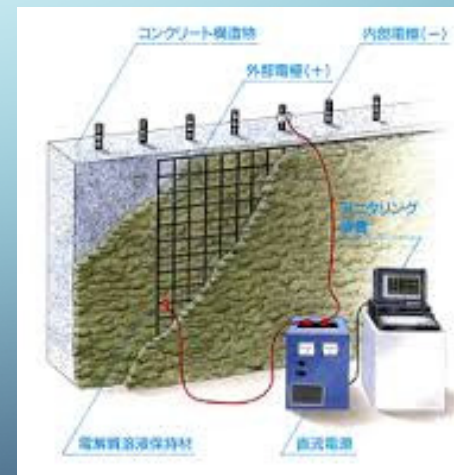
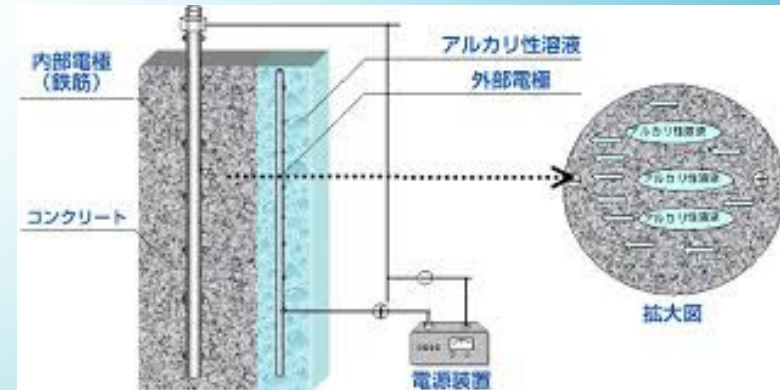
表面含浸工法



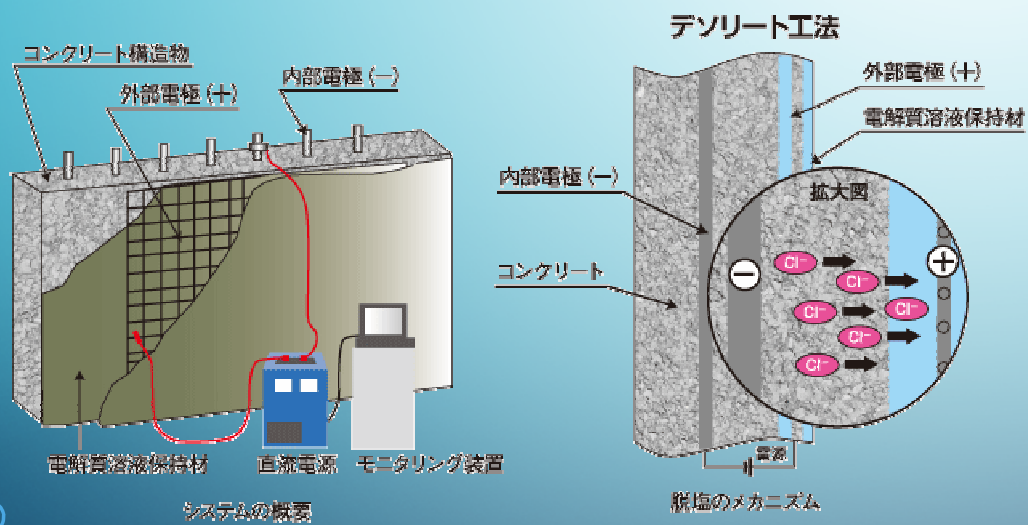
断面修復工法



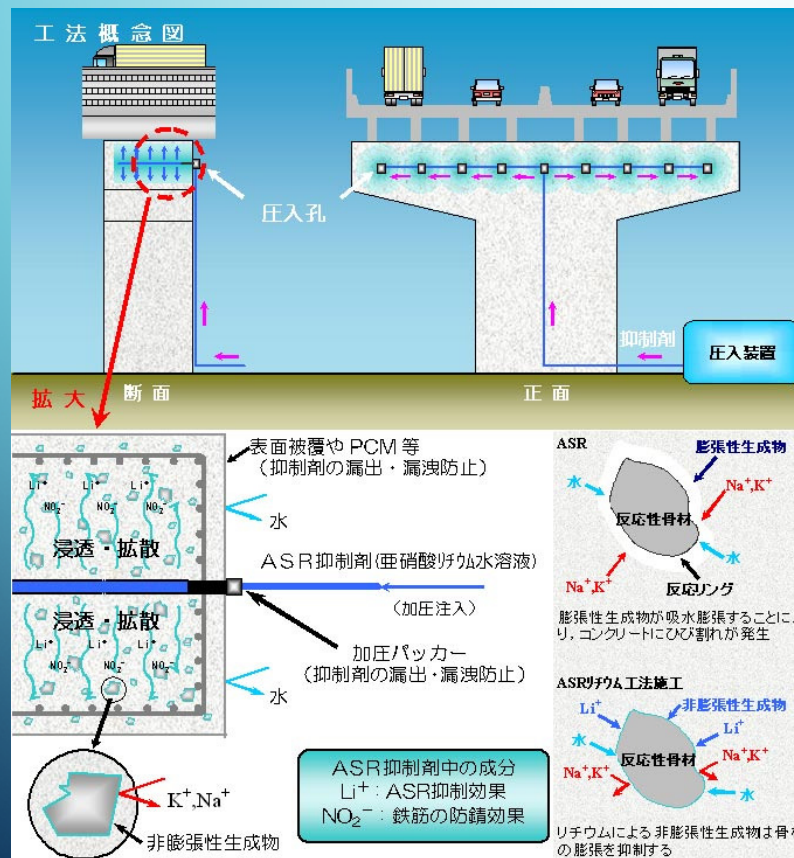
再アルカリ化工法



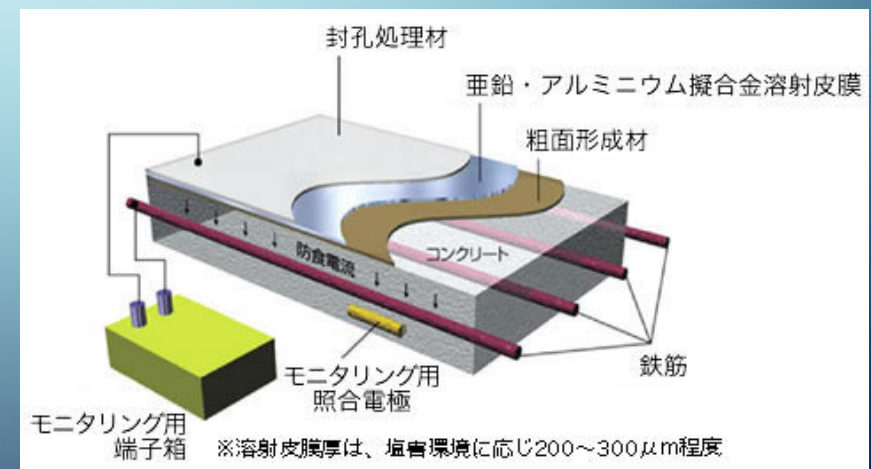
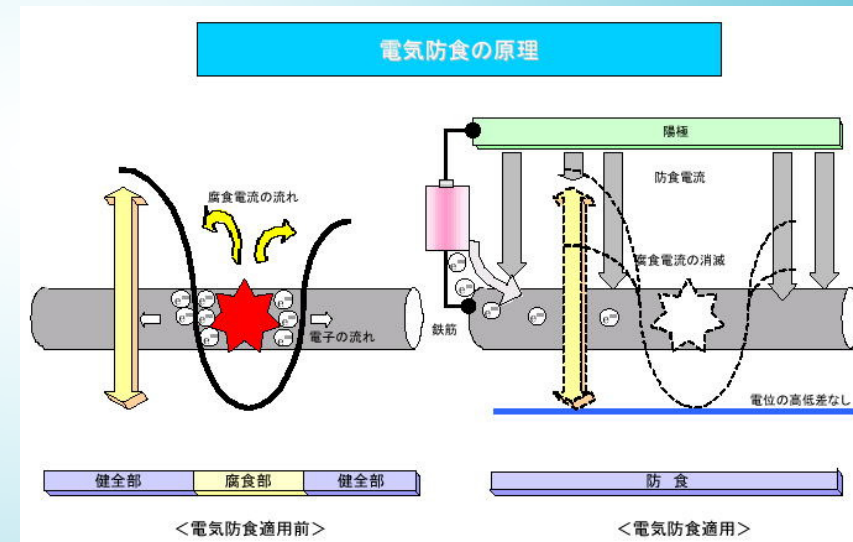
脱塩工法



リチウムイオン圧入工法



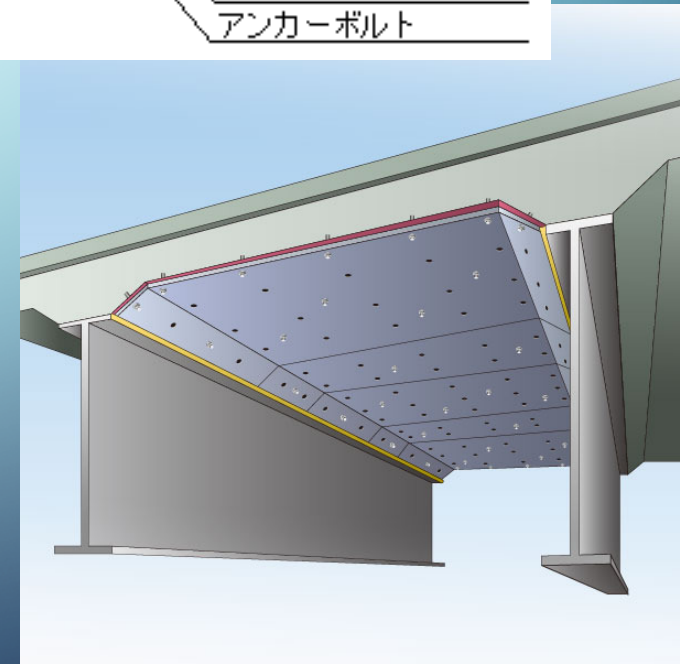
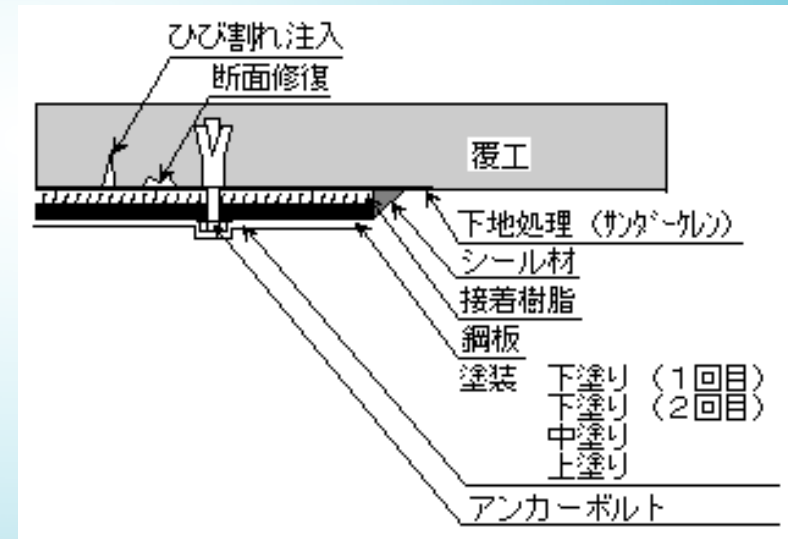
電気防食工法



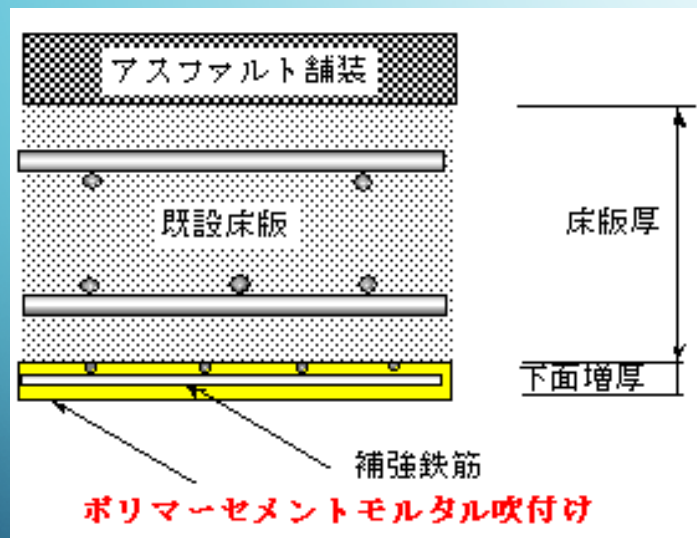
補強方法

- 鋼板接着工法
- FRP接着工法
- 増厚工法
- 巻立て工法(ASR)
- プレストレス導入工法(ASR)

鋼板接着工法



増厚工法



巻立て工法(ASR)



主鉄筋定着端折曲げ部の破断



鋼板巻立て工法による補強事例

プレストレス導入工法(ASR)

