

コンクリート構造物を長生き させるための方策

～コンクリート・鋼材・表面保護のコラボレーション～

広島工業大学 工学部 環境土木工学科
竹田 宣典

コンクリート構造物を長生きさせるための方策

1. コンクリート・鉄・表面保護（樹脂）との出会い
2. コラボレーションによる構造物の長寿命化
3. 構造物の予防保全を目指して

寿命の長いコンクリート構造物



写真-1 明治41年竣工の小樽港北防波堤

小樽港北防波堤
(明治41年建設)

無筋コンクリート 118歳

肥前長崎鼻灯台
(昭和35年建設)

鉄筋コンクリート 58歳



セメントの歴史

- ・古代ローマ時代(1500～2000年前)
ローマン・コンクリート(火山灰と消石灰)
- ・1824年: 現在のポルトランドセメントの発明 (英)
- ・1875年: 日本初のセメント工場で生産開始
- ・1897年: 小樽港北防波堤着工(無筋コンクリート)
- ・1949年: 日本初のレディミクストコンクリート工場(業平橋)

鉄鋼の歴史

- ・紀元前1400年頃:ヒッタイトが鉄を使用(鉄器文化)
- ・1779年:世界初の鉄橋”Ccalbrookdale Bridge”建設(英):銑鉄
- ・1856年:ベッセマー転炉の開発による大量生産(英)
- ・1868年:日本初の鉄橋”くろがね橋”建設(長崎県)
- ・1901年:構造用鋼材の製造(八幡製鐵所)
- ・1958年:東京タワー建設
- ・1968年:霞が関ビル建設

鉄とコンクリートの出会い

⇒鉄筋コンクリート

- 1855年: 鉄網入りコンクリート製ボード出展(第1回パリ博覧会)
- 1867年: 鉄筋入り植木鉢の発明(仏)
- 1880年代: メラン式RC橋梁の発明(豪)
- 1890年: 日本初の鉄筋コンクリート構造物”横浜港岸壁ケーソン”
- 1903年: 世界初のRC造集合住宅(パリ, フランクリン通り)
- 1903年: 日本初の鉄筋コンクリート橋 ”琵琶湖疏水運河11号橋
- 1931年(昭和6年): 土木学会 鉄筋コンクリート標準示方書 制定
- 1952年(昭和27年): 日本初のPC橋”長生橋”(石川県)

樹脂・塗料の歴史

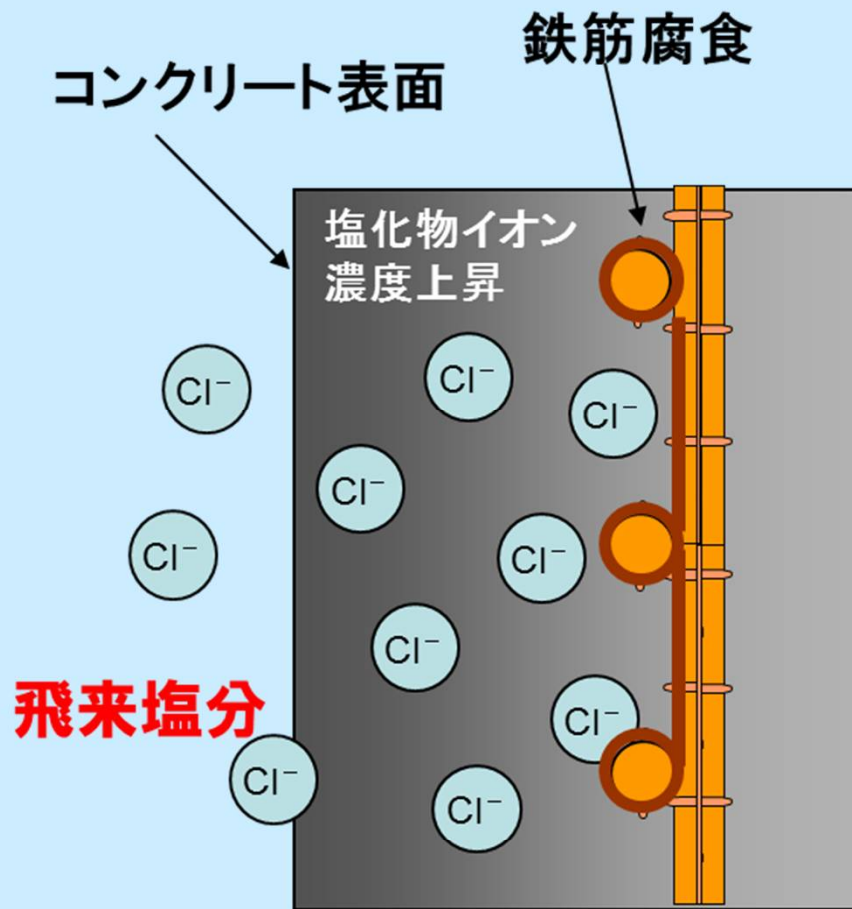
- ・紀元前5000年頃:うるしの使用
- ・メソポタミヤ時代:アスファルトの使用
- ・1868年(明治元年):築地ホテルの塗装
- ・1881年(明治14年):塗料の工業化(光明社設立)
- ・1885年(明治18年):「堀田式さび止め塗料及び塗装」特許第1号
- ・1905年(明治38年):アスファルト防水(大阪瓦斯本社ビル屋根)
- ・1951年(昭和26年):エポキシ樹脂塗料の開発
- ・1950～1960年代:ポリマーセメントモルタルの研究

樹脂・塗装と鉄筋コンクリートの出会い ⇒高耐久（長寿命）コンクリート構造物

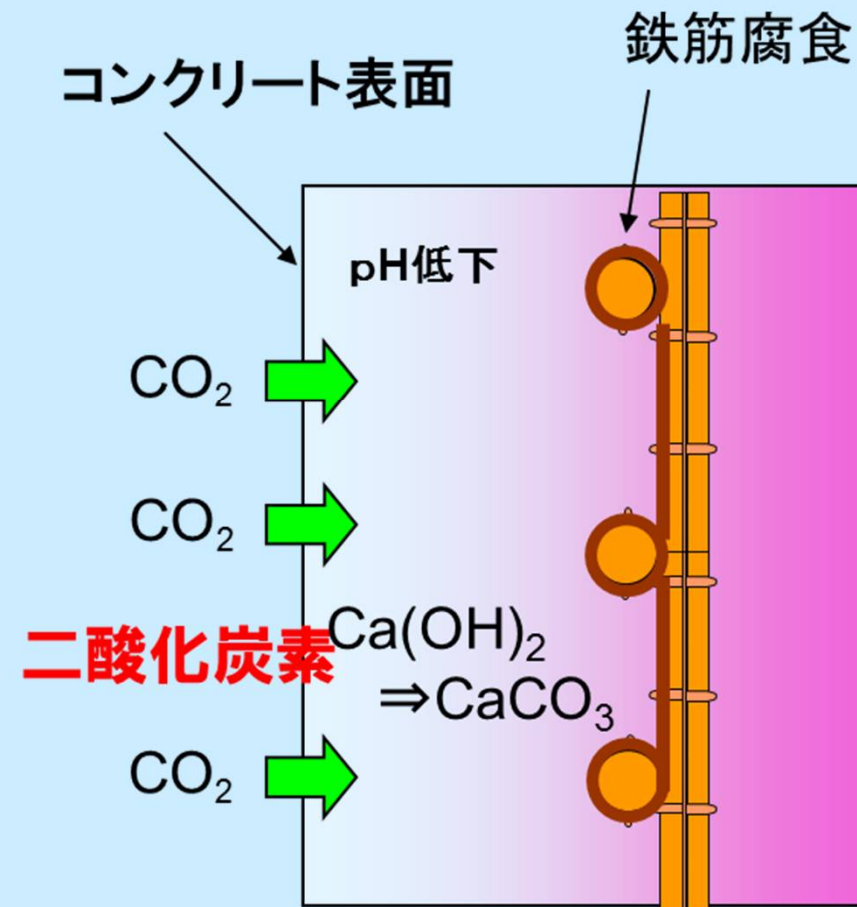
●基準・指針類に見るコンクリート構造物への樹脂・ 表面保護の適用

- ・1983年：海洋コンクリート構造物の防食指針（案）：JCI
- ・1984年：道路橋の塩害対策指針（案）：日本道路協会
- ・1986年：エポキシ樹脂鉄筋を用いた鉄筋コンクリートの設計施工指針（案）土木学会
- ・1987年：ポリマーセメントモルタル試験方法規準（案）：JCI
- ・1991年：コンクリート防食指針（案）：下水道事業団
- ・1990年代：高耐久性埋設型枠工法の開発（本四架橋適用）
- ・2005年：表面保護工法設計施工指針（案）：土木学会
- ・2012年：けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案）：土木学会

コンクリート構造物への劣化因子侵入



(a)塩化物イオンの侵入
による鉄筋腐食



(b)中性化による
鉄筋腐食

コンクリート・鋼材・樹脂（表面保護） のコラボレーション

耐力向上

1890鉄筋コンクリート
1952プレストレスト
コンクリート

コンク
リート

長寿命化

（基準類制定）

1987PCM

1983表面被覆

2005表面含浸

2007高韌性セメント系

複合材料（合成繊維）

鉄 筋

1881さび止め塗料

1986 樹脂塗装鉄筋

樹脂など
（表面保
護）

腐食防止

コンクリート・鉄筋・樹脂（表面保護） のコラボレーションの事例

A：表面保護工法（被覆、含浸）

B：樹脂塗装鉄筋

C：高耐久性埋設型枠

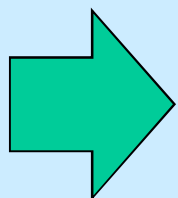
D：その他の樹脂使用工法

A:表面保護工法（表面被覆工法）

エポキシ樹脂



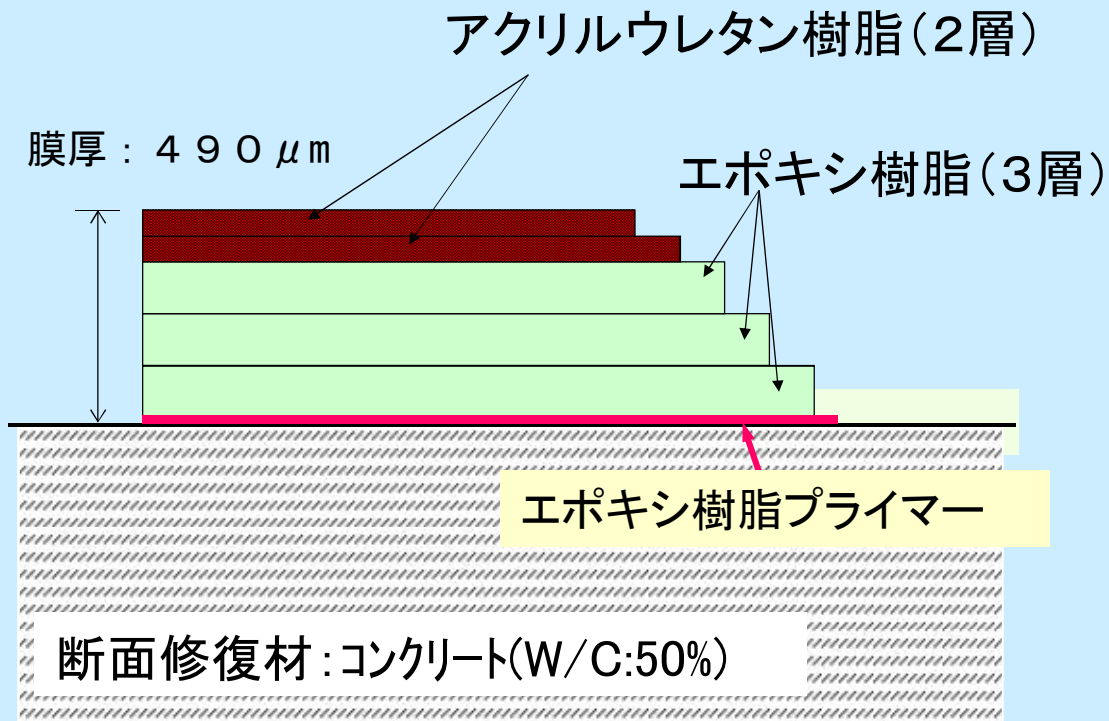
ポリマーセメント



塩化物イオンや二酸化炭素の侵入を抑制し、
内部の鉄筋腐食を防ぐ。

塩害を受ける道路橋床版のLCC比較

- 海岸からの距離:100m
- 設計耐用年数：150年
- 対象面積：2000m²

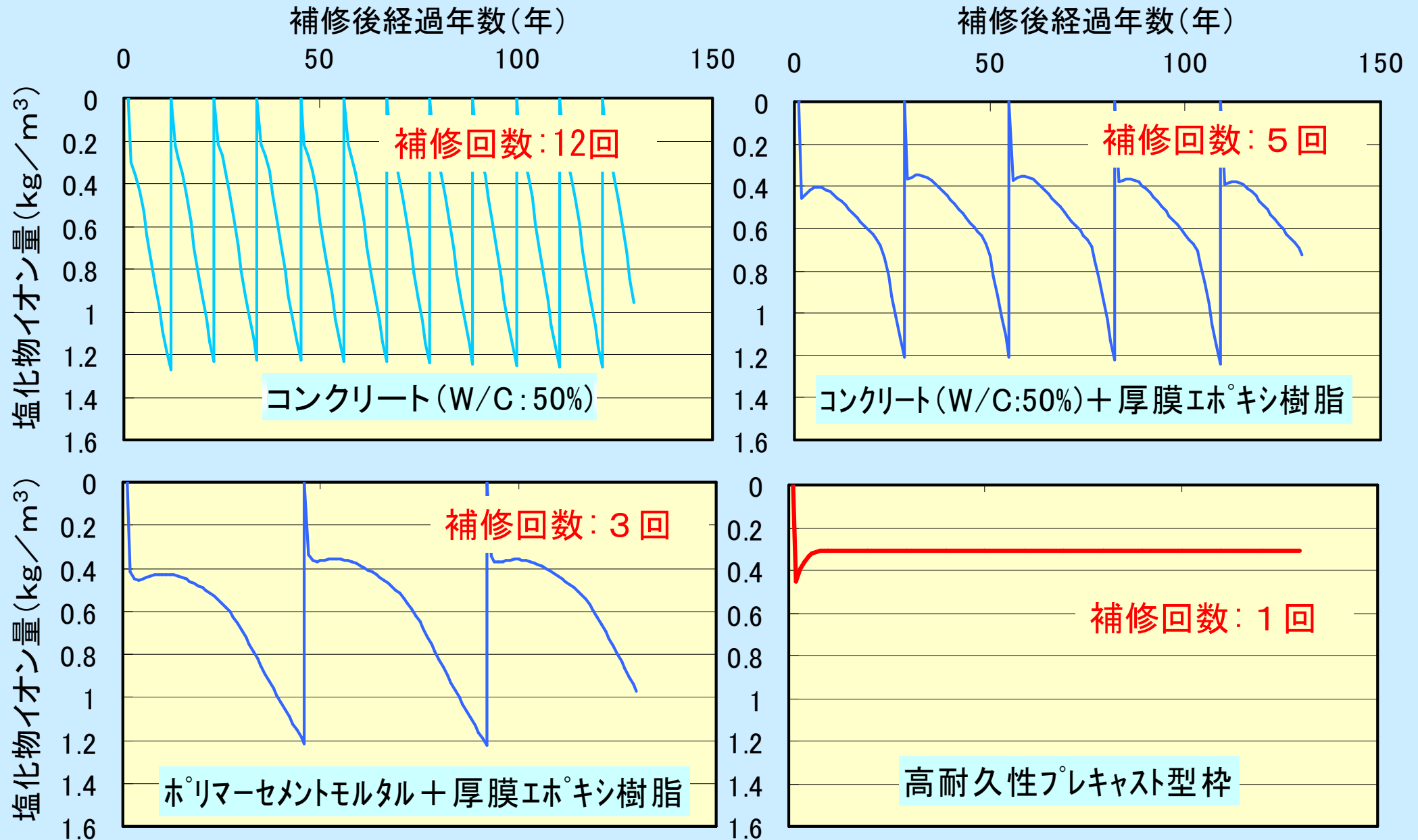


〔A〕 表面被覆工法
(エポキシ樹脂塗装)
→補修:ポリマーセメント+再塗装

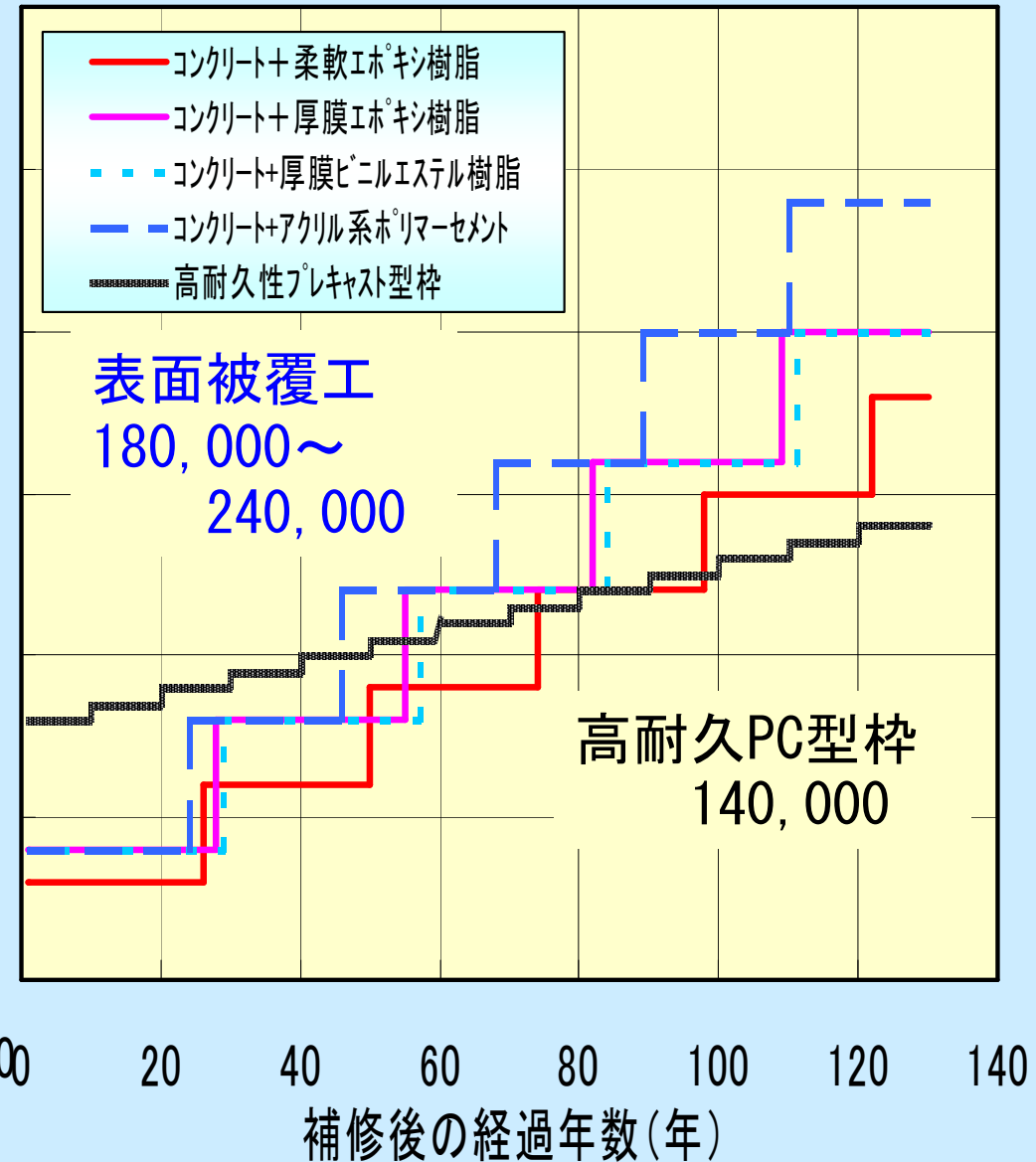
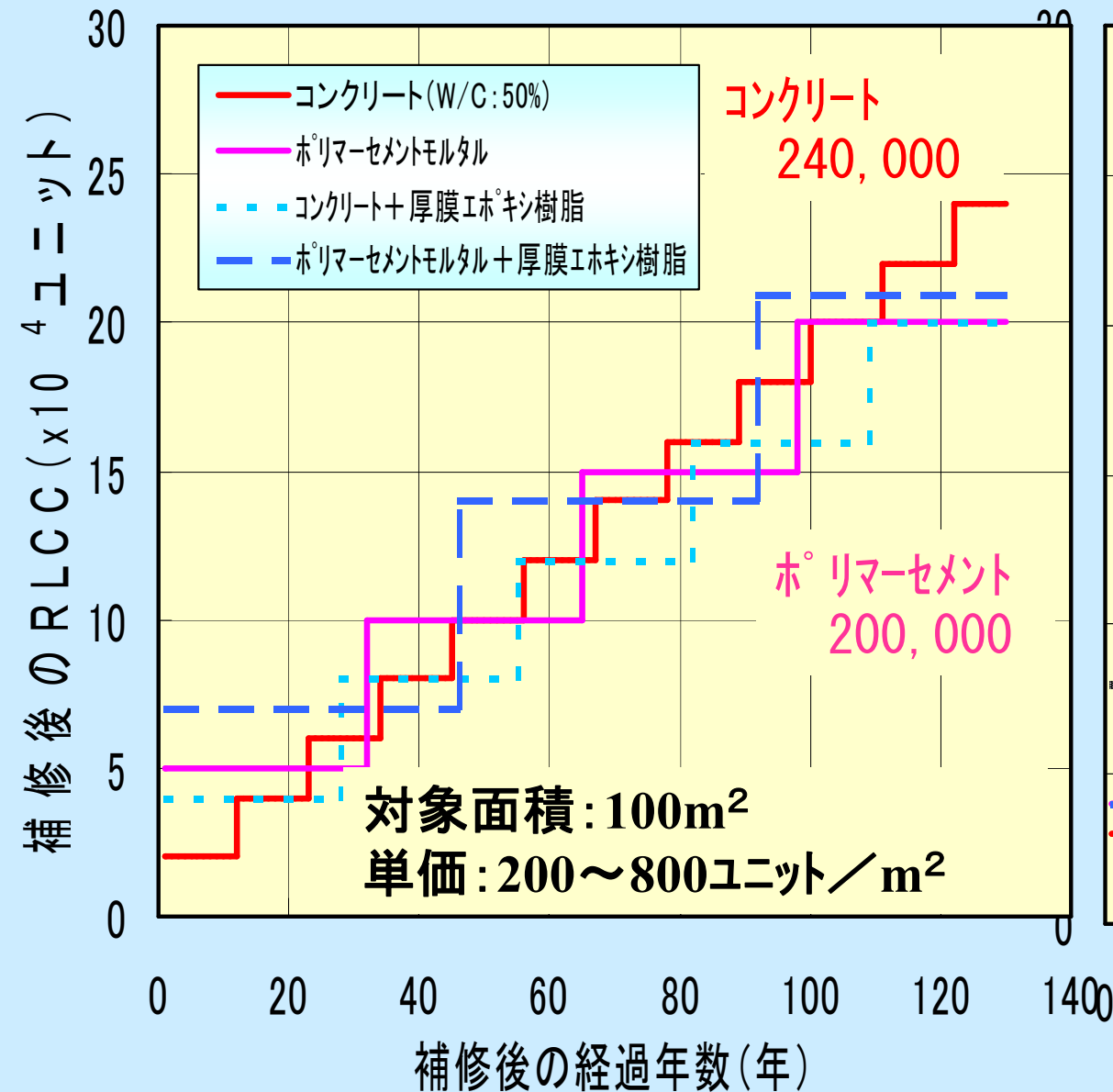
〔B〕 高耐久性プレキャスト
型枠
→補修:目地取替えのみ¹³

各種の補修工法を用いた場合の補修時期予測, LCC比較

対象構造物: 橋梁床版(かぶり50mm), 海岸からの距離: 100m

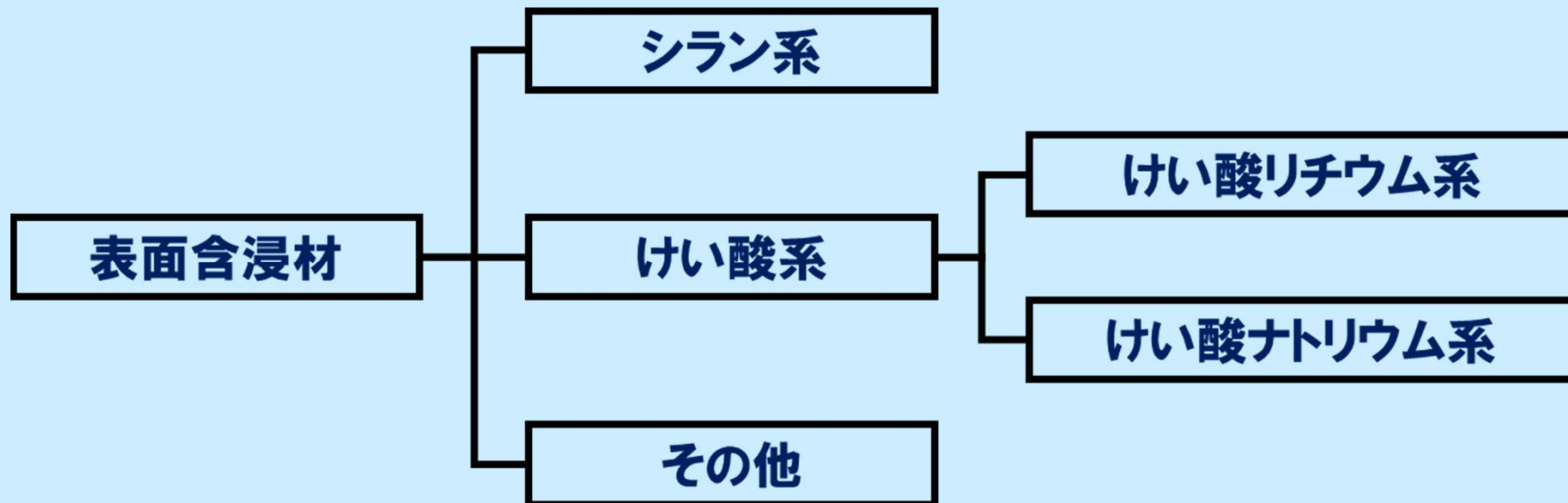
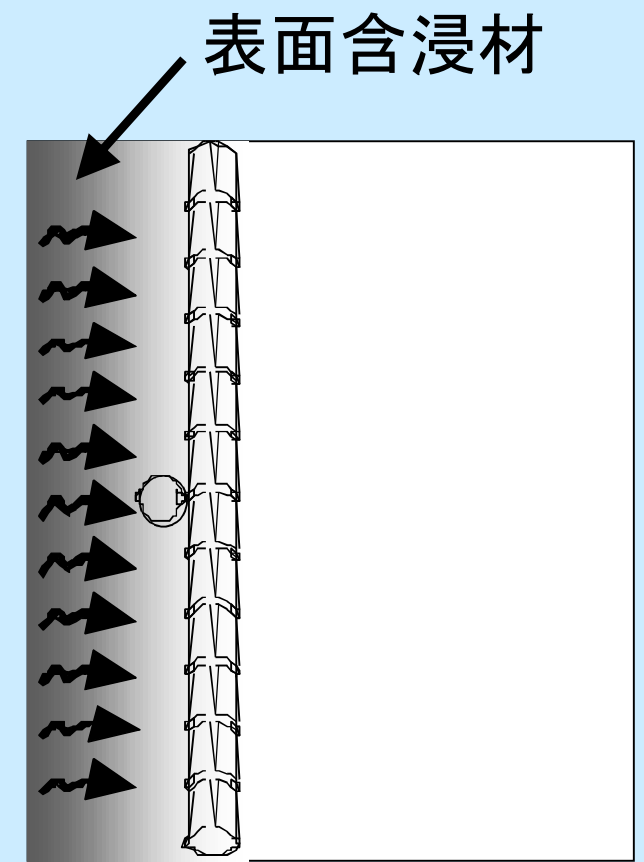


補修後のLCCの比較



表面含浸工法

表面含浸材がコンクリート内部に含浸して、劣化因子の侵入抑制、または新たな性能を付与する効果をもたらす工法であり、一般に、コンクリート表面に塗膜を形成しない。



表面含浸工法の特長

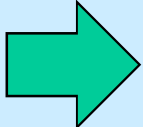
[目 的]

・予防保全

- ・落書き対策（防汚）

[特 長]

- ・塗布量0.1～0.4 kg/m²程度
- ・適用後の外観の変化が少ない
- ・補修後のコンクリート表面の観察が可能
- ・再施工する場合、前処理が不要（再度含浸可能）

 メンテナンスが容易

表面含浸工法の例（塩害、中性化の補修の場合）

①使用材料

けい酸ナトリウム系表面含浸材＋ポリマーセメントモルタルによる断面欠損部の修復

②含浸工法の仕様：反応促進養生（水塗布）を数回繰返す



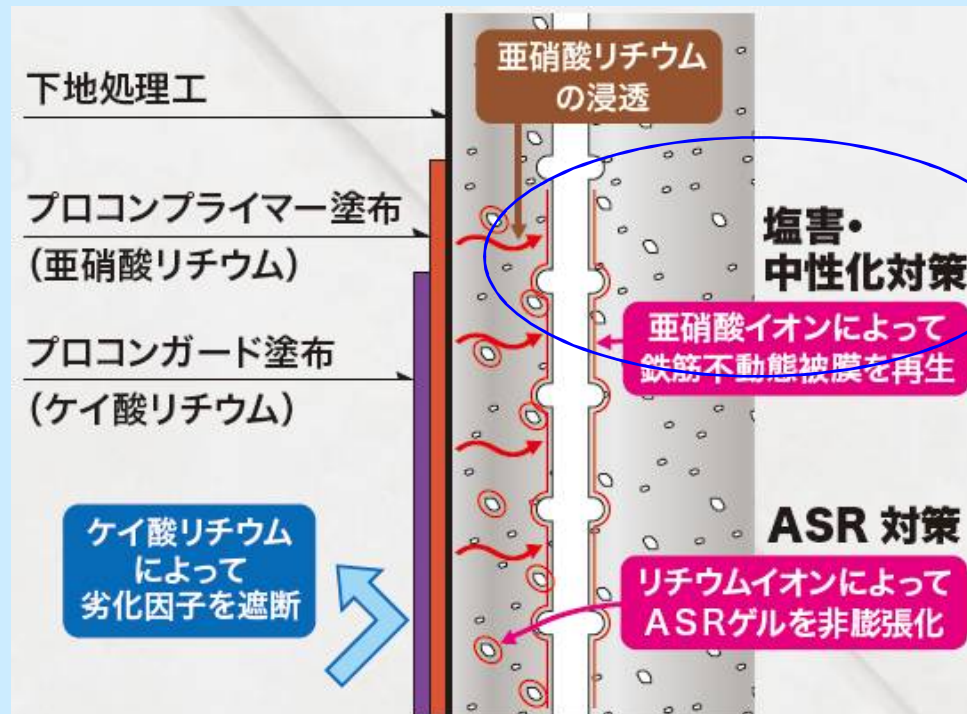
施工前



施工後

表面含浸工法の例（塩害、中性化の補修の場合）

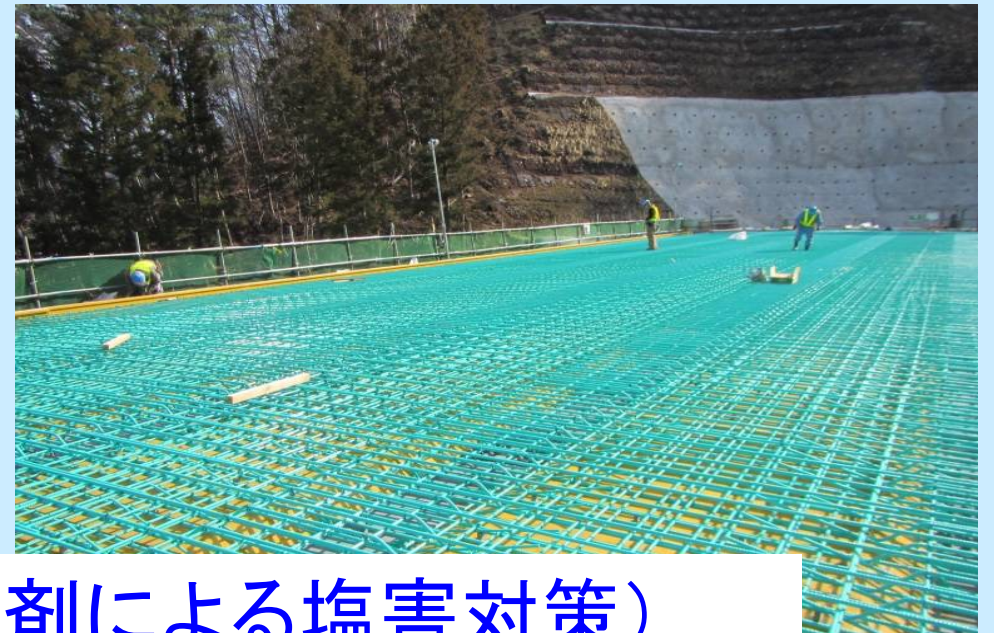
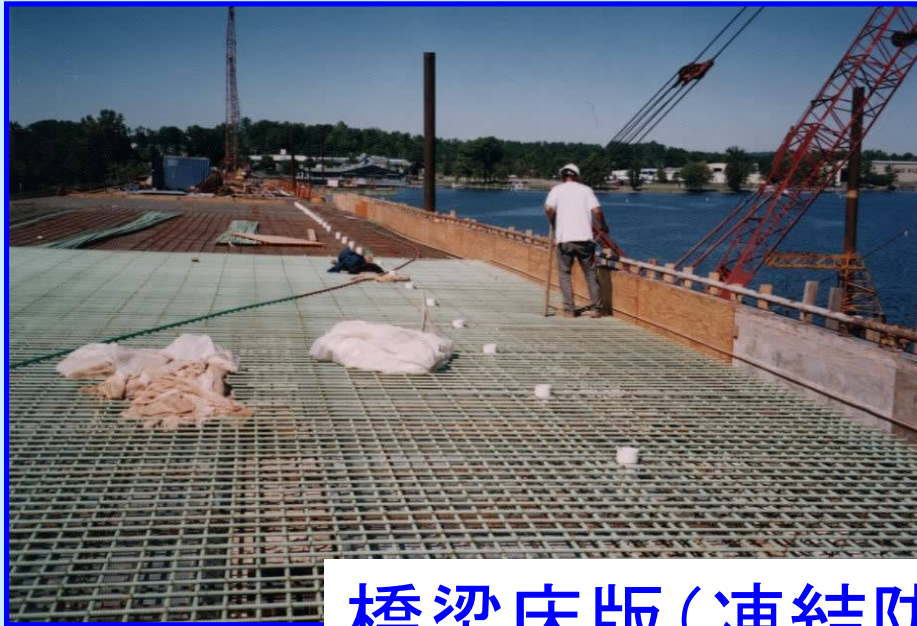
基本性能 『**けい酸リチウム (LiSiO_2)系含浸材**による劣化因子の遮断』
付加価値 『**亜硝酸イオン (NO_2^-)**による鉄筋腐食の抑制』を付与



- 亜硝酸リチウム系含浸材を塗布し、内部へ含浸 ⇒ 鉄筋防錆
- 劣化因子の侵入を抑制するため、けい酸リチウム系含浸材を塗布 ⇒ 劣化因子の侵入抑制

鉄筋腐食抑制効果（表層部）を併せ持つ表面含浸工法⁹

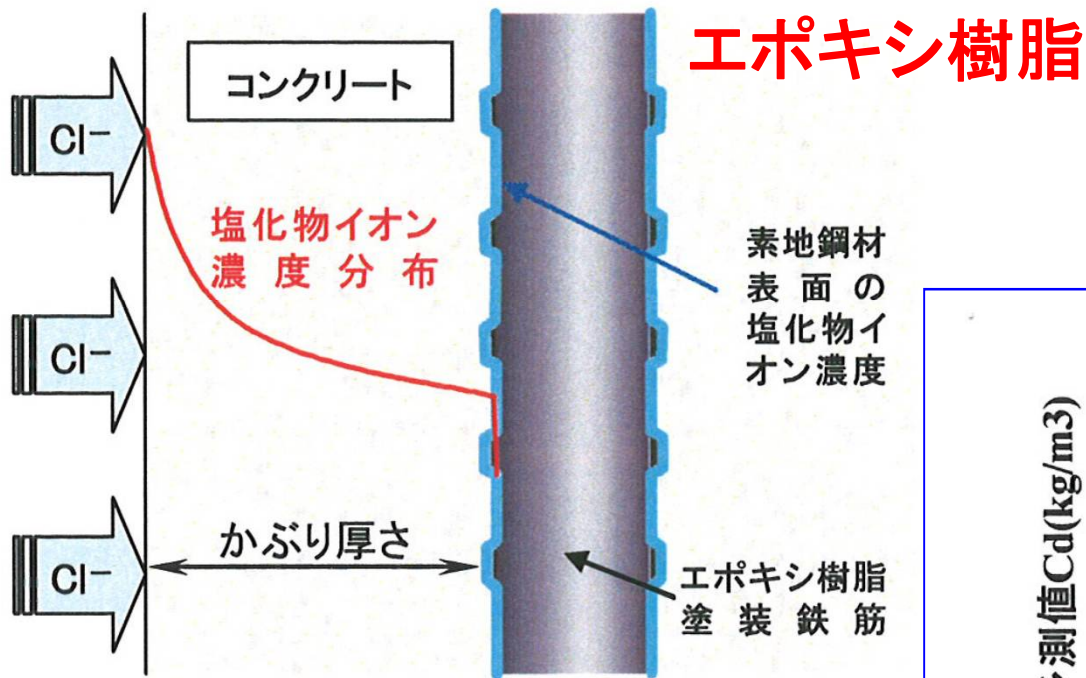
B:エポキシ樹脂塗装鉄筋



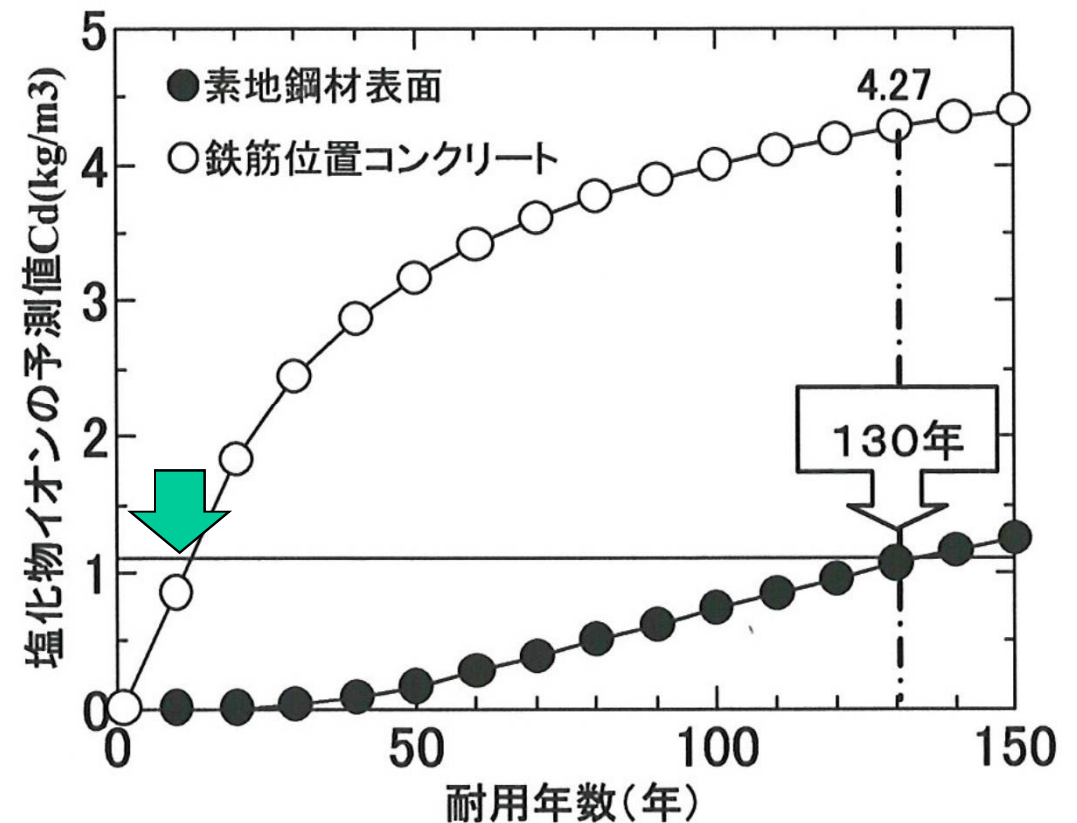
橋梁床版(凍結防止剤による塩害対策)

エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリート構造物の耐久性照査

海洋環境



かぶり: 70mm
高炉セメントB種
W/C: 42%



130年後Cl⁻は1.2kg/m³以下
鉄筋腐食しない予測

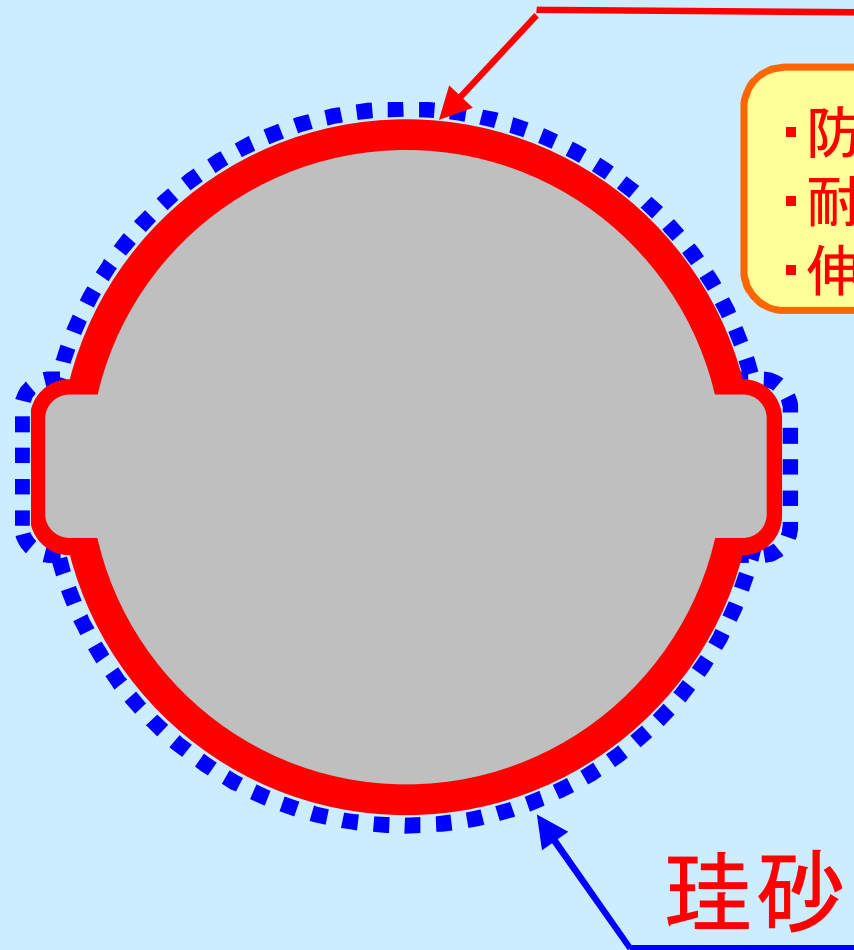
エポキシ樹脂塗装鉄筋の課題

1. コンクリートとの付着強度の低下
⇒ 重ね継手長さ: 普通の約1.2倍
2. 曲げ加工、組立時に塗膜が傷つきやすい
⇒ タッチアップ補修
3. 紫外線劣化の懸念
⇒ 屋外に長期間置く場合、
日射除け養生が必要

PVB樹脂塗装鉄筋

23

ポリビニルブチラル(PVB)樹脂



- ・防食性の担保
- ・耐アルカリ性
- ・伸び率が高い

柔軟性



付着性



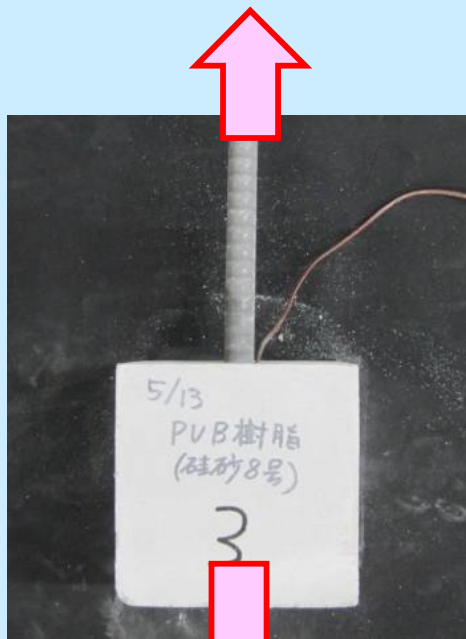
- ・コンクリートとの
付着強度向上

PVB樹脂塗装鉄筋の特長

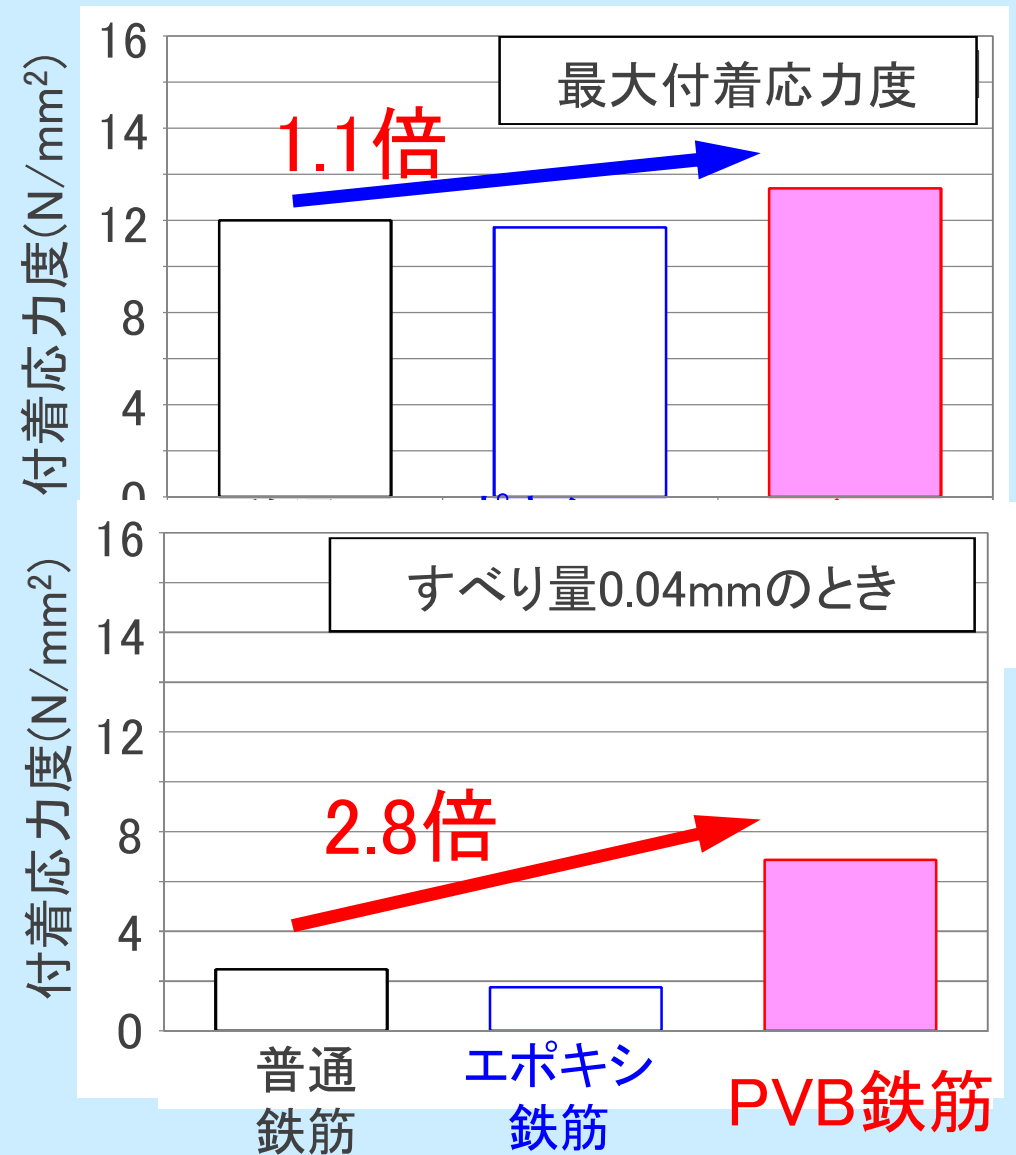
- (1) 耐久性
エポキシ鉄筋と同等以上
- (2) コンクリートとの付着強度
普通鉄筋と同等以上
- (3) 施工性
施工時の衝撃および曲げ加工において、
樹脂塗膜の欠損に対する抵抗性が高い

コンクリートとの付着強度

【引き抜き試験 (JSCE-E 516-2003)】



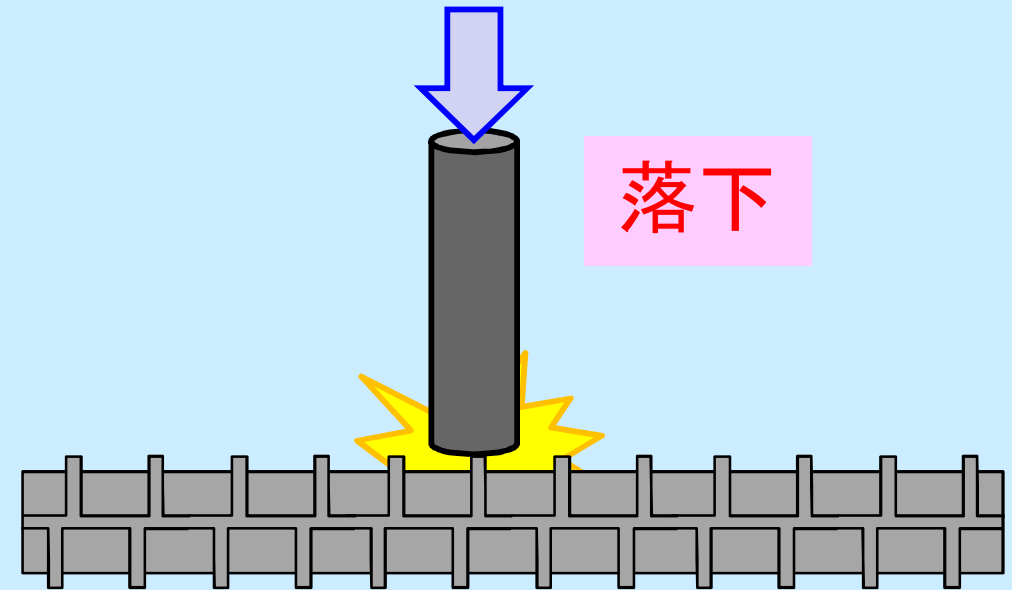
引抜き試験供試体



珪砂の効果による付着強度の向上

施工性

【耐衝撃性試験 (JSCE-E 514-2003)】



1.8kgのおもりを自由落下



落下試験5回

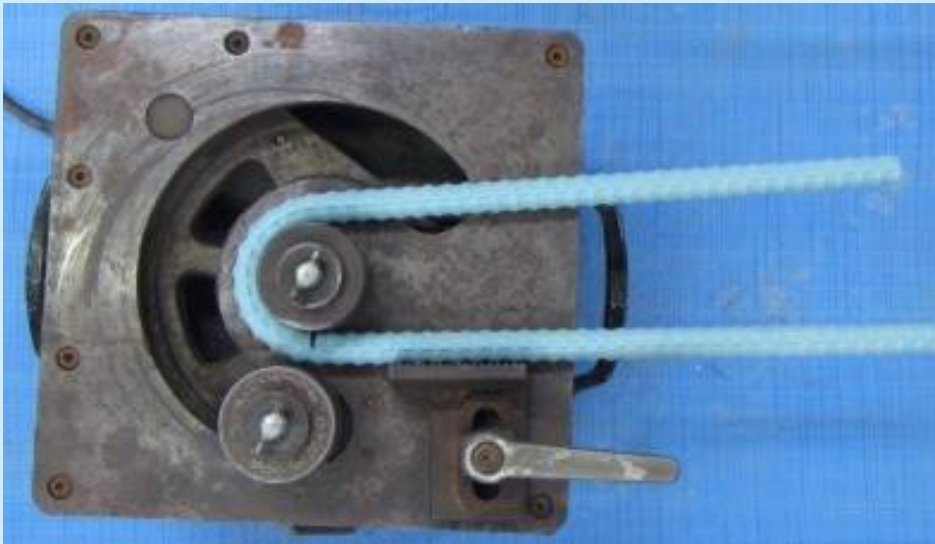


落下試験10回

鉄筋素地の露出なし

施工性

【曲げ加工性試験 (JSCE-E 514-2003)】



180° の曲げ加工



PVB鉄筋の曲げ外周



PVB鉄筋の曲げ内周

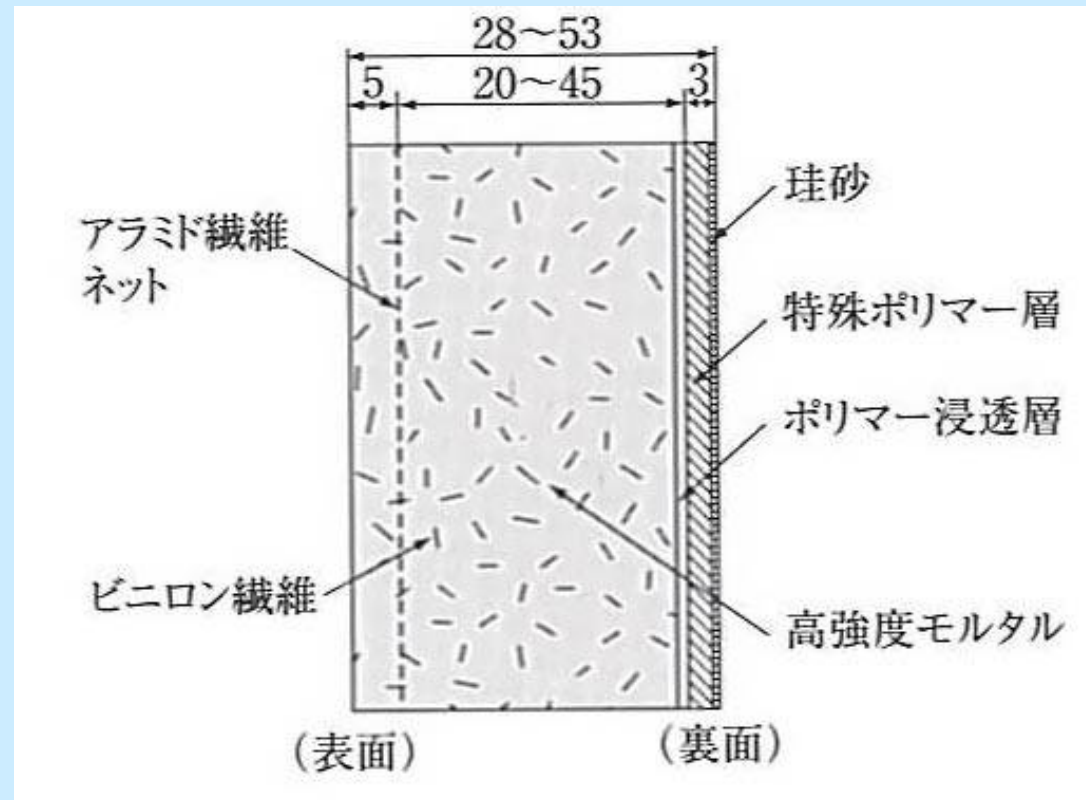
損傷無し(PVB樹脂の変形に対する追従性)

C: 高耐久性型枠工法

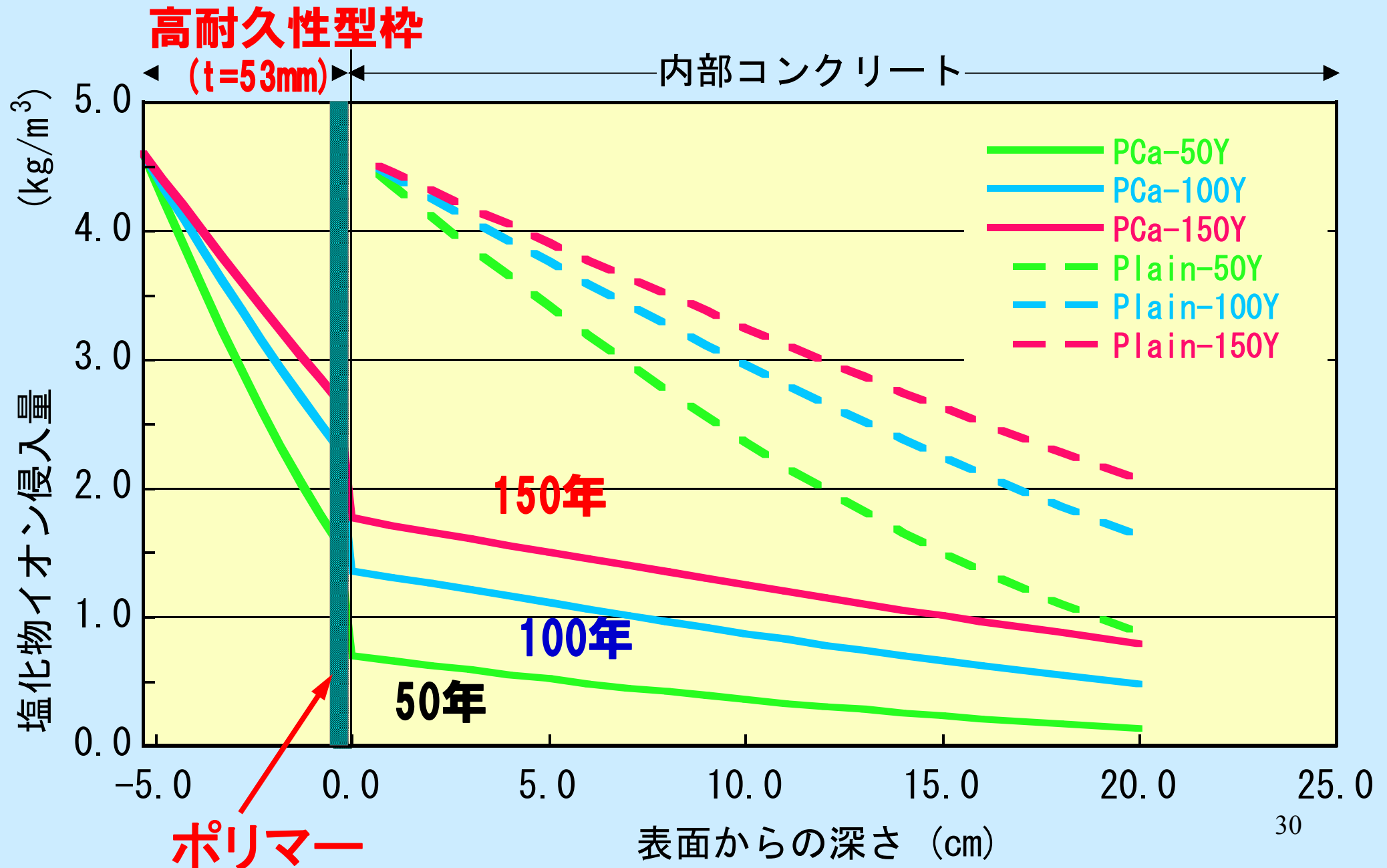
- ・ 高いひび割れ抵抗性
- ・ 優れた美観と耐久性
- ・ 内部鉄筋の長期保護



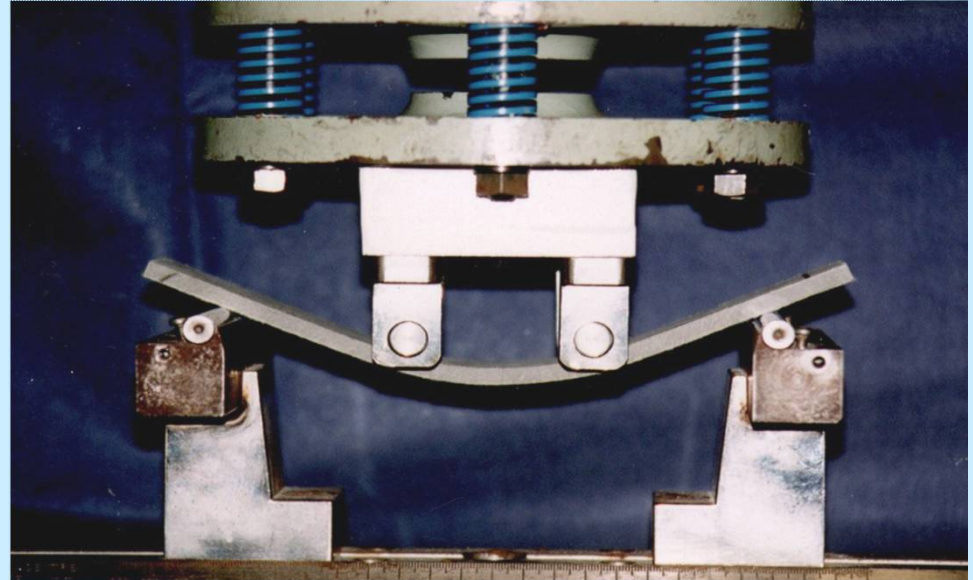
高耐久性型枠の断面の例



高耐久性型枠を用いたコンクリート構造物の 塩化物イオン浸透予測（150年間）



高靱性セメント型枠（合成短繊維含有）



ひび割れ補修工法の例（樹脂注入）

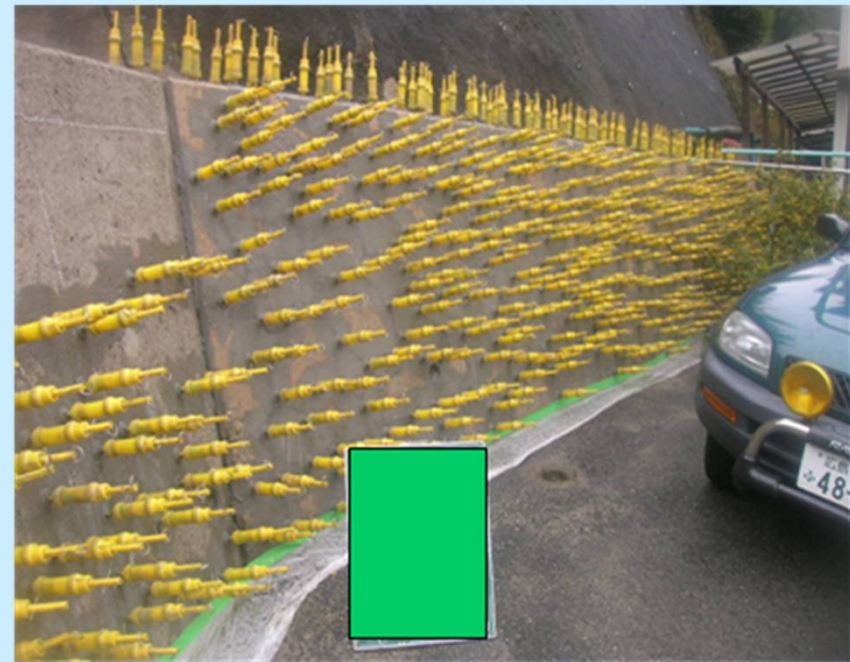
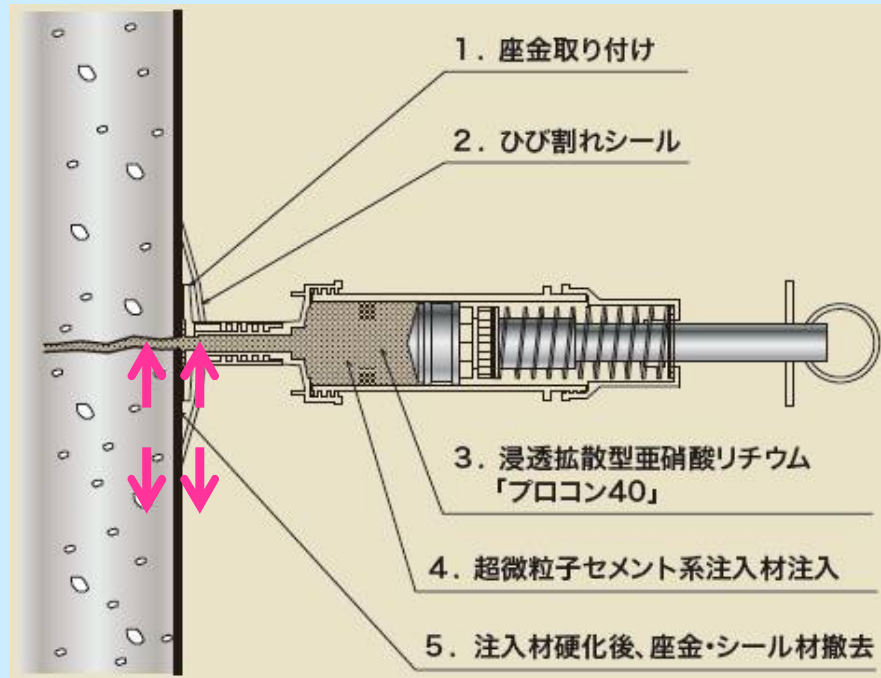


**樹脂系注入工法
（中高压注入）**



**樹脂系注入工法
（低圧注入）**

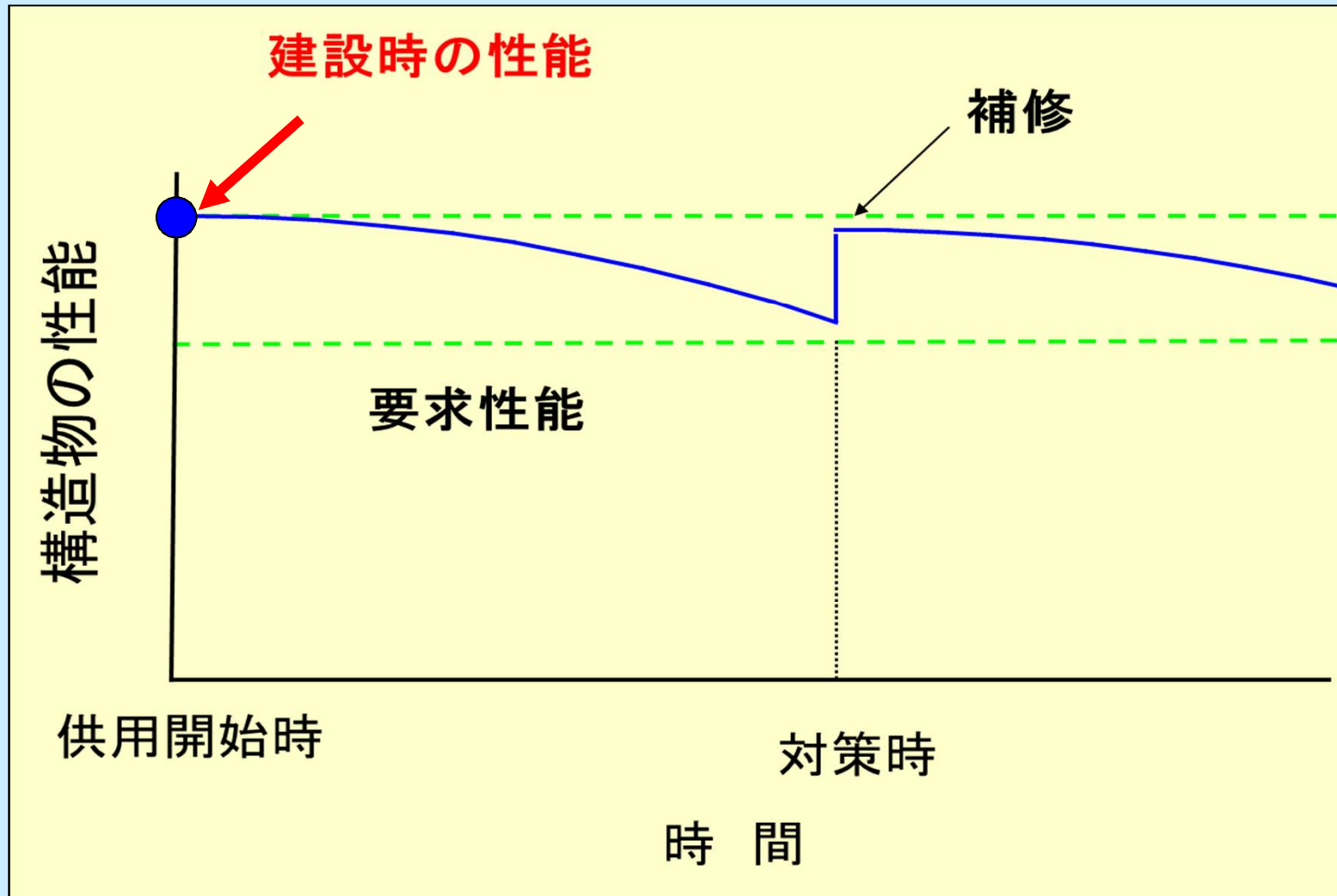
ASR補修工法の例（亜硝酸リチウム注入）



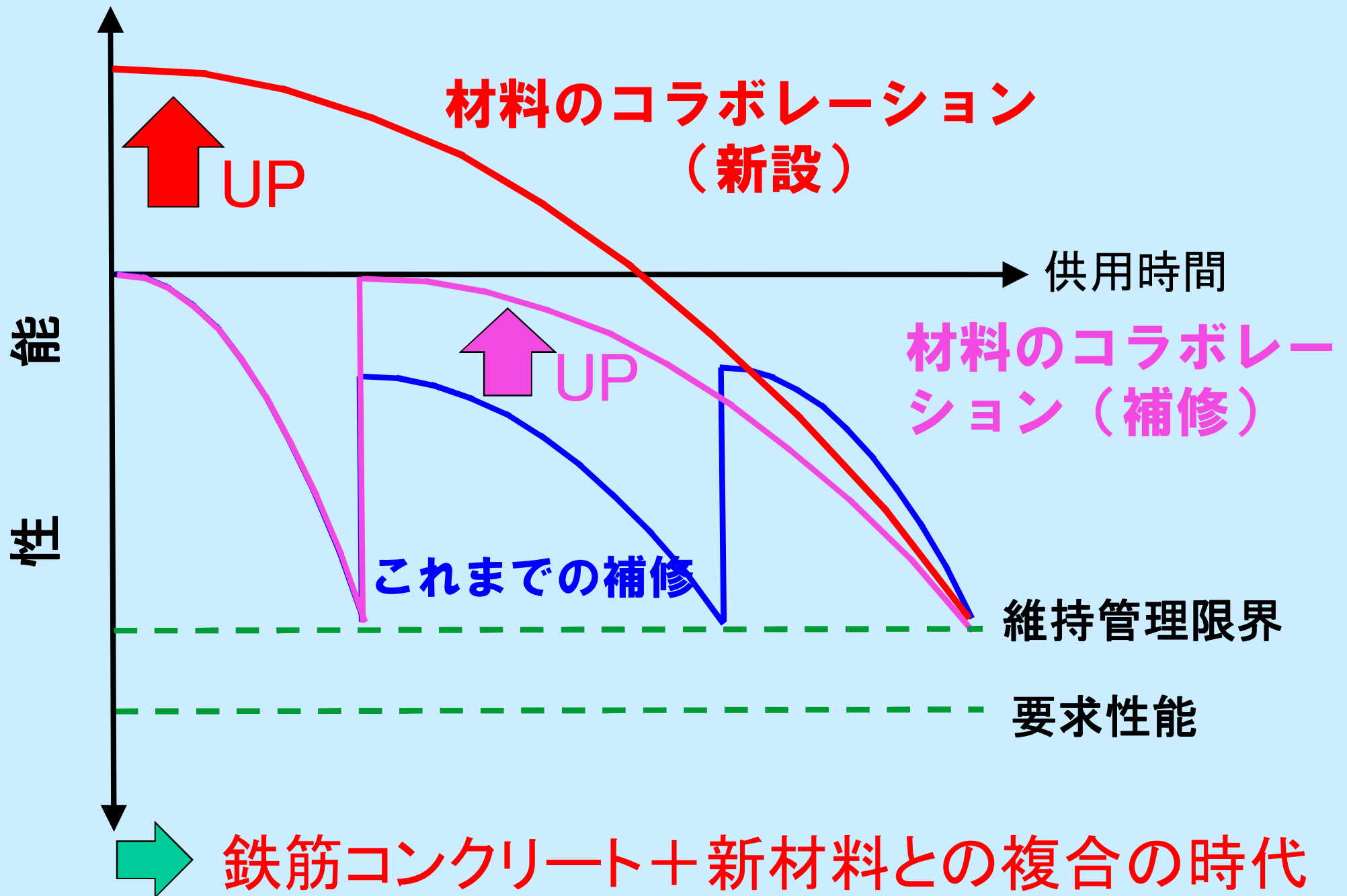
- ① 自動低圧注入器をひび割れに沿って設置する
- ② 亜硝酸リチウム水溶液を先行注入する ⇒ ゲルの非膨張化
- ③ 超微粒子セメント系注入材を本注入 ⇒ ひび割れ閉塞、劣化因子遮断

ASR膨張抑制効果（部分的）を併せ持つひび割れ注入工法

構造物の性能の時間的变化



メンテナンス計画のシナリオ（例）



予防保全によるライフサイクルコストの低減

