

第Ⅱ部 コンクリートクライシスから40年、コンクリートの耐久性は如何に

話題提供

港湾構造物の維持管理から



技術研究開発センター プロジェクトマネージャー

網野 貴彦

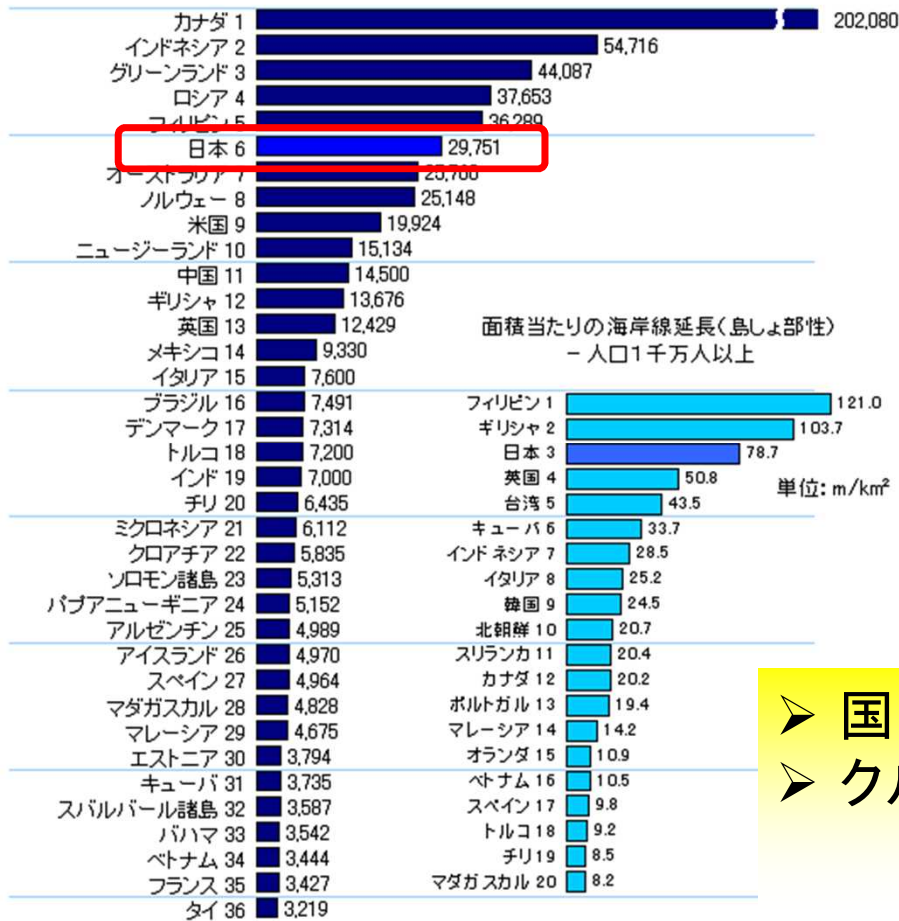
我が国は世界有数の海岸線延長を有する

出典: <https://honkawa2.sakura.ne.jp/9400.html>

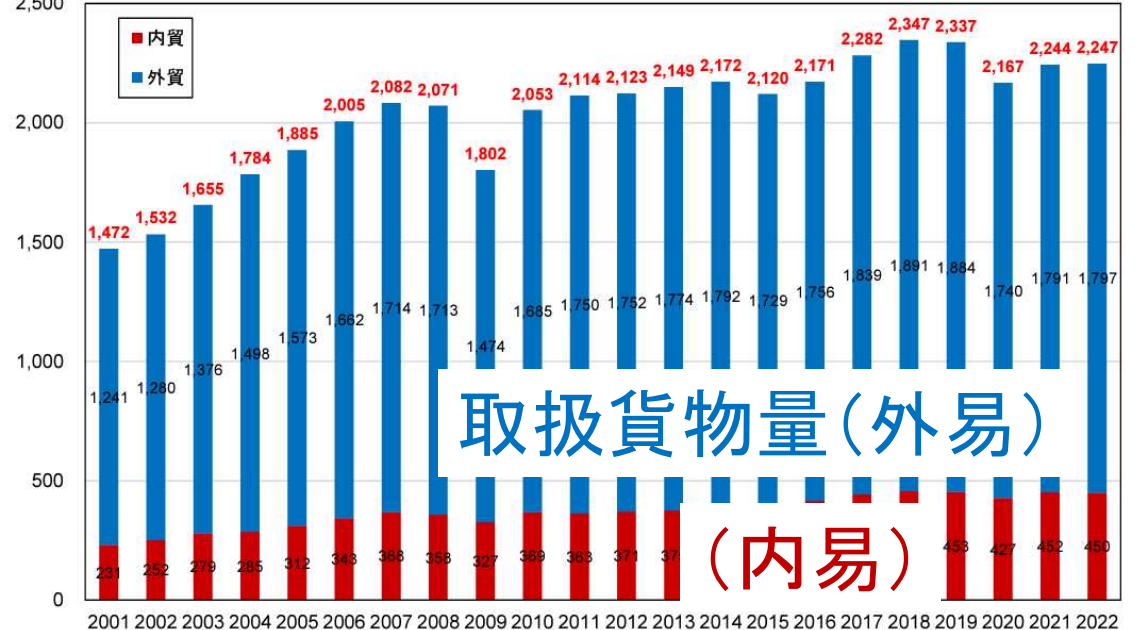
単位: km

万TEU
2,500

出典: <https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001706374.pdf>



面積当たりの海岸線延長(島しょ部性)
- 人口1千万人以上



取扱貨物量(外易)
(内易)

- 国内輸送・国外貿易とも海上輸送量は安定した需要
- クルーズ拠点, 資源エネルギー拠点としての需要

港湾施設の重要性は今後も変わらない

港湾施設に求められる機能と社会ニーズ

気候変動対策とセット！

・海面上昇／波浪の激甚化等

- 物流や人的なネットワークの拠点 …………… > 供用しながらの**長寿命化・延命化**
- 高潮や津波等の災害から人命や財産を守る ・> **粘り強い**施設への改良
- 経済低成長・少子高齢化時代の到来、社会ニーズの多様化
キーワード: 海上作業の省人化・省力化／環境負荷低減／**生物多様性(共生)**…

港湾施設における維持管理の主体者と法整備の状況

維持管理の費用は誰が負担する？

■ 国有港湾施設でも国費負担はない

→ 点検診断は、全て地方時自体等の港湾管理者の単独予算で対応

港湾法の改正（平成25年）

「港湾の施設の新しい点検技術カタログ」2021年度～現在26技術掲載

https://www.mlit.go.jp/kowan/kowan_tk5_000040.html

■ 公共・民間の約8万5千施設に対して、定期的な点検診断を義務化

→ 施設管理者の組織力、財政負担能力、技術力を勘案した、実践的で無駄のない、仕組み・支援ツールの開発と社会実装が喫緊の課題



- 港湾法施行規則（特定技術基準対象施設を規定） [平成26年6月施行]
- 港湾の施設の点検診断ガイドライン [平成26年7月]
【第1部 総論】、【第2部 実施要領】
- 特定技術基準対象施設に関する報告の徴収及び立入検査等のガイドライン [平成26年7月]
- 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン [平成27年4月]
【第1部 総論】、【第2部 作成事例】

港湾施設の維持管理における実施事項

現地調査

維持管理計画の策定に当たって、施設の変状、劣化度、置かれている環境等を把握するために現地調査を実施

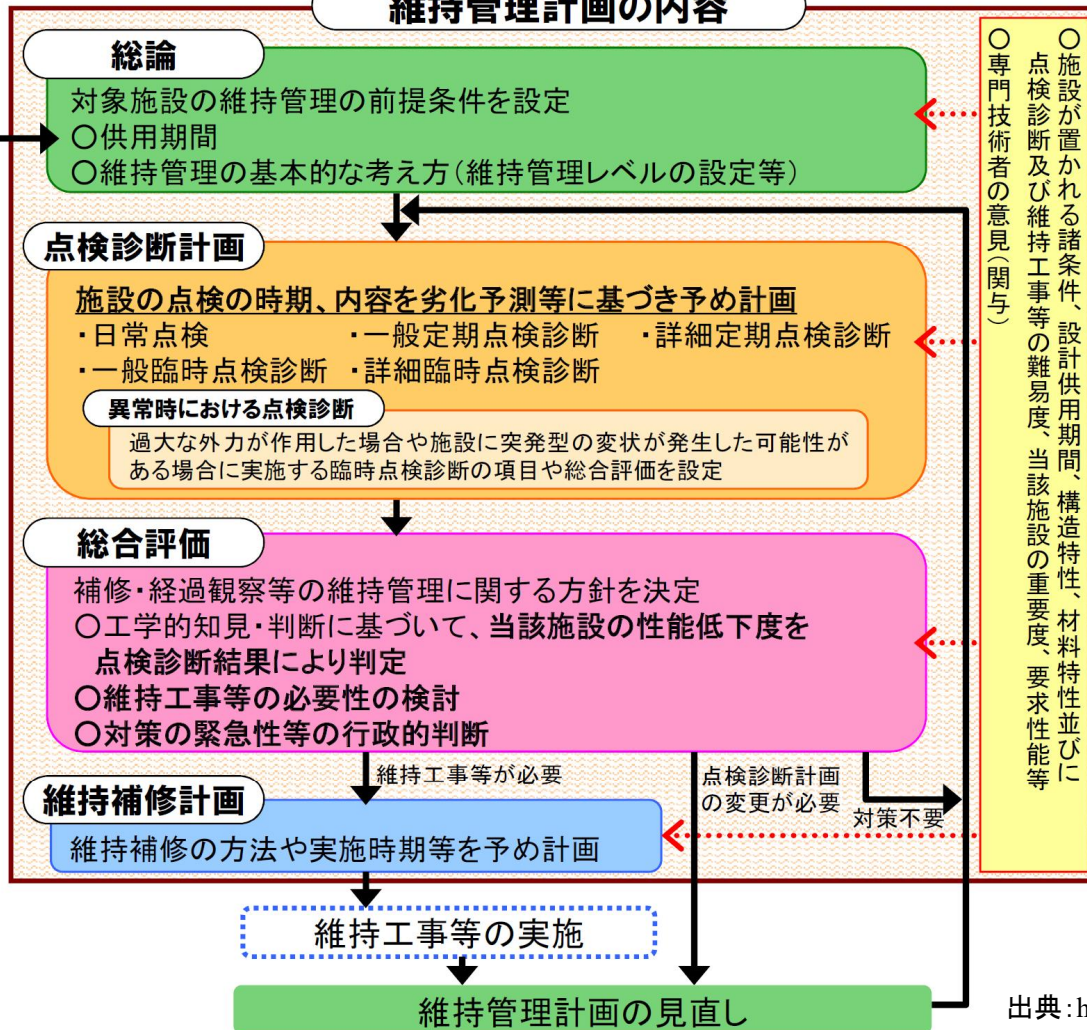
【調査内容】

施設に応じて、

- ・測量
- ・目視調査
- ・潜水調査
- ・詳細部材調査等を実施



維持管理計画の内容



○施設が置かれる諸条件、設計供用期間、構造特性、材料特性並びに点検診断及び維持工事等の難易度、当該施設の重要度、要求性能等
 ○専門技術者の意見(関与)

1. 現在の状態を把握
 - 初回点検診断の実施
2. 維持管理計画書の策定
3. 維持管理の実施
 - 日常点検: ユーザヒアリング
 - 定期点検診断(一般/詳細)
 船上目視 : 3~5年に1回
 潜水土・コア : 10~15年に1回
 - 臨時点検診断(一般/詳細)
 - 維持工事等
4. 専門技術者の関与
 - 海洋・港湾構造物維持管理士

出典: <https://www.mlit.go.jp/common/001069314.pdf>

棧橋上部工の耐久性設計と維持管理

主な劣化は、塩害(+複合劣化)

①フィックの拡散則による予測
$$C(t, x) = C_0 \times \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2 \times \sqrt{D \times t}} \right) \right]$$

②鉄筋の腐食開始・進行

腐食発生限界塩化物イオン濃度 (港湾基準では2.0kg/m³)

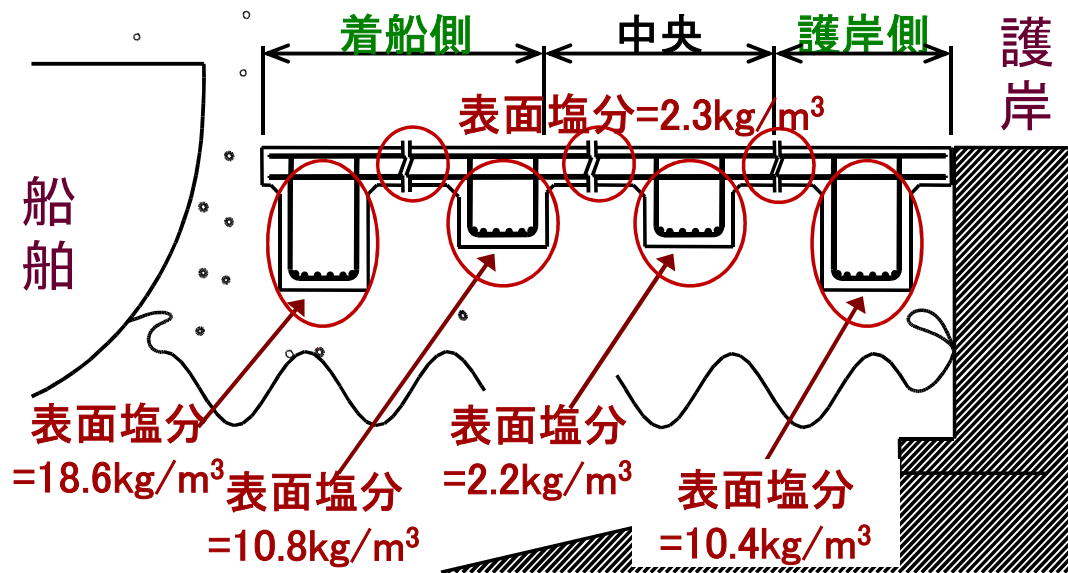
↑ 設計

塩害の進行速度は環境条件(特に酸素の供給)に影響される

↓ 維持管理

栈橋上部工の塩害環境の特徴

「着船側と護岸側」や「水面からの距離」で塩分供給量が異なる。

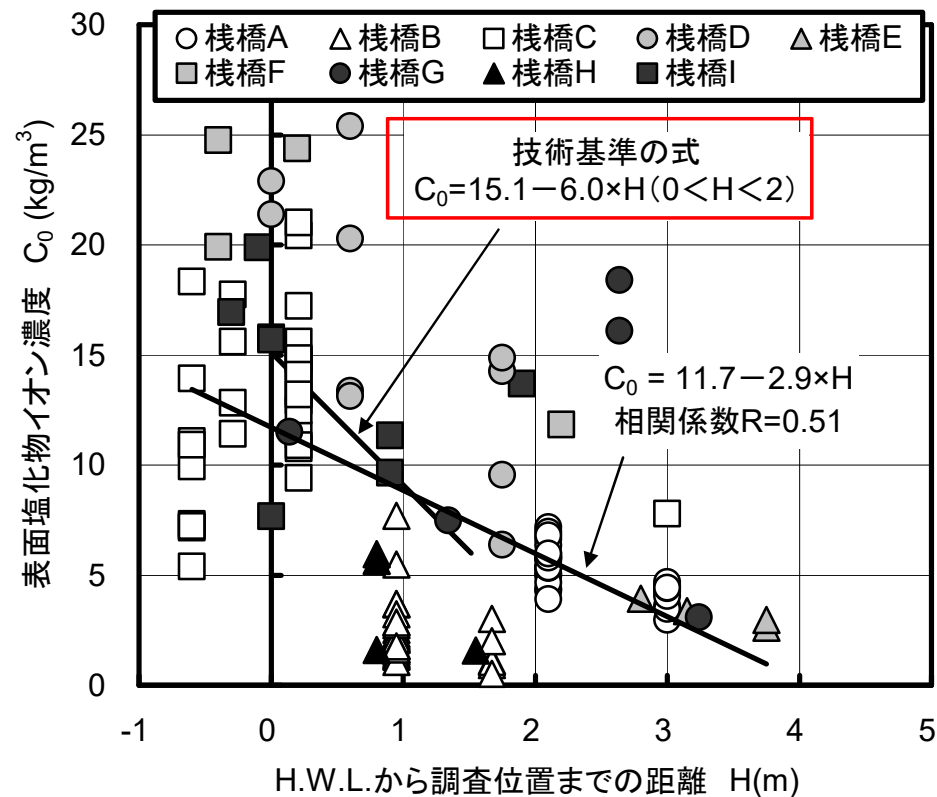


栈橋上部工の塩害環境は整理されつつある！



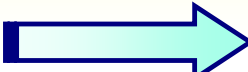
設計へのフィードバック！

水面からの距離によって、表面塩化物イオン濃度(C₀)が異なる。

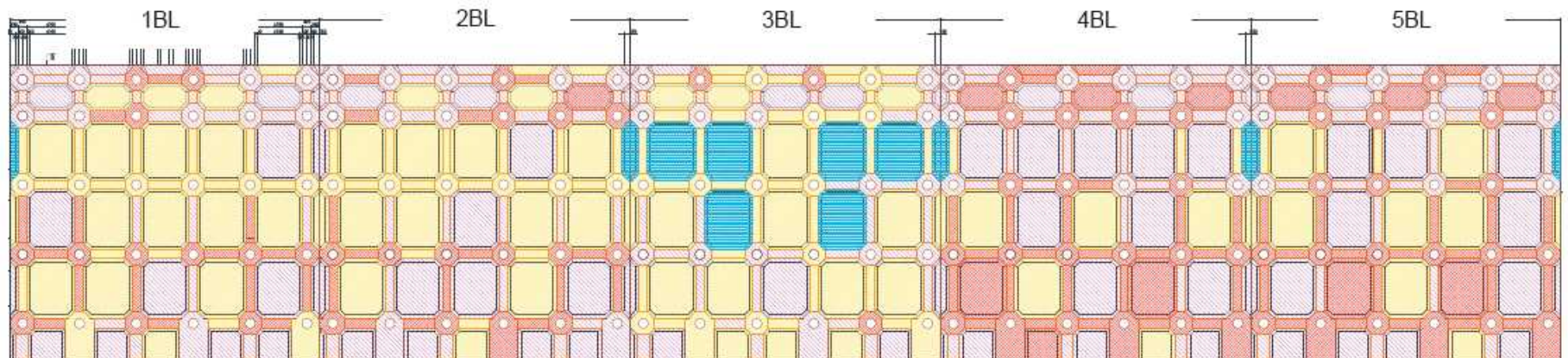


棧橋上部工の塩害損傷のばらつき

- 棧橋は、複数ブロックで構成される施設。
➔ 下図は5ブロックで構成される棧橋の例
- ブロックごとに劣化の進行程度は異なる！

健全  劣化が著しい

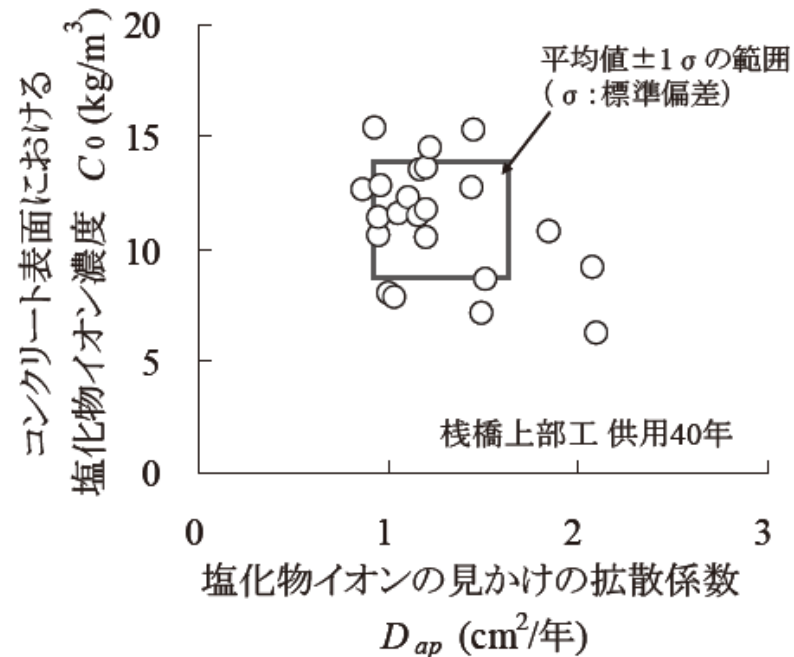
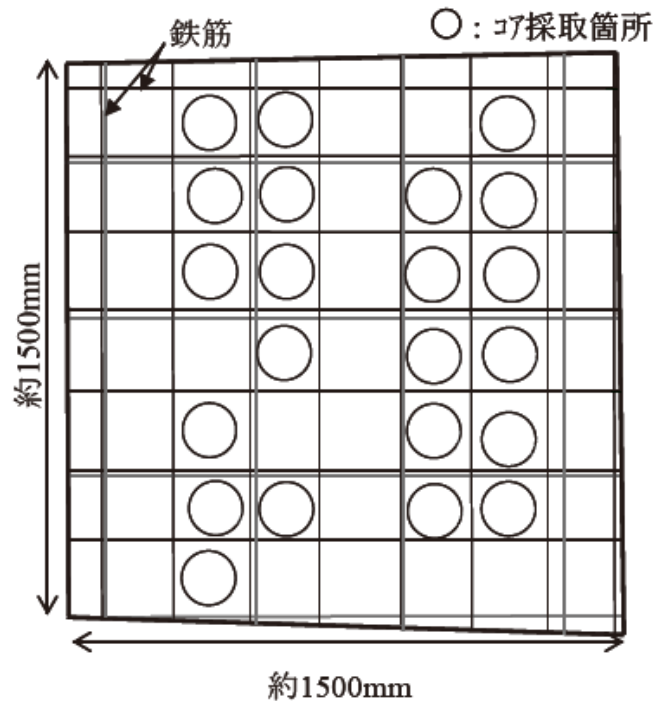
劣化度d	劣化度c	劣化度b	劣化度a
			



港湾コンクリート構造物の補修マニュアル(H30.7)

栈橋上部工の塩害劣化予測パラメータのばらつき

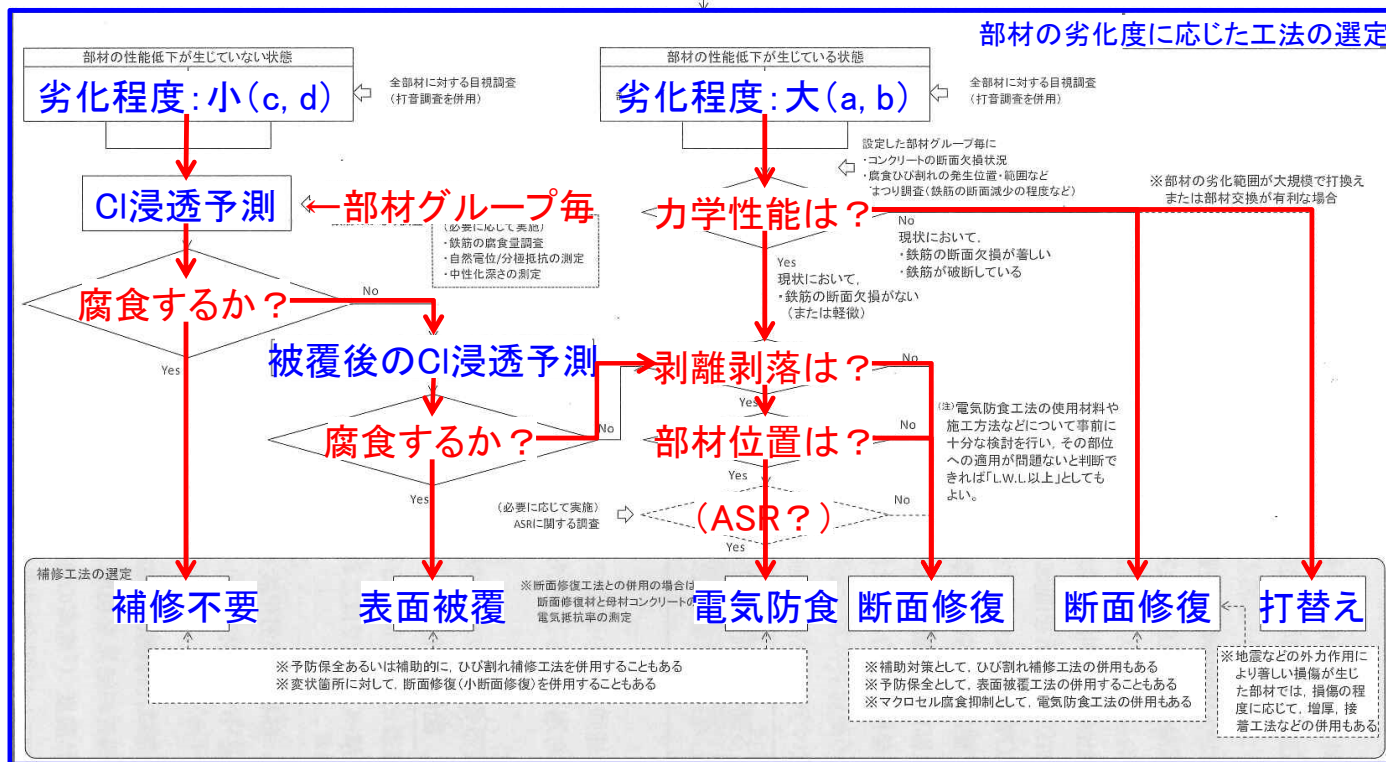
- 同一部材でも、コンクリート品質(拡散係数)や塩分供給量(表面Cl濃度)は、ばらばら！



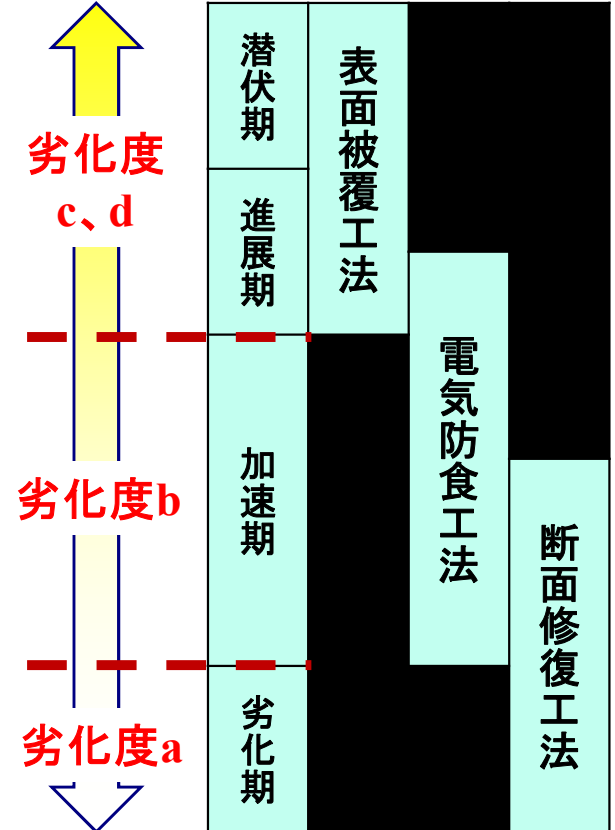
出典: 加藤絵万, 岩波光保, 山路徹, 横田弘: 建設後30年以上経過した栈橋上部工から切り出したRC部材の劣化性状と構造性能, 港湾空港技術研究所資料, No.1140, 2006.

標準的な補修工法の選定フロー ～棧橋上部工の例に～

補修シナリオの設定



劣化が軽微



出典: 港湾コンクリート構造物の補修マニュアル(H30.7)

構造物全体の工法の選定(見直し)



補修における留意点

■補修設計(工法の選定と設計)

- ・ 環境条件、かぶりのばらつき^①の把握
- ・ コンクリート品質等の把握
- ・ **再劣化の防止**

■補修施工

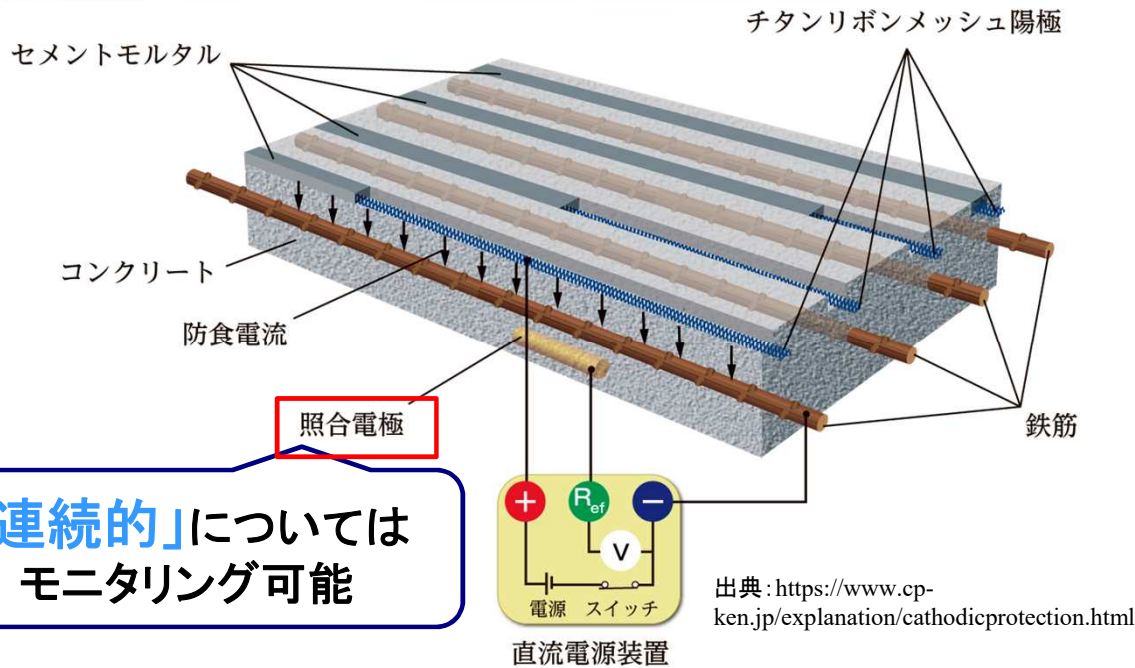
- ・ **海水作用の影響等を受けにくい補修材料・工法の選定**
- ・ **波浪や潮位変動等を考慮した補修作業/工程/仮設計画**・・・



出典: 港湾コンクリート構造物の補修マニュアル(H30.7)

電気防食工法は最終壁になり得るか？

出典: 土木学会 CL158「電気化学的防食指針」抜粋



「**連続的**」については
モニタリング可能

■ **均一かつ連続的に、防食電流を鉄筋に供給させることが重要！**

「**均一**」については？
前処理！コンクリート中の含水状態に応じた回路設計！

解説 表2.1.1 電気防食工法と適用対象

適用対象		劣化機構		
		塩害	中性化	
環境	陸上部・内陸部	○	○	
	海洋環境	大気中部	○	○
		飛沫帯部	○	○
		干満帯部	△	△
		海中部	△	—
構造部材	RC	○	○	
	PC	○	○	
既設構造物	劣化過程	潜伏期	○	○
		進展期	○	○
		加速期前期	○	○
		加速期後期	△	△
		劣化期	△	△
新設構造物(予防維持管理)		○	○	

注記 表中の○は適用対象, △は適用は可能だが, 配慮事項が多いため十分な事前検討が必要, —は適用対象外を示す。

予防維持管理の実現に向けて → 補修シナリオ！

① 補修に期待する効果(性能向上効果)の設定

② 補修に期待する耐用期間の下限値の設定

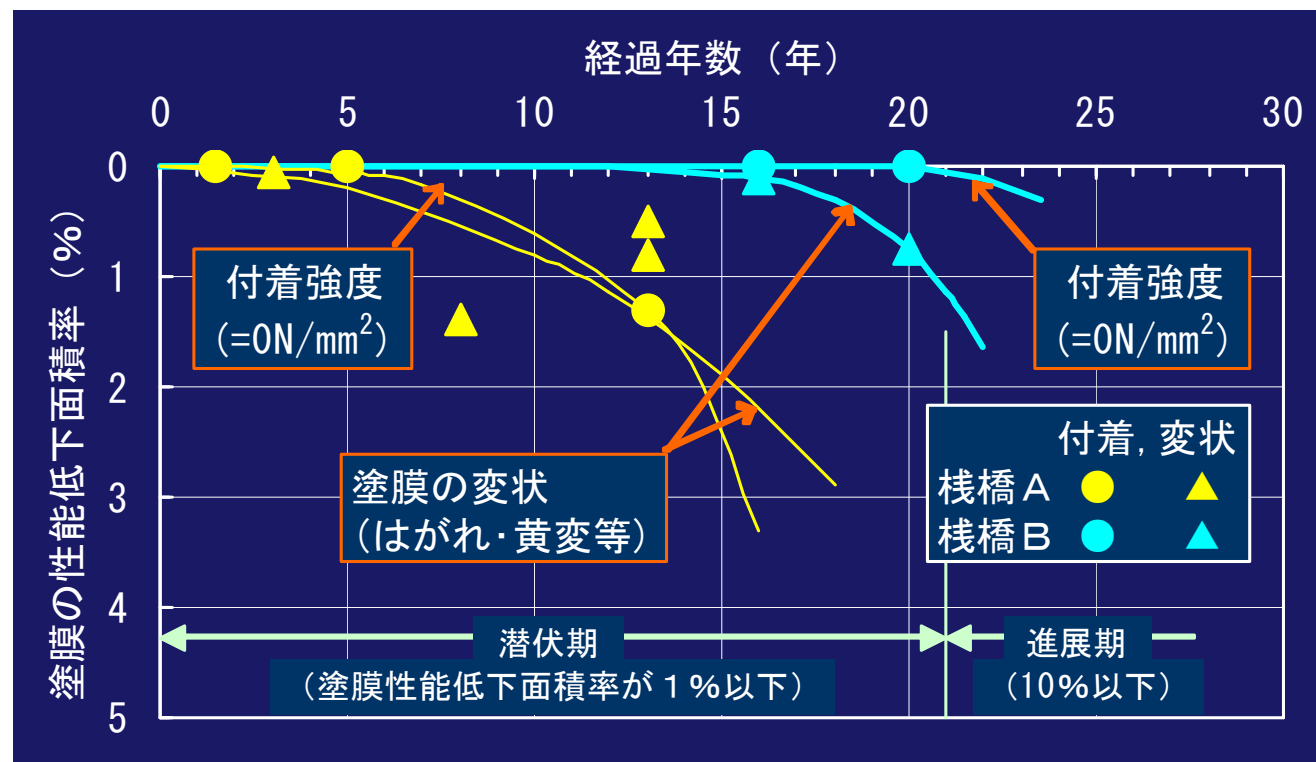
- 耐用期間の長い工法を適用して1回の工事で済ませるか
- 耐用期間の短い工法を採用して複数回の工事を繰り返すかなど

③ 補修工事の実施単位(部材またはブロックなど)の設定

④ 部材やブロックに対する補修の優先順位の設定(トリアージ)

補修効果の持続
期間の把握・設定
が重要！

表面被覆工法の耐用年数に関する調査事例紹介



	栈橋A	栈橋B
建設年	1970年	1982年
表面被覆 実施年	1985年 (建設後15年)	1985年 (建設後3年)
補修方法	部分断面修復 + 全面塗装	全面塗装 (予防保全)

➤ 劣化曲線があれば、点検時期や項目などの維持管理計画を合理的に策定することができる

表面含浸工法の効果持続期間に関する検討事例

使用材料によって、効果持続性が異なる！新しい材料はデータ蓄積が必須！

注)本結果は、実験の一例である。材料によっては、効果持続性の高いものもある。



センサモニタリングに期待 特に、電気防食工法

2002～2005年度頃

- リリースが時期尚早？
- 目視すらできていないのに、センシングなんて手が回らない。

2006～2019年度

- 民間栈橋に適用した**電気防食工法のモニタリング**を約12年間実施
- **ただし、無償！**

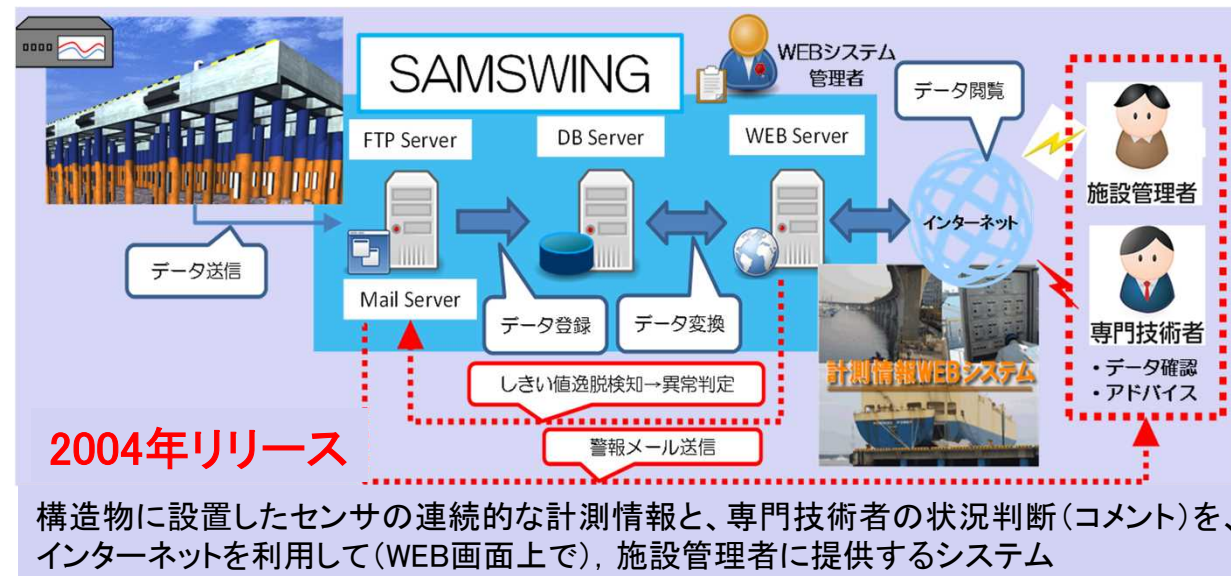
2014～2019年度

- SIP(I 期)「**インフラ維持管理・更新・マネジメント技術**」に参画

港湾構造物のライフサイクルマネジメントの高度化のための点検診断および性能評価に関する技術開発

https://www.jst.go.jp/sip/dl/k07/booklet/59_kato.pdf

- 国や各自治体に宣伝し、興味は持ってもらえたが、業務発注方法、費用等が障害！



出典：https://www.toa-const.co.jp/tech/sensor_aided_maintenance_system_with_information_technology/

おわりに

- 「**予防維持管理**」が、ようやく言葉として定着してきました。
- しかし、現状の構造物の維持管理ガイドライン類は、**目視による調査が中心!**
 - ➡ 目視で劣化が確認されたときは、すでに手遅れ(**事後維持管理**)!
- 予防維持管理の実現には、構造物内部で起きている劣化進行の把握が重要!
 - ➡ センサモニタリングが有効 (逆に、センサモニタリングしかない?)
 - ➡ IoT、ビッグデータ、AI技術等が進歩すれば、一般的な点検手法になっていく?
- でも、センシングで維持管理することをやったことがない(レベルでもない?)。
 - ➡ ビッグデータを誰が管理する?
 - ➡ データ管理を委託するにもルールがない?
 - ➡ センシングを入れたとしても、目視は必要。結果、追加だけで安くない。

理想に近づくまでの道のりは長い ...