

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

■ 研究実施機関: 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所

■ 共同研究グループ: 東京工業大学, 東京理科大学, 東亜建設工業, ナカボーテック

港湾構造物のための、より実践的で無駄の無い点検診断・評価・マネジメント 支援ツールの開発とその社会実装

港湾インフラ(主に、栈橋)の点検診断・評価・マネジメント技術の開発により、インフラ事業主体(国・港湾管理者・民間)における維持管理業務の効率化を図り維持管理コストを抑制するとともに、我が国の国際競争力の維持・向上や重要防災拠点としての港湾インフラの機能維持に貢献する。

1. 点検診断が困難な海上・海中部の部材のための点検診断技術を開発する
2. 技術レベルや予算規模に応じた点検診断・評価方法を提案する
3. 個別施設/施設群でLCCを最適化するための維持管理計画の策定方法を提案する

海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
構造研究領域 構造研究グループ

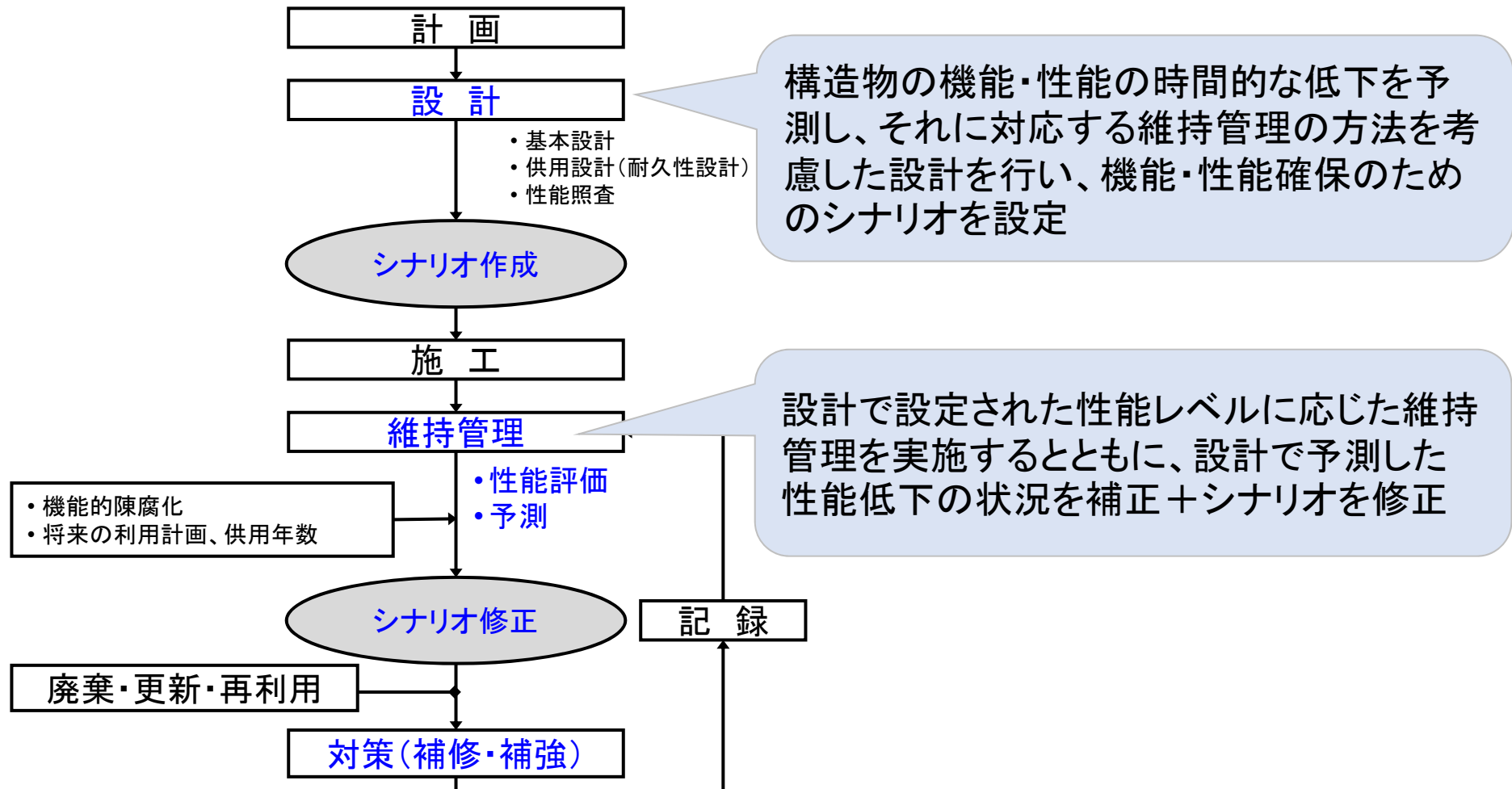
加藤 絵万

katoh-e@pari.go.jp



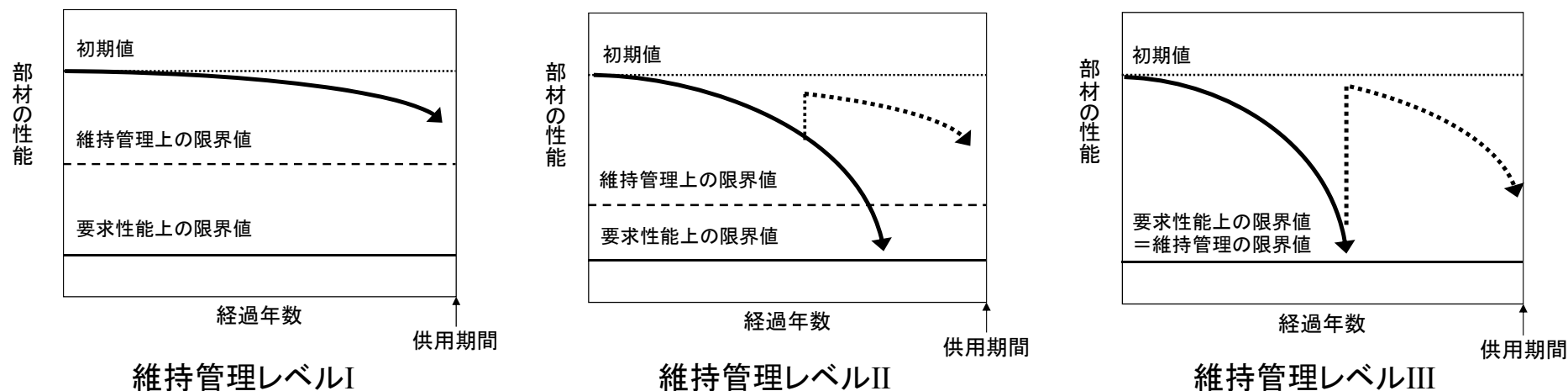
ライフサイクルマネジメント (LCM)

計画～設計～供用～撤去・更新までの構造物の総合的な管理を効果的に実施するための技術の体系
(特に、LCC縮減を意識)



基本シナリオ＝維持管理レベルの設定

(平成19年から技術基準に導入)



分 類	損傷劣化に対する考え方
維持管理レベル I	高い水準の損傷劣化対策をあらかじめ行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らない範囲に損傷劣化を留める。
維持管理レベル II	損傷劣化が軽微な段階で、比較的小規模な対策を繰り返し行うことにより、設計供用期間に要求性能が満たされなくなる状態に至らないように性能の低下を予防する。
維持管理レベル III	要求性能が満たされる範囲内である程度の損傷劣化を許容し、設計供用期間に1～2回程度の大規模な対策を行うことにより、損傷劣化に事後的に対処する。

設 計

性能の経時変化の確認, 維持への配慮

の両方で、設計供用期間中にわたって要求性能を満足させる。

維持管理

確実な点検診断と適宜適切な対策

時 期	港湾施設の維持管理に関連する話題
平成19年3月	港湾の施設の技術上の基準を定める省令(改正) 技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示(制定)
平成19年7月	港湾の施設の技術上の基準・同解説(改訂)
平成19年10月	港湾の施設の維持管理技術マニュアル 港湾の施設の維持管理計画書作成の手引き
平成20年11月	海洋・港湾構造物維持管理士資格制度の創設
平成21年11月	港湾鋼構造物防食・補修マニュアル(改訂)
平成22年3月	東日本大震災
平成24年2月	社会資本の維持管理及び更新に関する行政評価・監視[結果に基づく勧告]
平成24年12月	笹子トンネル天井板崩落事故
平成25年1月	社会資本の老朽化対策会議の設置
平成25年3月	社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置
平成25年10月	インフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議の設置
平成25年11月	インフラ長寿命化基本計画
平成26年5月	国土交通省インフラ長寿命化計画[行動計画]
...	...
平成25年3～7月	港湾施設の集中点検
平成25年6月	港湾法 改正
平成25年11月	港湾の施設の技術上の基準を定める省令 改正
平成26年3月	技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示 改正
平成26年6月	港湾の施設の技術上の基準・同解説(部分改訂)
平成26年7月	港湾の施設の点検診断ガイドライン 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 港湾荷役機械の点検診断ガイドライン
平成26年10月	SIPインフラ スタート
平成27年1月	公共工事に関する調査及び設計等の品質確保に資する技術者資格の登録制度
平成27年4月	港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン
平成28年3月	港湾荷役機械の維持管理計画策定ガイドライン
平成30年4月	港湾の施設の技術上の基準を定める省令(改正) 技術基準対象施設の維持に関し必要な事項を定める告示(改正)

性能照査型
設計の導入

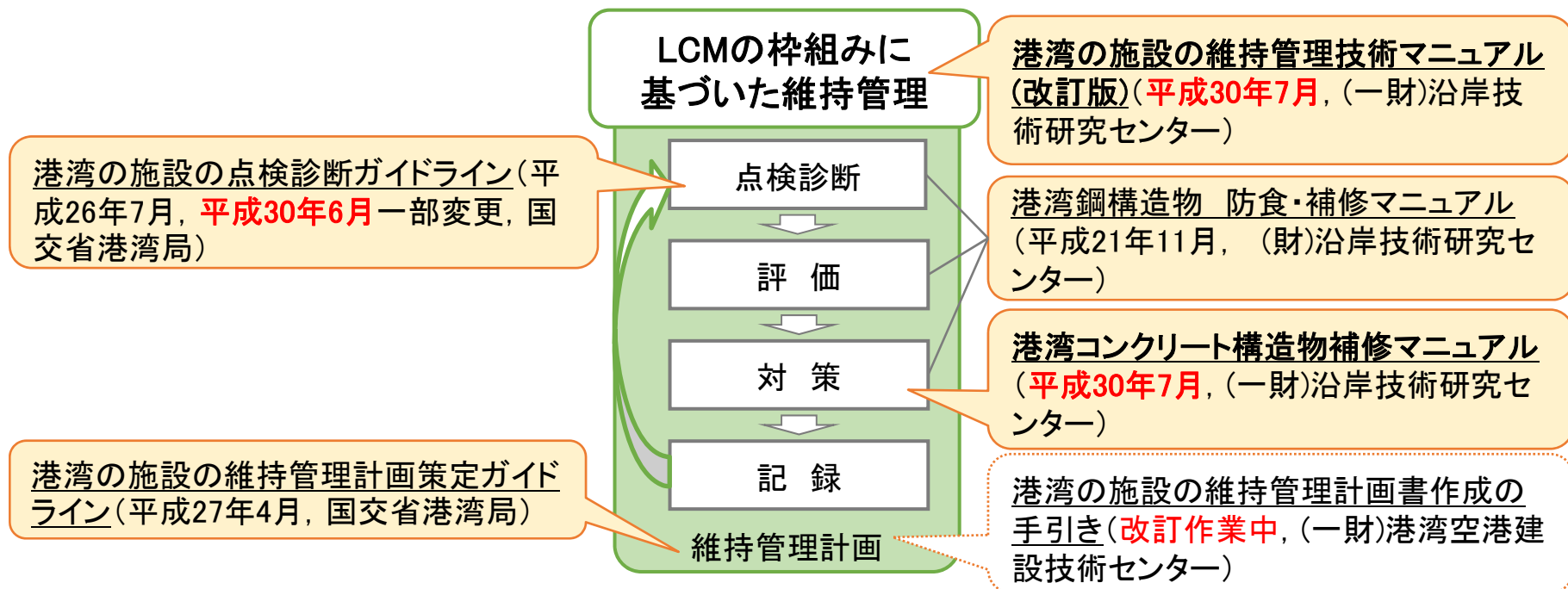
✓ 維持管理計画策
定の義務化
✓ 専門家の関与を
規定

点検の義務化

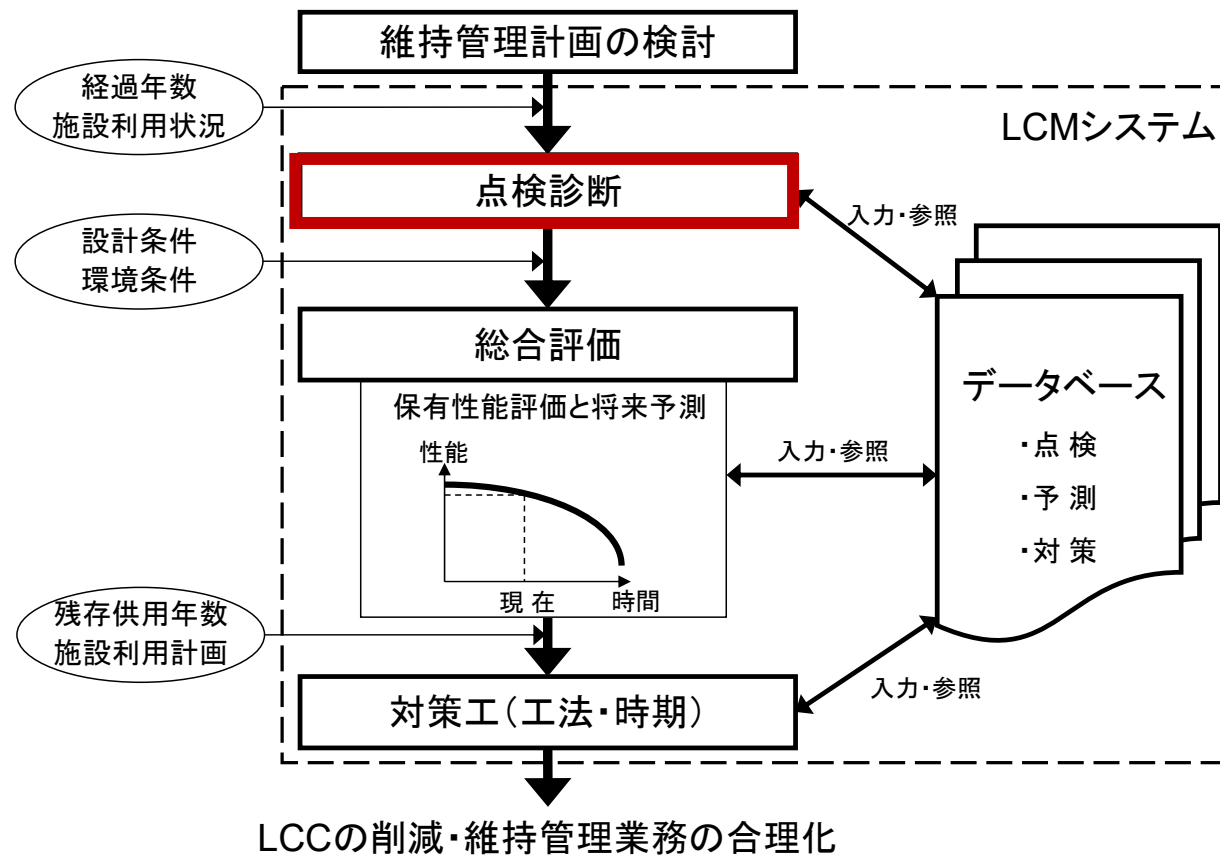
港湾の施設の維持管理に関連する基準・指針類

『港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年5月)』の改訂

- ・設定した維持管理レベルを達成するための、設計・施工・維持管理の連携の重要性と配慮事項の記載
 - ・個別施設の維持管理計画、港湾単位で策定する予防保全計画の基本事項の記載
 - ・点検診断ガイドライン、維持管理計画策定ガイドライン、港湾の施設の維持管理技術マニュアル等との紐付けの強化
 - ・部材(コンクリート, 鋼, 合成構造等)の性能の経時変化に関する照査の記載の充実
- ←今後、建設/改良される施設を(必要に応じて)予防保全型に誘導
- ・改良設計の基本的な考え方(基本設計の流れ～詳細設計における部材への配慮事項)に関する事項を追加



ライフサイクルマネジメントに基づく維持管理の流れ



点検診断は維持管理の根幹を担う・・・しかし、

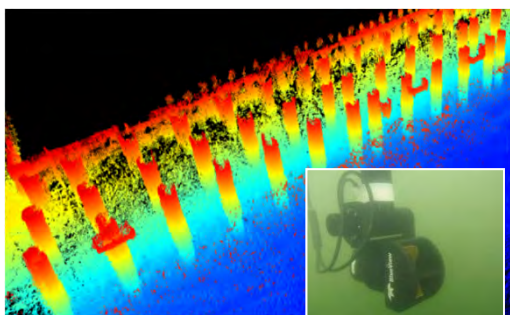
港湾構造物の点検診断の問題点(私見)

- ✓ 点検の実施が気象・海象, 利用状況に左右される
- ✓ 潜水土に頼る場合が多い
- ✓ 特に、水中部に適用できる点検機器類(種類・精度)は限られる

ロボットやセンサ類を活用した点検診断技術の開発・運用検討



マルチコプターの活用



水中3Dスキャナ

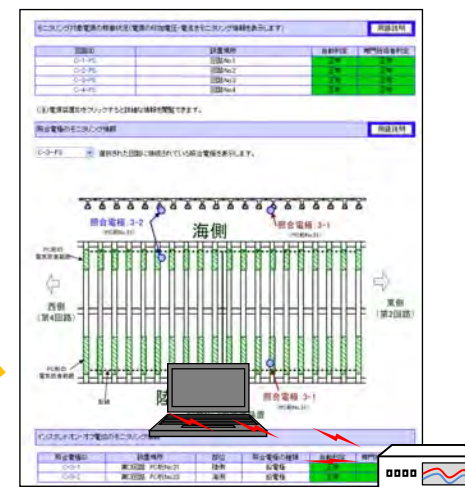
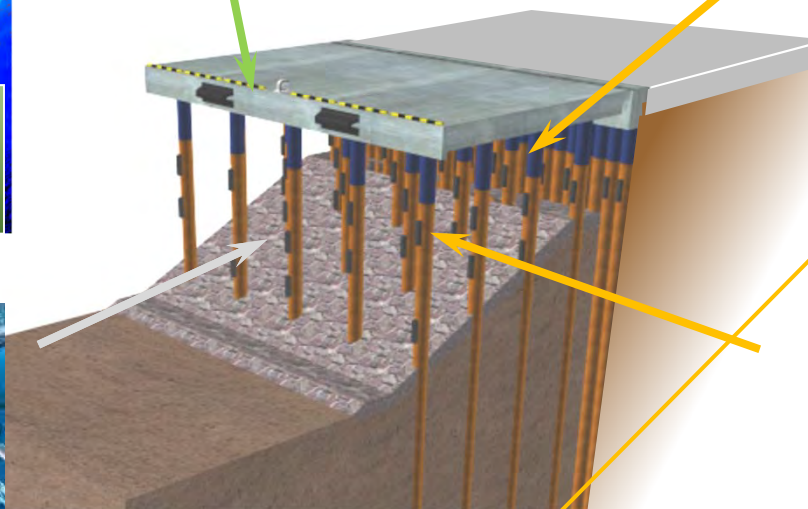


水中ドローン

海上部目視調査の代替



栈橋上部工点検用ROV



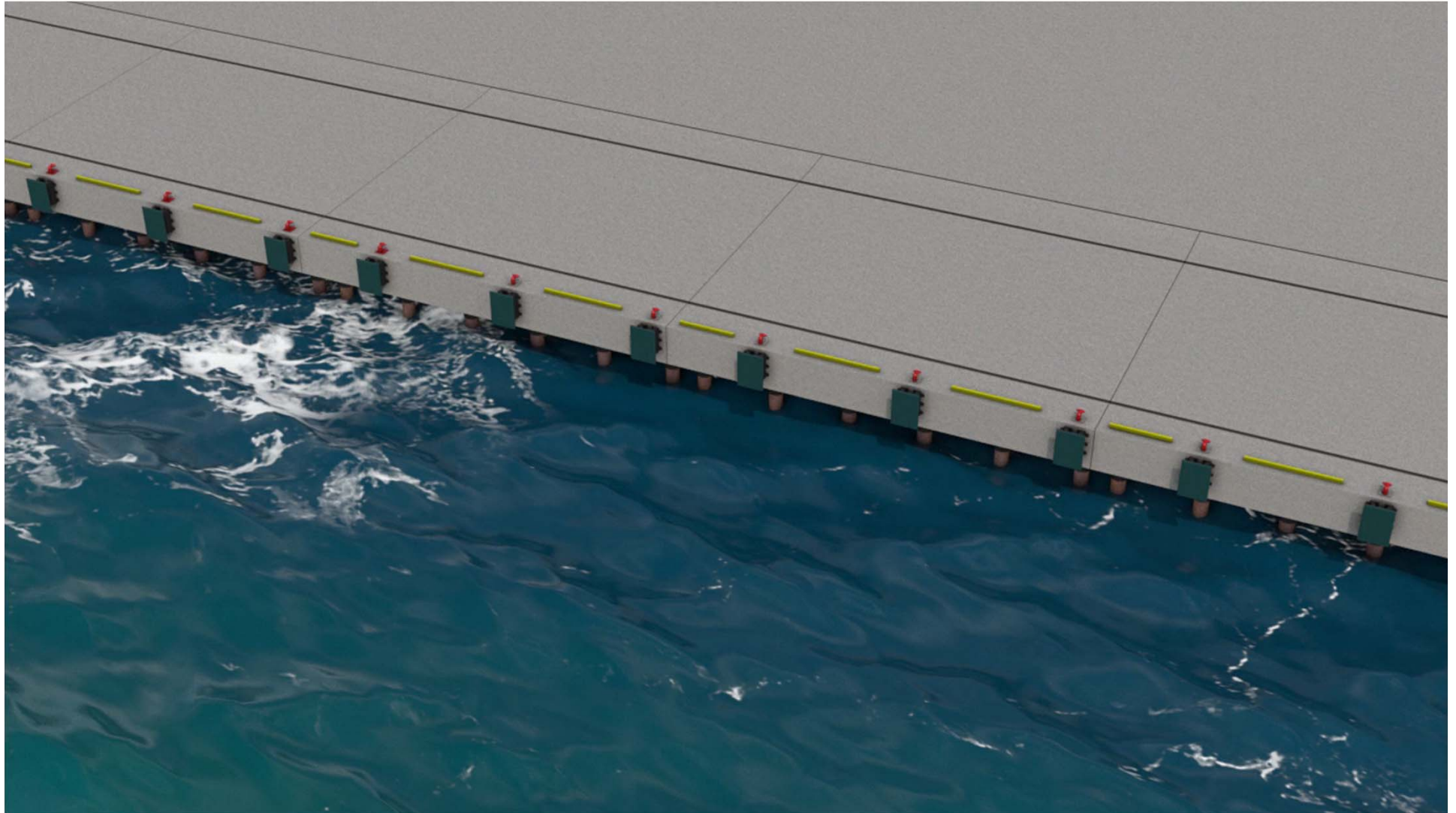
ICTを利用した 点検診断システム



被覆防食の防食効果評価センサ

栈橋の劣化進行のイメージ

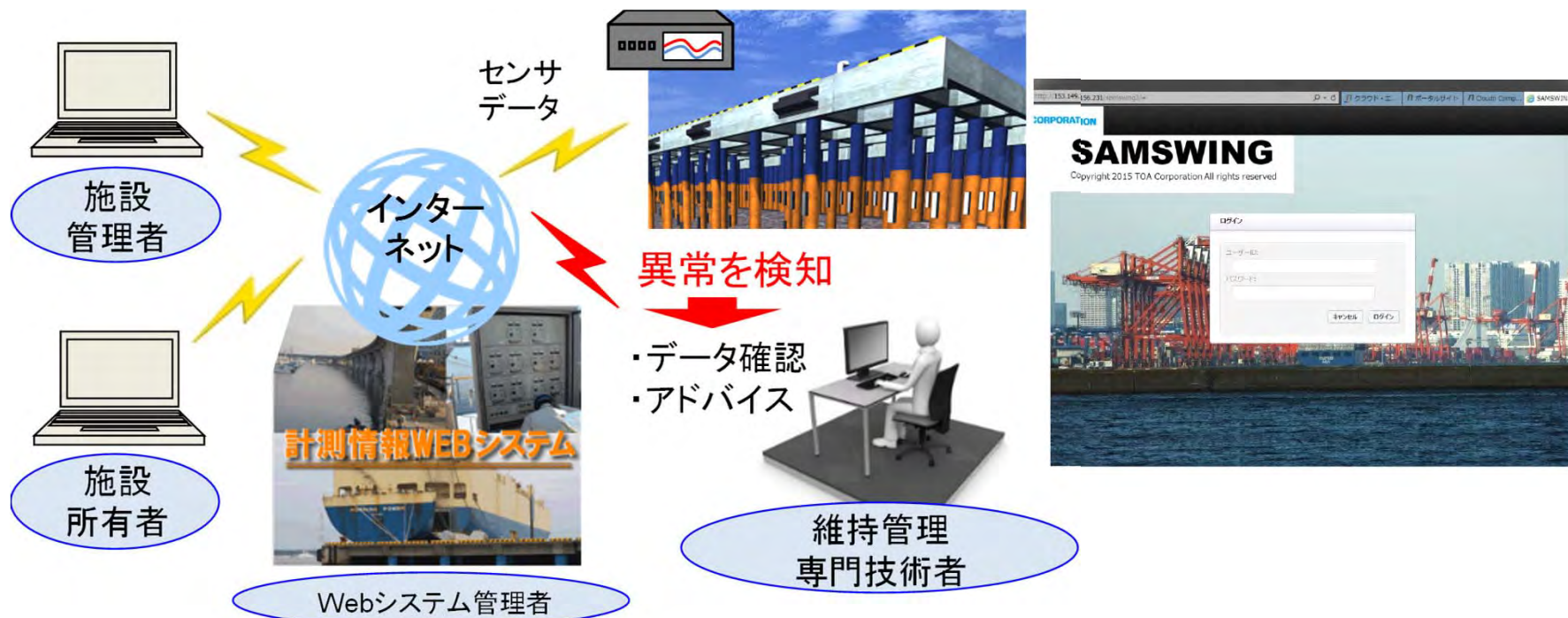
<http://memphis-kai.com/pari-180412>



ICTを活用した点検診断システム

<https://www.toa-const.co.jp/company/release/2004/040123.html>

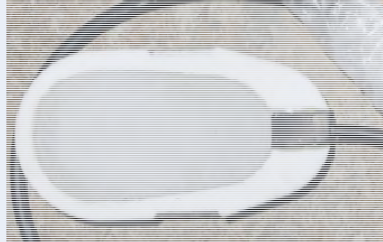
SAMSWING(サムシング) Sensor aided maintenance system with information technology



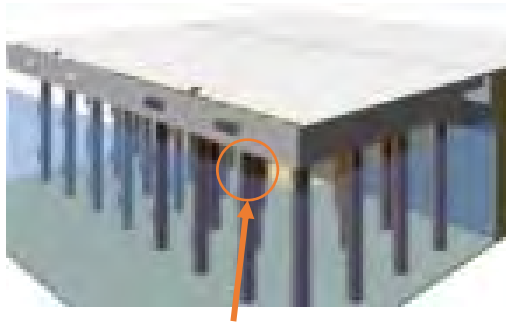
- ☆インターネットにより連続的に回収したセンサ情報をユーザー(管理者／所有者)に公開
- ☆専門技術者の状況判断と対応を、コメントとしてWEB画面上に情報提供
- ☆センサが異常を検知した場合に、携帯電話等にメールで自動送信する機能付加も可能
- ☆操作性のよいWEB画面構成の構築
- ☆複数の構造物・種々のセンサ(測定機器含む)に対応
- ☆iPad等でも対応可

網野ほか: 栈橋の点検診断の高度化のためのセンサモニタリング技術の導入、海洋開発シンポジウム、2018

SAMSWINGで取扱い可能なセンサ

部位	点検対象	データ回収機器・センサ		情報
上部工	コンクリート (塩分浸透)	腐食センサ (日本防蝕製)		電位
		RFID腐食環境システム (太平洋セメント製)		電気抵抗値
	鉄筋	照合電極		電位
		ミニセンサ (日本建築総合研究所)		電位 分極抵抗
下部工	被覆防食工	ペトモニ		積算電流量
	電気防食工	照合電極		電位
環境情報		温湿度計・風速風向計・波高計・流速計等		—

被覆防食工の防食効果評価センサの開発



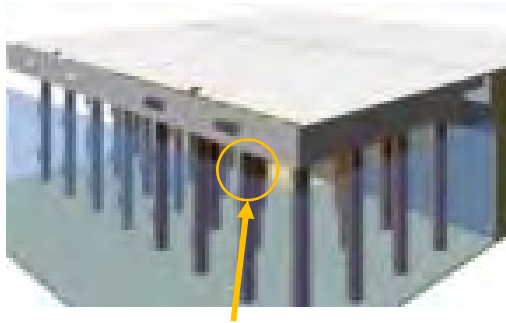
調査方法	(現状)目視調査
調査結果	外観変状を調査
点検診断結果	劣化度a, b, c, d
点検頻度	3 or 5年ごとに1回
防食性能の評価	不可能

対象施設	点検項目の分類	点検項目			点検方法	判定基準案	
栈橋	Ⅱ類	鋼管杭等	被覆防食工	有機被覆、 ベトロラタム被覆、モルタル被覆、金属被覆の場合	目視 ・鋼材の腐食、露出 ・被覆材の損傷 ・保護カバー等の状態	a	☐ 鋼材が露出し、錆が発生している。
						b	☐ 被覆材に鋼材まで達するすり傷、あて傷、はがれ等の損傷が生じている。 ☐ 保護カバー等に欠損がある。
						c	☐ 被覆材に鋼材まで達していないすり傷、あて傷、はがれ等の損傷がある。 ☐ 保護カバー等に損傷がある。
						d	☐ 変状なし。



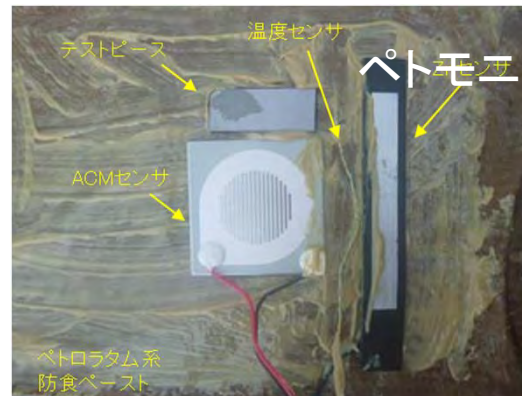
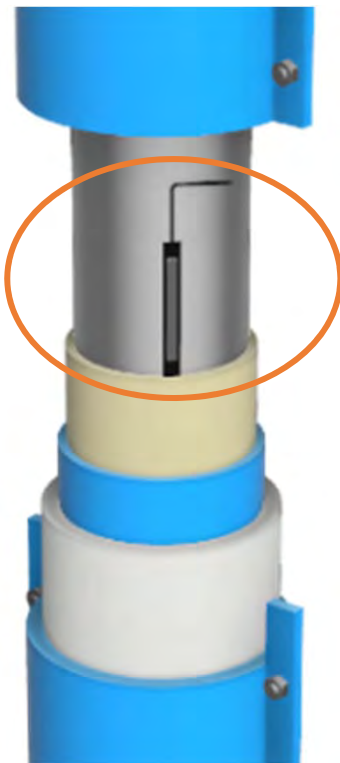
現状では、カバー上/カバーを外しての目視調査しか方法がない。
→被覆防食工の防食効果は分からない。

被覆防食工の防食効果評価センサの開発

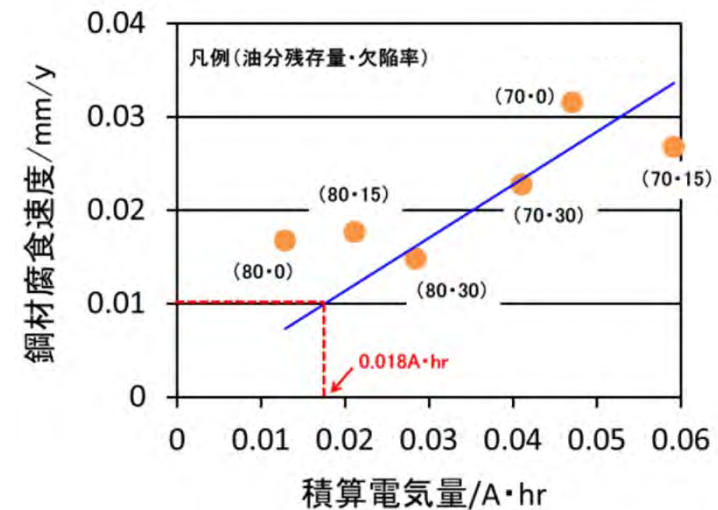


鋼管杭の被覆防食は義務

調査方法	(現状)目視調査	ペトロラタム被覆用センサ ペトモニ
調査結果	外観変状を調査	積算電流量
点検診断結果	劣化度a, b, c, d	防食性能を評価
点検頻度	3 or 5年ごとに1回	連続モニタリング
防食性能の評価	不可能	積算電流量 $\geq 0.015\text{A}\cdot\text{hr}$ の場合, 防食性能が低下したと判断(室内実験により提案)



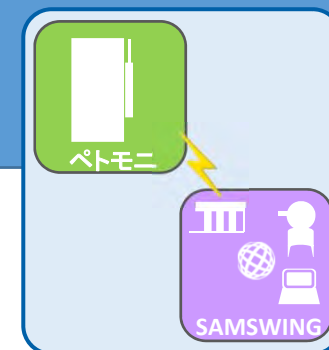
- ペトロラタム油分残存率やペトロラタムー鋼材の接着不良率を変化させた多数の実験から、
- ✓ 防食センサとしての有効性確認
 - ✓ 防食効果の有無判断のための閾値を提案



積算電流量と鋼材腐食速度の関係

ペトラタム被覆用防食効果判定センサと モニタリングシステム

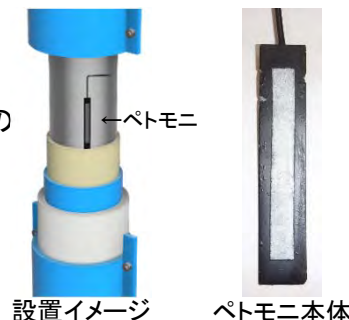
**ペトラタム被覆防食の効果を陸上で判定可能！
センサ情報と専門技術者の状況判断をWEB上で提供！**



●ペトラタム被覆用防食効果判定センサ「ペトモニ」

■概要・特徴

- ・開放点検が不要
- ・陸上から非破壊によって鋼材の防食効果の判定が可能
- ・直接鋼材のモニタが可能
- ・遠隔監視が可能
- ・新設・既設を問わず設置可能



■活用実績・予定等

- ・波崎海洋観測棧橋、清水港、川崎港にて実証実験を実施中。



■ユーザーの声

- ・被覆防食は点検が困難なため、センサを設置することで確実に少ない労力で点検が行える。(港湾管理者)

■メディア掲載情報

- ・日刊工業新聞(2018年8月20日)

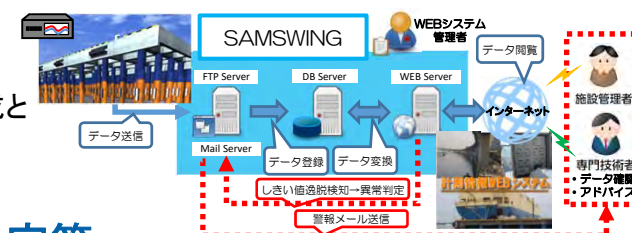


●モニタリングシステム「SAMSING(サムシング)」

■概要・特徴

- ・複数の施設や各種センサ(ペトモニ、腐食センサ、照合電極など)に対応
- ・定量的なデータを自動で記録・管理
- ・過去の記録をいつでもWEB画面上で確認可能
- ・センサ毎に閾値を設定し、異常時は色別表示で即座に特定可能
- ・異常時、専門技術者がセンサ情報を注視し、適切なアドバイスを提供

SAMSINGの構成と 運用イメージ



■活用実績・予定等

- ・大阪湾内民間荷揚げ棧橋に適用された電気防食工法モニタリングにてサムシングを採用、2006年7月末より運用中。
- ・波崎海洋観測棧橋、清水港に設置したペトモニにて実証実験を実施中。

■メディア掲載情報

- ・建設通信新聞(2017年9月29日)

■問合せ先

- ・ペトモニ:株式会社ナカボーテック 技術開発センター(担当:星野 雅彦)
TEL:048-781-5431、Email: m.hoshino@nakabohtec.co.jp、HP: <http://www.nakabohtec.co.jp/>
- ・SAMSING(サムシング):東亜建設工業株式会社 技術研究開発センター(担当:網野 貴彦)
TEL:045-503-3741、Email: t.amino@toa-const.co.jp、HP: <http://www.toa-const.co.jp/techno/civileng/structure/d06/>

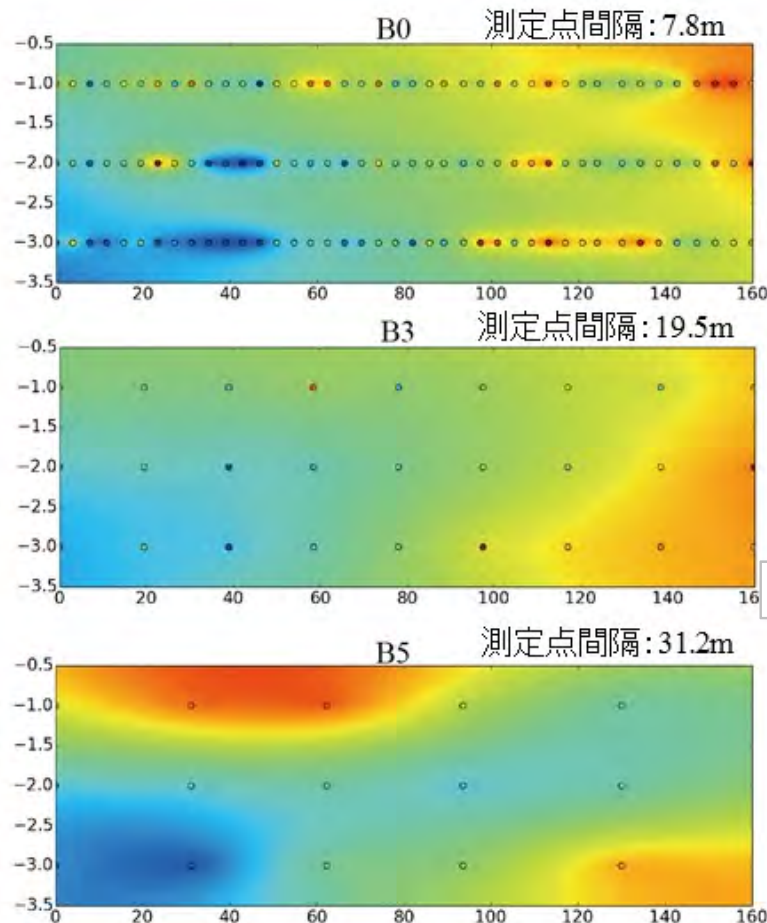


センサを活用したモニタリングの課題

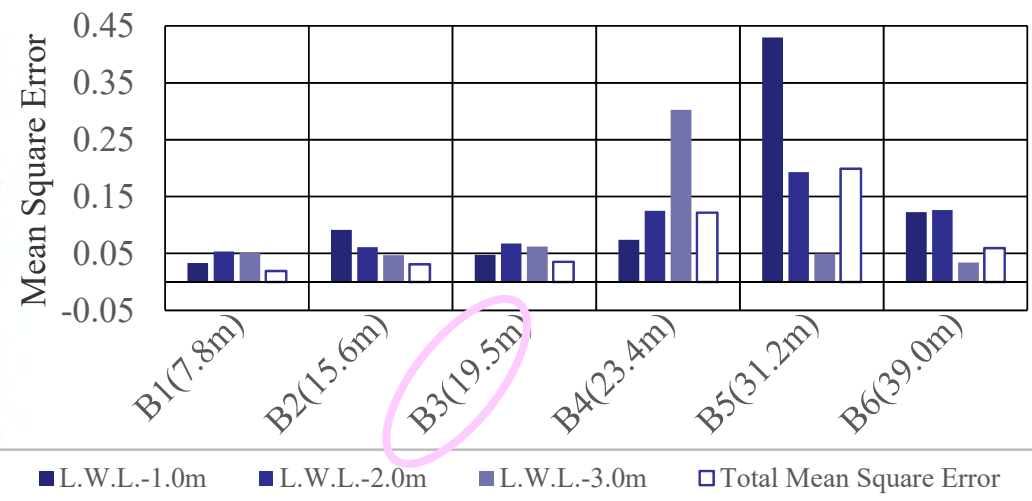
港湾構造物のモニタリングの課題

✓ どれくらいの数量のデータを集めると、どれくらいの精度で評価できるのか？

①構造物のどの部位に、②どんなセンサーを、③何個設置すればよいか？



例) 鋼矢板の肉厚測定のパッチ



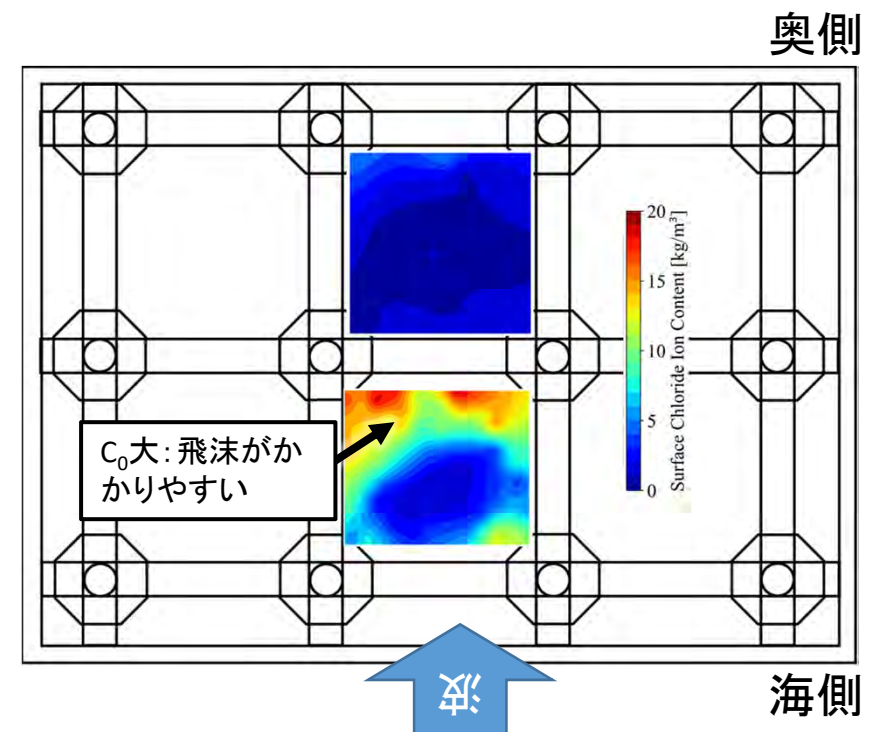
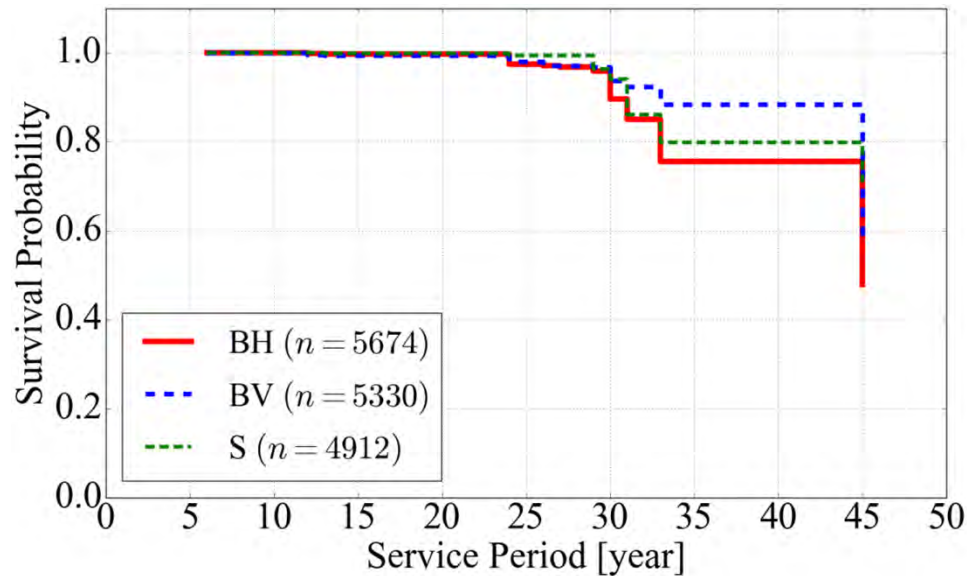
港湾鋼構造物防食・補修マニュアル（平成21年11月，（財）沿岸技術研究センター）で示される測定間隔とほぼ同じとなった。

たまたま

田中豊ほか：鋼矢板の肉厚測定の効率化に向けた地球統計学の適用に関する検討, 土木学会論文集(B3), Vol.72, No.2, p.I_622-I_627, 2016.

センサを活用したモニタリングの課題

例) 栈橋RC上部工の塩害を対象として



•生存曲線はBH法平はり<S床板<BV法直はり

BH: 波が直接的に作用しやすい環境にある

BV: 前後に鋼管杭があるため、波の作用を直接的には受けにくい環境にある

S: 梁よりもかぶりが薄い? (仕様規定)

田中豊ほか: 統計的手法を用いた栈橋上部工の塩害による劣化傾向分析, 港空研資料No.1349, 2018

港湾構造物のモニタリングの課題

✓ どれくらいの数量のデータを集めると、どれくらいの精度で評価できるのか?

①構造物のどの部位に、②どんなセンサーを、③何個設置すればよいか?

適用事例 ※栈橋上部工を対象として	適用内容	シナリオ
小名浜港東港地区岸壁(-18m)渡橋	➤ 渡橋にCFRPを導入したPCホロー桁の採用 ➤ 維持管理に配慮してセンサ(残存プレストレス, たわみ)の計測	1
伏木富山港(新湊地区)岸壁(-12m)(北) ※2019年度予定	➤ リプレイサブル栈橋上部工の適用, エポキシ樹脂塗装鉄筋の採用 ➤ 取替え可能な構造として, 維持管理の省力化に配慮	2
多数	➤ エポキシ樹脂塗装鉄筋の採用	3
千葉港	➤ 栈橋上部工の設計は従来型 ➤ ひずみゲージの導入(ただし, 一部に試行的導入)	4
横浜港大黒ふ頭C-1バース	➤ 栈橋上部工の設計は従来型。 ➤ 腐食センサの導入(ただし, 一部に試行的導入)	4
石狩湾新港	➤ 栈橋上部工の設計は従来型。 ➤ 点検孔の設置(ただし, 一部に試行的導入)	5

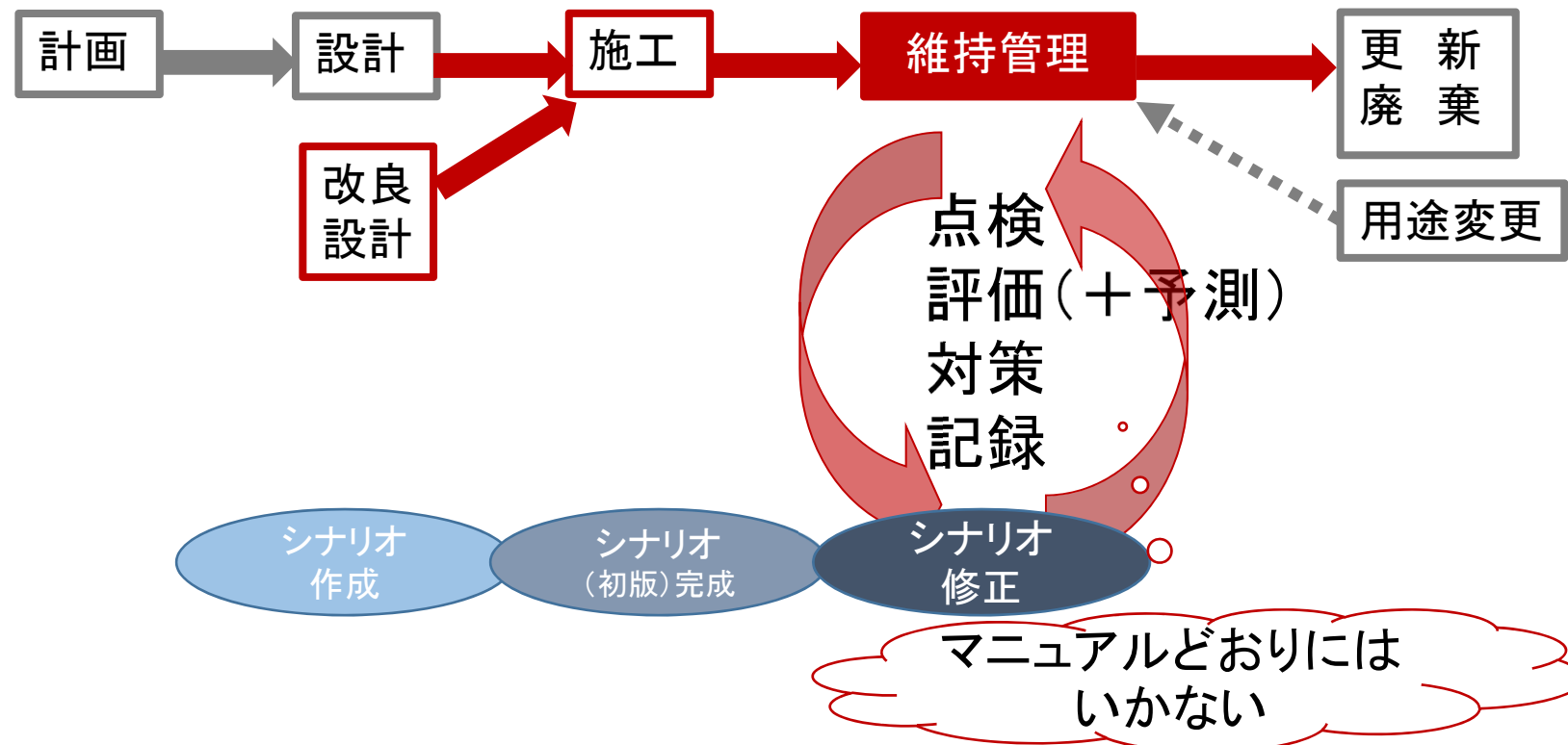
	シナリオ1	シナリオ2	シナリオ3	シナリオ4	シナリオ5	シナリオ6
設計段階	高耐久	高耐久	高耐久	従来	従来	従来
維持管理段階	センサ	配慮型	従来	センサ	配慮型	従来

初期コスト 大 ←—————→ 小

課題 ●高耐久材料の導入やセンサの導入にあたっての考え方

例) LCC vs. NPV

おわりに



施設の計画・施工・管理を実施する地方整備局、地方自治体、民間事業者からの
問い合わせに迅速に対応

「久里浜LCM支援総合窓口 《ワンストップ相談窓口》」

国土交通省 国土技術政策総合研究所
E-mail: ysk.nil-lcm-center@ml.mlit.go.jp
Tel: 046-844-5030

栈橋上部工下面の点検診断ロボット(ROV)



点検者の安全を確保しながら効率的に部材の変状を把握！

特徴1 GPS利用不可の栈橋下でも測位可能

特徴2 陸上から作業中の位置を把握可能

特徴3 狭い空間や夜間でも点検作業可能

特徴4 撮影画像には位置情報を付帯し、汎用ソフトにて3D化が可能

■概要・スペック

・レーザレンジファインダー(前後各1基)
レーザで周囲を探索し杭を検出

・GPS

・レーザ距離計

・LED照明
(全4基)

・撮影用
カメラ



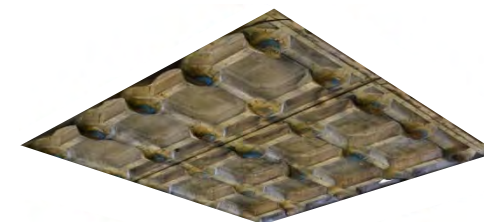
寸法:L1210×W800×H925(突起部を除く)
重量:約100kg

■活用実績・予定等

・名古屋港・清水港(2017年)、川崎港・小名浜港・千葉港(2018年)にて実証実験を実施。3D画像から展開図を作成し、点検帳票の形式に出力できる報告書作成支援ソフトを開発中。



ROVによる撮影状況



撮影画像の3D化

■ユーザーの声

・従来より早く安全に栈橋上部工の点検ができるので、岸壁利用への影響が小さくなると思われる。
・撮影画像が3D化されるので、部材の状況が確認しやすい。

■メディア掲載情報

・日刊建設工業新聞(2017年1月27日) ・静岡新聞(2017年1月31日)
・日経コンストラクション(2017年3月13日)

■問合せ先: 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所(担当: 田中 敏成)
TEL:046-844-5062、Email: tanaka_t@pari.go.jp、HP: <https://www.pari.go.jp/unit/lcm/sip.html>

