

港湾構造物の点検診断技術 について

～港空研の最近の取り組み～

港湾空港技術研究所
構造研究領域 構造研究チーム
加藤 絵万



はじめに

- ・円滑な物流と快適な労働環境の提供
- ・国際競争力の確保と向上
- ・大規模地震発生時等災害時の対応 …



	公共施設	民間施設
施設概数	55,400	30,200
経過年(平均)	33年	—

国交省港湾局資料より

時 期	港湾施設の維持管理に関連する話題 (港空研が関わったもの)
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
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～ (平成23年3月)	海洋・港湾構造物維持管理士資格制度 (東日本大震災)
平成24年2月 (平成24年12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> (笹子トンネル天井板崩落事故)
平成25年1月 平成25年3月 平成25年10月 平成25年11月 平成26年6月 ...	社会資本の老朽化対策会議の設置 「社会資本の維持管理・更新について当面講ずべき措置」 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 「インフラ長寿命化基本計画」 「国土交通省インフラ長寿命化基本計画(行動計画)」 ...
平成25年3月～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) 『港湾の施設の点検診断ガイドライン【第1部 総論】』
平成26年6月	公共工事の品質確保の促進に関する法律(改正)
平成26年7月	『港湾の施設の点検診断ガイドライン【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』 『港湾荷役機械の点検診断ガイドライン』
平成26年10月～	SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術
平成27年1月	民間資格の登録制度
平成27年4月 (平成27年5月)	『港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン』 (エプロン崩落事故)

2

SIP(戦略的イノベーション創造プログラム) インフラ維持管理・更新・マネジメント技術

「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」



- ✓劣化環境の厳しさ
- ✓作業環境の特殊性(気象・海象)
- ✓安全性の確保
- ✓構造物の規模・種類の多様性
- ✓維持管理の専門家が少ない
- ✓管理委託制度

▶ 港湾管理者の組織力・技術力を勘案した実践的な支援ツールの開発とその社会実装

一連の維持管理行為の連携強化による港湾構造物の維持管理の高度化を目指して

点検

- ・性能評価に必要なデータを取得できる点検技術の開発
- ・港湾構造物の点検診断システムの構築
- ・維持管理条件に応じた点検手法選定スキームの構築

評価

- ・鋼・コンクリート部材の安全性評価手法の高度化
- ・得られるデータ、性能評価の精度に応じた維持管理限界値の設定方法の提案

マネジメント

個別構造物シナリオ最適化

構造物群のシナリオ最適化

研究機関: 港湾空港技術研究所、東京工業大学、東京理科大学、東亜建設工業、ナカポーテック
協力機関: 国交省港湾局、国総研、横浜港埠頭

3

従来の点検方法

一般

目視点検



一般

目視点検



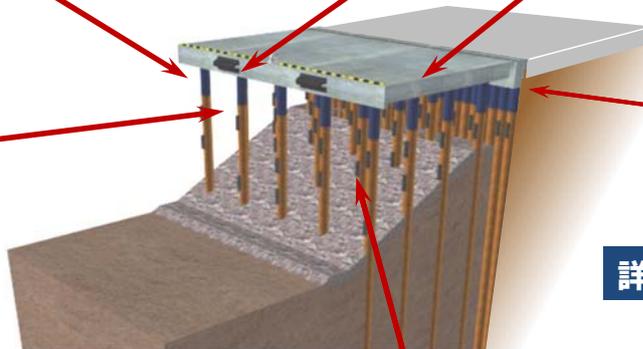
コンクリート中の鉄筋の腐食推定

詳細



詳細

肉厚測定



詳細

舗装下の空洞化探査
(電磁波レーダなど)



電位測定(電気防食)

一般



点検診断の高度化

～効率性の向上、客観性の確保

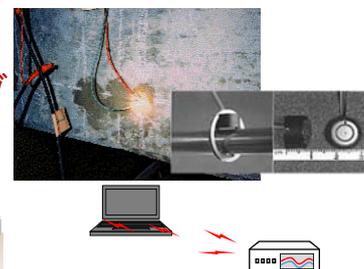
ROVIによる点検診断



ドローンの活用



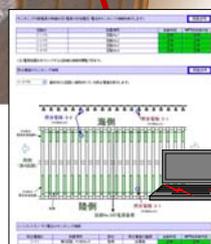
鉄筋腐食
モニタリング



肉厚測定の省力化

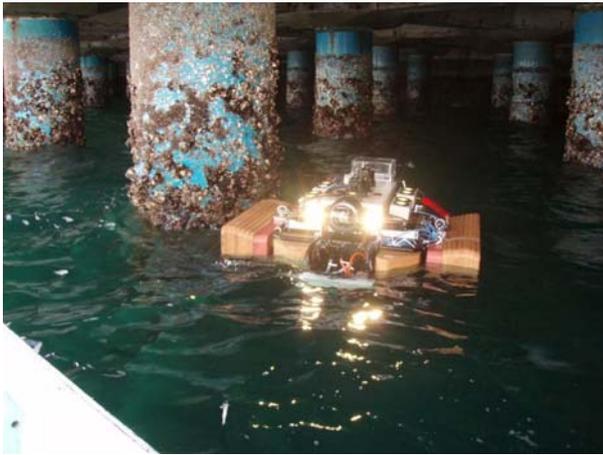


防食電位
モニタリング



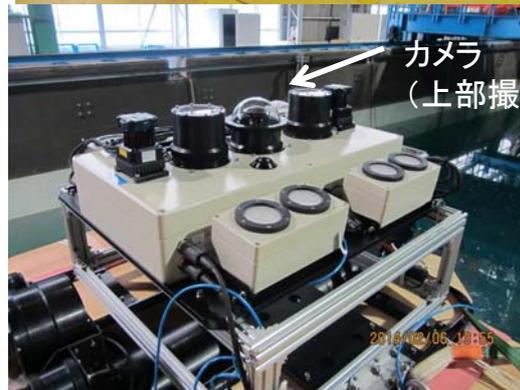
空洞の危険度評価

1. 遠隔操作無人探査装置 (ROV) を活用した 点検診断手法の開発



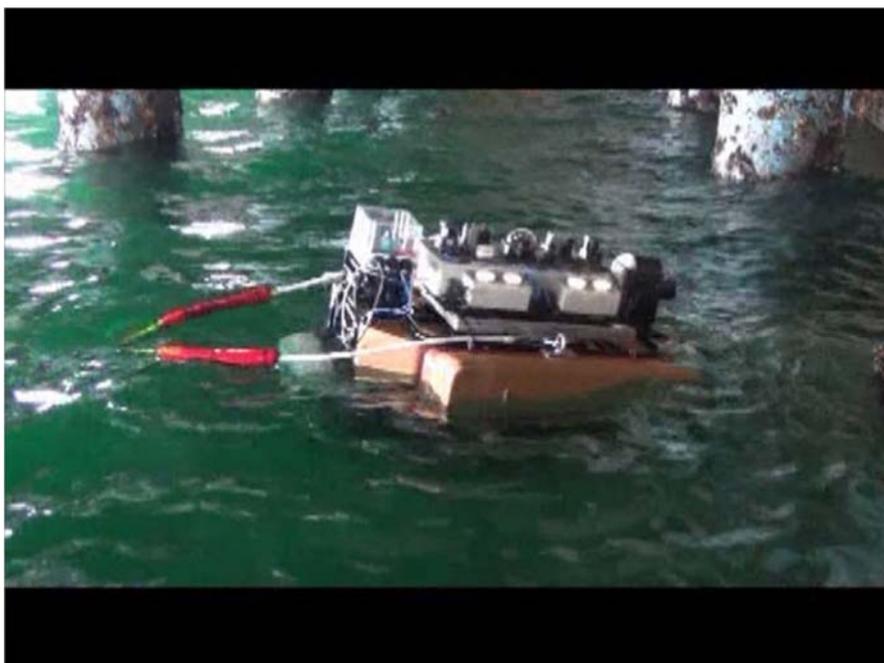
開発目標

- ・海象条件に左右されない調査方法
- ・利用状況に左右されない調査方法
- ・調査報告書作成の省力化



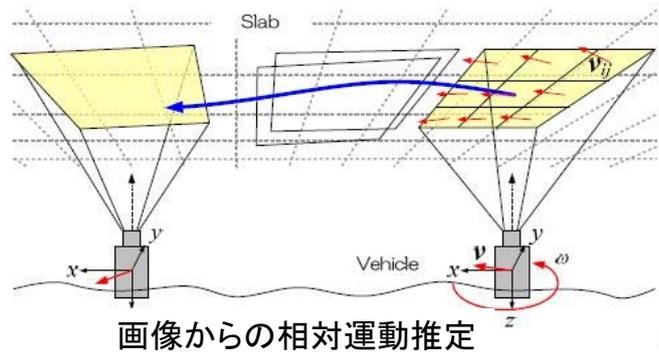
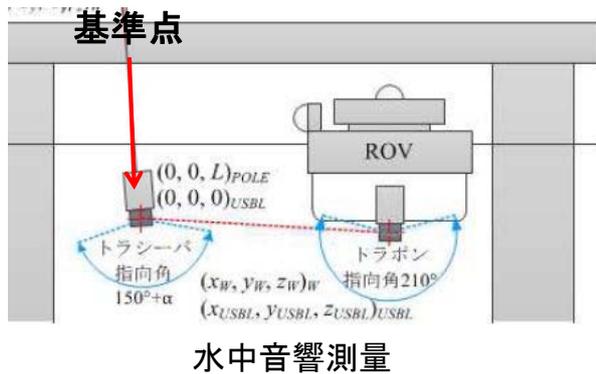
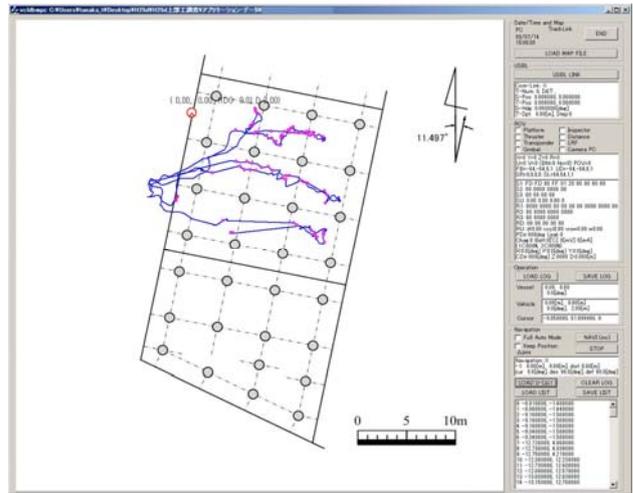
6

Field survey by ROV-PARI



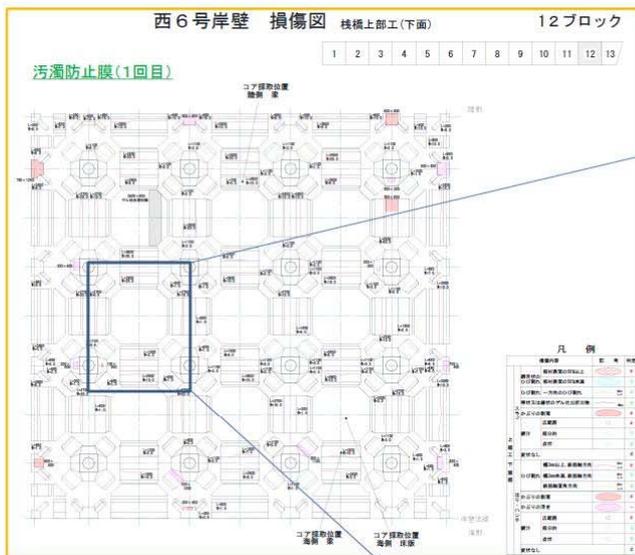
7

位置情報の把握



8

ROVによる栈橋上部工調査報告書(例)



位置情報—画像情報のリンク

9

問題点



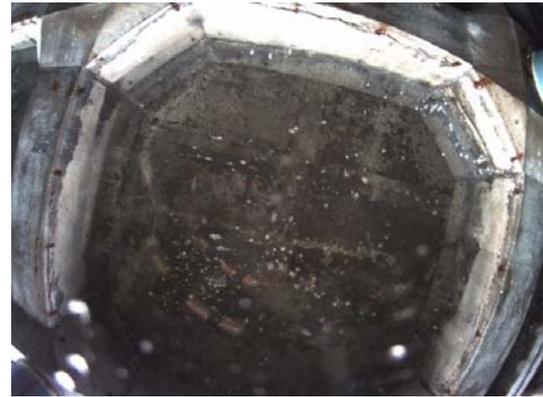
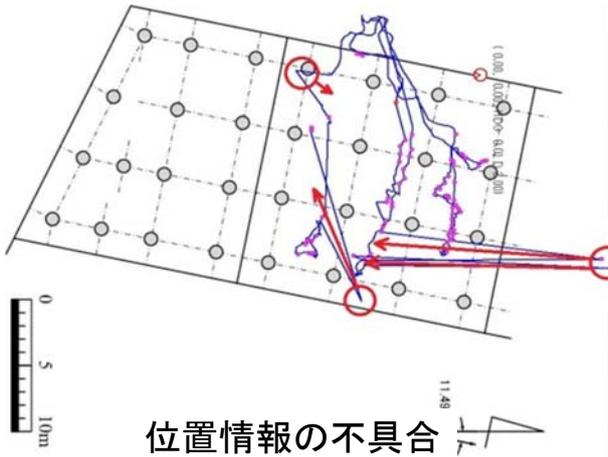
白飛び



黒漬れ



水滴



10

2. 栈橋上部工の鉄筋腐食モニタリングに関する検討



栈橋RC上部工の劣化事例



目視調査



詳細調査



- ・定量的データの取得 (客観性確保)
- ・安全確保
- ・供用制限なし

**効率的に
点検したい**

11

栈橋上部工のモニタリング事例

■対象インフラ

栈橋上部工(鉄筋コンクリート)

■モニタリングの目的

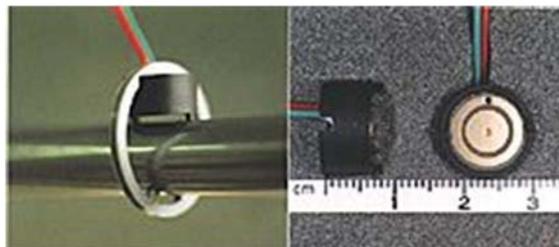
コンクリート部材中の鋼材腐食状況の検知

■モニタリングの実施主体及び実施期間

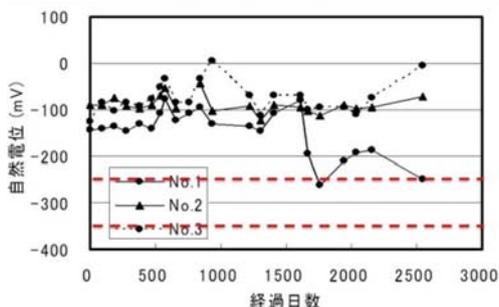
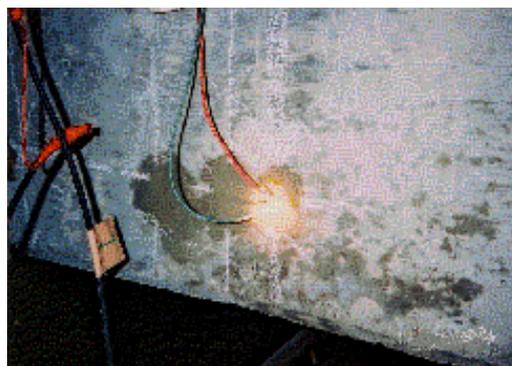
港湾空港技術研究所・材料, 構造研究チーム
2001.11~(継続中)

■システムの概要

建設後25年が経過したコンクリート中の鉄筋近傍にセンサーを埋設し, 鉄筋の電気化学的特性値(自然電位・分極抵抗・コンクリート抵抗)をモニタリングしている。



腐食センサ



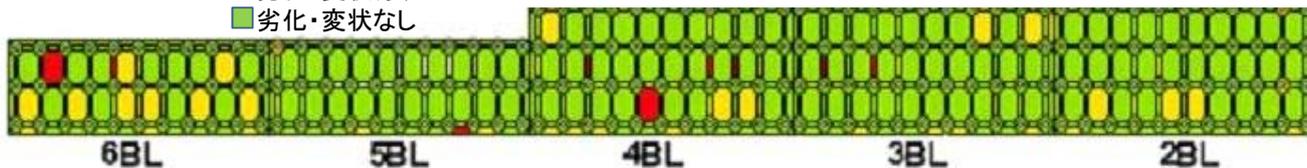
岩波ほか: 土木学会第65回年次概要集, V-346, pp.691-692, 2010

…しかし, あまり活用されていない

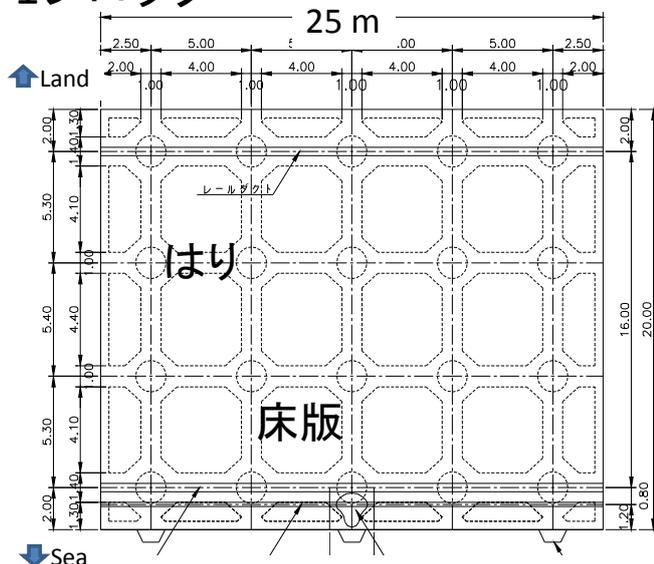
問題点

1施設

- 顕著な劣化・変状あり
- 劣化・変状あり
- 劣化・変状なし



1ブロック



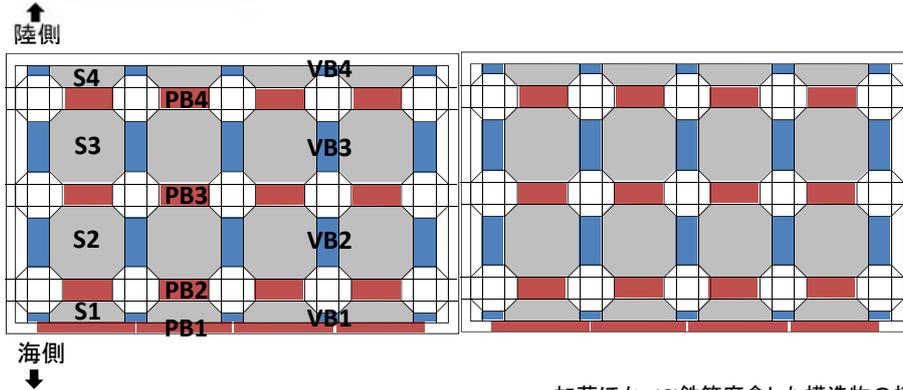
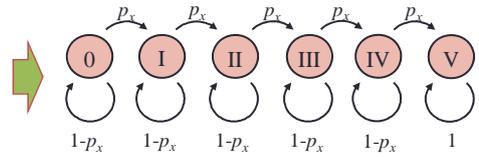
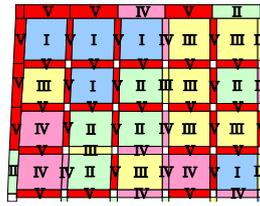
- ✓ 1施設は複数BLで構成される
- ✓ 1BLは約25m×25m
- ✓ 1BL中のはりは大小あわせて約70
- ✓ 1BL中の床版は大小あわせて約30
- ✓ 劣化の発生は大きくばらつく

~~すべての部材のあらゆる箇所に
センサーを埋める~~

**どの部材 に
何 個 の
センサーを埋めるか?**

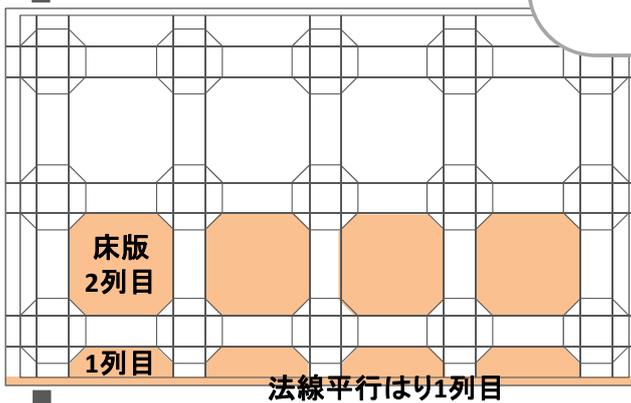
検討方法

供用26~34年



加藤ほか: JCI鉄筋腐食した構造物の構造・耐久性能評価の体系化シンポジウム論文集, pp.237-242, 2013.

陸側

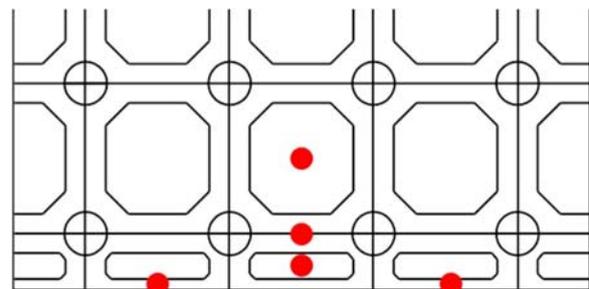


海側

劣化の進行が比較的
はやい部材

センサを活用した場合 の点検費用の試算

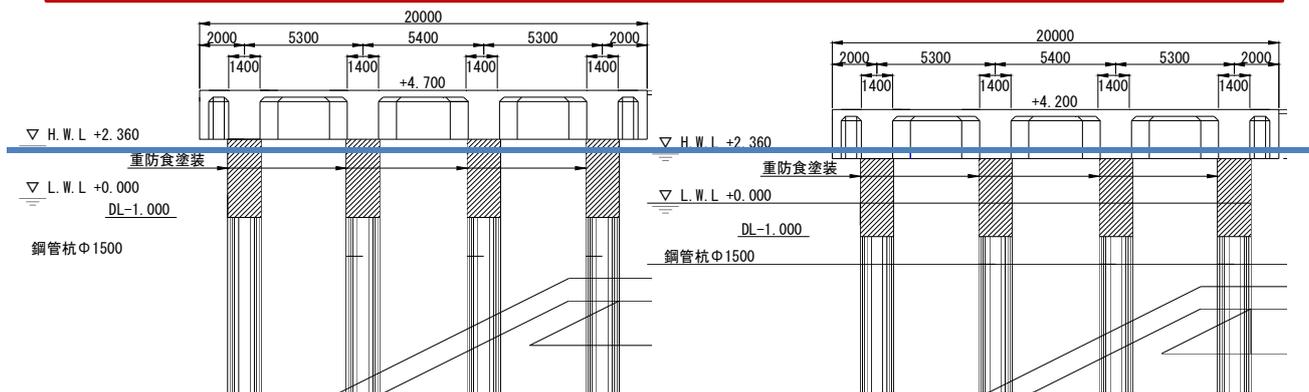
<安いのか? 高いのか?>



1BL中 5箇所にセンサ埋め込み

点検費用の試算

- ✓ 設置時期の比較
 新設時からセンサ埋め込み／後からセンサ埋め込み
 ※データ回収は年1回外注を想定
- ✓ 定期点検診断の実施頻度の比較 ※センサを埋めていない部材もある
 目視調査○年ごと／詳細調査○年ごと
- ✓ 施設条件の比較
 HWL時に上部工下端部が海面上／浸水



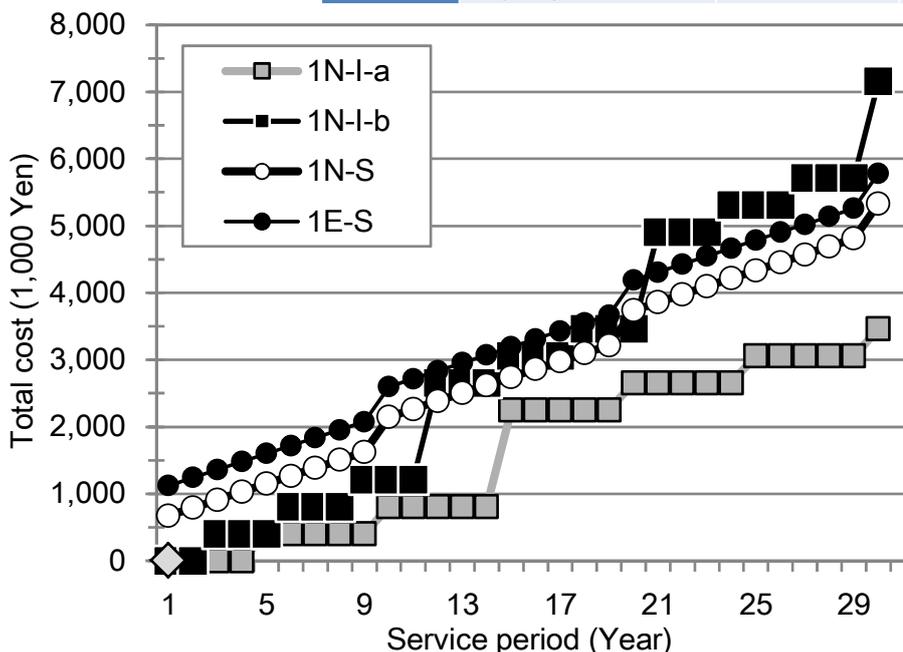
センサ設置+モニタリング+点検の30年間の費用を比較

16

試算結果1

下端部が海面上

ケース	目視調査	コア調査	データ収集
1N-I-a	5, 10, ..., 25, 30	15	—
1N-I-b	3, 6, ..., 27, 30	12, 21, 30	—
1N-S	10, 20, 30	—	1, 2, ..., 29, 30
1E-S	10, 20, 30	—	1, 2, ..., 29, 30

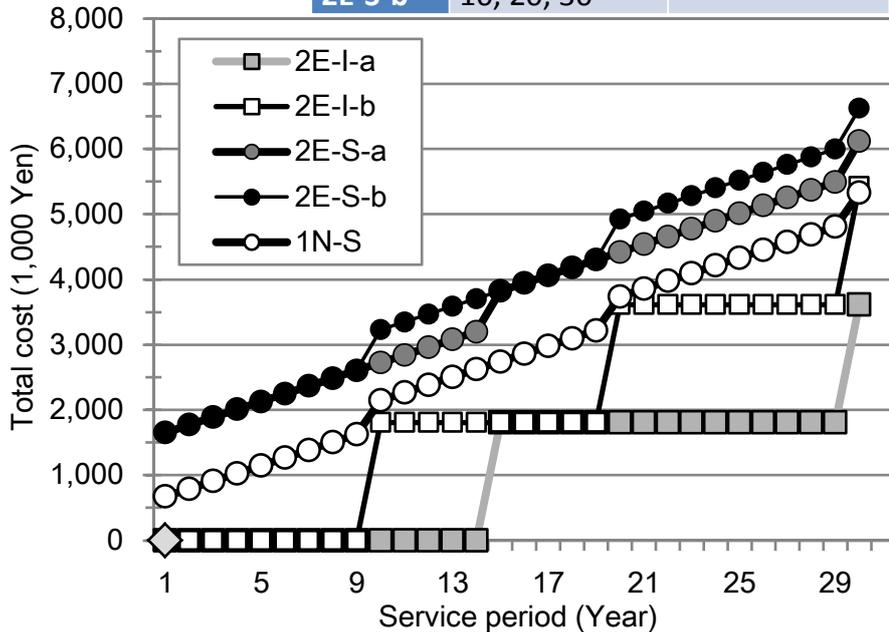


- ✓ 新設時からセンサを設置する方がコスト面で有利
- ✓ 高頻度に点検診断を行う場合には、センサの利用がコスト面で有利

17

試算結果2 下端部が浸水

ケース	目視調査	コア調査	データ収集
1N-S	10, 20, 30	—	1,2····,29,30
2E-I-a	15, 30	15, 30	—
2E-I-b	10, 20, 30	10, 20, 30	—
2E-S-a	15, 30	—	1,2····,29,30
2E-S-b	10, 20, 30	—	1,2····,29,30



✓新設時からセンサを設置する方がコスト面で有利

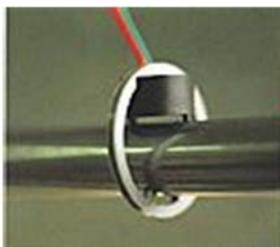
✓取付けは潜水作業+点検実施頻度が低いため、センサが不利になってしまった

18

試算まとめ

栈橋RC上部工では、高頻度に従来の点検を実施する場合、新設時点でセンサを設置して、センサによる点検を実施する方が費用的に優位である。

注 意



客観的なデータの取得
 早期に劣化の発生を検知できる
 劣化予測を可能とするデータの取得

施設の総維持管理費 ……初期費用+点検費+対策費など

- ・従来の点検を実施し鉄筋腐食が顕在化した後に対策を施す
- ・センサの利用により劣化が顕在化する以前に対策を施す
- ・予め高耐久対策を施して点検・対策の省力化を図る etc.

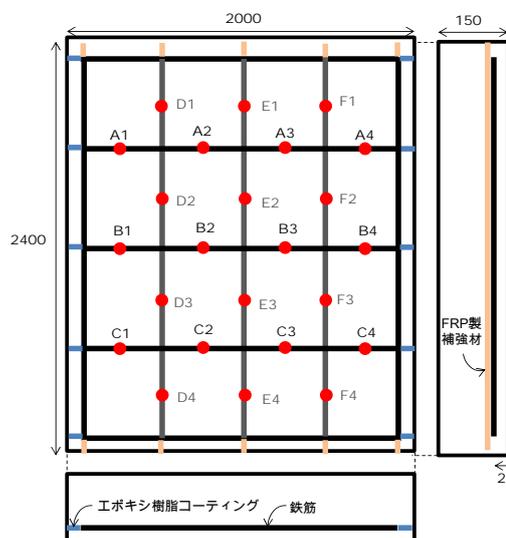
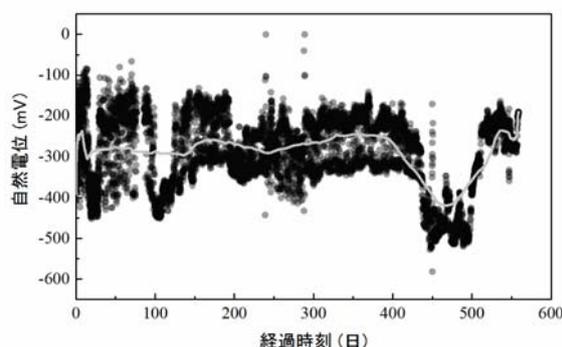
実際には、様々な維持管理シナリオ（とコスト）が考えられる。

19

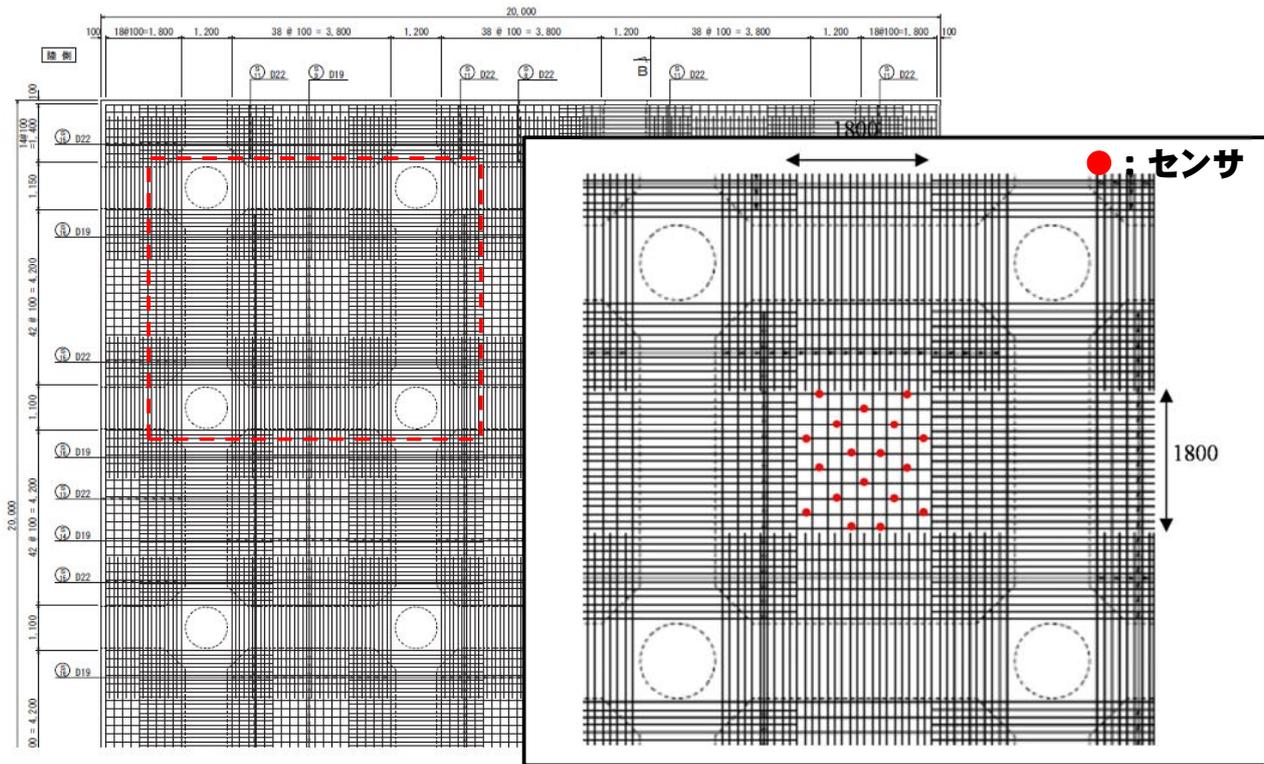
港湾の施設の技術上の基準・同解説の部分改訂 <維持管理に関連するもの>

改訂日	改訂項目	対応ページ
H26.6.27	設計における維持への配慮	p.78
	コンクリート構造部材の耐久性	p.491,564-1,564-2
	栈橋上部工の耐久性 維持管理に配慮した栈橋RC上部工の設計 (港空研資料No.1268, 2013年)	p.1109, 1145
H26.6.20	被覆防食材の利用時の防食電流密度の設定値の変更等	p.437,439-441,444
	消波ブロック被覆堤ケーソン側壁の消波ブロックに対する耐衝撃設計 維持管理に配慮した消波ブロック被覆堤ケーソン壁の設計(港空研資料No.1279,2013年)	p.512,564

鉄筋腐食モニタリングを実施する際、 どの部材 に 何 個 の センサーを埋めるか？



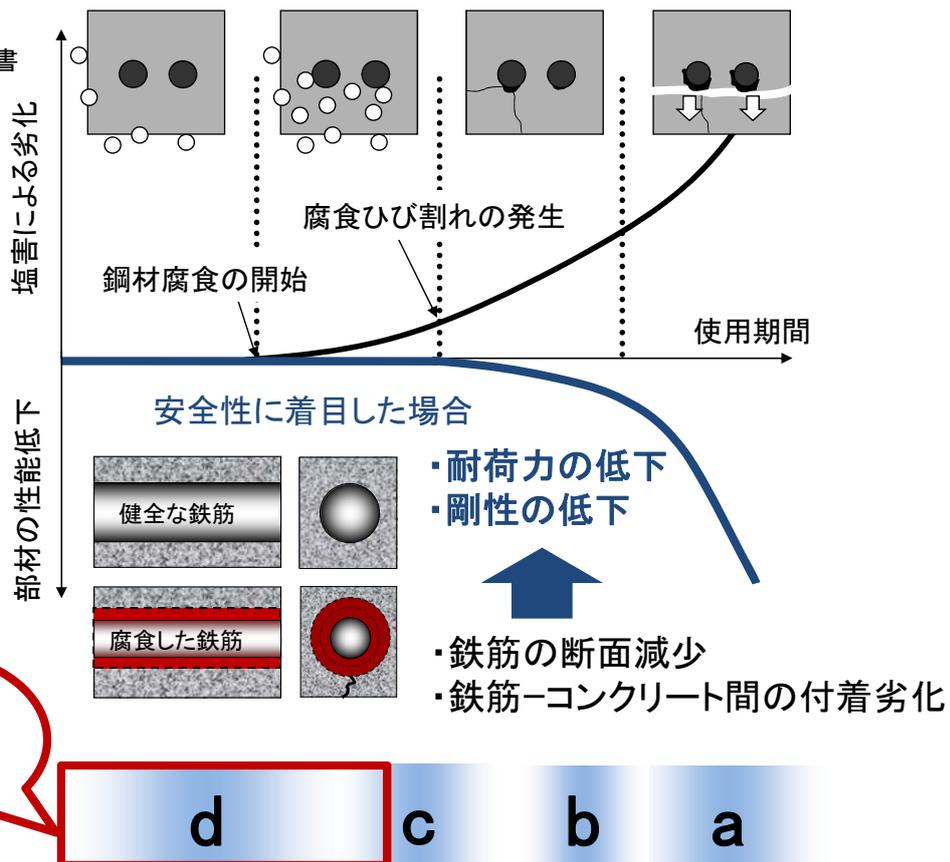
→ 下段鉄筋に1個/m配置₂



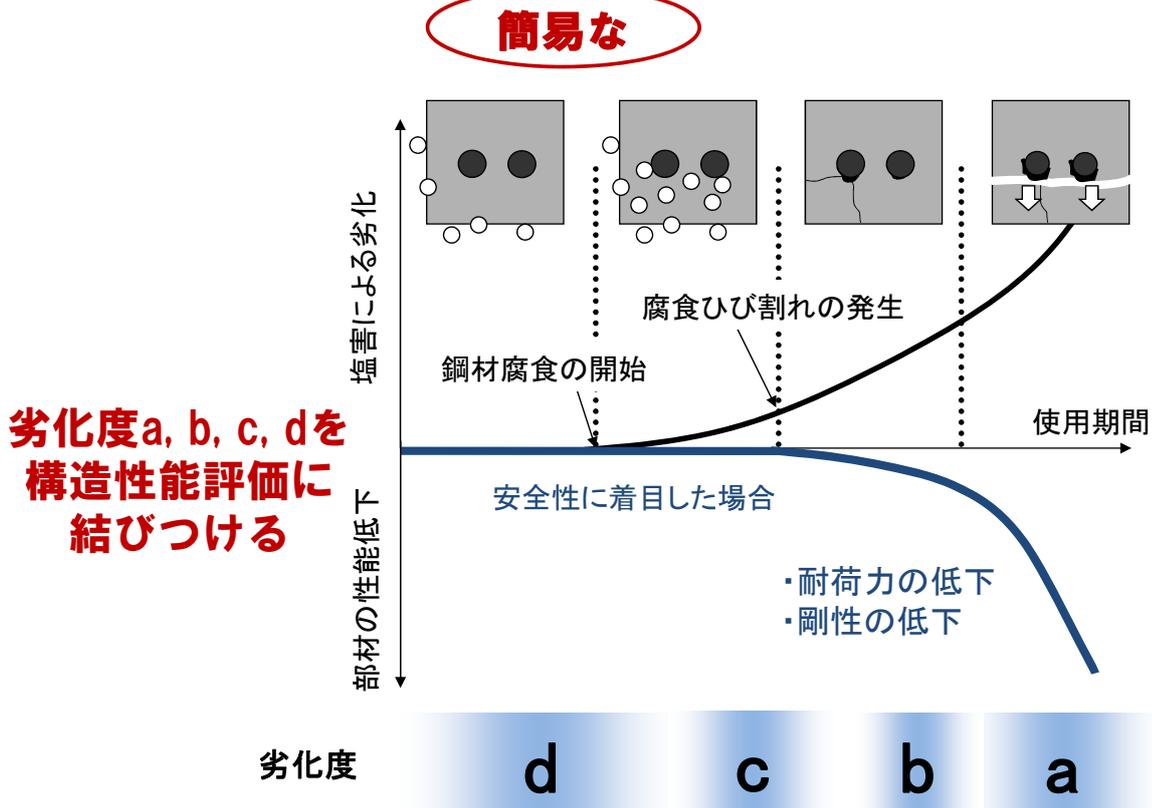
下段鉄筋に1個/m配置 **検討中**

塩害によるRC部材の劣化過程

土木学会
コンクリート標準示方書
【維持管理編】



3. 栈橋上部工の構造性能評価



24

参 考

尺度水準

分類	測定尺度		事例
量的データ	比率尺度	数値(連続量)として与えられるもので、原点に絶対的な意味が付与されている	体重、身長、収入時間、年齢
	間隔尺度	数値(連続量)として与えられるものであるが、原点(0)に絶対的な意味は無く、数値間の差(間隔)のみに意味がある	温度(摂氏)偏差値、知能指数
質的データ	順序尺度	分類ではあるが、その分類に順序が与えられているもの	地震の震度(震度1,2...) 解答カテゴリー (賛成:1、どちらかと言え ば賛成:2、...反対:4)
	名義尺度	単なる分類であって、対象に付与される数値の大きさには全く意味はない。	血液型、性別(男:1、女:2)

数学的に
意味がある



部材の収集→劣化度判定→載荷試験

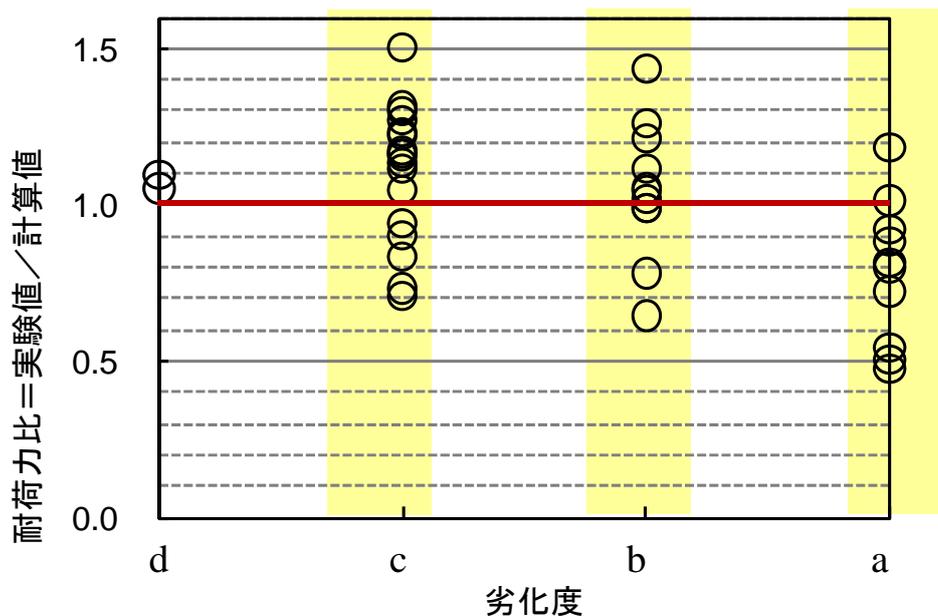


6港湾から
40部材を収集
供用30~44年



曲げ耐力の
耐荷性 = 実験値 / 計算値 ²⁶

RC部材の劣化度と耐荷力の関係



- ・劣化・変状が顕在化したRC部材の耐荷力は初期よりも小さくなる可能性がある。
- ・ばらつき

➡ 腐食による装置・機器の寿命予測手法を応用
極値統計理論を用いて**劣化度毎の部材の最小耐荷力**を
確率論的に推定する

保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入

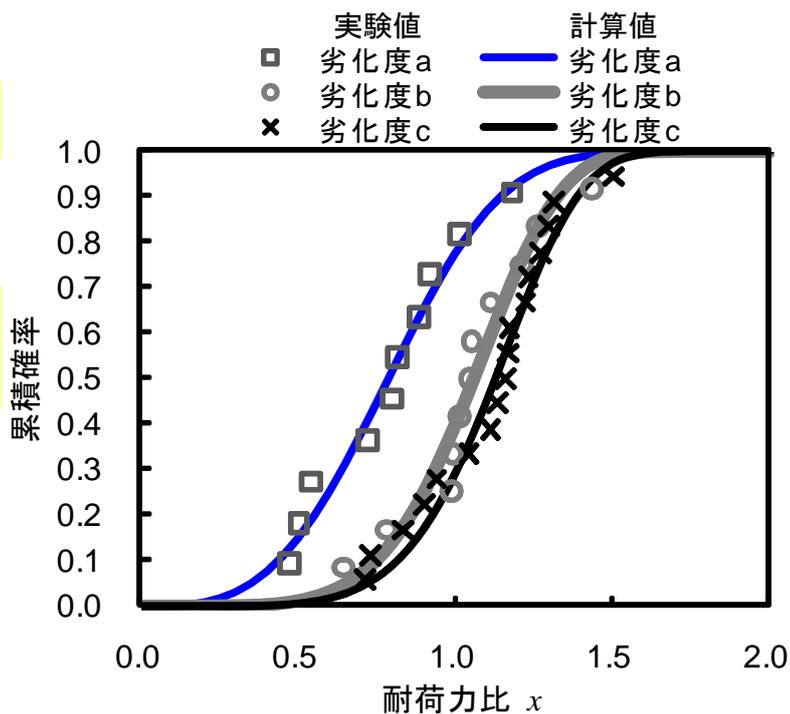
実験値の累積確率

$$F(x_i) = i / (N + 1)$$

ワイブル分布

$$F_{III}(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\gamma}{\eta}\right)^m\right]$$

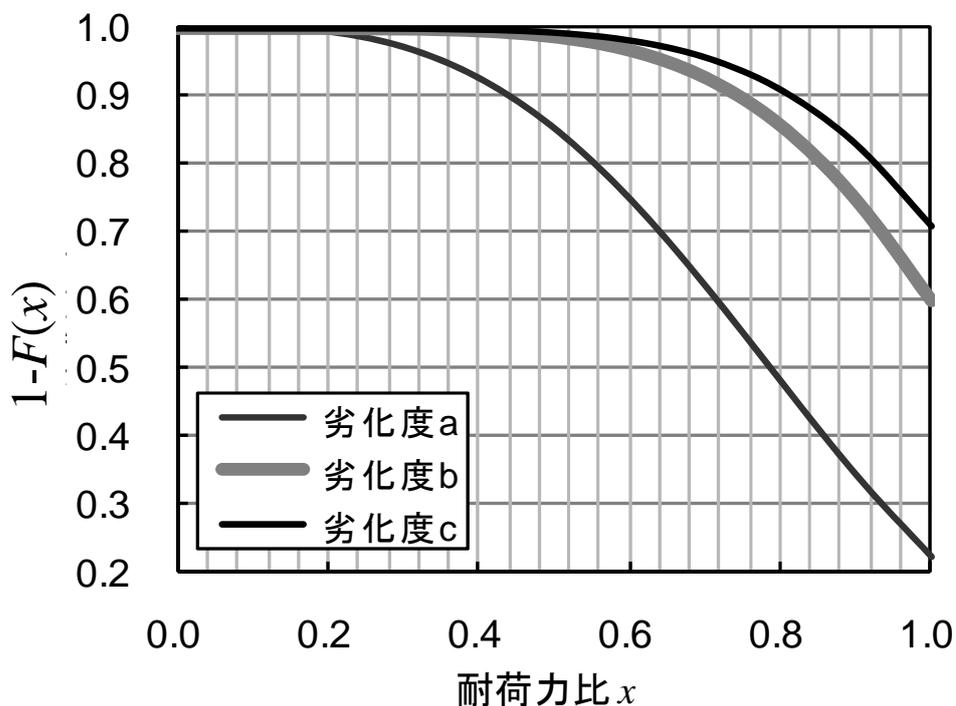
下限 $\gamma = 0.0$



「耐荷力比の最小値がx以下となる確率」

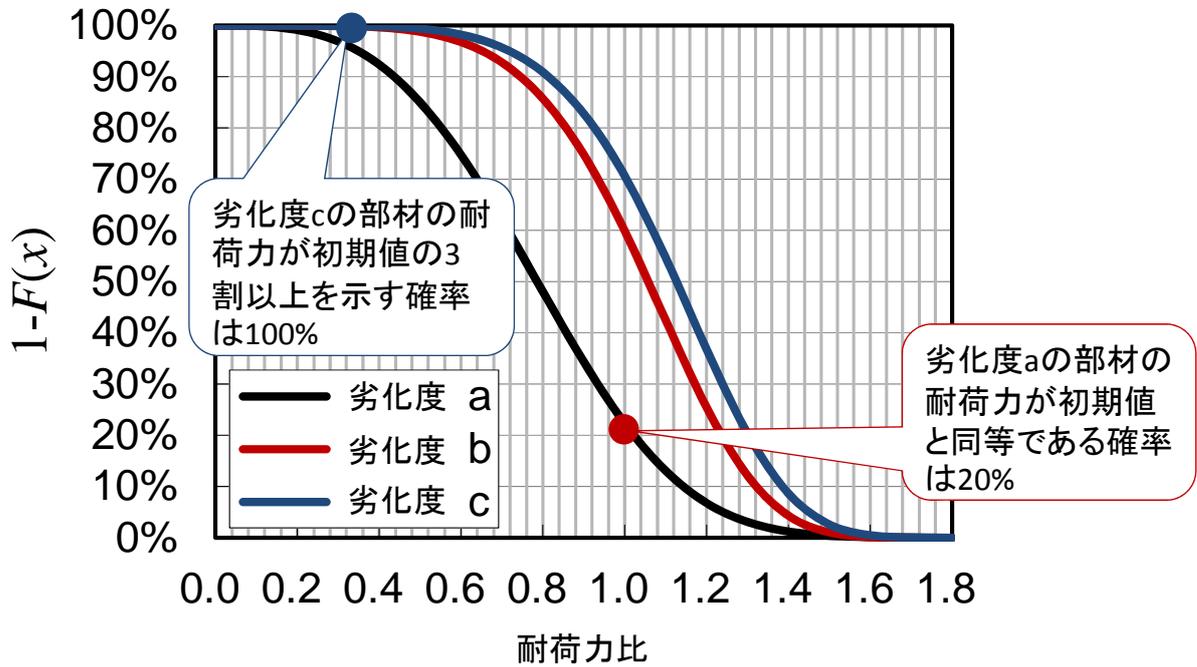
保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入

「部材の耐荷力比がx以上となる確率」



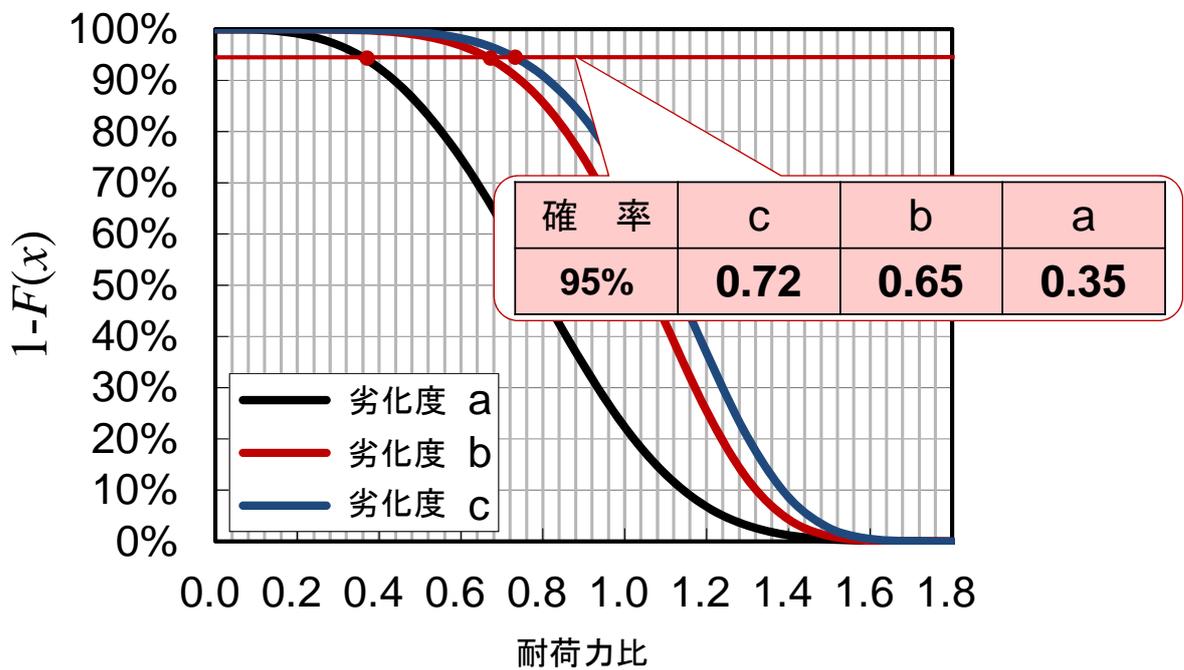
保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入

目視調査から
確率論的に耐荷力を評価



保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入

目視調査から
確率論的に耐荷力を評価



保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入:例

ある栈橋の使用状況

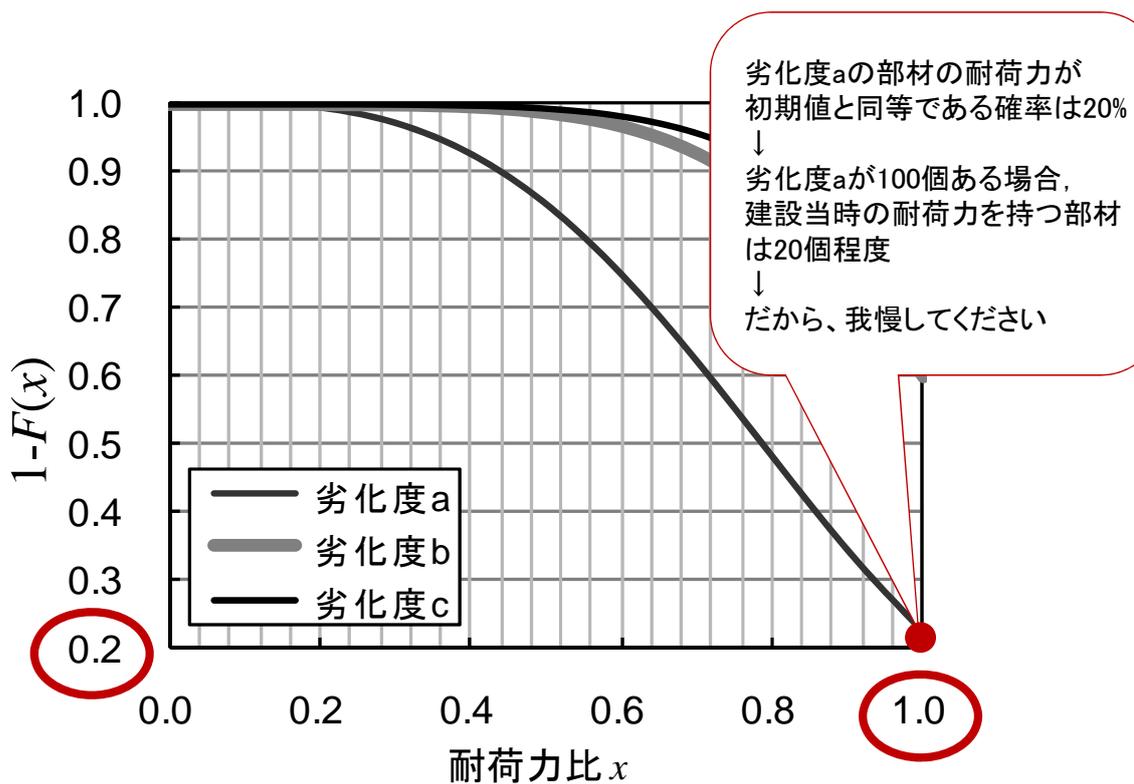


作業効率が悪い

なんで駄目なのか

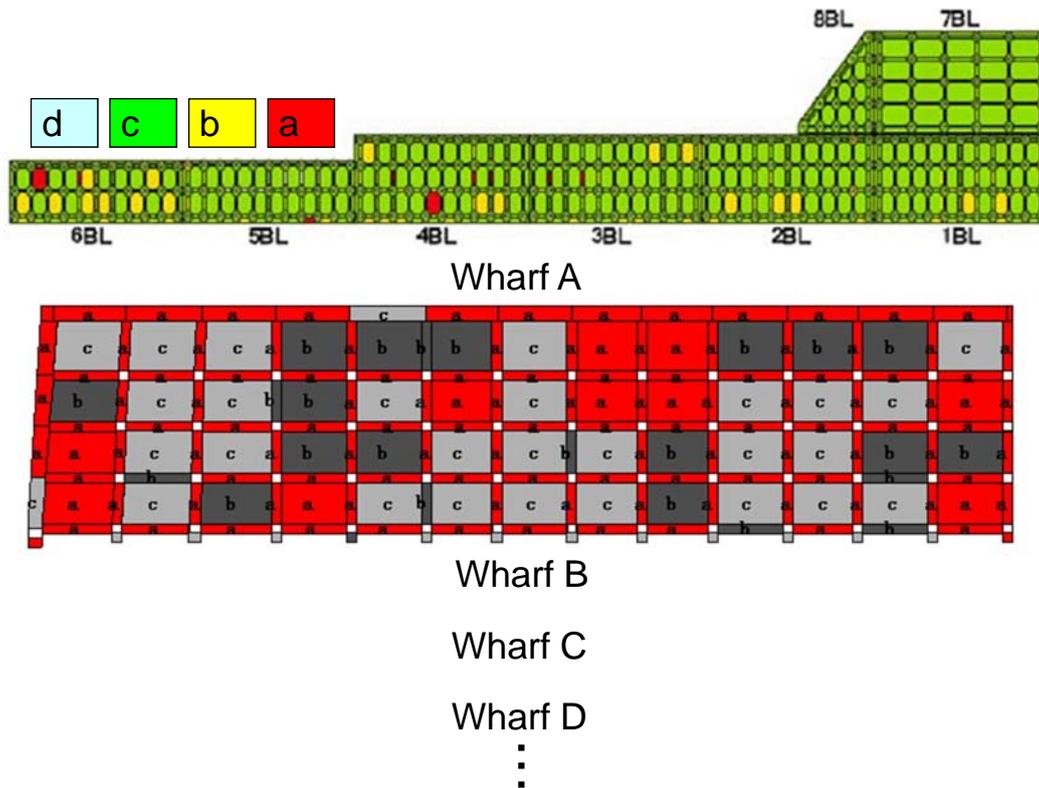
32

保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入:例



33

保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入：例



34

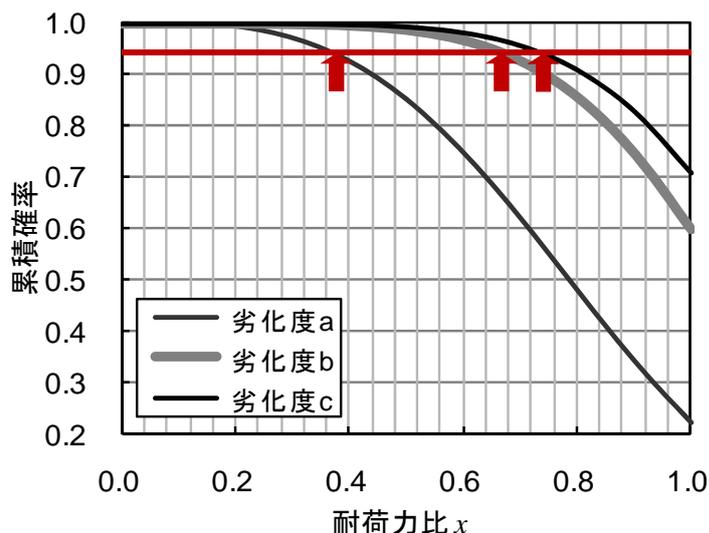
保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入：例

対象施設の劣化度

施設	BL数	竣工	経過年数	上部工の劣化度の割合 (施設全体)								劣化度の代表値	
				はり				床版				はり	床版
				d	c	b	a	d	c	b	a		
②	10	1975	30	0	0.95	0.05	0	0.19	0.60	0.20	0	C	C
③	8	1971	34	0.61	0.17	0.21	0.01	0.6	0.36	0.04	0	C	C
⑥	8	1977	31	0	0.80	0.18	0.03	0	0.90	0.09	0.01	C	C
⑦	14	1971	32	0	0.93	0.07	0	0	0.83	0.17	0	C	C
⑧	14	1971	32	0	0.87	0.12	0	0	0.79	0.22	0	C	C
⑨	14	1971	32	0	0.71	0.27	0.02	0	0.71	0.29	0	C	C
⑩	14	1971	32	0	0.74	0.26	0.01	0	0.84	0.16	0	C	C

35

保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入：例



確率	d	c	b	a
95%	(1.00)	0.72	0.65	0.35

×
×
×
×
=

	d	c	b	a
施設	劣化度の割合			

施設内の
部材の
最小耐荷力

36

保有性能(耐荷力)評価への確率論の導入：例

施設	経過 年数	劣化度の 代表値		施設全体		ブロック 最小値	
		はり	床版	はり	床版	はり	床版
②	30	c	c	0.716	0.758	0.709	0.684
③	34	c	c	0.875	0.885	0.790	0.797
⑥	31	c	c	0.697	0.710	0.674	0.696
⑦	32	c	c	0.714	0.707	0.703	0.687
⑧	32	c	c	0.709	0.705	0.680	0.684
⑨	32	c	c	0.695	0.700	0.658	0.678
⑩	32	c	c	0.700	0.709	0.663	0.678

対策優先順位の根拠として活用できる

37

●港湾の施設の点検診断ガイドライン 平成26年7月

8. 点検診断に関する新技術の活用

(1)点検診断においては、効率性、客観性を重視し、**新技術の活用を積極的に検討**することが望ましい。

●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3月

<http://www.mlit.go.jp/common/000991905.pdf>

課 題	主 な 対 応
非破壊検査等による点検・診断技術等の開発・導入等の促進	非破壊検査等による点検・診断技術等について、研究開発の促進に加え、新技術情報提供システム(NETIS)等を活用し、 <u>既存技術も含め、現場への試行的な導入を促進</u> 。その際、 <u>分野横断的な情報共有を徹底し</u> 、技術の適用性、効果等を確認し、評価結果の公表、認証する制度の充実を図るなど、更なる普及を推進

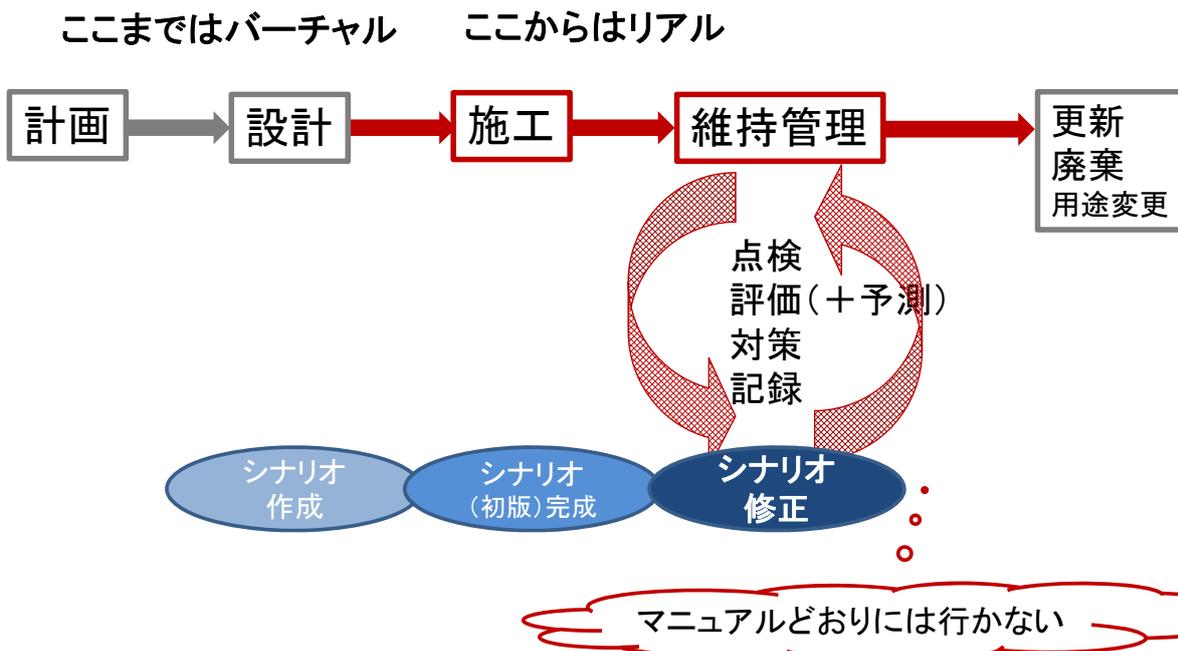
確かに、格好いいが・・・

- ✓ どのような点検技術を使うと、どれくらいの精度で性能評価できるのか
- ✓ どれくらいの数量であれば、どれくらいの精度(確率)で性能評価できるのか
- ・・・どんな点検診断・予測・評価を使うと、どんな対策(時期)が選べるのか
- ・・・どんな点検結果に基づいて、利用制限等の対応を判断するのか

維持管理の状況に応じた点検手法選定方法
 得られるデータに応じた性能評価の方法と精度
 技術・技量に応じた施設の維持管理上の限界値の設定

**メニュー表
作成中**

おわりに



ライフサイクルマネジメント支援センターホームページ

(<http://www.pari.go.jp/unit/lcm/>)

ライフサイクルマネジメント支援センターへようこそ

文字の大きさ 小 **中** 大 港湾空港技術研究所 サイト

ライフサイクルマネジメント支援センター [サイトマップ](#)

センター紹介 研究テーマ メンバー紹介 **維持管理に関する情報**

Life Cycle Management Research Center for Coastal Infrastructures

トピックス [トピックス一覧へ](#) [RSS](#)

2015年6月19日 [お知らせ](#)
▶ 「久里浜LCM支援総合窓口」を開設しました。

2015年4月20日 [お知らせ](#)
▶ 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドラインが公開されました。

2014年12月15日 [お知らせ](#)
▶ 第2回勉強会を開催しました。

2014年12月15日 [お知らせ](#)
▶ 維持管理の参考となるWebサイト一覧を更新しました。(2014.12.15更新)

2014年10月7日 [お知らせ](#)
▶ 「設計における施工及び維持への配慮」に関する事例を追加しました。

構造研究チーム Webサイト

[久里浜 LCM 支援総合窓口](#)

特別講演会 勉強会

40

維持管理に関する情報

(<http://www.pari.go.jp/unit/lcm/johoh.html>)

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(平成19年7月)関連資料

[1.コンクリート構造部材の耐久性を向上させる方策\(案\)\(Webサイト\)](#)

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(平成19年7月、平成26年6月一部改訂)の491ページに記載されている「コンクリート構造部材の耐久性を向上させる際の方策(案)」について、掲載しています。

事例集

[1.「設計における施工及び維持への配慮」に関する事例\(Webサイト\)](#)

「港湾の施設の技術上の基準の細目を定める告示」に記載されている「設計における施工及び維持への配慮」に関する事例を掲載しています。

[2.維持管理に関する問合せ事例\(Webサイト\)](#)

当センターに問い合わせのあった内容のうち、広く皆様にご覧いただきたい内容を掲載しております。

資料集

[1.維持管理の参考となる資料一覧\(Webサイト\)](#)

維持管理業務を実施する際に参考となる主な資料を掲載しております。

[2.維持管理の参考となるWebサイト一覧\(Webサイト\)](#)

維持管理業務を実施する際に参考となる主なWebサイトを掲載しております。

3.ライフサイクルマネジメント支援センターパンフレット

当センターの概要を取りまとめたパンフレットです。 [パンフレット\(PDF/640KB\)](#)

41

久里浜LCM支援総合窓口 《ワンストップ相談窓口》

- ✓ 港湾・海岸・空港施設に関わる良好な維持管理の実施を支援
- ✓ 施設の計画・施工・管理を実施する地方整備局、地方自治体、民間事業者などからの問い合わせに迅速に対応
- ✓ 国土技術政策総合研究所と港湾空港技術研究所が組織横断的な連携協働体を構成

「久里浜LCM支援総合窓口 《ワンストップ相談窓口》」の連絡先

国土交通省 国土技術政策総合研究所
港湾施工システム・保全研究室
E-mail: ysk.nil-lcm-center@ml.mlit.go.jp
Tel: 046-844-5030