

空間統計学を利用した港湾コンクリート構造物 の効率的な維持管理に関する研究

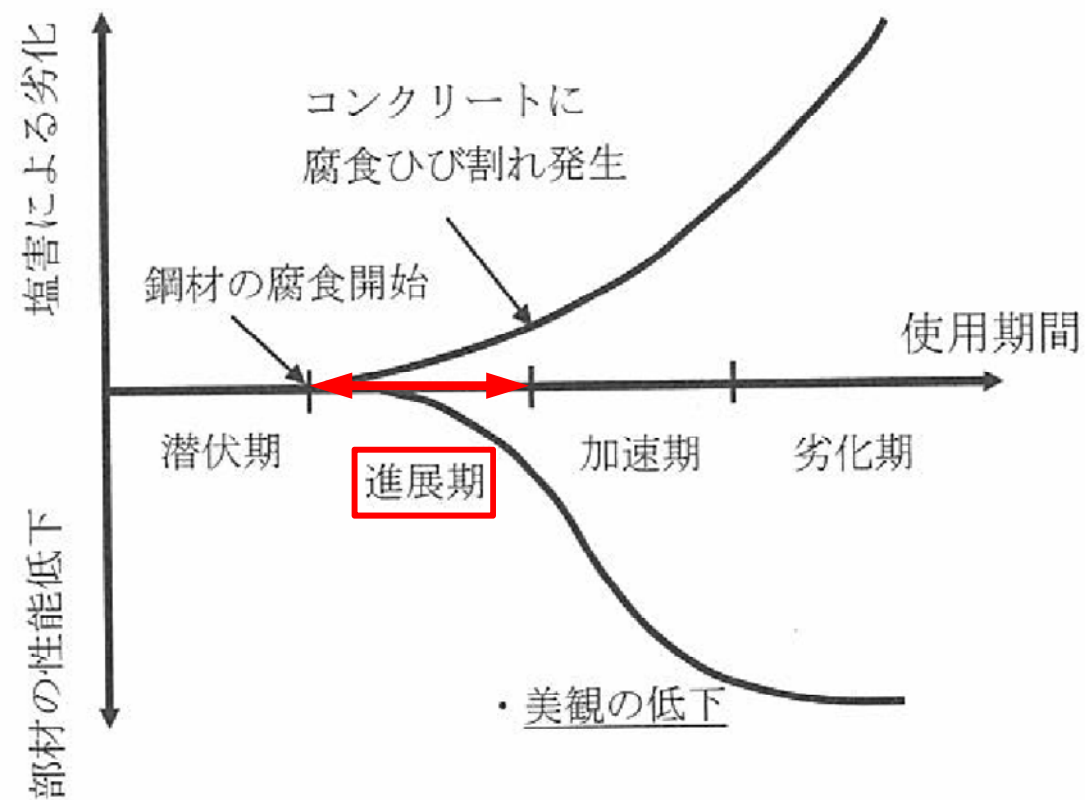
平成25年 6月28日

(一財)港湾空港総合技術センター	兵頭 武志
同上	北里 新一郎
岐阜大学工学部社会基盤工学科	本城 勇介
同上	大竹 雄

研究内容

背景

外観目視結果とマルコフモデルの組合せによる劣化予測は汎用性が高い
しかし、コンクリート中の鉄筋が腐食し始める**進展期**の状態を外観目視で判別するのは困難



※「コンクリート標準示方書 維持管理編」(土木学会、2008年)をもとに加筆

研究内容

実施内容

港湾のRC構造物の塩化物イオン量測定結果と外観目視調査結果との関連性を分析・評価し、効率的な維持管理手法についてとりまとめる。

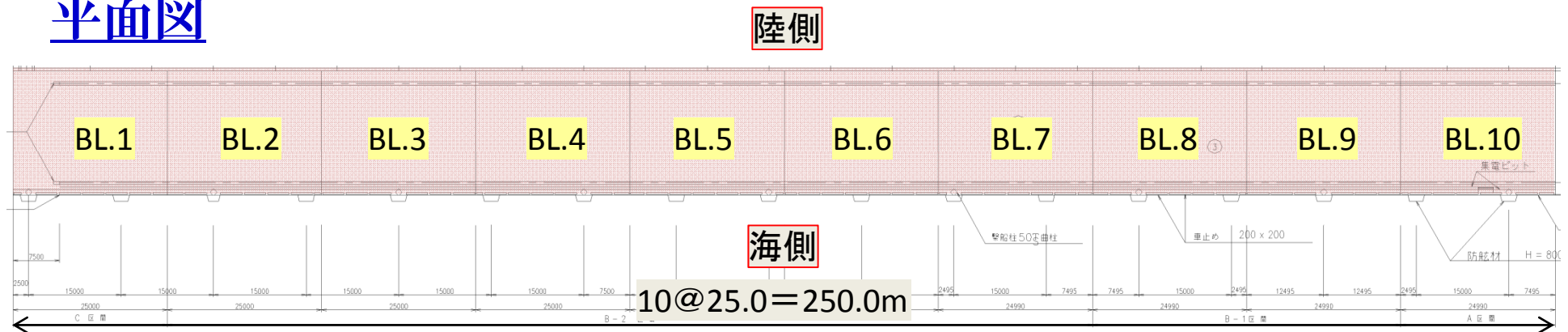
具体的な手順

既存の栈橋を対象に以下の手順で実施

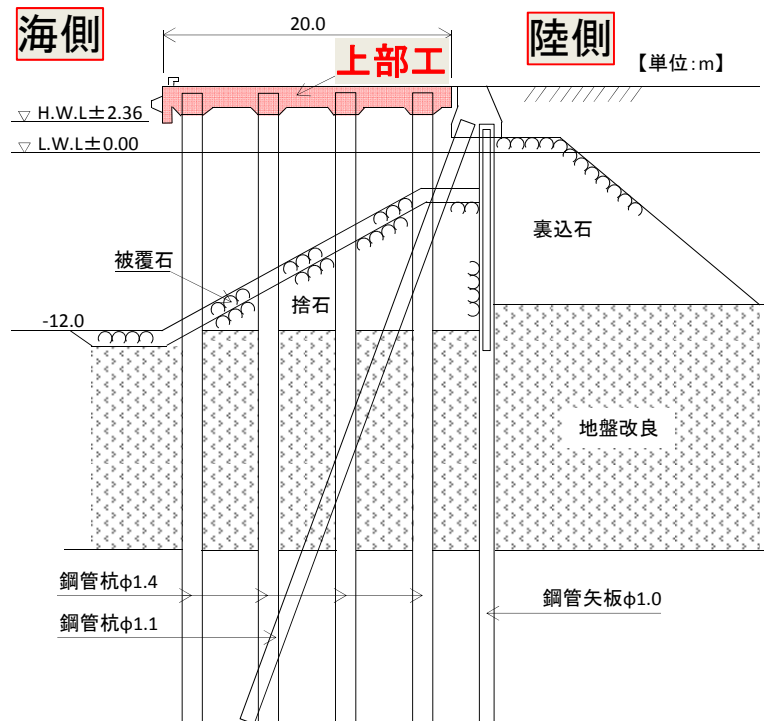
- ①塩化物イオン量測定結果を部材別、場所別に整理して劣化傾向を把握
- ②空間統計学(クリギング)により塩化物イオン量の平面分布を推定
- ③フィックの拡散方程式から将来の塩化物イオンの浸透を予測
- ④外観目視点検結果について判定基準ごとに整理し、②の結果と比較
- ⑤①～④の結果を踏まえた維持管理の効率化を図る手法のとりまとめ

対象構造物の概要__A港コンテナふ頭B栈橋上部工(平成9年建設)

平面図



標準断面図

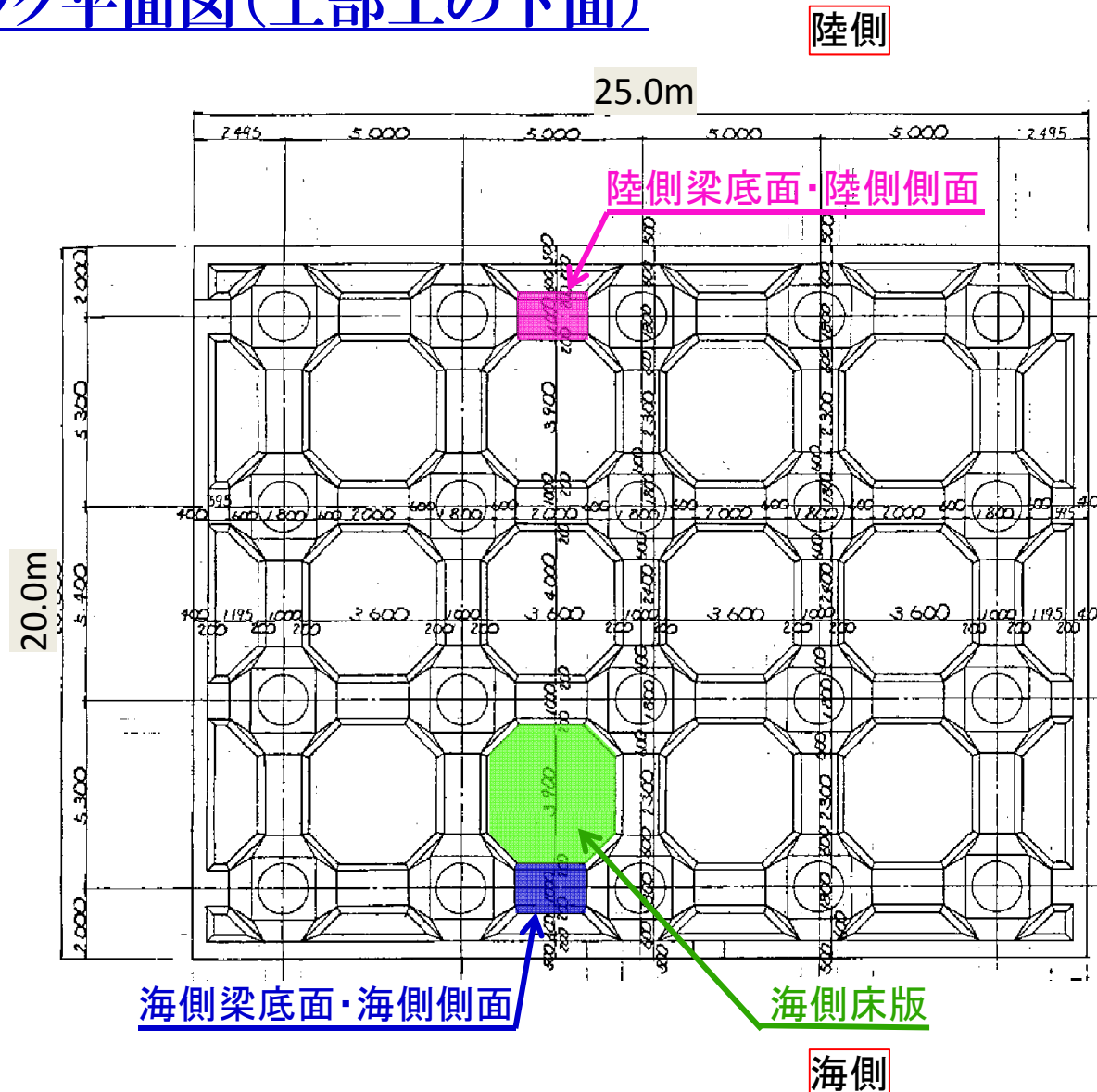


調査項目

点検調査の名称	実施時期	本研究の分析に用いた 上部工の調査項目
初回点検	平成19年度	外観目視
一般定期点検	平成22年度	外観目視
詳細調査	平成22年度	コア採取(50箇所), 塩化物 イオン濃度試験(50箇所)

塩化物イオン量測定のためのコア採取箇所

ブロック平面図(上部工の下面)



1ブロックあたり
5箇所

×

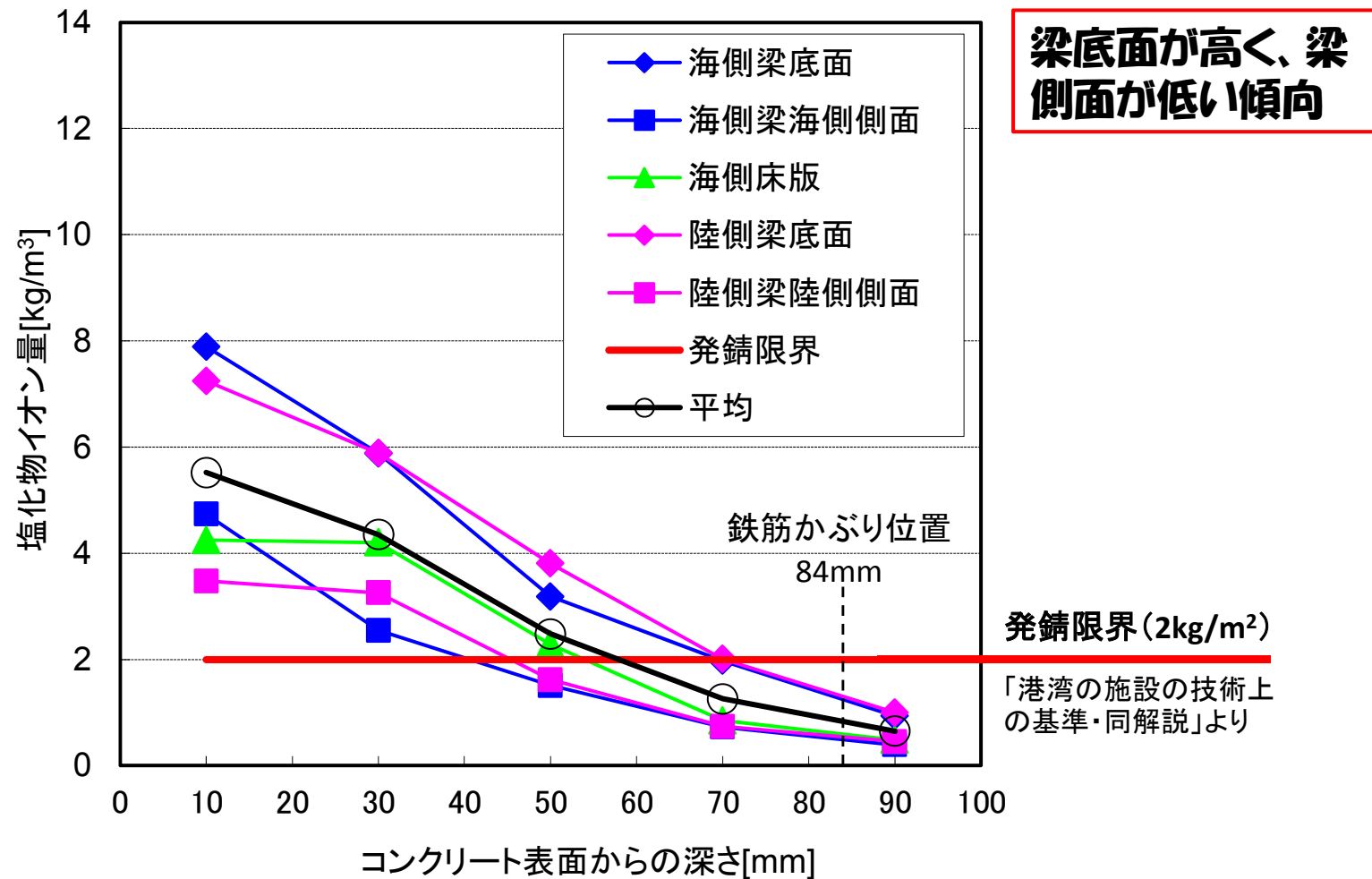
10ブロック

||

50箇所

塩化物イオンの浸透状況

採取場所別の平均値

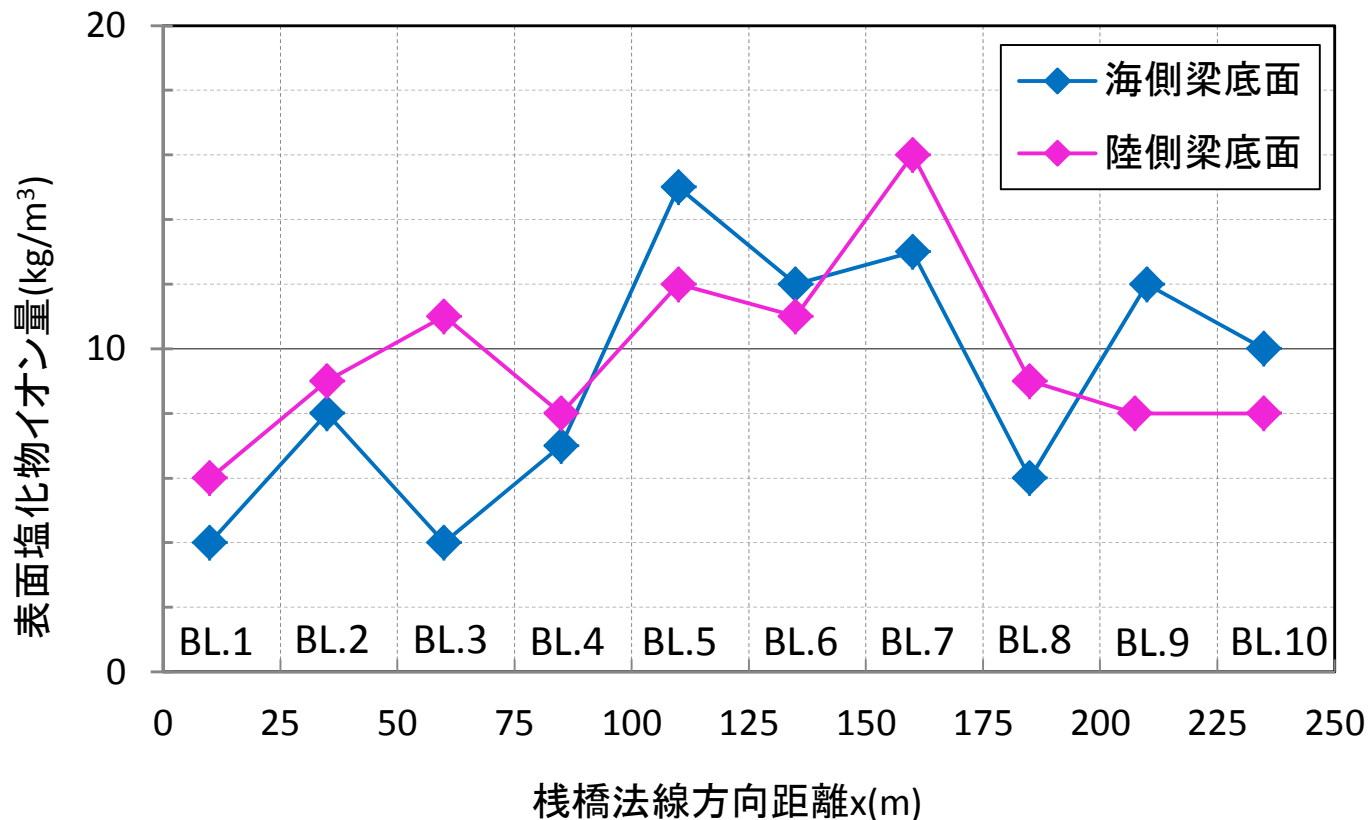


コンクリート表面塩化物イオン量の算定

拡散方程式

$$C(x, t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right)$$

$C(x, t)$: コンクリート表面からの深さ x (cm)、
時刻 t (y)における塩化物イオン量(kg/m^3)
 C_0 : コンクリートの表面塩化物イオン量(kg/m^3)
 D_d : 塩化物イオンの見かけの拡散係数(cm^2/y)
($1.07 \text{ cm}^2/\text{y}$: 全体平均値で一定)
 erf : 誤差関数



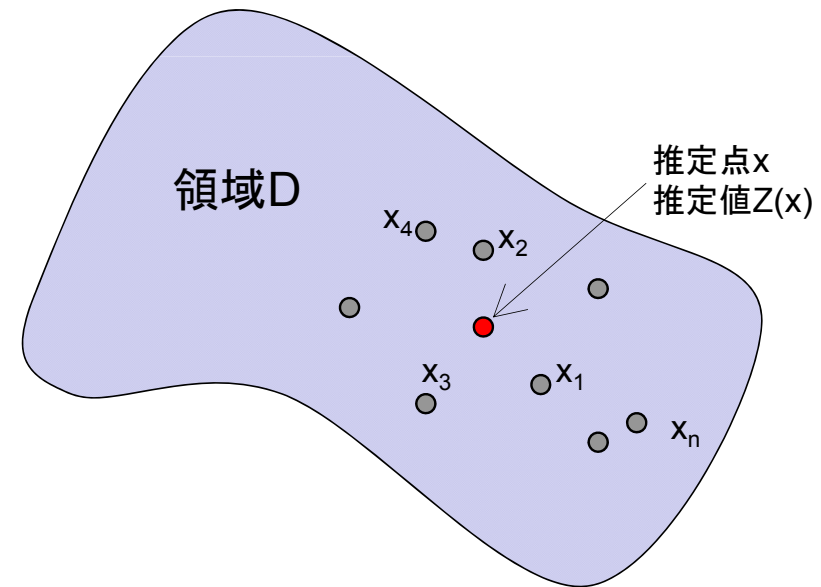
クリギングによる劣化分布の推定

クリギング (Kriging) とは

確率場のある領域内の任意地点におけるデータを、領域内のいろいろな位置で計測された確率場の一組のデータから推定する空間統計学の代表的な手法

クリギングの特長

- ① 離散空間から連続空間へと導くことができる
- ② 限られた散在ポイントデータから対象領域全体の分布を把握できる
- ③ 空間的データ変動が不規則すぎる局地的異常値の場合には、スプラインのような滑らかな数学関数よりも、確率論的なクリギングの方が適合しやすい



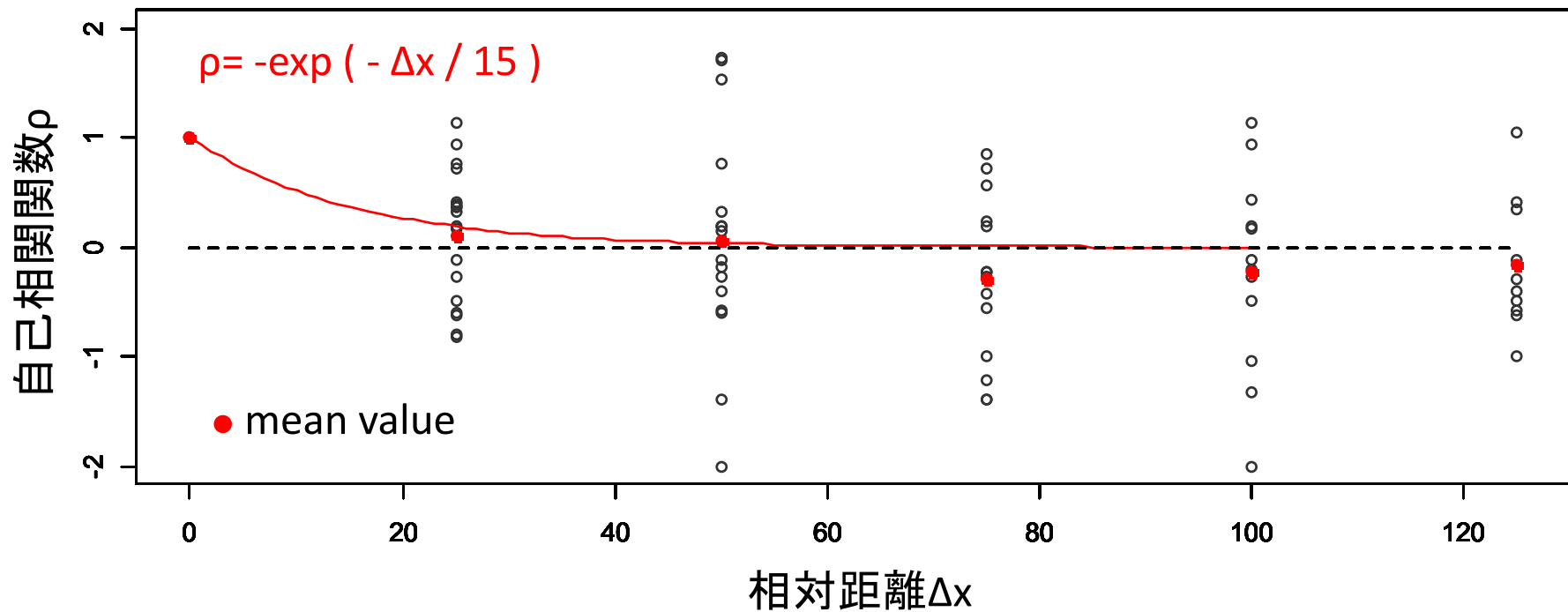
【位置】	【計測データ】
x_1	$z(x_1)$
x_2	$z(x_2)$
$\vdots$	$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$
x_n	$z(x_n)$

⇒ Z(x)を推定

クリギングで設定する自己相関距離の同定

相対距離(Δx)と自己相関関数(ρ)の関係

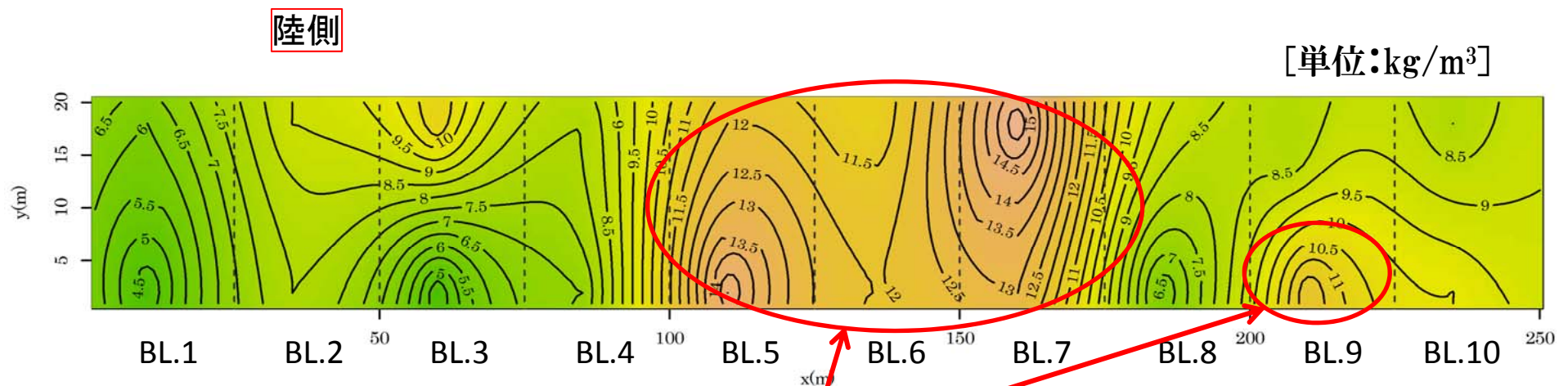
指数型を採用 : $\rho = \exp\left(-\frac{\Delta x}{\theta}\right)$ $\rightarrow$ 下図の●プロットとの適合を見て
自己相関距離 $\theta = 15\text{m}$ と設定



クリギングによる塩化物イオン量の分布推定

表面塩化物イオン量の平面分布(梁底面)

※梁部材は格子状に配置されるが、見やすさを優先して一様な平面図で表示



維持管理を進めるうえで注視すべき部材を視覚的に確認できる

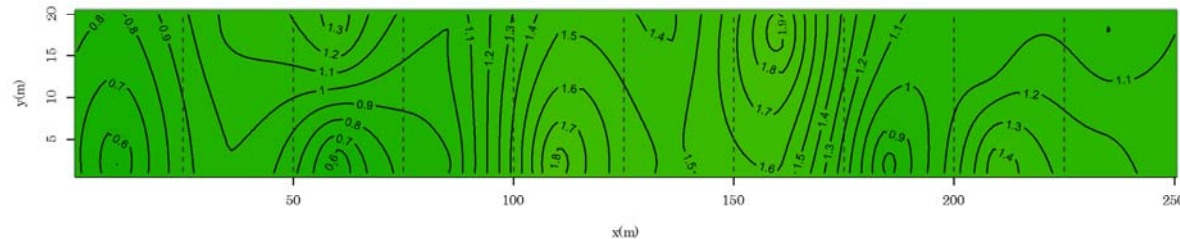
クリギングによる劣化推定__塩化物イオン量浸透予測

塩化物イオン量の予測(梁底面の鉄筋位置)

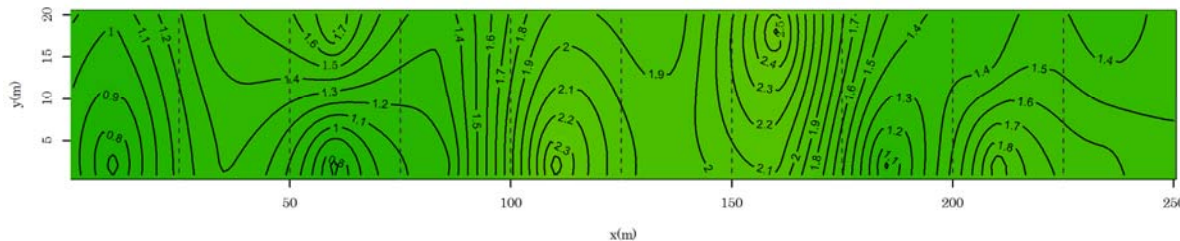
※経過年ごとに拡散方程式で浸透予測し、クリギングで分布を推定

[単位:kg/m³]

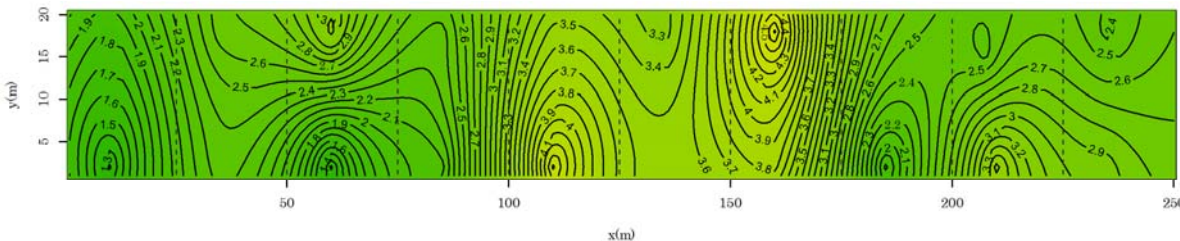
(a)建設14年経過
(H19年度初回点検時)



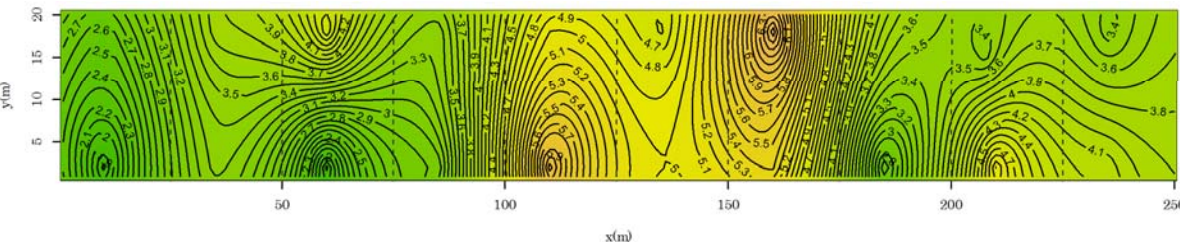
(b)建設17年経過
(H22年度定期点検時)



(c)建設30年経過



(d)建設50年経過



拡散係数を
一定と仮定
しているの
で、分布形
状に変化は
ない

外観目視結果における判定基準

RC梁の劣化判定基準

※「港湾の施設の維持管理技術マニュアル」((財)沿岸技術研究センター)に基づき整理

3項目のうち最も劣化進行した状態が確認された項目の劣化度がその部材の劣化度として判定される

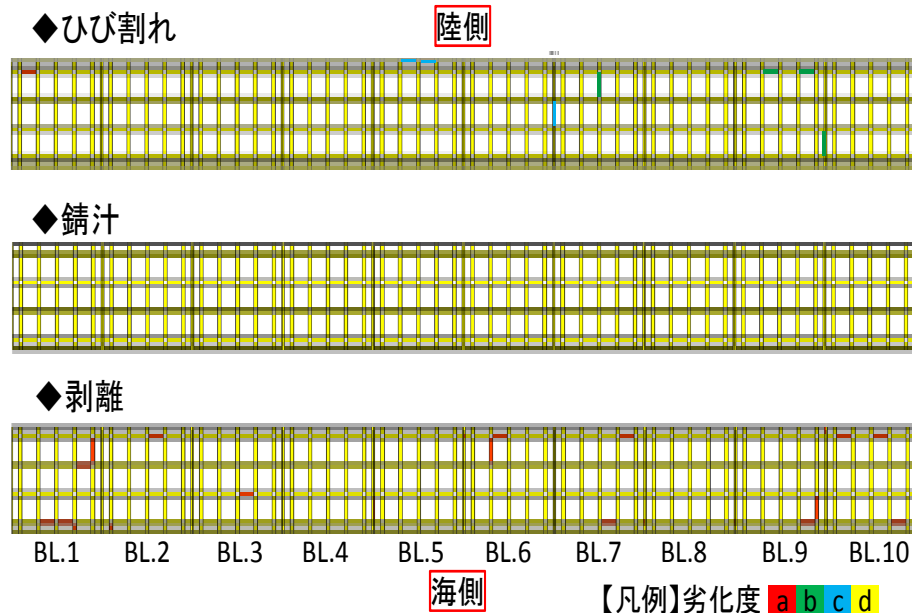
劣化度	部位部材の状態	判定基準		
		ひび割れ	錆汁	剥離
a	部材の性能が著しく低下している状態	幅3mm以上の鉄筋軸方向のひび割れがある	錆汁が広範囲に発生している	かぶりの剥落がある
b	部材の性能が低下している状態	幅3mm未満の鉄筋軸方向のひび割れがある	錆汁が部分的に発生している	—
c	部材の性能低下はないが、変状が発生している状態	軸と直角な方向のひび割れのみがある	錆汁が点状に発生している	—
d	変状が認められない状態	異常なし	異常なし	—

かぶりの剥落が確認された途端に劣化度「a」と判定される

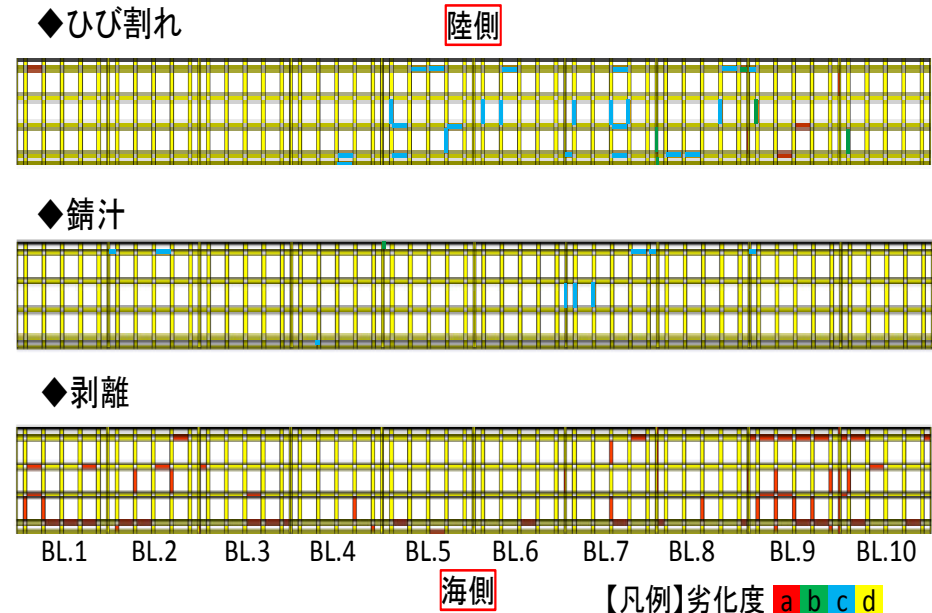
劣化度「b」、「c」の状態が設定されていない

外観目視結果の整理（梁）

平成19年度



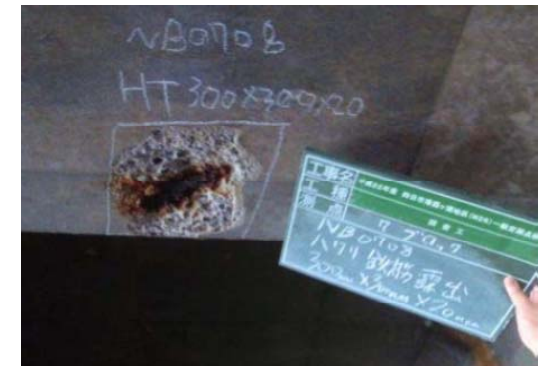
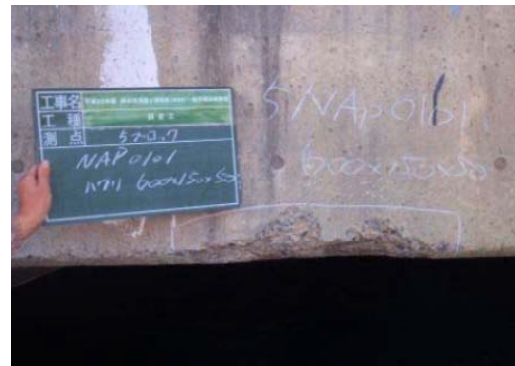
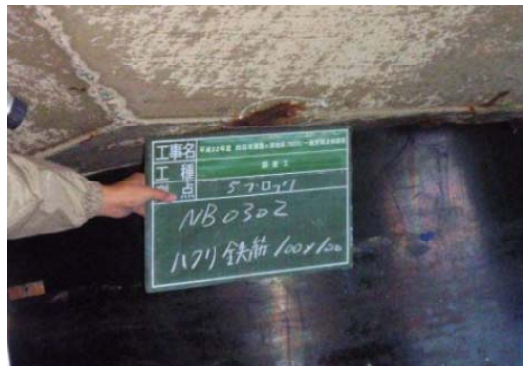
平成22年度



判定基準別に分けてみると、劣化判定結果は「剥離」に支配されていることがわかる。その一方で、「剥離」の判定にばらつきがあることも見て取れる

外観目視結果の整理（梁）

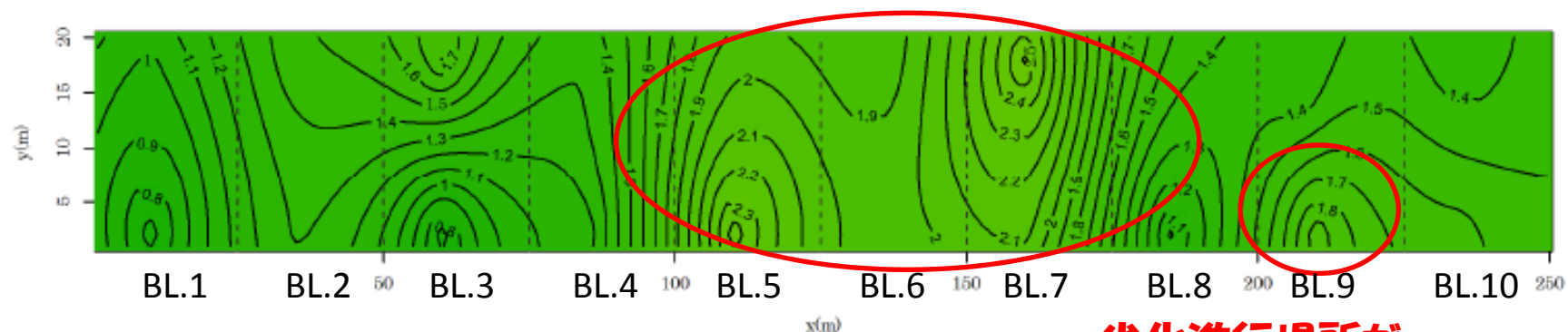
「かぶりの剥落あり」と判定された梁の写真（平成22年度）



劣化度a「部材の性能が著しく低下している」とは言えない

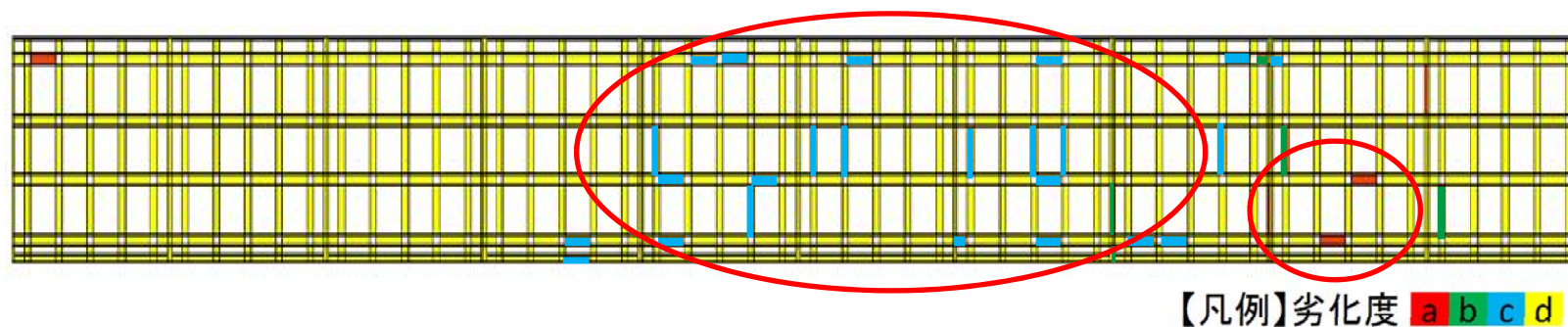
塩化物イオン推定結果と外観目視結果の比較

クリギングによる塩化物イオン量分布(平成22年度)



外観目視結果(「ひびわれ」、平成22年度)

劣化進行場所が
概ね整合している



一般に、腐食発生あるいはひび割れ発生以降、塩化物イオン量と劣化度は直接的な関係はないとされるが、**維持管理の効率化を図る一つの目安として劣化の詳細分布の把握は役立つ**

まとめ

- 塩化物イオン量測定結果を整理分析して、比較的劣化の進んでいる梁底面の離散データを基に**クリギング**による劣化状況を連続データとして表すことで、**詳細な劣化分布を推定できる**ことを示した。
- クリギング**による劣化分布と**フィックの拡散方程式**を組み合わせることで、将来の塩化物イオンの**浸透予測手法を提案**した。
- 外観目視結果について、**判定基準の項目(ひび割れ, 錆汁, 剥離)ごとに劣化度分布**を示し、クリギングによる塩化物イオン量の分布を比較したところ、**ひび割れの分布と塩化物イオン量の分布はおおむね整合**した。
- 目視確認が難しい状態、例えば劣化進展期にある部材を事前に把握する場合などの**目安として塩化物イオン量の詳細分布の推定は有用**である。ただし、一般に塩化物イオン量とひび割れや腐食発生後の劣化進行とは直接的な関係はないとされており、今後、他の事例による検証が必要である。