

新都市社会技術融合創造研究会

2019/10/15 新都市社会技術セミナー

海岸近接部において耐候性鋼材 (無塗装仕様)を使用する橋梁の 環境計測技術に関する研究

神戸大学大学院
○(株)横河ブリッジ

橋本国太郎
荒川 淳平

参加メンバーと研究体制

- 神戸大学: 橋本国太郎 (PL)
- 富山大学 (H29まで京都大学): 鈴木康夫
- (株)横河ブリッジホールディングス:
荒川淳平, 鈴木克弥, 中辻亘, 前田諭志
- (株)セイコーウェーブ: 新村稔, 志田寛

研究統括 (プロジェクトリーダー)
神戸大学: 橋本国太郎

WG1: 腐食環境計測チーム
・京都大学: 鈴木康夫
・横河ブリッジホールディングス

WG2: モニタリング技術開発チーム
・神戸大学: 橋本国太郎
・横河ブリッジホールディングス
・セイコーウェーブ

研究目的

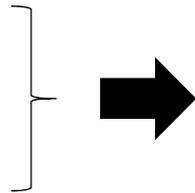
- 耐候性鋼橋梁の濡れ時間および付着塩分計測による簡易な腐食環境計測技術の開発(WG1)
- 画像処理技術および犠牲腐食(鋼)材を用いた定期点検を補完するモニタリング技術の開発(WG2)

研究の概要

1. ドライガーゼ法に代わる付着塩分計測および濡れ時間予測による腐食環境計測技術の開発

具体的には…

- 付着塩分量計測
- 濡れ時間計測



既設橋梁内の腐食減耗
予測法の開発

(1) 塩分量調査の概要

i) 直接析を測る場合

- ①測定前 → 塩分を洗い流す
- ②定期的に塩分を測定
→ 測定後洗い流す

ii) 間接的に測る場合

ワッペン試験のような試験体を
設置し、定期的に分析



(2) 濡れ調査の概要

i) 温湿度測定による方法

計測結果を基にKuceraの予測式を用いる

→ 湿度センサーを用いて直接
濡れ時間を計測できないか？

ii) ACMセンサによる方法

研究の概要

2. 定期点検の点検間および点検精度を補完する簡易で安価なモニタリング技術の開発

①画像処理とさび厚測定による方法

【目的】

耐候性鋼のさび外観を評価する
画像処理システムの構築



【検討】

- 外観評価の判定基準となるさびサンプル（さび画像、さび厚、凹凸データ）の収集
- ワッペン試験による腐食環境調査



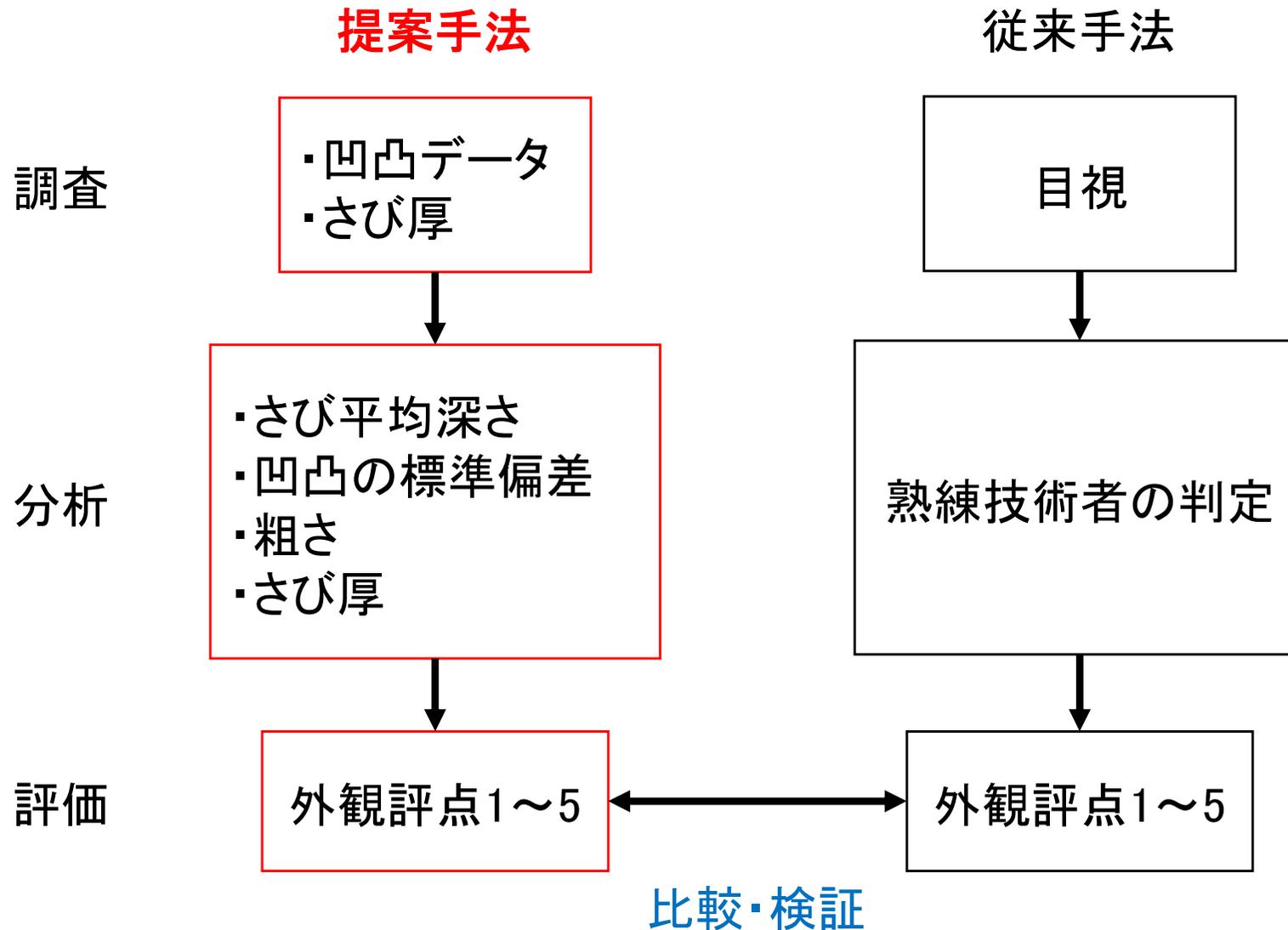
【成果】

定量的かつ客観的なさび外観評価手法の確立



さび外観評点の事例

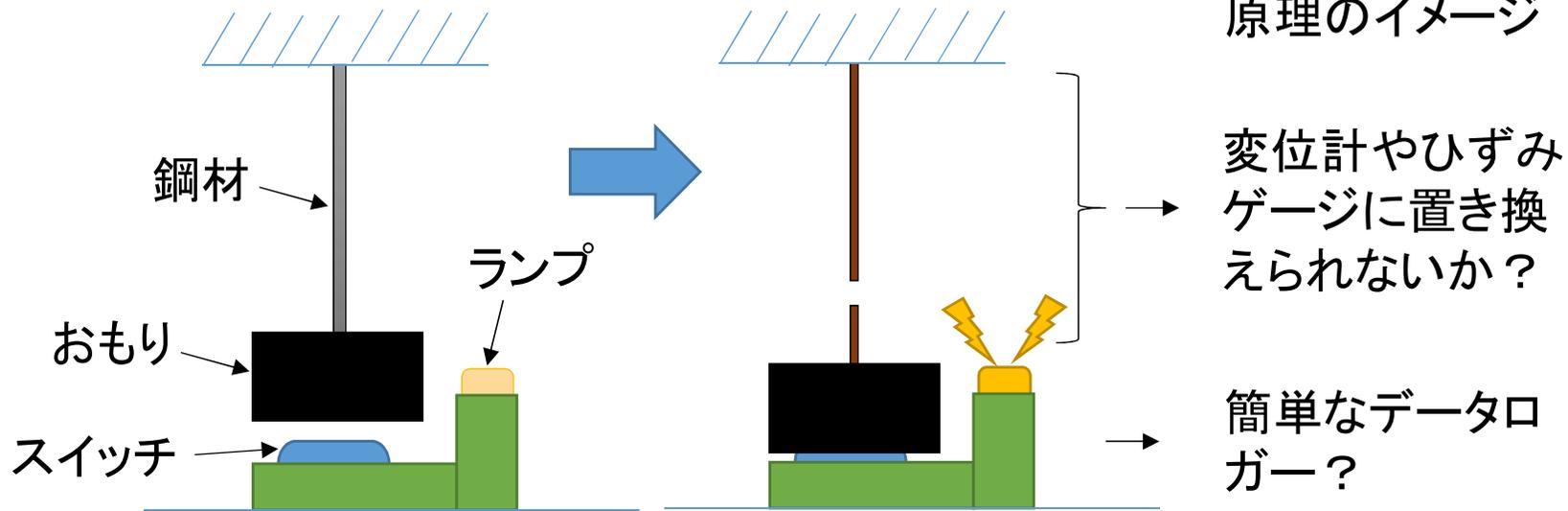
提案手法と従来手法



研究の概要

②犠牲腐食材による簡易腐食モニタリング

異常腐食時 (腐食量が大きいとき)のみ作動する原理を用いる



1 ドライガーゼ法に代わる付着塩分 計測および濡れ時間予測による腐食 環境計測技術の開発

室内実験概要

昨年度実施した試験および過去の文献より、湿度および付着塩分量が鋼材の濡れに大きく影響を及ぼす可能性があることがわかった

- 恒温恒湿槽内に温湿度ロガー、FeタイプのACMセンサを設置
- 試験パラメータとして温度、湿度、塩分量・種類および風速・風向を変化



- 温湿度ロガーと付着塩分量から濡れ時間(もしくは腐食量)を予測できるよう検討



恒温恒湿槽

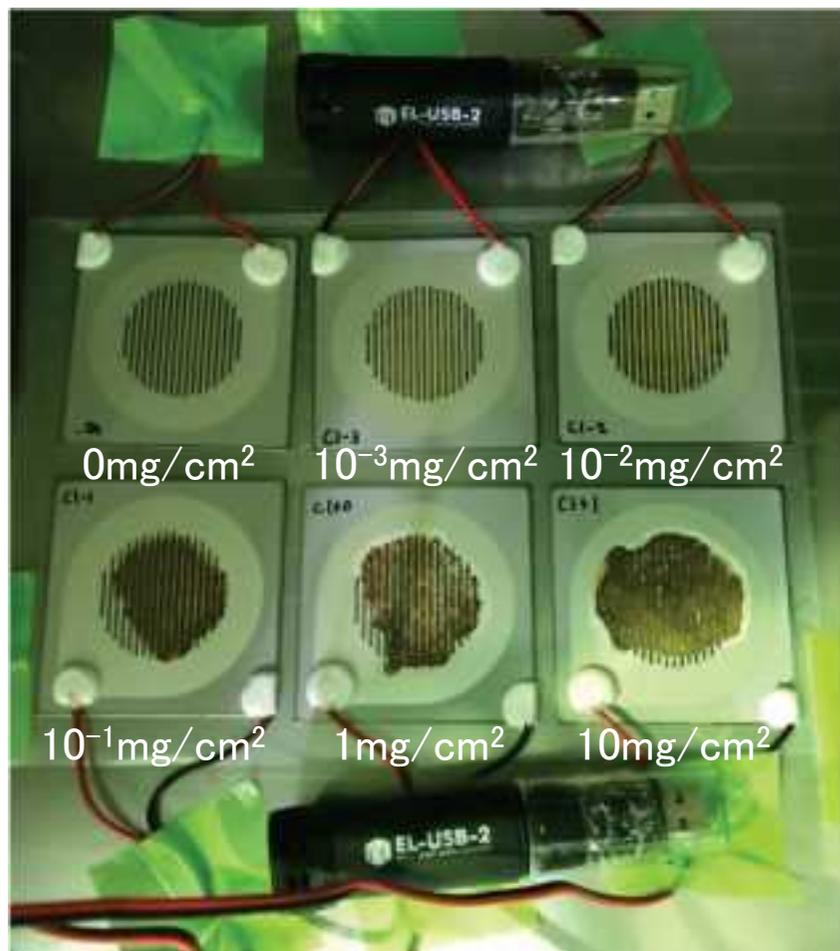


ACMセンサ

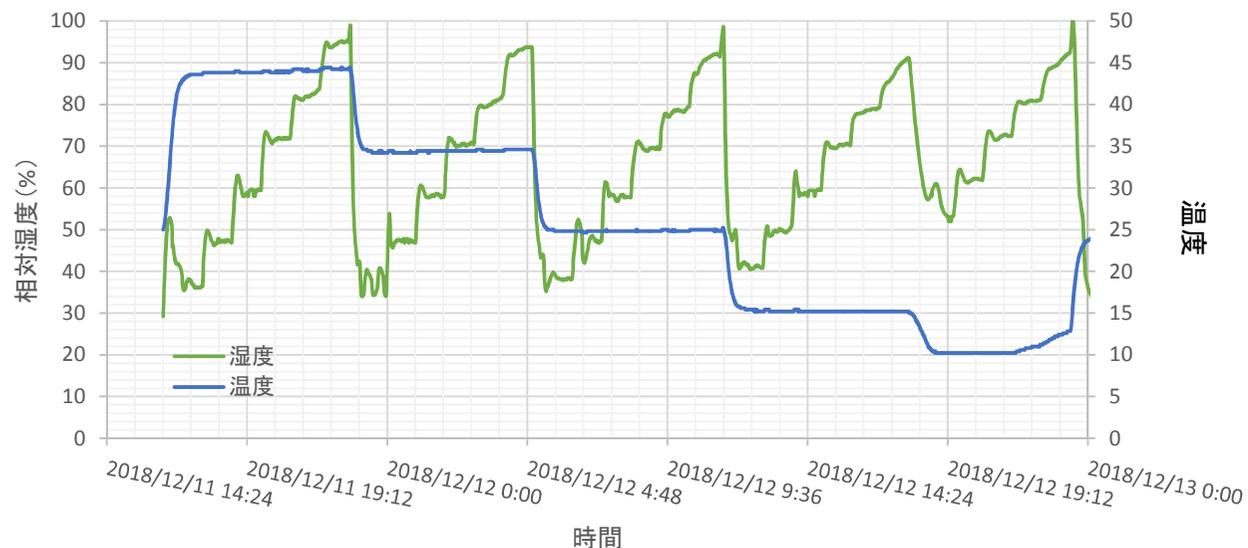


温湿度ロガー

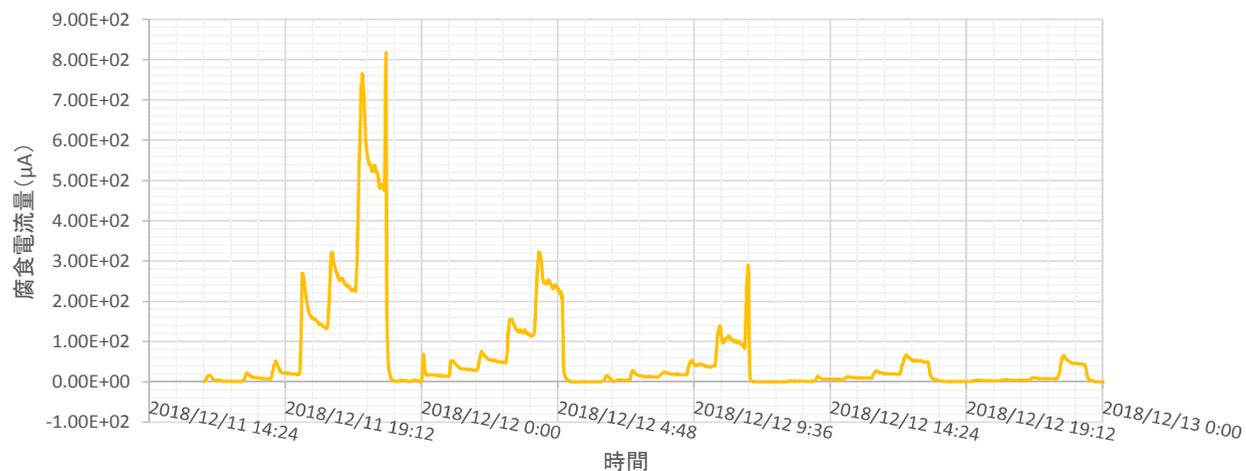
試験結果の一例



恒温恒湿槽内でのセンサ類
の設置状況
(センサは水平方向に設置)

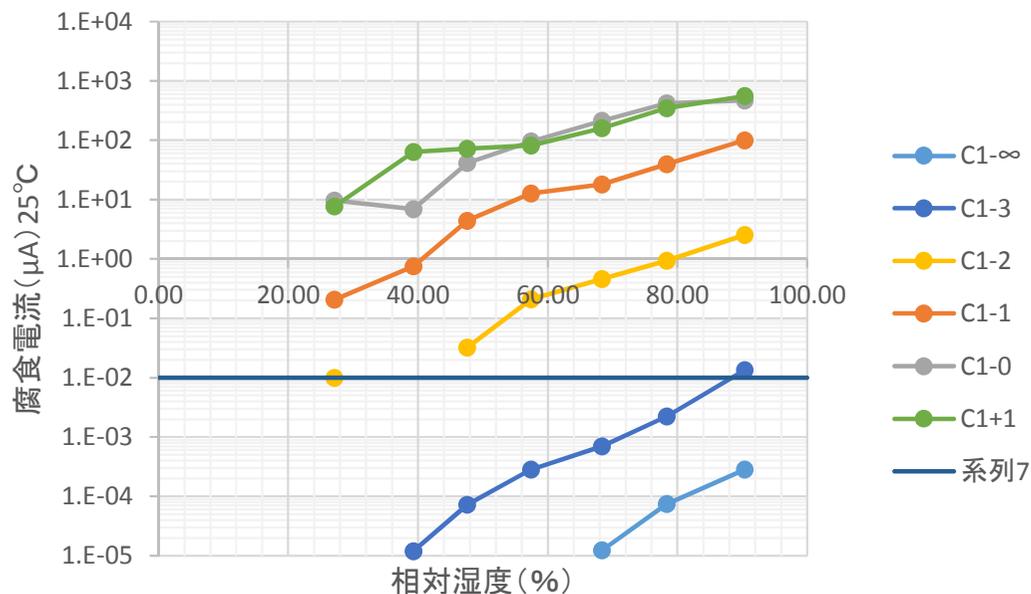
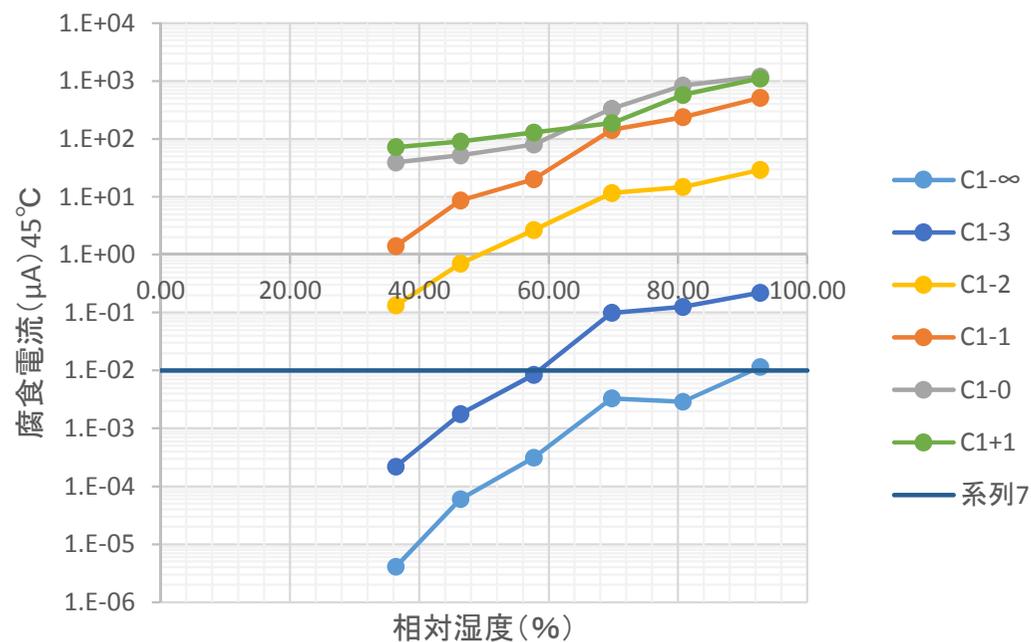


温湿度の時系列データ(あるケースにおける推移)



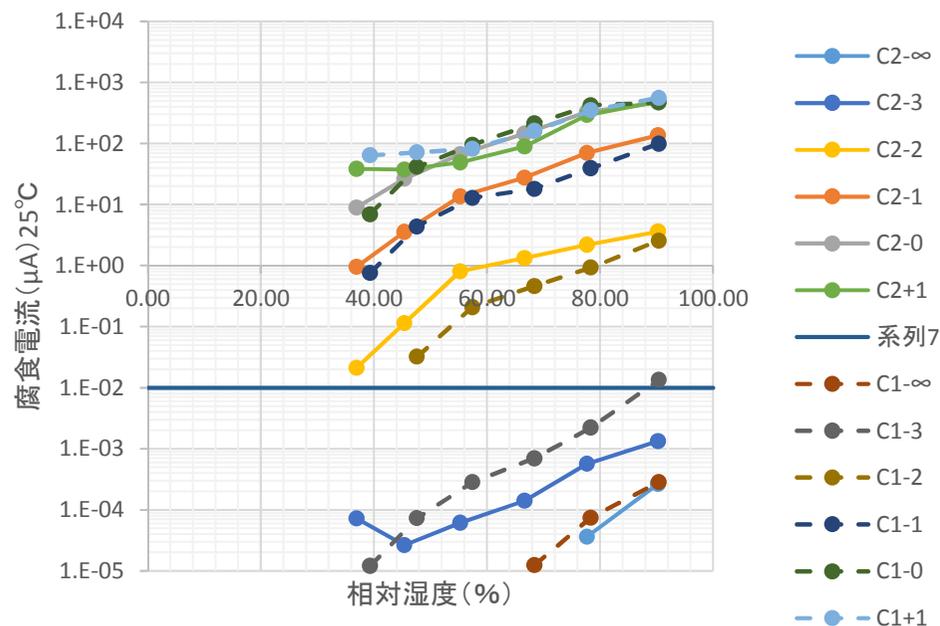
腐食電流量の時系列データ例(塩分濃度 $10^{-1}\text{mg}/\text{cm}^2$)

腐食電流量と相対湿度との関係



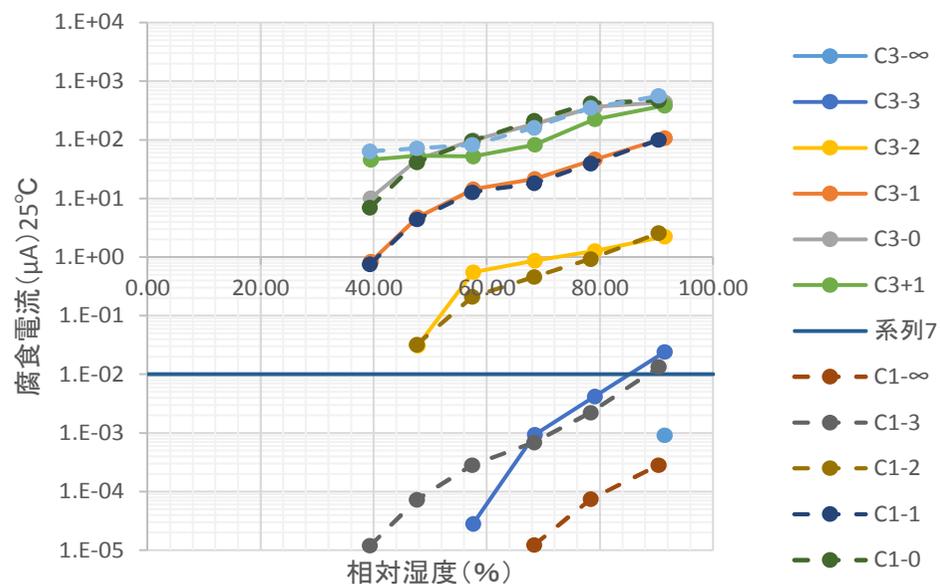
- 湿度が高くなると腐食電流量は大きくなる → 濡れ時間に湿度の閾値はない
- 塩分量が多くなると腐食電流量は大きくなる → ただし限界がある
- 塩分量が多いと湿度が低くても大きな電流が流れる → 塩の潮解現象による
- 温度が高くなると腐食電流量は大きくなる → アレニウスの法則

風の影響



• 実験の条件

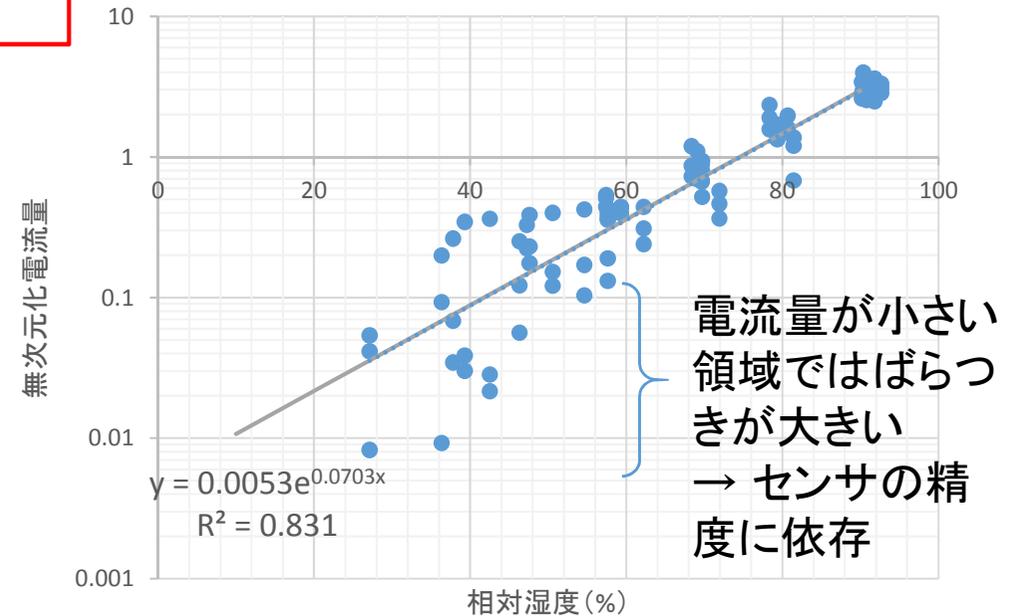
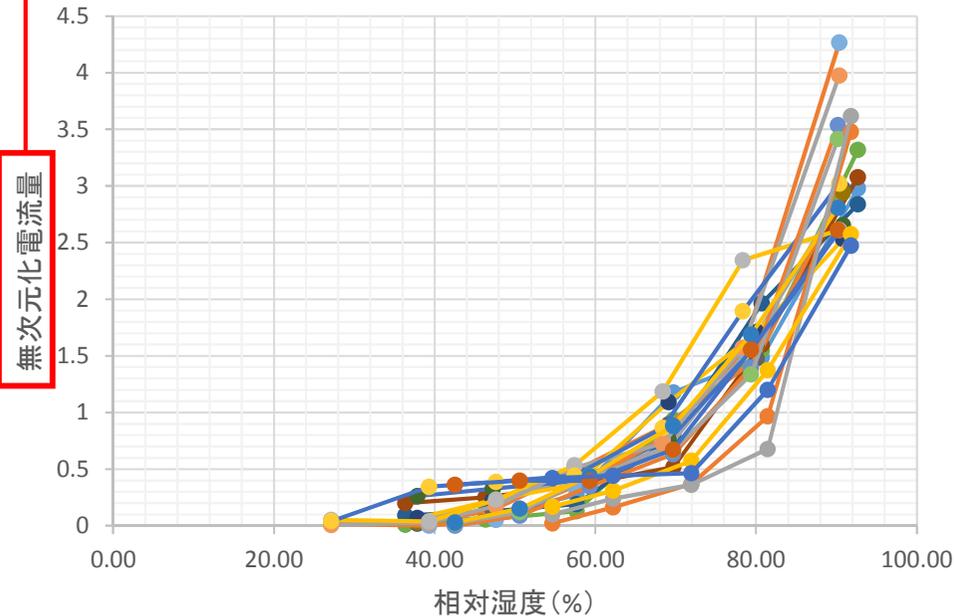
- ✓ Case2 (風向: 鉛直, 風速: 5m/s)
- ✓ Case3 (風向: 水平, 風速: 5m/s)



- Case1 (風無し) と比べると、あまり変化がないことが分かった

腐食電流量とその他のパラメータとの関係

Case1の各温度および各濃度における腐食電流量の平均値で各腐食電流量を無次元化した無次元化腐食電流量



$$A = a \cdot Ca^b \cdot e^{(c \cdot T + d \cdot H)}$$

A : 腐食電流量 (μA), Ca : 付着塩分量 (mg/cm^2), T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$), H : 相对湿度 (%),
 a, b, c, d : 定数 (相对湿度50%以上, 温度10~35 $^{\circ}\text{C}$, 塩分量0.01~1 mg/cm^2 の範囲
では, $a = 0.6, b = 1.0, c = 0.04, d = 0.06$ とすると, 上式の予測電流量と測定値に強い
相関が見られた)

ワッペン試験概要

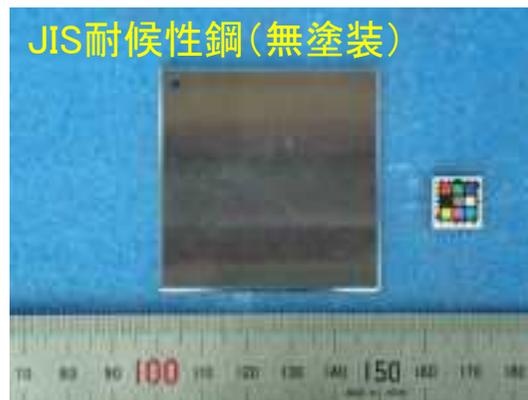
既設橋に設置



3回回収し分析
(1, 3, 5年など)



腐食環境調査



付着塩分量と濡れ時間から腐食減耗量を
予測できないか？

※濡れ時間: 気温0°C以上かつ相対湿度80%以上の時間

⇒ **ワッペン試験から、腐食減耗量、付着塩
分量、濡れ時間の関係を確認**

【各種計測機器】



膜厚計



表面塩分計



温湿度ロガー

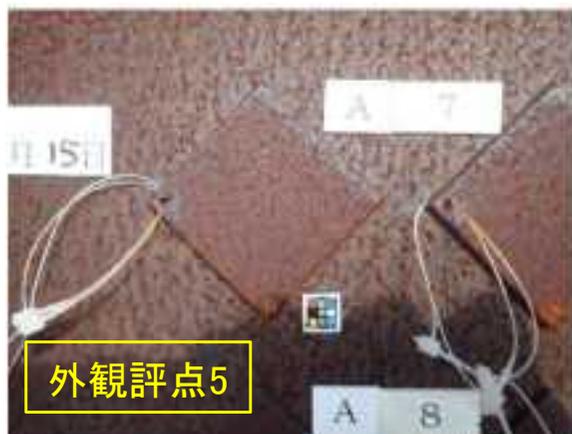


曝露試験片設置橋梁

※日置小橋のみ塗装橋, 他は耐候性鋼橋梁

1年目ワッペン試験結果(一例)

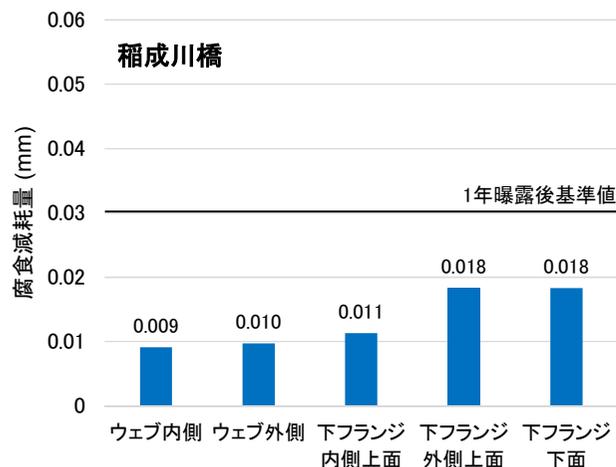
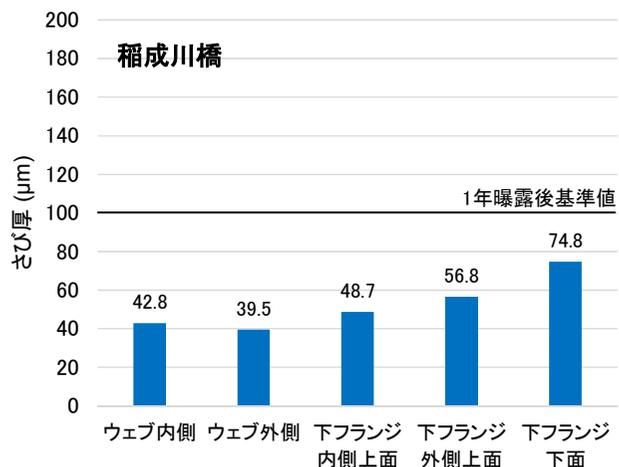
【外観評点】



曝露期間1年では、さびの成長はほとんど見られず



【さび厚と腐食減耗量】

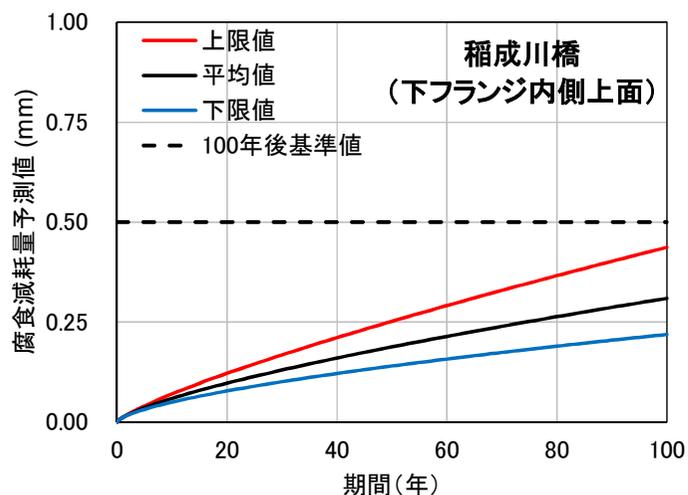


さび厚と腐食減耗量
⇒ ほとんどの試験結果が1年目基準値未満

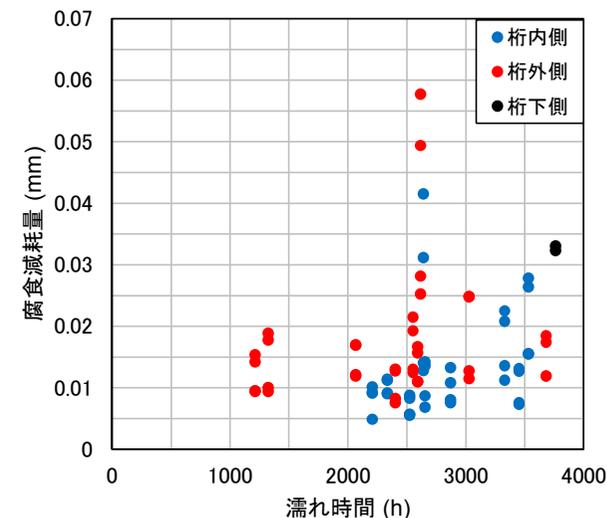
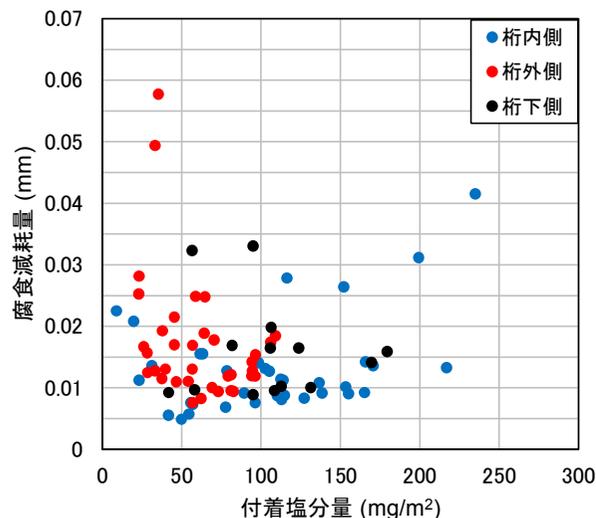
部位別の腐食環境
⇒ ウェブに比べ下フランジの腐食環境が悪い

1年目ワッペン試験結果(一例)

【腐食減耗量予測】



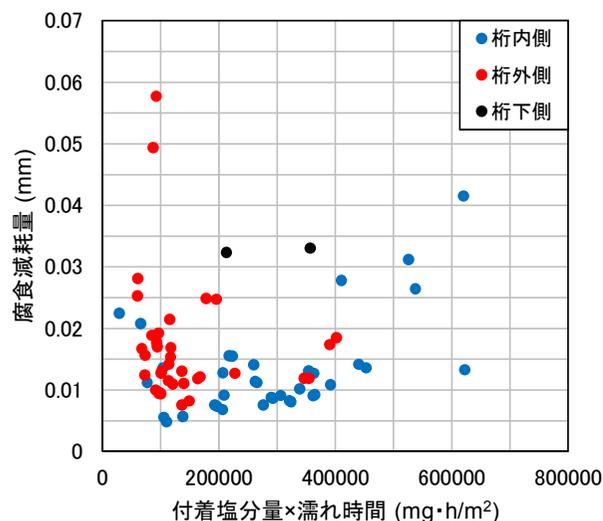
【腐食減耗量と付着塩分量・濡れ時間の関係】



1年目腐食減耗量の結果を既往文献の経年予測式に適用



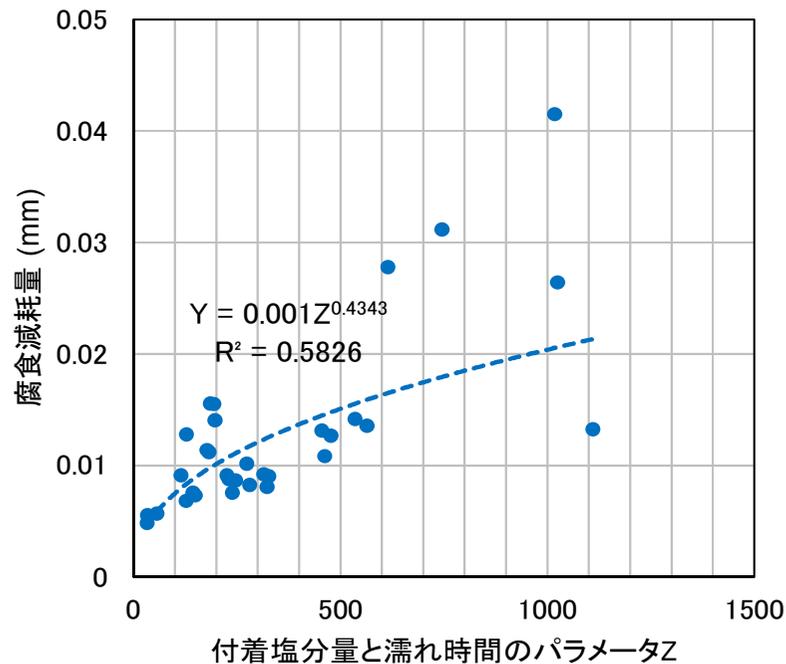
ほとんどの結果が100年後基準値を下回る(マイルドな環境)



桁内側: 飛来塩分や水分を含んだ空気が滞留しやすい
桁外側: 降雨により付着塩分が洗い流され、空気が滞留しにくい
 ⇒ 付着塩分量・濡れ時間とも桁内側のほうが多い

腐食減耗量と付着塩分量・濡れ時間の関係 ⇒ 桁内側のみで見ると若干ばらつきがなくなる

腐食減耗量と付着塩・濡れ時間・電流量の関係



方法①

濡れ時間を相対湿度80%以上と定義し、付着塩分量と掛け合わせたパラメータを用いる

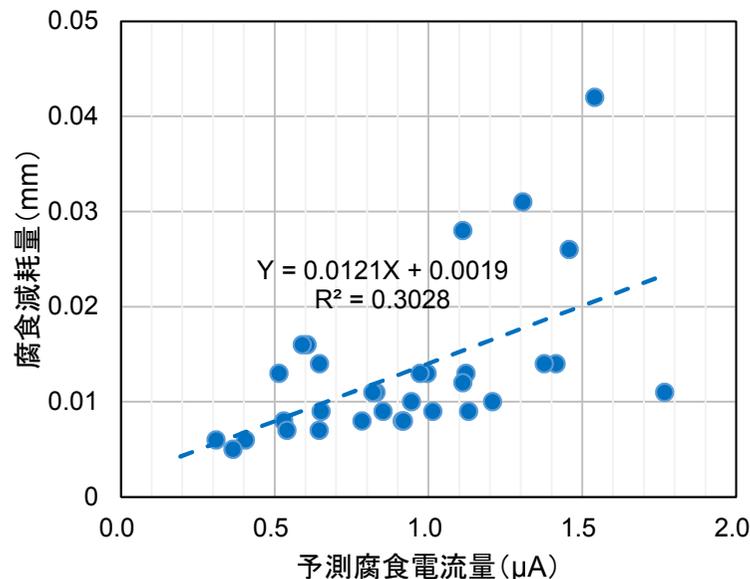
$$Y = 0.001Z^{0.4343} \quad Z = N^a \times TOW^b$$

Y: 腐食減耗量 (mm)

Z: 付着塩分量と濡れ時間のパラメータ

N: 付着塩分量 (mg/m²)

TOW: 年間濡れ時間率 = 濡れ時間 / 24 / 365



方法②

恒温恒湿試験から得られた予測腐食電流量の式を用いる



腐食量が小さい範囲であるため、どちらにせよ、ばらつきが大きい → 今後データの蓄積が必要

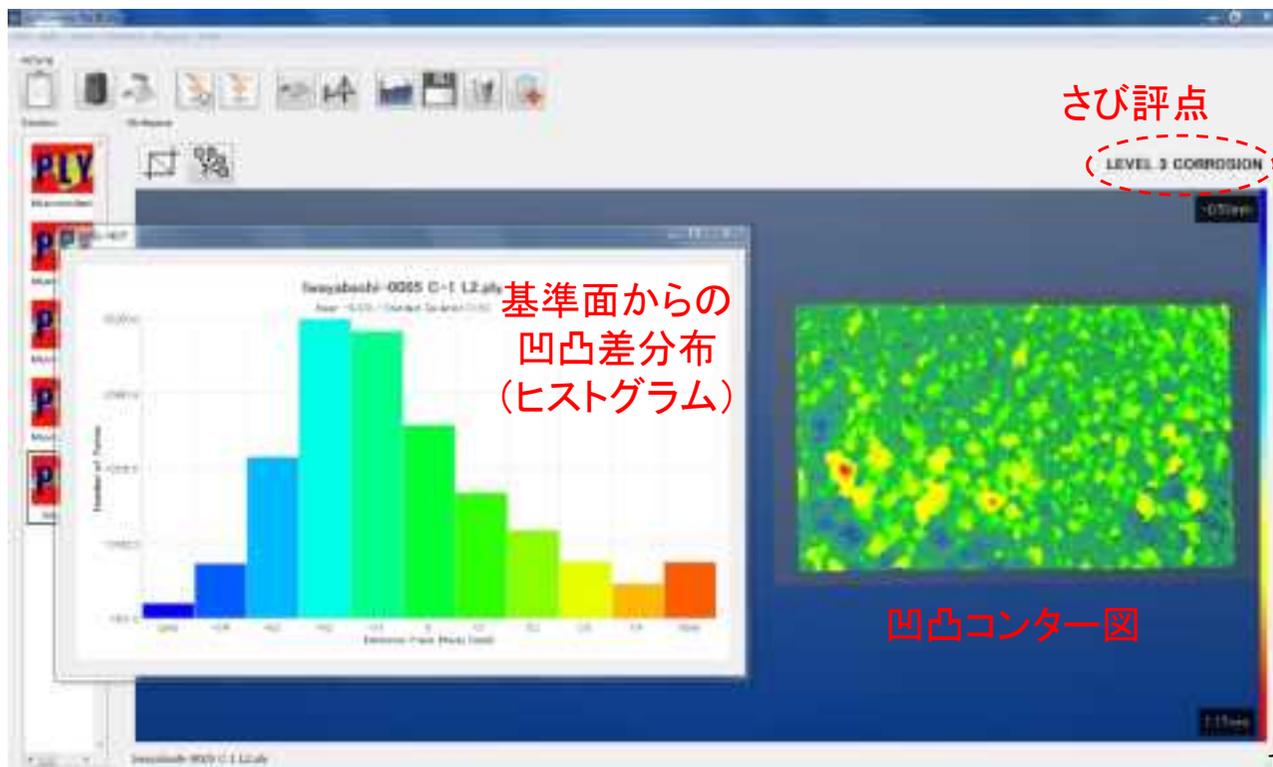
2-1 画像処理とさび厚測定を用いた 腐食状態の計測・評価技術の開発

3D計測の概要

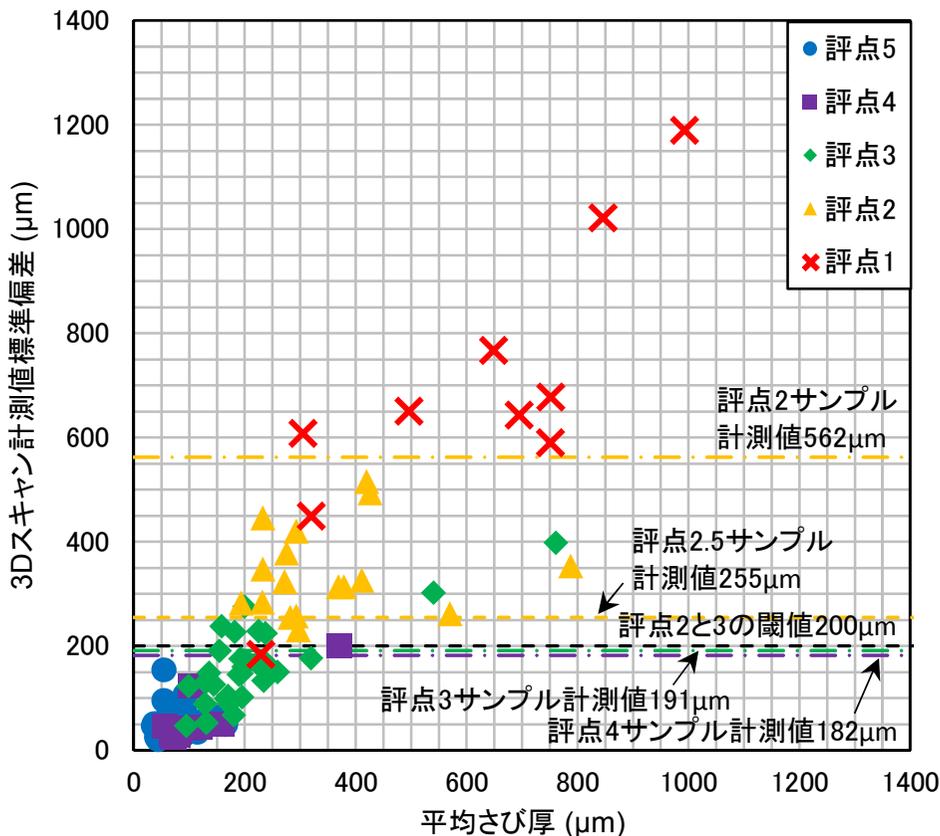


- ① 凹凸分布の出力
- ② さび評点の判定

項目	仕様
製品名称	3DSL-Rhino-02
3次元計測方式の分類	構造化光法
計測対象範囲	80×130mm
対物距離	160～240mm
XY方向(平面)分解能	200 μ m
Z方向(奥行き)分解能	30 μ m以下
データ取得所要時間	0.08秒 (300fps)
3次元座標数	最大300,000
3次元座標計算時間	約1～3秒
寸法	300×158×155mm
重量	2.4kg (ケーブル込)



3D計測の成果(追加検証)



表面凹凸のばらつき



樹脂模型さび

耐候性鋼材の今後の処置の要否判定 (外観評点2と3の線引き)

【従来手法】
外観目視による判断

【提案手法】
3Dスキャン標準偏差 200 μm を閾値とする



外観評点3
さびの大きさは1~5mm程度で細い。
(今後の検査目安: 不要) (約400μm未満)

200 μm未満



外観評点2
さびの大きさは5~25mm程度のものが多くある。
(今後の検査目安: 経過観察) (約300μm未満)

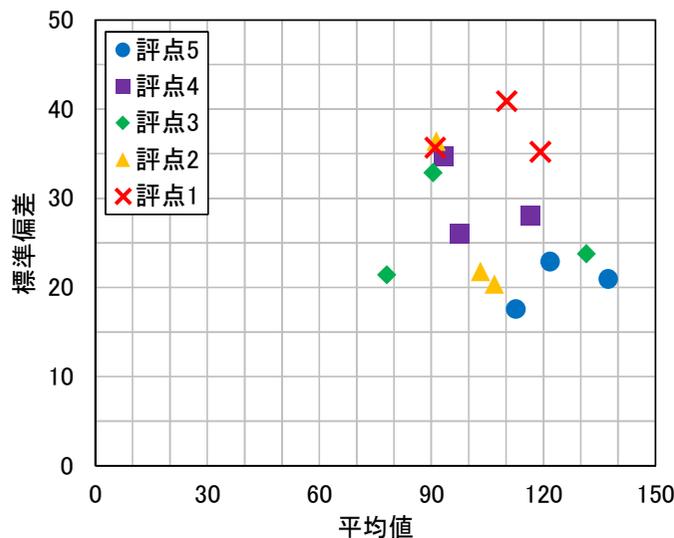
200 μm以上

すでに実装済みで現場で使用可能

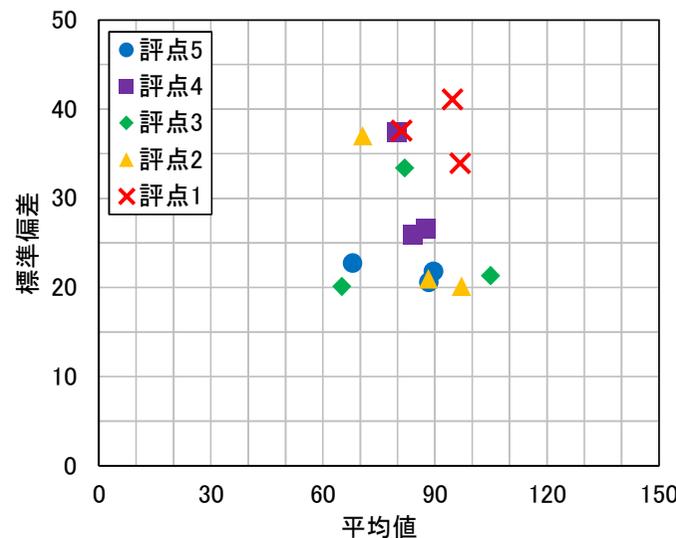
さび画像の色調分析

外観評点	さびの状態
5	色調は全体的に明るく黄褐色でまだら状である
4	色調は暗褐色で色むらはない
3	色調は暗褐色から褐色で色むらはない
2	色調は暗褐色から褐色でやや色むらがある
1	局部的にさまざまな色調(激しい色むら)がある

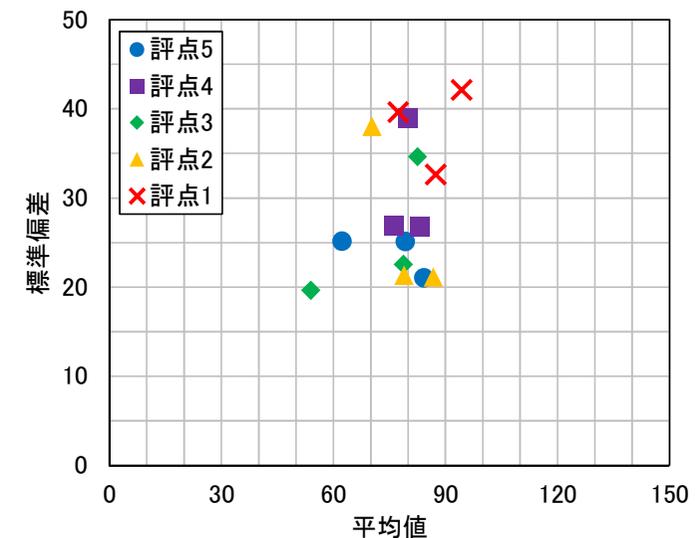
- 取得したさびサンプルデータのうち、外観評点1～5の15種類のさび画像を対象とした
- 分析にはAdobe Photoshop Ver. 19.1.5を用い、各画像の計測枠内におけるRGB値および各標準偏差を出力



R値



G値



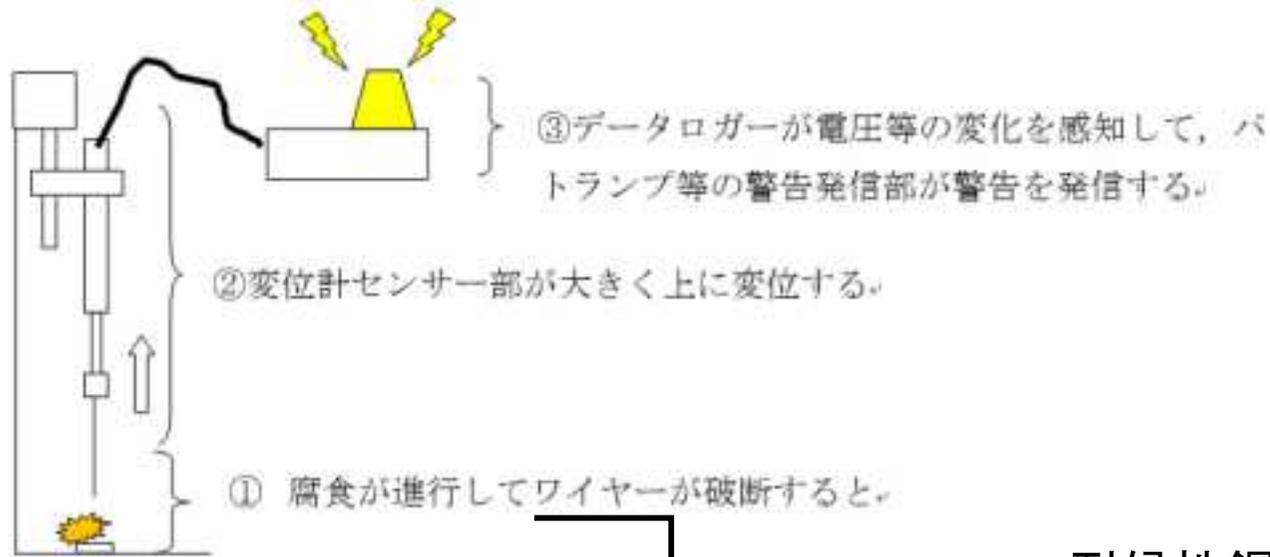
B値

- RGBいずれの値で整理した場合も明確な傾向見られなかった
 - 画像の明度によってRGB値が変化する
- これによるさび判定評価は難しく、現状では色調による評価は使えない

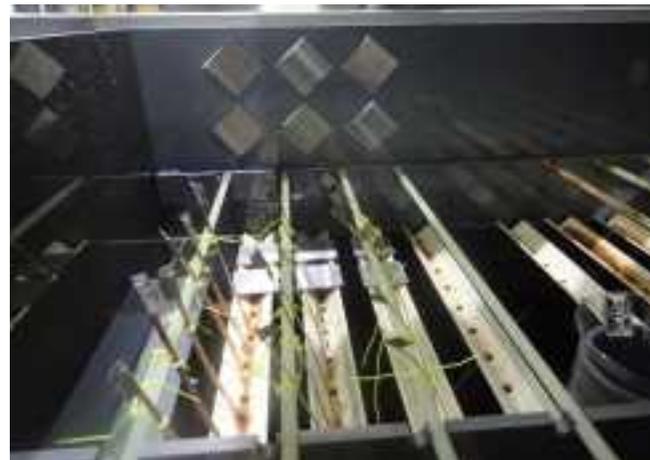
2-2 定期点検の点検間および点検精度を補完する簡易で安価なモニタリング技術の開発

犠牲腐食材の検討

・ワイヤー+変位計+ロガー

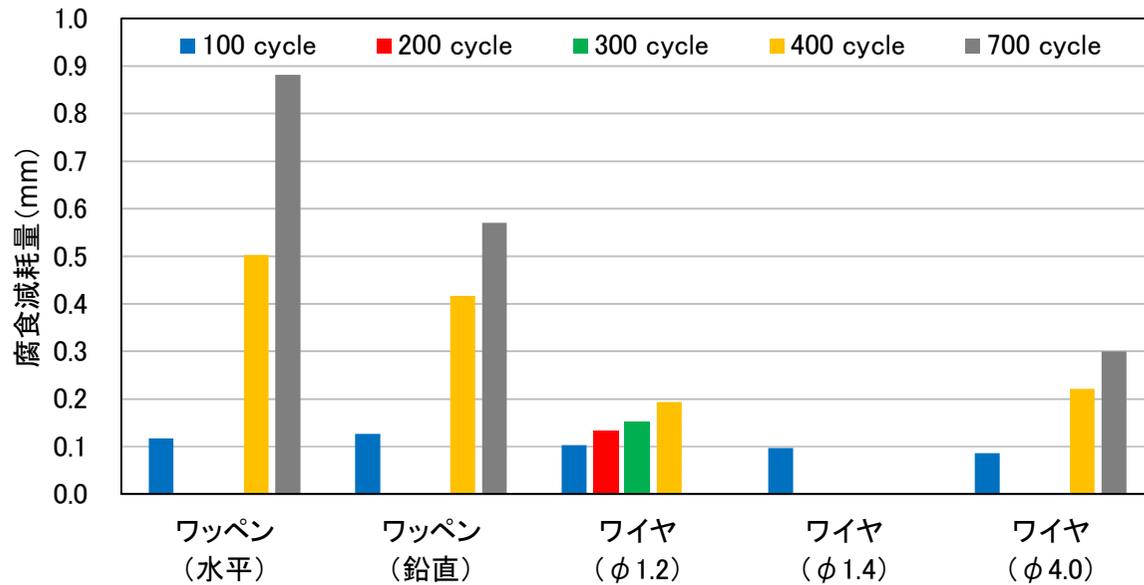


耐候性鋼用の溶接ワイヤを使用

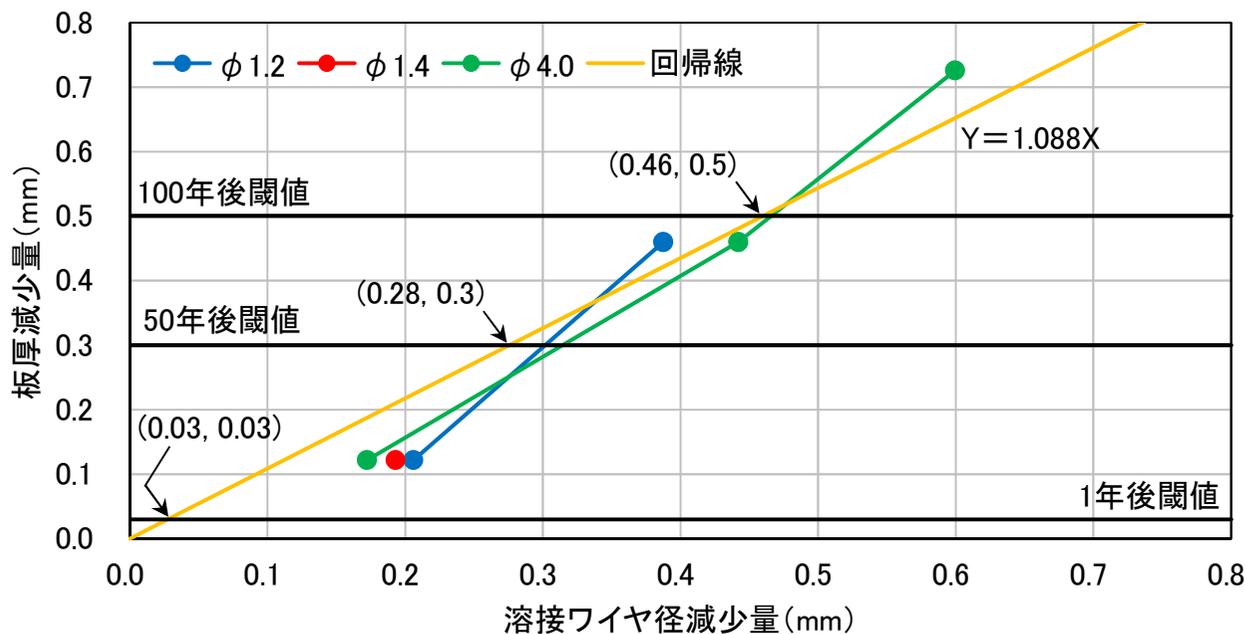


腐食促進試験を実施
ワイヤ径や種類をパラメータとした

腐食促進試験の結果



- φ 1.2とφ 1.4で腐食量に差が出た → 表面メッキの種類の影響
- 重量減少量から算定した径減少量より、板厚減少量への換算が可能であることがわかった



→ 今後、実装に向けての課題が残る

まとめ

- 恒温恒湿実験の結果，腐食電流量は付着塩分量と温湿度に相関した。ワッペン試験の結果，腐食減耗量は付着塩分量と濡れ時間に相関した。以上より，**付着塩分量と温湿度による腐食予測の可能性**を見出した。
- 耐候性鋼さびの3D計測の結果，**さび凹凸値標準偏差 $200\ \mu\text{m}$** を，さび外観評価において重要な**評点2と3の判定基準**として設定できる**可能性**を見出し，評価プログラムの開発を行った。
- 犠牲腐食材の腐食促進試験の結果，**溶接ワイヤ径減少量からワッペン試験片板厚減少量の換算が可能**であることが分かったが，実装に向けては課題が残った。