

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

工学研究科市民工学専攻 橋本国太郎

研究体制

- 神戸大学: 橋本国太郎 (PL)
- 富山大学: 鈴木康夫
- (株)横河ブリッジホールディングス
荒川淳平, 中辻亘, 鈴木克弥, 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
・富山大学: 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

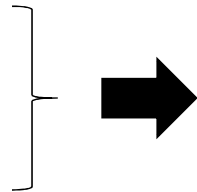
- 耐候性鋼橋梁の濡れ時間および付着塩分計測による簡易な腐食環境計測技術の開発(WG1)
- 画像処理技術および犠牲腐食(鋼)材を用いた定期点検を補完するモニタリング技術の開発(WG2)

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) **直接桁を測る**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センサー**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

耐候性鋼のさび外観評点、ならびに今後の処置の目安を示します。

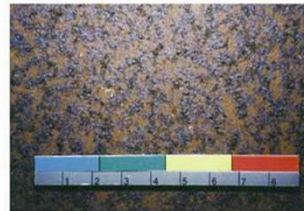
外観評点3～5：良好であり、そのまま引き続き使用できます。

外観評点2：さび外観の変化を継続観察する必要があります。

外観評点1：板厚測定し板厚減少量が大きく設計応力上近い将来に問題になると予測される場合は補修が必要です。

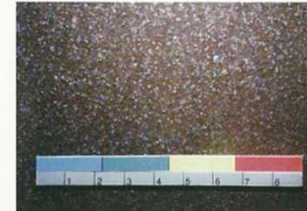
各評点の代表的なさび外観(架設後10年以上経過した橋梁での事例)(*1)

外観評点5



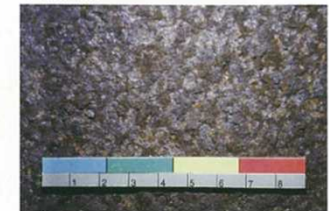
さびの量は少なく、比較的明るい色調を呈する。
[今後の処置の目安：不要] (約 200 μ m未満)

外観評点4



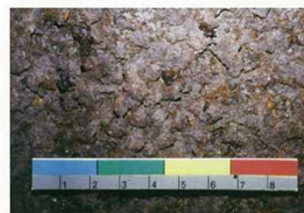
さびの大きさは1mm程度以下で細かく均一である。
[今後の処置の目安：不要] (約 400 μ m未満)

外観評点3



さびの大きさは1～5mm程度で粗い。
[今後の処置の目安：不要] (約 400 μ m未満)

外観評点2



さびの大きさは5～25mm程度のうろこ状である。
[今後の処置の目安：経過観察要] (約 800 μ m未満)

外観評点1

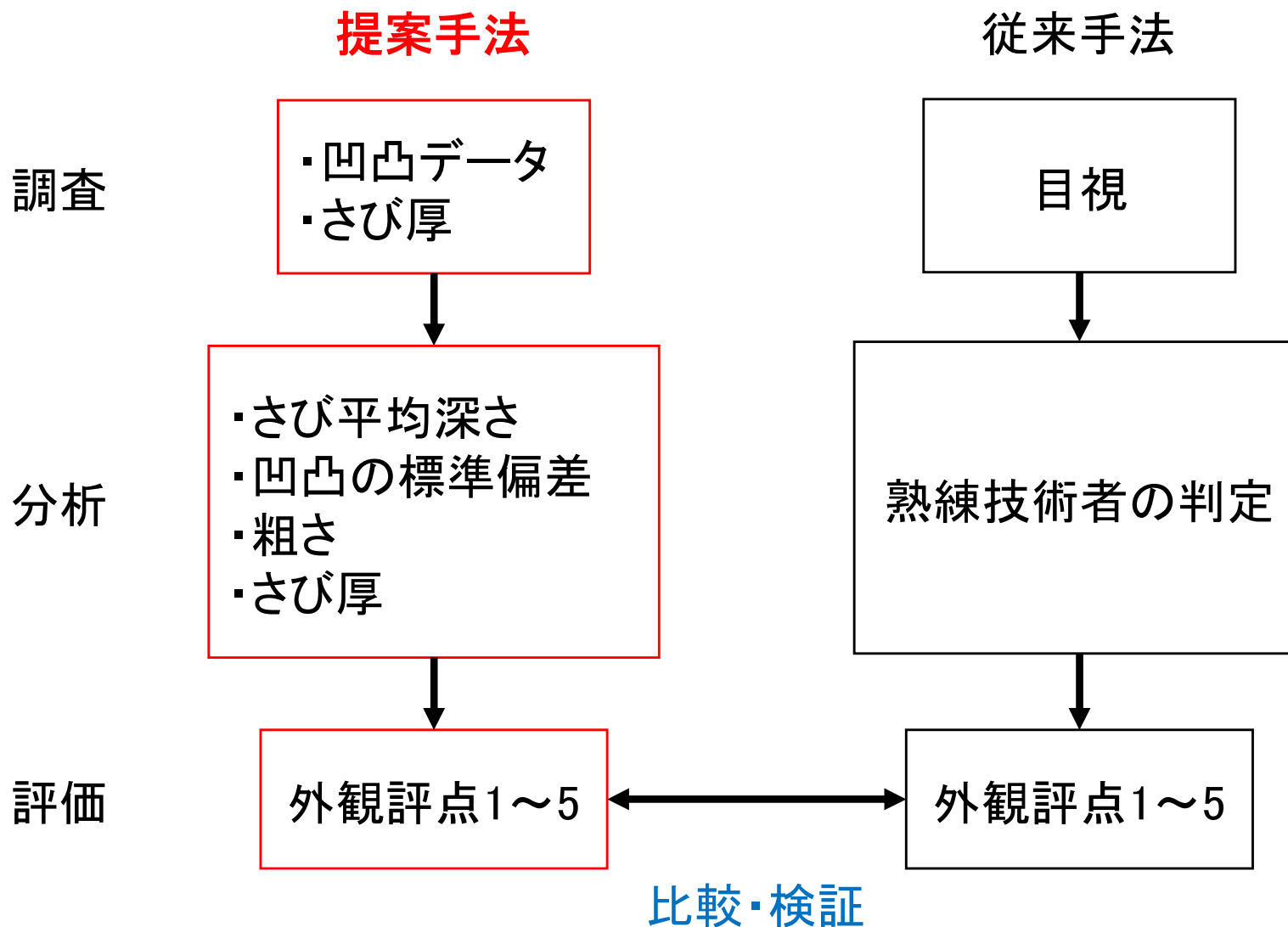


さびは層状の剥離がある。
[今後の処置の目安：板厚測定] (約 800 μ m起)

*() 内数値は外観評価の補助手段として測定したさび厚さの目安を示す。

さび外観評点の事例

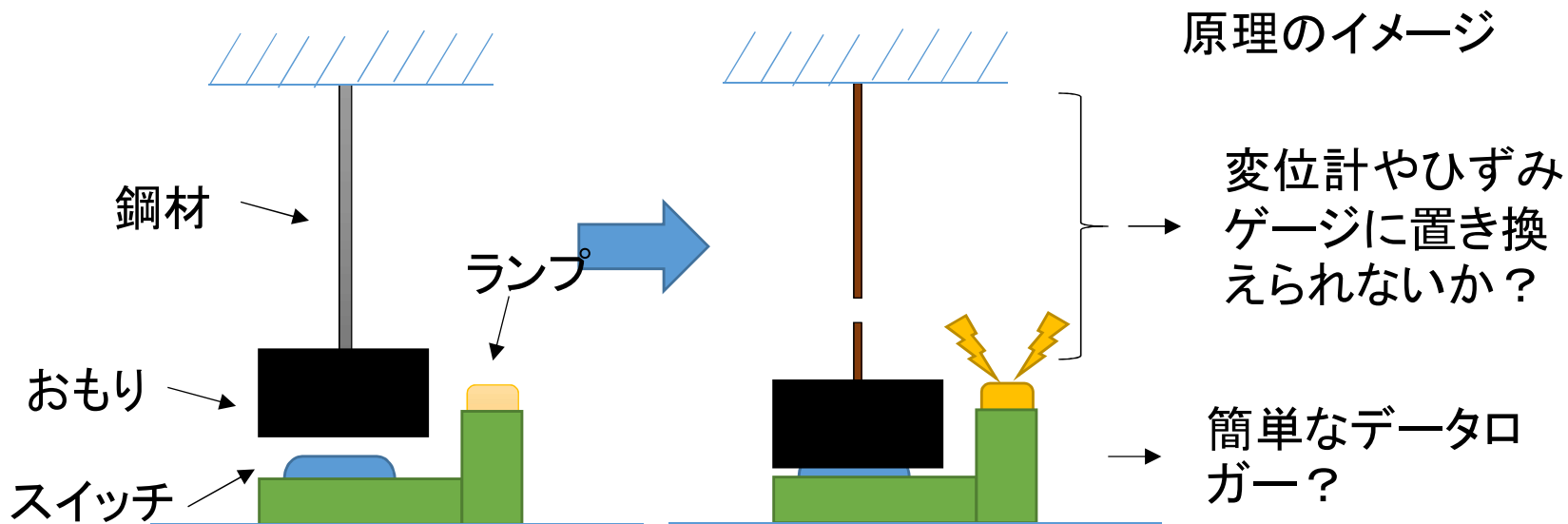
提案手法と従来手法



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

昨年度実施した複合サイクル試験機では試験機内で風が循環するためその影響が入ったことや葉面濡れセンサの測定精度があまりよくなかった。

- 恒温恒湿槽内に温湿度ロガー，濡れセンサ，ACMセンサなどを設置
- 試験パラメータとして温度，湿度，風の有無（小型扇風機を設置）など



- 温湿度ロガーから濡れ時間を予測できるようにする
- 温度や風の影響も考慮



恒温恒湿槽



葉面濡れセンサ
→昨年度用いたが閾値を決めるのが難しかった



楕型濡れセンサ
を新たに設置

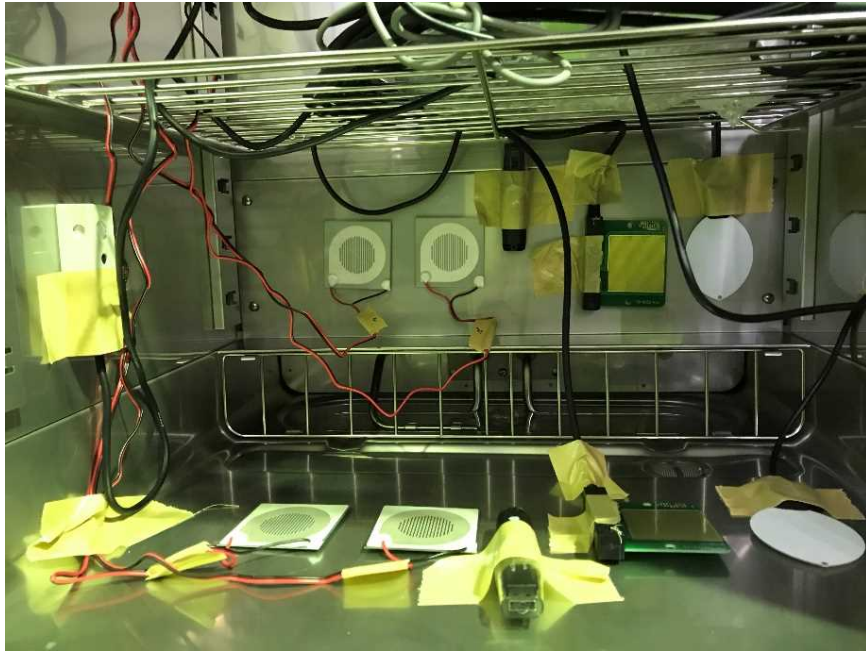


ACMセンサ



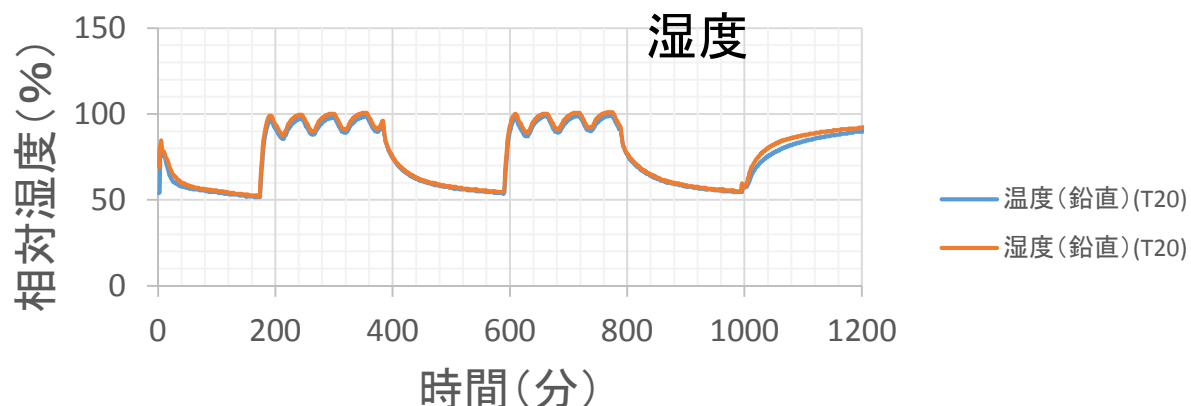
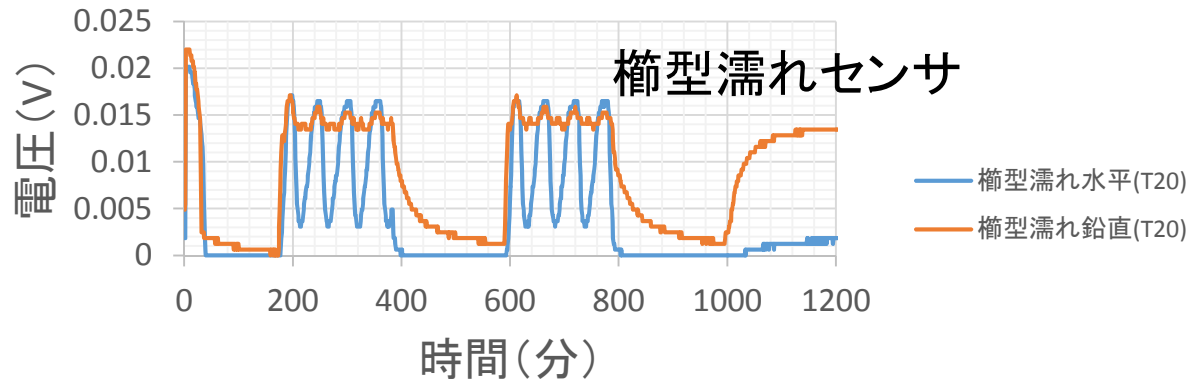
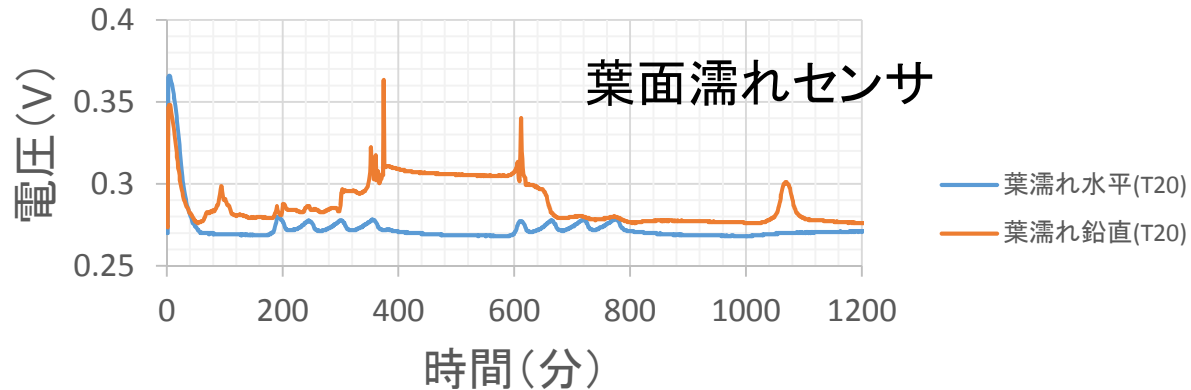
温湿度ロガー

試験結果の一例

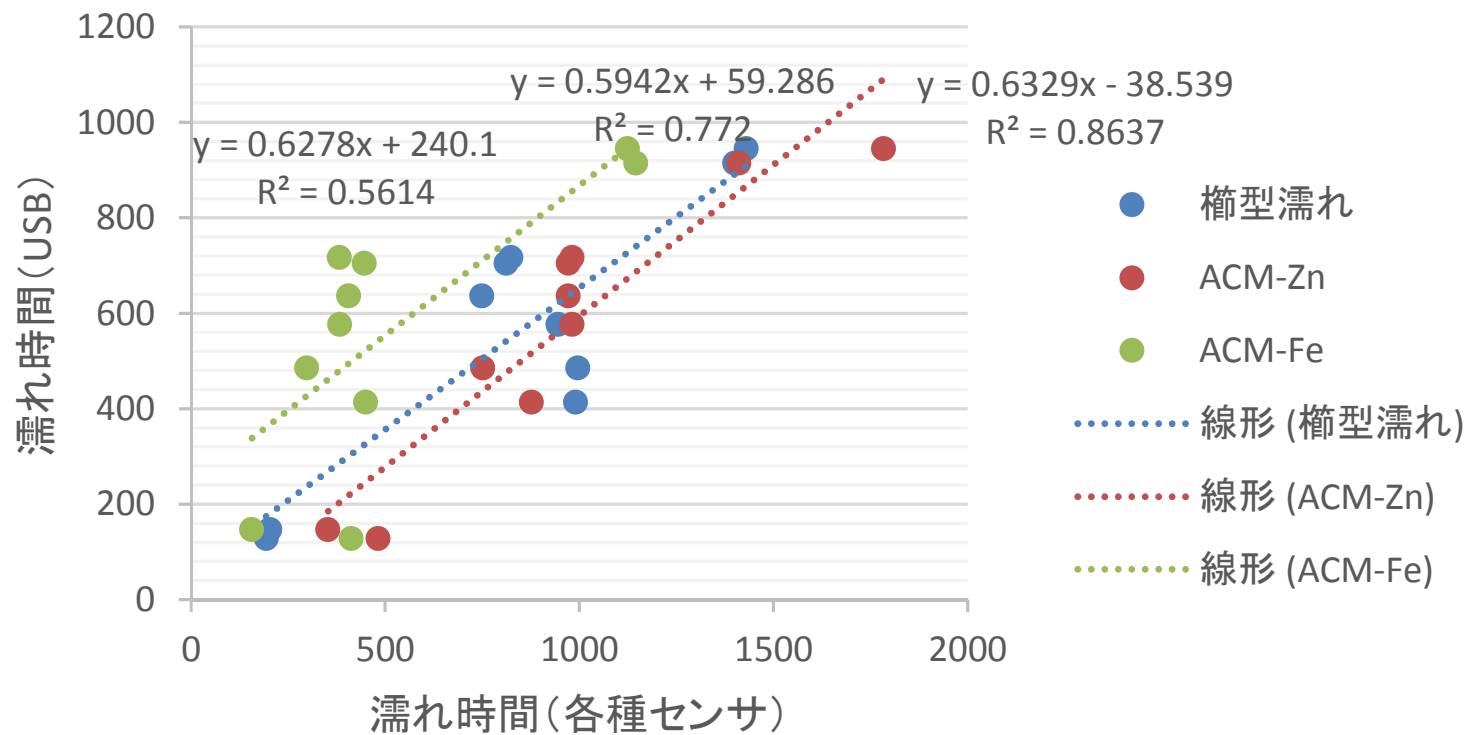


恒温恒湿槽内でのセンサの設置状況

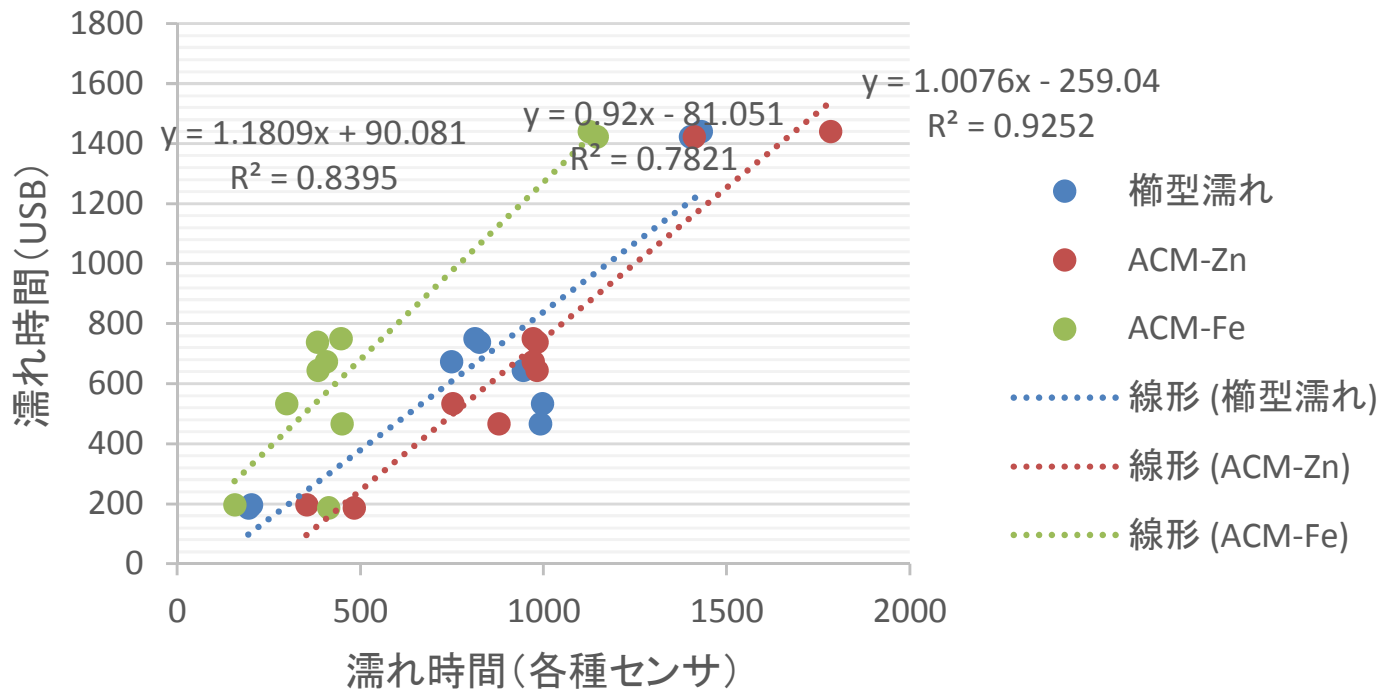
センサは鉛直方向と水平方向にそれぞれ設置



葉濡れセンサより楕型センサのほうがより湿度との相関が良い
楕型センサのほうが閾値がわかりやすい



USB温湿度ロガーの湿度を80%以上のときに濡れ時間として計算した場合



USB温湿度ロガーの湿度を70%以上のときに濡れ時間として計算した場合

→こちらのほうが全体的に相関が強く傾きも1.0に近くなっている

ワッペン試験概要

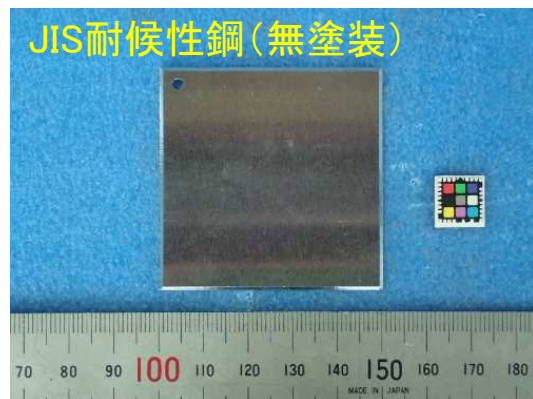
既設橋に設置



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

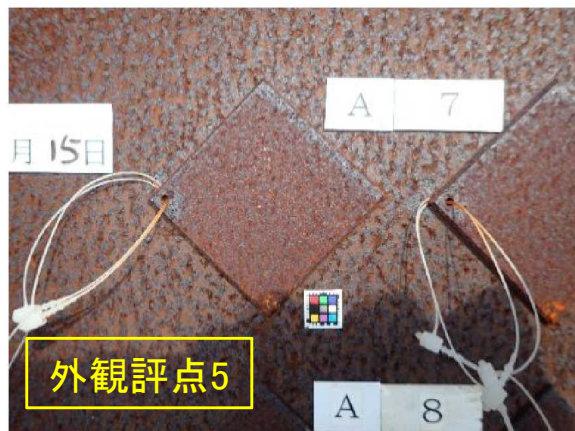


曝露試験片設置橋梁

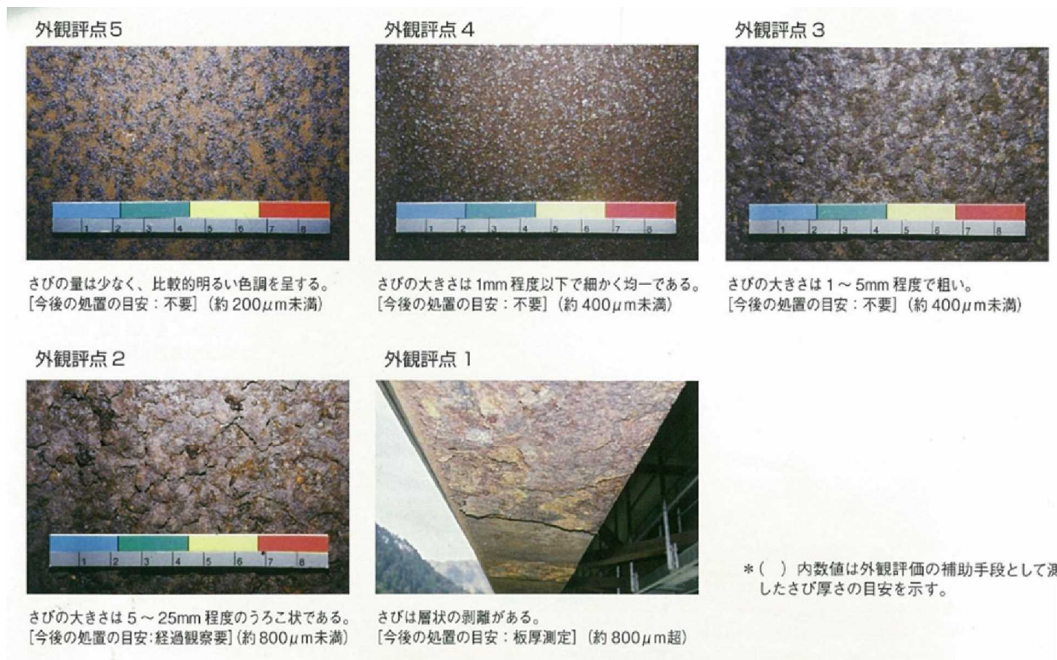
※日置小橋のみ塗装橋, 他は耐候性鋼橋梁

1年目ワッペン試験結果(一例)

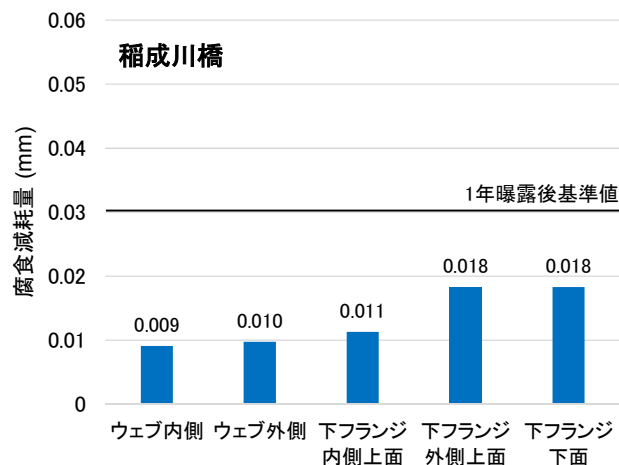
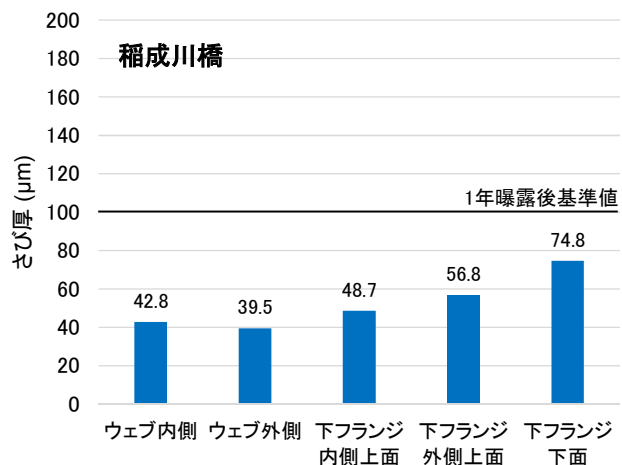
【外観評点】



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】

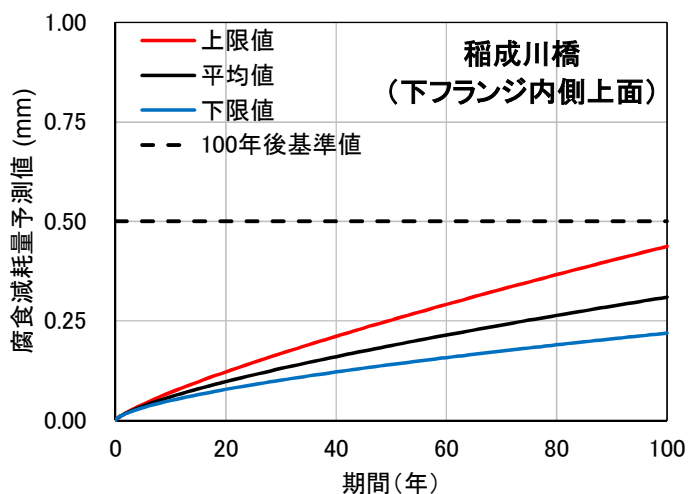


さび厚と腐食減耗量
⇒ ほとんどの試験結果が1年目基準値未満

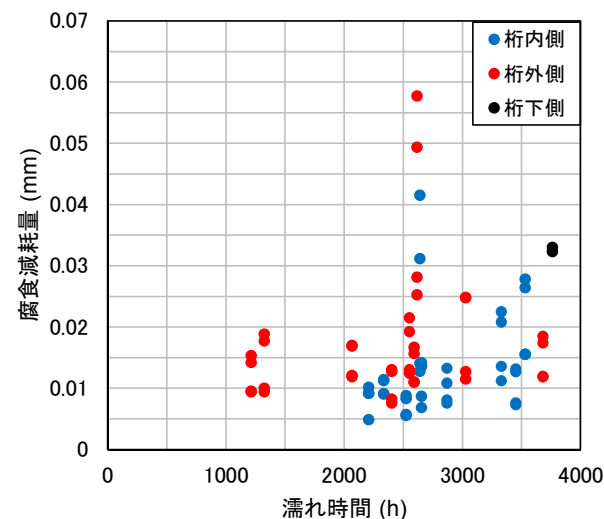
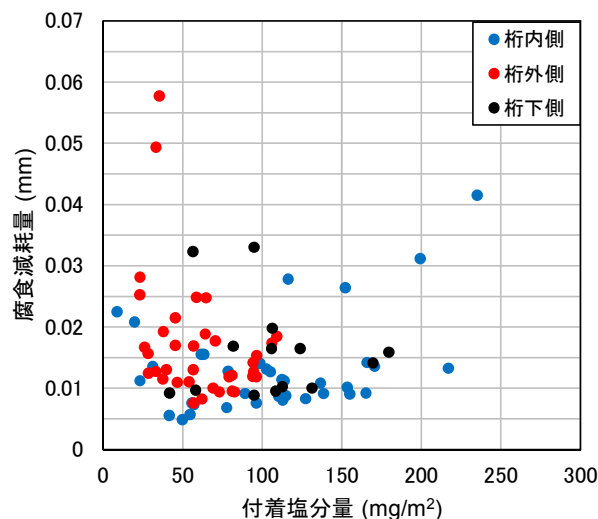
部位別の腐食環境
⇒ ウェブに比べ下フランジの腐食環境が悪い

1年目ワッペン試験結果(一例)

【腐食減耗量予測】



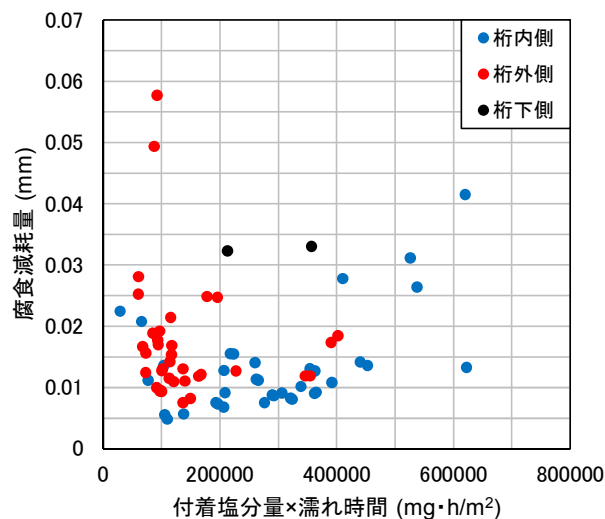
【腐食減耗量と付着塩分量・濡れ時間の関係】



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 ⇒ ばらつきが大きい

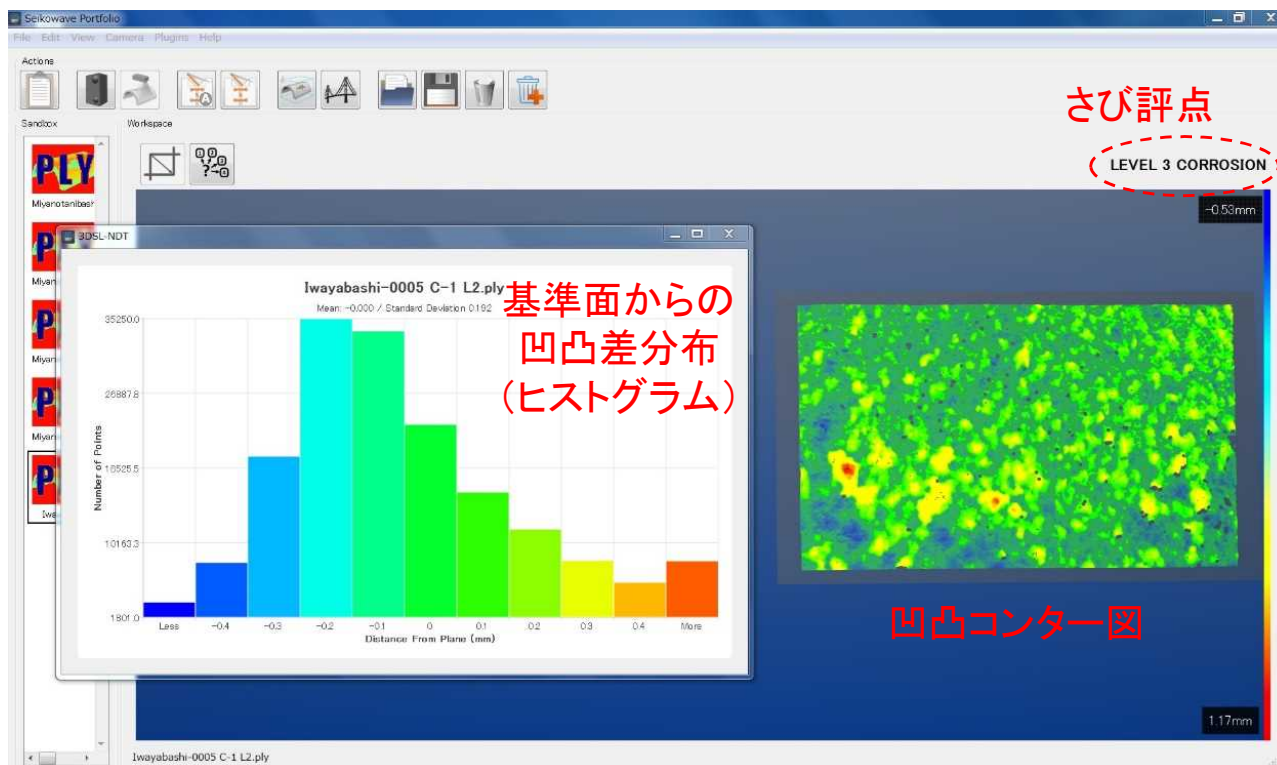
2-1 画像処理とさび厚測定を用いた 腐食状態の計測・評価技術の開発(進 捗状況)

3D計測の概要

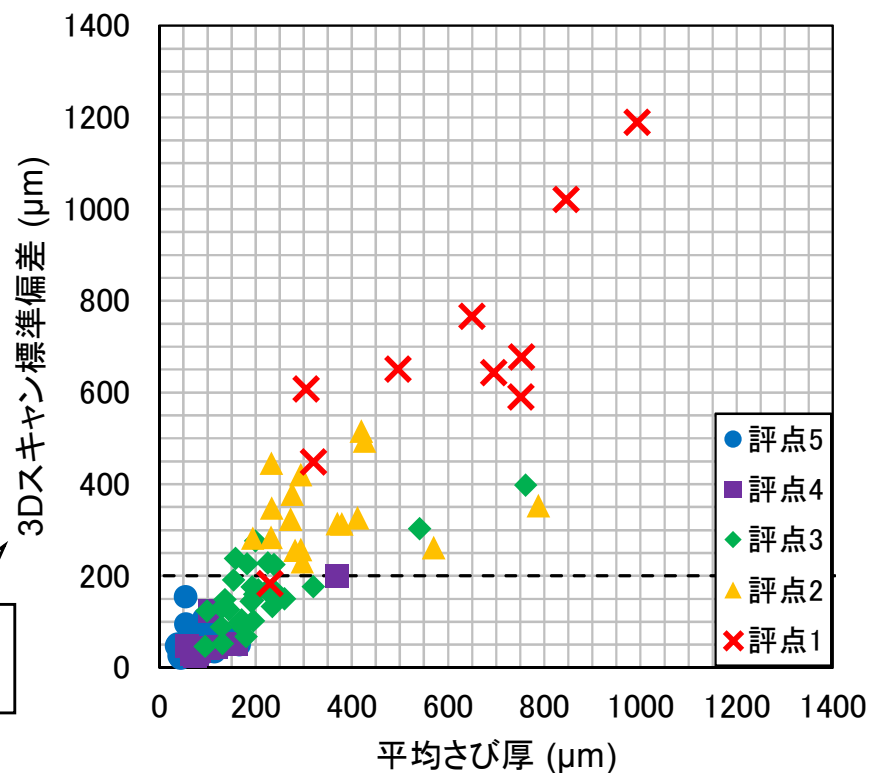


- ① 凹凸分布の出力
- ② さび評点の判定

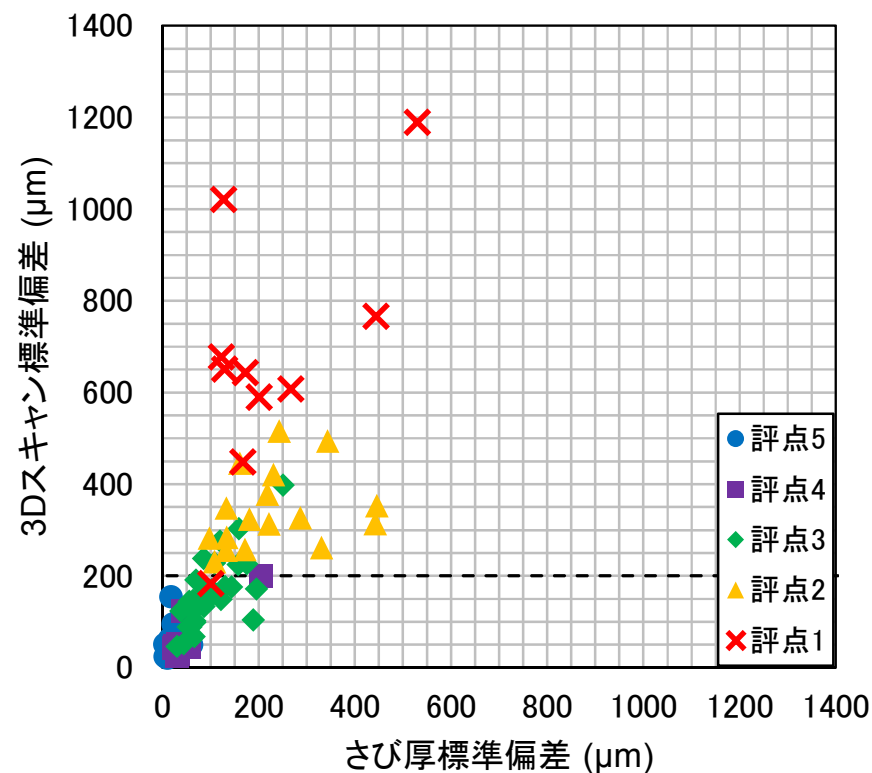
項目	仕様
製品名称	3DSL-Rhino-02
3次元計測方式の分類	構造化光法
計測対象範囲	80 × 130mm
対物距離	160～240mm
XY方向(平面)分解能	200 μ m
Z方向(奥行き)分解能	30 μ m以下
データ取得所要時間	0.08秒 (300fps)
3次元座標数	最大300,000
3次元座標計算時間	約1～3秒
寸法	300 × 158 × 155mm
重量	2.4kg (ケーブル込)



3D計測の成果



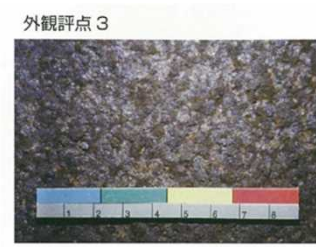
表面凹凸
のばらつき



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)

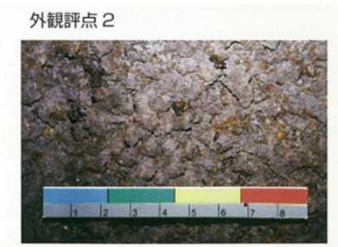
【従来手法】
外観目視による判断

【提案手法】
3Dスキャン標準偏差
200 μmを閾値とする



さびの大きさは1~5mm程度で粗い。
[今後の処置の目安: 不要] (約400μm未満)

200 μm未満



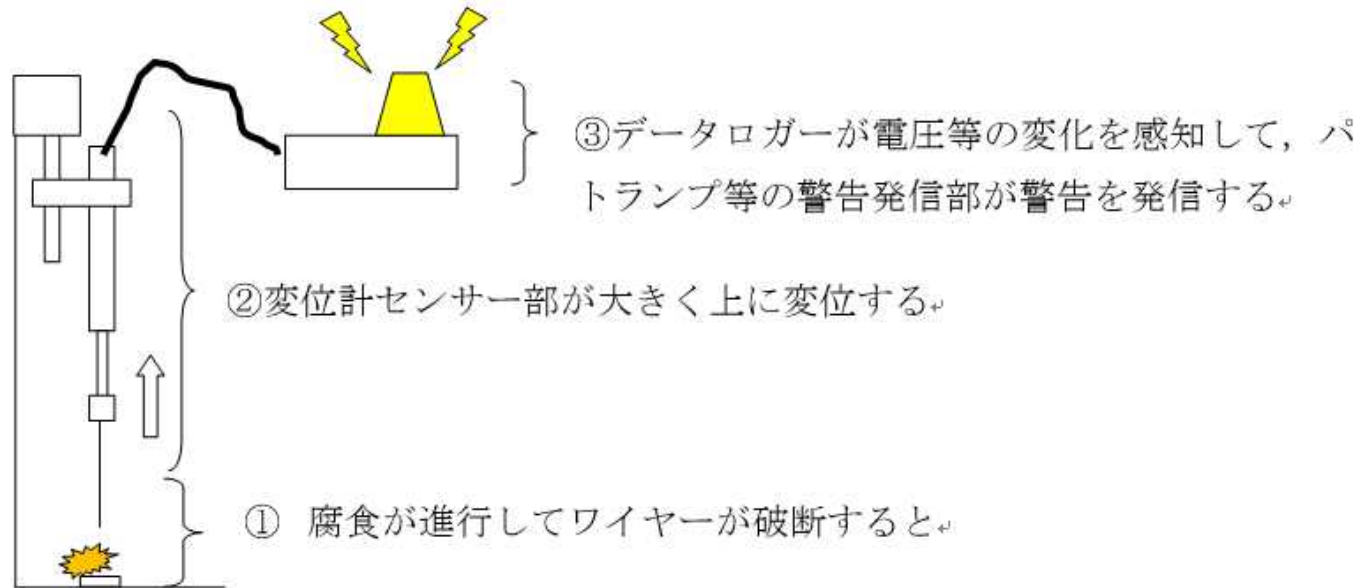
さびの大きさは5~25mm程度のうろこ状である。
[今後の処置の目安: 経過観察要] (約800μm未満)

200 μm以上

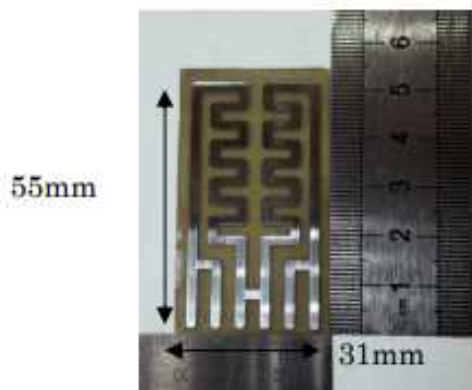
2-2 定期点検の点検間および点検精度を補完する簡易で安価なモニタリング技術の開発

犠牲腐食材の検討

・ワイヤー＋変位計＋ロガー(一昨年度考案)



・金属抵抗素子＋ロガー(昨年度考案)



- ・金属が腐食し断面が減少すると抵抗値が変化(大きくなる)する
- ・この原理を用いて腐食をモニタリング

- ・鋼製の抵抗素子とすると250 μ m程度の厚さ
- ・様々な金属で抵抗素子は製作できるが、まずは鋼を使用

腐食促進試験の実施

- 昨年度使用した複合サイクル試験機を使用
- ISO基準のS6サイクル*の腐食促進試験を実施
 - 5%塩水噴霧(0.5h) → 湿潤(1.5h) → 熱風乾燥(2h) → 温風乾燥(2h)
 - 100, 500, 1000サイクルで回収
- 昨年度末から今年度にかけて試験を実施する予定



今後の工程

- ワッペン試験・室内試験の結果を用いて腐食環境計測技術の具体的な検討
- ワッペン試験の継続
 - ⇒ 曝露試験片の回収時期(残り2回分)を3年目, 5年目として継続
- 3D計測システムの無線化
 - ⇒ 3Dスキャナと計測用PCを無線接続し, 作業性を確認する。
- 近接が困難な箇所での3D計測手法の検討
 - 例) 桁下/橋面上から伸縮アームを取付けた3Dスキャナを上げ/降ろし, 桁表面を3D計測する(マグネット固定?)。
- 犠牲腐食材の腐食促進試験の継続

以上, ご清聴ありがとうございました