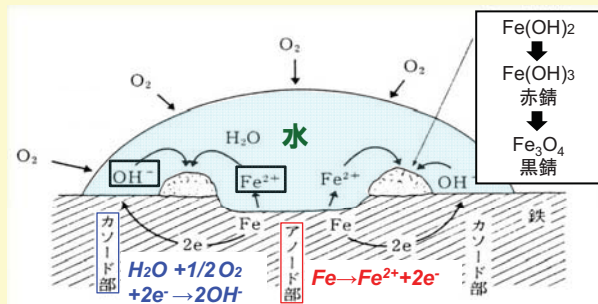




鋼道路橋の腐食損傷に対する 対策の課題と 研究開発の方向性

九州大学 貝沼重信

腐食発生メカニズム



塩が付着した場合
潮解作用などにより腐食促進

鋼橋の経年劣化の主要因

疲労

腐食



腐食要因のキーワード

■酸素 O₂

■水 H₂O
(雨水の漏水・滞水, 結露, 土砂堆積)

■塩 NaCl, CaCl₂
(海塩, 凍結防止剤, 融雪剤)

①腐食損傷事例

②防食対策の課題

③研究開発の方向性

不適切な設計・施工

ボルト継手部
コンクリート地際
異種金属の接触
不十分な素地調整

腐食環境の悪化

漏水・滞水
塩の付着・蓄積
土砂堆積・植生・鳥糞堆積

①腐食損傷事例

コンクリート地際

進行が著しい
危険な腐食損傷

コンクリート地際 下路トラス橋

2000/10



2004/7



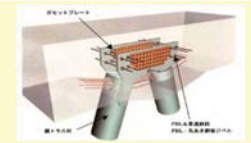
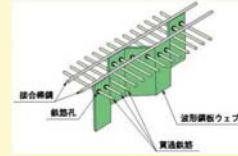
2007/6



波形鋼板ウェブPC橋



鋼・コンクリート 複合トラス橋



今後、懸念される
コンクリート地際部位

異種金属の接触

アルミ・ステンレス・鋼の接触



部材のこぼ面、コーナー部



不十分な素地調整

不十分な素地調整 塗膜早期剥離



場合によっては、
腐食進行が加速

漏水・滞水

桁端部・支承部

漏水・滞水



塩の付着・蓄積

鋼桁 内部



- ・多湿
- ・降雨の塩洗い流し無
→塩類蓄積



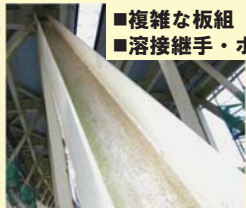
トラス弦材内部



飛来海塩の浸入・蓄積



- 複雑な板組
- 溶接継手・ボルト継手の集中



土砂堆積・植生・鳥糞堆積



②防食対策の課題

塗膜厚の確保

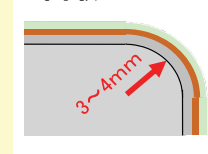


こぼ部の膜厚
一般部の20~30%



2mmのR面取り
⇒60~70%

R面取り



所定の塗膜厚確保
⇒3~4mm

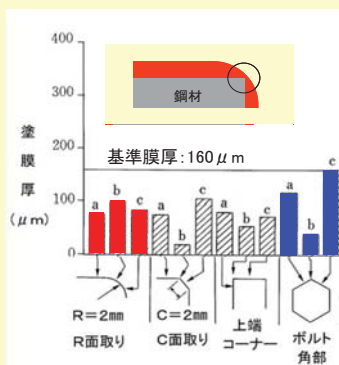
塗り漏れ? ⇒ 増塗り

①塗膜厚

こぼ面, コーナー部



ボルト・ナット部



※腐食損傷部のボルト添接補強

②素地調整

不十分な素地調整

⇒ 塗膜下に腐食生成物, 塩が残留

⇒ 塗膜の早期劣化, 場合により腐食促進



滞水



狭隘部→素地調整困難



バキュームブラスト

- 粉塵量少, 産廃量少
- ×ノズル先端形状→狭隘部困難
- 出力低→作業効率悪

オープンプラスト

- 比較的狭隘部でも可
- ×集塵, 防護が不可欠
- 作業環境悪



無塗装耐候性橋→塗装仕様に変更



ブラスト処理後に塗装

局部腐食発生

腐食生成物除去困難

ブリストルブラスター



狭隘部, 腐食損傷が著しい場合
→素地品質確保が困難

ブラスト後に塗装 十分な素地調整?

実橋 ブラスト直後 2日後



3年間水平暴露(琉球大学構内)
SM490A, 対地面
アルミナブラスト(約1MPa)

④複雑な板組・ボルト継手の集中部



③桁端部の漏水・滞水

- 長期止水は困難
- Fail Safe
- 滞水対策：早期排水
- 犠牲陽極防食の活用等

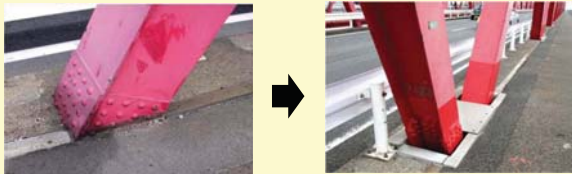


⑤防食対策の不適切な選定



土砂堆積，清掃不実施

水捌け→斜材地際周辺のRC床版の除去



⑦ 高圧水による洗浄



- 洗浄の時期（塗膜劣化度）・頻度？
- 洗浄部位？
- 腐食の遅延効果？，・・・

⑥ 構造形式

無塗装耐候性鋼橋

閉断面の採用？



⑧ 落橋防止装置，制震ブレース



- 維持管理性の低下
- 腐食促進
- 腐食による機能低下

③ 研究開発の方向性

① 腐食環境評価技術

様々な構造部位の使用年数・防食方法
・ 損傷度・腐食環境のDB化



着目部位の腐食環境をDBと照合



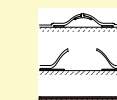
どのような環境で，どの防食方法であれば，
➡ 何年？で，どの程度に損傷が進行？
or 損傷が発生しないか？

腐食に対する効率的な維持管理

腐食環境評価，腐食損傷の経時性の予測，
腐食損傷部材の非破壊検査，防食技術，
残存耐荷力・補修補強

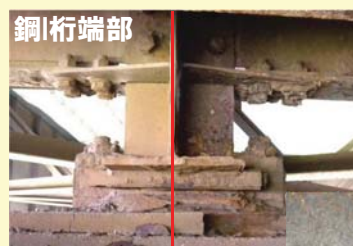
- 塗膜劣化
- 腐食反応
- さび組成
- 表面凹凸
- 部材耐荷力

- 化学
- 電気化学
- 材料科学
- 空間統計学
- 力学



個別研究 ➡ 学際研究

鋼桁端部



部位による差異大

➡ 腐食環境評価

- × マクロ環境
- ミクロ環境



腐食環境評価技術の開発

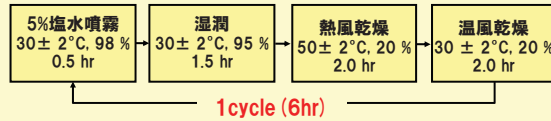


大気暴露試験 20種類の腐食環境



腐食促進試験

複合サイクル (JIS K 5600 サイクルD) 600~4800cycle



無塗装鋼板(普通鋼, 耐候性鋼),
塗装鋼板(人工欠陥), 溶接継手

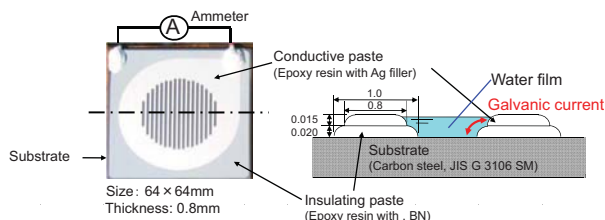


実構造物 橋梁, プラント施設など



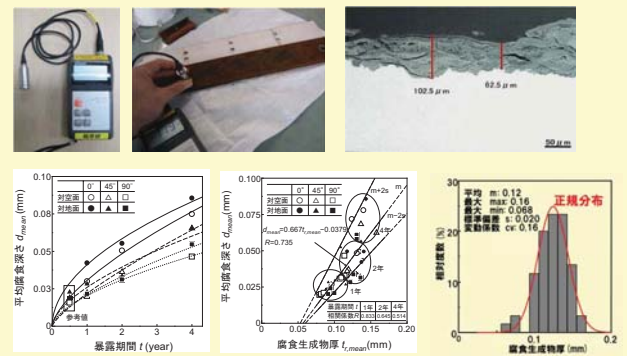
ACMセンサ(Fe/Ag対)

Atmospheric Corrosion Monitor (ACM) Sensor

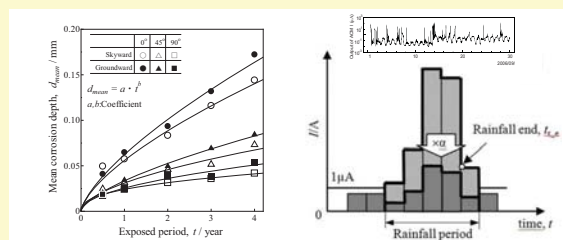


- Developed by National Institute of Material Science (NIMS)
- Evaluating the corrosivity of atmospheric environment
- Consisted of a Fe/Ag-galvanic couple
- ACM sensor generates galvanic current between Substrate and Conductive paste due to water film.

腐食生成物



ACMセンサによる平均腐食深さの予測方法



$$d_{\text{mean}} = 0.956 \cdot q \cdot t^b \text{ (mm)}$$

$$b = 5.67 \cdot q + 0.347$$

0.021 ≤ q ≤ 0.057 (C/day) q → ACM sensor

貝沼, 山本, 伊藤, 押川: 材料と環境, 60, pp.497-503, 2011.

②腐食損傷の経時性の予測技術

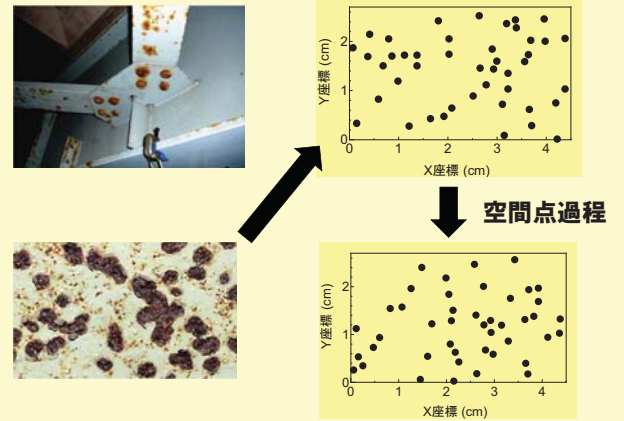
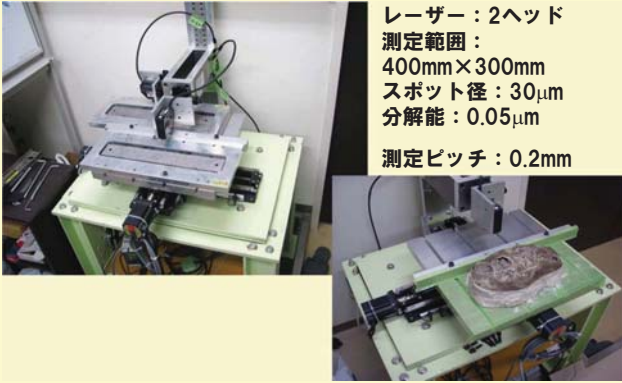
着目する構造部位レベルの
腐食環境データ
腐食センサ, さび厚, 腐食ゲージ, など

腐食環境と経時腐食損傷の相関

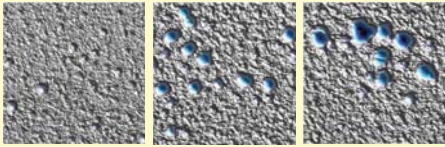
空間統計学的手法

腐食損傷の経時性の予測

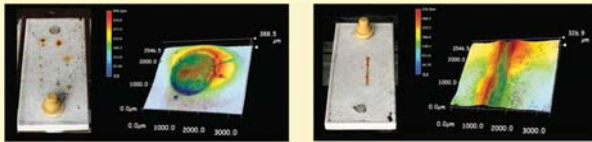
腐食鋼板の表面性状の測定



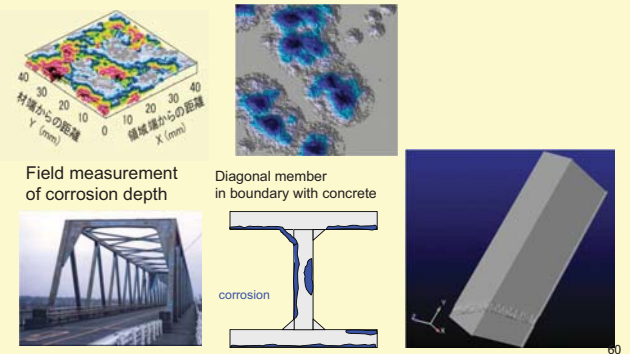
無塗装鋼板



塗装鋼板

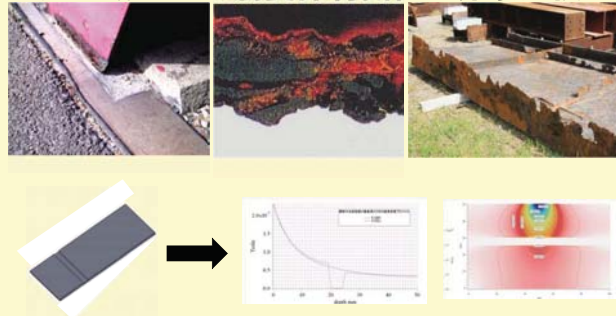


塗膜劣化と経時腐食の時空間統計連成シミュレーション



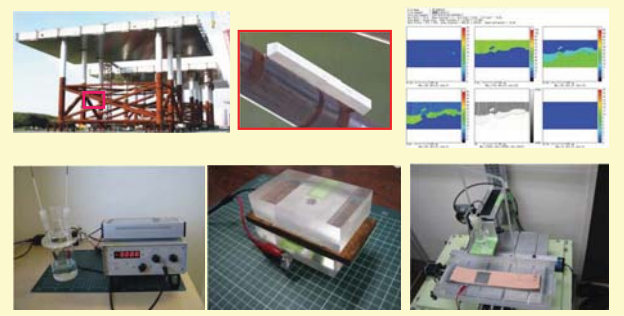
③腐食損傷部材の非破壊検査

腐食生成物上で腐食部材断面の非接触検査

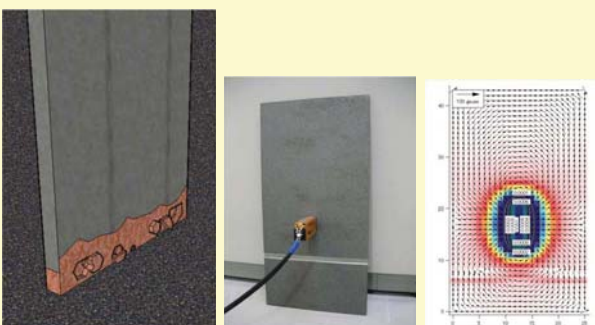


④防食技術

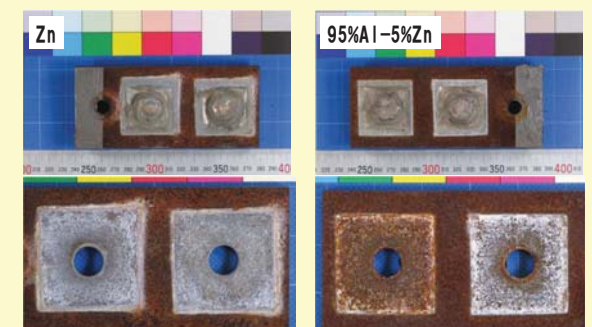
大気環境で機能可能な犠牲陽極防食



地際、コンクリート、土壌中の腐食減肉測定

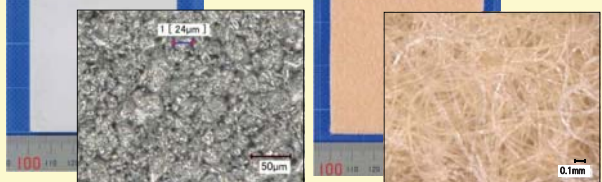


Zn・Al-Zn-銅 接触（琉球大学暴露1年）



多孔質焼結板

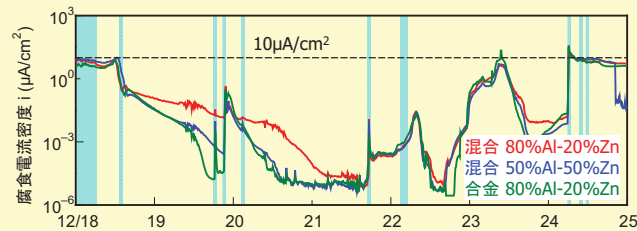
繊維シート



- Al-Znを高温で圧縮・焼結
- 吸水性
- 透水性
- 架橋型アクリレート繊維
- 吸水・保水性
- 密着性
- 緩衝性

腐食電流密度の経時変化

TYPE A: 犠牲陽極作用の有効範囲の検討



電位差により腐食電流が発生⇒犠牲陽極作用

防食に必要な電流密度 ⇒10µA/cm² ⇒ 降雨直後 ⇒防食必要量を確保

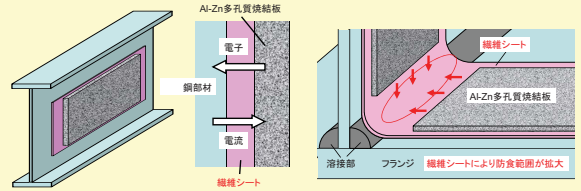
腐食部材の犠牲陽極防食技術

多孔質焼結板

繊維シート



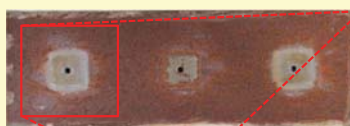
簡易な素地調整 → 海塩、凍結防止剤を含有した腐食生成物の付着



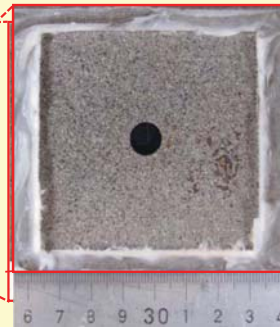
暴露後試験体

暴露試験体の防食状況 (混合粉 80%Al-20%Zn)

TYPE A

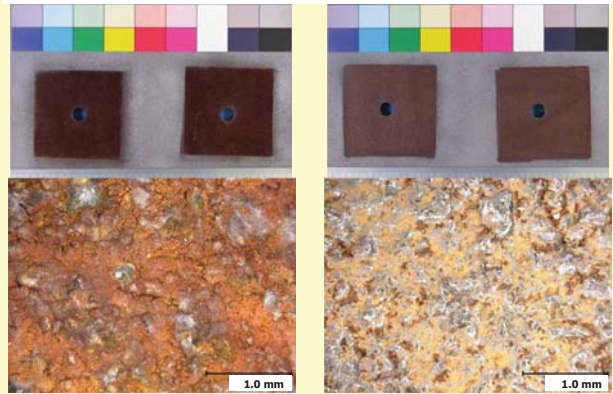


TYPE B

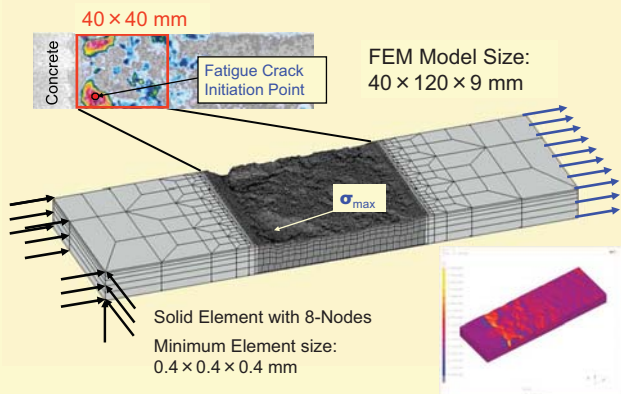


さび無除去

3種ケレン(ワイヤーブラシ)

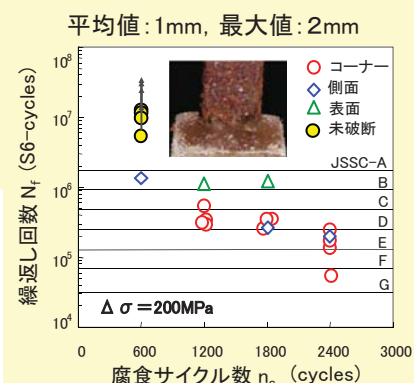
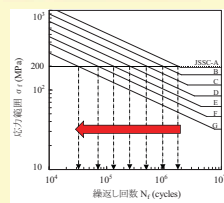
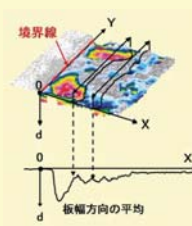
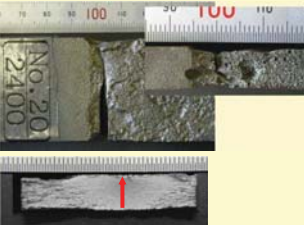
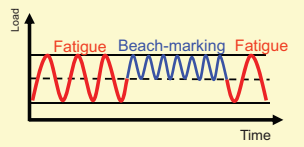


腐食部材の応力集中



⑤ 残存耐久性

腐食部材の疲労挙動

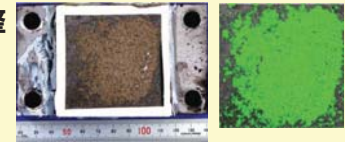
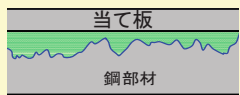


補修の検討

付着試験



表面凹凸, 素地調整



腐食損傷に対する勘違い

- ① 腐食進行による見かけ部材厚の増加
安心材料？, 部材断面欠損の確認困難



おわりに

一般部位

鋼桁の桁端部

さび除去前



さび除去後



- ② 再塗装すれば防食効果期待できる？

素地調整不十分 (塩や腐食生成物)

➡ 塗膜早期剥離, 腐食悪化する場合もあり

