

沖縄の耐候性鋼橋梁

耐候性鋼橋梁研究Gr：松崎靖彦，大屋 誠，清水開悟

1. 沖縄での研修

(1)経緯とスケジュール

中国地方の鋼構造研究者（学），鋼橋設計・製作者（産），中国地整（官）で構成する，中国地方耐候性鋼橋梁研究会（座長：山口大学 麻生稔彦教授）の研究の一環で，土木学会沖縄会設立に際した講演会（12月8日）とディスカッション，沖縄での耐候性鋼橋梁の視察（12月9日～10日）に参加してきました。

(2)沖縄の環境条件と辺野喜橋

月ごとの平均気象（図-1）によるとおり，夏場の高温多湿と年間平均気温 $T_m=23.1^{\circ}\text{C}$ （1981～2010）という高さとともに，周囲が海に囲まれ海塩粒子の飛来による過酷な腐食環境であることはご存じのとおりです。2009年には，“さびでさびを制す”という耐候性鋼の売りは発揮できず，単なる腐食で減肉，撤去工事に着手する矢先の辺野喜橋（耐候性鋼橋梁：建設後30年）の落橋というショッキングな事故が生じました（写真-1：後述）¹⁾。異常さびの生成と進行に対する適切な維持管理がなされていれば，もちろん防げた落橋です。幸い通行止めがしてあり人災はありませんでした。

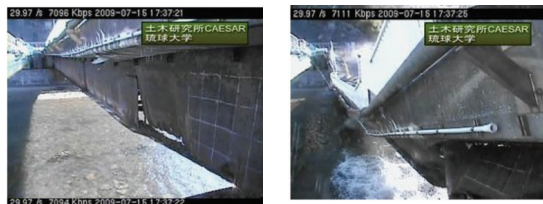


写真-1 辺野喜橋の落橋

鋼構造物にとって厳しい環境であることは，同時にコンクリート構造物にとっても塩害が厳しいことでもあります。

2. 橋梁視察

島内の中・南部の2つの曝露試験場と5橋を視察しました（図-2）。

(1)琉球大学，日鉄防蝕（株）の曝露試験場

琉球大学（12月8日）の曝露試験場は飛来塩分が $0.2\sim0.5\text{mdd}$ （ NaClmg ：捕捉ガーゼ面積 $10\text{cm}\times10\text{cm}=1\text{dm}^2$ ，365日計測後の1日（day）当たり換算の捕捉量として表示）だそうです。様々な形状の曝露試験片とともに落橋した辺野喜橋の残骸が並べてありました（写真-2）。

日鉄防蝕（株）第一曝露試験場（12月9日）は摩文仁の丘を遠望する南端にありました。海岸より200mほどのところ， $0.5\sim0.6\text{mdd}$ の塩分環境（写真-3）とのこと。沖縄各地には自動車会社や塗料メーカーなどのたくさんの曝露試験場があるそうです。

松江の2010年は特に厳しい塩分環境だったようで，第五大橋の桁内環境では約 0.5mdd ありました（島根県と松江高専の共同研究）²⁾。



写真-2 琉球大学の曝露試験場

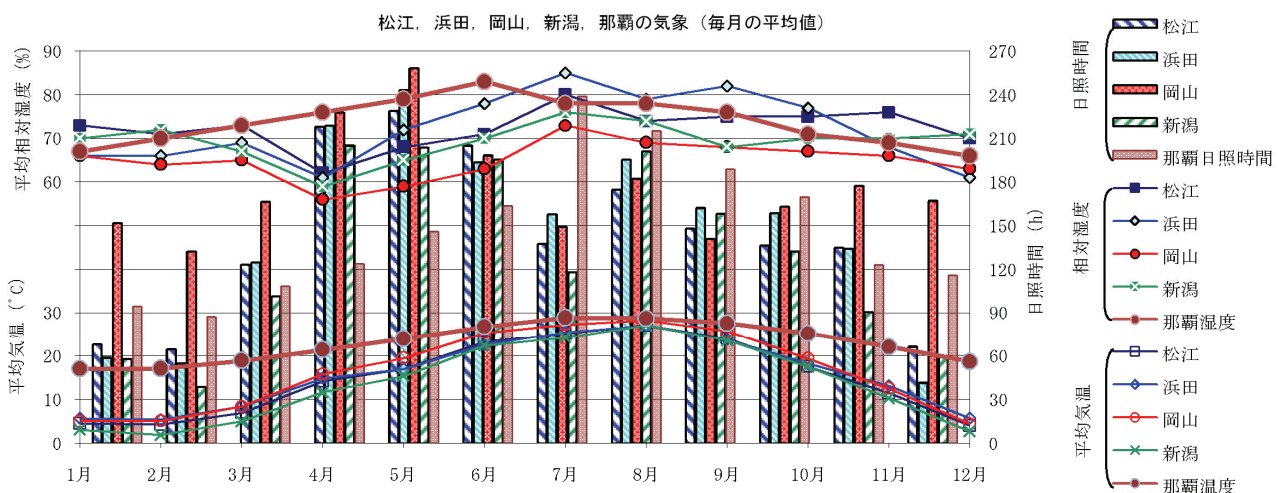


図-1 月ごとの平均気象（アメダスデータによる）

また日本海側の特有の腐食メカニズムに、相対湿度の高さから、冬場も梅雨時期と同様に腐食速度が大きくなることが分かっています³⁾。宍道湖周辺の環境がいかに厳しいか改めて思い知らされます。“日本海側の腐食環境を計測する”には意外にもウエスコ島根の社屋上に、“沖縄なみ”と題した曝露試験場を設けることができそうです。

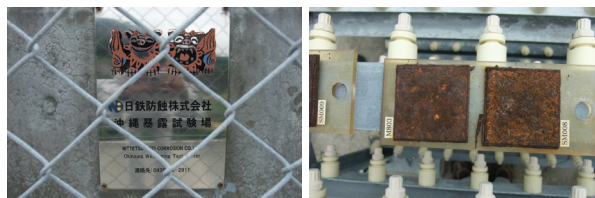


写真-3 日鉄防蝕（株）の曝露試験場

(2)おもろまち歩道橋

塩分環境に対応できるようJIS耐候性鋼へニッケル元素（Ni）を1～3%添加した、高Ni系の耐候性鋼材に『景観仕様』と称する処理が施されていました（皮膜厚：150～200 μ m、写真-4）。塗膜が風化し無くなった後は地肌に保護性のさびが形成されているという売りですが、単なる塗装橋梁と同様のさびが進行しており（竣工後7年）、このさび部分では保護性のあるさび形成は期待できない。またそもそも、シナリオどおり風化が進み保護性のあるさびに置き換わるがあったとしても、鉄さび色でまだら模様になっていると思われる表面状態の鋼板表面は美しいといえるか？景観配慮というコンセプトそのものに疑問を感じます。



写真-4 景観仕様-おもろまち歩道橋

(3)富祖橋

耐候性鋼材にウェザーコート処理（後述）が施されています。下フランジ上面や桁端部のウェブに、建設当初のものと思われるモルタル汁が付着、飛来したと思われる土砂の堆積がある。離岸距離が200～300mにも関わらず、木々等の遮蔽によってそれほど悪い状態ではないと思われました（竣工後27年、写真-5）。桁間ウェブで表面皮膜厚150～200 μ mを計測、処理皮膜



図-2 耐候性鋼橋梁調査位置図



写真-5 『通行止め』の富祖橋

の下で保護性のあるさびが形成されているように思われます。ただし、湿潤環境がより悪い橋台支承まわりに層状剥離さびの進行がありました。

土砂の堆積を取り除くことと橋座周辺の腐食環境を改善してあげれば、供用は問題なさそうに思われます。なぜか橋梁は車両通行止め、歩道橋として供用されており、調査に入っている様子でした。

(4)玉田橋

竣工後23年経過した、3径間連続桁の塗装された耐候性鋼橋（MIO+塩ゴム系中上塗装：塗膜厚250～300 μ m、写真-6）。太平洋が見通せる架橋地点ですが、両側径間を木立に隠されているため、中央径間を潮風が吹き抜ける環境にありました。よって桁端部より支間中央部の腐食環境が厳しいといった、一般の橋梁とは異なっ

た環境です。

支間部の桁間検査路の床材エキスパンドメタルは腐食が進行（点検危険）。下フランジ上面は土砂が堆積—風が強く吹き抜ける沖縄の橋梁ではよくある状況なのかも知れません。



写真-6 『潮風が吹き抜ける』玉田橋

(5) 泊大橋

那覇港近くの海上をわたる長大橋で、耐候性鋼＋エポキシ系中塗り・フッ素樹脂上塗りの塗装の橋梁（竣工後27年経過、写真-7）。ちょうど塗替え用の吊り足場施工中でした。

現道路橋示方書では、使われ方として外されていますが、塗装橋梁として耐候性鋼を用いる場合、塗膜下の鋼板表面の肌荒れは細かいため塗膜の寿命は長くなると考えられています。海上で約30年の塗膜寿命は、良く機能した結果と思われるのですが詳細は不明です。



写真-7 『ほとんど海上橋』泊大橋

(6) 普天間：佐喜眞美術館

2011年6月、沖縄の混声合唱団「アミーチ」松江公演で知り合った、佐喜眞さんと再会（写真-8）。普天間基地内にある土地を米軍から返還させ、私設の美術館を建設。丸木位里、俊さんから託された『沖縄戦の図』連作、ケーテ・コルビッツやルオーなどが展示されていました。「全国から修学旅行の中高生がやってくる、今日も昼から150人の高校生をお迎えする予定」とのこと。小ぶりながら美術館は素敵でした。

美術館の屋上からは普天間基地が一望できます。爆音がどれ程のものか体験できると思っていましたが、海兵隊はアフガンに行っているとのこと、コトリともせぬもぬけの殻でした。本土から来た人間はそんなことも知らんのかと内心で笑われたかもしれない。お恥ずかしや。



写真-8 佐喜眞館長とともに

3. 耐候性鋼の異常腐食の原因と対応

(1) 飛来塩による不具合と対応

落橋した辺野喜橋では桁内面で2.5～4.6mdd（2008年12月の一月間：琉球大学調査）¹⁾だったとされます。今回視察した、いずれの橋梁も海岸線から近い、または山間部にあっても海が見通せる架橋地点にあり、辺野喜橋ほどでないにせよ、相当高い飛来塩分環境であると思われます。鋼板表面に付着したCl⁻イオンは潮解性によって水を呼び、また水分を電解質に変えるため、腐食（保護性のないさび）を促進します。

耐候性鋼適用の現規定は、桁内での飛来塩が0.05mddを超えない（昭和から平成に年号が変わるころに研究）とされており、視察した橋梁群は、まず規定値の10倍（一ケタ）以上は高いのではないのでしょうか。今回の視察旅行の目的は、環境が厳しくても“意外と保っている橋”を見るところにありました。腐食の進行は、その条件になるぬれ時間の長さ（温湿度）と、それを助長するCl⁻イオン量によりますが、保っている要因は、木々や地形上で塩分を遮ることによるのかも知れません。実大の曝露試験をしているようなもの、今後の観測情報は適用条件の解明に大きな役割を果たすものと思います。

島根県の海岸沿いにも、先の適用条件（0.05mdd）が決められるまでの間に建設された橋梁が多数あり、その中には異常腐食の見られる橋梁があります。またすでに塗装橋梁へ更新された事例も生じています。

これらの橋梁は当時はやりだった、『ウェザークーコート処理』（鋼板表面にリン酸塩被膜処理後に有機質被膜をコーティング：高温多湿でも保護性さびを形成すると）され、小豆色をした

桁として特徴的です。塩分環境の厳しいところでは、この処理皮膜下にCl⁻イオンが入り込み異常腐食し、処理皮膜に硬貨大の大きさの膨れや割れが現れることが特徴的です（写真-8）。



写真-8 異常腐食した鋼板表面（島根県）

このようになると、保護性のあるさびは形成されません。早い内に処理皮膜と鋼板表面の悪いさびをブラスト除去し、塩分環境の強さによっては塗装仕様へ変更してあげることが必要です。

なお耐用年数を50年とし、外気（桁外）での飛来塩分測定量は1.25mdd以下で適用可とする基準書があることを付記しておきます⁴⁾。

沖縄の事例によるとおり、海沿いのものが全て悪くなるかどうかは限りません。今後の調査やモニタリングなどによって見極めることが必要です。

(2)内陸部での不具合と環境条件の見極め

1)ぬれ時間を長くする環境条件

飛来塩の影響を受けない、内陸部でも保護性さびの形成を阻むものに“ぬれの長時間化”があります。以下の環境が代表的です。

- i 桁端部の湿潤環境
- ii 土砂の堆積
- iii 凍結防止剤（Cl⁻）の流入

土砂の堆積は鋼板表面を湿潤状態にとどめるため、塗膜のような防せい層の無い耐候性鋼にとっては過酷な環境になります。沖縄の維持管理スペック⁵⁾では、鋼部材の水洗を推奨しています。是非一般化したい取り組みです。

一般に、海沿いの飛来塩の攻撃はゆっくりした速度で進行するため、その影響の度合いは10～20年といった時間軸で評価することになります。これに対して、ぬれの長時間化はどんどん供給される酸素と水によって、異常さびの生成は急速に進行するため注意が必要です。

2) 構造詳細の不具合除去と対応策

構造詳細上の不具合は、漏水が鋼板に降りかかり続けることによって生じています。

- iv 床版（舗装下）の水抜き（ドレインパイプ）水

- v 排水管流末や接続部からの漏水

- vi パラペットからの漏水

これらが不具合要因ならば、確実に除去が可能です。点検で発見と対応策を立てることができ、竣工後の初回点検・定期点検が重要です。

これらの不具合は局所に限定されるため、原因の除去と異常腐食箇所のケレンで対応修了とできます。さらに、積雪寒冷地であれば排水管はひび割れのリスクの少ない鋼管を選定しておくことをお勧めします。

4. 研究会のこれから

研究会の島根メンバーでは、コンクリート構造物も見据えた腐食環境マップの作成（松江高専、図-3）、県内の耐候性鋼橋梁のモニタリング（松江高専とウエスコ共同研究）などに取り組んでいます。機会をみて報告します。

今年度は四国のNEXCO横断道の腐食実態調査に出向く予定。地域差を参照し、島根の耐候性鋼適用の高度化や、構造物の長寿命化検討などへ貢献していきたいと考えています。

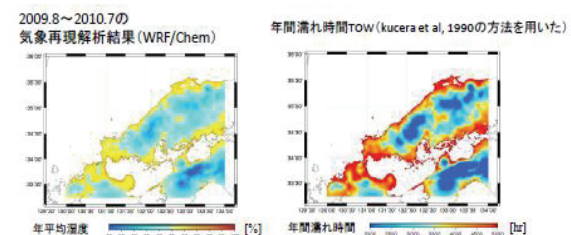


図-3 腐食環境マップの作成（試行中）

参考文献

- 1) 下里哲弘ほか：腐食により崩落に至った鋼橋の変状モニタリングの概要と崩落過程，橋梁と基礎 2009-11
- 2) 吉中智紀ほか：松江市の腐食環境と表面処理された耐候性鋼橋梁の初期腐食状況，第66回土木学会年次学術講演会，I-573，2011.9
- 3) 藤川正己ほか：曝露試験と環境計測を用いた腐食環境評価，第63回土木学会年次学術講演会，I-392，2008.9
- 4) 農林省構造改善局建設部設計課 監修：無塗装耐候性橋梁計画・設計・施工の手引き，平成4年11月
- 5) 沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部：沖縄地区鋼橋塗装マニュアル，平成20年8月