

新潟県内の耐候性鋼橋の腐食状況と腐食環境

Environment and condition for corrosion of weathering steel bridge in Niigata

岩崎英治*・長井正嗣**・加賀谷悦子***・成田英樹****・高橋拓也†

Eiji IWASAKI, Masatugu NAGAI, Etsuko KAGAYA,
Hideki NARITA and Takuya TAKAHASHI

*正会員 工博 長岡技術科学大学助教授 工学部環境・建設系 (〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

**正会員 工博 長岡技術科学大学教授 工学部環境・建設系 (〒 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

***正会員 工修 クエストエンジニア (研究当時 長岡技術科学大学大学院)

****正会員 工修 矢田工業 (研究当時 長岡技術科学大学大学院)

†正会員 工修 コベルコ科研 (研究当時 長岡技術科学大学大学院)

The weathering steel has a unique property of preventing rust by rust, and the use of unpainted weathering steel is important to reduce the life cycle cost of infrastructure. In Japan the guideline of weathering steel application was initially established before 10 years ago based on the research done by the Ministry of Construction, the Kozai Club and Japan Association of Steel Bridge Construction. It describes the applicable limit of weathering steel, which is maximum amount of marine salts density is less than 0.05mdd (mg/dm²/day), or weathering steel is applicable in the area which is more than 20km from the coast of the Japan Sea. However, most of the bridges are near enough to the ocean in the area along the coast of the Japan Sea. This paper shows the condition of corrosion of weathering steel bridges near the ocean in Niigata.

Key Words : Weathering steel, corrosion, marine salt

キーワード : 耐候性鋼, 腐食, 飛来塩分

1. はじめに

鋼橋の建設に際して、メンテナンス費用も含めたライフサイクルコスト (LCC) が選定の条件となりつつあり、LCC を押し上げる原因となっている塗装に伴うメンテナンス費用の削減を可能とする無塗装耐候性鋼材の採用が多くなっている。これは、鋼材表面に生成する緻密な安定化さびにより、鋼材内部への腐食原因物質の侵入が抑制されるため、時間の経過とともに腐食量は、維持管理上問題とならない範囲に抑えられることを意図しているためである。通常の腐食環境下では、耐候性鋼は緻密なさびにより以降のさびの生長を抑制することが確認され、多くの使用実績がある。しかし、海岸付近のような塩分の飛来する環境下では、さびが安定化せずさびは生長し続けることがある。

このため、旧建設省土木研究所、旧鋼材倶楽部、日本橋梁建設協会による耐候性鋼材の暴露試験、飛来塩分調査により、飛来塩分量が 0.05mdd 以下の環境下であれば緻密な安定さびが生長すること。また、全国の海岸線を 4 地域に分け、それぞれの地域内で飛来塩分量調査を行わなくてもよい離岸距離が示されている。

新潟県沿岸部は、日本海沿岸部 I の地域に入り、離岸距離 20km 以上が飛来塩分量調査を行わなくても耐候性鋼材の使用に適した地域となっている。この離岸距離は、太平洋沿岸部では 2km、瀬戸内海沿岸部は 1km、また、福井以南の日本海沿岸部 II の地域では 5km と

なっており、新潟県沿岸部を含めた日本海沿岸部 I では、耐候性鋼材にとって厳しい環境下であることが分かる。

しかし、新潟県内には、このような指針が示される以前の耐候性鋼橋が、20km 以内に多数建設されている。また、最近でも農政関係の橋梁は多数建設されつつある。一方で、建設後の継続的な腐食状況調査を行っている橋梁は少ないのが現状である。

そこで、最も実用的な目視による外観調査を中心に耐候性鋼橋梁の腐食状況の確認を行う。さらに、飛来塩分量調査と鋼表面の付着塩分調査も併せて行い、新潟県内に建設された耐候性鋼橋の腐食状況と腐食環境を把握することで、腐食の発生部位や、地形との関係、また、離岸距離規定の妥当性の確認を行い、今後の耐候性鋼橋の建設計画および維持管理の一助としたい。

2. 腐食状況

2.1 腐食評価の方法

腐食評価の方法には、鋼材表面のさび粒子の大きさや均一性、色相に着目した外観評価法、さび厚や残存板厚を計測する方法、さび構造の化学的な分析による評価法などがある。これらの残存板厚または板厚の減少量は工学的に非常に重要であるが、実際の橋梁での板厚減少量や残存板厚を精度よく計測するのは困難を伴う。一方、目視による外観評価法は客観性に多少の

表-1 錆の状態の指標 (外観評点)¹⁾

外観 評点	錆の状態
5	錆粒子は細かいが、均一性に欠ける。 錆の色は、明るい色相で、むらがある。 若い錆の状態。環境が非常に良い場合では、 長期間にわたりこの状態が続く。
4	錆粒子は、1mm 程度で細かく均一である。 錆の色は、暗褐色で、むらがない。 腐食速度は微小の領域に達している。
3	錆粒子は、平均して 1~5mm 程度である。 錆の色は、褐色 ~ 暗褐色でむらが少ない。 腐食速度は微小の領域に達している。
2	錆は 5~25mm 程度のうろこ状である。 錆の色は、環境によって様々である。
1	錆は 25mm 程度以上の層状で、剥離する。 錆の色は、環境によって様々である。

問題があるが簡便で実用的な方法であり、実橋梁でのさび状況を捉えるのに適した方法である。

そこで、本報告では目視による外観評価の方法により腐食評価を行うことにする。

耐候性鋼を使用する場合には、表面の緻密なさびで以降のさびの生長を抑制させ、塗装のような維持補修コストを低減させることを意図して使用されるので、基本的には、無塗装のままの裸使用される。しかし、環境によっては、緻密なさびが発生し腐食が抑制されるまでの間、さび汁が流れ橋台や橋脚あるいは橋梁下の施設を汚す恐れがあるため、そのような環境では、鋼表面に表面処理剤を塗布することがある。このような表面処理を施した鋼表面は、処理剤がさびに置き換わるまで裸使用の場合と腐食状況が異なるため、裸使用の場合と表面処理剤が残っている場合で、外観評価の方法は異なる。

裸使用橋梁のさび評価は、表-1に基づいて行う。一方、表面処理橋梁は、表面処理被膜の影響で裸使用橋梁のさびとはかなり異なった様相を示すため、表-1の5段階さび評価は使えない。実況調査を行うと、鋼表面に薄くさびが発生しつつあるもの、一部分にさびが発生し、硬いふじつぽ状あるいはこぶ状に生長しつつあるもの、さびが層状に発生しウエハース状に成長しつつあるものに分類できる。そこで、写真-1(a)のように表面処理被膜が緻密なさびに置き換わりつつある状態を評価 A、写真-1(c)のようにふじつぽ状のさびが発生している状態を評価 B、写真-1(d)のように多層に剥離が生じ、ウエハース状になっている状態を評価 C とする独自の3段階さび評価方法を用いる。なお、経過年数が短い橋梁のなかには写真-1(b)のように安定処理被膜が剥離中のものがあるが、ここではこれらは暫定的に評価 A とする。

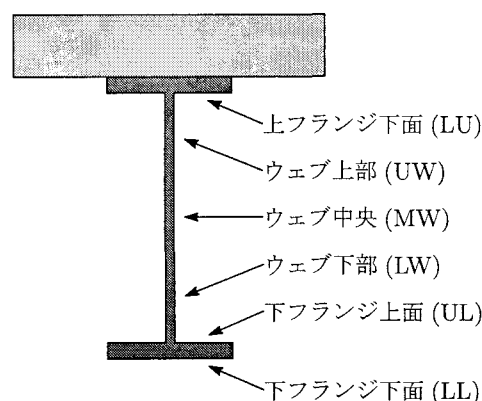


図-3 外観評点の調査部位

2.2 さび外観評価による部位毎の腐食状況

新潟県内の図-1のような、図右外の河川から取り込まれ、図左の海岸に排水される農業用水路上に建設されている耐候性鋼橋 W1 から W17 のさび外観評価による I 桁の部位毎の腐食状況の調査結果を以下に示す。これらの橋梁は、1997 年以前に建設されたもので調査時点で建設後 7 年以上経過している。また、離岸距離は、海岸に最も近い W1 橋梁で 3.5km、遠い W17 橋梁で 8km であり、これらの橋梁と海岸との間には標高 200m の山があり、冬季の北西からの季節風による塩分は、この山を越えて飛来している。また、これらの橋梁は農業用車両の通行にのみ使用され、冬季間の凍結防止剤散布は行っていない。

写真-2 は、W1 橋梁の右岸側桁ウェブ下部を撮影したものである。これらの写真より中桁や上流側桁の海側に面した写真 (c),(e) では、海からの塩分を含んだ風が直接あたるため、反対側に面した写真 (b),(d) に比べて外観評点が低くなっている。しかし、外桁の外面では写真 (f),(a) から明らかなように下流側に面した面の外観評点が高くなっている。外桁外面でも下流側を向いた面は、反対側の外面に比べて塩分は多量に飛来しているはずであるが、雨による洗い流しのためと考えられるが、両面とも飛来塩分が洗い流され、午前中日差しのあたる上流側の面に対して、気温の上昇した午後から日差しのあたる下流側の面の方が鋼表面の濡れ時間が短くなったために、下流側外面の腐食状況が良くなっているものと思われる。

図-2 は、同じ用水路上にある W1 から W17 までの 17 橋の腐食の外観評点の平均値を、図-3 のような部位毎にまとめたものである。W1 橋梁で離岸距離 3.5km、W17 橋梁で 8km であるが、橋軸方向、橋梁形式とも同一であり、すべての橋梁ともほぼ同じ腐食環境下にあるものと考えることができる。この図からも内面は下流側を面した面が反対側の面に比べて評点が低くなっているが、外面については写真-2 と同様に、午後から日のあたる下流側に面した方が外観評点が高くなっていることが分かる。



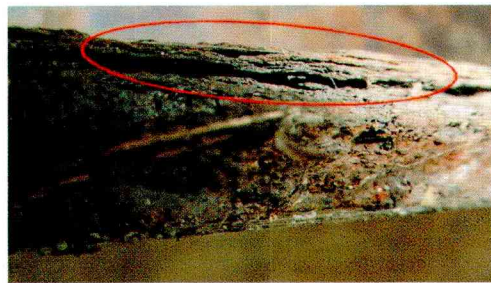
(a) 安定化錆 (評価 A)



(c) ふじつぼ状の錆 (評価 B)



(b) 表面処理被膜の剥離中 (評価 A)



(d) ウエハース状の錆 (評価 C)

写真-1 表面処理橋梁の錆判定



(a) 下流側桁外面 (外観評点 4)



(b) 下流側桁内面 (外観評点 3)



(c) 中桁下流側面 (外観評点 2)



(d) 中桁上流側面 (外観評点 3)



(e) 上流側桁内面 (外観評点 2)

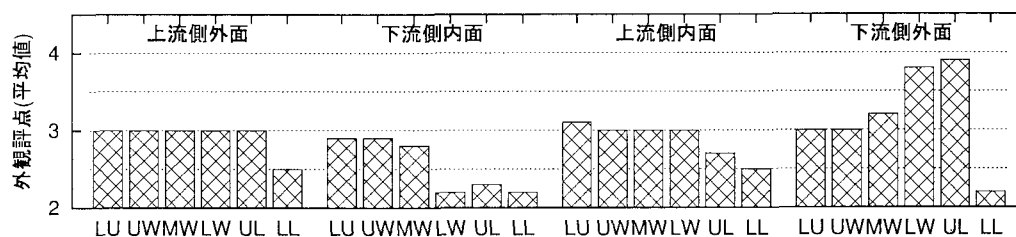


(f) 上流側桁外面 (外観評点 3)

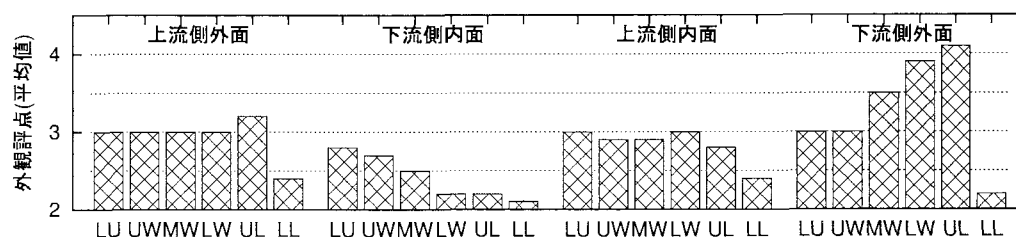
写真-2 W1 橋梁の右岸側ウェブ下部の腐食状況



図-1 農業用水路上の橋梁群



(a) 左岸側端部付近



(b) 右岸側端部付近

図-2 W1 から W17 橋梁の腐食状況

しかし、下フランジ下面(LL)は、雨水による洗い流しの効果が期待できないため、下流側外桁でも他の桁と同様に外観評点は悪くなっているものと推察される。また、上フランジ下面(LU)やウェブ上部(UW)も床版に遮られるために洗い流しによる効果は現われていないものと思われるが、結露による洗い流しのためと考えられ、外面、内面ともに桁上部は下部に比べて外観評点が高いことが見て取れる。

2.3 裸使用橋梁の腐食状況

鋼材の腐食は、飛来塩分が重要な腐食因子であるが、他にも湿度や温度など多様な要因が関係している。したがって、前節に示しているように橋梁の部位毎にその腐食状況は異なってくる。そのような腐食環境は、文献2)に示されているように、橋梁全体に影響を及ぼす

橋梁の建設地点のマクロ環境、地形と構造物とによって創られるローカル環境や桁端部などの局所的な地形と構造物によって作られるミクロ環境、また、水仕舞の不備や老朽化により生じるアクシデントに分類できる。

これらそれぞれの腐食環境が複合的に腐食に影響を与えるために、腐食環境の評価をこれらの分類毎に行うことは難しいため、桁端部近傍などの局所的な部分の腐食評価を局所評価、これらを除いた橋梁全体の平均的な腐食評価を構造全体評価と呼び、個々の橋梁についてこれらの腐食評価を行う。

なお、局所評価の結果は、部位毎に得られるが、本文ではその中で最も低い評価を局所評価の結果として扱う。

表-1のさび評価方法による構造全体評価結果を図-5に示している。この図より、離岸距離20km以内にも数

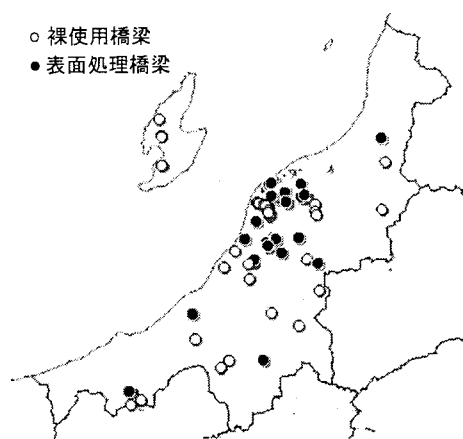


図-4 新潟県内の調査橋梁

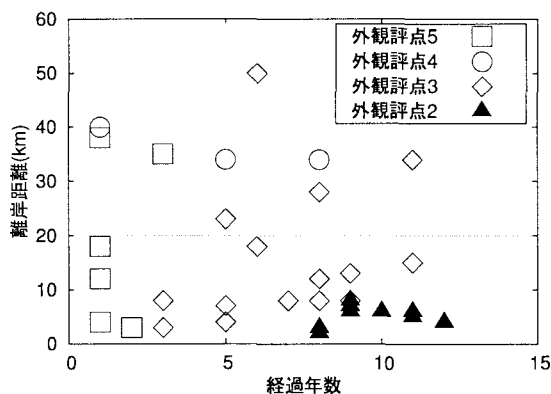


図-5 裸使用橋梁の構造全体評価

多くの耐候性鋼橋梁が存在していることが分かる。また、経過年数7年以上で離岸距離10km以下の領域に外観評点2の橋梁が多数あり、10km以下の地域は耐候性鋼にとって厳しい環境にあることが分かる。日本海沿岸部Ⅰでは、離岸距離が20km以上の内陸部においては飛来塩分量を測定しなくとも無塗装の耐候性鋼橋梁を建設できるとされている。このため20km以上の地点に建設された橋梁も多数あるが、山間部の谷間等に建設されている場合が多く、桁に近寄れず、外観評価を行えた橋梁は図示のような9橋梁であるが、そのすべてがレベル3以上であり、離岸距離に関する規定の妥当性が確認された。さらに、離岸距離10km～20kmにある橋梁においても構造全体評価でさびレベルが2以下のものはなく、現時点では、離岸距離の適用範囲外でも、橋梁全体的に判断すると、問題の無い腐食レベルにある。

図-6は、図-5と同様に経過年数と離岸距離を軸にとり、局所評価でのさび状況を示している。また、表-2に、外観評点2以下の橋梁の離岸距離5km毎の発生部位を示している。これらの局所評価結果より、橋梁全体評価では表すことのできない局所的なさびの考察を行う。

離岸距離5km未満の橋梁は、表-2に示しているよ

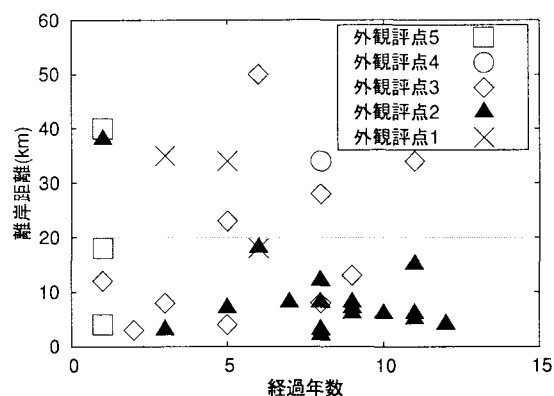


図-6 裸使用橋梁の局所評価

表-2 評点2以下のさび発生部位

離岸距離	発生部位
5km 未満	桁内面 (7 橋)
10km 未満	桁内面 (9 橋), ウェブ下部 & 下フランジ (6 橋)
15km 未満	桁内面ウェブ下部 & 下フランジ (1 橋)
20km 未満	桁内面全体 & 下フランジ下面 (2 橋) 桁端下フランジ (1 橋) 桁端部下フランジ (1 橋, 漏水)
20km 以上	下フランジ (1 橋), 桁端部 (2 橋, 漏水)

うに、桁内面が外観評点2になっている。また、図-5と6を比べると明らかなように、離岸距離3kmの橋梁を除いて、外観評点2の評価は、構造全体評価も局所評価も同じ評点になっている。このことは、これらの地域では、塩分が橋梁全体に飛来するため桁端部も桁端から離れた箇所も同じように腐食が進行していることを表している。このことから、このような地域では、耐候性鋼の適用には厳しい環境と思われる。

離岸距離5kmから10km未満にも桁内面が評点2の橋梁があるが、下フランジ下面のみ評点2になっている橋梁もある。桁内面に腐食の生じている橋梁は、構造全体評価も局所評価も同じく評点2になっていることから、飛来塩分環境の厳しい地域に建設された橋梁と言える。一方、下フランジ下面のみ評点2になっている橋梁は、構造全体評価では評点3以上になっており、局所的な部位のみ好ましくない腐食状況にある。

離岸距離10km以上の地域には、主に桁端部のウェブ下部や下フランジのみ好ましくない腐食状況にある。また、15km以上の地域には、漏水により外観評点1と評価されるような層状剥離さびが局所に見られた。

離岸距離が15km以上の地域では、積雪が多い地域に設置されている橋梁の割合が高くなり、このような地域では、凍結防止や融雪のための塩化物や消雪水の散布を行っていることが多く、常に路面上は湿潤状態にあるために、構造上の些細な不具合が腐食に悪影響を与えていると考えられる。したがって、このような地域では、飛来塩分よりも防水の対策を十分に行う必要があるものと思われる。

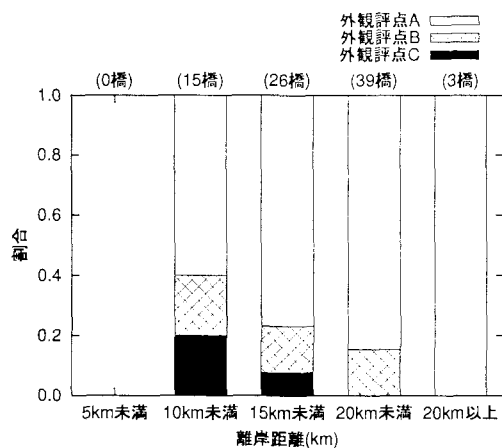


図-7 表面処理橋梁の局所評価での 5km 毎の腐食状況 (10 年未満省略)

2.4 表面処理橋梁の腐食状況

次に、表面処理橋梁の腐食状況を示す。新潟県内の表面処理を施した橋梁は古いものでも 20 年程度であり、表面処理剤がさびに換わりつつある橋梁が殆どであり、構造全体評価では殆どの橋梁が、前述した独自の 3 段階評価で評価 A になる。そこで、局所評価の結果のみ図-7 に示す。なお、表面処理を施した橋梁は、建設後ある程度の年数経過しなければ、表面処理剤の劣化や鋼材の腐食が進行しないため、建設後の経過年数が 10 年以下の橋梁は除いている。離岸距離 5km 未満の地域にも多数の耐候性鋼橋が建設されているが、経過年数が少ないため図には示していない。図より離岸距離 5～10km では、評価 B または評価 C の好ましくないさびの発生割合が約 4 割、10～15km では 2 割、15～20km では 2 割を下回り、評価 C の層状剥離さびは生じていない。この図より、離岸距離が長くなるほど好ましくない評価 B、C のさびの発生頻度が低くなっていることが分かる。

3. 飛来塩分

3.1 飛来塩分調査の方法

耐候性鋼に緻密なさびが発生するための環境因子として、海からの飛来塩分が大きく関係し、その値が 0.05mdd 以下であれば耐候性鋼の適用に適した環境と言われている。しかし、塩分の飛来状況は季節により大きく変動するため、最低でも 1 年間の観測が必要である。そこで、全国の海岸線を 4 ブロックに分け、それぞれのブロックごとに飛来塩分観測を省略できる離岸距離が示されている。新潟県は日本海沿岸部 I に属し、離岸距離が 20km 以上であればこの観測を省略できる。

しかし、新潟県内の平野部の大部分は 20km 以内に入り、橋梁を建設する必要の高い地域も大部分がこの範囲に入り、既設の耐候性鋼橋も 20km 以内に多数建



図-8 飛来塩分の調査地点

設されている。そこで、離岸距離 20km 以内の 6 地点での飛来塩分観測を行い、飛来状況の確認を行う。

代表的な飛来塩分の観測方法には、ガーゼ法と土研式タンク法がある。ガーゼ法は JIS 規格になっており全国的に広く採用されているが、ガーゼに雨水が当たると塩分が洗い流されるため、雨水が直接当たらないようにする必要がある。一方、土研式タンク法では、飛来塩と雨水をまとめてタンク内に集めるために、雨水が当たるような屋外にそのまま設置することができるので、本調査では、土研式タンク法を用いて調査を行った。

飛来塩分調査は、図-8 のような 6 地点に設置した、この内 O 地点は著者らの所属する大学内の屋上に設置し、他の 5 地点は、耐候性鋼橋の高欄外側に、写真-3 のように設置し、タンク内に捕集した飛来塩分を含んだ雨水は、一ヶ月毎に回収を行った。

図-8 のように、S, H, U 地点は平野部にあり、西側の海岸付近に標高 200m から 500m 程度の山地があるので、北西や北からの塩分は平野部を通して観測地点に飛来する。O, A 地点は北西側に 150m 程度の山地があるので、塩分はこの山地を越えて飛来する。また、K 地点は山間部にあり、北に 900m 程度の山があり、周辺は 300m 程度の山で囲まれた環境にあり、海からの塩分は河川に沿って飛来する。

3.2 調査結果

表-3 に、1 年間の平均飛来塩分量と、観測地点の離岸距離、および、箱の向きを示す。箱の向きは、北から箱の表面に垂直な方向までの時計回りの角度を表している。新潟県では冬季間の季節風は、地形の局地的な影響がなければ、北西を中心とした方向から吹くことから冬季の季節風による飛来塩分を捕獲できているものと思われる。また、夏場は南からの風が吹くことが多いが、太平洋側からの塩分は長距離のため飛来し

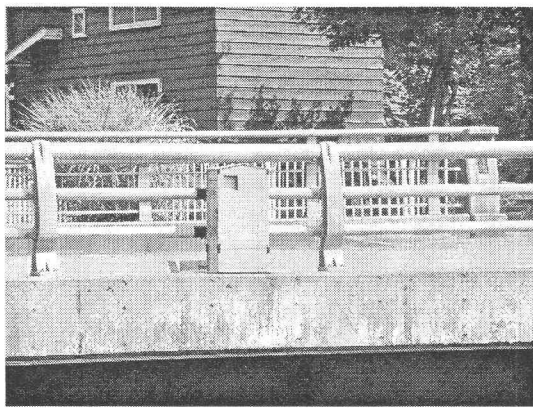


写真-3 飛来塩分捕集箱



写真-4 表面塩分計

表-3 年平均飛来塩分量

設置 地点	飛来塩分量 (mdd)	離岸距離 (km)	箱の向き (°)
S	0.224	8	348
H	0.249	15	300
U	0.144	17	336
O	0.045	15	3
A	0.057	18	11
K	0.148	10	291

ないと考えられるので、この捕集箱によりその地点の飛来塩分をほぼ正確に捕集できているものと思われる。

表-3 より、平野部にある S, H, U 地点の飛来塩分量は、耐候性鋼の適否を判断する 0.05mdd より大きな値になっていることがわかる。また、飛来塩分量の計測を省略できる 20km に近い U 地点でも、3 倍の飛来塩分量になっている。一方、北西側に 150m 程度の山のある O, A 地点では、H, U 地点と同様の離岸距離にも係らず塩分の飛来は少ないことが分かる。また、K 地点は離岸距離 10km にも係らず離岸距離 17km の U 地点と同程度の飛来塩分量になっている。これらのことから、飛来塩分量は離岸距離だけでなく、地形の影響を受け受け、平野部では 20km でも 0.05mdd 以上の値になっている可能性があり、逆に、山間部では、20km 以内でも耐候性鋼橋に適した環境にある地域もあることが分かる。

図-9 は、6 地点での一ヶ月毎に回収した飛来塩分量の変化を表している。また、図中の実線は、一年間の平均を表している。これらより飛来塩分は、北西からの季節風の吹き始める 10 月過ぎから急激に増え始めていることが分かる。ところで、冬季間でのその値には月ごとに大きな変動があることから、短期間および局所的な風向きや風速の影響を大きく受けていることを表しているものと思われる。短期間や局所的な風向きや風速には再現性はないことから、月毎の飛来塩分の変動は年によって異なっていると考えられ、年平均飛来塩分量を正確に知る必要がある場合には、複数年の継続的な観測の必要性を示唆しているものと思われる。

4. 付着塩分

4.1 付着塩分調査の方法

耐候性鋼の腐食に直接的に影響を与える環境因子である、飛来塩分の鋼表面への付着状況を調べるために、写真-4 のような携帯型の表面塩分計 (SNA-2000) を用いて図-8 の S, U, A, K 地点の 4 橋を対象に継続的な調査を行った。

この表面塩分計は、電気伝導率の変化から塩分濃度を算出するものである。表面塩分計は、本体と検査部により構成され、検査部を鋼材表面に固定し、直径 30mm のセル内に蒸留水を注入し、約 10 秒間セル内部を攪拌することで鋼表面から溶出した塩分により、鋼表面の付着塩分が計測される。

したがって、この表面塩分計で計測される付着塩分は、直径 30mm の円内部の平均的な付着塩分を計測していることになる。水分中に溶解した塩分を測っているため、剥離したさびや粗いさび部では、さび内部の塩分が溶解し数値が安定しない場合がある。そこで、攪拌後 30 秒経過した時点での数値を採用している。また、セル内に水を入れる関係上、鋼表面に腐食による凹凸があると水が漏れ、計測できない場合がある。水が漏れるほど腐食による凹凸が大きい部分には塩分も多量に付着している可能性があるため、付着塩分量の大きな箇所は、正しく計測できていない可能性がある。実際に調査を行ってみると、下フランジ表面やウェブ下部ではそのような箇所が多く、このような部位では、正確な計測が行えていないことに注意する必要がある。

また、継続して調査を行う場合には、セル内の水により鋼表面の塩分が洗い流されているために、計測場所をずらす必要がある。本調査では同じ橋梁部位について継続して 8 回の計測を行っているが、計測場所を若干ずらしながら計測している。

4.2 調査結果

図-10 は、図-8 に示している 4 橋の 2002 年春から

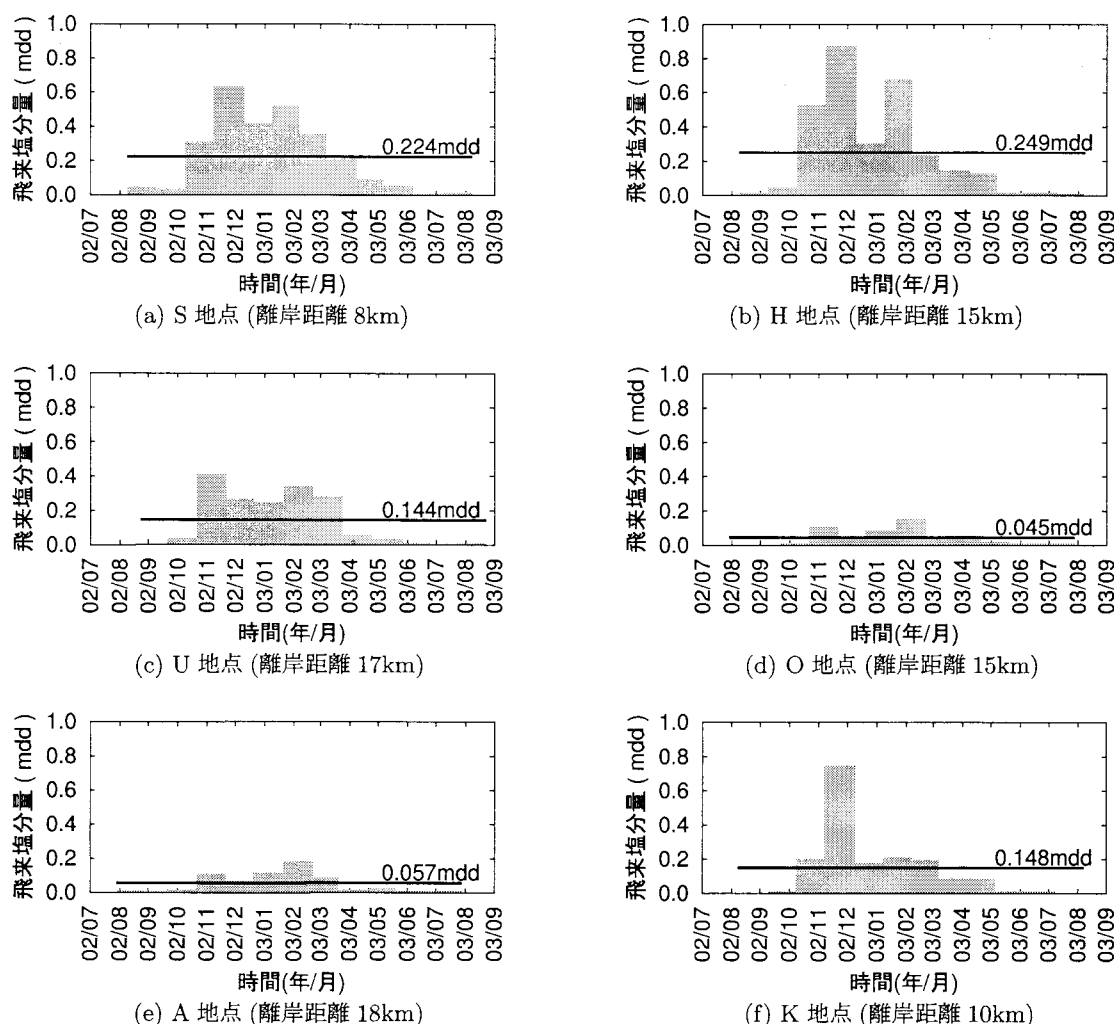


図-9 飛来塩分量

2004 年夏までの 8 回の調査結果を示している。S 橋梁は、離岸距離 8km の平野部に 1994 年、U 橋梁は離岸距離 17km の平野部に 1983 年、K 橋梁は、離岸距離 10km の山間部に 1990 年、A 橋梁は離岸距離 18km の平野部に 2000 年に建設され、A 橋梁以外は表面処理が施されている。これらの橋梁はすべて、I 桁橋であり、両端の桁端部から 5m 程度離れた断面、ただし、K 橋梁は足場の関係で桁端部から 2m の断面での全ての桁の上フランジ下面、ウェブ上部、中央、下部と下フランジ上下面の付着塩分の平均値を表している。したがって、その橋梁のグローバルな腐食環境を表しているものと考えられる。

図-10(a) より、S 橋梁の付着塩分量は、梅雨明けや降雪前に比べて春に多くなっている状況が読み取れる。しかし、2002 年春の付着塩分が他の年に比べて非常に大きくなっているのは、右岸側の付着塩分が他の時期の観測値に比べて多く、左岸側の 2 倍程度の値になっているためであるが、なぜ、2002 年春の観測値だけ、そのような結果になったのか不明である。しかし、これ以外の 7 回の計測結果をみると建設後の年数が経過

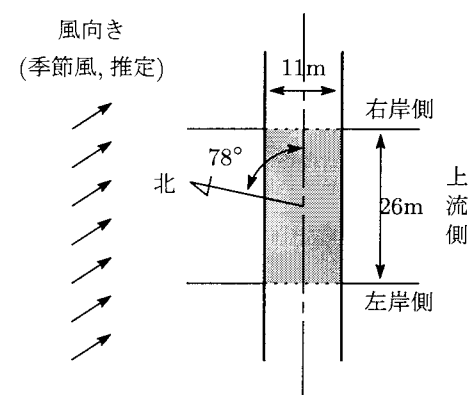
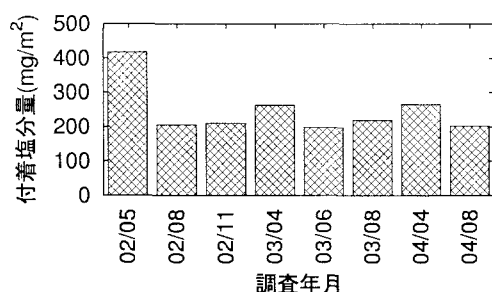
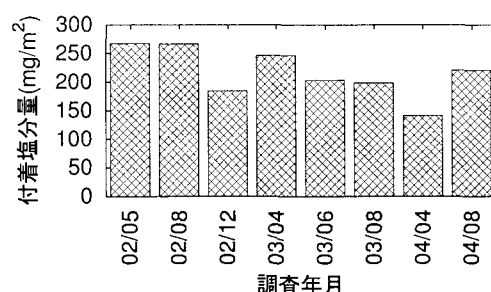


図-11 S 橋梁の橋軸方向と風向き

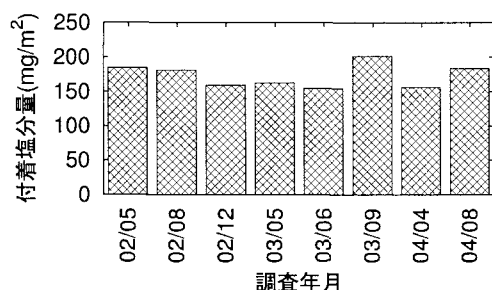
しても付着塩分は累積していないように見られる。数値に多少のばらつきがあるが、U 橋梁や K 橋梁からこのような傾向が見られることから、付着塩分量は季節毎の多少の変動はあるが、蓄積していないことを表している。ただし、A 橋梁については、時間の経過とともに付着塩分量が増加傾向にある。これは、おそらく、建設後の経過年数が少ないためと考えられる。



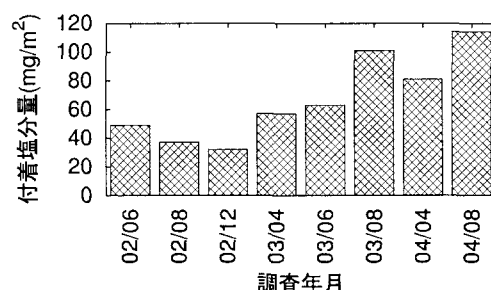
(a) S 橋梁 (1994 年建設, 表面処理, 離岸距離 8km)



(b) U 橋梁 (1983 年建設, 表面処理, 離岸距離 17km)



(c) K 橋梁 (1990 年建設, 表面処理, 離岸距離 10km)



(d) A 橋梁 (2000 年建設, 裸使用, 離岸距離 18km)

図-10 付着塩分の経年変化

表-4 S 橋梁の平均付着塩分量 (mg/m²)

桁番号		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		平均		
面の向き		上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	上流	下流	両面
左岸側	LU	180	238	112	312	179	242	135	261	129	208	108	228	139	257	144	205	103	241	97	193	127	244	185
	UW	113	113	91	142	207	163	146	157	133	145	120	154	192	163	166	175	129	133	139	142	147	149	146
	MW	97	203	111	188	195	182	121	143	115	139	136	143	135	160	253	190	114	164	167	62	150	168	151
	LW	25	343	167	352	303	275	239	271	208	313	250	342	272	308	467	283	211	289	227	24	260	309	258
	UL	53	960	554	925	501	684			460	361	243				262	401			389	40	425	638	449
側	LL	149	217	246	193	220	167	199	176	161	130	151	138	190	139	171	183	295	296	180	127	201	182	186
	平均	103	346	213	352	267	286	168	202	201	216	168	201	186	205	240	216	209	225	200	98	206	253	216
右岸側	LU	242	492	259	480	304	582	279	452	303	383	271	521	232	519	215	448	173	335	189	249	247	468	346
	UW	139	192	238	217	305	370	279	272	303	262	132	265	353	342	433	405	388	275	211	125	293	289	275
	MW	96	227	234	248	266	356	228	316	278	331	232	326	258	322	364	306	332	327	180	41	264	306	263
	LW	28	659	321		352		384	587	407	429	383	498	467	191	441	332	473	426	396	27	403	446	378
	UL	53	212									280									39	280	212	146
側	LL	234	385	300	410	333	278	225	256	233	221	277	307	253	321	228	390	419	635	348	188	291	356	312
	平均	132	361	271	339	312	397	279	376	305	325	262	383	313	339	336	376	357	399	265	112	299	366	307

※ 空白欄は、鋼表面の腐食による凹凸のため測定不能を、桁番号 1 と桁番号 10 はそれぞれ、上流側と下流側の外桁を表している。また、上流平均と下流平均には外桁外面の値を含んでいない。

次に、ばらつきの多い付着塩分についても、桁数が多いため、平均値に統計的な意味を有する可能性の高い S 橋梁について、部位毎の塩分付着の状況を表-4 に示す。この表は、部位毎の付着塩分量の 8 回の計測結果の平均を表している。また、図-11 にこの S 橋梁の橋軸方向と冬季の季節風の向きを示す。表中の LU, UW 等の記号は、図-3 に示しているような I 桁断面の部位を表している。表中の空白欄は、8 回の計測ともに鋼表面の腐食による凹凸のために計測できなかったことを表している。事実、下フランジ上面やウェブ下部は腐食が進み、外観評点 B に相当する腐食状況にある。なお、表中の桁番号は上流側外桁から下流側に向かって番号付けを行っている。また、表右側の 3 列は、各桁の平均値を表しており、これらの列の「上流」と「下流」は外側に面した桁面を除いた内面の上流側と下流側の平均値を表し、「両面」は外面も含めたすべての面の平均値を表している。

この表より、桁番号 1 の上流側と桁番号 10 の下流側のウェブ下部、下フランジ上面の値は、他の面や他の部位に比べて付着塩分量が少なく、雨水による洗い流しの影響が現われているものと思われる。また、桁内面では桁上部に比べて下部の付着塩分量が多いことから、塩分を含んだ風の廻り込み具合や、結露による洗い流しの影響によるものと思われる。ところで、桁内面の下流側の付着塩分量が上流側に比べて多いこと、右岸側の付着塩分量が左岸側に比べて多いことから、冬季の季節風が下流側左岸側から吹いていることによる影響が現われているものと思われる。したがって、付着塩分は、雨水や結露による洗い流しの他に、風の廻り込み具合、季節風の風向きとの関係により、多量に付着する部位が異なっているものと考えられる。今回の調査では、鋼表面の雨水や結露による濡れ具合、風の廻り込みなどを定量的に確認していないため、今後、観測に基づくこれらの確認が必要である。

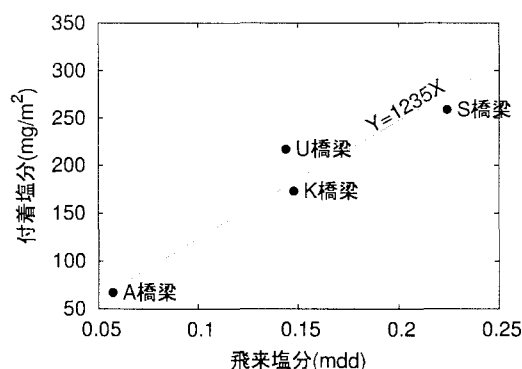


図-12 飛来塩分と付着塩分の関係

このS橋梁は表面処理を施した橋梁であり、腐食の外観評価は局所的に観ると評価Bに相当するが、表面処理被膜が多数残っている箇所もあり、現状では、腐食状況からは風向きによる腐食の違いは観られない。しかし、塩分の付着量が異なることから、時間の経過とともに腐食状況も風の直接当たる面とそうではない面で差異が現われるものと思われる。

4.3 飛来塩分と付着塩分の関係

付着塩分の調査結果より、橋梁全体の平均付着塩分量は、季節による多少の変動は見られるが、その値は累積していないように思われるので、平均付着塩分量と飛来塩分量には関連性があるように類推される。そこで、図-10の各橋梁の8回の計測結果の平均を求め、その地点の飛来塩分との関係を図-12に示す。図中には原点を通る最小二乗近似による直線も含めている。この図より飛来塩分量と付着塩分量には線形関係が成立していることが分かる。これは、飛来塩分調査を行わなくても既設の橋梁の付着塩分を調べることで、飛来塩分を推定できる可能性を示唆している。

5. まとめ

新潟県内の耐候性鋼橋のさび外観評価、飛来塩分および付着塩分調査を行い、腐食状況および腐食環境に関して以下の知見が得られた。

マクロ環境に関して

- 離岸距離 20km 以遠には、構造全体評価において外観評点 2 以下の橋梁は確認できなかったことから、現行の離岸距離規定は妥当であることが確認できた。
- また、離岸距離 10km から 20km においても、外観評点で 2 以下の箇所は、桁端付近のウェブ下部

や下フランジに集中していることから、これらの箇所での防食対策を施すことで、耐候性鋼橋を適用できるものと思われる。

- しかし、離岸距離 10km 以内の地域では、桁内面に外観評点で 2 以下の腐食が生じていることから、耐候性鋼橋には適さない。
- 表面処理橋梁の外観評価のために、3 段階の評点をを用い、腐食の局所評価を行った。
- 飛来塩分調査の結果、平野部では 20km 付近でも 0.05mdd 以上の塩分が飛来し、山間部や途中に飛来塩分を遮る山地がある場合には、20km 以内の地域でも 0.05mdd 以下になっている可能性のあることを確認した。
- 建設後初期を除いて、付着塩分は累積しておらず、観測点が少ない点に注意する必要があるが、飛来塩分と橋梁全体の付着塩分には、線形関係が認められる。

ローカル環境に関して

- 橋梁部位毎の腐食調査より、橋梁部位と風向きとの位置関係により腐食状況は異なり、付着塩分も異なっていることが確認できた。

ミクロ環境・アクシデントに関して

- 積雪の多い地域では、水仕舞の些細な不具合が腐食に悪影響を与えるので、防水対策が重要である。

最後に、本研究を行うにあたり、日本橋梁建設協会 無塗装橋梁部会(加納 勇部会長)から飛来塩分捕集箱を貸与頂きました。新潟県土木部道路課 岩澤弘和氏、井上義勝氏には、県管理の耐候性鋼橋に関する資料を提供頂きました。日本鋼構造協会 鋼橋の性能照査型設計対応研究委員会 鋼橋の防食・LCC 部会(藤野陽三部会長)からは有益な情報をご提供頂きました。本学大学院生 斉藤慎吾君、松岡寛和君には資料整理の労をとって頂きました。ここに記し謝意を表します。本文中の地図は、国土地理院発行の数値地図および標高データを用い、カシミール 3D により表示しています。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼連盟, 日本橋梁建設協会: 耐候性鋼の橋梁への適用 [解説書], 2002 年 9 月。
- 2) 藤野陽三, 長井正嗣, 加納 勇, 安波博道, 岩崎英治, 山口栄輝: 鋼橋の防食設計と LCC 評価(その 1), 橋梁と基礎, Vol.38, pp.51-60, 2004。
- 3) 鋼橋の防食・LCC 部会: 鋼橋の LCC 評価と防食設計, 日本鋼構造協会 鋼橋の性能照査型設計対応研究委員会, 2002。

(2004 年 9 月 17 日 受付)