

付着塩分量による島根県内既設耐候性橋梁の腐食環境評価

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科	正会員	大屋 誠
環境・建設工学科	非会員	武邊 勝道
生産・建設システム工学専攻	学生会員	安食 正太
株式会社古川コンサルタント	正会員	○古川 貴士
株式会社ウエスコ島根支社 技術部	正会員	松崎 靖彦
山口大学大学院 工学部社会建設工学科	正会員	麻生 稔彦

1. はじめに

公共事業費などが削減される中、橋梁のライフサイクルコストの低減が重要課題になっている。こうした情勢の中、橋梁の維持・管理にかかるコストの縮減を図る目的で開発されたのが耐候性鋼材を使用した橋梁である。橋梁用鋼材として耐候性鋼材が使用できる地域は飛来塩分量により制限されている。その基準には1年間の飛来塩分量の調査結果が用いられることが多い。しかし、分析した年が標準的な気象状態である保証はない。

本研究では、島根県内の離岸距離の異なる11橋の耐候性橋梁を対象に鋼板表面に付着した組成を調べ、付着塩分組成に基づく腐食環境評価の可能性について議論する。付着塩分量は橋梁が建設されてから現在までの蓄積量であり、数十年先の将来の状況を解析するのに適した平均化されたデータであると考えられる。また、さびの成長に直接関係するのは飛来塩分ではなく付着塩分であることから、付着塩分組成はより具体的な腐食環境指標になりうると期待できる。

2. 対象橋梁及び分析手法

図1に示す11橋の耐候性橋梁を分析対象とした。それぞれの橋梁の主桁のWebと下Flange（以下、Flg）の付着塩分量を調査した。付着塩分はガーゼによる拭き取り方法（日本鋼構造協会指針：JSSIV03-1982 鋼橋塗膜調査に準ずる）で採取し、イオンクロマトグラフィー分析法により定量した。

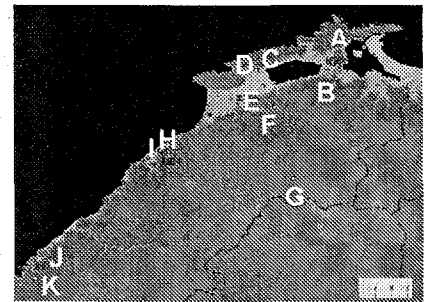


図1 分析対象橋梁

3. 結果

3. 1. 橋梁の部位における付着塩分特性

付着塩分は主に $\text{Na}^+ \cdot \text{Ca}^{2+} \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{SO}_4^{2-}$ からなる。どの橋梁でも、外側Web外側の付着塩分量が他の部位に比べてかなり低い。最も付着塩分に富むのは下Flg上側であり、 Na^+ や Cl^- に富むことが多い。図2に付着塩分組成の例をヘキサダイアグラム（単位： meq/m^2 ）で示す。

橋梁A・C・D・E（平野部および中海湖畔）：Web内側では Ca^{2+} と SO_4^{2-} が卓越することが多い。ただし、海岸に近い橋梁CのWeb内側では、 Na^+ や Cl^- の付着量が卓越する。下Flgでは、 Na^+ と Cl^- が、 Ca^{2+} と SO_4^{2-} よりも多く付着している。付着塩分の $\text{Ca}^{2+}/\text{SO}_4^{2-}$ 比は CaSO_4 に近い値を示す。

橋梁B・F・G（山間地）：Web内側および下Flg下側の付着塩分は Na^+ と SO_4^{2-} に富む。下Flg上側では Na^+ と SO_4^{2-} に加えて Ca^{2+} と Cl^- も付着している。 Na^+ と $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ の付着量は正の相関関係を示し、電気当量比で表すと、その相関直線の傾きはほぼ1を示す。

橋梁H・I・J・K（海岸地域）：橋梁H・I・Jはどの部位でも Na^+ と Cl^- の付着量が卓越し、海岸に特に近い橋梁H・Iの付着量は高く、数100～数1000 mg/m^2 に達する。付着塩分組成は海水の溶存イオン組成と似ている。橋梁H・I・Jと異なり、K橋は Ca^{2+} と SO_4^{2-} の付着量が特異的に高く、鋼板表面には黄白色の粉末が付着している。この粉末をX線回折分析したところ、石膏であることが分かった。

3. 2. 付着量と海岸からの距離

図3に、 Cl^- の付着量を橋梁建設後の経過年数で規格化したものと日本海からの距離の相関図を示した。離岸距離が2 km以内の橋梁H・IのFlgの Na^+ と Cl^- の付着量は飛び抜けて高く、他の橋梁の5～10倍である。離岸距離

が 2 km 以上の橋梁では、 Na^+ と Cl^- の付着量と距離の間に特別な関係は見られない。また、Web の付着量と離岸距離との間に明瞭な関係は見られない。 Na^+ と Cl^- の付着量は正の相関関係を示し、その相関係数は 0.9 (R) を超える。

4. 考察

Na^+ と Cl^- の付着量が正の相関関係を示すことは、これらのイオンが同じ供給源からもたらされていることを示している。 Na^+ と Cl^- の付着量が海岸に近い橋梁で最も高いことと、その付着イオン組成が海水に類似することから、付着塩分中の Na^+ と Cl^- は主に海水に由来すると考えられる。

海岸からの近さを反映して、離岸距離が 2 km 以内の橋梁 H・I は極端に高い Na^+ と Cl^- の付着量を示す(図 2, 3)。一方で、離岸距離が 2 km 以上の橋梁は橋梁 H・I に比べて低い Na^+ や Cl^- の付着量を示し、相対的に Ca^{2+} と SO_4^{2-} に富む。 Na^+ や Cl^- に対する Ca^{2+} と SO_4^{2-} の付着量が海水の組成に比べて高いことから、これらのイオンは海水以外の起源からもたらされていると考えられる。橋梁 A・C・D・E の Ca^{2+} と SO_4^{2-} の付着量の相関直線の傾きが CaSO_4 に近いことは、付着塩分中の Ca^{2+} と SO_4^{2-} が CaSO_4 として付着していることを示している。一方、橋梁 B・F・G の Na^+ と $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ の電気等量比がほぼ 1 の値を示すことは、付着塩分中の Na^+ が NaCl と Na_2SO_4 として含まれることを意味する。以上のことから、付着塩分組成には地域差があり、海岸から 2 km 以内の橋梁では海水由来の Na^+ と Cl^- が卓越し、出雲平野部と山間地域での橋梁では Na^+ と Cl^- の付着量が減少して、 CaSO_4 や Na_2SO_4 の付着量が相対的に多くなる傾向があると言える。

飛来塩分が供給されやすいと考えられる外桁 Web 外側の付着塩分量は、どの橋梁でも低い。外側 web 外側は雨の影響を最も受けやすい環境でもあり、一度付着した塩分が洗い流されて付着塩分量が低く保たれている可能性がある。このことは、付着塩分量が飛来塩分の単純な積算ではなく、

一度付着した塩分が移動しうることを意味している。

今回分析した橋梁では、Web 内側に比べて、その直下の下 Flg 上側の Na^+ や Cl^- の付着量が多い(図 2)。鉄鋼表面には露が着く可能性があり、Web 内側には水滴が流れた跡が多数観察される。露には付着塩分の一部が溶かし込まれる可能性がある。露が流れることで web は洗い流され、流れ落ちた露は下 Flg にたまと考えられる。その結果、一度 Web に付着していた塩分の一部は下 Flg に再堆積する可能性がある。 NaCl は溶解度が高く、こうした水滴の移動の影響を受けやすい。Web 内側に比べて下 Flg が Na^+ や Cl^- に富むのは、露による付着塩分の移動・再堆積を反映していると考えられる。

5. まとめ

付着塩分は下 Flg で特に多いことが分かった。このことは付着塩分が移動することと関係していると考えられる。また、付着塩分量と離岸距離の関係から、海岸から 2 km 以内の橋梁では、 Na^+ 、 Cl^- の付着量が極端に高く、海岸から 2 km 以上離れた橋梁では Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} の付着量が相対的に増加する。海岸から離れた地域の腐食環境を議論するには、海水以外からの飛来塩分の供給源の特定や腐食への影響も明らかにする必要があると考えられる。

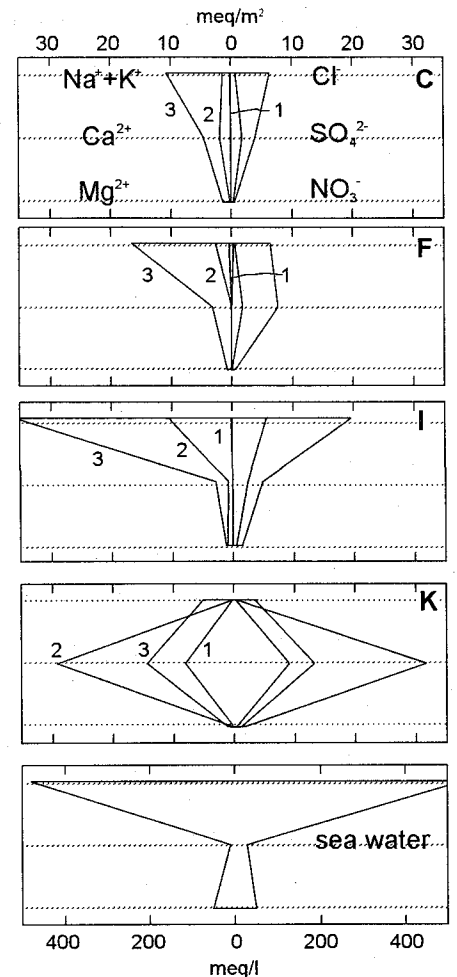


図 2 付着塩分量のヘキサダイアグラム。1：外桁 Web 外側，2：外桁 Web 内側，3：外桁下 Flg 上面（内側）

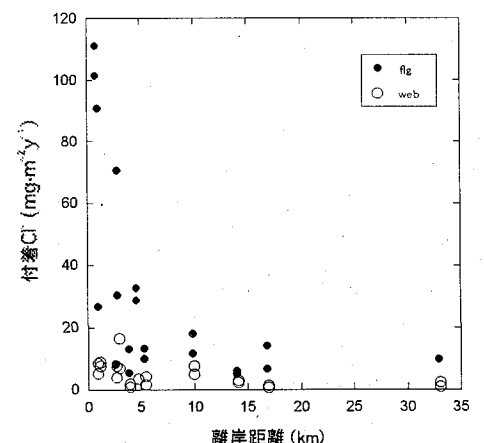


図 3 Cl^- 付着量と離岸距離