

多径間多主桁鋼鈑桁橋における塩分環境調査

麻生稔彦（社会建設工学科） 松尾宏樹（社会建設工学専攻） 西村陽平（社会建設工学専攻）

An investigation of saline environment on a multi-span multi-girder plate girder bridge

Toshihiko ASO (Department of Civil and Environmental Engineering)

Hiroki MATSUO (Graduate school of Civil and Environmental Engineering)

Yohei NISHIMURA (Graduate school of Civil and Environmental Engineering)

Abstracts: Weathering steel has an anticorrosive function by creating protective rust on the surface of steel. This function would be able to provide the possibility reducing life time cost of a steel bridge. However, anticorrosive function is strongly affected by corrosion environment, which is amount of salts, temperature, humidity and wind condition surrounding the bridge. This paper reports the results of observation of corrosion environment on multi-girder multi-span weathering steel bridge. From the observation, a relationship between airborne salts contents and salt contents which is attached to the surface of girders was become clear.

Key words: weathering steel, airborne salts, adherent salts, salts composition

1. はじめに

橋梁などの社会基盤構造物は、大量に造る時代からメンテナンスによって長寿命化させる時代が変わってきている。鋼橋では、メンテナンス費用を含めた LCC（ライフサイクルコスト）の低減が長寿命化させる際の重要な課題になっている。そのため鋼橋の LCC を押し上げる要因の一つとなっているメンテナンス費用の縮減を可能となる耐候性鋼材が多く採用されている。耐候性鋼材は、鋼材表面に生成する保護性さびにより、腐食原因物質の侵入を防ぎ、供用期間中の腐食量を維持管理上問題とならない範囲に抑える機能が期待できる。

しかし、耐候性鋼材の腐食速度は、腐食環境の厳しさに依存して変化し、腐食環境がマイルドである場合には腐食速度が極めて小さいため、さびの発生も遅く、その保護機能の高まりは起こりにくい。一方、腐食環境が厳しい場合には保護性さびは生成されず異常なさびが生成され、腐食が進行する¹⁾。そのため、耐候性鋼材を使用するには、橋梁の腐食環境を十分に把握する必要がある²⁾。腐食環境を表す物質として鋼材の腐食を進行させる Cl⁻が代表的である。通常、Cl⁻は海塩粒子に由来するとされ、腐食環境を把握するためには塩分環境を調査する必要がある³⁾、飛来塩分量により評価されている。飛来塩分量は地形や地域環境に左右されるため、局所的な環境を直接評価することは困難である。また、飛来塩分量が直接鋼材の腐食に影響することは考えにくく、飛来塩分量と鋼材に付着する塩分量の関係を明らか

にすることは、鋼材の腐食を検討する上で重要である³⁾。この時、それらの塩類組成を明らかにすることにより、その物質の由来を検討することも可能である⁴⁾。

本研究では、実橋梁において横断方向と橋軸方向の飛来塩分量と付着塩分量を継続的に測定し、それらの関係および塩類組成について検討した。なお、本研究において塩分とは塩化ナトリウムを表し、塩類とは水溶性の無機成分を表す。

2. 対象橋梁

対象橋梁の概要を Table1 に、橋梁架設位置を Fig.1 に示す。計測期間は、横断方向調査が 2009 年 9 月～2010 年 9 月、橋軸方向調査が 2010 年 10 月～2011 年 1 月である。対象橋梁は、山口県南部の光市に架設された耐候性鋼材を使用した 4 径間連続 7 本主桁鋼鈑桁橋である。Fig.2 および Fig.3 に対象橋梁の上部工断面図および側面図を示す。橋長は 139m、全幅員は 20m であり橋軸方向は東西である。Fig.4 および Fig.5 には対象橋梁における温度および湿度の変化を示す。この橋梁の夏季（8 月）と冬季（1 月）の平均気温を比較すると約 25℃の気温差がある。また、夏季（8 月）は平均湿度が 78.4%、冬季（1 月の平均湿度は 71.5%である。

3. 調査方法

対象橋梁の横断方向と橋軸方向について、飛来塩類と付着塩類の測定を行った。ここで飛来塩類はガーゼ捕集器(Photo1)により採取し、付着塩類は拭き

Table1 橋梁概要

構造形式	4径間連続鈑桁橋
材質	耐候性鋼材
表面処理	さび安定化補助処理
橋軸方向	東西
橋長	139m
全幅員	20m



Fig.1 対象橋梁架設位置

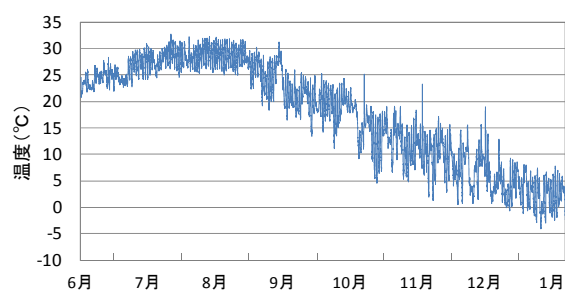


Fig.4 温度変化

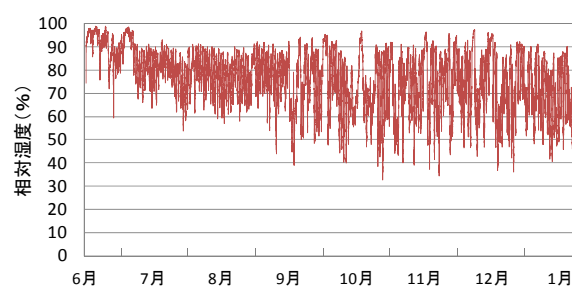


Fig.5 湿度変化

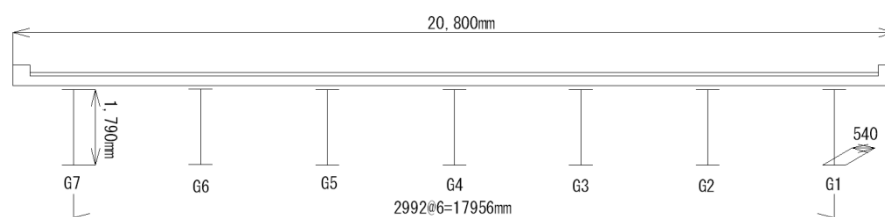


Fig.2 上部工断面図

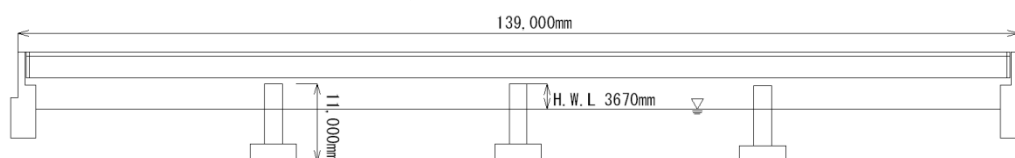


Fig.3 側面図

取り試験(Photo2)により採取する。ガーゼ捕集器の位置と拭き取り試験の位置の概略図を、Fig.8およびFig.9に示す。横断方向調査では、桁下にガーゼ捕集器を1つ(S-L)、桁間の下流側から2つ目の桁(S-2)、3つ目の桁(S-3)、5つ目の桁(S-5)、6つ目の桁(S-6)に設置した。これらにより、桁下飛来塩分の桁間への流入割合と、横断方向における桁間飛来塩分量の違いについて検討する。また、横断方向の拭き取り試験は、桁間ガーゼ捕集器を設置した桁にそれぞれウェブ上部・中央・下部の3か所で行った。上部・中央・下部の3か所行い塩分量の違いの検討を行った。フランジの拭き取り試験は全ての桁の下フランジ上面で行った。

橋軸方向調査では、海から近く雨風にさらされにくい Fig.4 の G2 桁で東西 5 つ桁下にガーゼ捕集器を設置し、4 か所でウェブ上部・下部、下フランジ



Photo1 ガーゼ捕集器



Photo2 ガーゼ拭き取り試験

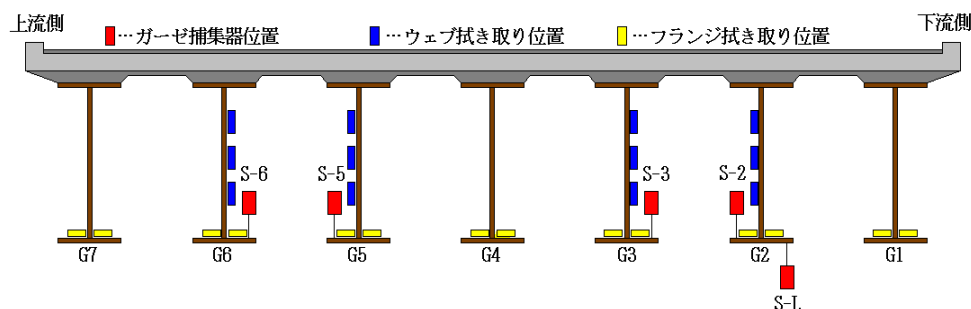


Fig.8 横断方向における測定位置

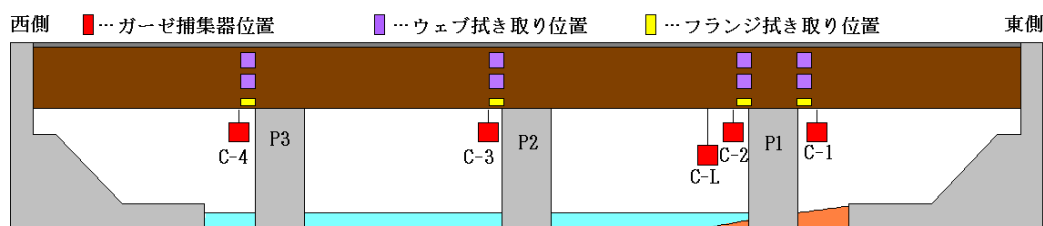


Fig.9 橋軸方向における測定位置

上面の拭き取り試験を行い、橋軸方向における塩分量の差異の検討を行った。これらの試験を月に1回行い試料を回収し、イオンクロマトグラフおよびICPにより、イオン分析を行う。本研究では Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} の7種類のイオンを対象とした。ここで、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} はさびの発生に影響を与える陰イオンとして、 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} は Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} に結合する陽イオンとして選定した。

4. 調査結果

Fig.10に桁下(S-L)、桁間(S-2,3,5,6)の飛来塩分量(Cl^- 量から換算したNaCl量)の月別変化を示す。計測期間における桁下の平均飛来塩分量は0.249mddとなった。また、全ての月で飛来塩分量は桁間より桁下の方が多く、桁下の塩分が全て桁間に流入するわけではないことがわかる。そこで、Fig.11に、桁間飛来塩分量を桁下飛来塩分量で除した桁間流入率を示す。なお、この図において赤は上流側、青は下流側の桁間流入率を示している。これより、上流側と下流側における桁間流入率の差は明確には見られず、桁間飛来塩分量は桁下飛来塩分量の35~45%となること明らかとなった。

対象橋梁では、西南西および西方向の離岸距離が1.5kmと短い。Fig.12に1時間最大風速の累積より得られる風向図を示している。ここで、1時間最大風速の累積のデータは、対象橋梁から北西方向に約9kmの位置にあるアメダス下松から引用している。図より西南西、西方向の累積風速が比較的大きい。

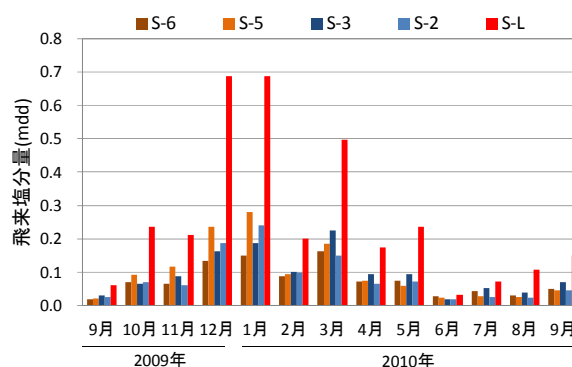


Fig.10 桁下(S-L)・桁間(S-2,3,5,6)飛来塩分量

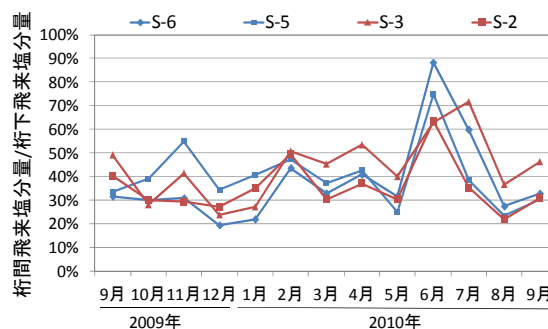


Fig.11 桁間流入率

そこで、Fig.13に月別飛来塩分量と海風方向(西、西南西方向)の累積風速の関係の月別変化を示す。Fig.14は飛来塩分量と累積風速の相関図を示しており、相関係数は0.81となっている。また、夏季より冬季の方が飛来塩分量は大きくなっている。冬季は

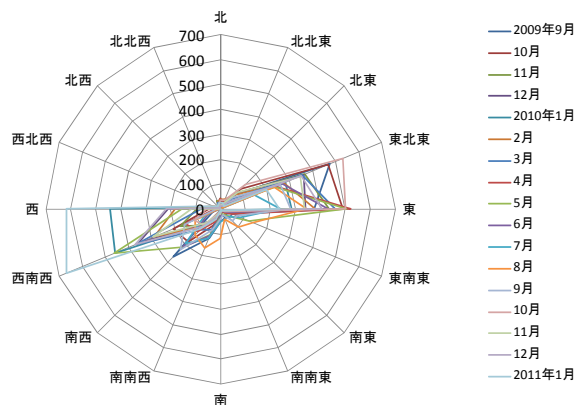


Fig.12 風向図

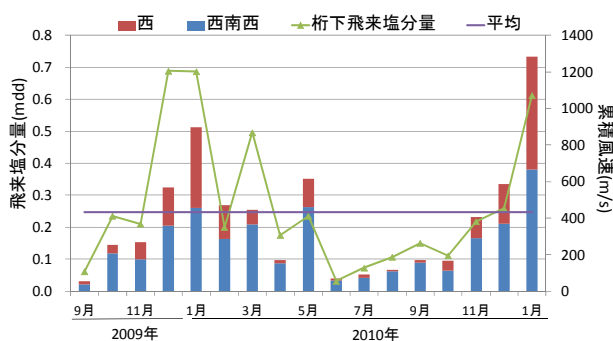


Fig.13 月別飛来塩分量と累積風速

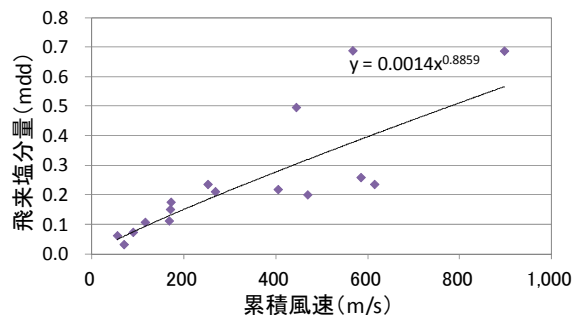


Fig.14 飛来塩分量と累積風速の相関図

季節風が海方向から卓越するので、多くの海塩粒子が運ばれるためだと考えられる⁶⁾。

Fig.15 は各桁のウェブの計測期間における平均付着塩分量である。図より、全てのウェブにおいて上部から下部にかけて付着塩分量が多くなっている。これは、ウェブに発生した結露により塩分が上部から下部へ流れる事が原因だと考えられる。また、Fig.16 に下フランジ上面の計測期間における平均付着塩分量を示す。図より、内桁(F-1U~F-7D)より外桁(F-1D,F-7U)の塩分量が少なくなっている。外桁は直接雨水にさらされるため、塩分が桁下に洗い流されることが原因だと考える。また、内桁で比較すると、上流側、下流側における大きな違いは見られな

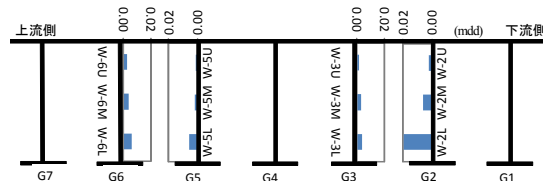


Fig.15 ウェブの平均付着塩分量(mdd)

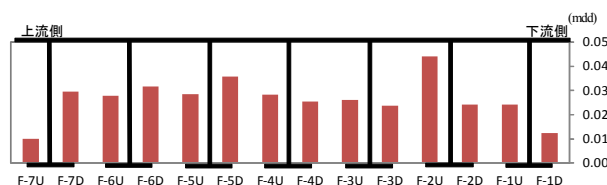


Fig.16 フランジの平均付着塩分量(mdd)

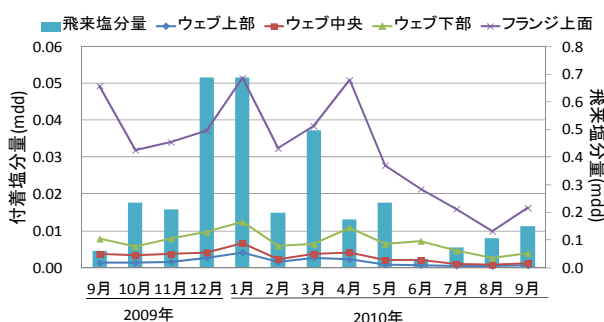


Fig.17 飛来・付着塩分量の関係

かった。

Fig.17 は各部位における平均付着塩分量と桁下飛来塩分量の月別変化である。測定月によらず付着塩分量はウェブ上部から下フランジ上面へと下方にいくにつれて、大きい値になっている。下フランジ上面は、ウェブに垂直であるためウェブから流された塩分が堆積すると考えられる。下フランジ上面には、ウェブ下部に比べて平均で 4.6 倍の塩分が付着している。また、桁下飛来塩分量に対する付着塩分量の割合はウェブでは月平均の最大値で 3.5%、下フランジ上面では平均 10.3%の塩分が付着していることが明らかとなった。

Fig.18 にウェブ、Fig.19 に下フランジ上面の膜厚測定結果を示す。図より、ウェブでは下方にいくにつれ膜厚が大きくなる結果となり、平均付着塩分量と同じ傾向がみられた。一方、下フランジ上面では外桁に比べて内桁の膜厚が大きい。内桁で比較すると、大きな違いは見られず、内桁における膜厚は平均付着塩分量の多寡と同じ傾向がみられた。Fig.20 に膜厚と付着塩分量の相関図を示す。ウェブ、下フランジ上面共に付着塩分量が多い部位ほど膜厚が大

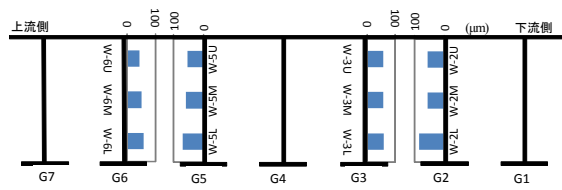


Fig.18 ウェブの膜厚(μm)

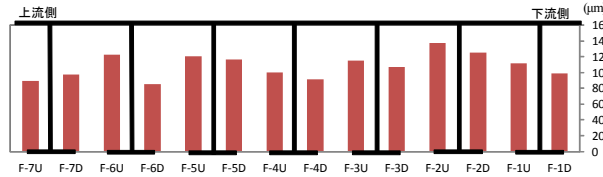


Fig.19 フランジの膜厚(μm)

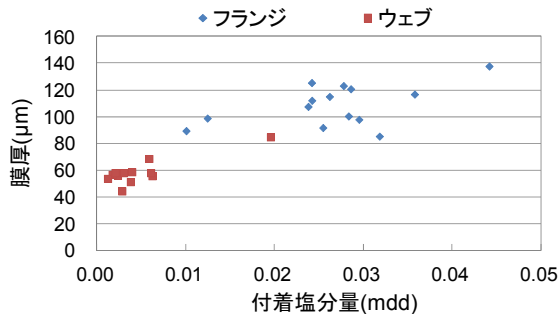


Fig.20 膜厚と付着塩分量の相関図

きい傾向がみられた。両者の相関係数は0.89と大きい結果となり、付着塩分量による鋼材の腐食への影響が大きいことがわかった。

飛来・付着塩分の由来や、分析を行った7種類のイオンの比率を示すために塩類組成の検討を行った。Fig.21に海水、Fig.22に8月と1月の桁下飛来塩類、Fig.23に1月のウェブの付着塩類、Fig.24に1月のフランジの付着塩類のそれぞれの塩類組成を示す。海水と飛来塩類、ウェブの付着塩類の組成をそれぞれ比較すると、全て K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- を多く含んだ盃型を示している。これにより、飛来塩類とウェブの付着塩類は海塩粒子に由来していることが考えられる。しかし、飛来塩類とウェブの付着塩類には、海水にない NO_3^- や SO_4^{2-} が含まれている。光市は工業地域のため、工場から排出される窒素酸化物や硫酸酸化物が影響していると考えられる。一方、フランジの組成は飛来塩類やウェブの組成とは異なり、盃型を示しておらず SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} の割合が高い。下フランジ上面は、土や塵埃などが堆積しやすいことから、堆積物が組成に影響していると考えられる。

橋軸方向における飛来、付着塩分量の分布をFig.25,26に示す。Fig.25における紫の折れ線は平

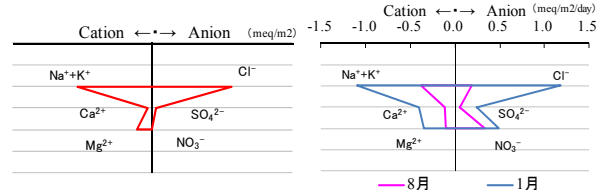


Fig.21 海水

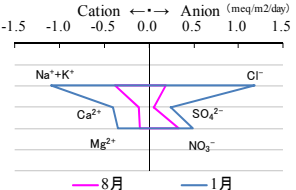


Fig.22 飛来塩類

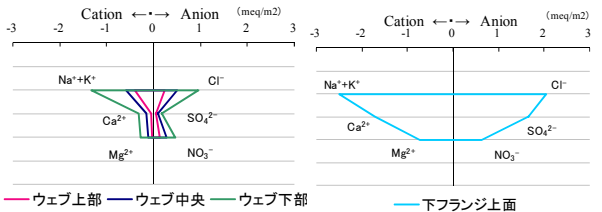


Fig.23 ウェブ

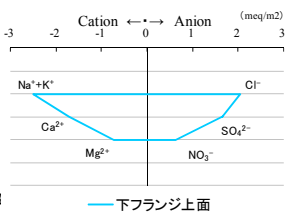


Fig.24 下フランジ上面

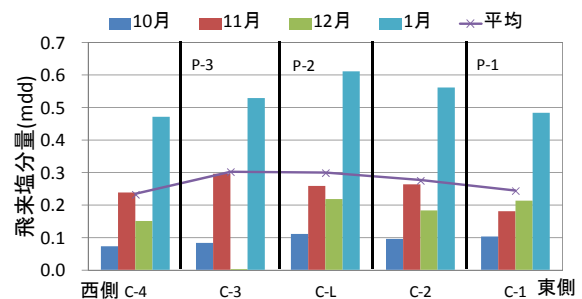


Fig.25 橋軸方向における飛来塩分量

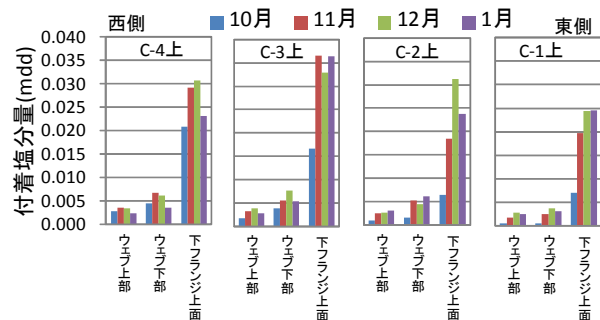


Fig.26 橋軸方向における付着塩分量

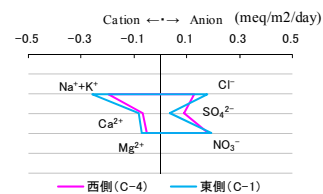


Fig.27 橋軸方向における塩類組成比較

均値を示しており、橋軸方向における差はあまり見られないことがわかる。そのため、飛来塩分は橋梁に対しほぼ一様に到達し付着していると考えられる。

また、Fig.26 より、付着塩分量も橋軸方向における大きな違いは見られなかった。Fig.27 に 10 月における東側(C-1)と西側(C-4)の飛来塩類組成を示す。2 つの組成は海水と同じ歪型を示しており、橋軸方向における組成の大きな違いは見られなかった。

Fig.1 より、河口から対象橋梁までの河川形状に大きな屈曲はない。そのため、河口から橋梁に到達する塩分量に差があまりみられないと考えられる。そのため、橋軸方向における飛来、付着塩分量や組成に差がないと考える。

5. まとめ

この調査により、多主桁多径間鋼板桁橋における飛来塩分量と付着塩分量の関係や、横断・橋軸方向における塩分量の違いや傾向が明らかとなった。下フランジ上面が最も付着塩分量が多く、ウェブ下部の約 4.6 倍の塩分が付着していることがわかった。横断方向では、桁の位置における桁間流入率の差は小さく、桁下飛来塩分量の 35~45%が桁間に流入していることがわかった。膜厚測定の結果より付着塩分量が多い部位ほど、膜厚が大きいことが示された。また、橋軸方向では、飛来塩分はほぼ一様に橋梁に到達していることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 三木千壽、市川篤司：現代の橋梁工学、数理工学社、2004.
- 2) 社会法人日本鋼構造協会：耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術、2005.
- 3) 麻生稔彦、烏田晃平、大屋誠、武邊勝道：耐候性鋼橋梁における飛来塩類と付着塩類、鋼構造年次論文報告集、第 16 巻、pp.587-594、2008.
- 4) 武邊勝道、松崎靖彦、大屋誠、安食正太、古川貴士、麻生稔彦：耐候性鋼橋梁の表面状態と付着塩類量の関係、土木学会論文報告集 F、Vol.63、No.2、172-180、2007.
- 5) <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index>.
- 6) 西村陽平、山口県南部における鋼橋への飛来塩類付着性状に関する研究、山口大学卒業論文、2009.

(平成 23 年11 月4 日受理)