

数値シミュレーションによる橋梁周辺の腐食環境に関する研究

建設構造研究室 横山 友紀
指導教官 岩崎 英治
長井 正嗣

1. はじめに

近年、LCCの低減が重要課題となっている中、耐候性鋼材は無塗装で使用できるために、LCC低減の観点において大変魅力的な鋼材であるといえる。耐候性鋼材は鋼材表面に保護性さびと呼ばれるさび層を形成することで、腐食作用を抑制する働きをもつ。この保護性さびの形成には飛来塩分量の影響が大きく、耐候性鋼材の使用には飛来塩分量を測定し、 0.05mdd ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$) 以内であれば耐候性鋼材を使用してよいとされている。しかし、飛来塩分量は年間を通じて変化するため、測定には多大な労力と時間が必要になる。そのため、離岸距離が十分な地域では調査を省略してよいとされたが、北陸以北の日本海に面した地域では離岸距離 20km 以上となっており、新潟県内のほとんどの平野部が調査対象地域となる。これが耐候性鋼採用の大きな障害となっているため、飛来塩分量の予測を行うことは重要であり、橋梁周辺環境が飛来塩分に与える影響を明らかにすることは有用であると考えられる。一方、同じ橋梁内の部位でも風上・風下、桁の内側・外側などによって、腐食状態が異なることから、部位により腐食環境に違いがあることが予想される。また、地形の影響により飛来塩分が少なくなることも予想されることから、離岸距離の規定だけでなく、地形や風向きの影響を考慮した飛来塩分量を推定できるようなシステムが構築されていると耐候性橋梁の普及に寄与できるものと考えられる。

2. 目的

本研究では、新潟県内の複数の地点での昨年度

までの飛来塩分調査結果とアメダスによる風向風速データとの関係について明らかにする。

また、橋梁内の3箇所に、ガーゼ法による飛来塩分捕集器具を取り付けて観測した1年間の飛来塩分の観測結果と、有限要素法による流れ解析による結果の比較検討を行い、数値シミュレーションによる腐食環境の評価の可能性について検討を行う。

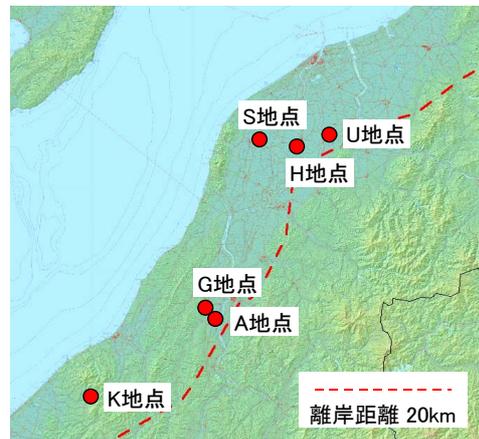


図 - 1 飛来塩分量調査地点 (2002 年度)



図 - 2 飛来塩分量調査地点 (2003 年度)

3. 飛来塩分量の予測

飛来塩分の測定方法には幾つか方法があるが、測定には回収が容易で、捕集容量の多い土研式タンク法を採用した。調査は、2002年8月からの1年間(2002年度)と、2003年9月からの1年間(2003年度)の計2年間行った。図-1, 2に飛来塩分の調査地点を示す。2002年度は6地点、2003年度は2地点(G地点, U地点)はそのままにし、2年間継続して調査を行い、残りの4地点を変えて合計10地点で観測を行った。

飛来塩分量の調査結果を表-1, 2に示す。離岸距離がほぼ等しいG地点とU地点を比較してみると、G地点の飛来塩分量が少ないことがわかる。これは、U地点は平野部に位置しており、北西の風が直接吹き付けるのに対し、G地点は海岸線から山間部を越えて塩分が飛来するためと考えられる。

本研究では、海岸から10数km内陸での飛来塩分と風との関連を検討することから、距離減衰による影響を考慮して、飛来塩分量は風速に比例すると仮定する。さらに、飛来塩分は海岸線方向からの複数の方向からの総和で表されると仮定して、以下のように表す。

ある観測時期*i*での飛来塩分量 S_i は、その期間中に複数の方向*j*からの風により輸送された飛来塩分量 s_{ij} の総和として表される。

$$S_i = \sum_{j=1}^n s_{ij} \quad (1)$$

$$s_{ij} = C_j V_{ij} \quad (2)$$

ここで、 n ：飛来塩分を輸送する風の方位の数、 V_{ij} ：平均風速、 C_j は*j*方向からの風による飛来塩分への寄与の度合いを表す係数である。

2年目の飛来塩分調査を行ったU地点の飛来塩分について、1年目の飛来塩分の調査結果と1年目の風向風速データを用いて求めた係数*C*を元

に求めた2年目の飛来塩分量の予測値と、2年目の観測値を図-3に示している。

観測値と予測値を比較してみると、風向データには1時間値データではなく、10分値データのような観測頻度の多いデータを使用したほうが、正確に再現できている。

表-1 飛来塩分量調査結果(2002年度)

調査地点	離岸距離	飛来塩分量
S地点	8km	0.224mdd
K地点	10km	0.148mdd
H地点	15km	0.249mdd
G地点	15km	0.045mdd
U地点	17km	0.144mdd
A地点	18km	0.057mdd

表-2 飛来塩分量調査結果(2003年度)

調査地点	離岸距離	飛来塩分量
N地点	12km	0.310mdd
O地点	13km	0.195mdd
G地点	15km	0.057mdd
U地点	17km	0.166mdd
M地点	27km	0.035mdd
E地点	29km	0.090mdd

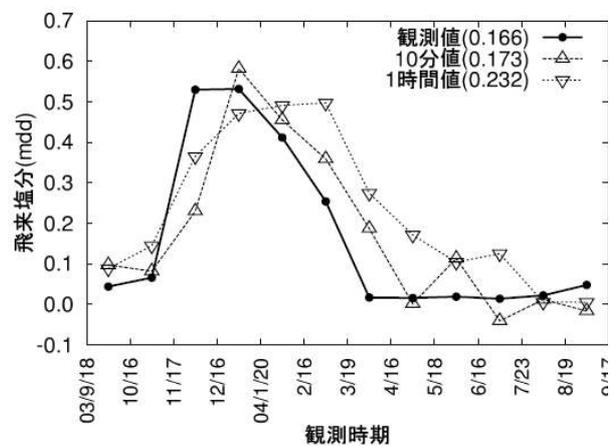


図-3 新津観測所の風向風速データによるU地点の飛来塩分の予測 (括弧内の数値は年平均飛来塩分：mdd)

これらの検討より、飛来塩分量*S*を各方向からの平均風速*V*と各方向の飛来塩分への寄与を表す係数*C*の積で表すことの妥当性が確認できたと考えられる。

4. 数値シミュレーションによる腐食環境の評価

有限要素法を用いて桁周辺の風の流れをシミュレーションした。対象橋梁は、図 - 1 に示すU地点の橋梁とした。解析領域と境界条件を図 - 4 に示す。空気の状態は 0°C, 1 気圧, 境界条件は、領域の右端では自由流出とし、左の境界から一様な風を発生させる。解析ケースは風速を 0.5m/s, 1m/s の 2 ケースとしている。また、拡散係数は 0 とし、層流で解析を行った。

図 - 5 に橋梁断面図と入力値の時間履歴を示す。橋梁断面は実際のモデルを単純化した形状とした。

図 - 6 に風速 1m/s の時の解析結果を示す。(a) の濃度分布から、橋梁周辺で風の乱れが確認でき、(b) の圧力分布から、1 本目の桁に圧力がかかっており、橋梁上面と桁の内部で負の圧力(渦)が発生していることが確認できる。(c) には通過累積分布を示す。ここでは、ある点を通る物質の総量を通過累積量として、次式のように定義する。

$$\int_0^t \rho c v dt \quad (3)$$

ここで、 ρ : 密度, c : 濃度, v : 速度とする。

橋梁上面と桁下の青色部分では入力値よりも多い塩分が通過しており、桁の内部では入力値よりも少ない塩分が通過していることを示している。

また、表 - 3 に解析結果を示す。A 点と C 点では 1 以上となっており、入力値よりも多い塩分が通過していることが分かる。B 点では 1 よりも非常に少ない値となっており、桁内部では、風が直接吹き込まず回り込むためと考えられる。

有限要素法による流れ解析による結果と観測結果との比較を行うために、飛来塩分調査を行った。図 - 7 に捕集器具の設置状況図を示す。ガーゼ法の捕集器具は橋梁中央部、桁端から 3.5m の位置に設置した。設置状況は、桁外で橋軸に平行(A),

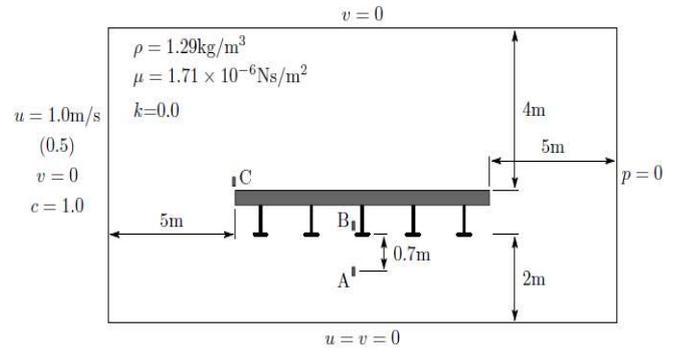


図 - 4 解析領域と境界条件

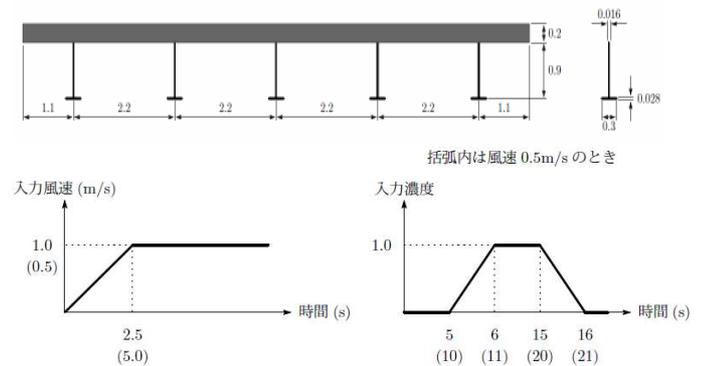


図 - 5 橋梁断面図と時間履歴

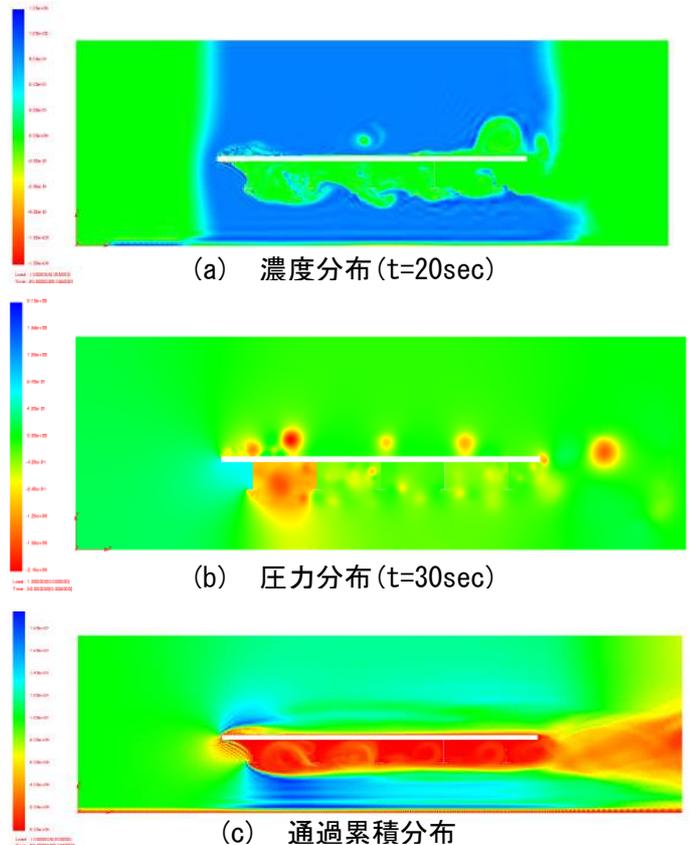


図 - 6 風速 1m/s の時の解析結果

桁内で橋軸に平行 (B) とした。

土研式タンク法の捕集器具は橋梁中央部の海側に面した高欄外面に設置しており、それを C 点とする。

測定期間は、1ヶ月を1サイクルとし、12サイクル継続し、ガーゼ法は計1年間、土研式タンク法は計2年間計測することとした。表-4に調査結果と解析結果を示す。調査結果と解析結果を直接比較するために、A点を基準として比を取った。C点の比を見てみると、調査結果が0.91に対し、解析結果は1程度となっており、良好な結果が得られたと言える。しかし、B点の比は調査結果が0.27に対し、どちらのケースにおいてもその半分程度となっており、良好な結果とは言えない。今回のシミュレーションでは層流を仮定しているが、実際の流れは乱流であるので、乱流による拡散を考慮すると調査結果に近い値が得られるものと考えられる。

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- 離岸距離がほぼ等しい地点でも、飛来塩分量に違いが見られた。平野部では離岸距離が20km以上の地域でも規定値の0.05mdd以上の飛来塩分量の地域があり、途中に山地のある地点では、20km以内でも規定値程度になる地域があることが確認できた。
- 各風向からの平均風速と各方向からの風の飛来塩分への寄与を表す係数の積で、飛来塩分を表現できることを示した。
- 飛来塩分の再現には、10分値データのような観測頻度の多いデータを使用する必要があることを示した。
- 桁周辺の風の流れをシミュレーションした結果、橋梁断面周辺で、風の流れは様々に変化することがわかった。
- 飛来塩分の調査結果と解析結果の比較を行い、

橋梁の上面では飛来塩分の傾向をおおむね再現できた。しかし、風の回り込む桁の内部の再現性は高くなかった。

- 適切な拡散係数を与えることで、再現性は上がるのではないかと推測できる。

表 - 3 解析結果

位置	解析結果 (v=1.0m/s)	解析結果 (v=0.5m/s)
A 点	1.282	1.408
B 点	0.175	0.147
C 点	1.296	1.289

※各地点の解析結果は、通過累積の入力値に対する比

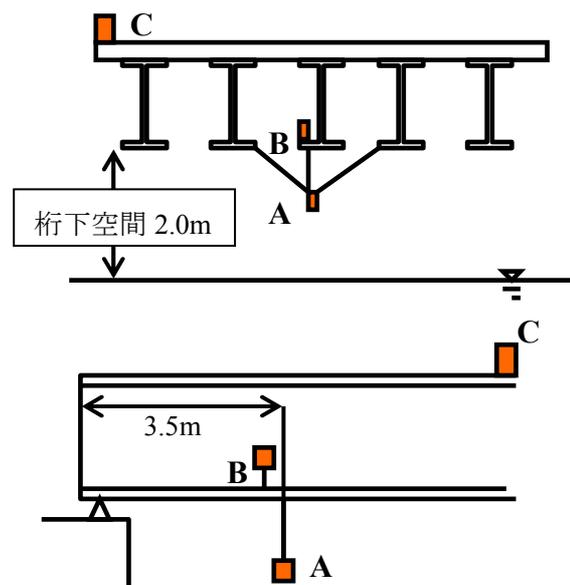


図 - 7 捕集器具の設置状況図

表 - 4 調査結果と解析結果の比較

位置	調査結果	解析結果 (v=1.0m/s)	解析結果 (v=0.5m/s)
B 点/A 点	0.27	0.137	0.104
C 点/A 点	0.91	1.011	0.915