

塩分の風による飛散と橋桁へのシミュレーション

Application of numerical analysis of windborne salt to the bridge design

武田 勝昭* , 加藤 真志**

Katsuaki TAKEDA and Masashi KATO

ABSTRACT In the vicinity of the seaside uncoated weathering steel is not recommended to bridges if the quantity of windborne salt is above the prescribed value. This value is based on the experimental data obtained in flat and open area. The quantity of windborne salt can be below the prescribed value if some mountains are located between the bridge construction site and the seaside. The numerical evaluation of windborne salt is introduced to expand the applicability of weathering steel to bridges. In addition the simulation around the bridge girder section is also introduced in order to prevent local rust caused by locally adhering salt.

KEYWORDS : 飛来塩分, 数値解析, 橋梁, 地形, 耐候性鋼材

windborne salt, numerical analysis, bridge, weathering steel

1. まえがき

鋼橋のミニマムメンテナンス化を実現する上で、克服しなければならない課題は腐食と疲労である。特に腐食という面に着目すると、我が国では無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領¹⁾が刊行され、全国の開けた平坦地における飛来塩分観測値を基に、無塗装耐候性橋梁の適用可能地域が飛来塩分量 $0.05\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ (以下mddと略す)以下の地域であることが明確化された。この結果、耐候性鋼材を裸仕様で適用できる地域は、例えば北日本の日本海側沿岸部では海岸線から20kmを超える地域、太平洋沿岸部では海岸線から2kmを超える地域とされている。しかしながら、国土を海に囲まれ、平野部の少ない我が国では、橋梁の多くが飛来塩分量0.05mdd以上とされる地域に架けられているために、この設計・施工要領は、鋼橋を沿岸地域に架ける上で大きな制約となる。この設計・施工要領に対し、海岸近くでの耐候性鋼材裸仕様の適用を可能とするためには、指定された方法により長期間の観測を行い、年間の飛来塩分量が規定値よりも少ないことを実証するか、あるいは対象とする架橋地点近傍に、腐食することなく健全度を保っている橋の存在を示すことが条件となる¹⁾。一方では最近、より耐腐食性に優れた高耐塩性耐候性鋼材が開発され、規定値以上の飛来塩分であっても十分に裸使用が可能であることが実証されつつある。しかし、高耐塩性耐候性鋼材にも飛来塩分の上限値が存在することから、対象とする地点での年間飛来塩分量を何らかの手法により短期間で予測できる技術の開発が望まれている。ところで、実際の鋼橋を調査すると、特定の部位に腐食が集中しているケースが多く、必ずしも橋全体が腐食していないという結果が報告されている。特に、飛来塩分量の多い地域では、付着した海塩粒子が降雨により洗浄されにくい桁の内側に腐食が集中している²⁾。従って、桁

*工博 NKK 基盤技術研究所 主幹研究員 (〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1)

**工博 NKK 技術企画部 統括スタッフ (〒100-8202 東京都千代田区丸の内1-1-2)

の内側への飛来塩分の侵入を防ぐか、塩分が付着する部位を集中的に防錆処理することにより腐食に対する健全度を良好に保ち、長寿命化を実現することが可能になる。そこで、本研究では、①橋梁架設地点の飛来塩分量予測、②橋梁断面部位毎の塩分濃度ならびに付着塩分量の予測、の2つの予測技術について、数値流体解析手法を用いた塩分シミュレーションを実施した例を紹介する。先ず①では、海岸から10数kmの地域を対象に、飛来塩分量の観測地点を選定してガーゼ法による短期観測を行い、この結果と幾つかの仮定の下で行った塩分シミュレーション結果と比較した例を紹介する。次に②では、2主桁橋について実際に観測された測定結果との比較による精度検証を行い、またその解析手法により、想定した橋梁断面を対象に桁内側への飛来塩分の流入を空力的に回避する対策を検討した例について報告する。

2. 飛来塩分の数値解析手法

数値解析的に行う塩分シミュレーションは、流速と圧力を未知数とし、境界条件によって決定される等温・非圧縮の流れ場に対して、塩分という物理量の輸送方程式を並行して解くことによって行う。当然ではあるが対象とする流れ場は乱流である。そこで、本解析では $k-\varepsilon$ モデル³⁾を乱流モデルとして用いた。 $k-\varepsilon$ モデルでは、流速、圧力の瞬間値は平均値と変動値に分離され、これをアンサンブル平均化して得られる以下の Reynolds 方程式(1)と連続の式(2)を解くことが基本となる。

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u_i u_j} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

上記の Reynolds 方程式における $-\overline{\rho u_i u_j}$ は、Reynolds 方程式を導出する際に現れる Reynolds 応力項である。この項は、以下の一般化された Boussinesq 近似である(3)式によって表す。

$$-\overline{\rho u_i u_j} = \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

ここで、 ρ は空気密度である。 $k-\varepsilon$ モデルでは、上式に新たに現れた乱流渦粘性 μ_t を乱流エネルギー k とエネルギー散逸率 ε で以下のように表すことを基本としている。

$$\mu_t = \rho c_\mu k^2 / \varepsilon \quad (4)$$

このため k と ε の移流拡散方程式を解く必要がある³⁾。以上の手順により、流速場が求めれば、以下の無次元塩分濃度 \bar{C} の輸送方程式を解くことによって、各場所、各時間における無次元塩分濃度を得ることができる。

$$\rho \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\mu + \mu_t) \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} \right) + \bar{C}_g - \bar{C}_{cut} \quad (5)$$

上式の塩分方程式において、重力による沈降速度項 \bar{C}_g 、物体表面上で奪われる塩分損失項 \bar{C}_{cut} は経験的に定めざるを得ない項であり、これらの項は結果に及ぼす影響も大きいと思われる。また、拡散係数である乱流渦粘性 μ_t も影響の大きい項である。さらに、海岸からの塩分発生量分布、即ち塩分濃

度の境界条件も当然ながら影響の大きい因子である。

文献 4) を参考にすれば、沈降速度項 \bar{C}_g を、次の様に定義している。

$$\bar{C}_g = W \partial \bar{C} / \partial y \quad (6)$$

$$W = W_0 \exp(-Bx) \quad (7)$$

y は高さ方向座標、 x は離岸距離である。上式では、 $W_0 = 0.06$ 、 $B = 0.012$ が提唱されている 4)。この沈降速度項は、塩分の沈降速度が海岸に近い程大きいこと、即ち海岸に近い程大きい粒子が早く落下し、海岸から離れると小さい粒子になるので落下速度が小さくなることを表している。

塩分損失項 \bar{C}_{cut} は、文献 4) を参考に、流速と無次元塩分濃度の積に比例した量が損失すると仮定し、次式の様に表すこととした。

$$\bar{C}_{cut} = \rho \gamma \bar{C} U \quad (8)$$

上式において、仲座ら 4) は、植生により塩分が奪われるという仮定で葉面積密度を乗じているため γ は無次元係数として定義されているが、本論文の定義では無次元係数になっていないことに注意する必要がある。

以上の計算には、汎用流体解析プログラム STAR-CD を用いたが、無次元塩分濃度の輸送方程式は、スカラー量の輸送方程式を解くパッケージを用いて解いた。沈降速度項や塩分損失項は、ユーザー・サブルーチンを用いることによって評価した。なお、境界条件については、後述することとする。

3. 地形周りの解析

3. 1 対象とする地形と解析領域

対象とした地形は、NKK 津製作所を含む東西方向 15,450m、南北方向 12,900m であり、解析領域としては、これに高さ方向 1,000m を考慮した三次元空間とした。これを国土地理院の数値地図を用いて、東西方向 90、南北方向 93、高さ方向 31 分割した。従って水平方向のメッシュの大きさは、170m × 140m という大きいものである (図 1)。高さ方向には、地表面から最初の格子点を 1.5m とし、地表面付近を細かく、上空に行くに従って粗いメッシュを採用した。

3. 2 解析手法と境界条件

海岸からの風 (水平成分) は、10m 高さでの風速を 5m/s とし、1/8 のべき指数で風速分布を与えることにより、東側 (伊勢湾) からの流入条件として与えた。地表面付近のメッシュを高さ方向にどれほどの大きさで切るかというのは常に問題になる。本解析では、地表面に接する最初のメッシュの中心を地表面から 1.5m の高さとし、その位置に適切なせん断力を与えることにより、風速の鉛直分布形状を調整した。つまり、事前に地表面 (ここでの地表面は、陸面、海面の双方を表す) から最初の格子点が 1.5m となる矩形の二次元解析領域を作成し、この流入境界に 1/8 のべき指数分布に従う流速分布を与え、長い流送距離を経た流出境界でも 1/8 のべき指数分布が保たれるようなせん断力を試行錯誤的に求め、このせん断力を地形周りの三次元解析の海面に接するメッシュに適用している (なお、せん断力は、対数分布を仮定して粗度長で与えている)。陸上では、このべき指数を 1/5 とし、同じ要領で流出境界でも 1/5 のべき指数分布が保たれる場合のせん断力を求め、これを地表面から最初の格子点に適用した。地表面から最初の格子点を 1.5m 高さとしたのは、現地でのガーゼの設置位置を地表面から 1.5m としたためである。乱れ強度は、 k を高さ方向にほぼ一様に与え、海面上高さが 40m 付近での乱れ強度が 5% 程度となるように与えた。なお、上側境界と側面境界は、STAR-CD に備わっている対称境界条件、流出境界は、流出方向への勾配をゼロとする流出境界条件とした。

塩分の流入条件は、文献 4) を参考に、無次元塩分濃度として海面上で 1.0、高さ y に従い濃度が減少していく以下の関数形で与える。

$$\bar{C}(y) = \exp(-0.293y) \quad (9)$$

なお、この塩分濃度は、海面と陸面の境界上に与えた。

3. 3 観測結果と解析結果の比較

図2は、降雨の心配がなく海風が比較的吹いているタイミングでガーゼを海岸方向に向けて設置し、2日間の短期観測を4回行った結果である。

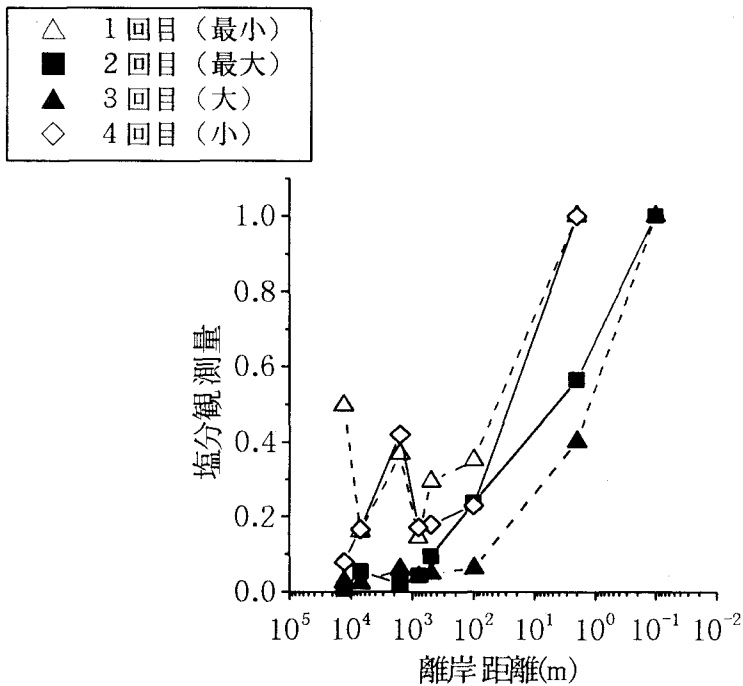


図2 離岸距離と塩分観測値の関係

同図の横軸は離岸距離である。観測点は波打際から内陸13kmまでの幾つかを選定した。4回の短期観測は、気象条件等が異なるので塩分検出量の絶対値が異なる。そこで、波打際で測定した値を1.0（縦軸）として、各観測点の値を無次元化して示した。つまり、海岸で発生する塩分量が、対象とする地点までどれだけ到達したかという比率を表している。ただし、1回目、4回目の計測では波打際のデータが消失したため、2m内陸の観測値を基準として無次元化している。なお、同図の結果は、最小△、小◇、大▲、最大■の順に観測量が大きくなっていることを示している。この結果から、観測量が少ない最小△、小◇の場合には観測値は場所毎にばらつくが、観測量が多い最大■、大▲の場合には離岸距離とともに塩分量が低下するという、平坦地における一般的な性質を示すことが分った。なお、観測量が少ない場合のバラツキが、分析精度によるものか、あるいは海風が弱かったためか、今回の結果だけから判断することはできない。

ここで、解析値と比較すべき信頼性が高い観測値として、塩分観測量が4回の中で最大であった2回目の結果を用いることとした。2回目の計測時は、現地に設置した風向風速計によると海風方向の風速の平均値は、高さ1.5mで約3.5m/sであり、べき指数1/8を仮定して10m高さにおける風速に換算すると約4.5m/sとなる。解析で入力境界の10m高さにおける風速を5.0m/sとしたのは以上の理由による。

2回目の短期計測の結果■と、数値解析による結果を比較したものが図3である。

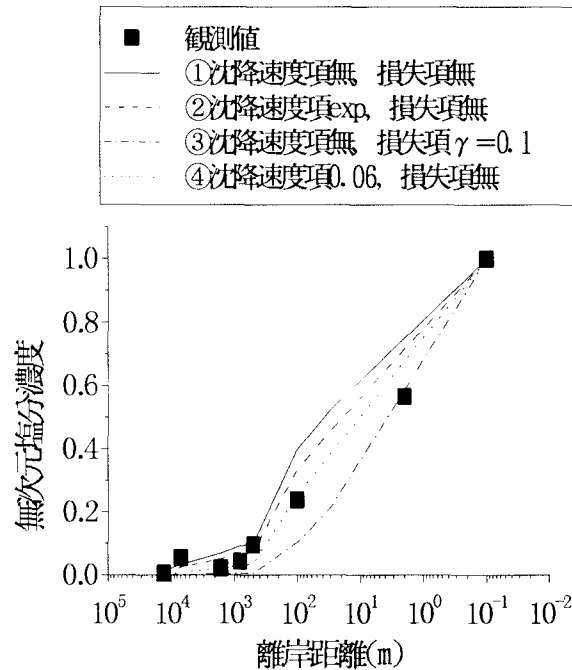


図3 離岸距離と飛来塩分量，解析精度の比較

①は沈降速度項・塩分損失項双方無し，②は沈降速度項を(6)，(7)式の様子に評価，塩分損失項無し，③は沈降速度項無し，塩分損失項として $\gamma = 0.1$ として評価，④は沈降速度項を(6)式の W を0.06一定，塩分損失項無しとしたものである。この結果を見る限り，どの結果も適度に観測値の傾向をとらえているので，沈降速度項や塩分損失項に対して塩分濃度解析値は比較的鈍感であると言える。これは， $k-\epsilon$ モデルで用いている(4)式の乱流拡散係数の影響が大きいためであると考えられる。沈降速度項と塩分損失項の影響を個別に比較すると，③の結果から，塩分損失項により特に内陸部で解析値が観測値を下回ること，①，②，④の結果から，沈降速度項は結果を微妙に変化させていることなどが分る。本結果だけでは断言できないが，津地区という比較的平坦な地形における数値解析では，沈降速度項の $W = 0.06$ ，塩分損失項無しとした④の結果が，離岸距離と塩分濃度の関係を最も精度良くとらえている。なお，山が存在し凹凸が大きく，さらには表面が樹木で覆われているような地形では，別途塩分損失項等の検討が必要であると考えている。

4. 橋桁断面周りの解析

4.1 2主桁橋断面周りの解析

町田らは，青森県の吾妻川橋梁を対象とした付着塩分の観測結果を報告した⁵⁾。断面形状は，図4に示す2主桁橋であり，図中に示される①～④は，断面の各部位の部位番号（例えば①は風上側フランジ下面）を表している。町田らは，この断面を対象に，長期観測については拭き取り法，短期観測については回収法（JISZ2381 ガーゼ法）により，部位毎の塩分付着量を示した。長期観測では降雨の繰り返しにより塩分が雨洗されるため，数値解析の対象とすることは難しい。そこで短期間で一定の風速（桁上方で9.7m/s）が吹いている状態で実施された短期観測の結果を本解析の対象とした。

解析では，入力条件として10m/sの一定風速を断面の左側の流入境界より与えた。無次元塩分濃度は一定値の1.0として同じく左側の流入境界に与えている。また，物体に衝突する流れであることから，標準 $k-\epsilon$ の欠陥として指摘されている衝突面での過大な乱流エネルギーの生産を回避することが可能な修正生産項 $k-\epsilon$ ⁶⁾を，乱流モデルとしてユーザー・サブルーチンに組み込んだ。入力境界条件

としては、乱流エネルギーをゼロに設定しているため、標準 $k-\epsilon$ でも特に問題は生じないと考えられるが、ここでは修正生産項 $k-\epsilon$ を用いることとした。なお、本報告での橋桁断面周りの流れ解析は全て二次元計算であり、メッシュ数を少なくするため、壁関数を用いている。計算を行う過程においては、カルマン渦が安定な状態で放出されるまで計算を続け、安定な1周期を取り出して無次元塩分濃

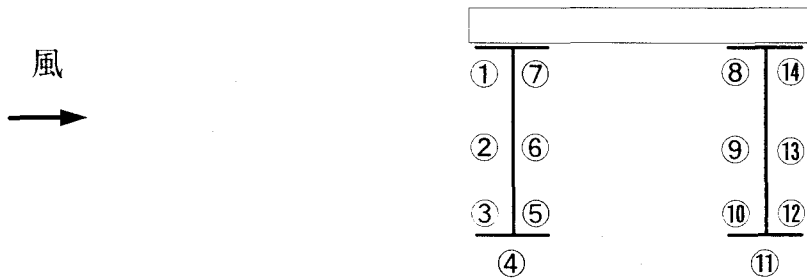
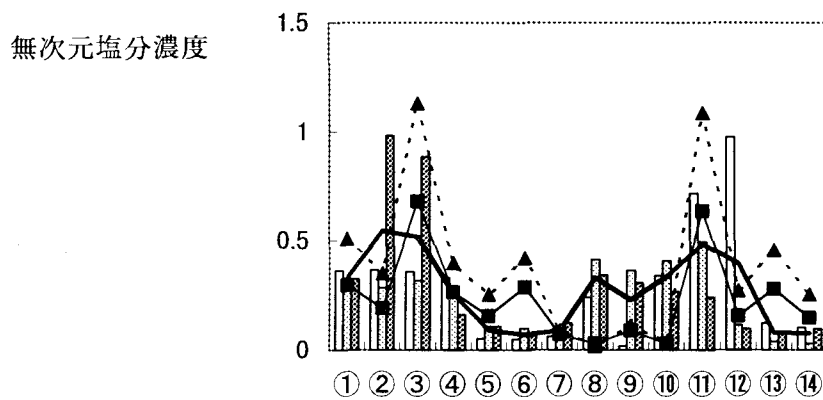
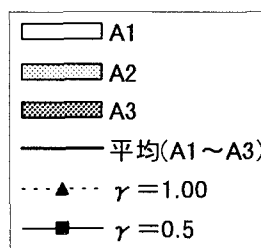
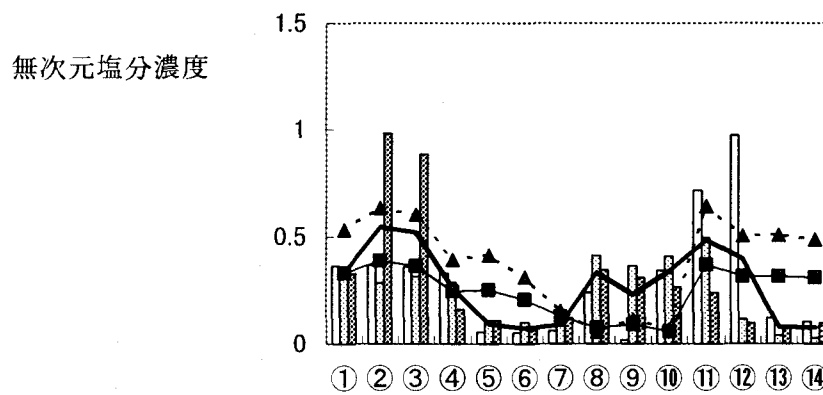


図4 2主桁断面部位番号



(a)壁面に隣接するセルの流速に比例



(b)流入境界の流速に比例

図5 断面部位毎の観測値と解析値の比較

度場等を平均化した。図5は、文献5)に示される数時間の短期観測で得られた塩分量と、本解析で得られた塩分損失項から評価される塩分損失量を比較したものである。横軸は図4で示した①～④の部位番号、縦軸は無次元塩分濃度を示している。解析値は、流入境界の1.0に対する無次元値であるが、観測値は桁上方の観測値で無次元化している。なお、図5の観測結果にはA1, A2, A3が示されているが、A1の桁下空間が最も狭く、A2, A3と順次桁下空間が広がった場所での観測結果であることを表している。同図には各部位番号毎に左からA1～A3を示しており、またA1～A3の平均値も併記した。(5)式の塩分損失項の U として、橋梁断面に隣接するメッシュの中央点における流速を用いた解析値が図5(a)である。しかし、この速度はメッシュサイズの影響を受けるため、これを避けるために U として流入境界の流速を用いた解析値が図5(b)である。それぞれについて γ を2種類変化させて解析し、その結果を示した。

A1～A3という桁下空間の違いがあるものの、塩分付着量はバラツキが大きく、この結果だけから観測値の傾向を読み取るのは難しい。塩分損失項に壁面流速を用いた図5(a)場合の方が部位毎の変化が大きく、図5(b)のように流入速度を用いると部位毎の変化は小さくなる。当然ではあるが、 γ が大きいと、各部位毎の値は大きくなる。A1～A3の平均値に着目すれば、流入速度を用いた場合の精度が高い。一方、観測値の部位毎の変化をとらえようとするならば、壁面流速を用いた方が部位毎の変化が強調される。以上のような傾向が認められるものの、本解析の結果だけからこれらの傾向が一般的なものであるか否かは判断できない。解析では、風は水平方向で一定、塩分も一樣という前提がある。観測は強風で比較的風速が安定した際に実施されたようであるが、実際には風は風速を変化させながら断面に対して吹き上げ、吹き降ろしを繰り返し、風向も時々刻々と変化するのが一般的である。特に、解析値が⑧～⑩において観測値を下回っているのは、観測時に吹き上げがあったためであると推察される。このような影響をどのように解析に取り込むかについては課題が残るところであるが、断面周りの部位毎の付着塩分量を数値解析的に評価する手法としては、本手法は有効なものであると考えられる。そして、より多くの観測データが採取され、また、より詳細な解析手法の検討を行うことによって、このような断面周りの塩分シミュレーション技術が実用的なツールとして確立されて行くのではないかと考えている。

4. 2 飛来塩分回避のための空力的対策

前節で実施した断面周りの解析手法を応用し、橋梁断面として飛来塩分を空力的に回避するための効果について数値解析的考察を行った。本節で用いた解析手法は、前節で示した無次元塩分濃度の輸送方程式において、損失項の U として壁面流速を用いて $\gamma=1.0$ としたものである。その他の解析条件、例えば流速と無次元塩分濃度の境界条件等については前節と同じとした。

風によって飛来する塩分が桁下空間に入り込むと、雨による塩分の洗浄効果が期待できないために、桁下空間が部分的に腐食し易くなる。従って、塩分が桁下空間に入り込まないような形状を考案することが長寿命化のための基本であると考えられる。

対象とした断面は、図6(a)～図6(d)に示す4断面である。(a)は張り出しのある2箱桁断面であり、その箱断面形状が矩形のもの、(b)は(a)の箱の下部をU型にしたものである。また、(c)は張り出しのある4主桁断面であり、(d)はその張り出し部に曲面的な覆いを取り付けたものである。従って、(a)と(b)、(c)と(d)が各々対応する。

(a)は風上側箱桁下側端部からの剥離が強く、剥離した流れは下フランジよりも斜め下側に向かう。一方、(b)では下フランジ近傍での剥離は殆ど見られず、箱桁下端部からの流れは下フランジを沿うように流れる。この様子は、(c)と(d)でも同様である。(c)では端箱桁下端部からの剥離が強いが、(d)のような覆いを取り付けることにより、流れは桁下面を沿うように流れる。剥離が大きいと、負圧が強い桁下空間の剥離域に塩分が吸い込まれるが、流れが桁下面を沿うようになると、桁下空間の中で循環する流れが形成され、空力的には閉ざされた空間を形作る。このために桁下空間の中に塩分が侵入し難くなっている。このように剥離を抑え、桁下空間の塩分濃度を下げる効果は、(b)にも(d)にも見られるが、(d)の方が幾分効果的である。このような箱桁の端部を部分的に丸くする、あるいは覆い

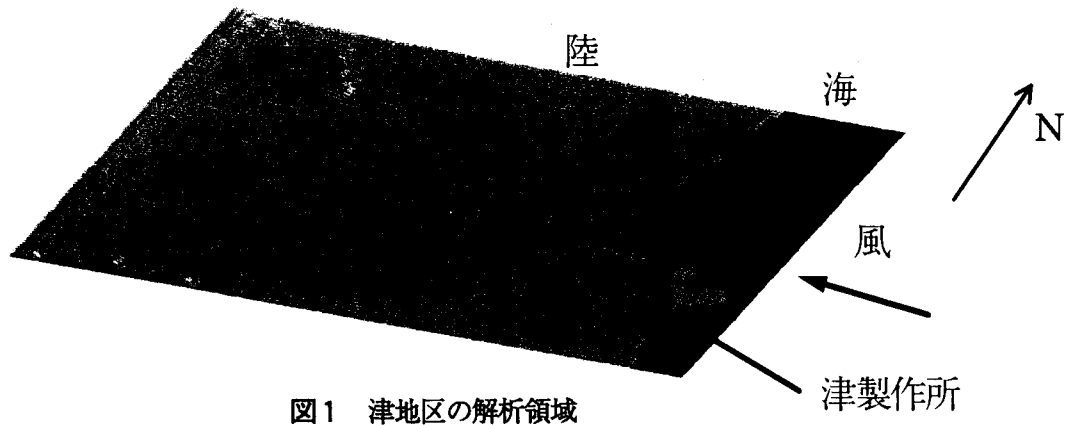


図1 津地区の解析領域

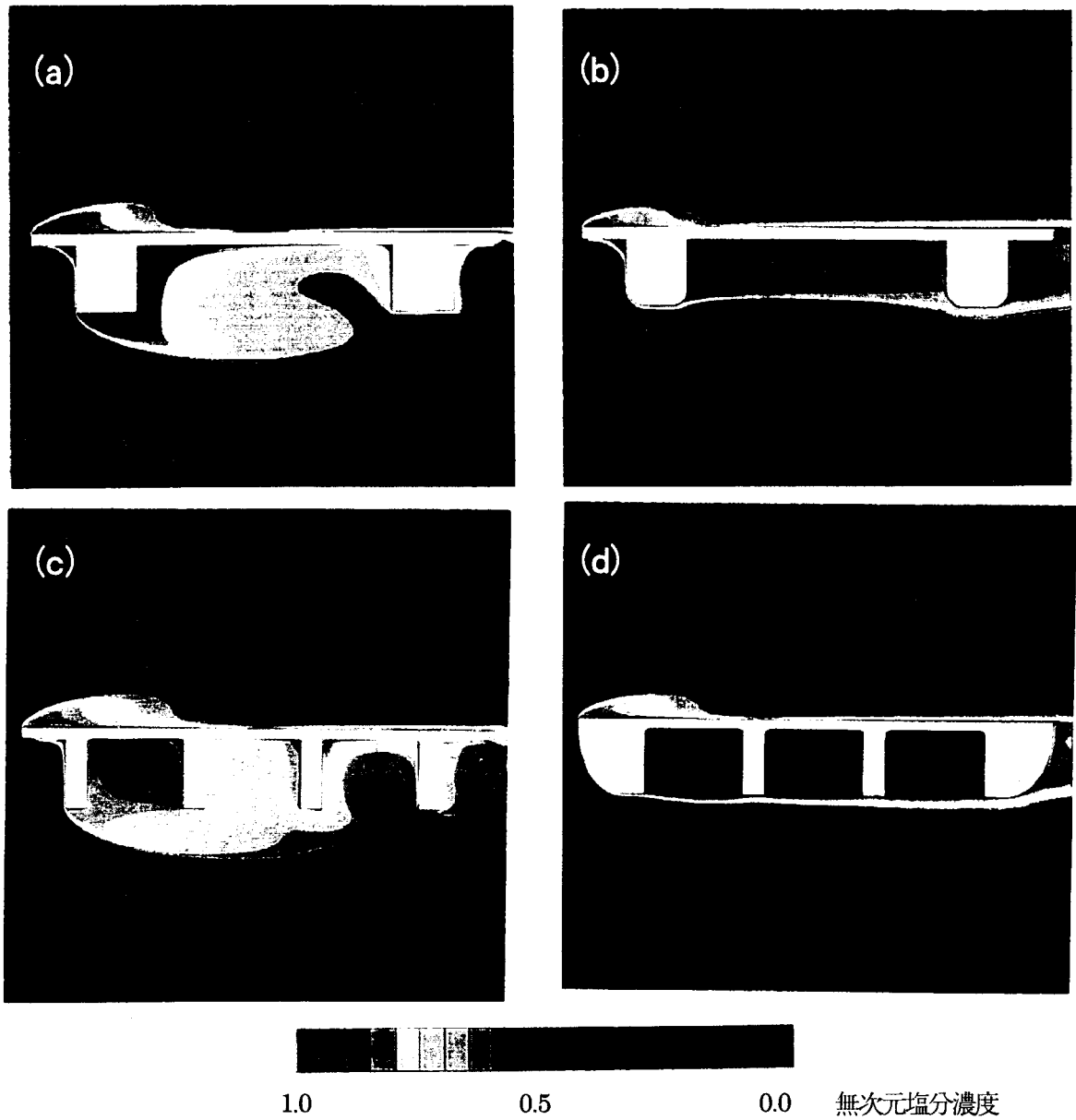


図6 断面周りの塩分解析結果

を取り付けるといった空力的な塩分回避対策は、初期コストにおいて幾分高くなる可能性があるが基本的には簡便なものであり、またこのような対策は恒久的な構造であるため、今後の鋼橋の腐食に対する耐久性を向上させ、LCCを低減させる効果があると考えられる。

本解析手法が妥当なものであると証明されたわけではない。しかし、より多くの実験データを採取し、風のデータなども詳細に調査することによって、このような解析手法のより厳密な評価が可能となり、有効なツールとして鋼橋の耐久性の向上に役立てば良いと考えている。

5. 任意地点の飛来塩分を短期間で予測する手法について

既に述べた様に、飛来塩分シミュレーションの主目的は、架橋地点での飛来塩分量を短期間で精度良く予測することである。つまり、海岸近くでも、山等の局所的な地形の影響を受け、飛来塩分量が0.05mdd以下であることを短期間で予測し、耐候性鋼材を裸使用で利用できることを実証する、あるいは高耐塩性耐候性鋼材が利用できる飛来塩分量以下であることを示すことが重要である。

そこで、対象とする地点の飛来塩分量を、短期間で予測可能とするためのフローチャートを図7に示す。

①のルート：

架橋地点近傍の地点で、年間飛来塩分量の観測値 S_{0Y} が得られている場合の評価法。海風を与えて飛来塩分シミュレーションを行い、観測地点の塩分濃度と架橋地点の塩分濃度の比から、架橋地点の年間飛来塩分量 S_Y を推定する。海風の境界条件を与える際には、先ず近傍の気象官署における年間の海風エネルギー比例数等から海風方向の平均風速を算出し、次にシミュレーション結果を用いて気象官署から海岸における風速に換算し、これを境界条件として与える。なお、海風エネルギー比例数は、次式のように表される。

$$\text{海風エネルギー比例数} = \sum_{n=a}^b V_n^2 \cos \theta_n \quad (10)$$

ここで、 a ：飛来塩分測定器設置日、 b ：飛来塩分測定器回収日、 V_n ： n 日の日平均風速、 θ_n ： n 日の最多風向と塩分測定器開口部方向とのなす角度（ $\leq \pm 90^\circ$ ）である。通常、塩分測定器開口部方向は、海岸に向かう方角として定義する。

②のルート：

架橋地点でガーゼ法による観測を行い、かつ風向風速計を取り付ける場合の評価法。何日間かの短期観測を行い、この短期観測中の飛来塩分量 S_s と海風エネルギー比例数 E_s を求める。次に、近傍の気象官署を探し、これを含む領域を対象に飛来塩分シミュレーションを行う。この時、必ずしも塩分の輸送方程式を解く必要はなく、流速場を得るのみで良い。シミュレーションにより気象官署と架橋地点の風速の関係が算出されるので、気象官署の年間海風エネルギー比例数を求めることにより、架橋地点の年間海風エネルギー比例数 E_Y を推定する。従って、以下の(11)式を用いることによって、架橋地点における年間の飛来塩分量 S_Y を推定することができる。

$$S_Y = S_s \times f(E_Y/E_s) \quad (11)$$

なお、文献7)は、上式の f の関係が、指数関係で表されるとしている。

③のルート：

②のルートに対し、風向風速計の設置を無くした場合の評価法。架橋地点の短期観測中の海風エネルギー比例数も、シミュレーションによって近傍気象官署の年間海風エネルギー比例数から推定する。

なお、以上の手法の精度を向上させるためには、シミュレーションの精度を少しでも向上させるこ

とが重要である。しかし、この手法により、健全度の高い耐候性鋼橋梁を架橋地点近くで捜す、あるいは長期間の飛来塩分観測を行う、といった一般的には困難で時間がかかる問題を短期間で克服できる可能性が生まれるのである。

6. 結論

等温、非圧縮の数値流体解析とともに塩分の輸送方程式を評価する塩分シミュレーションを、比較的平坦な地形周り、さらには橋梁断面周りに適用した。その結果、以下の結論が得られた。

(1)津地区という比較的平坦な地形に対し、ガーゼ法による短期の飛来塩分観測を行った。その結果、海風が強くと吹き、飛来塩分量観測値の絶対値が大きくなると、離岸距離とともに飛来塩分量が減少するという平坦地における一般的な傾向が現れる。この飛来塩分量に対し、数値解析により飛来塩分シミュレーションを行った結果、乱流拡散の影響が支配的であるためか、沈降速度項と塩分損失項の影響は比較的小さかったこと、しかしながら塩分損失項は飛来塩分量を過小に評価する傾向があること、沈降速度項を考慮することによって解析値は微妙に減少すること、等が明らかになった。なお、本研究の結果を見る限り、沈降速度項を一定値とし、塩分損失項を無視する解析手法が、観測値に最も近い結果を与えた。

(2)断面周りの塩分シミュレーションは、断面部位毎の塩分濃度分布や塩分付着量の評価に有用である。また、腐食の進行し易い桁下空間への塩分の流入を防ぐための空力的対策の効果の予測も一応可能となる。特に張り出し部に非構造部材としての丸い覆い、張り出しのある箱桁における下端部の丸みが空力的対策として有効であることが分った。なお、その有効性は、桁下面での剥離を抑え、広い負圧領域を形成しないことによって発揮される。

7. 今後の課題

今後、塩分シミュレーション技術を汎用化させていくためには、以下のような課題を克服していくべきであると考えている。

(1)地形周りの解析においては、本解析が、津地区という比較的平坦な一部の地形のみを対象としたものであり、地表面の条件（例えば樹木に覆われている等）が異なれば、解析に用いるパラメータも異なってくる可能性がある。従って、先ず平坦地で地表面の粗度をパラメータとして解析を行い、次に凹凸のある地形でも解析を行い、最適な解析手法を見極めて行く必要がある。そのためには、種々の地形を対象とした観測データが蓄積され、同時にシミュレーションを行い、精度の向上を図っていく必要がある。

(2)橋梁断面周りの解析において、解析値と比較すべき観測値にばらつきが見られ、このばらつきをどのように解釈すれば良いか不明であること、実橋断面に対して、断面部位毎に塩分付着量を観測した例が極めて少ないことが問題点である。解析精度を向上させていくためには、観測条件などが明確である多くの観測値に対して、解析モデルにおける感度分析を行い、実用的な解析手法を確立していくことが望ましい。

参考文献

- 1)建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会 : 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX)－無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領(改定案)－, 1993年3月
- 2)土木学会鋼構造委員会鋼橋の余寿命評価小委員会 : 鋼橋における劣化現象と損傷の評価, 土木学会鋼構造シリーズ⑦, 1996年
- 3)Launder, B.E., Spalding, D.B. : The numerical computation of turbulent flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3, pp.269-289, 1974
- 4)仲座栄三, 津嘉山正光, 山路功祐, 日野幹雄 : 飛塩(海塩粒子)拡散の数値流体力学的解析, 海岸工学論文集, Vol.40, No.2, pp.1036-1040, 1993年

- 5) 町田洋人, 田中誠, 江成孝文, 遠藤三郎: 塩分付着にあたる鋼構造物詳細と風の影響について, 第43回腐食防食討論会, C-306S, 1996年
- 6) 加藤真志: 修正生産項 $k \cdot \varepsilon$ を用いた静止・振動角柱周りの二次元流れ解析, 土木学会論文集, No.577/I-41, 1997年
- 7) 田中誠, 江成孝文, 町田洋人, 遠藤三郎: 特集: 鉄道用材料の性能評価と診断技術—無塗装鋼構造物の腐食劣化度診断技術—, 鉄道総研報告, Vol.10, No.8, 1996年

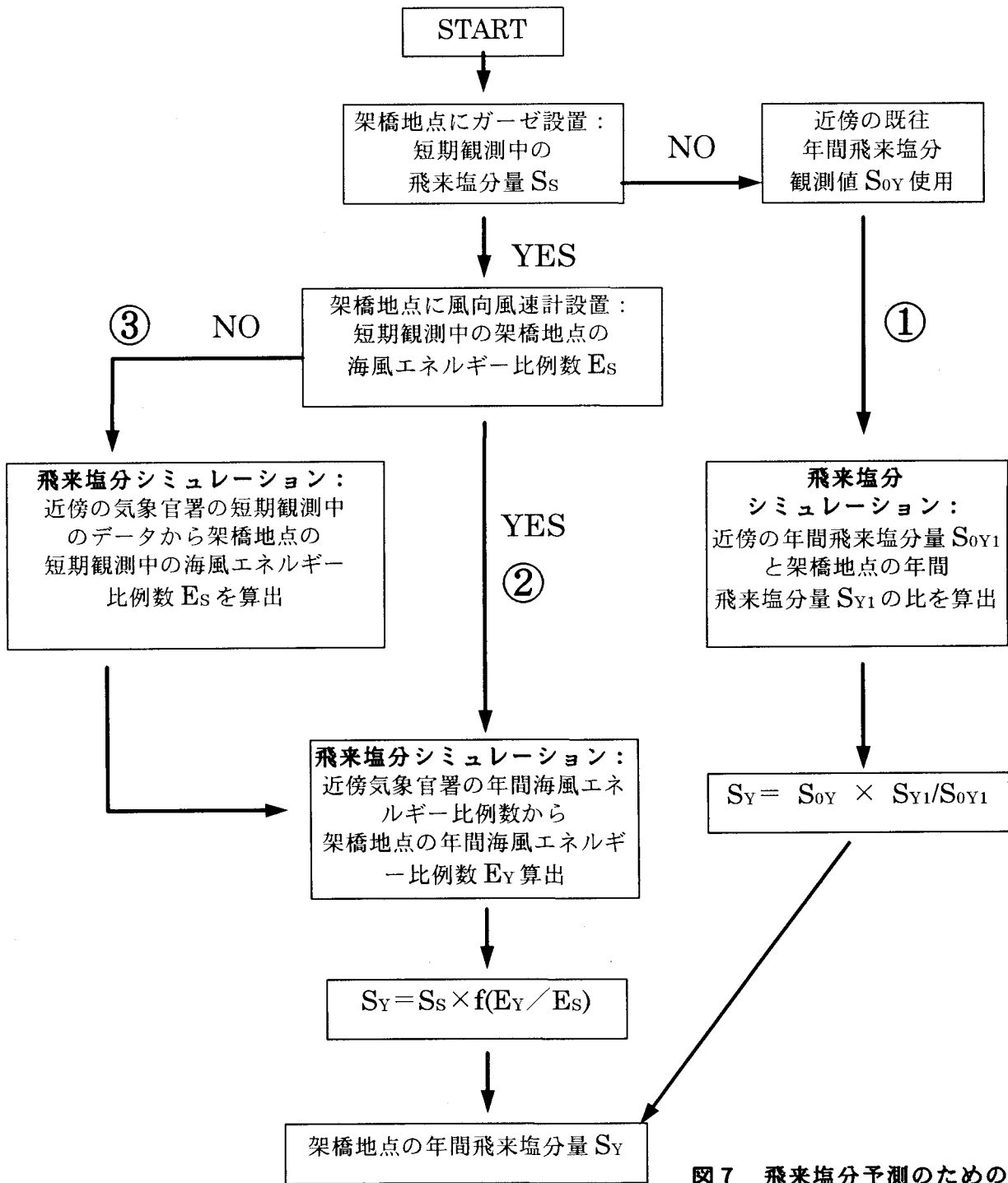


図7 飛来塩分予測のための概念図