

周辺環境条件を考慮した飛来塩分分布の予測と可視化方法の検討

長岡技術科学大学大学院 ○近藤健大
長岡技術科学大学大学院 正会員 中村文則

1. はじめに

北海道から北陸地方の沿岸部では、冬季の季節風により、海域から発生する飛来塩分の作用が激しく、コンクリート構造物において塩害劣化が問題となっている。道路橋示方書などにおいても、飛来塩分量が大きい重塩害地域に指定されている。このような環境の中で、沿岸部に設置された多数のコンクリート構造物を維持管理していくためには、飛来塩分の作用を予測するとともに、その結果を効率的に把握および利用できる技術を構築することが重要である。

本研究では、沿岸部の飛来塩分量の分布を効率的かつ簡易的に判別できるようにすることを目的として、新潟県新潟市を対象に、周辺環境条件を考慮した飛来塩分量の平面分布の予測解析を実施した。さらに、その結果を効率的に評価する方法として、3次元都市モデル(PLATEAU)を組み合わせた可視化方法について検討し、その考察を行った。

2. 飛来塩分量の分布の予測解析

2.1 飛来塩分量の算定式

飛来塩分量の分布は、既往研究¹⁾を参考に、飛来塩分が海岸からの距離と鉛直高さに応じて指数的に減少していると仮定とした算定式(1)で計算を行った。

$$C_0 = C_g \cdot \exp\left\{-\left(\beta/u\right) \cdot x\right\} \cdot \exp(-kz) \quad (1)$$

ここで、 C_0 は表面塩分量(kg/m^3)であり、構造物表面部の塩化物イオン量を示した値である。 β は水平距離に応じた塩分量の減衰係数(s/m^2)、 u は海域からの風速(m/s)、 x は消波施設の設置位置または汀線位置からの換算距離(m)である。 k は鉛直方向の塩分量の減衰係数($1/\text{m}$)、 z は基準面からの鉛直高さ(m)であり、今回の解析では基準面を標高7mとして $z=0\text{m}$ とした。塩分発生量 C_g は、気象・波浪・地形条件を考慮した海域上における仮想的な塩分発生量(kg/m^3)である。この値は、表面塩分量と同様のコンクリート

中に含まれる塩分量を示した物理量(kg/m^3)であり、実際の大气中の飛来塩分量($\text{mg}/\text{m}^2/\text{h}$)や塩分濃度(kg/m^3)とは異なる量である。

塩分発生量 C_g の算定は、既往研究¹⁾を参考に算定式を構築して求めることにした。宇多ら²⁾の既往研究では、海域からの塩分の発生量をウェーバー則に基づいて式(2)でモデル化している。

$$\phi = b \cdot u^2 \quad (2)$$

ここで、 ϕ は塩分の発生量、 b は海岸地形や波浪条件に関する係数、 u は風速である。村上³⁾らの研究では、風速と波の波速から求めた相対風速をウェーバー則に適用し、大气中の塩分量の観測結果をよく近似できることを報告している。

これらの結果から、海域からの塩分発生量 C_g の算定式として、風速のウェーバー則を基本としたモデルに、波高を導入した簡易的な式(3)を構築した。

$$C_g = C_s \cdot \alpha \cdot \frac{1}{u_0^2} \left\{ \lambda \cdot u^2 + (1-\lambda)(\sigma_w \cdot H_w)^2 \right\} \quad (3)$$

ここで、 C_s は観測結果から求めた換算塩分量(kg/m^3)、 u_0 は基準となる風速(m/s)、 u は風速(m/s)、 σ_w は風速と波高に関する係数($1/\text{s}$)、 H_w は沖海域の波高(m)である。係数 λ は、計算に考慮する風速と波高の重み付け係数($0 \leq \lambda \leq 1$)であり、1.0のときに風速のウェーバー則、0.0の時に波高だけを考慮した計算となる。

2.2 平面分布の予測方法

飛来塩分の平面分布の計算は、計算領域を等間隔の分割し、それぞれの格子の塩分量を算定する方法である。飛来塩分の発生点を設定し、その点からの風下方向の距離に応じた飛来塩分量を算定式(1)により求めることで、各格子の塩分量が算定される仕組みである。飛来塩分の発生点は、空中写真から消波施設と堤防、砂浜(陸と海の境界)を判別し、その位置と一致するように配置した。対象とした風向は、海岸線に対して角度 $-60 \sim +60$ の120度の範囲の海からの風を対象に計算を実施した。

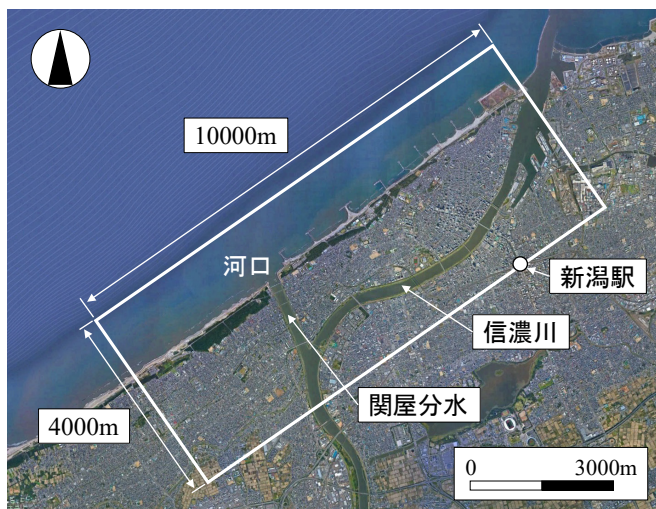


図-1 飛来塩分の計算領域

表-1 計算の設定パラメータ

| 項目 | | 設定値 |
|-------------------------------|------------|------------------------|
| 換算塩分量(kg/m ³) | C_s | 8.5 ($\lambda=1.0$) |
| | | 9.4 ($\lambda=0.5$) |
| | | 10.5 ($\lambda=0.0$) |
| 消波施設による塩分増加率 | α | 砂浜 1.0 消波施設 2.5 |
| 風速・波高の重み付け係数 | λ | 0.0~1.0 |
| 波高の換算係数(1/s) | σ_w | 2.35 |
| 基準となる風速(m/s) | u_0 | 5.4 |
| 距離による塩分減衰率(s/m ²) | β | 0.038 |

2.3 計算領域および設定パラメータ

飛来塩分の算定範囲は、図-1のような沿岸方向に10000m、内部陸部方向に4000mである。計算格子間隔は、沿岸方向10m、内陸方向10mである。対象とした計算場所は、新潟県新潟市の沿岸部であり、信濃川と関屋分水路に囲まれた範囲を中心とした。飛来塩分量の予測の対象期間は、2016年12月1日～2017年3月31日の約4か月間(2905時間)である。計算時間間隔は1時間間隔であり、2905パターンの飛来塩分量の平面分布を作成し、それを平均化したものを計算結果とした。

算定式に設定した主なパラメータを表-1に示す。表の換算塩分量 C_s 、消波施設による塩分増加率、距離による塩分減衰率 β は、既往研究¹⁾で実施された飛来塩分の現地調査から定めている。飛来塩分の発生量の計算に必要な風速 u と波高 H_w は、2016年12月1日～2017年3月31日の1時間間隔のデータを利用した。風速の計算入力データを図-2、波浪の計算入力データを図-3に示す。

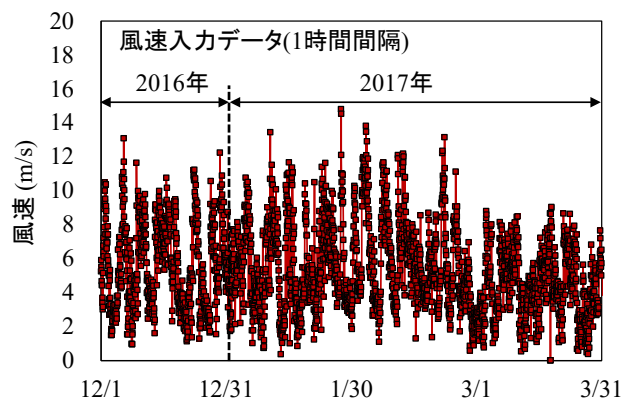


図-2 計算入力時系列データ(風速)

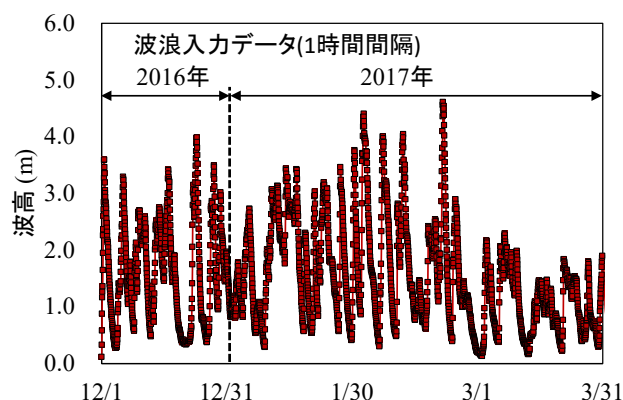


図-3 計算入力時系列データ(波浪)

3. 3D都市モデルの構築

3.1 3D都市モデルの構築ためのデータ

計算した飛来塩分量の平面分布を効率的かつ簡易的に評価できるようにするために、3D都市モデルを組み合わせた可視化を行った。3D都市モデルは、国土交通省で一般公開している3D都市モデルPLATEAU(デジタル地図)を利用した。このモデルは、2021年に全国56都市の3D都市モデルをオープンデータとして公開され、一般ユーザーが無料で利用できるになっている。現在、71都市が追加され、G空間情報センターからデータをダウンロードできるようになっている。

データは、緯度経度などの地図情報と高さ情報および土地利用区分などの地理情報データと組み合わせることで利用することが可能である。建物の形状や高さの情報は、LODレベル(Level of Detail)として4分割されている。

3.2 3D都市モデルの構築方法

飛来塩分量の平面分布を可視化させるための3D都市モデルは、新潟県新潟市の沿岸部を対象に構築

を行った。モデルの構築には、メタバースの構築に利用されるソフト Unity を利用した。このソフトは、限定された範囲内の使用であれば無料で使用できるものであり、プログラム言語 C# を組み合わせることで機能の拡張が可能である。全世界で多くのユーザーが使用しているソフトである。実際には、Unity 上で PLATEAU SDK を利用して 3D 都市モデルのデータのインポートを行った。インポートしたデータは、建築物、道路(一部)、土地起伏、土地利用である。対象範囲は、新潟県新潟市の信濃川下流域と関屋分水周辺であり、基本座標系を 8 系とした。さらに、Unity の機能を利用して、アプリケーション化を行い、Unity がインストールされていないパソコンでも操作・確認できるようにした。

3.3 構築した 3D 都市モデルの構築結果

図-4 は、3D 都市モデル(PLATEAU)を利用して新潟県新潟市沿岸部を可視化したものである。図は、海岸から信濃川までの範囲の地形および構造物を 3 次元空間で表示させたものである。図に示すように、3D 都市モデルを利用することで、都市全体の建物および防風林などの配置を仮想的な 3 次元空間で確認できることがわかる。また、飛来塩分の発生量に関する消波施設や砂浜の状況なども把握するところが可能である。建物が灰色となっている部分は、建物の形状が簡易的な構造となっている部分である。この部分は、現状で建物形状の詳細なデータが公開されていないため、今後、現地のデータを取得し、一部を再構築する予定である。

図-5 は、新潟市の信濃川の河口部から上流側 2km 程度の位置にする万代島周辺の状況を示したものである。この図は、構築した 3D 都市モデルを Unity の機能を用いてアプリケーション化したものをキーボードとマウスで操作し、表示したものである。図より、構築した 3 次元空間の一部を詳細に確認することができ、各建物の詳細な配置および形状が把握できることがわかる。図の上側の建物が LOD2(単純な形状)のデータであり、下側の万代島周辺が LOD3(外形を詳細にしたモデル)のデータで構築したものである。LOD3 のデータと空中写真を組み合わせることで、万代島周辺の建物と状況を詳細に示すことができている。これらの結果から、都市モデルを構築し、アプリケーション化することで、ユー

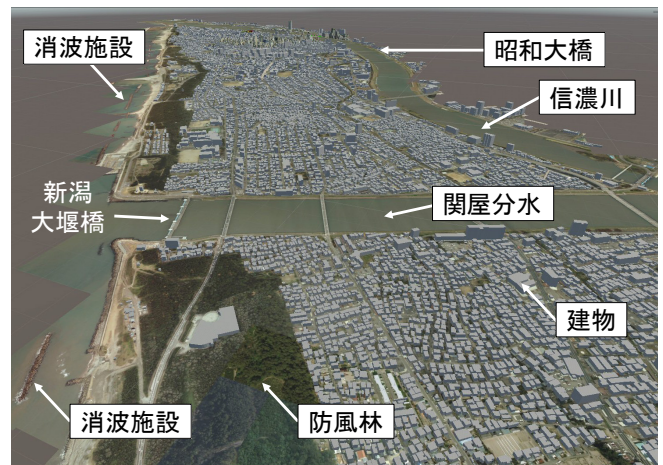


図-4 3D 都市モデル(新潟市広域)

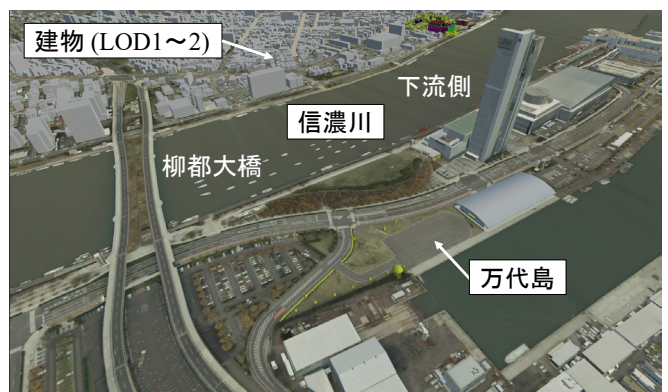


図-5 3D 都市モデル(万代島周辺)

ザーが確認したい位置を 3 次元空間で自由に選択でき、周辺状況を簡易的かつ詳細に確認できることがわかった。

このような 3 次元都市モデルを飛来塩分量の分布図の可視化に利用することで、計算結果の可視化技術を高度化できると考えられる。

4. 3D 都市モデルを利用した可視化技術の構築

4.1 飛来塩分量の平面分布の可視化方法

飛来塩分量の分布の表示は、Unity で構築した都市モデル上に、10000m×4000m の水平板上の物体を作成し、その物体に塩分量の分布を表示させる方法とした。具体的には、水平板の物体を 1000 個×400 個の格子状に分割し、その 1 つ 1 つの格子に予測結果に応じた配色を行った。水平板は、標高 7m の位置に設置した。

4.2 飛来塩分量の平面分布の可視化方法

図-6 は、飛来塩分量の平面分布の計算結果を 3D 都市モデル上で可視化した結果である。図の色が配

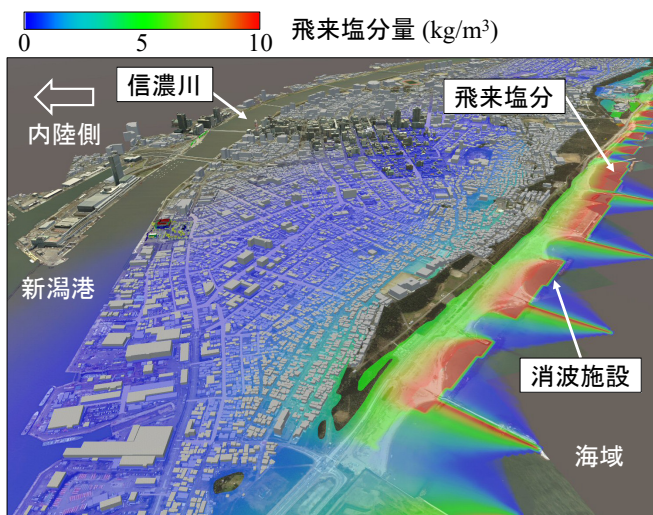


図-6 飛来塩分量の平面分布(広域)

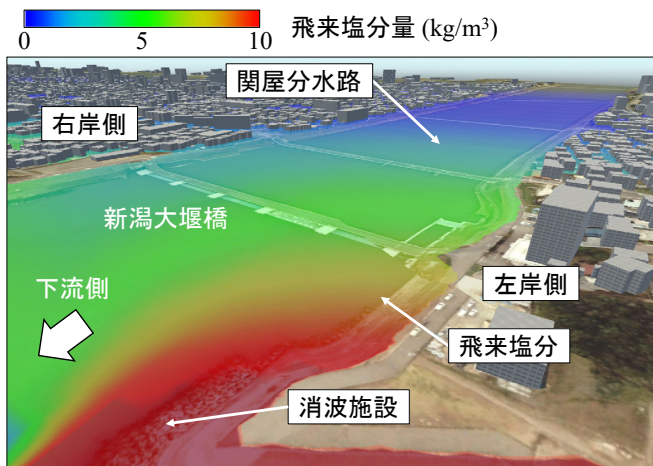


図-7 飛来塩分量の平面分布(河口部)

色されている部分は飛来塩分が分布している範囲であり、海岸近傍で塩分量が大きくなっていることがわかる。図の赤色の部分は、海域に設置されている消波施設(消波ブロック)と突堤周辺である。これらの施設では、飛来塩分の発生量が砂浜の2.5倍程度となっていることから、局所的に塩分量が大きくなっている。内陸部では、海岸の汀線から1.5km程度まで青色が配色されており、飛来塩分が影響することが示されている。

図-7は、河口部周辺の狭域の飛来塩分量の分布を示したものである。図は、計算領域の南側に位置する関屋分水路の河口部周辺の結果である。この結果は、Unityによってアプリケーション化したものをキーボードとマウスで操作し、表示したものである。図から、河口部の左岸側に設置されている消波施設周辺で赤色になっており、塩分量が大きいことがわ

かる。また、河口部周辺全体では障害物が少ないため、塩分量が大きい傾向が見られた。

これらの結果より、飛来塩分量の可視化に3D都市モデルを利用することにより、飛来塩分量の各位置を広域から狭域までを一連して確認でき、計算結果を容易に判別できることが明らかになった。

5. 結論

周辺環境条件を考慮した飛来塩分量の分布とその可視化方法について検討を行った。その結果、公開されている3次元都市モデルを利用することで、沿岸部の構造物や施設、地形状況を詳細かつ簡易的に把握できることが示された。さらに、3D都市モデルを利用して飛来塩分量の平面分布の可視化を行うことにより、広域から狭域の塩分量を一連して確認でき、効率的に飛来塩分量を評価できることが明らかになった。

謝辞

本研究では、日本学術振興会科学研究費(基礎研究B)「外部環境適用型の実構造物の新規劣化予測技術の開発と総合的検証データの構築」(研究代表:中村文則, 課題番号:22H01563), 一般財団法人新潟県建設技術センター研究助成(令和元年度助成)の一部として行ったものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 中村文則, 大原涼平, 山口貴幸, 下村 匠: 沿岸域の地形条件を含めたコンクリート構造物の表面塩分の定量的評価手法の構築, 土木学会論文集E2, 第76巻3号, pp.189-208, 2020.3.
- 2) 宇多高明, 小俣 篤, 小西正純: 海岸からの飛来塩分量の計算モデル, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.1051-1056, 1992.
- 3) 村上和男, 加藤一正, 清水勝義, 柳嶋真一, 中村聡志, 尾崎 靖, 福田真人, 宮城啓司, 山田邦明, 西守男雄: 飛沫の発生と擬似植栽による飛沫抑制効果に関する現地調査, 港湾技術研究所報告, 第34巻, 第4号, pp.302-311, 1995.