

気象データを用いた流体解析による 橋梁の塩化物イオン付着部位推定手法の構築

1180162 宮本 森孫

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

近年、高度経済成長期に作られた橋梁の老朽化が進み、維持管理の重要性が高まっている。橋梁の劣化は、均一ではなく、特定の部位の劣化が局所的に進んでいる場合がほとんどであり、付着塩化物イオンが降雨によって洗い流されにくい桁の内側に劣化が集中していることが多い。本研究室では、小松¹⁾がGISデータと気象データを用いて、様々な橋梁の付着塩化物イオン量の推定を行った。しかし、塩化物イオンの付着が橋梁のどの部位に集中するのか判断するには至っていない。飛来塩化物イオン量は、沿岸部から風により運ばれてくるため、橋梁の風による圧力分布が把握できれば、付着塩化物イオン量が集中する部位の推定が可能であると考えられる。

そのため本研究では、高知県香南市南部に位置する物部川大橋のP7橋脚を対象に、流体解析と気象情報を用いた、約1ヶ月の風による圧力積算値を算出し、付着塩化物イオンの実測値と比較した。その結果、P7橋脚西面での積算値と付着塩化物イオン量の変位は共に最大値を示した。今後は、土地被覆形状モデルを組み込んだ流体解析、気象データの精度向上、降雨による洗い流しの影響を組み込み、各方位の積算値と付着塩化物イオン量の変位の精度向上を目指す。

Key Words: 流体解析, 気象情報, 圧力分布

1. はじめに

近年、高度経済成長期に建造された橋梁の老朽化が進み、維持管理の重要性が高まっている。橋梁の劣化は均一ではなく、特定の部位の劣化が局所的に進んでいる場合がほとんどであり、付着塩化物イオンが降雨によって洗い流されにくい桁の内側に劣化が集中していることが多い。本研究室では、小松¹⁾がGISデータと気象データを用いて、様々な橋梁の付着塩化物イオン量の推定を行った。しかし、付着塩化物イオンが橋梁のどの部位に集中するのか判断するには至っていない。飛来塩化物イオンは、沿岸部から風により運ばれてくるため、橋梁の風による圧力分布が把握できれば、付着塩化物イオン量が集中する部位の推定が可能であると考えた。

そこで本研究では、橋梁の付着塩化物イオンが集中する部位の検出を念頭に置いた上で、気象情報の

風速・風向を入力データとし、流体解析によって橋梁周りの風による圧力分布を推定することで、約1ヶ月間の付着塩化物イオン量の分布と圧力分布の関係性を検討する。対象橋脚は、高知県香南市の南部に位置する物部川大橋の、P6、P7、P8橋脚とした。図-1は、国土地理院の地理院地図²⁾に、橋脚名を追記して記載したものである。P7橋脚から採取した試料で付着塩化物イオン量の測定を行い、検証用データとした。



図-1 対象橋梁図(国土地理院の地理院地図に橋脚名を追記して掲載)

表-1 に本研究で使用したデータとその概要を示す。

表-1 使用したデータと概要

データ名	概要
MSMGPV 作成者：気象庁	気象シミュレーションを用いて5kmメッシュごとに風況データの予測値が記載されている。
物部川大橋, 物部川橋調査計画図 作成者：高知県土木部中央東土木事務所	研究対象となる物部川大橋の設計図。

2. 橋脚表面付着塩化物イオン量の測定

検証データを作成するため、橋脚表面付着塩化物イオン量の測定を行った。採取場所は、P7 橋脚の東西南北の各 4 面で地上高 1.5m の地点から試料を採取した。図-2 に試料の採取位置を示す。

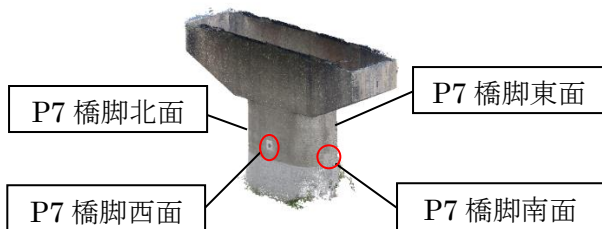


図-2 P7 橋脚の試料採取位置

(1) 試料の採取

試料採取に使用したディスクグラインダーは集塵用のアタッチメントを付け、乾式カッターによりコンクリート表面を研磨し、試料質量約 5g を採取した。図-3 に使用機械を示す。



図-3 ディスクグラインダー

(2) 付着塩化物イオン量の測定

塩化物イオン量の測定は、JIS A1154 の硬化コンクリート中の塩化物イオン濃度測定法に基づいて行った。この方法は電量滴定によって求めた塩化物イオン濃度にコンクリート単位体積重量 $2,300\text{kg}/\text{m}^3$ を乗じた値を塩化物イオン量とするものである。図-4 に測定機器を、表-2 にその仕様を示す。

表-2 測定機器の仕様

製品名	SALMATE-100/H
メーカー	関中研コンサルタント
測定法	電量滴定法
測定範囲	0.001~3.000%
測定精度	±(0.4%/測定時)以内
重量	4.5kg



図-4 測定機器

表-3 に塩化物イオン量の測定結果を示す。

表-3 測定結果

橋梁名	採取点	付着塩分量(kg/m^3)		
		4月4日採取	5月10日採取	変位
物部川大橋P7	P7橋脚東	0.26	0.30	0.04
	P7橋脚西	0.38	0.81	0.43
	P7橋脚南	0.16	0.21	0.05
	P7橋脚北	0.30	0.46	0.16

3. 流体解析手法

流体解析には、オープンソースの数値流体力学ツールボックスである、OpenFOAM (Ver. 4.1) を使用し、橋梁の風による圧力を解析した。

(1) 橋梁モデル構築

流体解析に用いる橋梁の 3 次元モデルは、高知県土木部中央東土木事務所によって作成された調査計画書³⁾に基づき、P6~P8 までの橋脚と桁を、3 次元モデリングソフトウェア SketchUp を用いて作成した。

メッシュの作成は、OpenFOAM の標準ユーティリティに含まれる、blockMesh と snappyHexMesh を使用した。blockMesh では、3 次元モデルを囲む解析領域の x 方向に 240m, y 方向に 240m, z 方向に 24m を区切り、ベースメッシュを用意した。snappyHexMesh では特徴線に沿って 3 次元モデルをメッシュで区切った。メッシュのサイズは 1 辺が 1m のサイズとした。

(2) 解析における与条件

本解析では、橋梁周辺の風の流れを非圧縮性と想定し、ソルバーは simpleFoam を使用した。各境界条件は、解析領域の、流入口、流出口、左面、右面、上面を Patch とし、下面と 3 次元モデルを wall で行った。Patch とは流体が流れ入り、流れ出る境界に与える条件であり、wall は地面や壁などの境界に与える

条件である。解析領域を図-5 に示す。

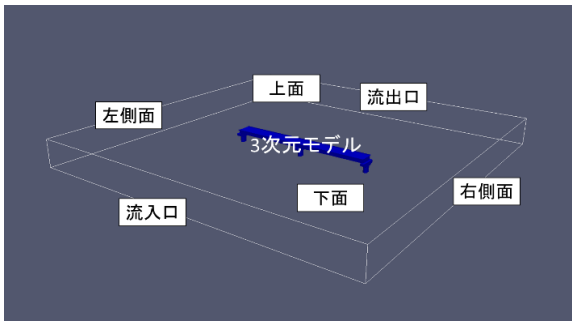


図-5 解析領域図

(3) 点群モデルのボクセルモデル化

図-6 に橋梁周辺の流線の様子を示す(南向きの風, 風速 10m/s のもの)。

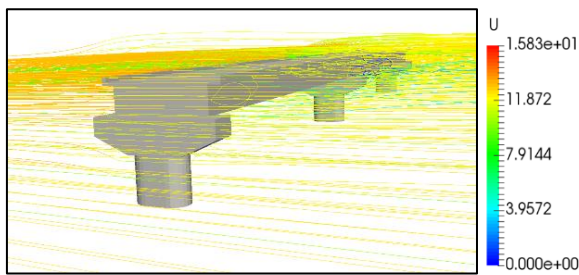


図-6 橋梁周辺の流線の様子

解析の風速については, 1m/s から 10m/s までの 10 段階で行った。風向に関してはモデルを 0° から 337.5° まで 22.5° ずつ回転させ, 北向きの風から北北西までの 16 風向を再現した。OpenFOAM の解析結果で得られる圧力値はランダムな 3 次元点群データとなる。解析ごとにその点群の位置は異なるため, 各解析の評価を統一させるためにボクセルモデルを利用した。今回は, 全点群データを 25cm 間隔のボクセルモデルとし, 属性値は, 各風速の時の圧力値を付与した。その際, 複数の圧力値が, 共通のボクセルに該当する場合, 平均値をとることとした。

風向データごとで, ボクセル総数に差があるため, 空のボクセルを付与し, 総数を合わせた。空のボクセルはニアレストネイバー法により, 最近隣点の値で欠損値を補完した。また, 最近隣点が複数ある場合は, 平均値で補完した。図-7 に完成したボクセルモデルを示す(南向きの風, 風速 10m/s のもの)。

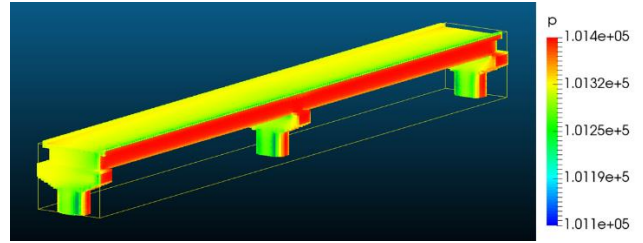


図-7 解析結果のボクセルモデル

(4) 風速ごとの圧力の状況

作成した南向きの風のボクセルモデルの風上・風下面での, 圧力値とボクセル数のヒストグラムを図-8, 図-9 に示す。ヒストグラムを見ると, 風下・風上ともに風速 2m/s のとき, 圧力は 101, 320Pa~101, 330Pa 付近に集中しているが, 風速が大きくなるほど圧力の分布範囲が広がっていることが分かる。このことから, 風速が小さい時ほど, 風下面での巻き込みによる影響が大きくなり, 圧力が高くなるのだと考えられる。

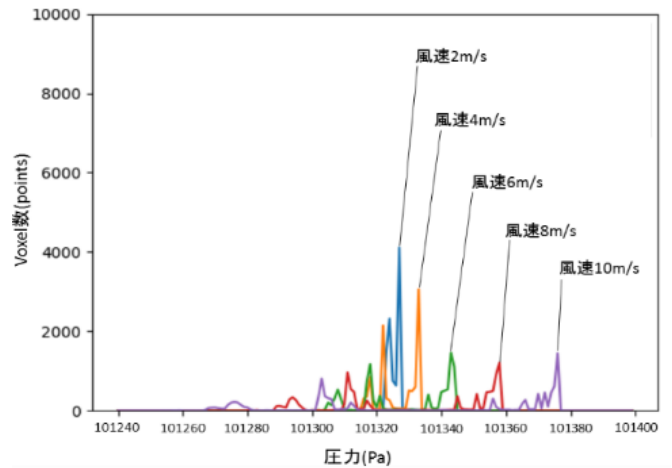


図-8 P7 南面(風上面)での圧力値のヒストグラム

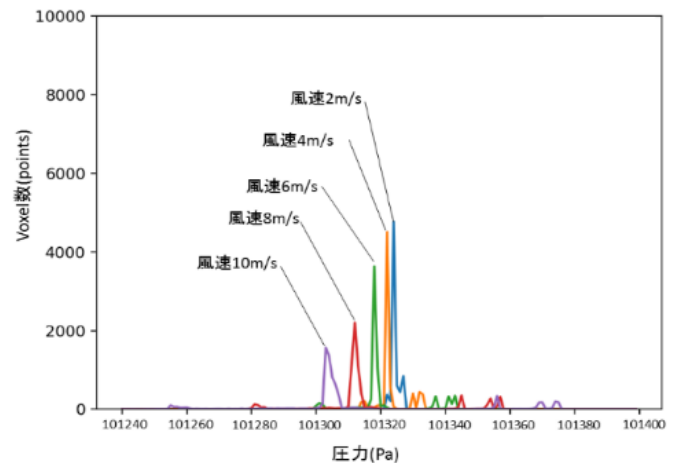


図-9 P7 北面(風下面)での圧力値のヒストグラム

4. 圧力の積算値の計算

圧力の積算は、P6, P7, P8 の 3 橋脚で行った。気象データは MSMGPV⁴⁾ の風況データの予測値を使用した。積算値の計算は Python を使用し、自動化を行った。

積算を行った 2017 年の 4 月 4 日から 2017 年 5 月 10 日までの MSM の 1 時間後との風向・風速データは図-10 に示す。

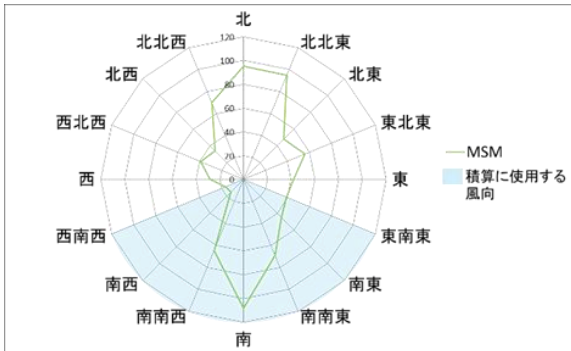


図-10 4月4日から5月10日までの風向データ

対象橋梁は南側が沿岸に面しているため、塩分が飛来すると考えられる東南東から西南西までの風を積算に用いた。4月5日から5月10日までの橋梁全体の積算結果のボクセルモデルを図-11 に示す。

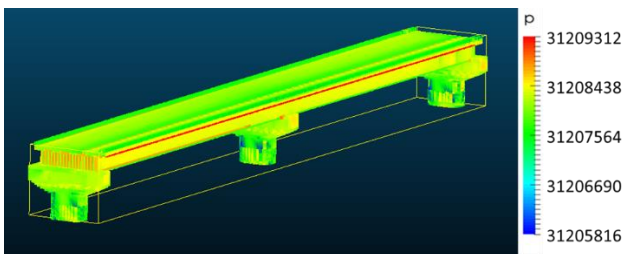


図-11 圧力分布図

積算後のボクセルモデル中央の P7 橋脚から、付着塩分量を測定した部位に最も近いボクセル 4 点の積算値を平均した。また、積算値では値の大きさに対して方位ごとの差が小さいため、31,200,000Pa を引いた値で評価する。積算値と付着塩分量の変位を表-4 に示す。

表-4 推定値(左)と検証値(右)の比較表

	積算値 (+31200000Pa)	付着塩分量の 変位 (kg/m ³)
P7東面	7563	0.04
P7西面	7671	0.43
P7南面	7125	0.05
P7北面	6732	0.16

最大値に関してはともに西面であるという結果が得ら

れた。しかし、P7 橋脚東面、南面、北面での積算値と付着塩分量の変位は合致しなかった。

5. 考察

今回、気象データと流体解析を用いて、P7 橋脚の 4 方位での圧力分布と付着塩分量分布の関係を検討した。その結果、圧力の積算値と付着塩分量の変位は、西側で共に最大値を示しており、圧力が高い部位ほど付着塩分量も高くなるのではないかと考えられる。

東面、南面、北面での変位が一致しなかった原因は、流体解析に使用した 3 次元モデルが挙げられる。本研究で使用した 3 次元モデルは、橋梁周辺の土地被覆形状を考慮していない。そのため、堤防や河川などを解析モデルに組み込むことで、より本来の環境に近いシミュレーション結果が得られると考えられる。さらに、使用している気象データの誤差も挙げられる。MSM による気象データは、気象シミュレーションを用いて算出された気象データの予測値であるため、実際の対象地域での風速・風向とは誤差がある。積算の精度を向上させるには、さらに精度の高い気象情報を用いる必要がある。また、降雨による洗い流しの影響も挙げられる。橋梁における付着塩化物イオン量は降雨による洗い流しの作用を受けることが知られているため、考慮する必要がある。

今後は、土地被覆形状モデルを組み込んだ流体解析、気象データの精度向上、降雨による洗い流しの影響を組み込み、各方位の積算値と付着塩分量の変位の精度向上を目指す。

6. 参考文献

- 1) 小松博英, GIS データと気象データを用いた橋脚表面付着塩化物イオン量の推定, 高知工科大学 高木研究室, 2017 年度修士論文
- 2) 国土地理院, 地理院地図
<http://maps.gsi.go.jp>
- 3) 中央東土木事務所, 物部川大橋, 物部川橋高架調査計画図
- 4) 気象庁, メソ数値予報モデル
<http://www.jmbc.or.jp/jp/online/file/f-online10200.html>
- 5) 高木方隆, 国土を測る技術の基礎, p286, 2014 年