

G I S 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

高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻社会システム工学コース 指導教官 高木方隆
高知県立安芸桜ヶ丘高等学校 教諭 小松博英

1 はじめに

コンクリート橋梁の劣化現象の一つである塩害は、沿岸部に建設をされた橋梁が多い日本では懸念すべき劣化現象である。日本における橋梁の多くは高度成長期に集中して建設され、建設後 50 年を超える橋梁は 2026 年には全体の 47% を占めると予想されている⁽¹⁾。そのため、橋梁の維持管理の効率化と劣化予測精度の向上が求められている。このような状況の中、現在橋梁の維持管理で行われている劣化予測にはコンクリート表面における塩化物イオン量が用いられており、その値は海岸からの距離により決定されている⁽²⁾。しかし、飛来塩化物イオン量は橋梁の位置や気象条件など立地環境により大きく異なることから、コンクリート表面の付着量においても橋梁の立地環境を考慮する必要がある。飛来塩分量の推定はこれまで数多く研究されており、昨今は数値シミュレーションによる推定が多くなされている⁽³⁾。小窪⁽⁴⁾らが提案した『海水飛沫の発生過程に着目した飛来塩化物イオン量算定モデル』は、任意の地点と高度における飛来塩化物イオンの付着量を塩化物イオン流速として推定するモデルである。精度評価より課題として、入力値である気象データや波浪データの精度向上が指摘されている。日本には気象庁や国土交通省により気象海象の観測網が整備されているが、観測点間が離れているため任意地点における気象海象データの推定が困難である。そのため、任意地点における気象海象データとして、一定の精度を担保された数値予報モデルを使用することで、付着塩化物イオン量の推定をより高い精度で行えることが期待される。

2 研究目的

本研究は G I S、気象・波浪データを橋梁周辺の立地環境として使用し、橋脚表面に付着する塩化物イオン量の月間値を推定するシステムの構築を目的とする。また、付着分布図から付着が起りやすい場所の抽出を行う他、プログラミング処理による付着塩化物イオン量算出の自動化を図る。

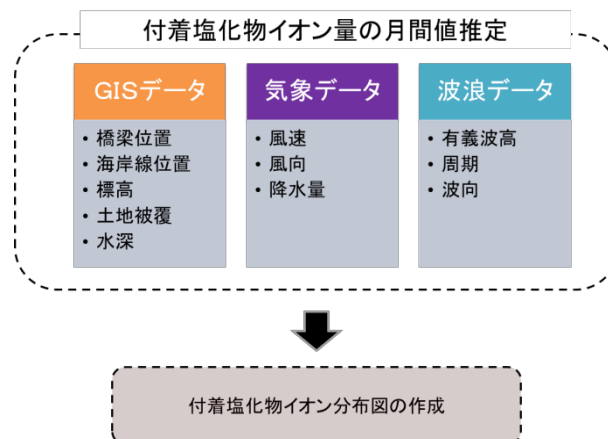


図1 研究目的

3 研究内容

(1) 付着塩化物イオン量の推定モデル

本研究で使用した小窪らの付着塩化物イオン量の推定モデル⁽⁴⁾を図2に示す。このモデルは、海塩粒子発生過程、輸送過程、および付着過程のプロセスからなる。なお、輸送、付着過程の海風は海岸線方位に対して $\pm 11.25^\circ$ の範囲にある風向とし、このモデルにおいて、塩化物イオンは無降水時に陸上に輸送され、橋脚表面に付着をする。

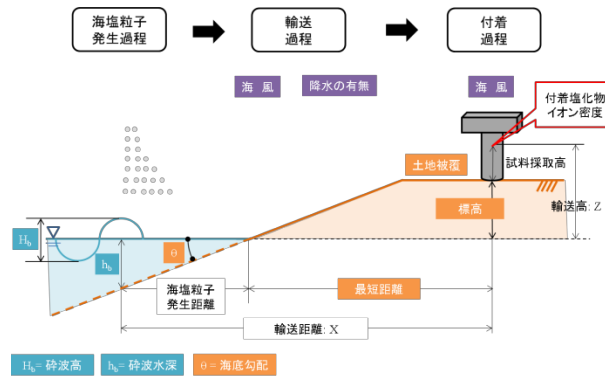


図2 付着塩化物イオン量推定モデル

(2) 研究手法

小窪らの研究成果より、飛来塩分の推定精度向上には、入力値である橋梁周辺の環境推定が重要であることが指摘されている。そのため、任意地点における地理情報、気象および波浪データの推定を行った。図3に研究のフローを示す。

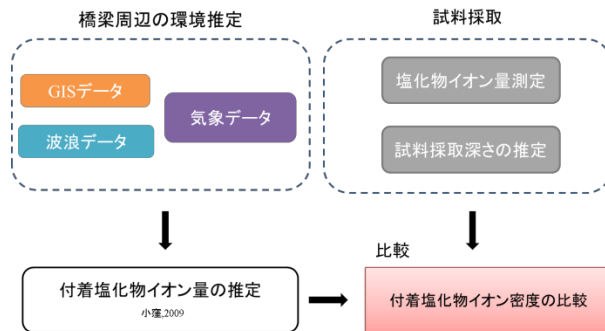


図3 研究フロー

ア 海岸線から橋梁までの最短距離

最短距離の算出は橋梁位置と海岸線データを使用し、ベクタ解析ツール(Distance to nearest hub)により行った。図4に最短距離の抽出位置を示す。ラインデータは海岸線に対する法線であり、法線方位角の算出にはプラグイン(Azimuth and Distance Calculator)を用いた。また、背景図として使用するグーグルマップの画像より各ラインの海岸形状を目視で海浜と人工海岸に分類した。

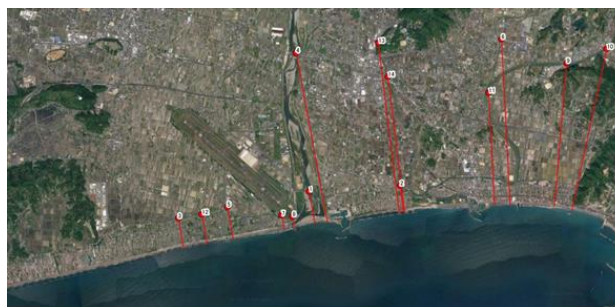


図4 最短距離の抽出

イ 標高と水深

橋梁位置における標高抽出は橋梁位置と数値標高モデルを使用し、プラグイン (Point sampling tool) により行った。図5に標高の抽出結果を示す。海底勾配の推定は水深データと海岸線データを使用し、ベクタ解析ツール (Distance to nearest hub) により行った。500m メッシュのポイントデータである水深データは、ラスタ解析ツール (データ補完) によりセルサイズ 10 m の三角形分割補完を行い、ラスタ変換を行った。図6に海岸方位に応じた代表点における海底勾配を抽出する断面位置を示す。なお、海底勾配は抽出結果から対象海岸での平均値をとっている。



図5 標高の抽出

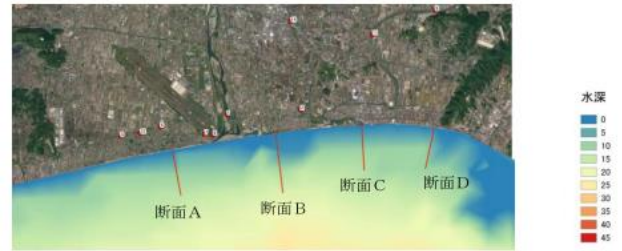


図6 海底勾配の抽出位置

ウ 土地被覆

橋梁位置における土地被覆分類は橋軸方位の算出用に作図した橋梁中心線から半径 100m のバッファ内に最も多く含まれる分類項目を代表土地被覆とした。バッファ内に含まれる項目の抽出には、ラスタ解析ツール (地域統計) を使用した。図7に土地被覆図を示す。



図7 土地被覆図

エ 対象海岸の波浪データ推定

図8に示す対象海岸における有義波高、周期、波向の推定にあたり、気象庁の沿岸波浪数値予報モデル (CWM) の使用を検討した。CWMは 5km メッシュの波浪数値データであり、格子点には有義波高、周期、波向などの予報データが付与されている。推定値と実測値の比較は 2016 年 4 月から 2017 年 3 月までの 1 年間に於いて、実測値である波浪計位置に最も近い CWM の格子点値を使用したが、周期と波向において高い相関が得られなかった。そのため、本研究では CWM を使用せず港湾局が公開している高知港での速報値を対象海岸における波浪データとして使用した。ただし、欠測期間が多い月があるため、港湾局の波浪データは月毎の平均値を用いている。表1に碎波高・碎波水深の推定結果を示す。推定は、中村・合田ら^{5, 6)}の手法を用い、有義波高、周期、波向き、海底勾配を入力値として碎波高・碎波水深を算出している。



○ CWM格子点
● 波浪観測位置

図8 対象海岸



表1 砕波高・砕波水深の推定結果

推定時期	入力値			推定値	
	有義波高 (m)	周期 (sec)	波向 (°)	砕波高 H_b (m)	砕波水深 h_b (m)
2016年12月	0.58	7.6	160	1.80	1.24
2017年1月	0.46	6.8	166	1.80	1.00
2017年2月	0.57	6.6	171	1.80	1.15
2017年3月	0.51	7.8	161	1.80	1.15
2017年4月	0.83	6.9	165	1.80	1.55
2017年5月	0.69	6.9	160	1.80	1.34

高知港波浪データ

オ 任意地点の気象データ推定

対象橋梁における風速風向や1時間降水量の推定にあたり、気象庁のメソ数値予報モデル (MSM) の使用を検討した。MSMは5kmメッシュの数値データであり、格子点には地上高10mにおける東西風や南北風その他、1時間降水量などの予報データが付与されている。推定値と実測値の比較は2016年1月から12月までの1年間において、風速風向はアメダス観測位置に最も近い格子点の値を補正変換した値を、降水量はアメダス観測位置を囲む4点の平均値を使用して行った。図9にMSM格子点と気象観測点の位置を示す。



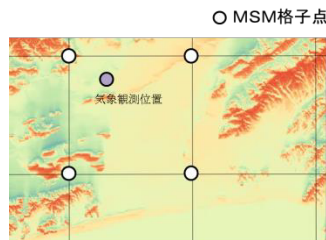
○ MSM格子点
● 気象観測位置



図9 MSM格子点と気象観測位置

カ 地形効果による風速補正

風速補正は地形による影響を考慮した。地形効果は地形の起伏による風の当たりやすさ数値化したものであり、プロセッシングツール (SAGAGIS Wind effect⁽⁷⁾) を使用し16方位毎に影響値の抽出を行った。図10に南風による地形効果値の分布を示す。



$$we_{ratio} = \frac{we_{Target}}{we_{MSM}}$$

$$V_T = V_{MSM} \cdot we_{ratio}$$

V_T : 補正風速(m/s)
 V_{MSM} : MSMの風速(m/s)
 we_{Target} : 目標点での地形効果値
 we_{MSM} : MSMでの地形効果値

図10 風向180°による地形効果の分布

キ 地表面粗度による風速変換

MSMの風速は地上高 10 m での推定値であるため、気象観測点における地上風速に変換する必要がある。風速の変換は風速のべき乗則⁽⁸⁾により行った。図 1 1 に風速変換のイメージを、表 2 に日本建築学会が提案している地表面粗度の区分⁽⁹⁾による境界層高さ Z_i (m) とべき指数 α を示す。

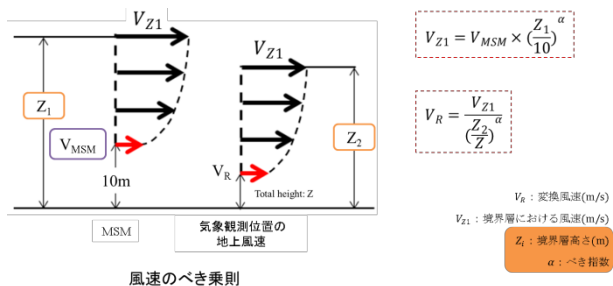


図 1 1 風速変換のイメージ

表 2 地表面粗度区分

地表面粗度区分	境界層高さ Z_i (m)	べき指数 α	地表面の状態
I	250	0.10	海岸・海上
II	350	0.15	田園地帯など
III	450	0.20	都市周辺の住宅地 工業地帯・森林地帯
IV	550	0.27	地方中心都市の市街地など
V	650	0.35	大都市の中心市街地

ク MSMによる風速・風向の比較結果

2016年の1月から12月における風速風向の比較結果を表3に示す。MSMから推定した風速と気象観測点の実測値は、相関係数が0.5から0.7の範囲となり、標準偏差は最大で1.5m/sとなった。風向における方位誤差は0から±2の範囲が全体の7割程度であることから、MSMの推定値より気象観測点の風速風向は概ね再現できていると考える。

表 3 風速風向の比較結果

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
風速 相関係数	0.6	0.7	0.7	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.6
風速 RMSE(m/s)	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.0	0.9	1.3	1.1	1.3	1.5	1.5
風向誤差 0.±2の割合 (%)	66	71	77	71	70	66	75	78	69	73	65	65

ケ MSMによる降水有無の適中結果

本研究で使用する付着塩化物イオン量の推定モデルは、降雨の場合に塩化物イオンは陸上へ輸送されないと仮定しており、降雨の有無が輸送、付着量に影響を及ぼす。そのため、MSMから推定した気象観測点での降水の有無を比較した。なお、降水量の値はメッシュ内で均一であるとし、アメダス観測点の周囲にある4点のMSM格子点の平均値をとっている。また、降水量の平均値が0.5mm/hよりも少ない場合は1時間降水量を0mmとした。表4に適中結果を示す。全適中率は各月において80%を超えているが、8月の降水有り適中率が低い結果となっている。降水有りの的中率が低い場合、塩化物イオンの輸送と付着量が少なくなると考えられるが、8月におけるデータ数Nに対するCの割合が6%程度であるため、大きな影響は出ないとし、この推定結果をそのまま用いている。

表 4 降水有無の適中結果

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
適中率 (%)	98.1	98.6	96.6	94.7	92.9	87.2	93.8	92.7	82.3	92.4	95.4	95.4
降水有り適中率 (%)	92.3	85.0	67.3	75.0	75.0	73.8	43.6	15.4	50.0	52.9	70.7	76.0
降水無し適中率 (%)	98.3	99.4	99.0	97.0	95.5	90.2	97.8	98.5	90.9	96.4	96.9	96.8

コ 付着塩化物イオン密度の分布推定

2016年の1年間を対象に、付着塩化物イオン密度の分布図作成を行った。対象点は図12に示す橋梁位置および500mメッシュのポイントである。



図12 分布図作成用の対象点

サ 試料採取位置

推定した橋脚表面の付着塩化物イオン量を実測値と比較するため、2時期において物部川大橋、物部大橋でコンクリート表面の試料の採取を行った。試料採取はディスクグラインダーを用い、採取位置は橋梁の橋軸と橋軸直角方向にある4面とし、それぞれ地上高1.5~2mの高さにある50cm四方の範囲を表面切削した。図13に試料採取位置を示す。



図13 試料採取位置

シ 付着塩化物イオン密度の変化量実測値との比較結果

表5、6に付着塩化物イオン密度の変化量比較結果を示す。比較を行った各時期において、推定値はいずれも測定値に対し過大評価となった。原因として、海塩粒子発生過程における波浪データの精度、植生による飛来塩分の妨害や、降水による塩化物イオンの洗い流しを考慮できていないことが挙げられ、今後の課題である。

表5 物部川大橋

検証期間	測定値(mg/m ²)	推定値(mg/m ²)
2016年12月16日 ↓ 2017年4月3日	-150	+35
2017年4月4日 ↓ 2017年5月11日	+54	+99

表6 物部大橋

検証期間	測定値(mg/m ²)	推定値(mg/m ²)
2016年12月16日 ↓ 2017年4月3日	-75	±0

ス 塩化物イオンの付着傾向

本研究での推定値は過大評価となっているが、図14に1年間の積算結果を示す。現状の基準において、海岸距離の最大値である1キロ以上においても付着の傾向が見られ、また、海岸から約2kmと600mに位置する橋梁での付着密度が同程度と推定された。この理由として、海岸形状が砂浜である場合、発生する海塩粒子の直径が小さいため内陸への輸送量が多くなること、河川上は地表粗度の影響が比較的小さく風速が低下しないことから付着密度が高くなる傾向があると推察される。

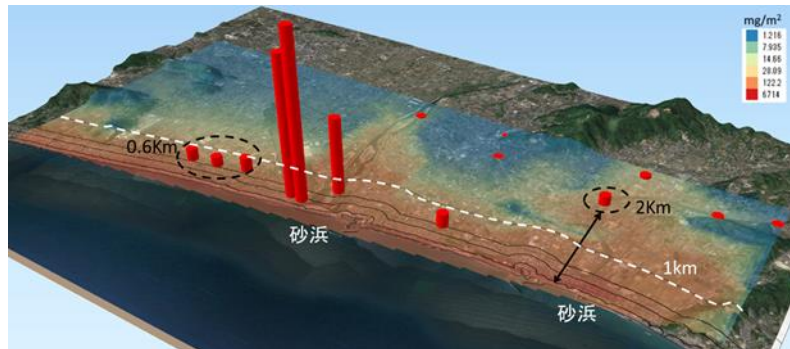


図14 塩化物イオン密度の1年間の積算値

4 まとめ

橋梁周辺の立地環境としてGIS、気象・波浪データを使用し、橋脚表面に付着する塩化物イオン量の月間値を推定した。推定した付着塩化物イオン密度の分布図より、海岸距離が1km以上においても付着の傾向が見られた。この理由として、海岸形状が砂浜で地表粗度の影響が小さい環境に橋梁が位置している場合、塩化物イオン付着量が多くなる傾向があると推察される。ただし、付着塩化物イオン密度の推定値は実測値との比較より、過大評価となった。原因として降水による付着塩化物イオンの洗い流しの影響を考慮できていないこと、海塩粒子の発生過程において対象海岸での有義波高、周期、波向の値を使用できなかったことが挙げられ、今後の課題である。

参考文献

- 1) 確実な点検と予防保全が今後のテーマ NIKKEI CONSTRUCTION、2007.12.14
- 2) 土木学会コンクリート標準示方書 維持管理編、2001
- 3) 須藤仁・服部康夫・平口博丸、海塩粒子輸送シミュレーションによる塩分付着量推定に関する研究、電力中央研究所、N07028、2008
- 4) 小窪幸恵、海水飛沫の発生過程に着目した飛来塩化物イオン量算定モデル、高知工科大学2009年度博士論文
- 5) 合田良寛、わかり易い土木講座17 海岸・港湾、土木学会編、彰国社、1998(二訂版)
- 6) 中村聡志、国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所
- 7) Boehner、J.、Antonic、O、Land-surface parameters specific to topo-climatology、Geomorphometry- Concepts、Software、Applications、Developments in Soil Science、Vol. 33、pp.195-226、2009
- 8) 小林壽太郎、気象をはかる、日本規格協会1988
- 9) 日本建築学会、建築物荷重指針・同解説第4版、2004