

気象・波浪データを用いた表面塩化物イオン濃度の推定とその適用性

金沢工業大学 学生会員 竹林尚紀

金沢工業大学 正会員 花岡大伸

1. はじめに

土木学会コンクリート標準示方書では、鋼材位置の塩化物イオン濃度を Fick の拡散方程式を用いて計算する方法が示されている。ここで、表面塩化物イオン濃度（以下、 C_0 ）は、類似の構造物の過去の実績や実測データによらない場合は、構造物の立地する地域区分と海岸からの距離に応じて、求めてよいとされている。一方で、飛来塩分は気象・海象条件や周辺地形など、多くの要因の影響を受けることが知られているが、示方書ではそれらの影響が考慮されていない。そこで、既往の研究²⁾において、気象・海象条件および周辺地形がコンクリートの表面塩化物イオンに及ぼす影響を考慮した C_0 評価式が提案されている。

本研究では、この提案されている C_0 評価式を用いて、海岸線から 1km 圏内に位置する全国 177 箇所の橋梁を対象に、 C_0 の推定を行った。また、 C_0 の推定に用いる気象・波浪データの観測期間が冬季を含む 4 カ月間の場合と 1 年間の場合を比較した。

2. 表面塩化物イオン濃度の算定方法

C_0 の算定に用いた評価式を以下に記す。すなわち、標高、風向、およびを考慮した「補正距離」による C_0 を推定した。以下のように補正距離を求めた。

1) 標高による補正

2007 年度制定コンクリート標準示方書【設計編】では、高さ 1m が汀線からの距離 25m に相当すると考えて C_0 を求めてよいとされており、これに従って離岸距離を補正した。離岸距離は、Google Earth 上で海岸から対象橋梁までの最短距離を測定しその値を用いた。標高は、橋台の位置の高さを測定し、その平均値を用いた。

$$x' = x_0 + 25 \cdot z \quad (1)$$

x' は風向補正距離(m), x_0 は離岸距離(m), z は標高(m)を示す。

2) 風向補正距離

まず、気象庁のアメダスより取得した観測期間の最多風向を求めた。次に Fig. 1 に示すように、汀線直角方向との角度差を求め、式(2)を用い補正した。ここで、求めた最多風向の角度と離岸距離の角度は、Google Earth から測定した。

$$x'' = x' \cdot \frac{1}{\cos \theta} \quad (2)$$

x'' は風向補正後の距離(m), x' は標高補正距離(m), θ は最多風向と汀線直角方向との角度差(°)を示す。

3) 波エネルギーによる補正

沿岸域における波エネルギーは、式(3)により示される。波高 H は、ナウファスから観測期間のデータを取得し、有義波高の平均値を用いた。

$$E = \frac{\rho g}{8} H^2 \quad (3)$$

E は波エネルギー($N \cdot m/m^2$), H は波高(m), g は重力加速度(m/s^2), ρ は海水の密度($1030 kg/m^3$)を示す。

上式を用いて、各地点の波エネルギーを算出した。その後、式(4), (5)により距離を補正した。具体的には、波高 1m における波エネルギーを基準として、各地点の波エネルギーの比を取った。波エネルギーが小さければ、砕波による飛来塩分量が少なくなると考えられ、補正後の距離が長くなると考えた。

$$a = \frac{E}{E_1} \quad (4)$$

a は波エネルギーの比, E は当該地点の波エネルギー($N \cdot m/m^2$), E_1 は波高 1m における波エネルギー($N \cdot m/m^2$)を示す。

$$x''' = \frac{x''}{a} \quad (5)$$

x''' は波エネルギー補正後の距離(m), x'' は標高・風向補正後の距離(m)を示す。

4) 補正距離と表面塩化物イオン濃度の関係

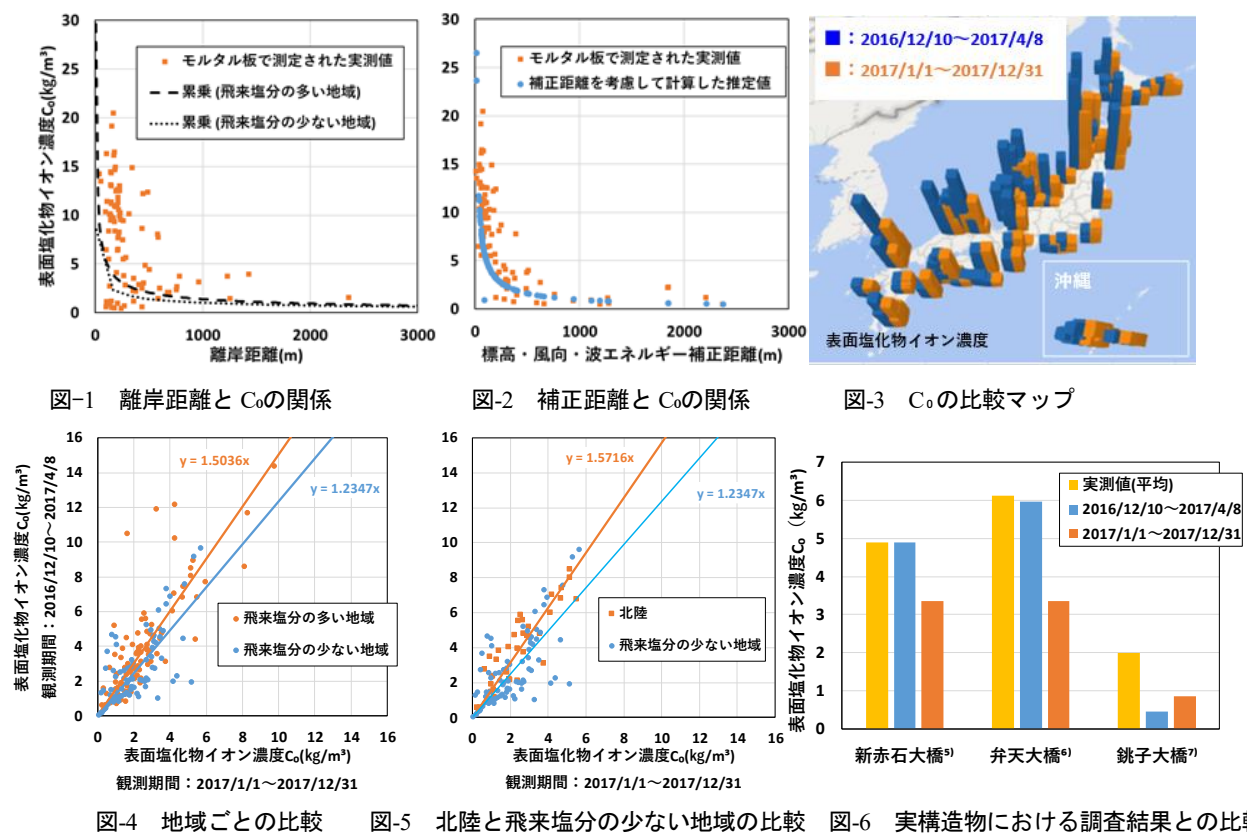
全ての補正を行った後の最終的な回帰式は下記の通りである。

$$C_0 = 159 \cdot (x''')^{-0.74} \quad (6)$$

C_0 は $C_0 (kg/m^3)$, x''' は標高・風向・波エネルギーの影響を考慮した補正距離(m)を示す。

3. 表面塩化物イオン濃度の推定結果

示方書で示される離岸距離と C_0 の関係を図-1 に、式 (5) により離岸距離を補正した場合を図-2 に示す。なお、図中に示す実測値は文献 2 より引用した値である。これらの図から、気象・海象条件を考慮した場合、離岸距離のみで求めた結果に比べて、 C_0 の推定精度が向上することがわかる。次に、式 (5) で求めた C_0 を、Excel の 3D マップを用いて地図上に表示した結果を図-3 に示す。図-3 から、2016/12/10~2017/4/8 の冬季を含めた 4 カ月間のデータを用いて推定した C_0 は、2017 年の 1 年間のデータを用いて推定した C_0 よりも推定値が大きくなる傾向にある。一方、太平洋側では、1 年間のデータを用いて推定した値がわずかに大きい傾向にある。この理由は、太平洋側では、冬季より 1 年間通した方が、有義波高の値が大きくなることが要因である。また、飛来塩分が少ない地域に分類される、鳥取県や山口県の



C_0 が高くなっていることや、北海道の西側と東側で C_0 の推定値に差がみられる。これらは、有義波高と最多風向の向きが影響している。すなわち、 C_0 の推定値が大きい地点は、冬季の有義波高が高く、最多風向の向きが海側であった。一方で、冬季の最多風向が陸側となる太平洋側でも、東北の宮城県や岩手県は、 C_0 の値が高くなっている。これは、他の太平洋側の地域の有義波高が 1m 以下なのに対して、宮城 1.69m、岩手が 1.89m と非常に高くなっていることが要因である。

次に図-4 および図-5 には、 C_0 の推定に用いる気象・海象データの観測期間が冬季を含む 4 カ月間の場合と 1 年間の場合を比較した結果を示す。図-4 の結果から、示方書における飛来塩分が多い地域の C_0 は、飛来塩分が少ない地域に比べて、冬季の C_0 が大きくなる傾向にある。また、図-5 に示す北陸の C_0 を見ると、図-4 の飛来塩分が多い地域より傾きが大きくなっていることから、北陸は冬季における気象および波浪の影響が大きいことが示唆される。ここで、図-6 において、 C_0 の推定値と実構造物の調査で得られた実測値^{5,6,7)}との比較を行った。これによると、青森県の新赤石大橋および新潟県の弁天大橋の実測値は、冬季の観測データを用いて推定した C_0 と近い値になっていることが分かる。現状、実構造物との比較データが少ないが、図-4 および図-5 の結果からも冬季における気象・波浪データを用いて C_0 を推定することで、安全側になると考えられる。

4. まとめ

表面塩化物イオン濃度評価式を用いて、海岸線から 1km 圏内に位置する全国 177 箇所の橋梁を対象に、 C_0 の推定を行った。その結果、気象・波浪条件による C_0 の地域特性を把握することができた。また、冬季における気象・波浪データを用いて推定した C_0 は、1 年間の気象・波浪データを用いて推定した C_0 よりも大きくなる傾向にあり、安全側になると考えられる。

参考文献

- [1]土木学会：2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】p79.164
- [2]佐伯竜彦，富山潤，中村文則，中村亮太，花岡大伸，安琳，佐々木巖，遠藤裕丈：飛来塩分環境下にあるコンクリートの表面塩化物イオン濃度評価式の検討，土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造)，Vol.76, No.2, 98-108, 2020.
- [3] 気象庁：アメダス <http://www.jma.go.jp/jp/amedas/>
- [4] 国土交通省港湾局全国港湾海洋波浪情報網：ナウファス <https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>
- [5]石城一郎，上原子晶久，子田康弘，内藤英樹，皆川浩，鈴木基行：著しい塩害を受けた道路橋 PC 桁内部のコンクリートおよび鋼材の物性評価，土木学会論文 E Vol.66, No.4, 413-432, 2010.11
- [6]高野真希子，阿部忠：コンクリート構造物の劣化診断，日本大学生産工学部第 47 回学術講演会講演概要(2014.12-6)
- [7]坂上悟，横山丈夫，徳光卓，宮本正尊，原与司人：弁天大橋の電気化学的脱塩前後の塩化物イオン濃度分布とその状態，土木学会第 57 回年次学術講演会(平成 14 年 9 月)