

塩分量調査に基づく道南渡島地方沿岸における塩害地域区分の評価

Evaluation of the salt damage region division in Hokkaido Oshima provinces coast

株式会社ドーコン
株式会社ドーコン
北海道開発局函館開発建設部
土木研究所寒地土木研究所
土木研究所寒地土木研究所

○正会員 小林 竜太 (Ryuta KOBAYASHI)
正会員 井上 雅弘 (Masahiro INOUE)
小田島 大 (Hiroshi ODAJIMA)
正会員 田口 史雄 (Fumio TAGUCHI)
正会員 嶋田 久俊 (Hisatoshi SHIMADA)

1. 序 論

国土交通省北海道開発局が管理する新設橋の塩害対策は、H14 年道路橋示方書に準拠して実施されており、塩害地域区分に対応する最小かぶりの確保を基本とした塩害対策が講じられている。北海道における塩害地域区分は、道南渡島支庁の松前町から道北宗谷支庁の猿払村に至る日本海エリアとオホーツク海エリアの一部が B 地域とされ、それ以外のオホーツク海、太平洋および津軽海峡エリアは C 地域として区分されている。(図-1)

これは「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」で規定されていた対策区分を、それ以後の調査や研究成果を反映して新たに規定したものである。しかしながら、旧建設省土木研究所で実施された北海道内 31 箇所における飛来塩分量調査¹⁾によると、C 地域区分である太平洋エリアにおいても、特に道南渡島地方沿岸では他の地域と比較して飛来塩分量が多い傾向にあると報告されている。

このような背景から、本研究では、道南渡島地方沿岸における飛来塩分環境の実態を把握するとともに、当該エリアに計画される橋梁構造物に対して適切かつ合理的な塩害対策を講じることを目的として、塩分量調査に基づいた塩害地域区分の評価を試みることにした。

2. 道路橋示方書における塩害地域区分の設定根拠

道路橋示方書における塩害地域区分は、全国 266 地点の沿岸地域で実施された飛来塩分量全国調査¹⁾による年平均飛来塩分量に基づいて設定されている。すなわち、全国各地の海岸線を 21 の地域に小区分して海岸線毎の飛来塩分量測定を実施し、その結果から飛来塩分量がほぼ同程度である小区分を統合して、最終的に 7 の地域に大区分して、A、B、C の塩害地域区分を設定している。

これらの調査から得られた各地域の飛来塩分量と海岸線からの距離の関係より、飛来塩分量は両対数軸上で海岸線からの距離と概ね直線関係にあり、その回帰式の傾き(距離減衰の程度)は、地域に関わらず-0.6 程度で近似できることが明らかにされている。これにより、飛来塩分量の距離減衰式として(1)式が提示されている。

C_{air} = C₁ · x^{-b} (1)

ここに、

- C_{air} : 架橋地点における飛来塩分量 (mdd · NaCl)
- C₁ : 1km 換算飛来塩分量 (mdd · NaCl)
- x : 海岸線からの距離 (km)
- b : 距離減衰の程度 (b=0.6)

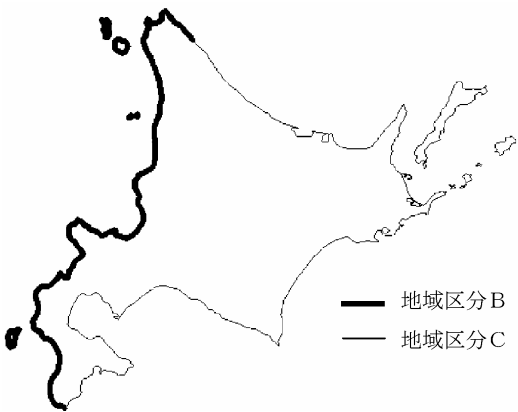


図-1 北海道における塩害地域区分

表-1 大区分された7地域における飛来塩分量

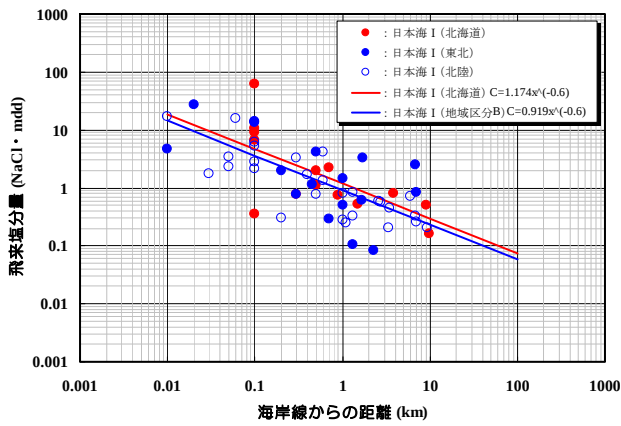
地域区分		1km 換算飛来塩分量
区分名称	エリア	C ₁ (mdd · NaCl)
日本海 I	北海道、東北、北陸	0.919
日本海 II	近畿、四国、九州	0.158
太平洋 I	北海道	0.072
太平洋 II	東北、関東	0.327
太平洋 III	中部、近畿、四国等	0.087
瀬戸内海	中国、四国	0.020
沖縄	沖縄	0.235

表-2 現行の塩害地域区分別における飛来塩分量

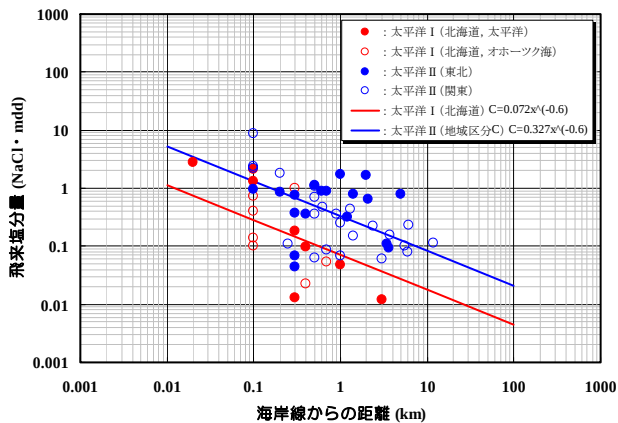
地域区分	地 域	1km 換算飛来塩分量
		C ₁ (mdd · NaCl)
A	沖縄県	0.95
B	日本海北部	0.95
C	上記以外の地域	0.35

表-1 には大区分された 7 地域に関する 1km 換算飛来塩分量 ((1)式における C₁) を示している。また、表-2 には大区分された地域の飛来塩分量から決定された現行の塩害地域区分別 1km 換算飛来塩分量を示している。表より、B 地域区分は大区分された日本海 I エリア(北海道、東北、北陸地方)の飛来塩分量を、C 地域区分は大区分された太平洋 II エリア(東北、関東地方)の飛来塩分量に基づいて設定されていることが分かる。

図-2、3 には、大区分された日本海 I エリア(B 地域区分)および太平洋 II エリア(C 地域区分)の飛来塩



図－2 飛来塩分量と海岸線からの距離の関係
【日本海Ⅰエリア，地域区分B】



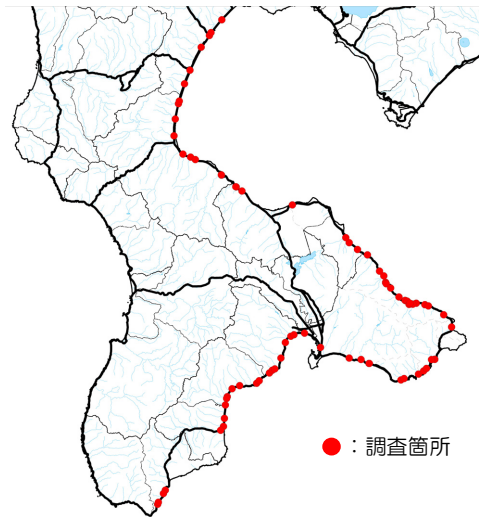
図－3 飛来塩分量と海岸線からの距離の関係
【太平洋Ⅱエリア，地域区分C】

分量と海岸線からの距離の関係を，(1)式を用いて回帰分析した結果を示している。なお，図中には北海道の飛来塩分の程度を把握するために道内の測定値のみを用いた結果も併せて示している。図より，日本海Ⅰエリアに着目すると，B 地域区分では北海道，東北および北陸エリアの飛来塩分量を平均化して設定しているが，北海道の測定値のみを用いた分布は，B 地域区分の設定ラインよりも若干大きいことが分かる。一方，太平洋Ⅱエリアに着目すると，C 地域区分は東北，関東エリアの飛来塩分量を平均化して設定しているが，北海道の太平洋（オホーツク海を含む）の測定値のみを用いた分布は，これよりも小さく安全側に設定されていることが分かる。

3. 調査手法の概要

3. 1 調査対象

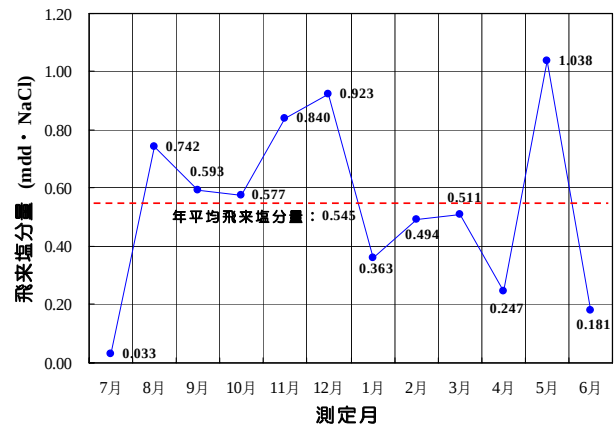
本調査では，松前町から長万部町に至る渡島地方沿岸の114の橋梁を対象とし，飛来塩分量調査および構造物に浸透した塩分量を直接的に測定するコア塩分量調査を実施している。図－4には調査箇所位置図を示している。調査対象はいずれも一般的な構造形式を有する道路橋で，コア塩分量調査は主として下部構造（橋台あるいは橋脚）を対象としてコンクリートコアを採取した。ここで，本調査で対象とした橋梁の供用年数は，最大70年，最小5年であり，平均供用年数は約33年であった。



図－4 調査箇所位置図



写真－1 塩分捕集器の設置状況の一例



図－5 飛来塩分量測定結果の一例

3. 2 飛来塩分量調査の概要

飛来塩分量調査は，過去に実施された既往調査を含め計8箇所の架橋位置で実施した。飛来塩分量の測定は参考文献1)に基づき，土研式の塩分捕集器を構造物に直接あるいは構造物近傍に設置して1年間の飛来塩分量測定を行っている。土研式の飛来塩分量測定法は塩分捕集器の内部に設置した10cm×10cmのステンレス板に付着した塩分量を測定するものである。回収した水溶液の塩化物イオン量の定量分析にはイオンクロマトグラフ法を採用した。写真－1には塩分捕集器の設置状況，図－5には飛来塩分量測定結果の一例として，津軽海峡沿岸で実施した調査の年間飛来塩分量分布を示している。

3. 3 コア塩分量調査の概要

採取するコンクリートコアは、直径、長さともに100mmを基本とした。コア採取は、鉄筋探査によって鉄筋位置を確認した後に、コンクリート表面のひび割れ、剥離、ジャンカ、打継ぎ部、漏水および漏水跡部を避けた箇所を選定し、かつ海岸線に向けた側面部位から採取することとした。但し、海岸線に向けた部位から採取することが困難な場合には、極力海側に近い正面部位から採取することとした。写真-2にはコアボーリング状況の一例を示している。また、コア採取後は現地にて速やかに中性化試験を実施した。測定方法は、フェノールフタレイン 1%エタノール溶液をコア表面に噴射し、赤紫色に着色する位置までの深さを測定することで行っている。中性化深さはコア円周方向に計 10 箇所を測定を行い、その算術平均値をもって中性化深さとした。

採取したコアの塩化物イオン濃度分析は、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に基づいて、採取したコンクリートコアを無水カッターにより等分割にスライスおよび粉砕して分析用試料とし、塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法によって全塩化物イオン量を測定している。ここで、スライス 1 片当りの厚さは 10mm と設定し、1 コア当り 7 スライスの試料を用いて、コンクリート表面からの塩化物イオン量の深さ方向分布を調べることにした。

3. 4 コンクリートの表面塩化物イオン量の推定方法

コンクリート内部への塩化物イオンの浸透現象は、拡散理論に基づくフィックの第2法則として知られる拡散方程式の解を用いて塩化物イオン量を推定するのが一般的である。従って、本検討においてもフィックの拡散方程式の解の 1 つである(2)式を用いてコンクリート表面の塩化物イオン量を推定することとする。これは、コンクリート表面における塩化物イオン量が経過時間によらず一定で、かつ、コンクリートは半無限体で同様とした境界条件を与えることで得られた解である。

$$C(x,t) = C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) + c(x,0) \quad (2)$$

ここに、

$C(x,t)$: 深さ x (mm)、経年 t (年)での塩化物イオン量 (kg/m^3)

C_0 : コンクリート表面の全塩化物イオン量 (kg/m^3)

D : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 ($\text{cm}^2/\text{年}$)

erf : 誤差関数

$C(x,0)$: 初期含有塩化物イオン量 (kg/m^3)

これにより、実測されたコア深さ方向の塩化物イオン量を(2)式により回帰分析することでコンクリート表面の塩化物イオン量と見掛けの拡散係数を推定した。

図-6には実測の塩化物イオン量分布を回帰分析した一例を示している。ここで、コアの中性化領域（上述の平均中性化深さ）の測定値に関しては、中性化フロントにおける濃縮現象によってコンクリート表面の塩分量が内部の塩分量よりも低下する場合があることから、中性化領域の測定値は回帰分析時には考慮しないものとした。



写真-2 コアボーリング状況の一例

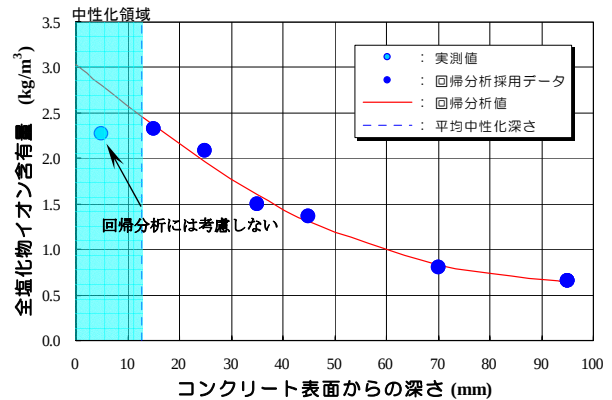


図-6 実測塩化物イオン量の回帰分析の一例

4. 塩害地域区分の評価手法

本検討における塩害地域区分の評価は、前述の(1)式を基本とした旧建設省土木研究所の評価手法¹⁾に基づいて行うものとした。ここで、今回実施した塩分量調査は、飛来塩分量調査とコンクリートコア塩分量調査が実施されていることから、飛来塩分量とコア塩分量の2つの塩化物イオン量が混在している。従って、評価を行うに当たっては、いずれかの指標に統一する必要があるが、本検討では飛来塩分量を評価指標とした。これより、コア塩分量調査で得られた表面塩化物イオン量を飛来塩分量相当に換算する必要があるが、これには以下の(3)式を用いることとした。(3)式は、旧建設省土木研究所が実施した水セメント比(W/C)が異なる3種類の試験体における計76体の暴露試験と、それと同一箇所で行った飛来塩分量調査の測定結果をもとに、その相関分析から得られたものである。

$$C_0 = 1.2 \times C_{\text{air}}^{0.4} \quad (3)$$

ここに、

C_0 : 表面塩化物イオン量 ($\text{kg} \cdot \text{Cl}^-/\text{m}^3$)

C_{air} : 飛来塩分量 ($\text{mdd} \cdot \text{NaCl}$)

以上より、コンクリートコア塩分量を飛来塩分量と同じ指標で評価することが可能となるが、本検討では更に以下に示すデータは本評価には採用しないものとした。

- 1) 波しぶきや飛沫の影響を受ける橋梁（離岸距離0m）
- 2) 凍結防止剤の影響を受けていると判断される橋梁
- 3) 重力式橋台に代表される無筋コンクリート構造物
- 4) 他の要因により劣化を受けていると判断される橋梁
- 5) 表面塩化物イオン量が $15 (\text{kg}/\text{m}^3)$ を超過するデータ

ここで、1) は、波しぶきや飛沫の影響を受ける場合は表面塩化物イオン量が異常に大きくなるためである。2) は、本調査は飛来塩分量に着目した評価を目的としているためである。なお、この判断は現地での目視観察による判断とした。3) は、経年の多い無筋コンクリート構造物は低強度、高水セメント比のコンクリートが用いられている可能性が高く、その場合には塩分が浸透し易いと推察されるためである。4) は、ASR や凍害等の塩害以外の要因により劣化を受けているもので、これは既往の調査資料や現地における目視観察により判断した。5) は、(3)式がコアの表面塩分量が $0.1 \sim 15 \text{ (kg.Cl}^-/\text{m}^3)$ の範囲内で回帰分析された近似式であるためである。

5. 考察および評価

(1) 飛来塩分量と海岸線からの距離の関係

図-7には本調査によって得られた飛来塩分量（換算飛来塩分量）を、(1)式により回帰分析した場合における飛来塩分量と海岸線からの距離の関係を示している。図中、青色のラインは B 地域区分の回帰分布($C_1=0.950 \text{ mdd} \cdot \text{NaCl}$)を、緑色のラインは C 地域区分 ($C_1=0.350 \text{ mdd} \cdot \text{NaCl}$)の回帰分布を示している。一方、赤色のラインは本調査で得られた渡島地方沿岸部の飛来塩分量を用いて回帰分析した結果であるが、1km 換算飛来塩分量は $C_1=0.338 \text{ (mdd} \cdot \text{NaCl)}$ であり、ほぼ C 地域区分の設定ラインに近似していることが分かる。これより、道南渡島地方沿岸部は、C 地域区分に相当する飛来塩分環境にあるものと判断される。なお、本検討では既往の研究成果を反映して、飛来塩分量の距離減衰の程度を表すパラメータを $b=0.6$ と仮定して行ったが、本調査より得られた分布からは、回帰線の下にバラツキが見られ相関係数も 0.46 と低い。よって、本地域における距離減衰の程度は更に大きいものと考えられるが、これに関してはデータの蓄積を図るとともに今後の検討課題としたい。

(2) 塩害損傷の実態調査

現行の塩害地域区分は、飛来塩分量調査や暴露試験体の塩分量調査をもとに、更に塩害損傷の実態を反映して設定している。従って、本検討においても塩害損傷の実態を把握して評価に反映させるものとした。表-3には損傷度の判定基準を、図-8には実態調査で得られた塩害損傷度と海岸線からの距離の関係を示している。図中、●が塩害損傷の認められた橋梁（損傷度1以上）を示している。図より、道南渡島地方沿岸部では海岸線からの距離が 0m の橋梁においてのみ明瞭な塩害損傷が見られ、それよりも離れた橋梁では損傷が確認されていないことが分かる。これより、海岸線からの距離が 0m の構造物は塩害対策区分 S（スーパー塩害対策）で対応されるため、 0m から離れた橋梁で明瞭な塩害損傷が確認されていないことから、塩害損傷の実態を踏まえても本地域は C 地域区分に相当していると考えても良いと判断される。

6. 結 論

本研究では、塩分量調査および塩害損傷の実態調査をもとに、道南渡島地方沿岸を対象とした塩害地域区分の評価を行った。その結果、当該エリアは現行の C 地域

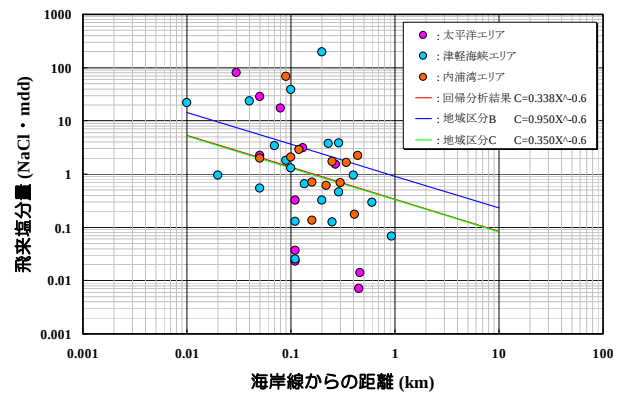


図-7 本調査で得られた飛来塩分量と離岸距離の関係

表-3 損傷度の判定基準

損傷度	判 定	判定基準
0	被害なし	異常なし
1	塩害の兆候がある	スプレー等の錆汁が点在
2	軽度の塩害	多数の錆汁、部分的なひび割れ
3	中度の塩害	ひび割れ、剥離が多数
4	かなり進んだ塩害	大きな剥離・太く長いひび割れ

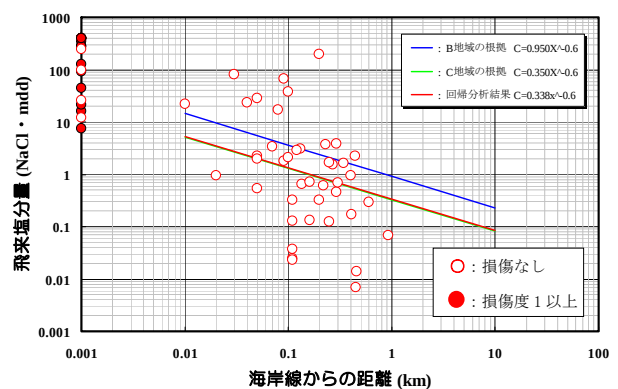


図-8 塩害損傷度と海岸線からの距離の関係



写真-3 塩害損傷度2の一例（飛沫帯橋梁）

区分に相当する飛来塩分環境であるものと判断され、海岸線からの距離が 0m の橋梁、すなわち飛沫帯にある橋梁でのみ明瞭な塩害損傷が確認された。これより、現行の塩害地域区分に対応した対策区分を適用することにより、塩害に対する耐久性を満足できるものと判断される。

参考文献

- 建設省土木研究所（構造橋梁部橋梁研究室）：飛来塩分量全国調査(IV)～飛来塩分量の分布特性と風との関係～、土木研究所資料第3175号、1993.3.