

V-147

新潟県沿岸部における塩害環境の定量的把握

新潟大学大学院 学生員 加藤恭浩 富山県 宝島由治
新潟大学工学部 正会員 佐伯竜彦

1. はじめに

塩害は、主に海岸線近くで強風により発生し、内陸に運ばれる塩分を含む飛沫に起因する。その過程は気象、海象、地形条件などを含む環境条件の影響を多大に受け、これらの環境条件と飛来塩分の関係および鉄筋の腐食について定量的に把握することは塩害対策に有用である。

そこで本研究は、新潟県沿岸部における飛来塩分調査結果から既往の計算モデルを参考に、飛来塩分予測式を求め、また、コンクリート中の鉄筋の腐食開始年数を求め塩害環境の一評価とした。

2. 実験概要

本研究では新潟県沿岸部の15地点について、飛来塩分量の季節分布および地域による相違を比較検討するため、土研式塩分捕集器による測定を毎月行った。一方、短期間で塩分浸透と飛来塩分量の相関を評価するため、現地暴露試験によるモルタル供試体(φ50×100mm)への塩分浸透量の測定を行った。なお、モルタル供試体では、硝酸銀溶液を噴霧し浸透深さおよび方向を測定、J C I 規準(案)に沿って全塩分量を測定した。また、風向、風速データは、地点近くの観測所における1時間毎のデータを用いた。

3. 結果および考察

(1) 飛来塩分量調査結果

前報¹⁾により、飛来塩分量は地点周辺環境および冬季の西からの季節風に影響を受けること、モルタル供試体の最大塩分浸透方向は冬季における海からの最大風速時の風向と類似していることが明らかとなったため、飛来塩分は風向、風速に相関が高いと推定され、予測にあたっては強い海風を考慮することとした。

強風に相当すると思われる風速を確かめるため各月毎の海風を調べた結果、飛来塩分量の推移傾向と類似するものは風速 10m/s 以上の海風であることが図-1に示すように認められた。

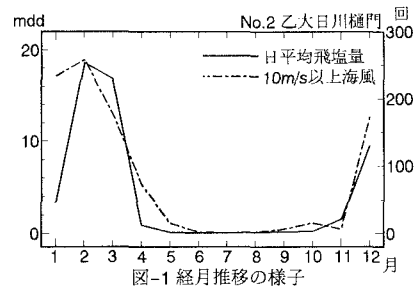


図-1 経月推移の様子

(2) 飛来塩分量予測式

本研究では、地形がほぼ平坦であるとし、モデルの基本式を支配断面内での飛来塩分量の収支で与えた、宇多ら²⁾の飛来塩分量計算モデルを参考に予測モデルを設定した。ここで、海岸における飛沫の発生はウェーバー則に従うと考え、空気密度、海面の表面張力、飛沫の直径を一定とすれば発生量は風速の二乗に比例すると考えられ、これを海岸線における総飛来塩分量として基本式を解いた。さらに、準定常の仮定が成立する時間は1時間、空間中の飛沫量と塩分濃度は比例するとして、飛来塩分量予測式を次式のように構成した。

$$D = \phi \exp(-bx / \sum_i u_i) \quad \phi = \sum_n \frac{24 \times T}{\pi} a \sum_i \cos \theta_i u_i^2 / T \dots \dots \dots (1)$$

$$a = 0.00558$$

$$b : \phi < 1 \text{ mdd の場合、} b = 0, \quad \phi \geq 1 \text{ mdd の場合、} b = -0.25 + 0.216 \phi$$

a、bは測定結果より回帰分析により求めた。

ここに、Dは日飛来塩分量、φは飛沫発生量、Xは海岸線からの距離、uは水平方向風速、24は1日=24時間、Tは一ヶ月の日数、θは風向きと捕集器のなす角度、aは海岸部環境を表す係数、bは距離減衰を表す

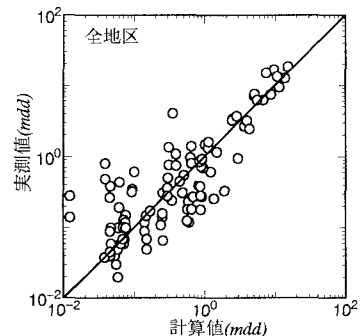


図-2 計算値と実測値の関係(全地区)

係数である。解析対象とした地点における計算値と実測値を図-2に示す。図より、Dが小さい領域でばつつきがみられるが、主に1mdd以下で塩害対策を必要としない範囲であるため、実用上ほぼ問題ないと思われる。

(3) 鉄筋の腐食開始年数

飛来塩分量とコンクリート中の鉄筋の腐食を定量的に関連付けるため、暴露モルタル供試体中の塩分分布データに拡散方程式を適用して表面塩分量 E_0 を算出し、 E_0 と飛来塩分量の関係を求めた。なお、 E_0 は暴露期間が2年以下であるため一定とした。図-3に両者の関係および回帰式を示す。

この関係から飛来塩分量により E_0 を推定し、そこに見かけの拡散係数を与えることにより、任意の経過時間における鉄筋位置の塩分量を求めることができ、発錆限界塩分量 E_m を定めることにより、任意のかぶり厚さにおける鉄筋の腐食開始年数を予測できると思われる。なお、ここでの塩分量の計算については長期間であるため、 E_0 が時間の平方根に比例するとして拡散方程式を解いた、次式³⁾を用いた。

$$E = E_0 \{ \exp(-x^2/4Dct) - x\sqrt{\pi/2\sqrt{Dct}} \operatorname{erf}(x/\sqrt{Dct}) \} \dots (2)$$

ここに、 E_0 は表面塩分量、 X は表面からの距離、 t は経過時間、 Dc は見かけの拡散係数、 E は任意の時間 t 、距離 X における塩分量、 erf は誤差関数である。なお、 E_0 は時間の関数であることから E_0 と積算飛来塩分量 Dh の関係を $Dh = \alpha t$ とした。 α は比例定数である。

式(2)を用い、大即ら⁴⁾の研究を参考に Dc を $1.3 \times 10^{-8} (\text{cm}^2/\text{s})$ 、小堀ら⁵⁾の研究に従い E_m を0.06(コンクリート重量に対する全塩分(Cl^-)量の重量%)と定め、塩害指針で定められた最小かぶり7cmに対する腐食開始年数を求めた。さらに、年間飛来塩分量を一定とし、年間飛来塩分量と腐食開始年数の関係を調べたものを図-4に示す。図より、年間飛来塩分量がおおよそ500mg以上から腐食開始年数が急激に早まると思われる。また、両者の関係を次式で示した。

$$\ln Y_{\text{ear}} = 5.44 - 0.329 \ln Dy \dots (3)$$

ここに、 Y_{ear} は腐食開始年数、 Dy は年間飛来塩分量である。

4. まとめ

- (1) 得られた飛来塩分量予測式に、風向、風速、海岸線からの距離を与えることにより、平坦な地形では飛来塩分の定量的把握がほぼ可能であると思われる。
- (2) 飛来塩分量から表面塩分量を推定し、見かけの拡散係数および発錆限界塩分量を定めることにより、任意のかぶり厚さにおける鉄筋の腐食開始年数が予測できると思われる。また、年間飛来塩分量から腐食開始年数を推定することができた。

謝辞

本研究は土木学会新潟会「コンクリート構造物の塩害およびその対策に関する調査研究委員会」の活動の一環として行った研究である。ここに関係者各位に厚く御礼を申し上げます。また、本研究を行うにあたり御指導、御助言を賜りました新潟大学工学部建設学科の故米山紘一教授に深く感謝いたします。

参考文献 1)宝島、他:土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第5部、1994。 2)宇多、他:海岸からの飛来塩分量計算モデル、第39回海岸工学論文集、pp. 385-388、1992。 3)丸屋、他:コンクリート塩分の拡散浸透に関する表面塩分量の定式化、コンクリート工学年次論文報告集、pp. 597-601、1989。 4)大即、他:海洋環境におけるコンクリートの塩素含有量、セメント・コンクリート、No. 421、1982。 5)小堀、他:コンクリート中の鉄筋腐食と塩分量に関する一考察、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、pp. 77-80、1986。

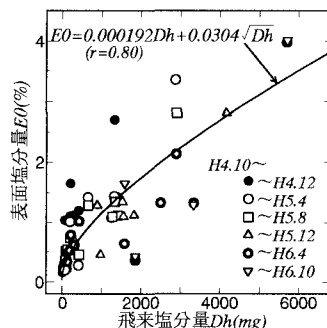


図-3 飛来塩量と表面塩分量の関係

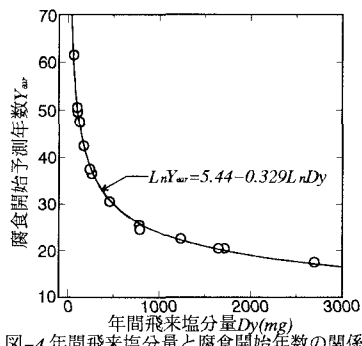


図-4 年間飛来塩分量と腐食開始年数の関係