

飛来塩分予測手法の検証

令和2年3月

橋梁塩害対策検討委員会
国立大学法人 長岡技術科学大学
国立大学法人 新潟大学

目 次

第1章 検討の目的	1
1.1 背景	1
1.2 目的	1
第2章 飛来塩分量調査	2
2.1 目的	2
2.2 調査結果	2
第3章 薄板モルタル暴露試験	3
3.1 背景	3
3.2 概要	3
3.3 対象橋梁諸元	3
3.4 試験方法	3
3.5 供試体の形状	3
3.5.1 供試体の製作	4
3.6 設置方法	4
3.7 実施方法	4
3.8 回収方法	4
3.9 結果	5
第4章 机上シミュレーション	6
4.1 目的	6
4.2 概要	6
4.3 対象橋梁諸元	6
4.4 位置	6
4.5 飛来塩分の観測方法	7
4.6 計算条件	7
4.7 結果	7
4.7.1 風速の計算結果	7
4.7.2 飛来塩分の輸送過程の計算結果	8

第1章 検討の目的

1.1 背景

塩害発生メカニズムに対する現状の課題は以下の通りである。

- ①含有塩分量，外観変状，鋼材腐食の関連性が必ずしも明確になっていない。
- ②飛来塩分が付着し浸透する時期は，地域によって異なることが想定される。
- ③対策を実施する場合，最も効果的な時期（季節）が不明である。

1.2 目的

コンクリートへの塩分の浸透速度は，マクロ環境としての地域により異なり，ミクロ環境の部位（海側と山側，耳桁と中桁，桁端部と桁中間部）によっても異なると考えられる。

したがって，外部の環境（大気中の温度，湿度等）がコンクリート内部の環境（温度，湿度等）に与えられる影響を把握するために調査や暴露試験を実施する。

第2章 飛来塩分量調査

2.1 目的

コンクリート橋の塩害対策を必要とする地域を明確にすることを主な目的として、昭和59年(1984年)12月から3年間にわたって、全国226地点での飛来塩分量の測定及びそのうちの76地点でのコンクリートブロックの暴露が行われた。

項目	昭和59年(1984年)12月～ 昭和60年(1985年)11月	昭和60年(1985年)12月～ 昭和61年(1986年)11月	昭和61年(1986年)12月～ 昭和62年(1987年)11月	調査地点 合計
飛来塩分量	112 地点			266 地点
	3 地点			
	43 地点			
	56 地点			
	52 地点			

図 2.1.1 飛来塩分量調査の期間と地点数

2.2 調査結果

塩害による劣化損傷が比較的多く発生している北海道東北、北陸地方の日本海側に面した地域及び沖縄県では飛来塩分量が多い。

一方、劣化損傷の発生が少ない太平洋に面した地域及び中国地方九州地方の日本海側に面した地域では、飛来塩分量は約1.0mdd未満と比較的少ない。

瀬戸内海に面した地域では、飛来塩分量が特に少ないことが分かった。

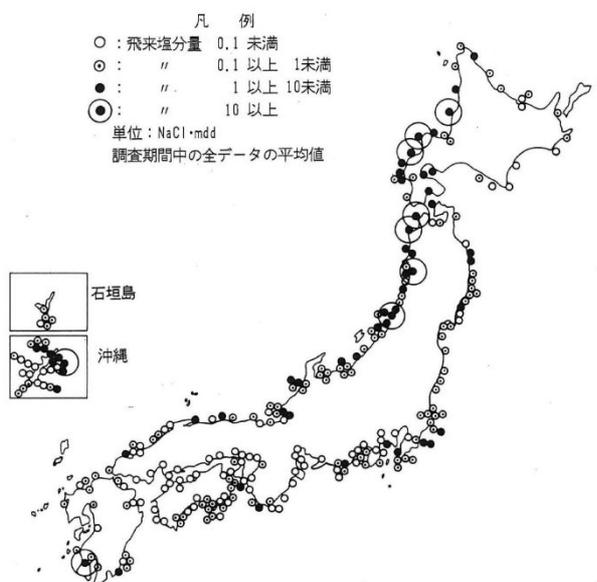


図 2.2.1 飛来塩分量の全国分布

第3章 薄板モルタル暴露試験

3.1 背景

「第1回橋梁塩害対策検討委員会（平成16年（2004年）8月）」で報告された各機関における塩害橋梁の事例、飛来塩分量調査の結果より北海道、北陸、沖縄県の3地点で暴露試験を実施する。

調査地点の選定理由は以下のとおりである。

- ① 日本海側Iの地域である北海道、東北、北陸では湿度の差は大きく見られなかったが、気温については東北と北陸がほぼ同様で、北海道は、東北、北陸と比べると5℃程度低いことから北海道、北陸を対象地域とする。
- ② 沖縄は他の地域とは明らかに気温が異なることから対象地域とする。
- ③ 海岸線からの距離がなるべく近い地点を選定する。

3.2 概要

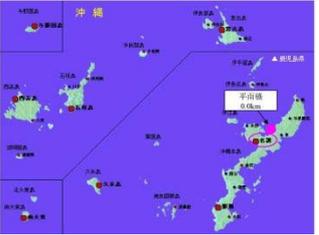
3地点（北海道幌別桁下、新潟県新名立大橋桁下、沖縄県平南橋近傍暴露試験場）に薄板モルタル暴露供試体を設置（平成17年（2005年））。

薄板モルタルを平成20年（2008年）まで暴露し、飛来塩分を計測する。

平成17年（2005年）に新名立大橋を対象とした数値シミュレーションを検討した。

3.3 対象橋梁諸元

表 3.3.1 橋梁諸元一覧

	北海道	新潟県	沖縄県
			
橋梁名	幌別橋	名立大橋	平南橋
構造形式	PC単純場所打ち中空床版橋	PC単純バイプレ中空床版橋	ポストテンション単純T桁橋
径間数	1	2	8
橋長	34.00m	75.30m	264.00m

3.4 試験方法

薄板モルタル供試体暴露試験は、地域ごとに異なると思われる飛来塩分の付着量と、塩分が浸透する時期及び浸透量を把握して、地域ごとの最も効果的な対策の実施時期や地域ごとの浸透塩分量の違いを得る。

3.5 供試体の形状

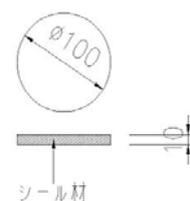
供試体の形状は、年4回行う回収設置時の作業性を考慮して、φ100mm、厚さ10mmとする。

飛来塩分が供試体の1面からのみ浸透するよう、側面及び背面はシール材等により保護する。

3.5.1 供試体の製作

(1) 配合

RC 桁を想定した場合 水セメント比：50% セメントの種類：普通セメント
 PC 桁を想定した場合 水セメント比：35% セメントの種類：早強セメント



供試体形状: $\Phi 100\text{mm} \times 10\text{mm}$
 重量: $0.1^2 \times \pi / 4 \times 0.01 \times 2150 = 0.17\text{kg}$

図 3.5.1 薄板モルタル暴露試験用供試体形状

(2) 養生条件

標準養生として、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 90%以上の湿気箱に入れ、 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ の水中で 28 日間養生。

(3) 保管方法

高温、高湿にならない場所（冷暗所）に、ビニール袋に入れたまま保管する。

3.6 設置方法

土研式の飛来塩分量測定を行った条件となるべく合わせる。

雨水の影響を受けない場所に、海側に向けて垂直暴露をする。（表 3.6.1）

表 3.6.1 設置方法一覧

設置場所	幌別橋桁下	新名立大橋桁下	平南橋近傍暴露試験所
設置状況			

3.7 実施方法

供試体すべてを粉砕し、電位差滴定法により全塩化物イオン量の分析を行う。

合わせて拭き取り式により採取した付着塩分も電位差滴定法の分析を行う。

3.8 回収方法

採取者はゴム手袋を着用し、手袋の表面を蒸留水で良く洗う。

ポリビーカーに蒸留水（脱イオン水でも可）を 50~60ml 入れる。

次にガーゼ（蒸留水で煮沸洗浄したもの）を 1 組ポリビーカーに入れる。

ガーゼを軽く絞り採取塗膜面を右図で示すように拭き取り（図 3.8.1），

ビーカー内の蒸留水で濯ぐ。

ガーゼを取替え繰り返し拭き取る。

拭き取ったガーゼはビーカー内の蒸留水と共にポリビーカーに採取する。

この時に手袋の表面もよく洗浄水でビーカー内に洗い流し、洗浄水も一緒にポリビーカーに採取する。

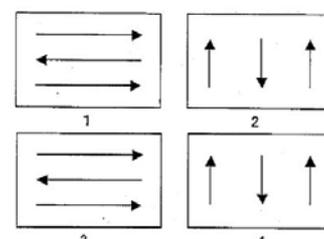


図 3.8.1 拭き取り順序

3.9 結果

試験結果および集計結果を表 3.9.1, 図 3.9.1 に示す。

Ⅲ期（6月～8月）よりもⅠ期（12月～2月）の方が、塩化物イオン含有量が多い。

浸透割合が 100%を超過している箇所があり、その原因は、モルタル設置位置と飛来塩分量の捕集位置、時期が異なるためと考えられる。

表 3.9.1 試験結果一覧

設置場所	試料名	Ⅰ期（冬：'05.12～'06.02）			Ⅱ期（春：'06.03～'06.05）			Ⅲ期（夏：'06.06～'06.08）			Ⅳ期（秋：'06.09～'06.11）			
		累積飛来塩分量	塩化物イオン含有量	塩分浸透割合										
		(g)	(g)	(%)										
北海道	幌別橋	N	8.69	0.340	3.9	0.15	0.238	158.7	0.09	0.000	0.0	1.41	0.347	24.6
		H		0.289	3.3		0.221	147.3		0.000	0.0		0.221	15.7
新潟県	新名立大橋	N	0.64	0.153	23.9	0.18	0.085	47.2	0.01	0.000	0.0	0.15	0.034	22.7
		H		0.136	21.3		0.085	47.2		0.000	0.0		0.034	22.7
		HS		0.085	13.3		0.068	37.8		0.000	0.0		0.034	22.7
	名立大橋 暴露試験場	N	0.58	0.391	67.4	0.16	0.221	138.1	0.01	0.051	510.0	0.13	0.221	170.0
		H		0.238	41.0		0.153	95.6		0.034	340.0		0.136	104.6
		HS		0.255	44.0		0.119	74.4		0.051	510.0		0.136	104.6
沖縄県	平南橋 暴露試験場	N	0.04	0.051	127.5	0.01	0.017	170.0	0.12	0.000	0.0	0.03	0.017	56.7
		H		0.051	127.5		0.000	0.0		0.000	0.0		0.017	56.7
	平南橋山側	N		0.000	0.0		0.000	0.0		0.000	0.0		0.000	0.0
		H		0.000	0.0		0.000	0.0		0.000	0.0		0.000	0.0
	平南橋海側	N		0.068	170.0		0.000	0.0		0.000	0.0		0.000	0.0
		H		0.051	127.5		0.000	0.0		0.000	0.0		0.000	0.0

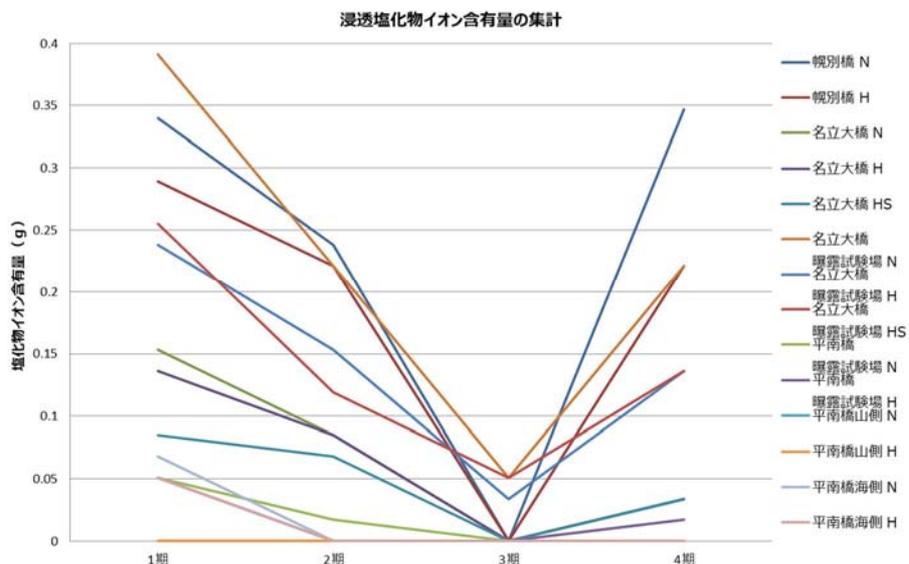


図 3.9.1 浸透塩化物イオン含有量の集計

第4章 机上シミュレーション

4.1 目的

コンクリート表面の塩分量は、風によって運ばれた海水粒子が構造物に到着するプロセスと、降雨による洗い流しの影響などを受けて残った塩分量がコンクリート表面に付着するプロセスの所産である。

構造物に海水粒子が飛来するプロセスに焦点を当て、これを数値シミュレーションにより予測する手法を構築する。

また、暴露試験によりコンクリート表面の塩分量を実測、定量化を行い到達塩分量と降雨等の条件から表面塩分量を予測するモデルを構築する。

4.2 概要

研究開発中の飛来塩分の発生、輸送シミュレーションを用いて計算を行った。

実際の計算は、次頁のような順で行っている。

- ① 海岸波動の伝播計算
- ② 海水面での砕波によるエネルギー逸散量と飛来塩分の発生の計算
- ③ 飛来塩分の舞い上がり計算
- ④ 飛来塩分の輸送量の計算

風の場の計算は、別途に行っておき、その結果を飛来塩分の輸送量の計算に用いた。

4.3 対象橋梁諸元

橋長：75.300m

幅員：21.0m

上部工形式：PC2 径間連結ポストテンション方式バイプレ中空床版橋

完成：平成13年（2001年）

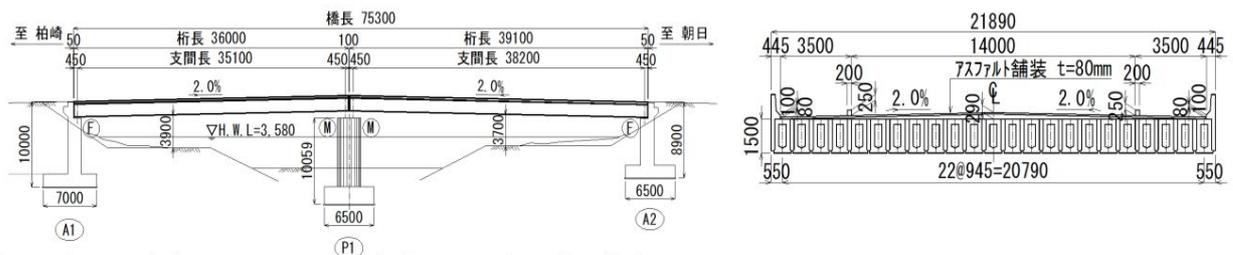


図 4.3.1 橋梁一般図

4.4 位置

観測地点を下記とする。

表 4.4.1 観測地点の配置

付着塩分量	輸送塩分量	風速・風向

4.5 飛来塩分の観測方法

観測ガーゼで行う。大気中の飛来塩分の輸送量の測定は、ガーゼを透過性にする方法で行う。

構造物の壁面の付着塩分量は、ガーゼ裏面にプラスチック板を入れ、不透過性としたものを壁面に貼り付ける。

採取した塩分量の分析はガーゼを蒸留水に浸し、その水溶液中の Cl⁻濃度を、塩化物イオンメータを用いて測定。

その後暴露時間及び受風面積を基に単位時間・単位面積当たりの付着塩分量 (mg/m²/h) を算出。

測定時間は、降雨、降雪のない時間帯を利用し、2~3 時間程度とする。

4.6 計算条件

波止場は 1 次元であり、大気空間の領域と対応した空間 (図 4.6.1) で計算を行った。

海底地形は、実際の海底地形データがないため、観測時の波浪状態をできるだけ再現するように調整し、飛来塩分の発生に寄与する比例係数は海岸側の観測点において観測と計算結果が一致する値を与えた。

飛来塩分の輸送過程の計算領域は断面 2 次元であり、海域上空の 75m と、陸域 75m を組合せた水平距離 150m、鉛直高さ 12.5m とした。また、計算の境界条件としての気流は、左端より 7.45m/s とし、鉛直方向には一様に与えた。

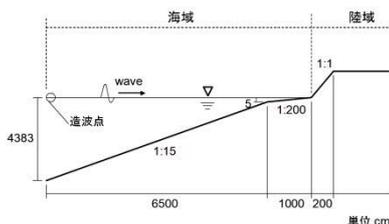


図 4.6.1 海域の計算地形

4.7 結果

4.7.1 風速の計算結果

観測結果における風速は、現地の風が橋梁に対し斜めに吹いていた為、風速を橋桁側面と垂直な方位 295° に換算し、計算結果との比較を行った。

風速の計算結果と補正後の観測結果の比較を図 4.7.1 に示す。

ただし、観測時において観測点 w-4、w-5 は風向が細かく変化していく。

図 4.7.2 は、橋桁周辺の風速ベクトル図を示したものである。図に示すように、橋桁上部において風速の変化が激しく下部周辺では水平風速が強い。

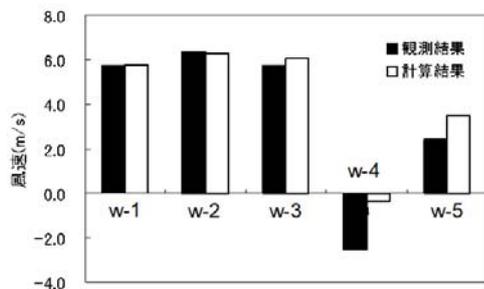


図 4.7.1 構造物周辺風速の比較

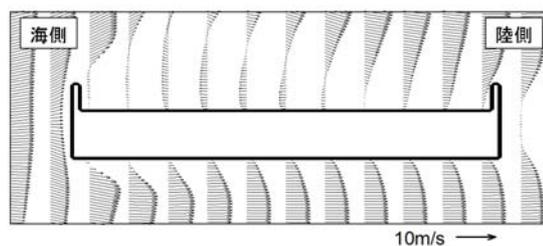


図 4.7.2 構造物周辺の風の分布

4.7.2 飛来塩分の輸送過程の計算結果

橋桁上観測地点における飛来塩分量の、計算結果と測定結果の比較を図 4.7.3 に示す。

図 4.7.4 は、海水面から発生した飛来塩分量の空間分布を表したものである。上図が橋桁周辺、下図が領域全体の飛来塩分量の分布である。

橋桁の海側壁面の周辺および鉛直高さが低い位置で塩分量が高い傾向にある。

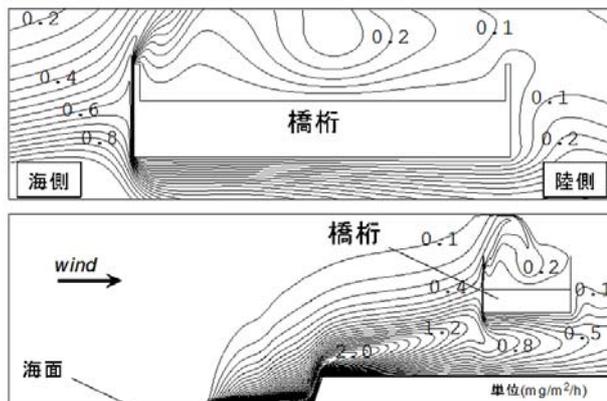
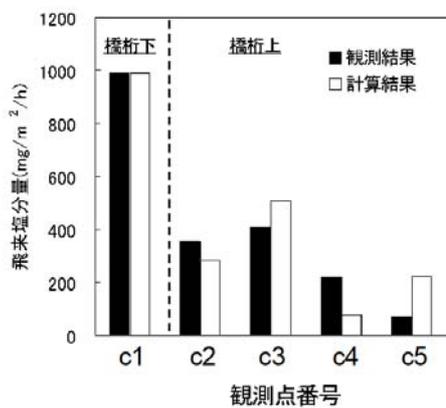


図 4.7.3 輸送量の計算結果と測定結果の比較 図 4.7.4 飛来塩分量の空間分布 (断面 2 次元)