報告　各種モルタル供試体への浸透塩分と土研法による飛来塩分の関係

櫻庭　浩樹[*1]・佐々木　厳[*2]・西崎　到[*3]

要旨：構造物毎もしくは部材毎の塩害環境を評価する方法として，モルタル供試体への浸透塩分を用いる方法が着目されている。一方，これまでに広く用いられてきた方法として，土研法（タンク法）による飛来塩分がある。これらの関係性を把握することは，塩害環境の評価に役立つものと考えられる。本報告では，駿河海岸に位置する暴露試験施設において，各種モルタル供試体への浸透塩分と土研法による飛来塩分を測定し，それらの関係を検討した結果について述べる。

キーワード：塩害環境，モルタル供試体，浸透塩分，土研式塩分捕集器，飛来塩分

1. はじめに

塩害環境の調査は，土研式塩分捕集器を用いて全国的に実施され，地域毎の飛来塩分（マクロ環境）が測定された [1)]。近年では，構造物毎もしくは部材毎の塩分環境（ミクロ環境）を測定する方法として，モルタル供試体を用いた方法が着目されている [2)-4)]。この方法は，着目する構造物もしくは部材表面にモルタル供試体を設置し，モルタル供試体内部へ浸透した塩分を測定するものである。土研法（タンク法）による飛来塩分とモルタル供試体への浸透塩分の関係性が明らかになれば，マクロ環境からミクロ環境へ換算すること等が可能となり，構造物毎もしくは部材毎の塩害環境を評価する際に役立つものと考えられる。

著者らは，これまでに静岡県焼津市の駿河海岸沖合に位置する暴露試験施設において，塩害環境に関する調査を実施した。既報では，土研法による飛来塩分，ガーゼ法による付着塩分およびモルタル円盤供試体による浸透塩分について検討し，これらの特徴を比較，評価している [5)]。

本報告では，既報の調査に加えて，同施設において，モルタル薄片供試体による浸透塩分を調査し，各モルタル供試体への浸透塩分と土研法による飛来塩分の関係を検討した結果について述べる。

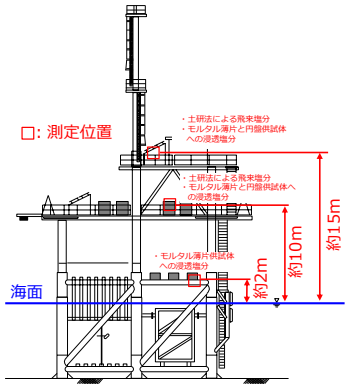
2. 飛来塩分および浸透塩分の測定方法

2.1 測定概要

飛来塩分および浸透塩分の測定は，**図－1** に示す，静岡県焼津市の駿河海岸沖合数百mにある暴露試験施設で行った [6)]。**図－2** には，当該施設における飛来塩分と浸透塩分の測定位置を示す。

表－1 には，土研式塩分捕集器とモルタル供試体の設置位置を示す。1 階部分（海面からの高さ約 2m）ではモルタル薄片による浸透塩分，2 階部分（海面からの高さ約 10m）および 3 階部分（海面からの高さ約 15m）では土研法による飛来塩分ならびにモルタル薄片および円盤

図－1　駿河海岸に位置する暴露試験施設



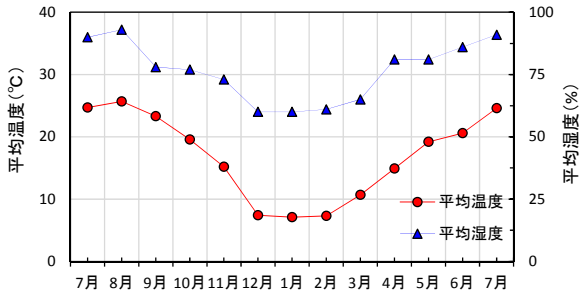
図－2　飛来塩分および浸透塩分の測定位置

表－1　土研式塩分捕集器とモルタル供試体の設置位置

項目	海面からの高さと設置方向				
	2m (1 階) 東面	2m (1 階) 西面	10m (2 階) 東面	10m (2 階) 西面	15m (3 階) 東面
土研式塩分捕集器			○	○	○
モルタル薄片	○	○	○	○	○
モルタル円盤			○	○	○

*1 国立研究開発法人　土木研究所　先端材料資源研究センター　研究員　博(工)　(正会員)
*2 国立研究開発法人　土木研究所　先端材料資源研究センター　主任研究員　博(工)　(正会員)
*3 国立研究開発法人　土木研究所　先端材料資源研究センター　上席研究員　博(工)

図－3　土研式塩分捕集器とモルタル供試体の設置状況

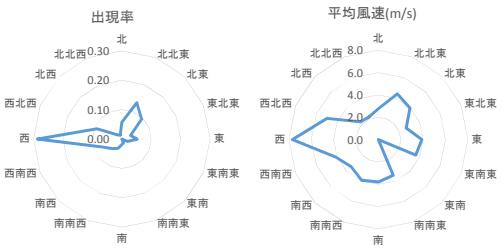


図－4　2014 年 7 月～2015 年 7 月での温湿度の月変動

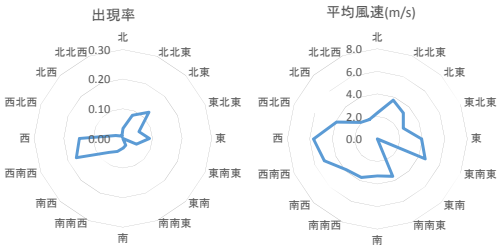
による浸透塩分を測定した。

調査期間は, 2014 年 7 月 28 日～2015 年 7 月 27 日とし, 2015 年 3 月 12 日に試料の回収（227 日）と設置，2015 年 7 月 27 日に試料を回収（138 日，365 日）した。なお，土研法の標準的な調査期間は 1 ヵ月であるが，調査方法と適用性の評価や現場調査の制約から，上述の期間での実施とした。

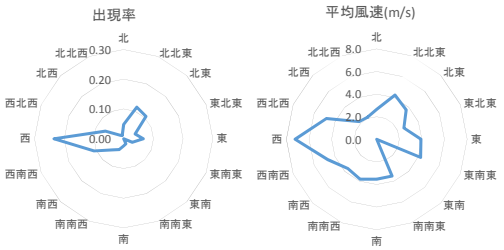
図－3 には，土研式塩分捕集器とモルタル供試体の設置状況を示す。1 階部分では，海況によって波浪を直接受ける。2 階部分には天蓋があり暴風時を除き雨掛かりは無いが，3 階部分については降雨の洗い流し作用を受ける。また，**図－4** には，駿河海岸近傍の気象データの例として, 気象庁御前崎測候所で 2014 年 7 月～2015 年 7 月に観測された平均の気温と湿度の月間変動を示す。**図－5** には，同測候所での 1 時間毎に観測されたデータから作成した風配図を示す。今回調査した 2014 年 7 月～2015 年 7 月の期間では，強風時に西向きが多く，平均風速も西向きが最大値を示している。また，西向きに次いで，北北東や北東向きの出現率が高い傾向にある。



a)　2014 年 7 月～2015 年 3 月（227 日）



b)　2015 年 3 月～2015 年 7 月（138 日）



c)　2014 年 7 月～2015 年 7 月（365 日）

図－5　調査期間における風配図

2.2 飛来塩分

飛来塩分は，土研式塩分捕集器を用いて測定した [1]。土研式塩分捕集器は，暴露試験施設の 2 階の東面（沖合側）と西面（海岸側），ならびに，3 階の東面（沖合側）に土研式塩分捕集器を 1 台ずつ設置した。

土研式塩分捕集器は，飛来塩分を捕集する 10×10cm の捕集板，ポリタンク，捕集板とポリタンクを繋ぐホースおよびそれらの収納箱から構成される（**図－3**）。捕集板が塩分を含んだ風を受けることで捕集板に塩分が付着し，捕集板が降雨を受ける場合には，捕集板に付着した塩分は降水とともにポリタンク内に試料として収集される。また，ポリタンク内の試料を回収する直前には，捕集板に付着した塩分を浄水で洗い流し，ポリタンク内に移す操作を行う。

回収した試料の塩分量は，電位差滴定法により測定し，測定結果は日平均の飛来塩分量（mdd, mg-NaCl/dm^2/day）で示す。

2.3 浸透塩分

モルタル供試体に浸透した塩分を浸透塩分量として測定した。モルタル供試体の表面に付着した塩分については，浸透塩分として取り扱った。モルタルの塩分量は，

JCI-SC4 に基づき，電位差滴定法により測定した。モルタル薄片供試体については，全量を試料として，塩分量を測定した。

(1) モルタル薄片

モルタル薄片供試体には，市販の「クロルサーチ」を用いた。クロルサーチの寸法は，40×40×5mm である。暴露面は 40×40mm の一面であり，それ以外の面はアルミテープで被覆されている。モルタル薄片供試体は，**図－3** に示すように，土研式塩分捕集器の前面に貼付けた。

1 回の調査に当たり，設置高さが同じで隣接する 2 枚のモルタル薄片供試体（**図－3**）を回収し，その平均値を塩分量とした。塩分量を測定する際には，全量を粉砕して試料とし，電位差滴定法により塩分量を求めた。求めた塩分量を体積で除した全塩化物イオン量ならびに塩分量を暴露面の面積と日数で除してモル当量換算した日平均浸透塩分量（mdd, mg-NaCl/dm^2/day）を算定した。

(2) モルタル円盤

モルタル円盤供試体は，内寸が厚さ 11mm，直径 85mm のスチロール製シャーレにモルタルを打設して作製した。モルタル円盤供試体は，**図－3** に示すように，土研式塩分捕集器の前面に設置した。

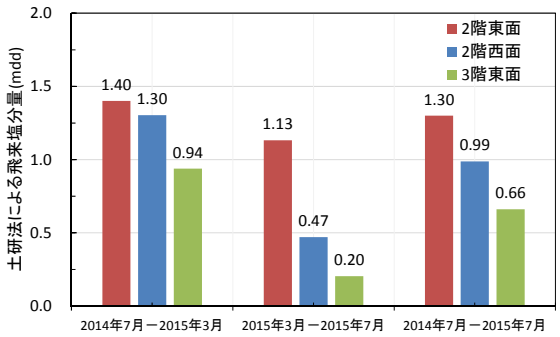
モルタルは，セメントの物理試験方法（JIS R5201「10.4 供試体の作り方」）に従って作製し，水セメント比は 0.5 である。材料には，研究用普通ポルトランドセメント，純水および ISO 標準砂を使用した。養生期間は，20℃の水中で約 1 か月とした。また，供試体の表面形状や表層部分の密実性の影響を検討するため，暴露面がコテ面と型枠面（シャーレの底面）となる 2 種類を一組として暴露した。

塩分浸透量の測定部位は，円盤中央部の 5cm 四方の範囲内とし，板厚方向に浸透した全塩化物イオン量を測定した。対象部位から得られた全塩化物イオン量に板厚を乗じ，さらに日数で除すことで，日平均の浸透塩分量（mdd, mg-NaCl/dm^2/day）を求めた。

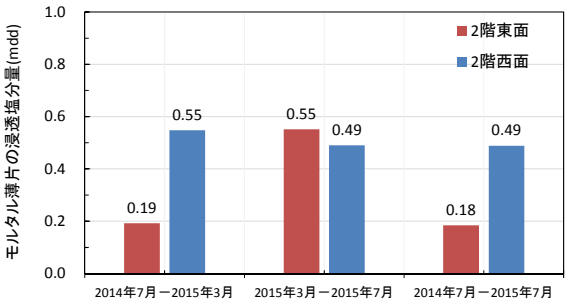
3. 飛来塩分および浸透塩分の測定結果と考察

3.1 飛来塩分

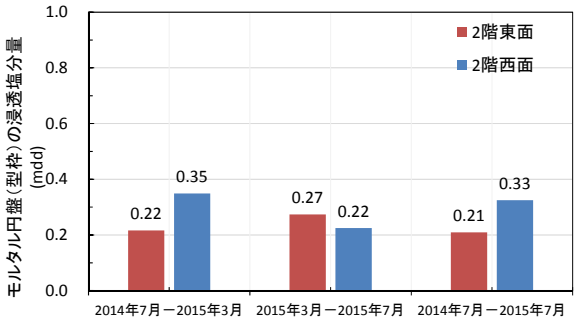
図－6 には，飛来塩分の測定結果を示す。なお，2014 年 7 月－2015 年 7 月の結果については，2 つの期間の結果を通算したものである。2 階東西面の結果を比較すると，東面の方が飛来塩分量は大きい。**図－5** に示した風向図では，西風が卓越する傾向にあったが，飛来塩分の測定結果とは対応していない。これは，台風が 2014 年 10 月（18,19 号）や 2015 年 5 月（6 号）に発生したことが影響していると考えられる。これらの台風が接近した際には，通常天候時と比較して，東向きの風が増加することが御前崎測候所おいて観測されている。すなわち，



図－6　土研法による飛来塩分量



a)　モルタル薄片



b)　モルタル円盤（型枠面）

図－7　モルタル薄片と円盤での設置方向の影響

台風の期間に捕集された塩分の影響を受けているものと推察される。また，2 階東面と 3 階東面を比較すると，3 階東面の方が飛来塩分量は小さいことが確認される。

3.2 浸透塩分

表－2 には，日平均の浸透塩分量（mdd）の測定結果を示す。なお，全塩化物イオン量とした場合の値を表中の括弧内に記載している。

(1) 設置方向の影響

図－7 には，各調査期間での 2 階東西面のモルタル薄片と円盤供試体（型枠面）の浸透塩分量を示す。**図－6** の土研法による飛来塩分量の結果と異なり，2014 年 7 月～2015 年 3 月および 2014 年 7 月～2015 年 7 月の期間において，西面の方が測定値は大きい。また，2015 年 3 月～7 月においては，東西面の測定値は同程度となった。

図－8 には，各期間における風向出現率の東西方向成

表－2　浸透塩分量の測定結果

種類	位置	浸透塩分量（mdd, mg-NaCl/dm^2/day）		
		2014 年 7 月－2015 年 3 月，227 日	2015 年 3 月－2015 年 7 月，138 日	2014 年 7 月－2015 年 7 月，365 日
モルタル薄片	1 階東面	－	10.8（18.0）	－
	1 階西面	－	7.91（13.3）	－
	2 階東面	0.19（0.53）	0.55（0.92）	0.18（0.82）
	2 階西面	0.55（1.52）	0.49（0.82）	0.49（2.16）
	3 階東面	0.11（0.30）	0.16（0.27）	0.08（0.36）
モルタル円盤（型枠面）	2 階東面	0.22（0.27）	0.27（0.21）	0.21（0.42）
	2 階西面	0.35（0.44）	0.22（0.17）	0.33（0.65）
	3 階東面	0.14（0.17）	－	0.09（0.19）
モルタル円盤（コテ面）	2 階東面	0.21（0.26）	－	0.26（0.52）
	2 階西面	0.69（0.86）	－	0.47（0.94）
	3 階東面	0.13（0.17）	0.17（0.13）	0.10（0.20）

※表中（ ）内の数値は全塩化物イオン量（kg/m^3）を示す。

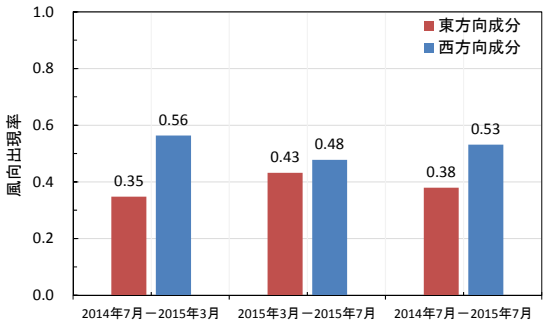
分を示す。ここで，東方向成分は**図－5** における北北東～南南東の出現率の和，西方向成分は**図－5** における北北西～南南西の出現率の和として算定した。この結果を**図－7** と比較すると，2 階東西面の浸透塩分量の大小関係に近い結果が得られることがわかる。

図－9 には，モルタル供試体への浸透塩分量および土研法による飛来塩分量と風向出現率の関係を示す。横軸は，**図－8** で求めた風向出現率の東西方向成分とした。なお，既往の研究では飛沫の発生量は風速の二乗に比例し，その比例定数は発生機構の違いや波浪条件，地形条件で決まるとされている[7]．ここでは，**図－5** に示した各期間の平均風速の特徴が近いことおよび同一地点での測定結果であることを考慮し，風速の影響はあるものの，風向出現率で評価することとした。

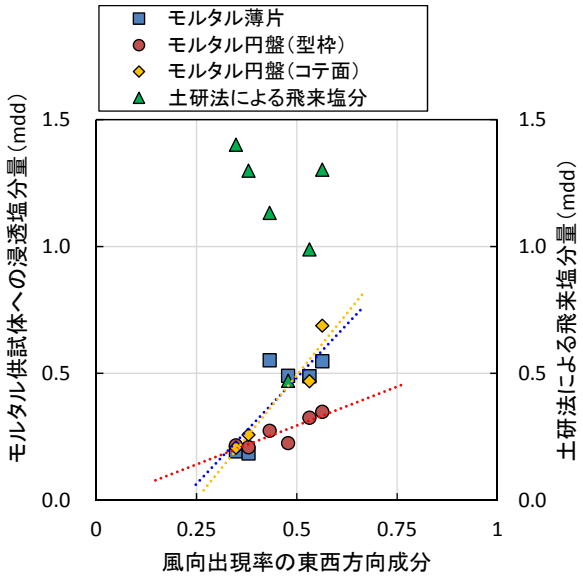
その結果，モルタル薄片と円盤供試体の浸透塩分と風向出現率の東西方向成分は，正の相関関係が見られる。一方，飛来塩分量については，正の相関関係は見られない。これは，土研法による飛来塩分量が台風による影響を含んでいるためと思われる。また，モルタル円盤供試体の型枠面とコテ面を比較すると，コテ面の方が傾きは大きく，モルタルの表面状態の影響が見てとれる。

(2)　海面からの高さの影響

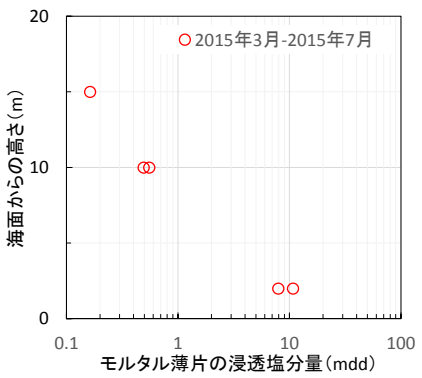
図－10 には，2015 年 3 月～7 月のモルタル薄片供試体の浸透塩分量を示す。浸透塩分量は，1 階に設置した供試体の結果が卓越しており，1 階東面では 10.8mdd（全塩化物イオン量で 18.0kg/m^3）に達している。2 階，3 階での結果は，1 階の場合と比較して小さく，海面からの高さ（階数）が大きくなる程，浸透塩分量は小さくなる



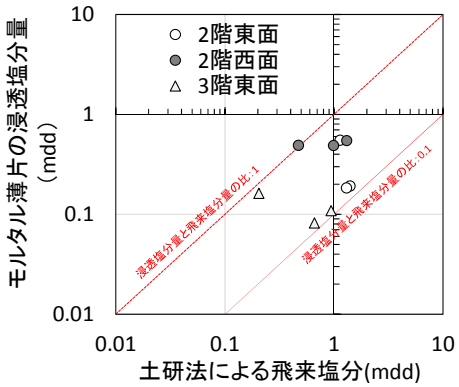
図－8　各期間における風向出現率の東西方向成分



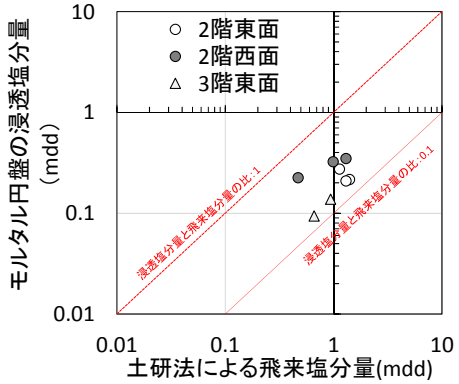
図－9　モルタル供試体への浸透塩分量と風向出現率の関係



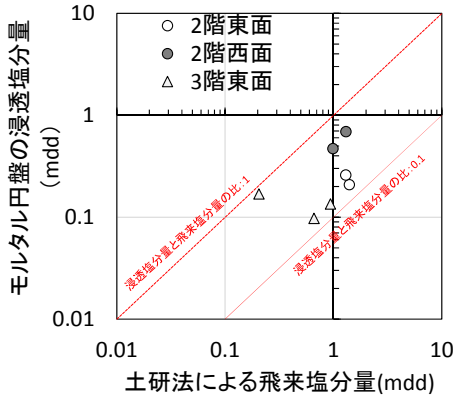
図－10　海面高さとモルタル薄片の浸透塩分量の関係



a)　モルタル薄片



b)　モルタル円盤（型枠面）



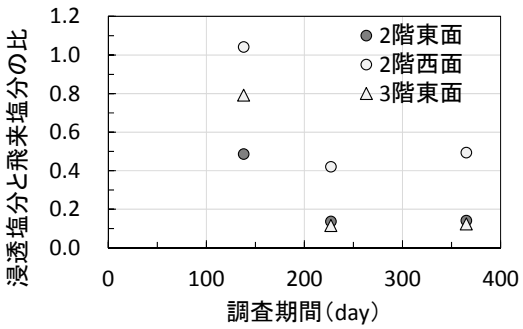
c)　モルタル円盤（コテ面）

図－11　各種モルタル供試体の浸透塩分と飛来塩分

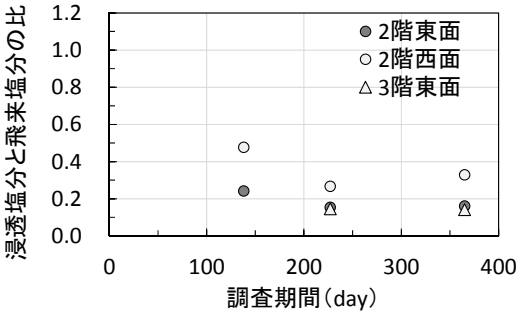
ことが分かる。この傾向は，図－6 における飛来塩分量の 2 階と 3 階での測定結果の傾向と一致している。

(3)　浸透塩分と飛来塩分の関係

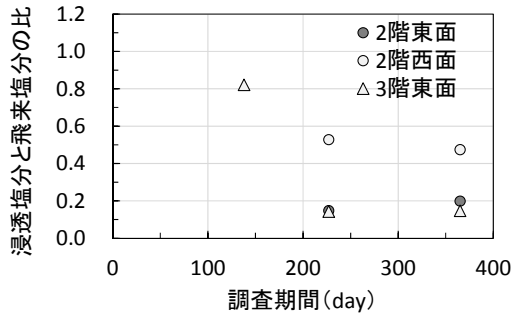
図－11 には，モルタル供試体への浸透塩分と飛来塩分の関係を示す。また，浸透塩分量と飛来塩分量の比 0.1 と 1 の直線も合わせて示す。いずれの浸透塩分も概ね浸透塩分量と飛来塩分量の比が 0.1～1 の範囲内にある。すなわち，土研法による飛来塩分は，モルタル供試体にすべて浸透するわけではないことがわかる。ただし，土研法による飛来塩分量は，3.1 節で述べたように，台風の影響が含まれていることを考慮する必要がある。2 階と 3 階での結果を比較すると，3 階の方が浸透塩分量と飛来塩分量の比が 0.1 に近いことがわかる。これは，2 階は通常降雨時に雨掛かりが無いことに対し，3 階は雨掛かりを受けるため，モルタル供試体の表面が洗い流されるこ



a)　モルタル薄片



b)　モルタル円盤（型枠面）



c)　モルタル円盤（コテ面）

図－12　各種モルタル供試体の浸透塩分と飛来塩分比

とによると考えられる。

図－12 には, 浸透塩分と飛来塩分の比と調査期間の関係を示す。調査期間 227 日と 365 日では，138 日よりも浸透塩分と飛来塩分の比が小さくなっている。これは，モルタル供試体の含水状態の影響を受けているものと思われる。すなわち，モルタル供試体の含水率が低下すると見かけの拡散係数が低下し，モルタル供試体への浸透塩分が少なくなったと推察される [8]。なお，2 階と 3 階で測定されたモルタル薄片供試体については, **図－10** に示した通り, 1 階で測定された浸透塩分量よりも小さく, 浸透塩分量が飽和状態に至るまでは余裕があると考えられる。

4. まとめ

本報告では，駿河海岸沖合に位置する暴露試験施設において，土研法による飛来塩分ならびにモルタル薄片および円盤供試体による浸透塩分を測定し，風環境に着目してそれらの関係について検討した。以下に，本報告で得られた知見をまとめる。

(1) モルタル薄片および円盤供試体への浸透塩分とそれらの設置方向と対応する風向出現率との相関性が確認された。

(2) モルタル円盤供試体の表面仕上げ状態によって，塩分の浸透性が異なることを示した。

(3) モルタル薄片供試体を用いて浸透塩分の海面からの高さ方向の分布を測定し，海面高さの増加によって，浸透塩分量が小さくなることを確認した。

(4) モルタル薄片および円盤供試体への浸透塩分量は，土研法による飛来塩分量の概ね 0.1～1 の範囲であり，雨掛かりがある場合にその割合が小さくなることを示した。

(5) 浸透塩分と飛来塩分の比と調査期間について検討し，調査期間が長い場合，飛来塩分が浸透する割合が減少し得ることを示した。

謝辞

モルタル円盤供試体については，東北大学大学院工学研究科の皆川浩准教授のご厚意よりご提供頂いた。ここに記して深謝の意を表す。

参考文献

1) 土木研究所：飛来塩分量全国調査（Ⅰ），土木研究所資料第 2203 号，pp.1-8, 36-39，1985.3.

2) 佐伯竜彦，能勢陽祐，菊池道生：薄板モルタル供試体を用いたミクロ塩害環境評価手法に関する基礎的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.803-808，2011.7.

3) 上原子晶久，皆川浩，久田真，鈴木基行：モルタル円盤供試体による青森県沿岸部の飛来塩分調査，コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.1, pp.757-762, 2015.7.

4) 富山潤：コンクリート構造物を対象としたミクロ・マクロ塩害環境に関する研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 15 巻，pp.-405-410，2015.10.

5) 佐々木厳，櫻庭浩樹，西崎到，皆川浩：飛来塩分/付着塩分/浸透塩分の比較評価－駿河海岸での調査から－, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.861-866，2016.7.

6) 土木研究所：海洋構造物の耐久性向上技術に関する共同研究報告書-飛沫帯におけるコンクリート構造物の防食技術に関する研究-，第 481 号，2016.3.

7) 宇多高明，小俣篤，小西正純：海岸からの飛来塩分量の計算モデル，海岸工学論文集，第 39 巻，pp.1051-1055，1992.

8) 佐伯竜彦，二木央：不飽和モルタル中の塩化物イオンの移動，コンクリート工学年次論文集，Vol.18, No.1，pp.963-968，1996.