

## 塩分捕集器具の設置方向と飛来塩分の関係

Relation between the amount of airborne salt and setting direction of the airborne salt accumulator

岩崎英治\*・小島靖弘\*\*・高津惣太\*\*\*・長井正嗣\*

Eiji IWASAKI, Yasuhiro KOJIMA, Sohta TAKATSU, Masatsugu NAGAI

\*正会員 工博 長岡技術科学大学 工学部環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

\*\*正会員 修士(工学) 日鉄防蝕 (〒299-1141 千葉県君津市君津 1)

\*\*\*正会員 修士(工学) 首都高速道路技術センター (〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-10-11)

The corrosion durability of steel and concrete structures depend on the amount of airborne salt, and the observation of airborne salt is important to estimate corrosion durability. Airborne salt is observed by accumulation apparatus such as dry gauze type apparatus established by JIS or Doken type apparatus proposed by PWRI. However, the amount of airborne salt is influenced by setting direction of these apparatuses. In this paper, relation between airborne salt and setting direction of airborne salt accumulator is discussed by the observed results of airborne salt and wind velocity and direction.

**Key Words :** *airborne salt, wind velocity and direction, airborne salt accumulator*

キーワード : 飛来塩分, 風向風速, 塩分捕集器具

## 1. まえがき

コンクリート構造物は、コンクリート表面に付着した塩分が内部に浸透して、鉄筋を腐食膨張させることで、構造物としての耐久性が低下する。鋼構造物は、塗装膜の経年劣化により防食機能が低下すると、塩分や水分が鋼表面に付着し、腐食による板厚減少を引き起こす。また、無塗装で使用可能な耐候性鋼材を使用した構造物でも、塩分が多い環境では、緻密な保護性さびが発生せず、長期の耐久性を維持できない場合がある。このことから、構造物の長期の耐久性を確保する上で、構造物周辺の飛来塩分を把握することは、重要である。

飛来塩分を観測する方法には、JIS 規格に定められているドライガーゼ法<sup>1)</sup>や土研式タンク法<sup>2)</sup>が多用されている。しかし、これらの方法は、捕集面が塩分の飛来する方向と合っていないと、飛来塩分を過小評価する懸念がある。したがって、これらの捕集器具の設置方向には十分な留意が必要であるが、捕集器具の設置方向と飛来塩分の関係は明らかになっていない。

また、飛来塩分は風により運ばれるために、地形条件によっては、塩分の飛来する方向は分散している可能性がある。この場合に、通常の捕集器具で、着目地点の飛来塩分を正確に観測できないことも考えられる。

一方、例えば、無塗装の耐候性鋼橋に着目すると、塩分が橋軸直角方向から飛来する場合と、橋軸に平行に

飛来する場合で、腐食部位は異なる。したがって、塩分の飛来する方向やその分布が明らかであると、構造物の防食設計や維持・補修を行う上で有益であると考えられる。

そこで、本論文は、飛来塩分と風向風速の現地観測に基づいて、塩分捕集器具の設置方向と飛来塩分の関係、飛来塩分と風向風速との関係を調べ、既往の塩分捕集器具での観測法の留意点、全方向からの塩分を捕集する器具の提案と、この捕集器具と風向風速計による任意方向からの飛来塩分の予測の可能性について検討を行う。

## 2. 飛来塩分捕集器具

飛来塩分を捕集する代表的な方法に、ドライガーゼ法と、土研式タンク法がある。ドライガーゼ法による塩分捕集器具は、図-1のような内径100mm×100mmの枠にガーゼを挟み、写真-1のように雨水が直接当たらない覆いの下に設置して、ガーゼ面を通過した空気中に含まれる飛来塩分を捕集する。また、土研式タンク法による塩分捕集器具は、図-2のような100mm×100mmのステンレス板に付着した塩分を雨水とともに、ポリタンク内に回収する。このタンク内の雨水中の塩分濃度から飛来塩分が算出される。これらの捕集器具は、捕集面を塩分の飛来する方向に向けて設置する必要があり、捕集される塩分は、捕集器具の設置方向の影響を



写真-1 ドライガーゼ式塩分捕集器具の設置例

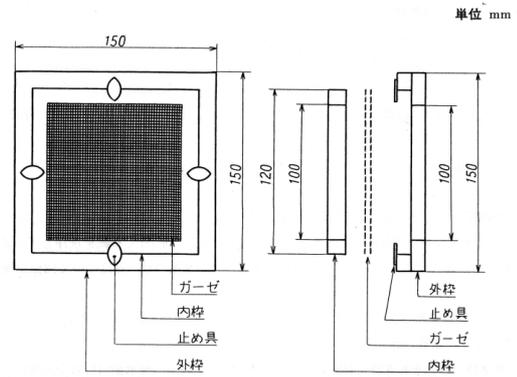


図-1 ドライガーゼ枠の寸法<sup>1)</sup>



写真-2 土研式塩分捕集器具の設置例

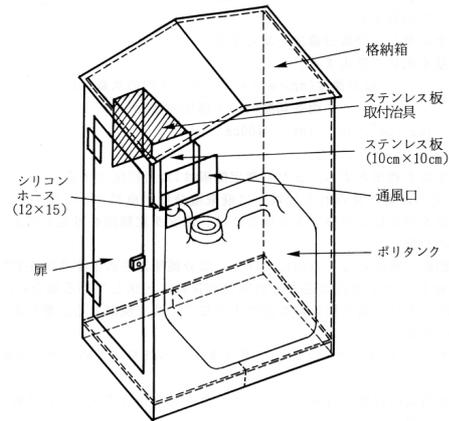


図-2 土研式捕集器具<sup>2)</sup>

受けると言われている。

本論文では、ドライガーゼ法と土研式タンク法のそれぞれについて、全方向からの塩分を捕集するための2種類の捕集器具を作成する。1種類は、高さ100mm、直径100mmの円筒状の捕集面を有する全方向からの塩分を捕集する器具であり、残りの1種類は、高さ100mm、1辺の長さ100mmの八角柱状の捕集面を有する器具である。本文以降では、それぞれ捕集器具A、Bと記述する。

図-3(a)に土研式の捕集器具Aを示す。高さ100mm、直径100mmの円筒状のステンレス板の上端に直径160mmの円盤を設置し、下端には雨水を集めるために直径160mmの円盤に高さ10mmの円筒を取り付け、2箇所の孔からタンクに雨水を集める。通常の土研式捕集器具は、雨水を集めるために、捕集面に奥行き30mm程度の板が取り付けられていることから、直径100mmの円筒の上下縁の円盤の直径は160mmとした。図-3(b)に土研式の捕集器具Bを示す。これは通常の土研式塩分捕集器具の塩分捕集部分を8個並べて、捕集面が八角柱状になるように配置したものであり、8個の捕集部分の雨水は8個の別々のタンクに集められる。図-3(c)にドライガーゼ式の捕集器具Aを示す。ガーゼの高さは100mmであり、ガーゼの周長が土研式の捕集器具

Aの円周長に等しくなるような八角形の位置に、ガーゼを固定する直径10mmの棒を配置し、これらの棒を囲むようにガーゼを巻きつける。このとき、ガーゼを固定するために、1箇所のみ2本の棒を取り付ける。これらの棒でガーゼを挟み、内側の棒にガーゼを巻き付け、クリップで固定している。ガーゼに付着した塩分を分析する際には、ガーゼを挟んだ2本の棒から内側のガーゼは取り除いて、外周のガーゼのみを分析に用いる。図-3(d)にドライガーゼ式の捕集器具Bを示す。ガーゼの高さは100mmであり、捕集器具Aと同様に八角形の角の位置にガーゼを固定する直径10mmの棒を配置して、これらの棒を囲むようにガーゼを巻きつける。ガーゼの固定も捕集器具Aと同様に、1箇所のみ2本の棒を取り付け、これらの棒でガーゼを挟み、内側の棒にガーゼを巻き付け、クリップで固定している。ただし、捕集器具Aと異なり、捕集器具Bでは八角形の1辺の長さは100mmである。ガーゼに付着した塩分を分析する際には、八角形の角の位置でガーゼを8枚に切断し、それぞれのガーゼに付着した塩分を分析する。写真-3にこれらの捕集器具を示す。捕集器具Bの上に捕集器具Aを載せて観測を行った。

ドライガーゼ法では捕集面に付いた塩分が雨水により洗い流されないように屋根で覆い、土研式タンク法

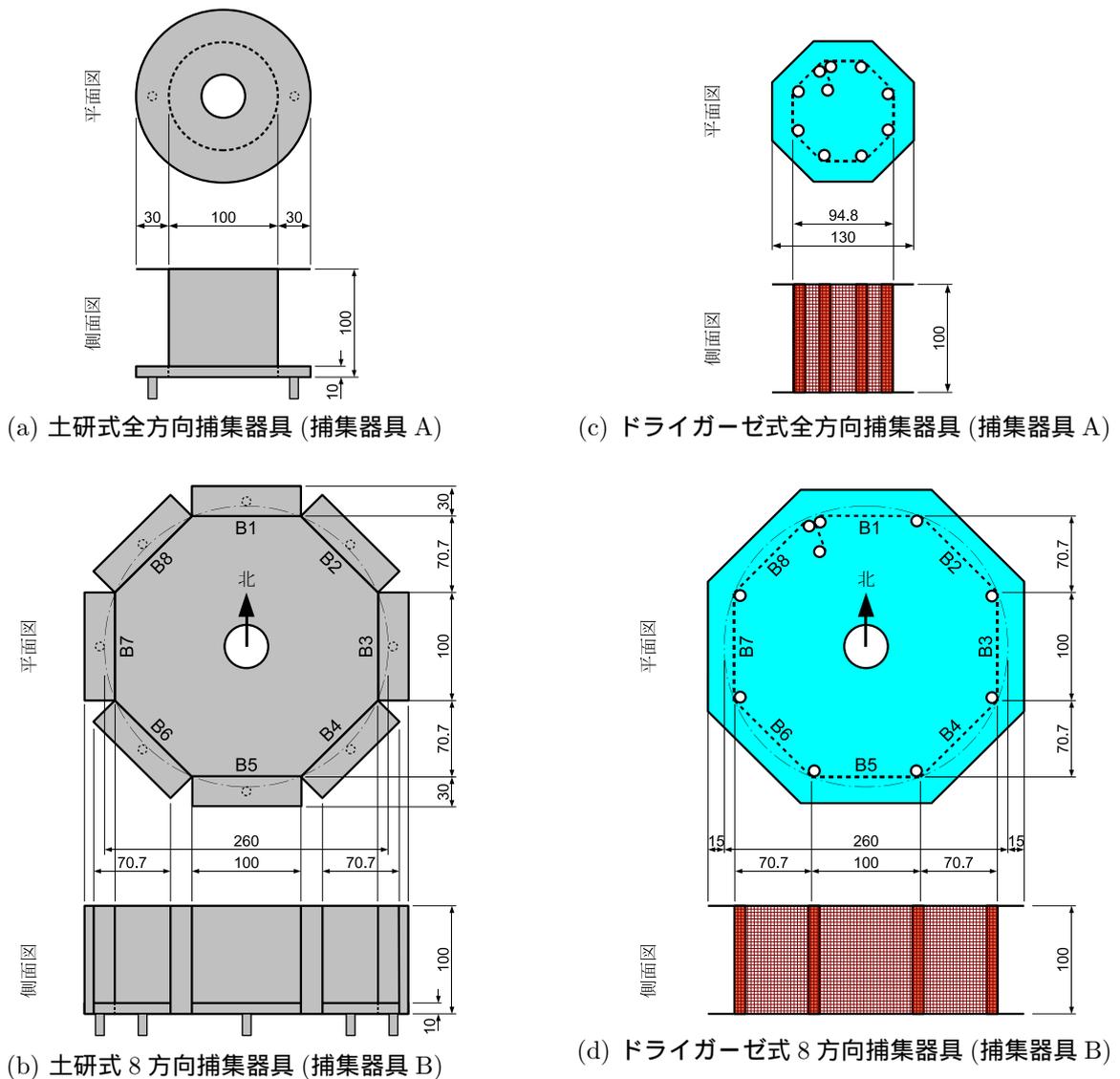


図-3 多方向捕集器具 (寸法:mm)

では捕集面に付着した塩分を雨水と共にタンクに回収することからそのまま写真-4のように屋外に設置して、飛来塩分の観測を行った。また、飛来塩分の観測と併せて、風向風速の観測も行い、飛来塩分と風向風速の関係について検討した。

図-3(b),(d)の捕集器具 B の個々の捕集面の塩分は、従来型のものに相当する。捕集器具 B による 8 方向の飛来塩分の平均は、全方向からの飛来塩分を表すことから、捕集器具 B による飛来塩分の平均値と、捕集器具 A による飛来塩分の差異は、捕集面の大きさの違いによる影響を表していると考えられる。

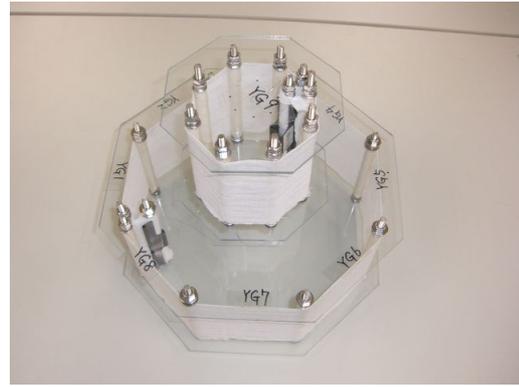
捕集器具 B の各捕集面は、通常のドライガーゼ式捕集器具や土研式捕集器具の捕集面と同じであるが、捕集器具 B は 8 枚の捕集面を集めているために、通常の捕集器具とその全体の大きさが異なり、捕集器具周辺の風の流れが異なっている懸念がある。そこで、写真-4 や図-4 のように、通常の捕集器具 (以降では捕集器具

C と記述) も取り付け、捕集器具 A,B との飛来塩分の違いを調べた。ドライガーゼ式捕集器具 C の捕集面は冬季の季節風の卓越風向と想定される西北西 (東南東) とこれに直交した北北東 (南南西) に向けた。土研式捕集器具 C は、一連の観測機器を囲むパイプ枠を土地境界に平行に設置し、そのパイプ枠に取り付けたため、ドライガーゼ式捕集器具 B,C や土研式捕集器具 B とは若干向きが異なり、北から約  $52.5^\circ$  の方向と、この方向から  $90^\circ$  ずつずれた 4 方向に向けて設置した。なお、土研式の捕集器具 C は、通常の捕集器具と捕集面の大きさは同じであるが、器具全体の大きさが異なり、設置の都合により通常の捕集器具に比べて小さくなっている。

ドライガーゼ法は、ガーゼの繊維間を塩分を含んだ風が通り抜けるときにガーゼ繊維に付着した塩分を、飛来塩分と見做している。したがって、全ての塩分を捕集していない。また、ガーゼの種類により繊維の太さ



(a) 土研式捕集器具



(b) ドライガーゼ式捕集器具

写真-3 多方向捕集器具

や網目が異なり、風の通り抜け具合も異なっていると考えられる。そこで、同じ種類のガーゼ1枚を取り付けたものと2枚重ねにして取り付けたもので、捕捉率を調べる。なお、JISではガーゼは2枚重ねにして取り付けることと規定されている。

ガーゼの塩分捕捉率を調べるために、ドライガーゼ捕集器具を図-5のように三重に重ねた三連捕集器具を、西北西の方向に向けて設置した。なお、本研究のすべてのドライガーゼ式捕集器具には、白十字(株)のABSORBENT GAUZE タイプIのガーゼを使用し、三連捕集器具以外の捕集器具には、JISの方法に従い、ガーゼは2枚重ねにして取り付けた。

三連捕集器具は、図-5のように3個のガーゼ捕集面を30mmの間隔を空けて取り付け、捕集面に垂直な風による塩分のみを捕集するように、外側の捕集器具には、長さ150mmの四角柱状の風除けを付けた。

### 3. 観測地点とその周辺のAMeDAS観測所の風況

離岸距離約10kmの図-6のような地点において、2007年10月26日から2008年10月27日まで飛来塩分と風向風速の観測を行っている。この地点は、平野部に位置するが西方向の海岸線に標高600m程の山が海岸線に沿うようにある。海からの飛来塩分は、この山を越えて飛来するものと山裾に沿うように迂回して飛来するものの合計である。

図-7に、飛来塩分を観測する地点を囲む新潟、新津、巻、寺泊、三条と長岡のAMeDAS観測所の2007年10月から1年間の風況を示す。図-7(a)の平均風速は方位別風速の合計を方位別風観測数で除した値、図-7(b)の風発生頻度は方位別風観測数を全方位風観測数で除した値、図-7(c)の全方位観測数に対する平均風速は方位別風速の合計を全方位風観測数で除した値であり、図-7(a)と(b)の積と等価である。寺泊のAMeDAS観測所は、西北西から東南東方向に開けた谷地に位置していることから、局所的な地形の影響を受けている可

能性がある。

これらの図より、AMeDAS観測所の設置位置により方位別の平均風速の卓越方向、方位別の風の発生頻度の卓越する方向に違いが見られる。塩分捕集器具は離岸距離の短い方向や海風の卓越する方向に設置すると良いと考えられるが、飛来塩分を観測する地点の風況が明らかでなければ、海風の卓越する方向は地形などから類推する以外になく、捕集面をどの方向に向けて設置すると良いかは、必ずしも明確にならない。

## 4. 観測結果と考察

ほぼ1ヶ月毎に風向風速計のデータ回収、塩分捕集器具のガーゼとタンクの交換を行った。ドライガーゼ式捕集器具は、強風のためと思われるが数十メートル先に飛ばされ、破損していたため、得られた観測結果は2ヶ月間のみである。

### 4.1 風向風速

飛来塩分と風向風速の関係を調べるために、塩分捕集位置に、風向風速計を取り付けて、その場所の風況の観測を行った。使用した風向風速計は、風速の測定範囲は0から55.56m/s(200km/h)、風速の分解能は0.03m/s(0.1km/h)、風向の分解能は5°である。観測間隔は30分ごととした。風向は72方位の観測を行っているが、16方位での表示が一般的であるので、図-8に、観測データを16方位にまとめた方位別の平均風速、風発生頻度、全方位観測数に対する風向別の平均風速と3乗平均風速を示す。この3乗平均風速は、後述の飛来塩分との関係を考察するとき使用する。

図-7のAMeDAS観測結果とは、観測時間間隔や、風速計の種類が異なるため正確な比較は行えないが、大まかな傾向の比較は行えるものとして、これらの結果を比較する。飛来塩分観測地点の風況と同じような傾向になっているAMeDAS観測所は少ないが、最寄の巻観測所の方位別風発生頻度は、この観測地点での南

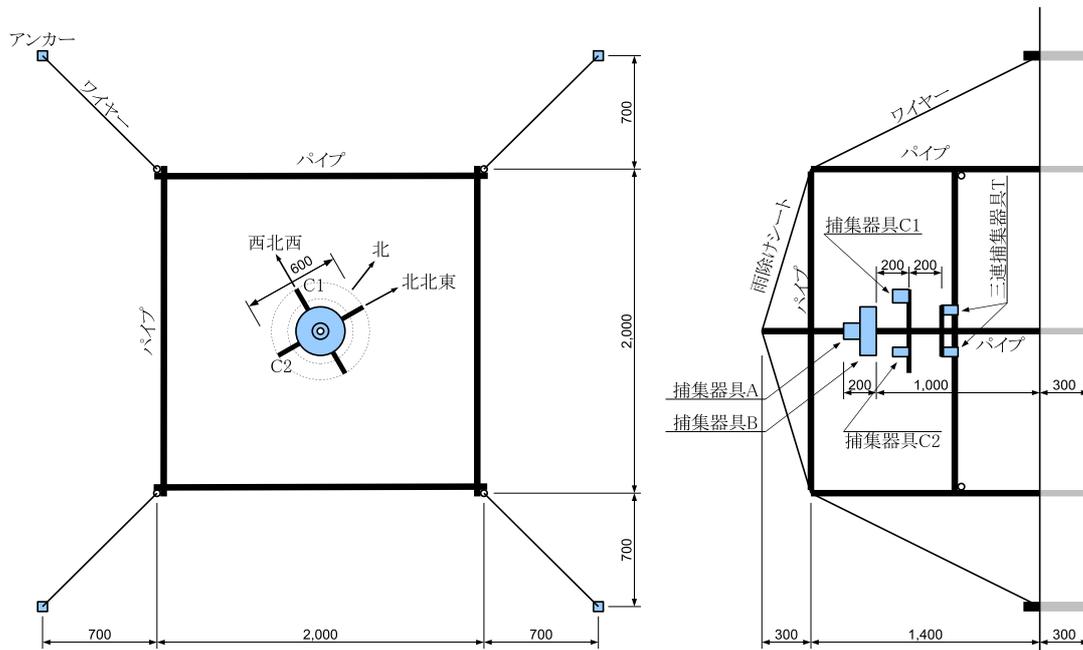


(a) ドライガーゼ式捕集器具

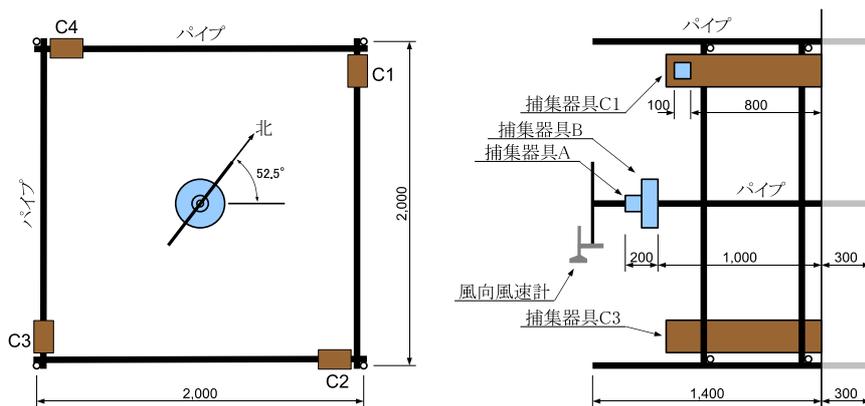


(b) 土研式捕集器具

写真-4 飛来塩分捕集器具の設置状況



(a) ドライガーゼ式捕集器具



(b) 土研式捕集器具

図-4 飛来塩分捕集器具の設置図

北方向の発生頻度が多いことを除くと、ほぼ同様の傾向になっている。

飛来塩分観測地点の3乗平均風速は、西北西方向の値が卓越していることが分る。平均風速では南北方向

も大きく、南北方向の風は発生頻度も多いが、風速の大きな風の発生頻度は少ないために、3乗平均風速の南北方向の値は小さくなっている。

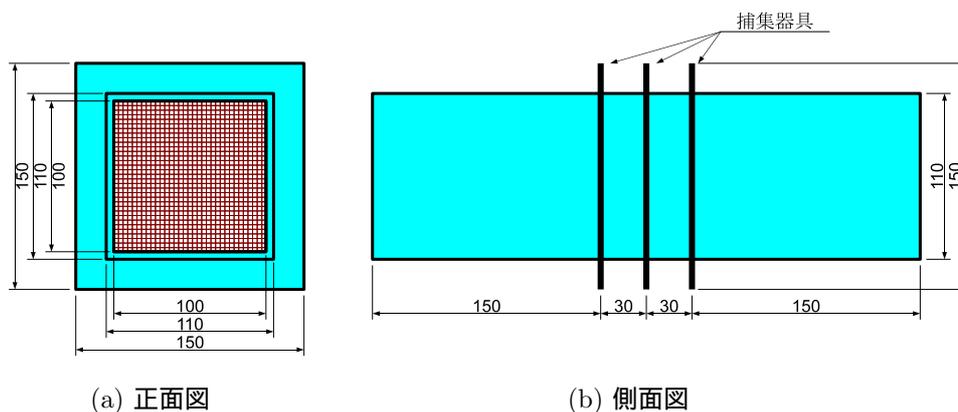


図-5 ドライガーゼ式三連捕集器具 (寸法：mm)

#### 4.2 ドライガーゼ式捕集器具

通常の JIS に基づいたドライガーゼ式捕集器具は、 $100\text{cm}^2$  の枠内にガーゼを 2 枚重ねにして取り付け、 $200\text{cm}^2$  で除して飛来塩分を算出している。ガーゼを 2 枚重ねているため、ガーゼの表面と裏面からの塩分を捕集するためと推察されるが、 $200\text{cm}^2$  で除す理由は明記されていない。しかし、JIS による捕集面積に倣い、全方向からの塩分を捕集する捕集器具 A の捕集面積  $314\text{cm}^2$ 、捕集器具 B の各捕集面の捕集面積  $100\text{cm}^2$  を 2 倍した面積で除して、それぞれの捕集器具の飛来塩分を算出する。

表-1 と図-9、10 に、ドライガーゼ式による捕集器具 A と B の観測結果を示す。捕集器具 B の捕集面は 8 面あることから、北方向から時計回りに、各捕集面を B1, B2 から B8 と表記する。ドライガーゼ式捕集器具は、ガーゼの隙間を風が通り抜ける際に、ガーゼに付着した塩分を飛来塩分と見做している。このため、通り抜けた風中の塩分をすべて捕集している訳ではなく、ある程度の塩分はガーゼ繊維の隙間を通過している。したがって、捕集器具の外側から飛来した塩分だけでなく、裏側からガーゼを通過した塩分も捕集している。図-9 や図-10 のように、捕集器具の向きにより飛来塩分に違いが見られ、全期間 (2ヶ月間) では最大値と最小値に 1.82 倍程度の違いがあるが、後述の土研式捕集器具に比べると、その違いは少ない。

全方向の飛来塩分を捕集している捕集器具 A による塩分と、従来型の捕集面をもつ捕集器具 B の 8 個の捕集面の塩分の平均値を比べると、ほぼ同じ値になっている。したがって、ドライガーゼ式捕集器具は捕集面の大きさによる影響は少ないことが分かる。

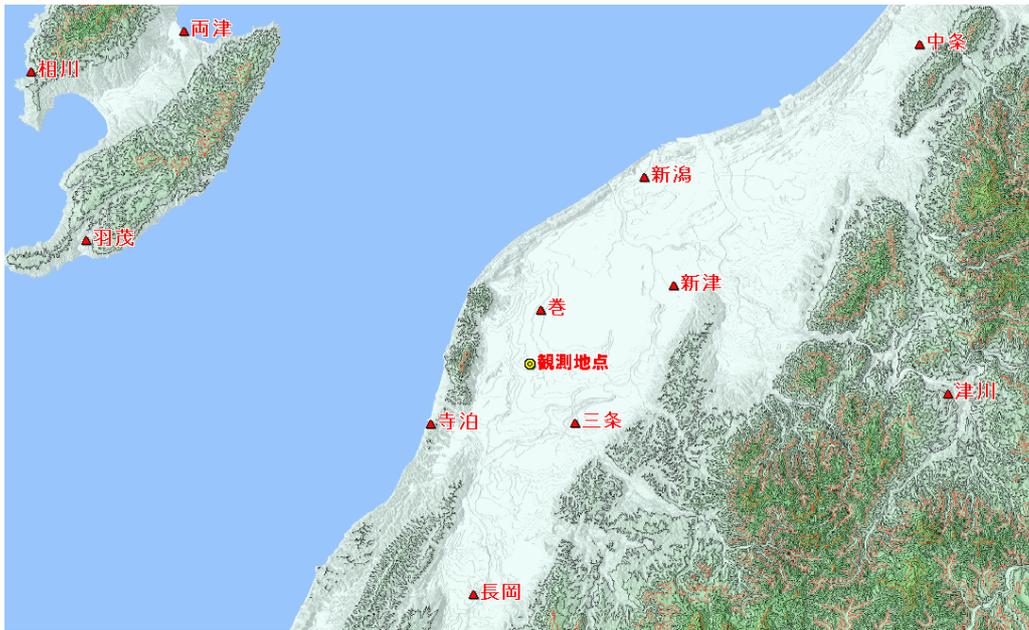
捕集器具 B の捕集面積は、通常のガーゼ法の捕集面積と同じであるが、図-3(b) のように 2 枚重ねのガーゼを 8 角形に取り付けているために、塩分を含んだ風は、4 枚のガーゼを通過することになり、通常の 2 枚重ねのガーゼ捕集器具に比べて風が通過し難くなる。このため、これらの捕集器具で観測した飛来塩分の値

自体は、通常の捕集器具による飛来塩分と異なることが予想される。

そこで、通常のドライガーゼ式捕集器具 (捕集器具 C) による観測も行った。表-2 は、捕集面に垂直な方向を北北東 (南南西) と西北西 (東南東) の 2 方向に向けて観測した結果を示す。北北東方向の捕集面を C1、西北西方向の捕集面を C2 と表記する。表-2 には、捕集器具 B の観測結果を、捕集器具 C1 と C2 の捕集面と向きの近い二つの組に分け、それぞれ捕集器具 B1, B2, B5, B6 (北北東) の飛来塩分の平均値と捕集器具 B3, B4, B7, B8 (西北西) の飛来塩分の平均値も示している。また、これらの捕集器具 B の平均値と対応する捕集器具 C の飛来塩分との比率も併記している。

二組に分けた捕集器具 B の平均飛来塩分と捕集器具 C の飛来塩分の比率は、観測期間や捕集面の向きに依らず、ほぼ 0.42 程度の値になっていることが分る。すなわち、構造物の塩害を検討する場合の基準となる飛来塩分は捕集器具 C による結果が用いられているが、この飛来塩分は捕集器具 A, B の飛来塩分を約 2.4 倍 ( $=1/0.42$ ) すると良いことが分る。

表-1 より、捕集器具 B では捕集面の方向により、最大と最小の比には、1.82 倍程度の違いがある。相対する捕集面の反対側から飛来する塩分は二つの捕集面を透過することから裏面からの塩分は捕集し難くなっている。一方、通常の捕集器具 C では、捕集面の表面と裏面から飛来した塩分を一つの捕集面で捕集することから、最大と最小の比は 1.82 よりも小さくなるものと考えられる。そこで、表-2 に捕集器具 C1 と C2 の比を示している。また、捕集器具 B の各飛来塩分を二組に分け、西北西と北北東からの飛来塩分の比も示している。捕集器具 B の各捕集面の最大値と最小値の比に比べて小さく、ほぼ 0.9 から 1.2 倍程度の小さな値になっていることが分る。これより、ドライガーゼ式の通常の捕集器具は、捕集面の設置方向による影響は大きくないと考えられる。ただし、設置方向による飛来塩分の比率は、観測する地点の風況の影響を受けることが



(a) 広域図 (地名は AMeDAS 観測所, 表示範囲: 120km×77km, 北: 真上)



(b) 拡大図 (表示範囲: 5.3km×3.8km, 北: 真上)

図-6 飛来塩分の観測地点

ら、ドライガーゼ式の捕集器具では、設置方向による影響を考慮しなくても良いとまでは判断できない。

捕集器具 C1 と C2 の比と捕集器具 B の二組の比は、ほぼ同じ値になっていること、捕集器具 B の 8 方向すべての飛来塩分の平均は捕集器具 A の飛来塩分とほぼ同じ値を得ていることから、これらの捕集器具は、信頼性の高い結果を得ているものと考えられる。

表-3 に、ガーゼ枠を 3 個重ねた三連捕集器具による飛来塩分と付録 I の手法により算出した捕捉率を、2 枚重ねのガーゼをガーゼ枠に取り付けた場合と 1 枚のガー

ゼをガーゼ枠に取り付けた場合のそれぞれについて示す。表中の T1 は西北西側のガーゼ枠、T3 は東南東側のガーゼ枠、T2 はこれらの間のガーゼ枠である。観測期間により捕捉率に変動が見られるが、ガーゼ 2 枚重ねによる捕集器具の捕捉率はガーゼ 1 枚による捕集器具の捕捉率の 1.2 倍程度の値になっていることが分る。ガーゼ枚数が増えると風が通りにくくなり、捕集器具内を通過する塩分は減少すると思われるが、捕捉率は 2 割ほど増えている。一方、T1 ガーゼの飛来塩分は、ガーゼを 2 枚重ねにした結果と 1 枚による結果は

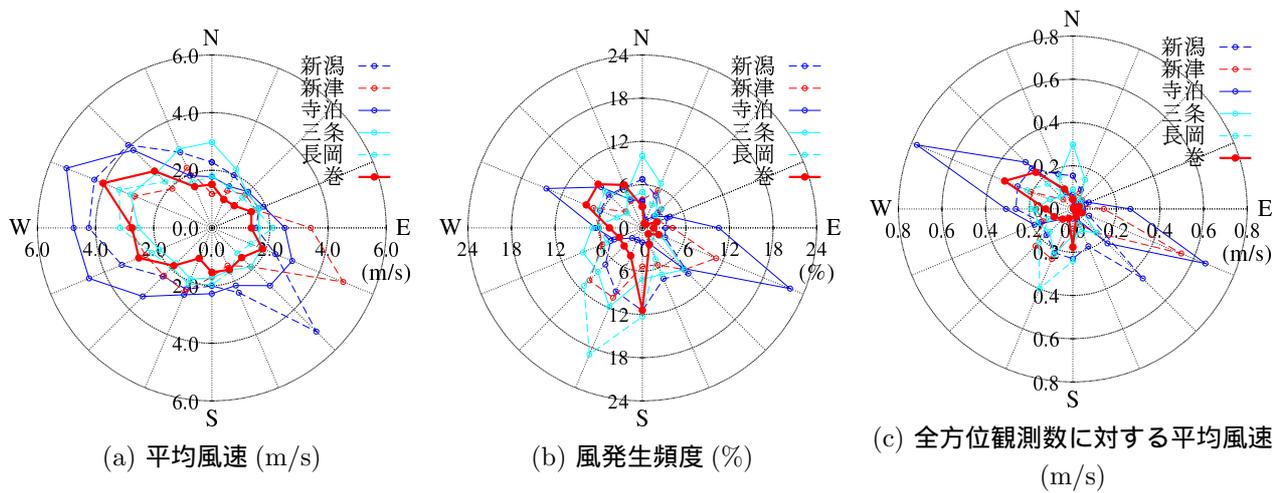


図-7 観測地点周辺の AMeDAS 観測所の風況

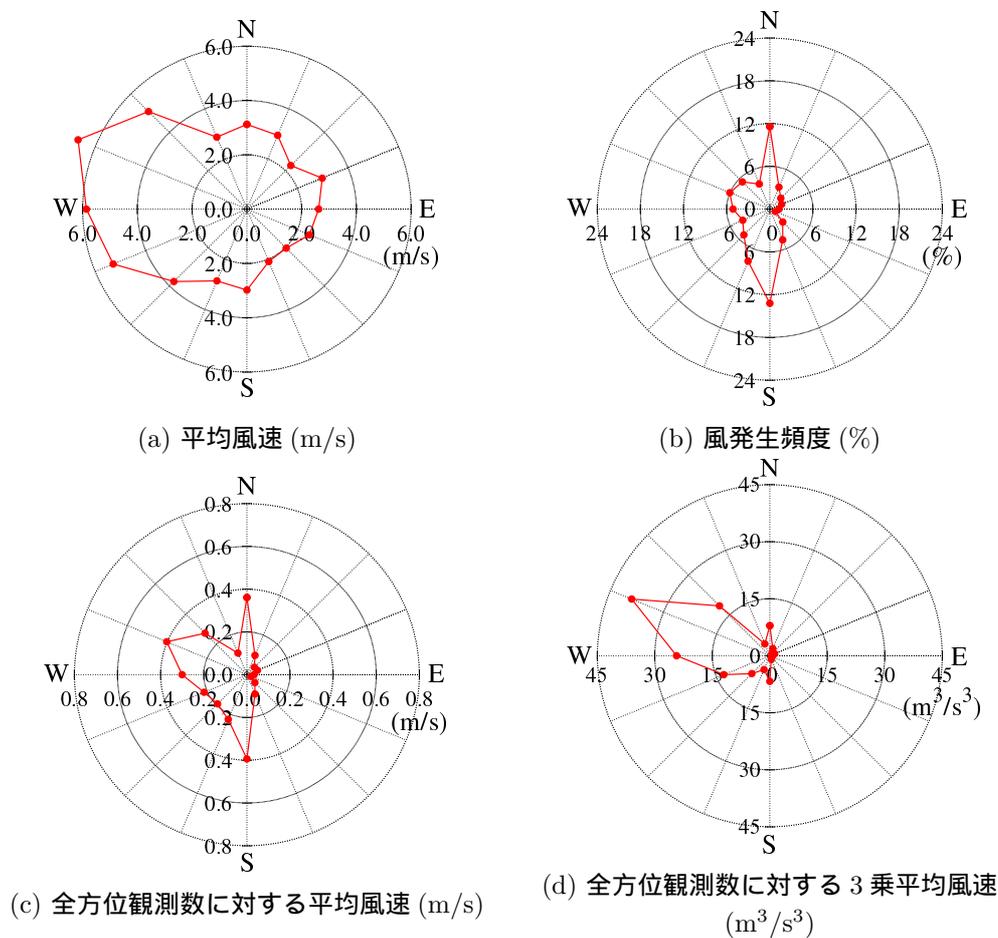


図-8 飛来塩分観測地点の年平均風況

ほぼ同じ値になっている。

### 4.3 土研式捕集器具

表-4 に土研式の捕集器具 A と捕集器具 B の 1 年間の観測結果，捕集器具 B の各捕集面の平均値，最大値と最小値の比を示し，表-5 に捕集器具 C の 1 年間の観測結果と，各捕集器具の平均値を示す．また，図-11 に

これらの観測結果の 1 年間の平均値，図-12 に飛来塩分の多い 5 ヶ月の各観測月の観測結果を示す．

土研式捕集器具の捕集面は，ドライガーゼ式捕集器具のように風が捕集面を透過しないため，捕集面の向きによっては，殆ど塩分を捕集できず，捕集面の向きによる違いが大きく現れている．飛来塩分の最大と最小の比は，観測月により大きくばらつき，1 年間では，

表-1 ドライガーゼ式捕集器具の観測結果

観測期間	各捕集器具の飛来塩分 (mdd)									捕集器具 B	
	A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	平均	大小比*
10/26-11/30	0.410	0.317	0.244	0.347	0.467	0.491	0.491	0.514	0.491	0.420	2.11
11/30-12/26	0.346	0.290	0.293	0.172	0.277	0.340	0.442	0.436	0.350	0.325	2.57
全期間	0.383	0.305	0.265	0.273	0.386	0.427	0.470	0.481	0.431	0.380	1.82

\* : 捕集器具 B の各捕集面の飛来塩分の最大値と最小値の比

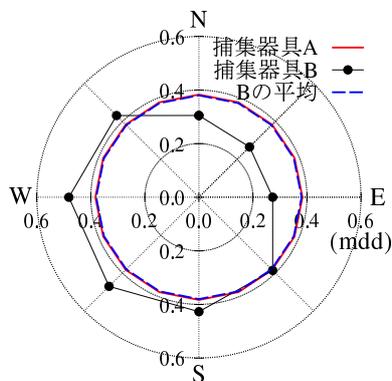
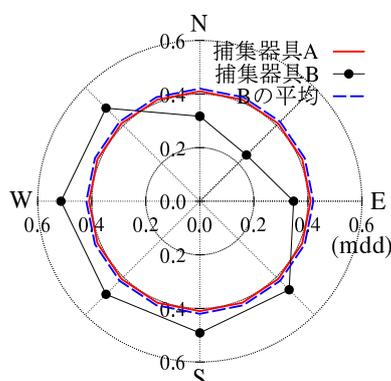
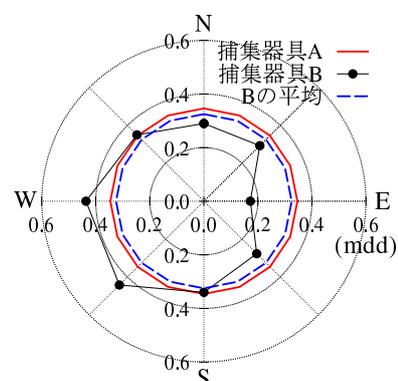


図-9 ドライガーゼ法による飛来塩分の全期間の観測結果



(a) 10月26日から11月30日



(b) 11月30日から12月26日

図-10 ドライガーゼ法による飛来塩分の各月の観測結果

表-2 ドライガーゼ法による捕集器具 C と捕集器具 B の飛来塩分 (mdd) の比較

観測期間	捕集器具 C			捕集器具 B				
	C1 北北東	C2 西北西	方向比*	B1,B2,B5,B6 北北東		B3,B4,B7,B8 西北西		方位比*
				平均	比率**	平均	比率**	
10/26-11/30	0.905	1.081	1.19	0.386	0.43	0.455	0.42	1.18
11/30-12/26	0.854	0.759	0.89	0.341	0.40	0.309	0.41	0.91
全期間	0.883	0.944	1.07	0.367	0.42	0.393	0.42	1.07

\* : 西北西からの飛来塩分と北北東からの飛来塩分の比

\*\* : 捕集器具 B の飛来塩分の平均値と捕集器具 C の飛来塩分の比

表-3 三連捕集器具による飛来塩分 (mdd) と捕捉率

観測期間	ガーゼ 2 枚重ね				ガーゼ 1 枚				捕捉率の比率*
	T1	T2	T3	捕捉率	T1	T2	T3	捕捉率	
10/26-11/30	0.416	0.145	0.086	0.68	0.418	0.181	0.084	0.57	1.20
11/30-12/26	0.378	0.068	0.027	0.83	0.369	0.144	0.090	0.65	1.28
全期間	0.400	0.112	0.061	0.74	0.397	0.165	0.087	0.61	1.20

\* : 2 枚重ねのガーゼによる捕捉率と 1 枚のガーゼによる捕捉率の比

36 倍の違いが生じている。1 年間の飛来塩分は西方向 (B7) からが最も多く、北西方向 (B8) はその 74% 程度、南西方向 (B6) はその 60% 程度の値に低下している。

全方向の塩分を捕集する捕集器具 A の飛来塩分と捕集器具 B の各捕集面の飛来塩分の平均値、捕集器具 C の各捕集面の平均値には違いが見られ、観測月により異なるが、1 年間の飛来塩分は、捕集器具 C の平均が最も多く、捕集器具 A の飛来塩分が最も少なくなっている。ドライガーゼ式捕集器具では、捕集器具 A と捕集器具 B の平均はほぼ同じ値になっているが、土研式

捕集器具では、捕集面の大きさや捕集器具の形状の影響を受けることが分る。これは、土研式捕集器具はドライガーゼ式捕集器具のように捕集面を風が透過しないため、捕集器具により風の流れるが乱されるためと考えられる。

### 5. 飛来塩分と風向風速の関係

ドライガーゼ式捕集器具は土研式捕集器具に比べて、捕集面の方向による飛来塩分の違いは少ない。しかし、何れにしても捕集面の方向により飛来塩分の値に違い

表-4 土研式捕集器具の観測結果

観測期間	各捕集器具の飛来塩分 (mdd)									捕集器具 B	
	A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	平均	大小比*
10/26-11/30	0.205	0.253	0.034	0.007	0.034	0.262	0.567	0.829	0.737	0.340	118
11/30-12/26	0.168	0.200	0.113	0.061	0.173	0.462	0.815	0.600	0.332	0.345	13.4
12/26-1/25	0.481	0.846	0.152	0.055	0.044	0.403	1.554	2.147	0.878	0.760	48.8
1/25-2/26	0.342	0.717	0.085	0.040	0.084	0.186	0.950	2.846	2.561	0.934	71.2
2/26-3/27	0.165	0.177	0.039	0.010	0.014	0.068	0.163	0.234	0.324	0.129	32.4
3/27-4/28	0.037	0.027	0.004	0.003	0.005	0.010	0.038	0.046	0.040	0.022	15.3
4/28-6/2	0.006	0.018	0.009	0.004	0.003	0.011	0.016	0.006	0.010	0.010	6.0
6/2-7/2	0.006	0.011	0.019	0.001	0.003	0.006	0.006	0.005	0.014	0.008	19.0
7/2-7/30	0.003	0.001	0.003	0.005	0.003	0.021	0.010	0.004	0.008	0.007	21.0
7/30-8/27	0.011	0.009	0.006	0.008	0.005	0.010	0.018	0.004	0.002	0.008	9.0
8/27-9/29	0.006	0.014	0.002	0.002	0.002	0.006	0.011	0.026	0.023	0.011	13.0
9/29-10/27	0.038	0.026	0.010	0.009	0.012	0.035	0.079	0.066	0.050	0.036	8.78
全期間	0.123	0.193	0.039	0.016	0.030	0.120	0.350	0.577	0.428	0.219	36.1

\*: 捕集器具 B の各捕集面の飛来塩分の最大値と最小値の比

表-5 土研式捕集器具 C の観測結果

観測期間	C1	C2	C3	C4	平均
10/26-11/30	0.025	0.365	0.758	0.828	0.494
11/30-12/26	0.220	0.317	0.904	0.402	0.461
12/26-1/25	0.095	0.685	1.795	1.846	1.105
1/25-2/26	0.110	0.147	1.442	2.594	1.073
2/26-3/27	0.094	0.063	0.318	0.368	0.211
3/27-4/28	0.008	0.016	0.086	0.104	0.054
4/28-6/2	0.010	0.005	0.009	0.017	0.010
6/2-7/2	0.018	0.007	0.011	0.033	0.017
7/2-7/30	0.004	0.014	0.018	0.007	0.011
7/30-8/27	0.008	0.009	0.017	0.021	0.014
8/27-9/29	0.002	0.004	0.023	0.018	0.012
9/29-10/27	0.011	0.036	0.086	0.063	0.049
全期間	0.048	0.138	0.455	0.537	0.295

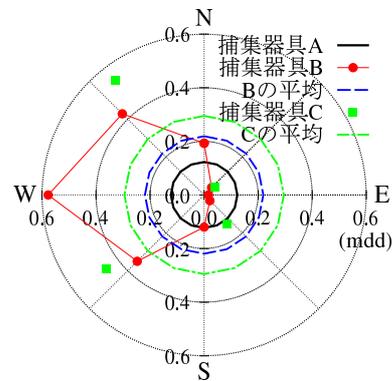


図-11 土研式による 1 年間の観測結果

の生じることが分った。ここでは、風向風速と飛来塩分の関係について考察する。

### 5.1 飛来塩分と風速の関係

海面で発生する飛来塩分の空気中濃度  $\phi$  は、観測結果<sup>3)</sup>やウェバー則に基づいた考察<sup>4)</sup>により、海風の風速  $v_0$  の 2 乗に比例するという知見がある。すなわち、次式のように表される。

$$\phi = \beta v_0^2 \quad (1)$$

ここで、 $\beta$  は風向や風速に独立な係数である。

一定期間  $T$  の間に、空間内の 1 点を通過する平均飛来塩分  $S_0$  は、次式により与えられる。

$$S_0 = \frac{1}{T} \int_T \phi v_0 dt = \frac{\beta}{T} \int_T v_0^3 dt = \beta \overline{v_0^3} \quad (2)$$

ここで、 $\overline{v_0^3}$  は風速の 3 乗平均である。

海岸から離岸距離 (最短距離)  $x$  (km) の位置での飛来塩分  $S_x$  は、全国の海岸から 10 km 程度の範囲での飛来塩分の観測結果に基づき、離岸距離 1km の位置の飛来塩分  $S_1$  により、次式により近似できる<sup>5)</sup>。

$$S_x = S_1 x^{-0.6} \quad (3)$$

上式は海岸から離れた地点での飛来塩分の観測値と離岸距離との間の観測値に基づいた関係式であり、 $x = 0$  の海岸には適用できない。しかし、海岸での飛来塩分  $S_0$  と 1km の地点の飛来塩分  $S_1$  にも比例関係があるものとして、 $S_1 = \alpha S_0$  と表すことにする。ここで、 $\alpha$  は係数である。

これより、離岸距離  $x$  の飛来塩分  $S_x$  は、次式のように表される。

$$S_x = \alpha S_0 x^{-0.6} = \alpha \beta x^{-0.6} \overline{v_0^3} \quad (4)$$

飛来塩分の観測を行っている地点周辺の AMeDAS 観測所において、多くの塩分が飛来する 2007 年 11 月から 5ヶ月間の方位別平均風速と離岸距離の関係を、多くの塩分の飛来する西、西北西、北西について図-13 に示す。これより、平均風速と風の吹く方向の離岸距離  $z$  には、概ね

$$v_z = v_0 e^{-0.03z} \quad (5)$$

の関係が見られることから、この関係式を式 (4) に適用すると、飛来塩分観測地点の風速  $v_z$  と飛来塩分  $S_x$  の関係は次式ようになる。

$$S_x = \alpha \beta x^{-0.6} e^{0.09z} \overline{v_0^3} \quad (6)$$

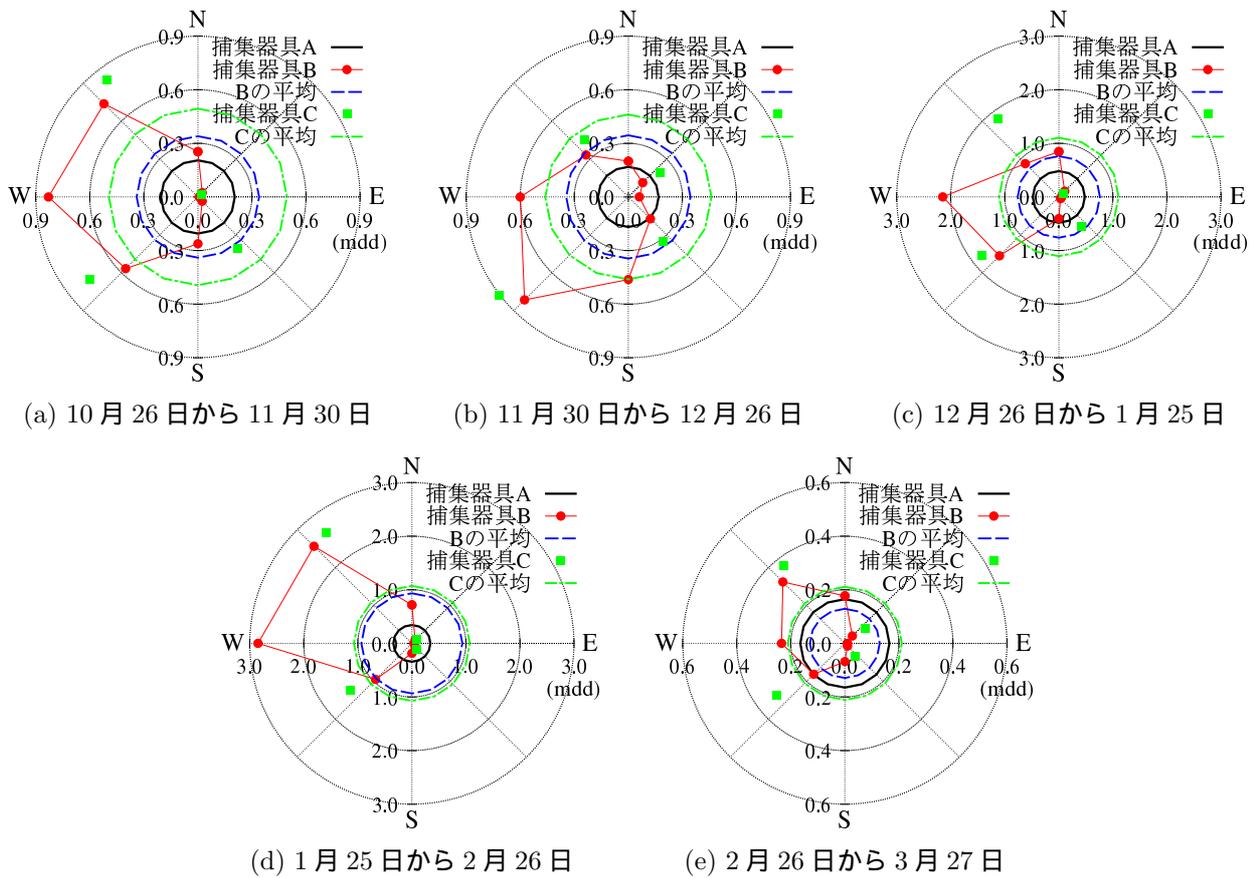


図-12 土研式による飛来塩分の観測結果

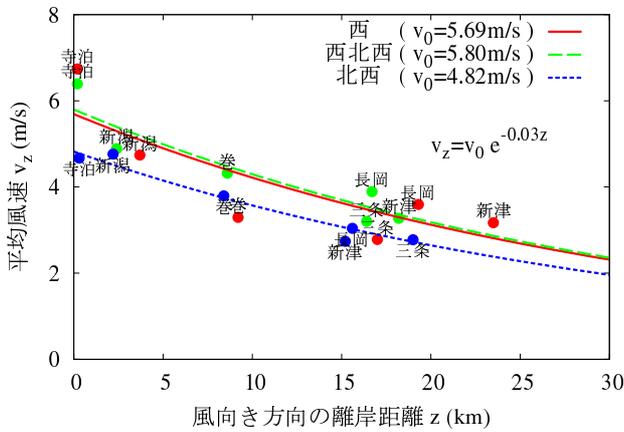


図-13 AMeDAS 観測所の平均風速と離岸距離の関係

ここで、 $x$  は観測地点と海岸との最短距離 (km)、 $z$  は風向き方向の離岸距離 (km) である。

上式の  $S_x$  は、特定の 1 方向からの風による飛来塩分を表している。複数の方向からの風により飛来する塩分の合計は、それぞれの方向からの飛来塩分の合計として表されるものと考えられる。

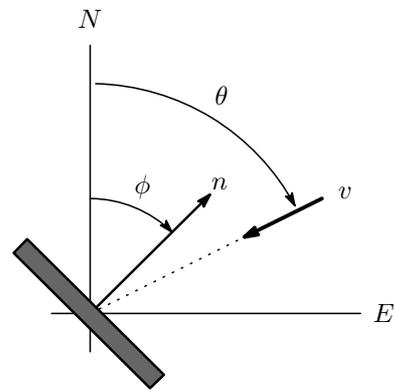


図-14 捕集器具 B, C の捕集面と風向の関係

## 5.2 土研式捕集器具の飛来塩分と風向風速

捕集器具自体により、捕集面周辺の風の流れは乱れることから、塩分を捕集するメカニズムは単純ではないが、塩分を含んだ風の風向  $\theta$  と捕集器具 B, C の捕集面の表面外向き法線方向  $\phi$  との角度差が  $\pm 90^\circ$  以下であれば、その捕集面に塩分が付着すると考えることとする。このときの風向に対する捕集面の投影面は、捕集面の面積を  $A$  とすると  $A \cos(\theta - \phi)$  になる。したがって、風向  $\theta$  からの風による単位面積当たりの飛来塩分

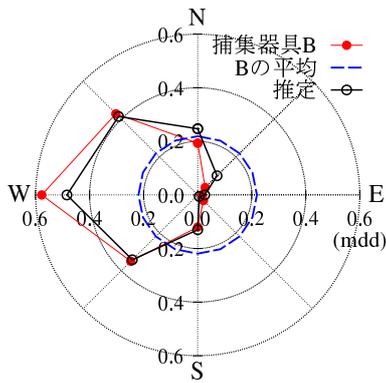


図-15 土研式捕集器具 B の観測結果と風向風速から推定した結果の比較

$S_\theta$  は、次式のように表される。

$$S_\theta = \begin{cases} S_x \cos(\theta - \phi) & |\theta - \phi| < \pi/2 \\ 0 & |\theta - \phi| \geq \pi/2 \end{cases} \quad (7)$$

上式は  $\theta$  方向からの風による飛来塩分であり、全方向からの風による飛来塩分  $S_{BC}$  は、すべての方向について上式を合計すると得られ、次式のように表現できる。

$$S_{BC} = \sum_{\theta=0}^{2\pi} S_\theta \quad (8)$$

捕集器具 A の飛来塩分  $S_A$  は、次のようになる。

$$S_A = \sum_{\theta=0}^{2\pi} S_x \quad (9)$$

その地点の離岸距離、風向風速データと係数  $\alpha\beta$  の値が既知であれば、式 (6) から任意の方向の飛来塩分を求めることができる。係数  $\alpha\beta$  の値は、例えば、捕集器具 A による全方向からの飛来塩分の観測値と式 (6), (9) から求めた全方向の飛来塩分を等値する。あるいは、捕集器具 B, C による飛来塩分の観測値と式 (6), (7), (8) から求めた全方向の飛来塩分を等値することにより、求めることができる。

この手法の妥当性を確認するために、式 (6), (7), (8) から捕集器具 B の 8 個の捕集面の平均飛来塩分を算出し、これらの捕集面の飛来塩分の観測値から求めた平均値が等しくなるように係数  $\alpha\beta$  を求めた結果を図-15 に示す。係数  $\alpha\beta$  の値は、この図のグラフの大きさを決定しており、グラフの形は離岸距離と風向風速データにより決まることに留意されたい。

これより、各捕集面での観測値と風向風速から式 (6), (7), (8) により推定した値は、同じような傾向になっていることがわかる。

風向風速の観測データと捕集器具 A や B による全方向の飛来塩分の観測データ、または通常の捕集器具 C による特定の方向の飛来塩分の観測データが得られて

いると、任意の方向の飛来塩分を推定できる可能性を示した。ただし、土研式捕集器具では、捕集面の大きさにより飛来塩分の値が変化することから、捕集器具 A や B を用いて係数  $\alpha\beta$  を決める場合には、通常の捕集器具 (捕集器具 C) との換算を適切に行う必要がある。

### 5.3 ドライガーゼ式捕集器具の飛来塩分と風向風速

ドライガーゼ式捕集器具の設置方向による飛来塩分の変化は土研式に比べて小さいことから、風向風速から方向別の飛来塩分を推定する必要は高くはないが、ここでも同様の検討を行う。

ドライガーゼ式捕集器具では、風が捕集面を透過することから、土研式捕集器具ほどではないが、捕集器具自体により、捕集面周辺の風の流れは乱れており、塩分を捕集するメカニズムは単純ではない。また、ドライガーゼ式の捕集器具 A や B では、塩分を含んだ風はガーゼ面を透過し、反対側に設置したガーゼ捕集面にも塩分が付着する。そこで、付録 I のようなガーゼの捕捉率  $c$  を用い、ガーゼの透過率  $r$  は、 $r = 1 - c$  により与えられるものとする。

捕集器具 B の単位面積当たりの飛来塩分  $S_\phi$  は、次式のように表される。

$$S_\phi = \begin{cases} cS_x \cos(\theta - \phi) & |\theta - \phi| < \pi/2 \\ -crS_x \cos(\theta - \phi) & |\theta - \phi| \geq \pi/2 \end{cases} \quad (10)$$

通常の捕集器具 C では、一つの捕集面で、表面と裏面からの塩分を捕集することから、風向  $\phi$  による飛来塩分  $S_\phi$  は次のようになる。

$$S_\phi = cS_x |\cos(\theta - \phi)| \quad (11)$$

これらの式は、 $\theta$  方向からの風による飛来塩分であり、全方向からの風による捕集器具 B, C の飛来塩分  $S_{BC}$  は、式 (8) により得られる。

捕集器具 A が捕集する飛来塩分も捕集器具 B と同様に表されるが、捕集面が小さいことから円筒と見做すと、次式のようになる。

$$S_A = \frac{c(1+r)}{2} \sum_{\theta=0}^{2\pi} S_x \quad (12)$$

土研式捕集器具の場合と同じように、その地点の離岸距離、風向風速データと係数  $\alpha\beta$  の値が既知であれば、式 (6) から任意の方向からの飛来塩分を求めることができる。係数  $\alpha\beta$  の決定法も土研式捕集器具の場合と同様である。

この手法の妥当性を確認するために、式 (6), (8), (10) から捕集器具 B の 8 個の捕集面の平均飛来塩分を算出し、これらの捕集面の飛来塩分の観測値から求めた平均値と等しくなるように係数  $\alpha\beta$  を求めた結果を図-16 に示す。ガーゼの捕捉率には、2 枚重ねによる三連捕集

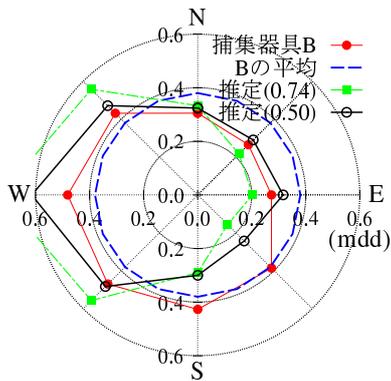


図-16 ドライガーゼ式捕集器具 B の観測結果と風向風速から推定した結果の比較

器具の捕捉率  $c = 0.74$  と、この値より小さな  $c = 0.50$  を用いた場合の推定結果を併記し、捕捉率による違いも示している。係数  $\alpha\beta$  の値は、この図のグラフの大きさを決定しており、グラフの形は離岸距離、風向風速データと捕捉率により決まることに留意されたい。

捕捉率が大きい場合には、風速の卓越方向の飛来塩分が多く、反対側の飛来塩分は観測値より小さくなっているが、捕捉率を小さくすると、推定値は観測値に近づいている。しかし、土研式での観測値と推定値の差に比べると、その差は大きく、ガーゼによる塩分の捕捉メカニズムのさらなる検討が必要と考えられる。

## 6. まとめ

本論文は、ドライガーゼ法と土研式の飛来塩分捕集器具の設置方向による飛来塩分の観測値の違いと、風向風速との関係を調べるために、ドライガーゼ法と土研式のそれぞれについて、全方向から塩分を捕集する捕集器具 A、捕集面を 8 方向に向けた捕集器具 B と通常の捕集器具 C の 3 種類の捕集器具を用いた飛来塩分の観測と、風向風速計による観測を行った。また、ドライガーゼ法の捕捉率を調べるために三連捕集器具を作成し、捕捉率についても検討し、以下の知見が得られた。

### 土研式捕集器具

- 設置方向による影響を受けやすく、捕集器具 B による 8 方向の年平均飛来塩分の最大値と最小値には、本論文で対象とした観測地では、約 36 倍の違いがある。
- 捕集器具周辺の風の流れが変化するためと思われるが、捕集面の大きさにより、飛来塩分の値が変化する。

### ドライガーゼ式捕集器具

- 土研式捕集器具に比べて設置方向による影響は小さく、捕集器具 B による 8 方向の年平均飛来塩分

の最大値と最小値には、本論文で対象とした観測地では、約 1.8 倍の違いであった。

- 2 方向に向けて設置した通常の捕集器具 C では、0.9 倍から 1.2 倍の違いしかなく、設置方向による影響は小さい。
- 飛来塩分捕集面の大きさによる影響を、捕集器具 A と捕集器具 B の 8 個の平均値により調べた結果、ドライガーゼ法では捕集面の大きさによる影響を受けにくい。
- 捕集器具 A、B と捕集器具 C (通常の捕集器具) の飛来塩分には、一定の比率が成立していることから、捕集器具 A、B の飛来塩分から通常の捕集器具の飛来塩分を推定できる。
- 捕捉率を求めるために三連捕集器具を作成し、捕捉率を具体的に求めた。しかし、通常の捕集器具に比べてガーゼ枚数が多く、風の通り具合が異なっているために、捕集器具 A、B や C の捕捉率を求める方法をさらに検討する必要がある。

### 任意方向の飛来塩分の推定

- 離岸距離と風向風速データ、およびその地点の全方向あるいは特定の方向の飛来塩分から、任意の方向の飛来塩分を推定する手法の検討を行った。
- 土研式捕集器具による捕集器具 B を対象にして、この手法により推定した飛来塩分は、捕集器具 B の各捕集面の飛来塩分の観測値と同様の傾向になり、風向風速データから任意の方向の飛来塩分を推定できる可能性がある。ただし、捕集器具の大きさにより飛来塩分の値が変化することから、捕集器具 A や B と通常の捕集器具 C との換算方法を検討する必要がある。
- ドライガーゼ式捕集器具による捕集器具 B を対象にして、この手法により推定した飛来塩分は、捕捉率の値により変化し、飛来塩分の観測値には違いが見られる。ドライガーゼ式捕集器具は、捕集面の設置方向による影響は小さいことから任意方向の飛来塩分を推定する必要性は低いが、精度を上げるためには、適切な捕捉率を見出す方法等の検討が必要である。

以上のように、通常の捕集器具の設置方向の影響は、風の流れを遮る土研式の方が大きいこと、また、土研式は捕集面の大きさにより飛来塩分の値が変化することが分った。一方、ドライガーゼ法も設置方向の影響を受けるが、ガーゼ面を風が通り抜けるために、土研式に比べて、その影響は小さく、僅かである。また、捕集面の大きさの影響は受け難いことが分った。捕集器具 A のような捕集器具による全方向からの飛来塩分と風向風速との関係からの任意方向の飛来塩分の推定は、妥当な結果が得られる可能性がある。

謝辞

本研究は、第1著者の所属する研究機関のH19年度学長戦略経費の研究助成により行った。飛来塩分と風向風速計による観測は、西蒲原土地改良区の管理地を借用して行った。また、研究当時、本学学生の丹羽秀聡君、浅野幸士君には、観測データの回収、飛来塩分の分析の労を採って頂いた。本文中の地図は、国土地理院の数値地図をカシミール3Dにより表示している。ここに記して謝意を表します。

#### 付録 I ドライガーゼ式捕集器具の捕捉率

ドライガーゼ式塩分捕集器具は100mm×100mmの枠に取り付けたガーゼ内を塩分を含んだ風が通過する際に、ガーゼに付着した塩分を飛来塩分と見做す方法であり、ガーゼ繊維の違いや繊維の織り方などにより捕捉率が異なっている懸念がある。

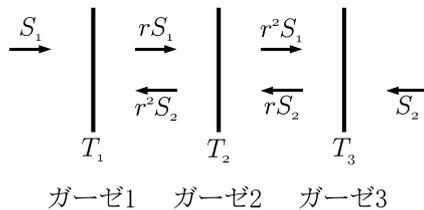


図-17 ガーゼ式捕集器具の捕捉状況

そこで、図-17の概念図のように同種のガーゼを用いた3枚のガーゼ枠を設置し、それぞれのガーゼの飛来塩分(付着塩分) $T_1, T_2, T_3$ から、塩分の捕捉率を算出することを考える。図において、 $S_1, S_2$ は飛来塩分、 $r$ はガーゼの透過率を表している。

ガーゼに付着した塩分 $T_i$ と飛来塩分 $S_i$ 、透過率 $r$ 、捕捉率 $c$ の関係は次のように表される。

$$T_1 = c(S_1 + r^2S_2) \quad (I.1a)$$

$$T_2 = c(rS_1 + rS_2) \quad (I.1b)$$

$$T_3 = c(r^2S_1 + S_2) \quad (I.1c)$$

式(I.1a,c)から $S_1, S_2$ を解くと、

$$S_1 = \frac{T_1 - r^2T_3}{c(1 - r^4)} \quad (I.2a)$$

$$S_2 = \frac{-r^2T_1 + T_3}{c(1 - r^4)} \quad (I.2b)$$

これらの式を式(I.1b)に代入すると、

$$T_2 = \frac{r}{1 + r^2}(T_1 + T_3) \quad (I.3)$$

透過率は、 $r \leq 1$ となることから、この式より透過率 $r$ は次のようになる。

$$r = \frac{T_1 + T_3}{2T_2} - \sqrt{\left(\frac{T_1 + T_3}{2T_2}\right)^2 - 1} \quad (I.4)$$

上式が実数となるための条件として、 $T_2 < (T_1 + T_3)/2$ が得られる。すなわち、中央のガーゼの付着塩分は、両側のガーゼの付着塩分の平均値より小さな値になる。

外側のガーゼを通過した飛来塩分は、内側のガーゼだけでなく、ガーゼを固定する枠にも僅かながら付着している可能性があるが、ここでは、通過した塩分のすべてが次のガーゼに到達していると考え、ガーゼの捕捉率 $c$ は、透過率から $c = 1 - r$ により与える。

#### 参考文献

- 1) 日本工業標準調査会：大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定, JIS Z 2382, 日本規格協会, 1998.
- 2) 建設省土木研究所, 鋼材倶楽部, 日本橋梁建設協会：無塗装耐候性橋梁の設計・施工要領(改訂案), 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XX), 1993.
- 3) 千秋鋭夫, 大野博教, 下田 修ほか：碍子汚損に関連する環境条件の解析 — 碍子付着塩分量の離岸特性及びこれと気象条件の関係について —, 電力中央研究所技術第一研究所報告, 研究報告 73020, 1973,9.
- 4) 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, No.39, pp.1051-1055, 1992.
- 5) 建設省土木研究所：飛来塩分量全国調査(IV) — 飛来塩分量の分布特性と風の関係 —, 土木研究所資料, No.3175, 1993.5.

(2009年9月24日 受付)