

## 構造物に付着する塩分の定量的評価に向けたドライガーゼ法の捕集効率の算定

松江工業高等専門学校 正会員 ○坪倉 佑太  
京都大学 正会員 八木 知己

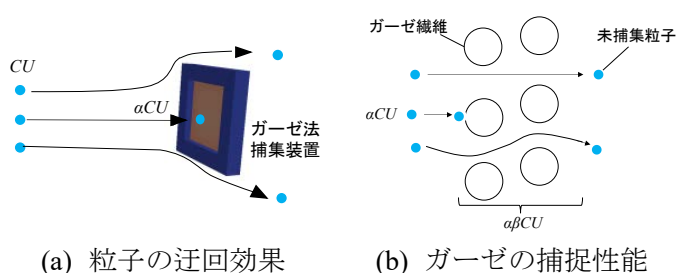
京都大学 正会員 野口 恭平

### 1. 緒言

塩分は鋼材の腐食を促進する因子の1つであるため、橋梁の維持管理に際しては、架橋地点の塩分環境を正確に評価する必要がある。国内における飛来塩分量の観測方法としては、木枠の内部にガーゼをはめ込んだ装置によって粒子を捕集するドライガーゼ法（以下、ガーゼ法）が頻繁に使用される。しかし、捕集装置周りの粒子の飛散挙動やガーゼ部への付着メカニズムは詳細に検討されていないため、ガーゼ法による捕集塩分量と真の大気中の塩分量との対応関係は明らかになっていない。また、近年の計算機性能の向上に伴って、橋梁周囲の流れ場および粒子飛散解析に基づく付着量評価も実現しつつある。ガーゼ法は装置の作製や観測の実施が比較的簡単であり、観測結果も豊富にあるため、ガーゼ法による塩分量の観測結果を数値計算の入力値として用いることが望ましいが、このためには、ガーゼ法の捕集効率を定量的に評価する必要がある。そこで本研究では、数値流体解析（CFD）を用いて、ガーゼ法捕集装置周囲のマクロ的な視点とガーゼ繊維周囲のミクロ的な視点それぞれで風の流れと粒子挙動を評価し、ガーゼ法の捕集効率を定量的に算出した。また、屋外における塩分量観測を実施し、得られた捕集効率値の妥当性を検証した。

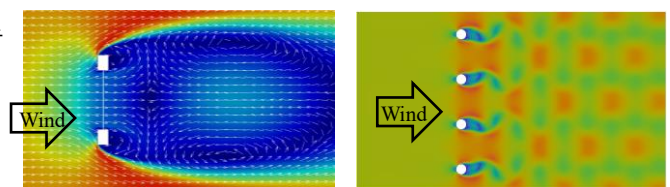
### 2. 検討手法

捕集効率に関して具体的にいえば、Fig. 1 に示すように、ガーゼ法捕集装置自体が接近流を乱し、それに伴って気流とともに塩分粒子が捕集装置を迂回する効果（粒子の迂回効果）とガーゼ繊維による塩分粒子の捕捉性能という2つの因子によって捕集効率が決定されると考えられる。本研究では、これら2つの効果をそれぞれCFDを用いて評価することで、ガーゼ法の捕集効率を定量的に算出することを試みた。粒子の迂回効果については、Fig. 2(a) に示すように、ガーゼ法捕集装置全体を対象とした気流計算を実施し、得られた流れ場中で粒子飛散解析を実施することで、飛来する塩分粒子がガーゼ部へ流入する割合を算出した。ここでは、計算負荷低減のため、ガーゼの構造を忠実に再現するのではなく、気流がガーゼを通過する際に生じる抵抗を別途風洞実験によって計測し、この抵抗値をガーゼの境界条件として与えた<sup>1)</sup>。一方、ガーゼ繊維による粒子の捕捉性能に関しては、Fig. 2(b) に示すように、ガーゼ繊維を円柱によってモデル化し、円柱周囲の気流計算と粒子飛散解析を実施することで、ガーゼ繊維の塩分粒子の捕捉性能を評価した。最終的に、これら2つの検討結果を統合することにより、ガーゼ法の捕集効率を定量的に算出することが可能となる。なお、これらの解析においては、OpenFOAMを使用し、非定常流れ場中で粒子の運動方程式を解くことによって、粒子挙動および付着計算を行っている。また、ガーゼの繊維径は0.2 mm、塩分粒子の粒径は既往の研究<sup>2)</sup>を参考に、20  $\mu\text{m}$ とした。



(a) 粒子の迂回効果

(b) ガーゼの捕捉性能



(a) 捕集装置周囲

(b) ガーゼ繊維近傍

Fig. 1 捕集効率を決定する2つの要因

Fig. 2 CFDによって算出した流れ場

キーワード ドライガーゼ法, 飛来塩分, 数値流体解析

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 松江工業高等専門学校 環境・建設工学科 TEL 0852365269

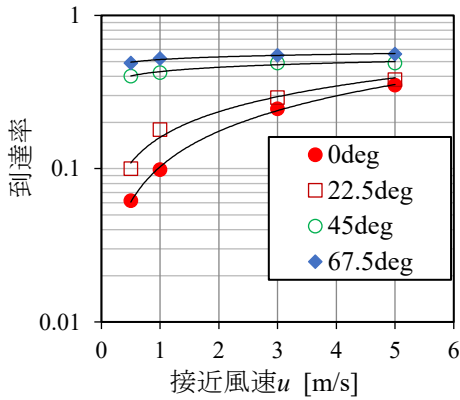


Fig. 3 到達率の算出結果

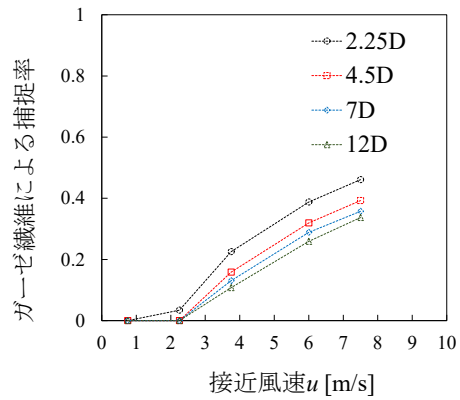


Fig. 4 ガーゼの捕捉性能の算出結果

### 3. 捕集効率の算出結果

Fig. 3 に、飛来する粒子がガーゼ部へ到達する割合（到達率）の算出結果を示す．ここで、到達率とは、ガーゼ投影面内を飛来する粒子数に対する、ガーゼ部へ到達した粒子数の比として定義している．接近風速と到達割合の関係をみると、全ての風向（0deg が接近風とガーゼ面が直交する場合に対応）において、接近風速の増大に伴って到達率も上昇している．これは、風速が大きいくほど粒子に働く慣性力が大きくなることで、粒子が捕集装置を迂回するように変化する気流に乗ることなく、ガーゼ部へ到達するためである．風向の増大によっても粒子の到達率は上昇しているが、これは風向が大きくなるにつれて捕集装置の受風面積が小さくなり、接近風に対して抵抗が小さくなるためと考えられる．Fig. 4 に、円柱による粒子の捕捉率の算出結果を示す．ここで、捕捉率とは、円柱投影面内を飛来する粒子数に対する、円柱に付着した粒子数の比として定義している．また、ガーゼの繊維間隔が捕捉率に影響することを想定し、繊維間隔を4パターン（2.25D, 4.5D, 7D, 12D; D : 繊維径）に変化させた．接近風速と捕捉率の関係をみると、ガーゼ部への到達率と同様に、風速の増大に応じて粒子の慣性力が上昇することに起因して、捕捉率も上昇している．また、円柱の配置間隔の影響について検討すると、円柱間隔が小さいほど捕捉率が高くなることが明らかとなった．これは、円柱間隔が小さいほど閉塞率が高まり、円柱近傍の風速が大きくなることで、円柱近傍を飛来する粒子に作用する慣性力が上昇したためと考えられる．以上のように、ガーゼ法の捕集効率は、風況によって大きく変化する変数であることが明らかとなった．

### 4. 飛来塩分量の観測値と計算値の比較

本研究で導出したガーゼ法の捕集効率の妥当性を検証するため、沿岸部においてガーゼ法による飛来塩分量観測を実施し、得られた観測値と本研究で得られた捕集効率をもとに算出した値を比較した．具体的には、大気中塩分濃度と風速および風向を別途計測し、これらのデータからガーゼ法設置位置の塩分量フラックスを算出した．さらに、この塩分量フラックスに本研究で算出した捕集効率を時々刻々乗ずることで、飛来塩分量の計算値を算出した．Fig. 5 に観測値と計算値の比較結果を示す．図中には、捕集効率を10%で一定とした場合の飛来塩分量の計算値 ( $\gamma=0.1$ )、および観測期間ごとの捕集率も示している．観測値と計算値は、観測期間によって多少の差異はあるものの、その観測期間に対する変動の様子は、非常に似たものとなっている．また、ガーゼ法の捕集効率を10%とした場合の計算値の観測期間に対する変動の様子は、本研究で導出した捕集効率をもとに計

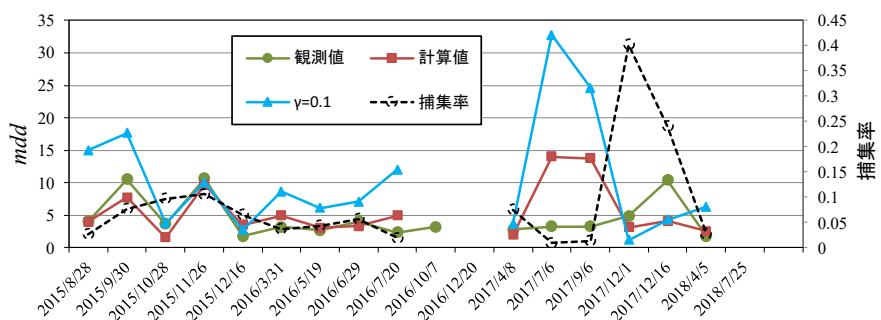


Fig. 5 飛来塩分量の観測値と計算値の比較

算した結果に比べて、観測値との対応が良くない。したがって、ガーゼ法の捕集効率は本研究で明らかになったように、風況に応じて決定する必要があるといえる。

## 5. まとめ

本研究では、ガーゼ法の捕集効率が、ガーゼ法捕集装置自体が接近流を乱し、それに伴って気流とともに塩分粒子が捕集装置を迂回する効果とガーゼ部の捕集性能によって決定され则认为、これらの要素についてそれぞれ CFD を用いて検討を行うことで、捕集効率を定量的に評価した。また、本研究で導出した捕集効率をもとに算出した飛来塩分量の計算値は、観測値と多少の差異はあるものの、観測期間に対する変動を概ね再現できており、その妥当性が確認された。さらに、本研究によってガーゼ法の捕集効率が明らかになったことから、ガーゼ法による飛来塩分量の観測結果から、大気中の真の塩分濃度を評価することが可能となる。したがって、ガーゼ法の観測結果を入力値とした、橋梁周囲の流れの数値解析に基づく付着量計算の実現が期待される。

## 謝辞

本研究の一部は一般財団法人上田記念財団、JSPS 科研費 18K13820 の助成を受けた。本研究の一部は京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータを利用して実施した。

## 参考文献

1) Tsubokura et al. ASME. J. Appl. Mech. October 2021; 88(10), 2) 加藤ら：農業気象, Vol.57, No.2, 79-92, 2001.