

ドライガーゼ法におけるガーゼ部の粒子捕集効率の解析的評価

京都大学 学生会員 ○坪倉 佑太

京都大学 正会員 野口 恭平

京都大学 正会員 八木 知己

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、JISで規定されたドライガーゼ法（以下、ガーゼ法）が頻繁に使用される。ガーゼ法は木枠にガーゼをはめ込んだ装置を屋外に暴露し、ガーゼによって塩分粒子を捕集する観測法である。しかし、木枠とガーゼの組み合わせによって生じる複雑な気流のために、ガーゼ法による塩分粒子の捕集効率は十分に明らかになっていない¹⁾。著者らはこれまでに、ガーゼ法捕集装置上流より飛来する粒子がガーゼ部へ到達する割合を、ガーゼを多孔質体モデルによってモデル化したCFDを用いて評価した²⁾。しかし、以上の検討ではガーゼ繊維による粒子の捕集効率を100%と仮定しており、捕集効率の定量的な評価には至っていない。そこで本論では、ガーゼ繊維による粒子の捕集効率を、CFDによるガーゼ繊維を模した円柱周りの流れ場解析、および粒子飛散解析によって検討する。

2. 数値解析手法

本研究では、ガーゼ繊維をFig. 1に示す様な十字状に配置された円柱群と仮定し、円柱周りの流れ場中で粒子飛散解析を行うことによって、ガーゼ繊維による粒子の捕集効率を推定する。ガーゼによる捕集効率は、ガーゼの繊維間隔によって変化するものと思われるが、本研究では円柱径を D として、円柱間隔を $2.25D$, $4.5D$, $7D$, $12D$ と変化させ、円柱間隔と捕集効率の関係について調査した。Fig. 2に円柱間隔 $4.5D$ の場合の流れ場解析領域を示す。流れ直交方向の長さを $4.5D$ とし、周囲の境界面に対称境界条件を課すことで、隣接するガーゼ繊維の影響を考慮している。また、流れのレイノルズ数 $Re (= UD/\nu, D = 0.2 \text{ mm})$ は、 $Re = 10, 30, 50, 80, 100$ と変化させた。塩分粒子径は既往の研究結果を参考に $2 \mu\text{m}$ および $20 \mu\text{m}$ とした³⁾。粒子飛散解析における粒子の初期位置は、円柱より $9D$ 上流とした。なお、流れ場解析において乱流モデルは使用していない。また、円柱表面に到達した塩分粒子は全て捕集されるものとし、一度捕集された粒子の離脱はないものとした。

3. 解析結果

Fig. 3に円柱による粒子の捕集効率の算出結果を示す。ここで、捕集効率とは、円柱によって捕集された粒子量を円柱投影面積内を飛来する粒子量によって除した値である。捕集効率は円柱間隔によらず Re の増大、すなわち風速の増大によって上昇しているが、これは粒子に作用する慣性力が上昇することと対応している。

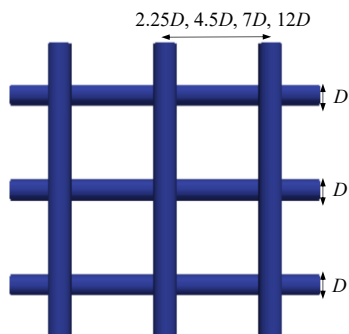


Fig. 1 十字状に配置された円柱

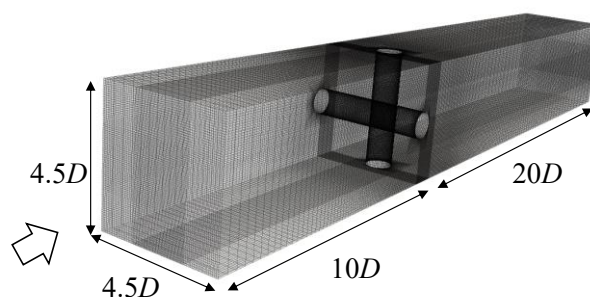


Fig. 2 解析領域
(円柱間距離: $4.5D$)

キーワード ドライガーゼ法, 飛来塩分, 数値流体解析, 捕集効率, 粒子飛散解析

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C1-457 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 0753833170

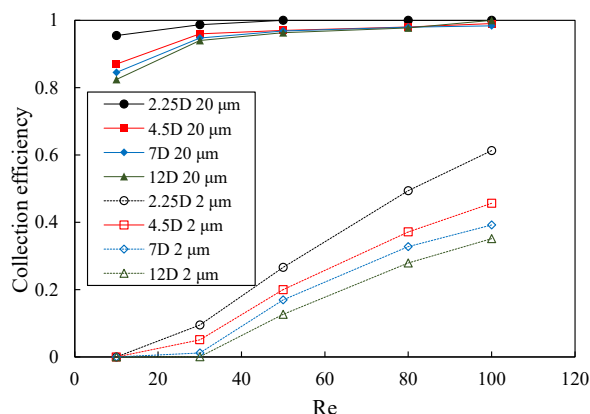


Fig. 3 捕集効率の算出結果

つまり粒子に作用する慣性力が増加することで、粒子が円柱の剥離流れに乗ることなく円柱表面に到達する割合が上昇したといえる。粒径 $20\ \mu\text{m}$ のケースが粒径 $2\ \mu\text{m}$ のケースに比べて捕集効率が高いのも同様に粒子に作用する慣性力の違いによるものと推察される。これらの結果から、ガーゼ法による観測を行う場合には、設置地点の風速や粒径に十分注意して、飛来塩分量の観測結果を解釈する必要がある。

次に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集効率が高くなることが明らかとなった。この原因を探るため、Fig. 4 に十字状に配置された上流側円柱周りの主流風速コンターを示した。図より、円柱間隔が小さいほど円柱近傍の主流方向風速が大きくなっていることが分かる。この効果によって、円柱近傍を飛来する粒子に作用する慣性力が増加し、捕集効率が上昇したと考えられる。また、円柱間を流れる風速の増大は円柱による流体抵抗の増大と対応している。そこで、円柱による流体抵抗を表す物理量として圧力損失値 Δp に着目し、 Δp と捕集効率の関係を整理した (Fig. 5)。Fig. 5 は、粒径 $2\ \mu\text{m}$ 、 $\text{Re} = 50, 100$ における捕集効率と流れが円柱を通過する際に生じた圧力損失値 Δp との関係を示している。これによると $\text{Re} = 50, 100$ とともに、 Δp のべき乗の曲線が捕集効率と極めて良好な一致を示しており、 Δp から十字に配置された円柱群の粒子捕集効率を推定できることが示唆された。また、 Δp にかかる係数は粒径や風速等の関数となることが予想され、これについては今後の検討課題である。なお、本研究では、円柱に対して接近風が直交する場合を想定して解析を行ったが、風向とガーゼ繊維による捕集効率の関係についても今後検討を行う必要がある。

4. まとめ

本研究ではガーゼ法の捕集効率を算定することを目的として、ガーゼ繊維を円柱としてモデル化し、円柱周りの流れ場解析および粒子飛散解析を通じて円柱による粒子の捕集効率を算定した。円柱による捕集効率は、風速および粒径の増大に伴って上昇するほか、円柱間隔が小さいほど捕集効率が高くなることが明らかとなった。また、十字状に配置された円柱による粒子の捕集効率は、円柱群を流体が通過する際に生じる圧力損失量から推定できることが示唆された。

4. まとめ

本研究ではガーゼ法の捕集効率を算定することを目的として、ガーゼ繊維を円柱としてモデル化し、円柱周りの流れ場解析および粒子飛散解析を通じて円柱による粒子の捕集効率を算定した。円柱による捕集効率は、風速および粒径の増大に伴って上昇するほか、円柱間隔が小さいほど捕集効率が高くなることが明らかとなった。また、十字状に配置された円柱による粒子の捕集効率は、円柱群を流体が通過する際に生じる圧力損失量から推定できることが示唆された。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 18K13820 の助成を受けた。また、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) 小畑ら：構造工学論文集, Vol.60A, 596-604, 2014. 2) 坪倉ら：第 25 回風工学シンポジウム論文集, 157-162, 2018. 3) 加藤ら：農業気象, Vol.57, No.2, 79-92, 2001.

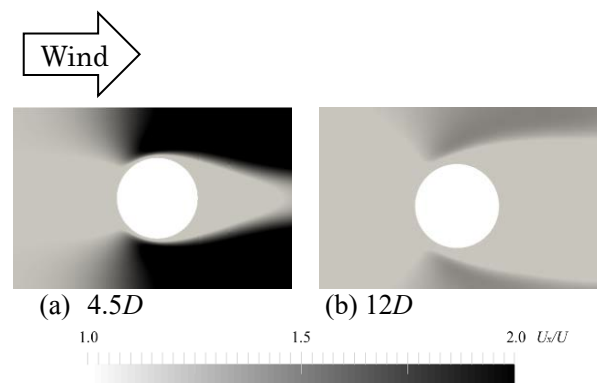


Fig. 4 円柱周りの時間平均風速コンター

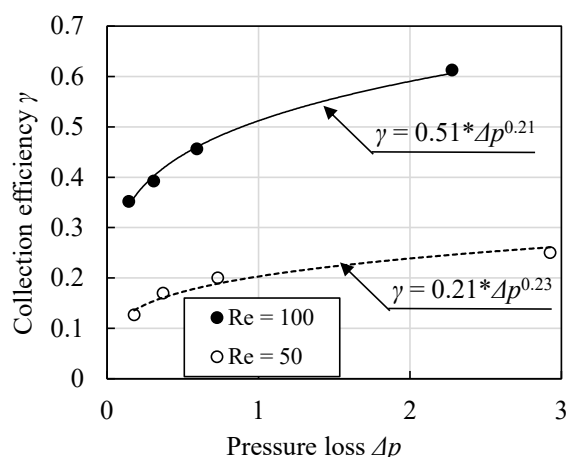


Fig. 5 捕集効率と圧力損失の関係