

円筒型飛来塩分捕集器内の流れと海塩粒子付着特性に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○倉田直弥 京都大学大学院工学研究科 正員 白土博通
 京都大学大学院工学研究科 正員 八木知己 本州四国連絡高速道路(株) 森下尊久
 (株)NTT ドコモ(研究当時京都大学大学院工学研究科) 田中俊輔

1. 序論 四方を海に囲まれた日本では、海塩粒子による鋼材の腐食、コンクリートの塩害が橋梁の耐久性に大きな影響を及ぼす。海塩粒子の表面は湿潤状態であり、粒子径が一定でなく、かつ凝集作用がある等の理由から、その拡散係数や付着機構についていまだに未解明な点が多い。本研究では、観測・実験・数値計算を基に、海塩粒子の付着機構を検討する。

2. 対象橋梁 大鳴門橋を対象に、図1のように3P主塔基礎部、床版下面の管理用通路の北側、南側で橋軸直角方向に飛来する塩分濃度を測定した。観測期間は2009年11月～2010年12月までの14カ月間である。

3. 飛来塩分濃度の計測 飛来塩分の捕集には、図2のような円筒型の飛来塩分捕集器を作成し、上述4箇所に設置した。この装置の概要及び飛来塩分濃度の算出は参考文献1)によった。



図1 計測箇所 図2 円筒型飛来塩分捕集器

4. 付着塩分量の評価 海塩粒子の付着量の評価を目的として、図3のようなガーゼ無捕集器を試作し、上述の4箇所に設置した。これは外直径100mm、内直径9.60mm、厚さ100mmのアルミニウム製リング10個を連結し、全長1mの1本のパイプ状の形状を成し、風下側の開口部近傍にアルミ円板を取り付け、後方からの風の逆流をなるべく抑える構造となっている。以下に、ガーゼ無捕集器内の流速場の解明のために行った実験と数値計算、及び捕集器内の付着塩分量の計算について述べる。

4.1 風洞実験 座標系は主流直角鉛直方向をy(風洞下壁面方向:正),主流方向をzとする。円筒流入口(z=0mm)

から流出口(z=1000mm)まで250mm毎に、円筒断面中心点(y=0mm)から壁面近傍(y=40mm)まで10mm毎に計25か所を計測地点とした。

4.2 流速場の数値計算 公開ソフトOpenFOAMを用いてレイノルズ平均モデル(RANS)による定常解析で定常流速場を求めた。計算領域を格子分割したものを図4に示す。計算領域は700mm×1000mm×4022mm、総格子数は約1210000個とした。計算格子にはコロケート格子、乱流モデルには標準k-εモデル、反復計算法としてSIMPLE法を用いた。

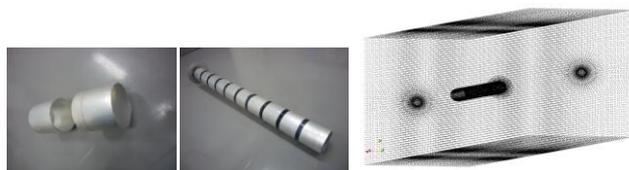


図3 ガーゼ無捕集器 図4 計算領域

境界条件は壁面で流速:0(m/s),圧力勾配:0, ν_T, k, ϵ : 壁関数, 流出口で速度勾配:0, 圧力:0, k, ϵ は勾配が0とした。初期条件は実験より得られた値(Table. 1)を用い、流出口は下流1面のみとした。

Table. 1

	U(m/s)	k (m ² /s ²)	ε (m ² /s ³)
Inlet1	1.89	2.43×10 ⁻⁵	4.73×10 ⁻⁹
Inlet2	3.76	1.97×10 ⁻⁴	8.53×10 ⁻⁸
Inlet3	5.85	4.21×10 ⁻⁴	2.36×10 ⁻⁷

4.3 海塩粒子の付着 現地に設置したガーゼ無捕集器内の付着塩分量の評価を行った。まず、図4の計算格子を用い、円筒内の定常流速場を前節と同様にして求めた。ただし、初期条件について、流速は気象観測データから、k, εは道路橋耐風設計便覧記載の乱れ強度、乱れスケールから算出した値を用い、流出口は流入口以外の5面とした。

この定常流速場を用いて、移流拡散による付着塩分量

キーワード 海塩粒子, 移流拡散, 腐食, 塩害

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 C-1 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL075-383-3167

の非定常解析を行った。ガーゼ無捕集器を円柱座標系におき、円筒長軸方向からの流入のみを考え、 θ 方向の濃度分布は一様と仮定し、 $r-z$ 平面の2次元平面を計算領域とした。計算領域は $96\text{mm} \times 1005\text{mm}$ 、格子数は $32 \times 105 = 3360$ である。また、円筒内壁では濃度勾配=0の境界条件を与えた。支配方程式を以下に示す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u_r \frac{\partial C}{\partial r} + u_z \frac{\partial C}{\partial z} = D \left(\frac{1}{r} \frac{\partial C}{\partial r} + \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

C : 海塩粒子濃度(mg/m^3), D : 拡散係数(m^2/s)

また、付着量は壁面方向への塩分濃度のフラックスから与えられると考え、以下の式(1), 式(2)を用いて計算した。

$$\text{慣性衝突による沈着} : C_i \cdot (u_{ri} + \alpha \sigma_i) \cdot \Delta z \cdot \Delta t \quad (1)$$

$$\text{拡散による沈着} : C_i \cdot \int_0^{\Delta t} \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \cdot \Delta z \cdot dt \quad (2)$$

u_{ri} : セル i での壁面垂直風速成分 Δz : セル幅

σ_i : u_{ri} の標準偏差 α : 係数

拡散係数には数値計算で得られた k, ε から式(3)で算出される気流の渦動粘性係数 ν_t を用いた。

$$\nu_t = 0.09 \cdot k^2 / \varepsilon \quad (3)$$

また、円筒流出口近傍のセルにおいて式(1), 式(2)から流出塩分量を計算した。

5. 風速場の結果比較 (風洞実験と解析)

代表例として $U=1.89(\text{m}/\text{s})$, 円筒中心軸より内壁面へ $30\text{mm}(y=30\text{mm})$ での結果を図5に示す。横軸は円筒長軸(z 軸)方向であり、縦軸は個々の物理量である。 u_z に関して、解析値が実験値よりやや大きい値を示すが、 u_x, u_y ともに分布形状は似ている。 k, ε については実験値と比較して解析値は過大に評価された。

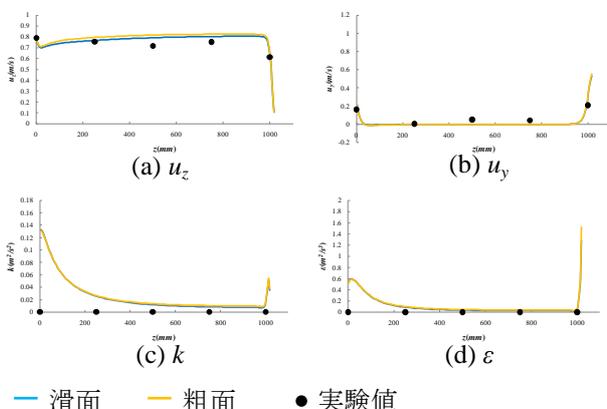
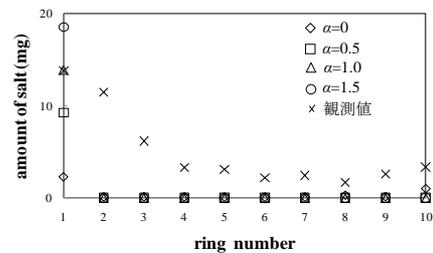


図5 $U=1.888(\text{m}/\text{s}), y=30\text{mm}$

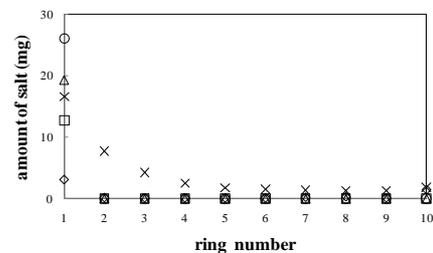
6. 海塩粒子付着の結果比較 (現地観測と解析)

代表例として、9月、10月の管理用通路北方向の結果を図6に示す。解析値について、 100mm ごとに付着

量を合算した。解析値では流入口付近以外で、付着はほぼ確認できなかった。この要因として、気象データから得られた風速の円筒長軸方向成分の平均値を代入していること、風向による円筒内の風速分布の変動を数値計算では考慮していないこと、本シミュレーションでは k が過大に評価されており、風速場の乱れによる付着量も過大に評価されてしまうこと等が挙げられる。



(a) 1 Sep 2010-27 Sep



(b) 28 Sep 2010-29 Oct

図6 管理用通路北方向

7. 結論及び今後の課題

- 1) 標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いた風速場の計算では、円筒内部の風速については妥当な結果が得られたが、 k, ε については、実験値と比較して過大な値が得られた。
- 2) ガーゼ無捕集器内部への海塩粒子付着について、本研究の手法で付着量の分布形状をある程度得られた。
- 3) 標準 $k-\varepsilon$ モデルよりも本研究の計算領域に、より適合した数値計算モデルを用いて、風向ごとのガーゼ無捕集器内の風速場の解明を行う必要がある。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、京都大学大学院工学研究科学生員の奥田慧氏、姜詠氏の多大な協力に感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 奥田慧, 構造物表面の海塩粒子付着機構に関する基礎的研究, 京都大学工学部地球工学科卒業論文, 2010.2
- 2) 高橋幹二, エアロゾル学の基礎, 日本エアロゾル学会, 2003.7