

H1-11

有限要素法による正方形角柱周りの煙濃度の移流拡散解析
**Advection diffusion analysis of concentration of smoke
 around the square cylinder by finite element method**

○小林丈紘¹, 野村卓史², 長谷部寛²

*Takehiro Kobayashi, Takashi Nomura, Hiroshi Hasebe

Abstract : Advection diffusion problem of smoke concentration of flow visualization around a square cylinder was conducted by finite element method. The time variation of smoke concentration at upstream of the cylinder obtained in the experiment was used as the upstream boundary condition. Two different diffusivity cases were conducted and compared with experimental data.

1. はじめに

橋のまわりの飛来塩分の分布を予測することは、維持管理の効率を高めるための課題の1つである。そのため、気流の可視化実験における煙の濃度分布から飛来塩分濃度分布を推定する実験¹⁾が行われている。この実験を対象とする移流拡散解析を実施したので報告する。

2. 解析対象とする可視化実験

正方形角柱周りの流れを煙で可視化した画像をFigure 1に示す。この実験では、可視化画像の輝度を煙の濃度に換算しており、その濃度分布を数値解析で再現することが本研究の課題である。解析条件として、角柱前方1D (D=6cm)の位置の濃度の時間変化を取得した(Figure 1)。またFigure 1に示す3つの位置(A:角柱前方, B:直下, C:下方)における濃度の時間変化を解析結果と比較する。

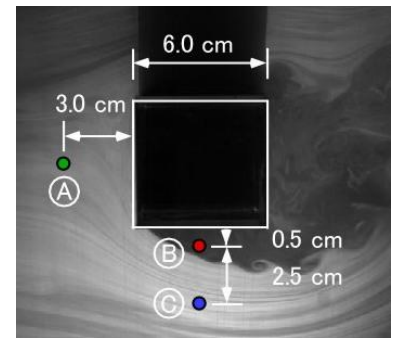


Figure 1 Visualized flow around a square cylinder and three reference points

3. 解析手法・解析条件

本解析で用いる移流拡散方程式は次式である。

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla(u_i \phi - k \nabla \phi) = 0 \quad \dots (1)$$

ここで ϕ は濃度, t は時間, k は拡散係数, $\nabla = \langle \partial/\partial x, \partial/\partial y \rangle^T$, u_i は移流速度ベクトルである。

移流拡散方程式(1)の有限要素方程式は次式である。

$$M\dot{\phi} + (S(\mathbf{u}) + K)\phi = F \quad \dots (2)$$

ここで, M は質量行列, $S(\mathbf{u})$ は移流行列, K は拡散行列, F は濃度フラックスベクトル, ϕ は節点濃度ベクトルである。本解析ではあらかじめ正方形角柱周りの $Re = 2000$ の乱流解析を実施し, 得られた節点流速の値を式(2)の節点移流速度ベクトル \mathbf{u} にステップごとに与えている。Figure 2に用いた境界条件を示す。流れの可視化実験より取得した濃度の時間変化をFigure 3に示すように放物線に単純化し, 角柱前方1Dの位置に境界条件として一様に与えた。また, この境界より上流の節点濃度は数値解析を安定させるために全面的に

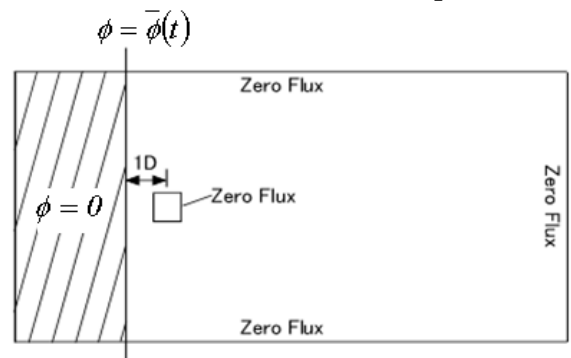


Figure 2 Parabolic approximation of time variation of smoke upstream

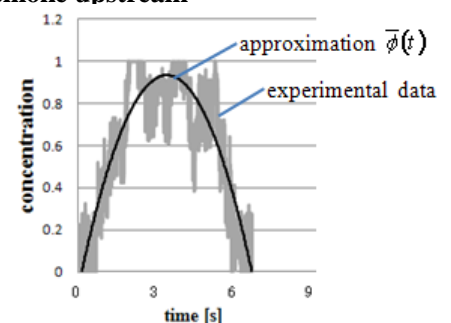


Figure 3 Boundary condition

1 : 日大理工・院(前)・土木 2 : 日大理工・教員・土木

$\varphi = 0$ とした。解析は拡散係数 $k=1$ の場合、 $k=10$ の場合の 2 通り行った。

4. 解析結果

4.1 角柱近傍の濃度の時間変化

解析で得られた角柱近傍 A, B, C 3 点の濃度の時間変化を実験値と比較して Figure 4, 5, 6 に示す。A, C 点の濃度の時間変化は、 $k=1$ と 10 の場合でどちらもほぼ同じ変化をしており、実験データの時間とおおよそ同じように変化している。しかし Figure 6 に示すように、剥離せん断層内にある B 点の濃度の時間変化は、 $k=10$ の場合では濃度が上昇するのが早く、また最大値も実験値より大きい。 $k=1$ の場合では最大値の値は実験データと近いが、濃度が減衰するまでに、より長い時間がかかっている。

4.2 解析領域全体の濃度分布の時間変化

$k=1$ の場合の $t=1.0s$ と $t=4.0s$ の時点での解析領域全体の濃度分布を Figure 7, 8 に示す。ここで Figure 1 の可視化画像と対比するために明るいほど濃度が高いことを表わしている。Figure 7 の $t=1.0s$ では煙が角柱の後方まで到達し、Figure 8 の $t=4.0s$ では煙が下流の境界に既に達

している。Figure 7 では剥離せん断層内や角柱の背後には煙が入り込んでいない。Figure 8 では角柱背後にも煙が少し入り込みつつある。

Figure 9 は $k=10$ の場合の $t=4.0s$ の濃度分布である。Figure 8 と比較すると、拡散の作用により煙が剥離せん断層内および角柱背後により多く入り込んでいる。これは Figure 6 に示した剥離せん断層内の B 点における濃度変化の違いと対応している。

5. まとめ

今後はさらに拡散係数を変えた解析を行う。また、乱れの強さに応じた拡散係数の導入を検討する予定である。

参考文献

1) 長谷部寛, 小杉翼, 畑元詩音, 長谷部寛, 野村卓史: 可視化実験の画像処理に基づく橋梁の飛来塩分濃度分布特性の検討, 土木学会年次学術講演会概要集 I-319, 2012

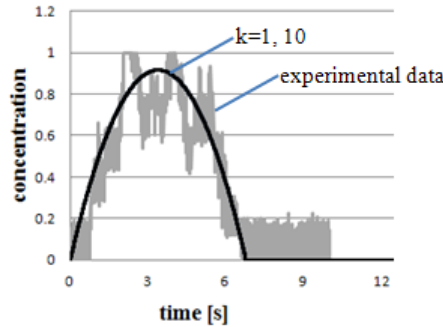


Figure 4 Time variation of concentration at point A

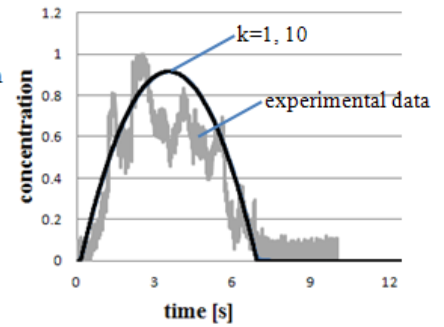


Figure 5 Time variation of concentration at point C

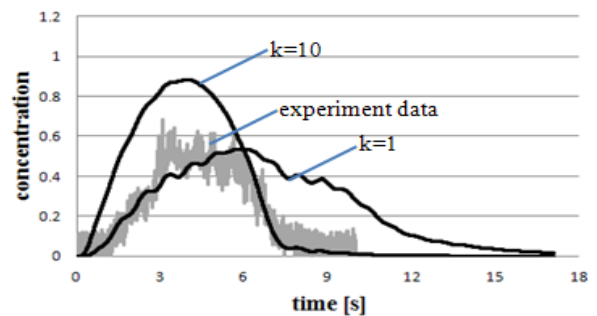


Figure 6 Time variation of concentration at point B



Figure 7 Distribution of concentration (k=1 t=1.0s)

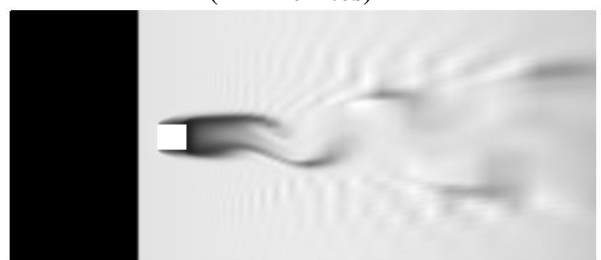


Figure 8 Distribution of concentration (k=1 t=4.0s)

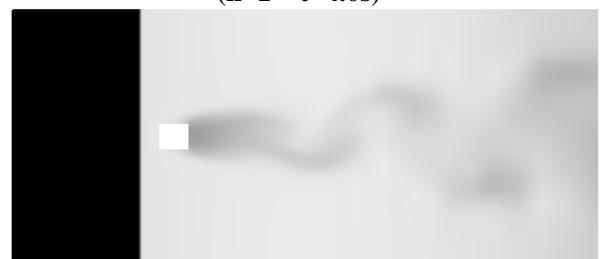


Figure 9 Distribution of concentration (k=10 t=4.0s)