

## 防風壁を持つ角柱構造物に関する輻射熱挙動の数値解析

## Numerical Computation for Radiation of a rectangular cylinder with windbreak walls

○服部諒<sup>1</sup>, 近藤典夫<sup>2</sup>\*Ryo HATTORI<sup>1</sup>, Norio KONDO<sup>2</sup>

Abstract: We present numerical results for radiation from the surface of a rectangular cylinder and flow profiles around the cylinder. The depth/breadth ratio of 26 is taken into consideration as a parameter to calculate the fluid flow. The numerical computation is carried out by using a third-order upwind FEM.

## 1. はじめに

構造物の基本断面形状である角柱構造物の流体力特性は耐風工学上重要な課題を持つため、多くの研究が行われ様々な特性が調べられてきた。一様流速中に置かれた長方形断面の構造物の流体力は、断面辺長比に依存して変化することが示されている。その中で近藤ら[1]によって、数値計算から得た角柱の流体力特性が実験結果と同様になり数値計算が有用であること、断面辺長比 12~14 以上の長大構造物において流体力はあまり変化がないことが捉えられた。枝元ら[2]は角柱構造物に防風壁を設置した角柱構造物に対する流れの様子を数値的に求めている。また近藤ら[3]によって、防風壁を持つ極端に辺長比の大きい角柱構造物の流体力特性を 3次元数値シミュレーションを用いて捉え、防風壁の設置されていない時と比較することで防風壁の効果の検証が行われた。

そこで本論文では、防風壁間の角柱側面が太陽光によって暖められた状態を想定し、その輻射熱の放射状態および流体力への影響を数値計算によって捉えることを目的とする。

流体の基礎方程式にはナビエ・ストークス方程式を採用し、熱のシミュレーションにはブジネスク近似による熱エネルギー方程式を採用し、温度場の計算ではこれら 2つの方程式を同時に計算する。離散化は有限要素法によって行い、時間数値積分にはクランク・ニコルソン法を適用する。数値解の安定化のために 3次精度の上流化手法を数値手法の中に組み込んでいる。

## 2. 基本式

本研究で使用する計算モデルを Fig.1 に示す。角柱断面が幅  $B$  と奥行き  $D=26B$ 、角柱のスパン  $H$  方向に高さ  $2B$  の防風壁を有しており、遠方からの風速  $U_0$  の中に置かれている。

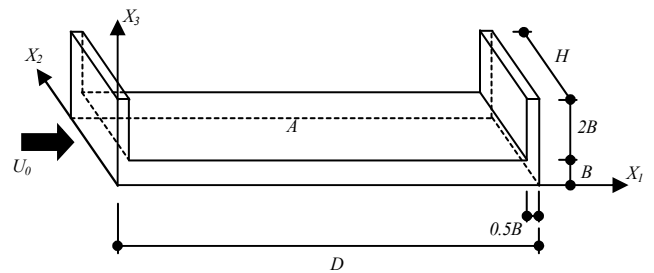


Figure 1. Computational model

## 2. 1 流れ場の基礎方程式

3次元ナビエ・ストークス方程式と連続方程式は無次元表示で以下のように表される。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} + f_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $u_i$  は流速、 $t$  は無次元時間、 $x_i$  は無次元座標、 $\sigma_{ij}$  は全応力、 $f_i$  は無次元外力を示す。また、全応力  $\sigma_{ij}$  は

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \tau_{ij} \quad (3)$$

となる。 $p$  は無次元圧力、 $\tau$  は粘性応力を表し、

$$\tau_{ij} = \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

で与えられる。 $\text{Re}$  はレイノルズ数を表す。

無次元圧力  $p$  は、(1)式の発散を取ることで以下のような圧力のポアソン方程式を得る。

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x_i^2} = -\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_i} \quad (5)$$

$$\tilde{u}_i = \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - f_i \quad (6)$$

1 : 日大理工・院(前)・海建 Graduate Student, Graduate School of Science &amp; Technology, Nihon U.

2 : 日大理工・教員・海建 Associate Prof, Dept. of Ocean Architecture &amp; Engineering, College of Science &amp; Technology, Nihon-U.

## 2. 2 温度場の基礎方程式

流れ場と温度場の2式を同時に数値計算するために、ブジネスク近似を導入して基礎方程式を再構成する。

式(1)と式(6)中の無次元外力項 $f_i$ は、輻射熱による $X_3$ 方向への浮力効果を受けて以下のように修正し、

$$f_i = \frac{Gr}{Re^2} Te_i \quad (7)$$

となる。 $Gr$ はグラシヨフ数、 $T$ は基準温度 $T_0$ から測った無次元温度、 $e_i$ は $e_1=e_2=0$ および $e_3=1$ を取る。

熱エネルギー方程式は以下のように与え、

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{1}{Pe} \frac{\partial^2 T}{\partial x_j^2} \quad (8)$$

ここで、 $Pe$ はペクレ数である。

以上の基本式に有限要素法を適用し、有限要素方程式を作る。

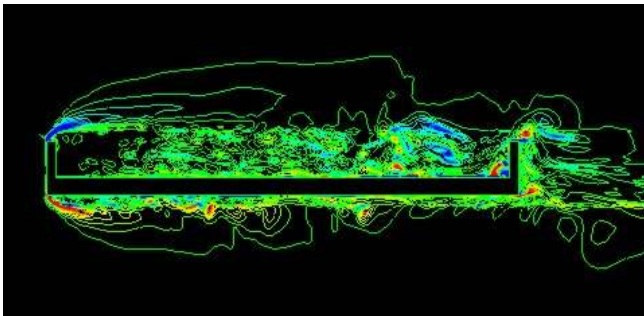


Figure 2. Instantaneous vorticity , t=300

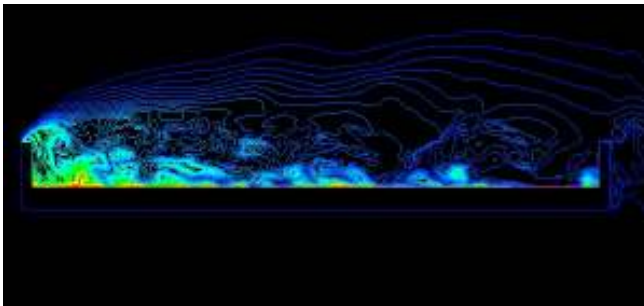


Figure 3. Instantaneous thermconter , t=300

## 3. 数値計算結果

Figs.2 と 3 は、 $X_1$ - $X_3$ 断面での構造物周りの渦度の等高線と輻射熱の温度等高線を  $X_2=H/2$  の位置で示したものである。Fig.4 は、構造物表面の圧力係数 $C_p$ の分布図である。横軸は構造物の周囲 $S$ を $B$ で表し、 $B$ を除いた値を取る。

## 4. 考察

Fig.2 の渦度分布図から、前縁から剥離した渦が構造物上方では防風壁の影響で構造物中間で再付着し、防風壁背後では渦の発生が弱いことがわかる。また Fig.3 の温度等高線で、同様の位置で温度が高い領域が広がっていることがわかる。これらのことから、防風壁の影響によりその背後で熱の滞留が起きていることがわかる。

Fig.4 の渦度分布図では、熱エネルギーを与え温度場を計算した $C_p$ と温度場を計算しない $C_p$ とを比較したが両者に大きな差は見られない。

## 5. おわりに

防風壁を設置した角柱構造物の温度場での数値解析を行い、防風壁によって生じる渦が輻射熱に影響を与えていることを捉えた。

また、構造物表面の圧力分布は輻射熱による熱エネルギーの影響をほとんど受けないことを捉えた。

## 6. 参考文献

- [1] 近藤典夫, 登坂宣好:「断面辺長比の大きい長方形構造物の流体力特性に関する3次元数値解析」, 構造工学論文集 Vol.57B, pp85-91, 2011.3
- [2] 枝本勝哉, 原幸久, 島中真一:「耐風設計に向けたCFDの活用」, 川田枝報, Vol 22, pp26-31, 2003.1.1
- [3] 近藤典夫, 服部諒:「暴風壁を有する大辺長比の角柱構造物に関する流力特性」, 構造工学論文集 Vol.59B, 2013.3, 投稿中

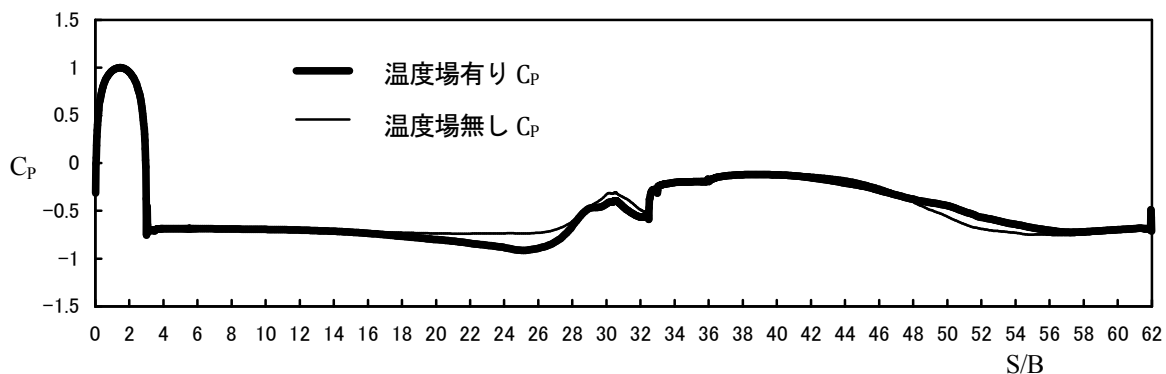


Figure 4. Pressure coefficient