

断面比の異なる浮体構造物まわり流れに関する数値計算

Numerical computation for fluid flow around floating structures with various section ratios

○鈴木敦雄¹, 近藤典夫²*Atsuo Suzuki, Norio Kondo²

Abstract: We present numerical results for flow profiles under a floating structure such as a Mega-Float type structure. In the case of large structure of floating type, it is expected that the flow pattern under the structure becomes complex flow. Then, we compute the flow profiles under the floating structure with section ratio of 1 to 5 and discuss about the flow profiles. Computation of a flow field is carried out by using a third-order upwind FEM.

1. はじめに

石油掘削施設や海中展望塔などの固定式海洋構造物は古くから建設され、実用化されている。しかしメガフロートに代表されるような浮体構造物の施設は数が少なく、浮体構造物は海流や波浪によって揺れが大きくなる可能性があるため、その状況を十分に捉える必要がある。

そこで本論文では、海流の流れに対して浮体構造物の水面下での流れの様子および喫水と断面の長さの比の変化による流れの相違点を捉えることを目的としている。流体計算にはナビエ・ストークス方程式を適用し、数値計算の安定化を図るために 3 次上流有限要素スキームを用いる。

2. 基本式

2 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。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + 0u_i u_{i,j} = \sigma_{ij,j} \quad (1)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで、応力 σ_{ij} は以下のようになる。

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \frac{1}{\text{Re}}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (3)$$

ここで、 u_i は無次元流速、 p は無次元圧力、 Re はレイノルズ数を表す。

3. 3 次上流有限要素スキーム

ナビエ・ストークス方程式の数値解の安定化を図るために、上流近似を導入する。有限要素法体系の中で、様々な上流近似手法が提案されているが、本論文で採

用する上流近似化は、数値粘性が流速の 4 段階微分で表されるものを採用する。

有限要素近似ではペトロ・ガラキン法に基づいた弱形式にする際に用いる修正重み関数を以下のように定義する。ただし、正確に 3 次精度上流スキームにするために、計算空間内で全ての式を扱うように座標変換を行っている。

$$u_i = w_i + \tilde{w}_i \quad (4)$$

ここで w_i は標準重み関数、 \tilde{w}_i は摂動関数を示す。 \tilde{w}_i は次のように定義する。

$$\tilde{w}_i = -\frac{1}{3}\Delta\xi_i^2 w_{i,(jj)} - \frac{1}{12}\Delta\xi_i^3 \text{sgn}(U_{(j)})w_{i,(jjj)} \quad (5)$$

ここで $\Delta\xi_i$ は写像領域での要素の長さ、 α は数値粘性の強さを調節するパラメーターをそれぞれ示す。

4. 数値解析

本論文で対象にするフローティング構造物を Fig. 1 に示す。数値計算では、 $B=2$ に設定し、フローティングの断面比 D/H を 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 の 5 ケースで

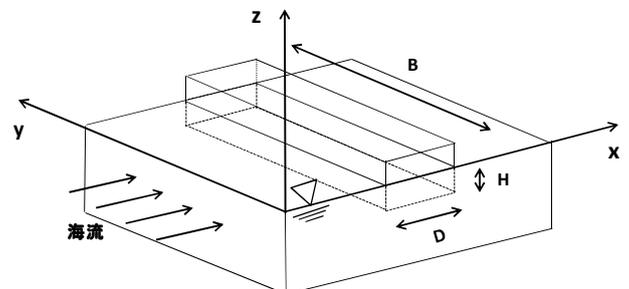


Figure 1. Computational model of floating structure

計算を行った。フローティング構造物は y 軸方向に十分に長い状態を想定するので、 $y=0$ と B の境界面で周

期境界条件を与えている。また水面では波高が微小であると想定し、波高の計算を省略することにより、本研究ではフローティング周辺の流れ性状のみを計算対象にする。また、レイノルズ数 Re は 10^4 とした。流体流れは、左側遠方から一様速度で与えており、フローティング表面ですべり無しとすべり有りの2種類の条件を設定した。

Figs. 2~11 に $D/H=1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0$ でのフローティングの流れ性状を示す。このとき, Figs. 2~6 までがすべり無しの条件で, Figs. 7~11 がすべり有りの条

件で計算したものである。

フローティングから剥離した渦は、すべり無しとすべり有りのそれぞれの条件で際立った違いは見られない。また $D/H=3$ になると、フローティングの前縁からの剥離渦は再付着することが見られる。

5. 参考文献

[1]N. Kondo:Third-order upwind finite element solutions of high Reynolds number flow, Computer Method in Applied Mechanics and Engineering, 122, 227-251,1994.

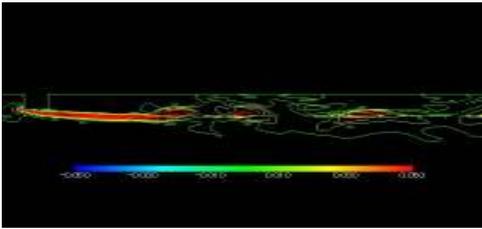


Figure 2 $D/H=1$, Instantaneous vorticity, slip condition

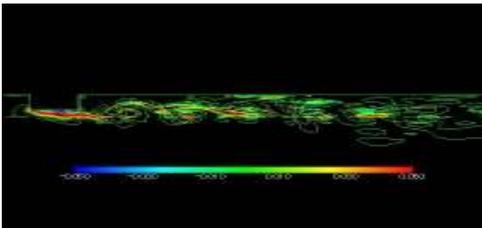


Figure 3 $D/H=2$, Instantaneous vorticity, slip condition

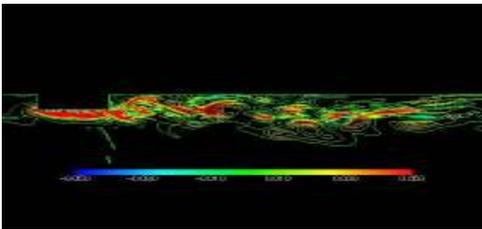


Figure 4 $D/H=3$, Instantaneous vorticity, slip condition

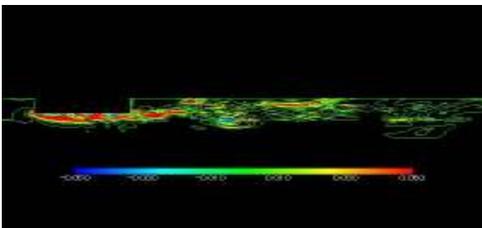


Figure 5 $D/H=4$, Instantaneous vorticity, slip condition

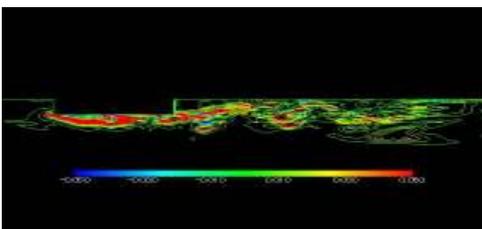


Figure 6 $D/H=5$, Instantaneous vorticity, slip condition

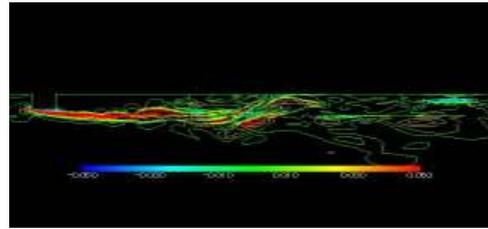


Figure 7 $D/H=1$, Instantaneous vorticity, non-slip condition

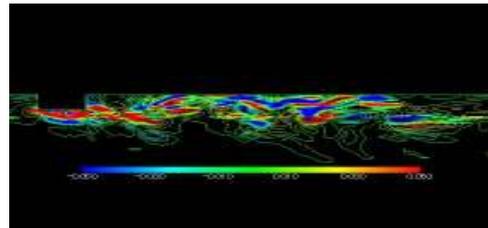


Figure 8 $D/H=2$, Instantaneous vorticity, non-slip condition

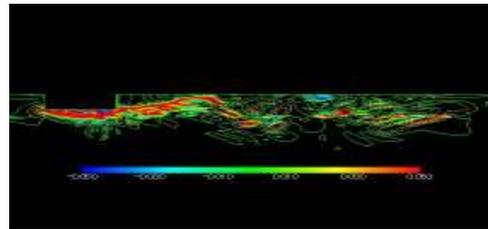


Figure 9 $D/H=3$, Instantaneous vorticity, non-slip condition

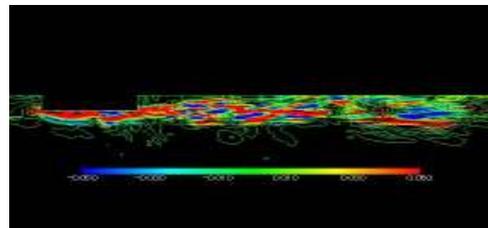


Figure 10 $D/H=4$, Instantaneous vorticity, non-slip condition

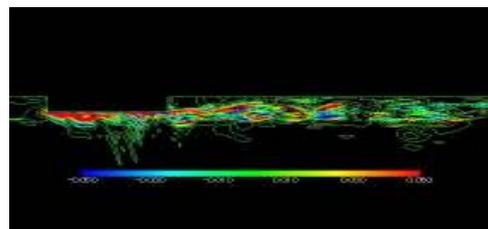


Figure 11 $D/H=5$, Instantaneous vorticity, non-slip condition