

波浪中没水物体の断面周りの流れ

東北工業大学工学部建設システム工学科 学生会員〇八重樫絵理・正会員 新井信一

1. はじめに

海中道路や半潜式構造物など海洋構造物に見られる水平方向部材まわりには、波の進行に伴い水粒子速度が時々刻々変化することにより循環流が発生する。波動場に循環流が発生すると、断面には加速度による質量力の向きと反対向きの揚力が生じるため、質量力が減少するといわれている。部材にはたらく質量力が減少すると構造物の固有周期が変わる。設計の際には同調現象を避ける必要があり、そのためには循環流と波力の関係を正確に把握する必要がある。

本研究では、新井ら^{1), 2), 3)}の実験的研究で得られた循環流による質量力係数の減少を、スタッガード格子を用いた有限体積法による数値シミュレーション (SIMPLE法⁴⁾) により検討した。

2. SIMPLE 法によるシミュレーション計算方法

本研究で用いた計算手法は、境界条件および初期条件の設定が容易な SIMPLE 法である。流れを解析し流速や圧力等の求めたい物理量を把握するためには、支配方程式として質量保存式、運動方程式およびエネルギー保存式を考える必要がある。支配方程式はいずれも同じ形に整理できるため、無次元化し一般形保存式にまとめると式(1)の形になる。

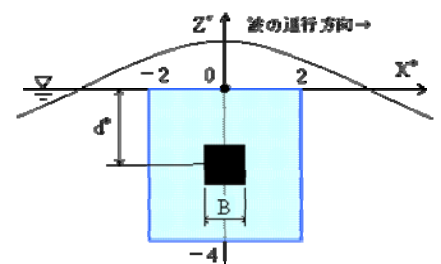
$$\frac{\partial \phi^*}{\partial t^*} + \frac{\partial}{\partial x^*} \left(u^* \phi^* - \Gamma^* \frac{\partial \phi^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y^*} \left(v^* \phi^* - \Gamma^* \frac{\partial \phi^*}{\partial y^*} \right) = S^* \quad (1)$$

ここに ϕ^* : 一般従属変数、 Γ^* : 拡散係数、 S^* : 生成項である。式(1)についてスタッガード格子を用いて離散化し、計算する。

3. 検討したモデル

規則波中の没水 2 次元正方形断面まわりの波動場を数値解析するため、図—1 のごとく計算領域をとる。距離については模型幅 $B=0.045(\text{m})$ を参照量として無次元化しており、 Z^* : 鉛直方向無次元距離、 X^* : 水平方向無次元距離、模型中心深さ $d^*=-2$ である。本計算では水面の境界条件を設定できないので、四方の境界に微小振幅波理論の水粒子速度を設定し、波による時々刻々の流れ場を作り出した。

シミュレーションに先立ち、模型断面がない場合の速度および圧力の計算値を求め、微小振幅波理論による進行波の理論値と比較した。その結果、水平、鉛直方向速度の計算値は誤差 1 % 以下、圧力計算値については誤差 1 割以下であることを確認した。従って、本法により進行波の流れ場を与えられるといえる。



図—1 計算領域

4. シミュレーション結果

計算条件は周期 2.0 (s)、水深 0.78(m)、波高 0.029 (m)、波長 4.80(m) であり、従って、 $KC=2.33$ 、 $Re=2342$ となる。

4.1 流れ場

4 分の 1 周期ごとの各時間位相での速度ベクトルを図—2 に示す。流れを見ると、入力の流れ場は左右対称であるにも関わらず、流れ下流方向左側で常に速度ベクトルが大きいことが分かる。これは、進行波による流れ場の方向が時々刻々と時計回りに変化していく影響と考えられる。その結果、1 周期を通して見ると模型断面まわりに循環流が発生しているように見える。

4.2 渦度

流れ場と同位相での渦度分布を図—3 に示す。これより、渦度は流れ下流方向左側で負、右側で正の分布が卓越していることが確認された。さらに、左側の分布が右側に比べ大きく見受けられたため、流れに平行で模型断面中心を通る対称軸を設け、左右それぞれの渦度の合計と、場全体の渦度の合計を、その絶対値で図—4 に示す。この結果より、渦度は常に左側の負 (時計回り) の値が右側の正 (反時計回り) の値を上回っていることが分かる。これはすなわち、時計回りの循環流の発生を示している。

4.3 波力と質量力係数

物体にはたらく波力を求めてその時間変化を見ると、一例として図—5 を得るが、 KC 数に応じて正弦波形からの歪みが生じているのが分かる。そこで、波力をフーリエ級数第 3 項まで展開して係数を算定し、基本周波数の係数より質量力係数を求めた。

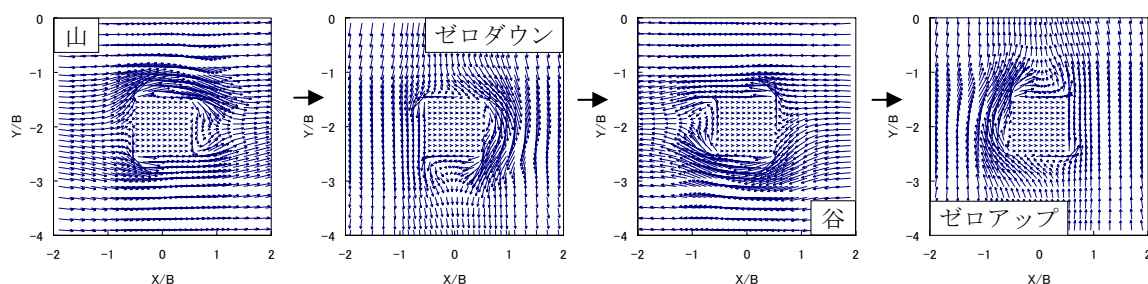
既存の研究では、物体まわりに生じた循環流と場の速度によって、質量力と反対向きの揚力がかかるため質量力係数の減少が起こると報告されている¹⁾。そこで、新井ら¹⁾の実験値および推定式と本計算値を図—6 に比較して

キーワード：流れの可視化, SIMPLE 法, 循環流, 質量力係数

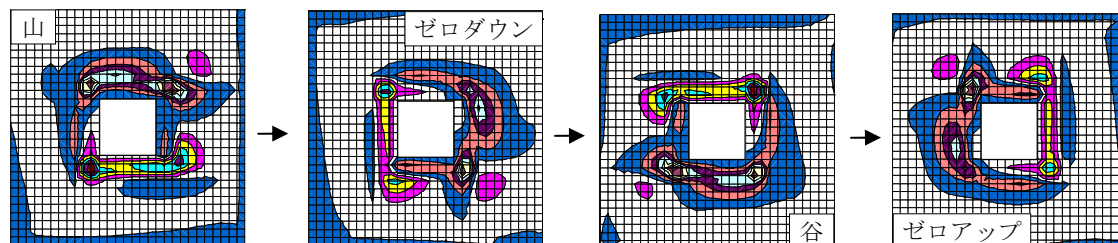
連絡先：仙台市太白区八木山香澄町 35 番 1 号 東北工業大学工学部建設システム工学科新井研究室

電話番号：022-305-3540

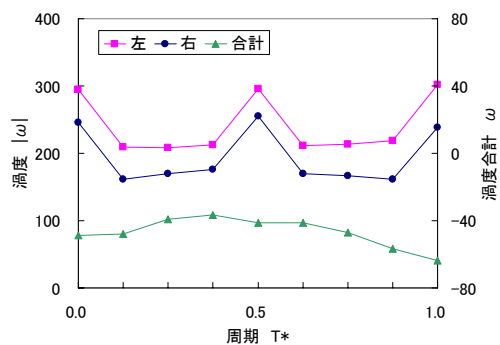
みたところ、KC 数の増加に伴い質量力係数は減少するという結果が実験値とよく一致した。このことより、本法の流場の与え方が有効であることが確認でき、計算結果にのっとり先の考察もほぼ正しいと考えられる。



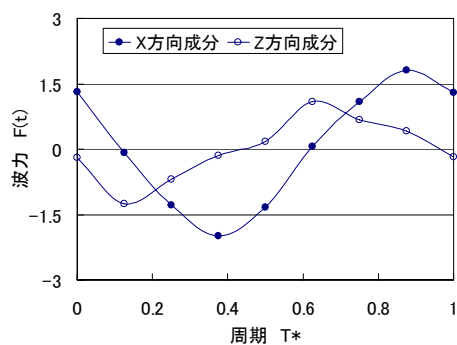
図一 2 速度ベクトル(KC=2.33)



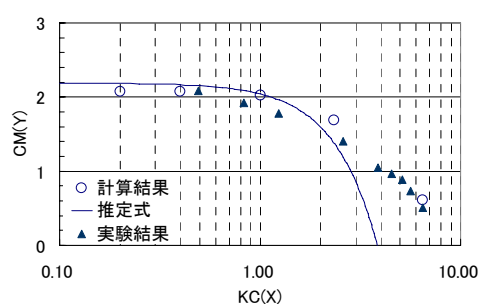
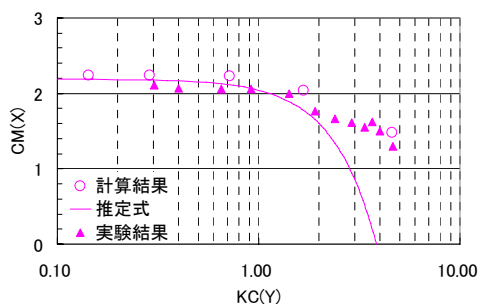
図一 3 渦度分布(KC=2.33)



図一 4 渦度の時間変化



図一 5 波力の時間変化(KC=6.45)



図一 6 KC 数と質量力係数

5. まとめ

本研究では、水粒子速度が時々刻々変化する波動場中の水平部材断面まわりの循環流による質量力係数の減少を数値シミュレーションにより確認した。また、場の流れ下流方向左側における渦度の合計は右側に対し常に大きい。その結果、模型断面の時計回りに循環流が発生するといえる。

参考文献

- 1) 新井信一・大嶋伸治・近藤圭央 (1994) : 規則波中水平柱状部材の低 KC 数領域での質量力減少と循環流, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp.861-865.
- 2) Arai, S. (1993) : Forces on and flows around a horizontal rectangular cylinder submerged in regular waves, Proc. 3rd Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Vol. III, pp. 288-293.
- 3) Arai, S. (1995) : Forces and circulation of horizontal cylinders submerged in regular waves, Proc. 5th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Vol. III, pp. 348-355.
- 4) 香月正司・中山顕 (1994) : 熱流動の数値シミュレーション, 森北出版, 120p.