

波浪中没水物体に働く波力の減少

東北工業大学大学院工学研究科土木工学専攻 学生会員○伊藤麻衣子
 三菱重工環境エンジニアリング(株) 八重樫絵理
 東北工業大学工学部建設システム工学科 正会員 新井信一

1. はじめに

海中道路や半潜水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。質量力の減少は部材の付加質量の減少を意味し、その結果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)}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³⁾) により検討した。

2. 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、また、速度については水平方向の水粒子速度最大値 u_{\max} 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 7.6% 以下であった。従って、本法によっても進行波の流れを与えられることが確認された。

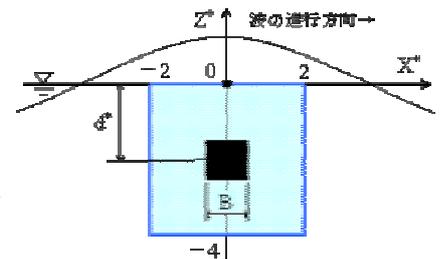


図-1 計算領域

3. シミュレーション結果

3.1 流場

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 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。

3.2 渦度

流場と同位相での渦度分布を図-3 に示す。図には正值と負値を明示していないが、これより、渦度は流れ下流方向左側で負 (時計回り)、右側で正 (反時計回り) 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の値が右側の正の値を上回っていることが分かる。それゆえ、場全体の渦度の合計も常に負となる。左右で渦度が異なるため、場には負の渦度が存在し、それがすなわち、時計回りの循環流の発生原因となっている。

3.3 波力

物体にはたらく波力の時系列を圧力計算値から求めたところ、図-5 の実線の結果を得た。図によれば、 KC 数の増加に応じて正弦波形からのゆがみが生じていることが分かる。そこで、この計算結果をフーリエ級数第 3 項まで展開して係数を算定し、求めた基本周波数成分を図-5 に破線で示す。これより、 KC 数が小さい場合には波力計算値は基本周波数成分とほぼ一致しているが、大きい場合には、速度の自乗に比例する抗力の影響を受け、基本周波数成分からのゆがみが生じていることが分かる。

3.4 質量力係数

次に、前節で求めた波力の基本周波数成分をモリソン式にあてはめ、その質量力係数を算定した。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、質量力と反対向きに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、本法の流れの与え方が有効であることが確認でき、計算結果にのっとった先の考察もほぼ正しいと考えられる。

4. 循環量と質量力係数の減少量

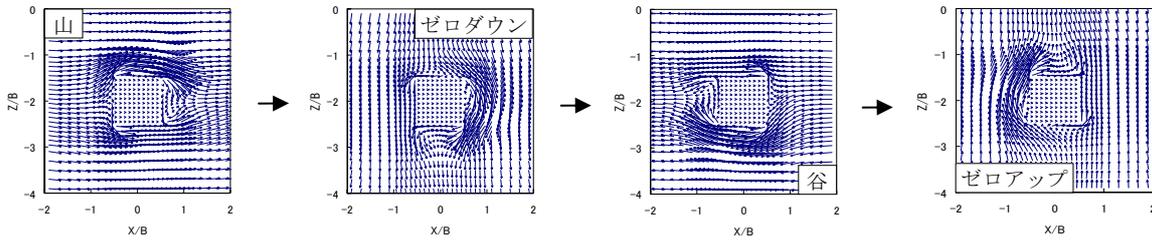
前節で圧力から求めた質量力係数の減少量に相当する力を流体密度 ρ と場の水粒子速度 u で除して求めた循環を、

キーワード：流れの可視化, SIMPLE 法, 循環流, 質量力係数

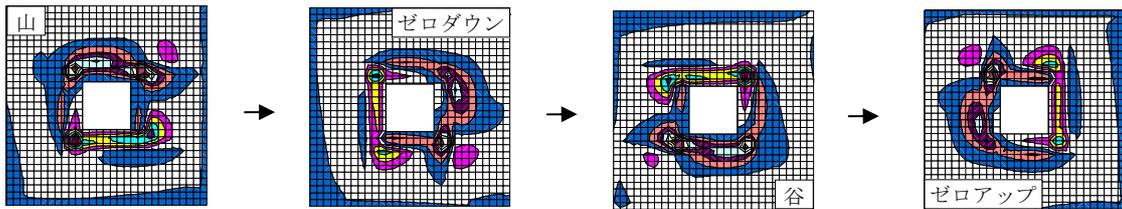
連絡先：仙台市太白区八木山香澄町 35 番 1 号 東北工業大学工学部建設システム工学科新井研究室

電話番号：022-305-3540

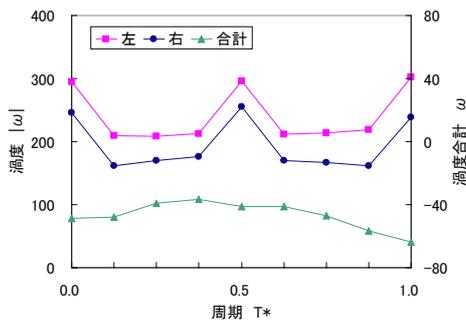
ここでは換算循環量 Γ と呼ぶこととする(図一7)。その換算循環量とシミュレーション計算による流速から求めた循環量 Γ_{CAL} を比較した結果、 $KC=2.33$ の場合は Γ と Γ_{CAL} はそれぞれ $0.00320(m^2/s)$ と $0.00335(m^2/s)$ となりほぼ一致するが、 $KC=6.45$ の場合はそれが $0.01007(m^2/s)$ と $0.00710(m^2/s)$ となり3割程の誤差が生じる。このことより、水平部材に発生する質量力の減少は、 KC 数が小さいうちは循環流の発生によるマグナス効果によるが、 KC 数が大きくなるとその他の機構も参入してくるらしいことが分かる。



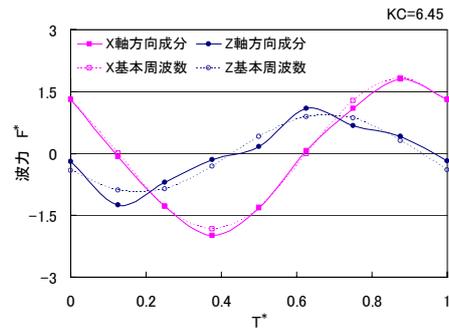
図一2 速度ベクトル($KC=2.33$)



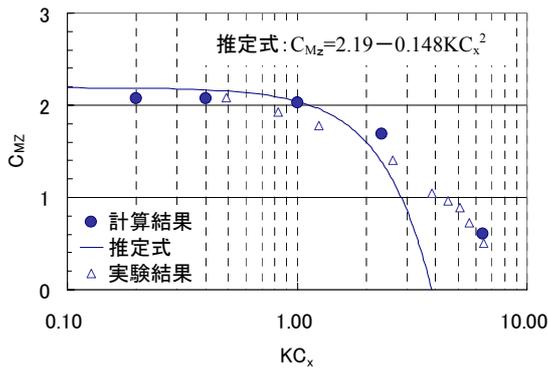
図一3 渦度分布($KC=2.33$)



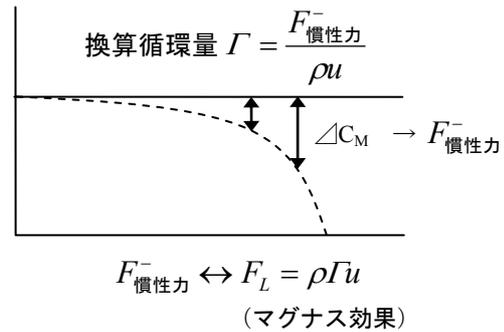
図一4 渦度の時間変化($KC=2.33$)



図一5 波力の時系列($KC=6.45$)



図一6 KC 数と質量力係数



図一7 換算循環量

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。さらに、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く、模型断面の時計回りに循環流が発生し、また、質量力の減少はその大部分が循環流に起因しているといえる。

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. (1995) : Forces and circulation of horizontal cylinders submerged in regular waves, Proc. 5th Int. Offshore and Polar Eng. Conf., Vol. III, pp. 348-355.
- 3) 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.