

群体魚礁周辺の流況の数値シミュレーション

日本工営 正会員 ○坪井 伸治 鳥取大学工学部 正会員 松見 吉晴・瀬山 明

1 まえがき：波動場に設定した群体魚礁の場合、個々の魚礁背後に形成される後流渦の空間的な拡がり、は魚礁相互の影響により、単体魚礁の場合より狭くなったり、広がったり変動すると考えられる。そこで、本研究は、魚礁の集魚効果の点からもっとも効果的に後流渦を拡大できる魚礁設置間隔を明らかにすることを目的として、波向きに対して縦列に配置した3個の有孔群体魚礁周辺の2次元流況を数値シミュレーションすることによって、流況変動に及ぼす魚礁間の干渉効果を明らかにしようとするものである。数値シミュレーションにあたっては、任意形状物体の表示に用いられているわきだし分布法¹⁾と物体背後の後流渦を表示する複素渦糸モデル法を併用した方法で行うとともに、その結果の妥当性についても流況可視化実験の結果との比較により検討を加えている。

2 解析方法：本解析手法は、波動場に設置した魚礁周辺の流況を数値シミュレーションする際、波動と渦の共存場は渦糸モデル法を用いて表示される渦運動場との線形重ね合わせて表示できるものとして取り扱っている。いま図-1に示すように、魚礁境界面を表示するために魚礁表面に分布させた m 個のわき出し点と、後流渦の表示のために魚礁の p 個の剥離点より N 個づつ発生させた渦糸からなる Z -平面上の複素速度ポテンシャル ω_Z は、流体場の底面と自由表面を固定壁に近似して取り扱った中村(第30回海講)の方法にならうと次式のようになる。

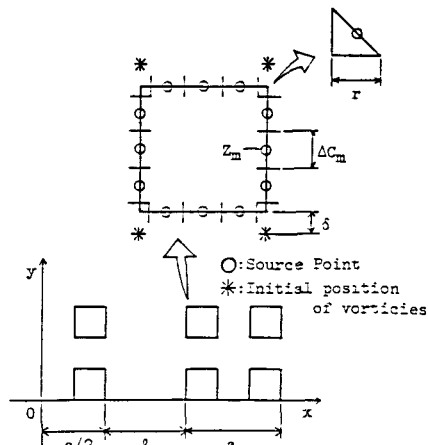


図-1 わき出し点の位置・渦糸の発生位置

$$\omega_Z = \omega_W + \omega_{RZ} + \omega_{VZ} = \omega_W + \frac{1}{2\pi} \oint_C D_m(Z_m) \{ \log(e^{C_0 Z_m} - e^{C_0 Z}) + \log(e^{C_0 \bar{Z}_m} - e^{C_0 \bar{Z}}) \} dC + \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \Gamma_{jk} \{ \log(e^{C_0 Z_{jk}} - e^{C_0 Z}) - \log(e^{C_0 \bar{Z}_{jk}} - e^{C_0 \bar{Z}}) \} \quad (1)$$

ここに、 $\omega_W, \omega_{RZ}, \omega_{VZ}$ はそれぞれ入射波、わき出し、渦糸の複素速度ポテンシャル、 $\oint_C$ は曲線 C の周りの積分、 Z_{jk}, Γ_{jk} はそれぞれ渦糸の位置とその循環(右廻りが正)、 $Z_m, D_m(Z_m)$ はそれぞれわき出しの位置とその強さである。なお、魚礁モデル隅角部については、図-1に示すように小さい曲率($r=0.02a$)の円弧で近似している。次に、式(1)におけるわき出し強さ $D_m(Z_m)$ は、魚礁表面上に設置したわき出し点 Z_m において法線方向の速度成分がゼロとなる境界条件から決定することができる。すなわち、流れ場における $D_m(Z_m)$ の決定方程式は次式のように与えられる。

$$\text{Real}[\partial \omega_W / \partial n] / C + \text{Real}[\partial \omega_{RZ} / \partial n] / C + \text{Real}[\partial \omega_{VZ} / \partial n] / C = 0 \quad (2)$$

ここに、 n は物体表面より外向きに延びる単位法線ベクトル、 $\text{Real}[\]$ は実数部を意味する。本計算では、式(2)よりわき出し強さを決定する際、物体の断面曲線 C を n 個の線素分 $\Delta C_m (m=1 \sim n)$ に分割し ΔC_m にわたるわきだし強さを線素分 ΔC_m の中点に置く数値化を行っている。また、渦糸の発生位置については、剥離点が魚礁形状がモデル隅角部になることを考慮して、図-1に示すように各隅角部より波動の境界層厚さ δ ($\delta = \sqrt{\nu T / \pi}$, ν : 動粘性係数, T : 入射波の周期) だけ離れた点とした。渦糸の循環強さは、Roshkoの提案式に基づいて与えた。その渦糸の移動については従来の渦糸に関する運動学的な方程式より算定している。さらに、本解析では2つの渦糸が互いに接近した場合や渦糸が魚礁表面および底面に近づいた場合には、渦糸の回転速度分布の特性から極端に大きな誘起速度を与えることより、この問題を避けるため渦糸をランキン渦モデルに置き換えて計算を行っている。

3 計算結果：写真-1,2,3は，K-C数7.5での単位体積空隙率64%の魚礁モデルに関する可視化実験より得られた代表的な群体魚礁周辺の流況パターンを示したもので，それぞれ魚礁設置間隔は $\ell/a=1,2,3$ である．なお，ここに示した流況は波の時間位相 $\omega t=135^\circ$ 付近のものである．写真より魚礁間隔の増大に伴い群体魚礁全体を包絡するような後流渦領域の形状が認められなくなり，特に，写真-3の $\ell/a=3$ の後流渦のパターンは単体魚礁の場合と同様それぞれ独立し形成パターンとなる．一方，図-2,3,4は，それぞれ写真-1,2,3に対応する条件に関する数値シミュレーション結果を示したものである．

図中，矢印は，各位置での流速ベクトル，*印，◇印は，魚礁を構成する上部部材の上側および下側隅角部より発生させた渦糸の位置，○印は，下部部材の上側隅角部より発生させた渦糸の位置を示す．計算結果は先に示した実験結果における流況の特徴を良く再現していることがわかる．また，他の空隙率の場合についても実験結果と計算結果はある程度の一致をみており，本数値シミュレーション手法により有孔魚礁周辺の2次元流況を予測することができると思われる．

最後に，本可視化実験を行うに当たり水素気泡発生装置を心よく貸して下さった大阪大学工学部 榎木 亨教授に感謝の意を表する．

[参考文献]

- 1) 中村ら：
わき出し分
布法による
渦力の算定
法について
，第36回年
講，1986

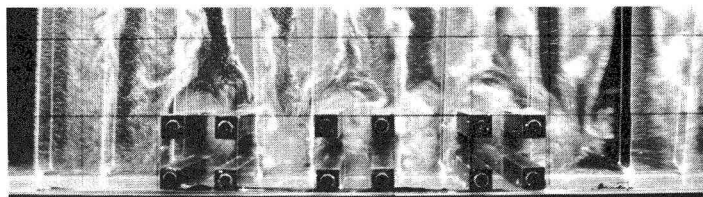


写真-1 実験結果 ($\ell/a = 1$)

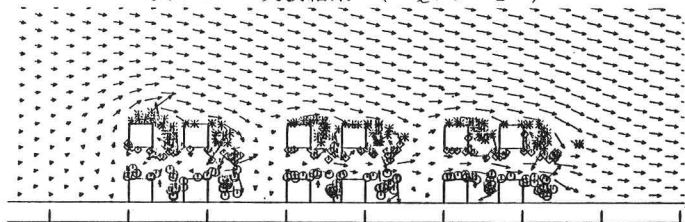


図-2 計算結果 ($\ell/a = 1$)

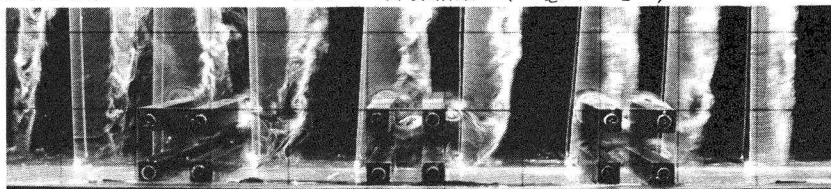


写真-2 実験結果 ($\ell/a = 2$)

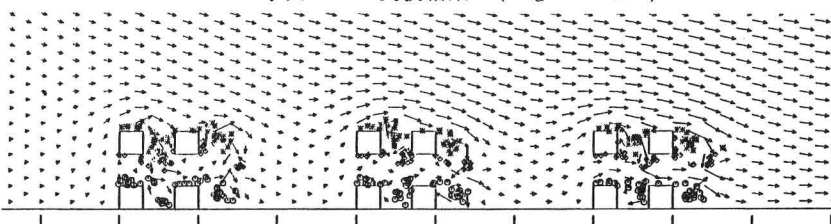


図-3 計算結果 ($\ell/a = 2$)

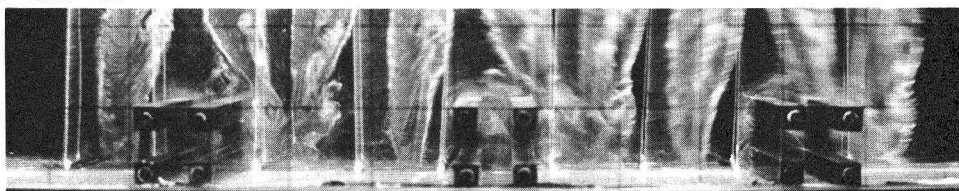


写真-3 実験結果 ($\ell/a = 3$)

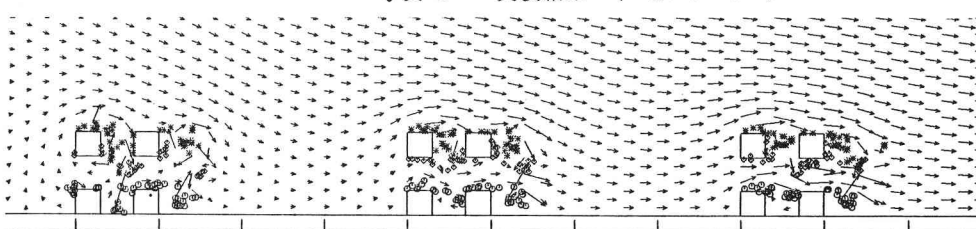


図-4 計算結果 ($\ell/a = 3$)