

魚礁の落下挙動の数値シミュレーション (2)

鳥取大学工学部 ○松見吉晴・瀬山 明 鳥取大学大学院 横山忠弘

1. まえがき: 現在行われている着底式魚礁の設置方法は, 主として作業船からの投入法によることが多く, 従って, 設計時の魚礁位置に精度良く配置すること並びに着底時の衝撃力による破損等に問題がありその解決が望まれている. 著者らは, 投入法による精度良い設置に関する基本的な指針の確立を目的として, 昨年度の本発表会において波動場を落下する魚礁の水平方向の動揺及び回転運動を考慮した魚礁の落下挙動に関する数値シミュレーション法を報告した. 今回は前報の解析方法を改良することによりさらに精度良く落下挙動を予測することができたので報告する.

2. 解析方法: 波動場を落下する魚礁の動揺は, 流体場の波動運動および落下に伴い発生する渦による魚礁周辺の圧力変動に起因するものと考えられる. 本解析方法の原理は, まず落下する魚礁周辺の圧力分布をポテンシャル理論に基づいて算定し, ついでその圧力分布より求められる魚礁に作用する流体抵抗力と魚礁の落下に関する運動方程式より落下挙動を予測しようとするものである. その手法は, 落下する魚礁周辺の流況の数値シミュレーションに関しては渦糸モデル法と湧き出し分布法を併用して行い, 流体抵抗力は圧力方程式を介して算定するものである.

運動方程式: 落下する魚礁に関する運動方程式は図1を参照すると次式のように表示できる.

$$\begin{aligned} M \frac{dU_G}{dt} &= \sum_{i=1}^4 F_{xi} \quad \text{水平方向} & M \frac{dV_G}{dt} &= \sum_{i=1}^4 \{F_{yi} - (m - m_w)g\} \quad \text{鉛直方向} \\ I_r \frac{d\omega}{dt} &= \sum_{i=1}^4 (x_i' F_{yi} - y_i' F_{xi}) \quad \text{回転方向} \end{aligned} \quad (1)$$

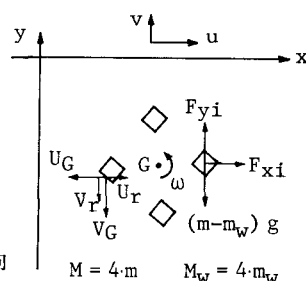


図1 運動の条件

ここに, M, M_w は魚礁の単位幅当りの質量および水に換算した質量, I_r は慣性モーメント, F_{xi}, F_{yi} および U_G, V_G は流体抵抗力および魚礁の落下速度のx, y方向成分, g は重力加速度である.

流体場の表示: 落下する魚礁周辺の流体場を表示する複素速度ポテンシャル ω_z は, 入射波, 湧き出しおよび渦糸の複素速度ポテンシャル $\omega_w, \omega_{Rz}, \omega_{Vz}$ の線型和並びに流体場の底面と自由表面を固定壁に近似して次式で与えられる.

$$\begin{aligned} \omega_z &= \omega_w + \omega_{Rz} + \omega_{Vz} = \omega_w + \frac{1}{2\pi} \int_C D_m(z_m) \{ \log(e^{C_0 z_m} - e^{C_0 z}) + \log(e^{C_0 \bar{z}_m} - e^{C_0 \bar{z}}) \} dz \\ &\quad + \frac{i}{2\pi} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^P \Gamma_{jk} \{ \log(e^{C_0 z_{jk}} - e^{C_0 z}) - \log(e^{C_0 \bar{z}_{jk}} - e^{C_0 \bar{z}}) \} \end{aligned} \quad (2)$$

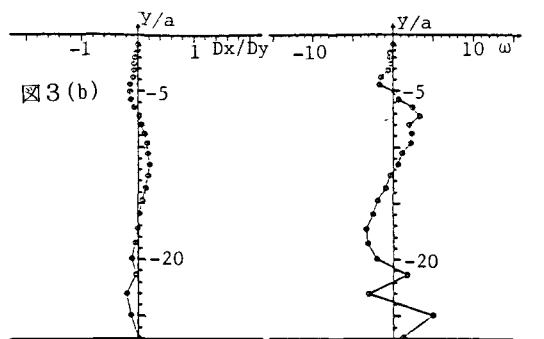
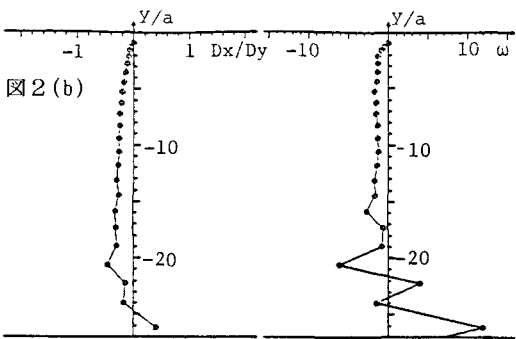
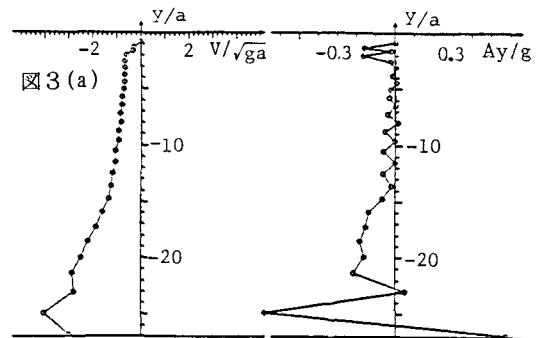
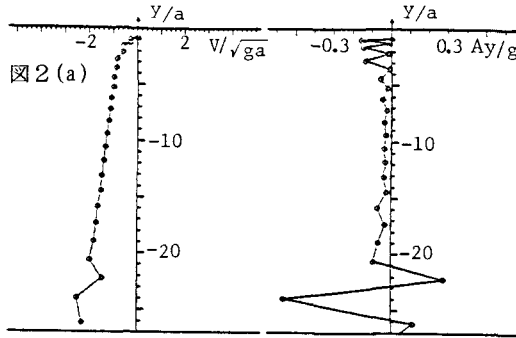
ここに, $C_0 = \pi/h$, $z_m, D_m(z_m)$ は湧き出しの位置とその強さ, z_{jk}, Γ_{jk} は渦糸の位置とその循環である. 式(2)において未知数である湧き出し強さ $D_m(z_m)$ および渦糸の発生位置と循環は以下のように考えた. まず, 湧き出しの強さについては, 魚礁表面に接する流体の法線速度が魚礁表面の運動の法線速度に等しいという条件, すなわち接水面において

$$R[\partial \omega_w / \partial n]|_c + R[\partial \omega_{Rz} / \partial n]|_c + R[\partial \omega_{Vz} / \partial n]|_c = (U_G + U_r)n_x|_c + (V_G + V_r)n_y|_c \quad (3)$$

によって与えられる. ここに, n は魚礁表面における外向きの単位法線ベクトル ($n = n_x + i n_y$), U_G, V_G および U_r, V_r は魚礁の平進運動および回転運動によるx, y方向の移動速度, R は実数部を表す. 次に, 渦糸の発生位置については魚礁モデルの各隅角部より境界層厚さ ($= \sqrt{\nu T / \pi}$, ν : 動粘性係数) 離す方法を取り, 発生位置の各隅角部からの方向については魚礁表面における境界層の剥離現象を考慮して各計算ステップにおいて逐次決定している. 渦糸の循環は $\partial \Gamma / \partial t = U_s \cdot |U_s| / 2 (U_s$: 渦糸発生位置での流速) により与えた.

流体抵抗力: 魚礁に作用する流体抵抗力は, 圧力方程式を介して求められるが, その際, 圧力方程式の速度ポテンシャルの時間微分項 $\partial \phi / \partial t$ における湧き出し強さの時間変化については式(3)を時間微分した次式に示す条件式より決定される.

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial t} R \left[\frac{\partial \omega_W}{\partial n} \right] + \frac{\partial}{\partial z} R \left[\frac{\partial \omega_W}{\partial n} \right] \frac{dz}{dt} + \frac{\partial}{\partial n} R \left[\frac{\partial \omega_W}{\partial n} \right] \frac{dn}{dt} \\
& + \frac{\partial}{\partial D_m} R \left[\frac{\partial \omega_{Rz}}{\partial n} \right] \frac{dD_m}{dt} + \frac{\partial}{\partial z} R \left[\frac{\partial \omega_{Rz}}{\partial n} \right] \frac{dz}{dt} + \frac{\partial}{\partial z_i} R \left[\frac{\partial \omega_{Rz}}{\partial n} \right] \frac{dz_i}{dt} + \frac{\partial}{\partial n} R \left[\frac{\partial \omega_{Rz}}{\partial n} \right] \frac{dn}{dt} \\
& + \frac{\partial}{\partial z} R \left[\frac{\partial \omega_{Vz}}{\partial n} \right] \frac{dz}{dt} + \frac{\partial}{\partial z_{jk}} R \left[\frac{\partial \omega_{Vz}}{\partial n} \right] \frac{dz_{jk}}{dt} + \frac{\partial}{\partial \bar{z}_{jk}} R \left[\frac{\partial \omega_{Vz}}{\partial n} \right] \frac{d\bar{z}_{jk}}{dt} + \frac{\partial}{\partial n} R \left[\frac{\partial \omega_{Vz}}{\partial n} \right] \frac{dn}{dt} \\
& = \left(\frac{dU_G}{dt} + \frac{dU_r}{dt} \right) n_x + \left(\frac{dV_G}{dt} + \frac{dV_r}{dt} \right) n_y + (U_G + U_r) \frac{dn_x}{dt} + (V_G + V_r) \frac{dn_y}{dt}
\end{aligned} \quad (4)$$



3. 計算結果：図2，3は空隙率64%の有孔魚礁(密度1.38)について，波動場(波高1.5cm, 周期1sec, 水深81cm)に投入時の初期角を2種類(0, $\pi/4$)変化させた時の計算結果を示したものである．図中Ayは鉛直方向の落下加速度であり，Dx/Dy, ω は計算ステップ間の魚礁の水平方向と鉛直方向の移動距離の比(横揺れを表す)および角速度である．図(a)の落下速度と加速度の関係より，計算結果は落下初期の加速運動並びに終端速度にはほぼ達した落下運動を再現しているが，底面付近でのAyは底面の影響により正負へ急変するようになる．この問題は計算の時間間隔で対応できるであろう．次に，(b)より魚礁の横揺れの方法は角速度の正負の値と良く対応しているとともに， ω とDx/Dyの変曲点の間にタイムラグが認められ，落下現象を考えたならば本計算結果は落下挙動を良く予測しているといえる．一方，(c)より着底位置の散乱範囲に対して考察すると，魚礁投入時の初期姿勢が散乱範囲を規定する重要な要素となることがわかる．最後に，本研究は文部省科研費奨励研究によることを附記して謝意を表す

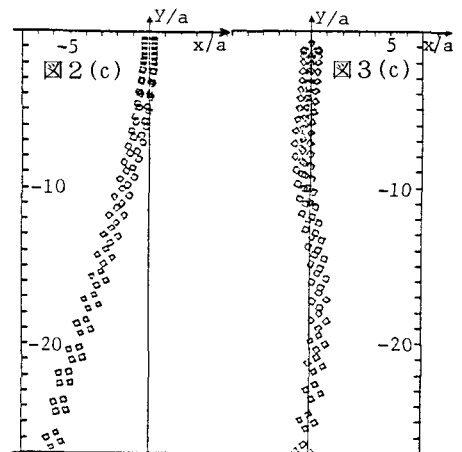


図2 計算結果
(初期角: 0)

図3 計算結果
(初期角: $\pi/4$)