

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

愛媛大学大学院 学生員 谷 浩明

1. まえがき：既に著者は、John により導かれている2次元波動場におけるグリーン関数、すなわち振動するわき出し関数 G を用いて固定された任意断面物体に作用する波力並びに物体による波の変形に関する解析法について明らかにしてきた。そして解析の要となるグリーン関数 G 及びその法線微分値 $\partial G/\partial n$ の特異点における挙動について明確にすると共にこれら関数の合理的な算定式についても明らかにした。これに引き続き、本報は浮体の波浪動揺問題に対処できるようにするため、解析法と発散波問題にまで拡張・展開したものである。そして、各種の断面を有する物体の動的流体力係数並びに発散波の算定を行い、従来の算定結果との比較から、解析法の妥当性を検討する。次に既に明らかにしている回折波問題の解析法と結合して、各断面浮体の波浪応答並びに浮体による波の変形についても算定を行い、従来の算定結果との比較により本解析法の妥当性と総合的に判定しようとするものである。

2. 解析法の概略：i) 発散波問題について；図-1に示すように有限水深 h の2次元流体場で、任意断面物体が単位速度振中でをもって各々 Sway, Heave, Roll の運動方向に角振動数 $\omega (=2\pi/\tau)$ で調和振動するとき、各運動モードに起因する発散波の速度ポテンシャル Φ_L ($L=1, 2, 3$; $1 \Rightarrow$ Sway, $2 \Rightarrow$ Heave, $3 \Rightarrow$ Roll) は、2次元波動場のグリーン関数 G を用いて式(1)で表示できる。

$$\Phi_L(x, z; t) = \Phi_L(x, z) e^{-i\omega t} = \int_C f_L(x, Z) \cdot G(x, z; X, Z) dC \cdot e^{-i\omega t} \quad (1) \quad (L=1, 2, 3)$$

ここに (x, z) は波動場中の任意点を、 (X, Z) は物体表面上の点を示す。また $f_L(x, Z)$ は、運動モード L についてのわき出し強度の分布関数であり、物体表面上の運動学的な境界条件、式(2)により決定される。

$$\frac{\partial \Phi_L}{\partial n(x, z)} \Big|_{on C} = \int_C f_L \cdot \frac{\partial G}{\partial n(x, z)} dC = \dot{\xi}_L \cdot g_L \quad (2) \quad (L=1, 2, 3)$$

ここに $\dot{\xi}_L$ は運動モード L の速度振中でこの場合 $\dot{\xi}_L=1$ である。また g_L は法線ベクトルの各成分で式(3)により与えられるものである。

$$g_1 = \eta_x, \quad g_2 = \eta_z, \quad g_3 = (z - z_0)\eta_x - x\eta_z \quad (3)$$

そして式(2)を解いて f_L が決定されると、これを式(1)に代入して Φ_L が求まることになる。本解析法では任意断面物体を対象にすることから、物体の断面曲線を微小線素分に分割すると共にその微小線素分にわたるわき出し強度は一定であると仮定して式(2)を数値方程式に変換して f_L を決定している。また式(1)についても同様の数値化を行って Φ_L を算定している。なおこれらの数値方程式と取扱うにあたり、 G , $\partial G/\partial n$ の特異点($x=X$, $z=Z$)における算定が問題となるが、これについては既に著者が明らかにしている算定式に基づき行った。この算定式については文献1)に詳述してあるが、その概略を述べると ① G , $\partial G/\partial n$ に含まれる定常波モード成分の無限級数収束と合理的に算定できること、② G , $\partial G/\partial n$ に含まれる特異関数が分離表示されており、しかも特異関数の線素分にわたる積分が解析的に与えられていることから、特異点における G , $\partial G/\partial n$ の算定が陽な表示式を用いて精確に行えることなどの特性を有する。このようにして求められた Φ_L を用いて、圧力 P_L が線形化された圧力方程式により $P_L = i\rho \omega \Phi_L$ により与えられることに注意すると、運動モード L の調和振動により各方向に作用する動的流体力 F_{kL} ($k=1, 2, 3$)は式(4)により算定される。

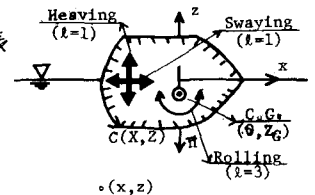


図-1 座標系及び浮体運動モード

$$F_{k\ell} = -\int_C \rho \phi_{\ell} \cdot g_k \, dC \quad (k, \ell = 1, 2, 3) \quad \text{--- (4)}$$

ii) 浮体の動揺問題について；運動モード ℓ の動揺速度が $\dot{X}_{\ell}$ であるとき，作用する動的流体力は式(2)の境界条件から推測されるように，式(4)の $F_{k\ell}$ の $\dot{X}_{\ell}$ 倍となることに注意して運動モード k の方向における振動方程式と導くと式(5)のようになる。

$$M_0 \ddot{X}_k + C_0 \dot{X}_k + K_0 X_k = eF_k + \sum_{\ell=1}^3 \dot{X}_{\ell} F_{k\ell} \quad (k=1, 2, 3) \quad \text{--- (5)}$$

ここに M_0 ：浮体の質量あるいは慣性モーメント， C_0 ：構造系の減衰係数， K_0 ：静止流体力学的な復元力及び構造系の復元力のバネ定数， eF_k ：固定浮体に作用する波力である。なお式(5)では，慣性力並びに復元力についての連成振動効果はないものと仮定してある。また動的流体力の項 $\dot{X}_{\ell} F_{k\ell}$ は， $F_{k\ell}$ と実数部と虚数部に分離することにより各 $\dot{X}$ に比例する進波減衰力と $\dot{X}$ に比例する付加質量力に更に分離される。そして回折波問題を解いて得られる eF_k の算定結果及び式(4)に基づく $F_{k\ell}$ を式(5)に代入することにより応答変位 X_{ℓ} が求められることになる。またこの X_{ℓ} を用いて浮体の動揺による波の変形，すなわち入射波，回折波，散乱波の三者を考慮して式(6)により算定できる。

$$\zeta = \frac{i\omega}{g} \{ \phi_E + \phi_D + \sum_{\ell=1}^3 \dot{X}_{\ell} \phi_{\ell} \} \quad \text{--- (6)}$$

ここに ϕ_E ， ϕ_D は各々入射波，回折波の速度ポテンシャルである。

3. 算定結果：式(1)，(2)を数値方程式に変換して解くに当り，物体の断面曲線と線素分 ΔC へ分割する方法が問題となる。本研究では，既に回折波問題を対象とした場合に得られた規準 $\Delta C/L \leq 0.03$ が散乱波問題についても同様に適用できるものとしてこの規準により ΔC を決定した。図-2，図-3は半潜式円柱の付加質量係数についての算定例を示すもので，さき水と水深の比 d/h をパラメーターにして周期に関する無次元量 $k_0 r_B$ (k_0 ：沖波の波数， r_B ：静水面位置での物体幅の半分)による変化を表す。図中には，比較のため本解析法と同様にわき出し分布法を用い，流小関数の表示による解法を行った高木による算定結果²⁾も併せて示してある。 $d/h=0.83$ の場合の C_{M22} に多少の相違が見られる以外，両者の変動傾向はほぼ一致していることがわかる。 C_{M22} に関する差異の原因としては，高木の解析法が上記2.の①，②で述べたような G ， $d\phi/dx$ の特異点における検討が十分行われていないことによるものと考えられる。

次に図-4～図-6は，矩形浮体の波浪応答値及び反射率に関する算定例を示すもので，図中には比較のため速度ポテンシャルの標準法による井島の算定結果も併せて示してある。これらの図から，本算定結果は井島とのそれとよく一致しており，本解析法の有効性が認められる。以上の検討結果，本解析法は任意断面を有する浮体に適用でき，しかも物体表面上のみのわき出し強さを未知数とする効率の良い，合理的な算定手法であることが確認された。

(参考文献)

- 1) 中村健，「わき出し分布法とわき出し2次元物体形状の波変形と流体力の解析法」第1回海防論議，1982
- 2) 高木幹夫，「浅水域における物体運動について(Ⅱ)」，西部造船会報第50号，1975
- 3) 井島武士，「有限水深域の構造物おける浮体による波の変形」，1974年度水工学に関する夏期研修会講義集，工本学会

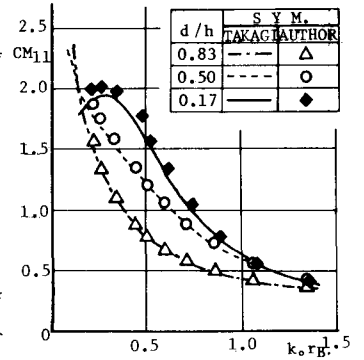


図-2 Sway方向の付加質量係数 C_{M11} (本解析)

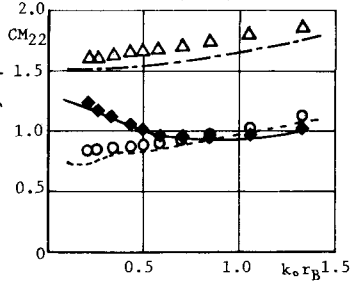


図-3 Heave方向の付加質量係数 C_{M22} (本解析)

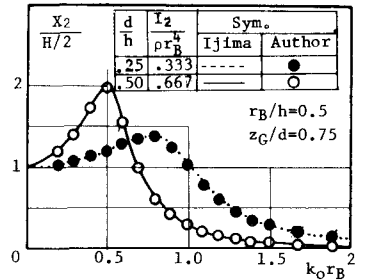


図-4 矩形浮体のHeaving応答値

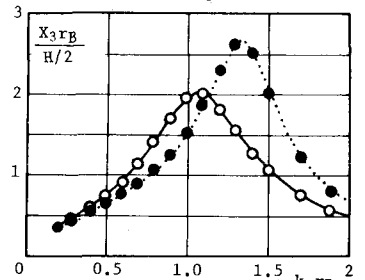


図-5 矩形浮体のRolling応答値

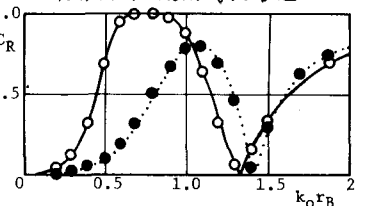


図-6 矩形浮体による反射率 C_R