

京都大学大学院 学生員 ○川辺 俊輔 京都大学工学研究科 フェロー 渡邊英一
京都大学工学研究科 正会員 宇都宮智昭

1. 研究目的

浮体構造物の波浪応答解析にあたっては、浮体に作用する回折波力 (Diffraction波力) ならびに浮体動揺に伴う発散波力 (Radiation波力) を精度よく評価する必要がある。このため、線形回折波理論にもとづき定式化される境界値問題を、水波グリーン関数を用いた境界要素法を用いて解くことがよく行われる。しかし、通常の定式化による境界要素法においては、非正則周波数 (Irregular Frequency) と呼ばれるある特定の周波数において、物理的には存在しない解の発散現象が生じ、この解法のひとつの欠点とされてきた。その回避法は既に各種知られているが、本研究では、Ohmatsu¹⁾により提案されたRigid Lid法の、8節点4辺形パネルを用いた高次境界要素法²⁾への適用について検討する。なお、既にTengら³⁾も同様な試みをおこなっているが、必ずしも完全な非正則周波数の除去には至っていない。

2. 解析理論

まずGreenの定理より導かれる、基本となる選点でのポテンシャルを求める積分方程式を次式に表す。

$$C\Phi(x) - v.p. \iint_{S_b} \Phi(\xi) \frac{\partial G}{\partial n} dS = - \iint_{S_b} G \frac{\partial \Phi(\xi)}{\partial n} dS \quad (1)$$

G は水波 Green 関数を、 $\Phi(\xi)$ 、 $\Phi(x)$ はそれぞれソース点、選点におけるポテンシャルを表している。 S_b は構造物の没水部表面領域を、 S_i は構造物内水面領域を表し、 n は構造物表面における法線ベクトルであり流体領域から外向きを正とする。 C は選点から臨んだ流体領域の空間角を、「v. p.」は特異項を主値積分として評価する事を示している。

ここで内部空間角を考慮する事によって、B. Teng & R. Eatock Taylor²⁾により次式が導かれた。

$$\left\{ 1 - f \iint_{S_i} G d\xi d\eta \right\} \Phi(x) - \iint_{S_b} \{\Phi(\xi) - \Phi(x)\} \frac{\partial G}{\partial n} dS = - \iint_{S_b} G \frac{\partial \Phi(\xi)}{\partial n} dS \quad (2)$$

上式は選点における空間角及び2重層吹き出しの特異項に関する主値積分の評価が不要であるが、非正則周波数における特異性は回避されていない。なお f は無限水深での波数を表している。

式(1)、式(2)が非正則周波数を持つのは内部自由水面における境界条件の為である。よって境界条件を新たに設定²⁾し、内部仮想問題が斉次の自明解のみを持つ様に核関数を構成する。

$$C\Phi(x) - v.p. \iint_{S_b} \Phi(\xi) \frac{\partial G}{\partial n} dS + f \iint_{S_i} G \Psi(\xi) d\xi d\eta = 0 \quad x \in C_b, S_b \quad (3)$$

$$-\Psi(x) - \iint_{S_b} \Phi(\xi) \frac{\partial G}{\partial n} dS + f \iint_{S_i} G \Psi(\xi) d\xi d\eta = 0 \quad x \in S_i \quad (4)$$

$$-\Psi(x_{ci}) + \Phi(x_{cb}) - v.p. \iint_{S_b} \Phi(\xi) \frac{\partial G}{\partial n} dS + f \iint_{S_i} G \Psi(\xi) d\xi d\eta = 0 \quad x \in C_i \quad (5)$$

x_{ci} 、 x_{cb} は座標としては同じく水線断面 C_w 上の点だが、それぞれ内部自由水面側 C_i 、構造物表面側 C_b に属し不連続な別のポテンシャル $\Psi(x_{ci})$ 、 $\Phi(x_{cb})$ を持っている事に注意が必要である。式(1)の核関数を式(3)、式(4)、式(5)の形に揃えて非正則周波数を持たないようにする。その後、内部空間角を考慮すると次の3式が導かれる。

$$\left\{ 1 - f \iint_{S_i} G d\xi d\eta \right\} \Phi(x) - \iint_{S_b} \{\Phi(\xi) - \Phi(x)\} \frac{\partial G}{\partial n} dS + f \iint_{S_i} G \Psi(\xi) d\xi d\eta = - \iint_{S_b} G \frac{\partial \Phi(\xi)}{\partial n} dS \quad x \in C_b, S_b \quad (6)$$

$$\begin{aligned}
& -\Psi(x_{ci}) + \left\{ 1 - f \iint_{S_i} G d\xi d\eta \right\} \Phi(x_{cb}) - \iint_{S_b} \{ \Phi(\xi) - \Phi(x_{cb}) \} \frac{\partial G}{\partial n} dS + f \iint_{S_i} G \Psi(\xi) d\xi d\eta = - \iint_{S_b} G \frac{\partial \Phi(\xi)}{\partial n} dS \quad x \in C_i \quad (7) \\
& -\Psi(x) - \iint_{S_b} \Phi(\xi) \frac{\partial G}{\partial n} dS + f \iint_{S_i} G \Psi(\xi) d\xi d\eta = - \iint_{S_b} G \frac{\partial \Phi(\xi)}{\partial n} dS \quad x \in S_i \quad (8)
\end{aligned}$$

この3つの式が、空間角を考慮した、非正則周波数を持たない境界積分方程式である。

3. 検証及び解析結果

解析理論に基づき作成した8節点2次四辺形要素を用いた高次境界要素法プログラムによって付加質量、造波減衰係数、及び強制波力を求め、非正則周波数の除去に関する検証を行う。検証に用いるモデルは単独円筒浮体 (Fig. 1) と、隅角部を有する構造物についての検証を行うために単独矩形浮体 (Fig. 2) を用いる。

まず、円筒型浮体について入射波の方向とx軸とのなす角が0度の場合の解析を行う。円筒半径a、喫水d、水深H、メッシュパネルの最大長Δにおいて、d/a=0.5、H/a=2.5、Δ/a=0.25の解析モデルにおける、Surge方向の付加質量についてのグラフをFig. 3に示す。ここで横軸は波数κに水深Hをかけて無次元化した波数κH、縦軸はρa³で無次元化された付加質量を表す。実線で表されるグラフ (New BEM) が、本研究において導いた積分方程式に基づく計算結果、破線で表されるグラフ (BEM) は、空間角を考慮しているが、非正則周波数において特異性を示す式 (2) の積分方程式に基づくプログラムによる計算結果を示す。これらと比較すると、非正則周波数における特異性が完全に取り除かれ、さらに非正則周波数の近傍以外では両グラフが一致していることが分かる。

次に、矩形浮体による検証を行う。入射波の方向と長軸とのなす角を0度、長軸a、短軸b、喫水d、水深H、振幅Aにおいて、a=60.0m、b=20.0m、d=2.0m、H=9.0m、メッシュパネルの最大長2mの解析モデルにおける強制波力についてのグラフをFig. 4に示す。ここで横軸は無次元化した波数κH、縦軸はρgH²Aによって無次元化された強制波力を表す。円筒型浮体における結果と同様、非正則周波数における特異性が取り除かれており、さらにその近傍以外で両グラフが一致している。よって、本研究で開発されたプログラムにより隅角部を含む構造物についても非正則周波数における特異性の除去が問題なく行える事が確認できた。

(参考文献)

1. S.Ohmatu : On the irregular frequencies in the theory of oscillating bodies in a free surface, *Ship Research Institute* 48, 1975
2. B. Teng & R. Eatock Taylor : New higher-order boundary element methods for wave diffraction/radiation, *Applied Ocean Research* 17, 1995, 71-77
3. B. Teng & Li Yucheng : A unique solvable higher order BEM for wave diffraction and radiation, *China Ocean Engineering* 10, 3, 1996, 333-342

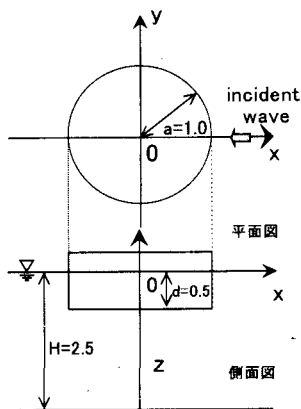


Fig.1 円筒浮体

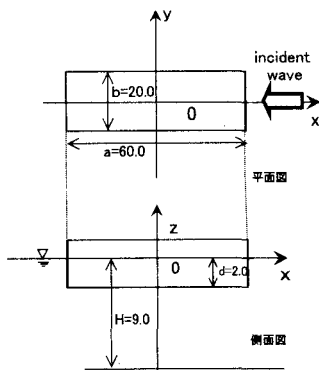


Fig.2 矩形浮体

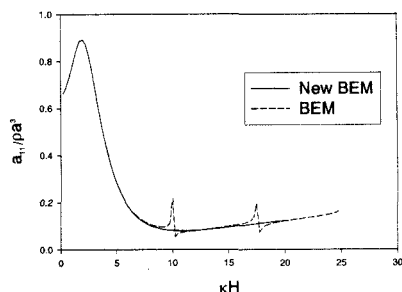


Fig.3 円筒浮体におけるSurge方向の付加質量

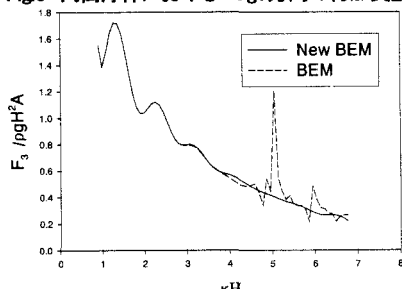


Fig.4 矩形浮体におけるHeave方向の強制波力