

1. 研究目的

海上空港のような浮体式構造物においては施設としての機能性や安全性を検討する上で、波浪による応答特性を把握することは極めて重要である。過去、当研究室においては、浮体表面のみを分割すればよいグリーン関数法¹⁾による大型浮体構造物の波浪応答解析法を研究してきた²⁾。しかし、浮体長が喫水や波長に対して長大となると、流体力係数の計算精度が悪化するという欠点を有することが明らかとなった。そこで本研究では、その計算精度が悪化する原因について検討する。

2. 解析理論

以下で示すグリーン関数は、特異点を除いて浮体表面以外の境界条件と、基礎方程式である二次元ラプラス方程式を満足する関数である。

$$G(x_i, y_i; x_j, y_j) = -\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{k_n} \frac{k_n^2 + v^2}{k_n^2 h + v^2 h - v} \cos k_n(h + y_j) \cos k_n(h + y_i) e^{-k_n |x_i - x_j|} - i \frac{1}{k} \frac{k^2 - v^2}{k^2 h - v^2 h + v} \cosh k(h + y_j) \cosh k(h + y_i) e^{\mu |x_i - x_j|} \quad (1)$$

流体領域にグリーン関数の定理を適用し、境界条件を考慮すると積分方程式が得られる。得られた積分方程式は構造物形状が単純な場合を除いて数値的に解くしかない。そこで構造物没水表面上をN個の小要素に分割することで次式が得られる。

$$HU = F(=GQ) \quad (2)$$

ここでマトリクスH, Gはそれぞれグリーン関数の法線方向微分値及びグリーン関数の要素内積分値であり、ベクトルU, Qはそれぞれ未知速度ポテンシャル値及び流速である。式(1)を解くことによって未知速度ポテンシャルUが求められる。なお、本研究では構造物の動揺に伴って発生する造波速度ポテンシャルに起因する鉛直方向の流体力係数からグリーン関数法の計算精度の悪化原因を探る。その理由は、境界条件として浮体底部に一樣な単位速度振幅を与えるため理論的考察を進めやすいためである。

3. 流体力係数（付加質量係数、造波減衰抵抗係数）の比較

Fig.1に示すモデルの鉛直方向の流体力係数を、ポテンシャル接続法の選点解法による解（以降exact）、及び基本解 $(\ln(1/r))$ のみを用い全流体領域について要素分割を行う境界要素法による解（以降BEM）と比較した。喫水bを0.1、水深hを1.0とし、要素長は一定で、浮体長lにつき40分割した。検証は浮体長2aを1.0と5.0で行った。また、 $2a=5.0$ 、 $k=\pi/5$ 及び $k=2\pi$ の場合の分割数による収束性をTable1に示す。なお、 μ 及び λ はそれぞれ付加質量係数、造波減衰抵抗係数を表し、波数kは波長Lwと以下の関係がある。

$$k = 2\pi / Lw$$

(3)

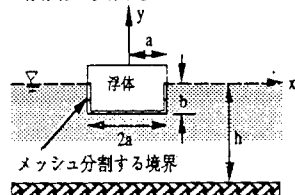


Fig.1 検証モデル

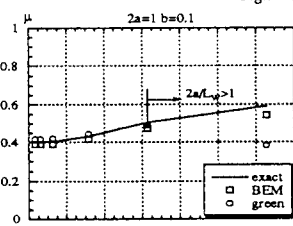


Fig.2 波数による付加質量係数の比較

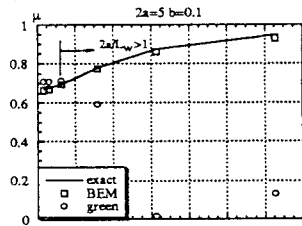


Fig.3 波数による付加質量係数の比較

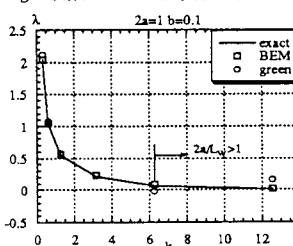


Fig.4 波数による造波減衰抵抗係数の比較

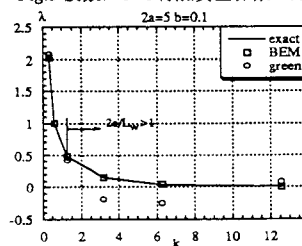


Fig.5 波数による造波減衰抵抗係数の比較

グリーン関数法による結果は付加質量係数及び造波減衰抵抗係数の両者とも浮体長及び波長が大きくなるほど計算精度が悪化している。そこで、浮体長と波長の比 $2a/Lw$ と計算精度が悪化し始める点について調べてみると、Fig.2～Fig.5に見られる通りほぼ $2a/Lw > 1$ となる領域で誤差が拡大していることがわかる。また、Table1に見られるように $k = \pi/5$ の場合は良好な収束性を示すのに対し、 $k = 2\pi$ の場合には収束性がかなり悪化することがわかる。

Table 1 流体力係数の収束性

	104分割	208分割	416分割	832分割	1664分割	3328分割	exact
$\mu(k=\pi/5)$	0.759	0.710	0.691	0.682			0.666
$\lambda(k=\pi/5)$	0.998	0.991	1.000	1.004			0.977
$\mu(k=2\pi)$	-0.007	0.013	0.192	0.622	0.863	0.898	0.871
$\lambda(k=2\pi)$	-0.097	-0.250	-0.499	-0.542	-0.122	-0.300	0.036

以降は浮体長 $2a=5$ 、喫水 $b=0.1$ 、水深 $h=1.0$ とし、波数 $k=\pi/5$ ($2a/Lw=0.5$)の場合を計算精度の良い条件(A)とし、波数 $k=2\pi$ ($2a/Lw=5$)の場合を計算精度の悪い条件(B)とし、この2条件について検討を行う。

4.マトリクスG (グリーン関数) の比較

浮体底部の中央点をグリーン関数の特異点とし、グリーン関数の積分値を条件(A)、条件(B)について比較した。ここで横軸は特異点からの距離を表し、縦軸はグリーン関数の積分値である。

Fig.6及びFig.7に見られる通り、それぞれの条件 $2a/Lw=0.5$ 及び $2a/Lw=5$ に対応する半波長分、及び5波長分の周期性が現れている。また、波数の増大と共に、グリーン関数に含まれる基本解($\ln(1/r)$)の項の影響が相対的に小さくなり、周期関数の項の影響が大きくなることわかる。

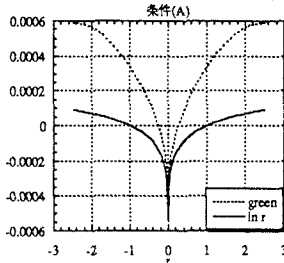


Fig.6 グリーン関数 (実部) と基本解の比較

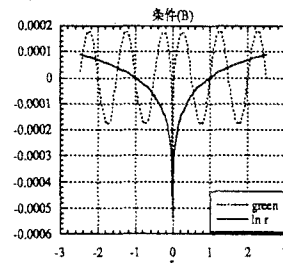


Fig.7 グリーン関数 (実部) と基本解の比較

5.マトリクスH・Gの収束性

浮体底部中央点を特異点とし、マトリクス $H \cdot G$ の要素内積分値を条件(A)、条件(B)について収束性を検討した(Fig.8, Fig.9)。ここで縦軸はマトリクス $H \cdot G$ の要素内積分値、横軸は特異点からの距離である。

条件(A)では比較的少ない分割数で収束した。一方、条件(B)では条件(A)に比して収束性は悪く、収束にはかなり分割数を細かくとる必要がある。以上からグリーン関数法の収束性の悪化はマトリクス $H \cdot G$ の収束性に強く依存していると考えられる。

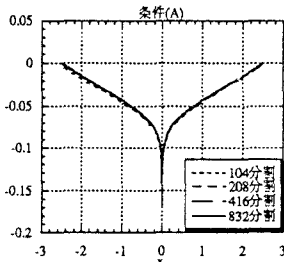


Fig.8 $H \cdot G(\text{real})$ の収束性

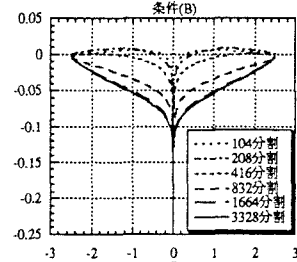


Fig.9 $H \cdot G(\text{real})$ の収束性

6.結論

- (1) 波数 k の増大と共に収束性が悪化し、非常に細かく要素分割をとる必要があることが確認された。また、喫水比 $d/h=0.1$ の時には、浮体長に関わらず浮体長と波長の比 $2a/Lw > 1$ において特に誤差が拡大し、 $2a/Lw$ が収束性に影響を与える重要なパラメーターであることが分かった。
- (2) 波数 k が大きい場合マトリクス $H \cdot G$ の収束性が悪化した。よってグリーン関数法の収束性の悪化原因はマトリクス $H \cdot G$ の収束性に依存していることから次のことが推測される。

入射波長に対して浮体長が長大になるにつれグリーン関数の周期関数の項の影響が相対的に大きくなる。そのため本来滑らかであるポテンシャル分布を周期関数どうしの積和で表すことになるため、離散化による数値誤差が混入し収束性が悪化すると考えられる。

参考文献

- 1) 清川哲志, 大山巧, 小林浩: グリーン関数法による任意形状浮体の動揺解析, 土木学会論文報告集, 第332号, pp.55-65, 1983.4.
- 2) T.Utsunomiya, E.Watanabe, et al.: Wave Response Analysis of Large Floating Structures by BE-FE Combination Method, Proc. ISOPE-95, 1995 (to be presented).