

二方向波を受ける海洋構造物に作用する二次回折波力の解析

株式会社奥村組	正会員	○西原 正博
京都大学	正会員	宇都宮 智昭
京都大学	フェロー会員	渡邊 英一

1. はじめに

海洋構造物の設計においては、通常 1 次オーダー波力（線形回折波力）に基づく設計がなされ、2 次オーダー波力については定常漂流力から近似的に評価される変動漂流力を係留設計で扱う程度である。しかし、重要な海洋構造物を対象に不規則波中での変動漂流力を厳密に評価したい場合や、高波浪域に設置される TLP 等の Springing に対しては、2 次オーダー回折波力の厳密な評価が必要である。

また 2 次オーダー波力に関するこれまでの研究は、実際の海洋波浪場が多方向不規則波として表されるにも関わらず、大部分が単一方向からの入射波に制限されている。実際の海洋波浪場は異なる 2 方向からの不規則波を重ね合わせることによって表現されるため、2 方向波を受ける海洋構造物に作用する 2 次オーダー波力の影響を求める事が必要となる。

そこで、本研究では入射波の方向性を考慮に入れた厳密な 2 次オーダー波力評価手法の開発に向けて、2 種類の異なる方向からの入射波に対する和周波数、差周波数成分について 2 次オーダー波力全ての成分を統一的に評価するための定式化を行い、これに基づく 3 次元任意形状浮体に作用する 2 次オーダー波力を数値解析的に精度良く計算することを目的とする。

2. 解析理論

波形勾配に関する 2 次オーダー回折波力は、1 次ポテンシャル同士の積による項、2 次入射波ポテンシャルによる項および 2 次回折波ポテンシャルによる項に展開される。2 次オーダーポテンシャルによる項は式(1)で表される。

$$f_p^{\pm} = -\rho i \omega^{\pm} \left(\int \int_{S_B} \phi_{Ijl}^{\pm} n_k dS - \int \int_{S_B} \psi_{kjl}^{\pm} \frac{\partial \phi_{Ijl}^{\pm}}{\partial n} dS + \frac{1}{g} \int \int_{S_F} Q_{jl}^{\pm} \psi_{kjl}^{\pm} dS \right) \quad (1)$$

従来の手法では計算が困難とされている 2 次回折波ポテンシャルによる項については、assisting radiation potential を用いることで 2 次オーダー回折波ポテンシャルを直接求めることなく評価する。

ここで、 $\psi_k^{\pm}$ は assisting radiation potential, $Q^{\pm}$ は 2 次回折波ポテンシャル自由表面条件の右辺で、 S_B は物体表面、 S_F は自由表面である。また、式(1)の括弧内の 2 次オーダー入射波ポテンシャル $\phi_I^{\pm}$ を含む第 1 項は従来の手法で計算可能であるが、第 2 項である自由表面積分は効率的に計算することが困難なため、積分領域を構造物の近傍場領域と遠方場領域とに分割する。近傍場領域では、ポテンシャルの 2 階空間微分計算の精度が低いことを divergence theorem を用いて回避し特異性の弱い式を導く。遠方場領域では積分値の収束が良い級数展開表現を用いる。本研究では異なる 2 方向から入射波が入射するので、2 次オーダー入射波ポテンシャルに関連する式(1)の右辺第 1 項の 2 次オーダー入射波ポテンシャルによる項、第 2 項の物体表面積分項、そして第 3 項の自由表面積分項を定式化した。

このような手法を組み合わせることで 2 方向・2 周波数の入射波に対する 2 次オーダー回折波力の評価式を導き、この評価式に基づいて計算プログラムを作成する。

3. プログラムの検証

拡張したプログラムの妥当性を検証するため、Kim(1992) による解析結果との比較検証を行う。解析モデルは着底円筒 1 つとし、半径 $a=1.0$ 、水深 $h=2.0$ とする。解析結果を Fig.1 に示す。縦軸に surge 方向の 2 次オーダー波力 $F^{(2)}_x$ の絶対値を $\rho g A_j A_1 a$ (ρ : 水密度, g : 重力加速度, A_j : 波振幅) で無次元化したものを取り、横軸に

キーワード： 多方向不規則波, 2 次オーダー, ISSC TLP, 境界要素法

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL 075-753-5079

$v_j (\equiv \omega_j^2/g)$ および v_1 を半径 a で無次元化したものの平均値をとる。また2種類の周波数の差を0.5と固定しており、2種類の周波数の平均値を変化させている。Fig.1から本研究での解析結果とKimによる解析結果とはほぼ一致しており、本研究において拡張したプログラムを用いた2周波数・2方向での解析の妥当性は確保されたといえる。次に半径1.0、水深3.0の着底円筒4つが1辺の大きさが6の正方形の各頂点に位置するモデルとして、2周波数・2方向波の解析結果をFig.2に示す。 $v_j=1.0$, $\beta_j=0^\circ$ (正方形の1辺に沿う方向)と固定した。全体的な傾向として異なる2方向波に対する2次オーダー波力は、1方向のみからの入射波に比べて減少する。しかし異なる傾向を示す部分もあり、1方向波のみによる解析が必ずしも安全側とならないことに注意が必要となる。

4. ISSC TLP の解析

次に、国際船舶海洋構造会議(ISSC)準拠のISSC TLPをモデルとした解析を行う。解析メッシュをFig.3に示す。カラムの中心間距離は86.25m、カラムの直径は16.87m、各カラムを結合するビーム材の幅は7.50m、高さは10.50m、喫水は35.00mである。また、解析メッシュについて物体表面の節点数は3820、要素数は1232であり、自由表面の節点数は3765、要素数は1176である。

解析結果をFig.4に示す。今回の解析ではKim(1993)による解析に合わせるため、入射波の周波数は ω_j および ω_1 ともに同じ周波数(monochromatic)とし、 β_j は 0° 、 β_1 は 45° の角度で2方向からの入射波とした。Fig.3からわかるように、Kim(1993)との比較で2次オーダー波力に若干の違いが見られるがほぼ同じ傾向を示しており、本研究での解析はある程度の精度を保っているものと判断される。

5. 結論

本研究では、多方向不規則波中での非線形波に対する回折波力を評価するために、異なる方向から異なる周波数を持つ2種類の入射波に対して和周波数および差周波数成分に対する2次オーダー波力を高精度に求めるための2次オーダー波力の評価式を導き、これに基づき解析プログラムを拡張し、種々の検証の後にISSC TLPをモデルとした解析を行った。2次オーダー波力が入射波の入射方向によっても強く影響される傾向を示し、海洋構造物の設計において2方向、2周波数による解析の重要性が確認できた。

参考文献

- 1) M.H.Kim(1992) Difference-frequency wave loads on a large body in multi-directional waves. *Applied Ocean Research*. Vol.14, pp. 353-370.
- 2) M.H.Kim(1993) Second-harmonic vertical wave loads on arrays of deep-draft circular cylinders in monochromatic uni- and multi-directional waves. *Applied Ocean Research*. Vol.15, pp.245-262.

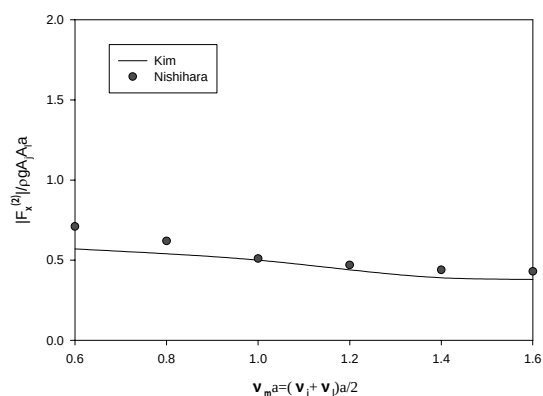


Fig.1 Kimとの比較, surge force
(difference frequency, $\beta_j=0$, $\beta_1=\pi/4$, $(v_j-v_1)a=0.5$)

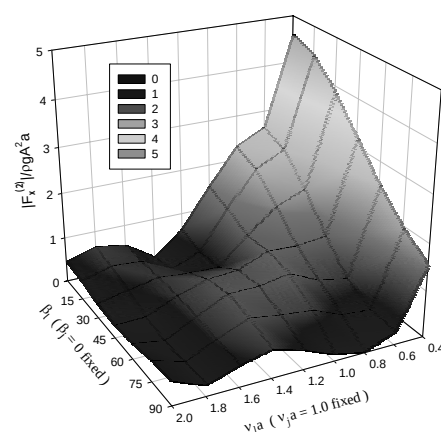


Fig.2 4つの円筒に作用する2次オーダー波力
(sum-frequency, bichromatic, bidirectional)

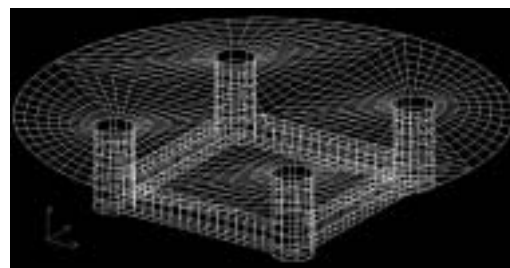


Fig.3 TLP 解析メッシュ

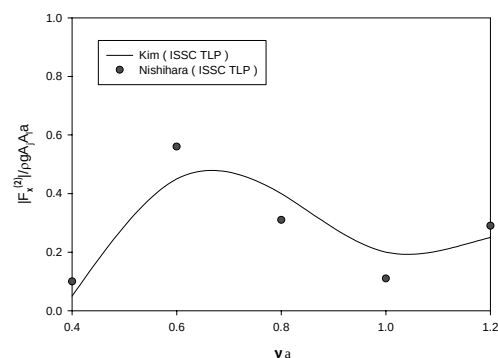


Fig.4 ISSC TLPに作用する2次オーダー波力
(sum frequency, monochromatic, $\beta_j=0$, $\beta_1=\pi/4$)