

防波堤を考慮した大型浮体構造物に作用する定常波漂流力

京都大学大学院 学生員 中村 直志 京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一
京都大学大学院 正会員 宇都宮智昭 京都大学大学院 正会員 永田 和寿

1. はじめに

大型浮体構造物を用いて浮体式海上空港を建設する場合、空港機能上の問題から浮体構造物自体の変位や変形を最小限に抑える必要があり、その解決方法として防波堤を浮体構造物近くに配置することが考えられる。この場合、浮体構造物に作用する波浪外力は防波堤の影響を受けたものとなるが、現在行われている解析方法では浮体構造物と防波堤との相互影響を考慮していない。したがって本研究では、防波堤が近くに配置された浮体構造物について、防波堤との相互影響を考慮しつつ浮体構造物に作用する定常波漂流力を求める。

2. 解析理論

用いた解析手法は Pinkster¹⁾によって提案された近場法である。一般的には浮体構造物に作用する波漂流力を求める際、遠場法が用いられるが、浮体構造物と防波堤の両方がある場合にこの方法を用いると両構造物に作用する波漂流力の合力しか得られず、浮体構造物のみに作用する波漂流力が求められないことから本研究では近場法を用いることとした。近場法を用いる際に微小量としたのは波高-波長比 ε である。今回導出した定常波漂流力評価式を以下に示す。

$$\overline{F}^{(2)} = -\rho \int_{S_{HB}} \left(g \overline{w}^{(1)} + \frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial t} \right) (-\nabla \overline{w}^{(1)}) dS - \rho \int_{S_{HS}} \left\{ \frac{1}{2} |\nabla \Phi^{(1)}|^2 + \overline{w}^{(1)} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \Phi^{(1)}}{\partial t} \right) \right\} n^{(0)} dS + \frac{1}{2} \rho g \int_{C_H} \overline{\zeta_r^{(1)^2}} n^{(0)} d\ell$$

ここで、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 Φ は速度ポテンシャル、 w は浮体構造物底面の弾性変形量、 ζ_r は相対水位であり、 S_{HB} は浮体構造物底面、 S_{HS} は側面、 C_H は浮体構造物と静水面との交線を示している。また、肩付き(m)は ε の m 次のオーダーであることを示しており、 $-$ が付いた項は波の1周期平均であることを示している。 n は側面の単位法線ベクトルであり、流体から物体に向く方向を正としている。上式を導くにあたり、線形波理論と浮体の変形は弾性変形を含む上下動のみ、という仮定を設けた。また、この波漂流力評価式を用いる際、浮体構造物上の速度ポテンシャル Φ が必要となるが、今回は8節点2次要素を用いた境界要素法により求めた。また、浮体構造物の弾性変形 w については、両端自由梁のモード関数を直交2方向に重ね合わせて求めるモード関数法により近似的に評価した。

3. プログラムの検証

前節で示した波漂流力評価式に基づく解析プログラムの検証を行うために、遠場法により波漂流力算定式を導出し、その式を基に波漂流力算定プログラムを作成した。遠場法とは、運動量保存則とエネルギー保存則を浮体構造物近傍と無限遠とで考えることで波漂流力を導くというものである。遠場法による式を以下に示す。

$$\overline{F} = \rho \frac{K}{4\pi\kappa_0} \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2\kappa_0 h}{\sinh 2\kappa_0 h} \right) \left(\frac{\kappa_0^2}{(\kappa_0^2 - K^2)h + K} \right)^2 \int_0^{2\pi} HH^* \begin{Bmatrix} -\cos \beta - \cos \theta \\ -\sin \beta - \sin \theta \end{Bmatrix} d\theta$$
$$H(\kappa_0, \theta) = \int_{S_H} \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial n} - \phi \frac{\partial}{\partial n} \right\} \frac{\cosh \kappa_0 (\zeta + h)}{\cosh \kappa_0 h} \exp[i\kappa_0 (\xi \cos \theta + \eta \sin \theta)] dS$$

となっている。ここで、 $K = \omega^2/g$ (ω は角周波数)であり、 κ_0 は波数、 β は波の入射角(x 軸の負に向かう方向が 0°)、 h は水深、肩付き*は共役複素数であることを示している。また、 $H(\kappa_0, \theta)$ はKochin関数と呼ばれ、遠方におけるポテンシャルの挙動を示す関数である。

検証モデルとして用いたモデルは、図-1に示すような長さ $L=1600\text{m}$ 、幅 $B=400\text{m}$ 、喫水 4m の箱型浮体構造物である。この浮体構造物の剛性とポアソン比はそれぞれ、 $E=5.0 \times 10^8 \text{kNm}$ 、 $\nu=0.3$ 、流体の密度は $\rho=1.025 \text{ ton/m}^3$ であり、水深 20m の一定水深無限海域中に単独で設置されている。この浮体構造物に x 軸の負の方向から波が入射する場合を考えた。

キーワード：浮体構造物、防波堤、定常波漂流力、近場法

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 FAX:075-753-5130

浮体構造物の要素分割長は、側面が $20\text{m} \times 4\text{m}$ 、底面が $20\text{m} \times 20\text{m}$ の 8 節点 2 次要素である。このモデルに対して、長さ-波長比 $L/\lambda=1, 2, 4, 6, \dots, 20$ の様に入射波長を変化させ解析を行った。その結果を図-2 に示す。この結果から、D 問題(浮体運動を拘束)、R/D 問題(浮体の運動は自由)のいずれの場合もその傾向は一致していることが分かる。しかし L/λ が大きい場合、つまり波長が短い場合に精度が悪くなっている。計算精度が悪くなる理由は、数値積分における要素分割にあると考えられる。今回行った数値積分では、ポテンシャルを微分しそれを二乗して積分する必要があるが、要素分割が少ない場合、この部分で誤差が誘発されやすいと考えられる。しかし、要素分割数を増やすには現在の計算機の性能では困難なため、今回はこのモデルに対する比較でプログラムの検証は行えたものとした。

4. 解析結果

前節で検証を行った波漂流力解析プログラムを用いて、防波堤が近くに配置されている浮体構造物に作用する波漂流力を求める。浮体構造物は前節で用いた $1600\text{m} \times 400\text{m} \times 4\text{m}$ の箱型浮体構造物である。防波堤は長さ $2000\text{m} \times$ 幅 20m とし、堤高は越波を許さない程度に十分高いものと考え、波の透過性は考慮しないものとし、防波堤表面における波の反射率は 1(完全反射)とする。浮体構造物の要素分割長は前節と同様であり、防波堤の要素分割長は、防波堤の長さ部分については $20\text{m} \times 10\text{m}$ 、幅部分については $10\text{m} \times 10\text{m}$ 、底面については $20\text{m} \times 20\text{m}$ である。波の入射角は $\beta=90$ のみとした。波長については前節と同様に、 $L/\lambda=1, 2, 4, 6, \dots, 20$ として解析を行った。

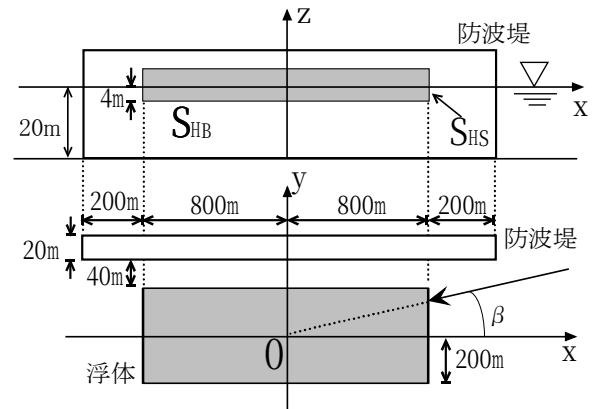


図-1 浮体と防波堤の位置関係

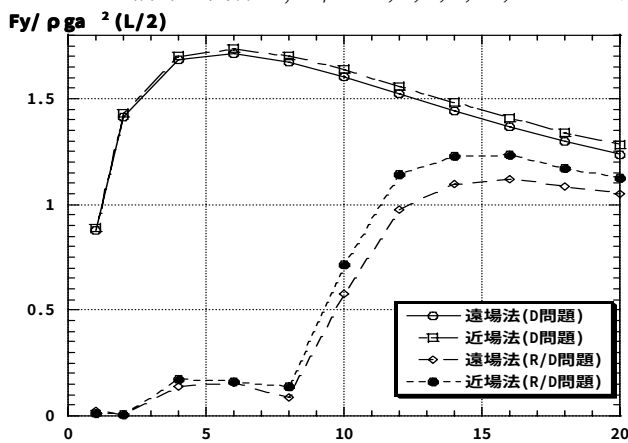


図-2 解析結果(入射角90deg, 防波堤なし)

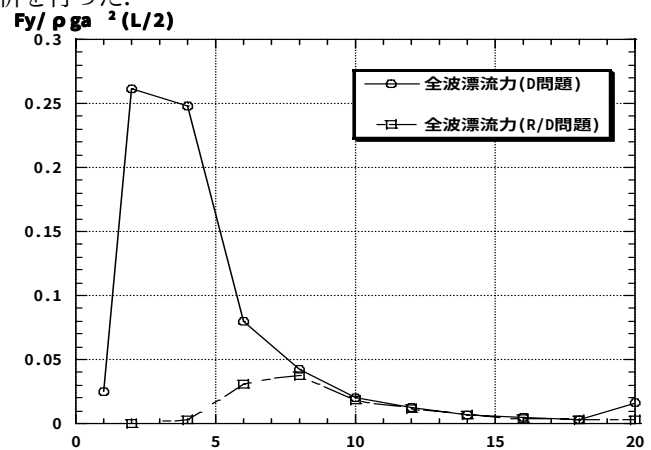


図-3 解析結果(入射角90deg, 防波堤あり)

防波堤がある場合についての結果を図-3 に示す。この結果と防波堤がない場合(図-2)を比べると、全波漂流力のピークを与える波長が、D 問題、R/D 問題ともに長周期側にシフトしていることが分かる。波漂流力は長周期動揺に大きく影響を及ぼすので注意が必要だが、防波堤との相互作用を考え多場合は無限海域での解析では考えられないところでピークを迎えることから、防波堤を考慮した大型浮体構造物の波漂流力問題ではこのように相互影響を考えた上で解析を行うことが必要だということが分かる。

5. まとめ

近場法を用いて、浮体構造物に作用する波漂流力の評価式を導出した。また、遠場法による波漂流力式を導出し、その解析プログラムとの比較の結果、誤差はあるものの近場法による波漂流力解析プログラムの妥当性を示した。さらに、防波堤のある場合の大型浮体構造物に対する解析結果より、防波堤との相互影響によって波漂流力のピークを与える波長が防波堤のない場合に比べて長周期側に現れることから注意が必要であることが分かった。

参考文献

Pinkster, J. A. and Van Oortmersen, G.: Computation of the first and second order wave forces on oscillating bodies in regular waves, 2nd International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, University of California, Berkeley, pp.136-156, 1977.