

PS-25 インストレーション時のサブシー機器に作用する 流体力解析に向けたプログラム開発

海洋開発系 *長谷川 賢太、大坪 和久

1. はじめに

海洋での石油・天然ガス開発が高度化するに従い、サブシー技術が益々重要になってきている。最近では超巨大な海底セパレータやコンプレッサーも開発されてきており、作業船を用いた洋上でのインストレーション作業は大変過酷になることが容易に想像される。その作業安全性を確保するには、事前に揚降物に作用する流体力や運動等を数值的、実験的に把握しておく必要があると思われる。本研究は、境界要素法（以降、BEM）によってポテンシャル理論に基づく解析を行い、水槽試験結果との比較等を行いながら基盤ツールを構築することを目的としている。近年ではポテンシャル理論では考慮されない粘性影響を含めCFD解析により計算する事が一般的になってきているが、流体領域を離散化する必要がある、BEM と比べ計算コストが高いと言える。インストレーション作業の条件の違いによる干渉影響などパラメトリックに調べるには、まずBEMによる解析が有効であると考えられる。また、将来的にインストレーション作業に影響すると思われる流れについても考慮できるようにBEMによる計算プログラムを整備している。本ポスターでは、現在整備しているBEMプログラムを用い、ムーンプールを有するクレーン付作業船に働く流体力および波浪中動揺を計算し、商用プログラムおよび実験結果と比較を行った。

2. 対象船

本研究で対象とする作業船の縮尺模型船と諸元を図-1(a)と表-1にそれぞれ示す。この船は標準的な大型クレーン付作業船であり、ミッドシップ付近にはムーンプールを有している。図-1(b)は計算で使った対象模型船の計算パネルを示しており、水面下をノード数2,984のコンスタントパネル2,786枚で分割した。

3. 計算手法

本研究で使用する座標系と波向きを定義を図-2に示す。座標原点は、 x をミッドシップ上、 y をセンターライン上、 z を水面上にとり、波向0 degが向い波を表す。使用している計算プログラミング言語はC++である。

3.1 基礎方程式と境界条件

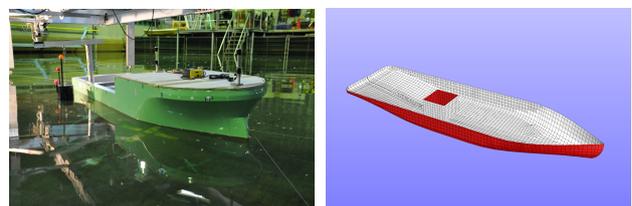
線形理論において円周波数 ω の波浪中動揺問題の場合、場全体の速度ポテンシャル Φ は入射波の速度ポテンシャル ϕ_0 、浮体が入射波を散乱させることによる scattering ポテンシャル ϕ_7 と1~6モードの浮体動揺による radiation ポテンシャル ϕ_{1-6} によって分離して考えられる。

$\phi_j (j=1-7)$ に関する基礎方程式と境界条件は、流体領域での連続性を示すラプラス方程式； $\nabla^2 \phi_j = 0$ 、 K を波数、 \mathbf{n} を法

線ベクトルとして自由表面における運動学的・力学的条件； $\partial \phi_j / \partial n + K \phi_j = 0$ 、海底面での不透過条件； $\partial \phi_j / \partial z = 0$ 、浮体没水表面における浮体と流体速度の連続条件； $\partial \phi_7 / \partial n = -\partial \phi_0 / \partial n$ ならびに $\partial \phi_{1-6} / \partial n = n_{1-6}$ 、 R を原点からの水平距離として無限遠における放射条件； $\lim_{R \rightarrow \infty} \sqrt{R} (\partial \phi_j / \partial R + iK \phi_j) = 0$ を満たす必要がある。

3.2 積分方程式

ϕ_{1-7} を解析的に求めることが困難であるため、グリーン関数を導入し、グリーン関数の定理を用いて積分方程式へ変換した後に数值的に解くことになる。線形自由表面条件や放射条件を満たすグリーン関数を特に自由表面グリーン関数と呼び、流体内部のある点 $Q = (\xi, \eta, \zeta)$ で $1/r = \left\{ (x-\xi)^2 + (y-\eta)^2 + (z-\zeta)^2 \right\}^{-0.5}$ の特異性を持ち、その特異点を除いて上記の条件とラプラス方程式を満足する。この自由表面グリーン関数はWehausenとLaiton¹⁾や他によって示されている。ここで、 ϕ_{1-7} と自由表面グリーン関数 G に対してグリーン関数の定理を適用し、流体内部の点 $P = (x, y, z)$ が浮体表面上にある場合を考えると次の積分方程式が得られる。

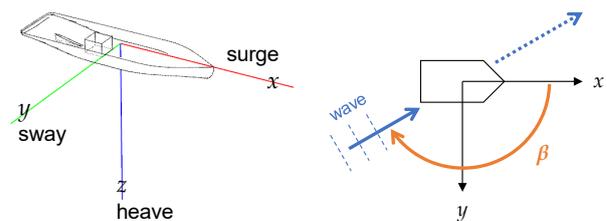


(a) 対象模型船 (b) 計算パネル

図-1 計算対象

表-1 対象作業船諸元

	模型	実機
垂線間長	2.51 m	75.20 m
型幅	0.72 m	21.50 m
喫水	0.19 m	5.61 m
排水量	239 kg	6,623 ton



(a) 座標系 (b) 波向き

図-2 座標系と波向きの定義

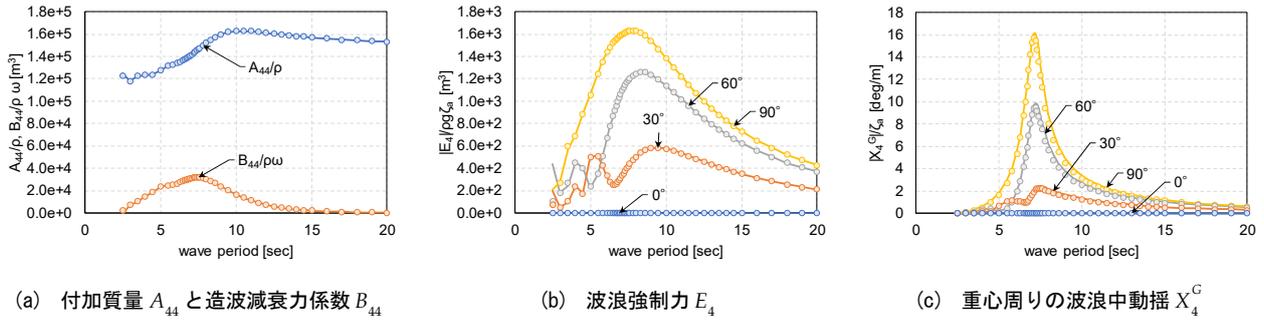


図-3 Roll 方向に関する WAMIT との比較 (線: 本研究、点: WAMIT)

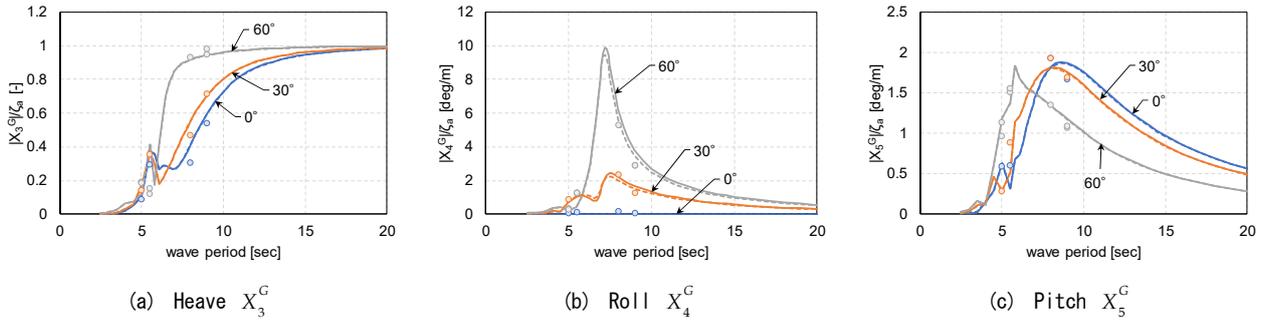


図-4 重心周りの波浪中動揺 X_j^G に関する実験との比較 (線: 本研究、点線: WAMIT、点: 実験)

$$\frac{1}{2} \phi_j(P) + \iint_{S_H} \phi_j(Q) \frac{\partial G(P, Q)}{\partial n} dS(Q) = \begin{cases} \iint_{S_H} n_j(Q) G(P, Q) dS(Q) & (j = 1 \sim 6) \\ \phi_0(P) & (j = D) \end{cases} \quad (1)$$

ϕ_D は入射波のポテンシャル ϕ_0 と scattering ポテンシャル ϕ_j の和により定義される diffraction ポテンシャルである。この積分方程式を数値的に解くために、浮体の没水表面を四角形パネルで分割し、各パネル内で求めるべき速度ポテンシャルを一定であると仮定するゼロ次要素法を用いた²⁾。

3.3 流体力と浮体動揺

浮体に作用する流体力は、 ϕ_D を浮体没水表面上で積分して得られる波強制力と、同様に $\phi_{1 \sim 6}$ から得られ加速度に比例する付加質量と速度に比例する造波減衰係数に分けられる。

上記で得られた流体力と浮体の慣性力、静水圧による復原力、また実験から得られた粘性減衰係数を用いて、浮体の動揺を計算した。

4. 計算結果と考察

図-2(b)に示す波向き 0、30、60、90 度における 20 秒までの波周期で計算を実施した。同じ計算条件にて商用プログラム: WAMIT³⁾を用いた計算結果との比較を図-3に示す。いずれも概ね良く一致しているが、波周期 3 秒付近の付加質量が下に外れている(図-3(a))。これは他の運動モードで更に顕著に見られており、イレギュラー周波数による影響であると思われる。この近傍での計算結果は不自然な値となるため、原口らによる除去方法⁴⁾を適用していく予定である。

次に、図-1(a)および表-1に示した模型船を使用した波向き 0、30、60 度での波浪中動揺試験結果および WAMIT との比較を図-4に示す。実験は 4 種類の波周期にて行われてい

る⁵⁾。Heave における各波向きでの増加傾向(図-4(a))や Roll と Pitch では各波向きにおいて波周期 7 秒前後のピークを示す傾向(図-4(b)と(c))など、双方の計算において実験結果の傾向を良く捉えた。

5. まとめ

サブシー機器のインストレーション時に作用する流体力解析に向け整備している計算プログラムを用い、ムーンプールを有するクレーン付作業船に働く流体力および波浪中動揺を計算した。そして、計算結果を商用プログラムおよび実験結果と比較し、商用プログラムとほぼ同等の結果および実験結果と同様の RAO の傾向が得られることを確認した。流体力の妥当性確認には、強制動揺試験などの更なる水槽試験データが必要である。今後、2 浮体問題へとプログラムを拡張し、水槽実験結果との比較を行いながら引き続き調査を行っていく予定である。

参考文献

- 1) J.V. Wehausen and E.V. Laitone, Surface Waves in Fluid Dynamics III in Handbuch der Physik 9, chapter 3, pp. 446-778, ed. S. Flugge and C. Truesdell, Springer Verlag, 1960.
- 2) 日本造船学会海洋工学委員会性能部会編: 実践 浮体の流体力学 前編-動揺問題の数値計算法, 成山堂, 2003.
- 3) WAMIT, Inc.: <https://www.wamit.com/index.htm>.
- 4) 原口富博, 大松重雄: 水面と直交しない浮体の動揺問題の解法と Irregular Frequency の簡易な除去法, 西部造船会々報 第 66 号, 1983.
- 5) 大坪和久, 他: サブシー機器インストレーションの安全性評価に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演論文集 第 26 号, pp. 473-478, 2018.