

複雑な海底起伏を考慮した非線形不規則波を受ける 超大型浮体の限界挙動解析

(課題番号：14350243)

平成14年度～平成16年度科学研究費補助金
(基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書



平成17年3月

研究代表者 宇都宮 智 昭
(京都大学 工学研究科 助教授)

科研

2004

102

複雑な海底起伏を考慮した非線形不規則波を受ける 超大型浮体の限界挙動解析

(課題番号：14350243)

平成14年度～平成16年度科学研究費補助金
(基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書

平成17年3月

研究代表者 宇都宮 智 昭

(京都大学 工学研究科 助教授)

本研究においては、浅水域かつ複雑な海底地形を有する海域に超大型の弾性浮体構造物が設置され、これに不規則な非線形波が作用する場合における応答を精度よく予測できる数値シミュレーション手法を開発することを目的とした。

平成14年度は、まず、平面波浪場の解析プログラムの開発・コーディングから始めた。基本となるのはビジネスモデルであり、海岸工学の分野ではかなり実績のある方法である。しかしながら、急峻な海底勾配を伴い、またリーフエッジでの海底面露出を含む極めて強い非線形性を精度良く計算するために、その差分計算過程にはかなりの工夫を要した。具体的には、オックスフォード大学の Eatock Taylor 教授の研究グループとの共同研究として、Borthwick 講師の助言に基づき、海底面露出ならびに波のかけ上がりをも再現できる数値アルゴリズムを断面2次元問題に関してコーディングし、その性能確認後、3次元モデルへの拡張をおこなった。開発されたプログラムでは、波浪の斜面へのかけあがり現象の再現ができており、かなりの強非線形波へも適用可能なことが確認された。

これと平行して、波浪の非線形性を考慮した、周波数領域での計算プログラム開発をおこなった。具体的には、異なる2周波数を有する弱非線形波が入射する問題における、任意形状浮体に作用する回折波力の計算プログラムの開発をおこない、従来の文献での値と比較した。

平成15年度は、特に、波浪の非線形性を考慮した、周波数領域での計算プログラム開発にむけての基礎的な開発研究をおこなった。具体的には、異なる2方向から入射する2周波数を有する弱非線形波が入射する問題における、任意形状浮体に作用する回折波力の計算プログラムの開発をおこなった。すなわち、昨年度までの本研究では、同一方向から入射する2周波数に対する回折波力の計算プログラムを開発したが、これをさらに、異なる2方向波を受ける場合に拡張した。これによって、実際の海洋波浪場における多方向不規則波中での浮体構造物の応答解析に対する予測が可能となる。実際に、本プログラムを弾性を考慮したポンツーン浮体の長周期動揺問題に適用することをおこない、長周期変動漂流力の予測において、定常漂流力を用いる近似計算手法(Newman 近似)では必ずしも実態を反映せず、2次回折波力を正しく考慮した計算を要することを数値計算により確認した。これは、超大型浮体の限界時挙動における特に係留系の挙動に極めて重要な情報を提供するものである。

また、これと並行して、超大規模計算となる、超大型浮体の非線形波浪場内での応答計算を実現するための、多重極展開を利用した高速化手法についての各種開発を実施した。すなわち、2次回折波力の計算においては、1次回折波力の計算時よりさらに細かいメッシュによる計算を要するため、大規模計算における高速化手法が益々重要になる。現在、1次回折波力に対する解析であるが、30万自由度問題を実用的に解くとこのできるレベルを達成しつつある。

平成16年度は、波浪の非線形性を考慮した周波数領域での計算プログラム開発にむけての開発研究をおこなった。具体的には、前年度において開発された異なる2方向から入射する2周波数を有する弱非線形波が入射する問題における、任意形状浮体に作用する回折波力の計算プログラ

ムを完成させるとともに、さらに、浮体まわりの非線形波浪場の解析へと拡張をおこなった。これによって、実際の海洋波浪場における多方向不規則波中での浮体構造物の応答予測が可能となる。また、波浪場を同時に解析することで、たとえばプラットフォーム下面に対する波浪打上げ評価等にも用い得る。また本プログラムを、弾性を考慮したボンツーン浮体の長周期動揺問題に適用することもおこない、長周期変動漂流力の予測において、定常漂流力を用いる近似計算手法（Newman 近似）では必ずしも実態を反映せず、2次回折波力を正しく考慮した計算を要することを数値計算により確認した。今年度は、この結果を実験的にも確認することを目的に、実海域における浮体構造物の動揺測定を（独）海上技術安全研究所と共同で実施、台風通過時の大きな応答値を記録でき、今後、解析値との比較・検証をおこなっていく。

また、これと並行して、超大規模計算となる超大型浮体の非線形波浪場内での応答計算を実現するための多重極展開を利用した高速化手法についての各種開発を実施した。特に、連立一次方程式の反復解法における収束特性の改善が、計算時間短縮におけるキーポイントとなるため、一連のソルバーの改良に関する研究を実施し、当初の計算速度に比べ 1/5～1/10 の短縮に成功した。

研究組織

研究代表者：宇都宮智昭（京都大学・工学研究科・助教授）

研究分担者：渡邊 英一（京都大学・工学研究科・教授）

研究分担者：永田 和寿（京都大学・工学研究科・助手）

研究協力者：佐藤 宏樹（京都大学・工学研究科・大学院生（当時））

研究協力者：吉澤 直（京都大学・工学研究科・大学院生（当時））

研究協力者：巻幡 憲俊（京都大学・工学研究科・大学院生（当時））

研究協力者：貴田勝太郎（京都大学・工学研究科・大学院生）

交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成14年度	5,700	0	5,700
平成15年度	4,400	0	4,400
平成16年度	2,100	0	2,100
総 計	12,200	0	12,200

研究発表(学会誌等)

渡邊英一, 宇都宮智昭, 佐藤宏樹: 任意形状浮体に作用する2次回折波力の高精度計算プログラムの開発, 第17回海洋工学シンポジウム論文集, pp. 305-312, 2003.

渡邊英一, 宇都宮智昭, 吉澤 直: 高速化グリーン関数法への局所展開導入による計算速度向上について, 第17回海洋工学シンポジウム論文集, pp. 313-319, 2003.

巻幡憲俊, 宇都宮智昭, 渡邊英一: 波浪回折問題のための境界要素法への GMRES-IR の適用, 応用力学論文集, Vol. 6, pp. 275-281, 2003.

巻幡憲俊, 宇都宮智昭, 渡邊英一: 超大型浮体の波浪応答解析への GMRES-DR の適用, 構造工学論文集, Vol. 50A, pp. 179-185, 2004.

巻幡憲俊, 宇都宮智昭, 渡邊英一: 波浪回折問題のための境界要素法への ILUC の適用, 応用力学論文集, Vol. 7, pp. 279-286, 2004.

貴田勝太郎, 宇都宮智昭, 渡邊英一: 弾性変形を考慮したポンツーン型浮体に作用する変動波漂流力の解析, 応用力学論文集, Vol. 7, pp. 1291-1301, 2004.

貴田勝太郎, 宇都宮智昭, 渡邊英一: 任意海底起伏上に設置されるハイブリッド型超大型浮体に作用する定常漂流力の解析, 第18回海洋工学シンポジウム論文集, pp. 1-8, 2005.

巻幡憲俊, 宇都宮智昭, 渡邊英一: 超大型浮体の波浪回折問題に対する OSP-ILUC の有効性, 構造工学論文集, Vol. 51A, pp. 259-264, 2005.

海洋構造物の設計において、作用する回折波力を周知領域で評価する場合、通常1次オーダー波力(線形回折波力)に過ぎ、定常浮体やこれに基づく設計がなされる。また、1次オーダー波力については、1次のポテンシャルのみから求められる定常漂流力を周知設計で扱うことが一般的である。

しかし、水深の深い海洋構造物を多数に不規則配置する変動波力を受ける場合、あるいは高波域に設置される浮体等において波力方向の高周波数成分が卓越する高オーダー回折波力と共振する場合 (coupling) 等、2次オーダー回折波力の影響が評価されることも例外的に知られる。そこで、本研究では、これまでに見逃されてきた高周波数成分に着目し、Green関数法プログラムを用いて、高周波数成分に対する定常な高オーダー回折波力を数値的にプログラム化し、解析した。

高オーダー回折波力は、異なる周波数成分の重ね合わせで表され、入射波成分、反射波成分、回折波成分、および自由面波成分からなる。本研究では、これらを統一した形式で表し、またプログラム化し、数値的に解析した。本研究によるプログラムの有効性を検証するため、2次元問題での2次オーダー回折波力と高周波数成分を比較することを確認した。

和周波数 (sum-frequency) および差周波数 (difference frequency) に対する本回折問題を考える。まず、浮体形状に関する各オーダーの速度ポテンシャルは次のように表される。ただし、 ϕ_n は和周波数、 ψ_n は差周波数を表し、 ϕ_n は波速の減速を示す。

$$\phi_n = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \phi_{n,m,l} \quad (1)$$

$$\psi_n = \sum_{m=1}^{\infty} \sum_{l=1}^{\infty} \psi_{n,m,l} \quad (2)$$

また、入射波ポテンシャル ϕ_0 と回折波ポテンシャル ϕ_n は、次のように表される。

$$\phi_0 = \phi_0^{(0)} + \phi_0^{(1)} + \phi_0^{(2)} + \dots \quad (3)$$

ここで、 $\phi_0^{(0)}$ は自由面波成分、

$$\phi_0^{(1)} = \frac{1}{2} \left(\phi_0^{(1)} + \phi_0^{(1)*} \right) \quad (4)$$

$$\phi_0^{(2)} = \frac{1}{2} \left(\phi_0^{(2)} + \phi_0^{(2)*} \right) \quad (5)$$

$$\phi_0^{(3)} = \frac{1}{2} \left(\phi_0^{(3)} + \phi_0^{(3)*} \right) \quad (6)$$