

PS-10 多分割造波機を用いた特殊な波の再現法

流体性能評価系 * 宝谷 英貴、黒田 貴子

1. はじめに

平成 22 年 8 月に竣工した当所の実海域再現水槽はその名の通り実海域波浪場を再現することを目的とした、長さ 80m、幅 40m、水深 4.5m の水槽である（水槽の詳細は文献 1）を参照されたい）。最大の特徴は、382 台のフラップ型吸収造波機を全周に備えている点である。当所ではこれまでに、

- ・水槽の全周が造波機で囲まれている
- ・382 台に分割された造波機を個別に制御できる
- ・造波機が消波機能を有している

という特徴を活かした、様々な造波を行っている。本報告では当所で開発してきた 3 つの特殊な波の造波技術について紹介する。

2. 造波技術の紹介

2.1 双峰型方向スペクトルの波浪場再現

実海域再現水槽の造波ソフトウェアには、周波数スペクトルと方向分布関数を指定すると、造波信号を作成し、造波を行えるようなデフォルトの機能が備わっている。多方向不規則波の造波自体はこれまでも様々な水槽で行われてきているが、1 面もしくは 2 面に造波機を有する水槽では、所望の方向スペクトルを再現できる領域（有効造波領域）が限られる²⁾。また水槽形状によっては、有効造波領域を増やそうとすることで造波の主方向が制限され、波浪中の曳航、自航試験の自由度が減ってしまう。

一方で、実海域再現水槽は全周に造波機を備えていることから有効造波領域や造波の主方向の制限を受けることはほぼない。ここでは、波向きが 180 度近く離れた 2 つのピークを有するような双峰型方向スペクトルを水槽に再現した例を紹介する。このような波浪場

は、全周に造波機を備えた水槽でしか再現することができない。

波浪モデルにより推算されたある海域、ある時刻の双峰型方向スペクトルを示す（図-1 左）。この図に示すスペクトルは水槽実験のスケールに変換されている。これを周波数スペクトルと方向分布関数に分解し造波ソフトウェアに入力することで、造波を行う。計測された波浪場の水位時系列から推定した方向スペクトルを示す（図-2 右）。主のピークと 180 度近く離れた小さなピークを造波で再現できていることが確認される。

2.2 曳き波の再現法

曳き波を受けた小型船の転覆など、曳き波に起因する現象を試験水槽で再現するために、造波機を用いて曳き波を発生させる³⁾。本再現法は数値計算で求めた曳き波の波形を基に作成した造波信号を多分割型造波機に与えて曳き波を造波させる方法である。

船の曳き波の数値計算は、当所で開発した CFD コード“NEPTUNE”⁴⁾を用いた。本コードによる曳き波の計算結果は船型、船速による曳き波の変化を表現できていることを確認している。この CFD 結果のうち、曳き波の水位変動と自由表面上の法線方向の速度を検査線に沿って切り出した波形を用いて造波効率を考慮した時系列の造波信号を作成し、造波機に与えて曳き波を造波する。図-2 にこの造波法の概念図を示す。ここで、検査線とは曳き波を造る船の中心線（航行線）と平行な自由表面上での船であり、造波機の造波板前面の位置となる。船長 200m のコンテナ船が 16kts で航行した場合の曳き波を、造波機を用いて縮尺 1/10 で再現した際の波の計測結果を CFD 結果と比較して図-3 に示す。計測結果と計算結果はよく一致しており、曳き波が再現できていることが分かる。この曳き波再現法を使って曳き波中での小型船の運動計測を実施している。

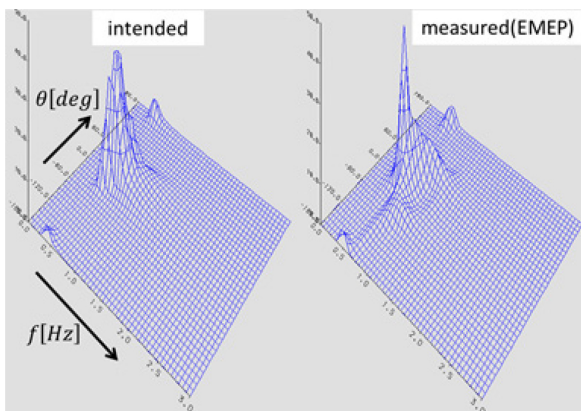


図-1 方向スペクトル（左：推算値、右：計測値）

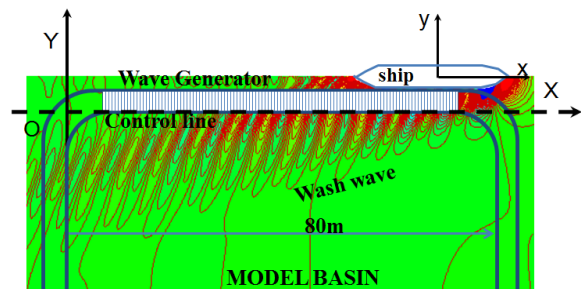


図-2 曳き波の造波法概念図

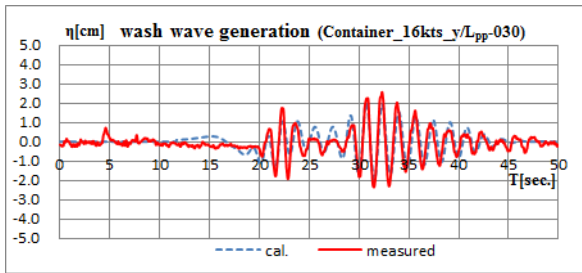


図-3 再現した曳き波と計算結果（コンテナ船 16kts）

2.3 フリーク波の再現法（HOSM 造波法）

海難事故解析技術の向上にむけ、方向スペクトルを考慮したフリーク波（有義波高の2倍を超える波）を実海域再現水槽に発生する技術の開発を行っている。造波の考え方は曳き波の再現法に似ており、予め数値計算でフリーク波を検出し、その計算結果をそのまま水槽に再現するというものである。

フリーク波の数値計算には、波の非線形な時間発達を効率よく計算することのできる”Higher-Order Spectral Method⁵⁾（以下 HOSM）”を用いた。実験のスケールに落とした方向スペクトル（図-4 左）の各波数成分にランダムな初期位相を与えて HOSM 計算を行い、フリーク波を検出する（図-5 左、図-4 右）。そしてこのフリーク波が水槽中央に発生するよう、計算格子と造波板配置の対応を取る（図-5 右）。次に、各時刻の水位のフーリエ成分に波向きを考慮した造波効率をかけ、逆フーリエ変換をすることで計算格子上の造波板速度が得られる。最後に、これを造波板位置に内挿することで最終的な造波信号が得られる。このような HOSM 計算結果に基づく波の非線形な時間発達を考慮した造波法を HOSM 造波法と名付けた。

図-4、図-5 の例について HOSM 造波によりフリーク波を実海域再現水槽に造波し、水槽中央で計測された

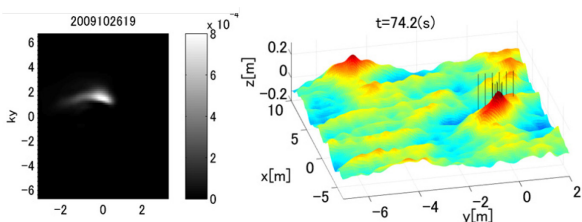


図-4 HOSM 計算（左：初期スペクトル、右：フリーク波の空間波形）

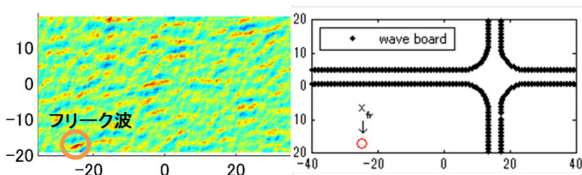


図-5 造波板配置（左：HOSM 計算領域におけるフリーク波、右：計算領域と造波板配置の対応）

水位の時系列を HOSM 計算値とともに図-6 に示す。HOSM 計算で検出されたフリーク波が HOSM 造波により良い精度で水槽内に再現されていることを確認した。また、波向きを考慮した造波効率を実験的に修正することで造波の精度が向上することが示唆されており、今後も引き続き実験による検証を進めていく予定である。

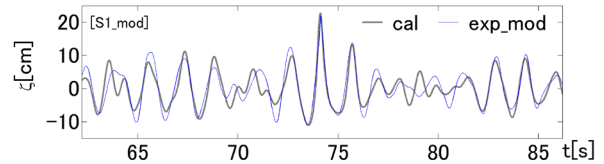


図-6 HOSM 造波によるフリーク波の時系列

3. まとめ

本報告では、実海域再現水槽ならではの造波技術を3つ紹介した。造波技術に関する研究をさらに進めていくとともに、これらの造波技術を活用した模型実験による海難事故解析や船舶の安全性評価に関する研究も進めていく予定である。また、これらの波浪そのものや波浪中船体運動を詳細に見ていくため、境界要素法を用いた数値実海域再現水槽の開発にも取り組み始めたところである。

謝辞

本研究の HOSM 造波法の開発は、東京大学大学院の早稲田卓爾准教授、清松啓司特任研究員、藤本航氏と共同で行っています。また本研究の一部は、JSPS 科研費 24360366, 25249126 及び 23246152 の助成を受けたものです。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 谷澤克治他：実海域再現水槽，海上技術安全研究所報告，第10巻，第4号，2011.
- 2) T. Hiraishi, K. Hirayama, and H. Maruyama：Applicability of Dual Serpent-type Wave Generator, 港湾技術研究所報告, Vol.37, No.4, 1998.
- 3) T. Kuroda, N. Hirata, H. Kobayashi and K. Tanizawa：Generation Method of Wash Wave by Wave Generator in Model Basin, Proceedings of OCEANS' 12, 2012.
- 4) N. Hirata and T. Hino: An Efficient Algorithm for Simulating Free-Surface Turbulent Flows around an Advancing Ship, Journal of the Society of Naval Architects Japan, Vol.185, 2000, pp.1-8
- 5) B. J. West, K. A. Brueckner and R. S. Janda: A New Numerical Method for Surface Hydrodynamics, Journal of Geophysical Research, Vol.92, No. C11, 1987.