

PS-6 曳き波再現法と曳き波中の小型船の運動計算法

流体性能評価系 * 黒田 貴子、小林 寛、谷澤 克治

1. はじめに

船が造る曳き波による小型船の事故は古くから問題とされているが、曳き波に対する小型船の運動計算法は構築されていない。曳き波中の小型船の運動を知るには、曳き波を試験水槽で再現し、曳き波に対する小型船の応答を把握する水槽試験法と運動計算法の構築が求められる。

そこで本研究では、曳き波を試験水槽の造波機で発生させ、曳き波に対する小型船の応答を模型実験により把握し、3次元数値造波水槽を用いた曳き波に対する小型船の運動計算法を構築した。

2. 曳き波の再現法

曳き波中の小型船の挙動を試験水槽で計測するには、模型船を曳航して曳き波を起し、その中で別の模型船を自航させて船体運動を計測することになる。この方法は実験の再現性の確保が難しく、曳き波を造る船と曳き波を受ける船の縮尺比を合わせるので船の大きさにも限界が生じる。そこで、本研究では当所の実海域再現水槽 (Actual Sea Model Basin: ASMB) の多分割型造波機を用いて曳き波を再現した。

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再現させる方法である¹⁾。船の曳き波の数値計算は、当所で開発した CFD コード“NEPTUNE”を用いた。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造波板 (検査線) に沿って切り出した波形に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-1 にこの造波法の概念として曳き波の CFD 結果と ASMB の造波機配置を重ねた図を示す。検査線は造波板前面となる。

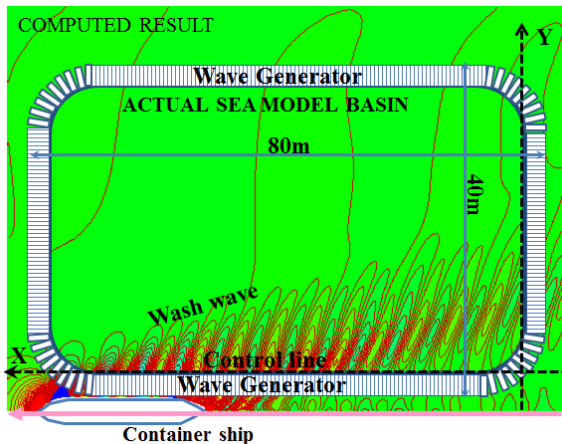


図-1 曳き波の再現法概念図

船長 200m のコンテナ船が 16kts ($F_n=0.186$) 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 $y/L_{pp}=0.30$ の位置で比較して図-2 に示す。検査線は船の中心線から $y/L_{pp}=0.15$ である。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用いて ASMB で曳き波中の小型漁船の運動計測を実施した¹⁾。

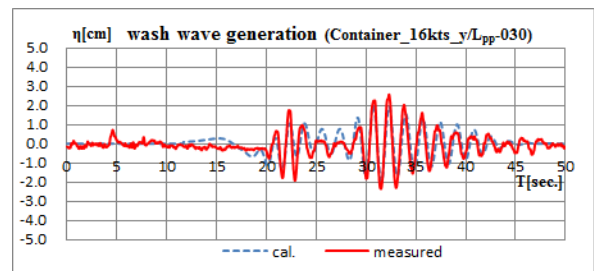


図-2 再現したコンテナ船の曳き波と計算結果 ($F_n=0.186$)

3. 曳き波に対する小型船の運動計算

3.1 3次元数値造波水槽

次に数値造波水槽 (3D-NWT) を用いて曳き波に対する小型船の運動計算を行った²⁾。3D-NWT は境界要素法による時間領域計算コードで、造波機による水槽内への造波及び浮体の運動を時間領域でシミュレートできる。計算領域は自由表面、造波面、垂直壁面、水底面と船体表面に囲まれた領域である。理想流体を仮定し、流場では速度ポテンシャル ϕ とその時間微分 ϕ_t はラプラスの式を満たす。造波面には前章で述べた曳き波再現法と同様に CFD で求めた曳き波の自由表面上の法線方向速度を与えた。図-3 に ASMB の一部を切り出した計算領域を示す。領域の大きさは $L \times B \times D=61.6\text{m} \times 24.2\text{m} \times 4.5\text{m}$ で、z 方向に 3 分割し、表層の深さは造波板深さと同じ 1.6m とし、さらに 3 分割した。長手方向は造波板 1 枚に対し 2 分割とした。垂直壁と接する自由表面の 3 辺には減衰領域を設けており、減衰係数は領域の入口で 0、奥で 1 になる 2 次式で設定した。浮体の加速度を求めるには浮体表面の圧力分布を計算する必要があり、これには ϕ に関する境界条件を解く必要がある。本計算法ではモード分解法を採用した。

ASMB の造波機で再現した $F_n=0.186$ で航行するコンテナ船の曳き波を 3D-NWT でシミュレートした。図-4 にシミュレートした曳き波の概観を、図-5 にコンテナ船の中心線から $y/L_{pp}=0.3$ 離れた位置での波高を ASMB の造波機での再現時の計測結果と合せて示す。3D-NWT

の結果と ASMB の造波機で再現した結果が良く一致していることが分かる。

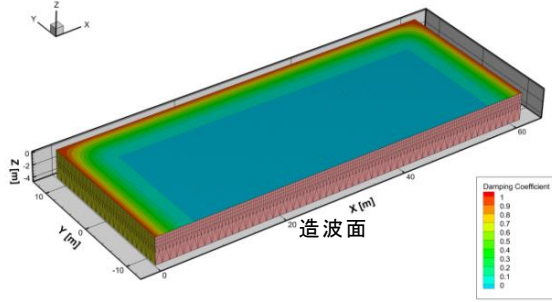


図-3 ASMBの一部を表現した3D-NWT計算領域

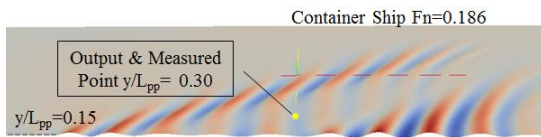


図-4 コンテナ船の曳き波計算結果 (Fn=0.186)

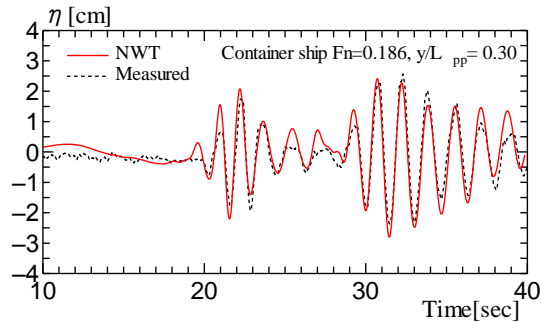


図-5 コンテナ船の曳き波の3D-NWTと計測結果

3.2 シミュレーション結果

3D-NWT で曳き波中の船体運動をシミュレートした³⁾。小型漁船の船体表面と船体周りの自由表面をメッシュ生成ツール“Gridgen”を用いてパネルを作成した。3D-NWTで粘性が考慮されないため横揺れの減衰係数は模型船の自由横揺れ試験より求めた値を設定した。図-6にコンテナ船(Fn=0.186)の曳き波中の小型漁船の運動シミュレーション結果の概観図を示す。小型漁船の位置は $y/L_{pp}=0.425$ 、検査線は $y/L_{pp}=0.15$ である。小型漁船の上下揺れ Z 、横揺れ ϕ 、縦揺れ θ のシミュレーション結果を図-7に実験結果と比較して示す。シミュレーション結果は実験結果と良く一致しており、本計算方法は曳き波中の船の運動を計算するのに有効な手段であることを示している。

4. まとめ

本研究ではCFD結果を用いて多分割型造波機で船の曳き波を再現する方法を提案し、ASMBで曳き波を再現してこの曳き波再現法の精度を確認した。さらに3次元数値造波水槽で本再現法を用いて曳き波を再現し、

曳き波中の小型漁船の運動をシミュレートした。そのシミュレーション結果を、本曳き波再現法を用いて計測した曳き波中の小型漁船の運動の結果と比較し、本計算方法が曳き波中の小型船の運動計算法として有用であることを確認した。

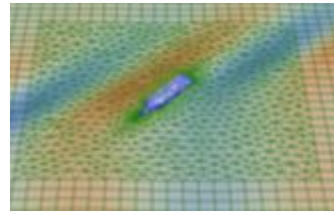


図-6 3D-NWTでのコンテナ船の曳き波中の小型漁船

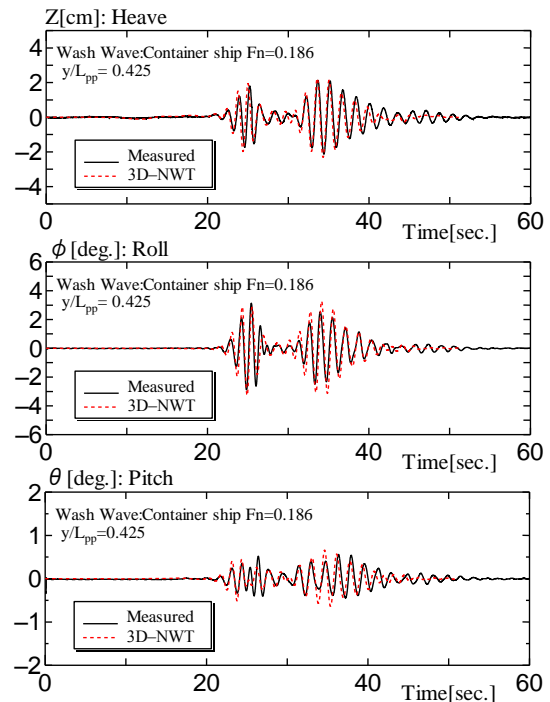


図-7 曳き波中の小型漁船の運動シミュレーション

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 24360366 の助成を受けて実施されました。関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 黒田貴子、小林寛、宝谷英貴、谷澤克治：CFDの結果を用いた曳き波再現法と曳き波中の小型船の運動計測，日本船舶海洋工学会講演論文集，第16号，p331-334，2013.
- 2) 黒田貴子、谷澤克治、小林寛：3次元数値造波水槽による曳き波造波，日本船舶海洋工学会講演論文集，19号，p165-167 2014.
- 3) Takako Kuroda, Hiroshi Kobayashi and Katsuji Tanizawa: Three Dimensional Numerical Wave tank for Simulation of Floating Ship in Wash Wave, Proceedings of ISOPE 2015, 2015.