

# PS-9 FE解析による縦曲げ・振り剛性相似模型の設計及び波浪中船体振動の再現試験

構造安全評価系 \*小森山 祐輔、岡 正義  
 東京大学 工学系研究科 宝谷 英貴

## 1. はじめに

波浪中の船体応答（運動、振動数、ひずみ、水圧など）を明らかにするため、弾性模型を用いた水槽実験が行われる。従来の弾性模型は、船体の縦曲げ振動を再現することを目的とした、バックボーン型の模型船が使用されてきた。（例えば、文献 1））。バックボーンの曲げ剛性を実船と相似にすることによって波浪中で起こるホイッピング等の現象を再現することが可能である。しかし、バックボーン模型では、船体横断面のせん断中心が船体の中心に近い位置とならざるを得ないため、振り振動特性を実船と一致させることができなかった。

この研究課題を解決するため、私たちの研究グループでは、船体全体で剛性を持たせた一体型弾性模型船の開発を行っている<sup>3)</sup>。一つの案として、バックボーンと同じ金属材料で一体型模型を製作する方法を検討したところ、振り剛性は実船と一致させることができるものの、縦曲げ剛性を一致するには、板厚を相当に薄くする必要があり、工作品質の確保が課題となり今後の検討課題とした。本研究では、寸法調整が容易なウレタン材を用いて一体型弾性模型船の設計・製作を試みた。模型船の設計において、模型船のFE固有値解析を行って、剛性相似となるよう板厚や寸法等を決める設計手法を確立したので、その概要を紹介する。さらにウレタン型弾性模型を用いた波浪中実験結果を紹介する。

## 2. 弾性模型船の設計

### 2.1 対象船舶

対象船舶は 6600TEU 型コンテナ船である。本船の主要目は表-1 に示す。模型船の縮尺比は 1/74.68 である。

表-1 対象船舶の主要目

Length (m)	283.8
Breadth (m)	42.80
Depth (m)	24.40
Draft (m)	14.00

### 2.2 設計手順概要

対象船舶の船型データから縮尺比を考慮すれば、弾性模型船の船型データを求められる。それから、模型船の板厚等を決定する必要がある。そこで、まずは船体中央断面の断面定数（曲げ剛性、振り剛性、曲げ振り剛性）を計算し、製作・実

験が可能で、かつ実船相似になるような板厚寸法を決定する。次に、船型データ・板厚を基に弾性模型船のFEモデルを作成する。初期値として横隔壁の板厚は船殻と同等な板厚を設定する。そして、そのFEモデルを用いてWET（接水状態）の固有振動数解析を実施する。得られた弾性模型船の固有振動数と、実船相似の固有振動数を比較し、一致しない場合は各板厚を変更し、再度固有振動数解析を実施した。固有振動数解析→比較→寸法修正を繰り返し実施し、実船相似に近い固有振動数となるような寸法を決定した。本設計フローを図-1 に示す。

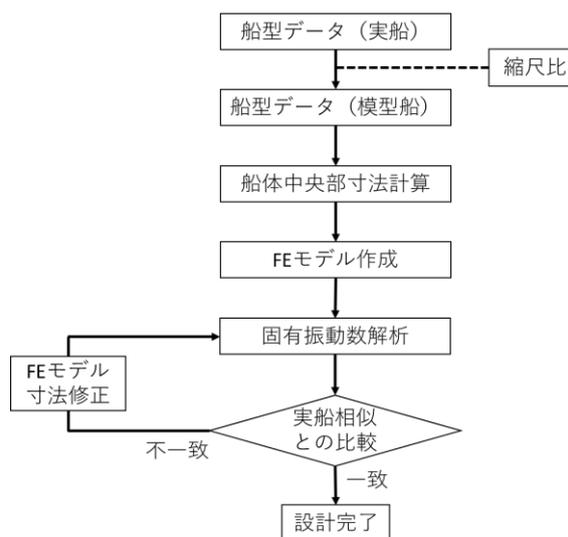


図-1 弾性模型船の設計フロー

### 2.3 設計第1段階：中央断面部の断面定数の計算

陽な理論算式を用いて船体中央断面における断面定数を計算し、実船相似と一致するような板厚を決定した。詳細な計算については文献3)を参考にされたい。

### 2.4 設計第2段階：FE解析（固有振動数解析）

商用FE解析ソフトウェアであるMSC.NASTRANを利用して、WETの固有振動数解析を実施した。WETの固有振動数を計算するために解析コマンドMFLUIDを利用した。なお対象とした振動モードは図-2に示す2節縦曲げ振動モードと振り振動モードである。

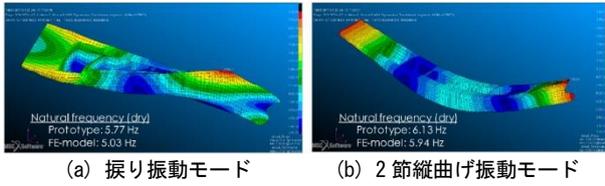


図-2 対象とした振動モードの固有振動数解析結果<sup>3)</sup>

### 3. 水槽試験結果

2章で示した方法で設計・製作した弾性模型船を利用し、海技研が有する実海域再現水槽にて波浪中曳航試験を実施した。弾性模型船には図-3に示す位置にFBG (Fiber Bragg Grating) ひずみゲージを設置した。

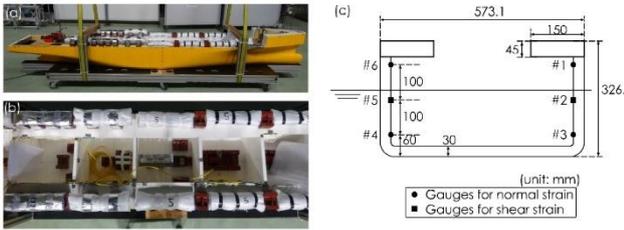


図-3 弾性模型船とFBG ひずみゲージ位置<sup>3)</sup>

WET状態でハンマリング試験を実施し、WET固有振動数を計測した。その結果を表-2に示す。模型船のFEモデルと製作した模型船の固有振動数はおおよそ一致している。一方、実船相似と模型船のFEモデルの固有振動数は、オーダーとしては同程度ではあるが振り振動と縦曲げ振動の固有振動数が逆転している。一致させるには図-1に示した設計フローの寸法修正を更に繰り返し実施する必要が考えられる。

表-2 WET固有振動数解析 (単位: Hz)<sup>3)</sup>

	実船相似 (FE)	模型船 (FE)	模型船 (実験)
2節縦曲げ振動	4.77	4.34	5.49
振り振動	5.08	3.91	3.91

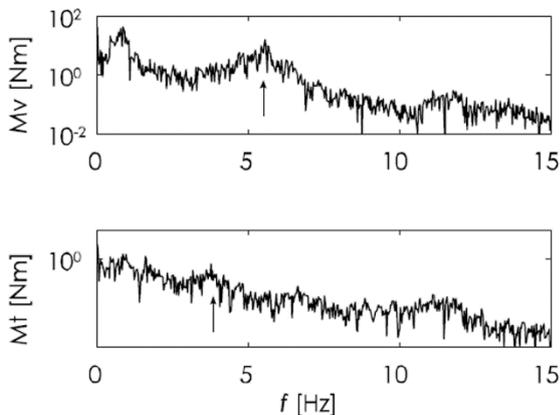


図-4 縦曲げ・振りモーメントのスペクトル<sup>3)</sup>

また、波浪中試験結果より、試験前に実施した3点曲げ試験と振り試験から得られたモーメント-ひずみの校正係数を用いて、縦曲げモーメントと振りモーメントを計算した。それら結果にFFT (Fast Fourier Transform) を掛け、スペクトル領域で表したグラフを図-4に示す。図-4から表-2に示した模型船のWET固有振動数に相当する振動数でピーク値を取っていることが確認できた。以上から、応答値についても相似な弾性模型船であることを確認し、FEMを用いた弾性模型船の設計の妥当性を明らかにすることが出来た。

### 4. まとめ

せん断中心まで一致した縦曲げ・振り剛性相似な弾性模型船の設計・製作を実施した。設計では、はじめに初等はり理論により横断面の寸法を決定し、詳細な横隔壁や船殻の板厚寸法の決定は、FE解析による固有振動数解析結果が実船相似と一致するように寸法修正を繰り返すことで実施した。

製作した弾性模型船の縦曲げ・振り相似の妥当性を検証するために、実海域再現水槽にて波浪中曳航試験を実施した。その結果、模型船の固有振動数と同程度の振動数に、縦曲げ・振りのスペクトルのピーク振動数が確認された。以上から、本論文で紹介している一体型弾性模型船の設計方法の妥当性を検証することが出来た。

### 謝辞

本研究では、海上技術安全研究所の深沢フェロー、谷澤研究統括監、田中研究特命主管、松井研究員、沢田研究員に多大な協力を頂いた。本研究の一部はJSPS科研費16H02429(研究代表者:早稲田卓爾)の助成を受け実施した。関係各位に深く感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 例えば、岡正義: 新型バックボーン模型による波浪中船体振動の再現について、第10回海上技術安全研究所発表会講演集, (2010), pp. 297-298.
- 2) 松井貞興, 村上睦尚, 岡正義: 実験との比較による非線形波浪荷重解析プログラムNMRI-Wの適用性の検証—規則波中船体応答—, 海上技術安全研究所報告, 第17巻第3号(2017), pp. 297-380.
- 3) Hidetaka Houtani, Yusuke Komoriyama, Sadaoki Matsui, Masayoshi Oka, Hiroshi Sawada, Yoshiteru Tanaka and Katsuji Tanizawa: Designing a Hydro-Structural Ship Model to Experimentally Measure its Vertical Bending and Torsional Vibrations, Journal of Advanced Research in Ocean Engineering, 4(4), (2018), pp. 174-184.