

# SR 236

SHIP RESEARCH SUMMARY REPORT

振動予測技術の高度化に関する研究

## 成 果 報 告 書

平成12年3月

社団 日本造船研究協会

**SR236 振動設計支援ツール**  
更新：平成11年6月11日  
＊作業を適切してください。  
（初めてデータ入力が必要です）

(1)データの入力      データのクリア  
 (2)簡易式による推定      他の簡易式  
 (3)類似船の検索

(4)回帰推定 (SR236の方法)      (5)総合評価

アドレス② http://sr236.sr236/

**SR236 船舶振動設計支援ツール**  
VibShip

行き先	説明	参考、キーワード
振動設計フリー	全般にわたる振動設計ツールが参照できます。設計フローから各種支援ツールの利用もできます。	
<b>各種振動推定</b>		
起振力	エンジンやプロペラなどの起振源の起振力の推定ができます。	
エンジン(主機)	エンジンの振動が推定できます。エンジンのデータベースが参照できます。	防振ステー、軸系との連成
プロペラ	プロペラサーフェースフォースなどプロペラに起因する起振力を推定できます。	
船舶節振動	主船体の節振動の固有振動数、振動モード、振動応答を推定できます。付加水質量マトリックスを評価する方法を知ることができます。	付加水質量
上部構造振動	上部構造の固有振動数を推定することができます。本研究で開発された各種推定ツールが使用できます。上部構造+ドジャーの形状データベースを参照できます。	ファンネルとの連成振動、回帰分析、ニューラルネット
局部振動	平板、梁、防振板、ドジャーなどの固有振動数を推定できます。(SR236の対象は一部の局部振動のみ) 上部構造+ドジャーの形状データベースを参照できます。振動計測における甲板重量のアンケート結果が参照できます。	
<b>振動計測</b>		
振動計測法	本SRで作成された実船計測の統一計測法とまとめ方について説明しています。振動計測用のデータシートのファイルがダウンロードできます。	
実船計測データベース	本研究で収集された実船振動計測データ(実験データ)を参照できます。	
<b>振動トラブルと対策法</b>		
振動トラブルデータベース	実際には発生したトラブルとその対策のデータベースを参照できます。	振動による疲労
防振対策	試験時の振動対策や振動発生時の防振対策を参照できます。	
<b>振動評価基準</b>		
振動評価基準	ISOなどの船舶振動許容値を参照できます。	
振動関連用語集	振動関連用語の解説を参照できます。	
<b>各種ツールとデータベース</b>		
シールドライブ	本モジュール	
船体振動関連文献データベース	本モジュール	
<b>本振動支援ツールの構成</b>		
各種データベース	本モジュール	
各種ツール	本モジュール	
各種ガイド	詳細	
各種図面	詳細	
各種基準	詳細	

口絵1 船体振動設計支援ツール

# 振動設計支援システムの構築

## <現状>

- ・船体構造の変革や舶用機関の新型化に伴い従来法では正確な振動推定が難しい。
- ・1社では、データ少なく振動推定が不正確である。
- ・正確な振動推定するには多大な労力と経費がかかる。
- ・詳細FEM解析の専門的ノウハウを十分握っていない。
- ・適切な防振対策法を握っているとは言えず、技術伝承が困難である。

振動問題  
今だに  
生じている。

## <研究目的>

精度良く迅速に振動推定・検討の出来る実用的設計指針及び評価法を得る。

## <研究開発目標>

- ・振動予測技術の高度化を図り、  
予測の迅速化・精度向上
- ・利用しやすいデータベースの構築
- ・設計支援システムの構築
- ・インターネット利用
- ・振動技術の知識向上・伝承

## <研究開発内容>

- |            |              |
|------------|--------------|
| ・振動文献調査    | ・各種データベースの収集 |
| ・簡易推定法の研究  | ・起振力調査       |
| ・詳細解析法の研究  | ・評価基準調査      |
| ・振簡易解析法の開発 | ・統一計測法の作成    |
|            | ・振動設計各種ツール   |

## "振動設計支援システム"の開発

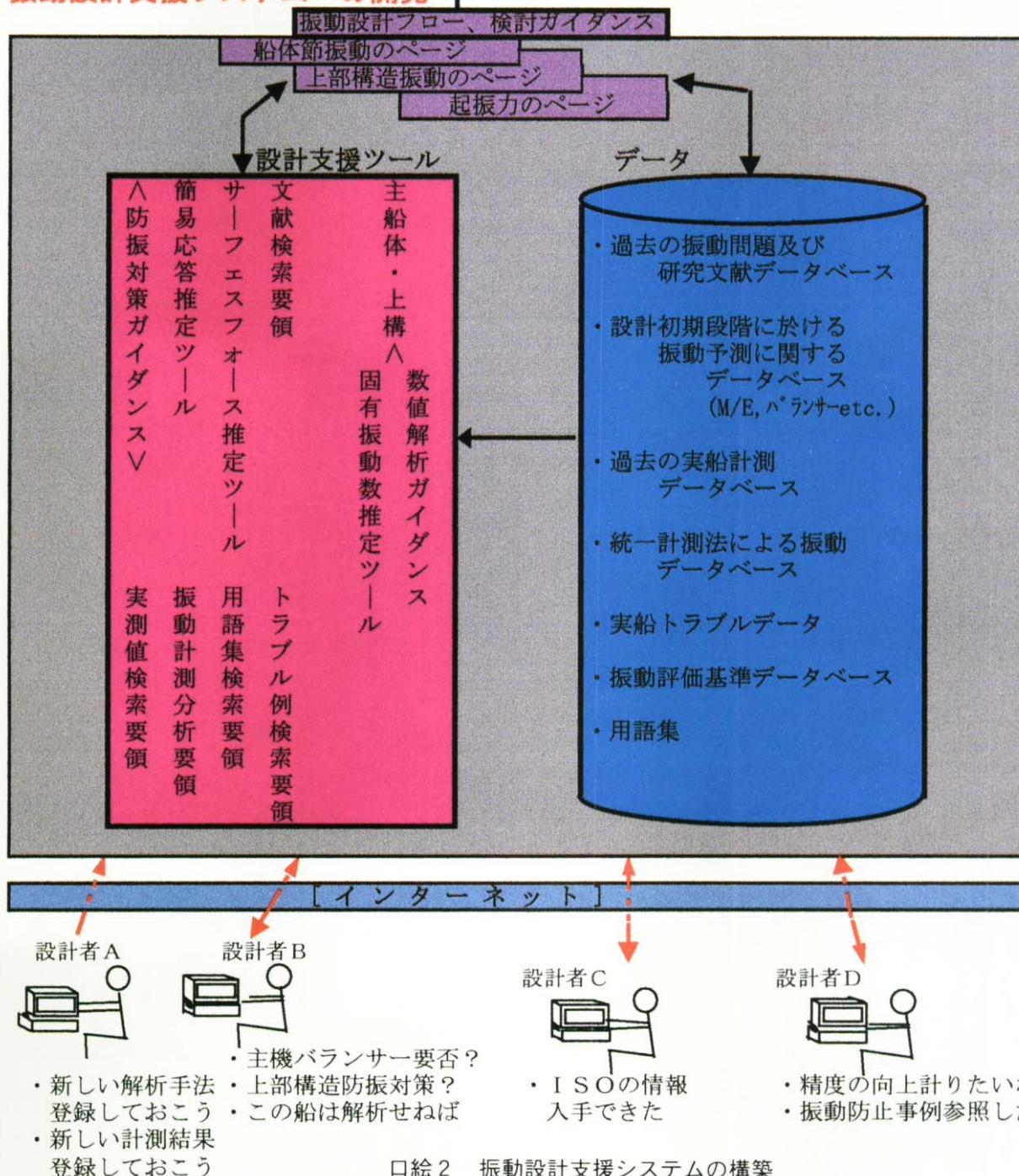


図2 振動設計支援システムの構築

# S R 2 3 6 「振動予測技術の高度化に関する研究」 要 約

## Ship Research Panel 236 "Studies on advanced techniques for prediction of ship vibration"

Now many troubles caused by vibration have still happened just before or after the delivery of ships with the recent technical improvement of hull structure and newly developed main engines in spite of remarkable development of analyzing techniques together with improved accuracy of calculation on structural vibration.

Now it is important to predict the ship vibration performance accurately and to make plans for prevention against vibration in the initial design stage.

This research project is intended to investigate basic techniques for proper prediction of hull vibration in initial design stage by researching and analyzing the recent collected data.

Moreover it is also intended to propose the practical design guide and the method of design assessment by establishing the advanced design system for vibration which make use of internet tools.

The present research can give ship designers various knowledge and techniques for investigation on vibration, and this system for vibration design can be applied usefully in various design stages.

### 1. 研究の目的

今日数値解析手法はめざましい発展を遂げ、その精度の向上も図られるようになってきたが、近年の船殻構造の変革や舶用機関の新型化に伴い、依然として引き渡し前後の振動トラブルが絶えないのが実状である。

従って、快適居住環境を持った高品質船を実現するためにも、設計の初期段階で精度の良い船体振動予測が出来るための基礎技術の研究や、設計各段階に応じた迅速で最適な振動検討法についての研究を行い、振動に関する実用的な設計指針及び設計評価法を得ることを本研究部会の目的とする。

更に、この成果を有効に利用し易く、又、常に最新のデータ更新が図られるようにインターネットも利用した振動設計支援システムとして構築することも目的の一つである。

### 2. 研究の内容

#### (1) 過去の振動問題及び研究の調査・整理

##### a) 文献調査

振動関連文献を調査し、出典毎に船種、振動種類、解析種類等の内容を分類表示し、調査検索しやすいように整理した。

・振動研究に関して主船体節振動及び上部構造に絞り、振動推定に関する簡易式、簡易 FEM、詳細 FEM について、解析精度、解析モデル等の資料調査を行った。

##### b) 振動計測結果に関する調査・研究

・各社の最新の実船計測データやトラブル例をデータベースとして収集した。

c ) 振動評価に関する調査・研究

・居住区の評価基準や構造部材の振動許容基準についてアンケート調査をした。

(2) 設計各段階における振動予測

a ) 簡易推定法の構築

従来式における付加水質量係数、剪断剛性係数などの式要素を実船計測値と比較し、回帰分析により修正した簡易推定式や、ニューラルネットワークを適用した推定方法を検討した。

b ) 振動解析の簡易化（簡易 FEM）に関する研究

新簡易 FEM 解析法として、船体節振動に関しては部材要素、要素剛性、及び流体領域における3次元全船モデル化等を検討し、上部構造の前後振動解析に関してはエンジルームの第3甲板までのモデルを考慮して、それぞれ簡易 FEM 解析を行い、実船計測値と比較し条件を種々変化させながら精度を上げる研究をした。

c ) 数値解析技術（詳細 FEM）の研究

詳細 FEM 解析をアフラタンカー、1500TEU コンテナ船、パナマックスバルカーを対象に実施し、実船同時多点計測も起振機試験時ならびに航走時に数値解析技術におけるメッシュサイズや部材剛性及び流体領域を含む3次元全船モデル化条件について計算精度の確認を行いながら研究した。

(3) 統一計測法による振動データの収集

a ) 振動設計支援データベースの構築に必要な基礎データとなる節振動、上部構造前後左右振動、主機架構振動及びドジャーウイング前後振動に対する固有振動数や、その時の加速度及びモードの検出を目的として効率よくデータが収集できる統一計測法を作成して、各社建造中のバラ積み貨物船、タンカー、コンテナ船等を対象として試運転航走中の計測を12隻実施した。

b ) 上記計測データを統一的に分析し、統一的表示法により次数毎の共振曲線、位相曲線、及び節振動モード曲線等を求めてデータベースとした。

(4) 設計データベース及び振動設計支援システムの構築

a ) 振動設計に使用するデータベースを主に「振動計測データ」、「振動トラブルデータ」、「船体振動文献」で構成してリレーションナルデータベースとして蓄積した。

b ) 総合的振動設計支援システムの構築

上記データを初期設計時の振動予測や必要時期における防振対策を考慮した振動設計支援ツールと有機的に関連付けてデータを有効に加工利用できる動的利用システムを検討した。

具体的に節振動、上部構造振動、局部振動等の検討時に利用する関連文献、許容基準、トラブル例、振動予測法、防振対策法等の検索・検討も同時にできるツールを構築してインターネットも利用できる振動設計支援システムとした。

### 3. 得られた成果・活用

- a) 低振動船の実現による居住性の向上と船舶の品質向上
- b) 船舶設計時の防振設計のための知見とデータの整備
- c) 設計初期段階における船体振動予測
- d) 振動問題発生時の対策立案

等ができ船体設計の振動に関する基礎資料、基礎知見、解析技術及び振動防止設計指針が得られた。

これらをインターネットの利用も考慮した振動設計支援システムとして構築し、設計の各段階で迅速に精度良く振動防止設計及び検討が出来るようになった。

具体的な成果及び活用は下記の通りである。

#### (1) 設計初期段階及び設計各段階に於ける振動予測の迅速化及び精度向上

- a) 簡易推定式、簡易 FEM 解析及び詳細 FEM 解析の構築により 3 段階の固有振動数推定法が確立できた。また、従来曖昧であった解析時におけるモデル化条件等の種々のノウハウが得られると同時に問題点も明らかになり、それらをマニュアルとしたので、解析精度が解析者の経験と勘に左右されることなく標準的に効率よく解析が出来るようになった。
- b) 簡易算式による固有振動数推定法は従来式をもとにして実船計測結果から類似船を分類しながら回帰分析にて作成したものなので、精度的にも 5 ~ 10% となり、初期設計時の適用においても満足いく推定式となった。

更なる新しい実船計測データをインターネットで収集すれば常に最新のデータベースとなり、類似船の振動数推定には一層精度良く適用できることになる。

- c) 開発の主目標に置いた簡易 FEM 解析による船体固有振動数推定は、詳細 FEM に比べて簡易な 3 次元立体モデル化を図り、精度は詳細 FEM 解析値に近い結果を得ることが出来た。

本解析は基本設計時に有効なので、自動モデル化も含めて更なる改良を図っていくことを期待したい。

なお、上部構造においては数 % 内の良い一致を得た。

- d) 詳細 3 次元立体 FEM 解析については、簡易推定法において船体や上部構造が共振の可能性がある場合に行なうことがある。その場合、詳細図面からモデル化をして解析に入るので時間が掛かるが、実績類似船がなくても新船型船に於いて精度のよい固有振動数を求めることが出来る。この研究に於いては、船体固有振動数推定の精度はほぼ 10% 以下となる手法を構築した。この精度は現段階ではほぼ良い結果と判断できる。

モデル化手法にはまだ改良すべき点もあるので更なる精度は今後に期待したい。

#### (2) 振動設計支援システムの構築及びインターネットの利用

- a) 統一的計測法により収集した「振動計測データ」、その他「振動トラブルデータ」、「船体振動文献データ」等のデータベース群が構築された。
- b) 設計時または振動問題発生時のどの段階でも振動予測や振動対策検討が迅速に出来る

パソコン利用の種々のツールを作成して振動設計支援システムを構築した。

- c) この支援システムはインターネットブラウザも使用してホームページ形式による検索・閲覧（静的）が出来る。また、データベースを取り出して振動数推定や簡易応答量推定計算が出来ることや、自分の欲しい式やグラフを作成できるなど応用的利用、検討（動的）ができる。
- d) なお、振動予測法について、簡易推定式はこの振動設計支援システムに組み込まれているが、FEM 振動解析についてはマニュアルや解析検討時に問題となった項目の説明が組み込まれているので、解析の検討が標準的に新人でもスムーズに行えるものとなった。
- e) 研究した振動技術の知識・ノウハウ及びそれらの設計指針及び評価法は若手に伝承し、更に改良更新し易い成果物となった。

今後も新しいデータを蓄積し、精度のよい結果が得られるような拡張性のある最新の「振動設計支援システム」として構築したので、引き続きインターネットメールで新データを転送、共有蓄積管理し、この支援システムを継続的に改善・活用していく。

## はしがき

本成果報告書は、日本財団の補助事業として、日本造船研究協会第236研究部会において、平成9年度から平成11年度の3ヵ年計画で実施した「振動予測技術の高度化に関する研究」の成果を取りまとめたものである。

なお、平成10～11年度の2ヵ年は日本造船工業会から受託して行ったものである。

### 第236研究部会 委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	香川 洸二	(九州大学)	
代表幹事	藤井 正実	(名村造船所)	
委員	安澤 幸隆	(九州大学)	道本 順一 (海上保安大学校)
(故)	船木 俊彦	(大阪大学)	林 茂弘 (大阪大学)
	熊野 厚	(日本海事協会)	佐藤 和範 (日本造船技術センター)
	渡邊 純男	(名村造船所)	高橋 克明 (名村造船所)
	上島 雄助	(佐世保重工業)	川久保善晴 (佐世保重工業)
	森 茂博	(大島造船所)	河野 健二 (常石造船)
	藤田 考太	(常石造船)	金川 剛 (函館どつく)
	川内 章裕	(幸陽船渠)	牛島 守一 (今治造船)
	中谷 浩一	(尾道造船)	前野 嘉孝 (サノヤス・ヒシノ明昌)
	宮内 淳	(新来島どつく)	福岡 伸治 (カナサシ)

### 第236研究部会WG1 委員名簿

(敬称略、順不同)

主査	安澤 幸隆	(九州大学)	
幹事	森 茂博	(大島造船所)	
委員	香川 洸二	(九州大学)	越智 宏 (日本海事協会)
	藤井 正実	(名村造船所)	佐藤 和範 (日本造船技術センター)
	河野 健二	(常石造船)	藤田 考太 (常石造船)
	金川 剛	(函館どつく)	川内 章裕 (幸陽船渠)
	牛島 守一	(今治造船)	

## 第236研究部会WG2 委員名簿

(敬称略、順不同)

主 員	査 渡邊 香川 林 高橋 前野 福岡 川久保善晴	道本 純一 (海上保安大学校) 純男 (名村造船所) 洸二 (九州大学) 茂弘 (大阪大学) 克明 (名村造船所) 嘉孝 (サノヤス・ヒシノ明昌) 伸治 (カナサシ) 善晴 (佐世保重工業)	藤井 船木 (故) 中谷 宮内 上島	正実 (名村造船所) 俊彦 (大阪大学) 厚 (日本海事協会) 浩一 (尾道造船) 淳 (新来島どつく) 雄助 (佐世保重工業)
-----	--------------------------	---	--------------------	--

## 討議参加者

(敬称略、順不同)

兼子 曾波 深堀 富上 兼田 豊田	敏明 (函館どつく) 洋司 (尾道造船) 勝久 (尾道造船) 毅 (佐世保重工業) 正樹 (常石造船) 和隆 (九州大学)	成田 渡邊 八木 植木 白木	征 (函館どつく) 陽 (カナサシ) 一桐 (サノヤス・ヒシノ明昌) 是長 (佐世保重工業) 政寛 (大島造船所)
-------------------	--	----------------	---

事務局 (日本造船研究協会) 山内 康勝・村上 好男・武田 晴雄  
(日本造船工業会) 吉識 恒夫

## 目 次

1. 研究の目的	1
2. 研究の目標	2
3. 振動設計支援システムの構築	4
3.1 振動設計支援システム	4
3.1.1 データベースの構成	4
(a) データベースの支援ツールによる「静的利用法」	4
(b) データベースの支援ツールによる「動的利用法」	4
(c) 構築データベース群	5
3.1.2 設計支援ツール（含むガイダンス等）	5
(a) 支援ツールの役目	5
(b) 構築設計支援ツール（含むガイダンス）	5
3.2 データベース及び設計支援ツール（含むガイダンス）の構築実例	6
3.2.1 データベースの例	6
(a) 振動文献データベース	6
(b) 振動計測データベース	7
(c) 振動トラブルデータベース	7
(d) 主機要目・起振力データ	7
(e) ドジャーの設計・振動計測事例	7
(f) 用語集	7
3.2.2 設計支援ツール（含むガイダンス）の例	8
(a) 船体節振動関係ツール	8
(b) 上部構造振動関係ツール	11
(c) 主機の振動関係ツール	14
(d) 起振力関係ツール	15
(e) データベース検索要領	15
(f) その他（ツール・ガイダンス以外の）解説など	16
4. 固有振動数推定解析法の開発	18
4.1 簡易 FEM モデルによる固有振動数推定法の開発	18
4.1.1 簡易 FEM モデルによる船体節固有振動数推定法	18
4.1.2 簡易 FEM モデルによる上部構造固有振動数推定法	20
4.2 詳細 FEM モデルによる固有振動数推定法の開発	21
5. 成果と今後の活用	23

## 1. 研究の目的

今日数値解析手法はめざましい発展を遂げ、その精度の向上も図られるようになってきたが、近年の船殻構造の変革や舶用機関の新型化に伴い、依然として引き渡し前後の振動トラブルが絶えないのが実状である。

従って、快適居住環境を保った高品質船を実現するためにも、設計の初期段階で精度の良い船体振動予測が出来るための基礎技術の研究や、設計各段階に応じた迅速で最適な振動検討法についての研究を行い、振動に関する実用的な設計指針及び設計評価法を得ることを本研究部会の目的とする。

## 2. 研究の目標

前述の目的を果たすため、本研究部会では以下の事項を研究目標とした。

なお、現在の設計各段階に於ける標準防振設計フローは図2.1の通りであり、これに沿った設計指針及び設計評価法の効果的利用を狙った本部会の最終の目標構想を(口絵2)「振動設計支援システムの構築」に示す。

### (1) 設計初期段階、及び設計各段階における振動予測の迅速化及び精度向上

- a) 船体節振動、及び上部構造の前後振動の固有振動数の推定に関し、簡易推定法、簡易FEM解析法、及び詳細FEM解析法の3段階の推定法を確立する。
- b) 特に簡易FEM振動解析法を確立して設計初期段階に於いて、迅速に精度良い推定が出来るようとする。

### (2) 利用しやすいデータベースの構築

参考文献、実船計測データ、実船トラブルデータ、振動評価基準等のデータ、過去の振動問題や研究に関するデータ及びその他の振動予測に必要なデータベースについて充実を図り、振動予測ツールや振動対策ツール等と有機的に関連付けて利用しやすいデータベースを構築する。

### (3) 振動設計支援システムの構築

上記データベースと解析技術や種々の振動検討ツールと有機的に関連付けて、振動に関する実用的な設計指針及び設計評価法を確立し、それらを新人でも容易に静的及び動的に、また、設計時または振動問題発生時のどの段階でも振動予測設計及び振動対策検討等が精度良く迅速に出来るパソコン利用の振動設計支援システムの構築を図る。

### (4) インターネットの利用

インターネットを利用して常に最新のデータ特に実船振動計測データを蓄積し、データの共有化及び振動検討ツールによるその有効利用を図る。

### (5) 振動技術の知識向上及び伝承

新人でも容易に取り組めるように振動検討法や、振動解析法について出来るだけの詳細解説や詳細解析ガイド等を作成して振動設計支援ツールに組み込む。

## 標準防振設計フロー（現状の一般的な防振設計フローを仮想したもの）

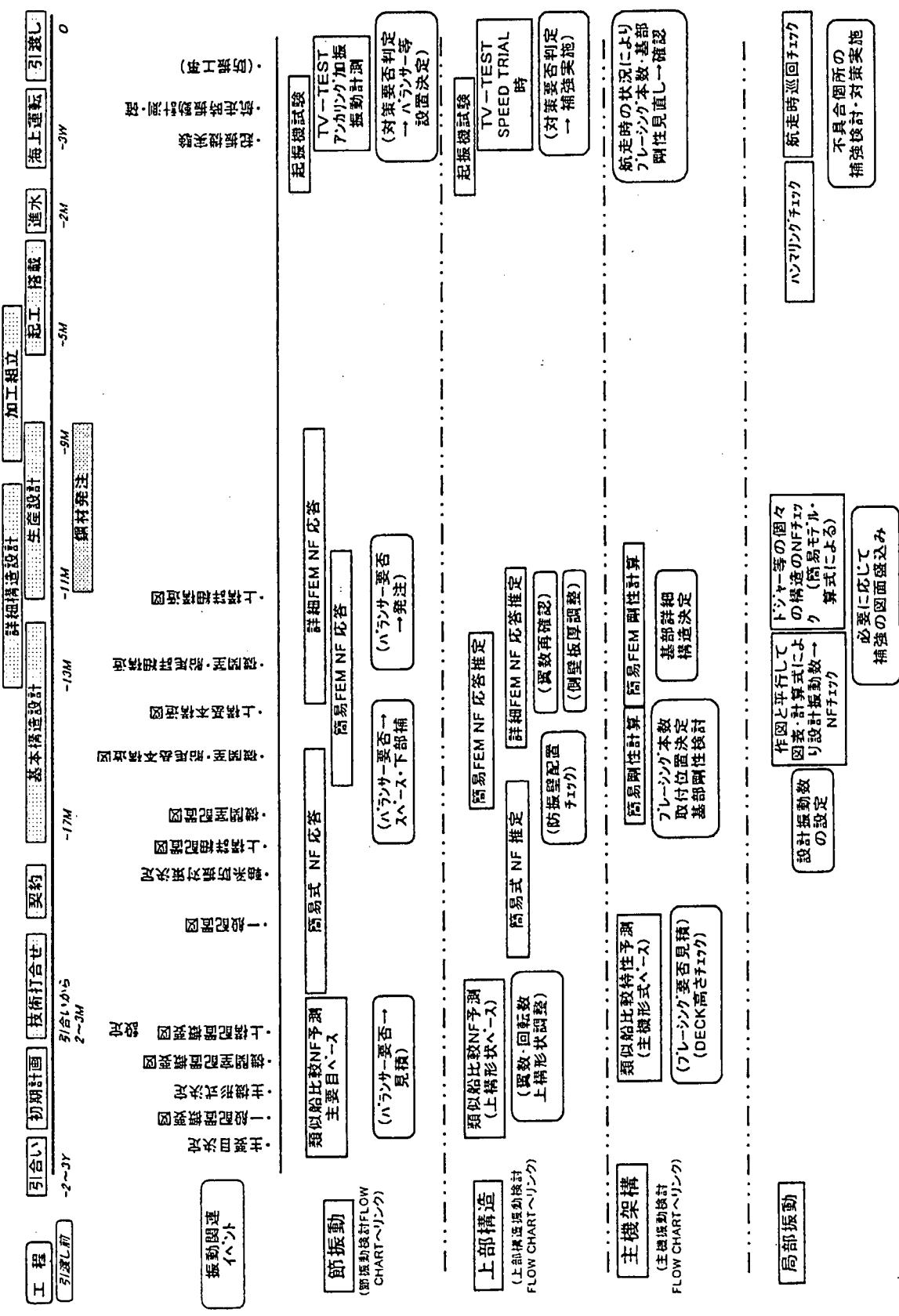


図2.1 防振設計フロー

### 3. 振動設計支援システムの構築

#### 3.1 振動設計支援システム

過去の振動技術、振動問題に関するデータや最新の振動計測等のリレーショナルデータベース群と振動検討のための各種支援ツールとを有機的に関連付けて、振動に関する実用的な設計指針及び設計評価法を確立し、設計時または振動問題発生時の段階でも振動予測設計や振動対策検討等が精度良く迅速に出来るインターネット、パソコンを利用した「設計支援システム」を構築した。(図3.1.1、図3.1.2参照)

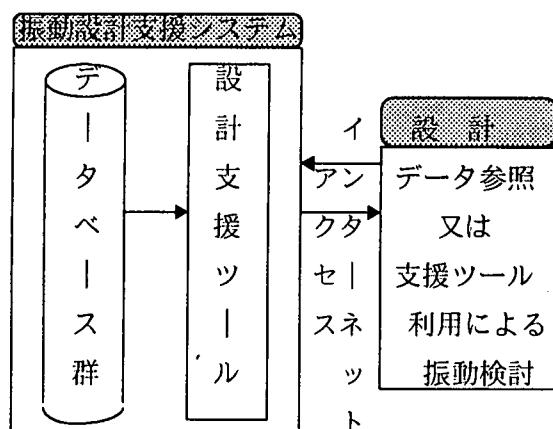


図3.1.1 振動設計支援システムイメージ  
(詳細は口絵2参照)

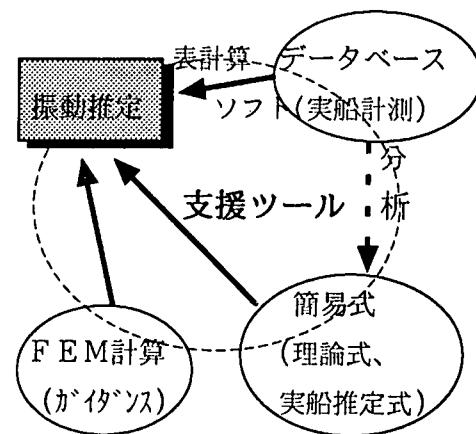


図3.1.2 支援システム適用例  
(振動推定作業)

##### 3.1.1 データベースの構成

振動設計に使用するデータは、データをそのまま使ったり、設計時に検証し易い形態に事前に加工して準備した加工データ（静的利用）と、3.1.2で述べる支援ツールにより利用者が欲しい形態にデータを自由に加工出来るよう（動的利用法）なデータベースを準備した。

###### (a) データベースの支援ツールによる「静的利用法」

- ・ Internet Web Browser を user's interface として利用
- ・ 既に作られた図表の閲覧
- ・ データベースのデータをダウンロード
- ・ 参考文献、専門用語解説を閲覧

###### (b) データベースの支援ツールによる「動的利用法」

- ・ リレーショナルデータベースを利用する
- ・ 必要な項目の必要な範囲のデータのみを抽出して表計算ソフトデータを作成
- ・ 統計解析、グラフ作成などで分析
- ・ 近似曲線、簡易推定式を作成し、設計対象船の振動数や振動応答を推定

(c) 構築データベース群

- ・振動文献データベース
- ・振動トラブルデータベース
- ・振動計測データベース
- ・主機要目・起振力データベース
- ・ドジャーの設計・振動計測事例
- ・用語集

3.1.2 設計支援ツール（含むガイダンス等）

(a) 支援ツールの役目

- ・振動設計手順・指針の支援
- ・実船計測データの参照と分析による推定
- ・設計式による振動数、応答の推定
- ・FEM 解析手順の支援
- ・防振対策手順の支援

(b) 構築設計支援ツール（含むガイダンス）

上記3.1.1 (c)の各種データの有効利用（静的、動的）や固有振動数推定法等を研究して設計時に必要な支援ツールやガイダンス等を以下の如く構築した。

(1) 船体節振動関係ツール

- ・節振動防振設計フロー及び検討手順のガイダンス
- ・類似船固有振動数実測結果検索ツール
- ・簡易式による固有振動数推定ツール
- ・実船計測結果を用いた標準モード／標準モード傾斜作成ツール
- ・節振動簡易応答・消振力推定ツール
- ・簡易 FEM による固有振動数推定ガイダンス
- ・詳細 FEM による固有振動数推定ガイダンス
- ・その他バランサー要否検討等の節振動参考設計資料（検索）

(2) 上部構造振動関係ツール

- ・上部構造振動防振設計フロー及び検討手順のガイダンス
- ・類似船固有振動数実測結果検索ツール
- ・回帰分析による固有振動数簡易推定ツール
- ・パラメトリックスタディーによる固有振動数簡易推定ツール
- ・ニューラルネットワークによる振動数推定プログラム
- ・簡易 FEM による固有振動数推定ガイダンス

(3) 主機の振動関係ツール

- ・主機振動防振設計フロー及び検討手順のガイダンス





### 3.2.2 設計支援ツール（含むガイダンス）の例

#### (a) 船体節振動関係ツール

##### (a)-1) 節振動防振設計フロー及び検討手順のガイダンス

船体節振動を検討する場合の設計フローを図3.2.5に示す。

このフローの解説は別途「検討手順のガイダンス」としてまとめている。

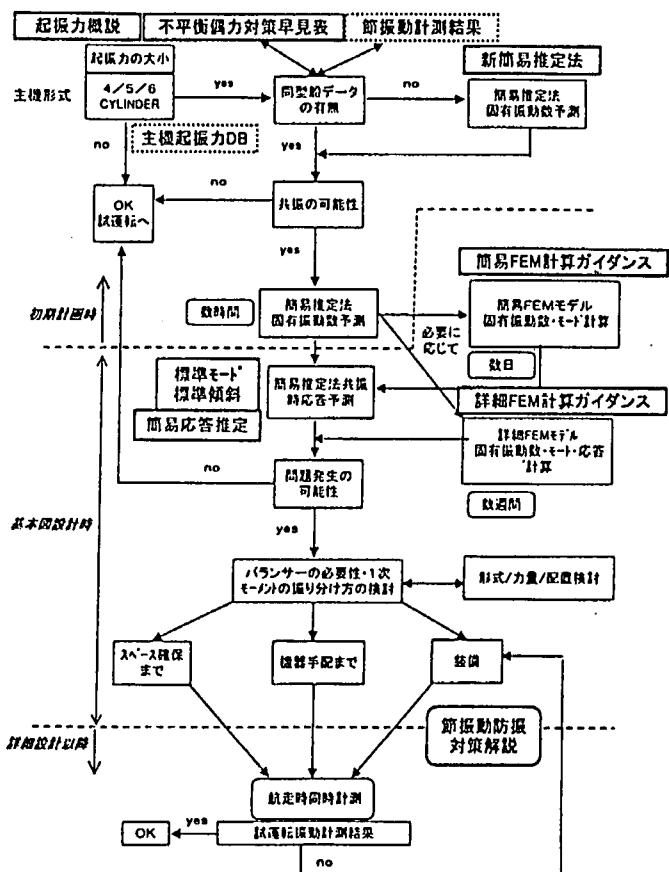


図3.2.5 節振動検討フロー

##### (a)-2) 類似船固有振動数実測結果検索ツール（図3.2.6）

収集した実船計測データ（図3.2.2）をまとめた固有振動数の一覧が検索できる。

実船振動計測データ

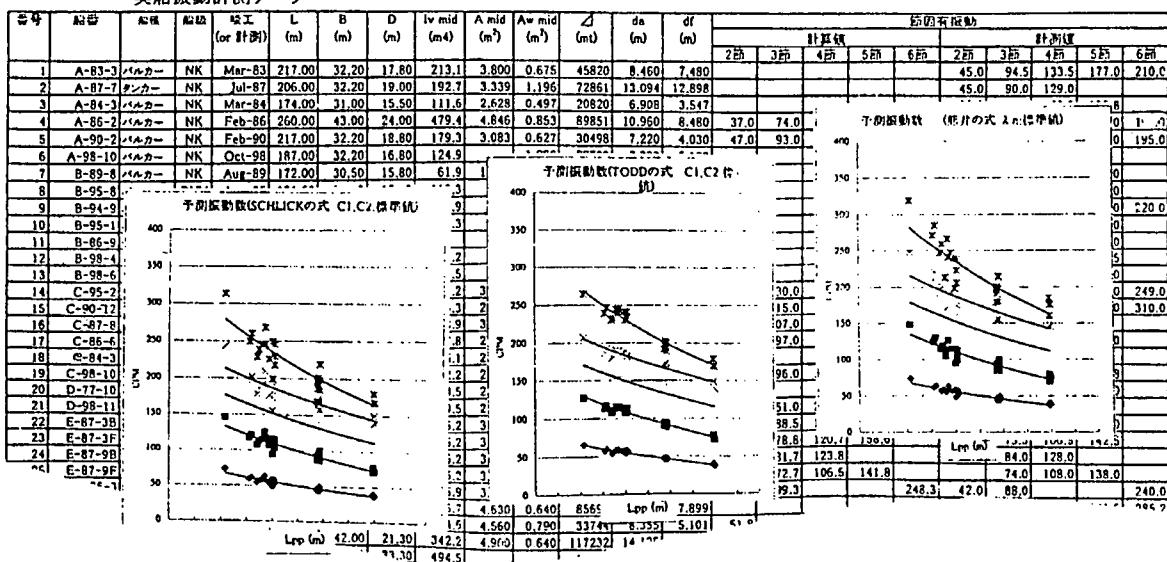


図3.2.6 固有振動数の実測結果検索

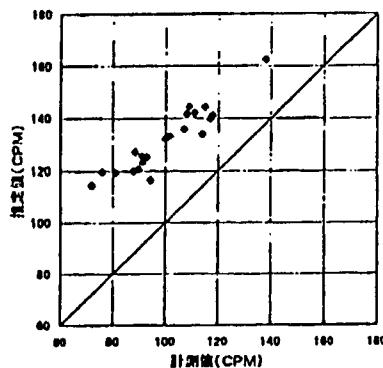
### (a)-3) 簡易算式による固有振動数推定ツール

従来の簡易推定式による値と実測値は図3.2.7に示した如く、かなりの差異があることが分かる。よって初期設計時に主要目、剛性係数、排水量等を入力して、より早く精度良く船体節振動数の簡易推定が出来るツールを作成した。(図3.2.8、図3.2.9)

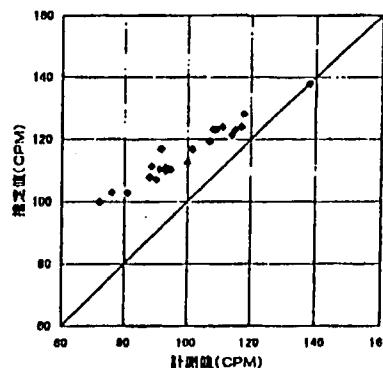
このツールは熊井の式、TODD の式、SCHLICK の式をベースに実船計測データより諸係数（せん断剛性係数、付加水質量係数、固有値係数等）を導き導出したものであり、その精度はほぼ5～10%以内である。(図3.2.10)

推定は船種毎の標準データを用いる方法と、ホールド数等で絞り込みを行って検索された船のデータのみを用いて行う方法を選択できます。

また、標準的な剛性分布、質量分布に基づいて、各節の振動モードを変断面梁により計算することも出来る。



従来式との比較（その1）



従来式との比較（その2）

図3.2.7 従来式と実測値との比較

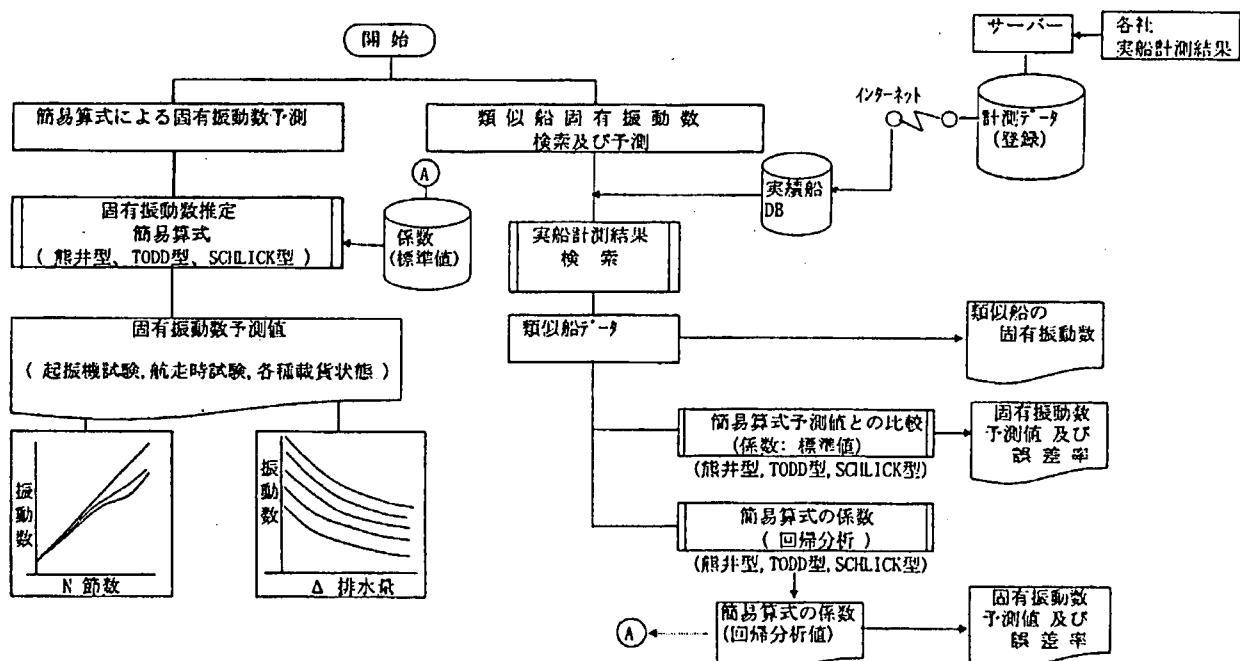


図3.2.8 固有振動数推定ツールフロー

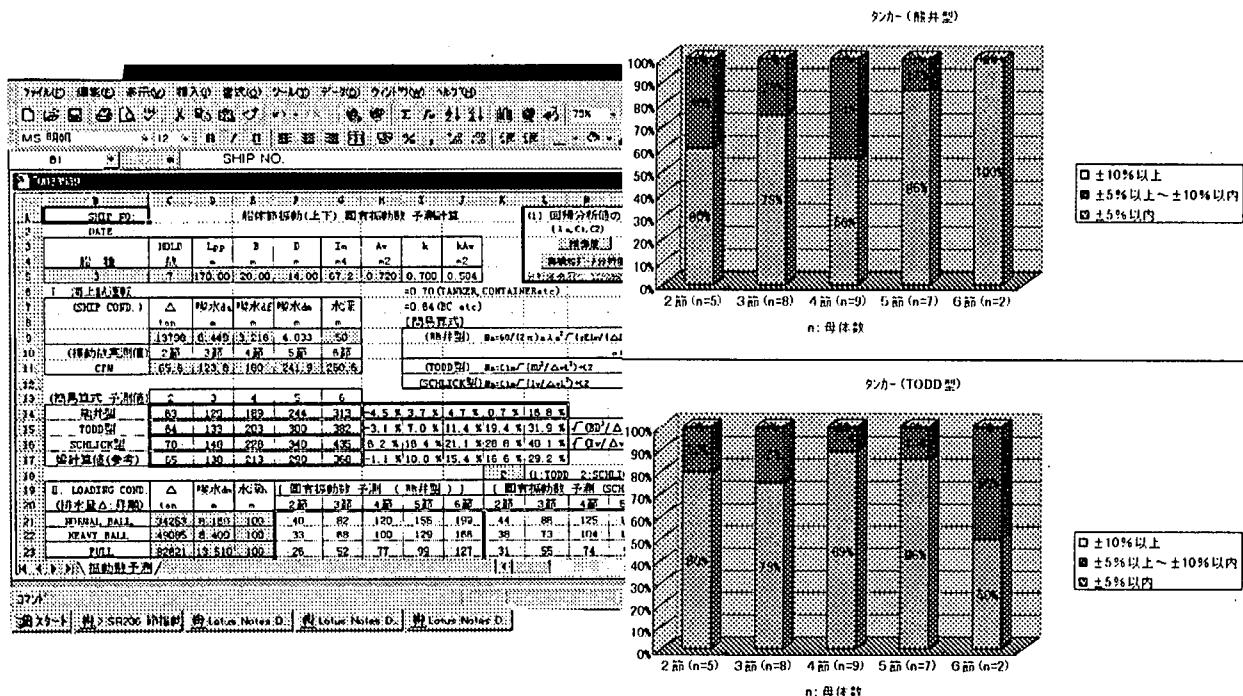


図3.2.9 固有振動数推定計算表

図3.2.10 実船との固有振動数精度比較

#### (a)-4) 実船計測結果を用いた標準モード／標準モード傾斜作成ツール

統一法計測により5隻、16モードを取り出して、平均的な振動モードとモード傾斜を求めるツールを用意した。(図3.2.11) この結果を使って、後に記す節振動簡易応答及びバランスの所要消振力推定計算が可能になる。



図3.2.11 標準モード作成ツール

### (a)－5 ) 節振動簡易応答・消振力推定ツール

対象船の主要目、上部構造・主機の配置情報、主機起振力、及び各振動モードとモード傾斜を入力して、船体節振動応答の簡易推定、または、その振動をバランサーで消振する場合の消振力も簡易推定できるツールとした。

### (a)－6 ) 簡易 FEM による固有振動数推定ガイダンス

基本設計時に簡便かつ精度的にもある程度見通しのつく簡易 3 次元 FEM モデルを用いた解析による固有振動数推定のガイダンスをここに登録して、設計者が統一的手法に基づいて利用できるようにした。

4.1.1項にこの推定法について概要を記している。

### (a)－7 ) 詳細 FEM による固有振動数推定ガイダンス

簡易式による推定にて船体や上部構造に共振の可能性があると判断される新設計船など、精度よく振動検討をしておきたい船に対しては、応答計算のためのモードカーブも得られるので、詳細 3 次元 FEM モデルによる解析をすることがある。

しかし、詳細図面からのモデル化及び解析に手間が掛かることや、モデル化等に対して解析者のエキスパート的知識と判断が必要なので、モデル化や部材要素の剛性の取り方等の解析のためのノウハウや、解析時の問題点などを標準的ガイダンスとして、ここに登録して、設計者が統一的手法に基づいて解析出来るようになった。

4.2節にこの推定法について概要を記している。

### (a)－8 ) その他バランサー要否検討等の節振動設計参考資料・防振対策に対するバランサー

起振源のディーゼル主機の不平衡偶力には主機回転数の 1 次と 2 次があるが、これらにより主船体節振動が問題となる場合の防振対策として主機付きバランサー、または、通常船尾に設置する電動バランサーがある。バランサーの設置検討は、(a)－5 ) 項の消振力推定ツールによるが、ここではそれらバランサーの設置実船実績を排水量ベース、または DW ベースに作成したグラフを参考に検索出来るようになった。

## (b) 上部構造振動関係ツール

### (b)－1 ) 上部構造振動防振設計フロー及び検討手順のガイダンス

(a)－1 ) で示した節振動防振設計フローと同様の上部構造振動を検討する場合のフローを示し、必要に応じて振動トラブル例や振動評価基準等の関連項目へはこの画面にてクリック・ジャンプして検討または検索ができる。

このフローの手順は新人でも振動検討に取り組みやすいように解説ガイダンスとして逐次画面を見れるようにしてある。

### (b)－2 ) 類似船固有振動数実測結果検索ツール

収集した実船計測データ（図3.2.2参照）から実船固有振動数の検索ができる。図3.2.12 は次項に記す上部構造の固有振動数簡易推定ツールに利用するためにまとめた検索用のデータ表である。

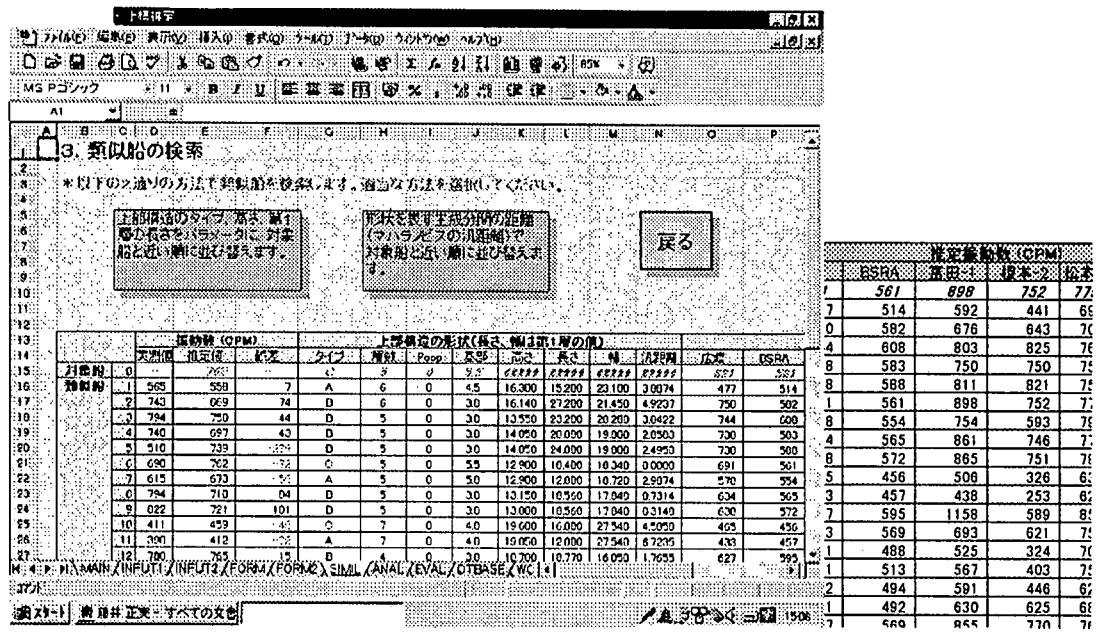


図3.2.12 類似船上部構造固有振動数の実測結果検索

### (b)-3) 回帰分析による固有振動数簡易推定ツール

上部構造前後固有振動数の推定は初期設計段階で重要な防振設計の要件である。しかしながら、従来式による推定精度は図3.2.13に示す如き差異がある。

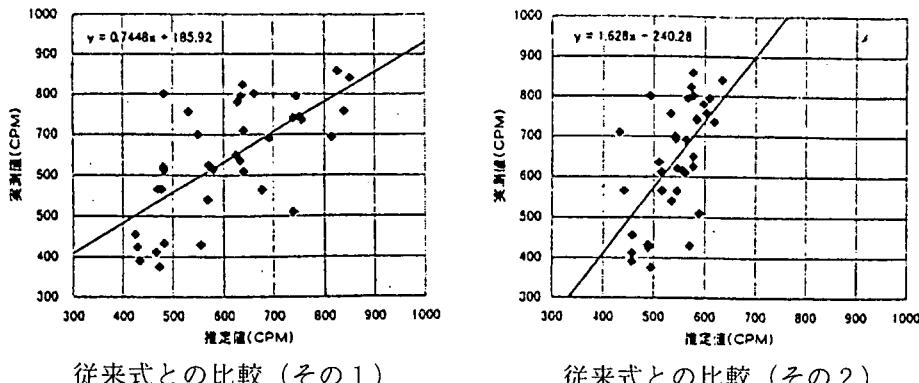


図3.2.13 従来式と実測値との比較

従って、重要な設計初期段階において適当な精度を持った簡易推定が短時間に出来る手法を実船試験データとの検証の基にツールとして開発した。

構造高さ、長さ等の各種データ入力後、下記種類の推定値が出力できるようにした。(図3.2.14)

- (1) 従来式によるもの（広渡の方法、富田の第1法、榎本の第2法、松本の第3法等7種式）の推定値計算の出力表示をする。
- (2) 類似船の検索（図3.2.12参照）で求めた上位10隻のデータを用いて回帰推定を行い、その結果を表とグラフで表示して評価できるようにした。

なお、類似船検索時には、a) 上部構造のタイプをベースとする方法と、b) 主成分間の距離の近いものを選択する方法の2種類を用意した。

精度的には実績船38隻で検証した場合、上記 a ) の選択法が一番良く（標準偏差：0.07）、その次に b ) であり（標準偏差：0.103）、(1)の従来式適用よりも良い結果となった。（図3.2.15参照）

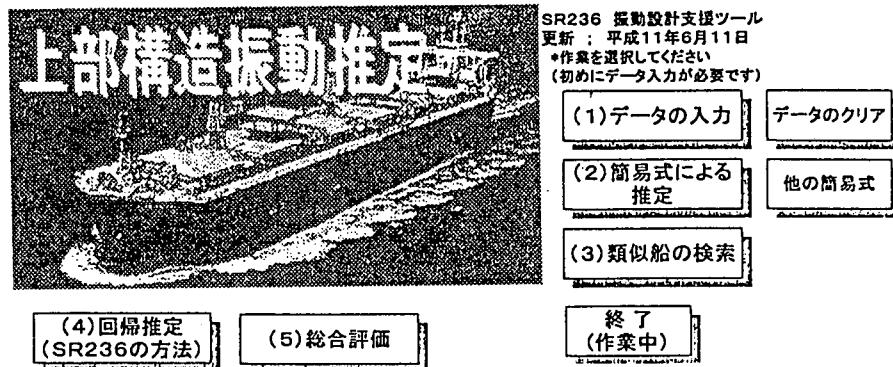


図3.2.14 上部構造振動推定ツール初期画面

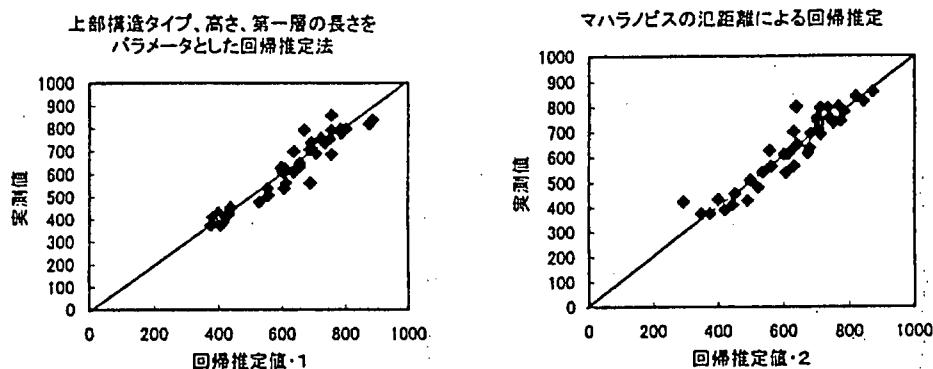


図3.2.15 推定ツールの精度

#### (b)-4) パラメトリックスタディによる固有振動数簡易推定ツール

従来の簡易推定法で上部構造の固有振動数を推定する場合、広渡の方法のように上部構造をタイプ分けをして推定する方法が一番精度がよいことが明らかとなったので、精度向上のため上部構造の新しいタイプ分けを図3.2.16の如く行った。

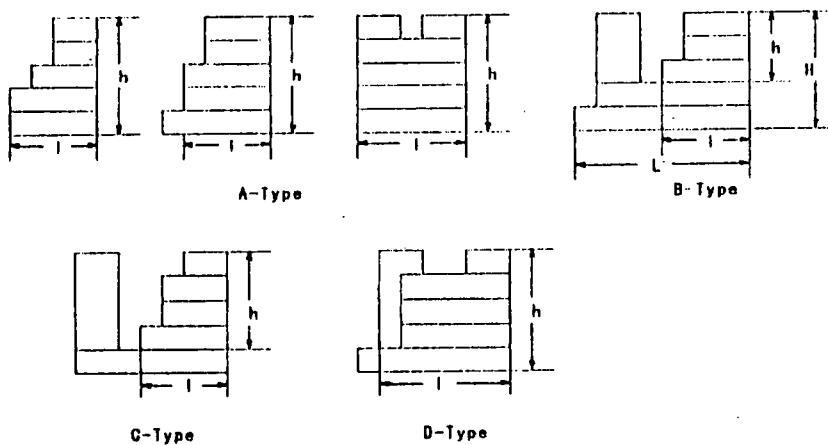


図3.2.16 上部構造タイプ分け

それと合わせて、上部構造の振動が、せん断振動、曲げ振動及びロッキング振動の影響を受けると言う理論と実船計測値から上部構造パラメータを用いた推定式を求め、この式を前項の推定ツールに織り込んで計算できるようにした。

#### (b)-5) ニューラルネットワークによる振動数推定プログラム

ニューラルネットワークは脳の神経系統を模擬する数学的なネットワークである。入力層に上部構造の構造パラメータを入力する。中間層にて積和演算され、最終層が出力層である。上部構造の固有振動数推定においては、出力層のユニットは振動数を1個出力することになる。最適値を求めるために既存の実績値や解析結果データを教師データとし、教師データを与えてニューラルネットワークを最適化することを学習と称している。

これに関して作成したプログラムによる計算例を図3.2.17に示す。

計算推定例：	[ 8 ]	—	[14]	—	[ 1 ]	—	20	—	6
	入力層		中間層		出力層		学習データ数		振動数推定
構造パラメータ：	8		4ユニット		推定振動数		20隻		6隻

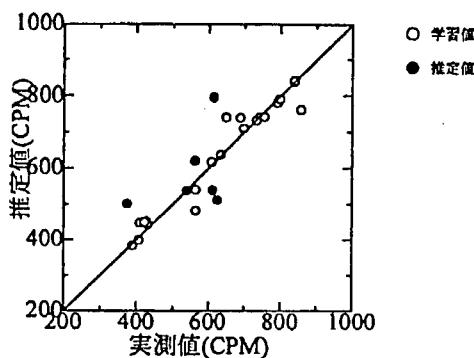


図3.2.17 ニューラルネットワークの適用による固有振動数の推定例

#### (b)-6) 簡易 FEM による固有振動数推定ガイダンス

上部構造の前後振動に関して、基本設計時に比較的簡便に精度的にもある程度見通しひつゝく、簡易3次元FEMモデルによる固有振動解析のガイダンスをここに登録して、設計者が統一的手法に基づいて利用できるようにした。

4.1.2項にこの推定法について概要を記している。

#### (c) 主機の振動関係ツール

##### (c)-1) 主機振動防振設計フロー及び検討手順のガイダンス

主機の振動はディーゼル機関特有の機関起振力機構により発生するものであり、この機構の概要は別途詳しい資料を参考されるものとする。ここでは、あくまでも船体設計に於ける対防振設計として主機関を考えて、主機振動概説、主機架構横振動に対する振動設計の考え方などのガイダンスを作成した。

#### (d) 起振力関係ツール

##### (d)-1) 主機要目・起振力検索ツール

起振源の中でも主機関の起振力が最も船体に与える影響が大きい。

従って、ここでは不平衡偶力による船体振動や主機のH型振動に対するブレーシングの考え方等の振動設計に必要な各機種、機関形式主要寸法、1次偶力、2次偶力等の主機起振力を示すデータ（3.2.1の(d)のデータ）の検索の便に供するツールとした。

##### (d)-2) プロペラチップ直上の圧力変動実績の表示ツール

プロペラによる起振力に関して、まずプロペラから生じる圧力変動の模型試験結果データを利用して計画船のプロペラ等のデータを入力することにより、その計画船の圧力が表示されるプログラムを作成して、妥当性が確認できるようにした。

##### (d)-3) プロペラチップ直上の圧力変動・

###### サーフェスフォース推定計算ツール

プロペラによるサーフェスフォースは、上記の圧力変動が水中を伝わり船体の外板をたたく力のことである。

これが大きい場合振動も大きくなる。従って、初期設計時のサーフェスフォース推定のための計算ツールを構築した。（図3.2.18）参照

#### (e) データベース検索要領

##### (e)-1) 文献リスト及び文献抄録検索要領

図3.2.1に示す文献リストや抄録が閲覧出来  
る。

リストはオートフィルター機能を用いて必要項目を組み合わせてリストを絞り込むこと  
も可能である。

##### (e)-2) 実船振動計測結果（統一計測結果含む）検索要領

図3.2.2の計測データ及びその添付図が容易に参照できるツールを作成した。

また、データを船長や主機等の範囲を指定して必要とするデータ範囲のみの参照もできるようにな  
っている。（図3.2.19参照）

##### (e)-3) 振動トラブル例検索要領

前項(e)-2) 実船振動計測結果  
検索要領と同じ要領でのトラブル  
データ（図3.2.3）が参照できる。

このツールは図3.2.19に示す。

モード	トルク係数	1st	2nd	3rd	合計
トルク係数	0.0383	2.01	1.53	0.47	X 0.01
圧力変動	246.3	187.2	58.0		
分布の表示	表示	表示	表示	消す	終了
サーフェス フォース	6.22	6.18	2.66		

図3.2.18 プロペラ起振力計算ツール

船種	主 要 目	D/W (mt)
1	1=タンカー 2=バルカー 3=コンテナ船 4=G CARGO 5=チップ船 6=PCC 7=RO-RO船 8=ガス船 9=その他 10=全般	排水量を入力 例: HK 範囲指定の場合は、#を入れる (例: 1995/3/1~1998/5/1)
2		
3		
4		
5		
6		

図3.2.19 実船振動計測結果及びトラブル例の検索

#### (e)-4) 用語集検索要領

振動に関する用語について解説をしている用語集リスト一覧から直接クリックして検索する機能と、各種支援ツール使用中に、その中にある関連用語の解説を見たいとき、その用語を直接クリックして参照する機能がある。

(図3.2.20参照)

#### (f) その他（ツール・ガイダンス以外の）解説など

##### (f)-1) 局部振動（ドジャー・ファンネル・E／R、居住区のパネル・防撓板）

###### (1) ドジャーの振動

ドジャーの振動については上部構造との関連もあり注目すべき対象である。従って、ドジャーに関しての固有振動数の推定、防振対策、参考資料等についての解説が閲覧できる。また、アンケート調査した各社のドジャーサポート形状と振動についてはデータベース化（3.2.1の(e)参照）してあるので検索できる。

###### (2) ファンネルの振動

ファンネルの振動を考える際のガイダンスを記し、文献の紹介と数例の固有振動数実測結果、及び簡易式による固有振動数計算方法の紹介を示した。

###### (3) E／R、居住区のパネル・防撓板の振動

機関室及び居住区の甲板構造の振動検討に用いる甲板重量、計算検討法並びに舾装品の下部構造防振検討法などアンケートを探ったデータを設計する際の参考資料として閲覧できるようにした。

#### (f)-2) 統一振動計測要領と解析整理法

振動設計支援データベースの構築に必要な基礎データとなる節振動、上部構造前後左右振動、主機架構振動及びドジャーウイング前後に対する固有振動数や、その時の加速度及びモードの検出を目的として効率よくデータが収集できる簡易多点同時の統一計測法を作成した。

(図3.2.21参照)

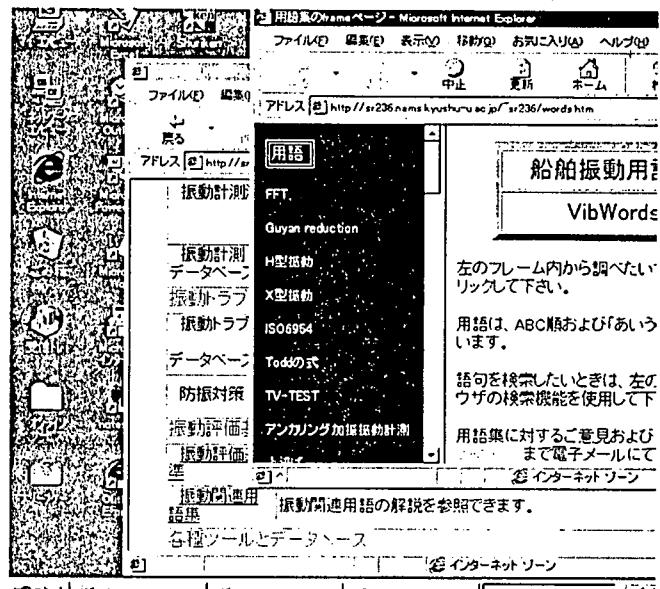


図3.2.20 用語集閲覧ツール

#### (f)-2) 統一振動計測要領と解析整理法

振動設計支援データベースの構築に必要な基礎データとなる節振動、上部構造前後左右振動、主機架構振動及びドジャーウイング前後に対する固有振動数や、その時の加速度及びモードの検出を目的として効率よくデータが収集できる簡易多点同時の統一計測法を作成した。

(図3.2.21参照)

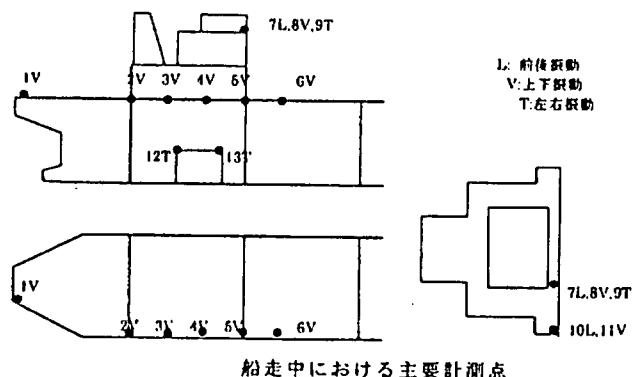
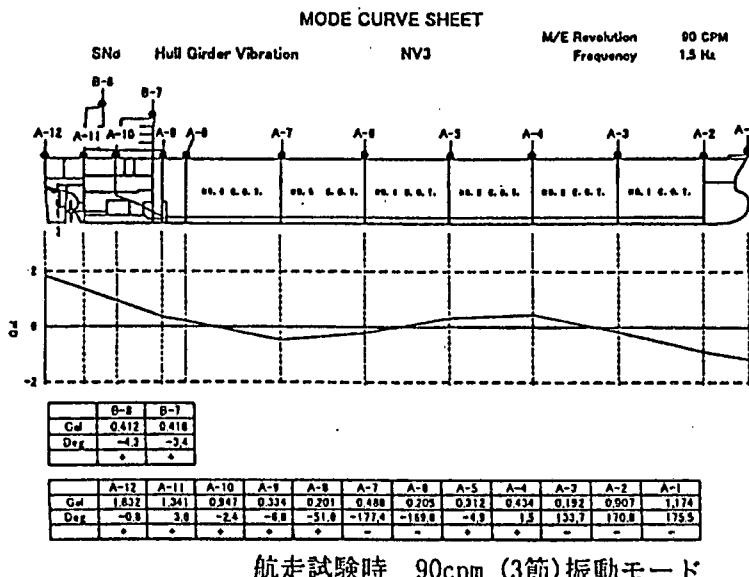


図3.2.21 統一計測法の計測点

なお、より簡易な方法として、ポータブル計測器による方法も示した。

また、固有振動数だけでなく振動モードも詳細に検討する目的で、計測点を船体前後、上部構造含めて約23点取りコンテナ船、タンカー、バルカーにて起振機試験と航走時の振動計測を実施した詳細多点計測例も参照できるようにした。

(図3.2.22参照)



航走試験時 90cpm (3節) 振動モード

図3.2.22 詳細多点計測例

上記計測データを統一的に分析し、統一的表示法により次数毎の共振曲線、位相曲線、及び節振動モード曲線等を求めてデータベースとし検索できるようにした。(図3.2.23参照)

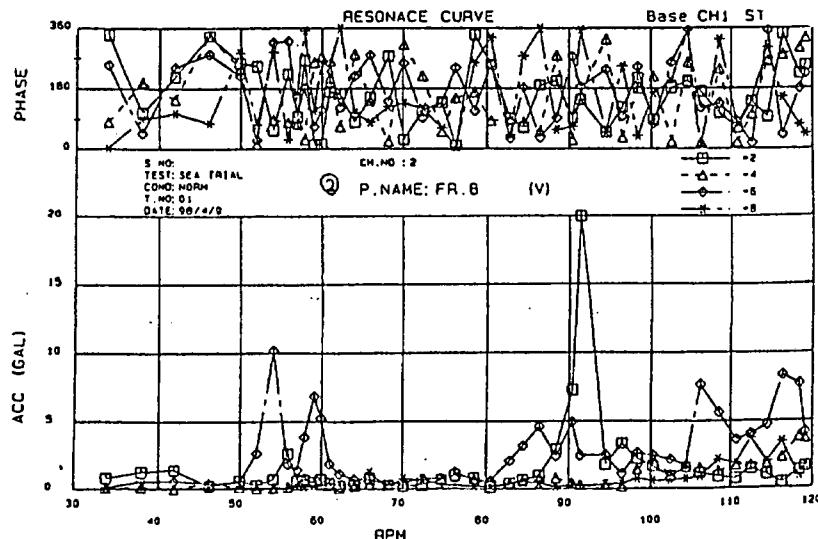


図3.2.23 共振曲線（位相含む）

#### (f)-3 ) 振動評価基準

防振設計の際、振動の許容判定に用いられる評価基準は

- ・標準規格（居住区に対しての ISO 等）
  - ・船級協会ガイダンス（機器、サーフェスフォース等）
  - ・メーカーリコメンデーション（主機、発電機等14種調査）
  - ・各種研究結果（振動疲労に対しての文献）
- 等があり、効率よく検索できるようにした。

## 4. 固有振動数推定解析法の開発

設計段階に於ける振動検討について一番重要である主船体及び上部構造の固有振動数推定法は次の3つの方法に分類し、それぞれ実船実験値との対比の基に精度を確保し、効率よく設計対応できるように開発した。

固有振動数推定法	精 度	作業時間	費用(工数)	対応設計時期
簡易式による推定	誤差大の場合あり	数時間内	小	初期計画設計時
簡易 FEM による解析	大略の目途付く	1ヶ月	中	基本構造設計時
詳細 FEM による解析	ほぼ信頼出来る	3ヶ月	大	詳細構造設計時

なお、簡易式による推定法については前章にて述べたので、この章では簡易 FEM モデル及び詳細 FEM モデルによる推定法について研究、開発したことを述べる。

### 4.1 簡易 FEM モデルによる固有振動数推定法の開発

船舶設計の初期段階で精度良く振動数推定をしたいが、この時期では細かい部分が未だ煮詰まっていないので、詳細 FEM モデルを作成して精度良い解析をすることは、事実上不可能である。

また、例え可能であったとしても、毎船、詳細な FEM モデルを作成することは工数の都合から許されない。従って、主要基本図から簡略な FEM モデルを作成するだけで、固有振動数をある程度把握できるような推定法を開発した。

開発したこの簡易 FEM モデルによる推定法の特徴は

- 1) 新船型の設計初期段階で利用出来ること。
  - 2) 共振回避の必要性の有無などの判断に十分使用しうる。
  - 3) モデル化や解析が短時間で、共振対策の効果を容易に検証できる。
  - 4) 熟練者のノウハウを標準化したもので容易に解析モデルが作成できる。
- 4) 項については3章に述べた「振動設計支援ツール」の中の「解析ガイドンス」として活用できるようにサーバに保管してある。

#### 4.1.1 簡易 FEM モデルによる船体節固有振動数推定法

- a) 精度上、主船体は板要素による船首船尾部をカットした3次元モデルとした。(上部構造はモデル化せず。) (図4.1.1参照)
- b) 簡易化した船体部に対する流体影響を正確に計算する場合には、通常詳細BEMモデルにより付加水質量マトリックスを別途計算せねばならない手間があるが、流体部のモデルをライン図より別途考案作成した「はりぼて方式」を用いると汎用 FEM 解析プログラム：MSC/NASTRAN 内で解くことが出来る。(図4.1.2)
- c) 「はりぼて方式」とは船体モデルにメッシュの異なる流体モデルを剛体結合により張り付けた方式で、実際に梁モデルに於いてその有効性を確認している。
- d) 精度的には2、3節迄は約5%であるが、高次においては約10%ぐらいである。しかし、詳細 FEM 解析値に近い結果を得たので、この簡易 FEM 方式を採用することにより、基本

構造設計時に簡便かつ統一的に振動検討が出来る見通しがついた。今後更なる改良を図っていく。(図4.1.3)

自動化モデルも検討したが低次で誤差が大きい。しかし、ロンジを等価板厚として考慮すれば改善され、有効な簡易解析法となると考えられる。

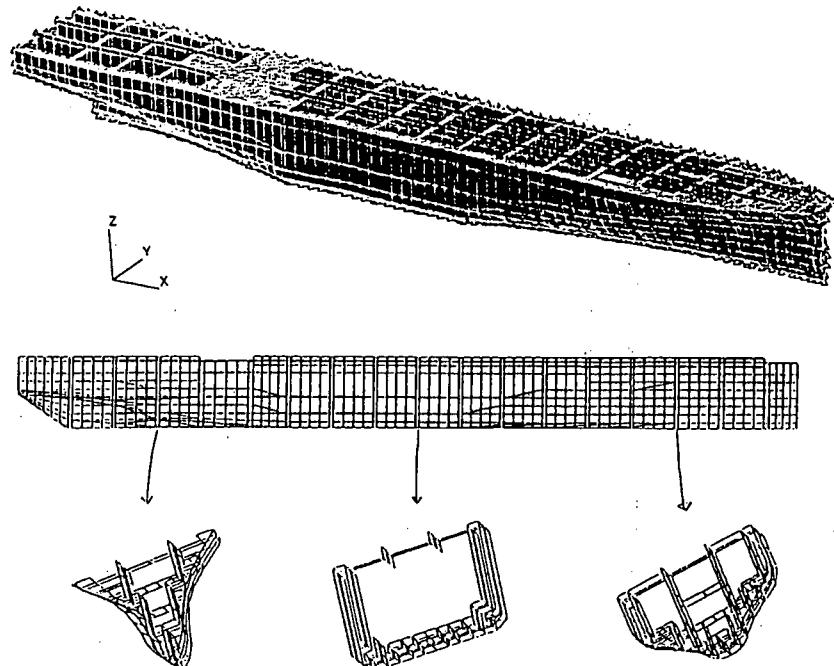


図4.1.1 簡易船体モデル

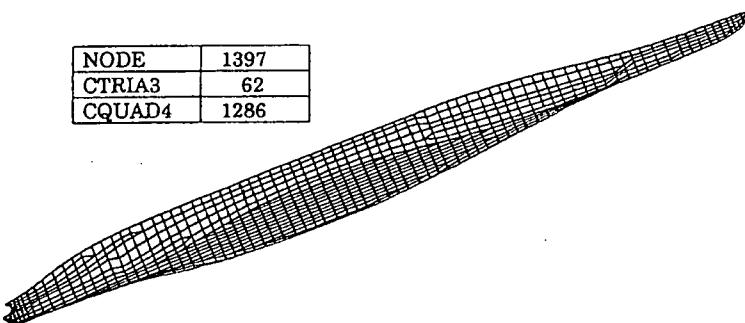


図4.1.2 流体モデル（BEMモデル）

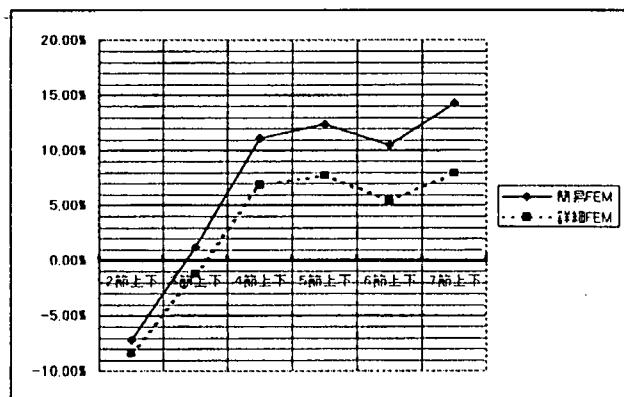
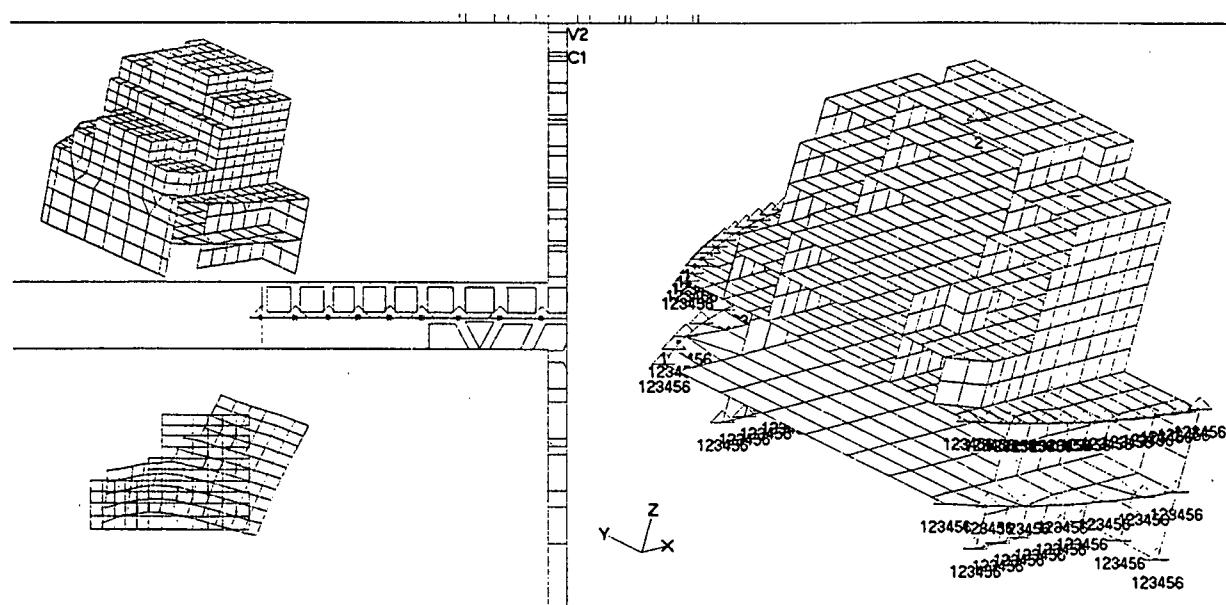


図4.1.3 実測値との精度比較

#### 4.1.2 簡易 FEM モデルによる上部構造固有振動数推定法

- a) モデルは主船体簡易 FEM モデルとの結合を考慮して、図4.1.4に示すような出来るだけ簡略化された3次元板モデルとした。
- b) 船殻重量と儀装重量は、解析モデルの各層の甲板及び壁に付加する重量配分を過去の実績船よりパラメータとして標準化した。
- c) 標準入力データ作成シートを作成して、各デッキの高さ、幅、長さ、ウォール板厚重量等、データを抜けなく標準的に作成が出来るようにした。
- d) この簡易 FEM 方式を採用することにより、基本構造設計時に解析者の経験によらず簡便かつ統一的に精度良く振動検討が出来る見通しがついた。
- e) 解析精度は非常に良く数%内である。(図4.1.5参照)



H-98-11 解析結果 ( 718cpm )

図4.1.4 簡易上部構造モデル

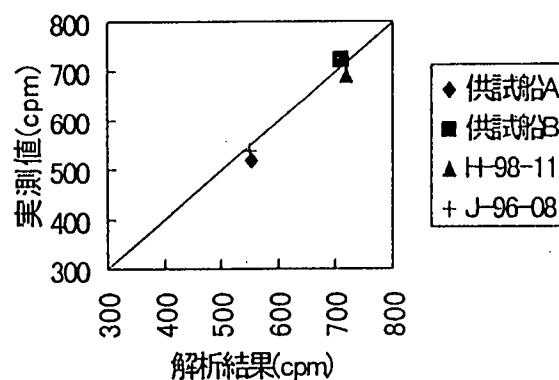


図4.1.5 上部構造簡易 FEM 解析結果

## 4.2 詳細 FEM モデルによる固有振動数推定法の開発

詳細 FEM モデルによる振動解析法は、船体節振動や上部構造の前後振動に関して今まで多くの計算事例が公表され、高い精度で計算できることが報告されている。

しかし、何れの文献も構造のモデル化に関して個々の部材の剛性や質量の取り扱い方など、要素モデル化の細部についての記述はなされておらず、モデル化方法は個々の解析者の判断に委ねられているのが現状と思われる。

そこで本研究では、詳細 FEM による固有振動数解析のモデル化指針を作成して、精度確保は勿論のこと、効率的に解析ができるようになった。

この詳細推定法についても「解析ガイド」としてまとめ「設計支援ツール」の1つとして、有効に利用できるようにした。

### (1) 構造のモデル化

- 標準的モデル化項目として「モデル化範囲」、「メッシュサイズ」、「モデルの使用要素」、「要素の剛性の取り方」、「重量の取り扱い方」について設定した。
- 標準的モデル作成に当たって、コンテナ船、タンカー、バルカーボーイの3船種の実船計測（航走時及び起振機試験）を実施して、計測値と対比しながら解析条件を統一した標準モデル化方法とした。
- 船体形状、メッシュ割り方等により一部標準と異なる条件が発生するが、その場合は問題点としてガイドに記すこととした。
- 上部構造を含む船体詳細 FEM モデル例を図4.2.2に示す。

### (2) 流体のモデル化

汎用 FEM 解析プログラム MSC/NASTRAN の流体境界要素コマンド MFLUID を使用した。

### (3) 解析精度

図4.2.1はコンテナ船の解析に於いて、種々モデル化条件や計算条件を変えて精度を検証した例である。

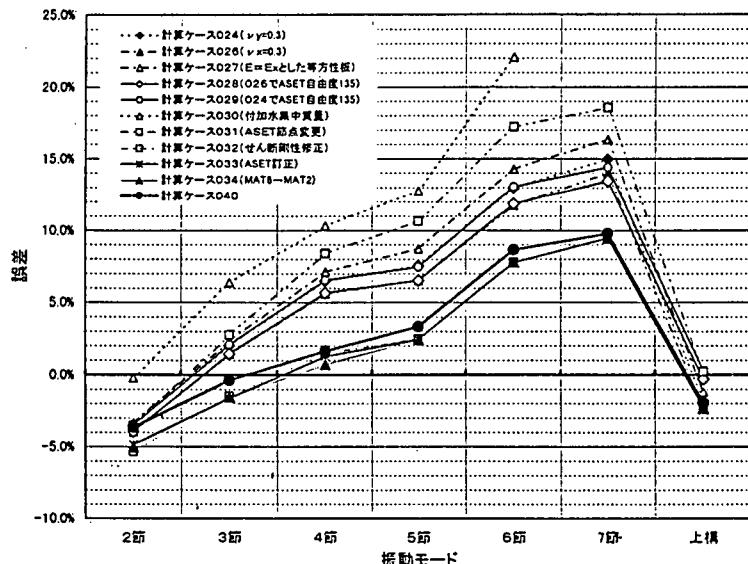


図4.2.1 各計算ケースの実測値との精度比較

節点数	4832
要素数	12426

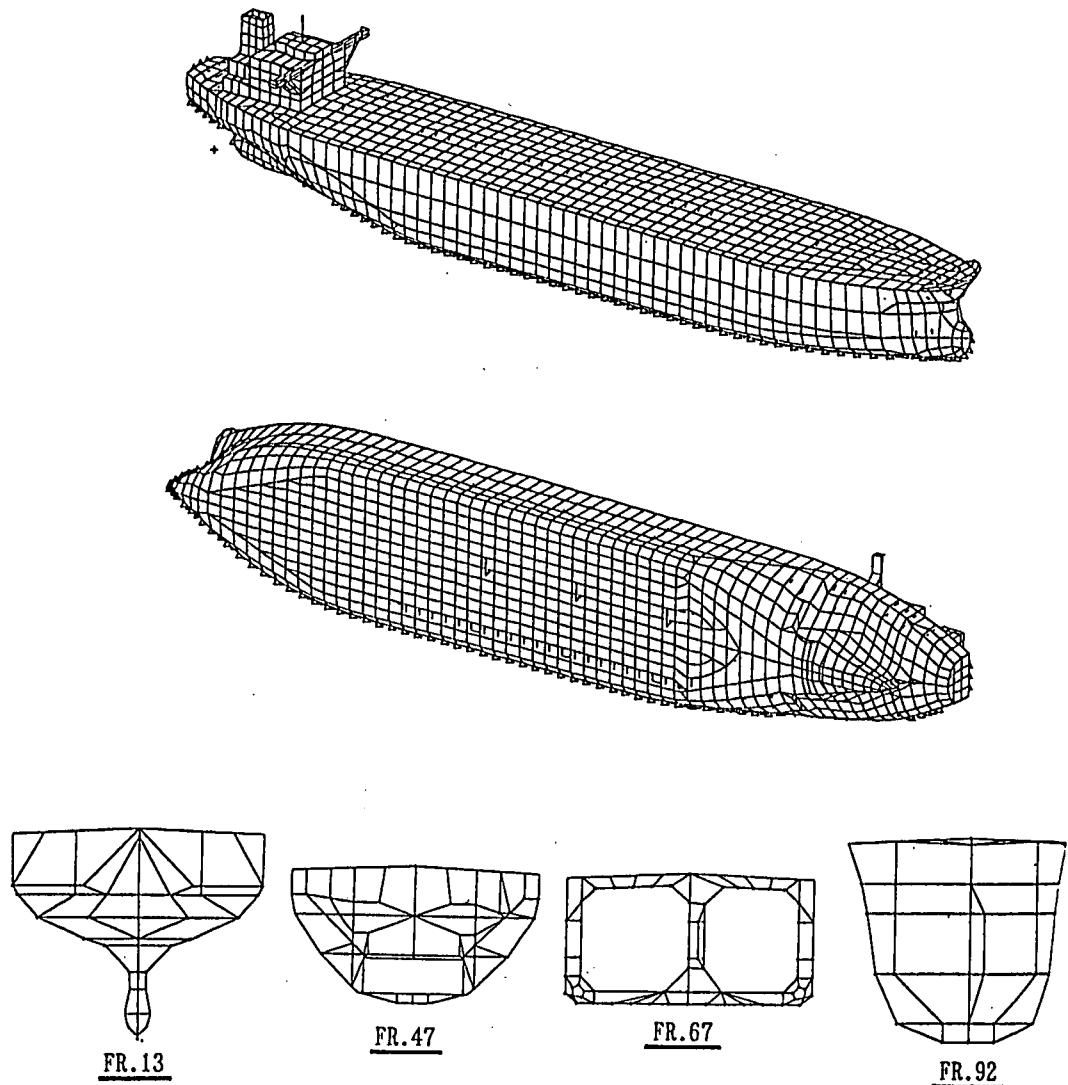


図4.2.2 船体詳細 FEM モデル

## 5. 成果と今後の活用

- a) 低振動船の実現による居住性の向上と船舶の品質向上
- b) 船舶設計時の防振設計のための知見とデータの整備
- c) 設計初期段階における船体振動予測
- d) 振動問題発生時の対策立案

等ができ船体設計の振動に関する基礎資料、基礎知見、解析技術及び振動防止設計の指針が得られた。

また、インターネット利用による最新データの共有化が出来、精度向上が図られるようになった。

なお、これらを有機的に関連付けて「振動設計支援システム」として構築し、設計の各段階で迅速に振動設計、振動検討が出来るようになった。

具体的成果及び活用は下記の通りである。

### (1) 設計初期段階及び設計各段階に於ける振動予測の迅速化及び精度向上

タンカー、バルカー、コンテナ船を対象に起振機試験及び航走時振動計測を行うと共に詳細 FEM 解析及び簡易 FEM 解析を実施し、精度検証を行いながら解析法を構築することができた。

なお、従来曖昧であった解析時におけるモデル化条件のノウハウが得られると同時に問題点も明らかになり、解析精度が解析者の経験と勘に左右されることなく標準的に効率良く解析が出来るようになった。従って、簡易推定式の構築と合わせて 3 段階の固有振動数推定法を確立する事が出来た。

- a) 簡易算式による固有振動数推定法は船体節振動に対しては熊井の式や TODD 及び SCHLICK の従来式をもとに実船計測結果から類似船を分類しながら回帰分析にて作成した。

また、上部構造に対しても従来式と実船計測値とから回帰パラメータ分析を行い、精度的に満足の行く簡易推定式が作成でき、初期設計において適用できる見通しがついた。(精度 5 - 10%)

更なる新しい実船計測データをインターネットで収集すれば常に最新のデータベースとなり、類似船の振動推定には一層精度良く適用できることになる。

- b) 開発の主目標に置いた簡易 FEM 解析は詳細 FEM に比べて簡易な 3 次元立体モデル化を図り、船体固有振動数推定精度は詳細 FEM に近い結果を得ることが出来た。

本解析は基本設計時に有効なので、自動モデル化も含めて更なる改良を図っていくことを期待したい。

上部構造推定に関しては、上部構造及び機関室サードデッキまでの 3 次元の簡易板モデルによる FEM 解析にて数%内の良好な精度を得ることが出来た。

- c) 詳細 3 次元 FEM 解析については、簡易推定法において船体や上部構造が共振の可能性

がある場合に行うことがある。その場合、詳細図面からモデル化をして解析に入るので時間が掛かるが、実績類似船がなくても新船型船において精度の良い固有振動数を求めることが出来る。この研究においては、船体固有振動数推定の精度はほぼ10%以下となる手法を構築した。

この精度は現段階ではほぼ良い結果と判断出来る。コンテナ船の上部構造における良い一致や、解析のモデル化条件や計算条件等の解析指針項目を得ることができたが、まだ改良すべき点もあるので更なる精度は今後に期待したい。

d) 前記 FEM 解析法に関しては、新人でも詳細 FEM 解析ができるマニュアルも作り、簡易推定法に関しては、表計算ソフトに組み込んで、各設計段階で必要な固有振動数の推定ができるように考慮した。

## (2) データベースの構築

a) 統一的計測法によりバルカー、タンカー、コンテナ船の節振動、上部構造振動、主機架構振動、ドジャー振動等に関する大量の最新データが得られ、それより節振動モード曲線等について統一的分析をした標準データを作成し、保管できた。

また、これらの実船計測データは簡易式の検証に参照できた。

b) データベース構成として主に「振動計測データ」、「振動トラブルデータ」、「船体振動文献データ」等をベースとして表計算ソフトのデータファイルとして保管し、いつでも取り出し加工使用できるものになった。

## (3) 振動設計支援システムの構築及びインターネットの利用

上記データを基に、設計時または振動問題発生時のどの段階でも振動予測や振動対策・検討ツールで予測や検討が迅速に出来るインターネット利用の振動設計支援システムを構築した。

その構成要素の「振動設計フロー」、「船体節振動」、「上部構造振動」、「振動計測」、「振動評価基準」等の項目について、ディレクトリーを設定してインターネットブラウザーも使用してホームページ形式による検索・閲覧（静的）が出来ることや、また、データベースを取り出して振動数推定や簡易応答量推定計算や自分の欲しい式やグラフを作成できるなど応用的利用、検討（動的）ができるようになった。

a) なお、振動予測法について、簡易推定式は設計支援システムに組み込まれている。一方、FEM 振動解析についてはマニュアルや解析検討時に問題となった項目の説明も組み込まれているので、解析の検討が標準的に新人でもスムーズに行える。

b) また、今迄の実船試験データ、トラブル例、振動文献類そして各種振動許容値等も設計時随時にジャンプしてマルチ画面でいつでも検討関連事項が覗けるので、調査、検討に時間が掛からない。

c) 研究した振動技術の知識・ノウハウ及びそれらの設計指針及び評価法は若手に伝承出来、更に改良更新し易い成果物となった。

今後も新しいデータを蓄積し、精度のよい結果が得られるような拡張性のある「振動設計支援システム」として構築したので、引き続きインターネットメールで新データを転送、共有蓄積管理し、この振動設計支援システムを継続的に改善・活用していく。

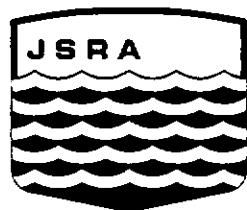
最後に本研究の実施を支援していただいた日本財団に厚くお礼を申し上げると共に、終始活発な研究と討論を行って頂いた参加委員各位に、また、研究の実施に始終努力を払われた日本造船研究協会及び日本造船工業会の方々に心より感謝する次第である。

---

発 行 平成12年3月  
発行所 社団法人 日本造船研究協会  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門一丁目15番16号  
日本財団ビル6階  
電 話 総務部 03-3502-2132  
研究部 03-3502-2133  
F A X 03-3504-2350

---

「本書は、日本財団の補助金を受けて作製したものを増刷し  
頒布するものです。」



The Shipbuilding Research Association of Japan