

全船モデルとホールドモデル による構造応答比較 ~DLSAシステムのバルクキャリア への適用例~



サノヤス造船 船殻設計部 ◎白石哲平



海上技術安全研究所 構造安全評価系

基準開発G ○村上睦尚 松井貞興

系長 越智宏

背景

【船体構造強度評価手法】鋼船規則の適用

船体形状データ
波浪条件
積付条件

波浪中船体運動及
び荷重解析

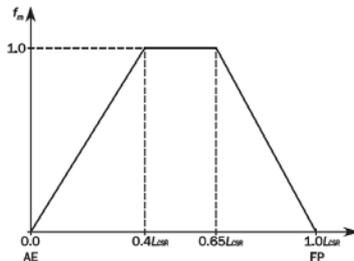
全船構造解析

船体構造強度評価

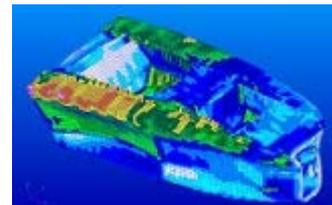
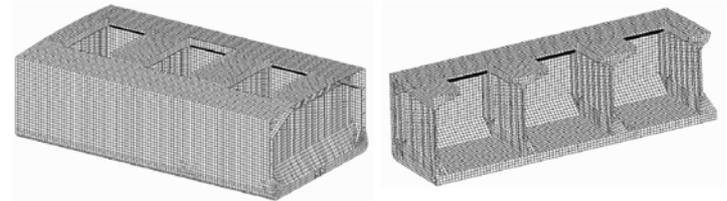
- 構造強度にとって重大な波浪条件及び積付条件の特定
- 算式ベースの波浪荷重の計算

$$(hogging) \quad M = 0.19f_h f_m f_p C L_{CSR}^2 B C_B$$

$$(sagging) \quad M = -0.19f_s f_m f_p C L_{CSR}^2 B C_B$$



3ホールドモデルのように、船体構造の一部を解析する。



(https://www.classnk.or.jp/hp/en/hp_news.aspx?id=102&type=press_release&layout=5)

背景

【船体構造強度評価手法】直接荷重・構造一貫解析

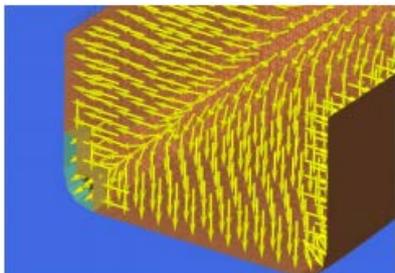
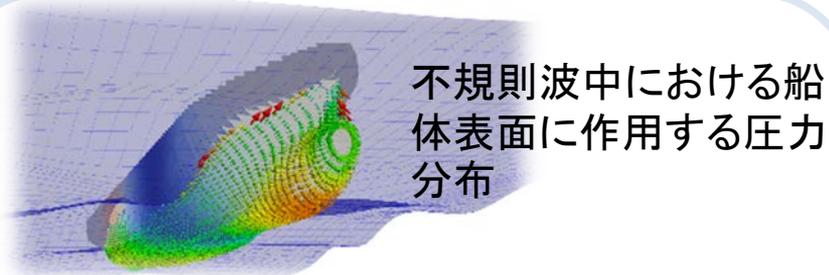
より精度の高い解析が可能

船体形状データ
波浪条件
積付条件

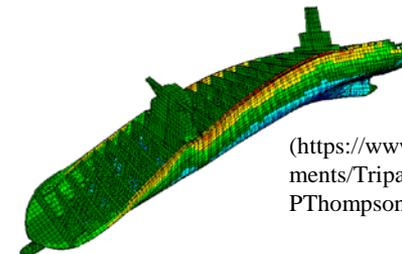
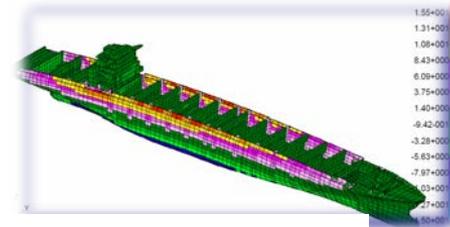
波浪中船体運動及
び荷重解析

全船構造解析

船体構造強度評価



全船における応力分布



(<https://www.intertanko.com/Documents/Tripartite2015-Session4d2-PThompson-LR-IACS.pdf>)

背景

直接荷重・構造一貫解析の現状

現状、複数の設計者が分担して直接荷重・構造一貫解析を実行しているため、迅速に船体構造強度を評価することができない。

船体形状データ
波浪条件
積付条件

波浪中船体運動及
び荷重解析

全船構造解析

船体構造強度評価



1人目の設計者が実
行

2人目の設計者が実
行

複数の設計者が実
行

計算条件の伝達

計算条件の伝達

背景

直接荷重・構造一貫解析

船体形状データ
波浪条件
積付条件

波浪中船体運動
及び荷重解析

全船構造解析

船体構造強度評価



単独の設計者が実行できる直接荷重・構造一貫解析システムを開発すれば、設計における船体構造強度評価の高速化が見込まれる。また、設計者は船体構造強度評価に関する知見を従来以上に得ることができる。

DLSAの目的

システムの開発:

- 全船モデルを対象に運動、波浪荷重、構造解析、強度評価をシームレスに実行できる
- 設計に適用可能な時数を実現する

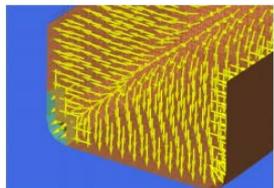
船体形状データ
波浪条件
積付条件

波浪中船体運動及
び荷重解析

全船構造解析

船体構造強度評価

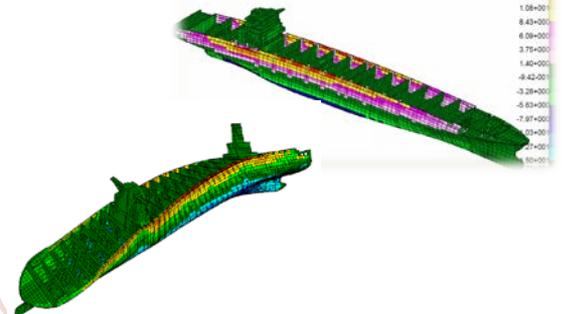
不規則波中における船
体表面に作用する圧力
分布



コンテナ船の貨物倉
内部に作用する荷重

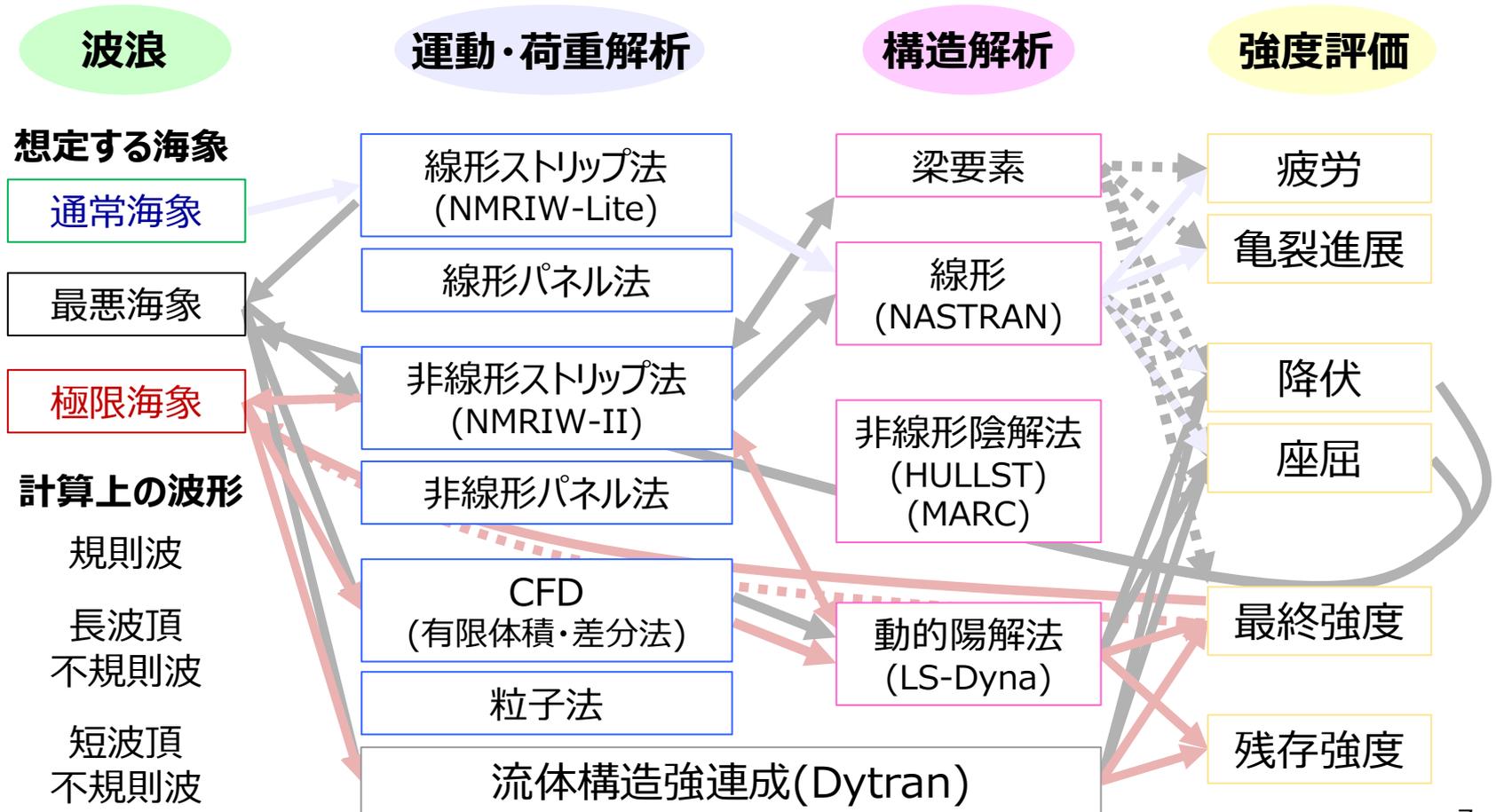


全船における応力分布



DLSAの概要

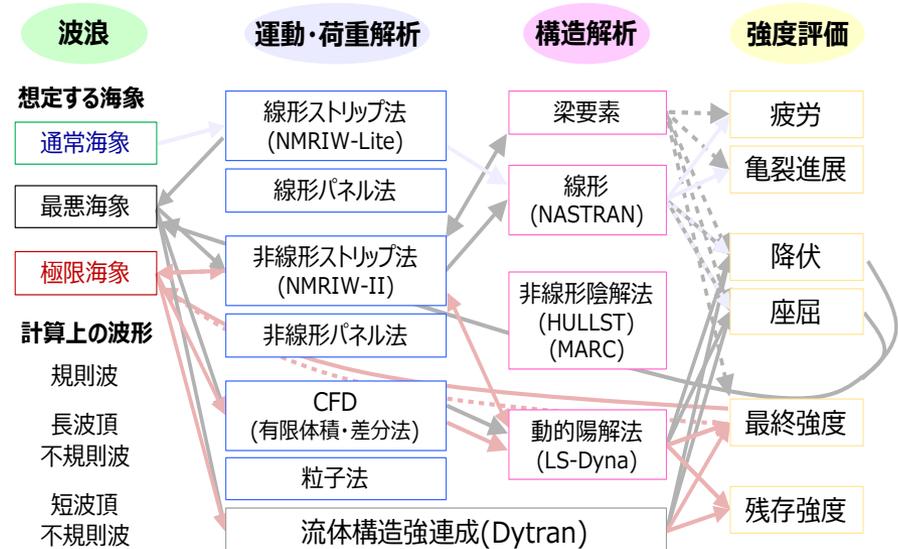
- ・一貫解析をシームレスに行える一連のプラットフォームを用意、解析手順を提示
- ・大型船型、新形式船型の設計における**標準プログラム化**を目指す



DLSAの概要

【新設計・初期設計、不具合検証】		
DLSA-Basic	降伏・疲労(・座屈)を網羅的に実施 →設計海象から最悪海象を特定	1日
DLSA-BasicW	最悪海象での強度評価	0.5日
DLSA-Professional	最終強度(極限海象・設計不規則波)	1.5日
【事故調査、研究】		
DLSA-Ultimate	事故時残存強度・最終強度	20日~

- ◆一貫解析をシームレスに行える一連のプラットフォームを用意、解析手順を提示
- ◆大型船型、新形式船型の設計における標準プログラム化を目指す

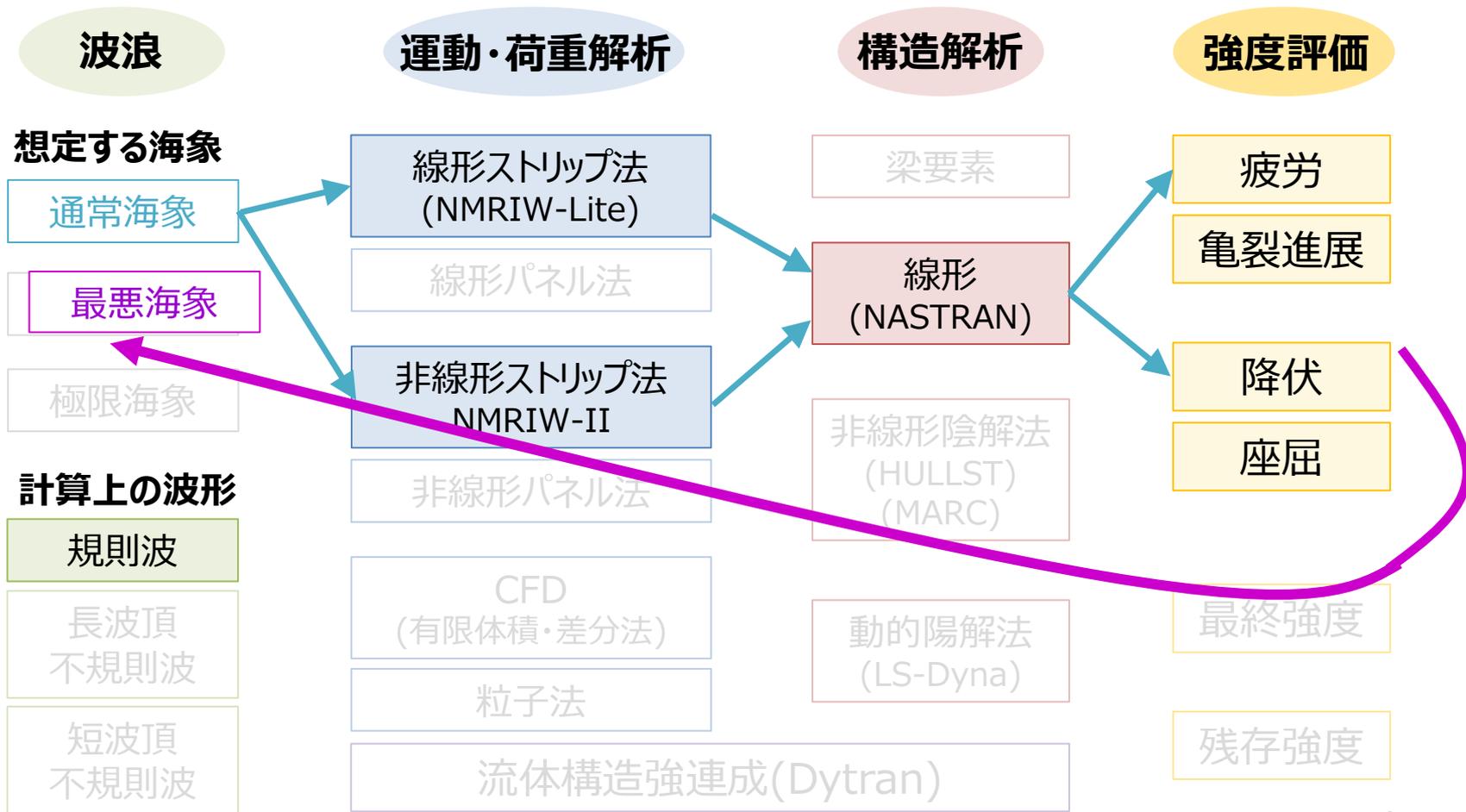


DLSA-Basicの解析例

- NMRIW-II及びNMRIW-Liteによる運動・荷重解析用いた一貫解析

DLSA-Basic

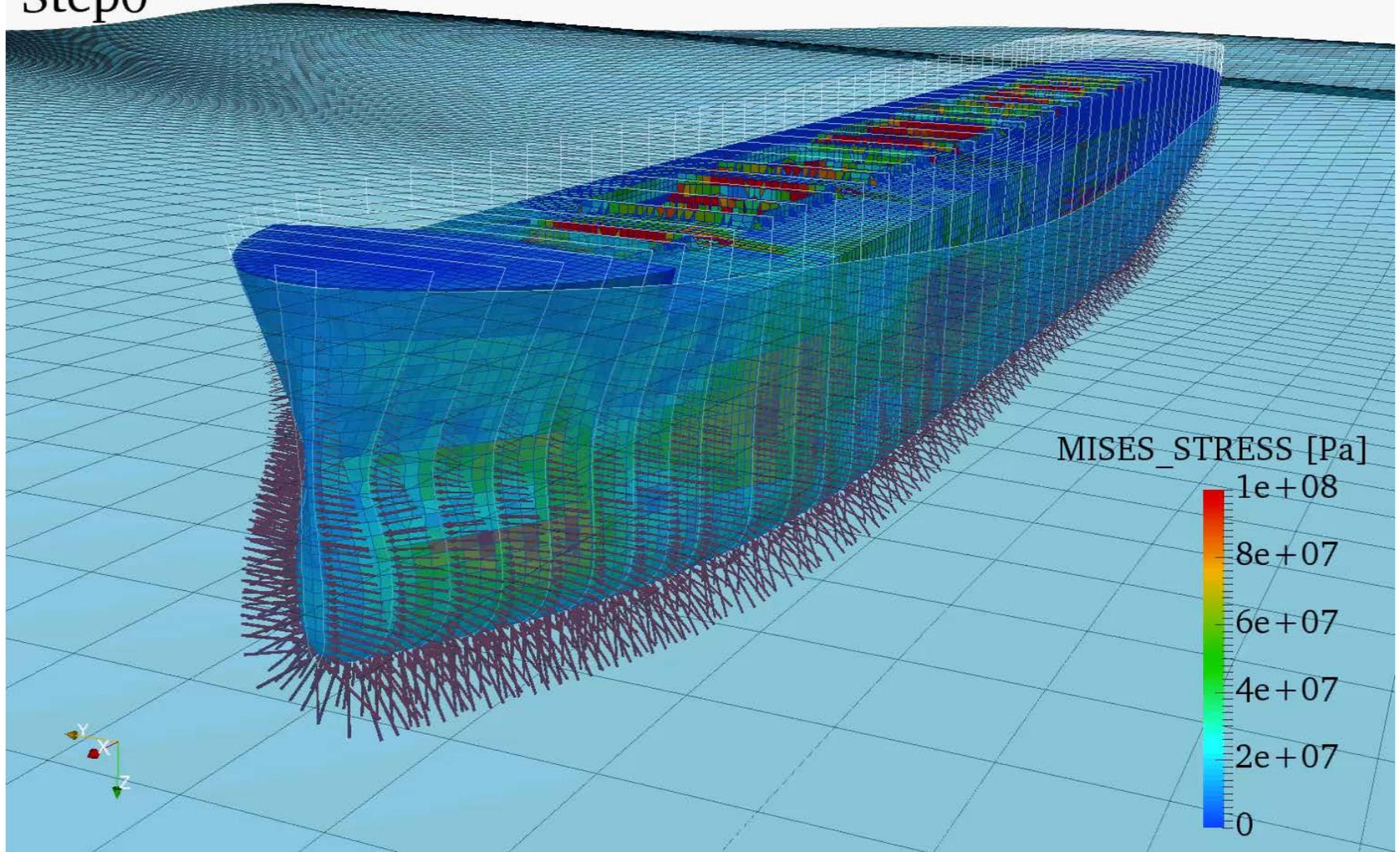
計算コスト



DLSA-Basicの解析例

バラ積み船の波浪中構造応答 (擬似時系列)

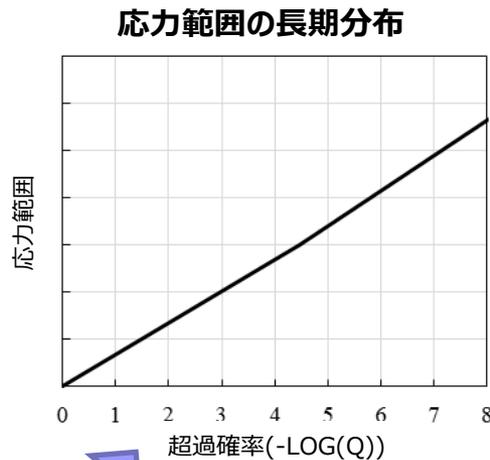
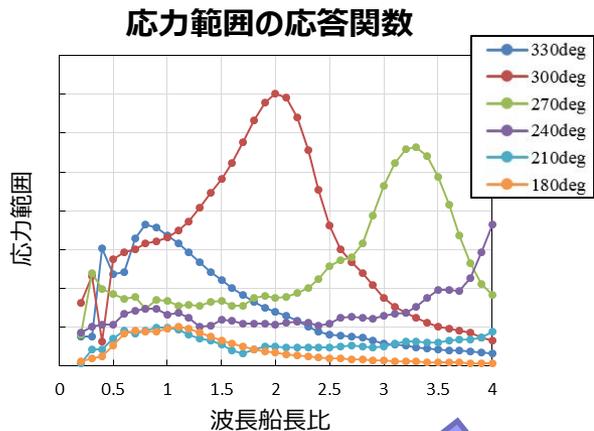
Step0



DLSA-Basicの解析例 (強度評価)

- 以上をあらゆる波方位角、波長で行うことで、**応力の応答関数**を得る

→様々な強度評価を実施



- 支配的波象の特定
- 降伏強度評価
- 疲労強度評価

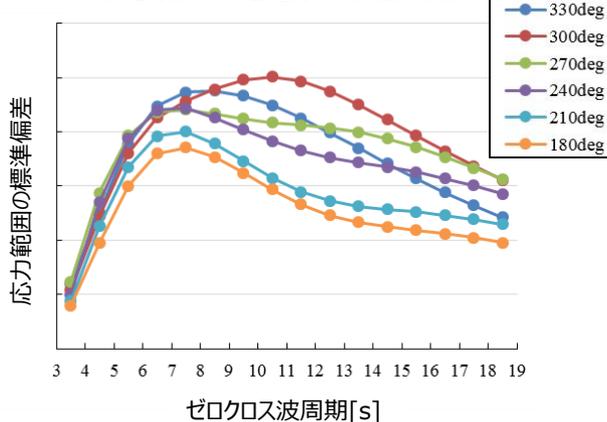
波スペクトル

波浪発現頻度表

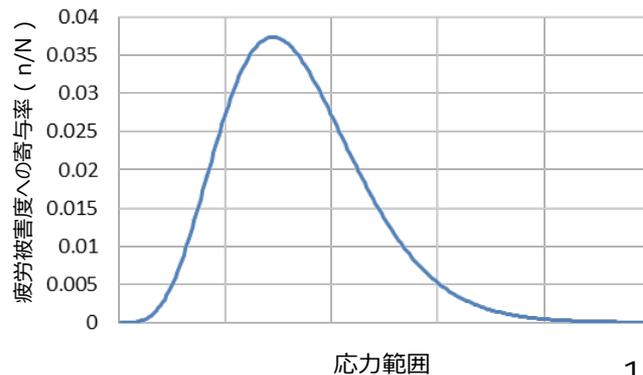
S-Nカーブ

疲労被害度D

応力範囲の広義の応答関数



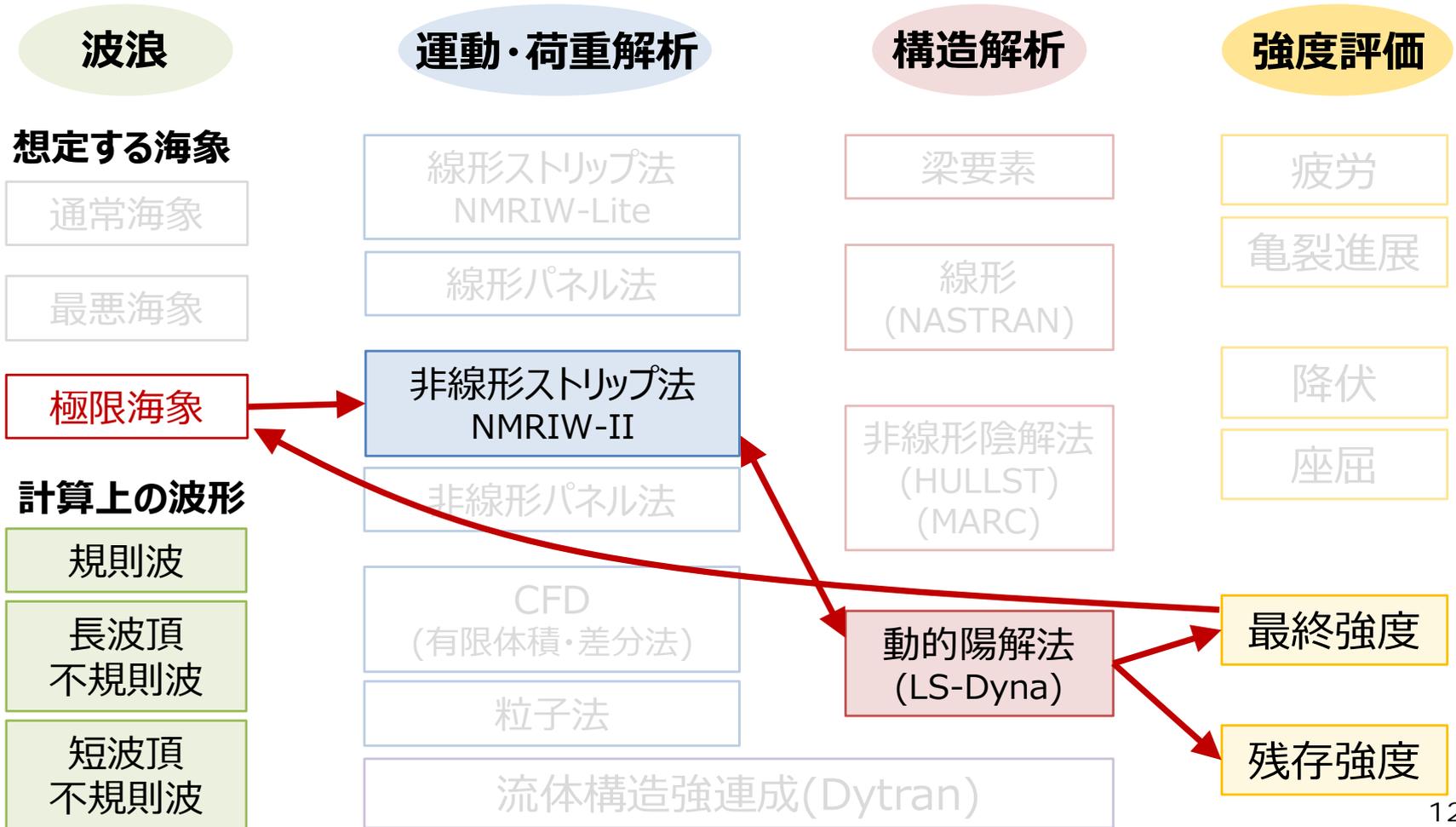
疲労被害度への寄与率



DLSA-Professionalの解析例

DLSA-Professional

計算コスト



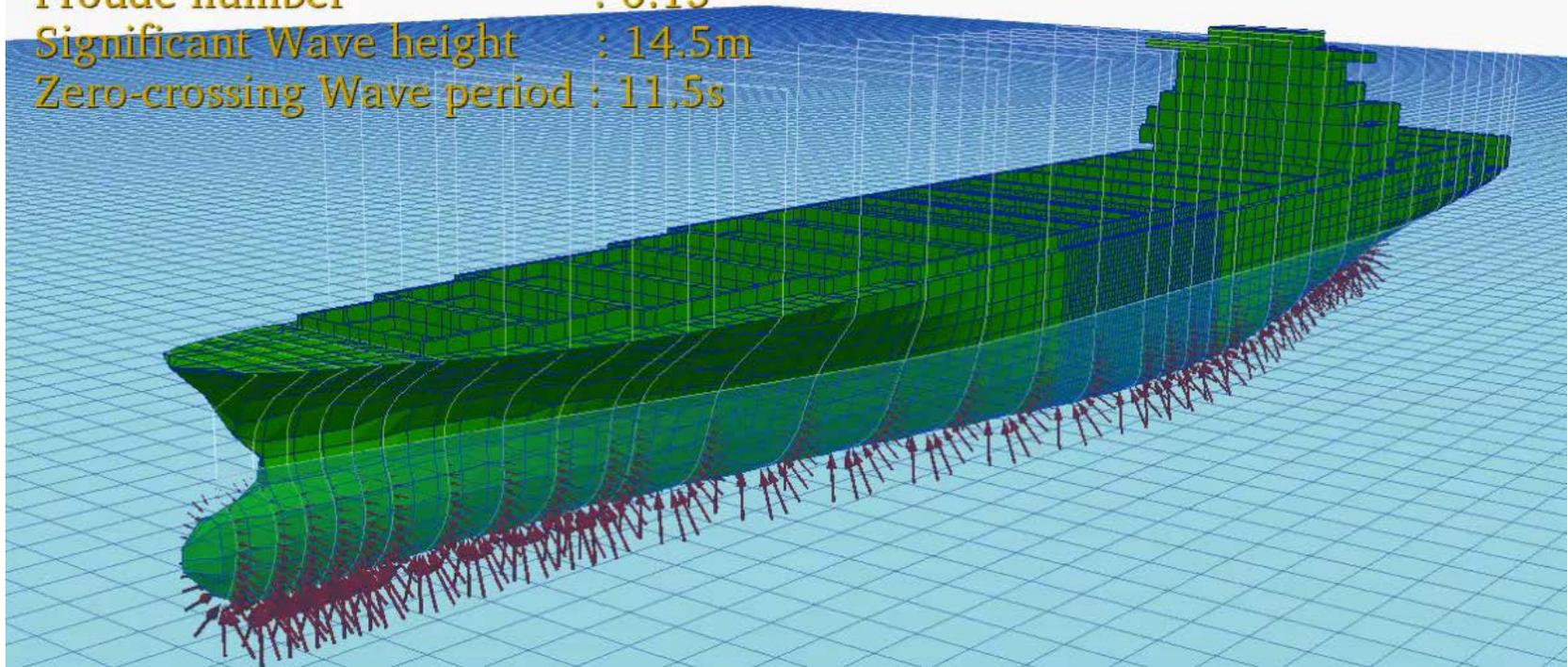
DLSA-Professionalの解析例

コンテナ船の設計不規則波中構造応答

Irregular Design Wave

Time: -39.90 s

Wave angle : 180deg
Froude number : 0.15
Significant Wave height : 14.5m
Zero-crossing Wave period : 11.5s



XX_STRESS

-350 -300 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 300 350

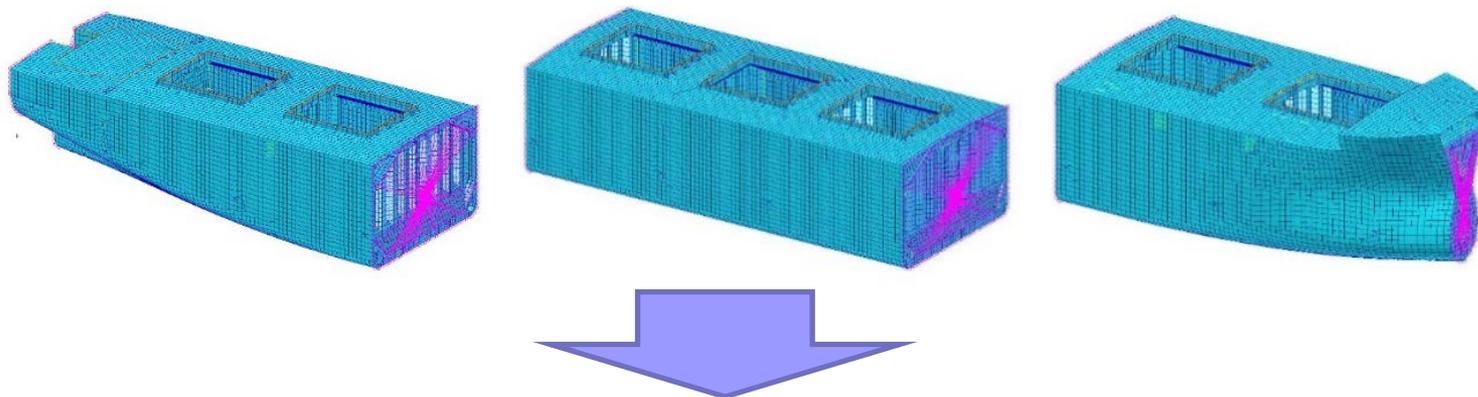


全船モデルとホールドモデルによる 構造応答比較

- 研究の背景
- 解析手法
- 解析結果
 - 応力応答まとめ
 - 横波中におけるホールドモデルの応力応答改善策
- 結論

背景

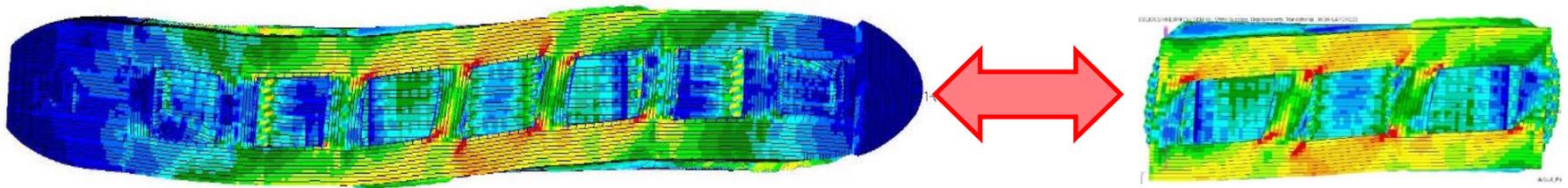
- 昨今の船体構造解析にて、**3ホールドモデル**によるFE解析が要求されている。
- **3ホールドモデル(評価部:中央ホールド)**によるFE解析を採用する**CSR BC&OT**は、従来ルールより新しい特徴を導入
 - 最後端貨物倉から最前端貨物倉までの全貨物倉区域内が対象
 - 斜め波に対応した捩りモーメントを導入



- **3ホールドモデル**を用いた構造解析におけるモデルの不確実性を定量的に把握することは重要
- 合理的なモデル化手法により、不確実性を低減する必要あり

背景

- 全船モデル(DLSA)による構造解析を参照解とし、**ホールドモデル**解析の応力応答の不確定性を評価.



- モデル不確定性の程度、現行規則に基づく境界条件の適用性、応力精度改善策を議論

解析手法

- ① 参照解を得るため、全船構造解析(DLSA)を実施
- ② ステップ①の全船モデル解析(DLSA)より、3ホールドモデルの境界断面位置における内力を計算
- ③ 全船解析(DLSA)と同等の荷重、ステップ②による断面力及びCSR BC&OTの境界条件を設定した3ホールドモデルにて解析
- ④ 全船モデル(DLSA)と3ホールドモデルの応力応答を比較

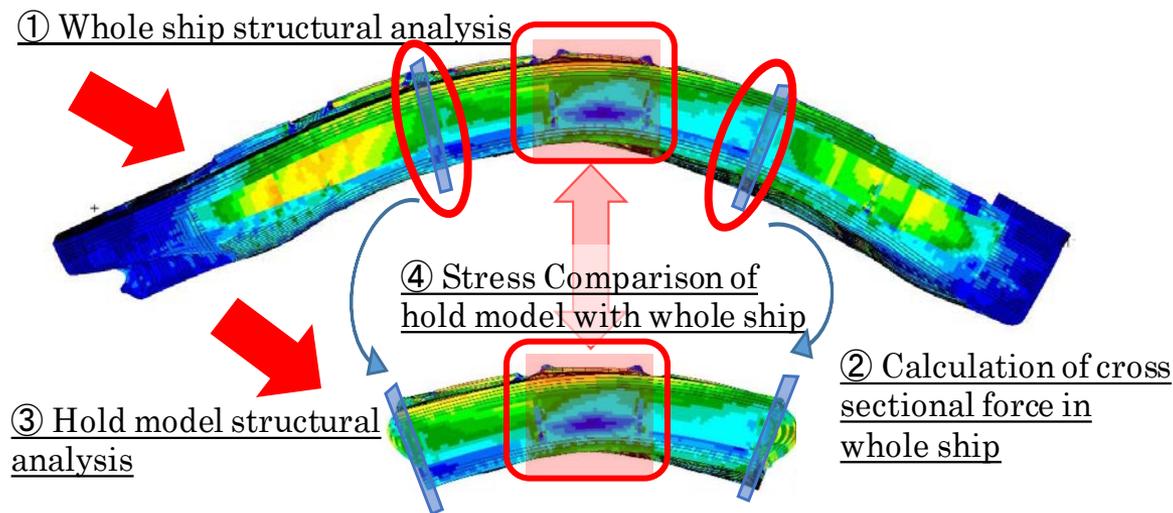


Fig . 評価手順概略図

NMRIW-IIによる波浪応答解析

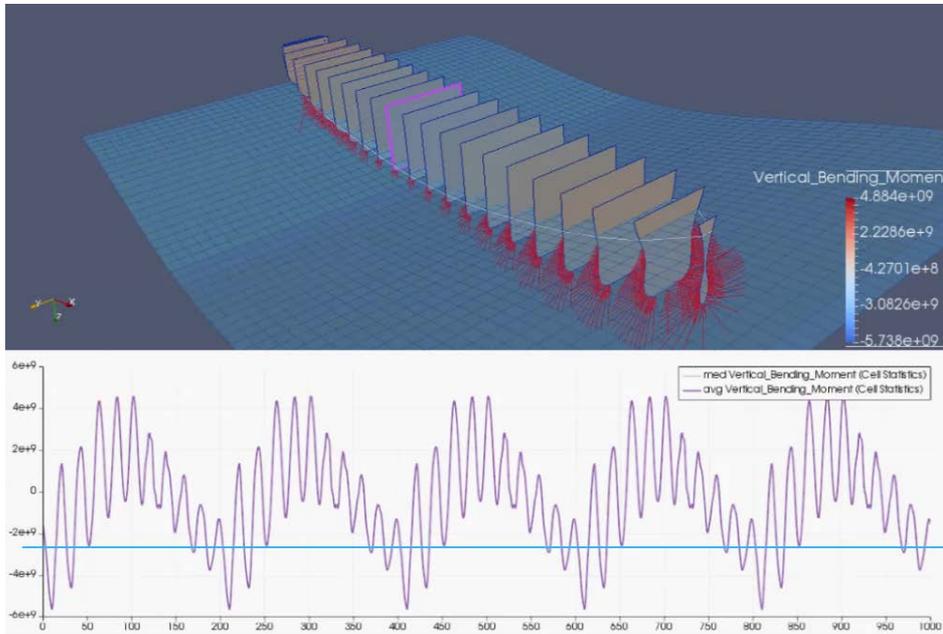


Fig . NMRIW-II による波浪外圧分布の一例

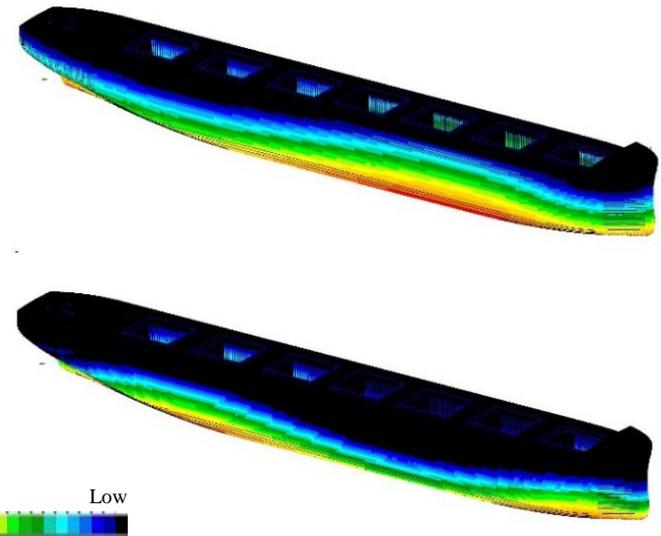


Fig . DLSA による波浪外圧のFEモデル
負荷のスナップショット一例

- 海上技術安全研究所によって開発された非線形ストリップ法の考えに基づくプログラムであるNMRIW-II (Nonlinear Motion in Regular & Irregular Wave) を使用した

荷重影響 断面力

- 全船FE解析(DLSA)により、対象とする3ホールドモデルの船首尾端における断面力を計算し、3ホールドモデルに負荷した。
- MSC PATRANの機能の一つであるFreebodyツールを用いて断面力を計算

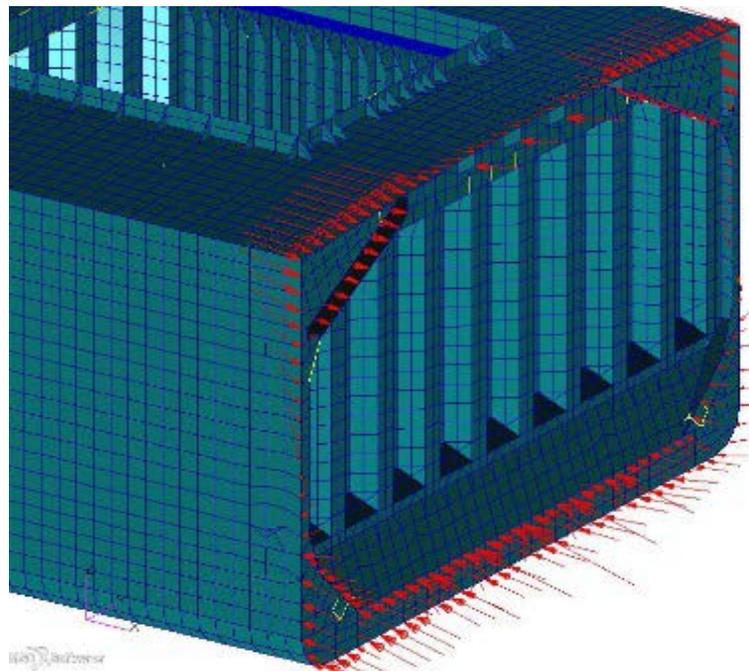


Fig. Example of grid-point force distribution at the boundary cross section of the three-hold model

計算条件

Table. 対象船及び解析条件

船型	パナマックスバルクキャリア
積付条件	隔倉積み
船速	5.0 knots
海象条件	向波 斜め波 横波
対象ホールド	中央ホールド(No.4C.H.) 船首ホールド (No.1C.H.) 船尾ホールド (No.7C.H.)

Table. 海象条件

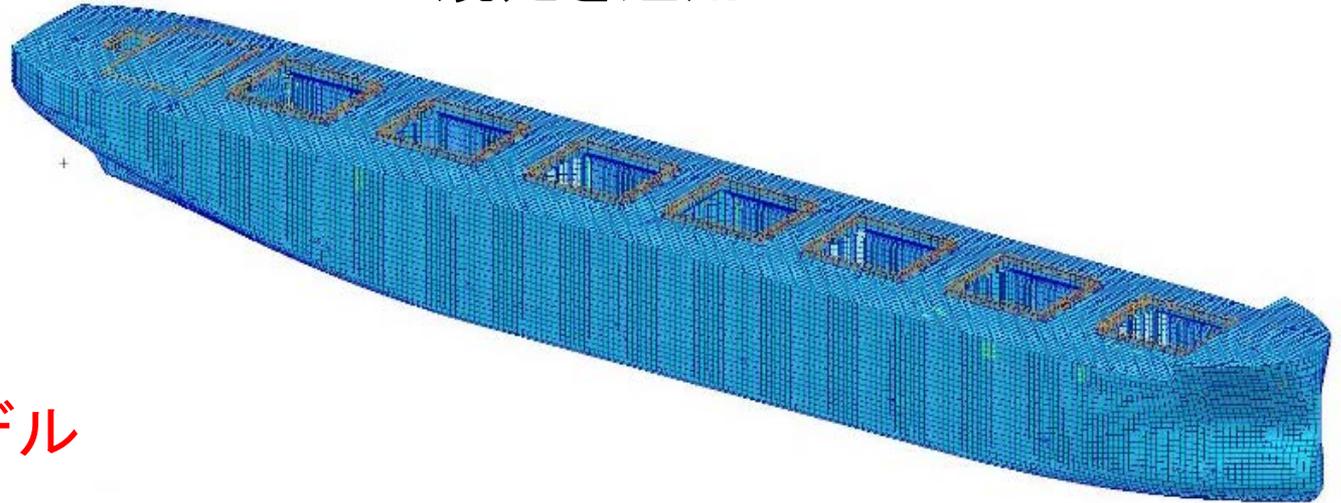
No.	波向き (deg)		波高(m)	波長船長比 (λ/L)	等価設計波 (EDW) CSR BC&OT
1	向波	180	10	1.00	HSM
2	斜め波	60		0.45	OST
3	横波	90		0.36	BSP

計算条件

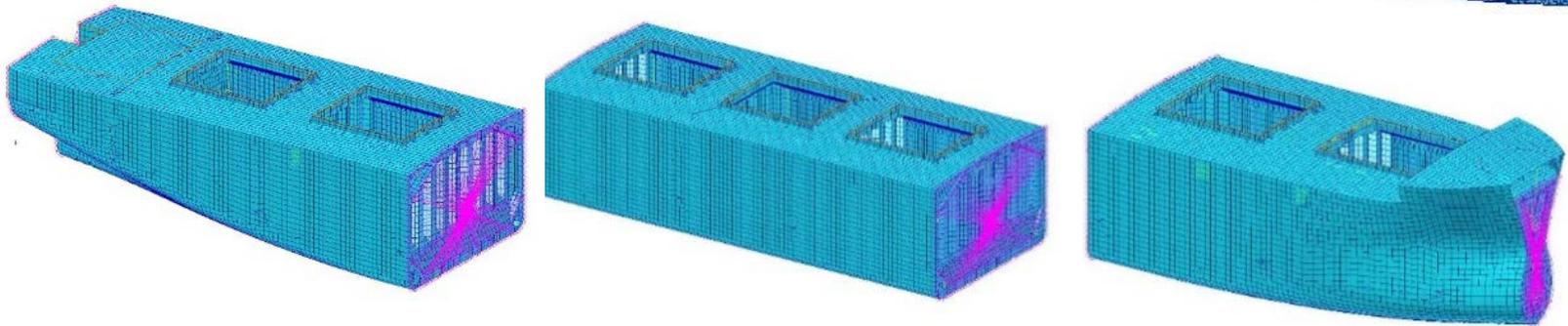
1. メッシュサイズはコースメッシュ
2. 板厚はネット板厚に腐食代半分を考慮

■ FEモデル：CSR BC&OTの規定を適用

① 全船モデル



② ホールドモデル



応力応答の結果

- ◆ 評価要素は上甲板とし、中央ホールドの中央位置およびハッチコーナー周辺の計6要素(A~F)
- ◆ 全船モデルとホールドモデルを比較する指標として、応力値の誤差を示すモデリングエラーを用いる

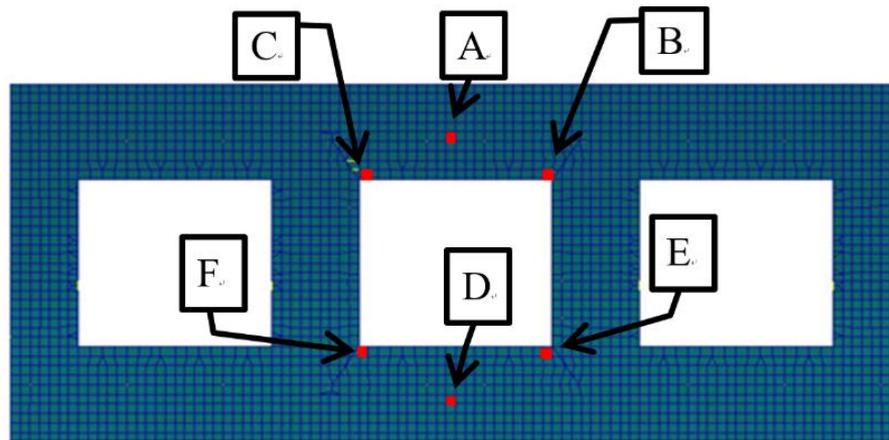


Fig. 上甲板上の評価要素

$$Modelingerror(\%) = \left(\frac{StressValueinHoldModel}{StressValueinWholeShipModel} - 1.0 \right) \times 100$$

応力応答の結果

- 向い波中の中央ホールド(No.4C.H.)における上甲板のモデリングエラー
- モデリングエラーは約4%以内かつマイナス
- **ホールドモデル**の応力の絶対値は、6要素共に**全船モデル**より小さい
- 向い波であっても、ホールド境界断面に剛体結合を採用した**ホールドモデル**は一定の拘束を避けられないことが要因

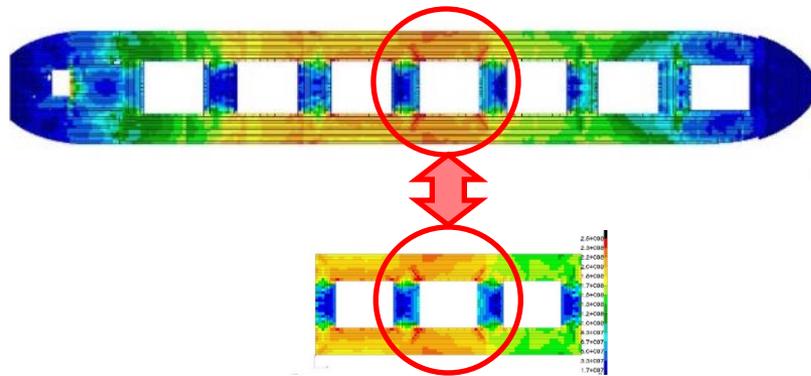


Fig. 向い波中の**全船モデル**および**ホールドモデル**の上甲板におけるミーゼス応力分布

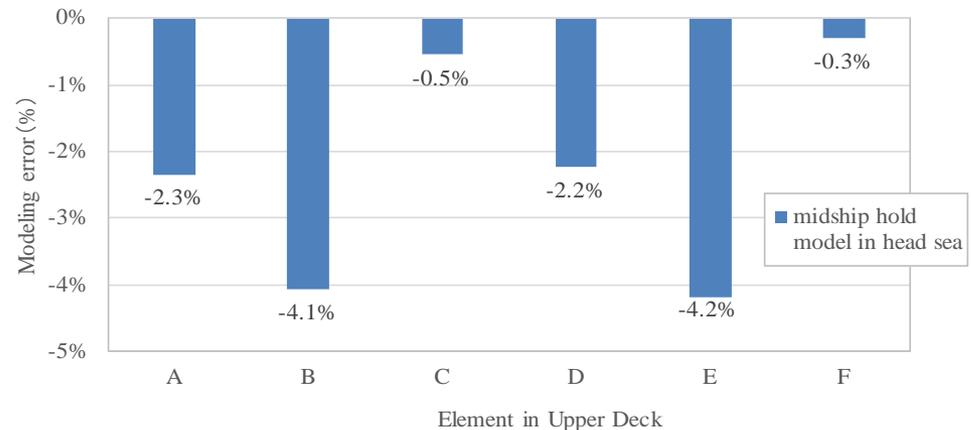


Fig.向い波中の上甲板中央ホールド(No.4C.H.)におけるミーゼス応力のモデリングエラー

応力応答の結果

- 上甲板6要素のモデリングエラー平均値を誤差ノルムにて定義
- 条件別(ホールド範囲、海象条件)の誤差ノルム

Table 上甲板ミーゼス応力の誤差ノルムまとめ

海象条件	ホールド		
	船尾ホールド	中央ホールド	船首ホールド
	No.7C.H.	No.4C.H.	No.1C.H.
向い波	1.7%	2.3%	5.7%
斜め波	3.0%	2.4%	2.2%
横波	88%	48%	60%

- 誤差ノルムで示される**ホールドモデル**の不確定性の程度は、向い波及び斜め波にて約5%以内で小さい。
- CSR BC&OTで規定される境界条件は**横波**を除いて合理的である

横波中におけるホールドモデルの境界条件の改善

- 重心高さ及び外圧の船長方向分布より、横波中에서도振りモーメントが発生する
- CSR BC&OTは、斜め波の場合を除いて**ホールドモデル**中央ホールドの中央位置における**振りモーメントを0**に調整する

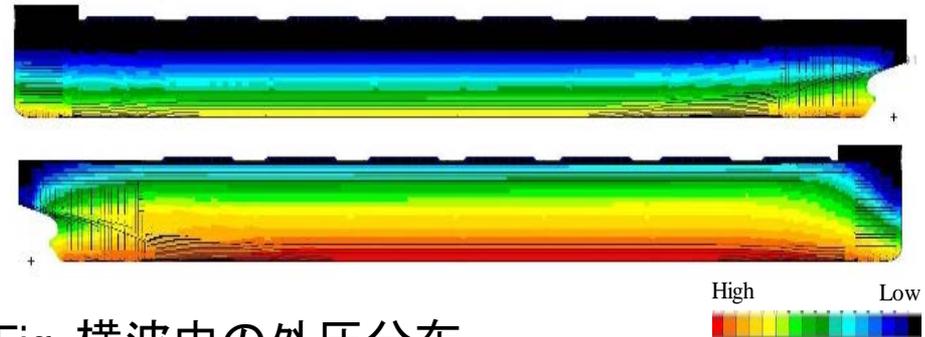


Fig. 横波中の外圧分布
(上図:左舷、下図:右舷, $H_w = 10\text{m}$, $\lambda // L = 0.36$)

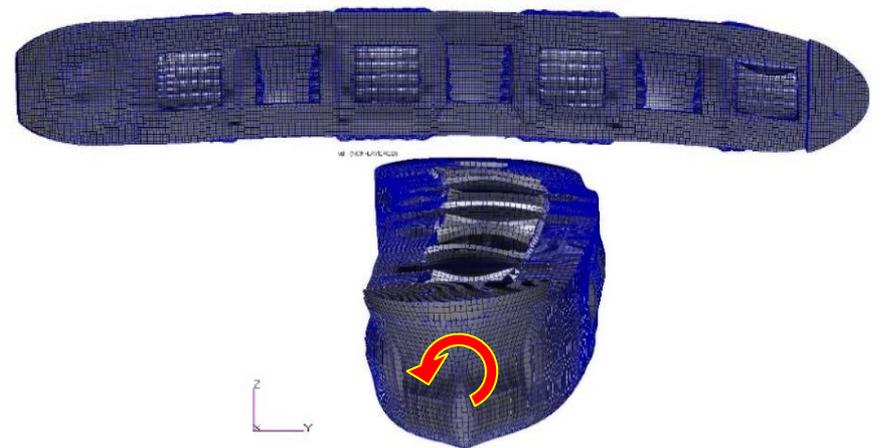


Fig. 横波中の**全船モデル**水平方向変形図

横波中におけるホールドモデルの境界条件の改善

- 振りモーメントの影響を調査するため、横波中船首ホールドにてケーススタディを実施

Table.横波中船首ホールドにおける計算条件

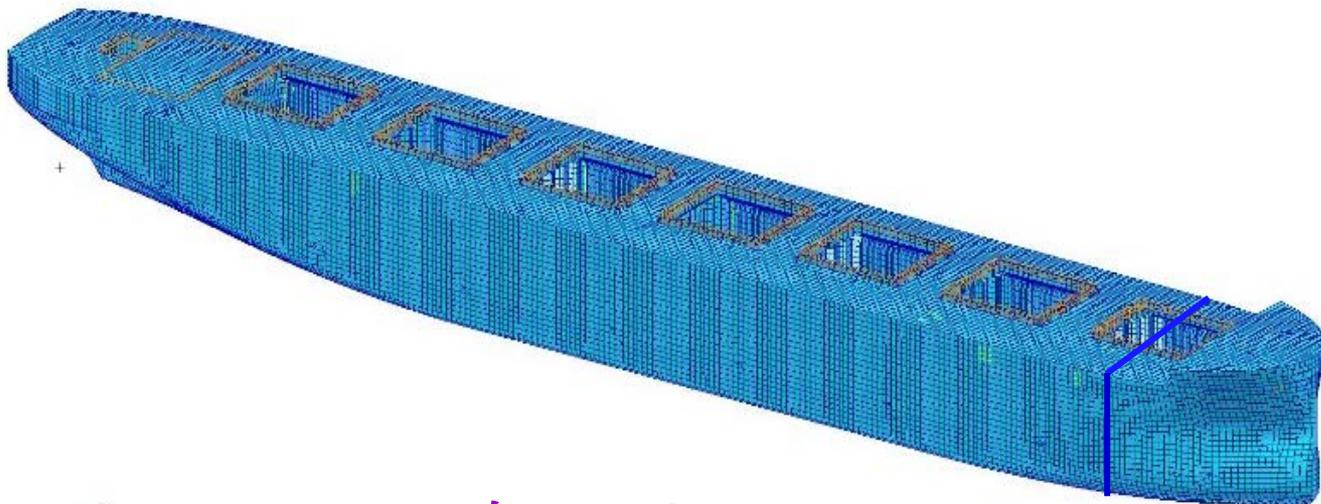
ケース	モデル	境界条件	独立節点に与える振りモーメント (M_{T-end})
0	全船モデル	-	
1	ホールドモデル	CSR BC&OT	CSR BC&OTの定義通り中央ホールドの中央位置の振りモーメントを0にするよう調整
2			中央ホールドの中央位置の振りモーメントを全船モデルと同値にするよう調整

横波中におけるホールドモデルの境界条件の改善

■ 計算モデル

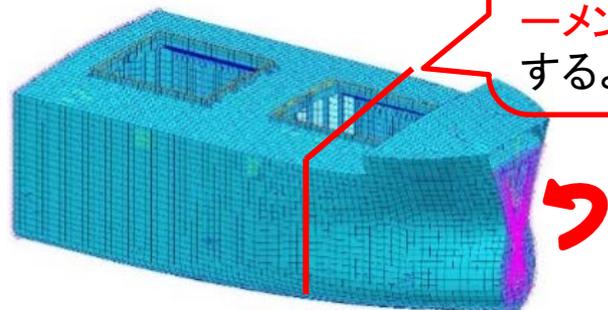
ケース0

全船モデル



ケース1

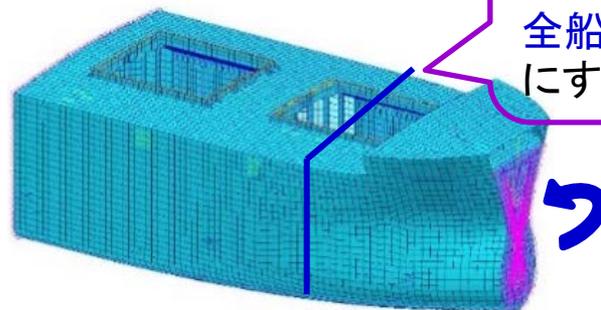
ホールドモデル



ホールド中央位置の振りモーメントを0にするよう調整

ケース2

ホールドモデル



ホールド中央位置の振りモーメントを全船モデルと同値にするよう調整

横波中におけるホールドモデルの境界条件の改善

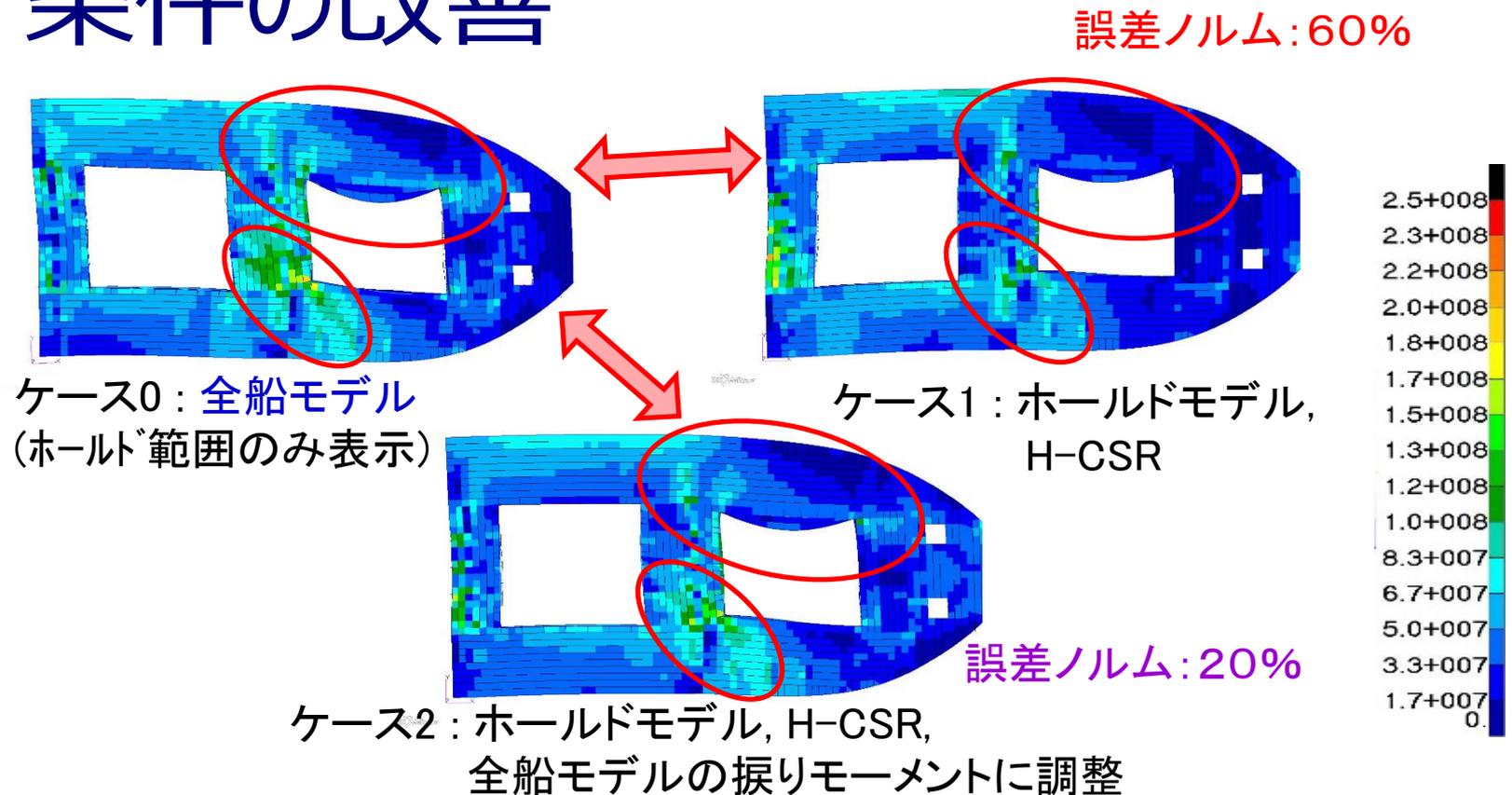


Fig. 横波中の船首ホールドにおけるミーゼス応力変形図 (N/m², 変形スケール100倍)

- **ホールドモデル**の応力応答は共に**全船モデル**より小さい
- ケース2はケース1に比べて全船モデル(ケース0)に近い

結論

- パナマックスバルクキャリアにて**全船モデル**による構造解析との比較を通じて、**ホールドモデル**解析の応力応答の不確定性を評価し、以下の結論を得た。
 - ① 向い波及び斜め波にて、**ホールドモデル**の不確定性の程度は、約5%以内である。**ホールドモデル**の応力応答は、境界の制約条件のため**全船モデル**の応答より小さい傾向となる。
 - ② 横波中は、**全船解析**にて振りモーメントを推定し、それに応じた境界条件を**ホールドモデル**に与え調整する必要がある。

DLSAを使用した所感

- ◆ ここ1~2年間で使い勝手と計算精度が大幅に向上
- ◆ FEモデル作成環境の発展にマッチしたシステム
- ◆ 造船所としての技術力向上に貢献するシステム ルールに頼らず自前での荷重強度評価が実現可能

まとめ

- ◆ 全船モデルを用いた荷重評価、FEM計算及び構造強度評価までを一貫評価できるシステムを開発
- ◆ 自動化機能及びグラフィカルユーザインタフェース等を整備し、解析工数を大幅に削減
- ◆ 造船所での実設計、開発への適用