

# 海技研DLSAセミナー2022

## DLSA-Basic 疲労強度評価機能 及び 解析・考察支援ツールの紹介





海上技術安全研究所 構造安全評価系  
基準開発グループ 笛木隆太郎

## はじめに

本講演では、現在開発中の疲労強度評価機能および解析・考察支援ツールのアップデート状況についてご紹介します。

ご意見・ご要望がありましたら、是非お聞かせください！



# DLISA-Basic 疲労強度評価機能 開発状況のご紹介

# 疲労強度評価の必要性

- 鋼船規則では、構造不連続部に生じる応力集中による疲労損傷を防止するため、貨物区域の指定箇所について有限要素解析による疲労被害度計算に基づく疲労強度評価が義務付けられている

(2020 鋼船規則 CSR-B&T編 1編 9章 2節) ClassNK

表1 極詳細メッシュ解析により評価すべき構造詳細

No	重要な構造詳細	適用条件	
		油タンカー	ばら積貨物船
1	最も重要なフレーム位置におけるビルジホップ下部の溶接型ナックル結合部 <sup>(1)</sup> (ビルジホップ斜板, 内底板, ガーダ, フロア及び横桁の交差部)	一つの貨物タンク <sup>(4)</sup>	バラストホールド
2	最も重要なフレーム位置におけるビルジホップ下部の曲げ加工型ナックル結合部 <sup>(1)</sup> (ナックル部のある内底板, ガーダ, フロア及び横桁の交差部)	一つの貨物タンク <sup>(4)</sup>	バラストホールド
3	ビルジホップ斜板と二重船側縦通隔壁の成す角度が 130°未満の場合, 最も重要なフレーム位置におけるビルジホップ上部の溶接型ナックル結合部 <sup>(1)</sup> (ビルジホップ斜板, 二重船側縦通隔壁, 横桁及びサイドストリングの交差部)	一つの貨物タンク <sup>(4)</sup>	二重船側ばら積貨物船のバラストホールド
4	ボトムガーダ近傍の横隔壁の下部スツールと内底板との結合部 <sup>(2)(3)</sup>	一つの貨物タンク <sup>(4)</sup>	バラストホールド
5	トップサイドタンク底板が平板の場合, 倉内肋骨上部ブラケットの先端部 <sup>(1)</sup>	N/A	EA ホールド <sup>(4)</sup> , EA ホールド <sup>(4)</sup> 及び単船側ばら積貨物船のバラストホールド
6	甲板及びハッチサイドコーミングの端部ブラケットの先端部	N/A	最前部の2つの貨物倉, 中央の貨物倉, 最後部の2つの貨物倉

(1) 最も重要なフレーム位置は、一般的に（必ずではない）、貨物倉の長さの中間点に最も近い位置とする。制水隔壁がある場合は、制水隔壁と油密隔壁の間の長さの中間点に最も近い位置とする。  
 (2) 貨物倉両端のスツール結合部は、中央ホールドで対称でない限り、評価しなければならない。  
 (3) 最も大きい貨物倉の幅の中間点  
 (4) 船体中央部に最も近い貨物倉



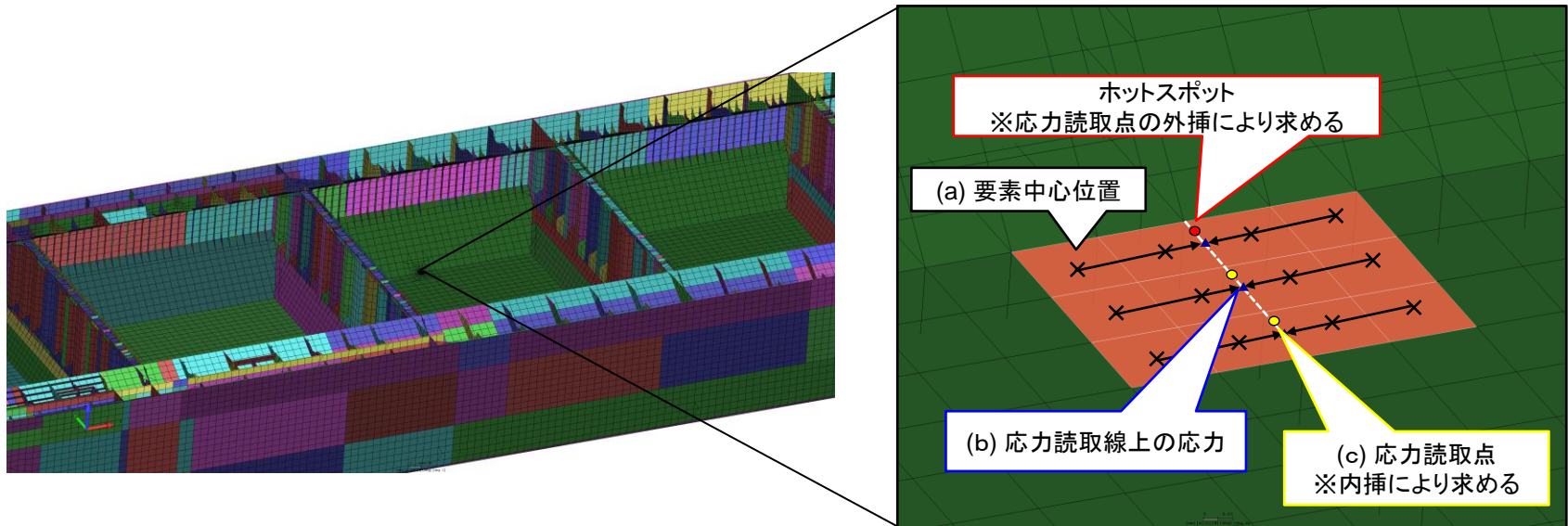
ClassNK (2020 鋼船規則 CSR-B&T編 1編 9章 2節)

表4 ビルジホップ下部の溶接型ナックル結合部のホットスポット

ホットスポット位置	ホットスポット応力の計算手順
ホットスポット1: 貨物タンク側の内底板	9章5節4.2
ホットスポット2: 貨物タンク側のビルジホップ斜板	
ホットスポット3: サイドガーダ外側のビルジホップウェブ	9章5節4.3
ホットスポット4: サイドガーダ内側のフロア	
ホットスポット5: サイドガーダ	9章5節3.1 タイプb
ホットスポット6: スカーフィンングブラケットと内底板との結合部	

# 鋼船規則の疲労強度評価で用いる応力

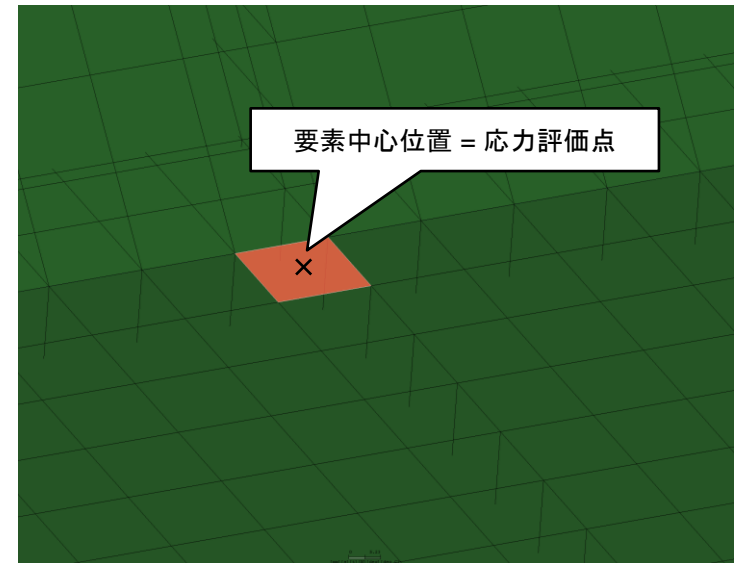
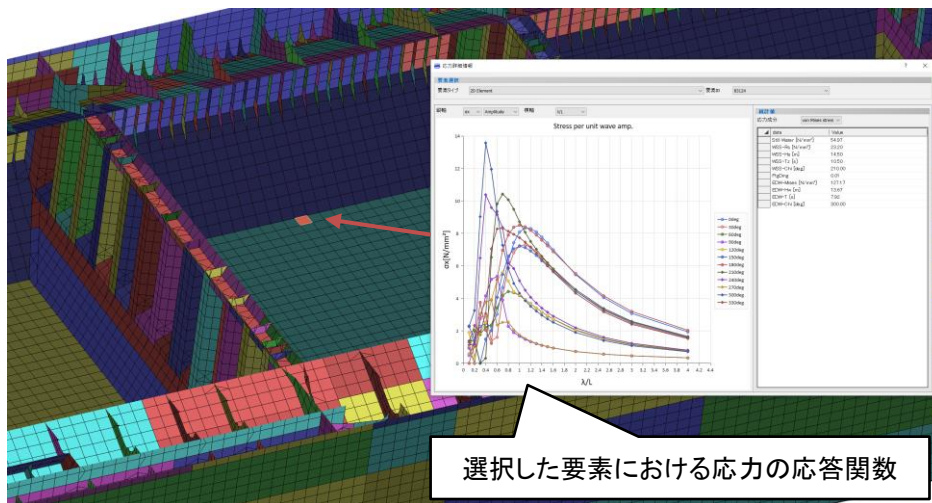
- 鋼船規則では、疲労強度評価に用いる応力として、構造的な応力集中を考慮したホットスポット位置における「ホットスポット応力」が用いられている
- ホットスポット応力は、ホットスポットに隣接する要素の応力解析結果を内挿・外挿することにより評価するよう規定されている



バルクキャリア貨物倉内 内底板とビルジホッパ斜板の結合部のホットスポット

# 海技研DLSAの疲労強度評価機能の現状

- 現状のDLSAでは、フルスペクトル解析により得られる応力の応答関数に基づき、選択した要素に対する疲労被害度を評価する機能があるが、応力の評価点は要素中心位置の1点のみ
- 鋼船規則に規定される複数要素の内挿・外挿によるホットスポット応力評価には未対応



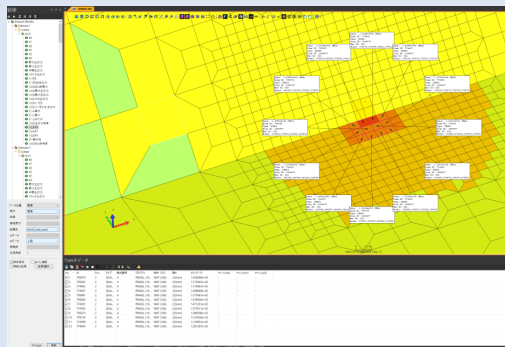
DLSAにおける現状の疲労強度評価

# 疲労強度評価機能向上に向けた開発状況

- 鋼船規則に定めるホットスポット応力評価に基づく疲労強度評価機能を開発中
- 鋼船規則（CSR・新C編）に準拠した疲労強度評価に対応することで、DLSAの活用シーンがさらに増加すると期待される

※本講演資料中の結果数値はデモ用データです

1. ホットスポット応力評価のための局所座標系定義
2. 応力成分の座標変換
3. 応力出力要素の選択
4. 応力出力結果の確認
5. 結果のエクスポート (csvファイル)



GUIにより直感的に操作・実行可能  
(JupiterのPOST機能を使用)

6. 応力データのインポート
7. ホットスポット応力評価
8. 疲労被害度(D)の計算
9. 結果評価

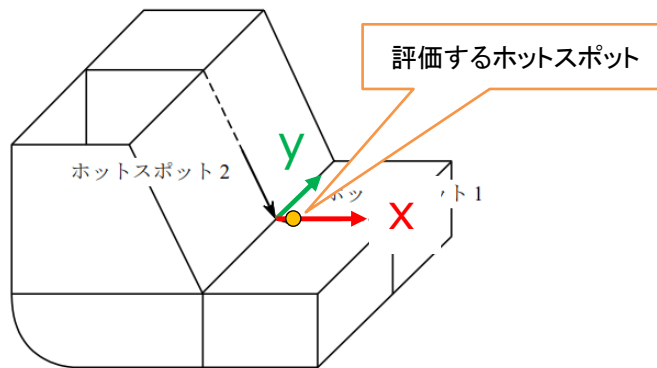
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
1	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
DLF_MAX_I2	145.1	171.8	171.8	145.1	145.1	171.8	171.8	145.1
DLF_MIN_I1	102.0	121.0	121.0	102.0	102.0	121.0	121.0	102.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
2	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21	1,21
DLF_MAX_I2	122.7	147.0	147.0	122.7	122.7	147.0	147.0	122.7
DLF_MIN_I1	87.9	104.0	104.0	87.9	87.9	104.0	104.0	87.9
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
3	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
4	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
5	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
6	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
7	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71	1,71
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
8	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81	1,81
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0
*応力位置番号		要素中心点: 荷重状態				応力評価結果: 応力成分: 荷重状態		
9	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91	1,91
DLF_MAX_I2	136.0	151.0	151.0	136.0	136.0	151.0	151.0	136.0
DLF_MIN_I1	90.0	102.0	102.0	90.0	90.0	102.0	102.0	90.0

D	判定
0.4495	OK
0.00446	OK

エクセルシートにより即座に実行・確認可能

# 疲労強度評価のための操作の流れ（GUI操作）

1. ホットスポット応力評価のための局所座標系定義
2. 応力の座標変換
3. 応力出力要素の選択
4. 応力出力結果の確認
5. 結果のエクスポート（csvファイル）



ホットスポット応力の方向定義は、  
CSRの場合  
溶接線直交方向：x方向  
溶接線平行方向：y方向



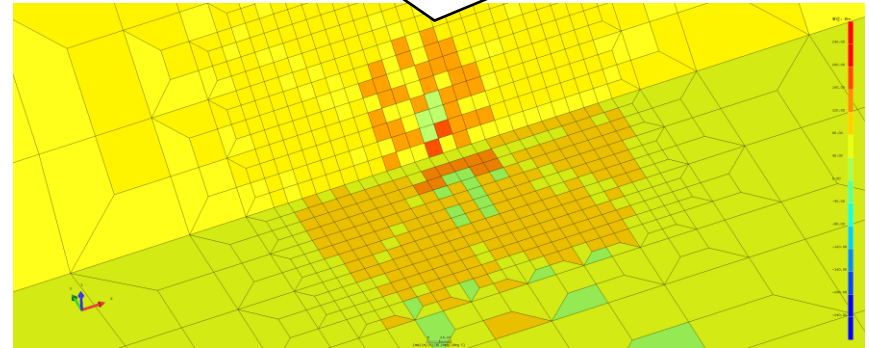
ホットスポット応力評価のための局所座標系の設定



# 疲労強度評価のための操作の流れ（GUI操作）

1. ホットスポット応力評価のための局所座標系定義
2. 応力の座標変換
3. 応力出力要素の選択
4. 応力出力結果の確認
5. 結果のエクスポート（csvファイル）

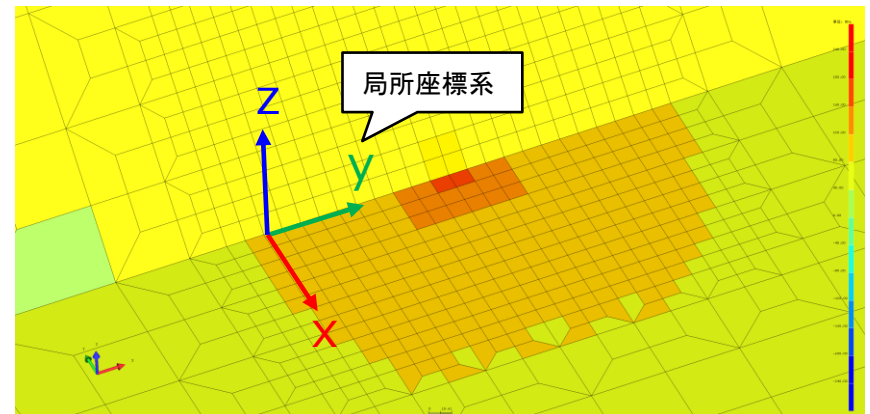
構造解析結果は要素座標系で出力されるため、要素座標系の向きがそろっていない場合は応力成分の結果もバラバラになる



要素座標系 X方向応力コンター図

先に定義した局所座標系に変更

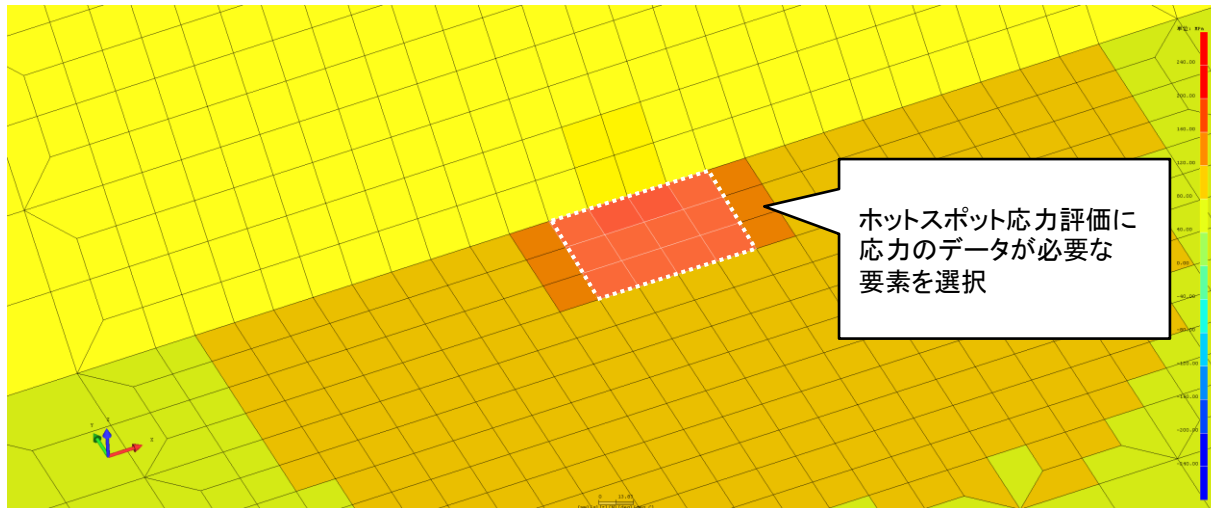
データ位置	要素
表示	要素
変換	
接続表示	
座標系	No1HS_local_coord
1Dデータ	
2Dデータ	上面
複素数	
位相角度	0
<input checked="" type="checkbox"/> 設定保存	<input type="checkbox"/> 全てに適用
<input type="checkbox"/> 複数の結果	結果選択



局所座標系 X方向応力コンター図

# 疲労強度評価のための操作の流れ（GUI操作）

1. ホットスポット応力評価のための  
局所座標系定義
2. 応力の座標変換
3. 応力出力要素の選択
4. 応力出力結果の確認
5. 結果のエクスポート（csvファイル）



応力を読み取る要素の選択

# 疲労強度評価のための操作の流れ（GUI操作）

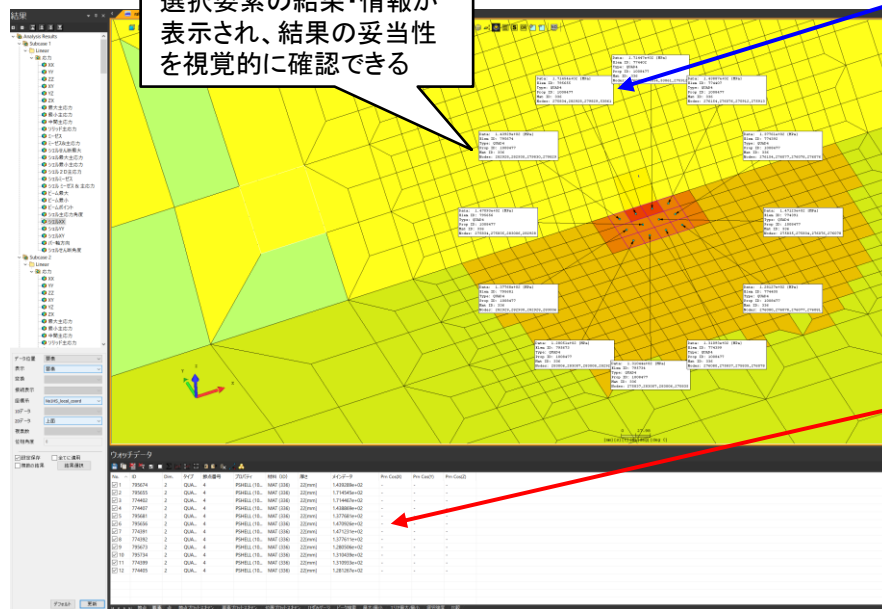
1. ホットスポット応力評価のための局所座標系定義
2. 応力の座標変換
3. 応力出力要素の選択
4. 応力出力結果の確認
5. 結果のエクスポート（csvファイル）

- 指定した応力の結果が出力
- 座標系や応力成分（主応力にも対応）を変更すると表示も連動して変更される

選択要素の結果・情報が表示され、結果の妥当性を視覚的に確認できる

Data: 1.71454e+02 [MPa]  
 Elem ID: 795655  
 Type: QUAD4  
 Prop ID: 1008477  
 Mat ID: 336  
 Nodes: 275834,282928,279829,53861

結果のリスト表示はCSVファイルにエクスポート可能



ウォッチデータ

No.	ID	Dim.	タイプ	節点番号	プロパティ	材料 (ID)	厚さ	メインデータ	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	795674	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.439289e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	2	795655	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.714545e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	3	774402	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.714467e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	4	774407	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.438869e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	5	795681	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.377681e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	6	795656	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.470926e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	7	774391	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.471231e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	8	774392	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.377611e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	9	795673	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.280506e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	10	795734	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.310439e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	11	774399	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.310933e+02
<input checked="" type="checkbox"/>	12	774405	2	QUA...	4	PSHELL (10...	MAT (336)	22[mm]	1.281267e+02

ホットスポットに隣接した要素の応力出力結果

# 疲労強度評価のための操作の流れ（エクセル入力）

6. 応力データのインポート
7. ホットスポット応力評価
8. 疲労被害度(D)の計算
9. 結果評価

POSITION	ELEM_ID	DLP_MAX			DLP_MIN		
		$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$	$\sigma_x$	$\sigma_y$	$\sigma_{xy}$
L12	795674	143.93	45.53	15.91	102.20	28.45	9.31
L11	795655	171.45	40.56	26.81	121.08	24.87	17.19
R11	774402	171.45	40.48	-21.81	121.05	24.86	-13.04
R12	774407	143.89	45.07	-10.86	102.06	28.18	-5.12
L22	795681	137.77	41.26	19.78	97.70	25.49	12.11
L21	795656	147.09	35.93	34.35	104.05	21.82	22.35
R21	774391	147.12	36.06	-28.81	104.05	21.96	-17.83
R22	774392	137.76	40.96	-14.34	97.59	25.33	-7.66
L32	795673	128.05	38.50	24.35	90.83	23.63	15.29
L31	795734	131.04	36.68	35.93	92.83	22.38	23.41
R31	774399	131.09	36.68	-30.08	92.84	22.41	-18.68
R32	774405	128.13	38.21	-18.54	90.78	23.48	-10.59

GUIからアウトプットしたCSVファイルをもとに整理されたデータファイル（自動生成）

GUIでエクスポートしたデータが自動でエクセルにインポートされる

EDW:BP\_P

x方向位置番号	要素中心応力_板厚表面						応力線取線上の応力_外挿値		
	L12	L11	R11	R12	L10	R10	C10		
1	DLP_MAX_I2	143.93	171.45	171.45	143.89	185.22	185.23	185.23	
	DLP_MIN_I1	102.20	121.08	121.05	102.06	130.52	130.55	130.55	

x方向位置番号

	要素中心応力_板厚表面						応力線取線上の応力_外挿値		
	L22	L21	R21	R22	L20	R20	C20		
2	DLP_MAX_I2	137.77	147.09	147.12	137.76	151.75	151.80	151.80	
	DLP_MIN_I1	97.70	104.05	104.05	97.59	107.23	107.28	107.28	

x方向位置番号

	要素中心応力_板厚表面						応力線取線上の応力_外挿値		
	L31	L31	R31	R32	L30	R30	C30		
3	DLP_MAX_I2	128.05	131.04	131.09	128.13	132.54	132.58	132.58	
	DLP_MIN_I1	90.83	92.83	92.84	90.78	93.83	93.87	93.87	


ホットスポット応力の評価結果が計算・表示される

ホットスポット応力			
ox	oy	txy	
MAX_STRESS	193.55	38.81	30.48
MIN_STRESS	136.35	22.59	19.92
MEAN_STRESS	164.95	30.70	25.20
STRESS_RANGE	57.20	16.22	10.56

疲労被害度 最終評価結果

D	判定
0.450	OK

疲労被害度の評価結果・判定が表示される



# DLSA-Basic 解析・考察支援ツールの アップデート状況のご紹介

# 支援ツールに関する現況・課題

- 海技研では、DLSAユーザーに対し、個別レクチャーによる支援の他、各機能の解説書やGUI操作マニュアルを作成し、ユーザーに配布している
- しかし、ユーザーや導入検討者からの声により、下記のような課題があることがわかってきた
  - 既存のマニュアル類を参照しても、操作につまづくことがある
    - **<対応> 操作マニュアルの全面改訂を実施中**
  - 解析作業について一定の知識・経験がないと、途中段階でのチェック不十分・ミス等により妥当な解析結果が得られない場合があり、誤った結果の報告・手戻りにつながる
    - **<対応> 解析途中の確認・調整作業を確実に実施できるような補助ツールを作成中**
  - DLSAによる解析でどのような結果を記録・報告すべきかわからない
    - **<対応> 解析報告書のひな型を整備**

# 支援ツールのアップデート状況

## 1. 操作マニュアルの全面改訂

- 「解析の専門知識や経験が少ない方でも人でも作業が完遂できるマニュアル」を目指し、従来説明が不足していた部分の内容の改訂やレイアウトの工夫によるリファインを実施

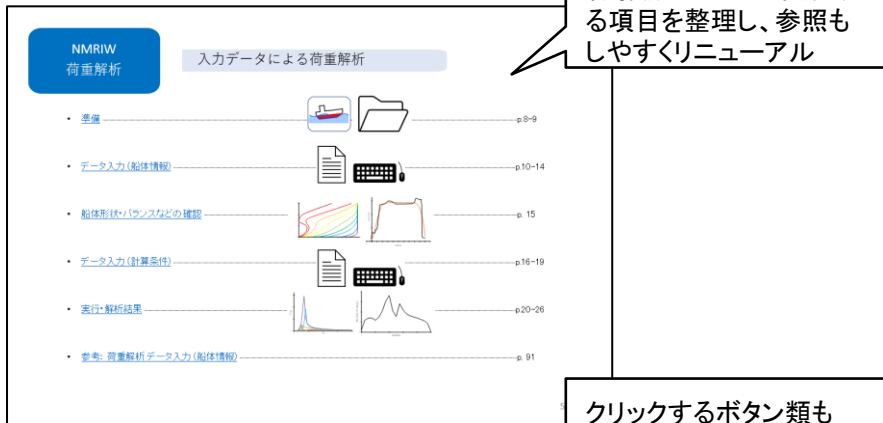
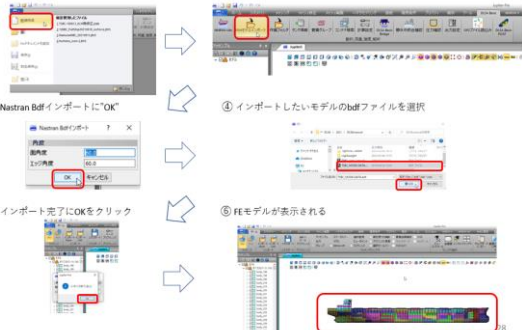
解析準備から結果評価までの全体的な流れと小項目作業の関係を把握できる



作業の流れが視覚的に把握できる

### 2.1. FEモデルをDLSA Basicへインポートする

- ① 左上のアイコンから、新規作成を選択
- ② DLSA Basicタブの“FEモデルインポート”をクリック
- ③ Nastran Bdfインポートに“OK”
- ④ インポートしたいモデルのbdfファイルを選択
- ⑤ インポート完了にOKをクリック
- ⑥ FEモデルが表示される



各解析フェーズで実施する項目を整理し、参照もしやすくリニューアル

クリックするボタン類ももれなく記載

### 例) 表7-1 DeckStoreの重量を追加する— (続き)

- 3) 追加部位がわかるような名前を付け (例: Mass\_DeckStore) 。1節点当たりの質量値を入力 (例: 24ton÷168節点=142.9kg/節点) 。質量の単位を選択する (図7-4) 。なお、質量の入力数変更は、サム→プロパティ→表示数値→コマンドウィンドウの中→表示使用のチェックを外し、設定したい小数点の桁数を入力、OKする (図7-5) 。
- 4) 質量要素入力ダイアログでOKをクリックすると、選択した節点に質量が追加される。



- 5) 質量表示アイコン (図7-6) をクリックすると、これまでに質量を追加したすべての節点に重りのイラストが表示される (図7-7) 。
- なお作成されたDeckStoreの質量プロパティはアセンブルウィンドウの、モデル→すべてのアイテム→プロパティの中にできる。右クリックで追加や修正、削除などの編集作業ができる (図7-8) 。

# 支援ツールのアップデート状況

## 2. 解析途中の確認・調整作業を確実に実施できるような補助ツール

- 操作マニュアル中に確認作業の内容を追加
- DLSAのアウトプットデータが自動でインポートされ、簡単に結果の可視化（グラフ化）が可能なエクセルマクロテンプレートを用意

積み付け重量調整のための  
積み高さ調整

\* HOLDHEIGHT.DATの積高さの調整①  
SWCONF.CSV

調整方法・使用する算式や  
計算例を掲載

タンク高さの積み荷重量もローディングマニュアルに近づける。  
※のあるタンクからHOLDHEIGHT.DATの高さで調整する

ローディングマニュアルのタンクの積割合から高さが変わる

ローディングマニュアル：18976 (33%)

積割合	積高さ	積割合
8311.00	30.64	
8518.00	31.79	
8695.00	32.95	
8872.00	34.12	
9049.00	35.29	
9226.00	36.48	
9403.00	37.67	

例) No.1CH 1.74E+04 (17392.468) 目標の高さZ  
ローディングマニュアル：18976 (33%)

近い2点から概算の積高さを算出する

$$Z = \frac{8872 - 8695}{34.12 - 32.95} \times (33 - 32.95) + 8695 = 8702.107591$$

算出した積高さでHOLDHEIGHTを変更、または、GUI上でタンク情報で修正して、BRIDGEを再度実行する。

船殻重量・積み荷重量の調整時に必要となる重量分布の比較グラフが生成されるエクセルフォーマットを用意  
(データはDLSAの出力結果から自動でインポート)

☆Bridge実行後、グラフ化して確認する。

InputCheck.csvとSWLOAD.csvよりVBF、VBMの比較を行う

重量分布比較：荷重解析のインプットデータ、結果ファイルINPUTCHECK.CSV (Lite実行後に一度確認済み)、MASSDIST.CSVのTotal Mass、ローディングマニュアルの船殻重量  
\*参考文献3-1参照  
\*MDgraphMaker\_D924



# 支援ツールのアップデート状況

## 3. 解析結果報告書のひな型

- これまでの海技研での解析実績をもとに、解析報告書のひな型を整備
- DLSAで解析する場合、どんなデータを取得し、何を報告すればよいか分かる
- ひな型に沿って結果をまとめていただくことで、海技研側も結果把握・サポートがしやすくなる

先に使用したエクセルテンプレートから出力されたグラフをそのまま貼り付ければOK

2. 一般

2.1. 対象船舶

本研究で解析の対象とする船舶を本章において示す。対象船舶の主要目を Table 2-1 に、全船 FEM モデル並びに板厚分布、材料モデルをそれぞれ Fig. 2-1、Fig. 2-2、Fig. 2-3、Table 2-2 に示す。さらに、詳細な重量分布及びローディングマニュアルは Appendix A に示している。

船種	
Lon	
Lpp	
B	
D	
D.W.T	

### 全船FEモデルの外観

ヤング率	
降伏応力	上甲板： 船底： (FE 解析では弾性体として扱う)
密度	

Fig. 2-1 全船 FE モデル

3.2. 静水中の荷重

Fig. 3-4、Fig. 3-5、Fig. 3-6 に、NMRW3D により得られる、静水中の重量、浮力分布ならびに垂直せん断力、垂直曲げモーメントを示す。

Fig. 3-4 静水中垂直せん断力

Fig. 3-5 静水中の重量、浮力分布

Fig. 3-6 静水中垂直曲げモーメント(Hogging を正)

4. 構造解析

4.1. 解析手法

DLSA-Basic システムを用いて、前章に示した波浪荷重を用いた全船構造解析を実施した。DLSA-Basic の解析手法を Table 4-1 に示す。

構造解析	MSC. NASTRAN による線形解析
外圧の付与方法	NMRW によって得た外圧を外板 FE 要素にマッピング
内圧の付与方法	NMRW によって得たタンク 重心位置加速度を用いて、CSR に準拠した内圧荷重 (A 法) をタンク FE 要素に付与。HeavyBallast は液体のみなので全タンクに A 法を適用。
船殻慣性力の付与方法	MSC. NASTRAN の Inertia relief コマンドを適用
拘束条件 (幾何学的境界条件)	なし
応力振幅の計算法	出合い波の一周期分を 12 分割 (projection に使ったのは 8 分割) した瞬時瞬時の状態 (横断時系列) について構造解析し、フーリエ変換により各要素の各応力成分の振幅を計算

4.2. FE モデルの質量調整および静水中のつり合い

FE モデル (振動用モデル (調整前)、及び、積載重量を質点で調整済み (調整後)) に対し Light Weight 及び重心位置の比較を、Table 4-2 及び Fig. 4-1、重量分布を Fig. 4-2 に示す。

	FE モデル (調整前)	FE モデル (調整後)	Light Weight Data
MASS [ton]			
XG [m] from A.P.			
YG [m] from C.L.			
ZG [m] from Keel			

\*Constants :

Fig. 4-1 質量調整前後の全船の Light weigh (左) と重心 x, z 位置 (右)

# まとめ

## 1. 疲労強度評価機能の開発状況

- 疲労強度評価に用いる応力について、鋼船規則に則った複数要素の応力解析結果からホットスポット応力を評価する方法への対応し、CSRおよび新C編に準拠した方法での疲労強度評価に対応予定
- GUIによる直感的な操作とエクセルによる自動計算を組み合わせ、使いやすく、手間が極力かからない強度評価システムの実現を目指している

## 2. 解析・考察支援ツールのアップデート状況

- 荷重解析・構造解析の専門知識や経験が少ない方でも一連の解析作業が確実に実施できるよう、操作マニュアルの全面的な改訂を実施中
- 解析途中の確認・調整作業を確実に実施できるような補助ツールを作成中
- 解析結果のまとめに便利な報告書のひな型を整備

**今後も海技研DLSAのさらなるアップデートにご期待ください！**

ご清聴ありがとうございました。