

荷重構造一貫解析のための前処理及び後処理プログラム NMRI-DESIGN

小川 剛孝*

A Program of the Preprocessor and Postprocessor for a Whole Ship Finite Element ANALYSIS NMRI-DESIGN

by

Yoshitaka OGAWA

Abstract

The appearance of a larger and unconventional vessel during recent years makes the further accurate verification of the structural strength more important. The development of the International goal-based ship construction standards for bulk carriers and oil tankers by the International Maritime Organization (IMO) and the Harmonized Common structural rules for bulk carriers and oil tankers (H-CSR) by the IACS may accelerate this trend. Furthermore, remarkable social trends in reducing GHG emissions in parallel with the development environment regulations in the IMO require the balance between hull weight and its strength. Within the latest framework of the classification rule, the longitudinal extent of the cargo hold FE model is to cover three cargo hold lengths. In addition, cargo hold structural strength analysis is mandatory within the cargo hold region including the aft bulkhead of the aft most cargo hold and the collision bulkhead. The technical progress of FE modelling pushes this trend. Therefore, it is required for more precise design to conduct the whole ship finite element analysis with realistic loads.

Based on these backgrounds, author developed the whole ship finite element analysis. The features of the whole ship finite element analysis are introduced. Furthermore, the graphic user interface was also developed for the easy utilization of this program in the design stage. Preprocessor for data inputting and postprocessor for overview of computed results are demonstrated.

* 構造安全評価系 基準開発グループ

原稿受付 平成28年2月 1日

審査日 平成28年2月23日

目 次

1. まえがき	36
2. 荷重構造一貫性能評価法 NMRI-DESIGN	37
2.1 NMRI-DESIGN における荷重負荷	37
2.2 FE 解析	38
3. NMRI-DESIGN のグラフィックユーザーインターフェース (GUI)	38
3.1 前処理のための GUI	38
3.2 コンテナ船のための GUI	40
3.3 ポスト処理	41
4.まとめ	42
参考文献	42

記 号

X : 前後揺 [m]
 Y : 左右揺 [m]
 Z : 上下揺 [m]
 ϕ : 横揺 [-]
 θ : 縦揺 [-]
 ψ : 船首揺 [-]
 a_x : 船体運動による X 方向 (船長方向) 加速度 [m/s^2]
 a_y : 船体運動による Y 方向 (横方向) 加速度 [m/s^2]
 a_z : 船体運動による Z 方向 (鉛直方向) 加速度 [m/s^2]
 ρ_L : 貨物の密度 [kg/m^3]
 g : 重力加速度 [m/s^2]
 P_x : 船体運動による X 方向 (船長方向) 加速度 [m/s^2]
 P_y : 船体運動による Y 方向 (横方向) 加速度 [m/s^2]
 P_z : 船体運動による Z 方向 (鉛直方向) 加速度 [m/s^2]
 ζ : バラストタンクの水位高さ[m]

1. まえがき

近年の世界的な輸送量の増大や新船構造基準(Goal-based standards; GBS)等による安全規制強化, 環境保全の観点からの GHG 規制やシップリサイクル, バラスト水管理条約等, 船舶を取り巻く環境は大きく変化している. 特に, GHG 削減に対する社会動向は極めて早く, これに適合するための新形式船の設計や新たな運用のあり方が検討されている.

このような動向に対応して合理的な船舶設計を行うには, 構造強度の一層詳細な評価も重要となる. 一方, 船舶の構造強度を評価する上で考慮すべき影響因子 (建造時の工作精度及び環境 (海象) 条件, 運航条件等) は多岐にわたることから, 安全基準においても運航実態を考慮しつつ経験則的に設定されている要件が少なからず存在する. かかる状況のもと, より合理的な評価体系にもとづき構造設計を行っていくためには, 発展を遂げた FEA 等の直接計算手法を活用し, 計算上得られる強度 (応力) と実際の設計強度及び安全性との相関を明確にしておく必要があると考えられる.

このような背景のもと著者らは, 荷重構造一貫解析法を開発し実船への適用を通じた検証を行っている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾. これを全船荷重構造一貫性能評価システム NMRI-DESIGN と呼んでいる. NMRI-DESIGN は, 荷重計算ソフト

NMRIW (Nonlinear ship Motion in Regular and Irregular Waves)²⁾³⁾及びNASTRAN等のFE解析ソフトの前処理及び後処理を担うソフトで構成される一群のプログラムである¹⁾⁴⁾。

2. 荷重構造一貫性能評価法 NMRI-DESIGN

構造解析の入力となる船体表面水圧分布の計算は、著者らがこれまでに開発した非線形ストリップ法ベースの時系列計算法 NMRIW²⁾を用いている。このような時系列計算法を活用することにより、(形状)非線形性や波浪衝撃を考慮して水圧分布を計算することができる。この計算法は、入射波を時系列で与えて船体応答を求める時系列計算法であるため、不規則波中での直接計算も可能である。他にも時系列で構造解析を行う手法⁵⁾はあるものの、本手法のように不規則波での直接応答を解析した結果は殆どない。荷重の非線形性を考慮する上で、規則波中での評価だけに基くと過大評価となる可能性も指摘されており⁴⁾、不規則波中での直接評価は重要であると考えられる。

2.1 NMRI-DESIGN における荷重負荷

貨物艙及びバラスタング等について、波浪中での荷重を評価するためには船体運動により生じる慣性力を考慮する必要がある。このため、6自由度船体運動計算プログラム NMRIW により計算した船体運動の加速度をFEモデルに整合する形で以下の通り整理する。

荷重計算ソフト NMRIW により計算した船体運動の各成分を以下のように定義し、各成分の方向は下図に示す通りとする。

並進成分 $X(t)$, $Y(t)$, $Z(t)$

回転成分 $\phi(t)$, $\theta(t)$, $\psi(t)$

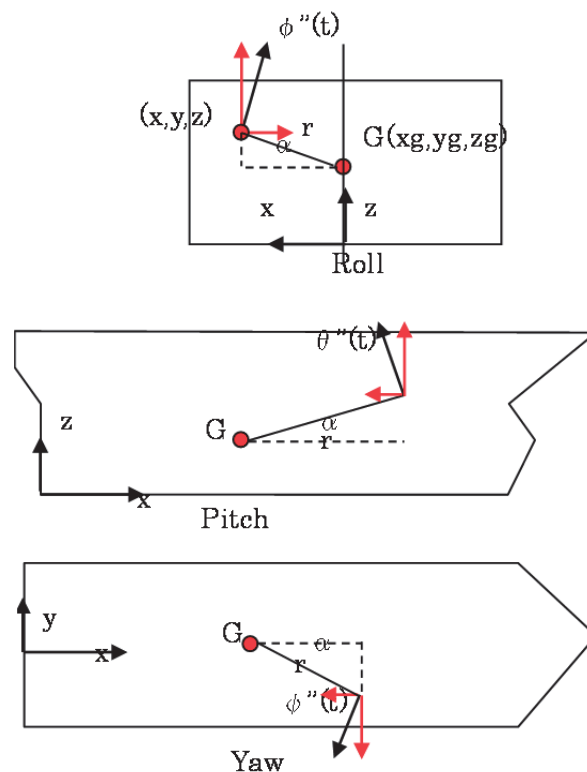


図1 船体運動の座標系の定義

よって、各方向の加速度は(2.1)～(2.3)のようになる。

$$X \text{ 方向} : a_x = X''(t) - (z - z_g) \cdot \theta''(t) + y\psi''(t) \quad (2.1)$$

$$Y \text{ 方向} : a_y = Y''(t) - (x - x_g) \cdot \psi''(t) - (z - z_g) \phi''(t) \quad (2.2)$$

$$Z \text{ 方向} : a_z = Z''(t) + y \cdot \phi''(t) + (x - x_g) \cdot \theta''(t) \quad (2.3)$$

Y および Z の回転の正方向は、NMRIW における正方向を示しており、船体重心固定およびバルクデータの座標系の正方向とは逆向きになっている。このため、実際に NMRIW で計算した加速度を与える場合は、Y 及び Z 方向加速度については、符号を逆にする必要がある。

この a_x, a_y, a_z から、全船 FE モデルの要素上に作用する時刻 t における (X,Y,Z) 方向の圧力成分 (P_x, P_y, P_z) は、(2.4)～(2.6)式のようになる。この圧力成分は、傾斜を含めた

$$X \text{ 方向} : P_x = \rho_L a_x (x_{top} - x) = \rho_L \{ X''(t) - (z - z_g) \cdot \theta''(t) + y\psi''(t) \} (x_{top} - x) \quad (2.4)$$

$$Y \text{ 方向} : P_y = \rho_L a_y (y_{top} - y) = \rho_L \{ Y''(t) - (x - x_g) \cdot \psi''(t) - (y - z_g) \phi''(t) \} (y_{top} - y) \quad (2.5)$$

$$Z \text{ 方向} : \begin{aligned} P_z &= \rho_L a_z (z_{top} - z) + \rho_L g (\zeta_{top} - z) \\ &= \rho_L \{ Z''(t) + y \cdot \phi''(t) + (x - x_g) \cdot \theta''(t) \} (z_{top} - z) + \rho_L g (\zeta_{top} - z) \end{aligned} \quad (2.6)$$

である。

ここで、 $(x_{top} - x, y_{top} - y, z_{top} - z)$ は、各要素中心と (X,Y,Z) 方向の各圧力基準点との、船体固定座標系における距離(Head)を示す。ここでは、 $(x_{top}, y_{top}, \zeta_{top})$ は、バラストタンク毎のバラスト水の X 方向重心位置、Y 方向重心位置、バラスト水の水位高さである。

以上より、バラスト水により要素中心に作用する全内圧（傾斜を考慮した静水圧+加速度による動的圧力）は、(2.4)～(2.6)の和で求められるので、(2.7)式となる。

$$P = P_x + P_y + P_z \quad (2.7)$$

2.2 FE 解析

FE 解析は NASTRAN 等の商用ソルバを用いて行っている。外力と慣性力をバランスさせて解析を行うため、NASTRAN の慣性リリース機能 (INREL) を活用している。このため、計算に先立ち全船 FE モデルの質量及び重心ならびに慣動半径が合うように積荷の密度を調整する。時間刻みについては、先に行った検討結果⁵⁾にもとづき 1 (平均) 出会い波周期を 40 分割して計算を行う。

3. NMRI-DESIGN のグラフィックユーザーインターフェース (GUI)

3.1 前処理のための GUI

一連のソフト開発においては、解析手法だけでなく、一連の解析を効率的に行えるようにグラフィック・ユーザ・インタフェース（GUI）の高度化も図っている。ここでは、独自に GUI ソフトを開発したうえで、商用ソフトとの親和性を保つための機能拡張も行った。ここでは、テクノスター社 Jupiter を活用したプラットフォームを整備した。これにより図2のような初期画面のメニューバーから、NMRIW 及び NMRI-DESIGN を一元的に実行する事が出来る。これらの GUI は船種に関係なく活用できる。一方で、コンテナ船の艙内荷重を合理的に取り扱うための機能拡張も行っているなので合わせて紹介する。

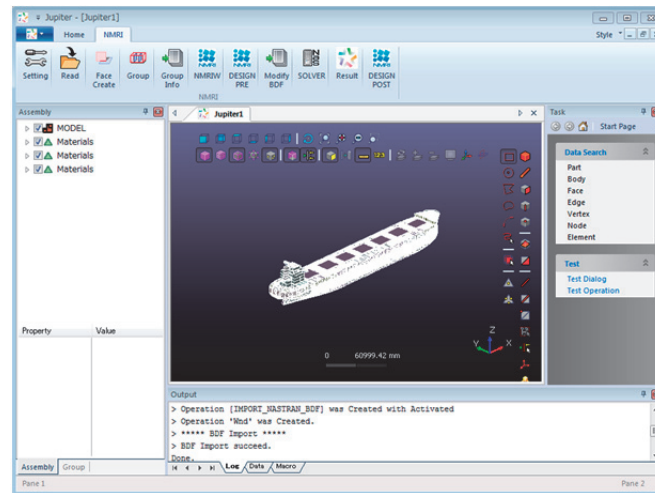


図2 プラットフォームの初期画面

また、前処理において有意な処理時間を要している FE モデルのグループ毎の要素抽出を効率よく行うための GUI も開発した。図3の入力画面を用いて、バルクキャリアの外板、貨物艙及びバラストタンクのフレーム位置の範囲を指定すること（左）や貨物艙のタンク形状を予め入力することができる（右）。この結果、明確に初期設定をすることができてかつ取りこぼしの無い要素抽出ができる。

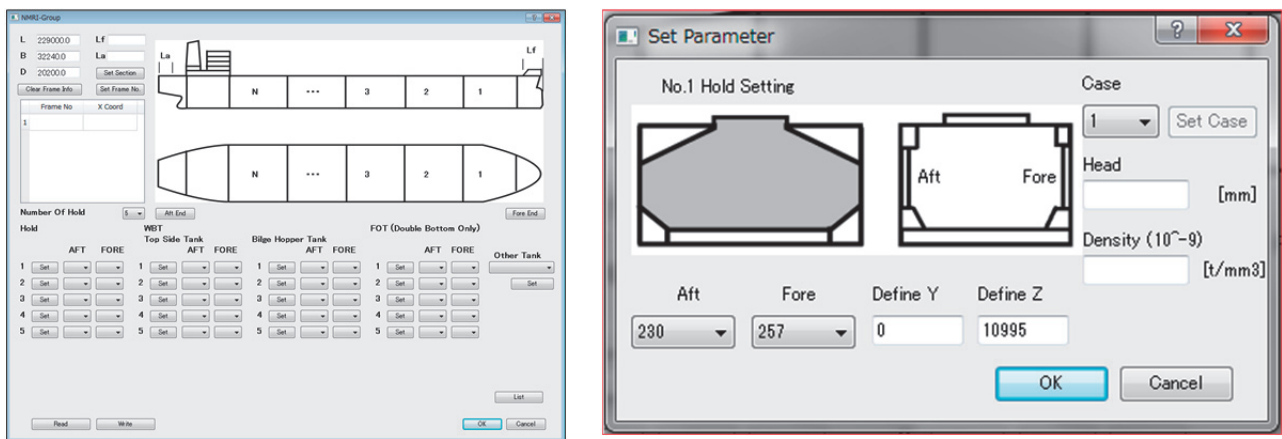


図3 要素抽出のための入力画面

計算した荷重を FE モデルに組み込んで一貫解析を行ううえで、外水圧や内圧を負荷すべき要素の抽出や圧力を負荷する際の作用方向の設定も自動で行うことができる。これらの GUI は図2のような商用ソフトのプラットフォームを使用せずとも単体で使用できるようになっており、高速かつ簡単に使用可能となっている。図4には、このように指定した圧力分布を付属の GUI（グラフィックユーザーインターフェース）によって任意の横断面に対して表示した例を示す。図5には、パソコン上での操作画面の例を示す。

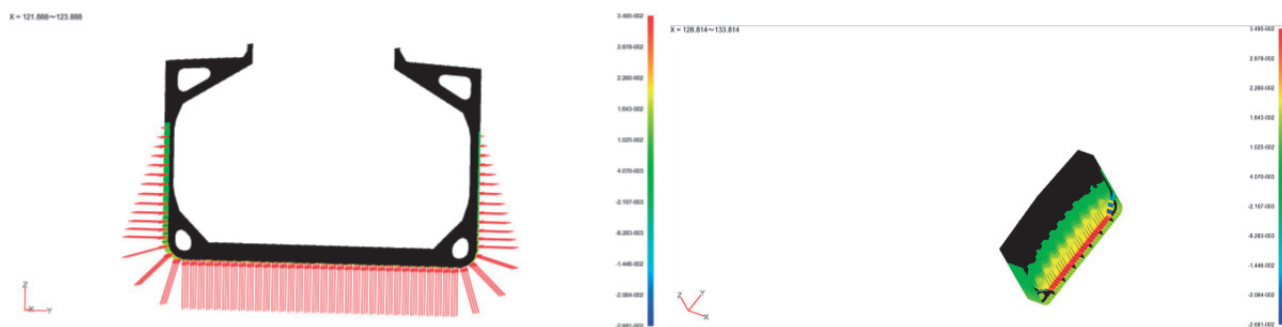


図4 指定した横断面における圧力分布の表示例

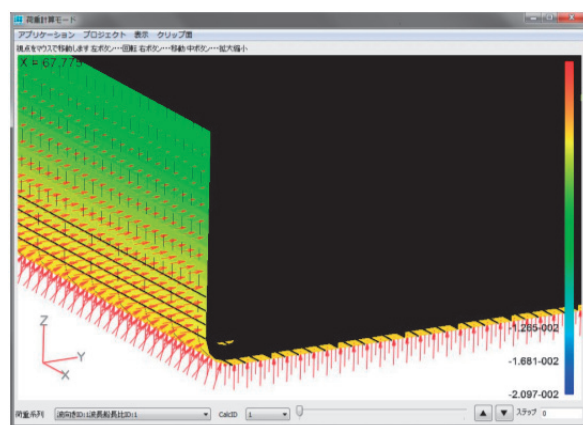


図5 NMRI-DESIGN の GUI の操作画面の一例

3.2 コンテナ船のための GUI

船種ごとの船体構造配置の違いを考慮して船種ごとにソフト開発を行っている。例えばコンテナ船については、要素の向きを調整しながら外板、バラストタンク及びコンテナ貨物が作用する要素を自動で抽出する機能を開発した。さらに、これらの抽出した要素に荷重を負荷する際の作用方向を調整するための単位荷重の設定を GUI 上で可視化できるようにした。

図6にコンテナ貨物艙及びバラストタンクに負荷した単位荷重の表示例を示す。この結果、取りこぼしの無い要素抽出及び一貫解析の前処理が劇的な短時間でできるようになった。

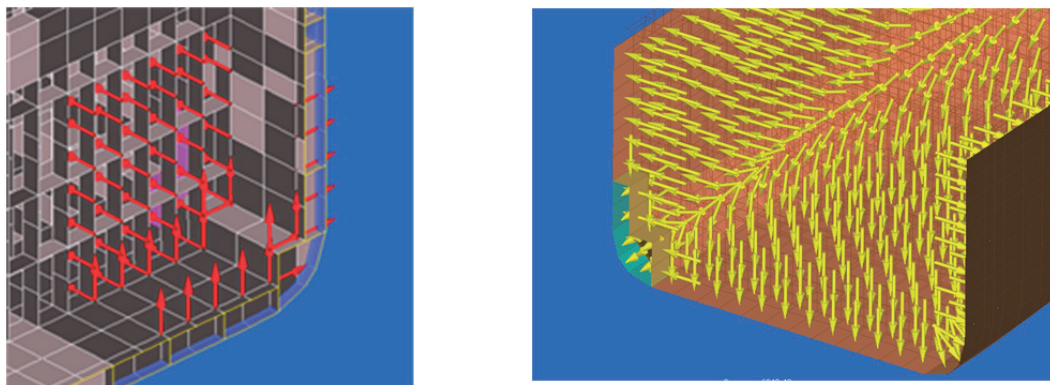


図6 コンテナ貨物艙及びバラストタンクに負荷した単位荷重の表示例

3.3 ポスト処理

図7に、全船解析結果の表示例を示す。全船を切断して応力や変形を表示できるようにするとともに(左図)、前処理で実施したグループ毎の要素にもとづき、グループ毎の応力分布(右図)を簡便に表示できるようにした。

図8には、波浪中での1計算ステップ毎の応力分布図及び変形図の表示例を示す。このように大容量の全船解析結果を簡便に処理する事ができる。

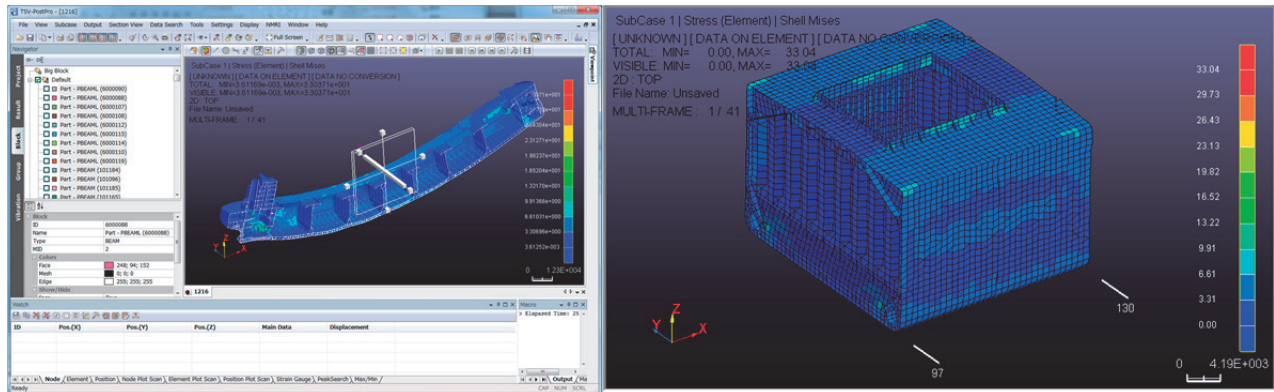


図7 全船解析結果の表示例

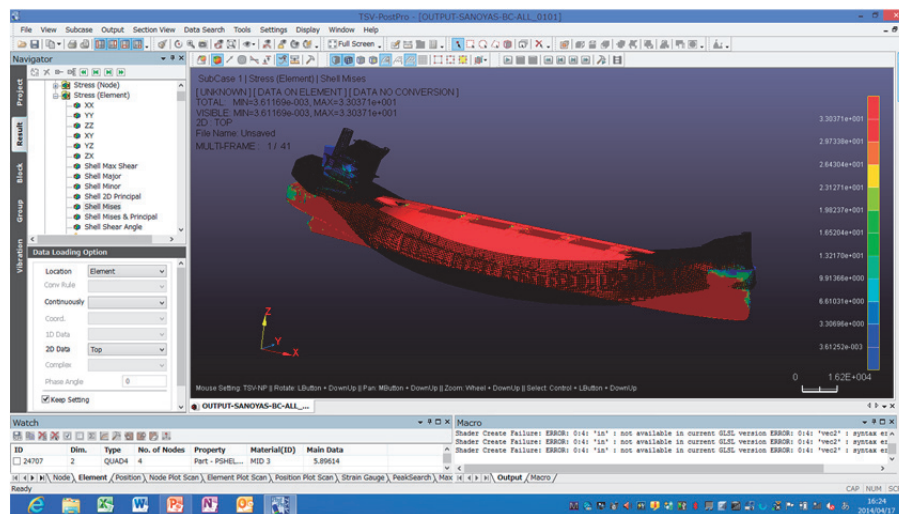


図8 1ステップ毎の応力分布図及び変形図の表示例

構造解析で得られる結果は、応力の時系列であるが、NMRI-DESIGNは、これらを解析し、周波数応答関数の出力やこれを入力として短期・長期予測の計算まで自動で行えるようになっている。

図9に、応力の周波数応答関数の計算例を波長船長比 λ/L の関数として出会い方位 χ ごとに示す。また、図10には、応力の長期予測計算例を示す。横軸は、超過確率 Q を対数軸で表す。このように、荷重解析から応力の周波数応答関数及び短期・長期予測結果出力までをきわめて効率よく行うことができる

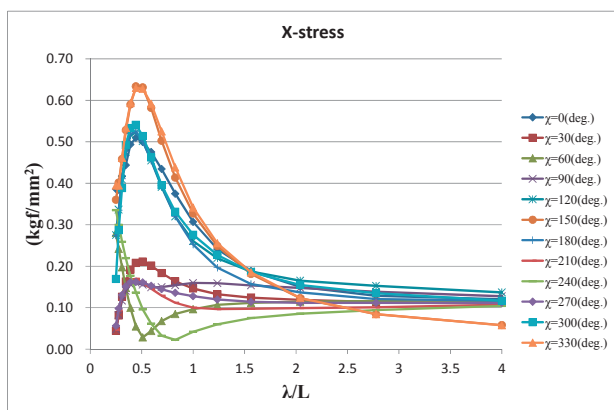


図9 応力の周波数応答関数の計算例

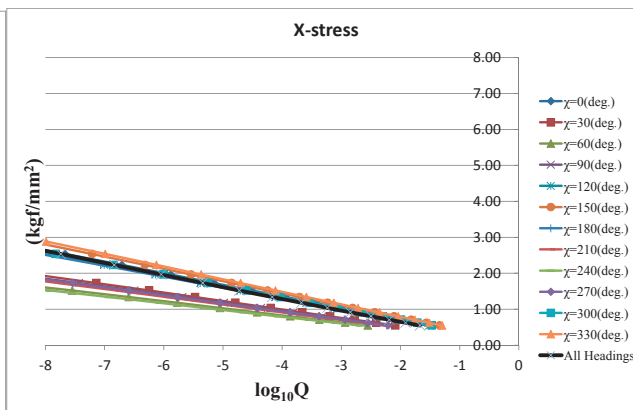


図10 応力の長期予測計算例

4. まとめ

全船荷重構造一貫性能評価手法NMRI-DESIGNを開発するとともに、これを簡便に扱うためのプレ・ポストシステムの整備も行った。今後、このような一貫解析による強度評価をもとに構造安全性の更なる定量的評価が重要になると考えられる。とりわけ、大型船や新形式船のように実績と損傷事例が少ない船種については、このような評価が重要となる。既にこれらのソフトは造船会社等との共同研究を通じて実用に供されており、さらに実船計測データとの比較による更なる検証と合わせて知見を蓄積している最中である。

参考文献

- 1) 小川剛孝, 岡正義: 不規則波中における荷重構造一貫解析, 2010.11, 日本船舶海洋工学会第11E号.
- 2) Ogawa, Y.: A Study on Nonlinear Wave Loads of a Large Container Carrier in Rough Seas, Proceedings of the 10th International Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures (PRADS2007), 2007, pp.132-140.
- 3) Ogawa, Y., Takagi, K.: An Examination of the Design Wave Loads of a Large Container Ship by Means of a Direct Computation in Irregular Waves with Long Duration, Proceedings of the 11th International Symposium on Practical Design of Ships and other Floating Structures (PRADS2010), 2010, pp.353-361.
- 4) 小川剛孝, 岡正義, 高木健: 荒天中での非線形波浪荷重に対する操船影響の検討, 2011.5, 日本船舶海洋工学会第12号.
- 5) 佐藤宏一他: 直接荷重解析法によるLNG船の全船解析, 2007.2, 日本船舶海洋工学会第5号, pp.253-259.