油流出防止型タンカーの構造強度評価

Strength Evaluation of Hull Structure of Oil Tanker for Prevention of Oil Pollution

長崎造船所 技術本部
渡辺栄一*1　橋本州史*2
倉本美男*3　川野始*4
戸沢秀*5

オイルタンカーの座礁あるいは衝突による原油流出を極力少なくすることを目指して，オイルタンカーの国際法規が強化され，新造の大型タンカーにおいてはダブルハル構造あるいはミッドデッキ構造が義務づけられた．これらの新構造様式は，構造強度上留意すべき特徴を多く持っているため，構造開発においては信頼性確保のため精度の高い技術検証が必要である．本報では，ダブルハル方式 VLCC 第一船を対象とした技術検証の例として，波浪荷重と構造応答，疲労強度評価，スロッシング荷重推定の概要を示した．これらの検証結果は，実船の構造設計に織込まれており，ダブルハル方式 VLCC 第一船は順調に就航中である．

The new international tanker design standard for the prevention of oil pollution is adopted to the newly built oil tanker. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. has developted two types of oil tanker which are double hull type and mid-deck type. As the new type hull structure has many feature to be paid special attention from the strength point of view, the assessment of strength with high accuracy have been adopted in the development of structure. In this paper, the examples of strength assessement of a double hull type VLCC on the estimated of wave loads, structural response, fatigue strength, and sloshing loads are shown. The results of these assessment have been incorporated in the design of hull structure to improve the reliability of strength.

1. まえがき

オイルタンカーの座礁あるいは衝突による原油流出を極力少なくすることを目指して，オイルタンカーの構造に対する国際法規制が MARPOL-13 F として強化され，新造の大型タンカーにおいては，ダブルハル構造あるいはミッドデッキ構造が義務づけられた[1]．

当社も，このような社会的要請に対して，両方式の油流出防止型タンカーを開発し，このうちダブルハル方式 VLCC の第一船は平成 5 年 5 月に引渡され，順調な運航を続けている．ダブルハル構造は，従来実績のない構造様式であり，強度上留意すべき多くの特徴を持っている．

このため，構造開発においては，強度信頼性の確保，保守の容易さに最重点を置き，従来構造の就航実績にも十分な配慮を払いながら，最新の知見と手法を織込んだ設計検討を行った．

本報では，ダブルハル方式 VLCC 第一船の構造開発時に実施した強度評価内容について述べる．

2. ダブルハル方式 VLCC の構造上の特徴

ダブルハル方式 VLCC の構造様式の例を図 1 に示すが，構造強度上下記のような特徴がある．

(1) 応力集中を起こしやすい不連続箇所がタンク囲壁において，シングルハル方式よりも多くなる．ダブルハルタンカーの構造信頼上，最も留意すべき損傷モードは内殻のクラックとこれによるカーゴの漏洩(ろうえい)であり，疲労強度の確保は，シングルハル方式に比べても，特に重要である．

(2) 外板，内殻とも，液圧が常に片面から作用し，シングルハルと荷重のバランスが異なるため，作用する波浪荷重と構造応答の関係を正しく評価することが必要である．

(3) タンク内壁と内構材のあり方がシングルハルと大きく異なるため，スロッシングに対する配慮が重要となる．

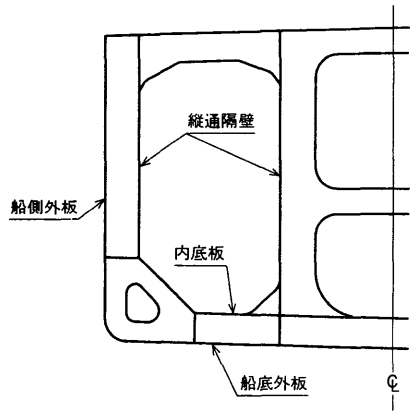


図 1　ダブルハル方式 VLCC の横断面の例
船側部及び船底部とも二重構造となっている．
Examples of midship section of double hull type VLCC

3. 構造強度評価

三次元 FEM 解析により，降伏，座屈，疲労破壊の各種破壊モードに対して，強度評価を行うのは，シングルハル方式 VLCC の場合とほぼ同等である．しかし，ダブルハル方式 VLCC は，先に述べたような構造強度上の特徴を持つため，これらの各項目に対しては最新の手法を用いた検討を行っている．以下にその一例を示す．

(1) 波浪荷重と構造応答[2]

*1 造船設計部船殻設計課長
*2 造船設計部船殻設計課
*3 長崎研究所強度研究室主査 工博
*4 長崎研究所強度研究室主務
*5 長崎研究所強度研究室主務 工博

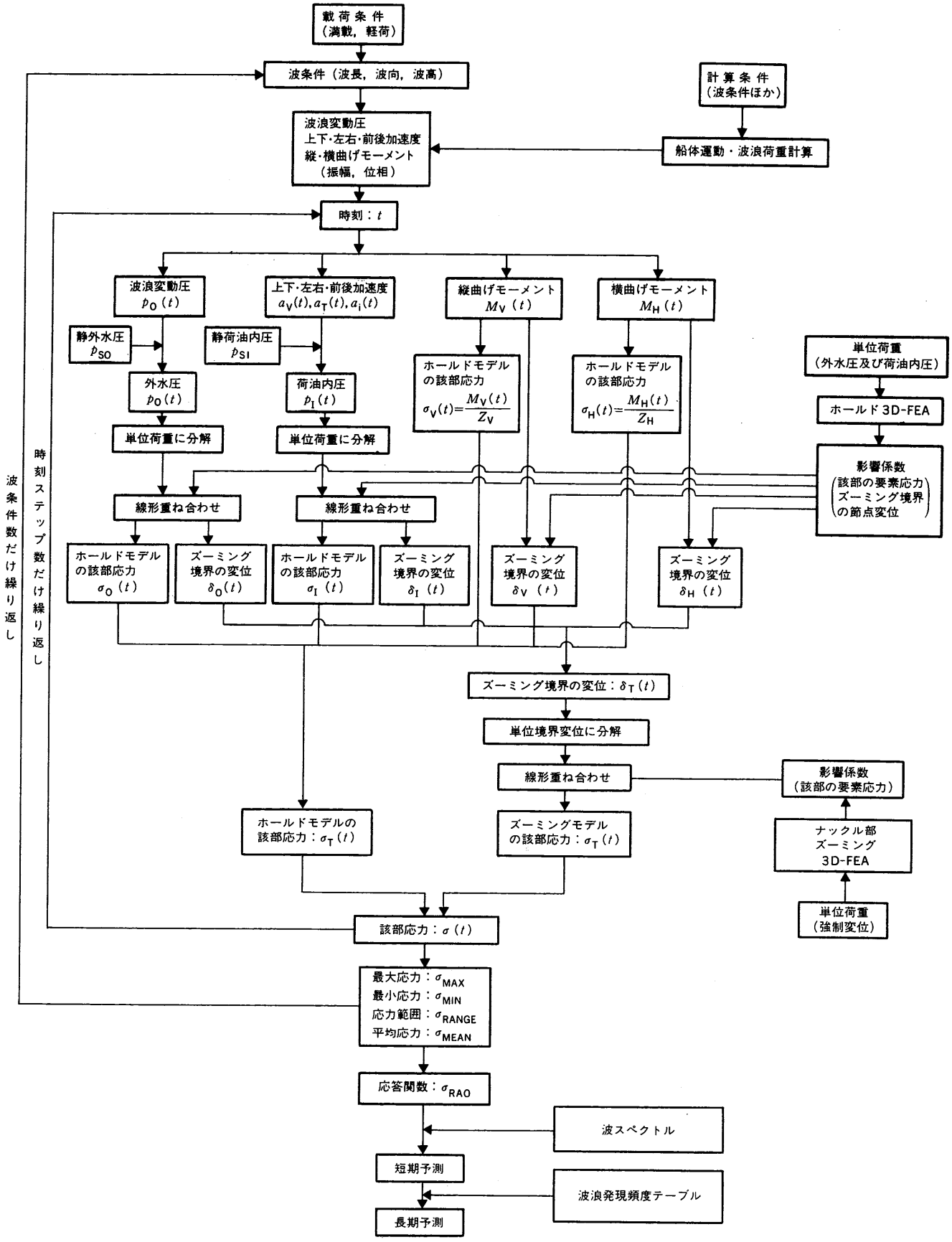
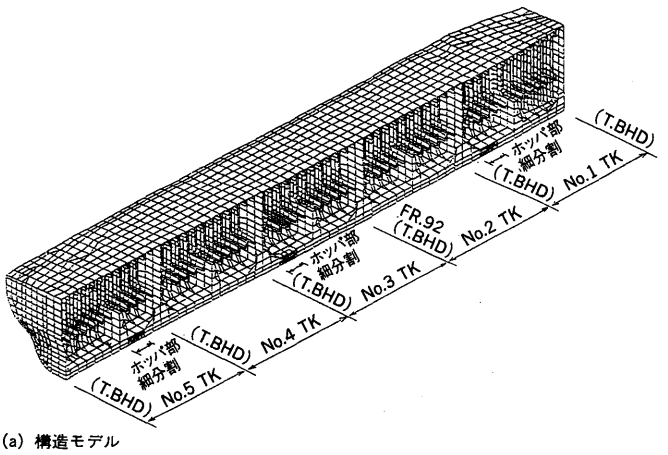
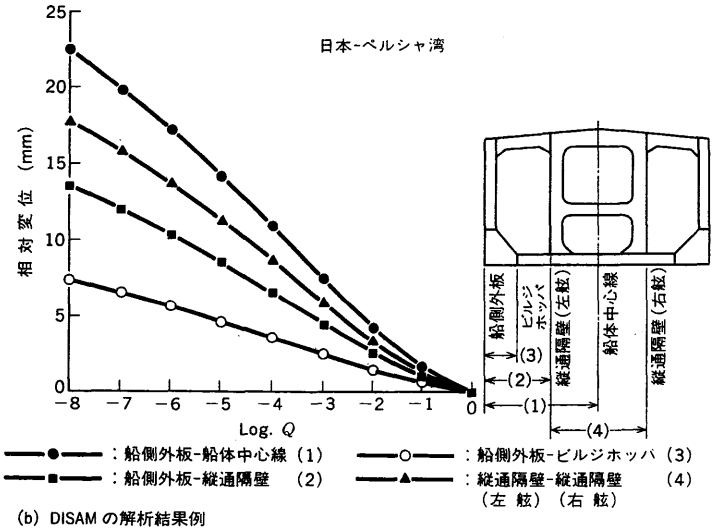


図2　DISAMのフローチャート　船体運動，波浪荷重計算と構造解析を一貫して行うことにより，複合荷重下での構造応答を高い精度で推定する．
Flow-chart of DISAM

複数の荷重がある位相差を持って同時に作用する場合，すなわち，複合荷重下における構造応答を精度良く推定するために，当社ではDISAM（Discrete Analysis Method）を開発し，実船計測データとの対比も行いながら改良を続けている．ダブルハル方式VLCCに対しても本解析法を用いて，波浪荷重～構造応答の一貫解析を実施した．解析のフローを図2に，構造モ



(a) 構造モデル



(b) DISAM の解析結果例

図3 DISAM に用いた構造モデルとその解析結果例 (a)は DISAM の解析に用いた三次元有限要素モデル，(b) は船側構造と縦通隔壁の動的相対変位の長期予想値の解析結果の例．準静的な解析法では与えられない両縦通隔壁間の相対変位も高い精度で推定できる．
Three-dimensional finite element model for DISAM and example of results of analysis by DISAM

デルとその解析結果の例（船側構造と縦通隔壁の動的相対変位）を図3 (a)，(b) に示す．これらの解析により，ダブルハル方式 VLCC に特徴的な波浪荷重-構造応答特性を抽出でき，高精度の強度評価につなげることができる．

(2) 疲労強度

応力集中部の疲労強度は，ズーミングモデルによる詳細解析により評価することができる．しかし各種溶接継手の精度の高い強度評価のためには，対応する疲労試験データを用いるのが望ましい。本船の内殻の重点評価箇所に対しては，強度解析のみでなく，図4に示すような実構造に対応する疲労実験を行い，評価の精度を向上させている．

(3) スロッシング

スロッシング荷重は，図5に示すような数値シミュレーションにより推定が可能であるが，内構材に作用する荷重の推定や三次元影響の正しい評価のためには，モデルテストによる検証を行っておくことが必要である[3]．本船のスロッシング荷重推定においても，モデルテストを行い，数値シミュレーション結果との詳細な比較検証の上，内殻の強度評価に反映されている．

このほかにも，防振対策，工作精度と強度の関係等多くの評価すべき項目があるが，これらについても，これまでの実績を反映して検証を行っている．

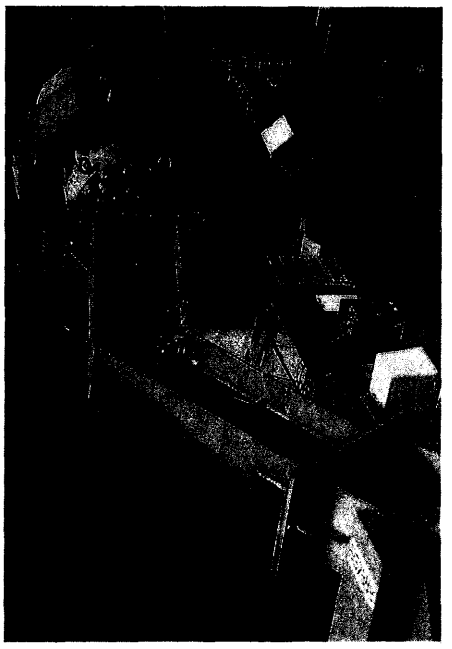


図4 疲労試験モデル 実構造に対応する構造モデルに繰返し荷重を与え，亀裂発生及び亀裂伝ぱを求める．
Test model for evaluation of fatigue strength

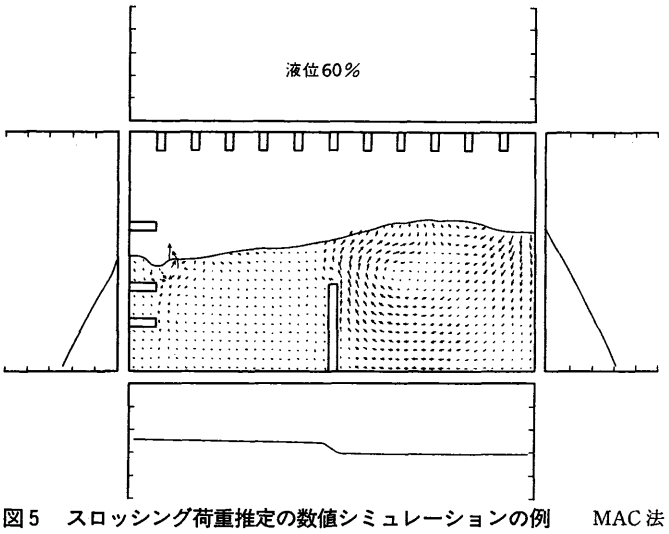


図5 スロッシング荷重推定の数値シミュレーションの例 MAC 法による数値シミュレーションの例を示す．使用コードとして当社開発の MSLOSH を用いている．
Example of numerical simulation in estimation of sloshing load

4. むすび

ダブルハルタンカーの構造強度は，シングルハルタンカーの実績からでは判断できない要素を多く持っているが，本報で一例を紹介したような詳細な強度検証を行うことにより，信頼性の高い構造設計が可能になったと考えられる．

参考文献

(1) 磯田裕尊ほか，油流出防止型タンカー“ミッドデッキタンカー”の開発，三菱重工技報 Vol.29 No.4 (1992) p.278
(2) 末岡英利ほか，船体構造解析評価技術，三菱重工技報 Vol. 25 No.6 (1988) p.548
(3) 萩原孝一ほか，船舶のスロッシング荷重に対する強度，三菱重工技報 Vol.19 No.3 (1982) p.313