

PS-6 DLSA（全船荷重・構造一貫強度評価システム）の開発

構造安全評価系 * 花岡 諒、村上 睦尚、松井 貞興、高見 朋希、岡 正義

1. はじめに

国際船級連合 IACS によって発行された、ばら積貨物船及び油タンカーのための共通構造規則 (CSR BC & OT) では直接荷重解析の具体的な手法は示されておらず、また全船構造モデルを用いた強度評価は取り扱われていない。一方で、船舶の大型化並びに新形式船の設計が進んでおり、現状の構造規則ではターゲットとしていなかった船殻様式に対しても正確な構造強度を行う事が課題となることが今後予想される。このような状況の下、波浪荷重の推定から船体の構造強度評価までをより高精度に実行できる一貫解析システムの開発及びその適用による構造設計の必要性はより一層高まっている。

本研究では最先端の荷重・構造解析手法を取り入れた全船荷重・構造一貫強度評価システム (Direct Load and Structural Analysis system: DLSA) を開発している。開発後の DLSA は様々な海象条件における船体構造強度評価に適用し、それによって得た知見は新しい構造基準案の作成に資する。また、DLSA は船体の構造強度評価だけでなく、船体の折損など、重大な海難事故の原因究明にも用いることが可能なシステムとしても開発している。

2. DLSA の概要

DLSA の概要を図-1 に示す。DLSA では強度評価項目ごとに想定する海象を区別しており、疲労・亀裂評価に係る「通常海象」、降伏・座屈強度に支配的となる「最悪海象」、さらには最終強度にまで至ることが想定される「極限海象」に分かれる。計算上は、規則波、長波頂不規則波もしくは短波頂不規則波として表す事ができる。DLSA は、これらの波浪条件を入力データとして読み込み、1) 運動・荷重解析、2) 構造解析、3) 強度評価のステップから成る船体構造強度評価を実行する。また DLSA では、目的の船体構造強度に合わせて、「DLSA-Basic」、「DLSA-Basic W」、「DLSA-Professional」及び「DLSA-Ultimate」の機能が選択可能である。機能の一例として、「DLSA-Basic」が行う船体構造強度評価を図-2 に示す。以下に、DLSA の各機能について説明する。

2. 1. 1 DLSA-Basic

DLSA-Basic は線形理論を基礎とした、最も基本的な機能を備えたシステムである。運動・荷重解析は、線形ストリップ法ベースの計算モジュールである NMRIW-Lite が実行する。NMRIW-Lite は、海技研が開発した波浪中船体運動・荷重計算プログラムであり、DLSA システム中のモジュールとしてだけでなく、プログラム単体でも利用できる。NMRIW-Lite は周波数領域の線形ストリップ法に基づいており、ロバスト性が高く、計算速度が速い特長を持つ。DLSA-Basic では、NMRIW-Lite が行う荷重の短期・長期予測に基づいて最悪海象を特定することが可能である。

構造解析では、商用有限要素解析プログラムである NASTRAN をモジュールとして実行する。DLSA-Basic では、構造解析とは無関係に荷重を計算し、計算で得た荷重の時刻歴を入力とした構造解析を実行する。

DLSA-Basic は、主に疲労強度、亀裂進展評価をターゲットとしているが、降伏及び座屈強度を評価する際に想定される最悪海象を特定する役割も担う。

2. 1. 2 DLSA-Basic W

DLSA-Basic W は、DLSA-Basic が特定した最悪海象の波条件を入力データとして、非線形理論を基礎とした簡易解析を行うことをターゲットとしている。運動・荷重解析は、時系列非線形ストリップ法ベースの計算モジュールである NMRIW_ver2 が行う。NMRIW_ver2 は、海技研が開発した波浪中船体運動・荷重計算プログラムであり、NMRIW-Lite と同様、プログラム単体でも利用できる。NMRIW_ver.2 はスラミングや海水打ち込みなどの非線形現象に加え、弾性振動による影響を船体の運動方程式に考慮することが可能である。

構造解析では、DLSA-Basic と同様、NASTRAN をモジュールとして実行できる。NASTRAN を実行する場合、DLSA-Basic W

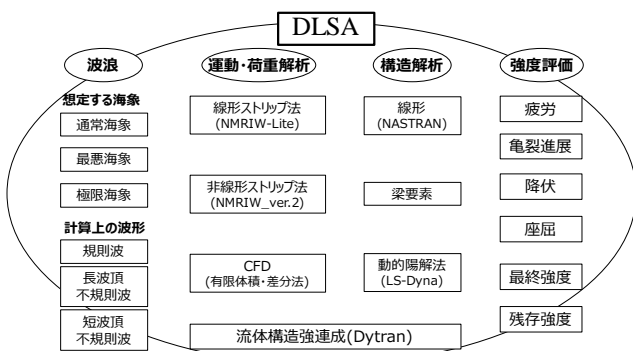


図-1 DLSA の概要

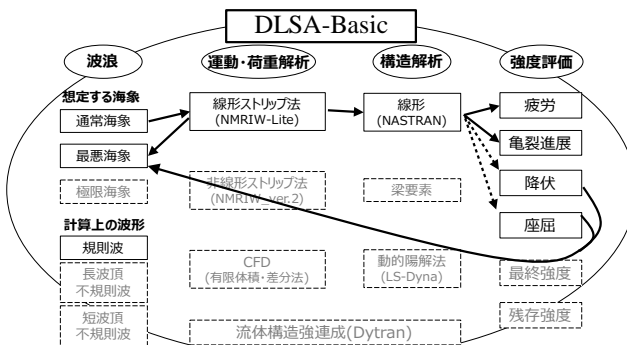


図-2 DLSA-Basic における構造強度評価

は、構造解析とは無関係に荷重を計算し、得られた荷重の時刻歴を入力とした構造解析を実行する。

DLSA-Basic W は、主に降伏強度及び座屈強度の評価に用いるが、NASTRAN を用いずに、NMRIW_ver.2 のみを用いた船体梁レベルの応答を求める事で、疲労強度、亀裂進展及に加え、非線形梁を組み込んだモデルによって最終強度の評価に用いることも可能である。また、最終強度評価の結果から、極限海象を特定することも可能である。

2. 1. 3 DLSA-Professional

DLSA-Professional は、上述したシステムよりも詳細な構造解析を行うことで、最終強度評価、更には残存強度評価をターゲットとしたシステムである。運動・荷重解析はNMRIW_ver.2 が実行し、構造解析は動的陽解法有限要素解析プログラムである LS-Dyna が行う。構造解析に比べ荷重解析は簡易的であるが、最終強度は従来、流体解析とは切り離されて評価されてきたため、荷重解析と連成させる本システムは実現象との溝を埋めるための手法を提示するものである。また、最終強度評価の結果から、極限海象を特定する役割も担う。

2. 1. 4 DLSA-Ultimate

DLSA-Ultimate は、流体・構造双方で最先端の技術を駆使した先進的なシステムである。特定した最悪海象及び極限海象を入力とした、より詳細な解析が可能である。運動・荷重解析はCFD 手法を用いて実行する。

構造解析は LS-DYNA によって行われ、降伏強度、座屈強度、最終強度及び残存強度を評価することができる。

DLSA-Ultimate は、運動・荷重解析及び構造解析の出力データを交互に受け渡す弱連成解析を実行するシステムとして開発している。現状は、剛体モデルを対象にCFD により得られた荷重を one way で構造解析へ受け渡し、構造解析を実行できる開発段階である。

また、DLSA-Ultimate のプロトタイプとして Dytran を適用し、最悪海象及び極限海象を入力とした流体構造強連成解析（流場解析と構造解析における支配方程式を1つの連立方程式として解く）で得たデータと知見を、DLSA-Ultimate のベーシックデザインの決定ならびに比較検証に活用する。

3. DLSA 開発に向けた成果

DLSA-Basic 及び DLSA-Basic W については、計算モジュールである NMRIW-Lite 及び NMRIW_ver2 が完成し、精度検証を通して満足な結果を得ていることを確認している。NMRIW-Lite は NMRIW_ver2 と互換性があり、荷重の計算結果から構造強度評価までをシステム化することができた。DLSA-Basic による降伏強度の解析結果の一例を図-3 に示す。大型コンテナ船の貨物倉の内底板及びバルクヘッドの結合部に高い応力が発生し、降伏応力に達している。

DLSA-Ultimate については、波浪中を航行する船舶に適用し、船首フレア部における衝撃圧を高精度に計算できることを確認した（図-4）。また、Dytran を楔形物体の水面衝撃に適用し、その有用性を検証した。楔形物体の水面衝撃は非

常に初歩的なものであるが、船舶の波浪衝撃現象にとっては基本となる重要な問題である。図-5 は、Dytran が計算した、楔形物体の衝突による自由表面の変形のスナップショットを示す。赤色と青色の箇所はそれぞれ、水（ 1000kg/m^3 ）と空気（ 1.29kg/m^3 ）の密度を示す。楔形物体の衝突により、水面が物体表面に沿って盛り上がる様子が確認できる。

4. まとめ

本報では、DLSA の概要とその開発状況及びその成果について報告した。DLSA は目的の船体構造強度評価に適した各種荷重・構造解析手法を搭載し、選択可能である。

DLSA-Basic 及び DLSA-Basic W については、荷重計算モジュールである NMRIW-Lite 及び NMRIW_ver2 が完成し、その精度検証が完了している。また、DLSA-Basic については大型コンテナ船の降伏強度解析に適用した。DLSA-Ultimate については水面衝撃に関連する問題に適用し、その有用性を検証した。

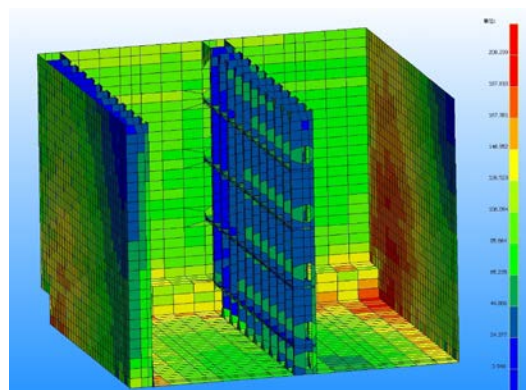


図-3 大型コンテナ船の貨物倉内における応力分布

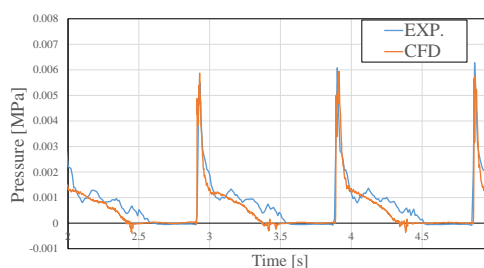


図-4 コンテナ船の船首フレア部における圧力の時系列

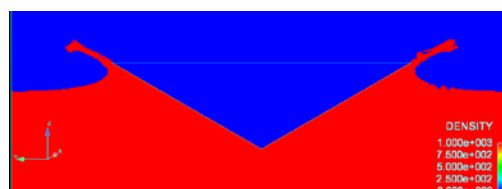


図-5 楔形物体の衝突による自由表面の変形