

HULLSTを用いた経年ダブルハルタンカーの強度評価

海上安全研究領域 *岡 修二
東海大学 河邊 寛

1. はじめに

船舶は陸上鋼構造物に比べ厳しい腐食環境の中で使用される鋼構造物である。船体外板は常に海水に浸漬しているかその飛沫を浴びており、また、船体内部は海水をバラストとして積載したりする区画では、海水に接することとなり、貨物油を積載する区画では貨物油に接することとなる。このような腐食環境から構造部材の腐食衰耗により生ずる船体損傷を防止、削減することは船舶の安全性の観点や経済性の観点からも重要である。

2. 逐次崩壊解析プログラム“HULLST”の概要

船体構造は設計荷重のもとでは部材に座屈・塑性崩壊が生じないように設計されている。もし、何等かの理由で船体に設計荷重以上の荷重が作用する場合、あるいは設計荷重以下であっても腐食による板厚損耗が生じている場合には、船体にとって過大な荷重となる場合も予想される。この場合、船体横断面を構成する部材に座屈・塑性崩壊が順次発生し、やがて断面全体が崩壊することになる。

崩壊挙動の解析には有限要素法があるが、材料非線形および幾何学的非線形を考慮した増分計算が必要となり、さらに船体横断面全体を解析することは、事実上不可能といえる。簡易計算法が必要とされ、船体横断面の最終強度の算定に関しては、各部材毎に求めた座屈・塑性崩壊強度を用いて、計算する方法が提案されている。その中の理想化構造要素法で、Smithの方法がある。この方法は縦曲げ崩壊の問題にのみ適用可能である。HULLSTはこの方法を基本としている。その解析手法としては

船体横断面を、補強材および板より成る小さな要素に分割する。個々の要素の軸引張り、および

軸圧縮荷重のもとでの、平均応力～平均ひずみ関係を、予め求めておく。

船体横断面に曲率を増分的に与える。現ステップでの要素のひずみより、各要素の軸剛性を求め、現ステップでの断面の中立軸位置を求める。

この中立軸まわりの断面の曲げ剛性を求め、与えた曲率増分に対応する曲げモーメント増分を求める。

与えた曲率増分に対応する各要素のひずみ増分を、断面が平面を保持するとの仮定に従って求め、さらに、要素の平均応力～平均ひずみ関係に基づいて、各要素の応力増分を求める。

断面の曲率と曲げモーメントの増分、および各要素の応力とひずみの増分を前ステップ終了時の値に足しこみ、つぎのステップに進む。

この手順を繰り返して逐次崩壊の解析を行う。

3. 経年時の腐食予備厚、腐食控除量について

腐食の発生・進行過程は、塗装等により保護された状態が維持され、腐食が発生しない状態がある期間あり、一部の塗装が劣化し、腐食がまばらに進行し、やがてそれらが合体し一様に進展していくと考えられる。また腐食の発生・進行挙動は、時間の関数で表現されることから、推定される腐食量は、評価時間に大きく依存する。したがって、船舶の構造強度上必要な腐食予備厚を算定するためには、船舶の想定使用期間を設定する必要がある。一般には20年とされ、構造強度評価においては10⁸回の波浪に遭遇すると想定する。

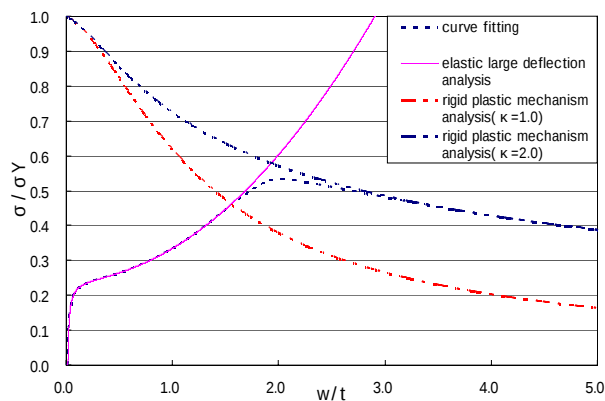
NK船級船における1999年度の統計結果による衰耗による損傷の発生率は船齢が10年を超えると腐食による損傷が多く発生し始め、船齢が15年を超えると損傷の殆んどが腐食によるものとなることが報告されている。

局部強度を確保するための腐食予備厚としては、その部分で強度不足を起こすことを想定して腐食量の最大値に近い値として、累積確率 95 % の腐食推定量を腐食予備厚とする。

またネット設計思想における直接計算で全体強度評価には平均的な衰耗量を一様に初期板厚から控除した値を用いることになるが、腐食控除量は累積確率 75 % と定義するとしている。

4．初期降伏荷重と最終崩壊荷重について

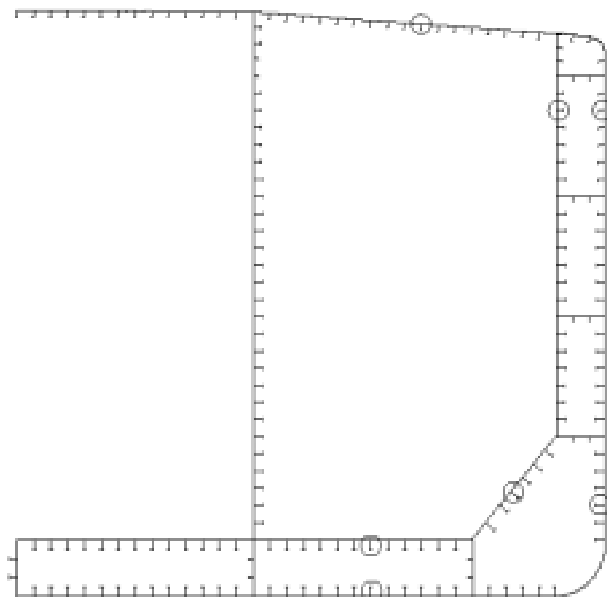
図__1 に平均応力～たわみ線図の近似解を示す。横軸はたわみを板厚で無次元化した値を示す。縦軸は応力を降伏応力で無次元化した値を示す。実線は弾性大たわみ解析解を示す。一点鎖線は剛塑性機構解析の $\kappa = 1$ および $\kappa = 2$ としたときの値を二点鎖線で示す。弾性大たわみ解析と $\kappa = 1$ としたときの交点を初期降伏点としている。最終強度は大たわみ解析と $\kappa = 1$ との交点と $\kappa = 2$ との交点の平均値としている。そのときのたわみ量は大たわみ解析の最終強度のたわみ量と剛塑性機構 $\kappa = 2$ での最終強度のたわみ量の 1 : 3 の点でフィッティングした点を推移するとした。



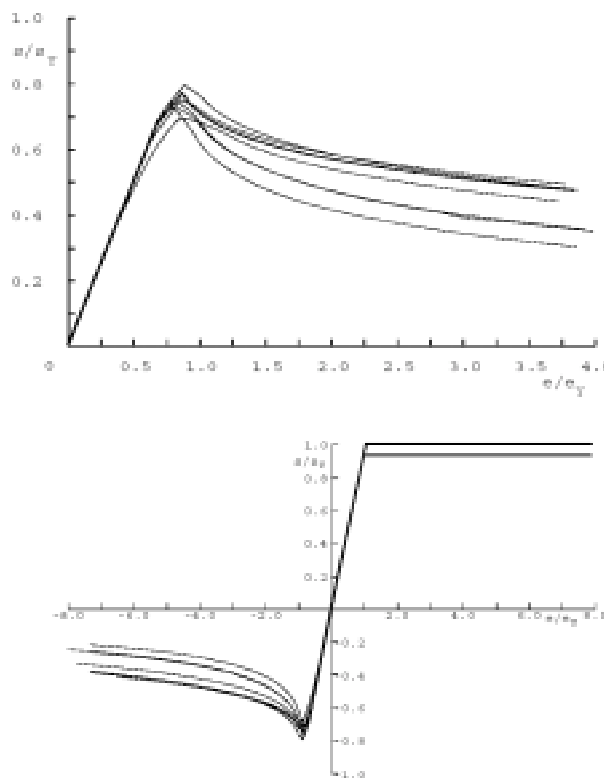
図__1 平均応力～たわみ線図の近似解

5．経年時の甲板ロンジ材の強度影響の評価

船齢 20 年の腐食衰耗を考慮し、さらに甲板ロンジ材が脱落したときの崩壊強度の影響について解析を行った。また甲板ロンジが数本脱落したときの評価と脱落位置（船側に近い所か中央に近いロンジバルクヘッド付近）での 2 箇所を検討した。解析対象船は 30 万トン型 VLCC ダブルハルタ



図__2 断面形状（右半分）



図__3 代表的な部材の平均応力～平均ひずみの関係

ンカーとした。主要目は長さ 320 m、幅 60 m、深さ 28.6 m、DWT 258000 トン、使用材料は HT36、HT32 および軟鋼である。

図__2は中央断面の形状を示す。図__3は図__2の○印の部材の平均応力～平均ひずみ関係を示す。横軸はひずみを降伏ひずみで無次元化した値を示す。縦軸は応力を降伏応力で無次元化した値を示す。軸圧縮側で座屈および降伏のため、応力低下がみられる。

6．曲げモーメントと曲率の関係

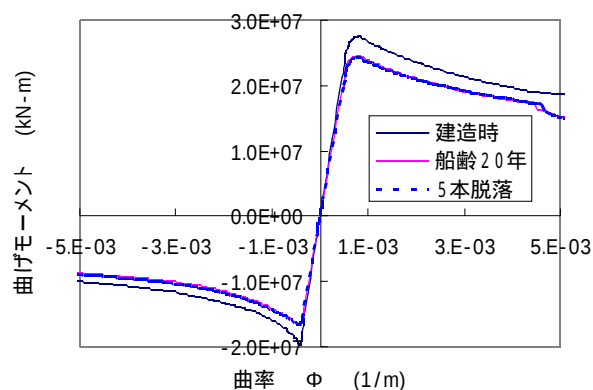
図__4は腐食被害が無い時と船齢20年の衰耗を推定した時、甲板ロンジ材が5本脱落した時の曲げモーメントと曲率の関係を示す。横軸は曲率を表し単位は1/mで示す。縦軸は曲げモーメントを表し、単位はkN-mで示す。左側のプロットはサギング状態で、右側はホギング状態を示す。腐食が無い時と船齢20年の推定値との比較では崩壊モーメントは双方ともサギングモーメントがホギング状態より小さい。ホギング状態の方がモーメントの差は大きくなるが、絶対値は大きい。本報告はモーメントの小さいサギング状態を検討する。

7．逐次崩壊挙動

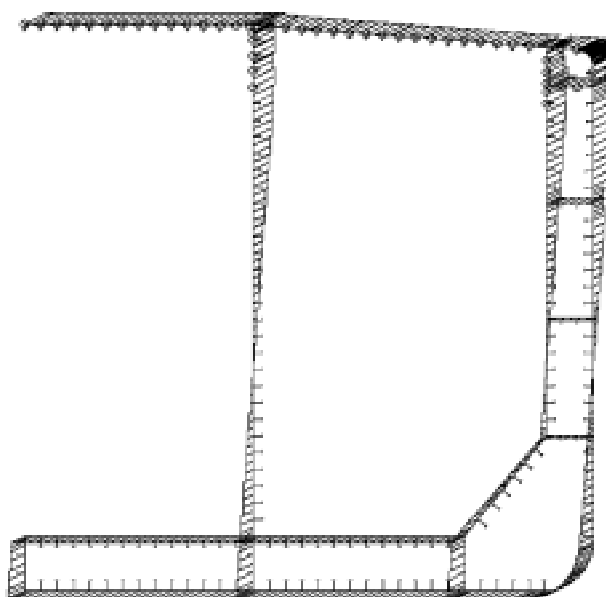
図__5はVLCCの最終崩壊モーメントに達した時の応力状態とどの要素が座屈しているかを示したもので、図中の○印が座屈していることを示す。応力表示は要素の中心から左下方向に引っ張り、右上方向に圧縮を示し、長さは応力の大きさを表す。甲板部分は全て座屈していることが分かる。応力の大きさ符号から中立軸の位置も確認できる。ロンジバルクヘッドの上部も二重船側の上部も座屈が始まっている。このようにHULLSTは各ステップ毎の状態を図示できる。

8．崩壊強度の比較

経年船の強度評価をするため、建造時の板厚から腐食控除量を差し引いた状態すなわち船齢20年に相当する状態を基本とし、その状態から更にロンジバルクヘッド付近の甲板ロンジ材が脱落したもの、甲板ロンジ材の脱落位置を二重船殻（船側）寄りとしたもの、の甲板ロンジ材の複数本脱落時の影響を評価した。図__6はダブルハルトンカーの上記の諸条件での断面係数、初期降伏強度、最終崩壊強度を比較した結果を示す。



図__4 曲げモーメントと曲率の関係



図__5 最終崩壊時の応力状態と座屈状況

横軸は左から船齢20年での断面係数、初期降伏モーメント、最終崩壊モーメントの順でグレー、黒、白の棒グラフに示す。評価条件を変えたシリーズとして、甲板ロンジ材の脱落1本、脱落3本、脱落5本としたときの値、さらに脱落の位置の影響を調べるために船側寄り1本脱落、3本、5本のロンジ材脱落の結果を示す。右端は建造時の板厚、強度状態を示す。縦軸は断面係数、強度を示し、基準は建造時の要求断面係数を100%、モーメントの要求値を100%として示している。船齢20年では衰耗により断面係数は5%不足している。甲板ロンジ材の断面積は一樣なことから1本当たり約0.4%の断面係数の低下が見られる。建造時の断面係数は約5%要求値を上回って

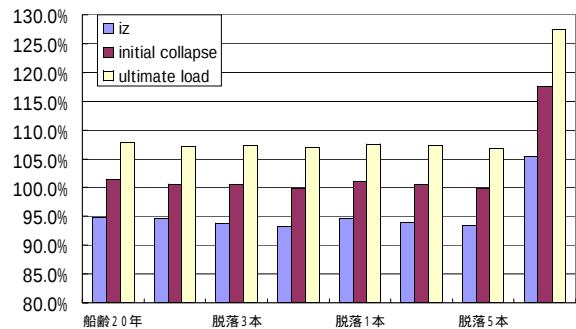
いる。船齢20年の初期降伏モーメントは102%を確保している。甲板ロンジの1本あたり約0.5%のモーメントの低下がみられる。5本脱落すると要求モーメントを維持できなくなることが分かる。脱落の位置が異なる船側に近い所での評価は前記の中央付近の状況と変わらず、場所（幅方向の位置）による影響はあまり無いことが分かった。同様にシングルハルトンカーの崩壊強度を評価した結果、図__7に示す結果となった。横軸の左端が船齢20年での断面係数、初期降伏モーメント、最終崩壊モーメントの順でグレー、黒、白の棒グラフに示す。評価条件を変えたシリーズとして、甲板ロンジ材の脱落1本、脱落3本、脱落5本としたときの値を示す。右端は建造時の板厚、強度状態を示す。シングルハルはもともとの要求値に近い値で建造がされている。20年間の衰耗により断面係数で約9%不足する。モーメントは約12.5%要求値より不足している。甲板ロンジ1本あたり約1%の低下が見られる。

8. まとめ

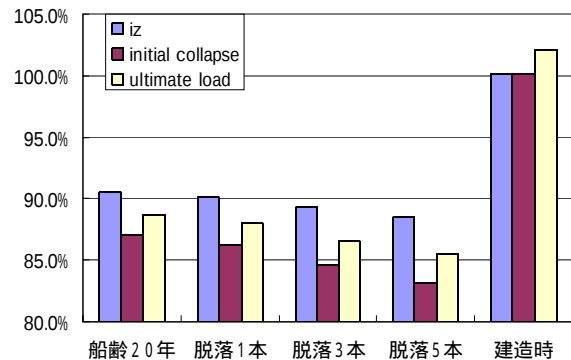
- (1) 逐次崩壊解析プログラム "HULLST" の導入により船舶の安全性評価（折損事故等の解析）の解析環境が充実した。
- (2) 入力データ作成用プログラムを開発し、それを使用することにより、データの入力間違い等を目で確認でき、修正作業の簡素化が実現された。
- (3) 断面形状の個々の対象船の情報を詳細に入力することで、簡易解析ではあるが、その目的を果たすことが可能である。
- (4) 船体の断面を構成する個々の部材が座屈することの影響が考慮されており、曲げの圧縮側では部材の最終強度は塑性強度には達しない。
- (5) 個々の部材は座屈崩壊して最終強度の達した後、耐荷力は変形の増大とともに低下して行く。この事は、特にサギングモーメントを受ける時に大きな差となる。

謝辞

本研究にあたり当初から大阪大学矢尾哲也教授にご指導を頂いた。深く感謝いたします。また本



図__6 ダブルハルの崩壊強度の比較



図__7 シングルハルの崩壊強度の比較

研究は国土交通省海事局安全基準課からの受託研究「タンカーによる大規模油汚染の防止対策に関する研究」の一部として実施されたものであり、横浜国立大学角洋一教授をはじめ、委員会に参加して頂いた方々から、多大なご助言を賜りましたことに謝意を表します。

参考文献

- (1) 「経年船の安全を考える」日本造船学会船体構造委員会 平成7年6月
- (2) 「船体構造強度評価のための技術指針」日本海事協会 平成11年12月
- (3) 「ナホトカ号事故原因調査報告書」ナホトカ号事故原因調査委員会 平成9年7月
- (4) '93「構造ミニシンポジウム」船殻構造の座屈崩壊および披露強度設計の現状と課題 日本造船学会船体構造委員会西部地区部会、西部造船会技術研究会構造部会 1993年12月
- (5) 「油流出防止構造プロジェクトの目的と初年度成果」川野 始ほか、海上技術安全研究所研究発表会講演集 平成14年6月