

船の大型化と共に

榎本 圭助

1. 序

これから、少しばかり書かせていただくことは、1957年（S32）に始まり、昭和の終わりに近い30年余りに亘る私の造船設計屋としての経験談である。勤務は、岡山県玉野市の三井造船玉野事業所の25年、東京本社基本設計の約10年である。終戦後の混乱が漸く終わり、日本復興の担い手である造船業は、世界一の建造量を既に入社前年に達成していた。赴任のため東京駅から夜行列車に乗り込み、固い椅子の座席で10数時間揺られて翌朝眠気まなこで眺めたハゲ山と海の小さな港町がそれから25年間を過ごすことになった玉野の街であった。

その後の東京勤務を加えた約35年の大半を、船の設計、特に構造設計に従事した。タイトルの“大型化”は「構造設計の視点で見た大型化を通じて生じた技術上の話題」に限定することになるが容赦願いたい。この時代を2,3の切り口で述べると

- 1) 造船の高度成長期からのピークを経て苦闘の時代へ
- 2) 急速な大型化とエポックメイキングな新しいタイプの船（コンテナ船 LNG船等）の出現
- 3) コンピュータの発展による、設計技術の変革期—私の入社時は、コンピュータは給与計算に用いられていたが、設計は一切手計算であった。手廻しのタイガー計算機が主流で電動計算機からパソコンの出現するのはもっと後々のことである。

と云えるのではなからうか。

要するに猛烈な変革期であったにも拘わらず、設計の技術（特にツールとしてのコンピューター）は未成熟であって、人間くさい仕事が主流の時代であった。人間くさいということは、今から見れば技術的には幼稚であったかも知れず、間違いも随分しでかして来たというのが実感であるが、そういう状況を何とか改善しようと頭を絞り、努力したやりがいのある時代あった事は確かである。

当時それなりに解決策を見出した問題もあれば技術屋としては何となく納得いかないが、物を作

ることをやめるわけにはいかない、やむを得ずその合理性を疑いながらも過去の実績をプロットして延長するという経験則に頼らざるを得ず、コンピュータさえあれば、と思わせられたもの等もある。私が設計をやめて20年、その間にどれ程の進歩があったのか私は正直云ってよく知らない。私は今や古くなったであろう時代の設計の話のまま述べるので、これを契機にいろいろ若い人の情報を得て最近の技術の勉強が出来れば幸いであると思っている。

当時の設計の仕事は図面を引くことが主体で、計算という仕事は計画における船舶算法はさて置き、構造設計では殆どルール計算主体であってベーム計算的な単純なものがまま必要という程度であった。入社して間もなく与えられた仕事は、試運転での振動計測と解析、ステイ付デリックポストの強度計算、簡単な図面の製作等であった。当時既に多忙な毎日ではあったが、年間の建造隻数も少なく時として書庫に閉じ込めて連日造船協会或いはTINA等の論文を種目別により分け目録を作るよう命じられたりしたこともある。この目録作りが他の人の役に立ったかどうか疑問であるが、私個人にとってその後の仕事に随分役に立ったという思いが強い。目録を作る作業のかたわらの論文の拾い読みで、おぼろげながら当時の技術の動向、水準を読みとることが出来、図面を引くという単純且つ部分的な設計への関与しかできない日常の仕事の中で、何だか自分の存在する位置が見えたような気がしたものである。昨今の何でも無駄の切り捨てる的発想は果たして正しいのであろうか、今日の世界では造船業という狭い世界に閉じこもってしまうのではなく、無駄の勉強も必要な時代であろうと思う。

さて、本論に入りたい。

ルール中心の手計算の時代から、コンピューターの局部的利用がはじまった時期に平行して大型化は急速にやって来た。いわゆる、スーパータンカー（4万トン）時代までは従来型設計で問題もなく対応できた。ところが、マンモスタンカーから

VLCC へとあつという間の大型化はコンピュータの利用技術の進歩と少しづつ後になり先になり進行し、時には大型化が先行するあまり設計計算技術が追いつかない事態もあったと思われる。いや、計算技術そのものよりも、設計思想（フィロソフィー）の急速な転換が必要であったのに、その確立が追いつかなかつたのが現実であったように思う。このことは物造りで、いつも取り沙汰される問題で物が先に出来て理論や思想が後追いつくという形の典型の一例であったように思う。大きな枠組としては、設計は間違いをしでかしたわけではない。この点では船級協会ルールが存在も大きな歯止めであった。しかし、細かい部分や新しい課題では経験、実績の延長で考える余り間違いを生じたことも否定出来ない。

船は経験工学であると云われることが多いが、設計屋としては決してそれに同意する気持ちにはなれない。経験、実績のみに頼ってする設計をやめ、如何に新しい合理的な思想のベースの上に、合理的な詳細を構築するかを考えるのが、設計にたずさわるものの仕事であると思って来た。コンピュータの発展と共に経験的なものの無力を見せつけられもしたし、急速に社会が変化するとき、経験のみで解決できるわけではない。経験より優先されるのは設計理念の確立である。今の時代でも経験は必要であろう。しかし、ここで必要な経験は俗に云う職人的勘ではなく、データの積み重ねであろう。今や優秀な職人でもデータなくして仕事は出来ない時代である。個人的データではなく万人の共有出来るデータでなければならぬ。いわゆるデータベースである。これは従来から云うばらばらの経験、実績とは明らかに異なるものであり、大量データを自由に検索、組み合わせ、加工することによって新しい技術が生まれる。当時は、設計思想的にも、船はしょせん経験工学的なものか否かをめぐって、混乱していた時代であつたとつくづく思う。とにかく、この様に試行錯誤するのが設計であつたが、その仕事の技術的側面での使命は

- 1) 新しい思想の確立とその具体的運用
 - 2) 新しい解析技術の開発
 - 3) 損傷の原因究明と防止策の立案
- 等であろう。

ここで、古い話をしようとするれば、それが具体的であろうとするれば (2)、(3) に焦点が合致する

を得ぬ気もするが、私自身にとってもっとも大切だとずっと思って来たのは (1) にある。年月が過ぎて、今になつてもつくづく思うことは我々が設計にたずさわつた時代は世の中の動きが早くなり、全てが高度に急速に成長する時期に入り、船も運行システムの変化、経済上の要求から新しいタイプ（急速大型化を含めて）が次々と出現し、一方、コンピュータは設計技術に変革をもたらしつつあつた。そのような時に (1) への挑戦なくして自信を持って設計など出来るわけがないのである。もっと具体的に云えば、ある構造の形を決めるのにどの様な条件で（計算方法、計算モデル）どの様な許容限界を決めるか、という単純なことに行きつくが、その条件の設定の中にはその時代の技術水準の全てを取り込み、全知能を傾ける必要があつたと思つている。

さて、大型化により従来手法で対応出来なくなつたと云うか、新しく顕在化してきた問題は旧来の分類 (1) 縦強度 (2) 横強度 (3) 局部強度に従つて云えば、

- 1) 縦強度、横強度（場合によっては局部強度）の相互作用の重要度
- 2) ルール計算ベースの横強度からコンピュータによる計算（三次元）の必要度
- 3) 局部強度（挫屈、疲労）の重要度が急速に増加したことであろう。

従来手法は縦強度を最重要視したが、横強度、局部強度についてはそれ程重要視されなかつた。最近の若い人達には信じ難いかもしれないが、当初のルール計算で設計された船は横強度上や或いは局部的な挫屈をおこすなどの損傷は、極めて少なかつたと記憶している。そこへ急速な大型化がやつて来ると、見る間に局部挫屈損傷が増加した。縦強度重視の単純ビーム的発想の設計を薄板箱型構造物として扱う必要が出て来て大きな発想の転換が求められたのである

前置きの一般論が長くなつたが以下実例を述べたい。

2. バルクキャリアの大型化

船底船側部にホッパーを有し、船側上部にトップサイドタンクを有するバルクキャリアスタイルの船型が定着し、このスタイルの船に大量の鉱石をオールタネート・ローディングすることが一般化して来ると、俄然その強度が設計上の重要課題

となった。比重の大きい鉱石を飛々のホールドに満載すると、鉱石艙は大きな鉱石荷重を受け、一方空艙部は大きな水圧荷重を受けることになる。先ず二重底が上記荷重に耐えるにはどうすればよいか、確たるルールもなく設計者の挑戦課題となった。フロアスペースやガーダを何本入れるべきかを決めるにも確たる実績もルールも無く悩ましい状態であったが手さぐりで設計した記憶が残っている。山越教授の理論は大きな支えではあったが。

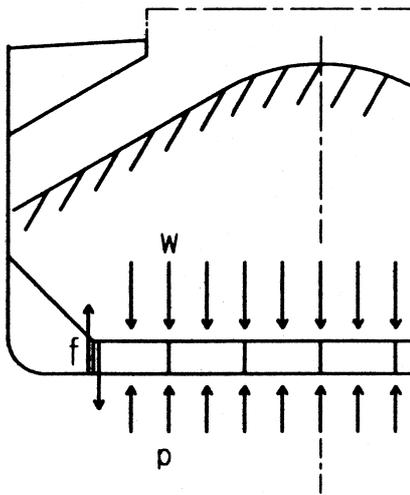


図1 二重底荷重状態

鉱石荷重 w と水圧 p の差 $w-p$ の load を受ける二重底を異方性板及至は girder と floor より成る格子構造を考え、解析的に或いはコンピュータで計算することは、当時でも何とか可能ではあった。

上記 load $\Sigma(w-p)$ が floor 端部の剪断力 F_f と girder と端部の剪断力 F_g の合計 $\Sigma F = \Sigma F_f + \Sigma F_g$ に釣合い、又、モーメント M_f , M_g に対して girder や floor の本数や板厚が十分であることを計算するわけであるが、その際問題は二重底周辺すなわち girder と floor 端部の境界（支持）条件である。従来単純手法ではこの境界条件を正確に求めることは難しかった。この境界条件は荷重の方向と、船側ホッパーの振り剛性、バルクヘッド、スツールの振り剛性等によって決まるが、その設定如何によって二重底各部材の応力値が左右され、例えば girder と floor が分担する荷重の割合が変化して、その端部板厚が変わることになる。又、ホッパーの振り変形により、強制的に回転させられる船側肋骨の応力が大きくなること、悩みの種であった。特に船側肋

骨の場合、ホッパーの振り剛性に比較して肋骨の曲げ剛性は小さく応力を下げるために肋骨を補強すると強制回転角 θ の変化は小さく、むしろ肋骨の抵抗モーメント M が増加して、応力が上昇し、補強の効果が期待出来ない。従って、船側肋骨は出来るだけ flexible にして応力の高い端部だけを補強しなければならない。このような状況は船体構造の各所でみられることであるが、特に大型化に従って計算能力の不十分な当時の設計を大いに悩ますものとなった。

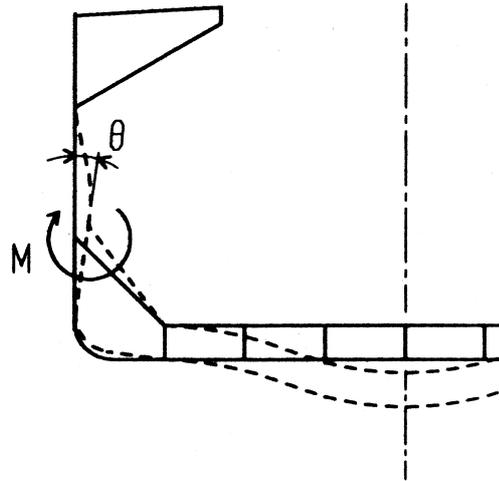


図2 ビルジホッパーの振り変形

さすがに、二重底の底が抜けるような事故が起きたとは聞いていないが、当時設計に当たっては本当に心配しつつ検討したものである。肋骨端部については後日倉内の防食の不適切さで、応力腐食を生ずるに及んでクラックが多発する事例も生じ、船級協会が艙内塗装や肋骨強度についてルールの改正に乗り出すことになったと記憶している。次に、私にとって印象深い設計上の着想の一つについて述べたい。

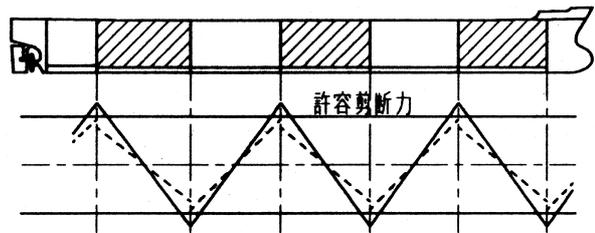


図3 静水中剪断力図

1965年(S40), 68,600LT, 11 ホールドの ore-alternate load の NV 船級船の設計を担当. これまでの通常船では船側外板板厚はルールで規定され, それによって求めた板厚は縦強度上の剪断応力の許容値をキープするに十分なのが通例であった. しかし船が大型化し, 更にオールタネート・ロードが現れるに及んで, 隔壁部の剪断応力が許容値を超え隔壁位置から前後数 m 間を増厚する必要が出てきた. 船側外板に, この様に各隔壁部で増厚のための余分の継手を設けることは, 何ともしっくりしない感じであり, 何か良い方策はないかと思案していた時, NV オスロへ出張した. そこで面白いアイデアを聞いた. それが今では当たり前のオールタネート・ロードを行う船の船側外板の決定法である. 鉱石や水圧荷重が直接 100%船側へ伝達されるのではなく, 船底構造を伝わって隔壁へ伝達される部分もあることを考慮すると, 剪断力が図 3, 点線の如くなり, 船側外板の補強不要, 若しくは軽減するというものであった. 30 数年も前のことである. それまで, この様な考えは国内では全く予想もされなかった. 全く意表をつかれた思いを忘れない. コロンブスの卵であるが, 単に着想の面白さで済ませない気がしている. 大げさかも知れないが二重底強度と, 縦強度をバラバラに考えた従来手法ではなく, トータルとして考えたしっかりした思想がある故出てきた着想だと思う.

大型化に伴って従来問題無く来たものがそうはいかなくなつたという典型として, 局部挫屈を見逃すわけにはいかない. 次にその事例の一つを述べたい. 大型化が進むと船全体のサイズに比べて, 板厚が小さくなる傾向が著しい. 従来の船(1万トンクラスの貨物船, 2万トンクラスのタンカー等)までは部材板厚は船級規則で, 簡単に規定されており, その計算板厚をそのまま用いるか, 経験上から若干の余裕板厚を付加することで, 大抵の場合は問題無く, 損傷特に挫屈などを生じることは殆ど無かつたと云つてよい.

船の大型化と共に挫屈を無視できないということが, 種々の事例で顕在化した. ハッチ間甲板の挫屈もその一つであろう. 従来, すでに鉱石船のウィングタンクの横強度は注目されていたが, ウィングタンクを単なるトランスリングの平面ラーメン問題としてとらえるにとどまるが多かつたためか, ハッチ間甲板にかかる圧縮力は軽視(或いは思いが至らなかつた)されていた. これはバ

ルクキャリア・スタイルの船でも同様であつた. 従来は, 恐らく縦強度重視の余り, ハッチ間甲板はハッチコーナーの応力集中度に於いてのみ重要視され, このコーナー応力集中度を下げるのに効果的と見てレーズド・デッキなどが採用されることもあつた. このレーズド・デッキは横方向応力の流れを不連続として局部的な損傷の多い構造様式であり, いつの間にか姿を消した. そのことから, フラットなハッチ間甲板が採用されるのが普通になつたが, ルールで決められる板厚が横方向圧縮力による挫屈に対して不十分であり, 且つ不用意にも, ハッチ間甲板にロンジビーム方式を採用したことが決定打となり, 数多くの船で挫屈を生ずることになった.

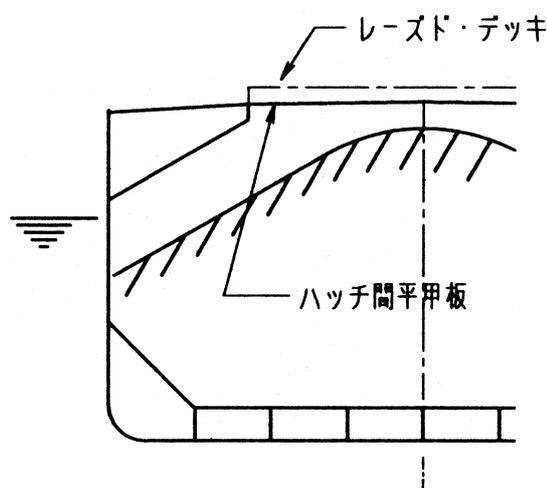


図 4 レーズドデッキ

私も船会社の工務監督の要請で, 戸畑の鉱石揚荷バースへ急行し, 現場を調査し, 応急の補強対策を作成したことがある. 現場調査中にも鉱石の揚荷は続行中であり, アンローダーの下は鉱石の小石が落下し, 危険を感じる中, それこそ時間に追われた揚荷と船の運航スケジュールの厳しさを体験させられた. 極めて限られた時間の中で, 応急とは云え十分な対策を決めなければならない. そのためには素早い判断能力を必要とし, 又責任を伴うものであるかを思い知らされた. 船の運航を差し止めるか否か, 安全に航行出来るか否か, 若い設計屋の判断にゆだねられるわけであり, 責任は重大であつた. 設計屋, 特に構造設計屋にとって, この様な場面に数々直面することで, 成長して行くことが肌で感じられるのが仕事の醍醐味でもあつた.

さて、大型化に伴って、挫屈の怖さを思い知らされる事象は繰り返し生じた。つつい思いが至らず失敗を繰り返して来たことは否定出来ない。コンピュータ時代になっても、設計者の細かい部分にいたるまでの配慮が如何に大切であるかを今でも強く感じている。

3. タンカーの大型化

大型化と云えばタンカーにおいて最も顕著であり、設計技術発展のための努力も最も多く払われたし、成果も大きく、設計技術発展の歴史の中核を成すものであった。私は、その全てを話すにはミスキャストであるから私の周辺で起こった事象の二、三を記すにとどめたい。大型タンカーの進水後、水張り試験中に艀内トランスリングが損傷（挫屈）することが内外で報告された。私自身勤務した会社では、その種の損傷の記憶はないのであるが、とにかく設計上の重大トピックスとして注目をあびた。

これは当然、局部挫屈強度不足によるものではあるが、本質的には横強度解析の不十分さにその

原因があった。横強度は単に平面トランスリングの強度解析では全く不十分であり、縦方向部材のインタラクティブ性を軽んじては、十分な設計が出来ないことを思いしらしめた出来事であったと思う。山越教授はいち早くウイングタンクの剪断変形（船側外板と縦隔壁の相対変位）がトランスリング横強度に及ぼす影響を理論的に解析され、当時の私はその明確な説明に感銘を受けた思い出がある。

船全体を立体構造として解析すれば、コンピュータの発達した今であれば簡単に解を求めることが出来ようが当時の不十分なコンピュータで、設計で使える（費用、時間、精度の制約のもとで）結果を得るためには構造モデルや荷重について工夫がこらされたものである。

図5(A),(B)にウイングタンクの典型的な荷重状態と変形方向を示してあるが、これを見ると当時の思いを今でも思い出す。私は当初、この種の図を見て、最も相対変形の大きい荷重状態は正直のところ図5(C),(D)の如き状態と錯覚した。

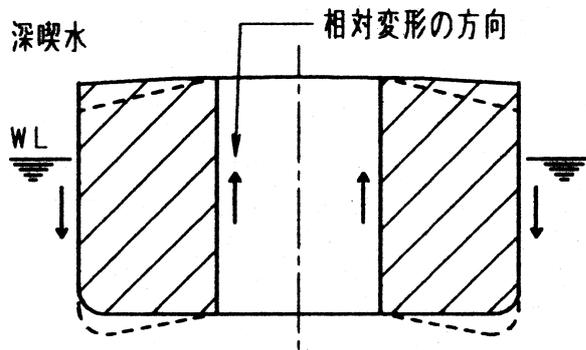


図5(A) 荷重状態(深喫水, WING TK FULL)

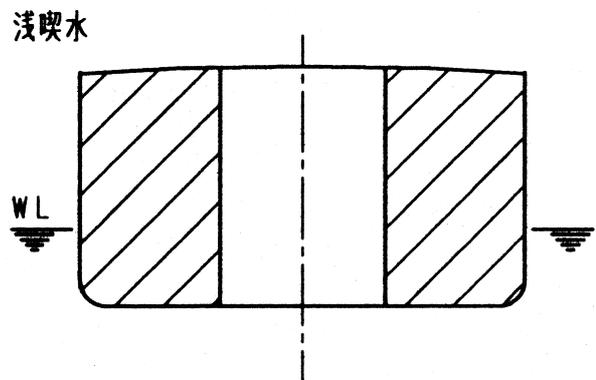


図5(C) 荷重状態(浅喫水, WING TK FULL)

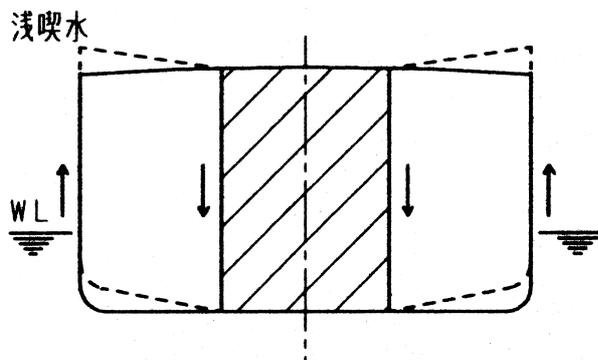


図5(B) 荷重状態(浅喫水, WING TK EMPTY)

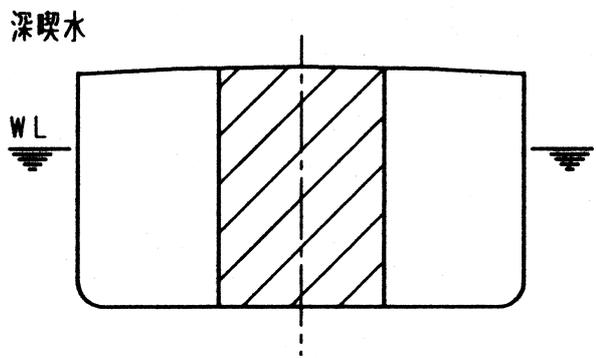


図5(D) 荷重状態(深喫水, WING TK EMPTY)

山越教授の論文を読むまでもなくこれは明らかに間違いであることに気づいたが、当時話をしている同様な錯覚に陥っている人が結構多いのに気付き、気になったことを記憶している。とにかく、この辺りから、船が大型化して今までの断面は変形しない単純梁の発想から、船は如何にも柔軟で、三次元的に自由に變形する箱形構造物であるとする発想へ急速に頭の切換をする必要が生じたのである。古典的、直感的なやり方は構造要素をバラバラに切り離してそれぞれの単一要素を両端支持（又は固定）梁としてビームセオリーで曲げモーメントを求め応力を計算することで済ませて来た。水の上に浮かんだ複雑な構造の船の場合は、バラバラに切り離した要素の立体的相互作用が重要になり、一体化した解析なくしては正確な結果を得られないことは、上記タンカーの例だけでなく、いたる所に見られる。例えば LNG, LPG タンクの支持台、軸受けのアライメント等も同種の問題であると思う。

それはさて置き、こうなって来ると正直なところ手計算では手に負えなくなるわけであるが、そうかと云って全てをコンピュータに頼るわけにもいかない。そこに設計者の腕、能力が発揮される余地が生じ、いろいろの工夫に腕を競い合ったものである。

人間の直感は信ずるに足りないと思うが、さりとて人間くさい判断力が不必要というものでは決してない。そこに面白さがあり、経験工学を是とする見方が有力になる面もあるが、少なくとも設計者たるものあくまで合理的な思想のもとに、問題に取り組んで欲しいと思う。コンピュータの発達は、全てを機械化することも不可能ではないと思わせるし、私もそう確信している一人である。但し、コンピュータはあくまでツールであって、使うのは人間という立場は設計においても不変であろうと思う。猛烈に優秀な部下を持った上司のような関係である。上司は猛烈に勉強する必要がありそうである。

余談はさて置き、タンカーの発展途上の構造技術を語るとき、忘れられないのがタンカー貨物油倉内トランスリングのスロット回りの損傷である。

1965年（S40）頃、当社建造の7万DWトンタンカーの一隻が荷揚げを行ってタンク内を点検したところトランスリングのスロット周辺に多数の局部挫屈とクラックが発見され、急遽さる造船所

に回航され補修を行うことになった。私の職場へ船主監督から電話が入り、夕刻にもかかわらず直ぐに出て来いと呼び出しがかり取りあえず現場へ向かった。余談ではあるが、構造設計屋の場合、呼び出しがかかるのは良い時ではない。私も度々あったが、極端な場合は休日在宅休息中に電話があり、航空券だけ渡されてその日のうちに成田を飛び立ちアラスカまで行ったこともあった。構造設計屋は華やかな海外での契約交渉の場などにはあまり縁がなく海外出張も大方一人で作業着をたずさえて飛んだものである。今となつてはこれ等の一つ一つが良い思い出となっている。さて、現場貨物油倉内へ入ってびっくりした。べとべとのスラッジで、ちょっと見には良く見えなかったがよく見ると船主監督の指す所いたる所クラックと凹みが見られた。これが多数のタンカーで発生したスロットまわり損傷として知られるものへの私としての最初のかかわりであった。

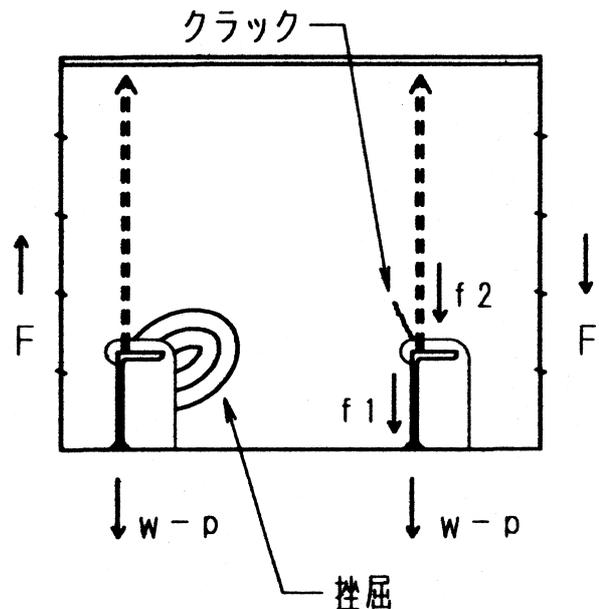


図6 スロット周りの損傷

その後の技術の進歩で重大損傷など極めて少なくなった昨今から考えると当時、この損傷の一隻当たりの数は異状であって、大変な迷惑を船主に与えたことと思う。余りにも急速な大型化のツケが一挙に表面化したものであって、当時の技術としては最善をつくしたつもりが、高度成長からいっきょにバブルが崩壊したようなものであった。世間を大いに騒がせた、ぼりば一丸やカルフォルニア丸の事故（これ等はスロット周りの損傷が原

因とは云えないが、トランスメンバーの挫屈及び亀裂が原因であったと思う。)もあり構造設計屋にとっては必死になって信頼の回復をはかるべき時代へ突入した。このスロットまわりの損傷の問題は、多くの人々、団体の研究と努力があつて解決されていったが、その過程で最も思い出深いのは渡辺教授の理論である。

トランス・ウェブが荷重 $w-p$ (積荷-水圧) と剪断力 F を受ける時、ロンジから剪断力として伝わる力 $f1$ とスチフナーへ伝わる力 $f2$ を求めるモデルを考え $f2$ が stiff 端のクラックを生ぜしめ、 $f1$ 及び F による応力がスロットまわりのクラック又は挫屈を生ぜしめると云うものである。この解析的な方法は、損傷の機構を大変分かり易く説明し、設計にとって有用であつた。

この時期になると、そろそろ有限要素法(多くの場合二次元)も用いられるようになり将来はトランスリングの設計には欠かせないものになることを予見させた。

次に述べるのは、あまり大きな問題にはならなかったようであるが、私自身は今でも不安に思っている問題である。タンカーが大型化すると、トランスメンバーの背が高くなり、その面内剛性は増すのであるが、一方トランス面外方向の剛性は相対的に小さくなる。何らかの面外方向外力(エンジンやプロペラの起振力、液体の動揺)が加わると、容易に変形(振動)することになる。トリッピングブラケット等を設けて、それに抵抗するのであるが、図7に点線で示す如く、ロンジの変形を考えると補強効果があるとは云えない。従つて、いったんこの面外力による損傷が起こると、その対策に困ることになる。私も一度甲板と縦通隔壁の交点付近、トランス隅部の一箇所にその種の損傷が発見され、同様損傷の懸念から、全トランスの点検が必要となり如何せん高所であるため、困った経験がある。幸いにも、損傷箇所は少なく若干の補強が有効に働きその後のトラブルを聞いていないのは幸運であつた。一般に、このトランス面外変形による重大な損傷は、稀に報告されるのみであるが、面外変形を生ぜしめる外力の特定が難しく、私の時代には根本的な面外変形防止対策を事前に設計に折り込むということも行われなかつたと思う。現在はどの様に対処されているのであろうか。気になっているので敢えて事例として述べたものである。

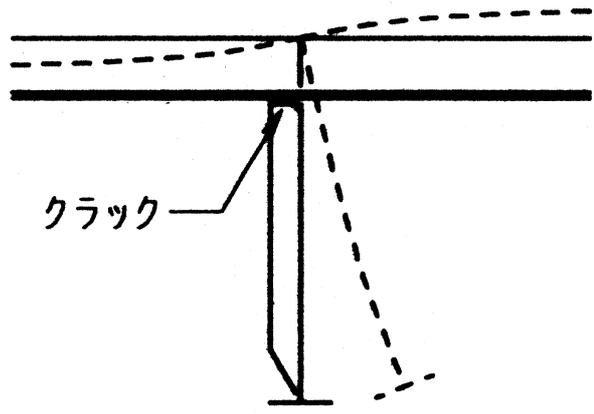


図7 トランスの面外変形

4. コンテナ船の大型化

本格的なコンテナ船の出現は、1969年(S44)建造1100個積み、横8列搭載型船に始まる。コンテナ船の出現が予想されるに当たり、その構造の特異性から構造力学上の問題の解明が急務となり、学会、業界を挙げて研究が行われた。問題の中心は、コンテナ船の大開口甲板にある。即ち、船体断面を見ると、従来の船を口型(閉断面)とすれば「L」型(開断面)であり、強度上最も重要視された上甲板面積が極端に少ない構造であり、経験則では律し得ないものであつた。今では当たり前のように思われているが、当時はこの様な特異な構造で波荒い大洋を航海することの不安感は大きかつた。

1972年(S47)、その経済性の追求と当時オイルショック前の好調な海運業の発展の過程で大型化、高速化が急速に進み2200個積み、横10列積み、30ノットという画期的な大型コンテナ船が出現した。上甲板は、船側の巾2.34mを残して全て開口部に占められ、両サイドをつなぐ、いわゆるクロス・デッキ巾は極めて狭く従来の感覚では、必要強度を保つには誠に頼りない感じであつた。特に大きな問題と考えられたのは、斜め波を受けた時に生ずる振りモーメントに対する、大開口上甲板の挙動であつた。

「薄肉開断面梁の振り」理論が、その挙動の説明に用いられ、多くの研究、実験が行われ如何にその成果を実船の設計に応用するかが競われた。

当社では国内船と輸出船(LR船級)が連続して建造されることになり、私自身国内外の船級協会

の考えを聞く機会に恵まれた。特に LR では、当初から開断面上甲板のワーピング応力に大きな関心を寄せ、設計にも具体的な対応の必要性を強調していた。未だルールに成文化されていない段階で、具体的な設計に如何に折込むか、ロンドン LR との討論は今でも新鮮によみがえる。ワーピングについての設計の考え方を、釈迦に説法を敢て行くと次のようなことになるうか…。

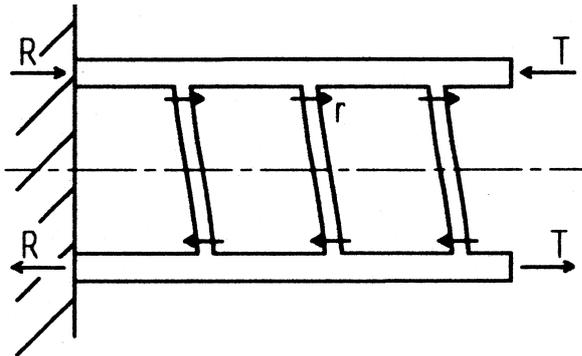
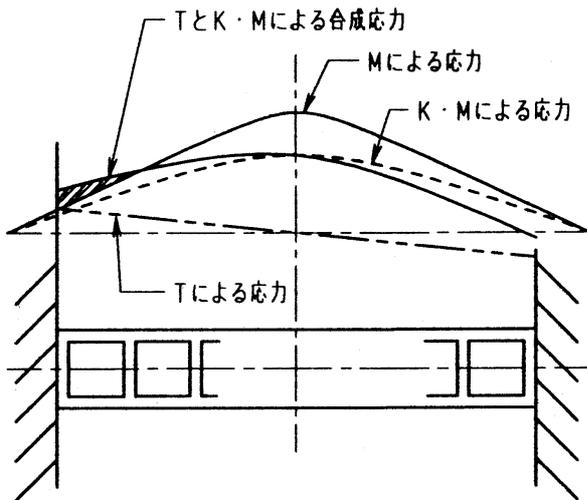


図 8 ワーピング変形

開断面梁に振りモーメントが加わると、上甲板部には左右両舷に反対方向の軸力 T が働き“ズレ”（ワーピング）が生ずる。このワーピング変形に抵抗するのは、貨物倉後端の機械室構造部分と前端的の船首部及び上甲板に散在するクロスデッキ部である。クロスデッキ部の抵抗 Σr がある程度大き



- M : 設計純縦曲げ最大モーメント (振りモーメント 0 時)
- K・M : 斜め波中縦曲げモーメント
- T : 斜め波中振りモーメント

図 9 縦曲げ応力と振り応力の関係

ければ、ワーピング変形もおさえられ問題は少なくなるのであるが、各種研究の結果分かったクロスデッキの抵抗によるワーピング変形の減少は、たかだか 10%以下に過ぎなかったと思う。ワーピング変形の大部分は機関室構造部で拘束されることになる。このワーピング変形の拘束による縦方向力 T による応力と同時に働く縦曲げ成分 $K \times M$ による応力の重ね合わせが、上甲板応力になるわけで、図 9 の如くこの合成応力は機関室前方部で、純粋曲げ M のみを受ける場合の応力を超える可能性がある。(// // 部) この合成応力を求めるとき、純粋曲げ成分 $K \times M$ の K の値は、ロイドとの討論で 0.7 を取ることにしたと記憶する。

又、もう一つ私として関心を寄せたのは、振りワーピング状態における機関室前端ハッチコーナーの応力集中問題である。一般に用いられる純曲げのみよりのときの縦横比 2:1 の楕円を図 10 の如く F を考慮して、点線の如くハッチ内側部にふくらみを持たせる形状とするなどの検討を行った。

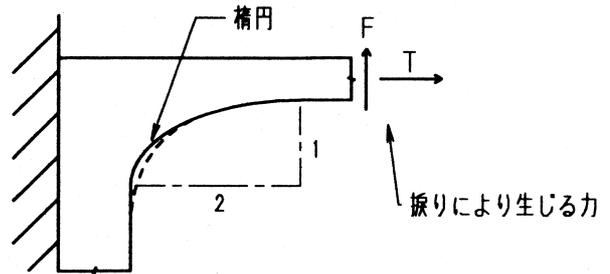


図 10 ハッチコーナー形状

波浪中の波浪外力による曲げや振りモーメントを統計的に推定し、確率論的トータル設計手法が可能となった昨今から見れば、その当時の仮定が本当に正しかったのかどうか (勿論、かなり安全側の仮定をしたとは思っているが) 今でも疑問であるが考え方の基本は変わっていないと確信している。

大型化の時代とは、いろいろの分野で今までの経験では律し得ない新しい問題に取り組み、何らかの成果 (製品) を生み出すための挑戦を強いられるわけであるが、その時々設計者の頼みとするのはしっかりした論理的考え方 (フィロソフィー) であって、過去の経緯ではないことを。ここでも痛感したものである。

さて、3 軸大型、コンテナ船の建造であるが、

30 ノットを出すために3基のディーゼルエンジンを搭載することになった。3基のエンジンを図11(A)の如く単純に横並びにするか、図11(B)の如くするか機関サイド、船サイド協議の結果、図11(B)の如き方式を採用することになった。ほぼ同時期に欧州で建造されたほぼ同型の船では3基横並びが採用された。今となると、性能的には両者共に問題なく済んだことを考えると、3基横並び方式を採用する勇気があっても良かったかという気がしないでもないが、我々の当時とったステップ・バイ・ステップの慎重さは、日本人的考え方の良さの一つであるとも思う。

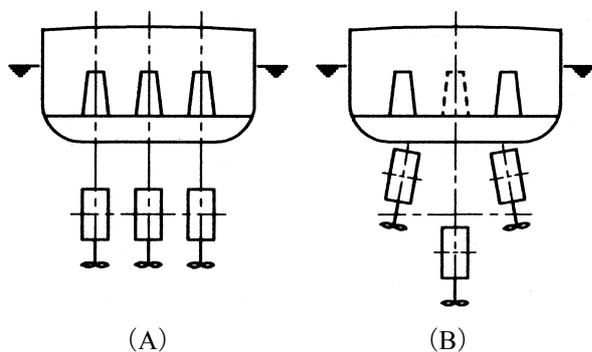


図11 主機関配置

何かにつけて欧州流儀は我々から見れば思い切りが良すぎて危なっかしく思ったものである。当然上記両方式の比較では、当方の方式は構造が複雑であり、機関室の長さは増加し、船体重量は増し、カタログ性能が劣ることになり、若干問題化したりしたが…。

ついでながら私が感じた日本と欧米流の考え方、やり方の違いを述べると、彼等の考え方は、先ず設計のフィロソフィーの核に当たる部分はその具体化においても大切にしますが、その他の部分は大胆に無関心であってディテールにはあまりこだわらない。トップダウン方式とでも云えようか、対して日本流は経験の積み重ね、詳細重視、ボトムアップ方式であろう。日本流の詳細に対するキメの細やかさと慎重さが、損傷の少ない高品質を実現し、内外の評価を得たと思うが、例えば3基横並びでどうしていけないのか等の彼等の率直な疑問に対して、彼等流の論理を打ち負かす具体的に明確な論理構築は出来なかったような気がする。

これはこの例だけのことではないが…。

一般的に、いかに論理の構築するかという点は、日本人の苦手の一つであろう。彼等と話していて履々遭遇したのは、我々が、すぐ口にしがちな経験上そうだというのは欧米流論理では理由付けにならないことであった。

次に、当時話題となったことであるが、当社建造の3軸コンテナ船が試運転で両舷プロペラ軸受けに焼損事故が発生してしまった。原因として考えられたのは、軸受けそのものの機構と、両舷軸ボッシング部の剛性不足であった。構造設計屋としては航走中のボッシング変形の計測をレーザー光線を用いて試みたり、計算でその値を求めようと試みたりした。周囲には、前例にない3軸船であるための設計の基本的なミスではないかとの論調もあったように思うが、真相は3軸船だから起こったという特異な問題ではなく、一般船と同様の問題であったと思っている。当時、軸受けの焼損は船の大型化とともにいろいろの問題も提起されつつあった。複数の軸受を単に一直線上に並べ船体側を剛と考えるアライメントではなく、船体の変形と、軸の変形を相対的に考慮してどのようなアライメントが最適かを論ずるようになっていた。本船の場合も、この様な視点で検討を行ったのは当然であるが、計測の困難さ、計算の精度の制約もあって論理的に十分解明するには至らなかった。問題は、軸受けの潤滑油の給油機構を改良することで済んでしまった。船体の剛性の補強は行わなかった。前の主機と主機台の剛性の問題と合わせて、船体の剛性との関連性については当時の技術では論理的解明という点では納得のいくものではなかったと思っている。この論理的解明には船体と主機と軸の動的な挙動解析が必要であり、その様な試みも当時、そろそろ出現していたように記憶しているが設計で十分活用するというレベルには遠いものであった。

現在、果たして十分なレベルに達しているのか、はなはだ疑問でありこの方面の研究を進めることが、船の品質を高めるために絶対必要な課題の一つであると当時から今日まで思い続けている。

5. おわりに

船が急速に大型化した時代に、現場工数が見積より大巾に超過するという報告が多発したことがある。従来船の実績延長で考えた予定工数が、現場の努力にもかかわらず超過してしまうのである。例えば、従来のサイズであれば人力で動かせたブ

ラケット等の小ピースが、大型になると人力で動かせず、クレーンの助けが必要になる。又、部材をまたいで人が移動出来たのに部材を超えるための足場やステップが必要となる等々で予想以上に工事が大変になるのである。それに類した事は、設計技術や設計工数においても大なり、小なり生じたものである。この様に経験してみないと分からないという事は、先人の経験から学ぶ物が多いことを示しているが、これからの若い人々は更に一歩進めて経験のデータベースと予測シミュレーションを組み合わせることで、

- 1) 設計のスピード化
- 2) 品質の向上

を達成して欲しい。

今、最も進歩のスピードの早いコンピュータ並びに情報通信の世界では船の世界では考えられないような事が、信じられないスピードで起こっている。私もサラリーマン人生最後の10年程をこの世界の一隅に置き、その動きを目のあたりにした。IT革命は設計の工学的技術のみではなく、設計のやり方そのものを根本的に揺さぶるものであることを実感した。一日も早く、これに取り組み、早く成果を得たものが勝ち組になることは自明である。

又、長年品質向上とコストダウンは両輪と言われてきたが、企業戦略としての旗印の軸足は品質の卓越性（ユーザーの好みへの対応）に置かれる時代になっている。品質の革新性がなく少しばかり安いだけでは通用しないのが社会の通念になりつつある（安さを“売り”にするためには、顧客が信じられないくらいの安さ、30%とか50%OFFが必要）。造船界も同様で顧客第一と口で云うのは易しい。そのように企業風土がしっかりと根付いているかどうかが問題である。IT革命の成果を一日も早く取り込み、効率化と品質革新を図ることが、先進国における造船復活の必須条件であろうと思う。若い人々の取組みを期待したい。

著者プロフィール

榎本 圭助

1934年生
福岡県出身
最終学歴：
東京大学船舶工学科
1957年 三井造船(株)入社
1971年 玉野造船設計部
船殻設計課長
1985年 本社基本設計部長
1988年 他部門（システム）へ転出
1993年 造船退職、関連会社へ
1999年 関連会社退職

