

大型化するコンテナ運搬船についての展望と技術的考察

中村 靖*

1. 緒言

ここに一つの試算がある。9000TEU 型及び 12000TEU 型のコンテナ運搬船の主要目についてである。

9000TEU Container Carrier;

Length x Breadth x Depth = 330 x 46 x 27 (m)

12000TEU Container Carrier;

Length x Breadth x Depth = 380 x 55 x 27 (m)

そしてこの 12000TEU 型が単一機関で運航速度 25 ノットを満たす事が出来る最大船型であると考えられている。現在技術的に可能と考えられている全ての改良を行っても、25 ノットで航行出来る 12000TEU 型を越えるコンテナ運搬船は現在開発中の最も大型のエンジンを採用しても 2 機 2 軸の設計とせざるを得なくなる。この時点で 12000TEU 型を越えるコンテナ運搬船の建造は実現性が極めて薄くなる。その理由はコンテナより消費する燃料を運ぶ比率が増大しコンテナ運搬船があたかも燃料運搬船ようになってしまうからである。燃料費が産油国の思惑で高騰する危険性を孕んでいる以上、燃料費の増大により不経済船化する可能性に発注者は十分気付いていなければならない。また建造側は技術が世間のニーズに適合していることを常に認識しているべきだろう。

2. コンテナ運搬船大型化の背景

コンテナ運搬船が大型化し、その幅がパナマ運河の幅を超えた最初のポストパナマックス型コンテナ運搬船は 1988 年に就航している。但しこのケースでは積載可能なコンテナ個数はそれまでのパナマックス型コンテナ運搬船と大差が無かった。

船の幅だけでなくコンテナ積載個数が従来のパナマックス型より明らかに多いポストパナマックス型が最初に就航したのは 1994 年になってからである。この成功が契機となって 1999 年から 2000 年にかけてのポストパナマックス型コンテナ運搬船の大量発注が発生したと考えられる。発注側である船主がこのような行動をとった経済的背景には以下のものがあると考えられる。

1. アメリカ合衆国でコンテナ 2 段積み鉄道貨車が導入され大陸横断鉄道によるランドブリッジ輸送が始まり、パナマ運河経由の海上輸送の比重が減った。
2. 東アジア諸国の経済発展により貿易が拡大し、コンテナによる貨物量が増大した。また経済発展によりこの地域

の港湾が整備された。

3. アメリカ合衆国の好景気により太平洋及び大西洋での貿易量が増大した。
4. 以上の経済的な理由により、パナマックス型コンテナ運搬船による世界一周サービスと同時に、ポストパナマックス型コンテナ運搬船による北米東岸又は西岸を片面とするポストパナマックス型コンテナ運搬船の振り子輸送方式が経済的に成立すると判断される状況となった。

また以上の経済的な理由に加え、パナマックス型コンテナ運搬船には次のような造船技術上の限界点があった。即ちパナマ運河通航上の最大船型は船の長さ約 290 メートル、幅 32.3 メートルである。従来コンテナ船の深さは貨物倉内コンテナ 8 段積みを前提に約 21.5 メートルが最大とされていた。この主要目比は他の船種と比較して極端に痩せた長い船型である。さらにコンテナ船が甲板に大きな開口を持っていることを考えれば、パナマックス型で 4400TEU が船体強度上ほぼコンテナ積載個数の限界と考えられる。またこのサイズで甲板上に多数のコンテナ積みを行うと、燃料消費に伴う復原性の変化から航海中バラストで復原性の調整が必要となる等、運航制限の多い船となっていた。

3. コンテナ積載個数増加の技術的背景

これに対し 1988 年に新たに開発されたポストパナマックス型コンテナ運搬船ではまず船型の改良が主目的に行われており、コンテナ積載個数の増加は重視されていなかった。即ち、一般船において L/B、B/D、L/D がそれぞれ 7 以下、1.7 以上、12.0 程度であるのに対し、それまでの最大船型であるパナマックス型コンテナ運搬船では L/B、B/D、L/D がそれぞれ 9.0、1.5、13.5 である。これらの数字が意味するところは L/B と L/D が大きく、さらに高速化を図る目的のために方形係数 C_b を小さくしているため、船体強度上極めて厳しい条件での設計が要求される。また B/D は復原性に関係するが、コンテナ運搬船では甲板上にコンテナを積むため復原性は限界に近い値となっていた。これらの問題点に対し初期のポストパナマックス型ではまず船幅が増加された。船幅の増加は当然コンテナ自体の幅の倍数によって行われる。まず採用された船幅の値は 37 メートルであった。これによって貨物倉内 12 列、甲板積み 15 列となった。その次に行われた変更はコンテナの積載段数の増加である。貨物倉内の積載段数が 8 段と最大化された。この時点で L/B、B/D、L/D がそれぞれ 7.5、1.7、

*船体部主管

12.7 まで改善されている。しかしコンテナ積載個数では大きな改善は見られていない。

ポストパナマックス型コンテナ運搬船でコンテナ積載個数が大幅に増加するのは次の改善が行われたことによる。まず船幅のさらなる拡大が行われた。船幅は 40 メートルとされた。これと同時に船体構造に大きな変更が行われた。従来十分な船の縦強度を確保するために上甲板の開口部に貨物倉のほぼ全長にわたって縦通桁が 2 本配置されていた。このため縦通桁の下方のスペースはコンテナが置けず、コンテナ積載上からは無駄なスペースになっていた。変更は他の構造部材を補強することでこの縦通桁を廃止し、貨物倉内でのコンテナ積載個数の増加が達成された。これにより船幅はコンテナ 1 個分増加しただけにもかかわらず、貨物倉内のコンテナ列は 12 列から 14 列に増加した。甲板上は 16 列となった。このような変更が可能となった造船技術の背景には、大計算容量をもつコンピューターにより船全体に対して有限要素法による詳細な構造解析を行い、船の強度を評価できるようになったことがある。その解析結果を満足するため、高張力鋼の採用や高応力部に対する厚板及び特殊な構造形状の採用が行われる等の対策が採用された。

これらの改良の結果、現在建造及び設計されているポストパナマックス型コンテナ運搬船のコンテナ積載可能個数は 6000TEU を越すまでになっている。

4. 技術面から見たコンテナ積載個数の増加予測

今後のコンテナ積載個数の増加を技術的な可能性から検討してみる。

まずコンテナ積載個数を増加させるために最も有効な方法は船幅を大きくすることである。冒頭に述べた 9000TEU 型コンテナ運搬船では船幅を 46 メートルとしている。これは貨物倉内のコンテナ列を 16 列、甲板上の積載は 18 列となる。この船幅から適正と考えられる L/B 比から船の長さを 330 メートルとすれば、好ましい船の深さは 26 メートルを超える必要がある。コンテナの高さが通常の 8 フィート以外に 8'-6" や 9 フィートタイプがあることを考慮しても、船の深さで 26 メートルを超える深さにするためには貨物倉内の積載段数を 10 段にする可能性が生じる。ここで技術上の制約が生じてくる。コンテナ自体の強度は 9 段積みを前提に設計されている。

この問題に対する単純な対策は貨物倉内のコンテナ積載段数を 9 段にし、船の深さを 25 メートル程度にすることである。しかしこの程度の船の深さでは、長くなった船の長さと同幅から生じる船体縦強度の増加要求に対して、相当厚い甲板を上甲板に採用する必要が生じるが、現在の製鋼技術や溶接技術では十分な使用実績が蓄積されていない。船全体の設計からみてもバランスの良くない構造部材の配置となる。

10 段積みを行う上での問題点に対し、一部設計者は次の対策を提案している。それは実際に積載されるコンテナの重量はコンテナ自体の規格重量制限値限度一杯までには達していない場合が多い。また船に積載される前に各コンテナの実重量は計量されているのであるから、個別コンテナの重量に基づいて適切な積載配置を行えば、仮に貨物倉内にコンテナ 10 段積みを行っても貨物倉内最下層のコンテナに作用する荷重を規格制限値以下にすることは可能であるというものである。適切な積載配置を求めることは現在のコンピュータープログラム技術を使えば十分に対応できるとし、実際にプログラムの開発が行われていると伝えられている。

この興味深い提案に対してはいくつかの反論が可能である。まずコンテナの強度基準は ISO で基準化されたものであるが、コンテナに作用する全ての荷重条件が明確に判明した上で決定されたものではない。即ちコンテナに作用する荷重には、航海中の船の船体運動によってコンテナに生じる加速度による荷重の増加が考慮されている。積載段数基準値は船が一生の内に遭遇するであろう海象条件と、それに対応して船体が波浪中で運動することからコンテナに発生する加速度を推定して、コンテナに作用する荷重を評価しようとする、一定の仮定の下に定義された値である。そして 9 段積みに基づくこの基準値は、実際にコンテナが積載されるのが、船倉内では 7 段か 8 段積みが行われている 1980 年代に策定されている。実際の積載段数が、基準値とされた積載段数を超えないという暗黙の前提の下で基準値が策定されている。ここには表面上に現れていない安全率が含まれている。コンテナの積載高さを増し、設計荷重限度一杯まで実際の荷重を増加することは、従来存在していたコンテナ強度の冗長性を失わせることにならないだろうか。

もう一つの単純な疑問は 9 段積みで設計されたコンテナを 10 段に積み、万一貨物に損傷が生じたとき、海上荷物保険会社はその損害を補償してくれるのだろうかということである。

冒頭に述べた 12000TEU を越えるコンテナ運搬船に 2 機 2 軸による燃料を大量に消費する問題が生じたようにコンテナ運搬船が 6000TEU から 9000TEU に大型化する際にも解決しなければならない問題が存在している。

現時点において技術的な観点から見た実現の可能性がある最大コンテナ積載個数は、船速 25 ノット程度を前提とする場合、8000TEU をやや下回る程度ではないかと予想される。その場合でも実現させるためにはさらなる大馬力主機関の開発が行われることと、船体構造の軽量化が図られなければならない。これまでも主機関の馬力を増大させた場合、予期していなかった問題点が発生した例は枚挙のいとまもない。また船体構造を軽量化させることで主機関の低馬力化や燃料消費量の低減が可能であるが、構造の

軽量化は常に船体損傷と表裏一体をなすことは決して忘れてはならないことである。

5. 今後のコンテナ積載個数の予測

世界単一市場である海上輸送においては市場経済の原則が教科書通りに適用される。即ち、より大型のコンテナ運搬船で一度に大量に輸送した方がコンテナ一個当たりの単位輸送コストが下がり、従って市場の競争に勝ち残れるというものである。では際限なくコンテナ船を大型化すればするほど競争上優位に立てるかといえばそうではない。大前提としてその大きな輸送能力に見合うだけの貨物が現在及び将来において存在しなければ経営は成り立たない。経済学でいうところの市場規模の制約である。現在まで東アジアの経済発展とアメリカ合衆国の10年にわたる未曾有の好景気に支えられて貨物量は順調に伸びてきた。では現在大量に発注されたポストパナマックス型コンテナ運搬船が就航してからもさらに貨物量は伸び続けていくだろうか。現在のコンテナ荷動き量は商船三井会社発行の「定期海運の現状 1999/2000」では図1の通りである。将来のコンテナ荷動き量については様々な経済予測があり、それぞれに根拠を以て語られている。仮にアメリカが景気後退に入れば貨物量は減少傾向を示すだろう。逆に現在のようなコンテナリゼーションの波は今後さらに全世界的に発展しコンテナ貨物量は増大するだろう。全ての経済的可能性が予測として語られており、どれが実現するのかは誰にも分からない。

アメリカ大陸の輸送システムの変化がコンテナの海上輸

送の形態に新しい選択肢を与えたように、船による海上輸送に接続する他の輸送システムがさらに海上輸送の形態を変化させるかもしれない。世界上の港湾設備が整備され、より大きな喫水が許されるようになるだけでコンテナ運搬船の船型は大きく変わり得る。新たな国際条約の要件がコンテナ船に適用される可能性が、例えば船橋視界やバラスト水交換のように、常に存在している。

ただここで造船の関係者が心に銘記しておかなければならないことは、船の技術進歩は使用する側のニーズに合致したもの或いはニーズを創造できるものでなければならないということである。市場のニーズが主人であり、船の建造者はその従者であることを忘れてはならない。

6. コンテナ運搬船大型化において検討されてきた問題点と今後の課題

造船技術においてコンテナ運搬船の最も大きな特徴は痩せた細長い船型に加え、上甲板に大きな開口がある事である。造船工学において船の構造を強度設計する場合、最初に行う検討が縦強度である。簡単に説明すれば大きな波浪があり、その波の頂上に船の中央が乗った場合船にはその自重と貨物重量で折れ曲がろうとする力が働く。その場合船体構造として強度上最も重要な役割をはたす構造部材は上甲板構造である。コンテナ運搬船ではその上甲板の幅の90%程が開口となっており、縦強度に寄与する構造部材が存在しない。

さらに波浪が船の斜め前方からきた場合、波浪の頂上に船の前方片舷と後方反対舷が乗った状態となる。この場合

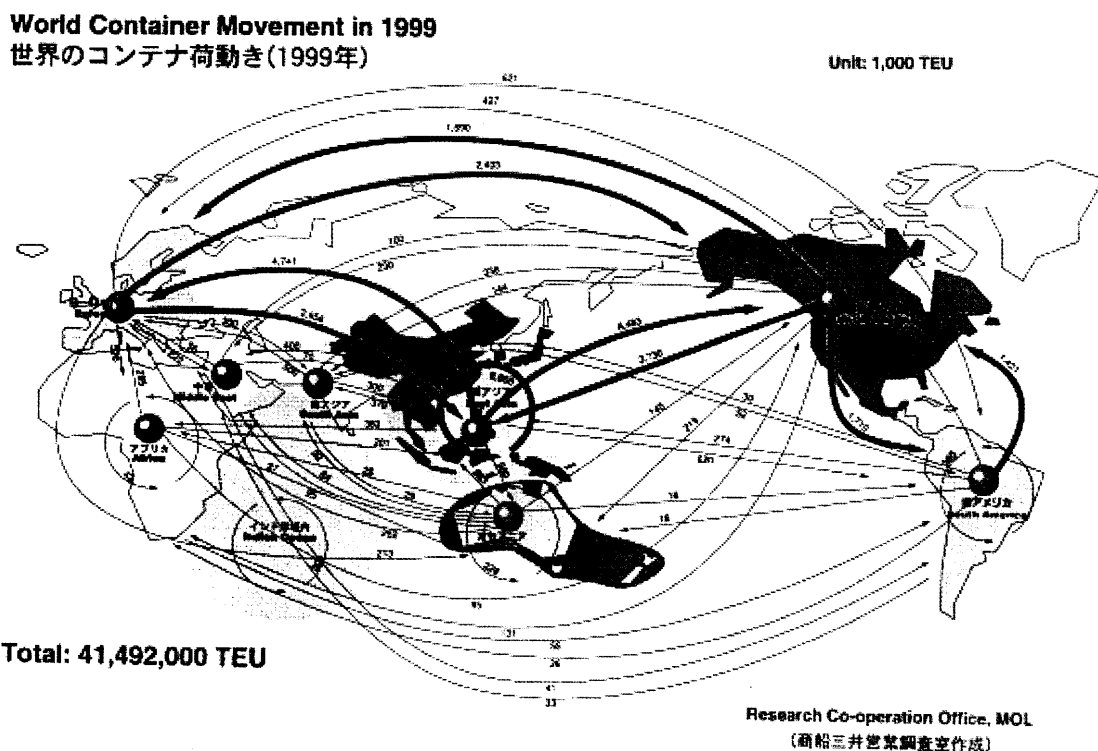


図1 世界のコンテナ荷動き(1999年)(定期海運の現状 1999/2000(商船三井会社)より)

船全体が曲げられた上にねじりも生じる。通常の構造の船であればねじりをそれ程問題とする事はないが、コンテナ運搬船のように大きな開口が上甲板にある場合は、上甲板の開口部が三次元的に菱形に曲げねじり変形し高応力が発生する。さらに開口の隅部に応力集中による過大な応力が発生する(図2参照)。開口の隅部形状はコンテナ積載のため出来るだけ直角に近い形状である方がコンテナ積載個数を大きく出来るが、逆に直角に近い形状である程大きな応力集中が発生し、対策上疲労強度の検討も含め大きな補強と細心の詳細設計が必要となる。

このようなコンテナ運搬船特有の構造上の問題点は従来から認知されており、日本海事協会では1980年代から既に船体構造への要求としてまとめられており、規則として出版されている。この規則に基づいて実際の図面承認業務の中で行われた曲げねじり強度解析の例と、それによって生じた機関室前部における上甲板開口隅部の応力解析結果を図3、図4及び図5に示す。これら以外にも船首部の波浪衝撃荷重の評価プログラムやガスケットレス型ハッチカバーから貨物倉への浸水量評価プログラムも開発されており、実際の図面承認業務の中で設計評価のためのツールとして実用化されている。

今後さらにコンテナ運搬船が大型化し7000TEUを越えるようになれば、規則で想定している対象範囲を超えた船型や構造が設計されることが予想される。このような船を開発する場合には従来の設計や建造経験に基づいた設計だけでは十分で無い。7000TEUを越える船体の構造設計では、海洋波浪によって生じる船体構造を変形させる外力や構造部材に作用する波浪による水圧を直接計算によって求め、より詳細な解析を行う必要がある。このように船全体を詳細に強度解析する事によって、波浪に対する必要にして十分な補強対策が行われる。このような解析は個別に設計された船毎に行う必要があり、膨大なマンパワーと時間が必要とされる。日本海事協会ではこのような解析方法の重要性を認識しており、既に船体構造解析システムとして確立されている。実際の図面調査で必要と判断される場合にはこのシステムが適用され、設計者への設計支援として活用されている。日本海事協会ではこのような詳細で高度な解析に基づいて設計された船には特別な船級符号を与えている。

主機関については、最近の大型コンテナ船に搭載された新型大口徑2サイクル機関は現時点では十分な実績を積んだとは言えない段階にある。随所に斬新な設計が取り入れ

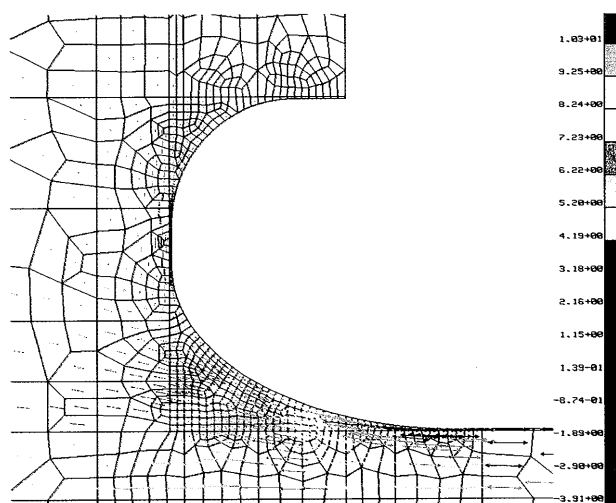


図2 上甲板開口隅部の縦曲げによる応力解析例

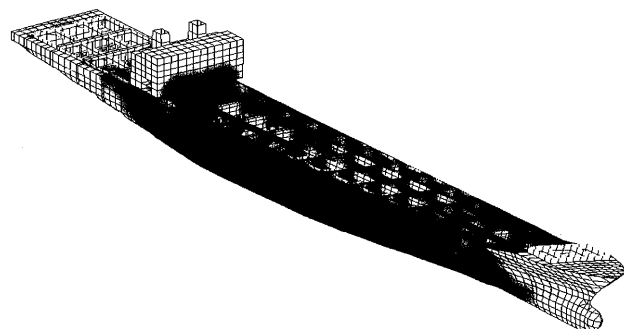


図3 ガーダー型ポストパナマックス型コンテナ運搬船の曲げねじり解析例

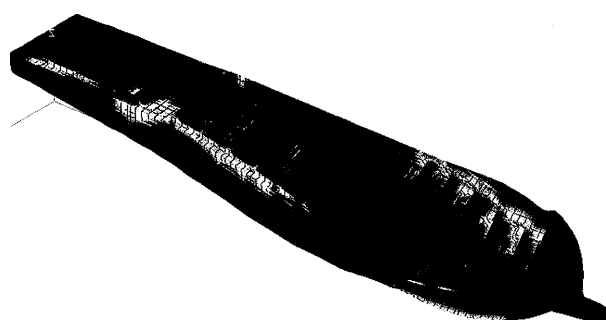


図4 ガーダーレス型ポストパナマックス型コンテナ運搬船の曲げねじり解析例

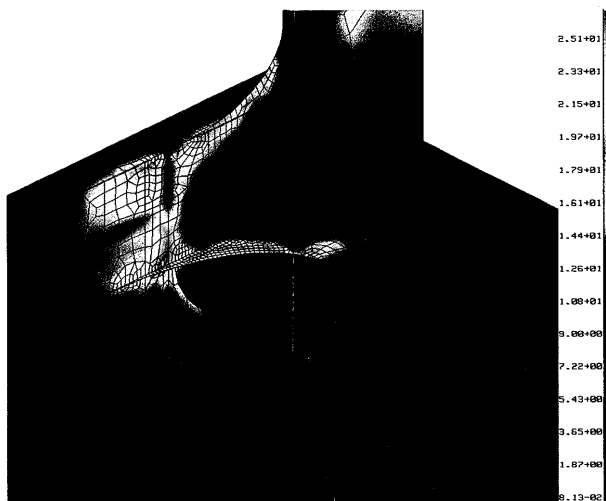


図5 機関室前部における上甲板開口隅部の応力解析例

られたクランク軸、燃焼室周りや架構、台板等が経年的な面でも適当なものである、との最終的な判断を下すにはもう暫く待たねばならないと考えられる。

コンテナ積載数が 12,000TEU 型までなら、上記新型機関を 18 シリンダ程度まで拡張することで対応可能と言われている。その場合にまず懸念されるのは、上記未確定事項は別にして、クランク軸延長による縦振動である。縦振動ダンパーの装着は必須となろう。捩じり振動、縦振動とも計算によって十分予測可能とはいえ、何らかの理由によりダンパーが所定の性能を発揮しないと、縦・捩じりの連成によって予想外の捩じり振動応力が発生することになる。

最近 VLCC の主機軸受けを含む軸系に損傷が散見されるが、原因の十分な解明は終了していない。とはいえ、伝達トルクが増大し軸が太くなりすぎ、あるいは船体・主機関自体の剛性が低下したため、船舶の載荷状態によっては軸受けでの荷重が上向きになってしまうためと言われている。そのような条件は大型主機を搭載する大型コンテナ船にもあてはまるものであり、各種条件におけるアライメントを把握する必要性が認識されなければならない。図 6 に示した例は日本海事協会が行った主機関軸系のアライメント解析の一例である。

これらの問題は主機が大型化、高出力化するにつれ顕在化していくとも考えられ、ある日突然損傷という形で姿を現す。それが本当に発生するのかわかりませんが、新型あるいは新規のシリンダ数機関の損傷発生確率がそれほど低くないことは過去の歴史が教えている。船用大型機関は自動車などの小型機関と異なり、実用段階に入っても経年的な意味では完成品と言いきれないことは認識されつつあるが、トラブルによっては影響が甚大であり、早急な高出力化には十分慎重になる必要がある。

7. 結言

現在 (2001 年 1 月) マスコミ紙上でコンテナ運搬船の大型

化の可能性について様々に議論されている。18000TEU の積載能力を持つ Malacca Max 型コンテナ運搬船というお伽話のような船までがスエズ運河の浚渫を前提に話題にされている。

造船技術的には、燃費の高騰や港湾荷役設備の不備を気にしなければ、そして船主が実際に建造契約書にサインをすれば、Malacca Max 型といえども建造は可能である。

しかしながら、コンテナ運搬船に限らず、船主が世界規模での海上荷動きに使用する船に求めているのは、運航に高度な知識がいらず、性能は仕様通りで、故障が少なく壊れても誰にでも直せる船である。世界的な市場原理の中で経済競争している船主が経済性に潜在的な問題がある船を発注するはずがない。

また 5 年前までのコンテナ運搬船の最大積載コンテナ個数は 4500TEU 以下であったことを考えれば、次世代コンテナ運搬船の積載個数は 7000TEU 辺りに拡大の限界があるのではないだろうか。これは国際的なコンテナ運送は海上及び陸上の連携で行われているのであり、海上側だけが運送規模を大きくしても、接続する港湾設備や陸上輸送システムが対応していないためである。

また技術的に過去の造船の歴史を見てみれば、船の規模を急激に大型化した際には予想できなかった損傷が船体構造や機関設備に発生している。不確定要素が大きい海洋波浪中を船が航行することを考えれば、船長が大きく方形係数が小さい独特な船型を持つコンテナ運搬船の大型化は十分慎重に行われるべきであろう。

過去にも 1970 年代のオイルショック前には 100 万 DW 型油タンカーの建造が議論されたが、実際に市場に生き残ったのは 30 万 DW 型油タンカーであり、少数建造された 50 万 DW 型油タンカーは短命の内に市場から消えていった。

コンテナ運搬船にこの教訓が当てはまる保証は無いが、関係者が忘れてはならない教訓だろう。

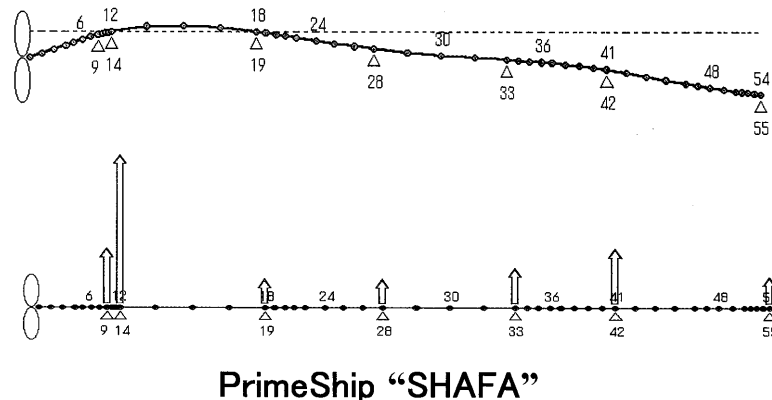


図 6 大型コンテナ船のアライメント計算の一例