

造船設計への生産性という思想の導入について (Producibility in Ship Design)

By Gilbert L. Kraine and Sigurdur Ingvason

Nov 1990 Journal Of Ship Production

建造コストの低減の手段の一つとして、生産技術や生産プロセス、生産管理の他に、生産性を考慮した設計が注目されてつつある。この生産性を考慮した設計では、製品と作業を同時並行に検討して行かなければならない。生産性を考慮した設計にはいくつかの原則や技術があるが、この論文では労働者の単位労働時間を考慮した設計要素の選択などの手法を実際の設計作業から見て行きたい。

1. はじめに

ここ数年、アメリカの造船業界ではコスト削減に関して、ブロック工作法、先行艀装、新しい生産プロセス、新しい管理システム、そしてコンピューターの採用など、色々な努力がなされてきた。しかしながら、「より簡単に建造することにより、より安く船を造り、コストを削減する」という固定観念から逃れられていない。そしてコスト削減の為には、船の性能、大きさや排水量、速度、ペイロードなどの性能を落とさなければならないのだとされている。生産性の向上によるコスト削減は、これらの性能を落とすことなく建造コストを下げることを目的としている。

生産性の向上ということ自体は新しいものではなく、すでに多くの産業で日常的に採用されている。しかし造船業界では作業の複雑さからか、この生産性の向上という視点は導入されずにいた。我々が「生産性」について語る時でさえ、その用語を実行の可否の視点で使う傾向がある。これによって「設計された通りに建造すべきかどうか？」でなく「その設計で建造可能か？」という問いに変化してしまう。

設計者と生産設計者とが共同で作業をすべきだと良く言われるようになった。これはある意味、「製品と生産手法との同時設計」とでもいうものだろう。「建造の設計」とも言われているが、どのみち目的は一緒である。それは、単に生産性を考慮して設計するのではなく、コストを最低限に抑えるために生産性を向上させる、ということなのである。

生産性の向上は、もともと WW2 のアメリカでの建造計画に現われてきた。ただしこの時は「コスト」でなく「時間」だった。ヘンリーカイザーによる、リバティー船等の標準船による大量建造技術の採用から始まり、そしてそれに続く戦後の世界的な大量建造を通じて発達した技術は、最近になってブロック建造法や先行艀装法としてアメリカに再輸入されることとなった。しかしそこにはそれまでの常識に反するものがあつた。生産での気づき事項を設計に反映させ、建造コストを最小にする設計を採用するというものである。

アメリカに、日本の質の高い生産手法と技術を紹介した IHI の佐々木ひろしは、設計で要求されるリーダーシップの役割と、設計者と生産設計者との共同作業の重要性を強調する。「設計者が、自分の仕事を図面を描くことだと考えている限り、設計者がコスト削減に寄与することはできない。そうではなくて、設計者は現場での労働あたりの作業時間を最小にすることを目的とすべきだ。」

この論文では、造船における生産性の考慮した設計プロセスについて述べて行く。生産性のある設計によってコスト削減を達成することは困難ではあり、一度では終わらず、繰り返しの調整が必要だ。また一度で大きな成果を得られるような派手な技術でもなく、反対に多くの手間暇をかけ、様々な部分での改善を積み重ねなければならない。しかし、その積み重ねによって得られる結果は大きなものになるだろう。またコンピュータの補助を得ることはできても、コンピュータに仕事を丸投げすることはできない。生産で必要とされる詳細な知識を、設計サイクルを通じて連続して設計に適用してゆくことが要求される。

設計への生産性という思考の導入が成功すれば、見返りは多い。造船設計とコスト評価手法とにどのように生産性という思想を導入するかが、この論文の目的である。

(本文は要約のみ)

2. 造船における生産性向上の原則

造船設計への生産性向上の原則は、材料コストと製造コストの削減である。

材料コストは、設計の良さ、製品仕様、購買の能力によるが、全体としてコストを削減可能な範囲は狭い。設計者は、伝統的に自分が関わっているのは材料コストだと思いがちであり、作業コストに対しては興味を持たないものである。しかし設計への生産性の導入では製造コストを如何に削減するかが焦点となる。

まず必要となるのは、設計の変更によって、操作性や保守性を損なわずに製造コストもしくは材料コストを低減可能な要素の認識である。基本的な方向性としては、作業を単純化し、労働者の作業量を減らし、作業手順を減らし、部材数を減らし、部品種類を減らし、繰り返し作業を増やす、というものである。

以下に挙げる実例の幾つかは、造船所に関係なく実行可能なものであるが、ブロック建造方法や先行艀装などの設備に関係する手法もある。

生産性向上の原則は、極めて普通で、極当たり前の事である。しかし効果をより上げるためには、建造プロセスや建造環境について完全に理解し、また設計のかなり早い段階から生産性を考慮してゆく必要がある。逆に、計画段階での不用意な選択によって、コストを大幅に上昇させてしまう可能性もあるのである。

これから挙げる生産性向上の原則は、どのような船でもコストを下げる効果がある。し

かしこの原則の実行には、設計者と生産設計者、そして生産管理者の経験と知識を活かしたチームプレイが必要とされる。

(1) 機能・可能性の制限

余分な機能やスペック、可能性を設計要素から全て削除しなければならない。そして繰り返し、この作業を行わなければならない。余計なスペックは、それだけ余分なリソースを食ってしまうものである。

(2) 2方向以上の曲面の使用禁止

1軸の曲面で流体的な要求を満たすことが可能である。2軸以上の複雑な曲面は、その加工に焼き曲げなどの高度で手間のかかる作業が必要となる。(Fig1、Fig2)

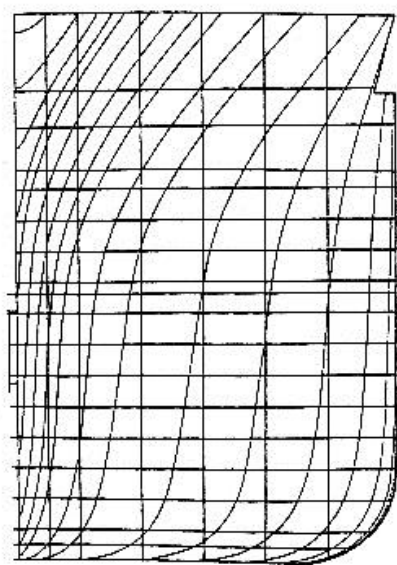


Fig. 1 Hull lines—curved sections

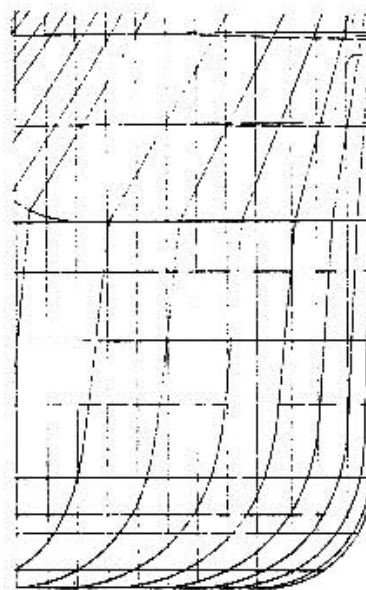


Fig. 2 Hull lines—straight sections

(3) 船殻の曲線

船殻の断面曲線を、内部構造に使用しない（船型曲線のオフセットの禁止）。直線と簡単な曲線とで代用可能なはずである（Fig3）。複雑な曲線は加工や組み立てにより多くのコストを必要とする。（Fig4）

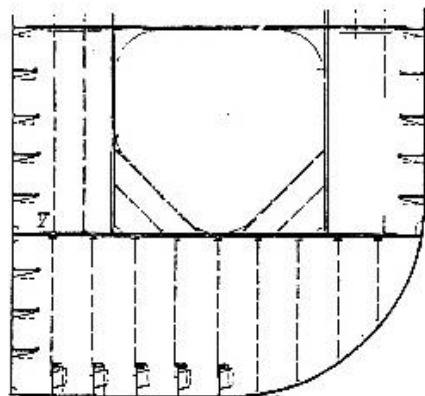


Fig. 3 Hull structure—straight interior

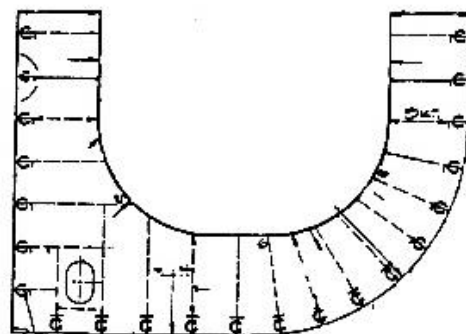


Fig. 4 Hull structure—curved interior

(4) フレームスペース

フレームスペースは同一で、しかもなるべく広い方が良い。幅が広いことで作業性が良くなり、また同一間隔であることで作業の習熟曲線が良くなる。

(5) 部材数の低減

部材数が多いと、その分だけ加工や運搬、組み立てでのコストが増加する。

(Fig5 : 今までの設計、Fig6 : PED による新しい設計)

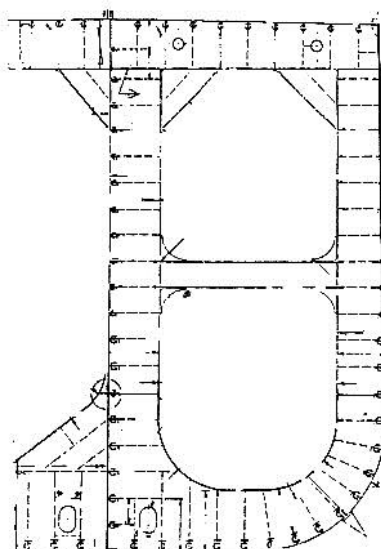


Fig. 5 T-AO 187 cargo tank structure

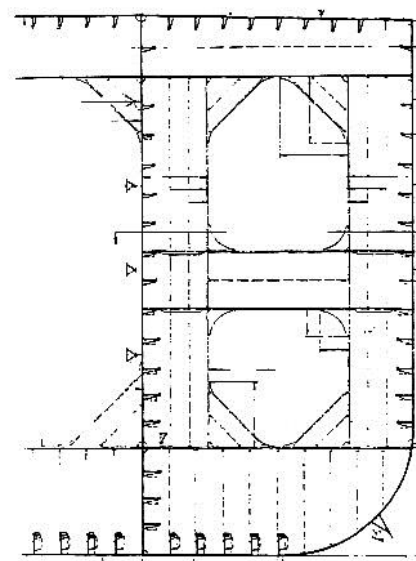


Fig. 6 Productivity-enhanced cargo tank structure

(6) ブロック組立を考慮した設計

組み立て易さ、艙装品の取り付け易さを考慮した設計を行うべきである。将来的にはブロック単位で設計を行うようにすべきだ。(Fig7)

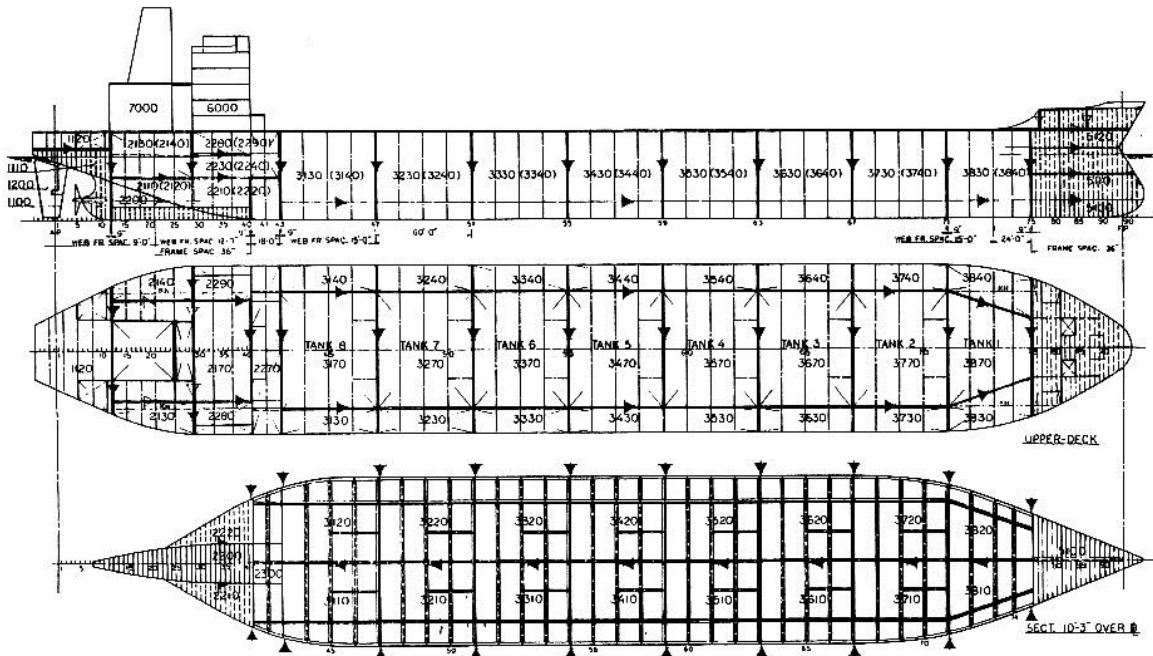


Fig. 7 Unit breakdown plan

(7) ブロック分割

ブロック分割作業を、設計の早い段階で行うべきである。同じ形状を繰り返し採用することにより、生産作業だけでなく設計作業もコストダウン可能だ。

組み立て易さを考慮した分割や、形状の決定も必要だ。また早期にブロック分割を行うことによって、機器の配置や挿入方法も考慮しやすくなる。また機器配置を考慮してブロック分割を行う事も必要である。この辺はバランスが重要だ。

(Fig8)

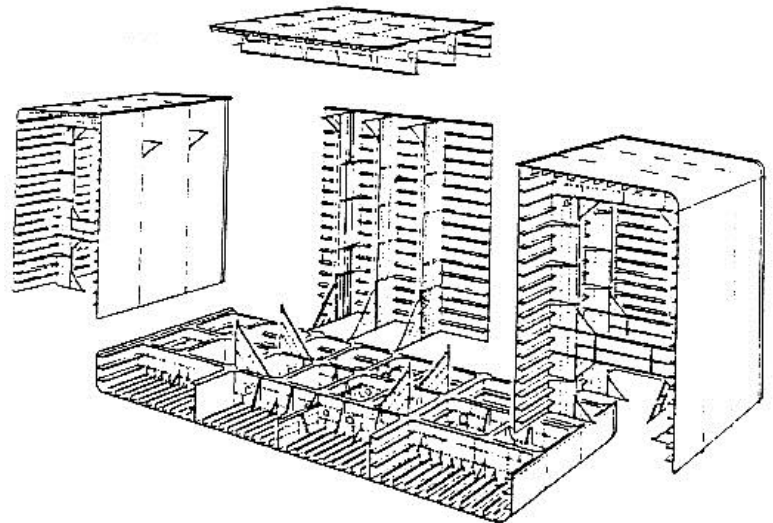


Fig. 8 Cargo tank erection sequence

(8) ブロックサイズの制限

造船所の設備ギリギリまでブロックを大きくすることは間違いである。ブロックを大きくすればするほど、アクセスや過密、作業場所の干渉などによって、反って生産性が落ちてしまうものである。

(9) 船体の折角部の位置

船体の折角部は隔壁や甲板から 300mm くらいの部分が良い。またブロック継手は折角部で取るのが良い。流体的に WL での折角部は意味がない。生産性を考慮すると、折角部の配置は早期に検討すべきである。

(10) 標準部材

標準部材は可能な限り多用すべきである。使用する部材の種類が少なければ少ないほど、コストを低くできる。

(11) 機器配置

パイプ長や電線長が最短に、また操作性や保守性が高くなるように機器配置を行わなければならない。両舷対称であったり、また幾つかのパイプをユニットで作成するなど良い。

(12) 機器のユニット艙装

機器類をパッケージ化（モジュール化）すれば、搭載も容易になるし、また機器の動作確認試験を陸上で実施することが可能である。

(13) 溶接

自動溶接や溶接の向きを考慮して設計すべきである。その為、なるべく部材は直線にすべきだ。溶接線を短くすればするほど作業コストが低くなるだけでなく、溶接の品質も向上する。

(Fig9)

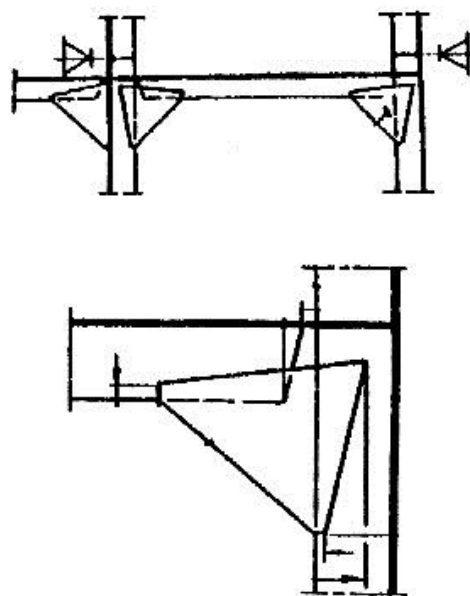


Fig. 9 Welding details

(14) 重量対コスト

重量増にならないために寸法や板厚を制限すると、作業コスト増につながる。そこで重量減によって得られるコストと増加する作業コストとを良く計算、評価して、より良い選択を行わなければならない。総重量が不明な時、作業コスト減よりも材料コスト増の方が重視されることが多いが、しかし多少の重量増で済むのなら作業コストを下げるべきである。

3. 生産性を考慮した設計

生産性を考慮した設計では、設計者と生産設計者が一緒に作業しなければならない。生産性を考慮しない設計が実施される度に、生産性がそれだけ低下してゆく。アメリカでは設計と建造とが別で行われる事が多いので、設計者と生産設計者が一緒に働くことは難しい。商船の建造では船主は造船所と交渉や相談を重ねながら契約をまとめていくことが可能だが、海軍は契約前に基本設計を行わなければならない。そこで契約対象となる造船所から生産技術者を集めて、共同で基本設計を行うようにするなどの方法が考えられるだろう。

4. コストの評価

コストの評価手法としては、マクロ的手法とミクロ的手法の2種類がある。マクロ的手法は、船全体やブロック単位で建造作業の情報を蓄積・分析を行い、評価パラメータを設定し、それによってコスト計算を行うというものである。一方ミクロ的手法は、作業を単位作業まで分解・分析を行い、単位作業の評価の積み重ねでコストを計算するというものである。

マクロ的な評価手法は、比較的簡単で設計の早い段階でも概略計算が可能である。しかし

- (1) 過去のデータ蓄積が必要な上、評価者の好みや能力から正確な評価データを採りにくい
- (2) 過去の製造データに基づいているので、過去の方式に囚われやすい
- (3) 重量ベースなので効率によるコストが現れにくく、また重量増によるコスト削減が無視されてしまう
- (4) 各設計要素でのコスト比較ができない

といった欠点がある。

全体としてはマクロ的评价手法では設計での生産性向上には余り寄与しない。

ミクロ的评价手法は適用こそ難しいが、設計や生産設計の各ステージでの比較検討に大いに役に立つ。値も正確で柔軟な運用が可能である。

5. 比較によるコスト評価手法

生産性を考慮した決定を行うには、船全体を対象とする必要はない。そこで要素毎での比較によるコスト評価が有効である。これによって潜在的なコストを弾くことができるが、可能性が設計要素の代替案の数に制限されてしまう。

また比較によるコスト評価手法は建造計画の存在が前提である。基本設計が終わっていない船で建造計画を仮定し、作業を細分化するというのは困難な作業である。

6. 実例 TAGOS の潜水部の船殻構造

実例として、SWATH“A”プロジェクトでの適用を挙げる。下部の船殻構造に対して、PED (Producibility-Enhanced Design) と呼ばれる生産性の評価手法によって設計された。これへの比較対照として TAGS-19 の構造を用いる。この TAGS-19 はキールの配置、隔壁の位置と形状、ロンジフレームの取り付け、外殻によって全体を包み込む構造をとっている。ただしブロック組立は用いられず、一部に先行艀装が適用されただけである。これは複雑な船殻構造物の伝統的な建造手法であり、NAVSEA での基本コンセプトが SWATH“A”と同じである。

PED はブロック建造と先行艀装を前提としている。それによる組み立て手順は Fig10 の通りである。

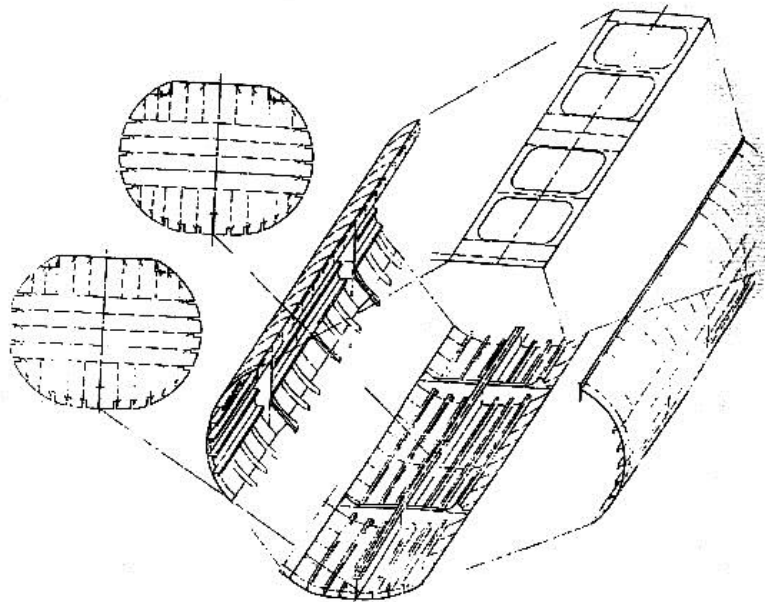


Fig. 10 SWATH "A" PED lower hull construction sequence

PED とそれまでの NAVSEA での基本設計との間のコスト評価を、18ft セクションの隔壁を例に見て行く。

(表 1)

Table 1 Comparative cost analysis—NAVSEA SWATH “A” baseline versus PED lower hull 18 ft-0 in. foot section

	NAVSEA Baseline	Producibility- Enhanced Design	
WELDING			
Weld length—total, ft	2186	1386	
Overhead length, ft	855	55	
OH factor of difficulty	2	2	
Automatic welding length, ft	215	550	
Auto. factor of difficulty	0.2	0.2	
Equiv. length OH welding, ft	1710	110	
Equiv. length auto. welding, ft	43	110	
Remaining weld length, ft	1116	781	
Equiv. weld length—total, ft	2869	1001	
Cost factor(CF)—welding		34.9%	
FIT-UP			
Pieces—total number	334	139	
Different pieces	20	14	
Fit-up difficulty factor	1.5	1	
Fit-up—equivalent effort	501	139	
Cost factor (CF)—fit up		27.7%	
	% of Effort	Cost Factor	Weighted Cost
Welding % of effort × CF	40%	× 34.9%	= 14.0%
Fit-up % of effort × CF	60%	× 27.7%	= 16.6%
Comparative cost— lower hull			30.6%

(1) 溶接

18ft 隔壁で必要とされる溶接線の長さを計算してみる。溶接の種類として、下向き溶接、上向き溶接、自動溶接の 3 種類であるとする。この時、それぞれのコストパラメータとして 1、2、0.2 を割り振り、それとそれぞれの溶接線長を掛け合わせて評価値を出す。その結果、NAVSEA の基本設計では 2869、PED を用いた設計では 1001 となり、溶接でのコストファクターは約 35%となる。

(2) 組立

18ft 隔壁で組立易さに関する評価を行う。取り扱う部材数と、部材の取り付け易さと部材の種類から計算した難易度ファクターとを求める。この難易度ファクターは PED を 1 としたとき、NAVSEA の基本設計では 1.5 となる。これによって求められた評価値はそれぞれ 501 と 139 であり、組立でのコストファクターは約 28%となる。

(3) 総合評価

全体の 4 割が溶接作業、6 割が組立作業とみた場合、それぞれのコストファクターを掛けて合計すると、PED を用いて設計した隔壁は、それまでの NAVSEA の基本設計のその約 30%のコストで製作可能ということとなる。

更に具体的に生産性を見て行く。

代表的な構造の、NAVSEA のものを Fig11 に、PED のものを Fig12 に挙げる。

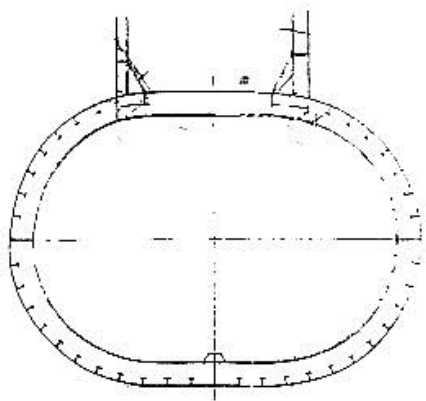


Fig. 11 T-AGOS (SWATH "A") lower hull structure

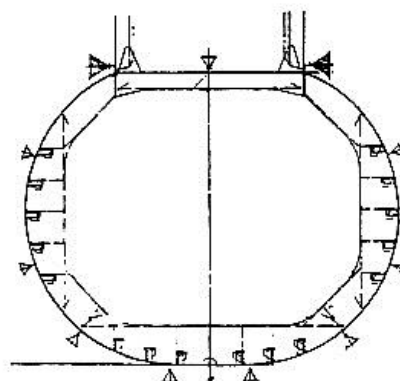


Fig. 12 Lower hull structure producibility-enhanced design (PED)

NAVSEA (T-AGOS)	PED
36本のT型ロンジ材が外殻に垂直に取り付けられており、調整や溶接が難しかった	16本のL字ロンジ材を、水平と垂直方向のみに取り付け
36本のロンジの条材-板ファクターは51%もあり、重量当たりの強度の最適化が為されてなかった	
脚からの荷重を受けるために大きなガーダーを2か所設けていた	ガーダーを廃止
隔壁は垂直Web、水平ストリンガー、そして13本の垂直スティフナーによって構成	隔壁は5本の水平スティフナーと垂直Webで構成 (Fig13)
Webの内側も外殻と同じ曲線を取っているが、これは不必要である	Webの内側を垂直と水平直線と簡単な曲線のみにした
構造全体で28か所のWebフレームがある	フレームスペースを6inから9inに拡大し、Webフレームの数を15か所まで削減
	全体を5つの小組とし、それぞれで艤装の後に組立。

次ページ参考資料

Fig15 : NAVSEA (T-AGOS)、Fig14 : PED

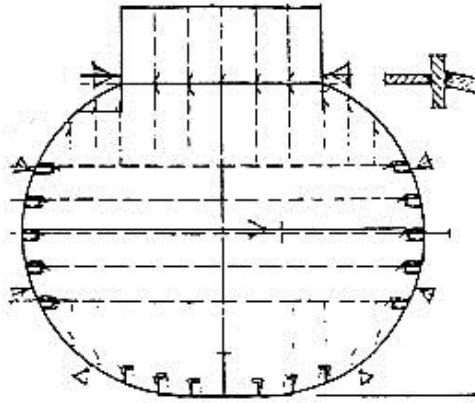


Fig. 13 Lower hull bulkhead—PED

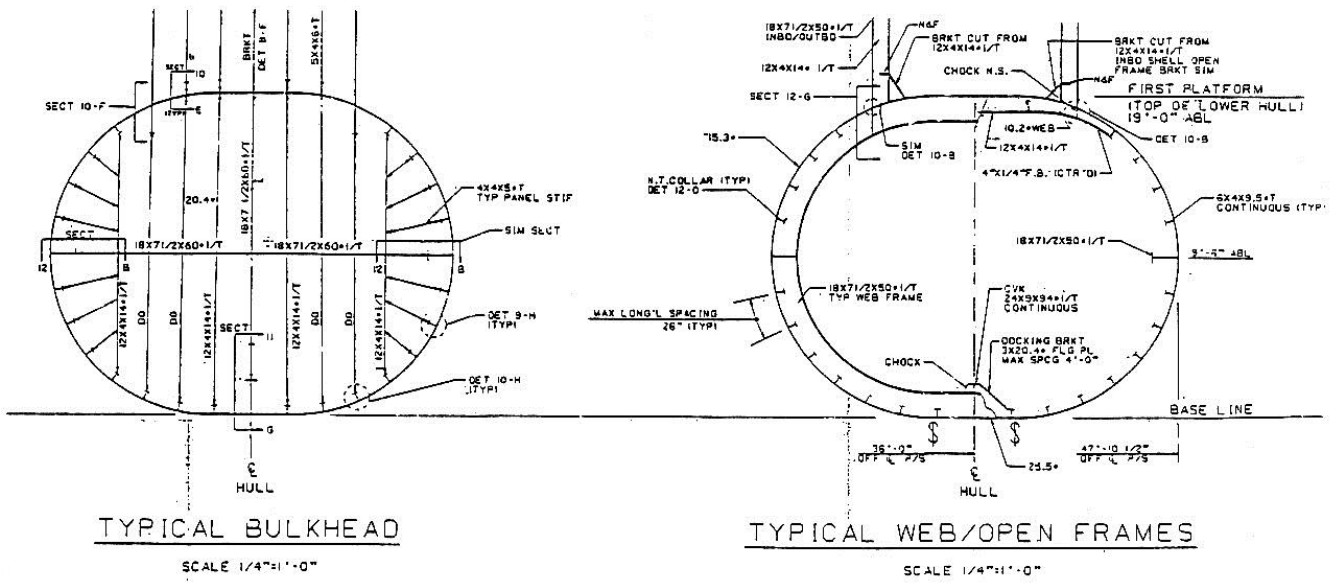


Fig. 15 Final lower hull framing

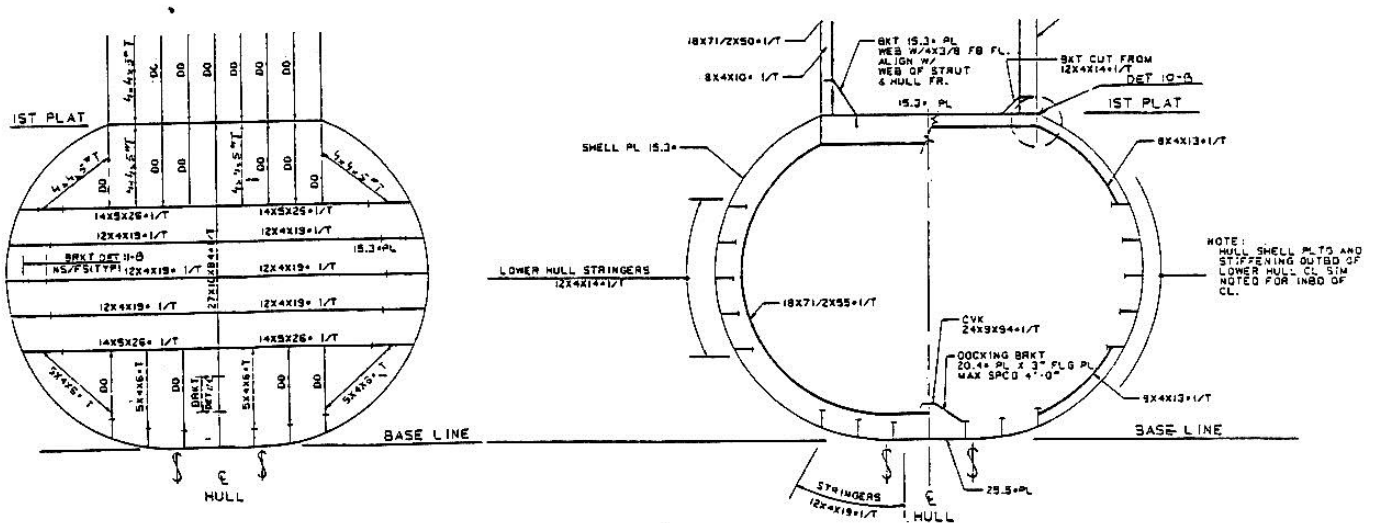


Fig. 14 Revised PED lower hull framing

この構造での生産性の恩恵は以下の通りである。

- (1) 36本のT型ロンジと2本のガーダーが必要だったのが、16本のアンクル材で間に合うようになった
- (2) 外板付きロンジの取り付けと溶接が簡単になった
- (3) 13本のWebフレームを削減できた
- (4) 隔壁の13本の垂直スティフナーが、5本の水平スティフナーになった

7. 結論

生産性に対する考慮は早ければ早いほど良い。1つ1つの効果は薄いですが、それらが積もり積もって大きな成果となる。

また、やりっぱなしではなく、建造を行う度に評価手法そのもののフォローアップも行う必要がある。何度も繰り返して調整しなければ、形骸化してしまうからである。

以上