The Society of Naval Architects of Japan

(昭和 36 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

ライトコルゲートパネルを使用した上部甲板室について

正員　国安常雄*　正員　鬼塚則義*
正員　宮成恭慶*

Super-Structure of "Light corrugated steel panel"

By Tsuneo Kuniyasu, *Member* Noriyoshi Onizuka, *Member*
and Takayoshi Miyanari *Member*

Summary

The "Light corrugated steel panel", in this Report, is the thin steel sheet of 900-1200 m/m wide with longitudinal ridges, used chiefly for the partition of living quarter of merchant vessels and for the outside wall as the superstructure and the partition of living quarter of combatant vessels.

It has been made clear, through many researches in various respect on this subject, done in the past, that "Light corrugated steel panel" is excellent in structure strength and very effective in reducing the weight of material used.

With a view of ascertaining whether "Light corrugated steel panel" can be practicably used for the partition of steel vessels, i.e. through investigation of the butt-joint of "Light corrugated steel panel" and experiment with the model deck-structure made thereof, we have made further research with the result that its structural strength with fine finish has been proved quite satisfactory, while the man-hours worked as well as the weight of material used have been considerably reduced.

We have, thus, decided to put this method to the actual processing and adopted for building the entire partition wall and upper-deck structures of 450 ton A Type Submarine chaser with the permission of Defence Administration.

This report deals with the result of our research and experiment in this connection, the actual state of operation of the vessel built with this process and the stress to the super-structure made of "Light corrugated steel panel".

1 緒　　言

ライトコルゲートパネルとは，幅 900 mm～1,200 mm の薄鋼板にコルゲートの波が長さ方向にはいつているものを仮にこのように名付けているものであり，主として商船の居住区の仕切壁および艦艇の上部構造の周壁ならびに居住区の仕切壁に使用されるものである。これに関する種々の研究は現在までにいろいろと行なわれており[1]，これらの研究でライトコルゲートパネルが強度的にもすぐれており，重量軽減にも非常に有効であることが判明している。筆者らはさらに本格的に船舶鋼製仕切壁として実用できるかどうかを検討するために実地応用研究を行なつた。行なつた実験内容はコルゲートパネルの継手実験およびそれを利用して模型甲板室を製作しての種々の調査である。その結果強度的にはもちろん満足すべきものであり，また仕上りも良く，製作工数の減少，重量軽減等満足すべき結果を得られたので，いよいよ実用に踏切り，防衛庁の御理解のもとに 450t 型甲型駆潜艇の仕切壁および上部甲板室に全面的に採用した。本報告はこの間の研究結果，実船における使用状況およびライトコルゲートパネルを使用した場合の上部構造への応力流入の状況を調査した実験研究等について述べたものであります。

原稿受付　昭和 36 年 6 月 20 日

* KK，呉造船所

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

2 ライトコルゲートパネルの継手実験

ライトコルゲートパネルを甲板室の仕切壁に使用するにはコルゲートの波を水平または垂直に使用するにしても，ある大きさの単位パネルを溶接してつながなければならない。この継手の形式および位置により溶接による歪みの発生量は相当に差がある。ライトコルゲートウオールは歪みの出ようによつては歪み直しができない恐れもあるので，この継手形式の選択は慎重に行なわねばならない。継手形式については5種類について実地に製作して比較実験を行ない，最良の継手形式を見出したものである。この実験の詳細については先に発表[2]しているので省略するが結果のみ示すと第1表のごとくなる。つまり総合的に見れば，波のすぐそばの平板部に継手のあるもの (A′) が最もすぐれている。つまり

第1表 船舶用ライトコルゲートパネル継手形式とその長所および短所

1-a t = 3.2 mm

パネル形式		A	A′	B	C	B′
① 熔接長(計算値)		基準 1 (両面連続)	1	1	0.7(2/2 30-120)	1
② アークタイム		16.3 分	14.3	22.9	24.3	13.6
③ 工数	取付(シーム接合に要する)	47.5 分	66.5	79.5	46	9.5
	熔接	36. 分	27.	23.	50	17.5
④ 熔接歪	縦歪	2.2 mm	0.4	2.2	3.9	0
	横歪	8.2 mm	0.5	0	0	0
ロールの難易		易	普	普	0 普	—
仕上げ外観		不可	優	優	可	秀
判定		4	1	2	3	特
備考		第2番目に製作				平板で熔接後歪み取りローラーにて歪み取りしてからプレス.

1-b t = 2.3 mm

パネル形式		A	A′	B	C	B
① 熔接長(計算値)		基準 1 (両面連続)	1	1	0.7(2/2 30-120)	1
② アークタイム		15.1 分	12.6	15.2	15.3	13.1
③ 工数	取付(シーム接合に要する)	57.5 分	32.5	77.5	28.5	9.5
	熔接	39. 分	21.5	28	26	16.
④ 熔接歪	縦歪	3 mm	1.5	2.3	4.9	0
	横歪	8.5 mm	微少	0	0	0
ロールの難易		易	普	普	普	—
仕上げ外観		不可	優	優	可	秀
判定		4	1	2	3	特
備考		第1番目製作				平板で熔接後歪み取りローラーにて歪み取りしてからプレス.

1) 溶接による歪み発生量が最も少い。 2) 溶接組立工数が少くてすむ。 3) 溶接棒の使用量も少くてすむ。
4) 継手が波をはずれて平板部にあるので連続生産の場合のロールには比較的適した形である。
等の利点を有し，十分実用化し得るものであるとの確信を得た。

3 甲板室模型実験

3·1 実験の概要

単位パネルを歪みを出さずに溶接して大きな壁面を作ることには前述の実験により成功したが，これを実船に用いるにはいろいろと問題が生じることが予想されたので，前章の継手実験において製作した 10 枚のパネルを利用して写真1に示すごとき甲板室模形を製作して，実用上の種々の問題について検討を行なつた。これについてもすでに発表[2]しているので詳細は省略し結果のみ略記する。

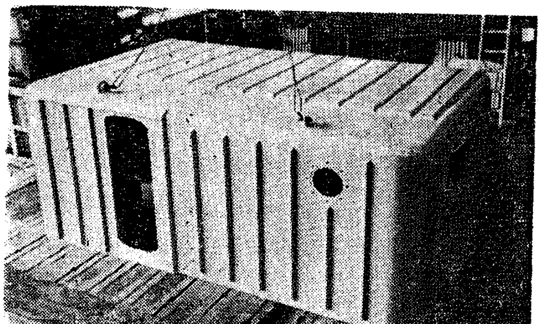


写真1 甲板室模形全景

3·2 実験結果

32·1 取付法の差異による比較——ライトコルゲートパネルの上下端取付けの差異より生じた取付工数の難易。外観の優劣についての比較結果を Table 2 に示す。

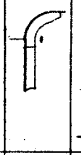
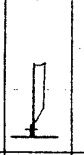
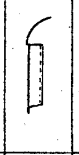
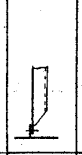
Table この中からとくに問題点について考えてみると，

i) 歪み発生量については平板のものに比して 1/2～1/3 でずつと良く，全然歪み取りを必要としない。

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

第2表　上下端取付け各形式の比較

位置および名称	周壁								室壁					
	A_2		A_1		C_2		C_1(=D.F)		B_2		B_1		E	
	上端	下端	上端	下端	上端	下端	上端	下端	上端	下端	上端	下端	上端	下端
形状種類	普通型	〃	ⓓ型	〃+ⓑ型	ⓐ型	〃	ⓒ型	〃	ⓒ型	〃	ⓑ型	ⓑ+ⓓ型		
形状図示														
取付方法	W	RIV	W	RIV	W	RIV	RIV	RIV	RIV	RIV	RIV	RIV	W	RIV
エンドピースの有無	×	×	×	○	×	×	○	○	○	○	△(後植)	○	×	×
板厚	4.5		3.2		3.2		3.2		2.3		2.3		2.3	
STIFF SPACE 寸法	500 (380) (60×6FB)		380		380		380		380		380		380	
取付FB	70×6FB		50×45FB		50×45CGFB		50×4.5FB.		上 100×3.2FB 下 50×4.5FB		上 100×3.2FB 下 50×4.5FB		50×45CGFB	
重量 KG/M	76		54.5		54.7		54.5		42.5		42.5		42.6	
強度 $I/8$ mm³	868		595		595		595		432		432		432	
強度 $Z/8$ mm²	15		16.9		16.9		16.9		12.5		12.5		12.5	
工数 分/m	380		165		150		280		250		220		140	
波の向き			内		外		外		外(通路)		内(通路)			
外観			良	良	優	秀	可	良	可	良	可	良	優	優
総合判定	④		②		①		③		③		②		①	

ii)　波が外に凸がよいか凹がよいかの問題については，外観上のみからは主観に左右されてどちらがよいともいわれぬが，外に凹の方が良いという人が少し多いようである。しかし，これは内面に防熱材を貼る場合（これについては後述する）を考慮にいれると，工数面からは外に凸にした方がずつと良いことになる。

iii)　上下端の固着要領について

（a）　上端はエンドピースを使用せずに天井に直接溶接するのが最も簡単で外観もすつきりする。

（b）　下端はコルゲート F·B を使用する方が工数もかからず外観も良いが，エンドピースを使用して普通の F·B で取付ける方法も馴れれば比較的簡単にできるようである。

3·2·2　開口部について——扉，アーチ型開口，丸窓，角窓等種々の開口の開け方について調査したがいずれも若干の工夫を行なえば平板ウオールの場合と同様に取付け得ることがわかつた。

3·2·3　補機台，艤装品の取付けおよび振動について——相当に重量のあるものを取付けてみたが補強にも特別の工夫は要せず，また溶接取付による歪み発生も平板ウオールの場合よりもずつと少いものであつた。また重量物取付け後の壁の振動も板厚 2·3mm 甲板間高さ 2,000mm のもので，最小振動数 2,000c·p·m 最大振動数 3,600c·p·m 程であり，特別の場合以外は局部振動を起す心配はまずないものと思われる。

3·2·4　防熱材の取付について——コルゲートプレートにいろいろの方法で取付けて比較実験をしてみた。その中最も簡単な Fig.1 のものでも，実用上差しつかえないようであり，取付工数は約 1/3，防熱材歩止りはほとんど 100% に近いものであつた。ゆえに防熱材を貼る面にはコルゲートの山を出さぬようにするのが有利である。

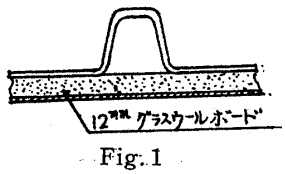


Fig.1

3·2·5　天井部への応用について——本模形甲板室では写真1のごとく天井にコルゲートを採用し，一部に平板にスチフナーをもつ一般のものを用いた。この結果より見れば天井にでもコルゲートが採用できる見込みは多分にあることが判明した。

3·3　結　　論

以上の実験結果から総合的に考えてみると長所としては，　1) 軽量にして強度の強いものが得られる。　2) 製作工数が少くてすむ。　3) 歪みの発生が少く，歪み取り工数はほとんど0となる。

欠点としては，　1) 艤装上少し小細工を要する所がでてくる。　2) 外観上少し問題があるようであるが，これは主観的なものでかえつて良いという人もあり，あながち欠点とはいえないものと思われる。以上のごとくライトコルゲートパネルは使用方法さえ考慮すれば平板構造のものに比較して非常に有利な点が多いことが確認された。

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

4 実船への応用

4·1 計画の概要

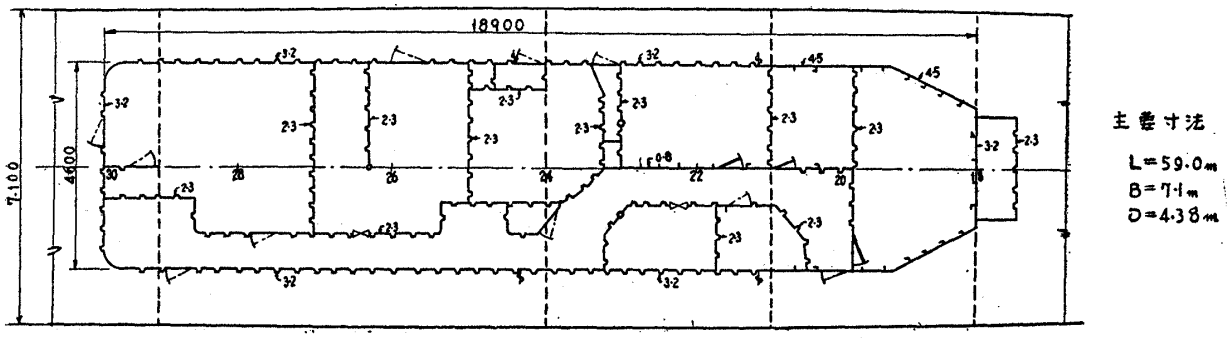


Fig. 2-a 上部構造鋼壁配置

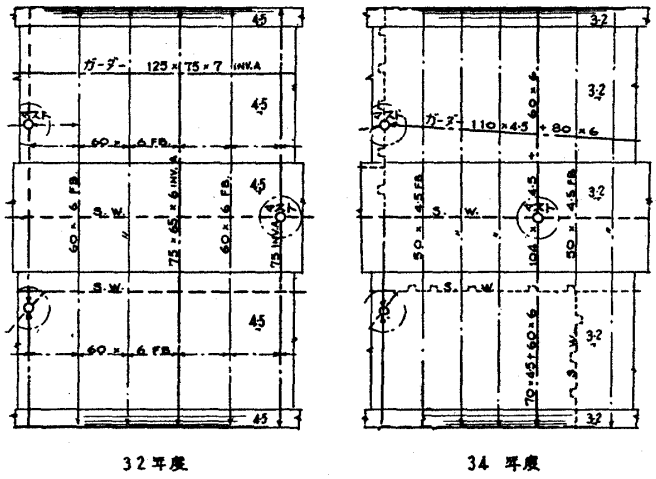


Fig. 2-b 上部構造頂板

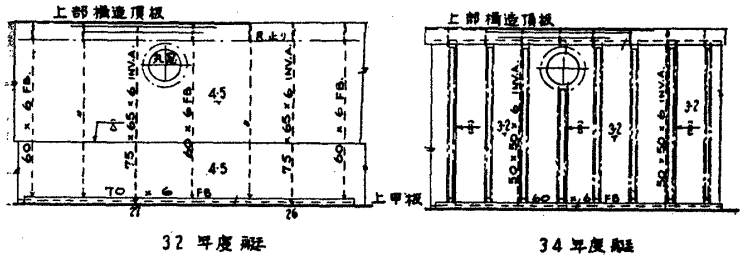


Fig. 2-c 上部構造側壁

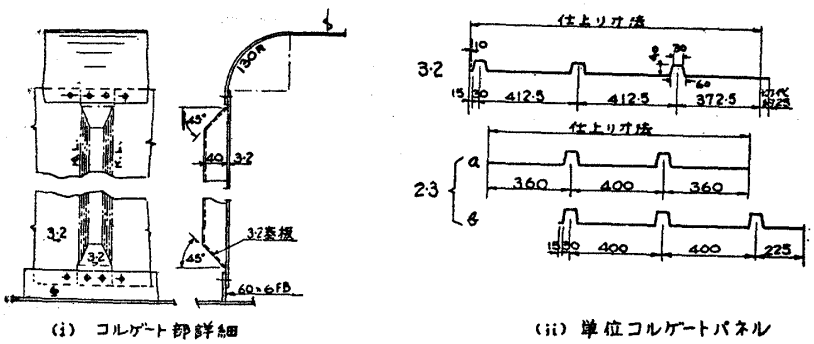


Fig. 2-d コルゲートパネル

前項までに述べたごとき実験を重ね，32年度 450t 型甲型駆潜艇“おおたか”($L\times B\times D=59.0\,m\times 7.1\,m\times 4.38\,m$) の内部仕切壁に試験的に使用してみたところ好成績であつた。ちようどそこへ，34年度艦として同型の駆潜艇を建造することになつたが，この艇では前の艇より重心をずつと下げる必要が生じ，いろいろと対策が考えられたが，その一つとして甲板下仕切壁および上部甲板室に全面的にライトコルゲートウォールを使用して上部構造の軽量化をはかることになつた。

4·2 配置および構造の概略

i) 上甲板下仕切壁にも相当範囲にコルゲートウォールを使用しているが本報告では上甲板上の上部甲板室についてのみ述べる。上部甲板室の平面配置は Fig. 2-a に示すごときもので第1艇（4·5mm の平板構造のもの）および第2艇（コルゲートウォール使用）ともにほとんど同じ配置である。

ii) 両艦の構造の大略は Fig. 2-b, c に示してあるごとく，第1艇は 4·5mm の平板構造であるのに対し第2艇では天井は 3·2mm 平板とし，側壁は 3·2mm のライトコルゲートウオールとしているものである。

iii) 使用せる単位コルゲートパネルは Fig. 2-d に示してあるもの

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

で，ほとんど全部この単位パネルをつなぎ合せて作つてある。

4·3 強度的比較

第1艇は工作のしやすいことに重点が置かれて計画されていたので強度的には余裕があつた。第2艇ではコルゲートウォールを採用すると同時に若干強度を落している。(第3表参照)座屈強度を半分以下に落している理由は

Table 3

	第1艇	第2艇
側壁の耐波強度	100%	約89%
上部構造の耐波強度	100%	70%
上部構造の坐屈強度	100%	45%

1) もともと上部甲板室は非強度部材として縦強度は決めてある。

2) その縦強度も十分余裕のある艇である。

3) コルゲートウォールを採用したので甲板室頂部にはいる応力が相当下るだろうという見込みがあつた。

4) 板の厚さが 3·2mm であるから溶接による相当の初期歪は避けられないので板の坐屈強度は考えなくてもよいだろうと思われた。

以上のごとき考えで思いきつて落したものである。

4·4 重量比について

第1艇では上部構造物全部の鋼材重量は約 11·2t であつたものが，コルゲートウォールを採用した第2艇では約 9·1t となり約 2·1t (約 18%) の重量軽減となり，重心はこのため約 27mm 低下し，本艇のような小型艇では重心降下策として非常に有効であつた。

4·5 完成状況

前節に述べた実物甲板室模形により一応工作法を習熟していたので建造工事は順調に進み，予想どおりコルゲートウォールに関しては船設工事過程でも艤装工事過程でもほとんど歪み発生はみられず，3·2mm または 2·3mm の薄板構造にもかかわらず歪み取り工数は0といつても過言ではない程であつた。天井部は 3·2mm の平板構造であつたので相当に歪みが発生し，歪み取り工事を行なつたがとりきれずに残つている。普通，甲板の歪みをとればその下の鋼壁に歪みが発生し，鋼壁の歪みをとると甲板に歪みが再発生するという悪順環があるものだが，鋼壁がコルゲートウオールの場合は甲板の歪み取りを相当行つてもコルゲートウォールには歪みは伝らないことも確認された。また振動に関しては相当に重量の大きな艤装品や補機が取付けられているが，問題となる振動は発生していない。写真2に示すごときできばえであるが一番心配された外観上の問題もさして見苦しくなく，かえつて良いという意見の人もあつた。また通路側にコルゲートの波が出ることが邪魔にならないかという心配も実際上はなんら問題とならず乗組員にも好評を得た。

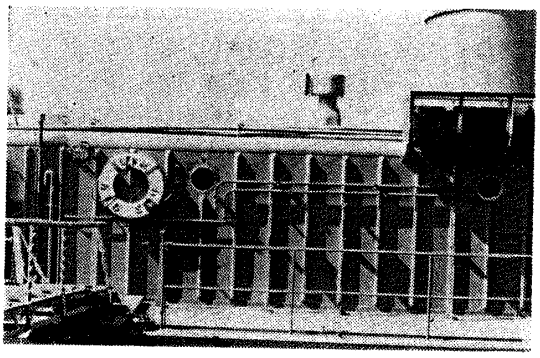


写真2 コルゲート周壁（右玄側）

5 応力計測実験

5·1 実験の概要

5·1·1 実験計画の経過——波型鋼壁は重量軽減策として有効であるばかりでなく，縦応力を伝えにくいという特長が期待されていた。ゆえに本艇ではこの波型鋼壁の上部構造として縦強力面からみれば，いかなる働きをしているかということが問題となつてくる。上部構造の効きに関する研究は今まで内外を問わず数多くの研究が発表されているが，波型鋼壁に関するものは八木助教授の研究（船体上部構造の効きに関する研究[5],[6]。のみのようである。そしてこれによれば波型鋼板を用いると相当に上部構造の効きが少なくなり，縦応力は入りにくくなることが理論的にも実験的にも確められている。しかしこの論文には波型の水平のものと垂直のものについて述べられているが，いずれの場合も波型のピッチが非常に小さく，Fig.3-a のごときものであるのに対し，今回実用化したものは波の形に対してピッチが非常に大きく Fig.3-b のごときものである。ゆえに八木氏の理論式[5]により実船の場合の上部構造の効きを推定してよいかどうか判定できないので，今後の設計資料とするために実船の上部構造の応力分布を計測して解析を試みんとしたものである。

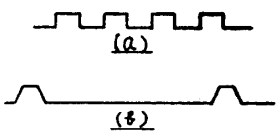


Fig.3

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

5·1·2 実験の概要—— i) 艇の入渠時を利用して船体が2点支持の状態となるごとく盤木を前後部で一部高くしておいて，除々に排水しサッギング状態とし，半排水のままで種々の計測を行なつた。

ii) 計測は温度変化による影響をさけるために夜間に行なつた。

iii) 計測項目

a) 上部構造の縦応力分布……船体がキール盤木に接触する直前の状態（以下標準状態という）を基準として，サッギング状態における歪みを計測し上部構造の縦応力分布を調査した。

b) 上部構造および上甲板船体撓みの計測……上部構造および上甲板上に見透線を設けトランシットにより標準状態よりの変位を求めた。

c) 船体上甲板下の縦応力分布……船体の中性軸を求め上部構造の有効度を知るために上甲板および外板の縦歪みを計測した。

5·1·3 曲げ応力の作成方法—— i) サッギング状態を作成するためには，船体が艇の船首部 F_R 2～F_R 5 および船尾部 F_R 35～F_R 38 において接するようにその間は盤木を 40 mm 程増設して正常盤木より高くしておく。また中央部 F_R 22～F_R 24 間には約 20 mm の厚さの盤木を Fig. 4-a のごとく増設する。そして艇を入渠せしめて約 750 mm 程排水すれば，両端の盤木を支持点とするサッギング状態を作ることができる。(Fig. 4-b 参照) この時船体中央部でサッギングモーメントは概算 700 t-m で，上甲板の圧縮応力は上部構造は効かないとして約 2·7 kg/mm² となる。このように，進水時の船尾浮揚の状態に近い応力をインディケーターでチエックしながら実測できたとき，半排水の状態で排水を中止する。

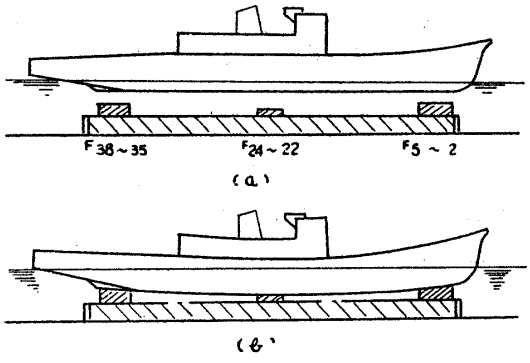


Fig. 4

ii) 間違つて排水しすぎても過大な応力が発生しないように，中央部と船首尾部の盤木の高さの差を約 20 mm におさえた。中央部の 20 mm 増設板は実際に予想される応力が出ない場合も考えられるのでその場合は，この板は潜水夫によつて除去し計測可能な応力が出せるようにしておいた。

5·2 計測結果および定性的考察

(1) Fig. 5 は船体の撓み曲線を示したものであるが撓みの最大点において上甲板と上部構造頂板との撓みの差は 0·2 mm である。一応上部構造は全体的には主構造に追従して変形していると考えてさしつかえないと思われる。

(2) Fig. 6 は喫水の変化から曲げモーメントの変化を求めたものである。船体に生ずる応力の最大値を約 4 kg/mm² になるまで排水を続けて船体を曲げたのであるが，この場合船体中央がキール盤木に接しないように 5·1·3-ii) で述べたような対策は考えておいた。予備実験の結果 350 mm 排水時に，すでに中央部で盤木に接触しそうであつたので中央部の 20 mm の増設木は除去して本計測を行なつた。しかし荷重のかかつたキール盤木は圧縮されて低くなり，また荷重のかからぬ盤木は浮力と吸水による膨脹のためか高くなつており，575 mm 排水時にはやはり，「中央部でキールと盤木が接触しているようだ」との潜水夫よりの報告があつた。浮上状態，250 mm 排水，575 mm 排水のそれぞれの計測応力と撓み等をチエックした結果では，中央部キール盤木よりの反力を受けたような様子はなかつたので一応前後端のみで支持されているものとして計算した。

(3) Fig. 7 は上部構造頂板および上甲板の長さ方向の縦応力分布を示したものである。わかりよくするために平均応力を示した。点線は上部構造の有効度を変えて計算した値を比較のために示した。

Fig. 7-a：上甲板応力は上部構造前端壁では上甲板まで有効とした応力との間にあり，midship 近くの F_R 22·1/2 で上部構造全部有効とした応力に近づいている。

Fig. 7-b：上部構造頂板の応力は後部のコルゲートの部分がゆるく上つているのに反し，前端の平板ウォールの方は相当急に上つており，midship に近い F_R 22·1/2 のところで上部構造頂板のみを含めて有効とした計算値に近づいている。この原因は

(a) 剛性の大きい艦橋に近いこと。

(b) 平板構造とコルゲート構造の境界部であること。

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

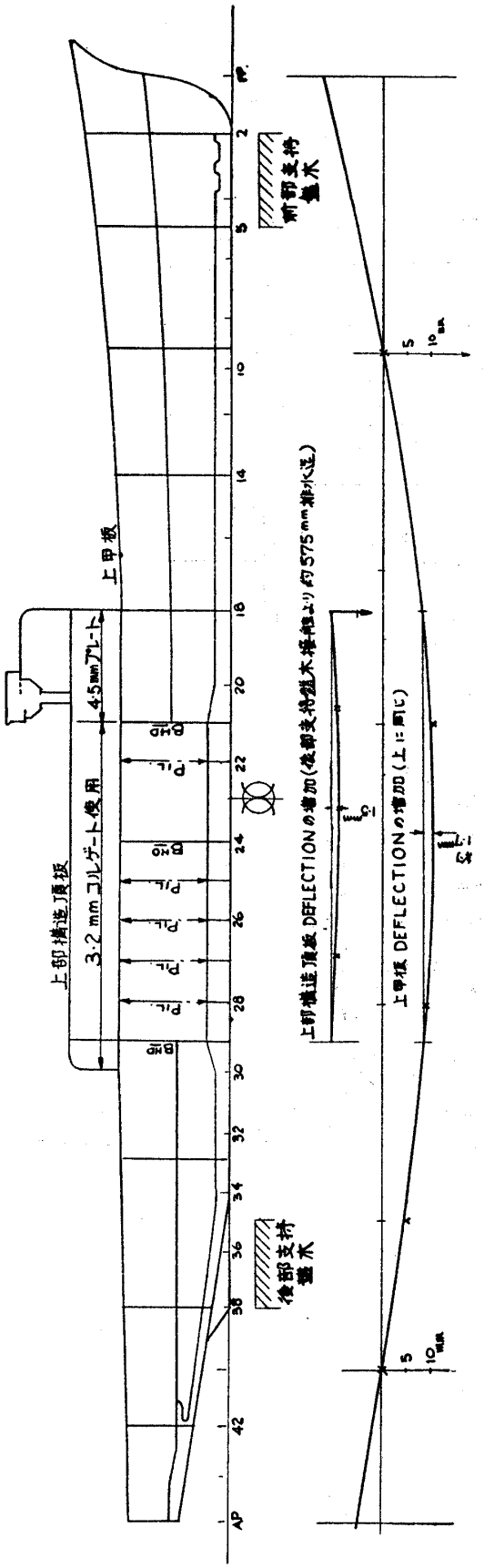


Fig.5 船体撓み曲線

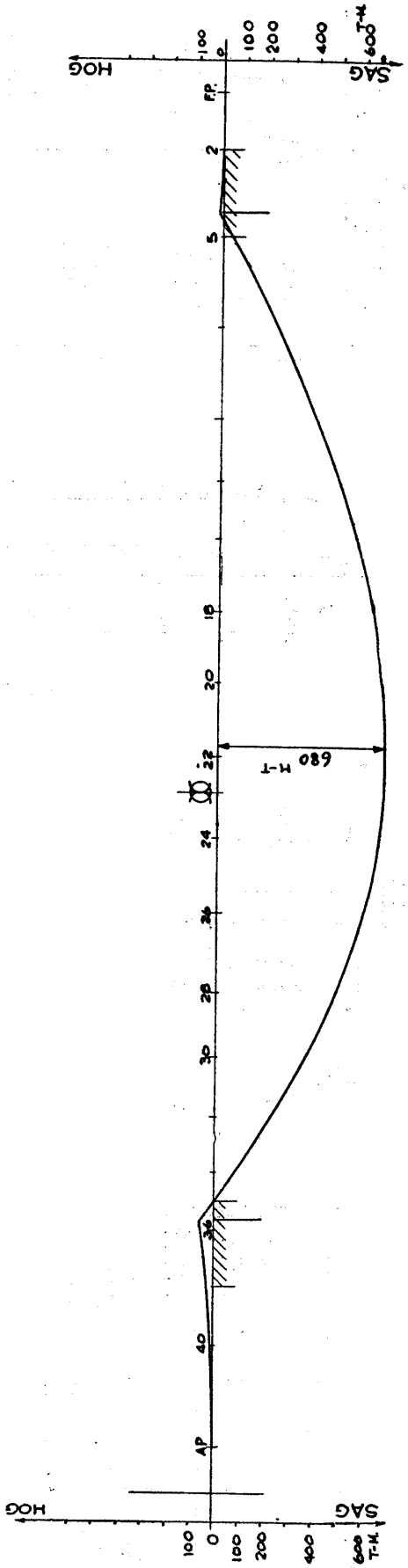


Fig.6 増加曲げモーメント曲線（後部支持盤木接触より約 575mm 排水まで）

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

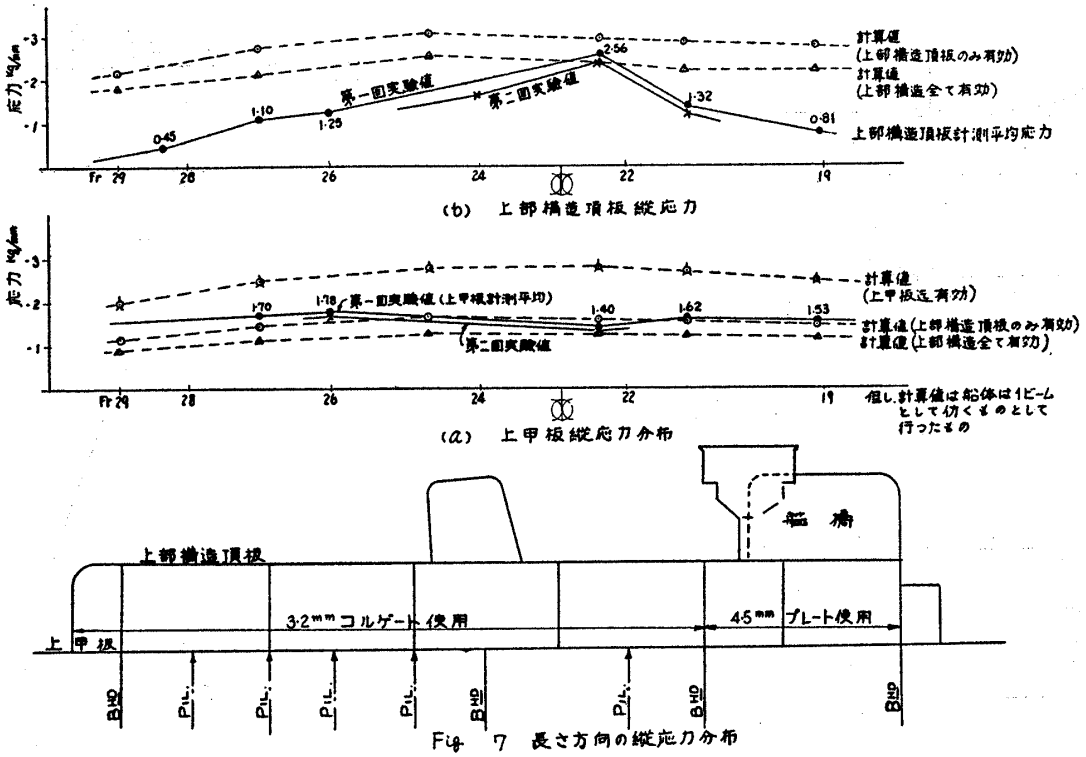


Fig 7 長さ方向の縦応力分布

Fig.7 長さ方向の縦応力分布

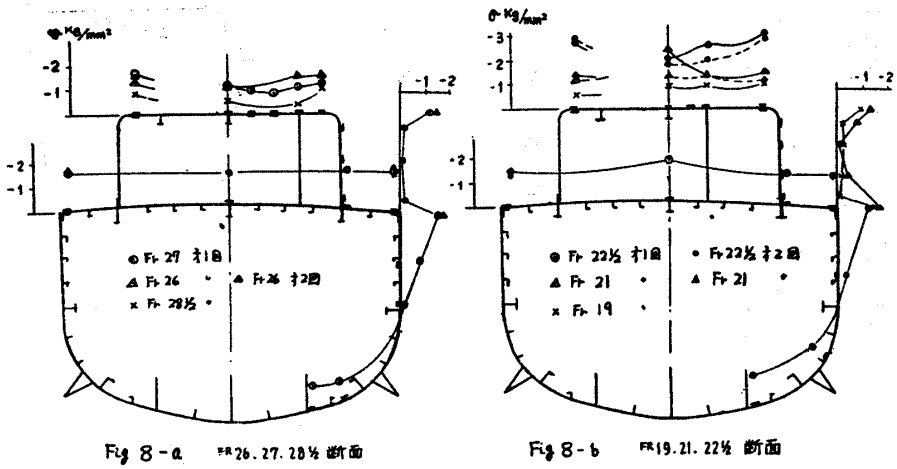


Fig 8-a FR26. 27. 28½ 断面

Fig 8-b FR19. 21. 22½ 断面

Fig. 8 断面縦応力分布

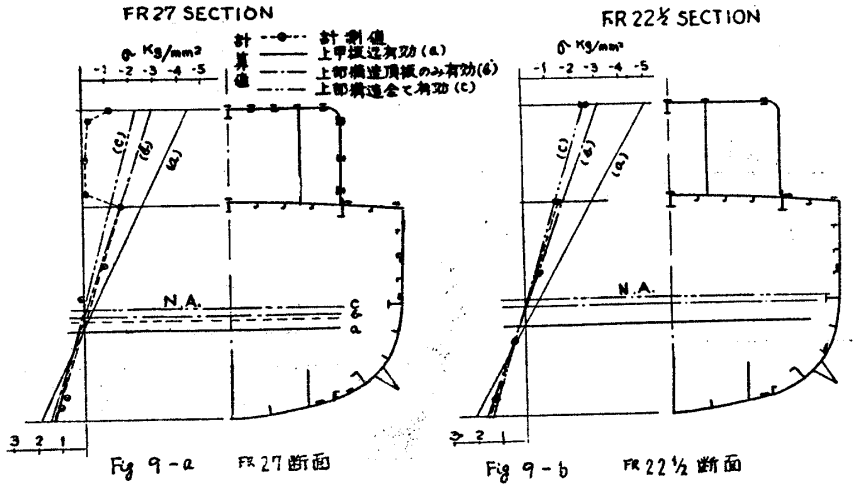


Fig 9-a FR 27 断面

Fig 9-b FR 22½ 断面

Fig. 9 平均縦応力分布と計算値との比較

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

（c） 上部構造の中央に位置していること。

などの要素の結果と考えられる。

（4） Fig.8 は各断面の縦応力分布を示したものである。表裏計測したものはその平均値を示している。

（5） Fig.9 は各断面の中性軸のまわりの応力分布を平均値で示したものである。これに示してある計算値とは上部構造と主構造とが一体のビームとして働くとして計算したものである。

Fig.9-b：前項でも述べたごとくほぼ中央部である F_R 22·1/2は，Fig.7 で見られるごとくの上部構造頂板応力が他のところより異常に高くなつているが，この実測値は大体上部構造全部有効としたものと上部構造頂板のみ有効としたものとの中間にでている。

（6） Fig.10 はコルゲートウォールがどのようにして応力を上部構造頂板まで伝達するかをチエックするためにコルゲートパネルに上下方向にゲージをはつて調査したものである。応力の絶対値が小さくはつきりしたことはいえないかも知れないが，大体においてコルゲートの波にかこまれたパネルも後述の Fig.11 のごとく柱として働いていると考えてもよいと思われる。

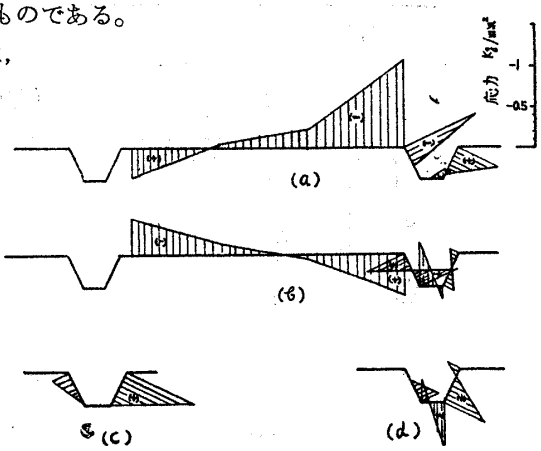


Fig.10　コルゲートパネル上下方向の応力分布（Fig.5 参照）

5·3 局部的強度の検討

前項で艦橋直後の上部構造頂板に予想以上に大きな応力がでたのでこの応力に対して現在の構造で大丈夫かどうか検討を行なつてみたが $L/10$ 波長の波に乗つた場合でも許容応力内におさまり，予想以上の応力が発生したわけであるが局部強度的にもなお余裕を有していた。

5·4 理論解析

5·4·1 計算方針　これまでは定性的な考察を行なつたがここで理論計算値と計測値との比較を行なつてみる。理論計算式としては八木氏の式[5]が発表されているのみであるが，これは Fig.11 に示すごとくコルゲートの波にかこまれた1つ1つのパネルが，それぞれ独立した柱として働くという仮定のもとに変位係数 D_s を導入して甲板室頂部へはいる応力を計算するものである。Fig.11 の外壁のコルゲートパネルの応力分布によれば，各パネルはそれぞれ独立した梁のような変形を生じているが，これは八木氏の理論が一応正しいことを示していると考えられるので，この理論[5]により解析を行なうこととする。説明の都合上主要な点のみについては略記するが詳しくは原論文を参照されたい。

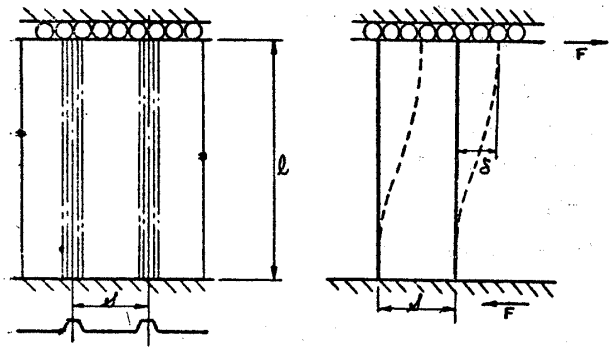


Fig.11

（1） 側壁の変位係数 D_s について　Fig.11 のごとく独立の柱として変形するとすれば

$$\delta=\frac{F\cdot l^3}{12\,EI}+\frac{kF\cdot l}{GA_\omega} \qquad (1)$$

ただし　F＝側壁に働く水平剪断力，E＝側壁材料の弾性係数，G＝側壁材料の剪断弾性係数，I＝1つのパネルの水平断面2次モーメント，A_ω＝1つのパネルの水平断面積，l＝パネルの高さ，k＝パネルの水平断面内での剪断応力分布に関する修正係数 1·2

両舷の側壁を合わせて考えれば変位係数 D_s は

$$D_s=\frac{2F}{\delta\cdot s} \qquad (2)$$

ただし　s＝各パネル間の間隔

（2） またコルゲートパネルの曲げ剛性 I は Fig.11 でわかるごとく，各平板部はそれぞれ独立して曲げのかかつている状態となつているから，Fig.12 の（b）部分を（h）および（c）部分のフランジと考えて，（h）お

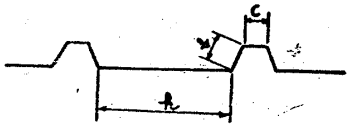


Fig.12

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

よび（c）にそれぞれ $b/4$ のフランジのついたものとしてコルゲートパネルの曲げ剛性 I を求めると

$$I=I_h\left(1+\frac{Z_c}{Z_h}\right) \qquad (3)$$

ただし $I_h=(h)$ 部分の断面2次モーメント，$Z_h=(h)$ 部分の断面係数，$Z_c=(c)$ 部分の断面係数

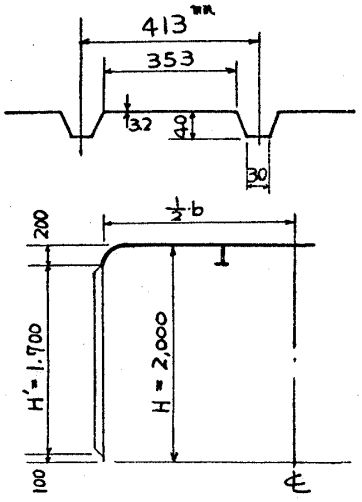


Fig. 13

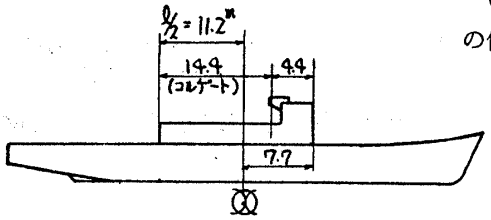


Fig. 14

5·4·2 波の部分が側壁の下から上までであるものとして行なつた数値計算――側壁は船体の曲げに対しては抵抗しない，つまり縦方向の応力は全然はいらないものとして計算した。ただし変位係数を計算する時はコルゲートの波の有効長さ（h=1,700 mm）をとつている。

（1） Fig. 13 に示す値を入れて計算すると

$I=139\cdot5\times10^5(\mathrm{mm}^4)$，$D_s/E=0\cdot147\times10^{-3}$，$\omega_2=\sqrt{D_s/E\cdot A_d}$

$=0\cdot906\times10^{-4}$，$A_d=17\cdot9\times1013^3(\mathrm{mm}^3)$

ただし A_d は甲板室頂板の断面積で Fig. 13 の太線部を全部含んだものを用いた。そして A_d が上部構造の幅 b に均一分布しているものとした。

（2） 応力を計算するには甲板室の長さを定めねばならないが $l/2$ の値は 11·2 m をとつた。(Fig. 14 参照) その理由は

（a） 船の midship が大体上部構造の中央部に近い。

（b） midship より前の上部構造は少し短いが前端が平板ウォールでコルゲートウォールより効きがよい。

（c） ちようど midship より少し後が消音器室となつていて鋼壁が多く剛性が他の部分よりも強い。

ということを考慮に入れて midship がちようど上部構造の中心となるような長さのものと考えて計算した。

（3） 応力の計算値

結果のみを示すと

（a） $x=0$（F_R 23 に相当）

上甲板応力 $\sigma_2=2\cdot21(\mathrm{kg/mm}^2)$，上部構造頂板応力 $\sigma_1=1\cdot37$ $(\mathrm{kg/mm}^2)$

第14表

			計測値	計算値
FR 23 (中央部)	上甲板応力	σ_2	1·40 (kg/mm²)	2·11 (kg/mm²)
	上部構造頂板応力	σ_1	2·56	1·59
FR 27	上甲板応力	σ_2	1·70	2·06
	上部構造頂板応力	σ_1	1·10	0·87

（b） $x=6,900$ mm（F_R 27 に相当） $\sigma_2=2\cdot12(\mathrm{kg/mm}^2)$，$\sigma_1=0\cdot74(\mathrm{kg/mm}^2)$

となる。

（4） 計算値と計測値を比較してみると Table 4 のごとくなる。これではまだ相当くいちがつている。つまり変位係数が小さく計算されているようである。

5·4·3 波の部分をスリットと見なして行なつた数値計算――つぎにこの変位係数（$D_s/E=0\cdot147\times10^{-3}$）を用いてコルゲート波部を開口と考えて計算した[4]（Fig. 15 参照）つまり側壁も上下の部分で縦曲げに対して抵抗すると考えたものである。詳細は省略するが結果のみ示すと，

（a） $x=0$（F_R 23 に相当）

上甲板応力 $\sigma_2=2\cdot27\,\mathrm{kg/mm}^2$，上部構造頂板応力 $\sigma_1=1\cdot37\,\mathrm{kg/mm}^2$

（b） $x=6,900$ mm（F_R 27 に相当）

$\sigma_2=2\cdot22\,\mathrm{kg/mm}^2$，$\sigma_1=0\cdot69\,\mathrm{kg/mm}^2$

となり，前項の計算値とあまり大差ない。つまりいずれの計算式でも計測値の方が相当に大きい。このことについては八木氏の研究でも言及されており，波にかこまれたパネルを単に柱と考えて変位係数を求めれば実際よりも過少評価していることになる。

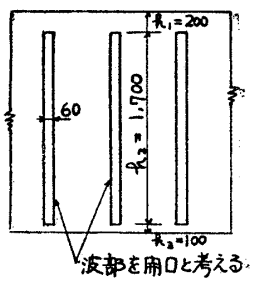


Fig. 15

5·4·1 波の部分の剪断剛性の影響を考慮に入れた計算――（1）前述のごとく変位係数が小さくでるのは各パネルは波部で全然縁の切れた柱と考えたためと思われる。

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

実際には波部は鋼板で結合されているので剪断剛性を有しているわけである。この剪断剛性はパネルの柱としての変形に抵抗を及ぼすはずである。

これを理論的に解くには非常にむずかしいが厳密に理論的に解くのでなければ大体の影響の程度は判明すると思われる。

（2） δ の計算

波部は Fig. 16(a) に示すごとく剪断剛性の弱い材料で結合されていると考え，その剪断剛性を G' とする。パネルの変形した状態を考えると Fig. 16(b) のようになる。パネルが変形すると，パネルの両側の変位 (Δx) に比例する力を波部は受ける。これをパネルについて考えれば変位に対する抵抗力である。

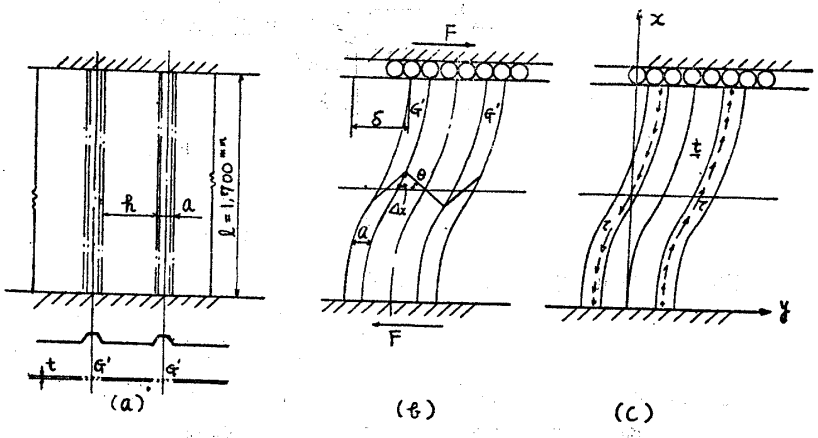


Fig. 16

いま，τ_x： x 点におけるパネルの side に働く剪断応力，G'：波部の剪断剛性，F：パネル両端に働く水平力，I：パネル水平断面の慣性能率，h：パネルの幅，a：波部の幅，t：板厚，Δx：x 点におけるパネル側部の変位

とし，x 軸 y 軸を Fig. 16(c) のごとくとり，モーメントの平衡を考えると

$$\frac{dM}{dx}=-\tau_x \cdot th+F \tag{4}$$

ここで

$$\Delta x=\frac{\tau_x}{G'}\times\frac{a}{2} \qquad \Delta x=\frac{h}{2}\times\theta\fallingdotseq\frac{h}{2}\times\frac{dy}{dx}\ (\theta\text{はパネル中心の傾斜}) \quad \text{ゆえに} \quad \tau_x\fallingdotseq\frac{h}{a}\cdot G\cdot\frac{dy}{dx}$$

以上の関係を（4）に代入整理すると

$$\frac{d^3y}{dx^3}-\frac{th^2G'}{EIa}\cdot\frac{dy}{dx}=-\frac{F}{EI} \tag{5}$$

のごとくなる。ただしこの式はパネル部では曲げ変形のみ考え波形部では剪断変形のみを考慮し，その結合部で変位のみの連続条件を考えたわけであるから，パネル部と波形部での応力の連続条件が満足されていないので厳密に正しいものではないが近似的には成立つと考えてよいのではないかと考えられるので一応この式により解いてみる。

$$\frac{th^2G'}{EIa}=A \qquad \frac{F}{EI}=B \qquad \text{と置きかえると}$$

$$\frac{d^3y}{dx^3}-A\cdot\frac{dy}{dx}=-B \tag{5}'$$

これを解き，境界条件を入れてパネルの撓み（δ）を求めると次式のごときものを得る。

$$\delta=\frac{B}{A\sqrt{A}}\cdot\frac{1-\cosh\sqrt{A}l}{\sinh\sqrt{A}l}+\frac{B}{A}l-\frac{B}{A\sqrt{A}}\frac{(1-\cosh\sqrt{A}l)}{\sinh\sqrt{A}l}\cosh\sqrt{A}l$$
$$-\frac{B}{A\sqrt{A}}\sinh\sqrt{A}l$$
$$=\frac{B}{A\sqrt{A}}\left[\frac{(1-\cosh\sqrt{A}l)^2}{\sinh\sqrt{A}l}+(\sqrt{A}l-\sin\sqrt{A}l)\right] \tag{6}$$

（3） G' の決定

波形が小さいピッチで並んでいるときには異方性板として見かけの剪断剛性は計算される。しかし今問題にしている構造のように大きなピッチで小さい波形がある場合，その波形部のみの剪断剛性をどうして求めるかは大変むずかしい問題である。しかし今の場合近似的に考えて波の部分のみを均質な異方性板の一部として G' を決定する。

x, y を Fig. 17 のごとくとり，それぞれの方向の見かけの引張剛性（平均引張応力/1波長間の平均歪）を E_x, E_y とすると，G' はつぎのようになる[7]。

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

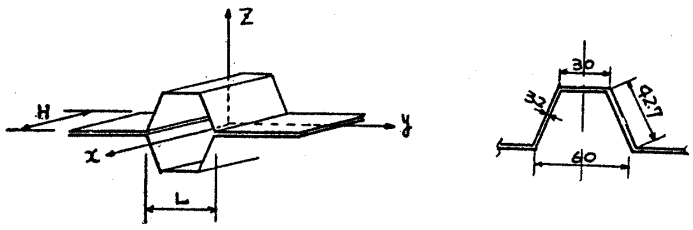


Fig. 17

$$G'=\frac{E_xE_y}{E_x+(1+2\nu)E_y} \qquad \nu：ポアソン比 \qquad (7)$$

Fig. 17 について E_x, E_y を求めると

$$E_x=\frac{E}{1-\nu^2}\times\frac{S}{L},\ E_y=\frac{PL}{2etH}$$

ただし S＝波断面の実長，L＝波部の幅，P＝波板の波に直角方向の引張荷重，H＝波板の幅，e＝波板の y 方向の伸びて波の形状より計算により求める。

諸数値を入れて計算値を求めると，

$$E_x=2\cdot1\,E,\ E_y=2\cdot6\times10^{-3}E,\ G'=1\cdot63\times10^{-3}E$$

（4） 変位係数 D_s の計算

諸数値を（6）式に入れて δ を求めると，

$$\delta=24\cdot7\times F/E$$

したがつて変位係数 $D_s=2F/\delta\cdot s=1\cdot96\times10^{-4}$

このようにして求めた D_s は前にも述べたとおり，理論的に正しい式から求めたのではないが近似的には大体良いのではないかと考えられる。

（5） 応力の計算

前項の変位係数を用い，5·4·2 項と同様に応力の計算をすると Table 5 のようになる。

第5表

			計測値	計算値
FR 23 (中央部)	上甲板応力	σ_2	1.40 (kg/mm²)	2·20 (kg/mm²)
	上部構造頂板応力	σ_1	2·56	1·37
FR 27	上甲板応力	σ_2	1·70	2·12
	上部構造頂板応力	σ_1	1·10	0·74

実験値との比較は Fig. 19 に示す。

（a） F_R 23 の応力が計測値と計算値と相当に開きがあることについては 5·4·5 において述べる。

（b） F_R 27 付近では計算値は大体計測値に近くなつたが傾向としてはまだ変位係数が実際より低く計算されたような結果となつている。これについても 5·4·5 項で述べる。

5·4·5 計測応力に対する考察—— （1）艦橋後部の応力のピークについて

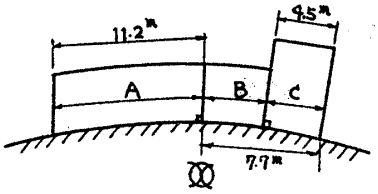


Fig. 18

これまではコルゲート側壁の部分つまり上部甲板室の後半の応力のみに注目して計算値との比較をしてきた。しかしこのままでは艦橋直後の実測応力が相当に高くなつていることの説明はできないので上部甲板室全体の実際の構造を検討して解析を行なつた。

（a） 上部構造を Fig. 18 のように分割する。

A部……midship より後方

B部……midship より F_R 21 迄（平板構造部迄）

C部……平板構造部

（i） A部の前端は上部構造の中央附近であり，しかもA部の前部はちようど消音器室となつていて鋼壁が多く，かつ補機台がついているので剛性が他の部分よりも強い。したがつて主構造の変形後もA部の前端は主構造に対して垂直であると考える。そうするとA部の応力はこの2倍の長さのコルゲート側壁の上部構造として考えた応力とほぼ同じであると考えられる。(今までの計算はこの考えを基としてやつている。)

（ii） C部は 4·5mm の平板構造であり，また上部には艦橋があるので他の部分よりも非常に剛性は強い。それでC部の midship よりの後端は主構造の変形後も主構造に対して垂直と仮定する。そしてこの部は

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

上部構造の剛性に比して上甲板下は若干弱いので曲げ変形は起らず剪断のみにより上部に応力は伝えられると仮定する。

(iii)　B部は前後に上述のような剛性の強い構造にはさまれているので，B部の頂板の変形は完全に主構造と一体となつて働くと考えられる。

以上のごとく仮定すれば，B部の応力は頂板のみ有効とし，1つのビームとして計算した値となり，A,C 部はそれぞれの長さを $l/2$ と考えてコルゲート構造，平板構造として計算した値となる。

（b）　数値計算

（i）　A部：5·4·4 の結果をそのまま用いる。

（ii）　C部：平板部の実長 $l/2=4{\cdot}5$ m として計算法は八木氏の式[3]を用いて計算した。計算値は Table 6 のごとくなる。

(iii)　B部：前に述べた1ビームとして計算値より求めると Table 7 のごとくなる。

第6表

			計算値
FR 21	上甲板応力	σ_2	1·62 (kg/mm²)
	上部構造頂板応力	σ_1	1·61
FR 19	上甲板応力	σ_2	1·78
	上部構造頂板応力	σ_1	1·16

第7表

			計算値
中央部	上甲板応力	σ_2	1·60 (kg/mm²)
	上部構造頂板応力	σ_1	2·90

以上の計算値をプロットして曲線で結んでみると Fig. 19 のごとくなり，ほぼ計測値に等しい傾向を得る。ゆえに大体の考え方として（a）の仮定は正しいものと思われる。つまり上部構造の剛性の不均一が艦橋の後部に応力のピークを引起した原因であると思われる。

（2）　上部構造後半の計測値と計算値の不一致について

上記のごとき修正を施せば計算値と計測値の傾向は良く一致するが応力値ことに上甲板の応力はまだ若干ずれている。この原因としては

（a）　変位係数の計算には上部構造両側部のみ計算に入れているが実際には内部にも 2·3 mm の縦仕切壁があるので計算上では変位係数は小さくとつていることになつている。

（b）　排水により船体に与えられた曲げモーメントは喫水の変化より2点支持として計算により求めたものであるが，5·2.（2）で述べたごとく実際には船底は中央部でキール盤木に接触していた心配がある。

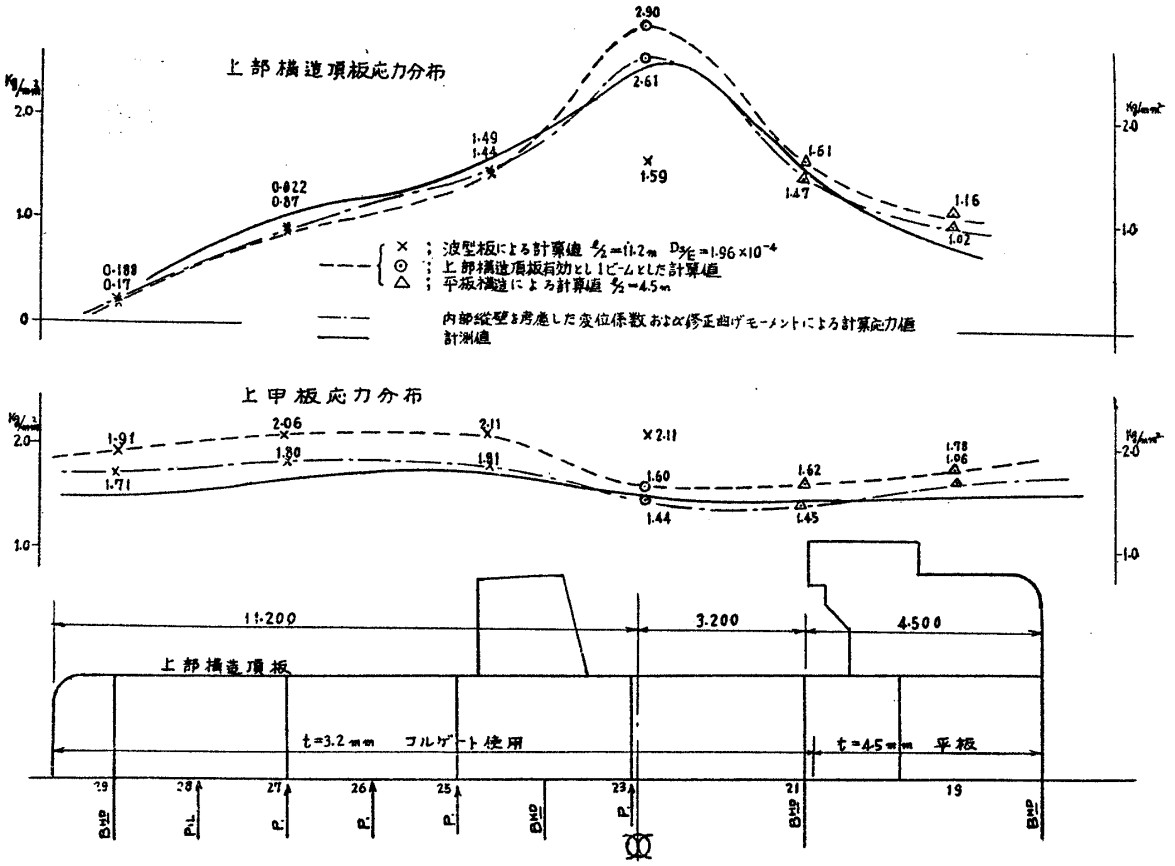


Fig. 19　計算縦応力分布と実験値との比較

NII-Electronic Library Service

The Society of Naval Architects of Japan

以上の2点を考慮してつぎのごとき計算を行なつてみた。今変位係数に縦仕切壁の影響を入れると約 35% 増となり，また仮に曲げモーメントは中央船底接触のため実際には計算値よりも 10% 少かつたものとして計算すると Fig. 19 のごとく計測値と計算値は大体一致する。

6 結　　語

以上ライトコルゲートパネルの実地応用研究について簡単に述べさらにそれを利用した実船については，主としてライトコルゲートウォールを使用した上部構造の効きという観点に立つて実船実験を行ない，理論計算によりある程度まで正確に解析し得るものだということが判明した。これが今後の同種の研究の一つの踏石となれば幸いと思います。

この研究には最初から積極的な御支援を惜しまれなかつた前防衛庁顧問の牧野氏，また実験研究にあたり，実際に御指導いただいた阪大八木助教授，ならびに実船実験に御支持を惜しまれなかつた防衛庁技術研究本部，およびいろいろ有益なる御意見をいただいた八幡製鉄軽量型鋼研究委員会の吉識委員長はじめ各委員の方々に心から御礼を申し上げます。

参 考 文 献

1) 吉識雅夫，“軽量形鋼および Trench Sheet の船体への応用”，船の科学，Vol. 11，No. 12～Vol. 12 No. 4
2) 株式会社呉造船所外，“ライトコルゲートパネルに関する実験研究”，船の科学，Vol. 13　No. 6
3) 寺沢一雄，八木順吉，“上部構造の効きに関する研究（第3報）”，造船協会論文集，第102号
4) 寺沢一雄，八木順吉，“上部構造の効きに関する研究（第4報）”，造船協会論文集，第103号
5) 八木順吉，“上部構造の効きに関する研究（第5報）”，造船協会論文集，第105号
6) 八木順吉，“上部構造の効きに関する研究（第6報）”，造船協会論文集，第106号
7) 吉識雅夫，藤田譲，“圧縮力を受ける波板の最高荷重について”，造船協会論文集，第106号

NII-Electronic Library Service