

社 团 法 人

# 日本造船研究協会報告

第 3 号

昭 和 30 年 2 月

---

船体構造と応力分布測定に関する研究

.....第2研究部会

Investigations on the Strength of Ship Structures and  
Stress Measurements During Launching.....The 2nd Research Committee

---

The Report  
of the  
Shipbuilding Research Association  
of Japan,  
Tokyo, JAPAN  
No. 3  
February 1955

## 第2研究部会委員名簿

委員長	寺沢 一雄		
幹事	秋田 好雄	渡辺 正紀	佐藤 正彦
委員	浅野 順一	安藤 文隆	安藤 良夫
	飯田 国弘	石野 一雄	石山 一郎
	市川 慎平	今井 信男	越智 和夫
	大田 友彌	大歳 通文	岡部 淳一
	蒲田 利喜蔵	木原 博	佐藤 茂
	金沢 武	重満 通彌	栖原 二郎
	高橋 菊夫	高橋 幸伯	寶田 直之助
	竹鼻 三雄	土屋 九一	角田 令二
	遠山 光一	永井 保	西牧 興
	福田 烈	福本 佳夫	伏見 榮喜
	藤田 譲	牧野 茂	増淵 興一
	松浦 義一	南 義夫	守谷 正亮
	守屋 公平	八木 順吉	保井 一郎
	山口 博	山越 道郎	山本 善之
	湯口 俊一	吉識 雅夫	吉本 誠佑
	渡辺 恵弘		

### Membership of the 2nd Research Committee

Chairman	Kazuo TERAZAWA		
Secretaries	Yoshio AKITA	Masanori WATANABE	Masahiko SATO
Members	Jun-ichi ASANO	Fumitaka ANDO	yoshio ANDO
	Kunihiro IIDA	Kazuo ISHINO	Ichiro ISHIYAMA
	Shinpei ICHIKAWA	Nobuo IMAI	Kazuo OCHI
	Tomoya OTA	Michifumi OTOSHI	Jun-ichi OKABE
	Rikizo KAMATA	Hiroshi KIHARA	Shigeru SATO
	Takeshi KANAZAWA	Michiya SHIGEMITSU	Jiro SUHARA
	Kikuo TAKAHASHI	Yukinori TAKAHASHI	Naonosuke TAKARADA
	Mitsuo TAKEHANA	Kyuchi TSUCHIYA	Reiji KAKUTA
	Koichi TOYAMA	Tamotsu NAGAI	Ko NISHIMAKI
	Tadashi FUKUDA	Yoshio FUKUMOTO	Eiki FUSHIMI
	Yuzuru FUJITA	Shigeru MAKINO	Koichi MASUBUCHI
	Giichi MATSUURA	Yoshio MINAMI	Masasuke MORIYA
	Kohei MORIYA	Junkichi YAGI	Ichiro YASUI
	Hiroshi YAMAGUCHI	Michiro YAMAKOSHI	Yoshiyuki YAMAMOTO
	Shun-ichi YUGUCHI	Masao YOSHIKI	Masasuke YOSHIMOTO
	Yoshihiro WATANABE		

# INVESTIGATIONS ON THE STRENGTH OF SHIP STRUCTURES AND STRESS MEASUREMENTS DURING LAUNCHING

## Abstracts

### § 1 Stress measurements during launching

It is one of the most important parts of the investigations on the construction of ships to examine the stress concentration at hatch corners, the behavior of stress transmission at superstructure ends and furthermore to research the effect of the stress distribution upon the strength of ships.

There are, however, so many factors which should be taken into consideration in case of analyzing the stress distribution of ship structures that it would be difficult to clarify this problems merely by theoretical calculations or by model experiments. Consequently, need would arise for the experiments in actual ships.

The recent remarkable development of wire strain gauges and other measuring instruments has accelerated the performance of the experiments in actual ships, the results of which have extensively contributed to the development of the structural design of ships. There are, however, other difficulties in such experiments in view of their requiring enormous labors, costs and time.

On the other hand measurements of stress distribution in ship structures at the time of launching would be another available method in the sense that the performance is relatively easy. It should be noted, however, that since the external forces acting on the ships during launching are different from those due to waves in ocean, we can not expect to obtain the absolute value of stresses acting to various structural members of ships in service condition. The significance of this experiment should be to obtain the relative values of stresses at respective structural members, thus facilitating the qualitative analysis of stress distribution of ship structures.

In these view points, in order to measure the stresses produced in ship structures at the time of launching, a subcommittee was organized in Ship Structural Committee of Zosen Kyokai (the Society of Naval Architects of Japan) in 1951. The work of this subcommittee was mainly related to the preparation of wire strain gauges of various types and also to the ascertainment that such strain meters were available and advantageous in many respects over those of mechanical types.

The preparation of such wire strain gauges had been completed when this Committee succeeded to the work of the above subcommittee and commenced the experiment.

In this experiment, the measurements of stress distribution of the following structural parts utilizing the above strain gauges were carried out with regard to seven newly built ships in Japan.

- (1) Around the openings on the deck house walls;
- (2) In the vicinity of superstructure and deck house ends;
- (3) Around hatchway openings;
- (4) In bottom floors;
- (5) At the intersection of bottom longitudinals with transverse bulkheads in tankers.

Analyses of the test results were made, and furthermore model experiments were carried out with regard to some parts of the above tests in order to compare with those results.

## § 2 Research on the effective breadth of the corrugated bulkhead

The conception of the effective breadth, which is introduced for the purpose to calculate the strength of structures consisting of plates and beams by the elementary beam theory, is very convenient for practice, and the methods of calculation of the effective breadth regarding flat plates are attacked theoretically and experimentally by various researchers. Recently, however, corrugated bulkheads became to be often used, and the following problems arise; how to apply the conception of the effective breadth to the calculation of the strength of a corrugated bulkhead; that is, for a corrugated plate, when one wave length of it is regarded as a beam, what percentage of its sectional area is to be considered effective for bending, and for a girder on a corrugated plate, how much part of the plate is to be added to it as the effective breadth.

This paper treats the problems mentioned above. The 2nd chapter describes about the model experiment (by a concentrated load), which was intended to get the effective breadth to be added to a girder, on a corrugated plate and on a flat plate, respectively. From this experiment it is pointed that, in the former, on calculating the strength and rigidity, if the girder is assumed to have the uniform section identical with the section of the least depth, the effective breadth seems to be about 23~25 t (t; thickness of plate), while in the latter it is about 78 t. The 3rd chapter describes about the experiment by water pressure for a corrugated bulkhead of an actual ship (28,000 tons). On analyzing the results, it is pointed that on calculation the strength of a horizontal girder, the effective breadth may be, with some assumptions, about 18.5 t. It is slightly less compared with the one mentioned in the 2nd chapter, and this fact probably results from the simplified boundary condition and load condition which are assumed for the purpose to calculate the strength of the girder independently. And in this chapter some analysis for stresses of a corrugated

plate is worked. The 4th chapter describes about the experiment which was intended to compare a corrugated plate with a stiffened plate concerning the strength and rigidity. The experiment was executed by water pressure for a box-type model, which had a corrugated plate on one side and a flat plate with stiffeners on the opposite side. In the 5th chapter, the effective breadth of a corrugated plate (which has one wave length) is calculated theoretically. From this computation, for a corrugated plate of an ordinary dimension, all sectional area may be considered fully effective when one wave length of it is considered as a beam. And this conclusion is guaranteed by the results of the experiment mentioned in the 4th chapter.

### § 3 The effectiveness of doubling plate in ship structure

The experimental investigations reported herein consist of the following three parts.

#### I Research on the effectiveness of doubling plate installed on wide plate

As a fundamental problem, specimens of wide flat steel plates centrally installed welded doubler were tested in tension. The purpose of the test was to appreciate the influence of thickness ratio, aspect ratio etc. of doubler and mother plate on the effectiveness of doubler.

The results obtained from fourteen specimens with respective doublers of systematically varying scantling are summarized as follows:

- (1). The effectiveness of doubler depends on the "length-thickness ratio" ( $\frac{\text{length of doubler}}{\text{thickness of doubler}}$ ) and aspect ratio.
- (2). The larger the length-thickness ratio becomes, the more effective the doubler gets. This seems to be analogous to the long superstructure of ship.
- (3). Doubler of large aspect ratio, i.e., long doubler in the loading direction is effective.
- (4). In quantitative expression, it may be shown as follows :  
Sufficient effectiveness may be anticipated if  
$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{length thickness ratio} > 20 & \text{when aspect ratio} = 1 \\ \text{,} & \text{,} \\ > 10 & = 2 \end{array} \right.$$
- (5). Thickness ratio ( $\frac{\text{thickness of doubler}}{\text{thickness of mother plate}}$ ) shows little influence on the effectiveness of doubler in the present test, and so does breadth ratio ( $\frac{\text{breadth of doubler}}{\text{breadth of mother plate}}$ ).
- (6). Local bending moments exist in front of and abaft the doubler. They in-

# 第一章 進水時の船体応力分布測定に関する研究

## I 緒 言

### I—1. 進水時船体応力測定の目的及び意義

船内における応力集中を測定したり、或は船橋構造の応力伝達状況を測定し、それらの船体強度に及ぼす影響を研究することは船体の構造設計上大切なことは論をまたない。これらに関する理論、模型実験はある程度行われており、相当な成果があがつているが、実船の場合には構造物としての種々な因子がはいつてくる為に複雑になり、是非とも実船の場合についての測定が必要である。

実船の強度試験は古くは Biles 教授の "Wolf" 号についての実験を始めとして可成多数行われているが、最近は電気抵抗線歪計その他の測定計器の目覚しい発展と共に "Neverita" 号、"New Cambia" 号、"Philip Schuyler" 号等の実船試験が米国、英國等で行われており、船体強度の研究に大きな貢献をしていることは衆知のことであろう。

我国でも一昨年 "近仙丸" についての静的強度試験が行われ、又航行中の実船試験の許可が認められており、近い将来その実現を見るであろうことは我国造船技術の発展に寄与する所が大である、誠に喜ばしいことである。併しこれらの実船試験には多大の労力、費用及び日時を必要とするものであつて、実行が容易に行われ得ない難点がある。こゝに於て比較的実行容易である進水時を利用して船体各部の応力分布を測定することが考えられるのである。併し進水は複雑な現象であつて実船試験の場合の波浪によるものとは異つており、直接船体に加わる外力は進水計算で近似的に求め得るにすぎない、従つて進水時に測定した応力分布はその相対的分布を求めるに重要な意義があるのであつて、絶対値そのものについては特殊な場合を除いては左程大きな意義を見出すことは出来ない。謂わば進水現象が自然の大きな試験機の役目を果す様なものであるが、そのあたえる荷重が未知であるので、船体各部の応力伝達模様、応力集中係数の値等を測定するのである。この様な相対的な応力分布を求めることによつても充分船体の構造設計に利用し得る資料を求め得るのであつて、こゝに進水時の船体応力測定の目的と意義が存在するのである。

### I—2. 研究の概要

進水時を利用して応力分布を測定する研究は昭和 26 年度運輸省科学技術応用研究補助金の交付を受けて、旧造船協会船体構造委員会第一分科会（委員長 常松四郎、主査 吉澤雅夫）が担当し、先ず測定装置の研究及び整備に主力をおき、昭和 26 年 9 月 28 日鶴見造船所に於て日聖丸進水時を利用して予備性能試験を行い、充分実用に耐えうるものであることを確認すると同時に従来行われて来た他の機械的歪計（例えは オクイゼン、或は ダイアルゲージ等）に比して種々の点で優つていることが証明された。

計器の詳細については昨年運輸省に提出した研究報告<sup>\*</sup>にがあるので、こゝではすべて省略することにするが、本年度研究開始時である昭和27年4月1日に於ては次の如き計器の整備を完了した。

1 2点高速切換式	1台
2 4点高速切換式	2台
連続ペン描式(2点分)	1台

猶も、昭和27年9月末、更に12点高速切換式のもの1台の整備を完了した、従つて測定可能な点数は98点である。

さて昭和26年12月昨年度の運輸省補助金の交付を受けて計器の試作、性能試験を実施して以来現在迄に計12回の計測を行つたがそれらを一括すると第1表の如くになる。これらの測定項目を大別すると、予備実験、計器作動性能試験を別として次の如くである。

- a) 甲板室側壁出入口周辺の応力分布
- b) 船橋棲又は甲板室端部の応力伝達状況
- c) 艦口周辺の応力分布
- d) 船尾浮揚時に船底肋板に生ずる応力分布
- e) 油槽船の船底縦通材の横隔壁貫通部の応力伝達状況

これらの項目については簡単な考察を加え、更にあるものについては模型実験をも行つて比較検討したのであるが、将来更に測定を実施し、種々な構造に対する資料を蒐集すると同時に理論計算の裏付け等が大切であろう。本研究終了期限である昭和28年9月末日迄に前記項目について委員会に於て行われた考察を各項目別に次章で述べることにする。猶お昭和27年3月以前のものについては既に昨年度研究報告で運輸省には報告済であるので本報告に於ては昭和27年9月24日祥雲丸以後の分について報告することとする。

---

\* 昭和27年9月運輸省提出

・船体構造研究委員会第一分科会「動的応力測定装置の研究及び整備、進水時の応力分布測定」

表1 進水時船体応力測定一覧

	船名 船種 及び 進水年月日	主要寸法 $L_{pp} \times B_m \times D_m$	造船所	計測者	測定部位	測定点数
1	日聖丸 (貨物船) 26年9月28日	128.00×17.50×10.40	日本鋼管K.K. 鶴見造船所	運輸技研	船橋樓甲板 (予備実験)	2
2	日洋丸 (貨物船) 26.12.12	128.00×17.50×10.40	全上	東京大学 運輸技研	船橋樓甲板 (予備実験)	20
3	熱海丸 (貨物船) 26.12.25	140.00×19.00×10.50	三菱日本重工K.K. 横浜造船所	東京大学	船橋樓甲板 (予備実験)	12
4	永兼丸 (貨物船) 27.1.25	128.00×17.50×10.00	浦賀船渠K.K.	東京大学 運輸技研	船橋樓端部	36
5	祥雲丸 (貨物船) 27.3.24	130.00×15.30×9.90	三菱日本重工K.K. 横浜造船所	全上	甲板室端部 甲板室側壁出入口周辺	36
6	協慶丸 (貨物船) 27.7.18	142.00×19.30×12.40	日本鋼管K.K. 鶴見造船所	運輸技研	船橋樓端部	7
7	永昇丸 (貨物船) 27.7.26	138.00×18.80×10.70	浦賀船渠K.K.	東京大学 運輸技研	船橋樓端部 甲板室側壁出入口周辺	23
8	和光丸 (貨物船) 27.8.5	134.80×18.30×10.15	石川島重工K.K.	全上	甲板室端部	36
9	*ADRIAS号 (油槽船) 27.10.1	167.68×22.56×12.35	日本鋼管K.K. 鶴見造船所	全上	船底縦通材の 横隔壁貫通部	46
10	香椎丸 (貨物船) 27.11.2	134.80×18.30×10.15	石川島重工K.K.	全上	船口周辺 船底肋板	47
11	ALLIANCE号 (油槽船) 27.11.19	167.00×22.00×12.20	川崎重工K.K.	全上	船底縦通材の 横隔壁貫通部	48
12	祐邦丸 (油槽船) 27.12.17	185.00×25.20×13.40	播磨造船K.K.	全上	船底縦通材の 横隔壁貫通部	48

☆ Adrias号の計測は本委員会とは別個に行われたものであるが時にデータの御提出を許可された  
日本鋼管K.K.鶴見造船所に対して厚く御礼申し上げる次第である。

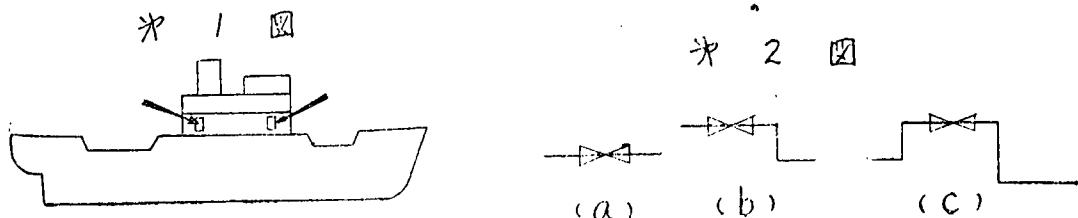
☆ NO. 1~NO. 5は旧造船協会船体構造委員会第一分科会の、NO. 6~NO. 8及びNO. 10~12  
は造船研究協会第二研究部会第一小委員会の研究として行われたものである。

☆ 日立造船技術研究所に於ても進水時の船体応力分布の測定を行つておるが、これらのあるもの  
については参考資料として隨時参照することにする。この点に便宜を與えられた日立造船技術研  
究所の厚意に対して厚く御礼申し上げます。

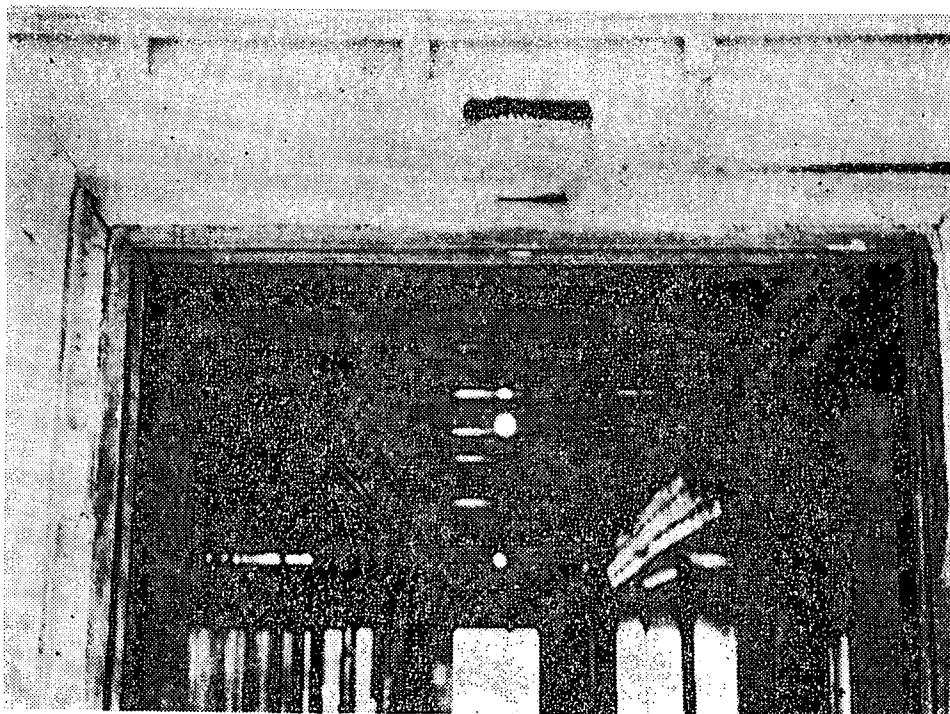
## 計測結果及(次)考察

### II-1. 甲板室側壁出入口周辺の応力分布

貨物船の強力甲板の直上の甲板室側壁に設けられた出入口の隅部に損傷を起した例がかなり多く見受けられる。損傷を生ずる位置は第1図において矢印を以て示した如く船橋前後端に近い方の上側隅に多い。この部分を平面図で見ると出入口附近の壁は第2図(a)の如く平面のものと



第 3 図



(b), (c) の如く片側又は両側で折曲つてあるものがある。出入口附近の応力伝達状況より (a), (b), (c) の順に損傷が少ないと考えられるが、(c) の如き構造のものでも損傷は現実に起つており、第3図はその一例で、やはり船橋端に近い上側の隅に破裂がはいつている、本委員会ではこの問題を取上げ、出入口周辺の応力分布がどのようになるかを進水時を利用して

て計測すると同時に簡単な模型実験を行つて出入口隅部半径と応力集中度との関係をもとめて見た。

(1) 進水時における計測結果

進水時を利用してこの部分の応力分布を測定したのは次の2船である。

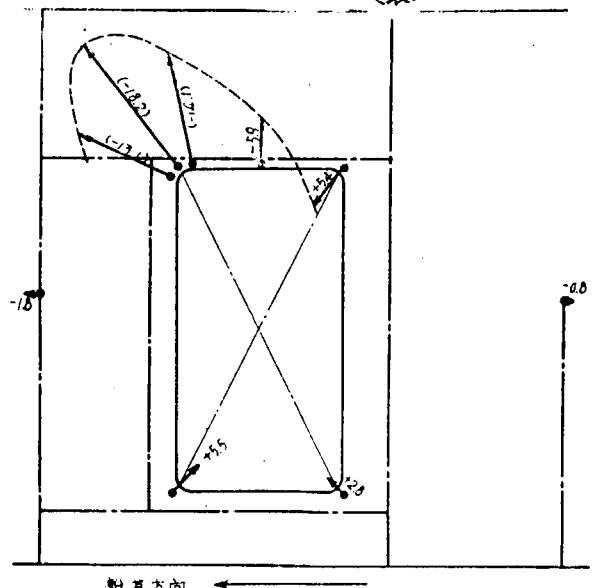
## 第2表 進水時計測一覽

年月日	船名	Lpp × Bm × Dm	造船所	計測者	計測結果
27.3.24	祥雲丸	M M M 130.00×18.30×9.90	三菱日本重工業株式会社横浜造船所	運輸技研	第4図
27.7.26	永真丸	138.00×18.80×10.70	浦賀船渠株式会社	東京大学	第5図

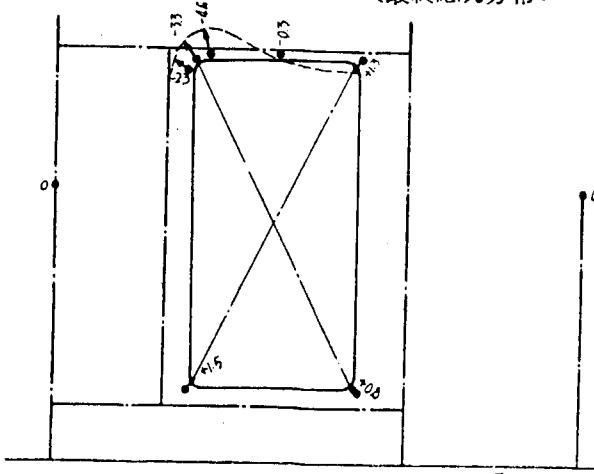
祥雲丸についての測定結果を第4図に示してある。この結果によると最大 Hogging Moment

図4 祥雲丸甲板室側壁出入口周辺応力分布

### (最大应力分布)



(最終応力分布)



(船体始動後約 2.6 秒) を受けた時の応力分布は、船首側上内部、船尾側下内部には圧縮応力、船尾側上内部、船首側下内部には引張応力が発生している。特に船首側上内部の U2 点で約  $1.8 \text{ kg/mm}^2$  の圧縮応力（測定値が Scale Out した為に推定値である。）が発生し、甲板室壁の U9, U8 点の値  $0.9 \text{ kg/mm}^2, 1.8 \text{ kg/mm}^2$  の圧縮応力に比して非常に高い応力集中が見られる。この場合は U2 点の応力は圧縮応力であるが、最大 Sagging Moment (船体始動後約 2.1 秒) を船体が受けた時にも同様な応力分布が得られ、先の圧縮応力は引張応力に、引張応力は圧縮応力となり、やはり U2 点で大きな応力集中を示すことが知られる。

祥雲丸の甲板室側壁は片側に折曲りのある第2図(b)の形であるが出入口周辺はガス切断のまゝであり、枠がまだついていない状態であつたこと等のために非常に高い応力集中度が計測されたものであろう。

永真丸の測定結果は第5図に示してある。この場合にも前と同様な応力分布が得られているが、

船首側上隅部の応力集中度は約1.2倍程度(Bridge Deck上の応力を1として)にしかすぎなかつた。この理由については色々考えられるがこの船の甲板室壁面は第2図(c)の如く両側に折曲りがある構造であり、更に枠が取付けられた後の状態で計測された為であるとも考えられる。この出入口隅部の応力集中を減少せしめる方法としては、附近の壁の両側に折曲りを附すこと、出入口に枠を附すこと等の外に、出入口上部の半径を大としてアーチ型にすることは非常に有効ではないかと考えられる。そこで出入口隅部と応力集中の関係を求めるために模型実験を行つて見た。

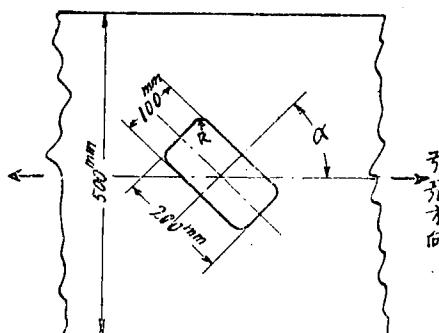
#### (2) 甲板室側壁出入口隅部の応力集中に関する模型実験

甲板室側壁出入口隅部の半径の大きさと応力集中度との関係を簡単な模型実験によつて求めるために次の如き実験を行つた。

700mm × 500mm 厚さ1.5mmの56Sアルミ板の中央部に斜に200mm × 100mmの矩形孔をあけ隅部の半径を1.5mm R, 8mm R, 25mm Rとして引張方向は第6図の如く45°になる様にしたもの3種30°になる如くしたもの1種(25mm R)計4種類の実験を行つた。抵抗線歪計を孔の周辺11ヶ所に貼付して孔の周辺の応力分布を測定し、孔のない部分の一様な平均応力を1として各点の応力分布を示したのが第7図である。これらの応力分布はいずれも先に述べた実船計測と同様である。今45°方向に引張を与えた時の最大応力集中度と隅部の半径との関係を示すと第8図の如くになる。即ち隅部の半径Rが小さくなるにつれて集中度は急激に上昇することが知れる。併し隅部附近に於てはゲージ長3mmの抵抗線歪計を使用したがゲージの幅の為に最大平均応力集中度は幾分低目に出ており、その程度は特に曲率半径の小さいものについては大きいと思われる。

- 註: 1. ○印はGauge番号。
- 2. 数字は Stress kg/mm<sup>2</sup>
- 3. 応力分布は進水開始25秒後ものとする。

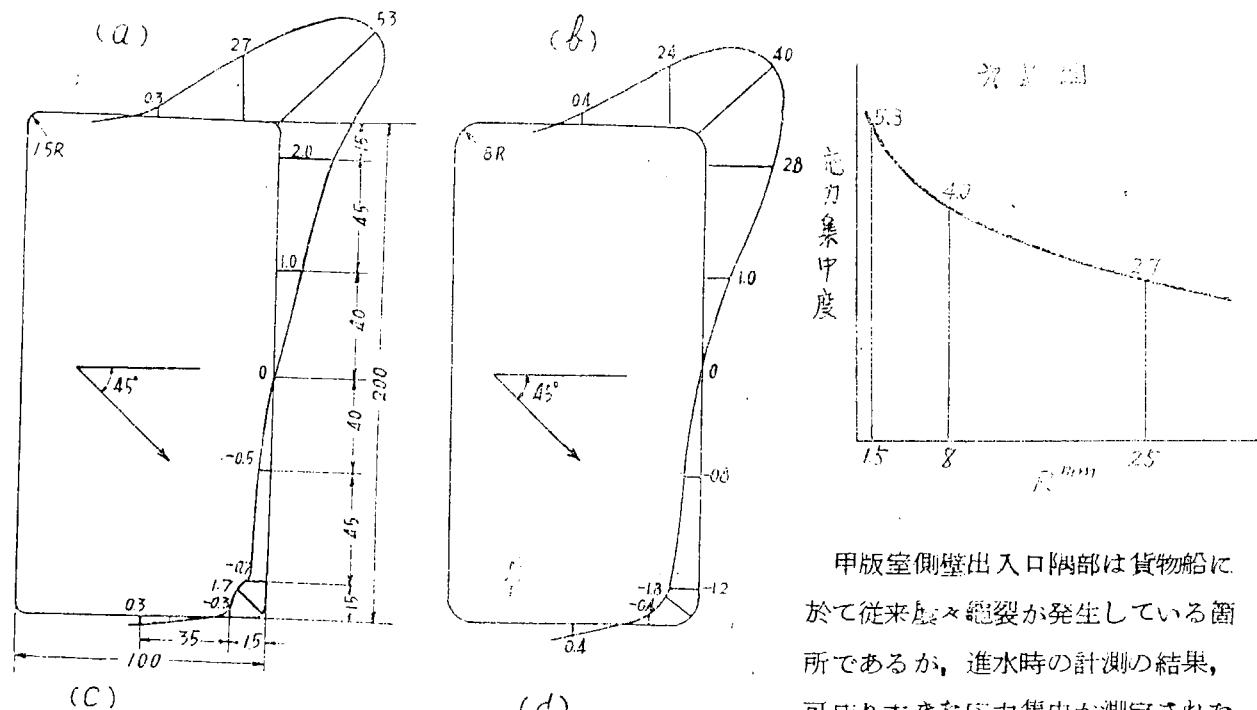
第6図



実船の場合の甲板室側壁出入口は隅部半径と幅との比は大体8/100程度であり、応力集中度は可成り大きくなるであろうことが推察される。

#### (3) 結論

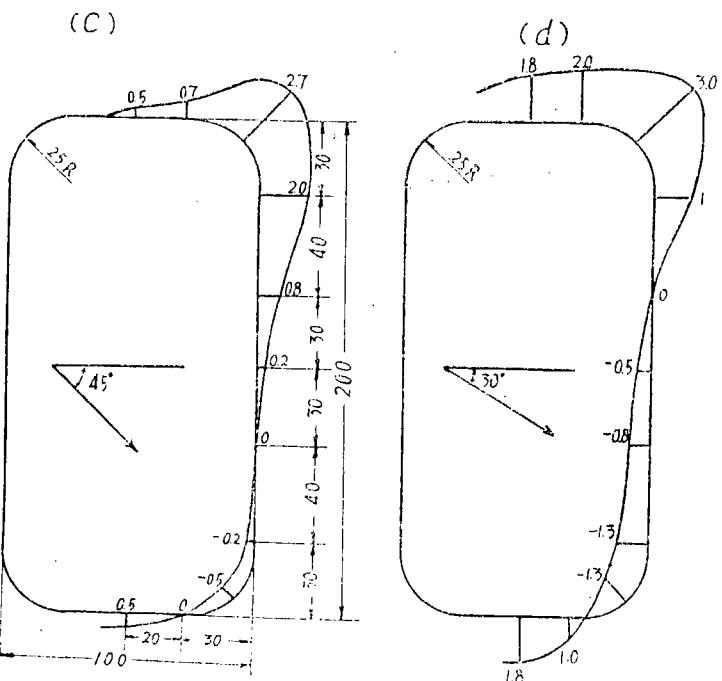
才 7 図



甲板室側壁出入口隅部は貨物船にて従来度々縦裂が発生している箇所であるが、進水時の計測の結果、可成り大きな応力集中が測定された。

この応力集中を減少せしめるには出入口附近の壁の両側に折曲げ部分を設け又出入口には枠をはめこむこと等によつてかなり効果があがるが隅部の半径を大にすることは非常に有効であり、実験結果によると隅部半径( $R$ )と出入口幅( $B$ )との比 $R/B$ が $1/4$ 以上の値になれば応力集中度は大体2.7以下に低下することが示された。

II—2 船橋棟及び甲板室端部に於ける応力伝達とそれに關聯する問題



才 9 図



才 10 図

船橋樓及び甲板室端部は、其処が縦強度の不連続部である為に応力が集中し易く、従つて破裂が生ずる等の損傷が生じ易い。第9図及び第10図はその一例である。

そこで本委員会に於てはこの部分の応力伝達状況を進水時を利用して計測し、その損傷の原因を調べ、更に良き構造様式を得る事を試みた。

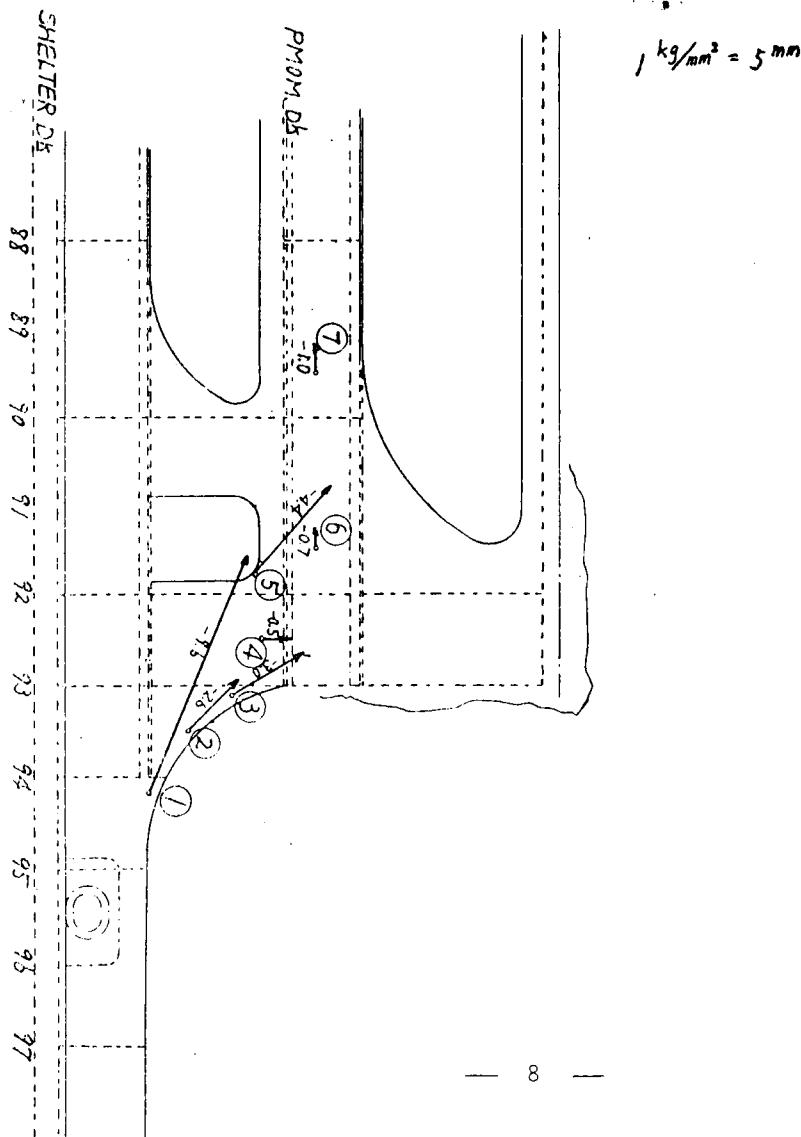
#### (1) 進水時に於ける計測

進水時を利用して実船にて船橋樓或いは甲板室の端部の応力伝達の状況を抵抗線歪計による動的計測により測定したのは次の3船に於てである。

第3表 進水時計測一覧

年月日	船名	Lpp × Bm × Dm	造船所	計測者	計測結果
27.7.18	協優丸	142.00 × 19.30 × 12.40	日本鋼管株式会社 造船所	運輸技研	第11図
27.7.26	永真丸	198.00 × 18.80 × 10.70	浦賀船渠株式会社	東京大学	第12図
27.8.5	和光丸	134.80 × 18.50 × 10.15	石川島重工業株式会社	東京大学 運輸技研	第13図 第14図

第11図 協優丸進水時応力測定結果



之等の計測結果は自第11図至第14図に示してある。協

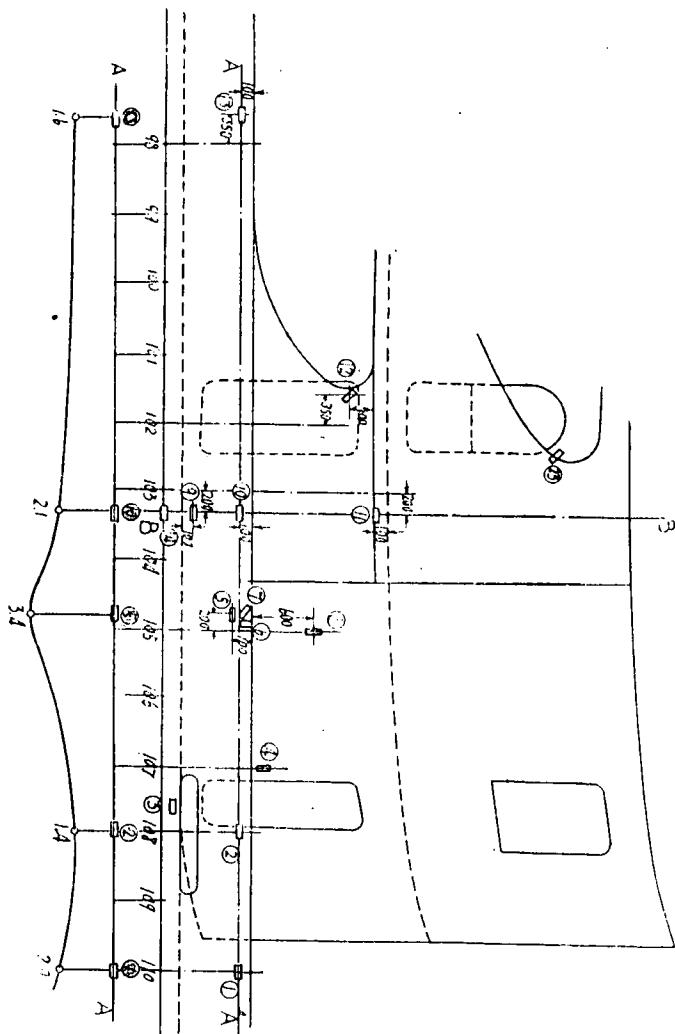
優丸第11図の船橋樓端部の構造は最も常識的のもので、標準的な結果を与えるものと期待したのであるが測定点の不足の為、甲板室、舷檣接合部のR止まり近傍に於て応力大きく、それより上に向つて応力が次第に減少する事以外の結論は得られなかつた。

永真丸(第12図)は船橋樓、舷檣の接合部にRがなく水平なBracketで取合つてゐる。その代りに該部の応力集中を減ずる為、"逆T型"のExpansion Jointを入れてある。測定結果より見ると、Expansion Jointのためにその底部を除き近傍の応力が減少しているが、その底部では可成りの応力が生じている事が分る。又船橋は船橋端の近

## 第12図 水眞丸

(説)

- 1 ○印は Gauge番号
- 2 測定は右舷
- 3 ④及⑦は Stiffner 上貼付
- 4 ⑪～⑯は Bridge Deck & Door Way に貼付
- 5 数字は Stress kg/mm<sup>2</sup>
- 6 応力分布は進水開始25秒後のものとする。



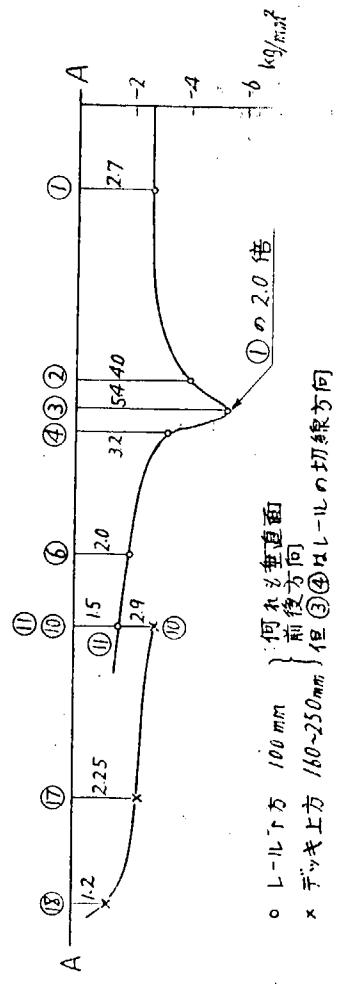
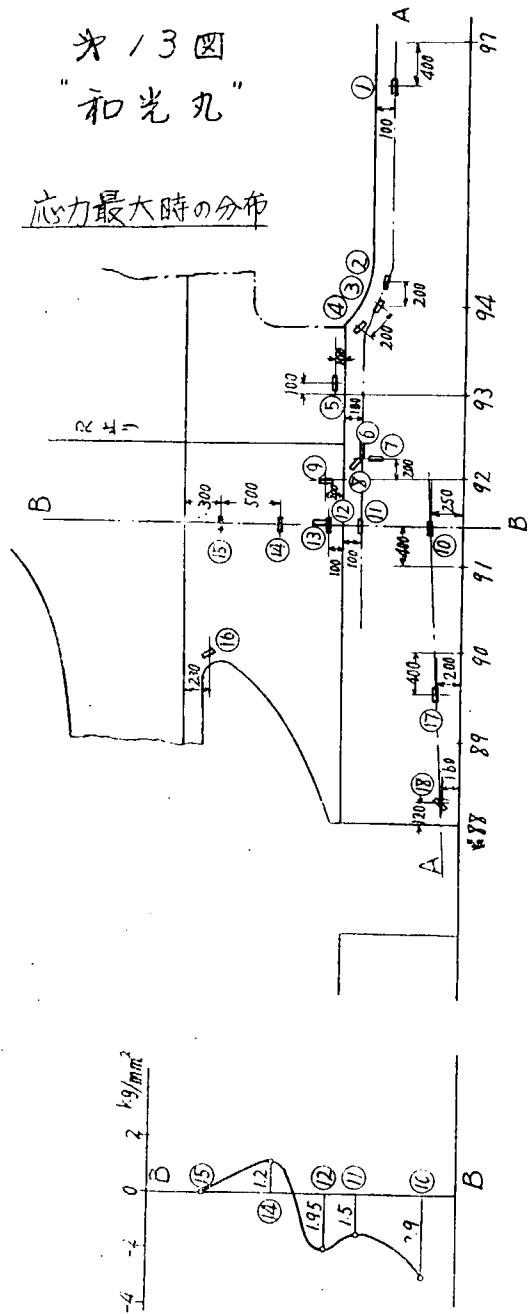
くでも、可成り上部迄働いている事を示している。船樓、舷檣接合部の応力集中については pick up の貼付け位置が少し離れている為、正確な値が分らないが、相当な応力集中がある様である。

和光丸（第13図、第14図）は甲板室、舷檣接合部には R がなく、水平の Bracket にて取合い、その代り該部に近い位置で舷檣に R をつけている。舷檣の top rail もその上辺の形に従つて曲げてある。但し右舷（第14図）では工事の都合で甲板室、舷檣接合部の水平 Bracket は未だ接合されていない状態にて測定した。測定の結果より見ると完成状態（第13図）では舷檣 R 部に可成りの応力集中（集中度<sup>2</sup>倍<sup>2</sup>）を示す。然しこの R 部より上部の舷檣では応力は可成り減少している。甲板室本体と舷檣の接する部分の応力分布の正確な値は pick up の貼付け場所が応力集中の高いと予想される場所よりやゝ離れている為、正確な値は不明であるが、その度合は比較的小さい様である。此れは舷檣の R 部の効果を示す様に思われる。然しこの接合部の応力分布は可成り複雑な為、この構造様式が推奨に足るとは結論し難い。和光丸の右舷（第14図）は水平 Bracket の接合が未完である為か、舷檣 R 部の応力集中は少い。

猶お日立技研に於て昭和27年12月19日日立造船桜島工場で進水した山里丸（D.W. 10388t 長船橋樓型貨物船）について、昭和28年1月29日日立造船因島工場で進水した大

\* 13 図  
“和光丸”

応力最大時の分布



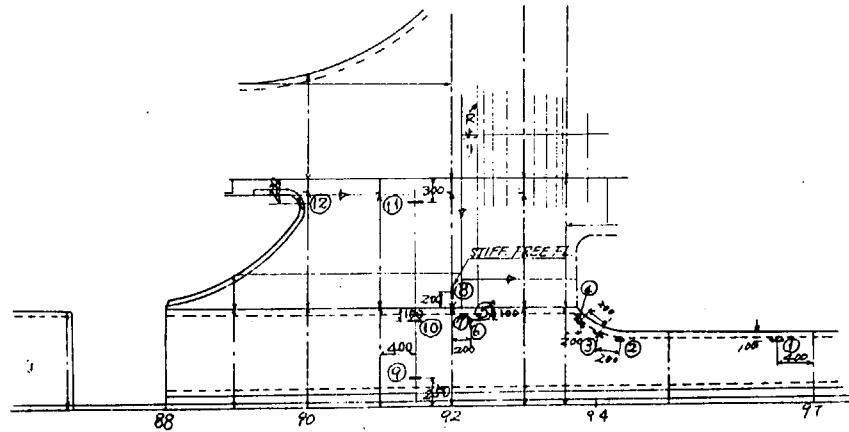
注: ③ は stiffener 上段付

○ L-L 方 100 mm 前後方向  
× デッキ上方 160~250 mm 但 ③④は L-L の切線方向

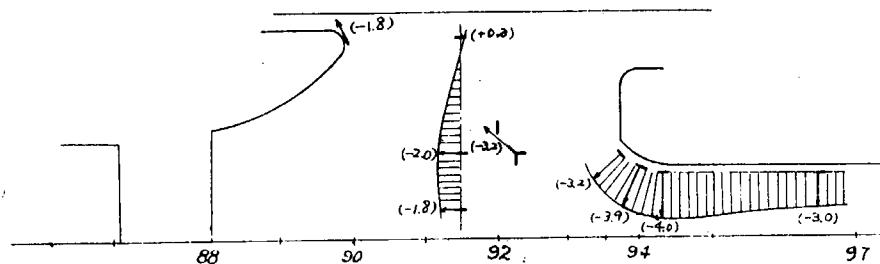
kg/mm<sup>2</sup>

① × 2.0 倍

第14図  
和光丸進水時應力測定位置及び分布



最大應力



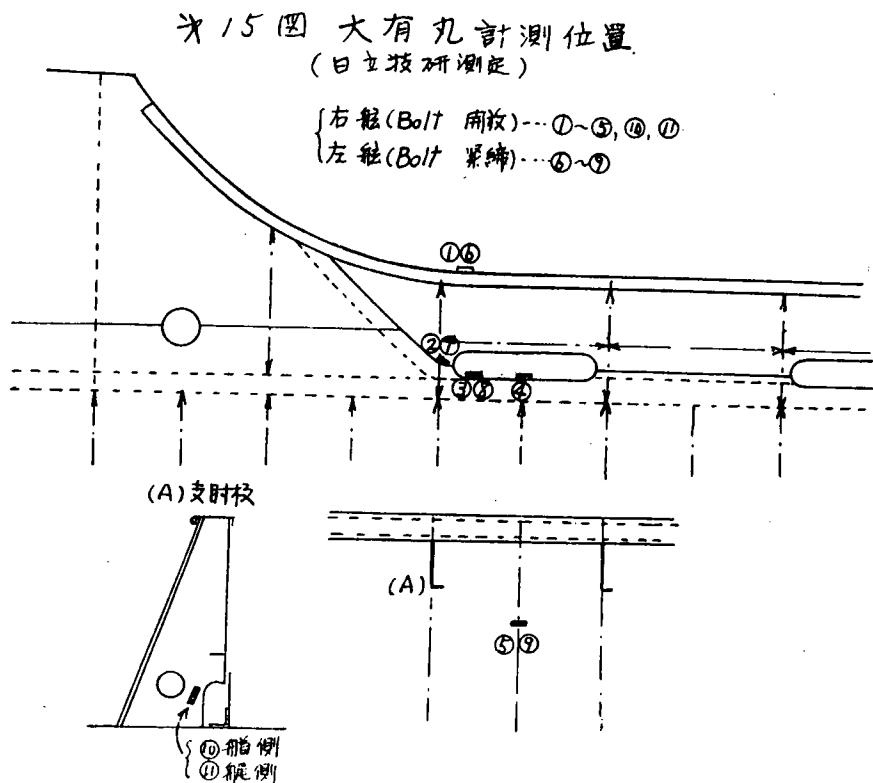
第4表 大有丸測定結果(日立技術測定)

	右舷側 (Bolt開放)				左舷側 (Bolt緊締)				
	20秒		28秒		20秒		28秒		
	応力値 (kg/mm²)	集中率	応力値 (kg/mm²)	集中率		応力値 (kg/mm²)	集中率	応力値 (kg/mm²)	集中率
①	0.5	0.18	-1.8	0.39	⑥	4.8	1.81	-5.8	1.05
②	7.5	2.92	-7.8	1.86	⑦	3.1	1.41	-7.1	1.61
③	6.1	2.35	-9.1	0.17	⑧	5.0	0.07	-6.7	1.50
④	2.0	0.77	-5.8	1.38					
⑤	2.6	1.00	-4.2	1.00	⑨	2.2	1.00	-4.4	1.00
⑩	0.5		-1.9						
⑪	-0.5		0.0						

20秒：最大のHogging Momentを受けた時

28秒：最大のSagging Momentを受けた時

有丸 (D.W. 9918 t 長船橋樓型貨物船) について第15図に示す如き舷檣伸縮接手応力集中を片舷は接手の Loose Bolt を充分に緊締して舷檣を連続と見做し得る状況の下におき、他舷は Loose Bolt を取除いて完全にこの部分を切離して測定したがその結果は第15図及び第4表に示す如くなつてゐる。



両舷を比較すると  
舷檣の曲率止りの①  
⑥点では応力集中  
の値は Bolt を取除  
き Expansion  
Joint を働かせた  
方が明らかに小さく  
なつてゐるが、接手  
底部及び水抜孔の曲  
率止り部における応  
力集中は明らかに  
Bolt を取除いた右  
舷が大きい値を示し  
てゐる。即ち Ex-  
pansion Joint を  
設けたために反つて  
その底部に大きな応  
力集中を生じてゐる  
ことが認められる。  
以上により次の如き

結論が得られる。

- i 船楼或は甲板室との接合部の舷檣にRをつけること、接合部近傍の舷檣にExpansion Jointを設け、又はRのついた段を附ける事によりその接合部の応力集中を減ずる事ができるが別に新しい場所に応力集中が生ずる。即ちこの様な場合危険な場所を移動せしめただけの様になるおそれがある。
- ii 船楼或いは甲板室の端部近くの側壁の応力分布は上に向つて減少する、然し可成り複雑な様相を示す。

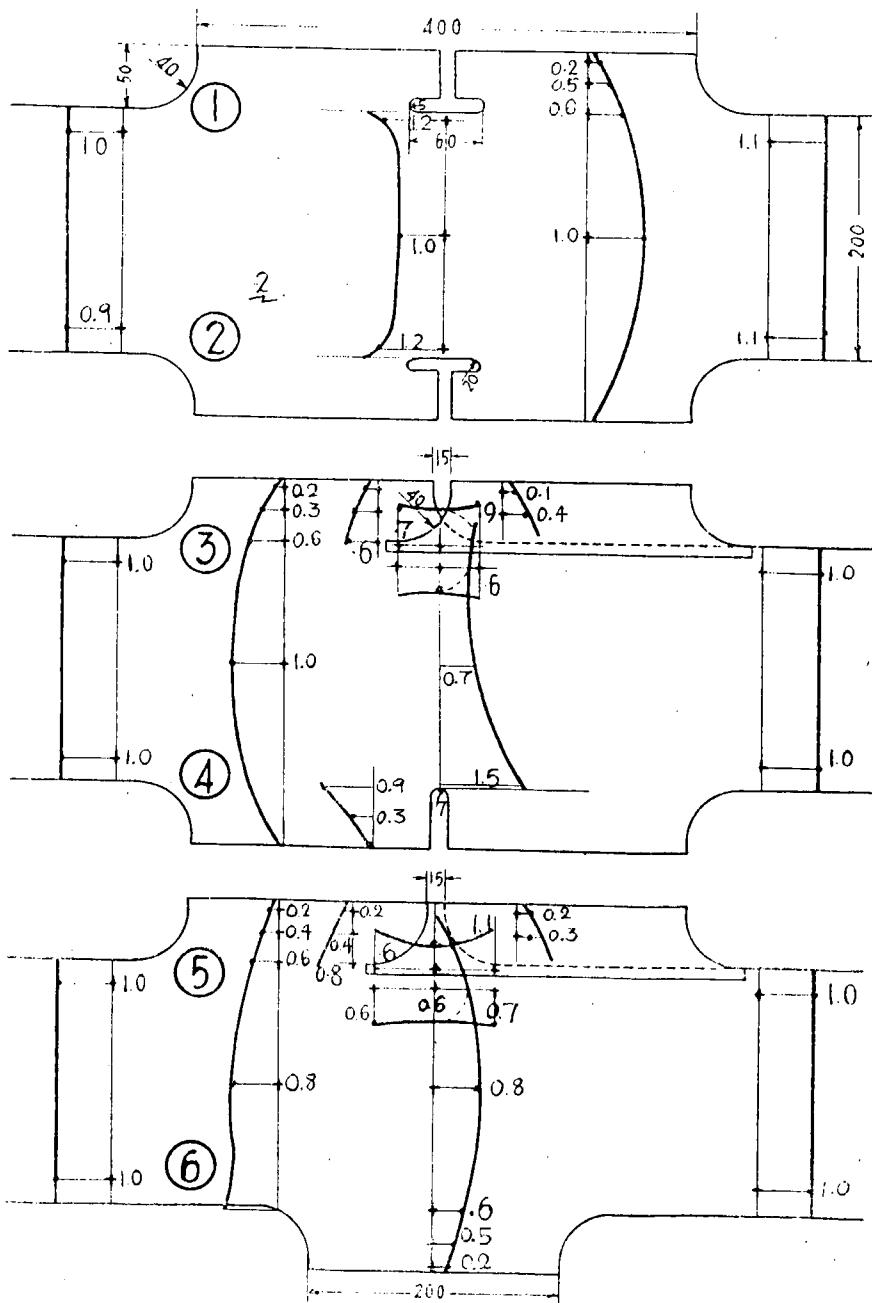
## (2) Expansion Joint の改良に関する一実験

実船実績によると Expansion Joint を付ける事により可成りの応力減少を招来せしめる事ができるが、之に伴つてその底部に大なる応力集中が生ずる。その為 Expansion Joint の効果を持ちしかも応力集中の生じない様な Expansion Joint を得ることが望ましい。

そこでこゝに"いすか型"と命名する所の一つの構造を考案しその性能を模型実験にて調べた。即ち厚さ2mmの鋼板製の三筒の模型(第16図)を製作し、此れに①～⑤に示す様な5種のExpansion Jointを附けた。①、②は従来の"逆T型"(永真丸第12図参照)のものの底部のRを変えたものであり、③、④は"いすか型"でそのLap量を変えたものである。又④は標準用Expansion Jointであり、⑥はExpansion Jointの両側の応力状態を比較する為の標準である。

模型は50ton Amsler万能試験機に特に設計したChuckにて取付け、弾性限以下の応力が生する程度の引張荷重を掛けた。応力分布は抵抗線歪計によりPick UpはGauge Length 4mm

### X16倍 縦方向引張応力分布図



9.5mmのものを適当に使用した。此等はLap部を除いて表裏同位置に貼り、両者をSeriesに結線してその平均値を直接取出した。応力分布は第16図に示す様になつた但し模型の両端に於ける平均応力を1.0としてある。

これらの実験により次の如き結論が得られた。  
即ち

- i) いすか型(③, ⑤)  
は他の方式に比し  
性能が非常に良好  
でExpansionの近  
傍に応力集中は全  
く見られなかつた  
此れに対しては  
Lap量の影響は  
本実験の範囲では  
殆んどない様であ  
る。又その近傍に  
於ける応力分布状  
況は⑥のそれと殆  
んど等しい。
- ii) "逆T型"(①, ②)

②) も亦相当有効である。然し Pick Up の貼付場所が周辺でない為、数倍の応力集中は予想される。その底部の形状による差異は幾分認められたが、詳細は尙今後の実験にまたなければならない。

### (3) 結論

以上の進水時の計測及び模型実験の結果を総合すると次の如くになる。

- i ) 船橋或は甲板室の端部には可成りの応力集中が生じ、これが該部に生ずる損傷の因である様である。
- ii ) 上の応力集中は①船橋或は甲板室と舷檣の取合部にRを附けること、⑤取合部の近くにExpansion Jointを附けること、⑥取合部の近くの舷檣にRのついた段を附けること等により減少せしめる事が出来る。然しこの為新しい応力集中が他の箇所に生ずるおそれがある。
- iii ) 上の2次的な応力集中を生ぜしめぬ為に"いすか型" Expansion Jointが考案された。その実験の結果によると、2次的応力集中は非常に少い。一般に Expansion Jointの底部其の他2次的応力集中の生じ易い場所のRは可及的大きくすることが望ましい。

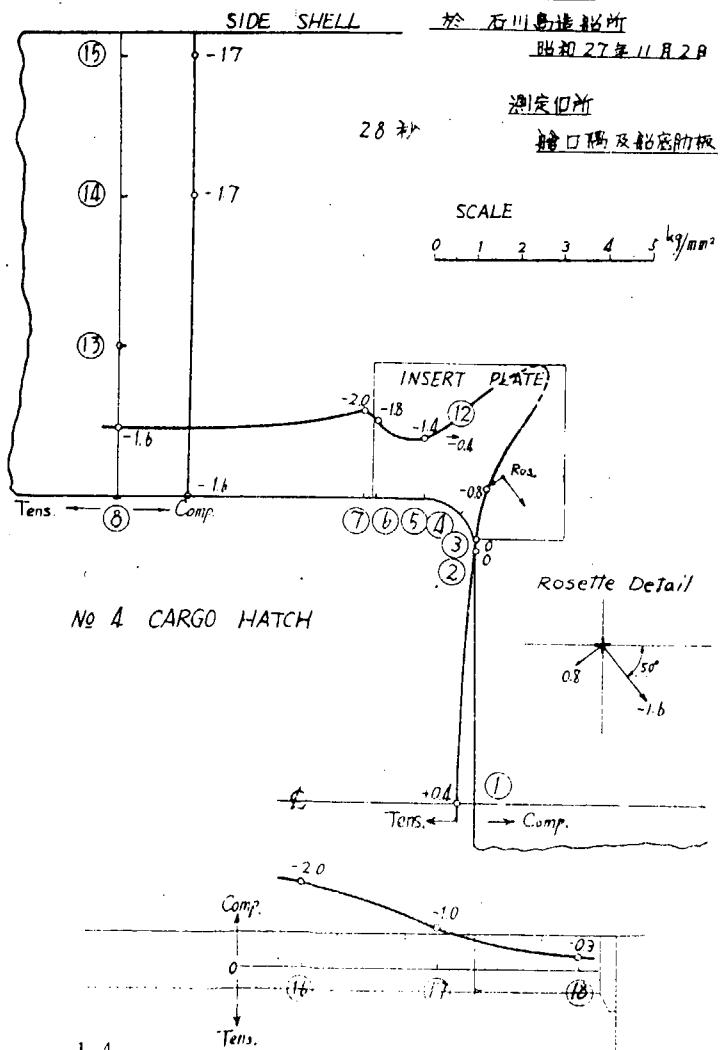
オ17図 香椎丸進水時応力測定結果

### II—3 艉口周辺の応力分布

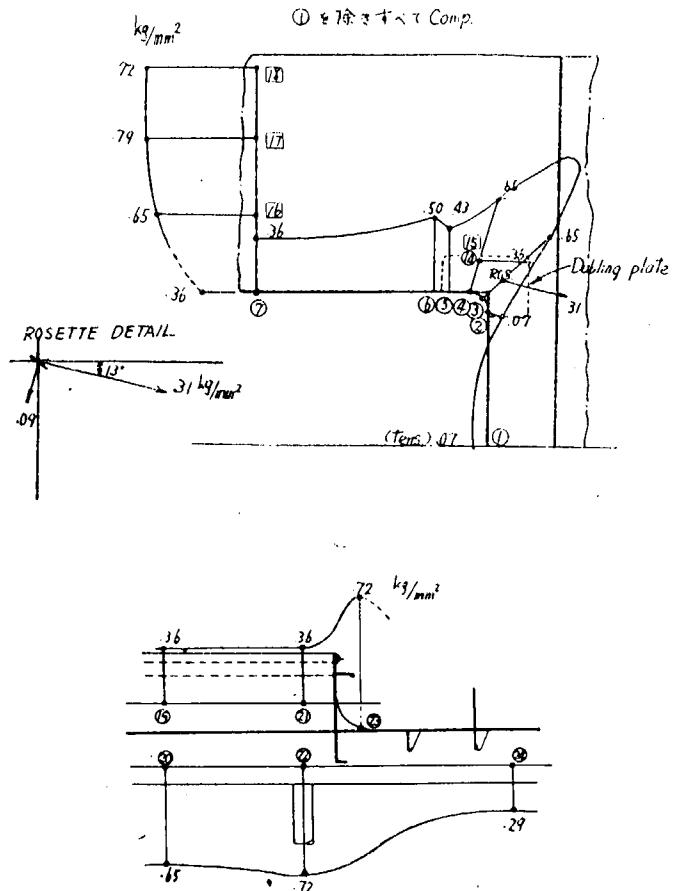
貨物船の艉口周辺部も幾々問題となる所であり、その応力分布に関する研究は理論的及び実験的に古くより行われている。特に艉口隅部の二重張構造及び内挿板構造については第2研究部会第3小委員会に於て系統的な模型実験を行い種々興味ある結果が得られている。本第1小委員会に於ては艉口周辺特に隅部の二重張構造部或は内挿板構造部及び甲板下縦桁等の応力分布を進水時を利用して測定し、一方第3小委員会で行われた模型実験と比較した。

#### (1) 進水時に於ける計測及び模型実験との比較

昭和27年11月2日石川島重工業KKで進水した香椎



### 第18回 応力最大時の分布

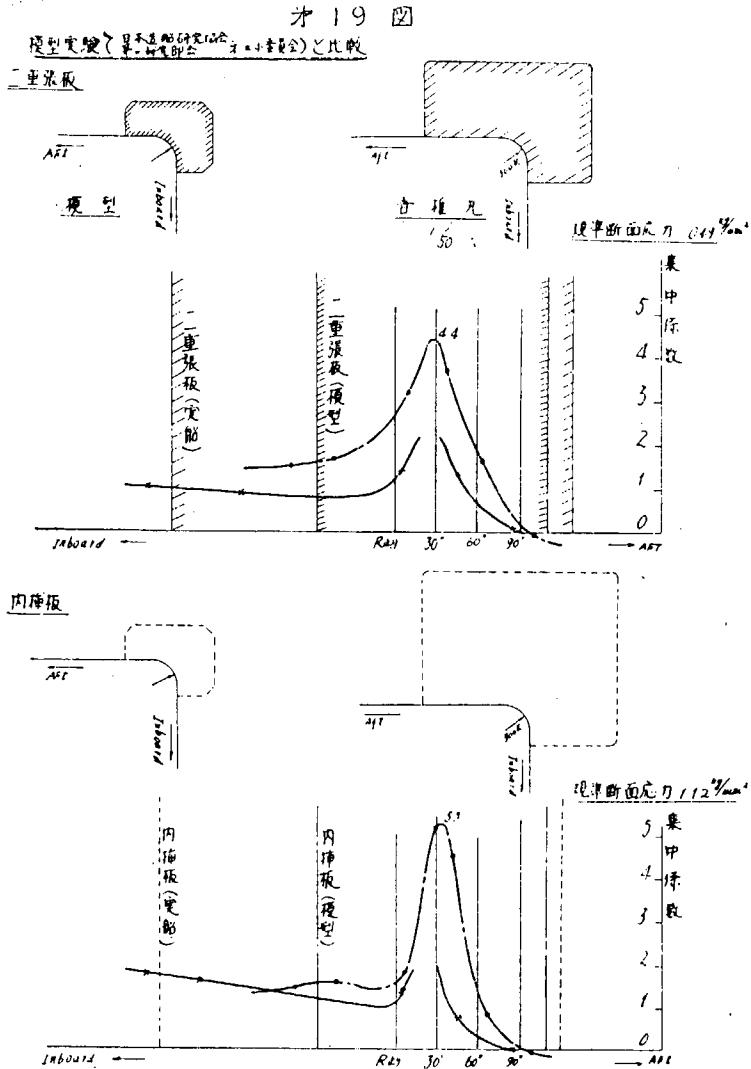


丸(134.80×118.30×10.15, 計測担当者東京大学, 運輸技研)についてNO.4 艇口周辺部(隅部は内挿板構造)及びNO.5 艇口周辺部(隅部は二重張板構造)の応力分布を計測した。計測より得られた最大応力分布(船体始動後約28秒)は第17図及び第18図に示してある。いずれの場合も同様な応力分布を示しているが艇口隅部の応力集中については計測点の数が不充分であつた為めに正確な値を求めることは出来なかつたが、第3小委員会での模型実験によると外舷側より約30°の位置に近くに最大の応力集中

が生ずることが明らかになつてゐる。そこで応力集中係数として甲板上の応力の平均値に

甲板の巾 - 艤口の巾 / 甲板の巾 を乗じて求めた規準応力との比であらわし、模型実験と実測と比較すると第 19 図の如くになり、実船の場合には二重張板、内挿板いずれの場合に対しても最大の応力集中係数は大体 2.0 ~ 2.5 位の値となるが、対応する模型実験に比しその値は約 1/2 に低下していることが知れる。この理由としては艤口部附近の構造の相違或は荷重の加わり方の差異等が考えられるが、明確な理由については更に研究を要するであろう。なお第 20 図には実船計測と模型実験の場合について二重張構造と内挿板構造との比較を示してある。模型実験では内挿板の方が最大の応力集中係数が高く、その分布も鋭く出ているが、実船の場合には先にも述べた如く実測点の数の不充分のために両者について判然とした区別を求めるることは出来ない。

二重張、内挿板の効きは模型実験結果によると、二重張板或は内挿板の縦横比及び長厚比によつてきまるものであり、縦横比、長厚比が大なる程有効に働くことが明らかになつてゐる。本船



が実測の場合と大体同一の傾向を示していることが知れる。

猶ほ日立技研に於ては先に述べた山里丸及び大有丸進水時にやはり船口周辺の応力分布を測定している。（船口隅部は内挿板構造）その結果によると船口隅部の最大の応力集中度はやはり外舷側より約 $30^{\circ}$ 附近に生じ、その値は $2.0 \sim 2.5$ であった。

## (2) 結語

以上述べたことを要約すると次の如くになる。

- i ) 船口周辺の応力分布は二重張構造及び内挿板構造の場合について略々同様な傾向を示す。
- ii ) 隅部に生ずる最大応力集中係数はやはり $2.0 \sim 2.5$ 程度である。
- iii ) 最大応力集中の生ずる位置は外舷側より約 $30^{\circ}$ の位置近くに生ずる。
- iv ) 最大応力集中係数は模型実験に比べると約 $1/2$ である。
- v ) 甲板下縦桁上の応力分布は模型実験の場合と大体同じ傾向を示す。

の場合はこれらの値は充分有效地働く程の大きな値を有しておるが船口周辺での計測値で、二重張板及び内挿にはいつた点で応力値に段差がついており、特に二重張板の場合二重張上の2点に於ける計測値とその丁度裏側にあたる甲板裏面におけるそれとは殆んど同一の応力値を示している（⑭ ⑭ 及び Rosette）

こと等よりこの場合には充分に効いていると考えても差支えない様である。

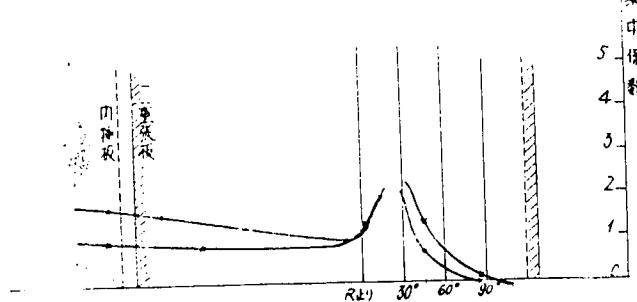
Coamingには殆んど均一に応力が流れているが Coaming 端の ② 点では約2倍程度の応力集中が見られる。又甲板下縦桁は Coaming 部で船口開口のためにかなりの応力の増加が見られる。模型実験より得られた甲板下縦桁及び Coaming 部の応力分布は第21図下段に示してある

諸お模型実験での結果から見ると応力の集中傾向は内挿板の方が鋭い形をしているが実船では測定点の数が少くて最大応力集中係数附近の値が求められていないので、この実測のみからは内挿板と二重張板との最大応力集中係数の大小を決定することは出来ない。

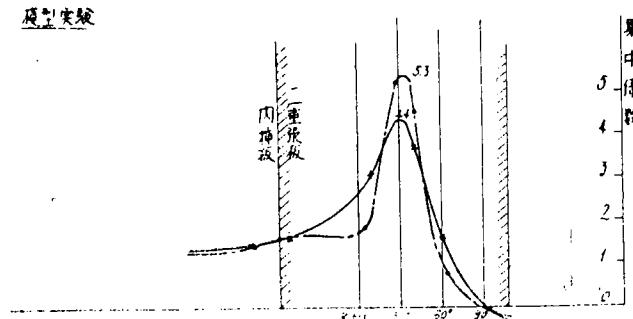
次20図

二重張板と内挿板との比較

査獲丸 二重張板 ———  
査獲丸 内挿板 - - -



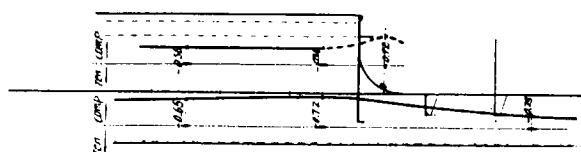
模型実験



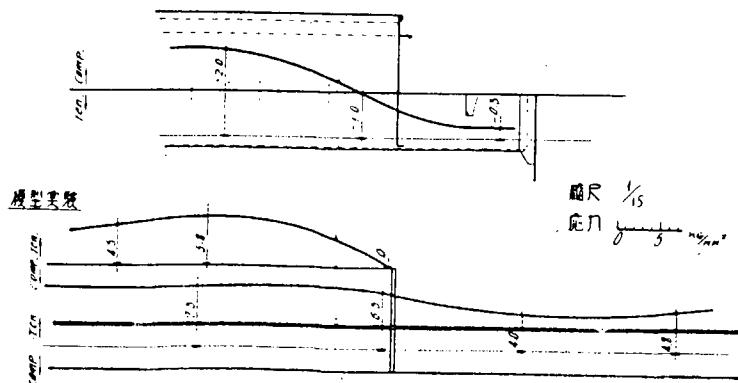
次21図

甲板下部構造上の応力分布  
図中の數値は応力値  $\frac{kg}{mm^2}$  を示す  
査獲丸  
具1-1(第五脚口)

縮尺  $1/30$   
応力  $0 \quad 1 \quad 2 \frac{kg}{mm^2}$



具1-2(第四脚口)



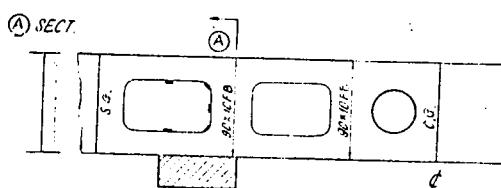
## II—4 進水時に船底肋板の受ける応力

進水時最大の Hogging Moment と船体がうけたときに固定台端にあたる船底肋板はどの程度の応力を受けるかは進水時の船底部の強度に直接関連のある重要な問題であろう。

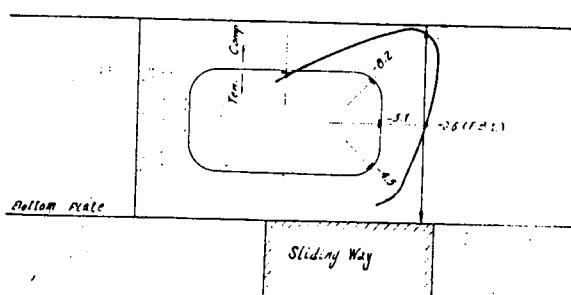
この部分については前記香椎丸について測定を行つたがその結果を第 22 図に示してある。図

第 22 図

FLOOR の底面



によると応力分布は滑台による圧縮応力と剪断応力との合成されたものと考えられるが、最大の応力値は滑台直上の肋板軽目穴上隅部に生じ  $8.2 \text{ kg/mm}^2$  (圧縮応力) の値を示している。この値については更に種々の場合に測定を行い肋板の挫屈応力との関連を検討する必要があると思われる。この点将来の研究を要する。



図中の数値は応力値  $\text{kg/mm}^2$  を示す

## II—5 油槽船の船底縦通材の横隔壁貫通部の応力伝達

油槽船に於て重要な問題となつている箇所で、この部分に於ても縦強度が出来る丈連続になる様に現在までに種々な構造法が案出されている。従つてこの部分の大型模型実験は米国を始めとし我国でも播磨造船、熔接研究会※等によつて行われており、進水時の実測は本委員会の外に日立技研でも行つてゐる。以下進水時実測結果を述べ更に上述の種々な実験結果との比較考査を行うこととする。

### (1) 進水時に於ける測定例

本委員会において実測を行つたのは次の三船についてである。

※ 本研究報告に実験データの提供を許可されたのは播磨造船所 KK の御厚意によるものである。

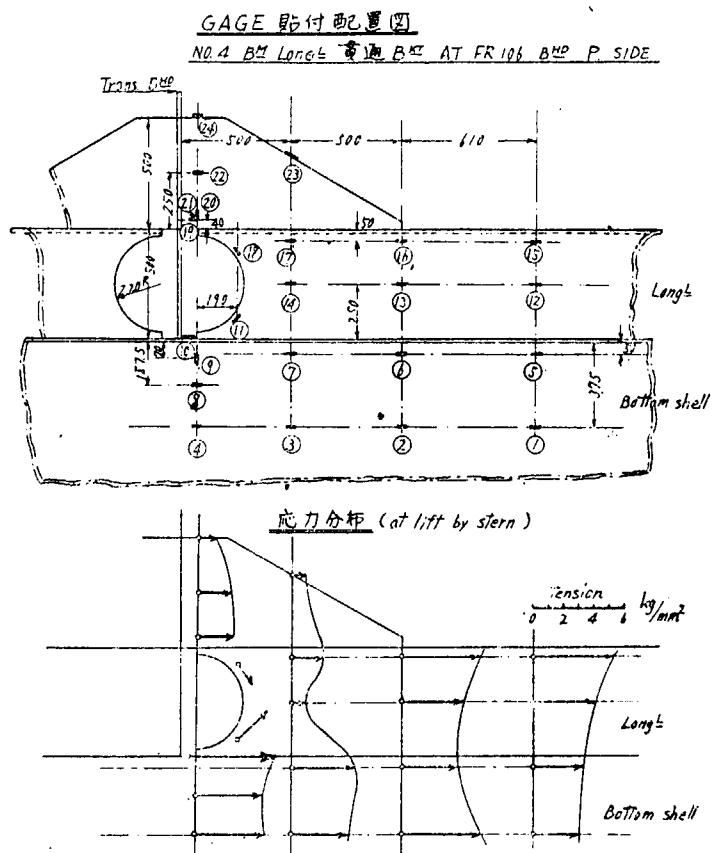
第5表 進水時測定一覧

年月日	船名	Lpp xBm xDm	造船所名	計測者	測定結果
27年10月1日	Adri as	M M M 167.68x22.56x12.35	日本钢管KK 鶴見造船所	東京大学 運輸技研	第23図
27年11月19日	Alliance	167.00x22.00x12.20	川崎重工業株式会社	同上	第24図 第25図
27年12月17日	祐邦丸	185.00x25.20x13.40	播磨造船株式会社	同上	第26図

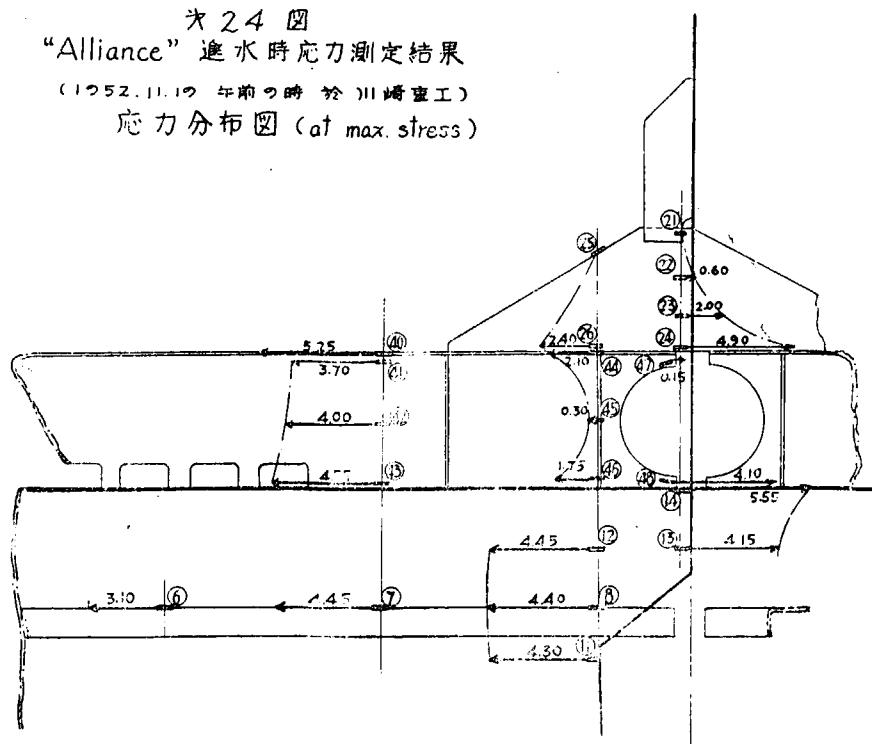
Adri as号の結果を第23図に、Alliance号の結果を第24図及び第25図に祐邦丸の結果を第26図に示してある。これらはいずれも大体同様な応力分布状態を示しており、肘板貫通部下端には相当な応力が流れしており、貫通部よりはなれた縦通材の平均応力の約1.2～1.7倍程度の大きいとなつてゐるが、肘板上部に行くに従つて応力値は急激に減少している。（併し第23図のAdri as号の場合はこの減少の傾向が他のものに比して小さい。第27図参照）即ち肘板全体は有効に応力を伝達していない様である。船底外板での応力分布を見ると、Alliance号を除いて他の二船は略々同じ分布を示している。即ち船底縦通材端の横隔壁に近い部分の船底外板の応力分布は縦通材固着部に於て少し応力が上昇し、応力比は隣接縦通材との中央に於て減少している。上に述べた応力比であらわすと縦通材固着部で約1.5～1.9隣接縦通材との中央に於ては約1～1.4となつてゐる（第26図参照）。即ち応力伝達は主として船底外板を通して行なわれてゐるものと考えられる。従つて肘板の高さを出来る丈低くして肘板が応力伝達の役目を充分に果す様にすることが望ましい様である。併しこの点に関しては工作上の難易にも関聯することであり将来とも更に検討さるべきであろう。

猶お日立技研に於ても昭和28年3月19日日立桜島工場で進水したChristina号について同様な測定が行われた。その結果は第28図に示す如きものであり、大体本小委員会での測定結果と同様な応力分布を示しているが、肘板貫通部下端の応力比は先のものよりは幾分低くなつてゐる。

第23図 "Adrias"号進水時応力測定結果

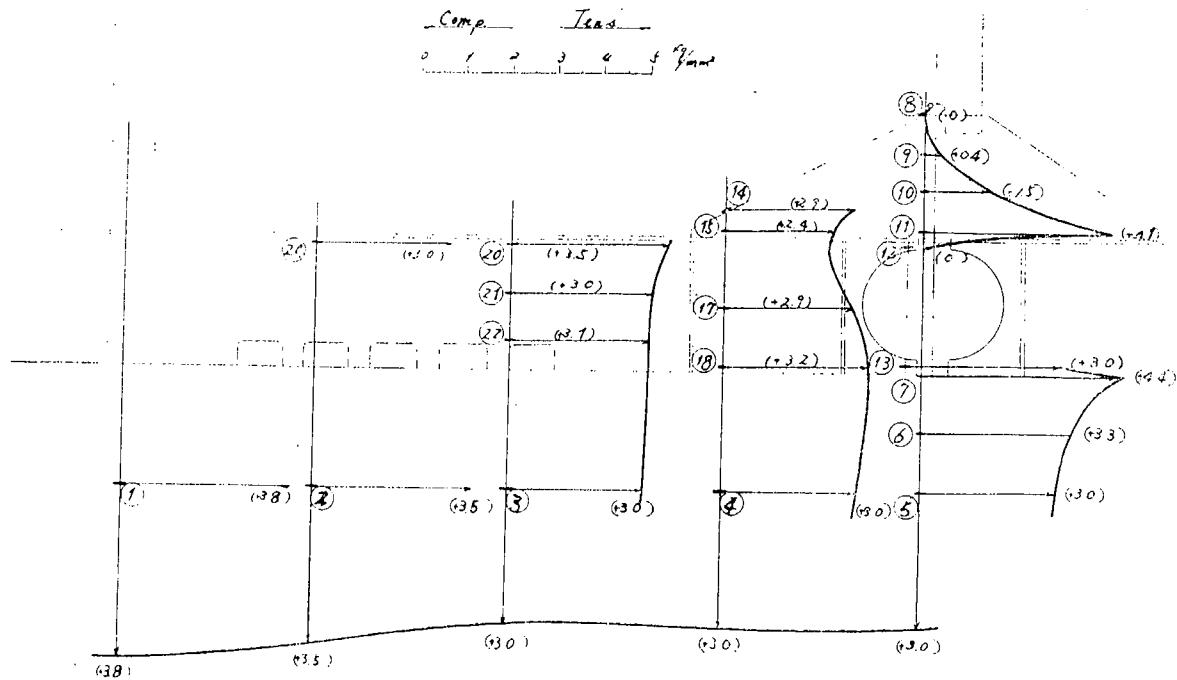


第24図  
"Alliance" 進水時応力測定結果  
(1952.11.10 午前9時 於川崎重工)  
応力分布図 (at max. stress)



第25図

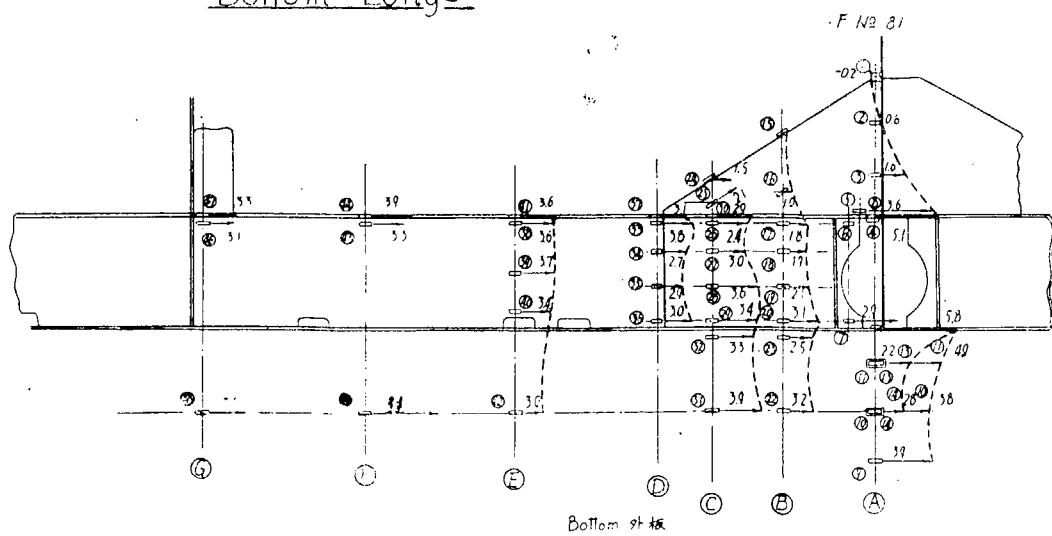
No.8 BOTTOM LONGE BULWARK CO.7 (W.T.) (P) BOTTOM応力分布(最大)



第26図  
祐邦丸進水時応力測定結果

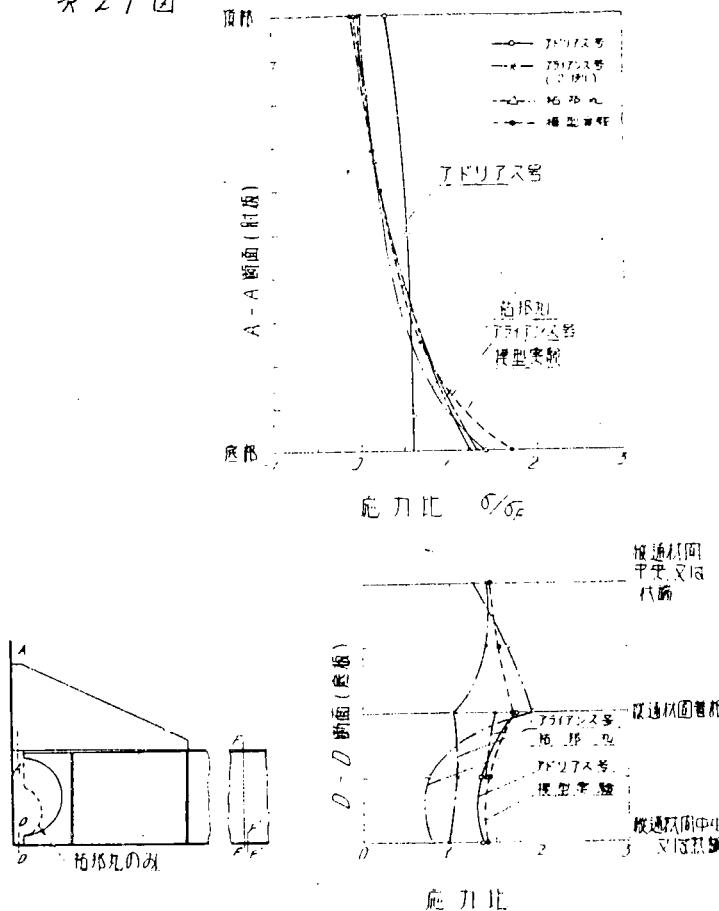
Bottom Longe

応力最大時の分布を示す。(於船體進水時 27年12月17日)

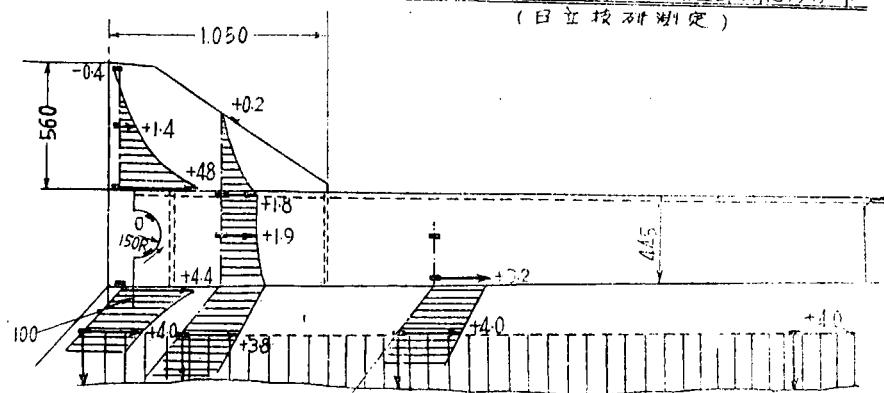


③, ④は No.9 B. Longe と No.10 B. Longe の間  
他はすべて No.10 B. Longe と No.11 B. Longe の間を示す

第27図



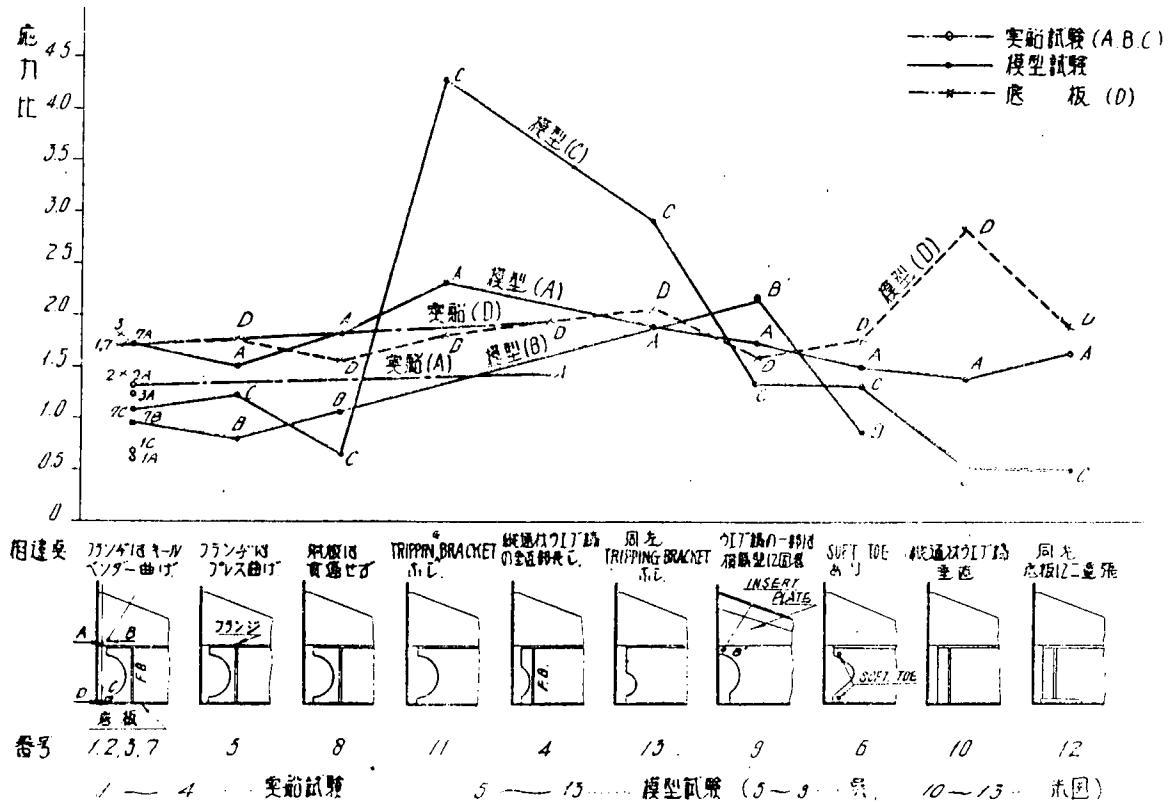
第28図 縦肋骨の横隔壁貫通部の応力分布  
(日立機械測定)

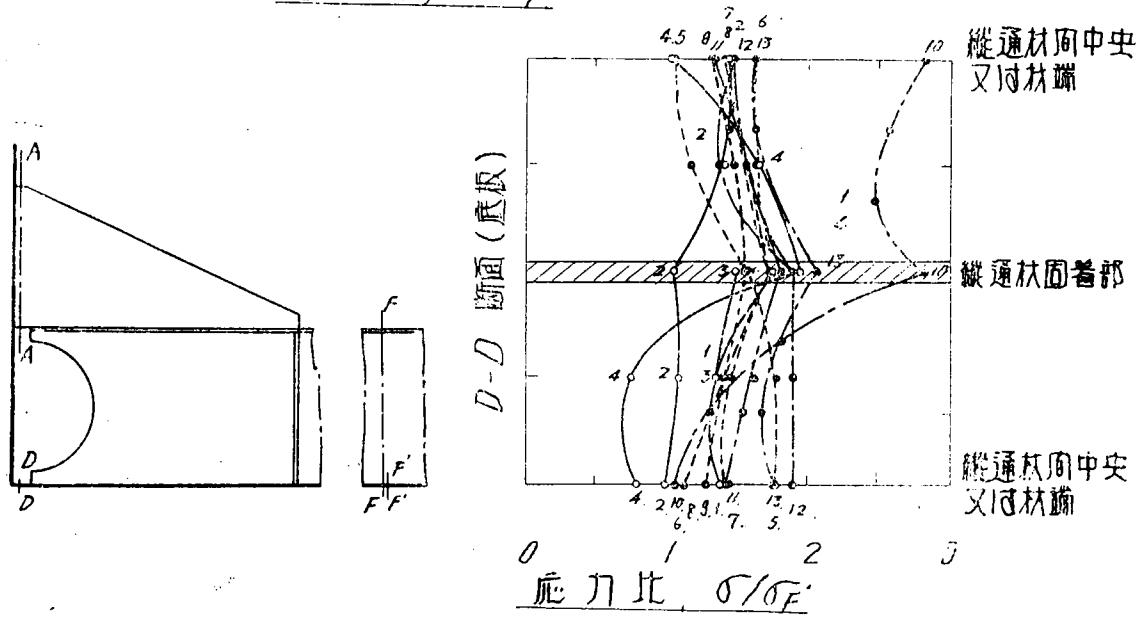
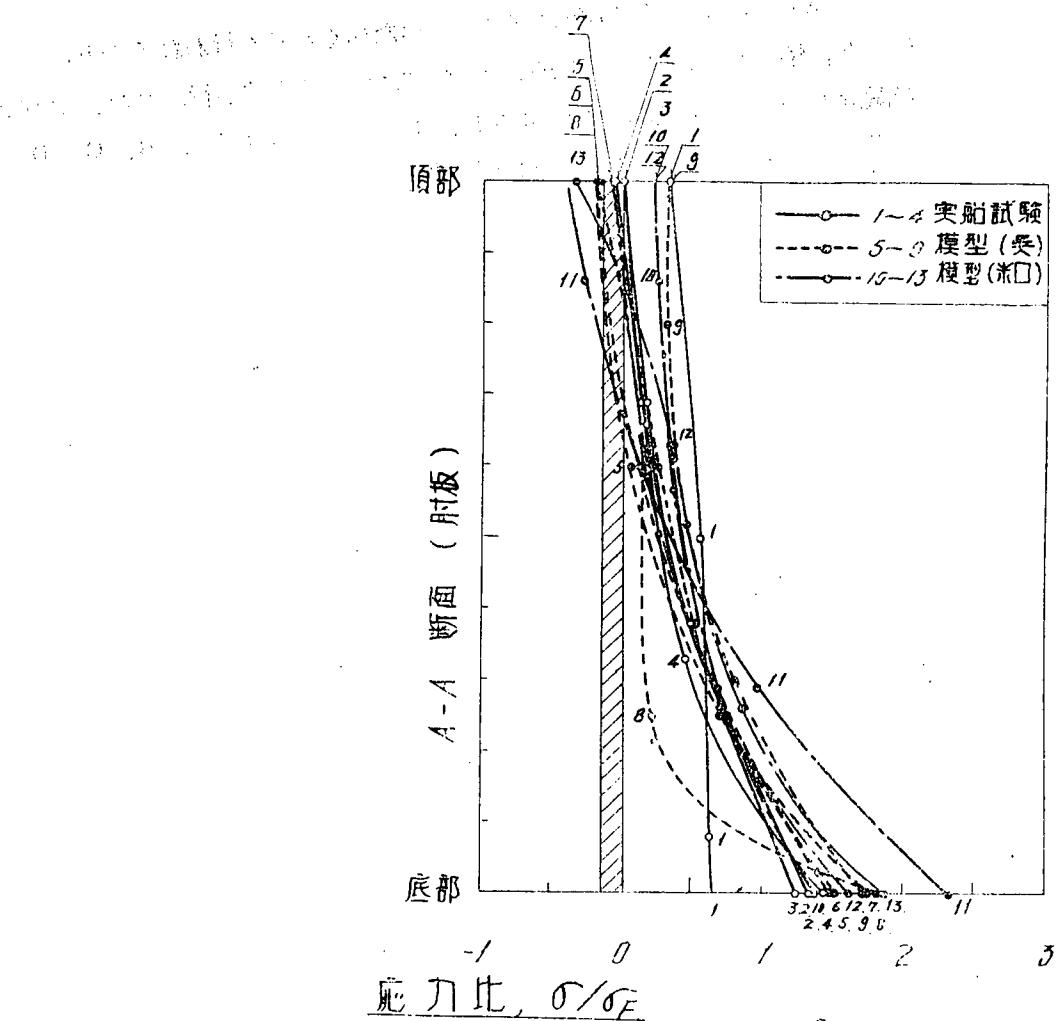


## (2) 模型実験との比較

この部分に関する模型実験は先にも述べた如く数多く行われており、我が国に於ても昨年播磨造船KK、熔接研究会によつて五種類の構造について実験が行われた。米国で行われた4種類と実船試験の場合のこの部分の構造を示し、主要箇所の各点(A, B, C, D)に於ける応力比(ある点の応力を横隔壁より充分はなれた個所の縦通材の平均応力との比)を示したのが第29図である。特に貫通肘板の横隔壁に近い部分のA-A断面及び船底外板のD-D断面上の応力分布を応力比で示すと第30図の如くになり、各点の応力比の値を表示すると第6表が得られる。

第29図 各種試験材の各点(A, B, C, D)における応力比





第30図 肘板(A-A断面)及び底板(D-D断面)の応力比分布  
(F-F'F'-F'断面の平均応力との比)

表 6 表

番号	船名又は 実験場所	縦通材又は 試験片番号	肘板応力		横通材 平均応力	肘板応力比		底板応力 縦通材端部	底板 平均応力	底板応力比
			頂部	底部		頂部	底部			
1	Adriasis号	第四 船底縦通材	1.3	2.5	4.1	0.32	0.61	5.7	3.3	1.73
2		第八	0	4.1	3.1	0	1.32	4.4	3.1	1.03
3	Alliance号	第九	0	4.9	4.0	0	1.23	5.6	3.1	1.48
4	祐邦丸	第十	-0.2	5.1	3.6	-0.06	1.42	5.8	3.0	1.93
5		1	-0.9	7.5	5.0	-0.18	1.50	8.4	5.5	1.53
6		2	-0.9	7.8	5.3	-0.17	1.47	9.2	5.3	1.73
7		3	-0.4	9.1	5.3	-0.08	1.72	9.9	5.3	1.70
8		4	-0.9	9.6	5.3	-0.17	1.81	9.0	5.7	1.55
9		5	1.8	9.5	5.6	0.32	1.70	7.8	5.0	1.56
10		1	1.5	8.0	5.9	0.25	1.35	11.0	3.9	2.82
11		2	-1.5	12.5	5.4	-0.28	2.31	9.5	5.3	1.79
12	米国	3	—	10.0	5.3	—	1.53	9.0	4.8	1.87
13		4	-2.0	11.0	5.9	-0.34	1.86	10.0	4.9	2.04

これらによると実測と模型実験とは略々同じ分布を示しているが貫通肘板の頂部では実船では0又はわずかの引張応力が生じている。(祐邦丸の場合は非常に小さいが圧縮応力が生じている。)が模型実験では圧縮応力が生じている。又肘板底部の応力比及び船底外板に当る底板の応力比(縦通材固定部)も同様に模型実験の方が高い値を示している。この理由は実船と模型実験との場合によつて荷重の加はり方に相違があるためではないかと考えられる。

### (3) 結論

以上に於て進水時を利用して応力を測定した実船試験3隻(Adriasis号, Alliance号, 祐邦丸)と模型実験(呉及び米国)による船底縦通材端部結合に関する実験結果(13例)をまとめ、両者を比較したのであるが大体次の如き事換が明らかにされた。

- i) Alliance号, 祐邦丸における3例は模型実験の場合と略々同じ分布を示している。
- ii) 実船では肘板頂部に圧縮応力が存在していないのに模型では存在している。
- iii) 実船での肘板底部の応力比は模型の場合より小さい。

- iv) 肘板底部の応力比は約 1.2 ~ 1.7 である。
- v) 底板での応力比分布をみると、Alliance 号を除いて略々同じ分布を示している。即ち縦通材固着部に於て、少し応力が上昇し、応力比は隣縦通材との中央又は試験片端部で約 1 ~ 1.4 縦通材固着部で約 1.5 ~ 1.9 になる。
- vi) Adrias 号における肘板上の応力分布は、他の例に比して異つている。

## Ⅱ. 結語

以上昭和 27 年度運輸省科学技術応用試験研究補助金の交付を受け、船の進水時を利用して船体構造上問題となつている箇所をえらんで実測を行い。一方簡単な模型実験を行つたり、或は既に行われている実験結果と比較検討を行つたものである。

本章の研究課題である進水時の船体各部の応力分布測定は直接船体の講造設計上重要な資料を得るのは最も適したものであると考えられる。従つて将来とも斯様な研究が機会ある毎に繰返され、各種構造についての資料が蒐集され、その優劣が検討されることになれば我国造船技術の向上は誠に目覚ましいものがあると信ぜられるのである。

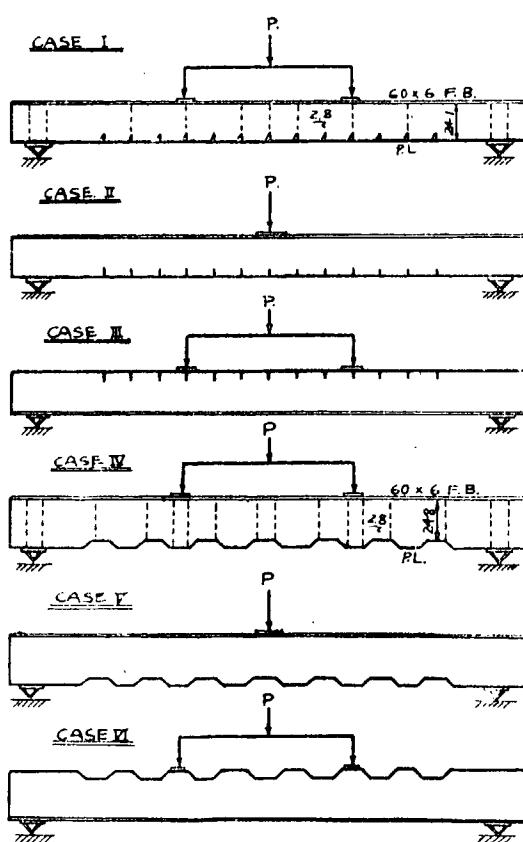
## 第二章 波板の有効巾に関する研究

### I. 緒 言

板構造を梁理論により計算する目的で導入された有効巾の概念は、非常に便利なものであり、従つて、これについての研究は理論的に又実験的に種々行われ、実用的にはほど解決されていると見ることが出来る。しかるに近年船内隔壁に対して波型板が使用されるようになり、これを実用的に梁理論によつて処理するには如何にすべきかということが問題となつて來た。即ち1波長の断面をもつ梁とした場合、この断面の何パーセントが曲げに対して有効に働くかということ、及び防撓桁を取付けた場合これについての有効巾は如何程かということが問題となる。これらのこととを解決するために模型及び実船について以下述べる如き計測及び解析を行い、同時にある問題については理論的説明をも附加した。

### II. 波型及び普通型隔壁の防撓桁に対する有効巾（模型試験によるもの）

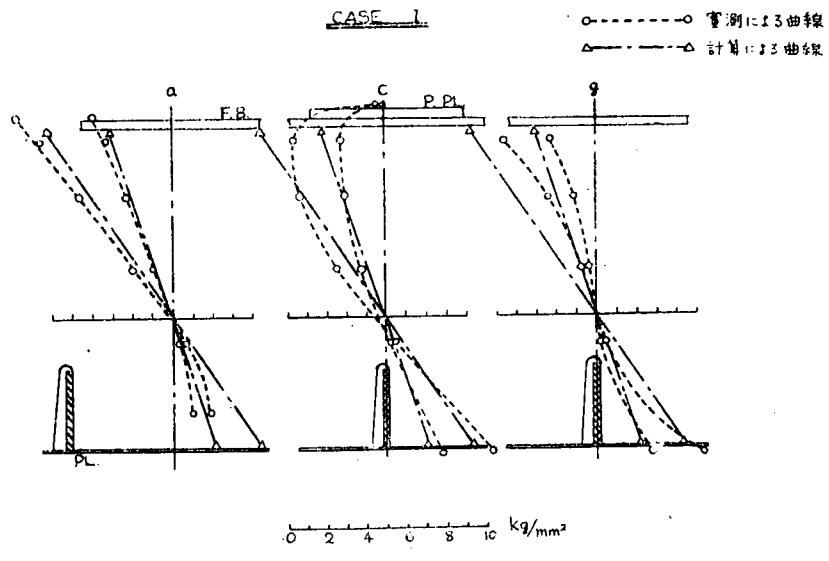
#### II-1. 実 験



オ1図 波型及平板型防撓桁  
荷重状態図

本節における模型実験は、波型及び普通型隔壁の防撓桁の有効巾を知るため日立造船設計部の協力のもとに行われたものである。

試験片は  $3\text{ m} \times 1\text{ m}$  の波型及び普通型隔壁の模型に 2 本の防撓桁を取り付けたものである。なお、防撓桁心距は各々  $60\text{ cm}$ 、又普通型隔壁の防撓桁深さは、波型隔壁の防撓桁の最小深さとほど等しくされている。又普通型隔壁の防撓材 1 心距は、波型板半波長に等しく、対応する断面抵抗率  $I/y$  は相等しいように設計されている。荷重方式は第 1 図に示される如く、両端支持の状態で均一曲げ及び中央集中荷重による曲げがかけられた。最大荷重は  $P = 3.5\text{ ton}$  で、計測は最大荷重までの 4 段階について往復行われた。歪計測には抵抗線型歪計が用いられ、防撓桁中央部の 1 心距間に於いて第 2 図に示される如く断面形の異なる 3 断面について計測が行われた。応力に換算された計測記録の 1 例を第 2 図に示す。なお、この他壁壁板部についての計測も行われたがこれについては解析が行われなかつたので報告原文にその結果を記録するにとどめ、ここでは触れないことにする。又撓みはダイアル・ゲーデにより防撓桁上各々 5 点において計測された。



第 2 図 (A)

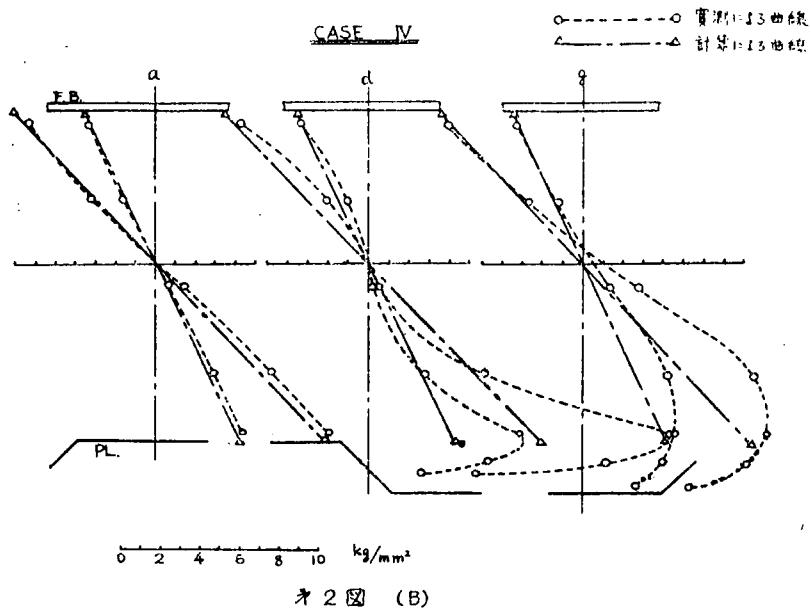


図 2 図 (B)

## II—2 解析

解析の方法を順を追つて述べれば

- (1) 波型及び普通型隔壁に取付けた防撓桁の各断面（波型防撓桁では a, d, g の 3 断面、普通型防撓桁では a, g の 2 断面）について、それぞれの応力分布より中性軸の位置を出し、この中性軸をおさえて幾何学的に有効巾を求める。（この場合波型 a 及び g 断面における防撓桁深さは、a 断面と同じく、出張りを考えない最小の深さとして計算が行われた。）
- (2) 上記 (1) における計算より求められた有効巾を、防撓材 1 心距間、又は波型 1 波長間で平均し、平均の有効巾を求める。第 3 図は計算結果の一例である。

なお、この平均有効巾を用いて防撓桁の慣性能率、断面抵抗率を計算し防撓桁の応力分布を求めたが、この結果はほど実測と一致し満足すべきことが分った。第 2 図鎖線で示されるのが計算の一例である。

- (3) 以上は歪分布より決定された有効巾であるが、次に撓み計測より有効巾を求める。先ず、防撓桁を断面一様な梁とすれば、両端支持の場合についての撓み曲線

$$y = y \quad (1)$$

$y$  : 任意点における撓み

I : 防撓桁の慣性能率

は簡単に求めることが出来る。この式に計測された各点の撓みを入れて慣性能率が求められ、つづいて有効巾が求められる。なお、この場合の防撓桁深さは(1)の場合と同様に取扱われた。

以上の如くして計算された慣性能率及び有効巾を第 1 表に表示する。この表から 2 通りの方法

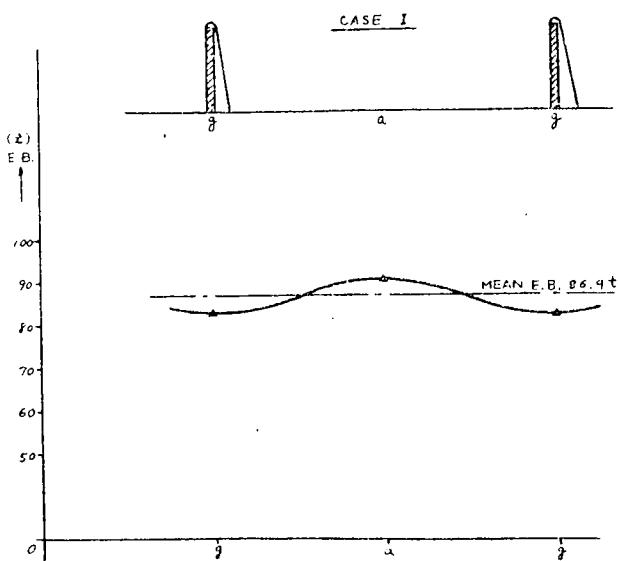


図 3 図 (A)

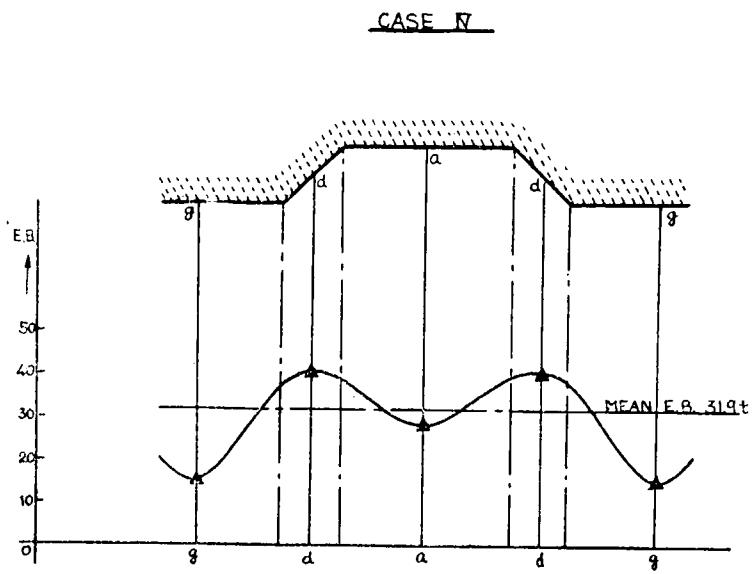


図 3 図 (B)

第 1 表 (A) 普通型隔壁防撓桁 (t : 板厚)

	項目	CASE I	CASE II	CASE III
①	抵抗線型歪計の計測より出した $I \times 10^4 \text{ mm}^4$	1866.8	1731.2	1782.7
②	ダイヤルゲージの計測より出した $I \times 10^4 \text{ mm}^4$	1756.9	1546.3	1712.8
③	① ÷ ② × 100 %	106.2	111.9	104.
④	抵抗線型歪計の計測により出した有効巾	86.9t	70.7t	76.5t
⑤	ダイヤルゲージの計測により出した有効巾	73.6t	53.1t	68.5t
⑥	④ ÷ ⑤ × 100 %	118.	133.1	111.6

第 1 表 (B) 波型隔壁防撓桁 (t : 板厚)

	項目	CASE IV	CASE V	CASE VI
①	抵抗線型歪計の計測より出した $I \times 10^4 \text{ mm}^4$	1314.5	1227.0	1294.1
②	ダイヤルゲージの計測より出した $I \times 10^4 \text{ mm}^4$	1216.2	1155.0	1182.9
③	① ÷ ② × 100 %	108.	106.2	109.4
④	抵抗線型歪計の計測により出した有効巾	31.9t	26.1t	30.5t
⑤	ダイヤルゲージの計測により出した有効巾	25.4t	21.6t	23.2t
⑥	④ ÷ ⑤ × 100 %	125.5	120.8	131.4

で求められた有効巾及び慣性能率はほど等しいことが見られる。有効巾の平均値は板厚を  $t$  とす

れば、波型防撓桁において 2.3—5 t、普通型防撓桁において 7.8 t となつてゐる。

### III 波型隔壁の水平防撓桁に対する有効巾（実船計測によるもの）

主として波型隔壁の水平防撓桁の有効巾の研究として、本小委員会においてそれだけ造船所の協力のもとに、下記の如く実船計測が行われた。

昭和 27 年 12 月 祐邦丸 (28000 ton)

於播磨造船所

昭和 28 年 1 月 高邦丸 (28000 ton)

於播磨造船所

昭和 28 年 3 月 明泰丸 (20000 ton)

於川崎重工業

本節では都合により専ら高邦丸における油槽内の水漲試験による歪及び撓み計測及びその解析について述べる。

#### III-1. 実験

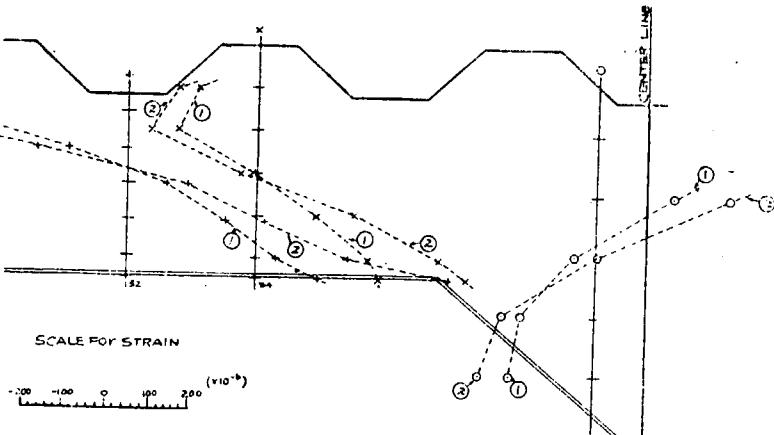
歪及び撓み計測は、Fr. No. 69 及び Fr. No. 65 油密隔壁において上甲板及び上甲板上 4.45 m の水頭に対して行われた。撓み計測にはダイアルゲーディングが用いられ、No. 2 水平防撓桁の 7 点、及び、No. 1 水平防撓桁、No. 2 水平防撓桁の中央部の板面に沿うての 7 点で計測がなされた。歪計測には抵抗線型歪計が用いられ、No. 2 水平防撓桁中央部の最小深さをもつ断面、そのとなりの最大深さをもつ断面及び端断面において計測が行われた。又、No.

##### 1 水平防撓桁

及び No. 2 水平防撓桁の中間部の板面においても上下方 向及び水平方向に連続的に 2 方向の歪が計測された。

第 4 図は水平防撓桁における歪を図示したもので、模型

実験の場合の如く、応力が急速に減少することが見られる。



F NO. 65 BHD.  
TRANSVERS STRAIN DISTRIBUTION  
NO. 2 HOR. GIRDER  
HEAD: UPP. DK ①  
HEAD: 4.45" ABOVE UPP. DK ②

#### III-2. 解析

第 4 図

##### (1) 水平防撓桁

本章の解析は水平防撓桁の受持つ荷重、水平防撓桁に作用する曲げモーメント及び応力の実用的計算法の目安を求めるために Fr. No. 65 の No. 2 水平防撓桁の実測結果について行われたものである。解析の方法を順を追つて述べれば、

- 1) 測定記録による歪より、各断面において  $\int (\text{stress}) dA = 0$  を満足するように波板の有効面積を定める。この場合に水平防撓桁の縁板に作用する応力として(a)実測による応力 (b)防撓桁帯板上の測定点の応力分布曲線を fairing して得られる応力が考えられるが、計算は 2 つの場合について行われた。
- 2) 前方法により定められた有効面積の波板を含めた断面上で  $\int (\text{stress}) y dA$  の計算を行い、その断面にはたらく曲げモーメントを計算する。
- 3) 断面に作用する曲げモーメントを  $M$ 、その断面内の波板及び防撓桁縁板における応力を、 $a_o$ 、 $a_u$  とすれば、 $M/a_o$ 、 $M/a_u$  はそれぞれ断面抵抗率に相当するものである。この値は、防撓桁が梁理論に従うものとするとき即断面内の歪が直線的に変化するとき、如何なる有効巾をもつ断面抵抗率にあたるかを調べて見る。

防撓桁が梁理論に従うとした場合の波板の（有効巾／板厚）と上下端の断面抵抗率との関係を示す曲線（この場合、防撓桁は出張りのない最小深さをもつ一様な断面をもつと考える）を予め求めておき、その上で  $M/a_o$ 、 $M/a_u$  のうち小さな方、例えば中央断面においては  $M/a_o$  に相当する値の横軸を読んで、波型防撓桁の有効巾が求められる。従つて、断面に作用する曲げモーメントがわかれば、この有効巾より断面の最大応力が計算出来るわけである。第 2 表上段は中央断面における以上の結果を表示したものである。

第 2 表

H E A D	4.45M ABOVE UppDk		Upp. Dk	
(No. 2 水平防撓材の H E A D) m	1 2.5 4		8.0 9	
	CASE (a)	CASE (b)	CASE (a)	CASE (b)
MOMENT OF STRESS $M^{1/2}$ (ton-m)	100.0	87.9	62.6	57.2
波板における STRESS $\sigma_o$ ( $Kg/mm^2$ )	-17.9		-12.9	
縁板における STRESS $\sigma_u$ ( $Kg/mm^2$ )	15.7	12.8	9.3	8.0
$M^{1/2} / \sigma_o$ ( $10^6 \times mm^3$ )	5.583	4.909	4.860	4.442
$M^{1/2} / \sigma_u$ ( $10^6 \times mm^3$ )	6.392	6.895	6.716	7.122
$M^{1/2} / \sigma_o$ より第 1 図をよんで得られた有効巾	24t	18t	17.5t	13.5t
" 慣性能率 ( $10^6 \times mm^3$ )	3030	2800	2780	2610
全荷重 W (ton)	238		154	
$\beta$	0.68	0.77	0.70	0.77
中央における撓み (計算値) (mm)	5.07	4.60	3.43	3.19
" (実測値) (mm)	3.56		2.25	

- 4) 以上で断面抵抗率の計算法の目安が得られたので、次に防撓桁の受ける全荷重及び断面に作用する曲げモーメントを計算する。

用する曲げモーメントの計算法につき考える。

今水平防撓桁が梁理論に従うものとし、端における固着度を  $\beta$ \* 防撓桁に作用する全荷重を  $W$ 、計算の行われた断面における曲げモーメントを  $M$  とすれば

$$M = M(\beta, W) \quad (1)$$

が与えられ、 $\beta, W$  の何れか 1 つがわかれば他を求めることが出来る。 $\beta$  を決定するために、例えは中央断面及び端断面の曲げモーメントを  $M_1/2, M_0$  とすれば、梁理論より

$$M_1/2 / M_0 = f_1(\beta) \quad (2)$$

が与えられるから (1) (2) の方法より計算される  $M_1/2, M_0$  を(2)式に入れて  $\beta$  を求めることが出来る。本実験においては、端断面のストレイン・ゲージが 1 部断線したので  $M_0$  の計算が困難となつたため、以下に述べる如くして  $W$  を定め、これを(1)式へ入れて  $\beta$  を求めることにした。なお  $W$  を一般的にあらわすため  $B/S$  の値が用いられた。ここに  $S$  は防撓桁心距、 $B$  は  $W$  に相当する水圧の巾で

$$B = \frac{W}{s \times \ell \times h} \quad (3)$$

$s$  : 液体比重

$\ell$  : 防撓桁長さ

$h$  : 防撓桁心距の中点における水頭

で与えられるものである。

- 5) 各防撓桁に作用する全荷重を定めるため、先ず 1 波長の波板が梁として取扱えるものとし、荷重は波板を通じて水平防撓桁に伝えられるものとする。このとき隔壁は三角荷重をうける数個の梁（1 波長の波板よりなる）が中間において、水平防撓桁により弾性的に支持された格子構造と見做すことが出来るが、この格子構造に対する考察より近似的に

$$B/S = 1$$

ととつて差支えないことが認められ、 $W$  が求められることになる。

- 6) 今防撓桁を等分布荷重をうける断面一様な梁とすれば (1) 式は中央断面において

$$M_1/2 = \frac{W\ell}{24} (3 - 2\beta)$$

となり  $\beta$  を求めることが出来る。第 9 表下段にこれらの値を示す。

\* 固着度  $\beta$  は下式により与えられるものとする。

$$\beta = M_0 / M_F$$

$M_0$  : 梁端にはたらく曲げモーメント  $M_F$  : 梁端固定のとき、梁端にはたらく曲げモーメント

7)  $W_1 \beta$  がきまれば中央における撓み  $y_{1/2}$  は

$$y_{1/2} = \frac{W l^3}{384 EI} (5 - 4 \beta)$$

より計算出来る。計算値及び実測値を第3表下段に示す。

第3表

		波型	普通型
$\beta$	各点の撓みの比より求めたもの	0.76	0.89
	$M_{1/2}$ より求めたもの	0.82	0.93
	平均	0.79	0.91
慣性係数 $I (\text{mm}^4)$	中央の撓みより求めたもの	577.300	597.000
	板が全部きくとして幾何学的に求めたもの	562.500	545.000

計算値が実測値を上回るのは、計算においては防撓桁の断面を一様として、端部に  $B k t$  による断面の慣性係数の増大を無視しているためと思われる。

8) 以上本解析を要約すれば、水平防撓桁の受ける最大応力は下の如くして計算出来ると思われる。

- i 等分布荷重をうける断面一様な梁とする。
- ii 波板の有効巾は  $1.85 t$  を用い、出張りのない部分につき断面抵抗率を計算する。（これは実験結果からも見られる如く、出張りの部分では応力が落ちているためである。）
- iii  $\beta = 0.73$  とする
- iv 全荷重  $W$  は

$$W = s \times h \times l \times s$$

にて与えられる。

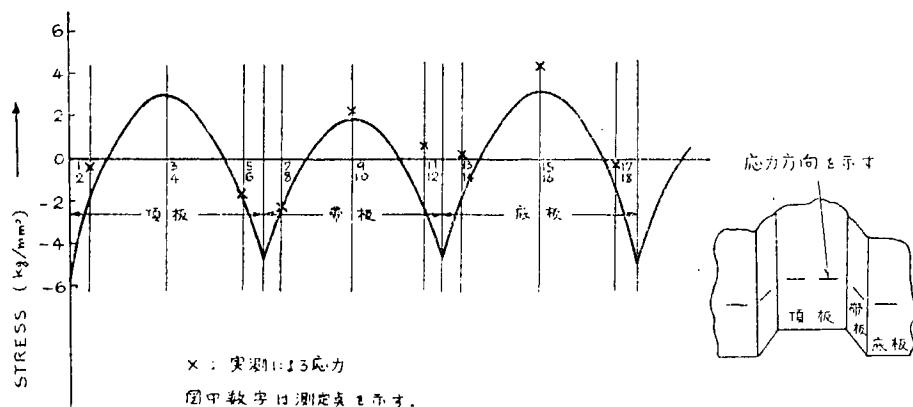
ここで有効巾及び  $\beta$  については第2表における平均値がとられた。

## (2) 波板

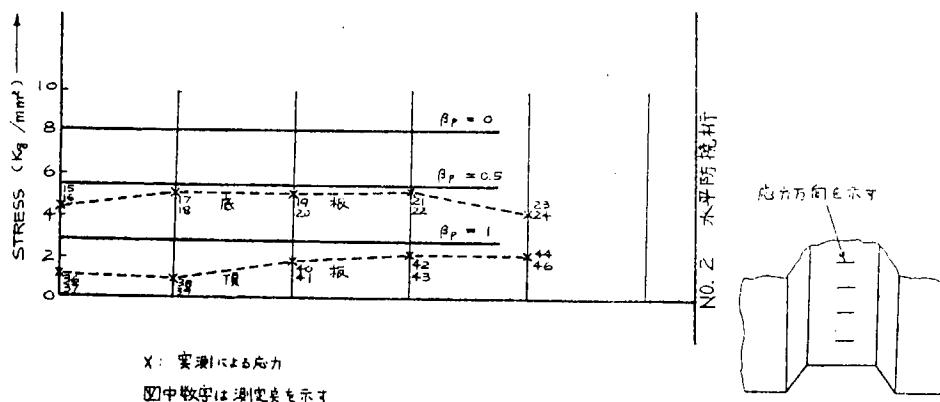
波板に作用する応力がどの程度のものであるかを知るために、板面における歪測定値に対して考察が試みられた。

### 1) 水平防撓桁に平行方向（水平方向）に沿つての応力分布

No. 1 防撓桁、No. 2 防撓桁の中央部において、水平方向に沿つての水平方向の応力分布については、単位巾の波板をとり、波板の稜に支持点のある無限につづく、平面構造物を考えることとした。このとき稜における支点の垂直方向の変位を許さないとすれば、モーメント分布に関しては、波板を引きのはした同一レベル上にある無限につづく連続梁として計算出来ることになる。計算結果及び実測による応力の1例を第5図に示す。



第5図 HOR STRESS DISTRIBUTION HEAD: UP DK.



第6図 HOR. STRESS DISTRIBUTION HEAD: UP DK.

(図に波板頂板における実測値のないのはストレイン・ゲーデの不良のためであるが、第6図よりこの値は計算値を下回ることが推察される。) 第5図では比較的、計算値、実測値は一致するが、head が大きいときは相当地いちがつている。なお、第三章における計測結果においてはこの両者はよく一致している。

## 2) 水平防撓桁に直角方向(垂直方向)に沿つての応力分布

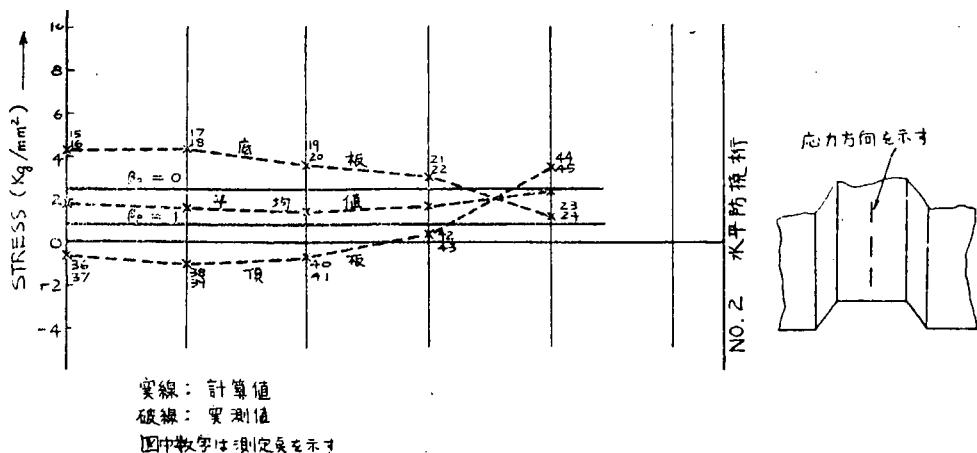
水平防撓桁に直角方向に沿つての応力分布については、水平防撓桁及び波板の稜線とで固まれた細長い矩形板を考え、短辺即ち水平防撓桁において固定とし、長辺即ち稜線における固着度  $\beta_p$  を変えて計算が行われた。

水平方向の応力は、防撓桁近傍を除いては短辺の固着条件に殆んど無関係に、長辺の固着度のみにより決定される。(即ち長辺の固着度と同じ固着度をもつ単純梁について計算出来る。) 計算値及び実測値を第6図に示す。\*

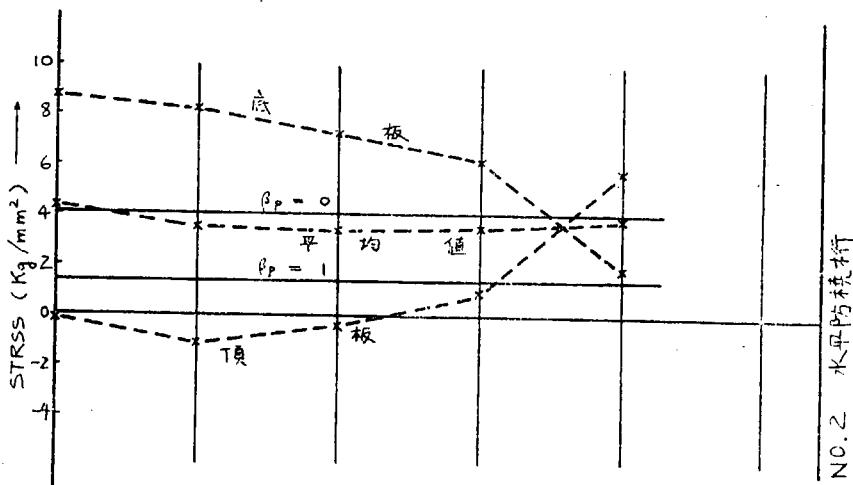
図より、波板頂板は  $\beta_p = 1$ 、底板は  $\beta_p = 0.5$  の場合に近いことが見られる。波板頂板

及び底板における  $\beta_P$  の異なるのは、波板製作の際に加えられた曲げ加工がその一因ではないかと考えられる。

垂直方向の応力としては、以上述べられた板としての応力の他に、波板 1 波長よりなる梁としての応力が加えられる。第 7 図に示される実測値はこの合成された応力を示す、頂板及び



第 7 図 (A) VER. STRESS DISTRIBUTION HEAD: UP. DK



第 7 図 (B) VER. STRESS DISTRIBUTION

底板の応力値の算術平均が板としての応力を示し、平均値との差が梁としての応力を示すわけである。図に実線で示したのは板としての応力の計算値で、 $\beta_P$  がそれぞれ 0 及び 1 について行われたものである。Head の小さなときは実測値の平均はその中間にあるが Head が大きくなるにつれ  $\beta_P = 0$  に近づくことが見られる。梁としての応力の計算は波板 1 波長よりなる数個の梁が、防撓桁により弾性的に支持された格子構造につき計算すればよいわけである。

\* 因みに頂板又は底板については

$$\beta_P = 1 - \left( \frac{\ell_2}{\ell_1} \right) + \left( \frac{\ell_2}{\ell_1} \right)^2$$

$\ell_1$  : 水平板の巾  $\ell_2$  : 斜板の巾

と考えれば (1) における連続梁の場合の計算値と同じになる。本例においては  $\beta_P = 0.93$  となりほど 1 に等しい。

あるが、この計算は複雑なためここでは行われなかつた。なお、梁が1本の場合の計算では実測値と相当地いちがうことがわかつた。

## IV 波型及び普通型隔壁の強度、剛性（模型水槽試験によるもの）

### IV—1. 実験

本節における実験は波型及び普通型隔壁の強度、剛性を比較する目的で日立造船設計部の協力のもとに行われたものである。

模型水槽は片面は波板、片面は防撓材をもつ平板により構成され、上面及び底面は溝型鋼で充分固められたもので、その構造、寸法は第8図に示す。普通型隔壁の防撓材心距は波型半波長に等しく、対応する慣性能率がほど等しいように設計され、溝型鋼は梁の両端がほど固定と見做されるように設計された。（実験結果からは、両端固定とはなつていなかつた。）荷重としては試験水槽上面の水頭管を通じて水圧をかけ、水頭0m（水槽頂まで充満のとき）、1m、2.5m、2m、1m、0mにつき歪及び撓み計測が行われた。歪計測には抵抗線型歪計が用いられ、波板面においては55個所（内27個所において2方向）、平板面においては35個所（内19個所において2方向）で歪が計測された。又撓み計測にはダイアル・ゲーデが用いられ、波板面、平板面各々32個所において計測が行われた。

### IV—2. 解析

(1) 先ず実測された梁径間中央点の撓み分布を、巾を基線として書き、中央撓みが左右端壁の影響をうけない範囲を定め、この範囲内での中央撓みの平均値を求める。

(2) この中央撓みの平均値をあさえて、梁径間各位置における撓み（巾の中央部附近のみで測定）の平均値を修正し、標準の撓み分布を求める。

(3) 今断面一様な梁の、中央部における撓みを $y_{1/2}$ 、梁任意点における撓みを $y$ 、梁の両端における固着度を $\beta$ とすれば、梁理論より、

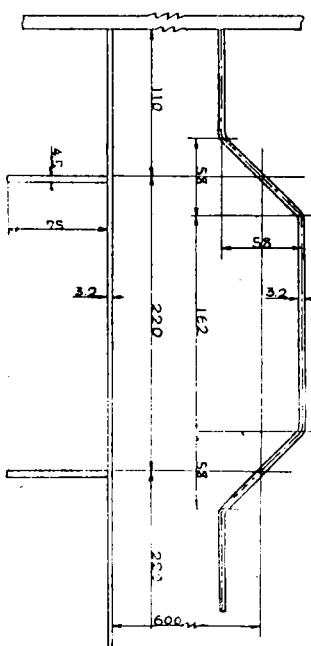
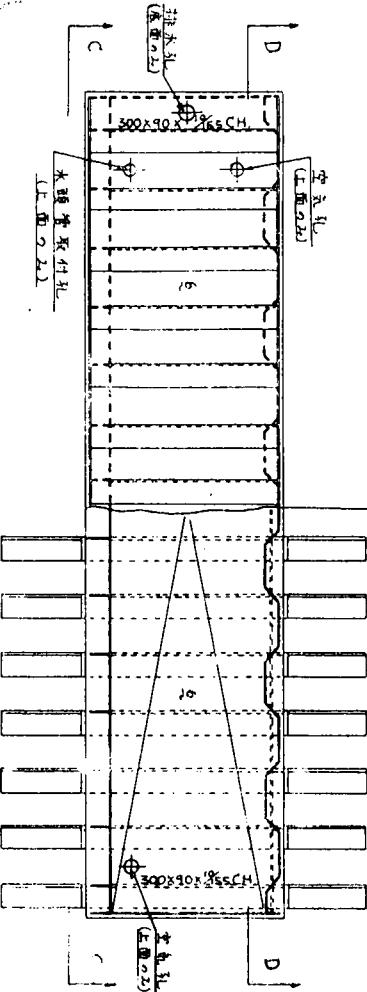
$$\frac{y}{y_{1/2}} = f(\beta) \quad (1)$$

は容易に求まり、実測による標準値を(1)式へ入れて $\beta$ を求めることが出来る。第3表に $y_{1/2}$ 、 $y_{1/5}$ による $\beta$ の値を示す。

(4) 以上は撓みの比による $\beta$ であるが、梁にはたらく曲げモーメントよりも $\beta$ を決定することが出来る。先ず各断面において測定された歪より応力を換算する。第9図は1例として中央断面における応力分布を示す、この応力分布は前章III-2(2)の後半に述べられた如く、梁としての応力の他に平板としての応力が加わつたものであるから、それを除かねばならない。波板においては対応する点の応力の差を平均して梁としての応力が得られ、その断面にはたらく曲げモーメントが計算出来る。防撓材付平板においては防撓材の応力をあさえておけば、III-2.(2)の方法に従つて曲げモーメントが計算出来る。

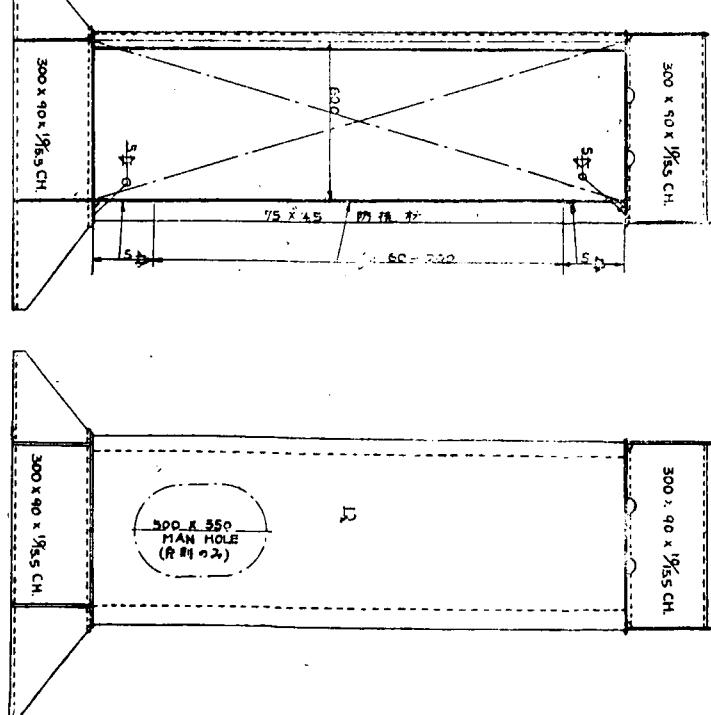
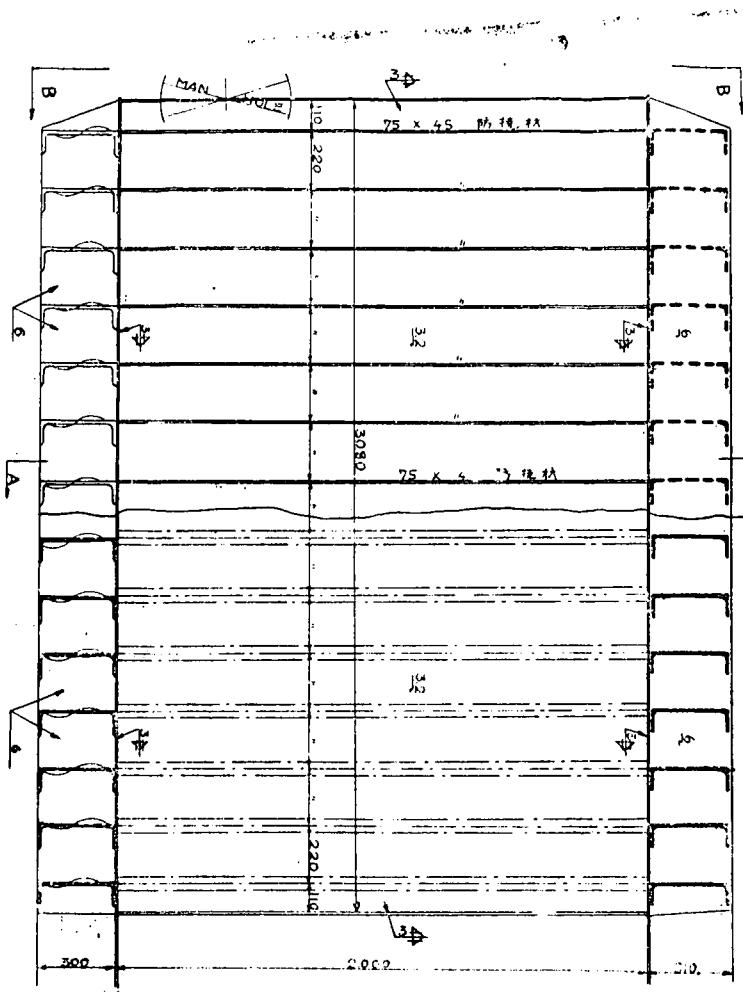
上面(底面)  
(上面)

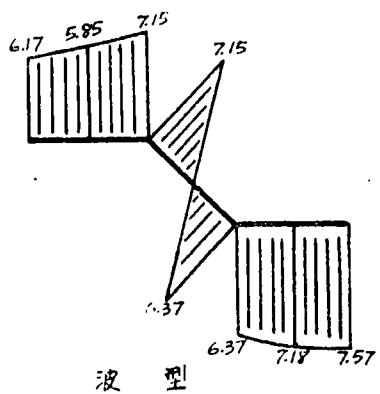
左面(右面)  
(左面)



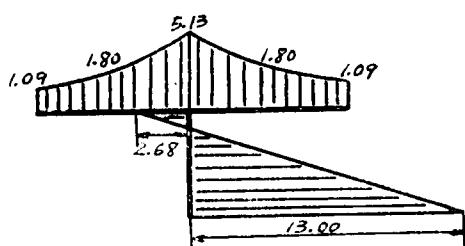
A-A 断面  
(MSL)

B-B 断面  
(MSL)





波型  
カ 9 図



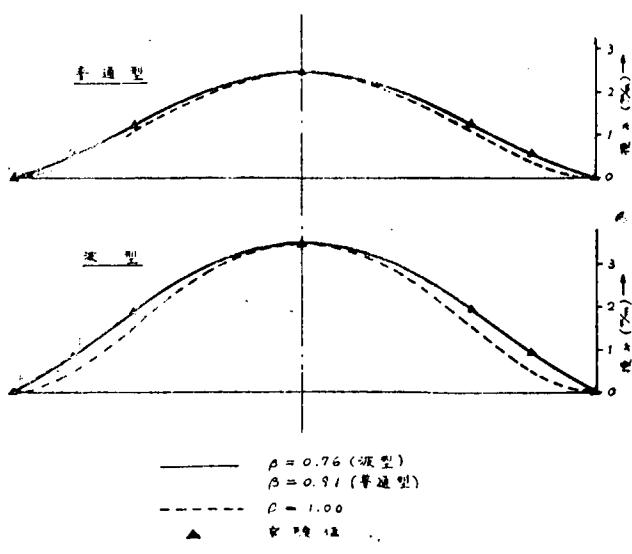
普通型

この下段に与えられたのは、断面全体がきくと考えて幾何学的に計算された  $I$  である。\* これよりこの程度の構造をもつ隔壁においては板は全部きくと考えて設計してよいように思われる。

(7) たお (3) の  $\beta$  の計算においては 2 点のみの比、(5) の計算においては  $M 1 / 2$ 、又 (6)

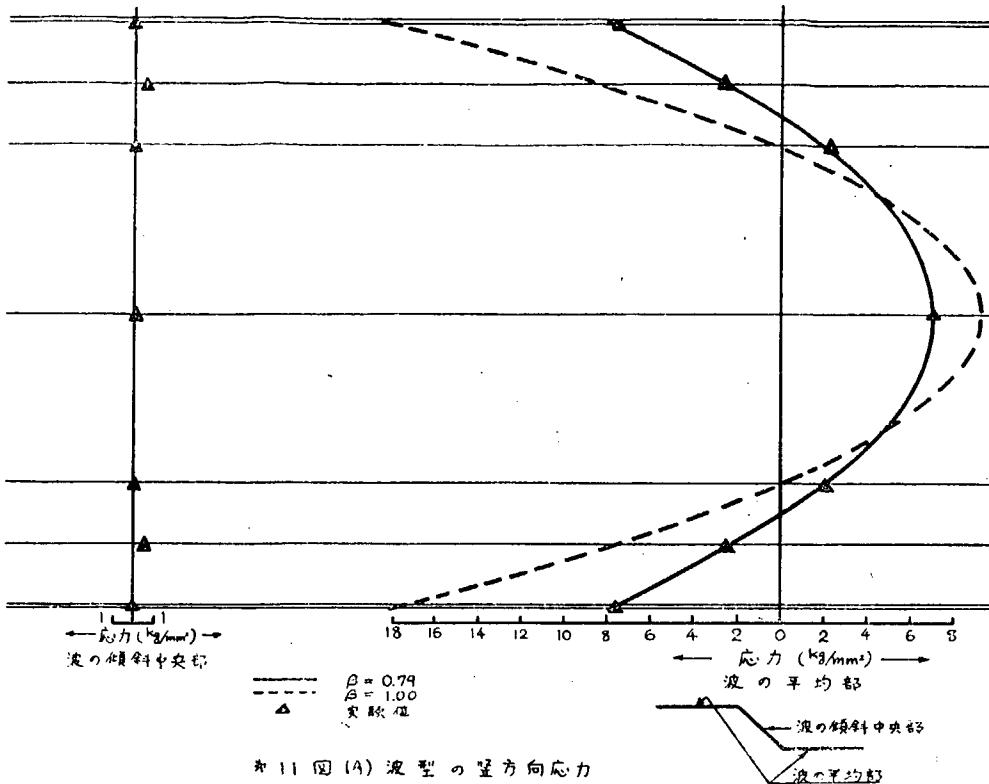
の  $I$  の計算においては  $y 1 / 2$  の値のみが用いられたので、チェックの意味で第 9 表に示される  $\beta$ 、 $I$  を用いて各断面の撓み及び応力を計算し、実測値と比較したのが第 10 図及び第 11 図である。

図より両者の値はよく一致することが見られ、表の  $\beta$ 、 $I$  が妥当なることが認められた。



カ 10 図 撓み

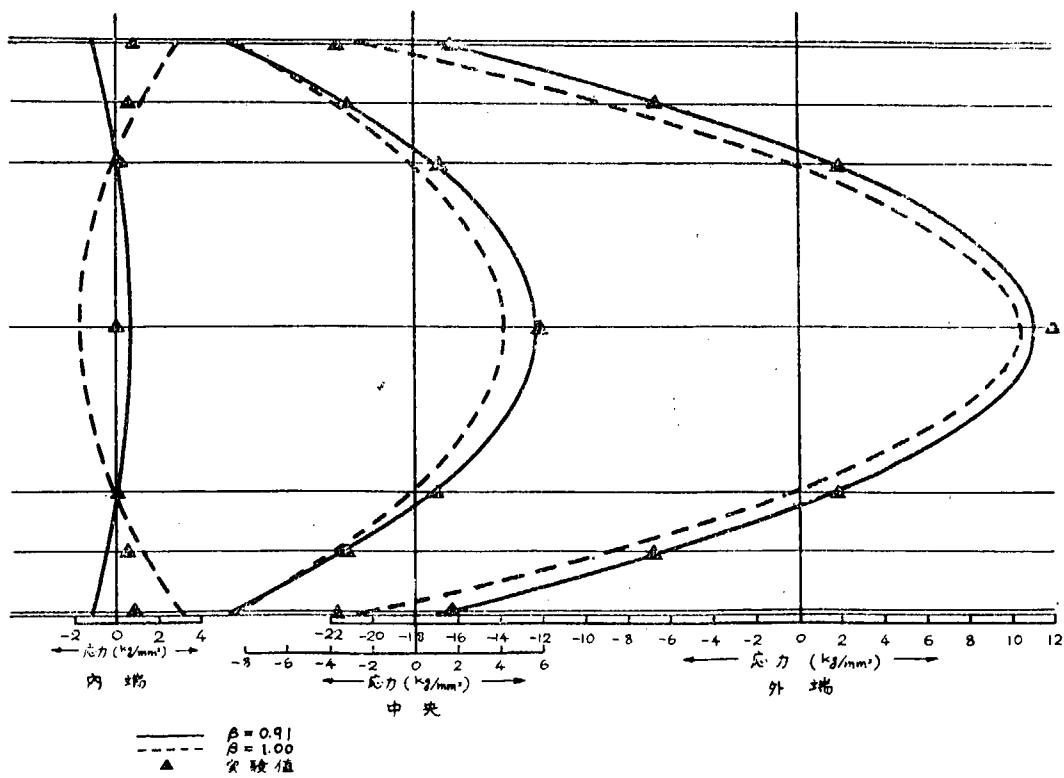
\* 前者が後者を稍々上回るのは(3)式へ代入された  $y 1 / 2$  あるいは  $\beta$  が稍々小さすぎるためと思われる。



(8) 因みに本実験について撓み及び応力の最大値と重量との比を較べれば、撓みにおいては波型が普通型の約2倍、応力においては普通型が波型の約2倍となつてゐる。

(9) 以上はすべて波板の梁としての応力について述べられたが、次に実測による水平方向の応力を III-2.

(2), (1) における如く、連続梁として計算された応力と比較すれば第12図に示す如くなり、実船実験の場合に較べよくあつてゐる。



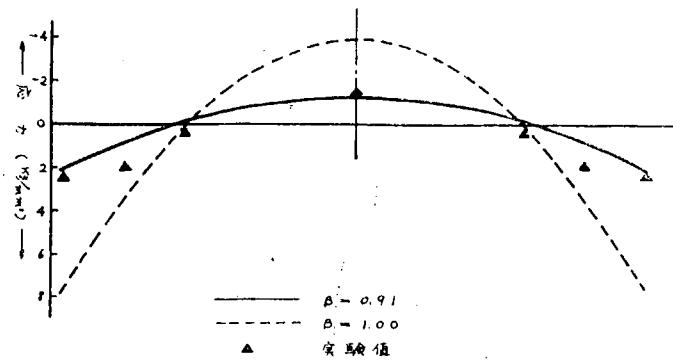


図11図(B)-2 普通型の板面の縦方向応力

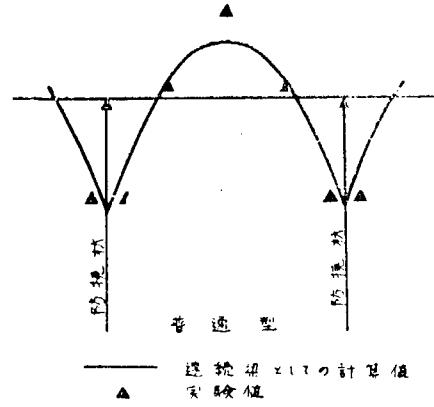
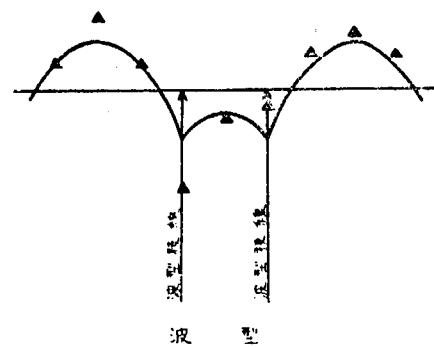


図12図 板の横方向の応力

## 水圧を受ける波型板の有効巾（計算式によるもの）

本節においては、水圧を受ける波型板の有効巾が理論的に求められた。

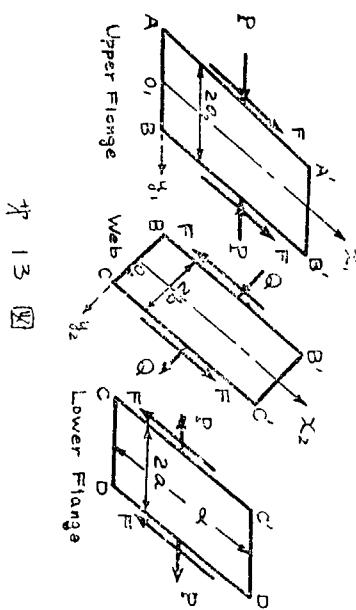
波型板がすべて平板から構成されていると仮定し、各平面をその境界線で切離し、その上において平衡条件、撓みの連続条件を考慮すれば、波板の有効巾を考える上では、第13図に示される荷重を受ける平板のX軸方向の応力を考えればよいことになる。※ なお、この他に各板には水圧を受ける板としての曲げ応力系の応力がはたらくわけであるが、これは波板の有効巾には関係がないので、ここでは触れないこととする。

第13図に見られる如く水平板及び斜板はそれぞれ周辺にP.F及びQ.Fなる荷重を受けるものとして別個に取扱うことが出来ることになるが、これらの荷重のうちP及びQは水圧Pの分布状態により定まる既知の外力である。Fは各板がそれぞれ隣接板に与える剪断力であるが、これは斜板周辺の $x_2$ 方向の歪 $(\epsilon_{x_2})_{y_2} = -b$ と水平板の周辺の $x_1$ 方向の歪 $(\epsilon_{x_1})_{y_1} = a$ とが等しくなるとして決定出来る。

かようにして各板は平面応力問題として解決することが出来るが、われわれの問題としているのは板構造物に対する一簡便法として近似的に梁理論を適用するための有効巾である故、ここでは斜板は梁理論により計算し、水平板のみを平面応力問題として取扱うこととする。※※

本章においては有効巾Bは下の如く定義された。

$$B = \frac{\int_0^a x_{x_1} dy_{x_1}}{[x_{x_2}]_{y_2} = -b}$$



このとき波板は、水平板の半巾aをBとおきかえれば、1波長の波板を1本の梁として梁理論が適用出来ることが容易に証明出来る。

本章において得られた有効巾の理論値に対し、IVに述べられた試験水槽の波型隔壁の構造寸法を入れ、両端の固着度O, 0.79, 及び1の場合につき有効巾の計算が行われた。計算結果より固着度の大きな場合ほど大きな有効巾をもつが、何れの場合も梁の両端の近傍をのぞき、 $B/a$ はほとんど1に近く実験結果ともよく一致することが見られる。

次に波型梁の前後方向の長さlと有効巾との関係を見るため、IVに述べられた高邦丸の構造寸法でlを変化させて、有効巾を図示したのが第14図である。

\* この証明については

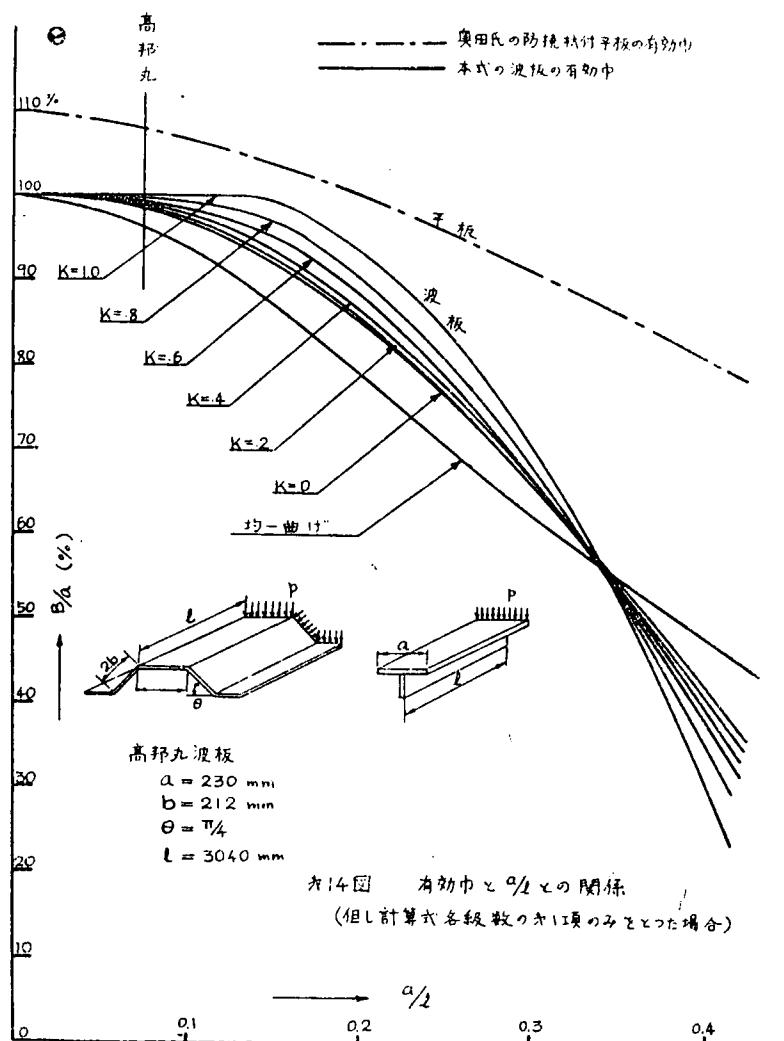
渡辺恵弘：「Corrugated Bulkheadの強度について」(1)を参照されたい。

※※ 計算及びその結果については、報告原文を参照されたい。

本図より両端固定、両端支持、均一曲げ何れの場合も  $a/I$  が大になるに従つて有効巾が減少し、 $a/I$  が約 0.3 までは両端の固着度の高いもの程有効巾が大きいことが見られる。なお高邦丸においては  $a/I$  は約 0.07 であり、  
 $B/a$  はほとんど 1 に近い。

この図に示される  $B/a$  は近似計算によるものであるが、 $a/I$  の小さな處では正解と大差ないから、通常実船に使用されている波型隔壁では波板の水平板は全部有効にはたらいていると見做して差支えないようである。

なお、防撓材により補強された平板の有効巾と比較するため、奥田氏<sup>\*</sup>により求められた値も同時に示した。



## VII 結 言

波板及び防撓材について述べられた本報告の結論を要約する。

波板についていえば

- (1) 波板を 1 波長の断面をもつ梁理論に従う梁とした場合、通常の隔壁構造においてはその断面全部有効にはたらくと考えて差支えない。
- (2) 波型構造においては、防撓材付平板で構成されている普通型隔壁構造に較べ、波型梁両端において大きな固着度をうることがむつかしく、且つ構造上からも撓みが大きくなり易い。しかし慣性能率の同じときは波型梁は防撓材付平板に較べ断面抵抗率が大きく応力は小さくなる。

\* 奥田克己、有馬孝：造船協会報 58 号

(3) 波板には上に考えられた梁としての平面応力系の応力の他に水圧をうける平板としての曲げ応力系の応力がはたらく。これを波板を構成する各平板につき別個に計算し、梁としての応力に加えて波板の受ける応力とすることが出来る。

#### 防撓桁についていえば

- (1) 通常の波型隔壁構造における防撓桁は、出張りのない最小深さをもつ断面一様な梁として取扱われるとき、板の有効巾は、 $20 \sim 25 t$  位と考えられる。
- (2) 高邦丸の実験解析では端の固着度は約  $3/4$  であった。
- (3) 普通型隔壁の横防撓桁においては板の有効巾は平均  $80 t$  となつてゐる。

### 第三章 二重張構造の有効性に関する研究

#### 第1部 広い板につけられた二重張の有効性 に関する研究

##### I. 緒論

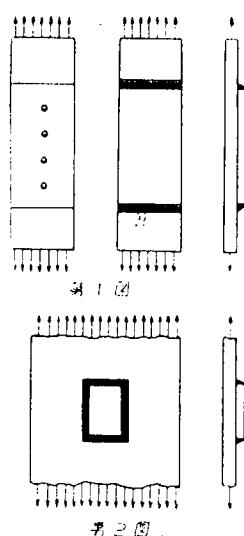
母板に二重張を熔接した構造物に引張を与えたときの二重張板の効きに関する研究としては、通常第1図に示す如く帯板にこれと同じ巾の二重張板をつけて引張りを与え、二重張りの効きを調べたものが多い。しかし船体構造に現われる二重張構造に於いては第2図に示す如く甲板等の巾の広い板につけられた二重張りが多く、このときの二重張りは第1図と異った効きを示すと考えられ、二重張の長さと巾の比（縦横比）等が影響すると考えられる。

これらの研究は未だ行はれていない。

上記の理由以外に本研究が研究協会第二研究部会第三小委員会に採り上げられた理由は次の通りであつた。

昨年度行つた「二重張りにより補強された大型船頭隅模型試験」によると、二重張板に流れる応力が著しく低く、この原因は試験片が縮尺模型であつたが板厚については同一縮尺ではなく、相対的に厚い二重張を用いたことになつた為であろうと推定された。

この様な二重張りの大きさと厚さが二重張の効きに及ぼす影響を調査することとした。更に昨年度の実験で、二重張止りの母材に大きな応力集中が生じ、またこの部分に局部曲げが見られた。この二重張止りの応力状態が二重張の形状と如何なる関連があるかを調査することとした。

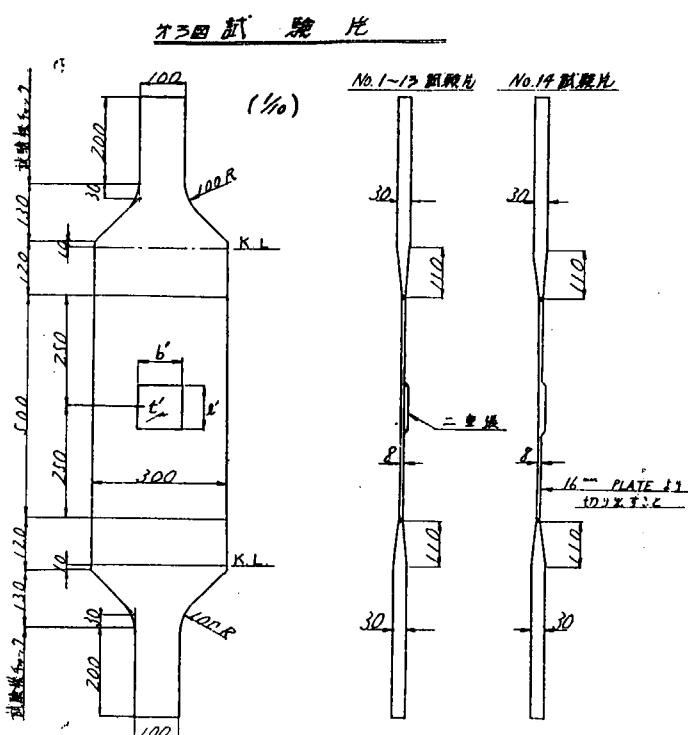


第2図

\* 例えば 二重張りの効きに関する基礎的研究：船体構造研究委員会第二分科会昭和27年度運輸省提出報告

### Ⅱ. 試験片形状

厚さ 8 mm, 幅 300 mm, 長さ 500 mm の軟鋼板に第 3 図に示す如く二重張を周辺熔接によりつけた。二重張りは矩形で板厚を変えた系列と（試験片番号 1. 2. 3. 4）二重張の幅を変えた系列（番号 5. 6. 7. 8）と二重張の長さを変えた系列（番号 9. 10. 11. 12）と円形二重張（番号 13）及び片面削り出しの熔接を用いない二重張部に相当する箇所が厚板となつている形状のもの（番号 14）の 14 種である。試験片の両端にはツカミ部（pulling tab）がつけられている。これは図示の如き厚板にテープを与え、試験板と衝合熔接したものである。



No	$t' \text{ mm}$	$b' \text{ mm}$	$l' \text{ mm}$	備考
1	10	100	100	正方形二重張
2	8	"	"	"
3	6	"	"	"
4	4.5	"	"	"
5	8	150	"	矩形二重張
6	"	125	"	"
7	"	75	"	"
8	"	50	"	"
9	"	100	150	"
10	"	"	125	"
11	"	"	75	"
12	"	"	50	"
13	"	100	φ	円形二重張
14	"	100	100	厚板

### III. 試験方法

横浜造船所 200 t アムスラー型試験機にて静的引張試験を行つた。

試験は次の二種を行つた。

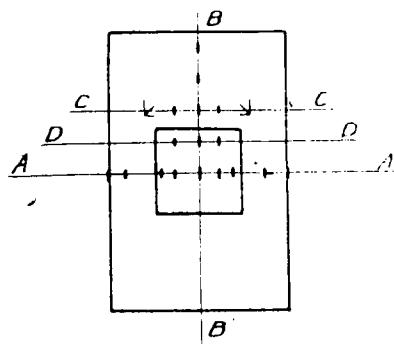
(1) 弹性試験 荷重 0 ton → 30 ton → 0 ton 10 ton 每に計測

## (2) 破断試験 荷重 0 ton → 破断

歪の計測には抵抗線歪計を用いた。歪ゲージには共和無線製 K 2 2 及び K 1 を用い、主歪の方向を求めるためにはロゼット型を用いた。

歪計測位置は円形二重張以外は第4図に示すように中央横断面上の A A 断面と中央縦断面の B B 断面、二重張の直前の横断面 C C 断面と二重張前端直後の横断面 D D 断面の四断面である。

歪ゲージは板の両面に貼付し、A A 断面の横縁部のみ板の厚味の面に貼付した。



第4図

## IV. 応力分布

試験片の応力分布図を描くと例へば第5図の如くなる。応力分布について共通に見られることは、次の通りである。

### (1) A A 断面

A A 断面の二重張のついている面（以下この面を表面と呼ぶ）の荷重方向の引張応力は小さく裏面では大きい。特に二重張りの面では応力が著しく小さく、二重張の効きがあまり良くないことを示している。二重張の裏面の母材の部分においても応力の減少が見られ、このことは二重張りの働きがあることを示している。表裏の応力の平均応力も二重張部分で減つていることが見られる。

### (2) B B 断面

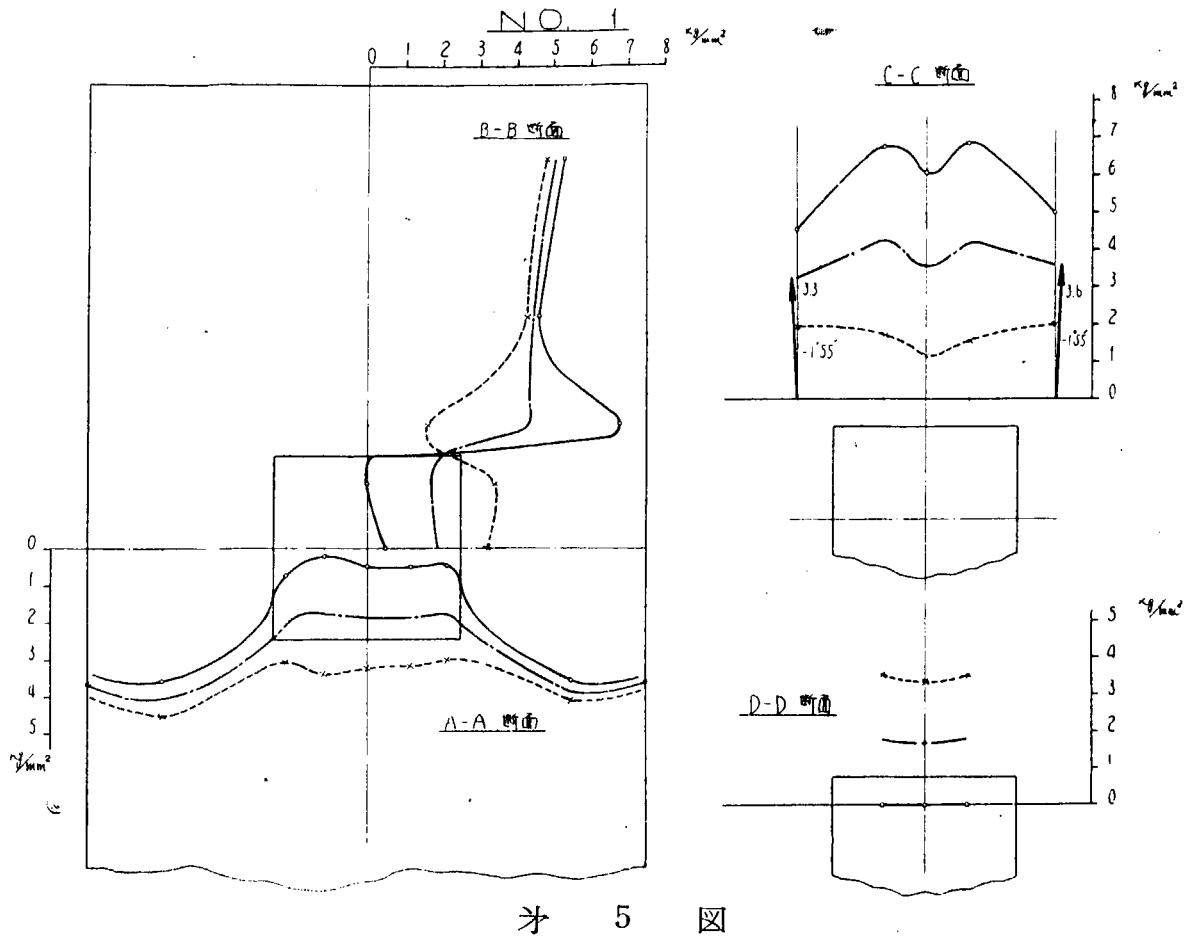
次に B B 断面については、板表面の応力は二重張りの止りで著しく上昇し、二重張板の表面で急減しているが、裏面の応力は逆に二重張止りで減少し、二重張部の裏面で増加している。このことは二重張止りで局部曲げが生じていることを示し、また二重張りの効きが二重張りの前端では小さく、中央部に入るにつれ次第に増加することを示している。

### (3) C C 断面

C C 断面に於ける荷重方向の引張応力分布曲線によると、応力は二重張の肩の所で上昇するような傾向は特に見られない。全般を通じては、むしろ二重張の中央で大きい場合が多い。また主応力の方向は殆んど荷重方向と一致している。

### (4) D D 断面

D D 断面においては引張応力は、ほど一定である。



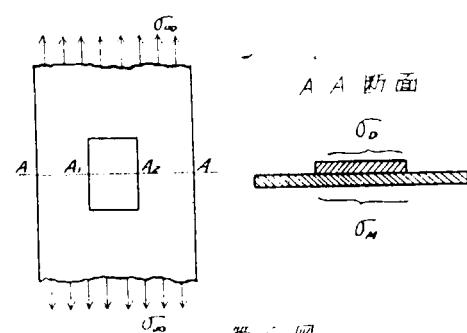
第 5 図

#### V. 二重張の効き

二重張りの効きを表現するには種々の定義が考えられるが、最も簡素な定義で、しかも実験的に得られ易いものに次の二種がある。

第一のものは第6図に示す二重張のA-A断面において二重張表面の応力の $A_1$ ,  $A_2$ 間の平均値を $\sigma_D$ とし、母材の裏面における $A_1$ ,  $A_2$ 間の応力の平均値を $\sigma_M$ として応力分担比を次のように定義する。

$$\text{応力分担比} = \frac{\sigma_D}{\sigma_M}$$



第 6 図

二重張の効きが良くなることは $\sigma_M = \sigma_D$ となつて、分担費が1に近づくことに相当する。

第二に定義されるのは母材応力減少率である。二重張をつける目的の一つは、二重張部の母材の応力を減らすことにあるからこの減少率を次の様に定義する。

$$\text{母材応力減少率} = \frac{\sigma_{00} - \sigma_M}{\sigma_{00}}$$

但し  $\sigma_{\infty}$  は第 6 図に示す如く無限遠方の二重張のない所での引張応力である。無限に長い二重張りでは  $\sigma_D$  と  $\sigma_M$  は一致して応力分担比は 1 に近づくがこのとき  $\sigma_M$  は  $\sigma_{\infty}$  と面積比の関係にある。即ち、

$$\frac{\sigma_M}{\sigma_{\infty}} = \frac{A}{A + A'}$$

故に、

$$\text{母材応力減少率} = 1 - \frac{\sigma_M}{\sigma_{\infty}} = \frac{A'}{A + A'}$$

実際の有限長の二重張においては、応力分担比と母材応力減少率は上記の値より小さい値を示す。先ず応力分担比については第 7 図に二重張の板厚  $t'$  だけ変えた場合の応力分担比を示す。これによると、板厚の増加につれて効きは悪くなる。しかしこの現象は板厚だけの影響ではなく、後に示すように二重張の長さと板厚の比が減るための影響である。

同様に第 8 図は二重張の板巾の影響、第 9 図は二重張の長さの影響を示す。

いま二重張りの板厚を  $t'$ 、母材の板厚を  $t$ 、二重張の長さを  $l'$ 、巾を  $b'$ 、母材の巾を  $b$  として二重張に関するものにダッシュをつけ、次のパラメーターを定義する。

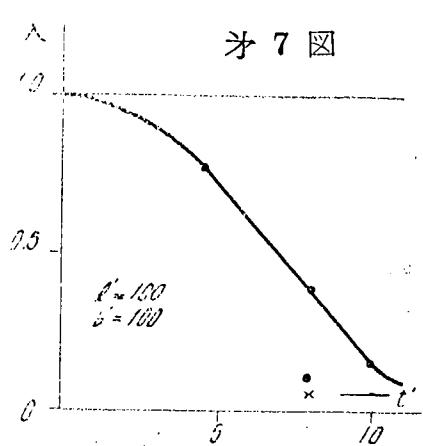
$$\text{縦横比} = \frac{l'}{b}, \quad \text{長厚比} = \frac{l'}{t}.$$

この二つのパラメーターを用いて以上の応力分担比を解析すると、第 10 図が得られる。第 10 図は二重張の縦横比  $l'/b$  による分担比の変化を示す。

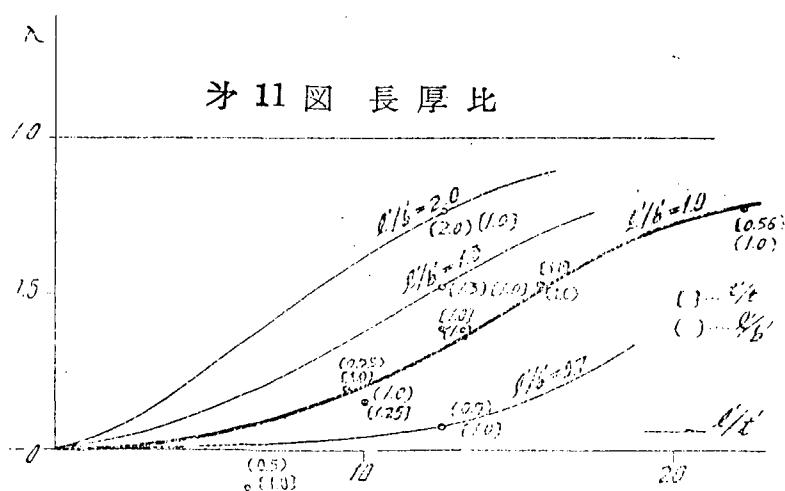
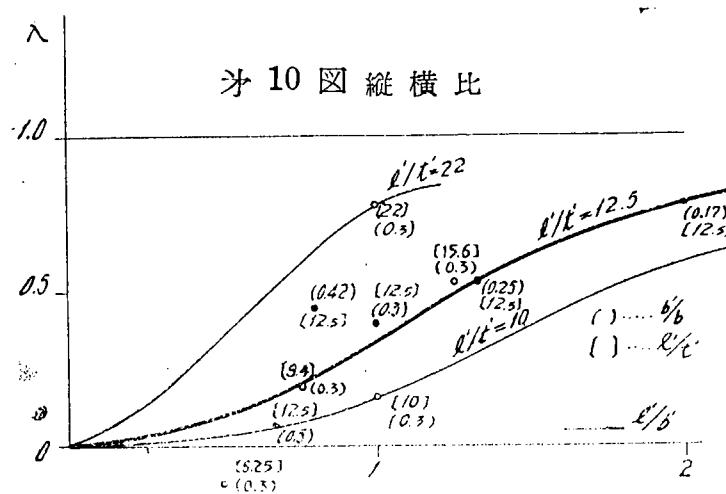
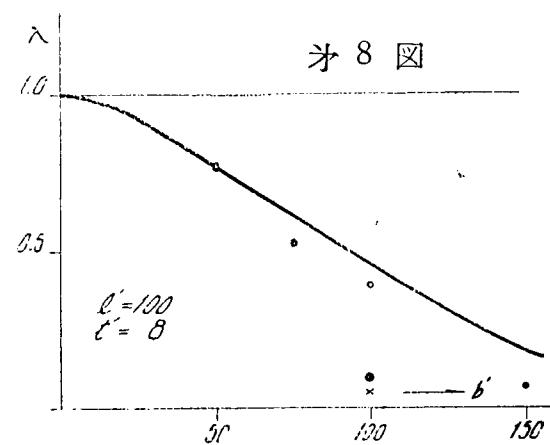
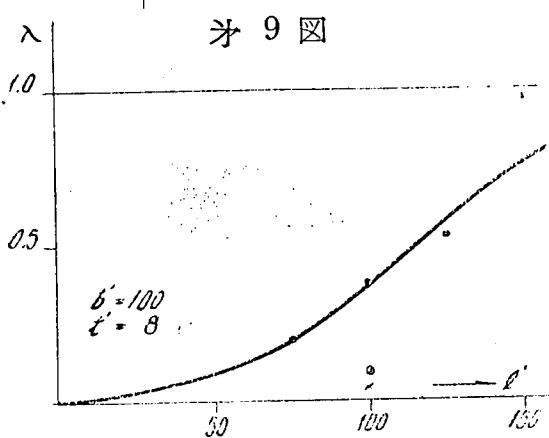
図中の数字は長厚比  $l'/t$  及び板巾比  $b/b'$  である。同図で同じ長厚比の点を結ぶと長厚比一定の曲線が得られるが板巾比については曲線は得られない。即ち応力分担比は縦横比及び長厚比によって定まり、板巾比は実験範囲内では応力分担比に影響しないことが判る。第 11 図は、横軸に長厚比をとつて、この応力分担比を表したものである。

このとき前と同様に解析すると、母材と二重張の板厚比は応力分担比に影響しないことが判る。

# 底面介離比 入



● …… 剥り出し底面比  
× …… 内形二重底面比

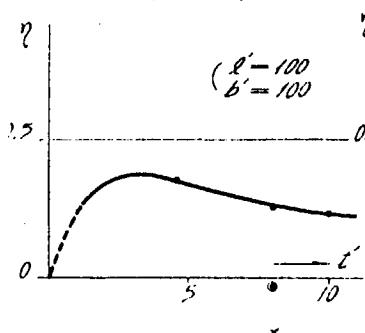


以上より二重張板の長厚比が増すほど、又縦横比が増すほど応力分担比が増し、二重張の効きが良くなることが判る。次に母材応力減少率についても同様なことが言える。

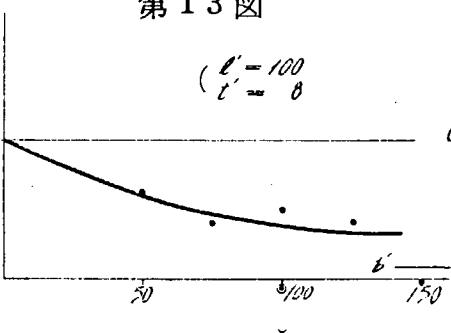
第12図は母材応力減少率に対する板厚の影響、第13図は二重張の板巾の影響、第14図は二重張の長さの影響を示す。第15、16図は、前と同様に二つのパラメーター縦横比によつて各測定結果が表わされることを示す。

### 母材応力減少率

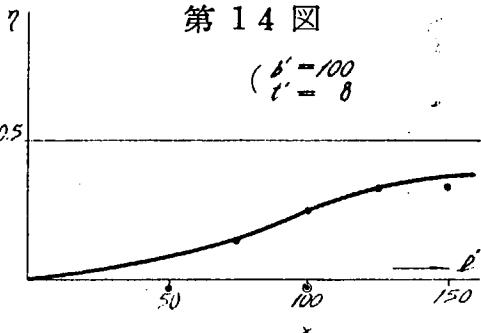
第12図



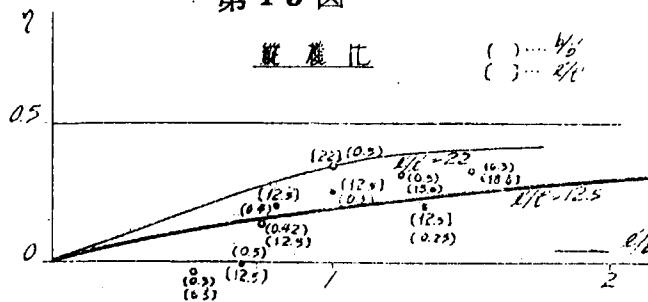
第13図



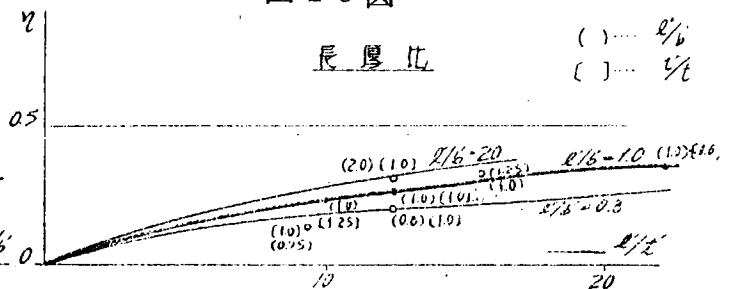
第14図



第15図



第16図



母材応力減少率は応力分担比と同様に縦横比、長厚比が増せば増加することが判る。また上述のことから言えることは、二重張の効きは二重張だけの寸法（板厚、巾、長さ）により定まり、母材の寸法はあまり影響がない。例えば、厚い二重張を用いるときに、この効きを増すためには長い二重張りとすればよいことが判る。

以上の結果をまとめて量的に表せば、二重張りを有効に働く為には、

縦横比 1 のときには 長厚比 ( $\ell' / t'$ ) は 20 以上
" 2 " " " 10 "

とすればよい。

## VI. 二重張止りの局部曲げ

二重張板の荷重方向における止りの母材には、急激な板厚変化及び溶接ビードによる初期撓のために局部曲げの現象が見られる。

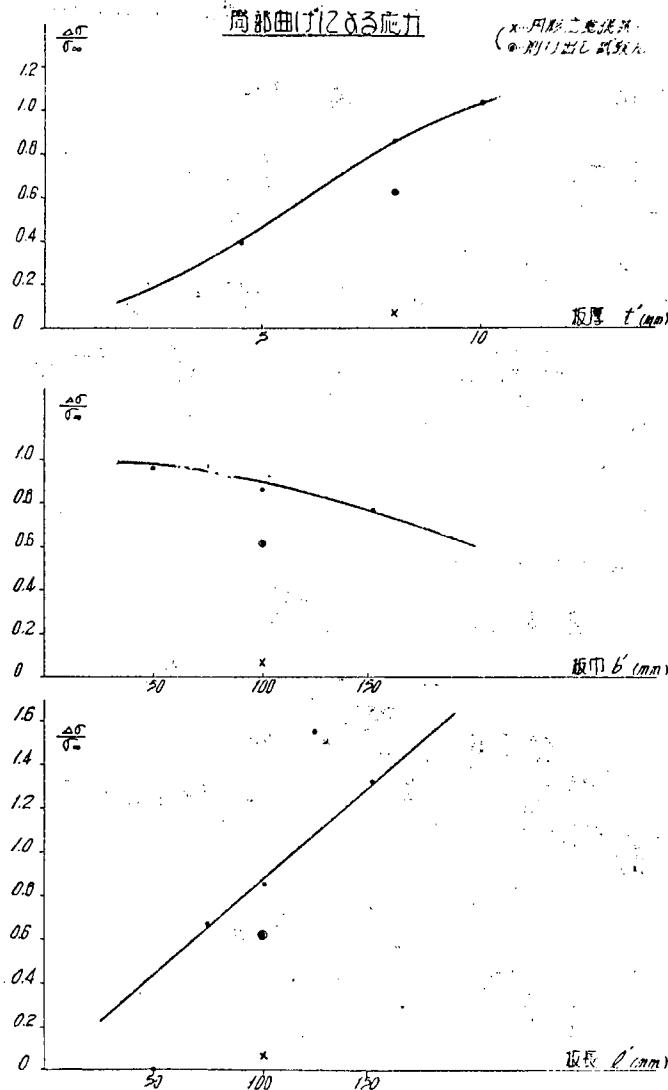
局部曲げは母材の両面に於ける応力の差  $\Delta\sigma$  (一般に母材の表面の引張応力が大きく裏面では小さい。) と引張応力  $\sigma_\infty$  の比で表わされる。

第17図は夫々二重張の板厚のみ増した場合二重張板巾の影響、二重張板長の影響を示す。

これらによると、局部曲げには板厚が影響し、亦板長の影響も大きい。

なお、前項の様な縦横比と長厚比の組合せによつては表示されない。

第17図



## VII. 削り出し厚板及び円形二重張の場合

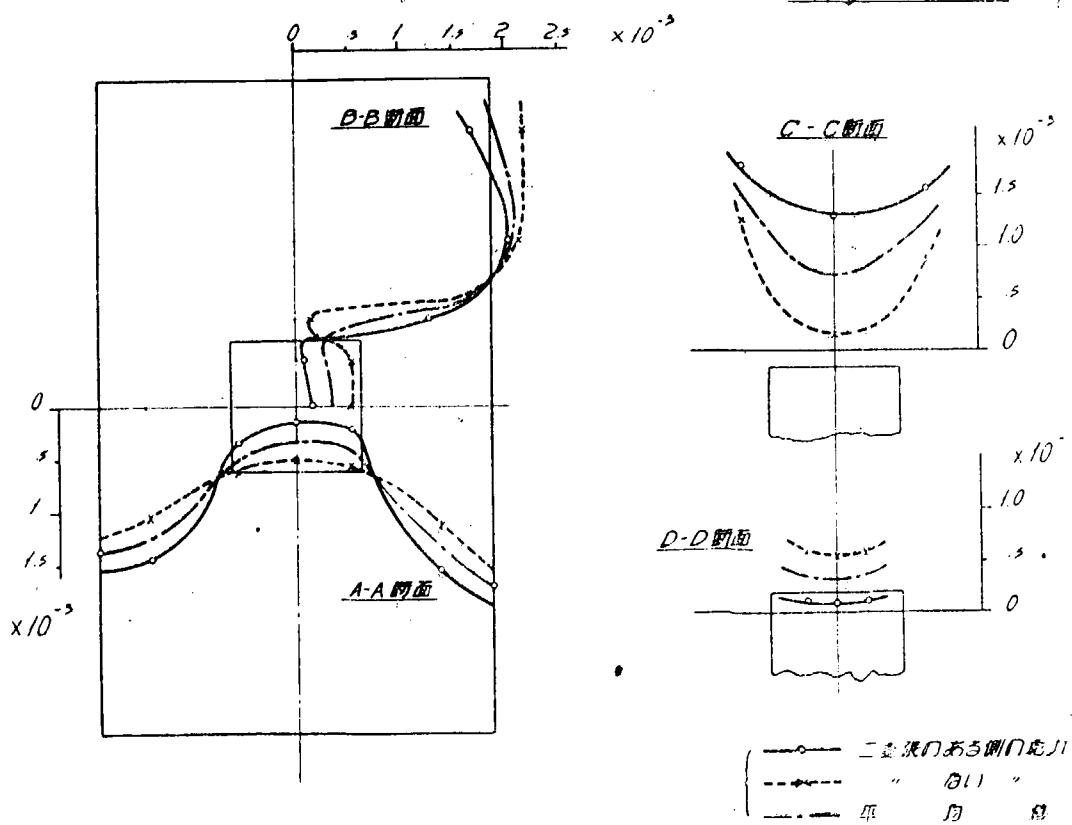
矩形二重張以外の削り出しの場合及び円形二重張の場合には、やゝ異つた性質が見られる。先づ二重張の効きに関しては第7図に見られるように削り出したものと円形二重張りでは二重張表面を流れる応力が小さく、効きは減つてゐる。この主要な理由は、熔接歪の影響の差と考えられる。一般に隅肉熔接の場合には、第18図に示す如き変形（角変化）が生じこれに引張力の働くときには図示の如きモーメントが誘導される。このモーメントは、二重張表面に引張応力を加えるように働くから二重張の有効性をますことになる。しかるに削り出しのときには、熔接歪がなく、又円形二重張の場合にはビードが曲線状をなしているために熔接歪が小さいと考えられるから二重張表面応力が小さく効きが減るものと考えられる。しかし乍ら削り出しのものと円形二重張りは熔接歪が少ないので二重張止りの点の局部曲げが小さいと考えられる。

実際に第17図に示す如く削り出しのものは熔接の場合に比べて局部曲げ係数が28%減少して居り、円形二重張のときには殆んどない。

## VIII. 塑性変形及び最大荷重

第19図 50% 時における 面内力

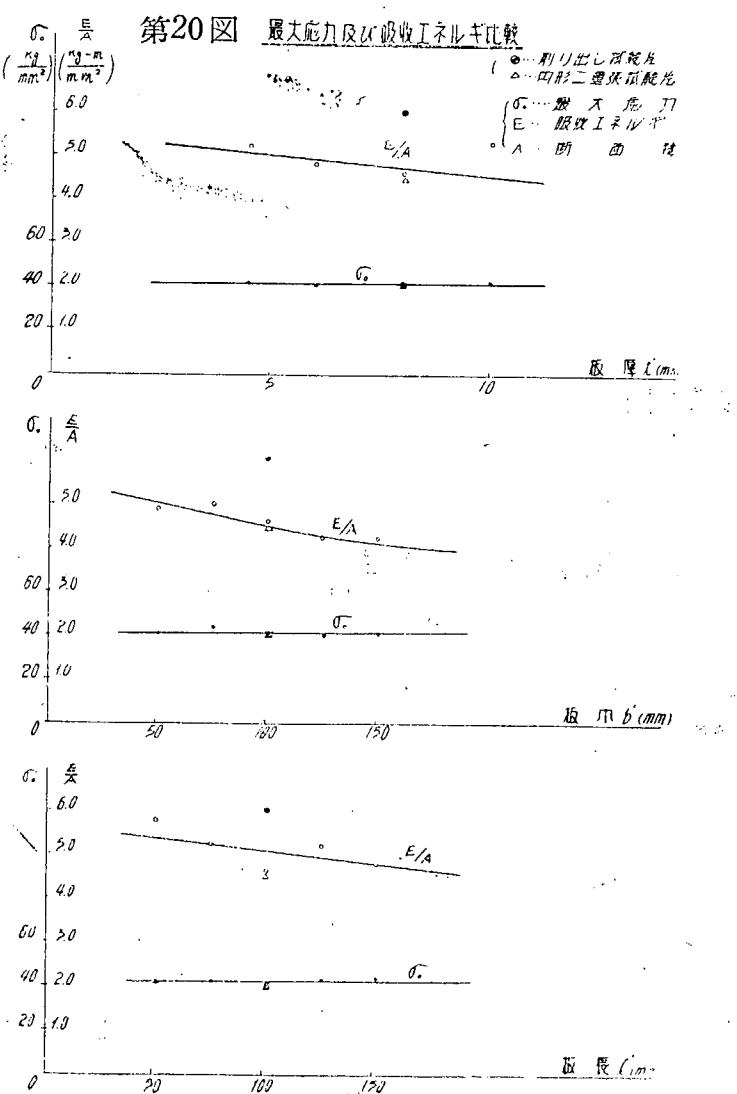
(1/10 段階)



引張荷重を増していくと試験片に塑性変化が始まる。第19図にはNo. 2試験片の50 ton時の歪分布を示す。同図によると塑性変形は二重張部と試験片ツカミ板の中間で著しい。破断もこの部分にneckingを生じた後に起つている。

第19図に示す歪分布は、前述の弾性状態の応力分布とほど同一の傾向を示している。破壊面は二重張部より離れて居り、最も拘束の少ない断面に生じている。従つて二重張りの寸法は破壊強度にあまり影響を及ぼしていない。

第20図は最大応力と吸収エネルギーに及ぼす二重張寸法の影響を示している。何れも最大応力は殆んど変わらないが、吸収エネルギーは二重張寸法が大きくなつて拘束が増すと減少を示している。



## 第2部 艉口隅二重張の形状に関する研究

### I. 緒論

戦後の米国に於けるリバティ船の損傷事故は熔接船の強度に関する種々の問題を提供した。この損傷事故の発生箇所は甲板の艤口隅が最も多い割合を占めている。事故の多発性にもとづきリバティ船では艤口隅の補強工事を行うと共に、<sup>(一)</sup>米国海軍の委託試験としてDe Garmoが大型艤口隅模型により種々の設計による艤口隅の引張試験を行つた。

この試験は艤口隅の構造法を変えた38種の試験片について行つたもので、結果によると、リバティ船に用いた構造法は良くない。良好なものはKemndy Designと呼ばれるものと、A.B.S. Designのものであつた。<sup>(二)</sup>

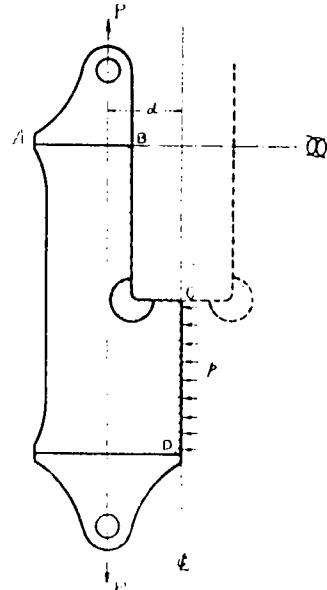
我国に於いても昭和27年に造船協会構造委員会で艤口隅の熔接円形二重張の大きさに関する研究が行われ1万t級船において500mm乃至600mmの径の大きさの二重張で効果が充分である結論を出している。

本試験では二重張の形状の最も効果のあるものを求める目的とし、円形、卵形、梯形、矩形等の8種の形状の二重張の有効性を比較した。試験片はCoaming plate, under deck girder, beam等を有する実船と相似の模型とし、300 ton構造物試験機により引張荷重を与え、抵抗線歪計により弾性及び塑性状態の応力分布を計測し、二重張形状の優劣を決定した。

### II. 試験片形状

試験片は第1図に示す如く艤口隅の一隅のみをとつた形状とした。この理由は、二重張の大きさが艤口に比べて著しく小さく、二重張部の測定の精度を高める為に、その寸法を出来るだけ大きくするためであつた。

第1図



<sup>(三)</sup> De Garmo の試験もこの方法に従つている。

一隅のみの試験片を実際の四隅をもつ形状と同一の応力状態にする為には次の条件が必要である。

- (1) 引張荷重Pを加えたときに艤口の中央部A Bが直線を保ちつつ縦方向に移動すること。即ち縦方向変位

$$u = \text{const}$$

(一) E. Paul De Garmo, Tests of Various Designs of Welded Hatch Corners for Ships; Welding Journal Feb. 1948

(二) 吉本、秋田;二重張りにより補強された大型艤口隅模型試験;造船協会論文集第93号 昭和28年7月

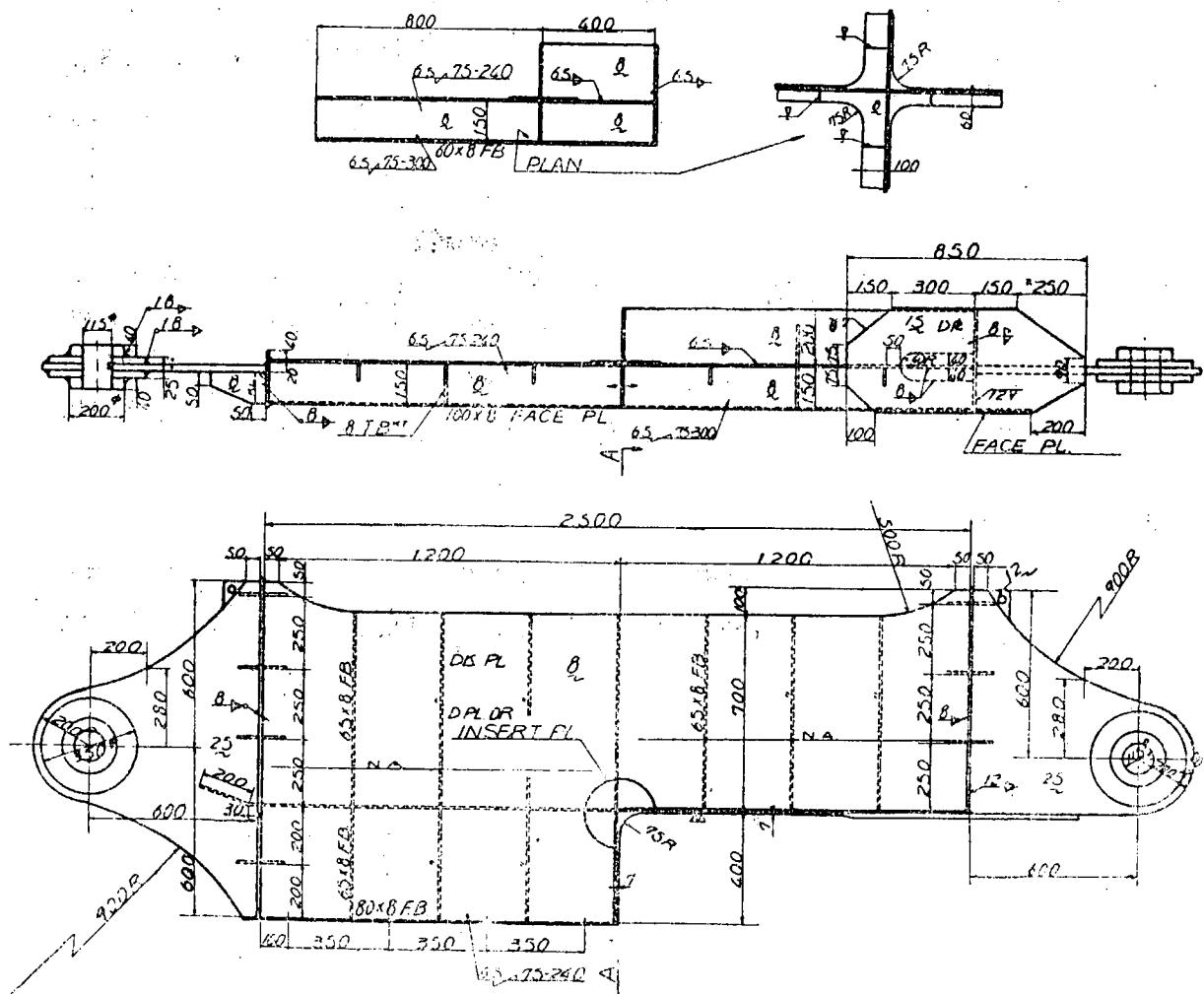
(三) 前掲文献(一)

(2) 船首中心線上 C D が横方向に移動しないこと。即ち横方向変位  $V = 0$

(3) 引張力の作用線  $P P'$  が船口中心線と平行なこと。(1) の条件は引張荷重の作用線  $P P'$  の位置、即ち  $d$  を適当に選ぶ必要がある。これは予備試験で A B が水平を保つ様な  $d$  を選んだ。

(2) の条件に対しては C D 線に押え材を当てて楔をうち横方向の変位を拘束した。(第4図)  
 第2図に試験片の詳細を示す。試験片の大きさは1万屯級貨物船の1/4程度であり、船口開口は  
 $2.5\text{ m} \times 0.8\text{ m}$  船口隅半径は75R(実船で300R) 試験片有効巾1.2m, 長さ2.5mである。

A-A SECTION

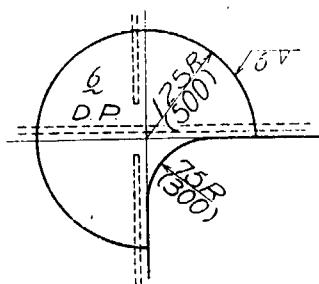


## 第2図 試験片詳細

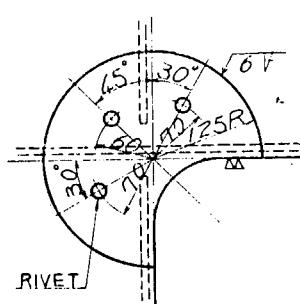
構造は図示される如く hatch coaming, under deck girder, hatch end beam 及び beam を設けてあり、現在多く用いられている構造法で、甲板 Strake に Rをつけ、その両面に coaming 及 under deck girderを溶接したものである。

比較すべき二重張形状は次表のような9種類で、その詳細は第3図に示す。

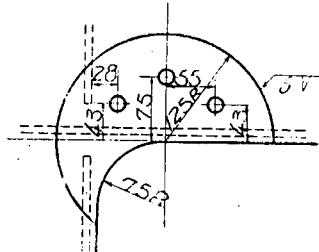
試験片番号	二重張の形状	備考
No. 1	円 形	綴鉄なし
No. 2	円 形	綴鉄あり(以下同じ)
No. 3	偏心円形	
No. 4	卵 形	
No. 5	梯 形	
No. 6	矩 形	内 插 板
No. 7	矩 形	
No. 8	変形矩形	
No. 9	二重張なし	No. 2の二重張を取除いて利用



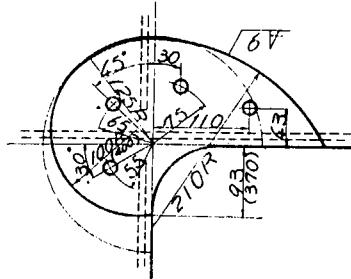
NO.1 円形(綴鉄なし)



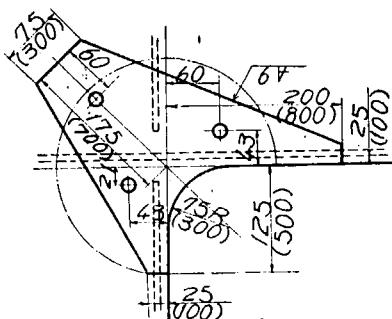
NO.2 円形



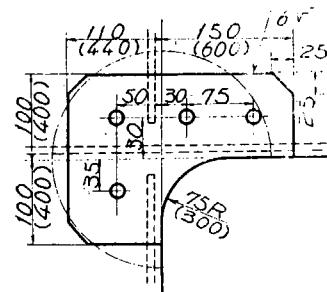
NO.3 偏心円形



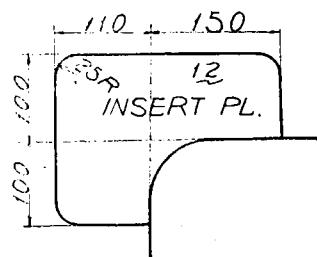
NO.4 卵形



NO.5 梯形



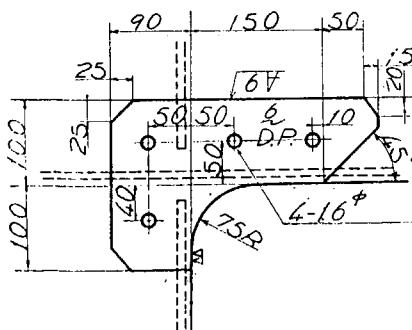
NO.6 矩形



NO.7 矩形(内挿板)

第3図

二重張詳図



NO.8 変形矩形

尚ほ二重張部の断面は図中、中央に示す如く周辺を連続熔接し、とち鉢を4本程度設けた。試験No.1とNo.2は標準の円形二重張りで、とち鉢の働きを見るために、とち鉢を設けたものと、ないものの二種である。

試験片No.3は円中心を引張部に近づけたもので偏心円形と呼ぶ。No.4は引張部へ伸した卵形である。No.5は梯形で、No.6. No.7. は矩形であり、その内No.7は内挿板を用い端部にテーパーを附してある。No.8は二重張端部を *hatch coaming* より離したもので変形矩形と呼ぶ。No.9は二重張のないもので、これはNo.2の二重張を取除いて利用した。二重張の大きさは各々の面積が等しくなる如く寸法を定めた。実船に換算して二重張の大きさは500Rであり、二重張の径と隅部半径の比は1.67である。

なお二重張の大きさの根拠は、昨年度行つた船口隅試験によれば船口半巾と隅部半径の比  $b/R = 1.1$  のときに有効な二重張半径は隅部半径の1.7~2.0倍程度であつたので今回では船口半巾と隅部半径の比が5.3で前試験に比べて隅部半径が大きいので二重張半径をやゝ小さくとり隅部半径の1.67倍とした。<sup>(四)</sup>

1万屯級貨物船に換算すれば大略次表の値となる。

船口半巾	隅部半径	二重張半径(円形)
1.6 m	300 mm	500 mm

### III. 試験方法

試験は、運研月島300t構造物試験機により、静的引張を与えて行い、弾性試験及一部塑性試験において、抵抗線歪計を用いて応力分布の測定を行つた。

歪計測は荷重25t毎に行い、歪ゲージには、共和無線製K1(ゲージ長20mm)及びK2.2(ゲージ長9.5mm)の二種を用いた。

試験片は、一隅のみのL型であるので、前節で述べたように、実際の四隅を有する形状のものと同じ応力分布にするために、前節(1)及び(2)の条件を満す必要がある。

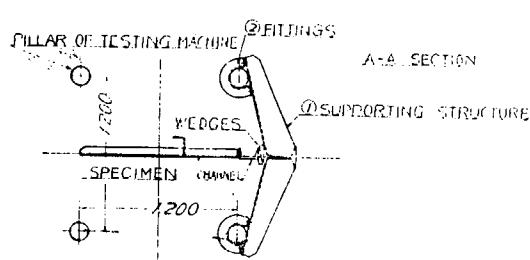
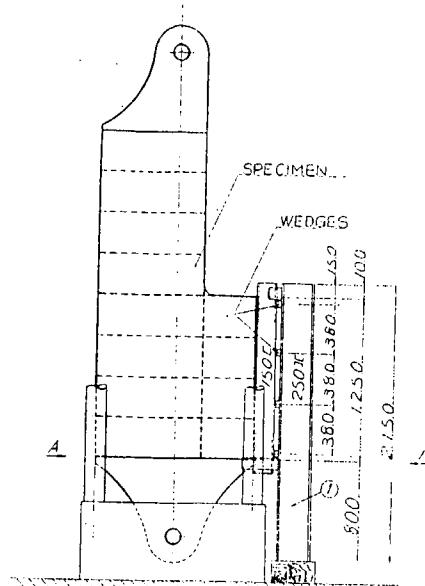
(1) に関しては引張力の作用線と船口中心線の距離dを600mmに選び第1図AとBに於ける縦方向の変位(u)をダイヤルゲージで計測し、その変位の差を50t時で8/100mm以下とした。

次に(2)に関しては第4図に示す如く試験機柱に金具②を介してチャンネル材の組合せたI型材①を取付け、この押え材と試験片の間に4ヶ所で楔をうち、横方向の変形を防止した。

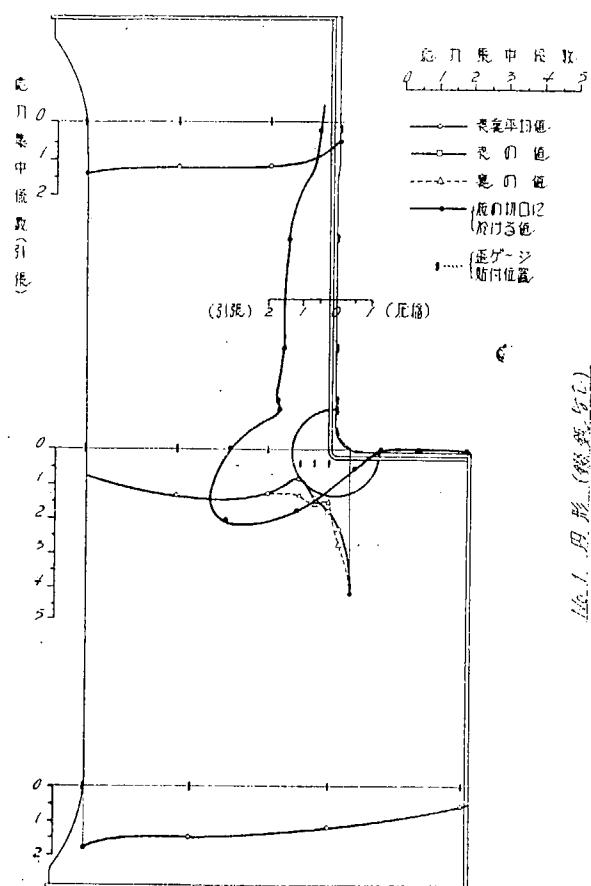
試験結果によると試験材柱が高荷重のときに変形するのでこの拘束は完全ではなかつた。然しながら本試験が比較試験であるから試験の結論には影響しないと考えられる。

(四) 前文献(一)

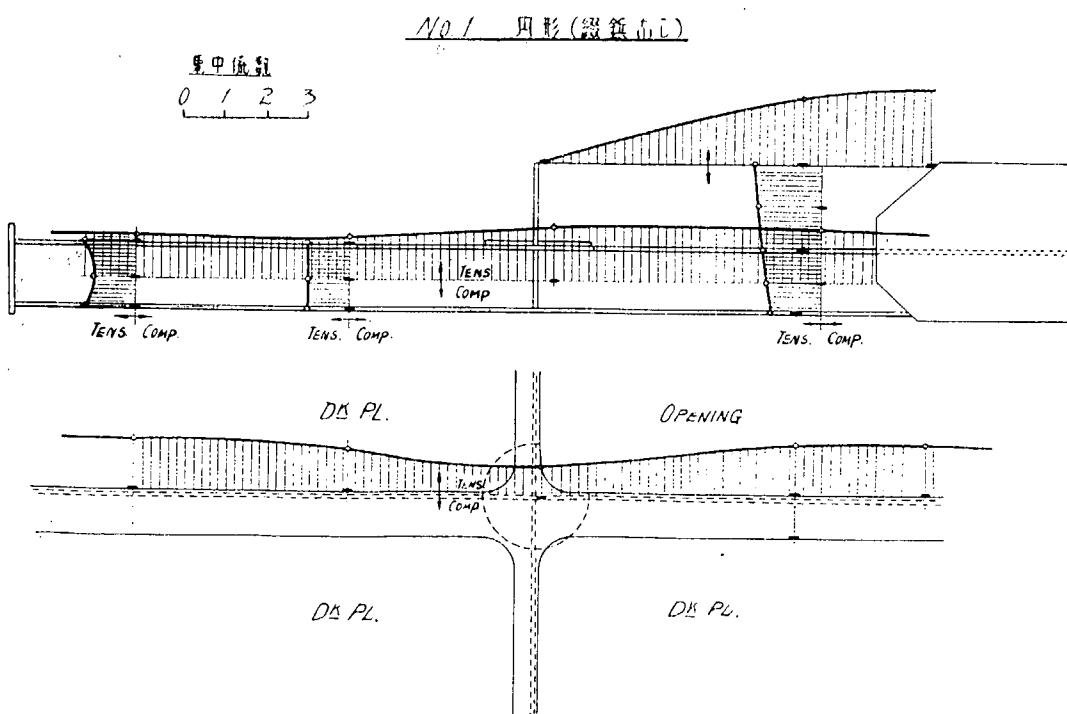
第4図 試験片及び押え金具配置



第5図 応力分布



第6図 coaming等の応力分布



## IV. 試験結果

### (1) 一般的事項

弾性試験(50t時)における各部の応力分布は例へば第5図の如くなる。図中における甲板部の応力は二重張附近のもの以外は全部裏表の平均値である。

これで見ると、甲板は大体一様に働いているが、開口の下部では応力はやゝ減少している。

船口周りの応力分布曲線を見ると船口の縦縁(coamingに沿つて)では略一様な分布を示し、二重張止りの母材に応力集中は見られない。そして隅部では大きな応力集中が起つてゐる。又横縁では(coamingに沿つて)僅かな圧縮応力が現われている。船口隅を含む横断面上の引張応力の分布では船口隅で応力集中が見られる。

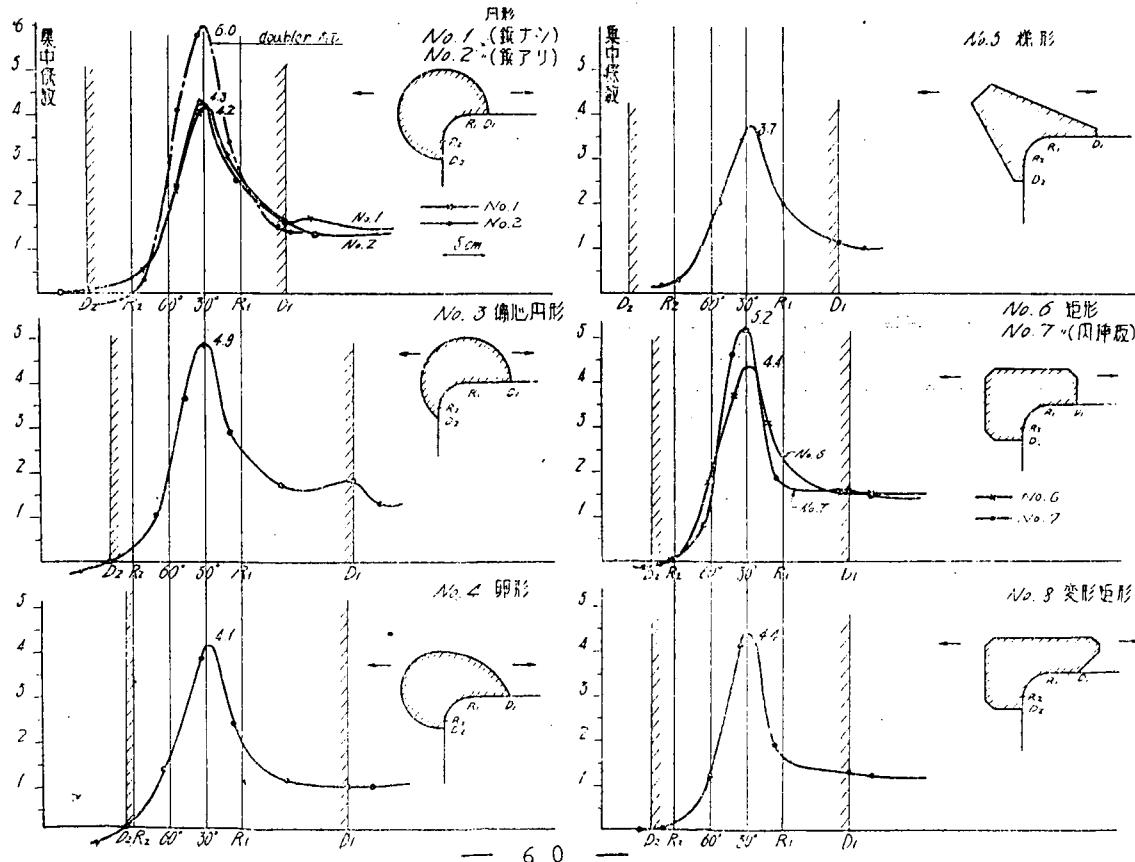
第6図はcoaming及びunder deck girderに於ける引張応力の分布を示す。under deck girderは充分働いて居り、又 hatch coamingは端から少し離れた所には応力がよく流れ込んで居て、両者共有効に働いている事が分る。

以上の応力値はすべて応力係数であつて、応力を基準応力で割つた値であり、基準応力としては引張荷重を船口のない箇所の断面積(縦通材を含む)で割つたものである。

### (2) 隅部の最大応力

甲板の船口の切口に沿つて測つた隅部の応力分布を比較すると第7図の如くなる。

第7図 corner部の応力分布



(図中で  $R_1$   $R_2$  は隅部の R 止り,  $D_1$   $D_2$  は二重張止りの位置を示す。)

これで見ると、二重張止りの所には応力の集中は起つて居ないことが分る。そして Rのある所で最も高い応力を示す所は、R止りから約  $30^\circ$  入つた所に生ずる。そしてその最大応力集中係数は二重張の形狀によつて異り、3.7から4.9の間にある。内挿板は最も高く5.2となつてゐる。又二重張をつけない場合は6.0の値を示してゐる。

尙ほ参考のために上の値と浅羽の理論値とを比較しよう。浅羽の計算は第8図に示す如き開口

の  $r/b = 0.0937$  の場合であるが、(この試験では

第8図

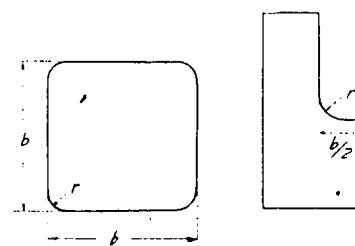
$r/b = 0.09375$ ) 最大応力集中係数は3.9, その

位置は R止りから約  $25^\circ$  入つた所になる。

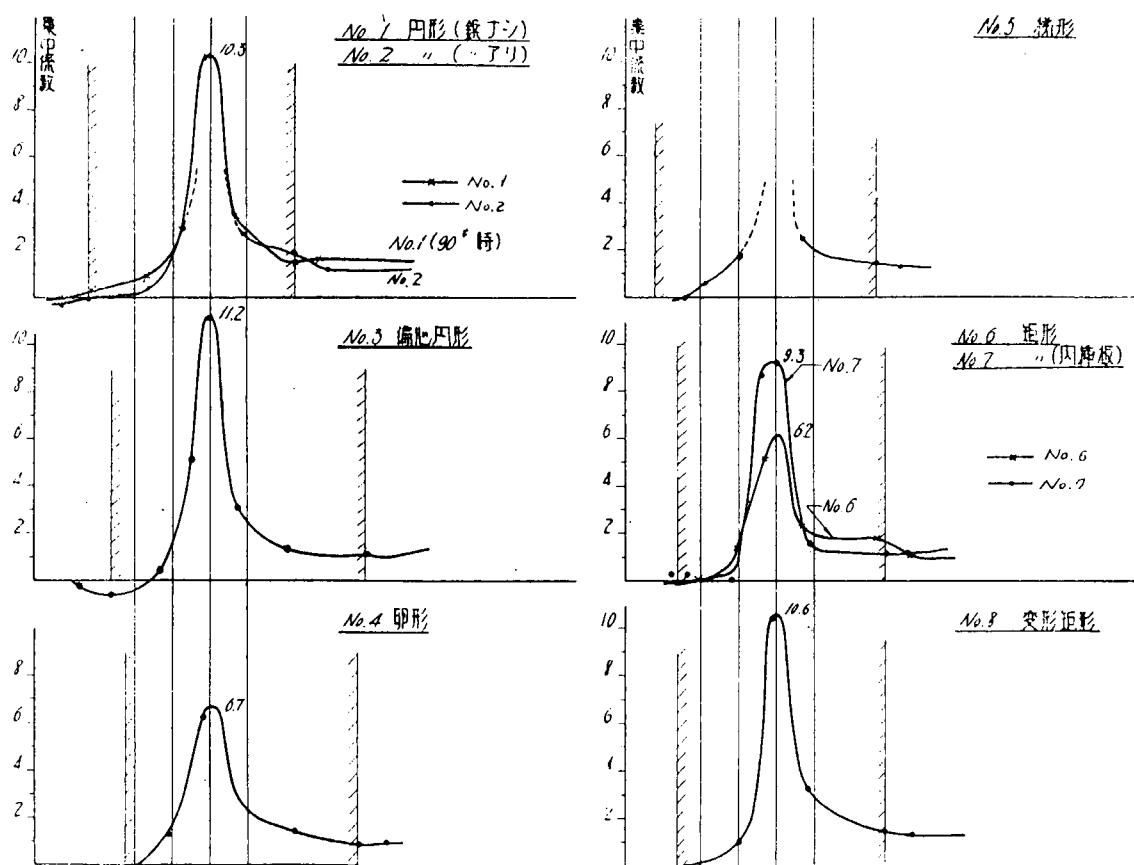
125t時(一部塑性状態)の歪の分布は第9図の如

くなる。角口側の中心角  $30^\circ$  の位置で塑性流が著しい。

歪の分布の傾向は弾性試験とほぼ同一である。



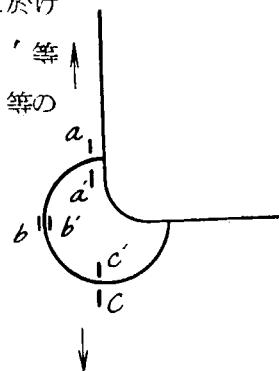
第9図 corner部歪分布(一部塑性状態)



⑤ 浅羽隆太郎; 有効板に於ける応力に就いて, 造船協会報第42号 昭和3年4月

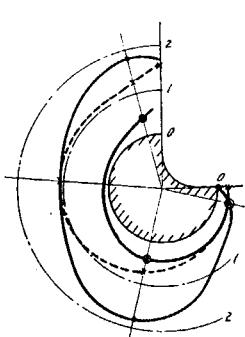
第 10 図

第 10 図に示す如き二重張周辺の母材の応力 ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  等に於ける表裏の平均値) 二重張上の周辺の平均応力 ( $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$  等に於ける表裏の平均値) 及び局部曲げによる応力 ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  等の応力の表裏の差) の curve を第 11 図に示す。

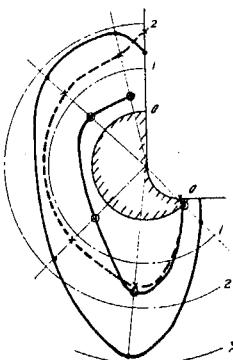


第 11 図 二重張周辺の応力

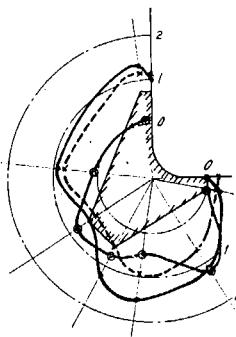
No. 1 円形(無ナシ)



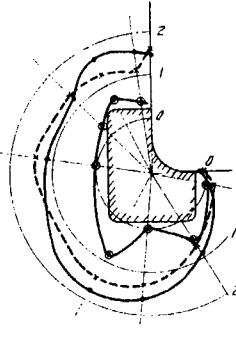
No. 3 偏心円形



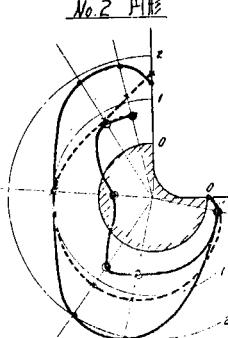
No. 5 長形



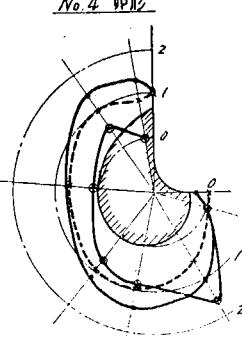
No. 7 矩形(内薄板)



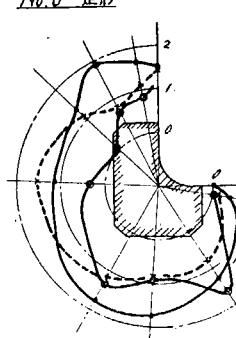
No. 2 円形



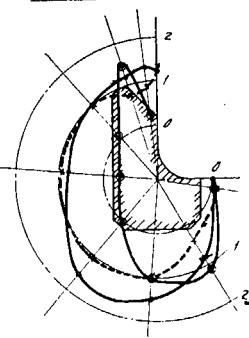
No. 4 長形



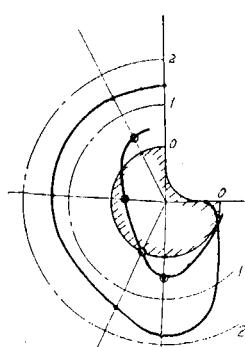
No. 6 矩形



No. 8 变形矩形



No. 9 二重張面



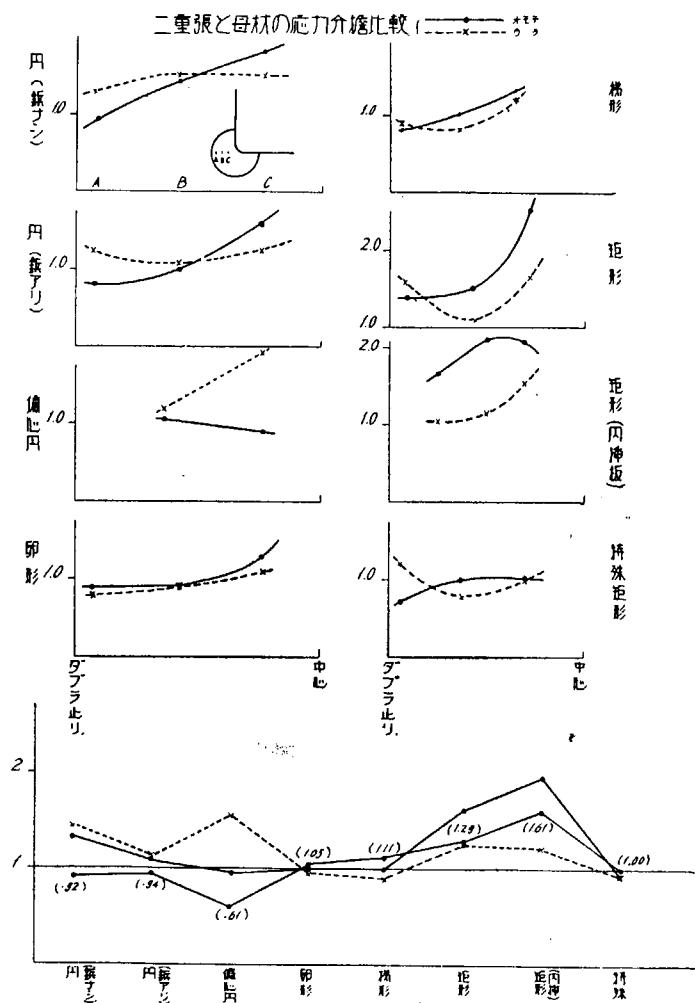
- 二重張周辺の応力(母材)
- 二重張上の周辺の応力
- 局部曲げによる応力

図によると二重張止りの母材の平均応力は偏心円は特に大きく、卵形、梯形、変形矩形は比較的低い。二重張上の周辺の応力（裏表平均したもの）は、各場合とも大差なく、集中係数は約1である。又二重張止りの局部曲げによる応力は、偏心円、矩形、変形矩形は比較的大きく、内挿板は小さい。

#### (4) 二重張と母材の応力分担比(効率)

二重張部に於ける二重張側と、その裏の母材側との応力を比較すると、第12図となる。これで見ると、一般に周辺では母材の方が大きく、二重張の内部に入るに従い二重張側の方が大きくなる。この応力分布の平均値をとつて、二重張の応力と母材の応力の比、即ち応力分担比を比較すると図中の下側に示される如く、内挿板は最もよく効き偏心円は一番悪い。

第12図



#### (5) 総合判定

以上の結果から各要素を比較すると、第13図となる。同図にて最大応力小さく局部曲げが少なく、有効性大きく、且つ二重張止りの応力の小さいものをA級、このうちの一つが欠けるものをB級、何れも劣っているものをC級とすると、次の級別が得られる。

A級 梯形、卵形

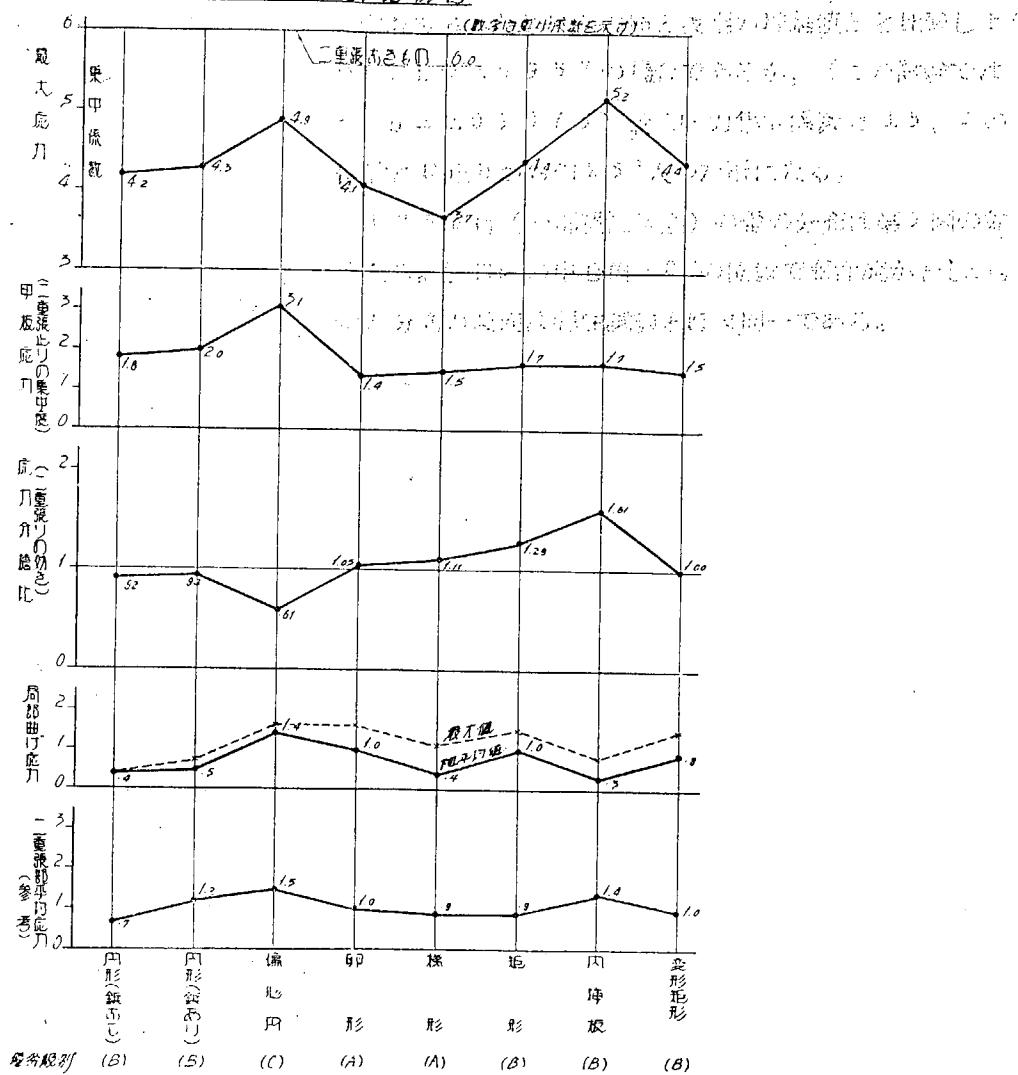
B級 変形矩形、内挿板、矩形、円形(鉄あり) 円形(鉄なし)

C級 偏心円形

尙ほ、緩鉄は効きに影響していることは認められるが、その量は大したことはない。  
これで何より、上部構造より「常に内張り」の構造が最も有利である。  
その他の構造は既に述べた通り、軽い構造は、堅い構造よりも、強度的には劣るが、  
一方では剛性も大きいので、強度も大きい。また、軽い構造は、堅い構造よりも、  
施工が容易である。そしてその他のものと比較して、堅い構造は、施工が難しくなる。

第13図

応力集中係数比較図



### 第3部 面積補強と開孔隅部補強の相異 に関する実験

#### I. 実験目的

二重板の有効性に関する研究の成果の示す所によれば二重板取付部の母板応力減少率は実験の範囲ではその二重板の長厚比が大となればなる程大となる結果を示した。しかも此の応力減少率は二重板の付いた部分のみに起り応力線が此の二重板に依る厚さ増大の部分に於てのみ粗となり、明に応力集中部に対する二重板補強の有効性を現して居る。

一方吾々が船体の断面係数増大の為の補強又は開孔に依つて失なわれた面積の補強の如く非常に長い二重板を設けた場合を考へるとその応力分担比は 1 に近いと考へられるから二重板の応力も二重板の無い部分を含めた母板の応力と殆んど相等しいと考へられる。言ひ換へれば短二重板の場合は二重板のある部分のみの応力を減少せしむるに対し、長二重板は二重板よりはなれた部分の母板応力をも減少せしむるから二重板部の母板応力減少度合は前者に比して小さくなる。即ち長二重板の断面積が母板に比してきわめて小なる場合は二重板に依る母板の応力はあまり小さくならぬからここに開孔隅部があればこの部の応力集中は二重板がない場合と大差がない事になる。即ち長二重板では開孔隅部の集中応力を補強減少せしむる事は出来ないことが推論される。本件は現状の二重板補強方針の一部を変更せしむる事となるので実験に依り之を確認する必要にせまられ本実験を追加施行する事とした。

#### II. 実験方法

試験片は 20 粒厚鋼板より第 1 図に示す如き形状の試験片をミリングにて削り出し歪計貼付の誤差及加工の誤差を無くする為第 1 回試験終了後遂次同一試験片を第五回迄第 2 図乃至第 6 図に示す如く加工し使用した。

従つて加工中は歪計は支障ある部を除き貼付のまゝとし試験荷重は材料・弾性範囲に限つた。

弾性範囲にある事を確認する為各歪計の測定は荷重増加減少共測定し歪が一直線上に往復することを graph を以て確認した。

歪計取付位置も同様第 2 図乃至第 6 図に示す。

試験機 200 t アムスラー萬能試験機。

実験は昭和 28 年 8 月 19 日より昭和 28 年 8 月 31 日迄。

#### III. 測定結果

測定結果は同様第 2 図乃至第 6 図に示す。

試験片の大きさが試験機の関係で充分得られなかつたが本実験が勿論実船とは種々の状況が異なるので定量的の成果は期待出来ず定性的の比較実験であるので結果は此点で充分信頼し得るものである。

#### IV. 測定結果の解析

本測定応力中問題となるのは第2図乃至第6図に示す開孔隅部応力4-1, 4-2, 4-3, 4-4と平均応力の関係である。上記応力は第7図に示す如く貼付歪計を $\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 及 $40^\circ$ を中心にして貼付した時の隅部応力である。又この歪計の長さは9.5粂なる為夫々の応力はこの点を中心として、

$$\theta^{\text{rad}} = \frac{9.5 \text{ 粂}}{R} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

但 R : 開孔隅部半径 = 15粂

$\alpha$  範囲内の応力の平均値を示す

$\theta$  は

$$\theta = \frac{9.5}{15} \quad \text{rad} \approx 36^\circ 20'$$

今  $\alpha = \alpha_0$  なる点の実際の応力を  $y_0$  とし

$$y = f(\alpha) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

とすれば  $\alpha = \alpha_0$  に貼付した歪計の測定値  $\sigma_0$  は

$$\sigma_0 = \frac{\int_{\alpha_0 - \frac{\theta}{2}}^{\alpha_0 + \frac{\theta}{2}} f(\alpha) d\alpha}{\theta} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$\text{茲に } y = f(\alpha) = a\alpha^3 + b\alpha^2 + c\alpha + d \dots \dots \dots \quad (4)$$

なる式で表わされると仮定すれば、

$$\begin{aligned} \int_{\alpha - \frac{\theta}{2}}^{\alpha + \frac{\theta}{2}} f(\alpha) d\alpha &= \frac{a}{4} \left\{ \left( \alpha + \frac{\theta}{2} \right)^4 - \left( \alpha - \frac{\theta}{2} \right)^4 \right\} \\ &\quad + \frac{b}{3} \left\{ \left( \alpha + \frac{\theta}{2} \right)^3 - \left( \alpha - \frac{\theta}{2} \right)^3 \right\} \\ &\quad + \frac{c}{2} \left\{ \left( \alpha + \frac{\theta}{2} \right)^2 - \left( \alpha - \frac{\theta}{2} \right)^2 \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + d \left\{ \left( d + \frac{\theta}{2} \right) - \left( \alpha - \frac{\theta}{2} \right) \right\} \\
& = a \theta \alpha \left( \frac{\theta^2}{4} + \alpha^2 \right) + \frac{b}{3} \theta \left( \frac{\theta^2}{4} + 3 \alpha^2 \right) \\
& \quad + c \alpha \theta + d \theta
\end{aligned}$$

$$\therefore \sigma_0 = a \alpha \left( \frac{\theta^2}{4} + \alpha^2 \right) + \frac{b}{3} \left( \frac{\theta^2}{4} + 3 \alpha^2 \right) + c \alpha + d \dots \dots (5)$$

$\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  及  $40^\circ$  に於ける測定値  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  及  $\sigma_4$

$$\theta = 36^\circ 20'$$

を代入し各試験片に就き  $a, b, c$  及  $d$  を解き (4) 式を求むれば、

荷重 20.000 Kg の場合

$$\begin{array}{ll}
\text{第一回試験片} & y = -0.59 \alpha^3 + 4.66 \alpha^2 - 11.14 \alpha + 19.58 \\
\text{第二回} & " y = -0.893 \alpha^3 + 6.58 \alpha^2 - 13.3 \alpha + 16.2 \\
\text{第三回} & " y = -0.573 \alpha^3 + 4.02 \alpha^2 - 7.13 \alpha + 12.27 \\
\text{第四回} & " y = -0.0837 \alpha^3 + 1.36 \alpha + 8.15 \\
\text{第五回} & " y = 1.543 \alpha^3 - 11.26 \alpha^2 + 15.5 \alpha + 20.31
\end{array}$$

荷重 25.000 Kg の場合

$$\begin{array}{ll}
\text{第一回試験片} & y = -0.814 \alpha^3 + 6.43 \alpha^2 - 15.3 \alpha + 25.3 \\
\text{第二回} & " y = -1.122 \alpha^3 + 8.35 \alpha^2 - 17.33 \alpha + 20.76 \\
\text{第三回} & " y = -0.715 \alpha^3 + 5.01 \alpha^2 - 8.86 \alpha + 15.28 \\
\text{第四回} & " y = -0.0967 \alpha^3 - 0.08 \alpha^2 + 1.94 \alpha + 10.01 \\
\text{第五回} & " y = 1.90 \alpha^3 - 13.72 \alpha^2 + 18.83 \alpha + 2.517
\end{array}$$

..... (6)

但  $\alpha$  の単位は  $10^\circ$  とし、  $y$  の単位は  $\frac{kg}{mm^2}$  とす。

本式に従つて隅部応力の値を求むれば第一表の如くなり、之を曲線に画けば第 8 図及第 9 図の如くなる。

又、極大応力の  $\alpha$  の角度及極大値は第二表に示す。

以上に示す如く本実験に依り開孔隅部の如く応力集中部に設けられる二重板は長いものを使用するとかえつてその効果がないという推論が確認された。

#### 実船への応用

- (1) 例へば強力甲板にあけられた小船口又はstairwayの如き開孔は之に依る強力甲板の断面積の減少を補う意味で開孔縁部に沿つて補強板を付し隅部補強板を之を以て兼ねしめて居る第10図の如き構造が普通使用されてゐるが之は開孔の巾が小にして開孔側部の平均応力が大に増大しない場合は深部のみの補強板第11図の方が有効である。又開孔補強の必要があれば第12図又は第13図が採用さるべきであろう。
- (2) 船体のI/yの不足を補強する為の船体強力甲板に設ける補強二重板はstringer plate上, hatch side strake上の順に設けられることが普通考えられてゐるが之はむしろhatch side strakeは最後まで補強すべきではなく、又、仮に致し方なくhatch side strakeを補強した場合は船口隅部の応力集中部補強は別途考慮さるべきである。

#### 謝 辞

この研究を実施するに当り、莫大な補助金を交付せられた運輸省、研究費を負担された日本造船工業会、協力を賜つた運輸技術研究所、東京大学、大阪大学、並びに本研究遂行に絶大な御支援を与へて下さつた各造船所に対し深甚なる感謝の意を表する。

図 1 第

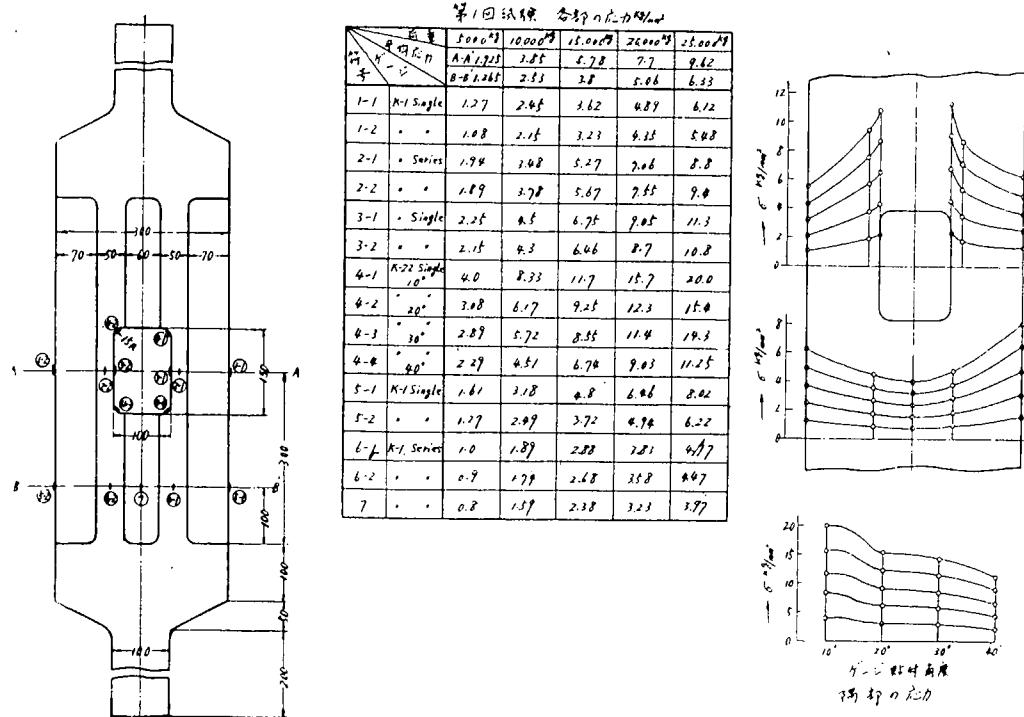
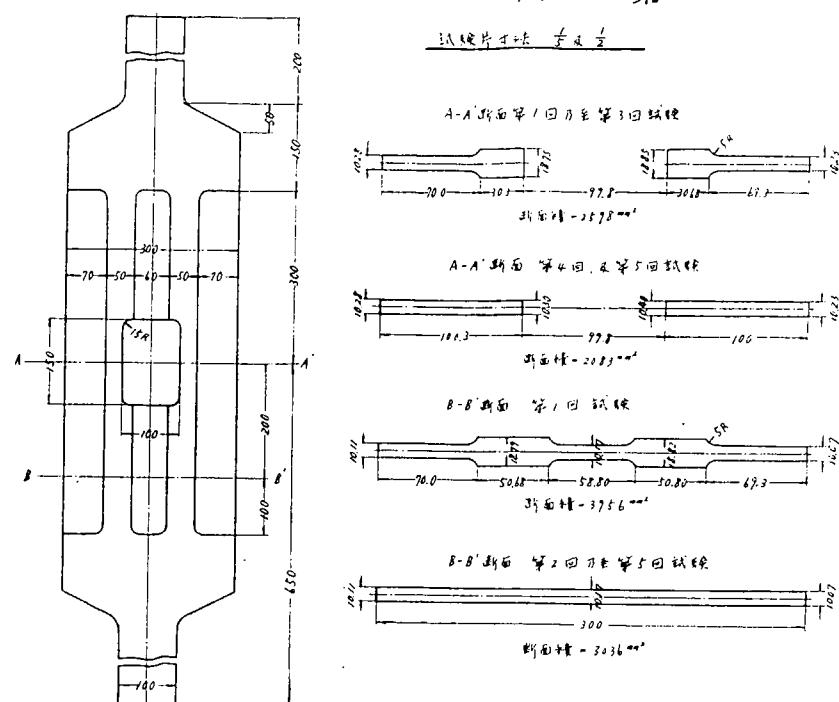
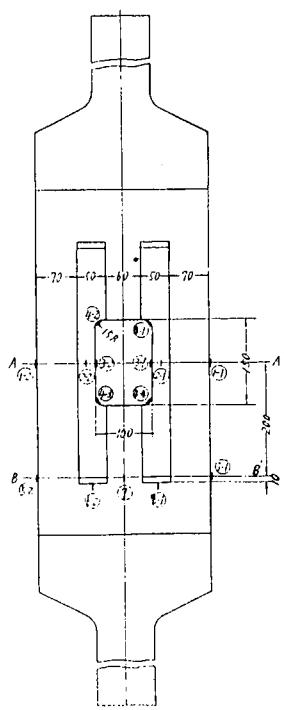
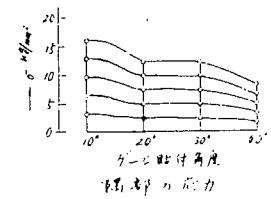
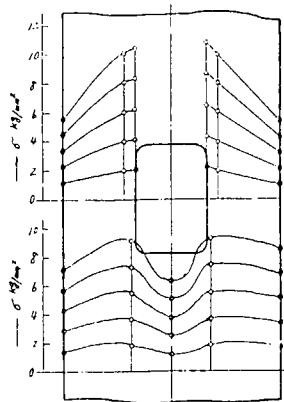


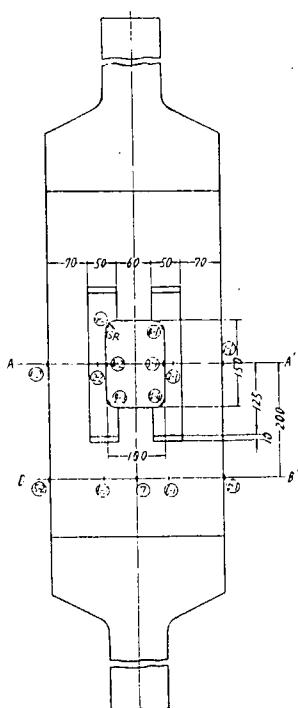
図 2 第



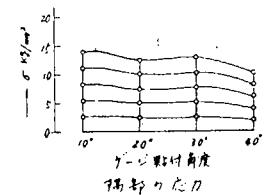
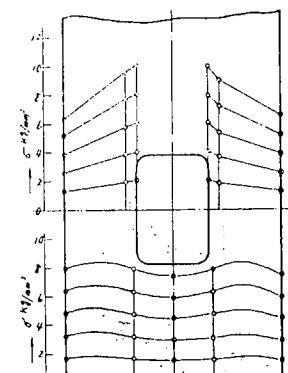
第2回試験 荷重 N/㎟		5,000 <sup>2</sup>	10,000 <sup>2</sup>	15,000 <sup>2</sup>	20,000 <sup>2</sup>	25,000 <sup>2</sup>
荷重	kg	5,000 <sup>2</sup>	10,000 <sup>2</sup>	15,000 <sup>2</sup>	20,000 <sup>2</sup>	25,000 <sup>2</sup>
荷重	kg	5,000 <sup>2</sup>	10,000 <sup>2</sup>	15,000 <sup>2</sup>	20,000 <sup>2</sup>	25,000 <sup>2</sup>
1-1	X1 Single	1.03	2.17	3.25	4.31	5.42
1-2	" "	1.13	2.21	3.34	4.48	5.56
2-1	X1 Series	1.47	3.99	6.01	8.03	10.0
2-2	" "	2.02	4.04	6.06	8.13	10.13
3-1	X1 Single	2.21	4.38	6.5	8.67	10.84
3-2	" "	2.07	4.19	6.27	8.39	10.46
4-1	K-22.5 Single	3.2	6.5	9.7	12.93	16.15
4-2	" 20°"	2.49	4.92	7.41	9.85	12.3
4-3	" 30°"	2.44	4.87	7.36	9.8	12.2
4-4	" 40°"	1.73	3.4	5.08	6.7	8.38
5-1	X1 Single	1.74	3.04	5.18	6.88	8.58
5-2	" "	1.61	2.87	4.29	5.7	7.12
6-1	X1 Series	1.58	3.7	5.52	7.65	9.28
6-2	" "	1.83	3.16	5.48	7.31	9.14
7	" "	1.15	2.53	3.8	5.1	6.35



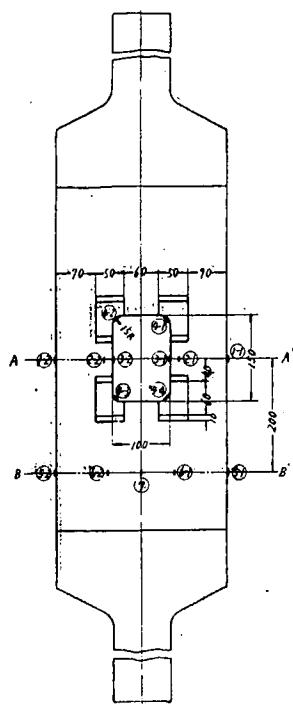
第 3 図



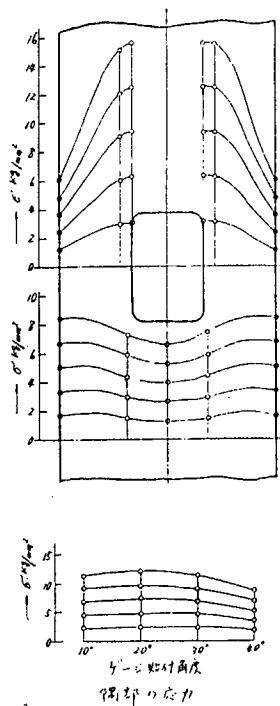
第3回試験 荷重 N/㎟		5,000 <sup>2</sup>	10,000 <sup>2</sup>	15,000 <sup>2</sup>	20,000 <sup>2</sup>	25,000 <sup>2</sup>
荷重	kg	5,000 <sup>2</sup>	10,000 <sup>2</sup>	15,000 <sup>2</sup>	20,000 <sup>2</sup>	25,000 <sup>2</sup>
荷重	kg	5,000 <sup>2</sup>	10,000 <sup>2</sup>	15,000 <sup>2</sup>	20,000 <sup>2</sup>	25,000 <sup>2</sup>
1-1	X1 Single	1.57	2.57	3.7	5.26	6.63
1-2	" "	1.27	2.45	3.85	5.12	6.28
2-1	X1 Series	1.81	2.64	3.17	2.19	2.01
2-2	" "	1.92	2.81	5.75	7.67	7.58
3-1	X1 Single	2.03	4.04	6.04	7.98	10.0
3-2	" "	2.05	4.04	6.04	8.84	10.03
4-1	K-22.5 Single	2.74	5.51	8.23	11.12	12.86
4-2	" 20°"	2.43	5.02	7.86	10.03	12.52
4-3	" 30°"	2.59	5.17	7.76	10.25	12.93
4-4	" 40°"	2.07	4.14	6.21	8.28	10.35
5-1	X1 Single	1.51	2.97	4.42	5.94	7.47
5-2	" "	1.66	3.22	4.82	6.28	7.98
6-1	X1 Series	1.53	3.02	4.7	6.28	7.86
6-2	" "	1.63	3.16	4.7	6.28	7.86
7	" "	1.48	2.97	4.01	5.85	7.33



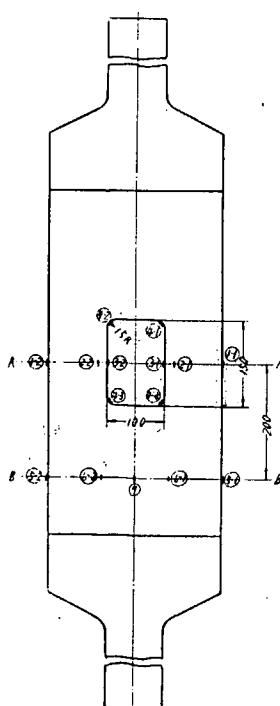
第 4 図



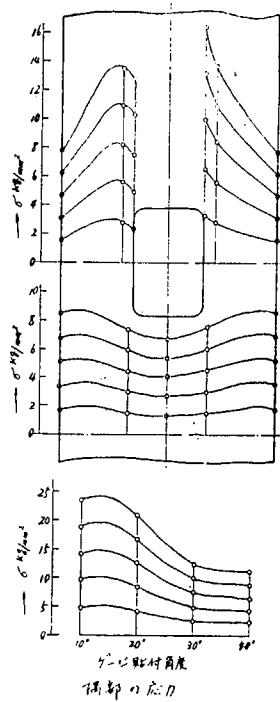
第4回 試験各部の応力 kN/mm <sup>2</sup>						
	5.000 <sup>2</sup>	10.000 <sup>2</sup>	15.000 <sup>2</sup>	20.000 <sup>2</sup>	25.000 <sup>2</sup>	
荷重 kN	5.0 1.8	10.0 0.8	15.0 0.7	20.0 0.6	25.0 0.5	
子 子	8.8 1.8	3.3 4.9	6.3 7	8.2 8		
1-1 K-1 Single	1.22	2.43	3.65	4.86	6.08	
1-2 "	1.22	2.43	3.65	4.86	6.08	
2-1 K-1 Series	3.08	6.17	9.35	12.43	15.5	
2-2 "	2.91	5.94	8.94	11.96	14.96	
3-1 K-1 Single	3.18	6.27	9.36	12.43	15.5	
3-2 "	3.08	6.27	9.35	12.43	15.4	
4-1 K-22 Single	2.31	4.52	6.84	9.15	11.36	
4-2 " 20°	2.01	4.83	7.24	9.65	12.07	
4-3 " 30°	2.31	4.65	6.84	9.15	11.46	
4-4 " 40°	1.81	3.62	5.33	7.14	8.95	
5-1 K-1 Single	1.68	3.46	5.14	6.83	8.51	
5-2 "	1.68	3.36	5.05	6.73	8.42	
6-1 K-1 Series	1.5	2.97	4.48	5.98	7.48	
6-2 "	1.5	2.99	4.39	5.89	7.27	
7 "	1.31	2.71	4.02	5.32	6.64	



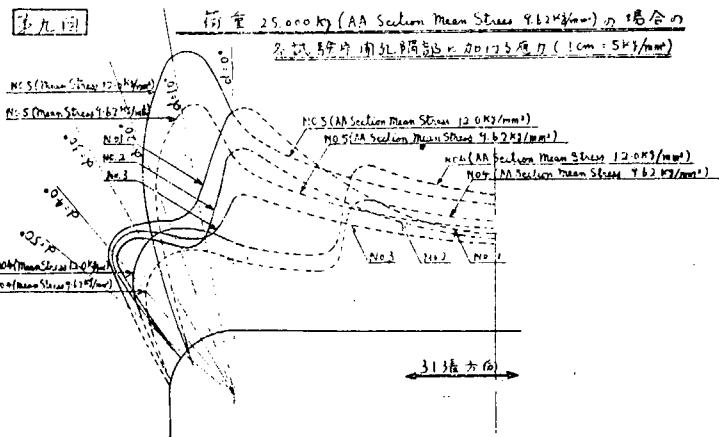
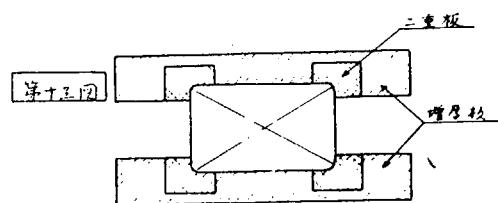
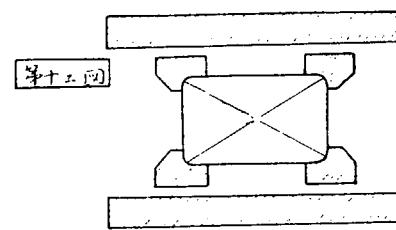
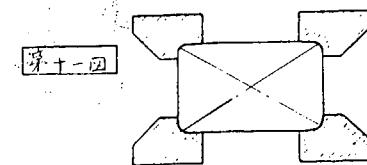
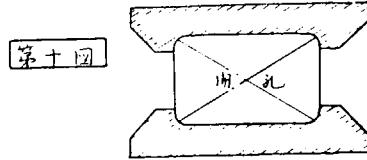
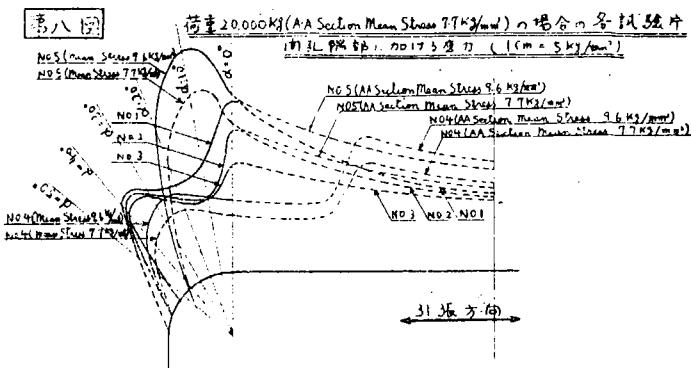
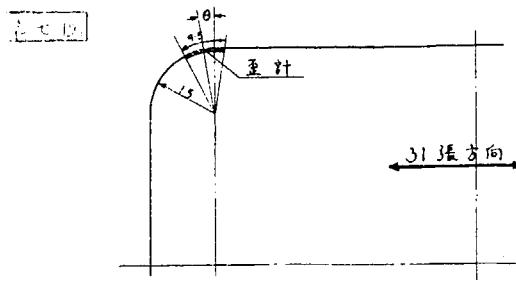
第 5 図



第5回 試験 各部の応力 kN/mm <sup>2</sup>						
	5.000 <sup>2</sup>	10.000 <sup>2</sup>	15.000 <sup>2</sup>	20.000 <sup>2</sup>	25.000 <sup>2</sup>	
荷重 kN	5.0 2.9	10.0 1.8	15.0 1.3	20.0 0.9	25.0 0.7	
子 子	8.8 1.8	3.3 4.9	6.3 7	8.2 8		
1-1 K-1 Single	1.5	3.07	4.63	6.18	7.68	
1-2 "	1.5	3.09	4.68	6.23	7.78	
2-1 K-1 Series	2.79	5.58	8.38	10.92	13.7	
2-2 "	2.77	5.58	8.15	10.92	13.5	
3-1 K-22 Single	3.13	6.46	9.98	13.2	16.44	
3-2 K-1	2.32	4.88	7.45	10.22	12.8	
4-1 K-22 Single	4.7	7.4	10.1	12.8	15.5	
4-2 " 20°	4.12	8.23	12.62	16.73	20.85	
4-3 " 30°	2.64	4.98	7.44	9.98	12.33	
4-4 " 40°	2.35	4.9	6.47	8.82	11.16	
5-1 K-1 Single	1.63	3.26	4.88	6.52	8.18	
5-2 "	1.63	3.02	4.65	6.28	7.91	
6-1 K-1 Series	1.47	2.98	4.62	5.89	7.31	
6-2 "	1.42	2.9	4.37	5.8	7.27	
7 "	1.28	2.66	3.8	5.02	6.17	



第 6 図



### 第一表

$\alpha = 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$  における隅部應力

1. 荷重 20T の場合 單位 Kg/mm²

	AA平均應力	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$
N0.1	7.7	19.6	12.5	11.2	12.3	12.9	6.6
N0.2	"	16.2	8.6	9.2	11.4	11.2	2.7
N0.3	"	12.3	8.6	9.5	11.6	11.4	5.5
N0.4	9.6	8.2	8.7	10.3	10.0	8.2	4.5
(N0.4)	7.7	6.5	7.0	8.2	8.0	6.6	3.6
N0.5	9.6	20.3	26.1	18.2	7.2	0.9	(9.6)
(N0.5)	7.7	17.1	20.9	14.6	5.8	0.7	(7.7)

括弧内は A-A Section Mean Stress 7.7 kg/mm² の場合の換算値を示す。

2. 荷重 25T の場合 單位 Kg/mm²

	AA平均應力	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 20^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 40^\circ$	$\alpha = 50^\circ$
N0.1	9.6	25.3	15.6	13.9	15.3	14.9	7.9
N0.2	"	20.8	10.7	10.5	13.6	13.3	2.6
N0.3	"	15.3	10.8	11.9	14.5	14.3	2.8
N0.4	12.0	10.0	11.8	12.8	12.5	10.3	5.6
(N0.4)	9.6	8.0	9.4	10.3	10.0	8.3	4.5
N0.5	12.0	25.2	32.2	23.2	9.5	2.6	13.6
(N0.5)	9.6	20.2	25.8	18.6	7.6	2.1	(10.9)

括弧内は A-A Section Mean Stress 9.6 kg/mm² の場合の換算値を示す。

各試験片の極大隅部應力 (荷重 25T の場合) 單位 Kg/mm²

	AA平均應力	極大應力	應力集中率	公倍数
N0.1	9.6	15.6 x 2.5.6	1.62 2.66	34.5°
N0.2	"	14.3 x 2.1.0	1.49 2.19	34.8°
N0.3	"	15.0 x 15.8	1.56	34.8°
N0.4	12.0	12.8	1.07	23.2°
(N0.4)	9.6	10.3	"	"
N0.5	12.0	32.4	2.70	8.3°
(N0.5)	9.6	26.0	"	"

各試験片の極大隅部應力 (荷重 25T の場合) 單位 Kg/mm²

αが 0° 近傍: 斜め部の極大應力値を示す

---

日本造船研究協会報告

昭和 30 年 2 月 1 日

編輯兼発行人 出 潤 畏

発行所 社團法人 日本造船研究協会  
東京都中央区京橋一丁目二番地(セントラルビル)  
電話 (28) 1409番

印刷所 信和工業株式会社  
東京都中央区日本橋小網町二丁目十二番地  
電話 (67) 3637番

---