

(昭和 38 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

高張力鋼の船体への応用に関する一実験

正員 秋 田 好 雄* 正員 安 藤 文 隆**

正員 長 沢 準**

Experimental Research on the Application of High Tensile Steel for Ship Structures.

By Yoshio Akita, *Member* Noritaka Ando, *Member*
and Hitoshi Nagasawa, *Member*

Summary

Recently the investigation on the application of tensile steel for ship structures has been developed and several reports has been published.

These papers concerned mostly on the application for a part of structural members of ships.

This paper discussed the test results on two ship models under deck loads, one of these models is made of high tensile steel and others made of mild steel, and both are the structures between two transverse bulkheads of a ship and similar to the actual ship.

On the basis of the investigation herein, simple formulae are presented which can be used to obtain the collapse load of beams or girders.

A study of the behavior in the elastic range is also given and the effect of axial forces set up at large deflection are taken into account.

緒 言

近年船体の高速化および経済的船舶建造の必要から、高張力鋼の船体構造への応用が重要な課題としてとりあげられている。現在までにこの問題に対する種々の調査研究などが行なわれ、すでに成果も発表されてきている。

多くの研究は比較的小さい船体の単位構造部材について基礎的な研究を行なつたものであるが、ここでは実船に相似した船体構造模型について、普通の軟鋼材と高張力鋼材の 2 種の材料で製作し、これに甲板荷重を加えて実際の構造に近い構造物に高張力鋼を使用した場合の強度を軟鋼の場合と比較検討したものである。

概 要

試験用模型としては遠洋航路の貨物船の約 6 分の 1 の箱型相似模型を選び、一つは全材料を Welten 60 とし、一つは SS 41 を用いて作製したものである。これらの試験模型に運輸技術研究所の多荷重構造物試験機を用いて甲板上に分布荷重あるいは集中荷重を加え、甲板が陥没するまで実験を行なつた。

一方これらの構造模型について、甲板構造を甲板を有効幅として考えた梁または桁からなる格子状の梁と考えて崩壊荷重の計算を行ない、軟鋼と高張力鋼についてそれぞれ実験値との比較を行なつた。また弾性域での応力およびたわみ、さらに崩壊後甲板梁あるいは倉口側桁が大きく変形した場合についても、荷重とたわみとの関係について計算を行ない、実験値との比較を行なつたものである。

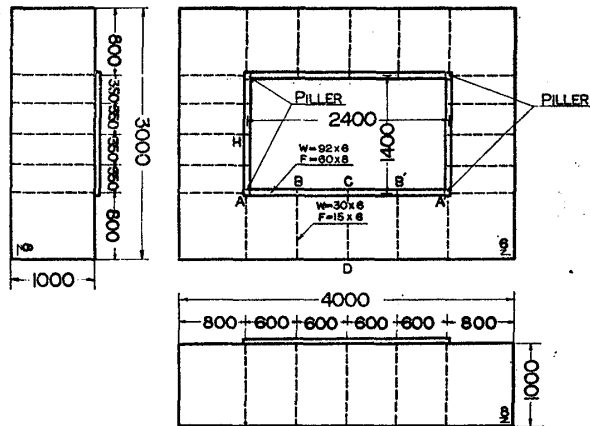
原稿受付 昭和 37 年 12 月 20 日

* 石川島播磨重工業技術研究所

** 運輸技術研究所船舶構造部

試 験 模 型

実験に用いた模型の大きさは、長さ 4m、幅 3m、深さ 1m で箱型の船体の 2 横隔壁間の縮尺 6 分の 1 の輪切り模型である。模型の材料は SS 41 および Welten 60 の 2 種である。第 1 図に寸法の概略を示したが、構造部材の寸法は原則として実船の剛性に比例するよう



第 1 図 試 験 模 型

第 1 表 実船と模形船の比較

断面 2 次モーメント および断面係数	A	B	$\frac{A}{B}$
	模 型	実 船	
倉口側桁の I	2794000 mm ⁴	4264000	0.655
“ I/y	51,750 mm ³	47,900	1.08
甲板梁の I	$\frac{1}{4} \times 125000$ mm ⁴	21,360	1.46
“ I/y	$\frac{1}{4} \times 3,950$ mm ³	858	1.15

ように設計したもので、倉口の大きさは 2.4m×1.4m 甲板の板厚 6mm、側板 8mm および底板 9mm でそれぞれ一様の厚さである。倉口の両側の甲板には 3 本の甲板梁がそれぞれ設けられ、また倉口の四隅には梁柱が設けられている。甲板梁は実船と比較すると梁間隔を 4 倍に広げ、これに対応して防撓材寸法を 4 倍にしてある。全体に板厚については材料の関係と座屈を考慮して、実船よりは多少厚くなっている傾向である。

これらの甲板梁および倉口側桁について、その断面 2 次モーメントおよび断面係数を比較すると第 1 表のごとくなる。同表からわかるように倉口側桁あるいは甲板梁は、それぞれの断面係数を比較の実船に相似するようにとり、これに対して最小板厚が制限されるので断面 2 次モーメントについては、模型は実船に比して倉口側桁ではやや小さく、逆に甲板梁では大きくせざるをえなかつたものである。

試 験 方 法

実験は船体構造模型の甲板上に水圧に相当する分布荷重を加えて甲板を陥没させて行なつた。実際に甲板が水圧により陥没する場合は、最初に剛性の小さい倉口の四周の甲板が崩壊し、ついで倉口側桁あるいは倉口端梁が崩壊することが考えられる。したがつて本実験では第一段階として倉口の四周の甲板上に分布荷重を加えた実験を行ない、つぎの段階で倉口側桁および端梁に集中荷重を加えて甲板を陥没させたものである。それぞれの試験方法について説明するとつぎのごとくである。

(1) 甲板上に荷重を加えた実験

波浪による甲板水圧に相当する荷重として、倉口の四周の甲板上にそれぞれその 3 本の甲板梁の各中点において集中荷重を加え、この部分の甲板が崩壊するまで荷重を段階的に加えた。

(2) 倉口四周の側桁および端梁に荷重を加えた実験

甲板上に荷重を加えて甲板梁を崩壊させた第 1 段階の実験につづいて、両舷の倉口側桁の中央点および前後の倉口端梁の中央点に集中荷重を加えて崩壊させ、荷重が上昇しなくなるまで荷重を加えた。

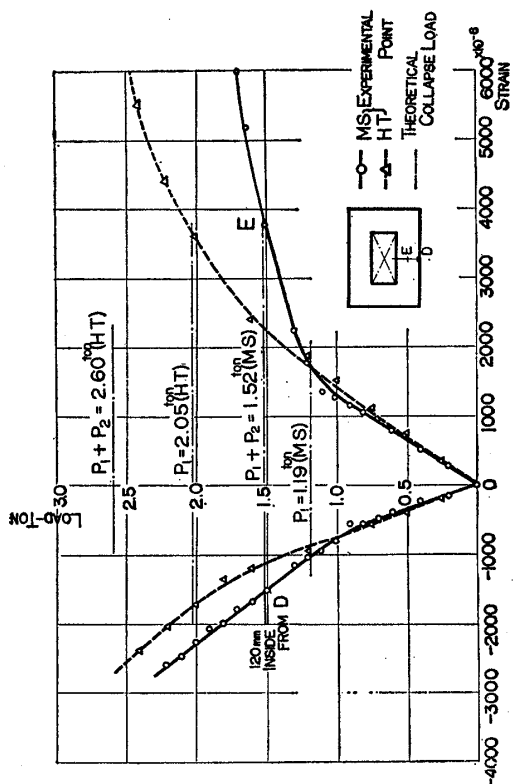
実 験 結 果

(1) 甲板上に荷重を加えた実験

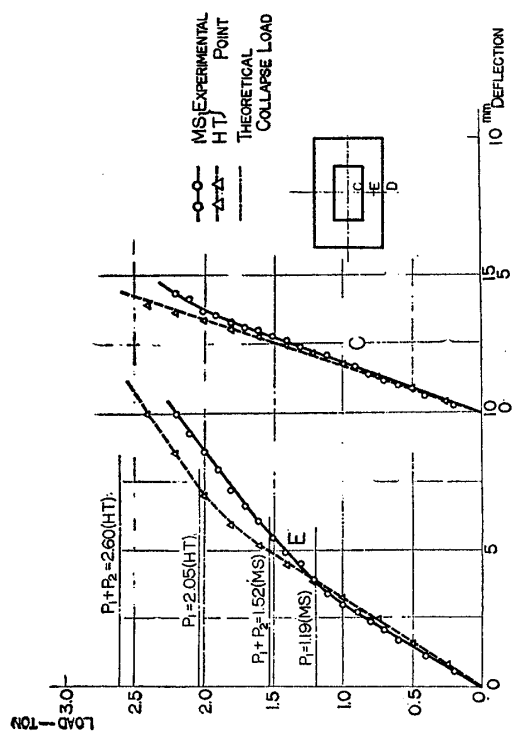
倉口の四周のそれぞれ 3 本の甲板梁の中央点に、分布した集中荷重を加えた場合の甲板梁のたわみおよび曲げ応力の変化を第 2 図および第 3 図に示す。

梁下面での曲げ応力は約 1ton の荷重までは弾性的な変化を示すが、この荷重をこえると塑性域に入る。塑性域に入つてからの歪の増加は比較的荷重の上昇に対して比例している。たわみの増加も 1ton 程度の荷重までは、荷重に対して比例的に増加する傾向を示すが、その増加の割合が大きくなってくる。

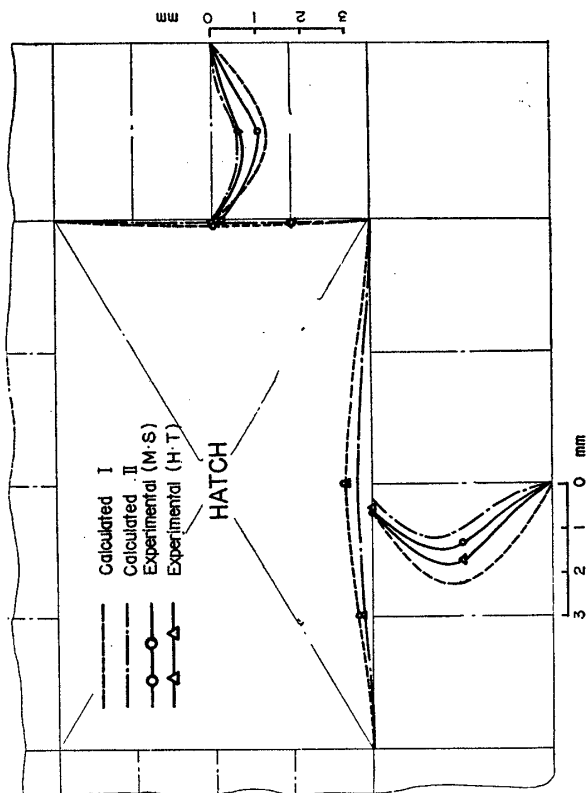
荷重が 0.5ton のときの甲板梁の梁下面応力の分布を第 4 図に示した。この分布からわかるように、梁の倉口端の部分においては曲げ応力の値は 0 に近い値を示し、反対に舷側端ではかなり大きい値となつている。これは倉口端での甲板梁の固着度は単純支持に近く、反対に舷側端では固定に近い状態であることを示すものといえる。



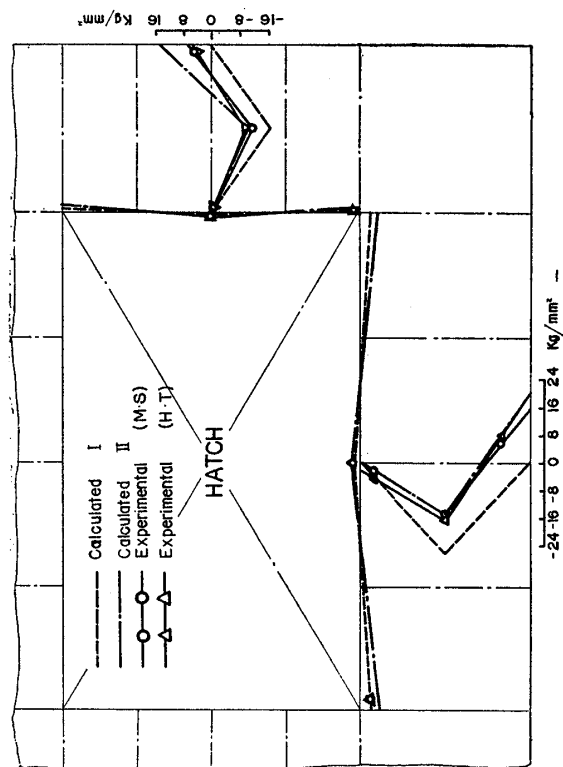
第3図 甲板梁の荷重と梁下縁応力との関係



第2図 甲板梁の荷重とたわみの関係



第5図 甲板梁に荷重を加えた場合のたわみ分布 (0.5 ton)



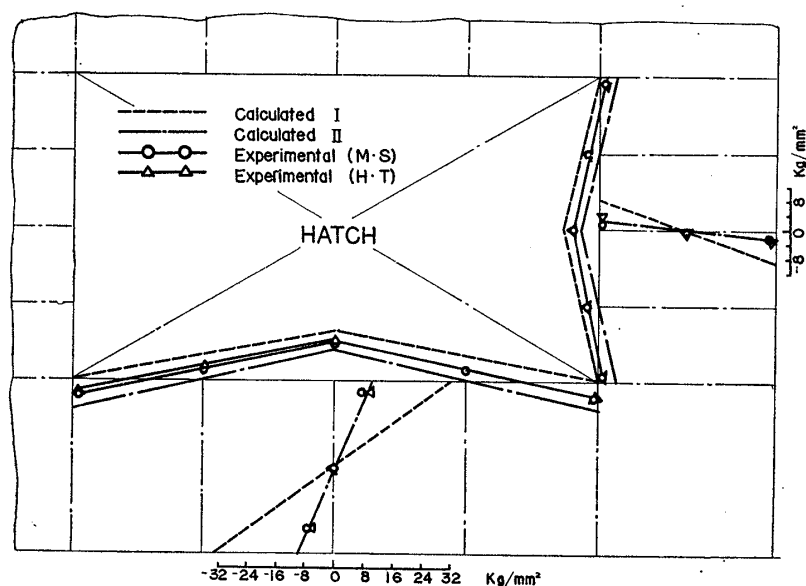
第4図 甲板梁に荷重を加えた場合の応力分布 (0.5 ton)

倉口端でのこの条件は、模型では実船に比べて梁の間隔を大きくし梁の剛性を比較的大にしてあるので、甲板梁の剛性が倉口側桁または端梁に比して比較的大きくこの位置での支持条件は実船の場合とは多少異なると思われる。第4図の場合と同じく、甲板梁の中央に荷重を加えた場合の 0.5 ton 時における甲板梁、倉口側桁などのたわみの分布を第5図に示した。甲板梁の倉口端部での変位は倉口側桁または端梁がたわむので弾性支持の状態にある。

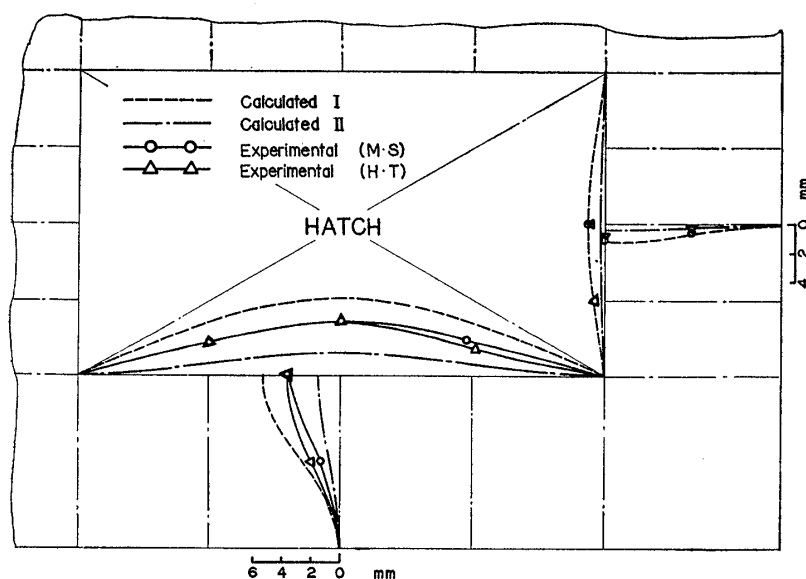
荷重の増加にともない、甲板梁の舷側端での曲げ応力と中央部の曲げ応力との大小によつてまず舷側端または梁の中央部に塑性関節を生じ、さらに荷重が増加すると梁の中央部または舷側端に塑性関節を生じ甲板梁は崩壊荷重に達する。実測の結果から崩壊荷重を求めてみると倉口の両側の甲板梁の場合、MS 模型では約 1.70 ton, HT 模型では 2.5 ton となり、倉口の前後部の甲板梁では両側部の甲板梁より断面係数が大きいので実測の崩壊荷重も大きくなり、MS 模型で約 4.0 ton, HT 模型では約 6.0 ton となつた。

(2) 倉口四周の側桁および端梁に荷重を加えた実験

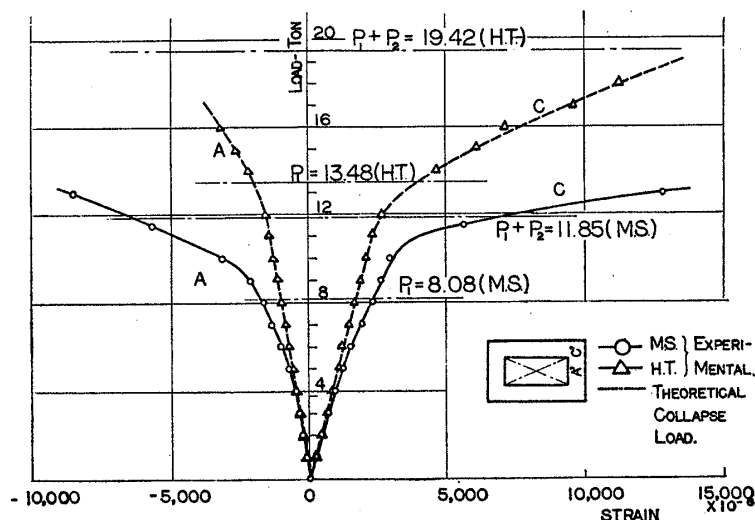
前項にのべた甲板梁上への荷重を加えた実験につづき、倉口四周の側桁および端梁のそれぞれ中央点に同じく集中荷重を加えて実験を行なつた。この場合の荷重と歪との関係および荷重とたわみとの関係を第8図および第12図に示す。また倉口側桁あるいは端梁の中央点でそれぞれ 1.5 ton の荷重時における側桁等の梁の下面応



第6図 倉口側桁および端梁中央に荷重を加えた場合の応力分布 (1.5 ton)



第7図 倉口側桁および端梁中央に荷重を加えた場合のたわみ分布 (1.5 ton)



第8図 倉口端梁の荷重と梁下縁歪との関係

力の分布を第6図に、同じくそれらのたわみの分布を第7図に示した。

側桁および端梁での曲げ応力の分布をみると、中央で最大になり両端ではそれより小さくなっている。したがって、側桁および端梁とも両端での支持条件は支持と固定の中間の状態にあることがわかる。荷重を次第に増加すれば側桁または端梁は、曲げ応力が最大である中央点がまず降伏応力をこえる。さらに荷重を増加すると、両端においても降伏応力をこえて、側桁あるいは端梁は崩壊荷重に達する。崩壊荷重に達した後はさらに荷重は上昇し、最終的に両端での側桁または端梁の溶接の亀裂によつて荷重は最高荷重に達した。

崩壊荷重は側桁または端梁の中央点での荷重-歪曲線を用いて推定できるが、この結果を計算値とともに第2表に示した。また実測の最高荷重を第2表に示した。

第2表 計算値と実験値の比較 (倉口側桁および端梁崩壊荷重およびたわみ)

材料	M. S.				H. T.			
	R + P ₂ TON		Z ₁ + Z ₂ Kg		R + P ₂ TON		Z ₁ + Z ₂ Kg	
項目	側桁	端梁	側桁	端梁	側桁	端梁	側桁	端梁
実験値	6.6	11.4	19.8	8.6	10.5	19.0	30.3	14.0
計算値	5.80	11.85	18.1	7.52	10.04	19.42	29.1	12.70
実験値/計算値	1.13	0.96	1.09	1.14	1.05	0.98	1.04	1.10

実験結果の解析

(1) 甲板梁上に荷重を加えた実験

倉口周辺の甲板梁上に垂直荷重を加えた場合における甲板の強度は、近似的に有効幅を考慮した甲板梁を一つの梁として考えることができる。この甲板梁は一端を外板または隔壁、一端を倉口側桁または端梁によつて支持されている状態にある。したがって第9図に示したような梁として考えることができる。一般にはこの梁の両端での固着度は支持および固定の中間になり、外板または隔壁端での変位は0に近く、倉口端での変位は弾性支持状態にあると云える。

実験値と理論値との比較として、第9図に示した梁をその両端で支持の場合すなわち、 $M_{XC} = M_{XD} = 0$ の場合および外板または隔壁端で固定、倉口端で支持の場合、すなわち、 $M_{XC} = 0$ で M_{XD} のみが存する場合について梁理論により梁の各点の曲げ応力およびたわみの計算を行ない、これらの計算値を第4図および第5図にそれぞれ点線および鎖線で示した。倉口端C点でのたわみは、倉口側桁または端梁の剛性およびその両端での支持条件によつてきまるが、ここでは倉口側桁または端梁はその両端 (第10図A点) において固定の梁として計算を行なった。

第4図および第5図をみると、実験値はこれら2つの計算値の中間にあることがわかる。この結果から、甲板梁は倉口端Cではほとんど支持の条件を満足しているが、反対側のD点では固定と支持の中間の状態にあるといえることができる。

一般に第9図のように M_{XC} , M_{XD} が存する場合は梁理論によると、

z_C : C点のたわみ

l_2 : スパン

EI_2 : 梁の曲げ剛性

$\nu = M_{XC}/M_{XE}$

R_C : C点の反力

とすれば,

$$z_C = \frac{l_2^3}{EI_2} \left\{ \frac{\nu-4}{12(\nu-1)} R_C - \frac{5}{48} P \right\} \quad (1)$$

$$M_{XC} = \frac{\nu}{2(\nu-1)} R_C l_2 \quad (2)$$

$$M_{XD} = \left\{ \frac{2-\nu}{2(\nu-1)} R_C + \frac{1}{2} P \right\} l_2 \quad (3)$$

となりたわみ z は

$$z = \frac{1}{EI_2} \left\{ \frac{R_C}{6} x^3 - \frac{M_{XC}}{2} x^2 + \left(M_{XC} - \frac{1}{2} R_C l_2 + \frac{1}{8} P l_2 \right) x - \frac{1}{2} M_{XC} l_2^2 + \frac{1}{3} R_C l_2^3 - \frac{5}{48} P l_2^3 \right\} \quad (4)$$

これらの式に弾性実験より求める実測値 ν および z_C を代入すれば, 実測の周辺条件を用いた梁理論の解がえられる。

崩壊荷重を上求めた実測の支持条件を代入した計算値を用いて求めてみると, 塑性関節はまず舷側端 (倉口の両側部の甲板梁の場合) または梁の中央点 (倉口の前後部の甲板梁の場合) に生ずる。この第一塑性関節を形成する荷重を P_1 とし, さらに崩壊荷重を $P_1 + P_2$ とすると, これらの計算値は第2図, 第3図または第4図に示したような値となる。これを実測側と比較してみると, 前述のように実測から推定される崩壊荷重は倉口の両側部の甲板梁で MS 模型の場合 1.7 ton, HT 模型で 2.5 ton となり, この計算値と大体において一致する結果がえられる。倉口の前後部の甲板梁についても同じような計算を行なうと崩壊荷重は MS 模型で 3.44 ton, HT 模型で 5.35 ton となり, この場合も実測値 MS 模型 4.0 ton, HT 模型で 6.0 ton と大体一致している。

したがってこの結果によれば, 本実験模型においては HT を用いた場合の崩壊荷重は MS に比して材料の降伏応力 σ_Y に比例して増加するものと考えることができる。

なお以上の計算において, 梁の有効幅はその間隔全幅をとって計算を行なった。

(2) 倉口側桁および端梁に荷重を加えた実験

倉口側桁または端梁の中央に集中荷重を加えた場合は, 側桁または端梁をこれに直角に交わる甲板梁とともに, それぞれ有効幅を含んだ格子梁として近似的に解くことができる。これを図に示すと第10図のごとくなる。側桁または端梁の中央点を C, 両端を A とすると, 一般に A 点での固着度は固定と支持の中間の状態にある。

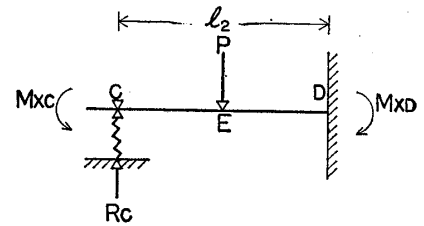
実験値との比較として, A 点での支持条件を固定および単純支持とした2種の場合についてこの格子梁の計算を行なった。これらの計算結果による側桁, 甲板梁などの応力およびたわみの分布を第6図および第7図にそれぞれ点線 (側桁または端梁の両端支持) および鎖線 (側桁または端梁の両端固定) で示した。

この計算において, 甲板梁の側桁または端梁での支持条件は固定と仮定した。これは前項(1)の場合と矛盾することになるが, この実験の場合は C 点で側桁または端梁上に集中荷重を加えるため, その荷重梁の影響で側桁または端梁のおじりが拘束され, 甲板梁はこの位置で固定に近い条件となるとみなされる。

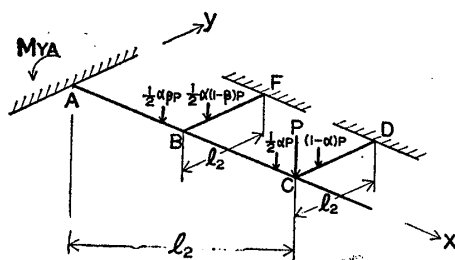
第6図または第7図からわかるように, 実験値はこれら2つの計算値の中間にあることがみとめられ, 側桁または端梁は両端で単純支持と固定の中間にあることになる。

つぎに側桁または端梁の崩壊荷重を, 弾性試験の結果からえられる端部の支持条件を用いて第10図のごとき格子梁について計算をしてみる。

第10図において C 点に P なる荷重を加えた場合, 梁 AC に伝わる荷重を αP , CD の負担する荷重を $(1-\alpha)P$, さらに AB, BF に伝わる荷重をそれぞれ $1/2\alpha\beta P$ および $1/2\alpha(1-\beta)P$ であらわせば, B, C 点でのたわみ連続の条件から格子梁としての解が求まり, α, β および B, C 点でのたわみ, 曲げモ



第9図



第10図

ーメント等はそれぞれ次のようになる。

すなわち, $M_{YA} = \lambda M_{YC}$, $M_{XD} = \mu_1 M_{XC}$, $M_{XF} = \mu_2 M_{XB}$ および EI_1 を側桁または端梁の曲げ剛性とすれば,

$$\alpha = 1 / \left[1 + \frac{(1+\mu_1)\{(5+7\lambda)+(11+\lambda)\beta\}I_1^3 I_2}{128(1+2\mu_1)(1-\lambda)I_2^3 I_1} \right] \quad (5)$$

$$\beta = \left[1 - \frac{3(1+\mu_2)(1+2\lambda)I_1^3 I_2}{64(2\mu_2-1)(1-\lambda)I_2^3 I_1} \right] / \left[1 + \frac{(1+\mu_2)(8+\lambda)I_1^3 I_2}{64(2\mu_2-1)(1-\lambda)I_2^3 I_1} \right] \quad (6)$$

$$z_B = \frac{\alpha\{3(1+2\lambda)+(8+\lambda)\beta\}FI_1^3}{768(1-\lambda)EI_1} \quad (7)$$

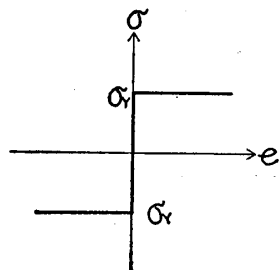
$$z_C = \frac{-\alpha\{(5+7\lambda)+(11+\lambda)\beta\}PI_1^3}{768(1-\lambda)EI_1} \quad (8)$$

および

$$M_{YC} = -\frac{\alpha(1+\beta)}{8(1-\lambda)} Pl_1 \quad (9)$$

上式で λ , μ_1 および μ_2 に弾性試験の結果からえられる値を代入すれば側桁または端梁の曲げモーメントが求められ, これから側桁または端梁の崩壊荷重を計算できる。このようにして求めた崩壊荷重 P_1+P_2 および荷重とたわみの関係を第 8 図および第 12 図, 第 13 図に実線で示した。第 12 図および第 13 図には, 甲板梁の両端は固定とし, 側桁または端梁の両端を支持あるいは固定とした 2 つの支持条件の場合の計算値を同じようにして

求めた結果を, それぞれ点線 (両端支持の場合) および鎖線 (両端固定の場合) で示した。



第 11 図

第 6 図, 第 7 図からも明らかなように, 実測の支持条件を用いて計算した結果を示す実線は, 点線と鎖線の中間にくる。さらに第 12 図, 第 13 図の実線を実験値と比べてみると, MS, HT 両模型の場合ともかなりよく一致している。すなわち甲板梁の場合と同様に, HT 模型の崩壊荷重は MS に比し材料の降伏応力 σ_y に比例して増加することになる。崩壊荷重の計算値 P_1+P_2 を実測値と比較した結果を第 2 表に示した。

最後に側桁または端梁が崩壊して後の変形について考えてみる。この桁または梁の材料が剛塑性体であると仮定し, 第 11 図のごとき性質を有し, かつ Tresca の降伏条件にしたがうものとする。

このような材料では加えたエネルギーは復元しないので, 消費エネルギーの増分の合計は加えた単位荷重のなす仕事の増分に等しいと考えることができる。また plastic flow の間の単位体積当りのエネルギー消費の増分は $\sigma_y |e|_{\max}$ で与えられる。ここに $|e|_{\max}$ は最大主歪の増分である。



写真 1

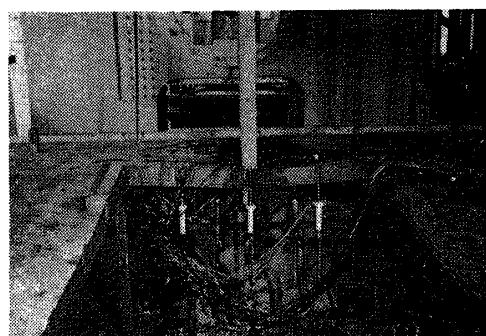


写真 2

側桁, 端梁およびその有効幅については y 方向の歪は小さいので無視して考えると, これらに生ずる歪は甲板の幾何学的変形を考慮すれば次のようになる。

$$|e|_{\max} = e = \frac{1}{\cos \theta} - 1 \approx \frac{\theta^2}{2} \quad (10)$$

θ は側桁について考えれば x 方向の傾斜角で $y=l_2$ で 0 , $y=0$ で θ_0 とする。この場合, 側桁の荷重 P によ

る消費エネルギーの増分 D_b は θ に関して

$$\begin{aligned} D_b &= 2\sigma_Y \int_0^{l_1/2} |e|_{\max} A dx \\ &= 2\sigma_Y \int_0^{l_1/2} \theta_0 A dx \end{aligned} \quad (11)$$

となり、側桁の有効幅に含まれる甲板についての消費エネルギーの増分 D_P は

$$\begin{aligned} D_P &= 2\sigma_Y \int_0^{l_1/2} \int_0^b |e|_{\max} h dy dx \\ &= 2\sigma_Y \int_0^{l_1/2} \int_0^b \theta_0 \left(1 - \frac{y}{l_2}\right)^2 h dy dx \end{aligned} \quad (12)$$

ここに A は側桁のみの断面積、 h は甲板の板厚、 b は側桁の有効幅とする。

一方外力による仕事の増分は θ に関して

$$E = \frac{Pl_1}{2} \quad (13)$$

で与えられ、(11), (12) および (13) 式を用いて、外力による仕事の増分と消費エネルギーの増分を等しいとおけば

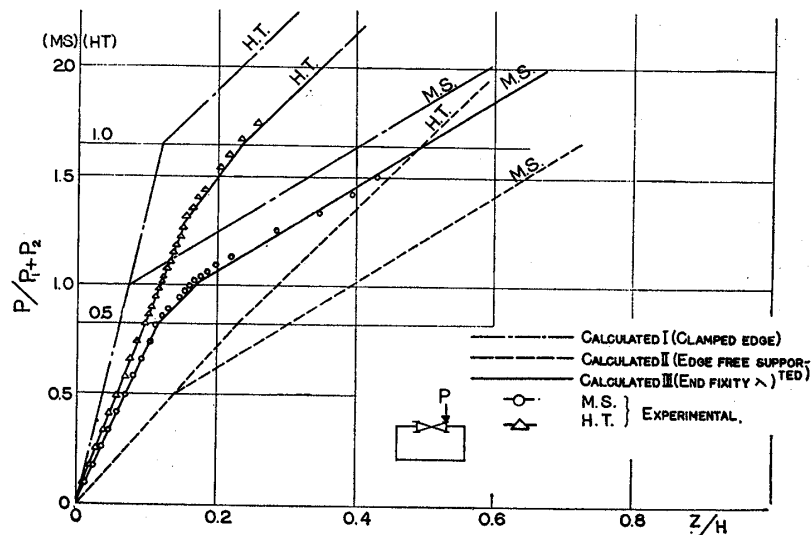
$$4M_P + 2D_P + 2D_b = E \quad (14)$$

これから θ と P の関係が求められ

$$\theta = \frac{3}{2(3A + bh)\sigma_Y} \left(P - \frac{8}{l_1} M_P \right) \quad (15)$$

(15) 式で求めた剛塑性体としての解を弾性解と組合せて考えると、第12図、第13図の計算値のごとくなる。ここで鎖線は側桁または端梁の両端が固定の場合、点線は同じく両端が支持の場合で、さらに実線は弾性の実験値から求めた両端での支持条件を用いて計算した値と組合せたものである。

この実線で示した計算値を実験値と比較すると、倉口側桁および端梁のいずれの場合も非常によく一致した傾向を示した。ただしこの計算においては側桁または端梁の有効幅としてはそれぞれスパンの半幅をとって計算し



第12図 倉口側桁の荷重とたわみの関係 (Z はたわみ量 H は桁の深さ)

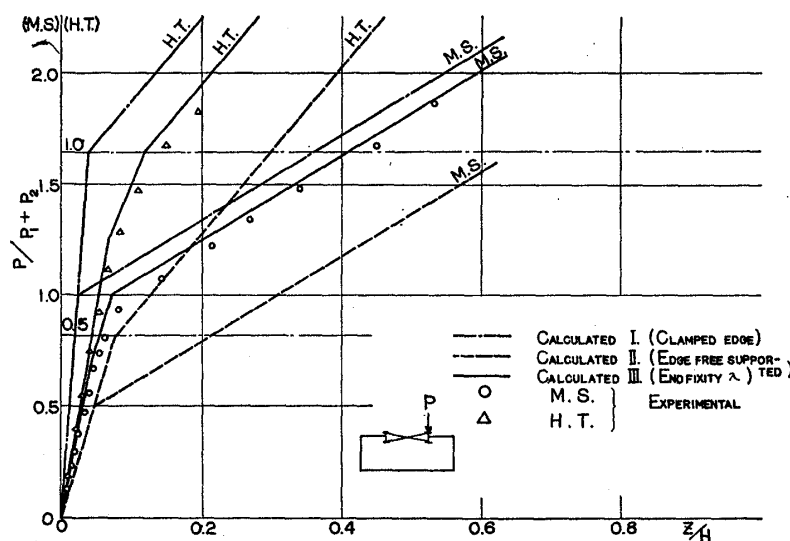
第3表 側桁の最高荷重と崩壊荷重の関係

項 目	M S		H T	
	側 桁	端 梁	側 桁	端 梁
$P_{\max}$	9.8 ^{TON}	20.0	15.0	27.0
$P_1 + P_2$ (計算値)	5.8	11.85	10.04	19.42
$P_{\max}/P_1 + P_2$	1.70	1.68	1.50	1.40

たもので、この結果から桁または梁の崩壊後の有効幅はかなり減少する傾向にあるものと考えられる。

最後にさらに荷重が上昇し、最高荷重に達したときの荷重を示すと第3表のとおりである。

最高荷重に達したときの破壊の原因は側桁または端梁のフランジの端部での溶接部の亀裂によるものであつて、第3表に示

第13図 倉口端梁の荷重とたわみの関係(Z はたわみ量, H は梁の深さ)

した結果を両模型で直接比較することは必ずしも妥当ではないかも知れないが、しかし一応最高荷重に近いものと考えられる。MS と HT 模型でそれぞれ最高荷重と崩壊荷重との比を求めてみると 1.70 および 1.50 となり、MS 模型の方が崩壊荷重以後の荷重の上昇はかなり大きい結果がえられた。これはMS, HT 両材料のそれぞれの最大引張強さと降伏応力の比に差があることが大きな原因として考えられる。

結 論

これまで求めてきた結果を要約すれば、次のごと結論をうる。

1) 甲板梁、倉口側桁および端梁等からなる甲板の強度は、有効幅を含めた格子梁の構造として考えると、各桁または梁の端部条件は、甲板梁の倉口端では単純支持に近いがその他の点においては支持と固定の中間にある。

2) MS と HT の両模型のいずれの実験においても、甲板梁、倉口側桁または端梁等の崩壊荷重は、甲板を格子梁の構造と考え弾性試験でえられた実測の支持条件を用いた場合の計算値と比較すると約 10% 程度の範囲内で一致する結果をえた。したがって、このような計算法によって甲板梁、倉口側桁および端梁の崩壊荷重を推定することができる。

3) HT を用いた模型の甲板梁、倉口側桁等の崩壊荷重は、MS を用いた場合に比し、その材料の降伏応力に比例して増加すると考えることができる。

4) 崩壊荷重以後の最高荷重までの荷重の上昇は、HT 模型の場合は MS 模型に比べてかなり小さい。

5) 崩壊後の倉口側桁、甲板梁等の防撓材の有効幅は、防撓材間隔の 1/2 をとって計算すると実験値とよく一致し、したがって防撓材の崩壊後は有効幅はかなり減少することを考慮する必要がある。

なお最後に模型の供試材の材料試験表を第4表に、模型の破壊状況を写真1および写真2にそれぞれ示した。

第4表 素材の引張試験結果

試験片番号	WT60-1	WT60-2	SS41-1	SS41-2
板厚(mm)	8.0	7.98	7.85	8.58
原断面積(mm ²)	197.2	199.5	193.7	214.2
破断断面積(mm ²)	79.4	86.0	101.2	112.1
伸び(%)	59.7	57.6	47.7	47.7
標尺距離(mm)	50.35	50.35	50.35	50.35
破断断面積(mm ²)	56.75	57.00	60.90	59.25
伸び(%)	12.7	13.9	20.9	17.7
引張強さ(MPa)	20300	21100	20920	21460
降伏強さ(MPa)	9030	9230	5450	6820
最高荷重(N)	11,800	11,800	8430	10,250
降伏応力(MPa)	45.8	46.3	27.7	30.3
引張強さ(MPa)	59.8	59.1	43.5	47.8

謝 辞

終りに臨み、本研究は八幡製鉄株式会社建設用鋼材研究会の研究の一部として行なつたものであることを記し、同委員会において種々ご討論を戴いた東大吉識教授、阪大寺沢教授をはじめ委員の各位に厚くお礼申し上げますとともに、実験および計算を手伝って戴いた運研船舶構造部の直井、谷、青木、清水君に深く感謝の意を表します。