

大型構造物試験機と其の實驗價值に就て

正員 工學士 片 山 有 樹

准 員 金 子 又 三 郎

Abstract.

A Hydraulic Testing Machine and Its Experimental Value.

By A. Katayama, *Kogakushi, Member,*
and M. Kaneko.

A hydraulic testing machine for 3,000 ton compression and 1,500 ton tension tests was installed at the Kure Naval Dock Yard, in September 1934.

It is designed and constructed with the latest improvement to suit the testing of ship's structure, the same line with that installed in the "Material-Prüfungsamt" in Berlin-Dahlem.

The principal dimensions of the machine are as follow:—

Overall length of the machine when the tie spindles are moved outward.	28,000 mm
Extreme width of the machine.	4,400 "
Available stroke of ram at compression test.	up to 400 "
Available stroke of ram at tension test.	up to 500 "
Maximum length of compression test piece.	15,100 "
Maximum width of compression test piece.	2,000 "
Maximum length of tension test piece.	12,100 "
Maximum width of tension test piece.	2,000 "

Accuracy of the machine, denoting error 3% at 150 tons, is 1% for 300 tons and decreases to 0.15% at the maximum load for tension test.

The authors give a description about its mechanism and operation, and also on explaining the results of tests for riveted and welded joints, they point out the indispensable value for the model testing of complicated construction.

I. 緒 言

戦近鋼材構造物は其の強弱理論の發展、構成材料其のものゝ研究進歩、實際使用の經驗と小型實驗

と相俟て異常の進歩發達を來し、比較的小なる材料寸法を以て大荷重に耐へ得る經濟的構造を實現し得るに至りたりとは雖も、純理論を以て取扱ひ難き複雑なる合成構造物は實物大の模型實驗に據らずんば、正確なる解決は不可能なり。

幸に吳海軍工廠造船部に獨逸 Berlin-Dahlem 所在 Material-Prüfungsamt の大型構造物試験機と同型のものが新設せられたるを以て、海軍に於ても鉸鋸、鉚接構造を充分實驗研究し些少なりとも其の贅を除き船殻全重量を輕減し船體餘裕重量を生出するに努めんとしつゝあり。茲に本機の機構、性能、作動及び本機に依る一二實驗の成果を發表し以て將來本邦工業界に於ける設計上の難問題解決に廣く利用の素地を作り置き度き所存なり。

II. 大型構造物試験機の設備及び装置

(1) 要 目

(イ) 試 験 機

設 計 所	獨 逸 Schloemann 會 社	
製 造 所	獨 逸 Haniel & Lueg 社	
製 造 年 月	昭 和 7 年 12 月	
試 験 機 全 長	28 米	
" 幅	4.400 "	
總 重 量	420 噸	
	抗張力試験	壓縮力試験
最 大 試 験 力	1,500 噸以下	2,000 噸以下
最 大 使 用 水 壓	200 尙/釐 ²	400 尙/釐 ²
有 效 行 程	500 耗	400 耗
試 験 材 寸 法 長 さ	12・100 米以下	15・100 米以下
" 幅	2 "	2 "
" 重 量	20 噸以下	20 噸以下

(ロ) 附屬水壓唧筒

設 計 所	獨 逸 Schloemann 會 社
製 造 所	神 戶 製 鋼 所
製 造 年 月	昭 和 9 年
直 立 三 筭 單 働 唧 子 型	
唧 子 直 徑	16 耗
〃 行 程	80 〃
最 大 水 壓	400 疋/噸 ²
容 量 400 氣 壓 に 對 し 125 立/分	

(ハ) 附 屬 蓄 水 機

設 計 所	獨 逸 Schloemann 會 社	
製 造 所	神 戸 製 鋼 所	

製 造 年 月	昭 和 9 年
使 用 壓 力	每平方糎に付 400 及 200 氣壓の 2 段に調整し得
唧 子 直 徑	90 耗
〃 行 程	2,500 〃
最 大 水 壓	400 耗/糎 ²
容 量	16 立

(ニ) 梁上起重機

設 計 所	住 友 新 居 濱 製 作 所
製 造	同 上
製 造 年 月	昭 和 9 年
Span	12.040 米
Crab gauge	2.200 〃
舉 量 主 捲	20 噸
〃 補 助	5 〃

(ホ) Calibration Rod

製 造 所	獨 逸 Haniel & Lueg 社
製 造 年 月	昭 和 7 年 12 月
長 さ	2.960 米
直 徑	254 耗
材 質	chrome nickel steel
抗 張 力	120 耗/糎 ²
降 伏 點	110 〃
彈 性 系 數	20,500 〃
最 大 荷 重	1,500 噸

(2) 機 構

本大型構造物試験機は獨逸 Haniel & Lueg 社製造の Berlin-Dahlem 所在 Material-Prüfungsamt の大型構造物試験機に則りたれども、數多の改良を施したるものにして其の主要なる點は、

- (イ) 水壓唧筒の容量を増加し試験速度の増大を計りしこと、
- (ロ) Dahlem 試験機の連桿は 2 箇の棒を nut にて継接し 1 箇の棒となし居るも、本器の連桿は 1 箇の鋼棒より造り推力鏢を全長に亘り設け試験材の長さを任意に選擇し得る様になしたること、
- (ハ) 荷重指示壓力計の外に荷重延伸曲線自記裝置を附加したること、
- (ニ) 艦船構成材の試験に適する様になしたること、
- (ホ) 連桿支持用可動支柱を 3 箇に増加せること等なり。

本機の構造は第一圖に示す如く鋼材製の基礎臺の上面主要部に鍛鐵製滑臺を設け、該滑臺上の左側に水壓力發生機を構成する壓力主筋 D、唧子 E、cross head F を、右側に受力臺 B を配置し、基礎臺上兩端に、斜面内に中心軸を有する連桿軸承 T を取付け、之に挿入されたる 2 箇の連桿 A により機體主要部を組成す。

連桿 A 支持用可動支柱 G 3 箇を等間隔に配し以て連桿の垂下を防ぐ。

水圧力発生部及受力臺と連桿との結合は、固定用 nut C を以て連桿の錐力錨に締付くるものとす。

受力臺 B は下部に roller を有し、試験材の長さに応じ、移動用電動機 M 及 worm gear N と歯板 O との嚙合作動に依り、基礎臺上の水平なる滑面上を任意の位置に移動することを得、同時に連桿支持用の可動支柱も移動す。

壓力主筧及び唧子に連結せる cross head は下部に roller を有し、基礎臺の滑面上に座乗す。

可動支柱と連桿との間には摩擦を可及的少くする爲め、連桿は可動支柱上に roller を以て支持さる。

制動筧 P は 2 箇あり。其の錨付唧子は連桿 A に連結され居り、試験材破壊時反動力を受くる役をなす。

戻筧 L は piston cross head F に装備しあり。試験終了時壓力主筧又は唧子を舊位置に移動するに使用す。

(3) 作 動

本機の特長は抗張 1,500 吨、壓縮 3,000 吨の 2 種類の試験装置を有する點にして、其の作動の概略を次に説明す。

(イ) 抗張試験

抗張試験の場合は第二圖に示す如く抗張試験材を縦軸 S の把持金物に取付け、受力臺固定用及 piston cross head 固定用 nut C を締付け、壓力主筧固定用 nut C を緩め、而して壓力主筧に水圧を加ふれば piston cross head F は固定され居るを以て、壓力主筧は縦軸を伴ひ左方に作動し始め試験材に抗張荷重を傳達す。

其の際壓力主筧に加へらるゝ水圧は壓力計に指示され、豫め調整済の壓力計目盛對荷重表に依り實際試験荷重を決定す。

本試験中連桿は常に壓縮を受くるに依り最大抗張試験荷重を 1,500 吨と定む。

尙壓力主筧への送水壓装置は telescopic pipe 式に依るものにして、壓力主筧移動するも支障なし。

(ロ) 壓縮試験

壓縮試験の場合は第三圖に示す如く縦軸 S を左右に抜き、壓縮板 W と piston cross head 及び受力臺との間に球面支持器 H を取付け、壓縮試験材を左右の壓縮板の間に挿入し試験片の中央を支持器 Z にて支持す。受力臺及び壓力主筧固定用 nut C を締付け、piston cross head 固定用 nut C を緩め、壓力主筧に水圧を加ふれば、piston cross head は右方に作動し始め球面支持器及び壓縮板を通じて試験材に壓縮荷重を傳達す。

其の際連桿は常に抗張を受くるに依り抗張試験に比し安全度大となる故、最大壓縮試験荷重を最大抗張試験荷重の 2 倍 3,000 吨と定む。

尙壓縮板は roller 附支臺上に球面形接觸にて支持され、壓縮力傳達用球面支持器と相俟て壓縮板の移動抵抗を少なからしむ。

該壓縮力傳達用球面支持器は凹凸球面より成り、凸球面は凹球面に對し圓形衛帶にて球面周圍を水密接觸となす。實驗の際には凹凸球面の間隙部に水壓を送入す。

此の球面支持器への送水壓装置は壓力主筭頂部の telescopic pipe より増壓器を経て送水するものにして、唧子と凸球面との面積比 7:4 なるも増壓器の唧子面積比 7:4 なるを以て、唧子の受くる壓縮力は凸球面の受くる壓縮力に等し。

(ハ) 附屬水壓唧筒

大型實驗に使用する水壓は壓縮試験の場合には 400 珎/珎²、抗張試験の場合には 200 珎/珎² にして、水壓唧筒及蓄水機に依り所要の水壓を供給す。其の配管装置は第四圖に示す如し。

(二) 附屬壓力水槽及び戻水槽

壓力水槽は壓搾空氣を利用し最大 4 氣壓の水を貯藏し得るものにして、實驗前に壓力主筭を満水するに使用す。

戻水槽は實驗中水壓唧筒を経て蓄水機に至る水の貯藏、及び實驗終了後壓力主筭の位置復歸に伴ふ主筭内の歸り水を壓力水槽經由貯藏するに使用す。其の配管装置は第四圖に示す如し。

(ホ) 機械操縱所

操縱所は構造物破壊試験時、破斷鋏等の飛來に因る被害を防ぐ目的にて、數箇の slit を有する厚さ 10 耗の防禦板を以て圍まれ、前面に數種の壓力計を配し、中央部に各種操縱弁の設備あり。其の配管装置は第四圖に示す如し。

(4) 精度の調査

大型構造物試験機組立後、本機の作動状態を検査の結果良好なるを認めたるを以て、精度調査には本機の抗張試験装置に calibration rod を取付け、其の中央に延伸量測定用 Marten's extensometer を配備し、荷重上昇又は下降要領は 200 氣壓壓力計目盛 (200 氣壓壓力計の目盛は 300 に等分しあり) 10 より 40 迄を 10 目盛宛、40 より 285 迄を 20 目盛宛に區別して行ひ、是等の荷重による calibration rod の延伸量を計測し其の誤差の算出は次式より求む。

$$\frac{P - P_1}{P_1} \times 100 \%$$

$$P = pA - R \quad \text{理論的荷重}$$

$$p = \text{壓力計に示したる實際壓力}$$

$$A = \text{唧子の面積}$$

$$R = \text{動的摩擦抵抗力}$$

$$P_1 = \text{calibration rod の延伸量より求めたる荷重}$$

其の結果抗張試験時に於ける精度は第五圖に示す如く、荷重 150 吨附近に於て誤差約 3 %、荷重 300 吨に於て誤差 1 %、荷重 1,400 吨に於て誤差 0.15 % なる事を確め得たり。

尙本機の摩擦抵抗力は次の 2 種に就き計測せり。即ち無負荷状態に於ける靜的摩擦抵抗力は無負荷の儘壓力主筒内に水壓を加へ、壓力主筒の移動開始時の壓力を計測し、之より平均値 3.5 吨を得。負荷状態に於ける動的摩擦抵抗力は精度調査の際計測せる荷重上昇時及び下降時に於ける calibration rod の伸縮に因る scale の讀みの差の半分に相當するものとして算出し、平均値 5.1 吨を得たり。(第五圖参照)

III. 實 驗 成 績

(1) 大型と小型との板狀鋼材抗張試験成績比較

第六圖に示す如き形狀簡單にして強力上相似なる大小板狀試験片の成績を比較する目的を以て、大型試験片を 3,000 吨大型試験機にて、小型試験片 (J. E. S.) を 50 吨 Buckton 試験機にて、夫々試験したるに兩試験片の抗張力、延伸率に於ては相似則を略々適用し得ることを認めたり。

大型小型試験片標點距離の決定は一般相似則 (標點距離 = $C\sqrt{\text{横斷面積}}$) に依るものにして、其の試験成績は次表の如し。

大型小型試験片の寸法及試験成績表

種類	試験片符號	D.S. 鈹厚さ(耗)	幅(耗)	平行部の長さ(耗)	標點間距離 $L=8.2\sqrt{\text{斷面積}}$	降伏點 旺/耗 ³	抗張力 旺/耗 ²	延 伸 率 %	
								間隙を含む	間隙を含まず
大 型 試験片	54	12	784	880	800	37.7	60.9	23.0	21.3
小 型 試験片	BS 1	"	50	220	200	36.4	62.2	22.6	21.9
	" 3	"	"	"	"	36.1	62.2	22.6	21.8
	" 5	"	"	"	"	36.2	61.8	19.5	18.9
	" 6	"	"	"	"	35.3	61.2	23.2	22.1
	平 均	"	"	"	"	36.0	61.9	22.0	21.2

(2) 鉸鉸及鉻接構造物の試験成績

前項比較試験の如く形狀簡單にして單一内力を生ずる試験に於ては計畫上小型試験成績を採用し得るも、複雑なる構造物にして各部に夫々異種の内力を同時に生じ其の狀況より最も經濟的なる机上計畫をなし難きもの、構造上小型試験片にては實驗不可能なるもの、工作技術の影響を確認せんとするもの等は大型試験片に據るを便利とす。

(イ) 鉸鉸構造

本試験片は第六圖に示す如き D. S. 鈹に boundary strip を鉸鉸にて取付け、補強 strip liner を

設け、有效破斷面積を母體の 0.903 に計畫せるものにして、其の材質寸法及試験成績等は次表の如し。

試験片材質寸法及試験成績表

試験片 番 號	D.S. 鋁 厚さ 耗	幅 耗	Boundary strip			隔 壁 strip M.S. 鋁 厚さ 耗	Strip liner			實際有 效破斷 面積比	降伏點 耗/耗 ²	抗張力 耗/耗 ²	延伸率 % 標點 距離 2 米に付	計算によ る母體に 對する有 效比
			M.S. 鋁 厚さ 耗	M.S. 鋁 徑 耗	鋁距離		D.S. 鋁 厚さ 耗	H.T. 鋁 徑 耗	鋁 數 (片側)					
42	25	665	12	19	7D	10	18	22	4 本	0.92	40.3	61.9	3.3	0.901
43	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.5	59.9	5.1	0.871
44	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	38.8	62.3	7.8	0.950
平均	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	39.2	61.4	5.4	0.907
48	12	784	10	16	7D	10	12	19	3 本	0.92	44.2	60.0	4.03	0.885
49	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.91	43.2	59.0	4.22	0.875
50	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	41.4	57.2	4.53	0.847
平均	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.913	42.95	58.7	4.26	0.869

boundary strip は strip liner に銲接す 備考 計算に依る母體に對する有效比

銲燒溫度 M.S. 1,100°C

(重油爐に依る) H.T. 1,000°C

銲銲法 相 打 實際有效破斷面積比 = $\frac{\text{大型試験片の抗張力}}{\text{小型試験片の抗張力}}$

空氣壓力 97 lbs./sq'' 實際有效破斷面積比 = $\frac{\text{銲銲部の有效破斷面積}}{\text{母體の斷面積 (B} \times t)}$

實驗の結果、厚さ 25 耗試験片は母體に對する實際有效破斷面積比 0.92 に對し、母體に對する實際有效比 0.907 にして計算より幾分減少す。

之は歪分布圖(第六圖)に示す如く strip liner 取附部の歪量は strip liner のものより小なり。即ち兩者の延伸度異なるため其の端の鋁に於て著しき内力を起し變形するに至りて該鋁最初に剪斷し、順次 1 本宛剪斷し遂に母體の鋁縁より boundary strip 取附鋁列に沿ひ破斷する狀況なり。

厚さ 12 耗試験片は母體に對する實際有效破斷面積比 0.913 に對し、母體に對する實際有效比 0.869 にして計算より稍減少す。

之は歪分布圖(第六圖)に示す如く strip liner の歪は殆んど現れざるも strip liner 取附部の歪量は概して大なり。即ち兩者の延伸度到大差ある爲め兩端の鋁に於ける母體の鋁孔は大なる内力を起し、其の變形著しくなるに至りて該部母體に龜裂を生ずると同時に母體鋁縁より boundary strip 取附鋁に沿ひ破斷し始むる狀況なり。

以上 2 種の試験片の破斷狀況より見るに、計畫通りの強度を得られざりしは、母體の厚さと strip liner の厚さ及形狀との關係に起因するものと思考す。

(ロ) 銲接構造

本試験片は第六圖に示す如き D.S. 鋁を中央縱方向に銲接し、銲接棒を M.S. 材用米國製 Sureweld 棒(抗張力小、延伸率大なるもの)と、D.S. 材用英國製 Murex welding process 棒(抗張力

大、延伸率小なるもの）とを使用せるものにして、其の形状寸法及び成績等は次表の如し。

試験片材質寸法及び試験成績表

試験片 番 號	銲 接 棒 種 類	試 験 片 D. S. 鋁				降伏點 𪛗/𪛗 ²	抗張力 𪛗/𪛗 ²	延伸率 %	龜裂の生 じたる荷 重 𪛗/𪛗 ²	母材の成績 より計算せ る實際抗張 力比
		厚耗	幅耗	平行部 の長耗	標 點 距離耗					
14	M. S. 材用米國製 Sure weld 棒	6	500	635	580	38.7	58.2	9.4	56.4	0.922
10	D. S. 材用英國製 Murex welding pro- cess 棒	"	"	"	"	39.6	49.9	5.5	44.9	0.768

銲接棒種類	電 弧 電 壓	電 流
S.W. 4 耗	20~25 V	80~85 A
M.W.P. 4 耗	20~25 V	90~96 A

銲接器	10 kw A.C.
銲接要領	V型 60° 間隙 2 耗表面 銲接後裏面銲接

All deposit metal の 成 績			
銲 接 棒	降 伏 點 𪛗/𪛗 ²	抗 張 力 𪛗/𪛗 ²	延伸率% GL=50 耗
S.W.	35.3	45.2	32.5
M.W.P.	54.4	64.1	15.5

試験成績は豫想通り、前者を使用せるもの（母材に対する實際抗張力比 0.922）は、後者を使用せるもの（母材に対する實際抗張力比 0.768）よりも試験片の抗張力大なることを確認し得たり。

試験片の破壊状況は最初銲接部に龜裂を生じ始むるものにして、其の時期は後者 M.W.P を使用せる方、前者 S.W. を使用せるものよりも早く、該龜裂部より破壊し始め遂に鋁縁に及ぶ状態なり。

歪分布圖（第六圖）に示す如く、銲接部附近の歪量は少く、順次増大して鋁縁附近に於て一定となり、又硬度も銲接部附近は増大する點より見るも、工作上必然的に材質の變化するものゝ試験には、小型試験片にては其の影響程度を求め難し。

IV. 結 言

前述の實驗成績中、鉸鋁構造物に於ける補強 strip liner 取附各鉸の受くる内力の不均一、strip liner と母體との歪量の差異、母體に於ける strip liner 取附各鉸孔の變形の不同、又銲接構造物に於ける銲接部附近の硬化、及び歪量の減少等の如く工作上必然的に起る材料性質の變化の類は大型試験に據り甫めて信頼性のある實驗値を得らるゝものにして、更に一層複雑なる鉸鋁、銲接、混用構造物、構成梁、柱等の實驗に當り實物大の試験片に據るを要する場合自ら本機に據らざるべからず。

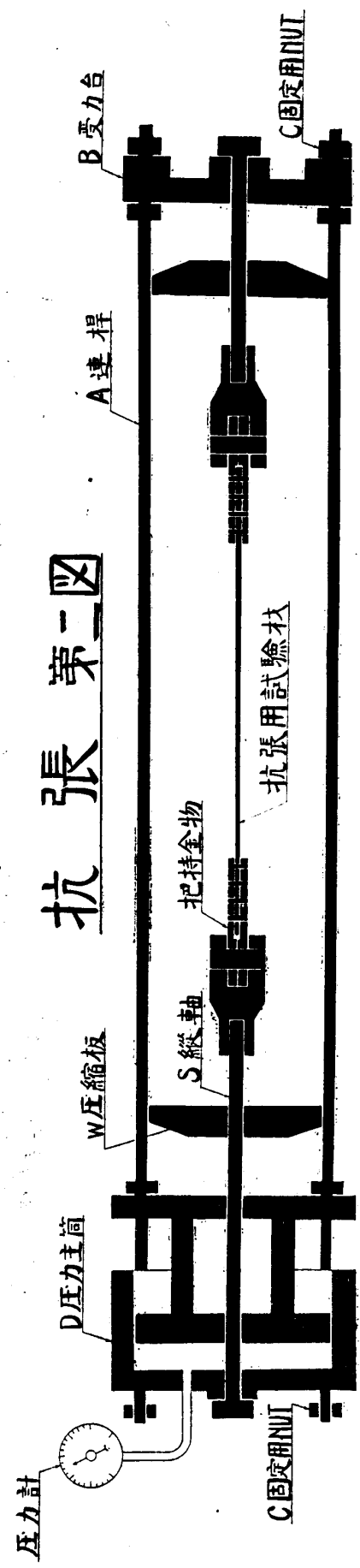
當部に於ては既に數十箇の鉸鋁、銲接、構造物の抗張實驗を施行し、其の成果は實艦設計に資しつつあり。將來の研究事項累積し日も尙足らざる状態なり。

以上本機の概要を紹介したる次第なり。

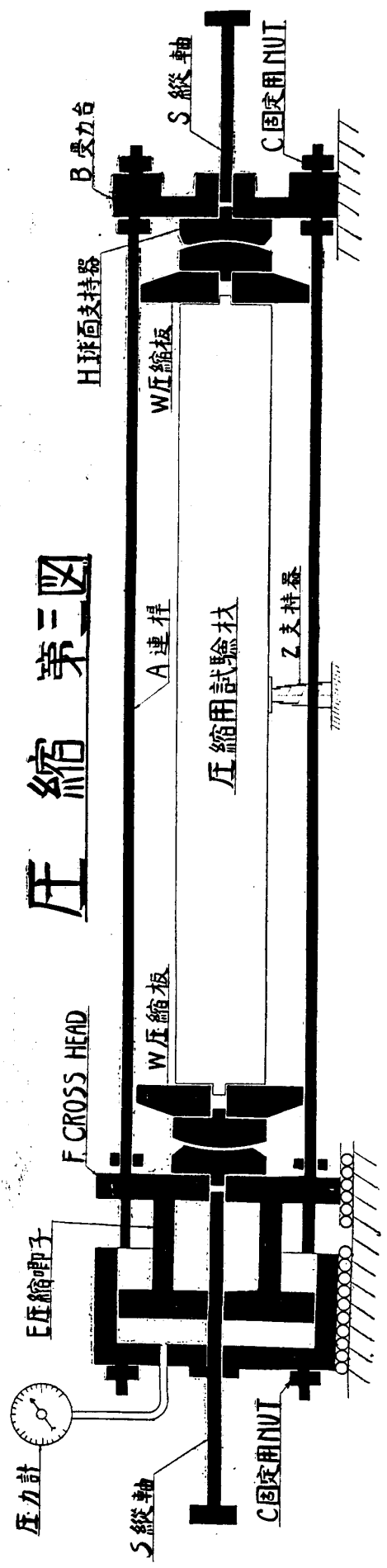
（終）

3000吨大型構造物試験機動作要領零図

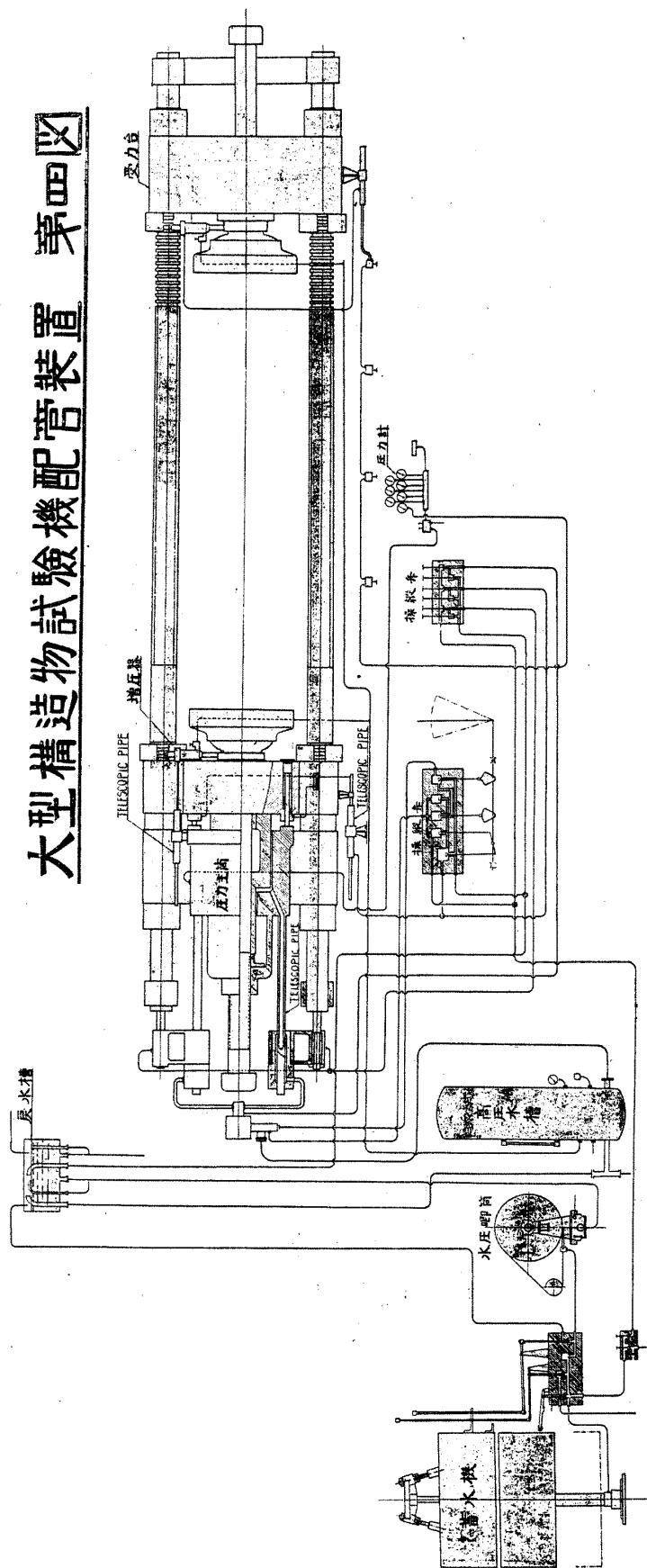
抗張 第二図

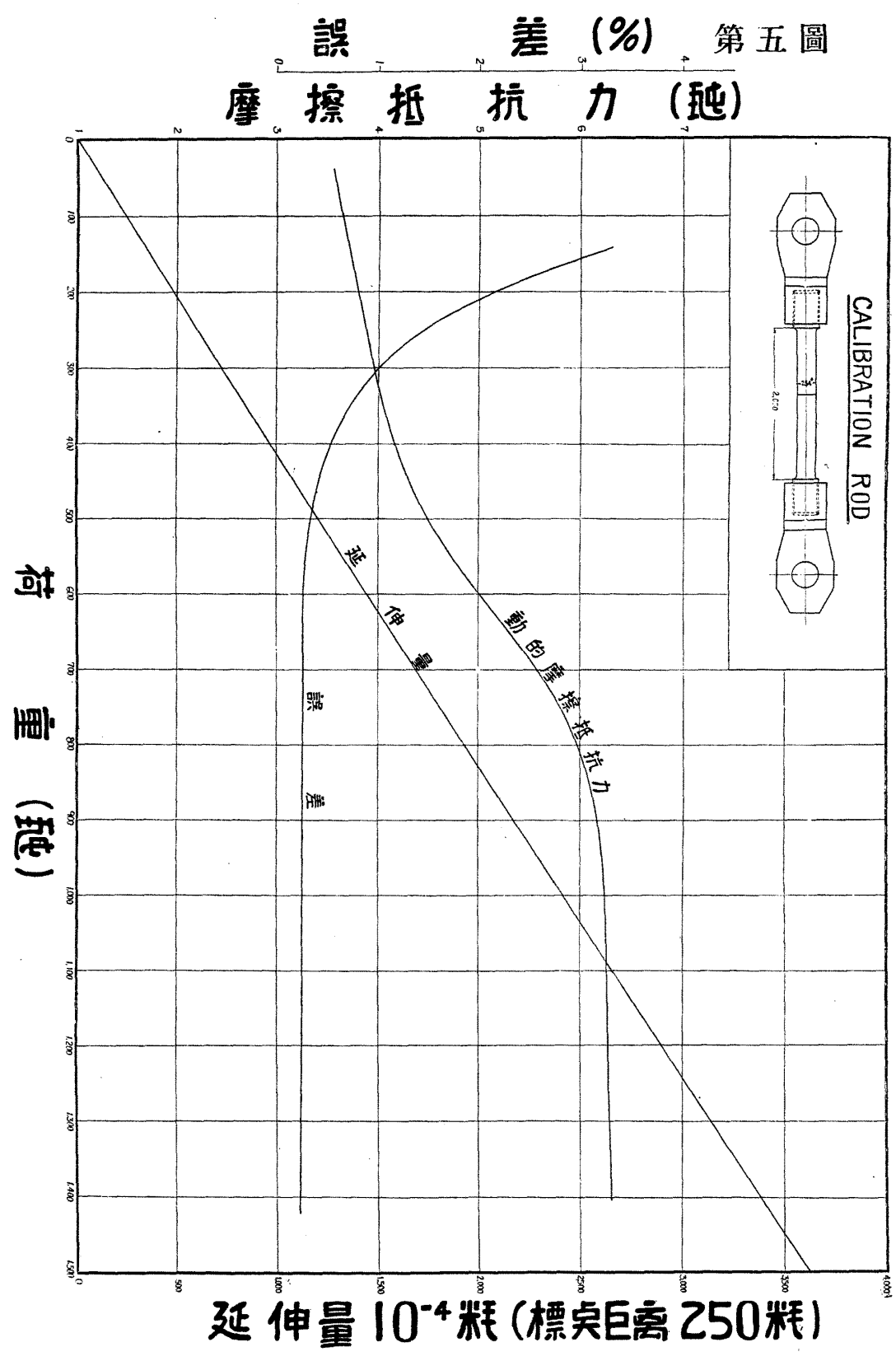


圧縮 第三図

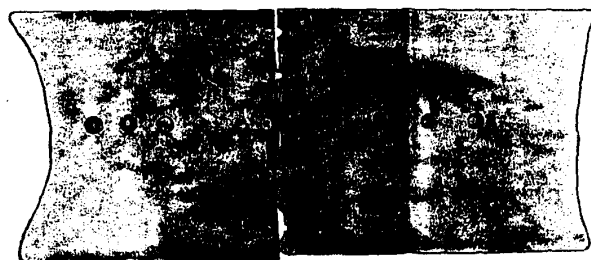


大型構造物試験機配管装置 第四図



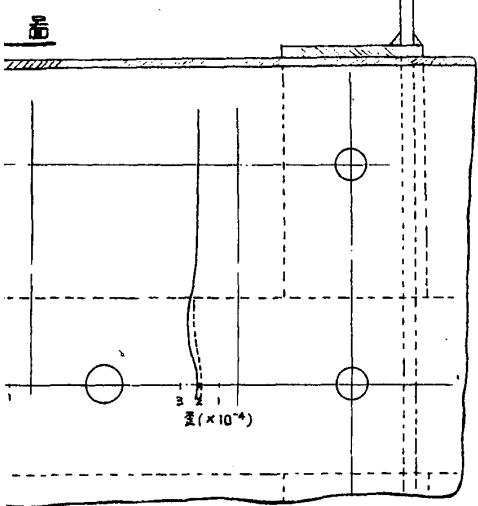
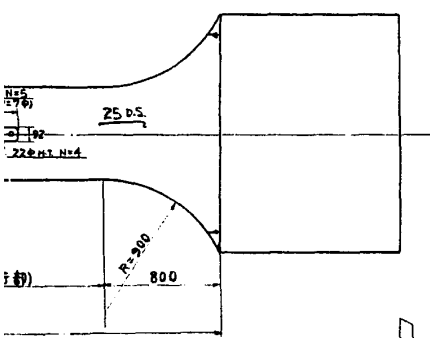


A high-contrast, black and white photograph of a dark, textured surface, possibly a book cover or a piece of fabric. A prominent vertical crease or fold runs down the center, creating a bright, irregular line that contrasts sharply with the surrounding dark, grainy texture. The edges of the material appear slightly worn and uneven.

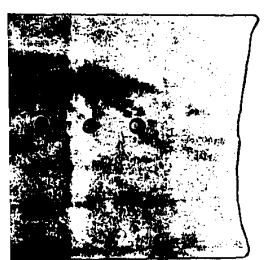


第六屆 鉸鏈構造試驗片

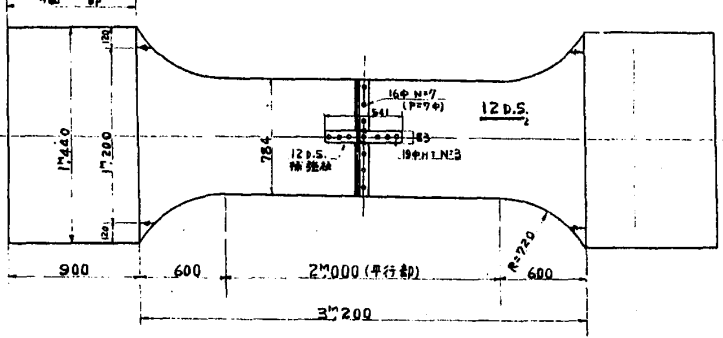
S. 25 料



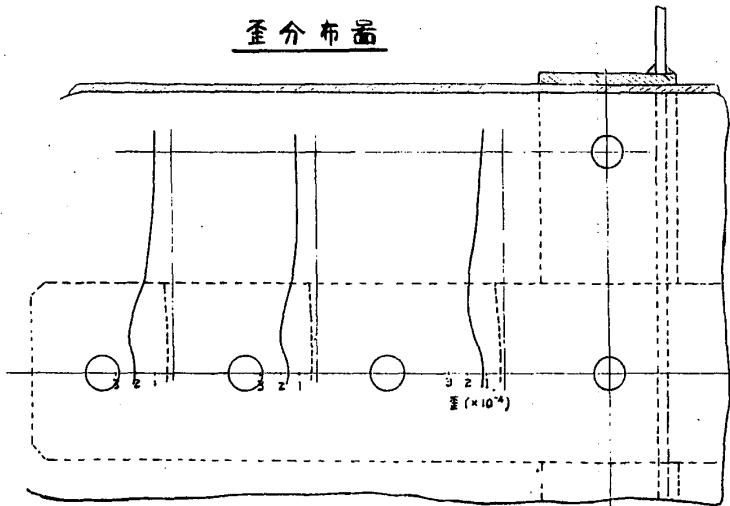
形状



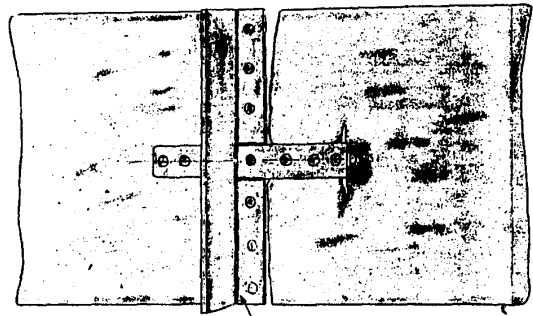
板厚 ---- D.S. 12 料



歪分佈圖



破断部形状



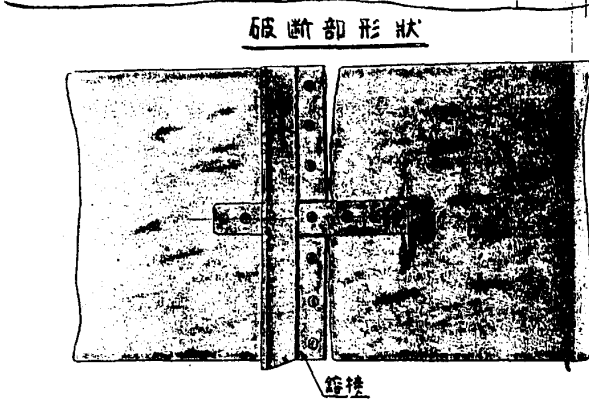
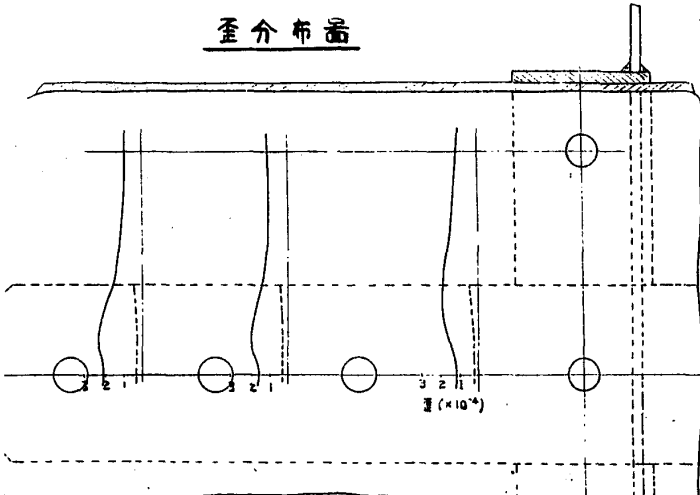
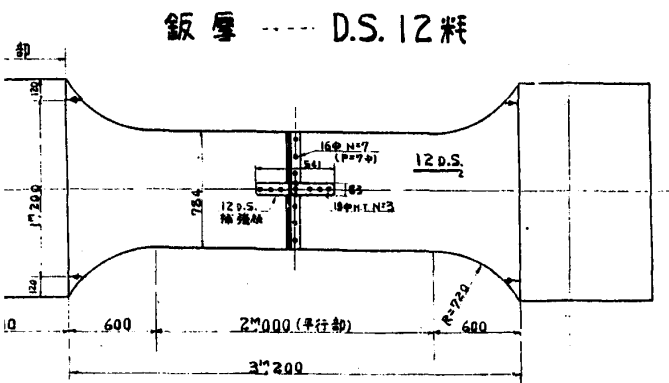
鉸接

鉸接中心線

(中心より距離)

縦鉸接

驗片

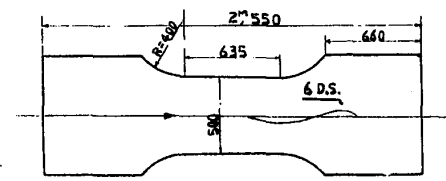


縱銲接試驗片

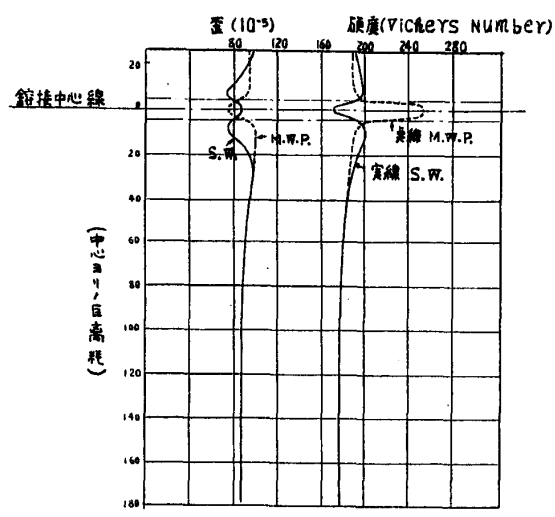
鈑厚 ---- D.S. 6 粒

銲接棒 ---- { S.W. 棒
M.W.P. 棒

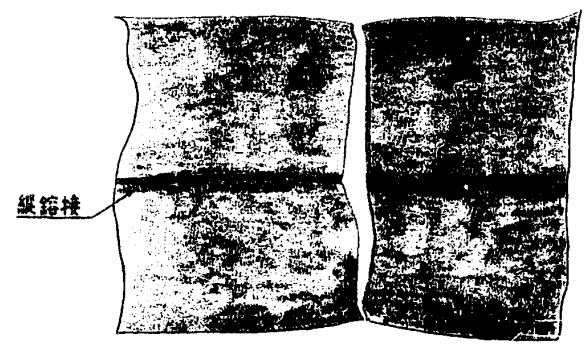
試驗片形狀



歪及硬度分佈圖



破斷部形狀



討 論

○會長(藤島範平君) 只今の御講演に對しまして御質問、又は御意見のある方はありませんか。

○鹽田泰介君 成程大きな試験機ではあるが、100 尺もある試験機は如何にも大きなものであるが、船體の強力の参考になるが、構造の一部分の sample を試験するに過ぎない。船體の構造は非常に複雑なものであります。斯る物の一部分を何うして船體強力に入れるか、何うもよく判らないので一例を伺ひ度いのです。

○金子又三郎君 只今御話致しました様に、此の機械は艦船の構造を試験する様になつて居ります。例へて云へば外板の tension を受ける時を考へますと、1 strake を完全に取り得ますし、尙 seam の入つた 2 strakes に亙るものも、實驗するに差支へなく、更に transverse member が入つても、實驗出來ます。只今の data は基礎的のものにして、本機裝備後一年以内なので御満足を與へる様な物は無かつたかも知れませんが、目下色々の計畫を進めて居り次々に複雑な case に入る積りであります。

○山口増人君 一寸御尋ね致しますが、斯る御研究は民間に御發表出來ますか。

○金子又三郎君 私の考では海軍當局の御考で必要と見れば、當然發表されると思ひます。尤も機密に亙るものは別ですが、他は當局の御考で發表出來ると思ひます。

○會長(藤島範平君) 何方か御質問はありませんか。……無い様でありますから講演者に一言御禮申し上げます。海軍に於て大型試験機を呉に備付けられた事は豫ねて承つて知つて居りましたが、如何なるものか造船協會々員の知り度い所でありました。今度其性能に就き發表の許可を與へられたる海軍當局に對し、又御講演下つた兩君に對し厚く御禮申し上げます。本試験機は大きなものでありまするが、備付けになつて以來時日も尙短く未だ各種の試験をなさつたのではない様でありまするが、其用途は多岐に亙り、之に依り將來艦船の設計及び建造上に、貢獻する事多大なるものあるを、疑はないのであります。只斯る大型試験機は各處に備付け得られるものでありません故、海軍では出来るだけ其試験成績を發表になり、又は場合に依りては其使用を民間にも許されて、其利用の廣く行亙る様に希望致します。講演者に對し拍手を以て感謝の意を表し度いと思ひます。(一同拍手)