

日本船舶振興会 昭和44年度補助事業
船舶の構造・性能に関する基礎的研究”

研究資料 No.119

第117研究部会

大径中間軸の横弾性係数に関する研究

報 告 書

昭和45年3月

社 団 法 人
日 本 造 船 研 究 協 会

はしがき

本報告書は日本船舶振興会の昭和44年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会が第117研究部会においてとりまとめたものである。

本研究の委員は次のとおりである。

第117研究部会委員名簿（敬称略五十音順）

部会長 上阪直樹（石川島播磨重工業）

委員 岩井 健（三菱重工業） 植田 靖夫（船舶技術研究所）

宇田川 貞夫（運輸省船舶局） 大村 寿一（石川島播磨重工業）

海津 源治（住友重機械工業） 草間 敏（大阪造船所）

小町 太一（東京計器） 坂本 隆男（三井造船）

阪部 喜代三（日本製鋼） 陣駒 美登（佐世保重工業）

鈴木 勝利（函館ドック） 須藤 彰一（日立造船）

笛部 敏次（大阪商船三井船舶） 平尾 悠一（日本钢管）

広本 豊（日立造船） 富士 岳（日本钢管）

松田 武久（三菱重工業） 村松 省吾（三保造船）

若林 邦夫（川崎重工業）

目 次

概 要	1
第 1 章 まえがき	3
1.1 研究の目的	3
1.2 作業経過	3
第 2 章 従来の計測方法および記録	4
2.1 従来の計測方法の調査	4
2.2 横弾性係数に関する文献の調査	22
第 3 章 超音波計測方法と予備実験結果	24
3.1 超音波計測方法および計測結果	24
3.2 超音波計測装置の性能試験方案	26
3.3 超音波計測方法の予備実験結果	28
3.3.4 軟鋼の密度とその他の性状	33

概要

本事業は、船舶の構造・性能に関する基礎的研究の一環として、大径中間軸の横弾性係数に関する調査研究を第117研究部会において行なつたものである。

本研究部会で本年度実施した調査研究項目はつきのとおりである。

1. 従来の計測方法の調査

実船の中間軸を振つて、 G の値を計測する装置を有する造船所はわが国に3社あり、この3社から報告された実測値を解析した。計測された76本の中間軸の G の値は平均 $8.383 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ となり、従来わが国で広く使われていた $8.31 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ よりかなり大きく出ていることが判明した。計測値のはらつきはかなり大きく、平均値 $\pm 2.7\%$ 、 -3.4% の広い範囲に散在しているが、全体の50%は $8.341 \sim 8.425 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ の範囲、すなわち平均値 $\pm 0.05\%$ の範囲内に集中している。なおJIS F 0801-1968 解説に記載されている $8.35 \sim 8.37 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ をとると、この中に全数の20%が収つているという結果が出ている。

G の値を実測している造船所3社の間の記録を比較してみると、K社 $8.391 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 、M社 $8.359 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ 、工社 $8.366 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ で、その間に大きな差異は認められなかつた。

また、計測記録を中間軸の軸径、鍛造化、炭素含有量、計測年月等の要素別に解析したが、これらの要素には、 G の値との特別の相関関係は認められなかつた。

中間軸材料の比重・計測時の周囲温度については、従来の G の計測記録にこれらのデータが残つていないため解析できなかつた。

2. 横弾性係数に関する文献の調査

従来わが国で広く使われて来た G の値の根拠になつた文献が紹介され、その中で36本の軸の実測結果として、 $8.31 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2 \pm 2\%$ という値が報告されている。

また、SNAME.BSに規定されている G の値の根拠になつたと考えられる文献紹介の中で $1.190 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ($8.37 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ に相当) $\pm 0.5\%$ という値が報告されている。

3. 超音波計測方法の調査

超音波計測装置のメーカーである英国の Electronic Consultants Ltd はこれまでにこの装置を The British Ship Research Association (以下 B.S.R.A と略) に納入しているが、それ以外に納めたという情報はない。B.S.R.A では最初に計測した68本の軸の G の値として、後述のとおり $1.189 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ($8.36 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$) はらつきは温度修正をしない場合には 0.75% 、温度修正をすれば大部分が $\pm 0.25\%$ 以内に収まると報告している。

また、B.S.R.A は軟鋼の軸系に関しては、 G の値は軸材の組成、物理的性状、製造メーカー、製造方法または熱処理の多少の差によつて影響されることを認められないと報告している。

4. 超音波計測方法の予備実験結果

国産の超音波計器を使って仮設の計測装置を組立てて、各種の鋼製アダプター、アクリルくさびおよび探触子の組合せによつて予備実験を行なつた結果、

- 1) 鋼製アダプターを用いる場合には、試験体に密着して計測されるために、圧力をかなりかける必要がある。
- 2) 鋼製アダプターに水晶振動子を接続するには、ある程度の技術を必要とする。
- 3) アクリルくさびと垂直探触子の組合せの場合には、上記の問題はないが、エコーが尖鋭に出にくい。しかしこれはくさびの形状吸音材の種類を変えることによつて改善されふ余地のあることが判明した。

5. 軟鋼の密度とその他性状の調査

軟鋼の密度の計測は、一般に行なわれることが少ないため、実測記録に乏しく、また実験的に計測する場合でも、精度の高い計測値を求めることはかなり困難であることが判明した。なお、密度の計測値のばらつきの状況、温度、組成が密度に与える影響等について文献により調査された。

第 1 章 まえがき

1.1 研究の目的

軸馬力や軸系振り振動を計算する場合に従来わが国では、中間軸の横弾性係数（Gの値）として、 8.31×10^5 Kg/cm^2 が広く使用されており、運輸省計画造船出力測定、万國水槽試験会議、関東造機研究会等においてもこの値が採用されている。

一方、SNAME、BSでは横弾性係数は 11.90×10^5 lb/in^2 (8.37×10^5 Kg/cm^2 に相当)と規定されており、最近輸出船では、客先の希望によりこの値がときおり採用されている。船舶の速力試験、燃料消費量試験等において、精度の高い軸馬力の計測が望まれる昨今では、横弾性係数の差を、無視するわけにはゆかなくなつた。このため、一部の造船所では、中間軸の横弾性係数を計測する装置を設置し、実船の中間軸を換つてGの値を求めている。しかし、実測したGの値には、かなりのばらつきがあるのが実情である。このような情勢から、JISでは従来 8.31×10^5 Kg/cm^2 と規定されていたGの値が、昭和43年度の見直しで本文から削除され、“現在Gの値として $8.35 \sim 8.37 \times 10^5$ Kg/cm^2 が使用されているので、削除した”と解説されている。

一方、英國において、最近超音波を採用した新しいGの計測方法が研究され、その方法による計測結果として、 11.89×10^5 lb/in^2 (8.36×10^5 Kg/cm^2 に相当)±0.75%という値が、報告されている。このような背景において、わが国においても、この新しい超音波計測方法を試みてGの値を計測するとともに、軸を換る従来の計測方法とも比較検討することにより、現時点における最適の計測方法を見出し、その方法によつてできるだけ多くの中間軸を実測することによりGの値そのものを解明することを目的として本研究を計画した。

1.2 作業経過

昭和44年6月4日の第1回委員会から昭和45年2月20日の第5回委員会まで5回にわたつて、審議を行ない、この間に調査ならびに予備実験を行なつた。まず、超音波計測装置の内容、性能について調査、検討を進めるとともに、発注方法、納入場所等を打合せ、昭和44年8月16日に、三菱重工を通して、三菱商事に発注依頼をした。

三菱商事は、超音波計測装置メーカー ELECTRONIC CONSULTANTS LTD. (以下E社と略)と折衝を重ねたが、納期については発注後9ヶ月という線をメーカーが譲らず、結局この線で本装置を正式に発注した。このような事情で、本年度中に超音波計測装置入手できる見通しがたたくなつたため、本年度は各種計測方法の調査と若干の予備実験を実施するにとどめ、超音波計測装置による実測実験は、来年度にまわすこととし、本研究の事業計画を変更し承認された。本年度は、次のような分担で調査ならびに予備実験を行なつた。

- (1) 従来の計測方法の調査 担当 川重、三井、石播
- (2) 超音波計測方法の調査 担当 三菱重工
- (3) 超音波計測方法の予備実験 担当 日本銅管、東京計器
- (4) 超音波計測装置のキャリブレーションおよびテストピース使用の性能試験方案 担当 日本銅管、東京計器
- (5) 軟鋼の密度その他性状の調査 担当 日本製鋼
- (6) 横弾性係数に関する文献調査 担当 日立

第2章 従来の計測方法および記録

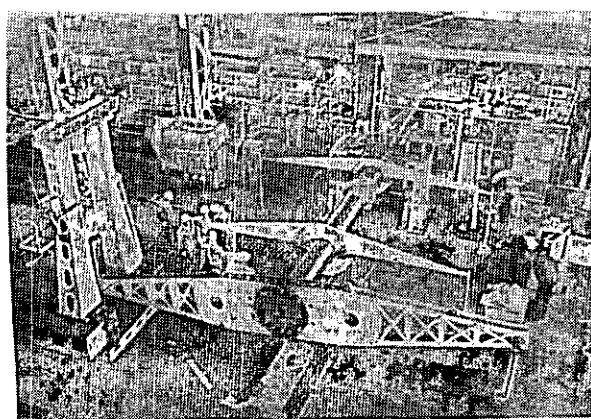
2.1 従来の計測方法

2.1.1 調査の目的と方法

本調査は、今後進められていく大径中間軸の横弾性係数に関する研究の基礎資料として、従来から実測されてきた中間軸の横弾性係数の計測結果および横弾性係数に影響を与えるかも知れないと考えられる諸要素、すなわち中間軸径、中間軸長、継手ボルトの本数および径、中間軸の鍛造化、中間軸材料の炭素含有率および比重、横弾性係数計測年月を調査したものである。また調査結果に対し、上記諸要素と横弾性係数との間の相関関係について解析を行なつた。

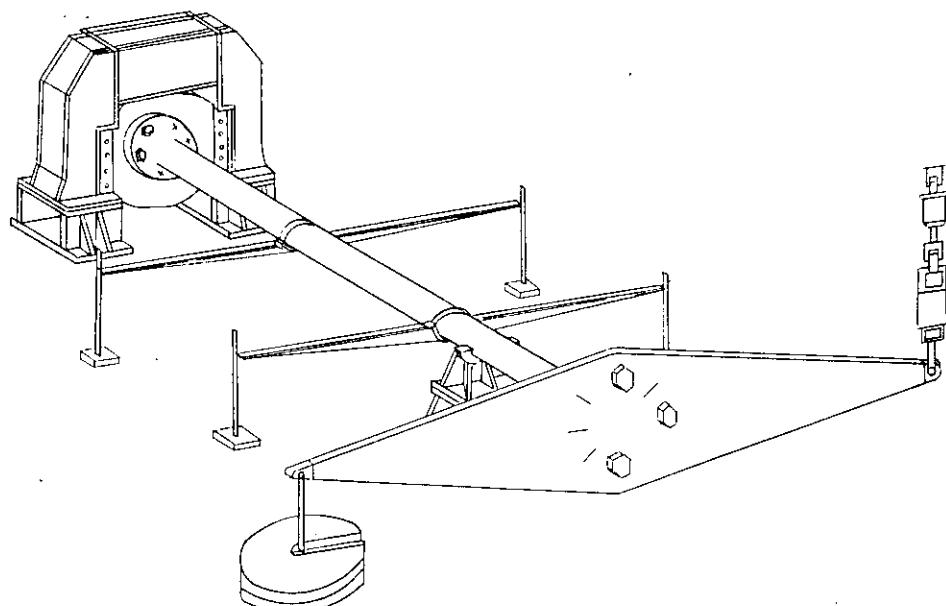
2.1.2 計測装置

各社の計測装置の写真および主要寸法を下記に示す。

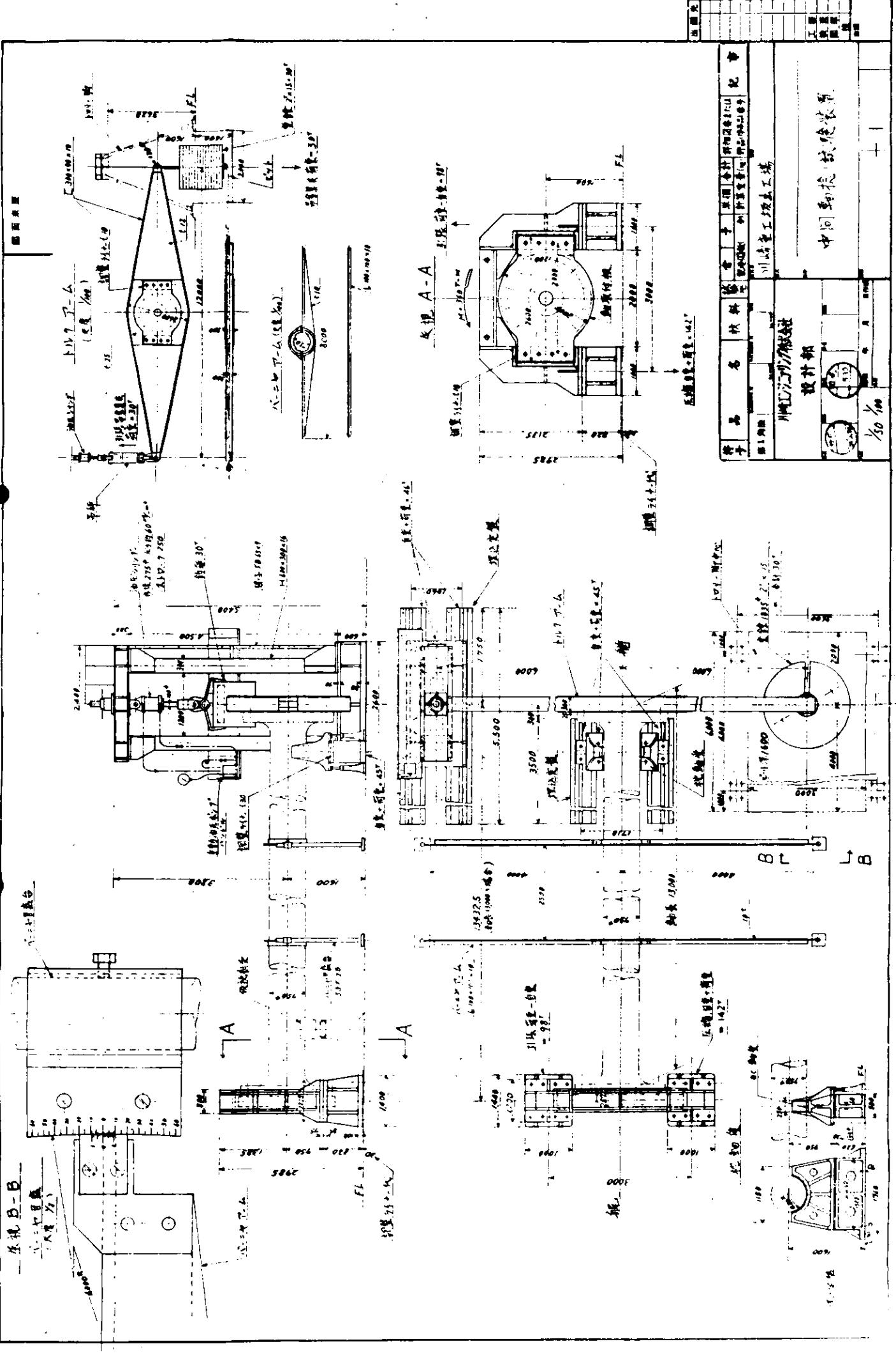


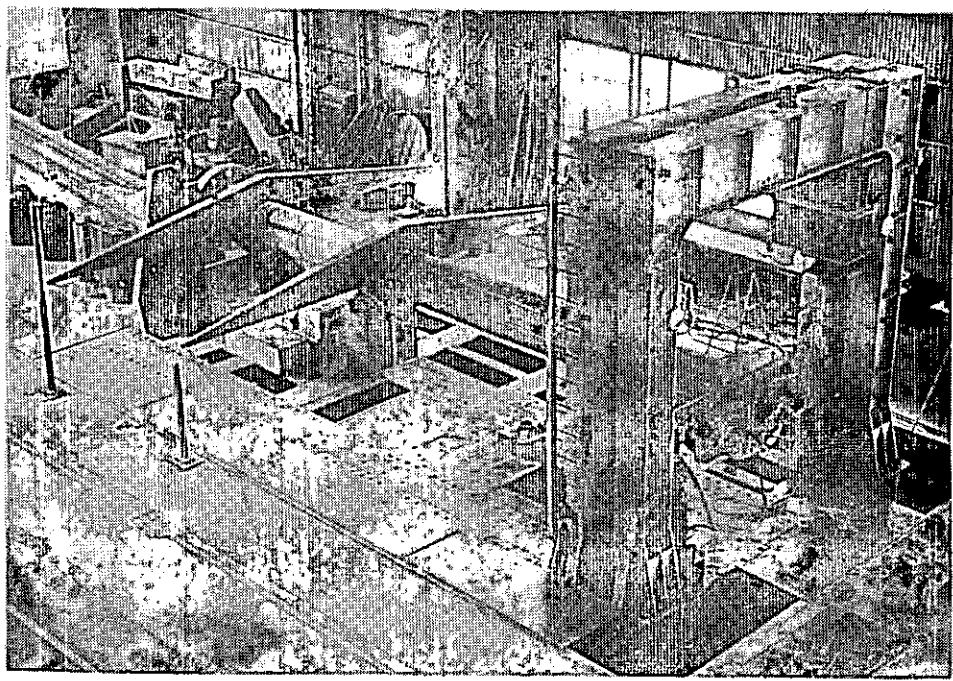
川崎重工業㈱神戸工場

試験装置の概略図

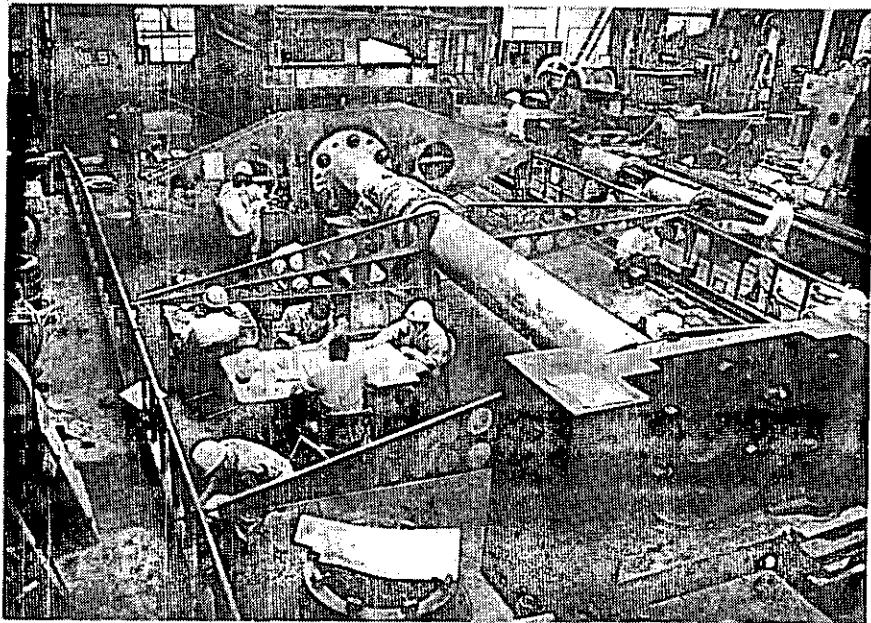


川崎重工業㈱坂出工場



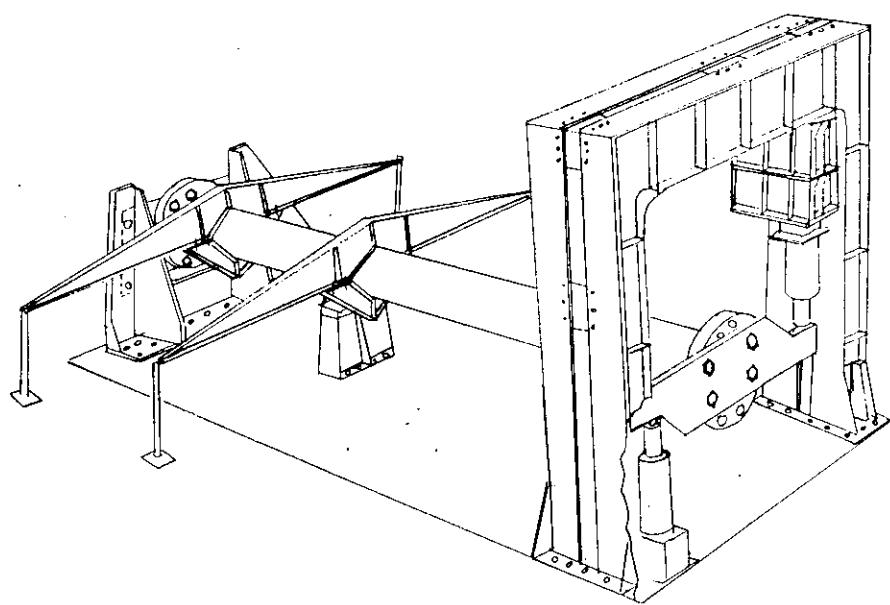


三井造船千葉工場



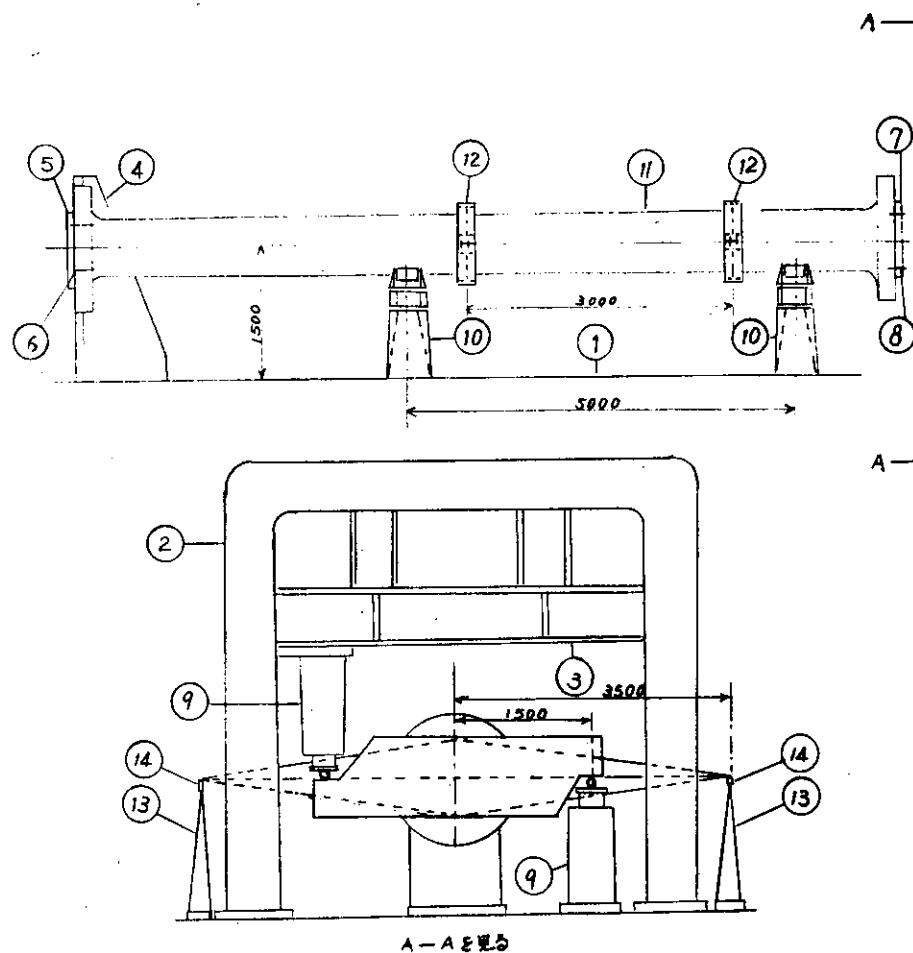
石播東京工場

試験装置概略図



三井造船千葉造船所

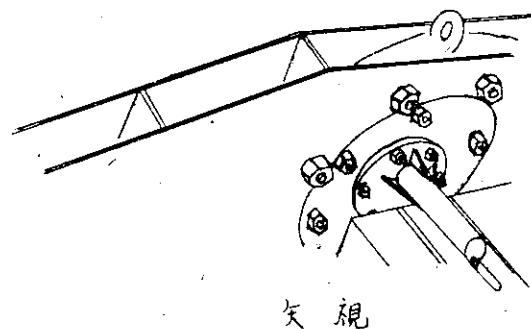
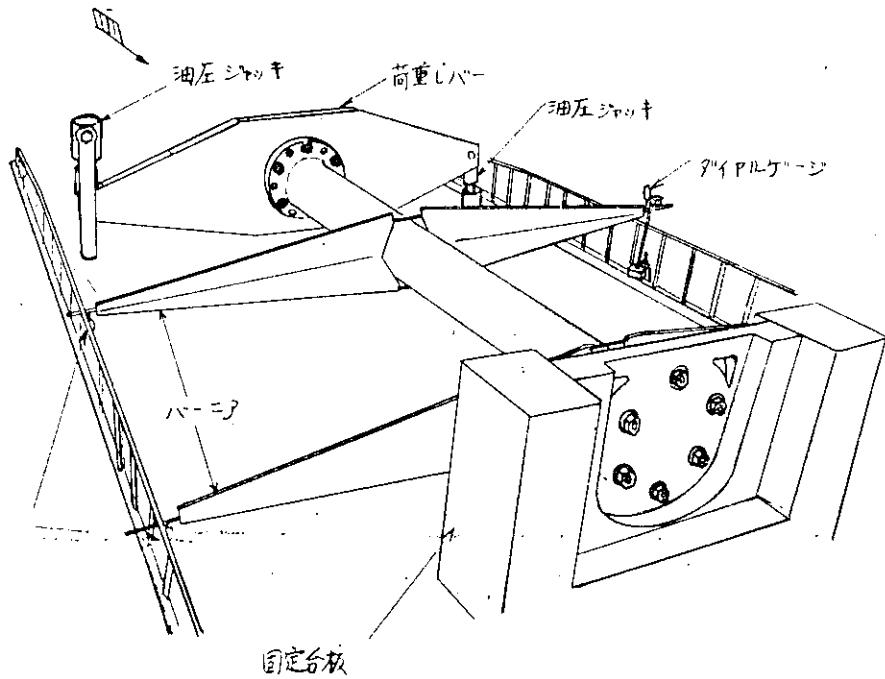
試験装置概略図



番号	名 称	番号	名 称
1	台 板	8	ボルト
2	加荷重フレーム	9	油圧ジャッキ受及びジャッキ
3	タ (補助フレーム)	10	中間軸支え軸受
4	中間軸ねじれ受止めフレーム	11	中 間 軸
5	タ タ 板	12	バーニア
6	ボルト	13	変位計取付スタンド
7	加荷重用レバー	14	変 位 計

三井造船千葉工場

試験装置概略図



石川島播磨重工業㈱東京第2工場

BIBLIOGRAPHY

MARK	PARTICULARS	MATERIAL TEST	TESTED BY	TESTING	
				TEST NO.	RESULT
1	木工上機	SC.55	100	100	100
2	壓盤	SC.55	100	65.5	65.5
3	計測台	SC.55	100	45.5/5.60	45.5/5.60
4	計測台	SC.55	100	2.65/1.0	2.65/1.0
5	支撐台	SC.55	100	90	90
6	荷重臺	SC.55	100	75.00/2.00	75.00/2.00
7	支撐台	SC.55	100	45.5	45.5
8	荷重臺	SC.55	100	100.00/2.00	100.00/2.00
9	荷重台	SC.55	100	100.00/2.00	100.00/2.00
10	台板	FC	100	100	100
11	合板	FC	100	100	100
12	木工機器檯	SC.55	100	100	100

合計 木工機器檯

(木工機器檯、木工機器)

MARK	PARTICULARS	MATERIAL TEST	TESTED BY	TESTING	
				TEST NO.	RESULT
1	東工新設備 中國船模試驗裝置 試驗室				
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					



2.1.3 各社の計測装置の比較

装置設置社(工場)	川 重		三 井(千葉)	石 播(東京)	
	神 戸	坂 出			
計 测 方 法 概 要	最初の設置時期不明。 昭和43年6月現位置に移す。 中間軸のフランジの一端を固定し、他端にトルクアームを取り付けて中間軸を捩る。 このときの中間軸に取付けられているバーニヤの変位量から求める。	昭和43年2月 神戸工場と同じ	中間軸の一端を固定して、他端のフランジに荷重レバーを取付ける。荷重レバーの両端に装備された油圧ジャッキに油圧をかけ荷重レバーに荷重をかけて中間軸を捩る。このときの軸の歪量をあらかじめ軸に取付けておいた計測レバーにより計測する。計測電気変換式ダイヤルゲージにて行なう。	中間軸の一端を固定して、他端フランジを荷重レバーに取付ける。荷重レバーの両端に装備された油圧ジャッキに油圧をかけ、荷重レバーに荷重をかけた状態で中間軸を捩り、この時の軸の歪量をあらかじめ軸に取付けた計測レバー(バーニア)の変位量から求める。	
計測可能な中間軸の最大寸法	軸 長(M) Spaceにより制限を受けるため フランジ径(mm) 軸 径 mm	6.0 1,450φ 600φ	13.0 2,000φ 750φ	10 1,750φ 770φ	5~9 1,300φ 670φ
試験装置	形 式 荷重装置	トルクアームの一端に重錘を吊り下げる。他端を油圧ジャッキに油圧をかけて吊り上げる。このときの油圧は重錘の荷重と同じになるよう調整する。	神戸工場と同じ	荷重レバーの両端に装備された油圧ジャッキに油圧をかける。	荷重レバーの両端に装備された油圧ジャッキに油圧をかける。
仕 様	重錘：2TON ×3個 1TON ×12個	重錘：2TON ×15個 油圧ジャッキ ストローク： 250mm 圧 力： 約 60 kg/cm ²	新式試験機付 100TON 油圧ジャッキ2個 ストローク：250mm 圧 力：210kg/cm ² トルクアームの長さ： 3,000mm	50TON油圧ジャッキ2個 トルクアームの長さ： 6,000mm	

装置設置社(工場)			川 重		三 井(千葉)	石 滝(東京)
			神 戸	坂 出		
試 験 装 置	荷重装置 (つづき)	仕 様 (つづき)	トルクアームの長さ: 全長 8,400mm	シリンダー内径 : 275mm トルクアームの長さ: 全長 12,000mm		
		最大トルク (TON-M)	約 150 TON-M	360 TON-M	448 TON-M	300 TON-M
	荷重計測 装 置	形 式	重錘: 各重錘の実際重量をあらかじめ 計測して銘記しておく。 油圧ジャッキ: 圧力計の指示圧力を荷重に換算する。	神戸工場に同じ	森式試験機付荷重 装置 アムスラー試験材 により較正された ロードセル	添計: PM-5ライン ジケータ (共和電業) ロードセル: LC型荷 重変換器
装 置	仕 様	圧力計 圧力範囲: 目盛:	荷重に 換算し である	圧力計 圧力範囲: 目盛:	圧力計 圧力範囲 荷重範囲 ストレーンゲージ 1000μストレーン 100TON	ストレーンゲージ 1000μストレーン 50TON
		精 度	—	重錘: 2T±300g	圧力計: 0.2(%) ストレーンゲージ: 0.1(%)	0.1(%)
振れ量 計測装置	形 式	バーニアアームの変位量をバーニアにて読み取る		神戸工場に同じ	バーニア電気抵抗式変位計(昭和測器製)	バーニア ダイヤルゲージ
		仕 様	バーニア: 最小 目盛 1/20mm	神戸工場に同じ	バーニア最小目盛 1.5/100mm	バーニア最小目盛 1/100mm
	精 度	0.05%	0.05%	0.08(%)	0.05(%)	
	台 板	基礎: コンクリート	基礎: コンクリート	大型構造物強度試験装置台板	基礎: コンクリート	

装置設置社(工場)	川 重		三 井(千葉)	石 橋(東京)
	神 戸	坂 出		
計測要領	<p>1) 中間軸を所定の位置に据付ける。 船側フランジおよび舵側フランジともリーマーボルトを4本あて通し、その他は普通ボルトにて完全に締付ける。</p> <p>2) ボルトのP.C.D.および数は現物の中間軸に合わせる。ボルトの径はボルト孔の下孔を使用し、これに相当するものを用いる。(ボルト孔が加工済みのときは、適当なはめ輪を用いる。)</p> <p>3) できる限り離して取り付け間隔を正確に計測する。</p> <p>4) バーニアの左右の目盛を零(0)に合わせる。</p> <p>5) 2TONの重錘をトリクアームの一端に吊下げ、その後他端を油圧ジャッキで2TONの荷重</p>	<p>神戸工場と同じ</p> <p>神戸工場と同じ</p> <p>3) 2個の換れ量、計測用バーニヤームを2,500mmの間隔になるよう正しく取付ける。</p> <p>神戸工場と同じ</p>	<p>1) ロードセルに電気式歪ゲージを貼つて、アムスラー試験機により荷重を加え、荷重およびロードセル重量をチェックする。</p> <p>2) 中間軸は、中間軸換れ受止めフレームの中心に位置決めされ、2ヶの軸受によって支えられる。この状態にて、鋼板および接手ボルトにより中間軸を中間軸換れ受け止めフレームに取付けられ、他の接手フランジには加荷重のレバーがボルトにより取付けられる。</p> <p>3) 換れ用バーニアが中間軸上3mの間隔をおいて取付けられバーニアの先端には電気抵抗式変位計が装備される。(変位計を固定スタンドに取付ける)</p> <p>4) 森試験機の油圧ジャッキによりロードセルを介して、加荷重用レバーに荷重がかけられる。荷重は20TONごとに一旦停止して、バーニアにより軸の換れを計測する。このような操作により、中間軸の定格トルクの約</p>	<p>1) 中間軸を所定の位置に据え付け、固定台板側および荷重レバー側とともにフランジを固定する。フランジボルト孔には、ライナーを用いて回転方向の遊びができるだけ小さく押える。</p> <p>2) バーニアを軸表面の防錆塗料を除いてから水平に又、軸面に直角に2組取付ける。その間隔は300cmを目標とし、その中間にはできるだけ軸受部、短絡装置取付部がこないようにする。やむを得ずそれらが入る場合には、G計算を考慮する。</p> <p>3) ダイヤルゲージを固定台にシャコマンにて垂直に固定し、所定の位置に4台設置する。各々軸中心から350cm離して正確に設置する。尚荷重をかけた場合の中間軸の換れ方向を考慮し、ダイヤルゲージの測定範囲が目外れにならないように注意する。</p> <p>4) ジャッキはいづれも軸中心に対し、直角に据付け、軸受部がかたよつて異常摩擦を生じないように十分注意する。</p> <p>5) ストレンメーター</p>

装置設置社(工場)	川 重		三 井(千葉)	石 滨(横浜)
	神 戸	坂 出		
計 潜 要 領 (つづき)	<p>をかけて吊上げる。 振り方向はプロペラの前進回転方向とする。</p> <p>6) 大木槌にて軸の適当なところを2~3度たたき、十分振つたのちバーニアの目盛を読みとる。</p> <p>7) 通加荷重を7回記録し、通減荷重も同様に7回記録する。これを第1回の記録としてくり返し、第2~第3回の記録まで行なう。</p>	神戸工場と同じ	<p>105%までのトルクをかける。定格トルクの105%に達したら再び荷重を減少させ、荷重を増加させたときの要領にて、軸の振れ量を計測する。</p> <p>7) 同様にして通加荷重を11回記録し、通減荷重も同様に11回記録する。これを第1回の記録としてくり返し、第2~第3回の記録まで行なう。</p>	<p>の零点を調節する。油圧ポンプを運転する前に、各ロードセルを計測コードの組合せが完全であることを確認してから施行する。</p> <p>6) 本船M.C.R時のトリクの105%を荷重レバーにかける最大トルクとする。</p> <p>7) 油配管が完全に接続されていることを確認の上、ポンプを駆動する。そして、除々に油圧を上げて最大油圧まで運転し、各部に異常のないことを確認する。</p> <p>8) 最大圧力を9等分し、0から最大圧力までゆき10回、かえり10回左右の荷重およびダイヤルゲージを読み。</p>
計 算 式	$G = \frac{T}{\theta \cdot I.P}$ $= \frac{T_{u1}}{\frac{\pi}{32} D^4 \cdot \frac{S_u}{L \cdot R \cdot R.V}}$ <p>T_{u1}: 2・θW θ=アームの長さ W=重錘の重量 D: 中間軸径</p>	神戸工場と同じ	$G = \frac{M_t}{\theta \cdot I.P}$ $= \frac{2 \theta w}{\frac{8}{L \cdot R} \cdot \frac{\pi}{32} \cdot D^4}$ <p>2θ: 負荷用オイルジャッキ間隔 (300 cm) L: バーニア間距離(cm) R: 軸中心からバーニア先端長さ (350 cm)</p>	$G = \frac{M_t}{\theta \cdot I.P}$ $= \frac{2 \theta w}{\frac{\delta}{L \cdot R} \cdot \frac{\pi}{32} \cdot D^4}$ <p>2θ: 油圧ジャッキ間の距離(cm) L: バーニア間距離(cm) R: 軸中心よりダイヤルゲージまでの距離(cm)</p>

装置設置社(工場)	川 重		三 井(千葉)	石 滝(東京)
	神 戸	坂 出		
計 算 式 (つづき)	S_u : バーニアの読みの平均値 L_v : バーニアアームの間隔 R_v : 軸心からスケールまでの距離 π : 円周率		D : 軸直径(cm) W : 油圧ジャッキによる荷重(Kg) δ : バーニアの変位量 $\delta = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2} - \frac{\delta_3 + \delta_4}{2}$ (cm) $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$: ダイヤルゲージの読み w : 荷重レバー端にかかるたつた荷重(Kg)	D : 軸径(cm) y : 測定点間の距離 $y = \frac{y_1 + y_2}{2}, \frac{y_3 + y_4}{2}$ $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$: ダイヤルゲージの読み w : 荷重レバー端にかかるたつた荷重(Kg)
試験装置および計測要領の問題点	特になし	特になし	(1) バーニア取付精度を上げることを検討している。 (2) 荷重レバーの荷重点がつぶれる。ナイフエッジの硬度を上げることを考えている。	(1) 計測時の問題点 4.3-12月までは計測時、荷重レバーにかけた各荷重における軸の歪みにはらつきがあり、又軸を本装置に取付け計測するたびにどの値のばらつきが大きかつた。 (2) 原因 a. 荷重レバーに装備した油圧ジャッキのロードのアンバランス b. 油圧ジャッキのロードを検出するロードセルの不正確な作動(ロードセルの固定方法) c. 中間軸を支持する軸受の支持方法(軸が振られたときの軸受摩擦抵抗) d. 荷重レバーに荷重をかけたときの計測装置附近の地盤の変動 (3) (2)に対する対策 a. 油圧ジャッキに

装置設置社(工場)	川 重		三 井(千葉)	石 滯(東京)
	神 戸	坂 出		
試験装置および計 測要領の問題点 (つづき)				<p>同一油圧をかけると両油圧ジャッキから発生する荷重にはばらつきがあるためストレーンメータにて検出した荷重を同一にして計測するようにした。</p> <p>b. 油圧ジャッキにて発生した荷重を正確にロードセルに伝えるため油圧ジャッキとロードセルとの固定方法を改良した。</p> <p>c. 中間軸支持軸受は従来軸外周面に取付けていたが、軸受の摩擦を極力無くすため中間軸の軸心位置で軸を支持するように改良した。</p> <p>d. 地盤の変動の影響をなくすためダイヤルゲージ取付位置は長さ16mのビーム上とし、このビームの支持点はビームの両端とした。</p>

2.1.4 調査結果

1) 調査した結果すべて以下の図表に示す。

表 2.1.1、表 2.1.2、図 2.1.1、2.1.2、2.1.3、2.1.4、2.1.5および図 2.1.6 参照。

なお図 2.1.1～図 2.1.6 はすべて表 2.1.1 を図として表わしたものである。

2) 表 2.1.2 に表 2.1.1 より求めた横弾性係数の計測値の平均値を示す。

3) 鋳造比は鋳造前の素材の断面積と鋳造後の素材の断面積との比であり、中間軸部の鋳造比を示す。

4) 中間軸材料の比重は、一般には中間軸メーカーでは計測を行なつていない上、各社においても計測していないため、データーは皆無であり、調査不可能であつた。

5) 中間軸の横弾性係数の計測時の周囲温度の記録もまた全く残されていないため、調査不可能であつた。

表 2.1.1 調査結果

No.	$G \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	鋳造比	中間軸径 mm	中間軸長 mm	締手ボルト 本数 × 径 mm	炭素含有量 %	比重		試験年月	備考
							周囲温度	比重		
1	8.493～8.456 平均 8.475		285	6,500	6×70 420				24.4	
2	8.642～8.423 平均 8.533		285	6,900	6×70 420				25.6	
3	8.652～8.388 平均 8.520		290	6,900	6×70 420				25.6	
4	8.425～8.215 平均 8.320		360	7,775	8×74 592				26.9	
5	8.156～8.037 平均 8.097		360	7,775	8×74 592				27.1	
6	8.556～8.248 平均 8.292		440	7,050	10×90.25 90.25				27.11	
7	8.346～8.207 平均 8.277	△	440	7,050	10×90.25 90.25	△	△	△	27.12	
8	8.304～8.167 平均 8.236	△	440	7,050	10×90.25 90.25	△	△	△	28.5	
9	8.660～8.486 平均 8.573	△	505	8,400	10×105.125 105.125	△	△	△	—	
10	8.622～8.412 平均 8.517		505	8,400	10×105.125 105.125				28.6	
11	8.28		555	4,000	10×103 103.0				30.2	
12	8.610		395	8,000	10×75 75.0				31.2	
13	8.544		395	8,000	10×75 75.0				31.4	
14	8.565		510	8,000	10×100 1,000				—	
15	8.528		460	8,350	10×95.25 95.25				31.5	
16	8.416		555	10,300	10×95.25 95.25				—	
17	8.239		555	10,300	10×95.25 95.25				—	
18	8.565		525	9,200	10×102 102.0				—	
19	8.271		525	9,200	10×102 102.0				33.3	
20	8.196		525	8,000	10×102 102.0				—	

No.	$G \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	鋳造比	中間軸径 mm	中間軸長 mm	総手ボルト 本数 × 径 mm	炭素含有率 %	比重		試験年月	備考
							周囲温度			
21	8.267		525	8,000	10×102 1020				34.2	
22	8.371		510	8,800	10×100 1000				33.10	
23	8.368		525	8,000	10×102 1020				34.6	
24	8.396		525	8,000	10×102 1020				34.7	
25	8.395	~	525	8,000	10×102 1020				—	
26	8.465	~	525	8,000	10×102 1020				34.12	
27	8.364	~	555	10,300	10×102 1020				34.9	
28	8.325		555	10,300	10×104 1040				35.8	
29	8.334		555	10,300	10×102 1020	0.24			36.7	
30	8.386		420	7,503.43	10×80 800	0.24			36.12	
31	8.417		420	7,503.43	10×80 800	0.23			—	
32	8.397		420	7,503.43	10×80 800	0.24			37.8	
33	8.356	10.2	535	8,500	10×102 1020	0.22	~		—	
34	8.328	10.2	535	8,500	10×102 1020	0.26	~		39.4	
35	8.390	—	555	4,400	10×102 1020	0.26	~		37.2	
36	8.252	11.7	555	4,400	10×102 1020	0.22	~		—	
37	8.409	10.2	535	—	10×102 1020	—			—	
38	8.408	12.7	525	—	10×100 1000	—			—	
39	8.318	—	525	—	10×102 1020	—			—	
40	8.525	—	525	—	10×100 1000	—			—	
41	8.301	10.2	540	8,087.2	10×102 1020	0.26			39.8	
42	8.261	12.8	570	11,007.3	12×102 1224	0.25			40.3	
43	8.411	11.2	570	11,007.3	12×102 1224	0.24			41.6	
44	8.367	10.1	485	6,800	10×100 1000	—			40.12	
45	8.447	11.4	515	9,047.3	10×102 1020	0.25			40.5	
46	8.440	—	550	10,000.8	12×102 1224	—			—	
47	8.398	14.4	640	10,235.17	12×125 1500	0.19			44.2	
48	8.410	14.1	645	9,567.09	12×118 1416	0.22			43.9	
49	8.450	7.7	660	12,370	12×125 1500	0.23			43.2	

No.	$G \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$	鍛造比	中間軸径 mm	中間軸長 mm	総手ボルト 本数 × 径 mm	炭素含有率 %	比重		試験年月	備 考
							周囲温度	比重		
50	8.55	7.8	540	6,106.62	16×92 1472	0.21			44.3	
51	8.40	7.5	670	11,231.78	12×125 1500	0.23			44.11	
52	8.399	—	630	9,850	1380	—			43.9	
53	8.315	—	630	9,850	1380	—			44.6	
54	8.364	—	630	9,850	1380	—			44.11	
55	8.347	—	555	—	—	—			40.11	
56	8.3499	8.1	525	7,929	10×110 1100	0.22			41.11	
57	8.3963	8.1	525	7,929	10×110 1100	0.22			42.1	
58	8.3405	7.7	575	7,688.41	14×105 1470	0.26			42.1	
59	8.427	—	585	—	—	—			42.2	
60	8.367.5	8.1	575	7,688.41	14×105 1470	0.23			42.5	
61	8.3684	—	525	—	—	—	—		42.11	
62	8.35	—	522	7,902.55	12×106 1272	—	—		42.12	
63	8.32	6.3	522	7,902.55	12×106 1272	0.26	—		42.12	
64	8.32	6.3	522	7,902.55	12×106 1272	0.22	—		43.6	
65	8.35	6.3	522	7,902.55	12×106 1272	0.27	—		43.6	
66	8.35	7.3	625	6,800	16×105 1680	0.22			43.8	
67	8.40	—	342	6,752.5	—	—			43.8	
68	8.35	—	645	—	—	—			43.11	
69	8.35	11.2	650	6,600	16×120 1720	0.25			43.12	
70	8.40	—	648	—	—	—			44.4	
71	8.37	—	525	—	—	—			44.4	
72	8.37	7.3	620	7,500	12×120 1440	0.23			44.5	
73	8.38	—	335	—	—	—			44.5	
74	8.36	8.8	600	7,970	16×95 1520	0.24			44.7	
75	8.40	13.5	622	8,218.47	16×105 1680	0.23			44.10	
76	8.39	8.8	655	8,417.13	16×105 1680	0.28			44.12	

表 2.1.2 計測値の平均値

	G ($\times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$)		
	K 社	M 社	I 社
最大 値	8.610	8.399	8.427
最 小 値	8.097	8.315	8.320
全計測値の平均	8.391	8.359	8.366
3社の全計測値の平均		8.383	
S N A M E , B S R A		8.37	

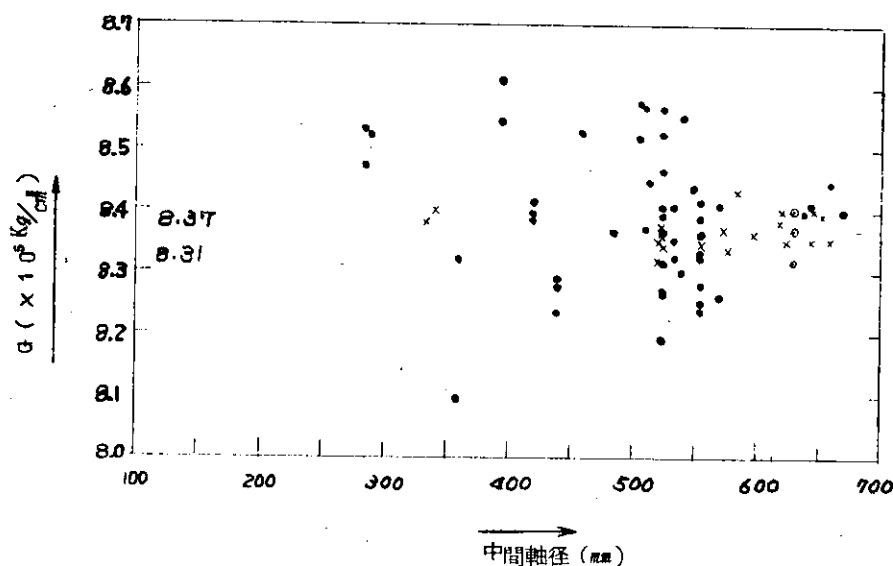


図 2.1.1 中間軸径をベースとした G の値

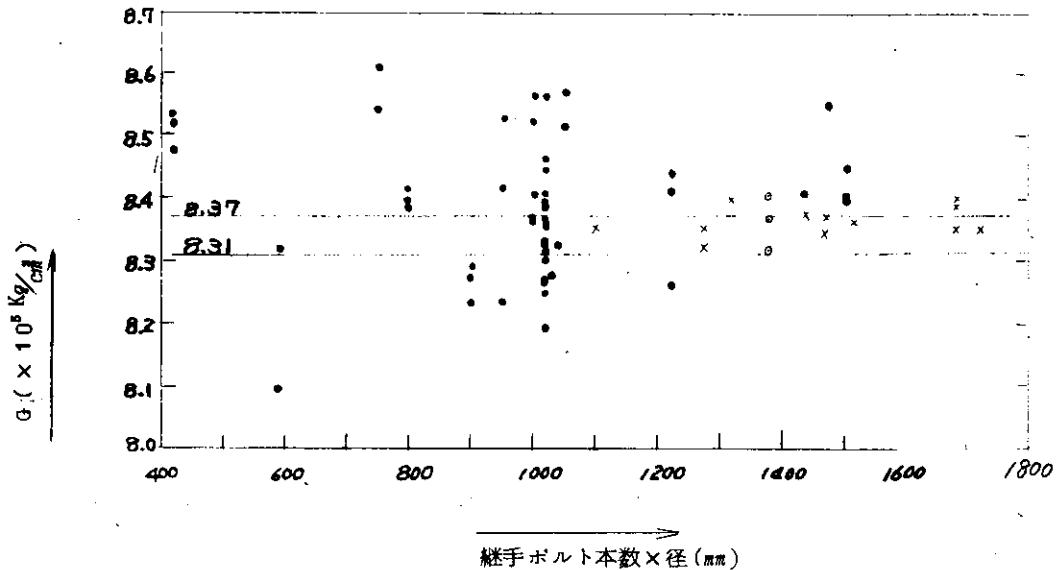


図 2.1.2 継手ボルト本数×径をベースとした G の値

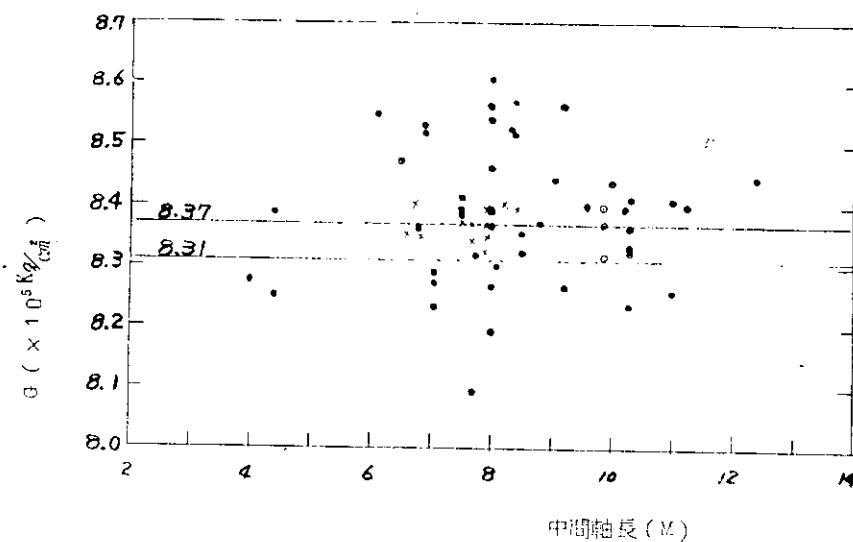


図 2.1.3 中間軸長をベースとしたGの値

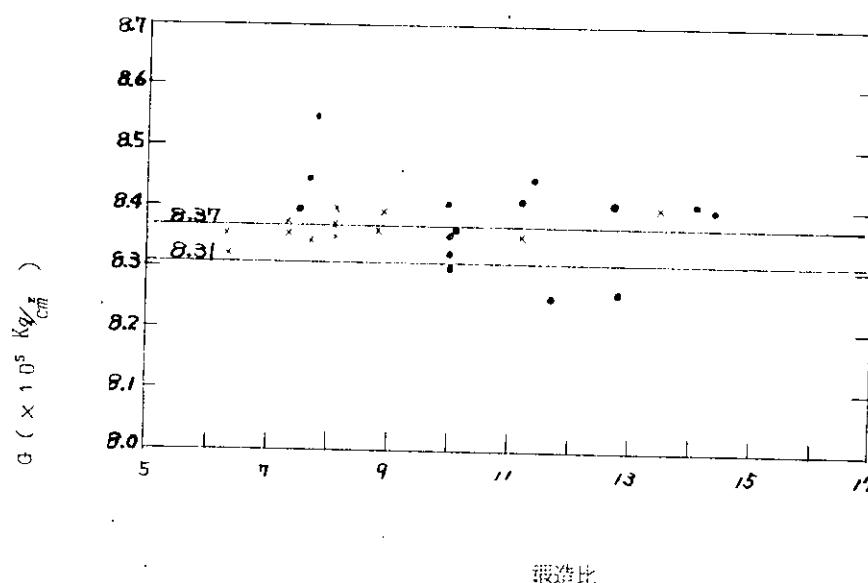


図 2.1.4 中間軸(軸洞部)の鍛造比をベースとしたGの値

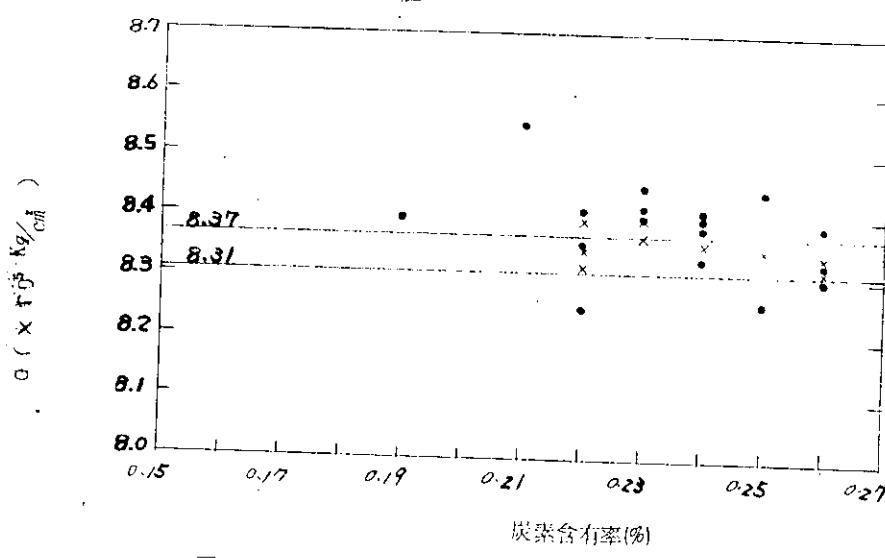


図 2.1.5 炭素含有率をベースとしたGの値

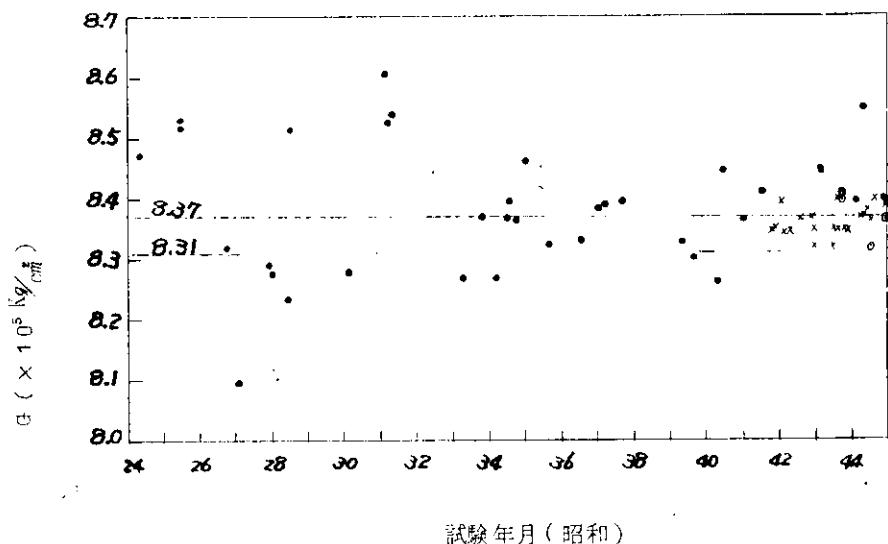


図 2.1.6 試験年月をベースとした G の値

2.2 横弾性係数に関する文献調査

中間軸の横弾性係数 G に関する問題を扱つた文献のうち、次の 3 篇の論文を要約して示すこととする。すなわち研野の論文¹⁾は、長い間わが国造船関係者の間で基準値とされて来た $G = 8.31 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ を決定する基礎となつた論文である。また、造船学会の「抵抗・推進シンポジウムテキスト」の抜萃²⁾は、主として機関・材料関係者の間で論議されているこの問題を船体設計、とくに船の推進性能を扱うものの立場から見たものである。

J. H. Brandau の論文³⁾は、大径軸の実寸試験片と同じ材料からとつた小型試験片との振り試験結果を比較して、実軸の振り試験を小型試験片の振り試験に替えるか否かを検討した新しい提案である。

2.2.1 中間軸の剛性率測定法とその結果¹⁾ 研野作一

造船協会会報 No. 59 昭 11. 12

(1) 横弾性係数(剛性率)の測定法

通常の実軸振り試験は、静荷重によつて軸を振り、その振れ角を軸にとりつけた Mechanical Lever によつて計測している。この研究で使用した装置は、単線条電球および軸に取付けた凹面鏡を使用して、通常の Mechanical Lever を Optical Lever に替え、Lever 長さを伸ばして精度を向上するとともにこの Optical Lever を両側に設けて、両者による測定値の平均をとり、軸の焼みの影響を相殺するようにしている。

(2) 測定結果の整理

n ケの重錐を用いて遙増、遙減の荷重を加え、往復の読みを採つた。その読みを n に対して置点すれば一つの直線となるはずであるから、この直線方程式を $S = x_1 + n x_2$ とおき、最小二乗法で係数 x_1 , x_2 を求め、荷重と振れ角との関係を定めている。

(3) 結論

供試軸は直径 26.0 ~ 45.5 cm の合計 36 本であるが、前記のようにして求めた G の値は (8.17 ~ 8.53) $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ の間にある。これらの軸は造船規定を満足させるために、ほぼ同じ材質で、同じような処理を受けたものと思われる所以、総平均値を求める $G = 8.31 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ となる。

研究全般を通して明らかにされたことを総括すると

1) 固定端はできる限り頑丈にしなければならない。

2) 固定端の影響を除くためには、左右両側において Lever 先端の変化を測定し、その平均をとる必要がある。

- 3) 計算方法は最小二乗法を採用し、初荷重および最終荷重に対する読みは省略する。
- 4) 測定した 36 本の軸の G の値の総平均値は、 $8.31 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ で、約 ± 2% の範囲に含まれている。

2.2.2. 日本造船学会「抵抗・推進シンポジウム」²⁾ 昭 43. 6

I. 速力試運転と A_{CP} (須藤彰一) より抜萃

船体の抵抗・推進を扱うものの立場からいって、実船の推進性能を知るために、速力試運転時の速力、プロペラ回転数および軸馬力が唯一の手掛りである。したがつて馬力計測値に対しても 1% 程度の誤差におさめることが要望されるので、適当な換算を使用して、軸馬力を直接計測することが最も望ましい。しかしながら軸ごとにその横弾性係数 G の値の明らかでないことが多いので、標準値 $G = 8.31 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ によらざるを得ないのが実情であるが、馬力計測に要求される精度を考え合わせると、標準値に対する G の値のばらつきも無視できないオーダーとなる。

以上の見地から、前記 G の標準値がもつ問題点を指摘し、軸ごとに、できるだけ G の真値に近いものが推定できるような方策の必要性を述べたものである。

2.2.3. Propulsion Shaft Calibration for Torsional Modulus of Rigidity³⁾

John H. Brandau D.T.M.B. Report N1517 1962

アメリカ海軍では、換算をとりつける実船推進軸の横弾性係数 G を決定するために、長年にわたり実軸のキャリブレーションを行なつてきた。最近では(1951～1960)、長さ 6 ft. の実軸の残端を実際のものと全く同じに仕上げて試験に供すると同時に、同じ材料から小型試験片をきり出して G の検定を行なつている。

これまででも軸温度 40°F 、 80°F 、および 120°F で G の検定を行なつて温度影響を示す図表を作つていたが、1959 年には特に次の項目に重点を置いて、実寸軸-小型試験片の比較試験を実施した。

- (1) 特定の軸の正しい G の値を求める
- (2) G の値に及ぼす軸温度の影響調査
- (3) 実寸軸キャリブレーションの精度確認
- (4) 小型試験片キャリブレーションの精度確認

その結果を要約すると次のとおりである。

- 1) Molybdenum-vanadium 鋼に対して、軸温 80°F (27°C) における G の値は平均 $8.37 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$ ± 0.25% である。
- 2) 温度に対する G の値の傾斜は $-0.014 \text{ Kg/cm}^2/\text{K}$
- 3) 実寸軸の試験結果は、対応する小型試験片による結果よりも、1～3% 程度低く出ている。

- 5) Displayされた波形を検査する。
- 4) Timing Comb が消えるまで波形を検査していると二つの測定・超音波をとらえることができる。
- 5) とらえられた signal が Timing Comb に重なるまで timebase speed を増大させる。
- 6) この時投影された波形を左側に移すことにより Timing Unit の TRIGGER DELAY switch の setting の増加を知ることができる。
したがつて、TRIGGER DELAY switch の指示および time axis に沿つてとらえられた signal の位置から time delay が得られる。
- 7) 上記 5) 6) の操作を繰返し二つの超音波を計測し軸の中を通った速度を算出する。

3.1.4 精 度

この装置の精度は Timing Comb pulses と TRIGGER DELAY switch の setting の精度によって決まるが周囲温度 0°C ~ 40°C にて士 0.01% 以上である。

3.1.5 計測結果

論文 I) および II) によれば本装置を用いての計測結果は次のとおり。

- (I) 橫弾性係数を実測すみの就航中の船の 14 本の軸に対して超音波法を用いて計測を行なつたところ次の結果を得た。

	計測値 (平均値)	計測値のはらつき
超音波法	$1.1866 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.343 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)	- 0.56 ~ + 0.71% - 0.
機械法	$1.1975 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.419 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)	- 1.04 ~ + 1.79%

注) 換算率を $1 \text{ lbs/in}^2 = 0.070307 \text{ kg/cm}^2$ にとつた。(以下同様)

- (2) 超音波法と機械式の平均値の差は、実測例の数が多くなれば一致するものと考えられるが、統計的に意味のある解析を行なうためには、70 ~ 80 本の軸の比較計測を行なう必要がある。しかしながらこれは不可能であるから、そのかわりに 6" (約 15.0mm) の軸 2 本 (1 本は 1 体鍛造フランジ付、1 本は溶接フランジ付) を既存の精密ねじり計を用いて比較計測を行ない、次の結果を得た。

	一体鍛造フランジ	溶接フランジ
超音波法	$1.183 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.32 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)	$1.1833 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.319 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)
機械式 (特殊装置によりねじれ角を光学的に精密計測)	$1.1835 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.321 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)	-
機械式 (Siemens-Ford ねじり計によりねじれ角を光学的 IC 計測)	$1.1867 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.343 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)	$1.1864 \times 10^6 \text{ lbs/in}^2$ ($8.341 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$)

超音波法と特殊計測装置による計測結果は良く一致しており、また、計測誤差を考へれば Siemens-Ford motor の結果ともよく一致している。

(3) さらに商船用中間軸の横弾性係数平均値を測定するため 6-8 本の軸に対して計測が行なわれた。

1) このうち温度の計測を実施した 4-4 本の propeller-shaft に対して

$$G = 1.189 \times 10^6 \text{ lb/in}^2 \quad (8.56 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2)$$

計測値のはらつき $\pm 0.3\%$ $\sim -0.067\%$

(大部分は $\pm 0.25\%$ 以内にあつた)

温度係数 $-0.0157\%/\text{°F}$

2) 温度係数を考慮しなければ合計 5-8 本の軸に対して

計測値のはらつき $\pm 0.75\%$

3) mild steel の中間軸の横弾性係数の値は熱処理法の影響がわずかにあらわれている外は軸径、化学成分、物理的性質、製鋼者、製鋼法に沿んど影響されないことが判明した。

(4) 超音波法に基づく上記すべての計測値は端の比重を $7.85 \pm 0.25\%$ と假定している。

論 文

I) Measurement of Modulus of Rigidity by Ultrasonic Means and its Application to Propeller-Shaft Torque Measurements
J. Morrison and G. Bradfield
B.S.R.A Report No. 523

II) Further Measurements of Modulus of Rigidity of ship's Propeller Shafting by Ultrasonic means
J. Harrison and K.G. Dogle
B.S.R.A Report No. 516

3.2 超音波計測装置の性能試験方案

まえがき

この方案は大径中間軸の横弾性係数を測定するために使用する Electric Consultant Ltd. (イギリス) 製の超音波計測装置の受入検査時の性能試験を適用する。

3.2.1 機器構成

下記の構成になつてゐることを点検確認する。

- (1) Tektronix Oscilloscope, type 517 (以下 T.O. と略記)
- (2) Timing Comb and Delay Unit (以下 T.C. と略記)
- (3) High Power Pulse Generator (以下 P.G. と略記)

3.2.2 外観検査

外部および内部の塗装状況、部品の取付具合などを目視により観察し、その異常の有無を確認する。

3.2.3 対法検査

仕様書どおりであるかどうかを測定する。

- (1) T.O. manual による
- (2) T.C. $127.0 \times 203.2 \times 381.0$ (mm)
- (3) P.G. $133.4 \times 209.6 \times 387.4$ タ
 (高さ) (巾) (長さ)

5.2.4 性能検査

各機器について下記項目の性能および機能を点検する。

- (1) T.O. manual による。

- (2) T.C.

- (a) Out put (出力)

- (i) Synchronising Waveform (P.G. トリガー用)

Amplitude (振幅) : 5 V (P-P) 正方向パルス

Frequency (繰返し周波数) : 500 Hz (2 msec 間隔)

Rise times (立ち上り) : 0.1 ~ 0.15 μ sec

Duration (立下り) : 0.25 μ sec (振幅の半分まで)

- (ii) Trigger Waveform (T.O. トリガー用)

Amplitude (振幅) : 7 V (P-P) 正方向パルス

Frequency (繰返し周波数) : 1 kHz (1 msec 間隔)

Rise times (立ち上り) : 0.1 ~ 0.15 μ sec

Duration (立下り) : 0.2 μ sec (振幅の半分まで)

Delay time (遅延時間) : 10 ~ 1.010 μ sec

- (iii) Timing Comb

Amplitude (振幅) : 3.5 mV (P-P) 正方向パルス

(8.8 mV づつ 4 段階)

Timing : 1 μ sec, 10 μ sec, 100 μ sec, 1 msec

(1 MHz 水晶発振器が基準、±0.1%)

Rise times (立ち上り) : 0.1 μ sec 以下

Duration (立下り) : 約 0.15 μ sec

- (IV) Pulse (iii)は Pulse (i)より約 1.7 μ sec 遅れている。

(1 msec のとき)

- (V) Pulse (ii) は Pulse (iii)と大体一致している。

(1 msec のとき)

- (VI) Pulse (iii)は増幅後の受信パルスに重畠される。

- (B) Input (入力)

- (i) Gain (利得、可変) : 0 ~ 25 倍

増幅する前の受信パルス 1.0 mV の Oscilloscope 上の振幅と Gain 最大 (25 倍) で増幅した後のパルスを Oscilloscope の VOLT/DIV control で 1/25 にしたときの振幅と同じになることを確認する。

- (ii) Main Supply (電源) : 200 ~ 250 V, 40 ~ 60 Hz 5 W (電源電圧調整器不要)

スライダックにより 200 ~ 250 V 電圧を変動させ各機器の出力および Oscilloscope 上の

変動のないことを点検する。

(iii) Fuse : 500 mA

500 mA の fuse が入っていることを点検する。

(3) P.G.

下記項目を Oscilloscope で点検する。

(a) Out put

Amplitude(振幅) : 100 V (P-P) (1.5 kΩ負荷)

Frequency(繰返し周波数) : 最大 500 Hz

Rise time(立上り) : 0.1 μsec 以下

Duration(立下り) : 0.5 μsec (振幅の半分まで)

(b) Main Supply : 230 V ± 5%、40~60 Hz、60 W

スライダツクで 230 V ± 5% に変動させて、その出力の変動を点検する。

(c) Warm-up Time : サーモスイッチで最小 4.5 sec

電源スイッチを入れてから、サーモスイッチが働くまでの時間を計測して点検する。

3.2.5 総合性能試験

manual に定められたように機器を接続し、総合性能としての各機器の機能、性能を点検する。

15.0 mm φ × 15.0 mm の軟鋼試料について音速を測定し、他の方法で測定した値と比較しその精度を点検する。

または試料としてすでに音速がわかっているものについて、この測定装置で測定し、その値を比較しその精度を点検する。

3.3 超音波計測方法の予備実験結果

3.3.1 試験材

SK材丸鋼 14.6 mm φ

3.3.2 測定機器

(1) 超音波探傷器 : 東京計器 UM-721

(2) シンクロスコープ : 岩崎通信 SS-5302

(3) 信号発生器 : 日立電波 MSG-232

3.3.3 治具

(1) アダプター : 英国仕様により製作 SS材およびSB材 各1個

(2) 押え金具 : アダプターを試験材に加圧密着させるための押え金具、自重 7.65 Kg

(3) くさび : アクリル材; 屈折角 4.5°

3.3.4 測定方法

1) アダプターにてカット水晶 (1 MHz, $\frac{1}{2}'' \times 1''$) をサロールで接着し、押え金具を介して万能試験機により試験材に加圧密着した。

測定回路のプロック・ダイヤグラムは第1図に示すとおり、超音波探傷器の受信出力(両振れ波形)をシンクロスコープの第1チャンネルに接続し、時間軸を正確に測定するため信号発生器からの 100 kHz の信号電圧をシンクロスコープの第2チャンネルに接続した。

丸鋼の内接正方形の経路を通つて受信された第1チャンネルのエコーの立上り位置を第2チャンネルの波

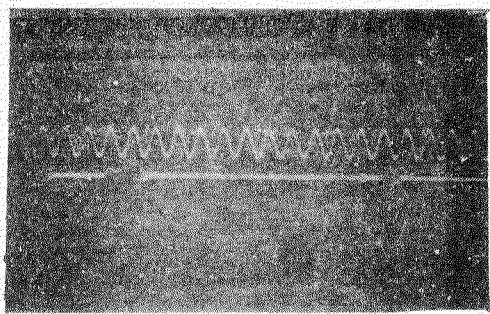


写真 1 荷重 7.6.5Kg
圧力 0.2.2Kg/cm²

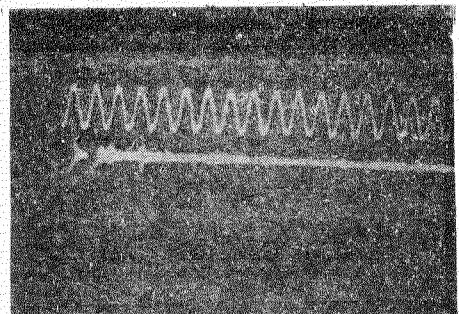


写真 4 荷重 1.5.0.7.6.5Kg
圧力 4.4.3Kg/cm²

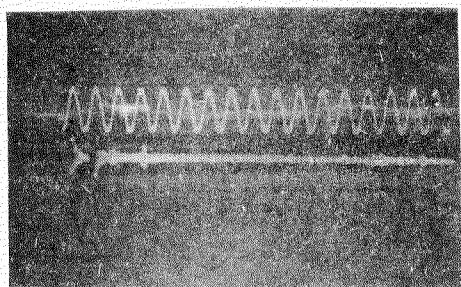


写真 2 荷重 5.0.7.6.5Kg
圧力 14.9Kg/cm²

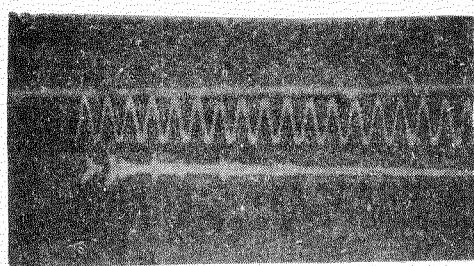


写真 5 荷重 2.0.0.7.6.5Kg
圧力 5.9.1Kg/cm²

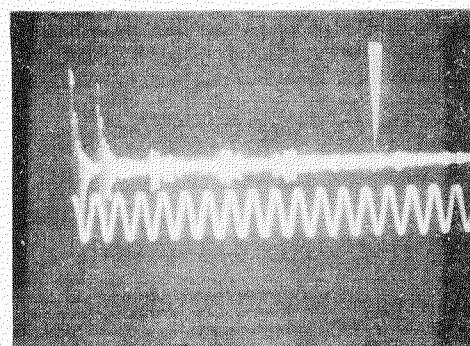


写真 3 荷重 1.0.0.7.6.5Kg
圧力 2.9.8Kg/cm²

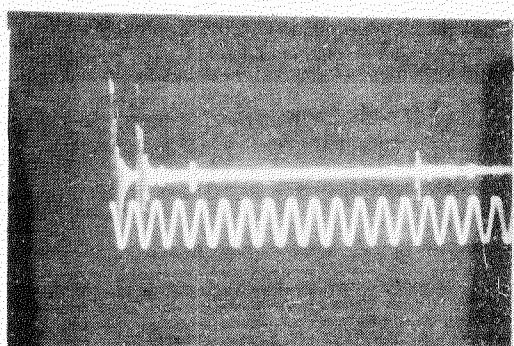


写真 6 アクリルクサビを用いて
横波変換した場合

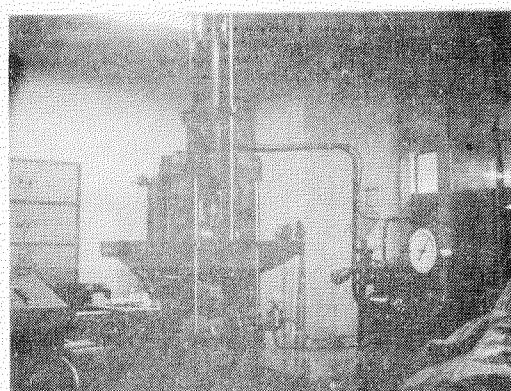


写真 7 万能試験機により加圧して
いる状況

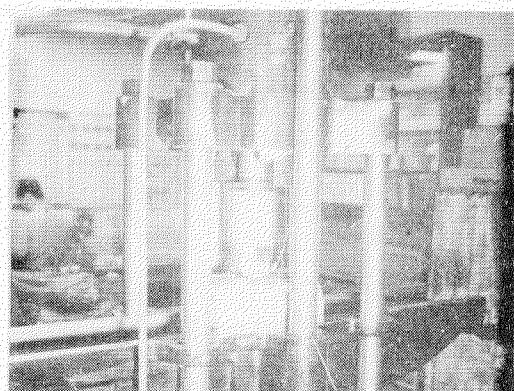


写真 8 加圧状況の詳細。写真の中央
は押さえ金具。その下部が丸銅

1) アダプターと試験体を密着させるための圧力と受信エコー高さとの関係

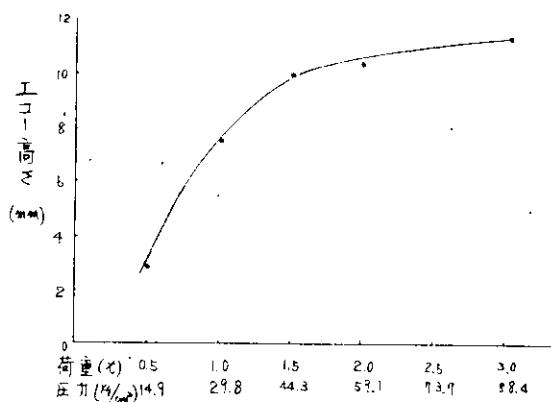


図 3.3.5 圧力とエコー高さ

2) 丸鋼中の横波音速の計測

シンクロスコープの波形の立上り位置を目盛波形 (100 kHz) で読みとると図 3.3.6 のとおりである。

したがつて丸鋼の内接正方形の全周を経由している間は
 $13.55 - 1.1 = 12.45$ 波長である。

100 kHz の 1 波長の時間は $10 \mu\text{sec}$ であるから内接正方形を通過する時間は $12.45 \mu\text{sec}$ である。

内接正方形の全周長は

$$\frac{14.6\text{ mm}}{2} \times \sqrt{2} \times 4 = 40.88\text{ mm}$$

したがつて音速は $\frac{40.88\text{ mm}}{12.45 \mu\text{sec}} = 3283\text{ m/sec}$

3) 丸鋼の横弾性係数の計算

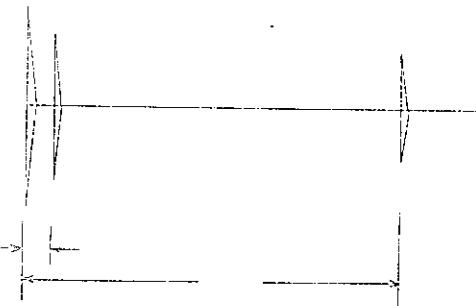


図 3.3.6 目盛波の読み取り

$$G = v^2 \cdot \rho$$

$$v = 3283\text{ m/sec} \quad \dots \quad (v^2 = 10,778,089\text{ m/sec}^2)$$

$\rho = 7.858/\text{cm}^3$ と仮定すれば

$$G = \frac{10,778,089 \times 7.85}{9.8} \times 10^{-1} \text{ Kg/cm}^2 = 8.63 \times 10^5 \text{ Kg/cm}^2$$

4) アクリルのくさびを用いた場合

通常の垂直探触子とくさびを用い、縦波から横波に変換して屈折角 45° で試験材に入れた場合は写真 6 に示すとおりで、くさび内の伝搬時間が異なるだけで、丸鋼内の伝搬時間は、ほとんど同一に計測された。この場合はアダプターのように圧力をかける必要はないが、エコーの形状はくさび内の雑音エコーの影響のためか尖鋭ではない。

3.3.6 考 察

- (1) 鋼製アダプターを用いて丸鋼中の横波音速を計測できることが確認された。
- (2) アダプターと試験体を密着させるために、圧力をかなりかける必要がある。
- (3) アダプターに Y カット水晶振動子をサロールで接着するには熟練を必要とする。
- (4) 測定精度を上げるには時間軸目盛の精度がよくなければならない。

(5) アダプターの材質は S S 材と S B 材との有意差は認められなかつた。ただし超音波の減衰の大きさない材料を選定する必要はある。

(6) くさびを用いて横波変換する方法はアダプターの場合のように圧力をかけなくてもよいので簡単であるが、エコーの形状が鑄製アダプターの場合より尖鋭ではない。ただし立上り位置を読みとれば実用上計測が可能であり、波形を改良できる可能性はある。

3.4 軟鋼の密度とその他性状の調査

実用金属材料の特性値は必要に応じて夫々の研究者が測定しており、公表されているものも少くないが、類似の材料であつても、測定者、測定法によって大巾に相異し、いづれをもって標準値とすべきかについては判断し難い状態にある。

特に弾性係数は材料の基本的特性値であるため、日本機械学会においても昭和43年より2ヶ年計画で弾性係数に関する資料調査分科会を設置し、内外の資料を収集、整理したが、1～2の例を除いては測定法による弾性係数の相異あるいは材料別の弾性係数の標準値を決定するまでには至らず、弾性係数に対する温度、組織、熱処理、加工などの影響について的一般的な傾向を明らかにするにとどまつた。

本委員会において調査した結果も上記の結果を裏書きすることなく、一般的な傾向を知り得たのみである。したがつて今後委員会自体で多数の中間軸材について実測する必要性のあることが確認されたが、本報では調査の結果得られた一般的傾向のみを報告するにとどめた。なお中間軸の場合、およそ 0.20～0.25% の単純炭素鋼を鍛造したものを焼純又は焼準状態で使用されるので、組織・加工等の影響は考慮する必要がなく、合金成分——主として炭素量の影響について注目すれば足るものと考えられる。

3.4.1 密度について

中間軸に使用されるとき鍛鋼の密度は一般的に 7.8 が採用されているが、炭素含有量によって図 3.4.1 のごとく変化する。

Morrison 等が多数の中間軸について実測した結果では、¹⁾ 7.85 ± 0.25% の範囲にある事が示されているが、この範囲を図 3.4.1 中に示すと極軟鋼から高炭素鋼のすべてを網羅することになる。実際の中間軸の合成成分の変動は大きくないものであることからして、この実測値の範囲は多分に広すぎよう。又密度は温度によつて変化するが、0.23% の炭素鋼の密度を 7.859 として、温度の影響を試算すると図 3.4.2 のごとくなり、同様に 7.85 ± 0.25% の範囲ではおよそ -20°C より 120°C までの密度を示すこととなる。

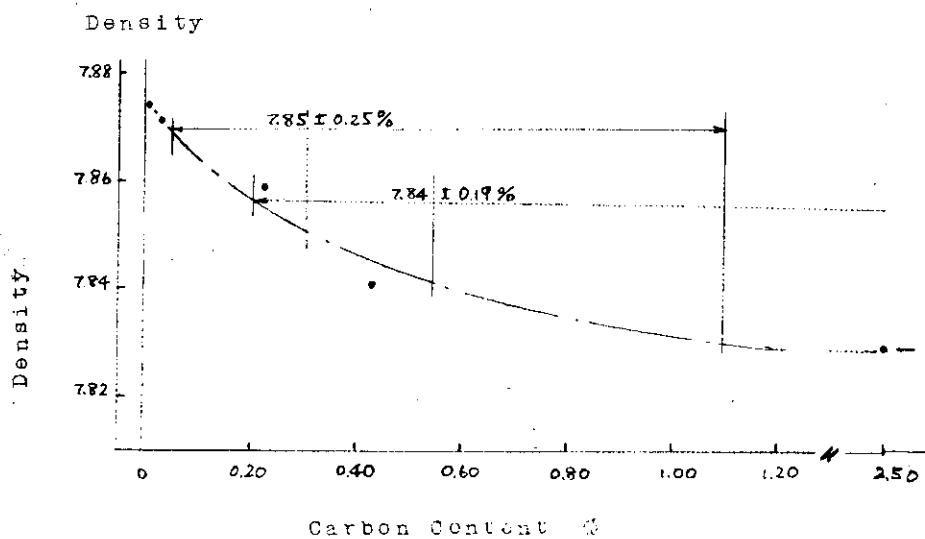
3.4.2 弾性係数について

同一材料について温度の影響を試験した報告はかなり見出すことができる。図 3.4.3 にこの一例を示したが、いづれも温度の上昇と共に継弾性率、剛性率とも暫減する傾向を示す。

上記温度の影響についての試験結果とは逆に合成成分の影響を系統的に試験した結果は殆んど見当らないが、²⁾ 表 3.4.1～3 に共振法による測定値が示されており、これより図 3.4.4 に炭素量による変化を図示した。この結果から合金元素の弾性係数におよぼす影響は比較的小さいといえる。

1) J. Morrison, A.M.I Mech.E.; Recent Developments in the Measurement of Propeller Shaft Torque Thrust.

2) E.H.F Date; Elastic Properties of Steels, J of the Iron and Steel Institute. 207(1969) Page 988～991

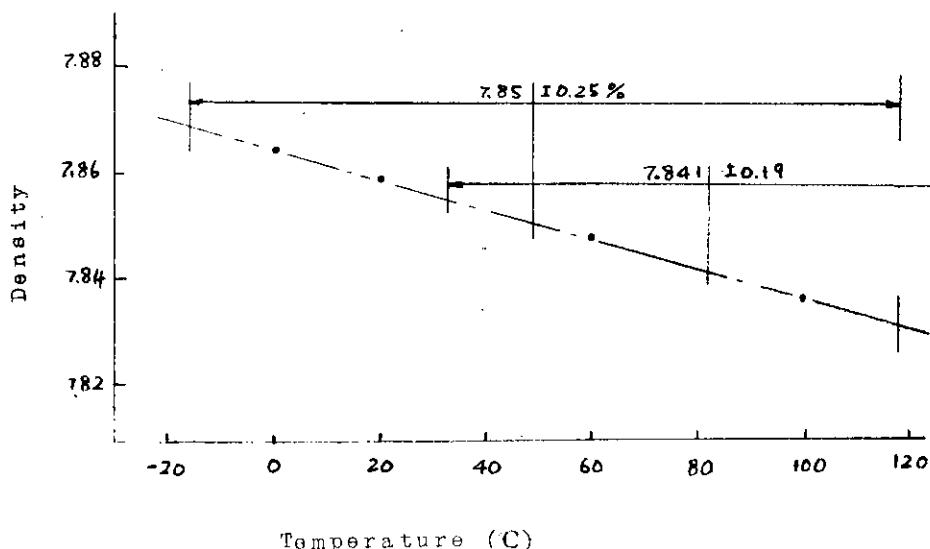


Electrolytic Iron (Annealed)	7.874 g/cm^3
0.06% C-Steel	7.871
0.23% C-Steel	7.859
0.435% C-Steel	7.844
Gray Iron	7.830~7.835

Metals Hand Book (1948) National Physical Laboratory.

The Physical Properties of a Series of Steel. Part II, Iron and Steel Institute, advance copy. (1946)

図 3.4.1 Density of Steel (20°C)



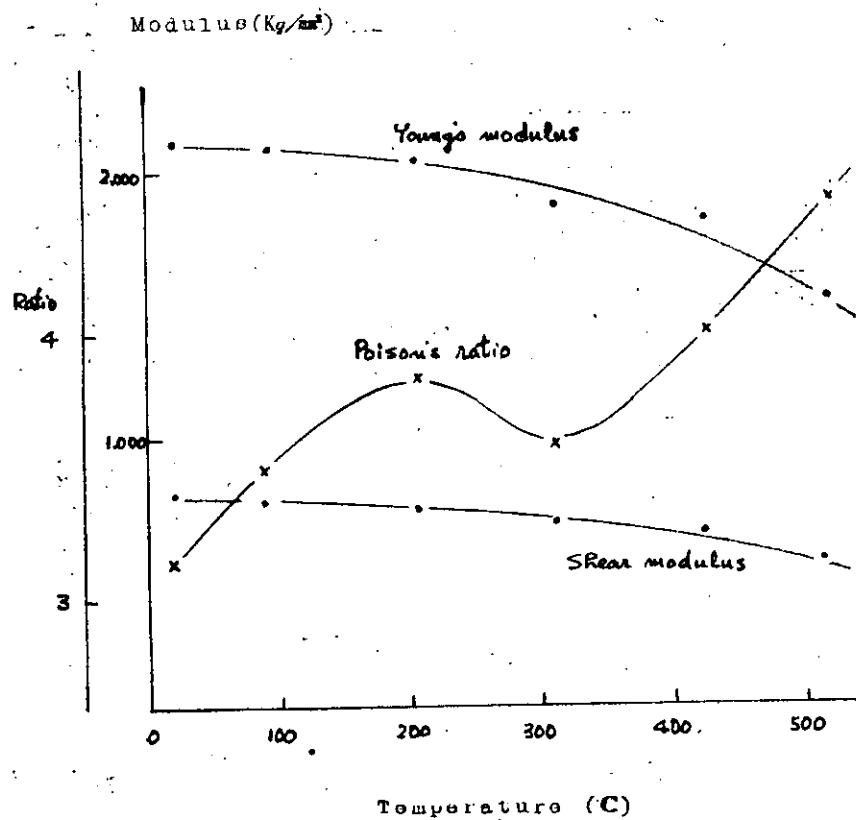
$$1/\rho = 1/M + V_0 (1 + 3\alpha T)$$

Coefficient of Linear Expansion α

0°C	20°C	60°C	100°C
11.5	11.7	12.2	12.7

図 3.4.2

Test Procedure: Bending & Torsion
 Material : 1020(0.15~0.25% C)
 Hot Rolling Bar



F. L. Everett, J. Miklowitz:
 Poisson's Ratio at High Temperature
 J. of Applied Physics 15(1944) 592~598

図 3.4.3

Test Procedure: resonance

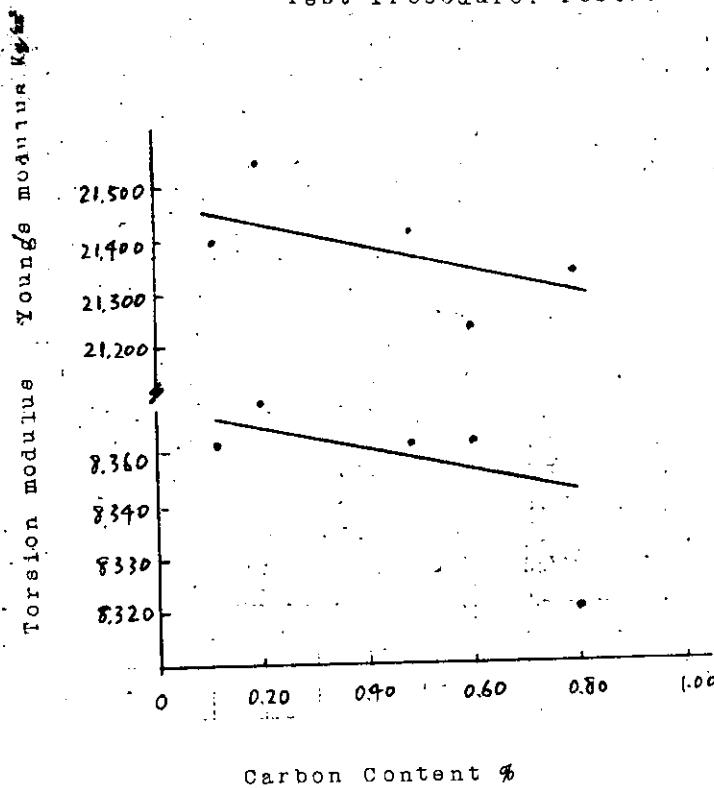


図 3.4.4

990 Date Elastic Properties of Steels

表3—4—1 Composition and heat treatment

Steel no	Type	Composition						Heat treatment		
		C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Mo	
1	Carbon	0.12	0.47	0.16						920°C AC
2	Carbon	0.20	0.41	0.24						900°C AC
3	Carbon	0.48	0.60	0.24						850°C AC
4	Carbon	0.60	0.59	0.24						820°C AC
5	Carbon	0.79	0.63	0.33						800°C AC
6	Alloy	0.55	0.86	0.29	0.029	0.020	0.30	0.82		850°C OO T 470°C
7	Alloy	0.53	0.63	0.14	0.016	0.012	1.54	0.63	0.22	820°C OO 600°C OO
8	Alloy	0.38	0.81	0.24	0.024	0.031	0.31	1.05	0.18	860°C OO 550°C OO
9	Alloy	0.41	0.65	0.35	0.014	0.016	1.42	1.15	0.04	840°C OO 630°C OO
10	Alloy	0.99	0.48	0.26	0.021	0.018	0.12	1.47		850°C AC T 650°C
11	2%Cr	0.12	0.46	0.24	0.017	0.014	0.18	2.12	0.96	N 940°C T 680°C
12	5%Cr	0.10	0.45	0.26	0.025	0.016	0.13	4.66	0.56	740°C FC
13	8%Cr	0.11	0.59	0.23	0.022	0.018	0.34	8.64	0.95	930°C AC T 700°C
14	12%Cr	0.13	1.39	0.31	..	..	1.58	12.25	1.33	1050°C AC 550°C AC
15	12%Cr	0.19	0.54	0.45	0.016	0.017	0.49	11.77	0.96	1050°C AC 760°C AC
16	12%Cr	0.10	0.51	0.24	0.024	0.023	0.32	12.38		970°C OO 750°C OO
17	Austenitic	0.05	1.48	0.53	..	..	9.97	18.56		1050°C WO
18	Austenitic	0.06	1.58	0.45	0.019	0.023	9.80	18.02		1050°C WO
19	Austenitic	0.05	1.55	0.59	..	..	9.52	18.27		1050°C WO
20	Austenitic	0.06	1.62	0.34	..	..	11.97	17.68		1050°C WO

表3—4—2 Measured elastic moduli

Steel no	Young's modulus, tons/in ²						Torsion modulus, tons/in ³							
	20°C	100	200	300	400	500	600	20°C	100	200	300	400	500	600
1	13590	13240	12800	12290	11780	11170	10440	5310	5150	4950	4750	4530	4270	3990
2	13680	13340	12870	12370	11840	11190	..	5320	5180	4980	4770	4540	4280	..
3	13600	13270	12870	12390	11860	11210	..	5310	5180	4990	4800	4580	4320	..
4	13480	13190	12820	12350	11820	11200	..	5310	5190	5020	4830	4610	4360	..
5	13550	13260	12910	12420	11880	..	..	5270	5160	4990	4790	4570	4350	..
6	13470	13170	12760	..	..	..	..	5240	5110	4920	..	..	..	..
7	13410	13150	12720	12230	11690	11060	..	5230	5100	4910	4710	4490	4230	..
8	13610	13280	12860	12370	11800	11110	..	5300	5150	4960	4760	4530	4250	..
9	13570	13250	12850	12340	11790	..	..	5300	5160	4960	4770	4540	..	..
10	13780	13470	13060	12620	12090	11510	..	5380	5240	5070	4870	4660	4410	..
11	13750	13430	13020	12550	11990	11320	10560	5360	5220	5040	4850	4610	4330	4020
12	13800	13470	13040	12580	12010	11370	10530	5390	5250	5070	4860	4640	4370	4030
13	13990	13650	13210	12750	12150	11430	10510	5460	5310	5130	4910	4680	4370	4010
14	13590	13240	12780	12240	11600	..	..	5270	5110	4910	4680	4420	..	..
15	14130	13800	13320	12820	12220	11510	..	5510	5370	5170	4940	4690	4390	..
16	14110	13800	13330	12850	12220	..	..	5490	5340	5150	4910	4660	..	..
17	12910	12410	11810	11210	10630	10080	9540	5000	4800	4550	4330	4060	3830	3620
18	12910	12430	11850	11270	10710	10160	9590	4970	4770	4530	4290	4050	3820	3600
19	12900	12420	11830	11260	10680	10140	9570	4990	4790	4550	4300	4070	3840	3600
20	13090	12580	11960	11350	10750	10200	9660	5070	4860	4600	4350	4100	3860	3630

表3—4—3 Calculated elastic moduli

Steel no	Poisson's ratio 20°C							Bulk modulus, tons/in. ² at 20°C
		100	200	300	400	500	600	
1	0.281	0.285	0.292	0.295	0.301	0.307	0.310	10400
2	0.285	0.287	0.293	0.296	0.303	0.308	..	10600
3	0.279	0.280	0.290	0.292	0.295	0.298	..	10300
4	0.270	0.270	0.276	0.277	0.281	0.284	..	9700
5	0.285	0.285	0.294	0.295	0.299	..	..	10500
6	0.285	0.289	0.297	..	..	..	..	10400
7	0.282	0.290	0.296	0.297	0.302	0.301	..	10300
8	0.285	0.289	0.296	0.299	0.304	0.308	..	10600
9	0.281	0.284	0.294	0.294	0.298	..	..	10300
10	0.281	0.285	0.288	0.296	0.298	0.306	..	10500
11	0.283	0.286	0.293	0.295	0.301	0.306	0.312	10500
12	0.280	0.282	0.286	0.294	0.294	0.301	0.307	10400
13	0.282	0.285	0.287	0.297	0.299	0.308	0.309	10700
14	0.290	0.295	0.301	0.308	0.312	..	..	10800
15	0.281	0.286	0.289	0.298	0.304	0.311	..	10800
16	0.286	0.291	0.294	0.307	0.312	..	..	11000
17	0.291	0.294	0.299	0.304	0.309	0.317	0.318	10300
18	0.298	0.302	0.308	0.315	0.321	0.329	0.332	10600
19	0.293	0.296	0.301	0.309	0.312	0.321	0.328	10400
20	0.291	0.296	0.301	0.306	0.311	0.320	0.330	10400
								Mean 10500

Journal of The Iron and Steel Institute July 1969