

## 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47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46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。

## 第 1 1 7 研 究 部 会 委 員 名 簿

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)
	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 毅 (大阪造船所)	小 町 太 一 (東京計器)
	坂 本 隆 男 (三井造船)	笹 部 敏 次 (大阪造船三井造船)
	陣 駒 美 登 (佐世保重工業)	鈴 木 勝 利 (函館ドック)
	須 藤 彰 一 (明石船型研究所)	平 尾 悠 一 (日本鋼管)
	広 本 豊 (日立造船)	富 士 岳 (日本鋼管)
	松 田 武 久 (三菱重工業)	村 松 省 吾 (三保造船所)
	平 林 健 夫 (川崎重工業)	

# 目 次

1. ま え が き .....	1
1.1 研究目的 .....	1
1.2 作業経過 .....	1
2. 超音波計測装置による中間軸横弾性係数の計測 .....	3
2.1 超音波による横弾性係数の計測 .....	3
2.2 実験室的研究 .....	3
2.2.1 LOSS TIME .....	3
2.2.2 温度係数 .....	8
2.2.3 アクリライトチューの音速 .....	9
2.3 密度および炭素含有量の計測 .....	9
2.3.1 密度および炭素含有量の計測方法 .....	11
2.3.2 密度および炭素含有量の計測結果 .....	11
3. 計測値の統計的解析および従来の方法による計測値との比較 .....	13
3.1 横弾性係数計測値の平均値、ばらつきおよびヒストグラム .....	13
3.2 横弾性係数と諸関連要素の関係 .....	15
3.3 密度の平均値ならびに炭素含有量の関係 .....	15
3.3.1 密度の平均値 .....	15
3.3.2 密度と炭素含有量の関係 .....	18
4. 中間軸横弾性係数の基準値設定の検討 .....	20
5. 実船における軸馬力計測への応用の検討 .....	21

# 1. ま え が き

## 1.1 研究の目的

昭和44年度第117研究部会報告書(研究資料No.119)にあるとおり、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年度および45年度に引続いて、今年度は昭和46年4月6日の第10回委員会から昭和47年1月24日の第14回委員会まで5回にわたつて、審議を行ない、その間に超音波計測装置による中間軸実測実験、中間軸材料の密度計測ならびに補足的な実験的研究を行なつた。

超音波計測装置による中間軸実測実験は昭和45年度に27本の中間軸について行なつたが、今年度は昭和46年3月から9月にかけて、下記のとおり16本の中間軸について行なつた。

試験年月	社名	試験番船
46年 3月	三菱重工	S No. 1673
46年 4月	同上	S No. 682
46年 5月	同上	S No. 1025
同上	三井造船	S No. 887
同上	同上	S No. 911
同上	川崎重工	S No. 1160
46年 6月	同上	S No. 1157
同上	日立造船	S No. 4302
同上	三井造船	S No. 893
46年 7月	日本鋼管	S No. 296
同上	三菱重工	S No. 919
46年 8月	住友重機械	S No. 941
同上	同上	S No. 949
46年 9月	三井造船	S No. 892
同上	同上	S No. 812
同上	石川島播磨	S No. 2218

中間輔材料の密度および炭素含有量の計測は昭和46年10月に前年度と同じ要領で三菱重工(株)長崎研究所において行なつた。

また、実験室的研究としては昭和46年10月に(株)東京計器において、温度係数の計測実験ならびに媒質中のLOSS TIMEの計測実験を行なつた。

昭和45年度および46年度における上記各種実測実験の計測記録を昭和46年11月から昭和47年1月にかけて解析し、考察を加えた結果を最終報告としてまとめた。

## 2. 超音波計測装置による中間軸横弾性係数の計測

### 2.1 超音波による横弾性係数の計測

45年度および46年度の中間軸横弾性係数の計測結果を表2.1.1および表2.1.2に示す。45年度の計測結果一覧表はすでに45年度報告書(研究資料No.134)に掲載済みであるが、46年度において温度補正係数<sup>1)</sup>、接触媒質内のLoss Time<sup>2)</sup>、密度の温度補正<sup>3)</sup>を加えて新たに計算しなおしたため本報告書に載せたものである。

45年度においては大部分の計測がX点、Y点<sup>4)</sup>の区別なしに行なわれたが便宜上計測値は平均値の欄に載せた。表2.1.1の備考欄中の※印および表2.1.2の備考欄中の※印はそれぞれソニーテクトロニクス社の好意によりSony Tektronix 453 およびSony Tektronix 453Aを借用し計測したものを示す。

- 注 1) 「2.2.2 温度係数」参照  
 2) 「2.2.1 LOSS TIME」参照  
 3) 「2.3.2 密度および炭素含有量の計測結果」参照  
 4) 「3.1 横弾性係数計測値の平均値、ばらつきおよびヒストグラム」参照

### 2.2 実験室的研究

G計測装置を使用してLoss Time、温度係数について、下記のごとく検討した。

#### 2.2.1 Loss Time

Loss Timeそのものの測定はできないので、接触媒質にサロールと油を使つたときの、エコーの到達時間を測定し、比較した。

軸温度 24℃(75F)

軸直径 150φ

サロールのとき

X点

Y点

ABCDEB時間 = 163.4 μsec

164.2 μsec

ABF " = 32.8 "

33.6 "

∴ BCDEB " = 130.6 "

130.6 "

油のとき

X点

Y点

ABCDEB時間 = 163.8 μsec

164.4 μsec

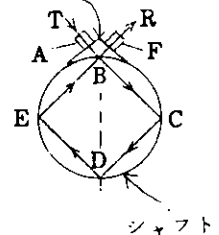
ABF " = 33.2 "

33.8 "

∴ BCDEB " = 130.6 "

130.6 "

アクリルシユー



(1) 以上のように、BCDEB時間はサロールを使つたときも油のときも、等しくなつた。

(2) ABF時間の考察

上記データのように、32.8 μsec(サロール) < 33.2 μsec(油)となつている。アクリライトシユーと油の音響インピーダンスの差にくらべて、油とシャフト(鋼)との音響インピーダンスの差のほうが大きいので、ABFエコーのB点の反射点は鋼(シャフト)の表面と考へたほうが妥当である。また、鉄シユー・サロールの場合は、鉄シユー、サロール、シャフトの音響インピーダンスはほぼ等しいし、鉄シユーとサロールに音響インピーダンスの差があるので、B点は鉄シユーとサロールの境界面と考へられる。

(3) 結 論

○アクリライト・シユーを使用する場合は Loss Time = 0 μsec

○鉄シユー " " Loss Time = 0.2 μsec

(E.S.R.レポートのデータによる)

表 2.1.1 45年度計測結果

No.	横弾性係数 ( $\times 10^5 \text{kg/cm}^2$ )			鍛造比		中間軸径 (平均値) (mm)	中間軸長 (mm)	継手ボルト本数 $\times$ 径 (mm)	炭素 含有率 (%)	軸表面 温度 (平均値) ( $^{\circ}\text{F}$ )	室温 (平均値) ( $^{\circ}\text{F}$ )	軸 メーカー
	X点	Y点	平均	軸部	フランジ部							
1			8.367	5.7	箱 1.6 艀 1.4	592.23	7797.	16 $\times$ 105	0.35	84.2		A
2			8.347	5.9	箱 2.1 艀 1.6	516.23	7215.	箱 10 $\times$ 107 艀 10 $\times$ 100	0.29	79.7		A
3			8.397	5.7		612.	77028	14 $\times$ 105	0.22	77.2		B
4			8.380	8.0		694.97	86053	16 $\times$ 120	0.19	75.7		B
5			8.309	5.2		444.90	6065.	8 $\times$ 90	0.23	70.7		C
6			8.357	6.7		455.15	8700.	10 $\times$ 90	0.25	70.3		C
7			8.365	6.7		455.15	8650.	9 $\times$ 95	0.24	70.3		C
8			8.434	7.8		715.	9150.	16 $\times$ 120	0.20	66.2		B
9			8.309	5.8		630.2	9560.	12 $\times$ 120	0.25	61.7		D
10			8.379	5.6		530.	7412.	12 $\times$ 90	0.26	60.8		D
11			8.385	10.0		510.	7952.99	12 $\times$ 98	0.22	60.8		B
12			8.381	12.6		645.	8917.31	12 $\times$ 116	0.23	83.89		D
13			8.378	9.7		660.	10406.88	12 $\times$ 115	0.24	57.2		D
14			8.365	7.69		631.46	7794.98	16 $\times$ 105	0.21	50.0		E
15			8.319	不明		630.	6425.	12 $\times$ 100	0.22	59.9		F
16			8.372	5.52		645.03	7510.	12 $\times$ 100	0.24	50.0		C
17			8.387	7.0		515.13	7075.	12 $\times$ 95	0.24	44.6		C
18			8.363	8.9		640.	8843.	16 $\times$ 105	0.23	46.4		F
19			8.296	6.7		312.07	6450.	8 $\times$ 70	0.22	58.1		G
20			8.306	6.5		312.00	5495.	8 $\times$ 70	0.21	59.0		G
21			8.276	6.7		312.07	6450.	8 $\times$ 70	0.23	59.0		G
22			8.286	6.5		312.01	5495.	8 $\times$ 70	0.23	58.1		G
23			8.414	8.0	2.1	605.06	13300.	14 $\times$ 110 (テーパボルト)	0.22	46.4		B
24			8.413	8.0	2.1	605.02	13300.	14 $\times$ 110 (テーパボルト)	0.22	46.4		B
25	8.362 8.360	8.340 8.339	8.351 8.350	5.5	2.0	530.48	6600.	12 $\times$ 98	0.28	48.2 47.3		A
26			8.327	14.0	1.7	200.13	4765.	6 $\times$ 42	0.25	46.4		A
27	8.365 8.359	8.346 8.341	8.356 8.350	5.2	1.6	635.10	7315.	16 $\times$ 105	0.25	54.5 47.8		A

使用媒質	アダプタ 材 質	計 測 年月日	計 測 場 所	軸材質	入力電圧 (V)		温度計測方法		備 考 (従来方 法による 実測値)
					Timing Unit	Oscillo- SCOPE	軸表面温度	室温	
マシン油	アクリル	45. 9. 3	工 場	S F 5 5	220	220	HP-4F(安立計器)		
マシン油	アクリル	45. 9. 3	船 内	S F 4 5	220	220	HP-4F(安立計器)		
マシン油	アクリル	45. 9.17	工 場	ABS規格 Grade2	250	100	棒状温度計		(8360)
マシン油	アクリル	45. 9.18	工 場	S F 4 5	250	100	棒状温度計		(8320)
マシン油	アクリル	45.10.13	船 内	ABS規格 Grade2	220	100	棒状温度計		*
マシン油	アクリル	45.10.14	船 内	S F 5 0 ( L R )	220	100	棒状温度計		*
マシン油	アクリル	45.10.14	船 内	S F 5 0 ( L R )	220	100	棒状温度計		*
マシン油	アクリル	45.10.19	工 場	S F 4 5	230	100	棒状温度計		*
マシン油	アクリル	45.10.27	船 内	S F 4 5	230	115	H - P(西野産業)		*
マシン油	アクリル	45.11. 7	工 場	S F 4 5 ( N K )	220	100	HP-4F(安立計器)		*
マシン油	アクリル	45.11. 7	工 場	S F 4 6 ( N K )	220	110	HP-4F(安立計器)		*
マシン油	アクリル	45.11.10	船 内	S F 4 5 ( N V )	220	120	HP-4F(安立計器)		*(8390)
マシン油	アクリル	45.11.11	工 場 (屋外)	S F 4 5 ( N V )	230	110	HP-4F(安立計器)		*(8470)
マシン油	アクリル	45.11.25	工 場	S F 4 5 ( L R )	220	115	棒状温度計		*(8478)
マシン油	アクリル	45.11.28	船 内	S F 4 5	200	200	棒状温度計		
マシン油	アクリル	45.12. 7	船 内	LR規格	220	100	棒状温度計		
マシン油	アクリル	45.12. 7	工 場 (屋外)	S F 4 5	220	100	棒状温度計		
マシン油	アクリル	45.12.15	工 場	S F 4 5	200	200	HP-4F(安立計器)		
マシン油	アクリル	45.12.24	船 内	S F 4 5	200	200	棒状温度計		
マシン油	アクリル	45.12.24	船 内	S F 4 5	200	200	棒状温度計		
マシン油	アクリル	45.12.24	船 内	S F 4 5	200	200	棒状温度計		
マシン油 No. 60	アクリル	46. 1. 9	工 場	S F 4 5	220	220	HP-3FB(安立計器)		
マシン油 No. 60	アクリル	46. 1. 9	工 場	S F 4 5	220	220	HP-3FB(安立計器)		
三菱石 油 No. 120 マシン 油	アクリル	46. 1.16	工 場	S F 4 5	220	220	TT-2D(東 芝)		第1回計測 第2回計測
マシン油 Shell medina 30	アクリル	46. 1.20	工 場	S F 4 5	220	220	HTC-20S(国際電気)		
共同石 油 アウ ル No. 40	アクリル	46. 2.10	工 場	S F 4 5	220	220	表面温度計		第1回計測 第2回計測



表 2.1.2 46年度計測結果

No	横弾性係数( $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )			鍛造比		中間軸径 (平均値) (mm)	中間軸長 (mm)	継手ボルト本数  ×径(mm)	炭素 含有率 (%)	軸表面 温度 (平均値) (°F)	室温 (平均値) (°F)	軸 メー カ
	X点	Y点	平均	軸部	フランジ部							
1	8389	8370	8379	52	1.5	635.00	7315.	16×105	0.26	55.4	65.3	A
2	8405	8381	8393	45	1.6	480.05	7300.	8×80	0.25	64.4	70.7	A
3	8409	8387	8398	79	2.1	605.04	13300.	14×110	0.22	60.8	60.8	B
4	8375	8379	8377	103	2.0	500.18	7165.	10×105	0.24	60.4	66.2	E
5	8399	8406	8403	57	1.9	495.14	6958.	10×85	0.21	60.8	69.8	D
6	8367	8371	8369	75	1.7	510.22	10000.	箱 継 12×98 継 12×92	0.22	66.65	68.45	D
7	8391	8391	8391	54	1.8	650.15	8030.	箱 継 12×110 継 12×78	0.26	70.25	73.85	D
8	8412	8401	8407	75	1.9	670.42	9300.	12×130	不明	76.68	78.	D
9	8408	8411	8410	57	1.9	495.01	6748.	10×90	0.22	71.2	72.8	D
10	8341	8343	8342	74	1.7	435.15	6075.	10×80	0.34	79.0	82.0	C
11	8354	8342	8348	45	1.8	720.21	6425.	箱 継 16×100 継 12×108	0.27	79.7	78.5	A
12	8398	8385	8391	63	1.8	625.09	7785.	箱 継 12×108 継 16×105	0.23	87.44	89.5	C
13	8357	8359	8358	74	1.7	452.16	6150.	箱 継 9×80 継 8×80	0.34	79.34	82.6	C
14	8373	8379	8376	77	2.0	717.39	7770.	12×107	0.21	72.5	75.2	E
15	8370	8373	8372	94	2.0	618.29	7750.	16×90	0.23	70.7	73.4	E
16	8381	8388	8385	86	2.2	675.02	9135.3	箱 継 16×120 継 16×112	0.19	67.3	78.3	B

使用媒質	アダプタ 材 質	計 測 年月日	計測 場所	軸材質	入力電圧 (V)		温 度 計 測 方 法		備 考 (従来方法 による実測 値)
					Timing Unit	Oscillo- SCOPE	軸表面温度	室 温	
共同石油 アウルブマシン油40	アクリル	46.3.15	工場	SF45	220	220	サーミスター モデル 353	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.4.27	工場	SF45 相 当	220	220	HTC-203(国際電気)	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.5. 6	工場	SF45	220	220	HP-4F(安立計器)	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.5.10	船内	SF45	220	220	HP-9型 (理化工業 K. K.)	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.5.10	工場	SF45	220	220	HP-9型 (理化工業 K. K.)	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.5.21	工場	SF45	220	220	棒 状 温 度 計	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.6. 2	船内	ABS規格 Grade2	220	220	HP-4F(安立計器)	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.6.11	船内	SF45	220	220	不 明	不 明	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.6.16	船内	SF45	220	220	TAKARA THERMISTER SPD-30型	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.7.12	船内	SF45	210	210	棒 状 温 度 計	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.7.21	工場	SF45	220	100	HP-3FB(安立計器)	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.8.13	船内	SF45	220	100	棒 状 温 度 計	棒状温度計	※
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.8.17	船内	ABS規格 Grade2	220	100	棒 状 温 度 計	棒状温度計	※
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.9. 2	船内	SF45	220	100	棒 状 温 度 計	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.9. 9	船内	SF45	220	120	棒 状 温 度 計	棒状温度計	
三菱石油 #120マシン油	アクリル	46.9.20	船内	SF45	200	100	MR-3型 (日本文化工業研究所)	棒状温度計	

とする。

45年度本部会報告書(研究資料№134)ではLoss Time=0.2μsecとして整理したが、本報告書表2.1.1および表2.1.2ではすべてLoss Time=0として整理した。

### 2.2.2 温度係数

150φシャフト試料とアクリライトシユールと探触子をG計測時の状態で恒温槽内に入れ、温度はシャフト表面温度と恒温槽内温度がほぼ等しくなるようにして測定した。

10月4日	X点(μsec)	Y点(μsec)	音 速	G
① 8時40分	164.45	165.0	3,253.551	8.47936
シャフト温度	-33.85	-34.4	m/sec	10 <sup>5</sup> ×kg/in <sup>2</sup>
+23.5℃	130.6	130.6	0.128093	12.02546
(+74.3℉)			10 <sup>6</sup> ×in/sec	10 <sup>6</sup> ×16/in <sup>2</sup>
槽内温度				
+25.5℃				
② 10時15分	163.8	164.3	3,258.08	8.505395
+10.0℃	-33.4	-33.9	0.128289	12.06228
(+50.0℉)	130.4	130.4		
+10.0℃)				
③ 11時10分	163.3	163.8	3,261.053	8.518425
+1.5℃	-33.0	-33.5	0.128388	12.08091
(+34.7℉)	130.3	130.3		
0.0℃				
④ 13時10分	162.6	163.2	3,268.59	8.557846
-10.0℃	-32.6	-33.2	0.128695	12.13687
(+14.0℉)	130.0	130.0		
-10.0℃				
⑤ 14時10分	162.2	162.7	3,271.11	8.571047
-20.0℃	-32.3	-32.8	0.128784	12.15555
(-4.0℉)	129.9	129.9		
-20.0℃				
⑥ 15時25分	161.8	162.3	3,276.16	8.597542
-29.5℃	-32.1	-32.6	0.128983	12.19314
(-21.1℉)	129.7	129.7		
-30.0℃				
⑦ 17時05分	162.3	162.8		
-20.0℃	-32.4	-32.9		
(-4.0℉)	129.9	129.9		
-20.0℃				
⑧ 19時05分	163.2	163.7	3,263.562	8.531538
-1.5℃	-33.0	-33.6	0.1284867	12.09949
(+29.3℉)	130.2	130.2		
0.0℃				

⑤と同じ

10月5日

⑨ 9時50分	164.4	164.9		
+22.0℃	-33.8	-34.3		①と同じ
(+71.6℉)	130.6	130.6		
+23.0℃				
⑩ 11時10分	165.2	165.75	3.248568	8.453324
+34.5℃	-34.4	-34.95	0.127896	1.198495
(+94.1℉)	130.8	130.8		
+34.5℃				
⑪ 13時00分	165.5	166.1	3.246083	8.440396
+41.0℃	-34.6	-35.2	0.127799	1.197031
(+105.8℉)	130.9	130.9		
+41.0℃				

図 2.2.1 B C D E B 時間-温度より

$$\begin{aligned}
 +80.0\text{℉} & \quad 130.67 - 0.2 = 130.47 \mu\text{sec} \quad 0.128024 \times 10^6 \text{ in/sec} \\
 (+26.7\text{℃}) & \\
 -20.0\text{℉} & \quad 129.74 - 0.2 = 129.54 \quad 0.128943 \times 10^6 \text{ in/sec} \\
 (-28.9\text{℃}) &
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore \text{音速の温度係数} &= \frac{0.128024 - 0.128743}{80.0 - (-20.0)} \times 100\% / \text{℉ (at } 68\text{℉)} \\
 &= -0.00919\% / \text{℉} = 0.01288\% / \text{℃}
 \end{aligned}$$

45年度報告書では温度係数0.00726%/℉ (B.S.R. レポートによる) で計算したが、本報告書表 2.1.1 および表 2.1.2 は上記 -0.00919%/℉ を使用し計算した。

### 2.2.3 アクリライトシユ-の音速

アクリライトシユ-の品質のばらつき、あるいは温度差による音速の違いが測定データに影響を及ぼさないかということについて検討した。

アクリライトは三菱レーヨンの商標名で、化学名はメタ・クリル酸メチルエステル樹脂 (略して、メチルメタクリレート) である。米国では商標名プレキシグラス、あるいはルーサイトを使用している、国内メーカーは三菱レーヨン、住友化学、東洋レーヨンで、周波数 2.25 MHz で音速 2720 ± 40 m/sec、減衰度 3dB/cm 以下の購入仕様で使っているが、上記公差内での音速の差による斜角探触子の屈折角度は NDIS<sup>※</sup> の ± 2° には十分入っている。

仮に G 計測時にアクリライトシユ-の音速が違っているととしても、それが品質のばらつきの場合は購入先を統一することによつて、少なくできる。また G 計測時の温度差の場合は、その温度差は +50℉ ~ +90℉ (≒ +10℃ ~ 30℃) であり、その差は、探触子の振動子の幅が 20φ であり、また指向角 θ<sub>0</sub> = 9.25° があるので、探触子を移動して、A B C D E B F エコーが最大振幅になるようにして測定すれば、補正できる。

※ NDIS: 日本非破壊検査協会規格

### 2.3 密度および炭素含有量の計測

超音波計測装置により測定して得られた中間軸内を通過する音速から中間軸の横弾性係数 G を算出するとき、中間軸材料の密度が計算過程の一要素として必要であるが、46年度の研究にあつてはより精度の高い横弾性係数 G を求めるために、できるだけ音速を測定する中間軸そのものの材料の密度を計測することとし、また 45年度にならつて参考のため

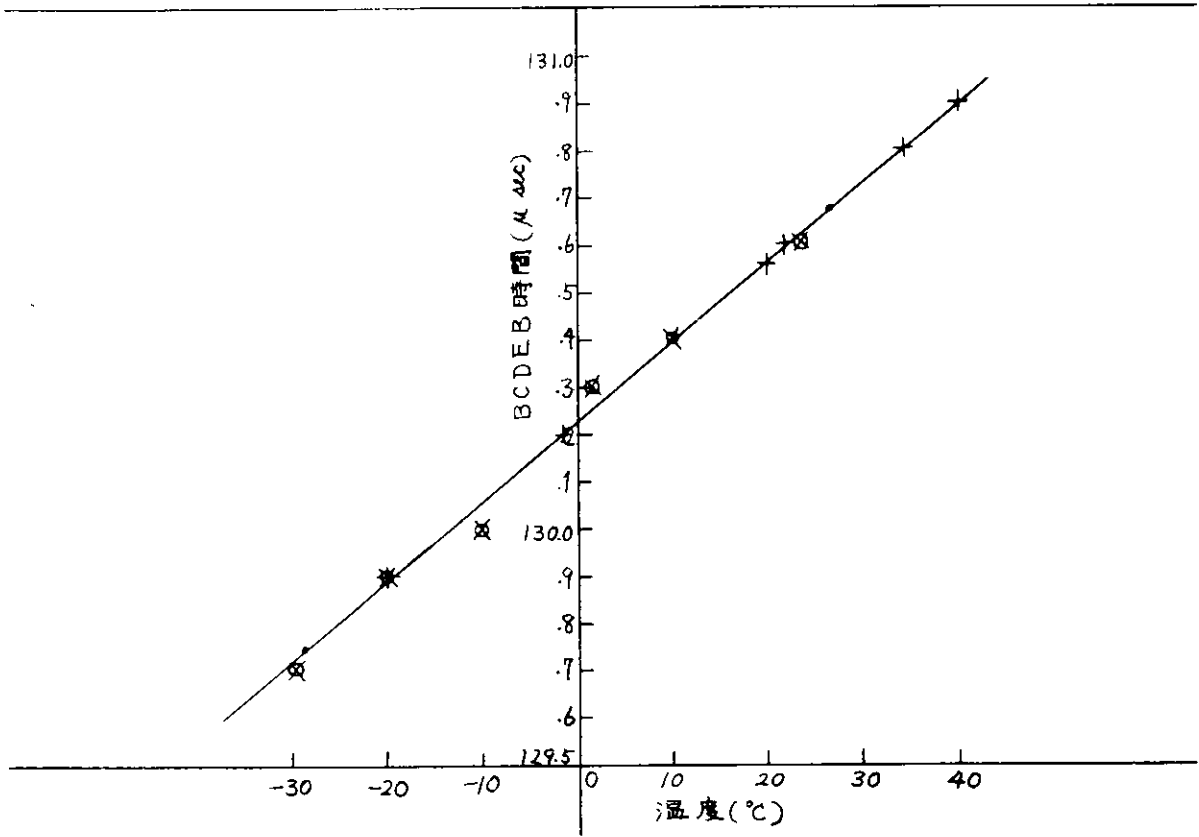


図 2.2.1 BCDEB時間-温度

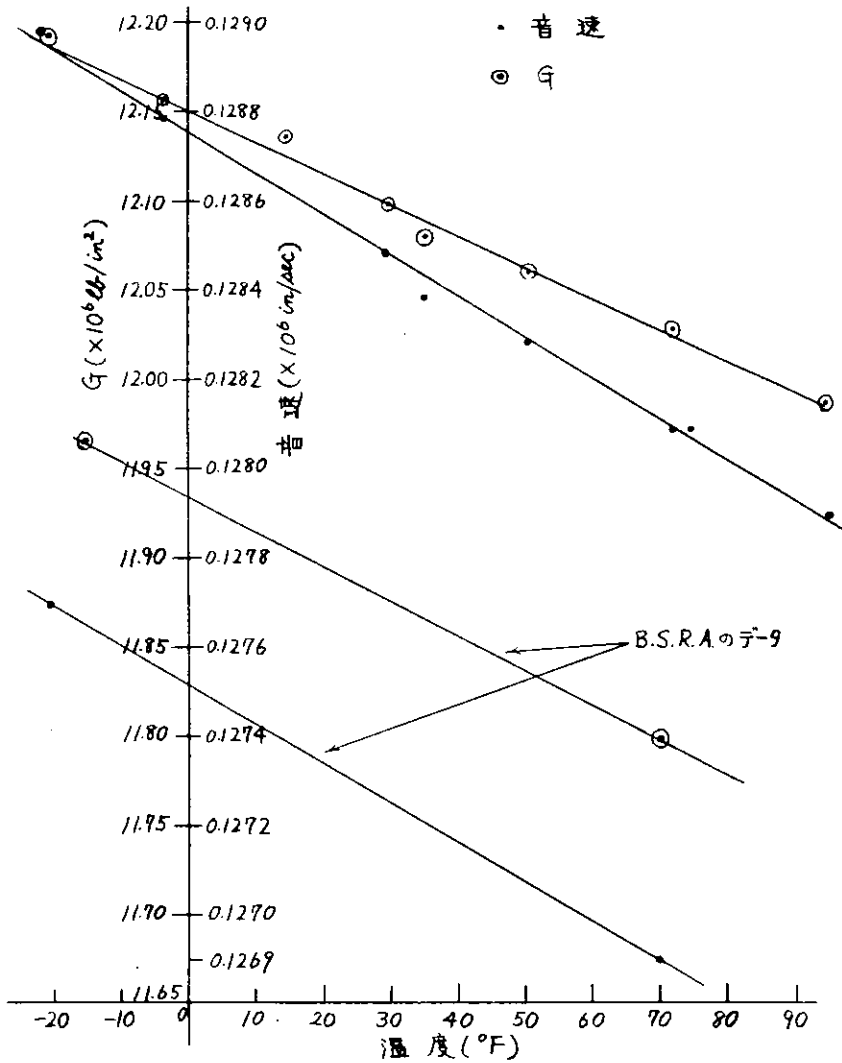


図 2.2.2 G、音速-温度

に材料の炭素含有量をも測定した。

### 2.3.1 密度および炭素含有量の計測方法

計測方法ならびに計算などはすべて45年度と同じとし、密度計測はJISZ8807-1966 4項「液中でひよう量する測定方法」および炭素含有量はJISG1211-1969 3.3項「ガス容量法」に準じて行なつた。

### 2.3.2 密度および炭素含有量の計測結果

密度および炭素含有量はそれぞれ2回計測を行ない、2回の平均値を算出した。表2.3.1に計測結果を示す。なお密度の計測結果については計測時の温度が一定していない。したがつて、密度の平均値を求めるために図2.3.1より密度に対する温度係数を算出し、さらにこの温度係数を用いて20℃における密度に換算したのでこれも併記した。

これらの計測結果では中間軸材料の密度は7.838 gr/cm<sup>3</sup>程度となつていて、前年度計測結果(7.834 gr/cm<sup>3</sup>)とやや異なる結果となつた(後記「3.3密度の平均値ならびに炭素含有量の関係」を参照)。

表 2.3.1 密度および炭素含有量計測結果

試料 番号	試料提供者	試料採取位置	計測温 度(℃)	密度 (gr/cm <sup>3</sup> )		炭素含有 量 (%)	備 考
				測定値	20℃換算値		
1	A造船所		24.2	7.835	7.837	0.22	
2	B造船所	Top	23.0	7.837	7.838	0.23	
3	"	Bottom	25.0	7.829	7.831	0.23	
4	"	Top	23.1	7.835	7.836	0.21	
5	C造船所		23.4	7.837	7.838	0.35	
6	"		23.6	7.834	7.835	0.23	
7	D造船所	Bottom 軸表面	24.1	7.844	7.845	-	
8	"	" 軸心	23.0	7.836	7.837	-	
9	"	Top 軸表面	23.0	7.839	7.840	-	
10	"	" 軸心	25.0	7.836	7.837	-	
11	E造船所	Bottom	23.0	7.837	7.838	-	
12	"	"	23.0	7.841	7.842	-	
13	"	"	23.0	7.832	7.833	-	
14	F造船所	Bottom	23.5	7.837	7.838	0.23	
15	"	"	23.0	7.837	7.838	0.25	
16	"	Top	24.5	7.844	7.845	0.23	
17	"	Bottom	23.0	7.839	7.840	0.20	
18	"	Top	24.0	7.830	7.832	0.34	
19	"	Bottom	24.0	7.841	7.842	0.22	
20	"	Top	25.0	7.838	7.840	0.20	
21	"	Bottom	23.0	7.840	7.841	0.24	
22	"	Top	24.6	7.839	7.841	0.21	
23	"	Bottom	23.5	7.831	7.832	0.20	
24	"	Top	23.0	7.832	7.833	0.20	
25	"	Bottom	23.0	7.841	7.842	0.18	
26-1	}	} Top	24.0	7.839	7.840	0.16	1個の試料 を3度の温 度で密度を 計測した。
26-2			40.0	7.833	-	-	
26-3			60.0	7.829	-	-	
平均	-	-	-	-	7.838	0.23	

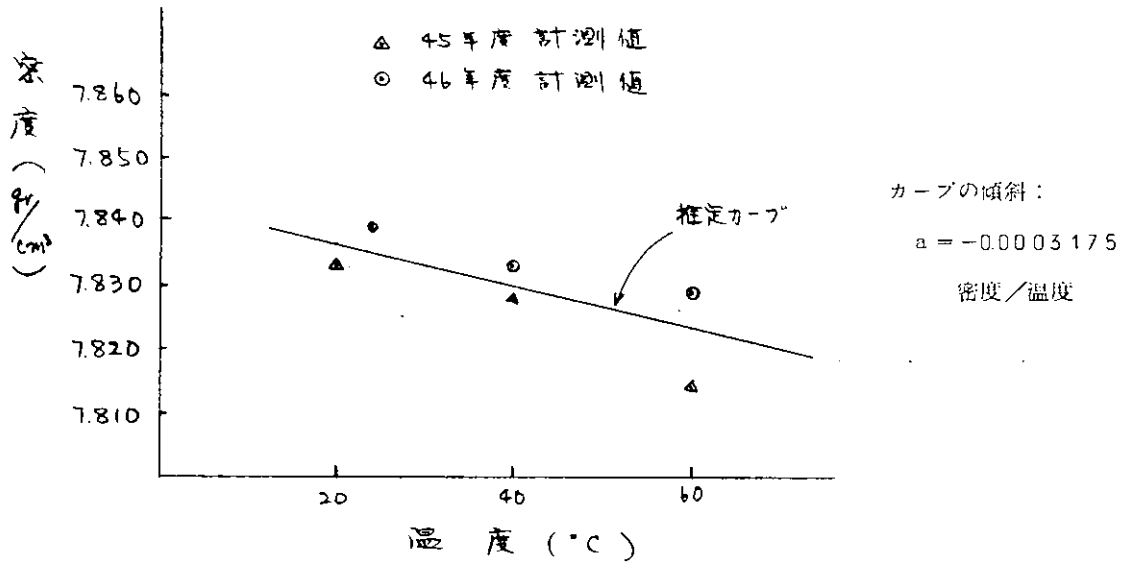


図 2. 3. 1 密度と温度の関係

### 3. 計測値の統計的解析および従来の方法による計測値との比較

#### 3.1 横弾性係数計測値の平均値、ばらつきおよびヒストグラム

表 3.1.1 は 2.1 に示す昭和 45 年度および 46 年度の超音波法による計測値ならびに昭和 44 年度報告書（研究資料 6 119）に示される従来の方法による計測値をもとに、平均値およびばらつきを求めたものである。

なお、ばらつきの程度をあらわすものとしては、次に示される標準偏差によることとした。

$$s = \sqrt{\frac{S}{n}} \quad S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

s : 標準偏差    S : 偏差平方和     $\bar{x}$  : 平均値     $x_i$  : 計測値    n : 個数

表 3.1.1

計測法	平均値 $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$	標準偏差 $\times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
超音波法		
昭和 45 年度	8.356	0.0400
" 46 "	8.381	0.0195
両年度合計	8.365	0.0359
従来方式	8.383	0.0918

図 3.1.1 は超音波法による横弾性係数計測値のヒストグラムを示し、図 3.1.2 は従来の方法による横弾性係数計測値のヒストグラムを示している。

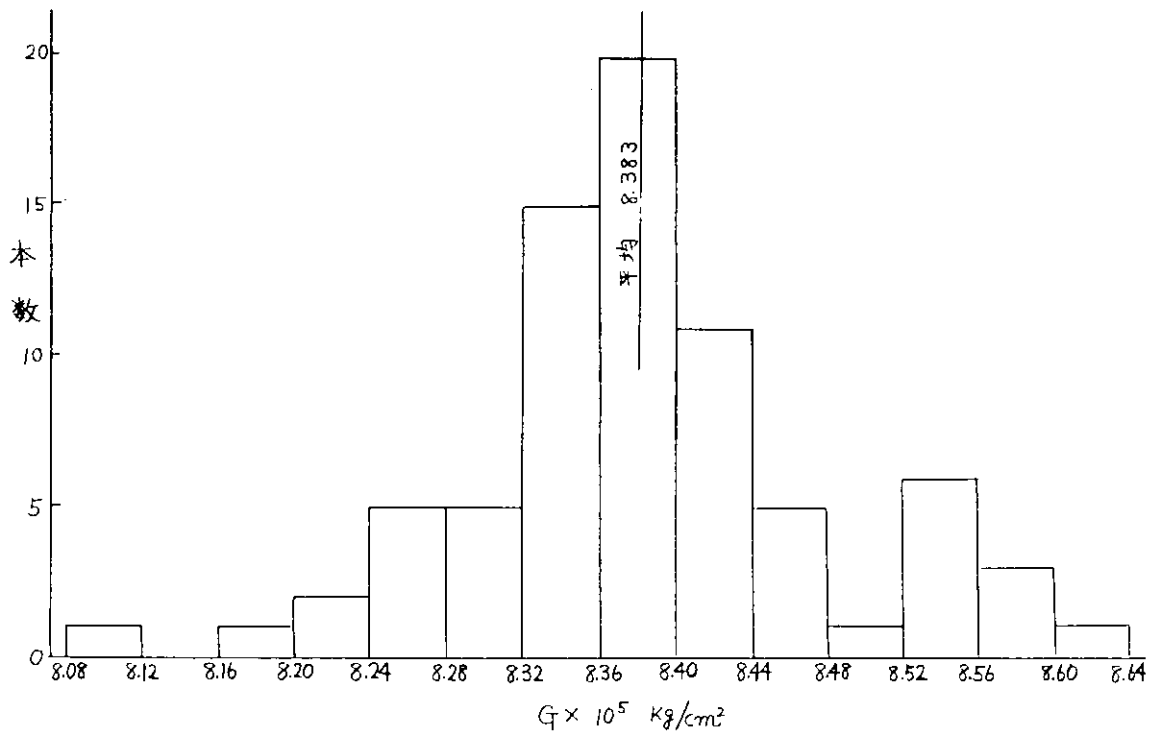


図 3.1.2 従来方式による横弾性係数 G のヒストグラム

以上の結果を考察することによつて、次の点が明らかとなる。

- 1) 従来の方法と超音波法を比較すると、平均値は大差ないが、標準偏差は超音波法が従来法より小さく、超音波法を利用すればばらつきの小さい計測結果が得られる。
- 2) 超音波法の昭和 45 年度と 46 年度を比較すると、昭和 45 年度の標準偏差は 46 年度の 2 倍程度となり、昭和 45 年度の計測値は 46 年度の計測値よりばらつきが大きい。これは両年度の中間軸および計測器に有意差はないはずであるから、主として計測方法の差と考えられる。

昭和 45 年度の計測値は図 3.1.3 に示すエコーの立上り点（X 点、Y 点）について区別していないため、これがばらつきの大きくなった原因と考えられる。



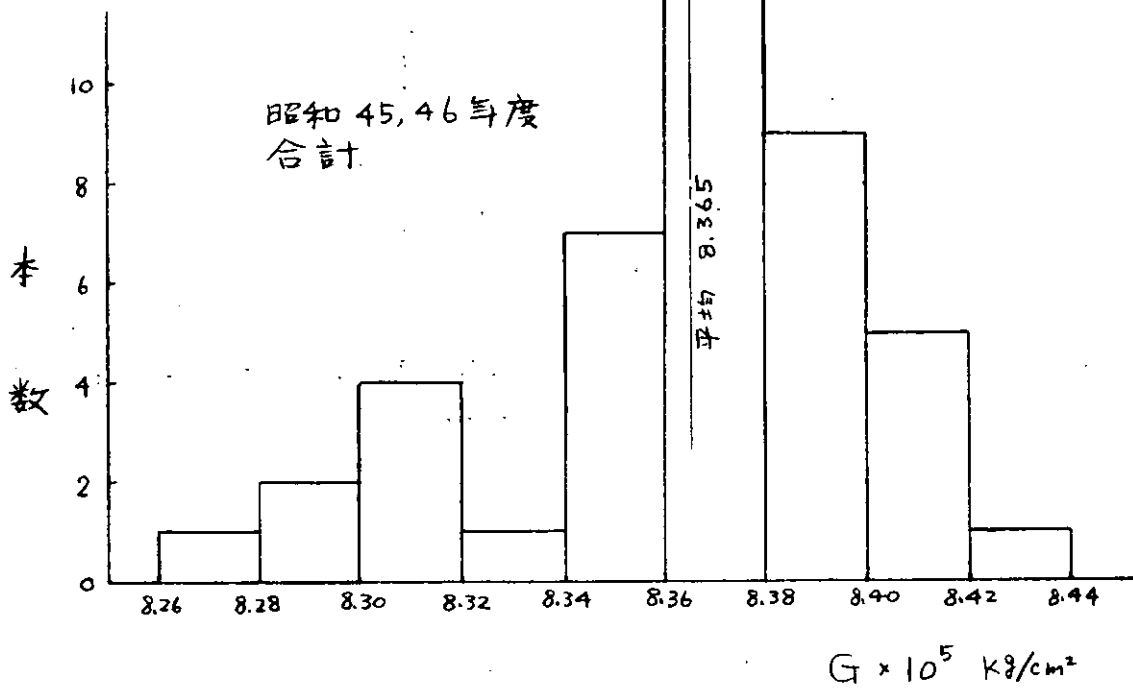
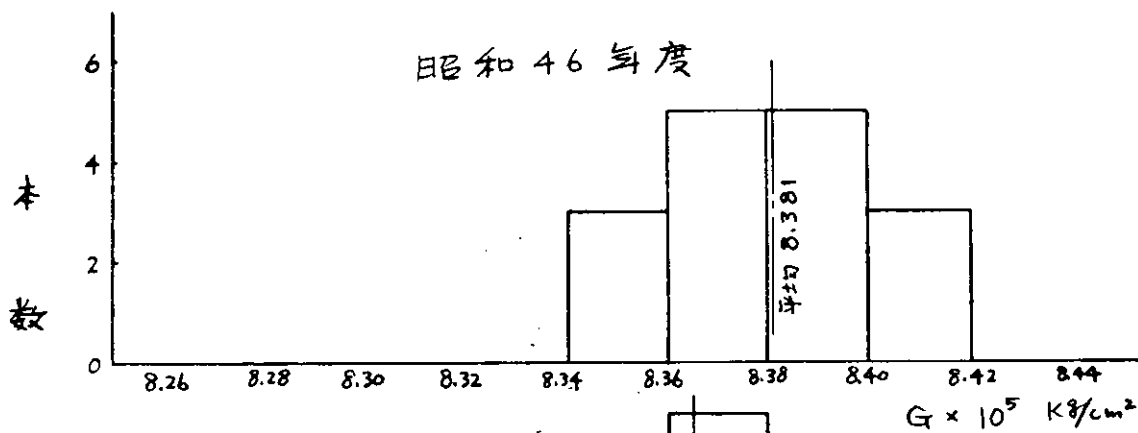
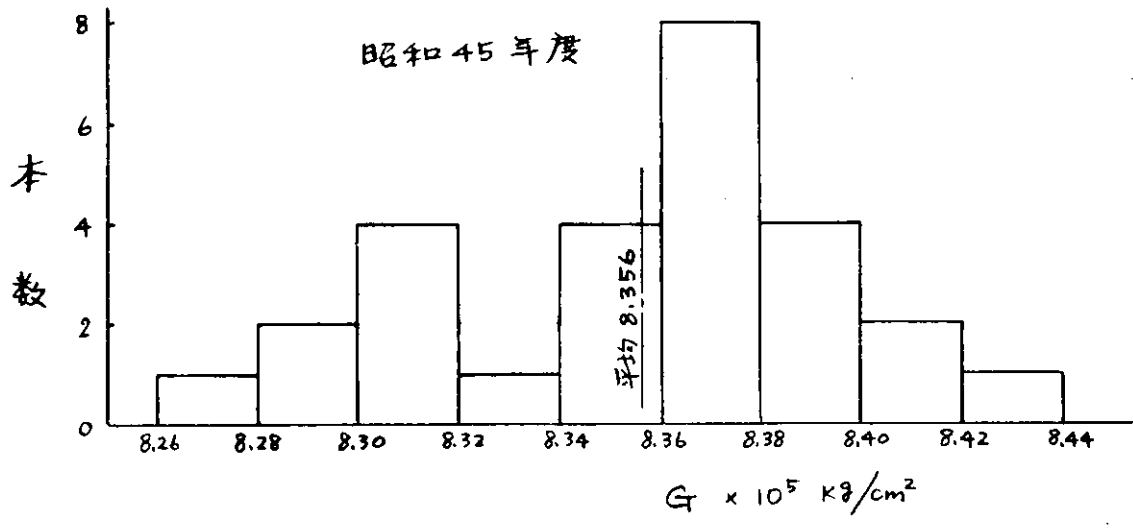


図3.1.1 超音波法による横弾性係数Gのヒストグラム

3) 昭和45年度のようにX点、Y点の区別をつけない場合、平均値は比較的真的値に近いが、ばらつきは大きくなるはずである。したがって、超音波法による計測結果としては、平均値は両年度のものを採用し、標準偏差は昭和46年度のものを採用することが適当と考えられる。

4) 横弾性係数の分布が正規分布と仮定した場合、その値が(平均値)±2×(標準偏差)の範囲に含まれる確率はおよそ95.4%である。また(平均値)±3×(標準偏差)の範囲に含まれる確率はおよそ99.7%となる。

したがって昭和46年度計測値の標準偏差で考えた場合平均値±0.47%の範囲には約95%が含まれ、平均値±0.70%の範囲にはほとんどすべてが含まれることになる。

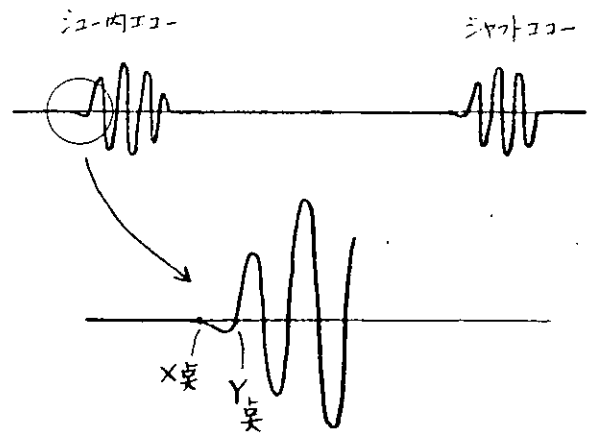


図 3.1.3

注：シュウ内エコーをX点とし、シヤットエコーをY点とした場合と、逆の場合ではかなりの差があらわれる。

### 3.2 横弾性係数と諸関連要素の関係

図 3.2.1～図 3.2.18は、2.1に示す計測値を基にして作成したGと鍛造比、炭素含有率、軸表面温度、中間軸径、中間軸長および継手ボルト本数×径の関係を示す散布図で、昭和45年度計測分、昭和46年度計測分および昭和45年度計測分+昭和46年度計測分のそれぞれについてまとめたものである。これらの散布図には、JIS Z 9041-1968の方法により計算された相関係数が記入されている。使用したJISの計算式は次式のとおりである。

$$r = \frac{S(x \cdot y)}{\sqrt{S(x \cdot x) \cdot S(y \cdot y)}} \quad r: \text{相関係数} (-1 \leq r \leq 1) \quad x \cdot y: \text{計測値} \quad n: \text{計測回数}$$

$$S(x \cdot x) = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad S(y \cdot y) = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$S(x \cdot y) = \sum x \cdot y - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}$$

相関係数 $r$ は $-1 \leq r \leq 1$ の範囲の値をとる。 $x$ と $y$ に特別の関係がないときは $r=0$ となり、 $r$ の値が1または-1に近い値をとるほど、一定の傾向線からのばらつきは少なくなる。

相関係数の計算結果をみると、特に明確な相関々係を示しているものはなく、いずれも一定の傾向線からのばらつきが多いことを示している。したがって、Gと鍛造比、炭素含有率、軸表面温度、中間軸径、中間軸長および継手ボルト本数×径との間には明確な相関々係はない。

### 3.3 密度の平均値ならびに炭素含有量の関係

#### 3.3.1 密度の平均値

昭和45年度および46年度の2回にわたり、中間軸材料の密度の計測を行なつたが、テストピースの採取時期と計測時期とが大きくずれていることから横弾性係数Gを計測するすべての中間軸のテストピースを入手することは困難であつた。

そこで密度を計測できなかつた中間軸のために密度の平均値を算出することとした。ここで45年度と46年度の計測結果には若干の相違があつたが、特に45年度の計測値については次のような処理を行なつた。45年度のテストピースおよび計測値には中間軸材料としては明らかに異種と思われるものが混つていた。

したがって、密度の平均値を算出するにあつては上記のデータは除外し、中間軸材質であることが明らかなものを一つの場所で計測したデータのみで、すなわち上記のデータを除いた残りの45年度計測値と46年度計測値により密

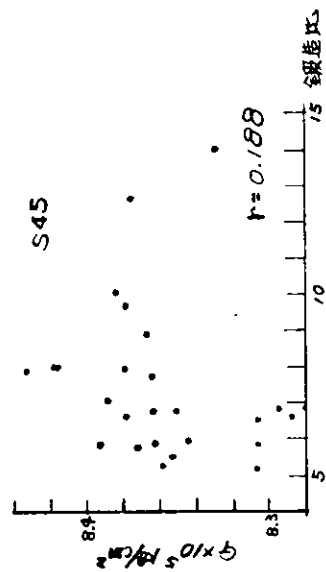


図 3.2.1 G と鍛造比

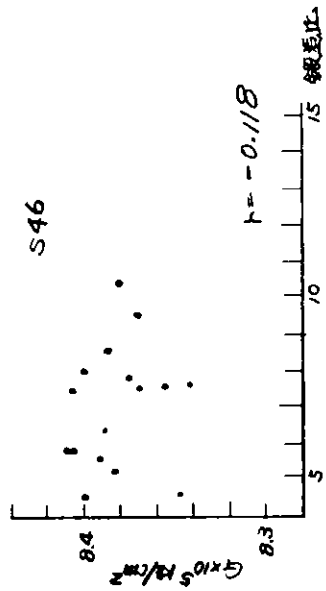


図 3.2.2 G と鍛造比

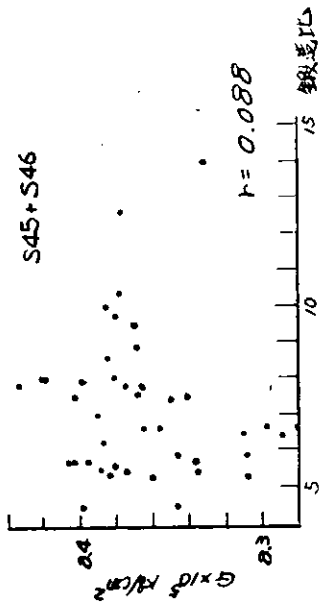


図 3.2.3 G と鍛造比

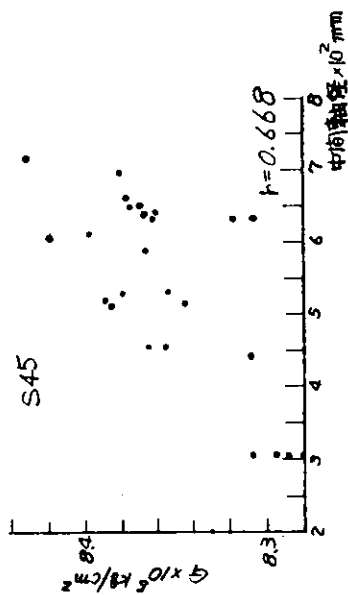


図 3.2.4 G と中間軸径

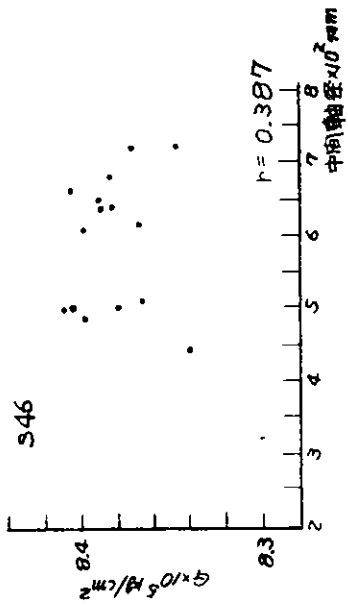


図 3.2.5 G と中間軸径

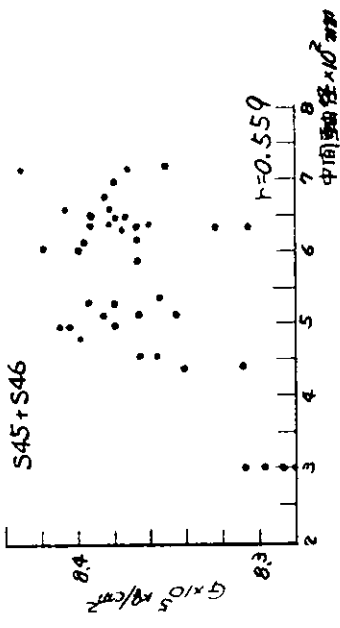


図 3.2.6 G と中間軸径

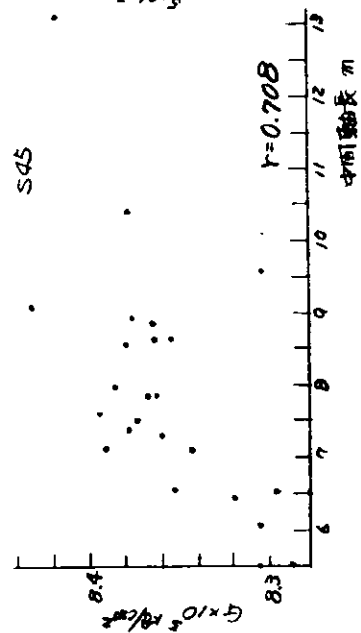


図 3.2.7 G と中間軸長

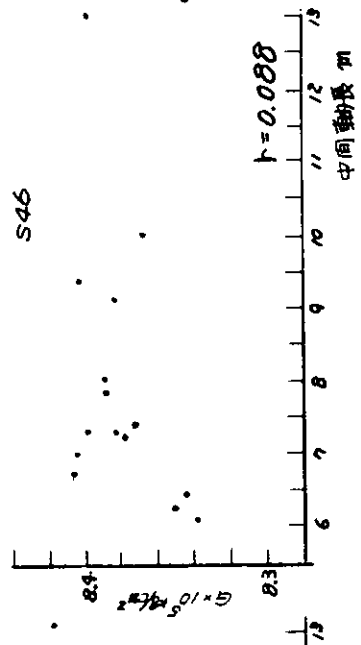


図 3.2.8 G と中間軸長

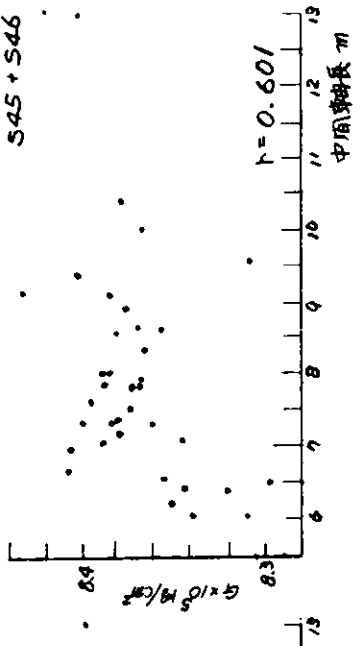


図 3.2.9 G と中間軸長

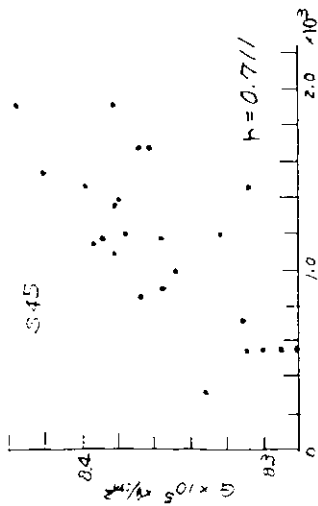


図 3.2.1.0 G と継手ボルト本数×径

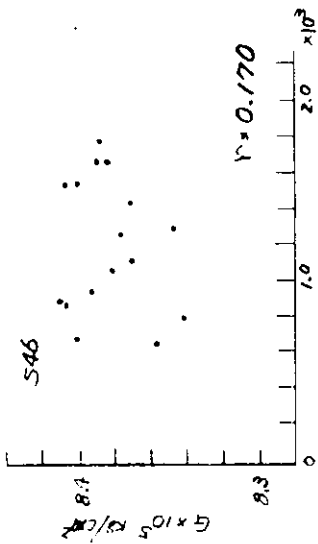


図 3.2.1.1 G と継手ボルト本数×径

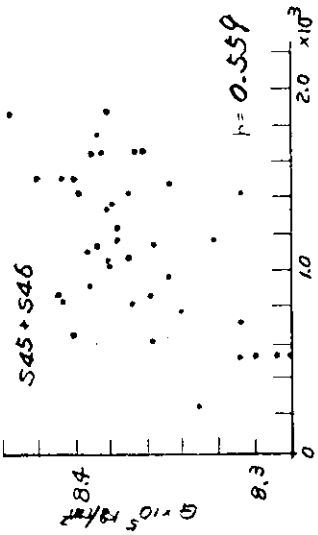


図 3.2.1.2 G と継手ボルト本数×径

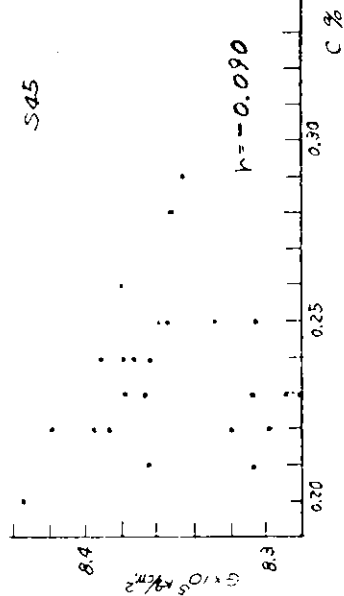


図 3.2.1.3 G と炭素含有率

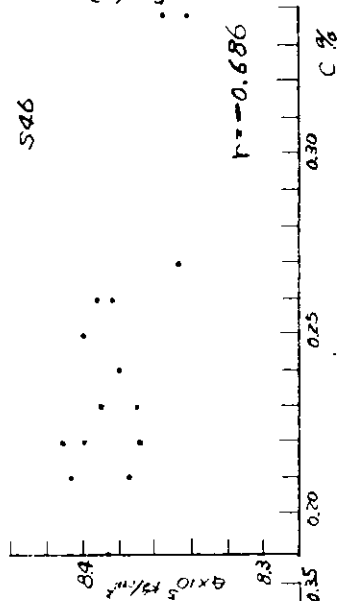


図 3.2.1.4 G と炭素含有率

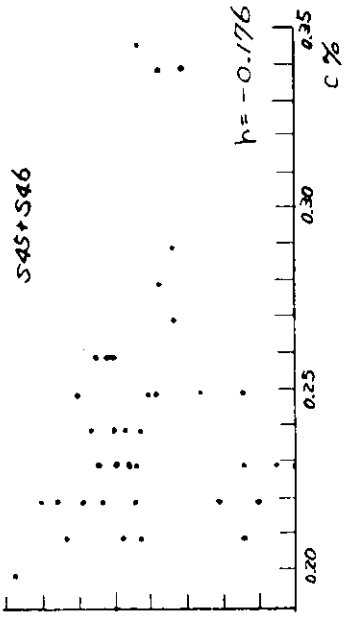


図 3.2.1.5 G と炭素含有率

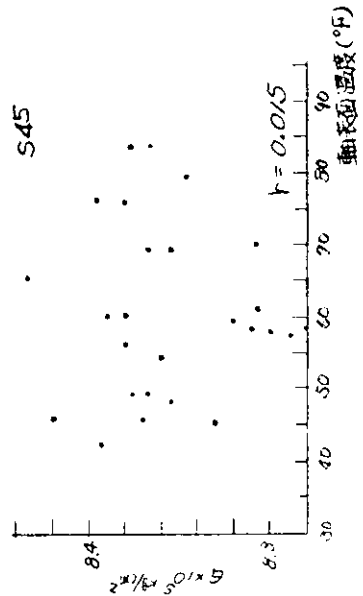


図 3.2.1.6 G と軸表面温度

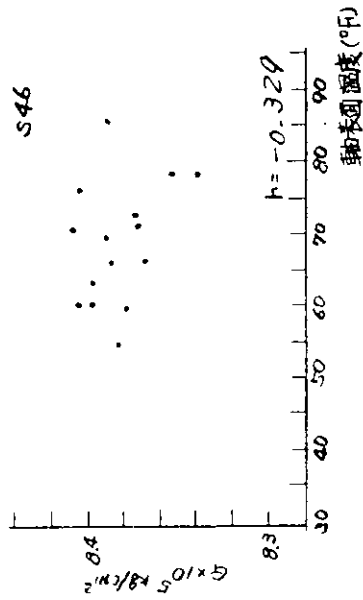


図 3.2.1.7 G と軸表面温度

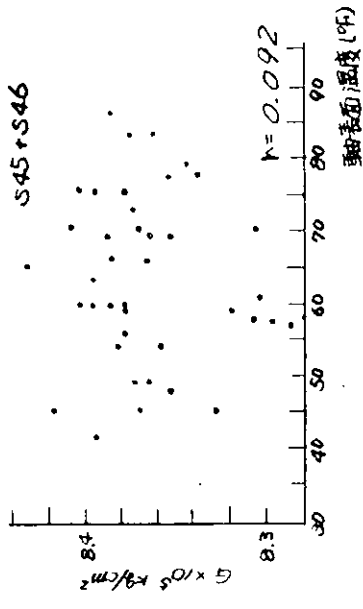


図 3.2.1.8 G と軸表面温度

度の平均値を算出することとした。この場合密度の平均値は45年度は7.8357 gr/cm<sup>3</sup>、46年度は7.8381 gr/cm<sup>3</sup>となり、両年度の平均値は7.8374 gr/cm<sup>3</sup>となる。なお、標準偏差を求めると45年度は0.00313、46年度は0.00383、両年度合計は0.00377となり、いずれも0に近い値を示している。図3.3.1は上記による密度のヒストグラムである。

上記のように平均値を算出するためのデータの選択を行なつたにもかかわらず45年度と46年度とでは平均値が若干異なる結果となつた。しかしながら同一の場所にて同一の方法を用いて得られた密度の計測値であるから、このような差

は被計測物件が少ないことから偶然に発生した現象であろうと考えられる。各年度および合計でそれぞれ算出した標準偏差の値の差が極めて小さいことから計測値はかなり安定したものであるといえる。平均密度と計測値の最大および最小を比較すると(+)側0.1%、(-)側0.08%となつており、このことから最終的に密度の平均値は「20℃にて7.837 gr/(m<sup>3</sup>) ± 0.1%と考へてよい。

本報告書の0(表2.1.1、2.1.2)の算出にあつて密度については密度を実測した軸は実測値を、また密度を実測していない軸は上記平均密度を使用した(46年度分は20℃に換算した値を使用した)。

### 3.3.2 密度と炭素含有量の関係

昭和45年度、46年度ともに密度と炭素含有量の関係を見出すために炭素含有量の計測も行なつた。特に45年度はA製鋼所よりあらかじめ炭素含有量の異なる5個のテストピースを提供して頂き密度を計測した。図3.3.2は46年度計測の分布、図3.3.3は45、46両年度合計の分布を示す。また、密度と炭素含

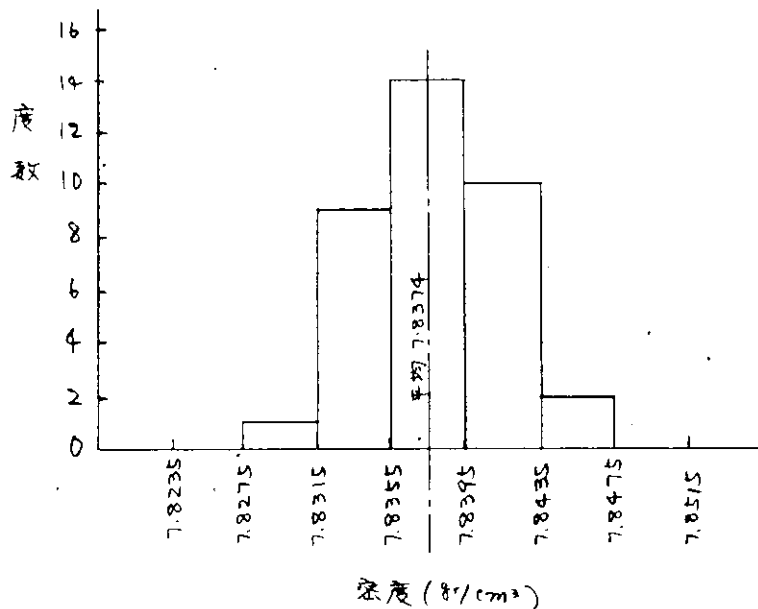


図3.3.1 密度のヒストグラム

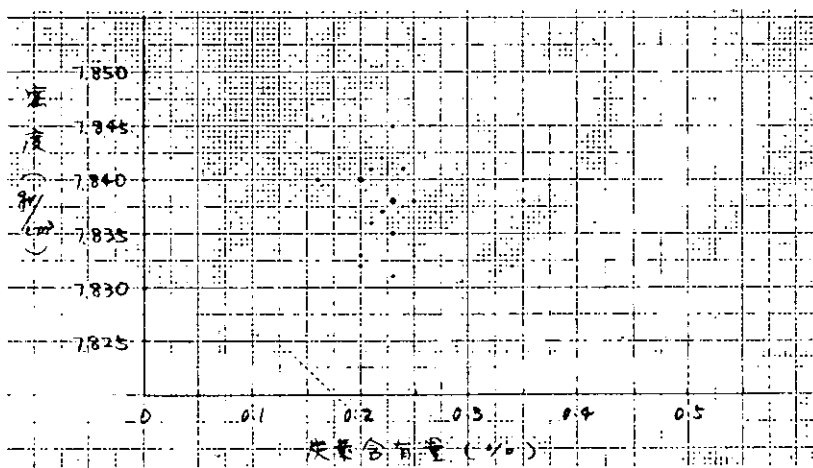


図3.3.2 密度と炭素含有量の関係

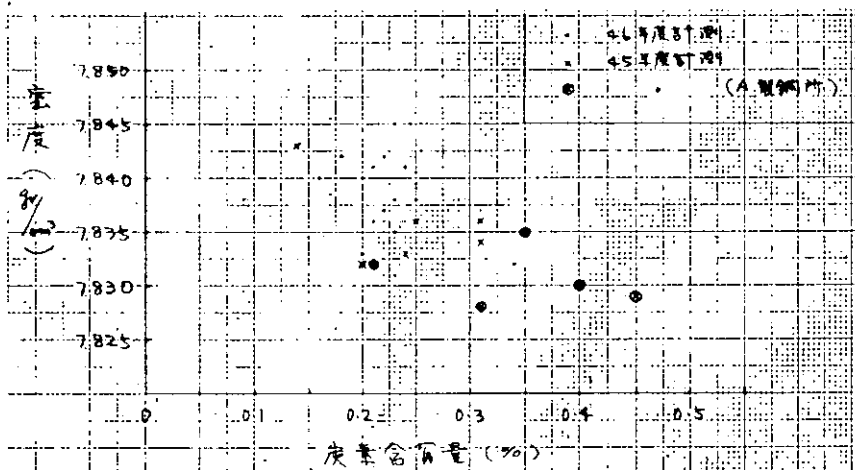


図3.3.3 密度と炭素含有量の関係(昭和45、46年度合計)

有量についての相関係数は45年度は $-0.583$ 、46年度は $-0.252$ 、両年度合計 $-0.533$ である。

密度は炭素含有量が増加すると密度が小さくなる傾向を示しているが、計測値のばらつきが大きいことを考慮すればその傾向を断定するには無理があろう。

#### 4. 中間軸横弾性係数の基準値設定の検討

中間軸の横弾性係数として従来わが国では  $8.31 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  が広く使われており、運輸省計画造船、出力測定、万国水槽試験会議等においてもこの値が採用されている。

この基礎となつたものは、造船協会会報第59、昭和11の新野氏の論文で直径260~455mmの軸36本の振れ角を Optical Lever によつて計測したGの平均値としてこの値が発表されている。

一方、SNAME.BS では横弾性係数は  $11.90 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$  ( $8.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  に相当) と設定されている。これに対応する論文としては Propulsion Shaft Calibration for Torsional Modulus of Rigidity, John H. Brandan D.T.M.B Report NO1517, 1962 があり Molybdenum-Vanadium鋼の80F (27℃)におけるGの値として、この値が発表されている。

また、JISでは従来Gの値として  $8.31 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  と設定されていたが、昭和43年度の見直しで本文から削除され解説として最近  $8.35 \sim 8.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  が使用されていると記述されている。

最近 British Ship Research Association (B.S.R.A.) が考案し Electronic Consultant 社が製作した超音波装置によつて B.S.R.A. が計測した68本の中間軸のGの平均値は  $11.89 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$  ( $8.36 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ) と発表されている。

これに対して今回本研究部会で Electronic Consultant 社製の超音波装置を用いて実船の中間軸43本を実測したGの平均値は  $8.365 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  となつた。

図3.1.1のヒストグラムに見られるようにGの計測値の分布としては良好な形となつており上記平均値は適正なものと考ええる。

なお、本研究部会44年度において調査した従来の計測方法、すなわち軸を振つてその歪量からGを求める方法による76本の軸の平均値は  $8.383 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  となつている。

以上述べた各値をまとめてみると表4.1となる。

表4-1

運輸省計画造船出力測定 万国水槽試験会議等		$8.31 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
SNAME BS		$11.90 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ( $8.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )
JIS 解説の項		$8.35 \sim 8.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
B.S.R.A. (68本の平均値)		$11.89 \times 10^6 \text{ lb/in}^2$ ( $8.36 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ )
SR117	超音波による計測 (43本の平均値)	$8.365 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
	従来方法の計測 (76本の平均値)	$8.383 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

本研究部会は、大径中間軸横弾性係数の値としては  $8.37 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$  が妥当であるとの結論に達した。

## 5. 実船における軸馬力計測への応用の検討

従来から造船所の一部では、中間軸を振つて $\theta$ の値を求めていた。この方法による76本の軸の $\theta$ の値は $\pm 2.1\%$ の範囲内に全数の95%が含まれている。

これに対して今回本研究部会で超音波装置によつて計測した $\theta$ の値は $\pm 0.47\%$ の範囲内に全数の95%が含まれている。したがつて、超音波による計測方法は、軸を振る従来方法より計測値のばらつきがかなり少ないこと、いい換えれば、計測精度が高いといふことができる。

計測装置そのものとしては、軸を振る従来方法が工場内にかなりのスペースを占める固定設備と油圧源を必要とするのに対し、超音波計測装置は持ち運び可能な電子機器セットと検出端子で済むので、船内でも工場内でも計測が可能であり超音波装置のほうが、設備的には有利である。

計測の手間あるいはむずかしさについてはいずれにしても技術の馴れの要素によつて異なるが、全般的に見れば超音波方式の方が手軽であり、容易である。

なお、超音波装置の場合、Electronic Consultant社のoriginalの鋼製アダプターでは水晶振動子を接着するのにある程度の技術を必要とすることと、アダプタを供試材に密着させるためにかんがりの圧力をかける必要がある。本研究部会ではこの代りにアクリライトチューと垂直探触子の組合せを採用したが、このほうが計測はかなり容易となる。

以上を総括的に考えると中間軸横弾性係数を実測しようとする場合には、超音波計測方法が現時点では最適の方法である。

なお、現在広く使われている軸馬力計の精度は一般に $\pm 0.5 \sim 2\%$ 程度である。したがつて、実船における軸馬力計測を行なう場合に各船ごとに中間軸横弾性係数を実測すべきかどうかは軸馬力計の精度を考慮の上決めるべきである。

また、中間軸横弾性係数を実測する場合、軸材料の密度は本研究部会の平均値 $7.837g/cm^3$ (温度修正係数 $-0.0003175/^\circ C$ )をそのまま用いれば十分であり、そのつど、その軸材の密度を実測する必要はないと考える。音速の温度係数は、本研究部会がアクリライトチューを使用して実験室的研究で求めた値 $-0.00919\%/^\circ F$ を用いるのが適当と考える。