

(昭和 34 年 11 月造船協会秋季講演会において講演)

巡視船の上甲板に生じた撓みについて

正員 岡田 宏 平*

正員 石山 一郎**

On the Deflection of Deck Plate of Patrol Ships

By kouhei Okada, Member

and Ichiro Ishiyama, Member

Abstract

In order to investigate the behaviour of permanent deflection of deck plate of patrol ships, the frequency distribution of deflection and its change were measured over a long period. The allowable limit of initial deflection and the collapsing strength of ships were calculated as well.

To examine the stress of patrol ships among waves, the actual ship experiment was carried out, and the statistical values of ship stress were calculated.

緒 言

巡視船の上甲板や外板に凹凸の永久撓みを生じていることが数年来度々報告され、その著しいものはなん等かの船体強度上の原因によることも懸念されたので、昭和 31 年以来巡視船の上甲板と舷側厚板の撓みを全国で毎年 1 回定期的に計測した。また 33 年から約 1 年間下田所属の 3 隻の巡視船について上甲板数箇所を 1~2 月ごとに計測しその変化の状況を調査した。さらに 34 年 1 月巡視船「しきね」によつて実船実験を行ない航行中の船体応力などを測定した。

本報告はこれらの実測の解析を行ない若干の考察を試みたものであつて、対称とした巡視船の主要要目を第 1 表に示す。

第 1 表 巡視船の主要要目

船 型	P-2b	P-6	P-7	P-9b	P-10	P-11
建造年次	昭和 25 年	昭和 26 年	昭和 26 年	昭和 29 年	昭和 30 年	昭和 30~34 年
同型船の数	14	20	5	2	1	5
代表船の名	れぶん	くま	ちぶり	とかち	てしお	やはぎ
垂線間長 m	47.50	37.08	51.50	48.00	45.60	45.00
幅 m	8.10	7.00	7.70	6.60	7.00	7.30
深さ m	4.50	4.00	4.50	3.40	4.20	4.10
代表船の 喫水 m	2.65	2.20	2.61	2.23	2.50	2.16
代表船の 排水量 t	502.6	277.1	493.7	402.6	421.5	375.7
代表船の 肋骨径 mm	600	600	600	600	600	600

注 れぶん、くま、ちぶりの寸法は型寸法を示し、
とかち、てしお、やはぎは外板の厚さを含む。

発生した撓みに対する考察

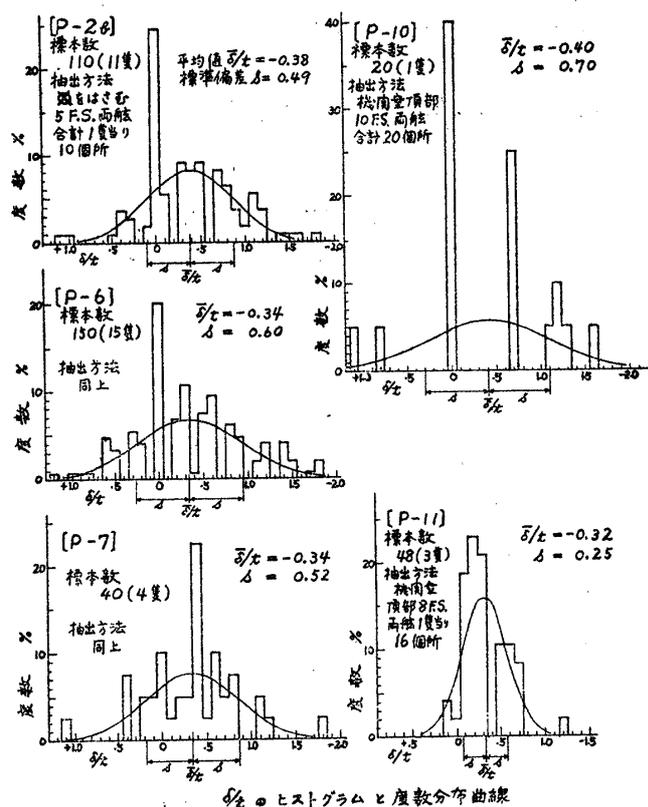
巡視船の構造部材の寸法は鋼船構造規程によつて決定されているが最近出来た小型鋼船構造規準案⁽¹⁾によつて鋼甲板、梁上側板および舷側厚板の厚さを検討してみるといずれも規準案を満足している。また横断面抵抗率の値は規程の 1.9~3.7 倍であつて小型鋼船が 1.0~2.3 倍である⁽²⁾のに比較してかなり大きい方に属する。標準縦強度計算による波高波長比 1/15 のときのサギング応力の値も各船とも規準案の許容応力以下である。

ところで各巡視船の上甲板の船体中央舷側部に生じた撓み量 δ を梁位置を規準として計測し、そのパネルの平均の板厚 t との比を求めてヒストグラムをかくと第 1 図の通りであり、その度数分布曲線は同図に示す正規分布になることが推定される。例えば P-2b 型 (船型を表わす番号で第 1 表一行目に示す) について χ^2 検定を行なうと自由度 17 のとき $\chi^2=108.3$ と非常に大きい値になるが、これは計測値が概以下を四捨五入したため必然

原稿受付 昭和 34 年 7 月 8 日

* 海上保安庁船舶技術部

** 運輸技術研究所



第1図

的に度数が0になる階級 +0.2, -0.2, -0.6 などが生じたのと、階級0の中には目測で撓みが小さい部分で計測を省略したものが含まれているためであつて、この4階級だけで χ^2 の値の和が 97.8 となることから推定される。これによると5種の船型では δ/t の平均値は -0.3 ~ -0.4 の範囲内にあり、分散分析を行なつてもその間に有意の差は認められない。また最近の建造に属する P-11 型は他に比較して標準偏差が大変小さいのが目立っている。

上甲板の撓みが時間とともに変化するかどうかを調査するため、下田所属の3隻の巡視船について上甲板の数箇所の撓みの大きい部分を選定し、梁心距を4等分した各等分点の撓み量を梁位置を規準として1~2月ごとに計測した。正確を期するため基準となる梁位置にはポンチマークを打つた。第2表にその1例を梁中心の撓みだけぬき出して示した。また P-11 型1隻について竣工時とその後7月半経過したときの機関室頂部上甲板の撓みを計測した結果を第3表に示した。その他の船の結果も同様でこれらによると撓みが時間とともに増加する傾向は認め

られない。

つぎに各巡視船のサギング状態において許し得る上甲板中央部の最大撓み量を求めると(3)(4)第4表に示す通りになり ($k=0.8$ とした), 第1図と第4表から各船の撓みの中で許し得るものの百分率を求めると第5表の通りとなる。上甲板中央部から前後にはずれても撓みの発生状況はほとんど同様である

が、サギング応力は減少するので従つて許容撓み量が増大する。例えば $L/2$ 前後では許容撓み量は第6表の

第2表 撓みの時間的变化 (巡視船かんかい上甲板)

計測年月日	左舷					右舷					備考
	58-57	58-53	49-48	42-41	21-20	58-57	50-49	46-45	41-40	23-22	
33.7.10	-9.0	-12.0	-11.7	-11.3	-14.4	-9.0	-8.0	-6.6	-11.2	-16.4	表面から見て凸凹正、凹を負とす。単位はmm。
33.9.10	-9.2	-12.2	-11.2	-11.5	-13.9	-8.8	-7.8	-7.2	-12.5	-17.0	
33.12.1	-8.0	-11.0	-11.6	-11.5	-14.2	-8.2	-7.0	-5.8	-10.2	-15.2	
34.3.24	-8.3	-11.2	-11.6	-10.5	-13.8	-8.2	-7.0	-5.1	-9.9	-14.9	
34.6.11	-8.1	-11.2	-11.9	-11.0	-13.0	-8.2	-7.0	-5.0	-9.8	-14.8	

第3表 竣工後の撓みの变化 (巡視船ちとせ上甲板)

計測年月日	上甲板中央部 F51~F37 の梁上側板														備考		
	左舷							右舷									
33.4.20	-5	-5	-6	-4	-5	-6	-3	-3	-2	-3	-6	-3	-5	-3	-3	-3	公試運転前
33.4.28	-4	-4	-2	-4	-3	-5	-3	-3	-2	-1	-5	-2	-4	-2	-1	-3	
33.12.9	-5	-5	-4	-5	-3	-5	-3	-2	-2	-2	-5	-3	-4	-3	-1	-3	

第5表

船型	百分率
P-26	98
P-6	99
P-7	86
P-10	91
P-11	100

第4表 上甲板中央部の許容撓み量

船型	α/t	σ_{15}	δ/t	α/b	備考
P-26	82.2	3.53	1.4	0.259	σ_{15} : 毎線間長に等しい波長で最高波長比船のトロイ波を用いた縦強度計算によるサギング応力。1/8は規程の部材の1/8に甲板下縦材の梁から下部と側内骨骨断切板を含む。
P-6	90.9	3.63	1.8	0.461	
P-7	70.6	4.67	0.9	0.283	
P-96	75.0	2.64	1.4	0.519	
P-10	79.0	3.17	1.4	0.500	
P-11	79.0	2.21	1.6	0.480	α : 梁心距 b : パネルの幅
平均	69.8	2.02	1.3	0.480	δ : パネルの平均の板厚 δ_s : σ_{15} を考慮した許容最大撓み量

第6表 上甲板前後部の許容撓み量

船型	上甲板前部		上甲板後部	
	σ_{15}	δ/t	σ_{15}	δ/t
P-26	0.75	1.9	1.32	1.8
P-6	1.20	2.6	1.42	2.4
P-7	0.68	1.7	1.74	1.5

通りで各船の撓みはほとんど 100% 許容範囲内に入ることが判る。

なお後述するように船体応力の統計値は上述の考察に用いた σ_{15} よりかなり小さいから実際はもつと安全側にあるものと思われる。

巡視船「しきね」に対しては昭和 33 年 11 月に上甲板と舷側厚板の撓みの中で板厚以上の部分について歪取り工事を施行したが、その後現在まで撓みが増加する傾向は見られない。

上甲板の座屈と圧壊強度

上甲板の座屈とその後の船体強度を検討するため、上甲板中央舷側部について Bryan の座屈応力 σ_{cr} と吉

第7表 上甲板の座屈応力、最大荷重など

項目 船型	上甲板の座屈応力 σ_{cr}				比				備考
	σ_{cr}	P_m	σ_{15}	σ_{20}	σ_{cr}/σ_{15}	P_m/σ_{15}	σ_{cr}/σ_{20}	P_m/σ_{20}	
P-2	3.20	5.75	3.53	2.51	0.91	1.63	1.27	2.29	σ_{20} : 波高成長比 $1/20$ のときのサギング応力 $P_m = P/t$
P-6	3.37	8.17	3.63	2.59	0.93	2.25	1.30	3.16	
P-7	4.44	7.18	4.67	3.33	0.95	1.54	1.33	2.15	
P-9	6.64	12.45	2.64	2.11	2.51	4.72	3.14	5.90	
P-10	4.77	10.00	3.17	2.21	1.51	3.19	2.13	4.52	
P-11	#1	4.61	9.70	2.21	1.58	2.09	4.39	2.92	
	#2	5.89	10.98	2.02	1.44	2.92	5.44	4.09	7.63

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{a}\right)^2 \left\{1 + \left(\frac{a}{b}\right)^2\right\}$$

$$P_m = 1.77 (9\%)^{0.22} \sqrt{E \sigma_{cr}} t^2$$

ν : ポアソン比
 E : ヤング率
 σ_r : 降伏点

識博士の最大荷重 P_m を各巡視船について計算すると(6)第7表のようで、旧海軍の駆逐艦の値(6)と大体同様の値である。

鋼板座屈後はその有効剛性が 1/2 に減少するとし、残りの有効部分と防撓材とで一体になつたいわゆる有効防撓材の座屈応力 f_s を求める。ところで鋼板に初期撓みがあるとその有効断面積が減少するが、見掛けの断面積と実際の断面積との比を効率とすればこの値は初期撓み、アスペクト比、荷重などによつて変る(7)。これを各巡視船について求めると第8表のようになるので、

以下には座屈すると否とに拘わらず圧縮側の上甲板と外板の有効剛性を全て 1/2 として計算した。いま有効防撓材として上甲板の甲板下縦桁をとり、波高波長比が 1/15 の場合について上述の諸数値を求めると第9表の通りで、 f_s/σ' の値は 3 程度以上であつて有効防撓材すなわち甲板下縦桁は座屈しないことが判る。

実 船 実 験

上述の考察に用いたサギング応力は実際には波高波長比、速力、動揺、スラミング、縦強度部材のきき方などによつて大幅に変化する。巡視船の波浪中航行時の上甲板中央部の応力、応力頻度、撓みの変動および船首部加速度を実測するため、昭和 34 年 1 月下田沖において P-7 型巡視船「しきね」によつて実船実験を施行した。「しきね」の主要要目と縦強度計算摘要を第 10 表と第 11 表に、また計測項目を第 12 表に示した。

第8表 上甲板の効率

項目 船型	δ/t	σ_r/σ_{cr}	効率 $(\frac{a}{a_0})^2$	効率 $(\frac{a}{a_0})^2$
P-2	-0.38	1.10	0.48	0.72
P-6	-0.34	1.08	0.52	0.73
P-7	-0.34	1.05	0.52	0.74
P-10	-0.40	0.66	0.57	0.82

計測は 3/4 全力で前進中船とうねりの出合角度を 0° から 30° おきに 180° まで変えて行なつた。抵抗線歪計は上甲板中央部右舷の梁上側板の応力頻度計取付部の縦方向および鋼板両面に接着し、梁心距間の応力分布と鋼板の初期撓みの影響を調査した。動揺、加速度および応力は同時測定を行ない、これらの記録からその度数分

第9表 有効防撓材の座屈応力

項目 船型	座屈後の σ_{cr} (kg/cm ²)		有効防撓材に相当する σ_{cr} (kg/cm ²)	L/λ	f_s (kg/cm ²)	f_s/σ'	備考	
	非有効部	有効部分						
P-2	120.6	718.4	141,000	5.10	41.5	20.25	3.97	L は Deep Beam 間隔 上甲板からの構造物は無視した
P-6	92.3	566.7	102,500	5.53	51.2	18.88	3.42	
P-7	162.8	943.2	136,000	6.93	45.9	19.58	2.83	
P-10	140.2	537.8	123,500	4.35	54.2	18.48	4.25	
$f_s = 28 \{1 - 0.00803 (\frac{L}{\lambda}) + 0.0000323 (\frac{L}{\lambda})^3\}$ λ : 細長比								

第10表 「しきね」主要要目

垂線間長	51.50
吃水線長	54.00
幅	7.70
深	4.50
排水量 (吃水=271cm)	526.5
C_D ()	0.451
C_W ()	0.722

第11表 「しきわ」 縦強度計算摘要

状態	波高/波長	最大曲げモーメント (kg-m)	I_y	上甲板応力 (kg/cm ²)	備考
サギンテ	1/20	909	I	3.97	I = 228,800 cm ⁴ (規程の部材のみ)
			II	3.84	
			III	2.01	
	1/10	1,744	I	7.62	II = 237,000 cm ⁴ I = 部材に次のものを加す 1. 甲板下継手の梁の下部 2. 梁内竜骨断切板
			II	7.36	
			III	3.85	
ホギンテ	1/20	956	I	4.18	III = 453,000 cm ⁴ II = 部材に次のものを加す 1. 船側縦通材 2. 彎曲部竜骨 3. 鋼製防舷材 4. 機関室圍壁
			II	4.04	
			III	2.11	
	1/10	1,302	I	5.69	
			II	5.50	
			III	2.88	

但し波長 = 喫水線長のときの値を示す

布を求めた。鋼甲板の撓みはダイヤルゲージを船体中央部上甲板裏に固定し、その針の動きを目測して振幅と週期を推定した。実験当時は平均風速 10~20m/s で風浪階級 5, うねり階級 4 程度の海象で、うねりは波長約 35m, 波高約 3m, 週期約 12 秒と観測された。船の速力は出合角度 0° で約 12 節, 180° で約 13.5 節であった。

抵抗線歪計の記録によれば上甲板中央部の梁心距間の応力分布には差が認められず、また初期撓み (約 -1mm) については約 30% の影響があることが確かめられた。

動揺、加速度および応力の解析結果を第 13 表に示したが、実測ヒストグラムからこれらの分布はいずれも Rayleigh 分布に従うことが確かめられた。

出合角度と各観測値の 1,000 回変動中の最大希望値との関係を第 2 図に示したが、応力の値は 90° で極小 180° で極大とはならなかつた。

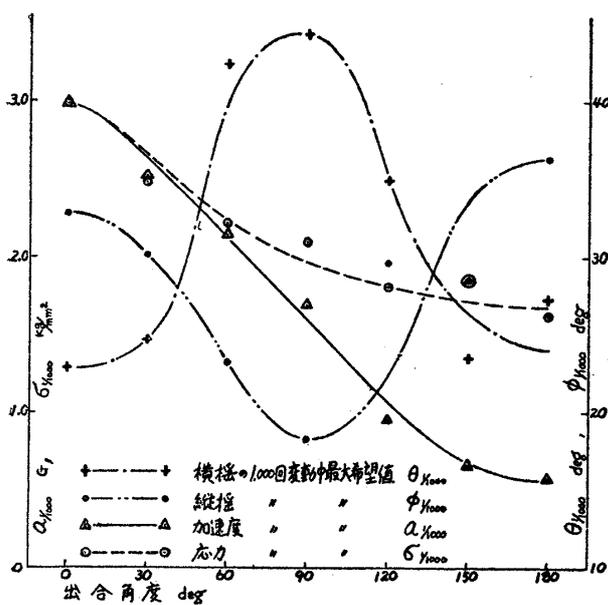
応力頻度分布曲線は対数正規分布に従うことが推定され、これから求めた実験当時の条件で 1,000 回に 1 回の確率で起る異状応力値は約 1.5kg/mm² となり第 13 表の出合角度 0° の実測値 (複振幅) とよく一致した。

第12表 計測項目および装置

計測項目		計測装置	
風向, 風速		積算風向風速計 瞬間風速計 (上部船橋にて計測)	
風浪 または うねり	階級	航海科士官の観測による (操舵室にて)	
	波高, 波長	同上	
	週期, 出合角度	同上 (秒時計)	
速力	動圧式測程儀	同上 (秒時計)	
動揺	スペリー式動揺計 (上甲板船橋中甲板付)		
船首部加速度	抵抗線加速度計	1 隻	
上甲板中央部応力	抵抗線歪計	5 隻	
同上 応力頻度	遷移式応力頻度計 (L=900mm) 1 隻		
同上 撓みの変化	ダイヤルゲージ		
その他略			

第13表 動揺, 加速度, 応力の解析結果

出合角度 (deg)	観測時間	観測値の数	観測値の二乗平均 E	複振幅			
				単純平均	最大観測値	1000回変動中の最大希望値	
横揺	0	554	188	70.7	7.0	20.3	22.9
	30	288	98	81.6	7.7	22.1	24.7
	60	281	86	241.6	14.0	41.0	42.4
	90	234	78	263.0	14.9	33.6	44.3
	120	285	76	163.3	11.5	24.1	34.9
	150	288	84	74.4	7.5	21.9	23.5
縦揺	0	580	270	143.7	10.5	26.0	32.7
	30	291	128	121.9	9.6	25.8	30.1
	60	287	132	72.5	7.4	22.5	23.2
	90	284	103	44.4	5.7	14.2	18.2
	120	285	34	118.0	10.2	19.2	29.6
	150	278	34	109.2	9.7	20.0	28.5
加速度	0	9 ^{min}	314	1.19 ^{deg}	0.99	2.28	2.98
	30	5	149	0.85	0.81	1.46	2.52
	60	5	151	0.62	0.68	1.83	2.14
	90	5	148	0.38	0.14	1.47	1.69
	120	5	151	0.12	0.33	0.61	0.95
	150	5	185	0.058	0.13	0.24	0.66
応力	0	9 ^{min}	313	1.19 ^{deg}	0.98	2.55	2.98
	30	5	149	0.83	0.83	1.70	2.48
	60	5	144	0.66	0.67	1.53	2.21
	90	5	73	0.59	0.94	0.94	2.10
	120	5	67	0.44	0.60	0.68	1.81
	150	5	65	0.46	0.59	1.70	1.85
180	5	99	0.35	0.48	2.04	1.62	



出合角度と各観測値の 1,000 回変動中の最大希望値の関係

第 2 図

撓み量の変動は出合角度 0° のとき、最大値が複振幅で 0.7mm 程度の値であつた。この付近の鋼板の初期撓みは約 $+3\text{mm}$ であつたが、いま初期撓みが sine curve でその最大値が δ_0 、挫屈応力 σ_{cr} の梁が圧縮応力 σ を受けたときの撓み δ は次式で表わされる⁽⁸⁾。

$$\delta = \frac{\delta_0}{1 - \sigma/\sigma_{cr}}$$

上式に $\delta_0=3\text{mm}$ 、 $\sigma_{cr}=4.44\text{kg/mm}^2$ 、 $2\sigma=2.55\text{kg/mm}^2$ を代入すれば $\delta=4.21\text{mm}$ で撓みの変動量は半振幅で $\delta-\delta_0=1.21\text{mm}$ となつてこの理論値に比較して実測値はかなり小さくなつてゐる。

ところで海洋波のスペクトルを long crest と仮定し船の進行方向が風向と真向いになつたときの「しきね」の船体縦応力(上甲板)の統計値を求めると⁽⁹⁾第3図のようになる。ただし船型による常数 $k_1=0.549$ 、スミス修正 $k_2=0.9$ 干渉係数 $k_3=0.6$ 、 $I/y=453.000\text{cm}^3$ (第11表のⅢに相当する)とした。実験当時の気象は天気図から概算して、風速 15m/s 吹走距離 240海里 、

吹走時間 10時間 と推定されるので、第3図からこのときの応力の $1,000$ 回変動中の最大希望値は 1.4kg/mm^2 となり第13表の値とよく一致する。

航海日誌によれば巡視船が遭遇する最悪の荒天は、風浪階級で 9 (波高 14m 以上)、風力階級で 10 (風速 $48\sim 55$ 節) 程度と考えられる。また $2\text{月}4\text{日}$ から 23日 までの応力頻度記録によれば、応力の変動数は海象と無関係で平均 1時間 当たり約 $1,300$ 回となるので、 2日間 連続航行したとすれば総変動数は $60,000$ 回となる。「しきね」が風速 50 節の荒海中を 2日間 連続航行したとき充分発達した船体応力の最大希望値すなわち $60,000$ 回変動中の最大希望値は第3図から約 2.2kg/mm^2 となる。この値は前節までの考察に用いたサギング応力の値に比較して大変小さい値であるから実際の状況は前節までの推論より相当安全側にあるものと考えられる。

例えば第4表で $P-7$ の $\sigma_{15}=4.67\text{kg/mm}^2$ の代りに 2.2kg/mm^2 を用いると $\delta_0/t=1.2$ となり第5表の百分率は 95% となる。

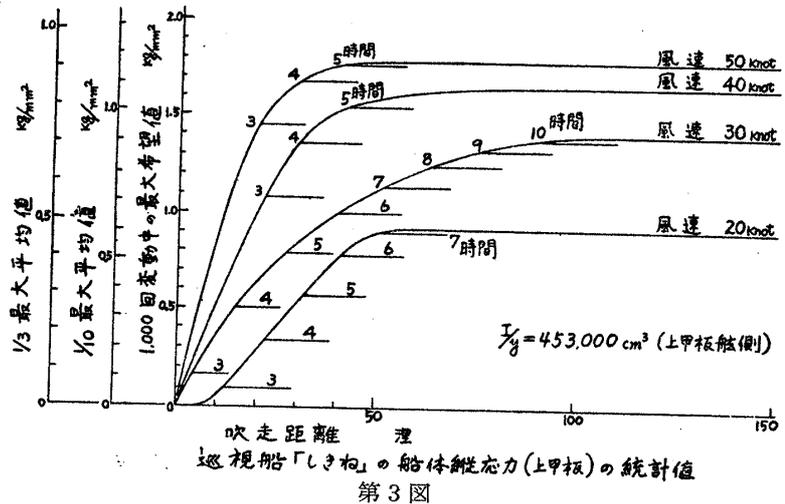
また第1図において $P-11$ 型が他より標準偏差が小さい原因については、ここ数年来新造巡視船に対して歪防止対策に特に留意したことが最近の溶接工作法の進歩と相まつて表われたものと考えられる。

結 言

以上巡視船の上甲板に生じた撓みについて考察したが得られた結論は次のようなものである。

- 1) 永久撓みのほとんどは建造当初に発生したもので、その後は縦強度が原因で増加することはない。
- 2) 生じた永久撓み量と板厚の比 δ/t の度数分析は平均値が $-0.3\sim -0.4$ の正規分布になる。撓み量はほとんど全て許容範囲内の値である。
- 3) 上甲板中央部は航行中に仮に圧縮側の甲板と外板が全部挫屈することがあつても、鋼板挫屈後に甲板下縦桁が挫屈することはない。
- 4) 実船実験における応力から推定すると、甲板下縦桁、側内竜骨、機関室囲壁、船側縦通材、鋼製防舷材、彎曲部竜骨などの船体中央部の縦通部材を縦強度部材に算入してもよいと考えられる。

なお本研究は日本造船研究協会第23研究部会第3小委員会の研究題目として取りあげられ、主査吉識博士はじめ寺沢博士、秋田博士以下各委員の方々には始終親切な御指示をいただいた。また実船実験に関しては特に高田健、田坂鋭一、加藤豊の三委員の方々から御指導および御助力をいただき、東大船舶工学科と運研船舶性能部からは貴重な計器類を心よく貸与していただいた。船体縦応力の統計値は運研船舶構造部郷田技官に計算をお願い



した終りにのぞみこれらの方々とともに、資料集収に協力された部内関係官各位に感謝の意を表する次第です。

参 考 文 献

- (1) 運輸省船舶局：小型鋼船構造規準案，昭和32年3月
- (2) 運輸省船舶局：小型鋼船の強度，昭和34年2月
- (3) 吉識，秋田，安藤：初期撓みをもつ連続パネルの挫屈強度と凹損，造船協会論文集第101号，昭和32年
- (4) 日本海事協会：船体損傷調査専門委員会報告，昭和29年7月
- (5) 吉識雅夫：圧縮を受ける船体構造部分の挫屈並びに圧壊強度の研究，造船協会会報第75号，昭和28年
- (6) 緒明亮乍：自衛艦艇設計上の諸問題について，船舶 Vol.27, 10号，昭和29年
- (7) 安藤文隆：第23研究部会資料，SR 23.3-S-4 または J.M. Murray：Notes on Deflected Plating in Compression and Tension, TINA 1945
- (8) Timoshenko (仲訳本)：挫屈理論，コロナ社，昭和28年
- (9) 秋田，田代，郷田：荒海中における船体縦応力の推定法，造船協会昭和34年秋に講演，本誌