

(昭和 25 年 4 月造船協会春季講演会に於て講演)

縦列矩形板型彎曲部龍骨の 横揺防止効果に就いて

正員 工学博士 加 藤 弘*

Abstract.

On the Roll-Stabilizing Effect of Bilge Keels of Multiple
Tandem Rectangular Plate Form.

By Hiroshi Kato, *Kogakuhakushi, Member.*

It was published in 1938 that the angle of roll among waves of the Netherlands torpedo boat G. 15 fitted with streamlined fin bilge keels had been about 70 per cent. of that of a sister boat, the G. 16. When such a discontinuous construction is adopted for bilge keels, not only their area is much reduced for the limited total length but also the lift coefficient is diminished by the interference of adjacent fins. Hence if the aspect ratio and clearance length ratio of fins are not properly determined in accordance with the speed of ship, it will often occur that the fin bilge keels are less effective than the normal ones.

The details of bilge fins of the G. 15 are not clear, but those adopted for the passenger motorship "Oranje" after the excellent performance of the G. 15 had an aspect ratio of 9.5 and a clearance length ratio of 3.3. In the model experiments carried out in our experimental tank in 1940, bilge fins of an aspect ratio of 5.0 with clearance length ratios of 3.5, 3.0 and 2.5 were tested and it was shown that all of them were inferior to the normal bilge keels. In the present experimental investigations with model ships rectangular plates were adopted instead of streamlined fins. This is for the reason that the lift coefficient of a rectangular plate with aspect ratio up to about 5 is almost equal to that of a streamlined fin with the same aspect ratio, and that the initial cost is small when they are fitted to ships and moreover it is very easy to convert the normal bilge keels of existing vessels to this type. The aspect ratios of the model bilge rectangular plates were 8.0, 6.4, 5.0, 3.58, 2.78 and 2.0, their clearance length ratios being 3.0, 2.53, 2.0, 1.5 and 1.0. From the experiments carried out on the effect of these bilge keels it was found that the aspect ratio and clearance length ratio of rectangular plate bilge keels which would give a greater roll-stabilizing effect than the normal ones could be determined according to the speed length ratio of rectangular plates. For all the speed length ratios in the range of experiments the rectangular plate bilge keels with aspect ratio of 5.0 and clearance length ratio of 2.0 was the most excellent and showed to be 1.5 to 2.5 times as effective as the normal bilge keels.

In order to investigate the effectiveness of the new type of bilge keels on actual ships, bilge keels of three Aomori-Hakodate ferries of different types were reconstructed. With these three ferries and their sister ships were carried out experiments on the rolling among irregular waves on their definite voyages for two months. From the results obtained it was found that for all types tested the angles of roll of ships fitted with the new type of bilge keels were on the average about 40 per cent. less than those of their sister ships.

1. 緒 論

流線形翼板又は矩形板が或る迎角で流体中を進行する時の揚力係数とその縦横比によつて著しく異なることは

* 東京大学教授

周知の事実である。船の彎曲部竜骨は縦横比が $1/35$ 乃至 $1/250$ という極めて小さい値であるから、その揚力係数は小さく従つて面積の割合に船の航走中の横揺に対する防止効果は少い。若し彎曲部竜骨として縦横比の一層大きい翼板を縦に列べたものを採用すれば、揚力係数は著しく増大されるから同じ面積の普通型彎曲部竜骨に比して遙かに優れた効果が得られるであろう。風洞実験⁽¹⁾によれば長さの 4 倍の距離に配置された翼板は実験された 8° 迄の迎角の範囲に於て、同じ長さの彎曲部竜骨に比べて 2 倍以上の揚力を与えた。この効果は船に取付けられた翼板にそのまま適用されるものではないが、この理に基いて和蘭の水雷艇 G. 15⁽²⁾ に装着された翼板型彎曲部竜骨は普通型彎曲部竜骨に比して非常に優れた効果を示したことが発表されている。然し彎曲部竜骨として斯様な不連続的構造を採用するときは、その全長の制限により全面積が著しく減少する許りでなく翼板相互の干渉によつて揚力係数が減少するから、船の速力に応じて縦横比及び隙長比を適当に定めないと却つて普通型彎曲部竜骨よりも効果が劣ることになる。

水雷艇 G. 15 に採用された彎曲部翼板の詳細は明らかでないが、該艇の荒海に於ける横揺角は普通型彎曲部竜骨を備えた同型艇 G. 16 のその約 70% であり、この成績によつて客船 “Oranje” 号に装着された翼板は縦横比 9.5 及び隙長比 3.3 であつた。昭和 15 年に東京大学工学部船舶工学科の試験水槽で行われた模型試験⁽³⁾に於ては縦横比 5.0, 隙長比 3.5, 3.0 及び 2.5 の 3 種の翼板型彎曲部竜骨が模型船 F 1 に装着されて航走中横揺試験が行われた。然し何れも同じ長さの普通型彎曲部竜骨よりも効果が少く、また隙長比の大きいものほど効果が少ないという結果が得られた。この度再びこの問題について行われた模型船による実験的研究に於ては流線形翼板の代りに矩形板が採用された。これは縦横比 5 位迄は矩形板の揚力係数は翼板のそれと殆ど等しい為と、船に装着される場合に工費が低廉であり且つ既成船の彎曲部竜骨をこの型に改造することが極めて簡単である為である。この模型試験の成績に基いて 3 隻の青函連絡船の彎曲部竜骨が改造され、これらの船とその同型船について定時運航途上に於て波浪中に於ける横揺試験が行われた。

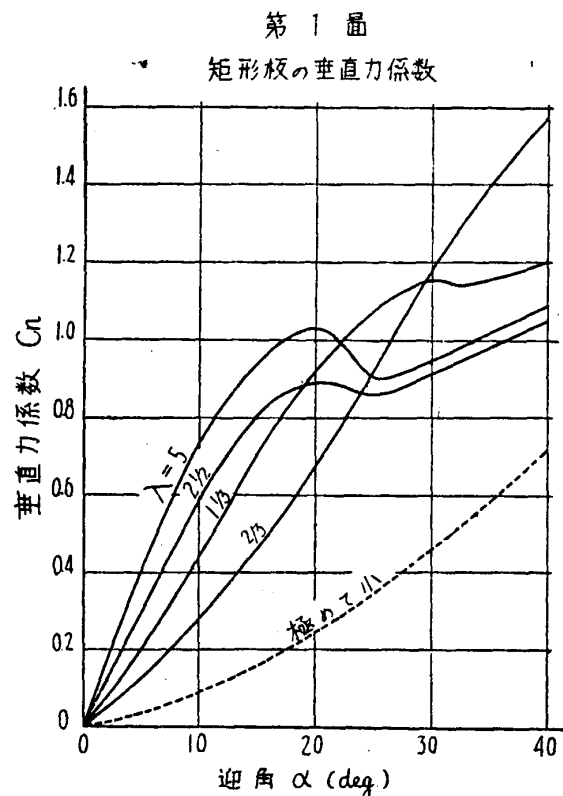
2. 模型試験成績

縦列矩形板型彎曲部竜骨の模型試験の為に使用された模型船 F 2 は漁船型でその主要寸法等は次の通りである。

垂線間長	2,000 mm
幅	432.8 mm
吃水	196.7 mm
排水量	99.605 kg
KG	172.6 mm
GM	54.5 mm
船底彎曲部半径	60.0 mm
船の重心から彎曲部竜骨迄の距離	254.0 mm
方形竜骨の深さ	17.0 mm
横揺週期	1.62 sec.

風洞試験によれば流線形翼板は縦横比 8 以上の場合に揚力係数が急に減少する迎角即ち失速角は約 12° 乃至 15° でその時の揚力係数は約 1.10 であるが、矩形板は縦横比 5 の場合に失速角は約 10° でその時の垂直力係数は約 0.75 である。船は航走中に彎曲部竜骨の迎角が 20° 以上に達する様な横揺を屢々行うから、この風洞試験の結果から見れば彎曲部矩形板として縦横比 5 及びそれ以上のものを用いても優れた効果は期待出来ない様に思われる。然るに昭和 13 年に回流水槽で行われた平板舵の実験⁽⁴⁾に於ては縦横比 $2/3$ 乃至 5.0 の 7 箇の矩形板が採用され、その結果として垂直力係数について

第 1 図に示す様な曲線が得られた。即ち縦横比 5 の矩形板の失速角は 20° でその時の垂直力係数は 1.025 である。依つて彎曲部矩形板としては縦横比の最大値を 5 とし第 1 表に示す通り 4 種の縦横比 ($2b/l$) 及び 3 種の隙長比 (s/l) が採用された。彎曲部竜骨の長さは約 500 mm で矩形板の幅 (b) は 25 mm としその外縁は直径 2



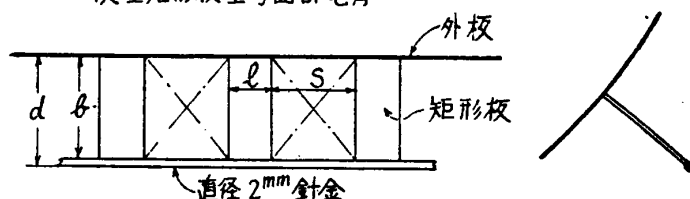
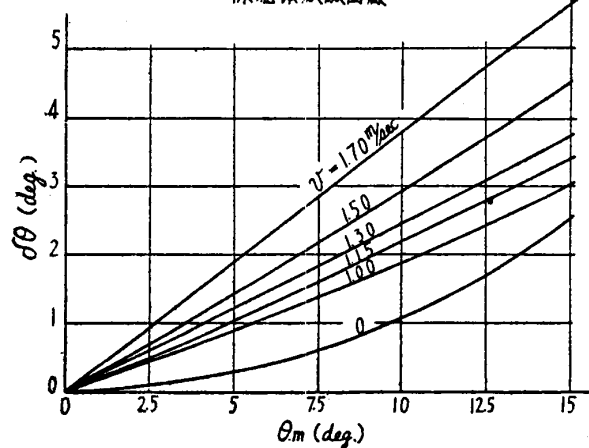
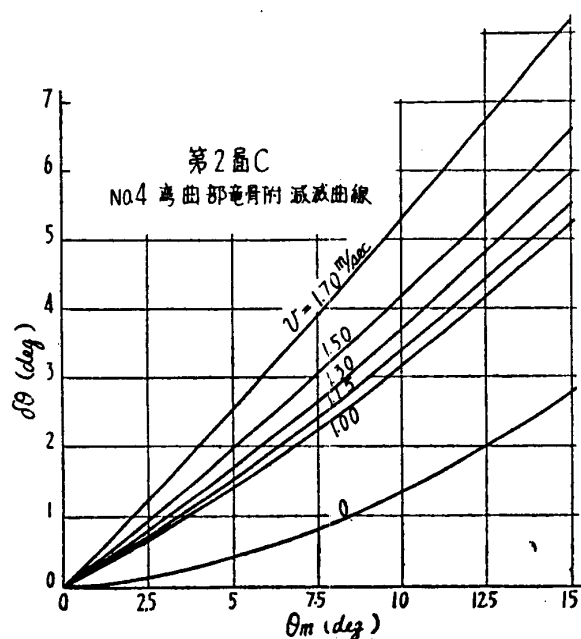
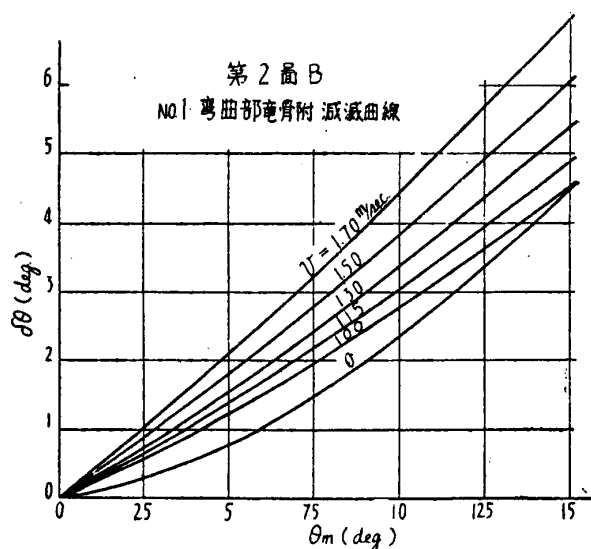
第1表 彎曲部竜骨の寸法

竜骨番号	矩形板の長 l mm	縦横比 λ	隙長比 σ	全長 L_b mm	面積比
1	—	0.1	—	500	1.00
2	10	5	1.0	490	0.53
3	10	5	1.5	510	0.45
4	10	5	2.0	490	0.39
5	14	3.58	1.0	490	0.54
6	14	3.58	1.5	504	0.46
7	14	3.58	2.0	476	0.38
8	18	2.78	1.0	486	0.54
9	18	2.78	1.5	513	0.47
10	18	2.78	2.0	504	0.41
11	25	2.00	1.0	525	0.59
12	25	2.00	1.5	525	0.49
13	25	2.00	2.0	475	0.39

mmの針金で連結された。

模型船は彎曲部竜骨のない場合及び普通型彎曲部竜骨並にこれら 12 箇の矩形板型彎曲部竜骨を装着された場合について、停止時及び 1.00 乃至 1.70 m/sec の 5 種の速力に対して自由横揺試験が行われ横揺角が測定された。これらの資料を解析して各場合に対する減衰曲線が得られた。その一部が第2図A、B及びCに示されている。平均横揺角 5° 及び 10° の場合に於ける減衰角は第2表A及びBに示す通りである。表中 No.0 は彎曲部竜骨のない場合、No. 1 は普通型彎曲部竜骨を附けた場

模型矩形板型彎曲部竜骨

第2図A
裸船体減衰曲線第2図B
No.1 彎曲部竜骨附減衰曲線第2表 A. 平均横揺角 5° に於ける減衰角 (deg)
模型船 F 2

速力 v 竜骨番号	0	1.00	1.15	1.30	1.50	1.70 m/sec
0	0.39	0.91	1.04	1.21	1.44	1.88
1	0.77	1.21	1.36	1.53	1.80	2.11
2	0.47	1.38	1.52	1.67	1.84	2.20
3	0.40	1.24	1.44	1.63	1.82	2.05
4	0.41	1.41	1.52	1.69	1.95	2.54
5	0.49	1.20	1.53	1.53	1.74	1.92
6	0.48	1.33	1.51	1.71	1.89	2.12
7	0.45	1.41	1.51	1.64	1.82	2.17
8	0.50	1.32	1.47	1.64	1.83	2.13
9	0.48	1.35	1.52	1.70	1.97	2.37
10	0.49	1.35	1.49	1.71	1.99	2.23
11	0.57	1.33	1.46	1.59	1.78	2.21
12	0.50	1.28	1.43	1.63	1.90	2.06
13	0.47	1.18	1.31	1.45	1.75	2.16

第 2 表 B 平均横揺角 10° に於ける減衰角(deg) 模型船 F 2

速力 v 竜骨番号	0	1.00	1.15	1.30	1.50	1.70 m/sec
0	1.07	1.94	2.17	2.46	2.97	3.67
1	2.45	2.78	3.04	3.35	3.84	4.51
2	1.47	3.00	3.25	3.46	3.76	4.49
3	1.60	2.73	3.15	3.42	3.74	4.24
4	1.34	3.16	3.36	3.64	4.26	5.28
5	1.54	2.59	2.87	3.20	3.55	3.90
6	1.54	2.92	3.20	3.57	3.92	4.33
7	1.38	3.07	3.25	3.48	3.80	4.47
8	1.80	2.83	3.13	3.43	3.74	4.32
9	1.58	2.93	3.23	3.55	4.03	4.80
10	1.45	2.89	3.17	3.56	4.09	4.55
11	1.74	2.85	3.06	3.30	3.63	4.47
12	1.58	2.79	3.02	3.38	3.84	4.19
13	1.51	2.54	2.77	3.04	3.57	4.38

合, No. 2 以下は矩形板型彎曲部竜骨を附けた場合である。第2表によれば平均横揺角 5° で普通型彎曲部竜骨よりも優秀な効果を与える矩形板型彎曲部竜骨でも横揺角 10° に於ては却つて劣るものがある。総ての横揺角及び総ての速力に於て優秀な効果を示す彎曲部竜骨は No. 4, 9 及び 10 であり, 速力 1.3 m/sec 迄ならば No. 6 及び 7 彎曲部竜骨もまた優秀である。而して No. 4 彎曲部竜骨はあらゆる速力に於て最も優秀な効果を与えている。

$\delta\theta_i$ を No. i 彎曲部竜骨を附けた時の減衰角とすればこの彎曲部竜骨による減衰角 $\delta\theta_i'$ は次式で与えられる。

$$\delta\theta_i' = \delta\theta_i - \delta\theta_0$$

但し $\delta\theta_0$ は裸船体の場合の減衰角である。

従つて $\delta\theta_i'/\delta\theta_1'$ は No. i 矩形板型彎曲部竜骨と普通型彎曲部竜骨との効果比を表わす。平均横揺角 10° の場合の $\delta\theta_i'$ が第3表に, また $\delta\theta_i'/\delta\theta_1'$ が第4表

に示されている。第3図の曲線はこれらの効果比と矩形板の速長比 $v/\sqrt{l}$ (m, sec. 単位) との関係を表わしたものである。総ての速長比に於て最も優秀な効果を表わしている No. 4 彎曲部竜骨の効果比は速長比 12.5 で

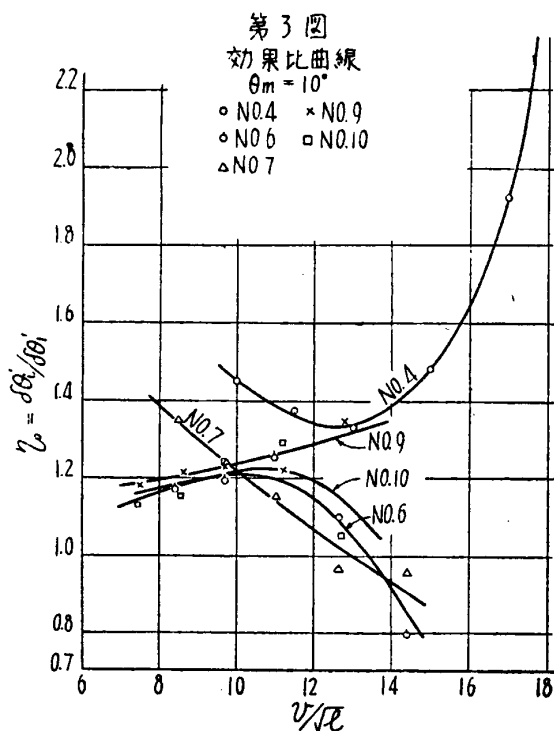
第 3 表 平均横揺角 10° に於ける彎曲部竜骨による減衰角 (deg)

速力 v $\delta\theta_i'$	1.00	1.15	1.30	1.50	1.70 m/sec
$\delta\theta_1'$	0.84	0.37	0.89	0.87	0.84
$\delta\theta_4'$	1.22	1.19	1.18	1.29	1.61
$\delta\theta_6'$	0.98	1.03	1.11	0.95	0.66
$\delta\theta_7'$	1.13	1.08	1.02	0.83	0.80
$\delta\theta_9'$	0.99	1.06	1.09	1.06	1.13
$\delta\theta_{10}'$	0.95	1.00	1.10	1.12	0.88

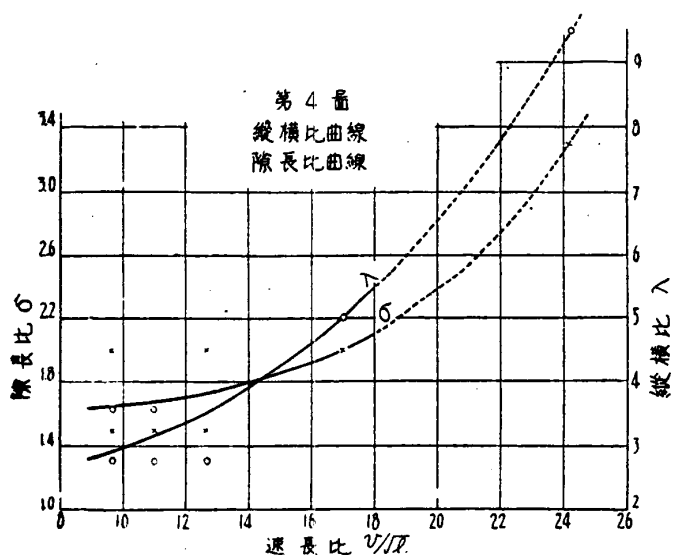
第 4 表 平均横揺角 10° に於ける矩形板型彎曲部竜骨の効果比 $\eta_0 = \delta\theta_i'/\delta\theta_1'$

No. 4	$v/\sqrt{l}$	10.00	11.50	13.00	15.00	17.00
η_0		1.45	1.37	1.33	1.48	1.92
No. 6	$v/\sqrt{l}$	8.45	9.72	10.99	12.68	14.38
η_0		1.17	1.19	1.25	1.09	0.79
No. 7	$v/\sqrt{l}$	8.45	9.72	10.99	12.68	14.38
η_0		1.35	1.24	1.15	0.96	0.95
No. 9	$v/\sqrt{l}$	7.45	8.57	9.69	11.18	12.68
η_0		1.18	1.22	1.23	1.22	1.35
No. 10	$v/\sqrt{l}$	7.45	8.57	9.69	11.18	12.68
η_0		1.13	1.15	1.24	1.29	1.05

様な曲線が得られる。この曲線の速長比 24.2 に対する点は客船 “Oranje” 号に装着された翼板型彎曲部竜骨から得られたものである。この曲線によつて任意の速長比に対して普通型彎曲部竜骨より優秀な効果を与える矩形板型彎曲部竜骨が定められるが, 速長比が 17 より小さい場合には前述の如く縦横比 5 及び隙長比 2 の矩形板



極小値 1.33 となり, 速長比がこれより増せば効果比は急激に増大して速長比 17 では 1.92 に増している。普通型彎曲部竜骨よりも優秀な効果を与える様な矩形板型彎曲部竜骨の縦横比及び隙長比の値を速長比に対して置点すると第4図に示す



第5表 模型船Pの減衰角 (deg)

平均横揺角 5° に於ける減衰角						
速力 v	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.1 m/sec
竜骨番号						
14	1.08	1.30	1.30	1.27	1.30	1.46
15	1.06	1.24	1.26	1.33	1.44	1.64
16	1.06	1.17	1.21	1.32	1.39	1.54
平均横揺角 10° に於ける減衰角						
14	2.28	2.64	2.70	2.73	2.94	3.19
15	2.22	2.50	2.58	2.68	2.82	3.08
16	2.10	2.40	2.58	2.66	2.77	3.12
平均横揺角 15° に於ける減衰角						
14	4.03	4.22	4.42	4.59	4.96	5.38
15	3.64	4.03	4.22	4.30	4.50	4.71
16	3.58	3.80	4.20	4.30	4.58	4.98

凡て劣っている。従つてこれらは彎曲部竜骨として採用されるには不適當である。

これらの調査によつて最も有効な矩形板の縦横比は約5であることが判明した。次に縦横比5の矩形板に対する最適の隙長比を求める為に模型船F1及びF2の試験結果を用いて不連続型彎曲部竜骨附の場合の減衰角と普通型彎曲部竜骨附の場合の減衰角との比が隙長比を基線として平均横揺角 10° 及び速長比 15 及び17に対して曲線に示された(第5図)。この曲線は縦横比5の彎曲部矩形板は隙長比が2の時に最も有効であることを示している。

矩形板型彎曲部竜骨は速長比が余り大きくなると矩形板相互の干渉の為に効果が減少する。縦横比5及び隙長比2の矩形板型彎曲部竜骨が如何なる速長比の時に最も有効であるかを確かめる為に長さ2mの漁船模型F3に長さ486mm、深さ22.5mmの普通型及び矩形板型彎曲部竜骨が装着さ

が最も優れた効果を与える。速長比が17より相当大きな値の場合には矩形板の縦横比の値に制限がある為に流線形翼板を用いる方が得策になる訳であるが、その場合に矩形板型彎曲部竜骨に比してどの程度に優れているかは後述の実船の成績によつて判断することが出来る。

彎曲部矩形板の縦横比が5以上の場合には優秀な効果を望み得ないであろうことは前述されたがこれを確かめる為に長さ2.5mの客船型模型船Pを使つて実験が行われた。試験された彎曲部竜骨は次の通りである。

No. 14 普通型彎曲部竜骨

長 370 mm, 深 26 mm

No. 15 矩形板型彎曲部竜骨

長 378.5 mm, 深 26 mm,

矩形板の長 7.5 mm, 幅 24 mm,

間隙 19 mm, 縦横比 6.4,

隙長比 2.53

No. 16 矩形板型彎曲部竜骨

長 366 mm, 深 26 mm,

矩形板の長 6 mm, 幅 24 mm,

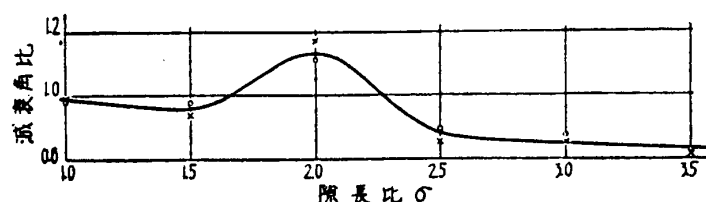
間隙 18 mm, 縦横比 8,

隙長比 3

これらの彎曲部竜骨が装着された模型船の種々の速力に於ける減衰角は第5表に示す通りである。これらの結果によるとNo. 15 及び 16 彎曲部竜骨は普通型彎曲部竜骨に比べて横揺角が約 8° 以下で速力が 1.6 m/sec ($v/\sqrt{L}$ は夫々 18.5 及び 21.5) 以上の時にのみ優れた効果を与えるがその他の横揺角及び速力に於ては

第5図

不連続型彎曲部竜骨附の減衰角と
普通型彎曲部竜骨附の減衰角との
比較を表わす曲線(模型船F1,F2)
縦横比 5
平均横揺角 10°
 $v/\sqrt{L} = 15 \sim 17$



れ速力約 1.2 乃至 2.2 mm/sec で実験が行われた。その結果は両者の減衰角の比と速長比との関係を示す曲線として第 6 図に示されている。即ちこの矩形板型彎曲部竜骨は速長比が 18.5 の時に効果が最大であつた。次に碇泊時の横揺抵抗を増加する目的で長さ 320 mm, 深さ 22.5 mm の矩形板型彎曲部竜骨が上記の矩形板型彎曲部竜骨の下 28 mm の位置に装着されて実験が行われた。その結果によれば単一の場合には普通型彎曲部竜骨に比して面積は 43% で効果は 29% となり, 二重の場合には面積は 71% で効果は 40% となり, 結局不連続型では碇泊時の効果を普通型と同等にすることは不可能であることが判つた。また航走中に於ては速力 1.6 m/sec (矩形板の速長比 17.9) の時に単一の矩形板型彎曲部竜骨は普通型彎曲部竜骨の約 3 倍の効果を示したが, 二重の場合にはその効果は普通型の約 1.5 倍に減少した。

以上の模型試験の成績により矩形板型彎曲部竜骨は縦横比を約 5 及び隙長比を約 2 とし速長比を略々 15 乃至 19 とすれば極めて有効であることが判つた。船に装着された矩形板型彎曲部竜骨と普通型彎曲部竜骨との効果比は模型試験成績を用いて次の方法により近似的に計算される。船が横揺をしながら航走する時の速力を v (m/sec) とし, 横揺による横方向の流速を彎曲部に於て v_t とすれば船の中央部附近に於ける水の相対速力 v_r 及び彎曲部竜骨の迎角 α は次式で近似的に与えられる。

$$v_r = \sqrt{v^2 + v_t^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{v_t}{v}$$

船の横揺を次式で表わす

$$\theta = -\theta_0 \cos \frac{2\pi}{T} t \quad (1)$$

但し θ_0 = 横揺角, T = 横揺週期

然るときは

$$\begin{aligned} v_t &= cr_k \frac{d\theta}{dt} \\ &= cr_k \theta_0 \frac{2\pi}{T} \sin \frac{2\pi}{T} t \end{aligned} \quad (2)$$

但し c = 船の幅, 重心位置及び彎曲部の形によつて定められる流速係数 (第 7 図の曲線によつて与えられる)⁽⁵⁾

r_k = 船の重心から彎曲部竜骨迄の距離

彎曲部竜骨の垂直力 P_n は次式で与えられる。

$$P_n = f C_n \frac{\rho}{2} A v_r^2 \quad (3)$$

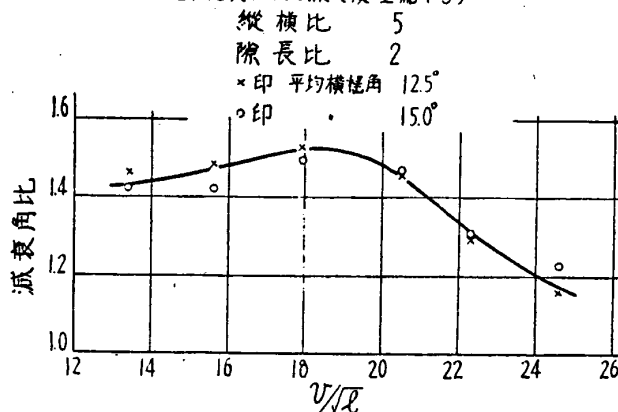
但し f = 彎曲部矩形板の縦横比, 隙長比, 速長比及び最大迎角 ($\alpha_{\max}$) によつて定められる係数, 普通型彎曲部竜骨に対しては 1.0 と仮定する。

C_n = 垂直力係数 (矩形板の縦横比及び迎角の函数)

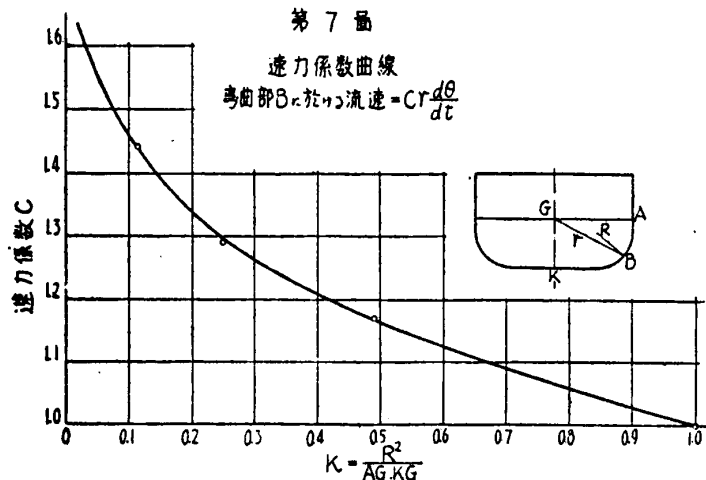
ρ = 水の密度

A = 彎曲部矩形板の全面積

第 6 図
矩形板型彎曲部竜骨の減衰角と
普通型彎曲部竜骨の減衰角との
比較を表わす曲線 (模型船 F3)



第 7 図
速力係数曲線
彎曲部Bに於ける流速 $= Cr \frac{d\theta}{dt}$



船が1揺れする間に彎曲部竜骨の抵抗のなす仕事 δE は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\delta E &= 2 \int_0^{\theta_0} r_k P_n \cos \varphi d\theta \\ &= f \rho r_k A v^2 \frac{2\pi}{T} \theta_0 \cos \varphi \\ &\quad \times \int_{T/4}^{T/2} C_n \left(1 + \frac{v t^2}{v^2}\right) \sin \frac{2\pi}{T} t dt\end{aligned}\quad (4)$$

但し φ = 船の重心と彎曲部竜骨の中心とを結ぶ直線が彎曲部竜骨となす角
いま

$$I = \int_{T/4}^{T/2} C_n \left(1 + \frac{v t^2}{v^2}\right) \sin \frac{2\pi}{T} t dt$$

とおけば矩形板型彎曲部竜骨と普通型彎曲部竜骨との効果比 η_0 は次式で与えられる。

$$\begin{aligned}\eta_0 &= \frac{\delta \theta_1'}{\delta \theta_1'} \\ &= \frac{\delta E}{\delta E_0} \\ &= f \frac{AI}{A_0 I_0}\end{aligned}\quad (5)$$

但し δE_0 , A_0 及び I_0 は普通型彎曲部竜骨に対する仕事、面積及び積分値である。

或は

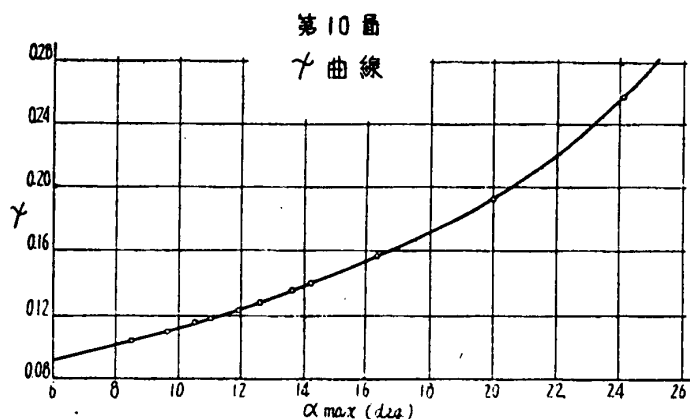
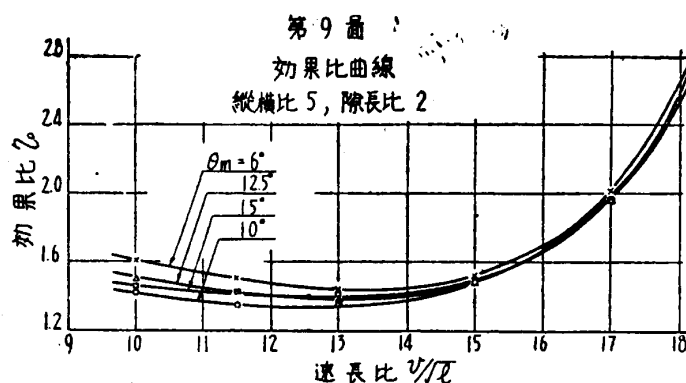
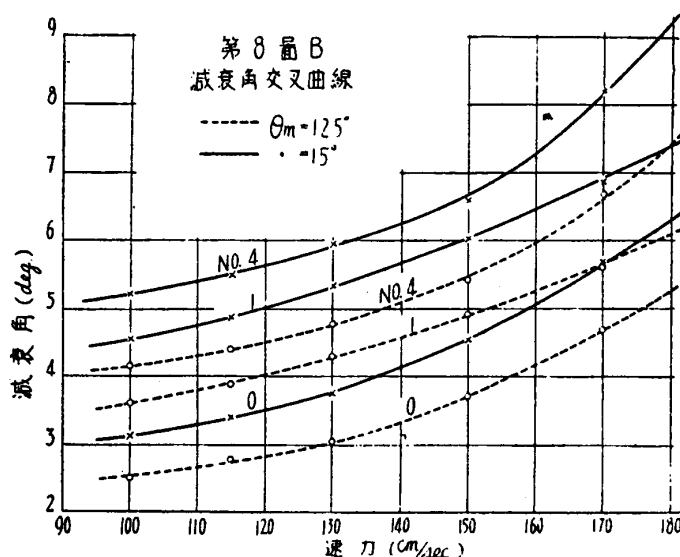
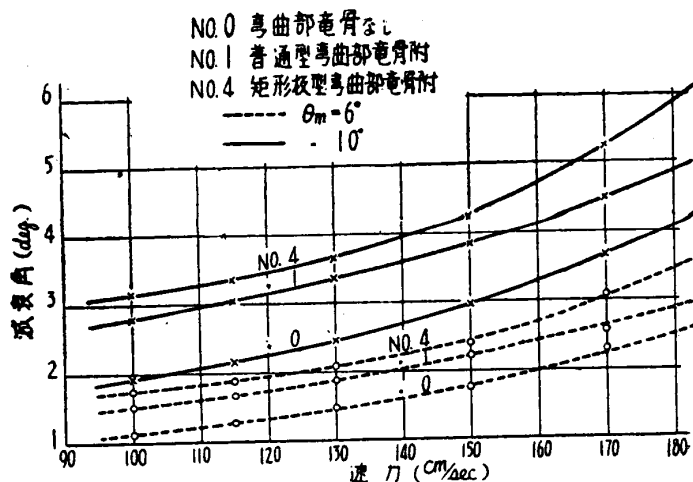
$$\eta_0 = \frac{f}{(1+\sigma)\psi}\quad (6)$$

但し σ = 隙長比 s/l

$$\psi = I_0/I$$

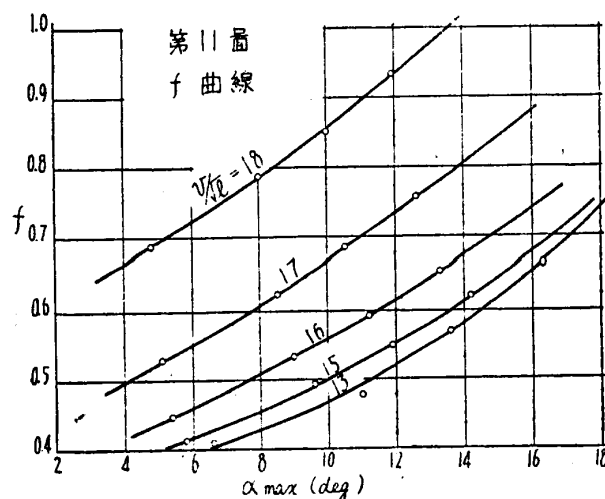
縦横比 5 及び隙長比 2 の彎曲部矩形板の効果比 η_0 を求める為に彎曲部竜骨のない場合、普通型彎曲部竜骨及び No. 4 矩形板型彎曲部竜骨を付けた場合に対して速力を基線として横揺減衰角の交叉曲線 (第 8 図) を描く。これを用いて計算された効果比 η_0 を速長比を基線として交叉曲線に表わす (第 9 図)。速長比 13 乃至 18 に対して種々の横揺角に於ける積分値 I を計算し、これより ψ を求める。これらの η_0 及び ψ の値から f が求められる。斯様にして計算された η_0 , ψ 及び f の値が第 6 表に示され、また最大迎角と ψ 及び f との関係が第 10 図及び 11 図の曲線で示されている。縦横比約 5 及び隙長比約 2 の矩形板型彎曲部竜骨を任意の船に装着した場合の効果比はこれらの資料を用いて概算することが出来る。

第 8 図 A 減衰角交叉曲線



第 6 表 f 及 ψ の値

v/v_T	$\theta_0(\text{deg})$	$\alpha_{\max}(\text{deg})$	η_0	ψ	f
13	6	6.6	1.45	.094	.410
	10	11.0	1.35	.118	.478
	12.5	13.6	1.40	.136	.570
	15	16.3	1.42	.156	.664
15	6	5.8	1.53	.090	.412
	10	9.6	1.48	.111	.492
	12.5	11.9	1.48	.123	.547
	15	14.2	1.48	.139	.619
16	6	5.4	1.69	.088	.447
	10	9.0	1.67	.106	.532
	12.5	11.2	1.66	.119	.593
	15	13.3	1.65	.132	.654
17	6	5.1	2.02	.087	.527
	10	8.5	1.98	.105	.623
	12.5	10.5	1.97	.116	.685
	15	12.6	1.97	.128	.756
18	6	4.8	2.67	.086	.688
	10	8.0	2.60	.101	.788
	12.5	10.0	2.53	.112	.850
	15	11.9	2.53	.123	.934



3. 船の抵抗に及ぼす影響

翼板型及び矩板型彎曲部竜骨は普通型彎曲部竜骨に比べて渦抵抗は増加し摩擦抵抗は減少するが全体としては殆ど変りなく、従つて船の平水中の前進抵抗に対して何等の影響も及ぼさないことが実験的に証明された。即ち水雷艇 G.15 の試運転に於ては船の抵抗が翼板型彎曲部竜骨によつて増加されないことが認められた。漁船模型 F 1 について行われた実験に於ては翼板型彎曲部竜骨の抵抗は普通型彎曲部竜骨のそれよりも約 2% 大きかつたが、これは船の全抵抗を約 0.1%

増加したに過ぎない。また客船模型 P について行われた実験に於ては矩板型彎曲部竜骨の抵抗は普通型彎曲部竜骨のそれよりも極めて僅か少かつた。これらの試験結果から見て普通型彎曲部竜骨の代りに翼板型又は矩板型彎曲部竜骨を付けても平水に於ける船の速力は変化しないということが出来る。

船が波浪中を進行する場合にはあらゆる種類の動揺をする為に抵抗は著しく増加し従つて同じ馬力に対して速力は相当に減少するものであるが、矩板型彎曲部竜骨を装着すれば動揺が減少するから同じ馬力に対して速力は増加することになる。これに関しては完全な実験的資料はないが嘗つて元良信太郎博士⁽⁶⁾が行われた横揺のみによる抵抗増加に関する模型試験に於ては、横揺角 15° の時に同一速度を保つ為の馬力増加は約 11% であつた。若し矩板型彎曲部竜骨の装着により 15° の横揺角が約 40% 減少するとすれば馬力は約 4.4% 減少することになる。然し船が波浪中を進行する時に生ずる横揺以外の動揺は横揺の減少と共に減少するものであるから、矩板型彎曲部竜骨を装着することにより馬力は実際には一層減少するのであろう。

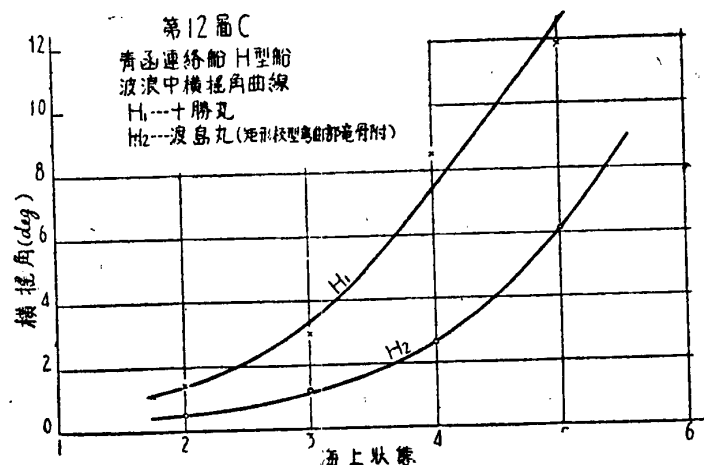
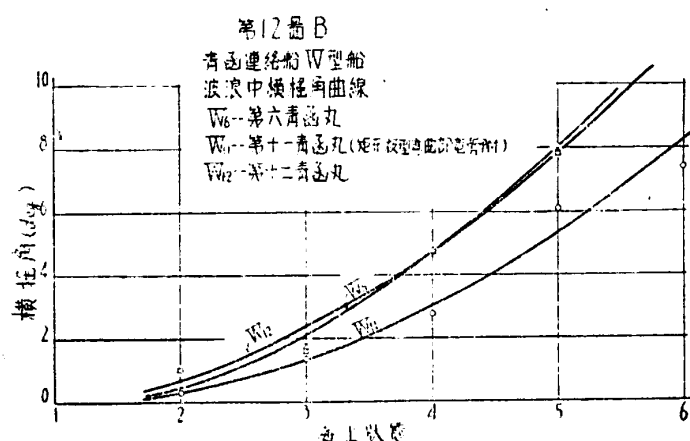
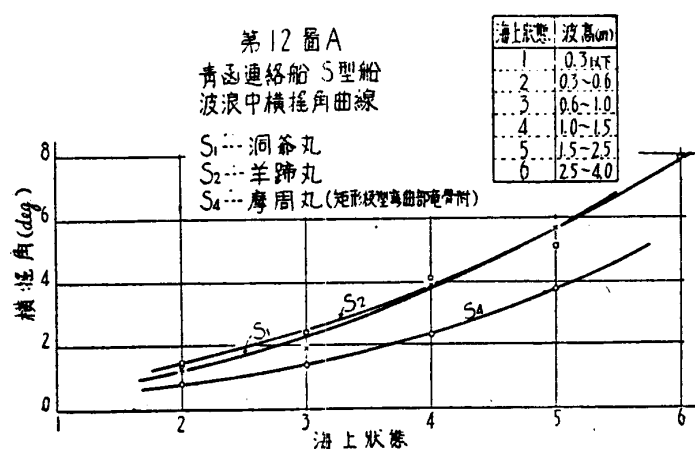
4. 実船に就いての試験成績

縦列矩板型彎曲部竜骨の模型試験は静水中を航走する模型船を自由横揺させて行われ、その結果この彎曲部竜骨の横揺防止効果が普通型彎曲部竜骨に比して極めて大なることを示した。然しこの効果をそのまま不規則波の中で横揺する船に適用し得るか否かは実験によらなければ判明しない。日本国有鉄道の特別の協力により青函連絡船 3 隻即ち客貨車渡船摩周丸 (S 型船)、甲板室を有する貨車渡船第十一青函丸 (W 型船) 及び甲板室を持たない貨車渡船渡島丸 (H 型船) がその彎曲部竜骨を改造され同型船と共に実験が行われた。これらの船の主要寸法等は次の通りである。

船 名	摩 周 丸	第十一青函丸	渡 島 丸
垂 線 間 長 (m)	113.2	113.2	113.2
幅 (m)	15.85	15.85	15.85
深 (m)	6.80	6.80	6.80
総 噸 数 (T)	3,900	3,161	2,912

速 力 (kt)	13.5	13.5	13.5
就航時排水量 (t)	5,033	5,470	5,458
就航時 GM (m)	0.85	0.86	1.68

これらの船の彎曲部竜骨は深さ 600 mm、長さ 42.8 m であつたが、これを外板附 30 mm の幅を残し長さ 180 mm 及び幅 475 mm の矩形板が 350 mm の間隙を置いて配列する様に切断された。これらの船及びその同型船が青森、函館間を定時航行する際に波浪中に於ける横揺試験が行われた。多数の船について横揺角を正確に測定し海上状態を厳密に観測することは極めて困難である為、これらについて簡単な計測が多数行われた。即ち昭和 24 年 12 月 1 日から翌年 1 月 31 日迄の 2 ヶ月間に於てこれらの船が青森県大間崎及び焼山崎沖を通過する際の横揺角を約 3 分乃至 10 分間測定してその平均値を求め、同時に天候、風向及び風力、波の階級、波の船に対する方向、横揺週期及び速力が調査測定された。波の大きさ及び波の船に対する方向は船の横揺角に特に大きな関係を有するから成るべく正確に測定されることが必要である。然しこれらの測定が仮令相当概略的であつても同型船について一定時期に一定個所で測定された多くの横揺角から波浪階級即ち海上状態の階級に対してその平均値を



求めれば、これによつて同一海上状態に於ける同型船の横揺状態について大体の比較を行うことが出来る。

各船について実際に行われた観測回数は次の通りである。

S 型船……洞爺丸 20, 摩周丸 43, 羊蹄丸 36

W 型船……第六青函丸 38, 第十一青函丸 74, 第十二青函丸 67

H 型船……十勝丸 60, 渡島丸 43

上述の方法で試験結果を解析すると船の横揺角と海上状態との関係は第 12 圖 A, B 及び C の曲線で表わされる。これらによると矩形板型彎曲部竜骨を装着された船は凡ての船型に於て普通型彎曲部竜骨を装着された同型船よりも波浪中に於ける横揺角が少かつた。即ち横揺角の減少は海上状態 4 乃至 5 に於て S 型船は 34%, W 型船は 35%, H 型船は 58% であつた。これらの成績は矩形板型彎曲部竜骨が流線形翼板型彎曲部竜骨に劣らない効果を与えることを示している。参考の為に海上状態を示す波浪階級表が第 7 表に示されている。

第 7 表 波浪階級表

波浪階級	海面の模様	波高 (m)
0	鏡の如し	0
1	僅かに細波あり	0.3 以下
2	細波立つ	0.3 ~ 0.6
3	細き白波見ゆ	0.6 ~ 1.0
4	全部白波となる	1.0 ~ 1.5
5	白波高し	1.5 ~ 2.5
6	大波となる	2.5 ~ 4.0
7	大波高し	4.0 ~ 7.0
8	怒濤頗る高し	7.0 ~ 13.0
9	怒濤山の如し	13.0 以上

5. 結 論

以上の調査により次の如き結論が得られた。

1. 縦列矩形板型彎曲部竜骨は縦横比 5 及び隙長比 2 の時に極めて大きい横揺防止効果を与え、速長比 15 乃至 19 に於て普通型彎曲部竜骨の約 1.5 乃至 2.5 倍の効果がある。
2. 本彎曲部竜骨の装着により船の不規則波中に於ける横揺角は海上状態 4 乃至 5 に於て約 35% 乃至 55% 減少される。
3. 本彎曲部竜骨は流線形翼板型彎曲部竜骨に劣らない効果を与える。
4. 本彎曲部竜骨を普通型彎曲部竜骨の代りに装着することにより平水中に於ける船の前進抵抗は増加されない。

参考文献

- (1) H. E. Rossell and L. B. Chapman, "Principles of Naval Architecture," Vol. 2, 1939.
- (2) W. Rösingh, "Anti-rolling Experiments with Netherlands Torpedo Boats G. 15 and G. 16," Shipbuilding and Shipping Record, October 27, 1938.
- (3) 正木利信, 吉木 芳卒業論文, 「航行中に於ける安定板の性能に就て」, 昭和 15 年。
- (4) 宮武孝光, 森垣 勉卒業論文, 「平板舵に於ける縦横比の直圧力及び圧力中心に対する影響に就て」, 昭和 13 年。
- (5) 加藤 弘, 「船の横揺に対する抵抗の性質並びに相似則に就て」, 造船協定会報第 66 号, 昭和 15 年。
- (6) 元良信太郎, 「元良式船舶動揺制止装置試験成績」, 造船協定会報第 36 号, 大正 14 年。