

第 8 7 研 究 部 会
動 揺 の 少 な い 船 型 の 研 究
報 告 書

昭 和 4 1 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40年度補助事業として、日本造船研究協会第87研究部会が東京大学、海上保安庁ならびに船舶技術研究所の協力を得てとりまとめたものである。

第87研究部会委員名簿（五十音順、敬称略）

部会長	菅 四 郎	（日本造船研究協会）	委 員	松 浦 和 雄	（佐世保重工業）
幹 事	菅 井 和 夫	（船舶技術研究所）	"	松 岡 史 香	（ " ）
"	高 田 健	（海上保安庁）	"	山 口 博	（日本原子力船 開発事業団）
"	田 坂 鋭 一	途中より高田健と交代	"	大 和 佳 助	（運輸省）
"	徳 永 陽一郎	（ " ）	"	吉 田 愛 次	（笠戸船渠）
"	別 所 正 利	（防衛大学校）	"	渡 辺 四 郎	（川崎重工業）
"	三 宅 教 雄	（海上保安庁）	討 議 参加者	赤 岩 昭 慈	（運輸省）
"	元 良 誠 三	（東京大学）	"	飯 田 巖	（笠戸船渠）
委 員	石 黒 健	（函館ドック）	"	家 永 稜威雄	（佐世保重工業）
"	泉 晃	（三菱重工業）	"	伊 東 達 夫	（川崎汽船）
"	今 堀 健 三	（藤永田造船所）	"	伊 藤 博 美	（運輸省）
"	宇 川 毅	（昭和海運）	"	大 野 檀	（三菱重工業）
"	大 野 茂 樹	（佐野安船渠）	"	岸 讓四郎	（三井造船）
"	岡 田 正次郎	（日立造船）	"	見 学 道 彦	（日本鋼管）
"	神 中 龍 雄	（石川島播磨重工業）	"	小 丸 捧	（川崎重工業）
"	杉 村 泰	（三井造船）	"	坂 本 昭 弘	（佐世保重工業）
"	高 城 清	（川崎汽船）	"	高 木 又 男	（日立造船）
"	宝 田 直之助	（浦賀重工業）	"	田 島 巧 治	（笠戸船渠）
"	田 官 真	（東京大学）	"	伏 見 清 喜	（昭和海運）
"	千 種 茂 雄	（名村造船所）	"	古 田 義 磨	（藤永田造船所）
"	千 葉 博	（運輸省）	"	前 田 久 明	（東京大学学生）
"	富 山 毅	（日本鋼管）	"	松 島 昭 一	（浦賀重工業）
"	百 海 顕 二	（舞鶴重工業）	"	松 本 宏 之	（呉造船所）
"	並 松 正 明	（呉造船所）	"	松 本 安三郎	（名村造船所）
"	浜 田 昇	（運輸省）	"	吉 野 信 治	（三井造船）
"	原 田 久 明	（三菱重工業）	"	吉 野 泰 平	（船舶技術研究所）
"	松 井 富 雄	（新潟鉄工所）			

目 次

第 1 章 緒 言	1
第 2 章 「海洋」「明洋」模型比較実験結果	2
2.1 「海洋」「明洋」要目	2
2.2 実験結果および検討	2
第 3 章 「海洋」「明洋」実船試験結果	19
第 4 章 理論的考察	23
4.1 横揺れ強制モーメントの線型理論による表示	23
4.2 横揺れの少ない船型の条件	25
第 5 章 系統的模型実験	27
5.1 模型船 要目	27
5.2 実験結果	27
第 6 章 結 論	54

第 1 章 緒 言

船舶の動揺、特に横揺れについては、船型のいかににより左右される要素が多く、これは船舶の安全性のみならず、乗組員の作業能率の点からも極めて重要であつて、従来から船型およびビルジキールについての系統的試験は数多く行なわれてきた。

たまたま、海上保安庁の「海洋」型測量船が他の同種類の船に比べて、非常に横揺れが少ないことがわかつたのと、波の横揺れ強制モーメントに対する流体力学的な取扱いが進んできたことから、この際「海洋」型船型の横揺れの少ない原因を究明すると共に、船型と横揺れとの相関を横揺れ強制モーメントをも考慮に入れて研究しようとする計画がなされ、40年度日本船舶振興会の補助金の交付を受けて本研究を実施した。

本研究はまず、「海洋」船型の模型について吃水および重心高を変えて減衰、横揺れ強制モーメントおよび横揺れ振幅を計測することから着手され、続いて「海洋」および同型で吃水の大きい「明洋」両船の実船による横揺れの測定がなされた。

一方線型理論に基づく、横揺れ強制モーメントの計算結果を用い、理論上強制モーメントが零になるいわゆる *Ursell* 船型や楕円柱体について実験が行なわれた。

これらの結果を検討して、幅一吃水比、船底勾配、ビルジ曲率等を変化させた8個の系統的2次元模型が作られ、それぞれ重心高さや、ビルジキールの大きさを変化しながら減衰、横揺れ強制モーメント、横揺れ角が計測された。

第2章 「海洋」「明洋」模型比較実験結果

2.1 「海洋」「明洋」要目など

「海洋」および「明洋」の主要目を表2.1および両船の正面線図を図2.1に、また両船の模型要目および試験状態を表2.2に示す。模型船は木製で長さ2.00mである。

2.2 実験結果および検討

「海洋」「明洋」両船の計測結果を図2.2より図2.19に示してある。図2.2および図2.3は減減係数で、横揺れの少ない「海洋」の方が格段に減減係数が大きいことがわかる。渡辺、井上両氏¹⁾および岩田氏²⁾の実験式を用いて、実験状態に対応する減減係数を求めてみると図2.22(図2.20～図2.25)に示すようになる。両実験式とも吃水および重心位置の変化に対する減減係数(*Bertin*の*N*係数)の変化の傾向は実験とよく合っているが、岩田氏の式の方が数値的には近い。これは岩田氏の式が供試船型と極めて近い巡視船型ばかりの資料に基づいて作られたからであろう。図2.24および図2.25より見て、「海洋」は「明洋」に比べて吃水が浅いことにより、大幅に*N*が大きくなり、重心がやや低いことにより*N*が減少し、全体として「明洋」より減減が大きくなっていることがわかる。

また「海洋」より大きな*N*係数を有する船、例えば「しきね」は非常に大きなビルジキールをつけていて*N*係数が「海洋」より大きいにもかかわらず、「海洋」より横揺れが大きいことから見て、減減係数からのみ横揺れの大小は決められないことがわかる。

図2.7より図2.8までは横揺れ強制モーメントの実測値である。図2.8と図2.15には強制モーメントを有効波傾斜係数*r*の形で表わしてあるが、これより「海洋」は「明洋」より強制モーメントがかなり小さいことがわかる。結局減衰が大きいことと、強制モーメントが小さいことの両者が合わさって「海洋」の横揺れが小さくなっているわけである。

図2.9より図2.19までは横揺れ角で、吃水が浅いほど揺れなくなることを示している。

表 2.1 「海洋」「明洋」主要目等

	海 洋	明 洋
全 長	4 4.5 3 m	4 4.8 0 m
吃水線長	3 8.7 1	4 0.5 0
垂線間長	3 9.3 7 7	3 9.6 0
最大幅(外板を含む)	8.0 5	8.0 5
深さ(竜骨下面より甲板舷側線)	3.8 0	3.8 0
吃水(計画常備状態)	2.4 0	2.9 5 0
計画トリム	0.6 0	0.6 0
梁 矢(最大幅にて)	0.1 6 0	0.1 6 0
k/B	0.4 1 4	0.4 1 5

項 目			状 態		常 備 状 態		滑 載 状 態		軽 荷 状 態		補 填 軽 荷 状 態	
					海 洋	明 洋	海 洋	明 洋	海 洋	明 洋	海 洋	明 洋
排水量	t				377.63	486.11	417.14	529.87	289.95	395.13	365.58	457.52
吃水	相 当	m			2.39	2.88	2.57	3.07	1.98	2.47	2.34	2.75
	前 部	"			2.09	2.58	2.46	3.05	1.19	1.74	1.79	2.07
	後 部	"			2.69	3.18	2.71	3.14	2.74	3.16	2.87	3.38
	平 均	"			2.39	2.88	2.59	3.10	1.97	2.45	2.33	2.73
トリム	"				0.60	0.60	0.25	0.09	1.55	1.42	1.08	1.31
方形肥瘠係数	C_b				0.493	0.507	0.500	0.513	0.469	0.496	0.491	0.504
柱形肥瘠係数	C_p				0.603	0.598	0.601	0.597	0.602	0.602	0.603	0.599
水線面係数	C_w				0.679	0.696	0.683	0.705	0.661	0.681	0.677	0.691
最大横截面積係数	C_{Σ}				0.818	0.849	0.831	0.859	0.780	0.824	0.814	0.842
最大横截面積	m^2				15.74	19.7	17.20	21.2	12.43	16.4	15.33	18.7
水線面積	"				211.0	226	216.0	232	200.9	213	209.6	221
浸水表面積	"				309.0	350	324.0	365	273.4	316	305.0	339
水線長	m				38.60	40.3	39.28	40.8	37.72	38.9	38.48	39.9
$T P C$	t				2.16	2.31	2.21	2.38	2.06	2.18	2.15	2.27
$M T C$	t/m				4.08	4.70	4.29	4.97	3.68	4.17	4.03	4.52
$K B$	m				1.42	1.70	1.52	1.80	1.20	1.46	1.39	1.62
$\boxtimes B$	"				0.63	0.77	0.67	0.84	0.58	0.65	0.62	0.73
$T K M$	"				3.69	3.60	3.63	3.60	3.92	3.66	3.70	3.61
$B M$	"				2.27	1.90	2.11	1.80	2.72	2.20	2.31	1.99
$G M$	"				1.01	0.75	1.05	0.83	0.77	0.40	0.74	0.49
$L K M$	"				43.40	40.80	42.10	40.20	49.10	42.70	43.90	41.30
$L B M$	"				41.98	39.10	40.58	38.40	47.90	41.24	42.51	39.68
$L G M$	"				40.72	37.95	39.52	37.43	45.95	39.44	40.94	38.18
$K G$	"				2.68	2.85	2.58	2.77	3.15	3.26	2.96	3.12
$\boxtimes G$	"				0.63	0.77	0.31	0.36	1.79	1.52	1.15	1.43
$\bigcirc G$	"				0.29	-0.03	0.01	-0.30	1.17	0.79	0.62	0.37
$\boxtimes F$	"				0.99	1.57	1.18	1.83	0.65	1.07	0.94	1.40
横揺周期 T_s	sec				6.67	7.75	6.54	7.37	7.63	10.62	7.79	9.59

注. C_b , C_A , C_m , C_{Σ} 等の諸係数はすべてそれぞれの状態における吃水線長、水線幅、吃水を使って算出したものである。

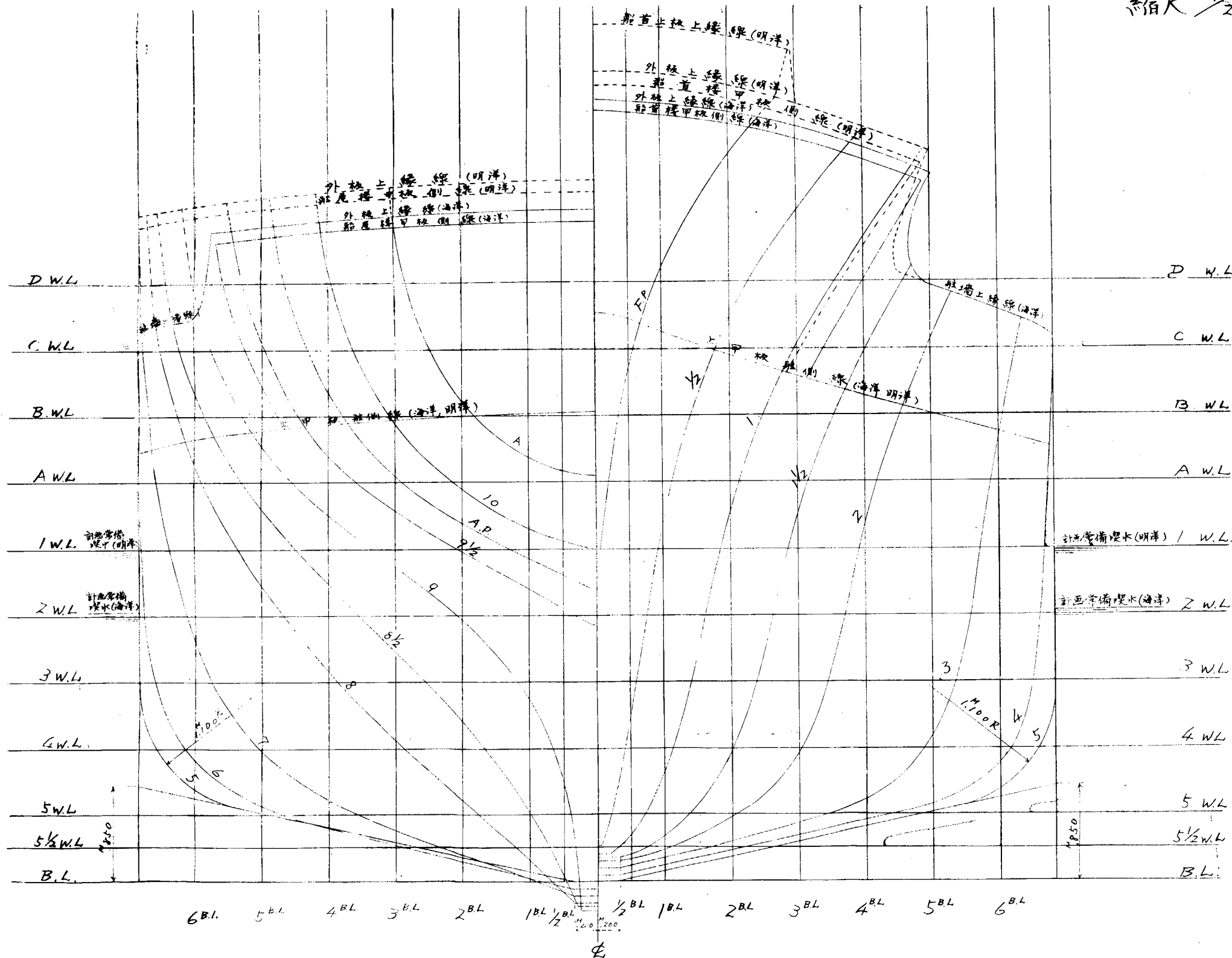
表 2.2 試験状態主要目

状 項 目	明 洋 (常備)		海 洋 (常備)		海 洋 (輕荷)		海 洋 (常備) (KG+20%)		海 洋 (常備) (KG-20%)	
	実 船	模 型	実 船	模 型	実 船	模 型	実 船	模 型	実 船	模 型
<i>Lpp</i>	<i>m</i> 39.60	<i>mm</i> 2000	<i>m</i> 39.60	<i>mm</i> 2000	<i>m</i> 39.60	<i>mm</i> 2000	<i>m</i> 39.60	<i>mm</i> 2000	<i>m</i> 39.60	<i>mm</i> 2000
<i>B</i>	" 8.05	" 406.6	" 8.05	" 406.6	" 8.05	" 406.6	" 8.05	" 406.6	" 8.05	" 406.6
<i>D</i>	" 3.80	" 191.9	" 3.80	" 191.9	" 3.80	" 191.9	" 3.80	" 191.9	" 3.80	" 191.9
相当吃水	" 2.88	" 145.5	" 2.39	" 120.7	" 1.98	" 100.0	" 2.39	" 120.7	" 2.39	" 120.7
排水量	<i>t</i> 486.11	<i>Kg</i> 61.18	<i>t</i> 377.63	<i>Kg</i> 47.46	<i>t</i> 289.95	<i>Kg</i> 36.44	<i>t</i> 377.63	<i>Kg</i> 47.46	<i>t</i> 377.63	<i>Kg</i> 47.46
<i>KM</i>	<i>m</i> 3.60	<i>mm</i> 181.8	<i>m</i> 3.69	<i>mm</i> 186.4	<i>m</i> 3.92	<i>mm</i> 198.0	<i>m</i> 3.69	<i>mm</i> 186.4	<i>m</i> 3.69	<i>mm</i> 186.4
<i>KG</i>	" 2.85	" 143.9	" 2.68	" 135.4	" 2.68	" 135.4	" 3.08	" 155.5	" 2.35	" 118.7
<i>GM</i>	" 0.75	" 37.9	" 1.01	" 51.0	" 1.24	" 62.6	" 0.61	" 30.9	" 1.34	" 67.7
<i>Ts</i>	<i>sec</i> 7.75	<i>sec</i> 1.74	<i>sec</i> 6.67	<i>sec</i> 1.50	<i>sec</i> 6.01	<i>sec</i> 1.35	<i>sec</i> 8.54	<i>sec</i> 1.92	<i>sec</i> 5.78	<i>sec</i> 1.30

注： 海洋（輕荷）のKGは海洋（常備）のKGと同一とせり。

測量船「海洋」「明洋」正面線図

縮尺 1/25



主要寸法

	海洋	明洋
全長	44.530	44.800
喫水線長	38.710	40.500
重線間長	37.377	39.600
幅 (外板を含む)	8.050	8.050
深さ (船体中央にてキール下面より)	3.800	3.800
舷弧 (船首楼甲板前端に計画喫水線上部)	4.370	4.100
" (上甲板後端にて)	1.752	1.200
梁矢 (最大幅にて)	1.160	1.160
船底勾配	1.850	1.850
弯曲部半径	1.100	1.100
船底勾配基尺 (中心線より)	1.200	1.200
甲板間高さ (中心線にて)		
上甲板 - 船首楼甲板	1.700	1.900
上甲板 - 船尾楼甲板	1.700	1.950
「オシネート」間隔	4.050	4.050
水線間隔	1.590	1.590
「バウ」及「ストロライン」間隔	1.590	1.590
肋骨間隔	1.600	1.600
計画トリム (船尾へ)	1.600	1.600
喫水 (計画常備状態にて)	2.400	2.950

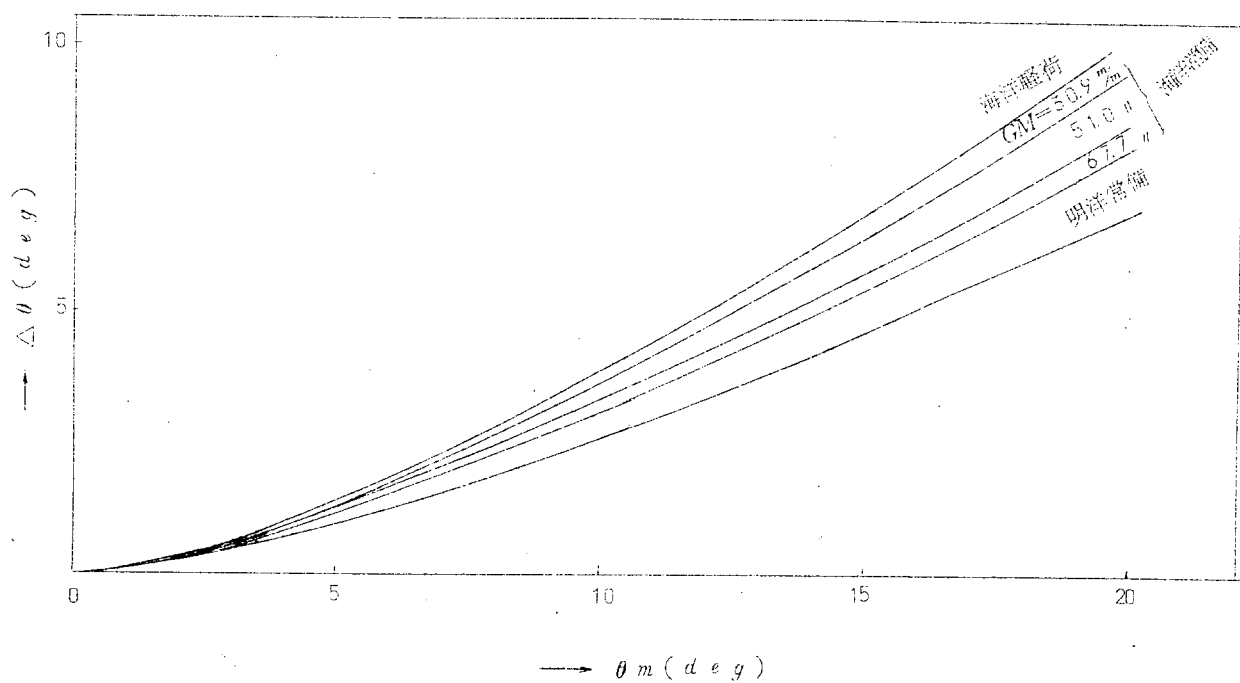


圖 2.2 減 減 曲 線

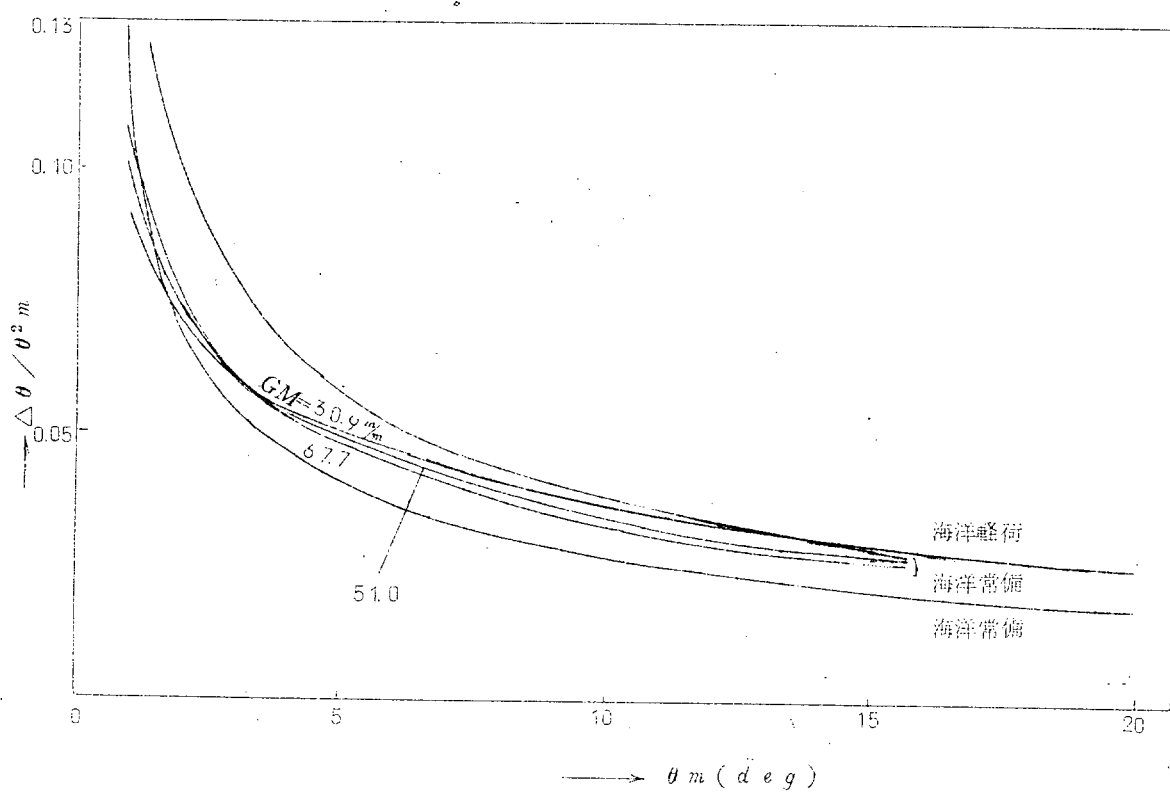


圖 2.3 N 曲 線

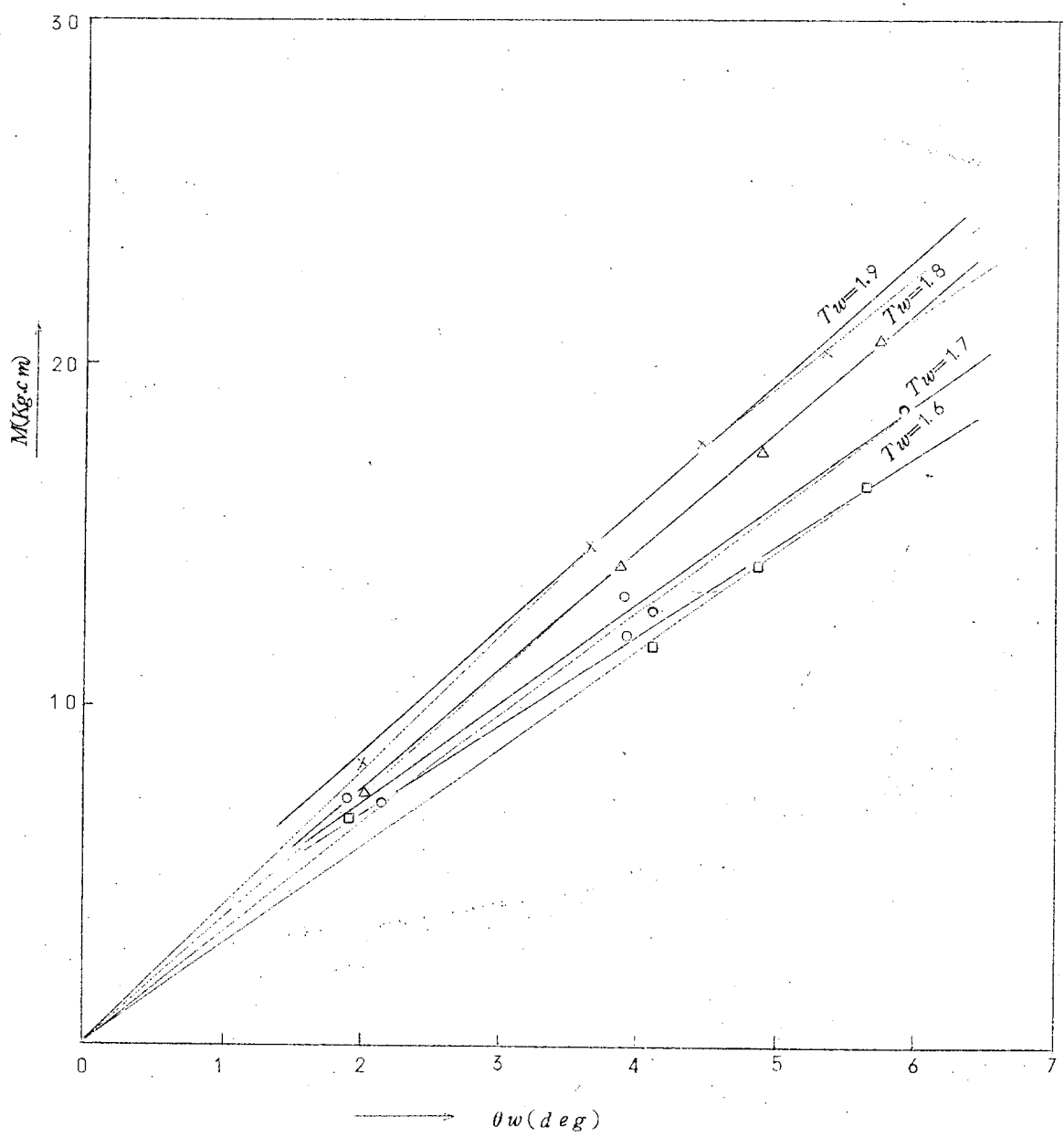


図 2.4 明洋横揺モーメント常備状態

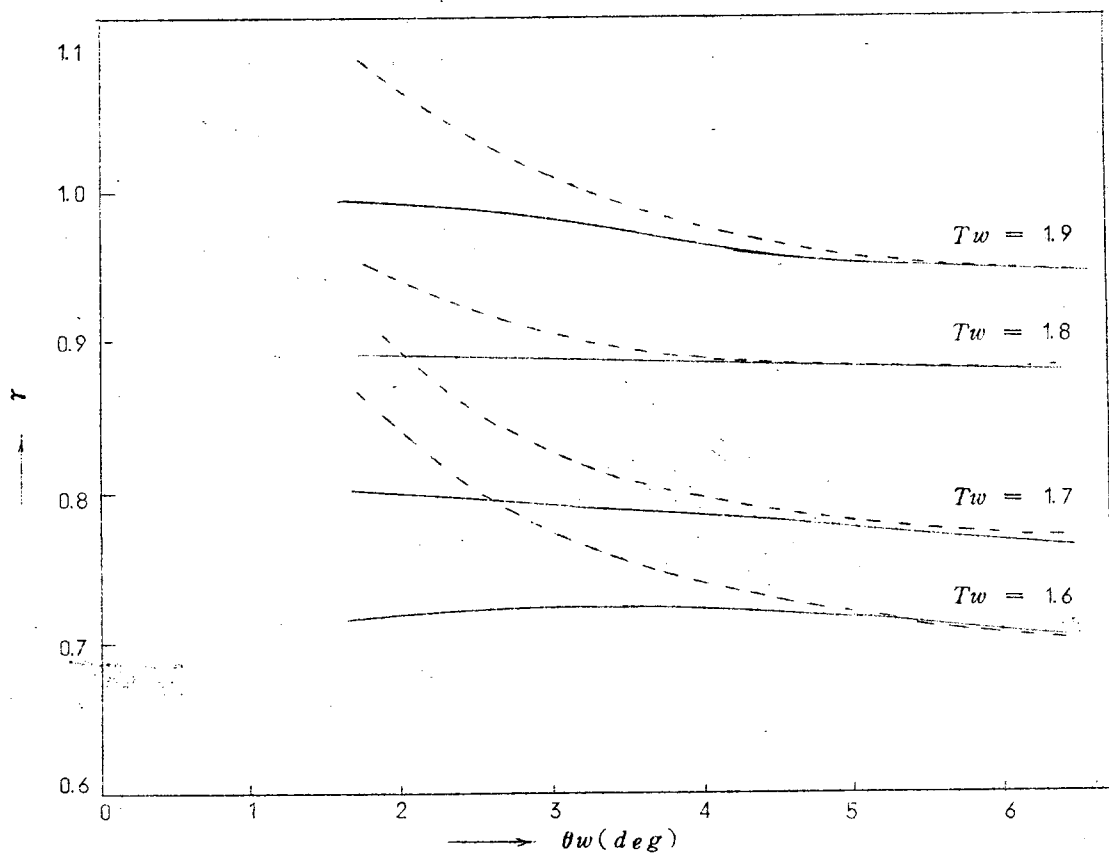


图 2.5 明洋常偏状态有效波倾斜系数 γ

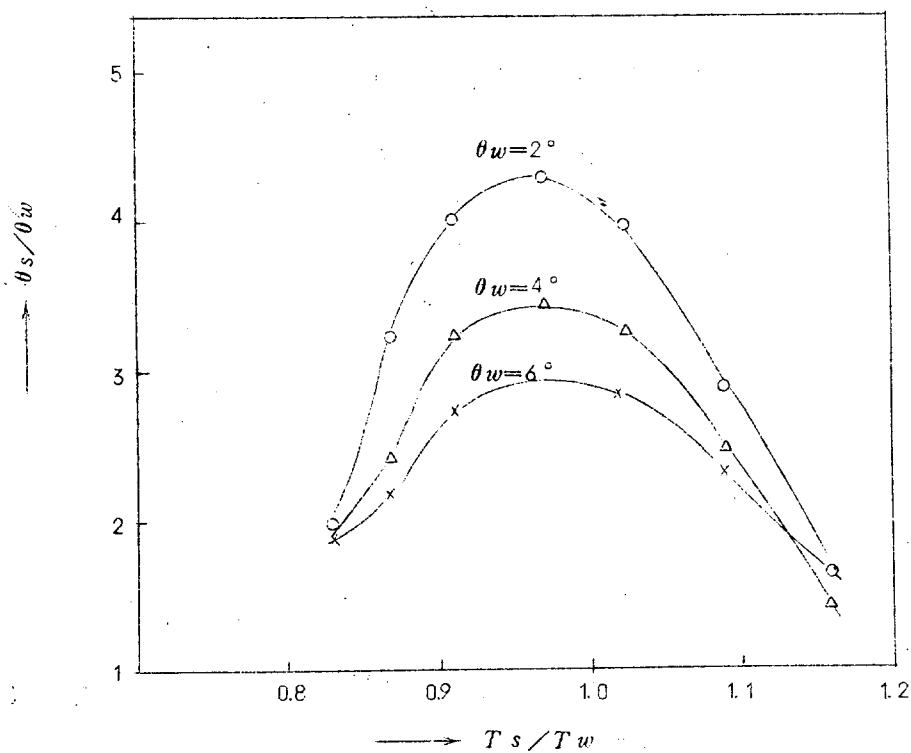


图 2.6 明洋(常偏状态) $\theta_s/\theta_w - T_s/T_w$ 曲线

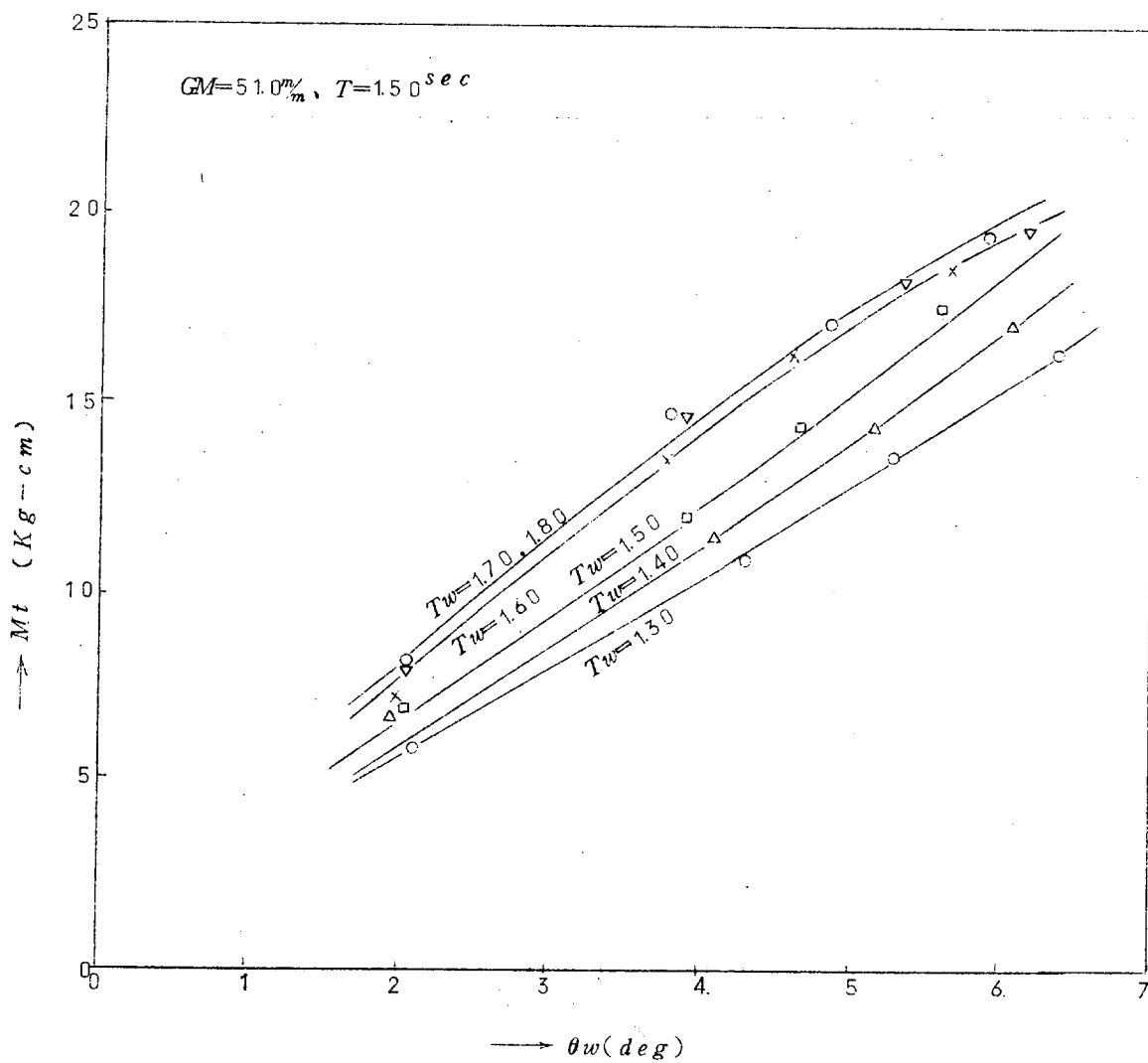


図 2.7 海 洋 (常 備) 横 揺 れ モー メ ント

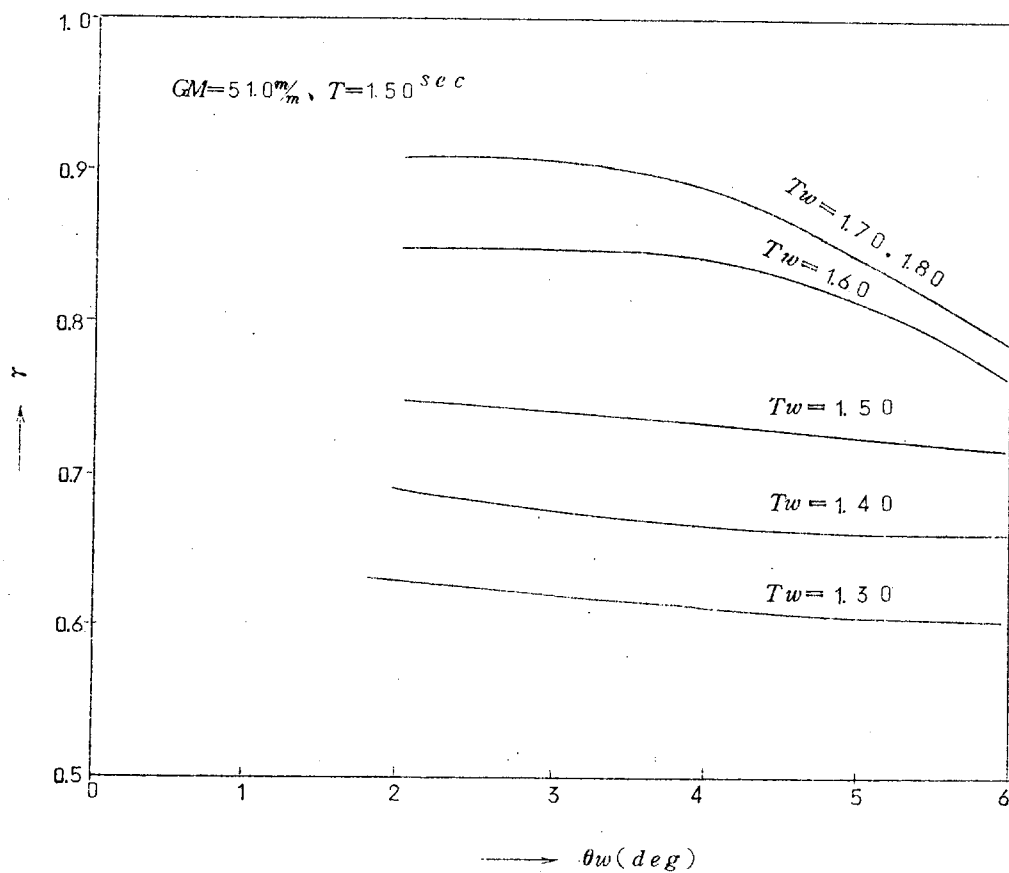


図 2.8 海 洋 (常 備) 有 効 波 傾 斜 係 数 γ

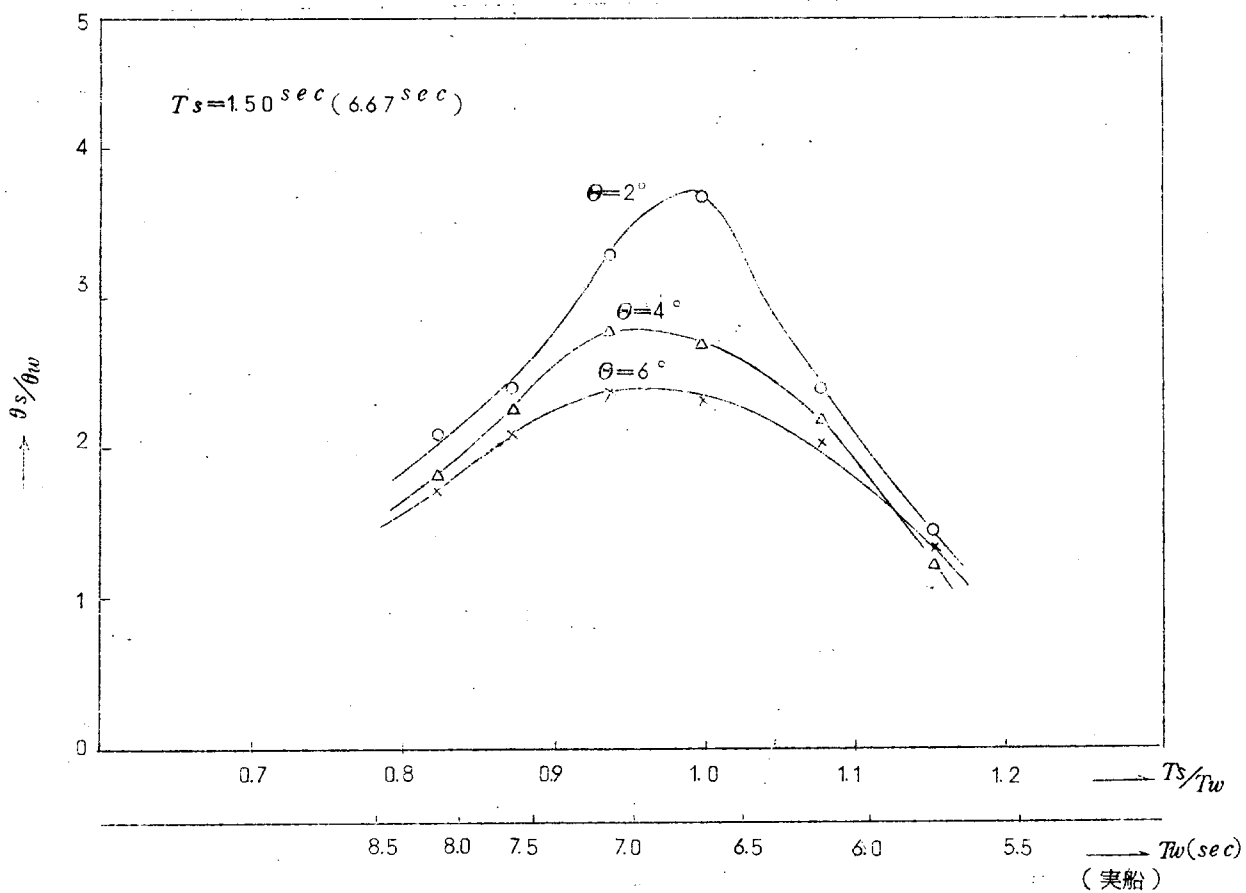


図 2.9 海洋(常備状態) $\theta_s/\theta_w - T_s/T_w$ 曲線

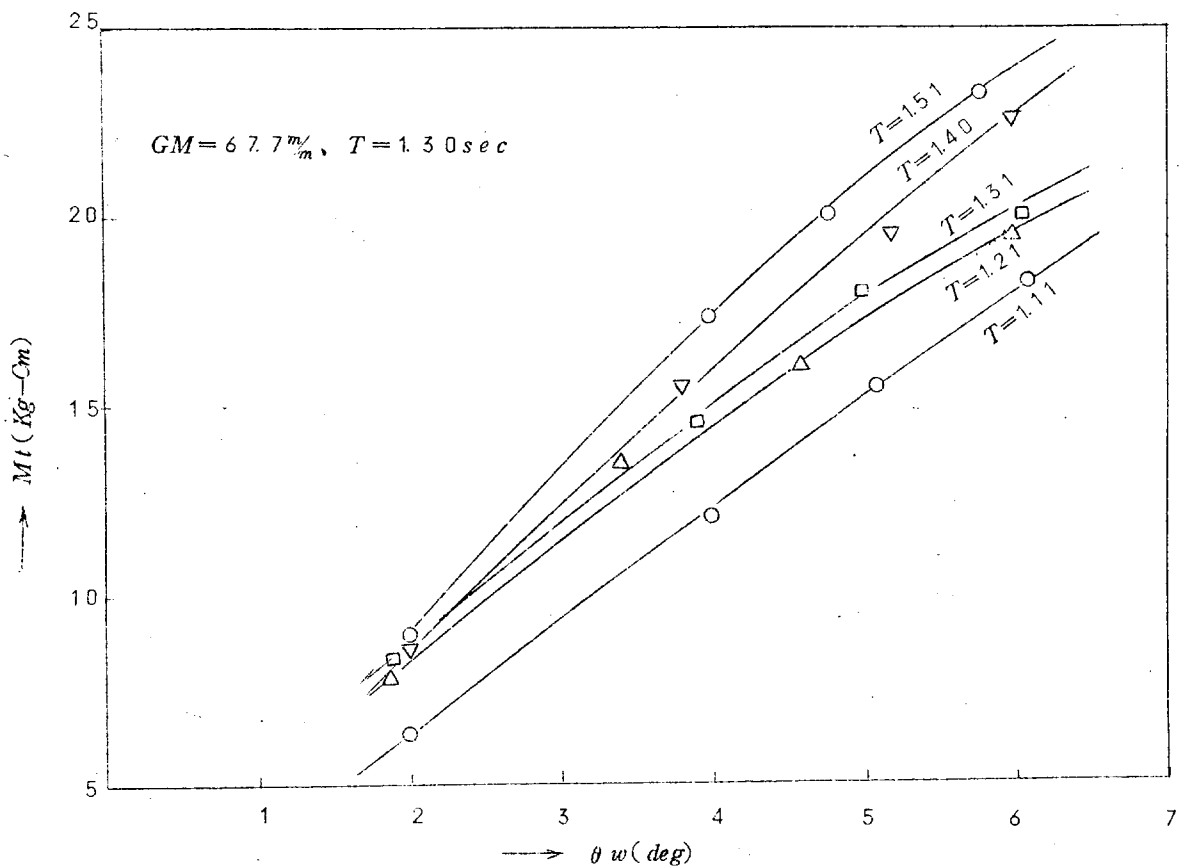


図 2.10 海洋(常備)(KG-20%)横揺れモーメント

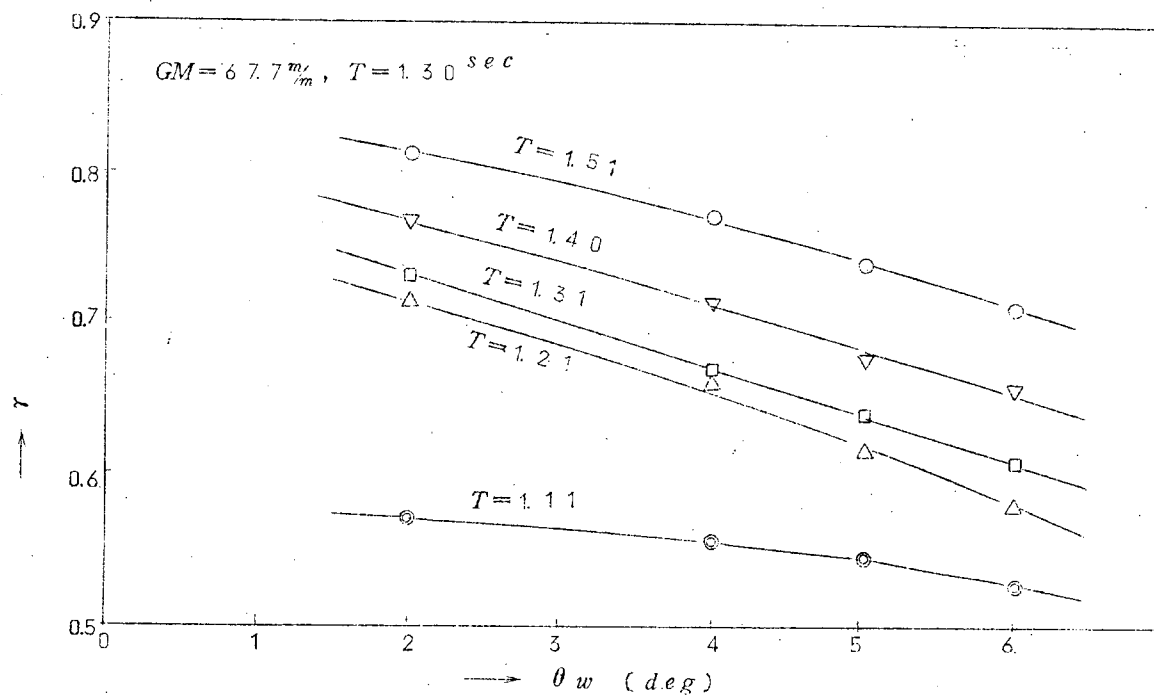


图 2.11 海洋(常備)(KG-20%)有効波傾斜係数 r

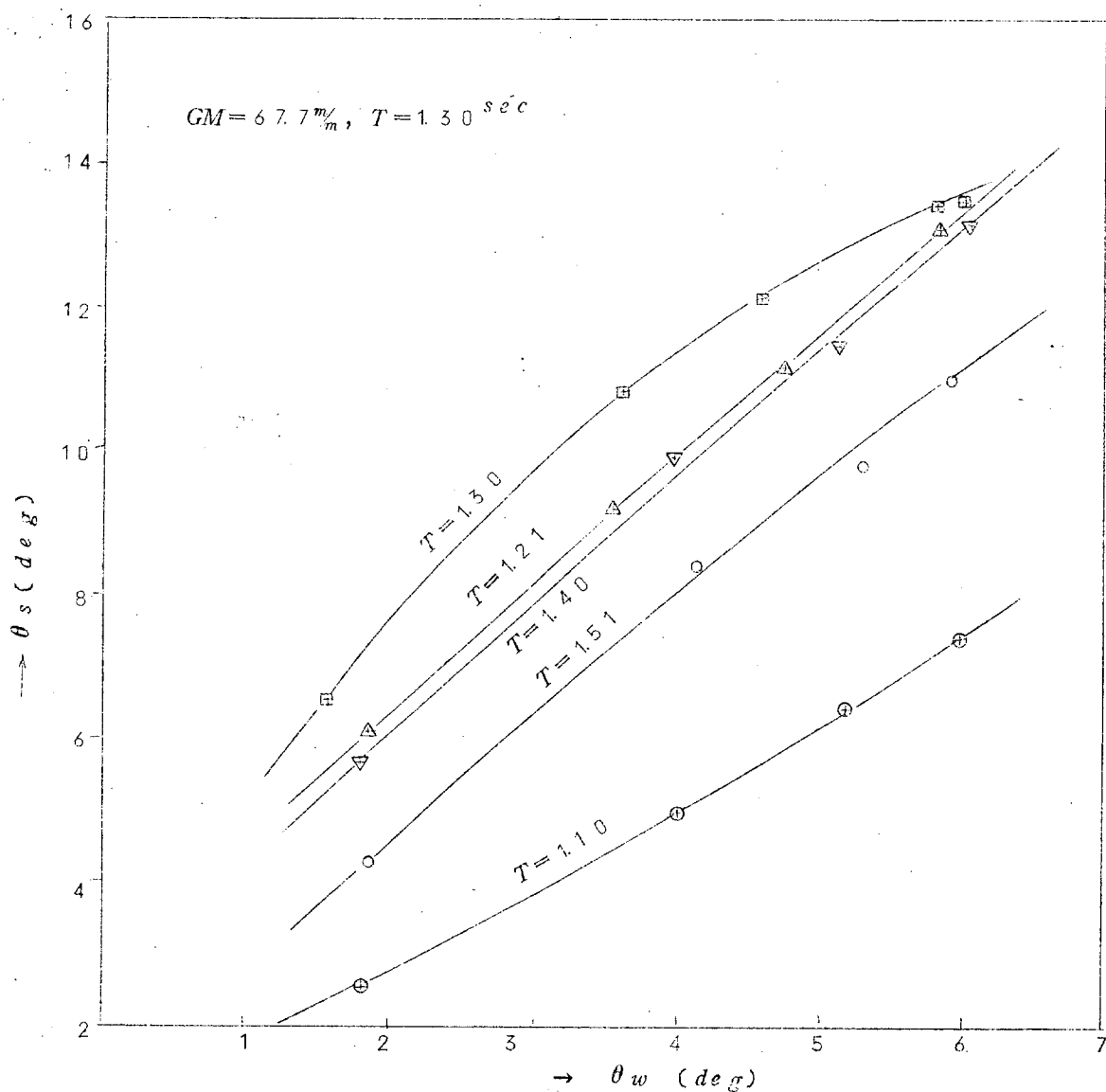


图 2.12 海洋(常備)(KG-20%)横揺れ角 θ_s

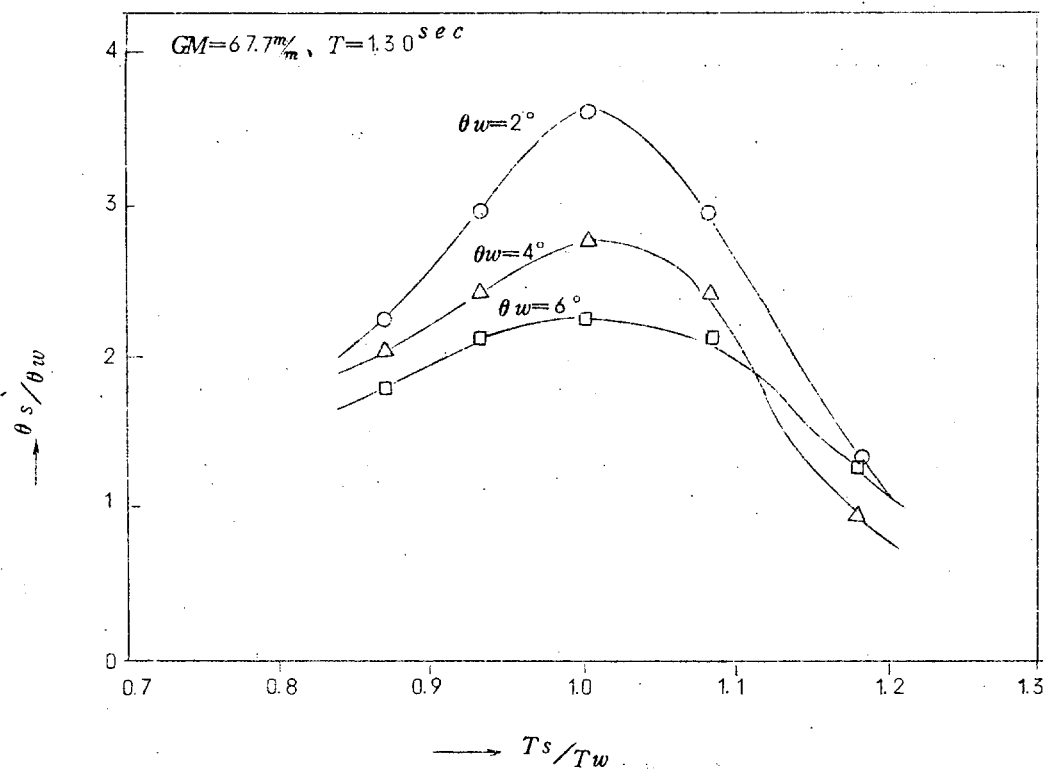


図2.1.3 海洋(常備)($KG-20\%$) $\theta_s/\theta_w - T_s/T_w$ 曲線

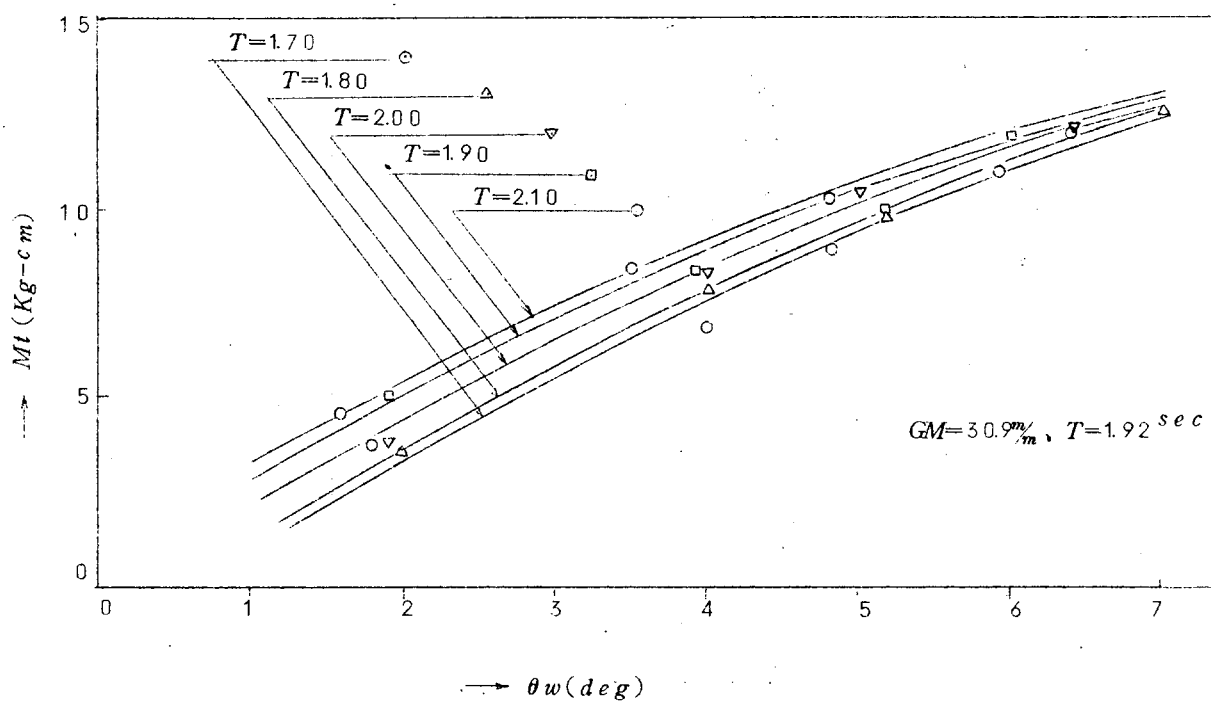


図2.1.4 海洋(常備)($KG+20\%$) 横揺れモーメント

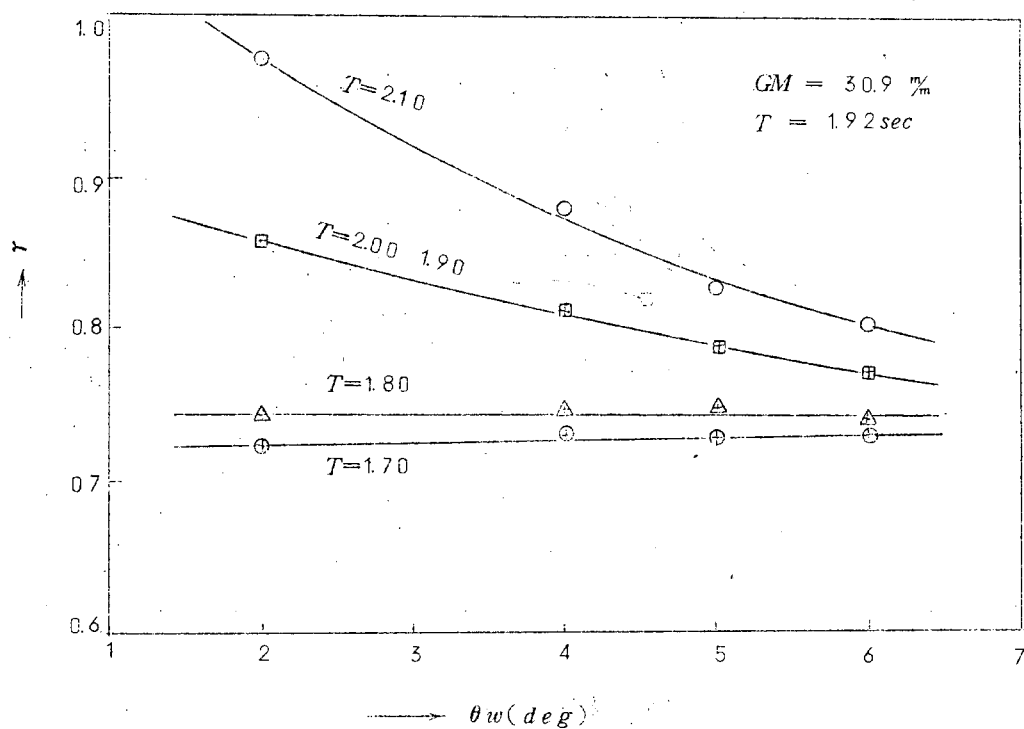


图 2.15 海洋(常備)($KG+20\%$)有效波傾斜係數 γ

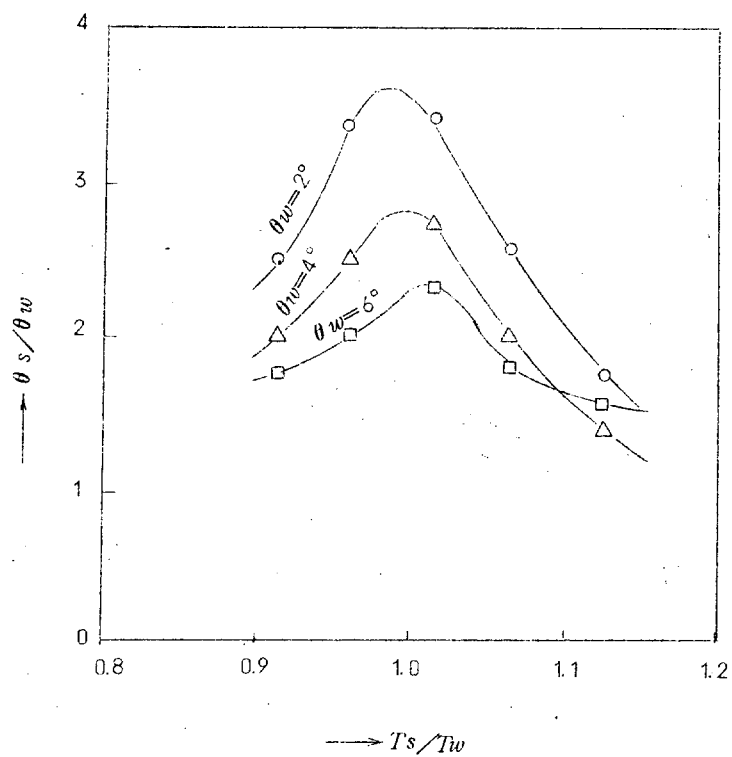


图 2.16 海洋(常備) $\theta_s/\theta_w - Ts/Tw$ 曲線

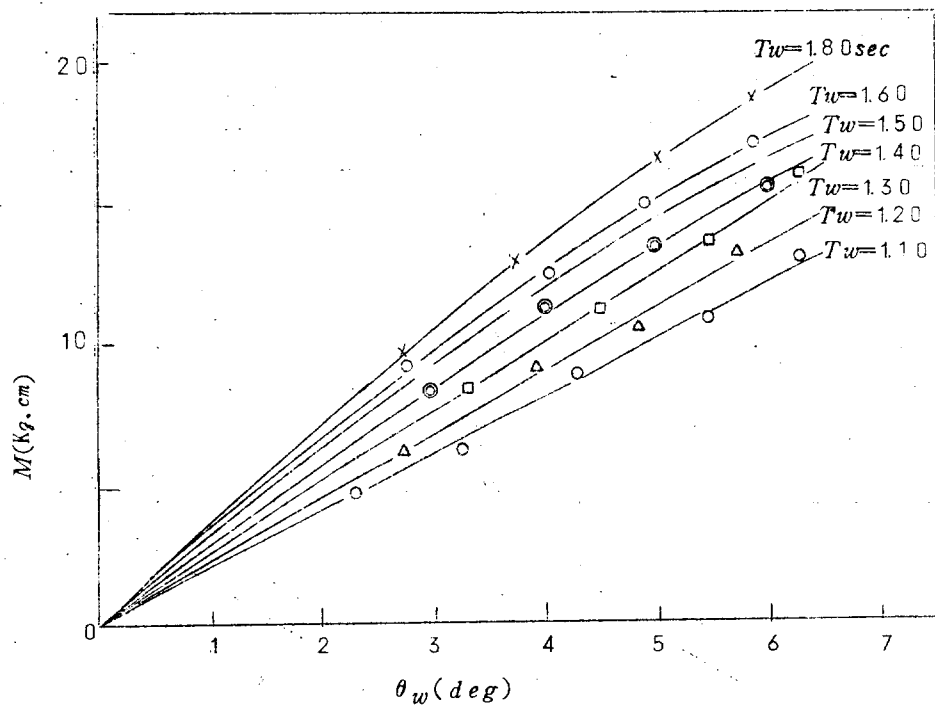


図2.17 海洋横揺モーメント (軽荷)

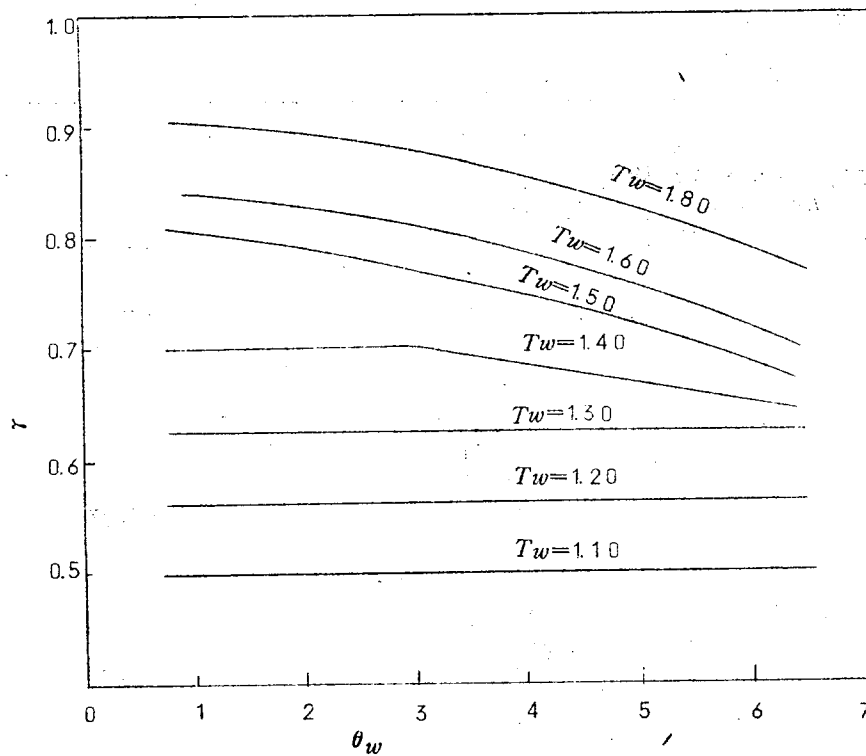


図2.18 海洋有効波傾斜係数 γ (軽荷)

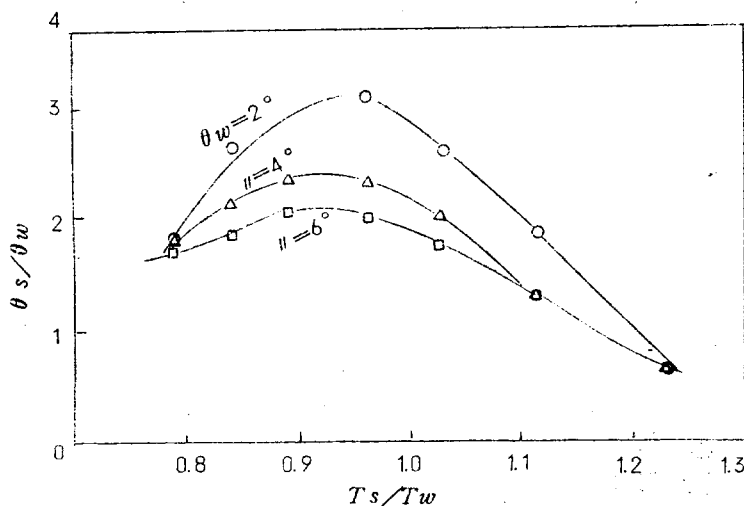


図2.19 海洋 (軽荷) $\theta_s/\theta_w - T_s/T_w$ 曲線

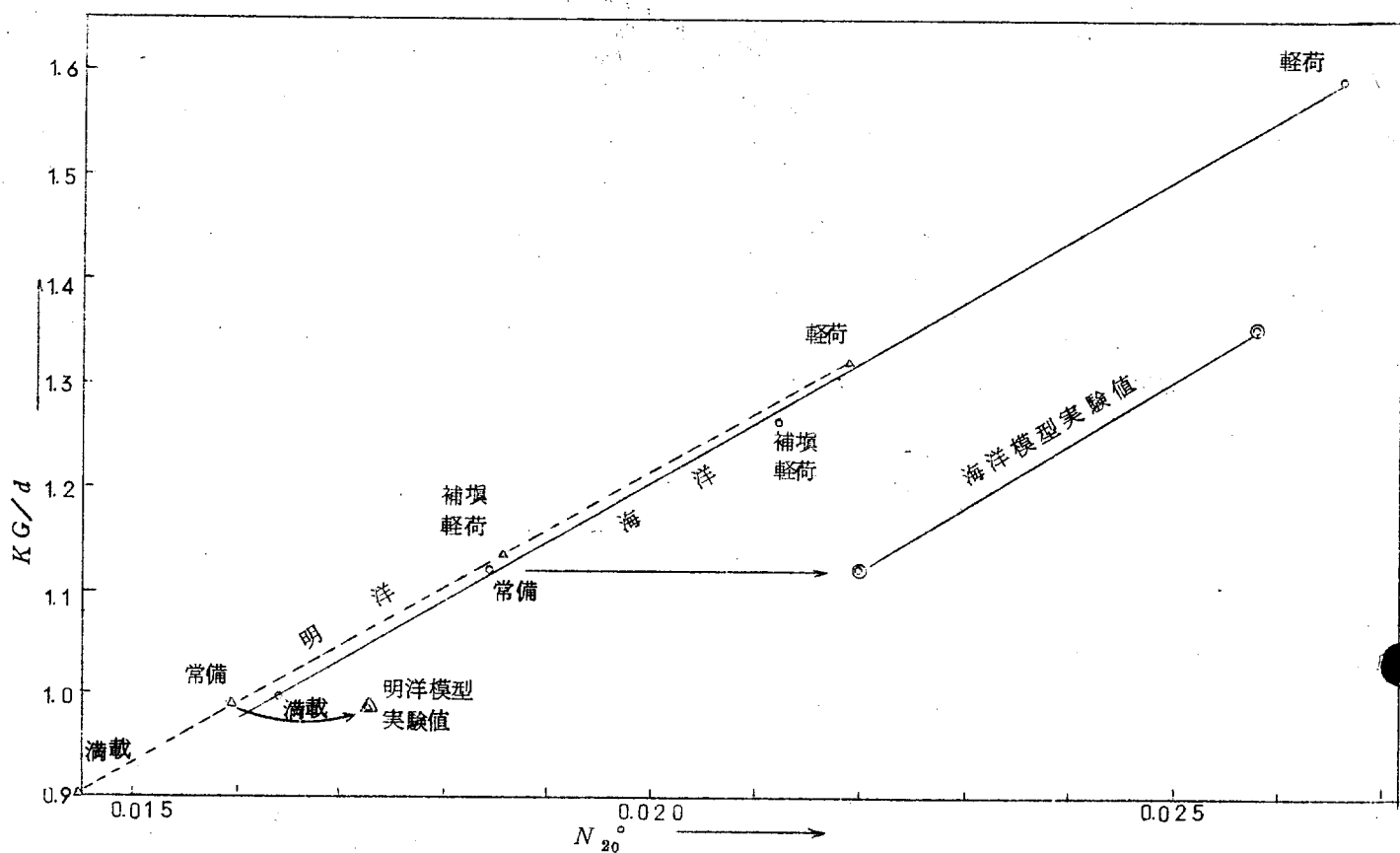


図 2.20 横揺減速係数 N の検討
 $KG/d \sim N_{20}$ (岩田氏) 曲線

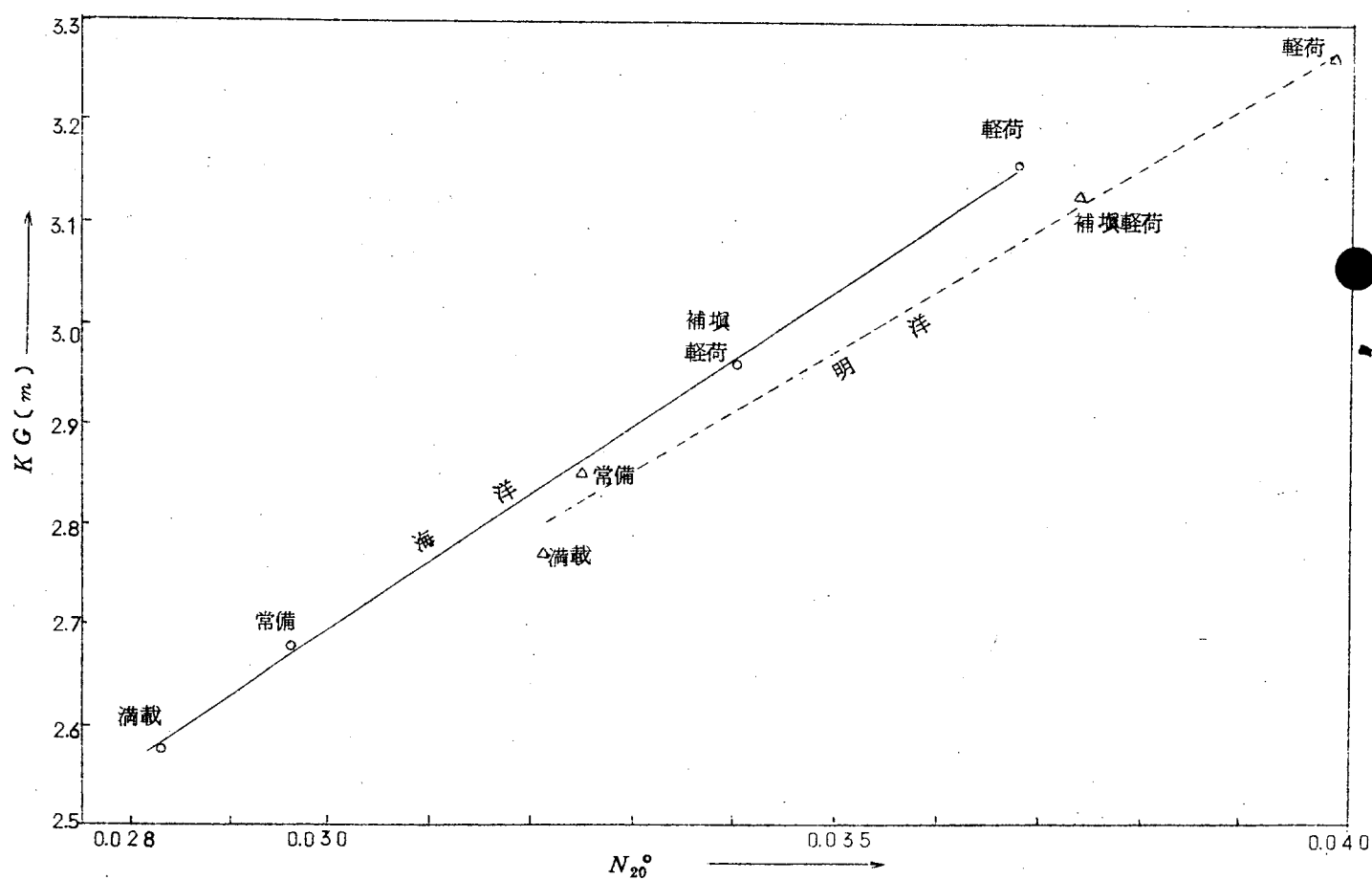


図 2.21 横揺減速係数 N の検討
 $KG \sim N_{20}$ (西部造船会報 14 号) 曲線

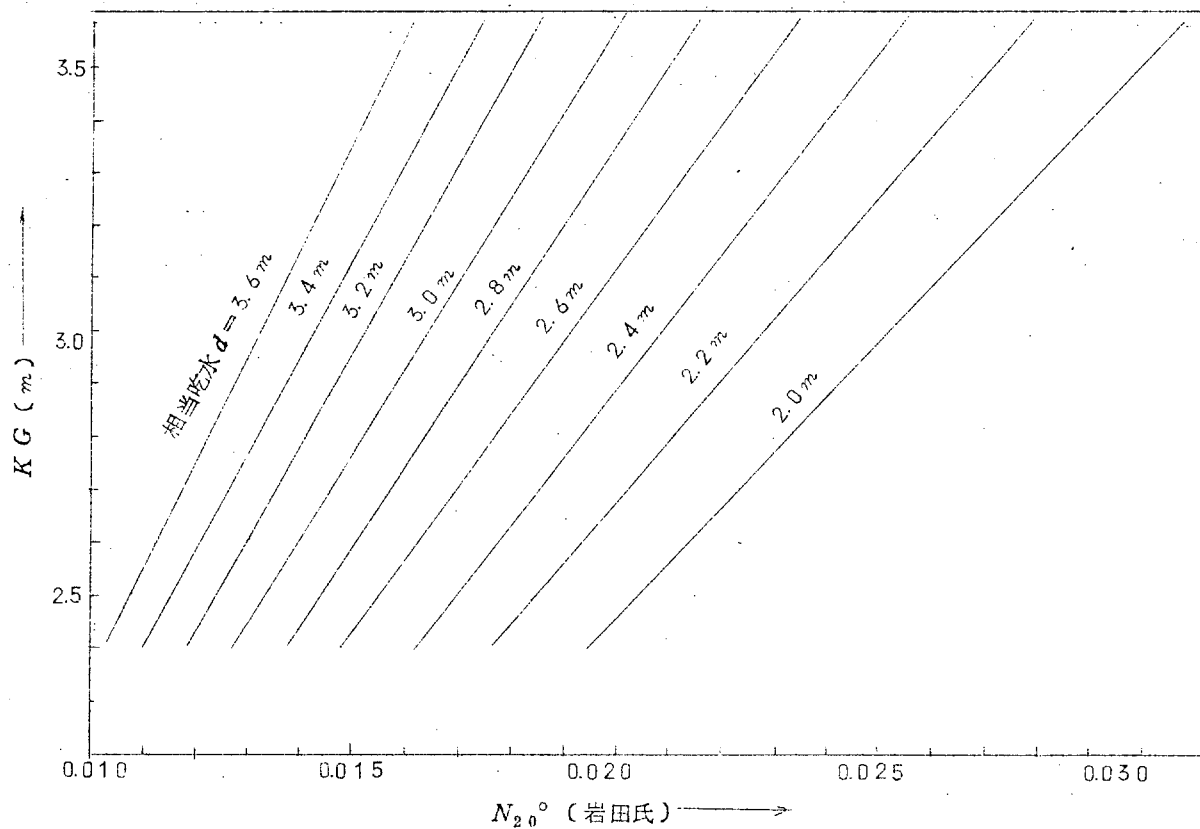


図 2.2 3 「海洋」船型横揺減減係数 N_{20}° (岩田氏の図表による) 系統的变化曲線 (その 1)

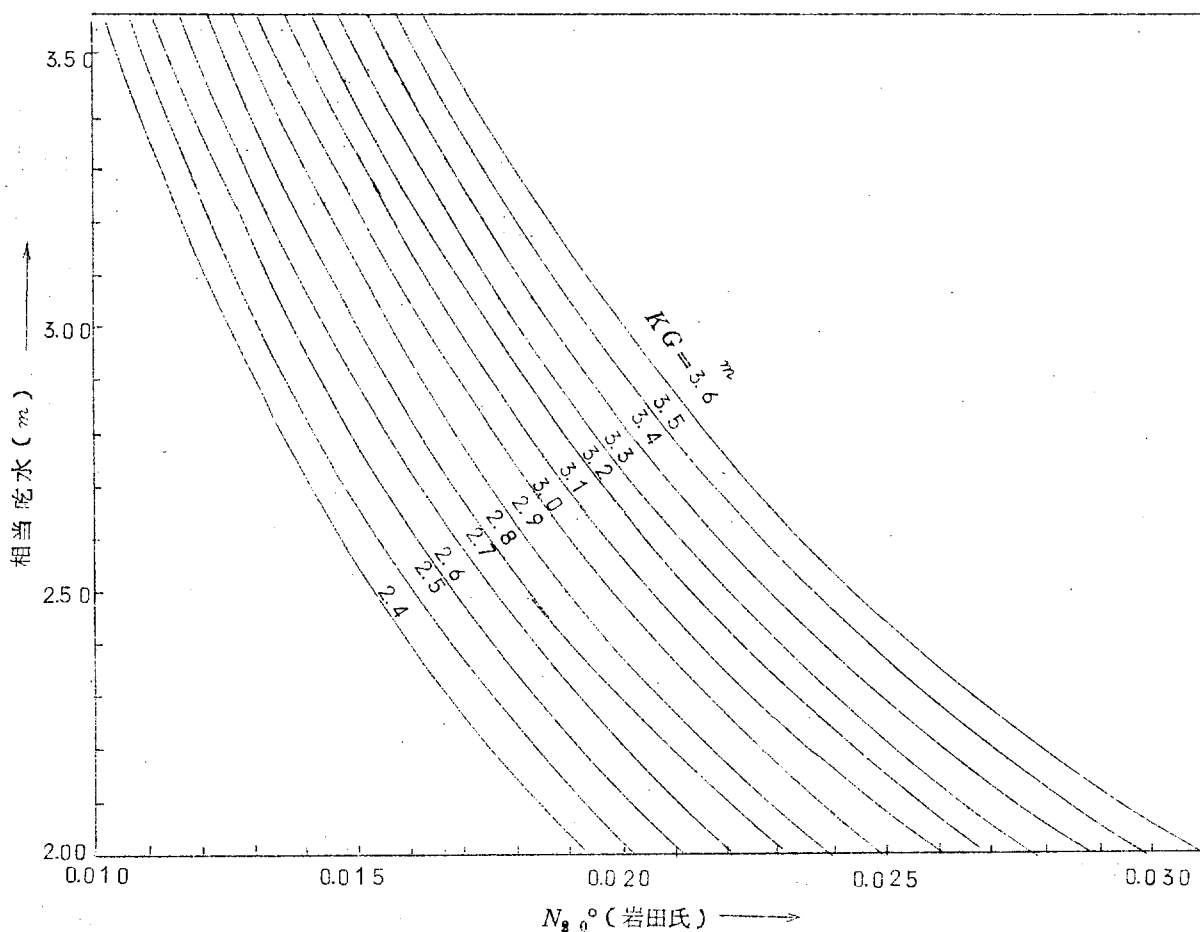


図 2.2 4 「海洋」船型横揺減減係数 N_{20}° (岩田氏の図表による) 系統的变化曲線 (その 2)

第3章 「海洋」「明洋」実船試験結果

3.1 実船試験の目的

海上保安庁の測量船「海洋」および「明洋」は、水線下の船体形状が全く等しい同型船であるにもかかわらず、ただ「海洋」の方が甲板が一層少いため排水量したがって吃水が小さくまた横揺固有周期も短いという差だけで、はるかに「明洋」より横揺が少なくなっていることが模型試験により確かめられている。

この実船試験の目的は、「海洋」および「明洋」の2隻の実船を同一海面海象下で同時に行動させ、その横揺応答から上記模型試験の結果を確認すると共に、今後行なわれる模型試験とも平行して、横揺性能を良好ならしめる因子の究明に資するにある。

3.2 実船試験の概要

3.2.1 試験船名

海上保安庁測量船「海洋」および「明洋」

3.2.2 期 日

昭和40年6月3日、4日

3.2.3 試験海面

千葉県館山港を出港し、東京湾出口附近の海面で適当な波をさがしながら実験を行なった。

3.2.4 試験員名

元良誠三、山上順雄、前田久明（東京大学）田坂鋭一、徳永陽一郎、三宅教雄、他「海洋」「明洋」乗組員（海上保安庁）

菅井和夫、吉野泰平（船舶技研）

久松勝久（造研）

3.2.5 船の試験状態

館山出港時に両船とも吃水計測ならびに横揺固有周期の測定を行なった。

表 3.1 船の試験状態

船名	海 洋		明 洋	
	満	載	満	載
状 態				
吃 水	$d f$	2. 1 0 m	2. 6 8 m	
	$d a$	3. 1 5 "	3. 5 2 "	
	$d m$	2. 6 2 5 "	3. 1 0 "	
横 揺 固 有 周 期		6. 5 4 sec	7. 3 7 sec	
推 定 $K G$		2. 5 8 m	2. 7 7 m	

3.2.6 海象の一般的説明

6月3日は、沖縄附近にあつた熱帯性低気圧が本州南岸に沿つて急速に東北に向つて進行中であり、したがつて午前中は極めて平穏であつた海況も、午後になつて次第に風波が立ち始めた。

6月4日は、上記熱帯性低気圧が紀伊半島附近で急速に衰え消滅したため、午前中小雨まじりで風波もあつたが、波浪が発達しないまゝ、午後になつて次第に天候は回復に向つた。

3.3. 試験成績

3.3.1 試験方法

- (1) 2隻の船の横揺応答を正確に比較するには、波の迎え角および迎え周期を等しくしなければならない。このため「海洋」「明洋」2船は実験中は常に同一針路をとりかつ同一速度で平行に行動することにした。
- (2) 船の速度は、停止および3、6、10Ktで航行中のものをあわせて4種類とした。
- (3) 波の迎え角については、その中で割合卓越したものが「海洋」、「明洋」のいずれかの固有周期と同じ迎え周期になるように選ぶことにつとめた。

3.3.2 計測方法

波の計測については、その卓越したものの迎え周期はストップ・ウォッチで、また波高は舷側で水位を計ることにより求めた。ほかに船長、航海士および実験員が目測により波長、波高を観測した。

横揺角の計測には、両船とも自動起立式のフリーズアイロを用いた。

3.3.3 解析方法

実船試験の行なわれる海面は、一般に不規則な波より成立っているものと考えてよい。

したがつて、この中で船の横揺応答も不規則である。こうした不規則な現象を解析するには、普通統計学的手法が用いられている。

その中で最も一般的なのはスペクトラム解析といわれるもので、波の計測値から波のスペクトラムを、また横揺の計測値から横揺のスペクトラムを求め、これらより船の横揺応答関数を求めようとするものである。この方法はオーソドックスな方法ではあるが、反面極めて手数がかかるものである。

今回の実船試験では、両船の横揺性能の比較を簡単にかつ直観的に行なう方法として、ある長さの横揺れ記録をとり、その間の横揺れ振幅を順次読取り、これを大きい順に横に並べかえてplotする方法をとつた。

こうした表わし方をすると、総数 N 回の横揺れの中で一番揺れたのは何度であつたかとか、平均横揺れ角が何度であつたか等をすぐ読取つて比較できる利点がある。

3.3.4 結果の検討

実船試験は、6月3日に9点、6月4日に2点合計11点を3.3.1試験方法の項で述べたような方法で行なつた。

3.2.6海象の一般的説明でも述べたように低気圧が急に近づき、また急に消滅したような気象状況であつたため、風が吹き出しても波が十分発達しきらないうちに風向が変つたり、また吹送距離も十分とれなかつたりして全般的に波は若い未発達なものであつた。つまり、波のスペクトラムについていえば、うねりに相当するような長い周期の成分はなく、波長の短い短周期の成分が多く含まれたものであつた。不規則波中の横揺スペクトルは、波のスペクトルとその船の横揺応答関数の自乗の積で与えられる。

したがって、たとえ応答函数の山の高さが低くても、固有周期が短く応答函数が短い周期範囲にある船では、未発達な波に対してはかえって揺れることもあり得る。このため、全実験点を通じ、完全発達した波浪中では当然「海洋」の方が横揺れが小さくなるべきものが、かえって「明洋」より大きく揺れるような結果となつた。ここでは最も *Typical* なものとして、*EXP. No. 8* (図 3.1) を例にとつて示した。*EXP. No. 8* は、全実験中で最も波が発達したと思われるものであるが、それでも卓越して見える波の波長はせいぜい 20 m たらずであり、また一番長いと思われる波の成分の迎え周期も 5 sec 程度で「海洋」の固有周期にも満たない程度のものであつた。したがって波の持つ周波数成分に近い固有周期をもつ「海洋」の方が、はるかに離れた固有周期をもつ「明洋」よりも大きく揺れる結果となつたものと考えられる。

3.4 おとがき

今回の実船試験より得られた結論は次のごとくである。

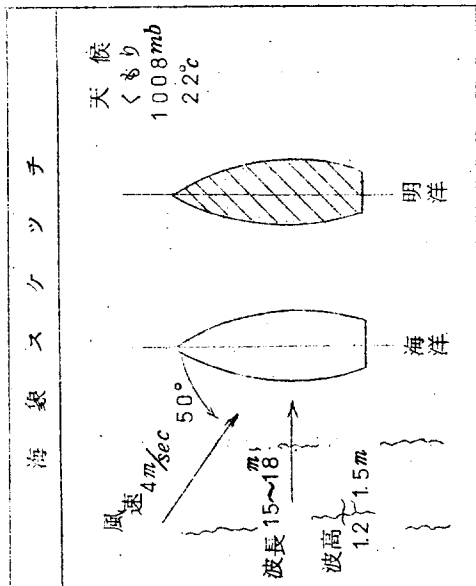
実船試験により 2 隻の船の横揺れ特性を比較することはかなり難かしい。たとえ同一海面で同時に測定できたとしても、1 日や 2 日の実験スケジュールで適当した波浪に遭遇できるのは偶然であろう。

短いスケジュールで横揺れ特性を比較するには、どうしても波そのものを観測ではなく測定することが必要である。波が測定でき、これから波のスペクトルが得られれば、両船の横揺れ特性の比較はある程度不規則な波でさえあれば統計的手法により割合適確に行ない得るからである。しかしこのためには、適確にかつ簡単に波のスペクトラムが得られるような波浪計の開発と利用が前提とされよう。

長い航海の間にいろいろな波に遭遇することを考えると、長期間の横揺れデータを採つておけば、平均的に 2 船のどちらが揺れ易いかは判定できよう。そしてこの場合には必ずしも 2 船が行動を共にしなくてもよい。しかしながら、その間船の状態がいろいろ変化すること等を考えあわせると、横揺れに支配的影響を及ぼす因子がどこにあるのかをこれからは握することは困難であろう。こうした因子の究明には、やはり模型試験が適当している。模型試験ならば船型を変えたり状態を変えたりすることが容易であり、また波の強制力を測つたり *Sway* との連成を考えたりして、理論を比較することも簡単にできるからである。

しかしながら、水線下の船型が全く同じで状態だけが異なる 2 隻の実船があり、実船試験ができるということは貴重なことである。

もし模型試験により横揺れを支配する因子の究明が進んだ後に、再び実船試験の機会に恵まれるならばさらに貴重な資料を得ることができよう。

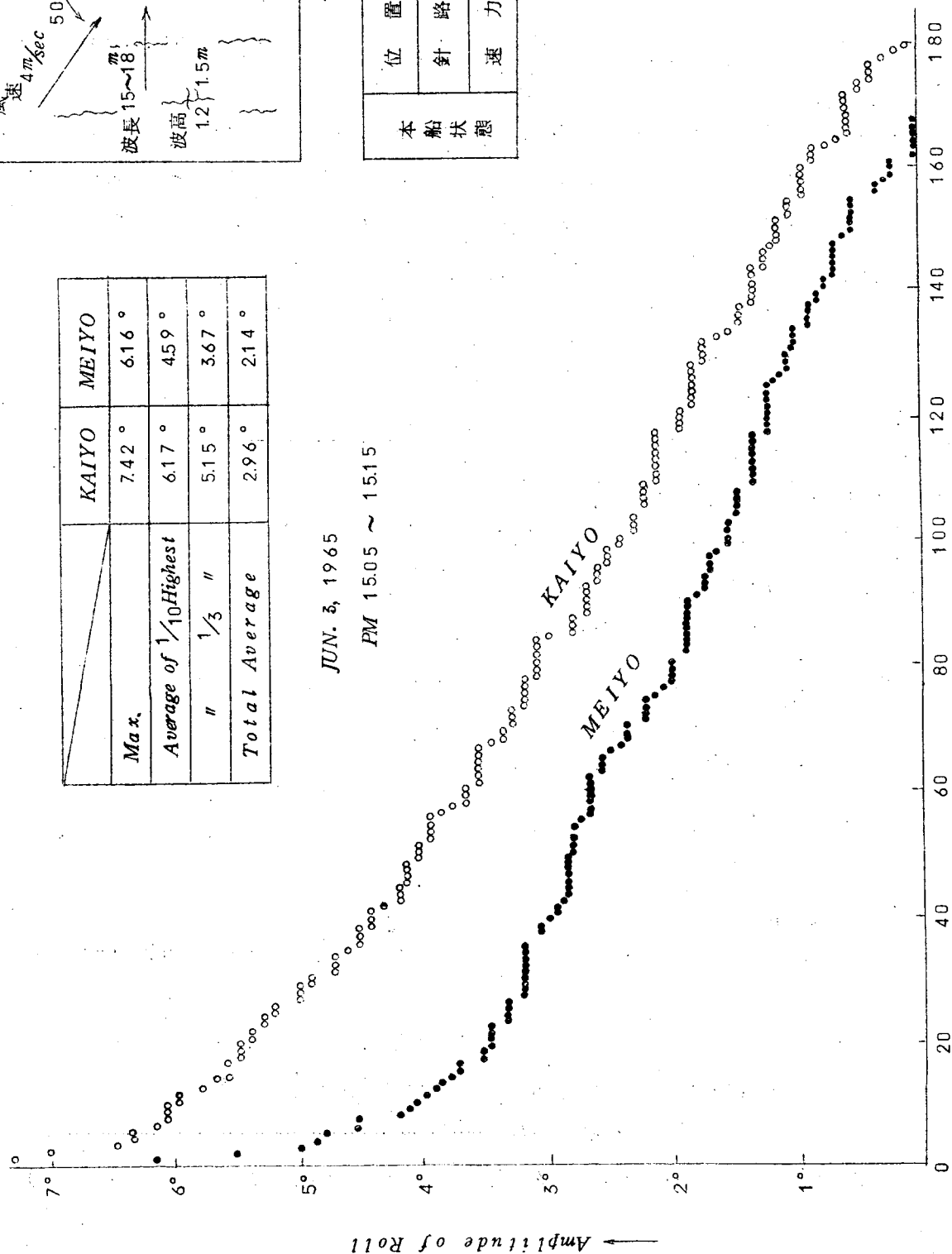


本船状態	位置	$34^\circ - 50.0N$ $139^\circ - 44.8E$
	針路	260°
	速力	6 knot

	KAIYO	MEIYO
Max.	7.42°	6.16°
Average of $1/10$ Highest	6.17°	4.59°
" $1/3$ "	5.15°	3.67°
Total Average	2.96°	2.14°

JUN. 3, 1965

PM 15.05 ~ 15.15



Number of Rll

図 3.1 Exp. No. 8

第4章 理論的考察

4.1 横揺れ強制モーメントの線型理論による表示

菱田氏および *F. Ursell* (3) はそれぞれ別個に特定の断面を有する柱体では水面と中心線との交点を中心としてゆつくり横揺れさせても波を起こさないこと（厳密には *Wave Number* $K = \frac{W^2}{g}$ の2乗の *order* の波しか起こさないこと）を示した。

一方、*M. D. Haskind* (4) は水面上を運動する物体の起こす波の波高と、その物体が波により与えられる強制力の振幅との間には比例関係があることを示した。従つて *Ursell* 船型は水面と中心線との交点を支点とする場合に、波の中に置いても横揺れ強制モーメントを受けない船型であるはずである。言いかえれば、*Ursell* 船型では波による *sway* の強制力の着地点が水面上にあるわけである。

その後、田才氏 (5)、田村氏 (6) 等が一般の *Lewis Form* (図 4.1 参照) について波による *sway* の強制力およびその着地点の水面からの距離 lw を計算しているが *Ursell* 船型のみならず *Lewis Form* でも、あるいはどのような船型でも水面より lw の点を回転軸にして支えてやれば波の強制モーメントは 0 になるわけである。

別所氏 (8)、9)、10) はさらに横揺れモーメントを一般的な形で求めている。別所氏によれば波による強制力またはモーメントは一般的に次の形で表わされる。

$$E_j = \rho g a e_j \dots\dots\dots (1)$$

$$e_j = -KH_j^+(K) = -\int_c \left(\frac{\partial}{\partial n} \phi_j - \phi_j \frac{\partial}{\partial n} \right) e^{-ky + i k x} dS \dots\dots\dots (2)$$

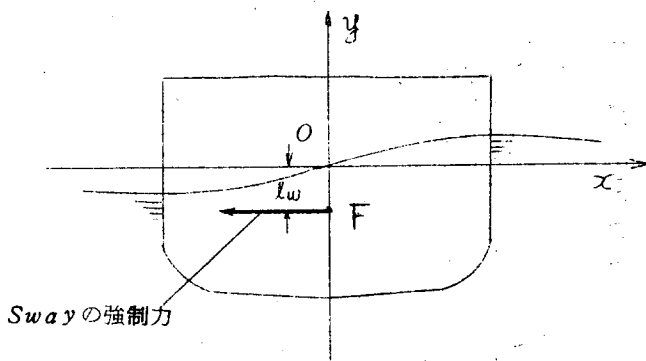


図 4.1

ただし、 E_j は自由度 j 方向の力またはモーメントで今の場合は E_3 が横揺れモーメントである。

a は入射波の振幅

$KH_j^+(K)$ は入射波の方向に反射される波の振幅

ϕ_g は物体の運動により生ずる流体運動の速度ポテンシャル

n は物体表面の *normal*

dS は物体表面の面積素分とする。

a) $K \rightarrow 0$ の場合

船の横揺れは非常に周期が長く $K = \frac{W^2}{g}$ が小さいので、 $K = 0$ の極限の速度ポテンシャルを近似値として用いるといろいろわかり易い関係が導き出される。

このときの誤差は K の *order* であることがわかつている。文献 (3)、10) によれば式 (1)、(2) で $K \rightarrow 0$ と置くことにより、*Sway* の強制力； $E_1 = -\rho g a H_1^+(K) = -\rho g a i K \int_c \left(x \frac{\partial \phi_1}{\partial n} - \phi_1 \frac{\partial x}{\partial n} \right) dS$

$$= +\rho g a i K \nabla (1 + k_1) \dots\dots\dots (3)$$

($\because x \frac{\partial \phi_1}{\partial n}$ は物体の *Volume*, $\nabla \cdot \phi_1 \frac{\partial x}{\partial n}$ は *sway* に対する附加質量の容積、 $k_1 \nabla$ となる)

また *roll* の強制モーメント; $E_3 = -\rho g a H \bar{\nabla} + (K)$

$$\div -\rho g a i K \int_c (x \frac{\partial \phi_3}{\partial n} - \phi_3 \frac{\partial x}{\partial n}) dS = +\rho g a i K \nabla (\overline{OM} + k_1 l_1) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし $\overline{OM}$ は原点 (水面上) からメタセンタまでの距離 (M が水面下 $+$)

l_1 は *sway* に対する附加質量の中心と水面までの距離 (水面上 $+$)

従つて *sway* の強制力の着点の水面からの距離は

$$lw = \frac{E_3}{E_1} \div \frac{\overline{OM} + k_1 l_1}{1 + k_1} \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。

$$\left. \begin{aligned} \rho g \bar{\nabla} &= W \quad (\text{排水量}) \\ a K &= \frac{2 \pi a}{\lambda} = \frac{\pi h}{\lambda} = \theta w \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

なることを考慮すると、

$$(3) \text{式は } sway \text{ 強制力} = W (1 + k_1) \theta w \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$(4) \text{式は } roll \text{ モーメント} = \bar{W} \overline{OM} \theta w + k_1 W \theta w l_1 \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。この関係を図示すると図 4.2 のように波面に直角な復原力の水平成分 $W \cdot \theta w$ がメタセンタ M に作用し、波の *Orbital Motion* を船がこわすいわゆる *Active Resistance* $k_1 W$ が横附加質量の中心 C に加わり、結局合力として $W (1 + k_1) \theta w$ が F 点に水平に作用することになる。

従つて F 点を *Pivot* すると波による強制モーメントが零になるわけで、 F 点はメタセンタ M と横附加質量中心 C の間を $k_1 : 1$ に内分した点である。

Ursell 船型は F 点が丁度零に一致するような船型に相当する。また、楕円柱では C 点が M 点に一致し、結局 M 、 C 、 F 点がすべて一致することが別所委員により示されている。¹⁰⁾ M 点、

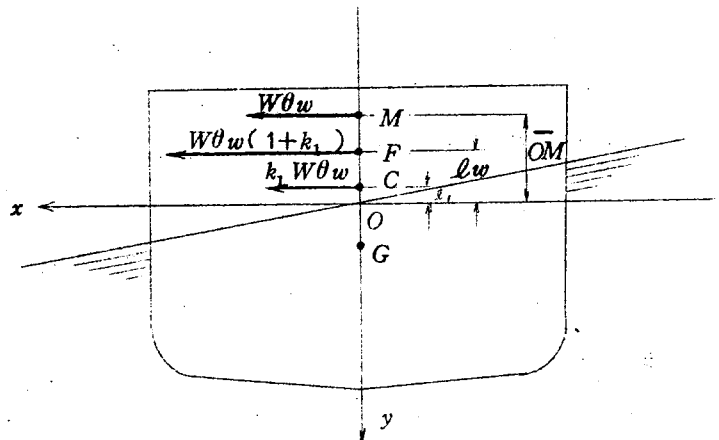


図 4.2

F 点および C 点の相対位置は中央横断面係数によつて変化するが、その変化の様子は図 4.2 のようになる。

b) *Sway* を拘束しない場合

以上の議論はすべて一点を *Pivot* し *Sway* を拘束した場合であつて、*Sway* を自由にした場合には話が変わってくる。

この場合、運動方程式は *Sway* と *Roll* の *Coupled Motion* となり、運動方程式は次式のようなになる。¹⁰⁾

K の小さな範囲では次の形に書かれる。

$$\left. \begin{aligned} -(1 + k_1) W K \bar{X} - k_1 W \overline{GC} K \theta &= E_1 \\ -(I + J - W \frac{\overline{GM}}{K}) \ddot{\theta} - k_1 W \overline{GC} K \dot{\theta} &= E_5 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

(9) 式の第 2 式より、横揺れの強制モーメントは見掛け上

$$(E_5 - i k_1 W \overline{GC} |X|) \quad \dots\dots\dots (10)$$

になつてゐることがわかる。

一方 E_2 は E_1 において OM の代りに $\overline{GM}$, l_1 の代りに $\overline{GC} = l_1 + \overline{OG}$ と置いたものに外ならないから、横揺れ強制モーメントの振幅は

$$W a K (\overline{GM} + k_1 \overline{GC}) - k_1 W \overline{GC} |X| K \dots\dots\dots (11)$$

$$= W a K \overline{GM} + k_1 W K \overline{GC} (a - |X|) \dots\dots\dots (12)$$

となる。

また $aK = \theta w$ (表面波傾斜) であるから、

$$\text{横揺れモーメント} = W \overline{GM} \theta w + k_1 W \overline{GC} \theta w \left(1 - \frac{|X|}{a}\right) \dots\dots\dots (13)$$

と書くことができる。さらにこれを従来の有効波傾斜の考えを入れて、

$$\text{横揺れモーメント} = W \overline{GM} r \theta w \dots\dots\dots (14)$$

と書くことができる。

$$\text{ただし } r = 1 + k_1 \frac{\overline{GC}}{\overline{GM}} \left(1 - \frac{|X|}{a}\right) \dots\dots\dots (15)$$

(13)式によると K が小さくなると $Sway$ の振幅 X が波の *Orbital Motion* の振幅 a に近づいて来て、 $K \rightarrow 0$ の極限では横揺れモーメントは $W \overline{GM} \theta w$ すなわち $r = 1$ となることがわかる。すなわちこの場合 $K \rightarrow 0$ では $\overline{GM} = 0$ にしない限り、横揺れモーメントを零にすることは不可能である。

しかしながら K が有限値になつてくると、(13)式第2項が零でなくなり、 k_1 および $\overline{GC}$ の値いかんでは、横揺れモーメントが小さくなる可能性が出てくる。

4.2 横揺れの少ない船型の条件

a) 直観的考察

前節に述べたように、横揺れモーメントを小さくするには(13)式第2項を第1項の *Froude-Krilov* モーメントと逆符号にし、かつ、なるべく大きな値とすることが必要である。

その条件としては (i) k_1 を大きくすること、(ii) $\overline{GC}$ を大きくすること (C 点をなるべく M 点から離し、かつ、 G より下にすること) および (iii) X/a を小さくすること、の3つが考えられる。

このうち X/a は K によりほぼ定まり、 K が大きいほど、すなわち同調周期が短いほど X/a が小さくなることが予想されるので、結局 $\overline{GM}$ が大きいほど X/a が小さくなることが予想される。また k_1 は C_x により左右され、ビルジキールをつけると等価的な C_x が大きくなると考えられる。

一番影響が大きいと考えられるのは $\overline{GC}$ で、 C 点を M 点から遠ざけるためには、図4.2からもわかるように C を大きくすることが、必要であるが、その他 *Rise of Floor* の角度、ビルジキールの有無が大きな影響を持つことが予想される。

b) さらに詳細な方法

(15)式の有効波傾斜は K の有限な所ではさらに正確には次の形になる。

$$r = \frac{i}{K \overline{GM} \nabla} \left[l w - \frac{e + k_1 l_1}{1 + k_1} \right] H_1^+(K) \dots\dots\dots (16)$$

ただし $l = \overline{OG}$ である。

$r \overline{GM}$ を2つに分けて

$$r \overline{GM} = r_s \overline{OG} - r_m \overline{OM} \quad \dots\dots\dots (17)$$

($\overline{OG}$, $\overline{OM}$ は下方を正とする)

なる形に書くと、第2項は重心位置に全く関係のない量であり、重心位置は第1項のみに影響する。

K があまり大きくない所では ($KT = 0.3$ 位まで)

$$\left. \begin{aligned} r_s &\doteq 1 - KA \\ r_m &\doteq 1 - KC \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (18)$$

の形に近似することができ、しかも A , C は $K = 0$ の時のポテンシャルで計算できる。¹⁰⁾

今式(18)を(17)に代入すれば $\overline{OG} = \overline{OM} + \overline{GM}$ であるから

$$r \overline{GM} = r_s \overline{GM} + (r_s - r_m) \overline{OM}$$

$$\text{すなわち } r \doteq r_s + K(C - A) \frac{\overline{OM}}{\overline{GM}} \quad \dots\dots\dots (19)$$

となり $r = 0$ なるためには

$$\frac{\overline{OM}}{\overline{GM}} \doteq \frac{1 - KA}{K(C - A)} \quad \dots\dots\dots (20)$$

でなければならない。

$$\text{そこで } K = \frac{\overline{GM}}{\kappa^2} \quad \dots\dots\dots (21)$$

と(20)に代入すると

$$\kappa^2 = \frac{\overline{GM}}{K} = A \overline{GM} - \overline{OM}(C - A) \quad \dots\dots\dots (22)$$

となる。

したがって図4.3のように作図することにより与えられた船型に対して $r = 0$ となる κ と $\overline{GM}$ の組合せを求めることができる。例えば図4.3は $B/2T = 1.5$ の3種 OC_x を有する船型につき A , C , $\overline{OM}$ 等の数値を近似的に求めて記入してあるから、例えば $C_x = 1.092$, $K = \frac{B}{3}$ とすると $\overline{GM}/T = 0.73$ で $r = 0$ となる。($KT = \frac{\overline{GM}}{\kappa^2} \cdot T = 0.73$)

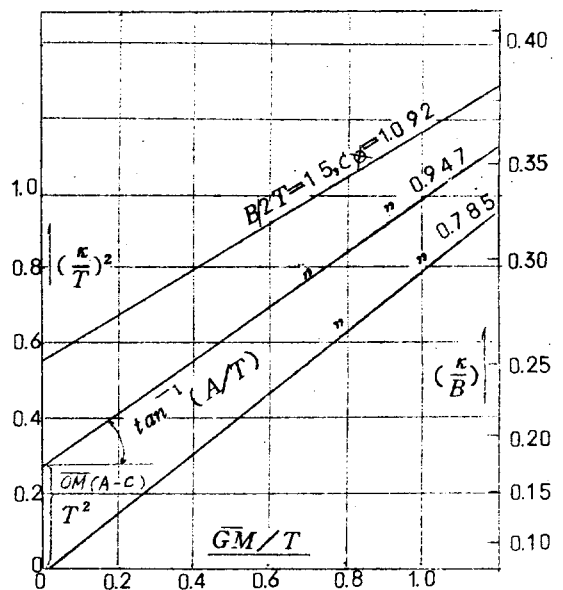


図 4.3

この図からもわかるように普通の場合は $r = 0$ とするに必要なだけ慣性半径を小さくしたり、また逆に $\overline{GM}$ を大きくすることは難かしいように思われる。

A , C , 等の値には C_x が最も大きく関係しているように見えるし、またビルジキールはメタセンタを変えないで、 C_x を大きくしたのと同じ効果をもたらすことが予想される。

r_s は理論的には Sway の振幅 X と波の振幅 a との比である。

$$r_s = \frac{X}{a} = \frac{H(K)}{K \sqrt{1 + k_1}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

従つて、Sway の振幅を測定することにより r_s を求めることも実験的に可能である。

第5章 系統的模型試験結果

5.1 模型船要目

第4章で述べたごとく、*Sway* の強制力の着点で船体を *Pivot* し、*Sway* を拘束すると横揺れ強制モーメントは零になるはずである。これを確かめるため、メタセンタおよび *Sway* に対する附加質量の中心のよくわかつている楕円船型および *Ursell* 船型をまづ取上げてそれぞれ *E* および *U* 模型とした。また、海洋船型の ∇ section を標準型として *S* 模型とした。*Sway* を拘束しない場合、*Sway* に対する附加質量の中心位置がメタセンタより下にあるほど、横揺れ強制モーメントが減少するはずであるから、その影響をみるため *Rise of Floor* を変化させた *F Series* 3隻、*B/2d* を変化させた *B/2d Series* 2隻、*Bilge Circle* の半径を変えた *B Series* 2隻を選び合計10隻の模型につき実験を行なった。

模型の要目を表5.1に実験状態を表5.2に示してある。また、模型断面を図5.1に示す。

計測としては、それぞれの模型につき減衰、横揺れ強制モーメント、横揺角をそれぞれ、ビルジキールのある場合とない場合について行なった。

5.2 実験結果

5.2.1 *E* 模型船

減衰曲線度を図5.2より図5.4に、メタセンタを *Pivot* した場合の強制モーメントおよび横揺角を図5.5に示してある。

また、*Sway* を拘束しない時の強制モーメントおよび横揺角をそれぞれ図5.6と図5.7に示してある。

図5.5よりビルジキールのない場合はメタセンタ(第4章に述べたごとく楕円では *F*、*C*、両点と一致)を *Pivot* した場合に強制モーメントが零になるはずであるが、実測されたモーメントもほぼメタセンタ近くを *Pivot* した時、零になり横揺角もほとんど零になつている。またビルジキールをつけると *C* 点が *F* に下がるためにモーメントが極小になる点の下に下がつていることがわかる。しかしながら、重心を *Pivot* すると、横揺れモーメントが大きくなり、*Sway* を拘束しない時の方がモーメントは小さい。

横揺角は図5.6に示すごとく、重心位置を *Pivot* した時の方が *Sway* を拘束しない時よりビルジキールのあるなしにかかわらず大きくなつている。

5.2.2 *Ursell* 船型

Ursell 船型について、図5.8は *Sway* を拘束した場合で、確かに *Pivot* の位置が水面近くになると横揺れモーメントが小さくなつているが、その点は正確には水面上になく、少し下つた所にある。これは船型の誤差、粘性の影響によるものと考えられる。

5.2.3 *S* 船型

標準の *S* 船型についての実験結果を図5.9より図5.16に示す。図5.11によれば理論的に予想されるように同じ *K* の値に対して *r* 係数は *GM* の増加と共に増大している。この傾向はビルジキールがあつても無くても同じであるが、

ビルジキールをつけた時の方が全体に γ 係数が小さくなっており、理論的に予想される傾向と一致する。図5.12、および5.14は γ の理論値と実験値の比較でかなりよく一致していることがわかる。

図5.15および5.16は横揺れ角でビルジキールの無い時はGMが小さい方が大きくゆれ、ビルジキールをつけるとGMによる横揺れ角の変化はほとんど無くなる。

5.2.4 Rise of Floor Series

Rise of Floorを変化させたSeriesについての結果を図5.17より図5.24に示す。

減衰はRise of Floorが大きいほど大きく、また強制モーメントは図5.21および図5.22よりわかるように、Rise of Floorが大きいほど大きい。その結果ビルジキールの無い時は図5.23に示すように、Rise of Floorの大きい方がゆれないのに対し、ビルジキールがついている時はRise of Floorが大きい方がわずかながら大きくゆれる結果を示している。これは第4章で理論的に予想したことと一致する。

5.2.5 B/2d Series

幅と吃水の比を変えたB/2d Seriesの実験結果を図5.25より図5.30に示す。

図5.25および図5.26よりわかるように、幅が広くなると減衰は極めて大幅に増大する。また図5.28よりわかるように横揺れ強制モーメントも幅が広くなると減少し、また減衰の増加の割合の方が大きいので幅の広い方が、横揺れ角は小さくなる結果を示している。(図5.29および図5.30参照)

5.2.6 Bilge Circle Series

横揺モーメントについてみると、with B. K. でもwithout B. K. でも同じで、Bilge Circle が小さいほど γ は小さくなっている。これは、Rise of Floor 変化シリーズの場合と同様に説明され、Sway による影響は変わらないとしても、付加質量の中心が下がることによつて水平力の着地点が下がり、波による強制モーメントが減るからである。図5.33に示してある。

次に、Damping をみると、これはBilge Circleが小さくなるとDamping は大きくなる。

with B. K. でもwithout B. K. でも同じ傾向を示す。図5.31～5.32に示してある。

このように、with B. K. でもwithout B. K. でもBilge Circleが小さくなると γ は小さくなりDamping は大きくなり横揺角が小さくなるように働いている。

実際に、図5.34に示してあるように、Bilge Circle が小さくなると横揺角は小さくなっている。

表 5.1 模 型 船 要 目 表

MODEL	L (m)	B (cm)	d (cm)	S (cm)	W (K ϕ)	OB (cm)	OM (cm)	Wetted $\frac{cm^2}{unit}$ Surface Length	Width of Keel (cm)	B/2d	C $\otimes$	R (cm)	OB/d	Rise of Floor (tan θ)
E	1.200	43.70	14.57	500.0	60.0	61.8	7.74	57.90		1.5	0.785		0.424	
U	"	36.14	14.44	503.6	60.4	69.6	0.85	59.50		1.25	0.966		0.482	
S	"	42.36	14.12	500.0	60.0	60.4	6.67	59.66	1.05	1.5	0.836	5.78	0.427	0.222
F ₁	"	"	"	379.6	45.6	51.2	11.63	53.12	1.05	"	0.635	"	0.362	0.529
F ₂	"	"	"	583.8	70.1	69.0	3.97	65.82		"	0.977	"	0.489	0
H ₁	"	34.56	17.30	500.0	60.0	74.0	-0.47	57.50	0.86	1.0	0.836		0.427	0.336
H ₂	"	48.17	12.28	"	"	52.4	14.18	63.14	1.21	2.0	"		"	0.168
R ₁	"	42.36	14.12	471.0	56.6	59.0	7.61	56.00	1.05	1.5	0.787	12.00	0.418	0.222
R ₂	"	"	"	504.0	60.5	60.7	6.55	62.06	1.05	"	0.844	2.00	0.430	"
R ₃	"	"	"	508.0	60.9	60.7	6.52	62.56	1.05	"	0.849	0	0.430	"

注)

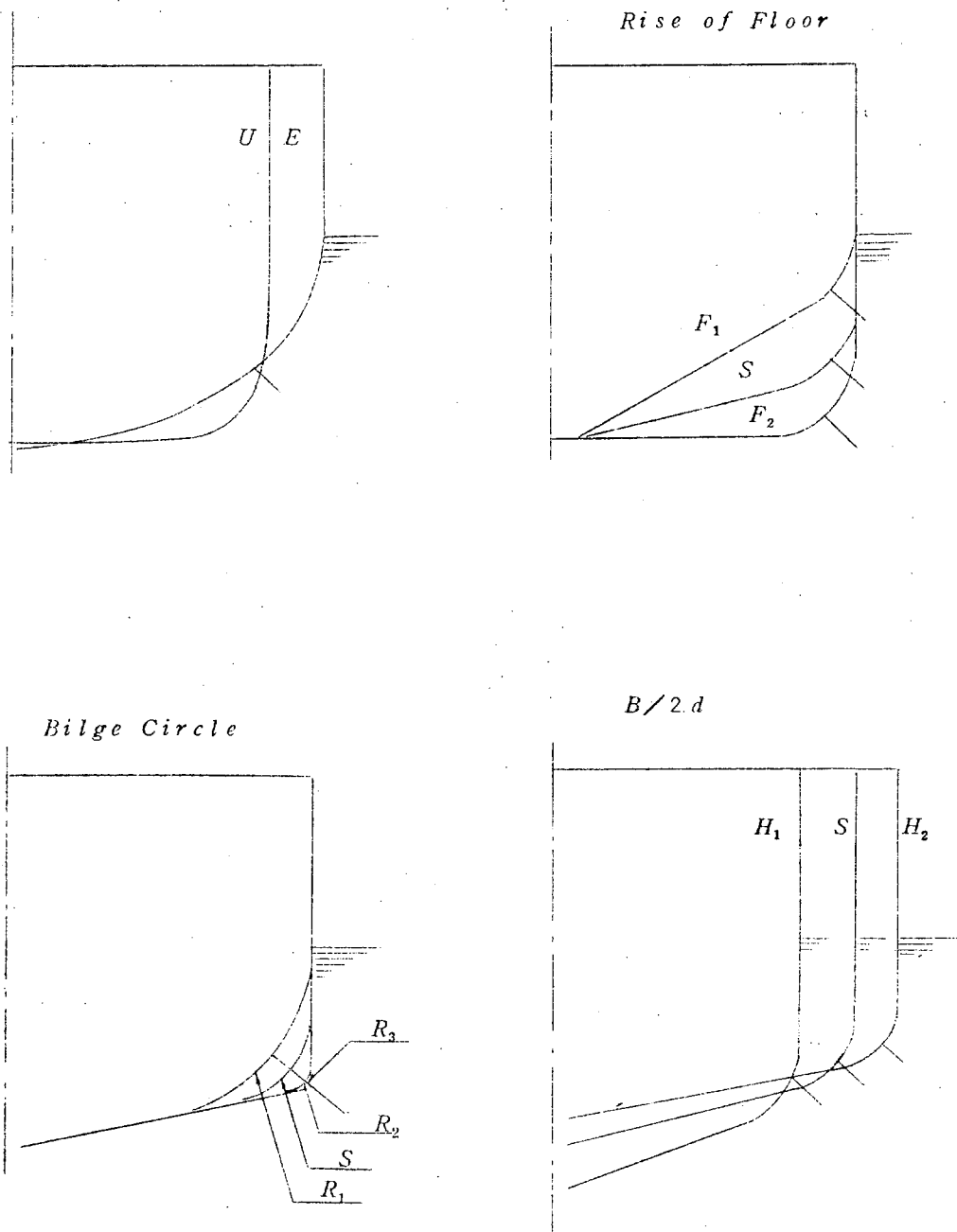
- E : 精門船型
 U : URSELL船型
 S : シリーズテスト標準船
 F : " Rise of Floor 変化
 H : " B/2d変化
 R : " Bilge Round 変化

表 5. 2 模 型 船 実 験 状 態

<i>M O D E L</i>	<i>T s</i> (sec)	<i>GM</i> (cm)	<i>KG</i> (cm)	<i>k/B</i>
<i>E</i>	1. 4 7 8	5. 6 3	1 6. 6 8	0. 4 0
<i>U</i>	1. 5 0	2. 2 3	1 3. 0 6	0. 3 1
<i>S</i>	1. 1 0	9. 4 9	1 1. 3 0	0. 4 0
	1. 2 5	7. 3 5	1 3. 4 4	"
	1. 5 0	5. 1 1	1 5. 6 8	"
<i>F</i> ₁	1. 1 0	9. 4 9	1 6. 2 6	0. 4 0
	1. 2 5	7. 3 5	1 8. 4 0	"
	1. 5 0	5. 1 1	2 0. 6 4	"
<i>F</i> ₂	1. 1 0	9. 4 9	8. 6 0	0. 4 0
	1. 2 5	7. 3 5	1 0. 6 4	"
	1. 5 0	5. 1 1	1 2. 9 8	"
<i>H</i> ₁	1. 5 0	3. 4 0	1 3. 4 3	0. 4 0
<i>H</i> ₂	1. 5 0	6. 7 4	1 9. 7 2	0. 4 0
<i>R</i> ₁	1. 5 0	5. 1 1	1 6. 6 2	0. 4 0
<i>R</i> ₂	1. 5 0	5. 1 1	1 5. 5 6	0. 4 0
<i>R</i> ₃	1. 5 0	5. 1 1	1 3. 4 3	0. 4 0

上記の状態に次のような状態が加わる。

- *E*・*U*については
 (*Sway* 拘束, *Roll*・*Heave* 自由)と
 (*Sway* *Roll* *Heave* 自由)の2種
- *E*について
 ビルジキール付 (幅40 $\frac{m}{m}$ で船長にわたる)
 " 無
- *S*~*R*₃ について
 ビルジキール付 (幅30 $\frac{m}{m}$)



模 型 断 面 图

图 5. 1

Two-Dimensional Models and the Position of the Bilge Keel

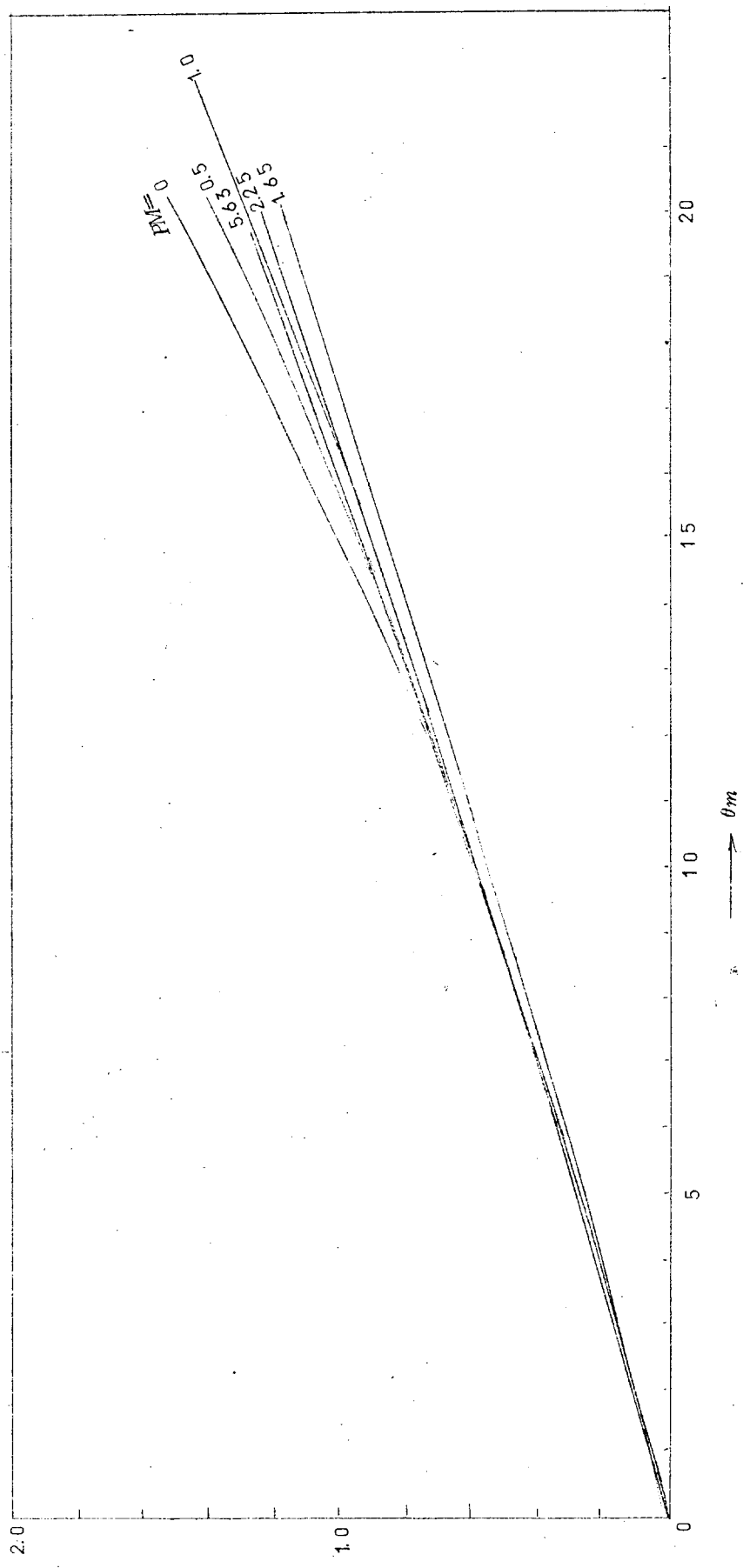


Fig 5.2 "E" Curves of Extinction (without BK) Pivoting Point Series

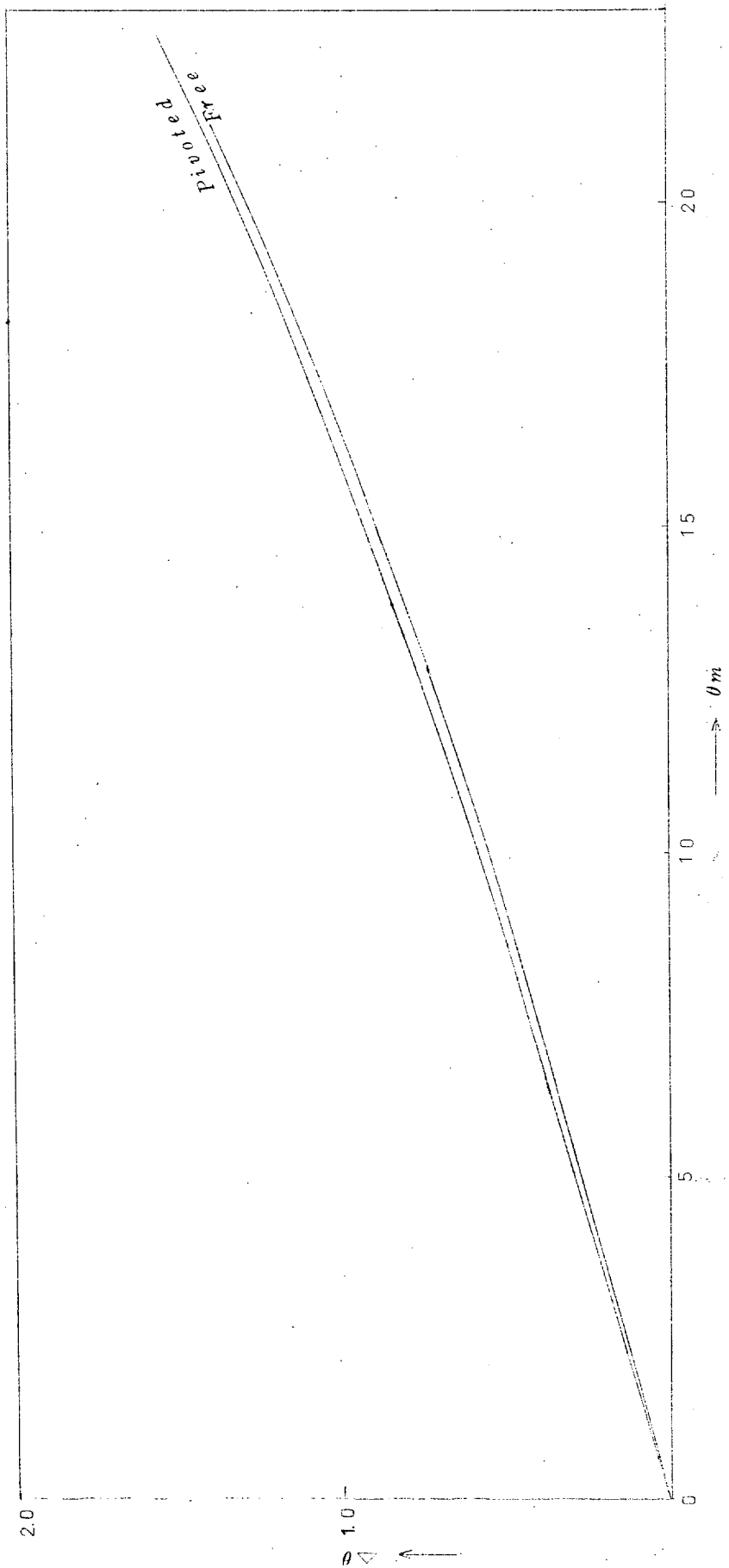
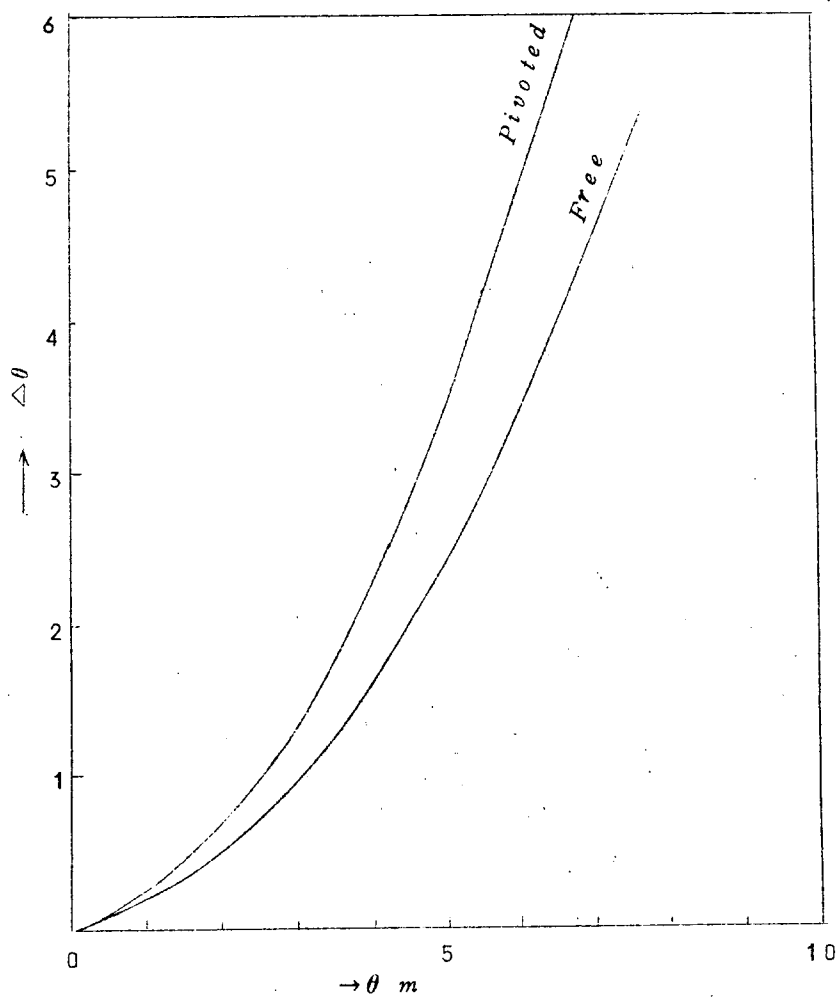


Fig. 5.3 "E" Curves of Extinction without BK



⊠ 5. 4 " E " Curves of Extinction
with BK

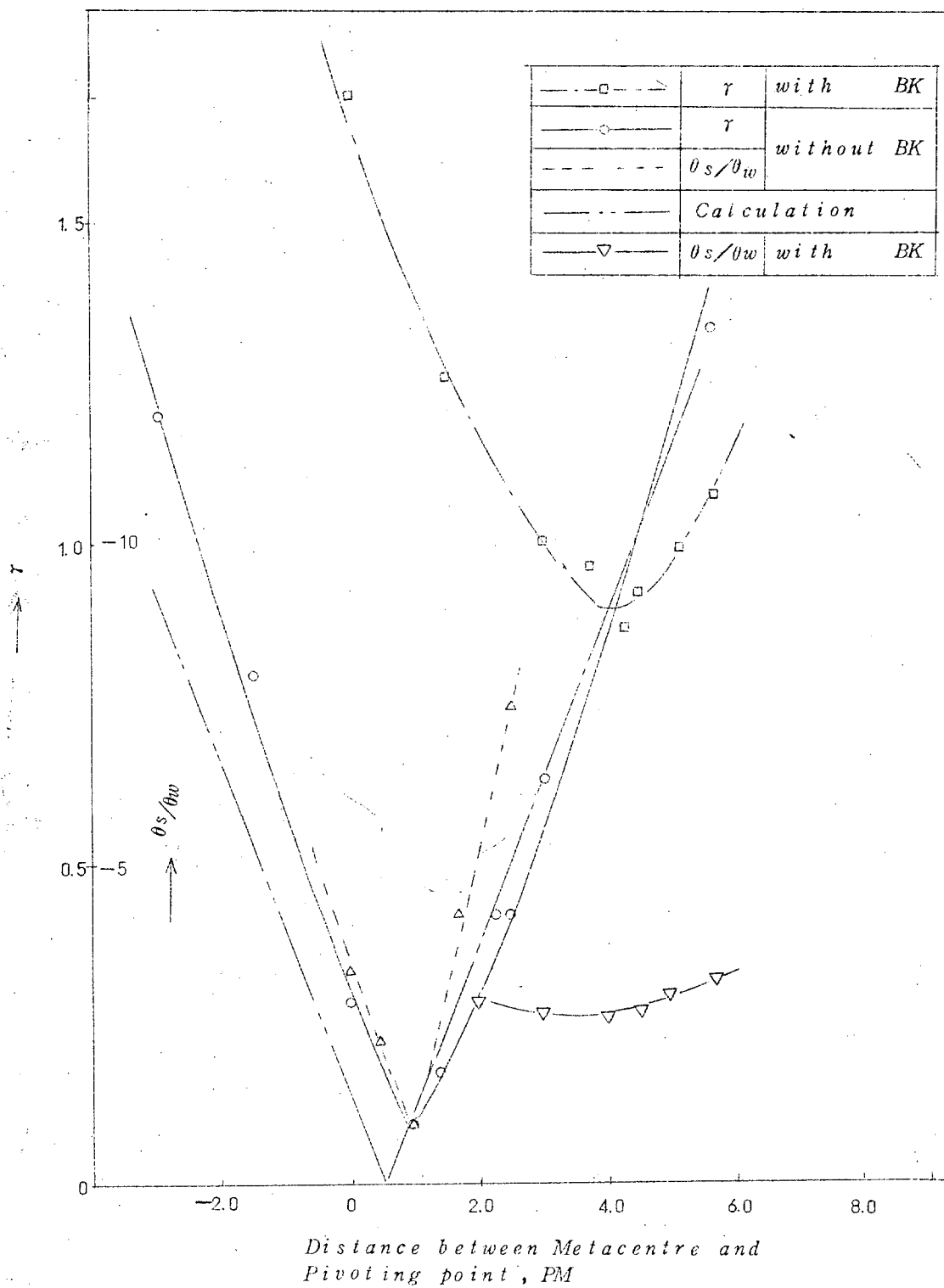


图 5.5 “E” (Pivoted)

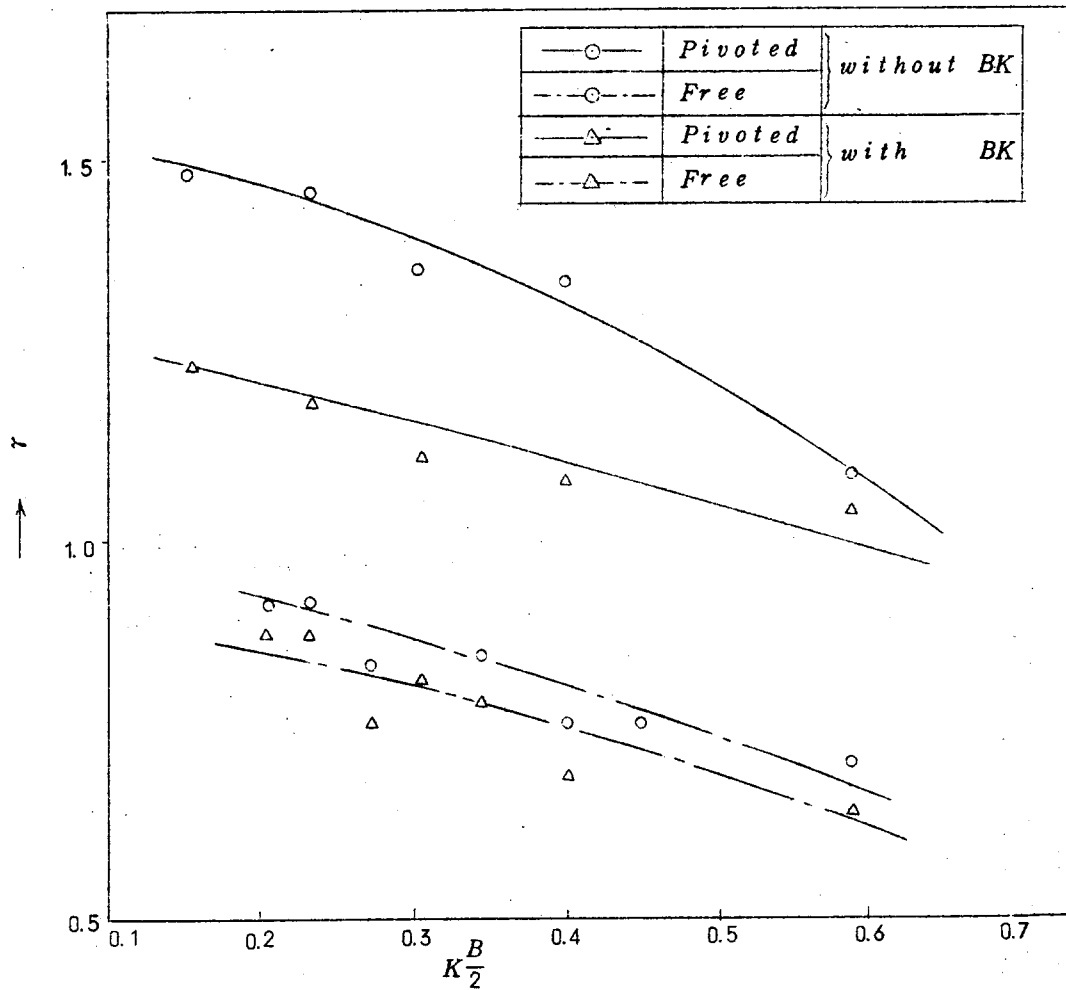


图 5.6 "E"

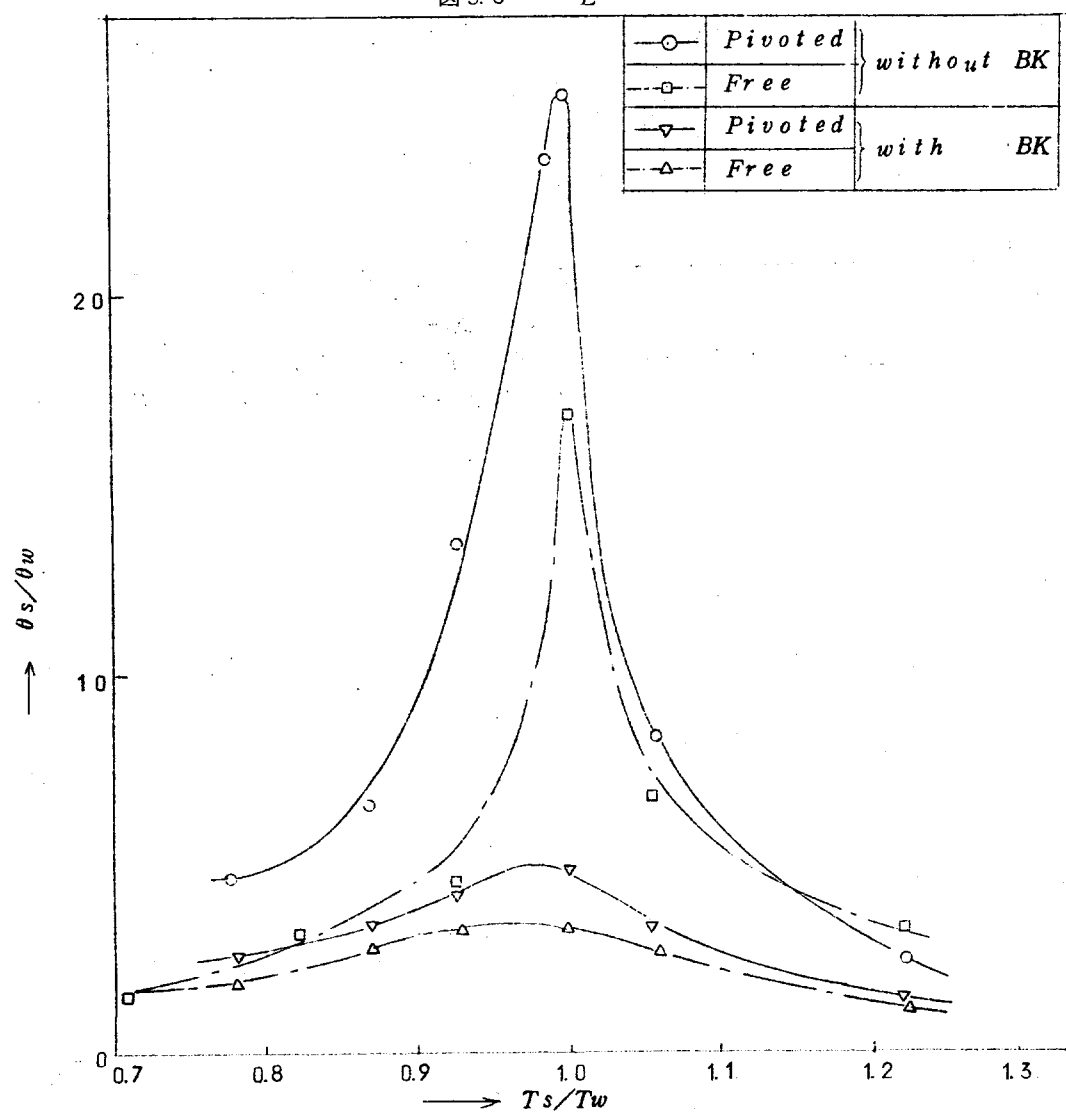
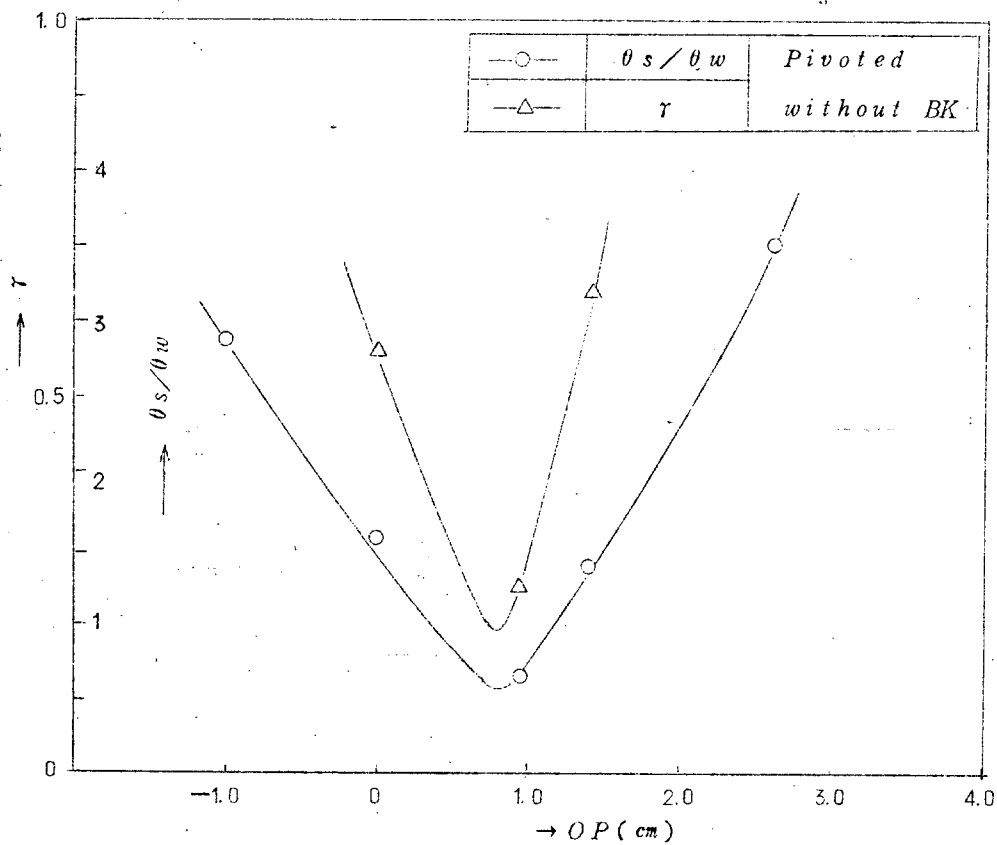


图 5.7 "E"



⊠ 5.8 "U" Curves of Effective Wave Slope Coefficient and Magnification Factor of Rolling

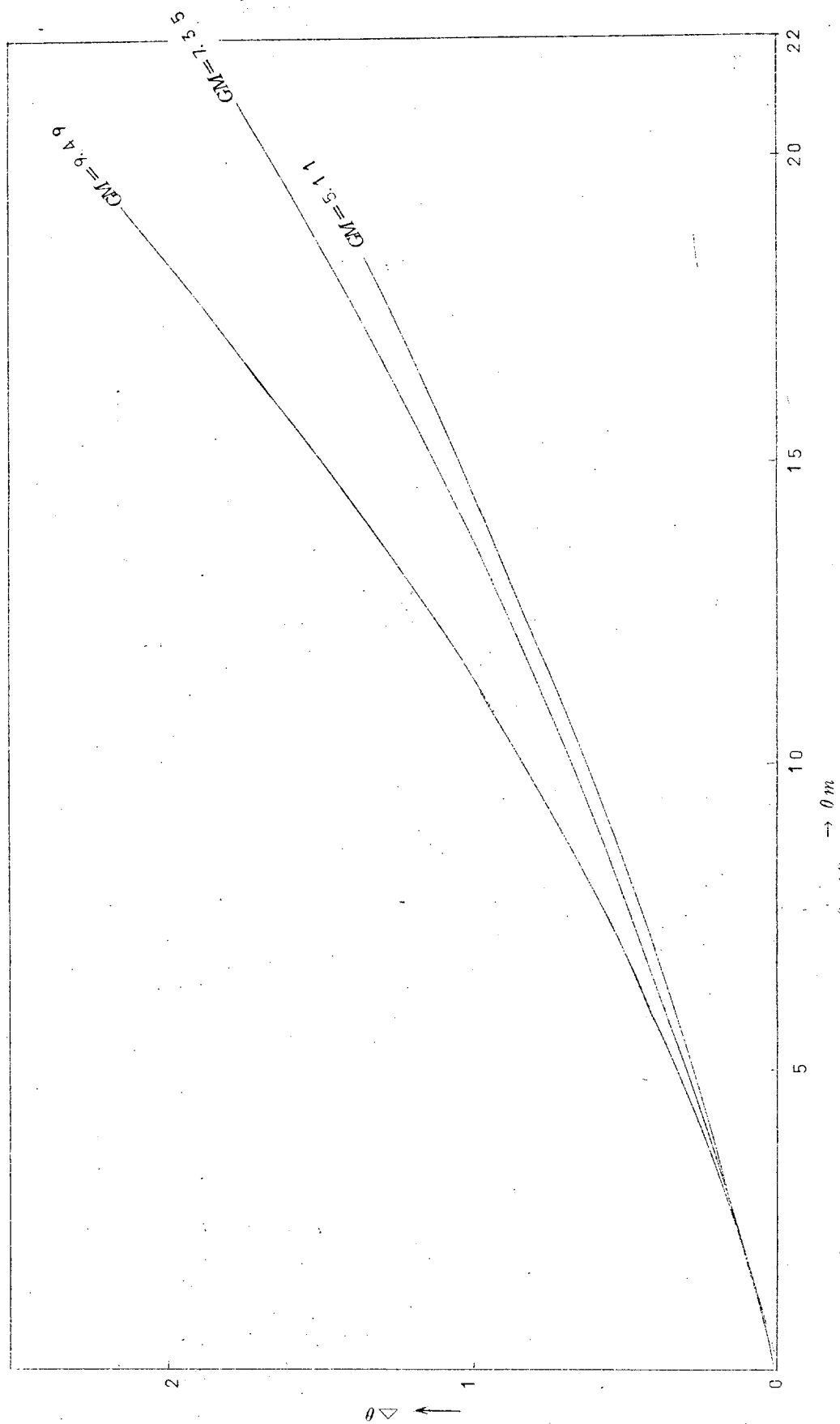
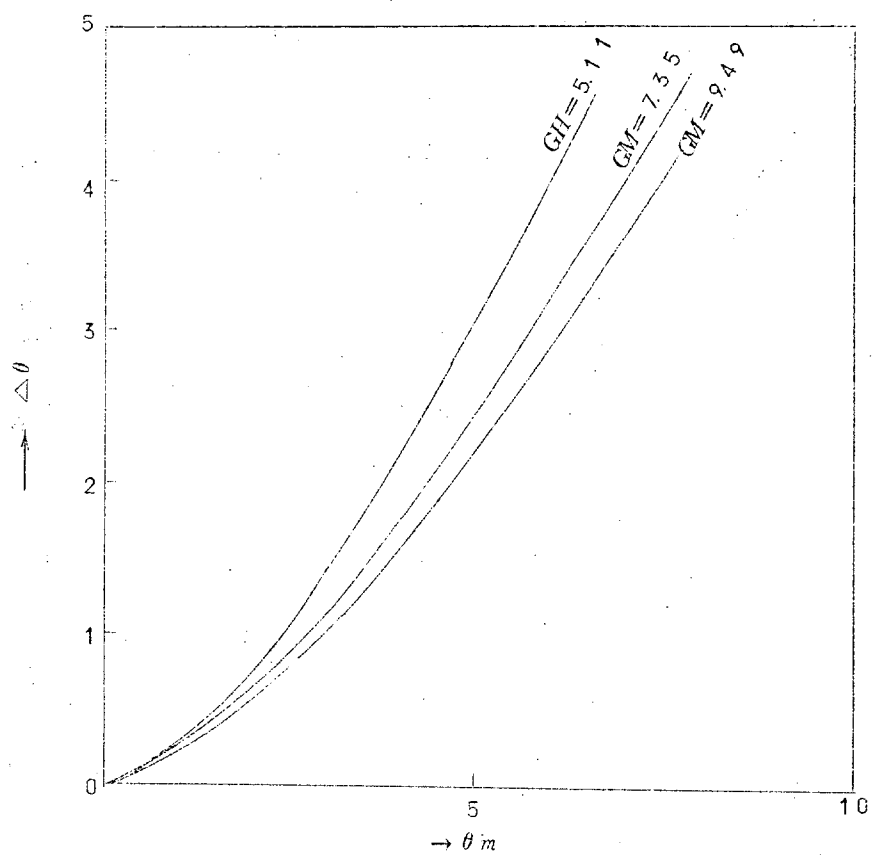
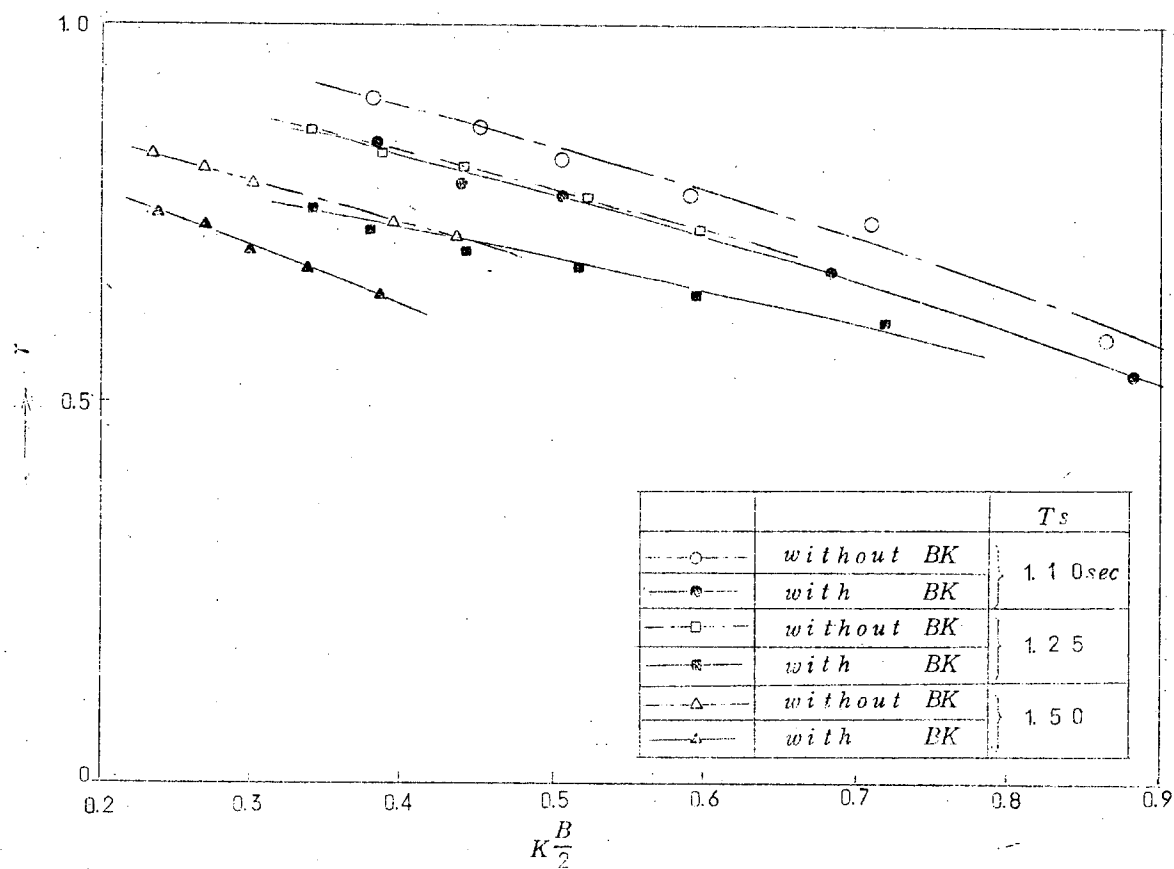


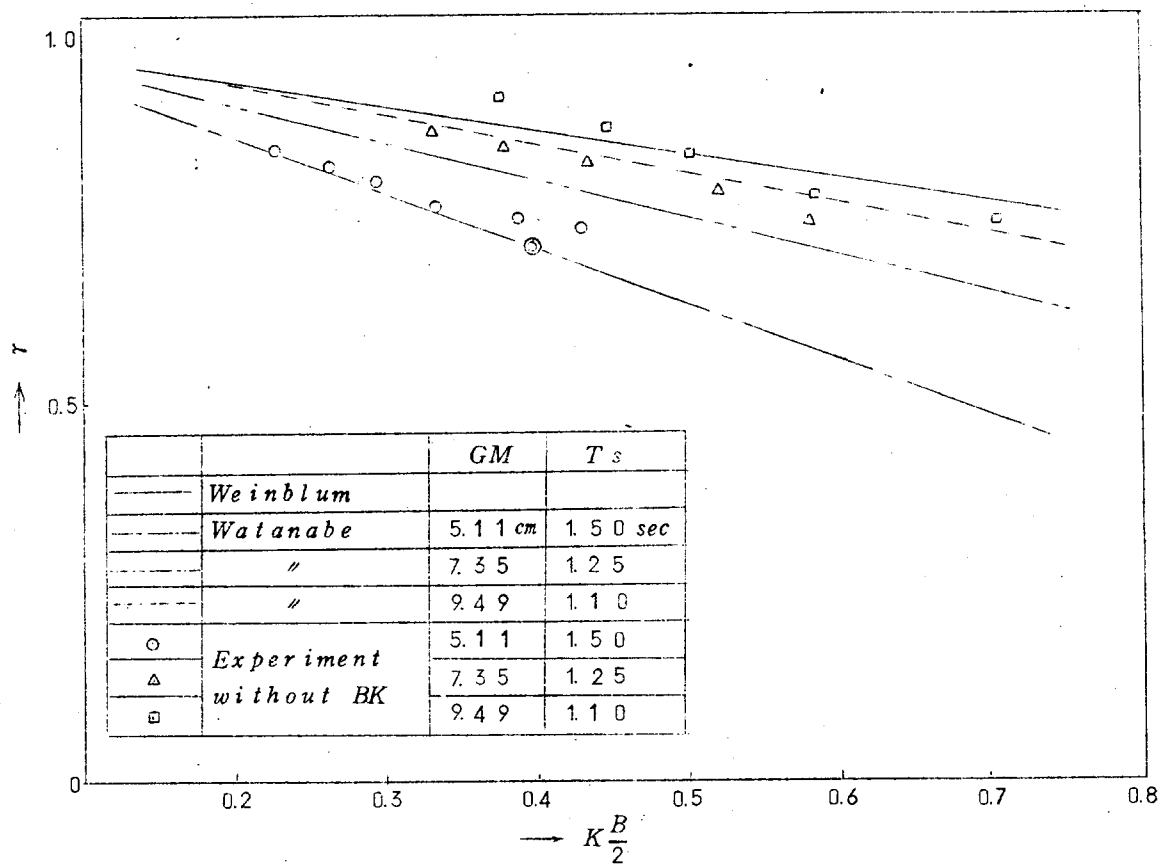
Fig. 5.9 "S" Curves of Extinction without BK



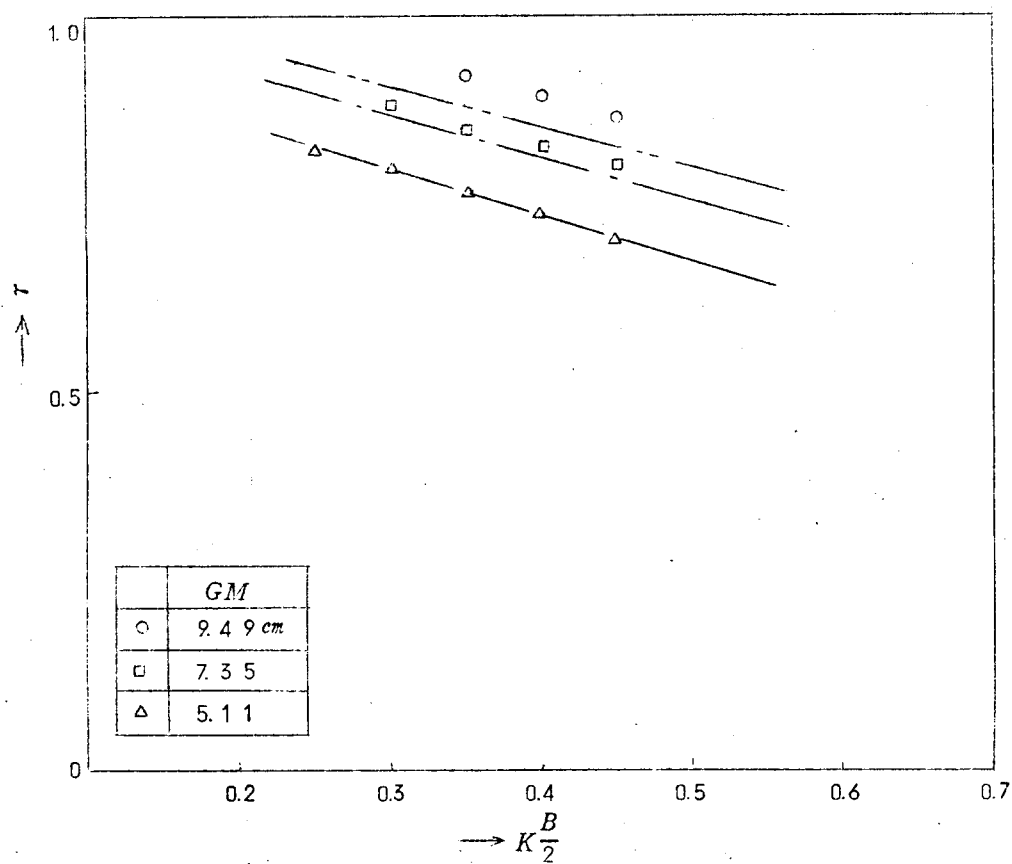
☒ 5.10 "S" Curves of Extinction
with BK



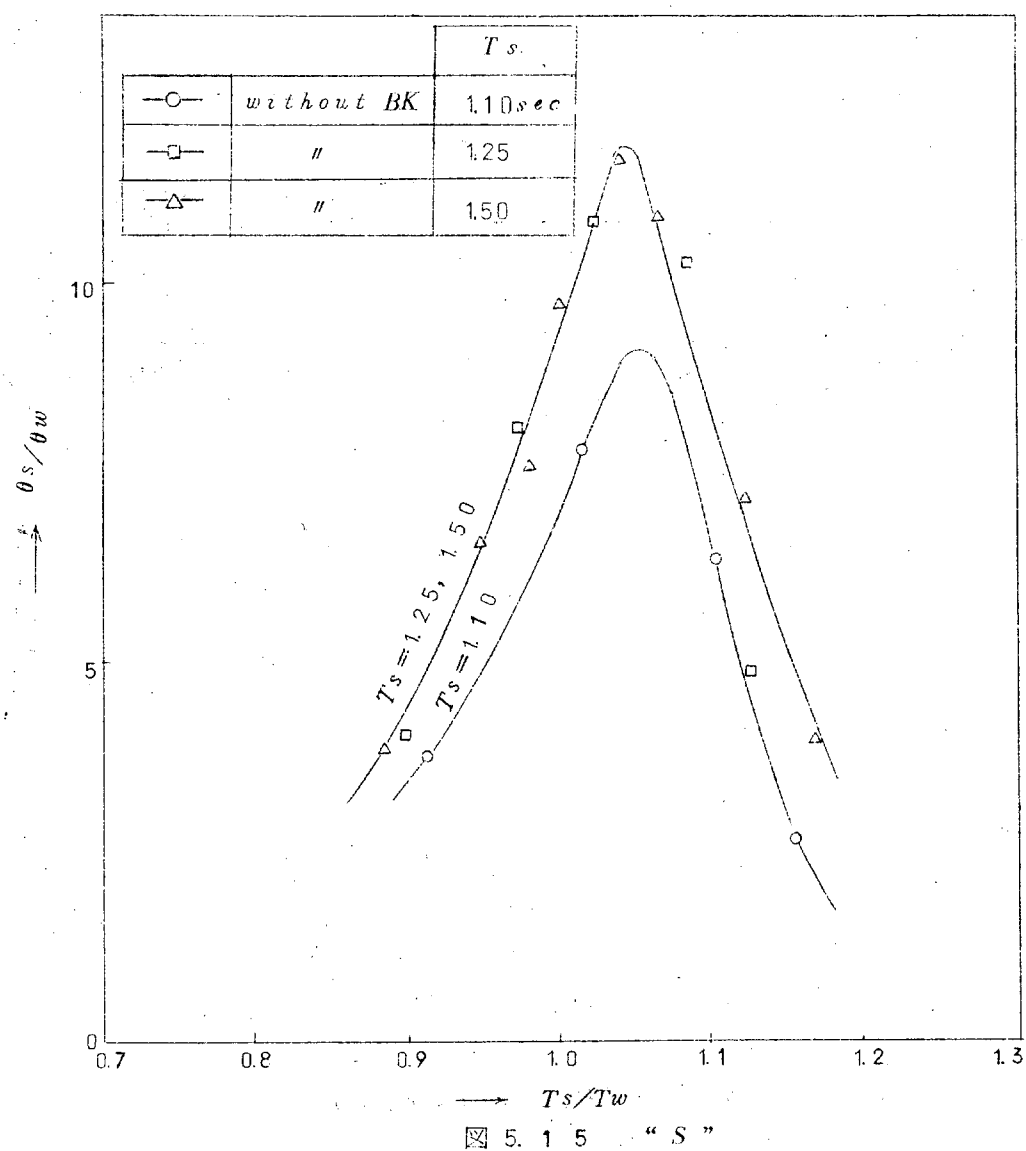
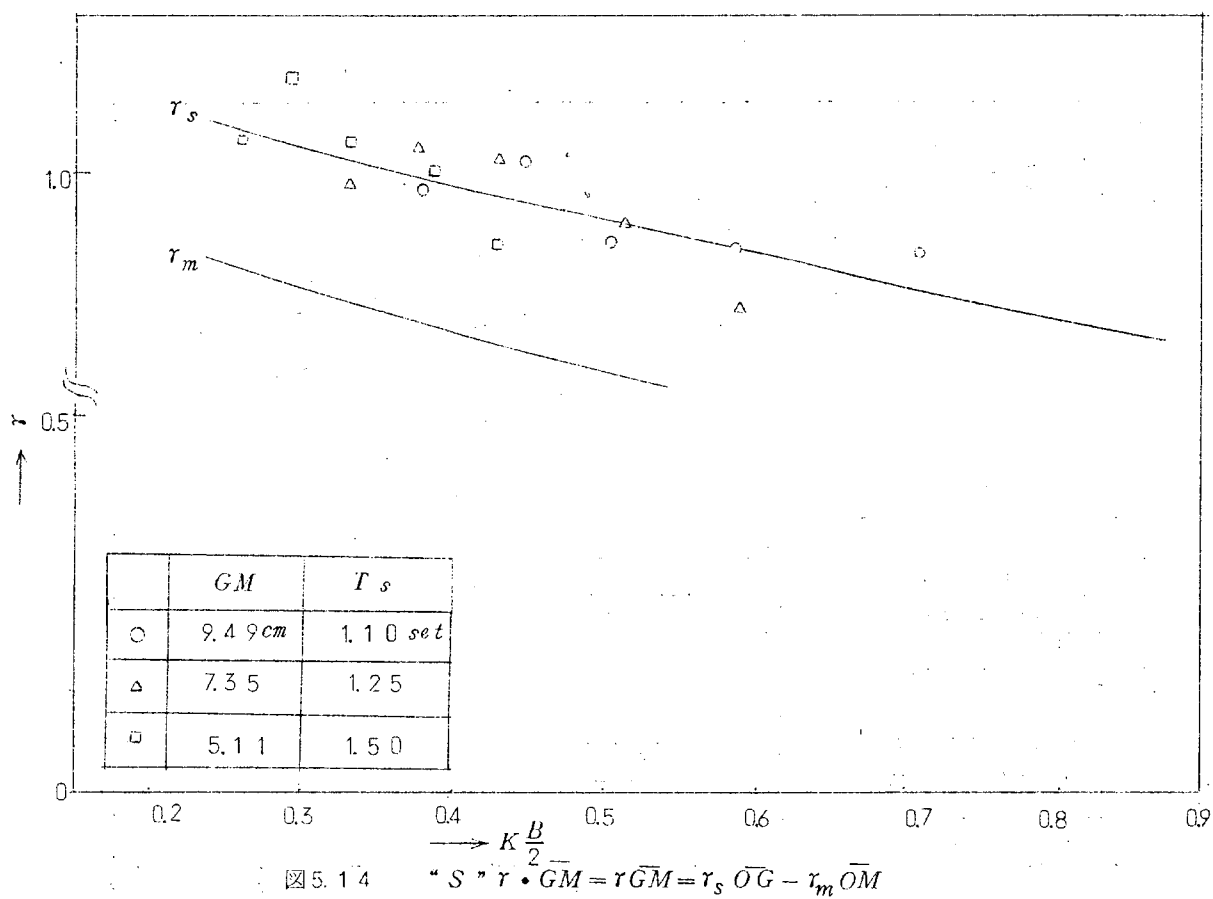
☒ 5.11 "S"



☒ 5.12 "S"



☒ 5.13 "S" $r \cdot \vec{GM} = r_s \cdot \vec{OG} - r_m \cdot \vec{OM}$



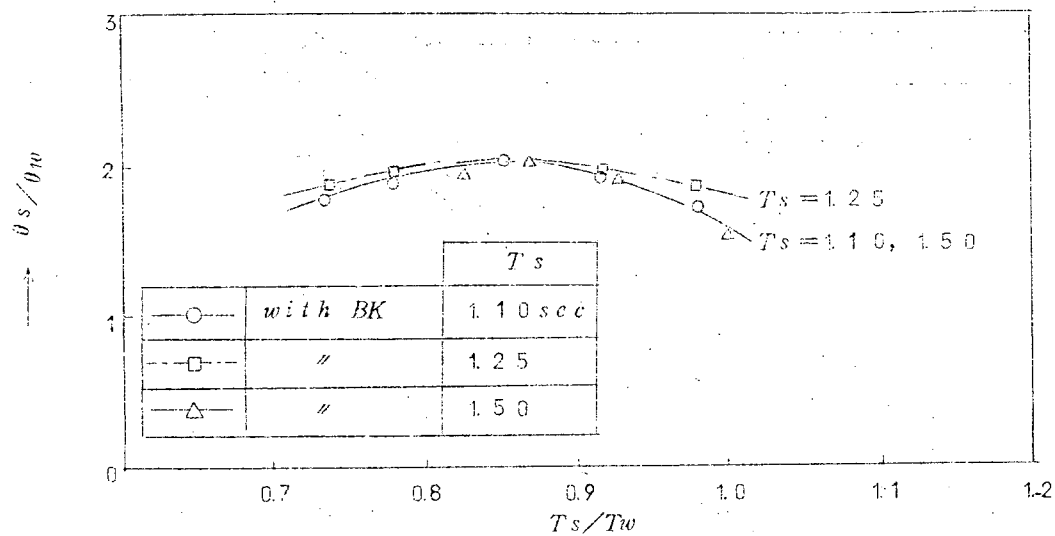


Fig. 5.16 "S"

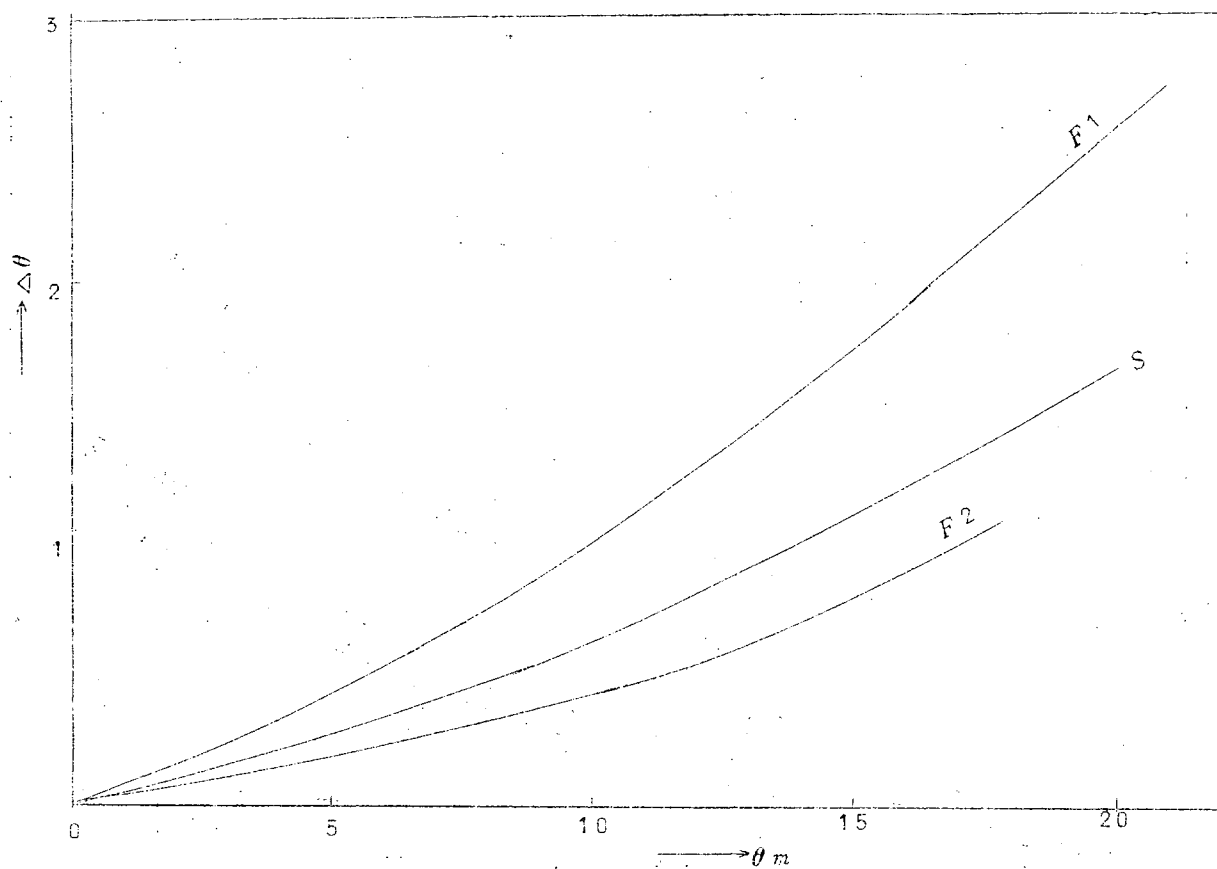


Fig. 5.17 Rise of Fiber Series $Ts=1.50$ sec) without BK Curves of Extinction

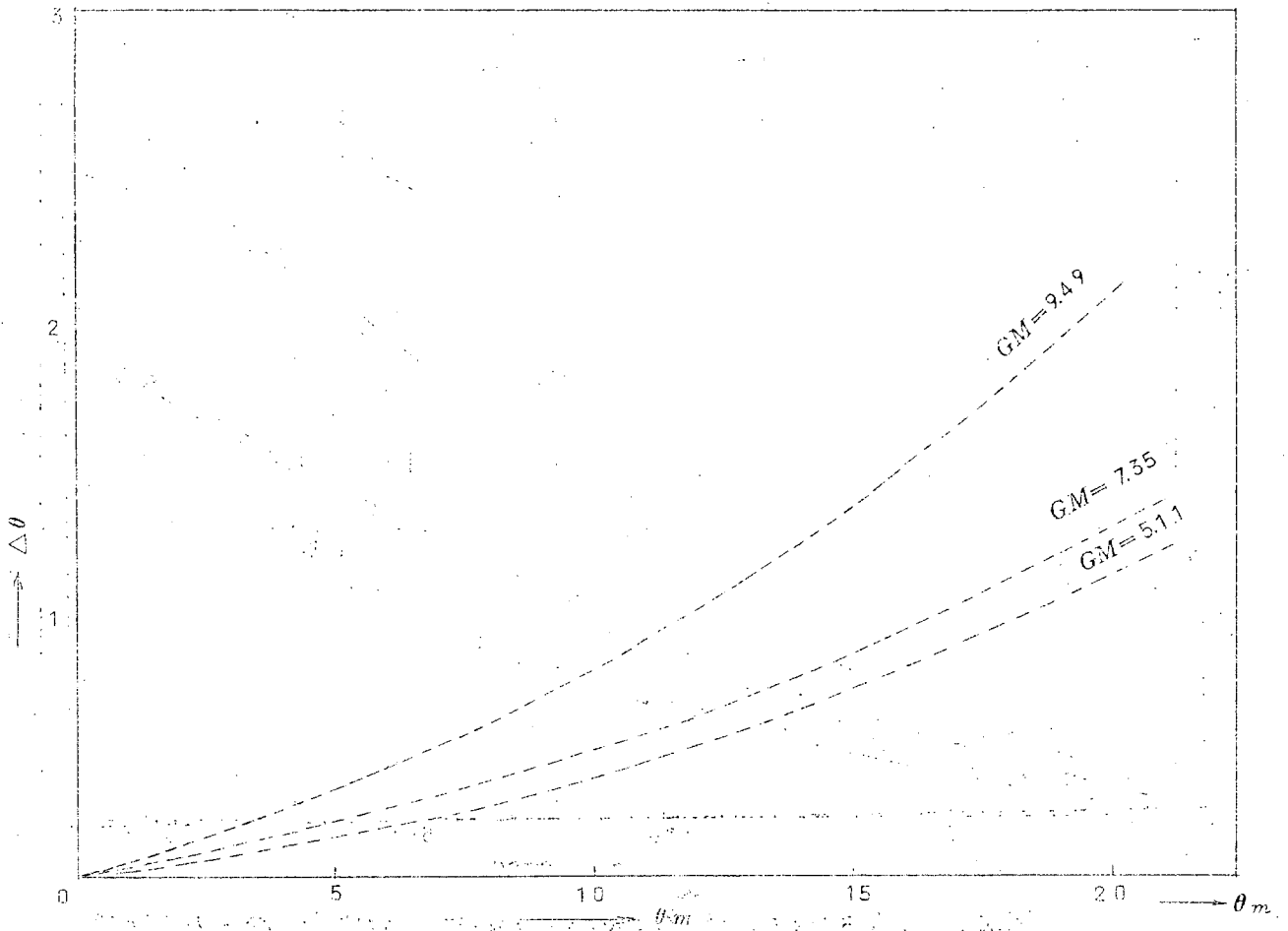
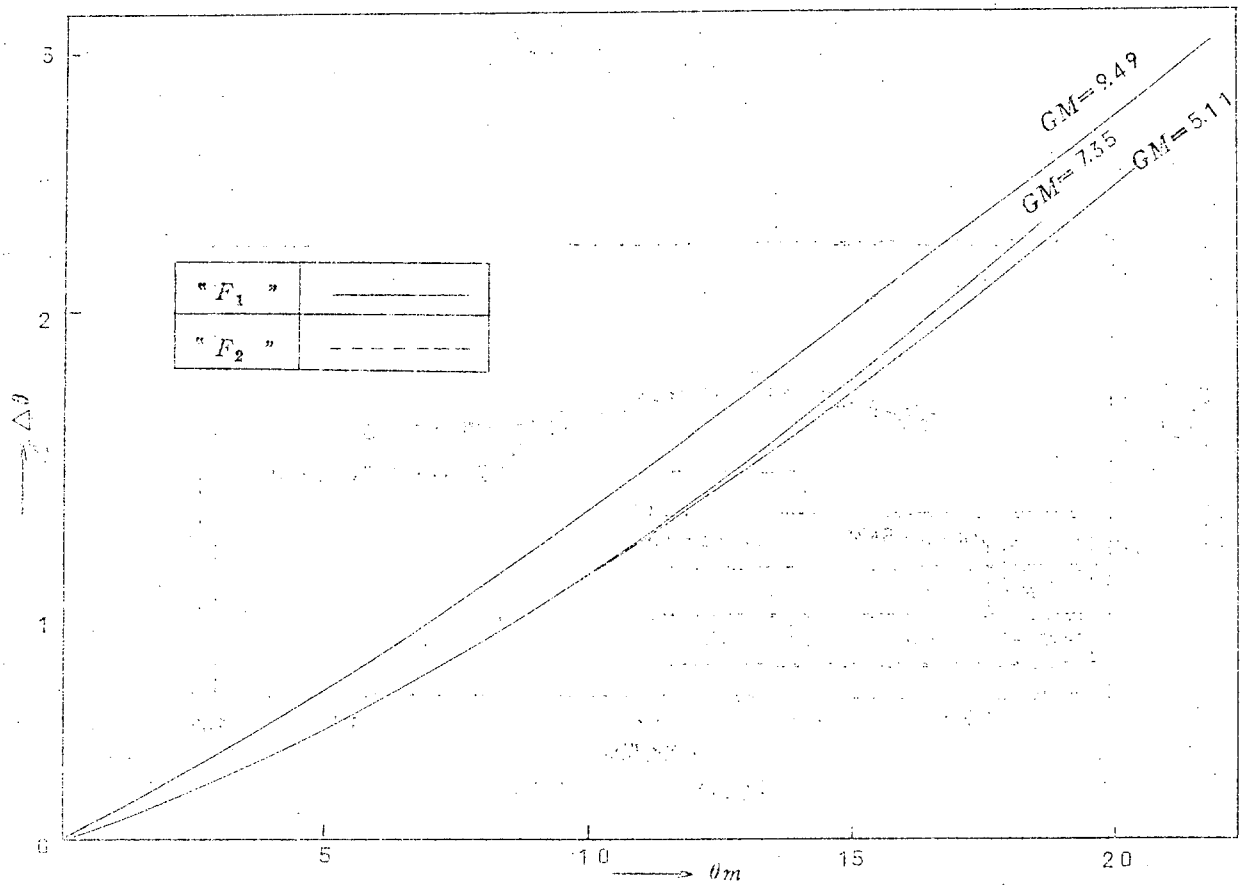


Fig. 5.18 " F_1 ", " F_2 " Curves of Extinction without BK

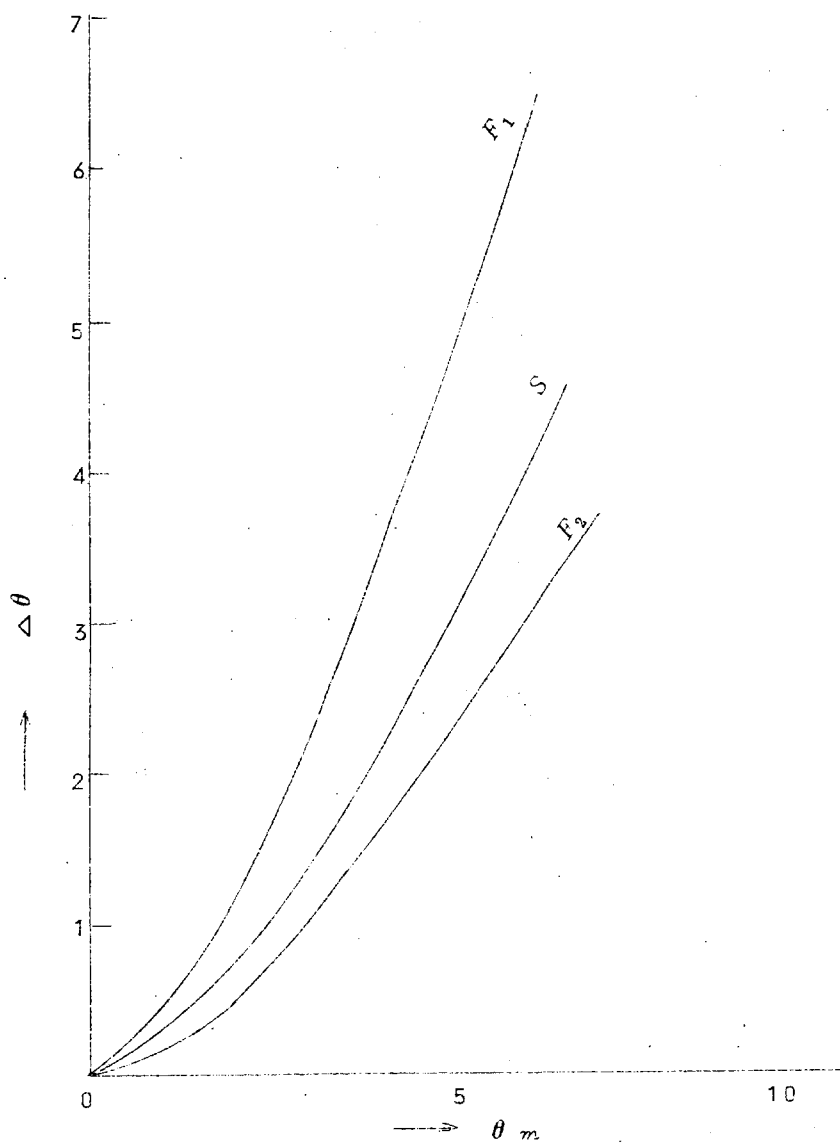


Fig. 5.19 Rise of Floor Series with BK
Curves of Extinction

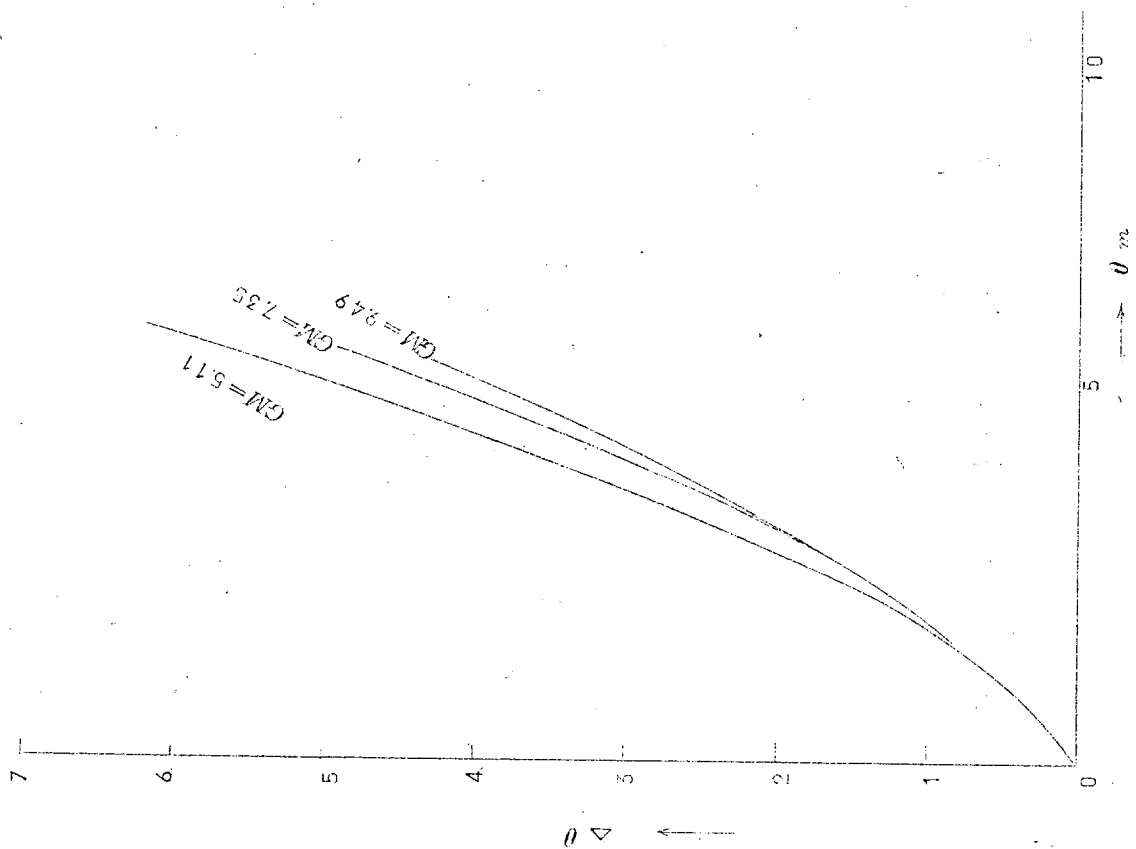
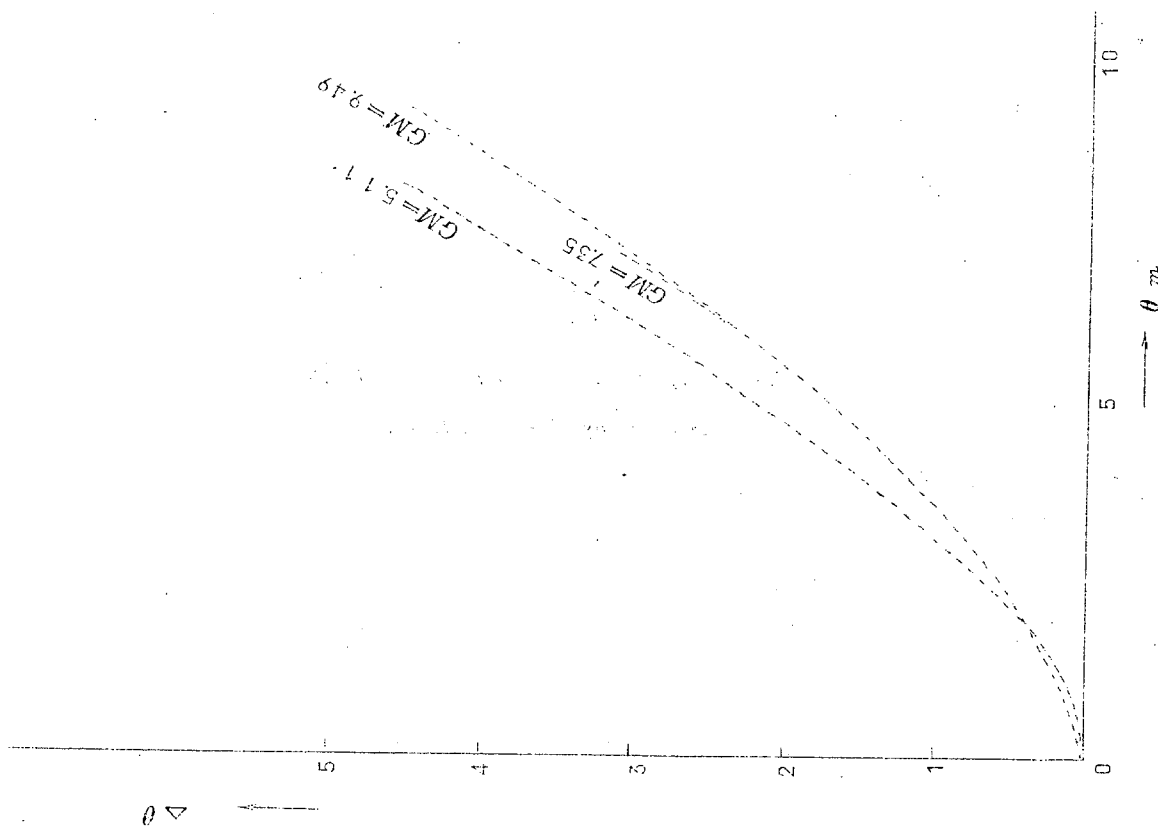
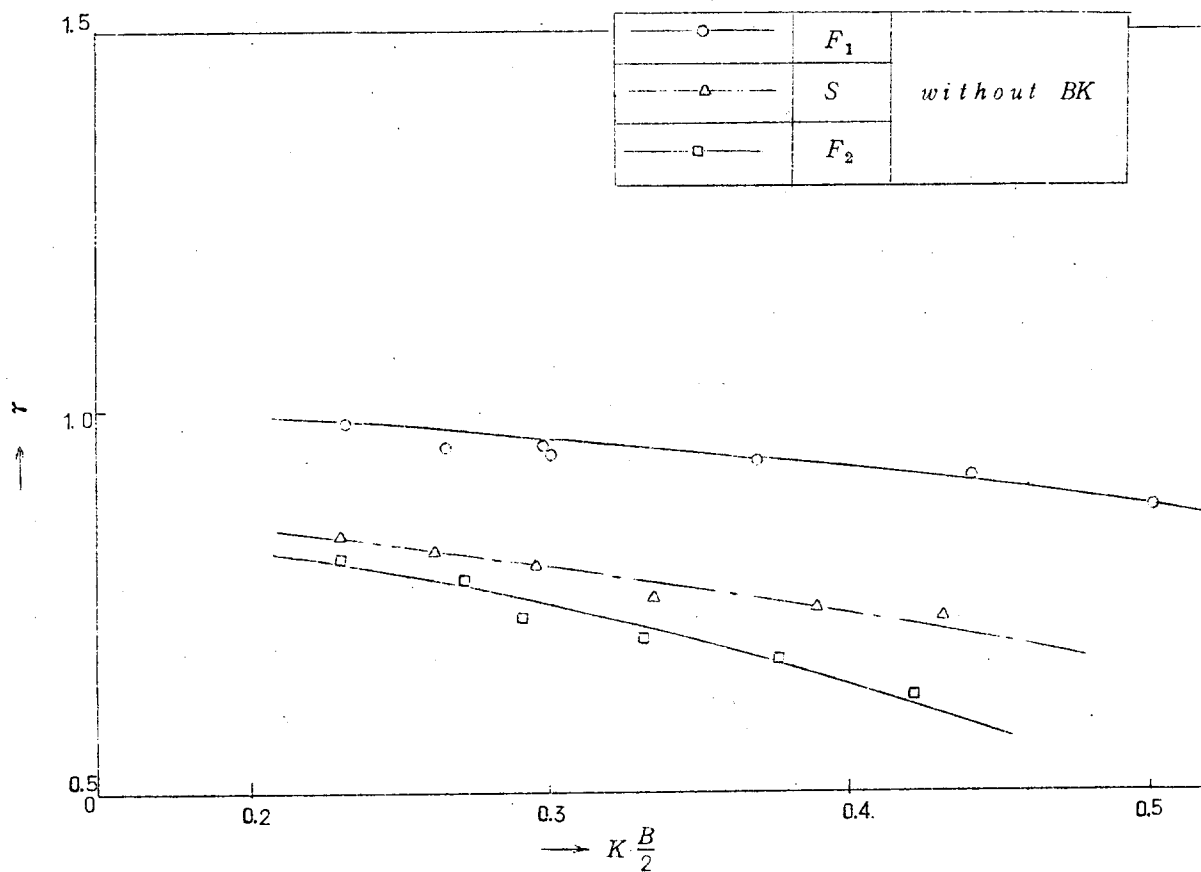
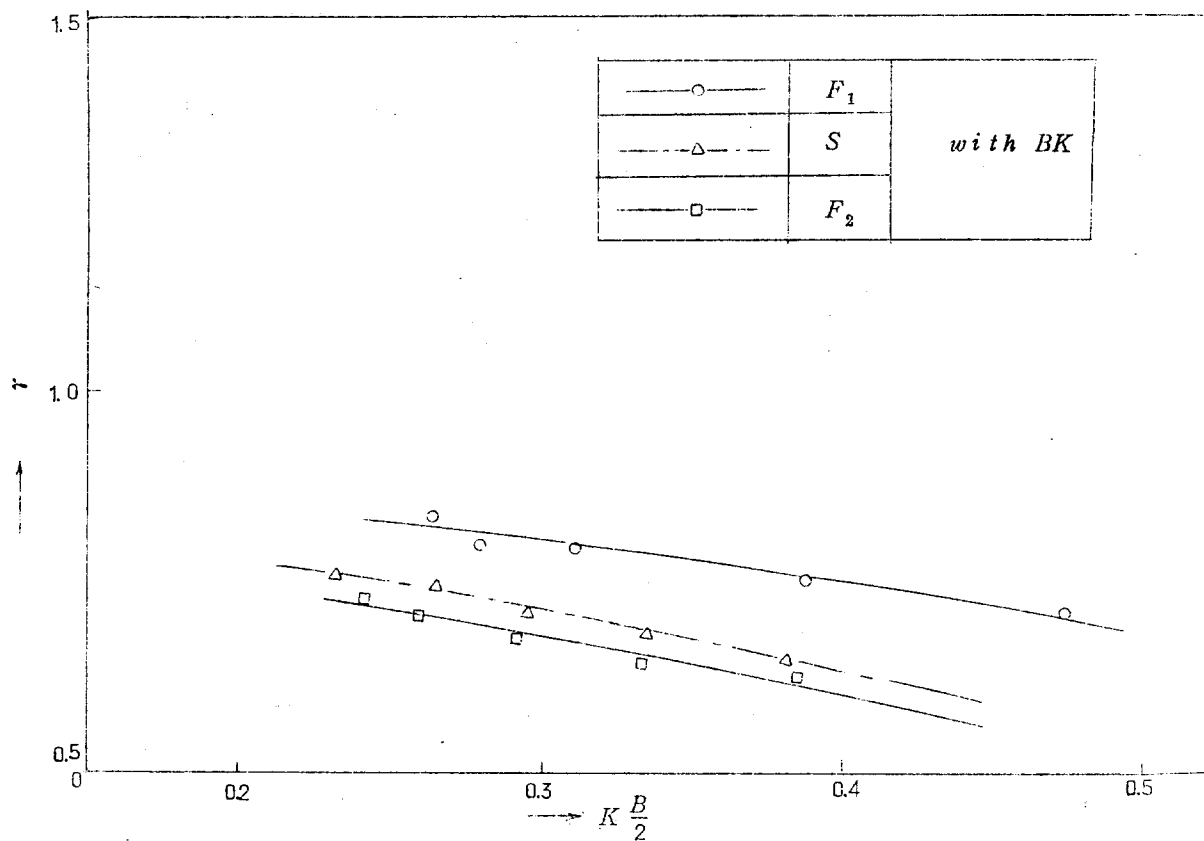


Fig. 5.20 "F1" "F2" Curves of Extinction with BK





☒ 5.2.1 *Rise of Floor Series*



☒ 5.2.2 *Rise of Floor Series*

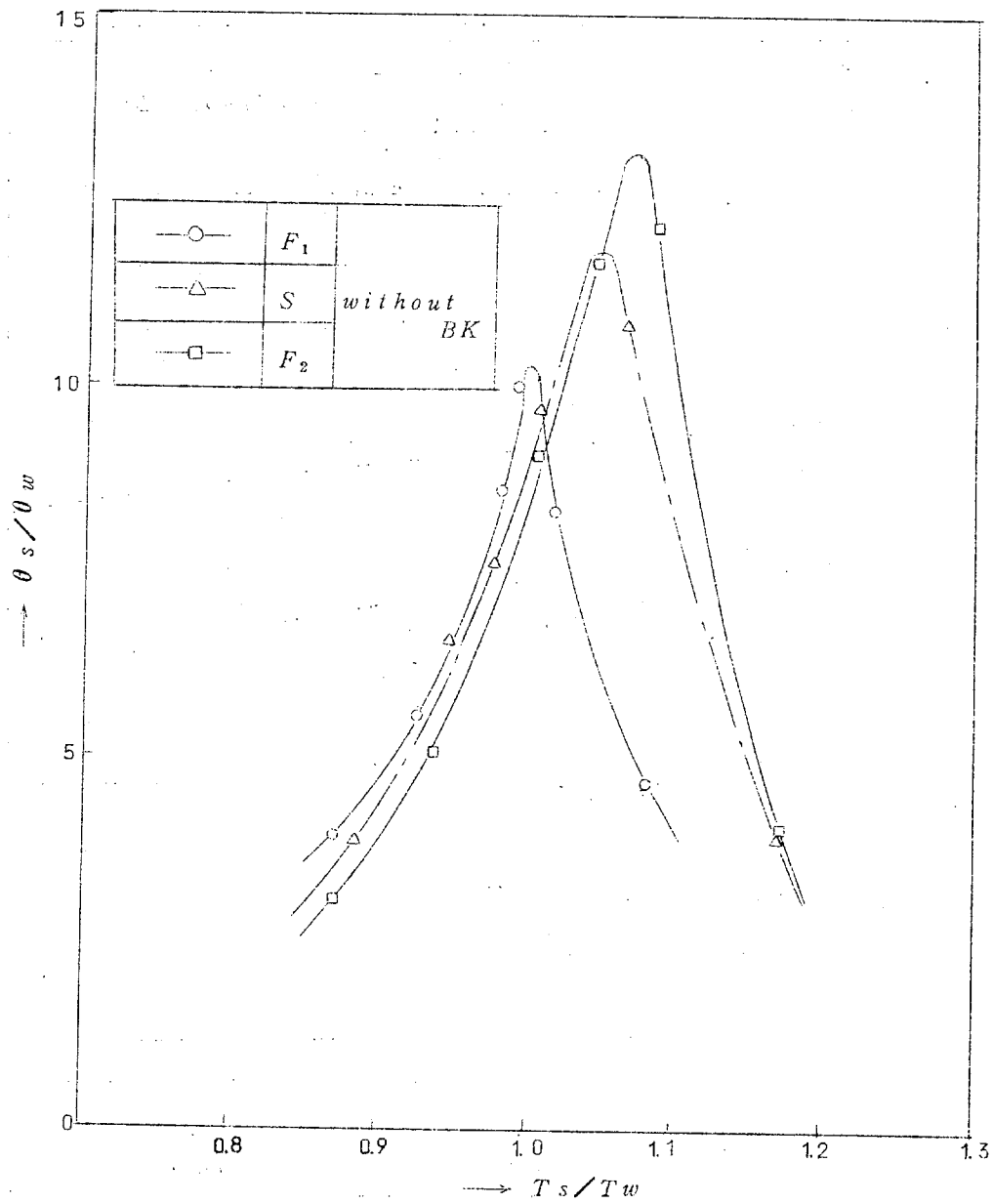


图 5.2.3 Rise of Floor Series

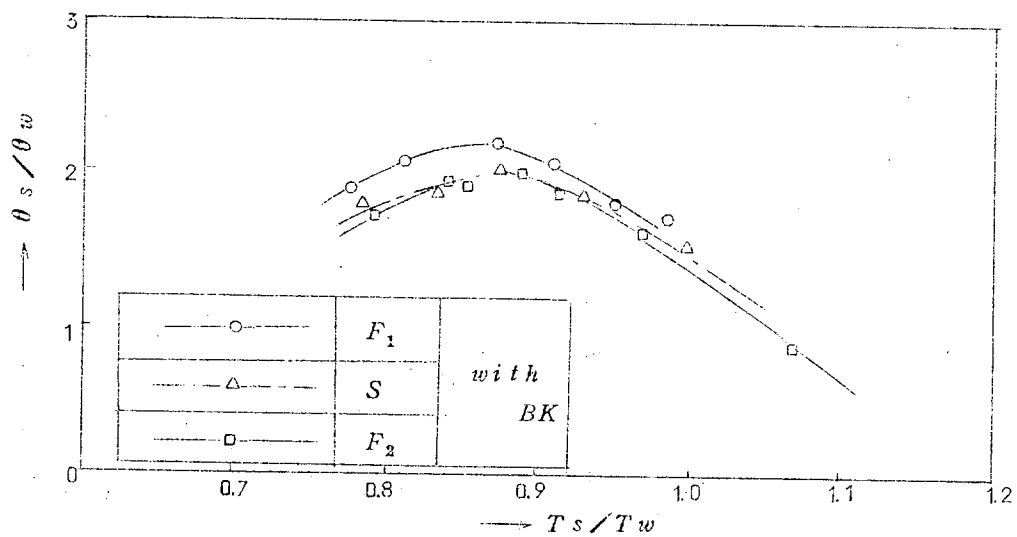


图 5.2.4 Rise of Floor Series

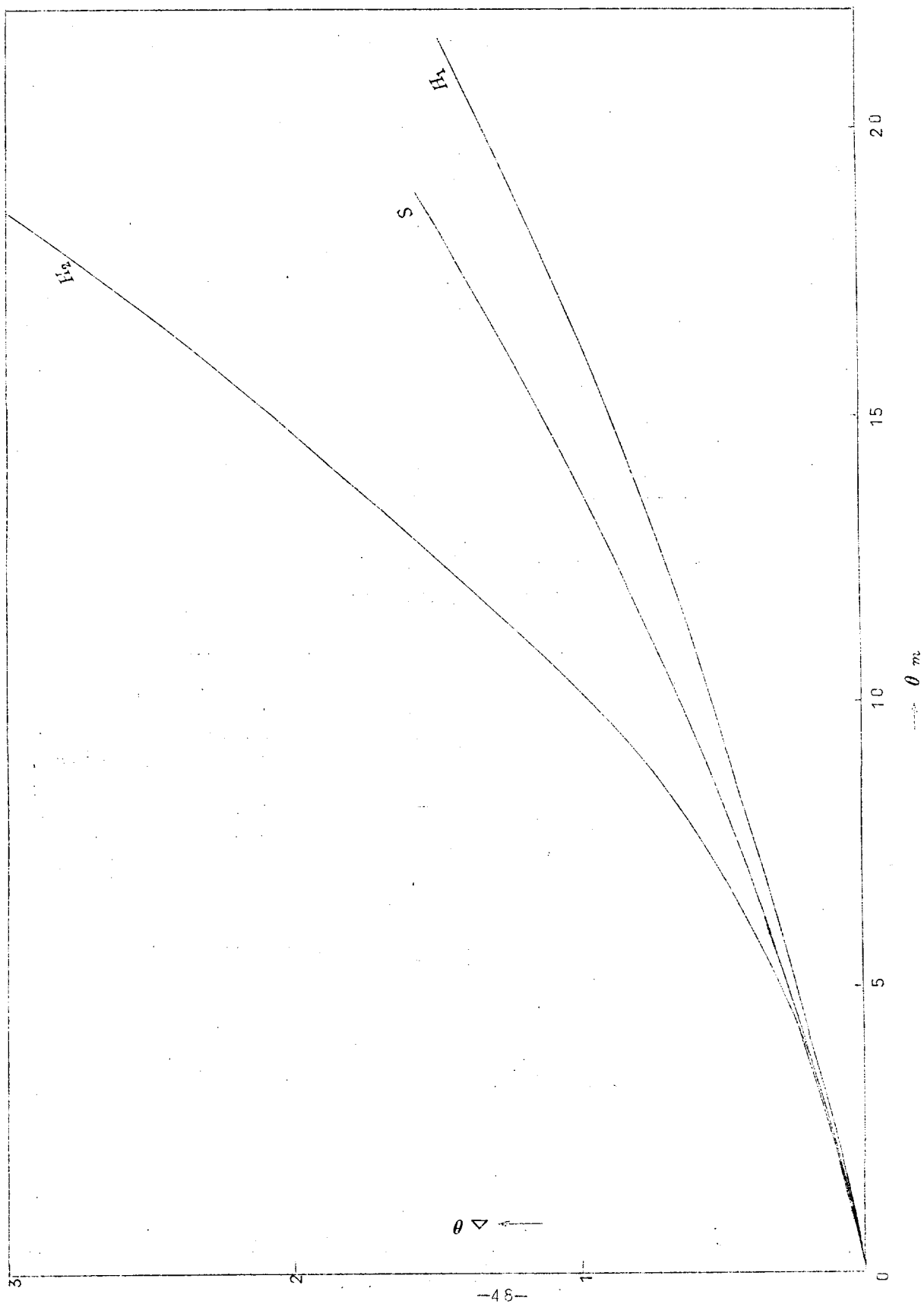


Fig. 5.2.5 $\omega B/2da$ Series without BK
Curves of Extinction

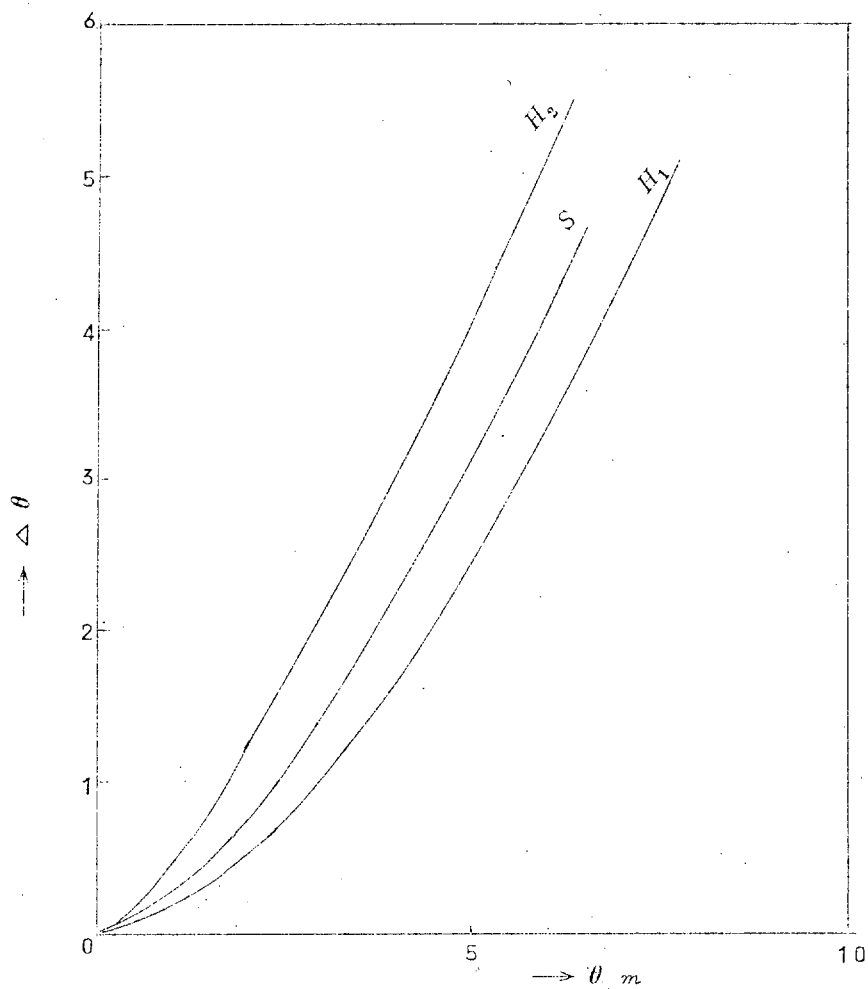


图 5.2.6. " $B/2d$ " Series with BK
Curves of Extinction

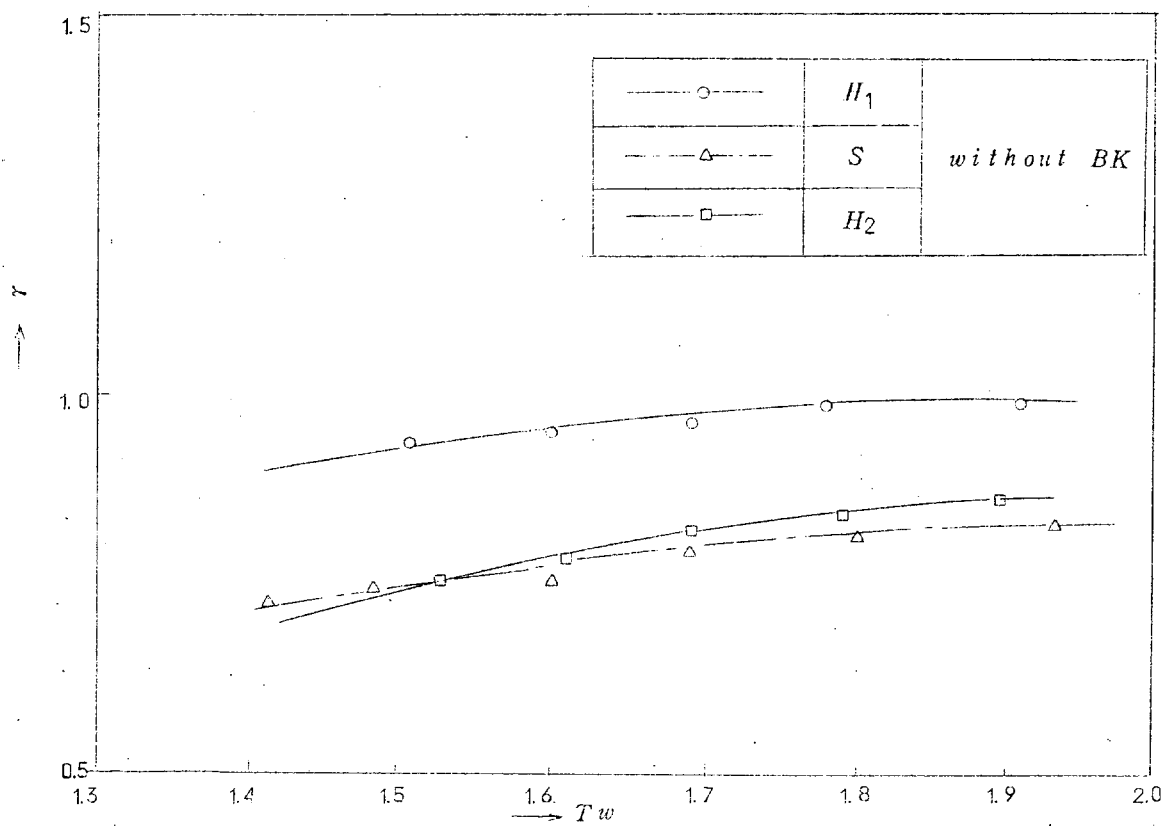


图 5.2.7. " $B/2d$ " Series

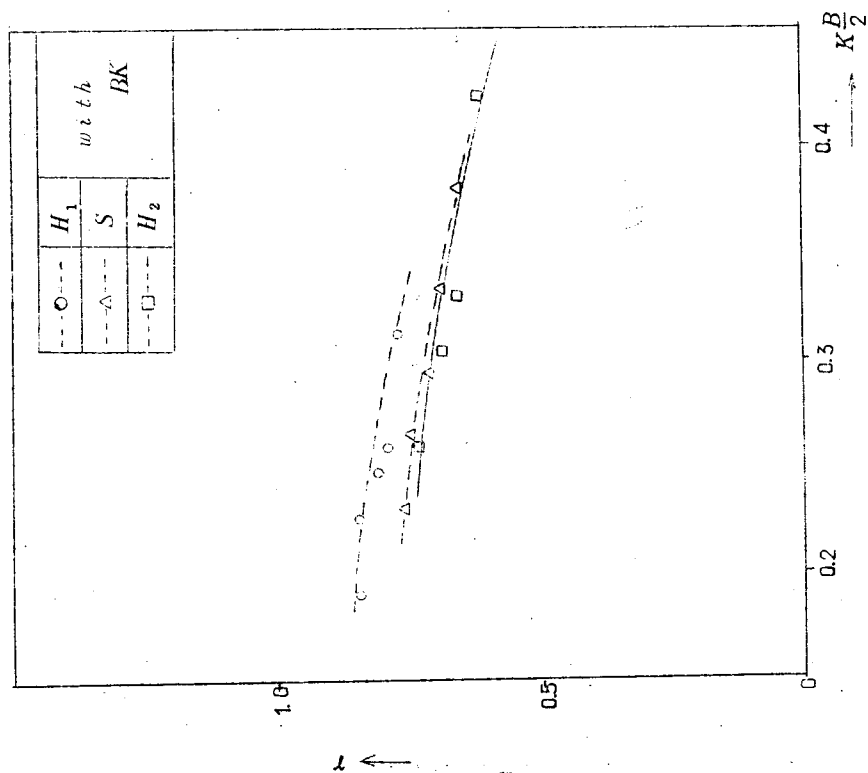
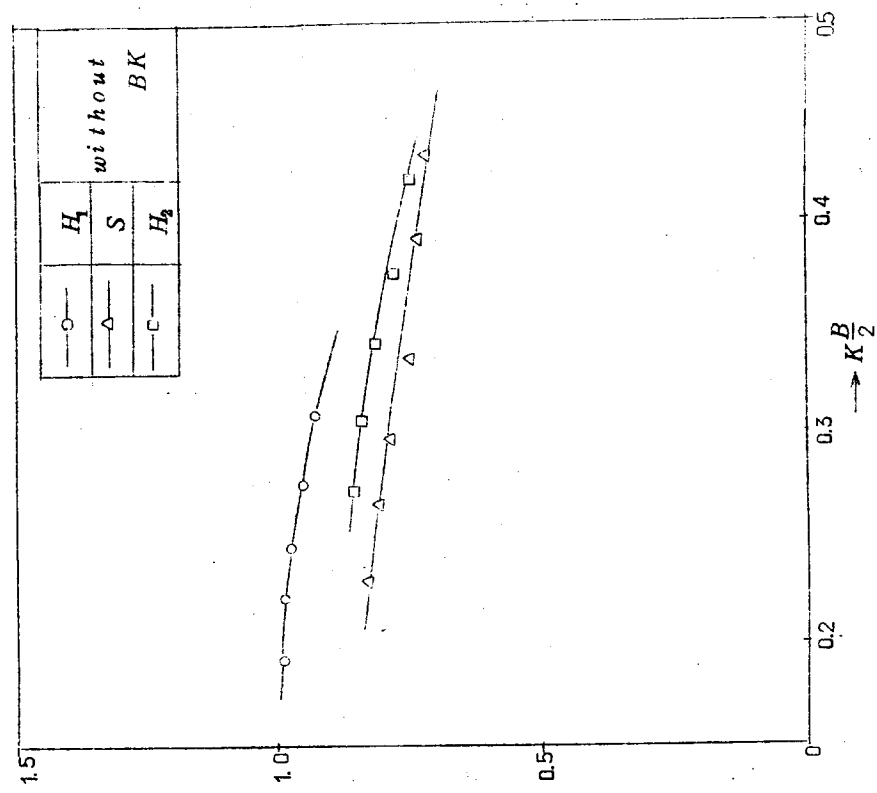


图 5.28 $B/2d$ Series

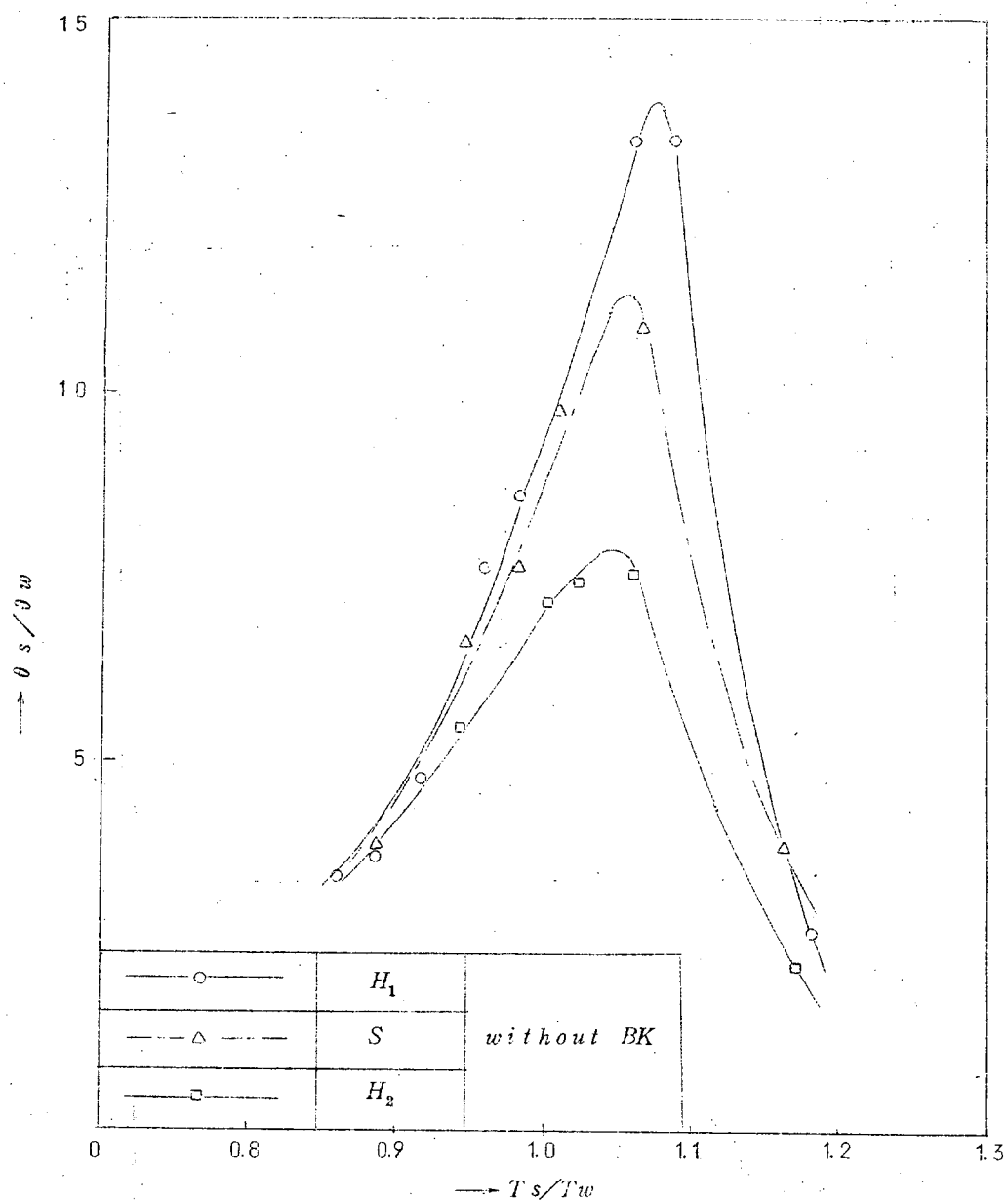


图 5.29 $B/2a$ Series

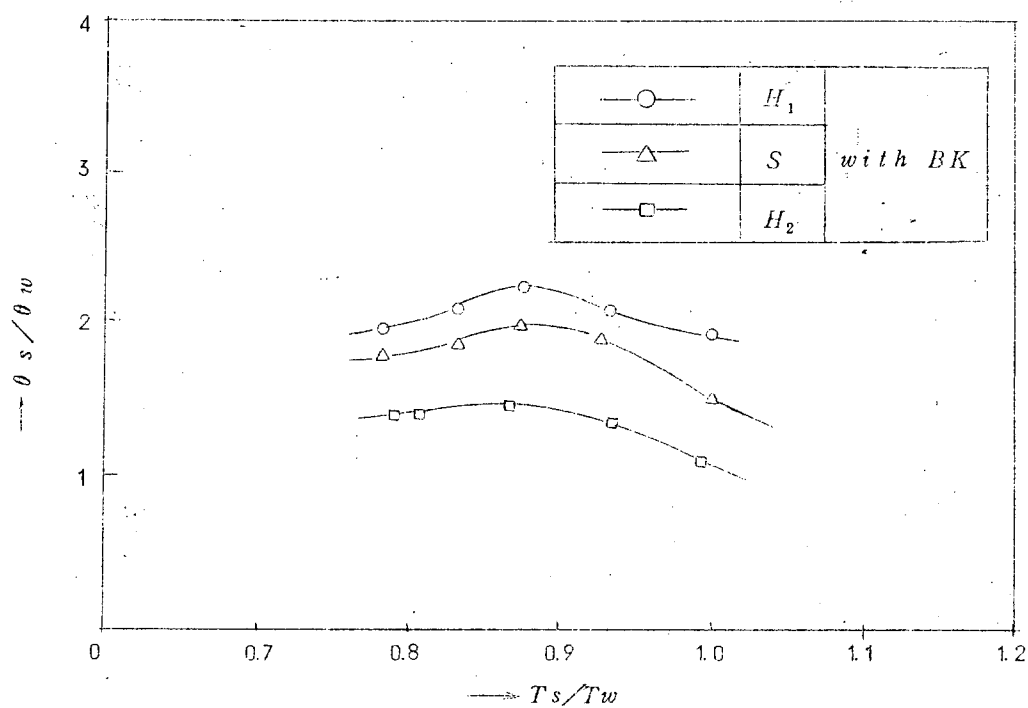
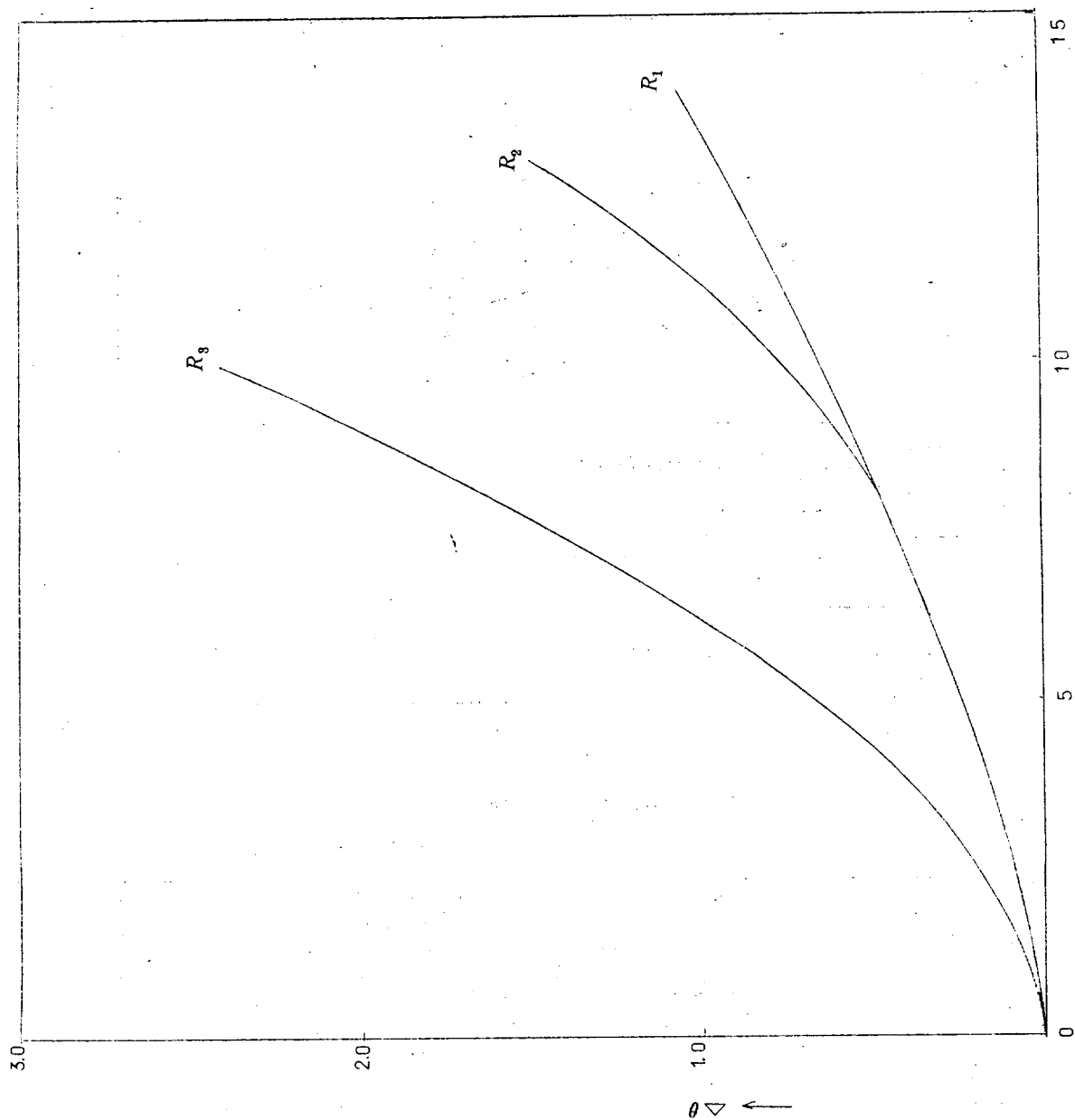
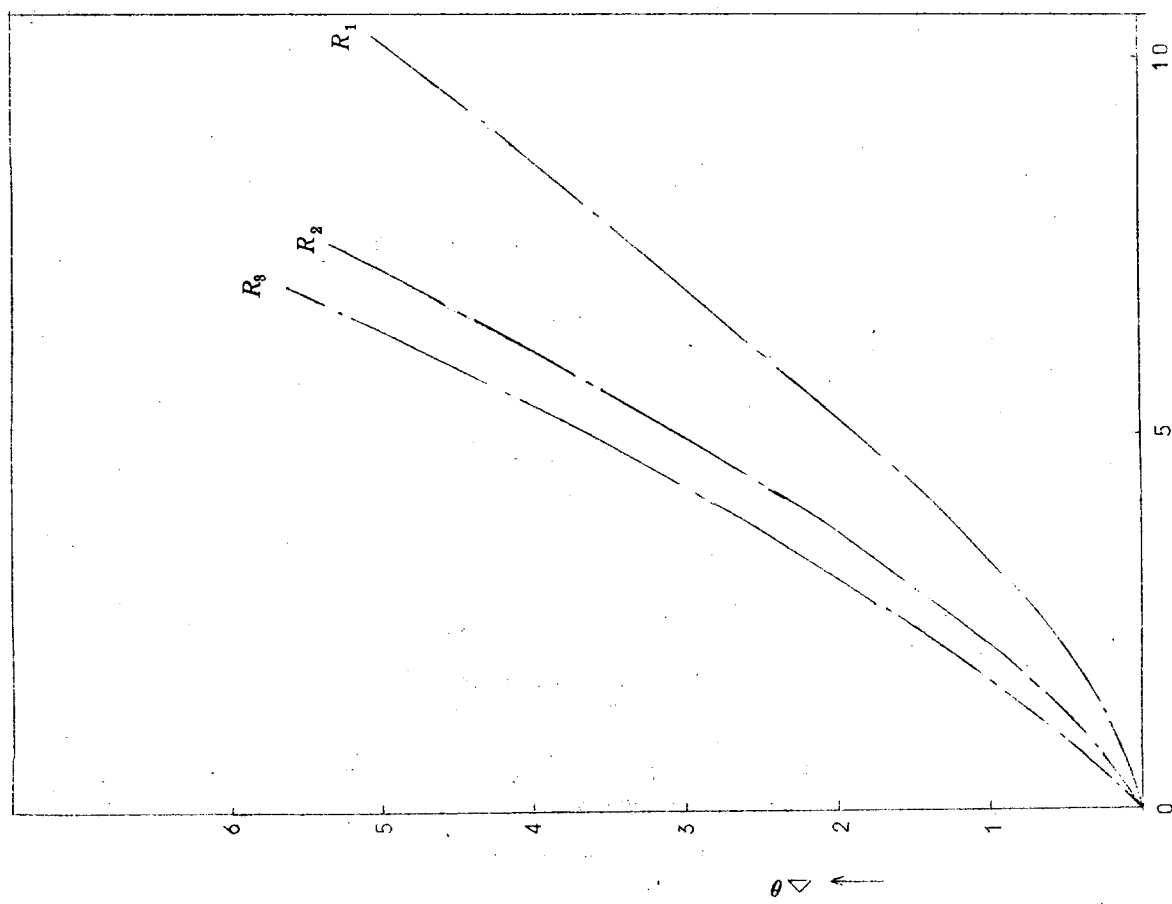


图 5.30 $B/2d$ Series



5.3.1 Bilge Circle Series
Curves of Extinction without BK



5.3.2 Bilge Circle Series
Curves of Extinction with BK

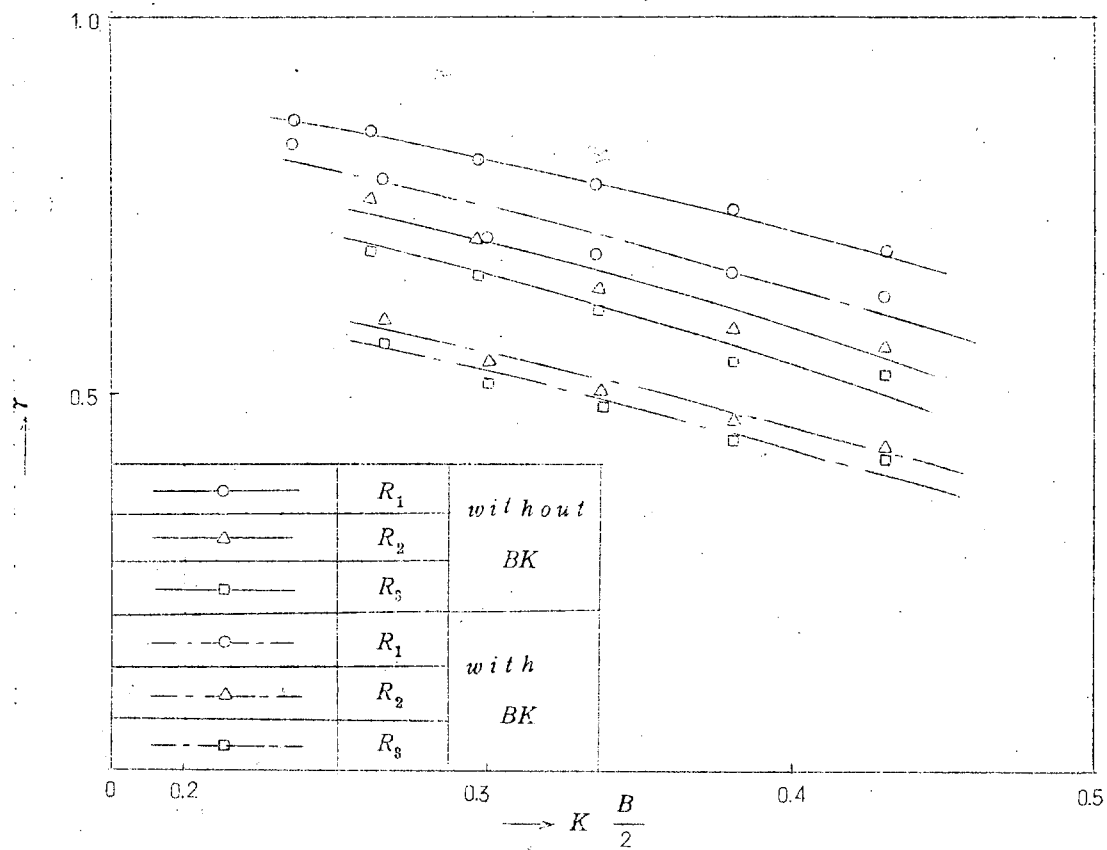


图 5.3.3 Bilge Circle Series

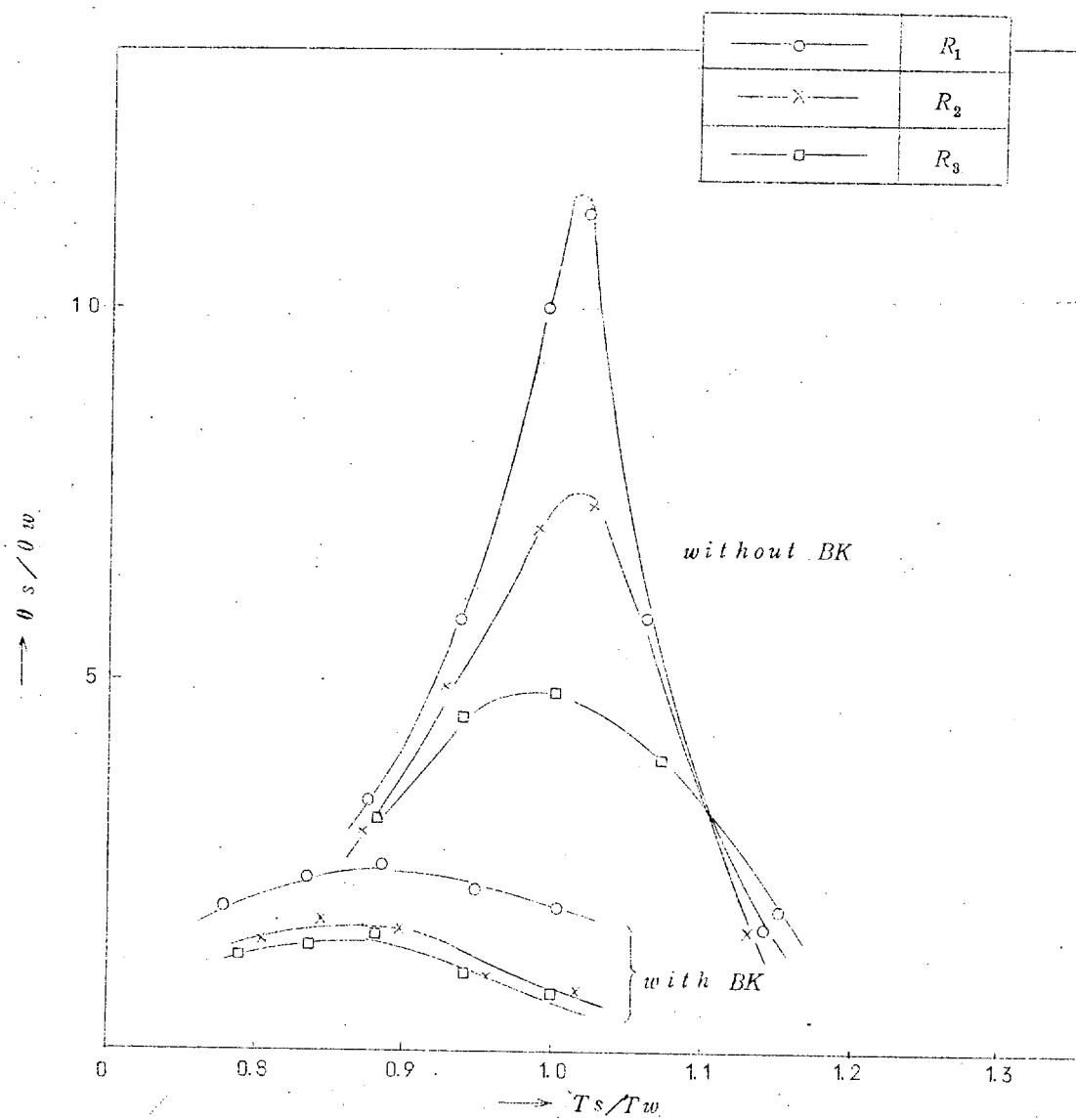


图 5.3.4 "R" Series

第 6 章 結 論

6.1 横揺れ強制モーメントについて

1) *Swaying* を拘束した場合、波による水平力の着力点を回転中心に選ぶことによつて、波による横揺れ強制モーメントを受けないようにすることができる。このとき横揺れもほとんどなくなる。

Swaying を拘束しない時は、横揺れ強制モーメントを零にすることは非常に難しいが、*Rolling* に対する *Swaying* の連成運動の影響は通常波による横揺れ強制モーメントを減ずる方向にある。

2) *Bilge Keel* は横揺れ強制モーメントを減ずる方向に働く。

3) 同じ周波数の波に対しては GM が大きくなると、横揺れ強制モーメントは大きくなる。

4) *Rise of Floor* が大きくなると横揺れ強制モーメントは大きくなる。

5) $B/2d$ が大きくなると、つまり浅吃水船になると横揺れ強制モーメントは小さくなる。

6) *Bilge Circle* が小さくなると、横揺れ強制モーメントは小さくなる。

7) 別所委員の文献 10) *P. 252 IV*) の「 r を 0 にするような重心位置と慣性半径の組合せがあるが一般にはこれらは周期の非常に小さい所になる」は今後の研究にまたなければならない。

6.2 Damping に関して

1) GM が大きくなると本実験に用いた船型に関するかぎり *without BK* では *Damping* は大きくなるのに対して、*with BK* では小さくなる。

2) *Rise of Floor* が大きくなると、*Damping* は大きくなる。

3) $B/2d$ が大きくなると *Damping* は大きくなる。

4) *Bilge Circle* が大きくなると、*Damping* は小さくなる。

6.3 横揺れ角に関して

1) 通常船型では、重心位置で *Swaying* を拘束した場合の方が、自由のときより横揺れ角は大きい。

2) GM が相当に大きくなると、*without BK* では同調横揺れ角は小さくなる。*with BK* では変わりない。

3) *Rise of Floor* が大きくなると、*without BK* では横揺れ角は小さくなる。*with BK* では変化は少ないが、逆の傾向になる。

4) $B/2d$ が大きくなると、*without BK*, *with BK* 共に横揺れ角は小さくなる。

5) *Bilge Circle* が小さくなると、*without BK*, *with BK* ともに横揺れ角は小さくなる。

参 考 文 献

- 1) 渡辺恵弘、井上正祐：「船の横揺抵抗所謂 N の計算法について」西部造船会々報 14号
- 2) 岩田秀一：「巡視船の横揺れ減波係数について」造船協会会報 107号
- 3) F.Ursell: "On the Rolling Motion of Cylinders in the Surface of a Fluid" Quart. Journal of Mech. and Applied Math. vol II. Pt 3. 1949.
- 4) M.D.Haskind: "The Exciting Forces and Wetting of Ship in Waves" Isvestia Akademii Nauk SSSR. Otdelenie Tekhnicheskikh Nauk No. 7. 1957.
- 5) 田才福造：「Beam Seaにおける船体運動」
西部造船会会報 30号 昭40.8月
- 6) 田村欣也：「The Calculation of Hydrodynamical Forces and Moments acting on the two Dimensional Body」西部造船会会報 26号 昭39.9月
- 7) 菱田敏男：「船舶の動揺造波抵抗に関する研究」
造船協会論文集 85号 昭27.12
- 8) 別所正利：「波の中の船の運動について」
防大理工学研究報告 3巻第1号 昭40.5月
- 9) 別所正利：「波の中の船の運動の理論について（前進速度のない場合）」防大理工学研究報告 3巻第2号
昭40.7月
- 10) 別所正利：「波の中の船の横揺れ運動の理論について」
(続報) 防大理工学研究報告 第3巻 第3号 昭41.1月