

日本船舶振興会昭和54年度補助事業
“浅海域における箱型海洋構造物の運動特性及び
係留システムの設計基準に関する研究”

研究資料 No.333

第179研究部会

浅海域における箱型海洋構造物の運動特性 及び係留システムの設計基準に関する研究

報 告 書

昭 和 55 年 3 月

社 团 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

浅海域における浮遊式箱型海洋構造物の運動特性及び波浪外力については、従来実験設備等の制約から研究の不足する分野であったが、これらについて総合的に研究調査を行い浮体の動搖及び漂流力、係留時の波力及び運動等を解明し、海洋構造物に対する安全適切な係留システム設計基準確立の資を得ることを目的として、本研究は3カ年計画をもって行うものであるが、その第1年度である本年度は箱型海洋構造物の運動特性及び係留システムの研究、係留システムの設計基準作成のための基礎調査を行った。

は　し　が　き

本報告書は、日本船舶振興会の昭和54年度補助事業「浅海域における箱型海洋構造物の運動特性及び係留システムの設計基準に関する研究」として、日本造船研究協会が第179研究部会においてとりまとめたものである。

本研究部会の委員及び討議参加者は次の通りである。

第179研究部会委員名簿

(敬称略、順不同)

部会長	安藤 定雄(船舶技術研究所)
委員	井上 義行(横浜国立大学) 小寺山 直(九州大学)
	前田 久明(東京大学) 大川 豊(船舶技術研究所)
	寺田 泰治(日本海事協会) 日笠 則明(日本海事協会)
	泉 晃(三菱重工業) 太田垣 由夫(石川島播磨重工業)
	岡本 洋(川崎重工業) 小保方 準(住友重機械工業)
	小林 正典(三井造船) 杉村 泰(三井造船)
	瀬尾 明雄(日本钢管) 高田 美津雄(日立造船)
	高橋 雄(三菱重工業) 田中 陽(川崎重工業)
	西岡 卓爾(日立造船) 根間 清(川崎重工業)
	松原 直哉(三井造船) 松本 憲洋(日本钢管)
	村山 敬一(石川島播磨重工業) 森 正彦(石川島播磨重工業)
討議参加者	山下 誠也(石川島播磨重工業)
	森山 厚夫(日本钢管)

目 次

第 1 章 緒 言	1
第 2 章 箱型海洋構造物の運動特性の研究	3
2.1 箱型海洋構造物の流体力及び動搖応答に関する文献調査	3
2.1.1 調査の方法	3
2.1.2 調査の内容	3
2.1.3 参考文献	3
2.1.4 調査結果	3
2.1.5 総 括	4
2.2 理論計算及び水槽模型試験の計画	19
2.2.1 基本方針	19
2.2.2 理論計算の条件設定	21
2.2.3 水槽模型試験の条件設定	22
2.3 理 論 計 算	23
2.3.1 理論計算プログラムの比較・検討	23
2.3.2 理論計算範囲	26
2.3.3 理論計算結果	26
2.3.4 総 括	28
2.4 水槽模型試験	44
2.4.1 目的及び概要	44
2.4.2 供試模型	44
2.4.3 試験の種類及び方法	45
2.4.4 試験状態	46
2.4.5 2次元模型試験結果及び考察	47
2.4.6 3次元模型試験結果及び考察	49
2.4.7 総 括	51
第 3 章 箱型海洋構造物の係留システムの研究	63
3.1 築・鎖係留方式	63
3.1.1 文献調査	63
3.1.2 究明すべき課題	63
3.2 ドルフィン・フェンダー係留方式	70
3.2.1 文献調査	70
3.2.2 究明すべき課題	70
3.3 昭和55年度における研究課題	77

第4章 係留システムの設計基準作成のための基礎調査	78
4.1 既存設計基準関係資料の調査	78
4.2 昭和55年度以降における設計基準作成方針	81
第5章 結 言	84

第 1 章 緒 言

近年、海洋をめぐる世界的な情勢が急変し、その結果として海洋の持っている意味、重要性及び利用価値などが飛躍的に増大して来ている。それを端的に表わしているものとしては、海洋における各種鉱物資源の開発、200海里の問題、各種の海洋エネルギー利用計画及び各種の海洋空間利用計画であるといえる。

この様な世界的な情勢の変化に伴って、これまで造船業界が蓄積して来た船舶及び船舶関連技術を海洋開発関連の事業計画に積極的に活用することが重要である。その活用すべき代表的な例としては、貯蔵船方式による石油や液化ガスなどの洋上備蓄システム計画であり、これに類似した大型プロジェクトが今後増加する傾向にあるといえよう。

そして、海洋開発としての海洋空間の有効的な利用計画は、洋上備蓄システム、洋上中継基地や海上空港などのように、まずは比較的沿岸や島に近いいわゆる浅海域を対象にした各種システムであるといえよう。

それらを勘案した場合、浅海域における箱型海洋構造物の運動特性に関する高精度推定法の確立や箱型海洋構造物の係留システムの設計基準案の作成が最重要課題であるといえる。

なお、浅海域における箱型海洋構造物を設計する場合には、一般船舶を設計する場合の深海域における自然環境条件より複雑な自然環境条件となる。

それは箱型海洋構造物を設置する周囲の地形的影響によって風、波及び流れが変形する。特に浅海域の波浪は回折、屈折、反射、浅水変形及び碎波などによって深海域の波浪とは極端に相違するといわれている。

しかしながら、波の変形の中で回折、屈折、反射及び碎波などは、造船工学の分野というよりも港湾土木工学、海洋工学や水理工学が専門とする分野であるといえるし、箱型海洋構造物を設計する場合には、ある程度回折、屈折、反射及び碎波された波浪の波高、波周期及び波方向が解明されれば、箱型海洋構造物に作用する波浪強制力や挙動時の流体力を推算することが大略的に可能である。

したがって、浅海域における箱型海洋構造物の運動特性に関する高精度推定法の確立や箱型海洋構造物の係留システムの設計基準案の作成を行うに当っては、浅水変形としての水影響に対する箱型海洋構造物に作用する波浪強制力、挙動時の流体力、箱型海洋構造物の運動特性及び係留システムの設計が重要な要素であるといえる。

そこで、箱型海洋構造物の水影響に関する課題を解決するための基礎資料を作成することを目的として第179研究部会が設立された。

なお、本研究部会の研究は、昭和54年度から3ヶ年計画で行うものであり、本報告は、その初年度として下記の研究を実施し、その成果をとりまとめたものである。

次に本研究部会が初年度において実施した研究の概要を記述する。

(1) 箱型海洋構造物の運動特性

(a) 箱型海洋構造物の流体力及び動搖応答特性に関する文献調査

まず、箱型形状をした浮体の流体力及び波浪中における動搖応答特性に関するこれまでの理論計算及び水槽模型試験の文献を収集した。

そして、理論計算の文献については、その計算手法別に分類し、計算を行った範囲及び項目を明確化する表を作成した。水槽模型試験の文献については、模型の形状、試験方法、計測項目及び試験状態などを明確化する表を作成した。

(b) 理論計算及び水槽模型試験の計画

箱型海洋構造物の流体力及び動搖応答特性に関する文献を調査した結果に基づいて、これまでの浅海域における箱型海洋構造物の運動特性に関する研究において不充分である範囲を究明し、その結果を基にして本研究部会

が今後研究を行うに当っての基本方針を決めた。

その研究の基本方針を基にして既存の理論計算法で究明する範囲及び水槽模型試験で解明する範囲を設定した。

(c) 理論計算

まず、浅海域における箱型海洋構造物の流体力を既存の理論計算法で数値計算できるプログラムを保有している造船各社に計算してもらい、その結果を比較・検討した。

つぎに、(b)で設定された理論計算範囲から昭和54年度に行う計算範囲を設定し、既存の理論計算法で水深・奥水比及び幅・奥水比を系統的に変化させ箱型海洋構造物の流体力に及ぼす影響を計算し、その結果を図表化した。

(d) 水槽模型試験

(b)で設定された水槽模型試験範囲から昭和54年度に試験する範囲を設定し、3次元模型を2隻、2次元模型を3隻設計製作し、流れによる力、波力、強制動揺による流体力及び波浪中動揺などを求める各種水槽模型試験を行った。

(2) 箱型海洋構造物の係留システムの研究

(a) 索・鎖係留方式

索・鎖で係留した海洋構造物の係留方式、運動特性、索・鎖の振動問題、長周期運動、索・鎖の諸特性などに関する文献を調査し、それらの調査に基づいて今後究明すべき課題を検討した。

(b) ドルフィン・フェンダー係留方式

ドルフィン・フェンダーで係留した海洋構造物に関する水槽試験及び理論計算などの文献を調査し、その調査文献のリストを作成すると同時に、各文献の概要、実験の内容及び計算の内容を明確化した。それらの調査に基づいて今後究明すべき課題を検討した。

(3) 係留システムの設計基準作成のための基礎調査

まず、既存の設計基準関係資料の調査として各國船級協会の規則及び各種海洋構造物の係留システムに対する設計基準並びに設計指針などを調査したと同時に係留システムに関する最近の動向をも調査した。

それらの調査結果に基づき、昭和55年度以降における設計基準案を作成するための基本的な方針を確立した。

第 2 章 模型海洋構造物の運動特性の研究

2.1 箱型海洋構造物の流体力及び動揺応答特性に関する文献調査

2.1.1 調査の方法

調査にあたり、国内外の造船関係の論文を中心として、対象とする文献を、浅海域における流体力および全体構造物（箱型海洋構造物の他に一般船舶も含む）の運動を取り扱ったもの 28 件（文献 1～28）、箱船に働く流体力および箱船の運動を取り扱ったもの 8 件（文献 29～36）の合わせて 36 件の文献を選定した。選定された文献を理論計算、実験状態ごとに表にまとめ整理した。

2.1.2 調査の内容

調査の内容は、浅海域の流体力計算として、計算方法ごとに表にまとめ、浅海域における流体力および箱船の運動として、実験を中心にして表にとりまとめた。これらのまとめた結果を表 2.1.1～2.1.7 に示す。なお、これらの表中における記号は特記の他は次のように定めた。

船体要目； B = 全幅 d = 吃水

流体力； M = 付加質量または付加慣性モーメント

N = 造波減衰力 ℓ = モーメントレバー

E = 波浪強制力またはモーメント

運動モード； S_g = Surge, S = Sway, H = Heave,

R = Roll, P = Pitch, Y = Yaw

その他の h = 水深, A = 発散波振幅比

σ = 面積比

計算項目または実験の計測様目の表示で、流体力のモードは運動モードの添字または後述より表示した。たとえば、上下揺の付加質量を M_H または M for H と表わした。

2.1.3 参考文献

今回、調査に用いた参考文献を発表年代順に表 2.1.8 にまとめ示す。

2.1.4 調査の結果

調査の結果は表 2.1.1～2.1.7 に示すとおりであるが、各調査項目別に特徴を簡単に述べるとつきのとおりである。

(1) 浅海域における流体力計算

(a) 級数解による方法（文献 1, 2, 4, 22）

特異点の作る速度ポテンシャルの無限級数で境界値問題を解いている。いわゆる Ursell - 田才法等により Lewis' Form に拡張され極めて実用的であるが任意形状に対しでは困難がある。Thorne (1) は 2, 3 次元の理論式を導びいているが数値計算例はない。

(b) 特異点分布法（文献 14, 16, 17, 18, 19, 20, 26）

浮体の表面または内部に特異点（一般には Periodic Source）を分布させ、境界値問題を解く方法である。水深や浮体境界の形状によらず適用可能である。しかし数値計算上、非対称形状や 3 次元問題に対しては、計算時間がかかりすぎる。

(c) ポテンシャル接続法（領域分割法、文献 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 33）

流体内部を流域、仮想境界で区分し、各領域で直交関数系により展開された速度ポテンシャルを仮想境界上

で連続的に接続させる方法である。浅海域で有効かつ計算時間が短縮できる長所があるが、浮体形状に制限がある。

(d) 有限要素法 (F E M 文献 6 , 27)

変分問題を F E M により直接数値解法する。任意の形状の浮体に適用可能であるが流体領域のとり方に問題がある。

(e) 船体運動 (文献 3 , 16 , 19 , 23 , 24 , 25)

高木、雁野(3)は Thin Ship Theory を用い、Plotkin (25) は Slender Ship Theory を用いて船型について運動を解いている。高木 (16, 24)、池渕 (19) は特異点分布法で求めた 2 次元流体力を用いて船体運動を Strip 法で求めている。また、Mc Clure, Nachlinger (23) は Tuck の理論を用いている。

(2) 浅海域における流体力および箱船の実験

(a) 浅海域における流体力 (文献 1 , 12 , 15 , 16 , 18 , 19 , 20 , 21 , 24)

理論計算の妥当性の確認のため、強制動搖試験等が計算とともに行なわれている。計算例に比べるとかなり少ない。文献 15, 24 は全体構造物の動搖試験である。

(b) 箱船の流体力 (文献 28~35)

箱型の船型を有する作業台船等はその形状が一般の船舶とは著しく異なり、流体力、運動応答を精度良く推定することは困難である。この船型の諸性能を把握するため各種実験が行なわれている。特に船舶技術研究所ではシリーズ船を用いて系統的な実験が行なわれている。

2.1.5 総 括

文献調査の結果、2 次元流体力の計算法は種々の方法で確立されつつあり、深海域では実用に応用されつつある。しかし、浅海域の問題については、実験のむずかしさもあり実験によって理論を確認している例は少ない。これらのことから、浅海域での箱船に対する流体力に関して系統的に実験を行なうこととは、浅海域での理論計算法の確認と同時に設計に対して有効なデータを提供することになろう。

表 2.1.1 級数解による計算条件

文献No.	形 状 Rough Sketch	B / d	σ	h / d	計 算 項 目
2	2 次元半没円柱 radius a = d	2.0	0.7854	2	\bar{A}_H
				4	M_H
				6	
				∞	
4	2 次元 Lewis' Form	2.0	0.785 (円柱) 1.0	1.5	\bar{A}, M, N, ℓ, E
				2	for
				4	H, S, R
				10	
				∞	
22	2 次元半没円柱 radius a = d	2.0	0.7854	1.1	$M_H, \frac{d M_H}{d (K_d)}$
				ℓ	
				10.5	$(K_d \rightarrow 0)$

表 2.1.2 特異点分布法による計算条件 (1/2)

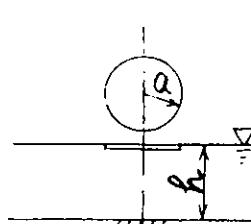
文献No	形 状 Rough Sketch	B/d	σ	h/d	計算項目
14				$h/a =$ 0 0.5 1 1.25 5	M_H, N_H, E_H
17	2次元半没円柱 radius $a = d$	2.0	0.7854	1.1 1.3 1.5 2 4 10 ∞	M_H \bar{A}_H 変動圧 C_p
	2次元 Lewis' Form	2.0	1.0	1.1 4.0	M_H
		1.0	0.7854	1.1 2.0	
16	2次元半没円柱 radius $a = d$			1.1 1.2 1.5 2 4 6 10	M, N, \bar{A}, E for H, S, R
	2次元没水円柱	$t/a =$ 1.5		$h/a =$ 2.75 3 4 7.5 ∞	M, \bar{A} for H, S, R
	2次元 Lewis' Form	1.0	1.0	1.5 2 4	M, \bar{A}, ℓ for H, S, R
		1.0	0.7854	1.1 1.2	
		3.0	0.623	1.5 2 4	
		2.0	0.7854	6 ∞	

表 2.1.2 (2/2)

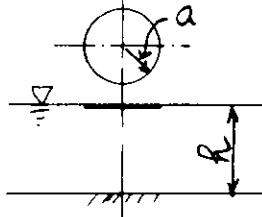
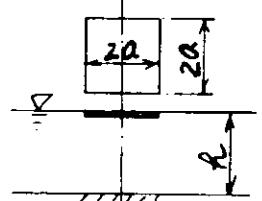
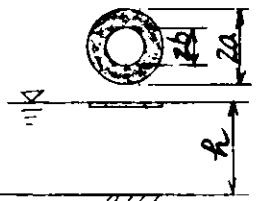
文献No.	形状 Rough Sketch	B/d	σ	h/d	計算項目
18	2次元半没円柱 radius a = d ビルジキール無&付	2.0	0.7854	1.125 1.6 3.325 6.225	M, N, \bar{A} for S, R
	2次元楕円断面 (Lewis' Form)	2.5	0.7854	1.406 2.0	
	2次元矩形断面 (Lewis' Form) ビルジキール付	2.5	1.0	4.156 7.781	
19	2次元半没円柱 radius a = d	2.0	0.7854	1.1 1.2 1.5 2. 10 ∞	M, \bar{A} for H, S
	2次元 Lewis' Form (船体付近の断面形状近似)	2.73	0.9978	abt. 1.1 $\sim \infty$ $(\epsilon_b = 0.2, 0.6, 1.0)$	M, \bar{A} for H, S, R
20				$h/a =$ 0.889 0.2 1. ∞	M _H N _H
				h/a 0.2 1	
				$h/a =$ 0.2 1	M _H N _H \bar{A}_H
26	2次元半没円柱 radius a = d	2.0	0.7854	1.05 l	M _H , M _S (K → 0, K → ∞)
	2次元 Lewis' Form	2.0	1.0	10^6 (21点)	

表 2.1.3 ポテンシャル接続法による計算条件 (1/4)

文献No.	形状 Rough Sketch	パラメータ 1	パラメータ 2	計算項目
5		$h/a =$ 0.75 1.5	$d/a =$ 0 0.5 1.0	E_H E_S E_R
7	2 次元矩形断面 	$a/d = 1$ 2 3 4	$h/d = 2$	$\bar{A}_H, \bar{A}_S, \bar{A}_R$ E_H, E_S, E_R
8		$h/a = 0.5$ 1 2		\bar{A}
8	2 次元矩形断面 	$h/a = 0.5$ 1 2	$h/d = 1.33$ 2 4 ∞	\bar{A} M_H C_p (底面変動圧)
9	2 次元矩形断面 	$h/a = 1$ 2	$h/d = 1.33$ 2 4 10 ∞	運動 (H, S, R-mode) K_R (波の反射率)
9	鉛直壁付近の 2 次元矩形断面 	$h/a = 2$ $h/d = 2$	$P = 1.25$ 1.5 2	重心の軌跡

表 2.1.3 (2 / 4)

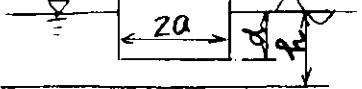
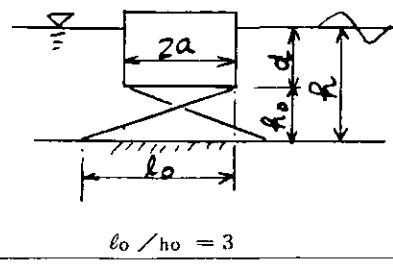
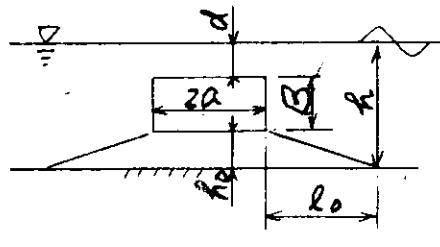
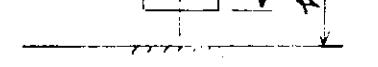
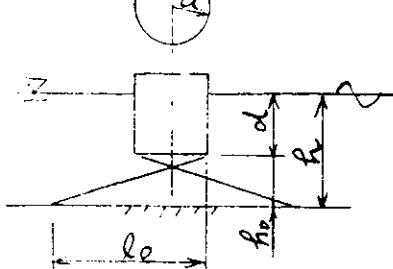
文献No	形状 Rough Sketch	パラメータ 1	パラメータ 2	計算項目
10		$h/a = 1$ 2	$h/d = 1.33$ 2 4 10 ∞	
		$a/h = 2$	$h/d = 2$ 2.5 3.33 5	運動 (H, S, R-mode) K_R (波の反射率)
		$h/a = 2$ $h/B = 2$	$h/d = 2.5$ 3.33 5 10	
11		$h/a = 2$ 4	$h/d = 1.33$ 2 4	M, N, \bar{A} for H, S, R 運動 (H, S, R-mode)
		$h/a = 4$	$h/d = 1.33$ 2 4	運動 (H, S, R-mode) 張力
				
	$l_0/h_0 = 3$ Open Spring についても計算			

表 2. 1. 3 (3/4)

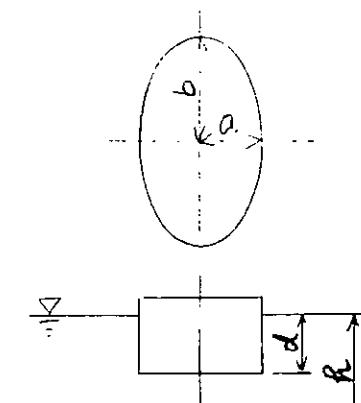
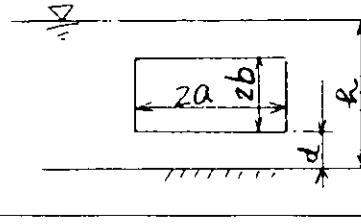
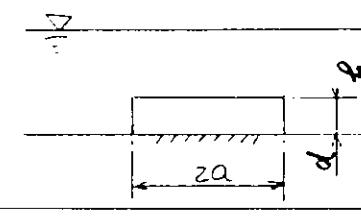
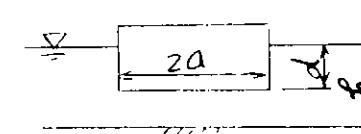
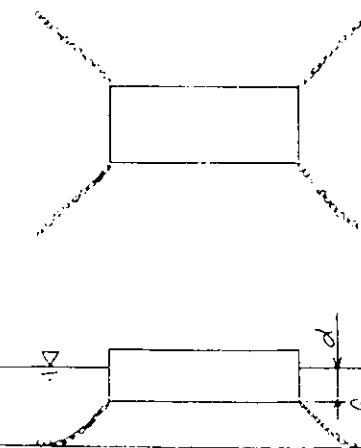
文献No.	形 状 Rough Sketch	パラメータ 1	パラメータ 2	計算項目
13	 <p> $a/h = 0.5$ $b/h = 2.5$, $d/h = 0.5$ </p>	$\frac{h\omega^2}{g} = 0.25$ 0.5	$\chi = 0^\circ$ 15° 30° 45° 60° 75° 90°	運動 (6モード)
12		$a/b = 1$ 2	$h/d = 2$ 2.667	E _H E _S E _R
12		$h/a = 1$	$h/d = 2$	A _S M _S
		$a/d = 0$ 0.385	$a/d = 1.5$	M, N, E for H, S, R
15	 <p> ① $L \times B \times D = 2.25^M \times 0.324^M \times 0.185^M$ ② $L \times B \times D = 0.8^M \times 0.8^M \times 0.208^M$ </p>	① $d = 0.07^M$ 0.157^M ② $d = 0.058^M$ 0.182^M	$\chi = 0^\circ$ 45° 90°	運動 (H, S, Sg-mode) 張力

表 2. 1. 2 (4/4)

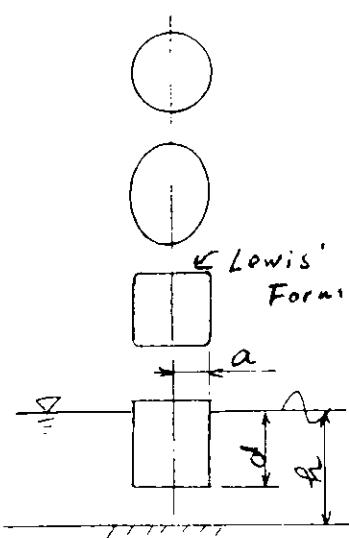
文献No.	形狀 Rough Sketch		パラメータ1	パラメータ2	計算項目
3.4		円 柱	$h/a = 0.75$	$d/a = 0.25$	E_H, E_S
		横 円 柱	$h/a = 0.75$	$d/a = 0.25$	
		矩 形 柱	$h/a = 0.5$ 7.5	$d/a = 1.0$	

表 2.1.4 有限要素法の計算条件 (1/2)

文献No	形状 Rough Sketch	B/d	σ	h/d	計算項目
6		4.0		1 2 ∞	$Q = a \int_0^{2\pi} A(\theta) ^2 d\theta$ $A = 2\pi a A(0) ^2 / Q$
27	2次元半没円柱 radius $a = d$	2.0	0.7854	1.5 2 6 ∞	M, \bar{A} for H, S
	2次元非対称 Lewis' Form	 $(a_1 = 0, a_3 = -0.1;)$ $(a_1 = 0, a_3 = 0.2)$		2 6 ∞	M, \bar{A} for H, S, R
	2次元半没円柱 (可変水深)	2.0	0.7854	1.5 $h_L/d = 1.0$ $h_R/d = 2.0$	M, \bar{A} for H, S
	2次元半没円柱 (双胴)			2 6	M, \bar{A} for H, S, R
	2次元非対称 Lewis' Form (双胴)	 $(a_1 = 0, a_3 = -0.1;)$ $(a_1 = 0, a_3 = 0.2)$		∞	M_H, A_H
没水円柱				2 4.67 4 ∞	M, \bar{A} for H, S

表 2.1.4 (2/2)

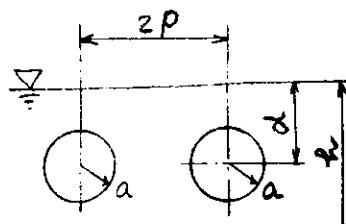
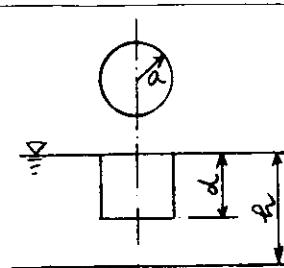
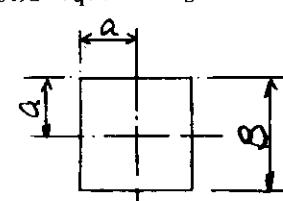
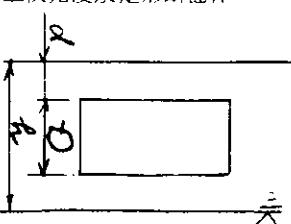
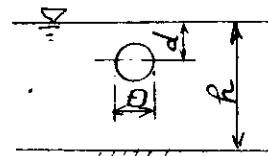
文献No.	形状 Rough Sketch	B/d	σ	h/d	計算項目
	没水円柱(双胴)  $d/a = 1.5, 2P/a = 4.0$			2.67 4.67	M, \bar{A} for H, S
27		2.0 3.0		3.0 6.0	M, N for H, S
	3次元 Square Barge 	3.0		1.5 4.0	M, E for H, S
	2次元半没円柱 $radius\ a = d$	2.0	0.7854	1.2 1.5 2. 2.5 3 4 5 1.5 2 4 5	$M_H (K \rightarrow 0, K \rightarrow \infty)$ M_H
28	2次元矩形断面	2.0 1.0 4.0 2.0		1.1 1.2 1.5 3 8 1.6 1.5 2 3 8 1.6 1.5 2 3 4 5	$M_H (K \rightarrow 0, K \rightarrow \infty)$ $M_H (K \rightarrow 0)$

表 2.1.5 船体運動の計算条件

文献No	$L \times B \times d$ (M)	C_b	h/d	F_n	χ (deg)	計算項目
3	数学船型 $f(\xi, \zeta) =$ $\begin{cases} (1-\xi^4)(1-\zeta^2) \\ (1-\xi^4)(1+\zeta) \\ (1-\xi^2)(1-\zeta^2) \\ (1-\xi^2)(1+\zeta) \end{cases}$ $- \xi \leq 1, - \zeta \leq 0$ $L/B = 7$	$B/d = 2.5$	$h/L =$ 0.5 1 1.5 ∞	0. 0.2	0	M, N, E for P, H 運動 (H, P-mode)
16	$3.0 \times 0.493 \times 0.194$	0.8243	1.1 1.5 2 4 ∞ 1.1 1.5 2	0 0.1	0 45 90 135 180	運動 (H, P-mode) Sinkage Trim Bow の触底判断
2.4	$2.5 \times 0.5 \times 0.183$	0.82	1.5 2.1 ∞	0 0 0.05	0 90 0 180 135	M, N for H, S, R 運動 (H, P, S, R, Y-mode) 運動 (H, P-mode) 運動 (H, P, S, R, Y-mode)
19	$24.7 \times 4.06 \times 1.6$	0.8243	1.1 1.5 1.0	0	0 45 90	運動 (H, P, S, R, Y-mode)
23	250 dwt 型 Tanker 550 dwt 型 Tanker	— —	1.119 1 1.329 1.075 1 1.237	0	0 30 60 85	Under Keel Clearance
25	Parabolic water-line $B(x) = B_o (1-x^2/\ell^2)$			0(1)	0	M, N for H, P

表 2.1.6 浅水域の流体力、実験条件 (1/2)

文献No.	形 状	試験方法	σ	h/d	計測項目
1	二次元半没円柱 $radius \ a=d$ $=3'$, or $6'$	強制動搖試験	0.7854	1.75 3.50 3.78 7.58	\bar{A}_H
12	二次元没水矩形断面体  $B \times d = 40, 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ $h = 40 \text{ cm}$	波力試験	1.0	2.0 2.667	E_H E_S E_R
16	二次元矩形断面 (Lewis' Form)	強制動搖試験	1.0	1.344 1.962 3.700 8.125	M_H, N_H \bar{A}_H, E_H
16	二次元没水円柱  $D = 5 \text{ cm}$ $h = 1.3 \text{ m}$	波力試験	0.7854	1.30	E_H, E_S
18	二次元半没円柱 $L \times B \times d$ $= 1.45 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$	強制動搖試験	0.7854	1.125 1.6 3.325 6.225	M, N, \bar{A} for S, R
18	二次元橢円断面 (Lewis' Form) $L \times B \times d$ $= 1.45 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.16 \text{ m}$			1.406 2.0 4.156 7.781	
18	二次元矩形断面 (Lewis' Form) $L \times B \times d$ $= 1.45 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$		1.0		
19	Lewis' Form (△断面近似) $L \times B \times d$ $= 0.995 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 0.22 \text{ m}$	強制動搖試験	0.9978	1.2 1.5 3	M_S, N_S \bar{A}_S, E_S

文献番号	形 状	試験方法	σ	h/d	計測項目
20	円板(詳細は表2計算詳細を参照) $a \times d = 0.9 m, 0.3 m \times 0.1 m$	強制動搖試験		$a/h = 0$ 1 5 11.25	M_H, N_H
	正方形板(") $a \times d = 0.9 m \times 0.1 m$			$a/h = 1$ 5	
	円環(") $a \times b$ (内径) $\times d = 0.9 m \times 0.3 m \times 0.1 m$			$a/h = 1$ 5	M_H, N_H, \bar{A}_H
21	二次元半没円柱 $L \times B \times d = 0.995 m \times 0.6 m \times 0.3 m$	強制動搖試験	0.7854	1.15 1.4 2.25 6.5	\bar{A}_H C_p (変動圧)
15	係留索配置の箱型浮体 (詳細は表3参照) $\chi = 0, 45, 90^\circ$	波浪中動搖試験		①1.592 3.57 ②1.374 4.310	運動 (H, S, Sg-mode)
24	船型 $L \times B \times d = 2.5 m \times 0.5 m \times 0.183 m$ $F_n = 0, 0.05$ $\chi = 0^\circ, 180^\circ$	波浪中動搖試験	$C_b = 0.82$	1.5 2.1 ∞	運動 (H, P-mode)

表 2.1.7 箱船、実験条件

文献No.	形 状	試験方法	特記調査事項	パラメータ	計測項目
29	$L \times B \times D \times d (M)$ $= 2.0 \times 0.812 \times 0.196 \times 0.105$	波浪中動搖試験	水槽の側壁影響	水槽幅	相対波高
30	$L \times B \times D (M)$ 0.1 $= 1.4 \times 0.2 \times 0.16$ 0.3 0.4 0.5	強制動搖試験	船幅影響	B ビルジ取付角	\bar{A}_h
31	$L \times B \times D \times d (M)$ $= 2.0 \times 0.811 \times 0.196 \times 0.105$	自由動搖試験 波浪中動搖試験	ビルジキール 効果	ビルジキール	運動
32	$L \times B \times d (M)$ 1.2 $= 1.8 \times 0.6 \times 0.1$ 3.7 & 3.6 0.1 $= 1.5 \times 0.5 \times 0.083$ 0.05	波浪中動搖試験	喫水 重心位置 環動半径 等の影響	K G K d χ L/B H_w	運動
33	$L \times B \times D \times d (M)$ $= 1.8 \times 0.6 \times 0.17 \times 0.12$ & $= 1.2 \times 0.5 \times 0.3 \times 0.2$	波浪中動搖試験 強制動搖試験	カットアップ影響 ナックル部影響	切込角 ビルジ半径	運動 M_R 、 N_R
34	$L \times B \times d (M)$ $= 0.4 \times 0.4 \times 0.2$	波力試験	理論値との検討	h (0.5^M 、 1.5^M)	E_h 、 E_s
35	$L \times B \times D (M)$ $= 0.52 \times 0.2 \times 0.1$ & $= 0.78 \times 0.3 \times 0.1$ & $= 1.04 \times 0.4 \times 0.1$ & $= 1.30 \times 0.5 \times 0.1$	波力試験	没水深度(h) の影響 形状影響	h/D B/D	E_h 、 E_s
36	$L \times B \times D (M)$ $= 0.52 \times 0.2 \times 0.1$ & $= 0.78 \times 0.3 \times 0.1$ & $= 1.04 \times 0.4 \times 0.1$ & $= 1.3 \times 0.5 \times 0.1$ & $= 0.72 \times 0.4 \times 0.1$ & $= 0.4 \times 0.4 \times 0.1$	強制動搖試験	形状影響	B/D h/D L/B h : 没水深度	M_h 、 N_h M_s 、 N_s

表 2.1.8 参考文献 (1/3)

N ^o	著 者	題 目	出 典
1	R.C.Thorne	Multiple expansion in the theory of surface wave	Proc. Camb. Philos. Soc., Vol.49, 1953
2	Y.S.Yu & F.Ursell	Surface waves generated by oscillating circular cylinder on water of finite depth; theory and experiment	J.Fluid Mech., Vol.11, 1961
3	高木又男 & 雁野昌明	波浪中の船体運動に関する水深の影響	造船協会論文集 第122号, 1967
4	C.H.Kim	Hydrodynamic forces and moment for heaving, swaying, and rolling cylinders on water of finite depth	J.Ship Res., Vol.13, No.2 1969
5	C.G.R.Garrett	Wave forces on a circular dock	J.Fluid Mech., Vol.46, part 1, 1971
6	J.W.Miles	A note on variational principles for surface-wave scattering	〃
7	J.L.Block, C.C.Mei & M.C.G.Bray	Radiation and scattering of water waves by rigid body	〃
8	井島武士、小林 彰、& 湯村やす	水底又は水中の柱の鉛直振動による波の発生	九大工学集報 第44巻第3号, 1971
9	井島武士、田渕朝修、& 湯村やす	矩形断面をもつ浮体の浅海波による自由運動 1. 理論	第18回海岸工学講演会 論文集, 1971
10	〃	有限水深の波による矩形断面体の運動と波の変形	土木学会論文報告集 第202号, 1972
11	〃	有限水深の波による円柱状浮体の運動	土木学会論文報告集 第206号, 1972
12	巻幡敏秋 & 与口正敏	浅海域に設置された没水体に作用する波力に関する研究	日立造船技報 第34巻 4号, 1973
13	井島武士、吉田明徳 & 湯村やす	有限水深域における橢円浮体の3次元運動	第21回海岸工学講演会 論文集, 1974
14	H.Isshiki, H.Maeda, & J.H.Hwang	On the heaving motion of a circular disk in shallow water	日本造船学会論文集 第136号, 1974

表 2.1.8 (2/3)

No.	著 者	題 目	出 典
15	野尻信弘	浅海における大型係留浮体の外力および運動特性	石川島播磨技報 第15卷、第4号 1975
16	高木幹雄	浅海域における船体運動について(その1)	西部造船会会報 第50号、1975
17	菅 信	浅水における2次元動搖流体力の計算	第26回船舶技術研究所 研究発表会講演集、1975
18	高木幹雄	浅海域における船体運動について(その2)	西部造船会会報 第52号 1976
19	池渕哲郎	浅海における波浪外力	関西造船協会誌第161号 1976
20	前田久明 & 江口純弘	浅海域において浅吃水船に作用する流体力について 第2報 —Heaving の流体力—	日本造船学会論文集 第139号、1976
21	菅 信、 & 二村 正	浅水と上下揺する円柱の圧力分布の計測	第28回船研研究発表会 講演集、1976
22	P. Sayer, & F. Ursell	On the virtual mass, at long wavelengths, of a half-immersed circular cylinder heaving on water of finite depth	11th Symp. Nav. Hydrodyn. Office Nav. Res. 1976
23	A. C. Mcclure & R. R. Nachlinger	Ship motions in shallow water	Offshore Tech. Conf. PNo OTC2505, 1976
24	高木幹雄	浅海域における船体運動について(その3)	西部造船会会報 第54号 1977
25	A. Plotkin	Heave and pitch motions in shallow water including the effect of forward speed	J. Fluid Mech. Vol. 80 part3, 1977
26	M. Kan	The added mass coefficient of a cylinder oscillating in shallow water in the limit $K \rightarrow 0$ and $K \rightarrow \infty$	Papers of Ship Res. Inst. No.52. 1977
27	山本善之、 瀬戸秀幸 他	有限要素法による定常波問題の基礎的研究 (第1報～第4報)	日本造船学会論文集 第136号(1974)第140号 (1976)第141号(1977) 第144号(1978)
28	K. J. Bai	The added mass of two-dimensional cylinders heaving in water of finite depth	J. Fluid Mech. Vol. 81 part 1 1979

表 2.1.8 (3/3)

No.	著 者	題 目	出 典
29	安藤定雄、& 岩井勝美	作業船の動搖試験—その1 水槽の側壁影響—	第16回船研究発表会講演、 概要 1970
30	〃	2次元箱型模型船の強制動搖試験 (その1. 減衰係数について)	第18回 〃 1971
31	安藤定雄、& 山川賢次	作業船の動搖試験—その2 ピルジキール効果—	〃 〃
32	安藤定雄 岩井勝美	箱型作業船台の動搖特性(その2) 吃水、重心位置および回転半径などによる影響	第20回 〃 , 1972
33	安藤定雄 高井隆三	箱型作業船台の動搖特性(その3) 強制横揺れおよびカットアップ影響	第22回 〃 , 1973
34	新井信一、 高木久男、 中村彰一、& 松永康二	箱型船の流体力について —波浪強制力—	日本造船学会論文集 第137号, 1975
35	大川 豊	箱型没水体に働く流体力について(その1) —波強制力—	第28回船研究発表会 講演集 1976
36	〃	箱型没水体に働く流体力(その2) —強制上下動および左右動—	第30回 〃 〃 1977

2.2 理論計算及び水槽模型試験の計画

2.2.1 基 本 方 針

浅海域に係留された箱型海洋構造物の動搖特性の研究においては、水深などの海域条件、風・潮流・波にもとづく複合外力、船型条件などに関する問題を取り扱う必要がある。しかし、本研究部会では前章で述べた理由により、文献調査による既存のデータを参考にした上で、浅海域における本質的な問題に絞って研究を進めることにした。各項目に対する研究方針を次に示す。

(1) 水深などの海域条件について

- (a) 水深は5.0 m程度とする。
- (b) 波浪があまり大きくなない開水面とする。
- (c) 海底土質関係の研究は行わない。

(2) 風・潮流・波にもとづく複合外力について

- (a) 環境条件は与えられたものとし、改めて海象・気象の調査は行わない。
- (b) 風の影響については取り上げない。従って上部構造物については触れないこととする。

(c) 沿岸波浪の特性である傾斜底面の影響。浅海域の波浪スペクトル、碎波現象、波の反射・屈折・回折などについて取り扱わない。

(d) 定常外力としては一様な潮流力及び波漂流力についてのみ取り扱う。

(e) 変動外力として Slow drift oscillation は取り扱わない。

(3) 船型条件について

(a) 形状は $L/B = 1 \sim 3$ 、 $B/d = 5 \sim 20$ とし、吃水(d)と水深(H)との関係は $H/d = 1.2 \sim \infty$ とする。

(b) 着底部分の研究は除外する。

さて、箱型構造物の動揺特性に関する既存の研究としては、無限水深においては、船舶技術研究所の一連の研究があり、浅海域においては、海洋開発産業協会他の研究があるものの、その数は少ない。現在得られている研究結果によると、浅海域の附加質量又は附加慣性モーメント係数については、深海域の場合に比較して次のことが言える。

(a) 上下揺

全周波数領域で増加し、波長が長くなると一定値となる。

(b) 左右揺

波長が長くなると大きくなり、短くなると小さくなる。

(c) 横揺

変化が小さい。

一方、減衰係数については次のことが言える。

(a) 上下揺

全周波数領域で増加する。

(b) 左右揺

波長が長くなると大きくなり、短くなると小さくなる。

(c) 横揺

非線形効果が大きく、ボテンシャル理論では取り扱えない。

動揺応答及び波漂流力の水深影響については、図 2.2.1、図 2.2.2 に示すような洋上石油備蓄システムの研究におけるタンク船の例がある。¹⁾

また、係留力を予測する上で大きな要素となる潮流力については、 H/d が 3.5 以下で浅海影響が表われ始め、 H/d が 2.0 以下になると急激に増加する傾向にある。²⁾

以上のような浅水影響に関する概要を踏まえた上で、水槽試験を主に、理論計算を従とした動揺特性に関する研究を計画し、試験と計算との条件設定を行なった。なお、動揺特性の内で、特に非線形性が強い横揺れについて、 L/B 、 B/d 、 H/d 、 \bar{K}_G/d 等の影響を明らかにすることを中心にして研究を進めることにした。

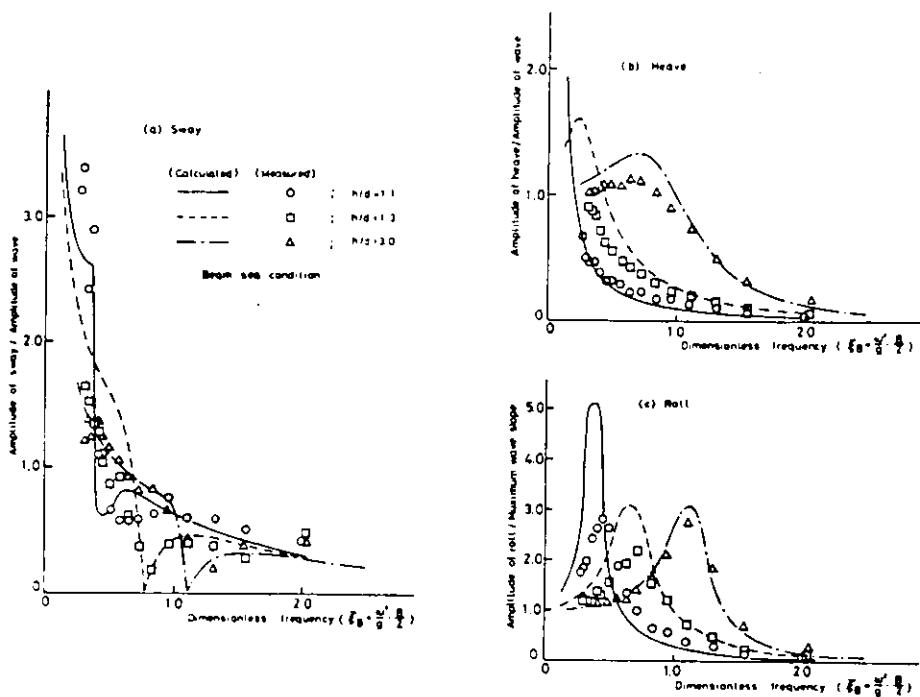


図 2.2.1 浅海域におけるバージの運動

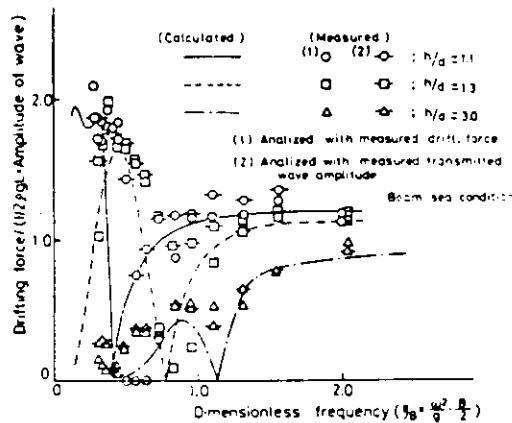


図 2.2.2 浅海域における波漂流力

2.2.2 理論計算の条件設定

理論計算による動搖特性の予測は、2次元流体力計算を基本としたストリップ法によることにした。2次元箱型構造物のシリーズ計算を実施するに先立ち、参加機関が手持ちのプログラムで比較計算を行ない結果の一致度を確認することにした。計算用模型としては海洋開発産業協会の石油海洋備蓄システムの研究³⁾において実験データが存在する表2.2.1に示す船型を選んだ。

その後に、既存のデータの不足領域を埋めることと、実験データと理論計算との対応づけを目的として、B/dとH/dとを系統的変化させた表2.2.2に示す2次元流体力のシリーズ計算を計画した。

表 2.2.1 比較計算の要目

	Heavy Cond.	Light Cond.
B/m	0.325	0.325
d/m	0.152	0.065
KG/m	0.092	0.092
H/d	1.64	3.85

表 2.2.2 シリーズ計算の条件

H/d \ W/d	5.0	10.0	15.0	20.0
1.2	○	○	○	○
1.4	○	○		
2.0	○	○	○	○
3.0		○		
∞	○	○	○	○

2.2.3 水槽模型試験の条件設定

試験は 2 次元模型試験と、3 次元模型試験により構成する。動揺特性の内、非線形性の強い横揺れを中心に取り扱うことにしたため、2 次元模型試験を比較的重視することにした。

2 次元模型を使って波強制力の計測及び強制動揺試験を計画した。3 次元模型によっては、自由動揺計測及び強制動揺試験を行ない、同調時の横揺れ減衰係数を求めると共に、波浪中動揺試験及び潮流力計測を実施することを計画した。試験条件を表 2.2.3 に示す。

表 2.2.3 試験条件

模型の種類	実験名	実験条件			
		L/B	B/d	H/d	その他
2次元模型	波強制力	—	5, 10, 15, 20	1.2, ∞	
			10	1.2, 1.4, 2.0, 3.0, ∞	
	強制動揺	—	5, 10, 15, 20	1.2, ∞	
			10	1.2, 1.4, 2.0, 3.0, ∞	
			5, 10, 15	20	
			5	1.2, 1.4, 2.0, ∞	
3次元模型	潮流力	1.2, 2.0	5 ~ 20	1.2, 1.4, 1.6, 2.0, 3.0, ∞	V _M = 0.1 ~ 0.3 m/s χ = 0, 30, 60, 90°
	横揺減衰係数**	1.2, 2.0	5 ~ 20	1.2, 1.4, 1.6, 2.0, 3.0, ∞	φ _z : 3 種類 T: 5 種類
	波浪中動揺	1.2, 2.0	5, 10, 15, 20 但し、標準は 10	30, ∞	χ = 90° ~ 180°

* χ = 30°, 60°については H/d = 1.2, 1.6, ∞についてのみ実施する。

** 強制動揺試験及び自由動揺試験により実施する。

参考文献

- 1) 珠久正憲: 浅海浮上式備蓄タンクの係留に関する研究 日本造船学会論文集 146号, 1979年11月
- 2) 岩井聰: 操船論, 海文堂
- 3) 日本海洋開発産業協会: 石油の海洋備蓄システムの技術検討に関する調査, 1974年3月

2.3 理論計算

浅海域における箱型海洋構造物に作用する流体力および波強制力について、企業および研究所の所有する電算プログラムを用いた箱型断面に働く2次元流体力計算の比較検討。そして、2.2節の調査検討に基づいて、2次元領域分割法によるシリーズ計算を行なった。

2.3.1 理論計算プログラムの比較検討

ポンツーン型プラントバージのような箱型船の流体力や運動については最近は各社がいろいろな解法によるプログラムを所有し活用している。そこで、各社が所有しているプログラムの計算結果の妥当性を検討する意味もあり、浅水中での表2.3.1に示すような箱型船断面に働く2次元流体力を各社のプログラムで計算し結果の比較検討を行なった。

表2.3.1 計算要目

項目	Condition	
	Heavy	Light
B(幅)	0.325 m	0.325 m
d(吃水)	0.152 m	0.065 m
KG(重心高さ)	0.092 m	0.092 m
H/d(水深/吃水)	1.64	3.85

計算を行なった会社及び計算方法を表2.3.2に示す。

特異点分布法による計算の場合には吹出し点数、領域分割法(ボテンシャル接続法)による計算の場合には無限級数の項数も示している。

計算時間は個数、無限級数の項数の違い、あるいは計算機種の違いはあるにしても領域分割法が最も短かく、次いで特異点分布法で速度ボテンシャルを使う方法、流れ関数を使う方法の順で長くなる傾向にある。また、各社の計算結果についてはほとんど一致し、計算方式による有意な差は認められない。特に領域分割法では無限級数の項数は10項でも20項でも計算結果の傾向的な差はなく、10項で十分な計算精度が得られるようである。一方特異点分布法の計算では吹出しの数が少ない場合、他の要素もあるかもしれないが、やや差が見られた。

図2.3.1～3は流体力の計算値を代表線で示してあるが、各社計算値の差は次の通りである。 \bar{M}_H 、 \bar{M}_S 、 \bar{A}_H 、 \bar{A}_S 、 \bar{E}_H 、 \bar{E}_S では計算をした周波数範囲で0.03程度、 \bar{M}_R では0.006程度、 \bar{A}_R では ξ_B の大きい範囲で差が大きく、特にLight Conditionでは ξ_B が1.5以上の範囲で0.005程度、また \bar{E}_R では計算をした周波数範囲で0.008程度ある。

なお、流体力及び波周波数の無次元化は次の式による。

Boltに関する流体力は全て重心まわりである。

付加質量係数 $\overline{M_{H,S}} = M_{H,S}/\rho S$
 $\overline{M_R} = M_R/\rho S \left(\frac{B}{2}\right)^2$
 発散流振幅比 $\overline{A_{H,S}} = \eta_{H,S}/z_s, y_s$
 $\overline{A_R} = \eta_R/\theta_s \left(\frac{B}{2}\right)$
 波浪強制力 $\overline{E_{H,S}} = E_{H,S}/\rho g \zeta_s \left(\frac{B}{2}\right)$
 $\overline{E_R} = E_R/\rho g \zeta_s \left(\frac{B}{2}\right)^2$
 波周波数 $\xi_B = \frac{\omega^2}{g} \left(\frac{B}{2}\right)$
 ここで $S = B \cdot d$
 $\eta_{H,S}, R$: 発散波振幅
 z_s, y_s, θ_s : 動搖振幅
 ζ_s : 入射波振幅

表 2.3.2

会社及び機関名 (順不同)	計算方法	特異点及び無限級数の数	計算機
石川島播磨重工業	領域分割法	10 項	UNIVAC 1100
川崎重工業	領域分割法	20 項	IBM 370-168
	特異点分布法 (速度ポテンシャル)	20 点(片舷)	
住友重機械工業	特異点分布法 (速度ポテンシャル)	10 点(片舷)	IBM 3033
船研	領域分割法	20 項	TOSBAC 5600
日本钢管	特異点分布法 (流れ関数)	Heavy 24 点 Light 22 点 (共に片舷)	IBM 370-158
日立造船	領域分割法	20 項	HITAC M-180
三井造船	特異点分布法 (流れ関数)	Heavy 24 点 Light 22 点 (共に片舷)	IBM 3033
三菱重工業	領域分割法	15 項	CDC CYBER 173

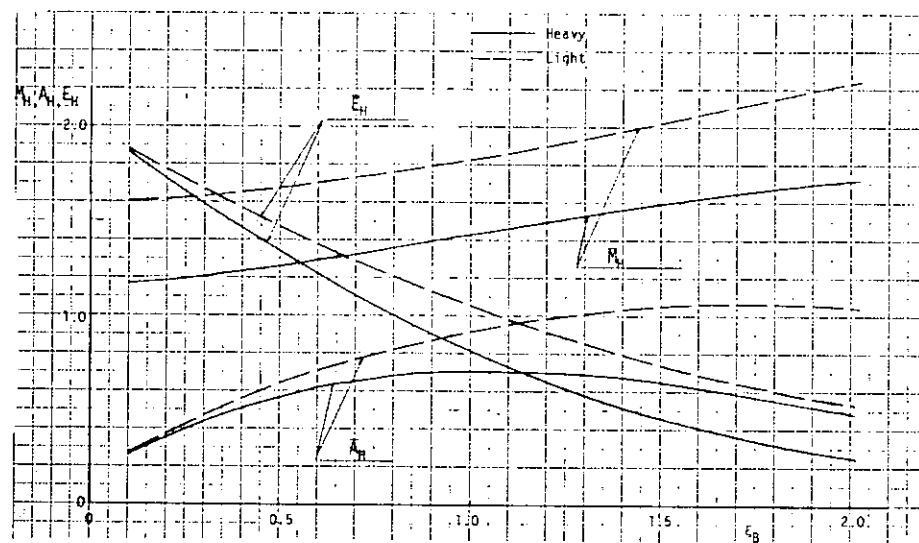


図 2.3.1 Heave に関する流体力

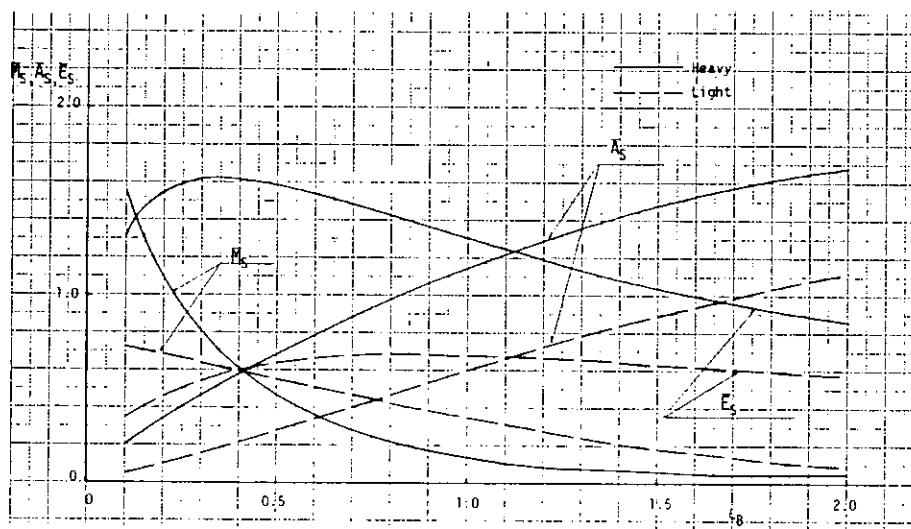


図 2.3.2 Sway に関する流体力

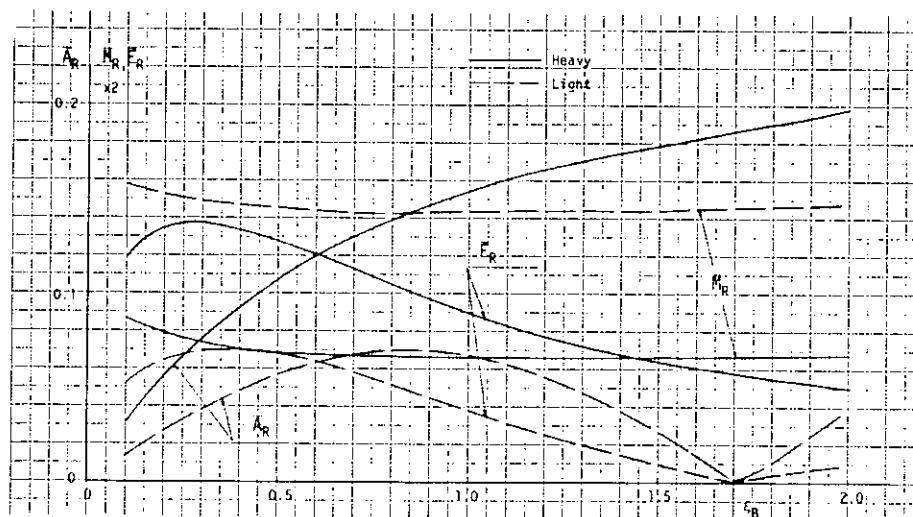


図 2.3.3 Roll に関する流体力

2.3.2 理論計算範囲

2.2.2 項および 2.2.3 項の調査結果に基づき昭和 54 年度に実施する水槽試験の範囲を $B/d = 5 \sim 20$, $H/d = 1.4 \sim \infty$ と定め、箱型断面に作用する流体力、波強制力についてのシリーズ計算を行なった。計算に際しては、2.3.1 項の結果から、2 次元領域分割法を用い表 2.3.3 に示す状態に対する諸流体力を計算した。

表 2.3.3 計算状態

H/d	5.0	10.0	15.0	20.0
1.2	○	○	○	○
1.4	○	○		
2.0	○	○	○	○
3.0		○		
∞	○	○	○	○

2.3.3 理論計算結果

図 2.3.4 に示す様な箱型断面に作用する 2 次元流体力すなわち上下揺、左右揺、横揺についての流体力および波強制力とそれらの位相特性を 2 次元領域分割法を用いて求めた。2.3.2 項の計算範囲(表 2.3.3)に従い、 B/d および H/d を系統的に変化させた場合の付加質量係数、発散波振幅比、波強制力をシリーズ計算した結果を図 2.3.5 ~ 2.3.4.9 に示す。

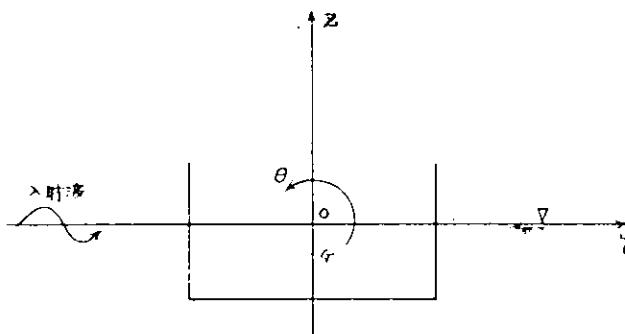


図 2.3.4 座標系

図に現われる位相 ϵ_h 、 ϵ_s 、 ϵ_r 、 ϵ_z 、 ϵ_y 、 ϵ_θ の定義は次の通りである。

1) 発散波振幅比 (A_h , A_s , A_r) の位相 (ϵ_h , ϵ_s , ϵ_r)

浮体の各モードの運動が

$$\text{上下揺} : zae^{-i\omega t}$$

$$\text{左右揺} : yae^{-i\omega t}$$

$$\text{横揺} : \theta ae^{-i\omega t}$$

} (2.3.1)

である場合に、y の正方向に進行する radiation wave を各々

$$\left. \begin{aligned} \text{上下揺} &: z, \bar{A}_H e^{i(ky - \omega t + \epsilon_H)} \\ \text{左右揺} &: y, \bar{A}_S e^{i(ky - \omega t + \epsilon_S)} \\ \text{横 揺} &: \theta, \bar{A}_R (\frac{B}{2}) e^{i(ky - \omega t + \epsilon_R)} \end{aligned} \right\} \quad (2.3.2)$$

と表わしたときの ϵ_H 、 ϵ_S 、 ϵ_R である。

2) 波強制力 (E_H 、 E_S 、 E_R) の位相

入射波として

$$\zeta_s e^{i(ky - \omega t)} \quad (2.3.3)$$

が与えられた場合、浮体に作用する単位長さ当たりの波強制力は

Haskind の公式より、各々次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} \text{上下揺波強制力: } E_H &= -\frac{2i\rho g}{K} n \zeta_s \bar{A}_H e^{i(\omega t - \epsilon_H)} \\ \text{左右揺波強制力: } E_S &= \frac{2i\rho g}{K} n \zeta_s \bar{A}_S e^{i(\omega t - \epsilon_S)} \\ \text{横 揺波強制力: } E_R &= \frac{2i\rho g}{K} n \zeta_s \bar{A}_R (\frac{B}{2}) e^{-i(\omega t - \epsilon_R)} \end{aligned} \right\} \quad (2.3.4)$$

ただし、n は浅水影響係数とも呼ばれるべきもので次式で表わされる。

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2Kh}{\sinh 2Kh} \right) \quad (2.3.5)$$

波強制力に関する図中にある ϵ_z 、 ϵ_y 、 ϵ_θ は 上式を

$$\left. \begin{aligned} E_H &= \frac{2\rho g}{K} n \zeta_s \bar{A}_H e^{-i(\omega t - \epsilon_z)} \\ E_S &= \frac{2\rho g}{K} n \zeta_s \bar{A}_S e^{-i(\omega t - \epsilon_y)} \\ E_R &= \frac{2\rho g}{K} n \zeta_s \bar{A}_R (\frac{B}{2}) e^{-i(\omega t - \epsilon_\theta)} \end{aligned} \right\} \quad (2.3.6)$$

と書き改めたときのもので、 ϵ_H と ϵ_z 、 ϵ_S と ϵ_y 、 および ϵ_R と ϵ_θ との間には次の関係がある。

(ただし、図では deg. 表示)

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_H &= \epsilon_z + \frac{\pi}{2} \\ \epsilon_S &= \epsilon_y - \frac{\pi}{2} \\ \epsilon_R &= \epsilon_\theta - \frac{\pi}{2} \end{aligned} \right\} \quad (2.3.7)$$

なお、無次元化については 2.3.1 項の場合と全く同様であり、横揺に関する値はすべて原点 0 のまわりに回転するときのものである。

また、図 2.3.50 ~ 2.3.58 は、付加質量係数 (M_H 、 M_S 、 M_R) 、発散波振幅比 (\bar{A}_H 、 \bar{A}_S 、 \bar{A}_R) および波強制力 (E_H 、 E_S 、 E_R) とそれらの位相の H/d の変化による影響を調べるために $B/d = 10.0$ で

$\xi_B = 1.0, 2.0$ の場合について別表示したものである。

これらの図から、流体力および波強制力に及ぼす B/d の影響、 H/d の影響、 それらの ξ_B の変化に対する特性をまとめると表 2.3.4、表 2.3.5 の様になる。

2.3.4 総 括

以上の計算および検討の結果から次のことが明らかになった。

各種計算法による比較検討結果から

1) 浅海域における箱型海洋構造物に働く流体力の計算結果については解法、計算方式、使用プログラムの違いによる精度の差は殆んどない。

2) 計算速度については、領域分割法によるものが最も短かく、無限級数の項数は各分割領域について 10 項もとれば十分な精度が得られる。

また、理論計算で今回行なった周波数範囲 ($\xi_B = 0.1 \sim 3.0$) では、

3) 浅海域では、 B/d の増加に対する流体力、すなわち、付加質量係数、造波減衰係数 ($\rho g^2 \bar{A}^2 / \omega^3$)、波強制力の変化は、上下搖、横搖に関するものは増加し、左右搖に関するものは減少する。

4) 浅海域になれば諸流体力は \bar{M}_s 、 \bar{A}_s を除き、増加する傾向にある。

5) $\xi_B = 1.0$ および 2.0 における H/d の増加に対する流体力の変化は、 \bar{M}_s 、 \bar{A}_s を除いて減少する傾向にある。

以上の結果が得られたが、未検討事項として、

1) H/d 、 B/d 両シリーズ計算共計算範囲を拡げたより詳細な検討

($H/d = 3 \sim 15$ 、 $B/d = 20 \sim 50$ が不足)

2) 流体力に及ぼす H/B の影響の調査

3) 計算法の適用範囲を決定するための水槽試験結果との比較検討

等があり、これらについては、55年度に詳細検討の予定である。

表 2.3.4 B/d シリーズ計算結果

	B/d の増加に對して			ξ_B の変化に對して		
H/d	1.2	2.0	∞	1.2	2.0	∞
\bar{M}_H	増加	同左	同左	漸次増加するがほど一定	同左	低周波域で急増、高周波域で微増
\bar{M}_S	減少	同左	低周波域で減少 高周波域で増加	低周波域で急増、高周波域で微減	同左	ξ_B 増加に對して低周波域で増加、高周波域で減少。 B/d が小さい程傾向強い。
\bar{M}_R	増加	同左	同左	低周波域で増加、高周波域ではほぼ一定	同左	であるが低周波域での 増加傾向は顕著になる。
\bar{A}_H	増加	同左	同左	ξ_B の増加に對して増加する	同左	ξ_B の増加に對し、 B/d が大きい場合は増加するが B/d が小さくなると低周波で増加、高周波で減少
\bar{A}_S	減少	同左	同左	同上	同左	同上
\bar{A}_R	増加	同左	同左	同上	同左	ξ_B の増加に對し、 B/d が大きい場合は増加するが B/d が小さくなると低周波で増加、高周波で減少
\bar{E}_H	増加	同左	同左	ξ_B の増加に對して減少する (B/d が小さい程顕著)	同左	同左
\bar{E}_S	減少	同左	同左	同上	同左	ξ_B の増加に對し、 B/d が大きい場合は増加するが B/d が小さくなると低周波で増加、高周波で減少
\bar{E}_R	増加	同左	同左	同上	同左	低周波域で減少の傾向がで くる。高周波域では同左

表 2.3.5 H/d シリーズ計算結果

	H/d の増加に対して	ξ_B の増加に対して
B/d	5.0	10.0
M_H $H = \infty$ では低周波域で傾向が異なる	同 左	単調増加するが、 $H = \infty$ では低周波域で傾向が異なる。
M_S $H = \infty$ では低周波域で傾向が異なる	同 左	減少するが、 $H = \infty$ では低周波域で傾向が異なる。
M_R $H = \infty$ では低周波域で傾向が異なる	同 左	低周波域で減少するが高周波域では漸増する。
A_H	減 少	同 左
A_S 低周波域で減少 高周波域で増加	同 左	増加するが H/d が大きくなると高周波域で減少する。
A_R	減 少	同 左
E_H	同 上	同 左
E_S	同 上	低周波域で増加 高周波域で減少
E_R	同 上	同 上

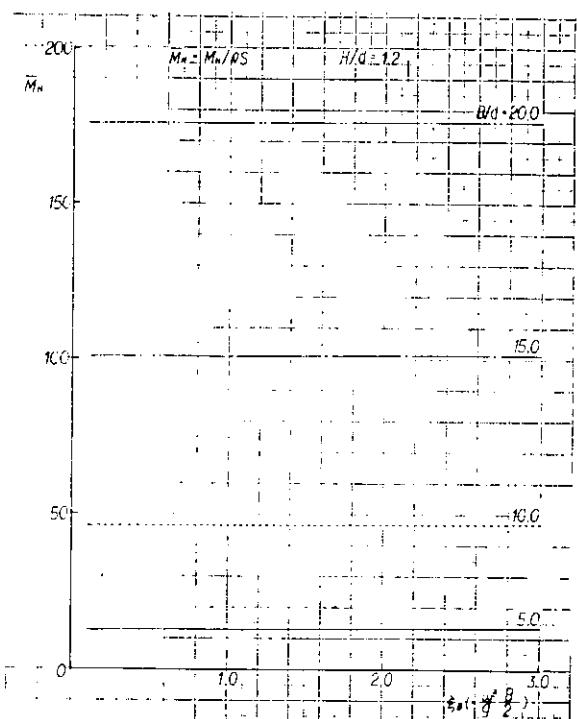


図 2.3.5 HEAVE の付加質量係数 (B/d シリーズ)

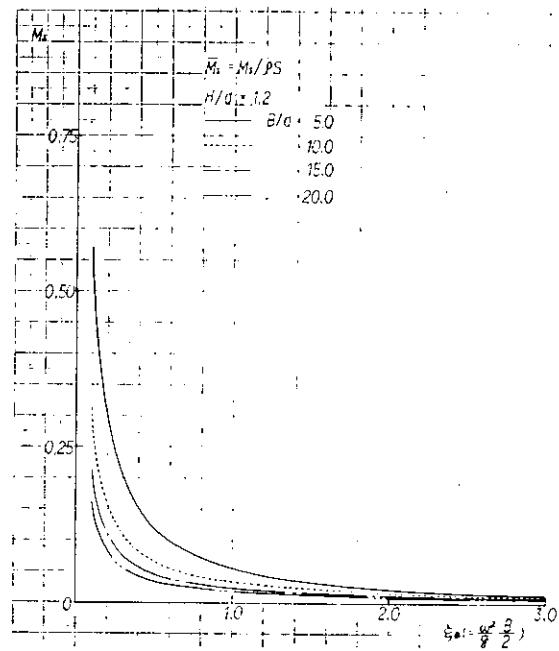


図 2.3.6 SWAY の付加質量係数 (B/d シリーズ)

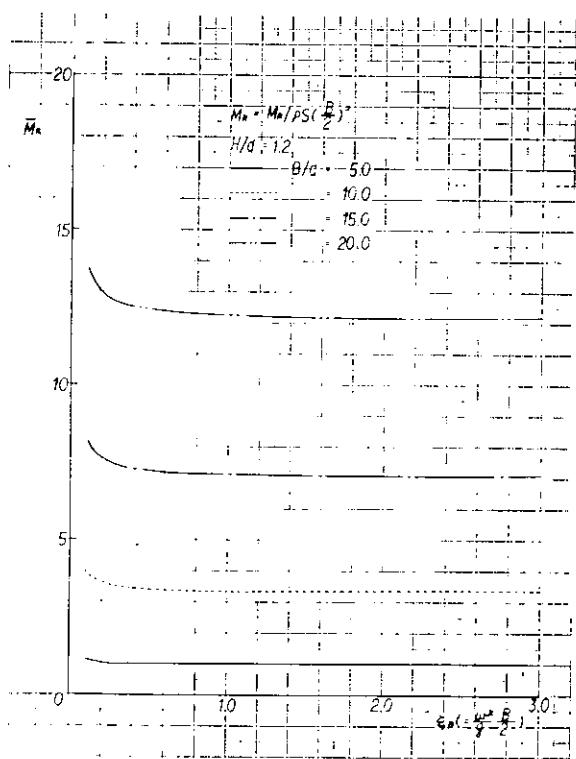


図 2.3.7 ROLL の付加慣性モーメント係数 (B/d シリーズ)

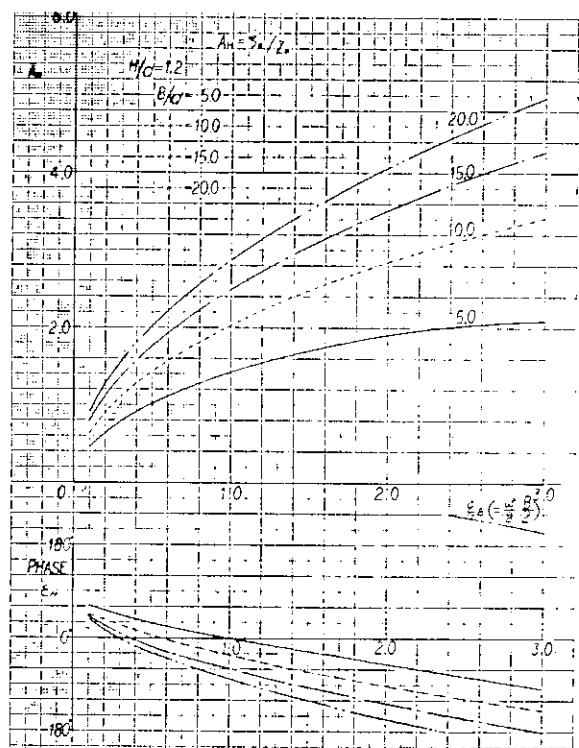


図 2.3.8 HEAVE の発散波振幅比、位相差 (B/d シリーズ)

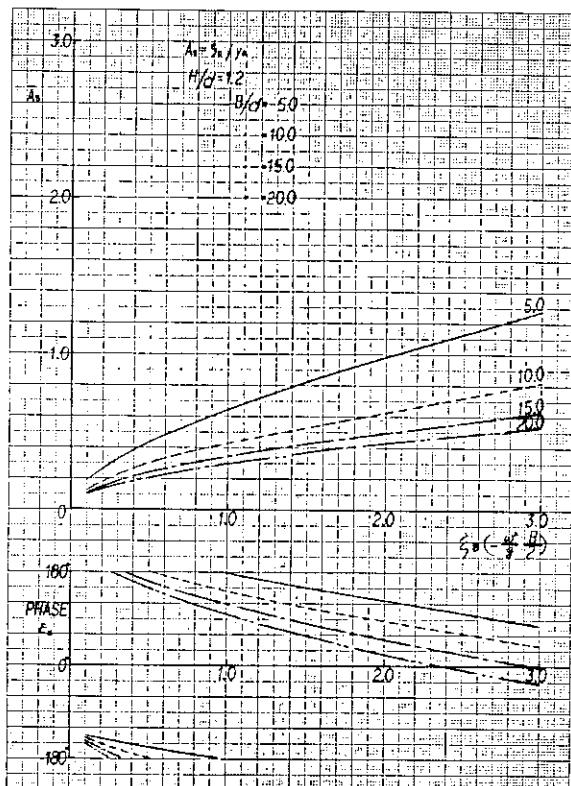


図 2.3.9

SWAY の発散波振幅比、位相差 (B/d シリーズ)

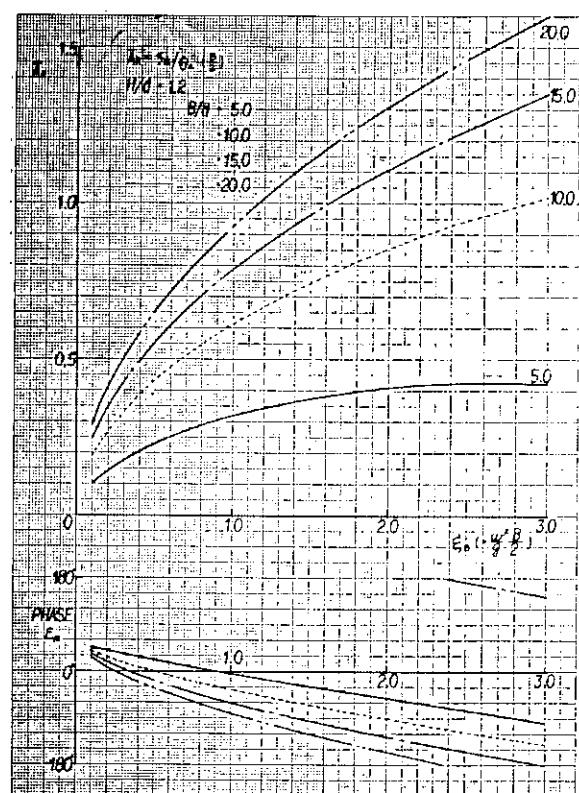


図 2.3.10

ROLL の発散波振幅比、位相差 (B/d シリーズ)

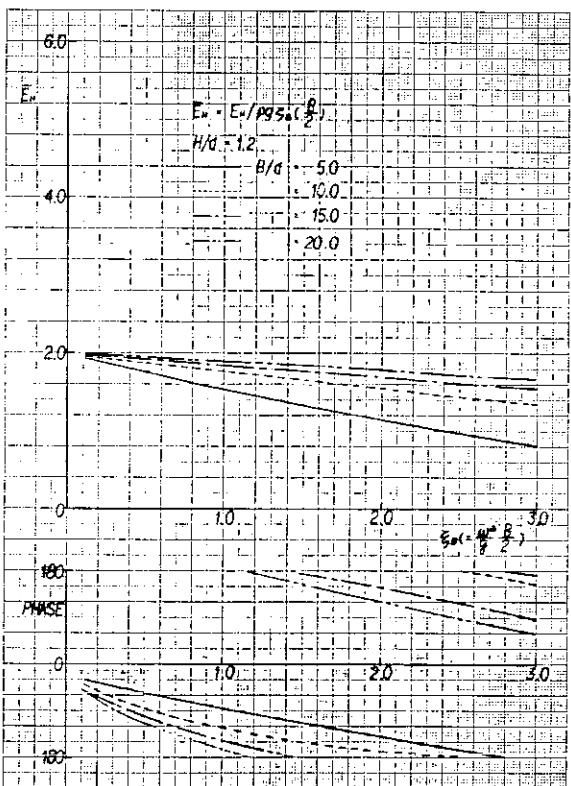


図 2.3.11

HEAVE の波強制力、位相差 (B/d シリーズ)

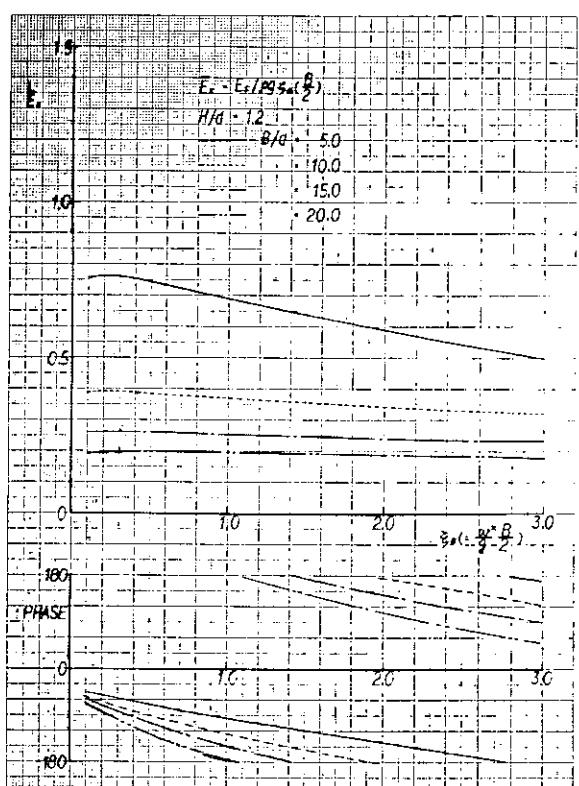


図 2.3.12

SWAY の波強制力、位相差 (B/d シリーズ)

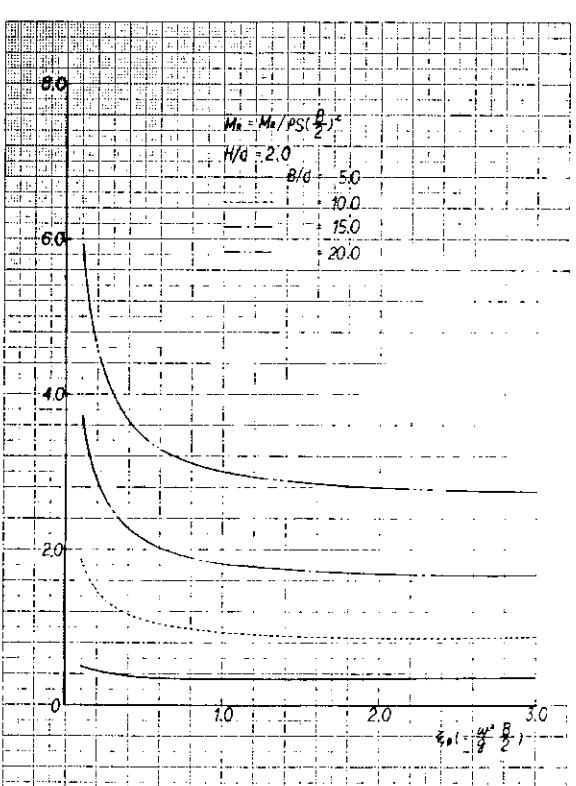
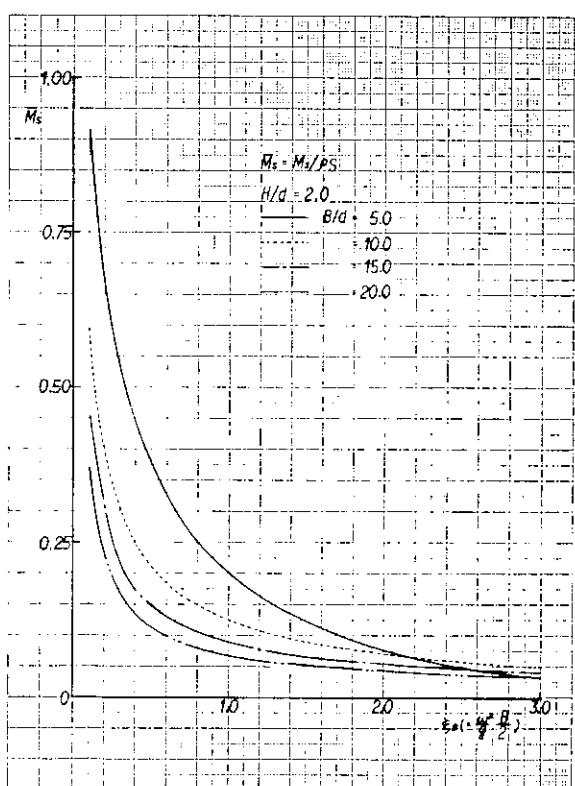
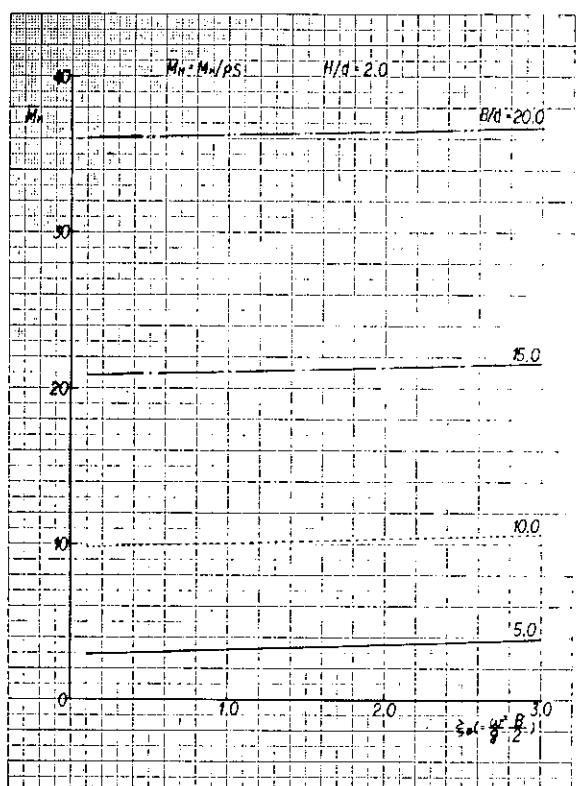
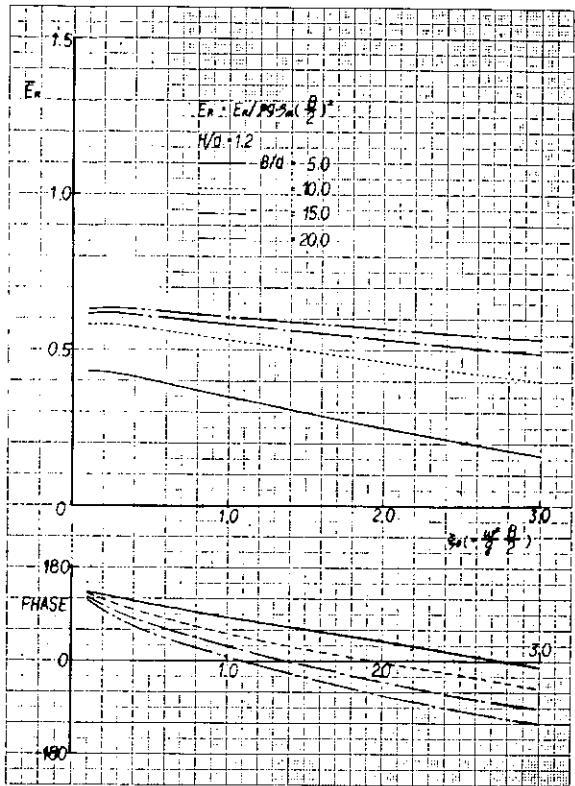


図 2.3.15 SWAY の付加質量係数 (B/d シリーズ)

図 2.3.16 ROLL の付加慣性モーメント係数 (B/d シリーズ)

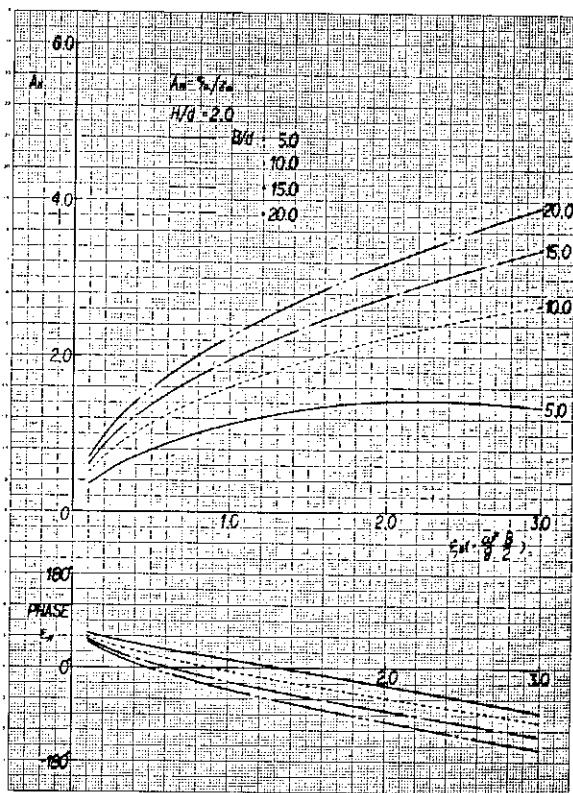


図 2.3.17 HEAVE の発散流振幅比、位相差 (B/d シリーズ)

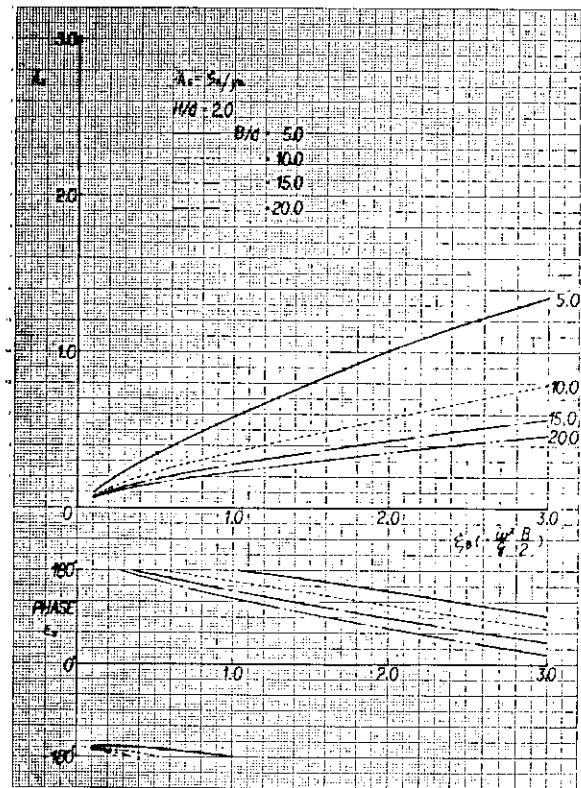


図 2.3.18 SWAY の発散流振幅比、位相差 (B/d シリーズ)

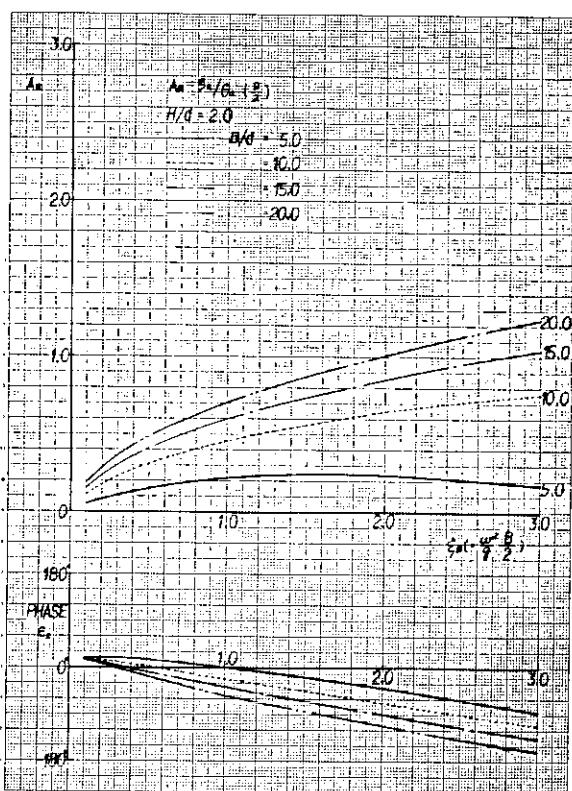


図 2.3.19 ROLL の発散波振幅比、位相差 (B/d シリーズ)

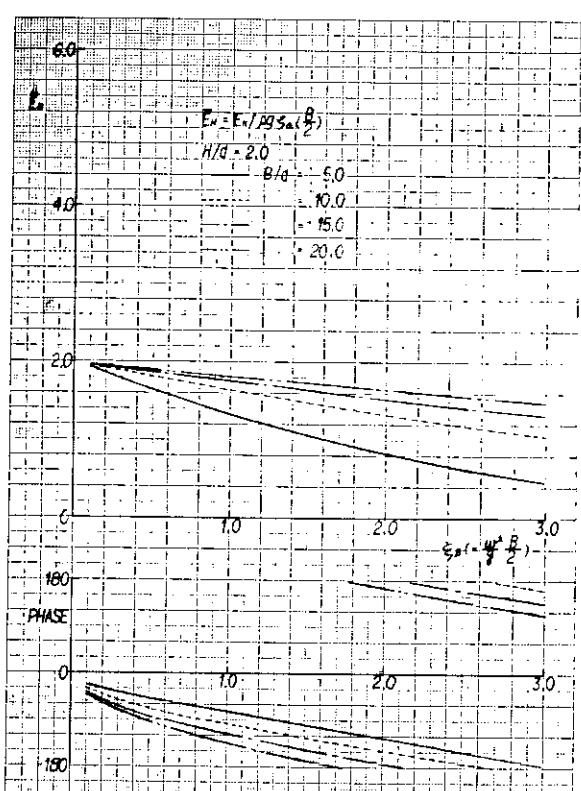


図 2.3.20 HEAVE の波強制力、位相差 (B/d シリーズ)

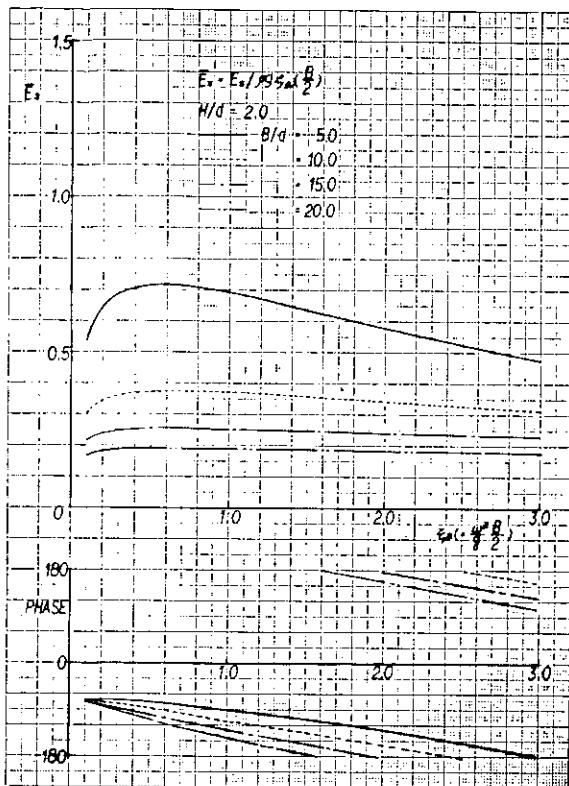


図 2.3.21 SWAY の波強制力、位相差 (B/d シリーズ)

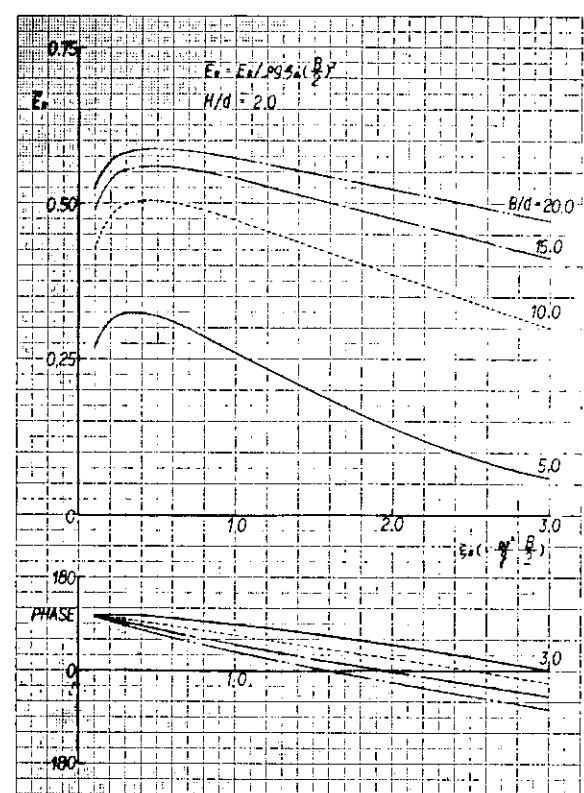


図 2.3.22 ROLL の波強制モーメント、位相差 (B/d シリーズ)

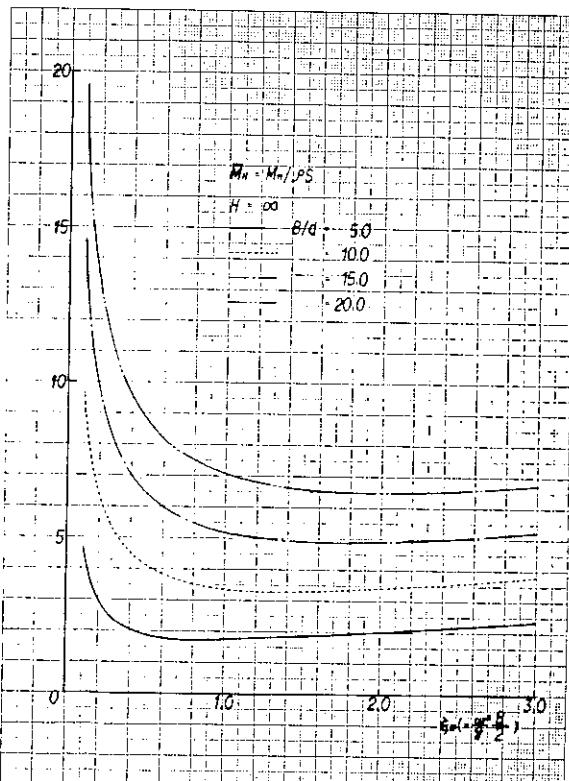


図 2.3.23 HEAVE の付加質量係数 (B/d シリーズ)

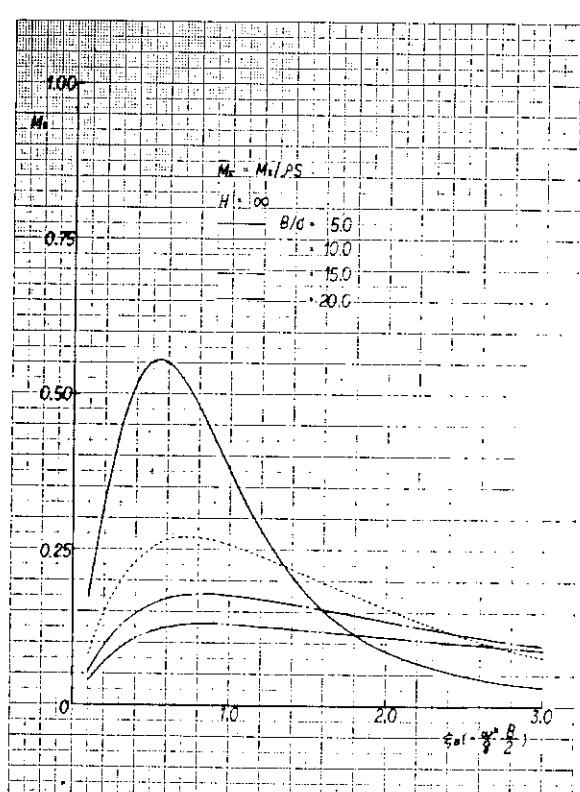
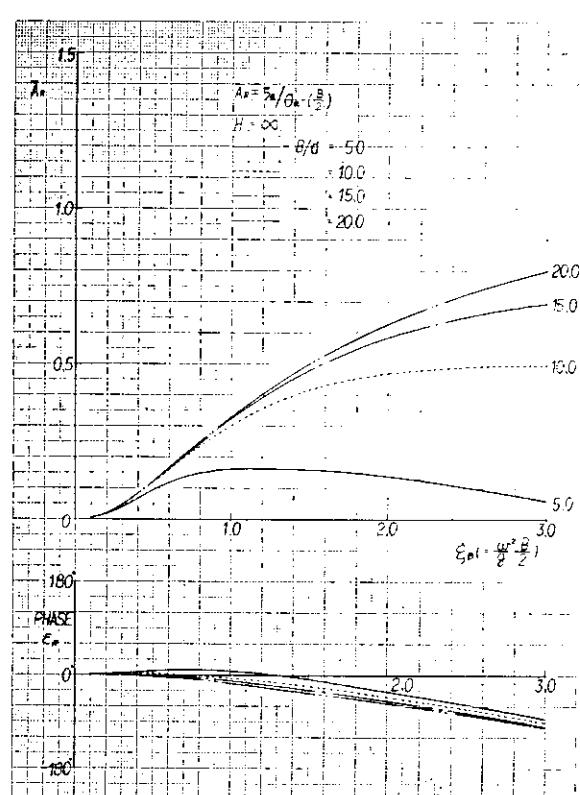
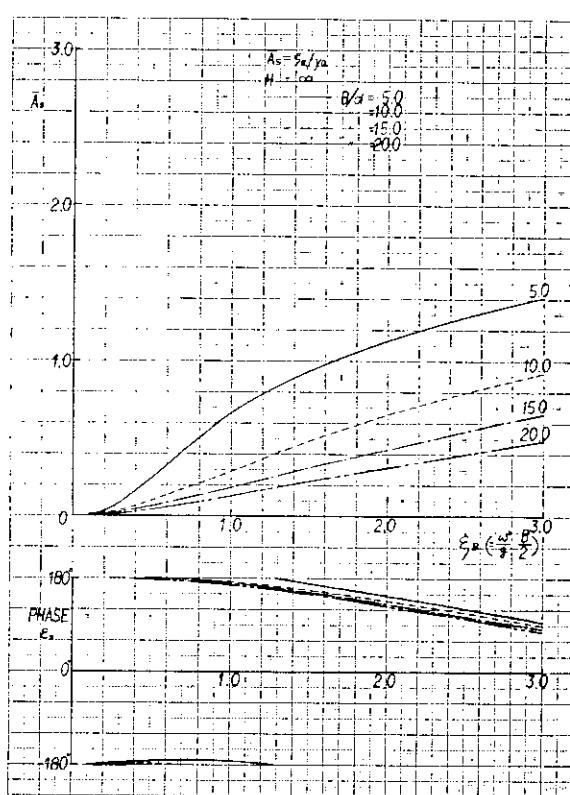
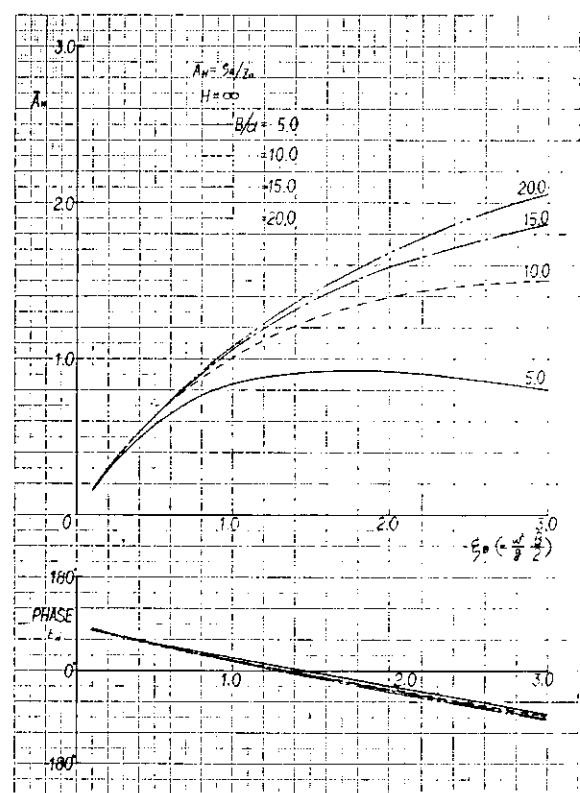
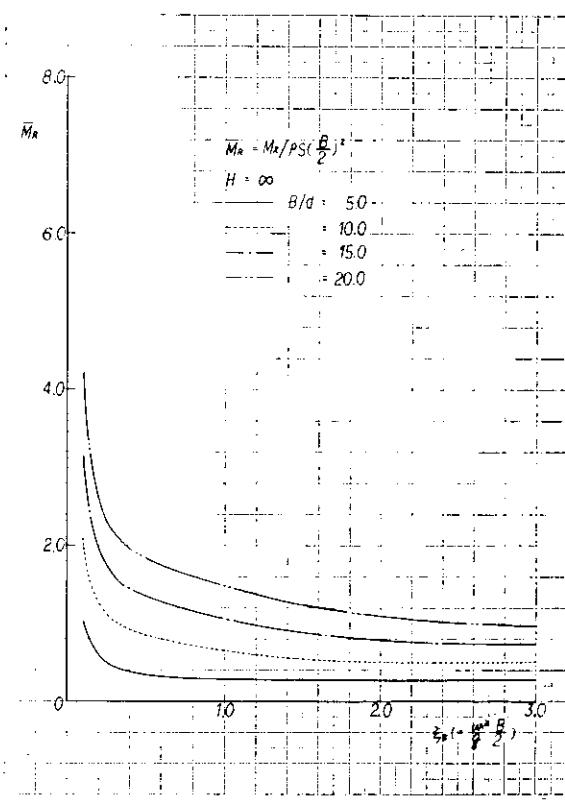


図 2.3.24 SWAY の付加質量係数 (B/d シリーズ)



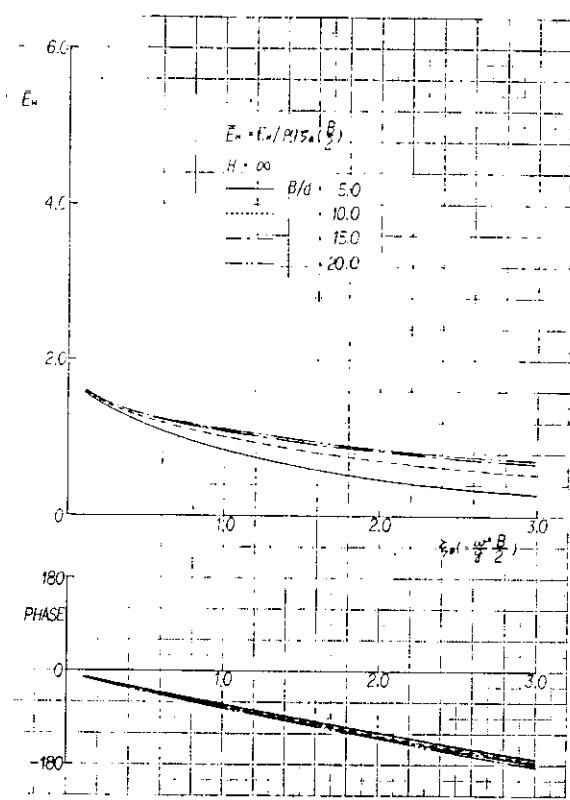


図 2.3.29 HEAVE の波強制力、位相差 (B/d シリーズ)

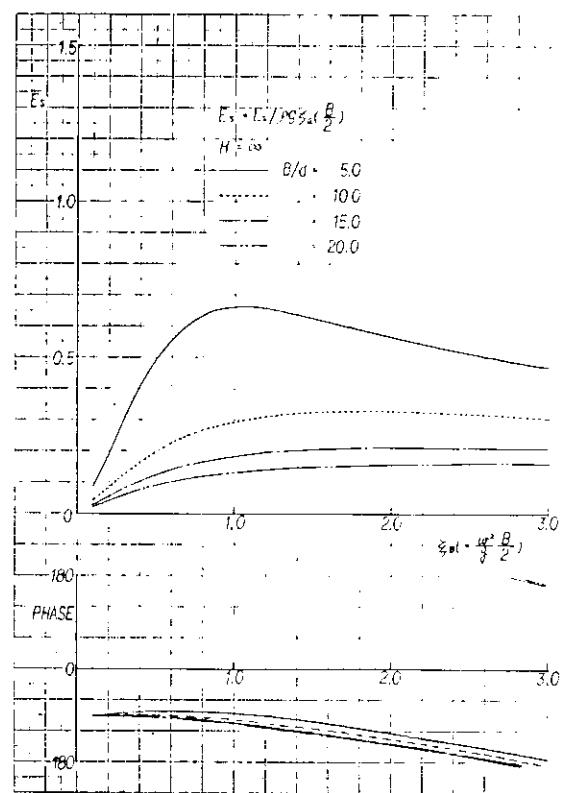


図 2.3.30 SWAY の波強制力、位相差 (B/d シリーズ)

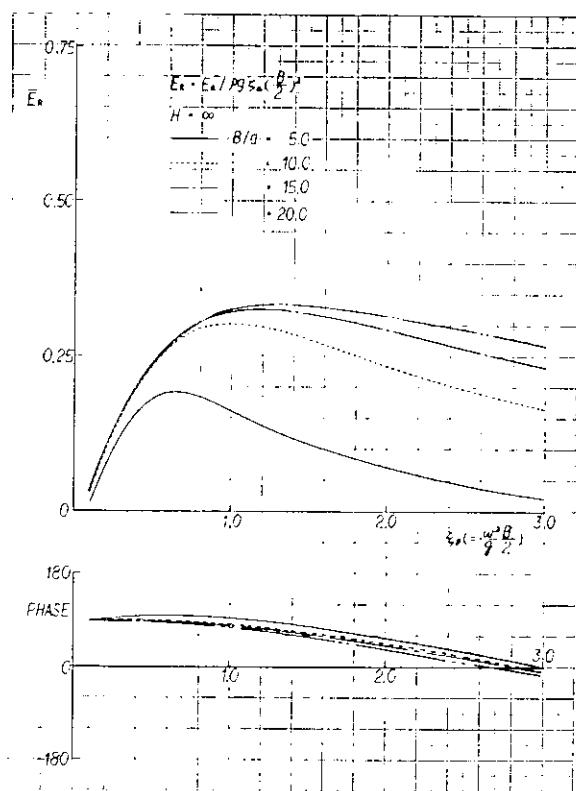


図 2.3.31 ROLL の波強制モーメント、位相差 (B/d シリーズ)

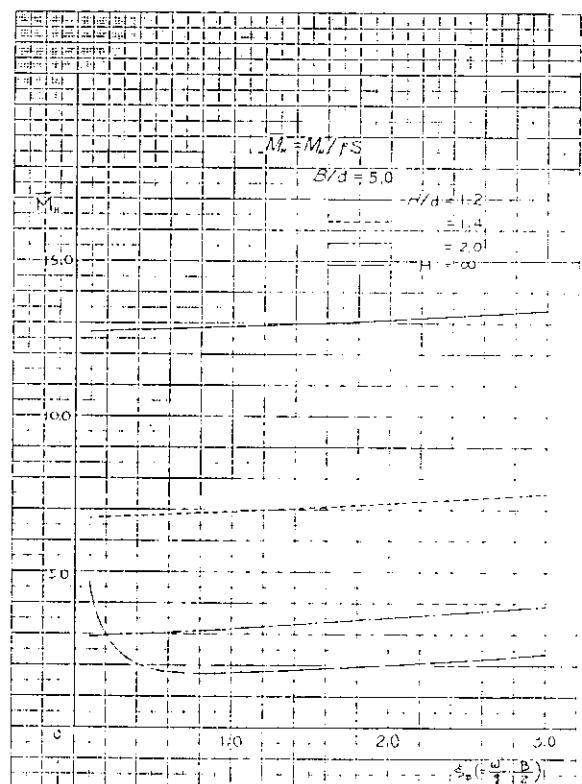
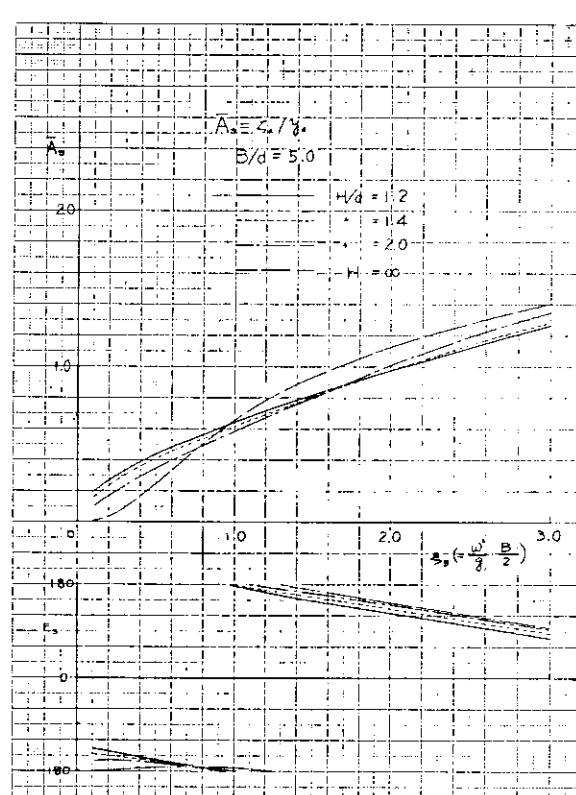
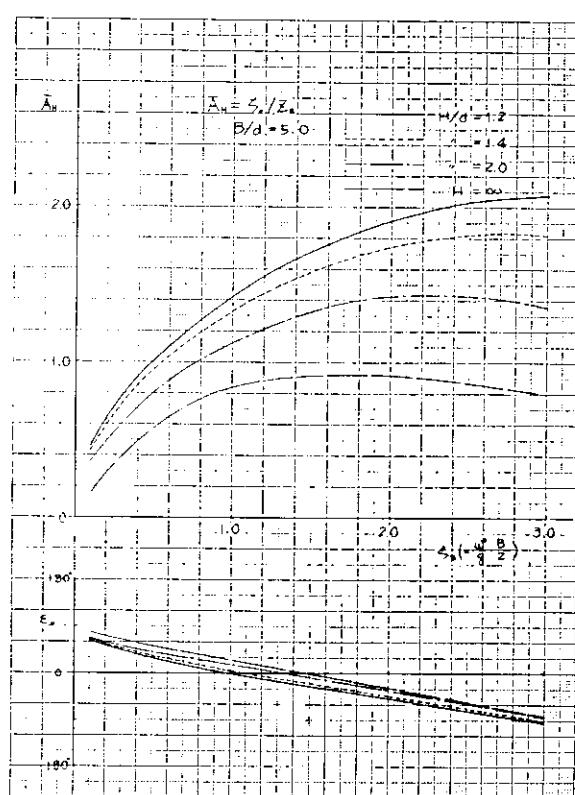
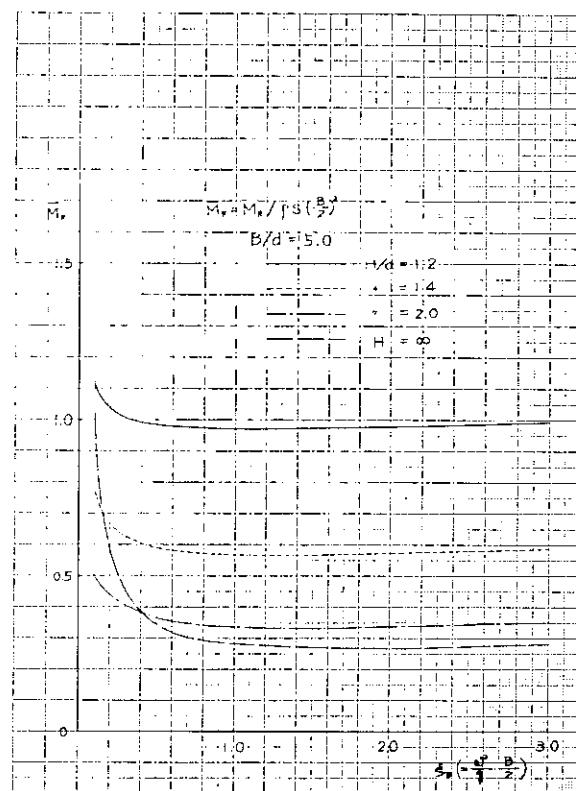
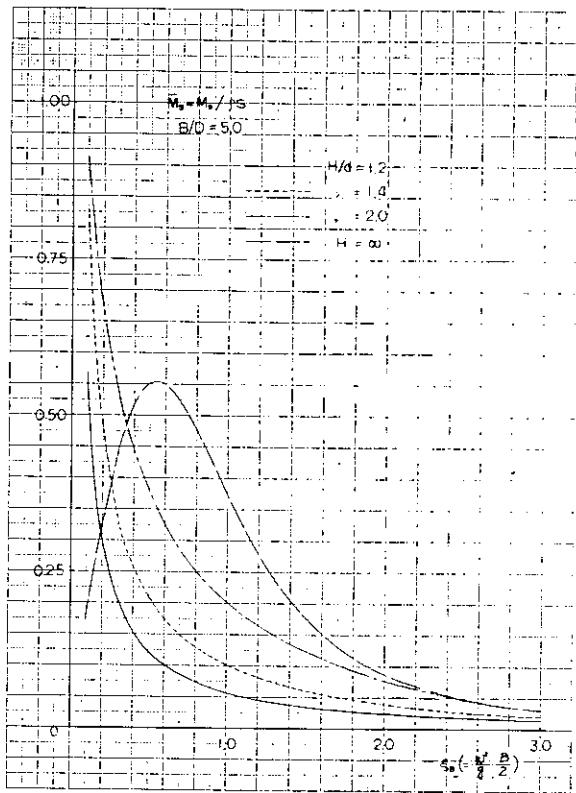


図 2.3.32 HEAVE の付加質量係数 (H/d シリーズ)



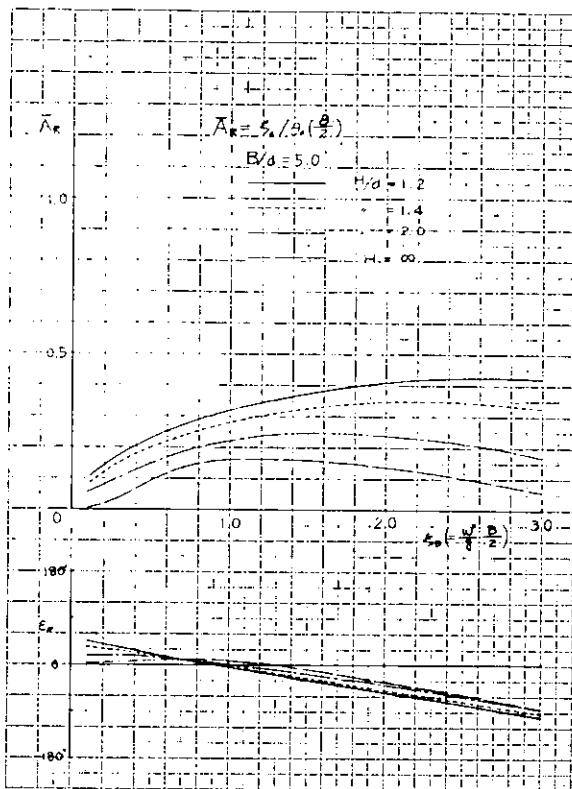


図 2.3.37 ROLL の発散波振幅比、位相差 (H/d シリーズ)

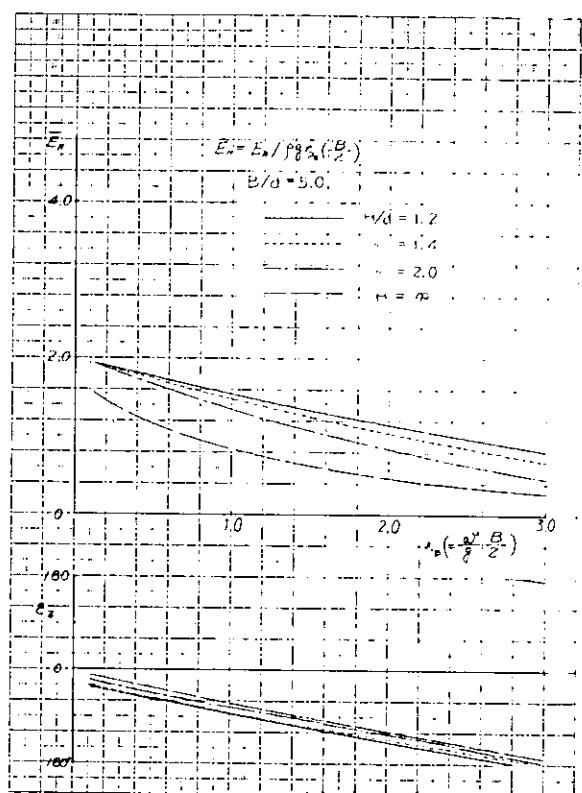


図 2.3.38 HEAVE の波強制力、位相差 (H/d シリーズ)

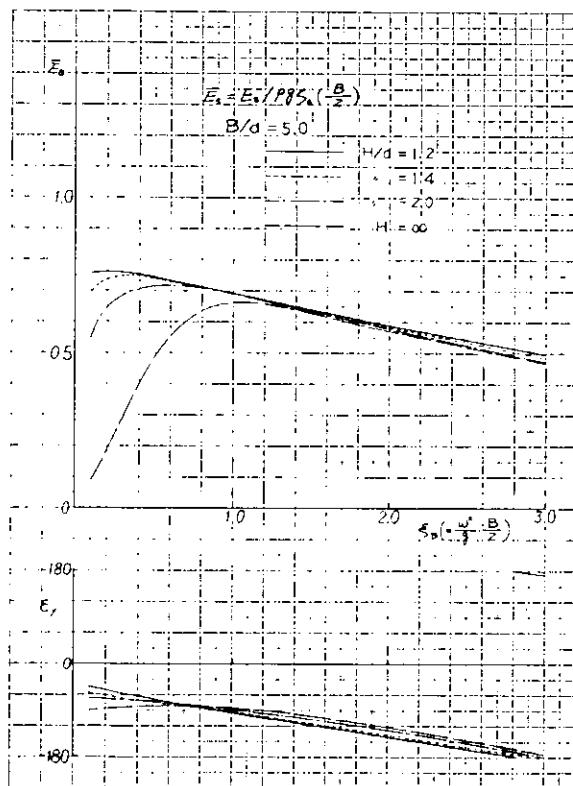


図 2.3.39 SWAY の波強制力、位相差 (H/d シリーズ)

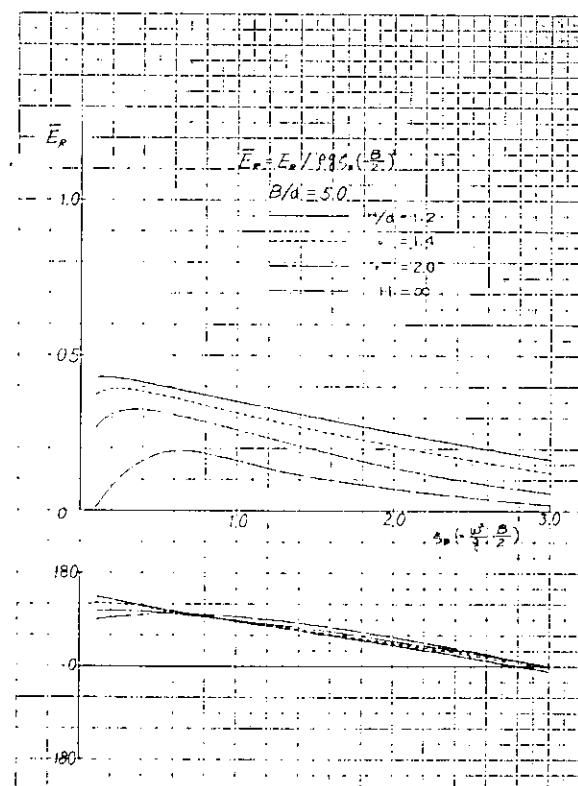


図 2.3.40 ROLL の波強制モーメント、位相差 (H/d シリーズ)

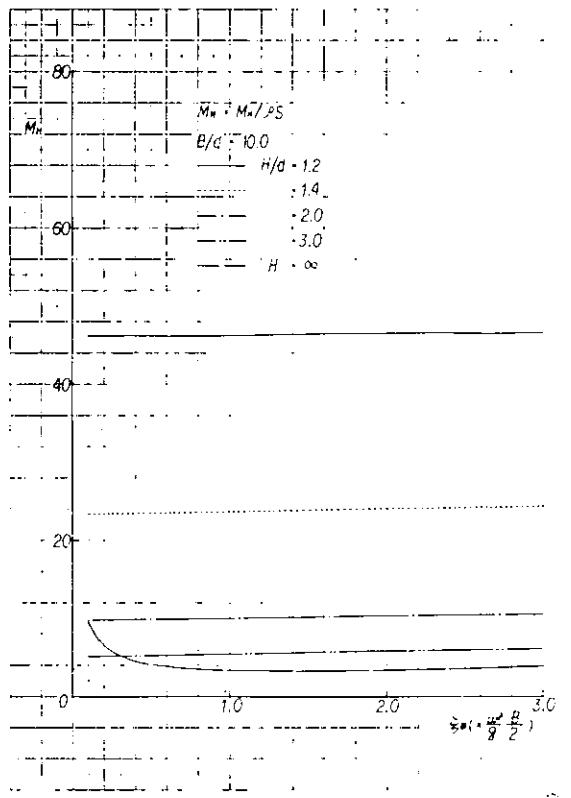


図 2.3.41 HEAVE の付加質量係数 (H/d シリーズ)

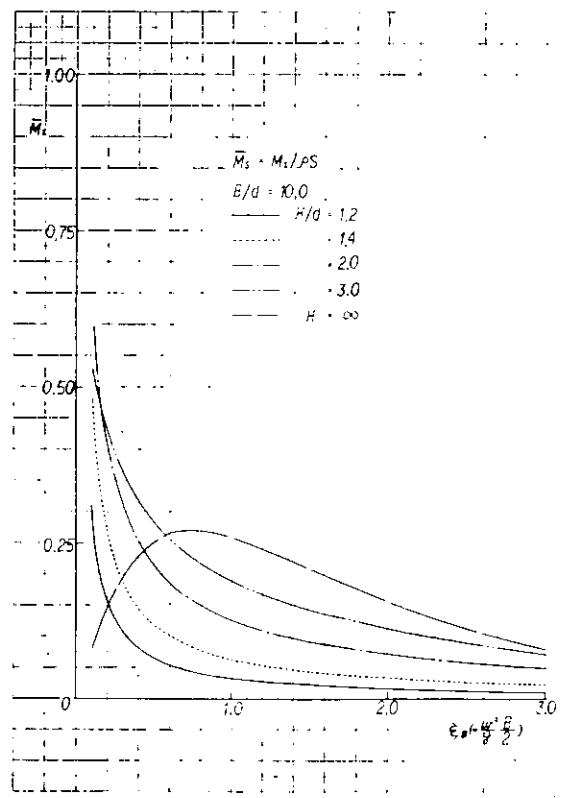


図 2.3.42 SWAY の付加質量係数 (H/d シリーズ)

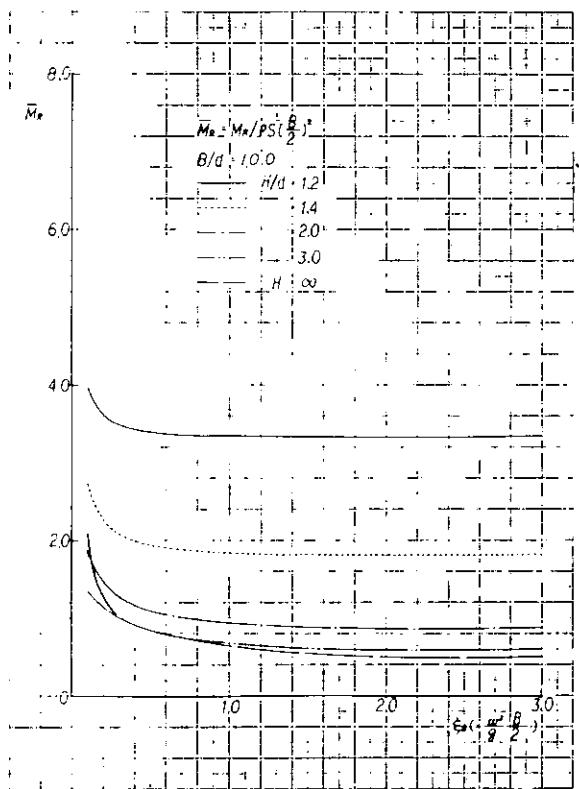


図 2.3.43 ROLL の付加慣性モーメント係数 (H/d シリーズ)

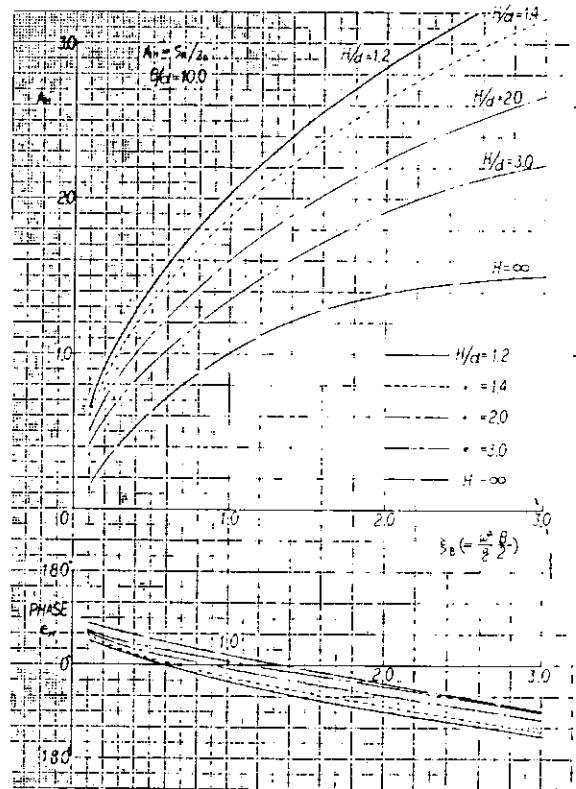


図 2.3.44 HEAVE の発散波振幅比、位相差 (H/d シリーズ)

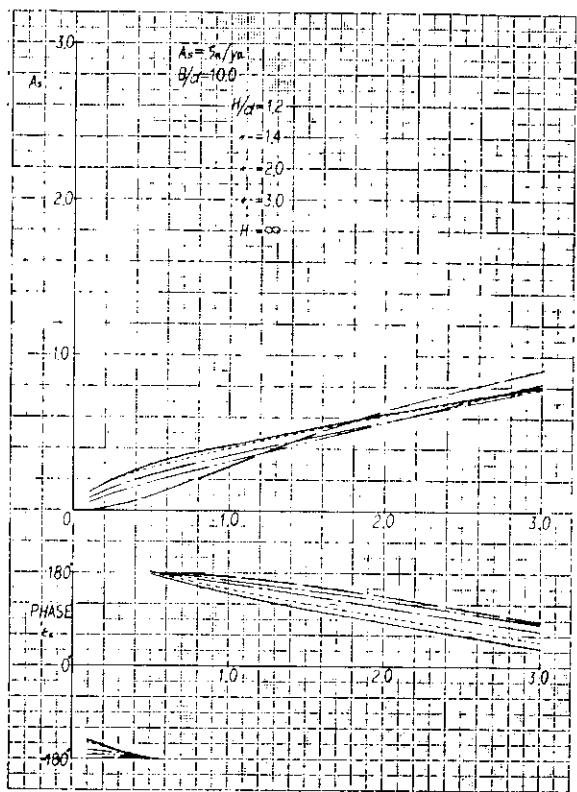


図 2.3.45 SWAY の発散波振幅比、位相差 (H/d シリーズ)

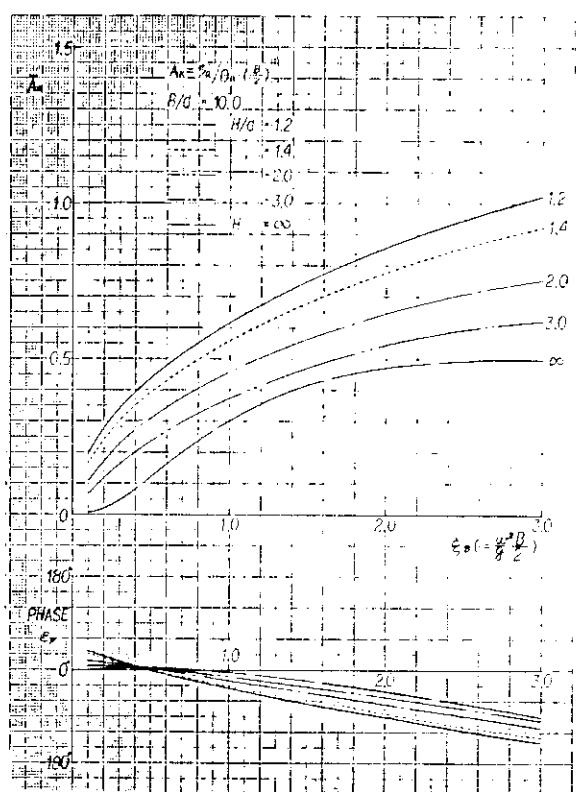


図 2.3.46 ROLL の発散波振幅比、位相差 (H/d シリーズ)

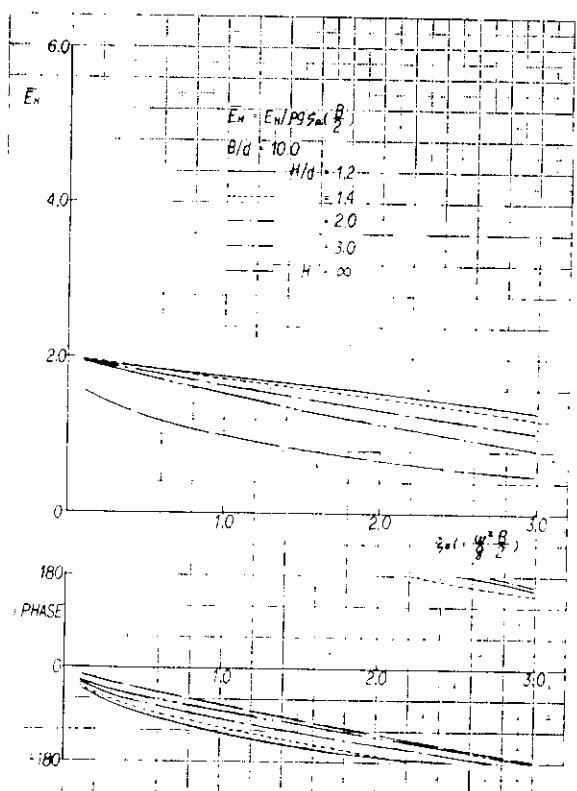


図 2.3.47 HEAVE 波強制力、位相差 (H/d シリーズ)

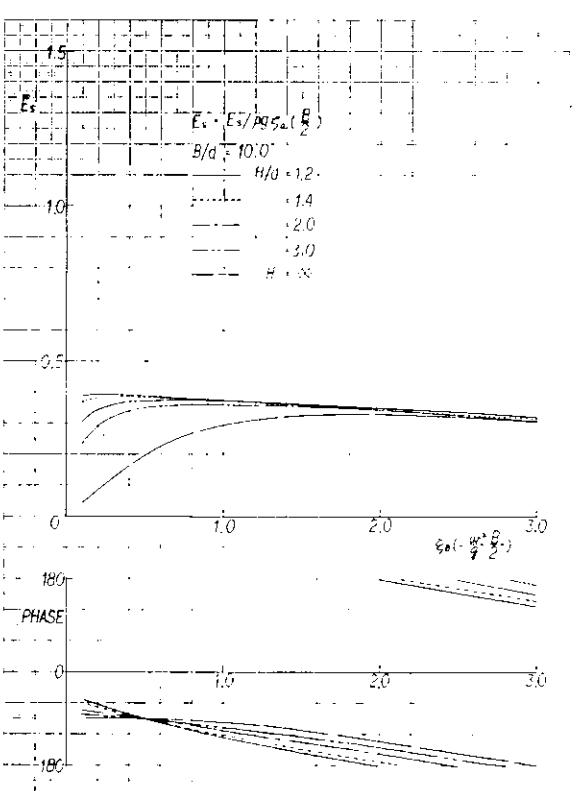


図 2.3.48 SWAY 波強制力、位相差 (H/d シリーズ)

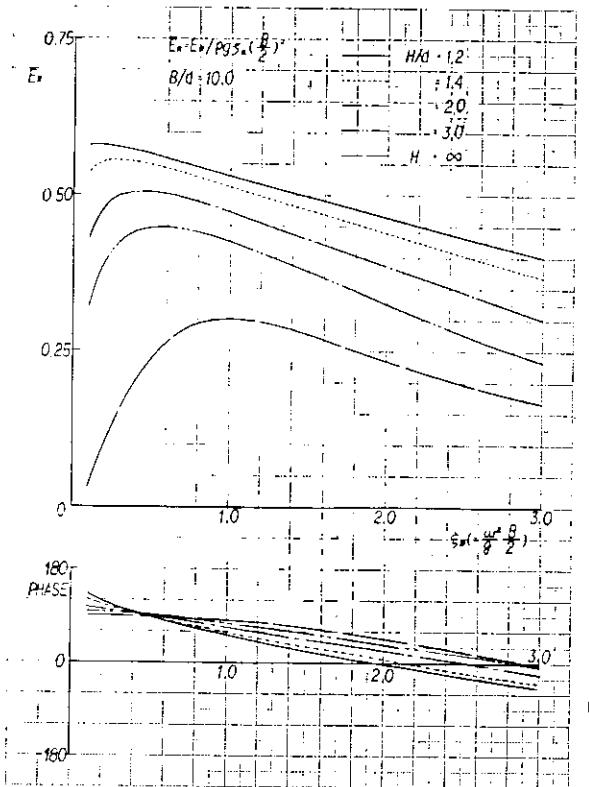


図 2.3.49 ROLL の波強制モーメント、位相差 (H/d シリーズ)

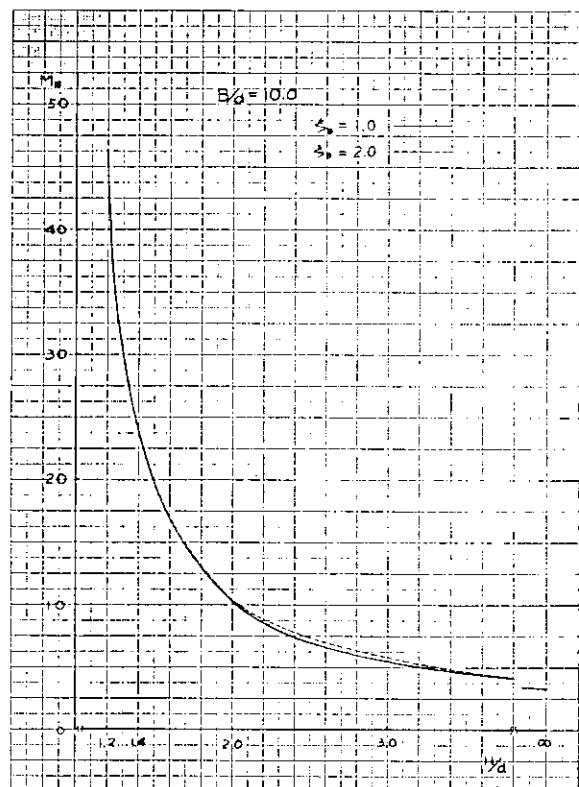


図 2.3.50 M_R に及ぼす H/d の影響

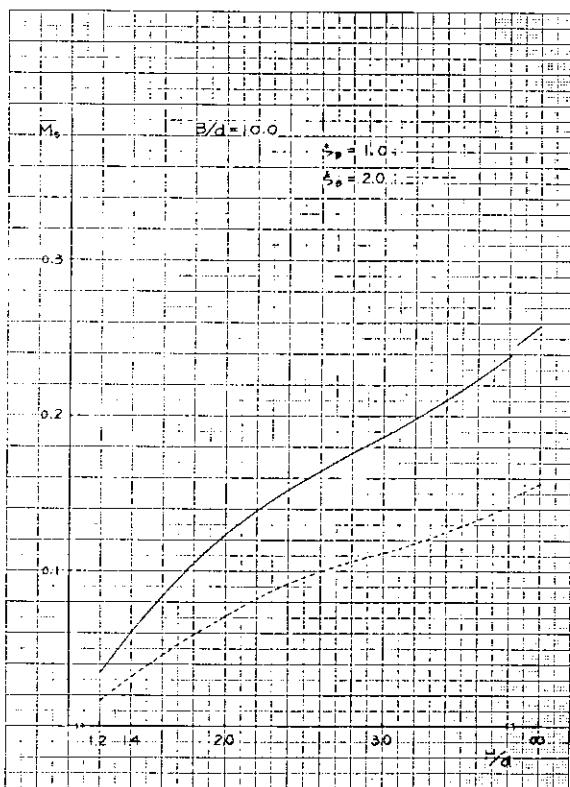


図 2.3.51 M_s に及ぼす H/d の影響

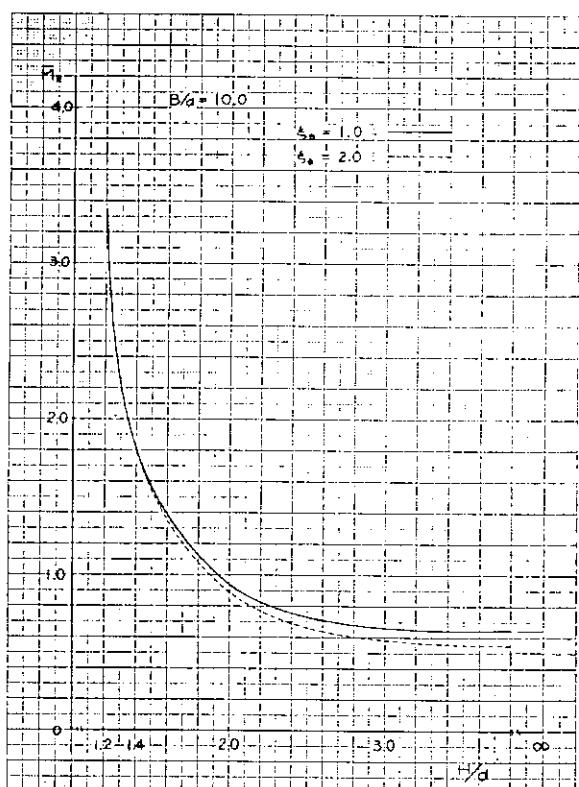


図 2.3.52 M_R に及ぼす H/d の影響

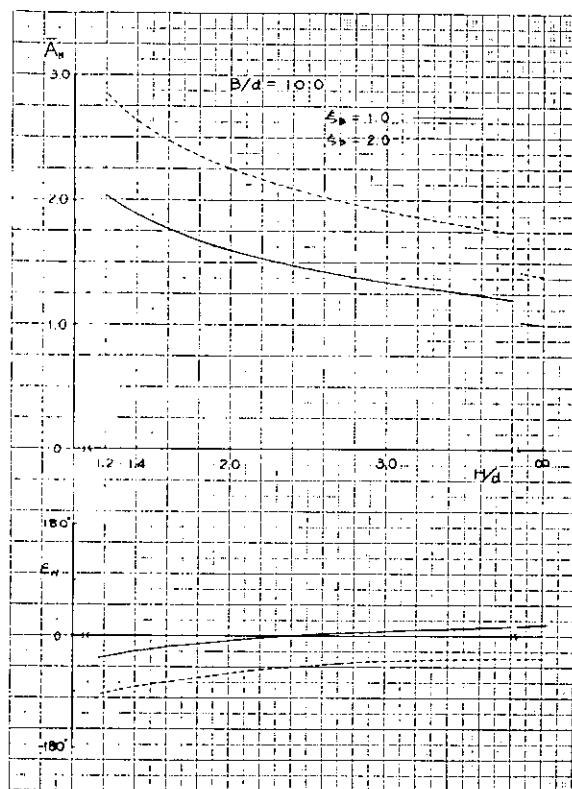


図 2.3.53 \bar{A}_s に及ぼす H/d の影響

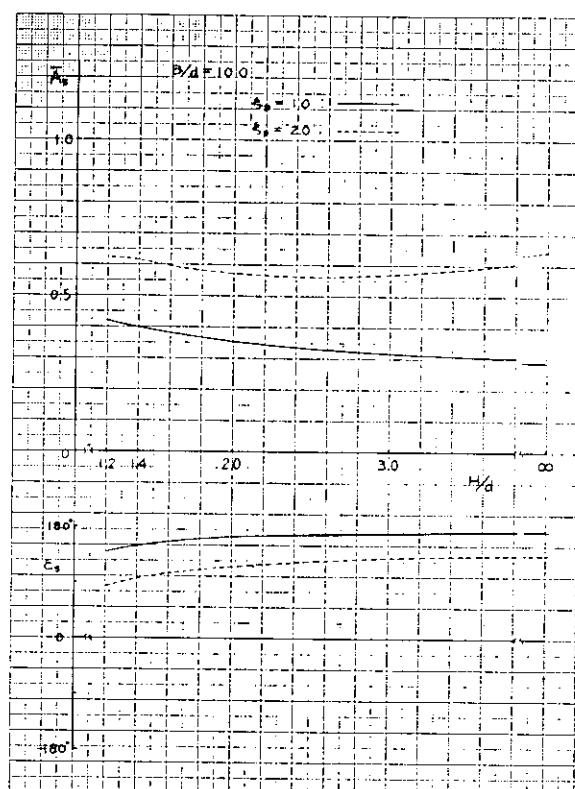


図 2.3.54 \bar{A}_h に及ぼす H/d の影響

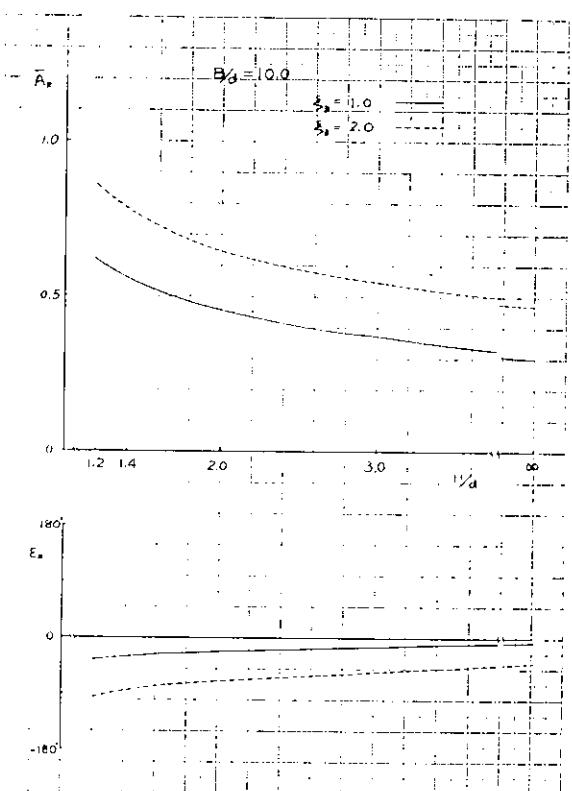


図 2.3.55 \bar{A}_r に及ぼす H/d の影響

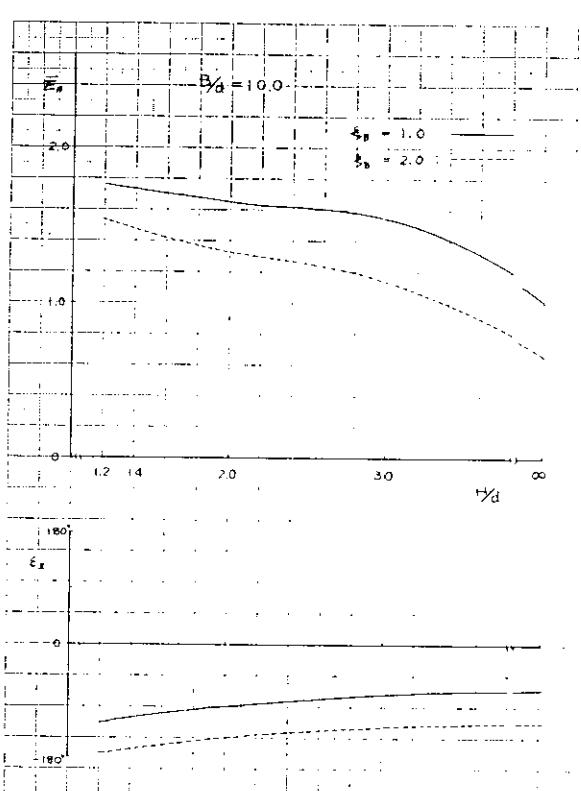


図 2.3.56 \bar{E}_h に及ぼす H/d の影響

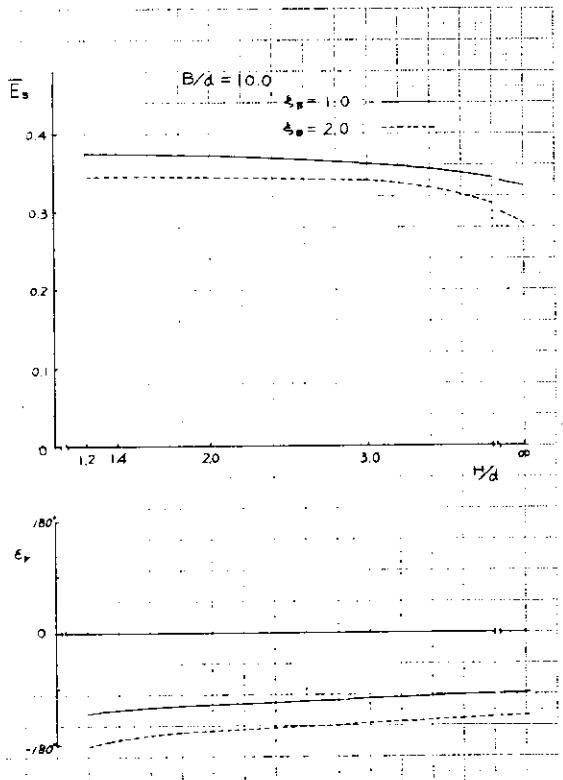


図 2.3.57 \bar{E}_s に及ぼす H/d の影響

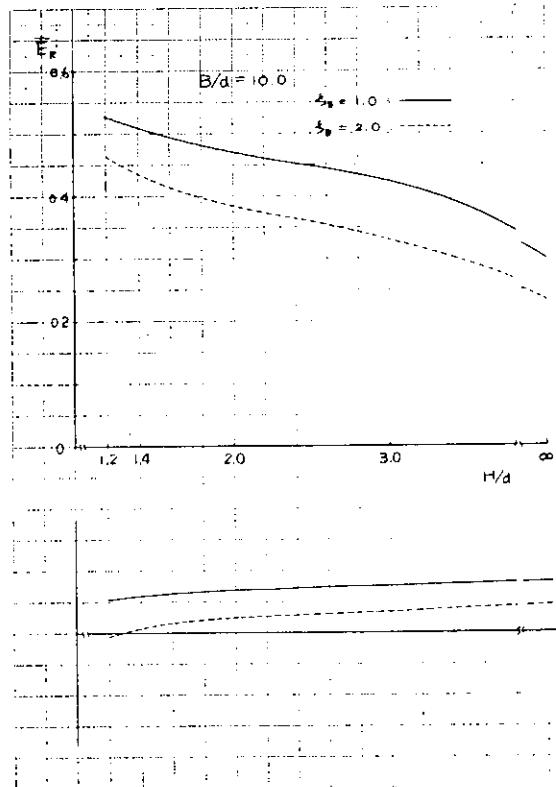


図 2.3.58 \bar{E}_r に及ぼす H/d の影響

2.4 水槽模型試験

2.4.1 目的及び概要

浅海域における箱型海洋構造物の運動特性の推算法及び係留システムの設計法に関する技術基準の基礎資料は、従来、実験設備等の制約や必要性が乏しかったために極端に少ない。しかしながら、近年各種海洋構造物を比較的浅海域に設置しようとする計画が増大して來ているために、浅海域における箱型海洋構造物の運動特性の推算法の確立及び係留システムの設計基準の作成を早急に実施しなければならない情勢になって來た。

そこで、浅海域における箱型海洋構造物の運動特性を精度よく推定する手法の確立及び係留システムの設計基準作成のための基礎資料を得ることを目的とし、箱型海洋構造物の流体力、波強制力、流れによる力及び波浪中における船体運動などが水深変化によってどの様な影響を受けるかを究明する系統的な水槽模型試験を実施し、実験値と理論値との比較検討を行う。

水槽模型試験は、文献調査に基づいて 2.2.3 項に示した水槽模型試験の条件設定の中から、2 次元水路にて水深を系統的に変化させて 2 次元箱型海洋構造物模型に働く流体力を求める強制動搖試験及び幅広水槽にて水深を系統的に変化させて 3 次元箱型海洋構造物に働く流れによる 3 分力を求める試験などである。なお、本報告は本研究部会の設立が遅れたこと及び究明すべき課題が広範囲であったことにより、水槽模型試験関係は試験結果の中間報告である。

2.4.2 供試模型

浅海域における箱型海洋構造物の波強制力、流体力、流れによる力及び波浪中における動搖応答などを求めるために、2 次元箱型海洋構造物模型を 3 隻と 3 次元箱型海洋構造物模型を 2 隻設計製作した。

2 次元箱型海洋構造物模型は、2 次元水路にて水深変化に対する流体力及び波強制力を究明するためのものであり、3 次元箱型海洋構造物模型は幅広水槽にて水深変化に対する流れによる力、横揺れ減衰係数及び波浪中における

る動揺応答特性などを究明するために用いるものである。

2次元及び3次元箱型海洋構造物模型の主要寸法を表2.4.1に示す。

表2.4.1 2次元及び3次元箱型海洋構造物模型の主要寸法

略記号	模 型	長さ(L)m	幅(B)m	高さ(D)m
M 2 A	2次元箱型海洋構造物	1.000	1.000	0.300
M 2 B	タ	1.000	0.700	0.200
M 2 C	タ	2.400	0.800	0.350
M 3 A	3次元箱型海洋構造物	3.000	2.500	0.750
M 3 B	タ	3.872	1.936	0.600

なお、製作した模型の代表例としてM 2 Cの2次元箱型海洋構造物模型の概要図を図2.4.1に示す。

2.4.3 試験の種類及び方法

浅海域における箱型海洋構造物の運動特性の推定法を向上させるためには、浅水影響が最も重要な課題であるとして2.2.3項において水槽模型試験の条件設定がなされ、その条件設定に基づいて、水深を系統的に変化させて次に示す各種水槽模型試験を行うこととした。

- (i) 2次元箱型海洋構造物模型を用いて波強制力を求める水槽模型試験。
- (ii) 2次元箱型海洋構造物模型を用いて強制動揺法に基づき拳動時の流体力特性を求める水槽模型試験。
- (iii) 3次元箱型海洋構造物模型を用いて一様流中の3分力及び強制動揺法に基づく同調時の横揺れ減衰係数を求める水槽模型試験。
- (iv) 3次元箱型海洋構造物模型を用いて波浪中における動揺応答特性を求める水槽模型試験。

以下には、上記の各種水槽模型試験を行い、その解析が終了したものの中間報告が出来る水槽模型試験の種類及び方法を詳述する。

(1) 2次元箱型海洋構造物模型の強制動揺法に基づく流体力

本試験の浅海域での2次元性を保つため図2.4.2に示すよう全長3.5mの鋼製の浅水用水路を巾8m、深さ3m、長さ5.5mの水槽内に設置した。この水路の底面は水槽の底から30cm上げておらず、水路底面の平行部分は長さ1.5mで、両端は急激な水深変化を防ぐために長さ5mの傾斜部分を設けた。また、浅水試験であるため、水路底面の精度は水路全域で±1.5%以内、特に2次元模型を設置する中央部では±1.0%以内になるように調整した。水路側壁と2次元模型とのすき間はなるべく3次元影響が少なくなるように、模型の両端で3%とした。

この試験に用いた強制動揺装置は図2.4.3に示すように駆動モータの回転運動をスコッチャヨークを介して直線運動に変えるもので、上下方向、水平方向の他に付属のアタッチメントを取り付けることにより回転方向の強制動揺が出来るようになっている。

強制動揺によって2次元模型に働く力は、強制動揺装置駆動部と模型との間に取り付けられた3分力計によって検出した。この3分力計は最大上下方向±40kg、水平方向±40kg、回転方向のモーメント±13kg-mの容量となっており、±0.2%の精度を有するものである。強制動揺装置の運動の変位は、本装置の駆動部に取り付けられたポテンショメータによって、また模型の動揺による発散波は模型の中心から2.5m、5m離れた位置でサーボ式波高計および容量式波高計を用いて計測した。全体の試験計測システム図を図2.4.4に示す。なお、参考のために行った無限水深での試験は、側壁がない状態で行った。

(2) 3次元箱型海洋構造物模型の一様流中における3分力

一様流中において3次元箱型海洋構造物に働く流れによる3分力(X成分、Y成分及びモーメント)の水深影響を究明する系統的な水槽模型試験を行った。

水槽模型試験の方法は、幅広水槽(長さ4.0m、幅2.76m、水深0~2.0mで造波装置、消波装置及び潮流発生装置つき)を用い、水深を系統的に変化させると同時に、3次元箱型海洋構造物模型の奥水、流速及び流入角などを系統的に変化させて3次元箱型海洋構造物模型に働く流れによる3分力を計測するものである。

なお、幅広水槽の水槽底面精度は、3次元箱型海洋構造物模型の周囲において±2mm程度である。

3次元箱型海洋構造物模型に働く流れによる3分力は、回転架台の昇降台に3分力計(定格負荷 $F_x = F_y = 20\text{kg}$ 、 $M_z = 8\text{kg}\cdot\text{m}$ の日章電機製LMC-3504)を固定し、その3分力計に3次元箱型海洋構造物模型を取り付けて計測した。その他、流速は超音波式流速計を用いて計測した。なお、流速の分布は、3次元箱型海洋構造物模型を取り外した状態で計測した。その分布を用いて水槽模型試験時の流速から3次元箱型海洋構造物模型全体に作用する平均流速を求めた。

2.4.4 試験状態

本報告書に示す水槽模型試験の試験状態を次に詳述する。

(1) 2次元箱型海洋構造物模型の強制動搖法に基づく流体力

2次元模型に働く流体力を求めるための強制動搖試験は、表2.4.2に示すように幅・奥水比(B/d)及び水深・奥水比(H/d)を変化させて行い、 B/d 及び H/d の変化が流体力に及ぼす影響を調べた。

なお、強制動搖試験時の各運動モードに対する動搖振幅を表2.4.3に示す。

表2.4.2 強制動搖試験時の水深

B/d	H/d	水深・奥水比(H/d)			
		1.2	1.4	2.0	13.75
(B/d)	5	0.192m	0.224m	0.320m	2.20m
	10	—	—	0.160m	—
	15	—	—	0.107m	—

表2.4.3 強制動搖試験時の運動モードに対する動搖振幅

		動 憆 振 幅		
運動モード	Heave	0.5(0.3)cm	1.0cm	1.5cm
	Sway	1.0cm	2.0cm	3.0cm
	Roll	1.0°	2.0°	3.0°

(2) 3次元箱型海洋構造物模型の一様流中における3分力

一様流中における3次元箱型海洋構造物に働く3分力は、次に示す範囲で水槽模型試験を行った。

(a) 水深変化 (H/d , H:水深, d:奥水)

$$H/d = 1.2, 1.4, 1.6, 2.0 \text{ 及び } 3.0 \text{ の } 5 \text{ 種類}$$

(b) 奥水変化 (B/d , B:幅, d:奥水)

$$B/d = 5, 10, 15 \text{ 及び } 20 \text{ の } 4 \text{ 種類}$$

(c) 流速変化 (V_M)

$$V_M = 0.15 \sim 0.35 \text{ m/s の範囲で } 4 \text{ 点}$$

$$F_n = V_m / \sqrt{gL} = 0.02 \sim 0.06$$

(d) 流入角変化 (α)

$\alpha = 0^\circ$ と 90° を標準とし、 H/d が 1.2 及び 1.6 については、流入角を系統的に変化させた。

以上の試験状態変化に対して水槽模型試験は、表 2.4.4 に示す試験状態で実施した。

表 2.4.4 3 次元箱型海洋構造物模型の一様流中における 3 分力計測試験時の試験状態

B/d		喫水変化 (B/d) 及び流入角変化 (α)			
		B/d 5	10	15	20
水深変化 H/d	1.2	$\alpha = 0^\circ, 30^\circ$ $60^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ $60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 30^\circ$ $60^\circ, 90^\circ$	—
	1.4	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$
	1.6	—	$0^\circ, 30^\circ$ $60^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 30^\circ$ $60^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 30^\circ$ $60^\circ, 90^\circ$
	2.0	—	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$
	3.0	—	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$	$0^\circ, 90^\circ$

2.4.5 2 次元模型試験結果及び考察

試験によって得られたデータは A/D 変換ののち、大型電子計算機でフーリエ解析を行い、1 次成分のみを求めた。

解析に当って座標系は図 2.4.5 のように定義したが、Roll 方向の強制動揺については装置の制限から P 点で回転させ、Q 点で力およびモーメントを計測している。従って Q 点で計測されたデータをもとに、0 点まわりの流体力係数に換算して求めた。

いま P 点が

$$\varphi = \varphi_a \sin \omega t$$

なる運動をしたとき Q 点に働く力およびモーメントを

$$F_y = F_y a \sin (\omega t - \epsilon_y)$$

$$M_\varphi = M_\varphi a \sin (\omega t - \epsilon_\varphi)$$

また発散波を

$$\eta_{RP} = \frac{B}{2} \bar{A}_{RP} \cdot \varphi a \sin (\omega t - \epsilon_{RP})$$

とすれば、0 点での Roll の付加慣性モーメント係数 M_R および 0 点まわりの運動による発散波振幅比 \bar{A}_R 、位相差 ϵ_R は次のように示される。

$$M_R = (M_\varphi a \cos \epsilon_\varphi - \bar{Q} Q F_y a \cos \epsilon_y + W \cdot GM \cdot \varphi_a) / \varphi a \omega^2 - \bar{O} P \cdot M_{RS} - I_\varphi$$

$$\bar{A}_R = \sqrt{(\bar{A}_{RP} \cdot \cos \epsilon_{RP} - \frac{\bar{O} P}{B/2} \bar{A}_S \cos \epsilon_S)^2 + (\bar{A}_{RP} \cdot \sin \epsilon_{RP} - \frac{\bar{O} P}{B/2} \bar{A}_S \sin \epsilon_{RP})^2}$$

$$\epsilon_R = \tan^{-1} \left(\frac{\overline{A}_{RP} \sin \epsilon_{RP} - \frac{OP}{B/2} \sin \epsilon_{RP}}{\overline{A}_{RP} \cos \epsilon_{RP} - \frac{OP}{B/2} \cos \epsilon_{RP}} \right)$$

ここで I_φ ; 0点まわりの慣性モーメント

M_{RS} , \overline{A}_S , ϵ_S ; Sway 方向の強制動搖試験で得られた流体力係数、発散波振幅比および位相差

なお、求められた流体力係数および発散波は次に示す無次元化の方法に従った。

$$\begin{aligned}\overline{M}_H &= M_H / \rho V, & \overline{M}_S &= M_S / \rho V, & \overline{M}_R &= M_R / \rho V (\frac{B}{2})^2 \\ \overline{A}_H &= \eta_{H^a} / z_a, & \overline{A}_S &= \eta_{S^a} / y_a, & \overline{A}_R &= \eta_{y^a} / (\varphi_a + \frac{B}{2})\end{aligned}$$

これらの流体力係数の無次元値、発散波振幅比および位相差は、横軸に無次元化周波数

$$\xi_B = \frac{\omega^2}{g} \cdot \frac{B}{2}$$

を用いて、水深影響および幅・吃水比による影響を調べた。また図中には 2.3.3 項で計算された理論計算結果を載せ、実験結果との比較検討を行った。

幅・吃水比 $B/d = 5$ の状態において、水深・吃水比 H/d をパラメータにとり、Heave, Sway および Roll の付加質量係数および付加慣性モーメント係数を図 2.4.6 ~ 図 2.4.8 に示す。これらの図から Heave の付加質量係数および Roll の付加慣性モーメント係数は IL/d が小さくなると係数が大きくなり、一方 Sway の付加質量係数は $\xi_B = 0.4 \sim 1.0$ の範囲では H/d が小さくなると係数が小さくなるという傾向が実験値および計算値にも見られる。Heave の付加質量係数は、 $\xi_B = 0.3 \sim 1.0$ の範囲で、実験値と計算値とが良く一致している。

なお $H/d = \infty$ のときの $\xi_B = 0.5$ で実験値が計算値よりかなり大きくなっているのは、水槽側壁間に定常波ができたためと思われる。Sway の付加質量係数は $H/d = \infty$ の場合を除けば、全般的に実験値は計算値をおおよそ説明している。 $IL/d = \infty$ の場合の実験値は計算値よりかなり大きくなっているが、これは水槽側壁がないための 3 次元影響と思われる。Roll の付加慣性モーメント係数については実験値が計算値を約 5 ~ 40 % 上まわっているが、傾向的には計算値と同じようになっている。

$H/d = 2$ の状態において、 B/d をパラメータにとり Heave, Sway および Roll の付加質量係数および付加慣性モーメント係数を図 2.4.9 ~ 図 2.4.11 に示す。 B/d が増加すると実験値、計算値とも Heave の付加質量および Roll の付加慣性モーメント係数は増加し、Sway の付加質量係数は減少する傾向にある。いずれの B/d においても Heave の付加質量係数は $\xi_B = 0.3 \sim 1.0$ の範囲では実験値と計算値とは非常に良く一致していることがわかる。Sway の付加質量係数の実験値は計算値より約 10 ~ 50 % 大きいが、定性的には計算値と良い一致を示している。また Roll の付加慣性モーメント係数も実験値は計算値より約 10 % 大き目に出てるが定性的にはほとんど計算値と一致している。

$H/d = 5$ の状態において、 H/d をパラメータにとり Heave, Sway および Roll 運動による発散波振幅比および運動に対する位相差を図 2.4.12 ~ 図 2.4.14 に示す。発散波振幅比は H/d が小さくなると増加する傾向がいずれのモードの場合についても見られる。Heave による発散波振幅比、運動に対する位相差とも実験値は一部を除いて計算値と良く一致している。また Sway および Roll による発散波振幅比、位相差とも実験値は計算値と良い一致を示している。

$H/d = 2$ の状態において、 B/d をパラメータにとり各モードに対する発散波振幅比および位相差を図 2.4.15 ~ 図 2.4.17 に示す。Heave および Roll の場合には B/d が大きくなるに従い発散波振幅比は増加し、また Sway の場合には逆に B/d の増加により発散波は減少する傾向が得られている。 B/d が大きくなると Heave と Roll について実験値が計算値よりも小さくなる傾向にあるが、これは無限水深の場合の安藤らの実験¹⁾の傾向と

も一致している。

また、運動に対する位相差は、いずれの運動モードについても実験値と計算値がよく一致している。

2.4.6 3次元模型試験結果及び考察

一様流中における3次元箱型海洋構造物模型に働く3分力計測は、表2.4.4に示す試験状態に対して行った。

その水槽模型試験時において計測した項目は、図2.4.18に示すように、一様流の流速(V_m m/s)と3次元模型の中央部の中心における3分力すなわちX方向成分力(F_x 、以後X成分力という)、Y方向成分力(F_y 、以後Y成分力という)及びZ軸廻りのモーメント(M_z)である。なお、3次元模型の奥水と水深との関係は図2.4.19に示す通りである。

一様流中における3次元模型に働く3分力を計測した結果は、流速及びフルード数に対してX成分力を図2.4.20～図2.4.24に示し、Y成分力を図2.4.25～図2.4.29に示し、モーメントを図2.4.30と図2.4.31に示す。

なお、各図には、計測値をそのまま示してあるので、 $\alpha = 0^\circ$ でもY成分力がある値を示す場合がある。

これらの計測点に対して、水槽模型試験を実施した流速が比較的遅いことや以後の処理を行うに当って好都合であるなどと勘案して3分力は流速の2乗に比例するものと仮定し、図中に2次曲線を示す。

その結果、今回実施した水槽模型試験の範囲内では、一様流中における3次元模型に働く3分力は大略流速の2乗に比例するものと仮定することが可能であるといえる。

したがって、以後の解釈は、3分力が流速の2乗に比例するものとして求めた2次曲線を用いて3分力をそれぞれ次式にて無次元化した。

$$X\text{成分力係数} (C_x) = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho B \cdot d \cdot V_m^2}$$

$$Y\text{成分力係数} (C_y) = \frac{F_y}{\frac{1}{2} \rho L \cdot d \cdot V_m^2}$$

$$\text{偶力てい } (\ell/L) = \frac{M_z}{L \cdot \sqrt{F_x^2 + F_y^2}}$$

ここで、 F_x : X成分力 (kg)

F_y : Y成分力 (kg)

M_z : Z軸廻りのモーメント (kg-m)

ℓ : モーメントレバー (m)

ρ : 液体の密度 ($\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{sec}^2$)

L : 3次元模型の長さ (m)

B : 幅 (m)

d : 奥水 (m)

V_m : 一様流の流速 (m/sec)

である。

このようにして求めたX成分力係数、Y成分力係数及び偶力ていは、水深や奥水の変化によってどのように変化するかを示した結果を図2.4.32～図2.4.34に示す。

これらの図から、X成分力係数の水深影響を検討すると、水深を浅くしていくと一度大きな値(1.8～2.0)になるが、それ以上水深を浅くすると再び係数は小さくなる傾向を示している。Y成分力係数も同様の傾向を示し、最大値は1.8～2.5程度である。しかしながら、X成分力係数及びY成分力係数ともB/dが変化すると係数の最大

値及び係数が最大となる H/d は変ってしまう。

なお、これまで発表されている Y 成分力係数の浅水影響は、辻らが巨大船で水槽模型試験を行っているが²⁾、
 $H/d = 1.1$ で $C_Y = 4.6$ と水深が浅くなるに伴い C_Y が増加することを示している。この傾向は、3 次元箱型模
型と一般船型との相違があるが、余りにも Y 成分力係数が異なっているといえる。

これは、辻らの実験が曳航試験であるのに対し、今回の水槽模型試験が一様流中における試験であるので、試験
法の相違によるものといえよう。

また、森らも巨大船に作用する流体力の浅水影響について風洞試験を行っているが³⁾、
 $H/d = 1.04$ で $C_Y = 1.92$
 $H/d = 1.2$ で $C_Y = 1.69$ と水深が浅くなるに伴い C_Y が増加することを示している。この実験値と今回の水槽模
型試験結果と比較すると森らの試験では水深が浅くなると C_Y が単調増加であるのに対して、今回の水槽模型試験
では極大値を示す傾向がある。したがって、細部では両者の試験結果は相違しているが、今回の C_Y の最大値と比
較する限りでは、大略浅水時の Y 成分力係数は一致しているといえる。

つぎに、X 成分力係数及び Y 成分力係数の喫水影響を検討すると、両係数とも B/d が順次小さくなるに伴い、
係数は一度大きな値になるが、それ以上 B/d が小さくなると再び小さい値になる傾向を示し、その傾向は総ての
 H/d に対しててもいえそうである。

なお、これまで述べて来た X 成分力係数及び Y 成分力係数は、流入角が真正面 ($\alpha = 0^\circ$) と真横 ($\alpha = 90^\circ$) で
あるため、3 次元模型の幅が変化した場合の X 成分力または Y 成分力の係数ともいえる。

偶力ていの喫水影響は、今回の水槽模型試験の範囲内から判断し、流入角、 H/d 及び B/d に対して定性的な
傾向が認められないが、 $L/L = 0.1$ 以下にとればよいと思われる。

X 成分力係数、Y 成分力係数及び偶力ていの流入角に対する影響を図 2.4.3.5～図 2.4.3.7 に示す。

これらの図から、X 成分力係数は、流入角が 40° 付近で極大値を示し、流入角が 40° 以上になると X 成分力係数は急激に小さくなる。なお、流れに直角な面への 3 次元模型の投影面積で無次元化を行った場合には、流入角が
零度の場合の X 成分力が最大値を示すことになる。Y 成分力係数は、流入角が 0° から 40° までの間で係数が急激
に大きくなるが、流入角が 45° 以上では、 H/d 及び B/d が変化しても緩やかに大きくなる程度である。偶力
ていは、流入角に対しては大略正弦的に変化する傾向を示す。

以上が、今回の水槽模型試験によって得られた 3 次元箱型海洋構造物の一様流中における流れによる 3 分力の流
速、流入角、水深及び喫水などの系統的な変化に対する影響である。しかしながら、以上の成果では、流れによる
3 分力の大略的な傾向の把握に過ぎないので、流れによる 3 分力の推定法を確立する資料としては不十分である。

そこで、一様流中における 3 次元箱型海洋構造物に働く 3 分力の定性的な傾向を究明する目的で、次の様な手法
で考察する。

水槽内に一様流を発生させた場合には、水深方向の流速分布は一般に水槽底面に近づくにつれ急速に流速が低下
する。また、3 次元模型の底面付近においても同様な流速低下が生じる。したがって、3 次元模型と水槽底面との
間隙がある値以下になると流速が低下し、さも 3 次元模型が水槽底面に着底しているのと同じ状態になるものと考
えられる。その様な状態になるのは、3 次元模型の喫水によても相違するので、単純に長さと水深との比 (L/H)
に対して X 成分力係数、Y 成分力係数及び偶力ていを示すと、図 2.4.4.8～図 2.4.4.10 となる。

これらの図から、X 成分力係数及び Y 成分力係数の傾向を求めると、 $L/H = 1.8$ 付近で係数が最大値を示し、そ
の両側では係数が減少していることが分かる。したがって、 B/d や H/d が変化した場合の X 成分力係数及び Y 成
分力係数を推定するには、大水深における係数、 $H/L = 1.8$ における係数及び $H/L = 0$ の構造物が着底した場
合の係数が求められればよいことになる。

また、偶力ていについても、 B/d や H/d が変化しても L/H に対する図にした方がより定性的によく理解

できより。

以上述べて来た成果に基づいて3次元箱型海洋構造物の一様流中における3分力に関する水槽模型試験を行うことが望ましいといえるし、また、最終報告書をまとめるべきであろう。

2.4.7 総 括

浅海域における箱型海洋構造物の運動特性の推算法を確立することを目的とし、2次元及び3次元箱型海洋構造物模型を用いて水深影響を主体にして各種水槽模型試験を行ったが、本研究部会の設立が遅れて本報告書には、中間的な報告にとどまらざるを得なかった。

しかしながら、浅海域における箱型海洋構造物の運動特性を既存の数値計算法よりも精度が向上できる基礎資料が得られたといえる。それは、本報告書に示した水槽模型試験によって次に示す事項が解明されたためである。

(1) 2次元箱型海洋構造物模型による水槽模型試験における成果。

今回行なった水槽模型試験の範囲では、2次元箱型海洋構造物模型に対する浅水域における線型流体力の実験値は、線型理論による計算値とよい一致を示すことがわかった。

(2) 3次元箱型海洋構造物模型による水槽模型試験による成果。

3次元箱型海洋構造物に働く流れによる3分力は、浅海域になんでも深海域の抗力係数及び揚力係数の最大で2～2.5倍程度であり、浅海域において抗力係数及び揚力係数が最大となる水深は長さ・水深比で1.8付近であろう。

なお、水槽模型試験関係の本報告書は、中間的なものであり、最終的な報告書は、昭和55年度にまとめて報告することとする。

参 考 文 献

- 1) 安藤定雄他；2次元箱型模型船の強制動揺試験、その1減衰係数について。
第18回船研研究発表会講演概要、1971.
- 2) 辻 敦次他；斜航する船体に働く水圧力について、船舶技術研究所報告第6巻、第5号、1969.
- 3) 森 信篤他；船体に作用する流体力の浅水影響に関する風洞試験、第26回船研研究発表会講演集、1975.

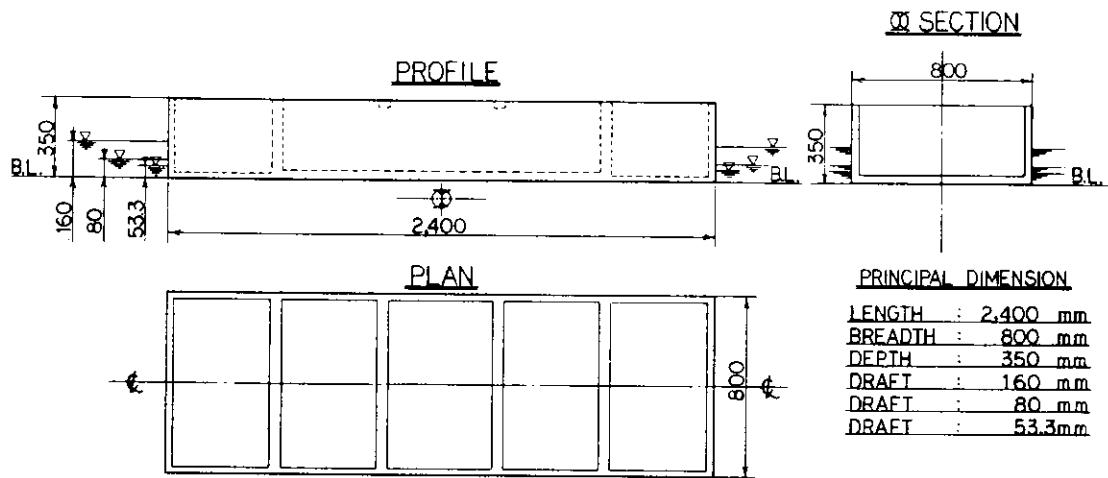


図 2.4.1 2次元箱型海洋構造物模型 (M 2 C) の概要図

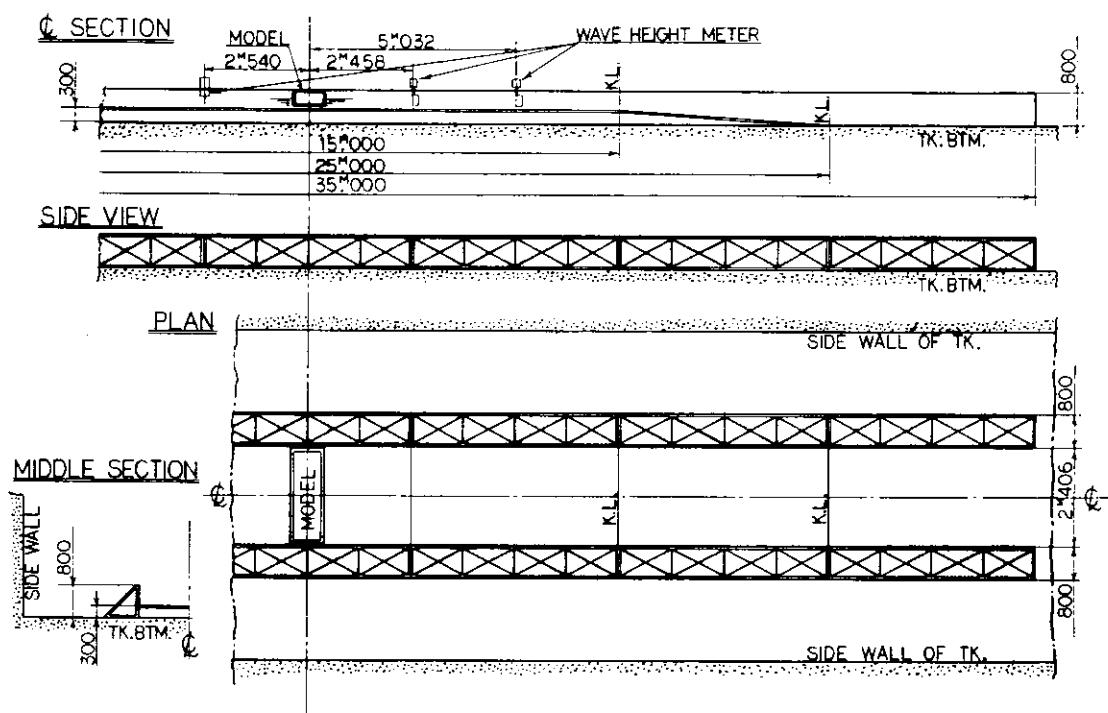


図 2.4.2 浅水用水路の概要図

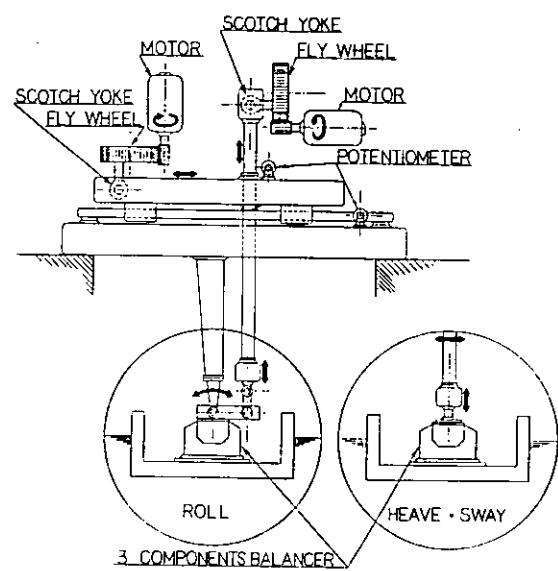


図 2.4.3 強制動揺装置の概要図

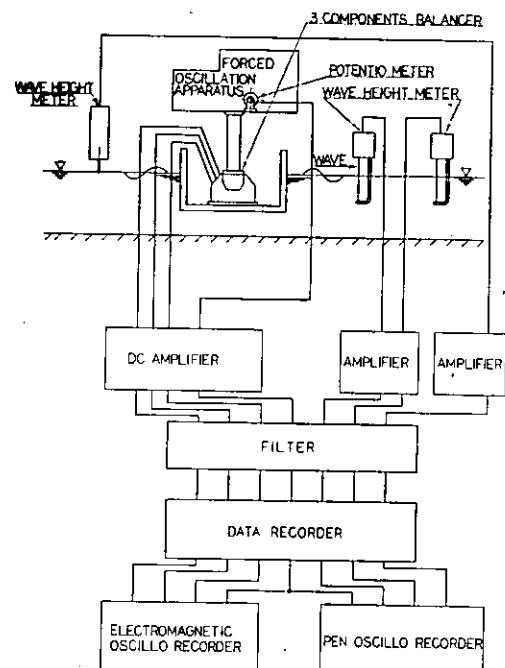


図 2.4.4 試験計測システムの流れ図

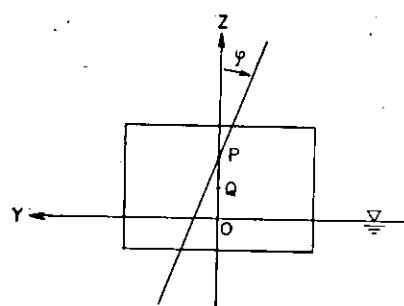


図 2.4.5 強制横揺れ時の座標系

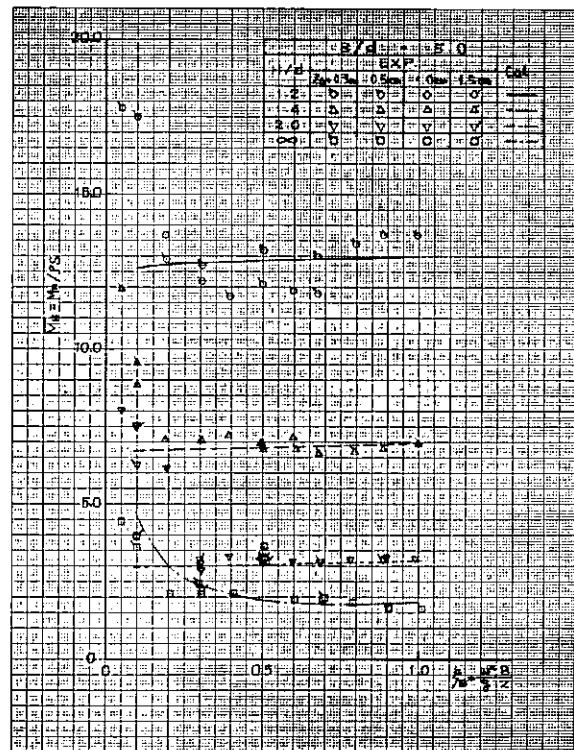


図 2.4.6 HEAVE の付加質量係数

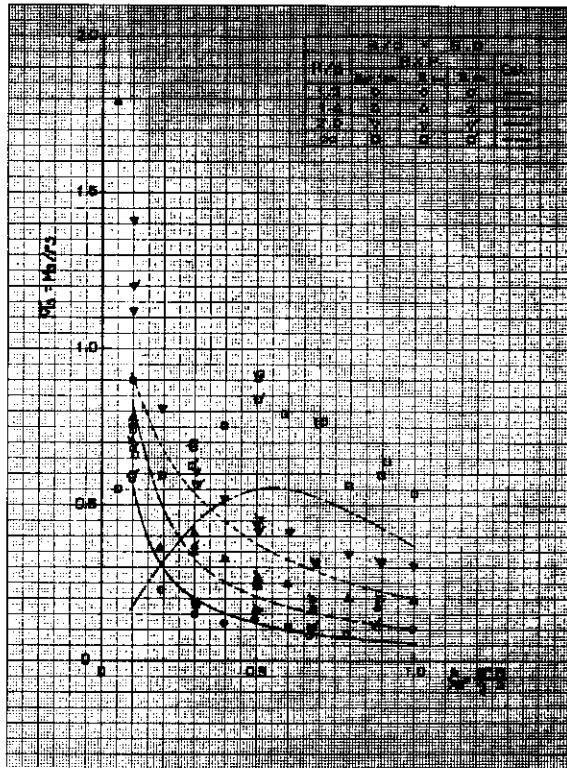


図 2.4.7 SWAY の付加質量係数

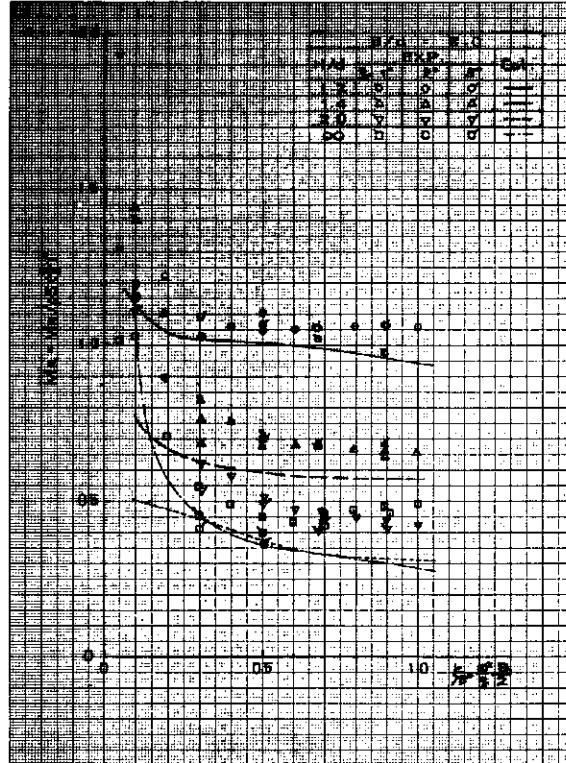


図 2.4.8 ROLL の付加慣性モーメント係数

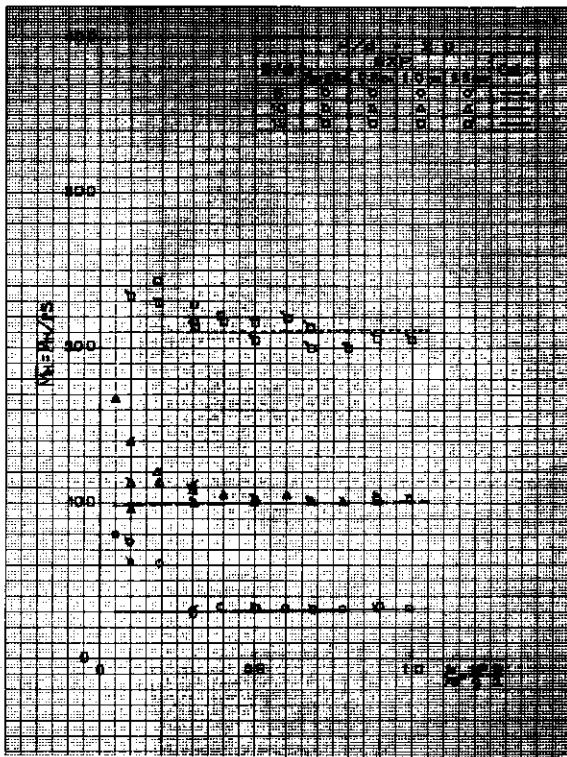


図 2.4.9 HEAVE の付加質量係数

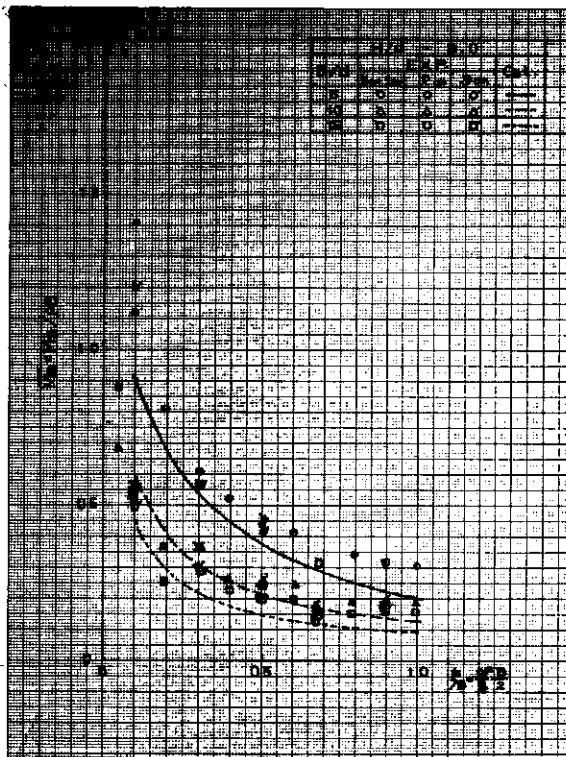


図 2.4.10 SWAY の付加質量係数

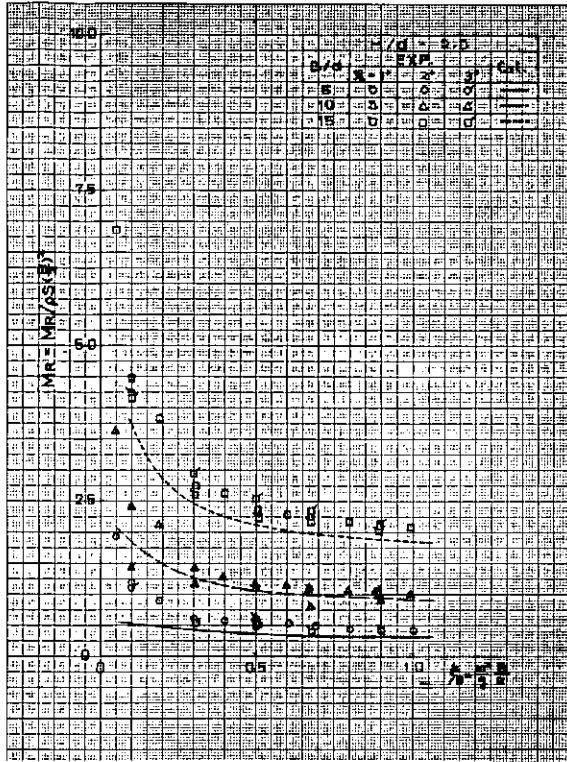


図 2.4.11 ROLL の付加慣性モーメント係数

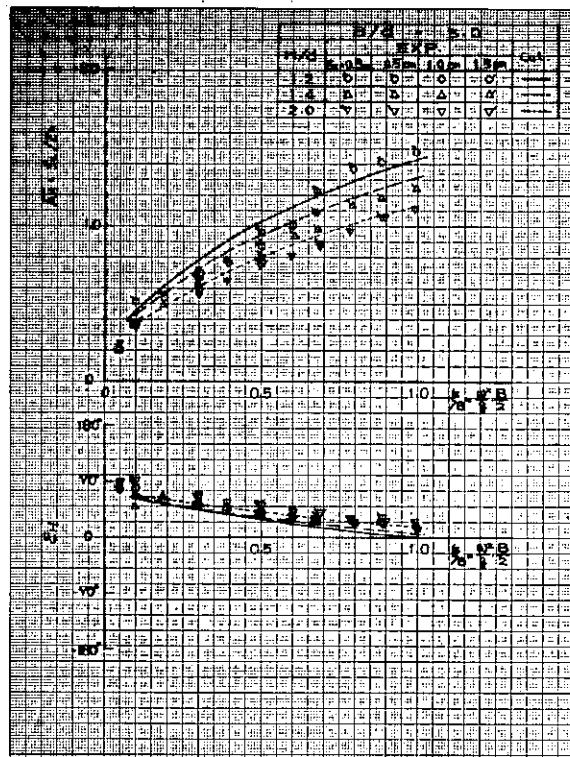


図 2.4.12 HEAVE の発散波振幅比および位相差

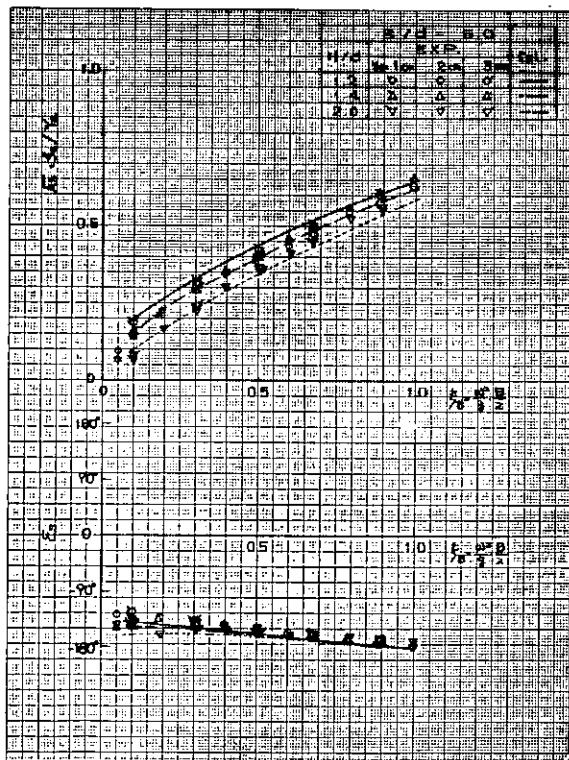


図 2.4.13 SWAY の発散流振幅比および位相差

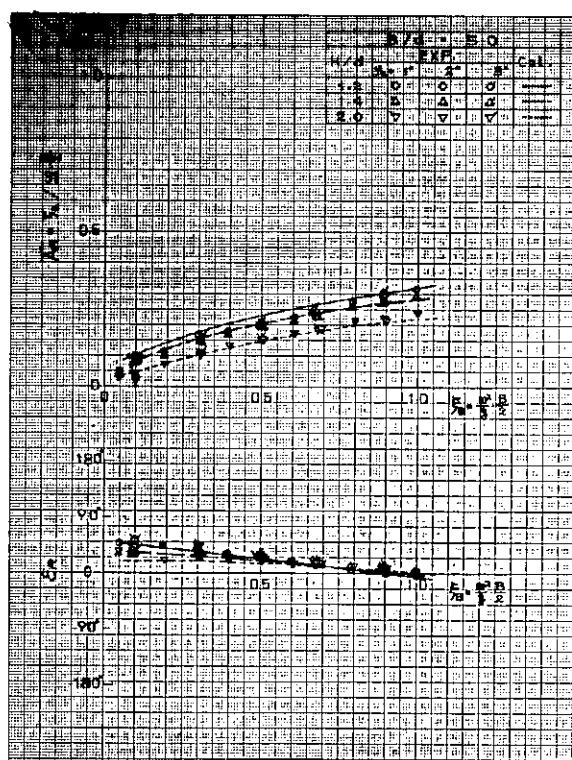


図 2.4.14 ROLL の発散波振幅比および位相差

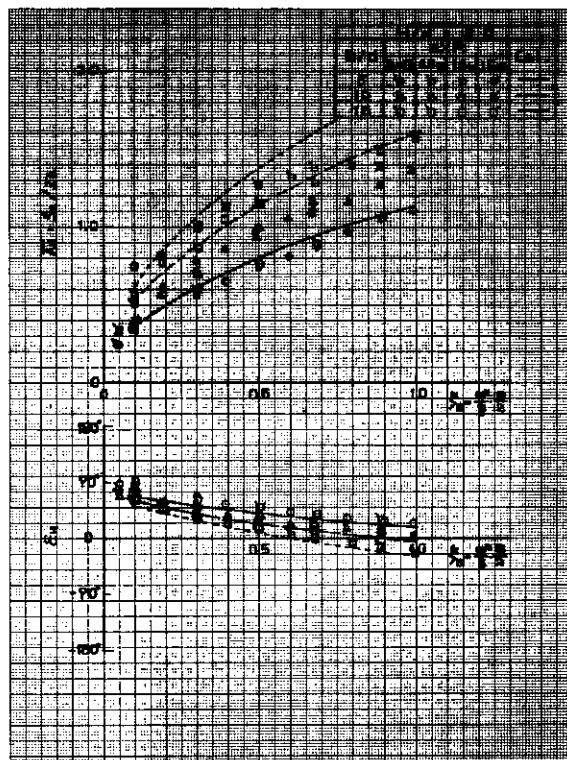


図 2.4.15 HEAVE の発散波振幅比および位相差

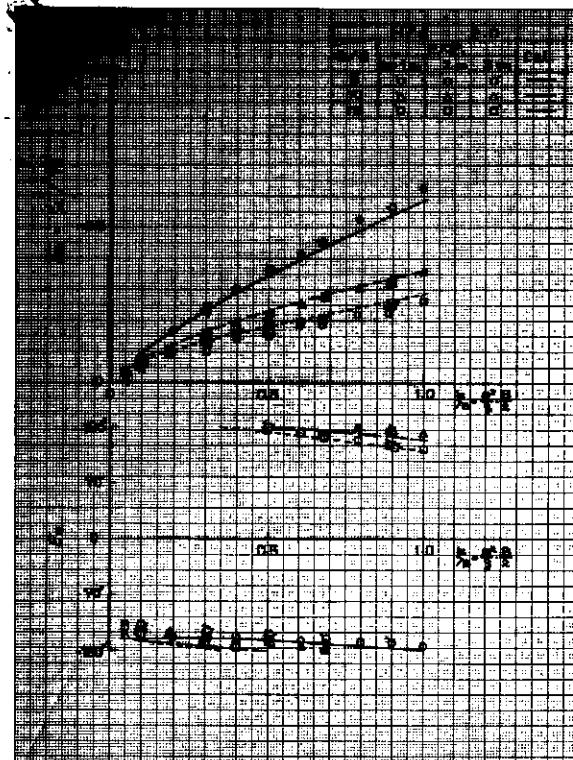


図 2.4.16 SWAY の発散波振幅比および位相差

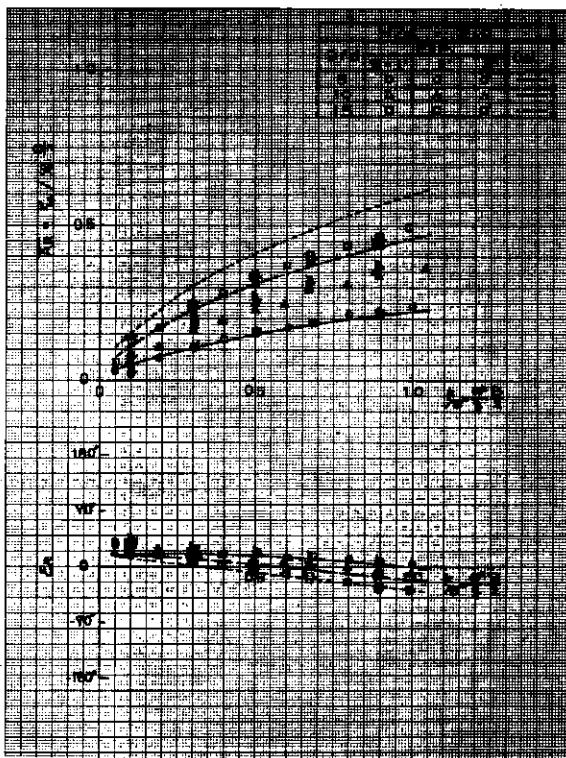


図 2.4.17 ROLL の発散波振幅比および位相差

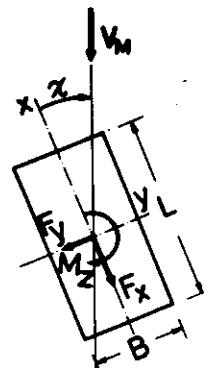


図 2.4.18 3 次元箱型海洋構造物模型に働く流れによる
3 分力の概要図

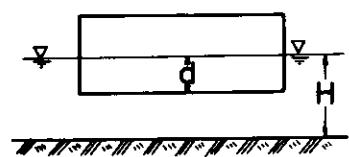


図 2.4.19 3 次元箱型海洋構造物模型の水槽模型試験時の
奥水と水深との関係

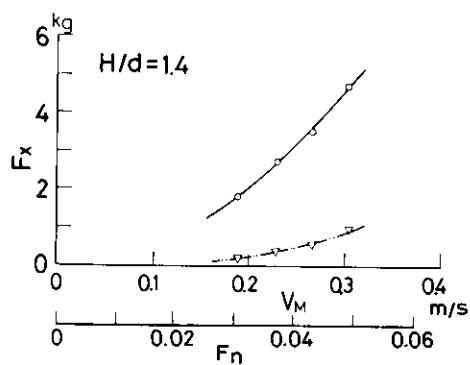
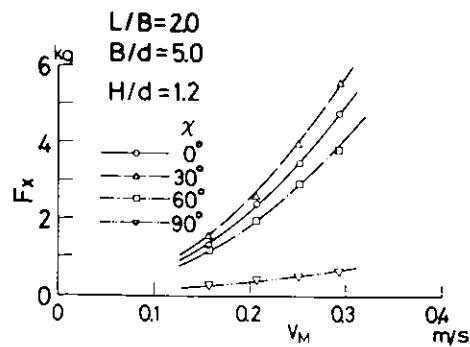


図 2.4.20 X成分力 ($B/d = 5$, $H/d = 1.2, 1.4$)

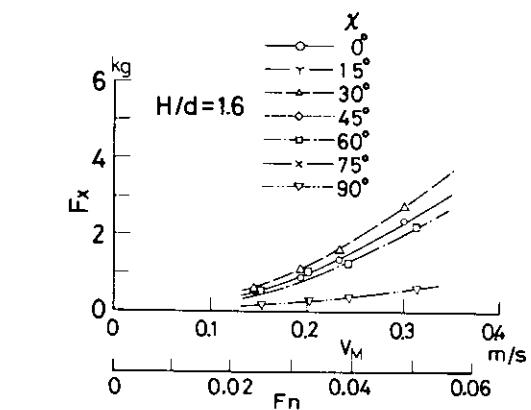
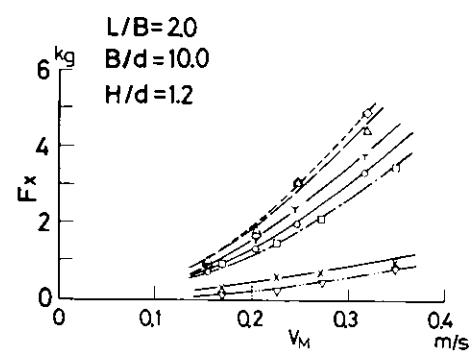


図 2.4.21 X成分力 ($B/d = 10$, $H/d = 1.2, 1.4$)

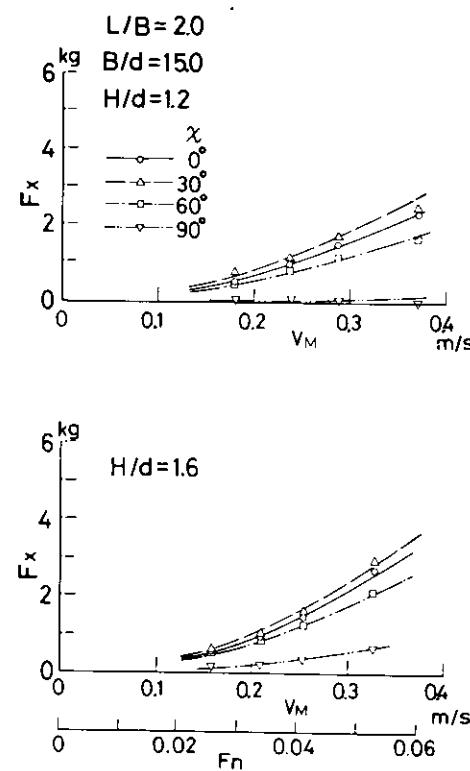


図 2.4.22 X成分力 ($B/d = 15$, $H/d = 1.2, 1.4$)

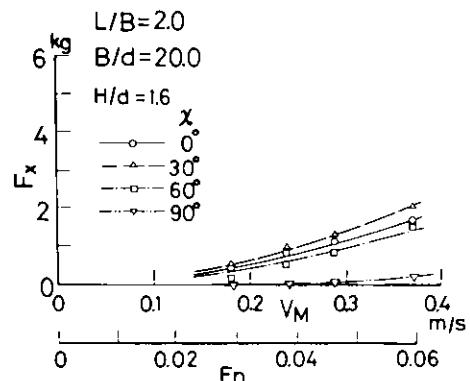


図 2.4.23 X成分力 ($B/d = 20$, $H/d = 1.6$)

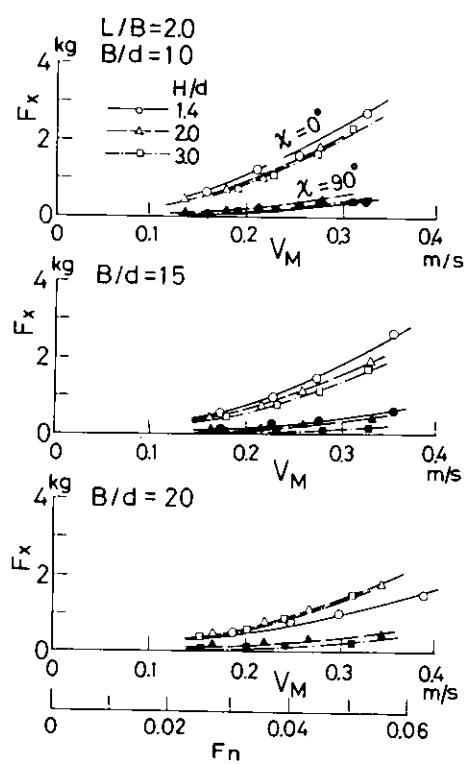


図 2.4.24 X成分力 ($H/d = 1.4, 2.0, 3.0$,
 $B/d = 10, 15, 20$)

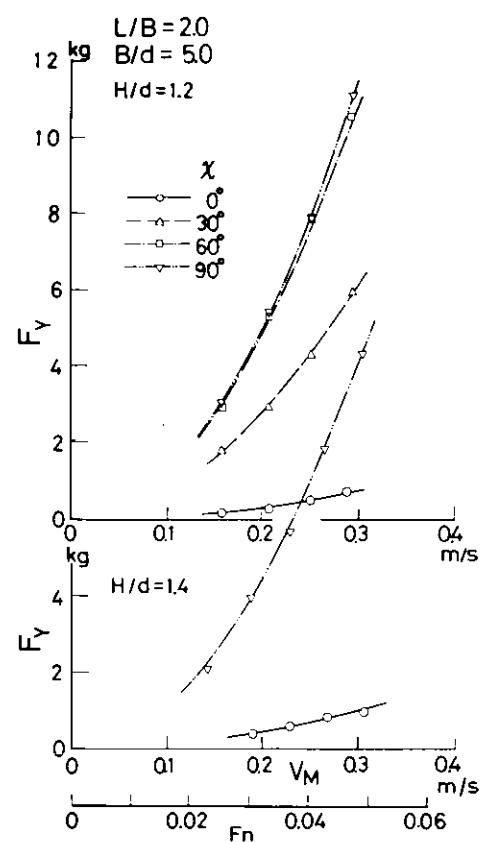


図 2.4.25 Y成分力 ($B/d = 5$, $H/d = 1.2, 1.6$)

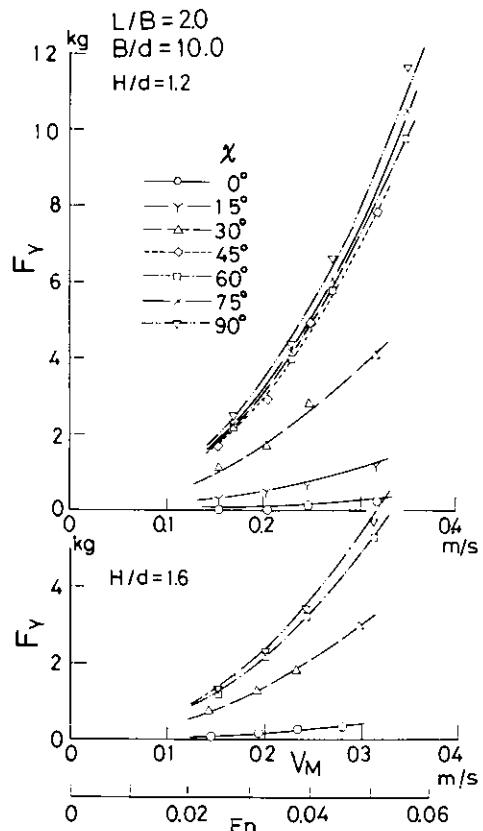


図 2.4.26 Y成分力 ($B/d = 10$, $H/d = 1.2, 1.6$)

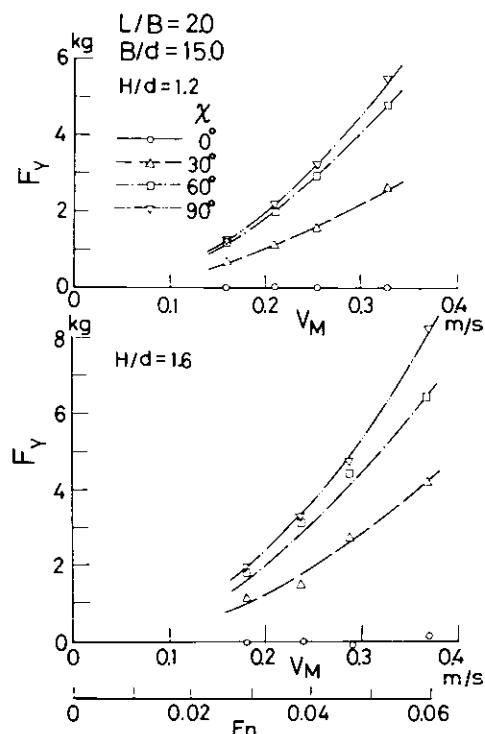


図 2.4.27 Y成分力 ($B/d = 15$, $H/d = 1.2, 1.6$)

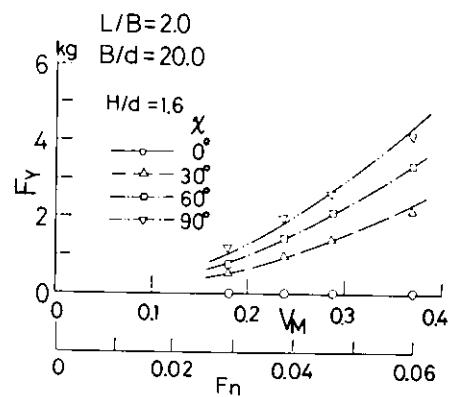


図 2.4.28 Y成分力 ($B/d = 20$, $H/d = 1.6$)

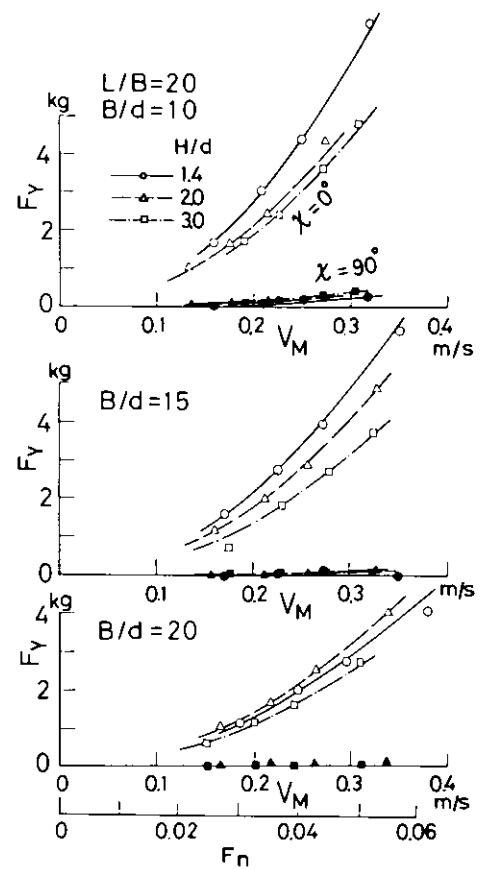


図 2.4.29 Y成分力 ($H/d = 1.4, 2.0, 3.0$, $B/d = 10, 15, 20$)

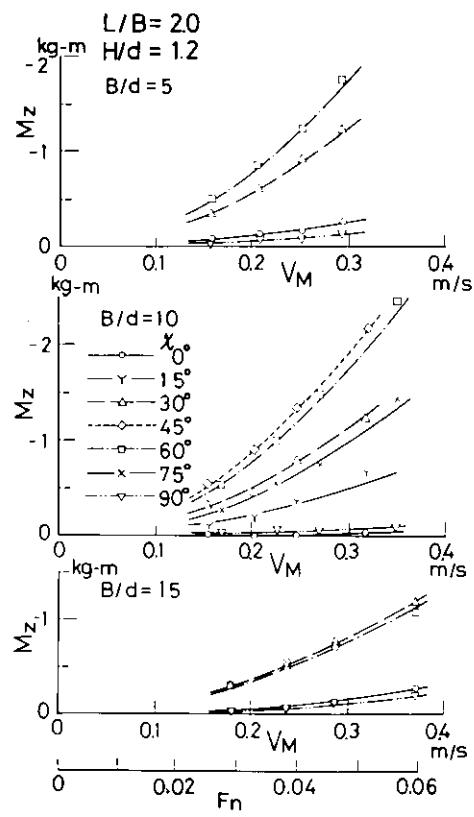
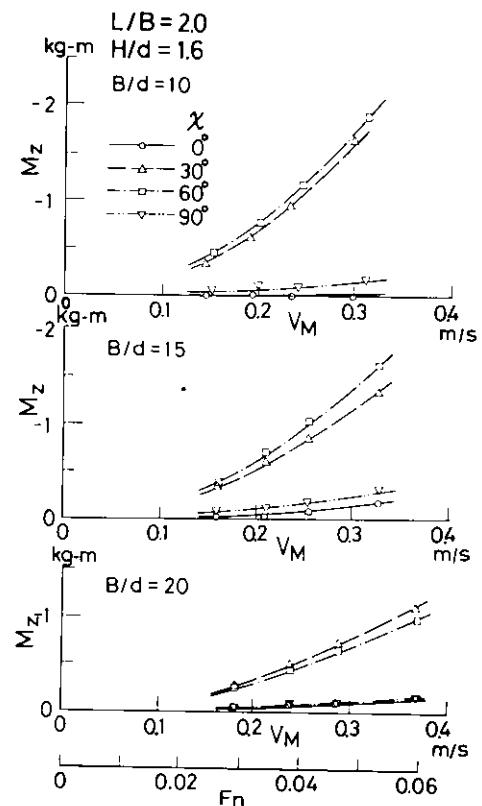


図 2.4.30 モーメント ($H/d = 1.2, B/d = 5, 10, 15$)



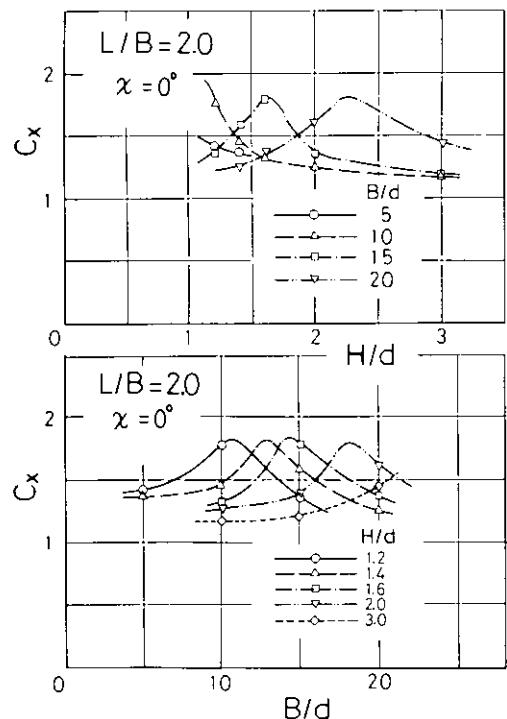


図 2.4.32 X成分力係数の H/d 及び B/d 影響

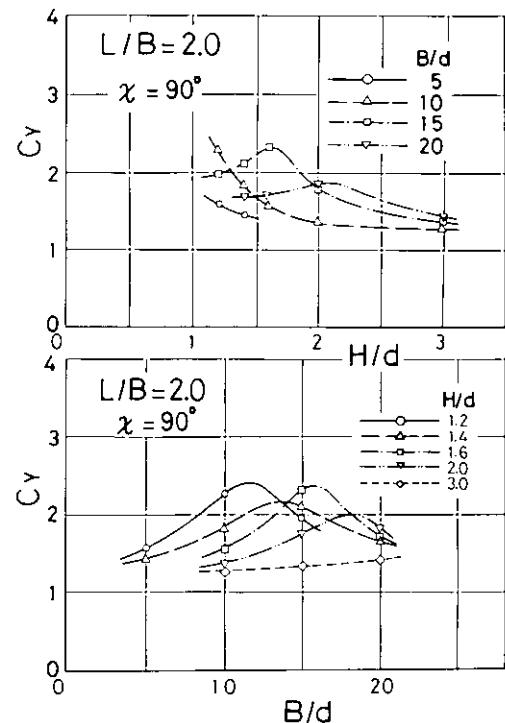


図 2.4.33 Y成分力係数の H/d 及び B/d 影響

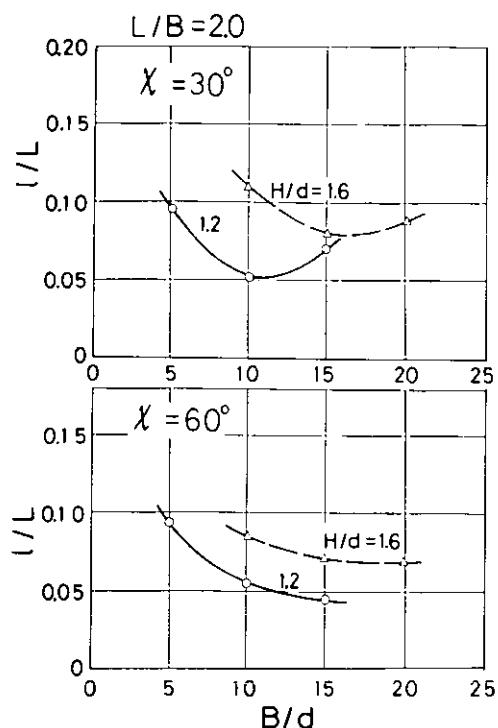


図 2.4.34 偶力ていの B/d 影響

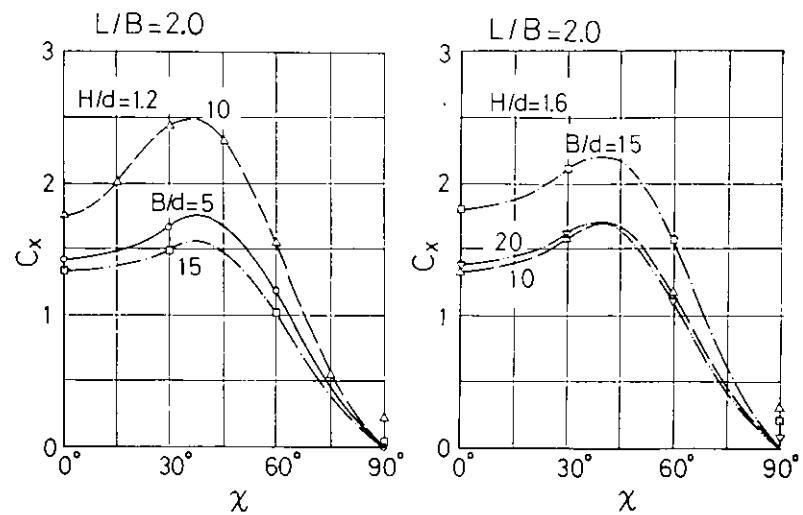


図 2.4.35 X成分力係数の流入角影響

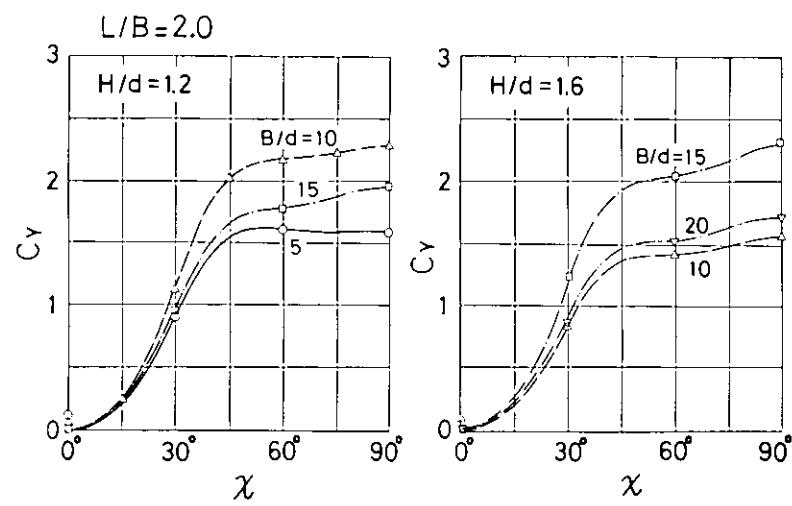


図 2.4.36 Y 成分力係数の流入角影響

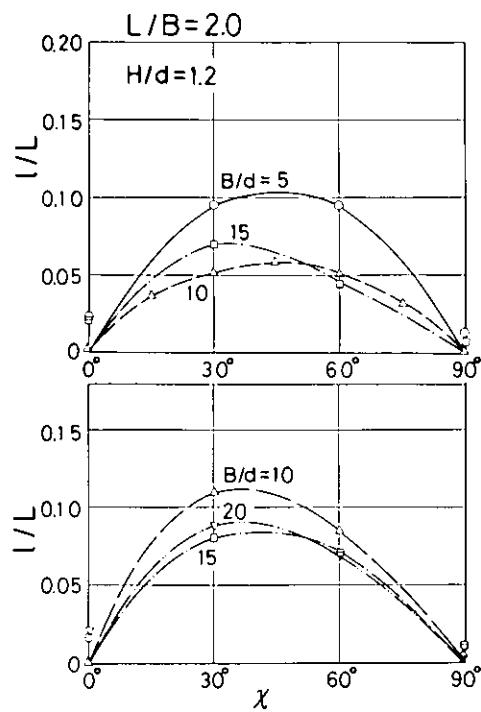


図 2.4.37 偶力ていの流入角影響

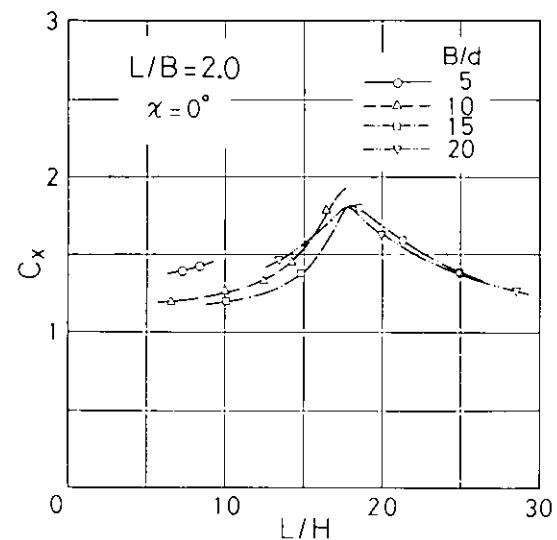


図 2.4.38 X 成分力係数の水深影響

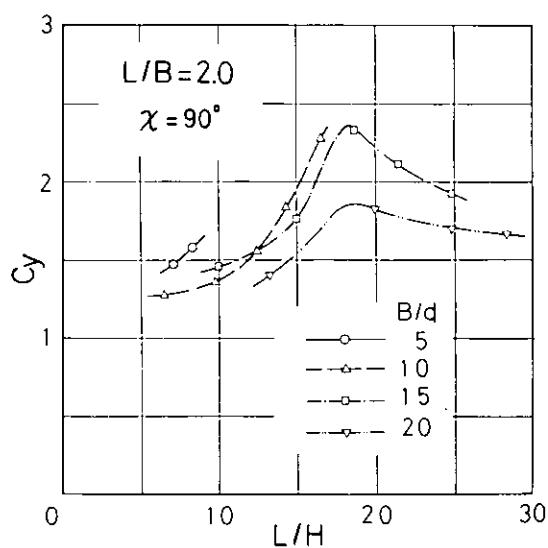


図 2.4.39 Y 成分力係数の水深影響

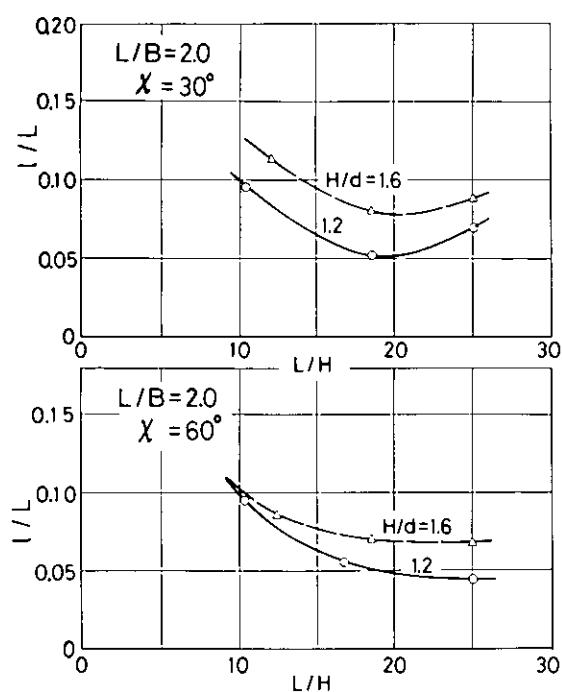


図 2.4.40 偶力ていの水深影響

第3章 箱型海洋構造物の係留システムの研究

係留システムの研究の経緯ならびに現状の把握と、今後の研究課題の探索のため、文献を調査し、取まとめた。尚、係留システムを索・鎖係留とドルフィン係留の2方式に分けて、夫々調査した。

3.1 索・鎖 係留方式

3.1.1 文献調査

索・鎖係留の文献を調べ、内容を次の5項目に分類し、概要を述べるとともに、文献一覧表（表3.1.1）を作成した。

(1) 係留方式と運動特性

浅海域においては索鎖の長さが十分にとれないので、カテナリー特性のみに頼った一般の係留方式をとると、索鎖の重量が現実ばなれ大きなものになる。そこで、中間ブイや中間シンカーを伴う係留方式が良いとされているが、ドルフィン係留に比べて水平移動量は格段に大きくなる。中間ブイ、シンカーフォークの多点係留の実験には、文献(2)、(3)、(6)がある。また、一点係留方式も考えられ、文献(29)、(30)などがあるが、浅海域の箱型海洋構造物を対象にしたものはないようである。

理論計算法としては、カテナリー解をはじめ要素分割法などがあるが、中間ブイやシンカーを含む係留ラインには要素分割法が適している。なお、表3.2.2に過去に公表された中間ブイ・シンカー付の実験の概要をまとめた。

(2) 索鎖振動問題

索鎖の強制動搖実験を行うと、索鎖はその固有周期およびそれより短周期側で波動振動が起きることが知られている。このとき、係留張力は静的理論値に比べて大きくなり得る。しかし、索鎖のみをとりあげるのではなく、係留される海洋構造物を含めた全体係留システムで考えると、海洋構造物の運動周期と索鎖の固有周期との関係が問題となり、強制動搖実験における振動と実機係留システムにおける振動との対応づけが望まれる。

(3) Slow Drift Oscillation

Slow Drift Oscillationに関する文献は国内、国外に比較的多くある。文献(19)、(23)は海洋構造物の最大水平変位と係留索の最大張力の推定法についても触れており、係留システムの設計に有用であろう。

(4) アンカーの把駐力

アンカーの把駐力をることは、係留システムの設計上重要なことである。文献(28)には、さらに多くの文献が紹介されており、参考になる。

(5) 索・鎖の諸特性（疲労、腐食など）、その他

索鎖の疲労、腐食、摩耗に関する文献は少なく、今後の研究に待つところが大きい。

3.1.2 究明すべき課題

浮遊式海洋構造物の索鎖係留システムに関する文献を調査した結果、浅海域における浮遊式海洋構造物の索鎖係留システムに関してみると、わずかに、日本海洋開発産業協会で行った一連の「石油の海洋備蓄システムの開発調査報告書（昭和49年度～52年度）」があるにすぎない。ことに、浅海域における一点係留方式に関する文献は皆無に近い。従って、今後の課題としては、一点係留方式も含めて、浅海域を対象とした係留システムの基礎実験および理論解析等による運動特性の研究の蓄積が重要課題となってくる。わけても、前述の文献が2次元問題にとどまっていることから、3次元の実験および運動特性の推定法の確立は意義あるものとなるであろう。

このほかにも、索鎖の振動、疲労、腐食など、浅海域に限らぬ一般的な究明課題も多々あるが、まずは、最も基本的な設計条件となる係留された海洋構造物に働く外力の浅海域影響の調査研究が行なわれる必要がある。

表 3.1.1 海洋構造物における係留方式の文献リスト

内容内分類

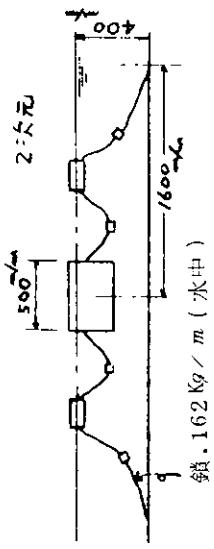
(1) 係留方式と運動特性
(2) 係留振動問題
(3) Slow Drift Oscillation
(4) アンカー把繩力
(5) 係留諸特性

番号	文 獻	著 者	出 典	内 容			備 考
				(1)	(2)	(3)	
1	フローティングタンクの海洋構造システムの耐風調査 の外力及び運動特性に関する実験報告書		J OIA (注) S. 4 9/3	○			H/d = 1.6, 3.9
2	タンク係留方式の開発に伴う荷重と運動に関する実験	上	J OIA (注) S. 5 1/3	○			H/d = 1.25, 3.33
3	中間ブイ方式による大型タンクの係留システムに関する実験	同 上	J OIA (注) S. 5 2/3	○	○		H/d = 1.6, 6
4	大型浮遊海洋構造物の調査研究事業報告書		日本船舶開発 S. 4 8/3	○			△ H/d = 2.2~3.8 L/B = 1.0~1.27, 3次元
5	[同]	上	同 S. 4 9/3	○	○		H/d = 2.5
6	[同]	上	同 S. 5 0/3	○	○		H/d = 5
7	[同]	上	同 S. 5 1/3	○	○		3次元アリ H/d = 5
8	フローティングタイブ総合設計指針(案)		J OIA (注) S. 5 4/3	○			
9	浮遊式海洋構造物の係留解説法		片山正敏 三葉技報 Vol. 13 No. 4	○			
10	Table for Computing the Equilibrium Configuration of a Flexible Cable in a Uniform Stream	Pode, L.	Rept. 687 (AD607448) March' 51 PTMB		○		
11	The Analysis of Mooring Lines	Chang P.Y. Pilkley W.D.	OTC-1502 1971		○		
12	係留用Rope(又はChain)に関する諸問題	渡辺憲弘	九大応力研究所No.37'72		○		
13	二点支持懸吊線とそのバネ定数	桑野研一	西部造船部会 '68	○			
14	横波中ににおける係留浮体の動揺と係留ライン張力	井上義行	IHI技術 Vol. 17 No. 5	○	○		

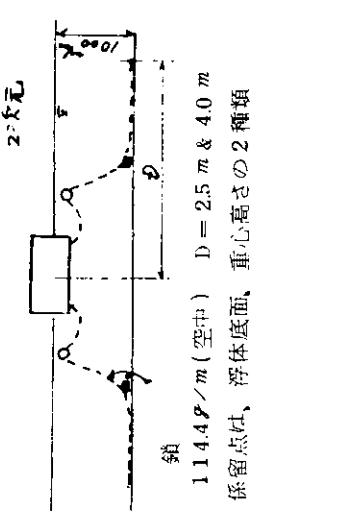
番号	文 獻	著 者	出 典	内 容			備 考
				(1)	(2)	(3)	
1.5	Dynamics of Deep Sea Mooring Lines	Ried R.O.	Final Rep. 7'68 A & M Univ.	○	○	○	
1.6	係留浮体の運動と係留鎖張力について	小寺山 亘	西脇 53号	○	○	○	
1.7	係留浮体の運動と係留索の張力に関する研究	庄司 邦昭	船論 138号	○	○	○	
1.8	係留索鎖の運動及び張力(その2) -鎖単独の流体力と係留力-	安藤 定雄	24回船研講演'74			○	
1.9	不規則波中の係留浮体の運動に関する研究	新井 信一 沢川 船論 140号			○	○	
2.0	係留浮体の長周期漂流に関する一実験	中村 彰一 沢川 関西S51. 12月			○	○	
2.1	Low Frequency Phenomena Associated with Vessels Moored at Sea	Pionkster, J.A. Soc. of Petro. Eng., of AIME No. 4837 ('74)			○	○	
2.2	横波中における係留浮体の長周期運動(その1)	井上 瑞行	船論 14-3号		○	○	
2.3	同 上 (その2)	同 上	船論 14-4号		○	○	
2.4	アンカーの把駐力の比較研究		防衛厅技研報告 682号		○	○	
2.5	船舶の係留の安全性に関する調査研究報告書		日海防港小委 S. 4-4-4.5		○	○	
2.6	锚の動的把駐特性に関する実験研究	鞠谷 宏士	航海学会誌 40号 (S . 4 . 3)		○	○	
2.7	係留問題を中心とした実験について	同 上	第2回海工シンポジウム	○	○	○	
2.8	係留索・鎖、アンカー、シンカー等について	安藤 定雄	同 上	○	○	○	

番 号	文 獻	著 者	出 典	内 容					備 考
				(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	
29	Theoretical Analysis of Single Point Mooring Behavior	D.G. Owen B.T. Linfoot	SNAME (1977)	○					
30	Design Criteria for Single Point Mooring Terminals	J.M. Langeveld	Proc Amer Soc. Civil Eng., 74	○					
31	The Role of Model Tests in Design of Single Point Mooring Terminals	J.A. Pinkster & F.M. Romery	OTC 2212 1975	○					

表 3.2.2 中間パイ、中間シンカー付係留実験一覧表

文 獻	(出 港 港 埠)	$m_l \times B \times d \times H$	m_B/d	H/d	波条件	ブ イ	シンカ ー	備 考
石油の海洋備蓄 システムの開発調査 中間パイ方式による 大型タンクの係留システムに関する実験 報告書	(JOIA S.52/3)	2.47 × 5 × 25 × 4	2	1.6	規則波 9.0°	円筒形 × 2種 球形 山錐形	$S_1: 974 \text{ Kg}$ $S_2: 479 \text{ Kg}$ $S_3: 227 \text{ Kg}$ (水中重量)	 鎖・16.2 Kg/m (水中)
水平初期張力を 0.5 Kg と 1.0 Kg に変えてブイ、シンカーの組合せ 7種類について行う。								
石油の海洋備蓄 システムの技術検討に関する 調査 タンクの係留方式の 開発に伴う 荷重と運動に関する 実験報告書	(JOIA S.51/3)	2.47 × 5 × 25 × 1.5	2	6	同上	不規則波 9.0°	円錐形	$S_1(\text{タンク側})$ $S_2(\text{シンカー側})$ $H_{1/3}: 4.52 \text{ cm}$ & 7.06 cm $T: 0.863 \text{ sec}$ & 0.987 sec
水平初期張力を 0.5 Kg と 1.0 Kg に変えて、ブイ、シンカーの組合せ 3種類について行う。水深は 5m・7m の 2種類								
- 68 -								

(注) JOIA ……社団法人 日本海洋開発産業協会

文 献	著 者 (出 典)	$m_L \times m_B \times m_H$	B/d	H/d	波条件	ブ イ	シンカ一	備 考
大型浮遊式 海洋構造物の調査研究 事業報告書 S. 50/3)	(日本船用機器 開発協会 (箱)	$0.8\phi \times 0.2 \times 1.0$ (円筒)	4	5	規則波 90°	球形 $(100 \frac{m}{m} \phi)$	$0.5 K_g$ (水中重 $F_{\text{浮}}^g$)	 1.14.4 ϕ/m (空中) $D = 2.5 \text{ m} \& 4.0 \text{ m}$ 係留点は、浮体底面、重心高さの 2 種類

水平初期張力を $0.3 K_g$ と $1.0 K_g$ に変えて
ブイのみ、シンカ一のみ、両用の 3 種類について行う。

3.2 ドルフィン・フェンダー係留方式

3.2.1 文 献 調 査

ドルフィン係留方式に関する文献の数は、他係留方式に比して非常に少ない。従って内容別分類することなく、個々に調査結果を要約した。調査文献リストを表3.2.1に、調査文献の内容要約を表3.2.2に示す。

3.2.2 究明すべき課題

(1) ドルフィン係留系に及ぼす浅海影響

ドルフィン係留系は浅海域に設けられるのが通常であるが、特に浅海影響の詳細研究が少ない。

(2) ドルフィン係留系の係留能力(エネルギー吸収能力)と限界設計条件との関係

ドルフィン係留の設計基準が例えばフェンダー重量で与えられるとすると、その値の設定が必要となる。浮体の大きさ、フェンダー数と配置限界海象等との関係を求める。

(3) シミュレーション計算法の確立

ドルフィン係留は非線型性が強い。従ってシミュレーション計算法を確立し、種々な外力条件下における浮体の挙動と係留力を十分調査し、総合的判断にもとづき設計を行えるようにする。そのためには実験的検証も必要となる。

(4) 流体力データおよび推定法の整備

シミュレーション計算のためのデータ整備として、特に潮流力、変動風力、波漂流力などのデータ整備と推定法を必要とする。

表 3.2.1 調査文献リスト

番号	著 者	表 题	出 典
1	日本造船研究協会	SR155研究部会 巨大タンカーの係船システムの研究	日本造船研究協会 研究資料 251(51-3) 269(52-3)
2	本田啓之輔、松本哲、井上欣三	接岸避泊に関する模型実験	日本航海学会誌 57号、52-8
3	杉浦正憲、新井信一、山本 茂	非対称なバネ特性を持つ係留浮体の運動	第4回海洋工学シンポジウム 54-2
4	井 上 義 行	ドルフィン係留の係留力に関する研究	第4回海洋工学シンポジウム 54-2
5	井上義行、山岸直人	ドルフィン係留時の浮体運動と係留力に関する研究	石川島播磨技報 第19巻、6号、54-11
6	運輸省 船舶技術研究所	関西国際空港計画に係わる浮体工法の評価のための調査報告書(第五章)	日本造船工業会海上空港技術部会、日本造船研究協会
7	島田博之、岡部利正、藤井 斎、渡部洋八郎、村尾尚文	浅海浮上式備蓄タンクの係留に関する研究(その1)	西部造船会会報 第58号 54-8
8	珠久正憲、島田博之、藤井 斎、豊田昭三、池上国広、安藤裕昭	浅海浮上式備蓄タンクの係留に関する研究 (非線形数学モデルによる数値シミュレーション)	日本造船学会論文集 第146号 54-12
9	G. van Oortmerssen	The Birthing of a Large Tanker to a Jetty	OTC 1974 Paper No. OTC2100

表 3.2.2 調査文献要約

表題	概要	実験	計算
SR155 巨大タンカーの係船 システムの研究	波浪中、ドルフィンに係留中の 船体の運動を求める、船体の変位に 伴う索の張力変化を計算する。		<p>係留浮体： 25, 45, 70, 100 万トンタンカー</p> <p>運動方程式： 6 自由度</p> <p>係留索の復原力を復原項に含める。</p> <p>フェンダー反力は類型バネで置き換える。</p> <p>ドルフィンの応答は考慮しない。</p> <p>外力： 波浪外力（波向 0 ~ 15°）</p> <p>変動風圧（風向 60°, 90°）</p> <p>流体力係数： 特異点分布法を用い 2 次元 radiation 問題を解いて求めめる。</p> <p>計算： 6 元 2 次微分方程式を 12 元連立一次方程式化 変換して解を求める。</p>
接岸避泊に関する模型実験	模型： 2.300 ^m _{pp} × 0.326 ^m × 0.180 ^m (縮尺 1/50) 実験条件： 波高 0.5 ^m , 1.0 ^m , 1.5 ^m (実船換算) 波長 L _{pp} の 0.5, 1.0 波向 0° ~ 90° (真横)	<p>係留浮体： 115.0^m_{pp} × 1.63^m × 9.0^m (貨物船)</p> <p>運動方程式： 6 自由度</p> <p>係留索の復原力、フェンダー復原力は、線型バネと して復原項へ含める。</p> <p>波浪外力： FK 力と diffraction 力を考慮する。</p> <p>漂流力： 無視する</p> <p>計算： 荒天対策型係留法につき SR155 のプログラム を使って計算</p>	

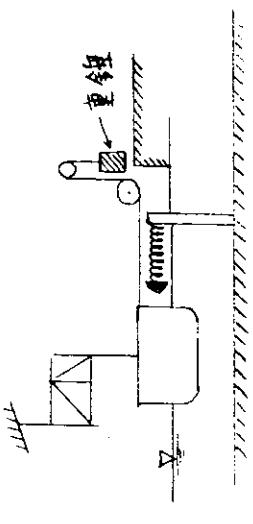
表題	概要	実験	計算
非対称なバネ特性を持つ 係留浮体の運動	フェンダー付ドルフィンと系鎖 で係留浮体につき力学モデルの数 値シミュレーションを実施した。	<p>係留浮体： 3.970 m × 82.0 m × 24.3 m × 22.0 m (吃水)</p> <p>運動方程式： 3自由度</p> <p>外力： 波強制力 チーン、フェンダーの復原力 風、潮流(一定力)</p> <p>計算の種類</p> <p>規則波中： 波周期8秒 波高0.75 m, 2.0 m, 3.0 m</p> <p>不規則波中： 波周期8秒、波高2.0 m の I.S.S.C の スペクトル</p>	<p>係留浮体の形状</p> <p>計算： R.K.G*法</p>
ドルフィン係留の係留力に 関する研究	係留復原力が系鎖係留などと異なる ためて生ずる特異な波浪中動搖につき 水槽実験とコンピューターシミュ レーションを実施した。	<p>模型： 2.47 m × 0.5 m × 0.35 m × 0.25 m (吃水)</p> <p>実験の種類： 真横規則波中2次元実験</p> <p>係留付 sway 方向のみのバネ係留</p> <p>実験条件： 係留復原力特性 A, B 2種類</p> <p>波高 2 cm, 3 cm, 4 cm, 5 cm</p> <p>ξ_B 0.2～0.3</p> <p>計測項目： sway, heave, roll, 入射波, 透過波,</p> <p>係留反力</p>	<p>係留浮体： 同上</p> <p>運動方程式： 3自由度</p> <p>外力： 波強制力、波漂流力 係留復原力特性： A, B</p> <p>流体力学係数： 入射波と同周期で求める。</p> <p>計算： R.K.G法</p> <p>係留復原力特性</p>

表 題	概 要	実 験	計 算
ドルフィン係留時の浮体運動と係留力に関する研究	<p>ドルフィンに係留された浮体の波浪中動揺と係留復原力についての実験および理論計算を行なった。前記文献に係留特性に不感帶のある場合の検討を加え、より一般化した。</p> <p>模型： $2.47m \times 0.5m \times 0.35m \times 0.25m$ (吃水)</p> <p>実験の種類： 真横規則波中 2 次元実験</p> <p>係留は sway 方向のみのバネ係留</p> <p>実験条件： 係留復原力特性 A, B, C 3 種</p> <p>波高： $2cm, 3cm, 4cm, 5cm$</p> <p>$\xi_B : 0.2 \sim 0.3$</p> <p>計測項目： sway, heave, roll 入射波 透過波, 係留復原力</p>	<p>係留復原力特性</p>	<p>係留浮体： 同左</p> <p>運動方程式： 3 自由度</p> <p>外力： 波強制力、波漂流力</p> <p>係留復原力特性： A, B, C</p> <p>流体力係数： 入射波と同周波数で求めた</p> <p>計算： R, K, G 法</p>
関西国際空港計画に係わる浮体工法の評価のための調査 第 5 章	<p>設定環境下での浮体空港モデルの挙動を明らかにするための理論計算による推定法を検討、実験検証した。</p> <p>要素浮体の強制動搖試験 $1/16$ モデル</p> <p>多列多行の要素浮体による波強制力、波漂流力を求める模型実験</p> <p>風抗力：円柱群の風洞実験</p> <p>潮流力：水槽実験</p> <p>自由浮体の挙動の実験的検証</p> <p>係留特性は非線形性を可能限りシミュレート。</p>	<p>要素浮体</p>	<p>要素浮体に作用する上下力による挙動と水平力による挙動に分けて計算</p> <p>規則波中：</p> <p>係留特性は実験時の特性を線形化</p> <p>不規則波中：</p> <p>係留特性は実験に用いた非線形特性をそのまま用いた</p> <p>計算は R, K, G 法によつた。</p>

表題	概要	実験	計算
浅海浮上式備蓄タンクの係留に関する研究(その1)	<p>貯油センター建設候補地における風、波浪、潮流などにもとづく設計外力のうち、タンク船に働く風荷重、特に変動風荷重に対して係留計画の初期段階で実施されたマクロ的な解析法を示した。係留方式は定反力型フェンダーを用いたドルフィン係留</p>	<p>係留浮体：390m×97m×26m×14.2m(半載吃水) 計算は下記2方法による。</p> <p>① 線形確率統計計算 外力条件：平均風速に対応したDavenportのパワースペトルタル</p> <p>フェンダー：記述関数により線形化 運動方程式：独立・線形 流体係数：粘性抵抗考慮。付加質量と造波減衰力係数は代表周期数対応 変位計算：確率統計計算</p> <p>② 非線形計算法 外力条件：平均風速中心の正弦波(統計処理ではパワースペクトル使用) フェンダー：ヒステリシスループ考慮の上、非線形特性をそのままインパート 運動方程式：連立非線形 流体係数：粘性抵抗考慮。付加質量係数は代表周波数に対する造波減衰力係数は運動中の運動周期に對応。 変位計算：R.K.G法による時系列計算 (シリーズ計算後、統計処理)</p>	

表 題	概 要	実 験	計 算
浅海浮上式備蓄タンクの係留に関する研究 (非線形数学モデルによる数値シミュレーション)	<p>現実の係留系をできるだけ忠実に再現する係留モデルの作成と、これに風、波、潮流による複合外力を総合的に作用させたシミュレーションを実施した。</p> <p>① 浪水影響 1/87 モデル 結果は井島の領域分割法で比較</p> <p>波漂流力計測結果を丸尾の式により比較</p> <p>② 係留影響 係留浮体と無係留浮体で実験。 ストリップ法計算と比較 風荷重に関する風洞実験</p>	<p>波浪中動揺特性水槽試験 自然条件： 波浪： $H_{1/3} = 1.0 \text{ m}$, $T_{1/3} = 10 \text{ sec}$ 風： 100年再現期待値 51 m/sec (海面 10 m) 潮流： 0.5 ノット</p> <p>6 自由度運動方程式 波浪外力： Bredtschneider - 光易式 風による外力： 平均風速 + 变動風速とし、 变動風速は Davenport.</p>	<p>係留浮体： $390 \text{ m} \times 97 \text{ m} \times 26 \text{ m} \times 14.2 \text{ m}$ 自然条件： 波浪： $H_{1/3} = 1.0 \text{ m}$, $T_{1/3} = 10 \text{ sec}$ 風： 100年再現期待値 51 m/sec (海面 10 m) 潮流： 0.5 ノット</p> <p>フュンダー特性 $R = (1 - \gamma)^{1/(1-\gamma)}$</p> <p>係留モデル</p> <p>計算法 タンク船の挙動を時系列計算 R.K.G 法による。</p>

表 題	概 要	実 験	論 述
The Birthing of a Large Tanker to a Jetty	<p>大型タンカーがドルフルフィン係留するときのフェンダーの最大変位と最大荷重を実験的に求め理論計算と比較した。</p> <p>荷重を測定。</p> <p>尚、載水域の付加質量のdataが少ないので、実験で求めた。</p>	<p>模型 20000 dwt タンカーの 1/82.5, フェンダーは線形ハネで置き換えた。</p> <p>ベースに平行状態に船を保ち、接近速度、フェンダーの弾性係数及び水深を変え、フェンダーの変位、荷重を測定。</p>	<p>運動方程式は Cunnis のものを採用、sway 方向の 1 自由度の運動方程式より、変位を理論計算で求めた。</p>



3.3 昭和55年度における研究課題

索・鎖係留ならびにドルフィン係留に関する文献調査の結果、昭和55年度における研究課題として下記のものをあげることができる。

- (1) 浅海域を対象とした係留システムの基礎実験、理論解析、設計基準のためにはデータの蓄積が必要である。
- (2) 3次元実験による運動特性、係留特性の推定精度向上
- (3) ドルフィン係留の係留能力と限界設計条件との関係
- (4) ドルフィン係留のシミュレーション計算法の確立

第4章 係留システムの設計基準作成のための基礎調査

4.1 既存設計基準関係資料の調査

一般船舶をも含む浮遊式海洋構造物に関する係留システムは、これまで船舶設備規程、造船機械設計基準及び各國船級協会の規則等で錨泊、一時係船等の係留として取り扱い、その係留に対する規定は、機械数というもので決められて来た。

この様な係留システムに関する規定にも拘わらず、浮遊式の石油掘削リグや作業台船などの係留システムに関しての設計に当っては、これまで余り不自由を感じなかったといえる。

では、既存の各國における船級協会における係留に関する規則を調査した結果を次に示す。

各國の船級協会の係留に関して、海洋構造物（一般船舶を含む）の一時係留と長期間または永久係留とに大別して取り扱うと、一般には前者のみを船級条件としている。そして、一時係留の設備は、一般船舶の場合と同様な規定であり、機械数によってアンカー、チェーン、索類の設備が定められている。但し、機械数の計算法は、一般船舶の場合、各國の船級協会の間ではほぼ統一されているが、海洋構造物に対する機械数の場合には、各國の船級協会の間で多少の相違が受けられる。

そこで、各國の船級協会における一時係留に関する機械数の計算方法を比較した結果を表4.1.1に示す。

表4.1.1 各國の船級協会の機械数の計算式比較

協会名	機械数	特記事項
L R ¹⁾	$W^{\frac{2}{3}} + 2.5 A_N + 0.1 A_F$	遮蔽効果は考慮しない
A B ²⁾	$W^{\frac{2}{3}} + 2 B h + 0.1 A$	セミサブ式の場合には $W^{\frac{2}{3}} + 2 A_F + 0.1 A_L$ とする。また円柱の場合には面積を投影面積の半分とする。
N V ³⁾	$W^{\frac{2}{3}} + A_N$	風は最も不利な方向から吹くものとする。
B V ⁴⁾	$W^{\frac{2}{3}} + 2 A_F + 0.1 A_L$	A_F, A_L の計算においては遮蔽効果は考慮せず、また次式のように各要素の形状、高度に応じた重みをつける。 $A = \sum_i K_1 K_2 K_3 S_i$ <p>但し S_i : 個々の要素の投影面積</p> $K_1 = \begin{cases} 1 & : \text{平面(円柱以外)} \\ 0.5 & : \text{円柱} \end{cases}$ $K_2 = \begin{cases} 1 & : \text{吹き抜け構造以外} \\ 3.2 - \frac{2S}{S_T} & : \text{吹き抜け構造} \end{cases}$ <p>S は実質部分の投影面積、S_T は風が吹き抜けないとしたときの投影面積</p> $K_3 : \text{高度係数}$ $\begin{cases} 1 & \dots \dots \quad h < 40 \\ 1.2 & \dots \dots \quad 40 \leq h < 60 \\ 1.3 & \dots \dots \quad 60 \leq h < 80 \\ 1.4 & \dots \dots \quad 80 \leq h < 100 \\ 1.5 & \dots \dots \quad 100 \leq h \end{cases}$
G L ⁵⁾	$W^{\frac{2}{3}} + 2.5 A_N$	

協会名	綴 装 数	特 記 事 項
R I ⁶⁾	個々に決定	<p>次の書類を提出すること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ アンカーの個数と性状 ◦ チェーン、ケーブルの性状 ◦ 係船索の性状
N K ⁷⁾	<ul style="list-style-type: none"> ◦ 船型、バージ型の場合 $W^{\frac{2}{3}} + 2 B h + 0.1 A$ ◦ セミサブ型、ジャッキアップ型の場合 $W^{\frac{2}{3}} + 2 A_N + 0.1 A_P$ 	ジャッキアップ型の場合の脚の部分は算入しなくてよい。

この表中において各記号は

W : 一時係留状態における排水量(t)

$B h$: 奥水線上の正面の投影面積
 A : 奥水線上の側面の投影面積

(なお、その定義や算入範囲は船級協会によって若干の差がある。)

A_F : 奥水線上の正面投影面積 (m²)

A_L : 奥水線上の側面投影面積 (m²)

A_N : 風向に垂直な面に対する奥水線上の投影面積 (m²)

A_P : 風向に平行な面に対する奥水線上の投影面積 (m²)

である。

表4.1.1に示すように、各国の船級協会の規則では水線下の部分すなわち潮流荷重による項は全て同じであるが、風荷重に対する評価が船級協会によってそれぞれ異なっていることがわかる。

綴装数に対するアンカー、チェーン等の要求値は、通常船舶と同じ表を用いているので、船級協会によって差異はないが、係留設備として設けなければならないものの範囲となると、船級協会によって若干の相違が生じる。

次に、長期係留または作業用係留については各国の船級協会の規則で述べられている内容をまとめると表4.1.2のようになる。

表 4.1.2 各国の船級協会の長期係留に関する規則の内容

協会名	内 容
L R	○な し
A B	○な し
N V	<ul style="list-style-type: none"> ○直接計算を行なって係留系の解析をする場合には、係留力は適當なばね定数として運動方程式に付加する。索の張力に大きな影響をおよぼすのは水平方向の変位であるから、上下揺、縦揺および横揺は無視してよい。 ○簡易計算による場合には、係留力は風および潮流による力と釣り合うものとする。 ○特に大きな波力を受ける場合の係留力は、特別な考慮を要する。
B V	○最も苛酷な海象条件において直接計算を行なう。
G L	<ul style="list-style-type: none"> ○係留系の設計に関しては、潮流、風、波、水深、海底土基礎、許容移動量等を考慮する。 ○係留装置の各要素の許容応力は次の通りとする。 $\text{曲げ応力 } \sigma_b = 0.8 \sigma_y$ $\text{剪断応力 } \tau = 0.5 \sigma_y$ $\text{等価応力 } \sigma_e = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2} = 0.9 \sigma_y$ <p>σ_y は使用材料の降伏応力</p> ○アンカーが海底において所要の把駐力を発生する事を確認しなくてはならない。
R I	<ul style="list-style-type: none"> ○直接計算を行なう場合には、係留力を適當なばね定数として運動方程式に付加する。係留索の張力に影響をおよぼすのは、前後揺、左右揺および縦揺であるから、上下揺、横揺および縦揺による張力変動は無視してよい。 ○簡易計算による場合には係留力の水平方向成分は、風および潮流による力と釣り合うものとする。
N K	○協会の適當と認めるところによる。

以上述べて来たように、一般の海洋構造物を半永久的に係止しようとする係留システムを設計するに当っては、各國の船級協会の規則が不十分であることがわかる。したがって、各民間企業各社は、海洋構造物の係留システムを設計する場合には過去の経験や実績に基づいて独自の設計基準を定めているのが実情である。

また、最近の動向として係留システムの設計基準に関して見ると、

- (1) 索・鎖係留方式については、運輸省船舶局検査測度課及び日本海事協会等において2~3年先に基準案程度を作成する動きが見られる。
- (2) ドルフィン・ダンパー係留方式については、浅海域を対象にした浮遊式海洋構造物の係留システムの基準及び規則が多少見受けられる。

それらを列挙すると次の通りである。

- (a) 浮遊式海洋構造物(貯蔵船方式)による石油備蓄システムの安全指針に関する答申 運輸技術審議会 1978.
- (b) 海上タンク貯蔵所の安全指針について 消防庁 1978.
- (c) 石油貯蔵船の構造、設備および貯蔵の基準 運輸省 1978.
- (d) 海上貯油基地に係る港湾の施設の技術上の基準・同解説 運輸省 1978.

これら係留システムに関する基準及び規則は、総て浅海域の海上石油備蓄システムだけに適用するものである。したがって、一般の浅海域における浮遊式海洋構造物の係留システムの設計には、即適用不可能である。

なお、日本造船研究協会の第14基準研究部会においては、運輸省船舶局検査測度課の要望に基づいて昭和54年度及び昭和55年度の2ヶ年間で液化ガス貯蔵船の構造設備基準資料の作成を実施中である。

以上、浮遊式海洋構造物の係留システムに関する既存の設計基準関係資料及び動向等を調査した結果、浅海域における浮遊式海洋構造物の係留システムに関して見ると、貯蔵船方式の石油・液化ガスの海上備蓄システムの係船ドルフィン・ゴム防舷材による係留方式だけが大略設計基準が完成しているといえるが、海上備蓄システムでも索・鎖係留方式は基準がなく、海上備蓄システム以外の浮遊式海洋構造物の係留システムに関しては、未だ設計基準の作成に着手していないといえる。

参考資料

- 1) Rules for the Construction and Classification of Mobile Offshore Units ,
Lloyd's Register of Shipping , 1972
- 2) Rules for Building and Classing Offshore Mobile Drilling Units,
American Bureau of Shipping , 1973
- 3) Rules for the Construction and Classification of Mobile Offshore
Units, Det norske Veritas , 1975
- 4) Rules and Regulations for the Construction and Classification of Offshore Platforms,
Bureau Veritas , 1975
- 5) Rules for the Construction and Inspection of Offshore Installations, Germanischer Lloyd, 1976
- 6) Guide for the Construction and Classification of Mobile Offshore Drilling Units and Other Similar
Industrial Units, Registro Italiano Navale , 1978
- 7) Rules for Mobile Offshore Units , Nippon Kaiji Kyokai , 1978

4.2 昭和55年度以降における設計基準作成方針

ここでは、海洋構造物の各種係留システムの設計基準を作成する場合に主として検討を必要とする項目について記載し、昭和55年度以降において本研究部会が検討または調査する項目を選定する。

4.2.1 索・鎖係留方式

海洋構造物の索・鎖による係留システムは、一般船舶、各種作業船及び石油掘削リグ等に多く見受けられるが、これらは比較的短期間で簡潔的な使用法であるのに対し、長期間、連続して繰り返し荷重条件下で使用される場合が多い。

そこで、索・鎖係留方式の係留システムの設計基準を作成するに当って特に重要な項目を次に記載する。

(1) 自然環境条件の設定法

自然環境条件の設定法を検討する場合特に、港湾土木工学と造船工学との設定法を比較検討する必要がある。

また、自然環境条件の中でも波浪の変形(回転、屈折、反射、碎波、海底地形などによる)に関しては、港湾土木工学における現在の推定法を調査すべきである。

(2) 海洋構造物に作用する外力の推定法

海洋構造物に作用する外力の推定法を検討する場合、特に港湾土木工学と造船工学との推定法を比較・検討する必要がある。

(3) 係留ラインの初期張力、定常張力、最大張力の設定

係留ラインの初期張力と索・鎖の破断荷重との関係、定常外力に対する定常張力と索・鎖の破断荷重との関係及び異常時の変動外力に対する最大張力と索・鎖の破断荷重との関係を定める係数の設定に関する検討が必要である。

(4) 繰り返し荷重に対する索・鎖の疲労

索・鎖が繰り返し荷重を受け場合の索・鎖の疲労強度として、索・鎖の最大応力と許容応力との関係を調査する必要がある。

(5) 索・鎖の摩耗、腐蝕

一般に使用されている索は、海水中において耐蝕性が極端に悪いので耐蝕性の飛躍的な向上が必要である。

索・鎖に繰り返し荷重が作用している場合における索・鎖の摩耗及び腐蝕量を定量的に表わすことが必要である。特に未だ解明されていない索・鎖の応力腐蝕が重要である。

(6) 索・鎖の係留システムの信頼性を向上させるためには、索・鎖の特性を知ることも重要であるが、それ以上に使用している索・鎖の疲労程度または残存強度を調べる非破壊検査法の確立と交換基準を定めることが重要である。

以上が索・鎖係留方式の係留システムの設計基準を作成する場合に特に必要となる項目であるが、これらの中で本研究部会が昭和55年度以降における設計基準を作成するに当って行う項目とその概要を次に示す。

(1) 自然環境条件の設定法の調査

特に港湾土木工学関係における自然環境条件の設定法及び波浪の変形の推定法を調査し、造船工学と比較・検討して基準作成に反映させる。

(2) 海洋構造物に作用する外力の推定法

本研究部会で行う系統的水槽模型試験の成果を勘案して海洋構造物に作用する外力の高精度を推定法を確立するよう努力する。

(3) 係留ラインの初期張力、定常張力、最大張力の設定

各種係留システムに区分し、それぞれについて係留ラインの初期張力、定常張力、最大張力及び安全係数などを計画例に基づいて検討し、概略値の設定に努力する。

(4) 繰り返し荷重を受けた場合の索・鎖の疲労、摩耗及び腐蝕

低サイクル、高サイクルの繰り返し荷重試験による索・鎖の疲労に関する文献調査を行い、大略的な索・鎖の摩耗及び腐蝕量の設定に努力すると同時に、索・鎖の応力腐蝕を調査・検討する。

(5) 索・鎖の検査法及び交換基準

係留システムの信頼性を向上させるためには、重要な課題であるが、本研究部会としては取り扱うことが困難である。

4.2.2 ドルフィン・ダンパー係留方式

ドルフィン・ダンパー係留方式は、近年最も注目された係留方式であり、ダンパーとしては定反力型ゴム防舷材が用いられている。

また、ドルフィン・ダンパー係留方式については浮遊式（貯蔵船方式）による海上石油備蓄システムで設計基準が確立されているので、概略的には同設計基準を参考にすればよいと思われる。

そこで、ドルフィン・ダンパー係留方式の係留システムの設計基準を作成するに当って特に重要な項目を次に記載する。

(1) 自然環境条件の設定法

索・鎖係留方式の係留システムの場合と同様に、自然環境条件の中で、特に波浪の変形に関して港湾土木工学における推定法を調査し、可能な範囲で統一した推定法の確立に努力する。

(2) 海洋構造物に作用する外力の推定法

海洋構造物に作用する外力の推定法については、特に港湾土木工学と造船工学との推定法に関して比較・検討する。

(3) ダンパーの検討

現在は、定反力型ゴム防舷材をダンパーとして使用しているのが一般的であるが、その他の型式のダンパー特性及び可能性を検討する。

(4) ゴム防舷材

ゴム防舷材の特性の変動幅について充分検討する必要がある。特に、経年劣化、クリープ特性、繰り返し性状及び傾斜圧縮特性などの変動幅が現在の設定値で充分であるかを検討する。

なお、現在の変動幅は上限が 115 %、下限が 80 %である。

(5) ゴム防舷材の変形量

現在の基準においては、定常外力によるゴム防舷材の変形量は、ゴム防舷材の高さの 10 %以下であり、ゴム防舷材の最大変形量は、数値シミュレーションで求めた挙動値でゴム防舷材の高さの 3.5 %以下となっている。

そこで、ゴム防舷材の特性の向上（特にクリープ特性）及び数値シミュレーション計算法の推定精度の確認を行い、ゴム防舷材の変形量の設定値を検討する。

(6) 係留装置関係の交換基準及び非破壊検査法

現在の基準においては、係留装置関係特にゴム防舷材及び可動部材の交換及び非破壊検査法が定められていないので、係留装置関係の非破壊検査法及び交換基準を確立することが必要である。

以上がドルフィン・ダンパー係留方式の係留システムの設計基準を作成する場合に、特に必要となる項目であるが、これらの中から本研究部会として昭和 55 年以降における設計基準を作成するに当って実施する項目とその概要を次に示す。

(1) 自然環境条件の設定法の調査

索・鎖係留方式の場合と同様であるが、ここでは、特に再現期間及び異常時の自然環境条件とドルフィン・ダンパー係留との関係を調査する。

(2) 海洋構造物に作用する外力の推定法

本研究部会で行う系統的水槽模型試験の成果を勘案して海洋構造物に作用する外力の高精度な推定法を確立するよう努力する。

(3) ダンパーの検討

定反力型ゴム防舷材以外のダンパーとして油圧、空気及びバネ等についてその可能性を検討する。

(4) ゴム防舷材の変形量

ヒステリス特性、クリープ特性及び繰り返し性状を可能な限り実際に即した特性を取り入れた数値シミュレーション手法を確立させ、ゴム防舷材の変形量の推定精度の確認及び向上に努力する。

(5) ドルフィン・ダンパー係留方式の設計基準の検討

既存のドルフィン・ダンパー係留方式の設計基準に関して総体的に見て実際に即さない項目の摘出と検討を行う。以上の調査・検討を昭和 55 年度及び昭和 56 年度において実施するが、昭和 55 年度中には暫定的な係留システムの設計基準案の作成に努力する。

第 5 章 結 言

以上が浅海域における箱型海洋構造物の運動特性及び係留システムの設計基準に関する研究として第 179 研究部会において昭和 54 年度実施して来た内容を詳述したものである。

各種水槽模型試験計画の立案に際しては、これまでに各方面で行われた研究資料を収集し、それを解析・検討した結果をふまえて浅海域における箱型海洋構造物の運動特性の推定法の確立及び係留システムの設計基準作成上最も必要とし、かつ研究資料がない課題を摘出するという過程をとり、研究経費を最も有効的に活用するよう努めました。

その結果、本年度の水槽模型海洋構造物の運動特性に関する浅水効果を主体とし、3 隻の 2 次元模型と 2 隻の大型 3 次元模型を設計製作し、それを用いて系統的な水深影響及び奥水影響を究明することとした。

しかしながら、本年度は本研究の初年度であり、本研究部会の発足が昭和 54 年 9 月ということから、本年度実施した各種水槽模型試験の成果を本研究の目的に適合した形で完成させられずに中間的な報告となってしまった。

したがって、本年度実施した各種水槽模型試験成果は、補足試験を含めて昭和 55 年の本研究部会の研究資料において箱型海洋構造物の運動特性に及ぼす浅水影響を明確化できるよう取りまとめたい。また、係留システムの設計基準に関しては、本年度の貴重な調査結果をふまえて暫定的な設計基準案を提示できるようにも致したい。