

第 90 研 究 部 会
海 象 気 象 と 船 体 構 造 と の 関 連
に 関 す る 調 査 研 究
報 告 書
波 浪 曲 げ モ ー メ ン ト 計 算

昭 和 4 3 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42年度補助事業「船舶の経済性向上に関する調査」の一部として日本造船研究協会が第90研究部会においてとりまとめたものである。

第90研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長 寺 沢 一 雄（大阪大学）

幹 事 飯 塚 正 文（三菱重工）

幹 事 服 部 堅 一（浦賀重工）

〃 雁 野 昌 明（日立造船）

〃 堀 田 淳 一（九州大学）

〃 郷 田 国 夫（船舶技術研究所）

〃 船 木 俊 彦（大阪大学）

〃 鈴 木 宏（日本鋼管）

〃 榎 田 吉 郎（日本海事協会）

〃 中 村 一 郎（日立造船）

〃 森 正 浩（三菱重工）

〃 中 村 彰 一（大阪大学）

〃 八 木 順 吉（大阪大学）

委 員 秋 田 好 雄（石川島播磨重工）

委 員 長 山 明（大阪造船所）

〃 片 埜 泰 治（日立造船）

〃 西 牧 興（日立造船）

〃 岸 康太郎（三井造船）

〃 松 岡 史 香（佐世保重工）

〃 久津間 裕 良（運輸省）

〃 真 能 創（海技大学校）

〃 後 藤 大 三（石川島播磨重工）

〃 村 上 幹 彌（大阪商船三井船舶）

〃 高 木 伊 織（呉造船所）

〃 安 江 義 忠（川崎重工）

〃 高 橋 幸 伯（東京大学）

〃 山 越 道 郎（九州大学）

〃 田 才 福 造（九州大学）

〃 山 内 保 文（船舶技術研究所）

〃 中 川 万 蔵（三菱重工）

〃 山 本 善 之（東京大学）

〃 中 村 昭 和（川崎重工）

〃 吉 識 雅 夫（東京大学）

討議参加者

楠 原 泰四郎（日本鋼管）

萩 原 孝 一（三菱重工）

小 川 泰之輔（石川島播磨重工）

原 田 耕 次（日立造船）

小 林 茂 夫（佐世保重工）

福 田 隆 一（舞鶴重工）

坂 本 昭 弘（佐世保重工）

山 口 雄 三（浦賀重工）

田 中 修（三井造船）

渡 辺 勉（日本鋼管）

目 次

1. 緒 言	1
2. 委員会、幹事会、開催日程および会場	1
3. 船体中央部波浪曲げモーメント応答関数の修正	2
4. 船体中央部波浪曲げモーメントの短期分布	17
5. 船体中央部波浪曲げモーメントの長期分布	31
6. 正面規則波中で運動する船の船体表面に働く変動圧力	42
付録 (1) 委員会配付資料	65
(2) 短期分布、長期分布プログラム・フローチャート	66
(3) 短期分布の数値計算式	67
(4) 長期分布の数値計算式	68
(5) 等価波高	69
(6) 電子計算機による変動圧力の計算	70
(7) 参考文献	71

1. 緒 言

船体の構造寸法は、それに作用する外力の推定が困難であつたため、従来は主として経験により定めてきた。

船体の構造をより合理化し、また将来建造される巨大船を設計するためには、経験以外に大洋における海象を正確に推定して船体に働く荷重を理論的に決定することが必要である。

本研究は波浪中における船体の縦曲げモーメントを理論的に求め、これと近年集められた多くの波浪の統計的観測値とから船体にかかる波浪荷重を推定し、船体縦強度に関する基礎資料を得るのが主目的である。さらにまた、船体の表面に作用する圧力分布を理論的に求め船体横強度および局部強度を検討するための荷重分布を求めることも目的とする。

昨41年度においては、正面規則波中の船体の縦曲げモーメントの応答関数を求め、一部の船型については波浪曲げモーメントの長期分布を求めるのに必要な種類の海面状態における曲げモーメントの短期分布を線型重畳法と統計理論を応用して計算した。

本年度は14種の船型について昨年度に求められた波浪曲げモーメントの応答関数を基にして、長波頂正面不規則波中での短期分布を求め北大西洋における海面の長期観測資料を用いて長波頂正面不規則波中での波浪曲げモーメントの長期分布を求めた。

なお、波浪曲げモーメントの応答関数については、昨年度求められた値を、高周波領域において一部修正したものを用いた。これらの修正法、および修正値については第1章に示した。

さらに船体表面に働く変動圧力分布の計算については、正面規則波中で運動する船体の表面に働く変動圧力を求めるための電子計算機のプログラムを作成し代表的な船型について計算を行なつた。

2. 委員会、幹事会、開催日程および会場

第3回幹事会	昭和42年4月13日	日本造船工業会第1会議室
第8回委員会	5月10日	〃
第4回幹事会	7月10日	日本造船研究協会会議室
第5回 〃	8月11日	〃
第6回 〃	11月10日	〃
第9回委員会	昭和43年1月25日	日本船舶クラブ第3会議室

3. 船体中央部波浪曲げモーメント応答関数の修正

研究資料第56（第90研究部会、41年度報告書）に記載されている波浪曲げモーメントの応答関数は $\sqrt{L/\lambda} = 2.0$ の近傍で極端に大きな異常値が見いだされることがある。この原因は現在使用しているプログラムの性質によるもので、 $\sqrt{L/\lambda} \div 2.0$ すなわち $\xi_d = \frac{\omega^2 d}{g}$ の大きい領域での付加質量、減衰係数を求める外挿法の誤差によるものである。

したがって、今年度においては、波浪曲げモーメントの短期分布、長期分布を求める時に、上記の曲げモーメントの異常値の影響をなくすために、次に述べるような修正を行なった。

すなわち、第3回幹事会（4.2.4.13）では、Fig. 3-1に示されるように応答関係の曲線において異常値の領域（応答関数の2つ目の山の裾付近が目安となる）を、 $M_{VA}/\rho g L^2 B h_A = 0.001$ の一定値として処理するように決定した。

しかし実作業では $M_{VA}/\rho g L^2 B h_A = 0.001$ に移行する点を決定するのがかなり面倒であつたので外挿を行なう高周波域では、全船型について、より合理的な新しい外挿法によつて付加質量、減衰係数を求め、これらを用いて応答関数を再計算し、前年度に求められた値を修正した。

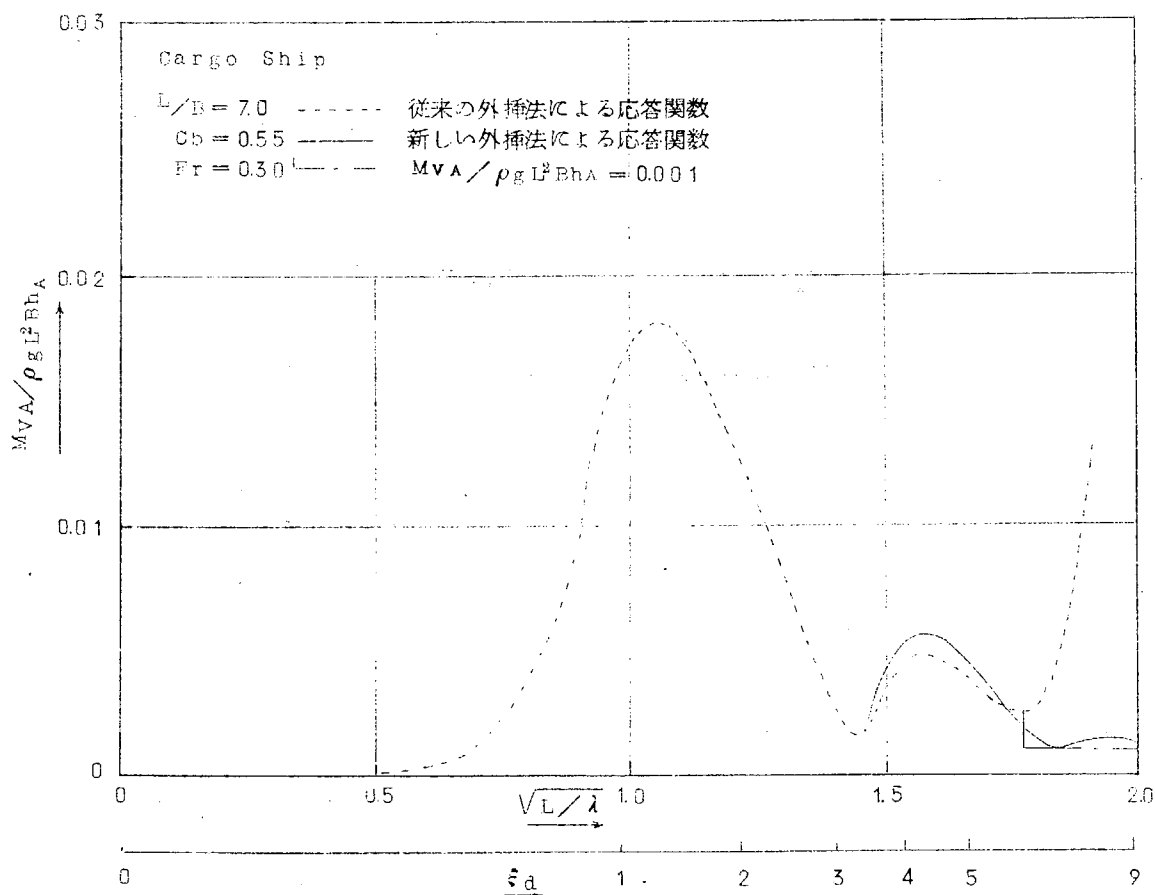


Fig. 3-1 波浪曲げモーメントの応答関数

3.1 付加質量、減衰係数の修正

記号；

$$\text{付加質量} \quad \rho_s = \rho \frac{\pi^2}{2} C_0 K_4 \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\text{減衰係数} \quad N = \frac{\rho g^2}{\omega^2} \frac{1}{A^2} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

y_w 水線半巾
 C_0 無限流体中の付加質量係数
 K_4 自由表面影響係数 (ξd の関数)
 ω_e 出会門周波数
 $\bar{A}$ 動揺により発生する進行波振巾と動揺振巾との比 (ξd の関数)

$C_0 K_4$, $\bar{A}$ が ξd の関数であることから、従来のプログラムは、 $\xi d \leq 2.6$ の範囲については ξd の適当な間隔でその値が常数としてセットしておき、 $\xi d > 2.6$ の範囲では 2 次式で外挿していた。そのため ξd が極端に大きくなると外挿が極端になり正であるべき $C_0 K_4$, $\bar{A}$ の値が負になることさえあつた。

新しい外挿法では下記の条件を考慮する。

$$(A) \quad \lim_{\xi d \rightarrow \infty} \bar{A} = 0, \quad \lim_{\xi d \rightarrow \infty} K_4 = 1$$

(B) 外挿に移る点の微係数の連続性

条件(A)を満足する $C_0 K_4$, $\bar{A}$ の関数形として

$$C_0 K_4 = C_0 (1 - a_k e^{-b_k \xi d}) \quad \dots \dots \dots a_k > 0, \quad b_k > 0 \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\bar{A} = a_A e^{-b_A \xi d} \quad \dots \dots \dots a_A > 0, \quad b_A > 0 \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

を仮定する。

外挿に移る点の値を suffix 1 で表わし、(3.3)、(3.4) から a_k , b_k , a_A , b_A を求めると、

$$a_k = (1 - K_{41}) e^{b_k \xi d_1} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

$$b_k = \frac{1}{C_0} \frac{\left[\frac{d(C_0 K_4)}{d \xi d} \right]_1}{1 - K_{41}} \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

$$a_A = \frac{\bar{A}_1}{e^{\xi d_1}} e^{b_A \xi d_1} \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

$$b_A = \frac{1}{\xi d_1} \frac{\left[\frac{d \bar{A}}{d \xi d} \right]_1}{\frac{\bar{A}_1}{e^{\xi d_1}}} \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

a_k , b_k は常に正であるが、 a_A , b_A が正となるためには、 $\left[\frac{d \bar{A}}{d \xi d} \right]_1 < \frac{\bar{A}_1}{\xi d_1}$ (3.9) でなければならない。

(3.9) が成立しなくなるのは Fig. 3-2 のような傾向をもつ場合で、また (3.9) は成立しても、 の領域があれば (3.3) (3.4) の外挿は不適当である。この時は、 $D = \bar{A}_1 - \bar{A}(\xi d)$ 、($\xi d < \xi d_1$) の関数を考えて、 $\frac{d \bar{A}}{d \xi d} > 0$ から $D < 0$ の場合については微係数が ξd_1 で連続の条件を無視して次式で外挿する。

$$\bar{A} = \frac{\pi/2 - \tan^{-1} \xi d}{\pi/2 - \tan^{-1} \xi d_1} \bar{A}_1 \quad \dots \dots \dots (3.10)$$

この外挿法による $C_0 K_4$, $\bar{A}$ の一例を Fig. 3-3、Fig. 3-4 に、また、それを用いて計算した。応答関数の一例を Fig. 3-1 に、従来の外挿法による値と比較して図示した。

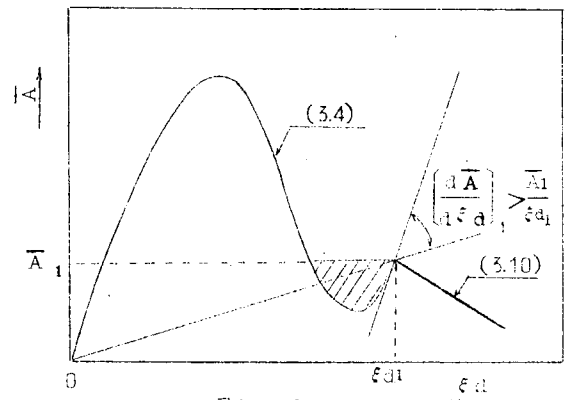


Fig. 3-2

3.2 波浪曲げモーメント応答関数の修正値

3.1 で述べたように、 $\xi d > 2.6$ の領域では従来のプログラムで求めた応答関数の値は正確なものとはいえない。そこで昨年度、従来のプログラムで求めて研究資料 56 に記載した曲げモーメントの応答関数の信頼限界を与える表を Table 3-1 に示すとともに、 $\xi d > 2.6$ の領域については、新しい外挿法により求めた付加質量、減衰係数を用いて再計算した応答関数の値を Table 3-2 に示した。

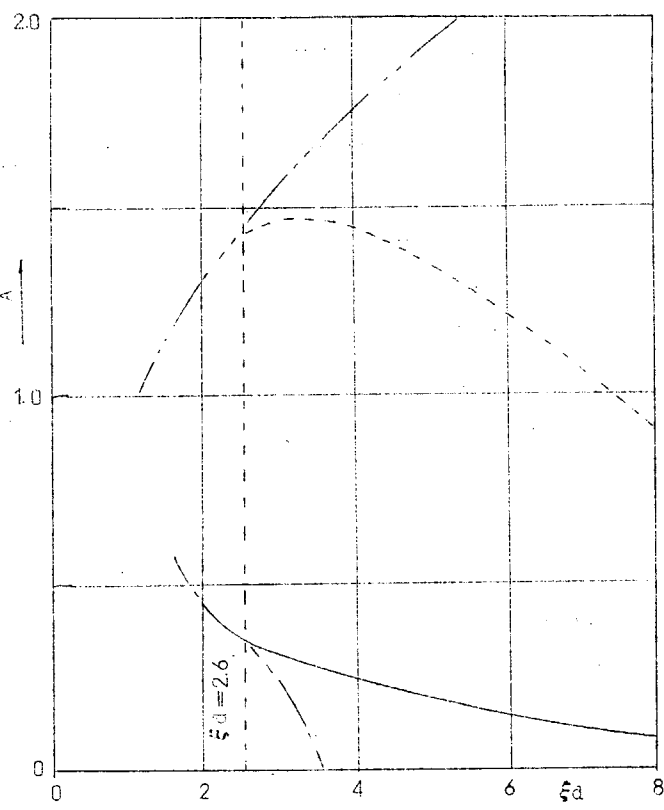
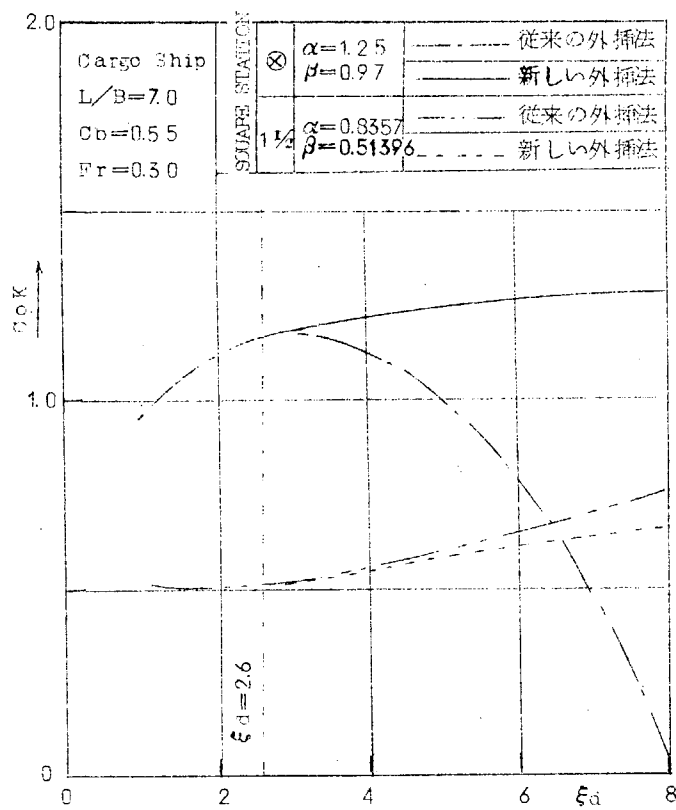


Fig 3 - 3

Fig 3 - 4

Table 3 - 1

Type		L/λ	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Cargo Ship	$L/B=6.0$ $L/d=15.0$ $d/L=0.06667$	Fr.	0								
			0.05								
			0.10								
			0.15								
			0.20								
			0.25								
			0.30								
	$L/B=7.0$ $L/d=17.5$ $d/L=0.05714$	Fr.	0								
			0.05								
			0.10								
			0.15								
			0.20								
			0.25								
			0.30								
	$L/B=8.0$ $L/d=20.0$ $d/L=0.05000$	Fr.	0								
			0.05								
			0.10								
			0.15								
			0.20								
			0.25								
			0.30								
Tanker	$L/B=5.0$ $L/d=15.0$ $d/L=0.06667$	Fr.	0								
			0.05								
			0.10								
			0.15								
			0.20								
			0.25								
			0.30								
	$L/B=6.0$ $L/d=18.0$ $d/L=0.05714$	Fr.	0								
			0.05								
			0.10								
			0.15								
			0.20								
			0.25								
			0.30								
	$L/B=7.0$ $L/d=21.0$ $d/L=0.04762$	Fr.	0								
			0.05								
			0.10								
			0.15								
			0.20								
			0.25								
			0.30								

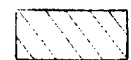
(注1) $\alpha=B/2d$
 $\beta=S/Bd$

B...船巾

d...吃水

S...横断面積

(注2)



は $\xi_d >$

2.6 の領域を示す。

Table 3-2-(a)

CARGO SHIP L/B=6.0 CB=0.55			REL. BOW MOTION REL. STERN MOTION BENDING MOMENT									
HEAVE			PITCH		PHASE DIFF.		REL. BOW MOTION		REL. STERN MOTION		BENDING MOMENT	
λ/L	Z_{CGA}/hA	ϵ_Z (DEG.)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG.)	$\epsilon_{\theta/2}$ (DEG.)	Z_{RPA}/hA	ϵ_{RPA}/hA	ϵ_{RPA} (DEG.)	Z_{TAPA}/hA	ϵ_{TAPA} (DEG.)	$MVA/\rho g L^3 B hA$	δM (DEG.)
FN=0.10	18	180	0.004	14.617	-95.25	-24.142	0.981	4.257	0.983	-4.229	0.00115	13.429
	19	190	0.001	3.404	-137.56	-17.161	0.996	11.039	0.989	-10.946	0.00059	-11.198
	20	200	0.001	-27.11	107.28	13.439	1.001	17.976	0.997	-17.964	0.00070	-7.833
FN=0.15	16	160	0.004	-115.92	62.98	17.889	0.966	-7.759	0.953	7.999	0.00448	17.720
	17	170	0.006	16.651	-47.08	-21.360	1.007	-2.017	0.990	2.066	0.00322	15.756
	18	180	0.003	12.421	-10.878	-23.299	0.983	4.291	0.990	-4.227	0.00089	11.473
FN=0.20	19	190	0.002	2.666	-15.498	-18.164	0.999	11.030	0.992	-10.938	0.00089	-25.48
	20	200	0.001	-31.54	105.60	13.714	1.001	17.971	0.997	-17.965	0.00089	-8.659
FN=0.25	15	150	0.013	-31.22	80.77	11.199	0.925	-13.247	0.940	13.901	0.00335	-16.678
	16	160	0.004	-15.654	50.26	20.679	0.981	-7.798	0.972	8.018	0.00494	17.072
	17	170	0.005	15.274	-6.908	-22.182	1.004	-2.034	0.996	2.074	0.00318	15.059
FN=0.30	18	180	0.003	10.871	-11.782	-22.654	0.985	4.310	0.994	-4.232	0.00077	8.895
	19	190	0.002	2.314	-16.741	-19.055	1.001	11.022	0.995	-10.936	0.00117	-3.238
	20	200	0.001	-36.22	103.27	13.949	1.000	17.972	0.998	-17.967	0.00103	-9.218
FN=0.35	14	140	0.031	-1.278	93.17	10.596	0.995	16.663	0.985	-16.606	0.00184	-10.047
	15	150	0.008	-3.884	73.47	11.231	0.938	-13.652	0.963	13.837	0.00471	-17.498
	16	160	0.004	-17.931	37.17	21.648	0.990	-7.927	0.984	8.019	0.00535	16.577
FN=0.40	17	170	0.005	14.330	-8.108	-22.439	1.002	-2.038	1.000	2.073	0.00315	14.456
	18	180	0.002	9.849	-12.443	-22.292	0.987	4.321	0.996	-4.240	0.00079	6.324
	19	190	0.001	2.016	-17.696	-19.712	1.002	11.015	0.996	-10.936	0.00141	-3.740
FN=0.45	20	200	0.001	-4.217	9.985	14.202	1.000	17.974	0.999	-17.969	0.00124	-9.714
	13	130	0.048	-2.17	112.06	11.423	1.062	12.107	1.028	-11.793	0.00542	-2.007
	14	140	0.023	-1.666	8.665	10.331	0.987	16.750	1.000	-16.719	0.00225	-13.272
FN=0.50	15	150	0.005	-4.777	6.738	11.515	0.949	-13.597	0.976	13.786	0.00553	17.950
	16	160	0.004	1.6838	2.446	-14.392	0.995	-7.848	0.991	8.013	0.00571	16.194
	17	170	0.004	13.646	-8.879	-22.525	1.001	-2.038	1.002	2.066	0.00311	13.943
FN=0.55	18	180	0.002	9.125	-12.985	-22.110	0.989	4.328	0.998	-4.250	0.00088	4.265
	19	190	0.001	1.683	17.497	15.813	1.003	11.009	0.998	-10.942	0.00162	-4.182
	20	200	0.001	-4.942	9.580	14.523	1.000	17.976	0.999	-17.972	0.00158	-10.183

Table 3-2-(b)

CARGO SHIP			L/B=6.0		CB=0.65		PHASE DIF. REL. BOW MOTION REL. STERN MOTION BENDING MOMENT									
			HEAVE		PITCH											
			$\sqrt{L/\lambda}$	ϵ_2 (DEG)	$\theta \Delta/\theta W$	ϵ_e (DEG)	$\epsilon_{\phi z}$ (DEG)	Z_{TPPA}/Δ	ϵ_{rTP} (DEG)	Z_{TAP}/Δ	ϵ_{rAP} (DEG)	$M_{NA}/\rho g L^2 B \Delta$	ϵ_M (DEG)			
FN=0.10	18	180	0.003	13976	0.003	-10300	-24277	0.972	4237	0.980	-4162	0.00086	5279			
	19	190	0.003	-851	0.001	-14615	-13764	0.996	11030	0.991	-10929	0.00176	-1717			
	20	200	0.002	-4312	0.001	8518	12830	0.997	17953	0.999	-17935	0.00105	-7032			
FN=0.15	16	160	0.013	-17817	0.002	2980	20798	0.992	-7890	0.986	8067	0.00516	17551			
	17	170	0.009	16368	0.003	-8677	-25045	1.003	-2136	1.002	2166	0.00244	15072			
	18	180	0.002	11698	0.002	-11211	-22909	0.978	4276	0.990	-4193	0.00126	1838			
FN=0.20	19	190	0.003	-1799	0.001	-16835	-15036	0.999	11010	0.996	-10933	0.00211	-2633			
	20	200	0.002	-5071	0.001	7595	12666	0.997	17959	1.001	-17943	0.00114	-8463			
	15	150	0.005	-14703	0.009	7827	22530	0.954	-13707	0.969	13828	0.00566	-17257			
FN=0.25	16	160	0.011	17477	0.001	-1343	-18820	1.001	-7920	1.000	8040	0.00531	17040			
	17	170	0.007	15800	0.003	-9527	-25327	1.001	-2124	1.007	2138	0.00203	14067			
	18	180	0.001	8458	0.002	-11879	-20338	0.982	4296	0.995	-4216	0.00179	325			
FN=0.30	19	190	0.002	-2378	0.000	17219	19598	1.001	10999	0.999	-10939	0.00243	-3216			
	20	200	0.002	-5650	0.001	7016	12667	0.996	17965	1.002	-17951	0.00124	-9455			
	14	140	0.013	-1810	0.016	9052	10863	1.006	16715	1.006	-16680	0.00334	-14692			
FN=0.35	15	150	0.006	-16671	0.006	7262	23933	0.967	-13634	0.984	13746	0.00648	-17783			
	16	160	0.010	16983	0.001	-5021	-22004	1.006	-7938	1.007	8018	0.00542	16635			
	17	170	0.005	15372	0.003	-10085	-25457	0.999	-2112	1.009	2115	0.00168	12896			
FN=0.40	18	180	0.001	5390	0.002	-12370	-17760	0.985	4308	0.997	-4234	0.00230	-483			
	19	190	0.002	-2815	0.000	15692	18506	1.001	10992	1.001	-10945	0.00271	-3619			
	20	200	0.001	-6116	0.001	6574	12690	0.996	17970	1.002	-17958	0.00133	-10191			
FN=0.45	13	130	0.032	-247	0.021	10115	10363	1.085	12055	1.064	-11856	0.00369	-3450			
	14	140	0.008	-2297	0.013	8645	10942	1.001	16815	1.012	-16802	0.00441	-15263			
	15	150	0.007	-17655	0.004	6747	24402	0.976	-13592	0.993	13689	0.00724	17826			
FN=0.50	16	160	0.009	16631	0.001	-6910	-23541	1.008	-7950	1.010	8000	0.00552	16317			
	17	170	0.004	15068	0.002	-10481	-25550	0.998	-2099	1.010	2096	0.00141	11506			
	18	180	0.001	3224	0.001	-12742	-15966	0.987	4314	0.999	-4248	0.00277	-1007			
FN=0.55	19	190	0.002	-3174	0.000	14485	17658	1.002	10987	1.001	-10951	0.00296	-3922			
	20	200	0.001	-6491	0.000	6206	12697	0.997	17975	1.002	-17964	0.00140	-10782			

Table 3-2-(c)

CARGO SHIP		L/B=6.0		CB=0.75		PITCH		PHASE DIF. REL. BOW MOTION		REL. STERN MOTION		BENDING MOMENT	
		HEAVE											
λ/L	λ	Z_{004}/h_A	ϵ_Z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	ϵ_θ (DEG)	Z_{TPA}/h_A	ϵ_{TP} (DEG)	Z_{RPA}/h_A	ϵ_{RP} (DEG)	$M_{VY}/\rho g L^3 h_A$	ϵ_M (DEG)	
FN=0.10	18	180	0.004	3.687	0.003	-86.42	-12329	0.988	4.215	0.982	-4.201	0.00293	3.184
	19	190	0.005	10.07	0.001	134.36	12429	1.008	10.975	1.002	-10.905	0.00232	4.39
	20	200	0.001	-2.789	0.001	98.47	12636	1.001	17.915	0.997	-17.903	0.00089	-12.409
FN=0.15	16	160	0.015	-16.280	0.004	-4.820	11460	1.030	-7.904	1.015	8.149	0.00461	-17.785
	17	170	0.004	17.555	0.004	-7.217	-24.772	1.020	-2.155	0.999	2.222	0.00147	8.867
	18	180	0.004	2.112	0.001	-9.305	-11.417	0.993	4.263	0.992	-4.241	0.00342	2.081
FN=0.20	19	190	0.004	4.93	0.001	11.424	10.931	1.009	10.965	1.006	-10.921	0.00219	-2.80
	20	200	0.000	-4.956	0.001	9.190	14.147	1.000	17.934	0.999	-17.925	0.00131	-14.870
FN=0.25	15	150	0.015	-15.262	0.003	6.169	21.431	0.995	-13.560	0.999	13.702	0.00717	-16.296
	16	160	0.011	-16.581	0.004	-6.062	10.519	1.030	-7.924	1.021	8.094	0.00410	17.222
	17	170	0.002	17.053	0.003	-7.726	-24.779	1.015	-2.125	1.003	2.167	0.00185	5.353
FN=0.30	18	180	0.004	1.281	0.001	-9.859	-11.140	0.997	4.287	0.997	-4.267	0.00399	1.375
	19	190	0.003	1.82	0.001	10.416	10.234	1.008	10.930	1.007	-10.934	0.00208	-7.87
	20	200	0.000	-8.749	0.001	8.784	17.532	1.000	17.947	1.000	-17.941	0.00170	-16.113
FN=0.35	14	140	0.007	-11.997	0.011	10.042	22.039	1.025	16.960	1.003	-16.840	0.00649	-14.226
	15	150	0.014	-15.792	0.002	3.194	18.986	1.003	-13.517	1.008	13.633	0.00762	-16.691
	16	160	0.009	-16.789	0.004	-6.829	9.961	1.029	-7.936	1.023	8.058	0.00361	17.269
FN=0.40	17	170	0.001	16.452	0.003	-8.078	-24.530	1.012	-2.103	1.005	2.130	0.00251	3.461
	18	180	0.004	7.69	0.001	-10.260	-11.029	0.998	4.299	0.999	-4.284	0.00450	9.05
	19	190	0.003	0.21	0.001	9.776	9.755	1.008	10.958	1.007	-10.944	0.00196	-10.88
FN=0.45	20	200	0.000	-15.006	0.001	8.528	23.534	1.000	17.956	1.001	-17.953	0.00205	-16.950
	13	130	0.014	-5.32	0.020	11.067	11.600	1.091	12.235	1.061	-11.868	0.00302	-9.089
	14	140	0.008	-13.849	0.008	9.770	23.619	1.019	17.039	1.008	-16.951	0.00770	-15.589
FN=0.50	15	150	0.012	-16.169	0.001	-13.40	14.828	1.007	-13.493	1.013	13.587	0.00692	-16.938
	16	160	0.007	-16.916	0.004	-7.337	9.579	1.028	-7.943	1.024	8.031	0.00313	16.353
	17	170	0.000	14.931	0.002	-8.317	-23.248	1.010	-2.085	1.005	2.104	0.00322	2.404
FN=0.55	18	180	0.003	4.14	0.000	-10.458	-10.872	1.000	4.306	1.001	-4.297	0.00495	5.73
	19	190	0.002	-0.43	0.001	9.306	9.349	1.007	10.957	1.007	-10.951	0.00184	-1.221
	20	200	0.000	17.107	0.001	8.362	-8.745	1.000	17.963	1.001	-17.961	0.00236	-17.503

Table 3-2-(d)

CARGO SHIP		L/B=7.0		CB=0.55											
		HEAVE		PITCH		PHASE DIFF. REL. BOW MOTION				REL. STERN MOTION					
		$\Delta \sqrt{L/\lambda}$		Z_{OA}/λ		ϵ_Z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	$\epsilon_{\theta Z}$ (DEG)	Z_{RPA}/λ	ϵ_{RP} (DEG)	Z_{RPA}/λ	ϵ_{RP} (DEG)	$MVA/\rho g L^3 B \Delta$	ϵ_M (DEG)
FN=0.10	19	1.90	0.001	4.390	0.001	-12287	0.001	-12287	-16677	0.991	11048	0.984	-10959	0.00057	411
	20	2.00	0.002	-2080	0.000	11011	0.000	11011	13091	1.000	17971	0.996	-17965	0.00066	-6306
FN=0.15	17	1.70	0.007	-17892	0.002	-2009	0.002	-2009	15883	1.010	-1991	0.982	2045	0.00342	16196
	18	1.80	0.004	14128	0.002	-9930	0.002	-9930	-24058	0.981	4266	0.984	-4224	0.00112	12615
	19	1.90	0.002	3237	0.001	-14039	0.001	-14039	-17275	0.996	11038	0.989	-10943	0.00082	-1389
	20	2.00	0.002	-2448	0.000	10912	0.000	10912	13360	1.001	17971	0.997	-17965	0.00083	-7413
FN=0.20	16	1.60	0.004	-11828	0.006	6088	0.006	6088	17916	0.968	-7757	0.955	8006	0.00473	17527
	17	1.70	0.006	16507	0.002	-4998	0.002	-4998	-21505	1.006	-2020	0.991	2068	0.00341	15540
	18	1.80	0.003	12353	0.002	-10939	0.002	-10939	-23292	0.983	4292	0.990	-4226	0.00094	10731
	19	1.90	0.002	2812	0.001	-15392	0.001	-15392	-18204	0.999	11030	0.992	-10938	0.00108	-2294
	20	2.00	0.001	-2780	0.000	10784	0.000	10784	13564	1.001	17971	0.997	-17966	0.00100	-6110
FN=0.25	15	1.50	0.014	-3097	0.012	7975	0.012	7975	11072	0.923	-13740	0.940	13909	0.00383	-16643
	16	1.60	0.004	-15357	0.004	5035	0.004	5035	20392	0.981	-7793	0.972	8020	0.00517	16981
	17	1.70	0.005	15371	0.001	-6769	0.001	-6769	-22140	1.004	-2032	0.996	2073	0.00341	14961
	18	1.80	0.003	11087	0.002	-11659	0.002	-11659	-22746	0.985	4308	0.993	-4232	0.00087	8590
	19	1.90	0.002	2540	0.001	-16428	0.001	-16428	-18969	1.001	11022	0.994	-10937	0.00133	-2876
	20	2.00	0.001	-3188	0.000	10533	0.000	10533	13721	1.001	17973	0.998	-17968	0.00116	-8661
FN=0.30	14	1.40	0.032	-1276	0.018	9297	0.018	9297	10573	0.994	16654	0.985	-16595	0.00201	-8117
	15	1.50	0.009	-3704	0.010	7364	0.010	7364	11068	0.936	-13657	0.960	13849	0.00462	-17423
	16	1.60	0.004	-17496	0.003	3992	0.003	3992	21487	0.988	-7820	0.982	8019	0.00557	16559
	17	1.70	0.005	14553	0.001	-7828	0.001	-7828	-22381	1.003	-2036	0.999	2071	0.00339	14466
	18	1.80	0.002	10201	0.001	-12220	0.001	-12220	-22421	0.987	4318	0.995	-4240	0.00089	6566
	19	1.90	0.001	2274	0.001	-17278	0.001	-17278	-19552	1.002	11016	0.996	-10939	0.00154	-3346
	20	2.00	0.001	-3714	0.000	10188	0.000	10188	13902	1.000	17974	0.998	-17970	0.00129	-9165

Table 3-2-(c)

CARGO SHIP		L/B=7.0		CB=0.65											
		HEAVE		PITCH		PHASE DIF.		REL. BOW MOTION		REL. STERN MOTION		BENDING MOMENT			
M	L/λ	Z_{OA}/λ	ϵ_Z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	$\epsilon_{\theta Z}$ (DEG)	Z_{TREA}/λ	ϵ_{TTP} (DEG)	Z_{APX}/λ	ϵ_{RAP} (DEG)	$MVA/\rho g L^3 \lambda$	ϵ_M (DEG)			
FN=0.10	19	0.003	222	0.001	-13.128	-13.350	0.991	110.53	0.984	-10.932	0.00185	-9.38			
	20	0.003	-35.75	0.001	9.388	12.963	0.998	179.51	0.997	-17.931	0.00117	-5.455			
FN=0.15	17	0.012	168.92	0.004	-78.01	-24.693	1.006	-2.143	0.995	2.192	0.00292	15.619			
	18	0.003	138.76	0.003	-10.577	-24.453	0.972	4.249	0.983	-4.166	0.00109	35.94			
	19	0.003	-1.130	0.001	-14.876	-13.746	0.997	110.26	0.992	-10.930	0.00217	-19.23			
	20	0.002	-4.340	0.001	82.13	12.553	0.997	179.55	1.000	-17.937	0.00121	-6.863			
FN=0.20	16	0.012	-17.935	0.002	28.96	20.832	0.992	-7.893	0.987	80.62	0.00544	17.380			
	17	0.009	163.32	0.003	-8.869	-25.201	1.002	-2.136	1.003	2.162	0.00251	14.826			
	18	0.002	120.93	0.002	-11.272	-23.365	0.978	4.278	0.990	-4.193	0.00155	1.385			
	19	0.003	1.846	0.001	-16.624	-14.778	0.999	110.10	0.996	-10.934	0.00251	-25.69			
	20	0.002	-4.935	0.001	75.39	12.474	0.997	179.60	1.001	-17.944	0.00129	-7.922			
FN=0.25	15	0.005	-14.258	0.009	77.76	220.34	0.952	-13.707	0.969	138.36	0.00574	-17.289			
	16	0.011	174.74	0.001	-7.82	-18.257	1.000	-7.919	0.999	80.39	0.00560	16.955			
	17	0.007	158.87	0.003	-9.554	-25.441	1.000	-2.125	1.006	2.138	0.00215	13.953			
	18	0.001	9.795	0.002	-11.791	-21.586	0.981	4.295	0.994	-4.214	0.00205	2.74			
	19	0.002	-2.342	0.000	17.834	20.175	1.000	11.000	0.999	-10.940	0.00282	-30.13			
	20	0.002	-5.417	0.001	70.57	12.474	0.996	179.65	1.002	-17.951	0.00136	-8.712			
FN=0.30	14	0.014	-1.698	0.017	90.15	107.12	1.005	16.697	1.006	-16.662	0.00294	-13.872			
	15	0.006	-1.6328	0.007	73.19	23.647	0.964	-13.642	0.982	13.760	0.00652	-17.782			
	16	0.010	170.51	0.001	-4.277	-21.328	1.005	-7.936	1.005	80.20	0.00573	16.617			
	17	0.006	155.55	0.003	-10.027	-25.581	0.999	-2.114	1.008	2.118	0.00183	12.978			
	18	0.001	7.298	0.002	-12.183	-19.481	0.984	4.305	0.997	-4.230	0.00253	-3.96			
	19	0.002	-2.738	0.000	16.536	19.274	1.001	16.994	1.000	-10.945	0.00309	-33.40			
	20	0.001	-5.816	0.001	66.65	12.481	0.996	179.70	1.002	-17.957	0.00142	-9.334			

Table 3-2-(f)

CARGO SHIP		L/B=7.0		CB=0.75		REL. BOW MOTION REL. STERN MOTION BENDING MOMENT									
K	$\sqrt{L/\lambda}$	HEAVE		PITCH		PHASE DIF.		REL. BOW MOTION		REL. STERN MOTION		BENDING MOMENT		$M_{Y/100L^3BA}$	ϵ_M (DEG)
		Z_{OL}/λ	ϵ_Z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	$\epsilon_{\theta Z}$ (DEG)	$\epsilon_{\theta Z}$ (DEG)	Z_{RFB}/λ	ϵ_{RFB} (DEG)	Z_{RPA}/λ	ϵ_{RPA} (DEG)	$M_{Y/100L^3BA}$	ϵ_M (DEG)		
FN=0.10	19	1.90	0.007	13.97	0.001	15.716	14.319	1.005	10.982	0.997	-10.895	0.00279	8.74		
	20	2.00	0.002	-14.11	0.002	10.294	11.705	1.003	17.893	0.993	-17.879	0.00074	-9.155		
FN=0.15	17	1.70	0.007	-17.918	0.006	-68.28	11.090	1.026	-21.95	0.993	2.289	0.00164	11.625		
	18	1.80	0.004	30.71	0.002	-87.62	-11.834	0.989	4.225	0.984	-4.210	0.00342	2.583		
	19	1.90	0.005	8.54	0.001	12.505	11.651	1.008	10.968	1.003	-10.911	0.00270	2.47		
	20	2.00	0.001	-24.13	0.001	9.599	12.012	1.001	17.916	0.998	-17.906	0.00100	-13.256		
FN=0.20	16	1.60	0.015	-16.345	0.004	-50.98	11.248	1.030	-7.914	1.016	8.138	0.00479	-17.903		
	17	1.70	0.004	17.786	0.004	-73.72	-25.159	1.019	-21.58	1.000	2.219	0.00159	7.740		
	18	1.80	0.004	18.75	0.001	-9.225	-11.100	0.993	4.262	0.992	-4.243	0.00403	18.09		
	19	1.90	0.004	4.93	0.001	11.074	10.580	1.009	10.961	1.006	-10.924	0.00261	-2.21		
	20	2.00	0.000	-35.12	0.001	9.151	12.663	1.000	17.932	0.999	-17.925	0.00139	-15.166		
FN=0.25	15	1.50	0.015	-15.270	0.003	64.57	21.727	0.994	-13.568	0.998	13.707	0.00743	-16.341		
	16	1.60	0.012	-16.583	0.004	-61.39	10.444	1.030	-7.929	1.021	8.093	0.00433	17.693		
	17	1.70	0.002	17.579	0.004	-77.64	-25.342	1.015	-21.31	1.003	2.172	0.00206	4.920		
	18	1.80	0.004	11.99	0.001	-9.553	-10.752	0.996	4.282	0.996	-4.266	0.00460	1.289		
	19	1.90	0.003	2.81	0.001	10.272	9.991	1.008	10.957	1.007	-10.934	0.00252	-5.19		
	20	2.00	0.000	-48.00	0.001	8.666	13.666	1.000	17.944	1.000	-17.939	0.00176	-16.255		
FN=0.30	15	1.50	0.014	-15.745	0.002	4.330	20.075	1.001	-13.528	1.006	13.644	0.00787	-16.682		
	16	1.60	0.010	-16.745	0.004	-68.09	9.936	1.029	-7.939	1.025	8.061	0.00387	17.331		
	17	1.70	0.001	17.575	0.003	-80.38	-25.613	1.012	-21.10	1.004	2.138	0.00271	3.359		
	18	1.80	0.004	7.58	0.001	-9.714	-10.472	0.998	4.293	0.998	-4.281	0.00511	9.26		
	19	1.90	0.003	1.73	0.001	9.726	9.552	1.008	10.956	1.007	-10.943	0.00244	-6.68		
	20	2.00	0.000	-14.295	0.001	8.680	22.975	1.000	17.952	1.001	-17.949	0.00208	-17.025		

Table 3-2-(g)

CARGO SHIP L/B=8.0 CB=0.55													
		HEAVE		PITCH		PHASE DIF.		REL. BOW MOTION		REL. STEM MOTION		BENDING MOMENT	
%	$\sqrt{L/\lambda}$	Z_{CG}/λ	ε_z (DEG)	θ_A/θ_W	ε_θ (DEG)	$\varepsilon_{\theta z}$ (DEG)	Z_{TPA}/λ	ε_{TPA} (DEG)	Z_{RPA}/λ	ε_{RPA} (DEG)	$M_B/\rho g L^3 \Delta$	ε_B (DEG)	
FN=0.10	20	200	0.002	-1700	0.000	11141	12841	1.000	17971	0.996	-17965	0.00068	-4894
	18	180	0.004	15515	0.003	-9117	-24632	0.980	4239	0.979	-4226	0.00129	13216
	19	190	0.001	3760	0.001	-12861	-16621	0.993	11045	0.986	-10952	0.00079	-347
	20	200	0.002	-2015	0.000	11100	13115	1.000	17971	0.996	-17966	0.00050	-6159
FN=0.20	16	160	0.006	-8839	0.008	6793	15633	0.953	-7715	0.935	7981	0.00445	17952
	17	170	0.006	17667	0.002	-2900	-20567	1.009	-2001	0.985	2054	0.00353	15898
	18	180	0.003	13710	0.002	-10211	-23920	0.981	4273	0.986	-4223	0.00110	11729
	19	190	0.002	3191	0.001	-14249	-17440	0.997	11036	0.990	-10942	0.00104	-1437
	20	200	0.002	-2262	0.000	11076	13338	1.001	17971	0.997	-17966	0.00095	-7008
FN=0.25	15	150	0.020	-2612	0.016	8482	11093	0.907	-13842	0.915	13977	0.00305	-15491
	16	160	0.004	-12170	0.005	5886	18057	0.971	-7759	0.958	8011	0.00490	17352
	17	170	0.006	16363	0.001	-5248	-21611	1.006	-2022	0.992	2068	0.00354	15335
	18	180	0.003	12265	0.002	-10995	-23260	0.983	4294	0.990	-4226	0.00099	9976
	19	190	0.002	2907	0.001	-15345	-18251	0.999	11029	0.992	-10939	0.00127	-2111
	20	200	0.001	-2548	0.000	10917	13465	1.001	17972	0.997	-17967	0.00110	-7638
FN=0.30	15	150	0.014	-3118	0.012	7866	10984	0.923	-13727	0.942	13908	0.00377	-16633
	16	160	0.003	-15227	0.004	4995	20222	0.981	-7792	0.972	8020	0.00532	16885
	17	170	0.005	15409	0.001	-6699	-22107	1.004	-2031	0.996	2072	0.00355	14846
	18	180	0.003	11210	0.002	-11589	-22799	0.985	4307	0.993	-4233	0.00095	8184
	19	190	0.002	2675	0.001	-16232	-19907	1.001	11022	0.994	-10939	0.00149	-2614
	20	200	0.001	-2920	0.000	10642	13563	1.001	17973	0.998	-17969	0.00123	-8180

Table 3-2-(h)

CARGO SHIP		L/B=8.0		CB=0.65											
		HEAVE		PITCH		PHASE DIF.		REL. HOW MOTION		REL. STERN MOTION		BENDING MOMENT			
%	$\sqrt{L/\lambda}$	ϵ_z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	$\epsilon_{\theta Z}$ (DEG)	$Z_{TDEA}/\lambda A$	ϵ_{TTP} (DEG)	$Z_{TAP}/\lambda A$	ϵ_{TAP} (DEG)	$M_A/\rho g L B A$	ϵ_M (DEG)				
FN=0.10	20	2.00	0.004	-3.005	0.001	10.328	13.333	0.999	179.51	0.995	-179.31	0.00132	-4.318		
	18	1.80	0.005	14.884	0.004	-10.066	-24.950	0.967	42.18	0.975	-41.43	0.00101	54.51		
	19	1.90	0.003	-3.84	0.001	-13.603	-13.219	0.993	110.42	0.987	-109.32	0.00221	-13.35		
	20	2.00	0.003	-3.765	0.001	8.829	12.594	0.997	179.52	0.998	-179.33	0.00132	-5.589		
FN=0.20	16	1.60	0.014	-17.350	0.004	4.878	22.228	0.981	-78.61	0.972	80.79	0.00544	17.671		
	17	1.70	0.011	16.743	0.003	-8.188	-24.931	1.004	-21.41	0.997	21.82	0.00290	15.297		
	18	1.80	0.003	13.763	0.003	-10.781	-24.543	0.973	42.58	0.985	-41.72	0.00136	2.565		
	19	1.90	0.003	-1.321	0.001	-15.070	-13.749	0.997	110.22	0.993	-109.32	0.00255	-20.29		
FN=0.5	20	2.00	0.002	-4.369	0.001	8.022	12.392	0.997	179.56	1.000	-179.39	0.00137	-6.633		
	15	1.50	0.005	-10.101	0.012	8.146	18.247	0.936	-137.95	0.950	139.35	0.00501	-1.6729		
	16	1.60	0.012	17.954	0.002	27.53	-15.201	0.993	-78.95	0.988	80.57	0.00563	17.225		
	17	1.70	0.009	16.289	0.003	-9.025	-25.314	1.001	-21.33	1.003	21.57	0.00254	14.574		
FN=0.30	18	1.80	0.002	12.371	0.002	-11.325	-23.696	0.978	42.80	0.990	-41.95	0.00183	10.72		
	19	1.90	0.003	-1.903	0.001	-16.465	-14.562	0.999	110.09	0.996	-109.36	0.00287	-25.11		
	20	2.00	0.002	-4.861	0.001	7.486	12.347	0.997	179.61	1.001	-179.46	0.00142	-7.443		
	15	1.50	0.005	-13.927	0.009	7.713	21.640	0.951	-137.01	0.969	138.35	0.00576	-17.353		
FN=0.30	16	1.60	0.011	17.453	0.001	-4.31	-17.884	1.000	-79.18	0.998	80.36	0.00579	16.866		
	17	1.70	0.007	15.935	0.003	-9.591	-25.525	1.000	-21.23	1.006	21.35	0.00222	13.798		
	18	1.80	0.001	10.740	0.002	-11.740	-22.480	0.981	42.94	0.994	-42.14	0.00230	2.17		
	19	1.90	0.002	-2.343	0.000	-17.708	-15.366	1.000	110.01	0.998	-109.41	0.00316	-28.65		
FN=0.30	20	2.00	0.002	-5.274	0.001	7.067	12.341	0.996	179.66	1.002	-179.52	0.00147	-8.081		

Table 3-2-(i)

CARGO SHIP		L/B=8.0		CB=0.75		REL. STERN MOTION BENDING MOMENT						
		HEAVE		PITCH		PHASE DIF.		REL. BOW MOTION				
M	$\sqrt{L/\lambda}$	Z_{OGA}/λ	e_z (DEG)	θ_A/θ_W	e_θ (DEG)	$e_{\theta z}$ (DEG)	Z_{TPA}/λ	e_{TPP} (DEG)	Z_{APA}/λ	e_{TAP} (DEG)	$M_{A, \theta_{A, TPA}} \cdot e_H$ (DEG)	
FN=0.10	20	2.00	0.003	-7.30	0.002	10648	11378	1.004	17872	0.990	-17857	0.00084
												-581.7
	18	1.80	0.003	44.38	0.003	-8418	-12856	0.984	4182	0.975	-4178	0.00335
	19	1.90	0.006	1143	0.001	14039	12896	1.006	10973	1.000	-10904	0.00512
FN=0.15	20	2.00	0.002	-1380	0.001	9928	11308	1.001	17900	0.995	-17888	0.00079
												-106.72
	16	1.60	0.018	-16149	0.004	-3918	12231	1.027	-7902	1.008	8178	0.00530
	17	1.70	0.007	-17883	0.005	-7075	10808	1.023	-2189	0.996	2269	0.00159
FN=0.20	18	1.80	0.004	2610	0.002	-8848	-11459	0.990	4234	0.986	-4219	0.00398
	19	1.90	0.005	748	0.001	11873	11126	1.008	10963	1.004	-10916	0.00305
	20	2.00	0.001	-1956	0.001	9444	11400	1.000	17919	0.998	-17910	0.00108
												-13820
FN=0.25	15	1.50	0.016	-14697	0.005	7645	22342	0.984	-13633	0.984	13790	0.00774
	16	1.60	0.014	-16411	0.004	-5334	11076	1.029	-7921	1.016	8125	0.00488
	17	1.70	0.004	17939	0.004	-7499	-25437	1.018	-2157	1.000	2211	0.00174
	18	1.80	0.004	1677	0.001	-9164	-10841	0.994	4262	0.992	-4247	0.00457
FN=0.30	19	1.90	0.004	493	0.001	10800	10307	1.008	10958	1.006	-10927	0.00299
	20	2.00	0.000	-2210	0.001	9127	11337	1.000	17932	0.999	-17926	0.00143
												-166
												-15408
FN=0.30	15	1.50	0.015	-15294	0.003	6613	21907	0.993	-13572	0.997	13706	0.00760
	16	1.60	0.012	-16600	0.004	-6221	10379	1.029	-7933	1.020	8088	0.00446
	17	1.70	0.002	17890	0.004	-7806	-25696	1.015	-2132	1.003	2171	0.00225
	18	1.80	0.004	1113	0.001	-9347	-10461	0.996	4279	0.996	-4266	0.00512
FN=0.30	19	1.90	0.003	346	0.001	10136	9790	1.008	10956	1.007	-10936	0.00293
	20	2.00	0.000	-1553	0.001	8918	10471	1.000	17942	1.000	-17938	0.00176
												-16398

Table 3-2-(3)

TANKER L/B=5.0 CB=0.80		PHASE DIP. REL. BOW MOTION REL. STERN MOTION BENDING MOMENT									
		HEAVE		PITCH		PHASE DIP.		REL. BOW MOTION		REL. STERN MOTION	
%	$\sqrt{L/\lambda}$	Z_{GB}/hA	ϵ_z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_η (DEG)	$\epsilon_{\theta z}$ (DEG)	Z_{RTPA}/hA	ϵ_{RTP} (DEG)	Z_{RAP}/hA	ϵ_{RAP} (DEG)	$M_{VA}/\rho g L^3 hA$ ϵ_M (DEG)
FN=0.05	20	200	0.001	-3.352	12470	15822	1002	17899	0985	-17879	000130 -10930
	18	180	0.007	4063	-8171	-12235	1001	4279	0992	-4249	000393 4319
	19	190	0.005	3084	13042	9959	1017	10990	1006	-10874	000165 1580
	20	200	0.001	-14417	11757	26174	1007	17933	0994	-17920	000199 -13906
FN=0.15	15	150	0.020	-14116	879	14995	1005	-13445	1015	13705	000765 -15276
	16	160	0.011	-15140	-4733	10408	1043	-7838	1025	8198	000348 17679
	17	170	0.001	6788	-5793	-12581	1026	-2082	0994	2188	000326 5993
	18	180	0.006	3245	-11006	-14251	1004	4316	1001	-4283	000427 3383
FN=0.20	19	190	0.003	2981	11893	8911	1015	10978	1009	-10900	000095 416
	20	200	0.001	-16786	11287	28073	1005	17953	0997	-17945	000276 -15348
	15	150	0.017	-14553	-2924	11629	1011	-13403	1025	13623	000782 -15714
	16	160	0.008	-15237	-5502	9734	1040	-7864	1028	8132	000248 16189
FN=0.25	17	170	0.002	3319	-6143	-9462	1019	-2057	0998	2131	000431 4328
	18	180	0.005	2702	11716	9014	1006	4334	1004	-4305	000460 2697
	19	190	0.002	3101	11170	8069	1014	10972	1009	-10918	000032 -2788
	20	200	0.001	-17657	11092	28750	1004	17966	0999	-17961	000347 -16217

Table 3-2-(4)

TANKER L/B=6.0 CB=0.75		PHASE DIP. REL. BOW MOTION REL. STERN MOTION BENDING MOMENT									
		HEAVE		PITCH		PHASE DIP.		REL. BOW MOTION		REL. STERN MOTION	
%	$\sqrt{L/\lambda}$	Z_{GB}/hA	ϵ_z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_η (DEG)	$\epsilon_{\theta z}$ (DEG)	Z_{RTPA}/hA	ϵ_{RTP} (DEG)	Z_{RAP}/hA	ϵ_{RAP} (DEG)	$M_{VA}/\rho g L^3 hA$ ϵ_M (DEG)
FN=0.10	20	200	0.002	-412	10401	10813	1003	17886	0993	-17875	000078 -9951
	18	180	0.004	2287	-8232	-10519	0991	4216	0984	-4221	000375 2712
	19	190	0.005	944	11609	10666	1009	10959	1005	-10913	000278 400
	20	200	0.001	-974	9614	10588	1001	17210	0997	-17903	000120 -13923
FN=0.15	16	160	0.015	-16140	-5773	10367	1036	-7924	1022	8140	000510 -17836
	17	170	0.004	-17211	-7336	9875	1022	-2172	1000	2231	000183 7074
	18	180	0.004	1277	-8688	-9965	0995	4256	0992	-4251	000444 1809
	19	190	0.004	537	10384	9847	1010	10953	1008	-10925	000265 -235
FN=0.20	20	200	0.000	-1138	9103	10241	1000	17927	0999	-17922	000173 -15678

Table 3-2-(1)

TANKER		L/B=6.0		CB=0.80											
		HEAVE		PITCH		PHASE DIF.				REL. BOW MOTION					
λ/L	FN	Z_{OA}/hA	ϵ_z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	$\epsilon_{\theta z}$ (DEG)	Z_{TRF}/hA	ϵ_{TRF} (DEG)	Z_{APB}/hA	ϵ_{APB} (DEG)	$MVA/\rho g L^3 hA$	ϵ_M (DEG)	REL. STERN MOTION		
													ϵ_{TRF}	ϵ_{APB}	ϵ_M
19	0.10	0.007	3.214	0.002	13.942	107.28	1.018	10.996	1.002	-10.846	0.00257	19.57			
20	0.10	0.000	-4.363	0.002	12.050	164.13	1.010	17.902	0.989	-17.886	0.00164	-12.317			
17	0.15	0.002	15.425	0.005	-5.562	-20.987	1.036	-21.27	0.987	22.73	0.00289	7.770			
18	0.15	0.007	3.794	0.001	-8.144	-11.939	1.002	4.281	0.993	-4.252	0.00467	3.801			
19	0.15	0.005	30.38	0.002	12.572	95.35	1.017	10.982	1.007	-10.876	0.00193	12.84			
20	0.15	0.001	-16.118	0.001	11.562	27.680	1.007	17.931	0.994	-17.919	0.00240	-14.339			
16	0.20	0.012	-15.213	0.006	-4.867	103.45	1.044	-7.846	1.026	81.99	0.00367	17.576			
17	0.20	0.001	7.798	0.004	-5.938	-13.736	1.027	-2.093	0.994	21.99	0.00373	5.549			
18	0.20	0.006	3.151	0.000	-9.692	-12.843	1.004	4.312	1.000	-4.282	0.00509	3.119			
19	0.20	0.003	30.11	0.001	11.723	97.12	1.016	10.974	1.009	-10.898	0.00130	5.54			
20	0.20	0.001	-17.397	0.001	11.281	28.678	1.005	17.948	0.997	-17.941	0.00316	-15.434			

Table 3-2-(2)

TANKER		L/B=6.0		CB=0.85											
		HEAVE		PITCH		PHASE DIF.				REL. BOW MOTION					
λ/L	FN	Z_{OA}/hA	ϵ_z (DEG)	θ_A/θ_W	ϵ_θ (DEG)	$\epsilon_{\theta z}$ (DEG)	Z_{TRF}/hA	ϵ_{TRF} (DEG)	Z_{APB}/hA	ϵ_{APB} (DEG)	$MVA/\rho g L^3 hA$	ϵ_M (DEG)	REL. STERN MOTION		
													ϵ_{TRF}	ϵ_{APB}	ϵ_M
19	0.10	0.004	2.662	0.003	14.189	115.27	1.025	11.044	1.002	-10.792	0.00126	-2.754			
20	0.10	0.003	-12.145	0.001	12.271	244.15	1.009	17.951	0.994	-17.908	0.00356	-12.556			
17	0.15	0.007	6.024	0.003	-5.789	-11.813	1.024	-2.037	0.999	21.85	0.00529	5.950			
18	0.15	0.009	4.283	0.001	15.728	114.44	1.004	4.394	1.014	-4.250	0.00472	3.862			
19	0.15	0.002	2.488	0.002	13.487	10.999	1.022	11.025	1.010	-10.835	0.00118	-7.460			
20	0.15	0.003	-13.235	0.001	11.995	252.30	1.007	17.971	0.997	-17.937	0.00449	-13.383			
15	0.20	0.017	-14.425	0.006	-3.134	112.90	1.008	-13.276	1.050	13.651	0.00610	-15.901			
16	0.20	0.004	-17.368	0.007	-4.810	12.558	1.043	-7.797	1.034	81.90	0.00270	10.529			
17	0.20	0.007	4.921	0.002	-6.015	-10.936	1.018	-2.013	1.003	21.23	0.00652	4.265			
18	0.20	0.007	3.933	0.001	14.148	102.15	1.006	4.401	1.016	-4.279	0.00499	3.455			
19	0.20	0.001	2.505	0.002	13.043	105.38	1.019	11.014	1.011	-10.864	0.00165	-10.716			
20	0.20	0.003	-13.845	0.000	11.944	257.89	1.005	17.983	0.999	-17.955	0.00532	-13.879			

Table 3-2-(n)

4. 船体中央部波浪曲げモーメントの短期分布

曲げモーメントの短期分布とは、波のスペクトル、船速、針路等が一定であると仮定した場合の波浪曲げモーメントの分布を意味するもので、実船試験結果ではおよそ20分間位の波浪曲げモーメントの分布の計測結果に相当する。

この曲げモーメントの短期分布を計算するにあたって、多数の実船試験により確認された、次の仮定を設けた。

- (i) 波隆起 (Wave Elevation)、および船体の応答 (Ship Response, ここでは船体中央部波浪曲げモーメントの応答) はガウス分布 (Gaussian Law) にしたがう。
- (ii) 波高 (Wave Height)、および曲げモーメントの極値はレイリー分布 (Rayleigh Law) にしたがう。

曲げモーメントの短期分布を示すパラメータとしてはレイリー分布の標準偏差 R が用いられる。この標準偏差 R が求められると、統計的理論によりある回数の曲げモーメントの変動の中での最大値、または曲げモーメントがある値を越える確率が計算できる。

4.1 理 論

平均波周期、有義波高が一定である海面を波の平均進行方向に対して一定の船速・針路で航行している状態の短期間の曲げモーメントの標準偏差 R は、St. Denis, Pierson¹⁾ が提案した線型重畳法によつて波スペクトルと応答関数を用いて (4.1)、(4.2) で求められる。

長波頂不規則波中で成分波に対して常に船が θ の針路をとる場合

$$R_L^2 = \int_0^\infty [f(\omega)]^2 [\bar{M}(\omega \cdot \theta)]^2 d\omega \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

長波頂正面不規則波中では (4.1) で $\theta = 0$ 、とにおいて

$$R_L^2 = \int_0^\infty [f(\omega)]^2 [\bar{M}(\omega \cdot 0^\circ)]^2 d\omega \quad \dots\dots\dots (4.1')$$

短波頂正面不規則波中で成分波に対して常に船が θ の針路をとる場合

$$R_S^2 = \int_{-\pi}^{\pi} \int_0^\infty [f(\omega \cdot \chi)]^2 [\bar{M}(\omega \cdot \chi - \theta)]^2 d\omega d\chi \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

記 号

R, R^2 波浪曲げモーメントの標準偏差、分散

Suffix L, S, は長波頂不規則波, 短波頂不規則波を示す。

ω 成分波の円周波数

θ 成分波の進行方向と船の針路のなす角

χ 成分波の進行方向と波の平均進行方向のなす角

φ 船の針路と波の平均進行方向のなす角

角度の関係については Fig. 4 - 1 に示す。

$M(\omega, \theta)$ 円周波数 ω の船の針路が船に対して θ である斜波中での曲げモーメントの応答関数で

$$\bar{M}(\omega, \theta^\circ) = \frac{MVA}{\rho g L^2 B h_A} \cdot \rho g L^2 B \quad \text{の関係がある。}$$

$\bar{M}(\omega \theta - \chi)$ Fig. 4 - 1 に示される短波頂不規則波中の成分波に対する曲げモーメントの応答関数

$[f(\omega)]^2$ 長波頂不規則波のスペクトルで一例として、

$$I.S.O. \text{ Spectra } [f(\omega)]^2 = 0.11 H^2 \bar{\omega}_V^{-1} (\omega/\omega_V)^{-5} \exp[-0.44 (\omega/\omega_V)^{-4}] \dots\dots (4.3.1)$$

$$Hermann \text{ Spectra } [f(\omega)]^2 = 0.39 H^2 \bar{\omega}_V^{-1} (\omega/\omega_V)^{-6} \exp[-1.77 (\omega/\omega_V)^{-2}] \dots\dots (4.3.2)$$

$$\text{Roll-Fischer Spectra } [f(\omega)]^2 = 0.20 H^2 \bar{m}_V^{-1} (\omega/\omega_V)^{-5} \exp[-1.27 (\omega/\omega_V)^{-2}] \dots (4.3.3)$$

$$\omega_V = 2\pi/T$$

T …… 平均波周期 (sec.), H …… 有義波高(m)

$[f(\omega, \chi)]^2 \dots \dots \dots$ 短波頂不規則波のスペクトルで成分波の方向性エネルギーが波の平均進行方向より $\pm 2\pi/2$ の範囲に $\cos^2$ 分布すると仮定すれば、

$$[f(\omega \cdot \chi)]^2 = \frac{2}{\pi} [f(\omega)]^2 \cos^2 \chi \quad (1 \times \leq \pi/2) \dots (2.4)$$

$$= 0 \quad (1 \times \geq \pi/2)$$

で表わす。

4.2 計算状態

1章で修正した正面規則波中の船体中央部波浪曲げモーメントの応答関数、および(4.3.1)の I. S. S. C. Spectra を用いて、Table 4-4 に示すような船型について船長、船速を変えて、平均波周期 T を異とする海面に対して(4-1)より長波頂正面不規則波中の曲げモーメントの標準偏差を計算した。

Type of Ship	船 型		船 長 L (m)	船 速 フルード数	成分波の進行方向と船の針路のなす角	海面の平均波周期 (sec.)
	L/B	Cb				
Cargo Ship	6.0	0.55	50	0	0°	4
		0.65	75	0.05		6
		0.75	100	0.10		8
	7.0	0.55	125	0.15		10
		0.65	150	0.20		12
		0.75	175	0.25		14
	8.0	0.65	200	0.30		16
Tanker	5.0	0.80	150	0		18
	6.0	0.75	200	0.05		
		0.80	250	0.10		
		0.85	300	0.15		
	7.0	0.80	400	0.20		

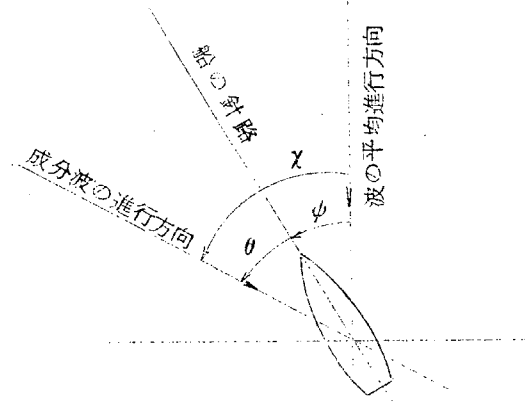


Fig. 4 - 1

4.3 計算結果

4.3.1 Cargo Ship

(a) L/B 、 C_b をかえた船型について代表的な値として船長 $L(m)$ を 150 m とした場合について、船速 (フルード数) をかえた時の海面の平均波周期 $T(sec.)$ と曲げモーメントの標準偏差の無次元 $R/\rho g L^2 B H$ との関係を図示したのが Fig. 4-2 ~ Fig. 4-10 の(a)図である。

(b) L/B 、 C_b をかえた船型について船速を $Fr = 0.20$ とし、海面の平均波周期 $T(sec.)$ ごとに船長 $L(m)$ をかえた相似船型について、船長 $L(m)$ と曲げモーメントの標準偏差の無次元 $R/\rho g L^2 B H$ との関係を図示したの

がFig. 4-2~Fig. 4-10の(b)図である。

(c) 船型の影響

船長 $L=150\text{ m}$ 、船速 $Fr=0.20$ の場合について同一の L/B に対して C_b をかえた時の海面の平均波周期 $T(\text{sec})$ と、曲げモーメントの標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ との関係を図示したのがFig. 4-11~Fig. 4-13であり、同一の C_b に対して L/B をかえた時の図がFig. 4-14~Fig. 4-16である。

4.3.2 Tanker

(a) L/B 、および C_b をかえた船型について代表的な値として船長 $L(\text{m})$ を 250 m とした場合について、船速(フルード数)をかえた時の海面の平均波周期 $T(\text{sec})$ と曲げモーメントの標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ との関係を図示したのがFig. 4-17~Fig. 4-21の(a)図である。

(b) L/B 、および C_b をかえた船型について船速を $Fr=0.15$ として、海面の平均波周期 $T(\text{sec})$ ごとに船長 $L(\text{m})$ をかえた相似船型について船長 $L(\text{m})$ と、曲げモーメントの標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ との関係を図示したのがFig. 4-17~Fig. 4-21の(b)図である。

(c) 船型の影響

船長 $L=250\text{ m}$ 、船速 $Fr=0.15$ の場合について同一の L/B に対して C_b をかえた時の海面の平均波周期 $T(\text{sec})$ と、曲げモーメントの標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ との関係を図示したのがFig. 4-22であり同一の C_b に対して L/B をかえた時の図がFig. 4-23である。

Table 4-2

Fig. No	Type of Ship	Ship Form		L (m)	Fr	Page
		L/B	Cb			
Fig 4 - 2(a)	Cargo Ship	6.0	0.55	150		21
4 - 2(b)		6.0	0.55		0.20	
4 - 3(a)		6.0	0.65	150		
4 - 3(b)		6.0	0.65		0.20	
4 - 4(a)		6.0	0.75	150		22
4 - 4(b)		6.0	0.75		0.20	
4 - 5(a)		7.0	0.55	150		
4 - 5(b)		7.0	0.55		0.20	
4 - 6(a)		7.0	0.65	150		23
4 - 6(b)		7.0	0.65		0.20	
4 - 7(a)		7.0	0.75	150		
4 - 7(b)		7.0	0.75		0.20	
4 - 8(a)		8.0	0.55	150		24
4 - 8(b)		8.0	0.55		0.20	
4 - 9(a)		8.0	0.65	150		
4 - 9(b)		8.0	0.65		0.20	
4 - 10(a)		8.0	0.75	150		25
4 - 10(b)		8.0	0.75		0.20	
4 - 11		6.0		150	0.20	
4 - 12		7.0		150	0.20	
4 - 13		8.0		150	0.20	26
4 - 14			0.55	150	0.20	
4 - 15			0.65	150	0.20	
4 - 16			0.75	150	0.20	
4 - 17(a)	Tanker	5.0	0.80	250		27
4 - 17(b)		5.0	0.80		0.15	
4 - 18(a)		6.0	0.75	250		
4 - 18(b)		6.0	0.75		0.15	
4 - 19(a)		6.0	0.80	250		28
4 - 19(b)		6.0	0.80		0.15	
4 - 20(a)		6.0	0.85	250		
4 - 20(b)		6.0	0.85		0.15	
4 - 21(a)		7.0	0.80	250		29
4 - 21(b)		7.0	0.80		0.15	
4 - 22		6.0		250	0.15	
4 - 23			0.80	250	0.15	

L/B, Cb, Fr 欄中で空白の欄のパラメータが変化して図は、その影響を示す。

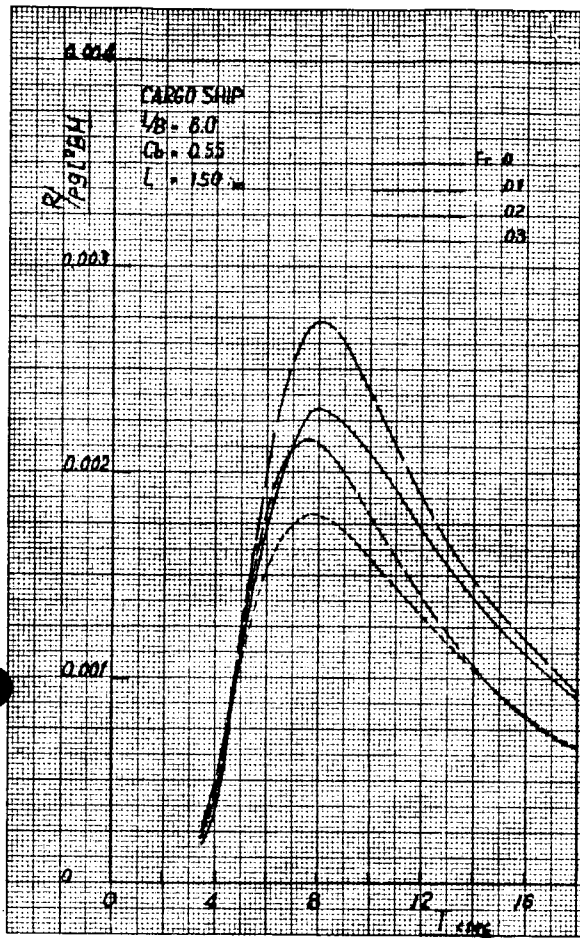


Fig. 4-2 (a)

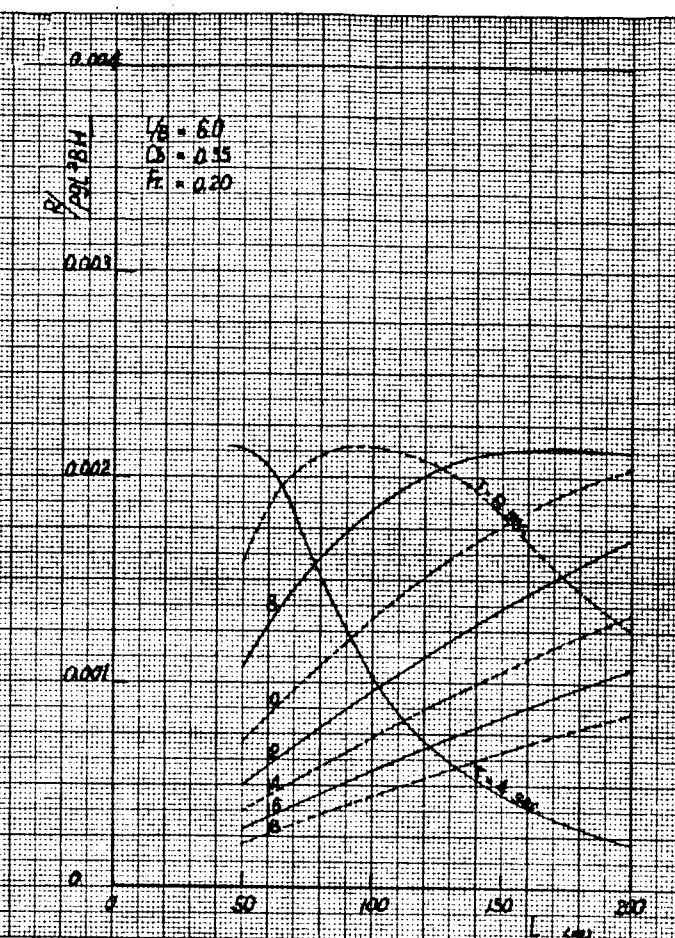


Fig. 4-2 (b)

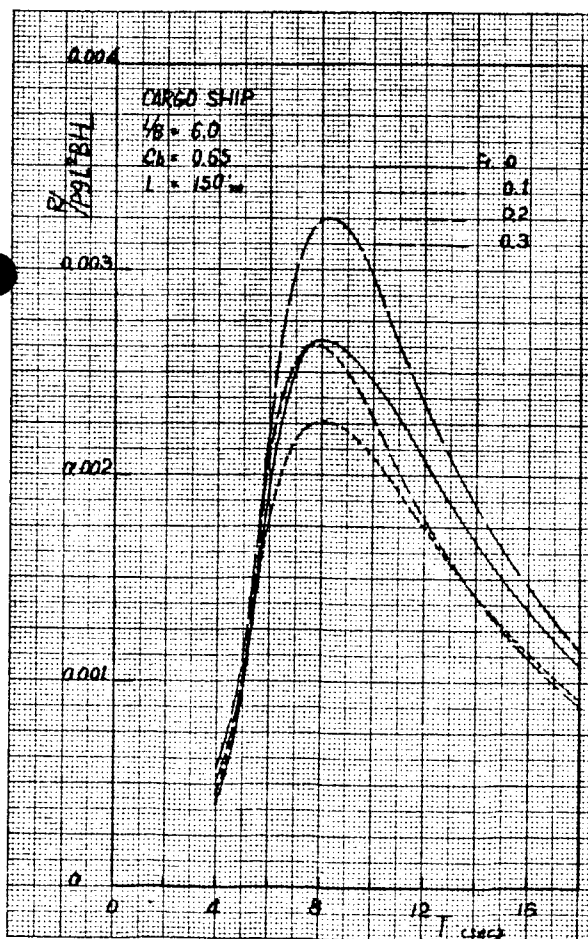


Fig. 4-3 (a)

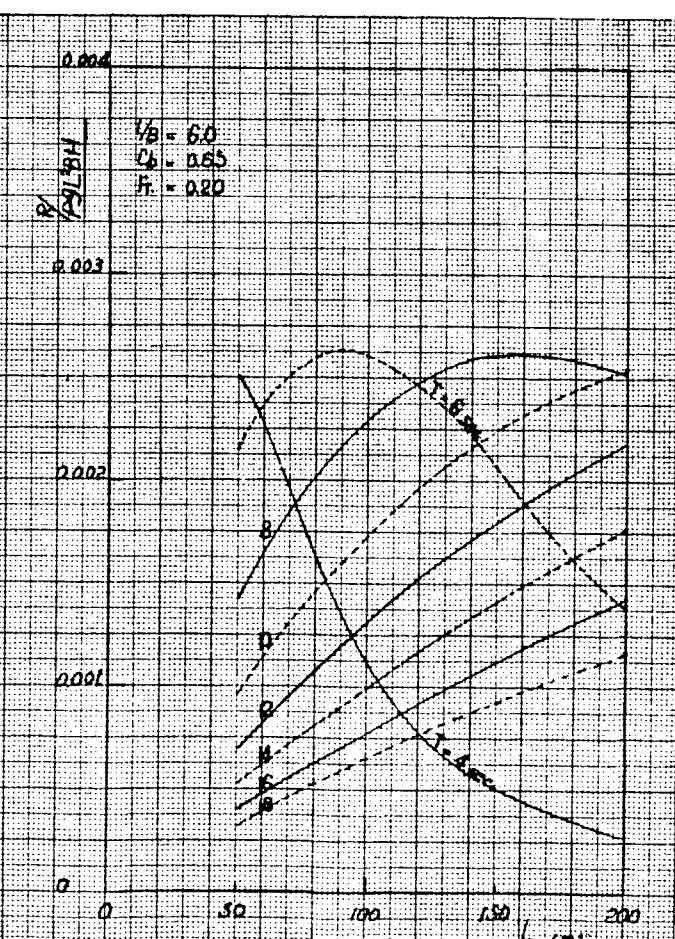


Fig. 4-3 (b)

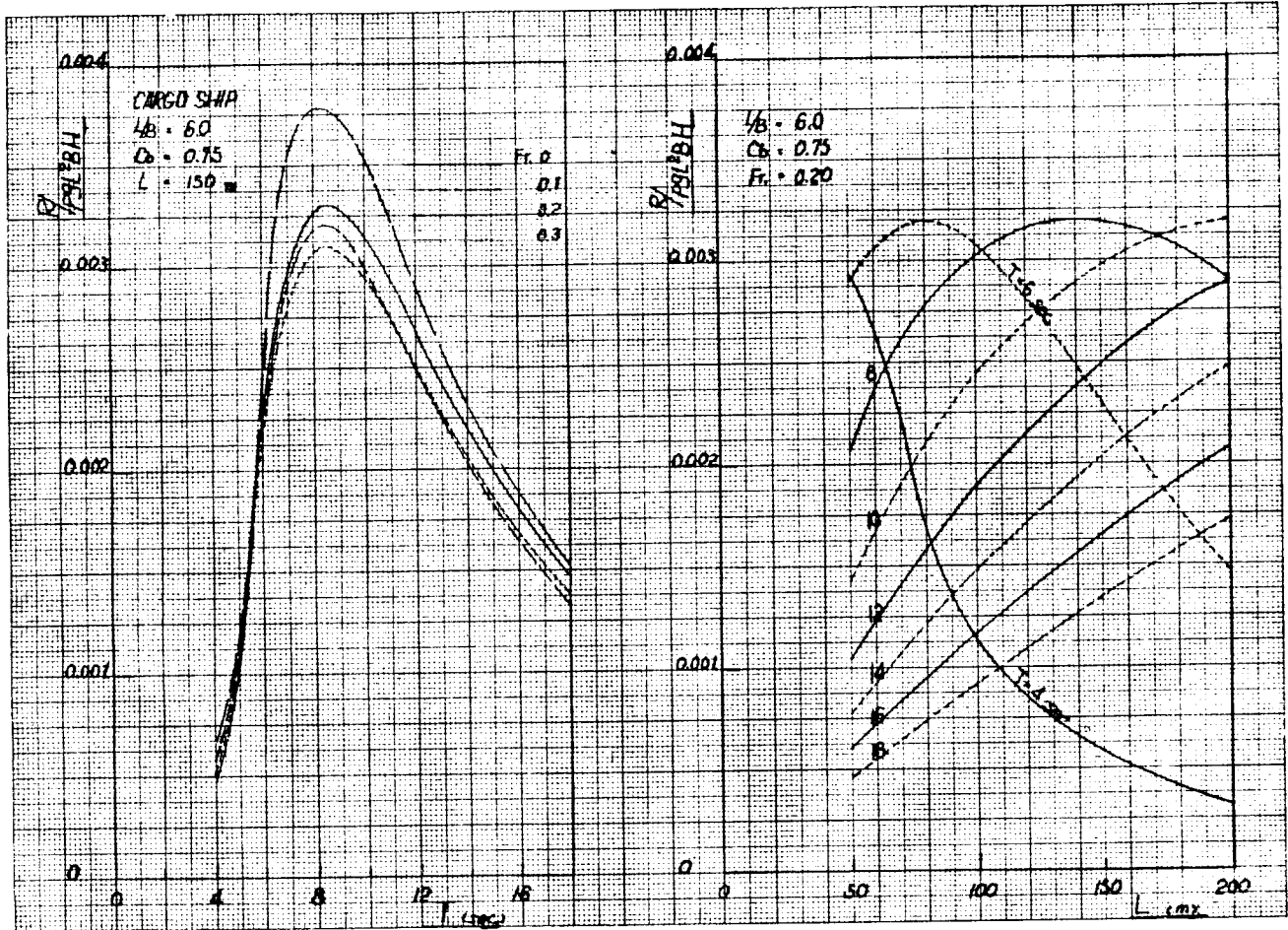


Fig. 4-4 (a)

Fig. 4-4 (b)

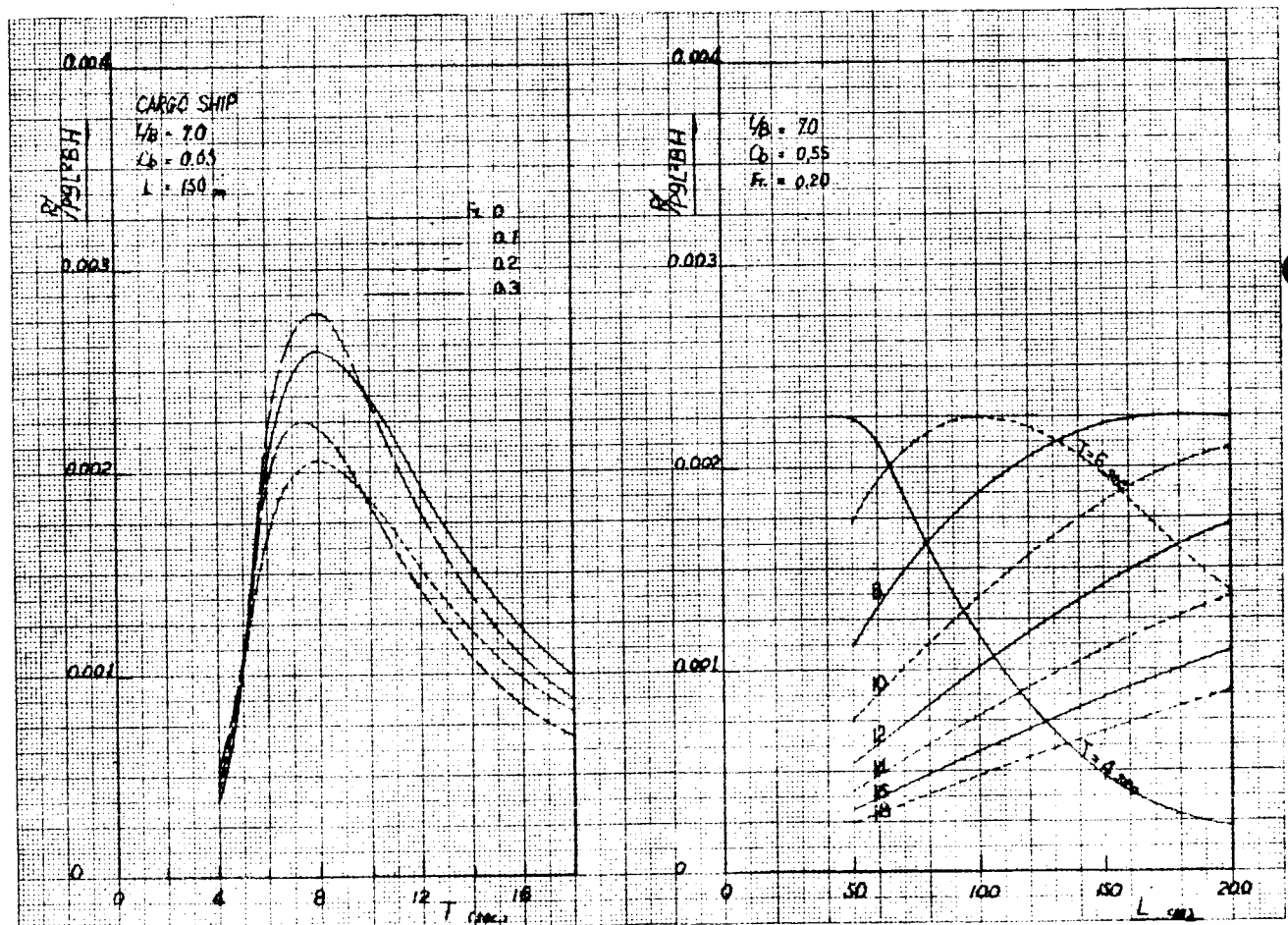


Fig. 4-5 (a)

Fig. 4-5 (b)

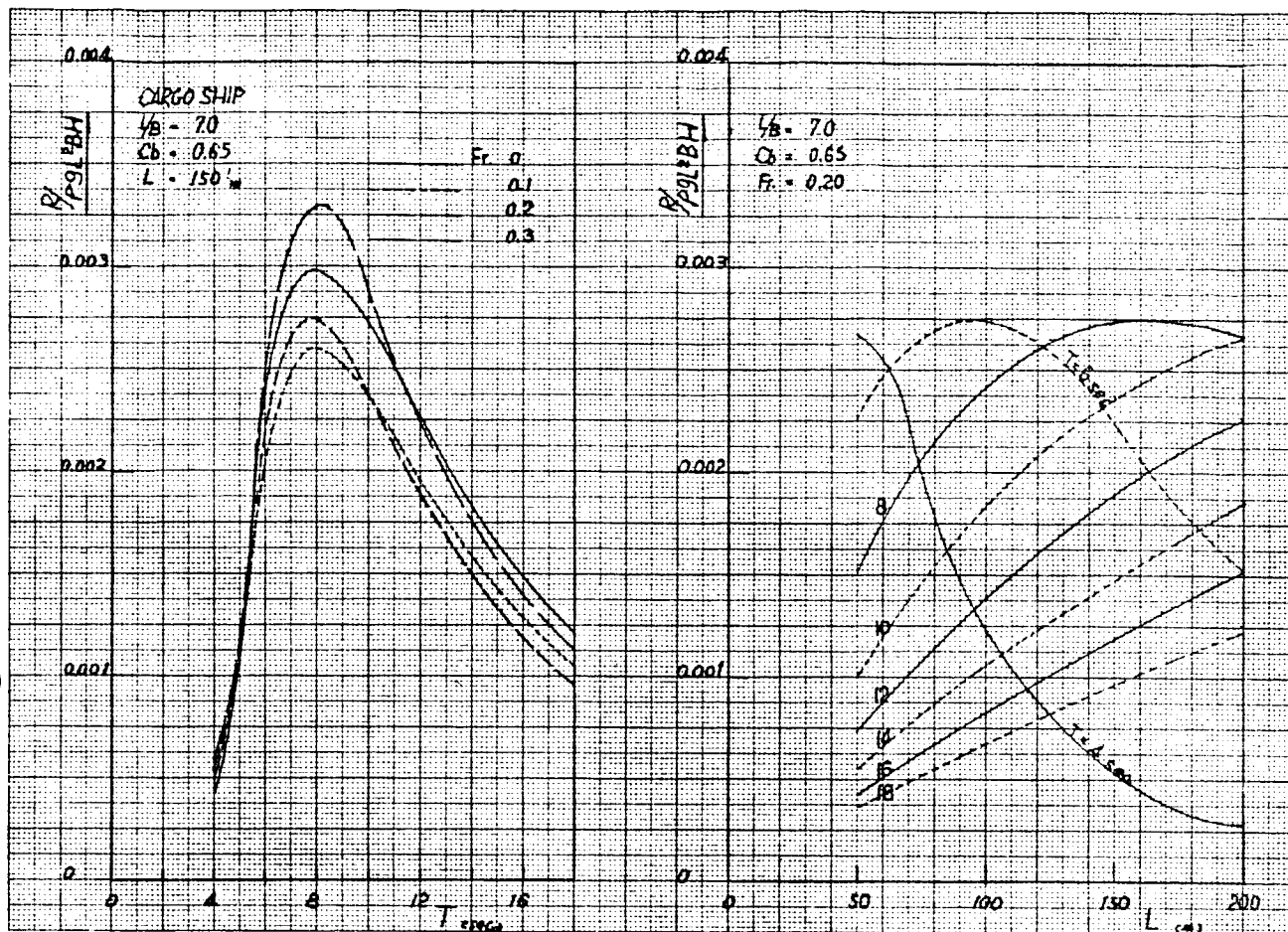


Fig. 4-6 (a)

Fig. 4-6 (b)

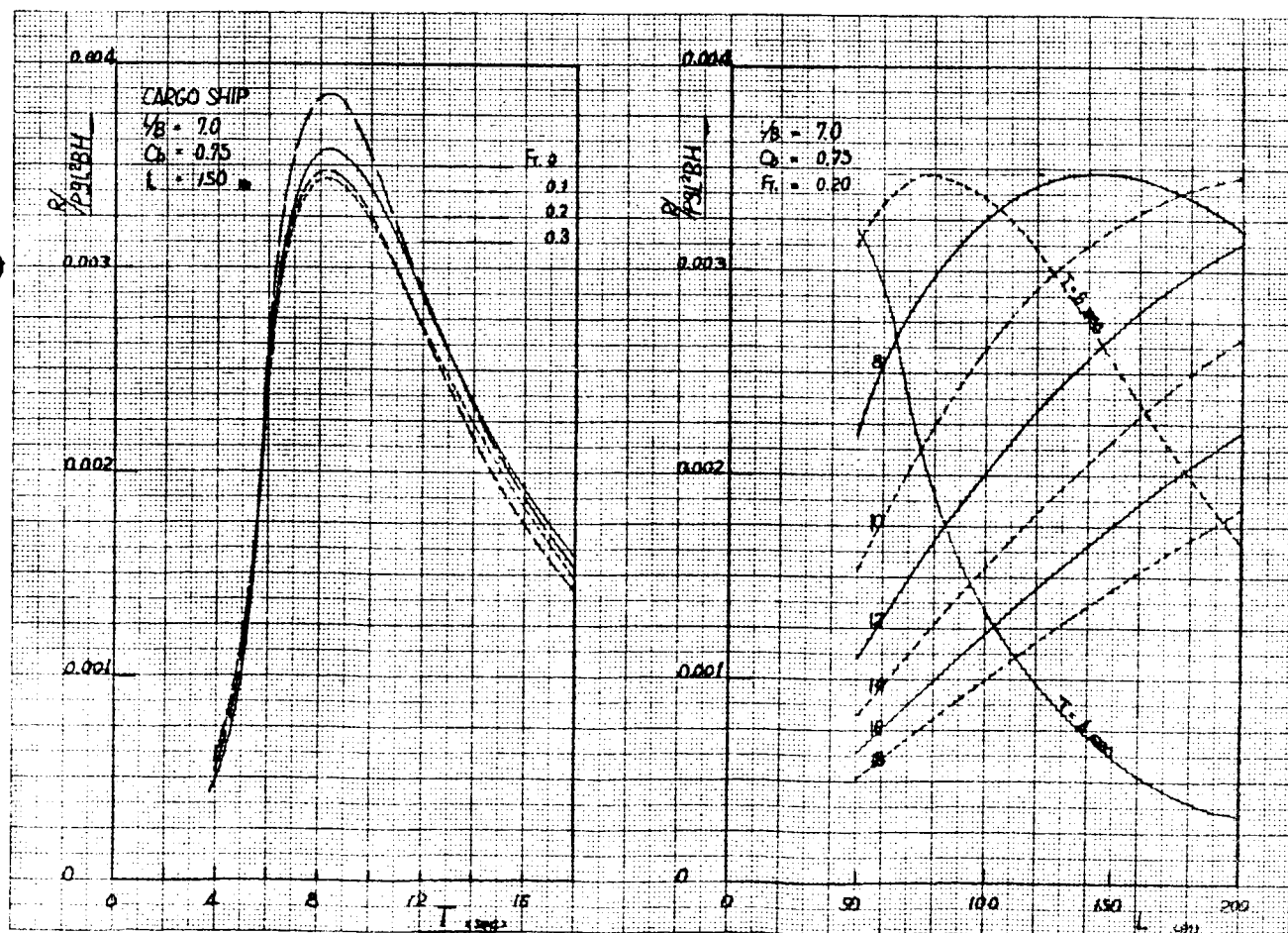


Fig. 4-7 (a)

Fig. 4-7 (b)

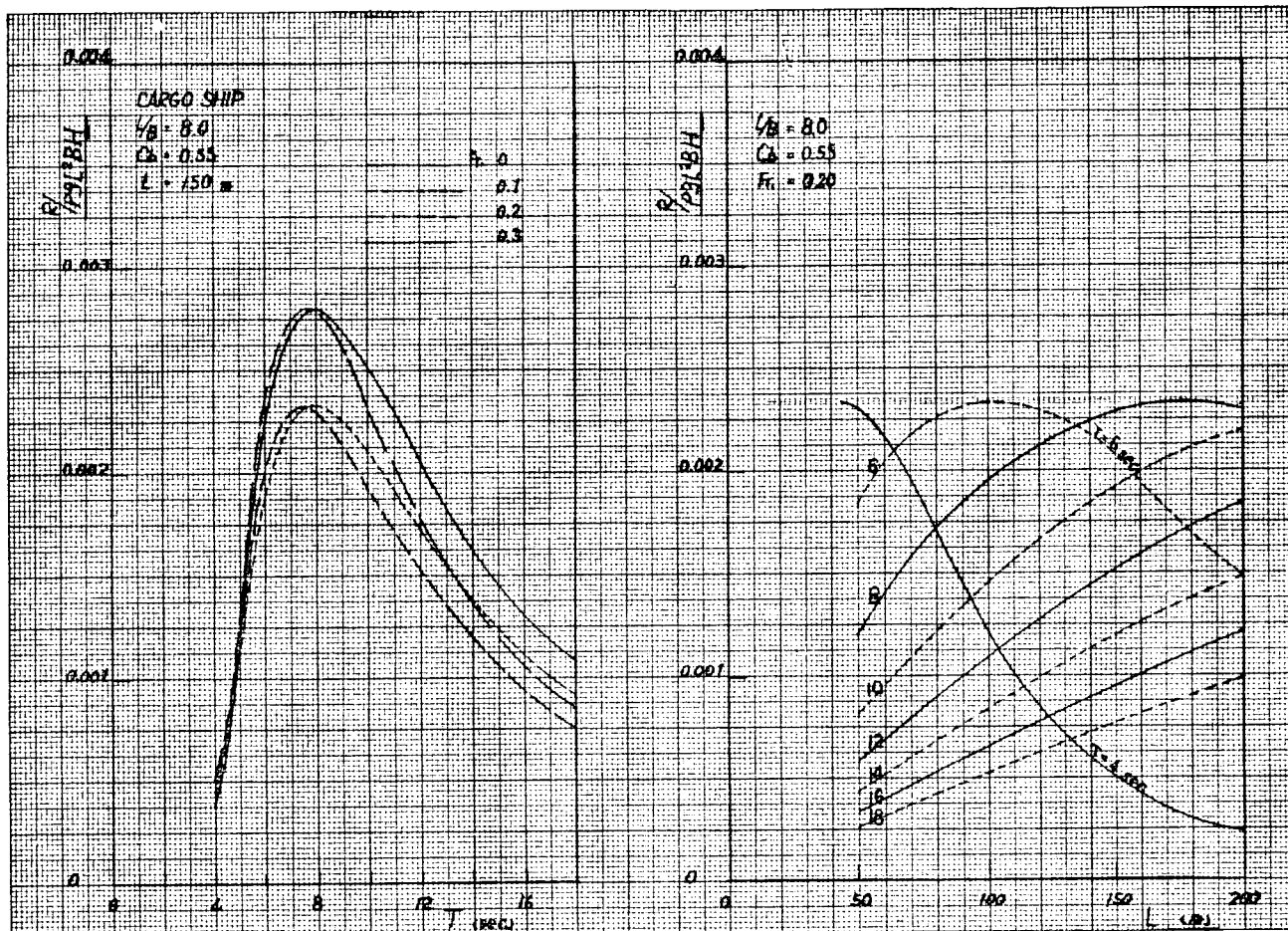


Fig. 4-8 (a)

Fig. 4-8 (b)

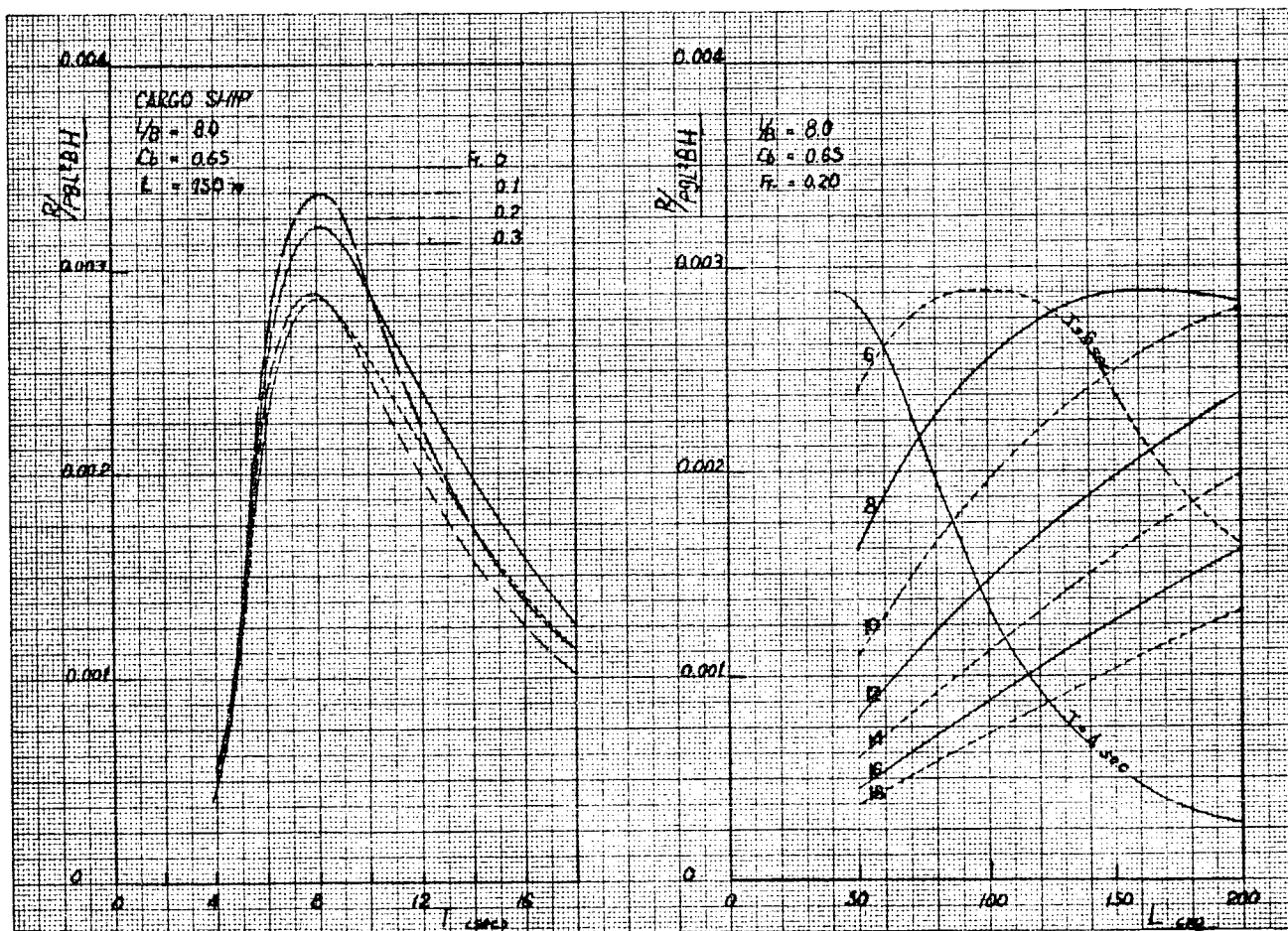


Fig. 4-9 (a)

Fig. 4-9 (b)

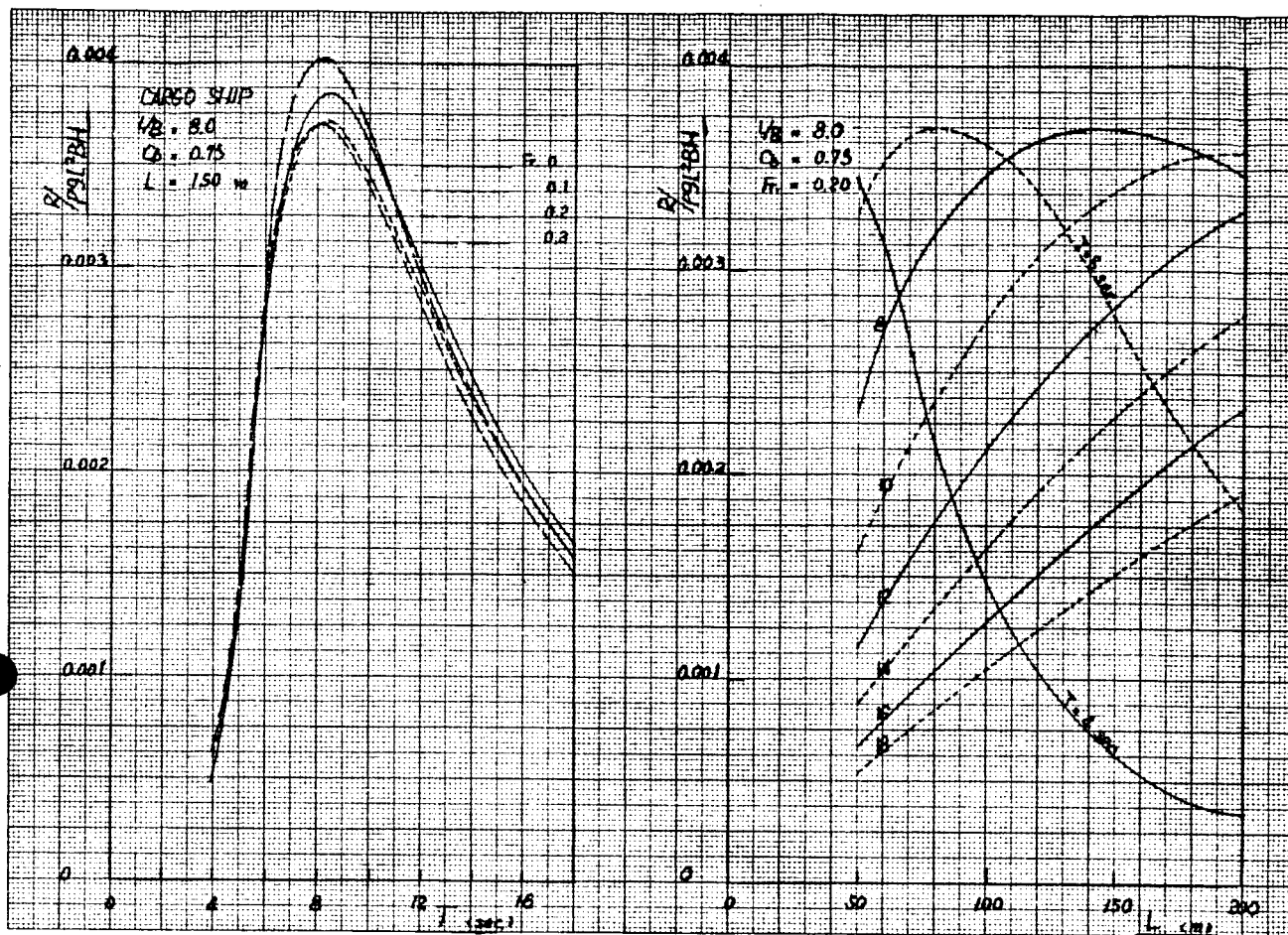


Fig. 4-10 (a)

Fig. 4-10 (b)

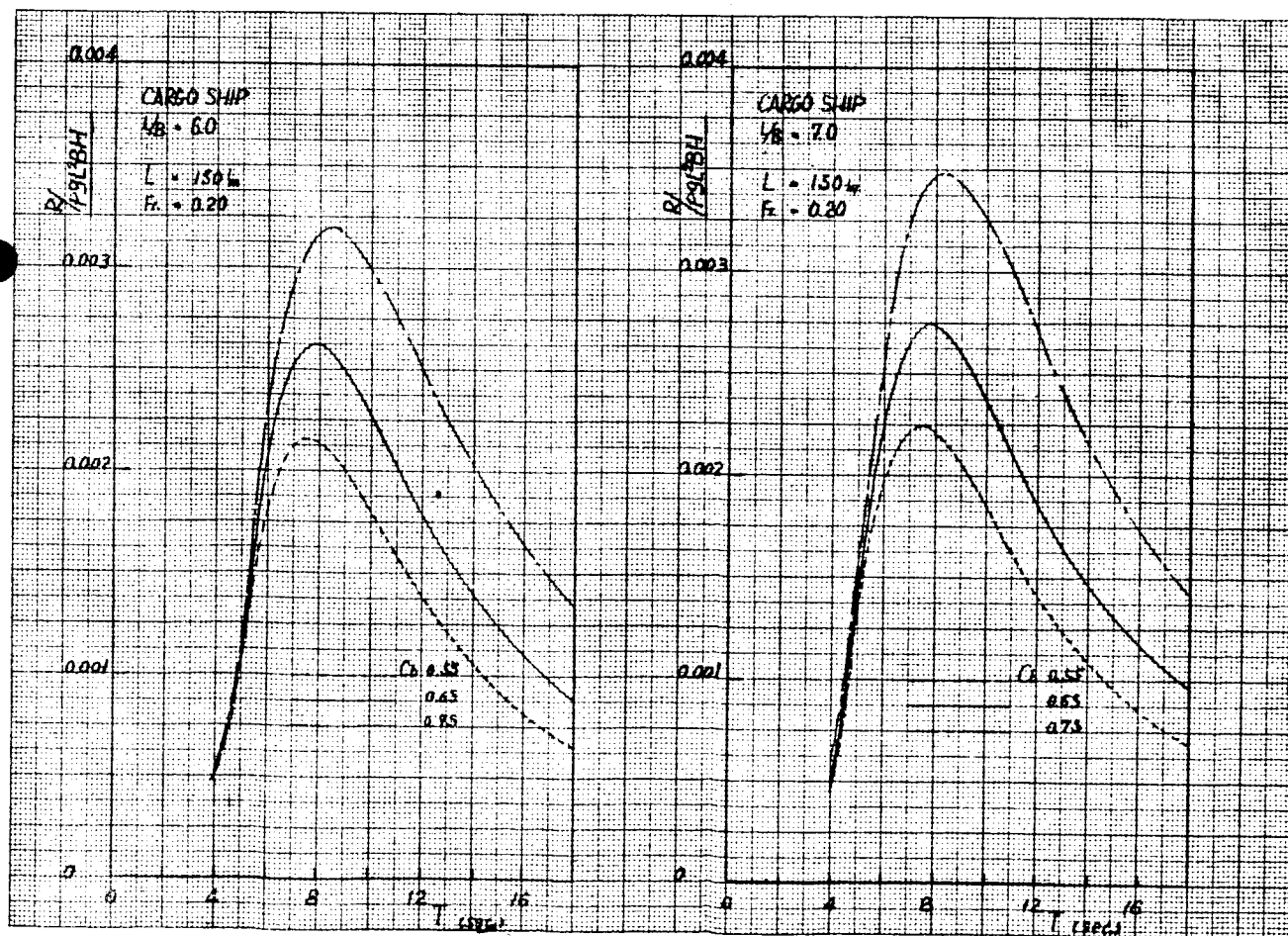


Fig. 4-11

Fig. 4-12

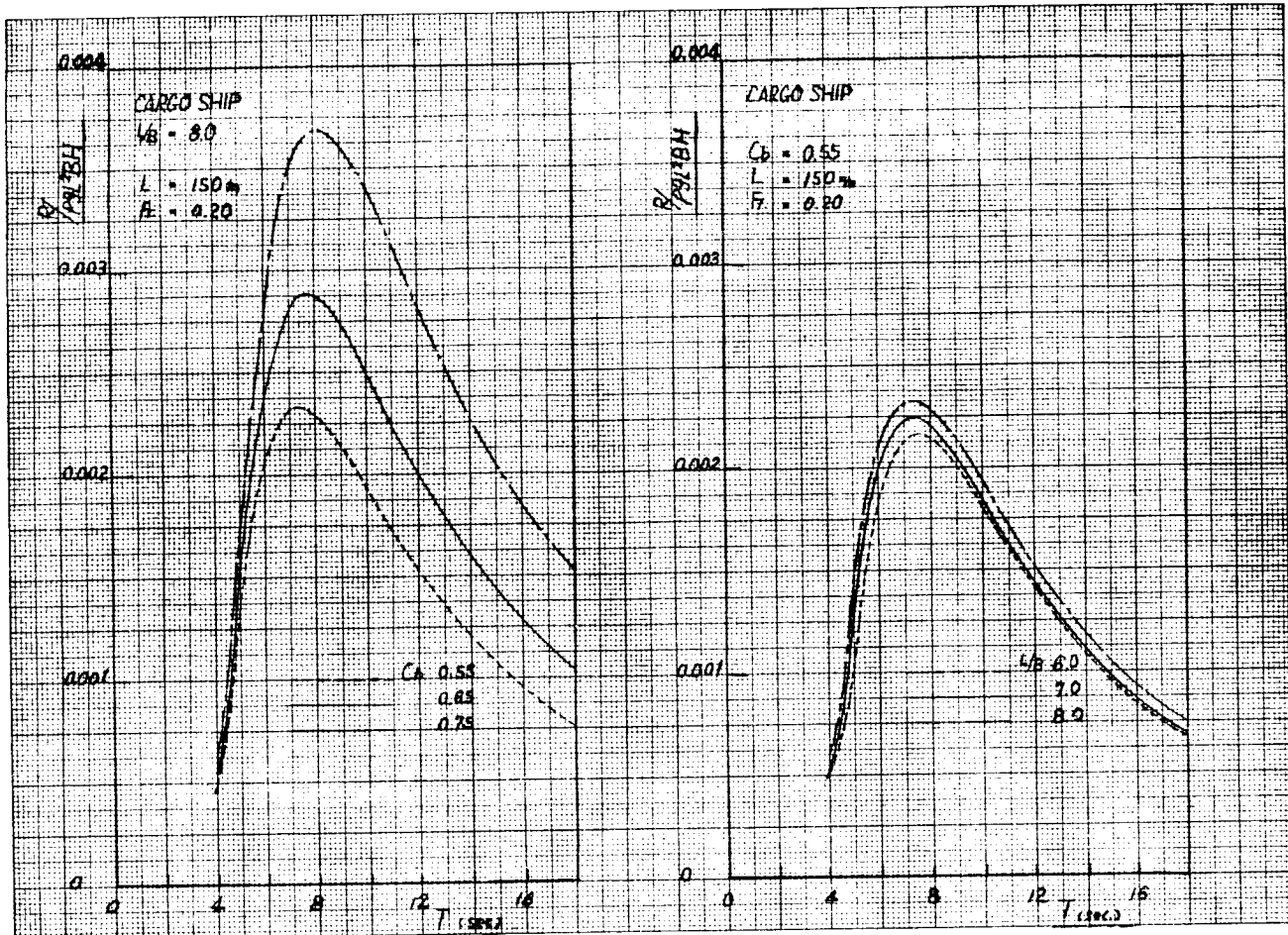


Fig. 4-13

Fig. 4-14

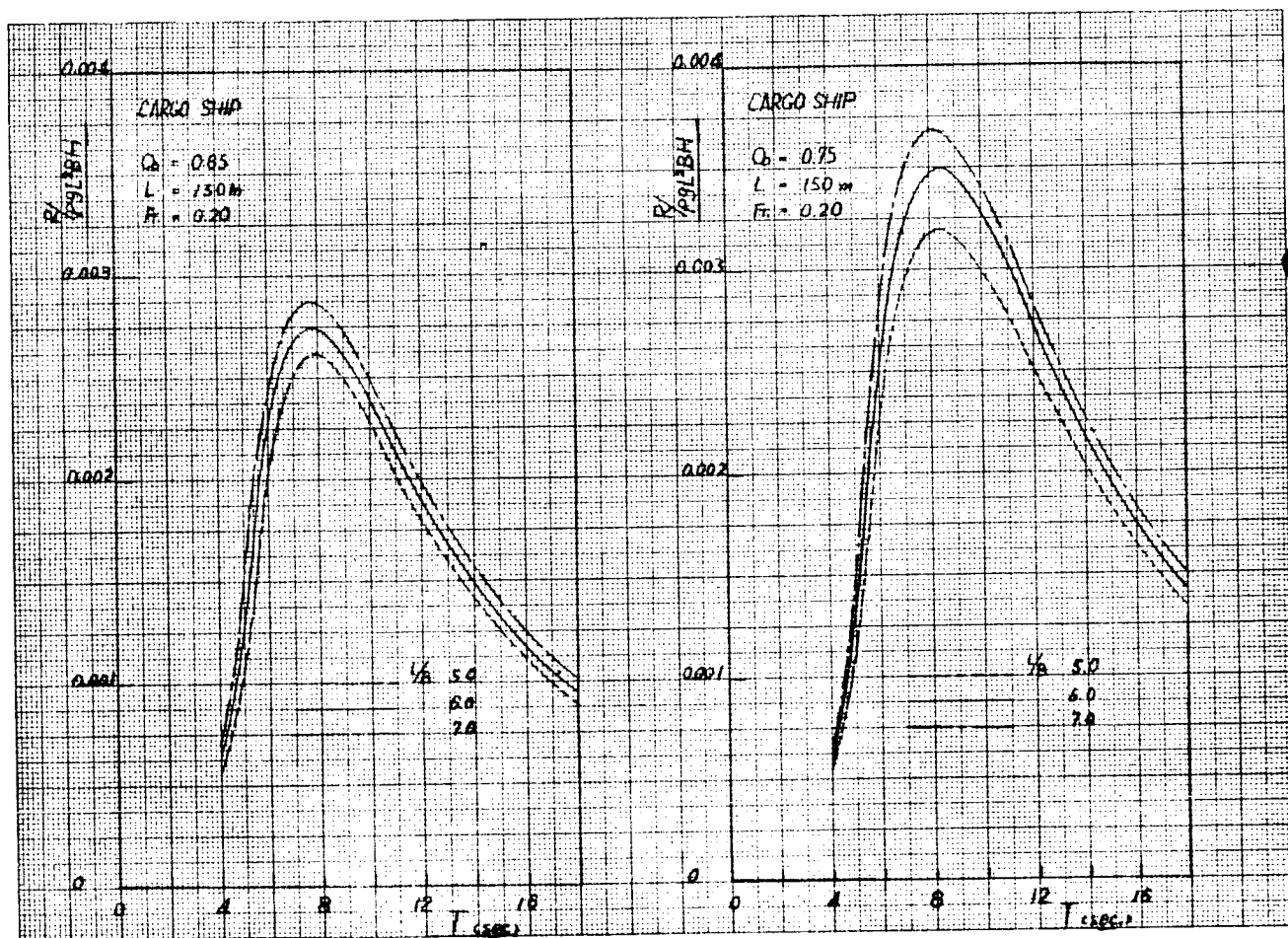


Fig. 4-15

Fig. 4-16

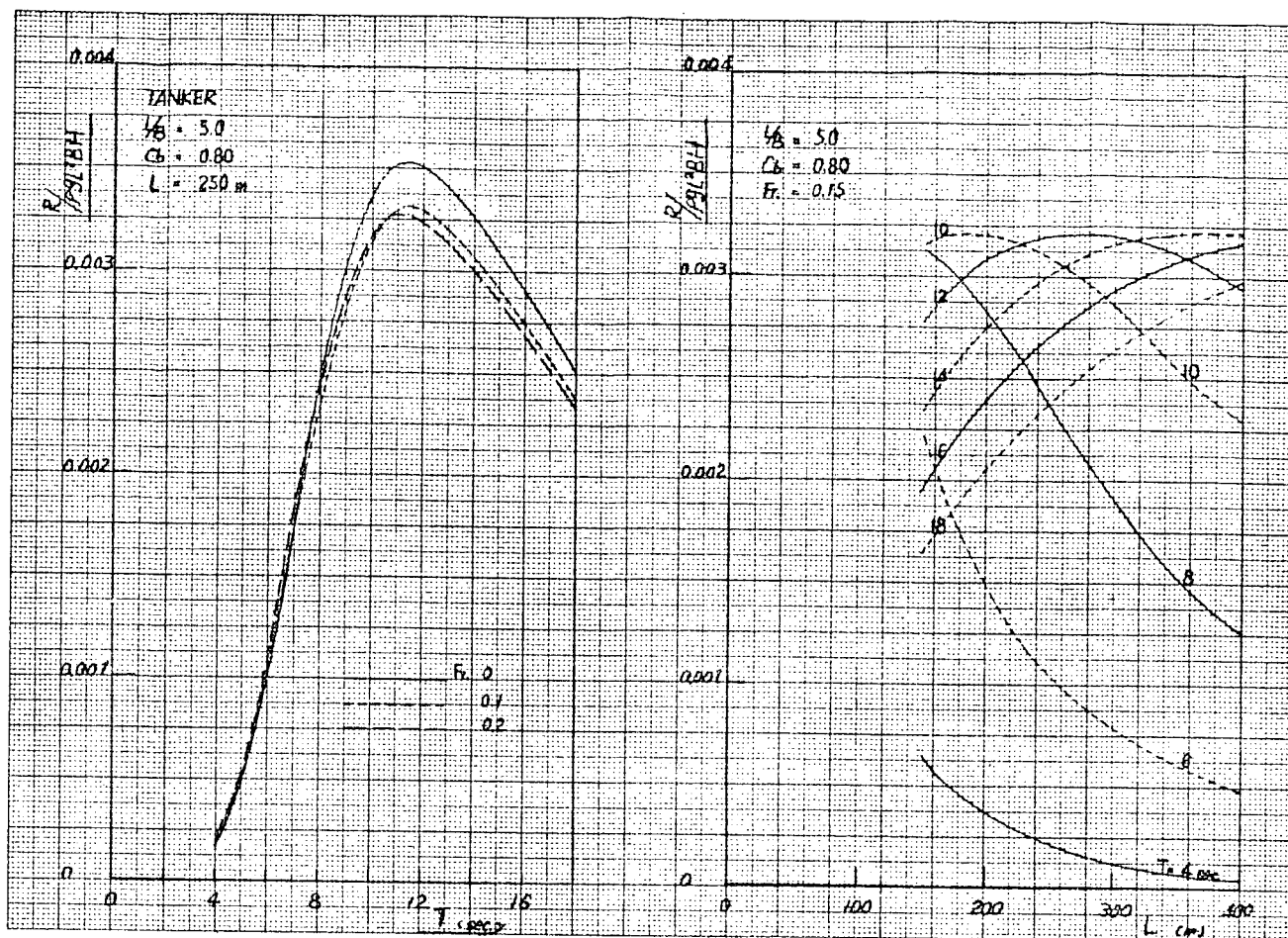


Fig. 4-17 (a)

Fig. 4-17 (b)

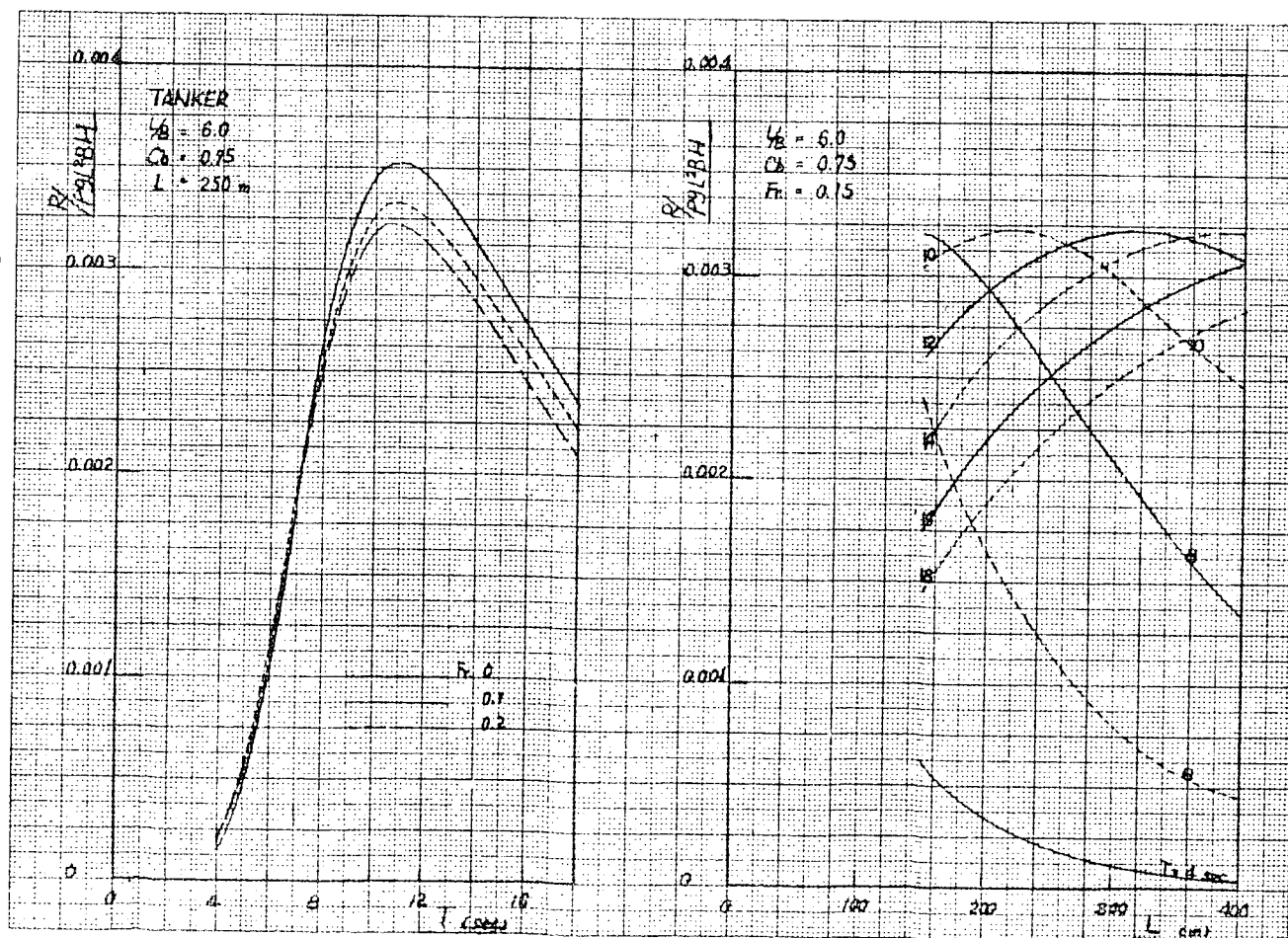


Fig. 4-18 (a)

Fig. 4-18 (b)

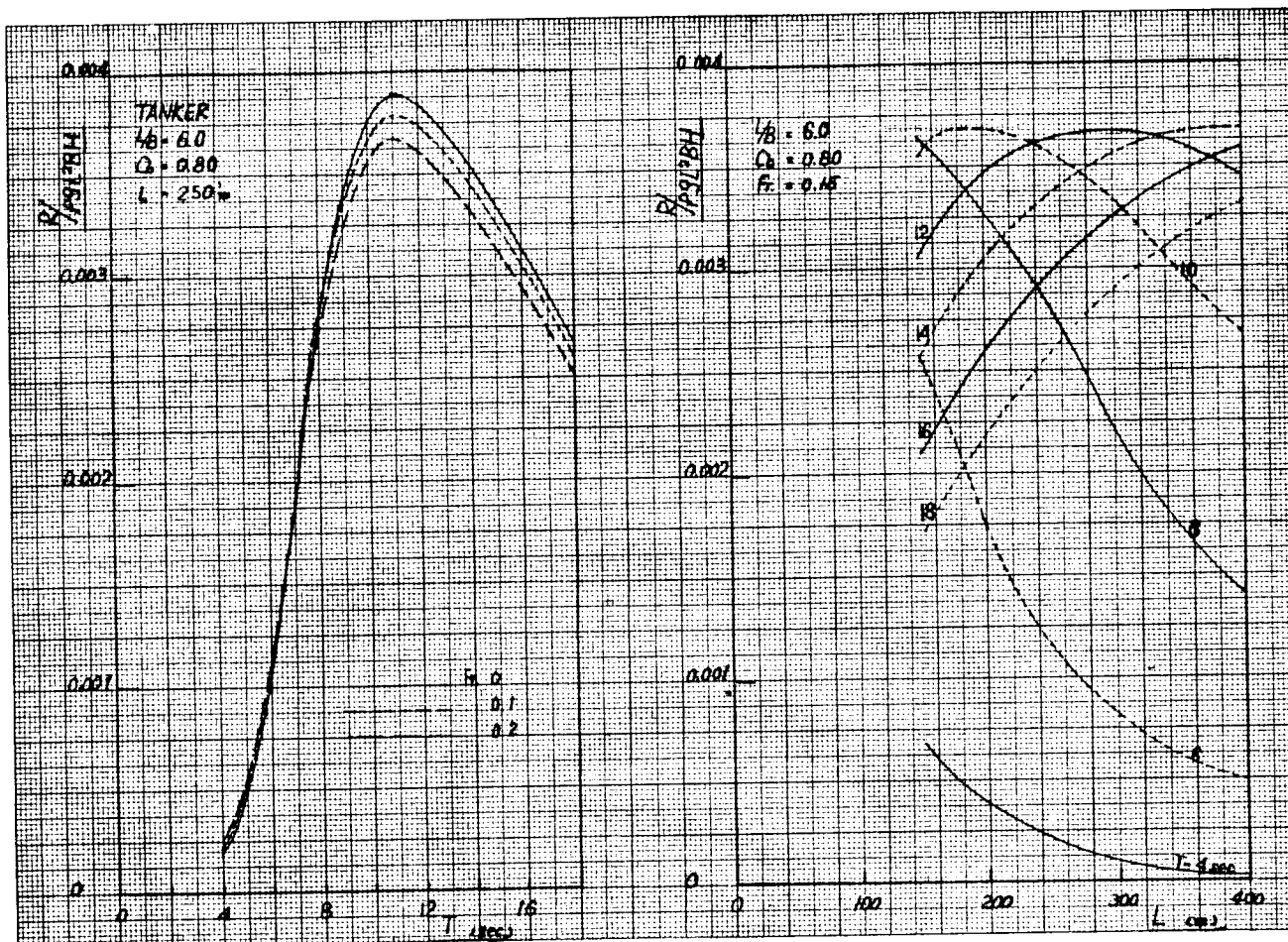


Fig. 4-19 (a)

Fig. 4-19 (b)

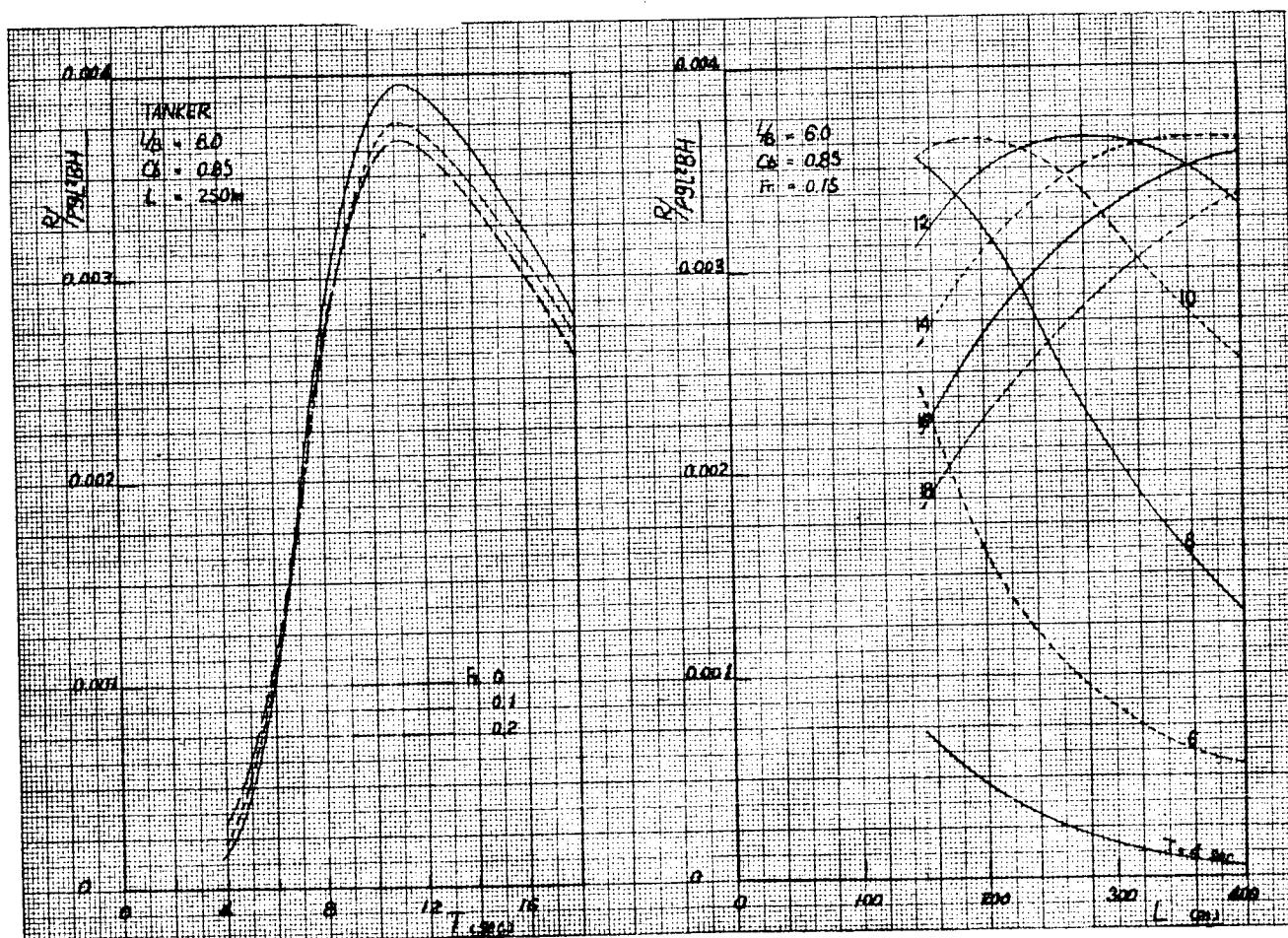


Fig. 4-20 (a)

Fig. 4-20 (b)

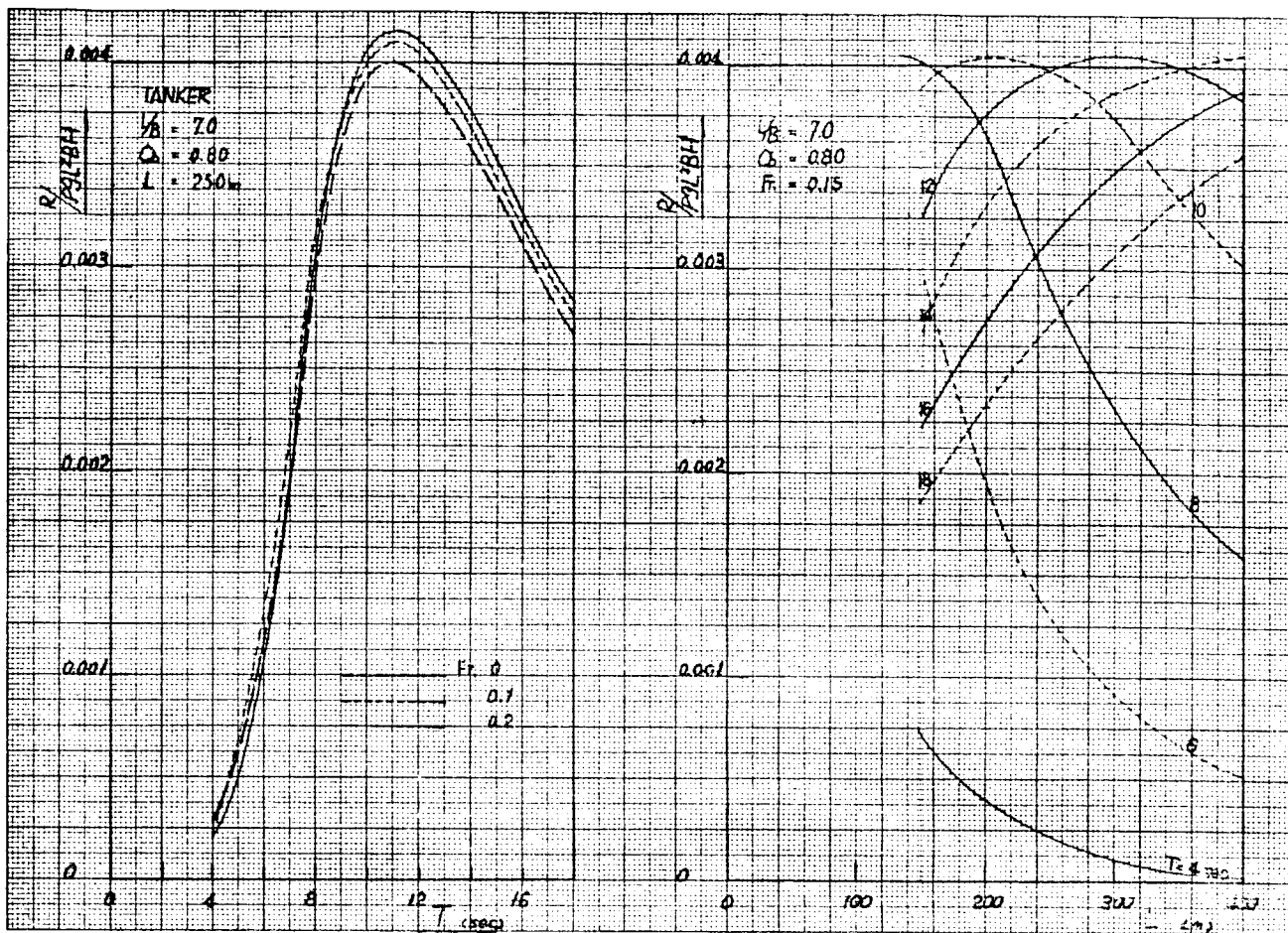


Fig. 4-21 (a)

Fig. 4-21 (b)

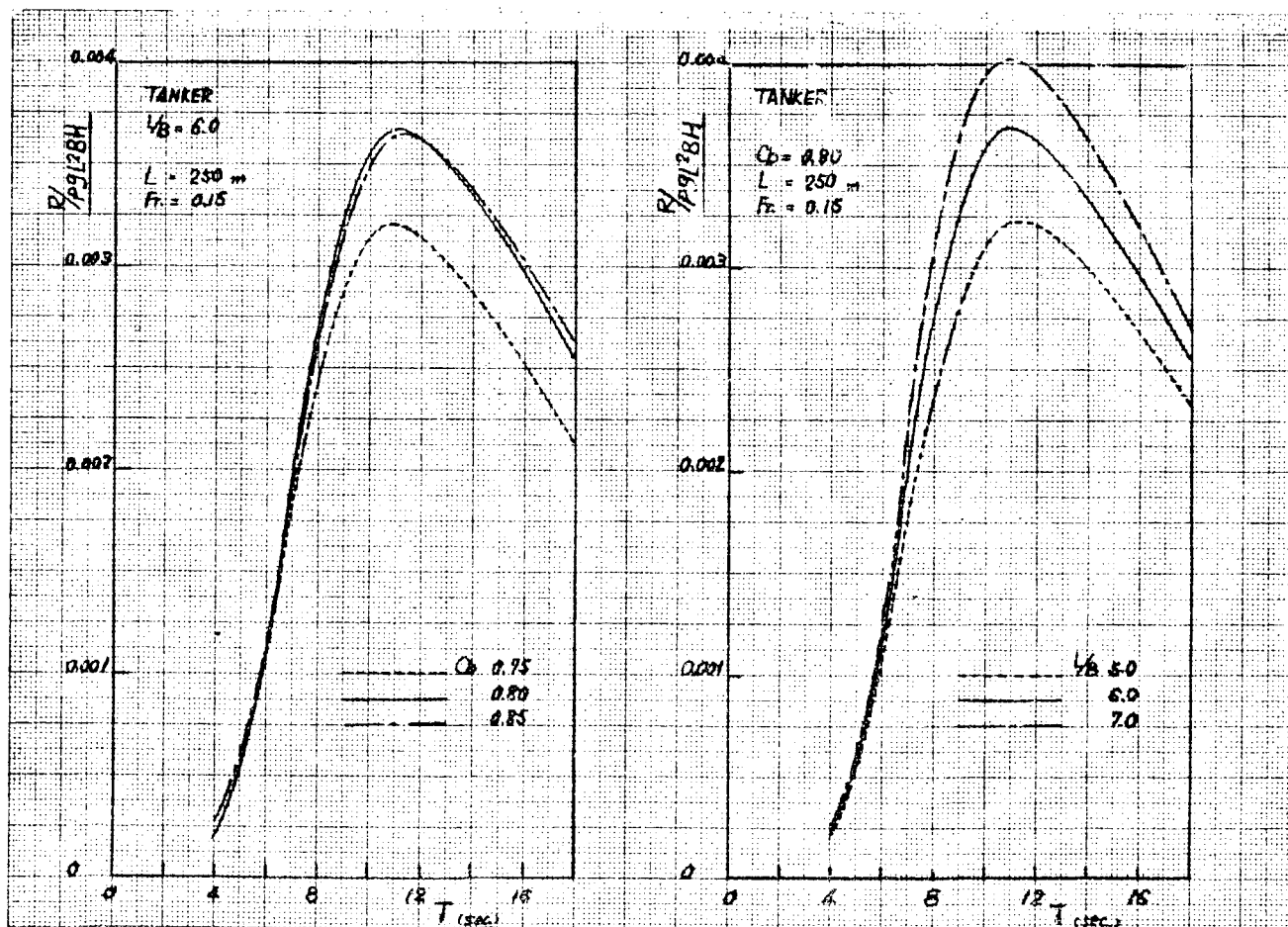


Fig. 4-22

Fig. 4-23

4.4 計算結果の考察

前記の計算結果から次のことが判明した。

4.4.1 Cargo Ship

(a) フルド数の影響

曲げモーメントの標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ を縦軸に平均波周期 T (sec.) を横軸にとつた。標準偏差曲線は (L, B, Cb) の組合せに対して共通の傾向がある。すなわち曲げモーメントの標準偏差の無次元値は $Fr = 0 \sim 0.10$ の低速域では直線的に減少し $Fr = 0.15$ で最低となる。

以後、フルード数が大きくなるにつれて曲げモーメントの標準偏差の無次元値は直線的に増大する。

(b) 船長の影響

船長 L (m) がかわると、曲げモーメントの標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ が最大となる平均波周期 T (sec.) の値がかわる。換言するとある平均波周期 T (sec.) に対して $R/\rho g L^2 B H$ が最大となる船長 L (m) が存在する。定性的には、短い平均波周期の海面では $R/\rho g L^2 B H$ が最大となるのは船長の短い船型であり、長い平均波周期の海面では $R/\rho g L^2 B H$ が最大となるのは船長の長い船型である。

たとえば $T = 6$ sec. の海面で $R/\rho g L^2 B H$ が最大となるのは $L \approx 150$ m

$T = 8$ sec. の海面で $R/\rho g L^2 B H$ が最大となるのは $L \approx 200$ m である。

(c) 船型の影響

(i) L/B の影響 …………… フルド数が 0.20 では L/B が大になるにつれて標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ は大きくなる。

その傾向は Cb が大きいほど著しい。

(ii) Cb の影響 …………… Cb が大になると標準偏差の無次元値 $R/\rho g L^2 B H$ は大きくなる。

その傾向は L/B が大きいほど著しい。

L/B と Cb の影響の大きさを比較すると Cb の方が大きい。

4.4.2 Tanker

(a) フルド数の影響

標準偏差曲線は $Fr = 0$ の時が最大で、フルード数が大になるにつれて直線的に減少する。

(b) 船長の影響

定性的には Cargo Ship の場合と同じである。

たとえば $T = 10$ sec. の海面では $R/\rho g L^2 B H$ が最大となるのは $L \approx 200$ m

$T = 12$ sec. の海面では $R/\rho g L^2 B H$ が最大となるのは $L \approx 300$ m

である

(c) 船型の影響

(i) L/B の影響 …………… L/B が大になるにつれて標準偏差の無次元値は直線的に大になる。

(ii) Cb の影響 …………… Cb が大になるにつれて標準偏差の無次元値は大きくなるが、 Cb が 0.80 と 0.85 ではその差はわずかである。

L/B と Cb の影響の大きさを比較すると、Tanker の場合は Cargo Ship の場合と違って L/B の影響もかなり大きい。

5. 船体中央部波浪曲げモーメントの長期分布

曲げモーメントの長期分布とは、波のスペクトル、船の針路、船速が変化する場合の曲げモーメントの統計学的分布のことで、この章では1隻の船が船令を通じて受ける曲げモーメントの最大値を、前章で求めた長波頂正面不規則波中の曲げモーメントの短期分布（ある海面状態での曲げモーメントの標準偏差）と長期間に観測された海面状態の長期分布とを用いて求める。

5.1 理 論

福田教授の理論²⁾によると、短期間にある海面状態での曲げモーメントの標準偏差 R が求まると、その期間に曲げモーメントがある値 M を越える確率 $q(M)$ は曲げモーメントの極値がレイリー分布にしたがうと仮定すると、

$$q(M) = \exp[-M^2/2R^2] \quad (5.1)$$

で表わされる。

したがって曲げモーメントの極値が長期間（たとえば船令を通じて）にある値 M を越える確率 $Q(M)$ は、(5.1)に標準偏差 R の長期発現確率 $P(R)$ をかけて R のすべてについて積分するとえられる。

$$Q(M) = \int_0^\infty \exp[-M^2/2R^2] \cdot P(R) dR \quad (5.2)$$

数値積分に便利のように、標準偏差 R_ℓ が生ずる長期発現確率を P_ℓ とすると(5.3)は、

$$Q(M) = \sum_{\ell=1}^{\infty} \exp[-M^2/2R_\ell^2] P_\ell \quad (5.3)$$

となる。

標準偏差 R_ℓ の長期発現確率 P_ℓ は、有義波高 H 、平均波周期 T で決定される海面状態の長期発現確率 P'_ℓ と、波に対する船の針路の長期発現確率を P''_ℓ とから求められる。

海面状態の長期発現確率を求める資料としては、Roll³⁾、Walden⁴⁾の北大西洋、山内氏等⁵⁾の北太平洋での海面の長期観測資料がある。

長波頂不規則波中で波に対して船が常に θ の針路をとる場合(5.3)は、

$$Q_L(M, \theta) = \sum_{\ell=1}^{\infty} \exp[-M^2/2(R_\ell)_L^2] \cdot P'_\ell \quad (5.3.1)$$

短波頂不規則波中で波に対して船が常に θ の針路をとる場合(5.3)は、

$$Q_S(M, \theta) = \sum_{\ell=1}^{\infty} \exp[-M^2/2(R_\ell)_S^2] \cdot P'_\ell \quad (5.3.2)$$

となる。

短波頂不規則波中で波に対して船が θ の針路をとる確率が海面状態、船速に無関係にあらゆる方向に一様分布するものと仮定する時、これをAll Headingと称して(5.3)は、

$$Q_S(M) = \sum_{\ell=1}^{\infty} \exp[-M^2/2(R_\ell)_S^2] \cdot P'_\ell \cdot P''_\ell \quad (5.3.3)$$

$$P''_\ell = 1/N_\theta$$

N_θ は全円周 $0 \sim 360^\circ$ をFig. 5-1のように等分割した数を示す。

5.2 計算状態

3章で修正した正面規則波中の船体中央部波浪曲げモーメントの応答関数と、(4.3.1)のI.S.S.C. Spectraとから(4.1)を用いて長波頂正面不規則波中の曲げモーメントの標準偏差が求められた。この章では、この標準偏差とWaldenの北大西洋の海面状態の長期観測資料とから(5.3.1)を用いて、長波頂正面不規則波中で曲げモーメントがある値 M を越える確率を求めた。

計算状態はTable 5-1に示すように、船長をかえた相似船型について船速をかえて計算した。

Table 5-1

Type of Ship	船 型		船 長 (m)	フルード数
	L/B	Cb		
Cargo Ship	6.0	0.55	50	0.
		0.65		0.05
		0.75		0.10
	7.0	0.55	100	0.15
		0.65	125	0.20
		0.75	150	0.25
	8.0	0.55	175	0.30
		0.75	200	0.30
Tanker	5.0	0.80	150	0.
	6.0	0.75	200	0.05
		0.80	250	0.10
		0.85	300	0.15
	7.0	0.80	400	0.20

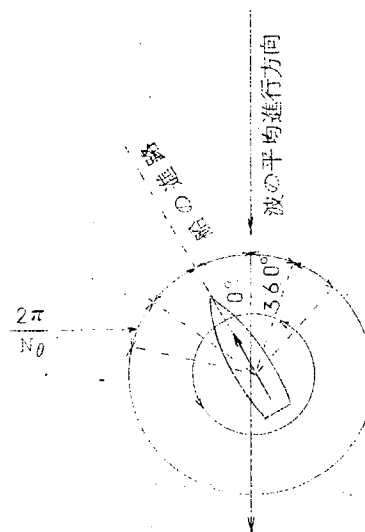


Fig 5-1

$(R_\ell)_L$, $(R_\ell)_S$ は長波頂不規則波中、短波頂不規則波中での標準偏差 R_ℓ を示す。

5.3 計算結果

(5.3.1) 式から曲げモーメントの期待値 M とこの発現確率 Q の関係が求められる。

Fig. 5-2-(a), Fig. 5-2-(b) は基準船型 Cargo Ship ($L/B = 7.0$, $Cb = 0.65$) の $Fr = 0.20$, Tanker ($L/B = 6.0$, $Cb = 0.80$) の $Fr = 0.15$ の場合について縦軸に曲げモーメントの期待値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ 、横軸に期待値 M の発現確率 Q の常用対数 $\log_{10} Q$ をとって上記の関係を示したものである。

さて船令を 20~25 年程度とすると、1 隻の船がその生涯を通じて受ける曲げモーメントの標準偏差 R の総数は 10^5 程度であり、この間に受ける曲げモーメントの変動回数は 10^8 程度である。したがって発現確率 Q が 10^{-8} 程度の曲げモーメントの期待値が異常値としてあらわれる可能性がある。よって Fig. 5-2-(a), Fig. 5-2-(b) で $\log_{10} Q = -8$ の位置での縦軸の値をよめば、1 隻の船が生涯を通じて受ける曲げモーメントの異常値がえられる。

ところが本部会の計算の対象は現実の海象より苛酷な長波頂正面不規則波中での長期分布を求めている。したがって $\log_{10} Q = -8$ の確率の期待値は現実の海象で生ずるであろうと推定される値よりは、かなり大きいものと考えられる。

そこで現実の海象に近い短波頂不規則波中で ALL HEADING と考えた時の発現確率 $Q = 10^{-8}$ の期待値と長波頂正面不規則波中での発現確率 $Q = 10^{-7}$ での期待値がほぼ等しいことから、便宜上長波頂正面不規則波中で発現確率 $Q = 10^{-7}$ の期待値をこの船が生涯を通じて受ける異常値とする。

(ALL HEADING については付録 4 で説明する。)

5.3.1 Cargo Ship

(a) L/B 、 Cb をかえた船型について曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ と船長 L (m) との関係、

等価波高 H_e (m) と船長 L (m) との関係をフルード数をパラメータとして図示したのが Fig. 5-3 ~ Fig. 5-11 である。

(等価波高については付録 5 で説明する。)

- (b) フルード数が 0.20 の場合について、同一の L/B に対して C_b をかえた時の曲げモーメントの異常値の無次元値と船長との関係、等価波高と船長との関係を図示したのが Fig. 5-12 ~ Fig. 5-14 であり、同一の C_b に対して L/B をかえた時の図が Fig. 5-15 ~ Fig. 5-17 である。

5.3.2 Tanker

- (a) L/B 、 C_b をかえた船型について、曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ と船長 L (m) との関係、等価波高 H_e (m) と船長 L (m) との関係をフルード数をパラメータとして図示したのが Fig. 5-18 ~ Fig. 5-22 である。

(b) 船型の影響

フルード数が 0.15 の場合について、同一の L/B に対して C_b をかえた時の曲げモーメントの異常値の無次元値と船長との関係、等価波高と船長との関係を図示したのが Fig. 5-23 であり、同一の C_b に対して L/B をかえた時の図が Fig. 5-24 である。

Table 5-1

Fig. No	Type of Ship	Ship Form		Fr.	Page
		L/B	C_b		
Fig. 5 - 3	Cargo Ship	6.0	0.55	—	34
5 - 4		6.0	0.65	—	
5 - 5		6.0	0.75	—	
5 - 6		7.0	0.55	—	35
5 - 7		7.0	0.65	—	
5 - 8		7.0	0.75	—	
5 - 9		8.0	0.55	—	36
5 - 10		8.0	0.65	—	
5 - 11		8.0	0.75	—	
5 - 12		6.0	—	0.20	37
5 - 13		7.0	—	0.20	
5 - 14		8.0	—	0.20	
5 - 15		—	0.55	0.20	38
5 - 16		—	0.65	0.20	
5 - 17		—	0.75	0.20	
5 - 18	Tanker	5.0	0.80	—	39
5 - 19		6.0	0.75	—	
5 - 20		6.0	0.80	—	
5 - 21		6.0	0.85	—	
5 - 22		7.0	0.80	—	
5 - 23		6.0	—	0.15	40
5 - 24		—	0.80	0.15	

L/B 、 C_b 、Fr. 列で空白の欄のパラメータが変化をして、図はその影響を示すものである。

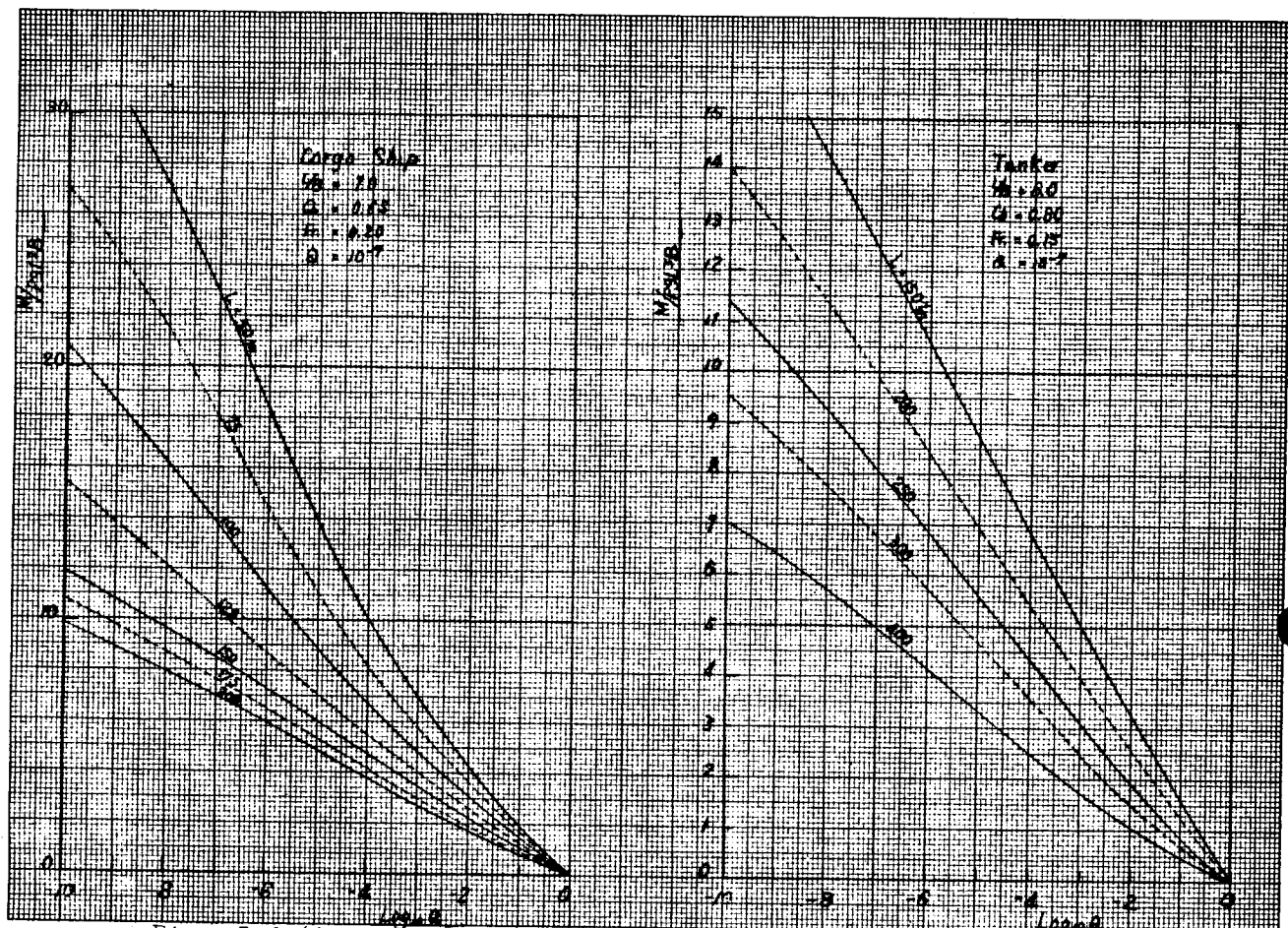


Fig. 5-2 (a)

Fig. 5-2 (b)

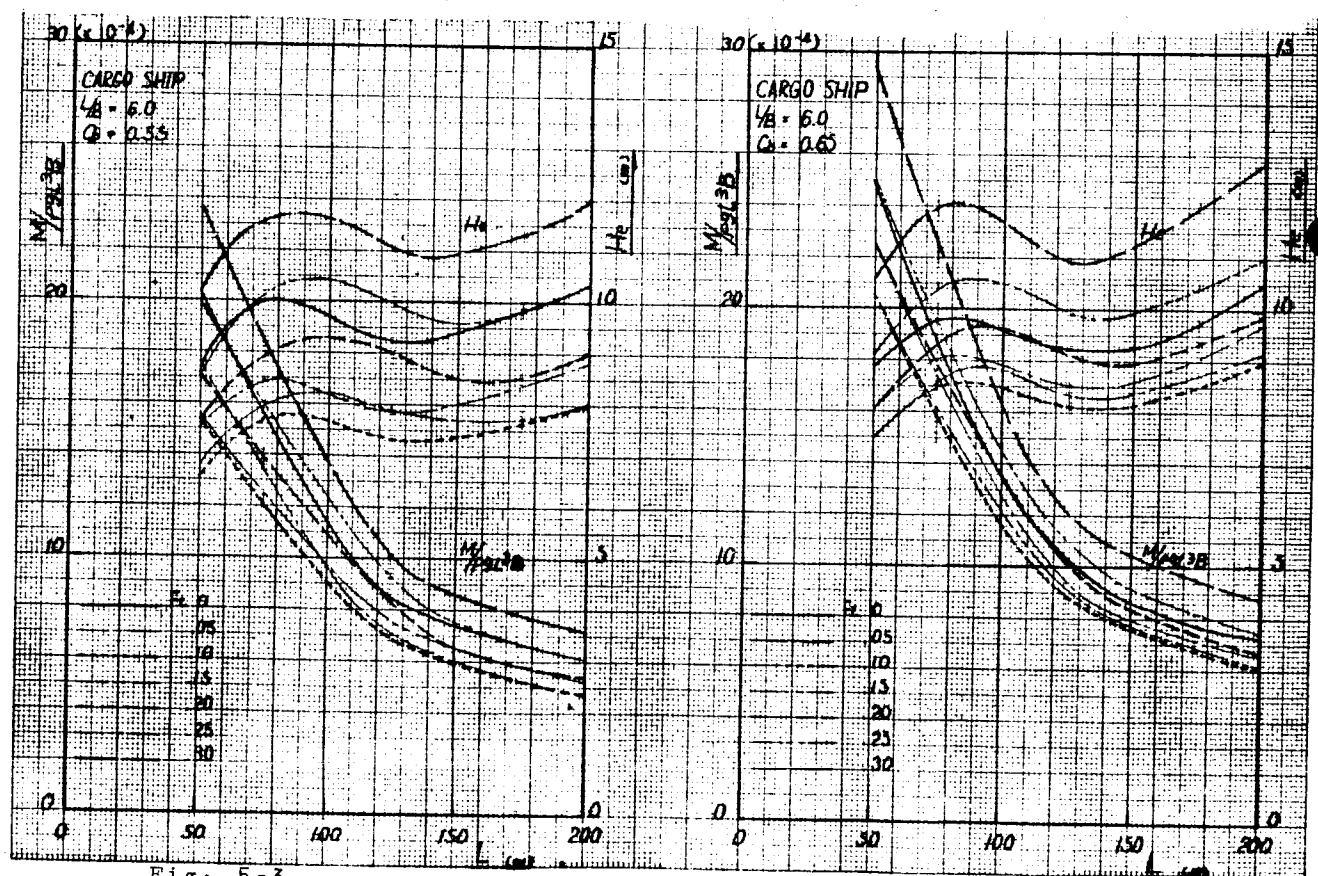
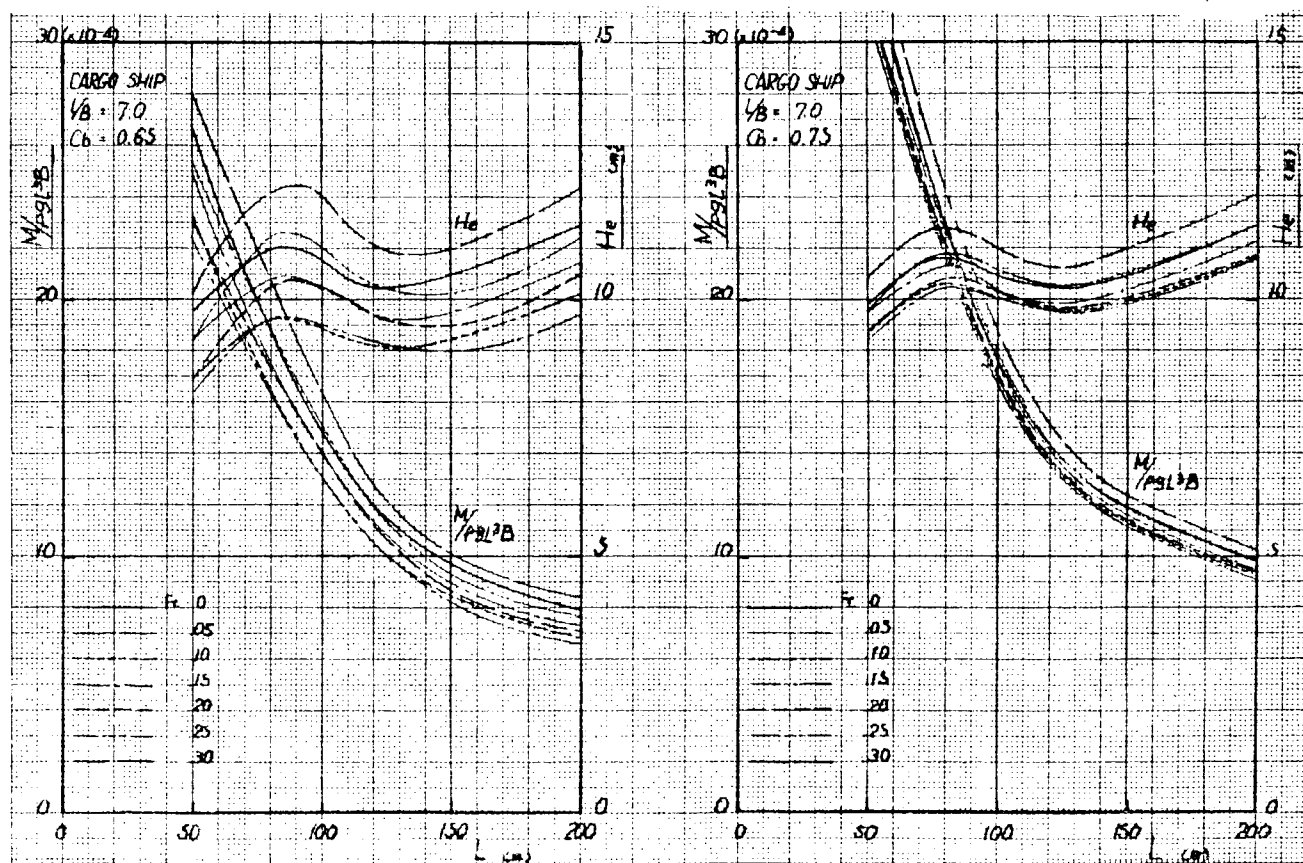
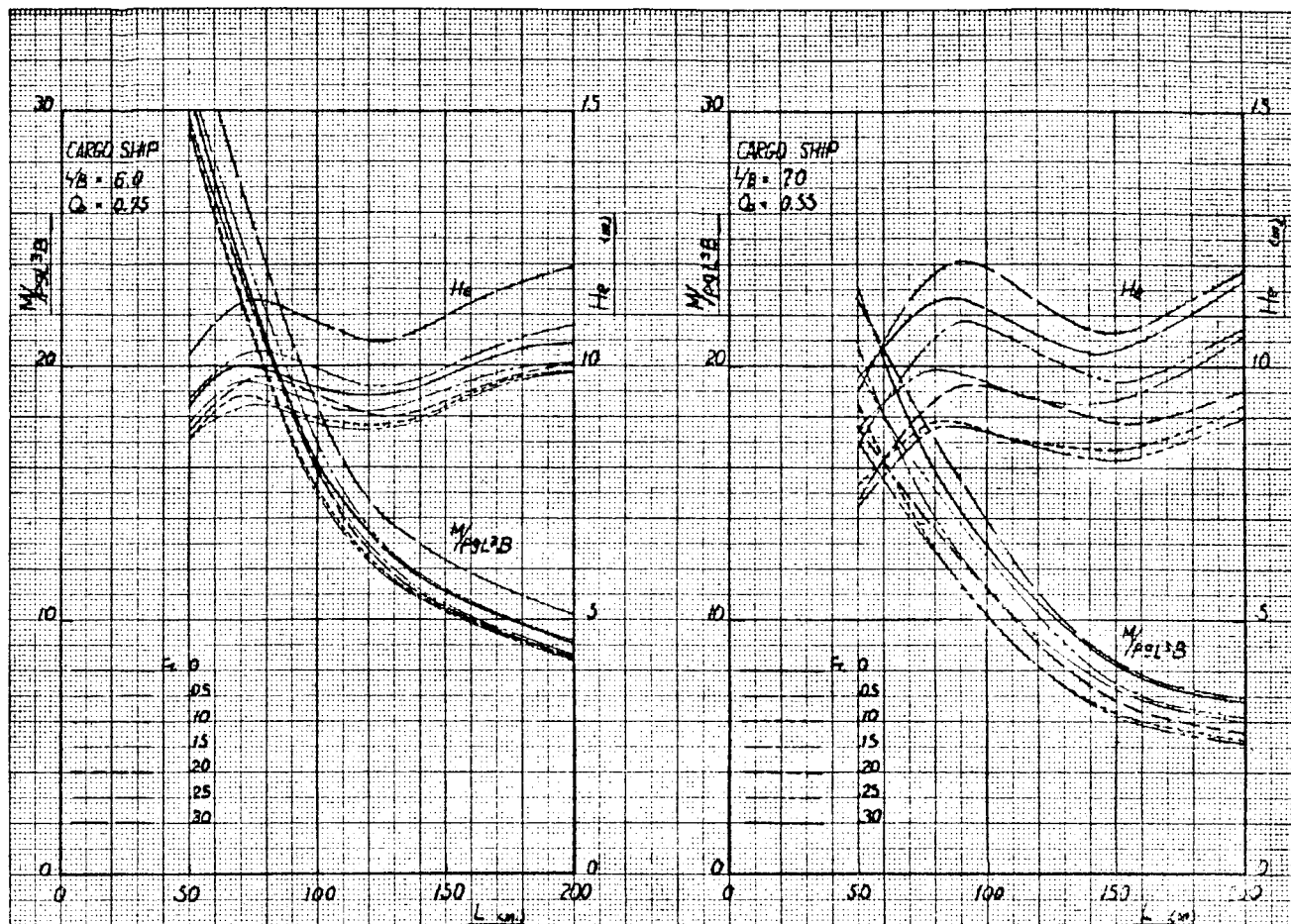


Fig. 5-3

Fig. 5-4



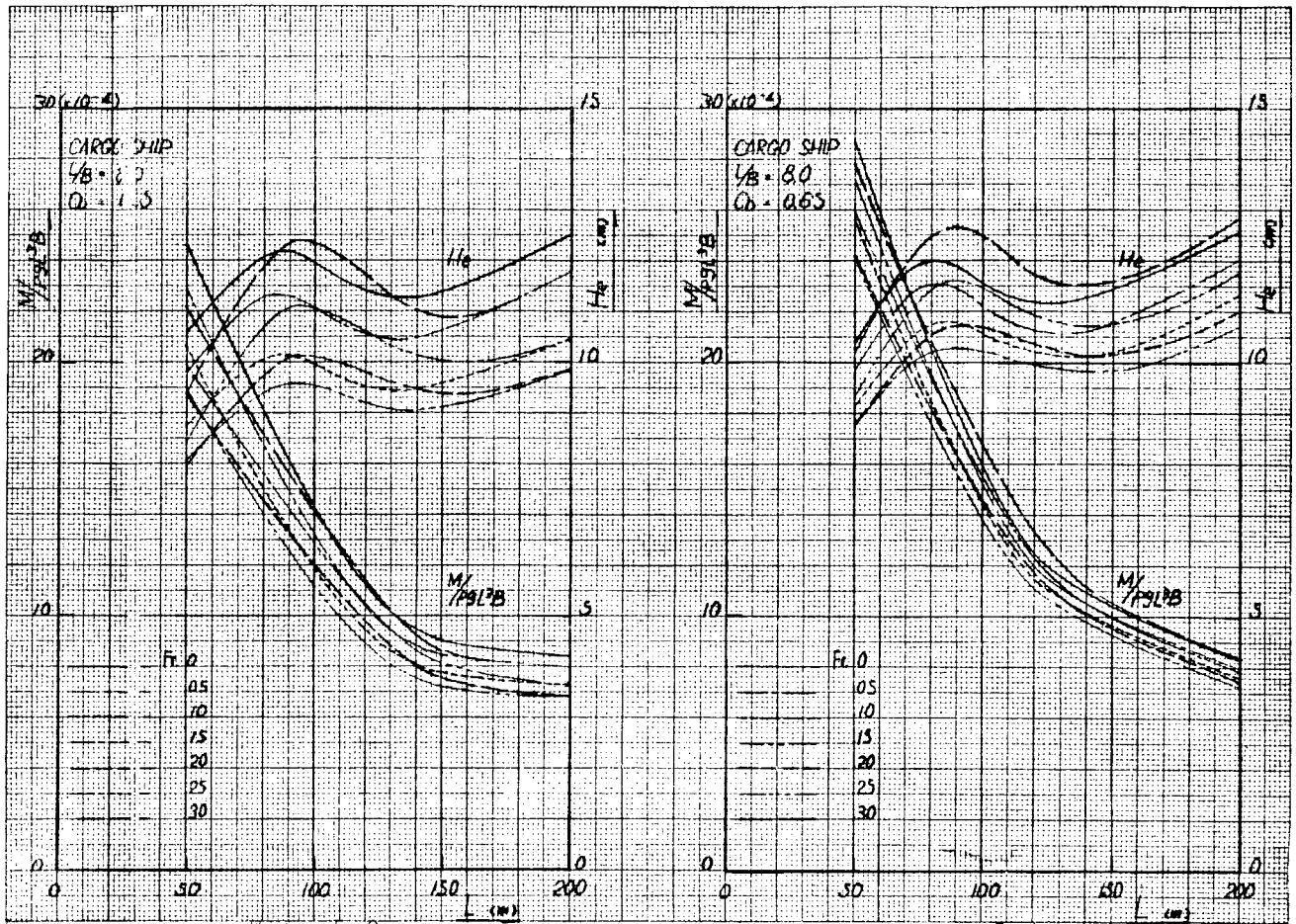


Fig. 5-9

Fig. 5-10

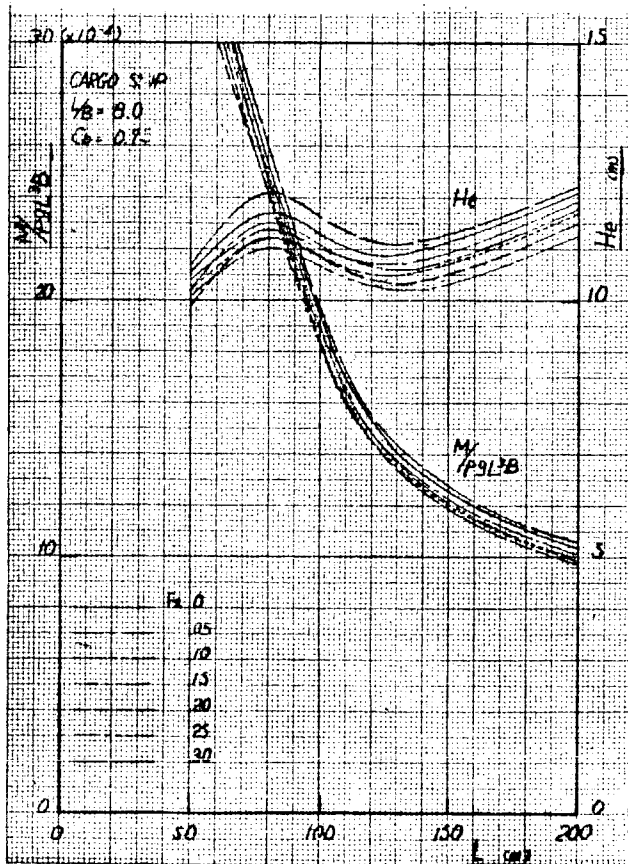


Fig. 5-11

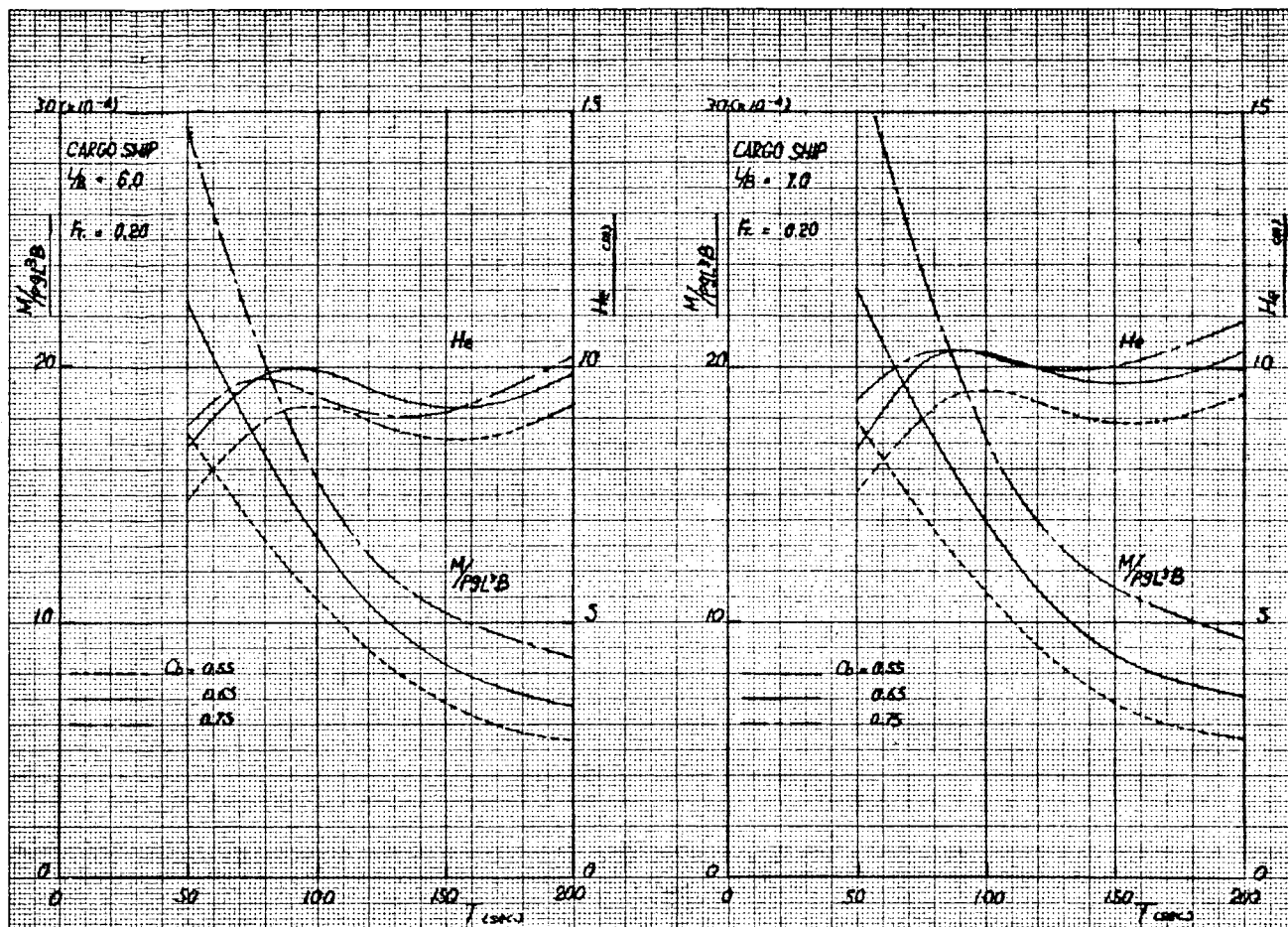


Fig. 5-12

Fig. 5-13

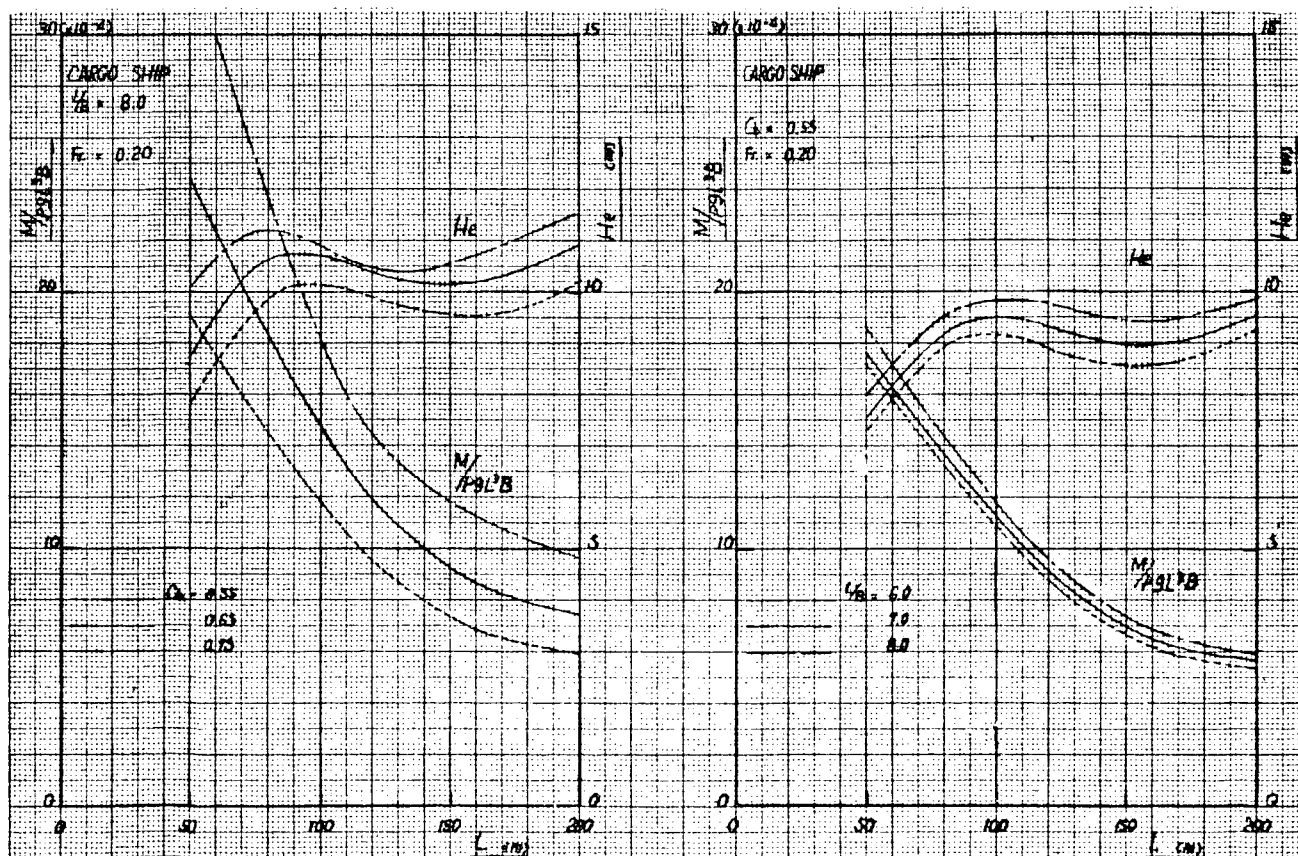


Fig. 5-13

Fig. 5-14

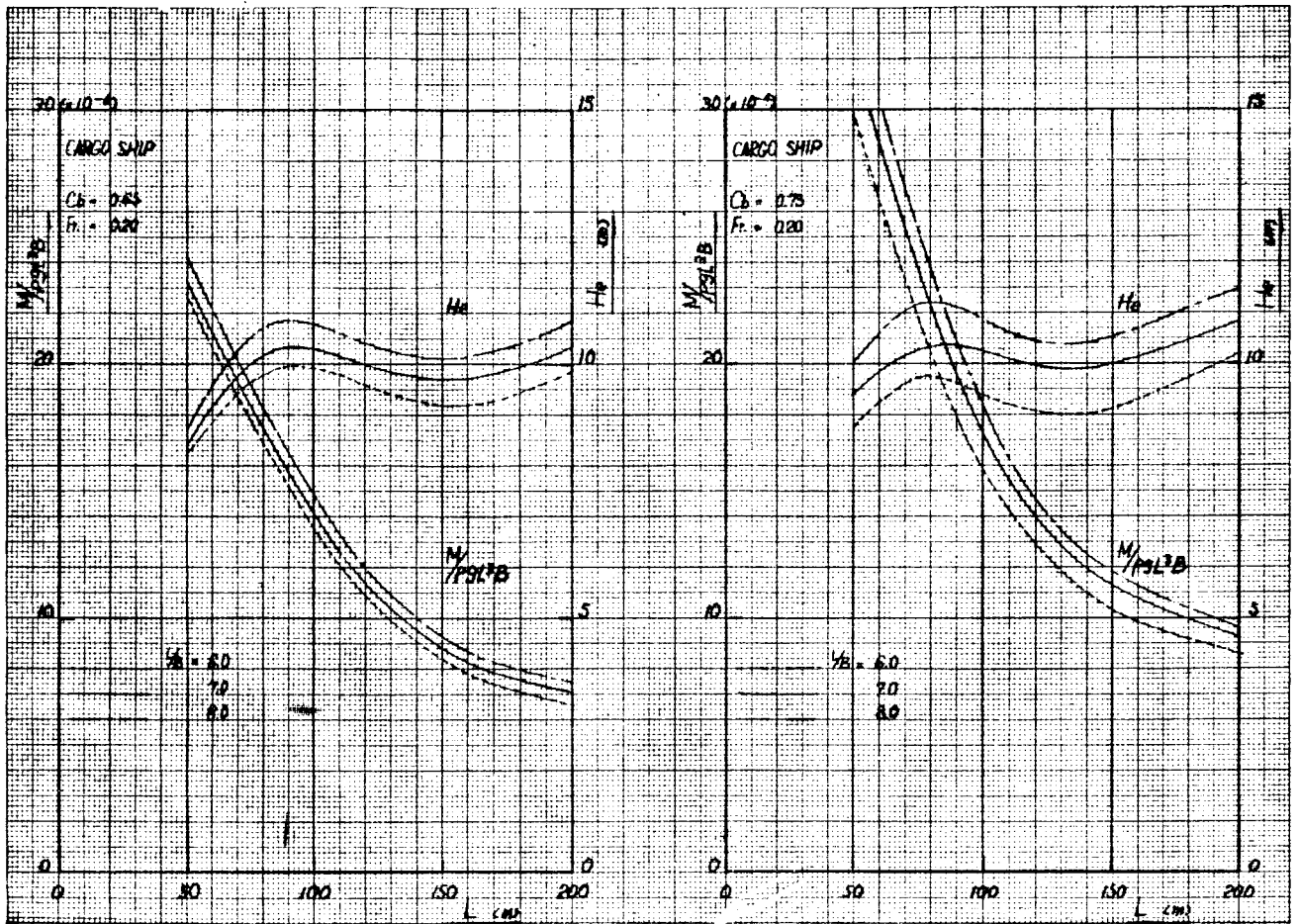


Fig. 5-15

Fig. 5-16

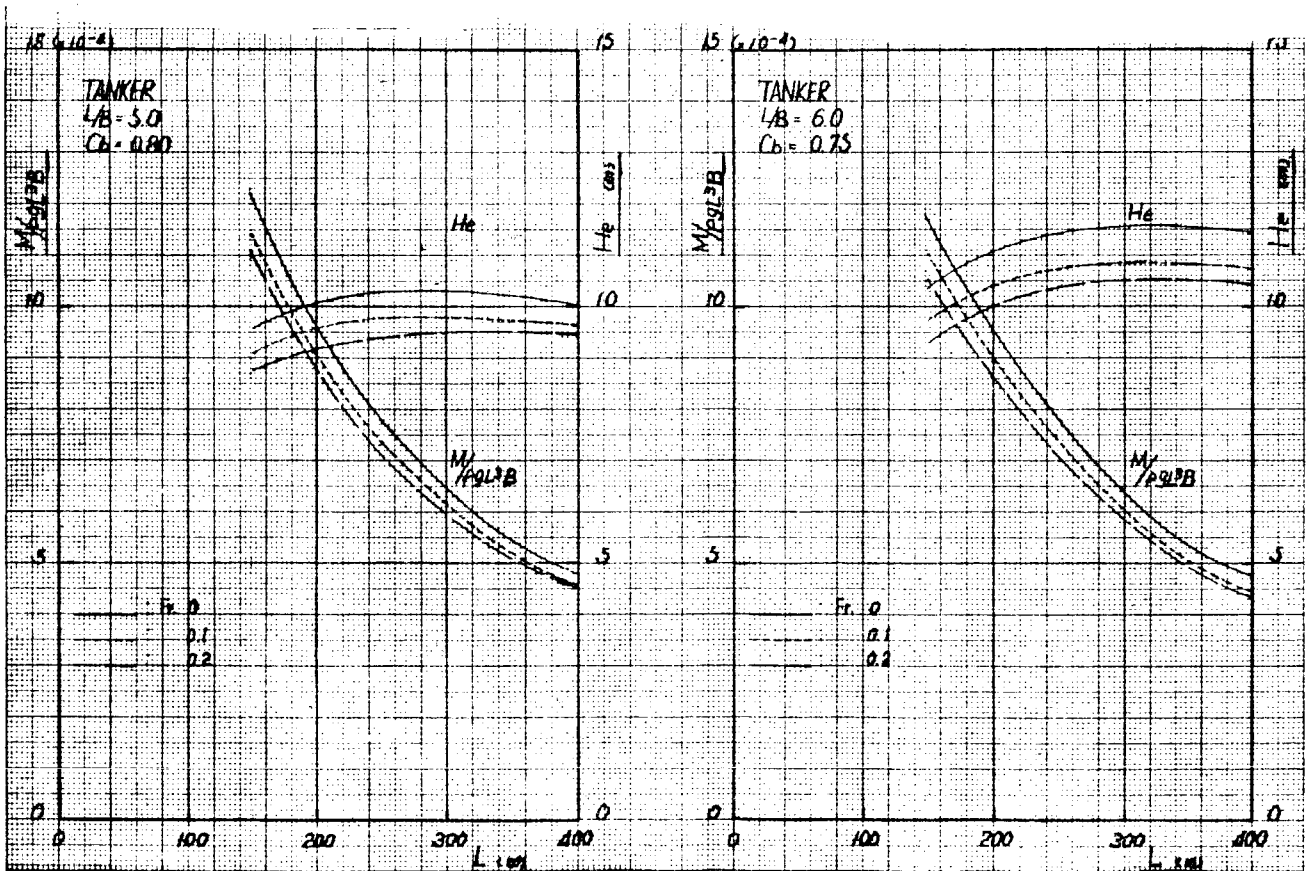


Fig. 5-17

Fig. 5-18

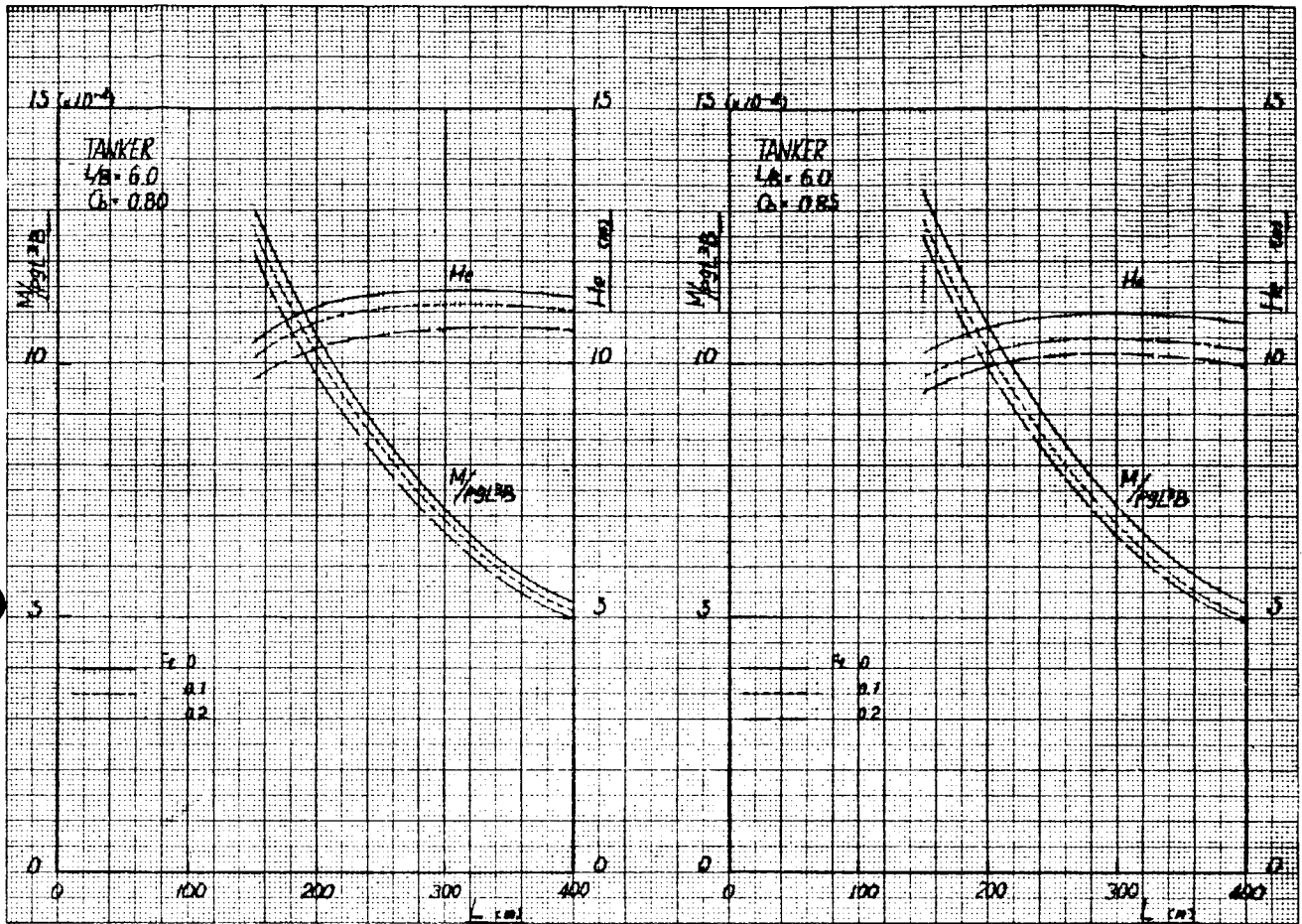


Fig. 5-19

Fig. 5-20

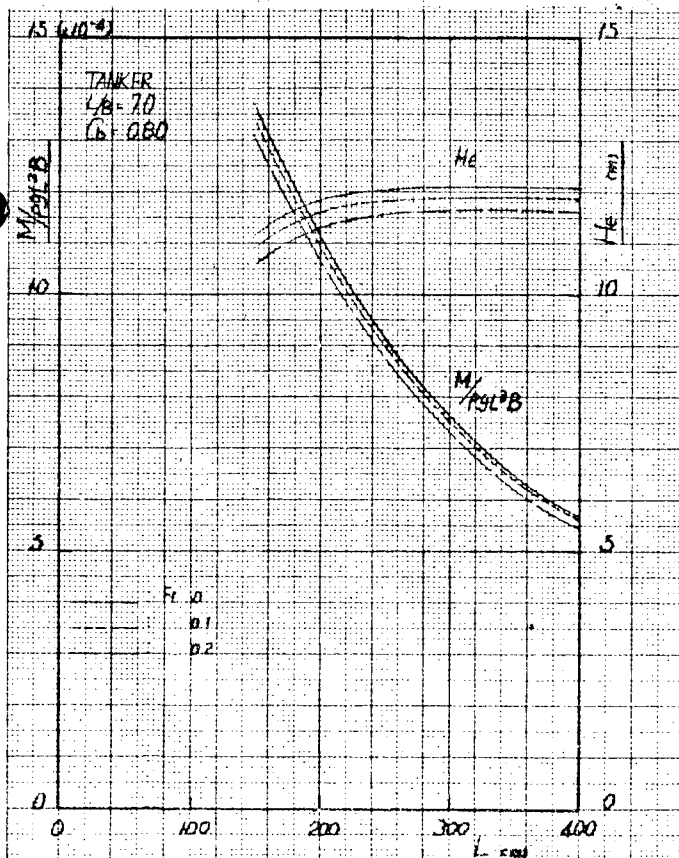


Fig. 5-21

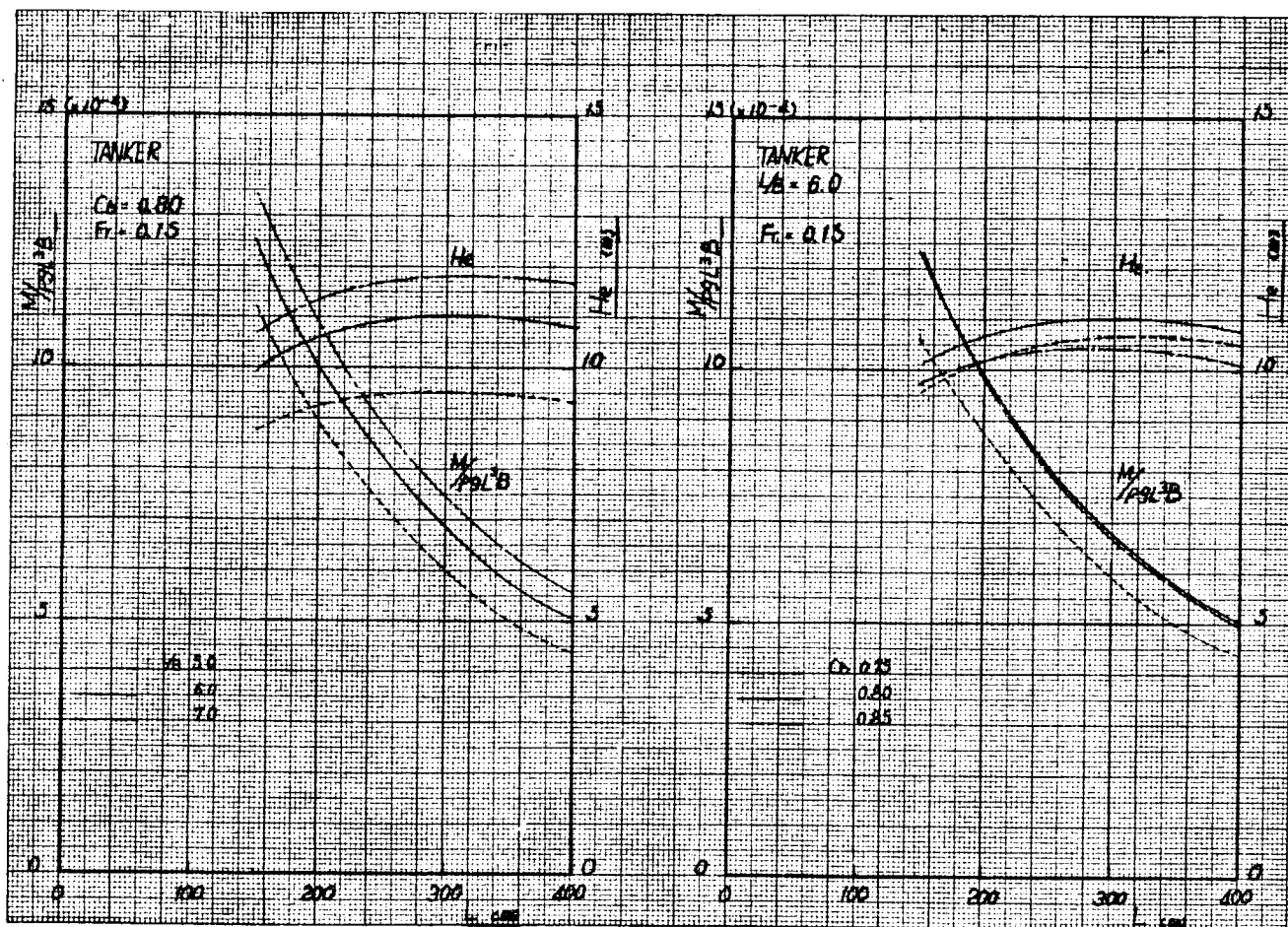


Fig. 5-22

Fig. 5-23

5.4 計算結果の考案

上記の計算結果から次のことが判明した。

5.4.1 Cargo Ship

(a) フルード数の影響

曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ 、等価波高 H_e (m) を縦軸に、船長 L (m) を横軸にとつた曲線は、(L 、 B 、 C_b) の組合せに対しても、共通の傾向を示す。すなわち低速域 ($Fr = 0 \sim 0.10$) では、フルード数が大きくなるにつれて曲線は直線的に減少し、フルード数が 0.15 で最小となる。以後、フルード数が増加するにつれて曲線は直線的に大きくなる。

(b) 船長の影響

L/B 、 C_b の値にかかわらず、等価波高曲線群は $L = 75 \text{ m} \sim 100 \text{ m}$ で山があり、 $L = 125 \text{ m}$ 前後で谷を生じ、 $L = 150 \text{ m}$ 以上の船長では船長とともに増加する傾向がある。

$50 \text{ m} \leq L \leq 200 \text{ m}$ の範囲で最大等価波高 H_e (m) はほぼ 1.3 m である。

(c) 船型の影響

(i) L/B の影響…………… 曲げモーメント異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ および等価波高 H_e (m) は L/B が大きくなるにつれて直線的に大きくなり、大きくなる割合は C_b が大きいほど大である。

(ii) C_b の影響…………… 曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ は C_b が大きくなるにつれて直線的に大きくなるが、大きくなる割合は L/B の値にはあまり影響されない。
等価波高 H_e (m) については、 $C_b = 0.55$ より $C_b = 0.65$ の方が大きい。

$C_b = 0.65$ と 0.75 では船長 $L = 100\text{ m}$ 附近で曲線が交叉することがある。

L/B と C_b の影響の大きさを比較すると曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ については C_b の影響の方が大であるが、等価波高については C_b の値により曲線が交叉することがあり、 C_b と L/B の影響の程度は比較できない。

5.4.2 Tanker

(a) フルード数の影響

L/B 、 C_b の値にかかわらず曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ 、および等価波高 $H_e(m)$ はフルード数が0の時に最大で、フルード数が大きくなるにつれて直線的に減少する。

(b) 船長の影響

L/B 、 C_b の値にかかわらず等価波高は、船長 $L(m)$ が増加するにつれて大きくなり、 300 m 以上の船長に対してはほぼ一定の値を示す。

等価波高の最大値は $L/B = 5.0$ の船型では $\max. H_e \approx 1.1\text{ m}$

$L/B = 6.0$ の船型では $\max. H_e \approx 1.2\text{ m}$

$L/B = 7.0$ の船型では $\max. H_e \approx 1.2\text{ m}$

程度である。

(c) 船型の影響

(i) L/B の影響……………曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ 、および等価波高 $H_e(m)$ は L/B が大きくなると大になる。

(ii) C_b の影響……………曲げモーメントの異常値の無次元値 $M/\rho g L^3 B$ は C_b が 0.80 で最大となるが、 $C_b = 0.80$ と 0.85 ではその差は小さく漸近すると考えられる。等価波高で示すと $C_b = 0.80$ が最大であり、 $C_b = 0.85$ では最小の値となる。

L/B と C_b の影響の程度を比較すると L/B の方が顕著である。

6. 正面規則波中で運動する船の船体表面に働く変動圧力

波の中で運動する船の船体表面に働く圧力は、静水面上に浮いているとき、あるいは一定速度で平水中を航行しているときの圧力の他に周期的に変動する圧力が付加される。この問題に関して田才教授は正面規則波中で運動する場合の近似計算法を示し、特に船体中央断面で上下揺のみを考えた場合の計算式を求めている。

本研究では田才教授の方法をさらに一般化し、縦揺、上下揺をしている場合の任意の横断面における変動圧力を求める計算式を導き、これを電子計算機で計算するプログラムを作製の上、波浪中縦曲げモーメントの計算に使用した船型中代表的なものについて計算を実施した。なお計算値の実用性に関しては船研郷田氏がT 2タンカ船型で計測した実験結果⁷⁾と比較して、船側部のフルード数0.2以上の場合を除いて両者かなりよい一致を示すことを確かめた。

6.1 計算式

Fig. 6-1に示すごとく空間に固定した座標系 $O-X-Y-Z$ を、 XY 平面が静水面と一致し、 Z 軸が鉛直上方になるようにとる。船体に固定した座標系 $O'-x-y-z$ は原点 O' を船の中央横断面、 x 軸を船の前方向、 z 軸を垂直上方にとり船は一定速度 V で X 軸の正方面に直進するものとする。

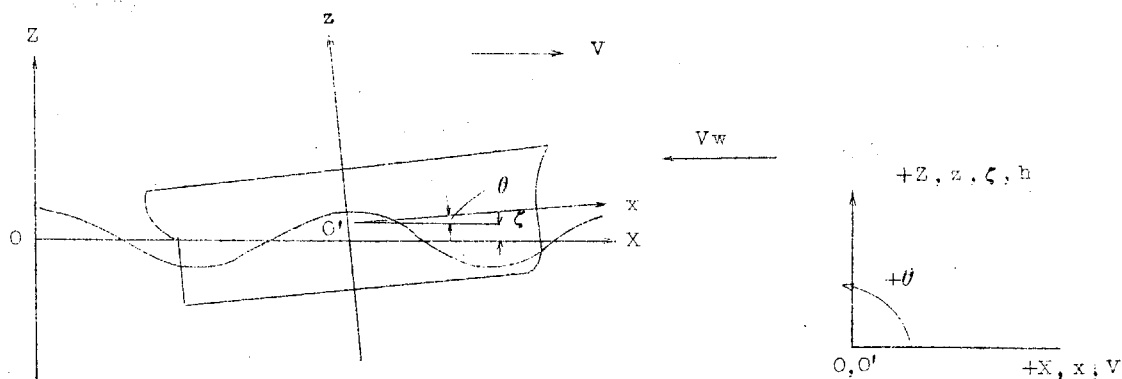


Fig. 6-1

正面規則波中を船が縦揺、上下揺しながら進む場合船体表面に働く変動圧力は、

- (i) 静水中を縦揺、上下揺の運動をしながら進むときに生ずる圧力 P_1
- (ii) 規則波中に拘束された船体から反射される波による圧力 P_2
- (iii) 波のポテンシャルによる圧力 (Froude-Krilov理論による圧力) P_3

から成るものと考えられる。

6.1.1 静水中を縦揺、上下揺の運動をしながら進むとき生ずる圧力

2次元物体の断面をLewis断面または3-Parameter断面で近似したとき、そのContour上に働くHydrodynamic Pressureは田才教授の方法⁸⁾から次式で与えられる。

$$P = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\rho g \eta}{\pi} [(\phi_0 + S) \sin \omega e t - (\phi_0 + B) \cos \omega e t] \dots \dots \dots (6.1)$$

η = 上下動揺によつて生ずる進行波の振幅

ここで、 Z_0 = 上下動揺の振幅、 $\bar{A} = \eta / Z_0$ を用いれば(6.1)は次のようになる。

$$P = \frac{\rho g Z_0 A}{\pi} \{ (\phi_0 + S) \sin \omega e t - (\phi_s + E) \cos \omega e t \} \dots \dots \dots (6.2)$$

ϕ_0 、 ϕ_s はそれぞれ原点0にあるPeriodic Source によるPotentialで

$$\phi_0 = \pi e^{-KZ_s} \cos K y_s$$

$$\phi_s = \pi e^{-KZ_s} \sin K y_s - \int_0^\infty \frac{e^{-K y_s}}{K^2 + R^2} (K \cos K Z_s - K \sin K Z_s) dK \dots \dots \dots (6.3)$$

$$S = \sum_{n=1}^{\infty} P_{2n}(\xi_d) \left[\cos 2n\theta + \frac{\xi_d}{1-a_1+a_3-a_5} \left\{ \frac{\cos(2n-1)\theta}{2n-1} + \frac{\cos(2n+1)\theta}{2n+1} a_1 \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{\cos(2n+3)\theta}{2n+3} 3a_3 + \frac{\cos(2n+5)\theta}{2n+5} 5a_5 \right\} \right]$$

$$E = \sum_{n=1}^{\infty} q_{2n}(\xi_d) \left[\cos 2n\theta + \frac{\xi_d}{1-a_1+a_3-a_5} \left\{ \frac{\cos(2n-1)\theta}{2n-1} + \frac{\cos(2n+1)\theta}{2n+1} a_1 \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{\cos(2n+3)\theta}{2n+3} 3a_3 + \frac{\cos(2n+5)\theta}{2n+5} 5a_5 \right\} \right]$$

ここで、

$$K = \frac{\omega_d^2}{g} = \frac{\omega_1^2}{L}, \quad \omega_1 = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda L}} + \frac{2\pi}{L} Fr, \quad \xi_d = \frac{\omega_d^2}{g} d$$

$$Z_s = \frac{d}{1-a_1+a_3-a_5} \{ (1-a_1) \cos \theta + a_3 \cos 3\theta - a_5 \cos 5\theta \}$$

$$y_s = \frac{d}{1-a_1+a_3-a_5} \{ (1+a_1) \sin \theta - a_3 \sin 3\theta + a_5 \sin 5\theta \}$$

(Z-平面)

(ζ-平面)

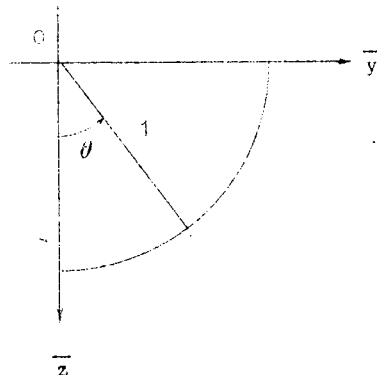
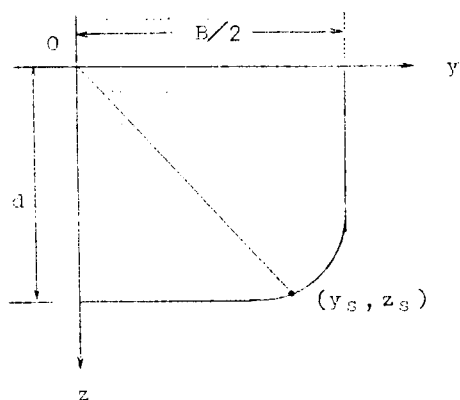


Fig. 6-1

上下動による変位については Fig. 6-1 に示すように上向きを+zとするが、Contour の計算では Fig. 6-2 のごとく下向きを+zとする。

今船体運動を、

$$\left. \begin{array}{ll} \text{上 下 揺} & \zeta = \zeta_0 \cos(\omega e t + \varepsilon \zeta) \\ \text{縦 揺} & \theta = \theta_0 \cos(\omega e t + \varepsilon \theta) \end{array} \right\} \dots \dots \dots (6.4)$$

とすると χ の位置における船体断面の垂直変位 Z は、

$$Z = \zeta + x \theta = \zeta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \zeta) + x \theta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \theta) \quad (6.5)$$

ただし、重心が中央断面にないときは x の代りに $(x - x_0)$ とする。

船が前進速度 V があるとき、船体運動によつて生ずる船体と水との相対的な上下方向の速度および加速度は、

$$\begin{aligned} \dot{Z} &= \dot{\zeta} + x \dot{\theta} - V \theta \\ &= -\zeta_0 \omega_e \sin(\omega_e t + \varepsilon \zeta) - x \theta_0 \omega_e \sin(\omega_e t + \varepsilon \theta) - V \theta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \theta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \ddot{Z} &= \ddot{\zeta} + \chi \ddot{\theta} - 2 V \dot{\theta} \\ &= -\zeta_0 \omega_e^2 \cos(\omega_e t + \varepsilon \zeta) - x \theta_0 \omega_e^2 \cos(\omega_e t + \varepsilon \theta) + 2 V \omega_e \theta_0 \sin(\omega_e t + \varepsilon \theta) \end{aligned}$$

Hydrodynamic Pressure を $\ddot{Z}$ に比例するもの P_a と、 Z に比例するもの P_b とに分けて考えると

$$\begin{aligned} P_a &= \rho g P_a'' \ddot{Z} = \rho g \frac{I_{a''}}{\omega_e^2} \ddot{Z} \\ &= -\rho g P_a'' \left[\zeta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \zeta) + x \theta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \theta) - \frac{2 V \theta_0}{\omega_e} \sin(\omega_e t + \varepsilon \theta) \right] \quad (6.6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_b &= \rho g P_b'' Z = \rho g \frac{P_b''}{\omega_e} \dot{Z} \\ &= -\rho g P_b'' \left[\zeta_0 \sin(\omega_e t + \varepsilon \zeta) + x \theta_0 \sin(\omega_e t + \varepsilon \theta) + \frac{V \theta_0}{\omega_e} \cos(\omega_e t + \varepsilon \theta) \right] \quad (6.7) \end{aligned}$$

ここに

$$P_a'' = -H_0 \xi_d \frac{P_s B_0 + P_c A_0}{A_0^2 + B_0^2} \quad (6.8)$$

$$P_b'' = -H_0 \xi_d \frac{P_s A - P_c B_0}{A_0^2 + B_0^2} \quad (6.9)$$

$$H_0 \xi_d = \frac{1 + a_1 + a_3 + a_5}{1 - a_1 + a_3 - a_5} \xi_d$$

$$P_s = \phi_s + E, \quad P_c = \phi_c + S$$

A_0 、 B_0 は文献⁸⁾に与えられているように断面形状と ξ_d によつて異なる。

$$A_0(\xi_d) = \psi_{c0} \left(\frac{\pi}{2} \right) + \sum_{m=1}^{\infty} p_{2m}(\xi_d) (-1)^{m-1} \frac{\xi_d}{1 - a_1 + a_3 - a_5} \left\{ \frac{1}{2m-1} - \frac{a_1}{2m+1} - \frac{3a_3}{2m+3} - \frac{5a_5}{2m+5} \right\}$$

$$B_0(\xi_d) = \psi_{s0} \left(\frac{\pi}{2} \right) + \sum_{m=1}^{\infty} q_{2m}(\xi_d) (-1)^{m-1} \frac{\xi_d}{1 - a_1 + a_3 - a_5} \left\{ \frac{1}{2m-1} - \frac{a_1}{2m+1} - \frac{3a_3}{2m+3} - \frac{2a_5}{2m+5} \right\}$$

$$\psi_{c0} = \pi e^{-kz_s} \sin Ky_s$$

$$\psi_{s0} = \int_0^{\infty} \frac{e^{-ky_s}}{K^2 k^2} (k \sin kz_s + K \cos kz_s) dr - \pi e^{-kz_s} \cos Ky_s \quad \cdots (6.10)$$

(6.6)、(6.7) に垂直による静水圧の変化

$$P_b = -\rho g Z = -\rho g [\zeta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \zeta) + x \theta_0 \cos(\omega_e t + \varepsilon \theta)] \quad (6.11)$$

を加えると、静水中で運動をしている断面の表面に働く変動圧力は P_1 となる。

すなわち、

$$\begin{aligned} P_1 &= P_a + P_d + P_b \\ &= -\rho g \zeta_0 \{ (1 + P_d''') \cos(\omega_e t + \varepsilon_\zeta) + P_d'' \sin(\omega_e t + \varepsilon_\zeta) \} \\ &\quad - \rho g x \theta_0 \{ (1 + P_d'') \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta) + P_d' \sin(\omega_e t + \varepsilon_\theta) \} \\ &\quad + \rho g \frac{\nabla \theta_0}{\omega_e} \{ 2 P_d' \sin(\omega_e t + \varepsilon_\theta) - P_d'' \cos(\omega_e t + \varepsilon_\theta) \} \dots\dots\dots (6.12) \end{aligned}$$

6.1.2 規則波中に拘束された船体から反射される波による圧力 - X 方向に進行する波の式を船体座標 (X, z) で表わすと

$$h = h_A e^{-kz} \cos(kx + \omega_e t)$$

$$k = 2\pi/\lambda \text{ (波数) }、h_A = \text{波振幅}$$

これから波の Orbital Velocity $\dot{h}$ および Orbital Acceleration $\ddot{h}$ が求められるが、これらは船体表面上の位置 (y_B, z_B) で異なる波を持つ。近似的にこれをおる平均値でおきかえ、平均吃水 $d_m = \sigma d$ (σ = 断面積係数) における Orbital Velocity、Acceleration を考えることにする。

6.1.1 と同様に船体から反射される波による圧力 P_2 を波の Orbital Velocity に比例するものと、Orbital Acceleration に比例するものとに分けて考えると、

$$\begin{aligned} h &= -h_A \omega_e^{-k d_m} \sin(\omega_e t + kx) \\ \dot{h} &= -h_A \omega_e^2 e^{-k d_m} \cos(\omega_e t + kx) \end{aligned}$$

したがって、

$$P_2 = \rho g h_A e^{-k d_m} \left\{ \frac{P_d'''}{k^2} \cos(\omega_e t + kx) + \frac{P_d''}{k} \sin(\omega_e t + kx) \right\} \dots\dots\dots (6.13)$$

$$\text{ここに } k = \omega_e / \omega$$

6.1.3 波のポテンシャルによる圧力

Regular Wave Potential に基づく圧力 P_3 は、

$$P_3 = \rho g h_A e^{-kz} \cos(\omega_e t + kx) \dots\dots\dots (6.14)$$

で求められる。

以上の圧力を総合して全変動圧力 P_H は、 $P_H = P_1 + P_2 + P_3$ で表わされるが、これを整理して $\cos \omega_e t$ の項を $\sin \omega_e t$ の項に分けると、

$$P_H = \rho g \left[-\zeta_0 \{ (1 + P_d''') \cos \varepsilon_\zeta + P_d'' \sin \varepsilon_\zeta \} - x \theta_0 \{ (1 + P_d'') \cos \varepsilon_\theta + P_d' \sin \varepsilon_\theta \} \right]$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{V\theta_0}{\omega_0} (2Pa'' \sin \varepsilon_\theta - Pd'' \cos \varepsilon_\theta) \\
& + hA \{ e^{-kz_0} \cos kx + e^{-k\theta d} \left(\frac{Pa''}{\kappa^2} \cos kx + \frac{Pd''}{\kappa} \sin kx \right) \} \cos \omega_0 t \\
& + \rho g \left[\zeta_0 \{ (1+Pa'') \sin \varepsilon_\zeta - Pd'' \cos \varepsilon_\zeta \} + x\theta_0 \{ (1+Pa'') \sin \varepsilon_\theta - Pd'' \cos \varepsilon_\theta \} \right. \\
& + \frac{V\theta_0}{\omega_0} (2Pa'' \cos \varepsilon_\theta + Pd'' \sin \varepsilon_\theta) \\
& \left. - hA \{ e^{-kz_0} \sin kx + e^{-k\theta d} \left(\frac{Pa''}{\kappa^2} \sin kx - \frac{Pd''}{\kappa} \cos kx \right) \} \right] \sin \omega_0 t \\
& \dots\dots\dots (6.15)
\end{aligned}$$

(6.14) 式を次のように表わす。

$$P_H = \rho g h A [G \cos \omega_0 t - H \sin \omega_0 t] = \rho g h A J \cos (\omega_0 t + \nu) \dots\dots\dots (6.16)$$

$$J = \sqrt{G^2 + H^2} \quad , \quad \nu = \tan^{-1} \frac{H}{G}$$

$$\begin{aligned}
G = & -\bar{\zeta}_0 \{ (1+Pa'') \cos \varepsilon_\zeta + Pd'' \sin \varepsilon_\zeta \} - \frac{x}{L} \cdot \frac{L}{\lambda} 2\pi \bar{\theta}_0 \{ (1+Pa'') \cos \varepsilon_\theta + Pd'' \sin \varepsilon_\theta \} \\
& + \frac{Fr \cdot \bar{\theta}_0 2\pi}{\omega_1} \frac{L}{\lambda} (2Pa'' \sin \varepsilon_\theta - Pd'' \cos \varepsilon_\theta) \\
& + \{ e^{-kz_0} \cos kx + e^{-k\theta d} \left(\frac{Pa''}{\kappa^2} \cos kx + \frac{Pd''}{\kappa} \sin kx \right) \}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
H = & -\bar{\zeta}_0 \{ (1+Pa'') \sin \varepsilon_\zeta - Pd'' \cos \varepsilon_\zeta \} - \frac{x}{L} \cdot \frac{L}{\lambda} 2\pi \bar{\theta}_0 \{ (1+Pa'') \sin \varepsilon_\theta - Pd'' \cos \varepsilon_\theta \} \\
& - \frac{Fr \cdot \bar{\theta}_0 2\pi}{\omega_1} \frac{L}{\lambda} (2Pa'' \cos \varepsilon_\theta + Pd'' \sin \varepsilon_\theta) \\
& + \{ e^{-kz_0} \sin kx + e^{-k\theta d} \left(\frac{Pa''}{\kappa^2} \sin kx - \frac{Pd''}{\kappa} \cos kx \right) \}
\end{aligned}$$

ここに、

$$\bar{\zeta}_0 = \zeta_0 / \kappa h A \quad \text{無次元上下揺振幅}$$

$$\bar{\theta}_0 = \theta_0 / h A \quad \text{無次元縦揺振幅}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda/L} + \frac{2\pi}{\lambda/L} Fr} \quad \omega_0 \text{ の無次元値}$$

6.2 計算状態

以上の計算式により波浪中縦曲げモーメントの計算に使用した Series 60 船型の Cargo Ship Type および Tanker Type 中 Table 6-1 に示すような船型および断面位置について速度および $\sqrt{L/\lambda}$ を表のとおり変化させて計算を行なった。

なお断面の表面に沿って船底中心線 ($\theta = 0^\circ$) から船側水面部 ($\theta = 90^\circ$) まで 10 点についての圧力を求めた。

Table 6-1

Type	船 型	Section	Fr	$\sqrt{L/\lambda}$
Cargo Ship	Standard $L/B = 7.0$ $C_b = 0.65$	∞	0, 0.05, 0.10, 0.15 0.20, 0.25, 0.30	0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 1.0 1.05, 1.1, 1.15, 1.2, 1.3 1.4, 1.5
		+ 0.25L (∞ 前方)	0, 0.10, 0.20, 0.30	"
		- 0.25L (∞ 後方)	"	"
	$L/B = 7.0$ $C_b = 0.55$	∞	"	"
		∞	"	"
	$L/B = 7.0$ $C_b = 0.75$	∞	"	"
Tanker	Standard $L/B = 6.0$ $C_b = 0.80$	∞	0, 0.05, 0.10, 0.15 0.20	"
		+ 0.25L (∞ 前方)	0, 0.10, 0.20	"
		- 0.25L (∞ 後方)	"	"

計算に必要な縦揺、上下揺の振幅および位相差は41年度の波浪中縦曲げモーメントの応答函数の計算に際して求めた値（オ90研究部会報告書、研究資料第56）を使用した。また波振幅は $2h_k/\lambda = 1/25$ として計算を行なった。

41年度の計算ではオ3章に述べたように $\sqrt{L/\lambda}$ が非常に大きいところで付加質量係数および減衰係数の値が外挿法の不具合から不正確であるため縦曲げモーメントも十分信頼できない値が求められているが、船体運動に関しては問題となるような $\sqrt{L/\lambda}$ の非常に大きい範囲、すなわち波長の非常に短いところでは振幅がほとんどゼロに近づいており、したがって縦揺、上下揺による変動圧力もごく小さいと考えられるのでこのような計算の誤差を取り上げて問題にする必要がないことが確かめられた。

数値計算は日立造船所属のHITAC 3010により行なわれた。電子計算機による計算の概略は付録6に示されている。

6.3 計算結果

6.3.1 Cargo Ship Type の標準船型 ($L/B = 7.0$, $C_b = 0.65$) 中央横断面

(a) 船体中央断面に沿って船底中心線 ($\theta = 0^\circ$) から船側水面部 ($\theta = 90^\circ$) まで10点における圧力が求められているが、代表的に $\theta = 0^\circ$, 50° (ビルジ部), 90° の3点における変動圧力の無次元値 $J = 1/\rho g h_k$ を $Fr = 0, 0.1, 0.2, 0.3$ の4状態について $\sqrt{L/\lambda}$ に対して表わした図がFig. 6-3-(a), (b), (c)である。

(b) $\sqrt{L/\lambda}$ はTable 6-1に示すとおり12種類変えて計算しているが $\sqrt{L/\lambda} = 0.8, 0.9, 1.0, 1.15$ ($L/\lambda \approx 1.5, 1.25, 1.0, 0.75$ に相当) の場合について J に対する速度の影響を示した図がFig. 6-4-(a), (b), (c), (d)である。

(c) 断面に沿つての変動圧力の分布 ($\sqrt{L/\lambda} = 0.8, 0.9, 1.0, 1.15$, $Fr = 0, 0.1, 0.2, 0.3$ の場合) を示した図がFig. 6-5-(a), (b), (c), (d)で、この場合は変動圧力の無次元値を $\bar{P}_H = P_H/\rho g d$ で表わして静水圧と比較できるようにしてある。すなわち $\theta = 0^\circ$ では静水圧の無次元値は1.0で、 $\theta = 90^\circ$ では静水圧0となり、その分布をFig. 6-5-(c)に示してある。

6.3.2 Tanker Type の標準船型 ($L/B = 6.0$, $C_b = 0.80$) 中央横断面

Cargo Ship Type の場合と同様に

- $\theta = 0^\circ, 50^\circ, 90^\circ$ における変動圧力を $Fr = 0, 0.1, 0.2$ の3状態について $\sqrt{L/\lambda}$ に対して表わした図が Fig. 6-6-(a), (b), (c) である。
- $\sqrt{L/\lambda} = 0.8, 0.9, 1.0, 1.15$ の場合について $\theta = 0^\circ, 50^\circ, 90^\circ$ における変動圧力に対する速度の影響を示した図が Fig. 6-7-(a), (b), (c), (d) である。
- 中央断面に沿つての圧力分布 ($\sqrt{L/\lambda} = 0.8, 0.9, 1.0, 1.15$, $Fr = 0, 0.1, 0.2$ の場合) を示した図が Fig. 6-8-(a), (b), (c), (d) である。

6.3.3 船型の影響

Tanker Type は標準船型のみについて計算を行なつたが Cargo Ship Type では標準船型と同じ $L/B = 7.0$ で C_b を標準船型の 0.65 の他 0.55 および 0.75 に変化させた船型の中央横断面について計算を行なつた。

これら2種類の船型についても Fig. 6-3, 6-4, 6-5 と同じ表わし方の図が求められるが、ここでは Tanker Type を含めて4種類の船型の変動圧力の比較を Fig. 6-9, 6-10, 6-11 に示す。

Fig. 6-9-(a), (b), (c), (d) は船底部 ($\theta = 0^\circ$) のそれぞれ $Fr = 0, 0.1, 0.2, 0.3$ における変動圧力を $\sqrt{L/\lambda}$ に対して表わしたもので、Fig. 6-10-(a), (b), (c), (d) および Fig. 6-11-(a), (b), (c), (d) は同じ Fr におけるビルジ部 ($\theta = 50^\circ$) および船側部 ($\theta = 90^\circ$) の値を示したものである。

6.3.4 断面の位置の影響

Cargo Ship Type および Tanker Type の標準船型について中央断面のほか λ より前方 $+0.25L$ および後方 $-0.25L$ の断面について計算し、断面の位置の影響を調べた曲線が Fig. 6-12 ~ Fig. 6-17 である。すなわち

Cargo Ship ($L/B = 7.0$, $C_b = 0.65$) に対しては

Fig. 6-12 (a), (b), (c), (d) 船底部 ($\theta = 0^\circ$) $Fr = 0, 0.1, 0.2, 0.3$

Fig. 6-13 (a), (b), (c), (d) ビルジ部 ($\theta = 50^\circ$) "

Fig. 6-14 (a), (b), (c), (d) 船側部 ($\theta = 90^\circ$) "

Tanker ($L/B = 6.0$, $C_b = 0.80$) に対しては

Fig. 6-15 (a), (b), (c) 船底部 ($\theta = 0^\circ$) $Fr = 0, 0.1, 0.2$

Fig. 6-16 (a), (b), (c) ビルジ部 ($\theta = 50^\circ$) "

Fig. 6-17 (a), (b), (c) 船側部 ($\theta = 90^\circ$) "

6.3.5 平均船底水圧および相対水位の計算

断面の各点について求めた変動圧力の鉛直成分を断面全体に積分すると断面に働く上下方向の力となるがこれを船幅で割つた平均船底水圧を Fig. 6-4 および Fig. 6-7 に示した。

また、縦揺、上下揺の振幅および波に対する位相差から船側における相対水位の変動振幅を計算し、これを同じく Fig. 6-4 および Fig. 6-7 に示した。

6.4 計算結果の考察

以上の計算結果から次のようなことがわかる。

- 変動圧力の振幅の無次元値 $J = \{P_H\} / \rho g h a$ を $\sqrt{L/\lambda}$ に対して表わした応答曲線は Fig. 6-3, Fig. 6-6 に示すように Cargo Ship, Tanker の船底、船側部とも $Fr = 0.2$ のとき $\sqrt{L/\lambda} = 1$ 付近でピークを生じ、これより低速の場合はピークの位置は $\sqrt{L/\lambda}$ の大きい方へ、高速の場合は $\sqrt{L/\lambda}$ の小さい方へずれる。

- (ii) 変動圧力に対する速度の影響は Fig. 6-4、Fig. 6-7 に示すように速度が高くなるにつれて速度ゼロのときの値よりいったん減少しある速度以上で再び上昇する。

この変動圧力が最小となる速度は船側部の方が船底部よりやや高速で、しかも $\sqrt{L/\lambda}$ が小さいほど高速側へずれる傾向にある。またこの速度より高速になった場合変動圧力の増加の程度は Cargo Ship の $\sqrt{L/\lambda} \approx 0.9$ 付近ではかなり著しいが、 $\sqrt{L/\lambda} > 1.15$ ($L/L_c < 0.75$) では速度による変動圧力の変化は非常に小さくなる。また Tanker では計算した速度範囲が $Fr. = 0 \sim 0.2$ で、Cargo Ship より低速までしかとっていないので速度による影響は全体として Cargo Ship より小さい。

- (iii) 船側部と船底部との変動圧力を比べると大体は船側部水面に近い部分の方が船底部より大きい。Cargo Ship で $\sqrt{L/\lambda} < 0.9$ の場合 $Fr. \approx 0.15 \sim 0.20$ 付近では逆に船底部の方が大きくなることもある。

- (iv) C_b を変化させた場合の影響は Fig. 6-9 ~ 6.11 に示すようにあまり大きくないが、傾向として低速では C_b の大きい方が変動圧力が大きく、高速では逆に C_b の小さい方が大きい。

(v) 断面の位置の影響

- (i) Cargo Ship ($C_b = 0.65$) の場合

船底部は速度ゼロの場合 Fig. 6-12-(a) に示すように $\sqrt{L/\lambda}$ が大きいとき変動圧力は $\times$ より後部断面が大きく、 $\sqrt{L/\lambda}$ が小さい場合には前部断面の方が大きい。応答曲線のピークの大きさはあまり差がない。しかし高速になると Fig. 6-12-(c)、(d) のように前部断面における変動圧力のピークが大きくなり、中央断面と後部断面とではあまり差がない。

船側部については速度ゼロのときは Fig. 6-14-(a) のように前部断面は中央断面より全体として変動圧力は小さいが、高速になると前部断面が急激に大きくなり、中央断面が変動圧力最小となる。

- (ii) Tanker ($C_b = 0.80$) の場合

船底部は速度ゼロの場合 Fig. 6-15-(a) に示すように $\sqrt{L/\lambda}$ の大きいとき後部断面の変動圧力が大きいことは Cargo Ship と同じ傾向であるが、前部断面は中央断面より小さい。高速になると Fig. 6-15-(c) のように $\sqrt{L/\lambda}$ の小さいときは前部断面が大きくなるのも Cargo Ship と同じであるが、増加の程度は Cargo Ship より顕著でない。また高速では後部断面が全体として変動圧力が小さい。

船側部は速度ゼロのとき Cargo Ship と同じく前部断面が最小であるが、高速では $\sqrt{L/\lambda}$ の小さいときは前部断面、 $\sqrt{L/\lambda}$ の大きいときは後部断面がそれぞれ大きく、全体としては中央断面が最小である。

- (vi) 船底部中心線における変動圧力は Fig. 6-4、Fig. 6-7 に示すように平均船底水圧より若干小さいがほとんど近い値を示している。この場合の平均水圧は断面の各点における変動圧力の鉛直成分を積分して求めたものであるが、この値は船研郷田氏がストリップ法によつて求めた平均船底水圧⁷⁾と一致する。しかも船底部の変動圧力に関しては計算値と実験値とが比較的よい一致を示すことが確かめられているのでストリップ法による平均船底水圧で近似的に推定できることがわかる。

船側水面部における変動圧力は同じ図からわかるように、船側の相対水位の変動に相当する静水圧の変動より若干大きい。これも両者はほぼ同じ傾向である。

しかしながら船側部の変動水圧の計算値は、特に高速の場合実験値と比較するとかなり大きな値を示し必ずしもよい一致を示しておらないので、この点なお計算法に対する検討が必要と思われる。

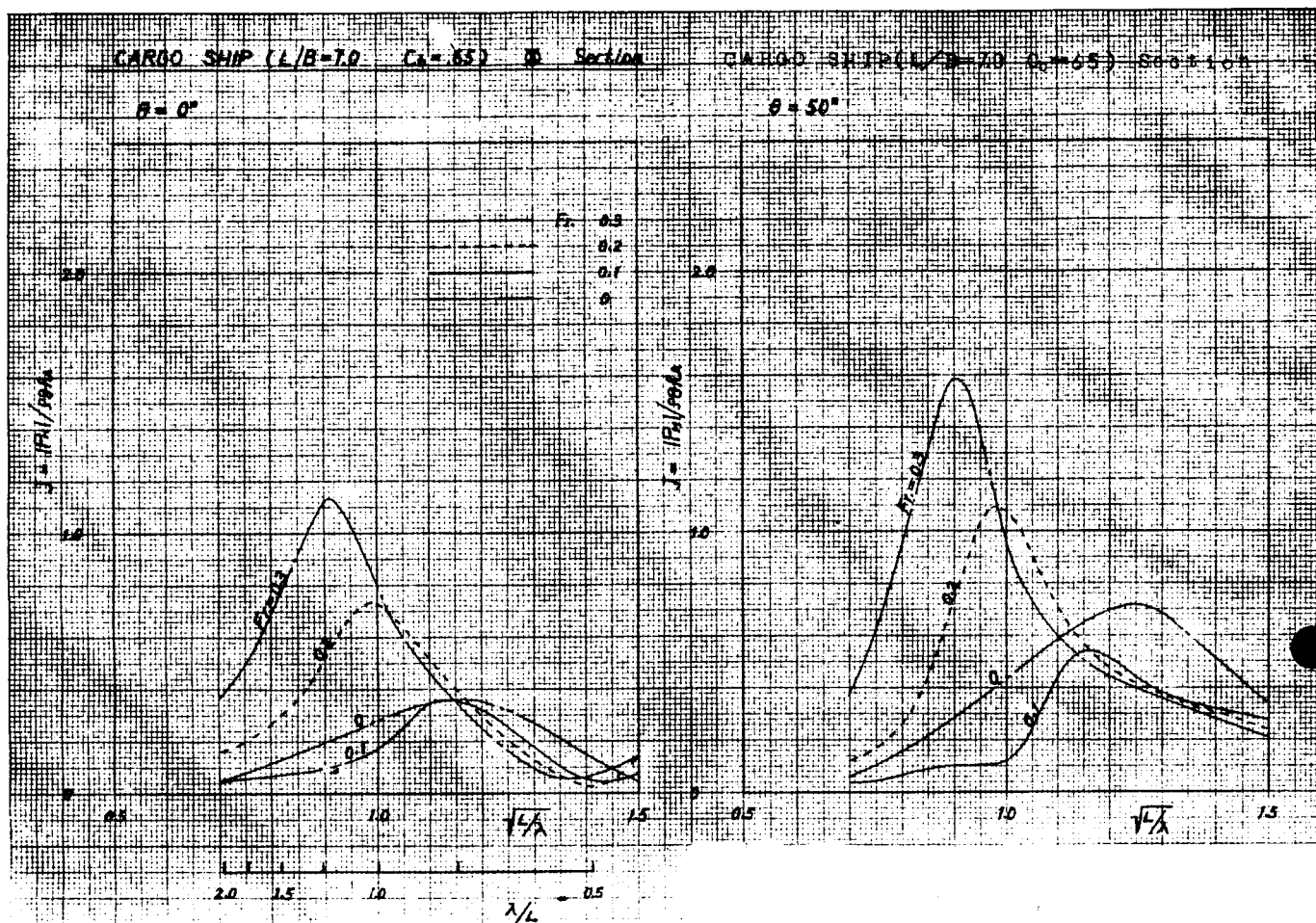


Fig. 6-3 (a)

Fig. 6-3 (b)

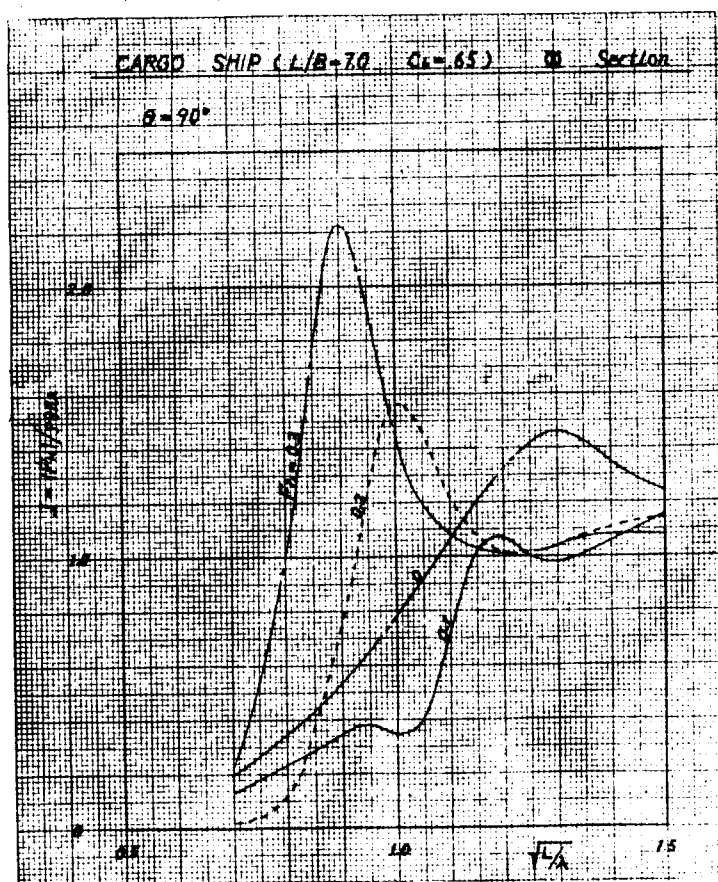


Fig. 6-3 (c)

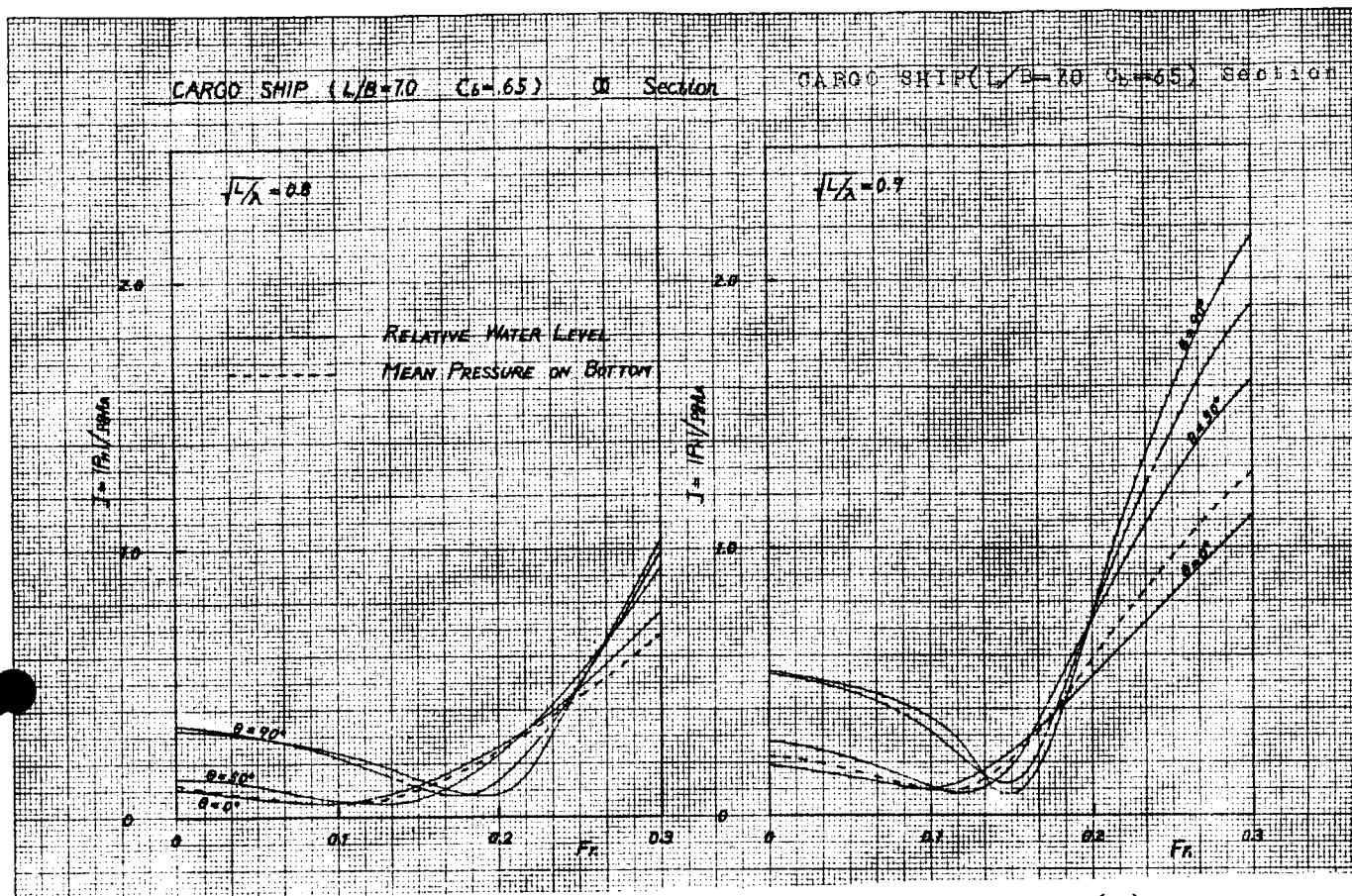


Fig. 6-4 (a)

Fig. 6-4 (b)

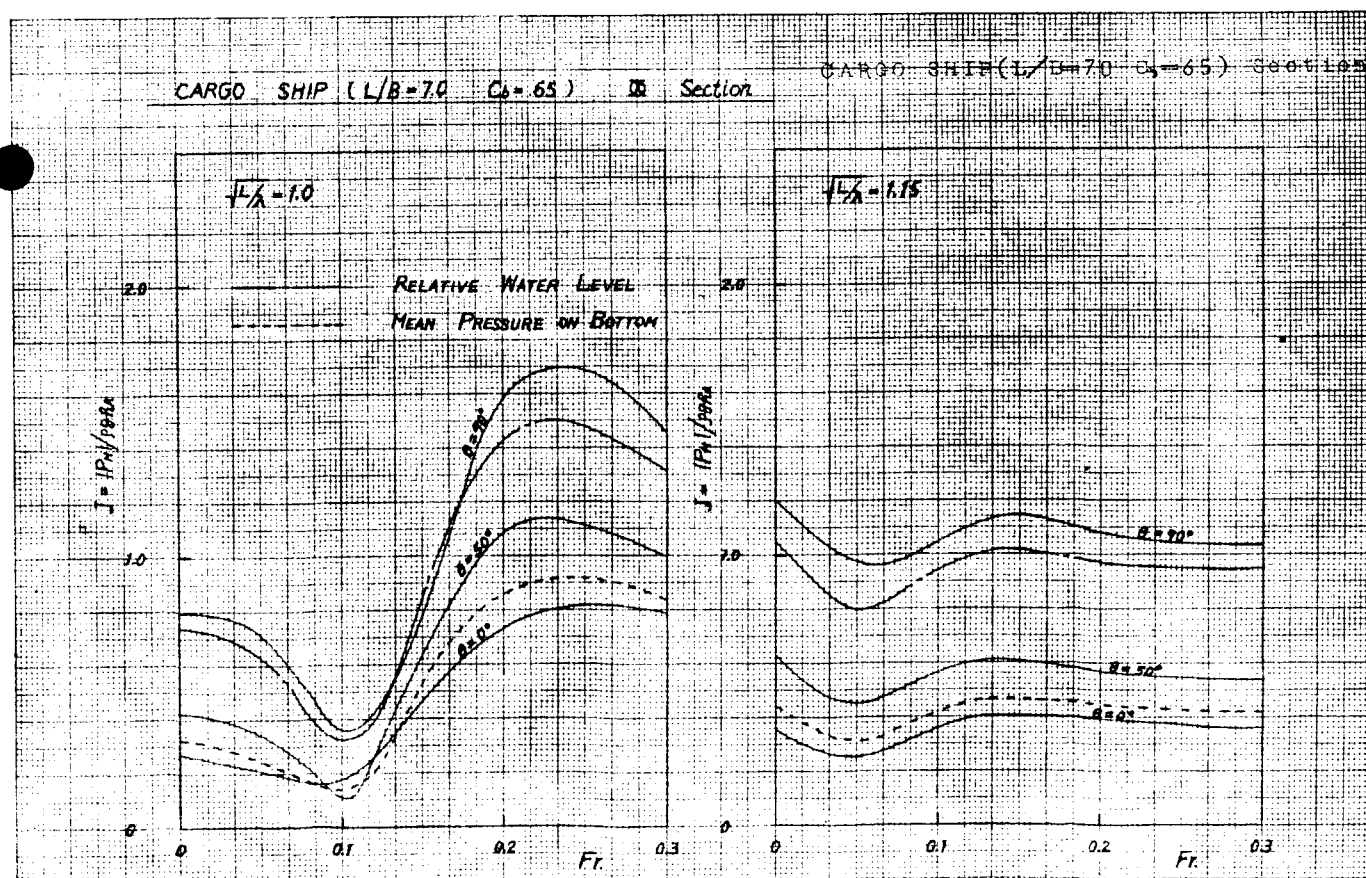


Fig. 6-4 (c)

Fig. 6-4 (d)

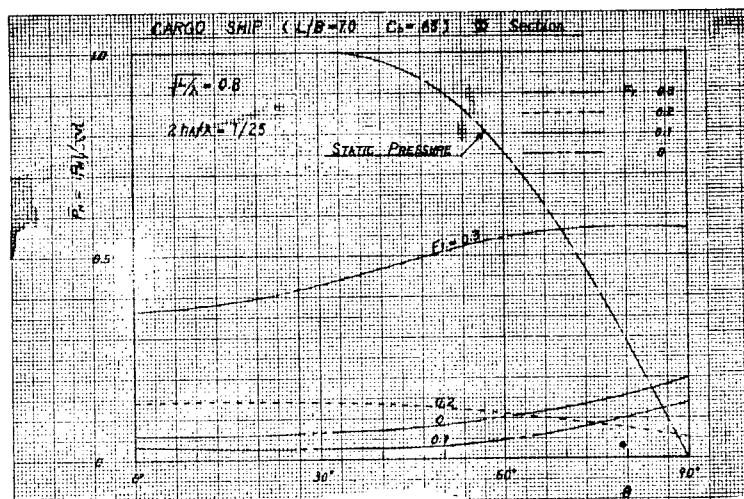


Fig. 6-5 (a)

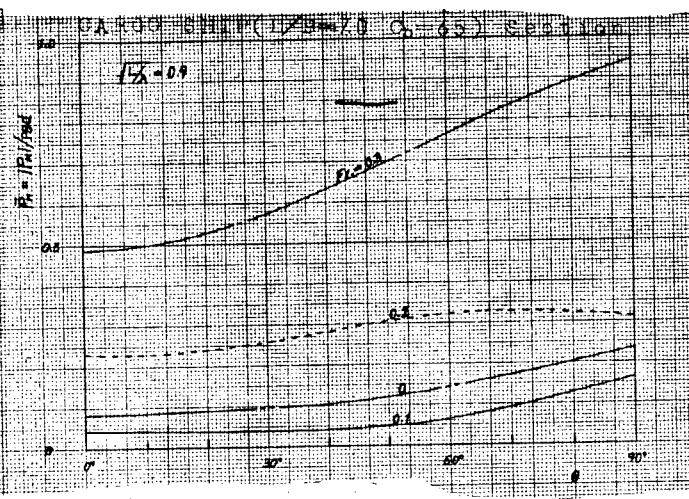


Fig. 6-5 (b)

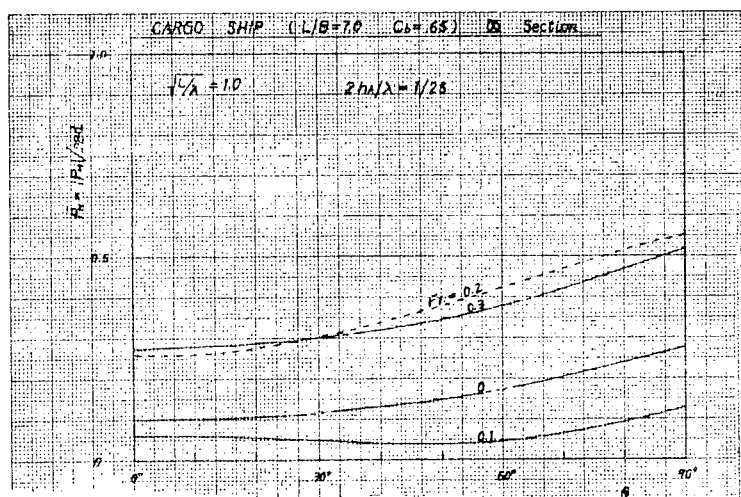


Fig. 6-5 (c)

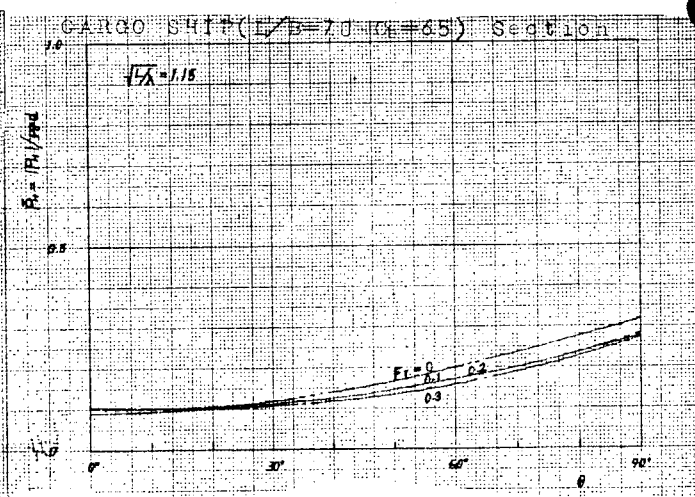


Fig. 6-5 (d)

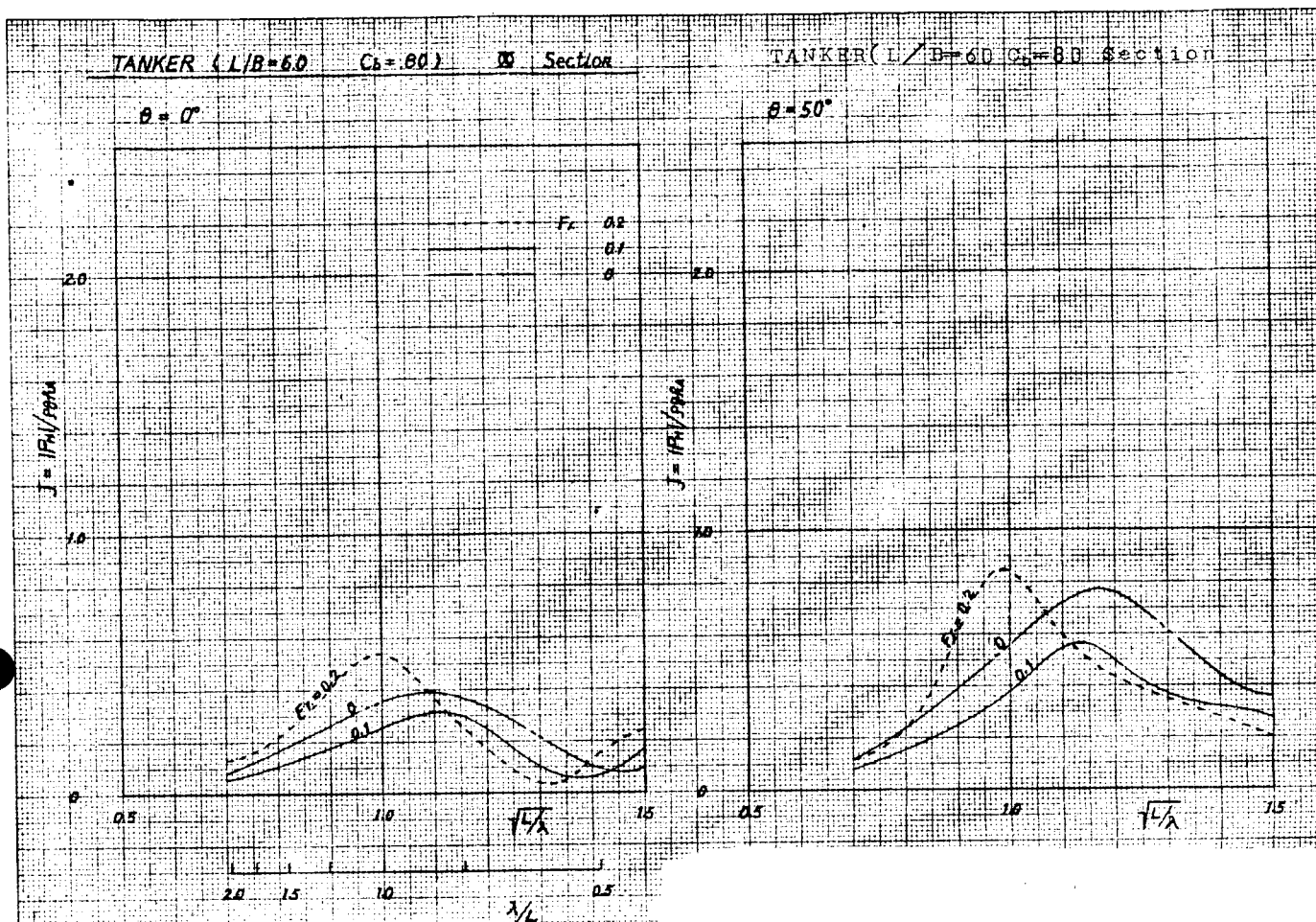


Fig. 6-6 (a)

Fig. 6-6 (b)

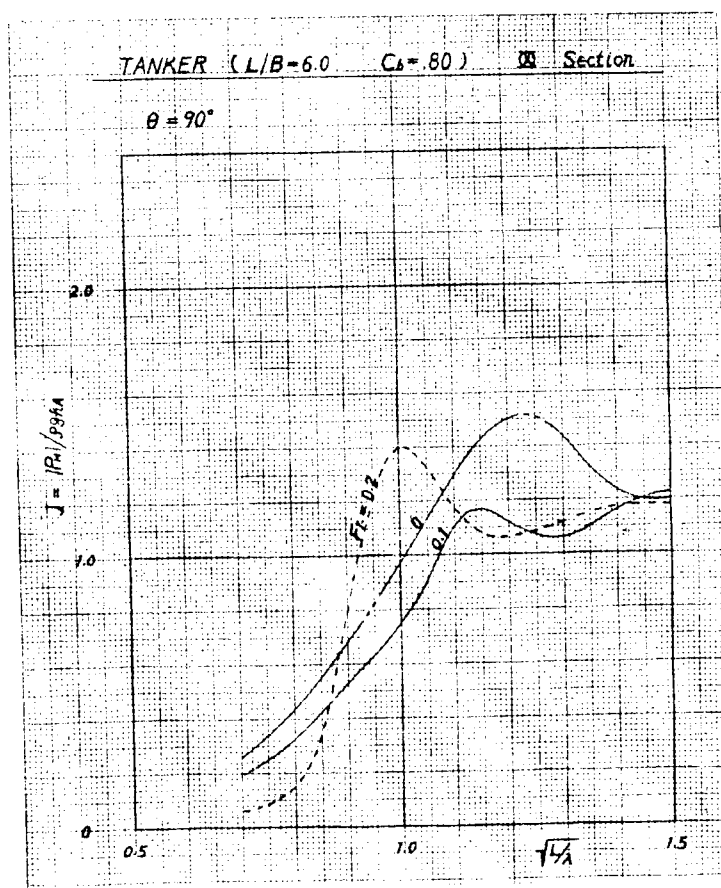


Fig. 6-6 (c)

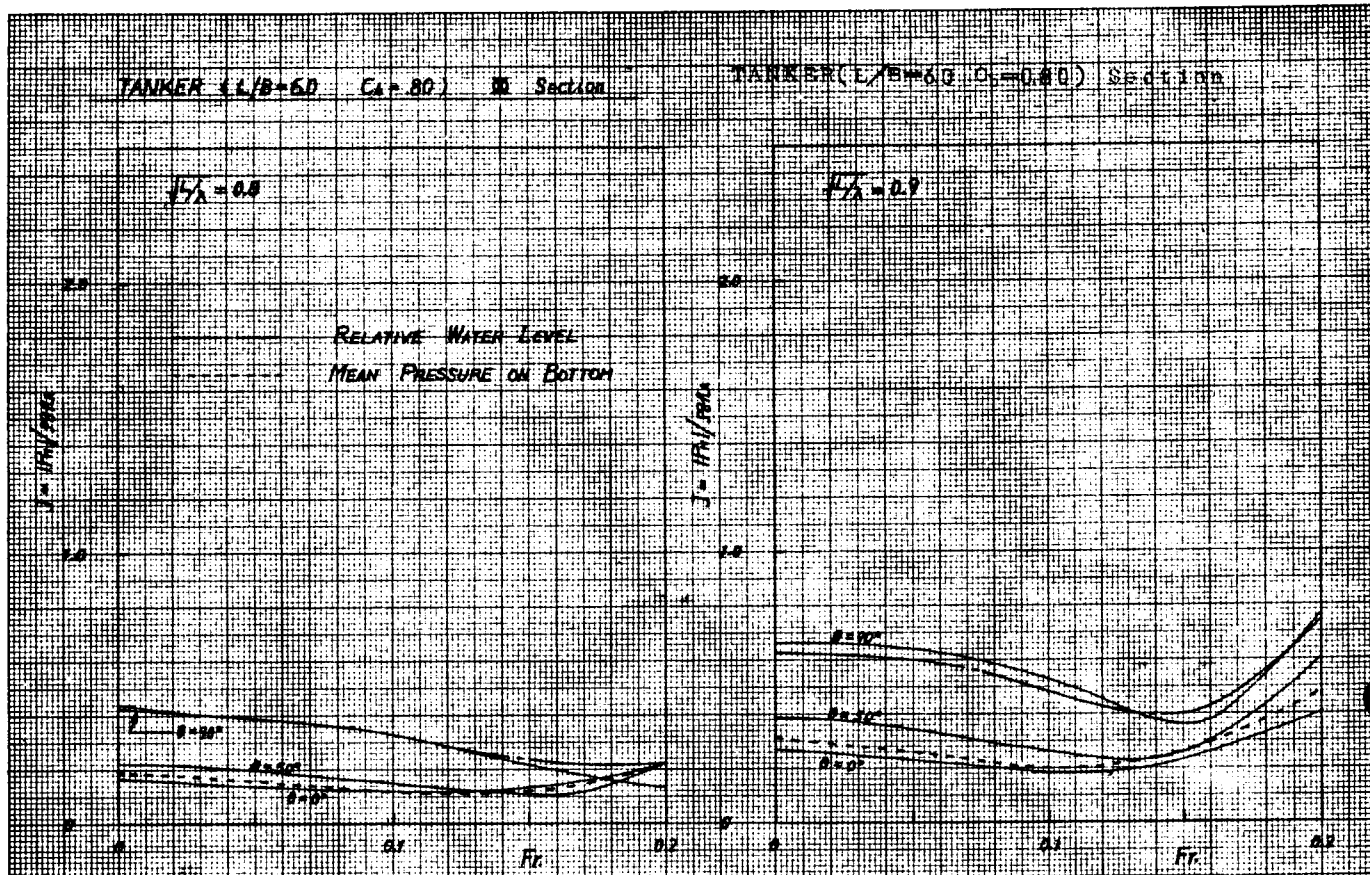


Fig. 6-7 (a)

Fig. 6-7 (b)

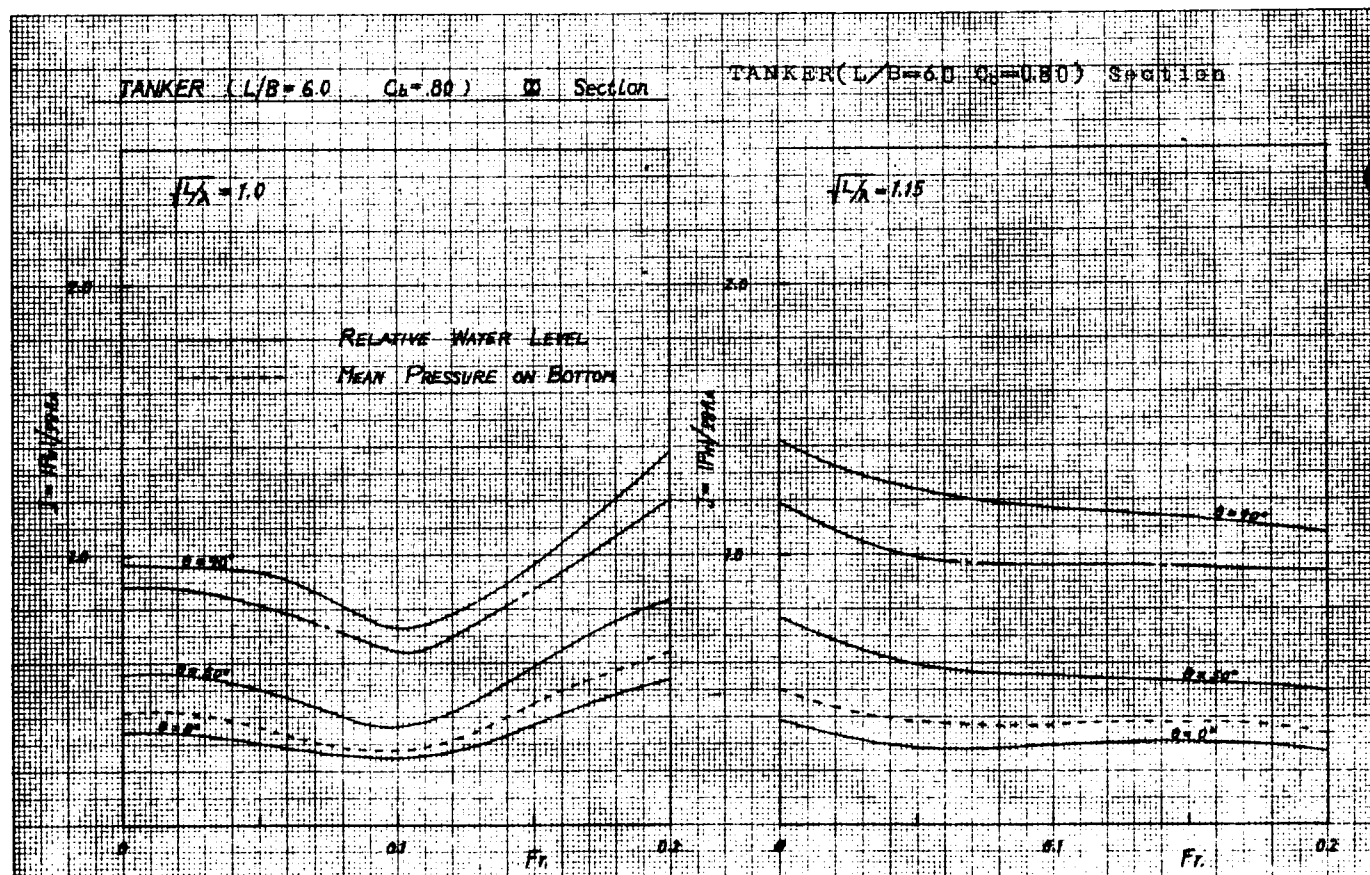


Fig. 6-7 (c)

Fig. 6-7 (d)

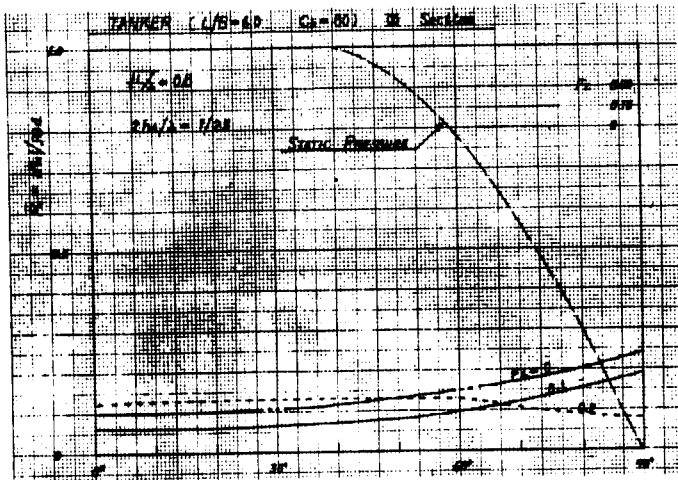


Fig. 6-8 (a)

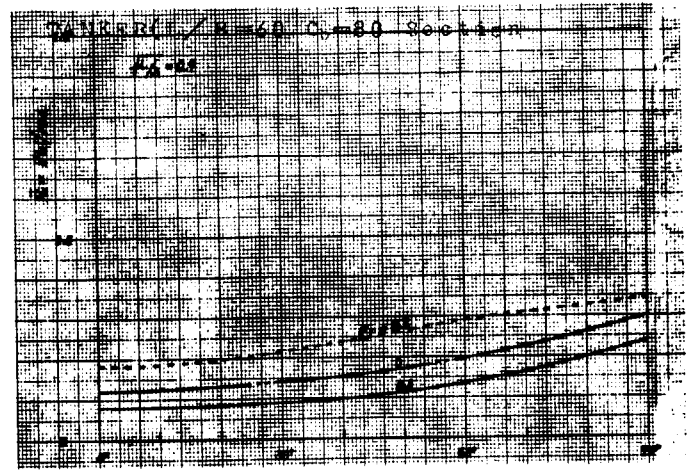


Fig. 6-8 (b)

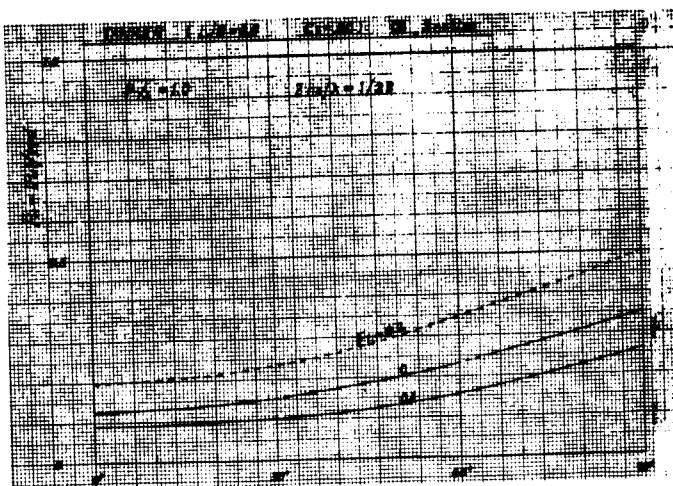


Fig. 6-8 (c)

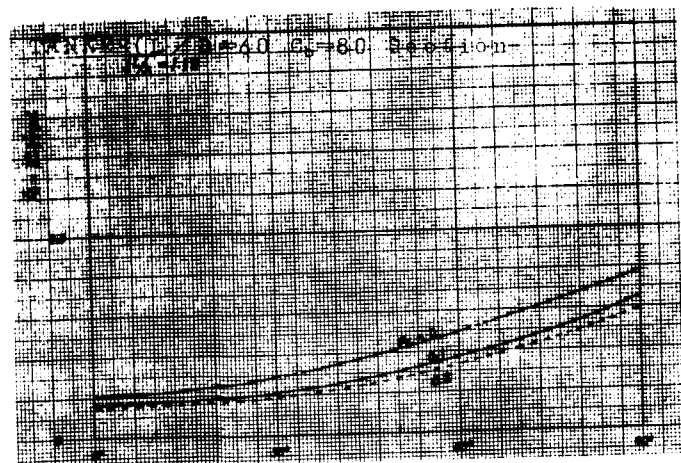


Fig. 6-8 (d)

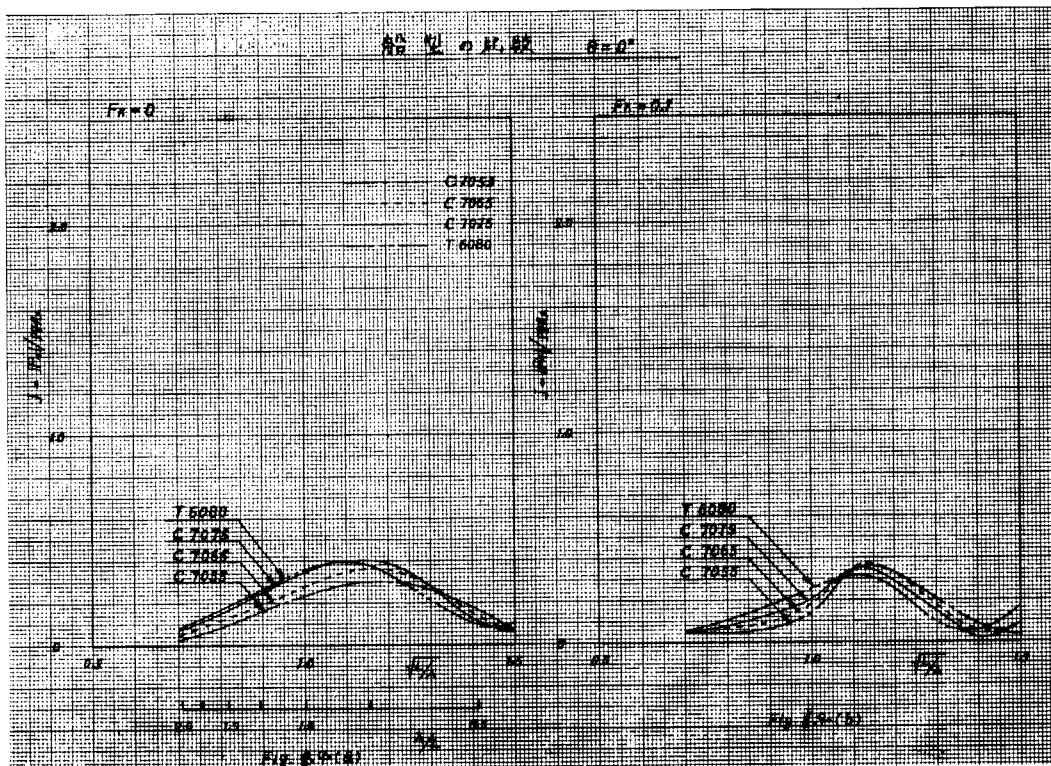


Fig. 6-9(a)

Fig. 6-9(b)

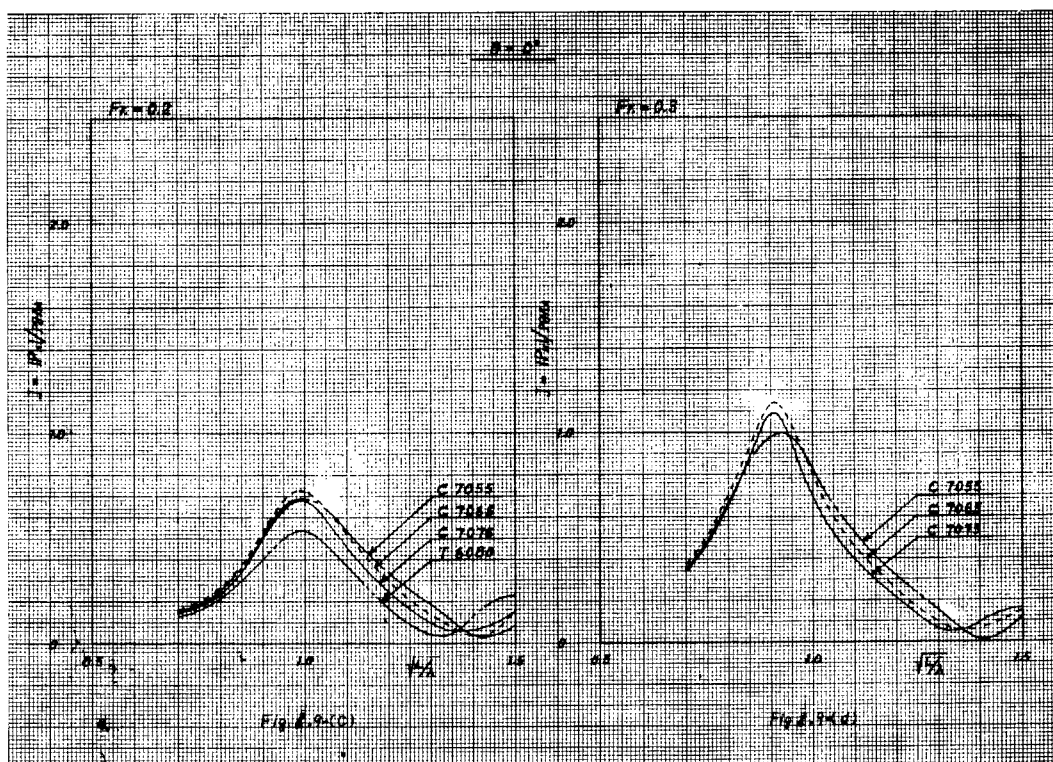


Fig. 6-9(c)

Fig. 6-9(d)

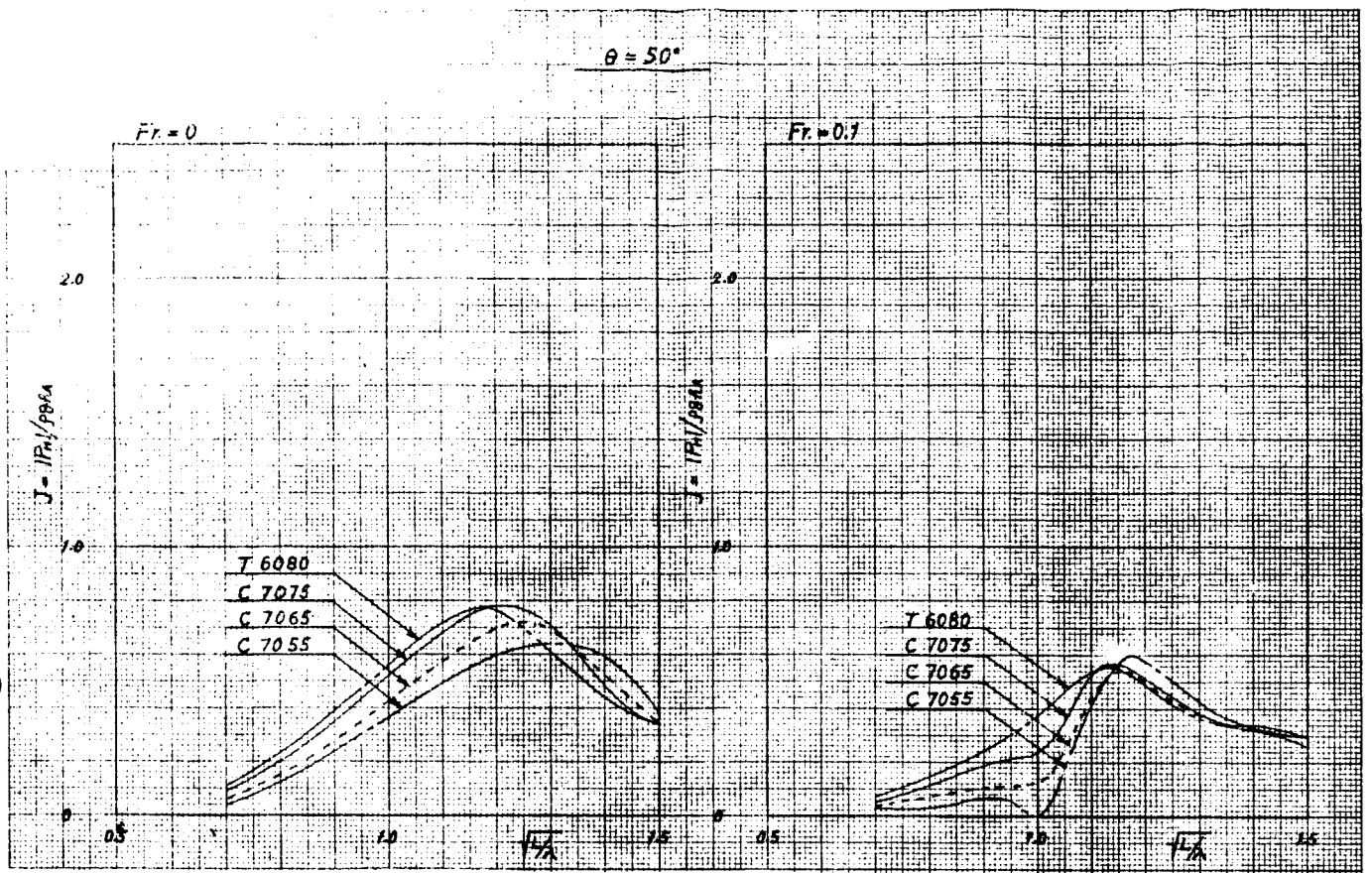


Fig. 6-10 (a)

Fig. 6-10 (b)

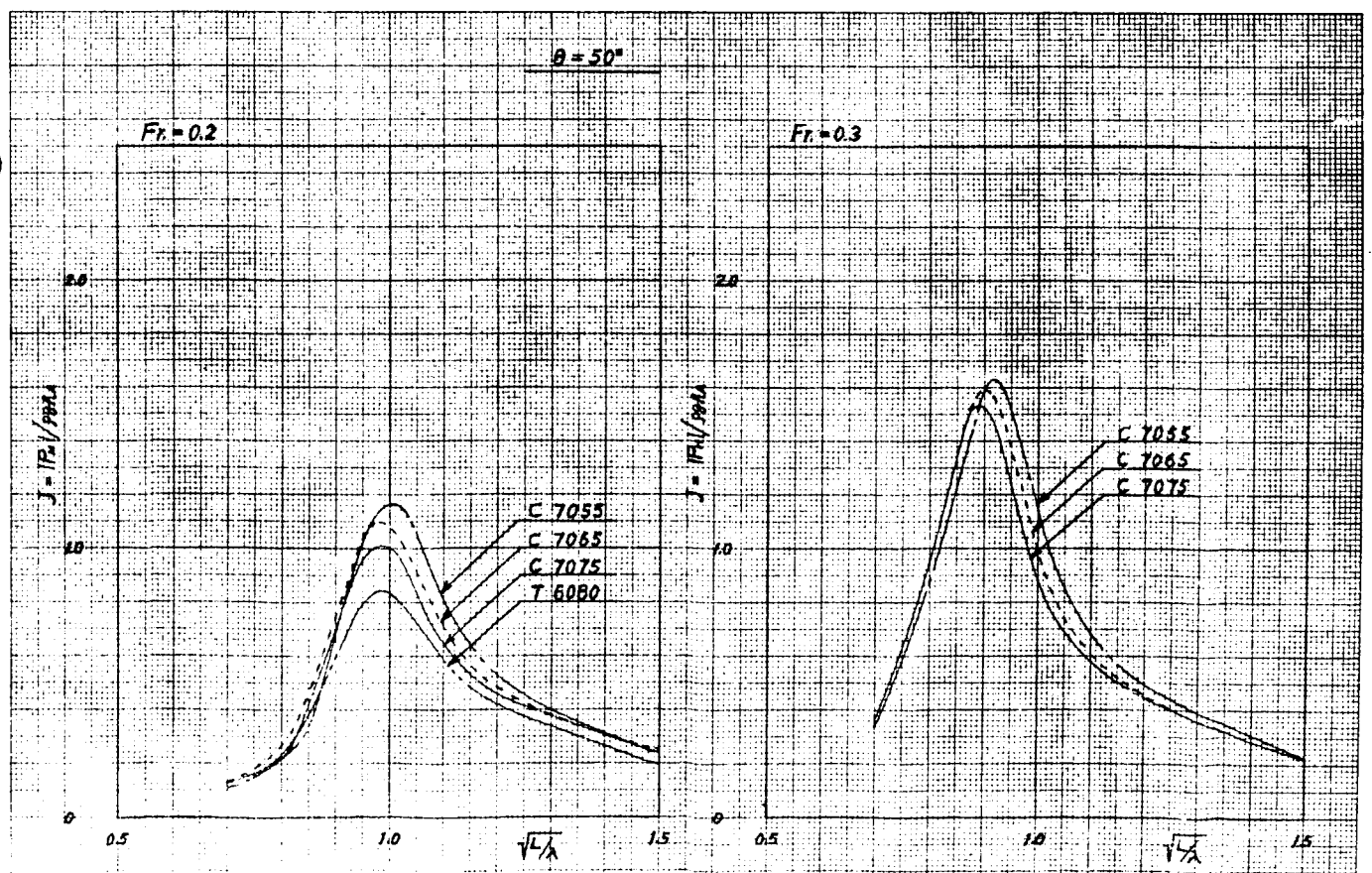


Fig. 6-10 (c)

Fig. 6-10 (d)

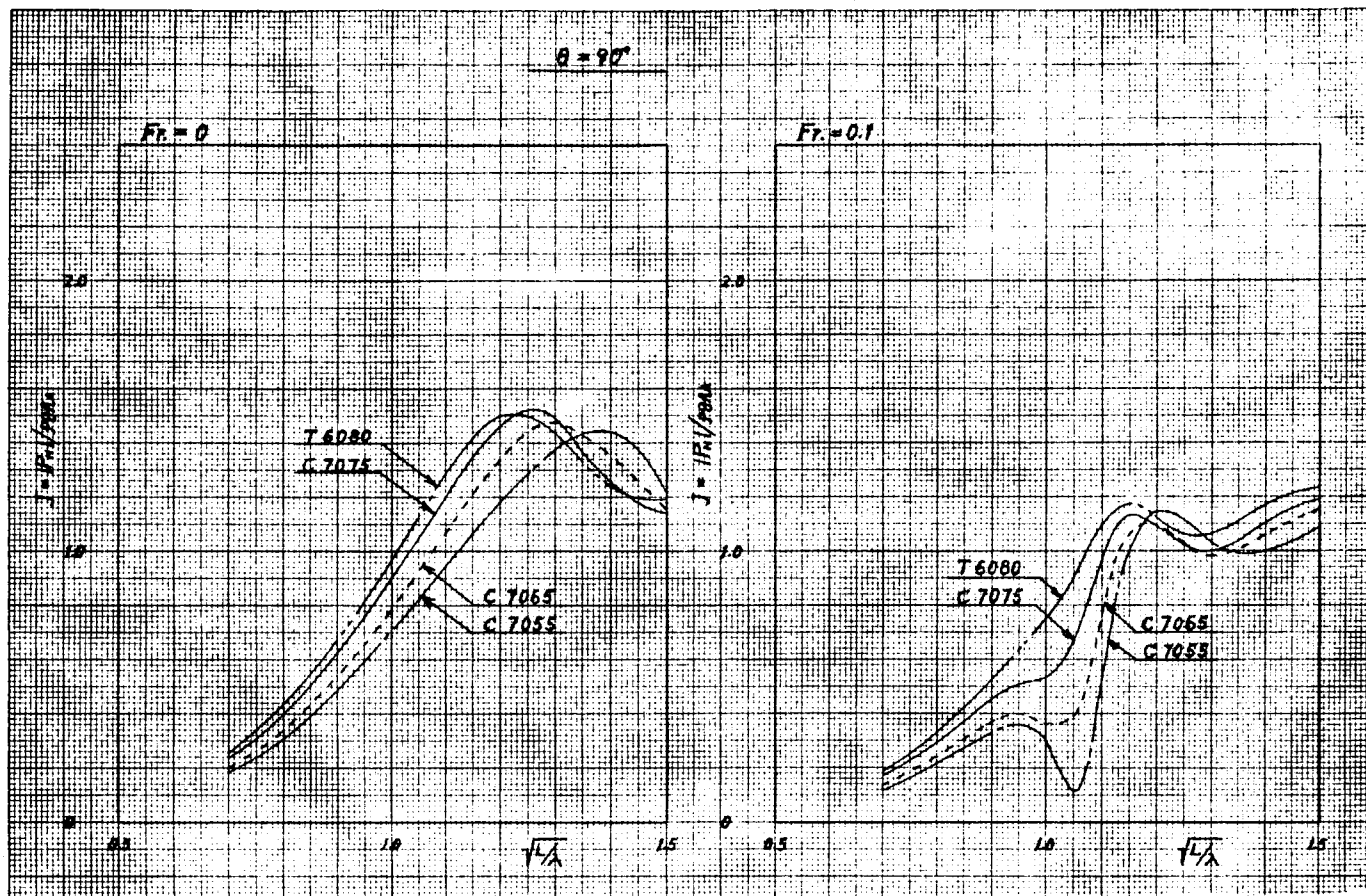


Fig. 6-11 (a)

Fig. 6-11 (b)

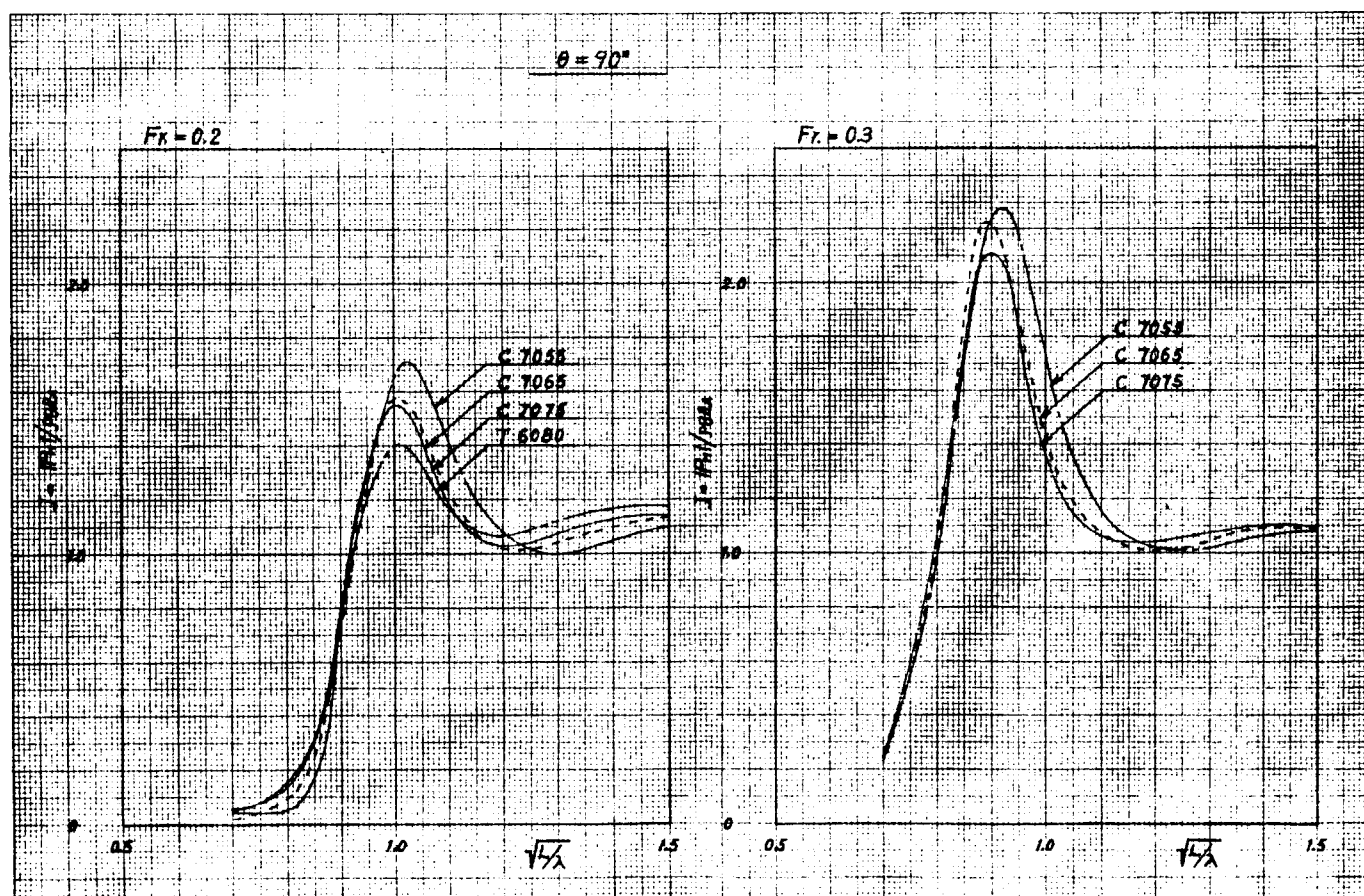


Fig. 6-11 (c)

Fig. 6-11 (d)

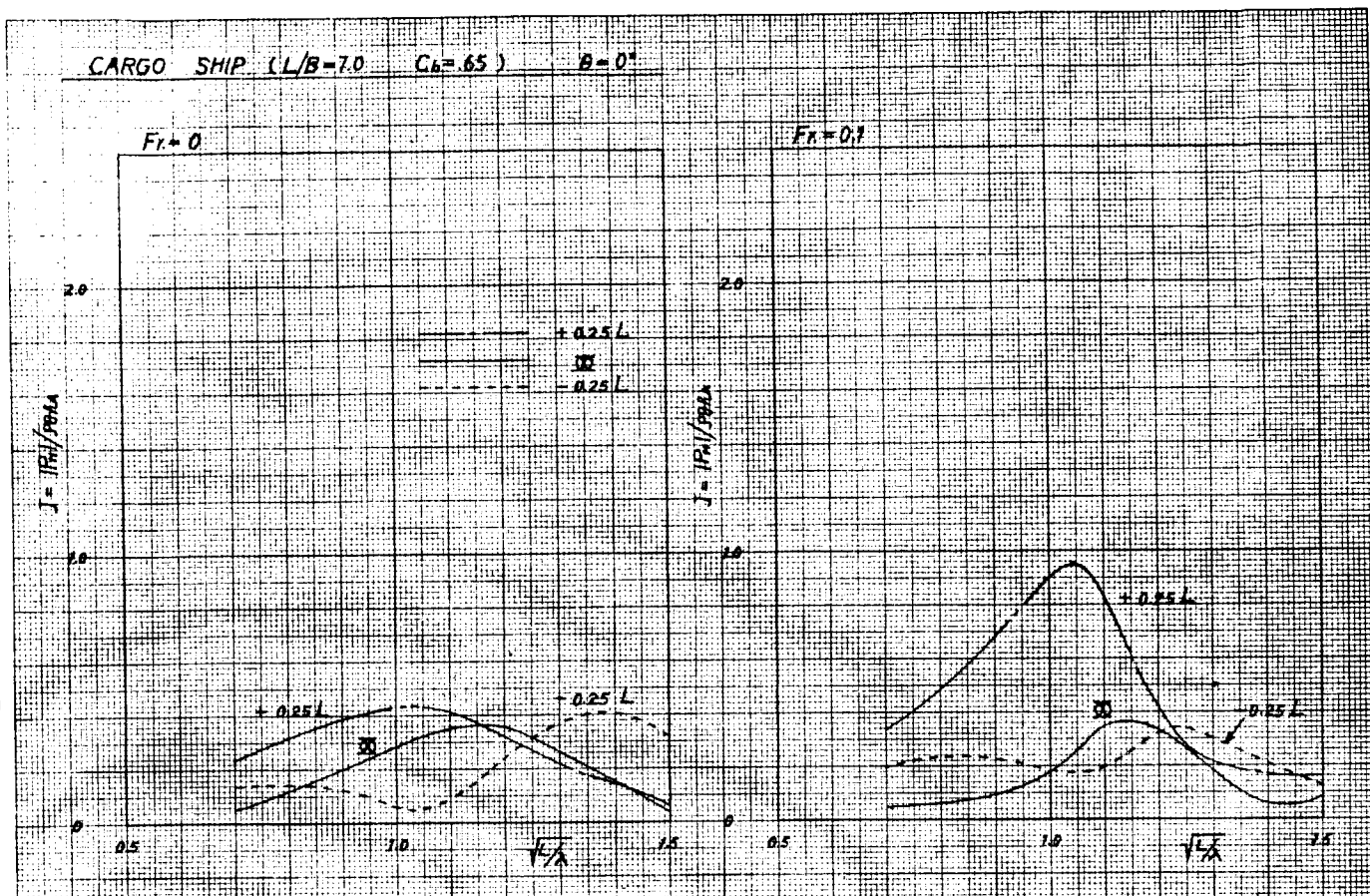


Fig. 6-12 (a)

Fig. 6-12 (b)

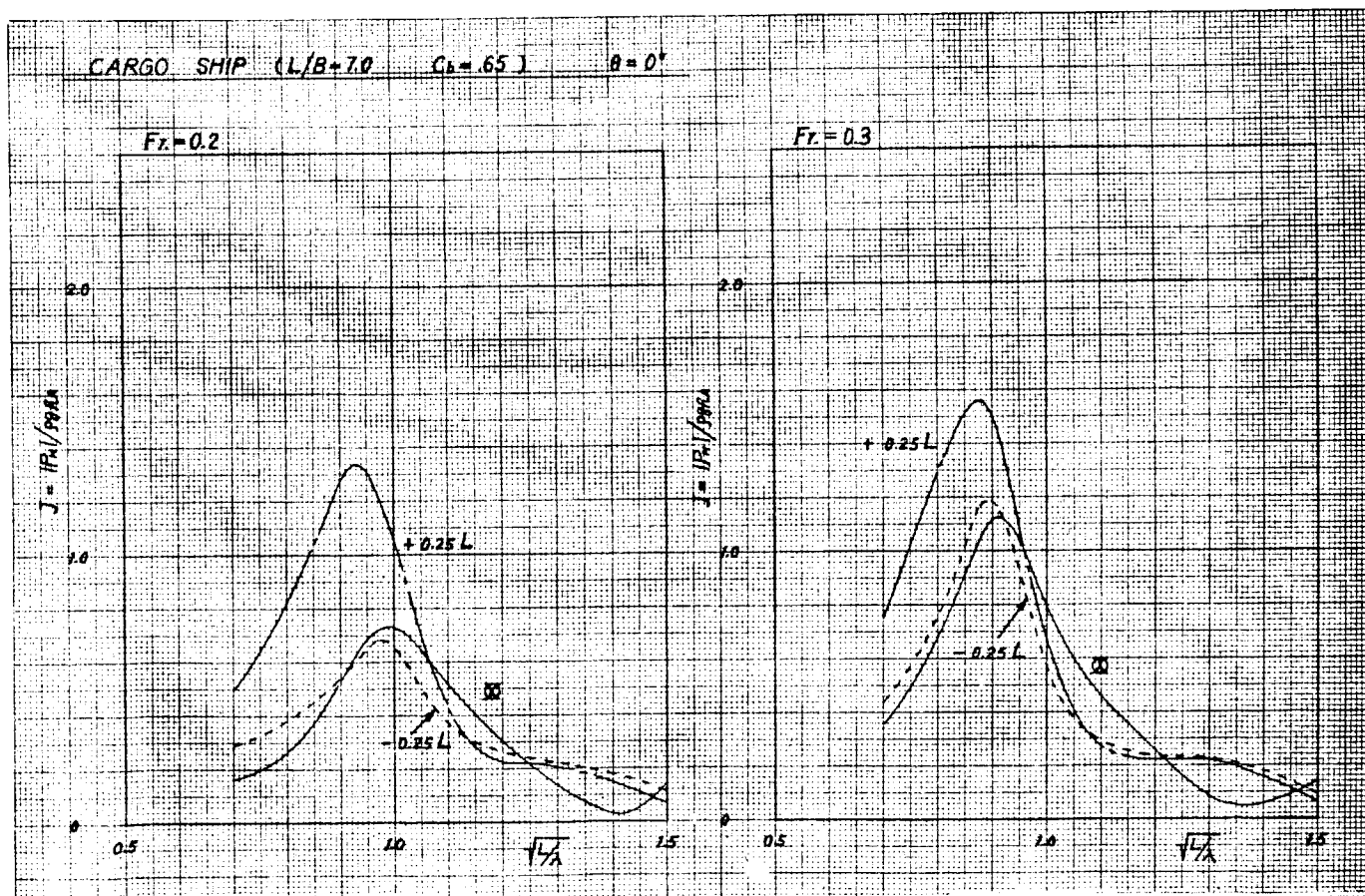


Fig. 6-12 (c)

Fig. 6-12 (d)

CARGO SHIP ($L/B=70$ $C_b=65$) $\theta=50^\circ$

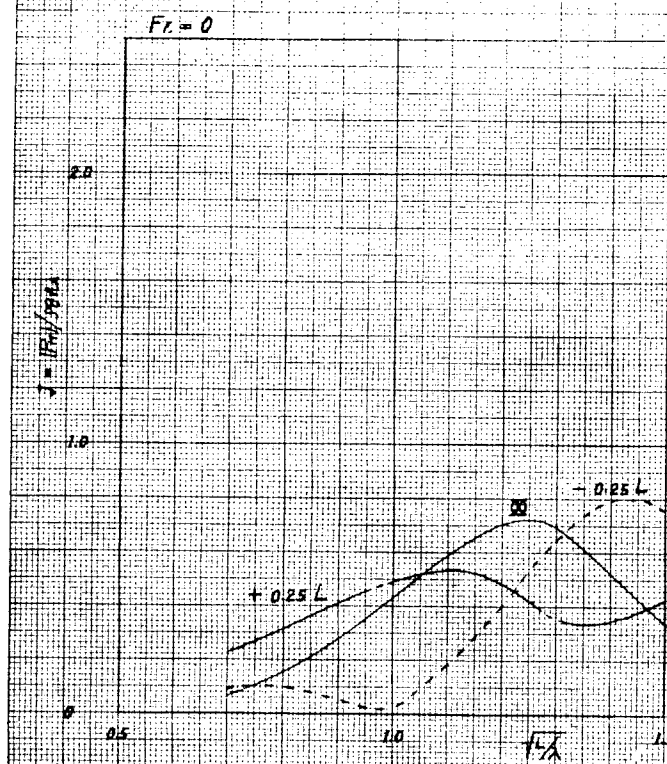


Fig. 6-13 (a)

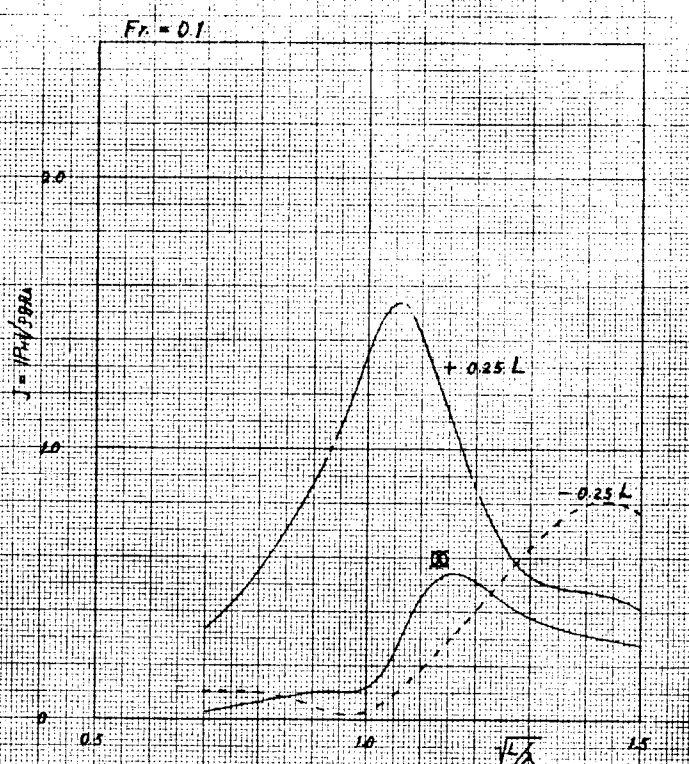


Fig. 6-13 (b)

CARGO SHIP ($L/B=70$ $C_b=65$) $\theta=50^\circ$

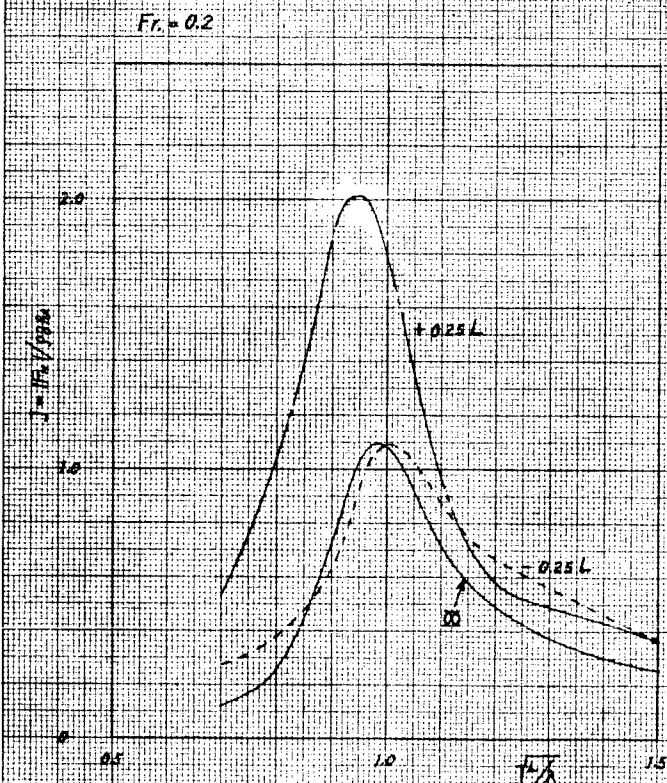


Fig. 6-13 (c)

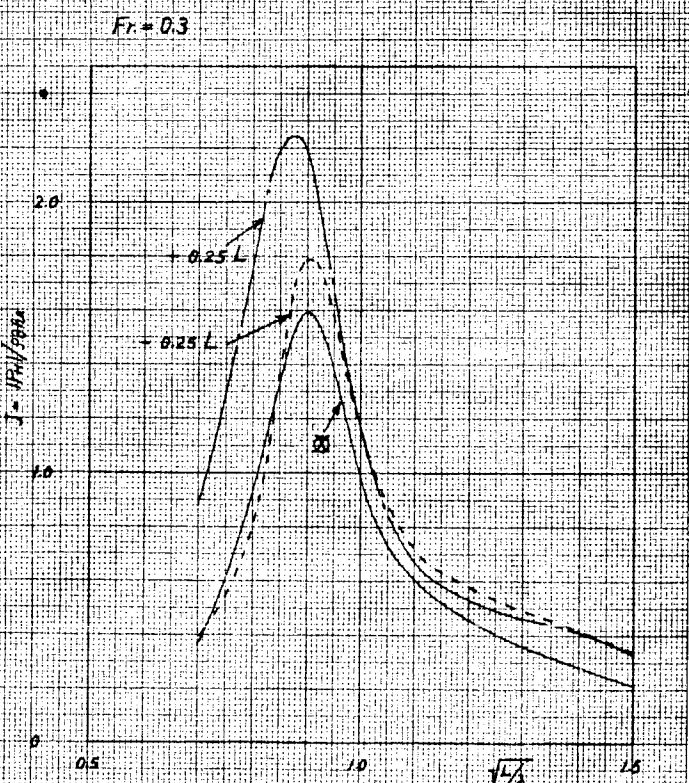


Fig. 6-13 (d)

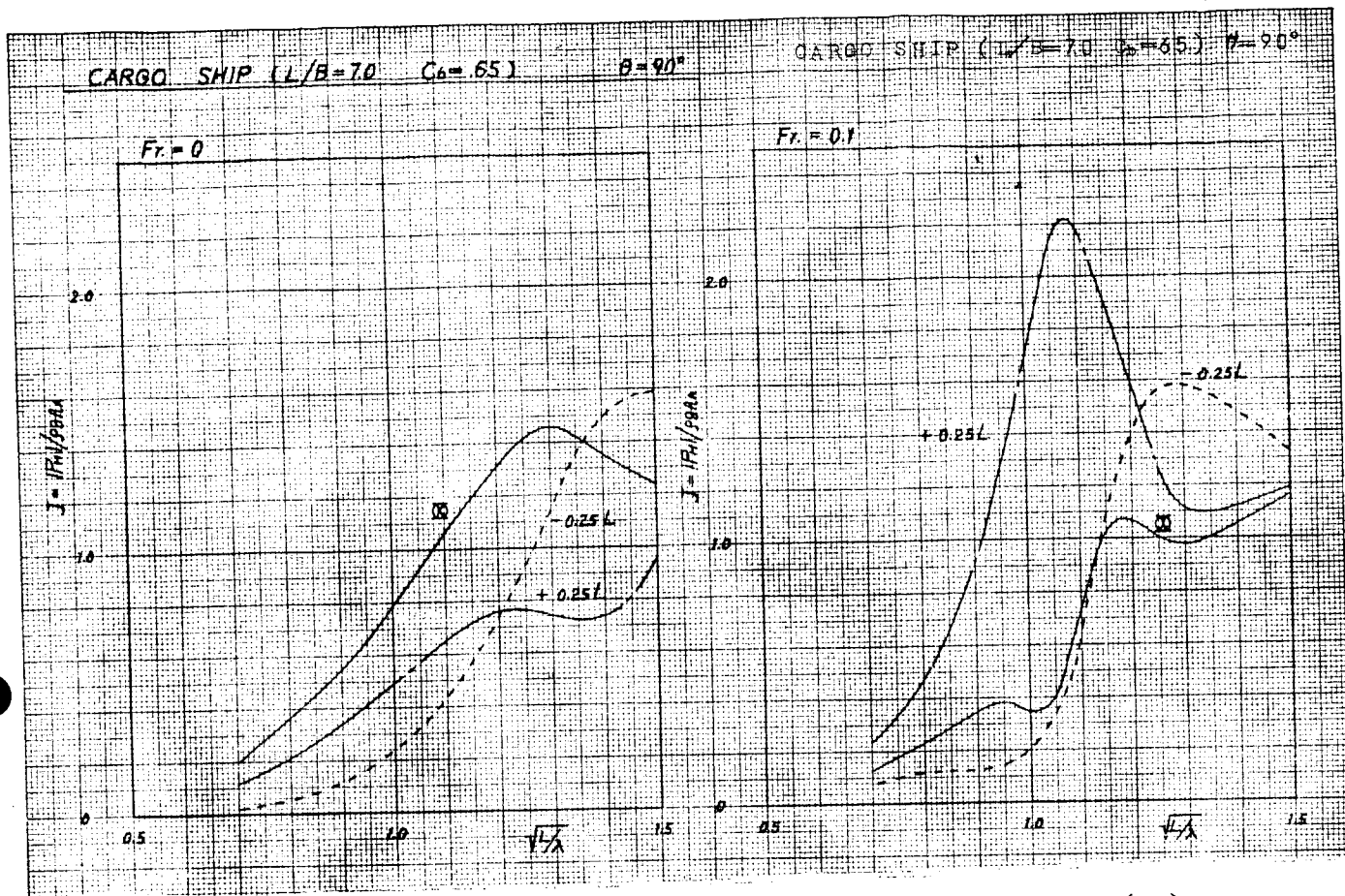


Fig. 6-14(a)

Fig. 6-14(b)

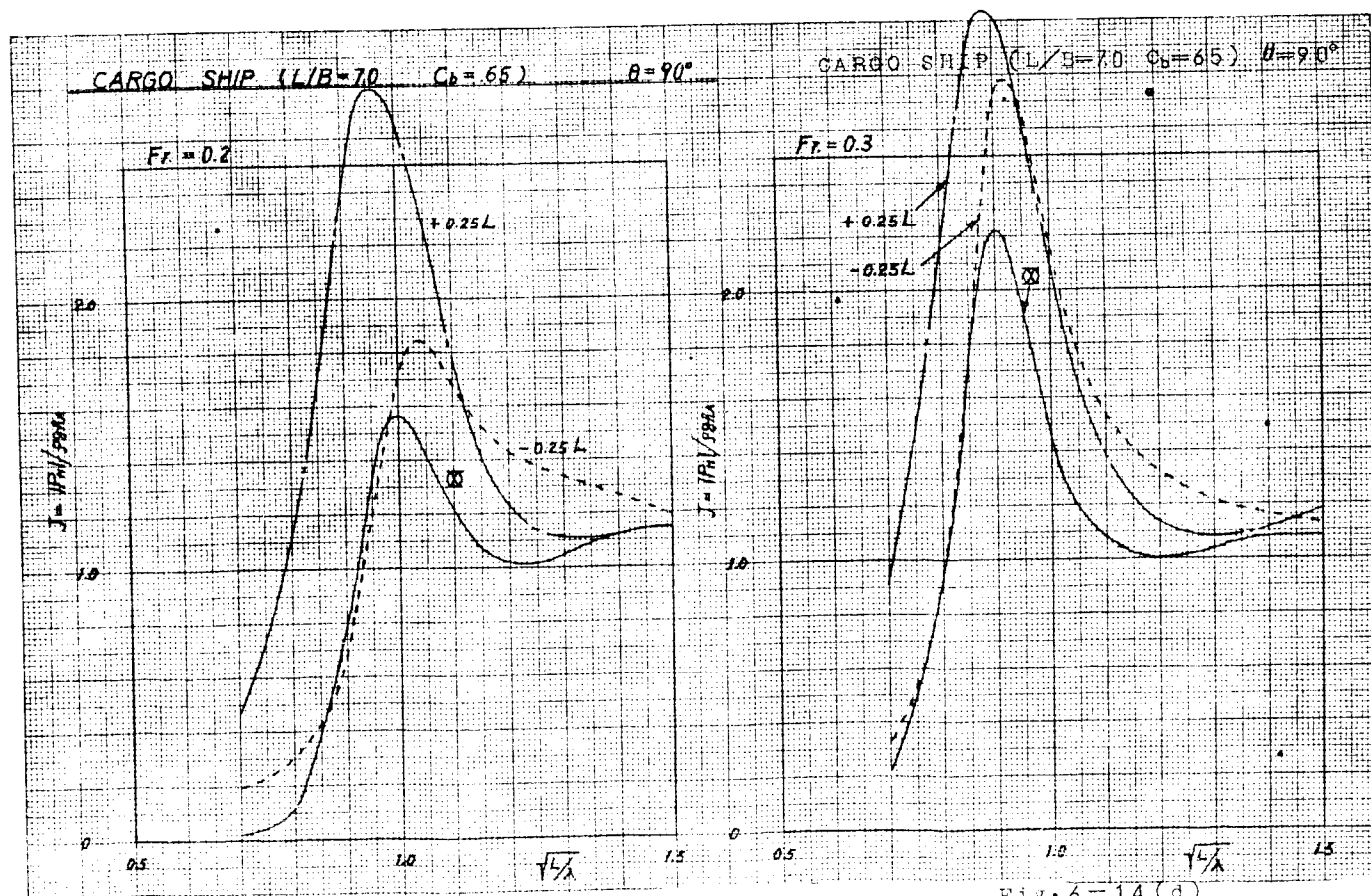


Fig. 6-14(c)

Fig. 6-14(d)

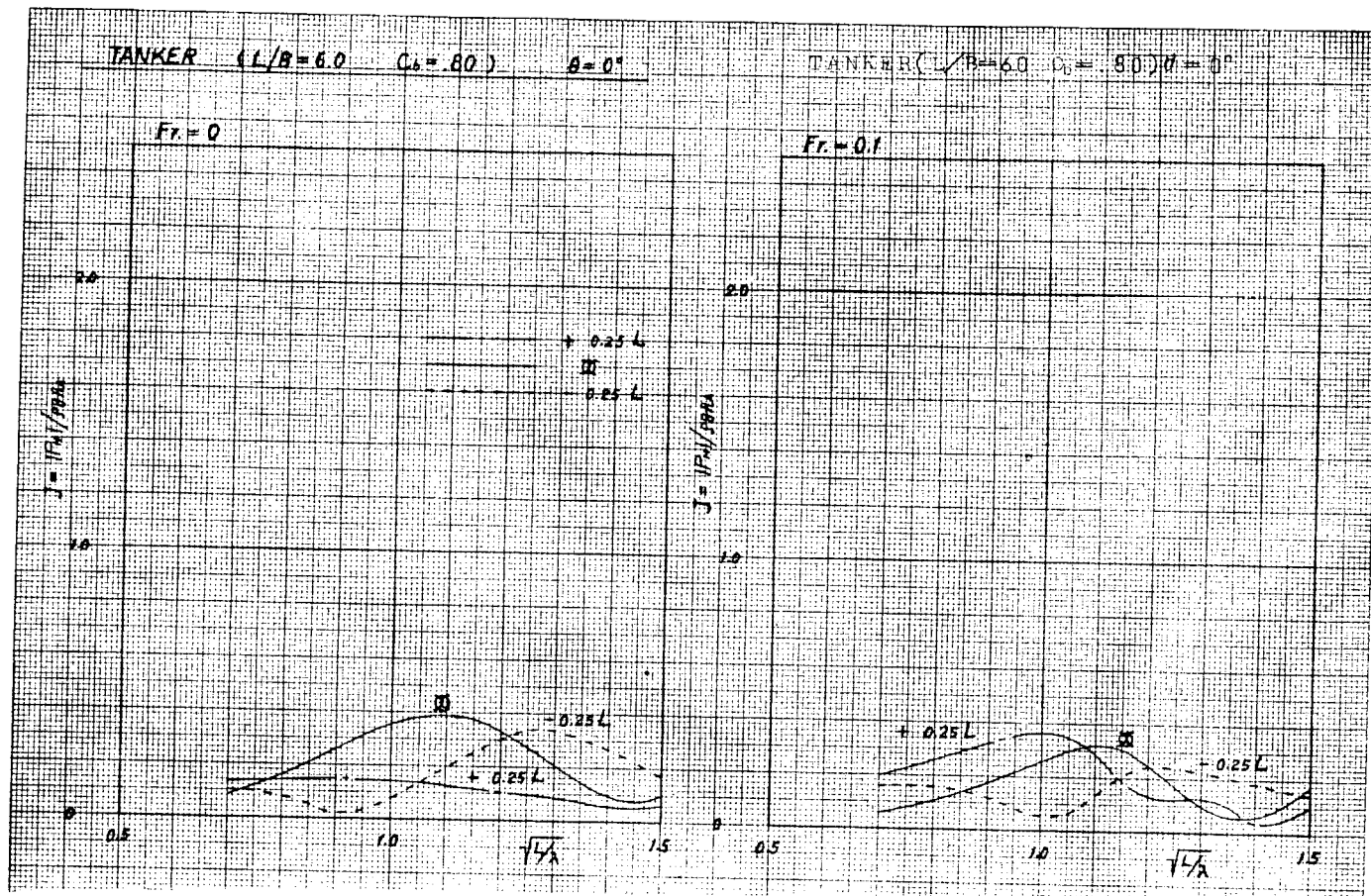


Fig. 6-15 (a)

Fig. 6-15 (b)

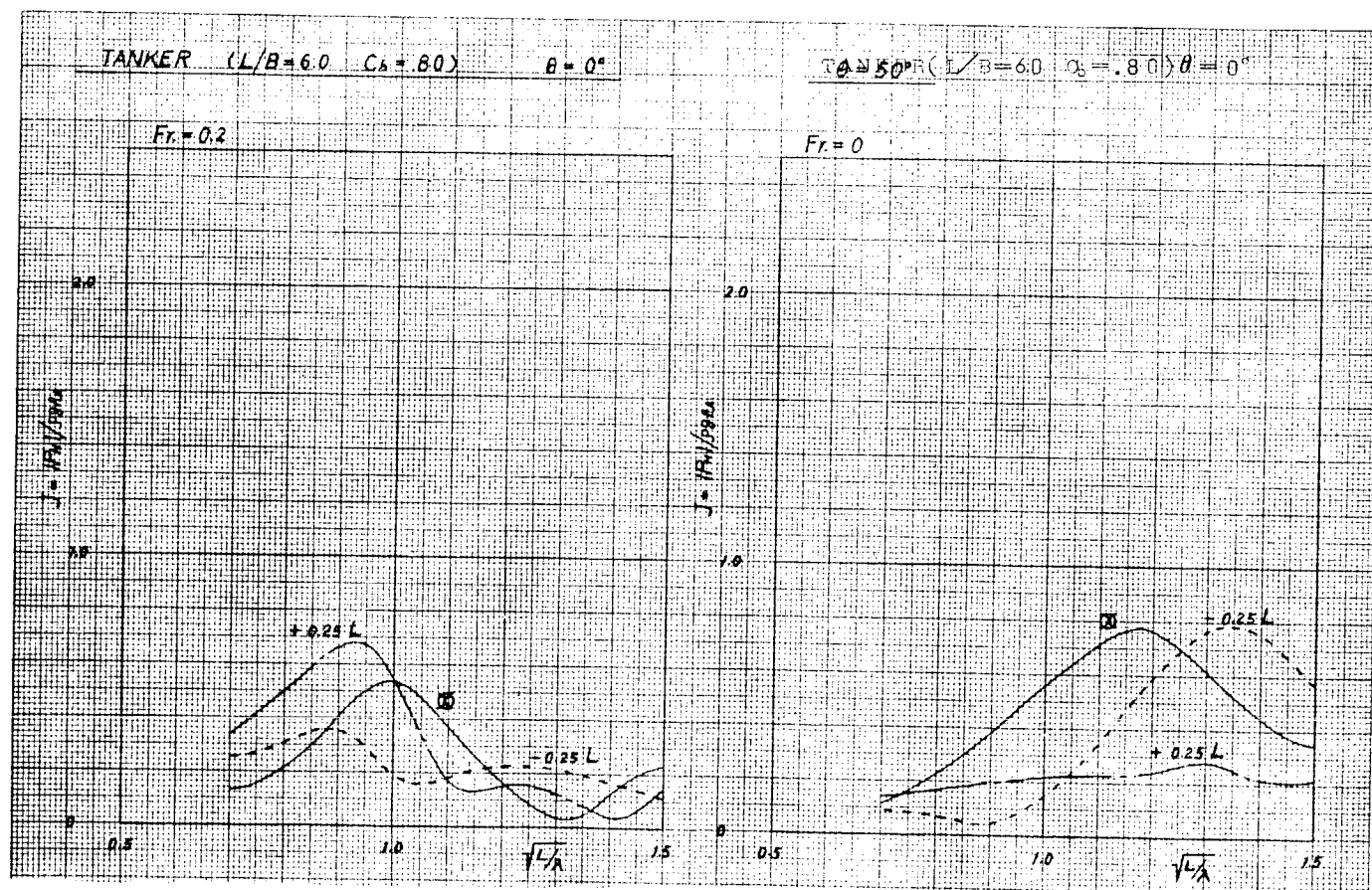


Fig. 6-15 (c)

Fig. 6-16 (a)

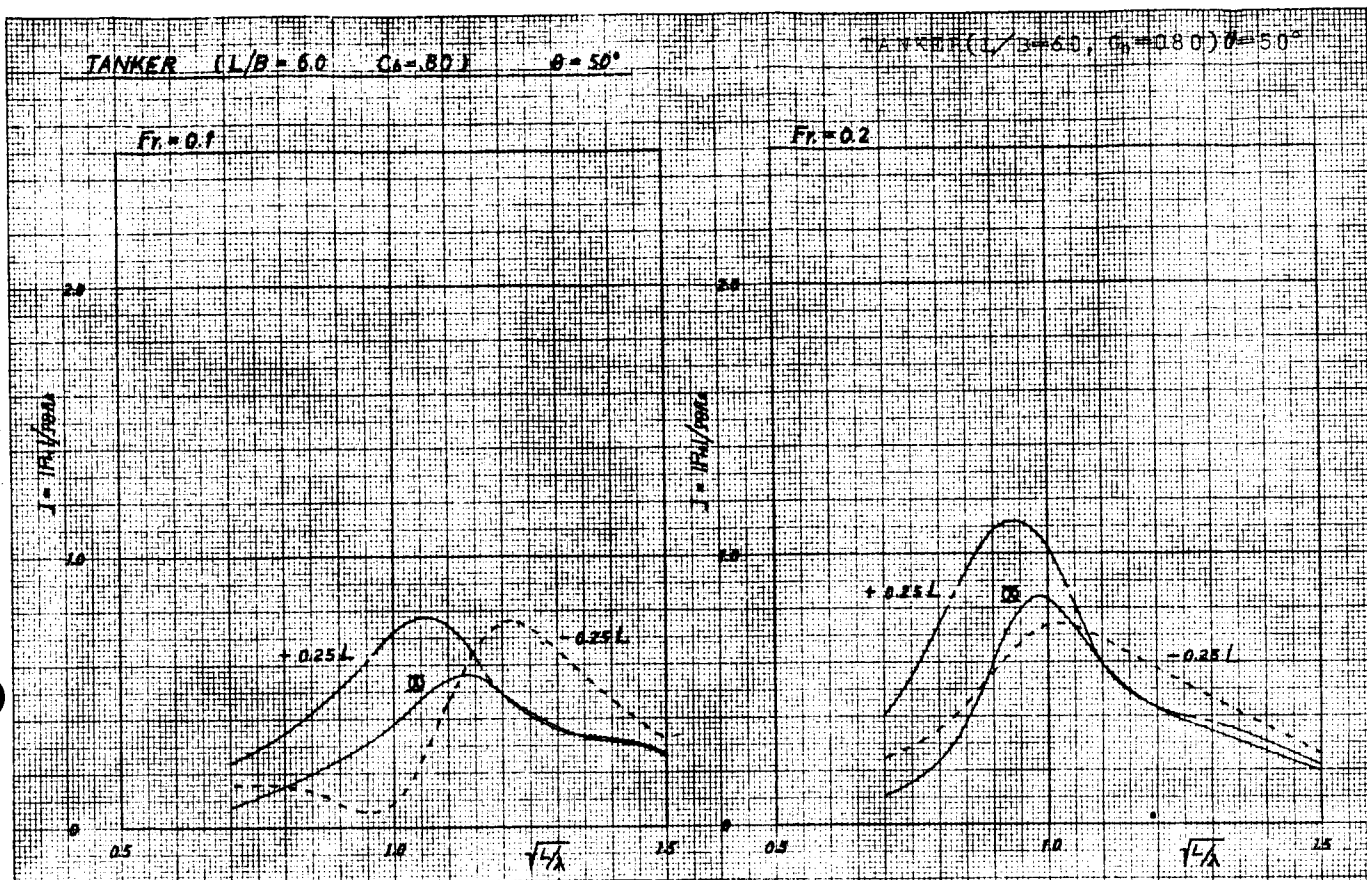


Fig. 6-16 (b)

Fig. 6-16 (c)

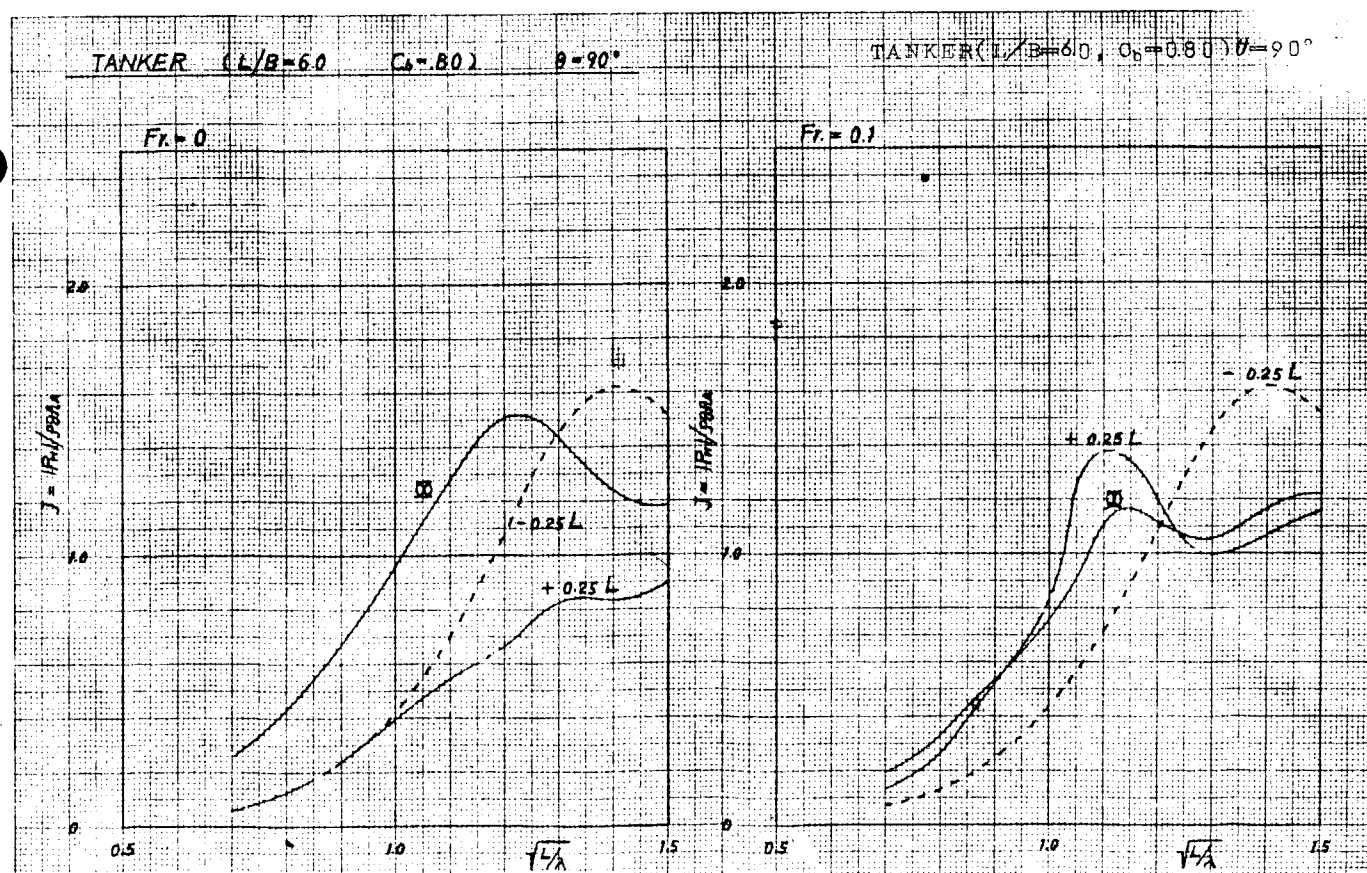


Fig. 6-17 (a)

Fig. 6-17 (b)

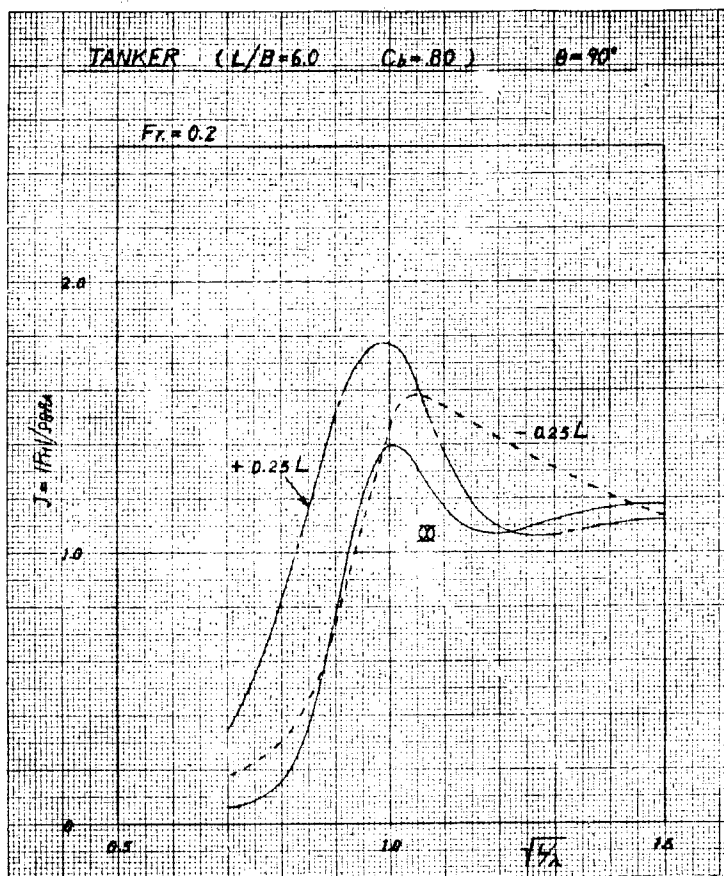
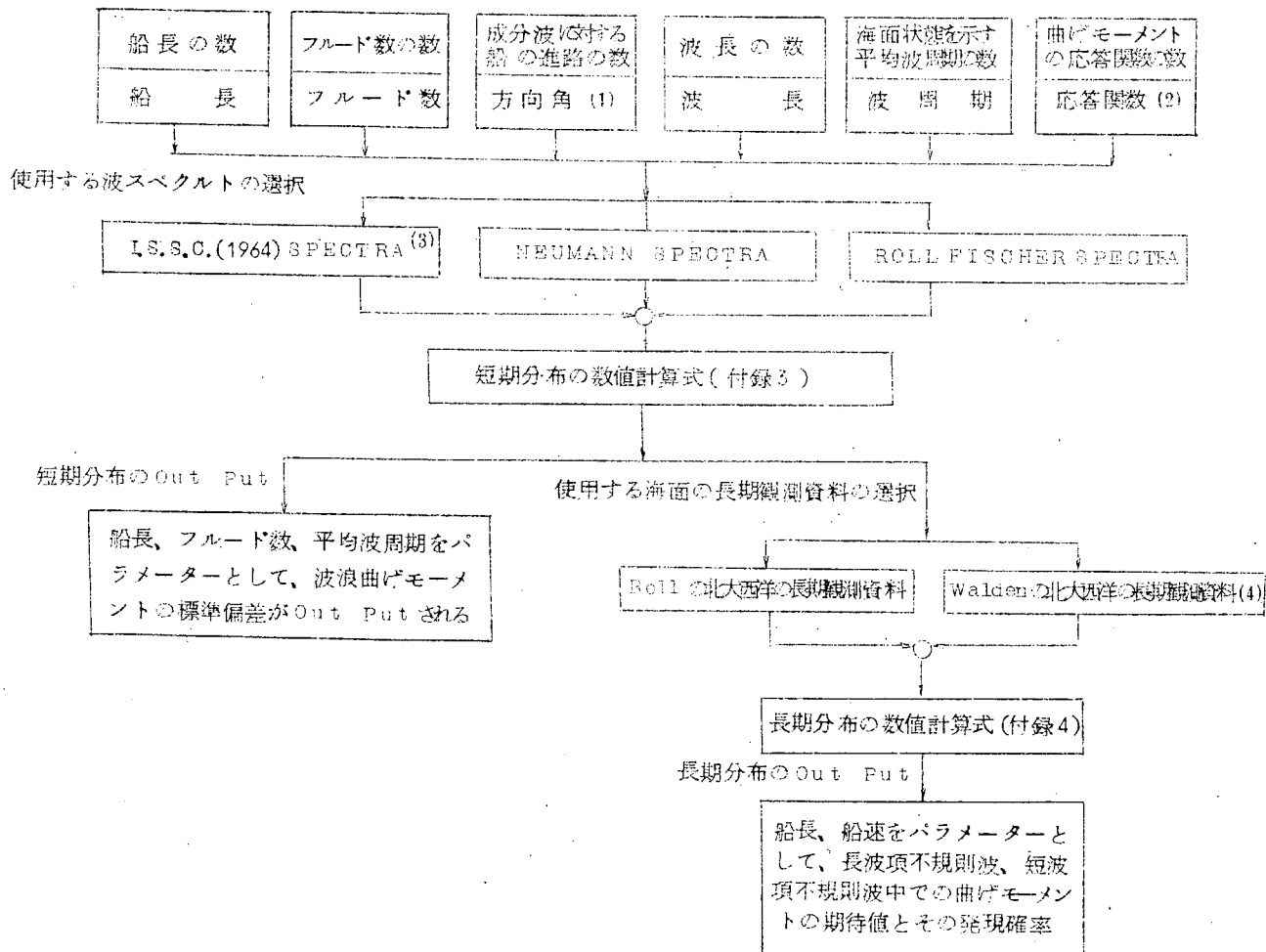


Fig. 6-17 (c)

資料番号	内 容	
SR90(67)Ⓚ1-1	Theoretical Determination of Design Wave Bending Moment	(九大提出)
SR90(67)1-1-a	Standard Deviation of Midship Moment in Irregular Seas	(三菱提出)
SR90(67)1-1-b	Standard Deviation of Midship Wave Bending Moment in Irregular Head Waves	(三菱提出)
SR90(67)1-2	剪断力、曲げモーメントの分布(その2 Tanker)	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ2-1	研究資料№56(SR90部会41年度報告書)の正誤表	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ2-2	付録2 Results of Calculation of Ship Motions and Midship Bending Moment in Regular Waves	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ2-3	付録3 Figures of Midship Bending Moment in Regular Waves	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ2-4	Distribution of Shear Force and Bending Moment in Regular Wave((Cargo Ship $L/B=70, Cb=0.65$, Tanker $L/B=60, Cb=0.80$)	(阪大提出)
SR		
SR90(67)Ⓚ2-5	船体中央に働く変動水圧	(船研提出)
SR90(67)Ⓚ2-6	電子計算機による圧力分布の計算(オ1報)	(日立提出)
SR90(67)Ⓚ3-1	SR90 計算進行状況	(三菱提出)
SR90(67)Ⓚ3-2	電子計算機による圧力分布の計算(オ2報)	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ3-3	短波頂不規則波中の計算	(九大提出)
SR90(67)Ⓚ3-4	長波頂不規則波中の計算	(九大提出)
SR90(67)Ⓚ3-5	波浪曲げモーメントの短期分布、長期分布の計算結果(その1)	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ3-6	Tanker ($L/B=60, Cb=0.80$)の波浪曲げモーメント分布の計算のための計画案	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ4-1	Written Discussion to the Committee 2b-I and 2b-II I.S.S.C., 1967 Oslo	(九大提出)
SR90(67)Ⓚ4-2	SR90 計算進行状況	(三菱提出)
SR90(67)Ⓚ4-3	波浪曲げモーメントの短期分布、長期分布の計算結果(その2)	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ4-4	資料SR90(67)Ⓚ3-5についての説明	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ4-5	電子計算機による圧力分布の計算(オ3報)	(阪大提出)
SR90(67)Ⓚ4-6	SR90 43年度日本船舶振興会 申請書写し	(造船提出)
SR90(67)2-1、2-1'	オ90研究部会 昭和42年度報告書 原稿	(阪大提出)
SR90(67)2-2'	SR90 昭和43年度計算内容及び費用見積	(三菱提出)

付録(2) 短期分布、長期分布プログラムのフローチャート

Input Data



この報告書で計算を行なったのは、成分波の進行方向と船の進路が同一である方向角⁽¹⁾ $\theta = 0^\circ$ の場合の曲げモーメントの応答関数⁽²⁾を用い波スペクトルとしては I. S. S. C. (1964) SPECTRA⁽³⁾ を使って短期分布を求め、Walden の北大西洋での長期観測資料⁽⁴⁾を用いて、長波項不規則波中の長期分布を求めた。

3.1 長波頂不規則波中で成分波に対して常に船が θ の針路をとる場合の曲げモーメントの分散

$$\text{一般式 (3.1)} \quad R_L^2 = \int_0^\infty [f(\omega)]^2 [\bar{M}(\omega, \theta)]^2 d\omega$$

を無次元化すれば

$$\begin{aligned} [\bar{R}_L(\psi)]^2 &= [R_L / \rho g L^2 B H]^2 \varphi = \int_0^\infty [f(\omega/H)]^2 [MVA(\omega) / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta d\omega \\ &= \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 [MVA(\omega) / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta \dots \dots \dots (A-3-1) \end{aligned}$$

とかける。

下図 Fig. A-3-1 のように ψ は $0^\circ \sim 180^\circ$ を6等分した値で示すと、

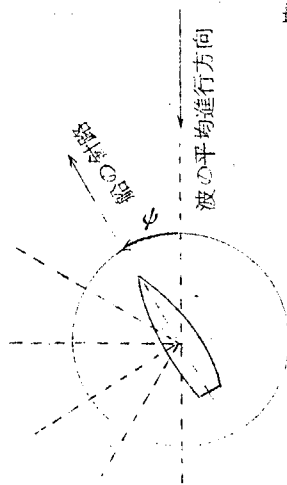


Fig. A-3-1

長波頂不規則波では $\psi = \theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ となる。

$$[\bar{R}_L(0^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 0^\circ \dots (A-3-1-1)$$

$$[\bar{R}_L(30^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 30^\circ \dots (A-3-1-2)$$

$$[\bar{R}_L(60^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 60^\circ \dots (A-3-1-3)$$

$$[\bar{R}_L(90^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 90^\circ \dots (A-3-1-4)$$

$$[\bar{R}_L(120^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 120^\circ \dots (A-3-1-5)$$

$$[\bar{R}_L(150^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 150^\circ \dots (A-3-1-6)$$

$$[\bar{R}_L(180^\circ)]^2 = \Delta \omega \Sigma [f(\omega/H)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = \theta = 180^\circ \dots (A-3-1-7)$$

この報告書に使ったのは(A-3-1-1)式である。

3.2 短波頂不規則波中で成分波に対して常に船が θ の針路をとる場合の曲げモーメントの分散

$$\text{一般式 (3.3)} \quad R_S^2 = \int_{-\pi}^\pi \int_0^\infty [f(\omega, x)]^2 \cdot [\bar{M}(\omega, x, \theta)]^2 d\omega dx$$

を無次元化すると、

$$[\bar{R}_S(\psi)]^2 = [R_S / \rho g L^2 B H]^2 \varphi = 2/\pi \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \int_0^\infty [f(\omega)]^2 \cdot [MVA / \rho g L^2 B H A]^2 \varphi = x - \theta \cos^2 x d\omega dx \dots \dots \dots (A-3-2)$$

$\varphi = x - \theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$ に対する計算は(A-3-1-1)~(A-3-1-7)を使って表わすと、

$$[\bar{R}_S(0^\circ)]^2 = 1/9 [4.0 \bar{R}_L^2(0^\circ) + 3.0 \bar{R}_L^2(30^\circ) + 2.0 \bar{R}_L^2(60^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-1)$$

$$[\bar{R}_S(30^\circ)]^2 = 1/9 [1.5 \bar{R}_L^2(0^\circ) + 5.0 \bar{R}_L^2(30^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(60^\circ) + 1.0 \bar{R}_L^2(90^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-2)$$

$$[\bar{R}_S(60^\circ)]^2 = 1/9 [1.0 \bar{R}_L^2(0^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(30^\circ) + 4.0 \bar{R}_L^2(60^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(90^\circ) + 1.0 \bar{R}_L^2(120^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-3)$$

$$[\bar{R}_S(90^\circ)]^2 = 1/9 [1.0 \bar{R}_L^2(30^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(60^\circ) + 4.0 \bar{R}_L^2(90^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(120^\circ) + 1.0 \bar{R}_L^2(150^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-4)$$

$$[\bar{R}_S(120^\circ)]^2 = 1/9 [1.0 \bar{R}_L^2(60^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(90^\circ) + 4.0 \bar{R}_L^2(120^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(150^\circ) + 1.0 \bar{R}_L^2(180^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-5)$$

$$[\bar{R}_S(150^\circ)]^2 = 1/9 [1.0 \bar{R}_L^2(90^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(120^\circ) + 5.0 \bar{R}_L^2(150^\circ) + 1.5 \bar{R}_L^2(180^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-6)$$

$$[\bar{R}_S(180^\circ)]^2 = 1/9 [2.0 \bar{R}_L^2(120^\circ) + 3.0 \bar{R}_L^2(150^\circ) + 4.0 \bar{R}_L^2(180^\circ)] \dots \dots \dots (A-3-2-7)$$

海面状態を表わす有義波高 H 、平均波周期 T を階級区分にわけて (H_i, T_j) で示す。

(ここで、 H_i, T_j は区分 ij における有義波高 H 、平均波周期の代表値である。)

(H_i, T_j) で海面状態 S_{ij} を表わし、この海面状態 S_{ij} の長期発現確率を P_{ij} 、曲げモーメントの標準偏差を R_{ij} で示す。

長波頂不規則波中で成分波に対して常に船が θ の針路をとる場合の長期分布は

$$\begin{aligned} \text{一般式 (4.3.1)} \quad Q_L(M, \theta) &= \sum_{\ell=1}^{\infty} \exp[-M^2/2 (R_{\ell})_L^2] P'_{\ell} \text{ は} \\ Q_L(M, \theta) &= \sum_i \sum_j \exp[-M^2/2 (R_{ij})_L^2] P_{ij} \dots\dots\dots (A-4-1) \end{aligned}$$

となる。これを無次元化すると

$$Q_L(M^*, 0^0) = \sum_i \sum_j \exp[-(M^*)^2/2 (H_i/L)^2 (R_{ij}^*)_L^2] P_{ij} \dots\dots\dots (A-4-2)$$

$$\text{ここで、} M^* = M / \rho g L^2 B$$

$$(R_{ij})_L^* = (R_L(\varphi))_{T=T_j} / \rho g L^2 B H = \bar{R}_L(\varphi) \quad \varphi = \theta$$

ことに、長波頂正面不規則波中(この報告書の場合)では $\psi = \theta = 0^0$ において

$$Q_L(M^*, 0^0) = \sum_i \sum_j \exp[-(M^*)^2/2 (H_i/L)^2 (\bar{R}_L(0^0))_L^2] P_{ij} \dots\dots\dots (A-4-3)$$

短波頂不規則波中で成分波に対して常に船が θ の針路をとる場合の長期分布は

$$\begin{aligned} \text{一般式 (4.3.2)} \quad Q_S(M, \theta) &= \sum_{\ell} \exp[-M^2/2 (R_{\ell})_S^2] P'_{\ell} \text{ は} \\ &= \sum_i \sum_j \exp[-M^2/2 (R_{ij})_S^2] P_{ij} \dots\dots\dots (A-4-4) \end{aligned}$$

となる。これを無次元化すると

$$Q_S(M^*, \theta) = \sum_i \sum_j \exp[-(M^*)^2/2 (H_i/L)^2 (R_{ij}^*)_S^2] P_{ij} \dots\dots\dots (A-4-5)$$

$$\text{ここで、} (R_{ij})_S^* = (R_S(\psi))_{T=T_j} / \rho g L^2 B H = \bar{R}_S(\psi)$$

成分波に対して船の針路をとる確率が $0^0 \sim 360^0$ で一様である ALL HEADING では、(A-3-2-1) ~ (A-3-2-7) を使って

$$\begin{aligned} Q_S(M^*) &= 1/12 \{ Q_S(0^0) + 2Q_S(30^0) + 2Q_S(60^0) + 2Q_S(90^0) \\ &\quad + 2Q_S(120^0) + 2Q_S(150^0) + Q_S(180^0) \} \dots\dots\dots (A-4-6) \end{aligned}$$

で表わされる。

付録(5) 等価波高 Effective Wave Height

Fig. A-5-1 のように、船長に等しい波長をもち、波高が H_e (m) である正弦波中の船体中央部の静的曲げモーメント M は次の関係を満足する。

$$H_e = \frac{M}{\rho g L B} \cdot \frac{L}{C_{He}} \quad \dots\dots\dots (A-5-1)$$

ここで等価波高係数 C_{He} は水線面積係数 C_w の関数で Series 60 船型について計算すると Table A-5-1 がえられる。

Table A-5-1

C_b	C_w	C_{He}
0.55	0.6702	0.01171
0.65	0.7468	0.01368
0.75	0.8291	0.01678
0.80	0.8746	0.01894
0.85	0.8995	0.01983

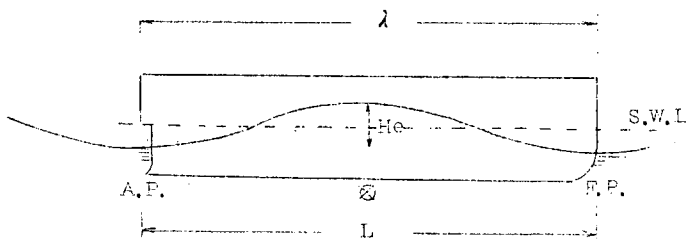


Fig. A-5-1

付録(6) 電子計算機による変動圧力の計算

正面規則波中で運動する船体表面に働く変動圧力の振幅および位相差は第6章(6.16)式で求められるが、計算の途中に現われる(6.3)、(6.10)式の無限積分は高木氏、雁野氏が文献⁹⁾の〔付録Ⅲ〕に示している方法を用いた。

なお断面の表面に沿つての変動圧力の分布は断面形状を単位円に写像変換した場合の $\theta = 0^\circ$ (船底中心線) から $\theta = 90^\circ$ (船側水面部) まで1度ごとに10点の値が求められる。

(a) 計算入力としては

(i) 船体主要目を現わす諸元

L/B , B/d , Ob , $\bigotimes G/L$

(ii) 断面に関する諸元

$\bigotimes$ から断面までの距離 ($\bigotimes$ より前方を正) $\dots\dots\dots 2\chi/L$, $H_0 = B/2d$, 断面積係数 $\dots\dots\dots \delta$

(iii) 計算状態

フルード数 $\dots\dots\dots Fr$, $\sqrt{L/\lambda}$, 波の Steepness $\dots\dots\dots \delta = 2hA/\lambda$

無次元上下揺振幅 $\dots\dots\dots \bar{\zeta}_0 = \zeta_0/hA$, 上下揺の波に対する位相差 $\dots\dots\dots \varepsilon_\zeta$,

無次元縦揺振幅 $\dots\dots\dots \bar{\theta}_0 = \theta_0/KhA$, 縦揺の波に対する位相差 $\dots\dots\dots \varepsilon_\theta$

(b) 計算出力としては

上記のデータのほか

断面 Contour の θ に相当する (y , z) 座標およびその点の法線勾配

$$\begin{aligned} P_C &= (\Phi_C + S) \\ P_S &= (\Phi_S + E) \end{aligned} \quad \} (6.1) \text{式}$$

$$P_{aw}^{\parallel} \quad (6.8) \text{式}$$

$$P_{dw}^{\parallel} \quad (6.9) \text{式}$$

$$\bar{P} = \sqrt{(1 + P_{aw}^{\parallel})^2 + P_{dw}^{\parallel 2}} \quad (\text{上下揺のみによる変動圧力の振幅})$$

$$\nu_0 = \tan^{-1} (P_{dw}^{\parallel} / 1 + P_{aw}^{\parallel}) \quad (\quad \quad \quad \text{位相差})$$

$$J = |P_H| / \rho g h A \quad (\text{無次元変動圧力振幅}) \quad \} (6.16) \text{式}$$

$$\nu \quad (\text{変動圧力の位相差})$$

$$\bar{P}_H = |P_H| / \rho g d = J h A / d.$$

等が記録される。

付録(7) 参 考 文 献

- (1) St Dennis Pierson "On the Motion of Ship in Confused Sea"
Trans. S.N.A.M.E. VOL. 61 (1953)
- (2) 福 田 淳 一 "波浪荷重の長期分布推定法" 造船協会誌 448号 (1966)
- (3) H. U. Roll "Height, Length and Steepness of Sea Wave in
the North-Atlantic and Dimmensions of Wave
as function of Wind Force "
Trdns. S.N.A.M.E. Technical and Research Bu-
lletin No 1-19 (1958)
- (4) H. Walden "Die Eigenschaften der Meeresweller in Norda-
tlandisher Ozen "
Deutch wesller chiust Seawetter Einzelseed
out Eugelrerätt Entlichungen Nr. Al Hamburg
(1964)
- (5) 山 内 保 之 "北太平洋及び日本近海の波浪統計調査"
造船研究 7 卷 2 号 (1965)
- (6) 田 才 福 造 "An Approximate Calculation of Hydrodynamic
Pressure on the Midship Section Contour
of a Ship Heaving and Pitching in Regular
Waves" 九大応力研英文報告 VOL. 14. No 48. 1966
- (7) 郷 田 国 夫 "波浪中の船体に働く横荷重について"
造船協会論文集 オ 121 号 (1967)
- (8) 田 才 福 造 "船の上下動揺、縦動揺における減衰力及び附加質量について"
造船協会論文集 オ 105 号 (1959)
- (9) 高 木 又 男 "波浪中の船体運動の計算に用いられるストリップ法の精度について"
雁 野 昌 明 造船協会論文集 オ 121 号 (1967)