

第 9 4 研 究 部 会

船体機関の振動防止対策に関する実験研究

報 告 書

(第 1 分 冊)

昭 和 4 4 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43年度補助事業「巨大船に関する調査研究」の一部として日本造船研究協会が第94研究部会においてとりまとめたものである。

第94研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部 会 長	原 三 郎	（日本海事協会）
船体分科会主査	熊 井 豊 二	（九州大学）
機関分科会主査	小 泉 磐 夫	（東京大学）
船体機関合同小委員会主査	川 上 益 男	（広島大学）
幹 事	赤 沢 政 彦	（石川島播磨重工業）
	大 西 恒 成	（三菱重工業）
委 員	葉 山 真 治	（東京大学）
	星 野 次 郎	（日本海事協会）
委 員	榎 本 圭 助	（三井造船）
	梅 崎 一 夫	（三菱重工業）
委 員	岡 田 弘 昭	（佐野安船渠）
	越 智 義 夫	（石川島播磨重工業）
委 員	久津間 裕 良	（運輸省）
	酒 井 敏 之	（三井造船）
委 員	関 内 実	（三井造船）
	田 中 兵 衛	（昭和海運）
委 員	辻 川 吉 郎	（舞鶴重工業）
	土 手 秀 夫	（浦賀重工業）
委 員	新 田 頭	（日本海事協会）
	長谷川 敬	（三菱重工業）
委 員	福 田 安 助	（日本鋼管）
	藤 井 澄 二	（東京大学）
委 員	増 田 勝 巳	（三井造船）
	松 前 宏	（三菱重工業）
委 員	松 本 互 平	（日立造船）
	山 下 郁 夫	（浦賀重工業）
委 員	吉 田 真	（石川島播磨重工業）
	大 高 勝 夫	（三菱重工業）
委 員	金 沢 武	（東京大学）
	広 渡 智 雪	（日立造船）
委 員	牧 野 利 雅	（浦賀重工業）
	植 田 靖 夫	（船舶技術研究所）
委 員	仰 木 盛 綱	（佐世保重工業）
	大 坪 昇	（日立造船）
委 員	飯 塚 晴 彦	（三菱重工業）
	後 藤 大 三	（石川島播磨重工業）
委 員	鈴 木 宏	（日本鋼管）
	高 橋 肇	（船舶技術研究所）
委 員	塚 本 周 吉	（函館 Dock）
	富 田 治	（佐世保重工業）
委 員	中 村 昭 和	（川崎重工業）
	野 崎 政 治	（防衛庁）
委 員	原 野 二 郎	（三井造船）
	藤 井 克 哉	（石川島播磨重工業）
委 員	真 砂 宏	（大阪商船三井船舶）
	松 浦 義 一	（大阪大学）
委 員	松 村 徳 郎	（川崎重工業）
	山 越 道 郎	（九州大学）
委 員	山 本 善 之	（東京大学）
	川 上 肇	（川崎重工業）

委員以外の討議参加者名簿（敬称略、五十音順）

市 川 卓 郎	（日本鋼管）	今 井 純 一 郎	（三菱重工業）
伊 藤 八 郎	（日本鋼管）	伊 藤 敬 三 郎	（船舶技術研究所）
新 井 淳	（日本海事協会）	後 川 理	（石川島播磨重工業）
梅 野 満	（日本海事協会）	牛 島 正 夫	（三菱重工業）
白 井 久 益	（三菱重工業）	漆 原 熙	（三井造船）

上	田	隆	康 (船舶技術研究所)	大	石	智	也 (川崎重工業)
大	桑	義	昭 (三井造船)	大	沼		覚 (三菱重工業)
小	野	木	宏 (佐世保重工業)	小	野	孝	義 (石川島播磨重工業)
岡	久	泰	明 (川崎重工業)	岡	部	利	正 (三菱重工業)
岡	本	克	巳 (三井造船)	小	川	量	也 (日本鋼管)
香	川	恍	二 (三菱重工業)	梶	田	悦	司 (石川島播磨重工業)
河	合		一 (日本鋼管)	河	本	達	郎 (三菱重工業)
川	井	興	一 (日本鋼管)	金	田	隆	良 (石川島播磨重工業)
河	津	威	信 (浦賀重工業)	越	川		滋 (三井造船)
後	藤	寿	穂 (日立造船)	小	池	健	夫 (日立造船)
久	米		宏 (日本海事協会)	小	林	英	昭 (日本鋼管)
今	野	暁	一 (石川島播磨重工業)	堺		由	輝 (川崎重工業)
佐	藤	博	一 (日本鋼管)	白	木	万	博 (三菱重工業)
杉	山		脩 (佐世保重工業)	高	須		績 (浦賀重工業)
高	張	研	一 (佐世保重工業)	蓼	沼	太	門 (佐世保重工業)
寺	尾	貞	一 (石川島播磨重工業)	寺	田	邦	夫 (三菱重工業)
時	枝	彬	彦 (三井造船)	土	井	丈	士 (三井造船)
富	岡	靖	博 (石川島播磨重工業)	長	島	康	夫 (佐世保重工業)
中	村	義	二 (日本鋼管)	中	山	幹	彦 (川崎重工業)
永	井		将 (日立造船)	永	元	隆	一 (三菱重工業)
永	田	勝	之 (石川島播磨重工業)	灘	波	篤	直 (川崎重工業)
野	村		寛 (日立造船)	橋	本	泰	明 (浦賀重工業)
服	部	堅	一 (浦賀重工業)	藤	井	達	宏 (日立造船)
平	田	功	二 (日本鋼管)	畑	中	勝	衛 (佐世保重工業)
藤	田	尚	身 (浦賀重工業)	松	岡	孝	典 (三菱重工業)
松	永	恒	規 (佐世保重工業)	水	島	一	祐 (日立造船)
水	内		充 (日立造船)	水	谷	郁	夫 (石川島播磨重工業)
南		真	和 (三井造船)	森	田	寿	郎 (三菱重工業)
本	岡	隆	雄 (三菱重工業)	米	里	徹	也 (三菱重工業)
吉	村		望 (三菱重工業)	渡	辺		勉 (日本鋼管)
渡	辺	昌	建 (三菱重工業)				

目 次

第1編 船 体 関 係 (第1分冊)	1
1. 船体固有振動数	3
1.1 船体上下固有振動数	3
1.2 船体水平固有振動数	14
1.3 船体縦固有振動数	19
1.4 付加水質量	22
1.4.1 船体上下高次固有振動数に及ぼす浅水影響に関する模型実験	22
1.4.2 船体水平曲げ、振り連成振動における付加質量および付加慣性モーメント	26
2. 局 部 振 動	29
2.1 上部構造前後振動	29
2.2 船 底 振 動	32
3. プロペラ起振力	36
4. 応 答 計 算	41
5. 巨大船の Non-Beam Vibration	53
6. 実船計測結果	61
6.1 日立造船計測結果	61
6.2 佐世保重工業計測結果	79
6.3 浦賀重工業計測結果	87
6.4 石川島播磨重工業計測結果	95
6.5 三井造船計測結果	113
6.6 三菱重工業計測結果	147
7. 大型模型船実験結果	155
第2編 機 関 関 係 (第2分冊)	181
1. 理 論 解 析	183
1.1 主機関およびプロペラ軸系の起振力に関する研究	183
1.1.1 首振り振動に対する起振力	183
1.1.2 ねじり振動による誘導起振力	206
1.1.3 プロペラ軸よりの船体振動起振力	213
1.2 多点加振の理論解析	225
1.2.1 多自由度系の強制振動の方程式	225
1.2.2 固有振動数と振動モード	225
1.2.3 基準振動への変換	226
1.2.4 機関架構の横振動の応答計算	227
1.2.5 6質点系多点加振の計算例	231
1.3 クランク軸系のねじり縦連成振動の数値解析	234
1.3.1 研 究 目 的	234
1.3.2 一 般 説 明	234
1.3.3 フローチャートの説明	234

1.3.4	STPHYSプログラムの基本的考え	235
1.3.5	一般HOLZER法による固有値問題の解HOLNフローチャート	237
1.4	クランクスローの撓性係数の解析	242
1.4.1	荷重と微小変位の6次元ベクトル表示	242
1.4.2	物体の撓性係数	242
1.4.3	左右対称物体の撓性行列	243
1.4.4	前後対称物体の撓性行列	243
1.4.5	左右対称かつ前後対称な物体の撓性行列	244
1.4.6	半クランクスローの撓性行列と全クランクスローの撓性行列の関係	244
1.4.7	撓性係数の測定	245
1.4.8	クランク軸水平支持デフレクション試験	246
1.4.9	クランク軸鉛直支持デフレクション試験	247
1.4.10	クランクピン中央荷重試験	247
1.4.11	解 析 例	248
2.	模 型 実 験	250
2.1	小模型実験(機関架構横振動の模型実験)	250
2.1.1	研 究 目 的	250
2.1.2	実験装置および実験方法	250
2.1.3	実 験 結 果	250
2.1.4	固有振動数と振動モード	250
2.1.5	結 論	255
2.2	大形模型実験	255
2.2.1	緒 言	255
2.2.2	起振機およびロードセルについて	255
2.2.3	架構単独試験	256
2.2.4	実機に対する計算	263
2.2.5	合 同 実 験	266
2.2.6	測 定 結 果	267
3.	実 機 実 験	275
3.1	実機の起振実験および運転時振動実験	275
3.1.1	起 振 実 験	275
3.1.2	運転時振動実験	357
3.1.3	総 括 的 検 計	385
3.2	係留時および海上試運転時振動実験	387
3.2.1	測 定 項 目	387
3.2.2	供 試 船 要 目	387
3.2.3	計 測 要 領	388
3.2.4	考 察	407
第3編	船体と機関・軸系の関連振動の実測結果 (第3分冊)	411
	緒 言	413

1. 実測資料	4 1 4
1.1 SHIP No. H-4	4 1 4
1.2 SHIP No. 4 1 - C	4 2 0
1.3 SHIP No. 4 1 - E	4 2 7
1.4 SHIP No. 4 1 - G	4 3 4
1.5 SHIP No. 4 1 - H	4 4 0
1.6 SHIP No. 4 1 - J	4 4 9
1.7 SHIP No. 4 2 - G	4 6 7
1.8 SHIP No. 4 2 - I	4 7 7
1.9 SHIP No. 4 2 - J	4 9 7
1.1 0 SHIP No. 4 2 - K	5 0 5
1.1 1 SHIP No. 4 3 - D	5 1 2
1.1 2 SHIP No. 4 3 - G	5 3 1
2. 機関架構振動と船体振動の関連の検討	5 4 6
2.1 供 試 資 料	5 4 6
2.2 検 討	5 4 6
3. 軸系振動と船体振動の関連の検討	5 5 1
3.1 供 試 資 料	5 5 1
3.2 検 討	5 5 2
3.3 む す び	5 5 5

第 1 編 船 体 関 係

1. 船体固有振動数

1.1 船体上下固有振動数

上下固有振動数の整理解析は、昭和41～42年度研究報告（研究資料60-1および同67-1）に記載された方法で行なつた。すなわち、 n 節の固有振動数を N_{vn} で表わし、

これが、

$$N_{vn} = C_{vn} \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot n^2 \cdot \pi^2 \sqrt{\frac{g \cdot E \cdot I_v}{\Delta_v \cdot L^3 \cdot \{1 + (\alpha + \beta) n^2 \cdot \pi^2\}}} \quad (\text{cpm}) \quad (1.1.1)$$

ここに、 C_{vn} : n 節上下固有振動数に対する係数

Δ_v : 附加水を含めた排水量

$$\Delta_v = \Delta (1 + \tau)$$

$$\text{ただし、} \quad \tau = 0.3 \frac{B}{d} - 0.033 \left(\frac{B}{d} \right)^2 \quad \dots\dots\dots \text{貨物船}$$

$$\tau = 0.4 \frac{B}{d} - 0.035 \left(\frac{B}{d} \right)^2 \quad \dots\dots\dots \text{タンカまたは } C_B \geq 0.75$$

α : 剪断振動の影響を表わす係数

$$\alpha = 2.6 \frac{I_v}{A_v \cdot L^2}$$

β : 回転慣性の影響をあらわす係数

$$\beta = \frac{r^2}{L^2}, \quad r = \sqrt{\frac{I_v}{A_v}}$$

実績では β は α の略10%程度の値である。

で求められるものとして実績値から C_{vn} を求めることを試みた。これらの結果を前年度までのデータと共に表示したのが、Table 1.1.1 および Table 1.1.2 である。

また実船の主寸法と諸剛性、節数と固有振動数との関係、減衰係数 μ と節数の関係、計測されたモード曲線などについても前年度までのデータと共に図示した。

これを Fig. 1.1.1 ~ Fig. 1.1.5 (2) に示す。

これらからわかるように、本年度解析を行なつた船はいずれも前年度の解析結果と同様、実験曲線に近い値を示し、顕著な差を示したものはないと考えられる。

Table 1.1.1-(1) Natural Frequency of Tested Ships
(for Vertical Vib.)

Ship Name & Type	LPP (m)	B (m)	I _v (m ⁴)	A _v (m ²)	d (m) at Test	1+τ	Δ _v (M.T.)	$\sqrt{\frac{I_v}{\Delta_v L^3}}$ (×10 ⁻⁵)	$\sqrt{\frac{BD^3}{\Delta_v L^3}}$ (×10 ⁻⁴)	$\sqrt{\frac{A_v}{\Delta_v L}}$ (×10 ⁻⁴)	$\alpha = 26 \frac{I_v}{A_v L^2}$ (×10 ⁻⁴)	$\beta = \frac{r^2}{L^2}$ (×10 ⁻⁴)	N _{v2} (cpm)	N _{v3} (cpm)	N _{v4} (cpm)	N _{v5} (cpm)	N _{v6} (cpm)
H-1 (T)	229	35.2	245	2078	Ball 6.185	2.141	86,100	1.54	394	332	585	939	45*	84	127	181	229
					Ball 5435	2.120	74,200	1.66	425	358			496	117	164		
					Full 1203	1871	151,100	1.16	298	251	↓	↓	448	90	1345	190	
H-2 (T)	290	47.5	881.3	2751	Ball 881	2.139	206,200	1.29	361	205	98.9	131	42*	81	123	156	191
H-3 (O/C)	210	32.2	211.2	1298	Ball 7.22	2.087 ^f	81,300	1.68	490	276	960	118	60	120	196	234 N _{v4} =360	310
H-4 (O/O)	208	32.2	242	1237	Ball 7.92	2.046 ^f	80,600	1.83	443	272	1175	1094	57	112	181	225	262
H-5 (T)	225	37.2	313.4	1397	Full 1247	1882	164,900	1.85	357	194	115.1	125	43*	95	N _{v8} 330	N _{v9} 405	N _{v12} 570
H-6 (B/C)	216.4	31.7	195.2	1931	Ball 6.00	2.135 ^f	80,600	1.55	448	332	56.1		66	140	184		N _{v7} 408
A.⊙ (C)	145	19.6	559	0.4688	Ball 4.16	1.680	13,910	3.63	9.39	4.82	1148		102	175	264 N _{v7} 495	335 N _{v8} 568	400
B.⊙ (B/O)	187.5	25.6	107	1.117	Full 9887	1.801 ^f	70,200	1.52	3.64	292	695		60*	123	190 N _{v7} 370	260 N _{v8} 430	320 N _{v9} 475
C.⊙ (T)	197	26.4	120.2	1.102	Ball 6.18	2.068	51,200	1.75	4.30	331	730		67	129	208 N _{v7} 371	248 N _{v8} 435	309 N _{v9} 478
					Full 10.52	1.883	83,300	1.37	3.37	259	↓		60	120	178 N _{v7} =371	226	294
D.⊙ (T)	19507	27.43	128.7	1.115	Full 10.535	1.806	81,800	1.46	3.19	268	720		53	119	183	240	292
E.⊙ (T)	204	28.2	164.5	1.205	Ball 5.491	2.080	50,500	1.96	452	342	85.1	130	72	137	215 N _{v7} 399	272 N _{v8} 453	336 N _{v9} 507
					Full 10.871	1.802	93,500	1.44	3.32	251	↓	↓	61*	123	184 N _{v7} 342	247	296
F.⊙ (T)	204.4	28.8	158.7	1.115	Full 10.765	1.819	94,950	1.40	3.36	240	89.1		56	111	181 N _{v7} 336 358	238 N _{v8} 386	285 N _{v9} 437
G.⊙ (T)	213	30.5	197.5	1.283	Ball 7.00	2.078	75,300	1.65	3.84	283	88.0		60*	120	185 N _{v7} 368	232 N _{v8} 468	270
					Full 11.22	1.829	110,700	1.36	3.16	233			50*	109 N _{v7} 343 337	164 N _{v8} 410	208 N _{v9} 429	252 N _{v10} 455

Table 1.1.1-(2) Natural Frequency of Tested Ships
(for Vertical Vib.)

Ship Name & Type	Lpp (m)	B (m)	I _v (m ⁴)	A _v (m ²)	d(m) at Test	1+τ	Δv (M.T.)	$\sqrt{\frac{I_v}{\Delta v L^3}}$ (×10 ⁻⁵)	$\sqrt{\frac{BD^3}{\Delta v L^3}}$ (×10 ⁻⁴)	$\sqrt{\frac{A_v}{\Delta v L}}$ (×10 ⁻⁴)	$\alpha = \frac{I_v}{AvL^2} = 26 \frac{I_v}{AvL^2}$ (×10 ⁻⁴)	$\beta = \frac{r^2}{L^2}$ (×10 ⁻⁴)	N _{v2} (cpm)	N _{v3} (cpm)	N _{v4} (cpm)	N _{v5} (cpm)	N _{v6} (cpm)
H. (T.)	213	305	201.7	1343	Ball 5867	2078	75300	1.79	4.13	3.12	859	103	66*	131	194	247	
					Full 11302	1824	111,000	1.37	3.16	2.39	↓	↓	56*	121	168 N _{v7} 318	229	278
J. (C.)	145	19.5	4064	0442	Ball 4656	1.677	14,090	3.08	9.19	4.65	113	112	100	180	270 N _{v7} 565	375	460
K. (C.)	145.38	19.5	47.8	0.559	Ball 466	1.678	13,710	3.380	9.30	5.30	106		114	1935	2835 N _{v7} 482	353	406
L. (B/C)	152	21.0	62.12	0.636	Ball 4.115	2.130 ^f	20,330	2.949	8.59	4.53	110	133	90	176	250	330	
M. (B/C)	167	22.6	74.45	0.598	Ball 4216	2.138 ^f	24,400	2.56	6.91	3.83	116	115	79	157	232	300	
N. (T.)	2044	288	1587	1.115	Full 108	1816	94,900	1.399	3.36	2.40	89.1	129	54	111	176	234	
P. (T.)	211.8	31.7	190.7	1243	Ball 727	2077	79,950	1.585	3.79	2.71	88.9	95.6	55	114	167	250	282
					Full 11.09	1858	113,500	1.331	3.18	2.28	↓	↓	55*	117	165 N _{v7} 336 (362)	224 N _{v8} 437 (407)	263 N _{v9} 488
Q. (C.)	145	19.5	43.37	0.469	Ball 4622	1.678	13,860	3.21	9.25	4.82	115	127	110	193	283		
R. (C.)	145.38	19.5	42.7	0.688	Ball 3.769	1.667	10,530	3.645	10.06	6.71	77.0		113	198	301 N _{v7} 556	377	429
S. (B/C)	193	27.6	158.5	1.048	Ball 543	2.119 ^f	47,500	2.155	5.75	3.38	106		65*	125	185 N _{v7} 358	250 N _{v8} 421	310
T. (T.)	195	27.0	130.5	1053	Ball 580	2103	49,700	1.881	4.67	3.30	85.0	108.5	72*	140	209	281	326
					Full 10.65	1889	86,700	1.426	3.54	2.50	↓	↓	58	128	187 N _{v7} 316	239	290

Table 1.1.1-(3) Natural Frequency of Tested Ships
(for Vertical Vib.)

Ship Name & Type	Lpp (m)	B (m)	I _v (m ⁴)	A _v (m ²)	d(m) at Test	1+τ	Δ _v (M.T.)	$\sqrt{\frac{I_v}{\Delta_v L^3}}$ (×10 ⁻⁵)	$\sqrt{\frac{BD^3}{\Delta_v L^3}}$ (×10 ⁻⁴)	$\sqrt{\frac{A_v}{\Delta_v L}}$ (×10 ⁻⁴)	$\alpha = \frac{I_v}{A_v L^2} = \frac{26}{L^2}$ (×10 ⁻⁴)	$\beta = \frac{r^2}{L^2}$ (×10 ⁻⁴)	N _{v2} (cpm)	N _{v3} (cpm)	N _{v4} (cpm)	N _{v5} (cpm)	N _{v6} (cpm)
41-A (B/C)	23622	31852	24032	193	7.16	2085	91404	1414	4170	2990	58.10	11.17	45*	93	168	204	238
41-B (O/C)	1830	295	10427	081	481	2135	43383	1980	6060	3194	10000	1093	65*		210	285	
41-C (B/C)	2110	318	19065	0665	5515	2140	62381	1803	5395	2247	16750		46		147	177	202
41-F (B/C)	2865	433	8534	2175	8644	2123	185126	1400	3870	2027	1243	1280	47*		148	199	270
41-G (T)	2850	482	8100		5338	1760	99088	1879	5223				40*		104	158	182
41-H (T)	237	389	23840		7.08	2144	109355	1280	3947				43*	N _{v7} 786 233	N _{v8} 1152 268	N _{v10} 150 337	N _{v11} 1818 371
					13049	1881	185674	0982	3030				46.4	822	1230	1602	2202
41-I (T)	2460	402	49459	1751	8.695	2136	143966	1519	4410	2222	12130		50*	117		N _{v8} 308 383	N _{v9} 450
					14905	1824	222948	1221	3542	1786	12130		50*	100	N _{v7} 308	208	N _{v9} 392
41-J (B/C/O)	2400	323	32038	2369	6.903	2104	92001	1587	4140	3279	61.10		52*		N _{v7} 196 282	N _{v8} 320	242
					13888	1751	164096	1189	3100	2458	61.10		43*		N _{v7} 120 235	N _{v8} 1478 273	203
42-B (O/C)	2520	380	39976	1900	11.620	1933	179130	1181	3503	2051	86.10		46*	89	N _{v7} 137 275	N _{v8} 184 308	229
42-D (O/C)	24403	3994	3883	1475	7.34	2139	116533	1515	4540	2280	1150	2484	48.3	955	N _{v7} 160 290	N _{v8} 208 352	257
					1453	1835	210291	1128	3382	1691	1150	2484					
42-F (T)	2810	462	8469	2129	1655	1843	333762	1070	3120	1506	127.1		38*	762	N _{v7} 1506 2298	N _{v8} 2814	193.2
42-K (B/C)	2200	318	2078	1216	6455	2123	77914	1583	4910	2660	916		48*			N _{v8} 364	
43-B (T)	3130	482	84636		16548	1868	389876	0841	2420				30.6	648	98.4	1302	
43-E (O/C)	2440	3894	3490		6.77	2142	119346	1419	4530							203	N _{v9} 390
					1459	1817	213078	1063	3390				44	91			
43-F (B/C)	1700	270	9308	0971	3.48	1992	23028	2870	3050	4980	862	1630	80	150	210	265	310

* : Estimated Value
f : Used Tanker's Value When $C_B \geq 0.75$
 $\Delta_v = (1 + \tau) \Delta$
 $\tau = 0.3 \frac{B}{d} - 0.033 \left(\frac{B}{d}\right)^2$ Cargo
 $\tau = 0.4 \frac{B}{d} - 0.035 \left(\frac{B}{d}\right)^2$ Tanker
© : Other Ship's Data

Table 1.1.2-(1) Empirical Factor C_N

$$C_N = \frac{N \vee n}{13.52 \times n^2 \times 10^5} \sqrt{\frac{I_v}{\Delta \vee L^3 (1 + (\alpha + \beta) n^2 \pi^2)}}$$

Where I_v (m⁴), L (m)
 Δ (ton)

	Ship's Name	LPP (m)	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C
Tanker	H-1	229 Ball	0.608*	0.568	0.549	0.519	0.565				0.562
			0.595	0.734	0.658						0.662
		Full	0.769	0.807	0.771	0.792					0.787
	H-2	290 Ball	0.723*	0.730	0.733	0.695	0.679				0.712
	H-5	225 Full	0.526*	0.627					0.632	0.680	0.616
	E	204 Ball	0.799	0.788	0.808	0.757	0.744 (0.842)	0.741	0.715	0.703	0.757 (0.769)
		Full	0.922*	0.965	0.984	0.943	0.894	0.861			0.929
	H	213 Ball	0.802*	0.820	0.794	0.747					0.791
		Full	0.891*	0.984	0.896	0.908	0.877	0.836			0.899
	N	204.4 Full	0.843	0.902	0.990	0.928					0.916
	P	211.8 Ball	0.759	0.814	0.775	0.867	0.775				0.799
		Full	0.899*	0.984	0.915	0.924	0.864	0.918 (0.984)	1.020 (0.946)	0.997	0.941 (0.939)
	T	195 Ball	0.831*	0.829	0.810	0.807	0.747				0.805
		Full	0.884	1.004	0.962	0.912	0.880	0.794			0.906
O/O, O/C	H-3	210 Ball	0.789	0.820	0.883	0.788	0.836	0.804			0.820
	H-4	208 Ball	0.707	0.735	0.794	0.736	0.697				0.734
B/C	H-6	216.4 Ball	0.887	0.937	0.792						0.872
	L	152 Ball	0.688	0.709	0.671	0.665					0.683
	M	167 Ball	0.697	0.738	0.732	0.706					0.718
Cargo	J	145 Ball	0.735	0.700	0.697	0.725	0.716	0.732			0.718
	Q	145 Ball	0.779	0.722	0.712						0.738
	K	145.38 Ball	0.759	0.670	0.658	0.610	0.565	0.555			0.636
	R	145.38 Ball	0.670	0.520	0.602	0.548	0.532	0.529			0.568

Table 1.1.2-(2) Empirical Factor $C_N = \frac{N \cdot v \cdot n}{1352 \times n^2 \times 10^5} \sqrt{\frac{I_v}{\Delta \cdot L^3 (1 + (\alpha + \beta) n^2 \pi^2)}}$ Where $I_v(m^4)$, $L(m)$
 Δ (ton)

	Ship's Name	L _{PP} (m)	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C
B/C	41-A	236.22	0.669*	0.690	0.800	0.708	0.648				0.703
	41-C	211.0									
O/C	41-B	183.0	0.728*		0.813	0.823					0.788
B/O	41-F	286.5	0.77*		0.868	0.880	0.960				0.835
Tanker	41-G	285.0									
	41-H	Ball 237 Full				0.986					
	41-I	Ball 246.0 Full									
B/O/O	41-J	Ball	0.681*			0.595	0.663	0.554	0.522		0.603
		240.0 Full	0.754*		0.668	0.600	0.646	0.602	0.594		0.644
O/C	42-B	252.0	0.844*	0.756	0.843	0.840	0.832	0.830	0.794		0.820
O/O	42-D	Full 244.03	0.734	0.775	0.876	0.856	0.850	0.805	0.842		0.820
F	42-F	281.0	0.819*	0.877		0.878	0.906	0.904	0.952		0.889
B/C	42-K	220.0	0.663*					0.722			0.693
B/C	43-F	170.0	0.611	0.596	0.548	0.511	0.478				0.549

* Estimated from Measured Values

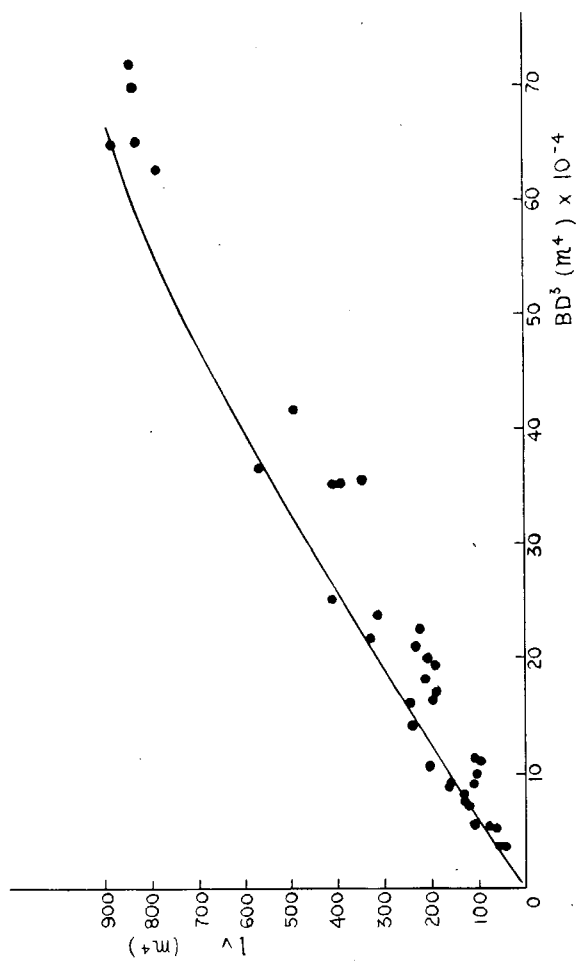


Fig.1.13 Relation between BD^3 and L_v

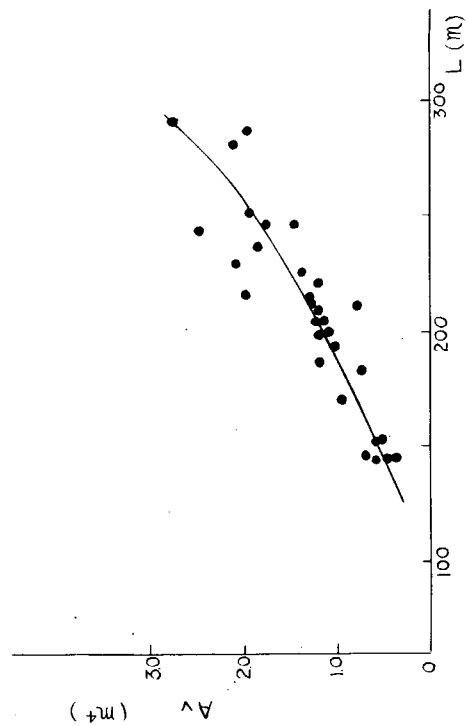


Fig.1.14 Relation between L and Av

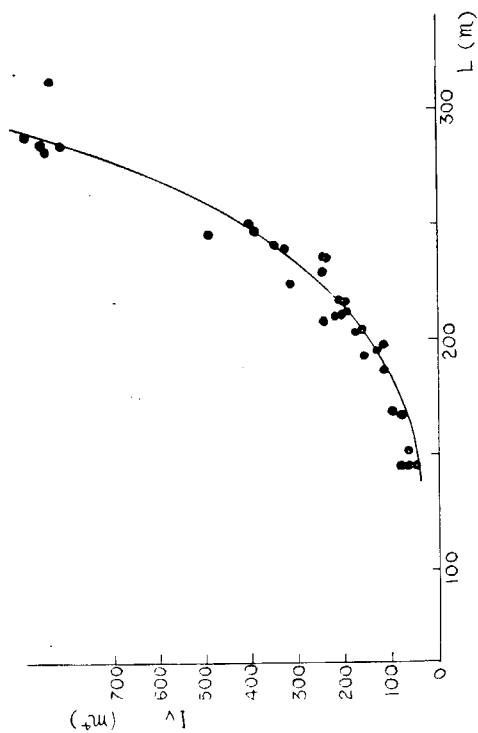


Fig.1.11 Relation between L and L_v

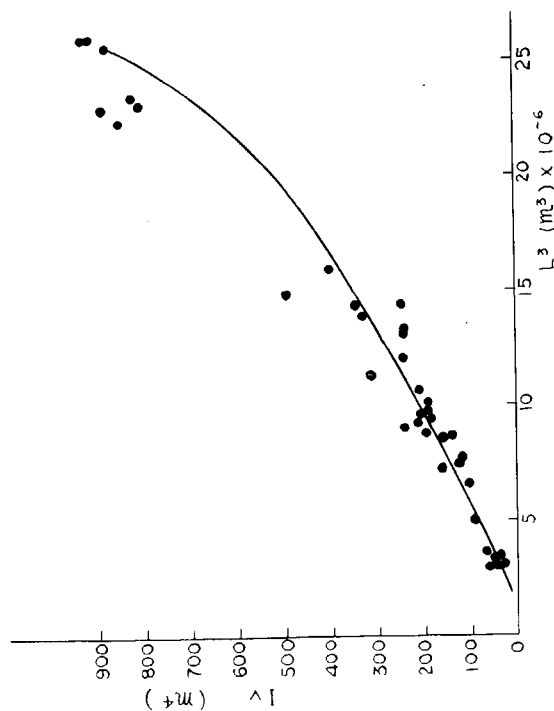


Fig.1.12 Relation between L^3 and L_v

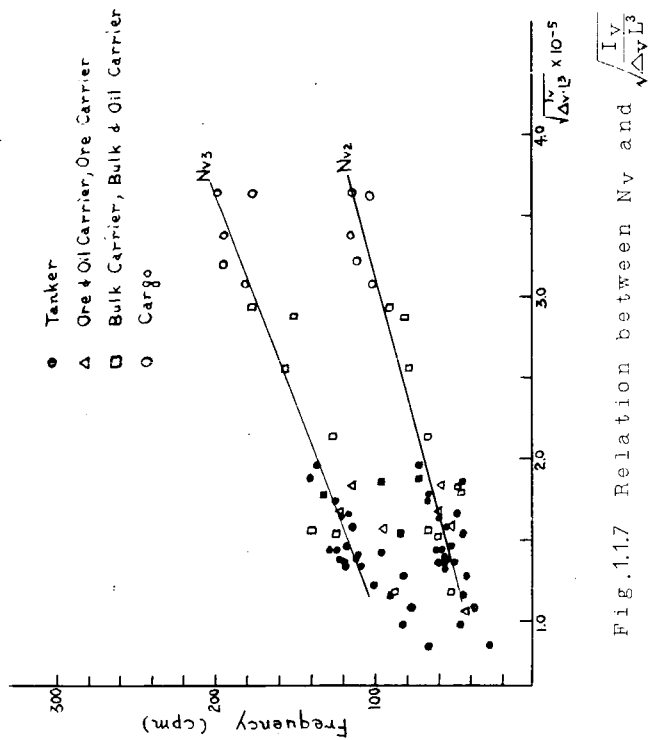


Fig.1.11.7 Relation between N_v and $\frac{I_v}{\Delta v L^3}$

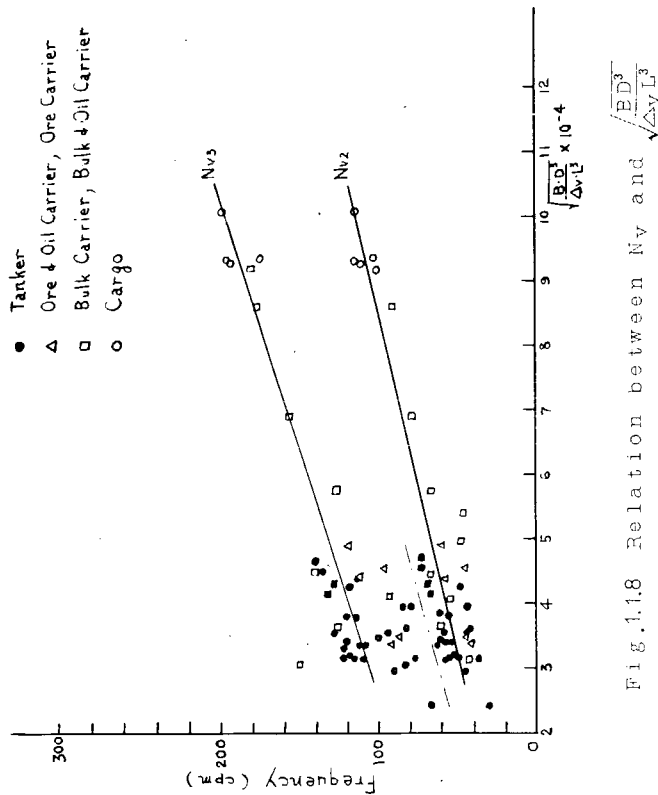


Fig.1.11.8 Relation between N_v and $\frac{B D^3}{\Delta v L^3}$

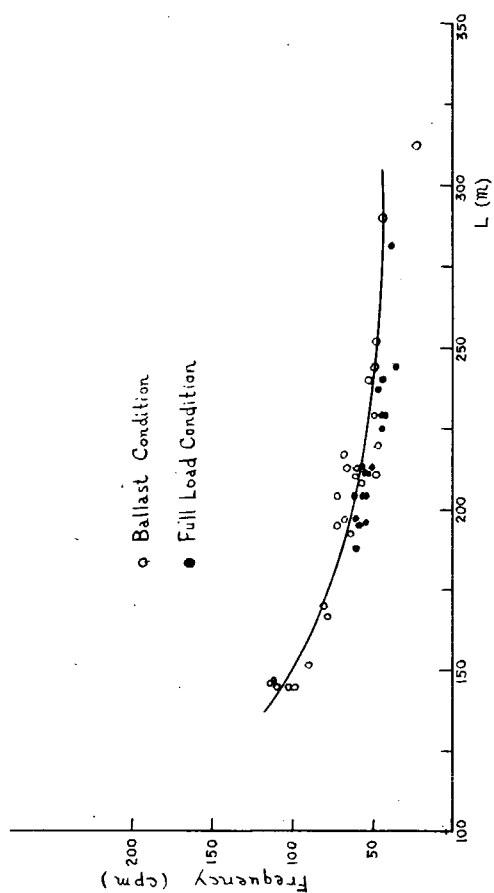


Fig.1.11.5 Relation between N_{2v} and L

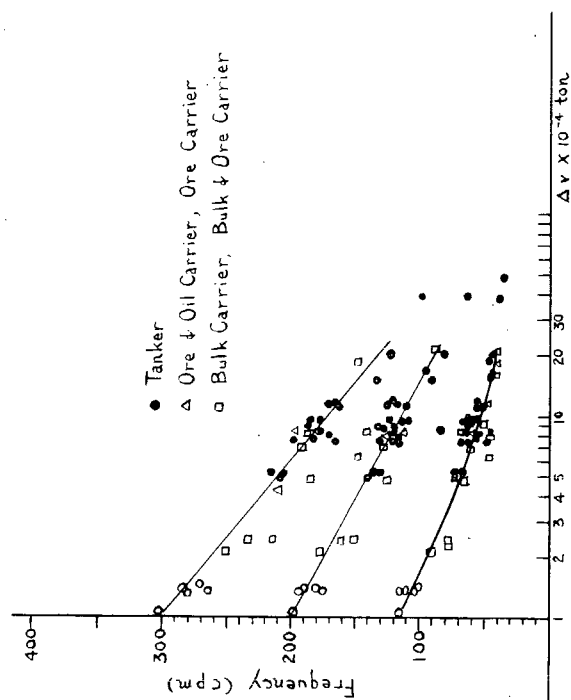


Fig.1.11.6 Relation between N_v and Δv

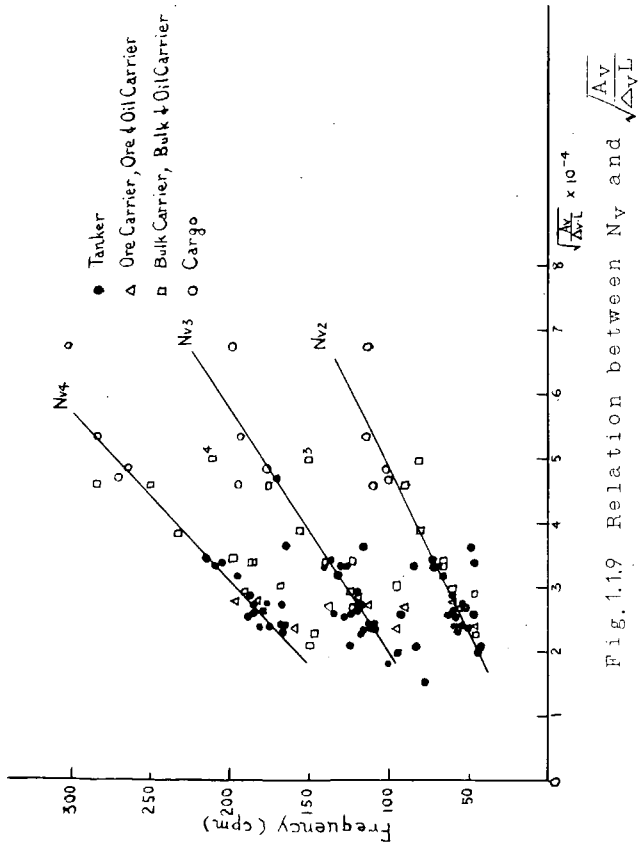


Fig. 1.1.9 Relation between N_v and $\sqrt{\frac{A_v}{\Delta_v L}} \times 10^{-4}$

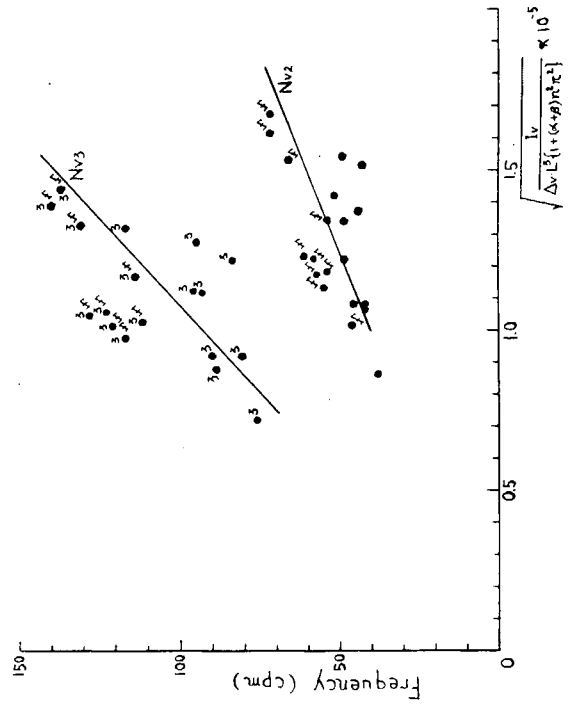


Fig. 1.1.10 Relation between N_v and $\sqrt{\frac{I_v}{\Delta_v L^3 \{1 + (\alpha + \beta) n^2 \pi^2\}}} \times 10^5$

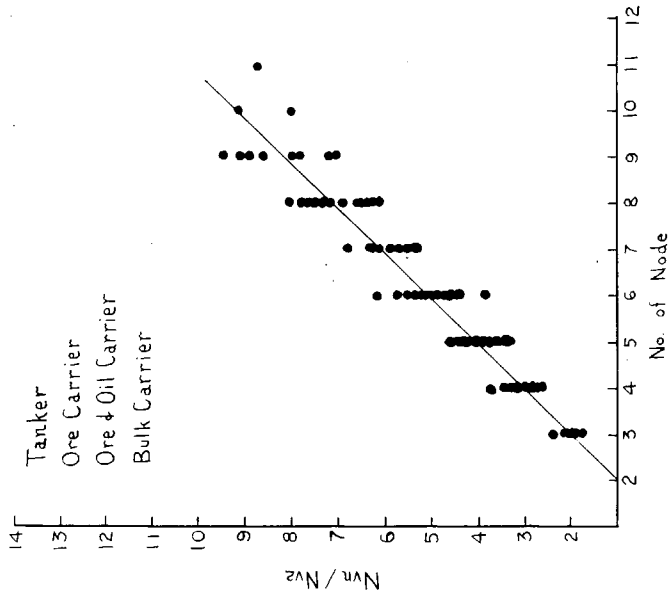


Fig. 1.1.11 Relation between N_{vn}/N_{v2} and Number of Node

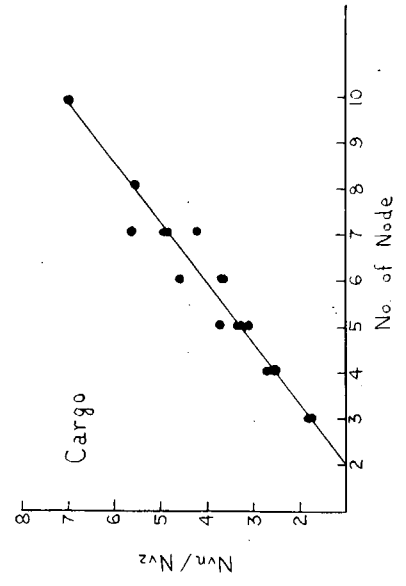


Fig. 1.1.12 Relation between N_{vn}/N_{v2} and Number of Node

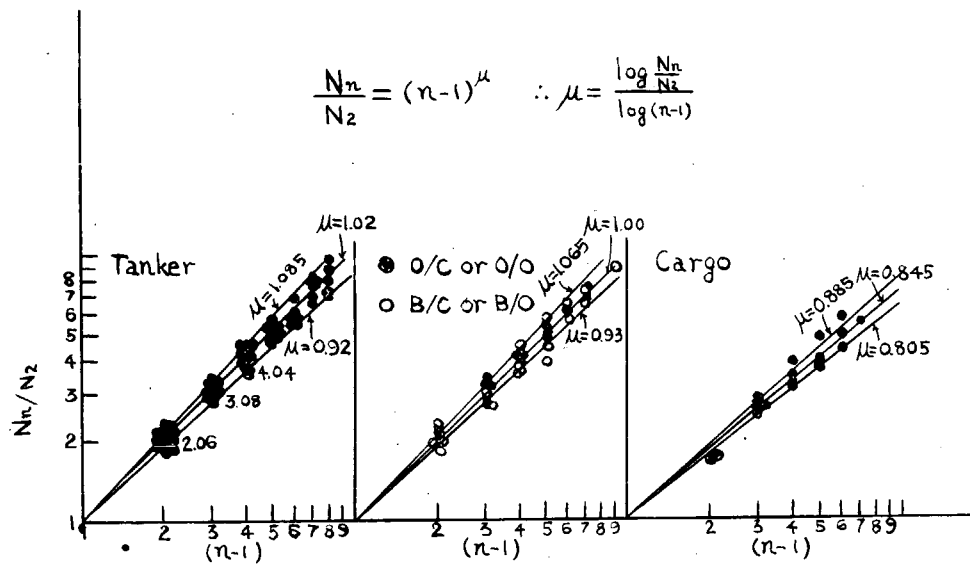


Fig. 1.1.13 Relation between $\frac{N_n}{N_2}$ and $(n-1)$

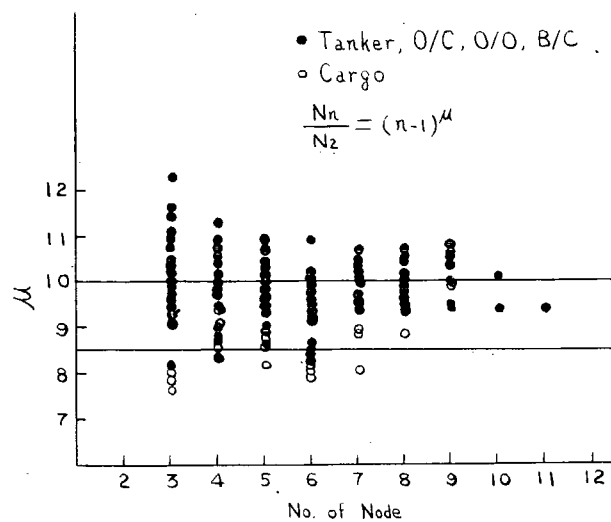


Fig. 1.1.14 Relation between μ and Number of Node

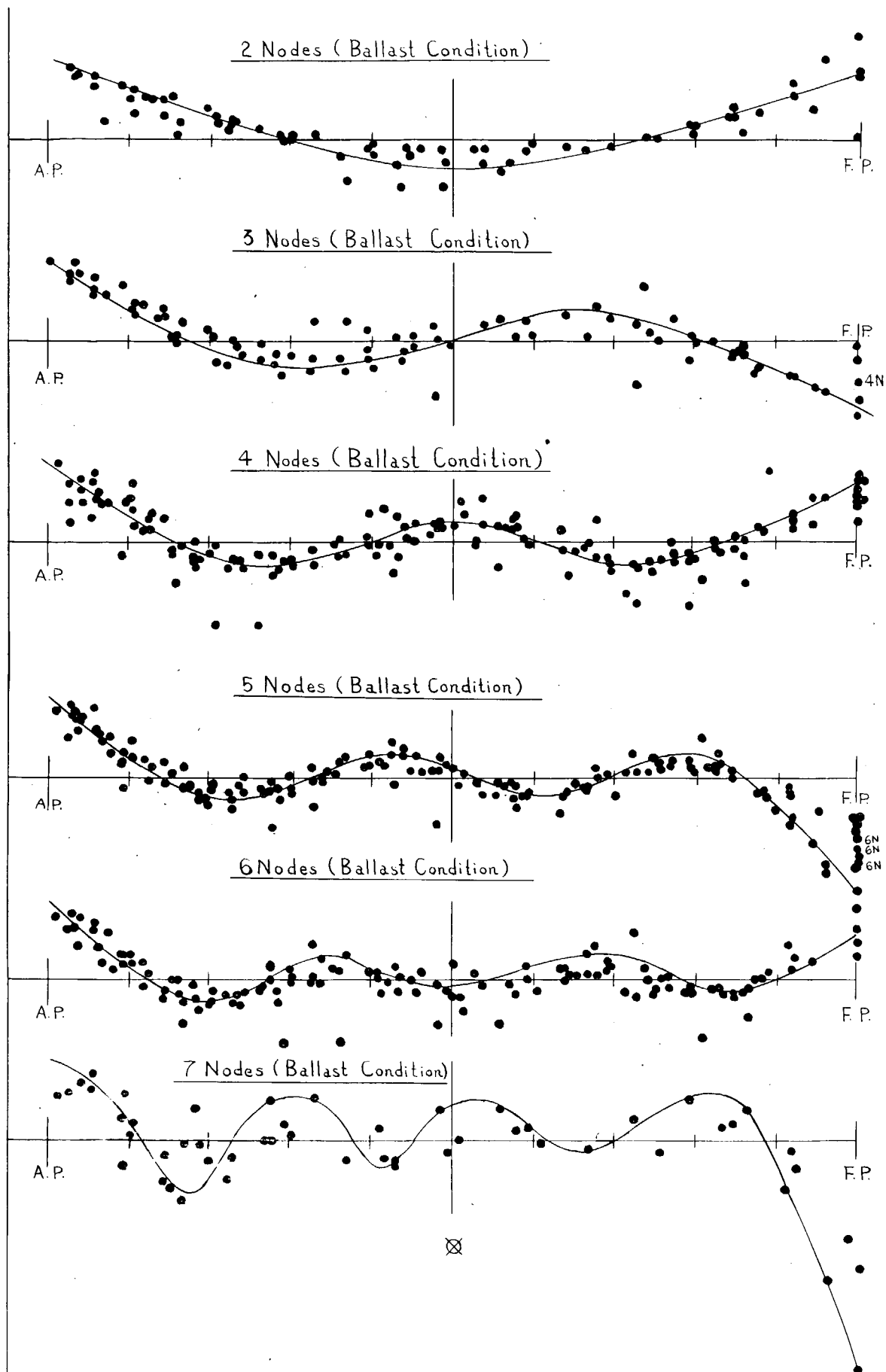


Fig.1.1.15-(1) Mode Curves of Vertical Vibration

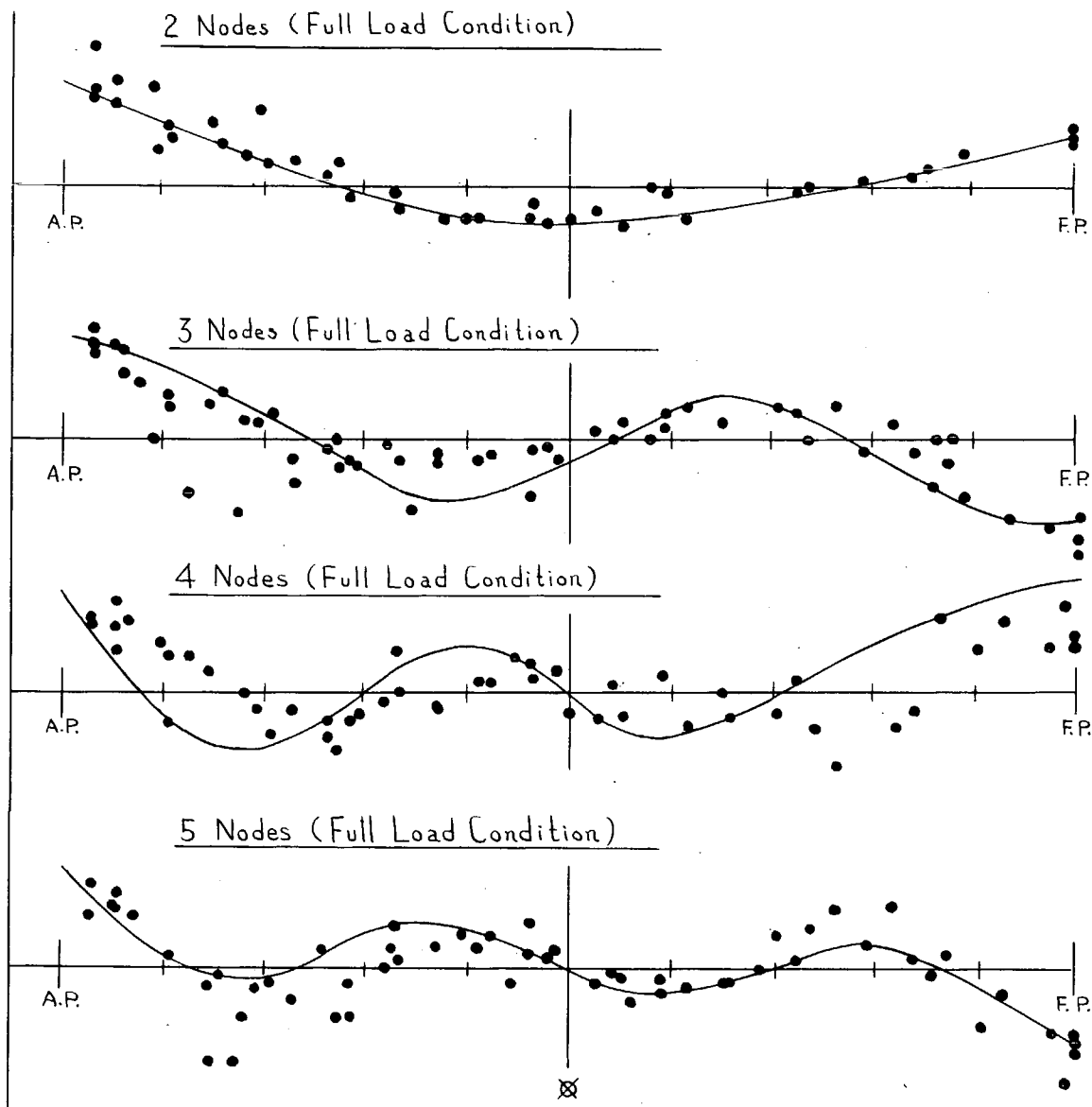


Fig.1.1.15-(2) Mode Curves of Vertical Vibration

1.2 船体水平固有振動数

船体水平固有振動数については、昭和43年度実施の実船実験のデータが3隻あり、昭和41年度報告（研究資料 № 60-1）および昭和42年度報告（研究資料 № 71-1）と同様の解析整理を行なった。

これらの結果を前年度までのデータと共に表示したものが Fig.1.2.1 から Fig.1.2.12 および table 1.2.1 である。

図中の破線は原子力船研究協会報告書によるものであり、実線は本年度までの計測結果の平均を描いたものである。

本年度解析した結果は前年度までの解析結果と比べて顕著な差を示したものはないが、今後もデータを集めてゆく必要はあると考えられる。

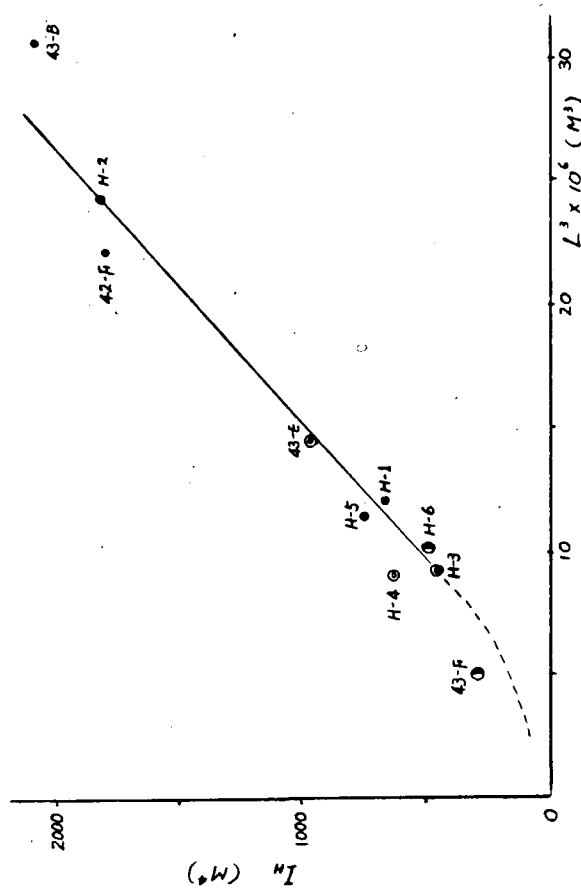


Fig. 1.23 Relation between L^3 and I_H

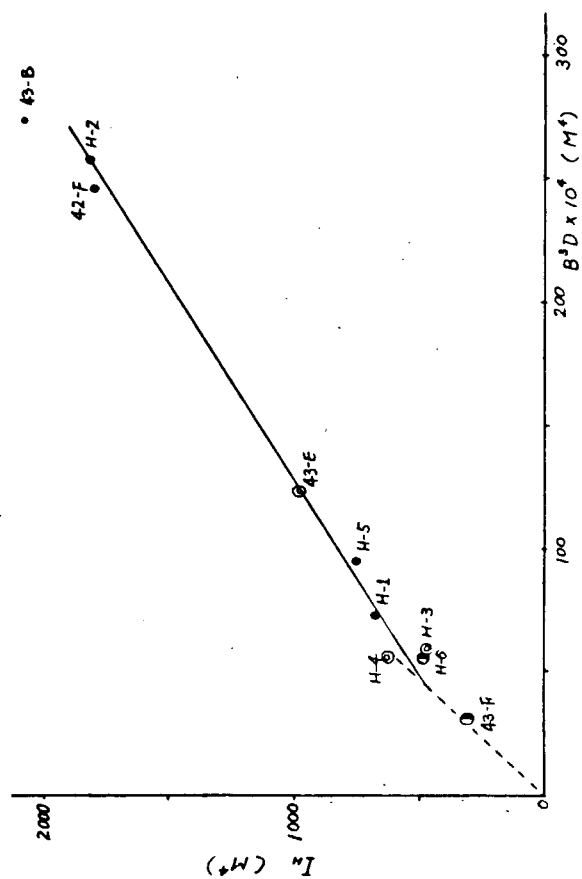


Fig. 1.24 Relation between B^3D and I_H

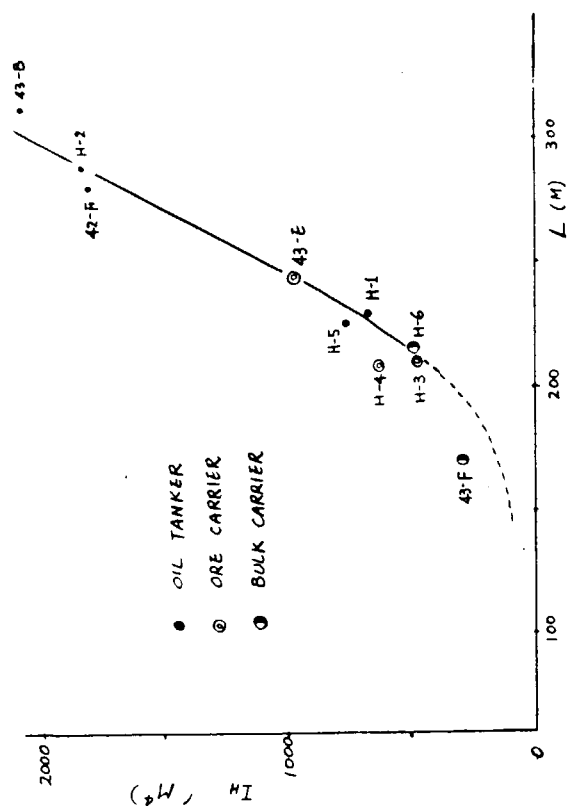


Fig. 1.21 Relation between L and I_H

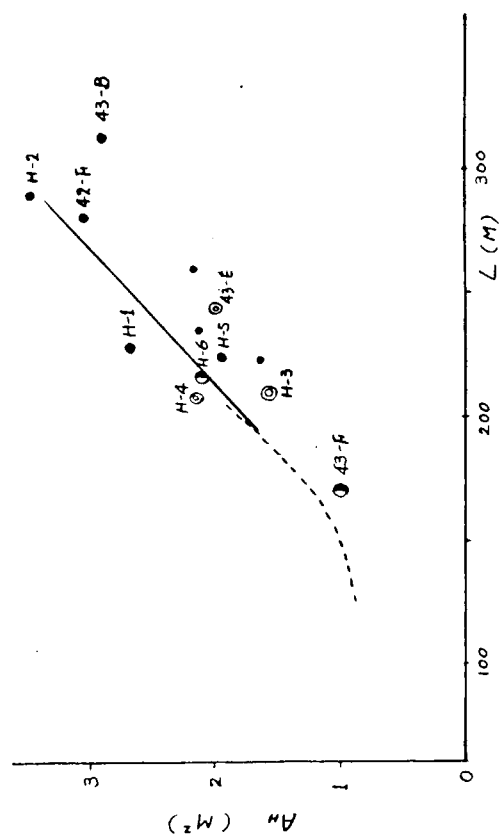
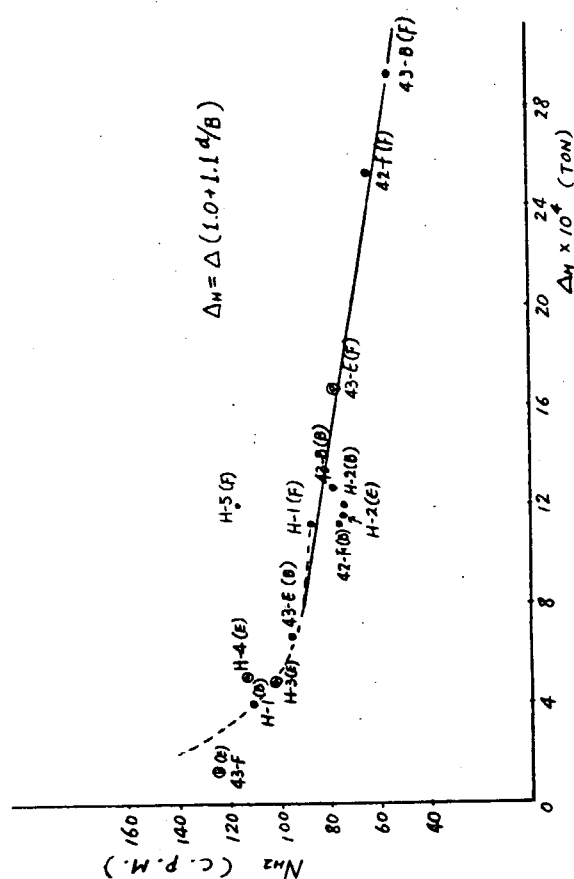
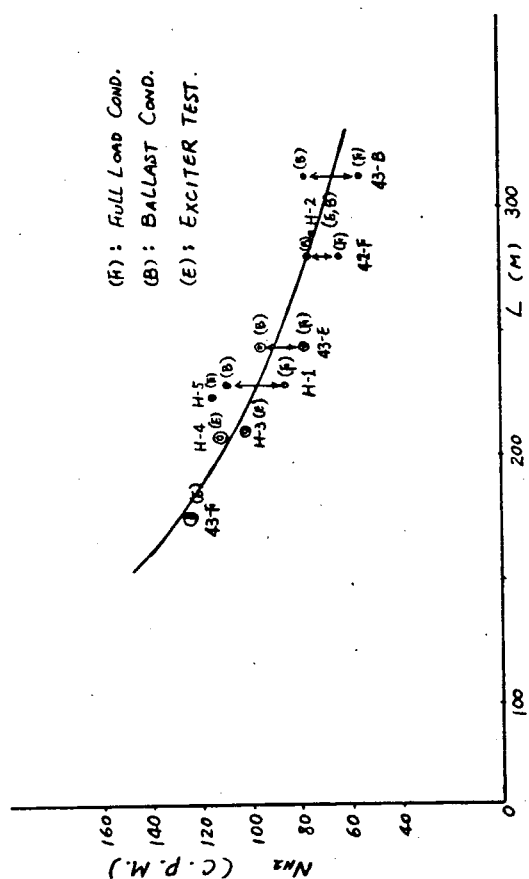
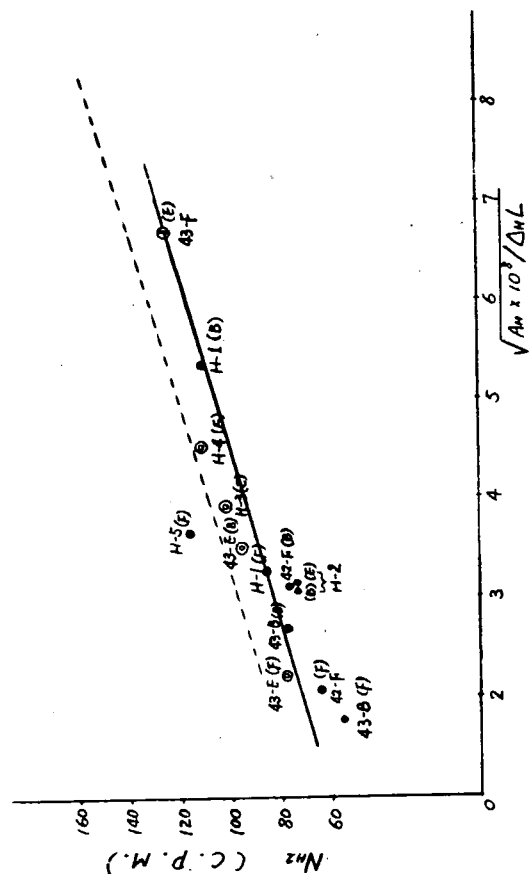
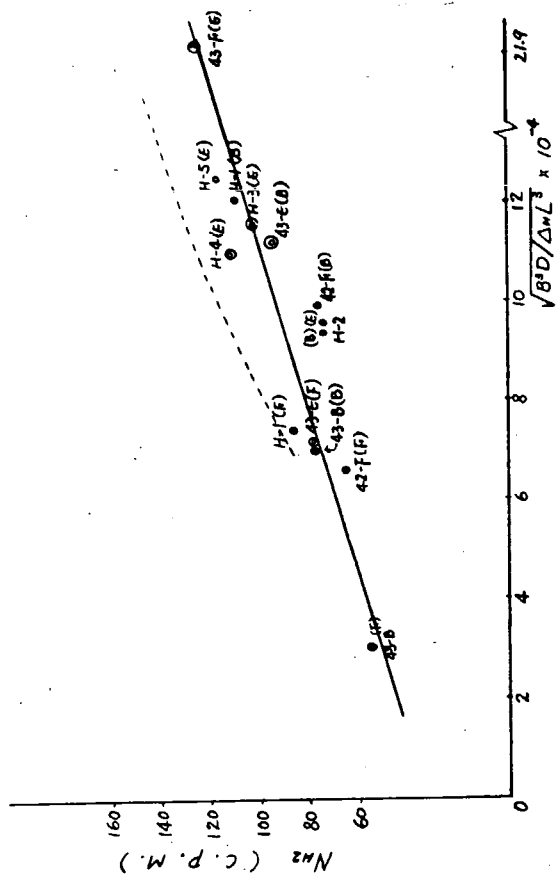


Fig. 1.22 Relation between L and A_H



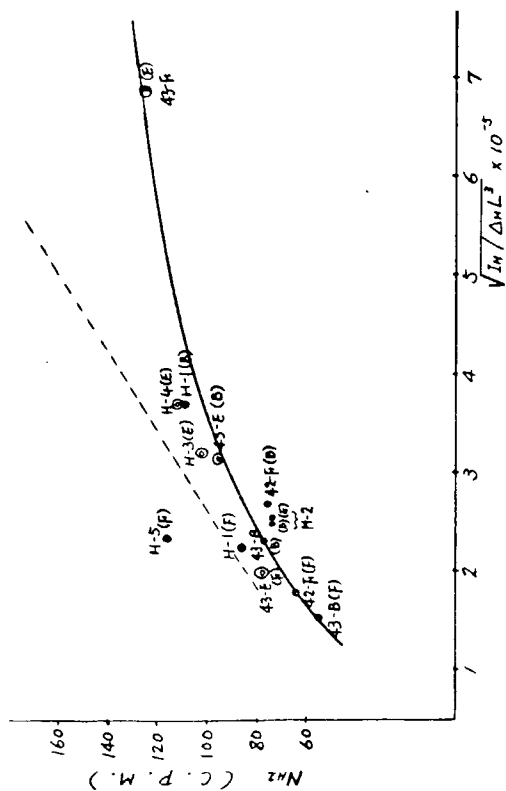


Fig. 1.2.9 Relation between $\sqrt{I_H/\Delta_H L^3}$ and N_{H2}

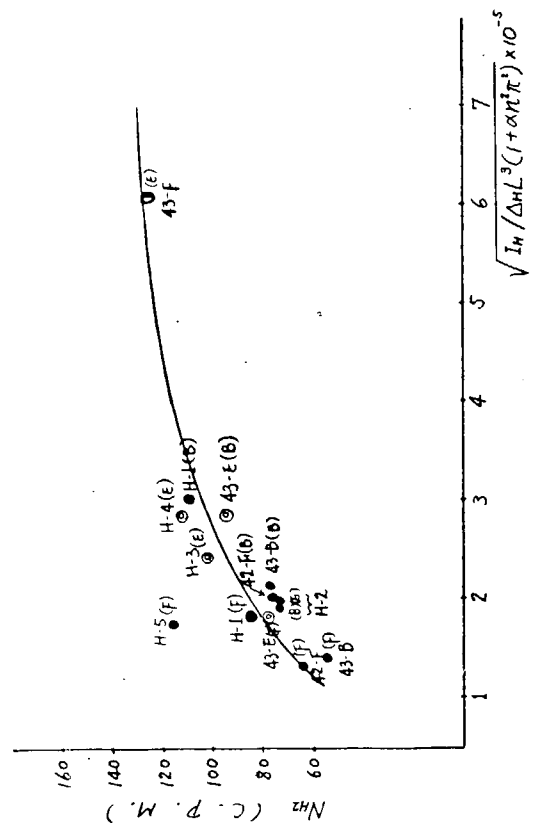


FIG. 1.2.10 Relation between $\sqrt{I_F/\Delta_H L^3(1+\alpha n^2\pi^2)}$ and NH_2

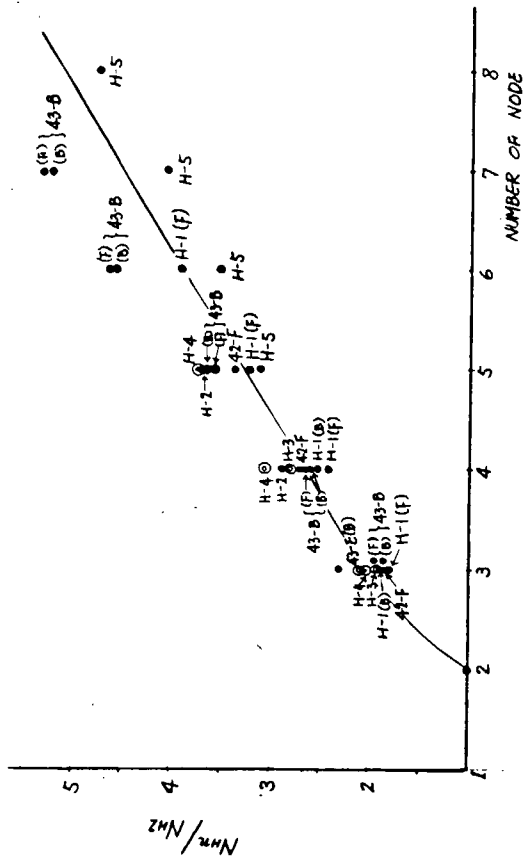


Fig. 1.2.11 Relation between Number of Nodes and N_{HH}/N_{H2}

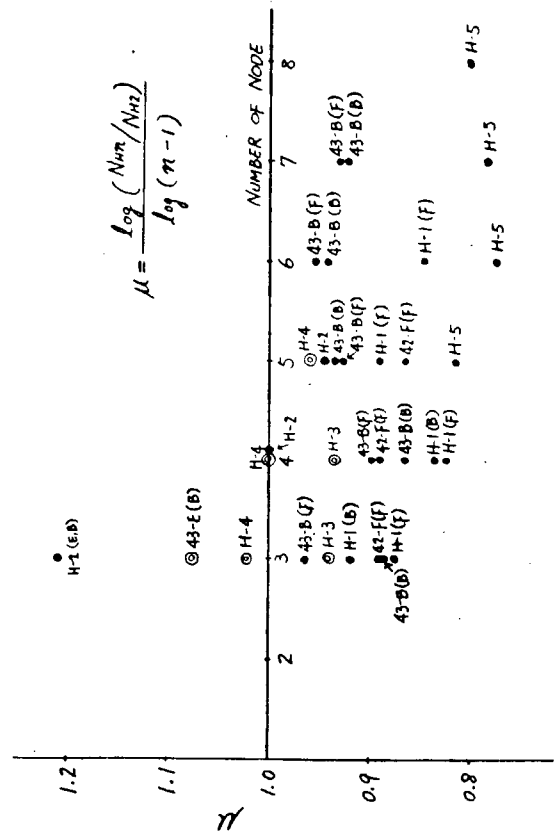


Fig. 1.2.12 Relation between Number of Node and μ

Table 12.1 Test Conditions and Natural Frequency of Tested Ships

	D.W.T.	L (m)	B (m)	D (m)	d (m)	ΔFull (ton)	I _H (m ⁴)	A _H (m ⁴)	Under Way Test						Exciter Test					
									Ballast Condition			Full Load Condition			Δ (ton)	d (m)	NH ₂ (cpm)	Δ (ton)	d (m)	NH ₂ (cpm)
									Δ (ton)	d (m)	NH ₂ (cpm)									
H - 1 (T)	81,000	229.00	35.20	16.60	12.04	81,135	67.25	2.677	35,000	5.435	110	80,800	12.03	86	—	—	—			
H - 2 (T)	153,700	290.00	47.50	24.00	16.00	182,567	181.90	3.277	99,340	9.06	74	—	—	—	96,500	38.1	74			
H - 3 (O/O)	55,800	210.00	32.20	17.80	12.00	67,000	46.20	1.571	—	—	—	—	—	—	38,900	7.22	102			
H - 4 (O/O)	66,500	208.00	32.20	16.40	12.14	66,500	62.40	2.154	—	—	—	—	—	—	39,400	7.92	112			
H - 5 (T)	73,210	225.00	37.20	18.60	12.504	87,430	75.47	1.935	—	—	—	87,600	12.47	116	—	—	—			
H - 6 (B/O)	55,000	216.40	31.70	17.30	11.616	67,218	49.24	2.093	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
4 2 - F (T)	153,140	281.00	46.20	25.00	16.60	181,059	180.361	3.054	93,492	8.936	76.2	181,097	16.55	64.2	93,492 181,097	8.936 16.55	76.2 64.2			
4 3 - B (T)	214,195	313.00	48.20	24.40	19.089	246,685	208.551	2.850	105,664	8.709	77.4	212,052	16.548	55.2	—	—	—			
4 3 - E (O/O)	99,605	244.00	38.94	20.90	14.686	117,714	96.65	2.000	55,717	7.38	95	117,269	14.74	78	—	—	—			
4 3 - F (B/O)	29,361	170.00	27.00 (29.13)	15.75	10.21	38,848	30.484	1.006	—	—	—	—	—	—	11,560	3.48	125			

1.3 船体縦固有振動数

(a) 本年度の実船計測データは一隻(43-E船)のみであつた。縦固有振動数の整理、解析は昭和42年度報告(研究資料 No. 71-1)に記載された方法で行ない前年度の資料にプロットすることとした。

n 節の縦固有振動数は次式で表わすことができる。

$$N_{Ln} = 30 \cdot n \cdot C_{Ln} \sqrt{\frac{E A_{\Sigma} g}{W \cdot L}} \quad (\text{毎分})$$

$$C_{Ln} = \eta_n \cdot C'_{Ln}$$

ここに

n : 節数

C'_{Ln} : W, A_{Σ} の分布により定まる係数で、数値計算により求まる。

η_n : 実験値に合わせるための Empirical factor

E : 弾性係数

A_{Σ} : Σ における縦強度部材の断面積

g : 重力加速度

W : $= \Delta - \Sigma w$

Δ : 排水量

Σw : タンク内液体の無効重量の和

L : 船の長さ

N_{Ln} : n 節縦固有振動数

計算結果は Table 1.3.1 に示した通りである。Fig. 1.3.1 は重量曲線および断面積の分布曲線を示したものである。なおタンク内の液体の有効重量は(文献1)の方法によつて推定した。表中に示した K_n は N_{Ln} 式中 W の代りに Δ を使つた場合の C_{Ln} に相当するもので実験値から逆算されたものである。

次に起振機試験より得られた縦振動数と供試船の A_{Σ}, Δ, L との関係を図示してみると Fig. 1.3.2 のごとくである。ただし、2 節振動は計測データが不明確なために検討していない。

なお参考のために永元等²⁾の計算法

$$N_{L1} = C_1 \times \frac{1}{L} \sqrt{\frac{A_{\Sigma}}{C_{He} \frac{W_H}{L} + \sum_{i=1}^m C_c \cdot \frac{W_{ci}}{\ell_{ci}} \cdot \varphi_i}}$$

諸係数 C_1, C_{He}, C_c は(文献2)による。

を用いて計算してみると次の結果が得られた。

$$C'_{Ln} = \frac{\text{計算値}}{\text{実験値}} = 0.987$$

(b) Girth の前後振動 (Longitudinal Shear Vibration)³⁾

熊井は船体縦振動を、(i)伸縮振動 (Extentional Vibration) と、(ii) Girth の前後振動 (Shear Vibration) に分けた理論的考察を行なつてゐるが、それによると Girth の m 節前後振動数は次式で表わされる。

$$N_{Sm} = \frac{60}{2\pi} m \cdot \pi \sqrt{\frac{g \cdot A_X \cdot K'G}{2(B+D) \cdot \Delta}} \quad (\text{cpm})$$

m : 節数 ($m = 2, 4, 6 \dots\dots$)

A_X : 外板の縦断面積 ($L \times t_p$) t_p : 平均板厚

$K'G$: 有効剪断係数

本式を用いて2節の前後振動数を計算してみると次の値が得られた。ただし板厚が不明であつたために推定値を使用している。

$$N_{S2} = 524 \text{ cpm}$$

これは実測値500cpmとかなりよい一致を示している。

(c) ま と め

- (i) 今年度の計測においても同節の振動モードが異つた振動数で現われているが、この現象は船体上下振動との連成によるものと考えられる。⁴⁾
- (ii) Empirical factor η は前年度と同程度であつたが、Kの値には相当な開きがあり、自由液面を有するタンクの有効質量の影響が非常に大きいと考えられる。
- (iii) Girthの前後振動も現象としては現われており、計算値は実測値とかなりよい一致を示した。寸法などを設計図によつて正しくとり計算を行なえば、精度は更に向上するものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 熊 井 豊 二 : 荷油の有効振動質量について、論文集117
- 2) 永 元 隆 一 他 : 船体固有振動数の計算法、西部造船会々報第35号
- 3) 熊 井 豊 二 : Girth の前後方向の mode を考慮した船体縦振動について、SR-94, V36-7
- 4) 大高勝夫、香川洸二 : 船体縦振動の研究 (其の一)、論文集123号

Table 1.3.1

		Gained in 1966			Gained in 1967	Gained in 1968
Test Ship		L-3	L-4	L-5	L-6	43-E
Type of Ship		B/C	T	O/C	O/O	O/O
L (m)		211.0	285.0	286.5	244.03	244.0
B (m)		31.8	48.2	43.3	39.94	38.94
D (m)		17.5	23.5	24.69	20.6	20.90
D.W. (ton)		29,150	56,300	87,200	54,480	55,717
1-Node	N _{L1}	348	325.5	351	320	394
	K ₁	1.06	1.09	1.43	1.18	1.36
	C _{L1}	—	0.85	—	0.88	0.87
	C' _{L1}	—	0.936	—	0.98	0.94
	η_1	—	1/1.10	—	1/1.11	1/1.08
2-Node	N _{L2}	(620)	610.5	—	—	—
	K ₂	0.95	1.02	—	—	—
	C _{L2}	—	0.80	—	—	—
	C' _{L2}	—	0.81	—	—	—
	η_2	—	1/1.01	—	—	—

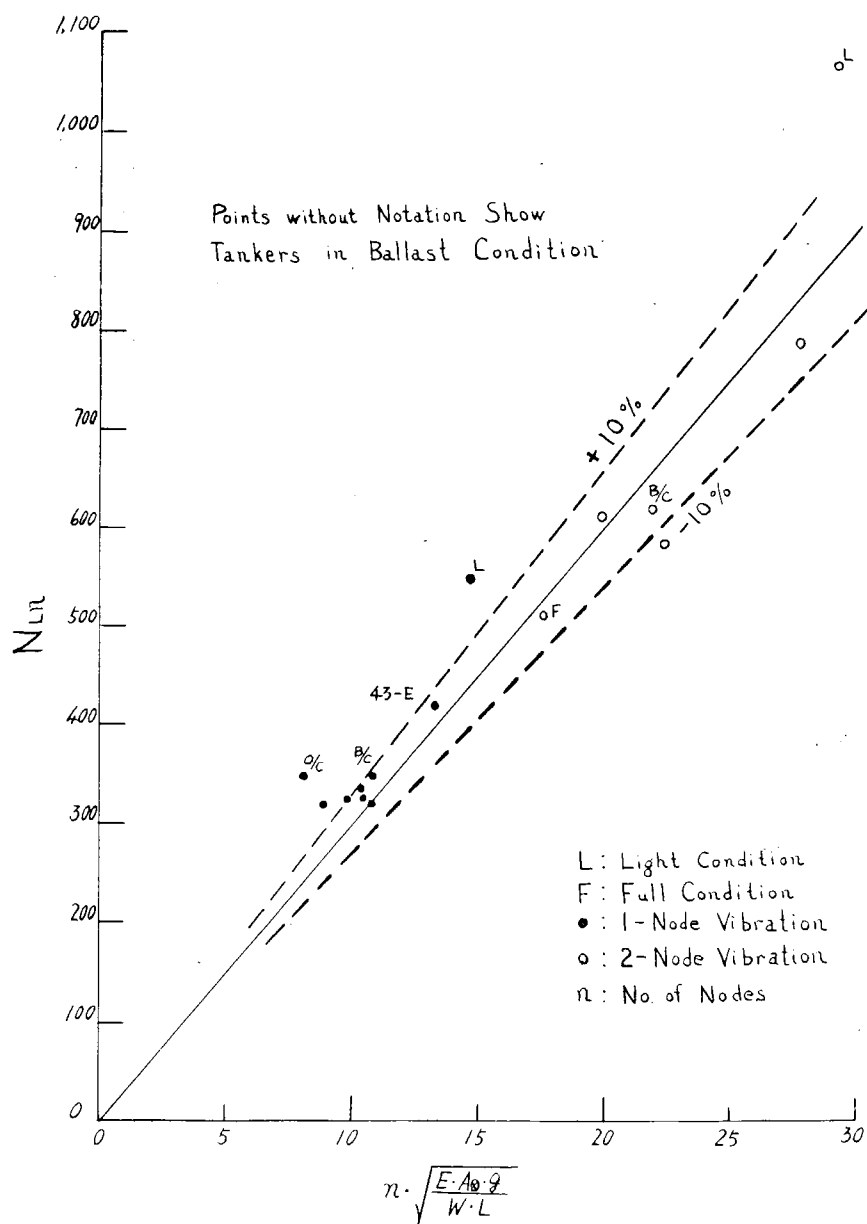
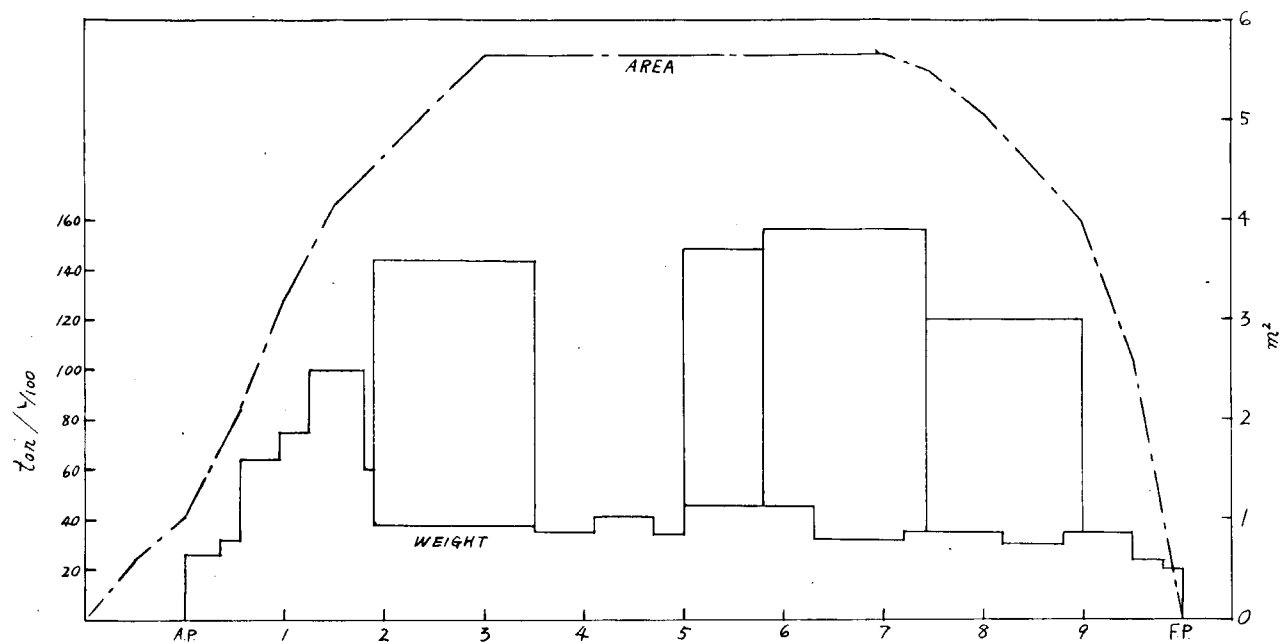


Fig. 1.3.2 Relation between N_{Ln} and $n \cdot \sqrt{\frac{E \cdot A \cdot g}{W \cdot L}}$

1.4 付加水質量

1.4.1 船体上下高次固有振動数におよぼす浅水影響に関する模型実験

(a) 緒言

船体固有振動数におよぼす浅水影響に関してはすでに多くの研究が発表されているが、ここでは高次固有振動における浅水影響の問題をとりあげる。この問題に関しては、回転楕円体について Havelock¹⁾ が 0V, 1V, 2V, 3V まで計算し (1V は rotation)、順次浅水影響が小さくなることを示している。また吉識他²⁾ の無限長円筒の計算結果も L/B が小さくなれば浅水影響が小さくなることから、高次振動ではこの影響が小さくなることが定性的に推察される。

実船に関しては、最近の巨大船では問題になる節数が非常に高く、それに相当する振動はもはや梁の振動ではなく板の振動として取扱われるので、この課題はますます複雑な問題となることが予想される。しかし、文献 1), 2) の傾向が船型の場合にはどの程度になるかを調べておくことは決して無駄ではないと思われる。以下高次上下振動における浅水影響を貨物船とタンカの模型実験によつて求めた結果を報告する。

(b) 浅水影響の近似式

深水における水の付加慣性係数 τ は

$$\tau = \frac{\int_0^L m_e y^2 dx}{\int_0^L m y^2 dx} \quad (1.4.1)$$

ここに、 m は船体の単位長さ当りの質量、 m_e は単位長さ当りの水の 2 次元付加質量、 y は船体の撓みである。こ

こでいま

N_h : 水深/吃水 = h/d における船体上下固有振動数

N_∞ : 深水における同一船の固有振動数 ($h/d > 5$)

ν : 浅水のための付加水質量の平均増加率

とすれば

$$\frac{N_h}{N_\infty} = \sqrt{\frac{1+\tau}{1+\tau(1+\nu)}} \quad (1.4.2)$$

これより

$$\nu = \frac{1+\tau}{\tau} \left\{ \left(\frac{N_\infty}{N_h} \right)^2 - 1 \right\} \quad (1.4.3)$$

厳密に言えば、振動エネルギーは

$$\int_0^L \nu m_e y^2 dx$$

だけ浅水のために増え、 ν は一般に x の関数とすべきであるが、ここでは ν を付加水質量の平均増加率と考え、上式を

$$\nu \int_0^L m_e y^2 dx$$

のように近似して式 (1.4.2), (1.4.3) を得ている。

式 (1.4.2) より明らかなように、 ν におよぼす節数の影響を調べる前に、 τ におよぼす節数の影響をまず調べる必要がある。この問題の解説に関しては未解決の点が多い³⁾。実験的には模型船の場合に限り比較的簡単に求めることができるが、それもせいぜい 5 節振動までである。

(c) 模型実験

模型船の空中と水中 (深水) における固有振動数を計測すれば、 τ は次式によつて求めることができる。

$$\tau = \left(\frac{N_a}{N_w} \right)^2 - 1 \quad \dots\dots\dots (1.4.4)$$

ここに、 N_a は空中における固有振動数、 N_w は水中における固有振動数である。水槽の水深を変えて N_h を求めれば、 N_h/N_{∞} がわかる。したがって τ は式 (1.4.3) によつて計算することができる。

本実験の模型および水槽は次のとおりである。

高速貨物船模型 : 1/100 木製模型、 $L = 1.50 \text{ m}$

タンカ構造模型 : 1/100 真ちゆう薄板製、 $L = 2.148 \text{ m}$

水 槽 : $4 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$

(d) 実験結果

Fig. 1.4.1 ~ Fig. 1.4.6 に貨物船およびタンカ模型の上下振動における節数と浅水影響が示してある。これらの図に見られるように、傾向として高次振動になるほど浅水影響が小さくなることが定性的にうかがわれる。

Fig. 1.4.7 および Fig. 1.4.8 は Full load と Ballast Condition すなわち B/d の変化による浅水影響の相違が著しいことを2節振動の例によつて示したものである。なおこれに関しては富田の研究⁴⁾がある。

(e) 結 論

以上のような予備的実験によつて、貨物船とタンカの模型で高次の上下振動においては浅水影響が小さくなることが定性的にわかつた。詳しい解析については今後の研究が必要である。

参 考 文 献

- 1) Havelock, T.H. : Ship Vibration : The Virtual Inertia of a Spheroid in Shallow Water, T.I.N.A., Vol. 95, No. 1, 1953
- 2) 吉識雅夫、山本善之、佐久間武、長本良男 : 船体振動に於ける附加質量に関する一考察、造船協会論文集第84号、1948
- 3) Kumai, T. : On the Estimation of Natural Frequency of Vertical Vibration of Ships, 造船協会論文集第121号、1967
- 4) 富田哲治郎 : 船体固有振動数に対する水深影響の一計算法、造船協会論文集第107号、1960

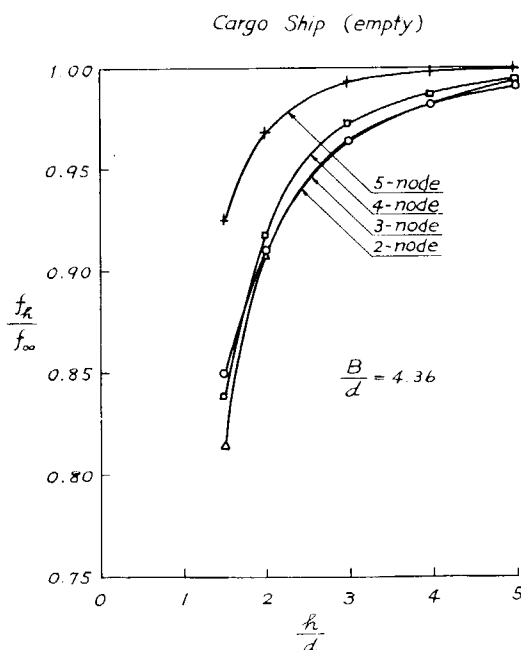


Fig. 1.4.1 Effect of number of nodes of vertical vibration of cargo ship on shallow water

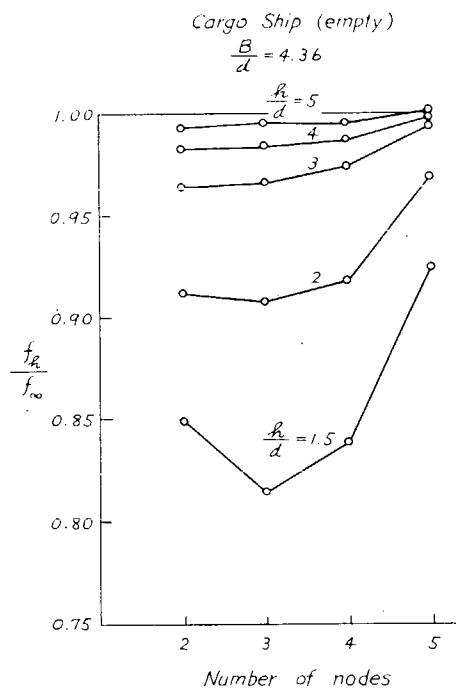


Fig.1.4.2 Relation between f_h/f_∞ and n with the parameter h/d

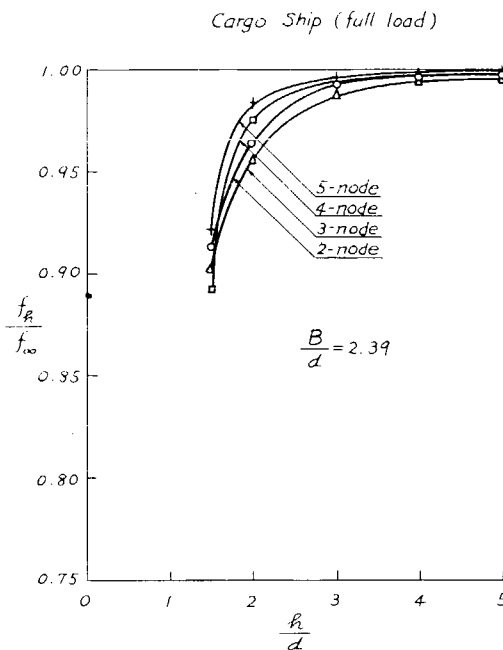


Fig.1.4.3 Effect of number of nodes of vertical vibration of cargo ship on shallow water

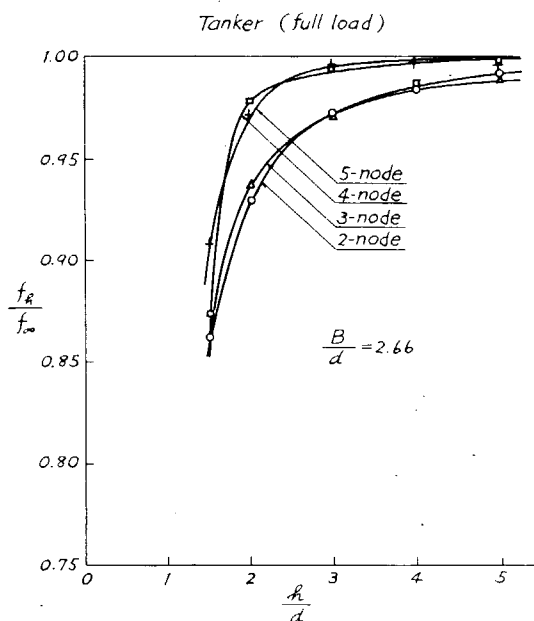


Fig.1.4.4 Effect of number of nodes of vertical vibration of tanker on shallow water

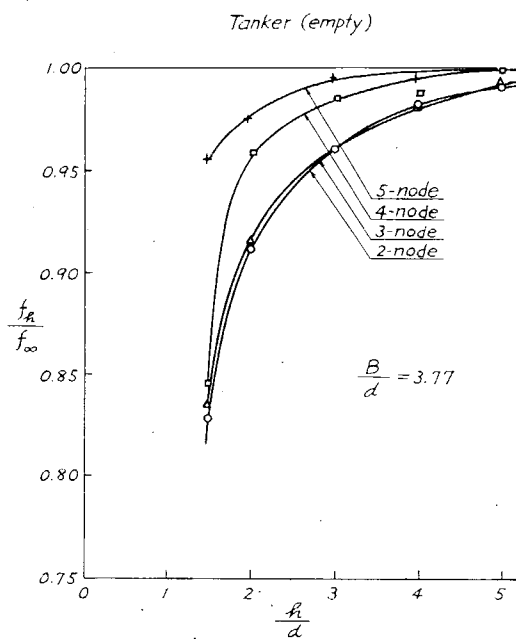


Fig.1.4.5 Effect of number of nodes of vertical vibration of tanker on shallow water

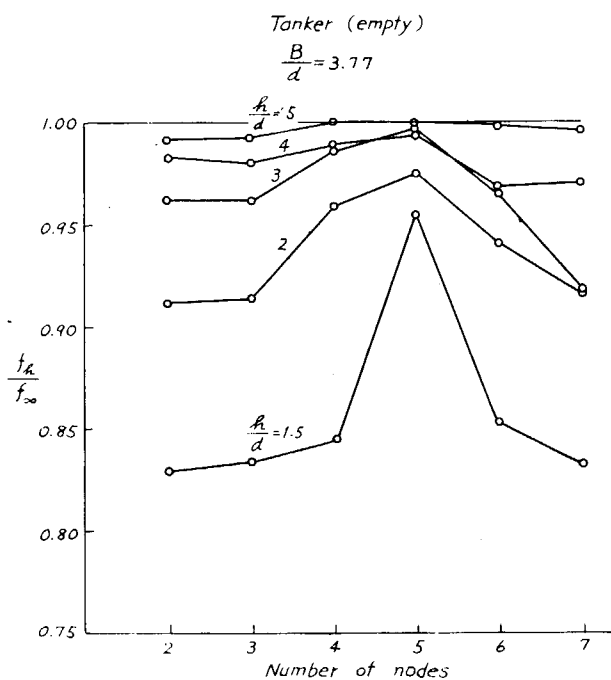


Fig.1.4.6(a) Relation between f_h/f_∞ and n with the parameter h/d

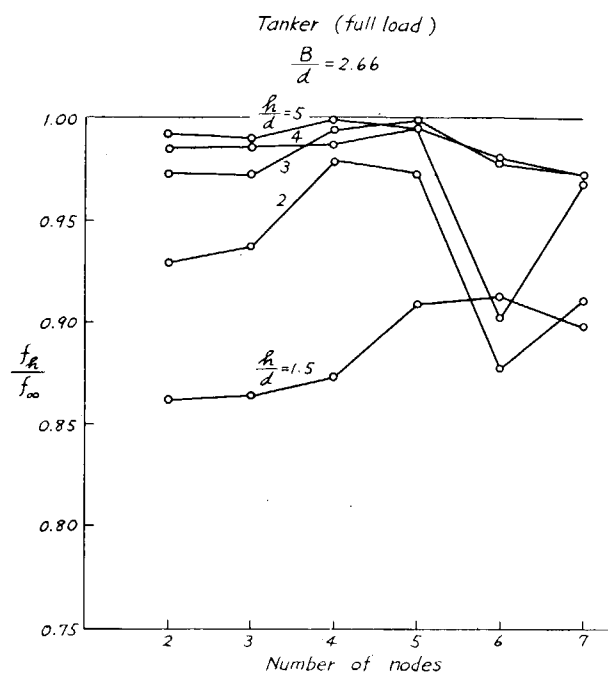


Fig.1.4.6(b) Relation between f_h/f_∞ and n with the parameter h/d

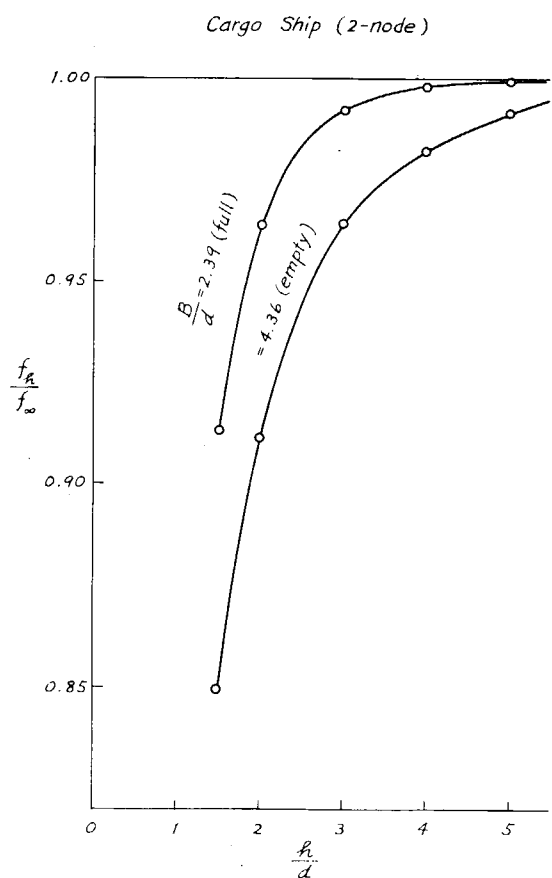


Fig.1.4.7 Relation between f_h/f_∞ and h/d with parameter B/d of cargo ship

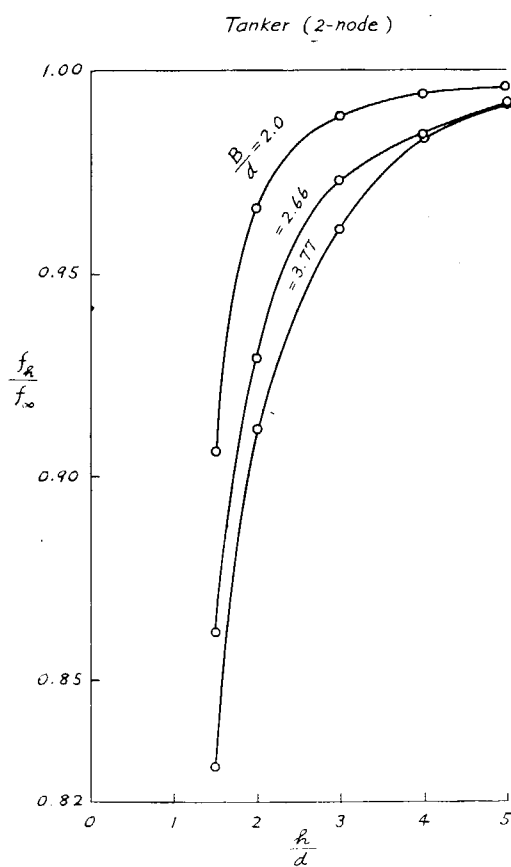


Fig.1.4.8 Relation between f_h/f_∞ and h/d with parameter B/d of tanker

1.4.2 船体水平曲げ・振り連成振動における付加質量および付加慣性モーメント

船体水平曲げ・振り連成振動における付加水の問題を取り扱った例としては、大高、熊井、牛島の論文¹⁾が見られるが、ここでは自由表面をもつ完全流体中での柱体の運動について理論的考察を行ない、付加水の付着すべき柱体の横断面内の位置（重心のような点）を求めた。

Fig. 1.4.9に示すように左右対称断面をもつ柱体が水平方向に加速度運動をする場合を考え、 x 軸を自由表面に、 y 軸を断面の対称軸に一致させてとる。柱体の横断面を含む平面内の流体の運動を2次元運動とみなし、流体中の圧力を P_H とすれば、柱体に作用する単位長さ当りの x 方向の力 R_{xH} および y 方向の力 R_{yH} は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} R_{xH} &= \int_{-\ell}^{\ell} P_H \ell_x ds \\ R_{yH} &= \int_{-\ell}^{\ell} P_H \ell_y ds \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.4.5)$$

ここに ℓ_x , ℓ_y は柱体の表面に立てた法線の方法余弦、 ℓ は水面下横断面の周の半分の長さ、 s は横断面の周に沿って測った座標、 s の原点は横断面の周と y 軸の交点とする。横断面の形の対称性により柱体の表面における圧力分布 P_H および方向余弦 ℓ_x は s の奇関数、方向余弦 ℓ_y は s の偶関数であるから、 $P_H \ell_x$ は s の偶関数、 $P_H \ell_y$ は s の奇関数となる。したがって式 (1.4.5) で与えられる R_{xH} は0とならないけれども、 R_{yH} は

$$R_{yH} = 0 \dots\dots\dots (1.4.6)$$

となる。

また柱体に作用する任意の点 (x, y) のまわりの単位長さ当りのモーメント M_H は横断面の周上の点の座標を (ξ, η) とし、式 (1.4.5) を考慮に入れて次式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} M_H &= \int_{-\ell}^{\ell} P_H \{ (y - \eta) \ell_x + (\xi - x) \ell_y \} ds \\ &= y \int_{-\ell}^{\ell} P_H \ell_x ds - x \int_{-\ell}^{\ell} P_H \ell_y ds - \int_{-\ell}^{\ell} P_H (\eta \ell_x - \xi \ell_y) ds \\ &= y R_{xH} - M_{OH} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.4.7)$$

ただし

$$M_{OH} = \int_{-\ell}^{\ell} P_H (\eta \ell_x - \xi \ell_y) ds$$

ここでモーメント M_H を0とおけば

$$y = M_{OH} / R_{xH} \dots\dots\dots (1.4.8)$$

これより柱体が水平方向に加速度運動をする場合、 $y = M_{OH} / R_{xH}$ の直線上にある点のモーメント M_H は0となることがわかる。逆にモーメント M_H が0となるような点は、 $y = M_{OH} / R_{xH}$ の直線上にある。また柱体が上下方向に加速度運動をする場合には、断面の左右対称性によりモーメントが0となる点が y 軸上にあることは直ちにわかる。したがって柱体が任意の方向に直線運動をするとき、モーメントが0となる点 P の座標 (x, y) は

$$x = 0, \quad y = M_{OH} / R_{xH} \dots\dots\dots (1.4.9)$$

で与えられる。

つぎに柱体が y 軸上の任意の点 $(0, y)$ のまわりに角加速度 $\dot{\omega}$ で回転運動する場合を考える。流体中の圧力を P_R とすれば、柱体に作用する単位長さ当りの x 方向の力 R_{xR} および y 方向の力 R_{yR} は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} R_{xR} &= \int_{-\ell}^{\ell} P_R \ell_x ds \\ R_{yR} &= \int_{-\ell}^{\ell} P_R \ell_y ds \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1.4.10)$$

水平運動の場合と同様に $P_R \ell_y$ は S の奇関数、 $P_R \ell_x$ は S の偶関数となるから R_{yR} は 0 となるけれども R_{xR} は一般には 0 とならない。そこで $R_{xR} = 0$ となるような回転中心の座標 y を求める。x 方向に加速度 a_x で運動する場合の流体中の圧力を P_H とすれば、柱体の接水面における境界条件は

$$\frac{\partial P_H}{\partial n} = -\rho a_x \ell_x \quad \dots\dots\dots (1.4.11)$$

となる。ここに n は柱体の表面に立てた法線、 ρ は流体の密度である。式 (1.4.10) の第 1 式と式 (1.4.11) より ℓ_x を消去すれば

$$R_{xR} = -\frac{1}{\rho a_x} \int_{-\ell}^{\ell} P_R \frac{\partial P_H}{\partial n} ds \quad \dots\dots\dots (1.4.12)$$

となる。

Green の公式により圧力 P_H および P_R に対して次式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} \iint (P_R \nabla^2 P_H - P_H \nabla^2 P_R) dA &= \oint \left(P_R \frac{\partial P_H}{\partial n} - P_H \frac{\partial P_R}{\partial n} \right) ds \\ \text{ただし } \nabla^2 &= \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.4.13)$$

圧力 P_H および P_R は調和関数であるから、式 (1.4.13) より

$$\oint P_R \frac{\partial P_H}{\partial n} ds = \oint P_H \frac{\partial P_R}{\partial n} ds \quad \dots\dots\dots (1.4.14)$$

また流体の自由表面において $P_H = 0$ 、 $P_R = 0$ 無限遠で流体が静止していることから $P_H = 0$ 、 $P_R = 0$ となるから

$$\int_{-\ell}^{\ell} P_R \frac{\partial P_H}{\partial n} ds = \int_{-\ell}^{\ell} P_H \frac{\partial P_R}{\partial n} ds \quad \dots\dots\dots (1.4.15)$$

となる。

また柱体が点 $(0, y)$ のまわりに角加速度 $\dot{\omega}$ で回転運動をする場合の柱体の接水面における境界条件は

$$\frac{\partial P_R}{\partial n} = -\rho \dot{\omega} \{ (y - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} \quad \dots\dots\dots (1.4.16)$$

と書ける。式 (1.4.12) に式 (1.4.15) を代入した式にさらに式 (1.4.16) を代入すると

$$\begin{aligned} R_{xR} &= \frac{\dot{\omega}}{a_x} \int_{-\ell}^{\ell} P_H \{ (y - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} ds \\ &= \frac{\dot{\omega}}{a_x} \left\{ y \int_{-\ell}^{\ell} P_H \ell_x ds - \int_{-\ell}^{\ell} P_H (\eta \ell_x - \xi \ell_y) ds \right\} \\ &= \frac{\dot{\omega}}{a_x} (y R_{xH} - M_{OH}) \quad \dots\dots\dots (1.4.17) \end{aligned}$$

これより $R_{xR} = 0$ において、求める座標 y は

$$y = M_{OH} / R_{xH} \quad \dots\dots\dots (1.4.18)$$

となり、これは式 (1.4.8) と一致する。上記に求めた回転中心は先に求めた P 点と一致する。

Fig. 1.4.9 に示すような柱体が流体中で y 軸上の任意の点 $S(0, y)$ のまわりに角加速度 $\dot{\omega}$ で回転運動する場合の付加慣性モーメントを考える。 P 点の座標を $(0, y_P)$ とすれば、この回転運動は P 点の直線運動と P 点

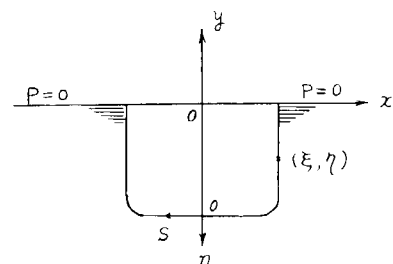


Fig. 1.4.9

のまわりの回転運動の合成運動として表わせるから、柱体がx方向に加速度 $\dot{\omega}$ ($y - y_P$) で直線運動のみするときの流体中の圧力を P_H , P点のまわりに角加速度 $\dot{\omega}$ で回転運動のみするときの流体中の圧力を P_R として、S点まわりの回転運動に対する流体中の圧力Pは

$$P = P_R + P_H \quad \dots\dots\dots (1.4.19)$$

と書ける。柱体に作用するS点まわりの単位長さ当りのモーメントMは

$$\left. \begin{aligned} M &= \int_{-\ell}^{\ell} P \{ (y - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} ds \\ &= \int_{-\ell}^{\ell} (P_R + P_H) \{ (y - y_P + y_P - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} ds \\ &= (y - y_P) \int_{-\ell}^{\ell} P_R \ell_x ds + \int_{-\ell}^{\ell} P_R \{ (y_P - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} ds \\ &\quad + (y - y_P) \int_{-\ell}^{\ell} P_H \ell_x ds + \int_{-\ell}^{\ell} P_H \{ (y_P - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} ds \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.4.20)$$

となる。前述のP点の定義により式(1.4.20)の第1項および第4項は0となる。したがって式(1.4.20)は

$$\left. \begin{aligned} M &= M_P + (y - y_P) R_{xH} \\ \text{ここに } M_P &= \int_{-\ell}^{\ell} P_R \{ (y_P - \eta) \ell_x + \xi \ell_y \} ds \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.4.21)$$

となる。モーメントM, M_P および力 R_{xH} は、x方向に運動する場合の付加質量を m_H , S点まわりに回転運動する場合の付加慣性モーメントを I_S , P点まわりに回転運動する場合の付加慣性モーメントを I_P とすれば、付加質量および付加慣性モーメントの定義により

$$\left. \begin{aligned} R_{xH} &= m_H \dot{\omega} (y - y_P) \\ M &= I_S \dot{\omega} \\ M_P &= I_P \dot{\omega} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (1.4.22)$$

と書けるから式(1.4.22)を式(1.4.21)に代入すれば

$$I_S = I_P + m_H (y - y_P)^2 \quad \dots\dots\dots (1.4.23)$$

の関係が得られる。したがって m_H , I_P および y_P がすでに求まっている場合には式(1.4.23)によつて直ちに I_S を求めることができる。式(1.4.23)において $y = y_P$, すなわちS点がP点に一致する場合には $I_S = I_P$ となり、これが付加慣性モーメントの最小値であることがわかる。

以上の考察によつて明らかなようにP点は剛体運動における重心と同じような性質をもっているから、船体水平曲げ、振り連成振動においては水平振動の付加質量 m_H および振り振動の付加慣性モーメント I_P がP点に集中するものと考えて差支えない。

参 考 文 献

- 1) 大高、熊井、牛島 : 船体水平・捩れ振動の研究(その1)、造船学会論文集第121号、昭和42年6月

2. 局 部 振 動

2.1 上部構造前後振動

2.1.1 緒 言

今回は船体振動と上部構造前後振動との関連を把握するため、船体主構造および上部構造を一体の振動系と考えた連成振動の計算を行ない、両者の連成影響を検討した。

また、これまで各造船所において実施された実験値をもととして、上部構造前後振動の固有振動数の簡易計算法を示した。

2.1.2 船体振動と上部構造前後振動との関連

(a) 計算式

Fig. 2.1.1 に示したような船体と上部構造を一体の変断面梁と考え、船体上下、縦振動と上部構造前後振動の連成振動を取扱う。計算法は Myklestad 法を使用した。計算の詳細は文献(1)に示されているとおりである。

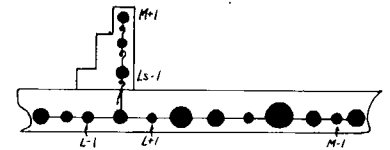


Fig. 2.1.1 Idealized Model

(b) 計算供試船要目および計算結果

計算は Table 2.1.1 に示した 2 隻について行なった。

Table 2.1.1 計算供試船要目

供試船 主要目	A 船 (2)	B 船 (3)
L × B × D(m)	211.0 × 31.8 × 17.5	210.0 × 32.2 × 17.8
D.W.(ton)	54,000	56,000
Type	Bulk Carrier	Ore Carrier
Main Engine	6RD90 15,000PS/122 rpm	K8Z86 17,000PS/119 rpm
プロペラ翼数	5	5
上部構造側面図		

両船の固有振動数および船体、上部構造の振動振幅比の計算結果を Table 2.1.2 (A 船) および 2.1.3 (B 船) に示す。

Table 2.1.2 計算結果 (A 船)

	連 成 前		船体縦 - 上構前後連成				船体上下 - 縦 - 上構前後連成					
	振動数	節 数	振動数	節 数		Y_s/Y_L	振動数	節 数			振 巾 比	
				上 構	船体縦			上 構	船体縦	船体上下	Y_s/Y_v	Y_L/Y_v
船体上下振動	51	2					51	1	0	2	0.325	0.003
	106	3					106	1	0	3	0.465	0.003
	162	4					161	1	0	4	0.574	0.001
	220	5					220	1	1	5	0.678	0.004
	275	6					275	1	1	6	0.766	0.020
	323	7					322	1	1	7	0.912	0.122
船縦振動	337	1	337	1	1	1.09	337	1	1	7	6.63	6.90
	591	2	589	1	2	1.18						
	912	3	909	1	3	3.32						
上構前後	956	1	965	1	3	9.16						

Y_s : 上部構造頂部振巾
 Y_L : 船尾端縦方向振巾
 Y_v : 船尾上下方向振巾

Table 2.1.3 計算結果 (B 船)

	連 成 前		船体縦 — 上構前後連成				船体上下 — 縦—上構前後連成					
	振動数	節 数	振動数	節 数		Y_s/Y_L	振動数	節 数			振 巾 比	
				上 構	船体縦			上 構	船体縦	船体上下	Y_s/Y_v	Y_L/Y_v
船 体 上 下 振 動	59	2					59		0	2	0.352	0.001
	120	3					120	1	0	3	0.472	0.001
	191	4					191	1	1	4	0.561	0.001
	244	5					244	1	1	5	0.592	0.004
	309	6					308	1	1	6	0.552	0.021
	361	7					360	1	1	7	0.319	0.008
							414	1	1	8	0.126	0.001
							470	1	1	9	1.229	0.002
							521	1	2	10	4.06	0.189
							564	1	2	11	17.79	0.217
船 体 縦 振 動	328	1	327	1	1	1.20	327	1	1	7	3.24	2.01
	651	2	656	1	2	3.06						
	863	3	867	1	3	0.56						
上構前後	591	1	587	1	2	56.9	587	1	2	11	218	4.08

 Y_s ; 上部構造頂部振巾 Y_L ; 船尾端縦方向振巾 Y_v ; 船尾上下方向振巾

(c) 船体共振時における上部構造前後振動

上記計算法により求められる船体上下振動の共振時における上部構造頂部の前後振動振幅 (Y_s) と船尾上下振動 (Y_v) の比を Table 2.1.4 に示す。表には実測値および計算値との比較も同時に示した。

Table 2.1.4 Y_s/Y_v の計算値と実測値の比較

船名 節 数	A 船			B 船		
	実 測 値	計 算 値	実 測 / 計 算	実 測 値	計 算 値	実 測 / 計 算
2	—	0.32	—	—	0.35	—
3	—	0.45	—	0.60	0.47	1.3
4	0.76	0.56	1.36	0.86	0.56	1.5
5	0.79	0.66	1.20	0.67	0.59	1.1
6	0.87	0.74	1.18	0.46	0.55	0.8

また、船尾振動振幅に対する上部構造の前後振幅の推定式として次式を提案する。

$$Y = \frac{1}{1 - \frac{f^2}{f_0^2}} (\theta_0 h + y_0) \quad \dots\dots\dots (2.1.1)$$

ここに、 f ; 船体固有振動数

f_0 ; 上部構造固有振動数

h ; 船体 N.A. から上部構造頂部までの距離

θ_0 ; 上部構造基部位置での船体の傾斜

y_0 ; 船体 N.A. の前後方向変位

($\Rightarrow$ 船体上甲板の前後方向変位)

(d) 結 言

これらの検討をまとめれば次のようになる。

- (i) 上部構造前後振動固有振動数におよぼす船体縦振動の影響は約1%程度であり、さらに船体上下振動との連成を考へてもほとんど影響はない。
- (ii) 上部構造の前後振動が船体振動におよぼす影響は上構固有振動数の近くで縦振動にはわずかにあるが、船体上下振動に対しては全く影響はない。
- (iii) 船体共振時における上部構造前後振動振幅は近似的に式(2.1.1)で推定できる。

2.1.3 上部構造前後固有振動数の簡易計算法

(a) 簡易計算法

上部構造の固有振動数は次の手順にしたがって計算する。なお、詳細は文献(4)を参照されたい。

- (i) 対象とする上部構造がFig. 2.1.2 に示されるように4つのタイプ(A、B、C、D)のいずれに属するかを定める。

ここに、A Type: 独立型の上部構造

B Type: 長い甲板室(2~3層)上に

2~3層の上部構造と煙突とが独立につた型式、例外として4層でも3層目と4層目が側、後壁にずれがない時はこのTypeに含める。

C Type: 長い甲板室(大体1層)上に

4~5層の上部構造と煙突とが独立につた型式

D Type: 上部構造と煙突とが独立せず

一体となつた型式

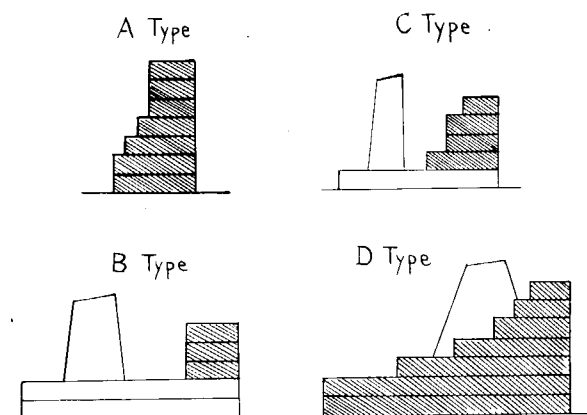


Fig. 2.1.2 Type of Superstructure

- (ii) 上部構造のProfile から振動体(Fig. 2.1.2で斜線を施した部分)の高さ h (m)を定める。

- (iii) Fig. 2.1.3から h に対する f_{∞} (cpm)を求める。

- (iv) この f_{∞} に上部構造のTypeによつてTable 2.1.5の修正係数を乗じて N_c を求める。

$$N_c = f_{\infty} \times C$$

Table 2.1.5 修正係数, C

Type	A, C	B	D
C	0.625	0.602	0.751

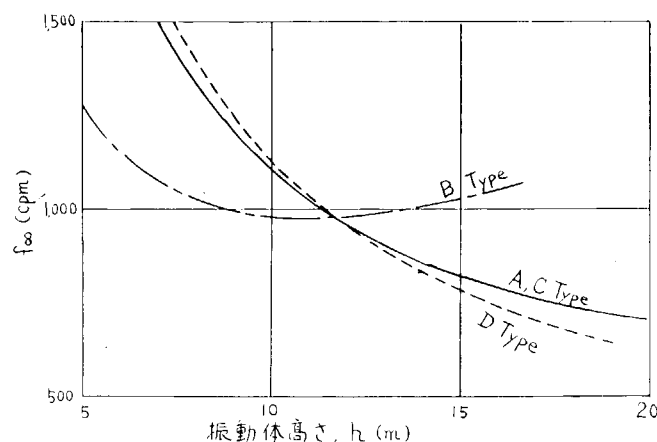


Fig. 2.1.3 Relation between h and f_{∞}

(b) 簡易計算法による計算値と実測値との比較

本簡易計算法を使用して文献(2)、(3)に示された実測値のある船について計算を行なつた。実測値との比較をTable 2.1.6に示す。

Table 2.1.6 簡易計算法による計算値と実測値との比較

船名	N	H(m)	n	h(m)	N_E	N_c	N_c/N_E
K-1	5	13.5	3	7.85	870	619.1	0.712
K-2	5	13.4	4	10.6	820	588.2	0.717
K-4	6	16.05	5	13.25	650	554.5	0.853

船 名	N	H (m)	n	h (m)	N _E	N _C	N _C /N _E
M-1	5	13.6	3	8.4	585	607.4	1.039
M-2	6	14.9	4	9.75	598	591.3	0.989
U-2	6	15.65	2	5.15	652	759.1	1.164
Z-2	5	13.25	2	5.3	788	745.6	0.946
K-3	6	16.05	5	13.25	650	554.5	0.853
K-5	6	16.05	5	13.25	790	554.5	0.702
L-1	7	19.6	6	16.8	509.5	529.6	1.039
Z-1	6	15.6	5	13.0	580	664.8	1.146
U-1	5	12.5	5	12.5	530	689.0	1.300
M-3	7	18.55	6	15.9	661.6	555.4	0.839
I-2	6	15.9	6	15.9	545	555.4	1.019
I-3	5	13.25	5	13.25	720	653.3	0.907

ここに、N : 上部構造全層数

H : Upper Deck から上部構造頂部までの距離

n : 振動体の層数

h : 振動体の高さ

N_E : 上部構造の実測固有振動数

N_C : 簡易計算法による固有振動数

(c) 結 言

本簡易計算法による計算値は構造様式の異なる船に対しても二、三の例を除けばよい精度を示すことがわかった。

参 考 文 献

- 1) 三菱重工神戸研究所；船体振動と上部構造前後振動との関連、SR-94、V45-3
- 2) 造船協会編、JSSC 振動実験報告書、1966
- 3) 日本造船研究協会編、船体機関の振動防止対策に関する実験研究報告書（その1）、SR-94、№60-1 & №71-1
- 4) 広渡智雪、松本互平、加道博章、上部構造の前後振動に関する研究（続報）、造船学会論文集第125号

2.2 船底振動

船体上下振動に対する船底振動の連成の影響は、バルクキャリア、貨物船において特に大きく、「局部振動と船体振動の連成について」（資料V43-8）に述べたように、船底パネルの共振点の近くでは非連成の船体固有振動数が10～20%程度変化する。

船底構造の固有振動数は、船体と船底の連成振動に関する重要な要素の一つであり、以下に、SR94昭和42年度の実験結果、その他の実験データについて、船底の固有振動数の検討をおこなう。

SR-94において、船底パネルの振動計測を実施した船は次のとおりである。

№41-C	54,390 DWT	Bulk Carrier	三菱神戸
№41-F	140,000 LT. DW	Bulk/Oil Carrier	呉

2.2.1 船底パネル固有振動数の実験値

船底振動は、船体上下振動と連成し、全体の振動の一部として観測されるものであり、船体振動に対して、吸振装置のように作用するので、船底構造単独の共振点においては、船体全体の振動振巾が小さくなる傾向を示す。このため、船底と船体の振巾の比較とか位相の考察により、実験データから、船底単独の固有振動数を正確に求めることは、かな

りむずかしいのであるが、ここでは、船体上下振動と船底固有振動数の定性的考察をおこなつて、船底固有振動数の近似値を推定する。

たとえば、(41-C)、(41-F) 船の船尾端または船首端の共振曲線はFig 2.2.1 に示すとおりであり、(41-C) 船では、船底が船体と同位相である202 cpmと逆位相の286 cpmの間には顕著なピークは存在せず振巾も微少である。(41-F) 船では同位相の199 cpmと270 cpmの間にピークがなく、331 cpmで逆位相になっている。270~300 cpmにもピークがあるが、船底パネルの計測点位置が船体振動の節点と一致するので位相の判定はできない。

両者に共通の傾向は、船底が同位相から逆位相へ変化する時、船体振動に大きいピークはあらわれず、また同位相、逆位相の船体共振振動数の間隔が広いことである。

この傾向は、他の実験例(貨物船、バルクキャリア)においても同様であり、船底パネルの固有振動数は、上記の二個の共振点の中間に存在するものと考えられる。

以上の考察より、船底パネルの固有振動数は、近似的に上記の船体の共振

振動数(船底パネルが同位相の場合と逆位相の場合)の平均値で与えられるものと考えた。

実測の共振曲線から求めた船底パネルの固有振動数をTable 2.2.1に示す。

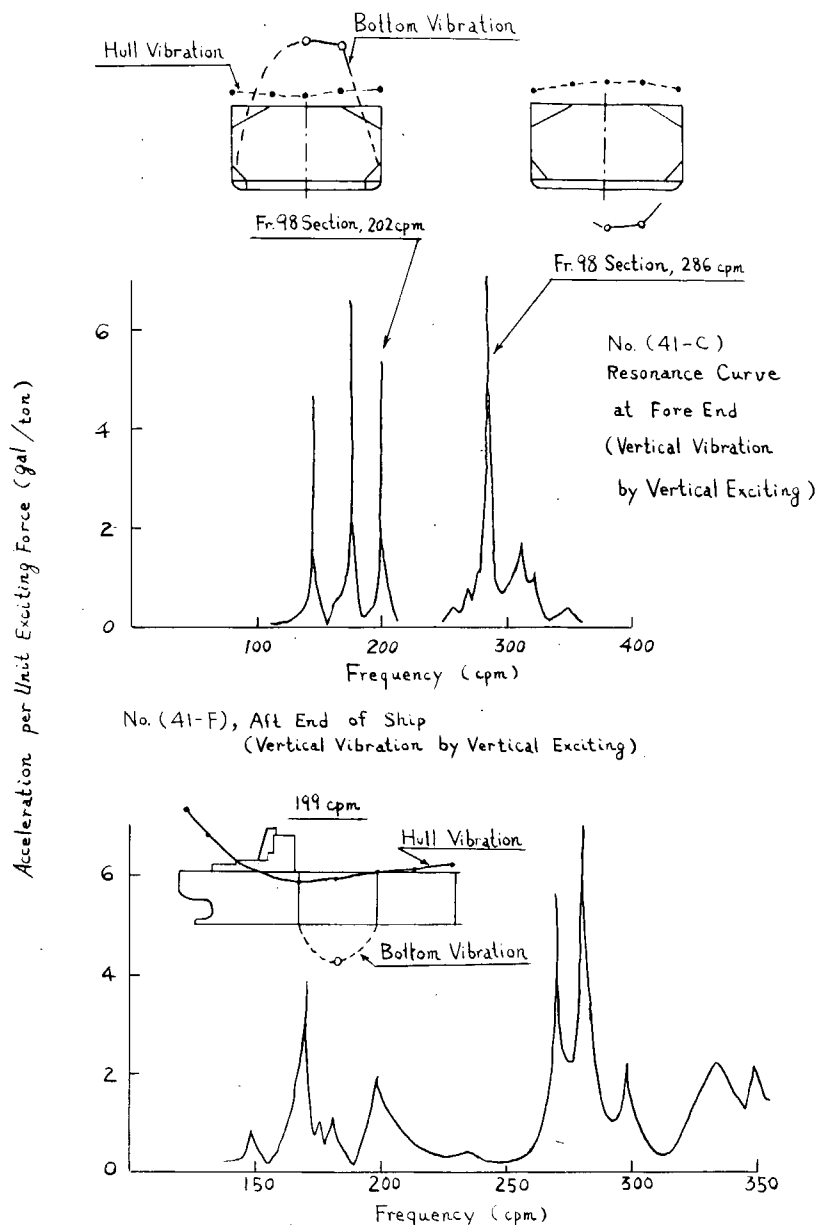
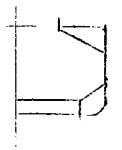
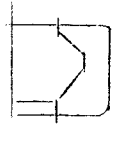
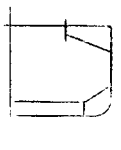
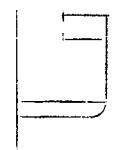


Fig.2.2.1 Resonance Curve of Hull and Mode Curve of Bottom

Table 2.2.1 List of the Ships Tested

Builder or No.	41-C	41-F	I H I	I H I	I H I	I H I
TYPE	54390DWT B/C	140000DWT B/O	21000DWT B/C	13500DWT Cargo	15000DWT Cargo	15000DWT Cargo
L_{pp} (m)	211.0	286.5	167.0	140.0	145.0	145.0
B_m (m)	31.80	43.30	22.6	19.40	20.20	20.20
D_m (m)	17.50	24.69	13.4	12.0	12.6	12.6
b (Breadth of Bottom) (m)	23.8 (0.75 B_m)	21.6 (0.5 B_m)	17.0 (0.75 B_m)	19.40	20.2	20.2
l (Length of Bottom) (m)	28.0	36.0	22.0	20.44	17.25	21.00

Builder or No.	41-C	41-F	I H I	I H I	I H I	I H I
h (Length of Bottom) (m)	—	2.1	1.4	1.4	1.4	1.4
N_{hull} (in Phase) (cpm)	202	199	316.5	295	340	275
N_{hull} (out of Phase) (cpm)	286	270	379	345	395	310
N_{bottom} (cpm)	244	236	348	320	368	293
$\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2}\right)^{1.25} \times 10^3$	0.717	0.695	1.51	1.35	1.60	1.24
$h \cdot \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2}\right)^{1.25} \times 10^3$	—	1.50	2.11	1.89	2.24	1.74
Section of Cargo Hold						
Remarks	(文献1)による		(文献2)による			

参 考 文 献

- 1) 第94部会、船体機関の振動防止対策に関する実験研究(その1)、日本造船研究協会、研究資料660-1
- 2) 船底振動について、末次、藤井、関西造船協会誌6111

2.2.2 船底の寸法と固有振動数の関係

船底の固有振動数と船底の寸法(長さ、巾)の関係は板の固有振動数の場合と同様と仮定すると、周辺支持板の固有振動数の式より

$$N_b \propto \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{m}}$$

N_b : 船底の固有振動数
 l, b : 板の2辺の長さ
 D : 板の曲げ剛性
 m : 板の mass/u. area

質量(m)は、船底重量と付加水質量であるが、船底パネル重量は一般に小さいので付加水質量のみを考える。

連続く形板の付加水質量の式から船底の付加水質量(m_v)は次式であらわせるものとする。

$$m_v \propto 1 / \sqrt{\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2}}$$

したがって

$$N_b \propto \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25} \sqrt{D}$$

板の曲げ剛性(D)は、船底の深さ(h)の2乗に比例するものと仮定すると

$$N_b \propto h \cdot \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25}$$

船底の固有振動数と $\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25}$ および $h \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25}$ の関係をFig 2.2.2に示す。

N_b と $\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25}$ の関係より船底の深さにより差異があると考えられ、船底の深さ(h)を考慮に入れた

N_b と $\left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25} h$ の関係の図より、 N_b は $h \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25}$ に比例し、船底構造の寸法により

$$N_b = 1.6 \times 10^5 \cdot h \left(\frac{1}{l^2} + \frac{1}{b^2} \right)^{1.25}$$

N_b : cpm, l, b, h : m

であらわされることがわかる。この実験式は空艙の場合に適用できるものであり、艙内の貨物、バラスト等の影響について、さらに検討の必要がある。

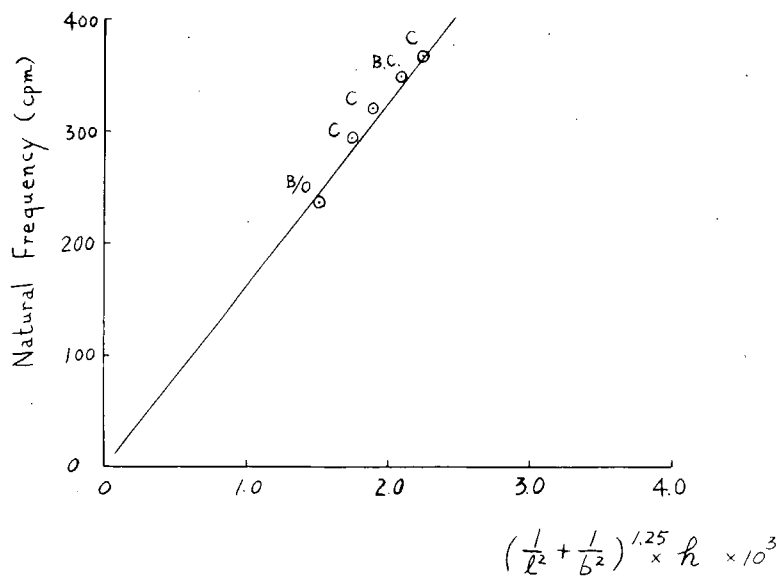
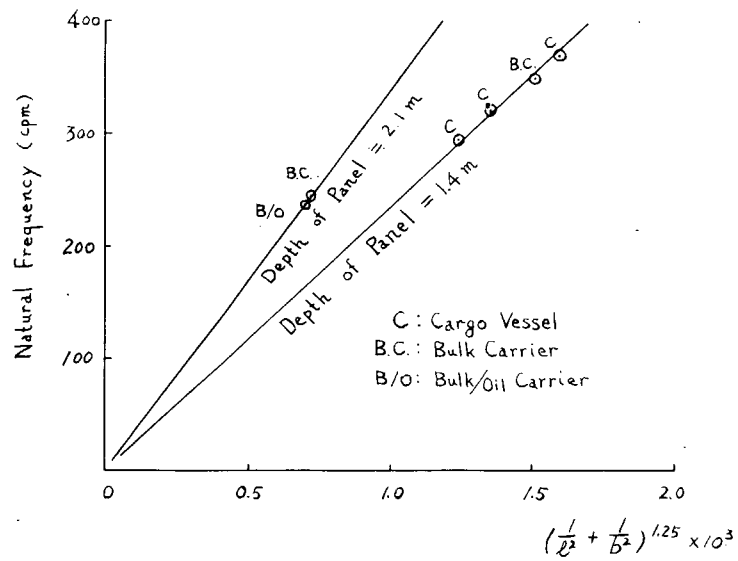


Fig.2.2.2 Natural Frequency of Bottom

3. プロペラ起振力

3.1 プロペラ起振力に及ぼす吃水変化の影響¹⁾

プロペラ起振力が、船の吃水により変化するか否かを検討するため、模型船に5翼プロペラを装備して実験を行なった。

サーフェスフォースはFig. 3.1に示すようにプロペラ前方で計測し、その結果は同図に示してあるように、プロペラチップから水面までの深さが半径の $\frac{1}{2}$ 以上あればほとんど一定であるが、浸水度が減少するにつれて減少しチップが水面と一致する位ときは十分深い場合の60%位に減少する。

これに比してベアリングフォースはFig. 3.2に示すように吃水変化に伴う変化量は少ない。なお、参考までに、吃水変化による推力およびトルクの変化をFig. 3.3に示すが、チップが水面上に現われない間は、吃水に無関係にほぼ一定である。

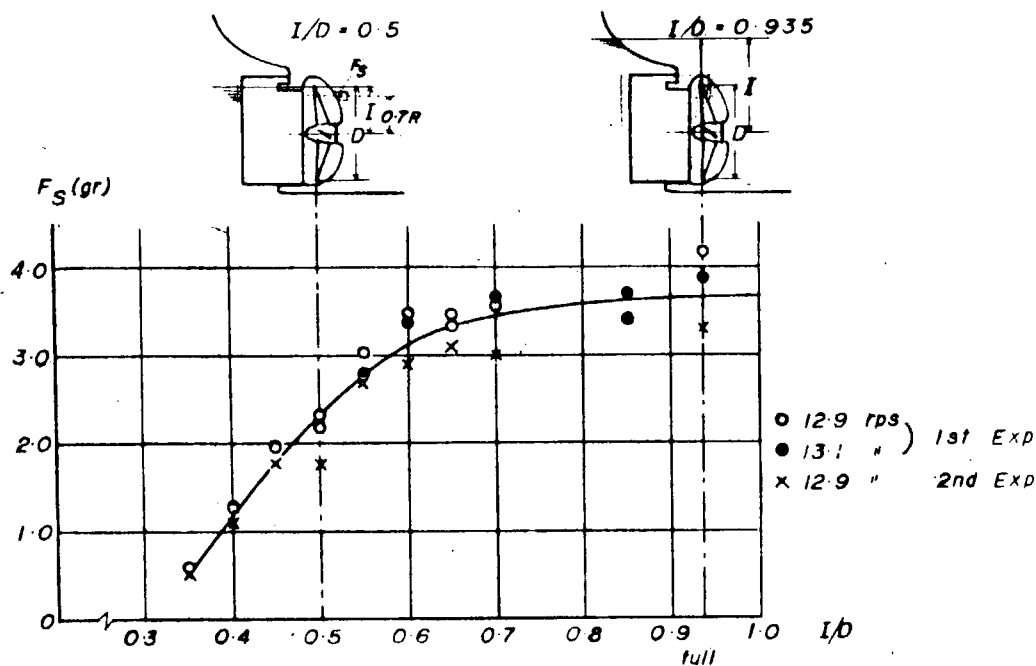


Fig.3.1 Surface Force versus Propeller Immersion

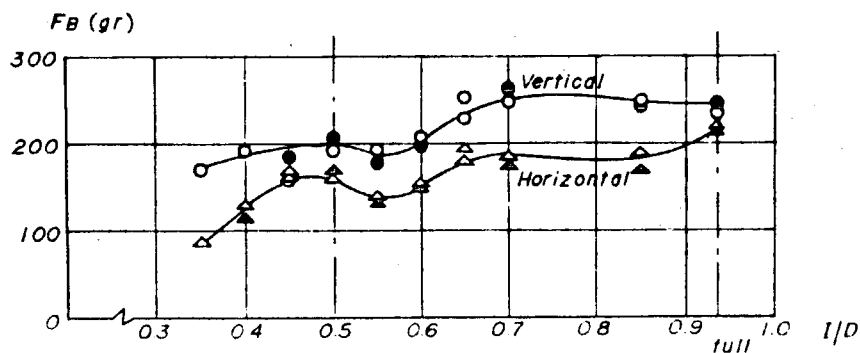


Fig.3.2 Bearing Force versus Propeller Immersion

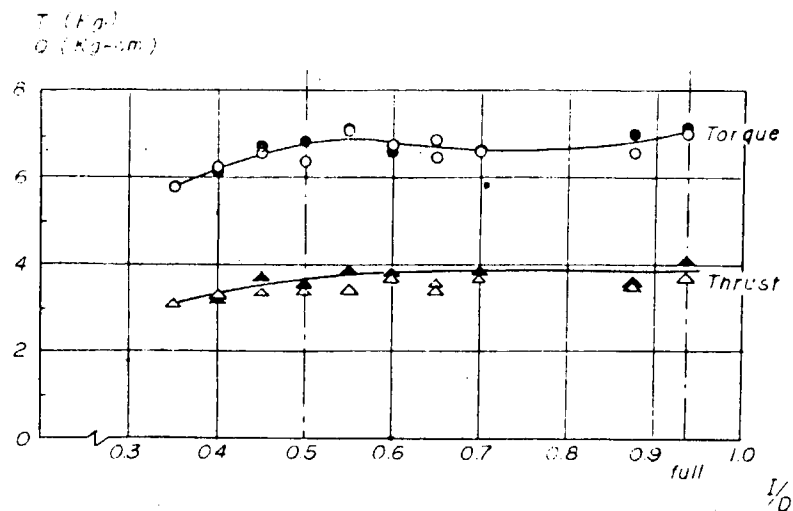


Fig.3.3 Thrust and Torque versus Propeller Immersion

3.2 単翼プロペラによる推力変動の模型実験2)

不均一伴流中で作動するプロペラに加わる流体力学的な力を計算する方法として、準定常計算、非定常計算などがあるが、これらの計算方法が妥当であるか否かを検証するためには、翼間干渉効果などのない単翼プロペラで実験を行ない、計算と比較することが望ましいと考えられたのでTable 3.1に要目を

Table 3.1 Particulars of Model Ship

L × B × D (cm)	500 × 70 × 50
d _{mean} (cm)	27
Displacement (full load) (kg)	750
C _b	0.794
Ship speed (m/sec)	1.4 (1.15)

() for single-bladed propeller

示す模型船にTable 3.2に示す要目のプロペラを取付けて実験を行なった。

Table 3.2 Particulars of Model Propellers

Type: Troost Number of blades	1	2	3	4	5	5*	6
Diam. (cm)	17.05	17.05	17.05	17.05	17.05	17.05	17.05
Pitch ratio	0.770	0.770	0.728	0.696	0.670	0.670	0.648
Devel. area ratio	0.15	0.30	0.44	0.56	0.66	—	0.72
Blade thickness ratio	0.055	0.055	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Boss ratio	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Angle of rake (degree)	10	10	10	10	10	10	10
Ship speed (m/sec)	1.15	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Shaft revolution (rev/sec)	12.2	12.6	12.1	12.2	12.3	12.2	12.2
Thrust (kg)	1.496	2.676	2.673	2.703	2.670	2.616	2.510
Torque (kg. cm)	4.391	6.104	—	7.953	6.349	6.761	5.530

* skewback 4 cm

Table 3.3 Thrust Variations(Double Amplitude)in %

Ship model	Number of blades of propeller	Measured value	Calculated from thrust variation of single-bladed propeller	Calculated by quasi-steady method
40,000 d. w. t. Tanker, full load	2	47.03	34.8	27.8
	3	13.21	7.2	3.8
	4	21.03	12.8	11.2
	5	9.18	2.6	4.0
	6	9.61	3.2	3.8

その結果得られた推力と、計測した伴流分布に対して準定常計算で求めた推力との比較を Fig. 3.4 に示す。また、各翼数に対し推力変動のブレードフレクエンシ成分を上記の方法で求めた結果を Table 3.3 に示す。

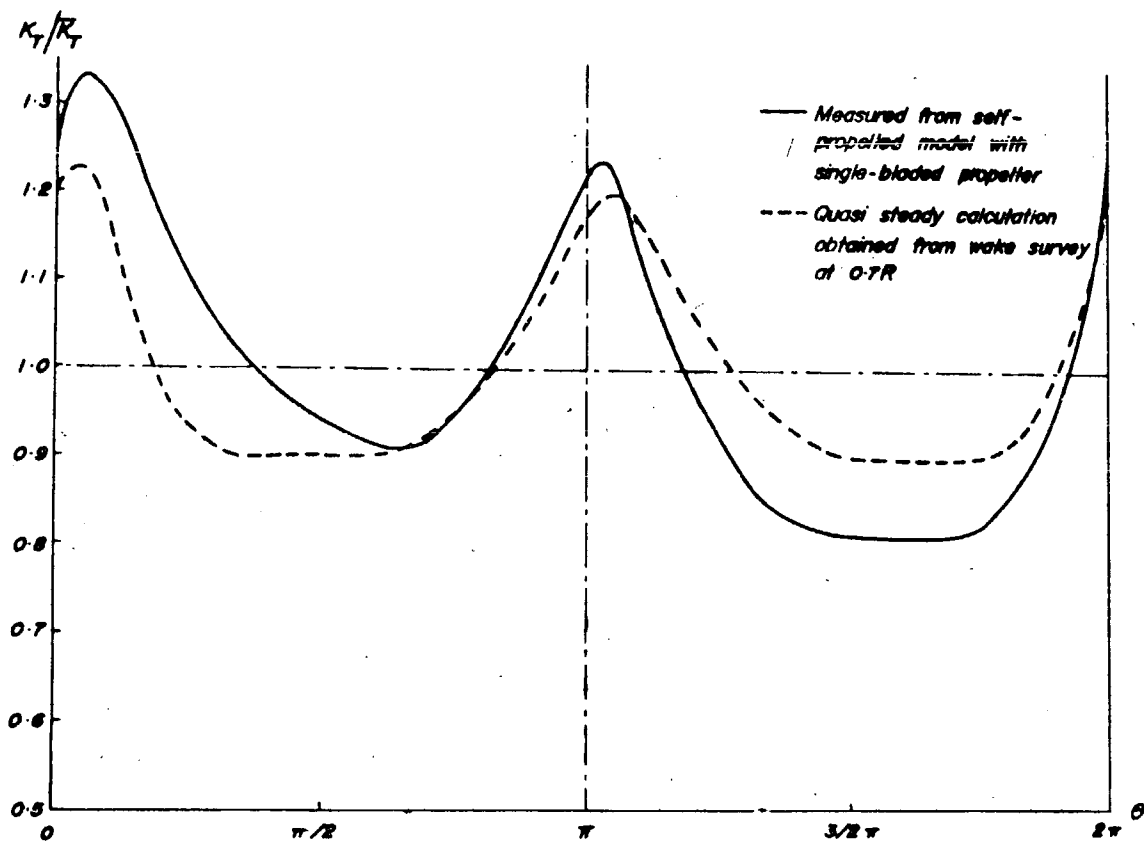


Fig.3.4 Thrust Variation of Model Ship with Single-bladed Propeller

Fig.3.5は、各翼数のプロペラの推力変動の比較を示したもので図中鎖線は、伴流分布を与えて準定常計算により求めた値、点線は単翼プロペラ実験で得た推力変動の調和解析から求めた値、実線は多翼プロペラの実験値の調和解析値である。

なおスキューバックが推力、トルク変動やベアリングフォース、ベアリングモーメントに及ぼす影響について検討したが、あまり大きな影響はない。

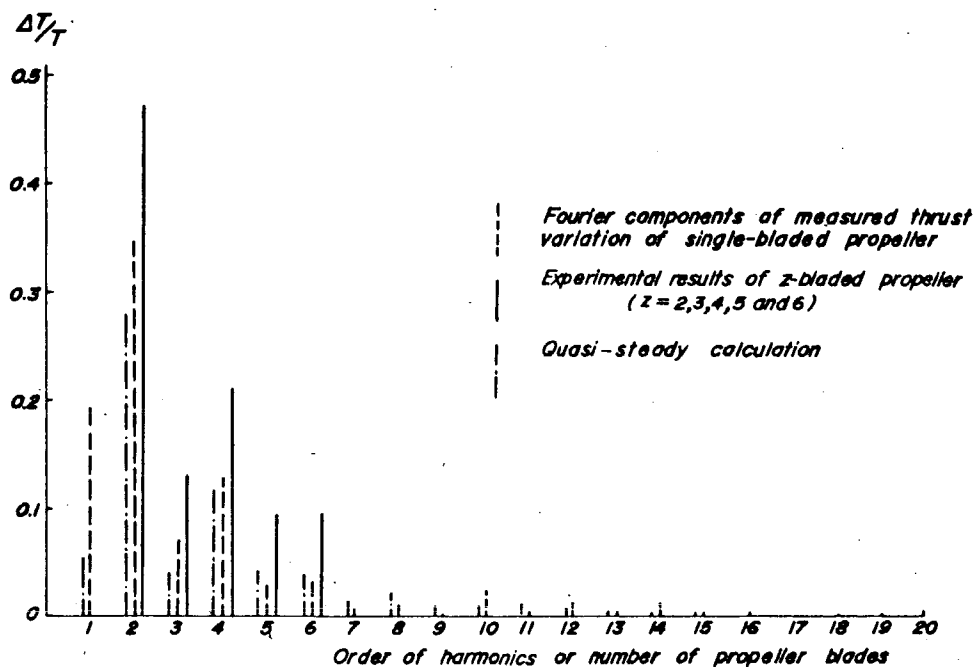


Fig.3.5 Thrust Variations Obtained from Experiments and Calculations (Double Amplitude)

3.3 軸系の振動特性が、推力変動の船体への伝達に及ぼす影響³⁾

推力変動は軸系および推力軸系を介して船体に伝わるが、これらはそれ自身でFig.3.6に示すように振動系を構成しているので主機から加わる起振力がない場合でも $F_p = F_s$ になるとは限らない。いま、軸系をFig.3.7に示すように簡単な1自由度系を介して F_s なる力になつて伝達されるとし、 $F_s / (F_p + F_e)$ を外力伝達率を μ と定義すると

$$\mu = \left| \frac{1}{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2 - 1} \right| \quad (3.1)$$

ここに ω_0 : 軸系固有振動数
 ω : 外力 F_p 、 F_e の振動数

となり、軸系の固有振動数が外力の周波数と同調すると小さな外力でも大きく増巾されることがわかる。Fig.3.8に示すCouchmanの計測結果やFig.3.9に示す自航模型船の結果もこれを例証している。

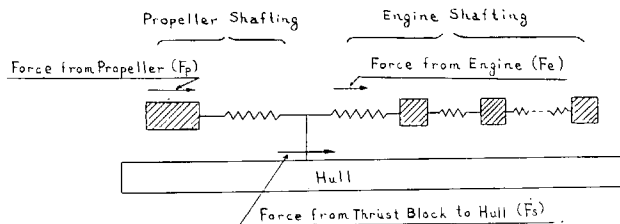


Fig. 3.6

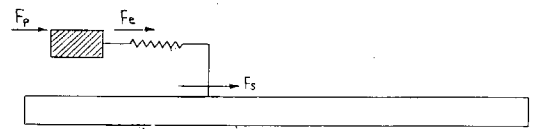


Fig. 3.7

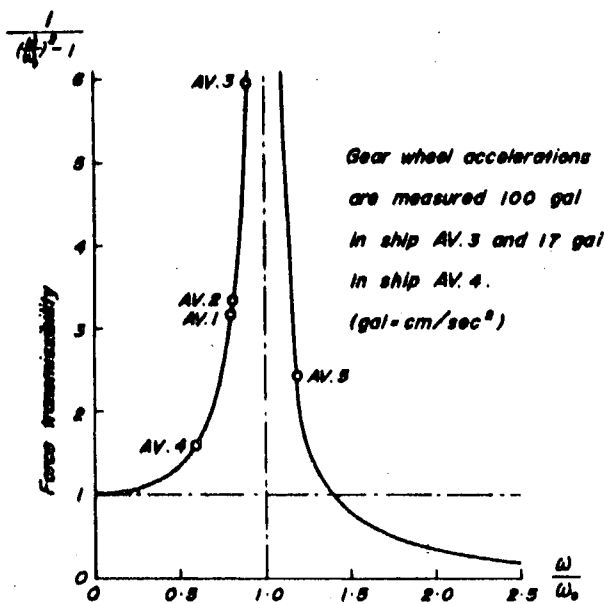


Fig.3.8 Force Transmissibilities of Thrust Blocks Calculated from Couchman's Measurements on Board Turbine Ships⁴⁾

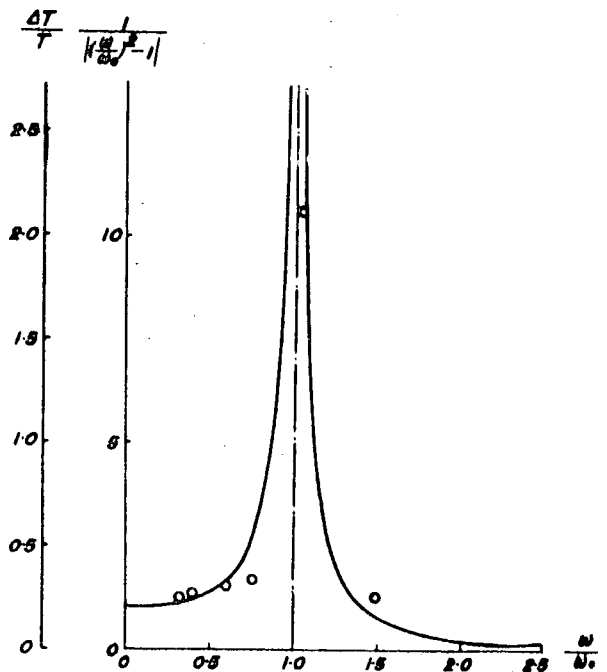


Fig.3.9 Measured Force and Force Transmissibilities of Various Thrust Blocks of Model Tanker

次に、自航模型船に主機から加わる起振力に相当する起振力を軸前方から加えて推力軸受から船体に加わる力を計測し、一方、この系をFig.3.7の系で近似して

$$F_p = C_1 \cos(\omega t - \varphi_1)$$

$$F_e = C_2 \cos(\omega t - \varphi_2)$$

として計算した結果と比較すると、Fig. 3.10に示すように両者よく一致し、かつ F_p と F_e との位相が異間角度の $1/2$ だけずれたとき、船体に加わる力は最小となる。

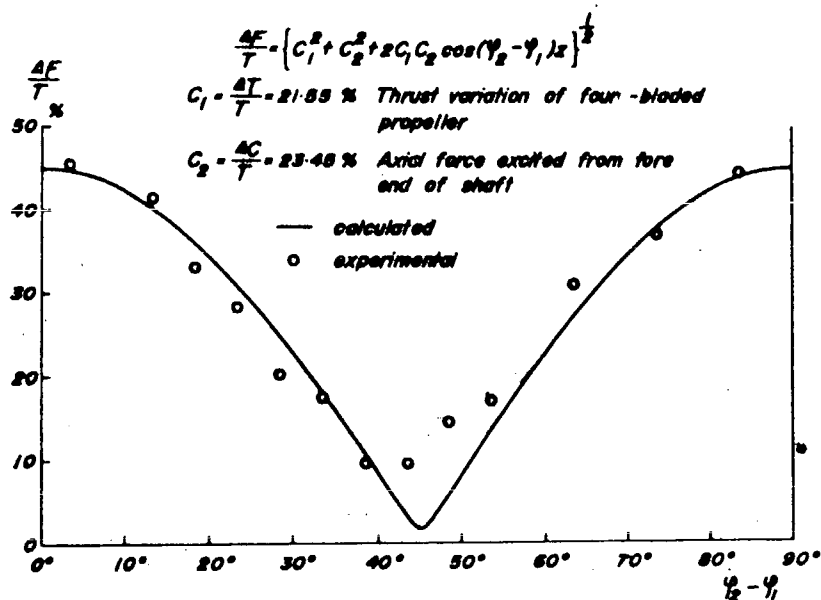


Fig.3.10 Relation between Force Amplitude of Thrust Block and Phase Lag of Two Exciting Forces on Self-propelled Model with Four-bladed Propeller

3.4 結 言

以上のように本年度はプロペラ起振力と船体振動との関連について

基礎的研究 単翼プロペラによる推力変動の模型実験

実用的研究 プロペラ起振力に及ぼす吃水変化の影響

軸系の振動特性が推力変動の船体への伝達に及ぼす影響

を行なった。これらの結果は、設計上防振対策立案に対して有効であると思われるが、プロペラ起振力は複雑であるので、さらに精度のよい推定法を確立するために今後も検討を進める予定である。

参 考 文 献

- 1) 熊井 豊 二 : "プロペラ起振力に及ぼす吃水変化の影響に関する一模型実験" SR-94、V40-2 (1968)
- 2) 熊井 豊 二 : "推力変動に関する実験について" SR-94、V42-10 (1969)
- 3) 熊井 豊 二 : "Thrust blockにおける2種の起振力とそれの強制振動" SR-94、V37-6 (1968)

4. 応 答 計 算

4.1 理論解析

船体振動の共振時における単位起振力当りの振動加速度 a/F は次式で表わされる。

$$a/F = C_n \cdot \frac{g\pi}{\Delta_1 \delta_n} \quad (\text{GAL/T}) \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここに、
$$C_n = \frac{\Delta_1 \eta_u \eta_v}{L \int_0^1 w \eta^2 d\xi} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

C_n : n 節のモード係数

Δ_1 : 付加水重量を含む排水量

w : 単位長さ当りの荷重

ξ : 船の長さを 1 とした時の船の長さ方向の座標

η : n 節のモードを表わす関数

η_u, η_v : 起振点 u 、受振点 v における振幅

δ_n : 対数減衰率

上下および水平振動について、式(4.2)から C_n の値を求め、その C_n と、近似式から求めた対数減衰率 δ_n を用いて式(4.1)から a/F の値を算出して、船体振動起振機実験結果の共振時における船尾端の a/F 値と比較することとする。

4.2 計算上の仮定

式(4.2)を使用して、モード係数 C_n を計算し、またその C_n を用いて、式(4.2)から応答係数 a/F を算出するのに次のような仮定を設けた。

- (a) 振動モードは、日本原子力船研究協会の報告書²⁾およびSR94昭和41～42年度の起振機実験結果¹⁾より平均的なものを用いた。
- (b) Light Ship WeightおよびBallast Waterは実験時のものをそのまま用いた。
- (c) Virtual Massは、Lewis法により2次元値を求め、Taylorの2節振動の3次元修正値を用いて修正した。
- (d) 起振点および受振点を船尾端にとつて計算した。
- (e) 式(4.2)の減衰率を計算するには船体2節振動数が必要であるが、計測データの無い場合は過去のデータから推定した。
- (f) 2節振動の対数減衰率は、富田の近似式³⁾を用い、3節振動以上は、熊井の近似式⁴⁾を使用して計算した。

4.3 供試船要目

供試船の要目をTable 4.1に示す。

4.4 計算結果

式(4.2)から求めた C_n 、近似式を用いて求めた δ_n 、およびその C_n と δ_n を用いて算出した a/F の計算値と実験から求めた a/F の実験値との比較をTable 4.2～4.3に示す。

4.5 検 討

- (a) 応答係数 a/F の計算値と実験値とに大きな相違がみられるが、この原因として次のことが考えられる。

(i) δ_n を計算式を用いて算出しているが、真の値に近いかわからない。

(ii) 実験の共振時における a/F も、真の共振点の値とは限らない。

Table 4.1 Particulars of Ships

Ship	Type of Ship	D. W. (ton)	L × B × D (m)	(ton) (m) Δ Test × d Test	Notation
41-A	B/C	62,800	23.622 × 3.1852 × 18.745	43,839 × 7.16	×
41-B	O/C	37,300	18.30 × 29.5 × 14.9	20,340 × 4.81	✱
41-C	B/C	54,390	21.10 × 3.18 × 17.5	29,150 × 5.515	▲
41-F	B/O	140,000	28.65 × 43.3 × 24.69	87,200 × 8.644	+
41-G	T	156,700	28.50 × 48.2 × 23.5	94,900 × 8.69	●.....Side Shell ■.....L. Bhd
41-H	T	89,114	23.70 × 38.9 × 18.0	51,005 × 7.08	□
42-A(1)	T	131,300	25.60 × 42.5 × 22.0	69,000 × 7.99	■.....Side Shell ▲.....L. Bhd
42-A(2)	T	"	"	67,500 × 7.84	▣.....Side Shell ▢.....L. Bhd
42-A(3)	T	"	"	72,700 × 8.45	⊠.....Side Shell ⊞.....L. Bhd
42-B	O/C	106,100	25.20 × 38.0 × 21.0	92,700 × 11.722	○
42-D	O/O	96,200	24.403 × 39.94 × 20.6	54,480 × 7.34	⊙
41-J(1)	B/O/O	74,107	24.00 × 32.30 × 18.9	43,800 × 8.957	⊗ (Ballast)
41-J(2)	B/O/O	"	"	93,700 × 13.989	⊘ (Full)
42-F	T	153,140	28.10 × 46.2 × 25.0	181,059 × 16.55	⊠

Table 4.2 C_n , a/F and δ_n (Vertical Vibration)

Ship	Node	$(L \int_0^1 w d\xi)$ Δ_1	$(\frac{\Delta_1}{L \int_0^1 w \eta^2 d\xi})$ C_n	N_{v2}	$(0.025(\frac{N_{v2}}{100}))$ δ_{v2}	$(\delta_{v2}(\frac{N_n}{N_{v2}})^{3/4})$ δ_n	(Calculated) a/F Cal	(Measured) a/F Meas	$(\frac{a/F \text{ Cal}}{a/F \text{ Meas}})$ α
41-A	3	109,283	13.4	50	0.013	0.0207	18.2	1.2	15.2
	4	"	15.3	"	"	0.0323	13.4	1.1	12.2
	5	"	16.5	"	"	0.0373	12.5	1.4	8.93
	6	"	21.8	"	"	0.0419	14.7	0.6	24.5
41-B	4	57,459	19.8	64	0.016	0.039	27.2	23.0	1.18
	5	"	21.1	"	"	0.049	23.1	45.0	0.51
41-C	2	83,070	8.9	46	0.0104	0.0104	31.7	1.6	19.8
	4	"	15.1	"	"	0.025	22.5	6.6	3.41
	5	"	15.4	"	"	0.0286	20.0	7.6	2.63
	6	"	21.8	"	"	0.0316	25.6	7.0	3.66
41-F	4	227,585	19.4	48	0.0108	0.0251	10.4	0.8	13.0
	5	"	20.2	"	"	0.028	9.8	3.8	2.58
	6	"	27.6	"	"	0.0395	9.5	5.6	1.7
	7	"	26.0	"	"	0.0406	8.7	7.0	1.24
41-G	4	240,516	14.2	44	0.0099	0.019	9.6	2.0	4.8
	5	"	14.9	"	"	0.0258	7.4	1.0	7.4
	6	"	21.3	"	"	0.0287	9.5	2.0	4.75

Ship	Node	$(L \int_0^1 w d\xi)$ Δ_1	$(\frac{\Delta_1}{L \int_0^1 w \eta^2 d\xi})$ C_n	N_{v2}	$(0.025 \frac{N_{v2}}{100})$ δ_{v2}	$(\delta_{v2} (\frac{N_n}{N_{v2}})^{3/4})$ δ_n	(Calculated) $a/F \text{ Cal}$	(Measured) $a/F \text{ Meas}$	$(\frac{a/F \text{ Cal}}{a/F \text{ Meas}})$ α
41-H	4	135,712	20.3	43	0.0097	0.0203	22.7	2.5	9.08
	5	"	19.8	"	"	0.0248	18.1	2.5	7.24
	6	"	27.1	"	"	0.0293	21.0	1.0	21.0
42-A(1)	6	171,939	23.4	48	0.0108	0.0317	13.5	3.5	3.86
	7	"	20.5	"	"	0.0352	10.4	2.5	4.16
	8	"	20.9	"	"	0.0382	9.8	0.48	20.4
42-A(2)	4	170,868	17.3	48	0.0108	0.0197	15.8	3.5	4.52
	5	"	17.2	"	"	0.0287	10.8	0.88	12.3
42-A(3)	3	178,985	12.2	47	0.0106	0.0146	14.4	6.7	2.15
42-B	3	167,698	14.6	44	0.0099	0.0168	16.0	2.0	8.0
	4	"	18.6	"	"	0.0232	14.7	2.5	5.88
	5	"	18.6	"	"	0.029	11.8	2.7	4.37
	6	"	26.2	"	"	0.0341	14.1	3.1	4.55
	7	"	23.4	"	"	0.0391	11.0	0.9	12.2
	8	"	23.6	"	"	0.0426	10.2	1.7	6.0
42-D	3	146,782	14.0	51	0.0115	0.0184	16.0	2.0	8.0
	4	"	20.3	"	"	0.0271	15.7	2.2	7.15
	5	"	19.9	"	"	0.033	12.6	3.0	4.2
	6	"	27.3	"	"	0.0387	14.8	3.8	3.9
	7	"	26.2	"	"	0.0424	13.0	5.7	2.28
41-J(1)	5	117,289	18.1	60	0.0135	0.0328	14.5	1.3	11.2
	6	"	25.3	"	"	0.0384	17.3	3.7	4.68
	7	"	23.6	"	"	0.0431	14.4	6.7	2.15
	8	"	23.8	"	"	0.0474	13.2	2.0	6.6
41-J(2)	4	169,491	17.3	45	0.0101	0.0211	14.9	3.2	4.66
	5	"	17.6	"	"	0.0246	13.0	1.0	13.0
	6	"	26.3	"	"	0.0313	15.3	1.2	12.7
	7	"	24.7	"	"	0.0349	12.9	1.6	8.07
	8	"	24.9	"	"	0.039	11.6	0.4	29.0
42-F	2	343,000	10.6	36	0.0081	0.0081	11.8	1.75	6.75
	3	"	13.7	"	"	0.0142	8.7	1.9	4.58
	5	"	18.4	"	"	0.0237	7.0	4.7	1.49
	6	"	27.2	"	"	0.0286	8.5	2.0	4.25
	7	"	26.1	"	"	0.0325	7.2	1.4	5.15

Table 4.3 C_n , a/F and δ_n (Horizontal Vibration)

Ship	Node	$(L \int_0^1 w d\xi)$ Δ_1	$(\frac{\Delta_1}{L \int_0^1 w \eta^2 d\xi})$ C_n	N_{H2}	$(0.038 \frac{N_{H2}}{100})$ δ_{H2}	$(\delta_{H2} (\frac{N_n}{N_{H2}})^{3/4})$ δ_n	(Calculated) $a/F \text{ Cal}$	(Measured) $a/F \text{ Meas}$	$(\frac{a/F \text{ Cal}}{a/F \text{ Meas}})$ α
	2	228,374	8.0	64.2	0.0244	0.0244	4.4	0.7	6.3
	3	"	11.0	"	"	0.0389	3.8	1.4	2.72
	4	"	12.6	"	"	0.0507	3.3	2.85	1.15

参 考 文 献

- 1) 日本造船研究協会 SR-94
“船体機関の振動防止対策に関する実験研究”(その1) 研究資料 16.60-1
“ ” 16.71-1
- 2) 日本原子力船研究協会
“原子力船における外力の原子炉に及ぼす影響に関する試験研究”
原船協 14-II 1960
“ ” 23-II 1961
“ ” 31 1962
- 3) 富田
“主機の許容起振力に対する一考察” 造論 108号(昭和35年)
- 4) 熊井
“船体高次振動の減衰率について” 造論 102号(昭和33年)

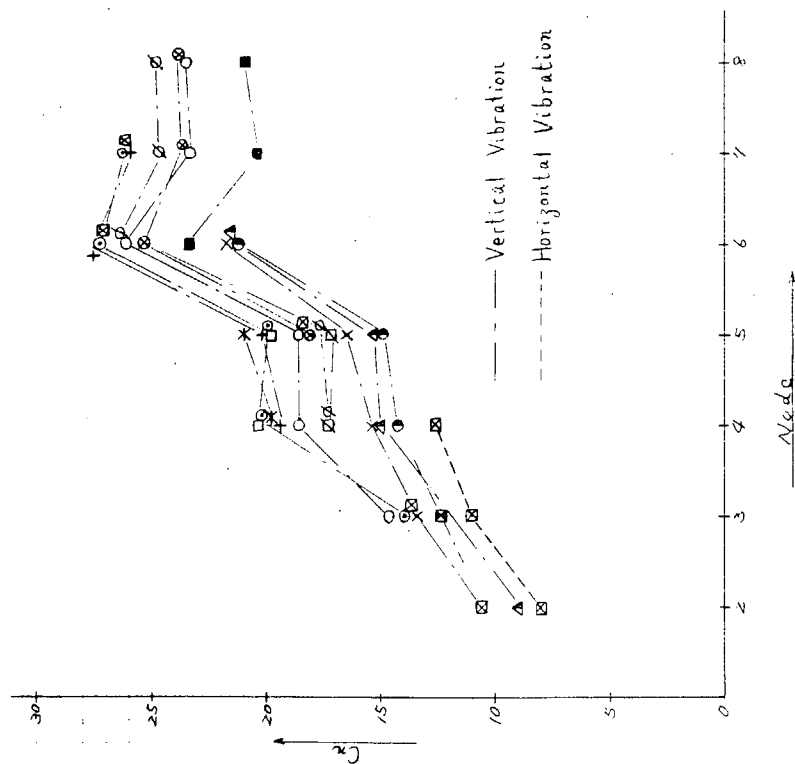


FIG. 4.1 Relation between C_n and No. of Node

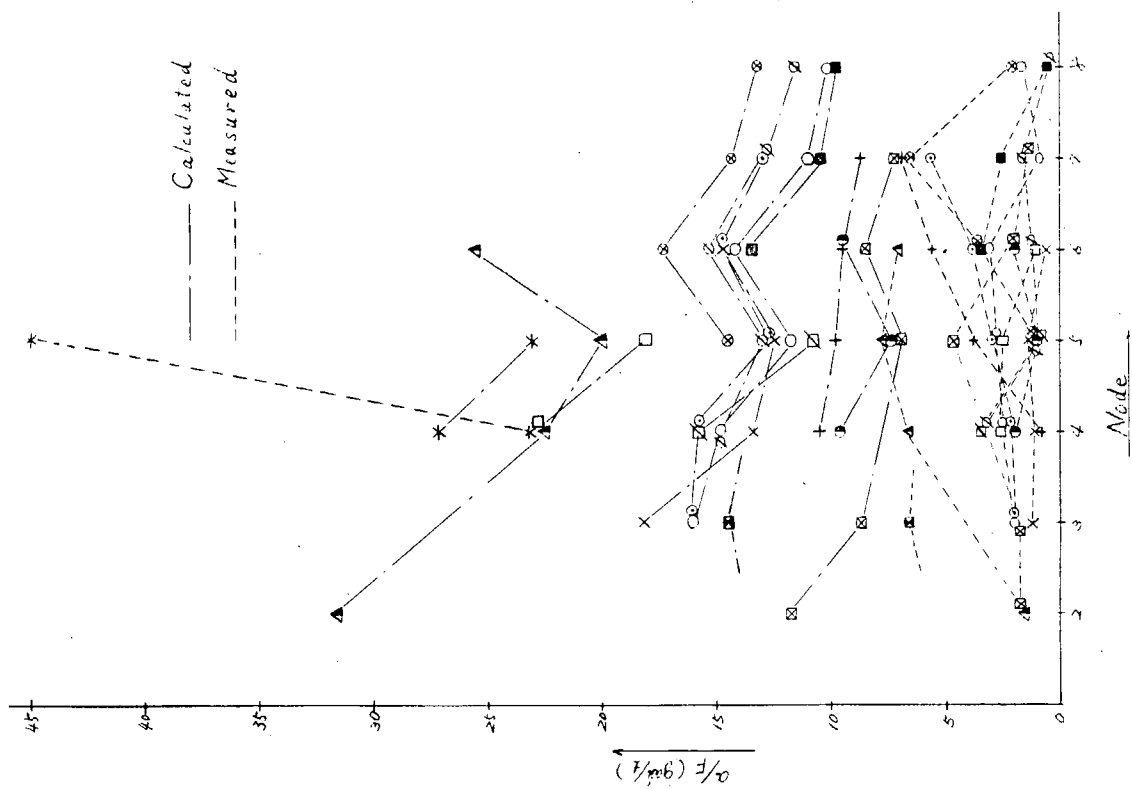


Fig. 4.2 Relation between a/F and No. of Node (Vertical Vibration)

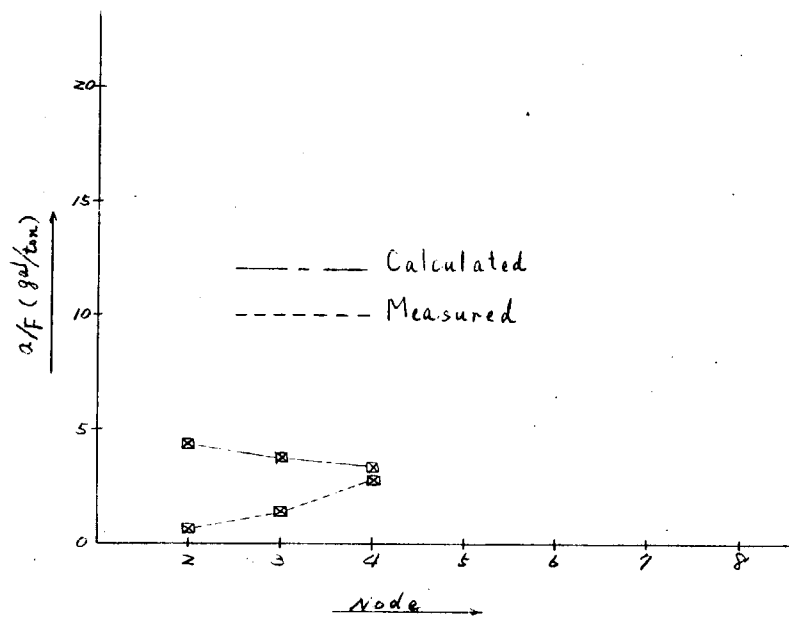


Fig.4.3 Relation between a/F and No. of Node (Horizontal Vibration)

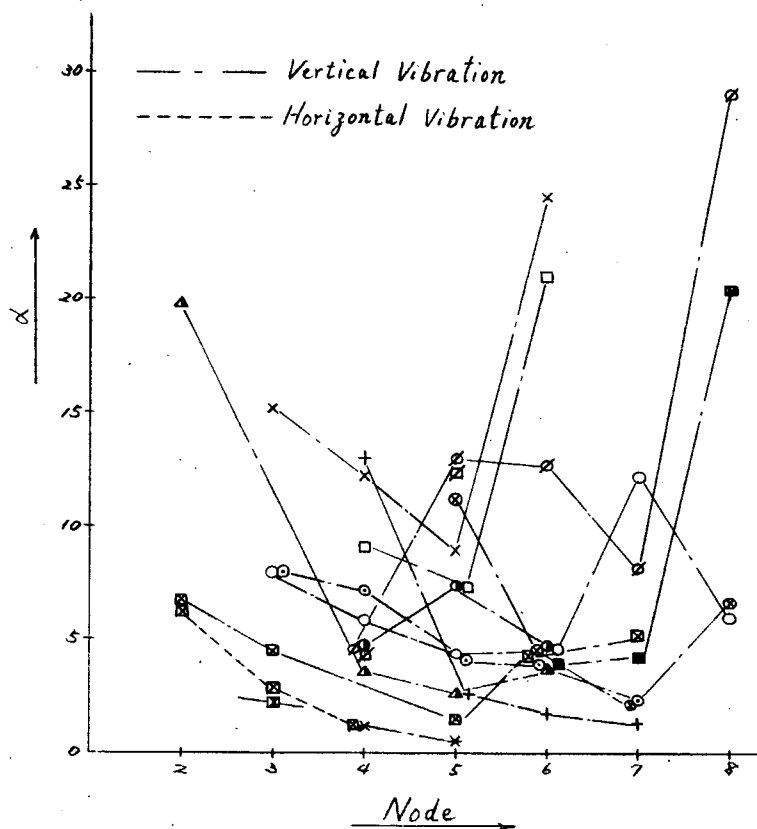


Fig.4.4 Relation between α and No. of Node

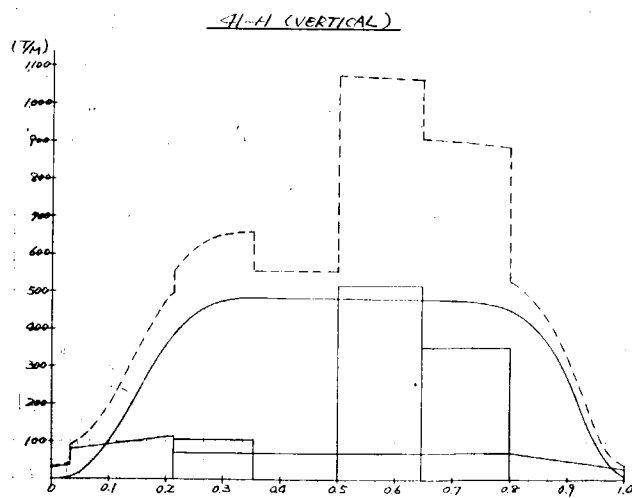
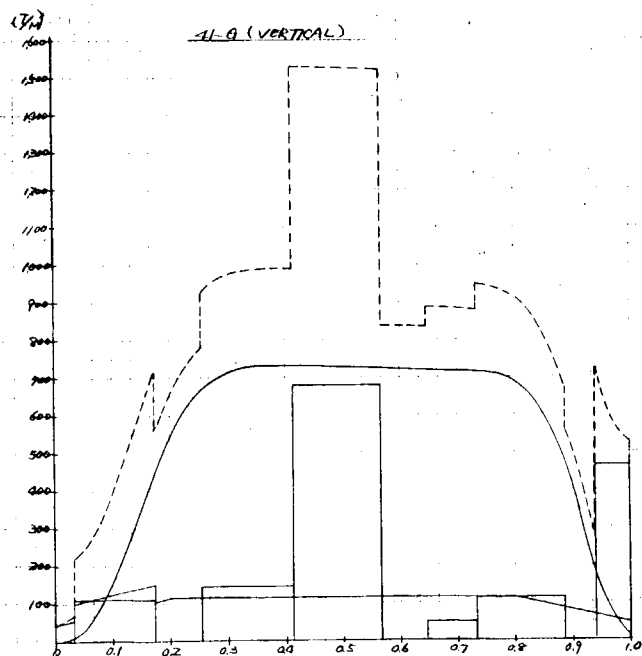
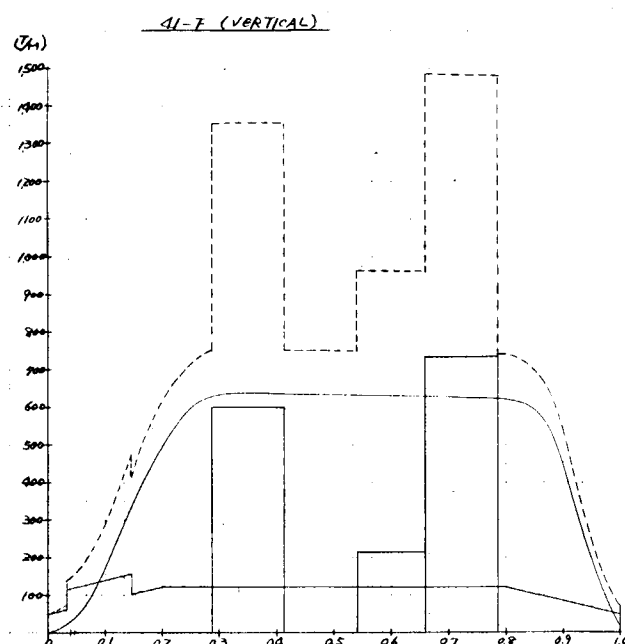
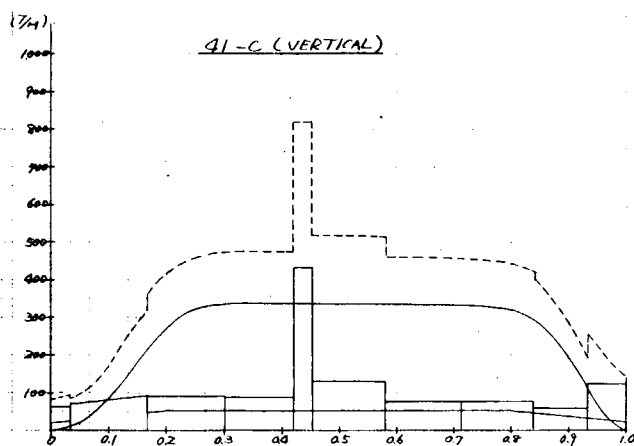
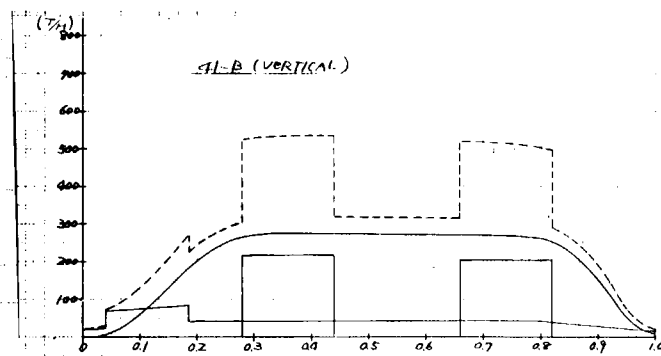
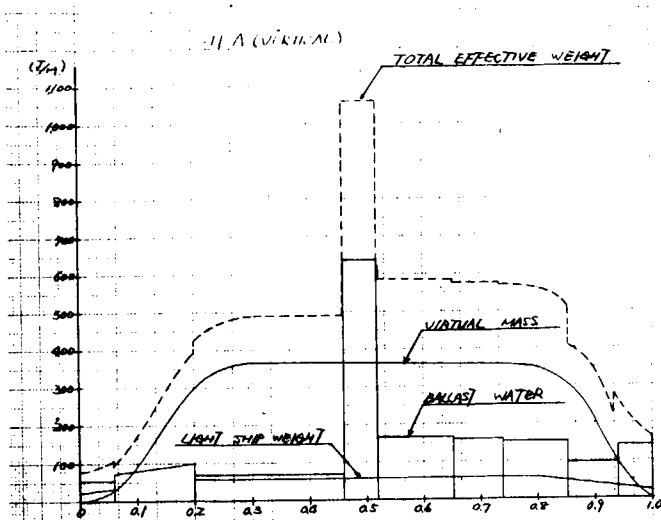


Fig.4.5(1) Weight Distribution Curves

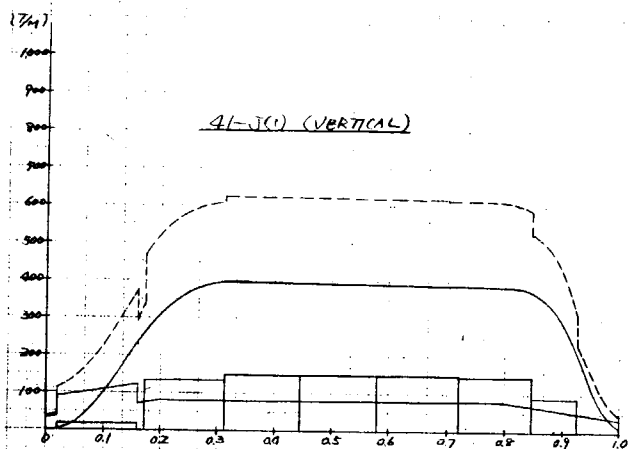
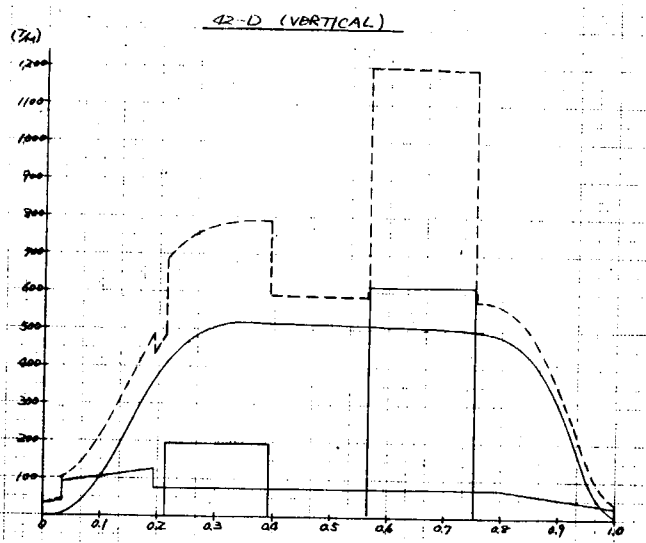
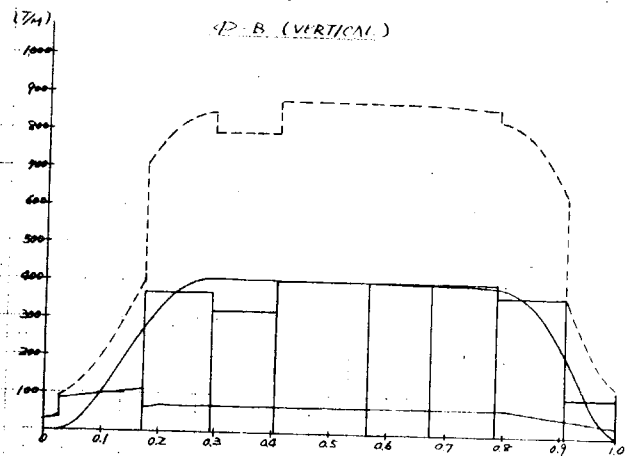
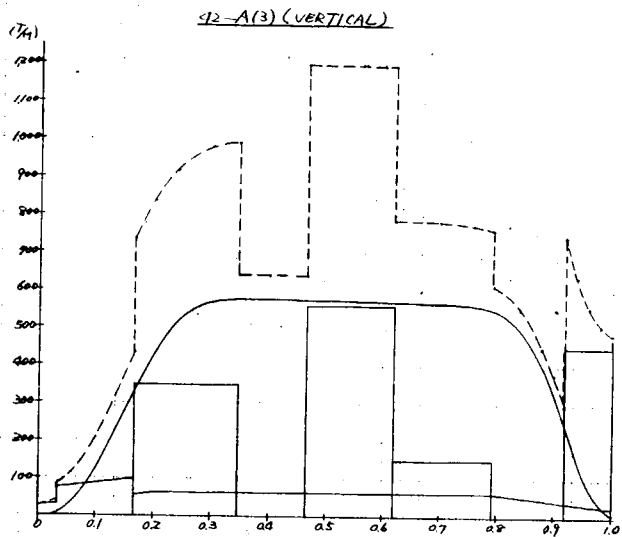
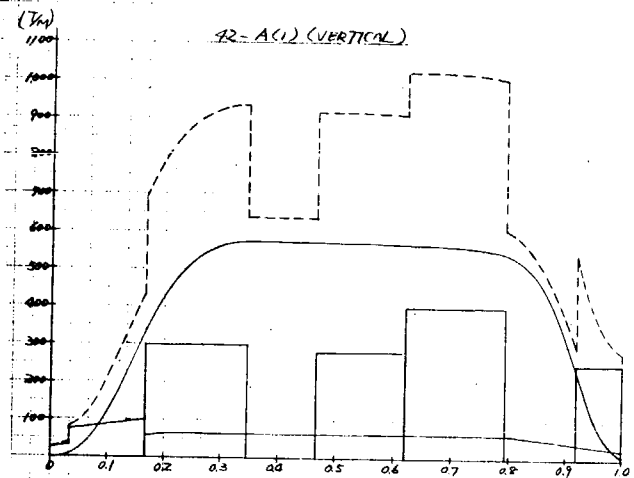
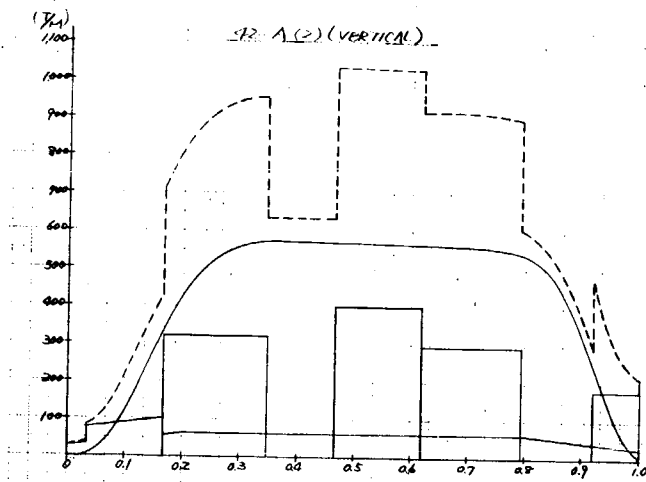


Fig.4.5(2) Weight Distribution Curves

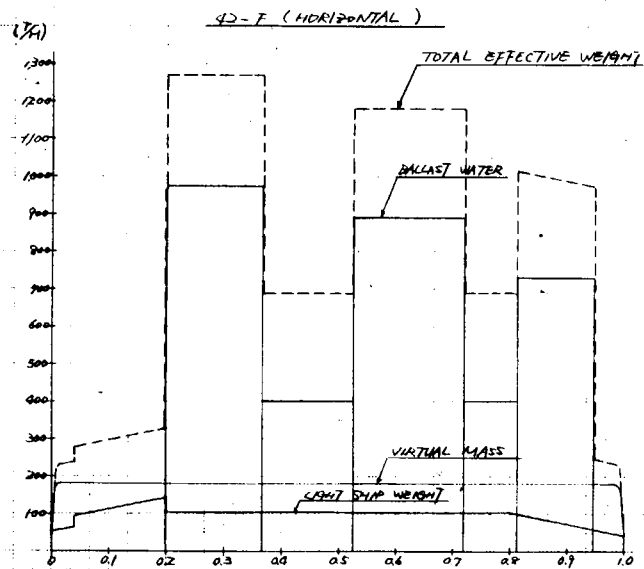
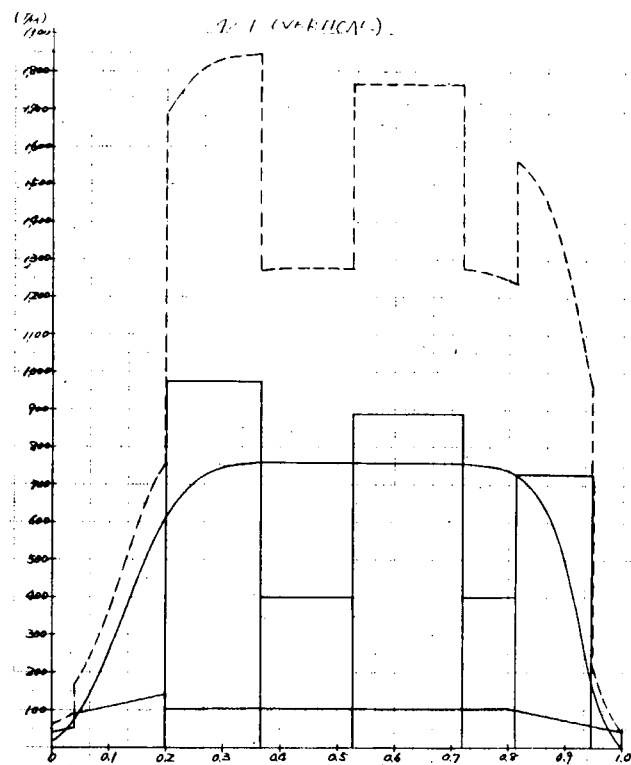
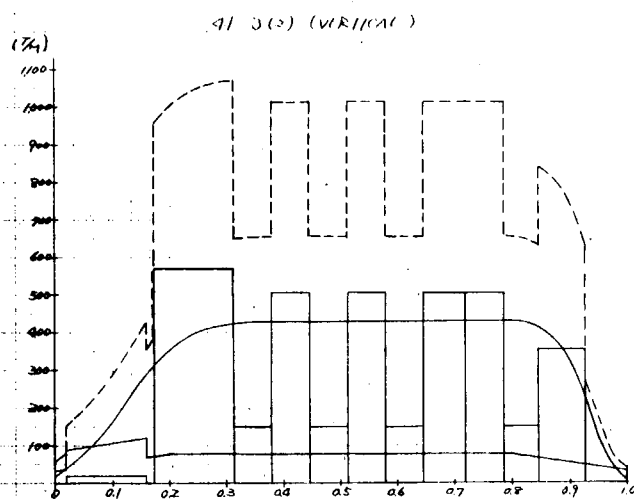


Fig.45(3) Weight Distribution Curves

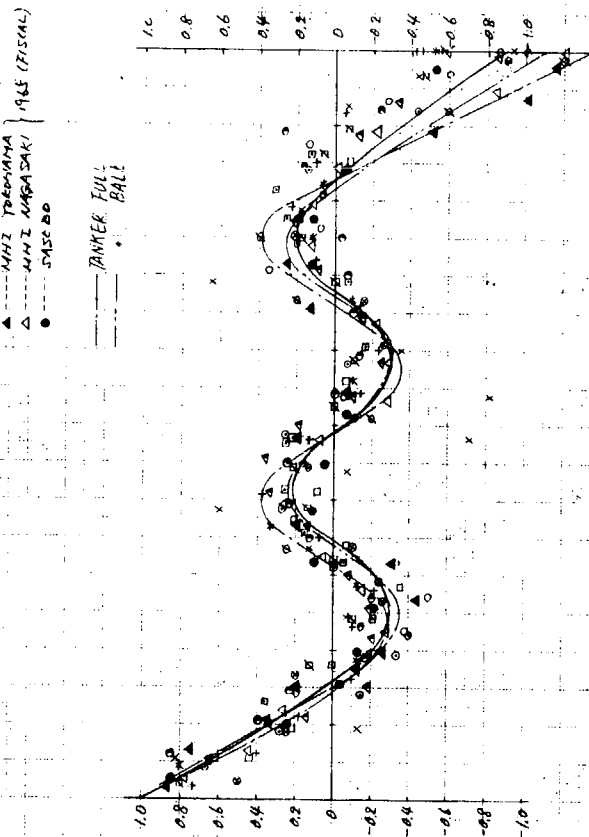
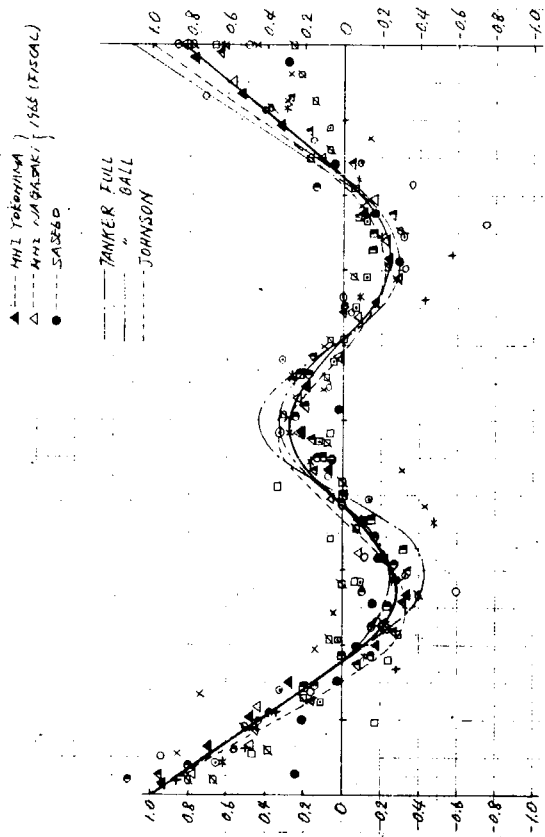
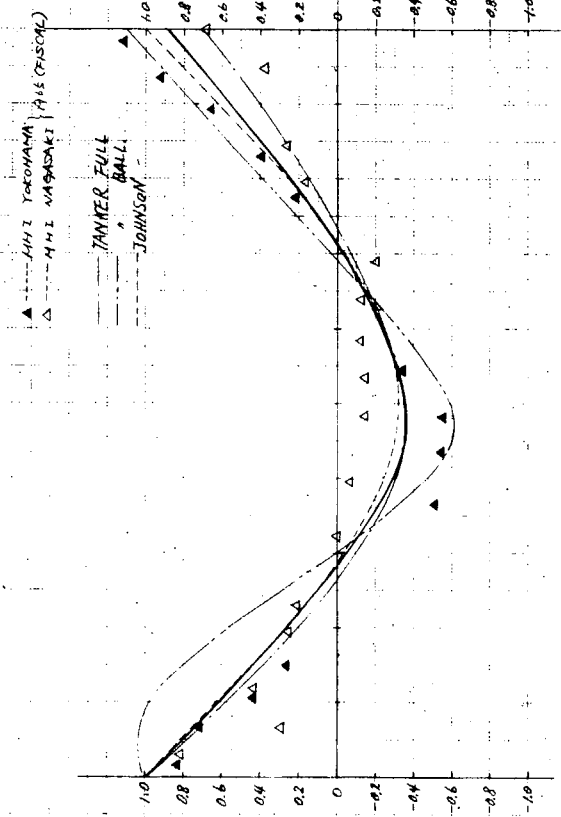


Fig.4.6(1) Mode Curves of Vertical Vibration

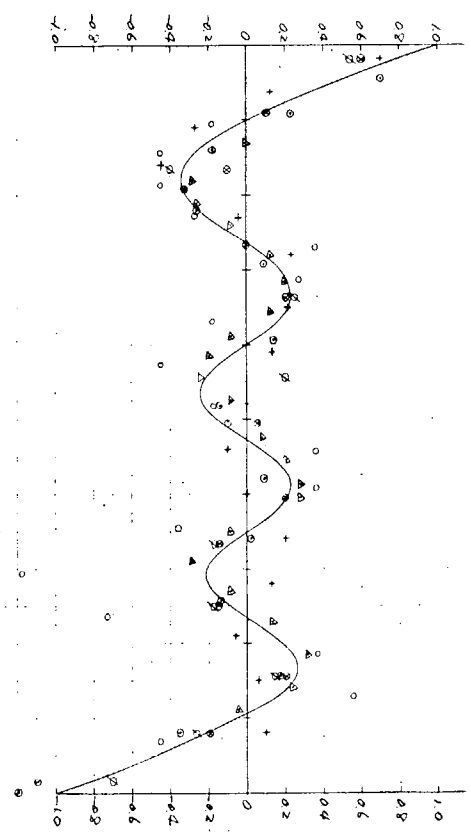
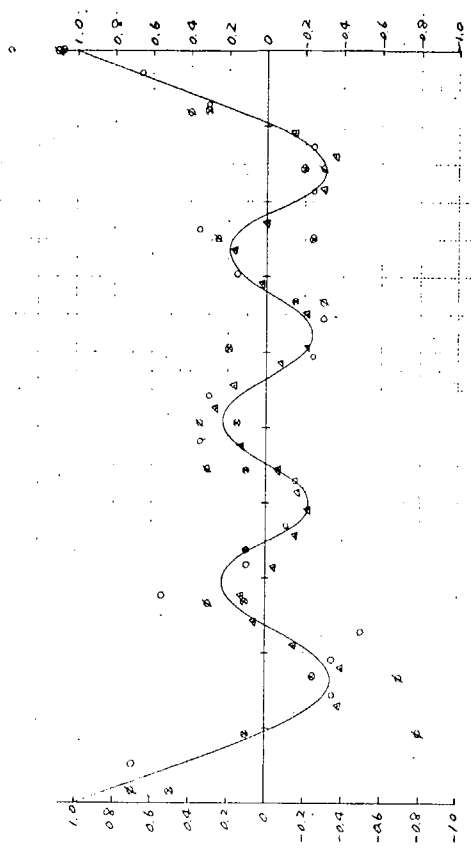
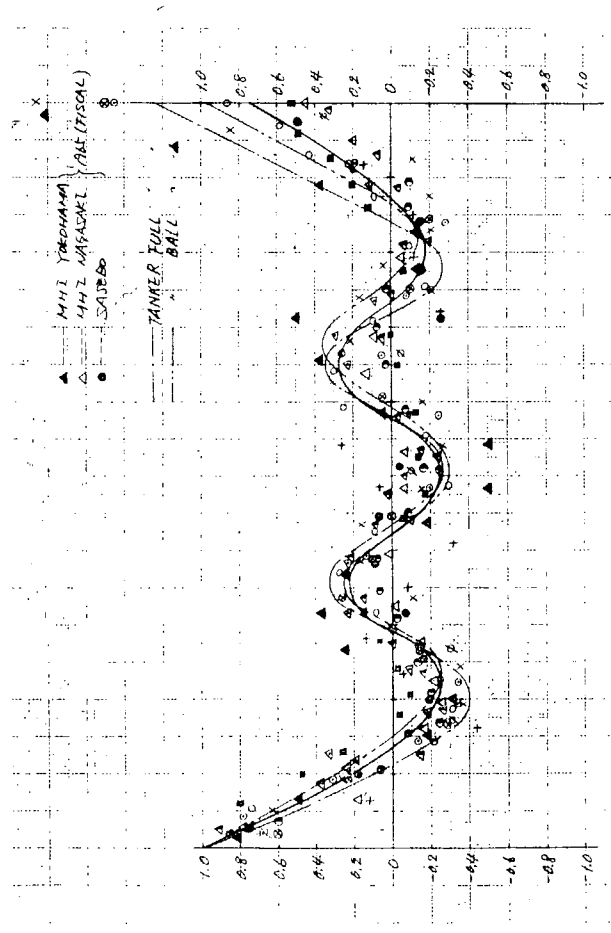


Fig. 4.6(2) Mode Curves of Vertical Vibration

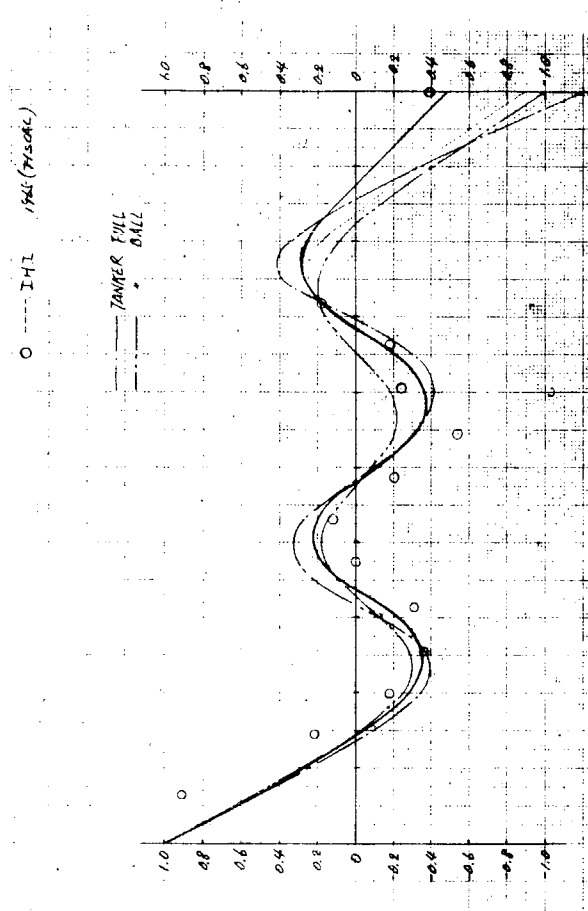
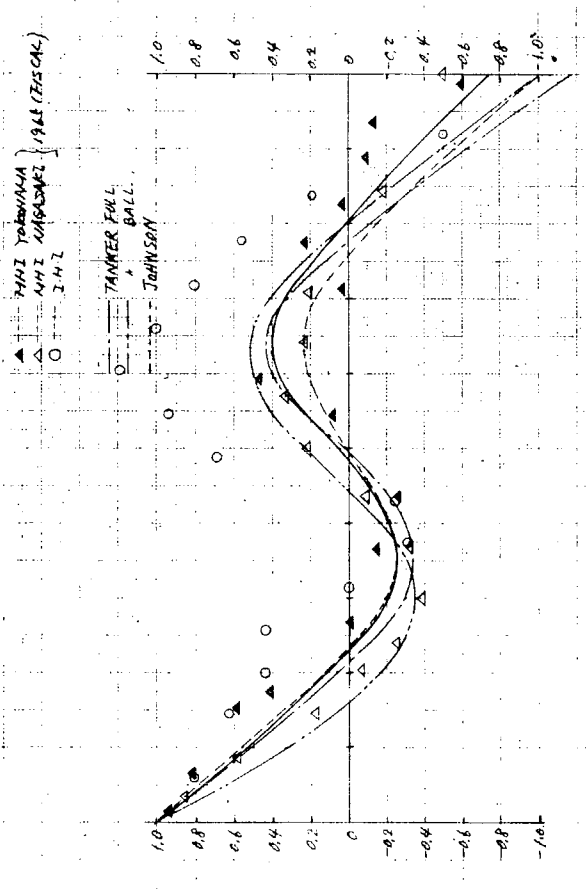
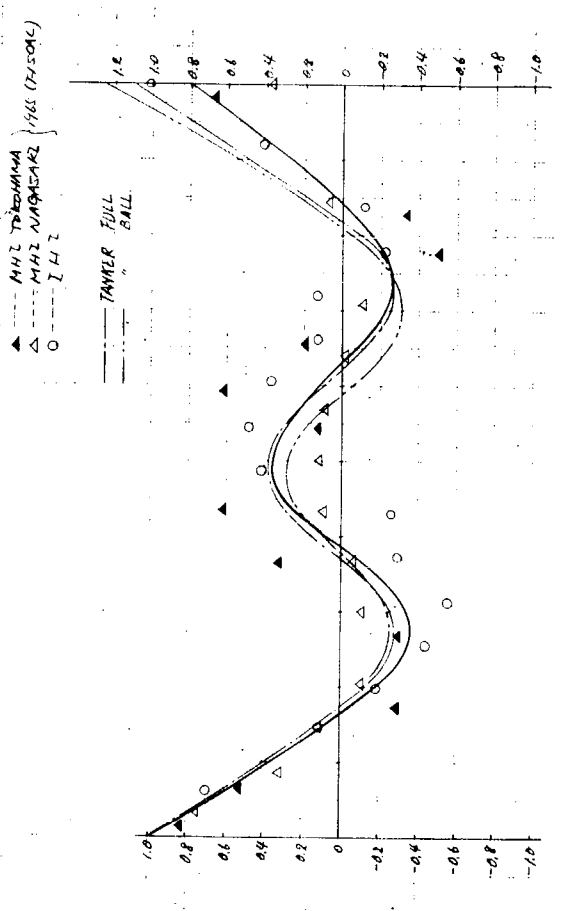
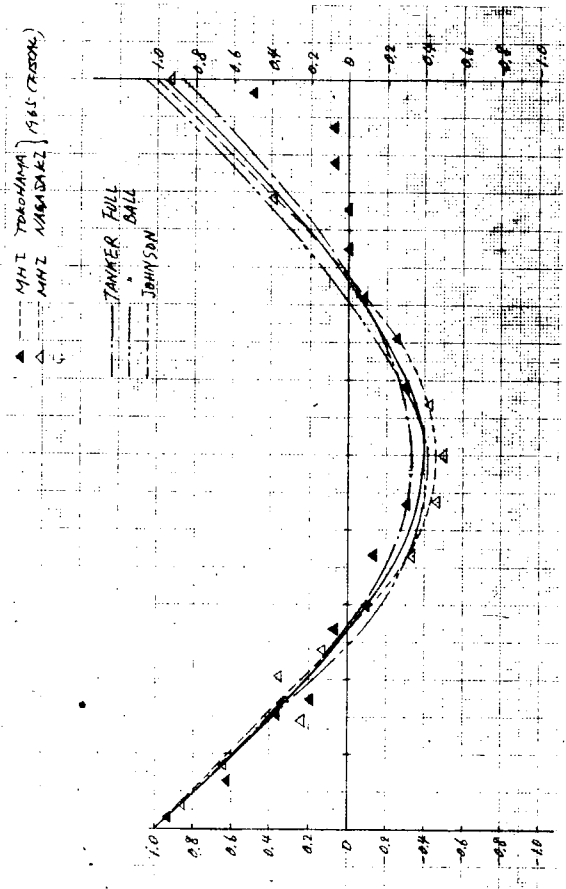


Fig. 4.7 Mode Curves of Horizontal Vibration

5. 巨大船のNon-Beam Vibration

5.1 緒 言

船体上下振動の高次振動において見受けられる、いわゆるNon-Beam Vibrationを検討するため、これまで各造船所で実施された実験値と梁理論による計算値の比較、およびNon-Beam Vibrationについての一計算例について述べる。

5.2 船体上下振動の梁理論による計算値と実測値との比較

各社で建造された比較的新しい14隻の船舶について、電子計算機による船体上下振動数およびモードの計算を実施し、実測値との比較検討を行なった。インプット・データの作成は各社より自社船について作成していただいた。計算値と実測値との比較検討に際しては、使用した計算方法の単なる精度の検討になることを避け、ある1つの梁理論による計算手法を通して、船体振動の特徴を把握することに努め、船種別による相違の検討、剛性および重量分布の影響等を検討した。

5.2.1 計算方法

計算方法は文献(1)の方法によった。供試船のインプット・データの詳細については文献(2)に述べられている。

5.2.2 計算供試船要目および計算結果と実測値の比較

供試船は各社建造のO/T 5隻、O/C タイプ6隻、B/C タイプ3 隻の計14 隻である。主要目は計算結果、実測値と共にTable 5.1に示している。なお供試船は文献(3)、(4)よりえらんだ。

5.2.3 検 討

Table 5.1 に示した計算振動数と実測振動数との比較をFig. 5.1に示す。Fig. 5.1は船種をO/T、O/C タイプおよびB/C タイプの3 つに大別して実測振動数と計算振動数との比(以下実験係数と呼ぶ)を示している。各船種別にその特徴を検討した結果を以下に述べる。

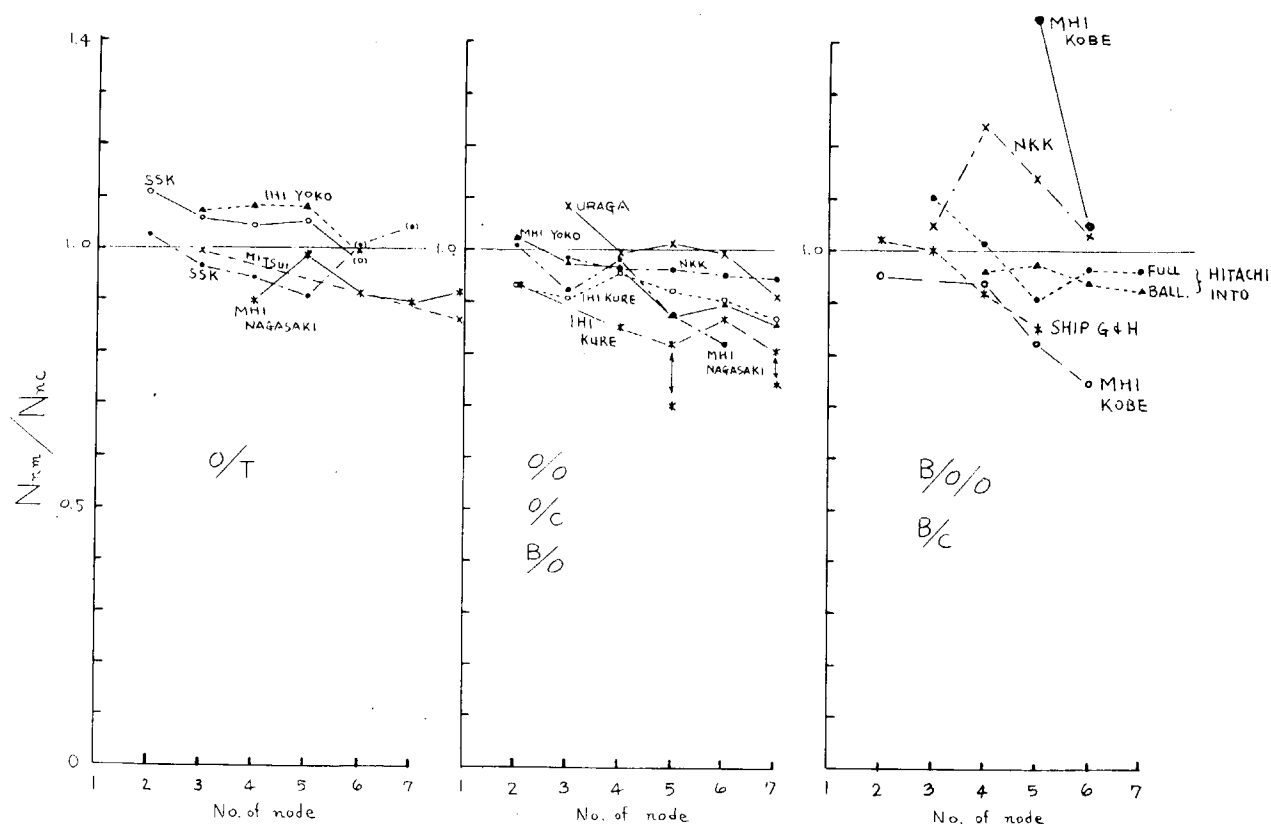


Fig. 5.1 A Comparison of the Measured and the Calculated Frequencies

Table 5.1 供試船要目、計算結果および実測結果

船種	建造 造船所名	D.W. (ton)	Lpp × B × D (m)	I _{ov} (m ⁴)	A _{ov} (m ²)	Full Load		Test		分割 数	計測 点数	実測の 種類	水深 (m)
						dm (m)	△ (ton)	dm (m)	△ (ton)				
O/T	佐世保	67,985	229.0×35.2×16.6	245	208	12.04	81,135	12.03	80,800	58	16	S	7.0
O/T	佐世保	89,114	237.0×38.9×18.0	238.4	228	13.71	105,823	13.05	98,710	58	14	S	7.0
O/T	三井 玉野	73,210	225.0×37.2×18.6	271.9	1,445	12.50	87,430	12.47	87,600	50	9	S	6.0
O/T	I H I 横浜	153,685	290.0×47.5×24.0	881.26	2,751	16.0	182,567	8.81	96,500	48	13	E	25.81
O/T	M H I 長崎	156,700	285.0×48.2×23.5	810	1.86	16.3	187,213	8.69	94,900	45	71	E	2.0
O/C	N K K 鶴見	106,100	252.0×38.0×21.0	399.76	1,900	15.4	123,690	38'-11 1/2"	91,210	51	21	E.S	5.0以上
O/C	M H I 横浜	55,880	210.0×32.7×17.8	211.22	1,298	12.00	67,000	7.22	38,896	50	20	E.S	4.0
O/C	浦賀	37,300	183.0×29.5×14.9	115.5	0.707	10.06	45,207	4.81	20,340	20	12	E	5.0
O/O	I H I 呉	96,200	244.03×39.94×20.60	388.3	1.52	14.49	114,550	7.34	54,480	50	19	E.S	KURE BAY 2.6 (HIROSHIMA) BAY 3.6
O/O	M H I 長崎	52,000	208.0×32.2×16.4	242	1.237	12.14	66,500	7.92	39,400	44	21	E.S	1.6
B/O	I H I 呉	140,000	286.5×43.3×24.7	853.4	3.59	16.46	172,887	8.664	87,200	50	19	E.S	OFF NAGAHAMA 5.5 OFF SADAMISAKI 7.0
B/C	M H I 神戸	54,390	211.0×31.8×17.5	190.65	0.665	11.53	65,400	5.515	29,150	44	47	E.S	5.0
B/C	N K K 鶴見	62,800	236.22×31.85×18.75	240.3	1.930	11.97	75,931	7.16	43,839	48	22	E	OFF YOKOHAMA 5.0以上
B/O/O	日 因立島	74,107	240.0×32.3×18.9	320.4	23.69	13.95	92,240	13.888	92,240	50	14	E.S	3.3
"	"	"	"	"	"	"	"	6.903	43,038	"	"	"	"

計算振動数と実測振動数の比較								備 考	文 献
注	2node	3node	4node	5node	6node	7node	8node		
実測値(217)はモードなし	40.6 44.8 1.105	85.1 90.0 1.055	129.1 134.5 1.041	181.9 190.0 1.047	222.9 (217) (0.978)	273.0	316.2	起振器実験(B'st)は浅水影響がある(水深10m d m 6.2m) N _{v3} =84 N _{v4} =127 N _{v5} =181 N _{v6} =229	JSSC
(220)(280.2)のモードは推定	40.3 41.4 1.026	85.1 82.2 0.965	130.2 123.0 0.943	176.9 160.2 0.905	219.2 (220.2) (1.005)	269.0 (280.2) (1.042)	308.7		SR-94
実測値はモードなし	44.3	95.7 (95) (0.992)	153.1	212.2	263.9	322.6	379.8 (328) (0.864)		JSSC
実測値はモードなし 浅水影響2%	32.6	75.6 81 1.071	113.4 123 1.082	153.8 156 1.08	191.4 191~196 0.996~1.022	231.7	263.8		JSSC
浅水影響4~5%	35.2	74.9	11.6 104 0.897	160 158 0.988	199 182 0.915	243 218 0.897	280 257 0.918		SR-94
()内Sea Trial	41.3	90.8 89 (88) 0.98	141.9 137 0.965	191.5 184 0.960	240.7 229 0.950	290.5 275 0.946	342.0 303 (300) 0.900		SR-94
()内Sea Trial	58.8 60.0 (57.6) 1.020 (0.981)	123.4 120 (116.6) 0.973 (0.945)	204.4 196 0.960	268.1 234 0.871	346.8 310 0.895	421.6 360 0.855			JSSC
()内モードなし	64.8	130.4 (141) (1.082)	211.5 210 0.993	281.3 285 1.011	348.4 (346) (0.993)	419.6 (382) (0.912)	493.5		SR-94
浅水影響1~2% ()内Sea Trial	52.0 (483) (0.929)	105.7 95.5 0.903	167.8 160 0.955	226.9 208 (210) 0.918 (0.926)	285.7 257 0.90	335.7 290 0.865	396.9 352 0.888		SR-94
浅水影響7~8%	56.5 57 1.009	122 112 0.918	185 181 0.978	258 225 0.872	321 262 0.816	385	450		JSSC
船底振動あり ()内Sea Trial 5, 7節2コ	49.7 (46.1) (0.927)	102.5	174.1 148 0.85	244.7 199.171 0.814 0.698	312.0 270 (269) 0.867 (0.867)	379.7 280 (303) 0.738 (0.798)	(347)		SR-94
5節、6節2コづつ 船底振動あり 高い方は船底逆相 ()内Sea Trial	48.5 46 (51.2) 0.949 (1.055)	102.1	157.3 147 (143.8) 0.935 (0.915)	216.2 313 177 (177.2) 0.819 1.443 (0.819)	273.0 286 202 (203) 0.74 1.049 (0.74)	324.0	388.0		SR-94
	41.7	88.8 93 1.048	135.8 168 1.24	179.6 204 1.138	233.5 238 1.03	275.9	326.0		SR-94
()内モードなし 浅水影響4~5%	38.5	79.0 (87.0) (1.10)	118.7 120 1.012	163.2 147.8 0.905	210.4 203.0 0.965	244.9 235.0 0.96	291.0 273.0 0.94		SR-94
()内モードなし	47.3	98.3	151.4 (145.0) (0.96)	201.2 196.0 0.973	258.2 242 0.937	305.2 282 0.924	355.3 320 0.900		SR

(a) O/T

O/Tの実験係数は1近傍にあつて、その平均値は2節振動で1よりやや大きい程度である。高次振動になると、モードを正確に把握した実測データは少なくなるが、実験係数は節数の増加と共に若干低下の傾向にあると考えられる。なお浅水影響は、文献(5)によつて簡単なCheckを行なつている。(Table 5.1)

またO/Tの高次振動では文献(3)に報告されているように船の幅方向の振動モードが生じており、梁理論の計算値から逸脱しはじめる。

(b) O/Cタイプ

二重底と縦隔壁を有するO/Cタイプの実験係数の値はO/Tの場合よりやや低くなつている。また、節数の増加と共に低下の傾向を示しているが、低下の傾向はO/Tの場合より大きく、船種による相違がうかがわれる。このように、O/Tに比較してO/Cタイプの方が計算値に対して実測値が低く、かつ高次になるとさらに低下する原因として、両船種の構造を考えれば、Hatch Openingの有無がある。Hatch Openingの部分は、曲げ剛性の計算の段階では算入しないことになつているので、上記現象の原因としては、Hatch Openingの有無にもとづくDeck Plateの有効幅の問題と考えられるが、これは今後の要検討事項である。

次に図中、最も実験係数が低いIHI KUREのデータでは5、7節に同節の振動数が2つ現われている。この原因は明らかでないが、実測モード⁽³⁾から船底振動の影響が考えられる。

(c) B/Cタイプ

B/Cタイプの場合が最もバラツキが多い。また、5、6節程度から、実測値が急激に低下する現象があらわれている。なお図中、Ship G&Hは参考用として文献(2)からデータを追加したものである。

B/Cタイプでは船底幅が広く、また、船底に大きな振幅が計測されている⁽³⁾(MHI KOBE)ことや、異つた振動数で同節モードが2回計測されていることなどを考えれば、船底振動の影響が大きいことが考えられる。船底振動の影響は、その船底振動数によつて影響が相違してくるので、B/Cタイプの船種では、梁理論による計算値からの偏差が大きくなるものと考察される。

以上各船種別に振動数について、計算値と実測値との比較を行なつた。振動モードが把握されている6～7節程度以下においても、船種による相違が明らかに現われており、また梁理論による計算の問題点が推察される。

5.2.4 結 論

これらの計算および検討より得られた結論は次のとおりである。

(a) 梁理論の計算に最も近いものはO/Tの低次振動である。

(b) O/Cタイプに対してはO/Tより近似度は低下する。

この原因としてHatch Openingの影響が考えられる。

(c) B/Cタイプでは局部振動(船底振動)の影響がきわめて大きくほとんど梁理論では取扱うことができない。

また、今後Non-Beam Vibrationの問題を明瞭にするため次のような検討事項が必要である。

(a) Hatch OpeningとDeckの有効幅の問題

(b) 船底振動

(c) 付加水の3次元修正係数における節数、浅水の影響

(d) 船体横断面の変形振動

5.3 Non-Beam Vibration の計算例

5.3.1 緒 言

船体を1本の梁と考えた計算は高次振動では適用できないことが前節において検討された。ここでは船体上下方向高次振動数の計算の一例として巨大タンカをとりあげ、これを4本の剪断梁がバネで連結された振動系に置換した方法で

計算した結果を示した。

5.3.2 振動系および計算法

計算の対象とする振動系をFig. 52に示す。また計算法の詳細およびインプット・データの作成については文献(6)に示したとおりである。

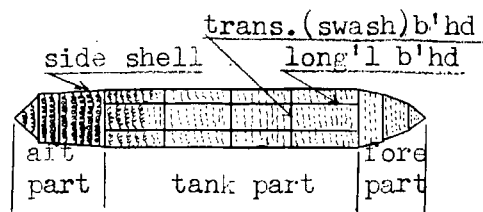


Fig. 5.2 Idealized Model of Super Tanker

5.3.3 供試船要目および計算結果

計算供試船の主要目は次に示すとおりである。

$$L \times B \times D \times d_{full} = 277.35 \text{ m} \times 46.25 \text{ m} \times 23.85 \text{ m} \times 17.12 \text{ m}$$

固有振動数の計算結果を Fig. 5.3 に示す。またこれらに対応するモードの計算結果を Fig. 5.4 (a), (b) に示した。

5.3.4 結 言

これらの計算により得られた結論は次のとおりである。

- (a) 巨大船の Non-beam Vibration は船の幅方向の対称性から船体中心線に関して、モードが対称な振動と逆対称な振動に分けて取扱うことができる。また、それぞれの振動は Side Shell の振動が支配的である型 (S-type) と縦隔壁が支配的である型 (L-type) に分類することができる。
- (b) この4つの型の振動は振動数の低い方から対称型 L-type、逆対称型 L-type、対称型 S-type、逆対称型 S-type の順序で発生する。低次振動では船体を1本の剪断梁と考えた固有振動数と対称型 L-type の固有振動数とがよく一致するが、高次振動になれば、L-type の振動数は縦隔壁だけを1本の梁と考えたものに S-type は Side Shell だけを1本の梁と考えた固有振動数に近づく傾向を示す。

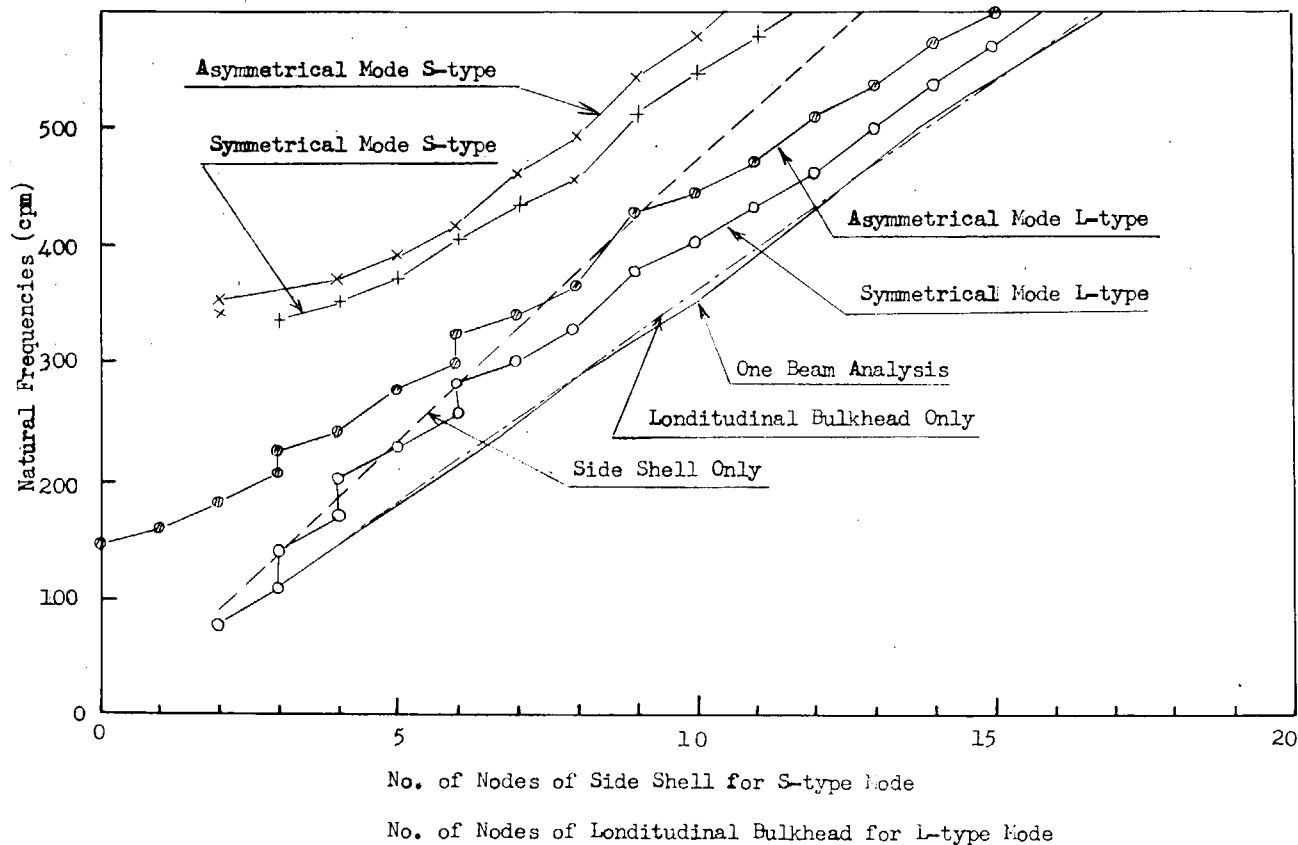


Fig. 5.3 Relation between No. of Nodes and Natural Frequencies

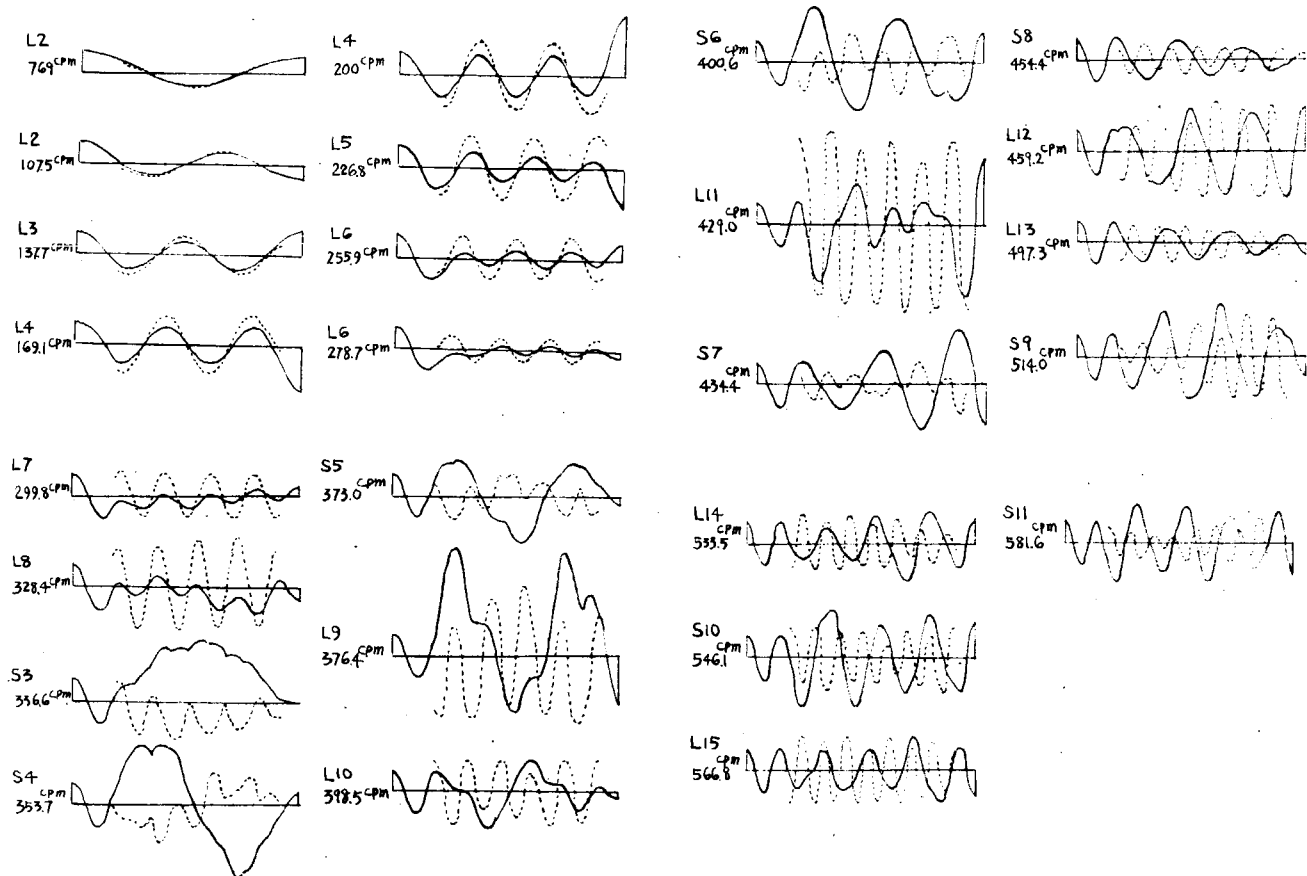


Fig. 5.4(a) Mode Curve of 150,000dwt Tanker
(Symmetrical Mode)

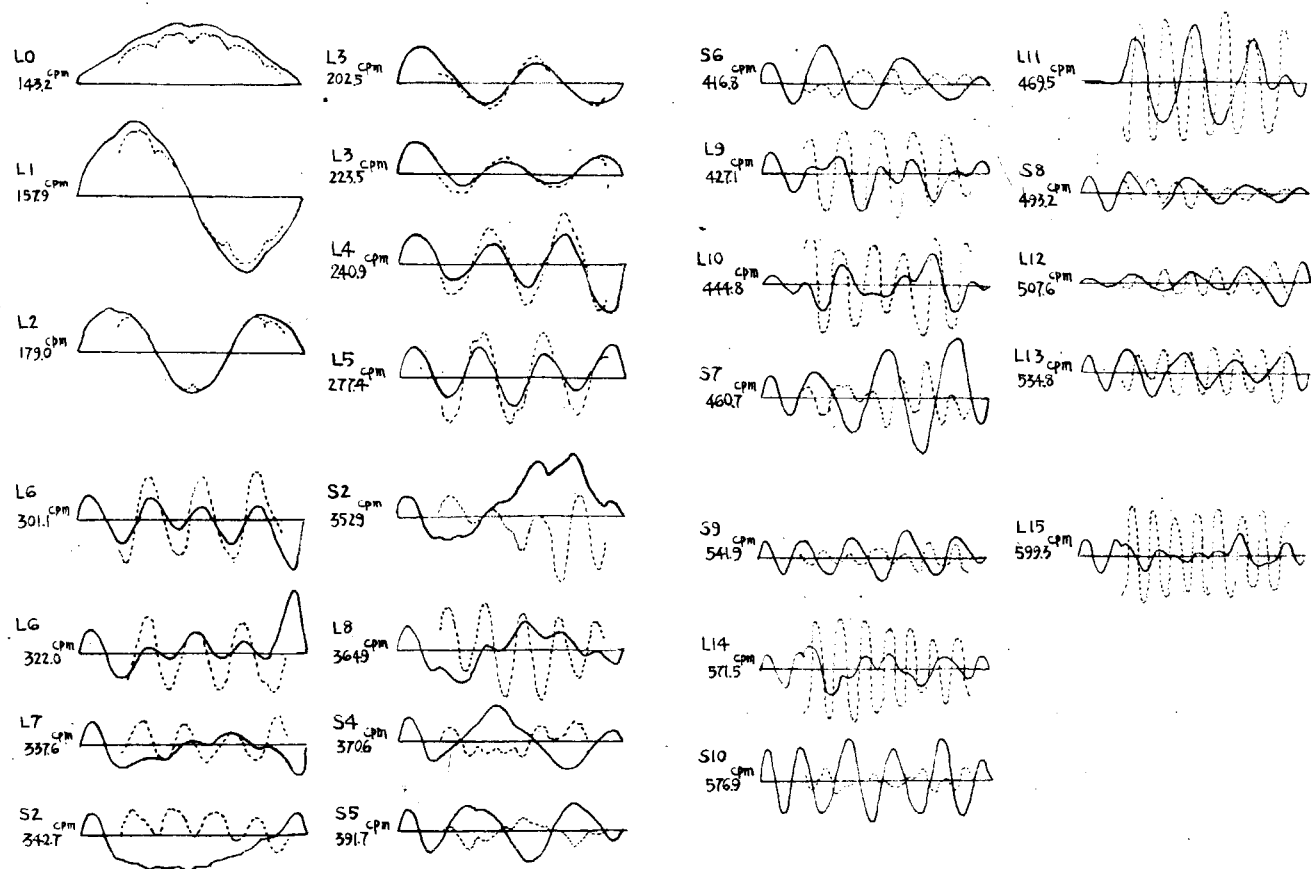


Fig. 5.4(b) Mode Curve of 150,000dwt Tanker
(Asymmetrical Mode)

参 考 文 献

- 1) Ohtaka K., Hibino F., & Ohji M.: A Study of Vertical Vibration of Ships,
(1st report)造船協会論文集第116号
同 上
(2nd report)造船協会論文集第119号
- 2) 三菱重工長崎研究所、船体上下振動の梁理論による計算値と実測値との比較検討、SR-94、V43-6
- 3) 日本造船研究協会編、船体機関の振動防止対策に関する実験研究報告書(その1)、SR-94、A60-1 &
A71-1
- 4) 造船協会編、JSSC振動実験報告書、1966
- 5) Todd F. H., Ship Hull Vibration, 1961
- 6) 広渡智雪、松本互平、箱桁と考えた船体上下振動、SR-94、V37-7
または、松本互平、巨大船のNon-Beam Vibrationについて、造船学会論文集第125号

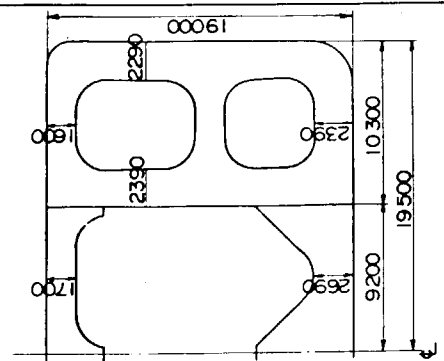
RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

PARTICULARS OF SHIP

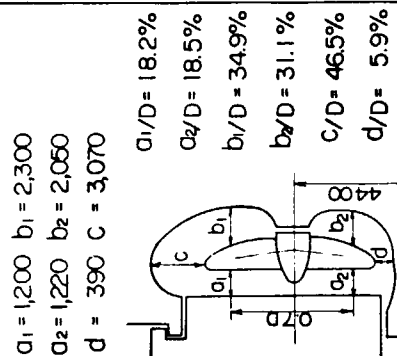
SHIP NO.	43 - A
BUILDER	HITACHI

HULL		MAIN ENGINE		
KIND & TYPE	OIL TANKER FUSH DECKER WITH ROLL	KIND & TYPE	HITACHI B&W 584-VT28-180	
CLASS	NV	NUMBER	1	
CONSTRUCTION	LONG ^L SYSTEM	POSITION OF ENG.	AFT	
Log	278 ^m 00	B H P	MAX CONT 20,700 PS NCR 18,900 PS	
Lpp	264 ^m 00	R P M	112 (NOR.)	
Bmid	39 ^m 00	UNBALANCED FORCE	Fv1	0
Dmid	19 ^m 00		Fv2	0
d full	14 ^m 45		Fh	0
Δ full	125, 820 ^{LT}		Mv1	76.2 T-m
D . W.	105, 000 ^{LT}	UNBALANCED MOMENT	Mv2	41.9 T-m
Cb full	0.8349		Mh	61.2 T-m
MOMENT OF INERTIR	Iv	PROPELLER		
	Ih	NUMBER	1	
WEB AREA	Av	NUMBER OF BLADES	5	
	Ah	DIAMETER	6 ^m 600	

SKETCH OF SECTION



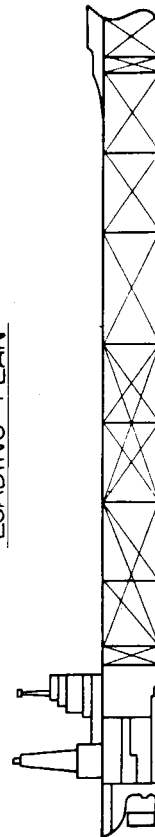
SECTION OF SCREW APERTURE



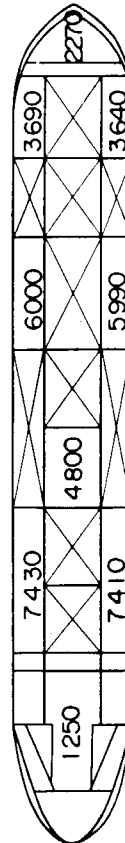
6.1 日立造船計測結果

TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
DATE	JAN.31TH '68	TYPE OF PICK UP	UNBOUND TYPE U-GAUGE ACC.
PLACE	OFF SASIMA	NO. OF MEAS. PTS.	36
WEATHER	RAIN	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SMOOTH	TYPE OF EXCITER	UNBALANCED FORCE TYPE
DEPTH OF WATER	15 ^m	MAX. EXCIT. FORCE	2 TON (ENG. EXCIT.) 10 TON (HULL EXCIT.)
Δ test	61,850 ^{LT}	DIRECT. OF EXCIT.	VERTICAL ATHWART, LONG ⁺
df	6 ^m 23	OTHER DESCRIPTIONS	
da	9 ^m 13		
dm	7 ^m 68		
PROPELLER IMMERSION	72 %		
	151 %		

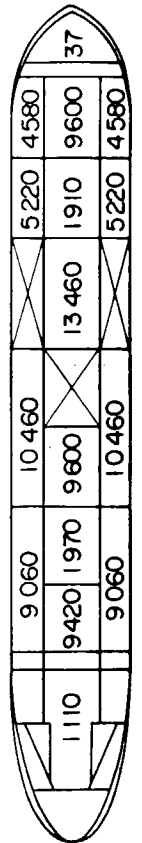
LOADING PLAN



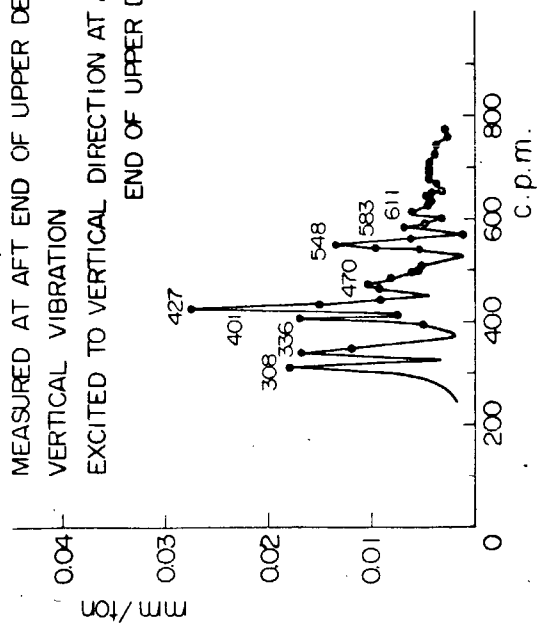
BALLAST CONDITION



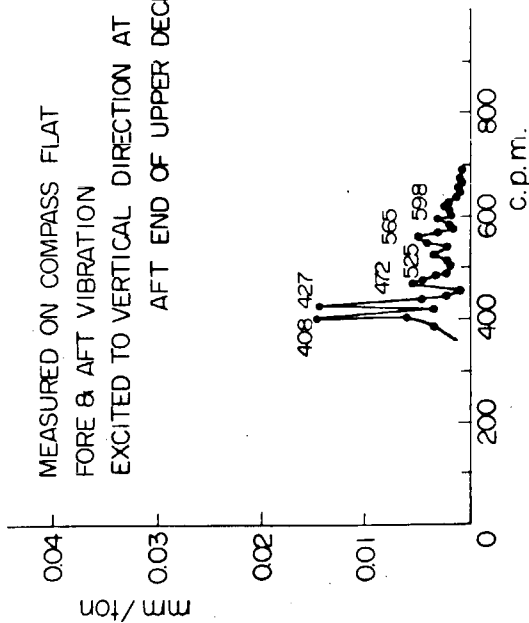
FULL LOAD CONDITION



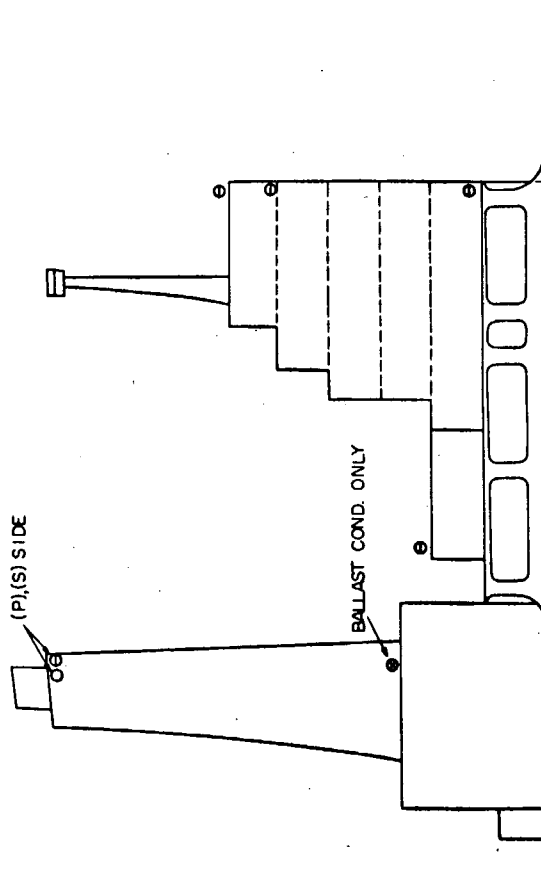
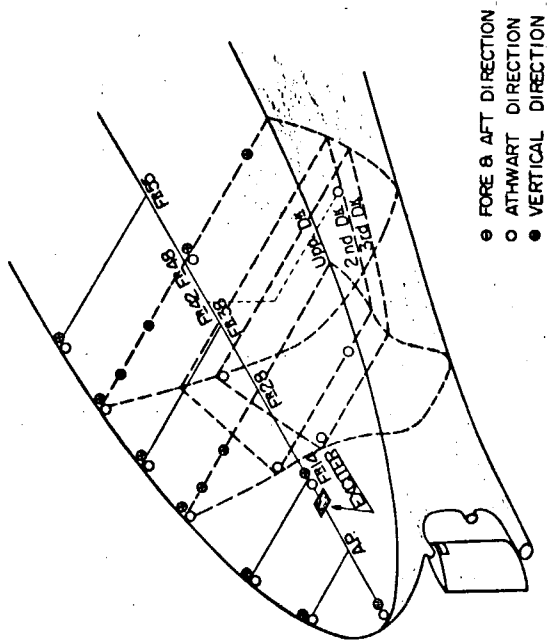
MEASURED AT AFT END OF UPPER DECK
VERTICAL VIBRATION
EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT AFT
END OF UPPER DECK



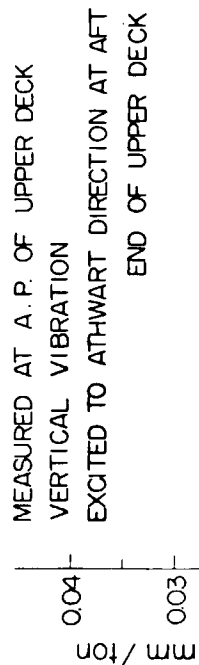
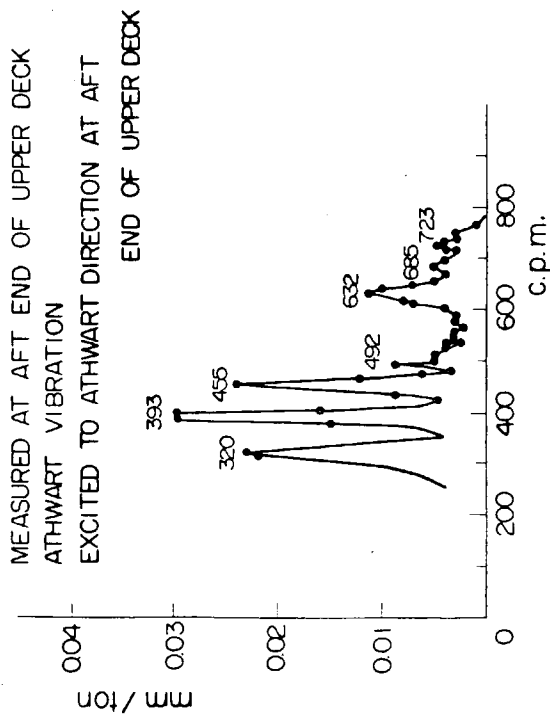
MEASURED ON COMPASS FLAT
FORE & AFT VIBRATION
EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT
AFT END OF UPPER DECK



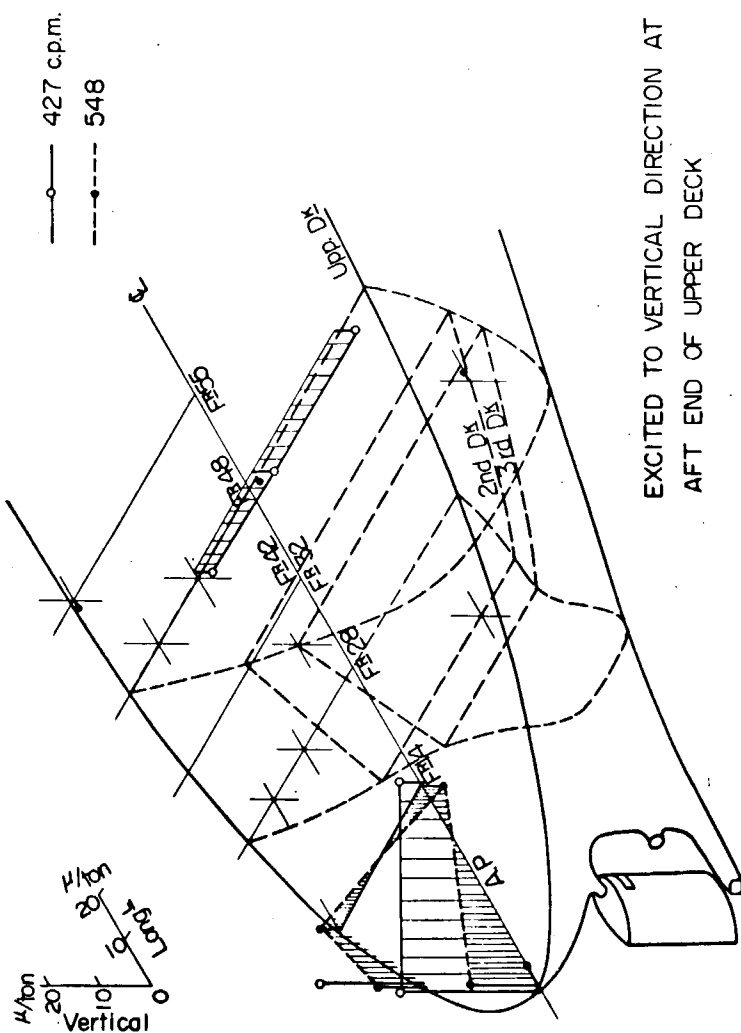
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION, WITH BRACING)



MEASURING POINTS



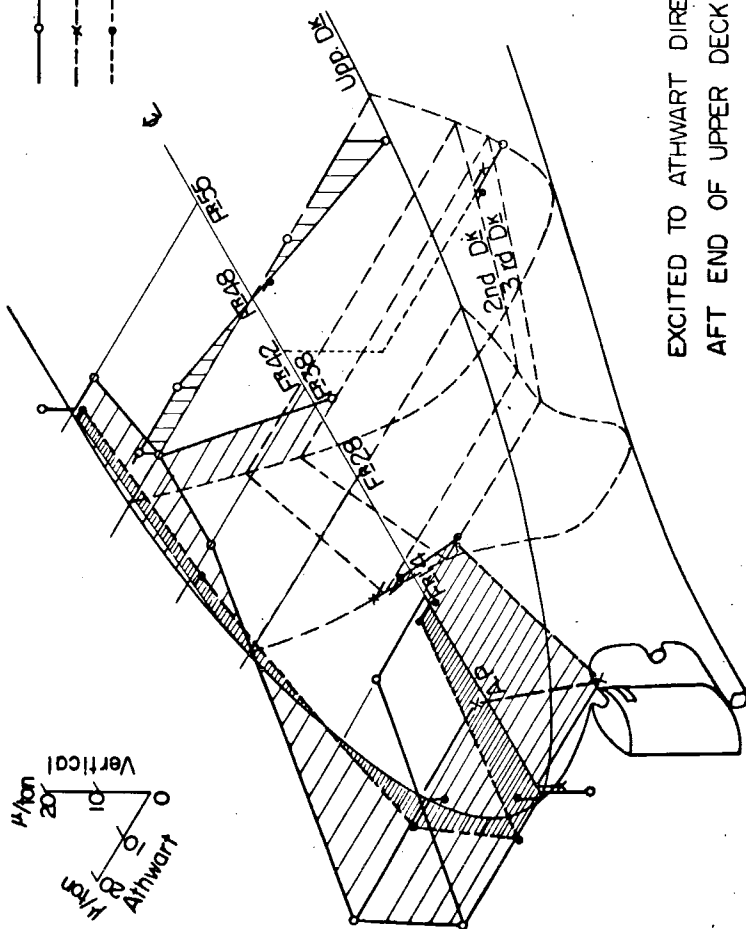
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION, WITH BRACING)



EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT
AFT END OF UPPER DECK

MODE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION, WITH BRACING)

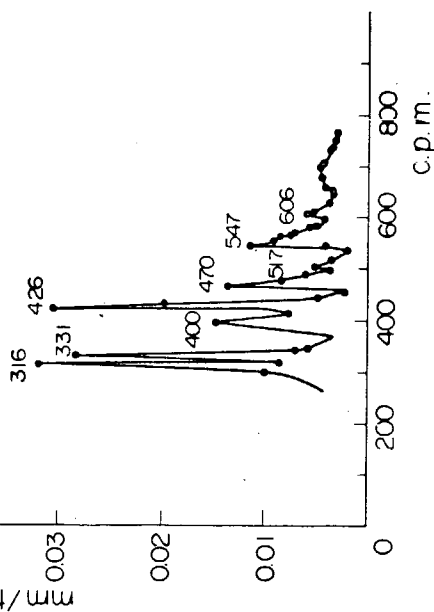
—○— 393 c.p.m.
 - - - x - - - 456
 - - - ● - - - 632



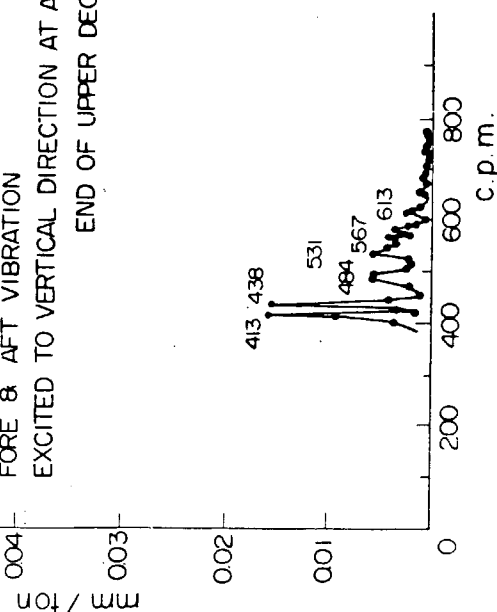
EXCITED TO ATHWART DIRECTION AT
 AFT END OF UPPER DECK

MODE CURVE OF EXCITER TEST
 (BALLAST CONDITION, WITH BRACING)

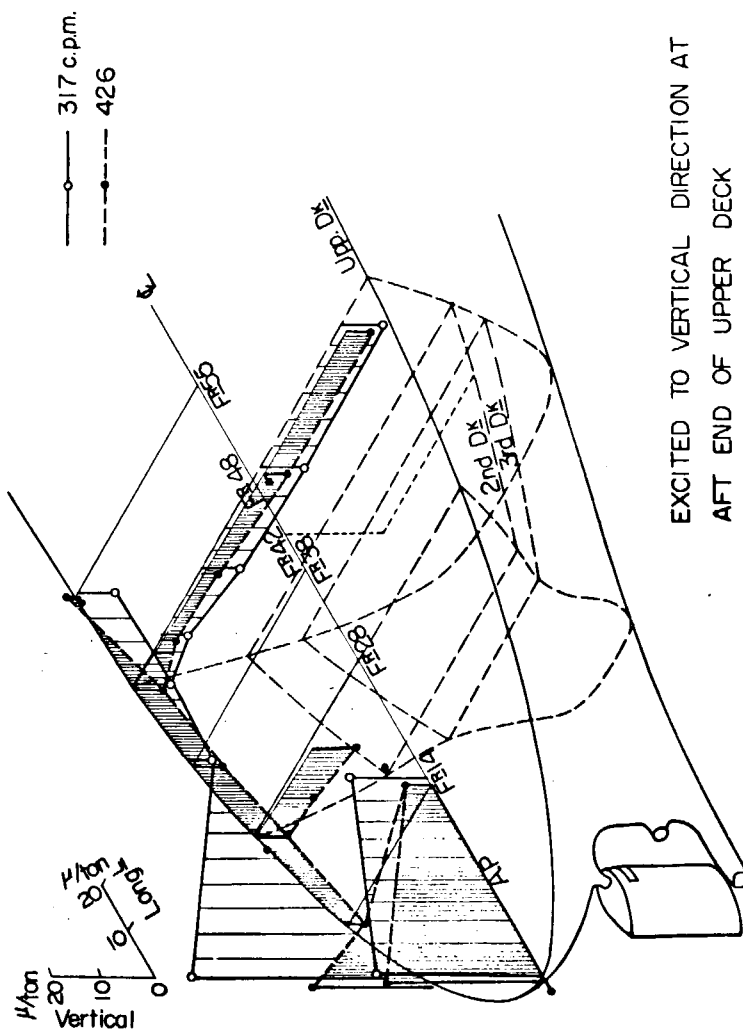
MEASURED AT AFT END OF UPPER DECK
 VERTICAL VIBRATION
 EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT AFT
 END OF UPPER DECK



MEASURED ON COMPASS FLAT
 FORE & AFT VIBRATION
 EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT AFT
 END OF UPPER DECK



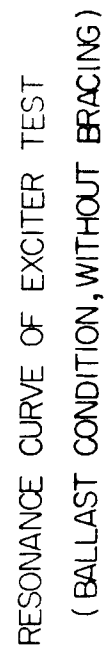
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
 (BALLAST CONDITION, WITHOUT BRACING)

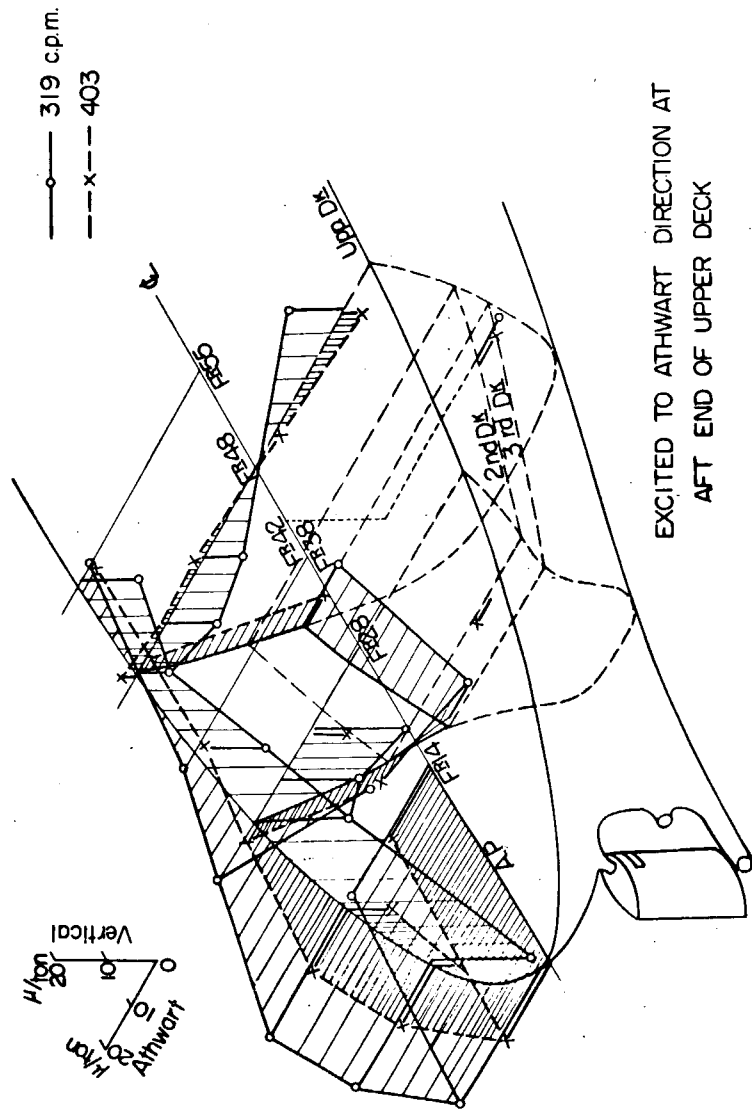


EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT
AFT END OF UPPER DECK

MODE CURVE OF EXCITER TEST

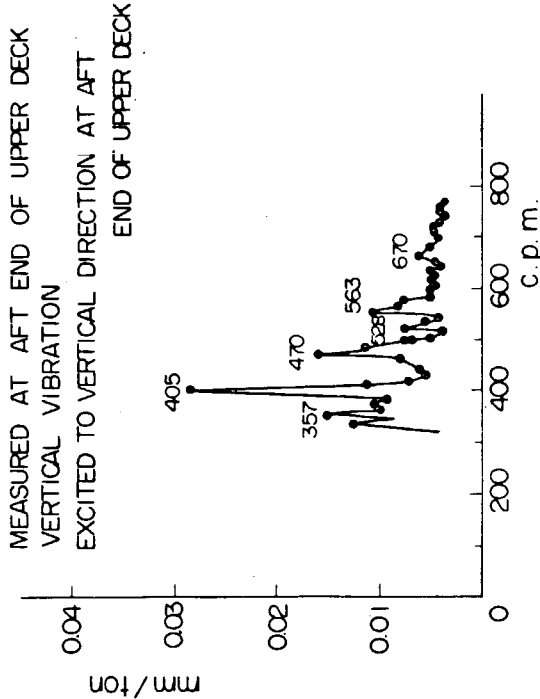
((BALLAST CONDITION, WITHOUT BRACING)



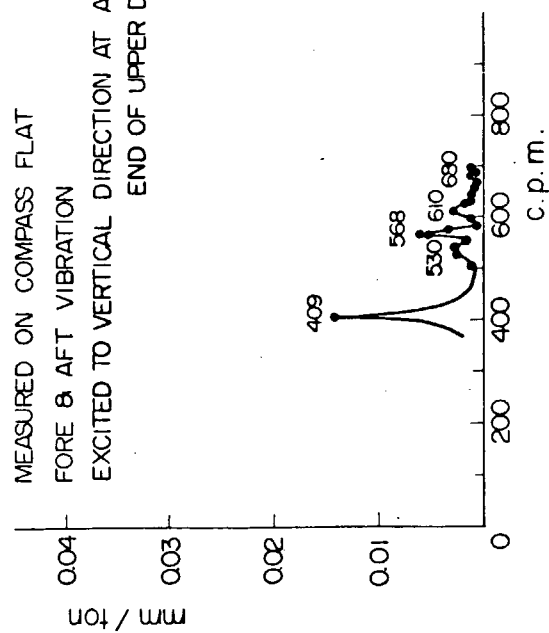


EXCITED TO ATHWART DIRECTION AT
AFT END OF UPPER DECK

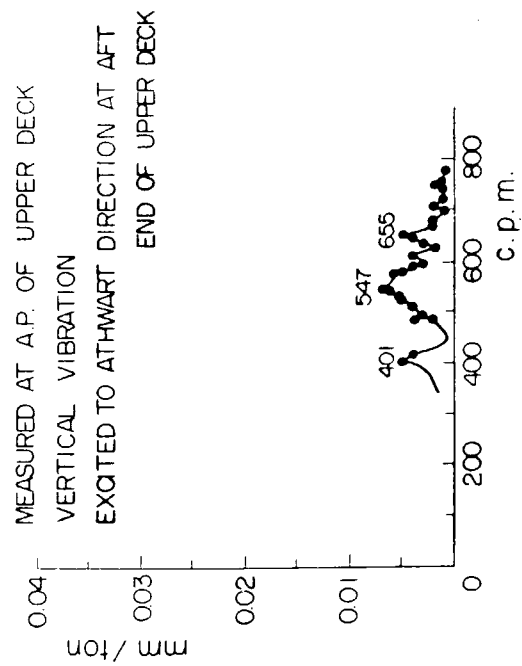
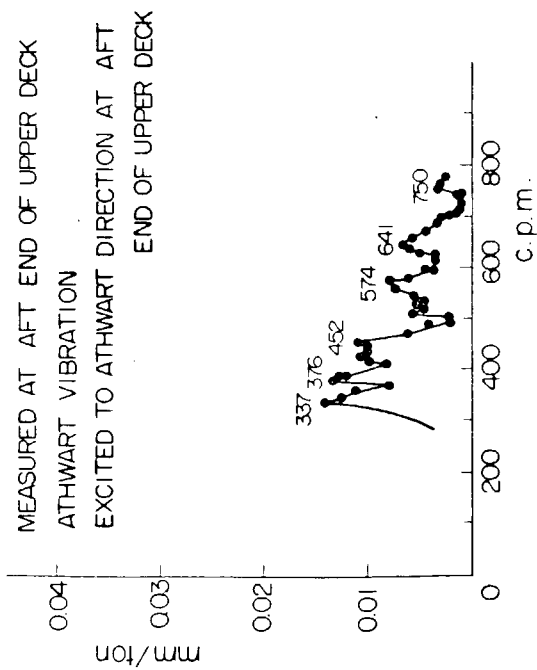
MODE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION, WITHOUT BRACING)



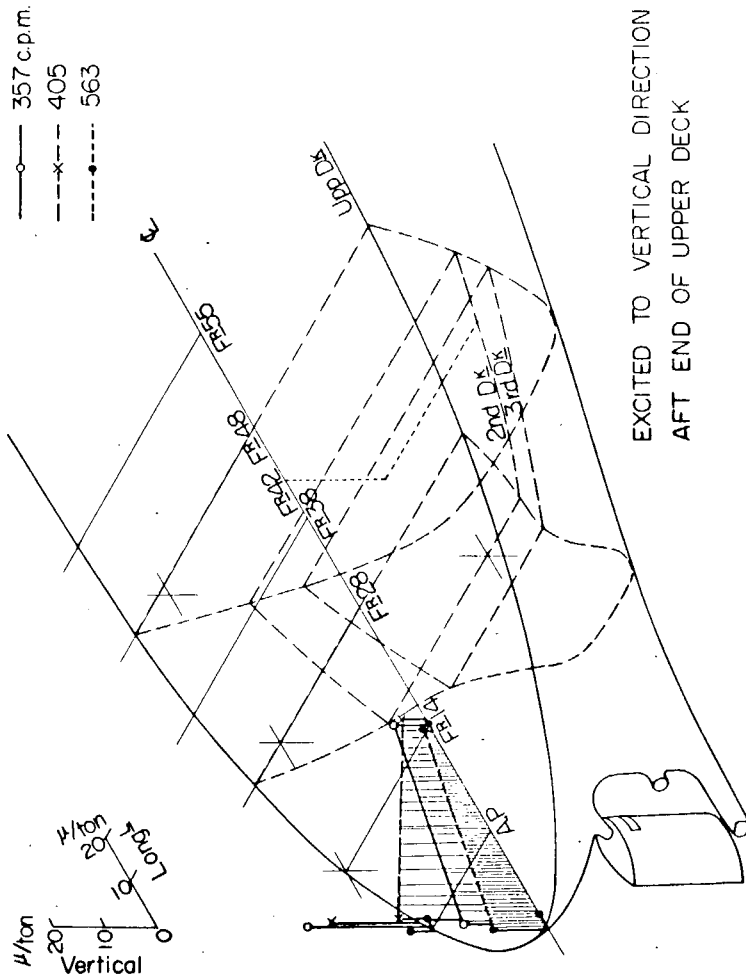
MEASURED ON COMPASS FLAT
FORE & AFT VIBRATION
EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT AFT
END OF UPPER DECK



RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITHOUT BRACING)



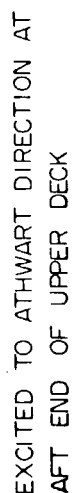
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITHOUT BRACING)



EXCITED TO VERTICAL DIRECTION AT
AFT END OF UPPER DECK

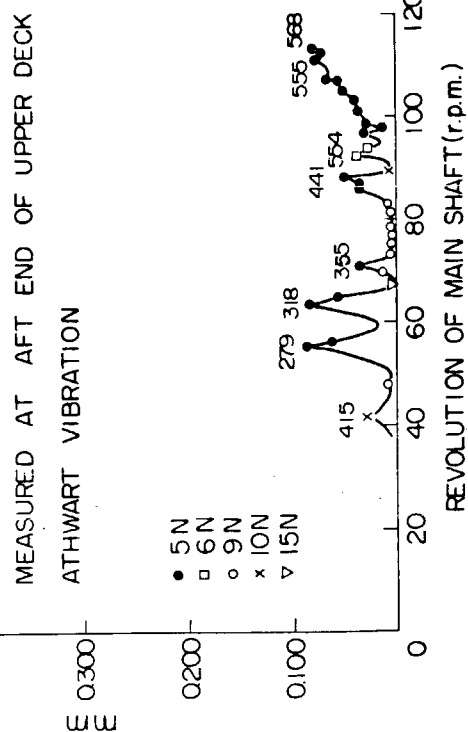
MODE CURVE OF EXCITED TEST

(FULL LOAD CONDITION, WITHOUT BRACING)



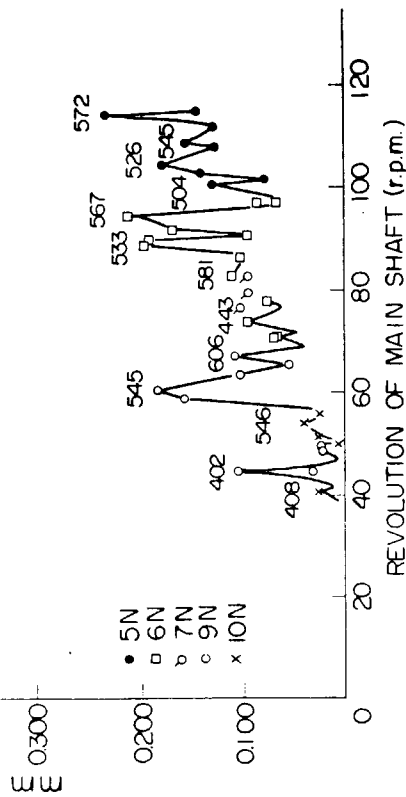
MODE CURVE OF EXCITER TEST

(FULL LOAD CONDITION, WITHOUT BRACING)

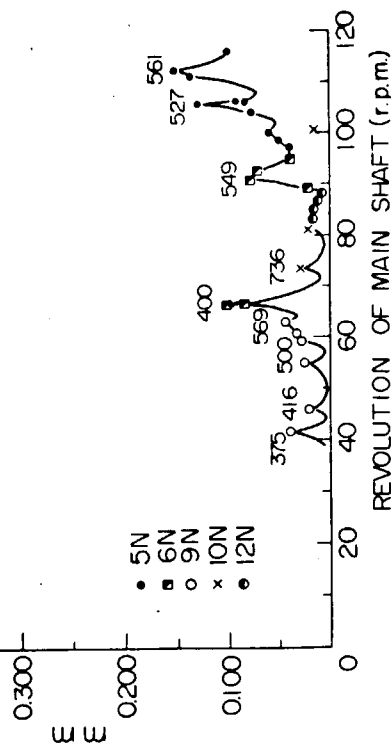


RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(BALLAST CONDITION, WITH BRACING)

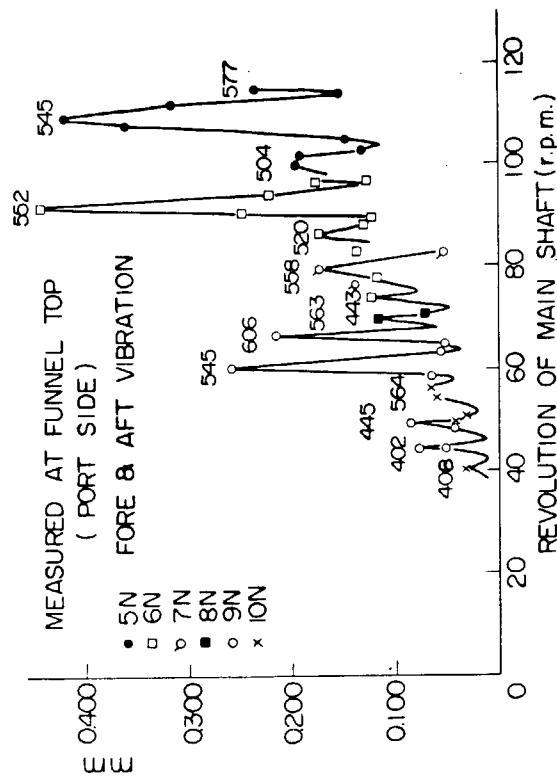
MEASURED ON COMPASS FLAT
FORE & AFT VIBRATION



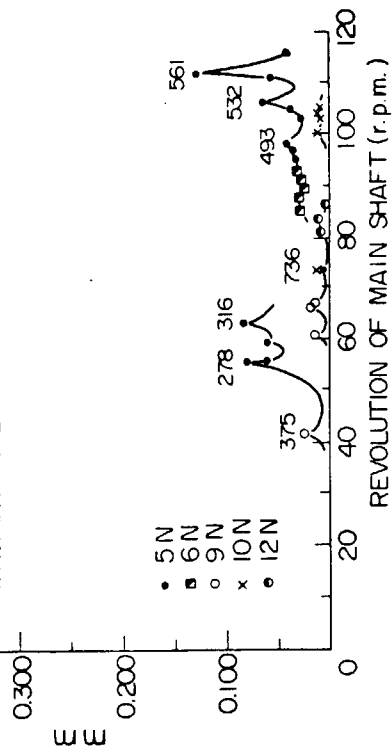
MEASURED AT AFT END OF UPPER DECK
VERTICAL VIBRATION



MEASURED AT FUNNEL TOP
(PORT SIDE)
FORE & AFT VIBRATION



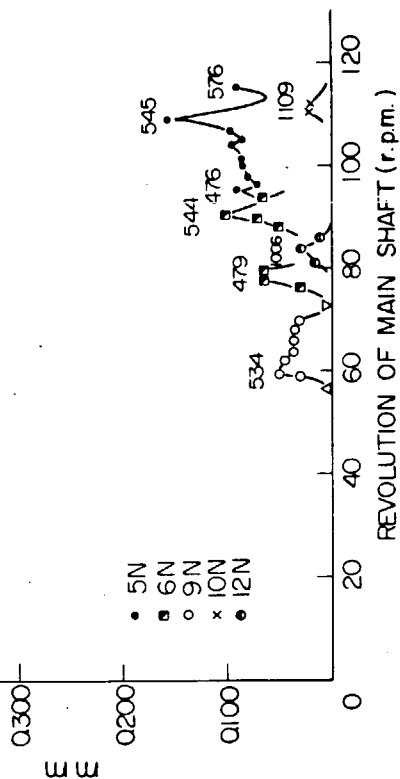
MEASURED AT AFT END OF UPPER DECK
ATHWART VIBRATION



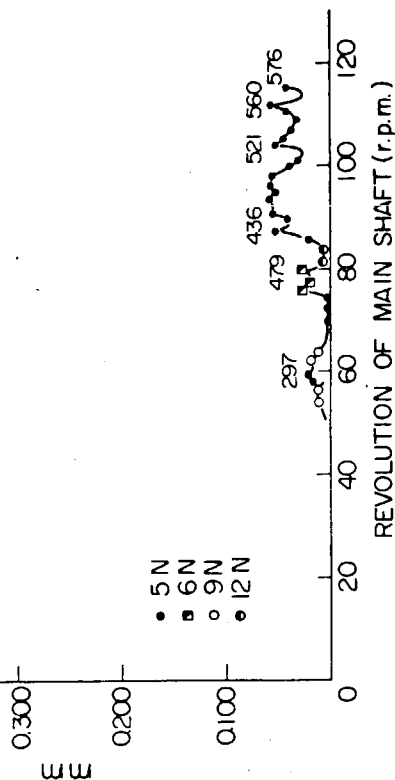
RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(BALLAST CONDITION, WITH BRACING)

RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(BALLAST CONDITION, WITHOUT BRACING)

MEASURED AT AFT END OF UPPER DECK VERTICAL VIBRATION

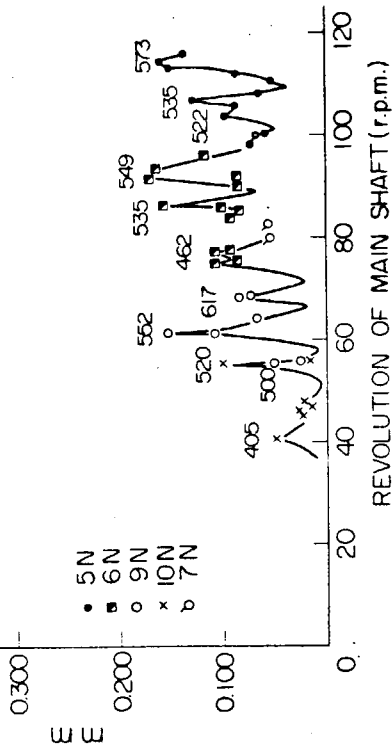


MEASURED AT AFT END OF UPPER DECK ATHWART VIBRATION

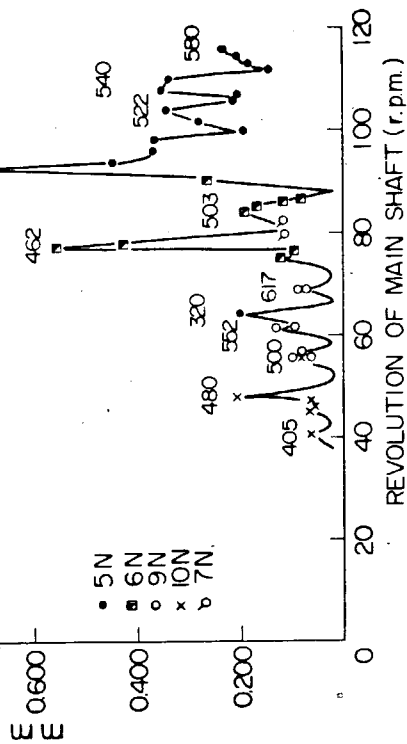


RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITHOUT BRACING)

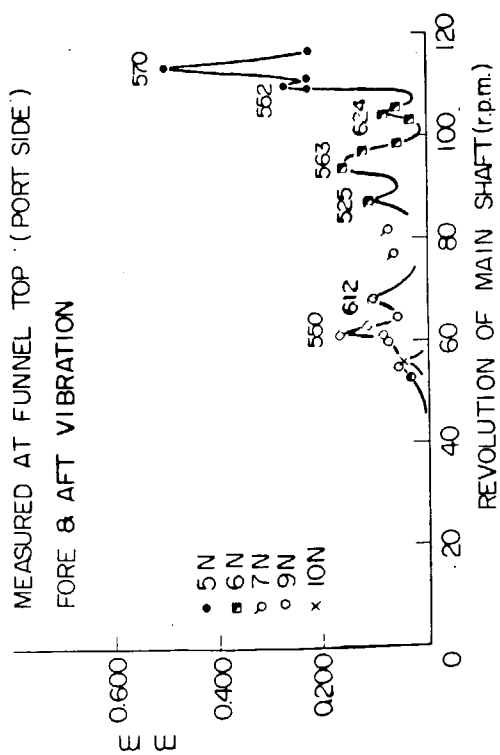
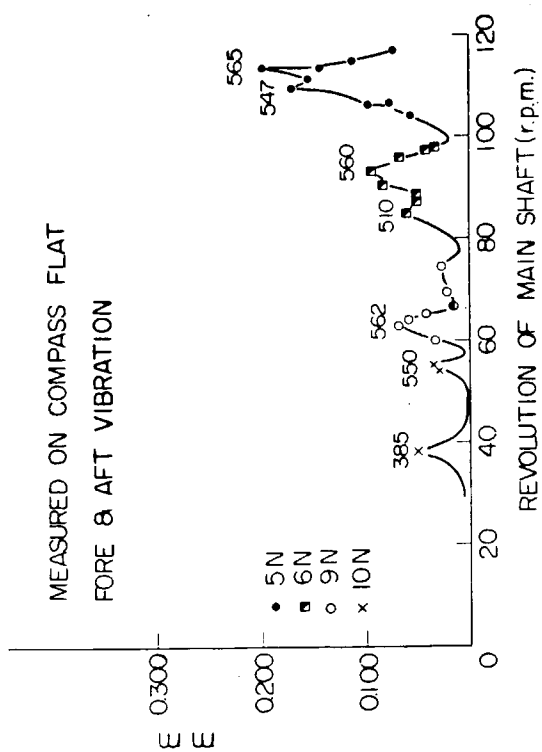
MEASURED ON COMPASS FLAT FORE & AFT VIBRATION



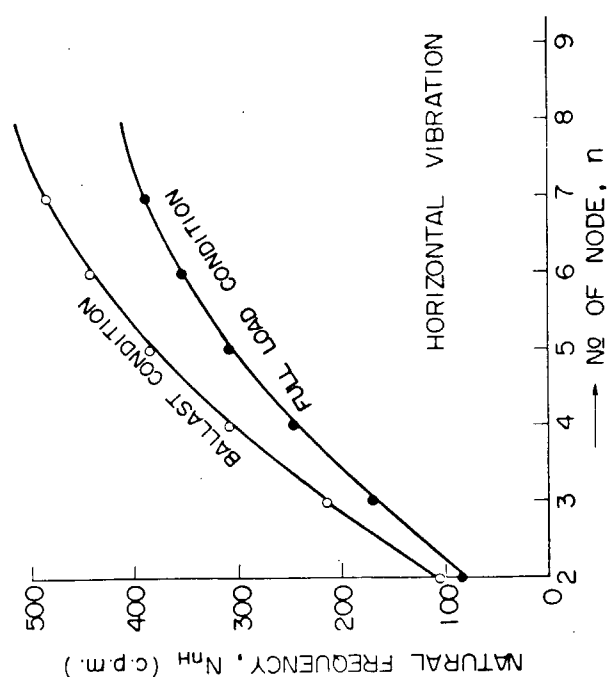
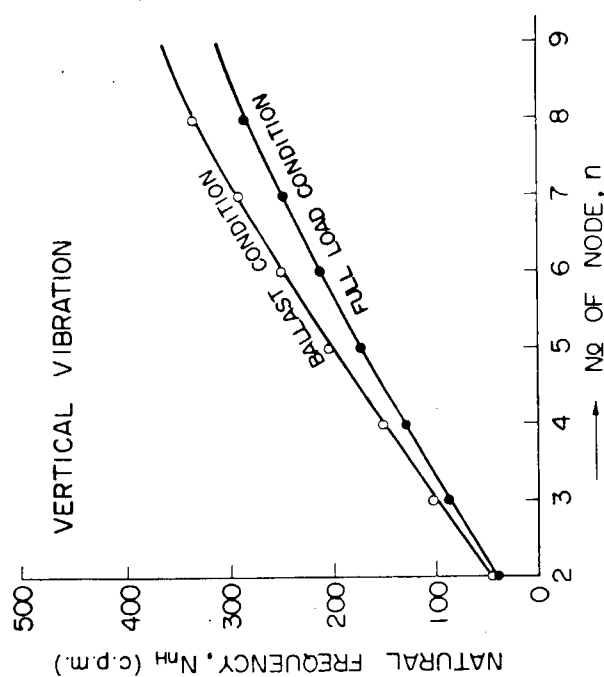
MEASURED AT FUNNEL TOP (PORT SIDE) FORE & AFT VIBRATION



RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(BALLAST CONDITION, WITHOUT BRACING)



RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITHOUT BRACING)



CALCULATED NATURAL FREQUENCY

RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

PARTICULARS OF SHIP

SHIP NO. 1284-I

BUILDER HITACHI

HULL

KIND & TYPE

MOTOR TANKER

ENGINE

HITACHI B8W 1284-VT 2BF-180

CLASS

N.K

CONSTRUCTION

LONGE SYSTEM

POSITION OF ENG

AFT

Loa

274^M 00

Lpp

45^M 60

Bmld

21^M 60

Dmld

14^M 83

d full

153,660^{KT}

Δ full

128,000^{LT}

D.W.

547402000^{MM²}

Cb full

3168936^{MM²}

MOMENT OF INERTIA

Iv

INERTIA

Ih

WEB AREA

Av

AREA

Ah

PROPELLER

NUMBER

NUMBER OF BLADES

5

DIAMETER

7^M

SKETCH OF SECTION

SECTION OF SCREW APERTURE

TEST CONDITION	BALLAST CONDITION	FULL LOAD CONDITION	MEASURING INSTRUMENT
DATE	SER 6th '67	SEP 5th '67	TYPE OF PICK UP
PLACE	OFF HINOMISAKI	OFF HINOMISAKI	NO OF MEAS. POINTS
WEATHER	FINE	FINE	DETAIL OF EXCITER
SEA CONDITION	SMOOTH	SMOOTH	TYPE OF EXCITER
DEPTH OF WATER	200-300 ^m	48 ^m	UNBALANCED FORCE TYPE
Δ test	85,800 ^{KT}	153,660 ^{KT}	MAX. EXCIT. FORCE
df	7 ^m 17	14 ^m 860	DIRECTION OF EXCIT VER. & LONG ^h
da	10 ^m 27	14 ^m 860	OTHER DESCRIPTION
dm	8 ^m 72	14 ^m 860	
PROPELLER IMMERSION	81 %	146.5 %	

MEASURING POINTS & LOADING PLAN

MEASURING POINTS

○ VERTICAL VIBRATION

● FORE & AFT VIBRATION

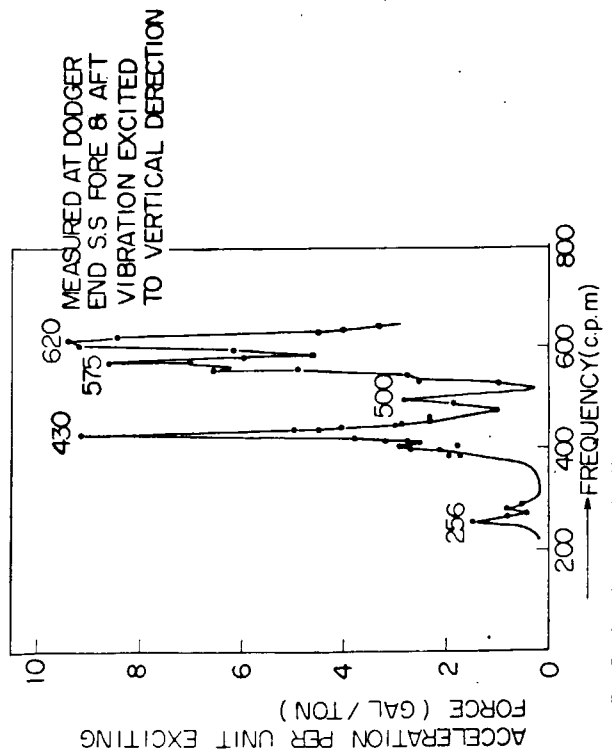
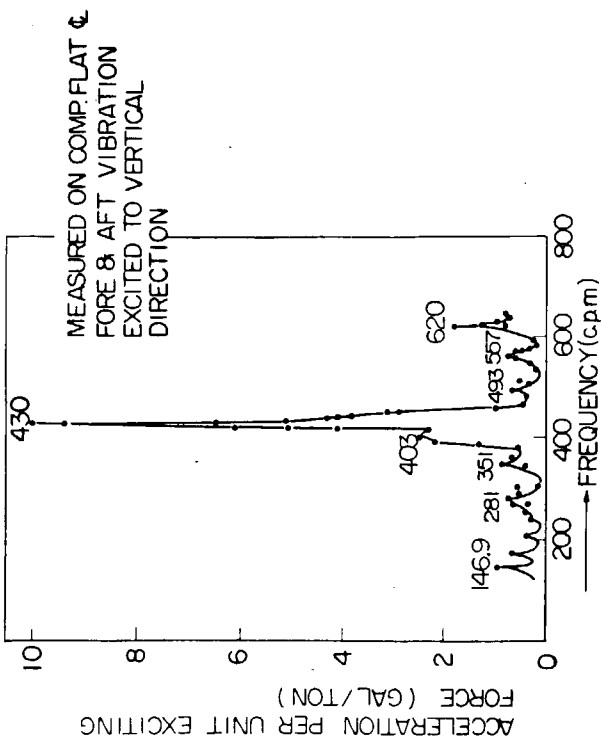
● ATHWART VIBRATION

EXCITER

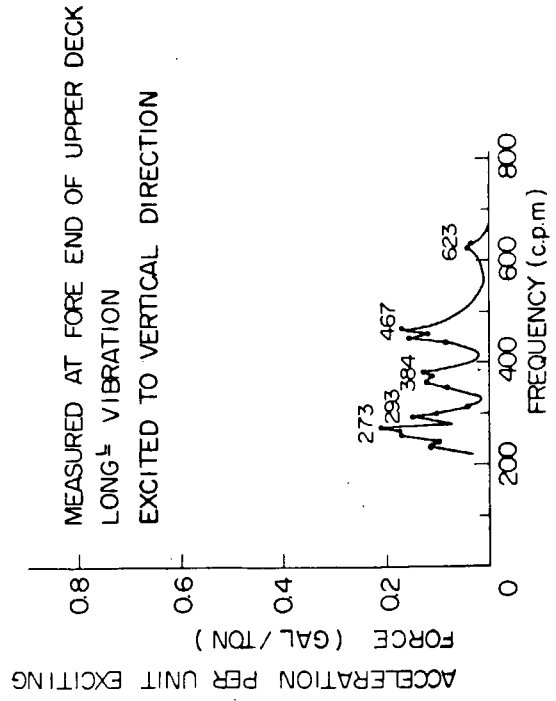
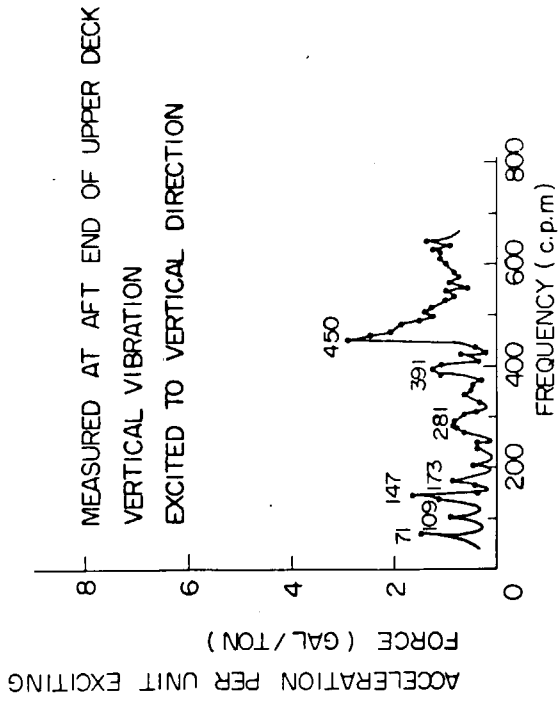
UNIT : KT

FULL LOAD CONDITION

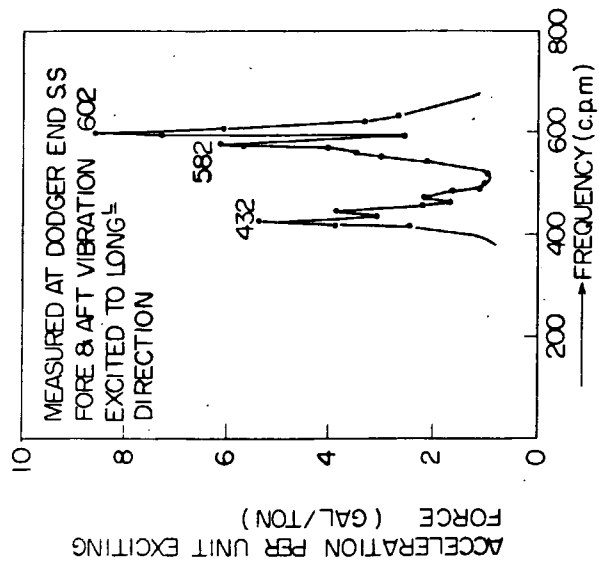
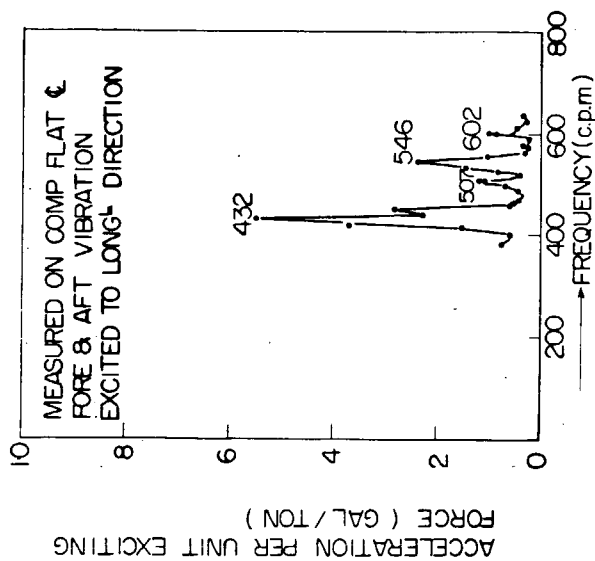
BALLAST CONDITION



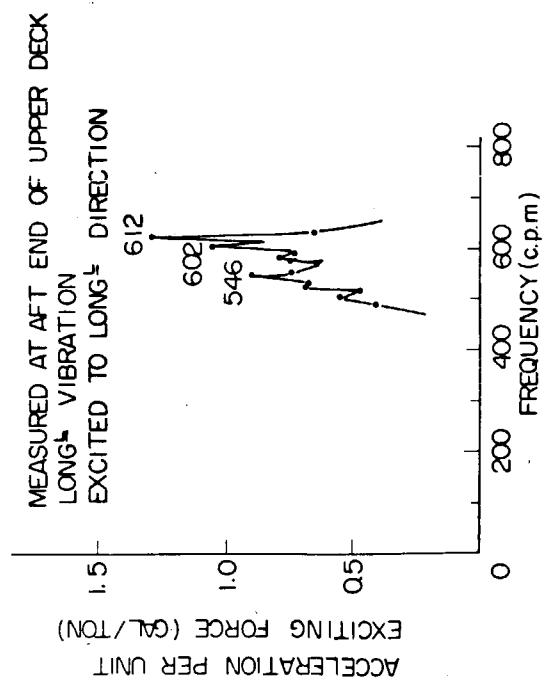
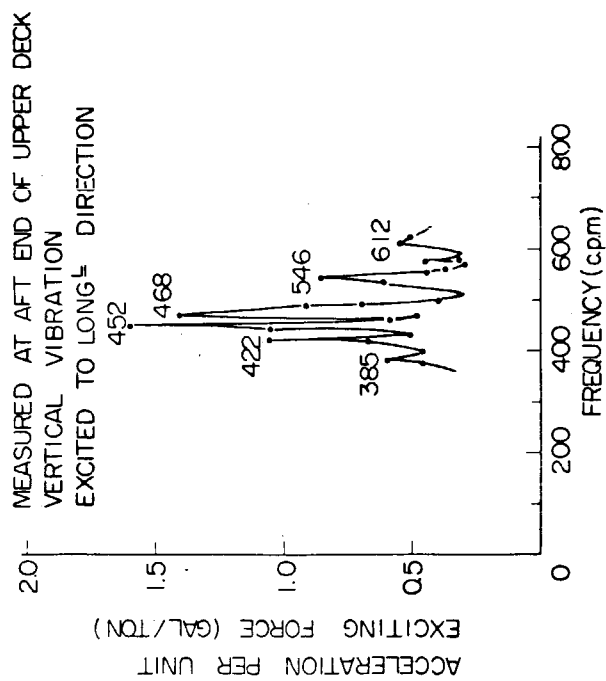
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)



RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)

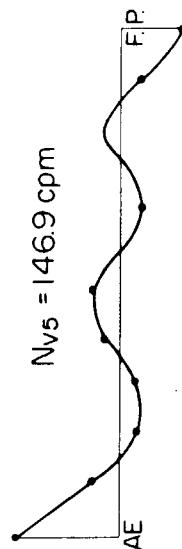
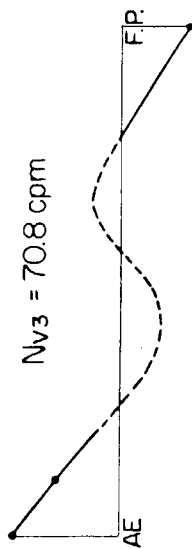


RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)



RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)

MODE CURVE OF VERTICAL VIBRATION OF SHIP'S
HULL EXCITED TO VERTICAL DIRECTION

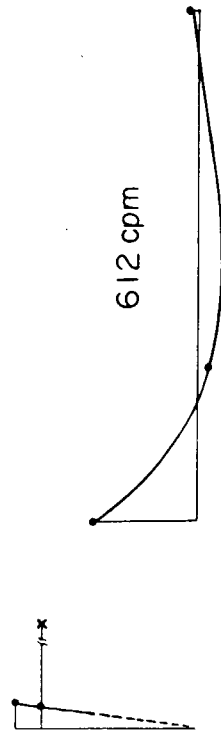
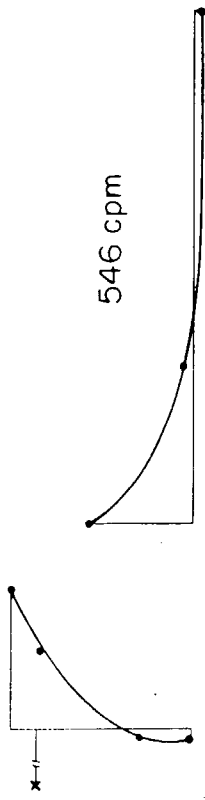
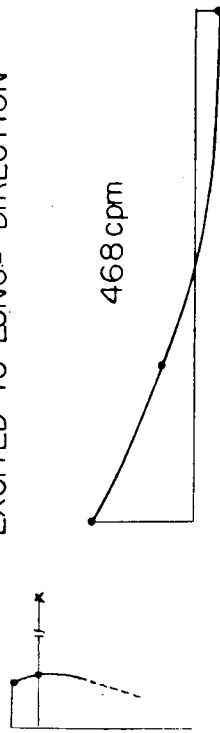


NOTE: TAKING THE AMPLITUDE AT AFT END
ARE UNIT

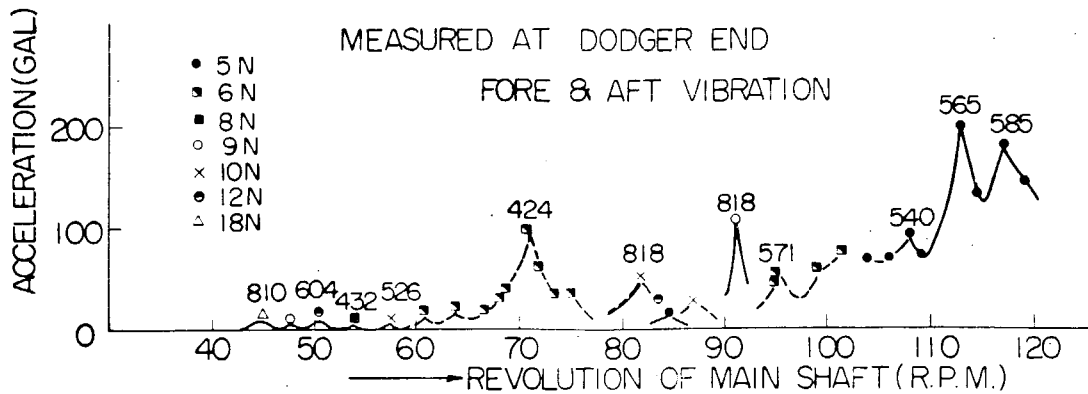
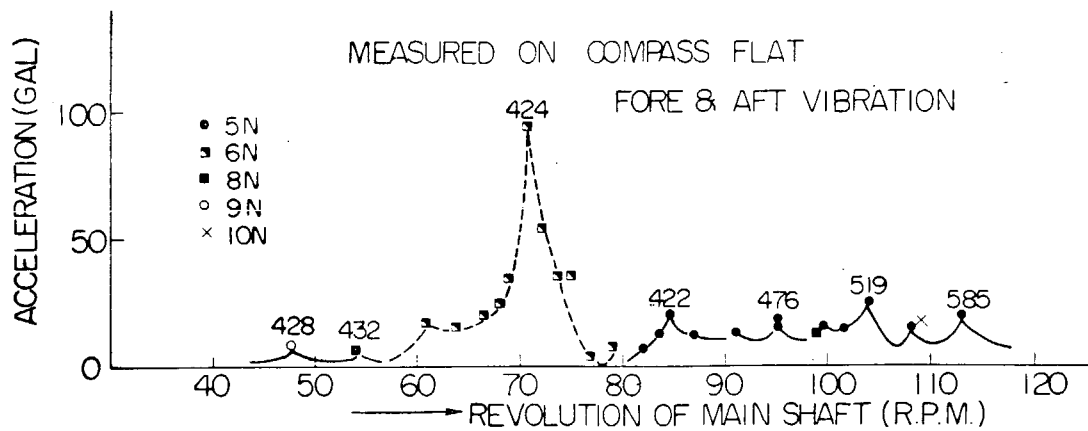
MODE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)

RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F&A
VIBRATION OF SUPERSTRUCTURE AND THAT
OF LONG± VIBRATION OF SHIPS HULL

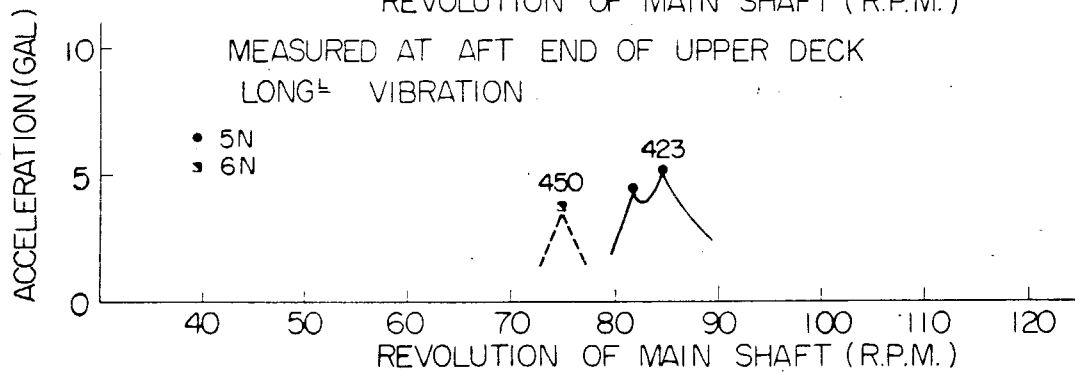
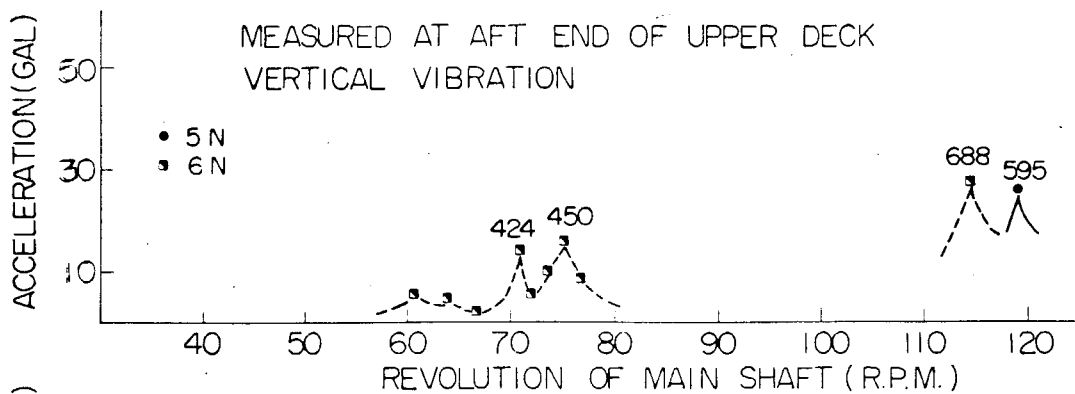
EXCITED TO LONG± DIRECTION



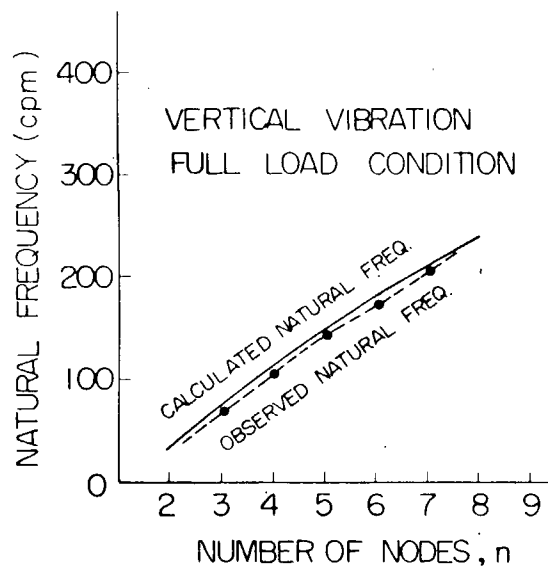
MODE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)



RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)



RESPONSE CURVE OF UNDER WAY TEST
(FULL LOAD CONDITION, WITH BRACING)

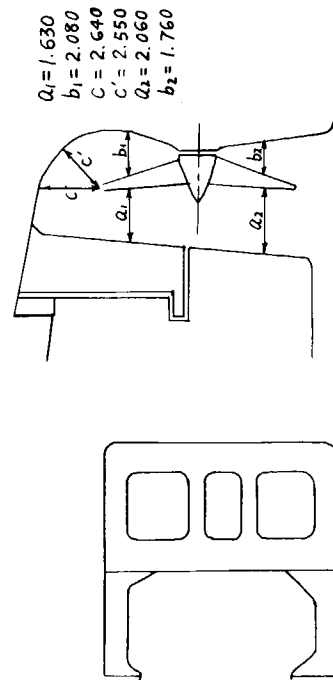


RELATION BETWEEN NUMBER OF NODES
AND NATURAL FREQUENCY

RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT			
		SHIP NO. 43-B	
		BUILDER	SHI
HULL			
KIND & TYPE	OIL TANKER	KIND & FILE	MITSUBISHI MVL
CLASS	LR	NUMBER	1
CONSTRUCTION	LONGITUDINAL SYSTEM	POSITION OF ENGINE	AFT
L_{oa}	325.250 m	SHF	MAX. 28,000
L_{pp}	313.000 m	RPM	90 88
B_{mid}	48.200 m	UNBALANCED FORCE	F_{v1}
D_{mid}	24.400 m		F_{v2}
d_{full}	19.089 m	UNBALANCED MOMENT	M_H
d_{full}	246.685 KT		M_{v1}
d_{full}	214.195 KT	PROPPELLER	M_{v2}
d_{full}	0.836		M_H
MOMENT OF INERTIA	I_v	NUMBER	1
	I_H	NO. OF BLADE	6
WEB AREA	A_v	DIAETER	8.100 m
	A_H		

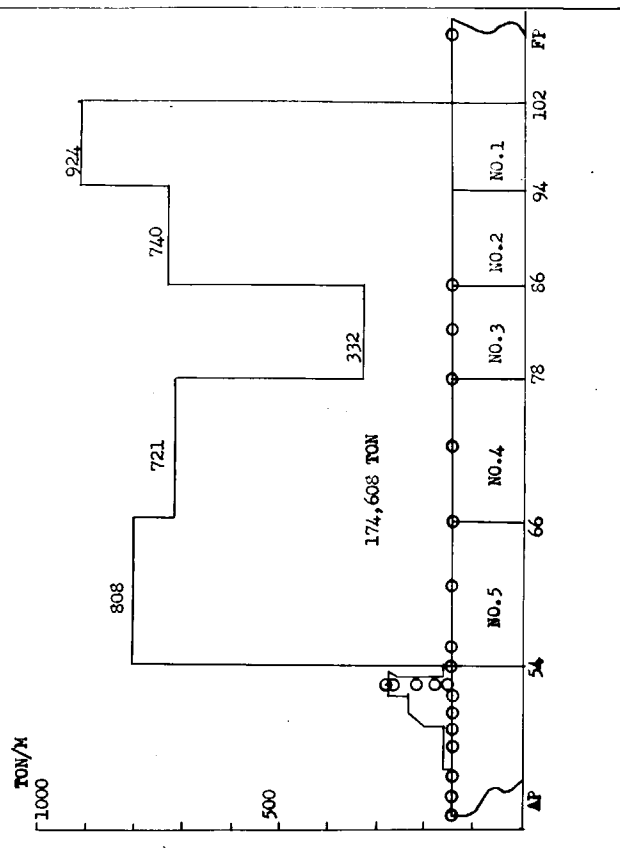
SKETCH OF SECTION

SKETCH OF SCREW APERTURE

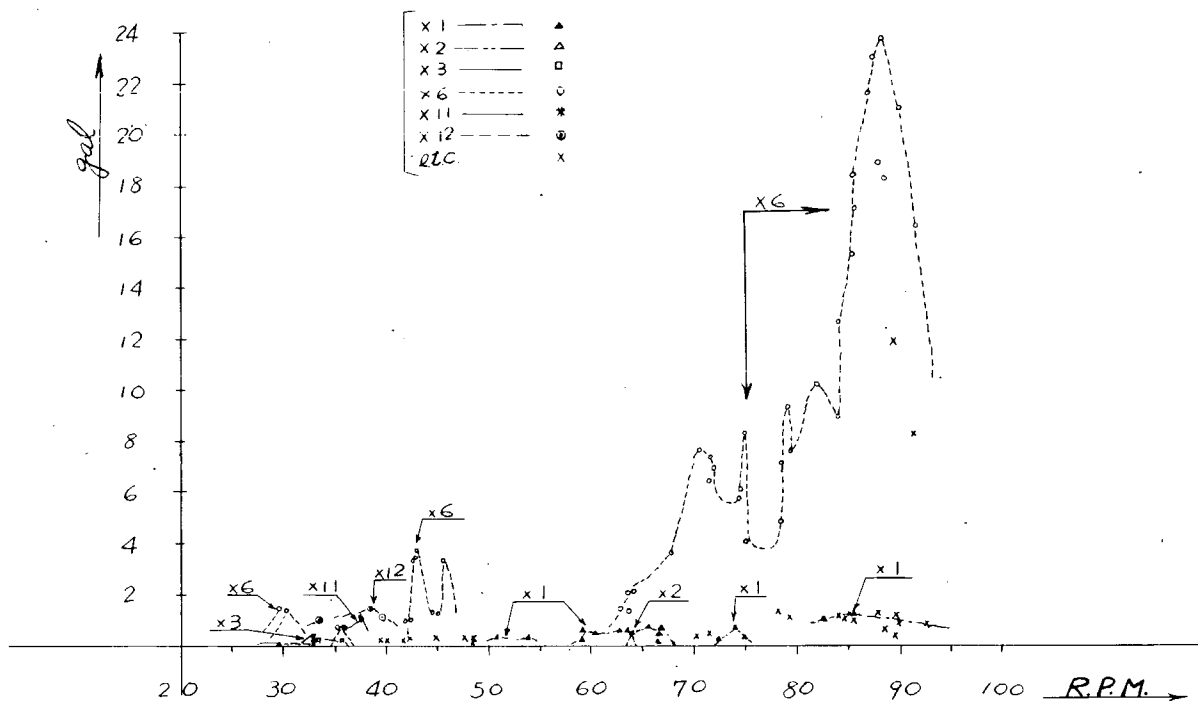


TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
DATE	JUNE, 7 '68	TYPE OF PICK-UP	DISPLACEMENT
PLACE	OFF TOWIE	NO. OF MEAS. PTS	23
WEATHER	FINE	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SMOOTH SEA	TYPE OF EXCITER	
DEPTH OF WATER	150 m	MAX. EXCIT. FORCE	
Δ test	212,052 KT	DIRECT. OF EXCIT.	
d_f	16.459 m	OTHER DESCRIPTION	
d_g	16.636 m	DATA FOR TRIAL TEST ARE SHOWN IN THIS TABLE.	
d_m	16.548 m		
PROPPELLER INVERSION	TTTTT 18 1 123 %		

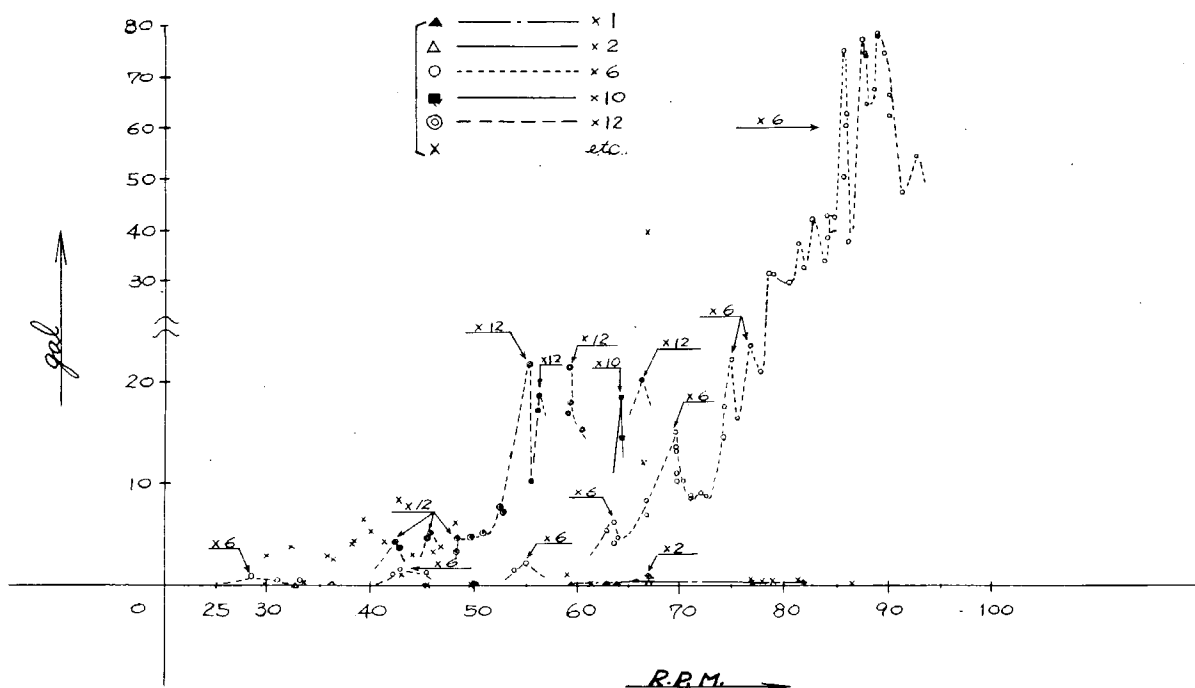
ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS AND LOADING PLAN

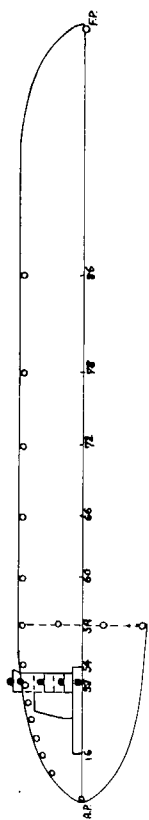


RESONANCE CURVE OF VERTICAL VIBRATION (FULL)
ON UPP. DE END



RESONANCE CURVE OF F & A VIBRATION (FULL)
ON COMP. BRI. DE

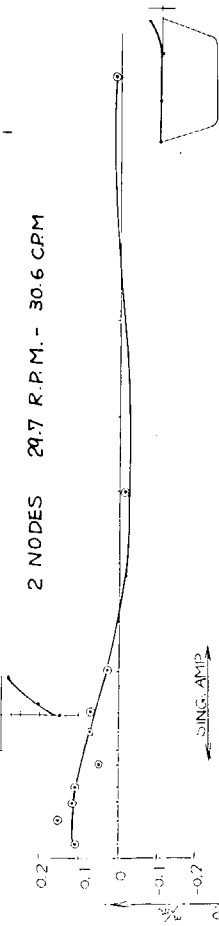




MODE CURVE OF VERTICAL VIBRATION (FULL)

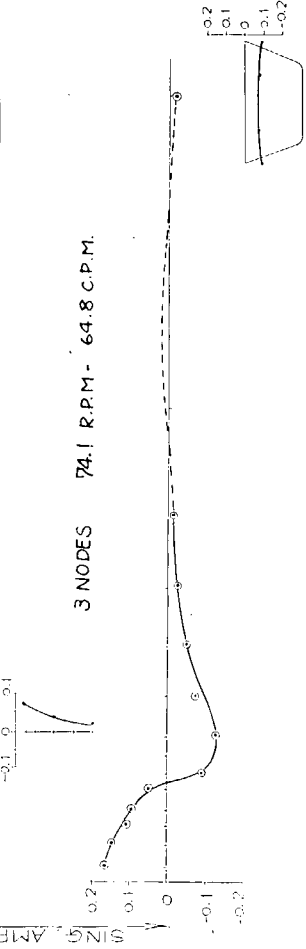
2 NODES 29.7 R.P.M. - 30.6 C.P.M.

SING. AMP. -0.05 0 0.05



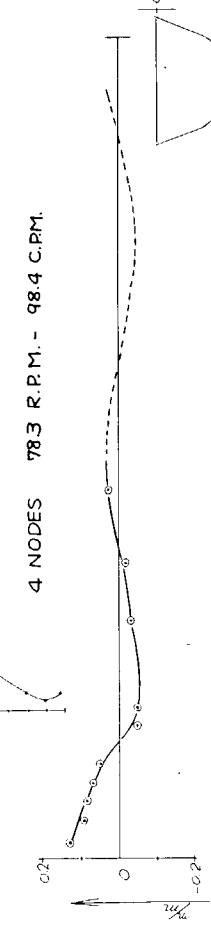
3 NODES 74.1 R.P.M. - 64.8 C.P.M.

SING. AMP. -0.1 0 0.1



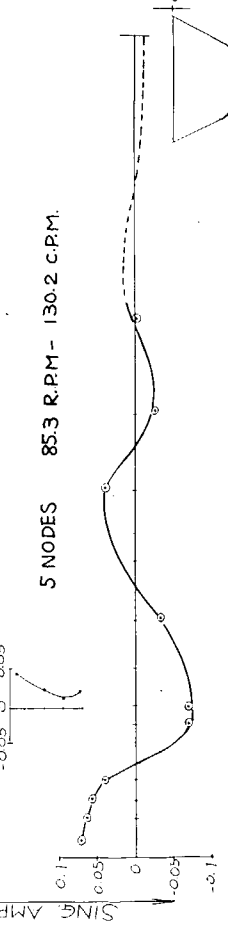
4 NODES 78.3 R.P.M. - 98.4 C.P.M.

SING. AMP. -0.05 0 0.05

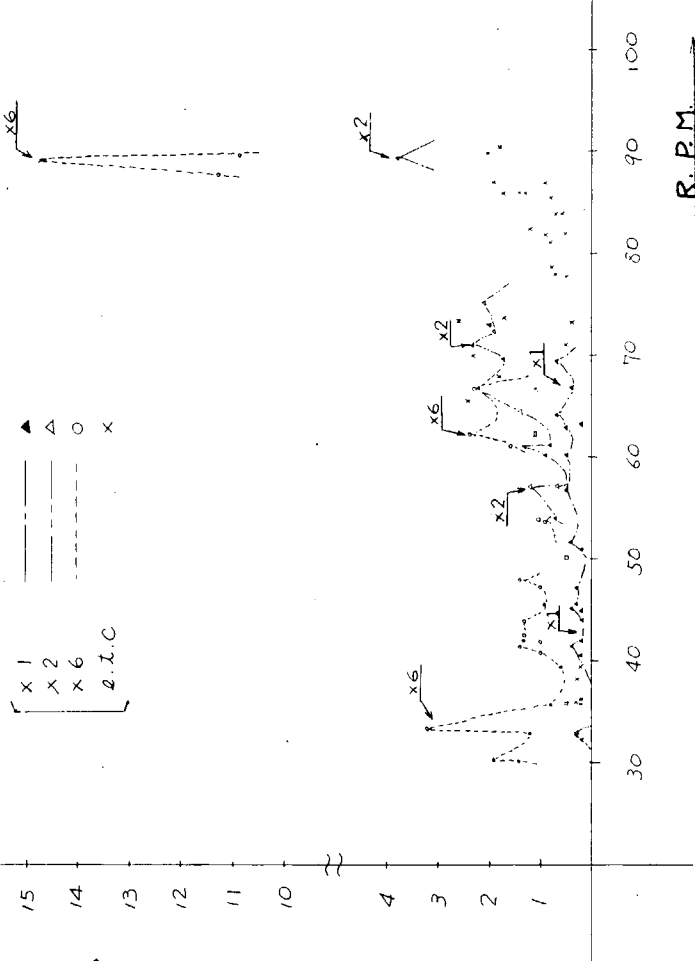


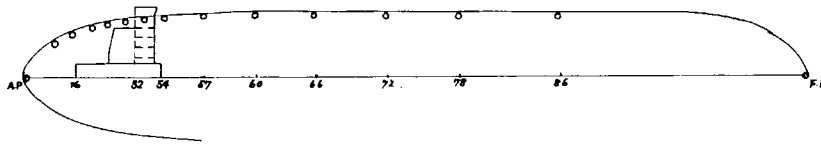
5 NODES 85.3 R.P.M. - 130.2 C.P.M.

SING. AMP. -0.05 0 0.05

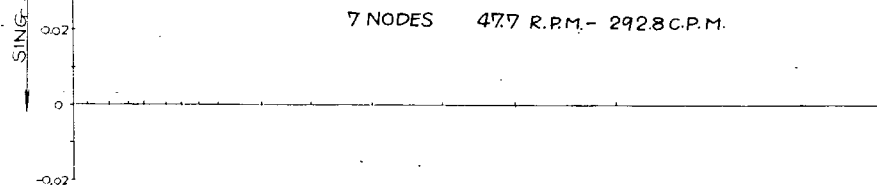
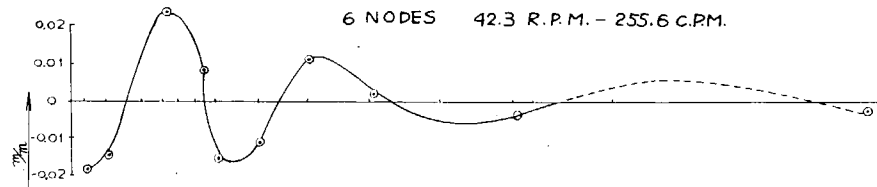
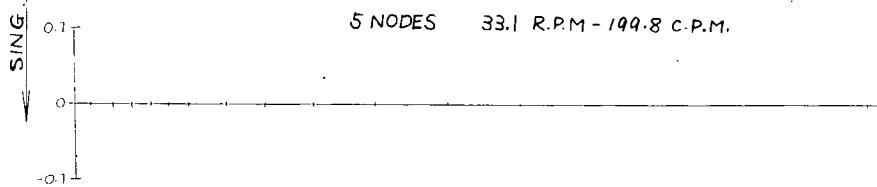
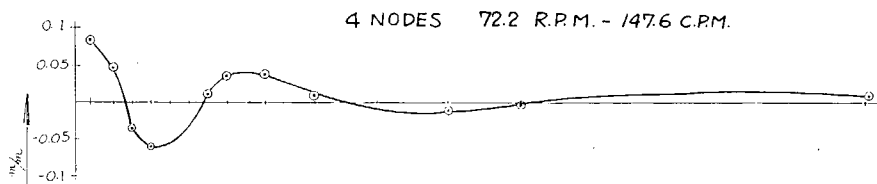
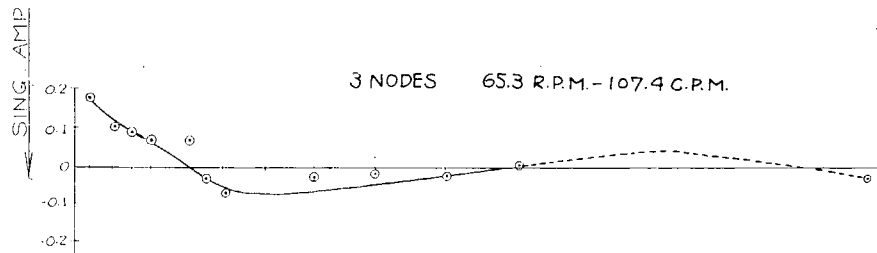
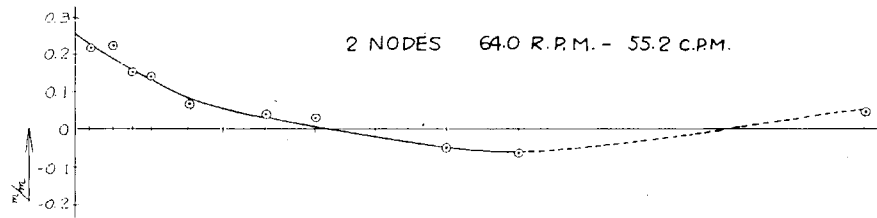


RESONANCE CURVE OF HORIZONTAL VIBRATION (FULL)
ON UPP. DE END





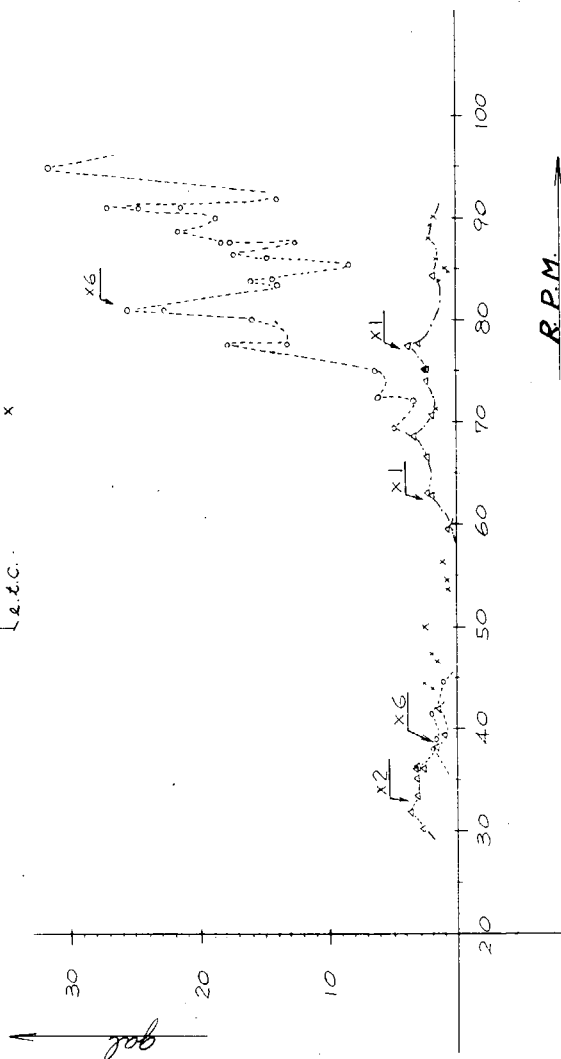
MODE CURVE OF HORIZONTAL VIBRATION (FULL)



RESONANCE CURVE OF VERTICAL VIBRATION (BALLAST)

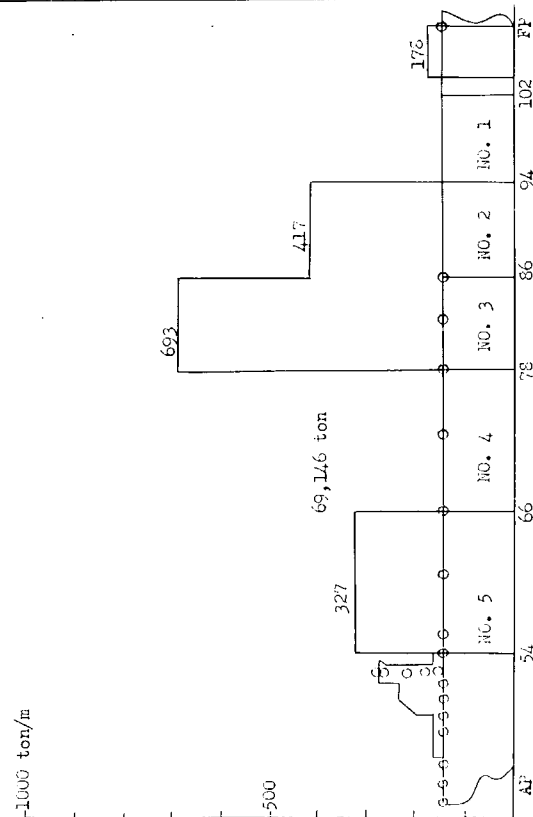
ON UPP. DE END

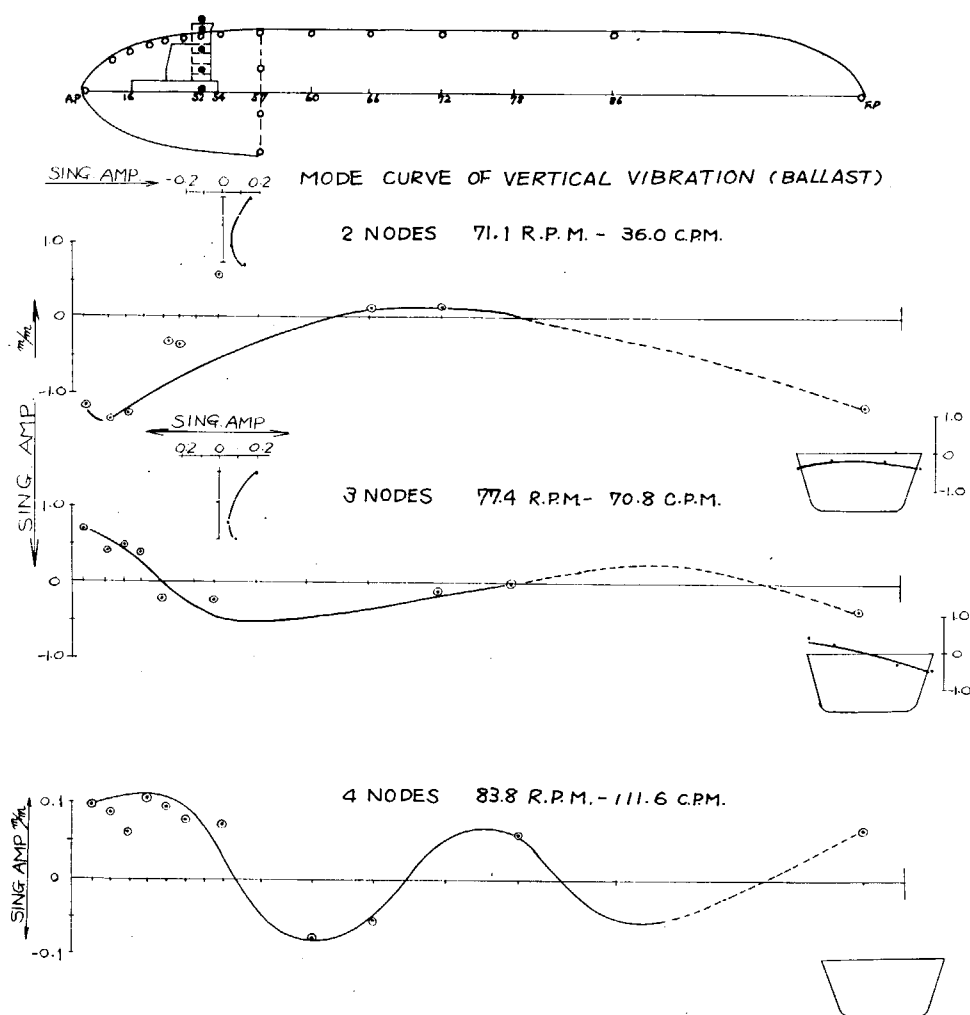
x1 ————
 x2 ————
 x6 ————
 x ————
 L.C.



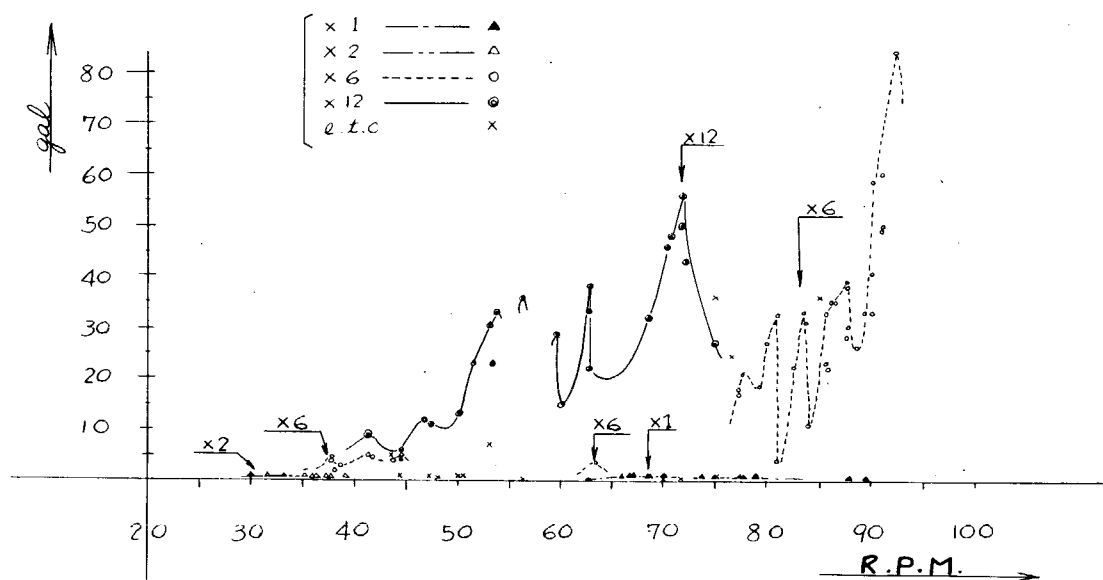
TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENTS	
DATE	MAY 21th, 68	TYPE OF PICK-UP	DISPLACEMENT
ILAC.	OFF TORIE	NO. OF MEAS. PTS	23
WEATHER	FINE	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SMOOTH SEA	TYPE OF EXCITER	
DEPTH OF WATER	150 m	MAX. EXCIT. FORCE	
Δ_{test}	105,664KT	DIRECT. OF EXCIT.	
d_f	7.066 m	OTHER DESCRIPTION	
d_a	10.242 m	DATA FOR TRIAL TEST ARE SHOWN IN THIS TABLE.	
d_m	8.709 m		
PROPELLER IMERSION	$\frac{D}{I} = 56\%$		

ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS AND LOADING PLAN

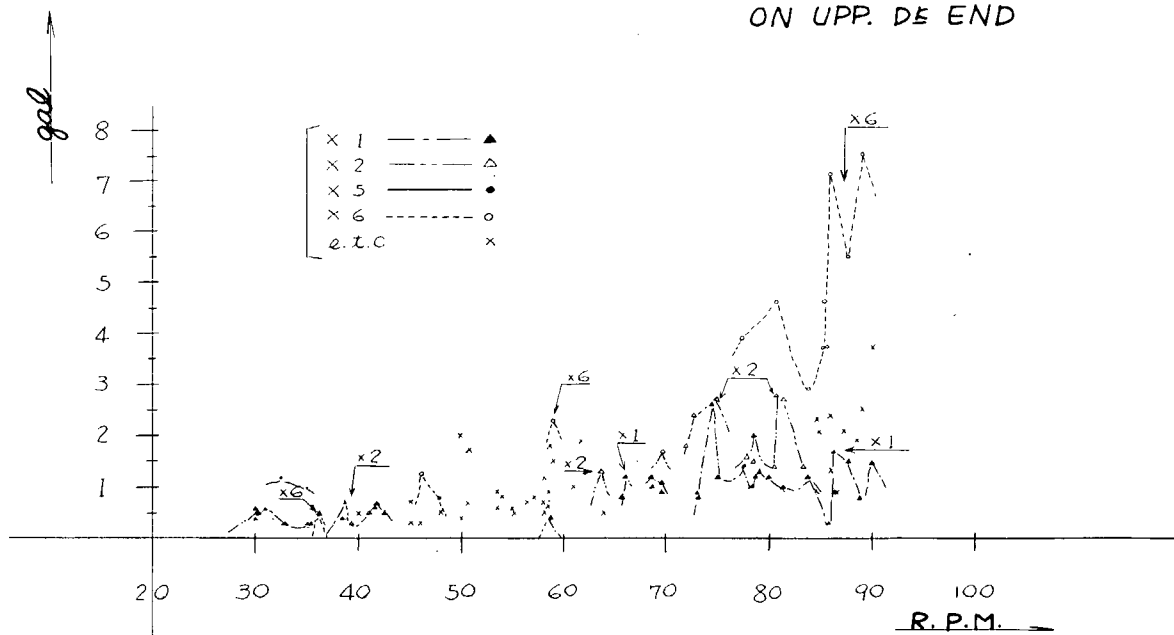


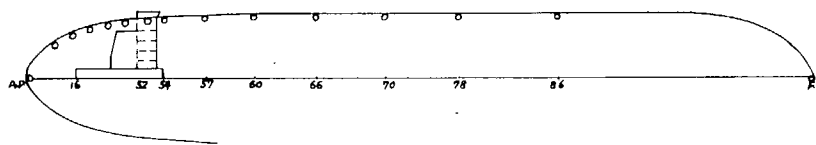


RESONANCE CURVE OF F & A VIBRATION (BALLAST) ON COMP. BRI. DE

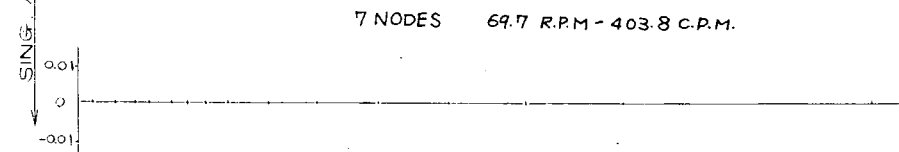
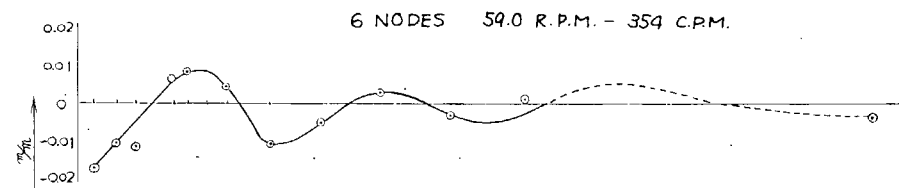
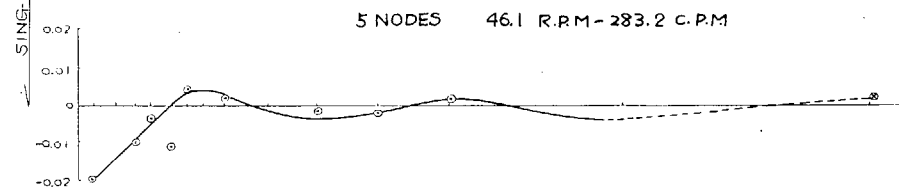
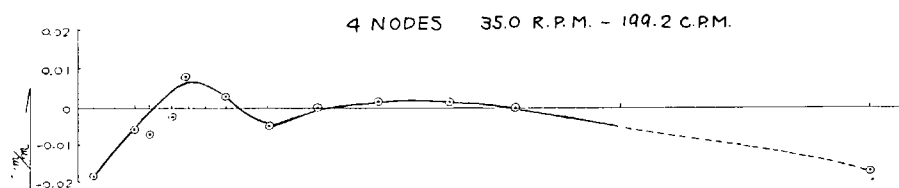
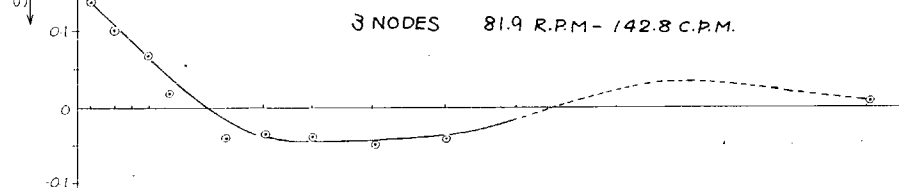
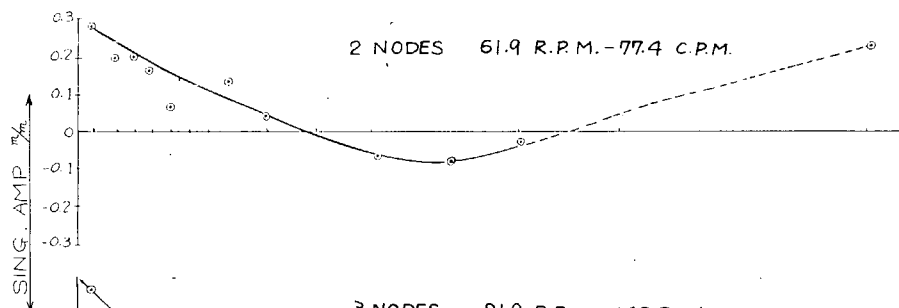


RESONANCE CURVE OF HORIZONTAL VIBRATION (BALLAST) ON UPP. DE END





MODE CURVE OF HORIZONTAL VIBRATION (BALLAST)



6.3 浦賀重工業計測結果

RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

PARTICULARS OF SHIP

S NO.	43-01
BUILDER	U.S.A.G.A.

HULL			MAIN ENGINE		
KIND & TYPE	CARGO SHIP	KIND & TYPE	SULZER 8SD76		
CLASS	A.B.S.	NUMBER	1		
CONSTRUCTION	COMBINED SYSTEM	POSITION OF ENGINE	0.35L FROM A.P.		
L_{oa}		SHF	12,000 PS		
L_{pp}	148.00 m	RPM	122		
B_{mid}	23.40 m	UNBALANCED FORCE	F_{v1}		
D_{mid}	13.00 m		F_{v2}		
d_{null}	9.25 m		F_h		
full		UNBALANCED MOMENT	M_{v1}		
D.M.	12,080 LT		M_{v2}		
C_b full		(at 119 RPM)	M_h		
MOMENT OF INERTIA	I_v	51,432,600 mm ² -m ²	PROPPELLER		
	I_h		NUMBER		
WEB AREA	A_v		NO. OF BLADES		
	A_h		DIAMETER		
			5.50 m		

SKETCH OF SECTION

$$\begin{aligned}
 a &= 0.25D \\
 b &= 0.232D \\
 c &= 0.345D \\
 d &= 0.363D \\
 e &= 0.245D
 \end{aligned}$$

TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENTS	
DATE	APR. 3 1963	TYPE OF PICK UP	ACCELEROMETER
PLACE	OFT TATEYAMA	NO. OF MEAS. PTS.	
WEATHER	CLOUDY	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SMOOTH	TYPE OF EXCITER	ROTATING -ECCENTRIC
DEPTH OF WATER	500 m	MAX. EXCIT. FORCE	1.5 t
test	3,556LT	DIRECT. OF EXCIT.	VERTICAL
d_f	11'-11 3/4"	OTHER DESCRIPTIONS	
d_a	19'-7 7/8"		
d_m	15'-9 1/4"		
PROPELLER DIMENSION	51.1%		

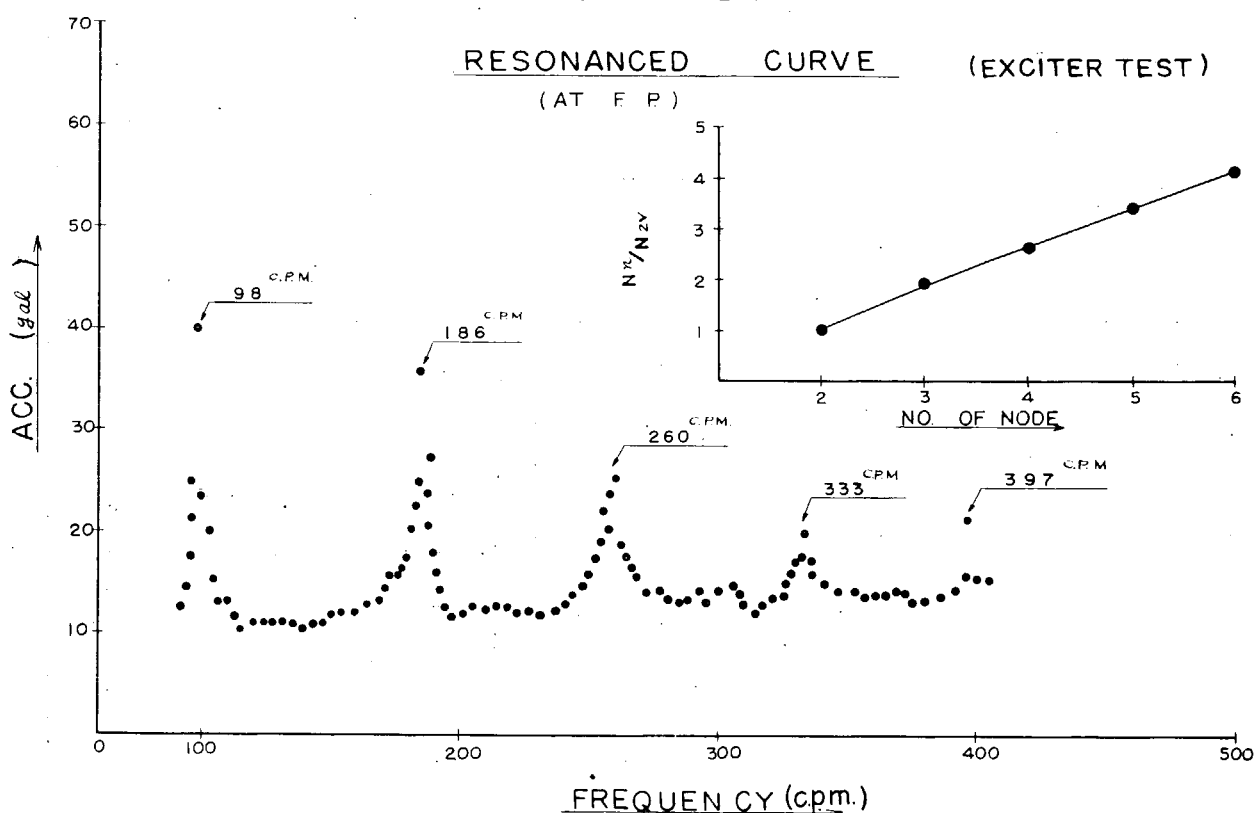
ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS
AND LOADING PLAN

TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENTS	
DATE	SEP. 24 1968	TYPE OF PICK UP	ACCELEROMETER
PLACE	OFF TATEYAMA	NO. OF MEAS. PTS.	
WEATHER	CLOUDY	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SLIGHT SEA	TYPE OF EXCITER	
DEPTH OF WATER	500 m	MAX. EXCIT. FORCE	
test	8,641 LT	DIRECT. OF EXCIT.	
d_r	12'-0 3/8"		
d_a	15'-6 7/8"	OTHER DESCRIPTIONS	
d_m	15'-11 1/2"		
PROPELLER IMERSION	50.8%		

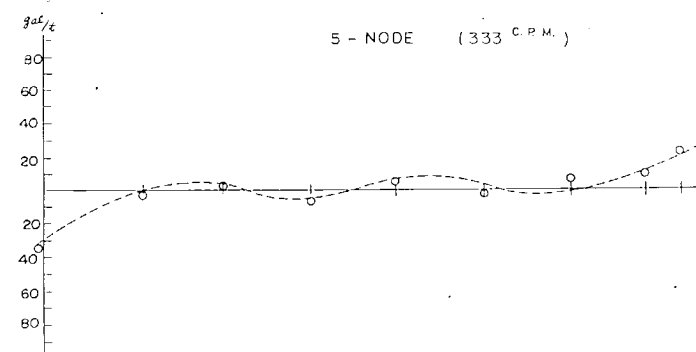
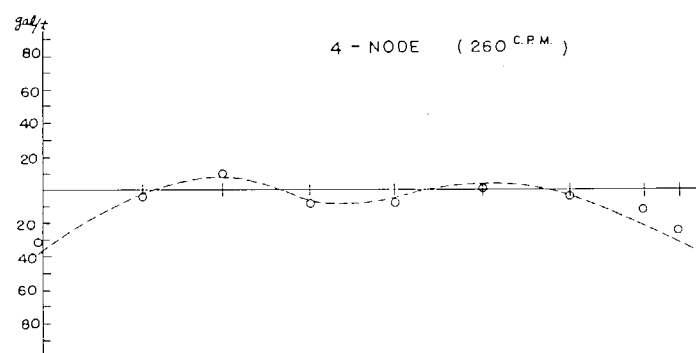
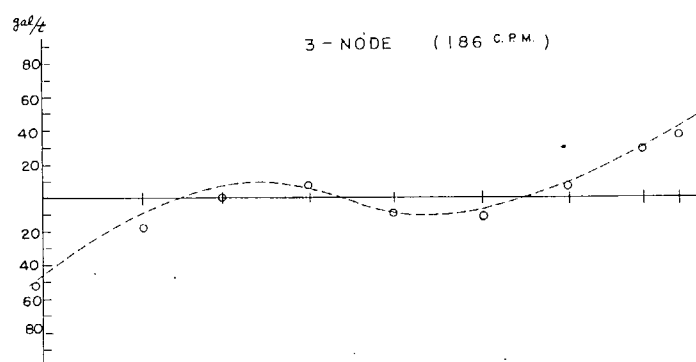
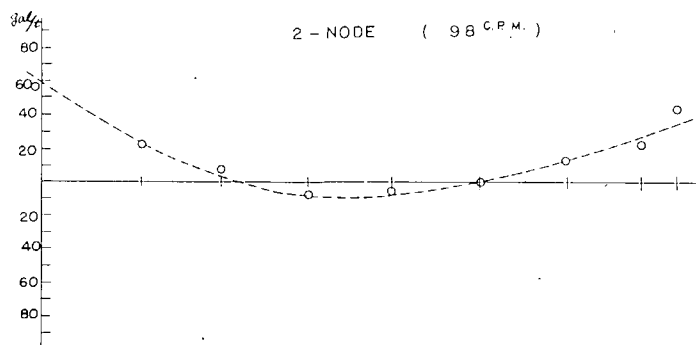
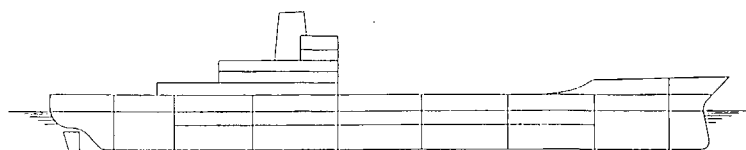
ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS
AND LOADING PLAN

SAME AS S NO. 43-C1

VERTICAL VIBRATION



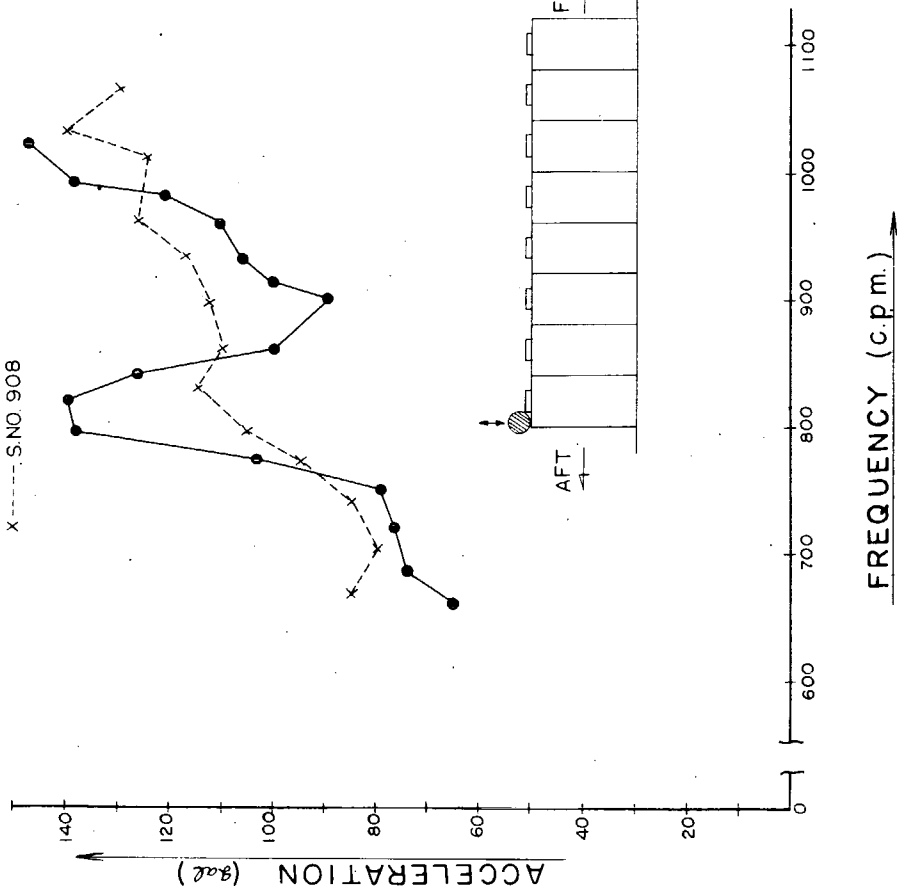
MODE CURVE (VERL)



RESONANCED CURVE (VERL VIB.) (MEASURED AT AFT END OF ENG.)

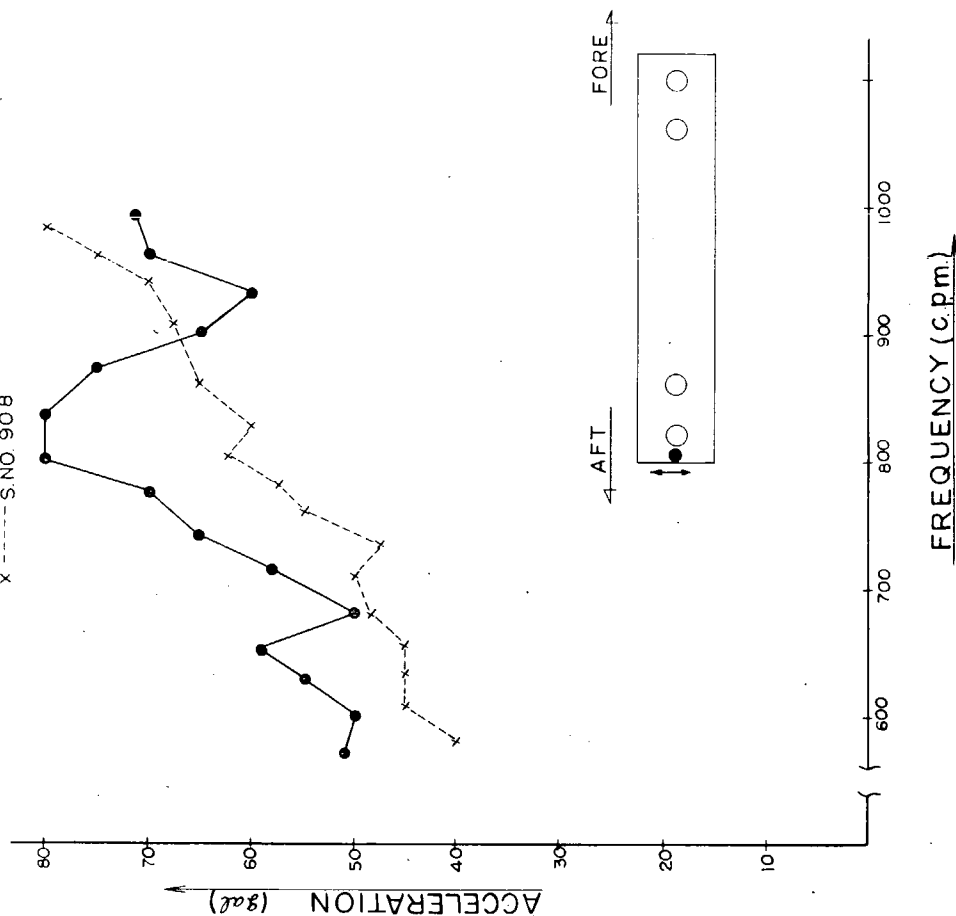
RPM x 8

● --- S.NO. 907
X --- S.NO. 908

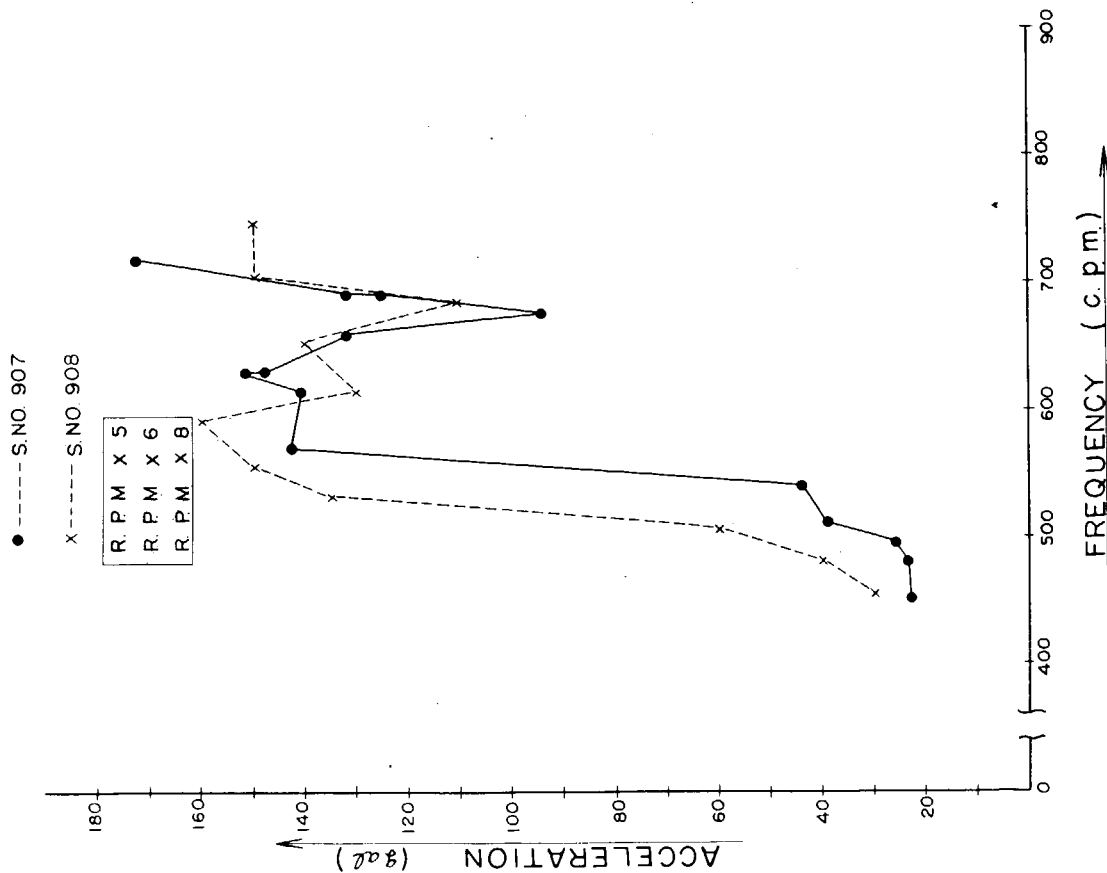


RESONANCED CURVE (HORL) (MEASURED AT AFT END OF ENG.)

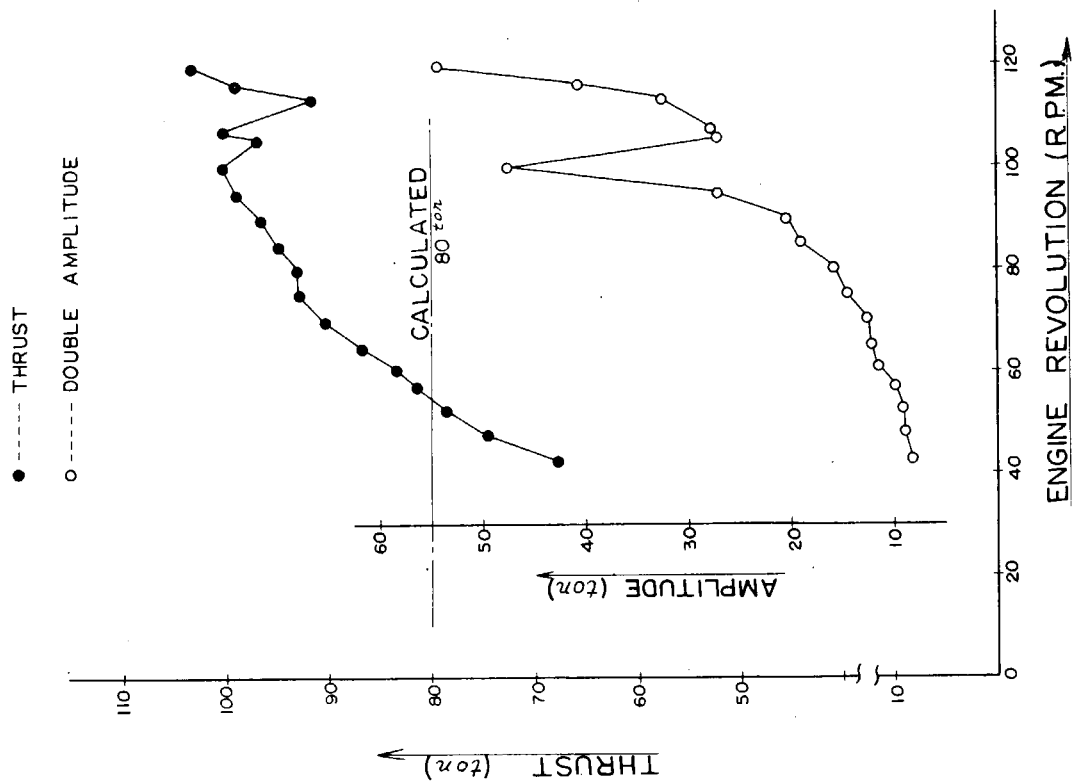
● --- S.NO. 907
X --- S.NO. 908



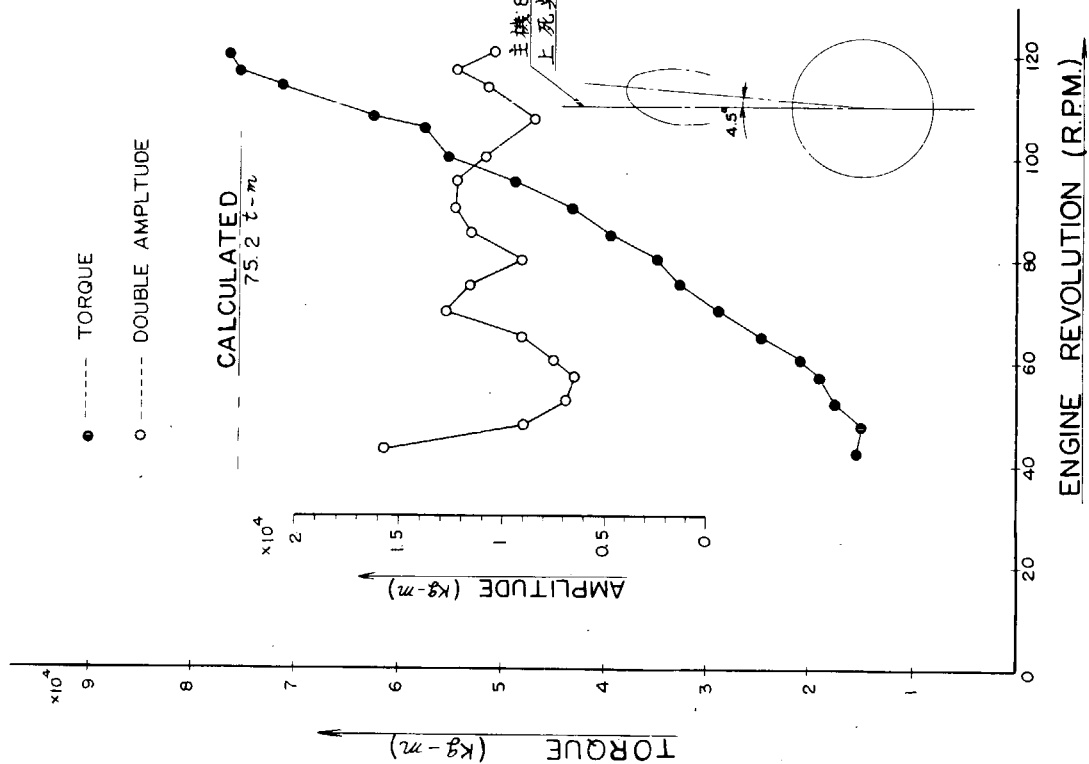
RESONANCED CURVE (FORE & AFT)
(MEASURED AT AFT END OF ENG.)



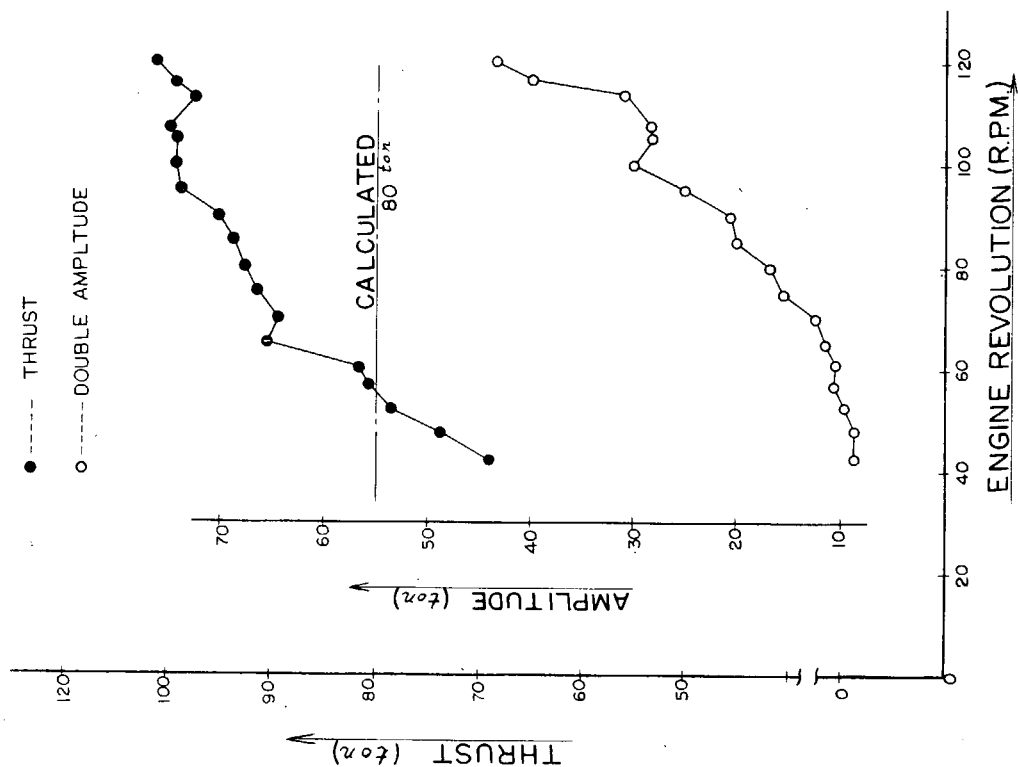
THRUST ~ R.P.M. (S.NO.907)



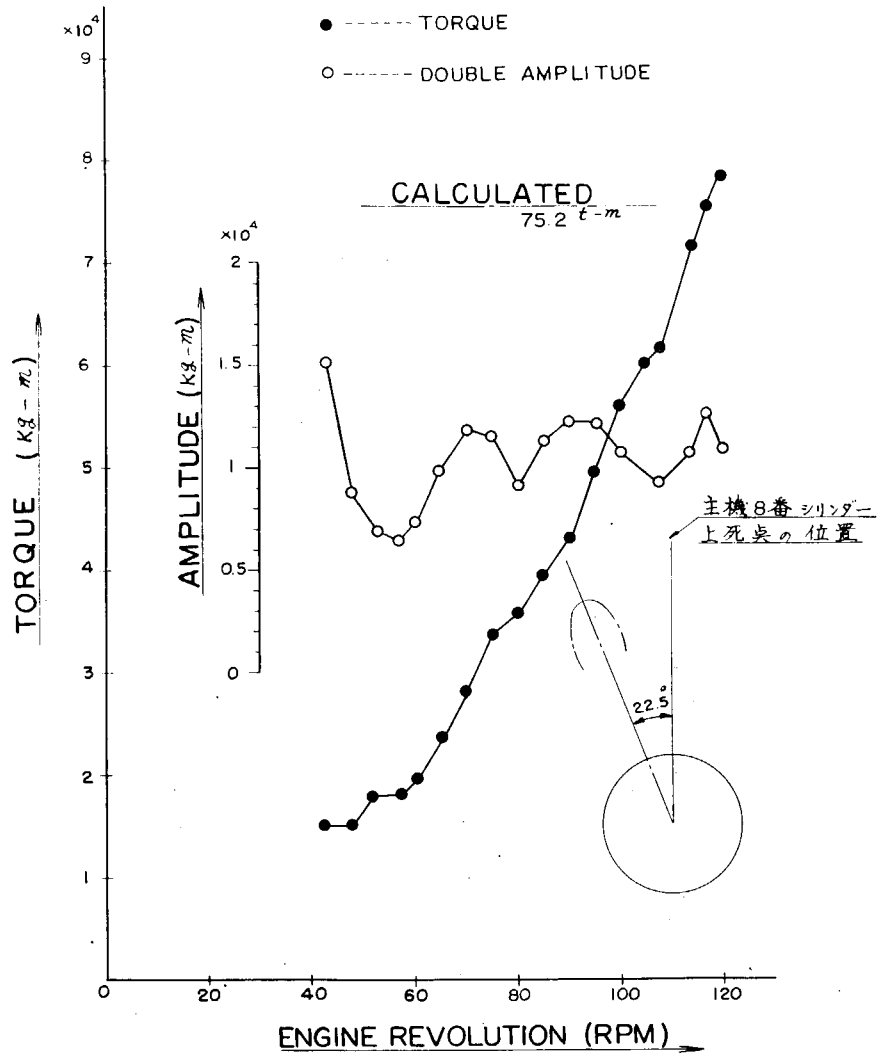
TORQUE ~ R.P.M. (SNO 907)



THRUST ~ R.P.M. (S.NO.908)

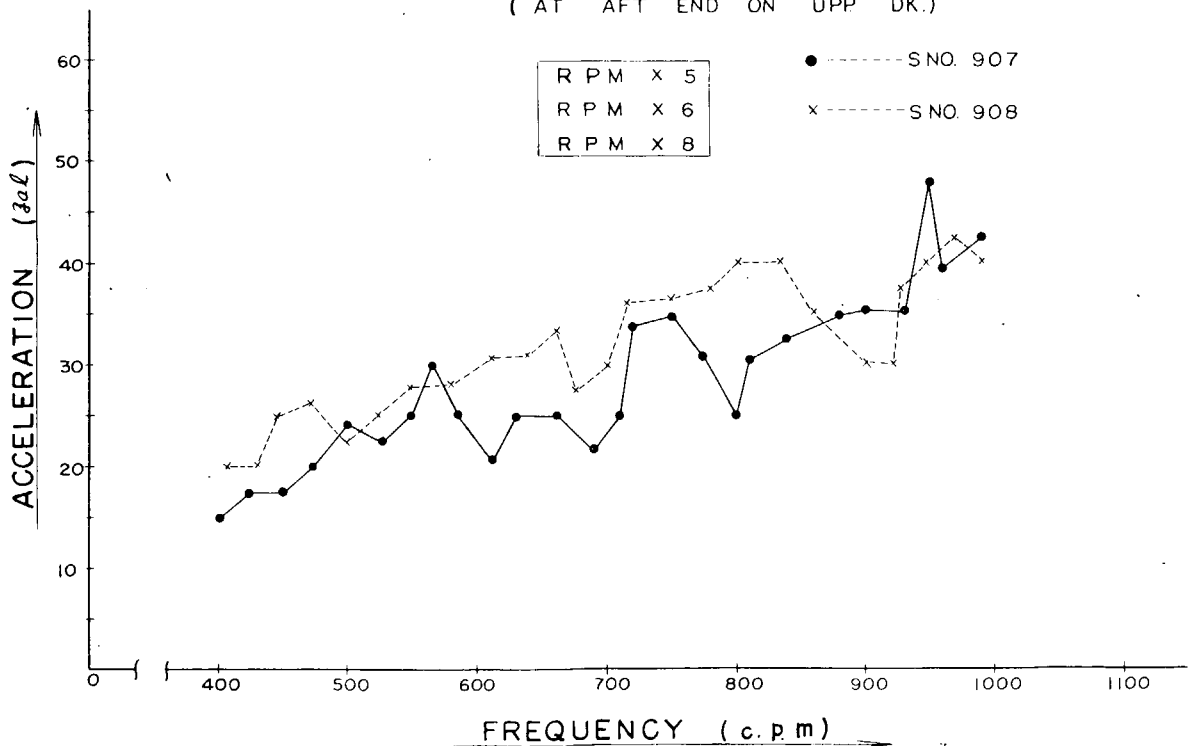


TORQUE ~ R.P.M. (S.NO.908)



RESONANCED CURVE (VERL VIB.)

(AT AFT END ON UPP DK.)



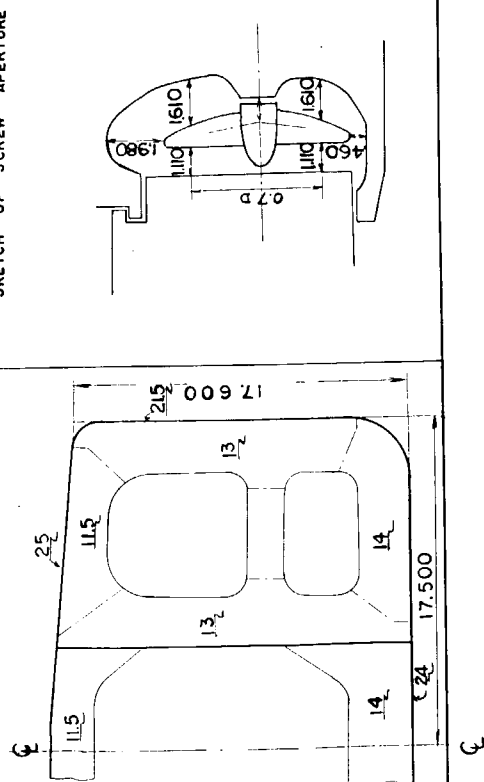
RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

SHIP NO	43 - D
BUILDER	KURE

PARTICULARS OF SHIP

HULL			MAIN ENGINE		
KIND & TYPE	DIESEL TANKER		KIND & TYPE	IHI SULZER 9RD90	
CLASS	BV		NUMBER OF CYLINDER	9	
CONSTRUCTION	LONG L SYSTEM		POSITION OF ENG.	AFT	
L o a			BHP	MCR 20,700 119	NOR 18,630 (115)
L p p	220,000		RPM		
B m t i d	35,000		UNBALANCED FORCE	Fv 1 Fv 2 Fh	0 0 0
D m i d	17.600		UNBALANCED MOMENT	Mv 1 Mv 2 Mh	57 T-M 79 T-M 36 T-M
d f u l l	12.190		PROPELLER		
Δ	77.765 KT				
D.W.	63,000 LT				
cb f u l l	0.8198				
MOMENT OF INERTIA	Iv Ih	2,528 X 10 ⁸ (m ² .mm ²) 5,934 X 10 ⁸ (m ² .mm ²)			
WEB AREA	Av Ah	1308 m ² 1,697 m ²			
			NUMBER	1	
			NO. OF BLADES	5	
			DIAMETER	6.480	

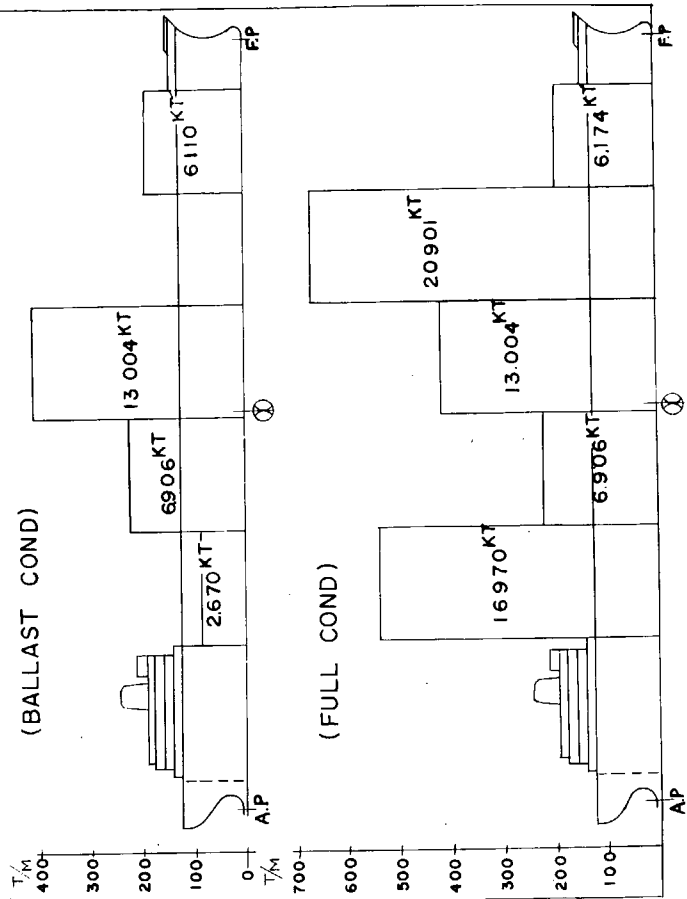
MIDSHIP SECTION



TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
CASE	BALLAST COND FULL COND NO LOAD LOAD	HULL	ELECTRO-RESISTANCE - LINIER ACCELEROMETER
DATE	1968.4.8 1968.4.12. 1968.4.13		
PLACE	KURE PORT IYONADA IYONADA		
WEATHER	FINE FINE FINE		
SEA CONDITION	SMOOTH SMOOTH SMOOTH		
DEPTH OF WATER	ABT 26M ABT 70M ABT 70M	ENGINE	DISPLACEMENT METER ELECTRO-RESISTANCE - LINIER ACCELEROMETER
Test	4.3.500 KT 77 765	NO LOAD	STRAIN GAGE
d f	6M 05 12 ^M 19	(BALLAST CONDITION) WITH STRUT	CASE 1 WITHOUT STRUT
d a	8 15 12 ^M 19	LOAD	CASE 3 WITHOUT STRUT
d m	7.10 12 ^M 19	(BALLAST CONDITION) WITH STRUT	CASE 5 WITH STRUT
PROPELLER IMMERISION	 	LOAD FULL CONDITION	CASE 5 WITH STRUT

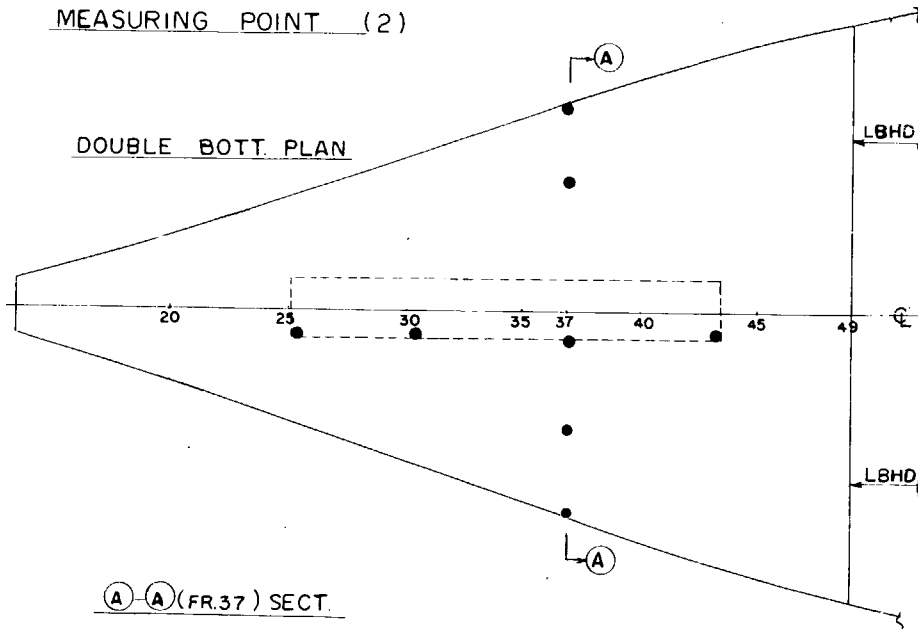
LOADING PLAN

(BALLAST COND)

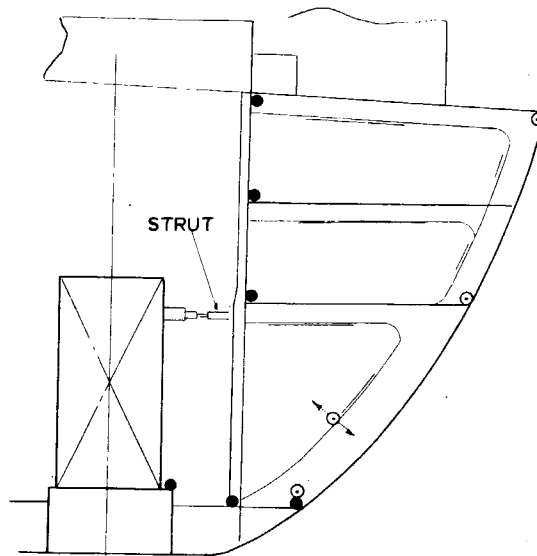


MEASURING POINT (2)

DOUBLE BOTT. PLAN

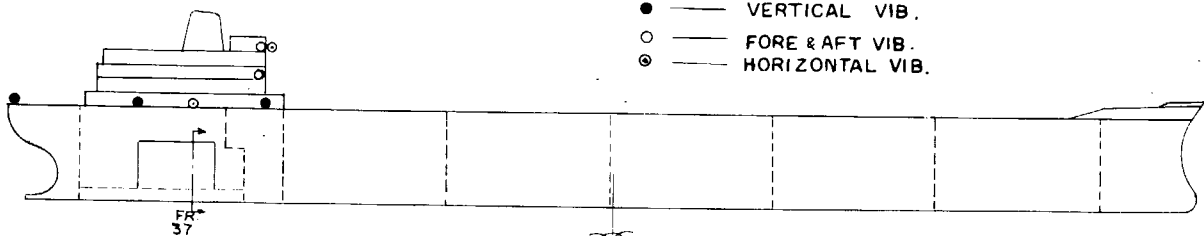


A-A (FR.37) SECT.



MEASURING POINT (1)

- — VERTICAL VIB.
- — FORE & AFT VIB.
- ⊙ — HORIZONTAL VIB.



BOAT DK

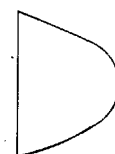
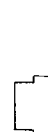
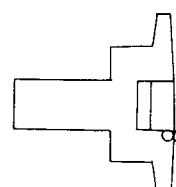
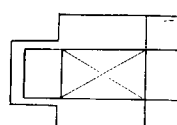
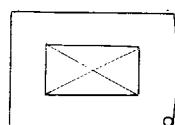
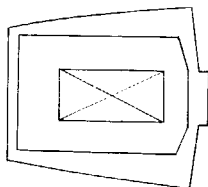
CAB. BR DK

CAP. BR DK

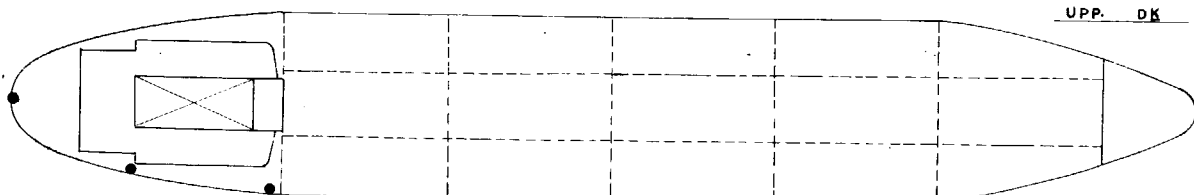
NAV. BR DK

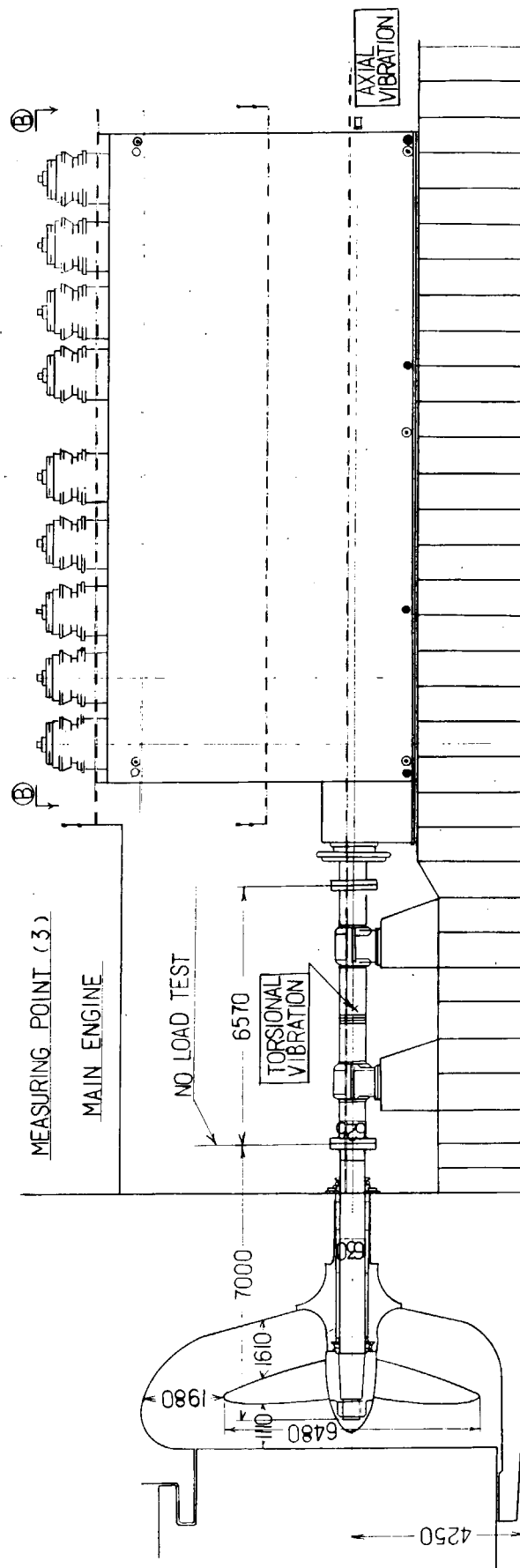
COMP DK

F'CLE DK

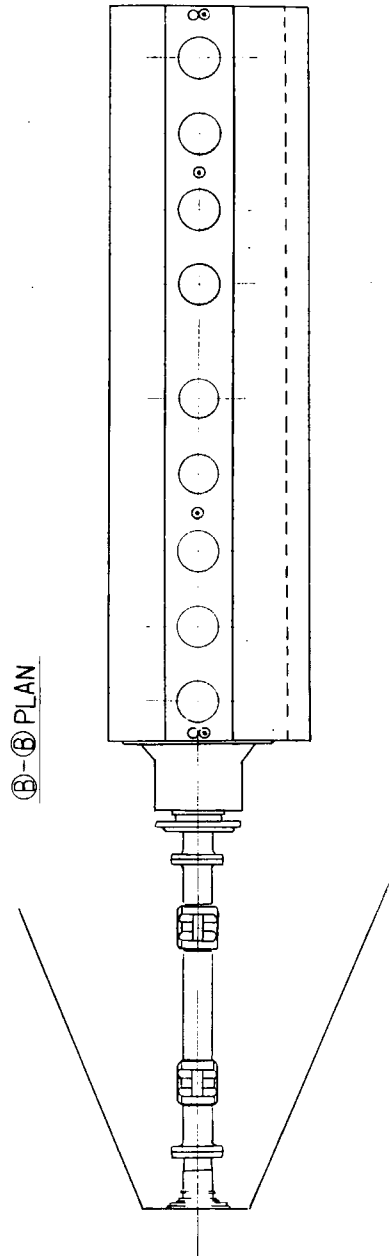


UPP. DK

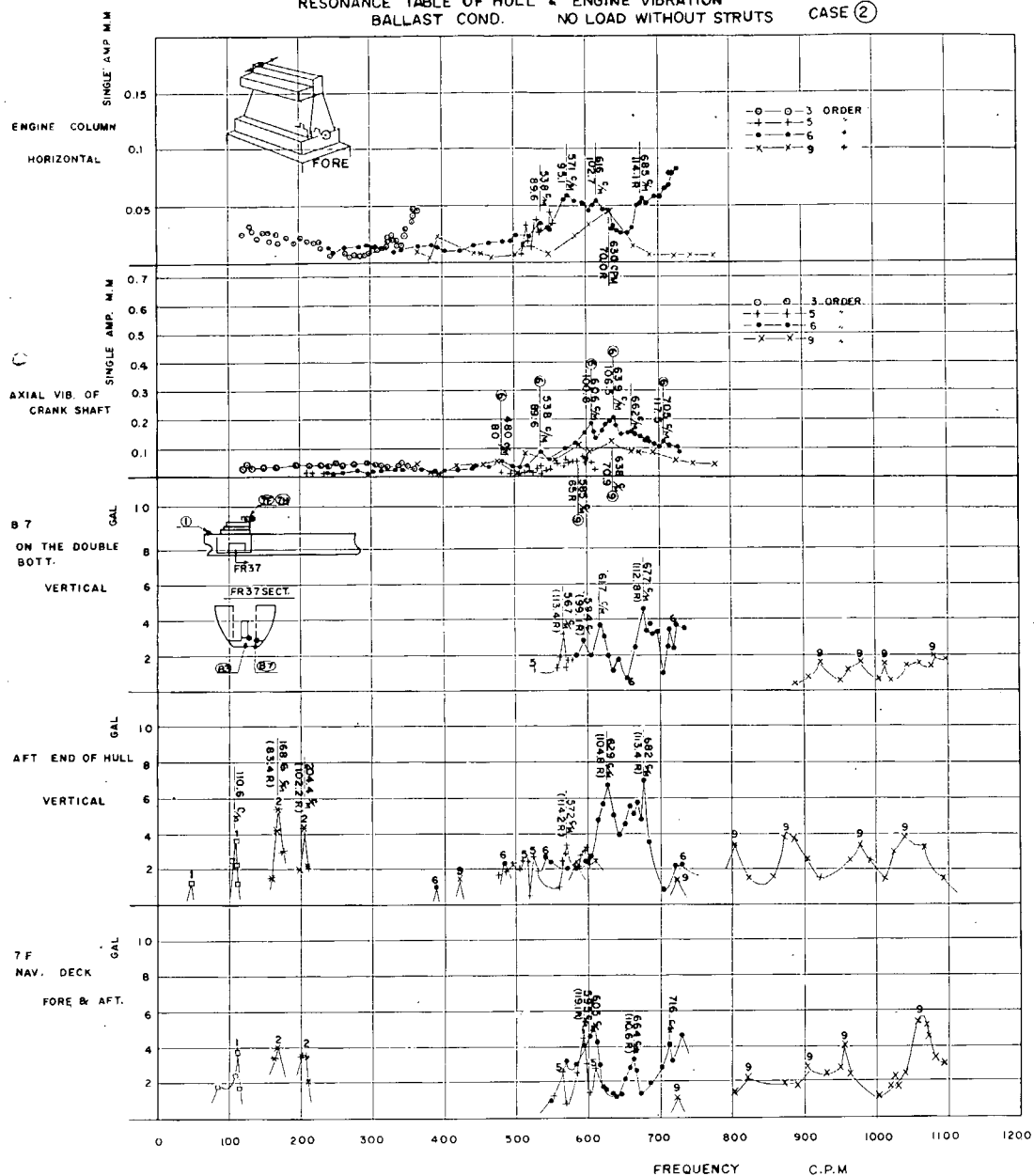




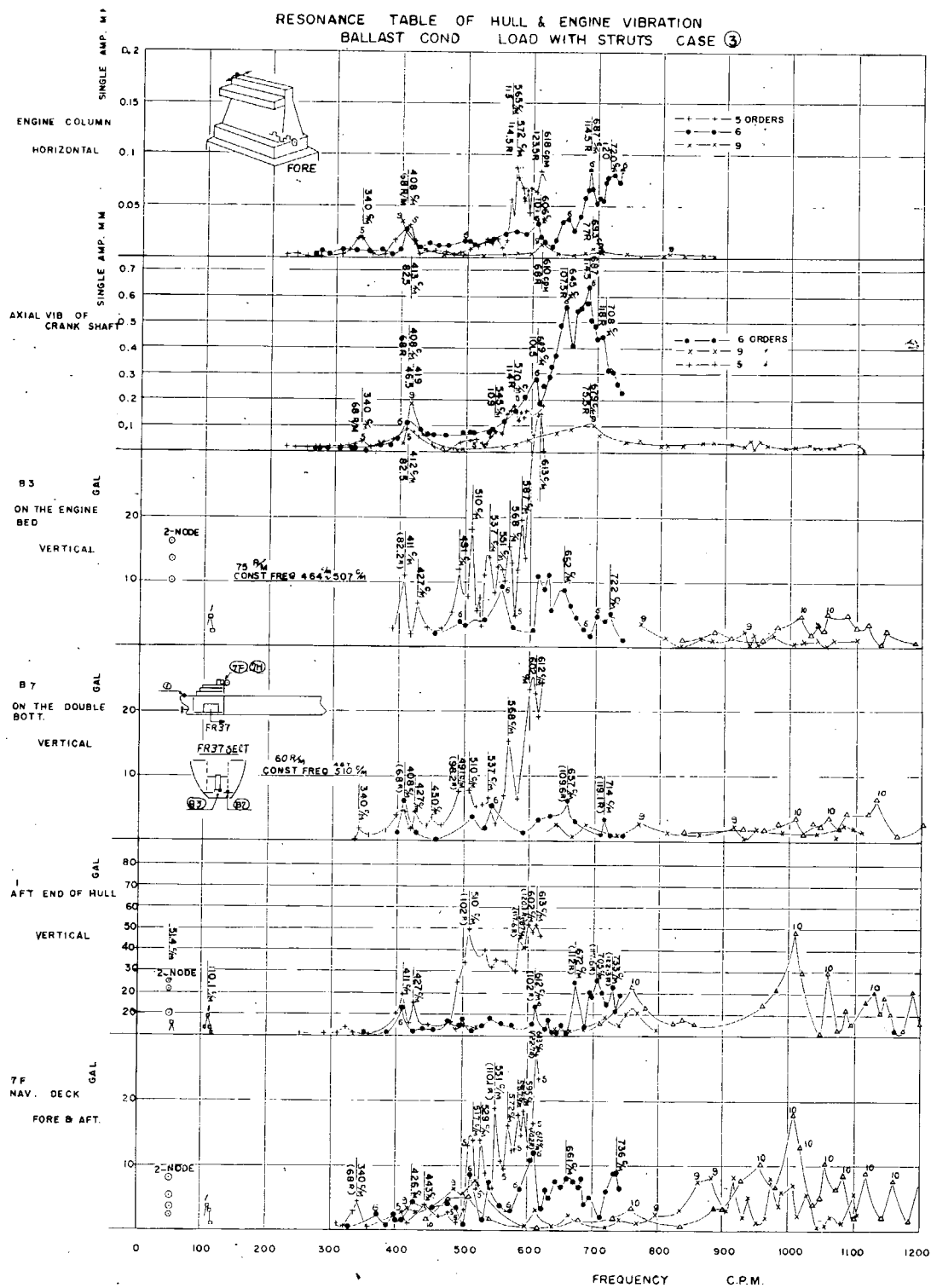
③-③ PLAN



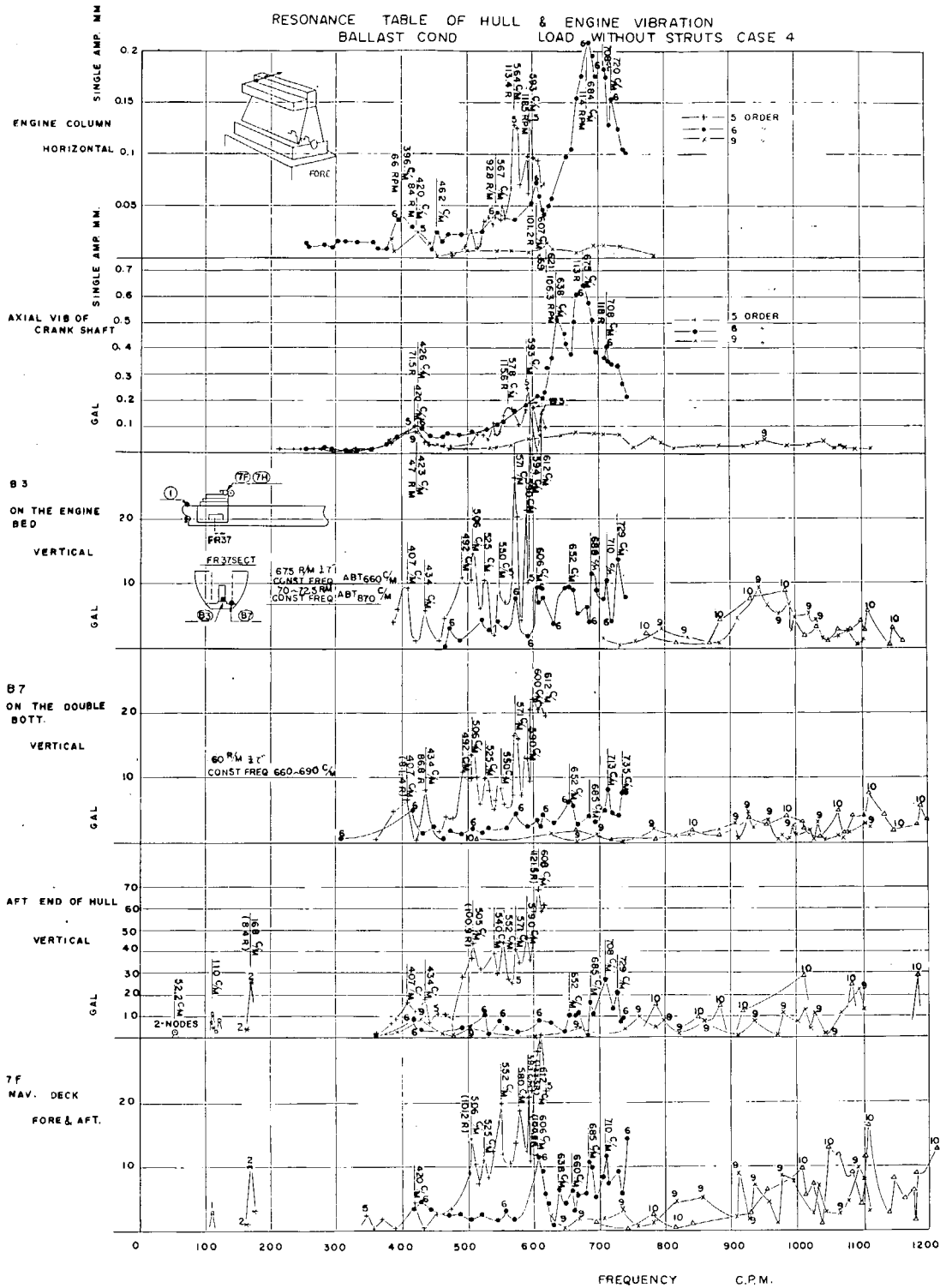
RESONANCE TABLE OF HULL & ENGINE VIBRATION
BALLAST COND. NO LOAD WITHOUT STRUTS CASE ②

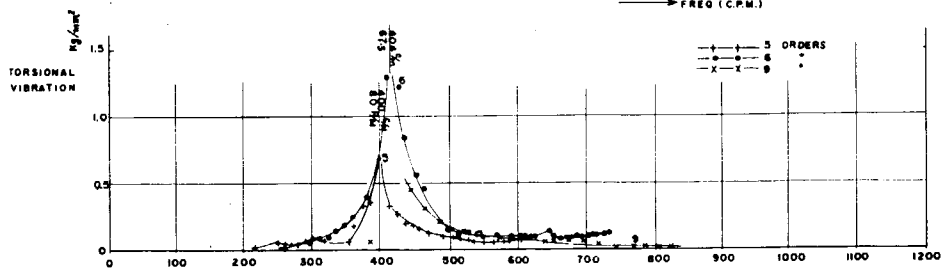
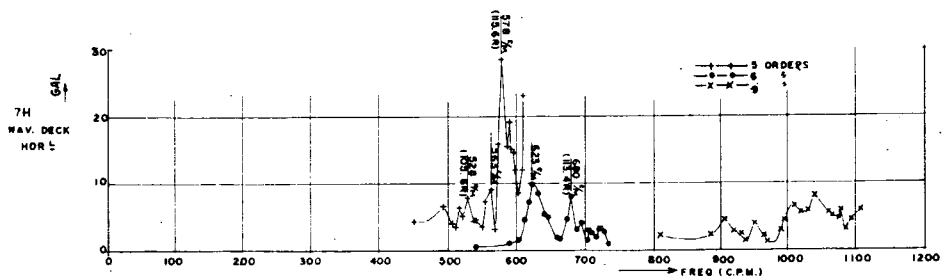
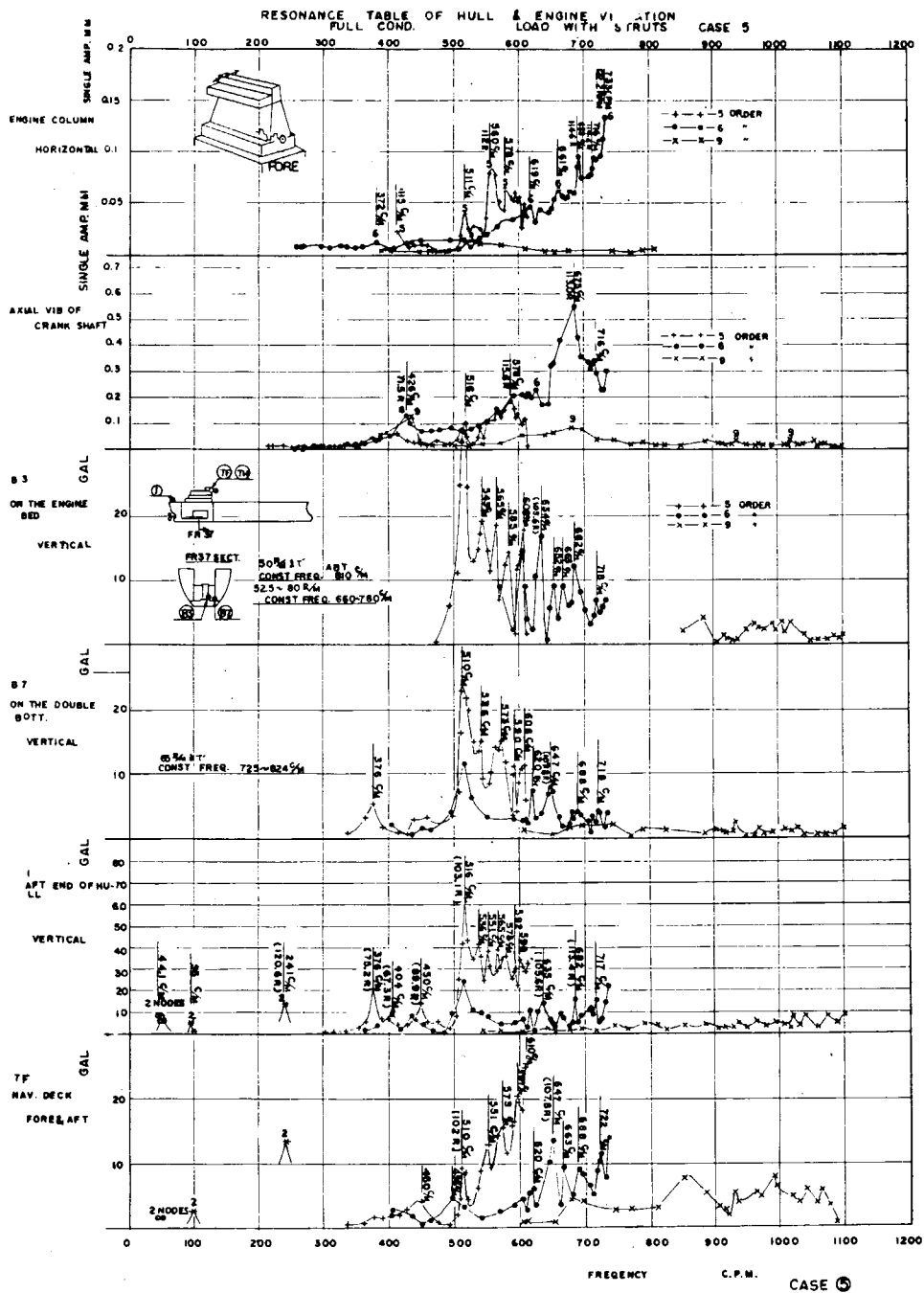


RESONANCE TABLE OF HULL & ENGINE VIBRATION
BALLAST COND LOAD WITH STRUTS CASE ③



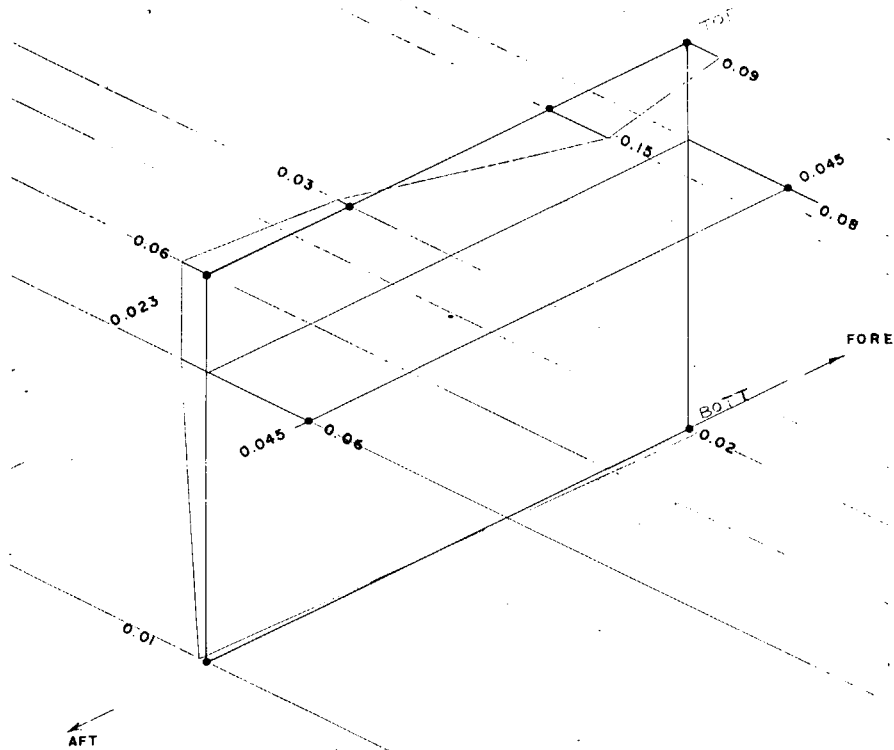
RESONANCE TABLE OF HULL & ENGINE VIBRATION BALLAST COND LOAD WITHOUT STRUTS CASE 4





MODE CURVE OF ENGINE COLUMN

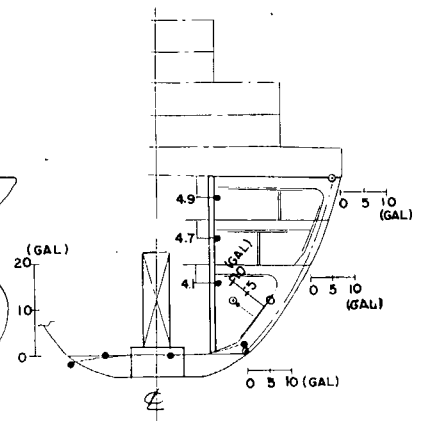
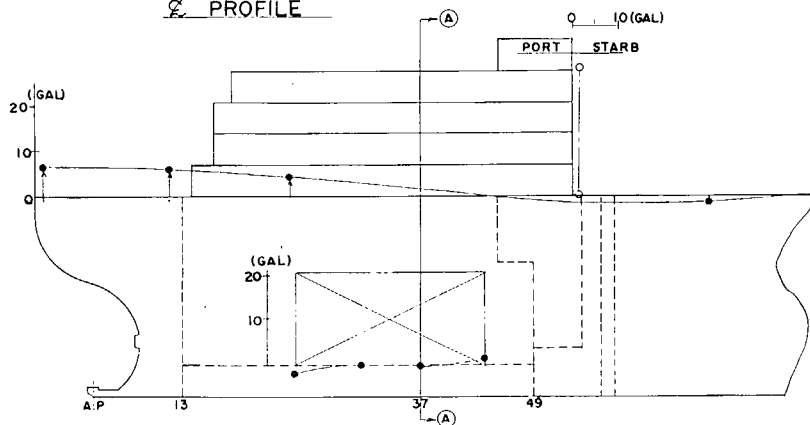
CASE 1 619 CPM (103.1 RPM X 6)



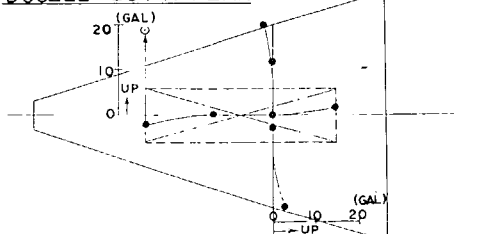
MODE CURVE CASE 2 629 CPM (104.8 R.P.M X 6)

2 PROFILE

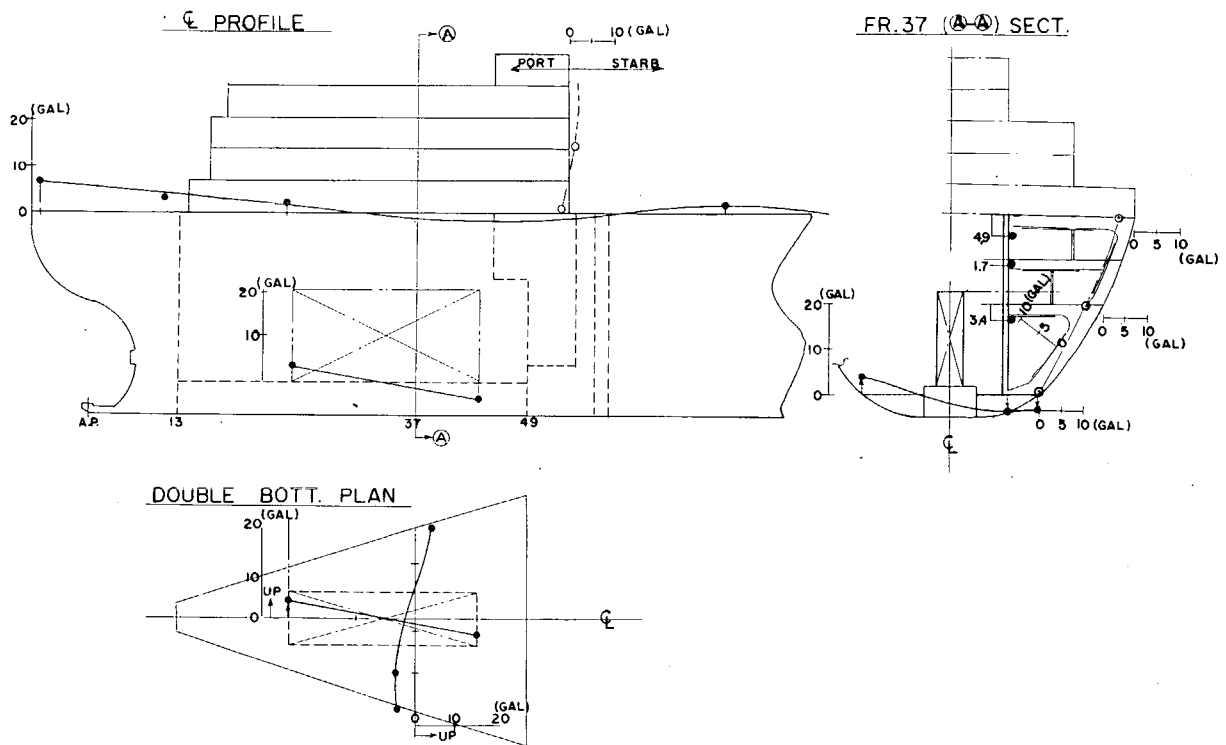
FR. 37 (A-A) SECT



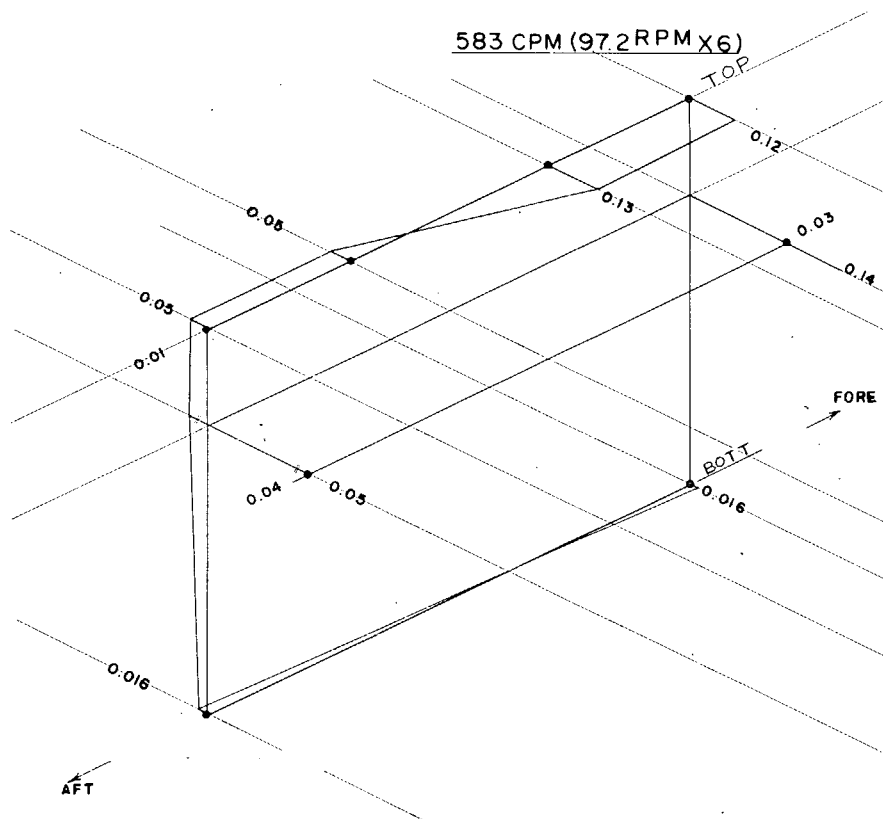
DOUBLE BOTT. PLAN

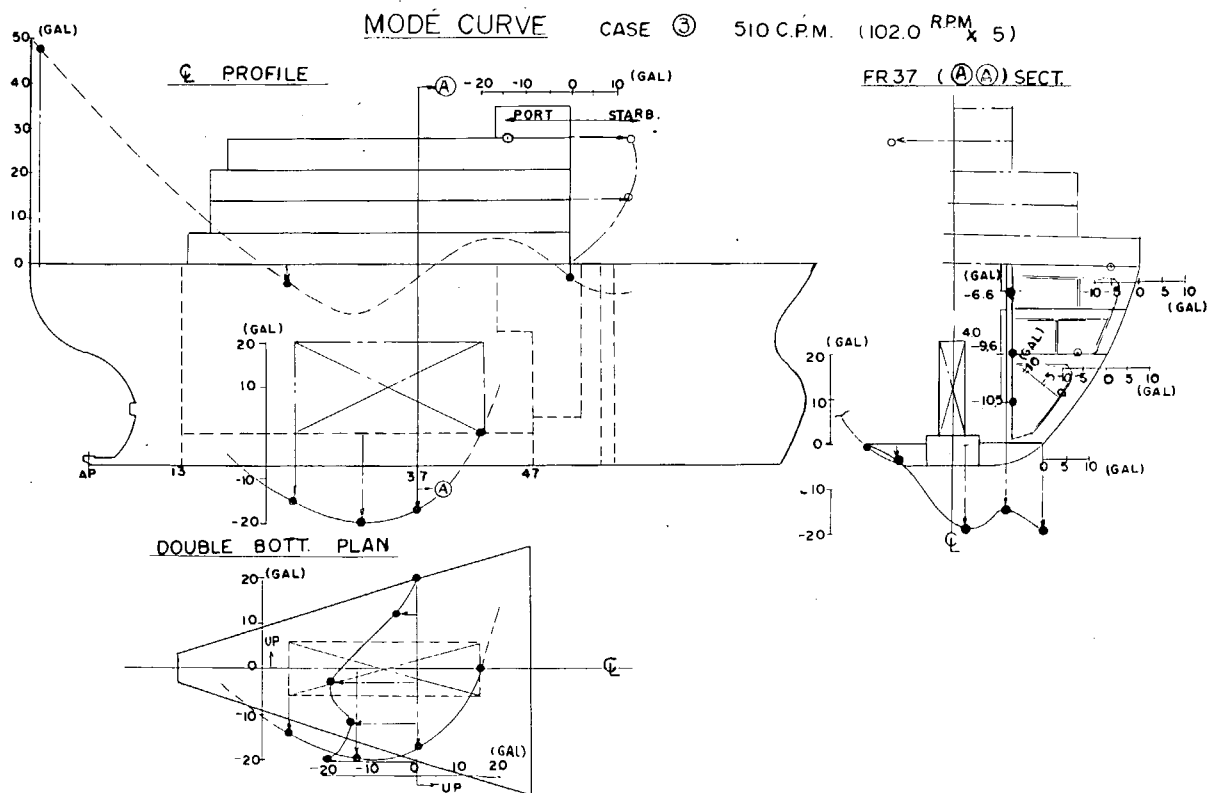
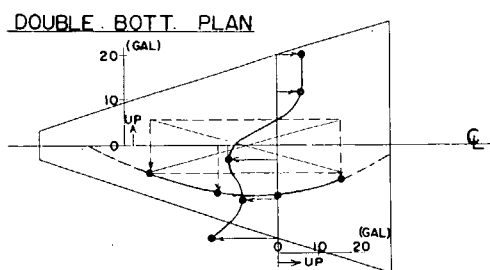
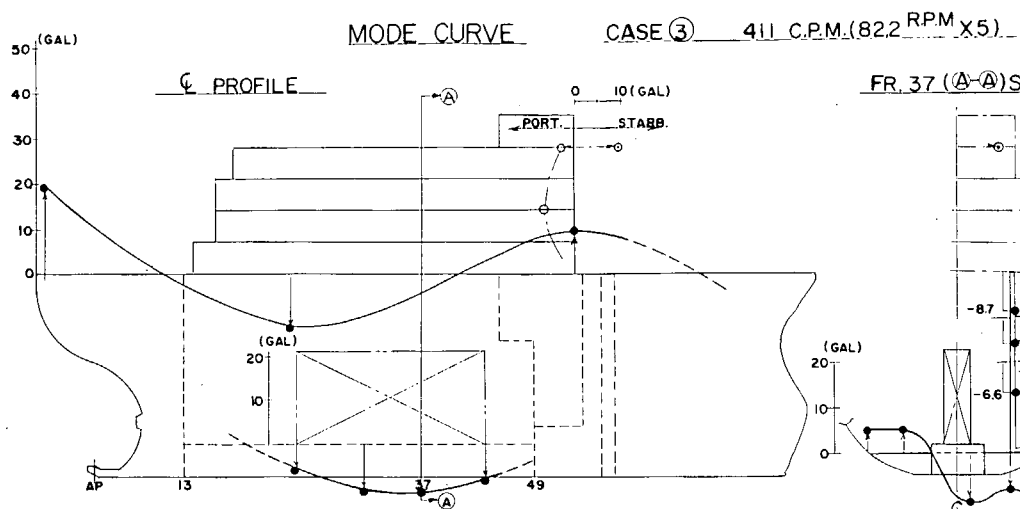


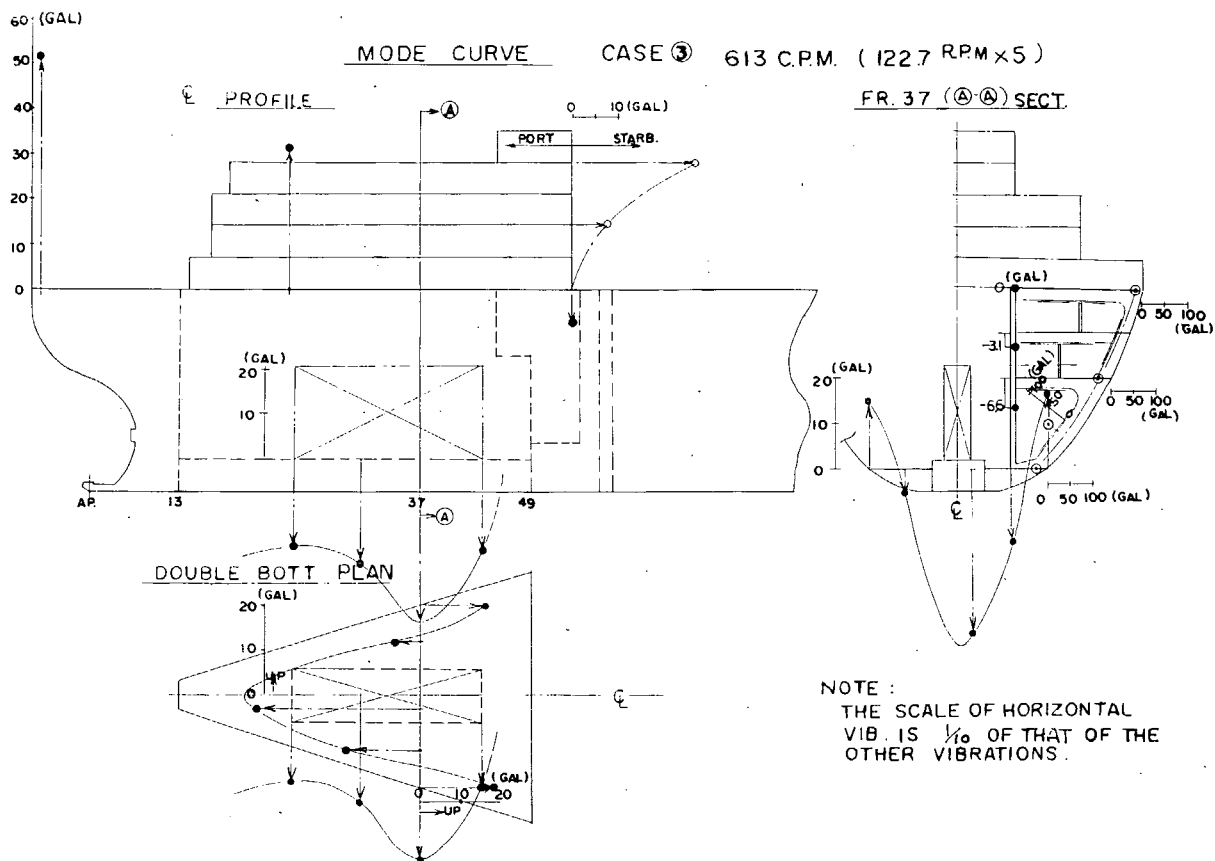
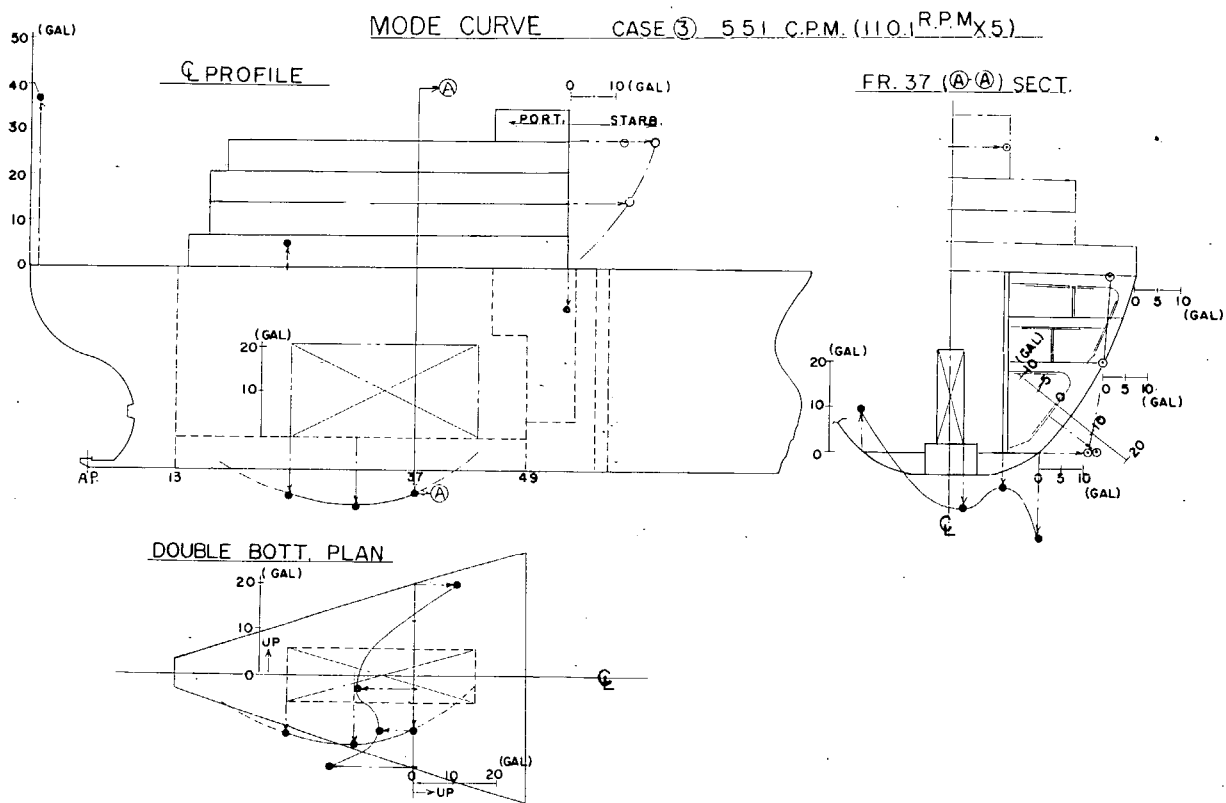
MODE CURVE CASE ② 682 CPM (113.4 RPM X6)



MODE CURVE OF ENGINE COLUMN CASE 2

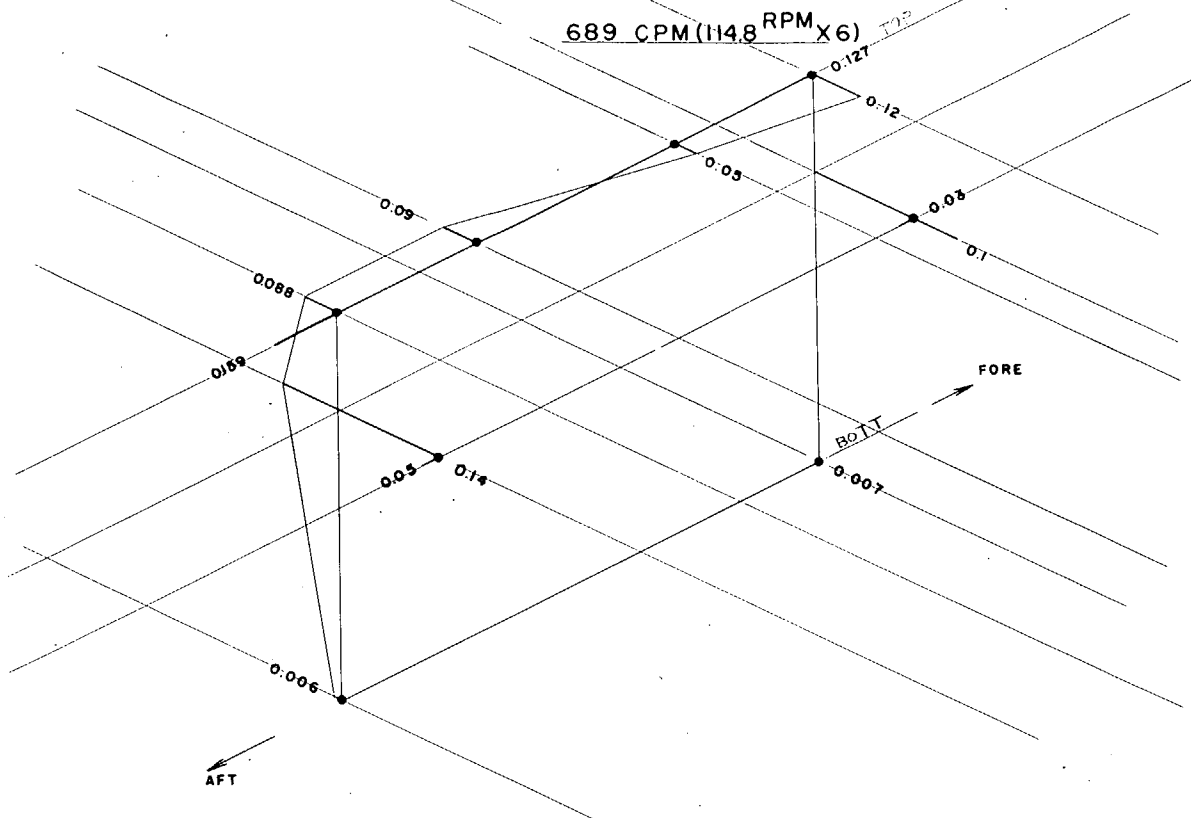




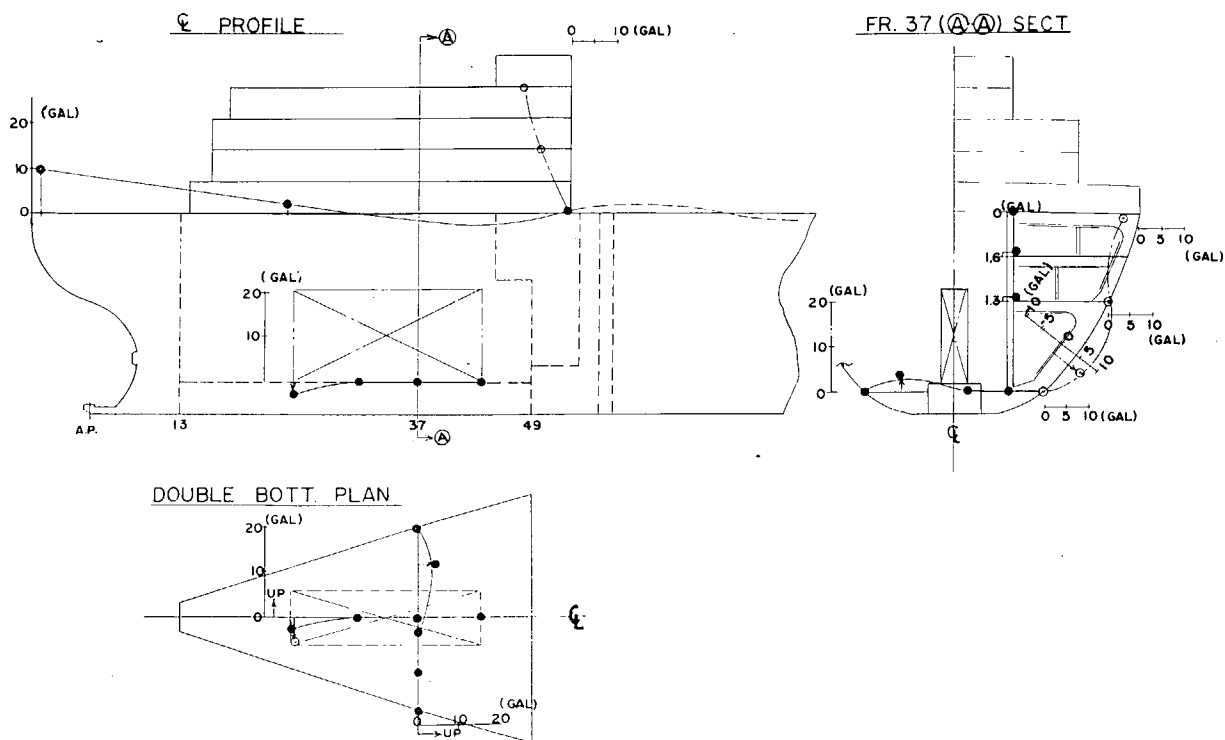


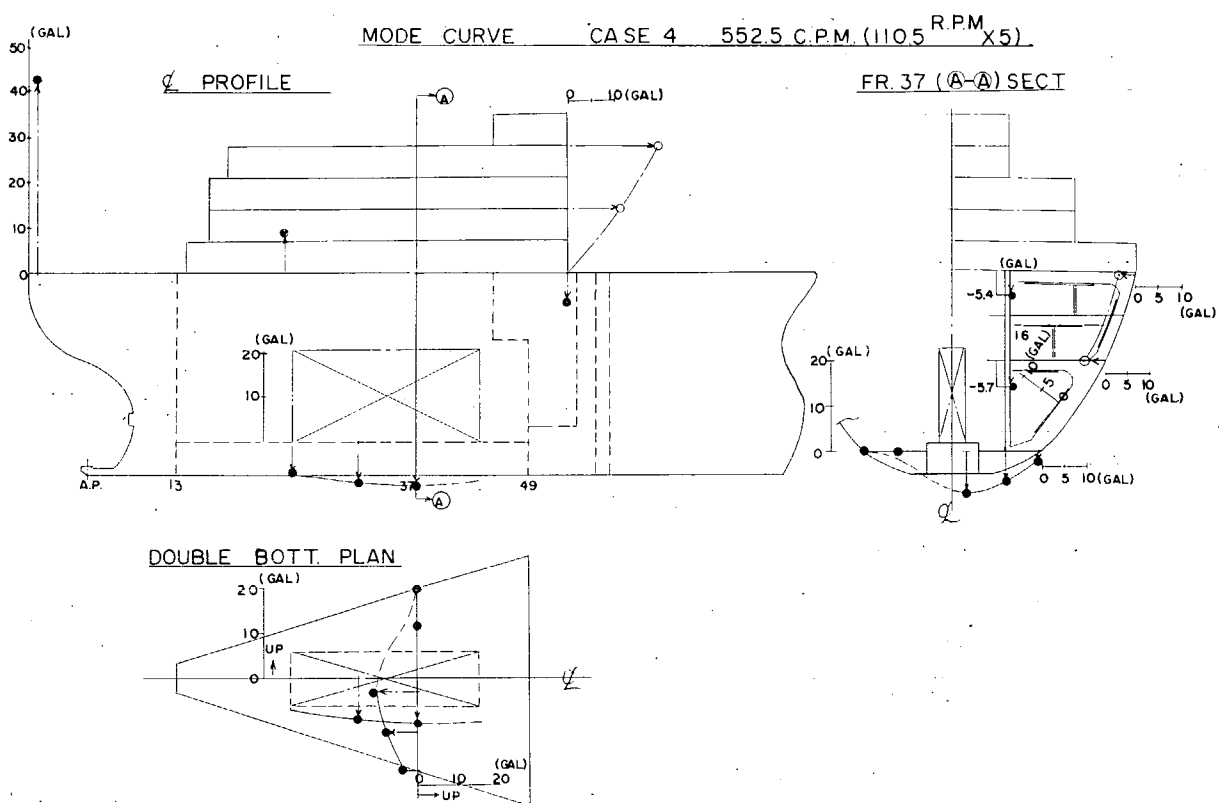
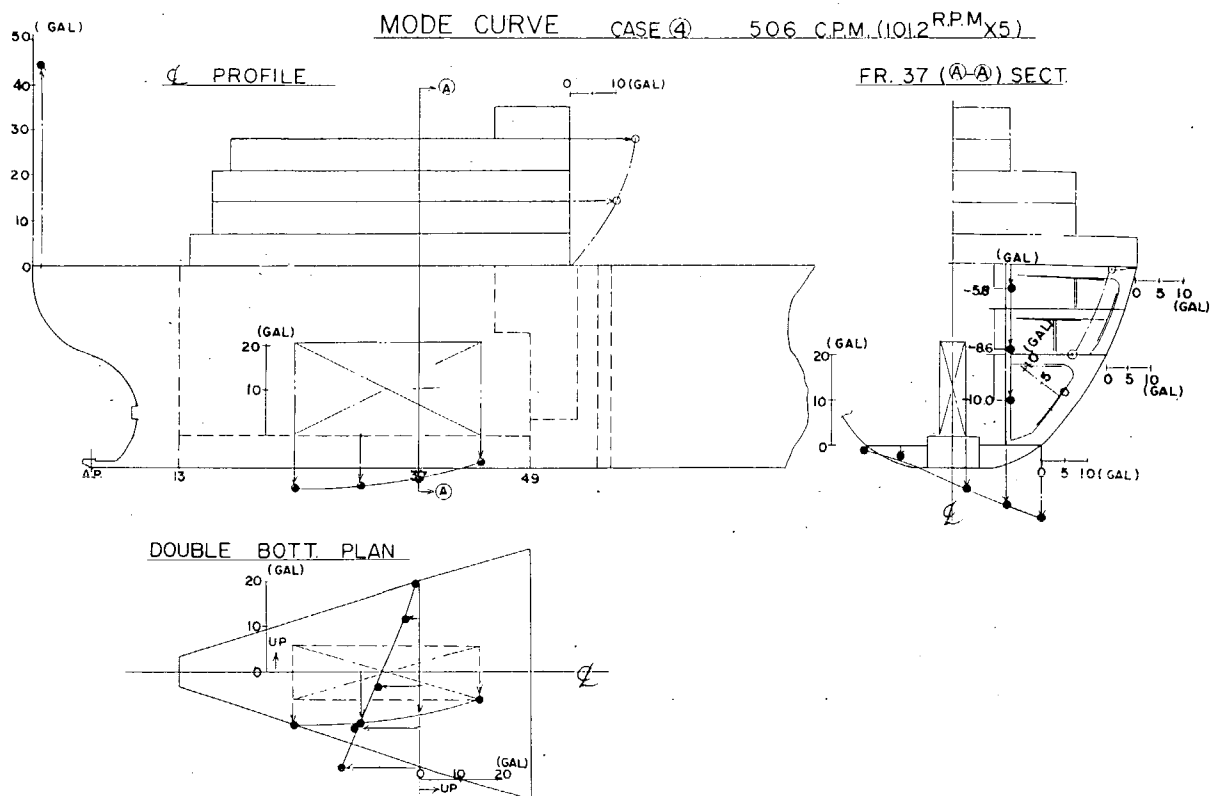
NOTE :
THE SCALE OF HORIZONTAL
VIB. IS $\frac{1}{10}$ OF THAT OF THE
OTHER VIBRATIONS.

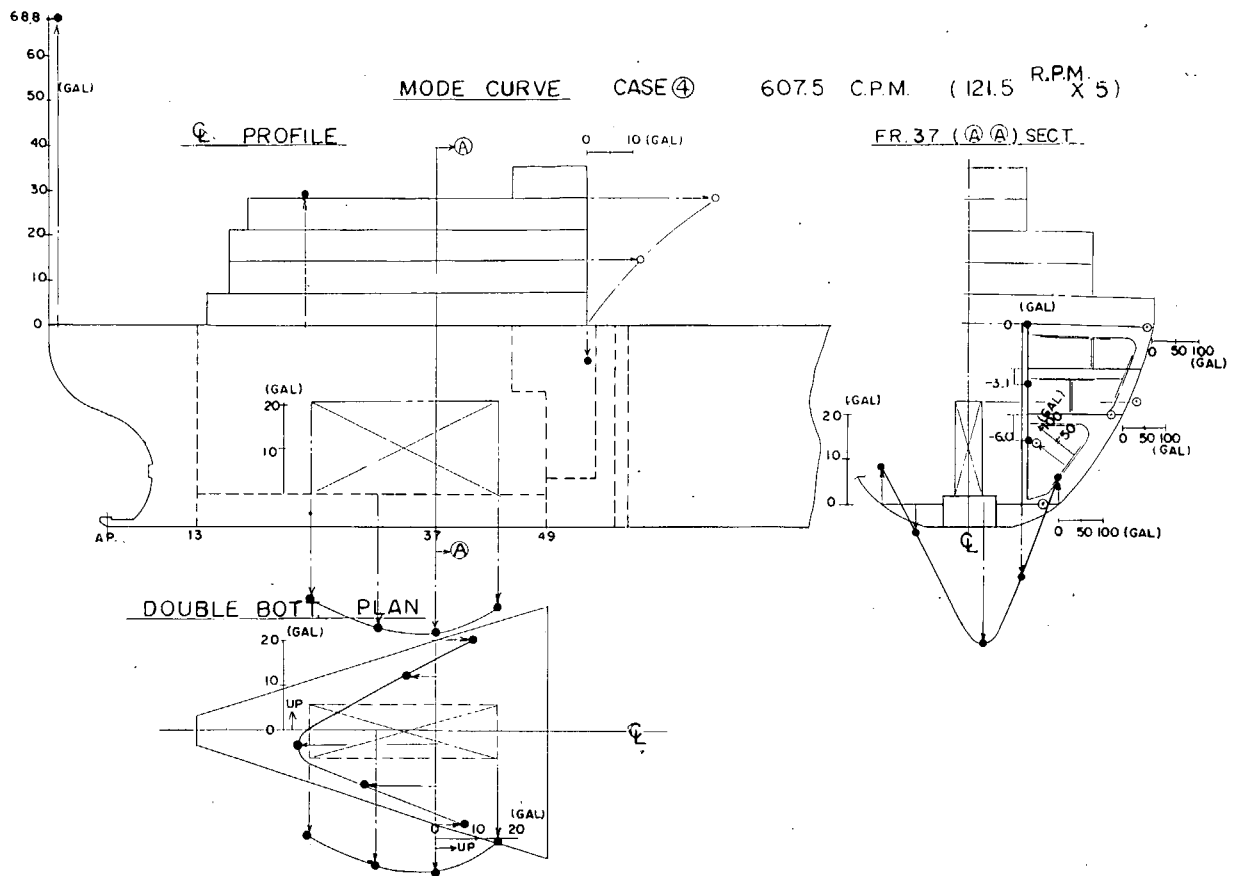
MODE CURVE OF ENGINE COLUMN CASE 3



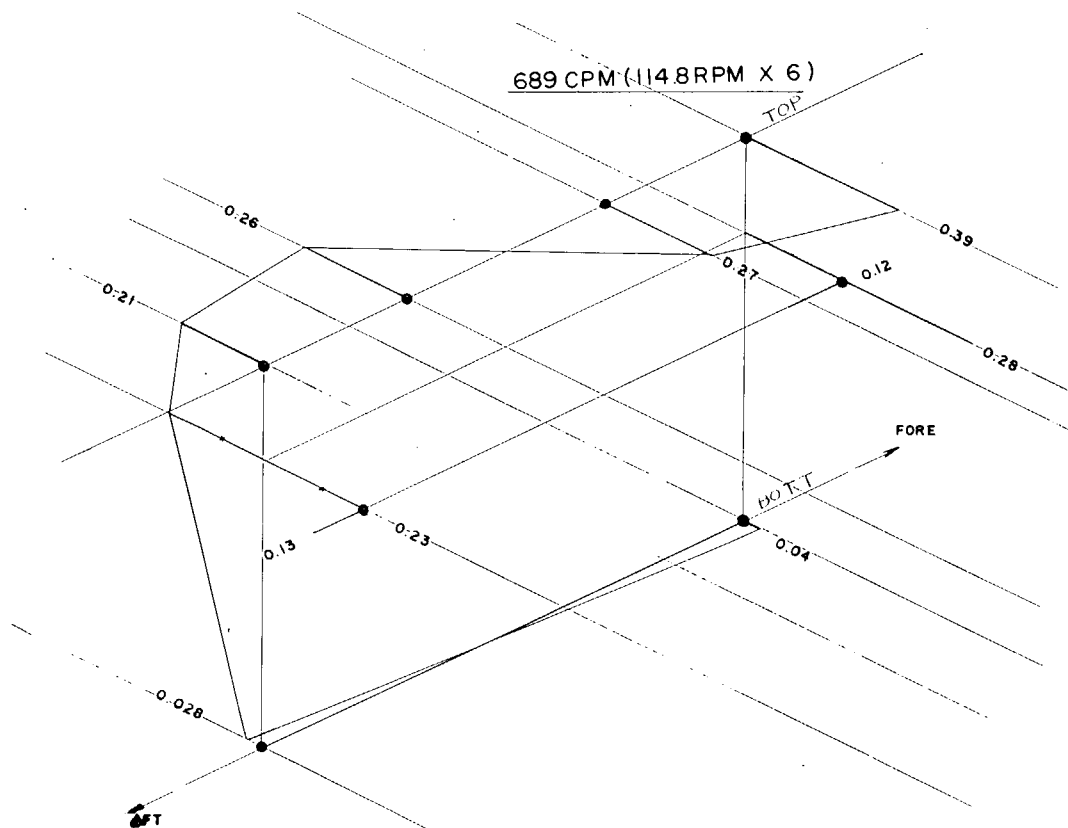
MODE CURVE CASE ④ 423 C.P.M (47^{R.P.M} X 9)

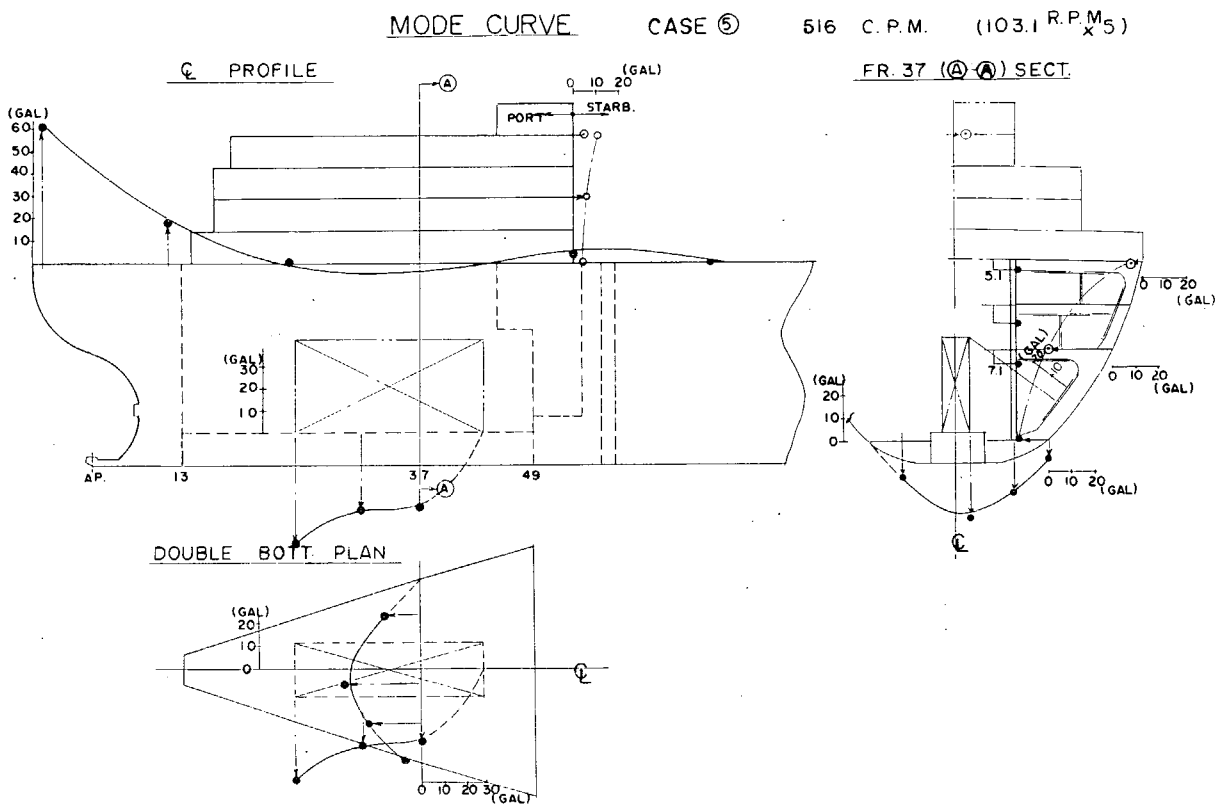
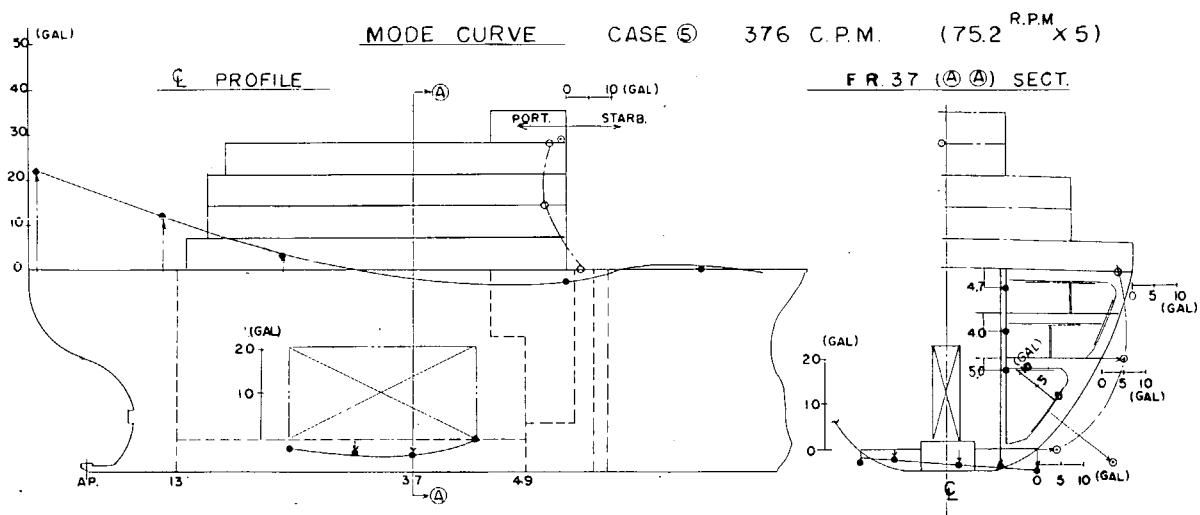


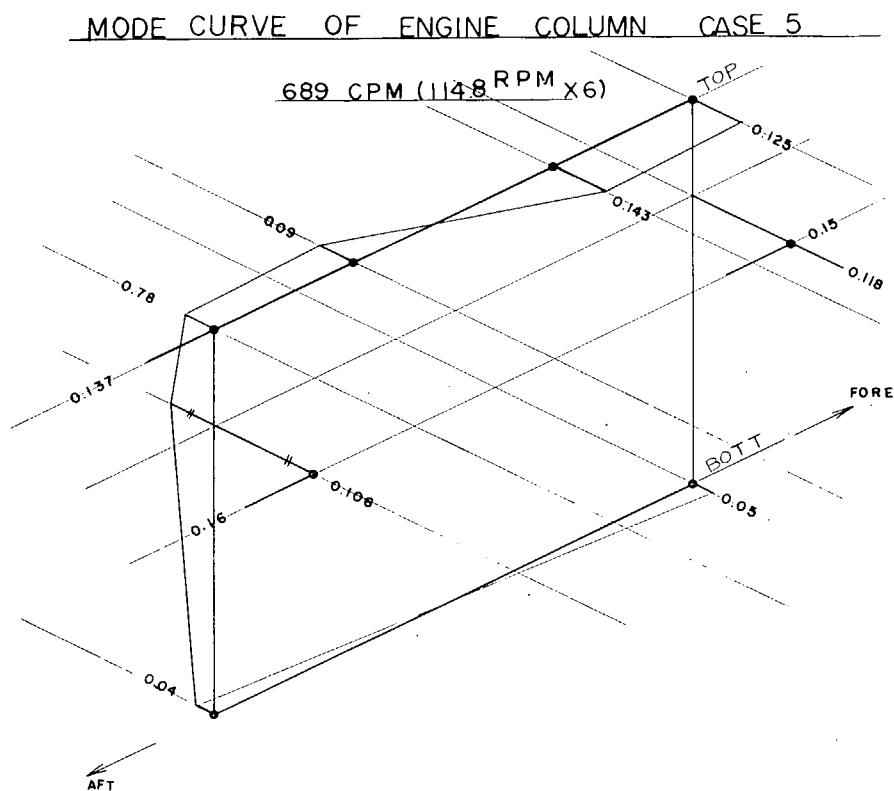
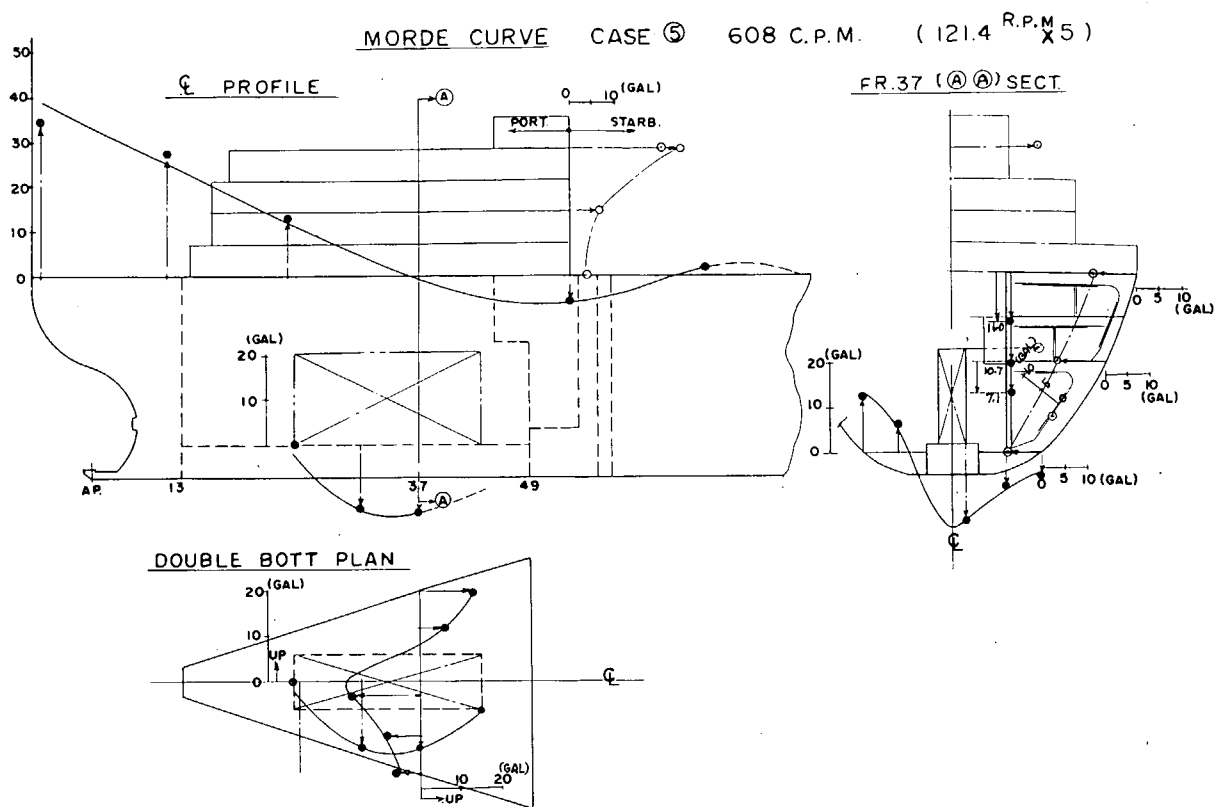


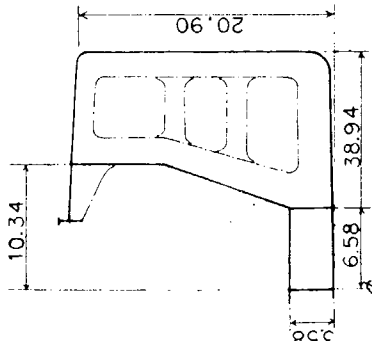
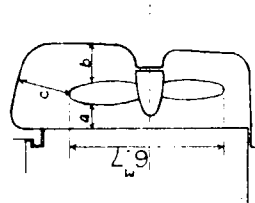


MODE CURVE OF ENGINE COLUMN CASE 4







RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT									
PARTICULARS OF SHIP					SHIP NO. 43-E BUILDER MITSUI				
HULL					MAIN ENGINE				
KIND & TYPE		ORE or OIL		KIND & TYPE		B&W DE984VT			
CLASS	NK	LONG SYSTEM	NUMBER	POSITION OF ENG.	AFT	1 set			
CONSTRUCTION	Loa	253.40 m	RPM	20,700					
Lpp	244.00 m								
Bald	38.94 m								
Bald	20.90 m								
d full	14.686 m								
Δ full	117,714 K.I.								
D.W.	99,605 K.I.								
Cb full	0.8206								
MOMENT OF INERTIA	I _v	402 m ⁴	PROPELLER						
	I _h	967 m ⁴	NUMBER 1						
WEB AREA	A _v	1.715 m ²	NO. OF BLADE 5						
	A _h	1.942 m ²	DIAMETER 6.704						
SECTION PROPELLER APERTURE									
									
					a/b = 0.169 b/b = 0.264 c/b = 0.328				

TEST CONDITION	BALLAST CONDITION	FULL LOAD CONDITION	MEASURING INSTRUMENT	
DATE	DECEN. 10 '68	DECEN. 12 '68	TYPE OF PICK UP	UNBOUND TYPE U-GAUGE ACC.
PLACE	TOKYO BAY	SAGAMI BAY	NO. OF MEAS. POINTS	54
WEATHER	RAINY	RAINY	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SMOOTH	SLIGHT	TYPE OF UNBALANCED EXCITER	FORCE TYPE
DEPTH OF WATER	18 ~ 25 m	1100 m	MAX. EXCIT. FORCE	20 ton (A) 10 ton (B)
Δ test	55717 ^{KT}	117269 ^{KT}	DIRECTION OF EXCIT.	3-DIRECT.
d_f	6.77	14.61	OTHER DESCRIPTIONS	
d_m	7.38	14.74		
d_a	7.99	14.59		
PROPELLER IMMERSION				

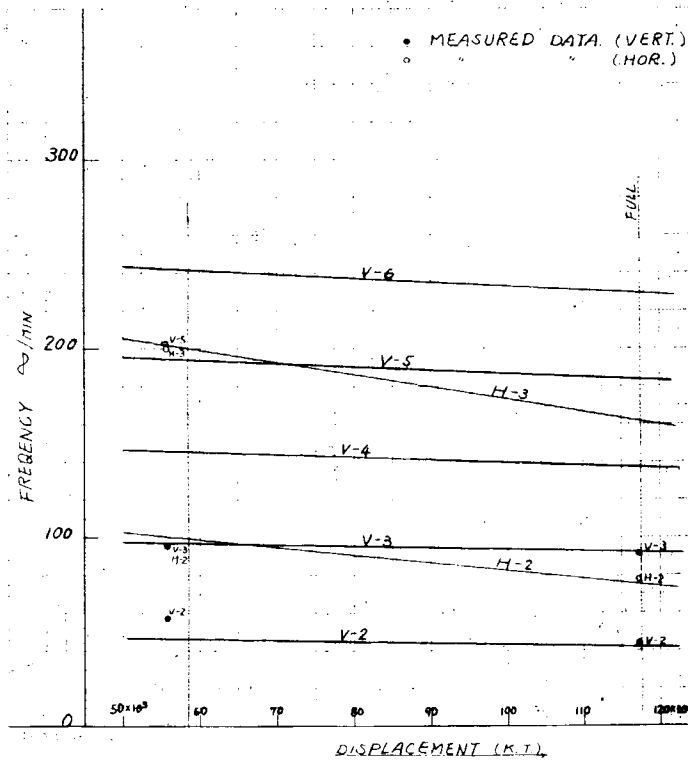
LOADING PLAN

BALLAST CONDITION

FULL LOAD CONDITION

PRELIMINARY ESTIMATED NATURAL FREQUENCY OF HULL VIBRATION

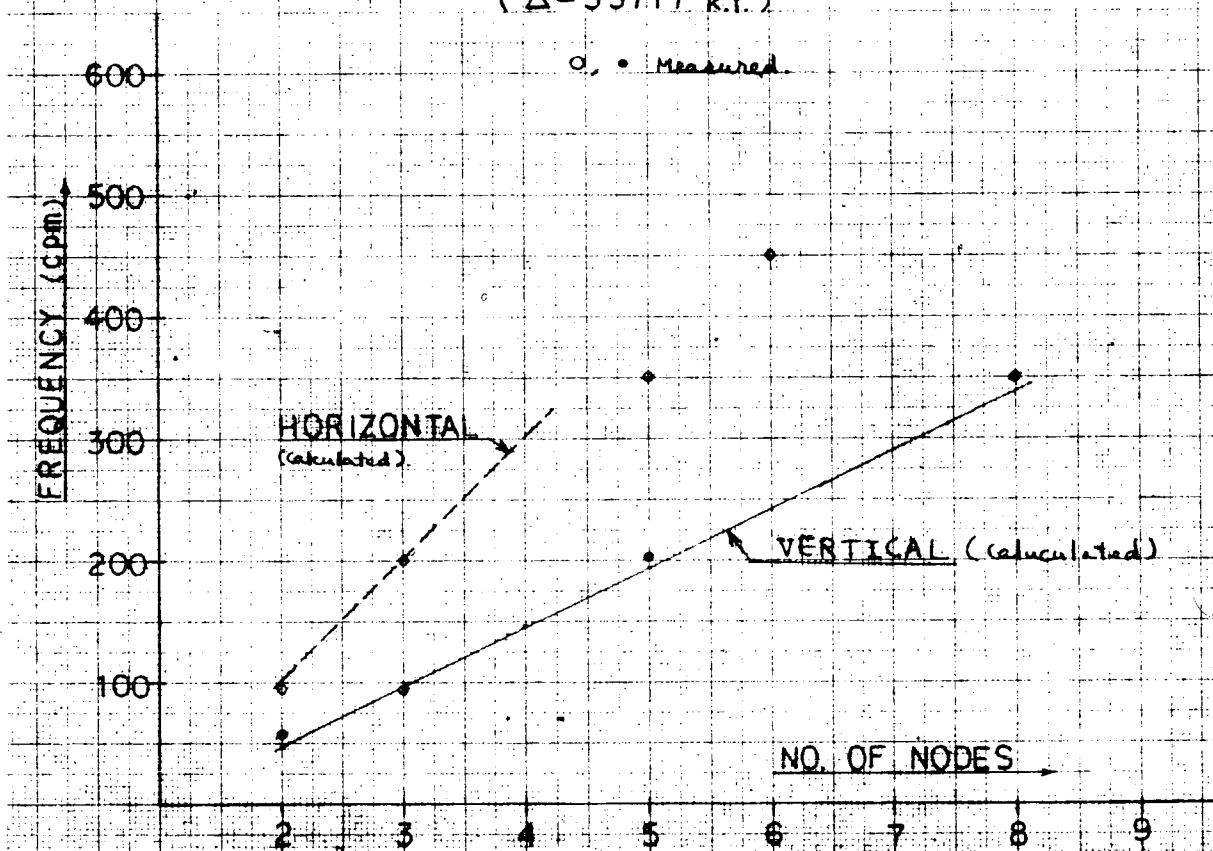
MAIN ENGINE 984 VT2BF 180 ISET



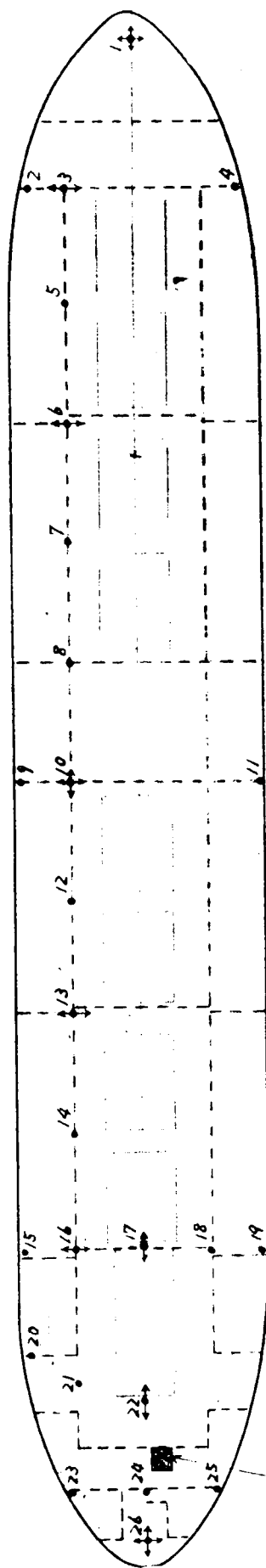
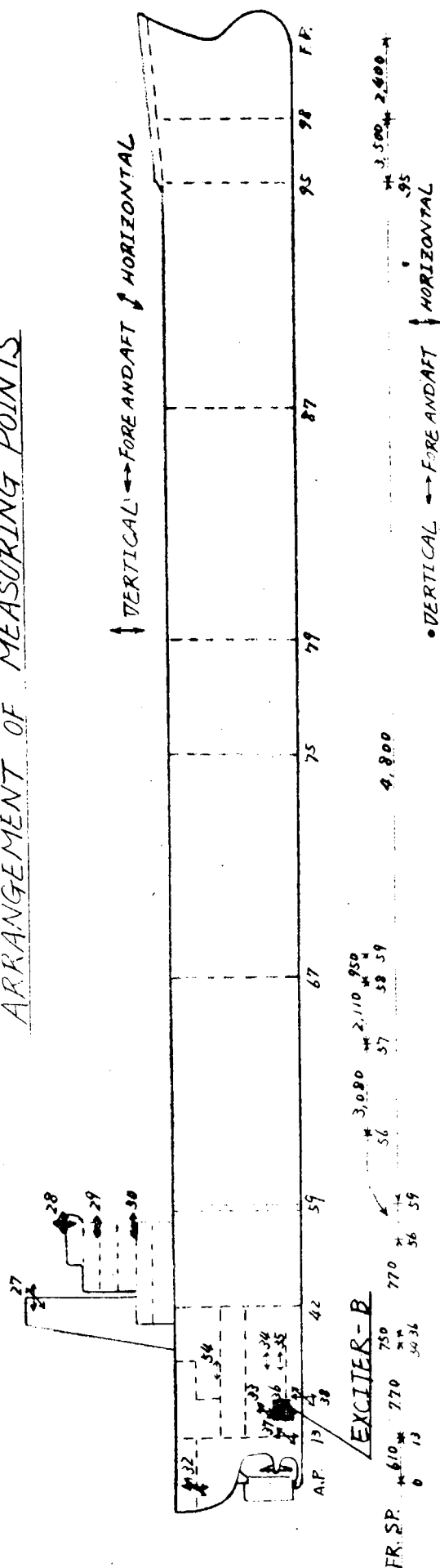
NODE-FREQUENCY CURVE

($\Delta = 55717$ K.T.)

○ • Measured



ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS



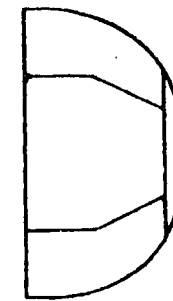
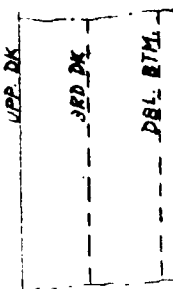
- 34 : THRUST BEARING (UPPER FACE)
- 35 : A-GIR (ENG. BED ON T)
- 36 : DOUBLE BTM. E. FR. 19
- 37 : " " FR. 13
- 38 : BTM. SHELL E. TR. 20 1/2
- 39 : INTERMEDIATE SHAFT BEARING (WIDE STRAIN GAUGES, BOTH SIDES)
- 54 : SIDE SHELL AT 3RD DK (FR. 24)

- 1-26 : UPP. DK.
- 28 : COMP. FLAT E
- 29-30 : SIDE WALL (14.4" OFF E) S. SIDE
- 31 : MID. BR. DK. E
- 32 : ST. G. FLAT E FR. 0
- 33 : B-EXCITER BED

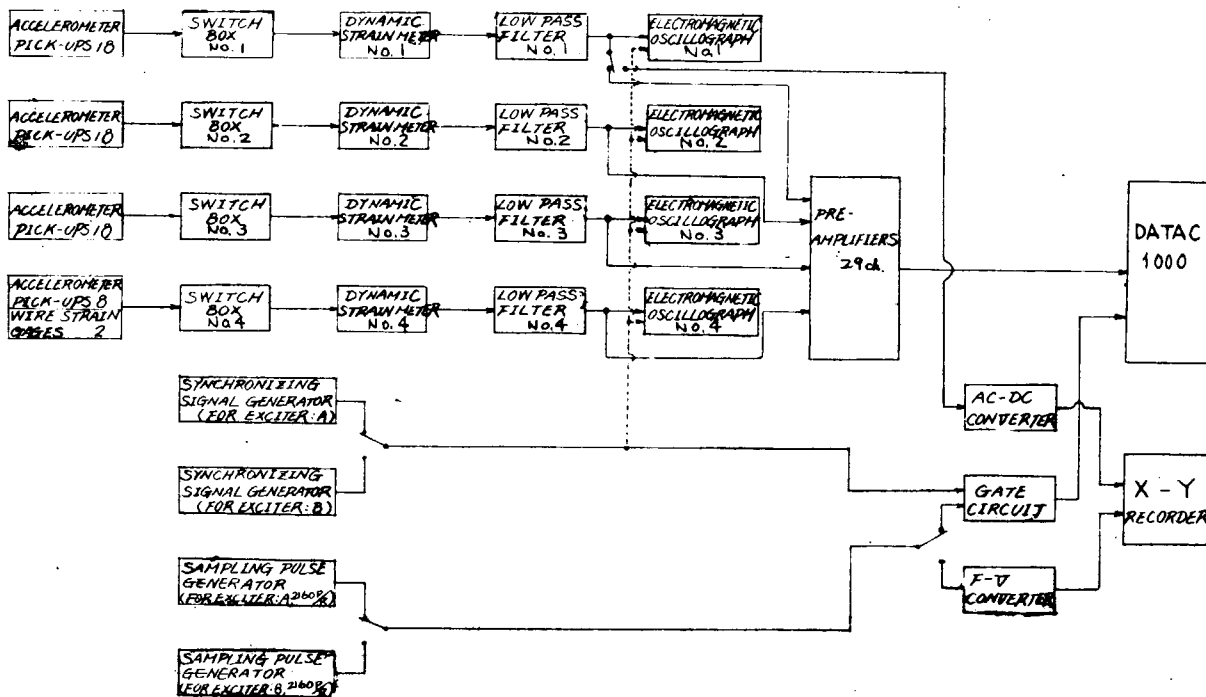
ENG. RM. - SIDE SHELL

FR. 19 SEC.

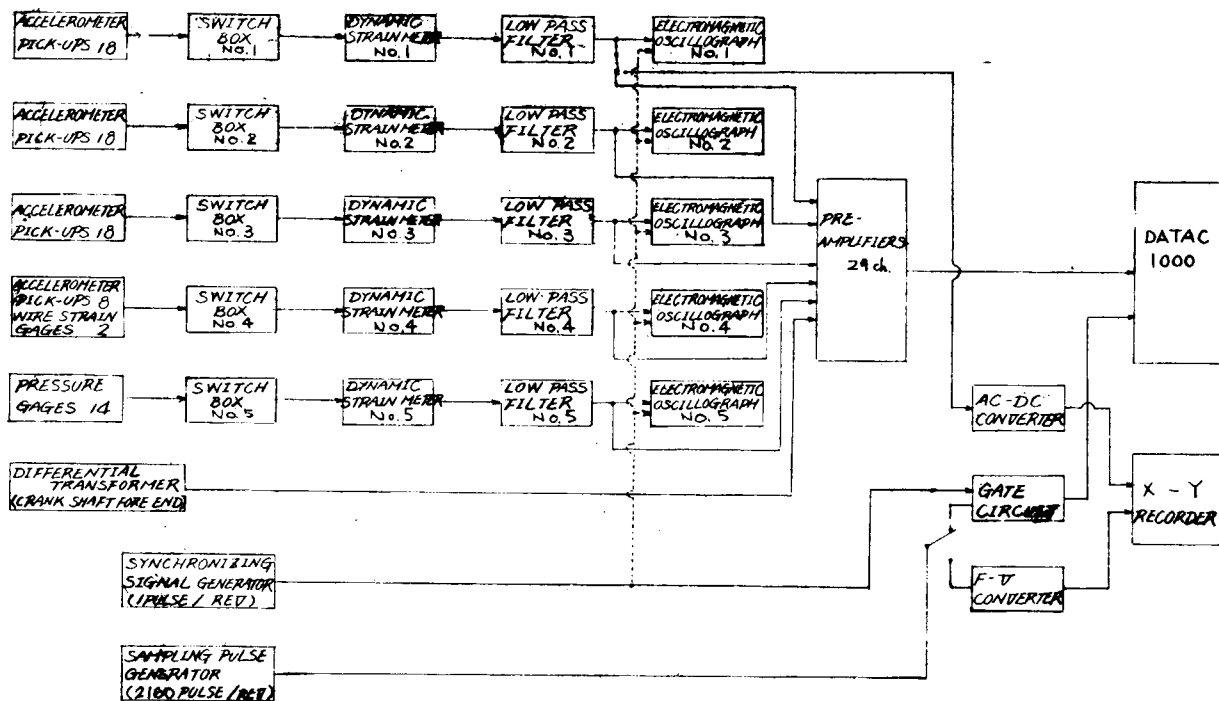
EXCITER-A

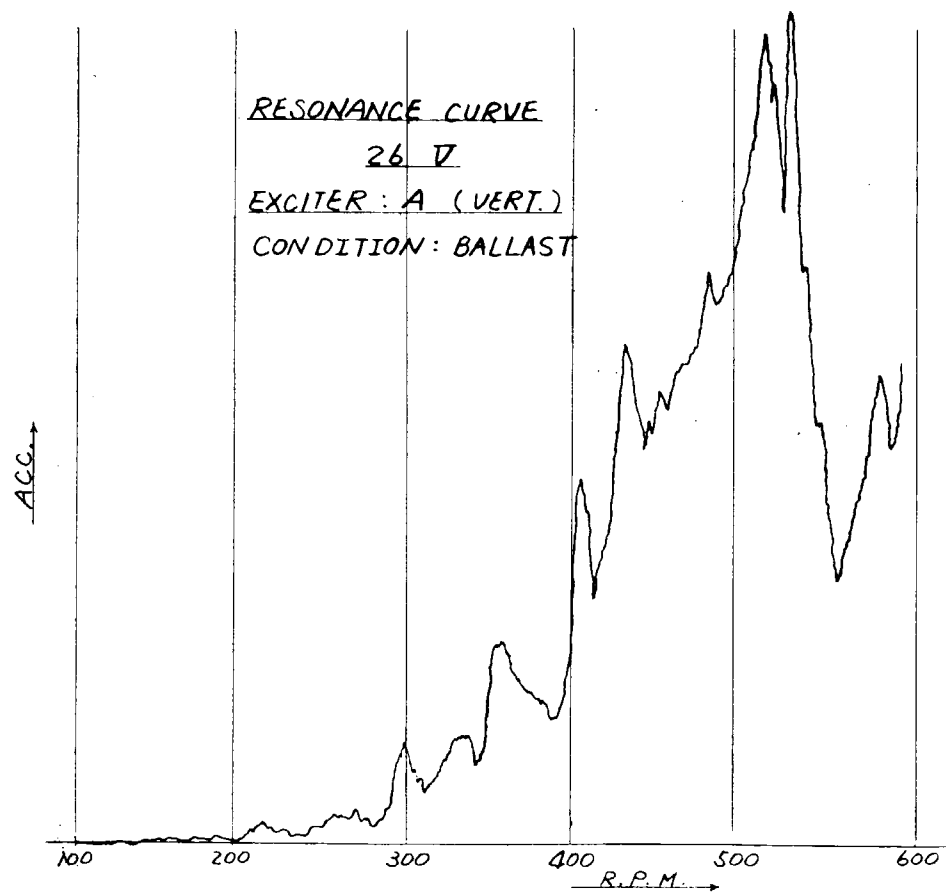
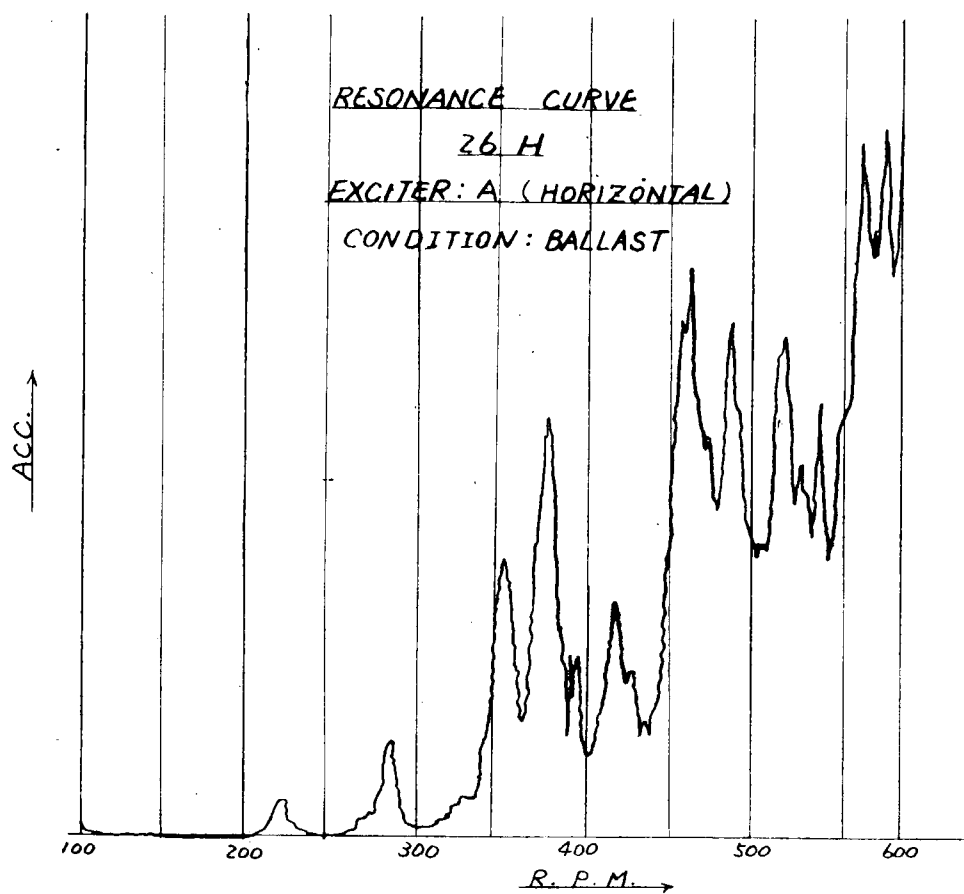


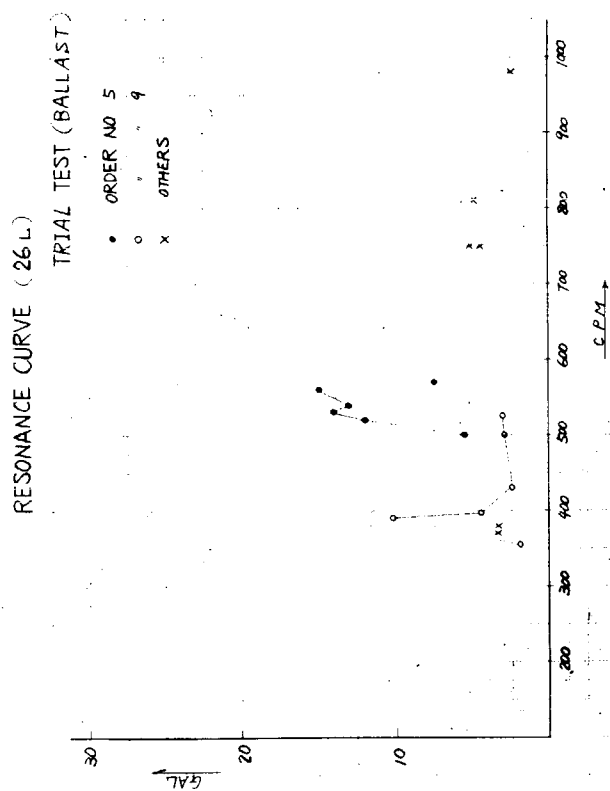
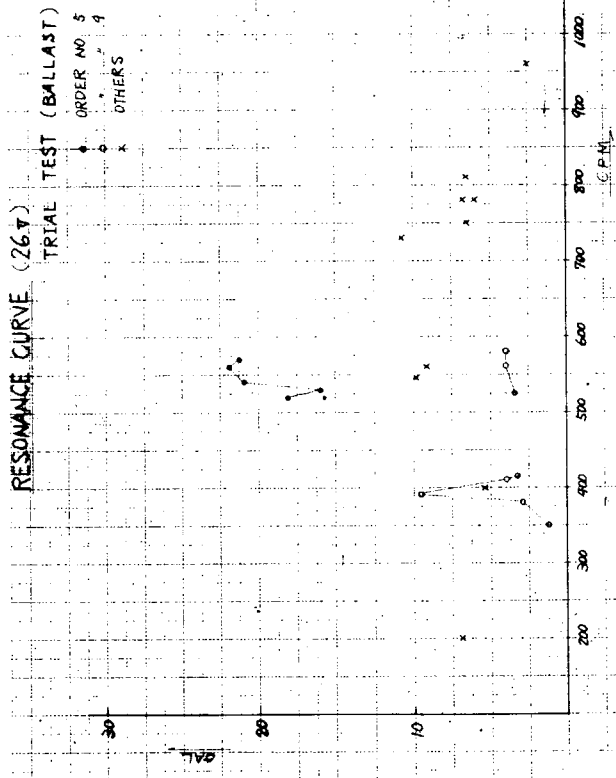
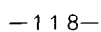
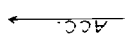
MEASUREMENT SYSTEM DIAGRAM (EXCITER TEST)

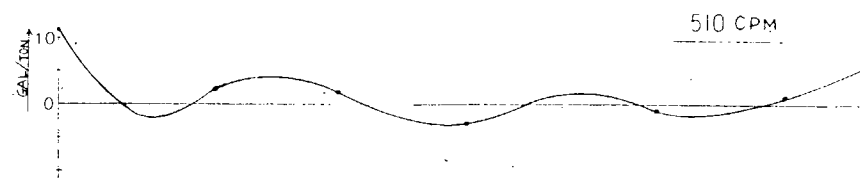
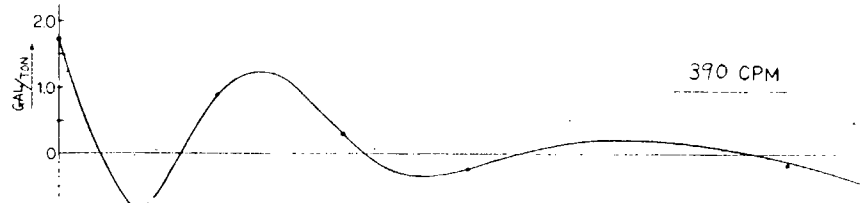
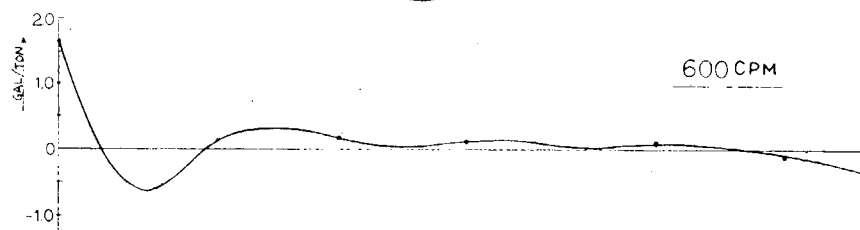
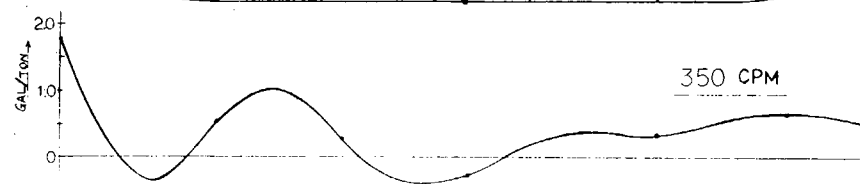
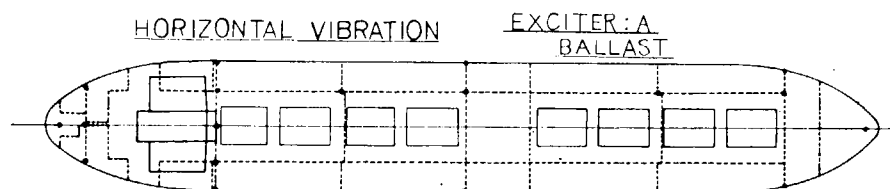
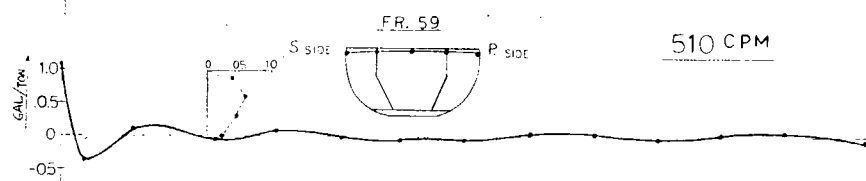
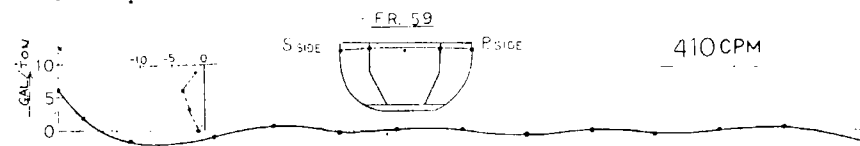
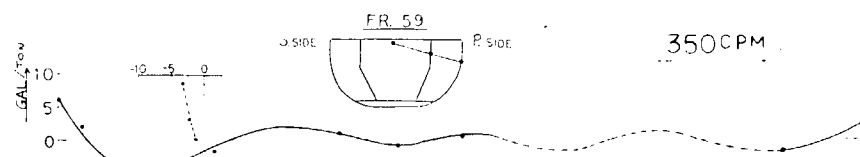
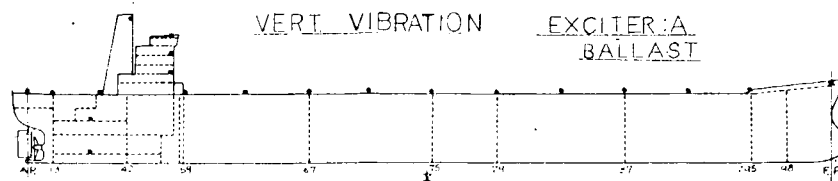


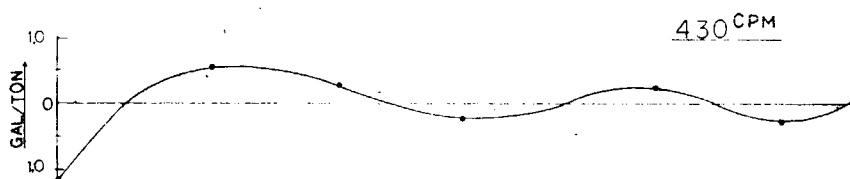
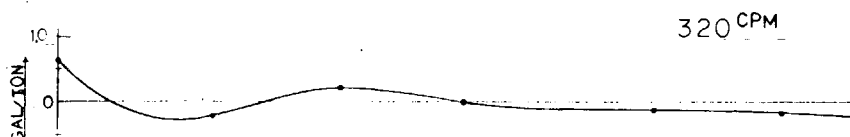
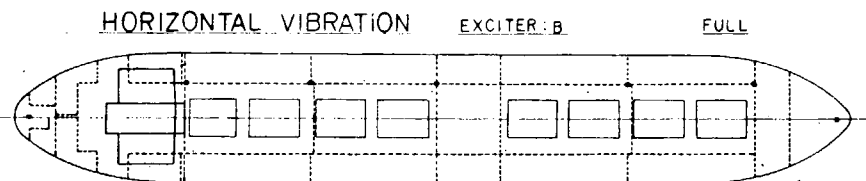
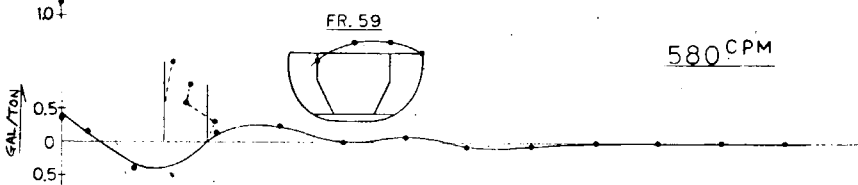
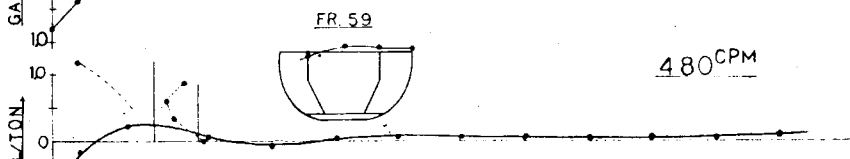
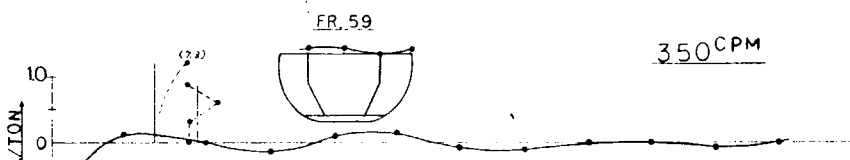
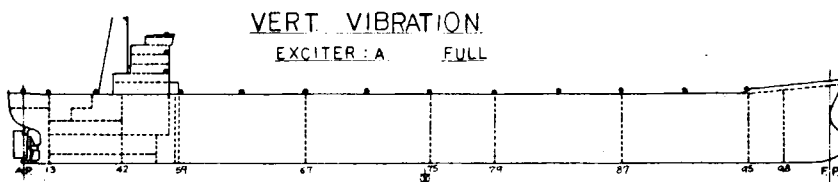
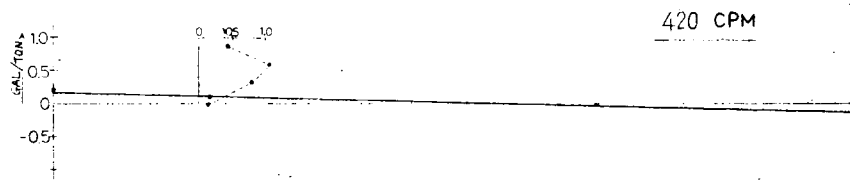
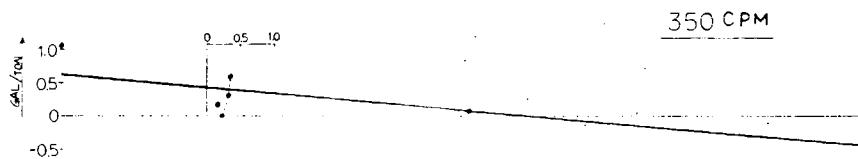
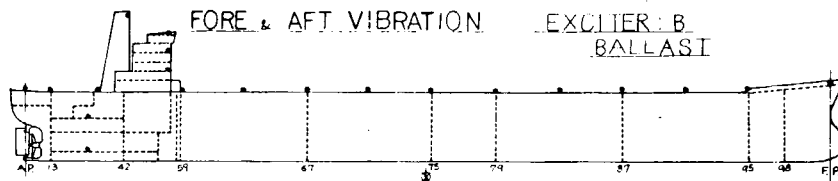
MEASUREMENT SYSTEM DIAGRAM (TRIAL TEST)

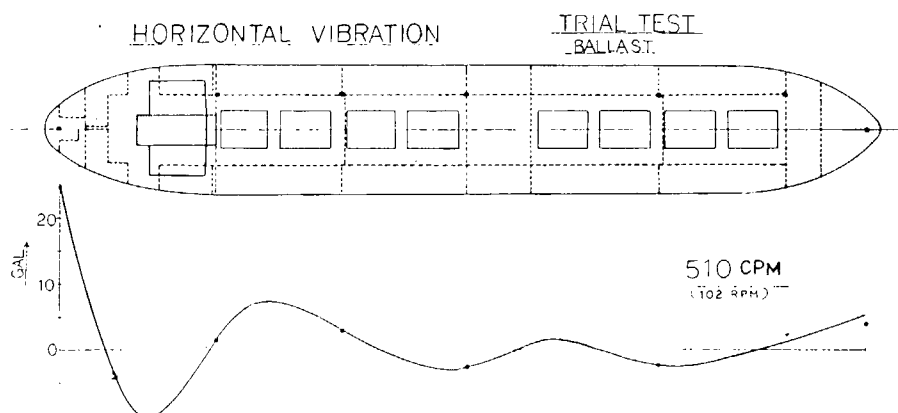
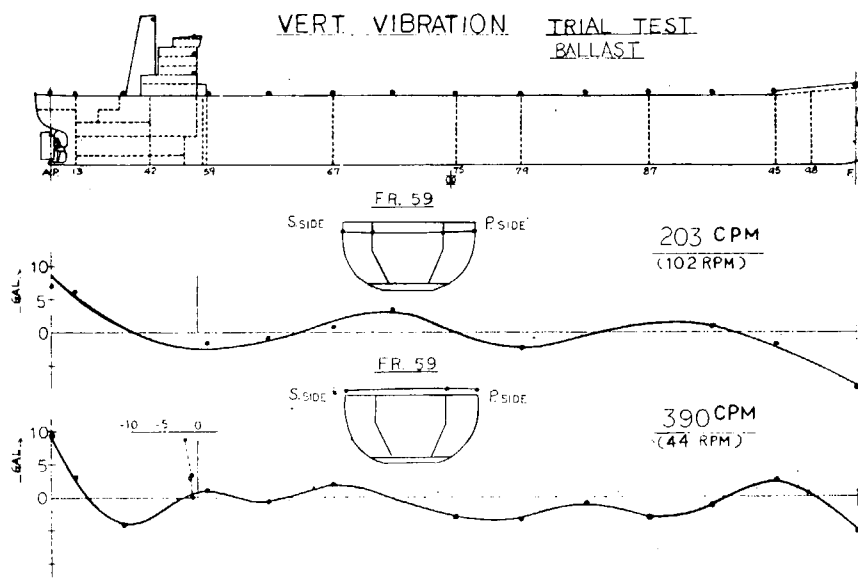
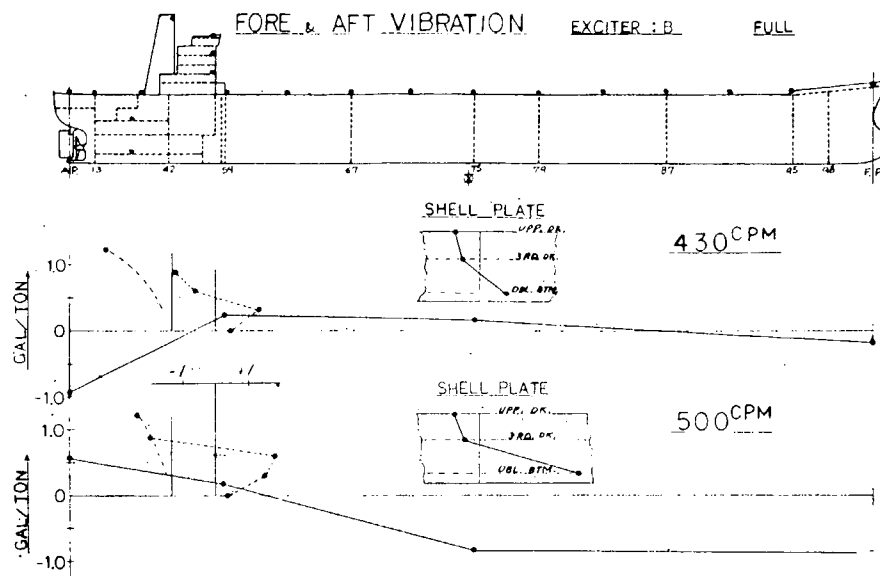


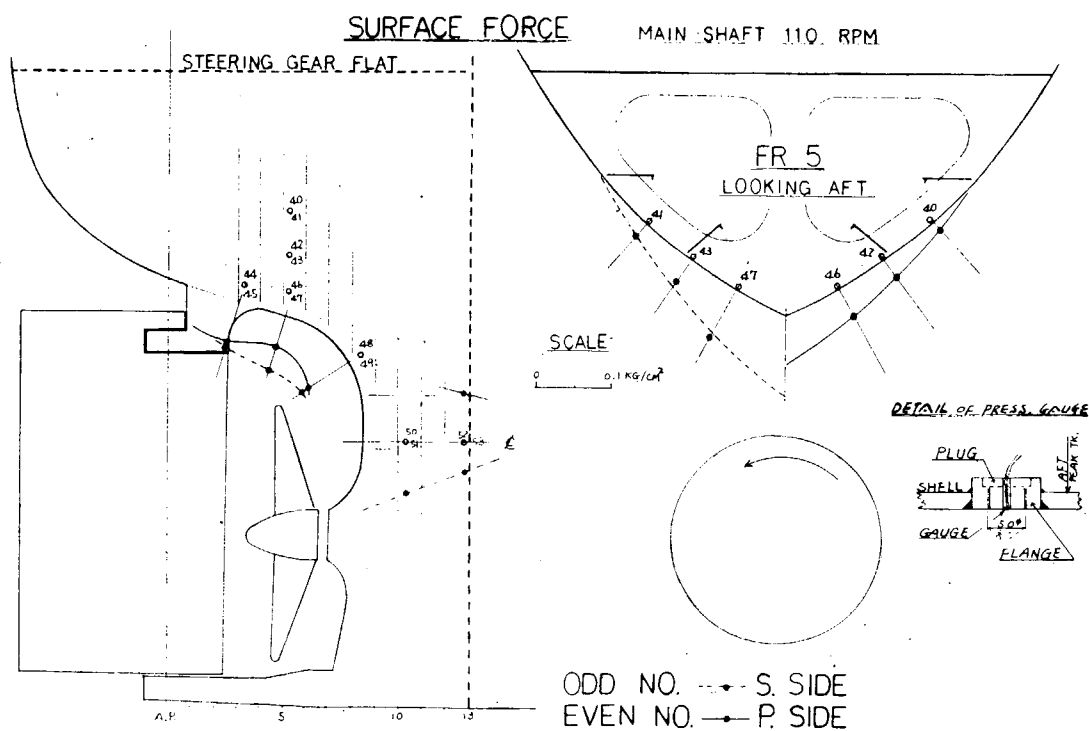
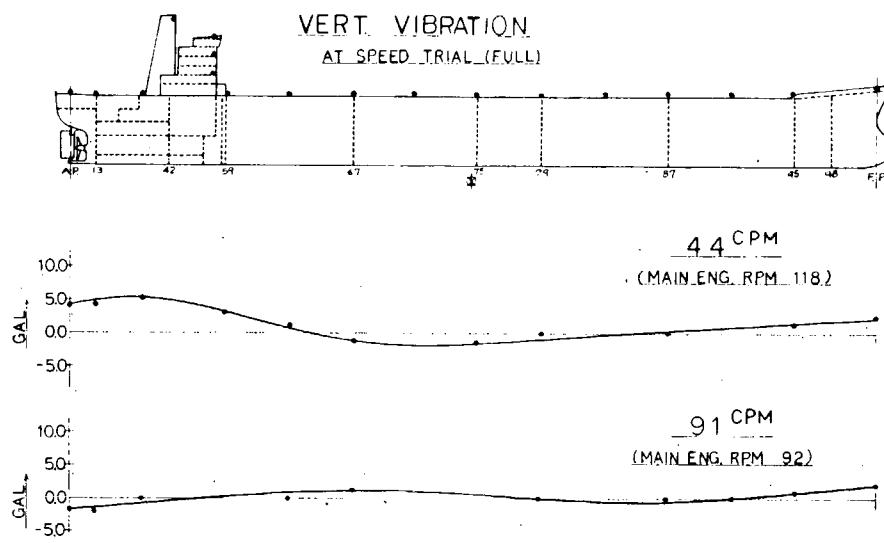






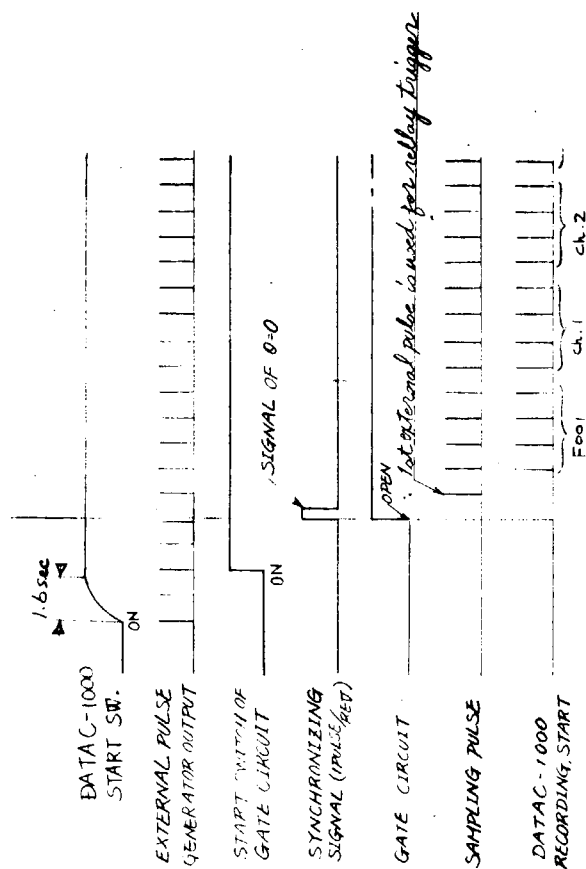
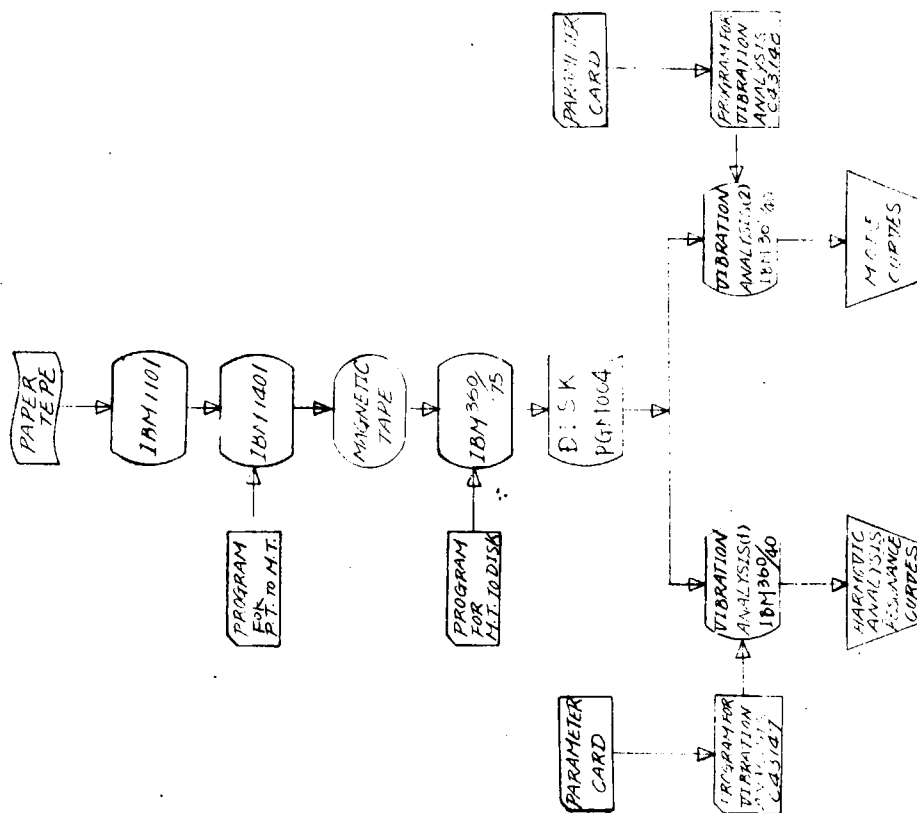






The diagram illustrates the DATA-1000 computer system architecture. It is divided into two main sections by a dashed line: the input/output section and the processing/control section.

- Input Section:** Four input pick-ups (labeled "VARIABLE PICK-UPS") feed into a block of "PREF. AMPLIFIERS".
- Processing Section:** The output of the amplifiers goes into a "MULTI-MUXER". This is followed by an "A-D D-A CONVERTER".
- Control Section:** A "CONTROL CIRCUIT" is connected to the A-D and D-A converter. It also receives an "EXTERNAL PULSE" and sends signals to the "MAGNETIC TAPE" and "PAPER TAPE" output devices.
- Timing and Control Logic:** A "START SWITCH" is connected to a "GATE COUNTER". The counter's output goes to a "SYNCHRONIZING SIGNAL GENERATOR" and a "SAMPLING PULSE GENERATOR". Both generators are part of the "CONTROL PULSE" system.



... DIVISION NUMBER ...

ZERC CAL. -0.27-0.04 0.05-0.10-0.15 0.13 0.15-0.11-0.29-0.14 0.10 0.12-0.11-0.12 0.06-0.03-0.23-0.14 0.21 0.16
-0.15-0.26-0.05 0.06-0.03-0.11 0.04 0.06-0.09-0.30-0.10 0.19 0.12-0.16-0.14 0.03-0.06-0.10-0.06 0.19
-0.09-0.18-0.26-0.06 0.05 0.05-0.14-0.02 0.05-0.15-0.27

STANC. CAL. 2.13 2.05 2.09 2.07 2.01 2.07 2.22 2.21 2.10 2.00 2.01 2.08 2.12 2.13 2.14 2.07 1.95 2.09 2.21
2.21 2.08 2.04 2.07 2.07 2.10 2.16 2.15 2.10 1.94 2.00 2.16 2.18 2.09 2.10 2.10 2.03 1.96 2.09
2.21 2.18 2.06 1.97 2.01 2.10 2.13 2.06 2.13 2.14 2.01

36.0 RPM 0.03-0.20 0.22 0.06 0.34 0.17-0.16 0.38 0.13 0.37 0.43 0.22 0.33 0.36 0.41 0.76 0.21 0.41 0.42
0.21 0.63 0.43 0.12 0.23 0.01 0.24 0.02 0.12 0.10-0.15-0.27 0.25 0.24-0.21 0.33-0.12 0.15 0.32 0.18
0.26 0.11 0.27 0.28 0.44 0.41 0.30 0.31 0.50 0.33

39.0 RPM -0.50-0.66-0.32-0.55-0.40-0.81-0.22-0.51-0.75-0.26-1.36-0.17-1.01-0.34-0.97-0.55-0.93-0.40-0.75-0.43
-0.55-0.77-0.43-0.69-0.03-0.81-0.59-0.63-0.66-0.47-0.84-0.28-0.65-0.82-0.12-0.56-0.34-0.58-0.86-0.54
-0.58-0.23-0.60-0.95-0.54-0.52-0.17-0.37-0.44-0.88-0.25

42.0 RPM 0.11 0.29-0.45-0.03-0.45-0.11 0.61 0.04 0.14-0.60-0.15-0.19 0.46 0.91 0.06-0.63 0.05-0.07 0.67-0.06
-0.64-0.61 0.57 0.61 0.14-0.75-0.90 0.28 0.78 0.65-0.53-1.05-0.47 0.65 0.65-0.08-0.68-0.91 0.34 0.96
0.06-0.49-0.82 0.15 0.63-0.17 0.20-0.01-0.21 0.72 0.16

44.0 RPM 0.45 2.41 1.78 0.70-0.71-1.16 1.24 2.86 1.72 0.15-1.15 0.33 1.19 2.91 0.89-0.71-1.05 0.42 2.70 1.73
0.73-1.44 0.14 0.14 2.55 1.41 0.10-1.50 0.47 1.94 2.38 1.23-1.12-0.33 0.23 3.10 1.07 0.87-1.43 0.91
1.85 2.38 0.87-0.41-1.33 1.11 3.11 1.24 0.64-1.23 0.41

46.0 RPM -0.66-1.01-0.48 0.37 0.42-0.72-1.04-0.97 0.38 0.39-0.43-0.82-1.22-0.20-0.06 0.47-0.55-0.90-1.01-0.11
0.34 0.20-0.57-1.30-0.60 0.37 0.18-0.71-0.85-1.23-0.10-0.03 0.20-0.48-0.92-1.13-0.12 0.37 0.19-1.03
-1.28-0.78 0.95 0.07-0.42-1.26-0.87 0.14 0.17 0.02-0.35

49.0 RPM 0.51-0.88 0.53-0.41 0.10 0.06 0.17-0.02-0.50 0.37-0.08-0.24 0.26-0.03-0.02 0.10-0.16-0.15 0.34 0.17
-0.38 0.02 0.14 0.13-0.24 0.40-0.42-0.01 0.45-0.15-0.15-0.32 0.09 0.42 0.39-0.46-0.28-0.21 0.62-0.21
0.01-0.25-0.25 0.28-0.13 0.60-0.66-0.06-0.04-0.16 0.52

52.0 RPM 0.59 0.27 0.26 1.06-1.48-0.06 0.42 0.69 0.25 0.47 0.85-1.08 0.45 0.85 0.62-0.22 0.15 0.98-0.04 0.80
1.21-0.53-0.02 0.56 0.88-0.12 0.33 0.93-0.13 1.01 0.78 0.06-0.71 0.90 1.06-0.55 0.58 0.23 0.02 0.55
1.04 0.28-0.31 0.53 0.33-0.28 0.90 0.60-0.12-0.01 0.97

55.0 RPM 0.55 0.42-0.31-0.38 0.25 0.22-0.33 0.17-0.06-0.72 0.38 0.81-0.41-0.06-0.24 0.38-0.30-0.09 0.46-0.91
0.37 0.51 0.23-0.37-0.01-0.33 0.27 0.18 0.58-0.42 0.62 0.09-0.39 0.25 0.31 0.26-0.24 0.02 0.44-0.10
-0.03 0.48-0.25-0.24 1.09-0.27-0.58 0.55-0.24-0.40 0.71

58.0 RPM -0.59 0.74-0.59 0.05-0.56-0.84 0.25-0.06-0.48-0.50-2.17-0.64 0.13 0.05 0.28-1.01-1.32-0.19-0.25-0.43
-0.52-1.69-0.67 0.37-0.13-0.09-1.26-1.55 0.23-0.12-0.39-0.67-2.12-0.86 0.62 0.99-0.78-1.41-1.28-0.60
-0.18-0.16-0.82-1.19-0.36 0.55-0.03-0.64-1.55-1.57-0.28

61.0 RPM -0.28 0.33-0.61-0.28 0.86-0.96-0.38 1.04 0.83 0.79 0.25-0.90-1.18 0.26 0.90 0.65 0.40-0.40-0.49-0.83
0.25 0.85-1.63-0.27 1.57 0.60 0.29-0.14-0.96-0.83 0.41 1.33 0.05-0.39 0.01 0.58-0.77-0.11 0.47-0.99
0.77 1.69 0.73-0.16-0.99-0.28-0.22 1.01 1.45 0.64-0.73

IMPLT DATA

UPPER DECK POINT-26 DIRS.-VERT. GAL 31 50 15 15

RPM.MC. 1(LTNO.5451) 36.0 3.42 0.589560E 01

0.03	-0.21	0.21	0.04	0.04	0.31	0.13	-0.20	0.33	0.08	0.31	0.36	0.15	0.25	0.28	0.32	0.66	0.11	0.30	0.31
0.09	0.50	0.50	0.04	0.09	-0.14	-0.08	-0.14	-0.05	-0.07	-0.33	-0.46	0.06	0.04	-0.41	0.12	-0.34	-0.07	0.09	-0.05
0.02	-0.14	0.02	0.02	0.02	0.17	0.03	0.02	0.02	0.21	0.03									

RPM.MC. 2(LTNO.5431) 39.0 3.42 0.589560E 01

-0.50	-0.66	-0.33	-1.00	-0.42	-0.83	-0.25	-0.54	-0.79	-0.30	-1.41	-0.27	-1.07	-0.40	-1.04	-0.62	-1.01	-0.48	-0.84	-0.52
-0.65	-0.67	-0.54	-0.80	-0.15	-0.93	-0.12	-0.81	-0.80	-0.61	-0.39	-0.43	-0.81	-0.96	-0.29	-0.73	-0.52	-0.76	-1.05	-0.73
-0.78	-0.53	-0.81	-1.16	-0.76	-0.74	-0.53	-0.60	-0.68	-1.12	-0.50									

RPM.MC. 3(LTNO.5461) 42.0 3.42 0.589560E 01

0.11	0.29	-0.45	-0.03	-0.45	-0.11	0.60	0.08	0.13	-0.61	-0.16	-0.20	0.45	-0.09	0.05	-0.64	0.03	-0.09	0.65	-0.08
-0.64	-0.63	0.55	0.59	0.12	-0.77	-0.93	0.25	0.75	0.62	-0.62	-1.38	-0.50	0.82	0.62	-0.11	-0.72	-0.95	0.30	0.92
0.02	-0.53	-0.66	0.15	0.59	-0.21	0.15	-0.86	-0.26	0.67	0.11									

RPM.MC. 4(LTNO.5451) 44.0 3.42 0.589560E 01

0.45	2.41	1.78	0.70	-0.71	-1.16	1.24	2.87	1.73	0.16	-1.14	0.40	1.20	2.42	0.00	-0.70	-1.04	0.43	2.71	1.75
0.75	-1.42	0.16	0.16	2.61	1.43	0.32	-1.48	0.49	1.96	2.40	1.22	-1.09	-0.30	0.26	3.13	1.10	0.90	-1.40	0.94
1.88	2.41	0.90	-0.38	-1.29	1.15	3.15	1.28	0.68	-1.19	0.45									

RPM.MC. 5(LTNO.5521) 46.0 3.42 0.589560E 01

-0.86	-1.01	-0.48	0.38	0.43	-0.71	-1.03	-0.96	0.39	0.41	-0.41	-0.80	-1.20	-0.18	0.09	0.50	-0.52	-0.87	-0.98	-0.28
0.38	0.24	-0.53	-1.26	-0.56	0.41	0.23	-0.16	-0.80	-1.18	-0.05	0.03	0.26	-0.42	-0.66	-1.07	-0.06	0.44	0.26	-0.96
-1.21	-0.71	1.03	0.15	-0.34	-1.18	-0.79	0.22	0.46	0.11	-0.89									

RPM.MC. 6(LTNO.5551) 49.0 3.42 0.589560E 01

0.51	-0.88	0.33	-0.41	0.10	0.06	0.17	-0.02	-0.50	0.37	-0.08	-0.24	0.26	-0.03	-0.02	0.10	-0.16	-0.15	0.34	0.17
-0.38	0.02	0.14	0.13	-0.24	0.39	-0.43	-0.02	0.44	-0.15	-0.16	-0.33	0.08	0.41	0.34	-0.47	-0.29	-0.22	0.61	-0.22
0.00	-0.26	-0.26	0.27	-0.14	0.59	-0.67	-0.07	-0.05	-0.19	0.51									

RPM.MC. 7(LTNO.5581) 52.0 3.42 0.589560E 01

0.59	0.26	0.25	1.04	-1.50	-0.09	0.39	0.65	0.21	0.42	0.79	-1.14	0.38	0.78	0.54	-0.30	0.06	0.88	-0.14	0.49
1.18	-0.65	-0.15	0.43	0.75	-0.26	0.24	0.78	-0.29	0.85	0.61	-0.11	-0.89	0.72	0.87	-0.75	0.38	0.02	-0.19	0.33
0.82	-0.05	-0.95	0.69	0.08	-0.53	0.64	0.34	-0.39	-0.28	0.59									

TOTAL AMPLITUDE TABLE

NO.	COMMENTS	UPPER DECK POINT-26 DIRC.-VERT.	TOTAL DOUBLE AMP.
		RPM	(GAL)
RPM.NO. 11(CTNO.5401)		36.0	0.607246E 01
RPM.NO. 21(CTNO.5421)		39.0	0.784114E 01
RPM.NO. 31(CTNO.5441)		42.0	0.118501E 02
RPM.NO. 41(CTNO.5461)		44.0	0.271787E 02
RPM.NO. 51(CTNO.5481)		46.0	0.132651E 02
RPM.NO. 61(CTNO.5501)		49.0	0.884339E 01
RPM.NO. 71(CTNO.5521)		52.0	0.158792E 02
RPM.NO. 81(CTNO.5541)		55.0	0.117912E 02
RPM.NO. 91(CTNO.5561)		58.0	0.186301E 02
RPM.NO. 101(CTNO.5581)		61.0	0.195734E 02
RPM.NO. 111(CTNO.5601)		64.0	0.209883E 02
RPM.NO. 121(CTNO.5621)		67.0	0.322689E 02
RPM.NO. 131(CTNO.5641)		69.0	0.287116E 02
RPM.NO. 141(CTNO.5661)		71.0	0.256458E 02
RPM.NO. 151(CTNO.5681)		73.0	0.311288E 02
RPM.NO. 161(CTNO.5701)		75.0	0.271787E 02
RPM.NO. 171(CTNO.5721)		78.0	0.284757E 02
RPM.NO. 181(CTNO.5741)		81.0	0.402080E 02
RPM.NO. 191(CTNO.5761)		84.0	0.514096E 02
RPM.NO. 201(CTNO.5781)		87.0	0.313162E 02
RPM.NO. 211(CTNO.5801)		89.0	0.414767E 02
RPM.NO. 221(CTNO.5821)		91.0	0.304213E 02
RPM.NO. 231(CTNO.5841)		93.0	0.237003E 02
RPM.NO. 241(CTNO.5861)		96.0	0.276503E 02
RPM.NO. 251(CTNO.5881)		99.0	0.372012E 02
RPM.NO. 261(CTNO.5901)		102.0	0.623754E 02
RPM.NO. 271(CTNO.5921)		104.0	0.570104E 02
RPM.NO. 281(CTNO.5941)		106.0	0.565488E 02
RPM.NO. 291(CTNO.5961)		108.0	0.689195E 02
RPM.NO. 301(CTNO.5981)		111.0	0.837765E 02
RPM.NO. 311(CTNO.6001)		114.0	0.780577E 02

MAGNETIC ANALYSIS TABLE (ORDER CONST)

ORDER NO. - 5 UPPER DECK POINT-26 DIRC.-VERT.

COMMENTS	RPM	AMPLITUDE (GAL)	PHASE (DEG)
RPM.NO. 11(CTNO.5401)	36.0	0.771747E-01	311.20
RPM.NO. 21(CTNO.5421)	39.0	0.184399E 00	289.26
RPM.NO. 31(CTNO.5441)	42.0	0.129368E 00	172.69
RPM.NO. 41(CTNO.5461)	44.0	0.877351E 00	165.71
RPM.NO. 51(CTNO.5481)	46.0	0.903616E-01	300.34
RPM.NO. 61(CTNO.5501)	49.0	0.198326E 00	331.64
RPM.NO. 71(CTNO.5521)	52.0	0.600310E 00	155.27
RPM.NO. 81(CTNO.5541)	55.0	0.370906E 00	73.48
RPM.NO. 91(CTNO.5561)	58.0	0.161340E 01	322.71
RPM.NO. 101(CTNO.5581)	61.0	0.799527E 00	183.23
RPM.NO. 111(CTNO.5601)	64.0	0.382728E 00	346.40
RPM.NO. 121(CTNO.5621)	67.0	0.125591E 01	111.35
RPM.NO. 131(CTNO.5641)	69.0	0.136776E 01	156.42
RPM.NO. 141(CTNO.5661)	71.0	0.159803E 01	222.92
RPM.NO. 151(CTNO.5681)	73.0	0.111692E 01	82.39
RPM.NO. 161(CTNO.5701)	75.0	0.143149E 01	343.01
RPM.NO. 171(CTNO.5721)	78.0	0.887677E 00	358.61
RPM.NO. 181(CTNO.5741)	81.0	0.329483E 01	258.96
RPM.NO. 191(CTNO.5761)	84.0	0.976491E 01	116.93
RPM.NO. 201(CTNO.5781)	87.0	0.186928E 01	178.96
RPM.NO. 211(CTNO.5801)	89.0	0.170249E 01	123.24
RPM.NO. 221(CTNO.5821)	91.0	0.841758E 00	274.75
RPM.NO. 231(CTNO.5841)	93.0	0.106463E 01	149.40
RPM.NO. 241(CTNO.5861)	96.0	0.397113E 01	339.86
RPM.NO. 251(CTNO.5881)	99.0	0.241073E 01	212.33
RPM.NO. 261(CTNO.5901)	102.0	0.176085E 02	234.65
RPM.NO. 271(CTNO.5921)	104.0	0.148920E 02	163.18
RPM.NO. 281(CTNO.5941)	106.0	0.136302E 02	181.49
RPM.NO. 291(CTNO.5961)	108.0	0.190748E 02	160.70
RPM.NO. 301(CTNO.5981)	111.0	0.228187E 02	131.82
RPM.NO. 311(CTNO.6001)	114.0	0.243139E 02	136.77

HARMONIC ANALYSIS TABLE (RPM CONST)

NO. 30 UPPER DECK POINT-26 DIREC.-VERT.

RPM.NO.30 (DTNO.628)

111.0 RPM

MULTIPLIER XMULT = 0.589560E 01

ORDER	SINCOMP. (GAL)	COSCOMP. (GAL)	AMPLITUDE (GAL)	PHASE (DEG)	DIAGRAM AMP.
0	0.0	-0.605416E 01	-0.605416E 01	90.00	-1.03
1	0.715880E 01	0.417619E 00	0.717097E 01	3.34	1.22
2	0.517114E 01	-0.550968E 00	0.520043E 01	353.92	0.88
3	0.118979E 01	-0.344019E 01	0.364012E 01	289.08	0.62
4	0.407203E 01	-0.127397E 01	0.426666E 01	342.63	0.72
5	-0.152148E 02	0.170060E 02	0.228187E 02	131.82	3.87
6	0.260876E 01	0.405160E 01	0.481882E 01	57.22	0.82
7	-0.588376E 00	0.439643E 01	0.443563E 01	97.62	0.75
8	0.755287E 01	0.248689E 01	0.795175E 01	18.22	1.35
9	0.418558E 01	0.349031E 01	0.544989E 01	39.82	0.92
10	-0.820333E 01	0.301018E 01	0.873818E 01	159.85	1.48
11	0.165504E 00	-0.145924E 01	0.146860E 01	276.47	0.25
12	-0.132752E 01	0.161359E 00	0.133729E 01	173.07	0.23
13	-0.829788E-02	-0.468760E 00	0.468833E 00	268.99	0.08
14	0.256629E 00	-0.752940E-01	0.267447E 00	343.65	0.05
15	-0.202575E 01	-0.339869E 01	0.395661E 01	239.20	0.67
16	-0.146007E 01	-0.154995E 01	0.212935E 01	226.71	0.36
17	0.320902E 00	-0.132610E-01	0.321176E 00	357.63	0.05
18	0.765265E 00	-0.121084E 00	0.774785E 00	351.01	0.13
19	-0.590064E 00	0.823198E 00	0.101283E 01	125.63	0.17
20	0.222380E 01	0.190097E 01	0.292557E 01	40.52	0.50
21	-0.146330E 00	-0.798355E 00	0.811655E 00	259.61	0.14
22	0.520525E 00	0.292349E 00	0.597005E 00	29.32	0.10
23	0.213823E 00	0.594675E-01	0.235826E 00	24.95	0.04
24	0.246597E 00	0.783867E 00	0.821740E 00	72.54	0.14
25	0.326079E 01	-0.258080E 00	0.329092E 01	355.50	0.56

MAXIMUM AMPLITUDE TABLE NO. 1

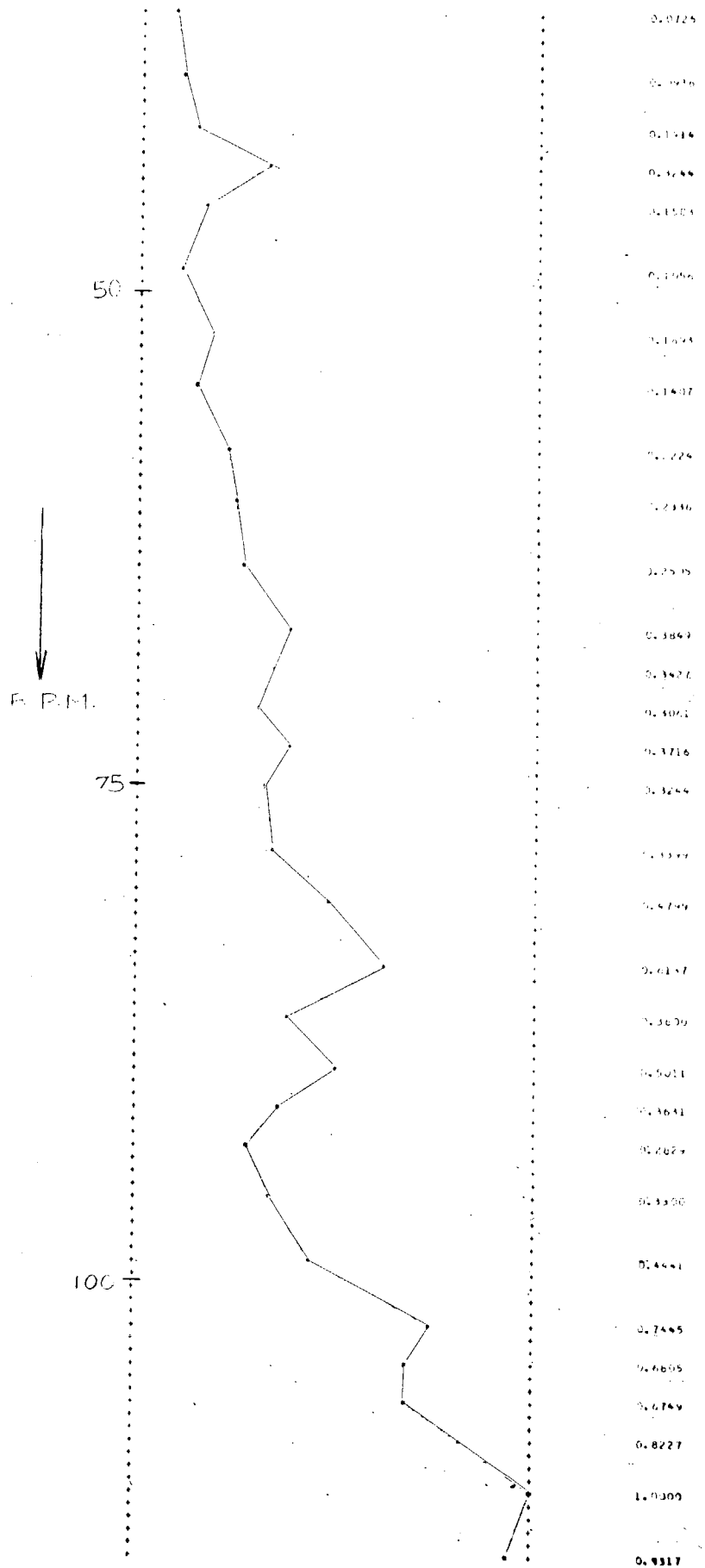
MAX. TOTAL DOUBLE AMPLITUDE = 0.837765E 02 GAL AT 111.0 RPM

MAX. HARMONIC AMPLITUDE = 0.243139E 02 GAL AT 114.0 RPM AND ORDER NO. 5

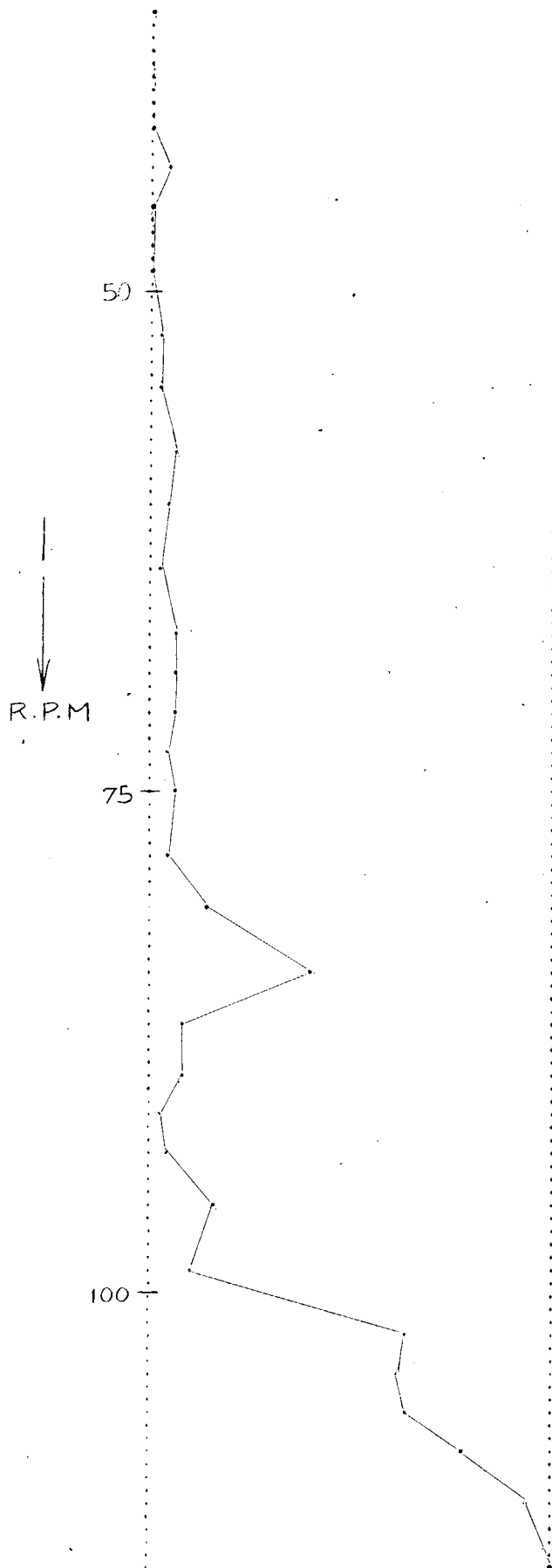
MAX. HARMONIC AMPLITUDE IN EACH ORDER

ORDER	RPM	MAX. AMPLITUDE (GAL)	COMMENTS
1	111.0	C.717097E 01	RPM.NO.30 (DTNC.628)
2	102.0	0.102633E 02	RPM.NO.26 (DTNC.615)
3	106.0	C.445632E 01	RPM.NO.28 (DTNC.621)
4	104.0	C.101116E 02	RPM.NO.27 (DTNC.618)
5	114.0	C.243139E 02	RPM.NO.31 (DTNC.631)
6	67.0	0.599801E 01	RPM.NO.12 (DTNC.573)
7	111.0	C.443563E 01	RPM.NO.30 (DTNC.628)
8	111.0	0.795175E 01	RPM.NO.30 (DTNC.628)
9	44.0	0.102700E 02	RPM.NO. 4 (DTNO.549)
10	114.0	C.127866E 02	RPM.NO.31 (DTNC.631)
11	81.0	C.526732E 01	RPM.NO.18 (DTNC.591)
12	84.0	0.919763E 01	RPM.NO.19 (DTNC.594)
13	84.0	0.999952E 01	RPM.NO.19 (DTNO.594)
14	78.0	C.332544E 01	RPM.NO.17 (DTNC.588)
15	71.0	0.702841E 01	RPM.NO.14 (DTNC.579)
16	69.0	0.349215E 01	RPM.NO.13 (DTNC.576)
17	64.0	0.143639E 01	RPM.NO.11 (DTNO.570)
18	81.0	C.231005E 01	RPM.NO.18 (DTNC.591)
19	111.0	C.101283E 01	RPM.NO.30 (DTNC.628)
20	114.0	0.350531E 01	RPM.NO.31 (DTNC.631)
21	52.0	C.201380E 01	RPM.NO. 7 (DTNC.558)
22	49.0	0.117582E 01	RPM.NO. 6 (DTNC.555)
23	44.0	0.278404E 01	RPM.NO. 4 (DTNO.549)
24	44.0	0.121450E 01	RPM.NO. 4 (DTNO.549)
25	111.0	C.329092E 01	RPM.NO.30 (DTNC.628)

TOTAL AMPLITUDE PLOT (NORMALIZED RELATIVELY TO THE MAX. TOTAL AMPLITUDE)



HARMONIC AMPLITUDE PLOT FOR CRITERION 5
 NORMALIZED RELATIVELY TO THE MAX. HARMONIC AMP. WITHIN PRESENT RANGE



0.0932

0.0076

0.0053

0.0041

0.0037

0.0082

0.0247

0.0153

0.0064

0.0329

0.0157

0.0517

0.0463

0.0657

0.0459

0.0584

0.0165

0.1355

0.4016

0.0769

0.0730

0.0264

0.0438

0.1633

0.0491

0.6420

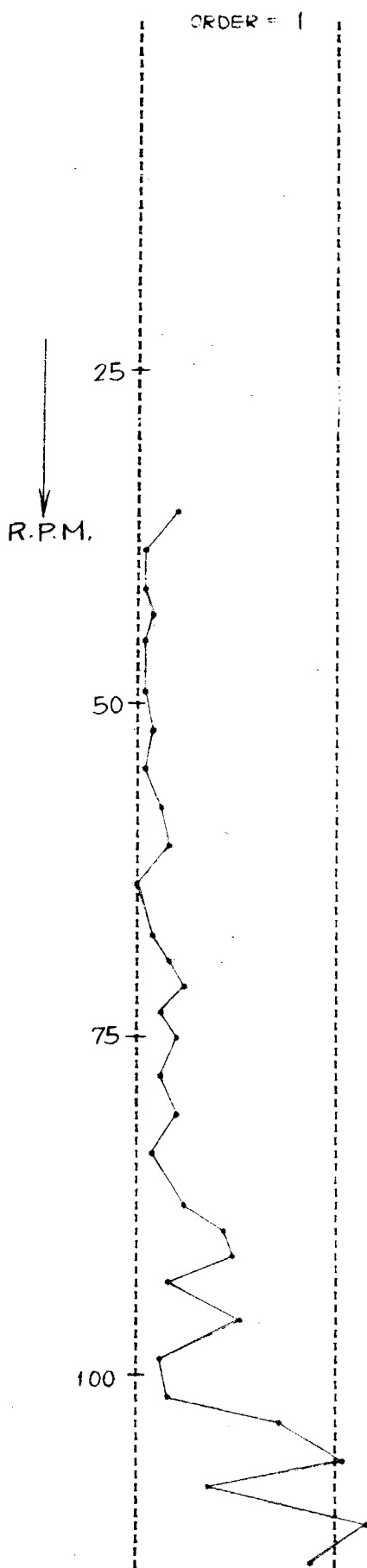
0.6123

0.6428

0.7045

0.9300

1.0000



NO. 1

1.12401
0.19970
0.16196
0.94781
0.12257

0.19235
0.96605
0.14324
0.75457
1.08252
0.10618

0.41246
0.87364
1.54699
0.72266
1.13053
0.66500
1.13310
0.55888

1.48203
2.57644
2.82806
1.03327
3.23429
0.61843
1.04135
4.27803
0.34816
2.14389
7.17097
9.44423

ORDER = 2

NO. 2

0.66109
0.31874
0.08719
0.18611
0.20588

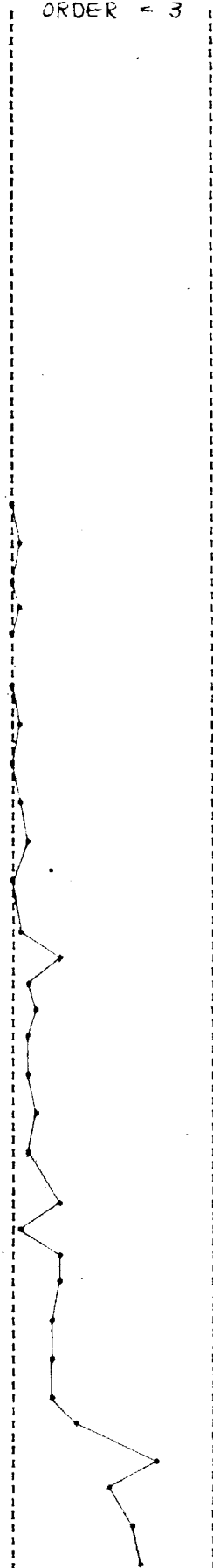
0.05431
0.10795
0.23268
0.38236
0.78000
0.08776

0.14410
0.80222
0.84151
0.99636
0.91894
2.23527
2.10427
0.90354

0.78532
0.78409
1.59490
1.04885
1.54150
1.39852
10.26329
2.32967
0.91560
0.88363
5.20043
2.44937

ORDER = 3

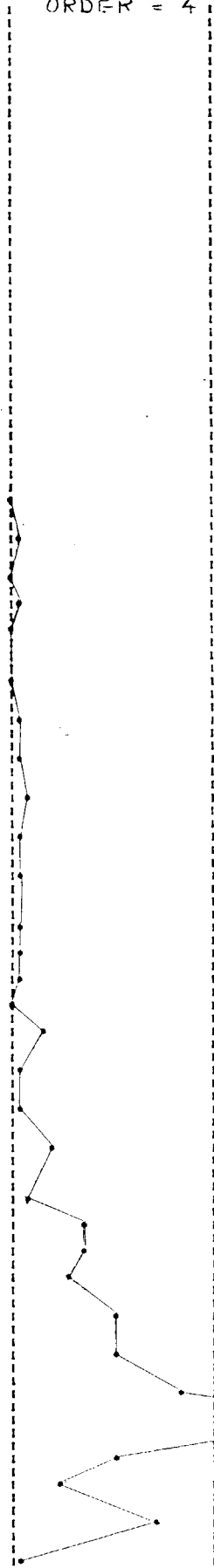
NO. 3



0.11602
0.32537
0.07413
0.20287
0.06478
0.02445
0.13694
0.02777
0.33453
0.56057
0.08407
0.19308
1.43013
0.54747
0.71919
0.43563
0.37954
0.63889
0.49526
1.37145
0.27204
1.47680
1.47214
1.26127
1.16054
1.23745
1.95072
4.45632
2.92927
3.64012
4.00308

ORDER = 4

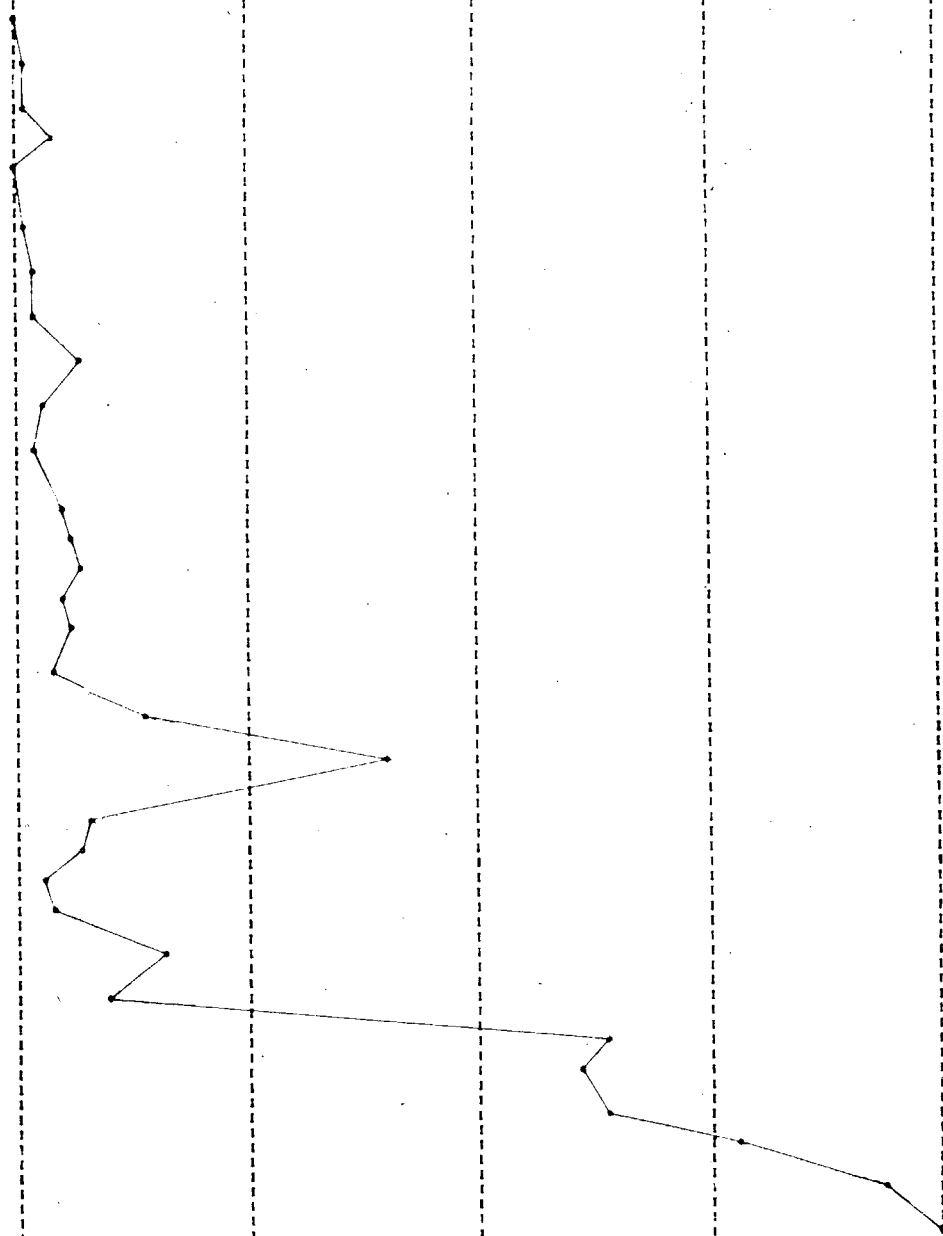
NO. 4



0.07573
0.24898
0.06648
0.14636
0.03869
0.09928
0.24566
0.15411
0.39164
0.33664
0.15432
0.27869
0.13697
0.24331
0.06518
1.03379
0.35362
0.34131
1.11270
0.50561
2.27506
2.08413
1.67559
3.18746
1.04025
5.09076
10.11162
3.10582
1.34102
4.26666
0.25819

ORDER = 5

NO. 5



0.07717
0.18440
0.12937
0.87735
0.09036

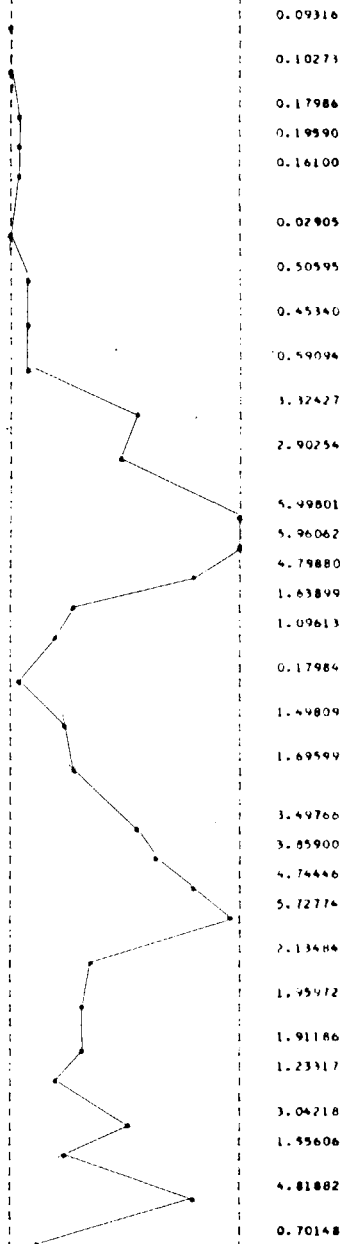
0.19833
0.60031
0.37091
1.61340
0.79953
0.38273

1.25591
1.36776
1.59803
1.11692
1.43169
0.88788
3.29483
9.76491

1.86928
1.70249
0.64176
1.06483
3.97113
2.41029
15.60850
14.89201
15.63017
19.07481
22.81868
24.31390

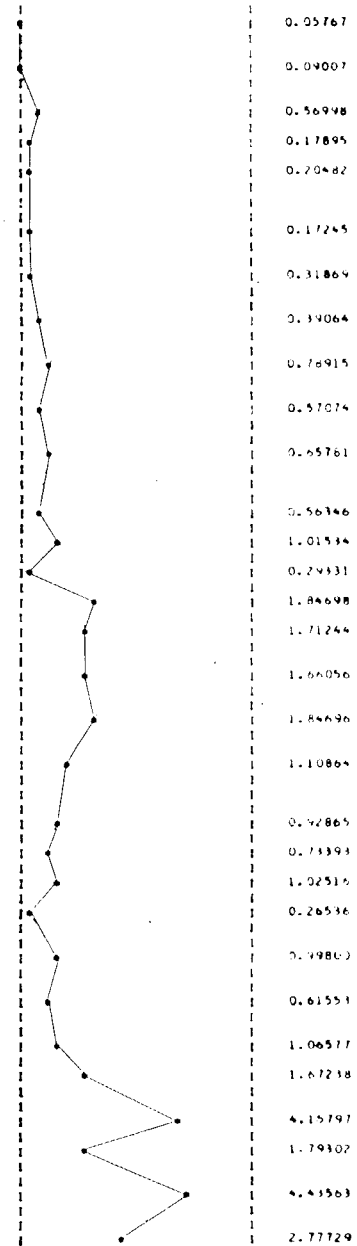
ORDER = 6

NO. 6



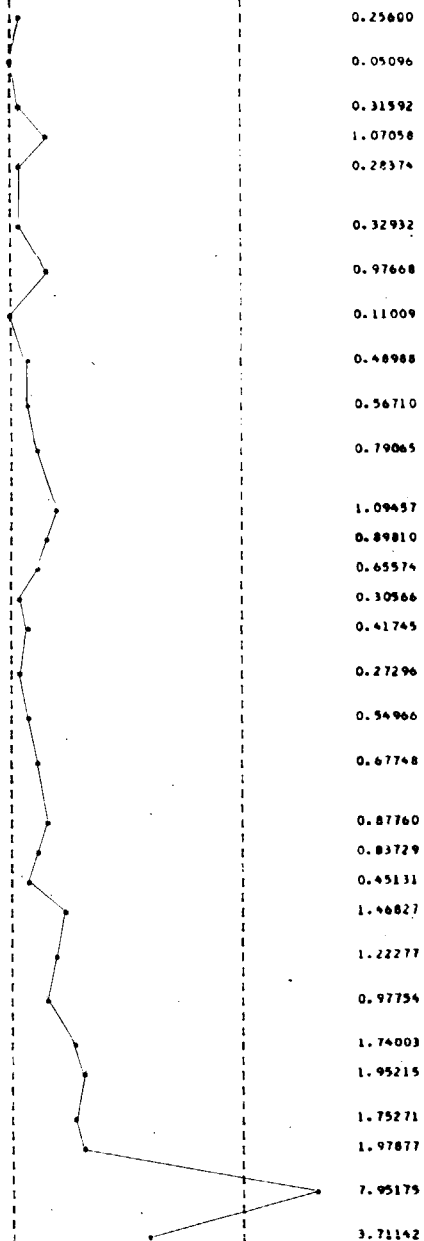
ORDER = 7

NO. 7



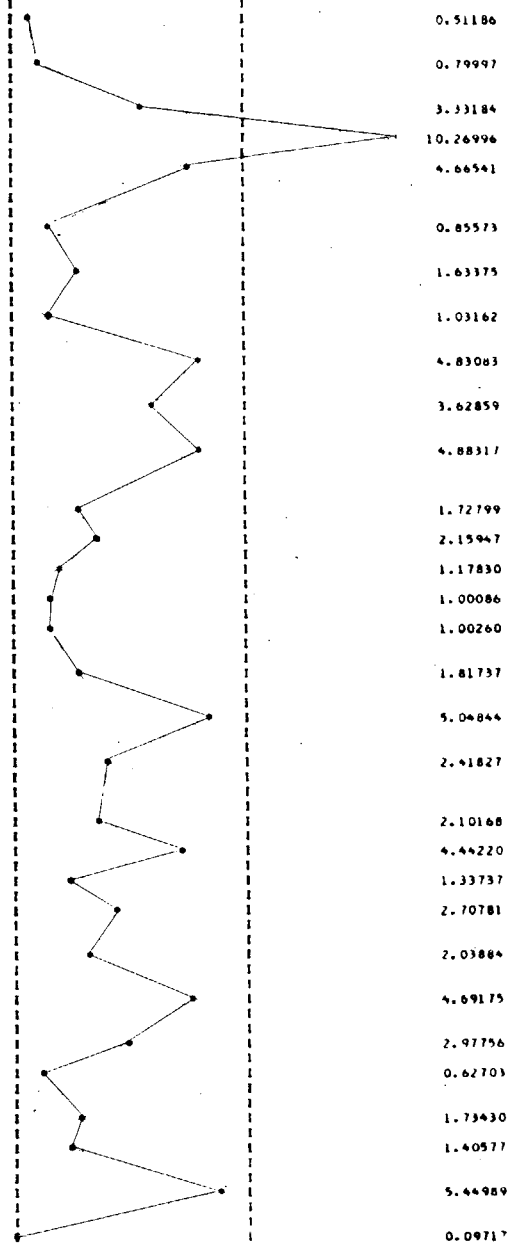
ORDER = 2

NO. 8

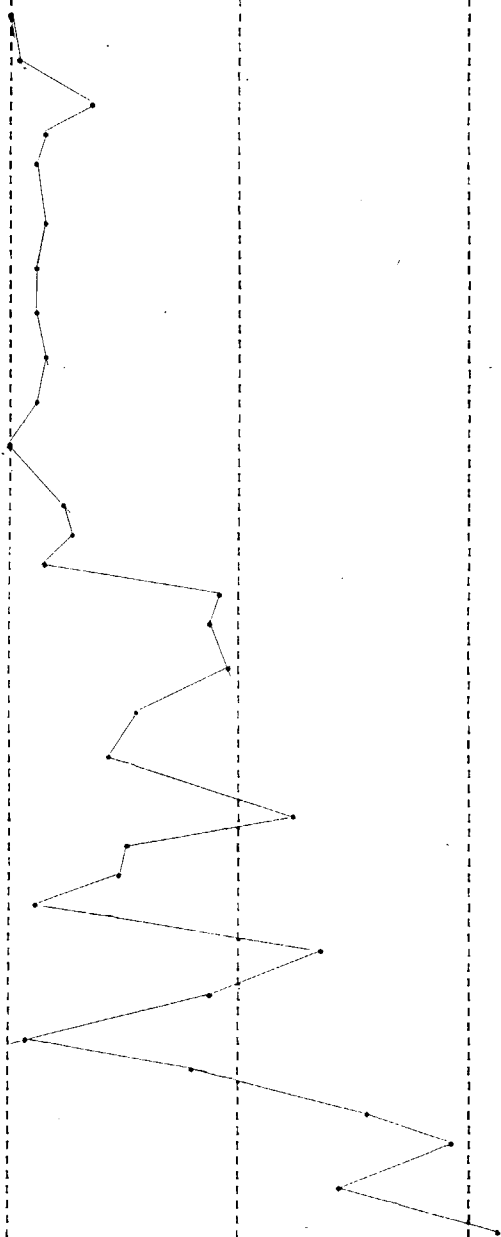


ORDER = 9

NO. 9



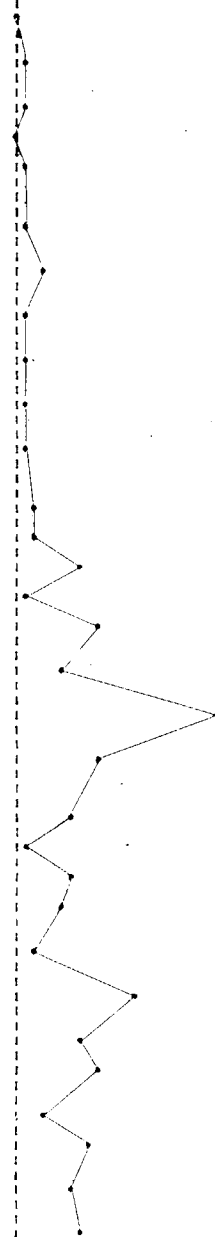
ORDER - 10



NO. 10

0.05184
0.31516
2.18502
0.99142
0.79649
0.90697
0.77059
0.67402
1.09011
0.73354
0.11059
1.37085
1.59354
0.94973
5.65779
5.42219
5.80587
3.42897
2.72251
7.64203
3.22119
2.90061
0.84221
8.38658
5.28241
0.60274
4.86046
9.44450
11.77936
8.73818
12.78665

ORDER - 11

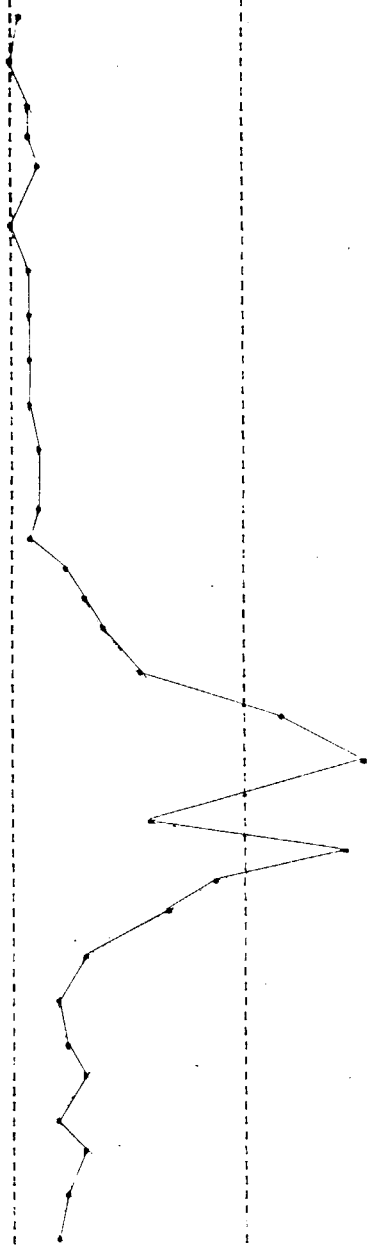


NO. 11

0.06170
0.19420
0.18864
0.08753
0.31029
0.35258
0.66847
0.35472
0.13708
0.21344
0.32313
0.49819
0.48117
1.55236
0.28957
2.02944
1.29510
5.26732
2.28594
1.43569
0.14176
1.40336
1.27518
0.41981
3.25758
1.71244
2.14937
0.81596
1.41947
1.46860
1.69746

ORDER = 12

NO. 12



0.13616
0.08672
0.36847
0.50057
0.72905

0.11521
0.49332
0.47249
0.38035
0.41921
0.83540

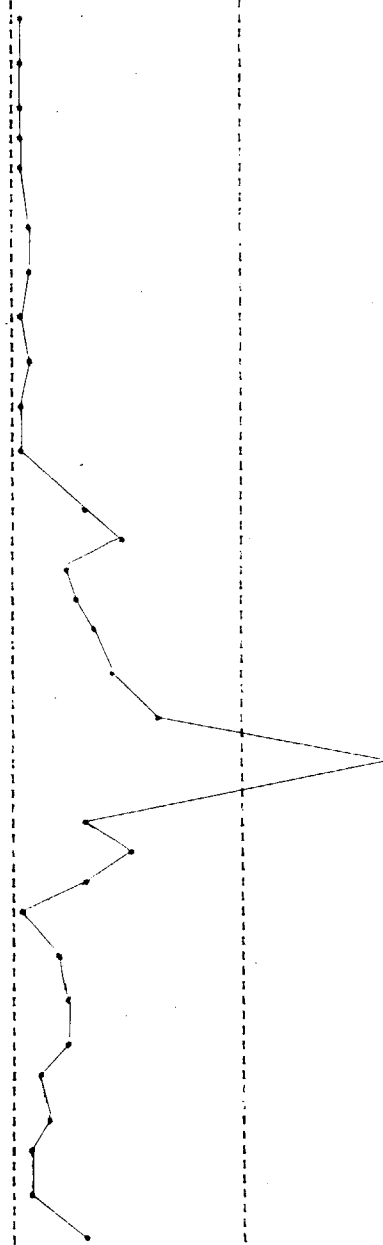
0.67841
0.57024
1.53650
1.86068
2.53953
3.50655
7.15184
9.19763

3.71521
8.63521
5.46768
4.11515

1.94647
1.31683
1.56188
1.86616
1.20860
2.06490
1.33729
1.18040

ORDER = 13

NO. 13



0.13000
0.25430
0.22157
0.28661
0.17329

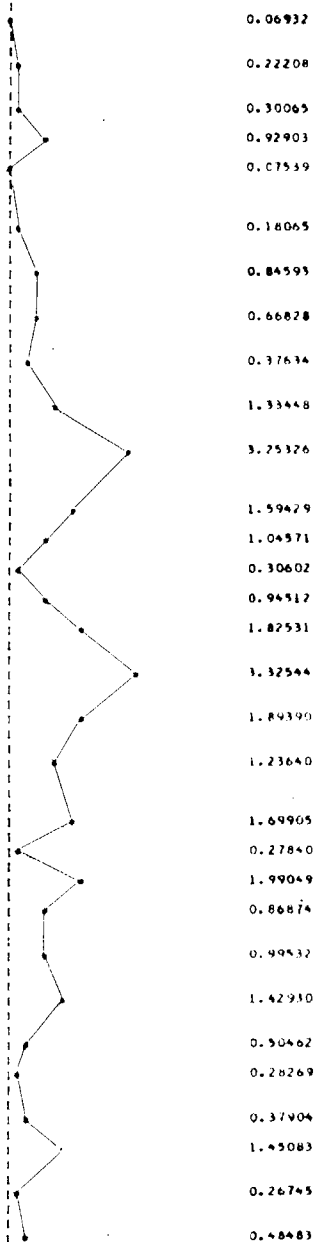
0.57149
0.46069
0.22997
0.49726
0.26506
0.29672

1.86526
2.93424
1.39411
1.59674
2.20424
2.55876
3.97617
9.99952

1.93475
3.15455
1.82821
0.26166

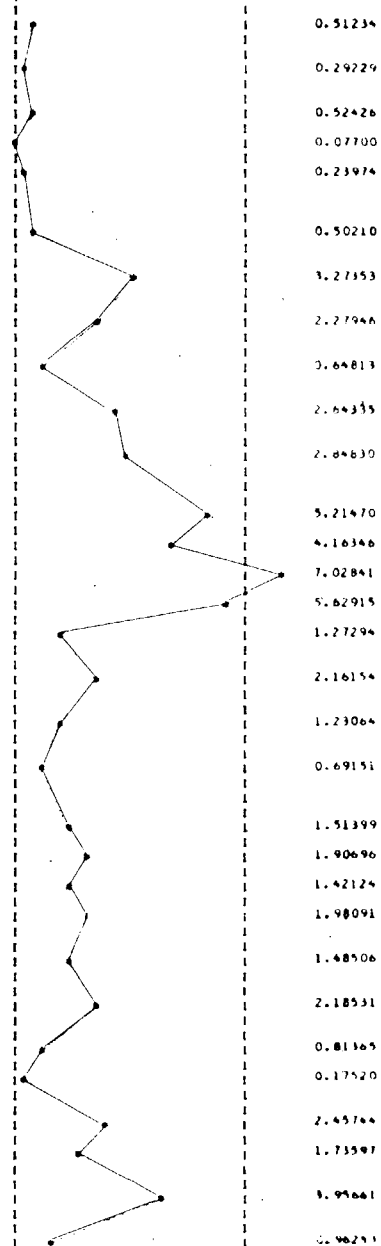
1.20142
1.44869
1.35282
0.87505
1.03005
0.47893
0.46883
1.92084

ORDER = 14



ORDER = 15

NO. 15



TOTAL AMPLITUDE TABLE

NO. 1 STERN P.GAGE-51 DIREC.-S.BOARD
COMMENTS RPM TOTAL DOUBLE AMP.
(KG/CM**2)

RPM.NO. 1(CTNO.542)	36.0	0.973098E-02
RPM.NO. 2(CTNO.545)	39.0	0.760784E-02
RPM.NO. 3(CTNO.548)	42.0	0.207004E-01
RPM.NO. 4(CTNO.551)	44.0	0.152157E-01
RPM.NO. 5(CTNO.554)	46.0	0.530780E-02
RPM.NO. 6(CTNO.557)	49.0	0.725400E-02
RPM.NO. 7(CTNO.560)	52.0	0.495395E-02
RPM.NO. 8(CTNO.563)	55.0	0.866940E-02
RPM.NO. 9(CTNO.566)	58.0	0.143311E-01
RPM.NO. 10(CTNO.569)	61.0	0.760784E-02
RPM.NO. 11(CTNO.572)	64.0	0.120310E-01
RPM.NO. 12(CTNO.575)	67.0	0.813863E-02
RPM.NO. 13(CTNO.578)	69.0	0.106156E-01
RPM.NO. 14(CTNO.581)	71.0	0.115002E-01
RPM.NO. 15(CTNO.584)	73.0	0.115003E-01
RPM.NO. 16(CTNO.587)	75.0	0.990791E-02
RPM.NO. 17(CTNO.590)	78.0	0.145080E-01
RPM.NO. 18(CTNO.593)	81.0	0.152157E-01
RPM.NO. 19(CTNO.596)	84.0	0.122080E-01
RPM.NO. 20(CTNO.599)	87.0	0.175158E-01
RPM.NO. 21(CTNO.602)	89.0	0.146849E-01
RPM.NO. 22(CTNO.605)	91.0	0.168081E-01
RPM.NO. 23(CTNO.608)	93.0	0.274237E-01
RPM.NO. 24(CTNO.611)	96.0	0.330853E-01
RPM.NO. 25(CTNO.614)	99.0	0.509549E-01
RPM.NO. 26(CTNO.617)	102.0	0.705938E-01
RPM.NO. 27(CTNO.620)	104.0	0.592705E-01
RPM.NO. 28(CTNO.623)	106.0	0.110933E 00
RPM.NO. 29(CTNO.626)	108.0	0.723631E-01
RPM.NO. 30(CTNO.630)	111.0	0.674091E-01
RPM.NO. 31(CTNO.633)	114.0	0.140126E 00

HARMONIC ANALYSIS TABLE (RPM CCNST)

NO. 9 STERN P.GAGE-51 DIREC.-S.BOARD RPM.NO. 9(CTNO.566) 58.0 RPM
MULTIPLIER XMULT = 0.176927E-01

ORDER	SINCOMP. (KG/CM**2)	COSCOMP. (KG/CM**2)	AMPLITUDE (KG/CM**2)	PHASE (DEG)	DIAGRAM AMP.
0	0.0	0.301907E-01	0.301907E-01	90.00	1.71
1	0.232501E-02	-0.292728E-02	0.373827E-02	308.46	0.21
2	0.653028E-03	-0.354728E-03	0.743154E-03	331.49	0.04
3	0.233277E-05	-0.150993E-03	0.151030E-03	271.26	0.01
4	0.634987E-04	-0.559149E-04	0.118385E-03	302.44	0.01
5	-0.462770E-03	0.333666E-03	0.570517E-03	144.21	0.03
6	-0.536135E-03	-0.347628E-03	0.638972E-03	212.96	0.04
7	0.309668E-04	-0.309506E-04	0.437822E-04	315.91	0.00
8	0.138487E-04	0.190919E-04	0.235857E-04	54.04	0.00
9	0.532109E-03	-0.677493E-04	0.536404E-03	352.74	0.03
10	0.305510E-04	-0.843612E-04	0.897228E-04	289.91	0.01
11	0.455077E-04	0.181145E-03	0.186774E-03	75.90	0.01
12	0.978819E-05	-0.107680E-03	0.108124E-03	275.19	0.01
13	-0.107556E-04	0.554307E-04	0.564645E-04	100.98	0.00
14	-0.797700E-04	0.446049E-04	0.913939E-04	150.79	0.01
15	0.424210E-05	0.273204E-03	0.273237E-03	89.11	0.02
16	0.517126E-04	-0.183605E-03	0.190748E-03	285.73	0.01
17	0.846113E-04	-0.913311E-04	0.124501E-03	312.81	0.01
18	0.190035E-03	0.106211E-03	0.217702E-03	29.20	0.01
19	-0.276131E-04	-0.174974E-03	0.177139E-03	261.03	0.01
20	-0.623730E-04	-0.117001E-03	0.132588E-03	241.94	0.01
21	0.190679E-04	0.547038E-04	0.579317E-04	70.78	0.00
22	0.361995E-04	0.909584E-05	0.373247E-04	14.10	0.00
23	-0.800289E-04	0.114014E-04	0.808370E-04	171.89	0.00
24	0.880972E-04	0.272068E-04	0.922026E-04	17.16	0.01
25	-0.338318E-04	-0.621631E-04	0.707731E-04	241.44	0.00

HARMONIC ANALYSIS TABLE (RPM CONST)

NO. 31 STERN P.GAGE-51 DIREC.-S.BCARD RPM.NO.31(DTNC.633) 114.0 RPM
MULTIPLIER XMULT = 0.176927E-01

ORDER	SINCOMP. (KG/CM**2)	COSCOMP. (KG/CM**2)	AMPLITUDE (KG/CM**2)	PHASE (DEG)	DIAGRAM AMP.
0	0.0	-0.218628E-01	-0.218628E-01	90.00	-1.24
1	0.149300E-01	0.564399E-02	0.178460E-01	18.44	1.01
2	0.524565E-02	0.876290E-03	0.531834E-02	9.48	0.30
3	0.627575E-02	-0.193510E-03	0.626052E-02	358.23	0.35
4	0.469211E-02	0.236922E-02	0.525634E-02	26.79	0.30
5	0.602250E-01	0.115143E-01	0.613158E-01	13.82	3.47
6	-0.610540E-02	0.364150E-02	0.721339E-02	147.82	0.41
7	-0.604959E-02	-0.190841E-02	0.634385E-02	197.51	0.36
8	-0.436611E-02	0.160494E-02	0.467052E-02	159.40	0.26
9	-0.114866E-02	0.307730E-02	0.405693E-02	107.11	0.23
10	-0.784772E-02	-0.146343E-01	0.149086E-01	258.99	0.84
11	0.263585E-02	0.208057E-02	0.418903E-02	29.78	0.24
12	-0.301651E-02	-0.624539E-03	0.308046E-02	191.70	0.17
13	0.260677E-03	0.254510E-02	0.268664E-02	71.32	0.15
14	-0.152245E-02	0.243594E-02	0.394210E-02	119.35	0.22
15	0.422302E-02	0.107219E-02	0.439976E-02	14.12	0.25
16	-0.145203E-02	-0.137083E-02	0.375489E-02	244.29	0.21
17	-0.157709E-03	-0.470066E-03	0.982002E-03	260.77	0.06
18	-0.106156E-02	-0.116020E-02	0.159643E-02	227.30	0.09
19	0.127615E-03	-0.514269E-03	0.618690E-03	321.18	0.05
20	0.107020E-02	-0.308465E-02	0.402337E-02	235.40	0.23
21	-0.114975E-02	0.243315E-03	0.117521E-02	165.35	0.07
22	-0.472158E-03	-0.125098E-03	0.488866E-03	194.64	0.03
23	0.754509E-04	-0.417471E-03	0.434240E-03	280.24	0.02
24	0.536823E-03	-0.575649E-03	0.787152E-03	313.30	0.04
25	-0.467789E-03	-0.856797E-03	0.102263E-02	241.51	0.06

HARMONIC ANALYSIS TABLE (ORDER CONST)

ORDER NO. = 5 STERN P.GAGE-51 DIREC.-S.BCARD

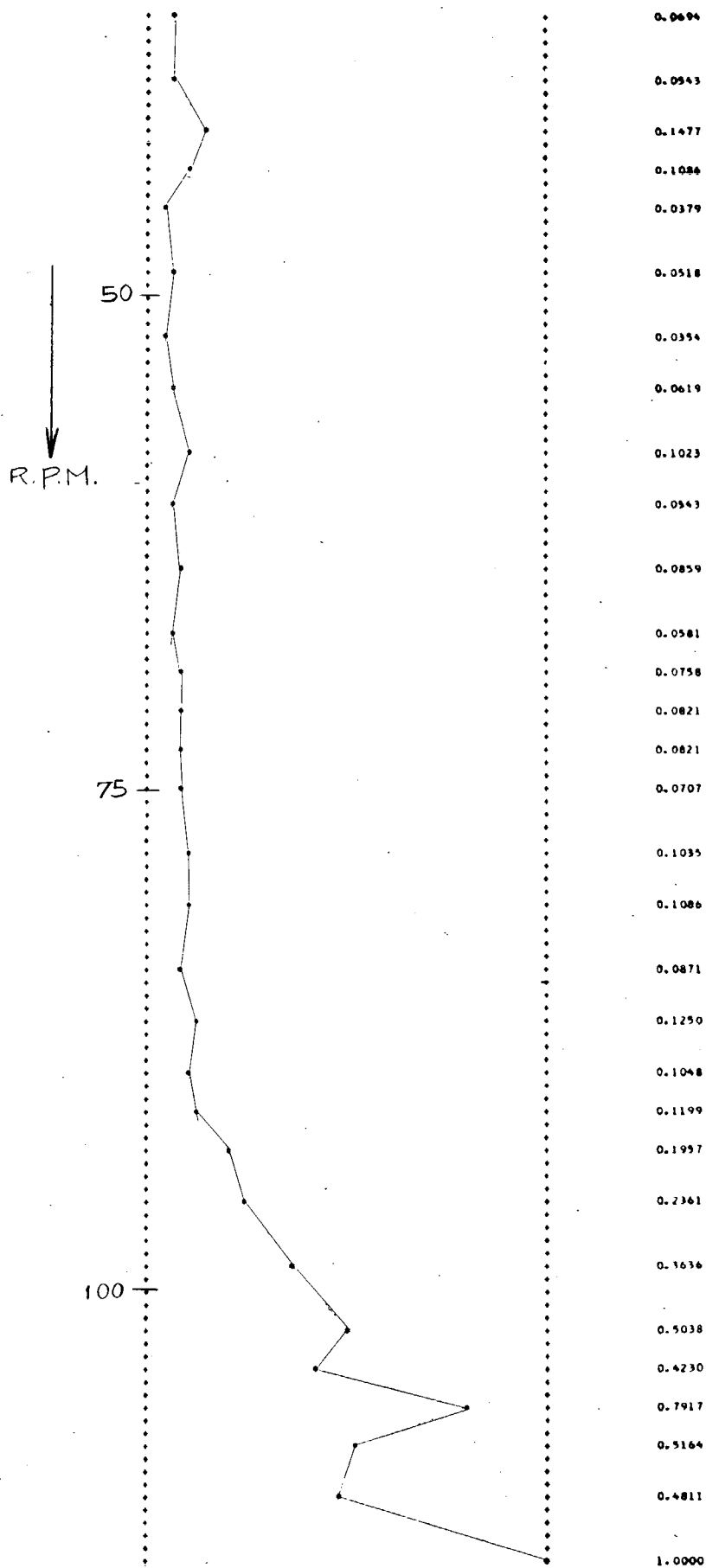
COMMENTS	RPM	AMPLITUDE (KG/CM**2)	PHASE (DEG)
RPM.NO. 1(DTNC.542)	36.0	0.206006E-03	143.97
RPM.NO. 2(DTNC.545)	39.0	0.768743E-04	352.33
RPM.NO. 3(DTNC.548)	42.0	0.131644E-03	52.62
RPM.NO. 4(DTNC.551)	44.0	0.180661E-03	202.92
RPM.NO. 5(DTNC.554)	46.0	0.292583E-03	133.28
RPM.NO. 6(DTNC.557)	49.0	0.215612E-03	137.67
RPM.NO. 7(DTNC.560)	52.0	0.409786E-03	118.17
RPM.NO. 8(DTNC.563)	55.0	0.489222E-03	163.49
RPM.NO. 9(DTNC.566)	58.0	0.570517E-03	144.21
RPM.NO. 10(DTNC.569)	61.0	0.262575E-03	94.24
RPM.NO. 11(DTNC.572)	64.0	0.133304E-02	166.39
RPM.NO. 12(DTNC.575)	67.0	0.111583E-02	150.50
RPM.NO. 13(DTNC.578)	69.0	0.111347E-02	144.97
RPM.NO. 14(DTNC.581)	71.0	0.167757E-02	146.30
RPM.NO. 15(DTNC.584)	73.0	0.284510E-02	133.13
RPM.NO. 16(DTNC.587)	75.0	0.288553E-02	121.69
RPM.NO. 17(DTNC.590)	78.0	0.163520E-02	92.19
RPM.NO. 18(DTNC.593)	81.0	0.162234E-02	124.92
RPM.NO. 19(DTNC.596)	84.0	0.237444E-02	143.24
RPM.NO. 20(DTNC.599)	87.0	0.376048E-02	133.42
RPM.NO. 21(DTNC.602)	89.0	0.264582E-02	110.69
RPM.NO. 22(DTNC.605)	91.0	0.186076E-02	97.51
RPM.NO. 23(DTNC.608)	93.0	0.301494E-02	92.43
RPM.NO. 24(DTNC.611)	96.0	0.766530E-02	80.10
RPM.NO. 25(DTNC.614)	99.0	0.913325E-02	83.39
RPM.NO. 26(DTNC.617)	102.0	0.132707E-01	96.58
RPM.NO. 27(DTNC.620)	104.0	0.156387E-01	91.54
RPM.NO. 28(DTNC.623)	106.0	0.265137E-01	87.58
RPM.NO. 29(DTNC.626)	108.0	0.246600E-01	47.53
RPM.NO. 30(DTNC.630)	111.0	0.225682E-01	79.91
RPM.NO. 31(DTNC.633)	114.0	0.613158E-01	13.82

MAXIMUM AMPLITUDE TABLE NO. 1

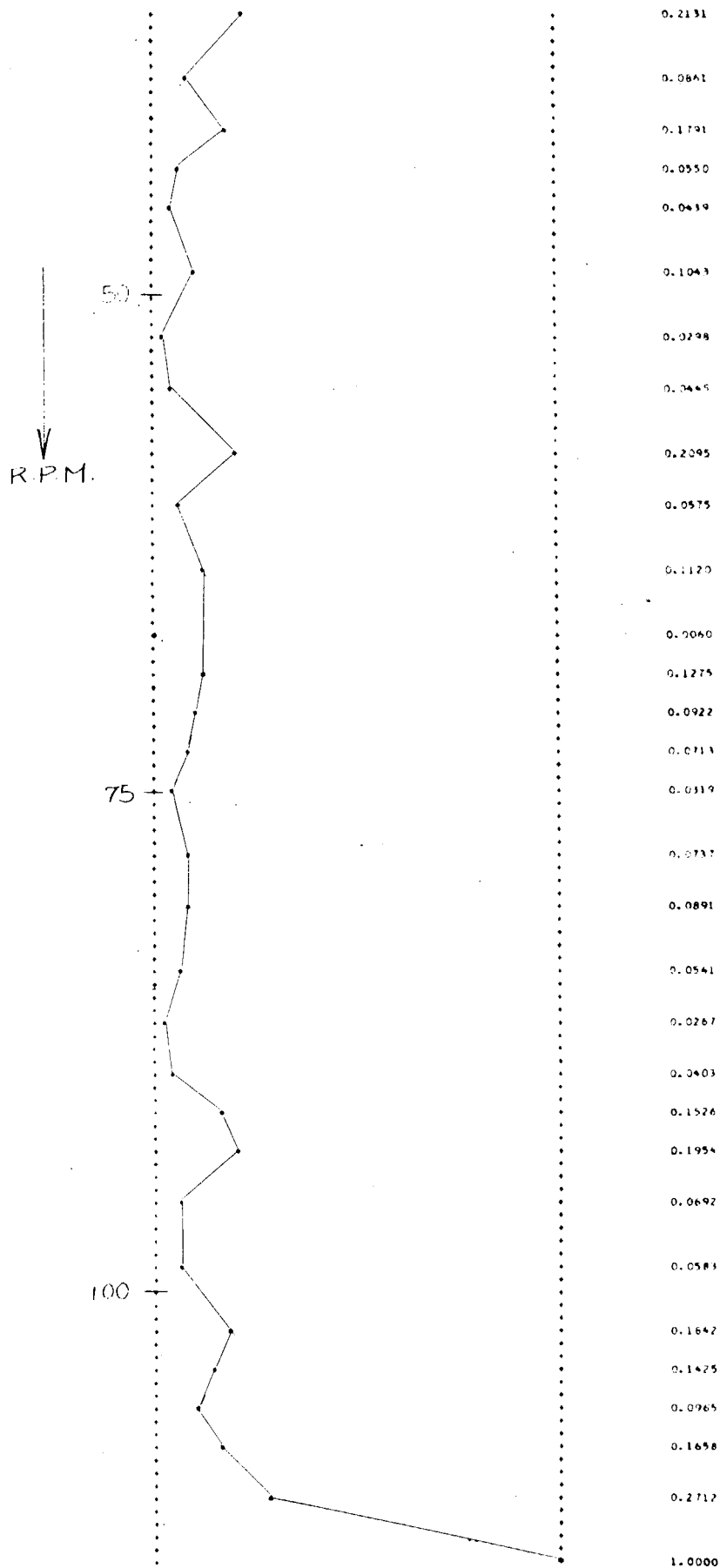
MAX. TOTAL DOUBLE AMPLITUDE = 0.140126E 00 KG/CM**2 AT 114.0 RPM
MAX. HARMONIC AMPLITUDE = 0.613158E-01 KG/CM**2 AT 114.0 RPM AND ORDER NO.
MAX. HARMONIC AMPLITUDE IN EACH ORDER

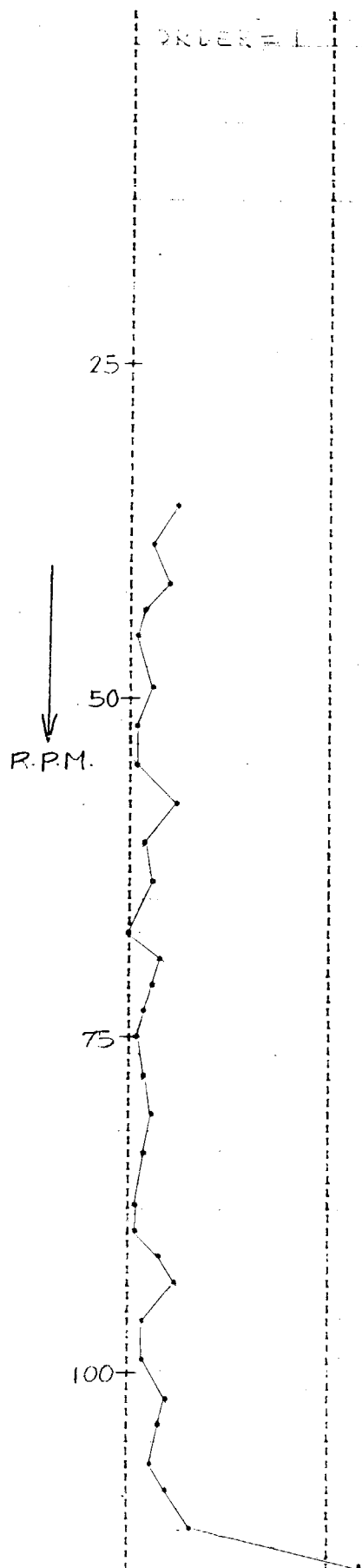
ORDER	RPM	MAX. AMPLITUDE (KG/CM**2)	COMMENTS
1	114.0	0.178460E-01	RPM.NO.31(DTNC.633)
2	114.0	0.531834E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
3	114.0	0.626052E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
4	114.0	0.525634E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
5	114.0	0.613158E-01	RPM.NO.31(DTNC.633)
6	114.0	0.721339E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
7	114.0	0.634385E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
8	114.0	0.467052E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
9	42.0	0.561435E-02	RPM.NO.3(DTNC.548)
10	106.0	0.284854E-01	RPM.NO.28(DTNC.623)
11	114.0	0.418903E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
12	114.0	0.208046E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
13	114.0	0.268664E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
14	114.0	0.394210E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
15	106.0	0.834266E-02	RPM.NO.28(DTNC.623)
16	114.0	0.275389E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
17	106.0	0.152914E-02	RPM.NO.28(DTNC.623)
18	114.0	0.156443E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
19	114.0	0.818690E-03	RPM.NO.31(DTNC.633)
20	108.0	0.477670E-02	RPM.NO.29(DTNC.626)
21	114.0	0.117521E-02	RPM.NO.31(DTNC.633)
22	111.0	0.643106E-03	RPM.NO.30(DTNC.630)
23	111.0	0.653047E-03	RPM.NO.30(DTNC.630)
24	106.0	0.139501E-02	RPM.NO.28(DTNC.623)
25	108.0	0.185066E-02	RPM.NO.29(DTNC.626)

TOTAL AMPLITUDE PLOT (NORMALIZED RELATIVELY TO THE MAX. TOTAL AMPLITUDE)



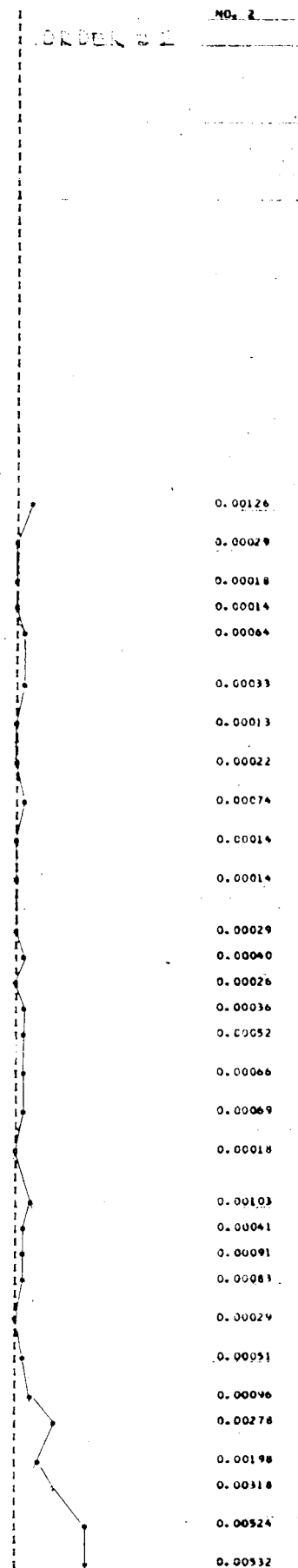
HARMONIC AMPLITUDE PLOT FOR ORDER 4
(NORMALIZED RELATIVELY TO THE MAX. HARMONIC AMP. WITHIN PRESENT ORDER)





NO. 1

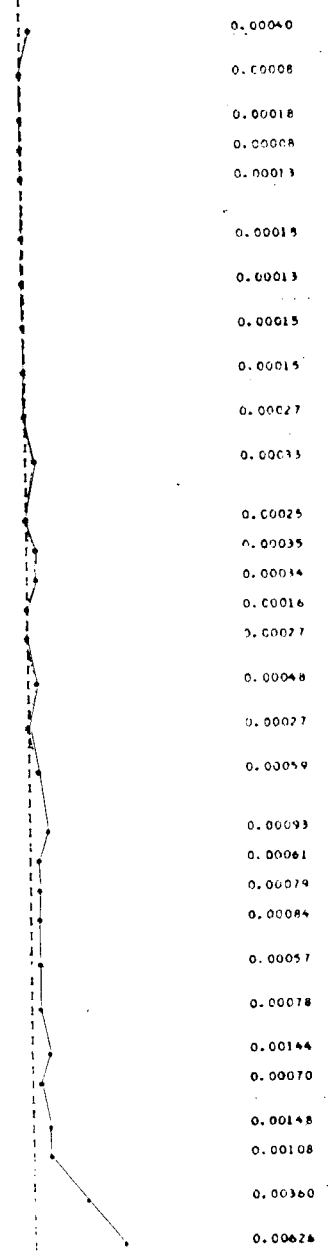
0.00380
0.00154
0.00320
0.00048
0.00078
0.00186
0.00053
0.00079
0.00374
0.00103
0.00280
0.00011
0.00227
0.00165
0.00127
0.00057
0.00131
0.00159
0.00097
0.00098
0.00072
0.00272
0.00149
0.00173
0.00105
0.00329
0.00254
0.00172
0.00296
0.00484
0.01785



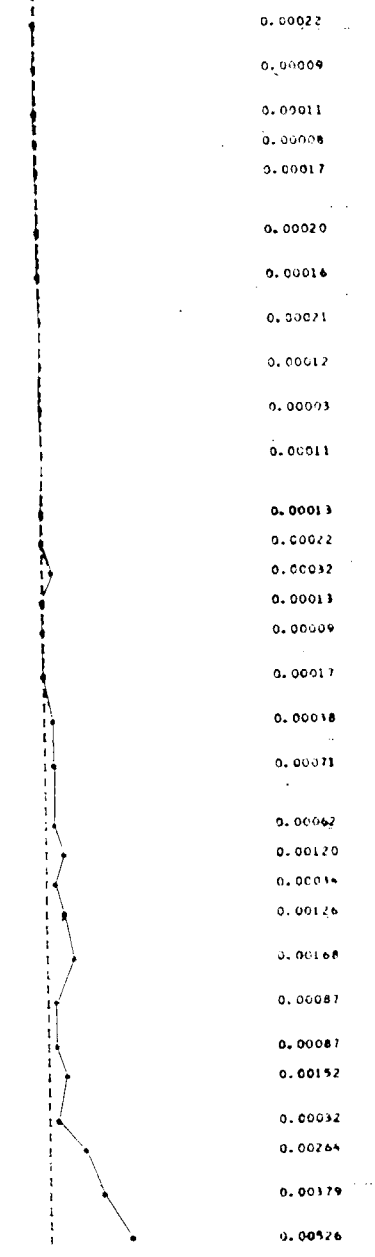
NO. 2

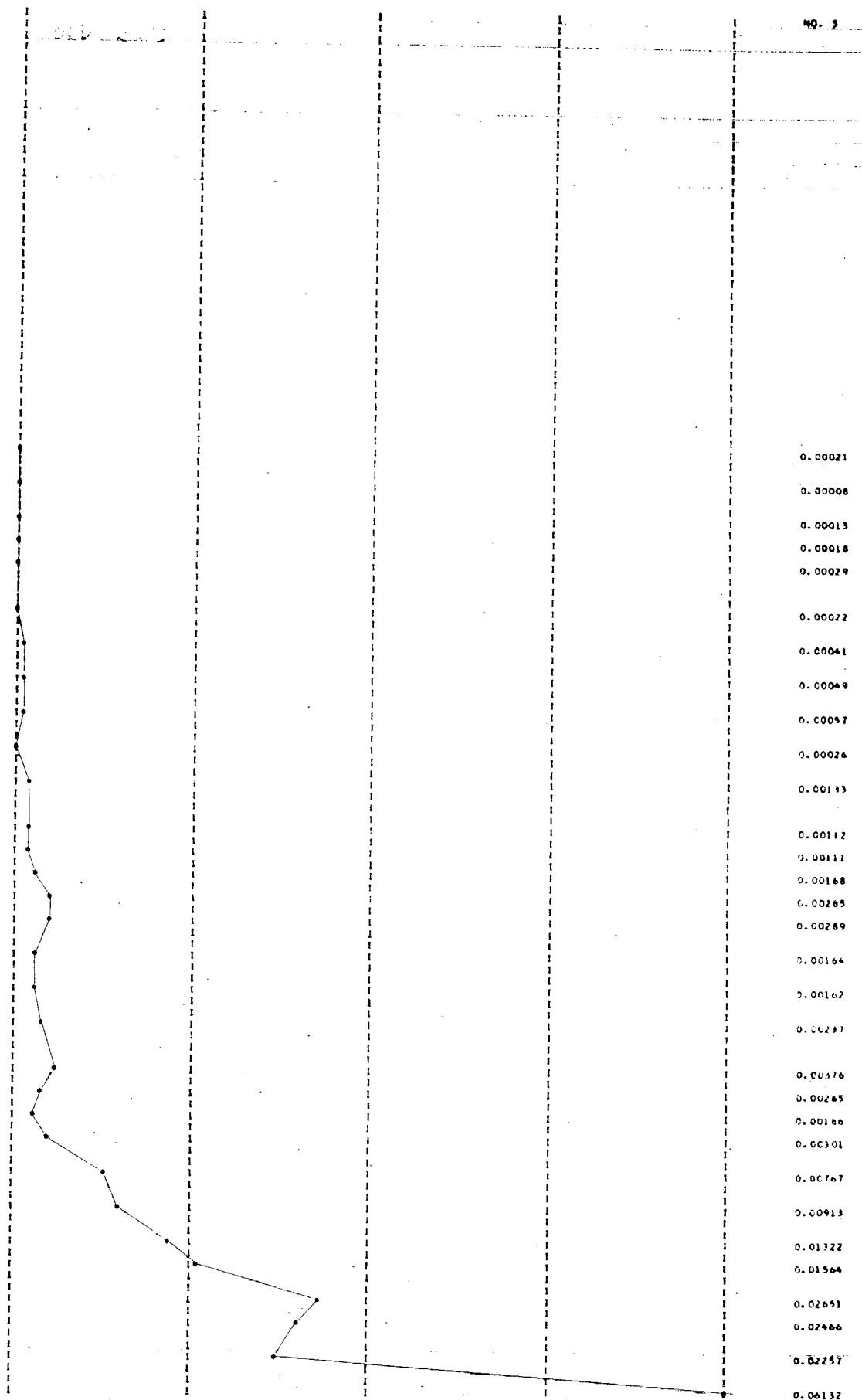
0.00126
0.00029
0.00018
0.00014
0.00064
0.00033
0.00013
0.00022
0.00074
0.00014
0.00014
0.00029
0.00040
0.00026
0.00036
0.00052
0.00066
0.00069
0.00018
0.00103
0.00041
0.00091
0.00081
0.00029
0.00051
0.00096
0.00278
0.00198
0.00318
0.00524
0.00532

NO. 3
ORDER #3



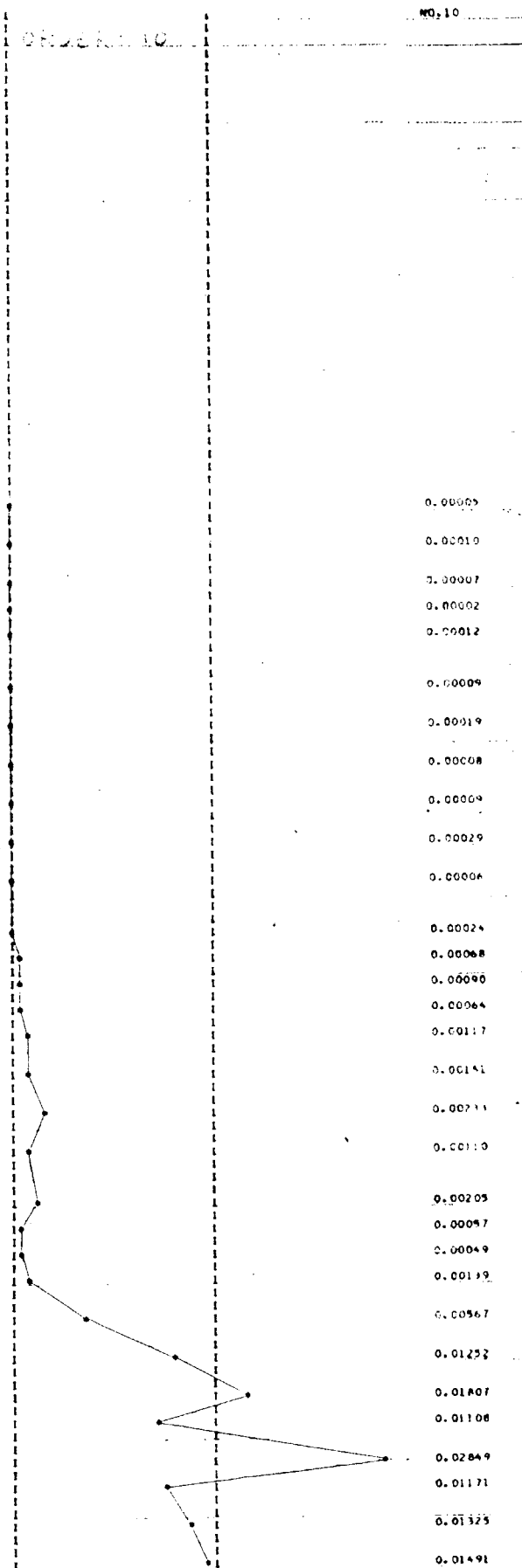
NO. 4
ORDER #4





08021110

MO, 10



0.00000

0.00010

0.00007

0.00002

0.00012

0.00009

0.00019

0.00008

0.00009

0.00029

0.00006

0.00024

0.00008

0.00000

0.00004

0.00117

0.00151

0.00711

0.00110

0.00205

0.00097

0.00049

0.00119

0.00567

0.01232

0.01807

0.01108

0.02849

0.01171

0.01325

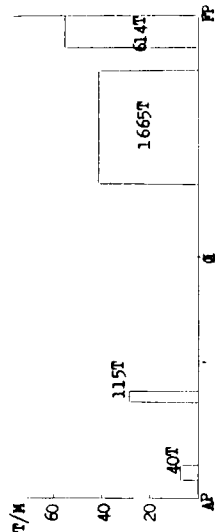
0.01491

2

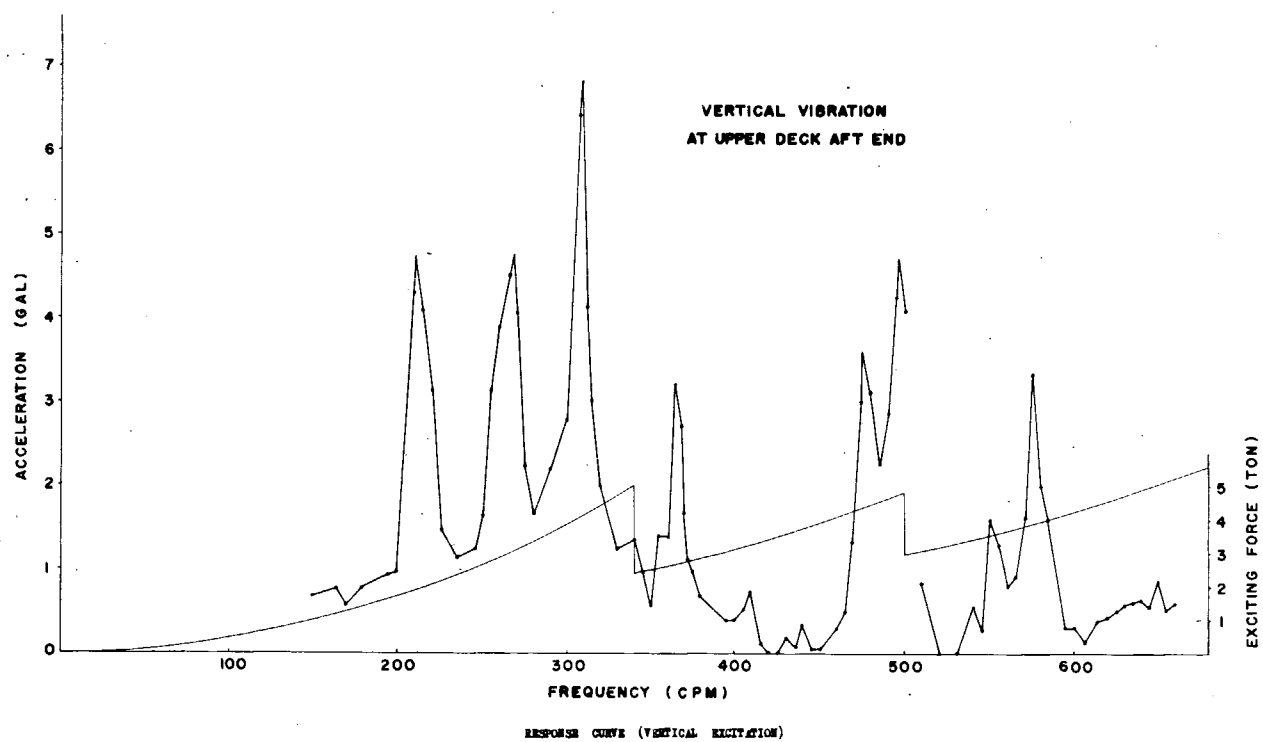
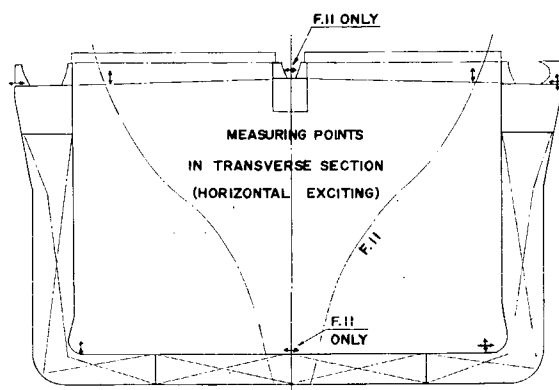
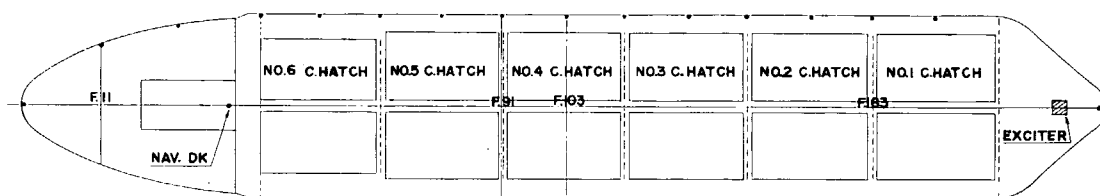
TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
CASE	EXCITER TEST	TYPE OF PICK UP	ACCELEROMETER
DATE	APR. 1. 1968	NO. OF MEAS.	18
PLACE	NO.3 PIER	POINT	
WEATHER	CLOUDY	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION		TYPE OF EXCITER	UNBALANCED WEIGHT TYPE
DEPTH OF WATER	ABOUT 18M	MAX. EXCIT. FORCE	5TON
Δ test	11,560T	DIRECT. OF EXCIT.	VERTICAL HORIZONTAL
d f	2.62M	OTHER DESCRIPTIONS	
d a	4.17M		
d m	3.48M		
PROPELLER IMMERSION			

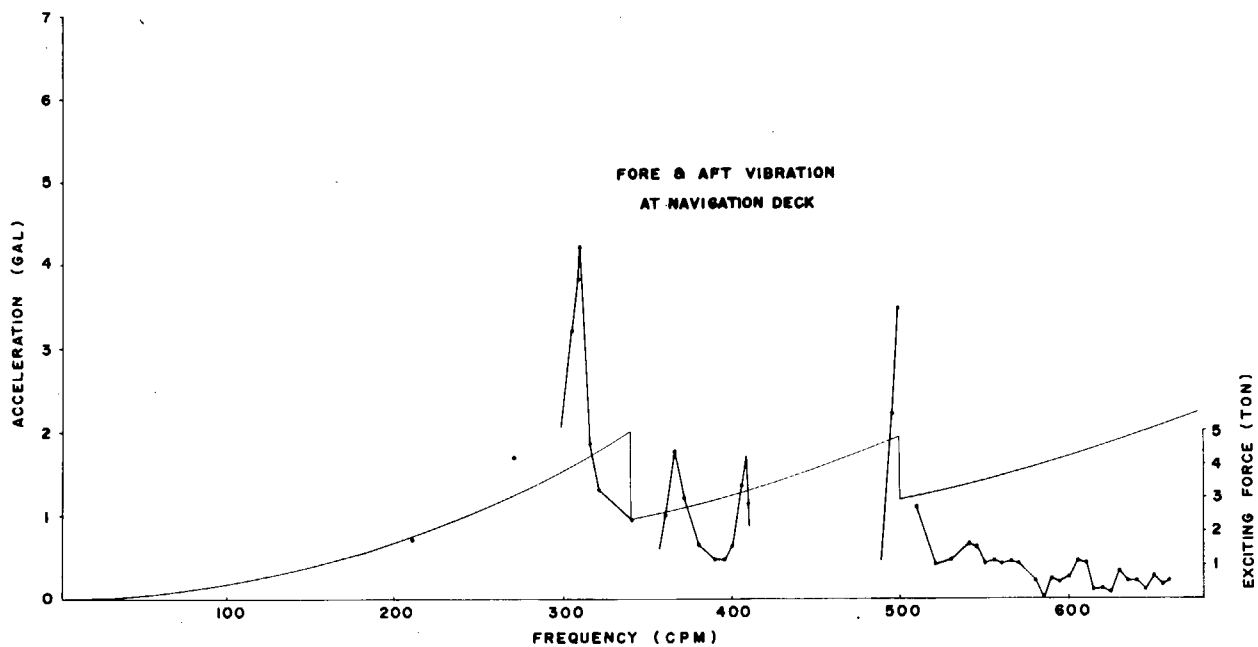
ROUGH ARRANGEMENT OF LOADING PLAN
AND MEASURING POINTS

ROUGH ARRANGEMENT OF LOADING PLAN
AND MEASURING POINTS

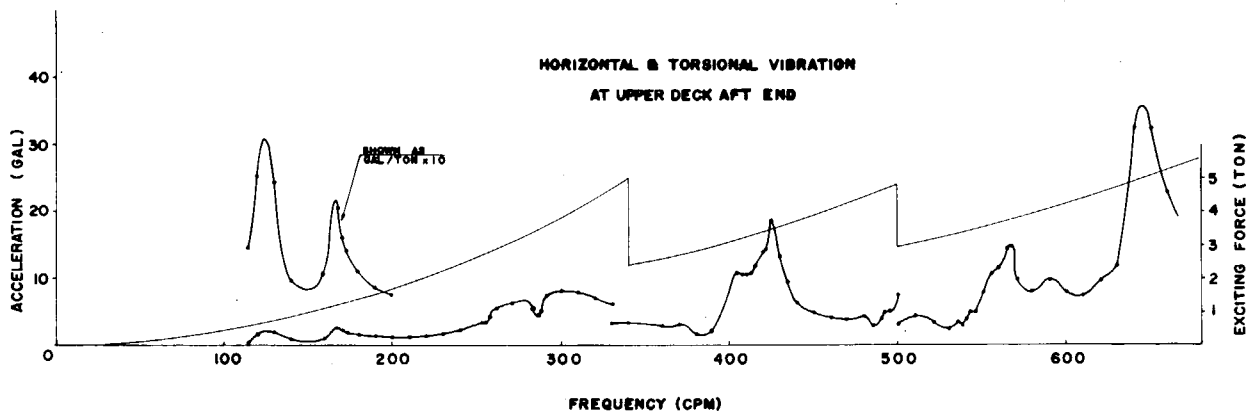


RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT			
PARTICULARS OF SHIP		SHIP NO.	43-F
		BUILDER	HIROSHIMA
HULL		MAIN ENGINE	
KIND & TYPE	BULK CARRIER, WEL DECKER	KIND & TYPE	DIESEL SULZER 7RD/6
CLASS	LR	MEMBER	1
CONSTRUCTION	LONGITUDINAL	POSITION OF ENG.	AFT
L oa	181.00 M	SHIP	MCR 10,500 PS MER 9,450 PS
L pp	170.00 M	RPM	MCR 119 RPM MER 115 RPM
B mid	27.20 M (29.13)	UNBALANCED	Pv1 0
D mid	15.75 M	FORCE	Pv2 0
d full	10.21 M	Ph	0
Δ full	38,848 T	Mv1	33.2 T-M
D. W.	29,361 T	Mv2	19.3 T-M
Cb full	0.781	Mh	33.2 T-M
PROPELLER			
MOMENT OF INERTIA	Iv 93.08 M ⁴ Ih 904.84 M ⁴	NUMBER	1
WEB	Av 0.971 M ²	No. OF BLADES	5
AREA	Ah 1.006 M ²	DIAMETER	5.60 M
SKETCH OF A SECTION		SKETCH OF SCREW APERTURE	
		$a/D = 0.182$ $a_2/D = 0.186$ $b_1/D = 0.227$ $b_2/D = 0.217$ $c/D = 0.271$ $d/D = 0.07$	

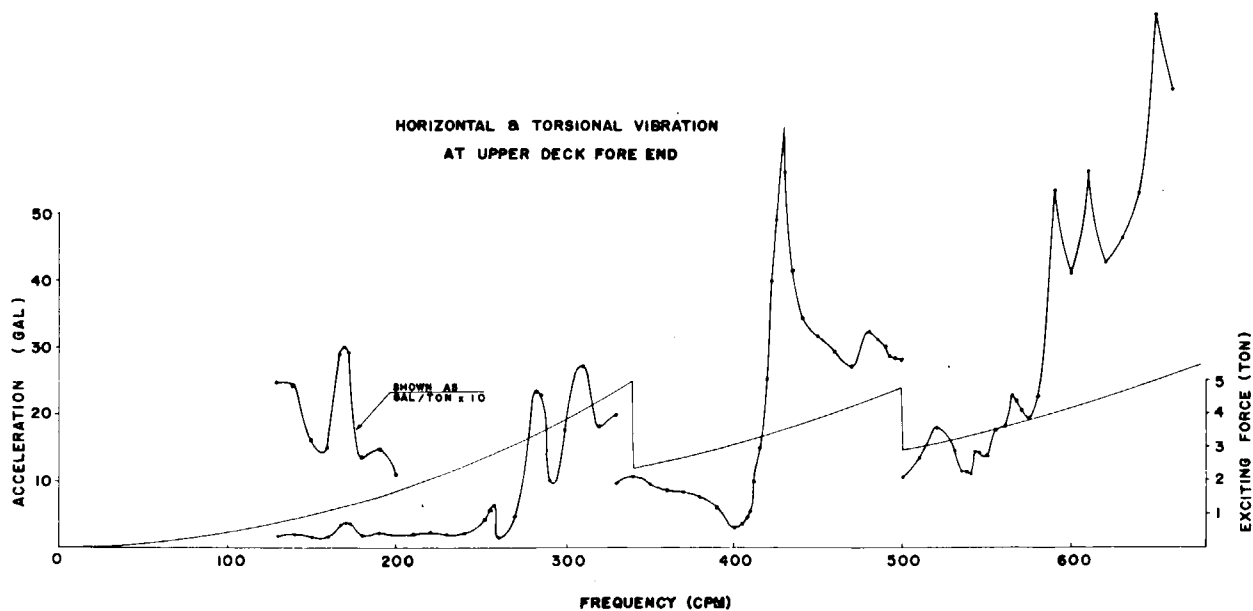




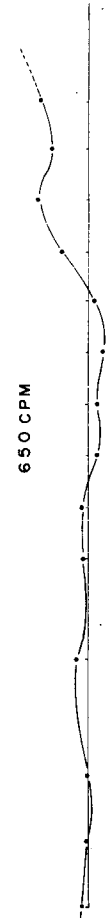
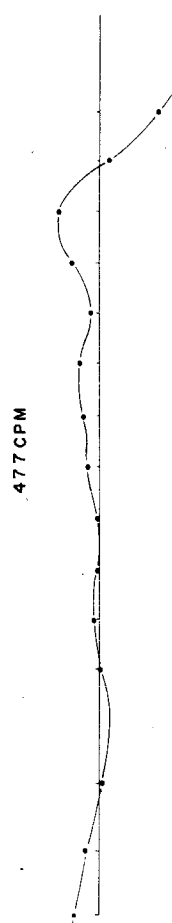
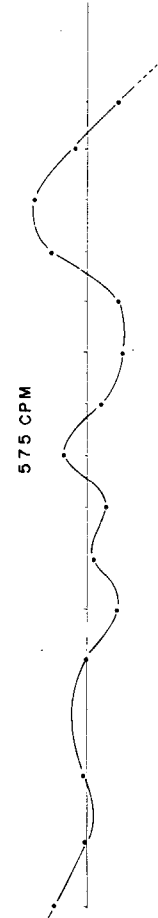
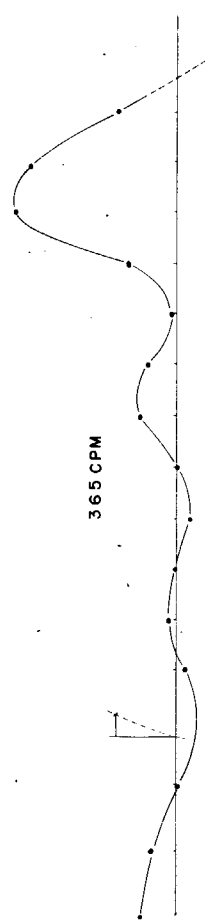
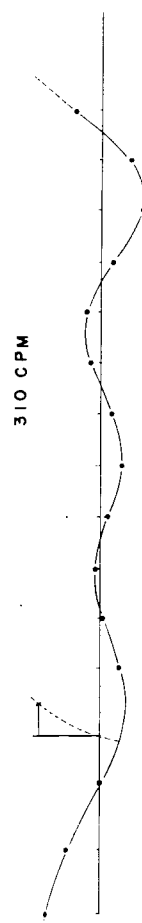
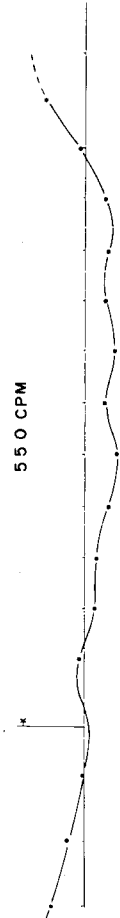
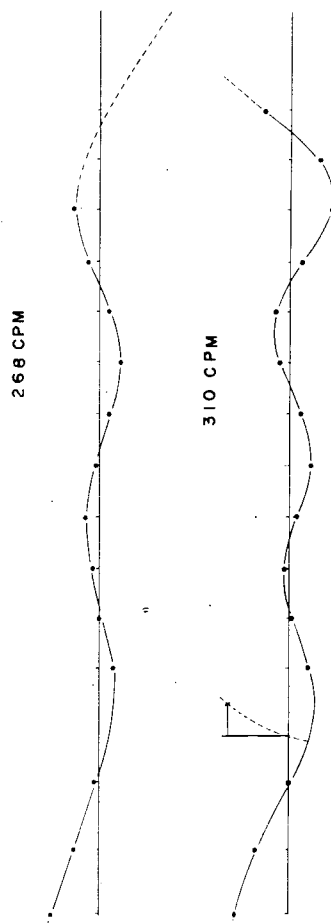
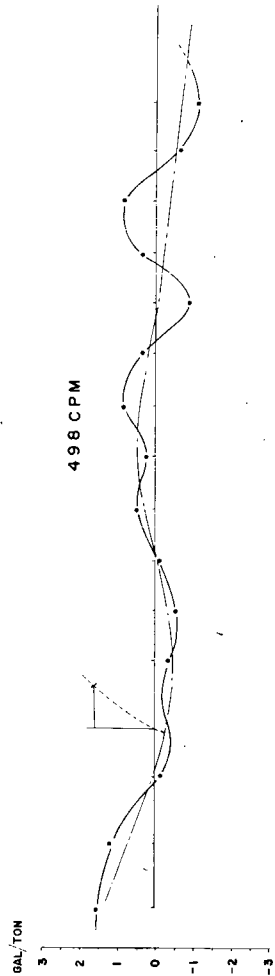
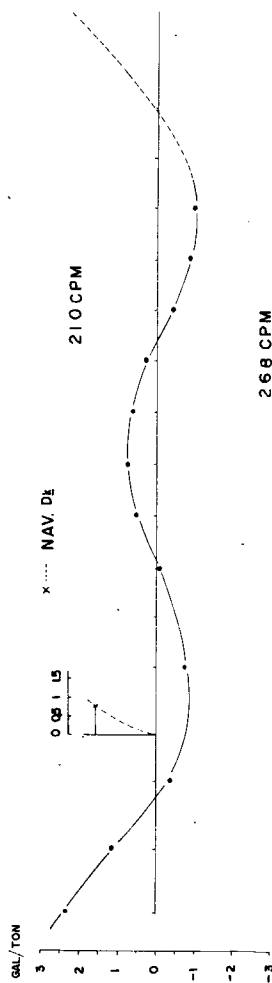
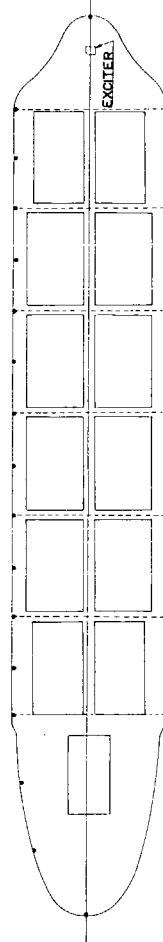
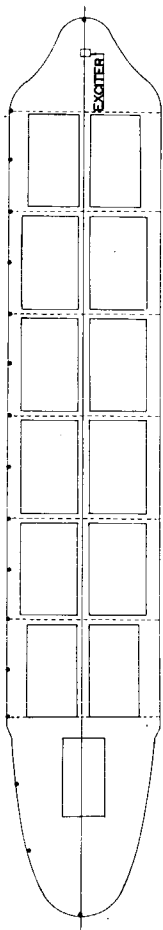
RESPONSE CURVE (VERTICAL EXCITATION)



RESPONSE CURVE (HORIZONTAL EXCITATION)

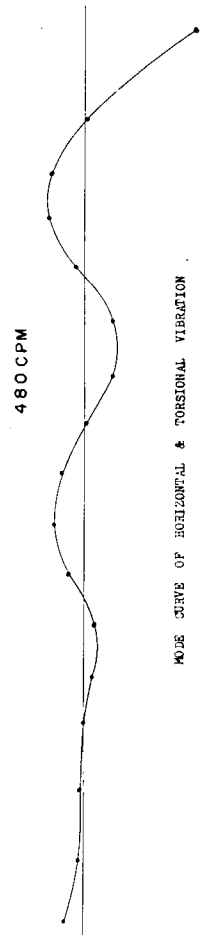
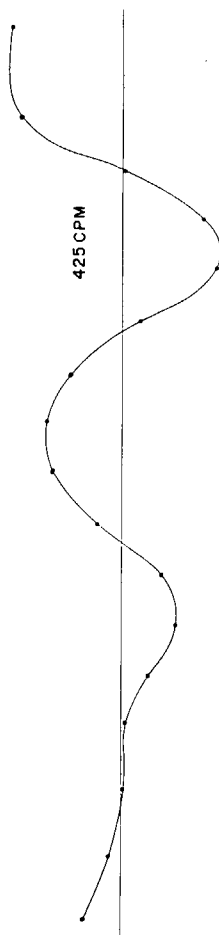
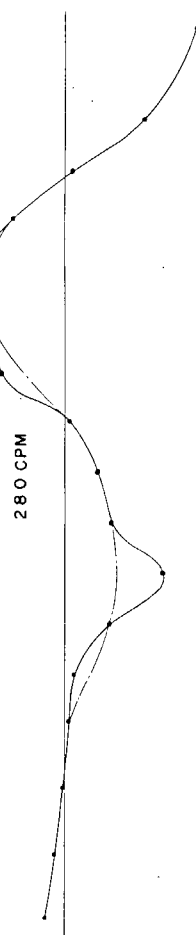
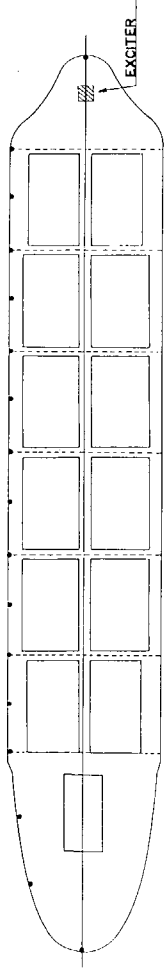


RESPONSE CURVE (HORIZONTAL EXCITATION)

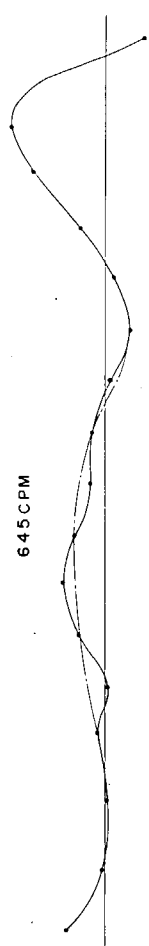
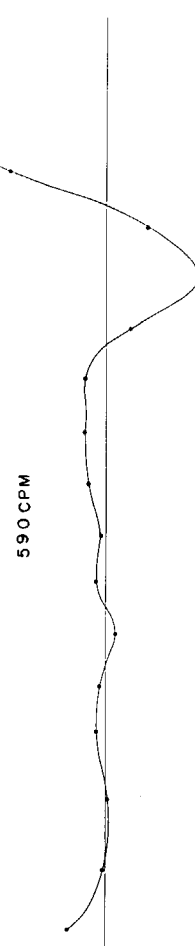
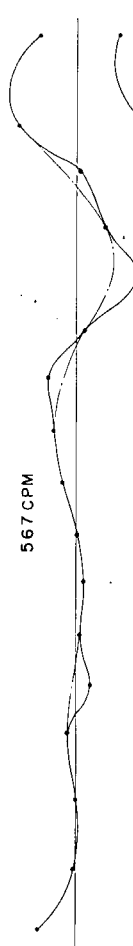
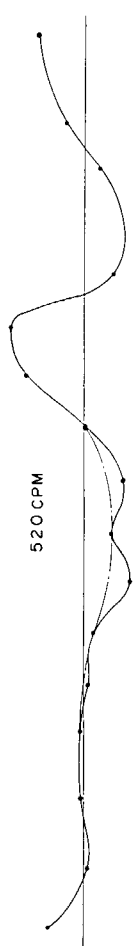
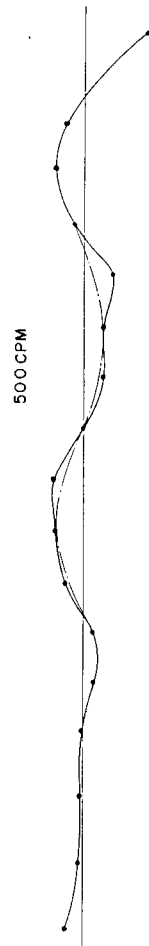
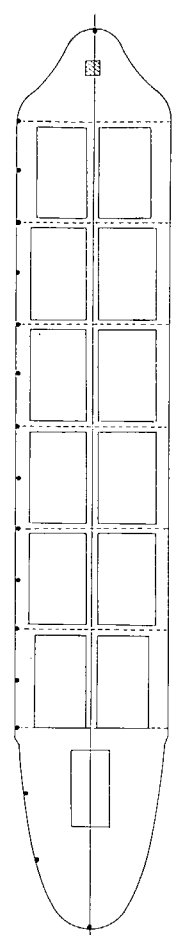


MODE CURVE OF VERTICAL VIBRATION

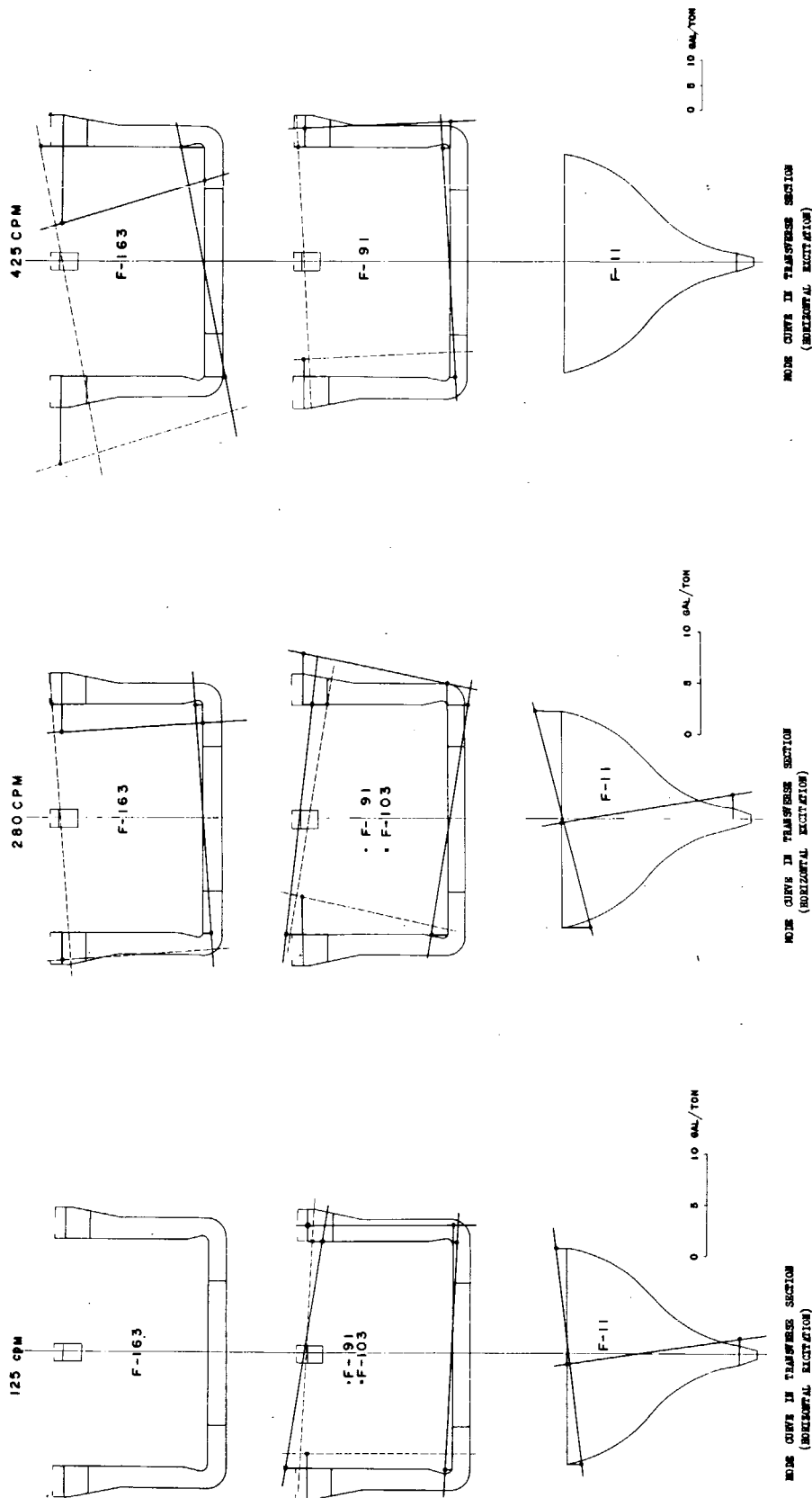
MODE CURVE OF VERTICAL VIBRATION



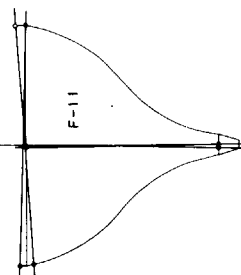
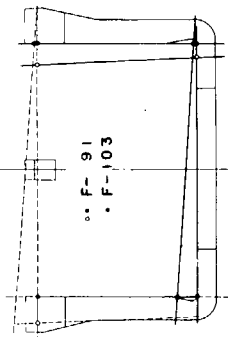
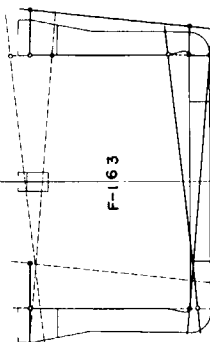
MODE CURVE OF HORIZONTAL & TORSIONAL VIBRATION



MODE CURVE OF HORIZONTAL & TORSIONAL VIBRATION

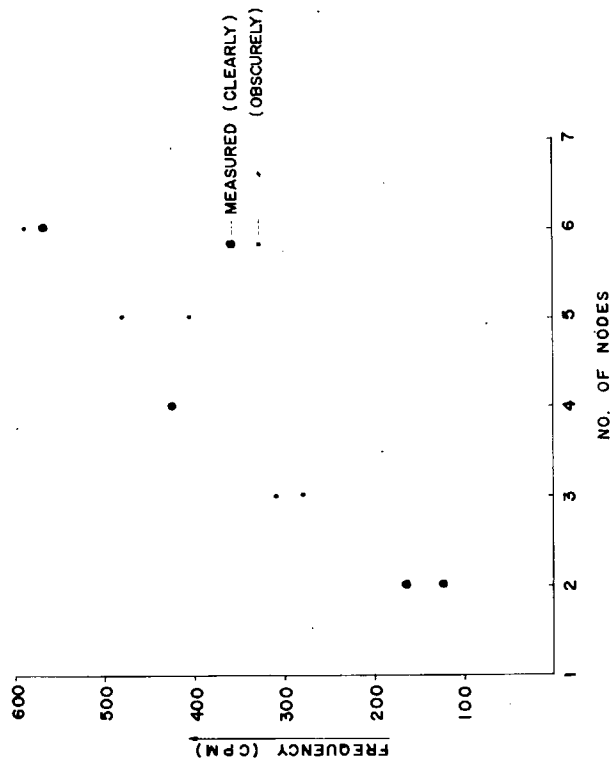


567 CPM

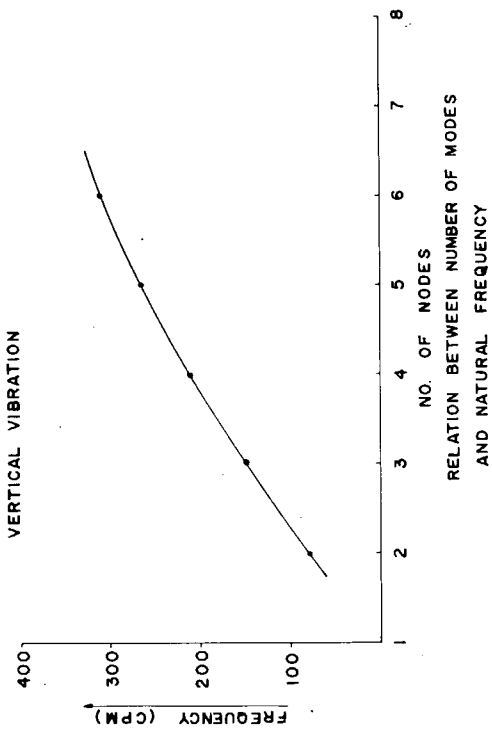


MODE CURVE IN TRANSVERSE SECTION
(HORIZONTAL EXCITATION)

HORIZONTAL & TORSIONAL VIBRATION



VERTICAL VIBRATION



RELATION BETWEEN NUMBER OF MODES
AND NATURAL FREQUENCY

7. 大型模型船実験結果

7.1 内容の概略

ディーゼル機関より発生する水平起振力、水平起振モーメントおよびねじれ起振モーメントによる機関室構造の振動および船体振動を実験的に研究するため1/10縮尺の鋼製大型模型船の加振試験をおこなった。

起振方式は、機関室船底に鋼製機関模型を取り付け、機関模型の頂部を加振する実船と類似の加振および機関室船底に起振機を取り付ける直接加振の2種であり、2種の加振について、おのおの上下水平加振をおこなった。

模型船の状態は船体重量のみのLight Condition とバラストとして船艙部にコンクリートブロックを搭載したFull Ballast Condition の2種である。

機関模型の頂部加振は、機関のH型振動およびX型振動による水平加振力、ねじれ加振モーメントに対して、船体がどのように応答するかを調べたものであり、船体の共振曲線、モード曲線の資料を得た。また機関室船底の直接加振は、機関頂部加振と類似の条件で、機関の連成の影響がない場合であり、機関模型の加振の結果と比較し、その影響を求めようとしたものである。

7.2 実験の方法

7.2.1 模型船の要目、状態

模型船 縮尺 1/10 縮尺、鋼製
船種 15,000 DWT 貨物船型
寸法 $L_{pp} \times B_m \times D_m = 14.50 \text{ m} \times 2.02 \text{ m} \times 1.26 \text{ m}$

実験状態はTable 7.1のとおりであり、実験場所は石川島播磨重工業振動実験水槽である。

Table 7.1 Condition of Model Ship

	Light Condition	Full Ballast Condition
Displacement	3,500 Kg	9,500 Kg
Ballast Weight		No.1 Cargo Hold 200 Kg
		" 2 " 800 "
		" 3 " 1,600 "
		" 4 " 1,600 "
		" 5 " 1,600 "
Draft (cm)	Fore 11.0 cm	45.0 cm
	✕ 24.0 "	51.0 "
	Aft 38.0 "	57.7 "
Depth of Water	4 m	4 m

7.2.2 加振機および機関模型

加振機 型式 不平衡重錘反転型
位置 機関模型加振 (機関模型 Top)
機関室直接加振

(Engine Room Tank Top
Fr. 40 Port Side 機関模型台板位置)

機関模型 重量 約177 Kg
寸法 Fig. 7.1に機関模型の概要を示す。

位置 Fig.7.2に機関模型の位置を示す。

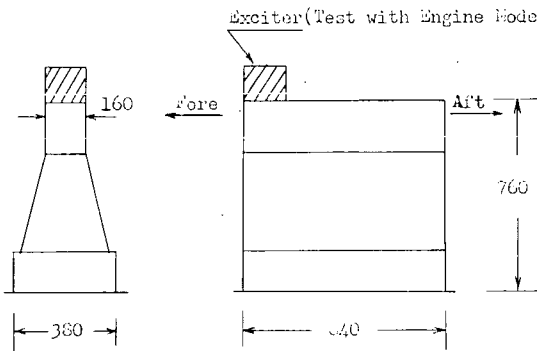


Fig.7.1 Engine Model

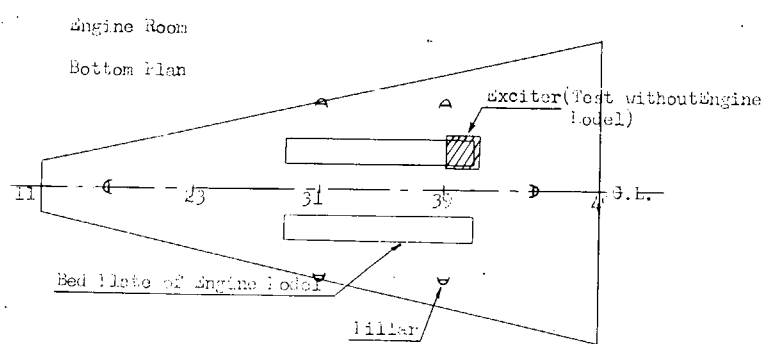


Fig.7.2 Position of Engine Model

7.2.3 計測の方法

振動モード記録のブロックダイアグラムをFig.7.3に示した。

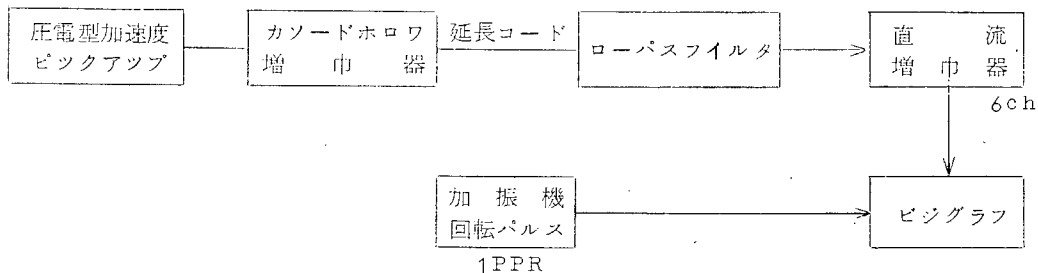


Fig.7.3 振動モード記録のブロックダイアグラム

共振曲線記録および再生は、ビシグラフによる記録または、Fig.7.4、Fig.7.5の方法による。

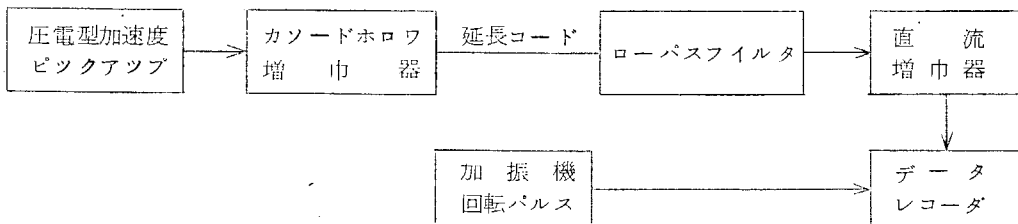


Fig.7.4 共振曲線の記録

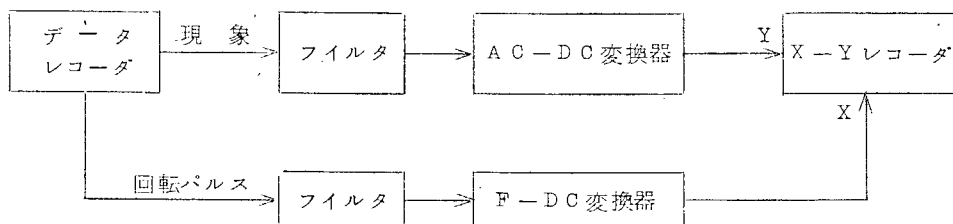


Fig.7.5 共振曲線の再生

7.2.4 計測点

船体全体の振動モード記録のため、左舷船側部の水平、上下振動、船体のねじれ振動を調べるため横隔壁上の上下振動を記録した。また、機関室の振動モードを調べるため、機関室Tank Topの上下振動と機関の前部および後部に相当するFr. No 3 1、Fr. No 3 9の断面の振動の記録をとった。

7.3 実験結果および検討

7.3.1 実験結果

Light Condition における各種の起振条件 Case 1 ~ Case 4 の共振曲線およびモード曲線、Full Ballast Condition において Engine Top を起振した場合 Case 5 の実験結果を Fig. 7.8 ~ Fig. 7.48 に示した。

Table 7.2 に、実験条件を示した。

Table 7.2 List of Experiments

	Condition	Position of Exciter	Direction of Exciting	Resonance Curve	Mode Curve	Exciting Moment
Case 1	Light	Engine Top	Hor	Fig. 7.8 ~ Fig. 7.16	Fig. 7.11 ~ Fig. 7.16	~0.028 Kg·cm
Case 2	Light	Engine Top (With Load Cell)	Hor	" 7.17 ~ " 7.19	" 7.20 ~ " 7.26	~65% 0.112 Kg·cm 65% ~ 0.028 Kg·cm
Case 3	Light	Tank Top of Engine Room	Hor	" 7.27 ~ " 7.29	" 7.30 ~ " 7.33	0.056 Kg·cm
Case 4	Light	Tank Top of Engine Room	Ver	" 7.34 ~ " 7.36	" 7.37 ~ " 7.41	0.056 Kg·cm
Case 5	Full Ballast	Engine Top	Hor	" 7.42 ~ " 7.44	" 7.45 ~ " 7.48	0.028 Kg·cm

Hor. : Horizontal, Ver. : Vertical

7.3.2. 共振振動数および共振振巾について

実験結果の共振曲線からわかるように、各状態ともピークが多く発生し、船体振動は非常に複雑である。

船体の水平振動、ねじれ振動、機関室の振動が連成し、あるいは水平起振力、ねじれモーメント、上下起振力が同時に作用するため、上下振動とともにこれらの振動が重畳してあらわれているので、ピーク時のモード曲線も複雑であるが、得られたデータから共振振動数を取りまとめると Fig. 7.6 のようになる。

また、Light Condition における共振時の加速度振巾を取りまとめると Fig. 7.7 のようになる。

60%以下では、機関模型加振の Case 1、Case 2 の場合は、船体の水平2節、ねじれ1節があらわれているが、Case 3 の船体直接加振時には、明瞭なピークは認められない。これは、機関のH型共振のため、船体への伝達力が増大したためと考えられる。また、73%の水平3節共振点は Case 2 の振巾が著しく大きく、100%以上では Case 1 の振巾が大きい、これも機関模型のX型共振により船体への伝達力が増加したためであろう。

7.3.3 機関共振時の機関室の振動

機関架構のH型およびX型共振時の機関室構造の振動モードを調べるため、Case 1、4、5 では機関室船底および機関の前端と後端に近い断面の振動のくわしい記録をおこなった。

H型共振時の機関室のモードは Fig. 7.11、Fig. 7.45 のとおりであり、機関の前端に近い Fr. 39 Section、後端に近い Fr. 31 Section のモード曲線から、船側外板の変形をとらなつて、船底の曲げ変形と、ねじれが発生していることがわかる。前端と後端の船底のモードは位相が一致しており、機関模型のH型振動に相当するモードである。また、X型共振時の機関室のモードは、Fig. 7.16、Fig. 7.48 に示すように Fr. 39 と Fr. 31 の船底のモードが逆位相であり、機関のX型振動に相当するモードが船底にも発生していることがわかる。

機関室船底を直接加振した場合 Case 5 には、71.0%にH型に近い船底のモードがあるが、X型に相当する船底のモードは実験の範囲(150%以下)には認められなかつた。機関室船底のX型相当の固有振動数は150%以上であり、機関室船底と機関架構の連成によつて、129%のX型共振点があらわれたものであろう。

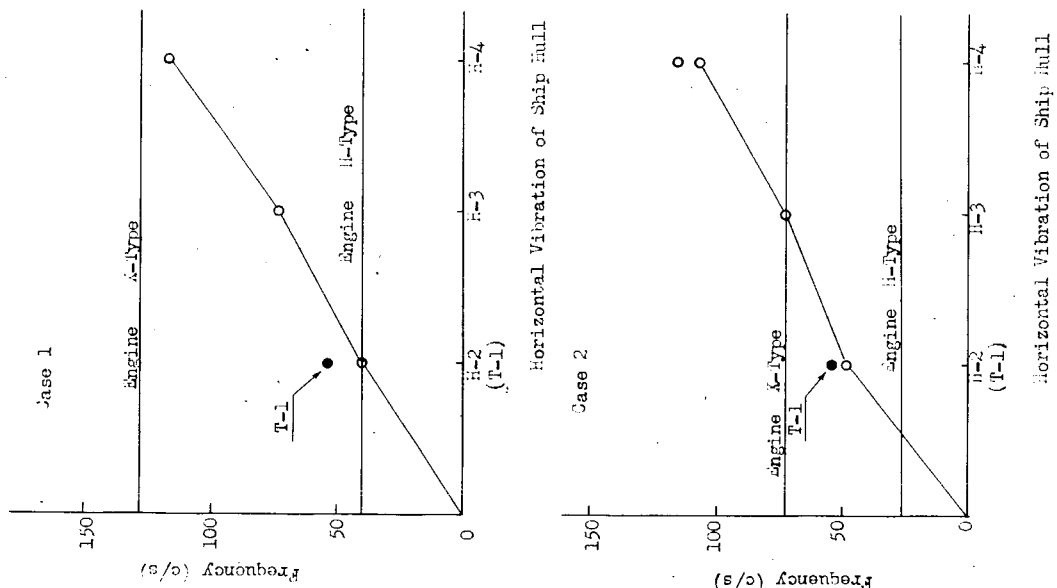


Fig.7.6 Resonance Frequency(Exciting at Engine Top)

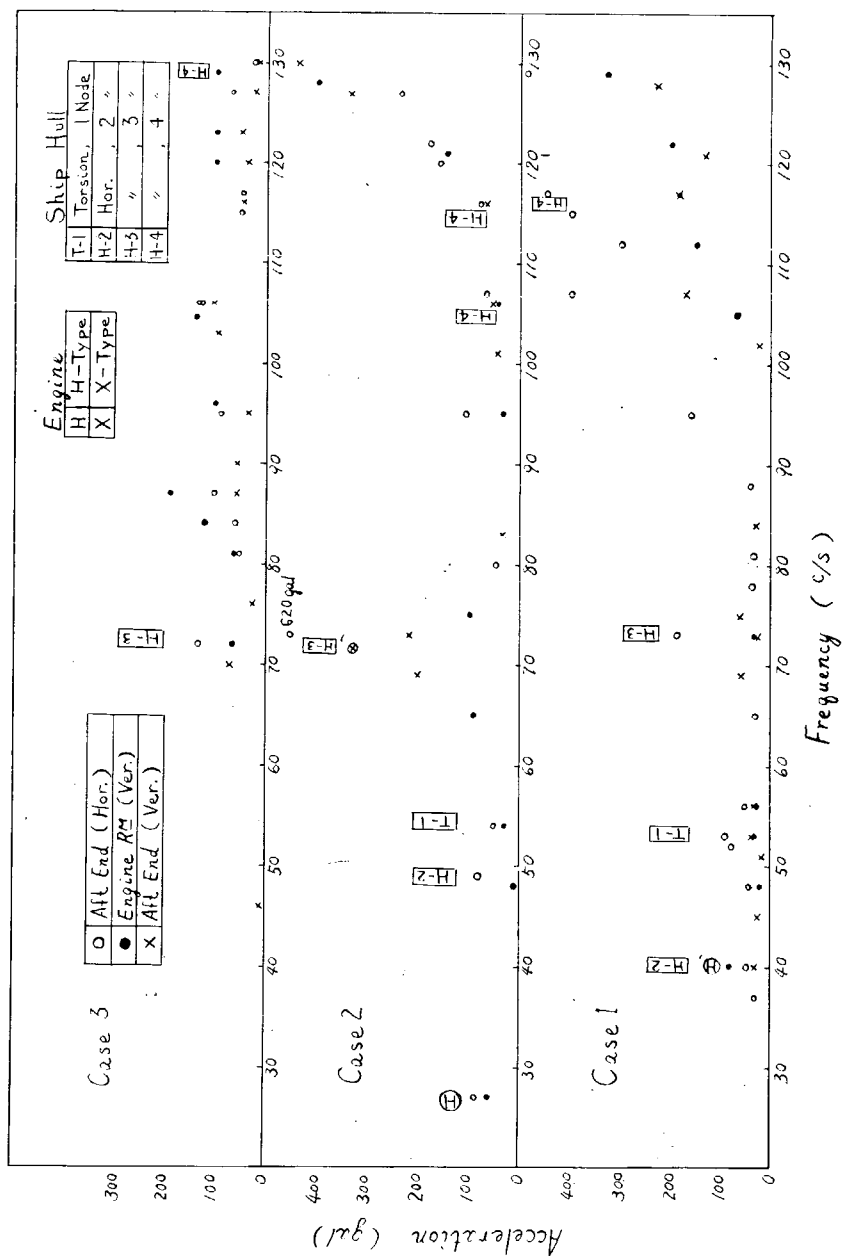


Fig.7.7 Acceleration at Resonance

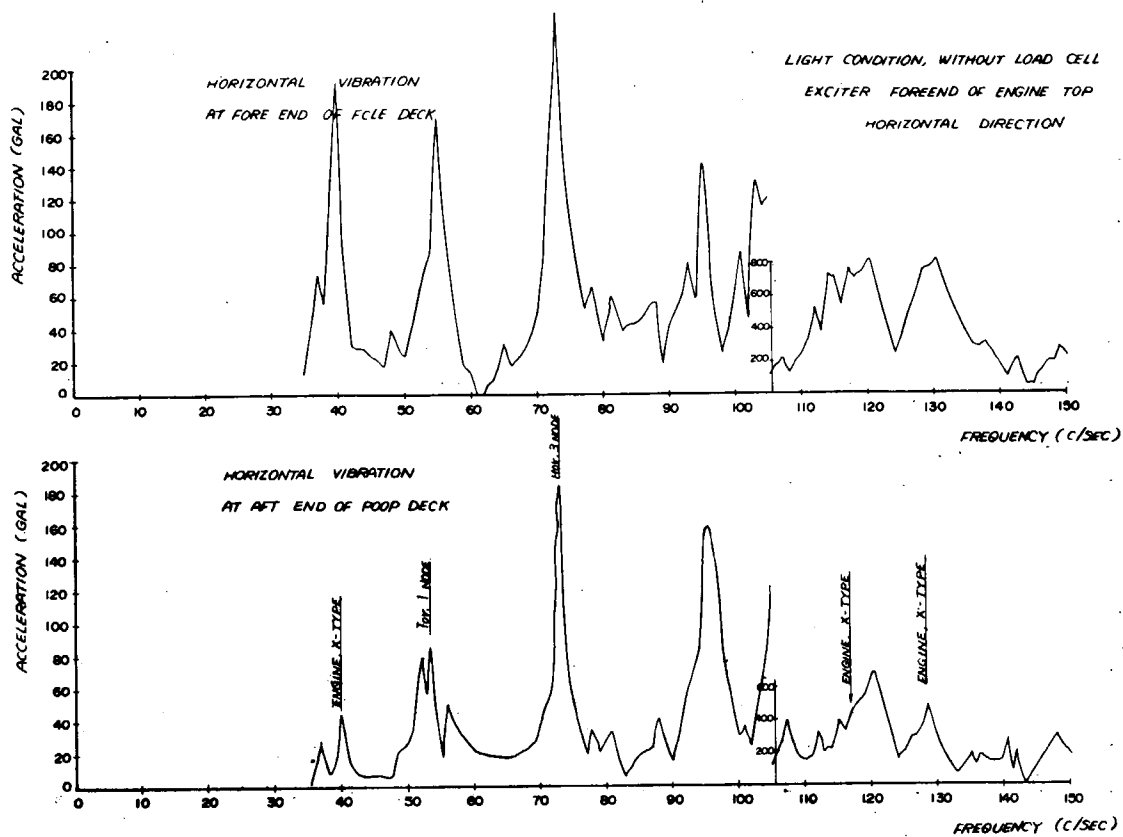


Fig.7.8 Resonance Curve

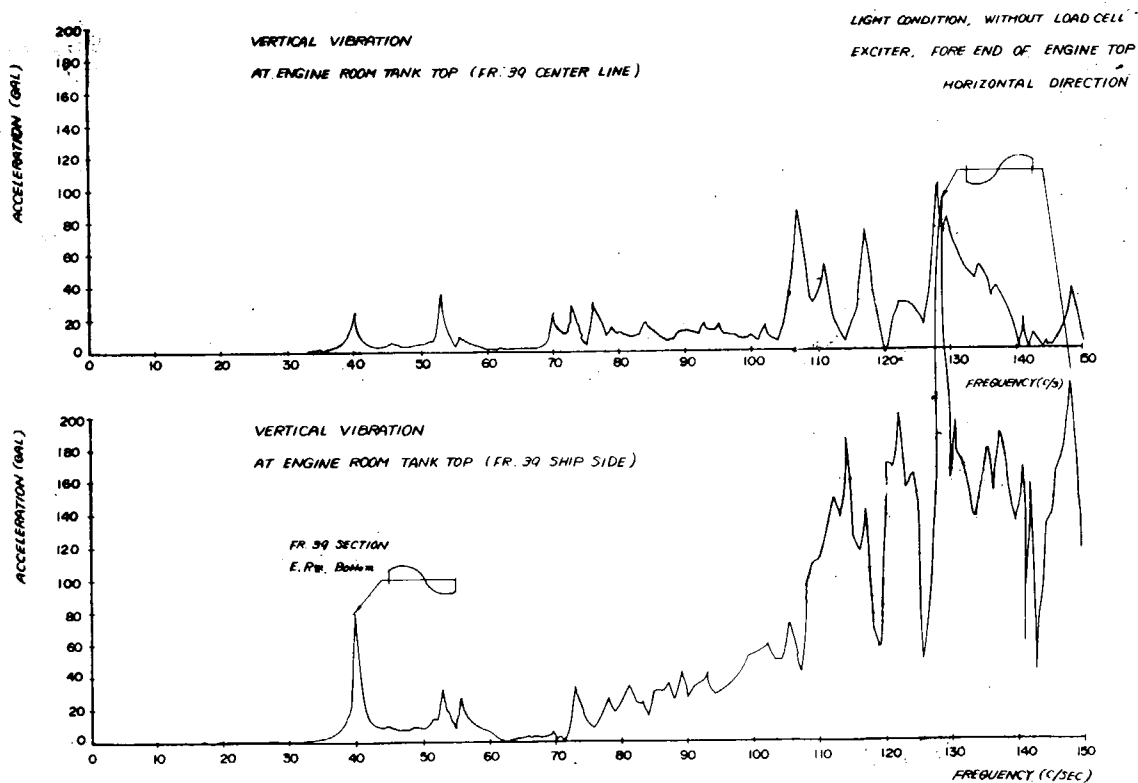


Fig.7.9 Resonance Curve

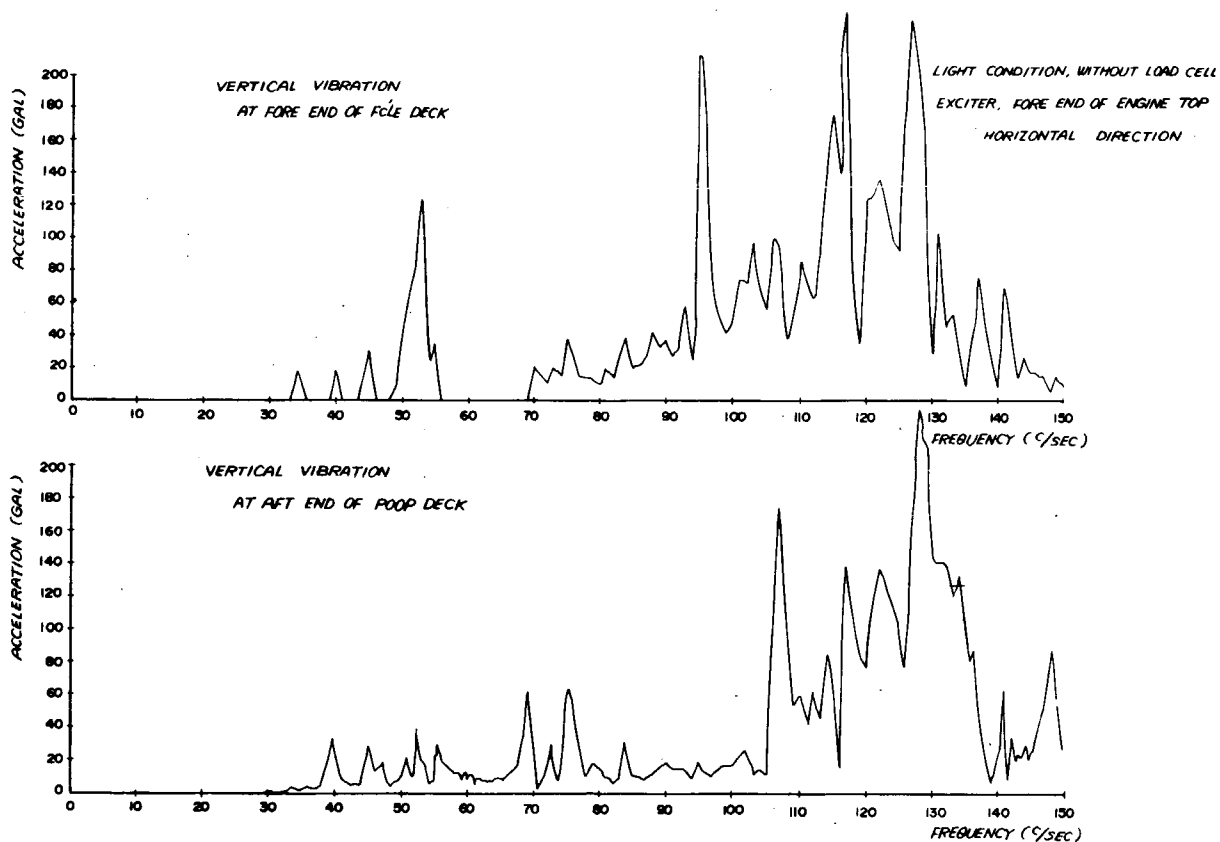


Fig. 7.10 Resonance Curve

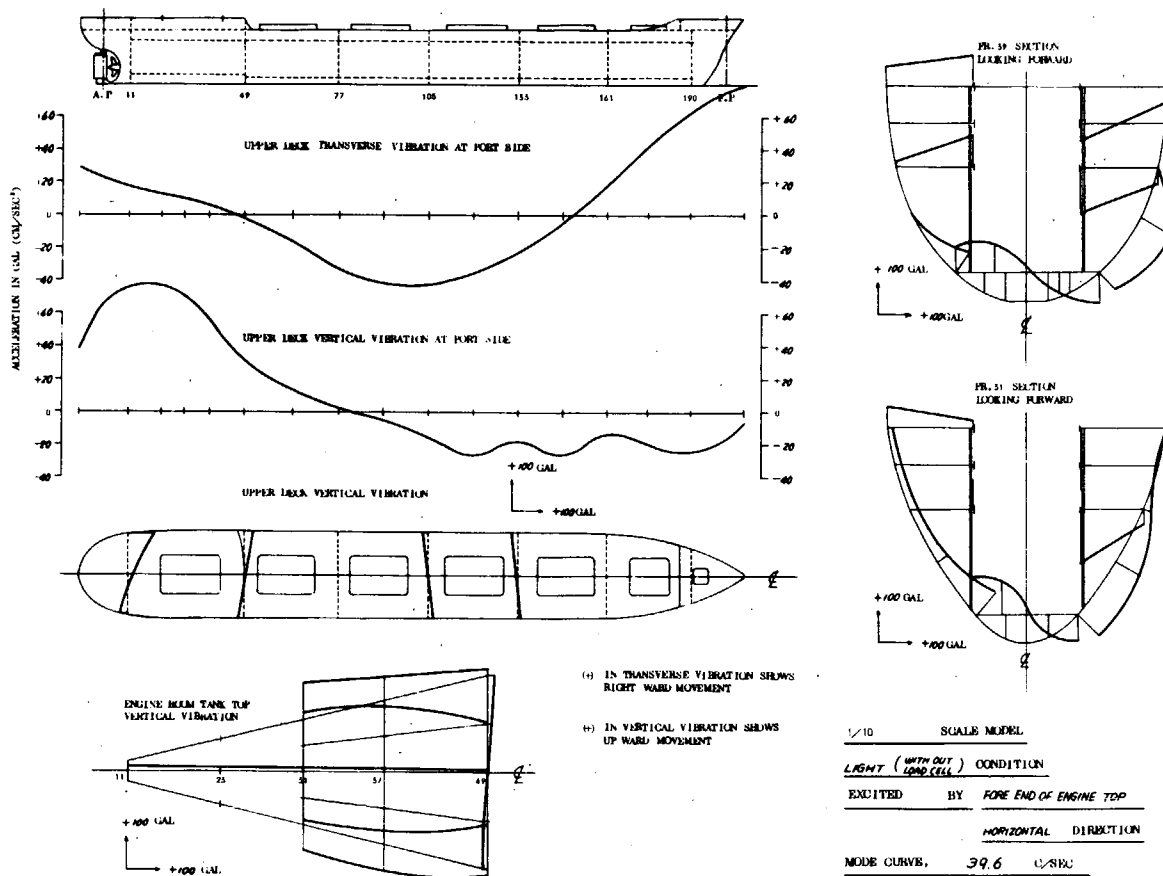


Fig. 7.11 Mode Curve

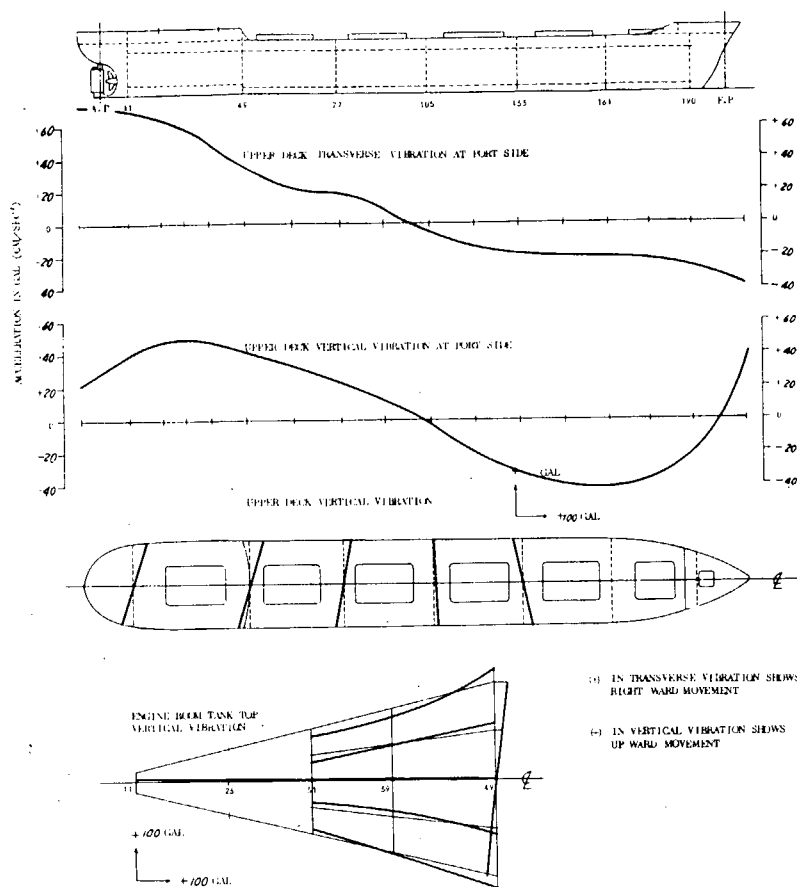
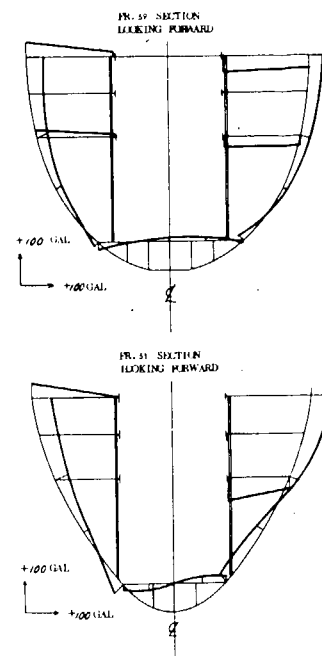


Fig. 7.12 Mode Curve



1/10 SCALE MODEL
 LIGHT (WITH OUT) CONDITION
 EXCITED BY FORE END OF ENGINE TOP
 HORIZONTAL DIRECTION
 MODE CURVE, 53.0 C/SEC

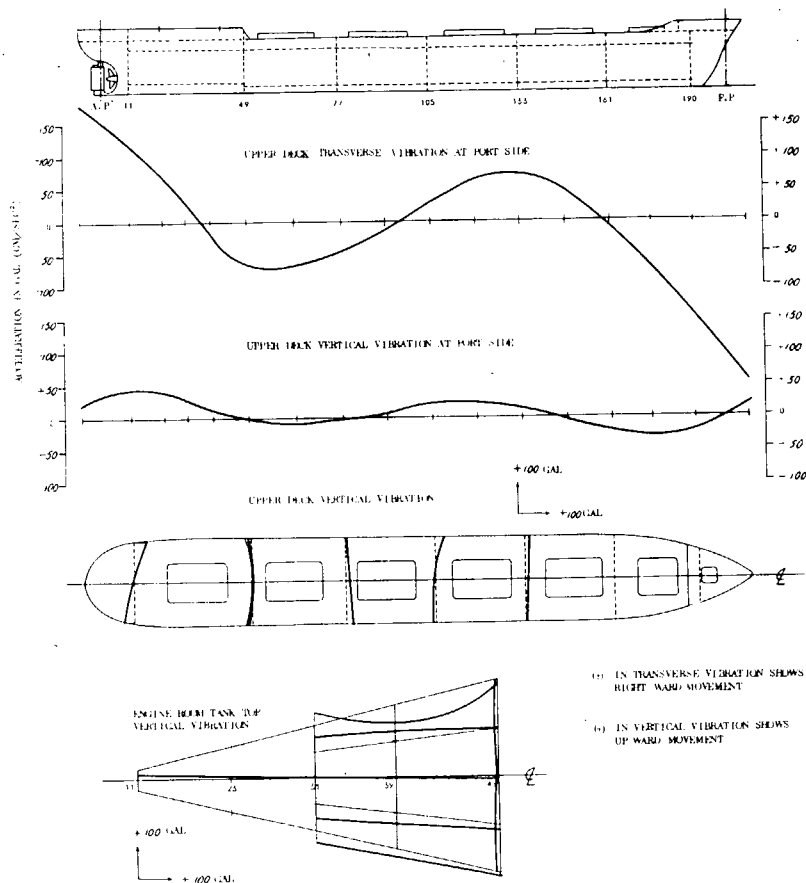
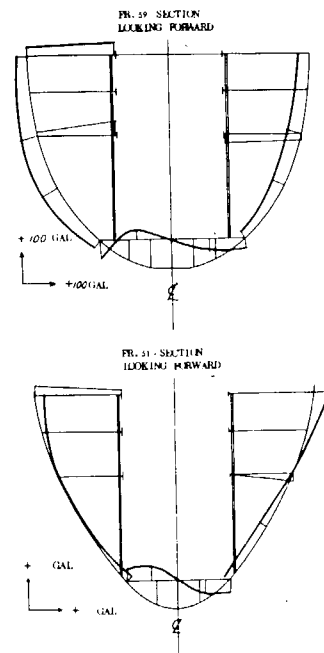


Fig. 7.13 Mode Curve



1/10 SCALE MODEL
 LIGHT (WITH OUT) CONDITION
 EXCITED BY FORE END OF ENGINE TOP
 HORIZONTAL DIRECTION
 MODE CURVE, 73.0 C/SEC

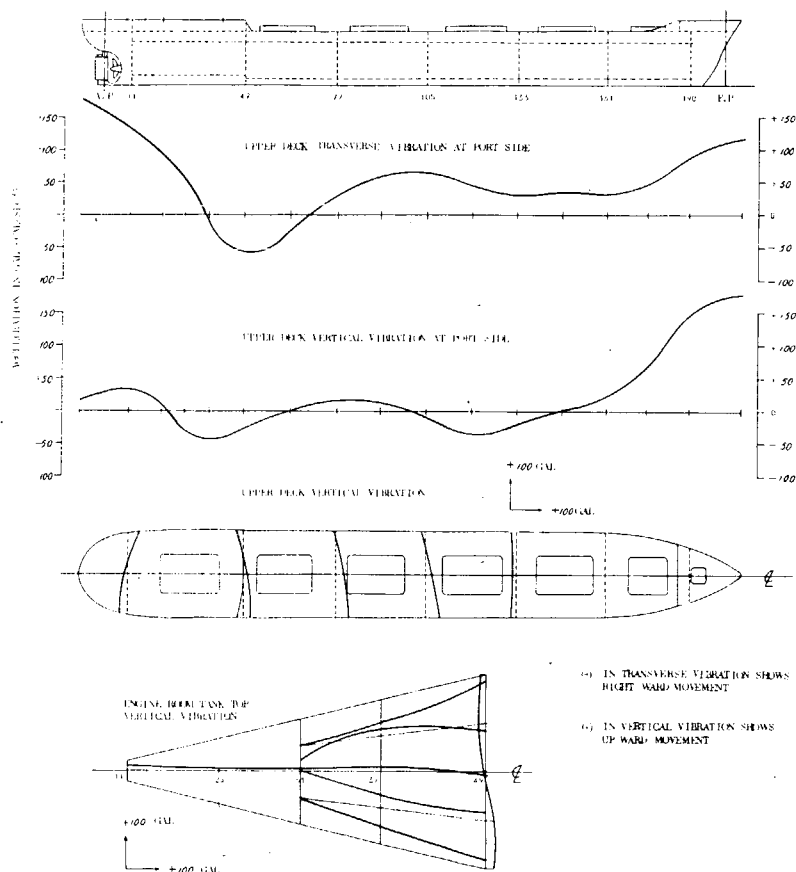
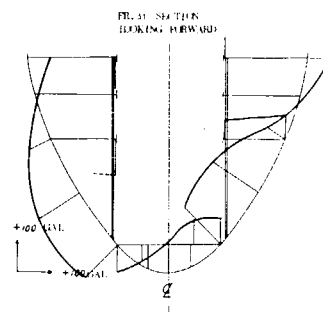
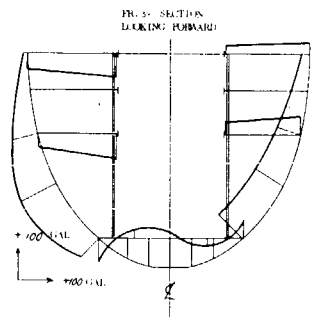
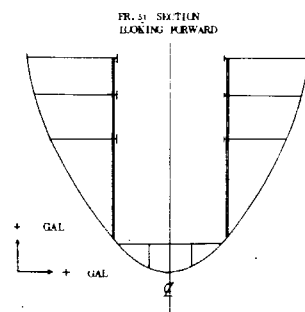
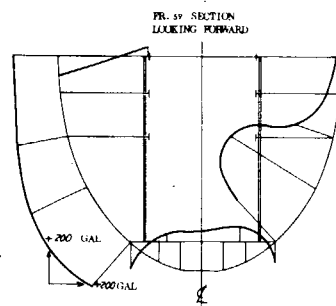
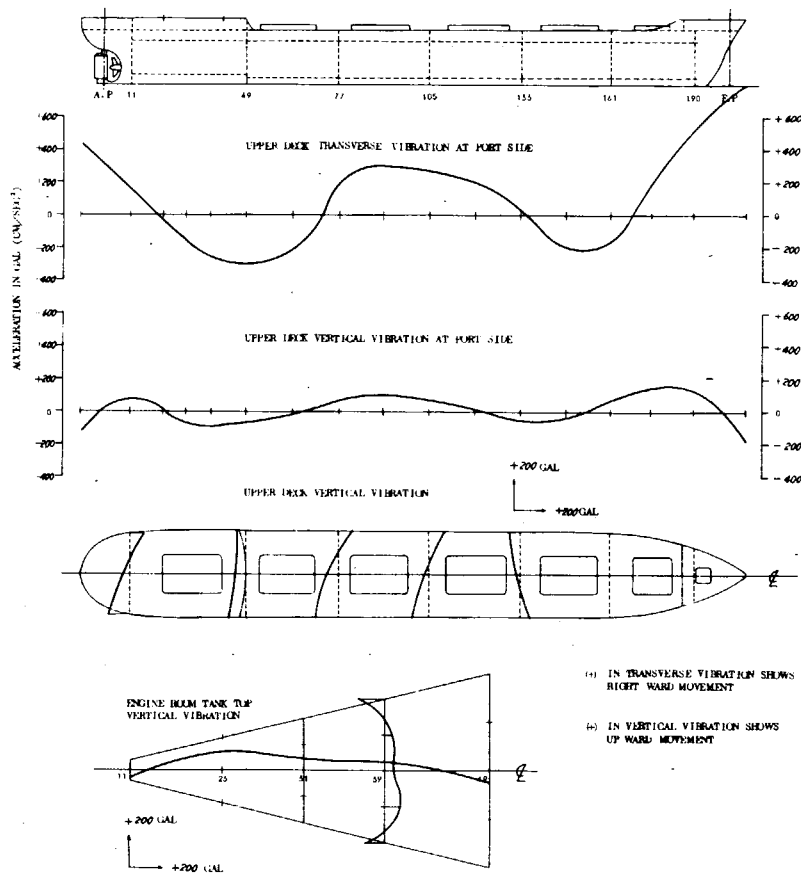


Fig. 7.14 Mode Curve



1/15 SCALE MODEL
 LIGHT (WITH OUT LOAD CELL) CONDITION
 EXCITED BY FORE END OF ENGINE TOP
 HORIZONTAL DIRECTION
 MODE CURVE, 95.0 C/SEC



1/16 SCALE MODEL
 LIGHT (WITH OUT LOAD CELL) CONDITION
 EXCITED BY FORE END OF ENGINE TOP
 HORIZONTAL DIRECTION
 MODE CURVE, 117.0 C/SEC

Fig. 7.15 Mode Curve

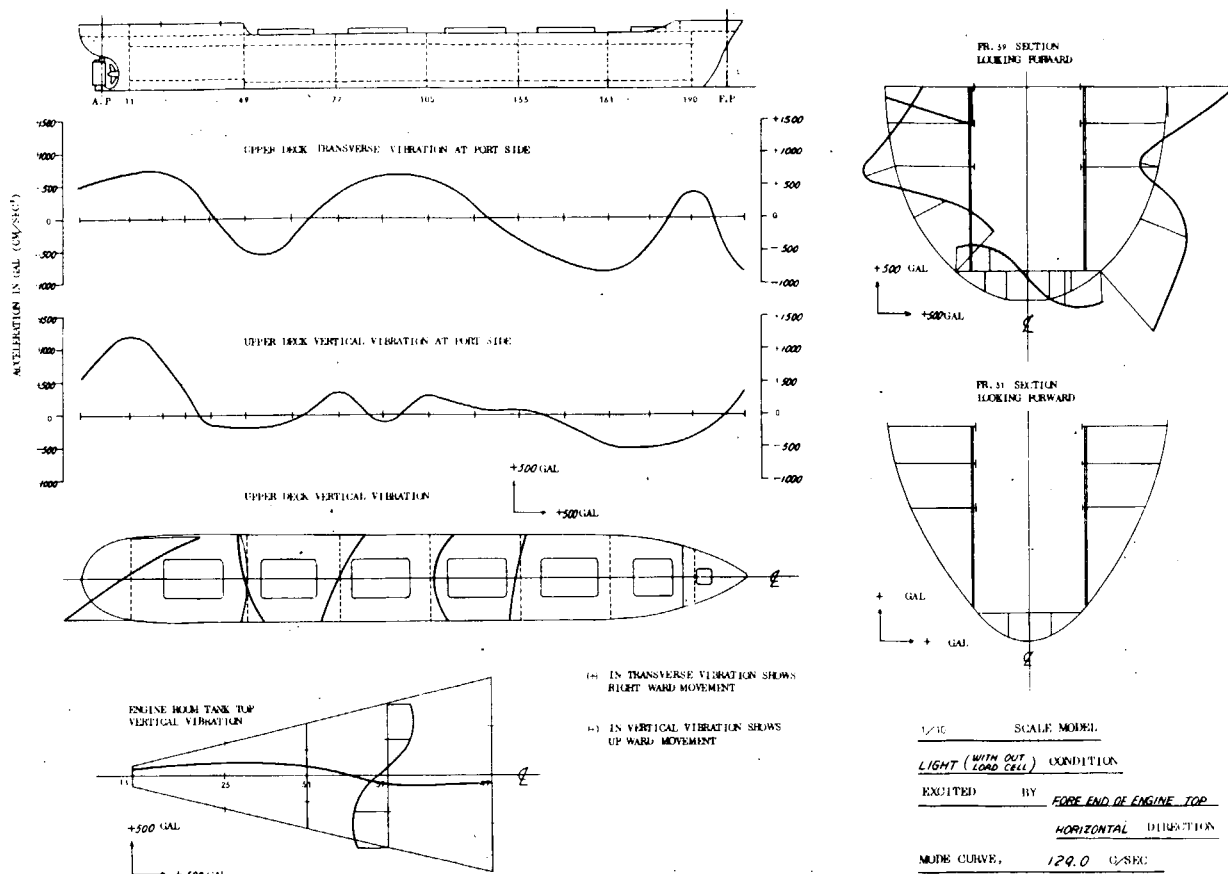


Fig. 7.16 Mode Curve

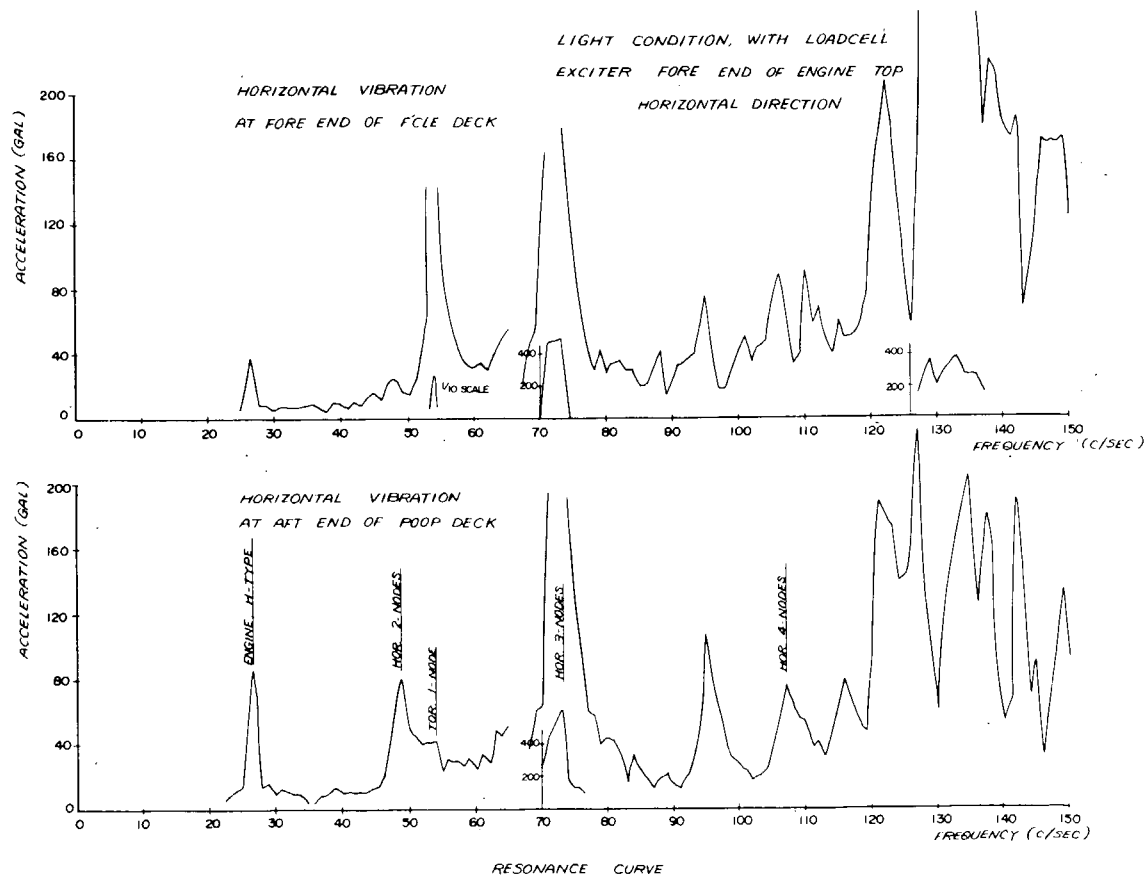


Fig. 7.17 Resonance Curve

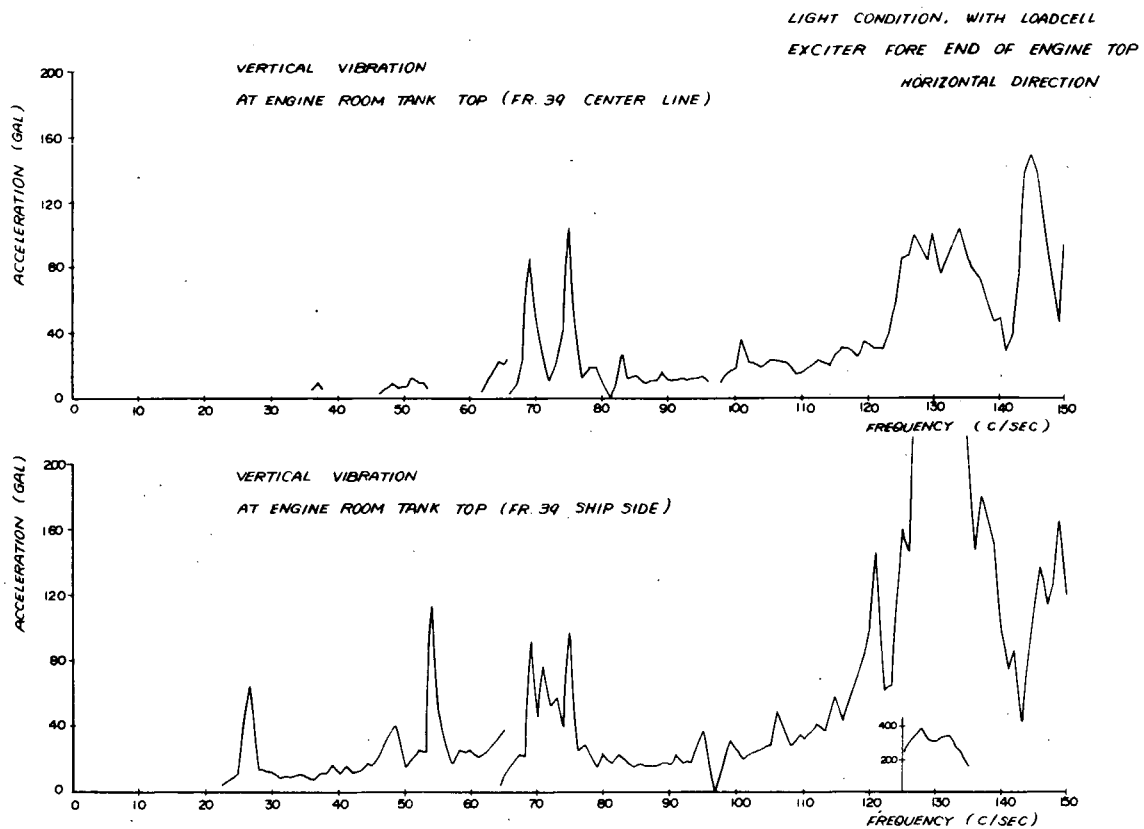


Fig. 7.18 Resonance Curve.

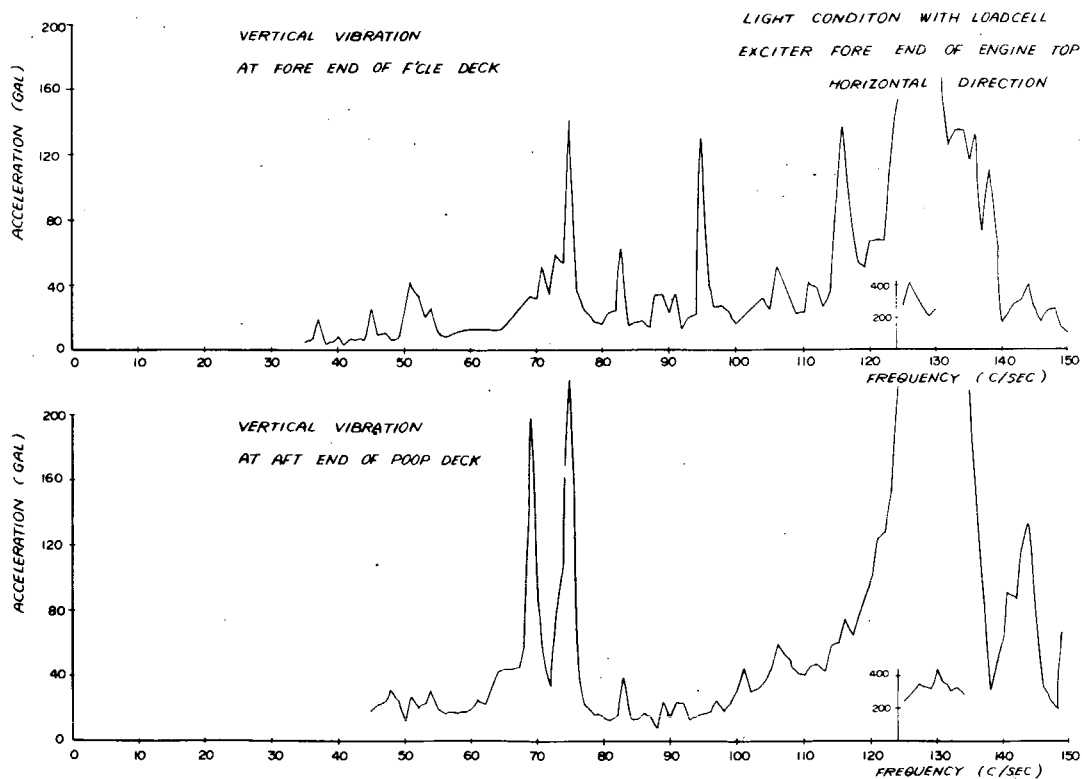


Fig. 7.19 Resonance Curve

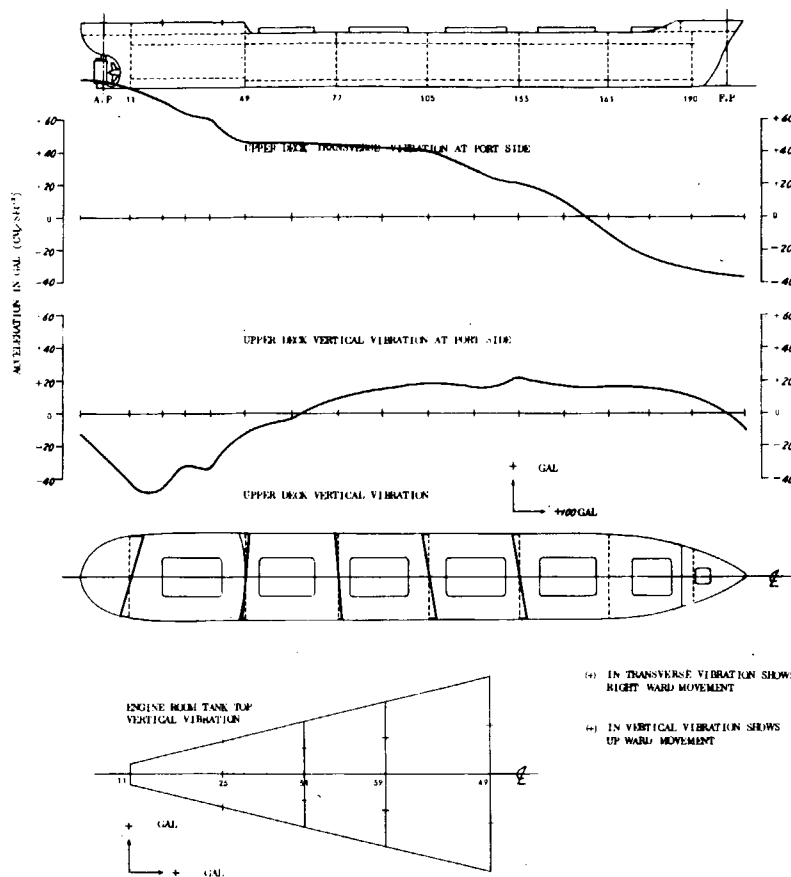
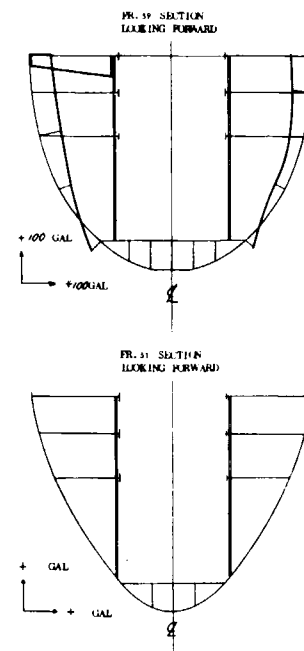


Fig. 7.20 Mode Curve



1/10 SCALE MODEL

CONDITION

LIGHT WITH LOAD CELL

EXCITED BY FOR END OF ENGINE TOP

HORIZONTAL DIRECTION

MODE CURVE, 25.8 C/SEC

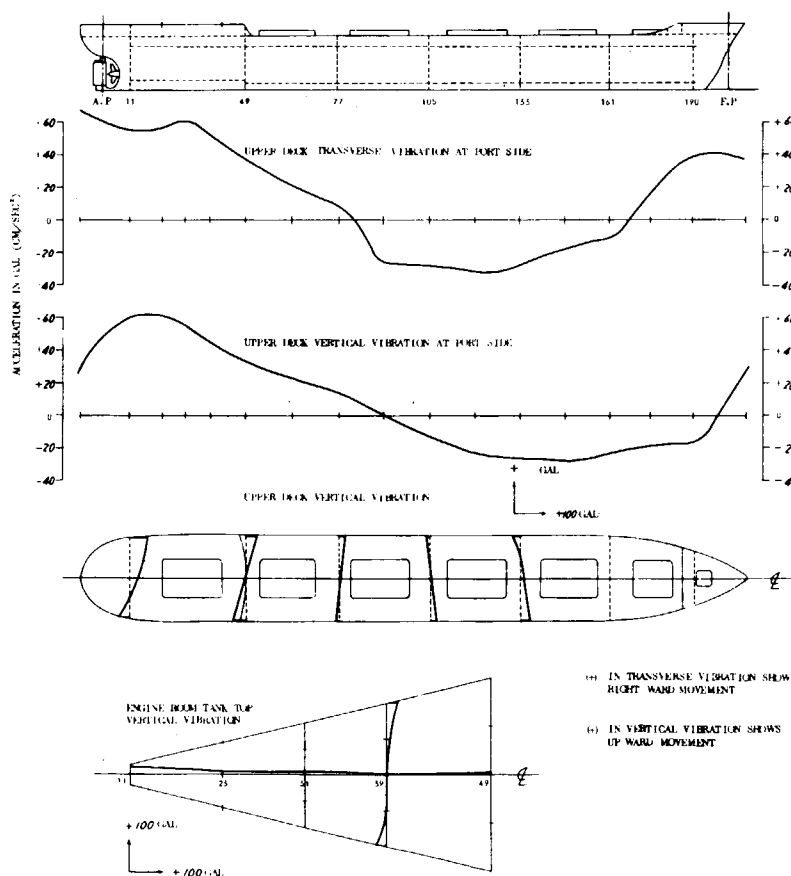
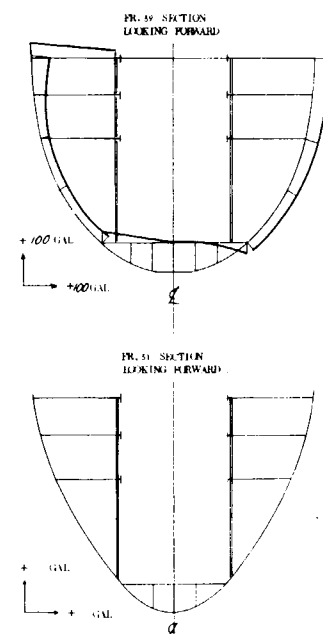


Fig. 7.21 Mode Curve



1/10 SCALE MODEL

CONDITION

LIGHT WITH LOAD CELL

EXCITED BY FOR END OF ENGINE TOP

HORIZONTAL DIRECTION

MODE CURVE, 48.0 C/SEC

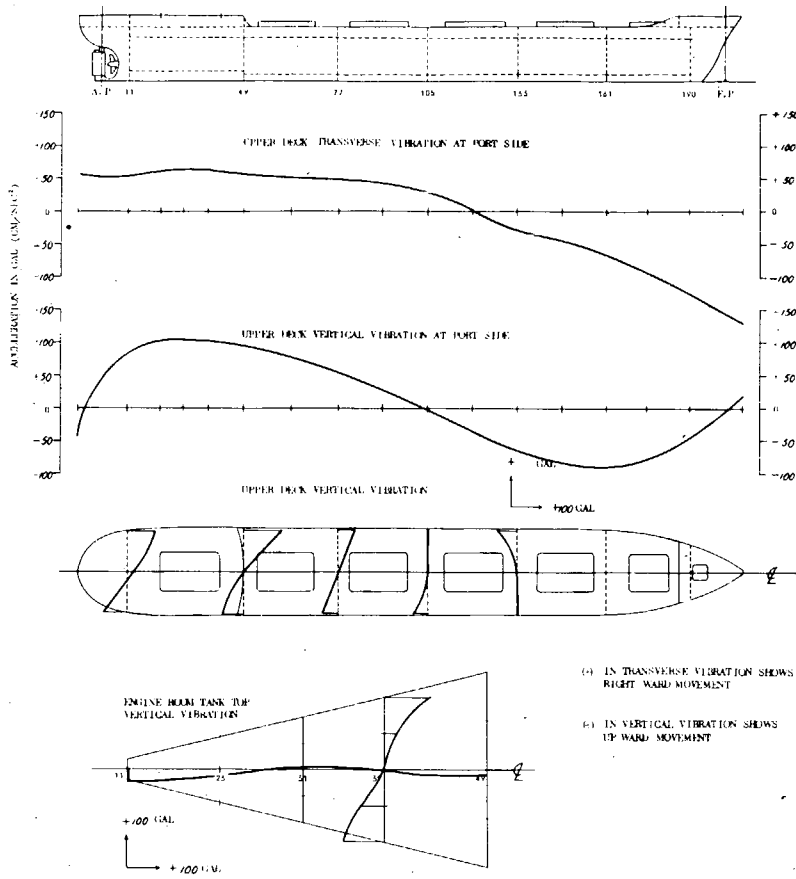


Fig. 7.22 Mode Curve

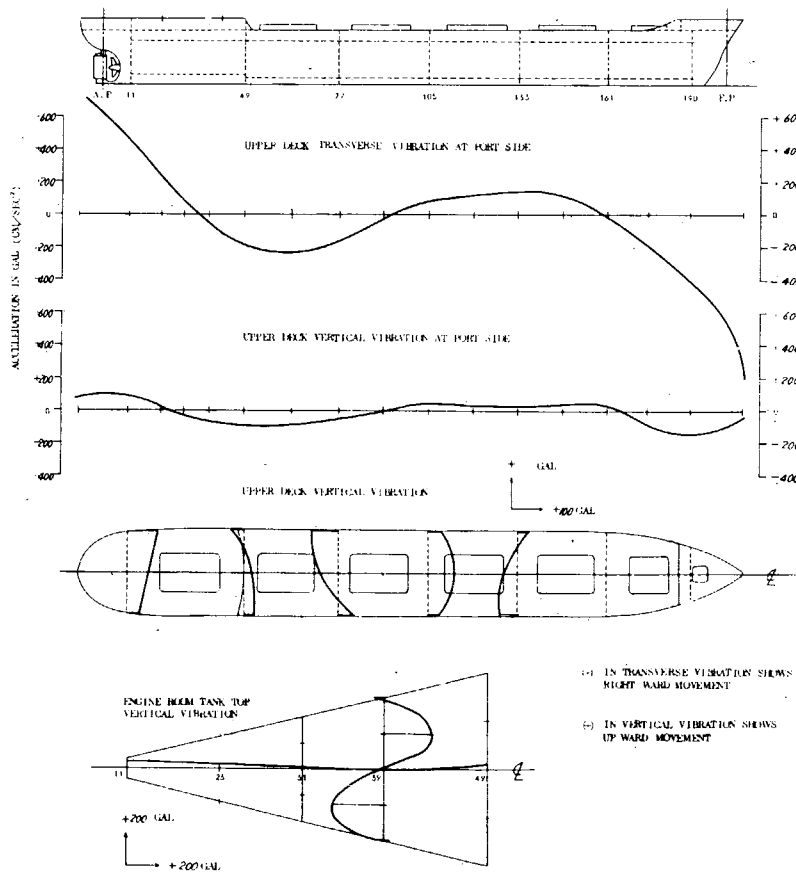
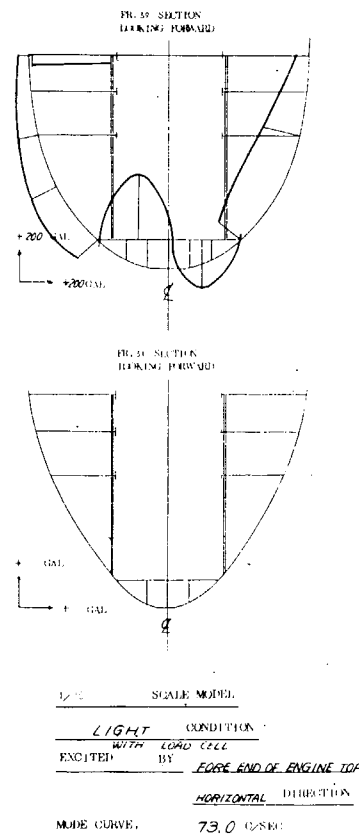
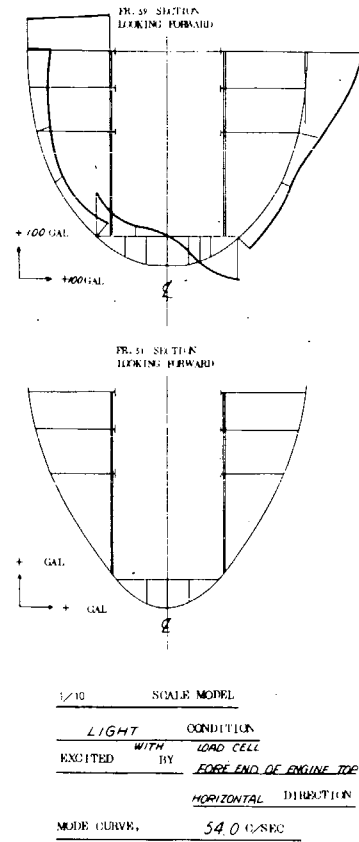


Fig. 7.23 Mode Curve



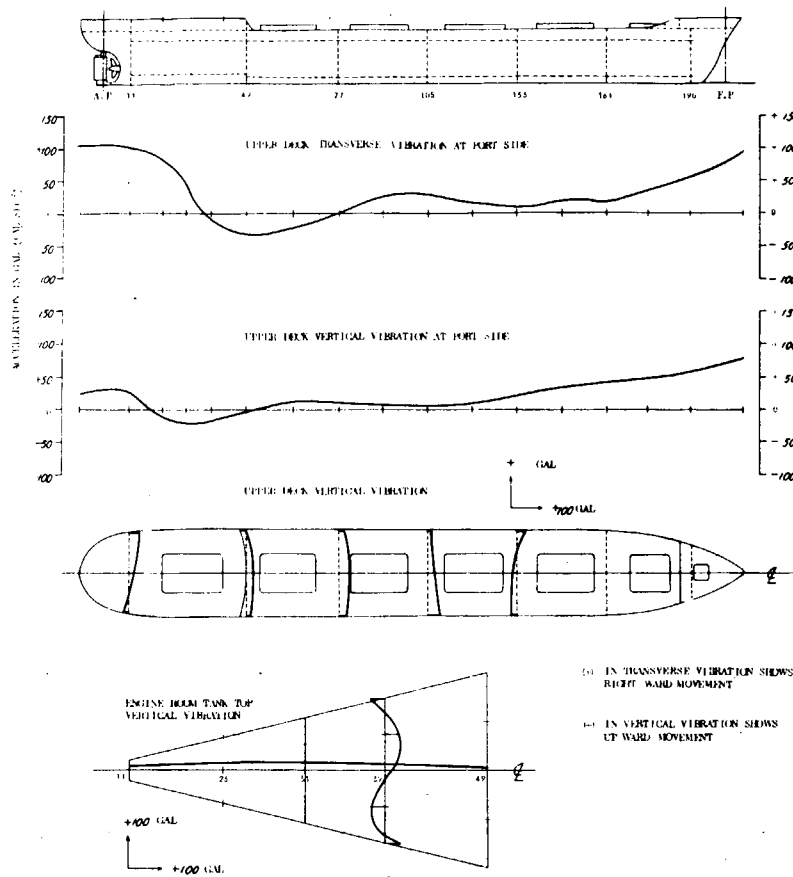


Fig. 7.24 Mode Curve

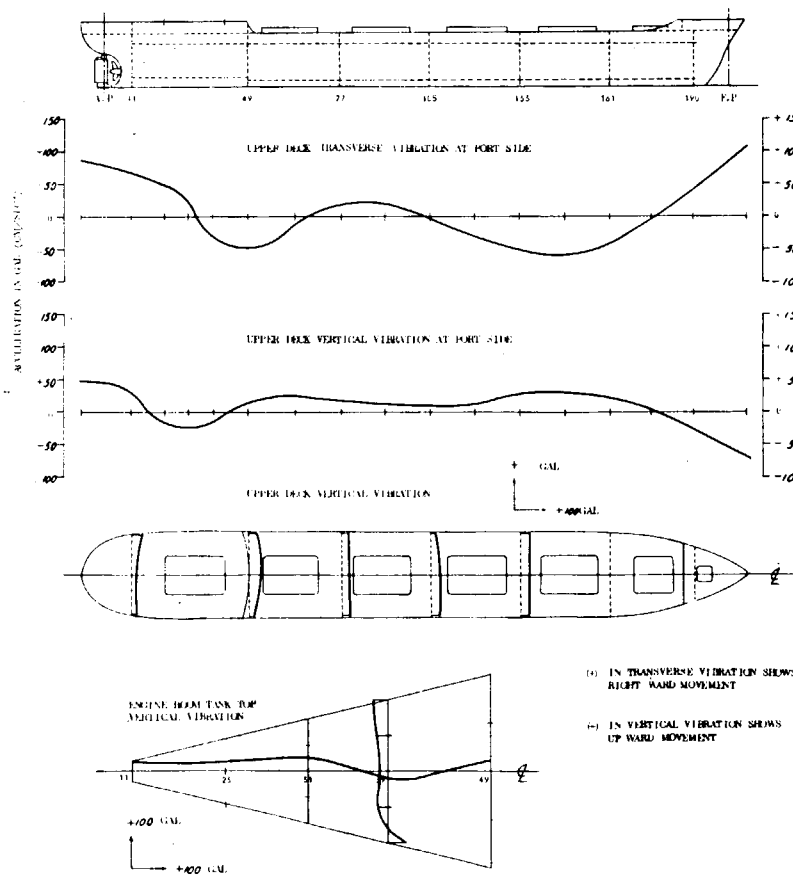


Fig. 7.25 Mode Curve

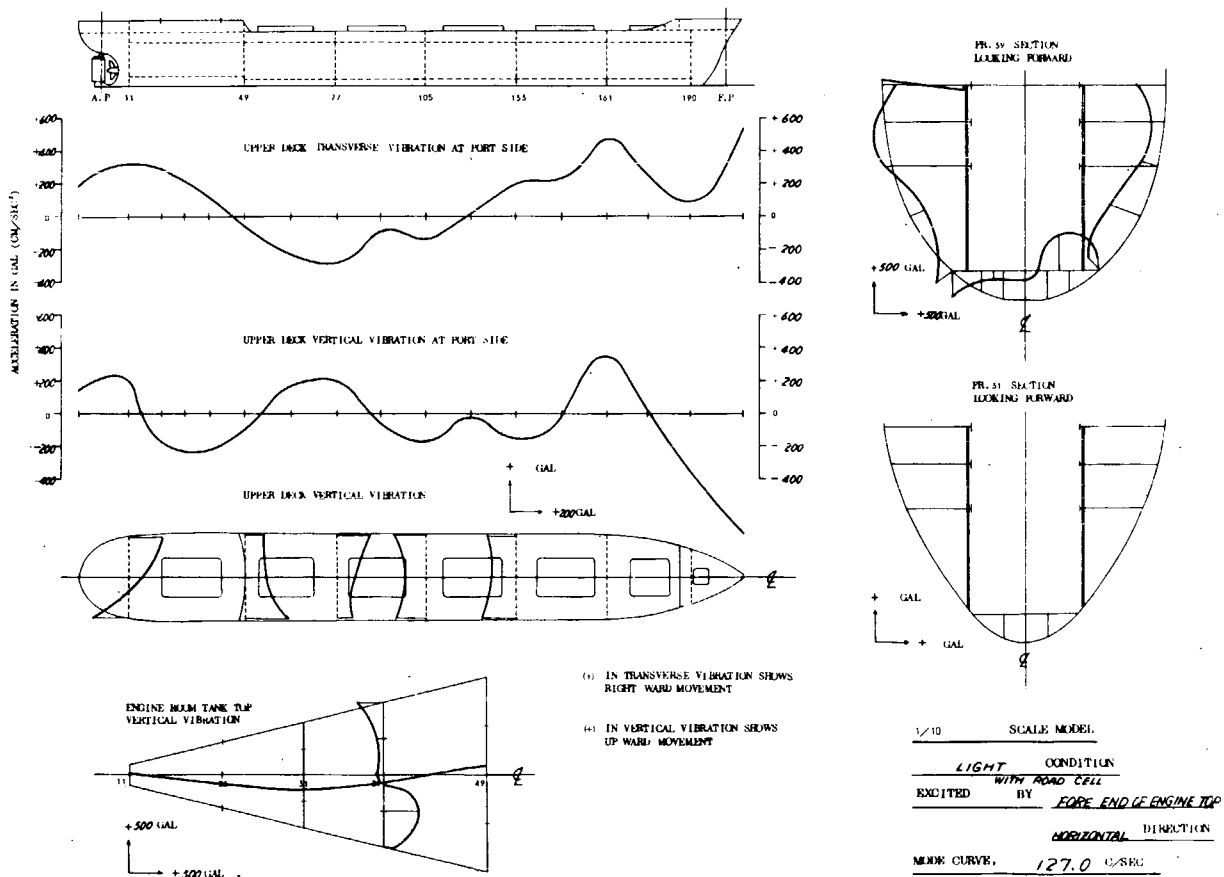


Fig. 7.26 Mode Curve

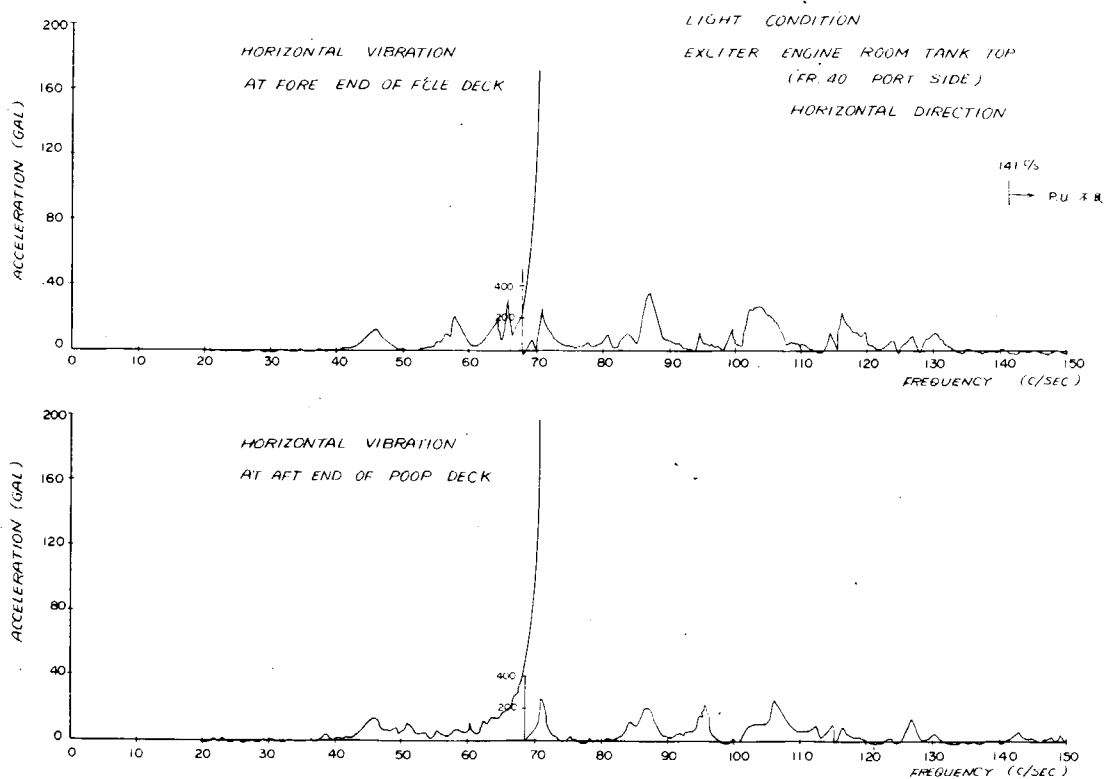


Fig. 7.27 Resonance Curve

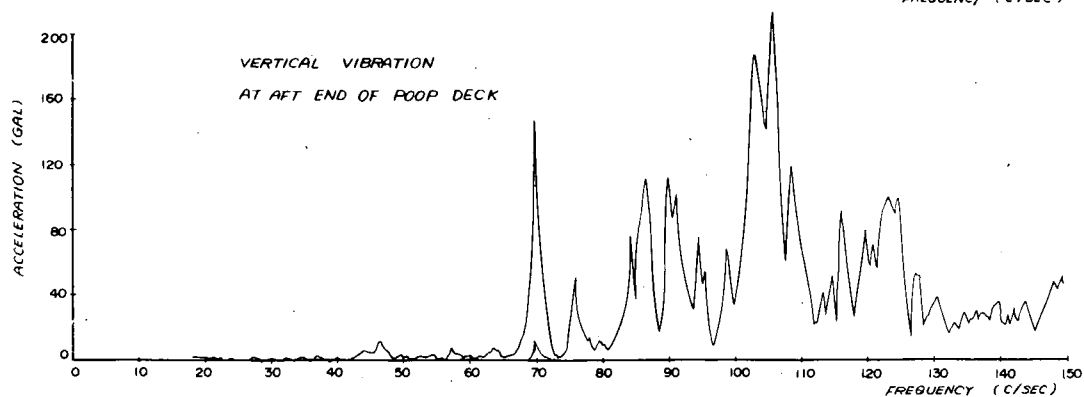
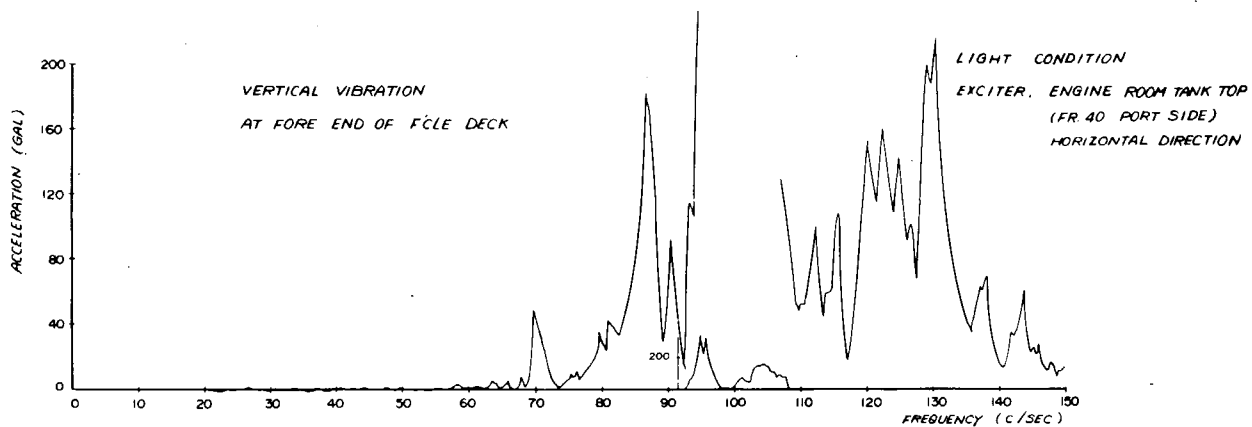


Fig.7.28 Resonance Curve

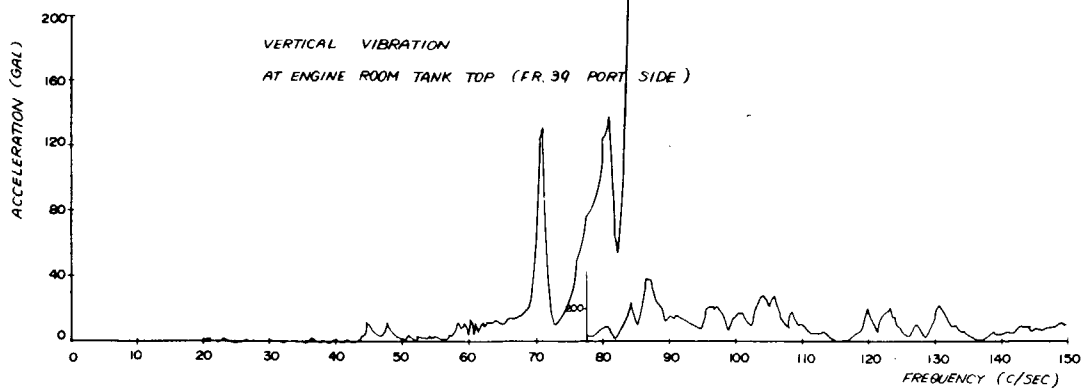
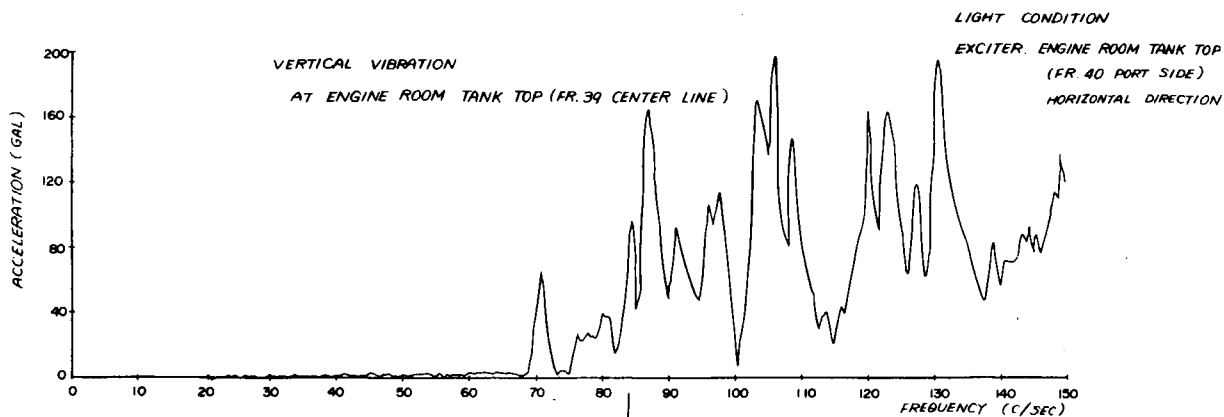


Fig.7.29 Resonance Curve

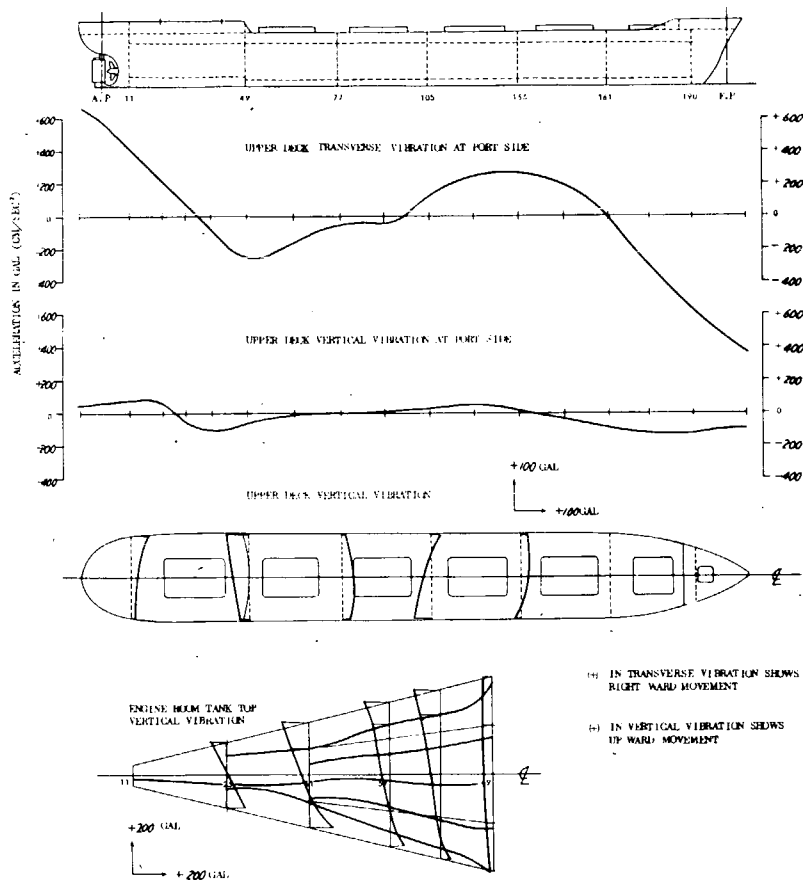


Fig. 730 Mode Curve

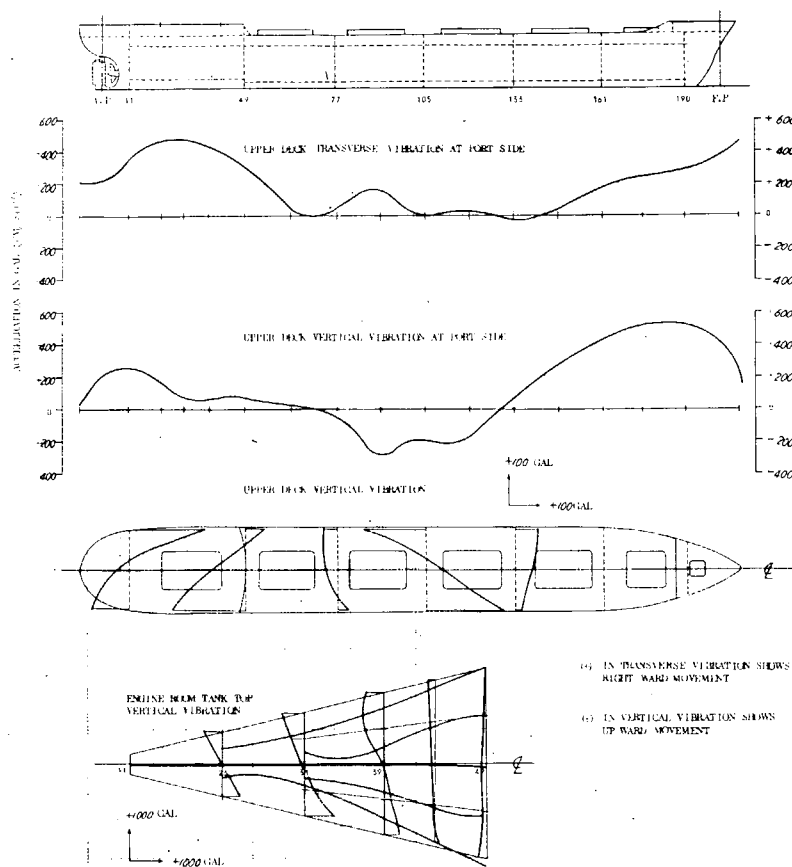
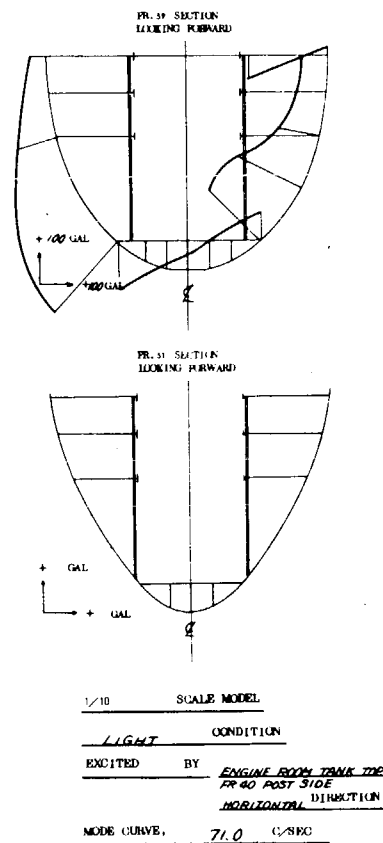
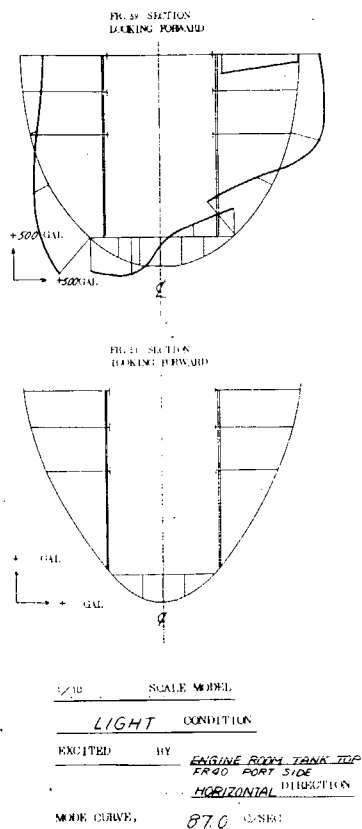
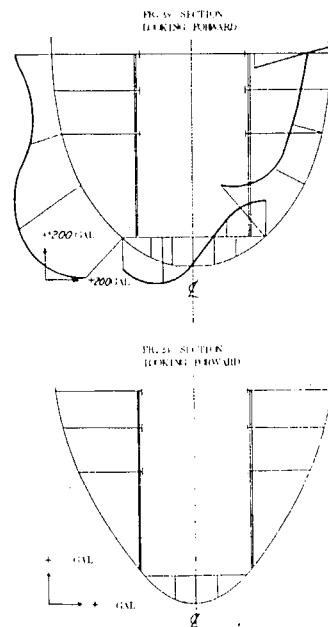
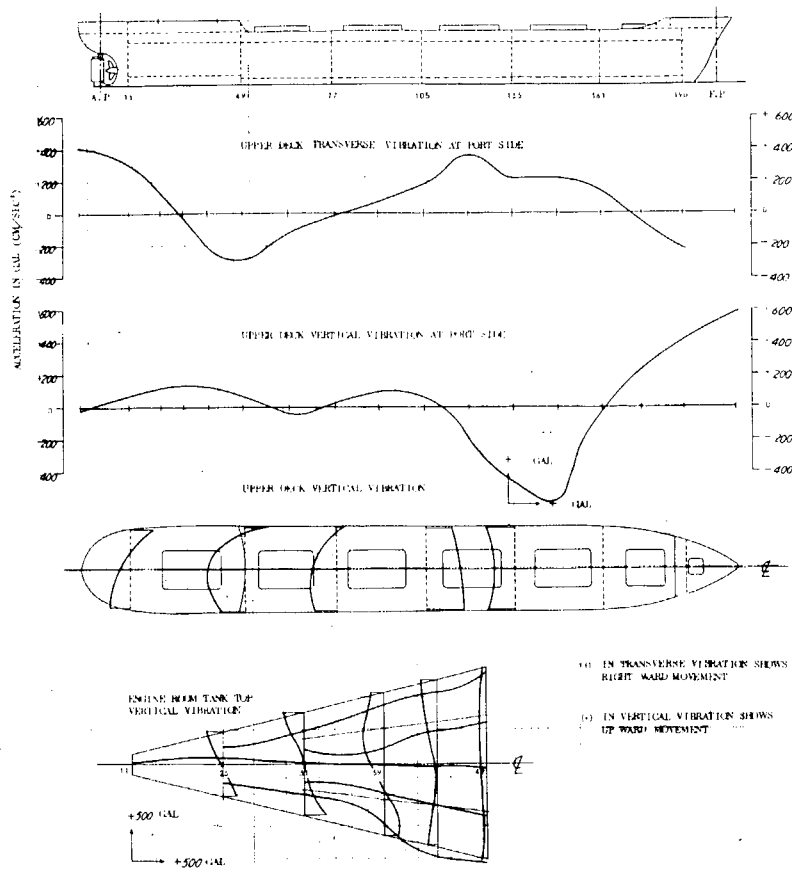


Fig. 731 Mode Curve





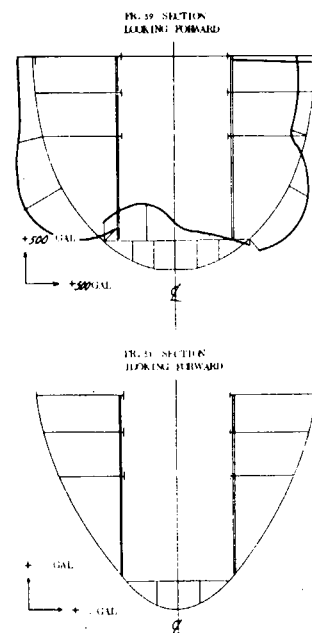
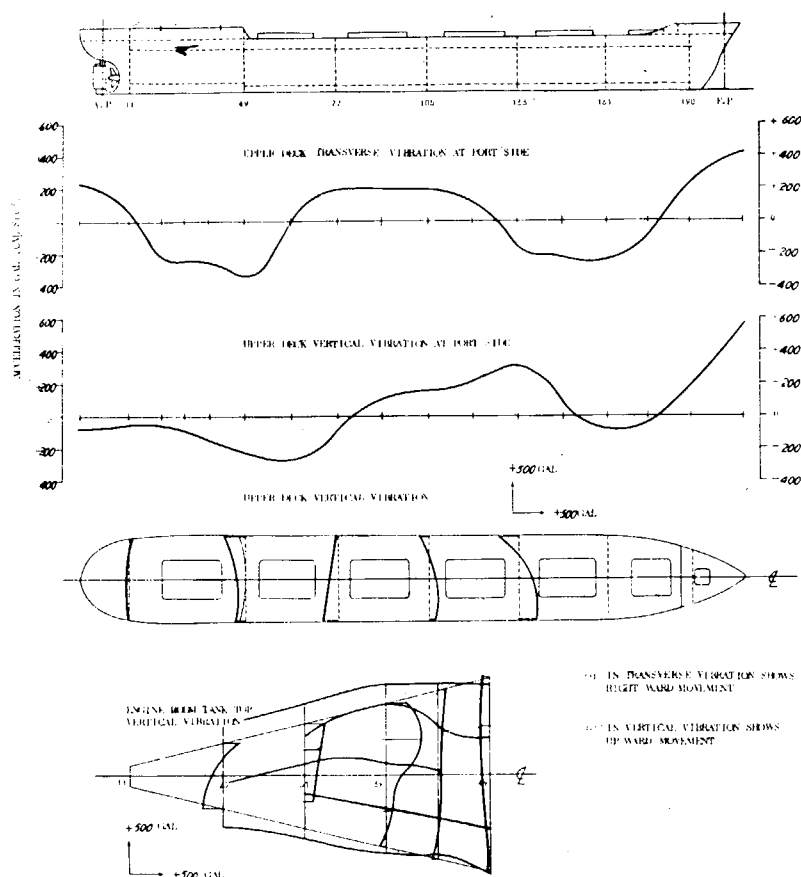
1/16 SCALE MODEL

LIGHT CONDITION

EXCITED BY ENGINE ROOM TANK TOP FR40 PORT SIDE HORIZONTAL DEFLECTION

MODE CURVE, 95.0 CM/SEC

Fig. 7.32 Mode Curve



1/16 SCALE MODEL

LIGHT CONDITION

EXCITED BY ENGINE ROOM TANK TOP FR40 PORT SIDE HORIZONTAL DEFLECTION

MODE CURVE, 130.0 CM/SEC

Fig. 7.33 Mode Curve

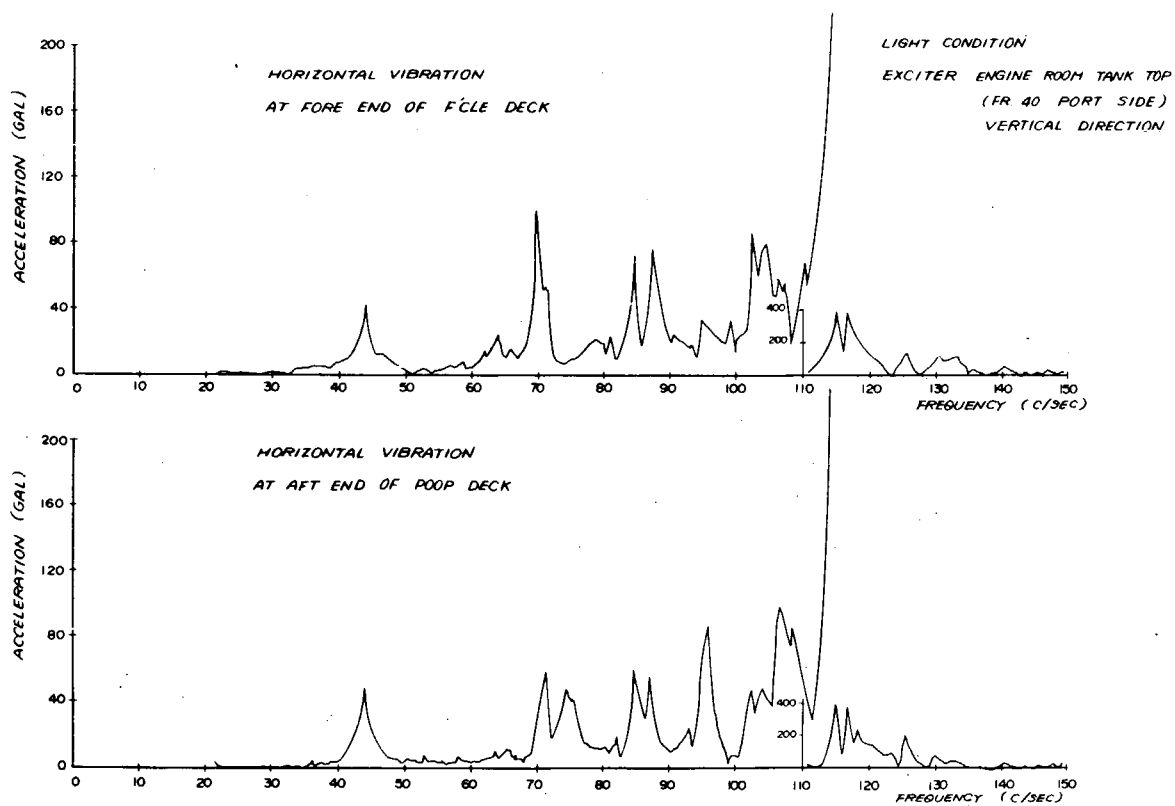


Fig. 7.34 Resonance Curve

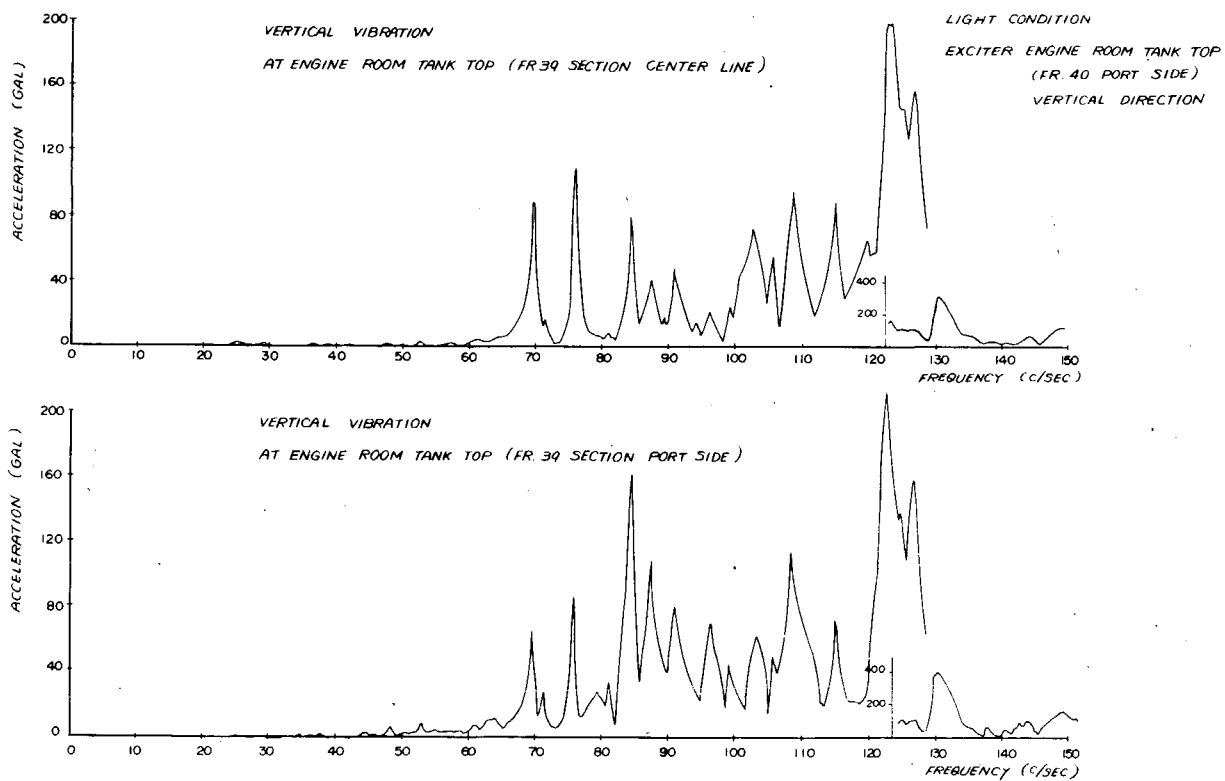


Fig. 7.35 Resonance Curve

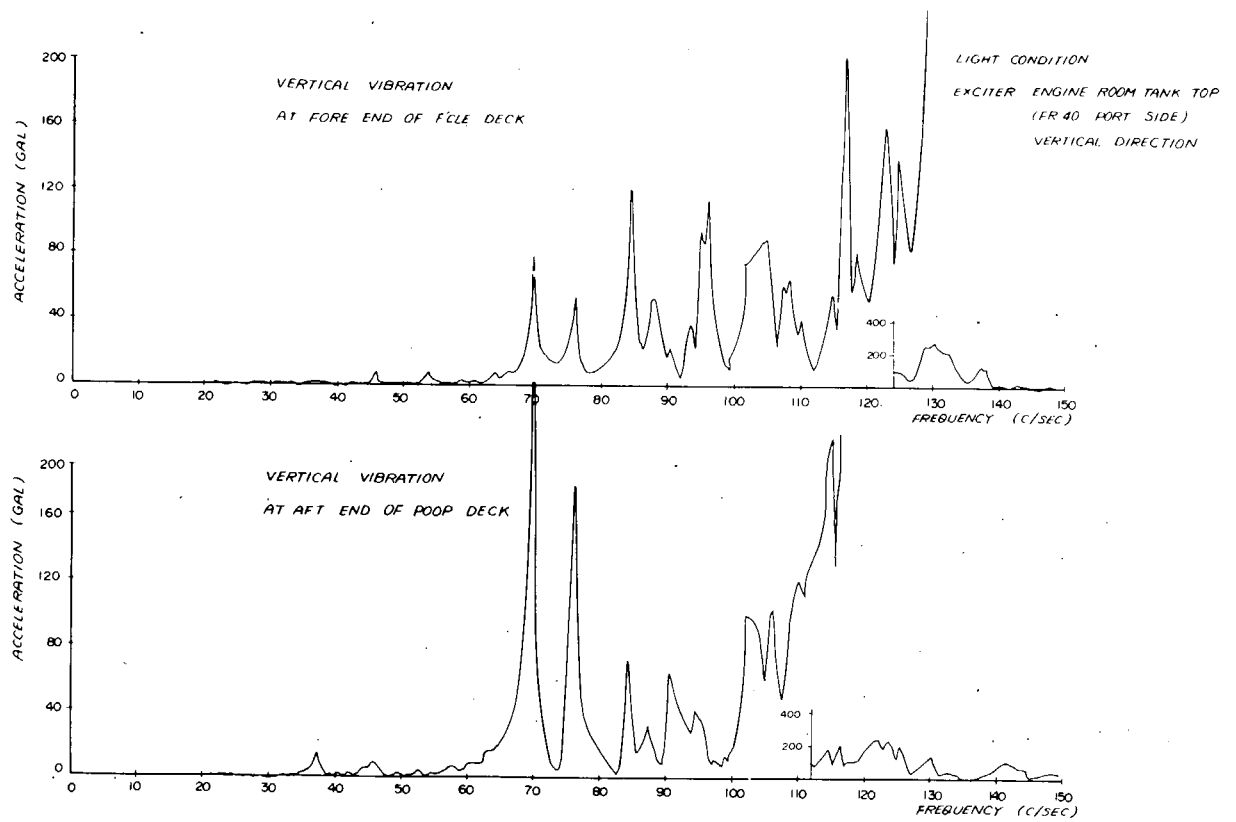


Fig. 736 Resonance Curve

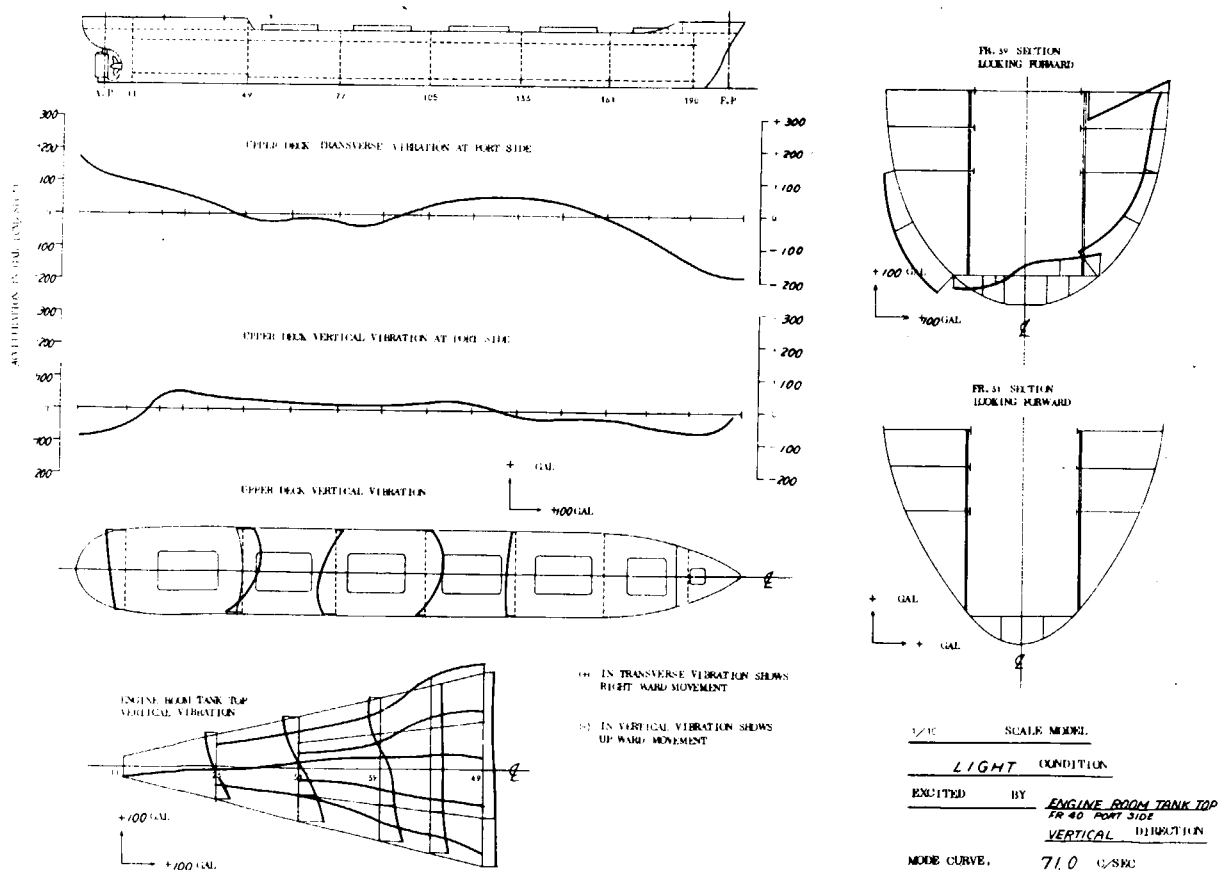


Fig. 737 Mode Curve

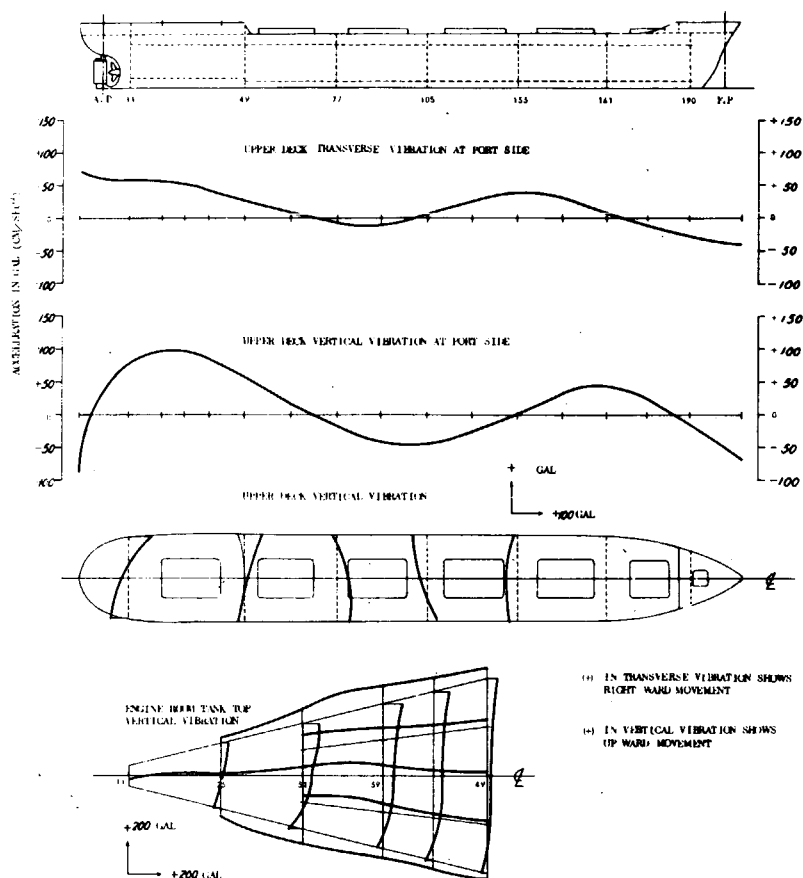


Fig. 738 Mode Curve

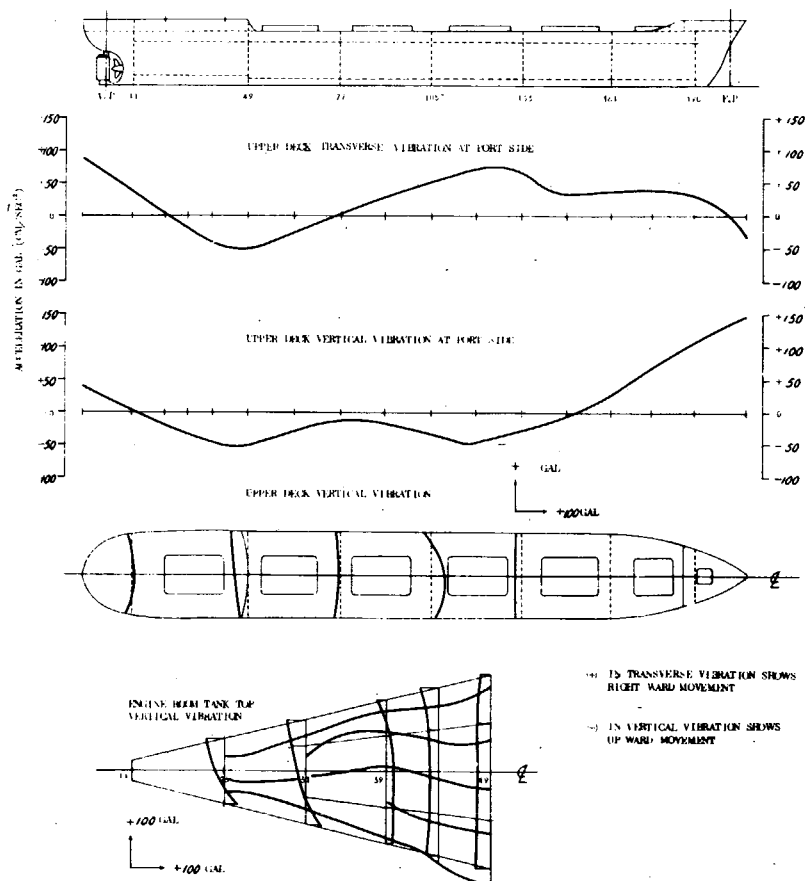
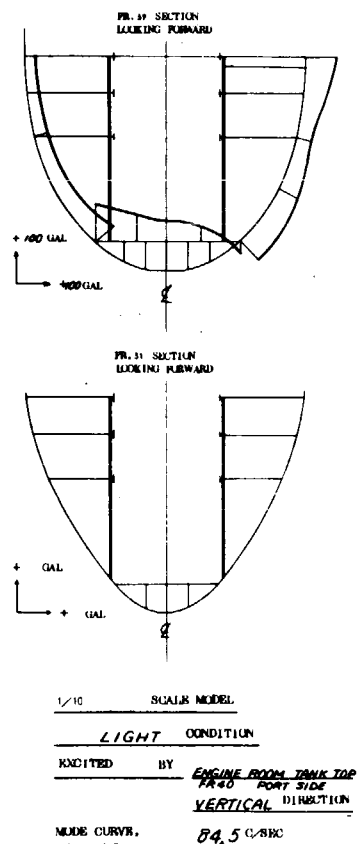
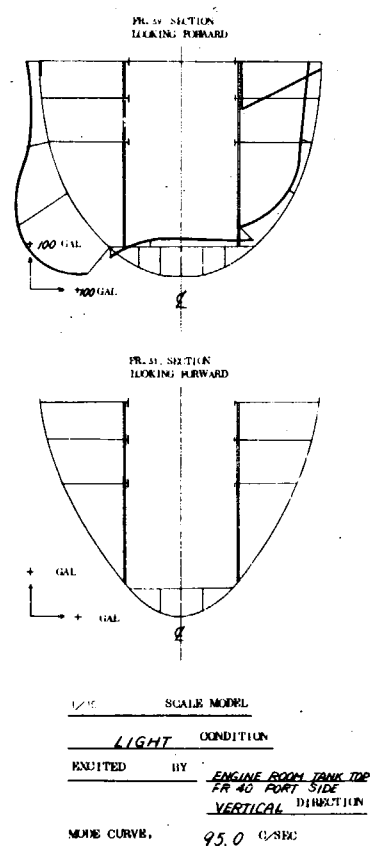
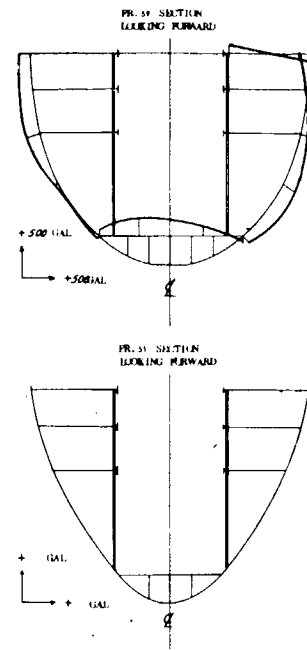
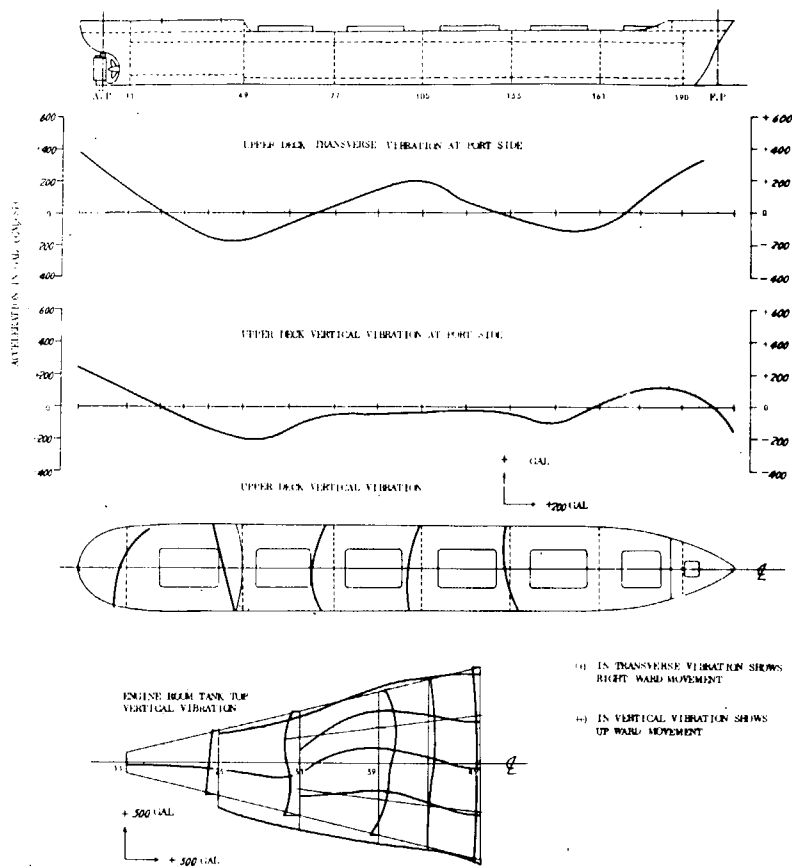


Fig. 739 Mode Curve





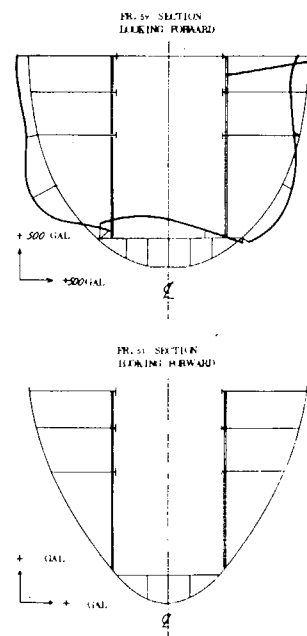
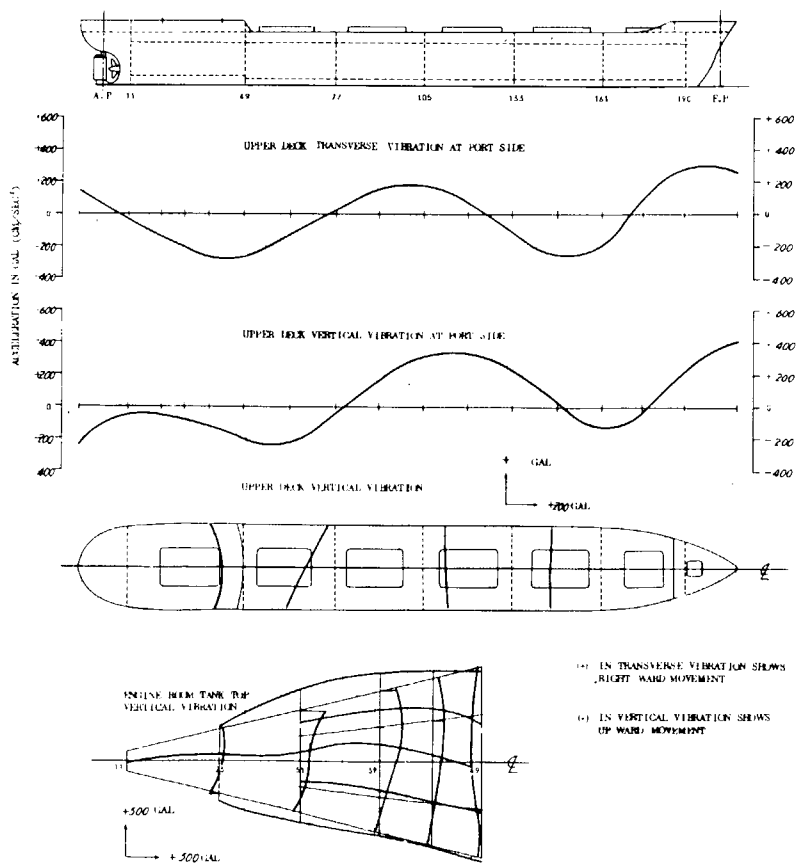
1/10 SCALE MODEL

LIGHT CONDITION

EXCITED BY ENGINE ROOM TANK TOP
FR 40 PORT SIDE
VERTICAL DIRECTION

MODE CURVE, 115.0 C/SEC

Fig. 7.40 Mode Curve



1/10 SCALE MODEL

LIGHT CONDITION

EXCITED BY ENGINE ROOM TANK TOP
FR 40 PORT SIDE
VERTICAL DIRECTION

MODE CURVE, 130.0 C/SEC

Fig. 7.41 Mode Curve

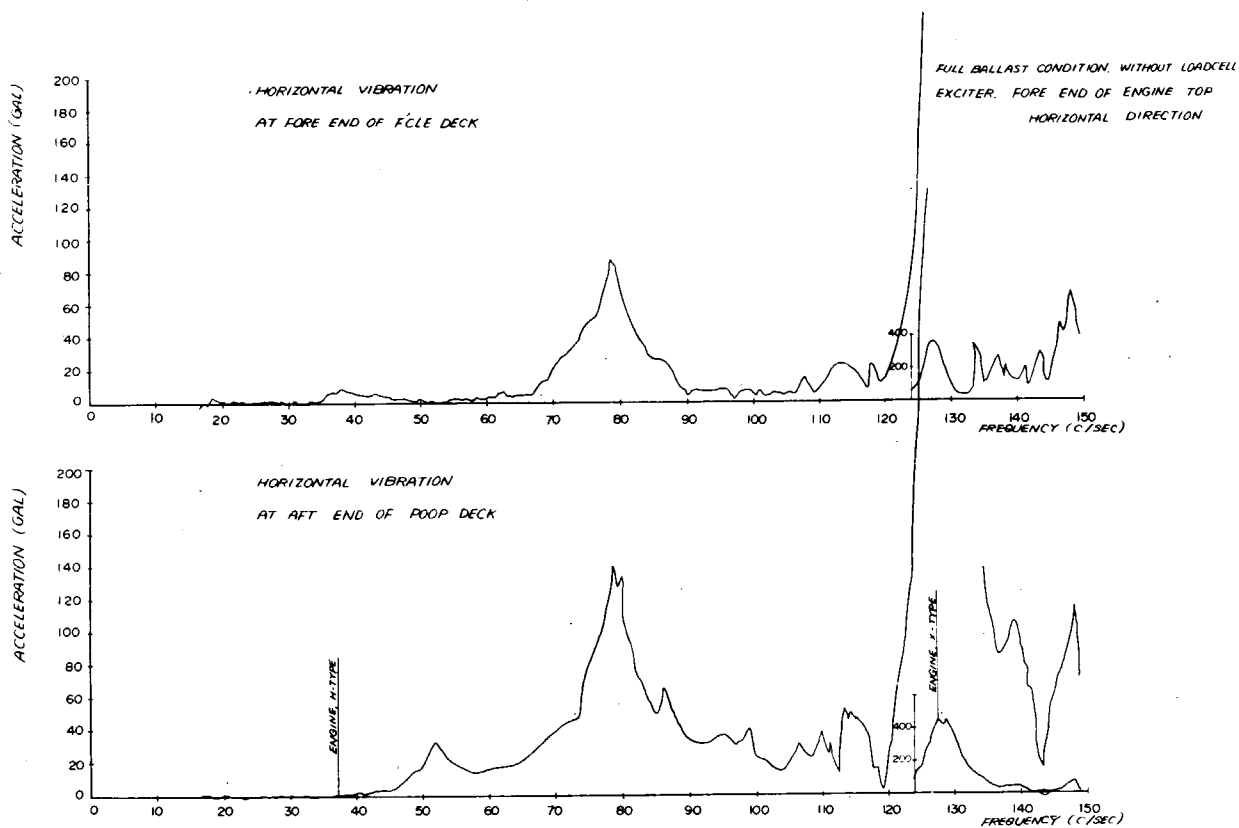


Fig. 7.42 Resonance Curve

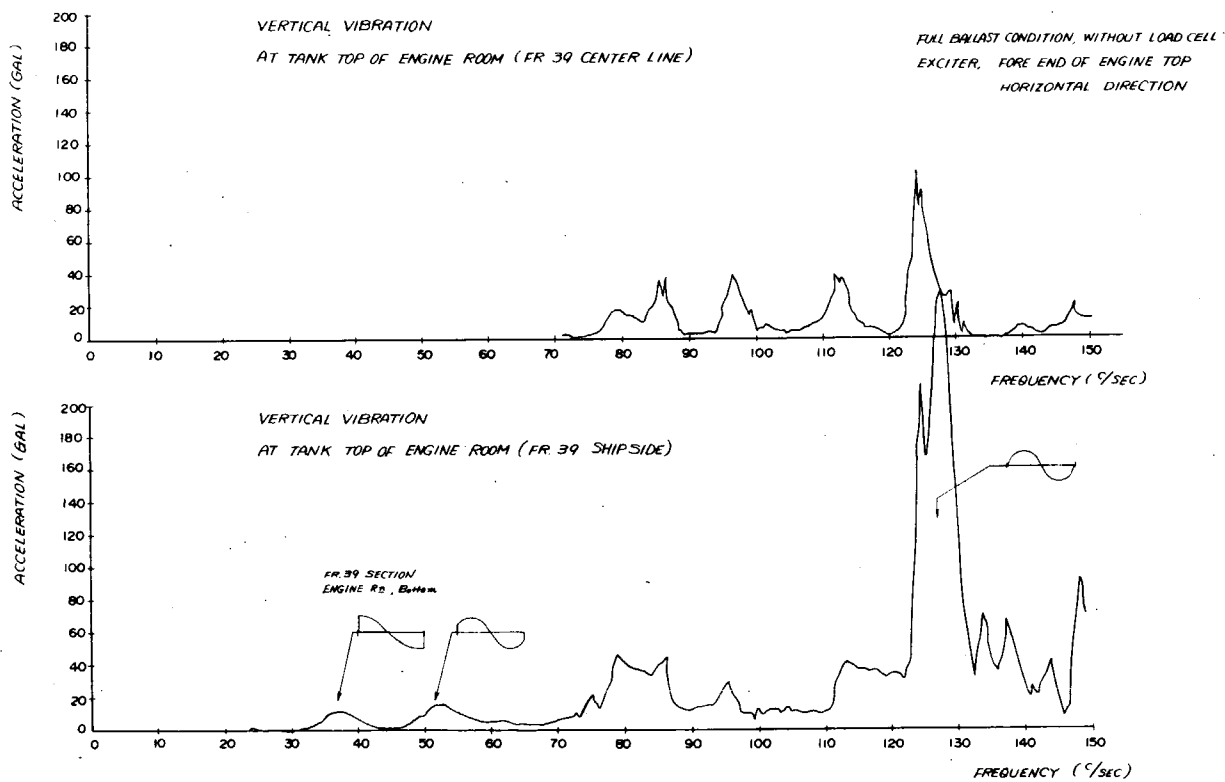


Fig. 7.43 Resonance Curve

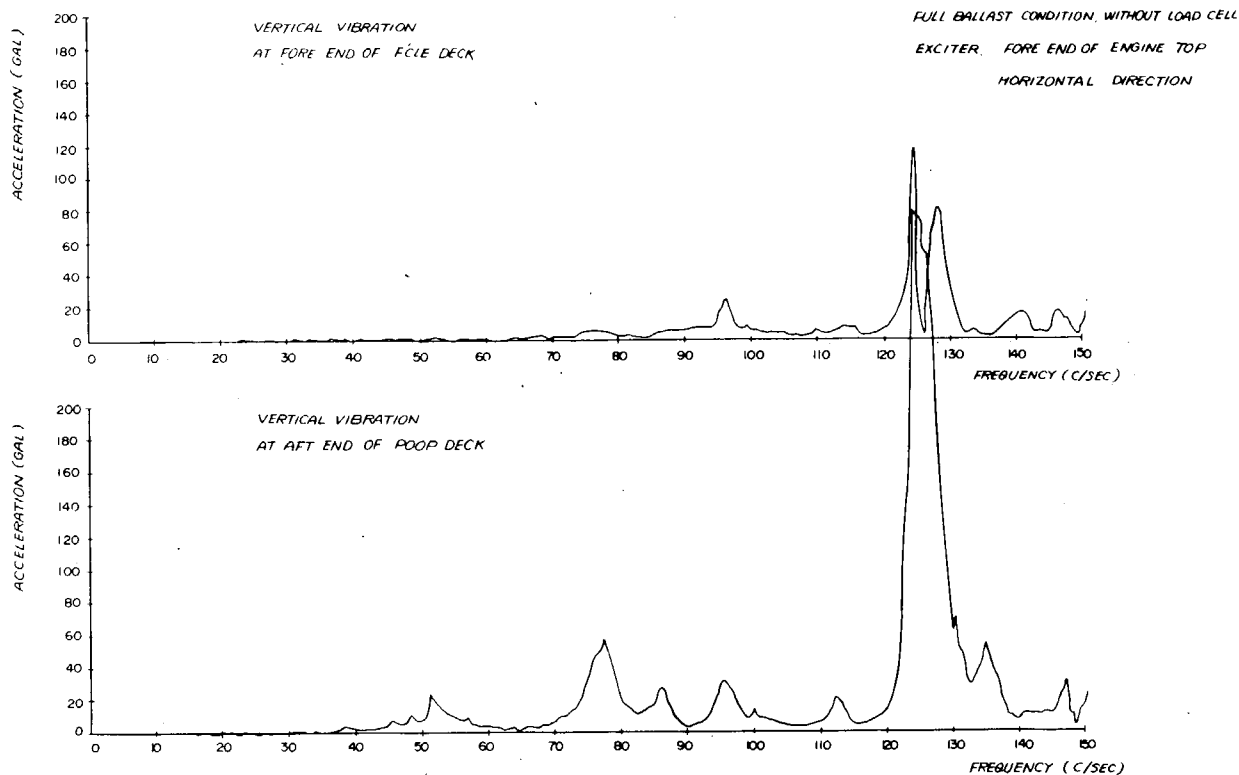


Fig. 7.44 Resonance Curve

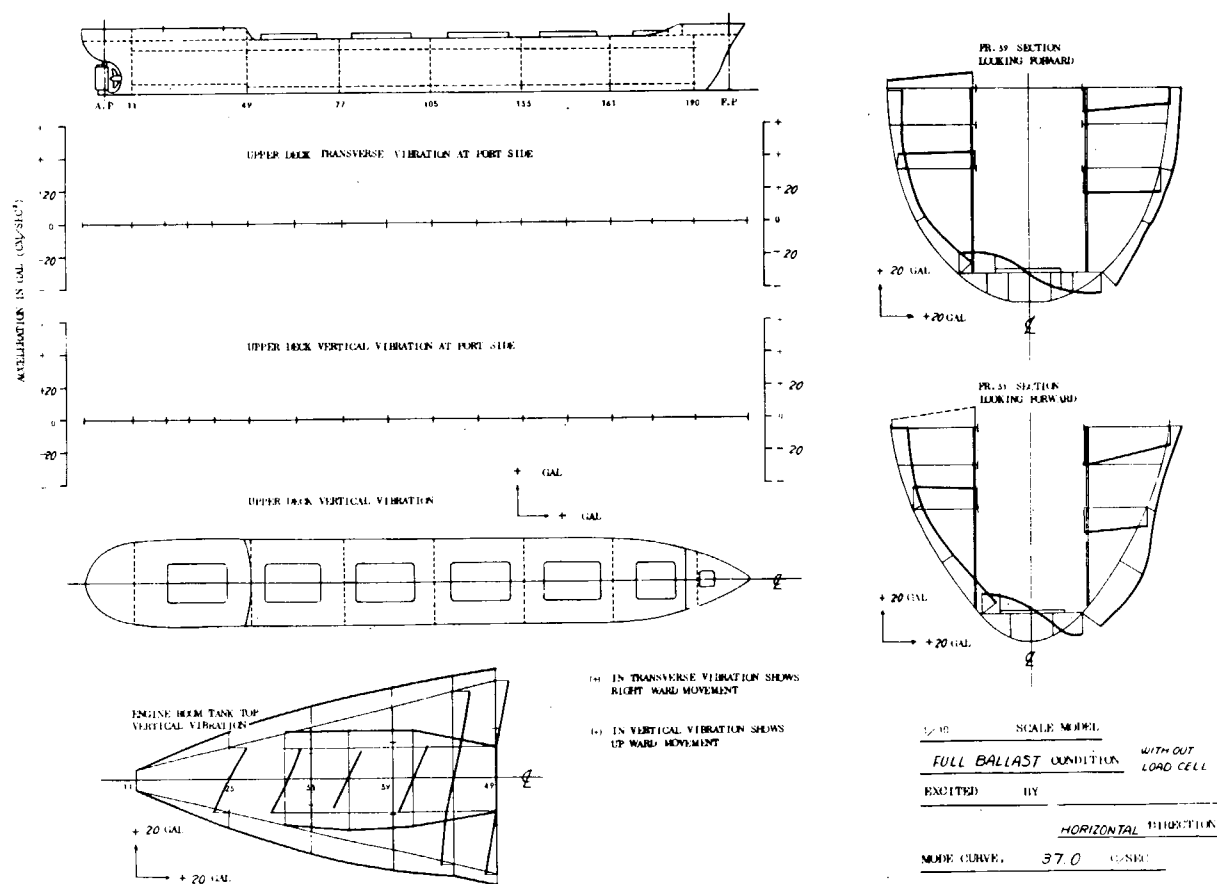


Fig. 7.45 Mode Curve

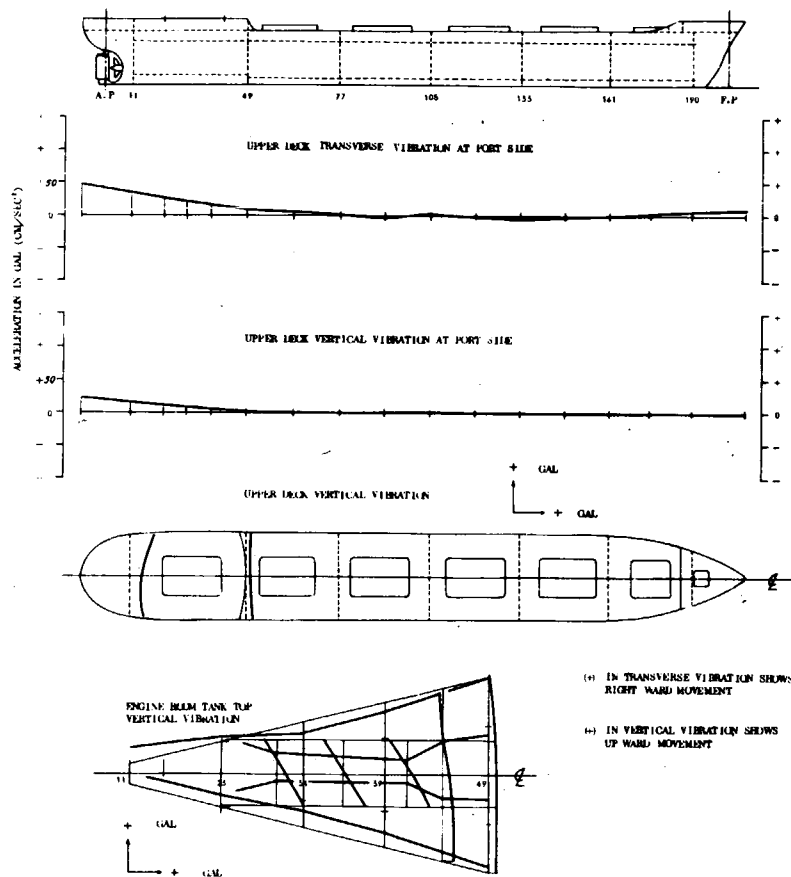
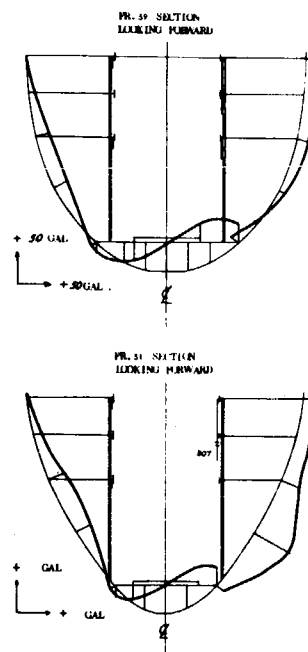
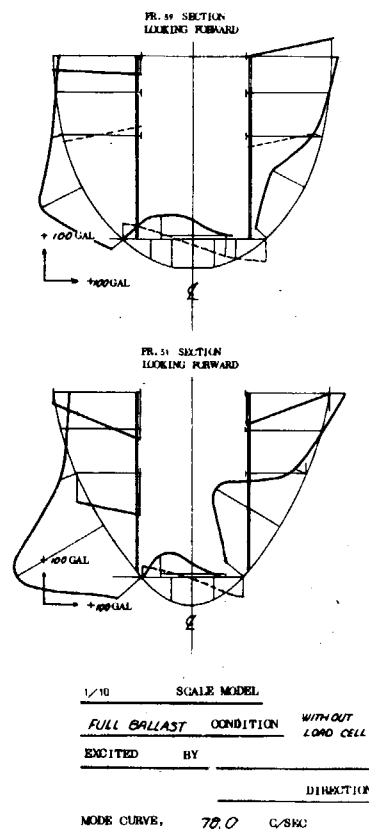


Fig. 7.46 Mode Curve



1/10	SCALE MODEL
FULL BALLAST	CONDITION
EXCITED	BY
	DIRECTION
MODE CURVE,	51.6 C/SEC



1/10	SCALE MODEL
FULL BALLAST	CONDITION
EXCITED	BY
	DIRECTION
MODE CURVE,	78.0 C/SEC

Fig. 7.47 Mode Curve

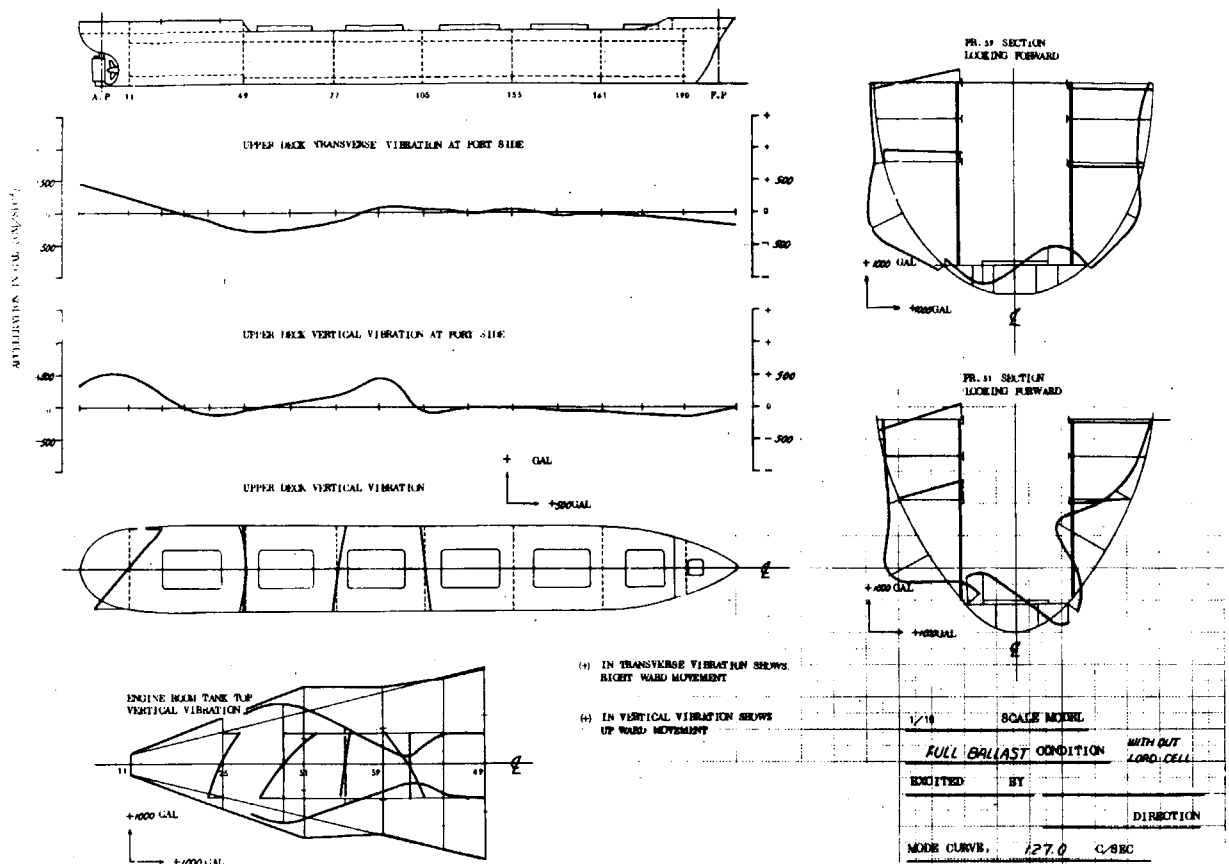


Fig. 748 Mode Curve