

第94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

(そ の 1)

昭和43年3月

—

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

は し が き

本報告書は日本船舶振興会の昭和42年度補助事業「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研究部会において造船所・海運会社ならびに学識経験者の協力を得てとりまとめたものである。

本研究は、船体振動および機関振動のそれぞれについて実験研究を行ない、さらにそれら相互の関連性を追求して巨大船の振動防止対策を確立しようとするもので、最終的には一つの報告書としてまとめる予定であるが、さし当たり42年度は「その1」に船体振動関係を「その2」に機関振動関係をまとめて別々に報告することとした。

第94研究部会委員名簿（敬称略、五十音順）

部会長	原	三郎	（日本海事協会）
主査	熊井	豊二	（九州大学）
	小泉	磐夫	（東京大学）
幹事	赤沢	政彦	（石川島播磨重工業）
	大高	勝夫	（三菱重工業）
	大西	恒成	（"）
	金沢	武	（東京大学）
	服部	堅一	（浦賀重工業）
	葉山	真治	（東京大学）
	広渡	智雪	（日立造船）
	星野	次郎	（日本海事協会）
委員	榎本	圭助	（三井造船）
	植田	靖夫	（船舶技術研究所）
	仰木	盛綱	（佐世保重工業）
	岡田	弘昭	（佐野安船渠）
	大坪	昇	（日立造船）
	大石	剛	（三井造船）
	越智	義夫	（吳造船）
	門田	道雄	（舞鶴重工業）
	川上	益男	（広島大学）
	久津間	裕良	（運輸省船舶局）
	後藤	大三	（石川島播磨重工業）
	酒井	敏之	（三井造船）
	鈴木	宏	（日本銅管）
	高橋	肇	（船舶技術研究所）
	田中	兵衛	（昭和海運）
	塚本	周吉	（函館 Dock）
	寺本	晋	（三菱重工業）
	富田	治	（佐世保重工業）
	土手	秀夫	（浦賀重工業）
	中川	万蔵	（三菱重工業）

委	員	中	村	昭	和	(川崎重工業)
		新	田		顕	(日本海事協会)
		野	崎	政	治	(防衛庁)
		長	谷	川	敬	(三菱重工業)
		原	野	二	郎	(三井造船)
		福	田	安	助	(日本鋼管)
		藤	井	克	哉	(石川島播磨重工業)
		藤	井	澄	二	(東京大学)
		真	砂		宏	(大阪商船三井船舶)
		増	田	勝	己	(三井造船)
		松	浦	義	一	(大阪大学)
		松	前		宏	(三菱重工業)
		松	村	徳	郎	(川崎重工業)
		松	本	瓦	平	(日立造船)
		山	越	道	郎	(九州大学)
		山	下	郁	夫	(浦賀重工業)
		山	本	善	之	(東京大学)
		吉	田		真	(呉造船)

討議参加者(敬称略、五十音順)

石	田	国	昭	(呉造船)	香	川	洸	二	(三菱重工業)
飯	塚	晴	彦	(三菱重工業)	河	合		一	(日本鋼管)
梅	崎	一	夫	()	河	本	達	郎	(三菱重工業)
梅	野		満	(日本海事協会)	金	田	隆	良	(呉造船)
牛	島	正	夫	(三菱重工業)	熊	倉		靖	(石川島播磨重工業)
白	井	久	益	()	越	川		滋	(三井造船)
漆	原		熙	(三井造船)	小	椋	一	郎	(呉造船)
伊	藤	敬三	郎	(船舶技術研究所)	佐	伯	庄	吾	(三井造船)
井	上	吉	行	(佐世保重工業)	白	木	万	博	(三菱重工業)
池	上	保	彦	(三菱重工業)	砂	原		浩	()
大	石	松	二	()	杉	山		脩	(舞鶴重工業)
大	沼		覚	()	関	岡	信	明	(佐世保重工業)
大	浦	啓	二	(佐世保重工業)	竹	沢	節	雄	(船舶技術研究所)
太	田	治	孝	(日本鋼管)	田	中	紘	一	(石川島播磨重工業)
大	森	敏	二	(三菱重工業)	高	橋		潔	(三菱重工業)
小	野	孝	義	(呉造船)	蓼	沼	太	門	(佐世保重工業)
岡	田	勝	晴	(川崎重工業)	寺	田	邦	夫	(三菱重工業)
岡	久	泰	明	()	時	枝	彬	彦	(三井造船)
川	上		肇	()	土	井	丈	士	(三井造船)

中	田	道	雄	(	"	)	牧	野	利	雅	(	浦	賀	重	工	業	)	
中	間	隆	三	郎	(	函	館	ド	ツ	ク	充	(	日	立	造	船	)	
永	井			将	(	日	立	造	船		裕	(	"				)	
永	田	勝		之	(	興	造	船			郎	(	三	菱	重	工	業	)
西	木	戸		実	(	三	井	造	船		介	(	日	立	造	船	)	
野	沢			登	(	函	館	ド	ツ	ク	春	(	浦	賀	重	工	業	)
藤	田	尙		身	(	浦	賀	重	工	業	也	(	三	菱	重	工	業	)
藤	野			勉	(	三	井	造	船		望	(	"				)	
松	岡	孝		典	(	三	菱	重	工	業	勉	(	日	本	綱	管	)	
松	島			洋	(	東	京	測	器		建	(	三	菱	重	工	業	)

牧	野	利	雅	(	浦	賀	重	工	業	)
水	内		充	(	日	立	造	船	)	
水	島	一	裕	(	"				)	
森	田	寿	郎	(	三	菱	重	工	業	)
吉	川	謙	介	(	日	立	造	船	)	
米	田	正	春	(	浦	賀	重	工	業	)
米	田	徹	也	(	三	菱	重	工	業	)
吉	村		望	(	"				)	
渡	辺		勉	(	日	本	綱	管	)	
渡	辺	昌	建	(	三	菱	重	工	業	)

目 次

ま え が き	1
第 1 編 昭和 4 2 年度実船振動計測結果	3
第 1 章 三菱重工業（長崎）計測結果	5
第 2 章 日本鋼管計測結果	19
第 3 章 浦賀重工業計測結果	27
第 4 章 呉造船所計測結果	31
第 5 章 舞鶴重工業計測結果	47
第 6 章 佐世保重工業計測結果	57
第 7 章 日立造船計測結果	71
第 8 章 石川島播磨重工業計測結果	81
第 9 章 三井造船（千葉）計測結果	91
第 2 編 主として昭和 4 1 年度実船振動計測データによる解析結果	95
第 1 章 船体固有振動	97
1. 1 船体上下固有振動数	97
1. 2 船体水平固有振動数	97
1. 3 船体縦固有振動数	97
第 2 章 船体縦振動と上部構造前後振動の関連	117
第 3 章 プロペラ起振力	121
3. 1 プロペラクリアランス	121
3. 2 プロペラ起振力におよぼすプロペラ翼のスキューバックの影響	127
3. 3 プロペラ前方の水圧変動におよぼす集中伴流の影響	135

ま え が き

1. 研究の目的

前年度に引き続いて巨大船に発生すると想定される高次の船体振動およびこれに影響を与えられと考えられる船底、甲板など各局部構造の振動を主として実船実験により測定した。また船尾におかれた船橋の振動についても主船体の振動との関連を実験的に研究した。

2. 研究の方法および経過

実験はそのほとんどが各造船所で建造された実船について行なわれている。すなわち船が完成後その上甲板上に取り付けた大型起振機により船体を起振し、これを各計測点上で同時測定して船体の高次固有振動数や振動のモードを求めるとともに船底、隔壁および上甲板の振動などの局部振動との関連を求めた。また試運転時を利用してプロペラおよび主機関を起振源とする各部の振動を測定し起振機による実験との比較検討を行なつた。なお上記の実験に併行して上部構造各部についても計測を行ない、船体振動との関連についても検討を行なつている。

3. 研究により得られた成果

3.1 実船実験結果

実船実験により得られた結果は国際構造会議で定められた型式に従つて整理され、各供試船ごとにとりまとめられている。すなわち、供試船の主要寸法、主機関の諸元、船体構造の概要、推進器間隙などを最初にまた供試船の試験時の状態、計測機器、Load Conditionなどを次に取りまとめ、続いて共振曲線、モードカーブ、振動数と振動節数との関係など今後の解析に必要な事項が示されている。これらの実験結果については今後さらに詳細な検討が加えられる予定であるが、現在の段階では次のようなことが明らかにされている。

- (1) 巨大船では、300 c/m以上でBeam Theory が成立たないことが明らかにされた。
- (2) 300 c/m以下の振動でも船側における振動モードと縦隔壁位置における振動モードに差が認められ、かなり複雑な振動を行なっていることがわかる。
- (3) これらの振動に関連して船底、上甲板、横隔壁などにかかなり大きなPanel Vibration が認められる。
- (4) 船体の縦振動についてはかなり広い範囲の振動数にわたつて1節振動がくり返し現われることが認められている。

3.2 実船実験結果の解析

これまでに得られた実船実験結果を用いて次のような検討を行なつた。

- (1) 船体固有振動数〔上下、水平、縦振動〕
- (2) 船体縦振動と上部構造前後振動との関連
- (3) プロペラ起振力

その結果(1)については従来乏しかつた巨大船の固有振動数に関する資料が充実し、設計初期に実用できる推定式が求められている。また(2)については、上部構造と船体縦振動との関連がかなりの程度まで明らかにされている。最後に(3)については船体振動の起振源として最も不明なものゝ一つであるプロペラ起振力について種々の面からの検討が加えられ、起振外力の推定に有用な資料が得られている。

第 1 編 昭和 4 2 年度実船振動計測結果

第 1 章 三菱重工業（長崎）計測結果

RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

PARTICULARS OF SHIP

SHIP NO.	
BUILDER	NAGASAKI

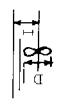
HULL

KIND & TYPE	TANKER AFT BRIDGE	KIND & TYPE	MAIN ENGINE
CLASS	HK	NUMBER	1
CONSTRUCTION	LONGITUDINAL	POSITION OF ENG.	AFT
L ca	270.10 m	SHP	MAX. 24000 PS NCR. 22000 PS
L pp	256.00 m	RPM	MAX. 105 NCR. 102
B mid	42.50 m	UNEQUALLED	Fv1
D mid	22.00 m	FORCE	Fv2
d full	16.20 m	Fh	
Δ full	146.700 ton	UNEQUALLED	Mv1
D.W.	131.300 ton	Mv2	
Cb full	0.81	Mh	
MOMENT OF INERTIA	IvX IhX	PROPELLER	
	4879 m ⁴	NUMBER	1
WEB AREA	AvX	NO. OF BLADES	5
	1.702 m ²	DIAMETER	7.2 m
	AbX		
	1.224 m ²		

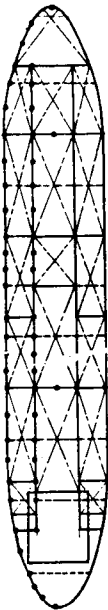
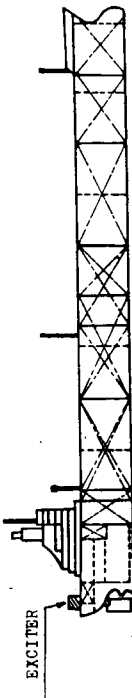
SKETCH OF X SECTION

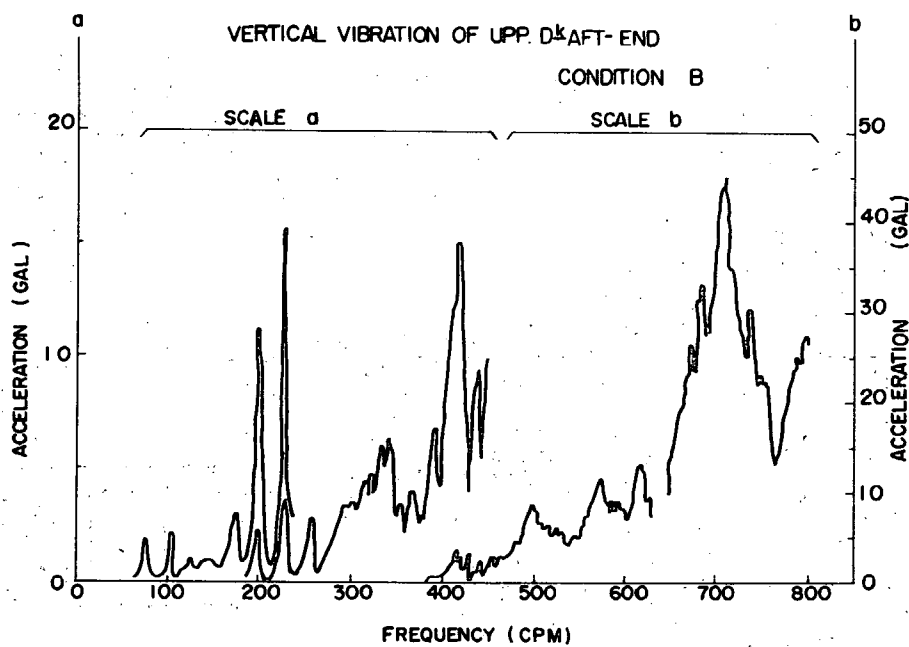
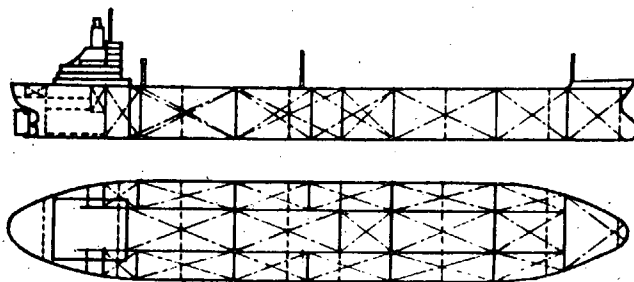
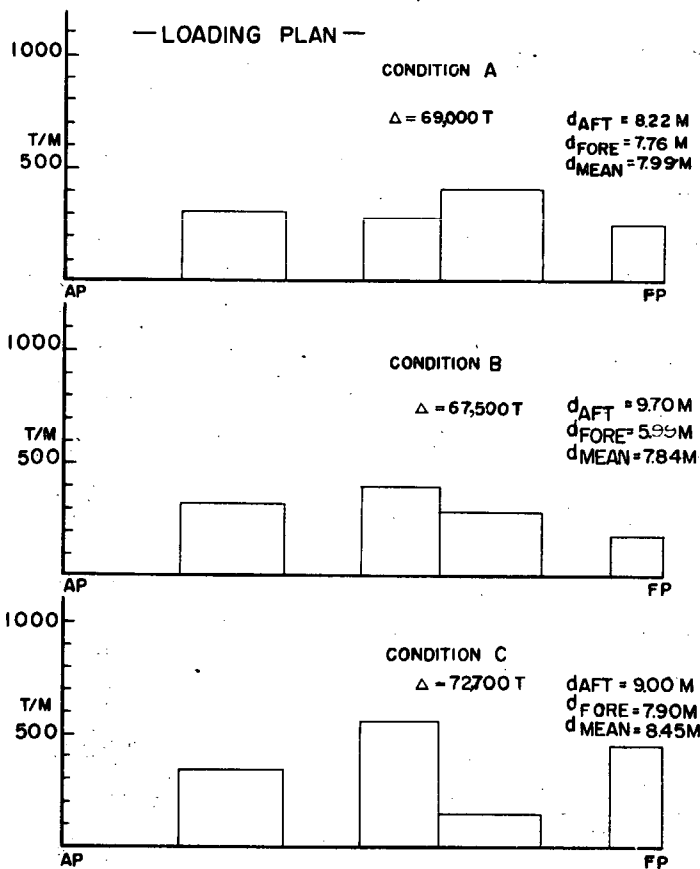
SKETCH OF SCREW APERTURE

a ₁ /D	0.132
a ₂ /D	0.174
b ₁ /D	0.298
b ₂ /D	0.278
c ₁ /D	0.285
d ₁ /D	0.132

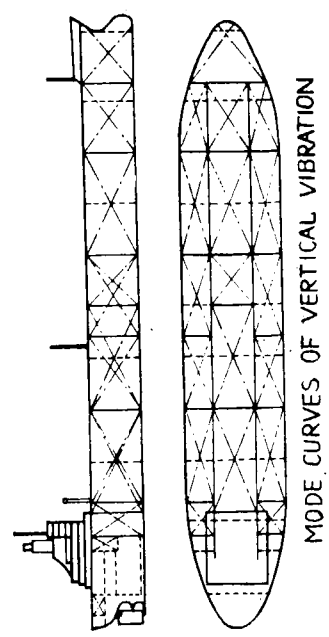
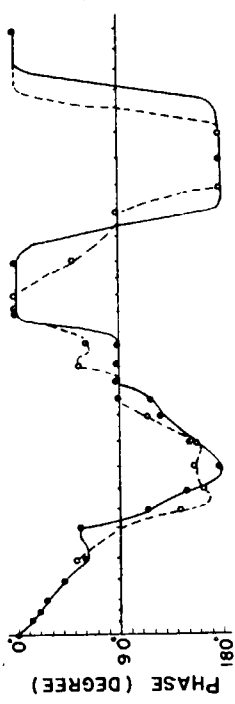
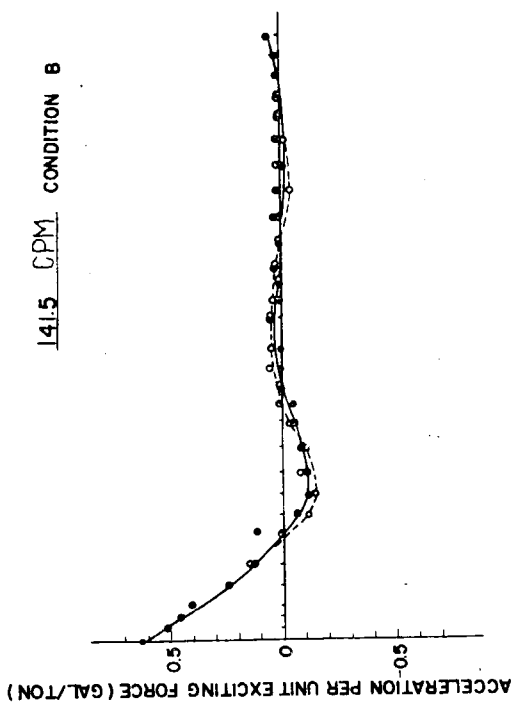
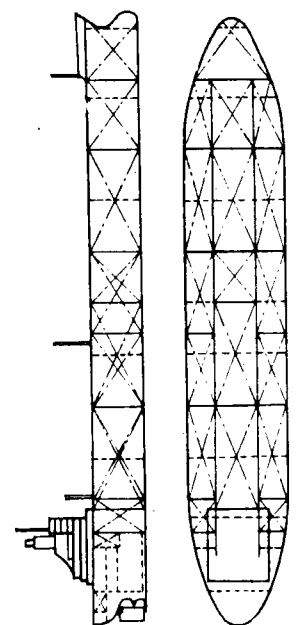
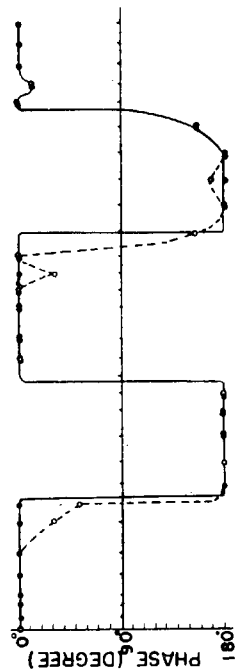
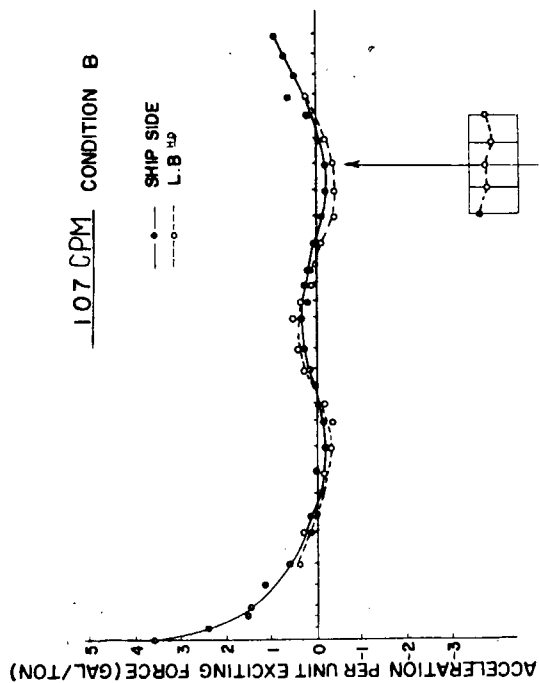
TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
DATE	JAN. 19-22, 1968	TYPE OF PICK UP	ACCELERO-METER
PLACE	NAGASAKI PORT NO. 1,2 BOUY	NO. OF MEAS. PTS.	58
WEATHER	CLOUDY	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	SMOOTH	TYPE OF EXCITER	UNBALANCED WEIGHT TYPE
DEPTH OF WATER	ABOUT 13 M	MAX. EXCIT. FORCE	20 TONS
Δ test		DIRECT. OF EXCIT.	VERTICAL
d f		OTHER DESCRIPTIONS	
d a			
d m			
PROPELLER IMMERSION			
1/D = %			

ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS

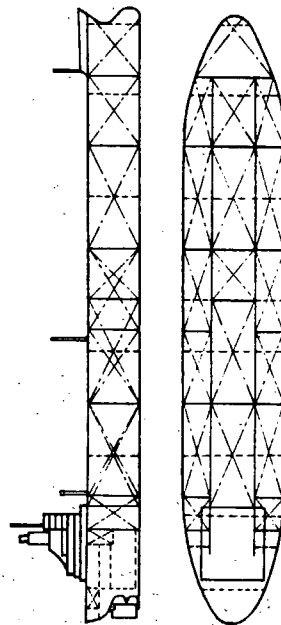
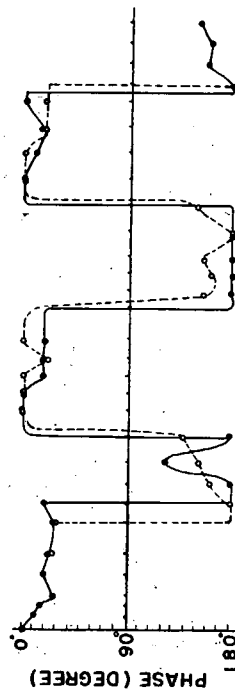
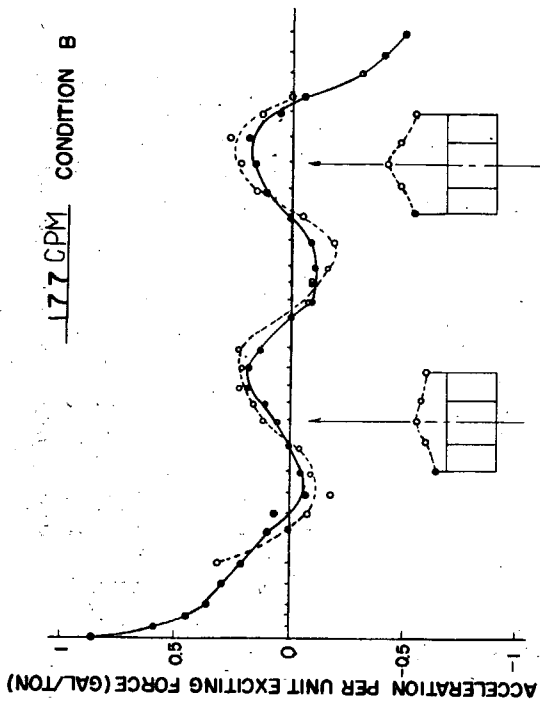




EXAMPLE OF RESONANCE CURVE

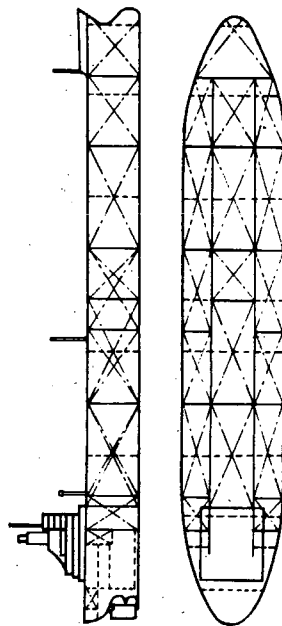
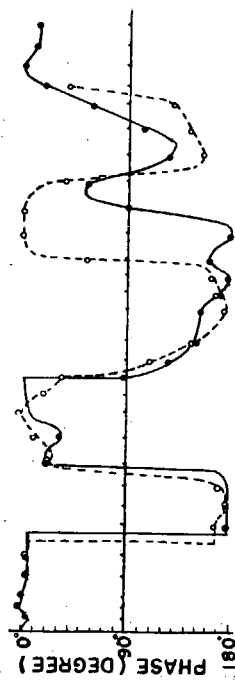
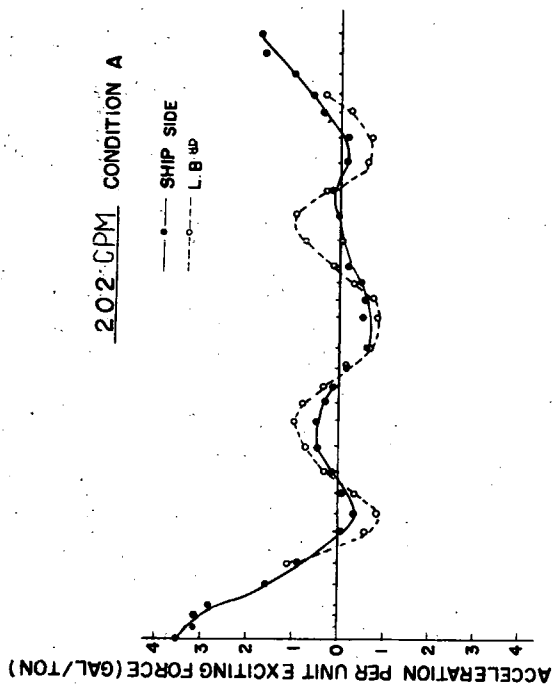


17.7 CPM CONDITION B



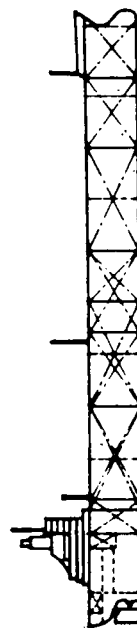
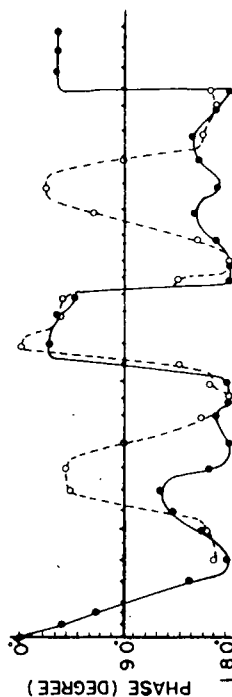
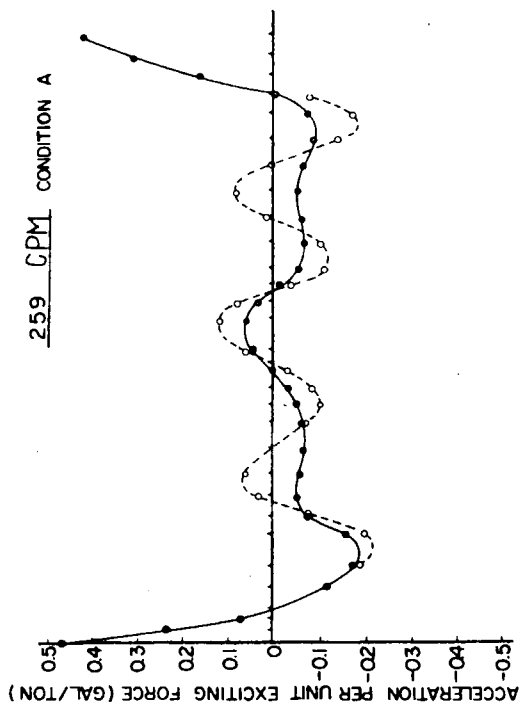
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

20.2 CPM CONDITION A



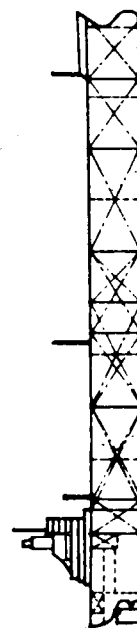
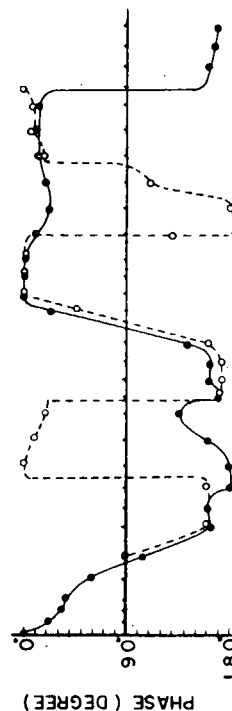
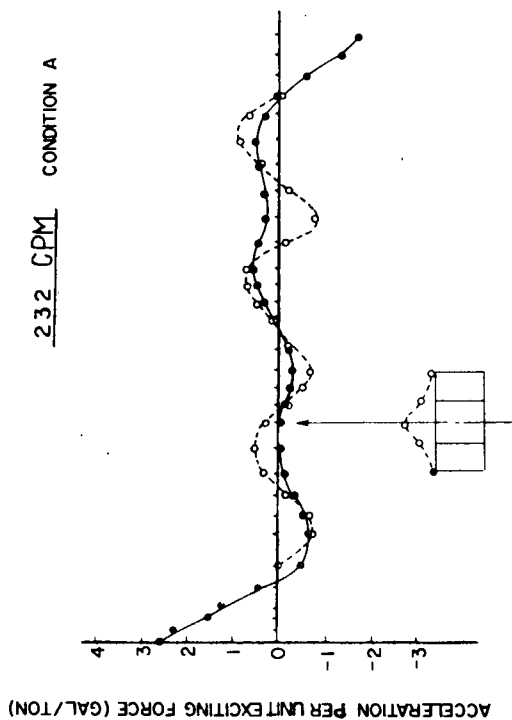
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

259 CPM CONDITION A

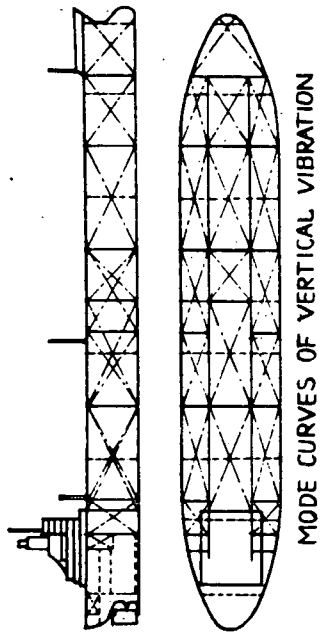
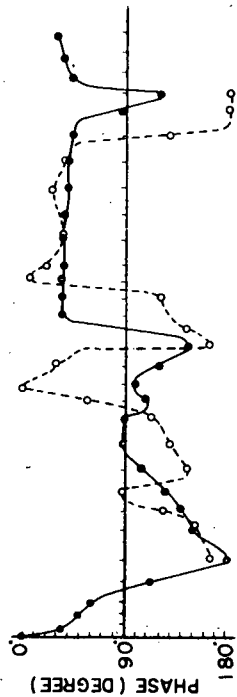
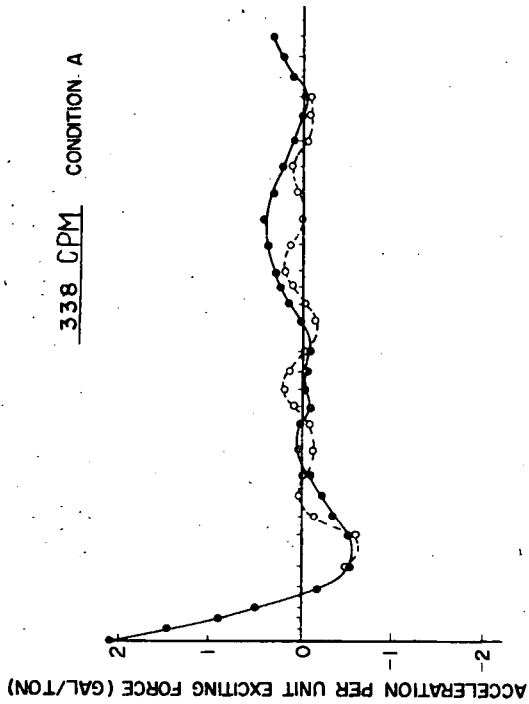
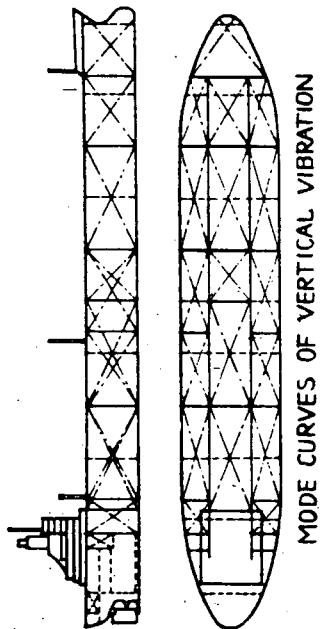
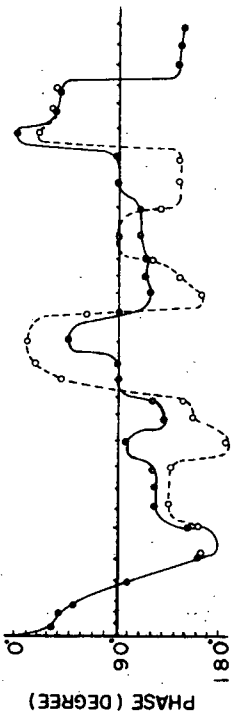
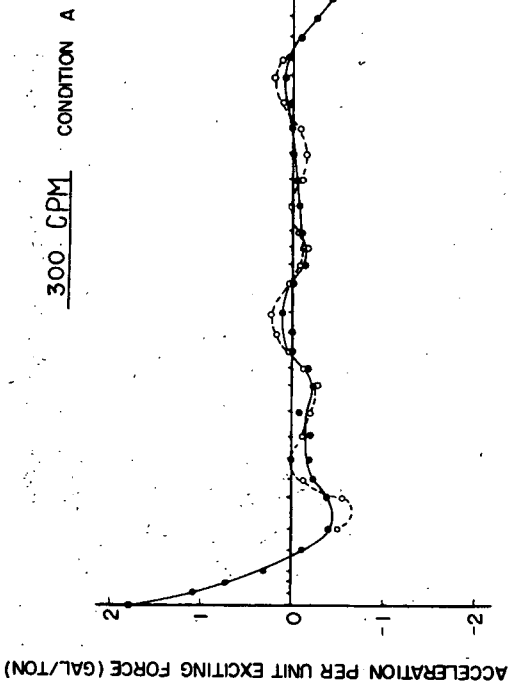


MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

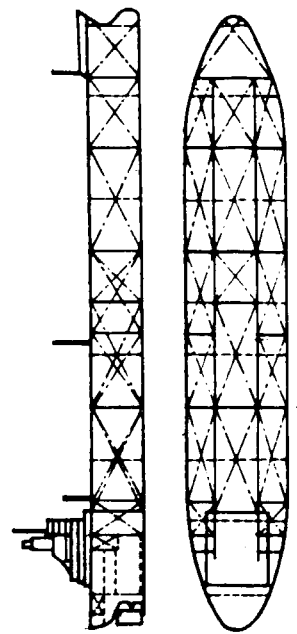
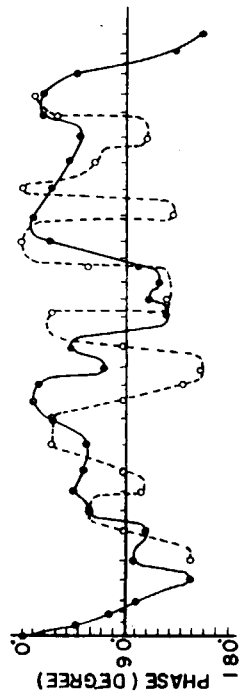
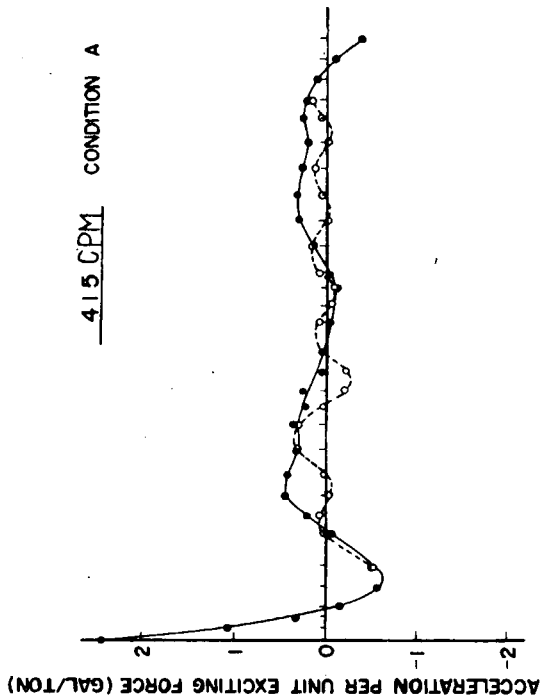
232 CPM CONDITION A



MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

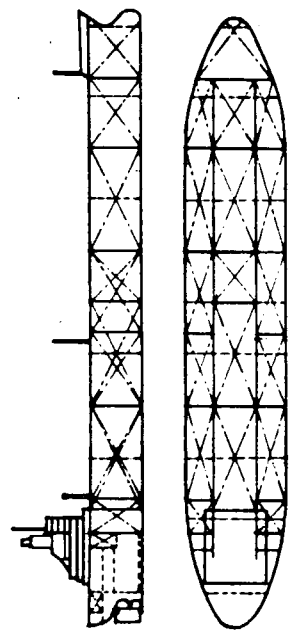
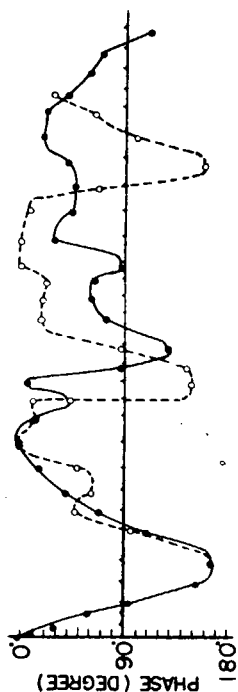
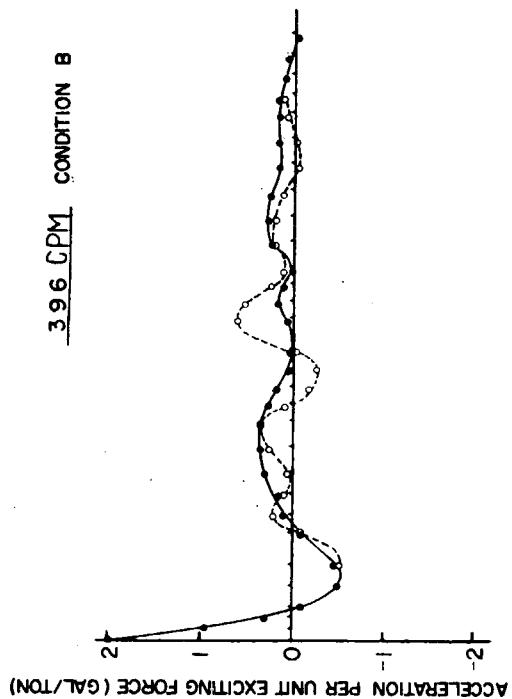


415 CPM CONDITION A



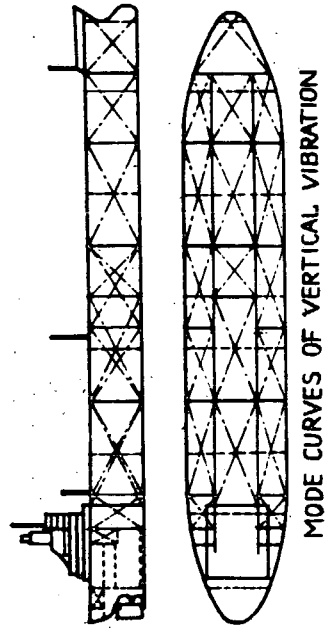
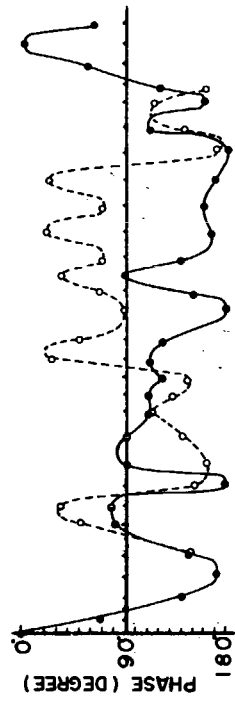
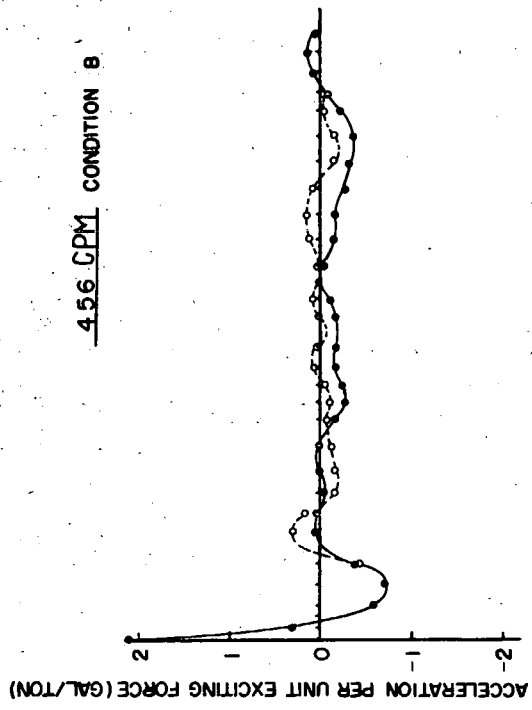
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

396 CPM CONDITION B

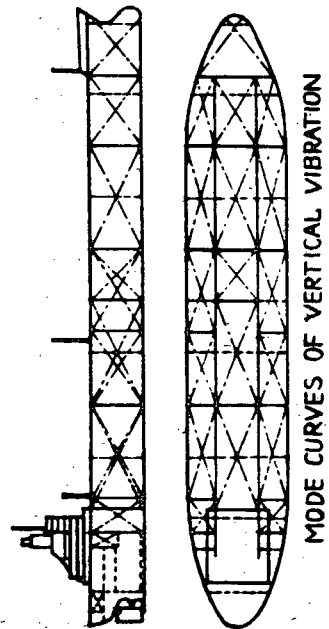
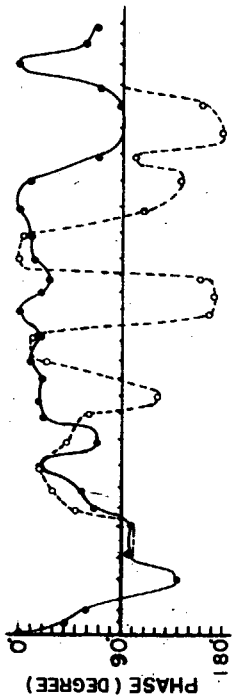
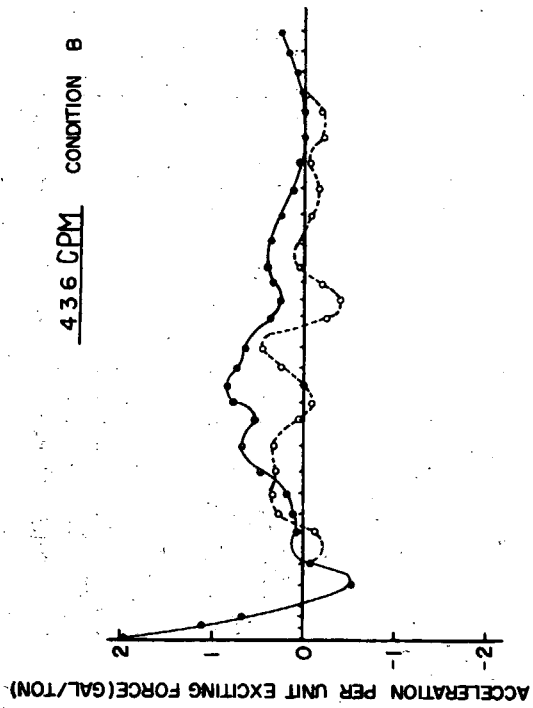


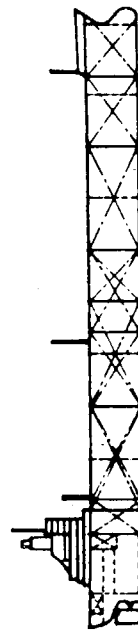
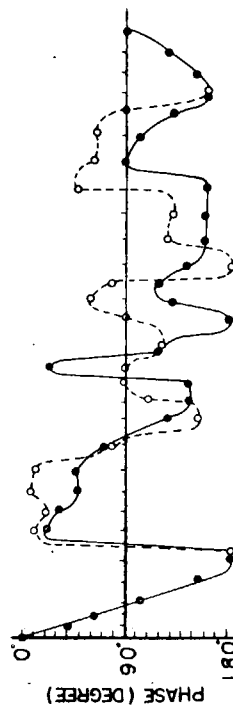
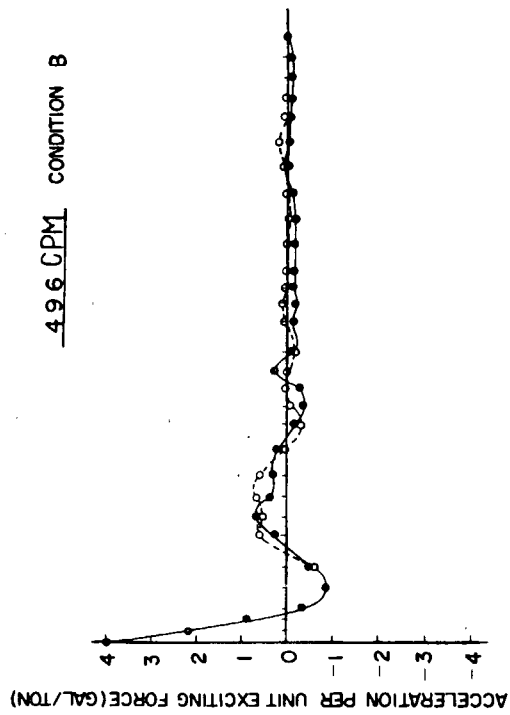
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

456 CPM CONDITION B

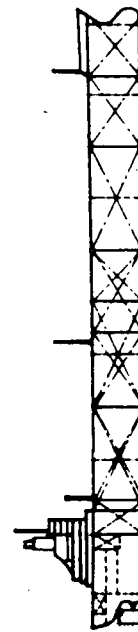
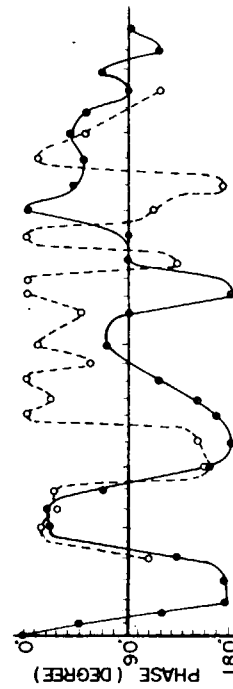
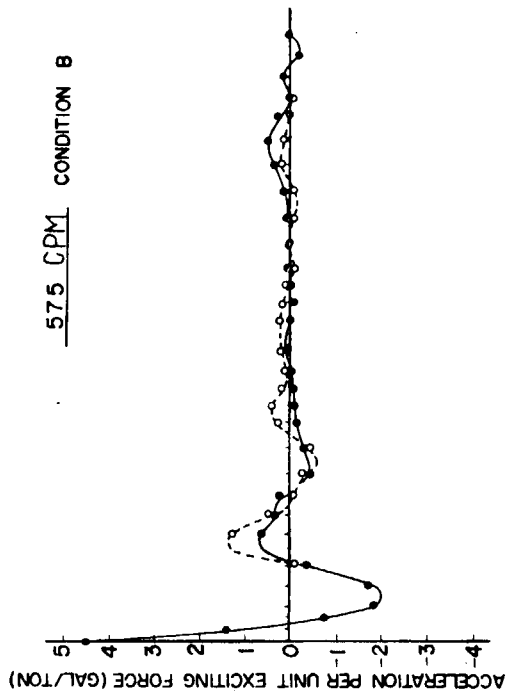


436 CPM CONDITION B



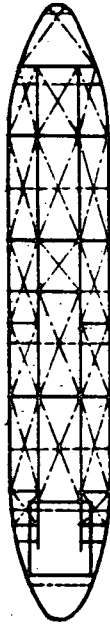
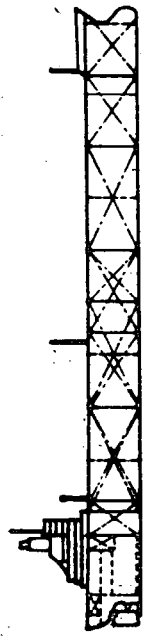
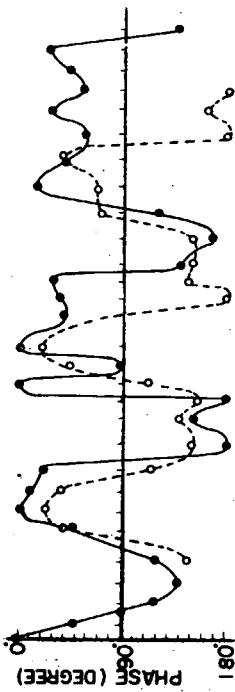
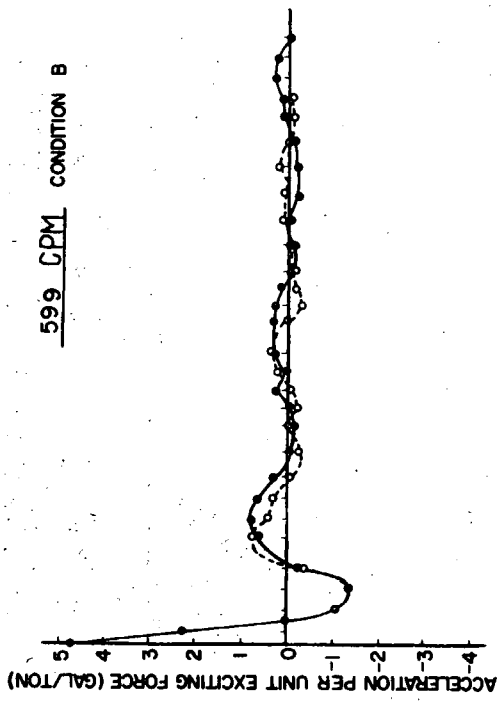


MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION



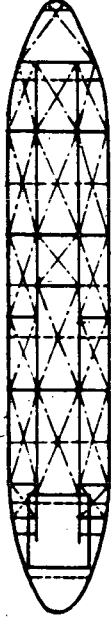
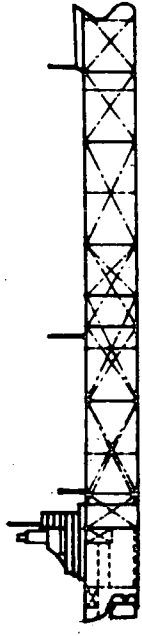
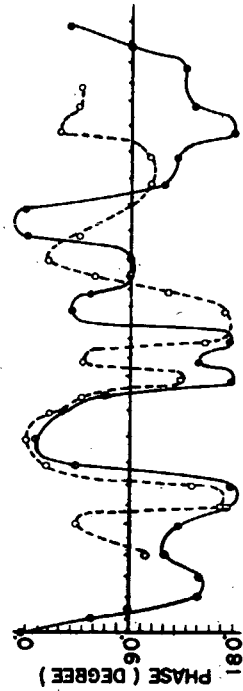
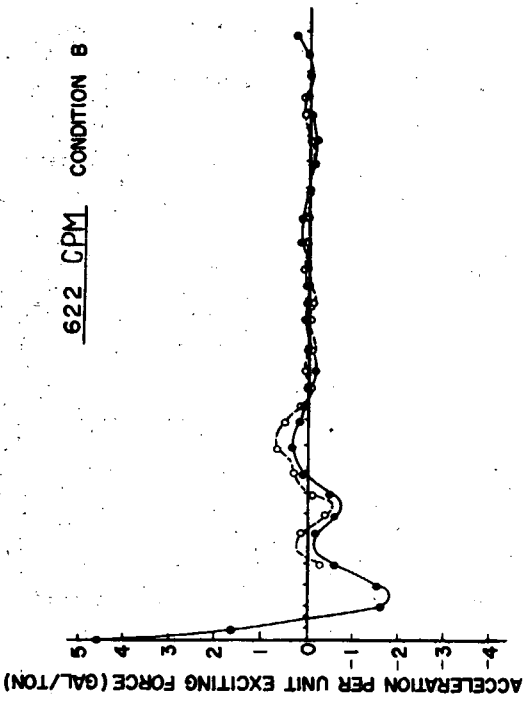
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

599 CPM CONDITION B



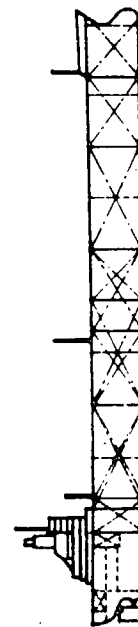
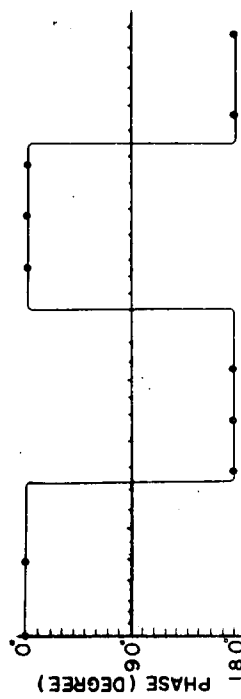
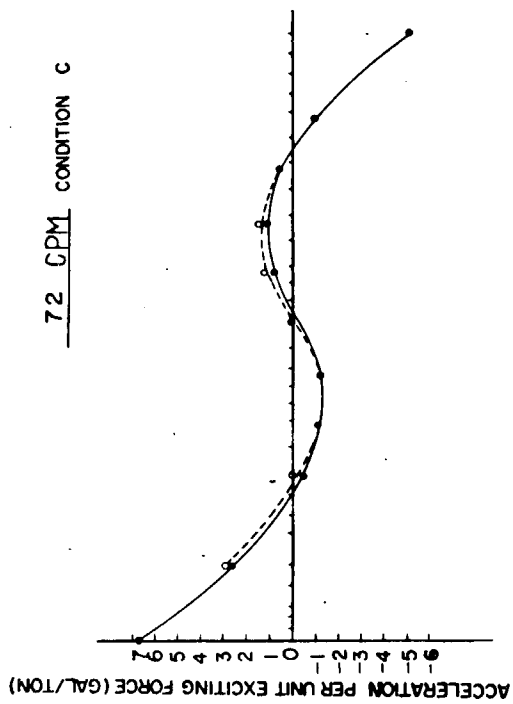
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

622 CPM CONDITION B



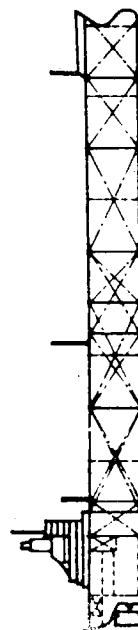
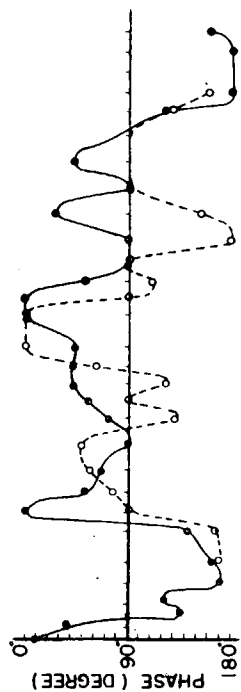
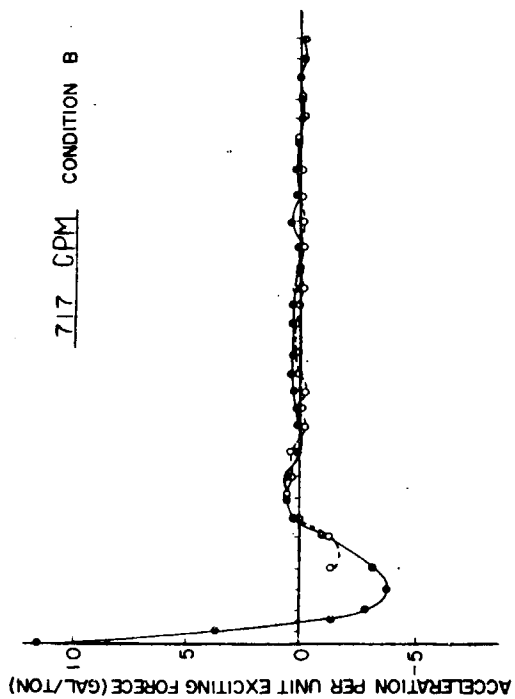
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

72 CPM CONDITION C



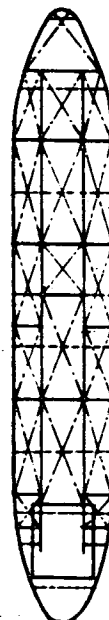
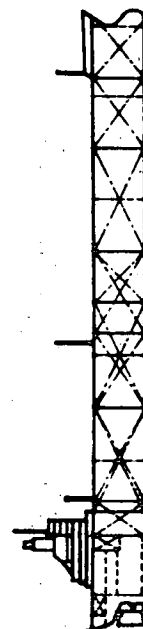
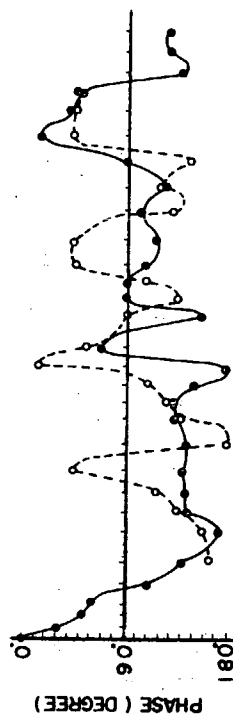
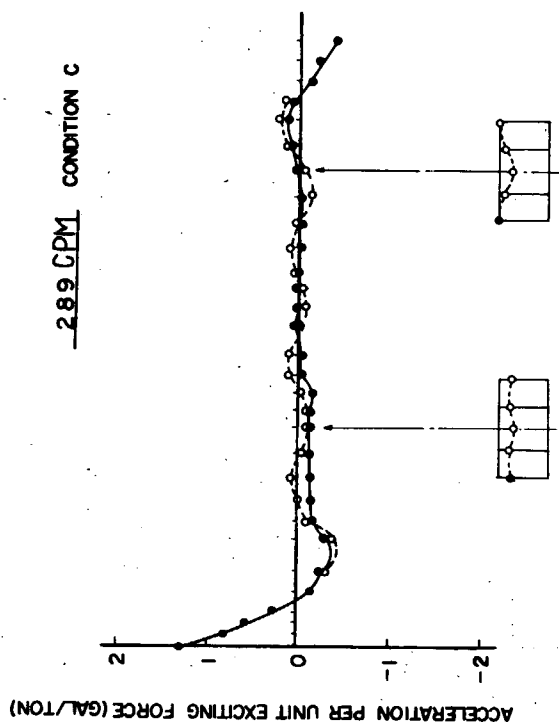
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

717 CPM CONDITION B



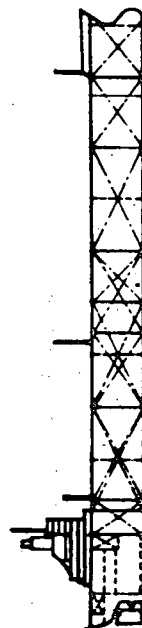
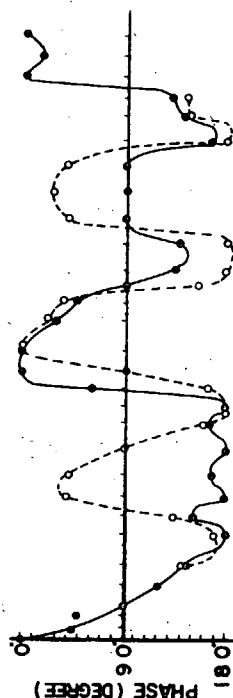
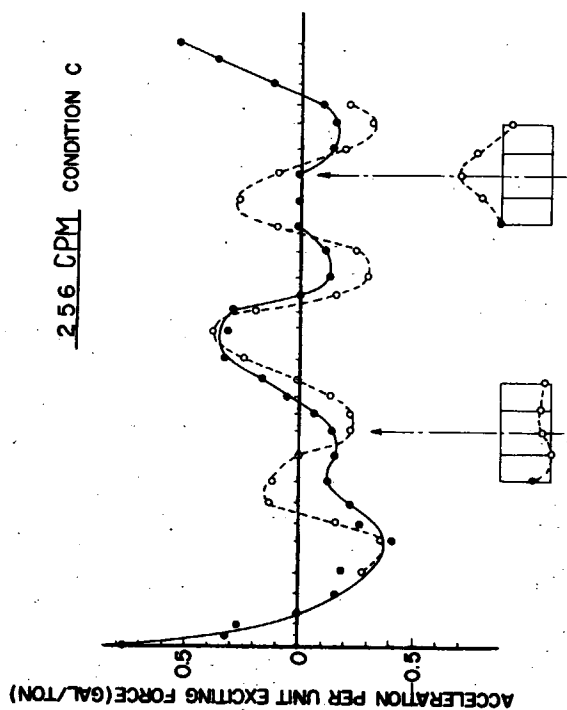
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

289 CPM CONDITION C

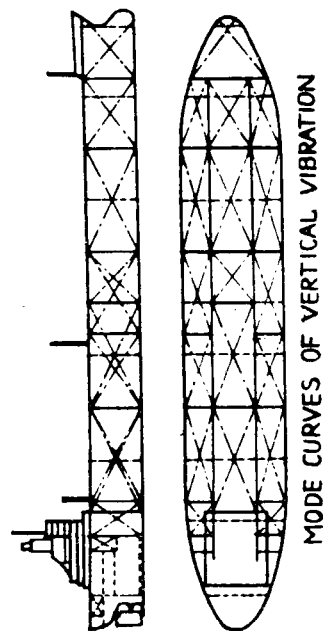
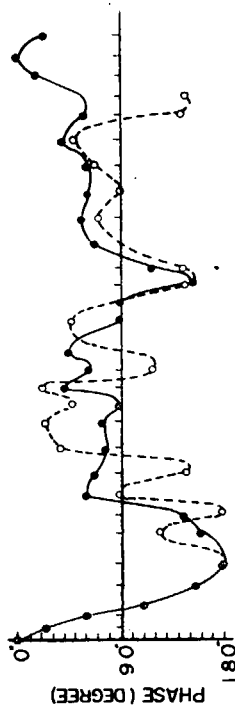
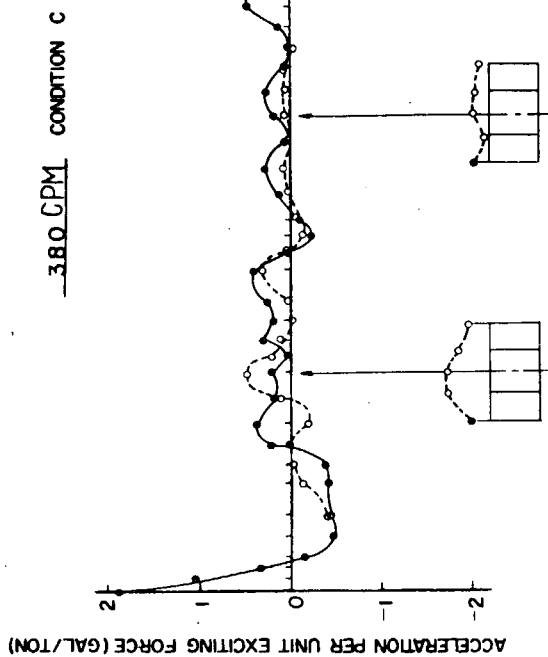
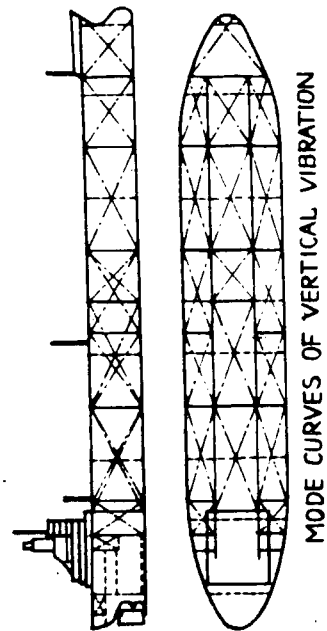
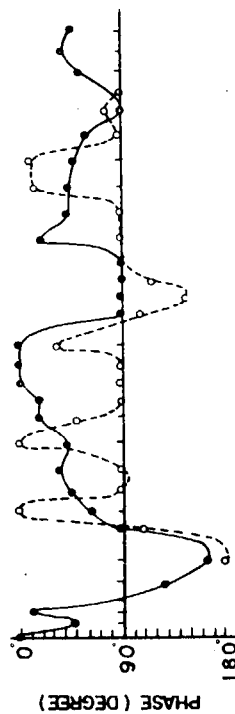
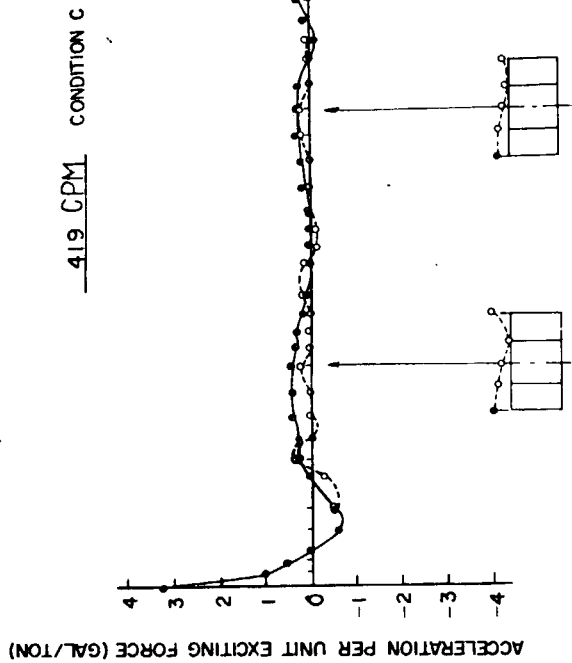


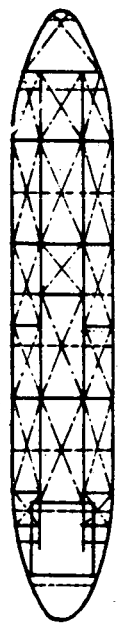
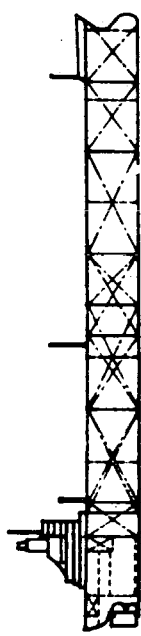
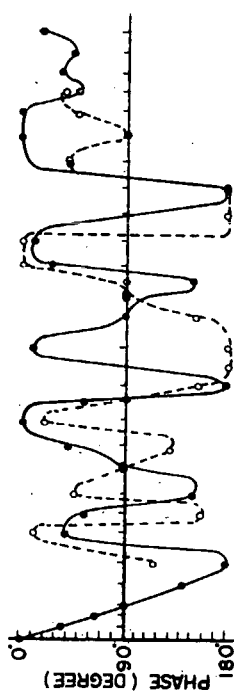
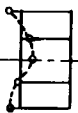
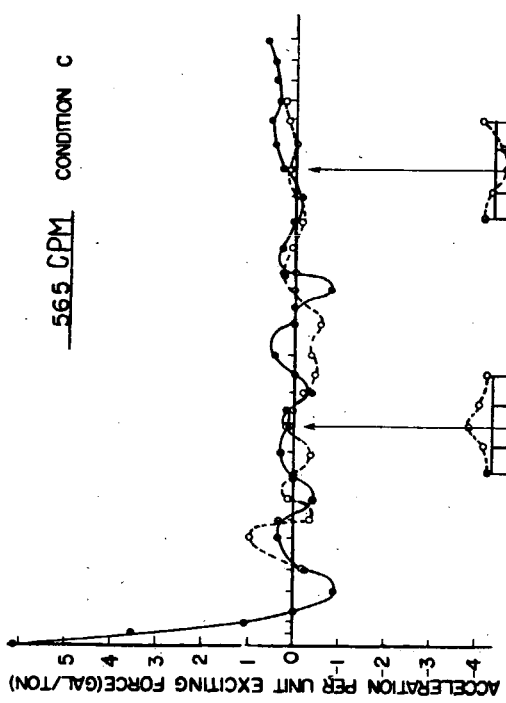
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

256 CPM CONDITION C



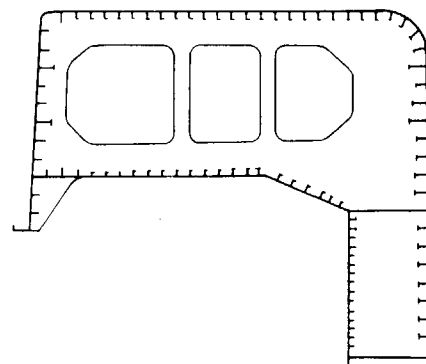
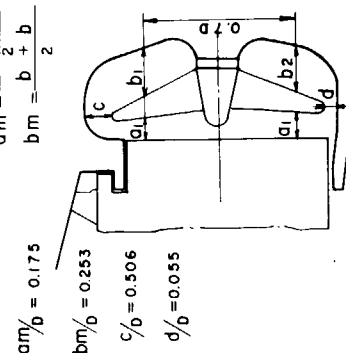
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION





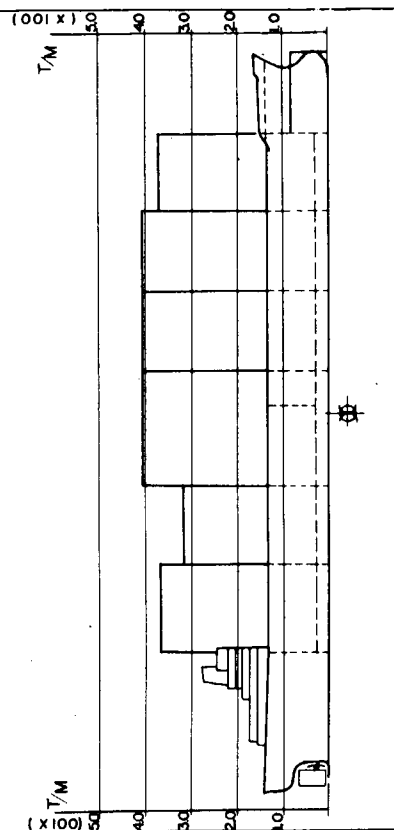
MODE CURVES OF VERTICAL VIBRATION

RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT									
PARTICULARS OF SHIP					SHIP NO. ——— BUILDER N K K.				
HULL			MAIN ENGINE						
KIND & TYPE	ORE CARRIER	KIND & TYPE	DIESEL 88W 1084VT28F-184						
CLASS	A B S	NUMBER	1						
CONSTRUCTION	LONGE SYSTEM	POSITION OF ENG.	ABAF 0.375 LPP						
Lod	263 ^M , 74	BHP (MCR)	23,000						
Lpp	252 ^M , 00	RPM ()	114						
Bmid	38 ^M , 00	UNBALANCED	Fv1 —						
Dmid	21 ^M , 00	FORCE	Fv2 —						
afull	15, 40		Fh —						
Δfull	123, 690 ^T	UNBALANCED	Mv1 32.8 ^{T-M}						
D.W.	106, 100 ^T	MOMENT	Mv2 8.4 ^{T-M}						
Cbfull	0.8252		Mh1 37.8 ^{T-M}						
MOMENT OF INERTIA	Iv 399,759,000 ^{mm²xm²}	PROPELLER							
	Ih	NUMBER	1						
W E B AREA	Av 1,900 ^{m²}	NO. OF BLADES	5						
	Ah	DIAMETER	6 ^M , 75						
SKETCH OF SECTION					SKETCH OF SCREW APERTURE				

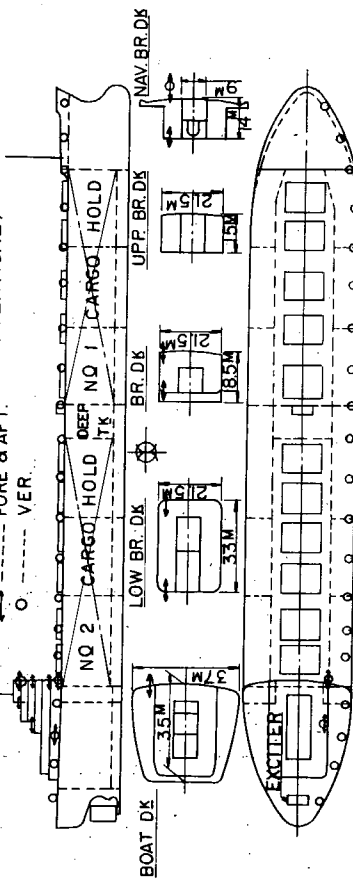


TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
DATE	NOV. 16 TH '67	TYPE OF PICK UP	MOVING COIL TYPE
PLACE	OFF YOKOHAMA	NO. OF MEAS. PTS.	DISP. & ACC. VIBROGRAPH
WEATHER	FINE	DETAIL OF EXCITER	20
SEA CONDITION	SLIGHT SEA	TYPE OF EXCITER	UNBALANCE FORCE TYPE
DEPTH OF WATER		MAX. EXCIT. FORCE	20 ^T (400 c.p.m.)
Δ test	91.210 ^{LT}	DIRECT. OF EXCIT.	① VERTICAL
df	38' - 5"		② FORE & AFT
da	38' - 1 1/2"	OTHER DESCRIPTIONS	
dm	38' - 5 1/2"		
PROPELLER IMMERSION	I _D = 108%		

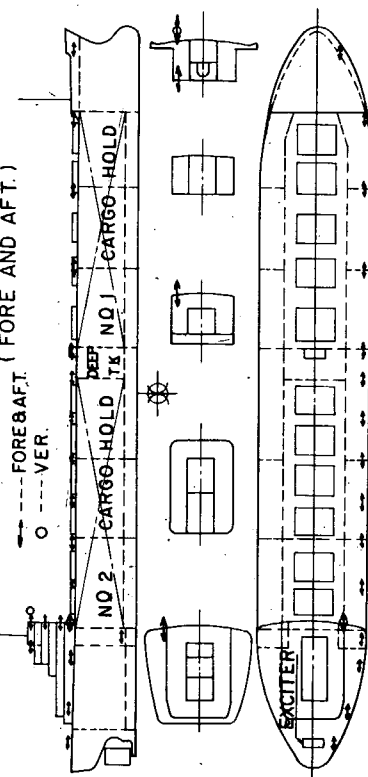
LOADING PLAN



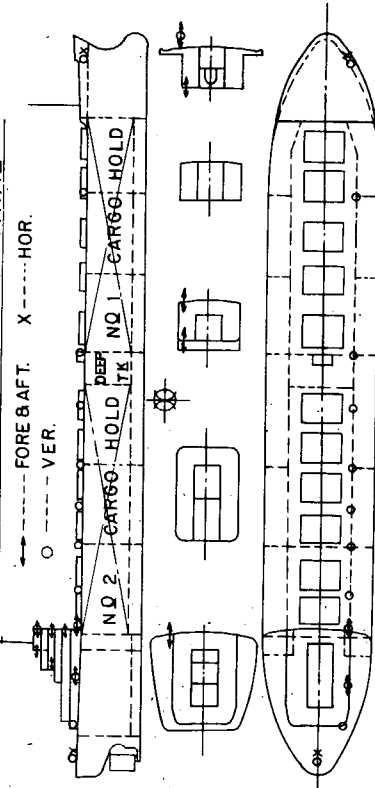
MEASURING POINTS AT EXCITING TEST
(FORE & AFT. VER.)



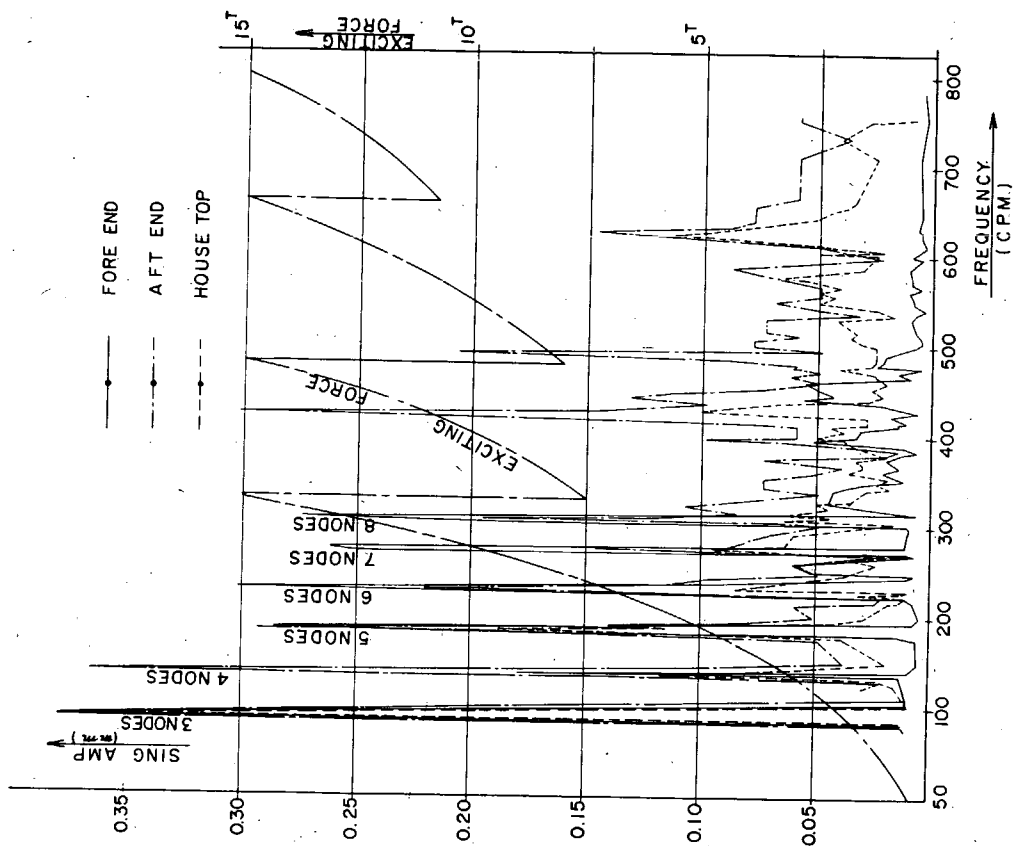
MEASURING POINTS AT EXCITING TEST
(FORE AND AFT.)



MEASURING POINTS AT SEA TRIAL

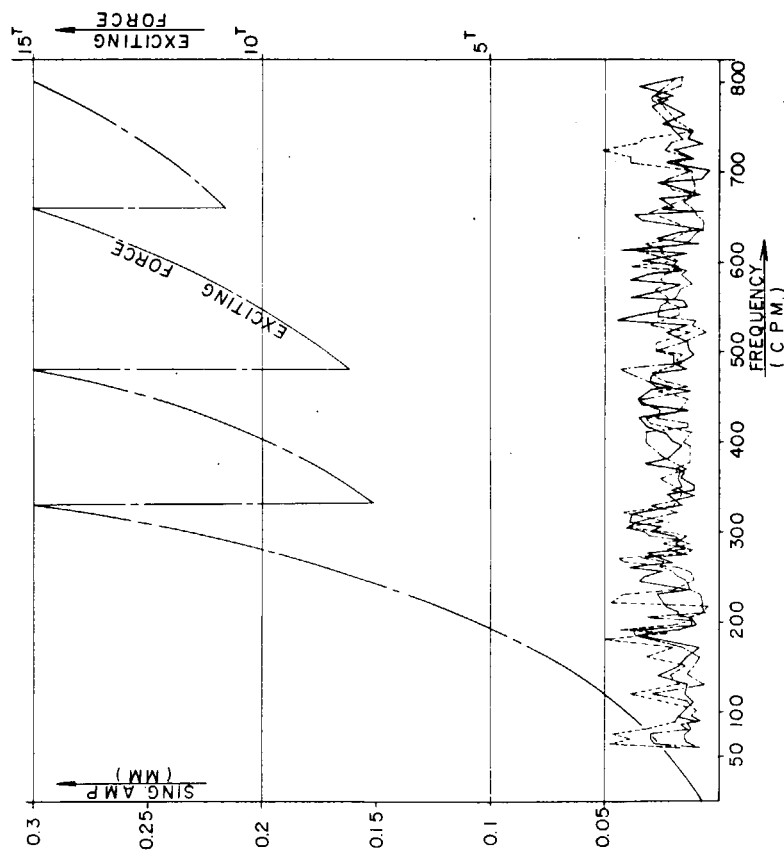


RESONANCE CURVE (VERTICAL)
(EXCITER TEST)



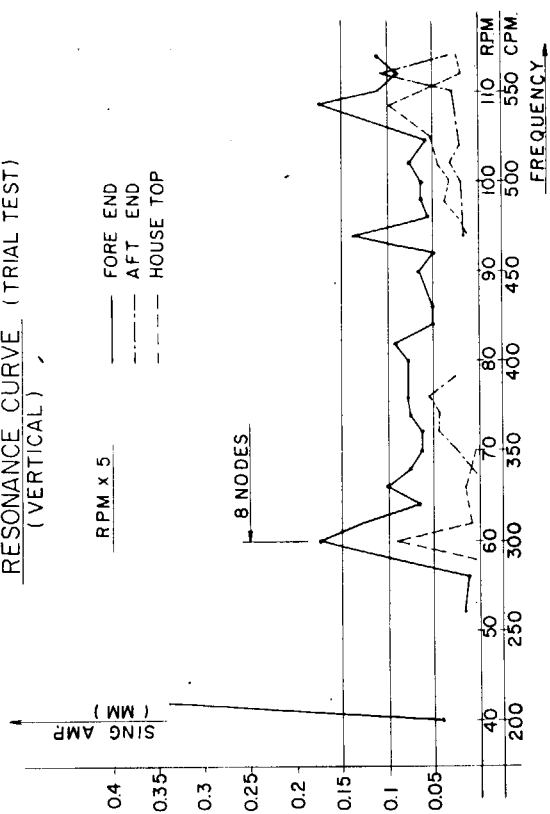
RESONANCE CURVE (EXCITER TEST)
(FORE AND AFT EXCITATION)

— FORE END
- - - AFT END
- - - HOUSE TOP

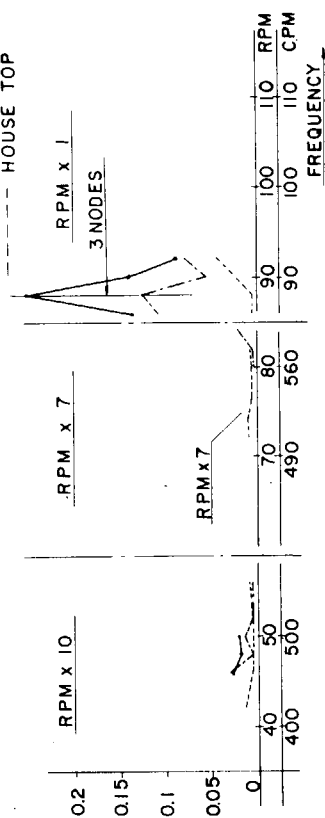


RESONANCE CURVE (TRIAL TEST)
(VERTICAL)

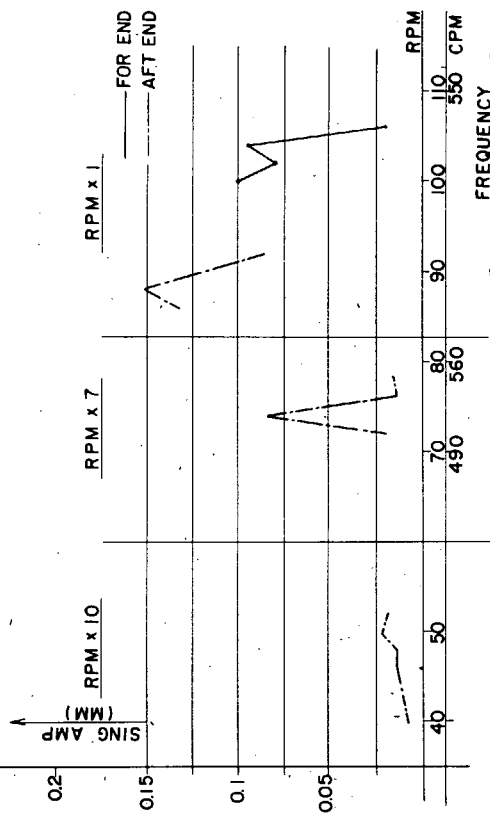
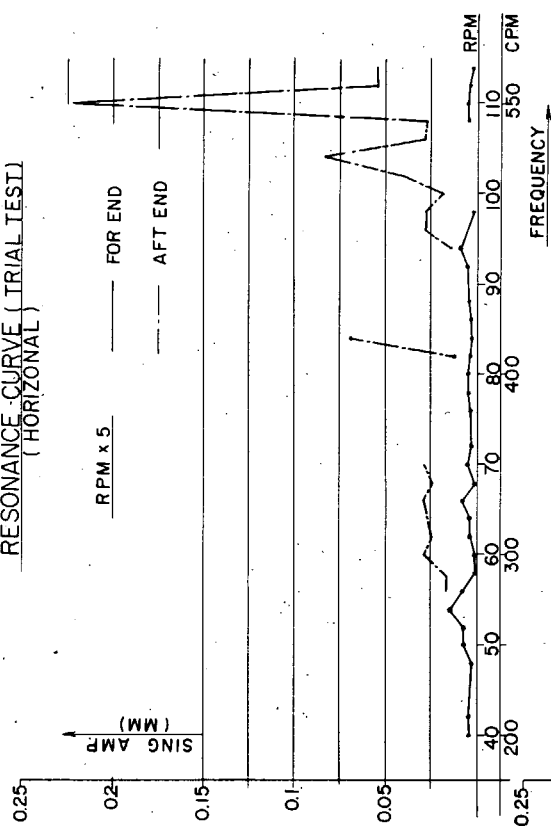
— FORE END
- - - AFT END
- - - HOUSE TOP



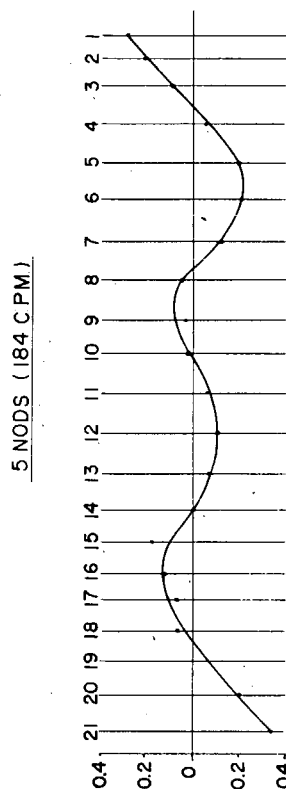
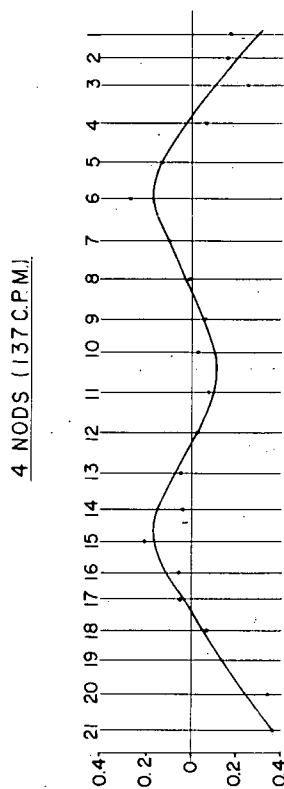
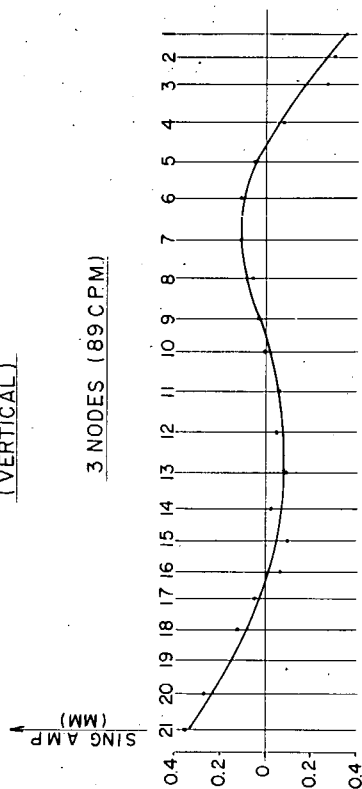
— FORE END
- - - AFT END
- - - HOUSE TOP



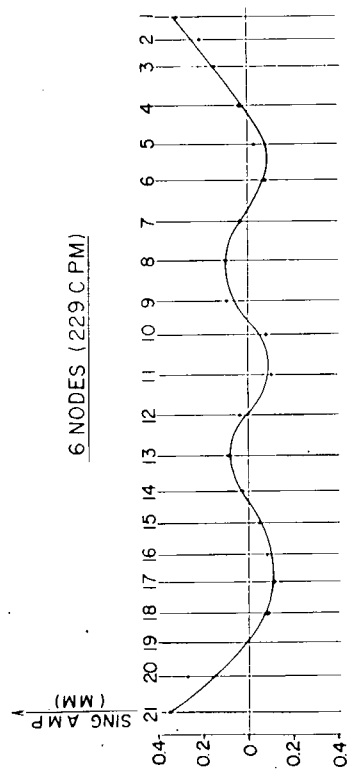
RESONANCE CURVE (TRIAL TEST) (HORIZONTAL)



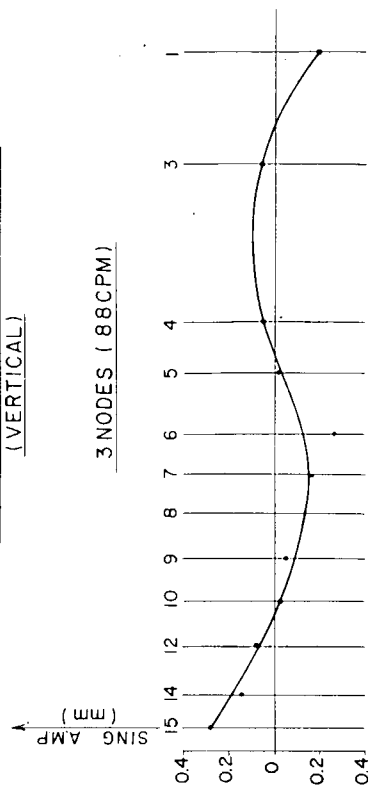
MODE CURVE (EXCITING TEST) (VERTICAL)



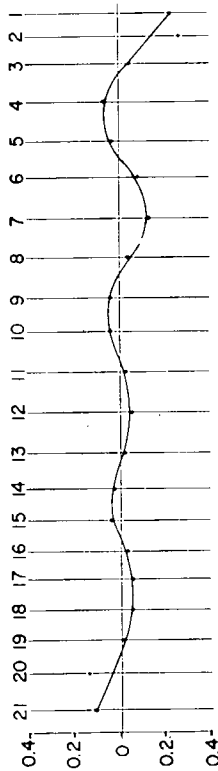
MODE CURVE (EXCITING TEST)
(VERTICAL)



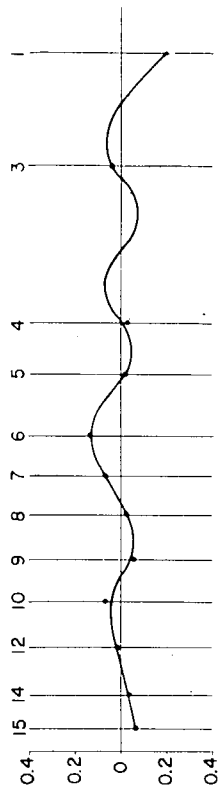
MODE CURVE (TRIAL TEST)
(VERTICAL)



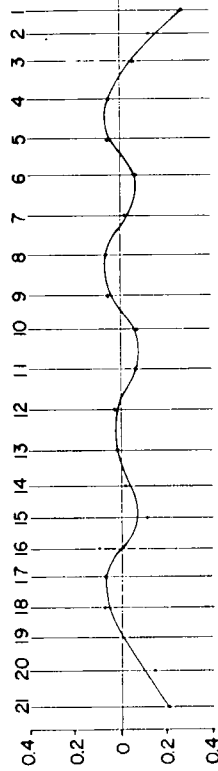
7 NODS (275 CPM)



8 NODES (300 CPM)



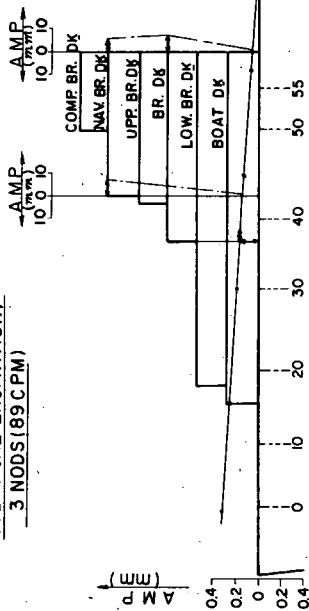
8 NODS (308 CPM)



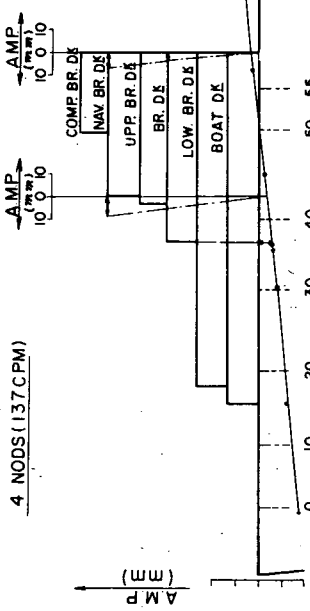
MODE CURVES OF AFTER SHIP AND BRIDGE

(VERTICAL EXCITATION)

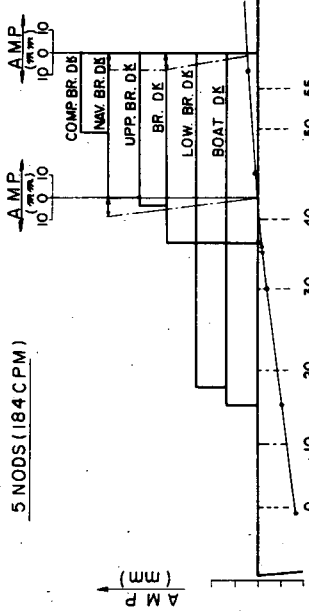
3 NODS (89 CPM)



4 NODS (137 CPM)



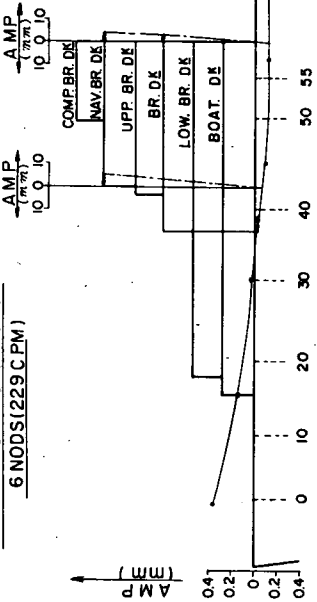
5 NODS (184 CPM)



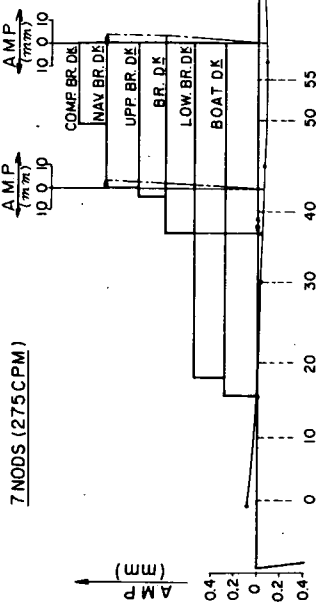
MODE CURVES OF AFTER SHIP AND BRIDGE

(VERTICAL EXCITATION)

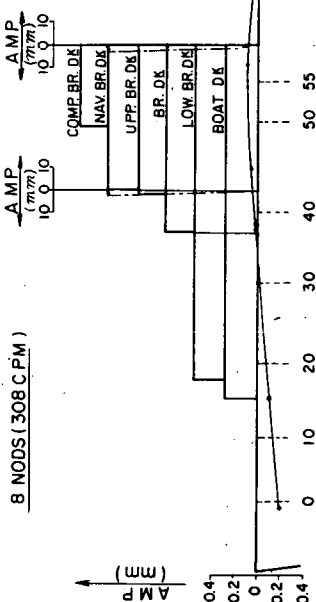
6 NODS (229 CPM)



7 NODS (275 CPM)

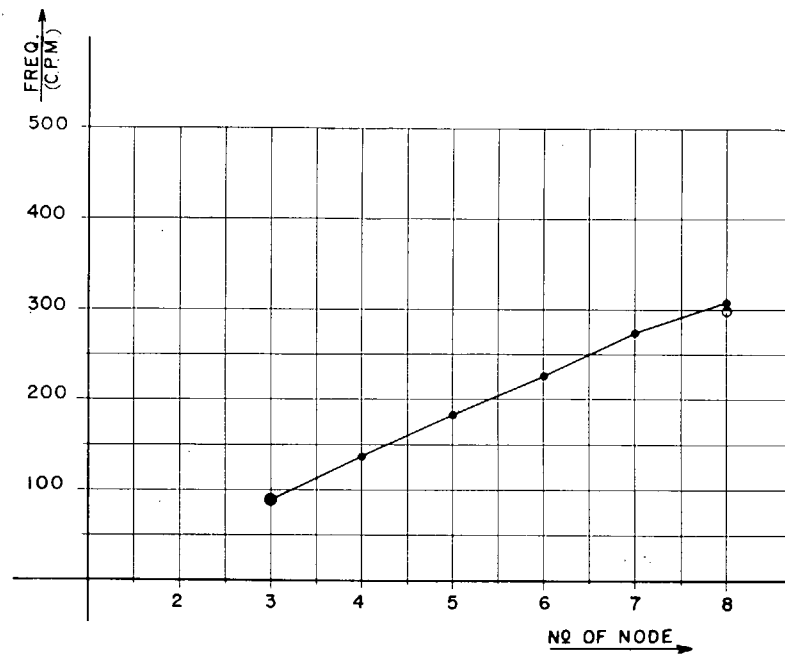


8 NODS (308 CPM)



RELATION BETWEEN NO OF NODES & NATURAL FREQUENCY.
(VERTICAL)

●-----EXCITER TEST
○-----TRIAL TEST



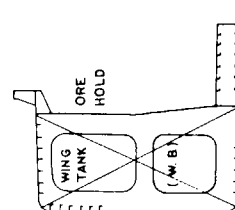
RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

SHIP NO.	
BUILDER	URAGA

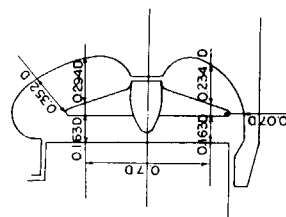
PARTICULARS OF SHIP

PARTICULARS OF SHIP			HULL		MAIN ENGINE	
KIND & TYPE	CLASS	ORE CARRIER FLUSH DECKER WITH FLE	N K.	KIND & TYPE	NUMBER	URAGA SULZER 9R90
CONSTRUCTION	LO3	LONGE SYSTEM	24 ^M 00	POSITION OF ENG.	0 395 LPP	FROM 2
	LPP		237 ^M 00	S H P	20 700 PS	
	8 mid		38 ^M 50	R P M	119 RPM	
	D mid		19 ^M 90	UNBALANCED FORCE	FV1	0
	d full		14 ^M 06	FV2	Fh	0
	Δ full		108 464 ^T	UNBALANCED MOMENT	MV1	44 5 tm
	D W		92 000 ^T		MV2	73 6 tm
	Cb full		0 820		Mh	44 5 tm
MOMENT OF INERTIA	Iv	327 347 400		PROPELLER		
WEB AREA	Ih	—		NUMBER		1
SEC. AREA	Av	2 288 646 ^{mm²}		NO. OF BLADES		5
	A	5 105 162 ^{mm²}		DIAMETER		6 ^M 40

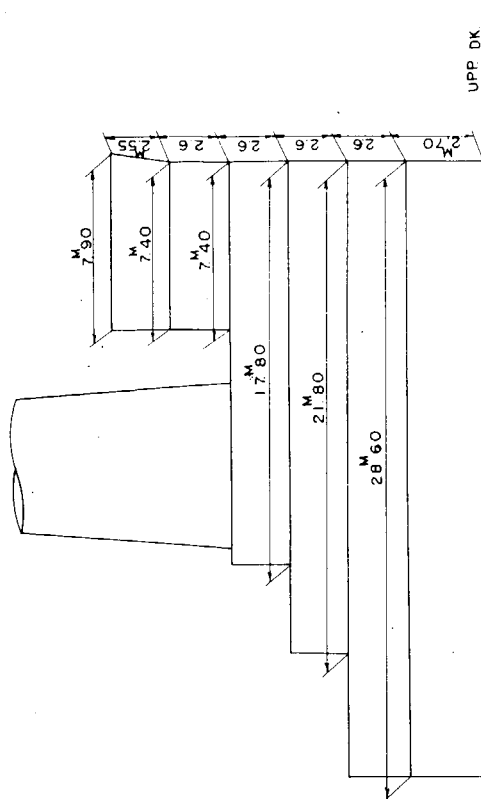
SKETCH OF SECTION



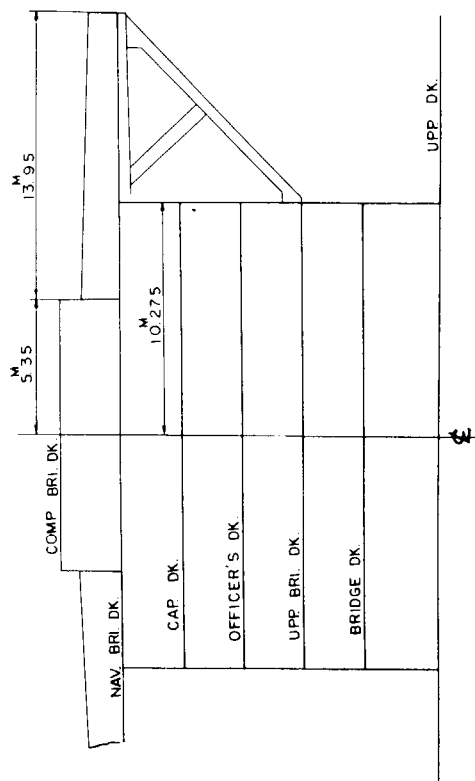
SKETCH OF SCREW APERTURE

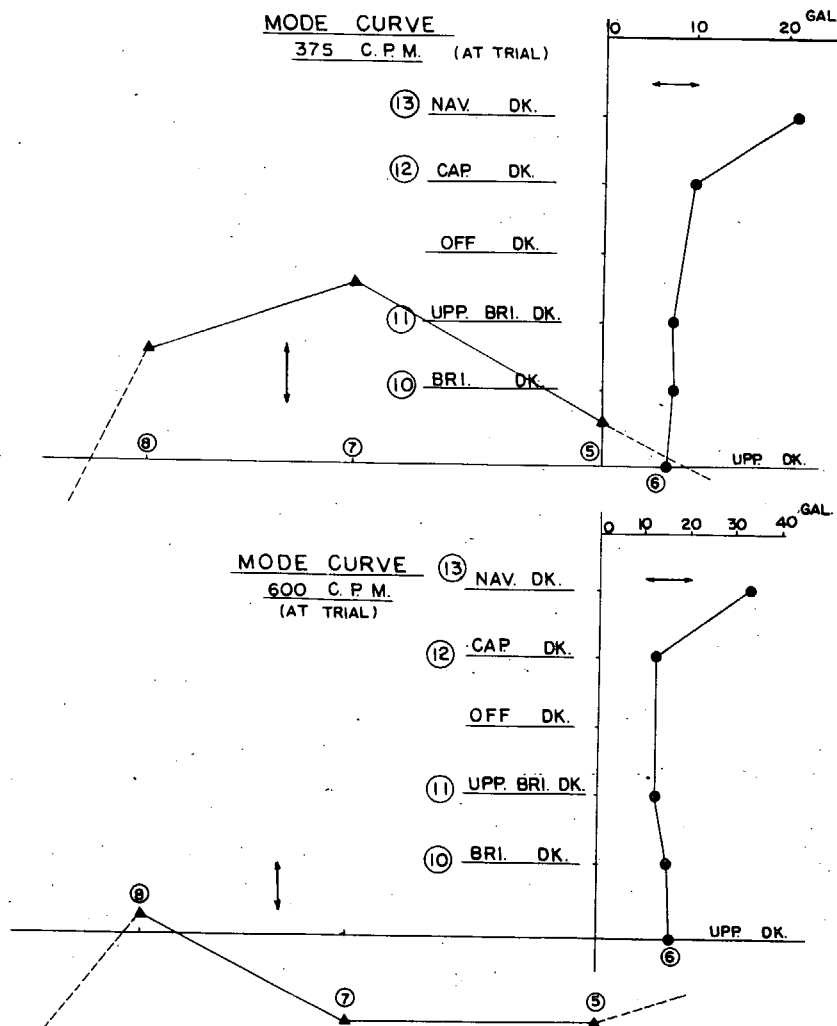
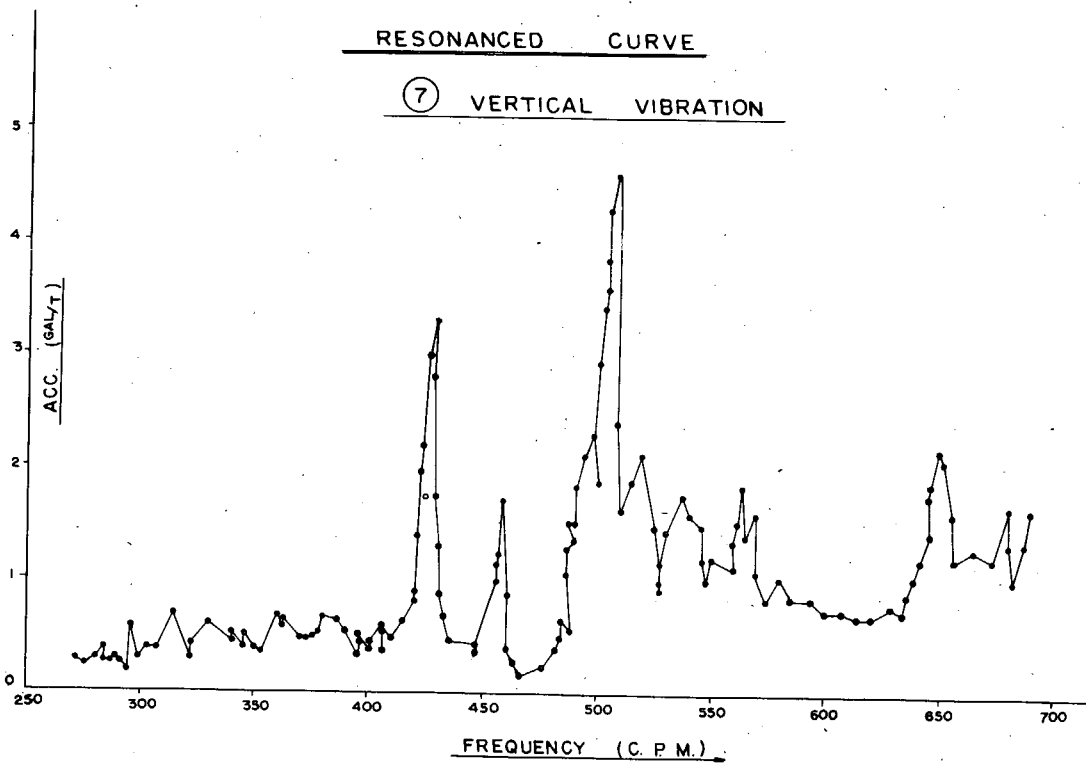


SIDE VIEW

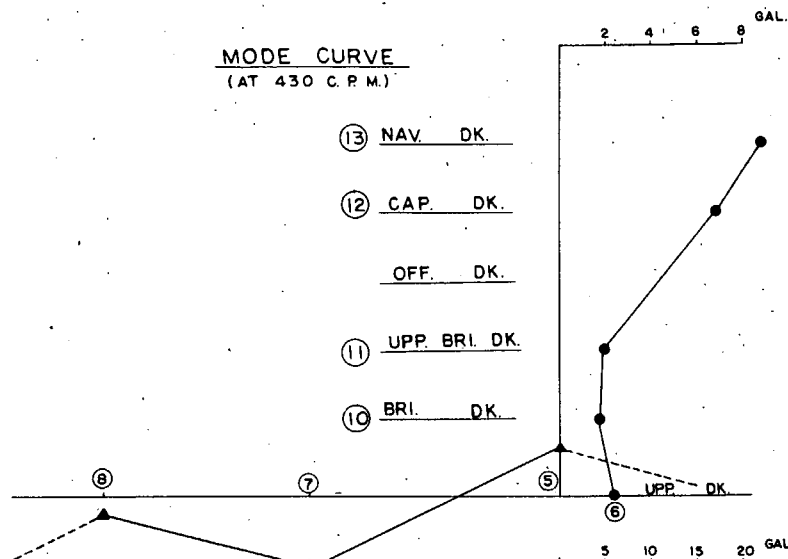


FRONT VIEW

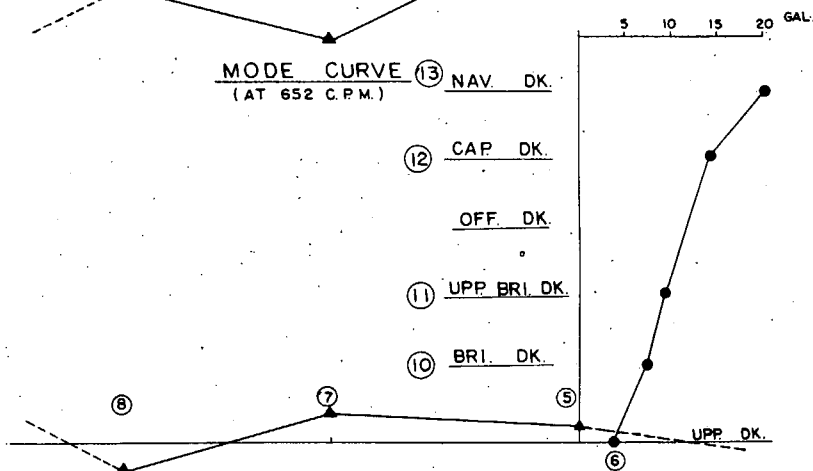




MODE CURVE
(AT 430 C.P.M.)

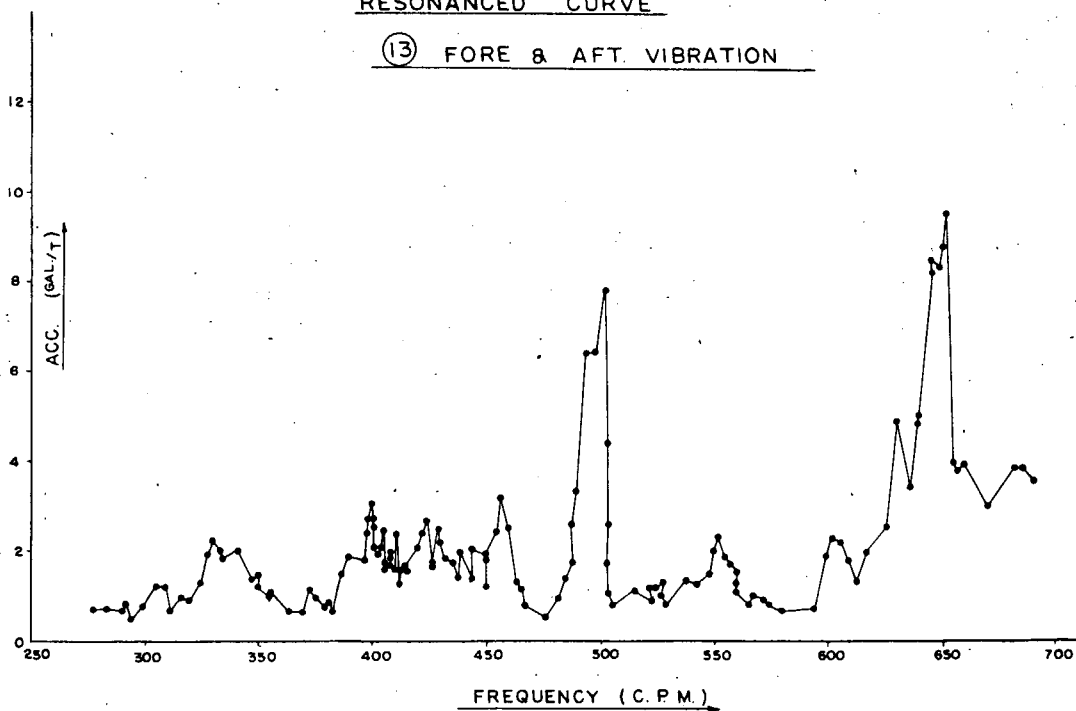


MODE CURVE (13) NAV. DK.
(AT 652 C.P.M.)

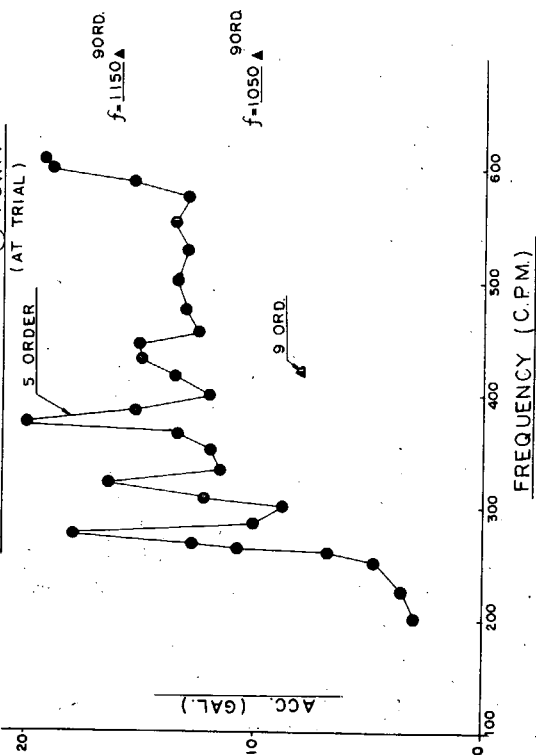


RESONANCED CURVE

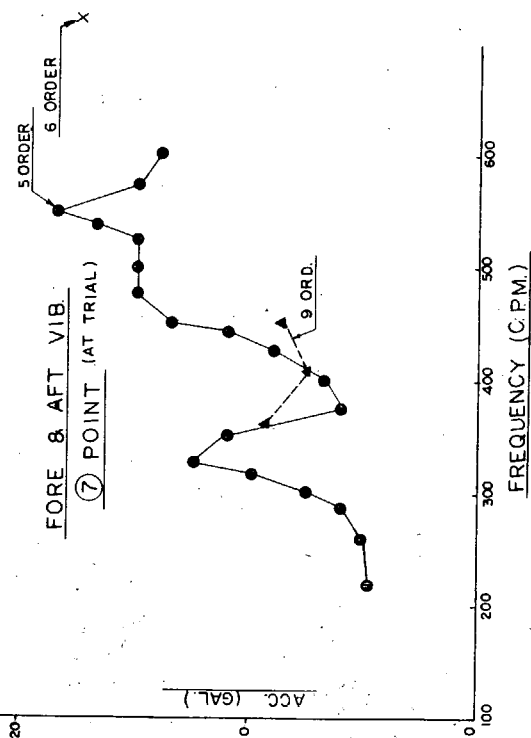
(13) FORE & AFT. VIBRATION



VERL VIBRATION ⑦ POINT (AT TRIAL)



FORE & AFT VIB. ⑦ POINT (AT TRIAL)



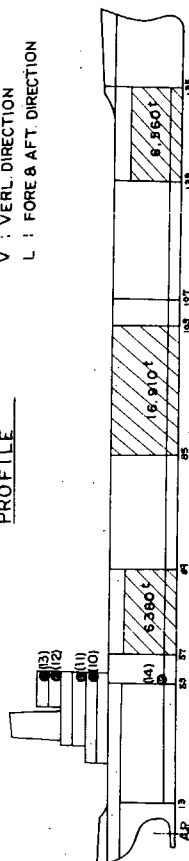
TEST	CONDITION	MEASURING INSTRUMENTS
DATE	JAN 23, 26, '68	MOVING COIL TYPE ACCELEROMETER
PLACE	OFF YOKOSUKA TOKYO BAY	NO. OF MEAS. PTS 14 POINTS
WEATHER	FINE	DETAIL OF EXCITER
SEA CONDITION	SMOOTH	UNBALANCED FORCE TYPE
DEPTH OF WATER	ABOUT 70M	MAX. EXCIT. FORCS 5T
△ test	46.400T	DIRECT. OF EXCIT. VERL. AND FORE & AFT
d f.	5M 294	
d a	7M 623	OTHER DESCRIPTIONS
d x	6M 459	THE 50KG HEITEN STEEL IS USED IN UPP DK. NO TRANS. BHD. IN ORE HOLD IS FITTED.
PROPELLER IMMERSION	52.7 %	

ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINT AND LOADING PLAN

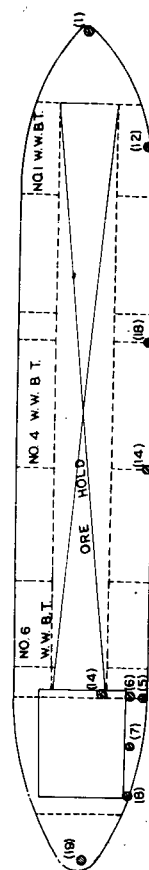
POINT NO.	POINT NO.	VERL. FORE & AFT
1-5	V	L
7-9	V	L
6, 10-14	L	L

V : VERL DIRECTION
L : FORE & AFT DIRECTION

PROFILE



PLAN



RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

PARTICULARS OF SHIP

SHIP NO.	155
BUILDER	KURE

HULL		MAIN ENGINE	
KIND & TYPE	ORE & OIL	KIND & TYPE	SULZER 9RD90
CLASS	NK	NUMBER OF CYLINDER	9
CONSTRUCTION	LONG'L SYSTEM	POSITION OF ENG.	AFT
L o d		SHP	MCR 21600, NOR 18,360
L pp	24.4 ^M 03	RPM	122
B mild	39 ^M 94	UNBALANCED FORCE	0
D mild	20 ^M 60	Fv2	0
d full	14 ^M 49	Fh	0
Δ full	114.550 ^{KT}	UNBALANCED MOMENT	57 T-M
D. W.	96,200 ^{KT}	Mv2	79 "
Cb full		Mh	36 "
MOMENT OF INERTIA	3883 x 10 ⁸ (M ² -MM ²)	PROPELLER	
WEB AREA		NUMBER	1
		NO. OF BLADES	5
		DIAMETER	6 ^M 400

SKETCH OF SECTION

SKETCH OF SCREW APERTURE

TEST CONDITION			MEASURING INSTRUMENT		
CASE	BALLAST	FULL	PICK UP	ELECT. RESISTANCE	
DATE	23 NOV. 1967	24 NOV. 1967		LINEAR ACCELEROMETER	
PLACE	HIROSHIMA BAY	SADAMISAKI	NO. OF MEAS. POINTS	CASE 1, CASE 2	
WEATHER	FINE	FINE		CASE 3	
SEA	SMOOTH	SMOOTH		CASE 4	
CONDITION	SEA	SEA	DETAIL OF EXCITER	UNBALANCED FORCE TYPE	
DEPTH OF WATER	KURE BAY 26 ^M	HIROSHIMA BAY 36 ^M	TYPE OF EXCITER	MAX. EXCIT. FORCE	
Δ test	54,480KT	114,600KT		DIRECT. OF EXCIT. VERTICAL & FOR & AFT	
d f	5 ^M 84	14 ^M 53		OTHER DESCRIPTIONS	
d d	8 ^M 84	14 ^M 53			
d m	7 ^M 34	14 ^M 53			
PROPELLER IMMERSION					

LOADING PLAN		
i) BALLAST COND.		
8504 KT	26.986 KT	
ii) FULL COND.		
18.018 KT	35.067 KT	21.530 KT
		21.045 KT

MEASURING CONDITION

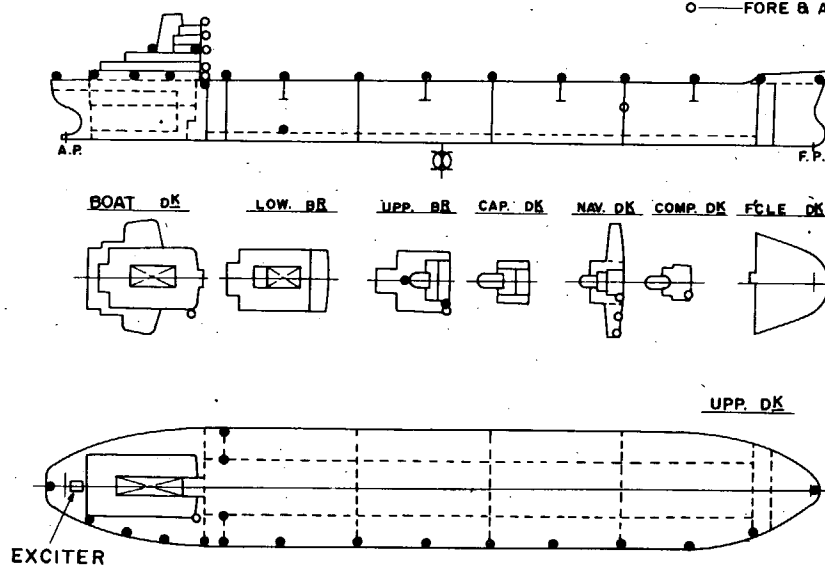
		BALLAST COND.	FULL COND.
EXCITING TEST	VERTICAL EXCITING	CASE 1 (KURE BAY) 20 NOV. 1967	
	FORE & AFT EXCITING	CASE 2 (KURE BAY) 20 NOV. 1967	
SHIP RUNNING TEST		CASE 3 (HIROSHIMA BAY) 20 NOV. 1967	CASE 4 (SADAMISAKI) 25 NOV. 1967

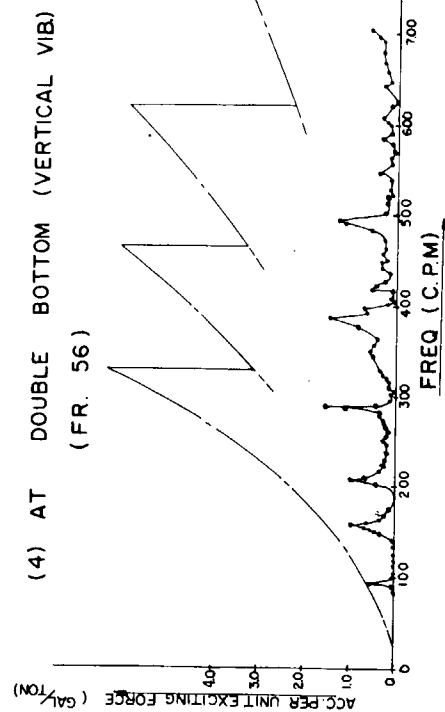
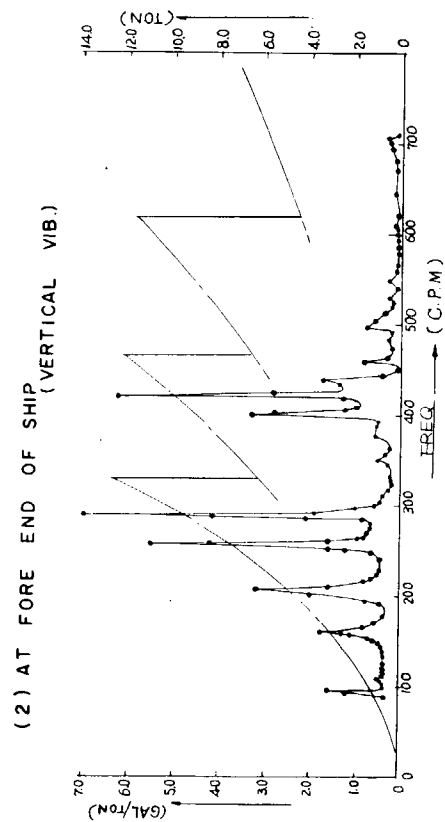
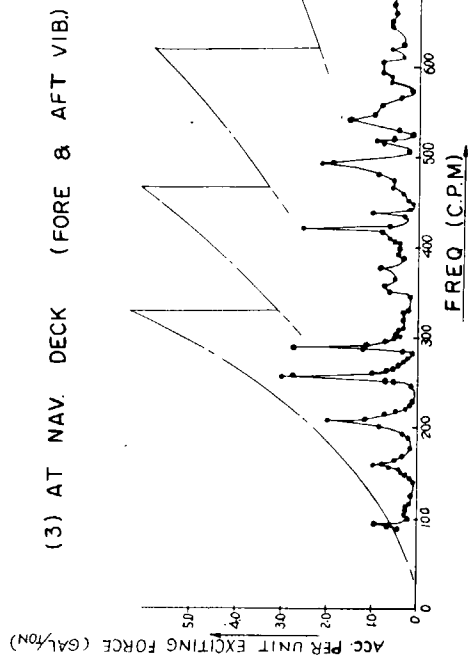
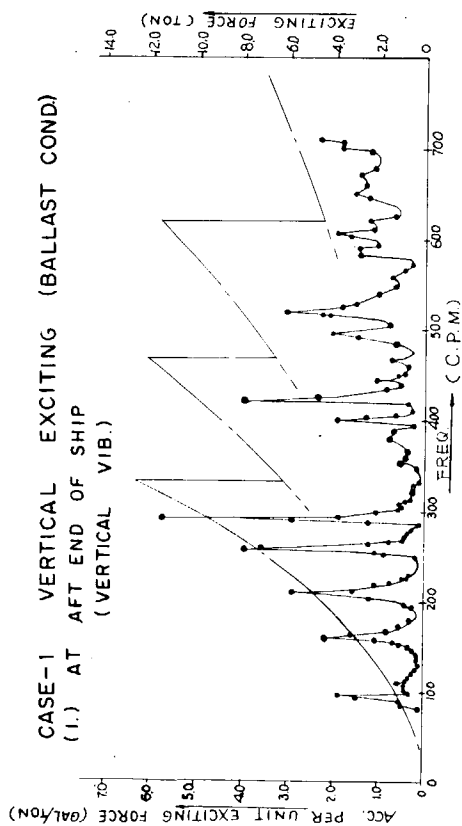
MEASURING POINTS

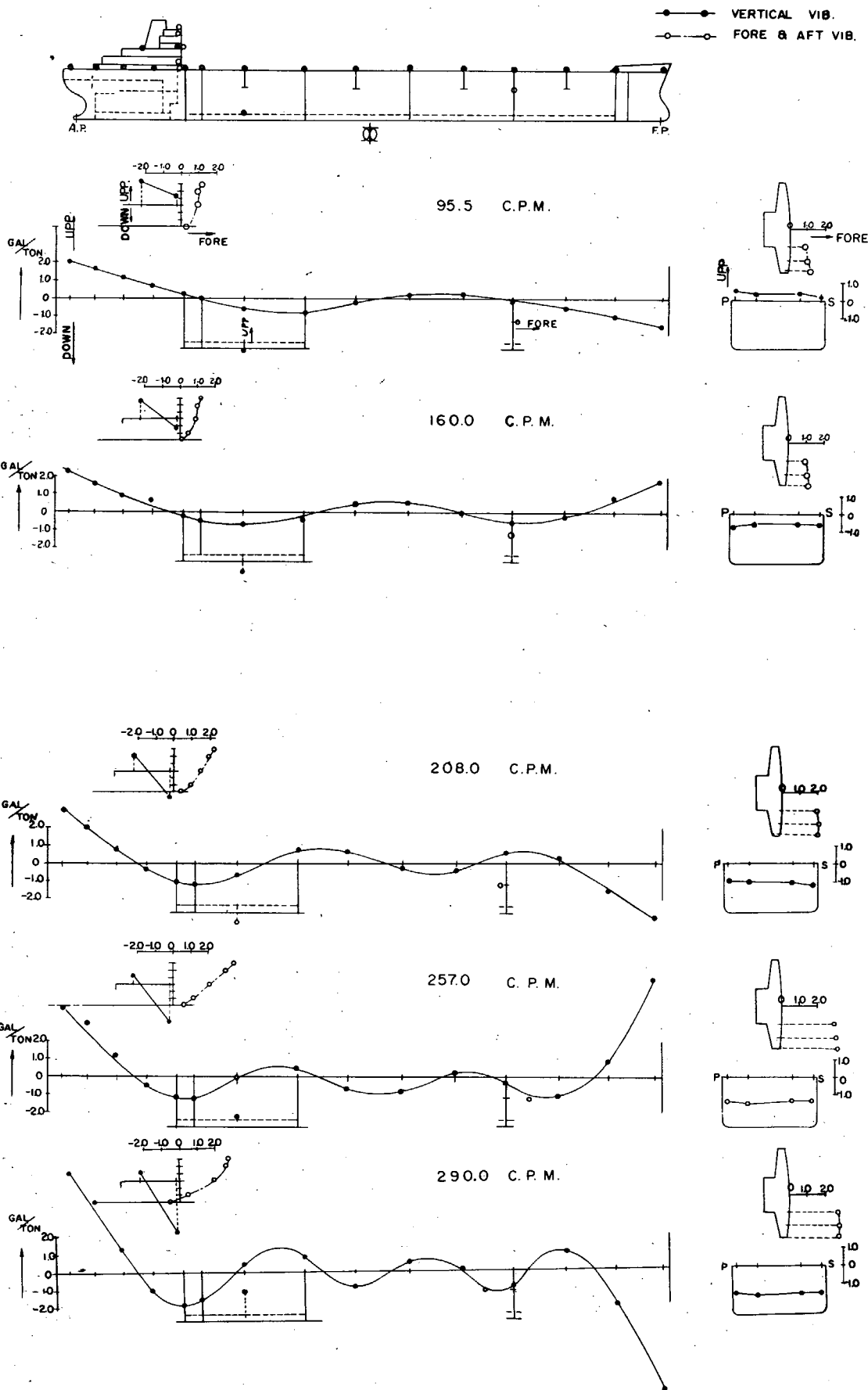
CASE-1 EXCITER TEST (VERTICAL EXCITING)
(BALLAST CONDITION)

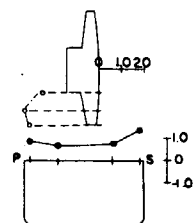
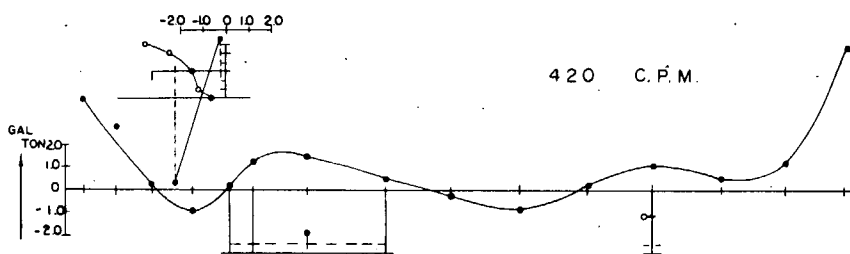
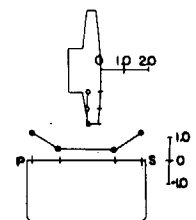
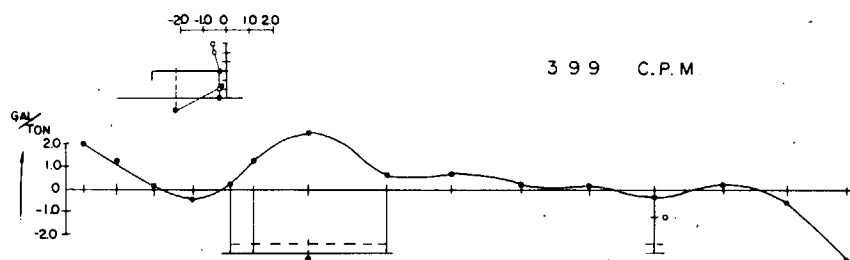
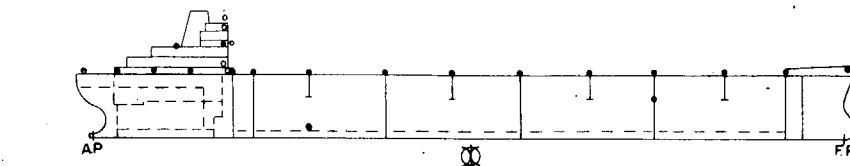
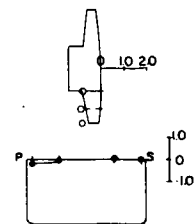
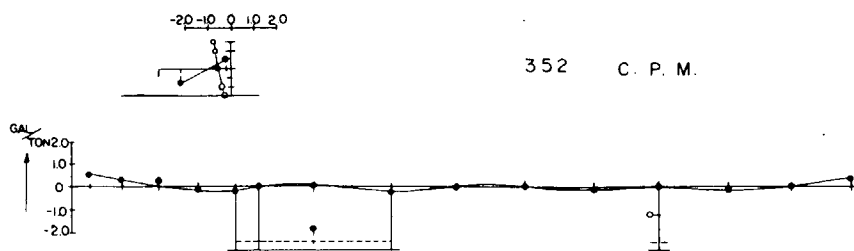
● — VERTICAL (21POINTS)

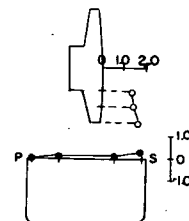
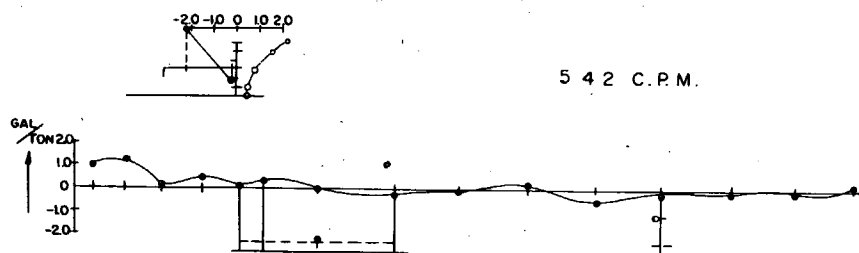
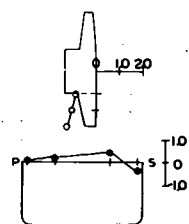
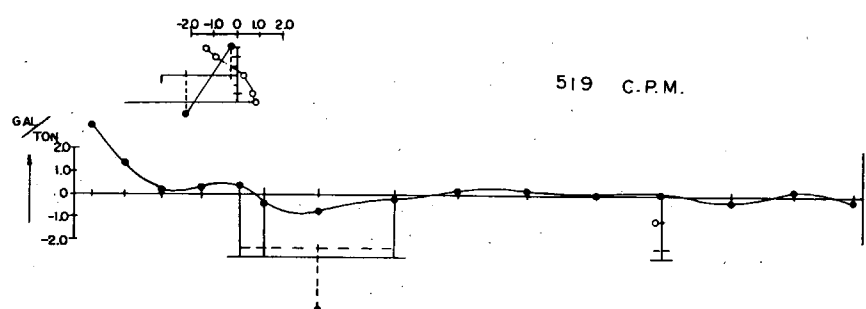
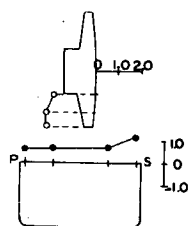
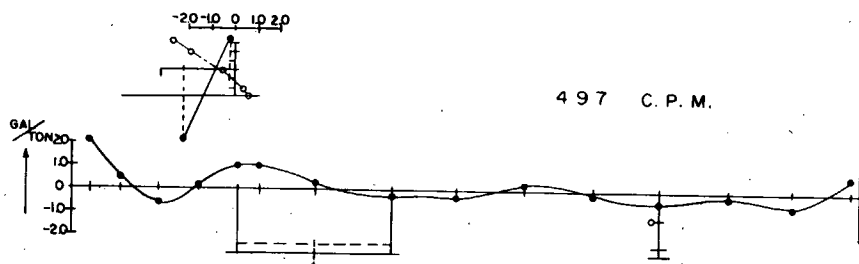
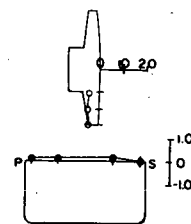
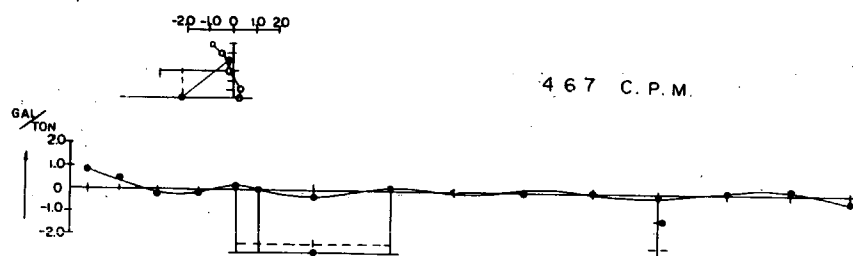
○ — FORE & AFT (8POINTS)





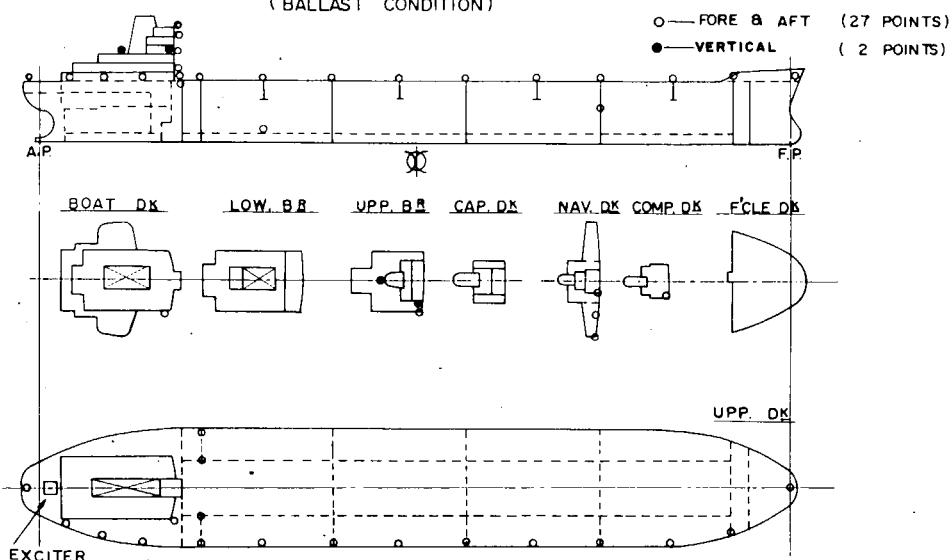






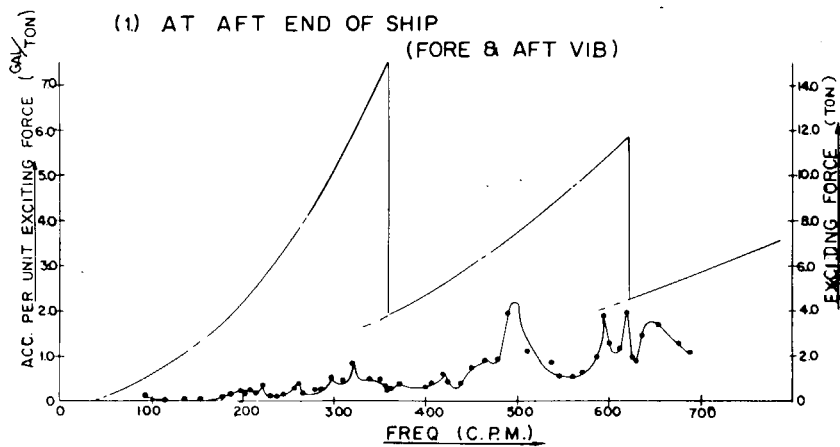
MEASURING POINTS

CASE-2 EXCITER TEST (FORE & AFT EXCITING)
(BALLAST CONDITION)

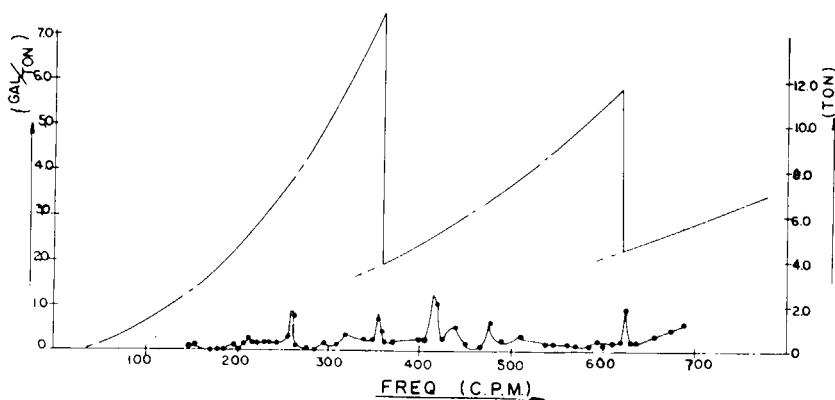


CASE-2 FORE & AFT EXCITING (BALLAST COND.)

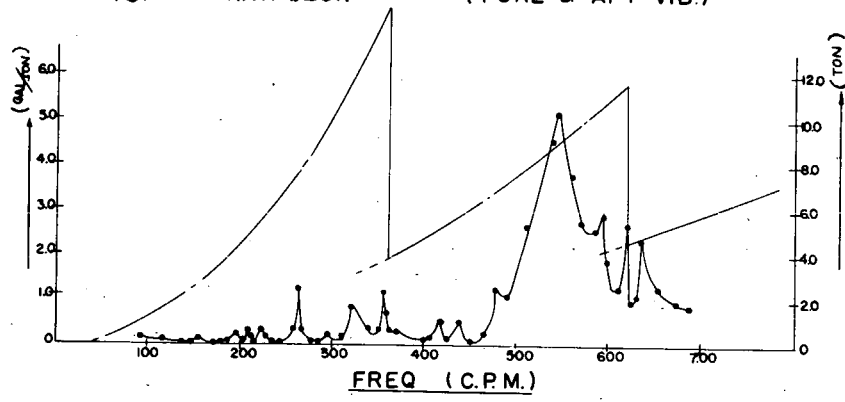
(1) AT AFT END OF SHIP
(FORE & AFT VIB)



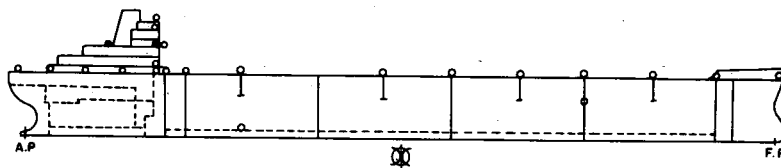
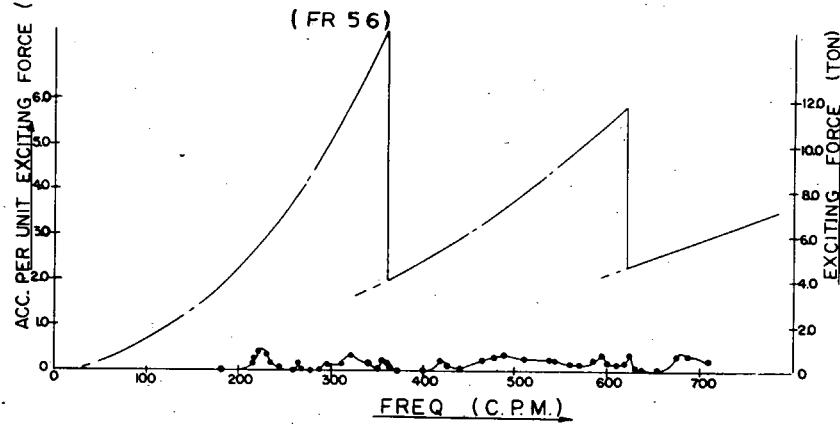
(2) AT FORE END OF SHIP
(FORE & AFT VIB)



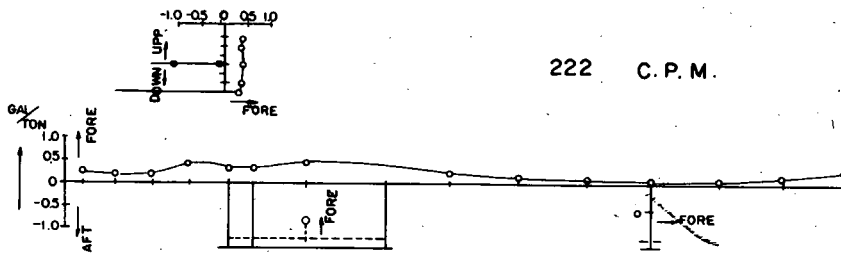
(3) AT NAV. DECK (FORE & AFT VIB.)



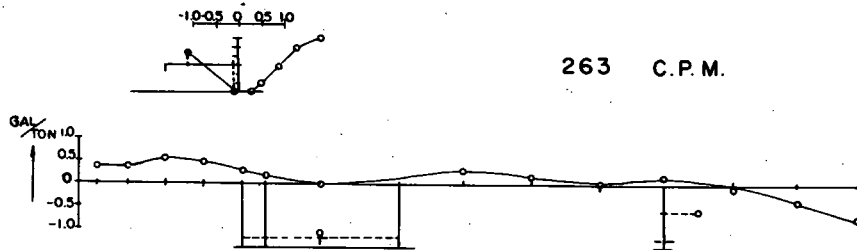
(4) AT DOUBLE BOTTOM (FORE & AFT VIB.)



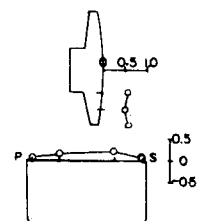
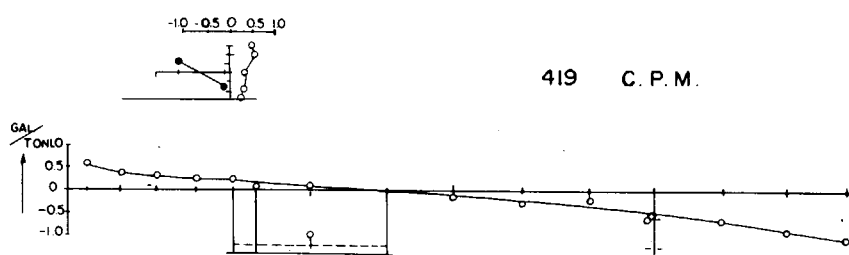
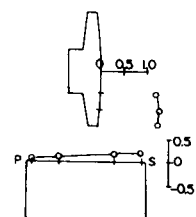
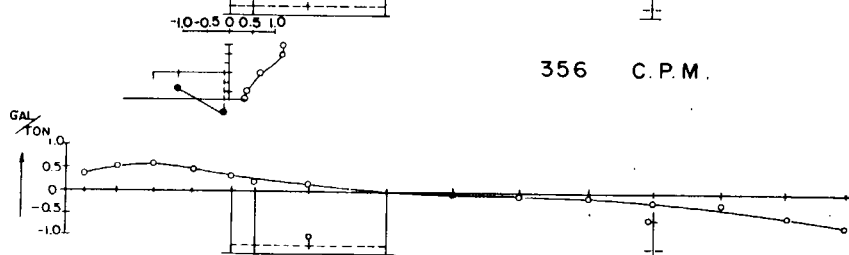
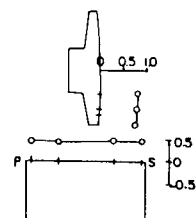
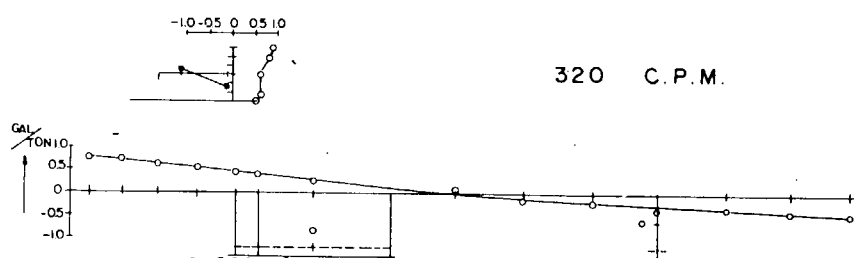
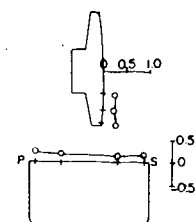
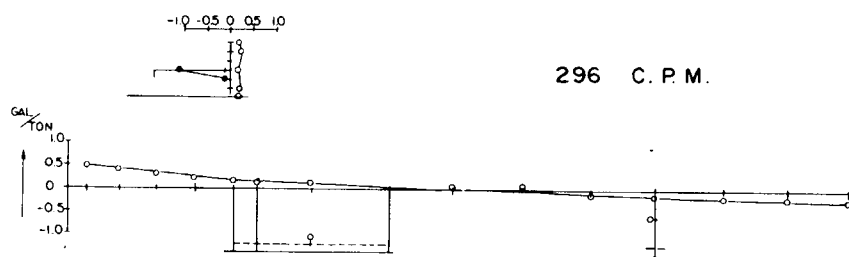
● VERTICAL VIB.
○ FORE & AFT VIB.

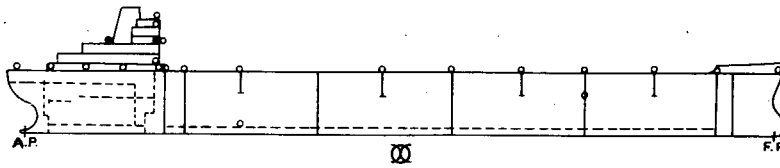


222 C.P.M.

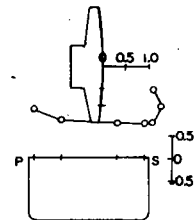
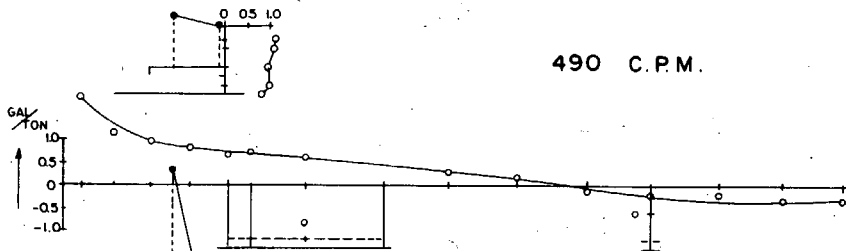


263 C.P.M.

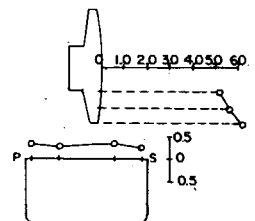
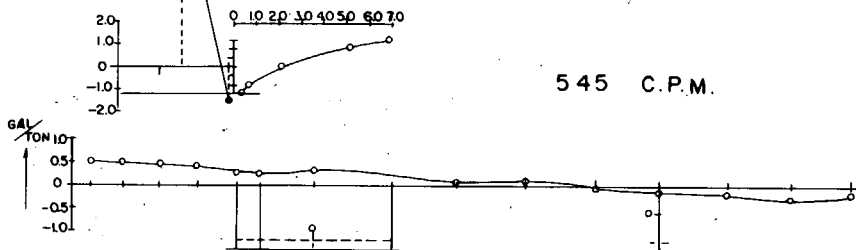




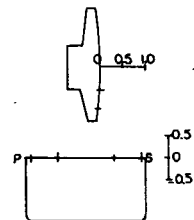
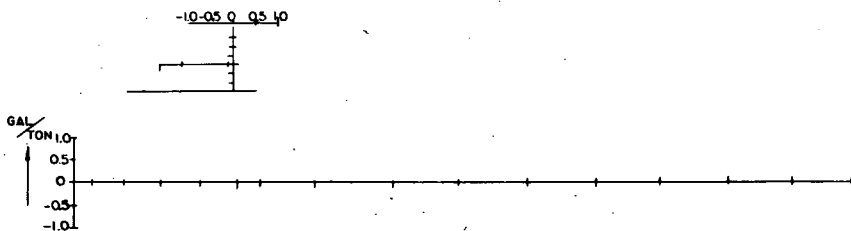
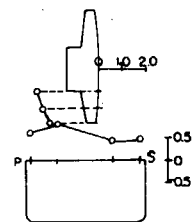
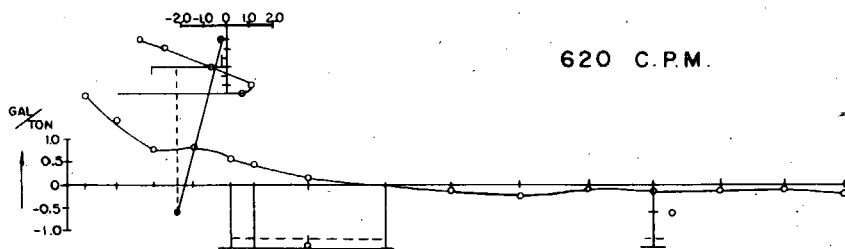
490 C.P.M.



545 C.P.M.



620 C.P.M.



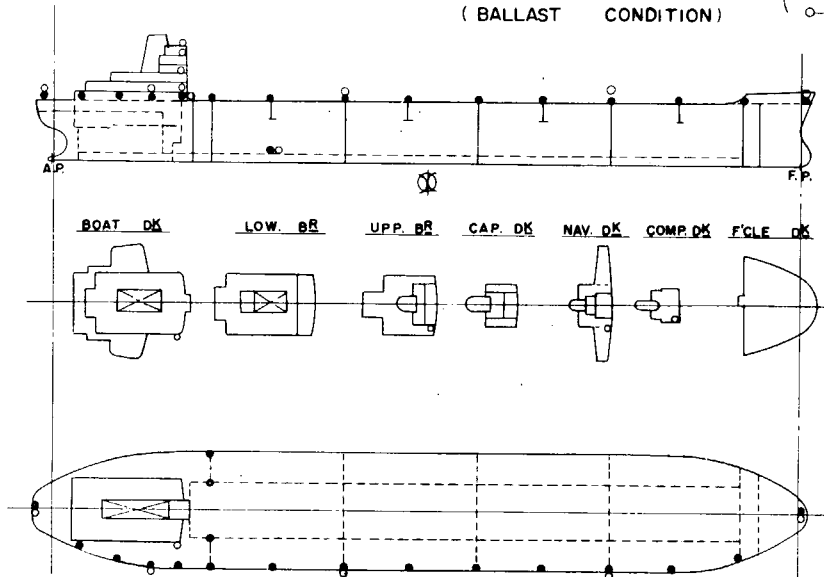
MEASURING POINTS

CASE - 3 SHIP RUNNING TEST

(BALLAST CONDITION)

●—VERTICAL VIB.

○—FORE & AFT VIB.

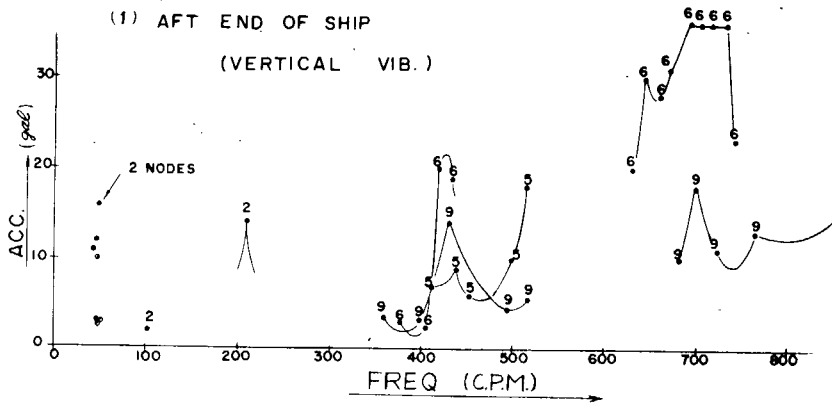


RESONANCE CURVE

PRELIMINARY SEA TRIAL (BALLAST CONDITION)

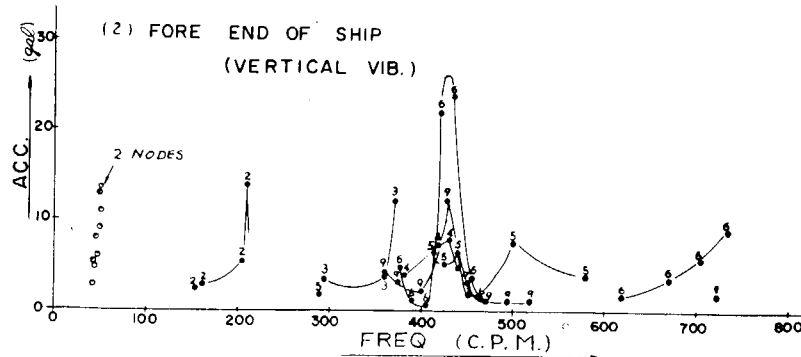
(1) AFT END OF SHIP

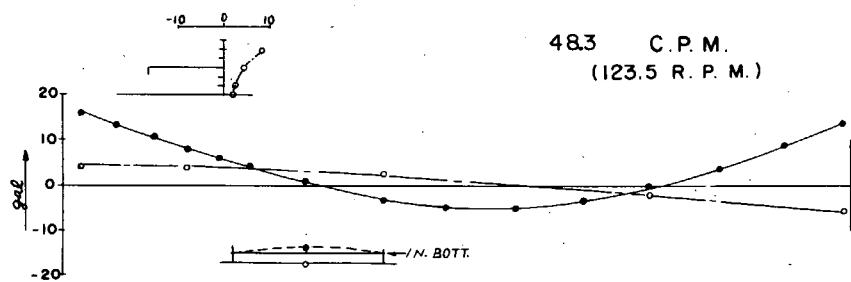
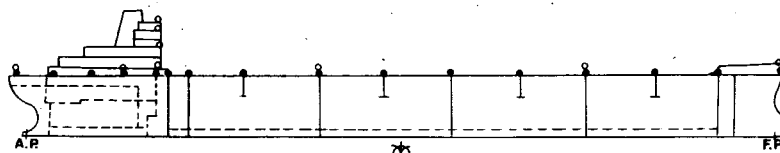
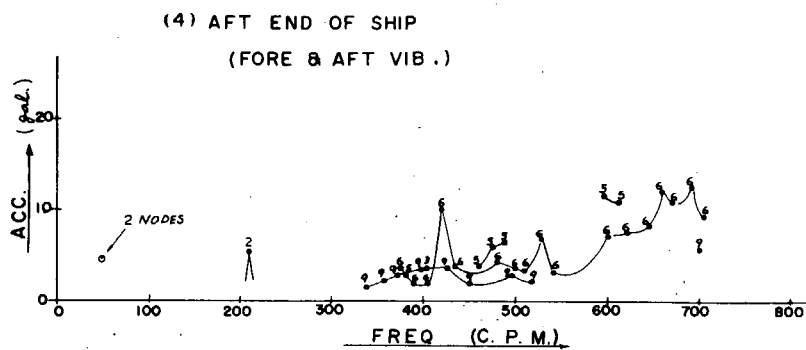
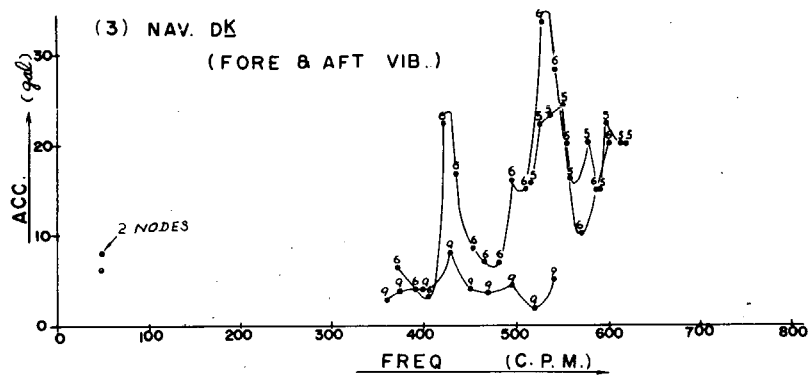
(VERTICAL VIB.)



(2) FORE END OF SHIP

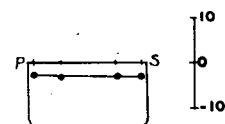
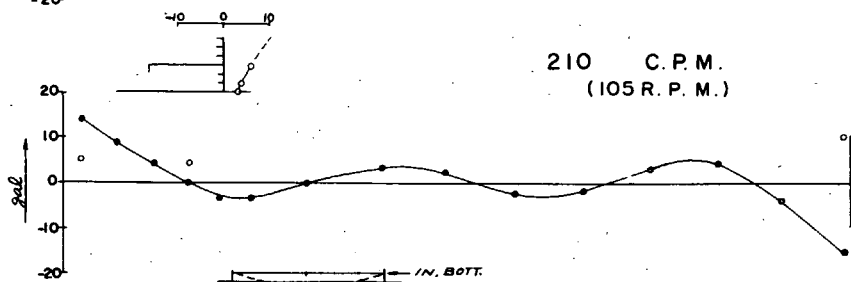
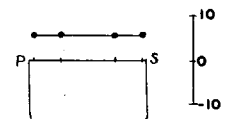
(VERTICAL VIB.)

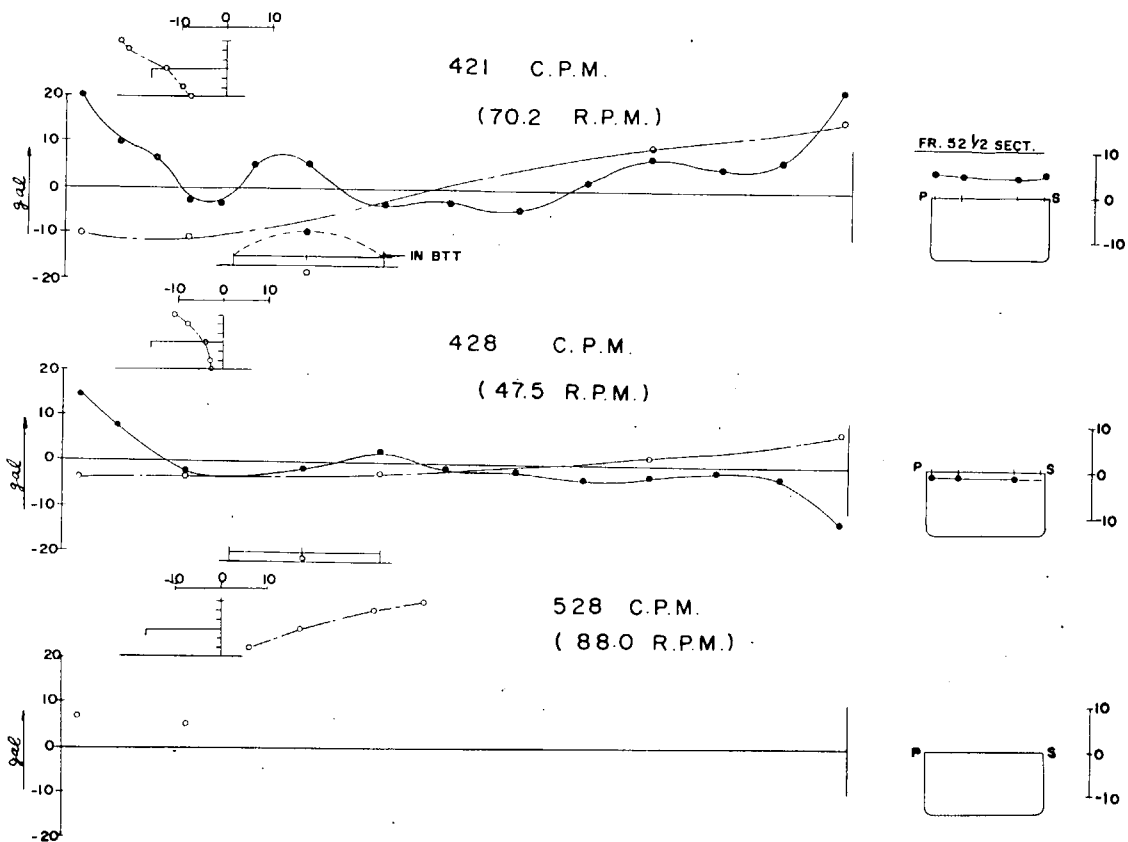




—●— VERTICAL VIB.
—○— FORE & AFT VIB.
(POSITIVE → FORE)
(NEGATIVE → AFT)

FR52/2 SECT.

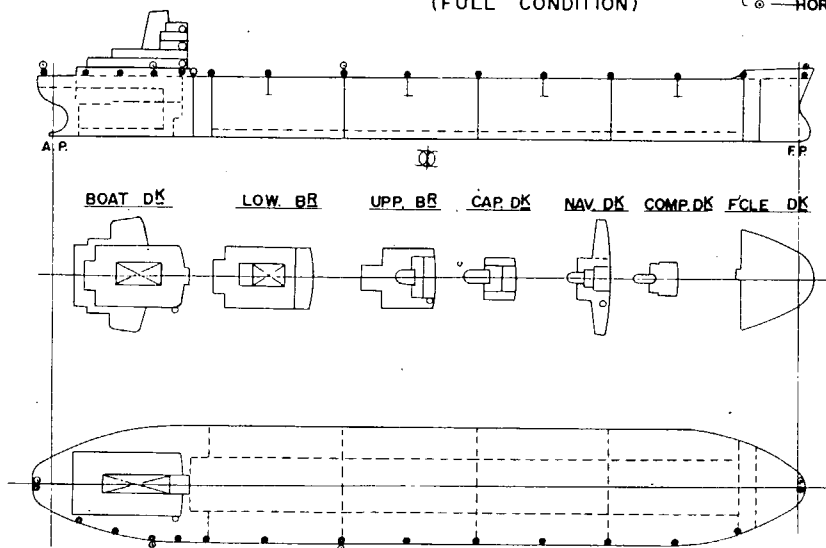




MEASURING POINTS

CASE - 4 SHIP RUNNING TEST
(FULL CONDITION)

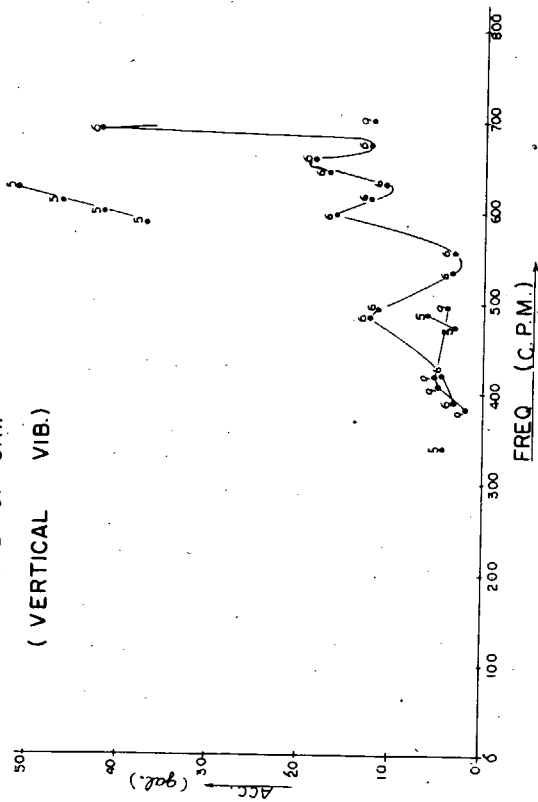
- — VERTICAL VIB.
- — FORE & AFT VIB.
- ⊙ — HORIZONTAL VIB.



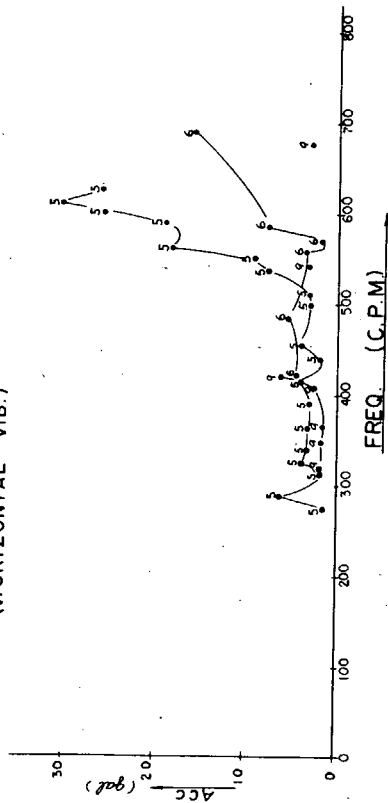
RESONANCE CURVE

OFFICIAL SEA TRIAL (FULL CONDITION)

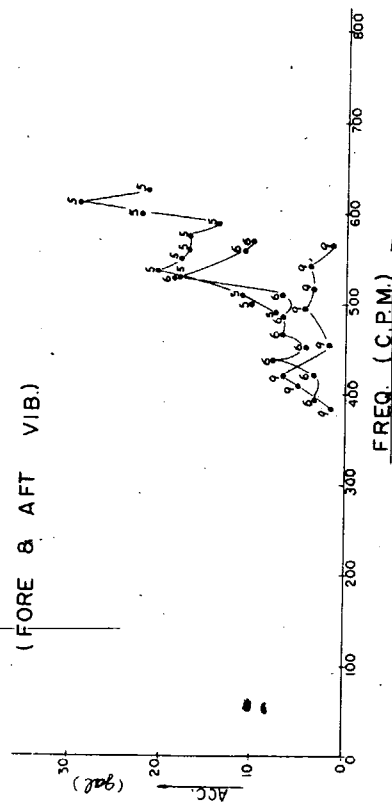
(1) AFT END OF SHIP
(VERTICAL VIB.)



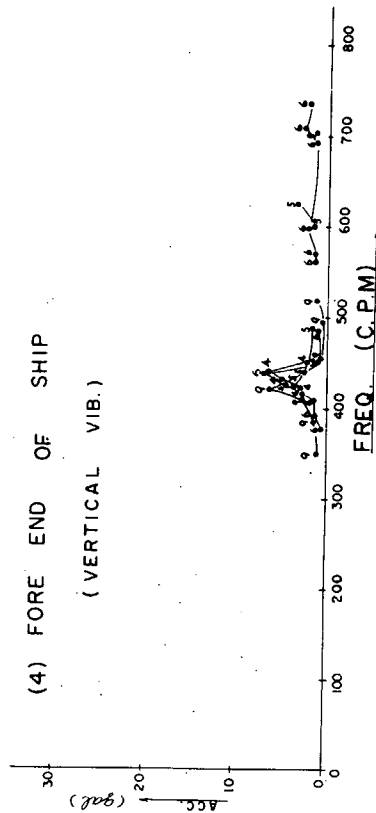
(3) AFT END OF SHIP
(HORIZONTAL VIB.)

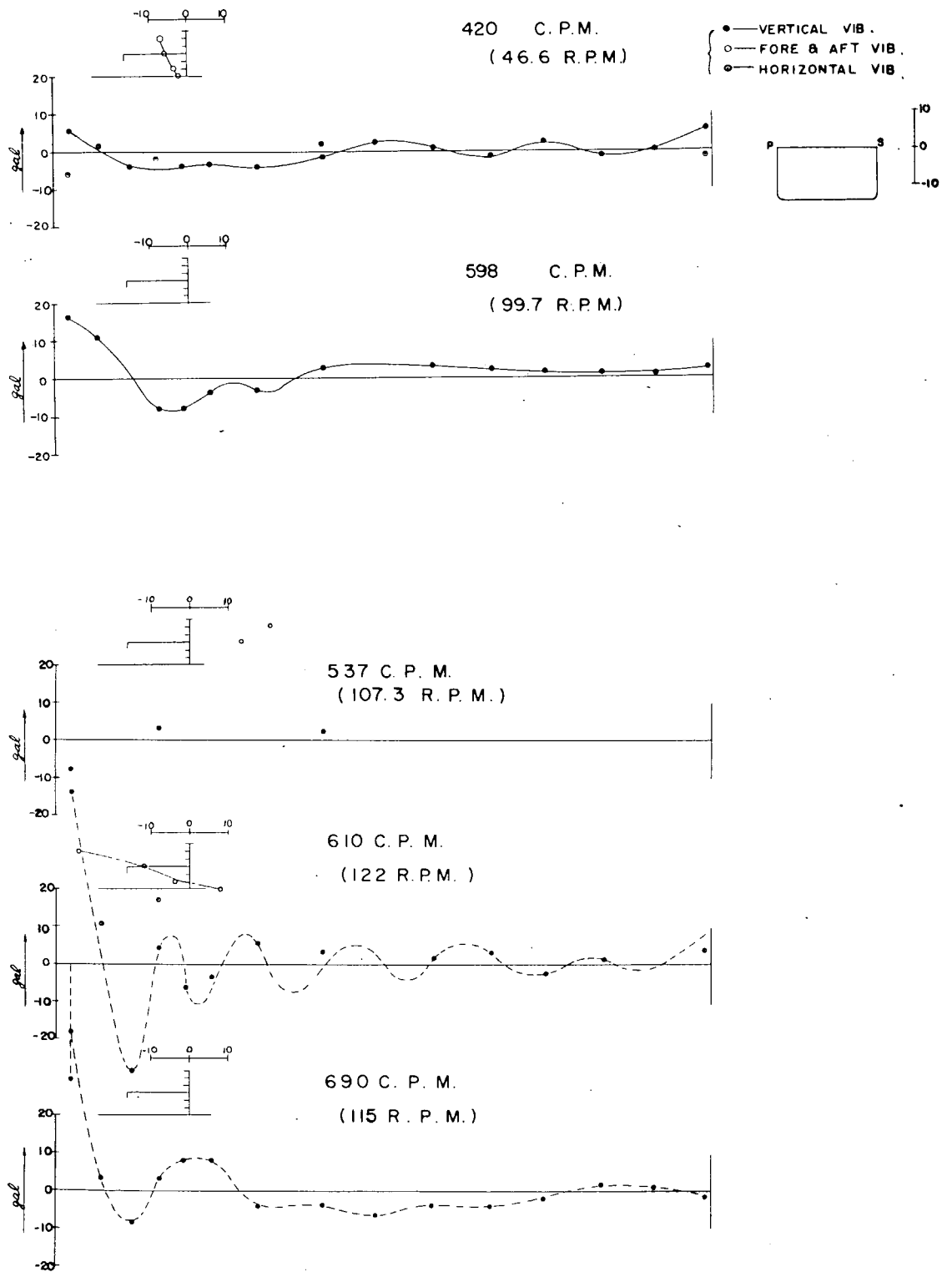
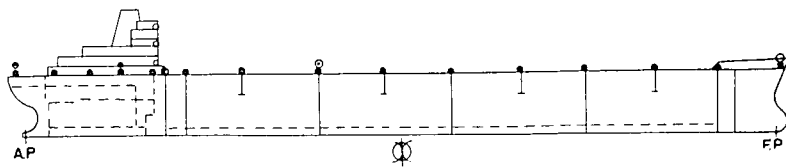


(2) NAV. DE
(FORE & AFT VIB.)

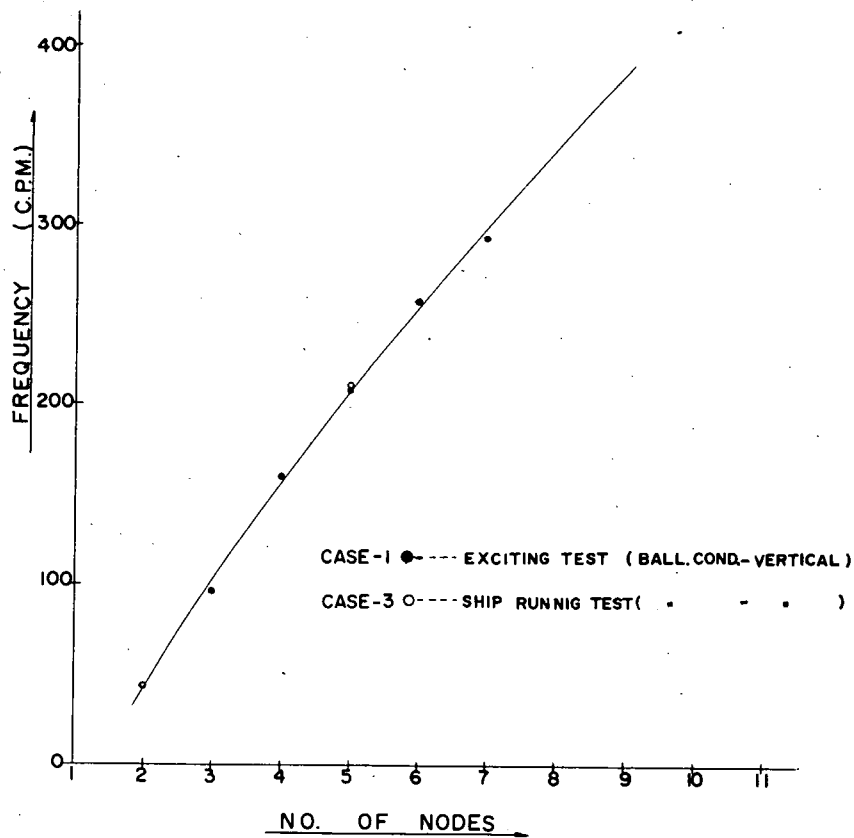


(4) FORE END OF SHIP
(VERTICAL VIB.)

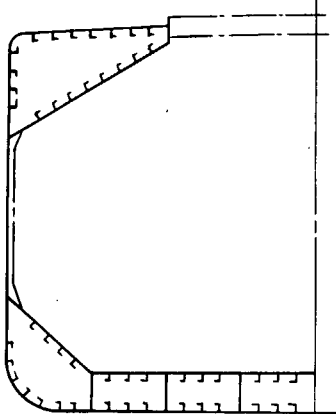
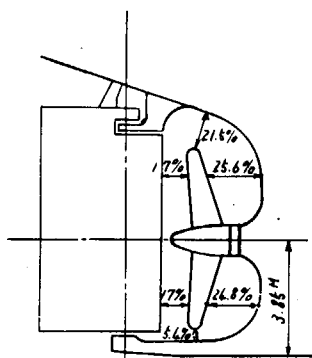




FREQ. — NO. OF NODES

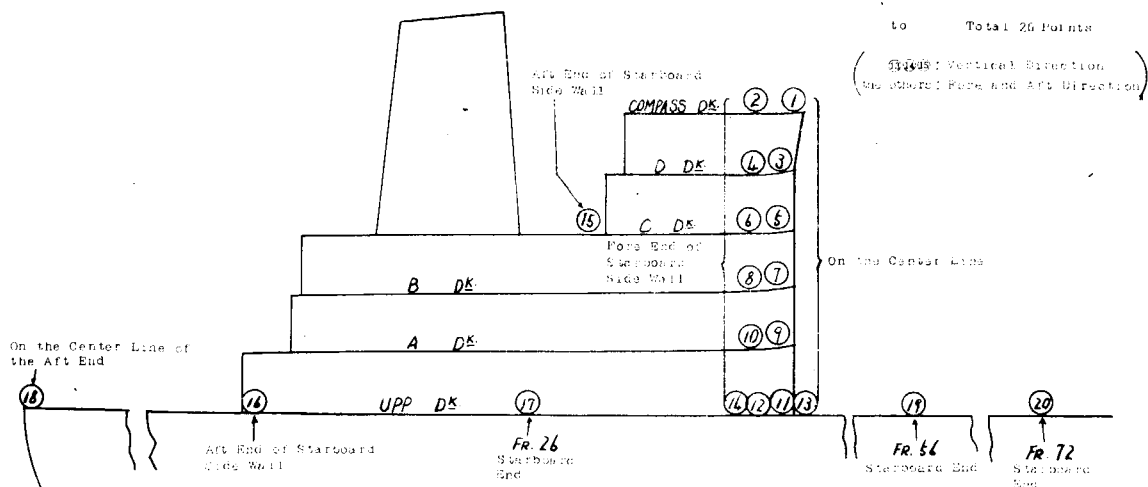


第 5 章 舞鶴重工業計測結果

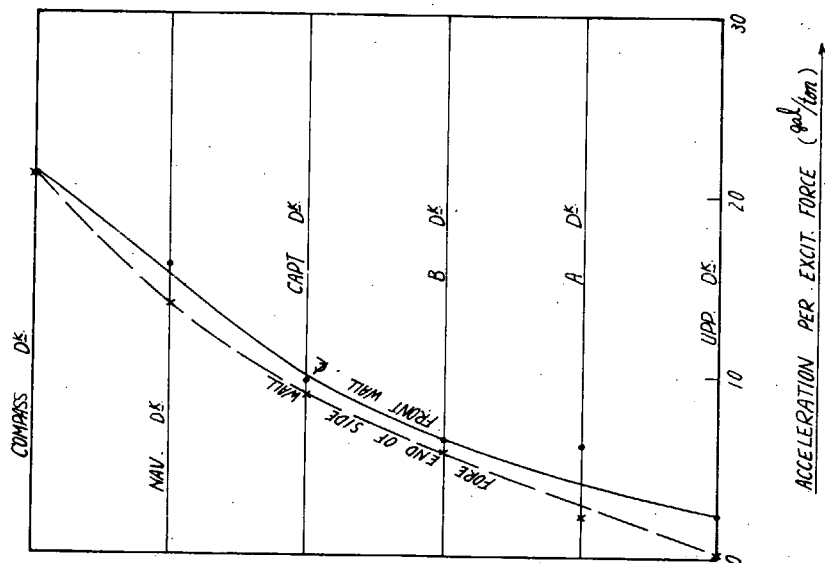
RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT					
PARTICULARS OF SHIP				SHIP NO.	S 103
				BUILDER	MAIZURU
HULL			MAIN ENGINE		
KIND & TYPE	BULK CARRIER		KIND & TYPE	HITACHI B&W 774-VT2BF-160	
CLASS	NK		NUMBER	1	
CONSTRUCTION	LONG ⁺ SYSTEM		POSITION OF ENG.	AFT	
Loa	193 ^M .96		BHP	11,500	
Lpp	183 ^M .00		RPM	119	
Bmid	27 ^M .40		UNBALANCED FORCE	Fv1	
Dmid	16 ^M .60			Fv2	
dfull	11 ^M .285			FH	
Δfull	47,893 ^t		UNBALANCED MOMENT	Mv1	38.0 ^{t-m}
D.W.	39,922 ^t			Mv2	13.8 ^{t-m}
Cbfull	0.821			MH1	25.8 ^{t-m}
MOMENT OF INERTIA	Iv	300.06 M ⁴	PROPELLER		
	IH		NUMBER	1	
WEB AREA	Av		NO. OF BLADES	4	
	AH		DIAMETER	6 ^M .05	
SKETCH OF SECTION			SKETCH OF SCREW APERTURE		
					

ビーム配置

起振試験時
航走中 } 共通



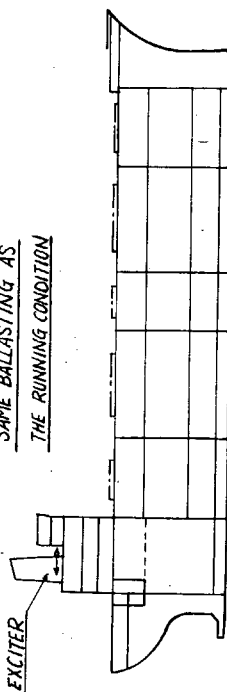
MODE CURVES OF EXCIT. TEST
(AT 7.88 CM)



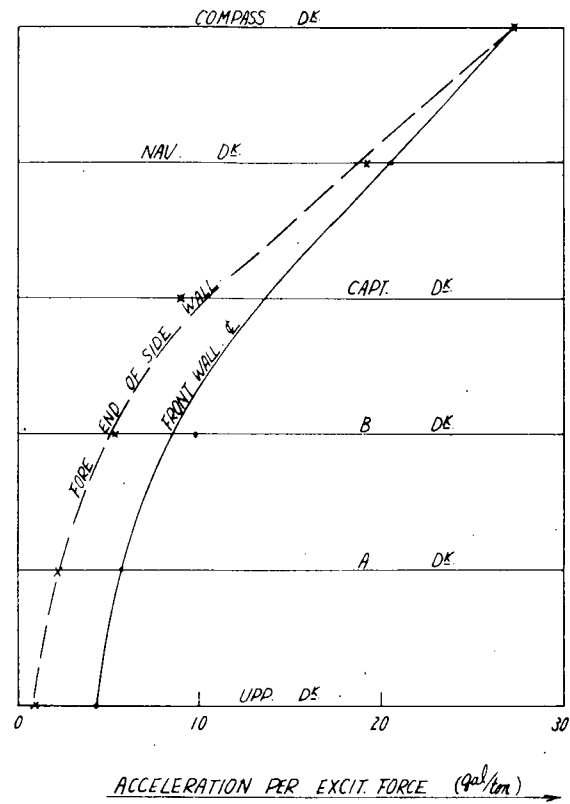
LONGER VIBRATION OF HULL GIRDER CANNOT BE OBSERVED AT THIS MOMENT.

TEST		CONDITION	MEASURING INSTRUMENT	
DATE		SEPT. 20/21 1967	TYPE OF PICK UP	ACCELEROMETER
PLACE		QUAY	NO. OF MEAS. PTS.	20
WEATHER		FINE	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION		SMOOTH	TYPE OF EXCITER	UNBALANCED TYPE
DEPTH OF WATER		8 ^m	MAX. EXCIT. FORCE	1.5 ^t
Δ test		18.850 ^t	DIRECT. OF EXCIT.	F & A
df		2 ^m 93	OTHER DESCRIPTIONS	
da		6 ^m 85		
dm		4 ^m 89		
PROPELLER IMMERSION				

SAME BALLASTING AS THE RUNNING CONDITION



MODE CURVES OF EXCIT. TEST
(AT 832 CM)

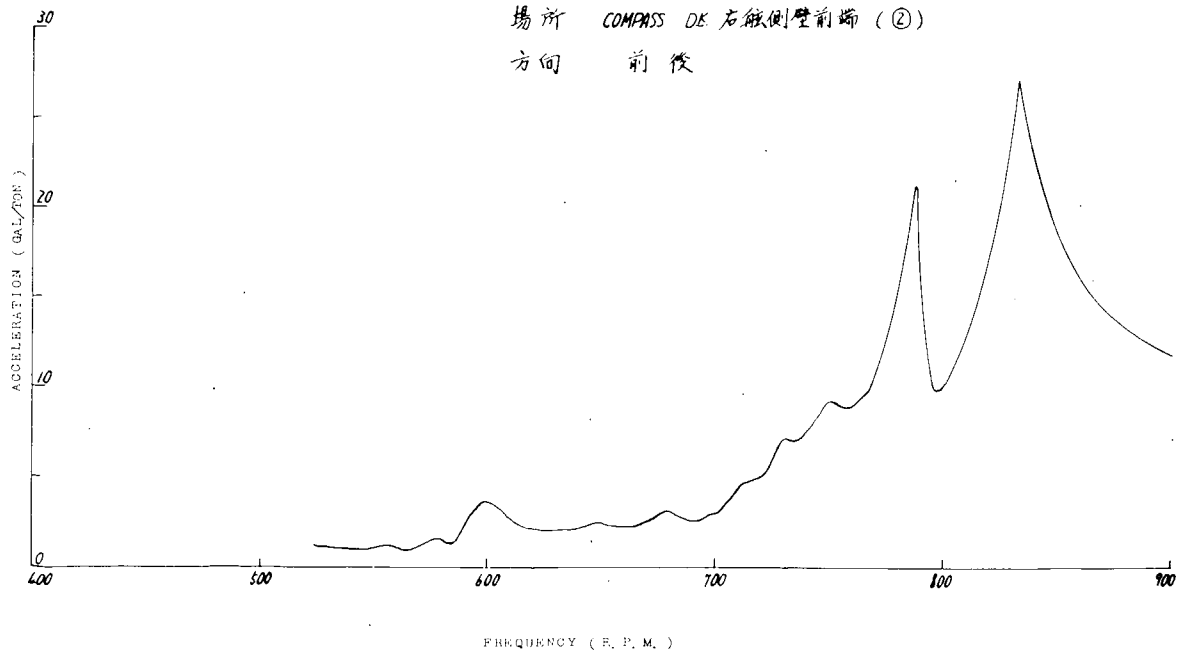


LONGIT. VIBRATION OF HULL GIRDER CANNOT BE OBSERVED AT THIS MOMENT.

RESONANCE CURVE

場所 COMPASS DE 右舷側壁前端 (②)

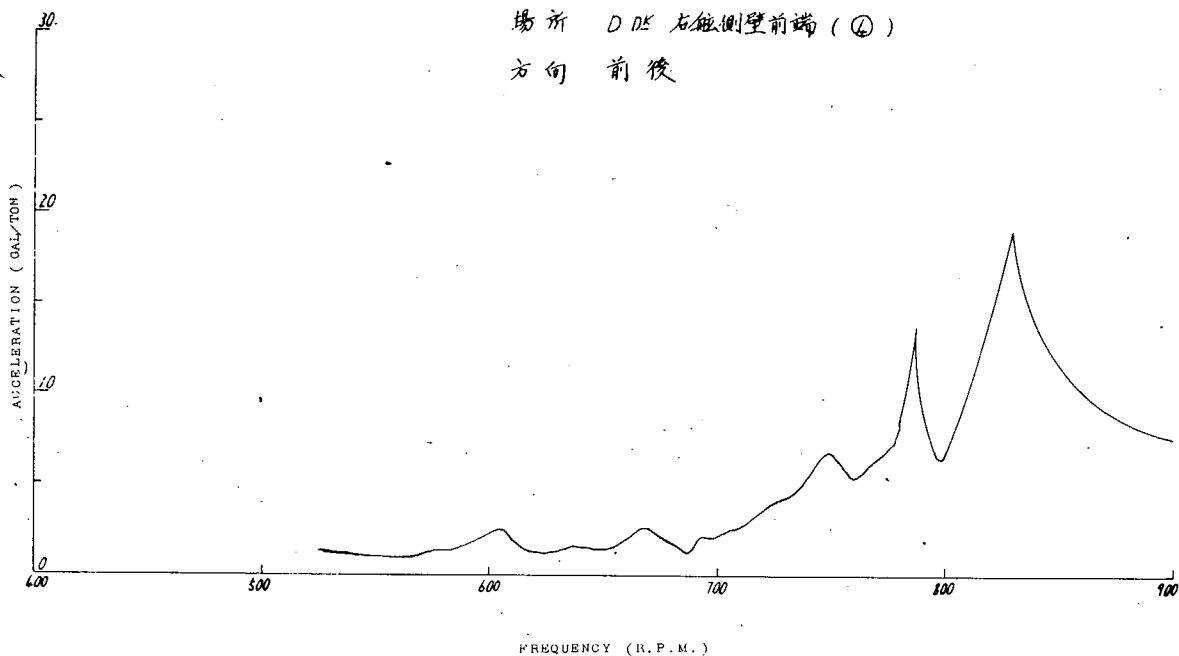
方向 前後



RESONANCE CURVE

場所 D 区 右舷側壁前端 (④)

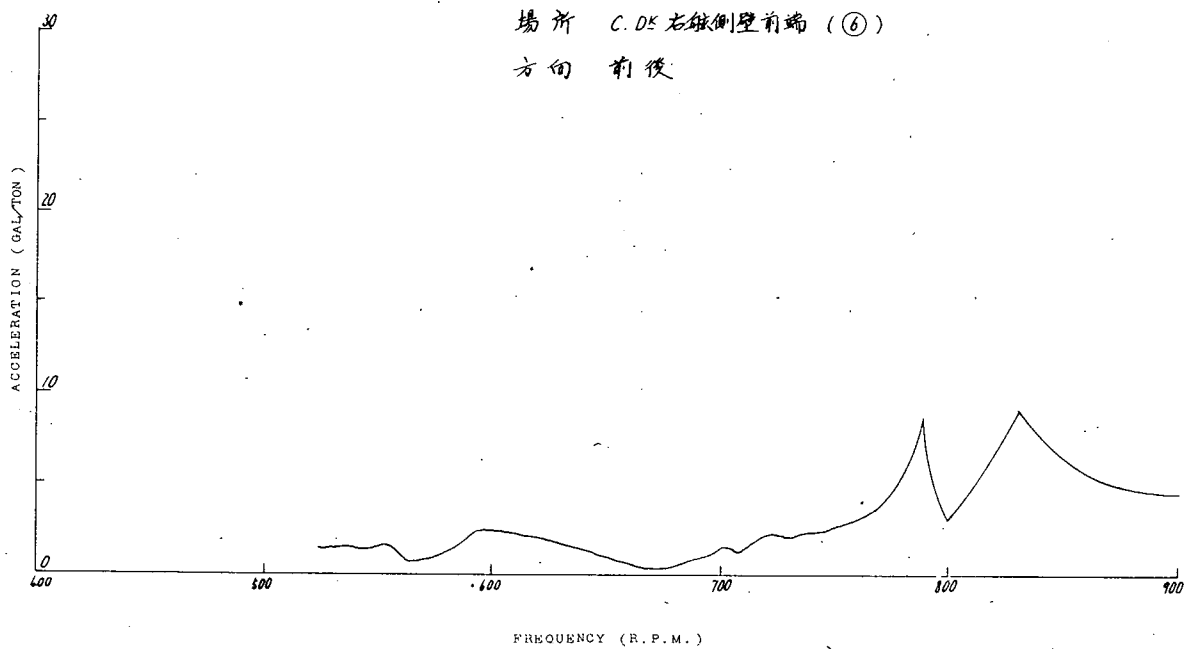
方向 前後



RESONANCE CURVE

場所 C 区 右舷側壁前端 (⑥)

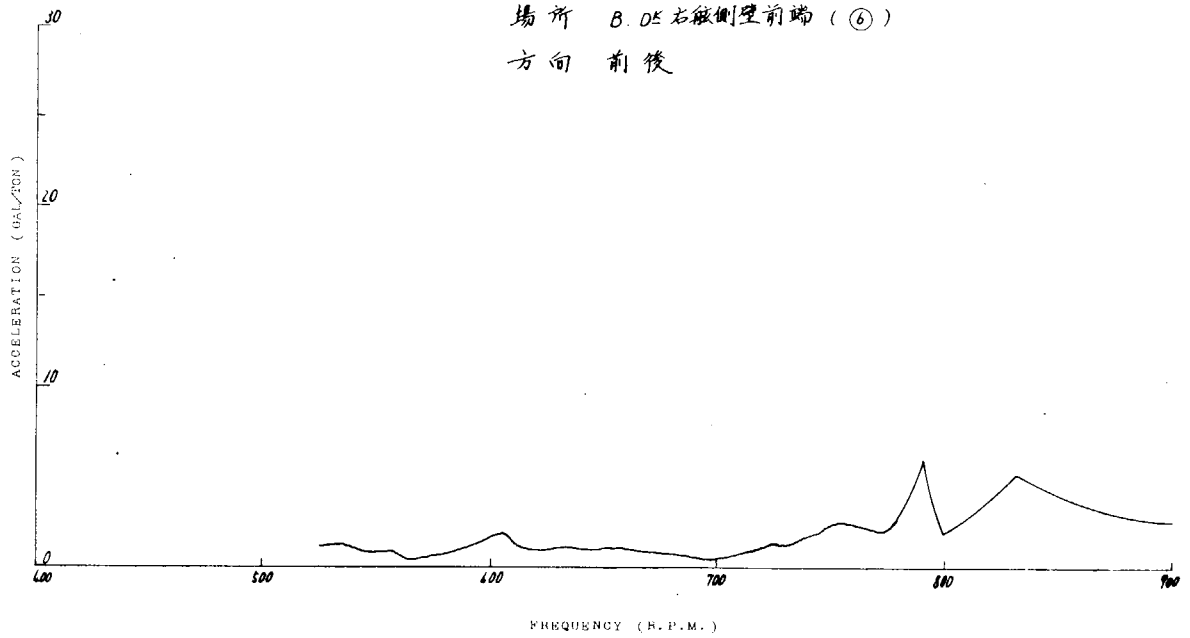
方向 前後



RESONANCE CURVE

場所 B. DS 右舷側壁前端 (6)

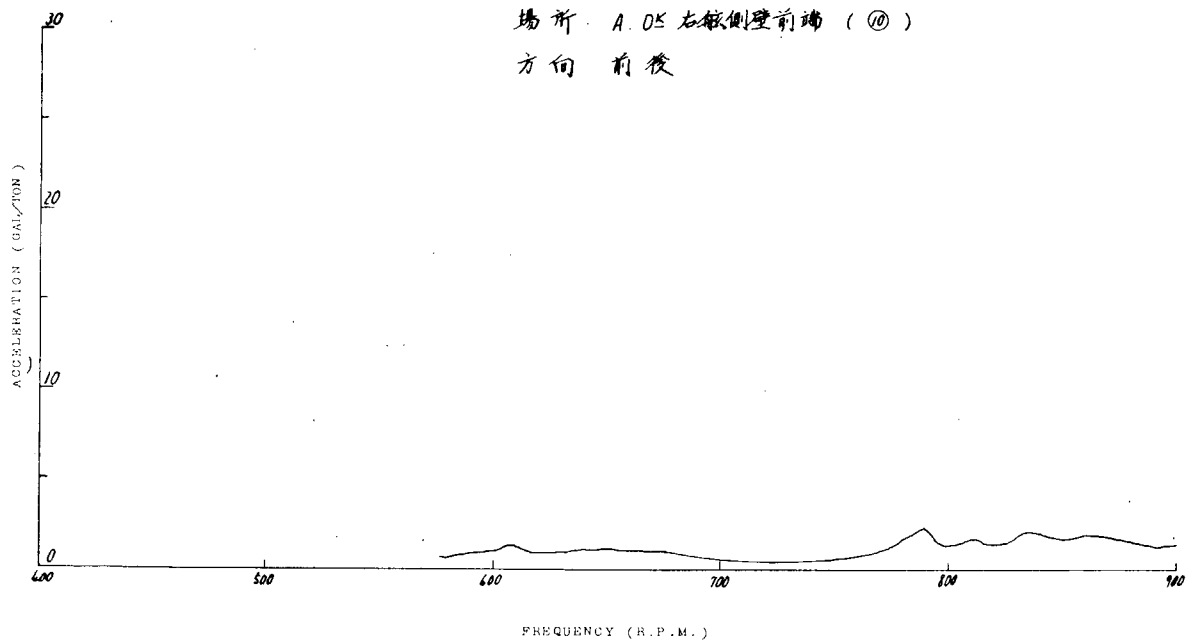
方向 前後



RESONANCE CURVE

場所 A. DS 右舷側壁前端 (10)

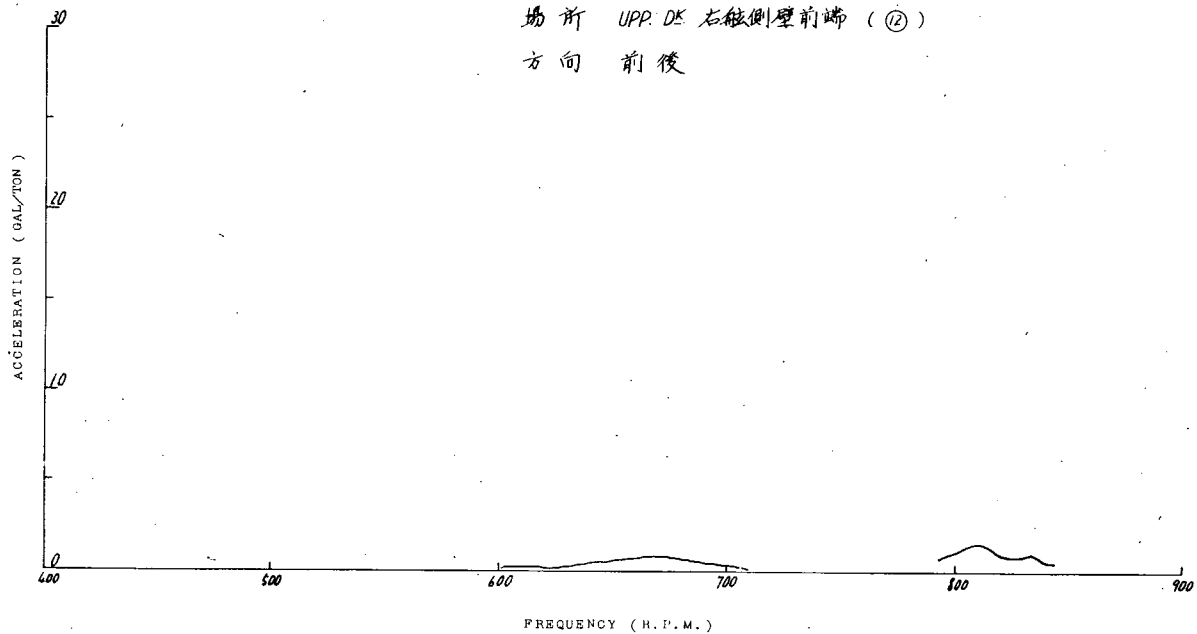
方向 前後



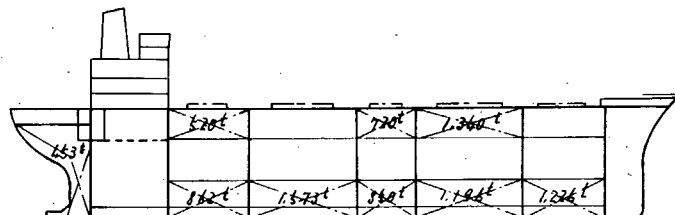
RESONANCE CURVE

場所 UPP: DK 右舷側壁前端 (12)

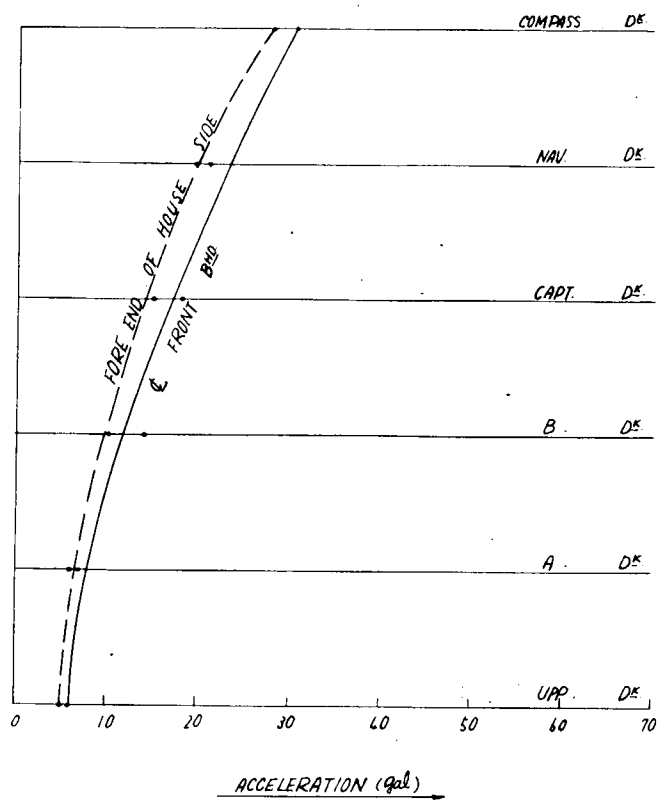
方向 前後



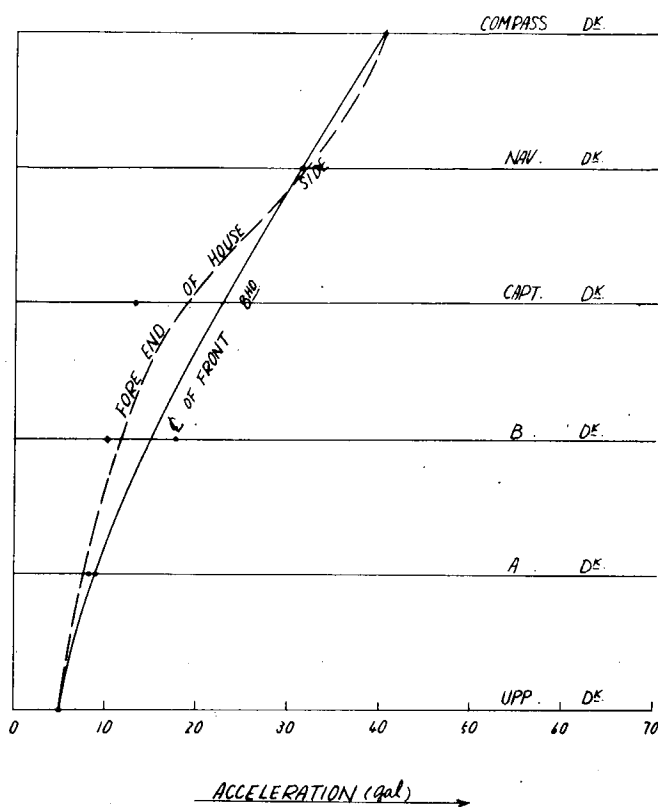
TEST		CONDITION	MEASURING INSTRUMENT	
DATE	SEPT. 12/13 1967		TYPE OF PICK UP	ACCELEROMETER
PLACE	OFF SANRIKU & AKITA		NO. OF MEAS. PTS.	20
WEATHER	CLOUDY		DETAIL OF	EXCITER
SEA CONDITION	SLIGHT		TYPE OF EXCITER	
DEPTH OF WATER	NOT LESS THAN 300 M		MAX. EXCIT. FORCE	
Δ test	18.850 t		DIRECT. OF EXCIT.	
df	2 ^M .93		OTHER DESCRIPTIONS	
da	6 ^M .85			
dm	4 ^M .89			
PROPELLER IMMERSION	 $y_D = 0.496$			



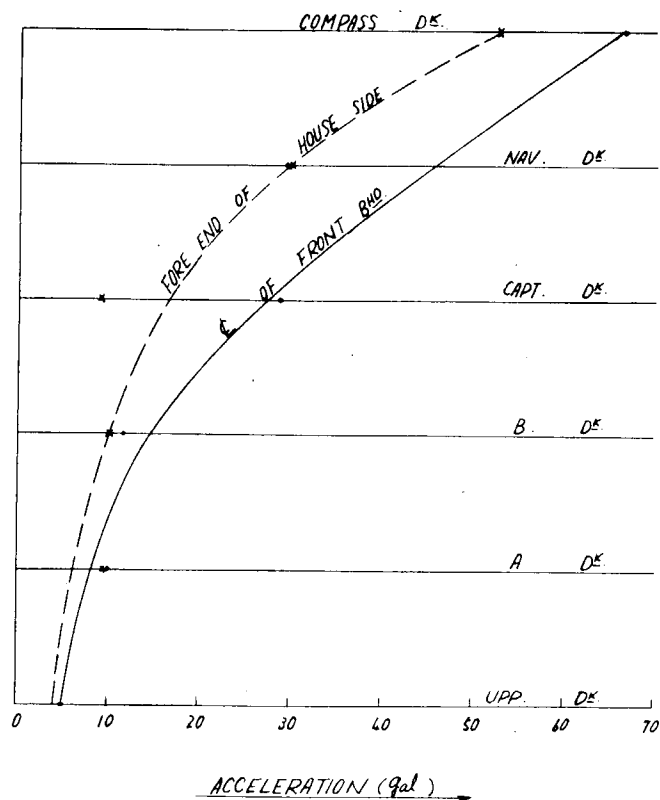
MODE CURVES DURING RUN
(AT 97.5 R.P.M.)



MODE CURVES DURING RUN
(AT 102.5 R.P.M.)



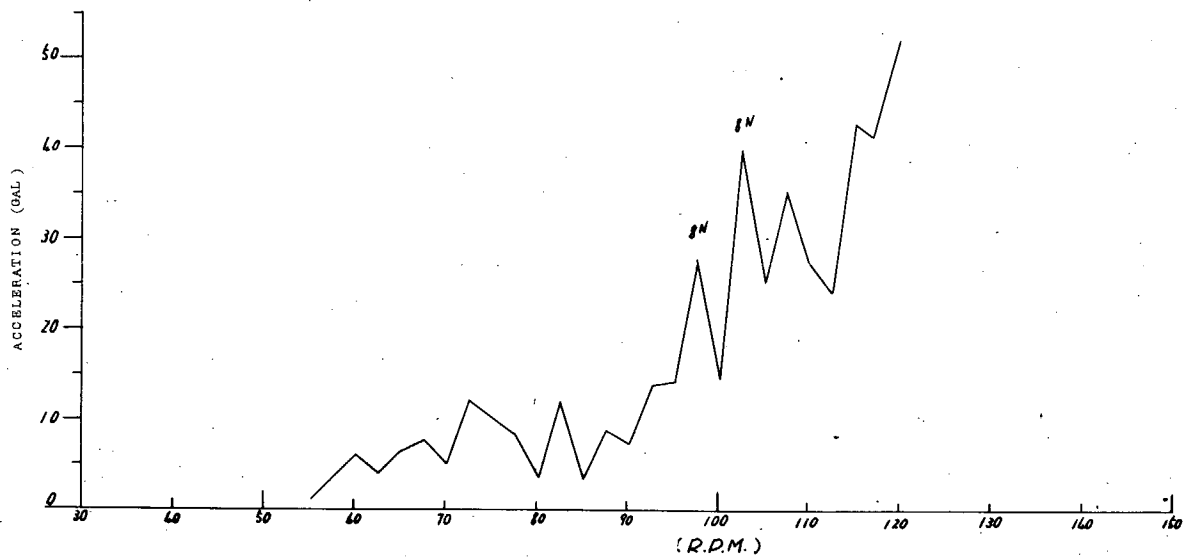
MODE CURVES DURING RUN
(AT 115 R.P.M.)



RESONANCE CURVE

場所 COMPASS DE 右舷側壁前端 (2)

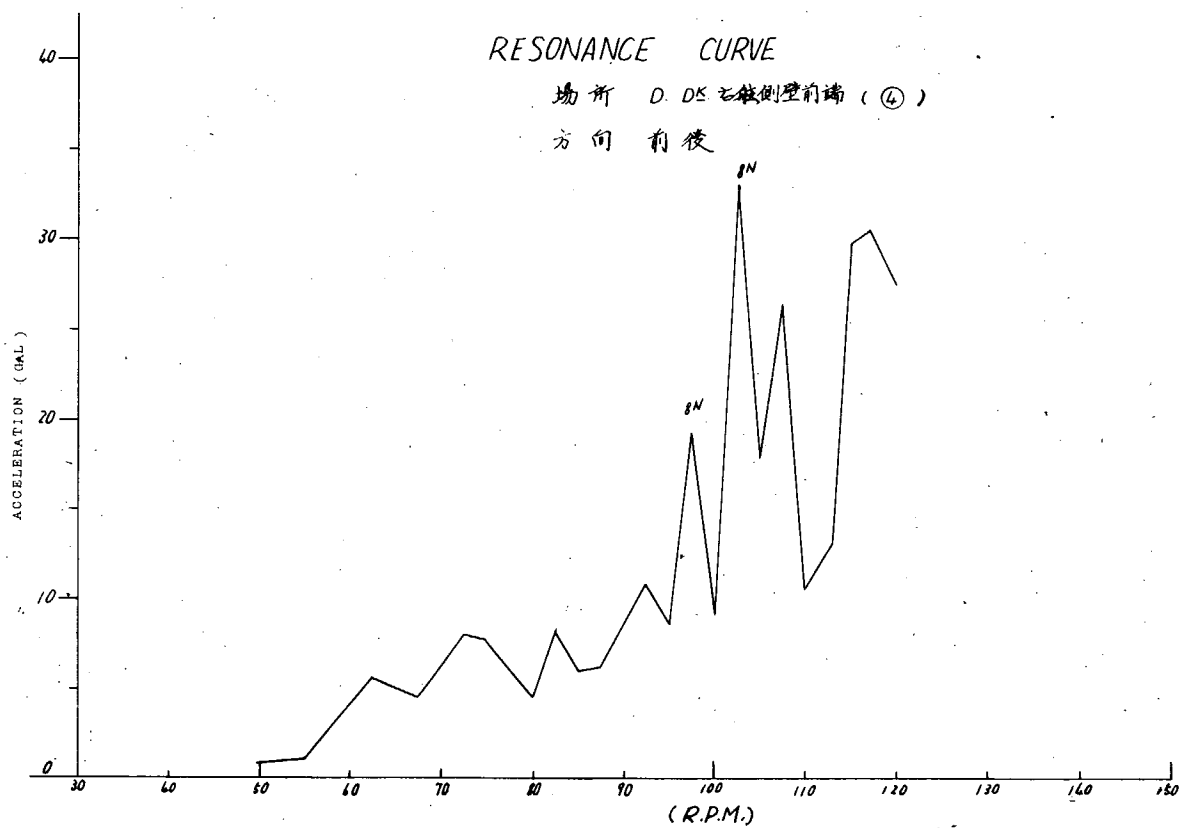
方向 前後

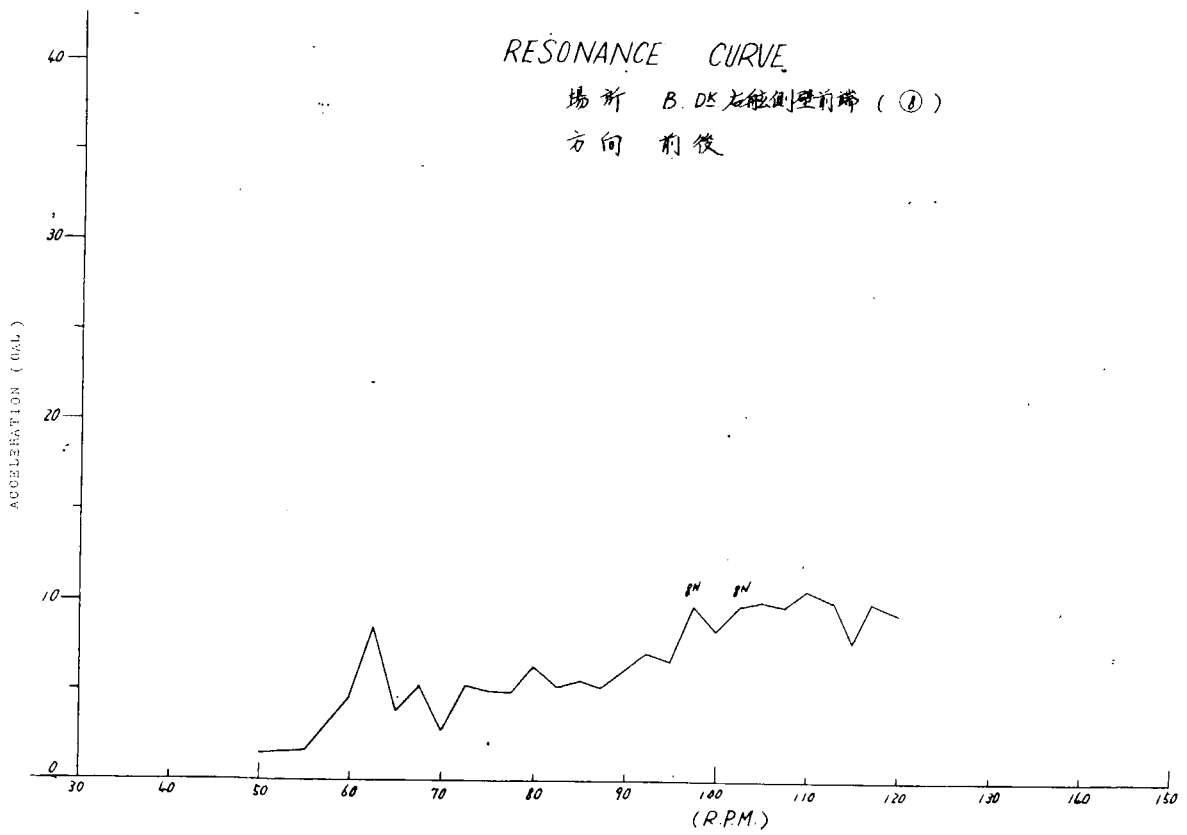
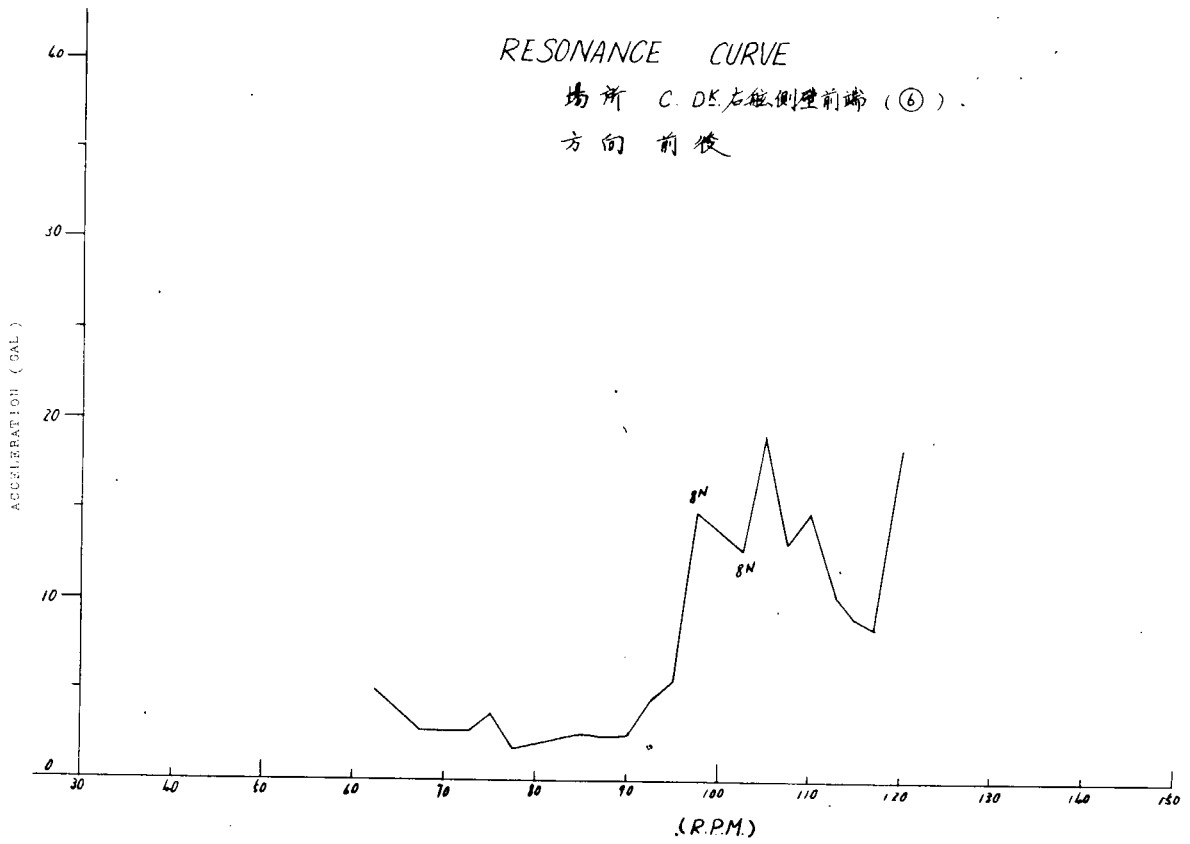


RESONANCE CURVE

場所 D. DE 右舷側壁前端 (4)

方向 前後

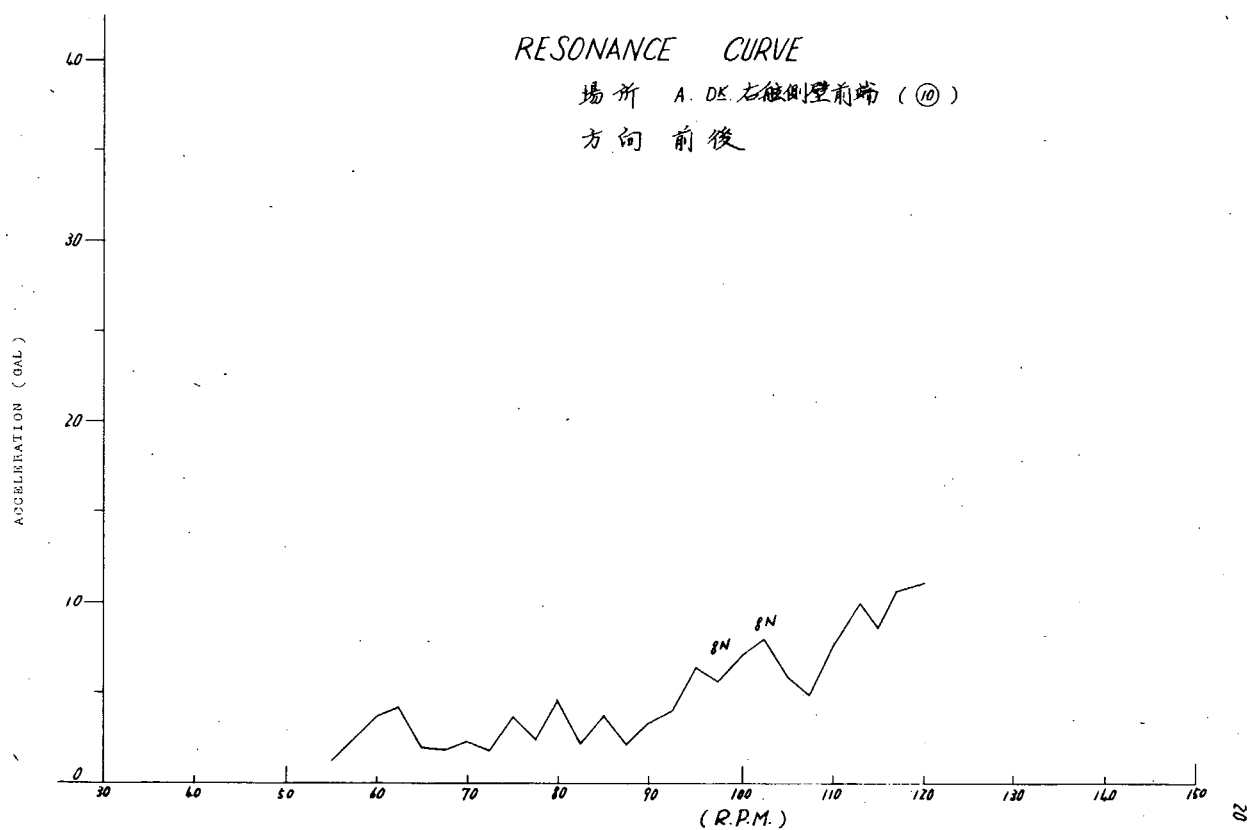




RESONANCE CURVE

場所 A. DK 右舷側壁前端 (10)

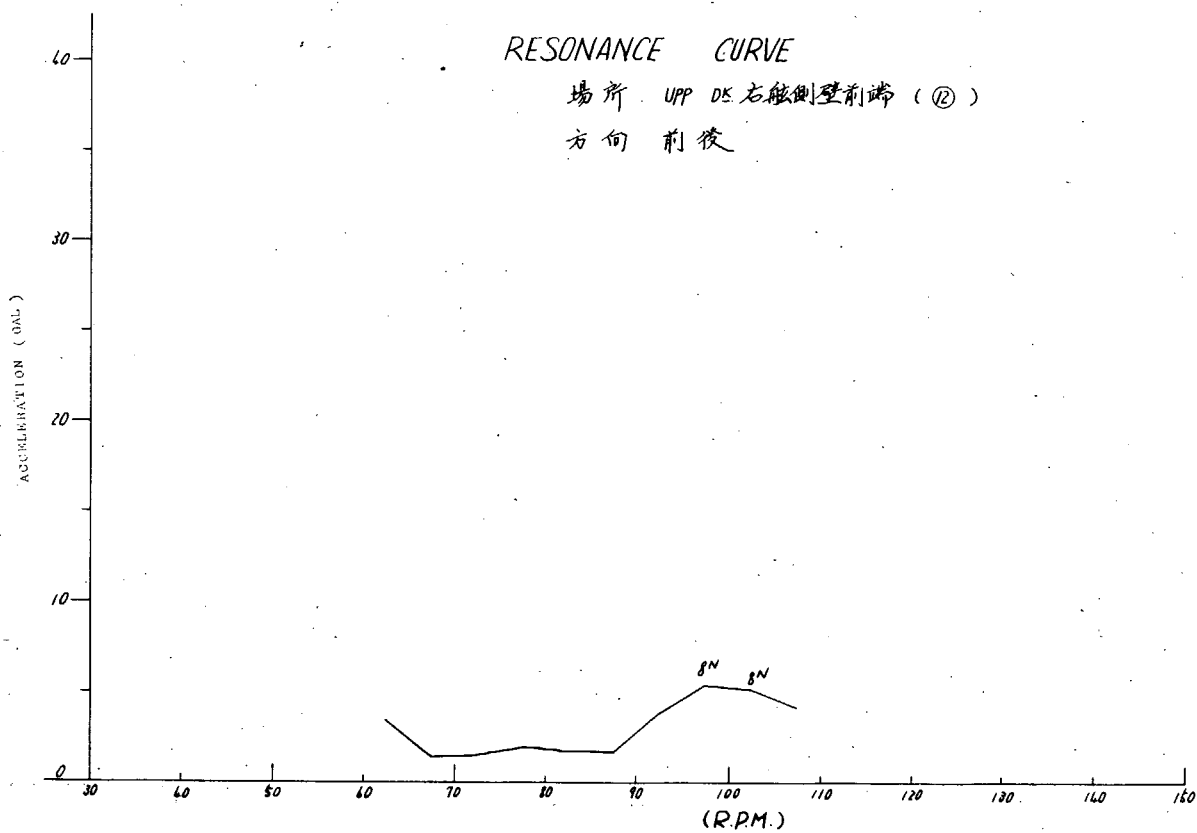
方向 前後



RESONANCE CURVE

場所 UPP DK 右舷側壁前端 (12)

方向 前後



SCHEDULE OF VIBRATION MEASUREMENT.									
PARTICULARS OF SHIP.									
HULL		MAIN ENGINE							
KIND & TYPE	OIL TANKER 平甲板船	KIND & TYPE							
CLASS	N K	NUMBER							
CONSTRUCTION	LMH SYSTEM	POSITION OF ENG.	AFT						
L oa	294.0	SHP	MAX. CONT. 28,000						
L pp	281.0	RPM	85						
E mld	46.2	UNBALANCED	Fv1						
D mld	25.0	FORCE	Fv2						
d full	16.6		Fh						
Δ full	181.059 MT	UNBALANCED	Mv1						
D.W.	152.110 MT	MOMENT	Mv2						
Cb full	0.517		Kh						
MOMENT OF INERTIA	Iv 2446.86 M ⁴ Ih 1302.61 M ⁴	PROPELLER							
WEB AREA	Av 2.100 M ² Ah 3.054 M ²	NUMBER	1						
		No. OF BLADES	5						
		DIAMETER	Ø 2						
SKETCH OF SECTION			SKETCH OF SCREEN APERTURE						
			$a_1 = 1.645$ $a_2 = 1.645$ $c = 2.755$ $c' = 2.515$ $d = 3.00$ $b_1 = 1.045$ $b_2 = 1.700$						

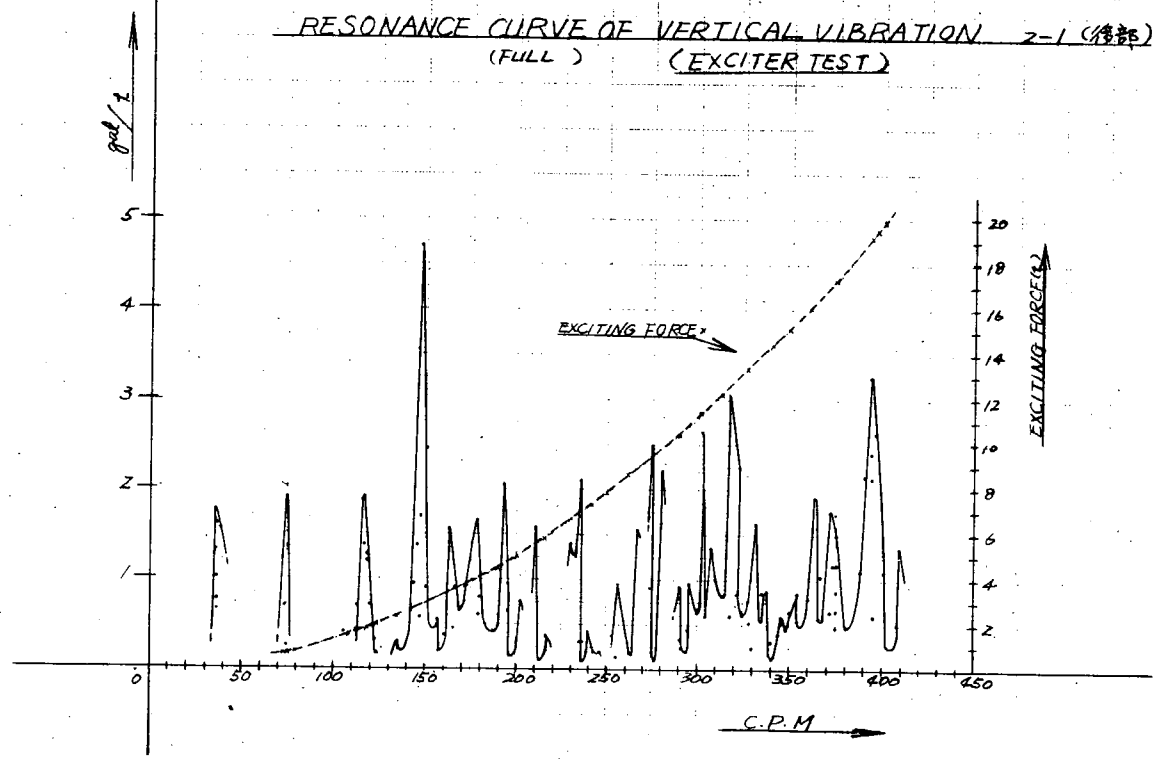
TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENTS DISPLACEMENT METER	
DATE	SEP 1ST 1967	TYPE OF PICK UP	
PLACE	OFF SHIRAHAMA	NO. OF MEAS. PTS.	27
WEATHER	FINE	DETAIL OF EXCIT.	
SWA CONDITION	SMOOTH SEA	TYPE OF EXCITER	UNBALANCED WEIGHT TYPE
DEPTH OF WATER	38	MAX. EXCIT. FORCE	270 TONS
Δ test	181097	DIRECT OF EXCIT. AND HORIZONTAL	VERTICAL
d f	16.55		
d a	16.55	OTHER DESCRIPTIONS	
d m	16.55	<i>Note for trial test and water level are shown on this table</i>	
PROPELLER IMMERSION	T 8 L B = 134 %		

ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS AND LOADING PLAN.

642 9 1

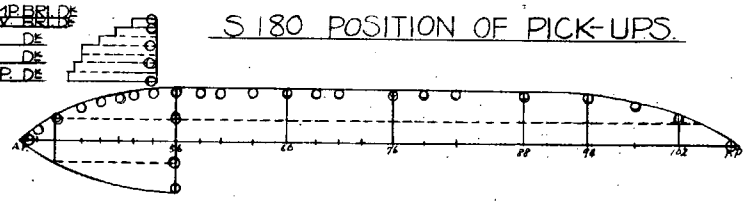
(AT AFT END)

RESONANCE CURVE OF VERTICAL VIBRATION 2-1 (後部)
(FULL) (EXCITER TEST)

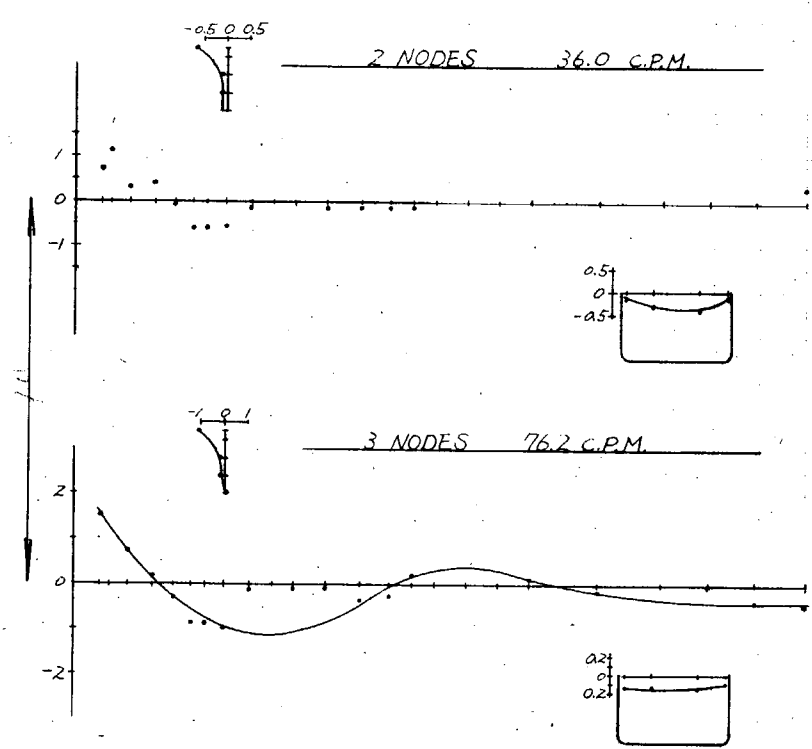


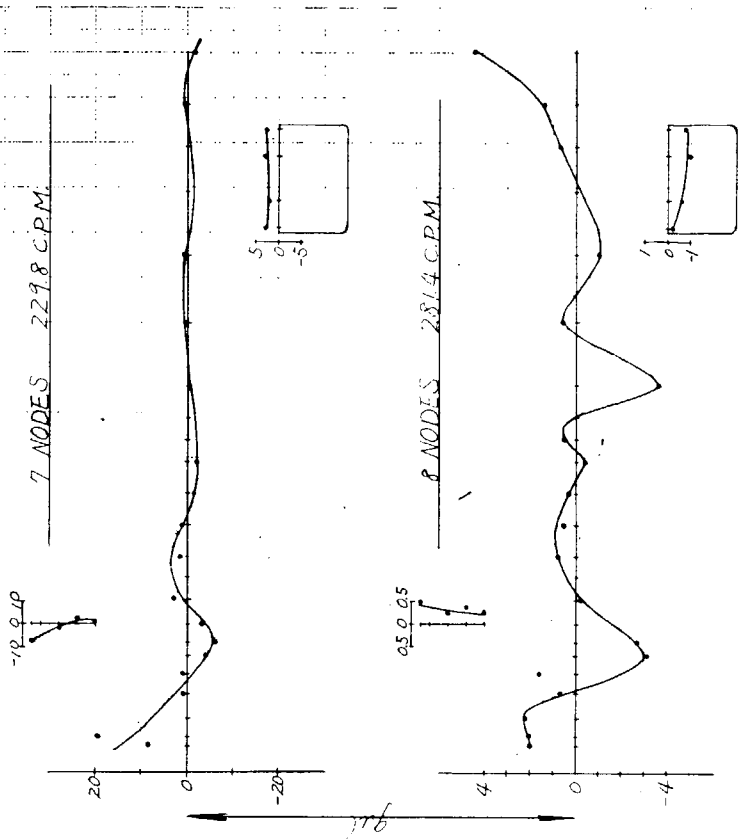
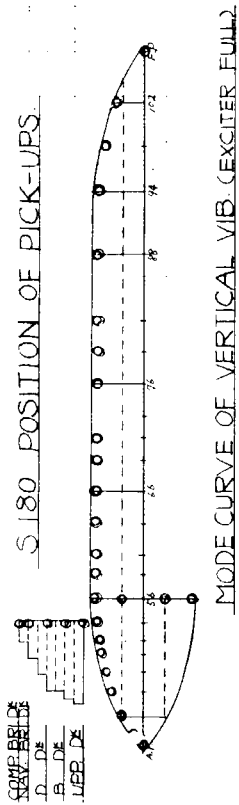
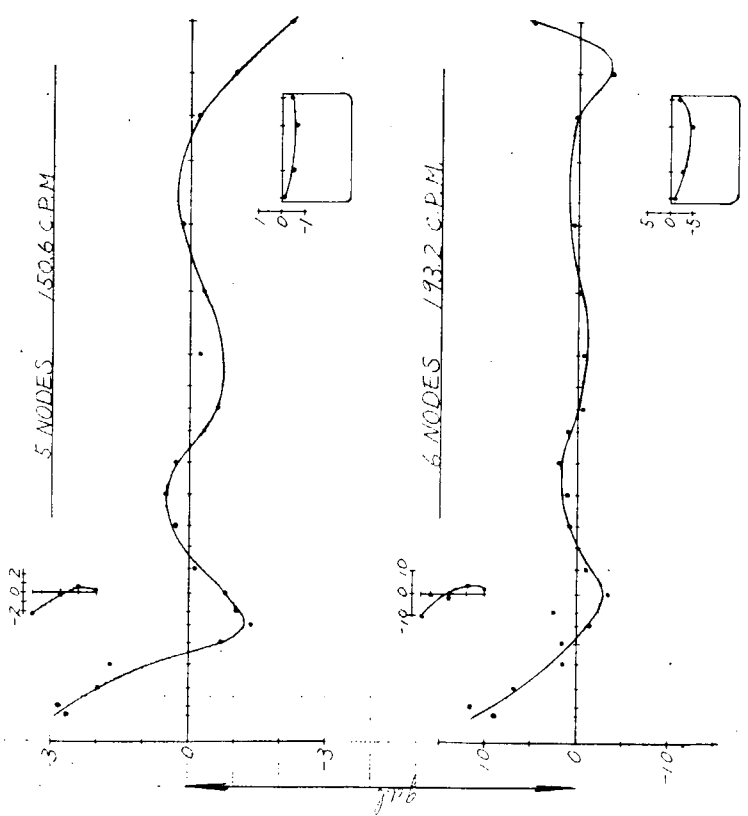
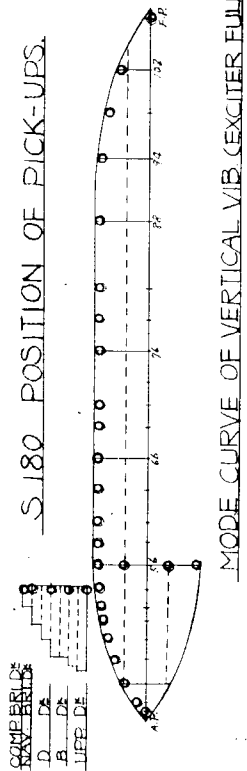
COMBRI DE
D DE
B DE
UPP DE

S 180 POSITION OF PICK-UPS



MODE CURVE OF VERTICAL VIB. (EXCITER FULL)

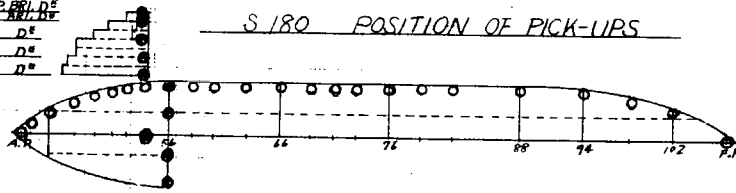




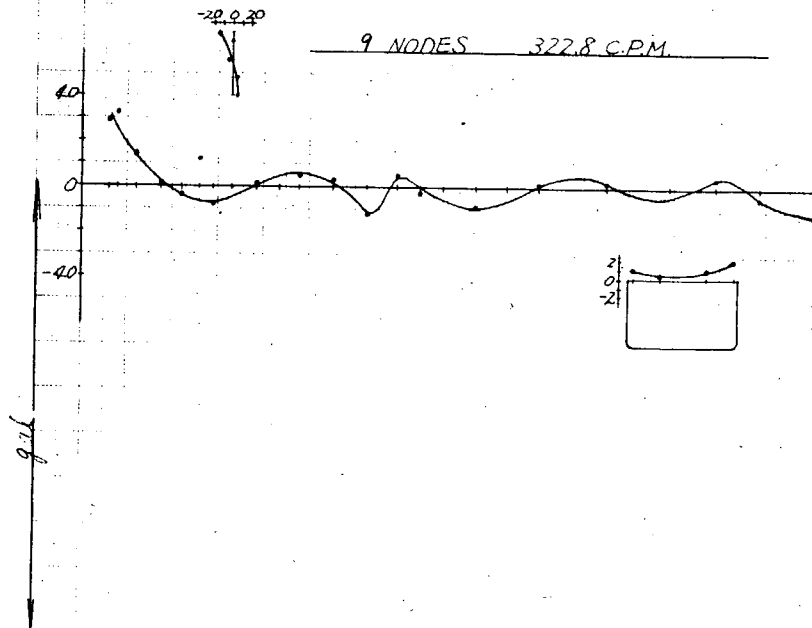
COMP. BOLD
CALC. FOR. BY

D	D ²
B	B ²
WPR	W ²

S 180 POSITION OF PICK-UPS



MODE CURVE OF VERTICAL VIB. (EXCITER FULL)



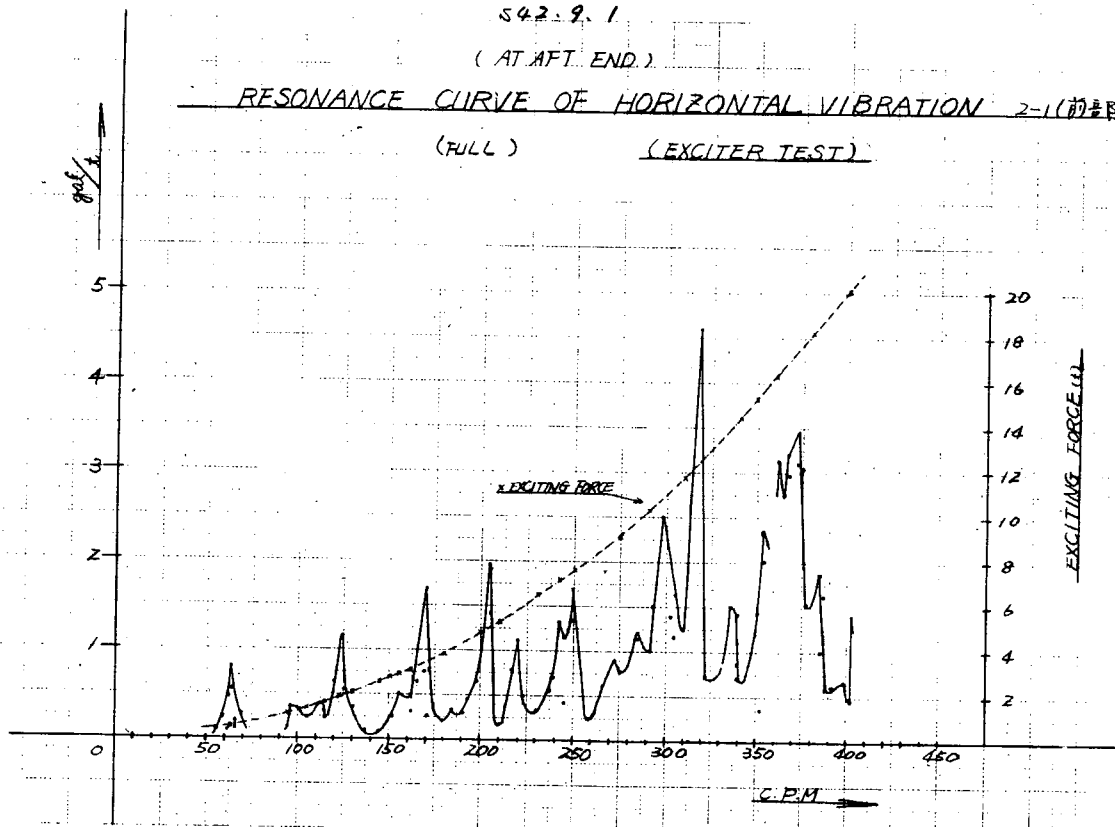
S 42.9.1

(AT AFT. END.)

RESONANCE CURVE OF HORIZONTAL VIBRATION 2-1 (前部)

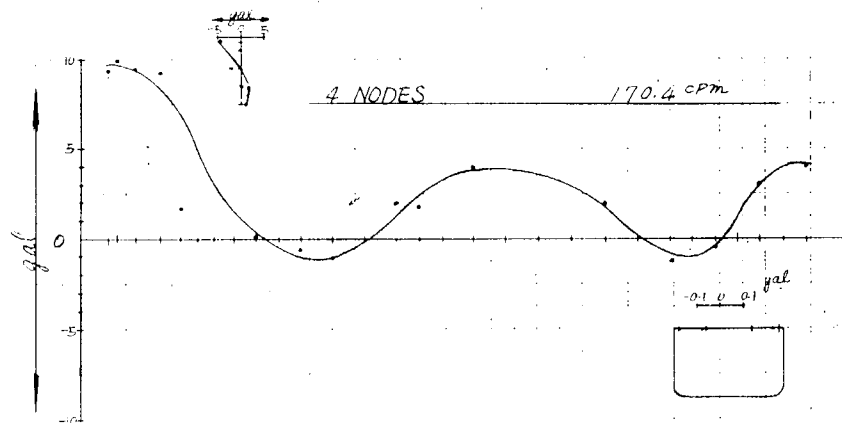
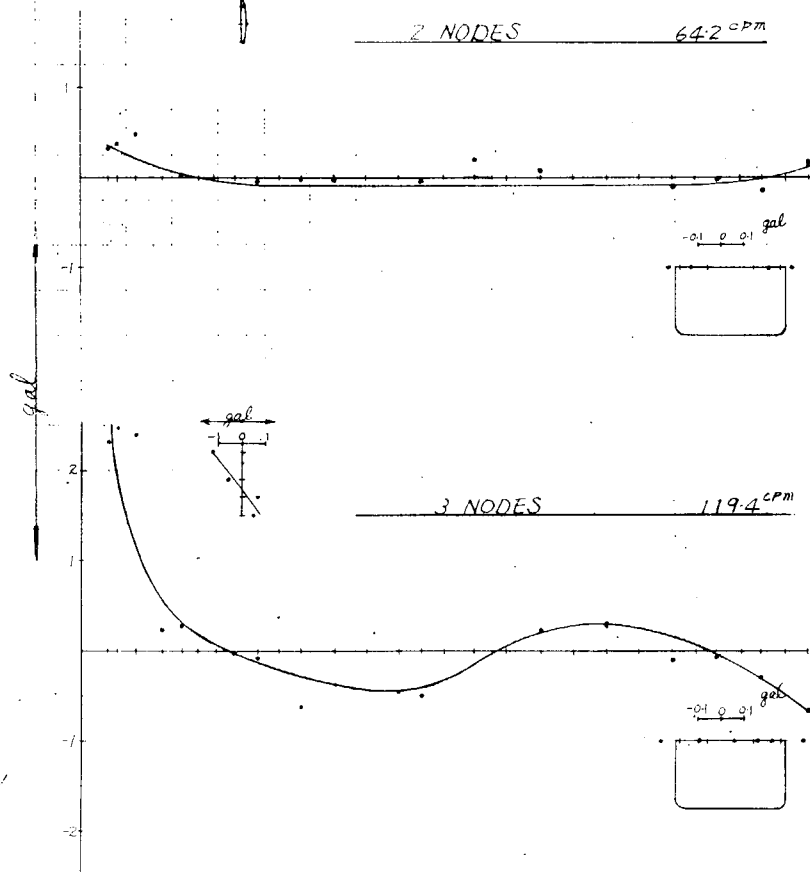
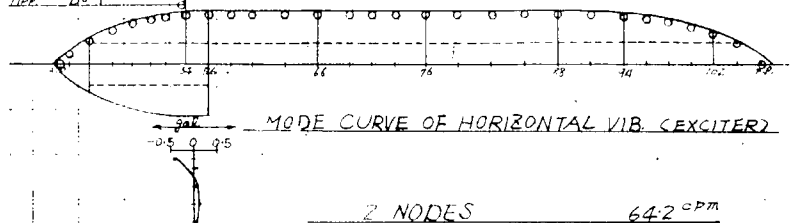
(FULL)

(EXCITER TEST)



COND. NO.	10
REV.	101
DATE	10/10/50
BY	101
APP.	101

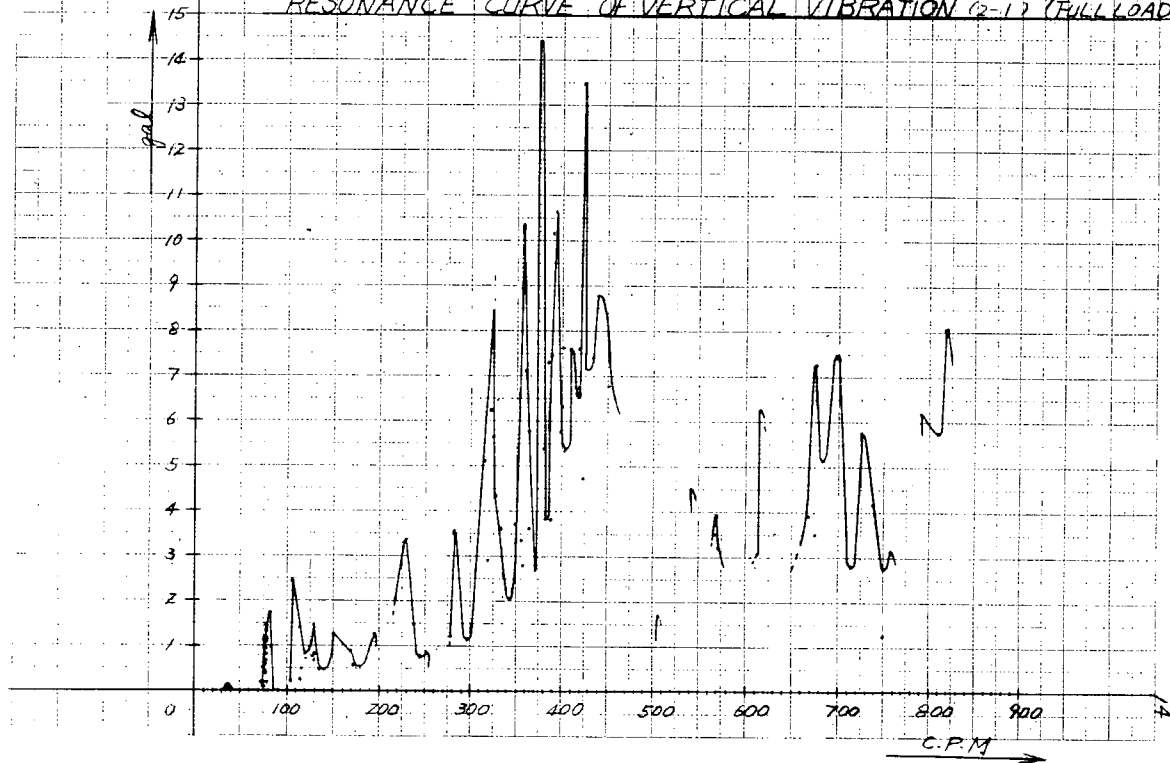
S 180 POSITION OF PICK-UPS



542 9.1

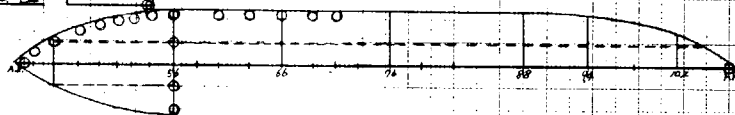
(AT AFT END.)

RESONANCE CURVE OF VERTICAL VIBRATION (2-1) (FULL LOAD)

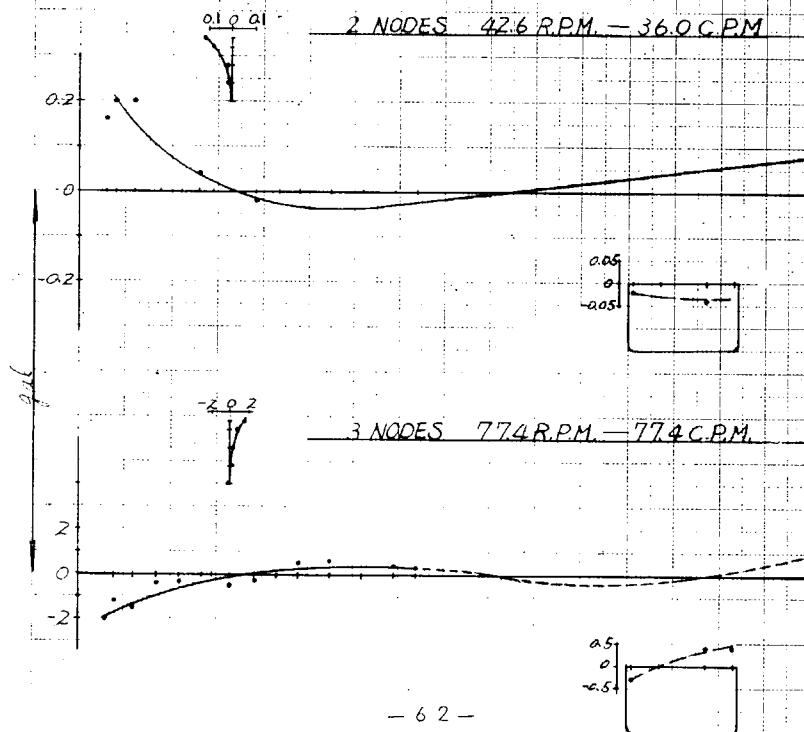


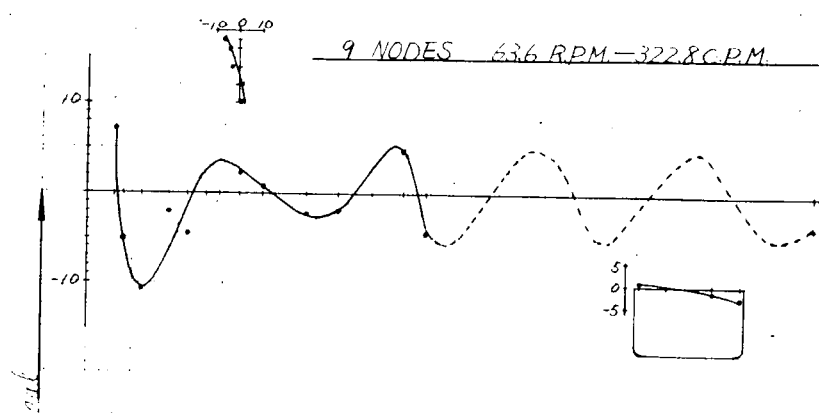
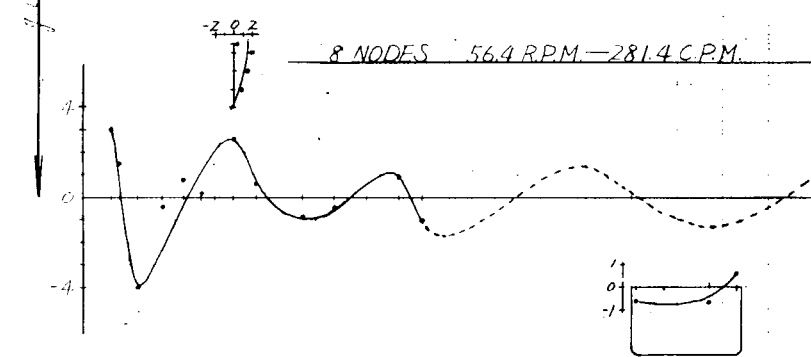
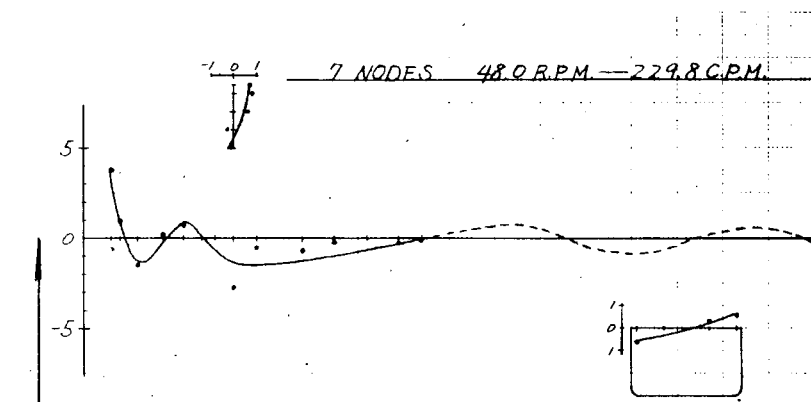
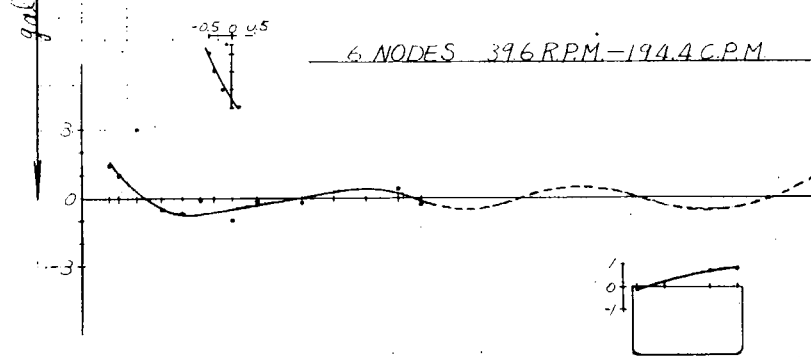
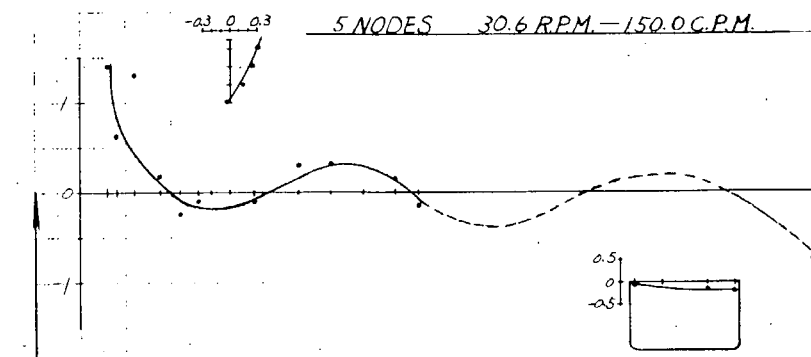
COMP. B. I. DE
NAV. B. I. DE
D. DE
B. DE
U. B. I. DE

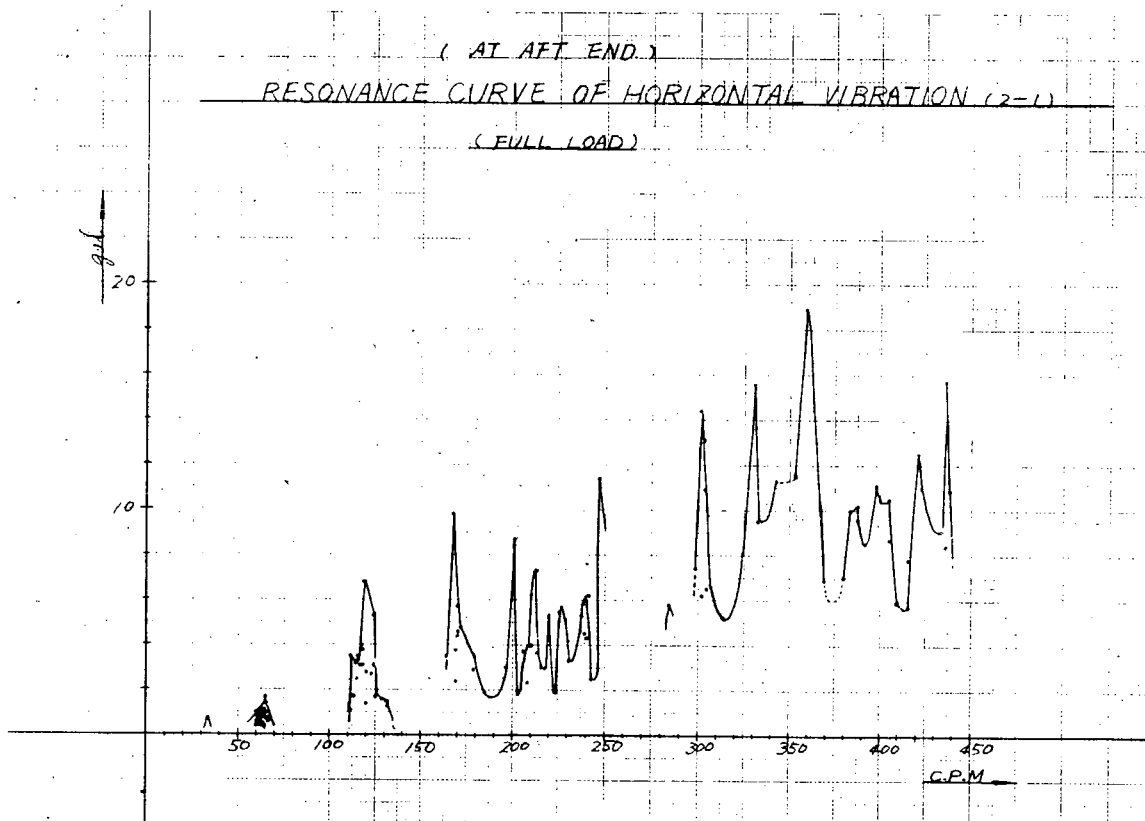
S180 POSITION OF PICK-UPS.



MODE CURVE OF VERTICAL VIB. (FULL LOAD)



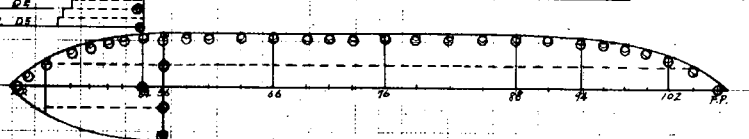




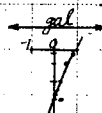
COMPARISON OF
VIB. DATA

D	DS
B	DE
UDD	DE

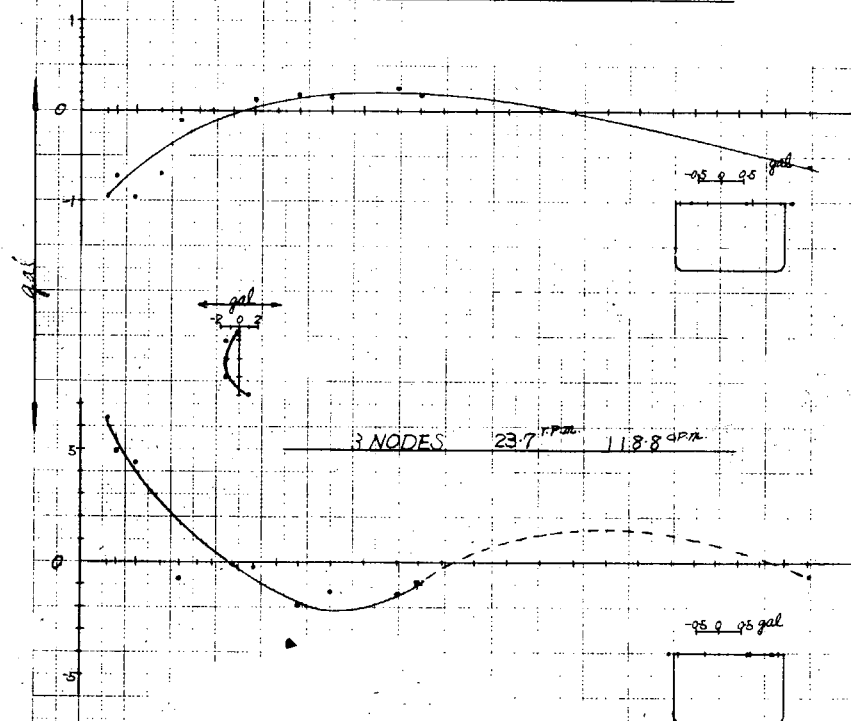
S 180 POSITION OF PICK-UPS.



MODE CURVE OF HORIZONTAL VIB (FULL LOAD)

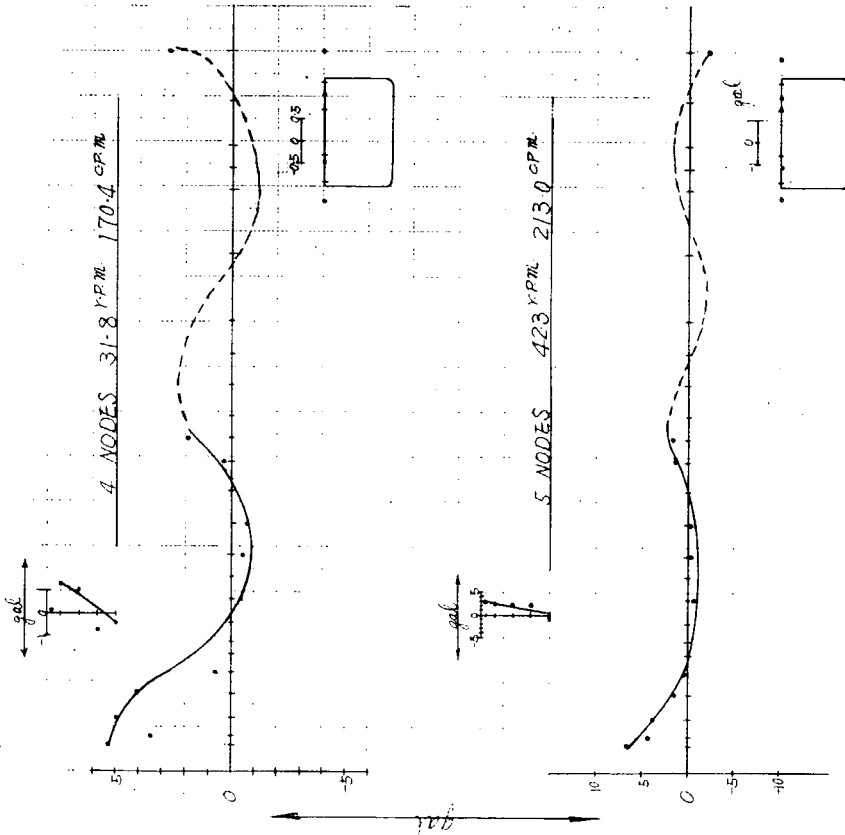


2 NODES 63.2 RPM 64.2 RPM.



TEST CONDITION	MEASURING INSTRUMENTS
1. <i>Steady-state</i> (constant speed and load)	Speed: Tachometer or tachogenerator Load: Load cell or torque transducer Power: Power meter or wattmeter Temperature: Thermocouple or resistance thermometer Vibration: Accelerometer or vibrometer
2. <i>Transient</i> (varying speed and load)	Speed: Tachometer or tachogenerator Load: Load cell or torque transducer Power: Power meter or wattmeter Temperature: Thermocouple or resistance thermometer Vibration: Accelerometer or vibrometer
3. <i>Start-up</i> (from rest to steady-state)	Speed: Tachometer or tachogenerator Load: Load cell or torque transducer Power: Power meter or wattmeter Temperature: Thermocouple or resistance thermometer Vibration: Accelerometer or vibrometer
4. <i>Stop-down</i> (from steady-state to rest)	Speed: Tachometer or tachogenerator Load: Load cell or torque transducer Power: Power meter or wattmeter Temperature: Thermocouple or resistance thermometer Vibration: Accelerometer or vibrometer

ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS AND LOADING PLAN.

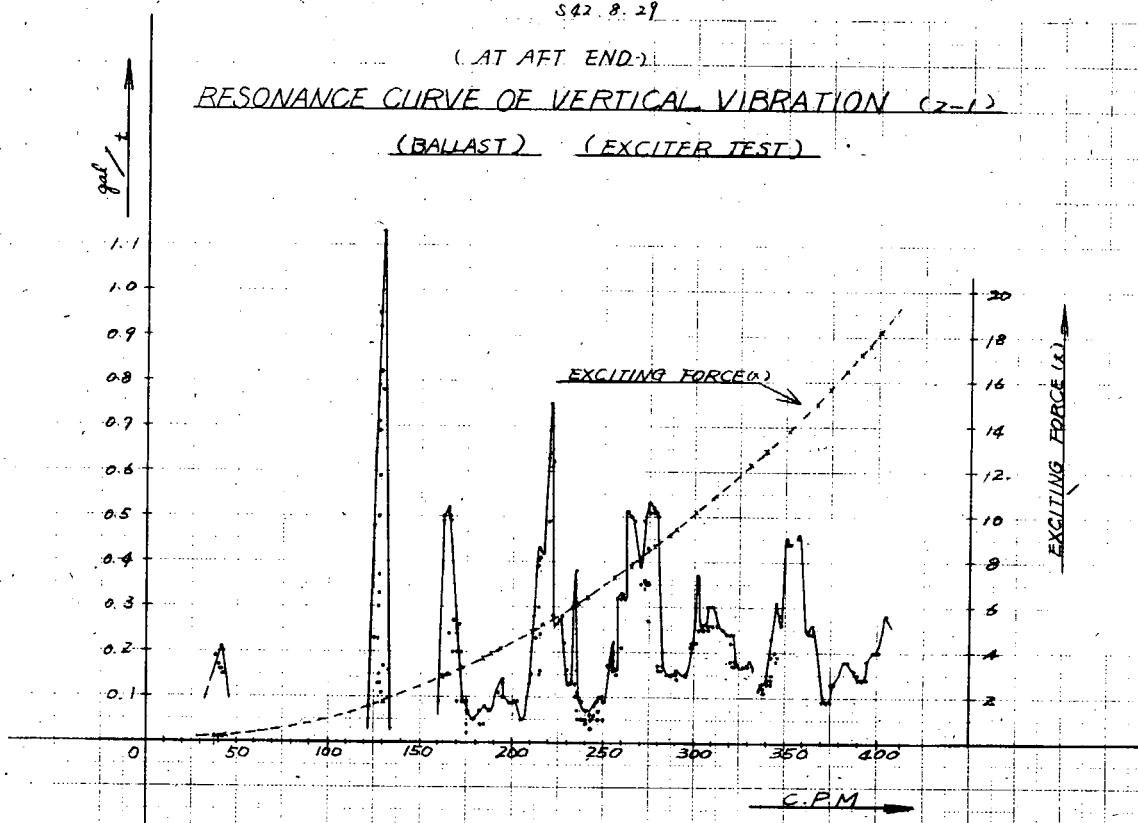


S42.8.29

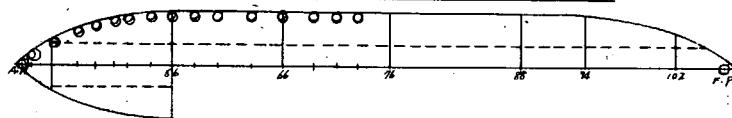
(AT AFT END.)

RESONANCE CURVE OF VERTICAL VIBRATION (2-1)

(BALLAST) (EXCITER TEST)

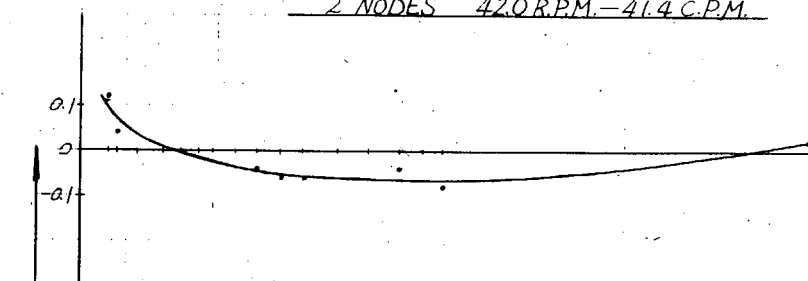


S180 POSITION OF PICK-UPS

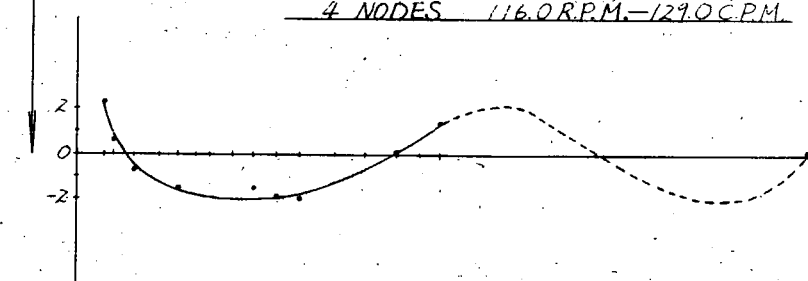


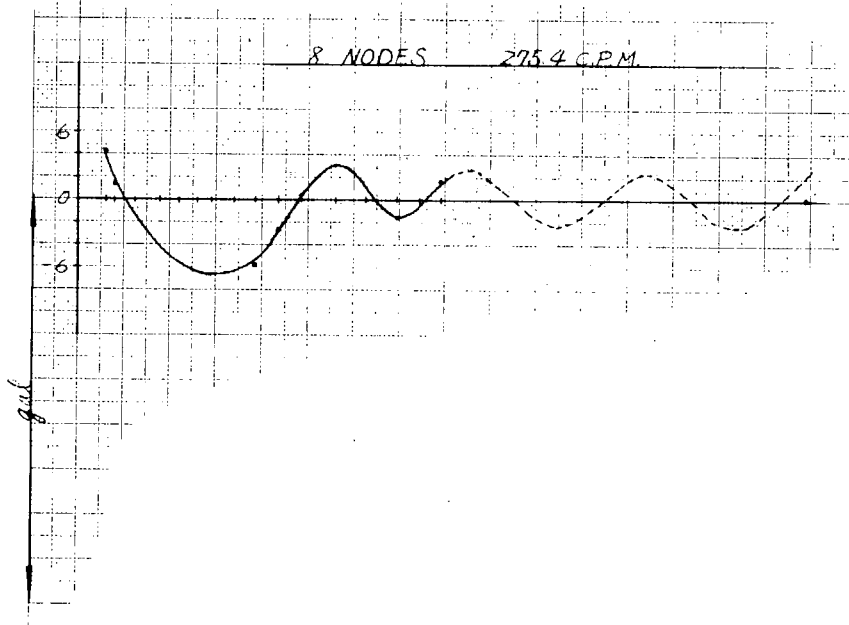
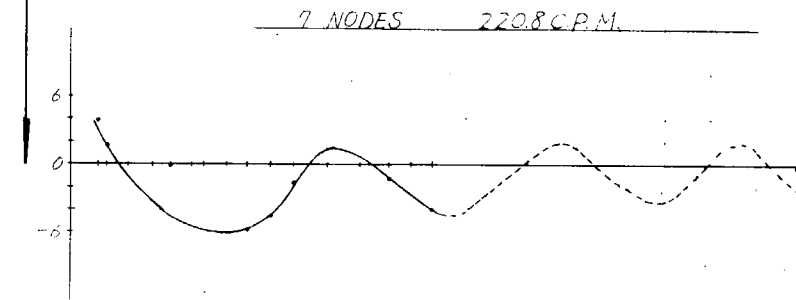
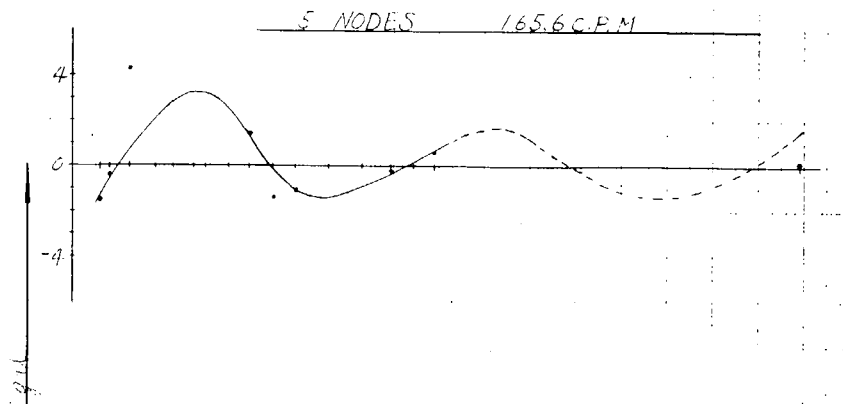
MODE CURVE OF VERTICAL VIB. (EXCITER BALLAST)

2 NODES 42.0 R.P.M. - 41.4 C.P.M.



4 NODES 116.0 R.P.M. - 129.0 C.P.M.

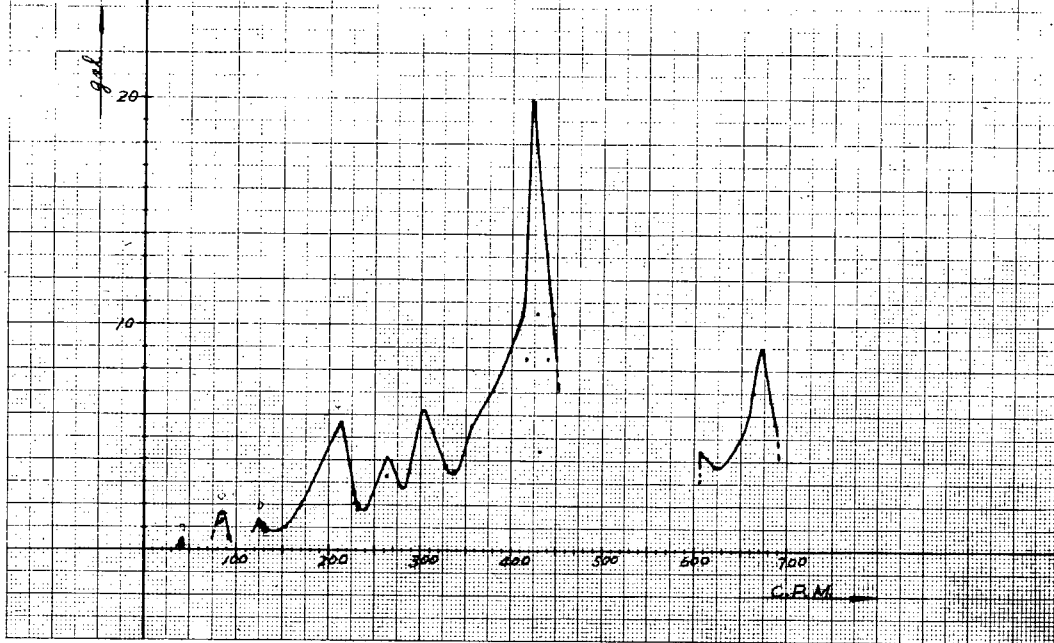




S42.8.29

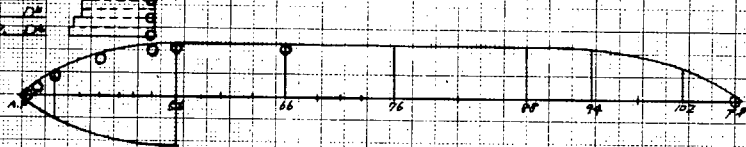
(AT AFT END)

RESONANCE CURVE OF VERTICAL VIBRATION (BALLAST) (2-1)

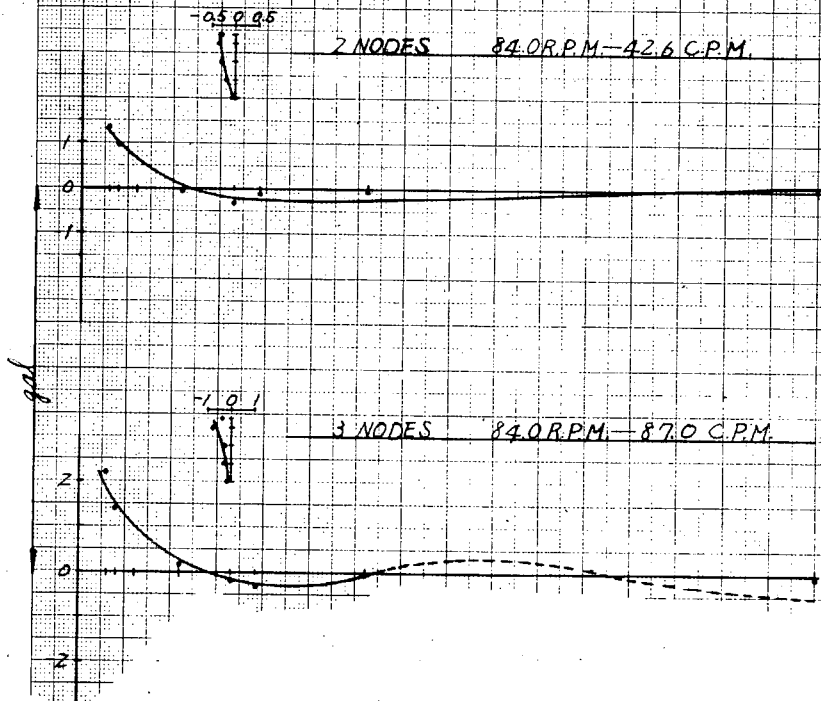


COMP. BEI. D*
NAV. BEI. D*
D D*
B D*
LIP D*

S180 POSITION OF PICK LIPS

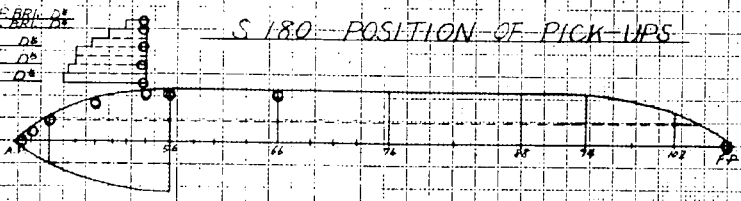


MODE CURVE OF VERTICAL VIB. (BALLAST)

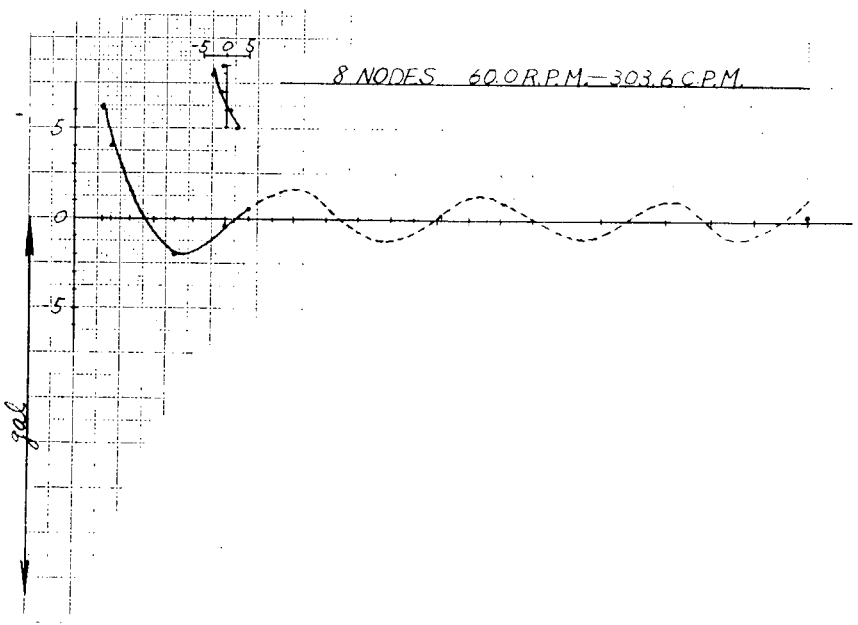
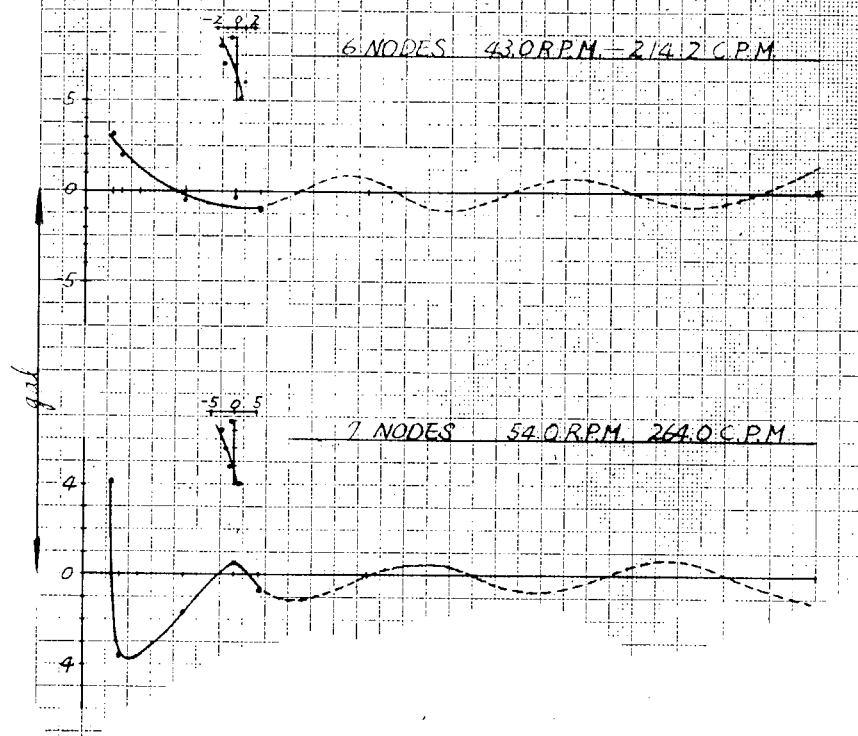


COM-BRI-BT
 D1 D2
 B D2
 UPP D2

S 180 POSITION OF PICK-UPS



MODE CURVE OF VERTICAL VIB. (BALLAST)



RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENT

PARTICULARS OF SHIP

SHIP NO.
BUILDER HITACHI

HULL		MAIN ENGINE	
KIND & TYPE	SINGLE DECK TYPE BULKHEAD / CORE CARRIER	KIND & TYPE	HITACHI B&W 904-VT28F-180
CLASS	N.V.	NUMBER	1
CONSTRUCTION	LONG. SYSTEM	POSITION OF ENG.	AFT
L ₀₀	25 ^M 00	BHP	M.C.O. NOR 20,700 18,900
L _{pp}	240 ^M 00	RPM (*MAX.)	114 (117) 110 (113)
B _{mid}	32 ^M 30	UNBALANCED FORCE	F _{v1}
D _{mid}	18 ^M 90		F _{v2}
d full	13 ^M 95		F _h
Δ full	92.240 LT	UNBALANCED MOMENT	M _{v1} 74.0T-M
D.W.	74.107 LT		M _{v2} 40.8T-M
Cb full	0.8415	Mh	58.0T-M
MOMENT OF INERTIA	I _v 320.383 M ⁴	PROPELLER	
	I _h	NUMBER	1
WEB AREA	A _v 2.3693 M ²	NUMBER OF BLADES	5
	A _h	DIAMETER	6 M 550

SKETCH OF SECTION

A technical sketch of a hull cross-section. It shows a curved hull bottom with a rectangular propeller aperture. The aperture is located near the stern. The sketch includes hatching to indicate different materials or structural details.

SECTION OF SCREW APERTURE

A technical sketch of a screw aperture cross-section. It shows a circular aperture with a central screw. Dimensions are labeled: 'a' is the radius of the outer circle, 'b' is the radius of the inner circle, 'c' is the radius of the screw, and '0.7Dp' is the distance from the center of the aperture to the center of the screw. The sketch also shows the profile of the screw threads.

$$\begin{aligned} a &= 994 \\ b &= 2^M 120 \\ c &= 1^M 660 \end{aligned}$$

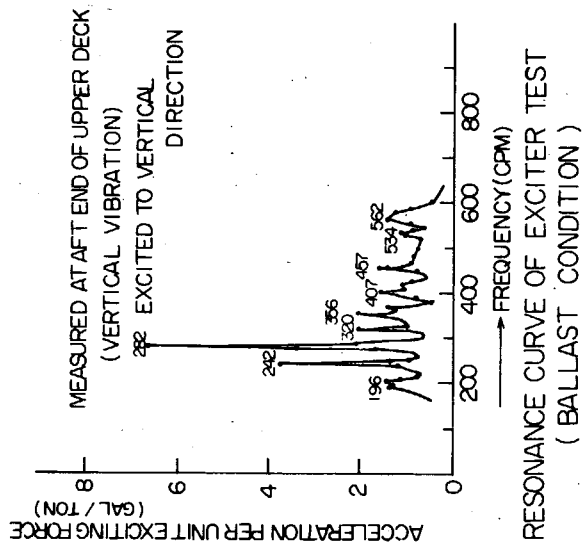
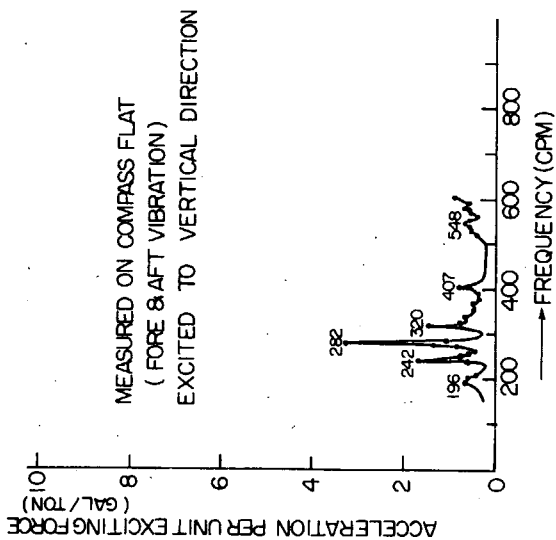
TEST CONDITION	BALLAST CONDITION	FULL LOAD CONDITION	MEASURING INSTRUMENT
DATE	FEB 19 '67	FEB 21 '67	TYPE OF PICK UP
PLACE	OFF MATSUJIMA	OFF MATSUJIMA	UNBOUND TYPE U-GAUGE ACC.
WEATHER	CLOUDY	CLOUDY	NO OF MEAS. POINTS
SEA CONDITION	SMOOTH	SMOOTH	DETAIL OF EXCITER
DEPTH OF WATER	33 ^M	33 ^M	UNBALANCED FORCE TYPE
Δ test	43,038 ^{LT}	92,240 ^{LT}	MAX EXCIT. FORCE
df	4 ^M 824	13 ^M 786	DIRECTION OF EXCIT. VER. & LONG.
dm	6 ^M 903	13 ^M 888	OTHER DESCRIPTIONS
da	8 ^M 957	13 ^M 989	TRIAL RUNNING TEST WAS CARRIED OUT AT I YONADA (OFF SADAMISAKI). THE DEPTH OF WATER OF THAT PLACE IS ABOUT 90 ^M ~ 100 ^M .
PROPELLER IMMERSION	69.6%	146.5%	

MEASURING POINTS & LOADING PLAN

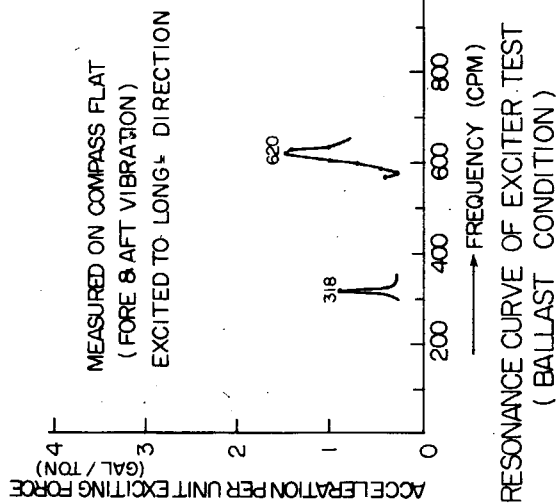
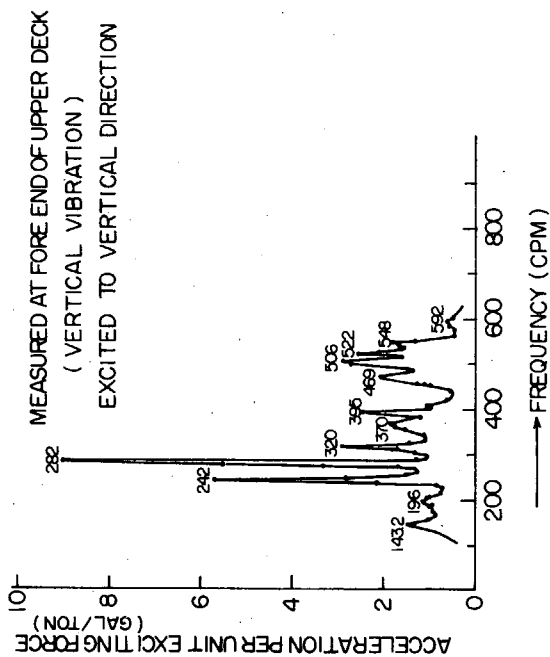
• MEASURING POINTS

BALLAST CONDITION

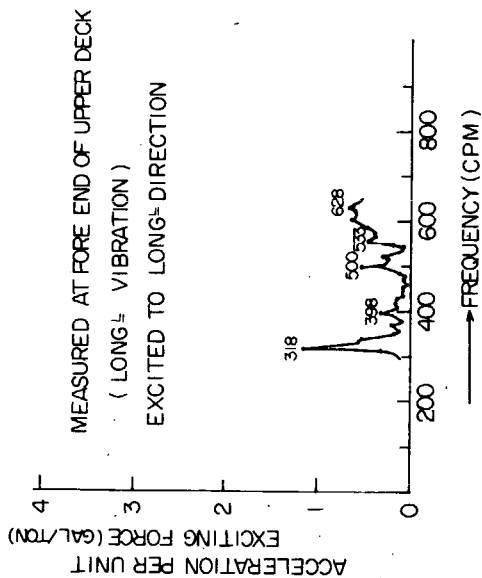
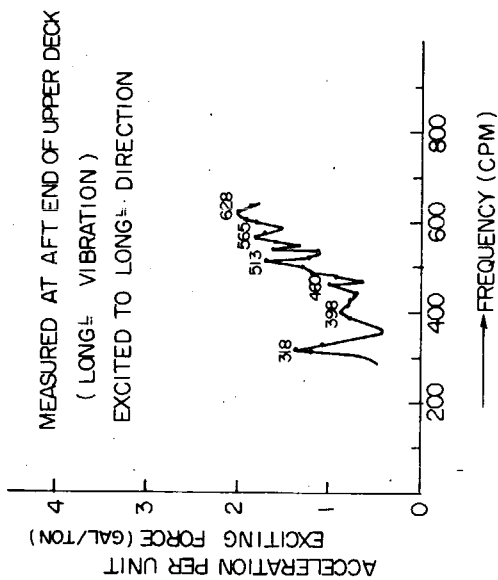
FULL LOAD CONDITION



RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)



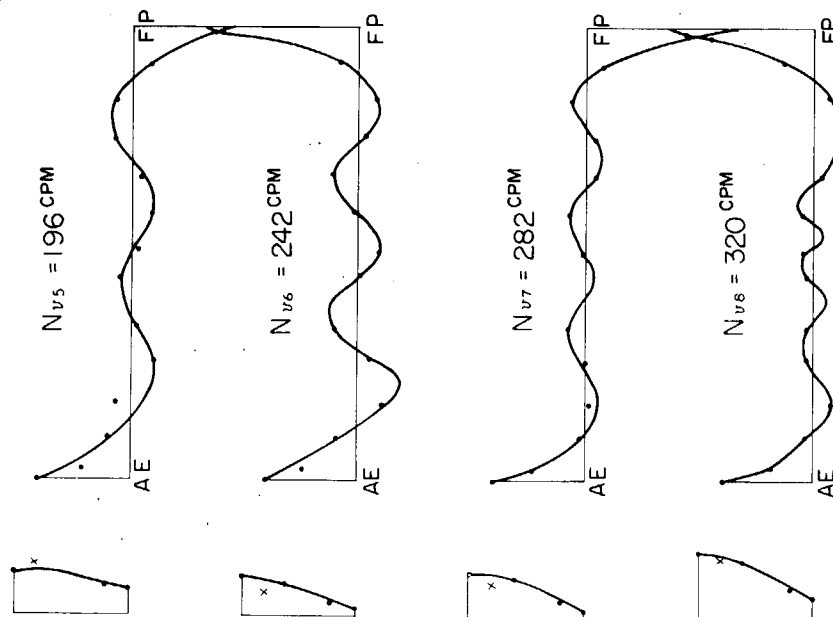
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)



RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)

RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F&A VIBRATION
OF SUPERSTRUCTURE DECKS AND THAT OF VERTICAL
VIBRATION OF SHIP'S HULL

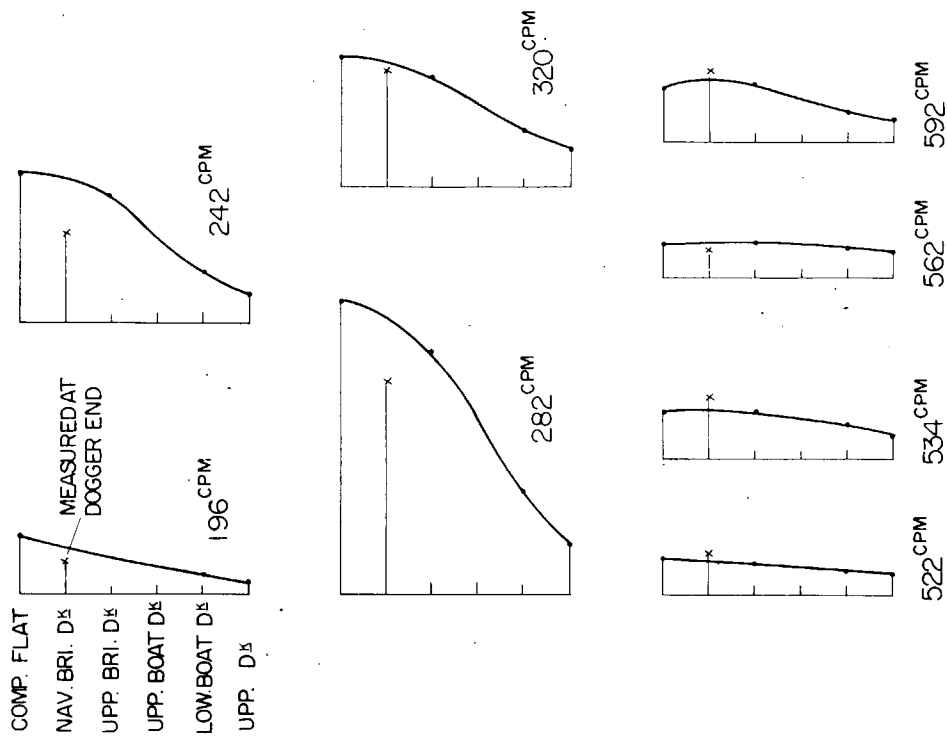
EXCITED TO VERTICAL DIRECTION



NOTE: TAKING THE AMPLITUDE AT AFT END ARE UNIT.

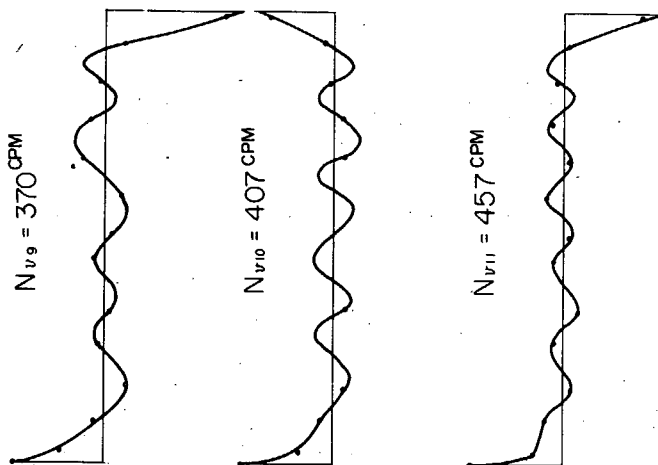
MODE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)

MODE CURVES OF F&A VIBRATION OF SUPERSTRUCTURE
DECKS EXCITED TO VERTICAL DIRECTION



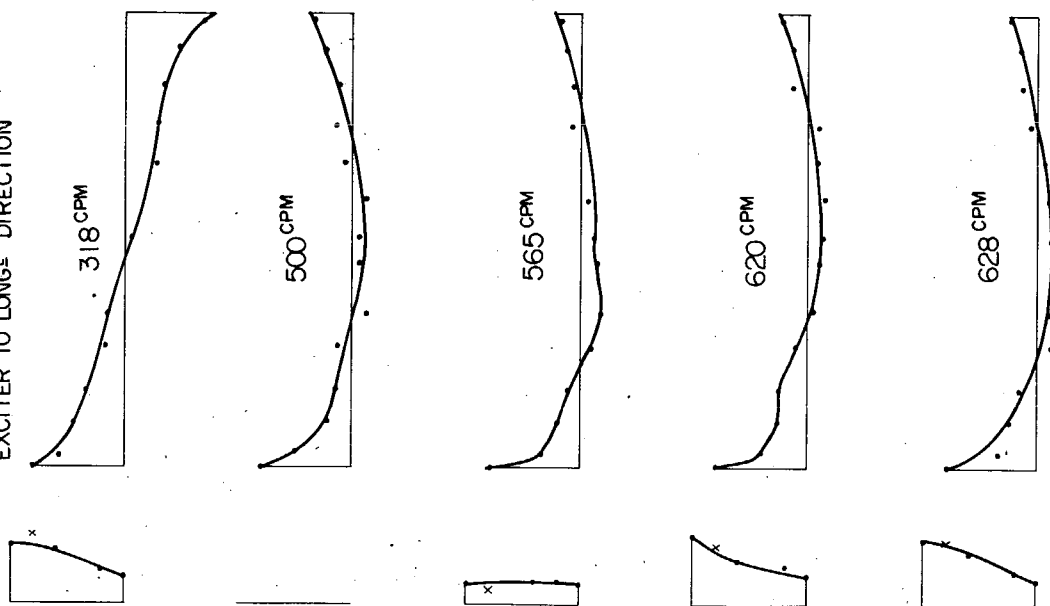
MODE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)

VERTICAL VIBRATION OF SHIP'S HULL
EXCITED TO VERTICAL DIRECTION

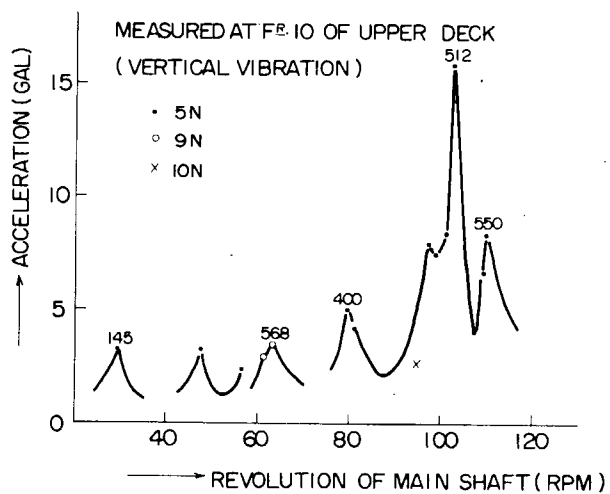
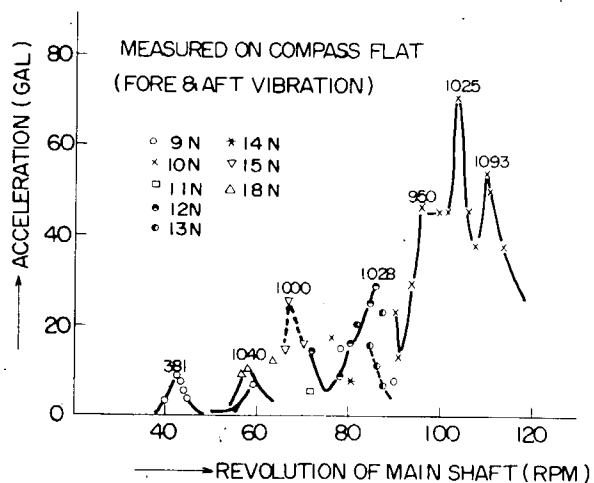


MODE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)

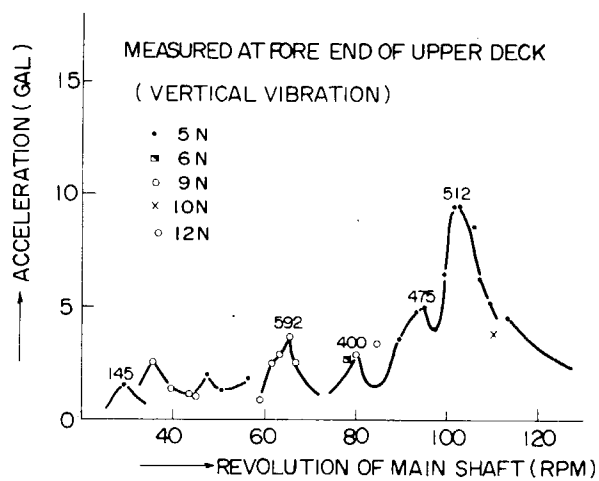
RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF
SUPERSTRUCTURE AND THAT OF LONG[±] VIBRATION OF SHIP'S HULL
EXCITER TO LONG[±] DIRECTION



MODE CURVE OF EXCITER TEST
(BALLAST CONDITION)

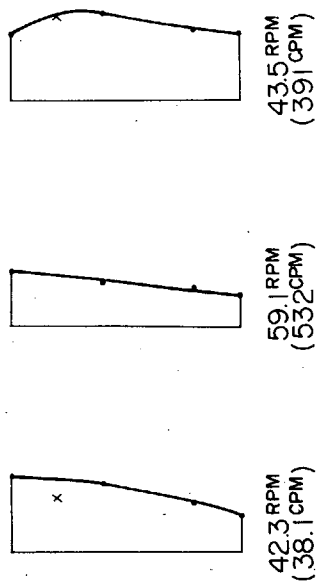


RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(BALLST CONDITION)

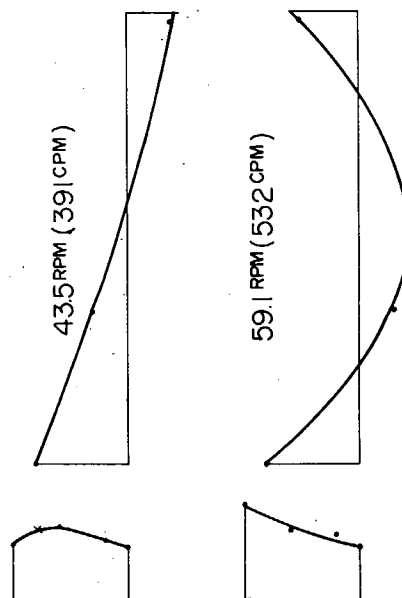


RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(BALLAST CONDITION)

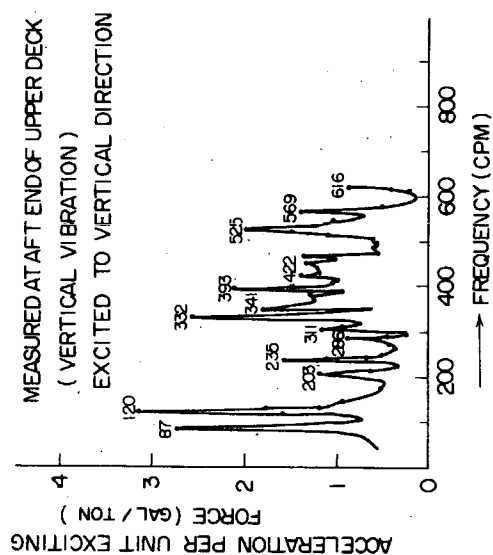
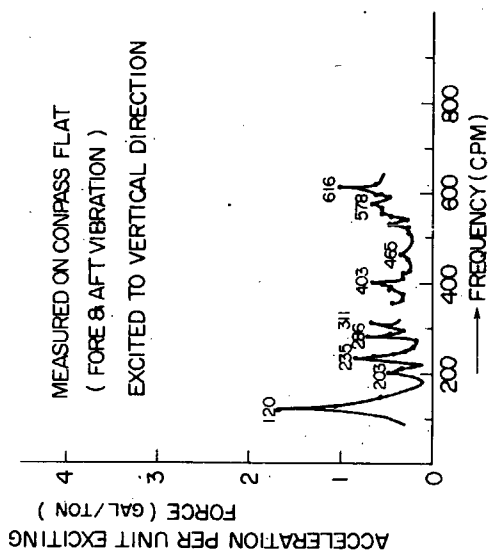
MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF SUPERSTRUCTURE DECKS



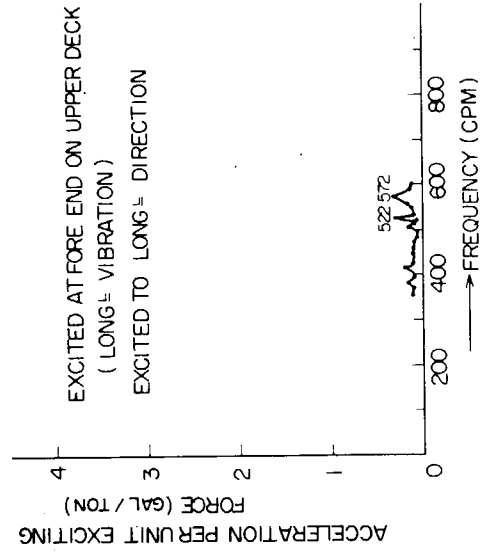
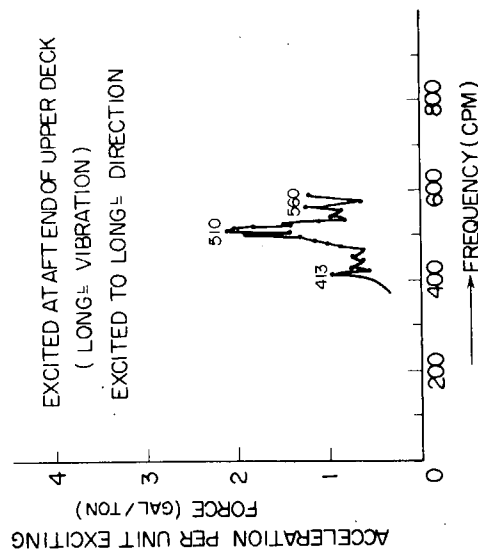
RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF SUPERSTRUCTURE
AND THAT OF LONGITUDINAL VIBRATION OF SHIP'S HULL



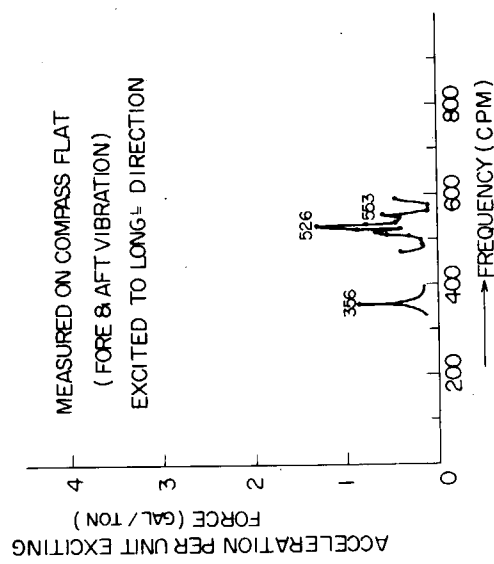
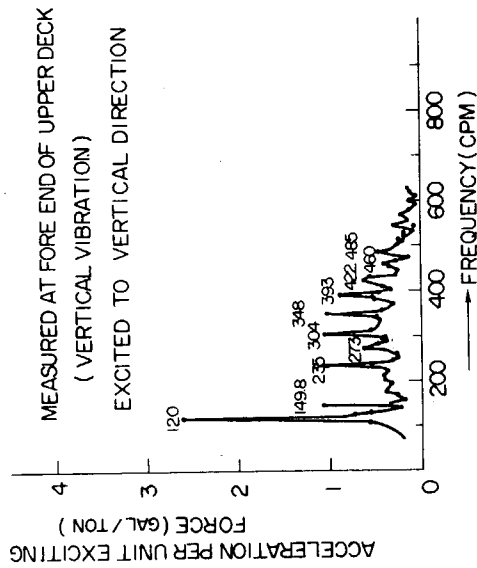
MODE CURVE OF UNDERWAY TEST (BALLAST CONDITION)



RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST (FULL LOAD CONDITION)

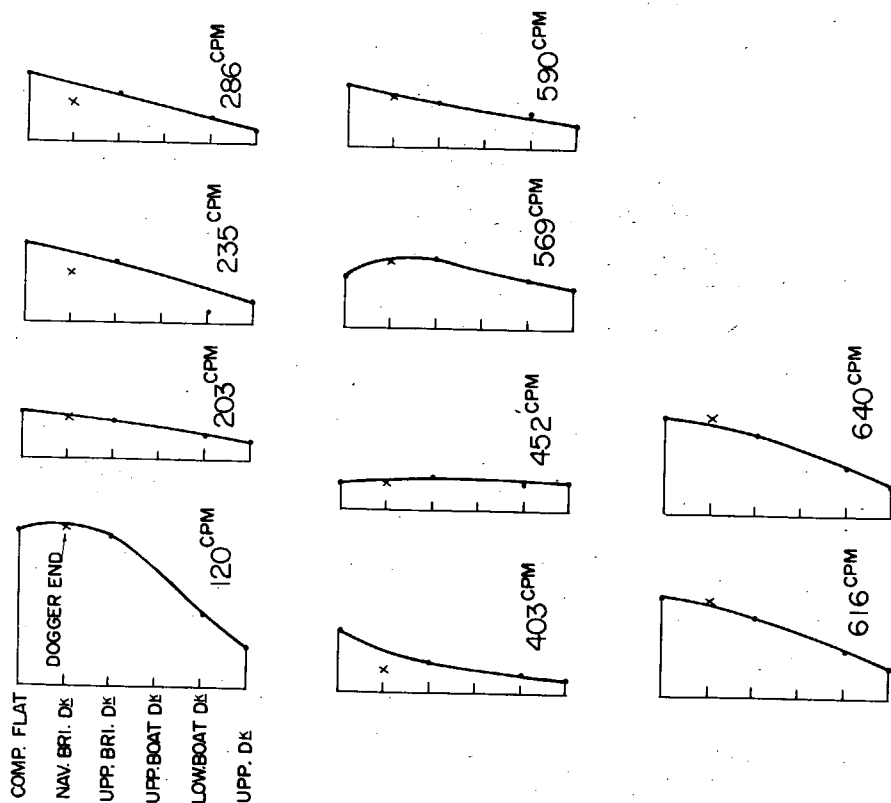


RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION)



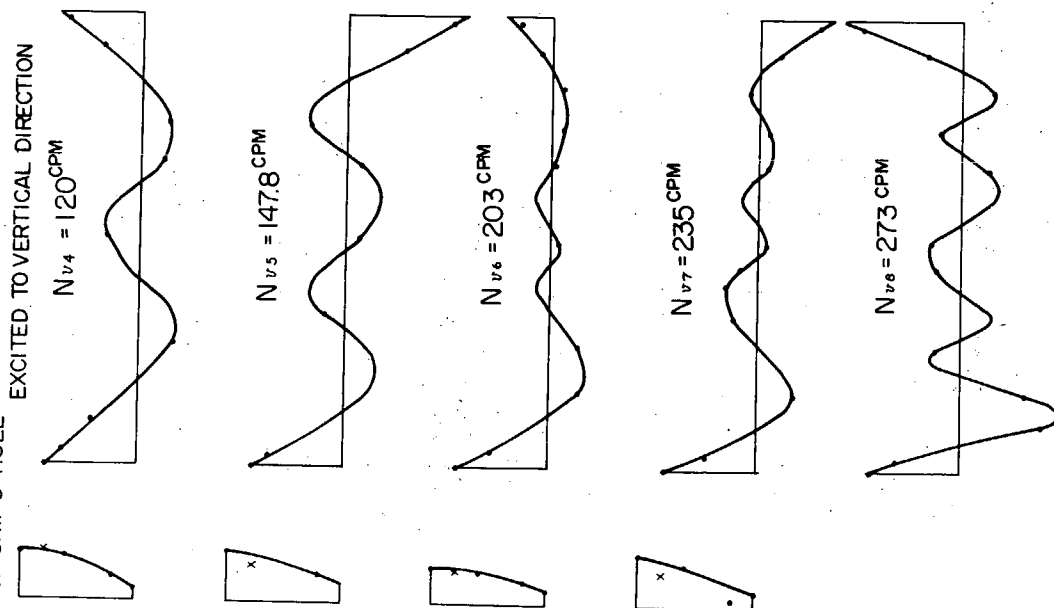
RESONANCE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION)

MODE CURVES OF F & A VIBRATION OF SUPERSTRUCTURE DECKS
EXCITED TO VERTICAL DIRECTION



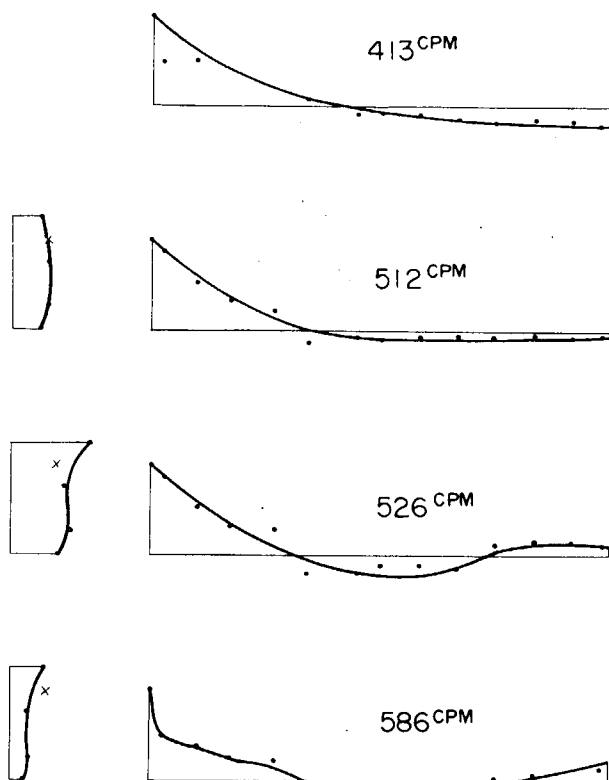
MODE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION)

RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF
SUPERSTRUCTURE DECKS AND THAT OF VERTICAL VIBRATION
OF SHIP'S HULL

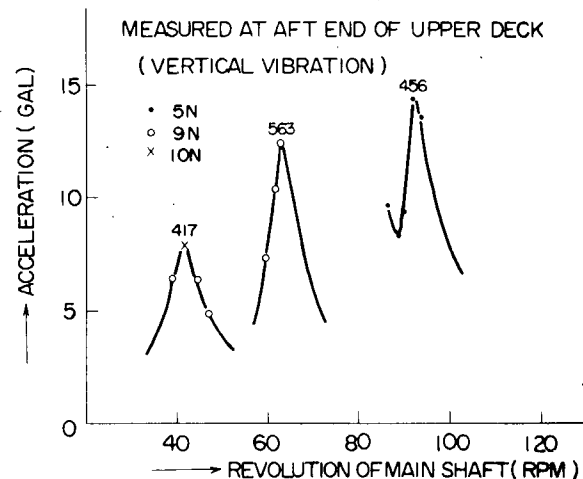
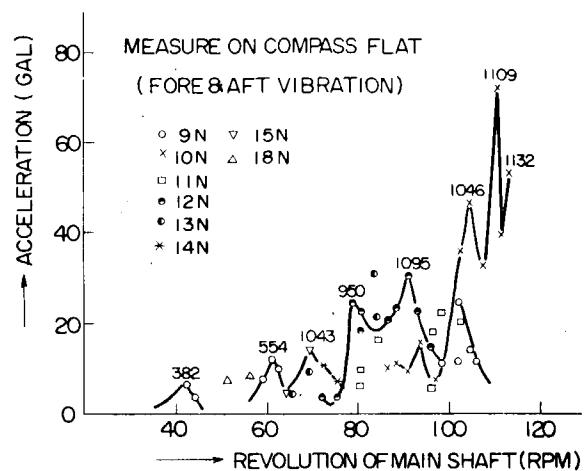


MODE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION)

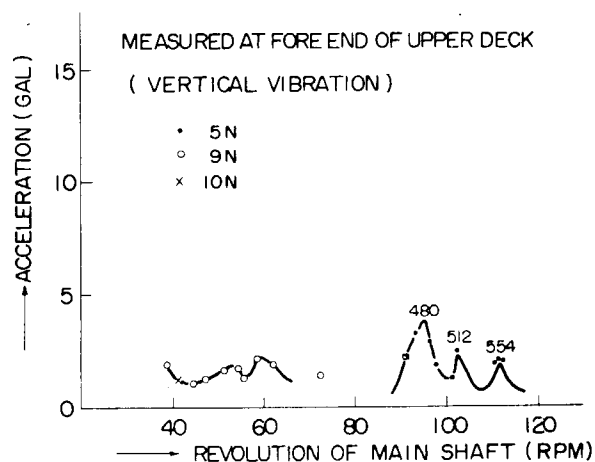
RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF SUPER-
STRUCTURE DECKS AND THAT OF LONG[±] VIBRATION OF SHIP'S
HULL EXCITED TO LONG[±] DIRECTION



MODE CURVE OF EXCITER TEST
(FULL LOAD CONDITION)

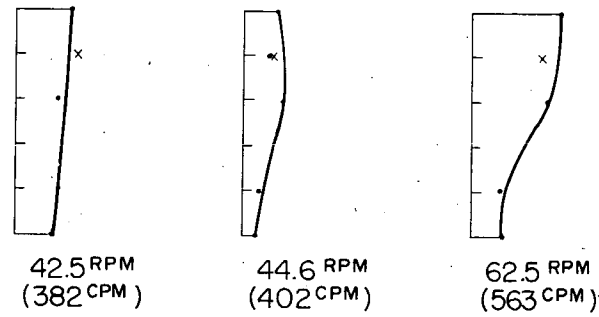


RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(FULL LOAD CONDITION)

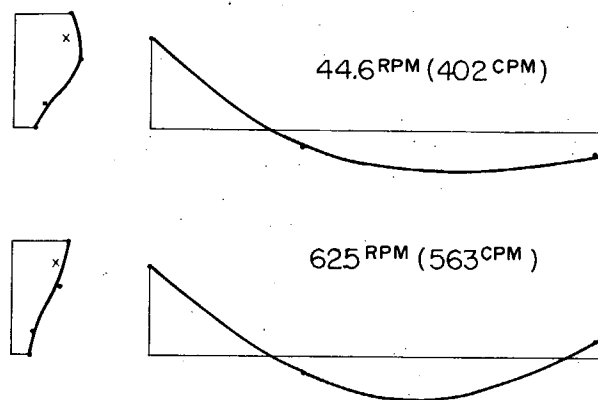


RESPONSE CURVE OF UNDERWAY TEST
(FULL LOAD CONDITION)

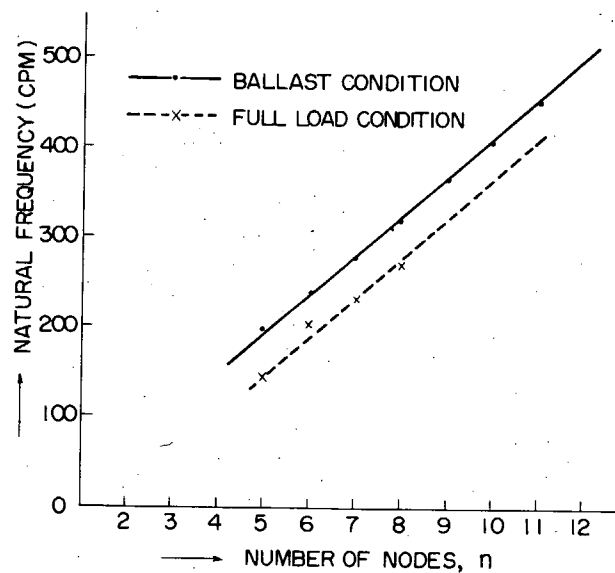
MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF SUPERSTRUCTURE DECKS



RELATION BETWEEN MODE CURVE OF F & A VIBRATION OF SUPER-STRUCTURE DECKS AND THAT OF LONG VIBRATION OF SHIP'S HULL



MODE CURVE OF UNDERWAY TEST (FULL LOAD CONDITION)



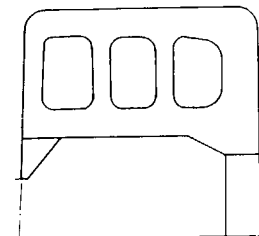
RELATION BETWEEN NUMBER OF NODES AND NATURAL FREQUENCY

RESULTS OF VIBRATION MEASUREMENTS

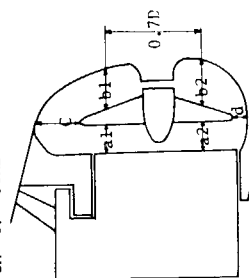
PARTICULARS OF SHIP

HULL			MAIN ENGINE	
KIND & TYPE	ORE/OIL CARRIER	KIND & TYPE	IHI SULZER 10R090	
CLASS	NK	NUMBER	1	
CONSTRUCTION	LONG1 SYSTEM	POSITION OF ENGINE	AFT	
Loa	249.90 M	SHP (MCR)	23,400 PS	
Lpp	240.00 M	RPM (MCR)	122 RPM	
Bmld	38.94 M	UNBALANCED FORCE	Fvi	
Dmld	19.50		Fvii	
d full	13.50 M		Fh	
Δ full	106.326 T	UNBALANCED	Mvi	
D. W.	84.200 T	MOMENT	Mvii	
Cb.full	0.816		Mh	
MOMENT OF INERTIA	Iv	PROPELLER		
	Ih	NUMBER	1	
WEB AREA	Av	NO. OF BLADES	5	
	Ah	DIAMETER	6.600 M	

SKETCH OF SECTION



SKETCH OF SCREW APERTURE

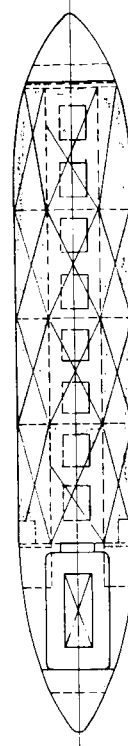
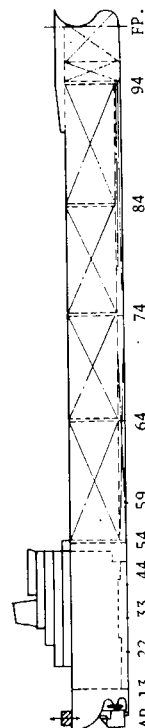


$a1 = 1.180 \text{ M.}$ 0.1790
 $a2 = 1.180 \text{ M.}$ 0.1790
 $b1 = 1.800 \text{ M.}$ 0.2730
 $b2 = 1.770 \text{ M.}$ 0.2690
 $c = 2.160 \text{ M.}$ 0.3270
 $d = 0.700 \text{ M.}$ 0.1060

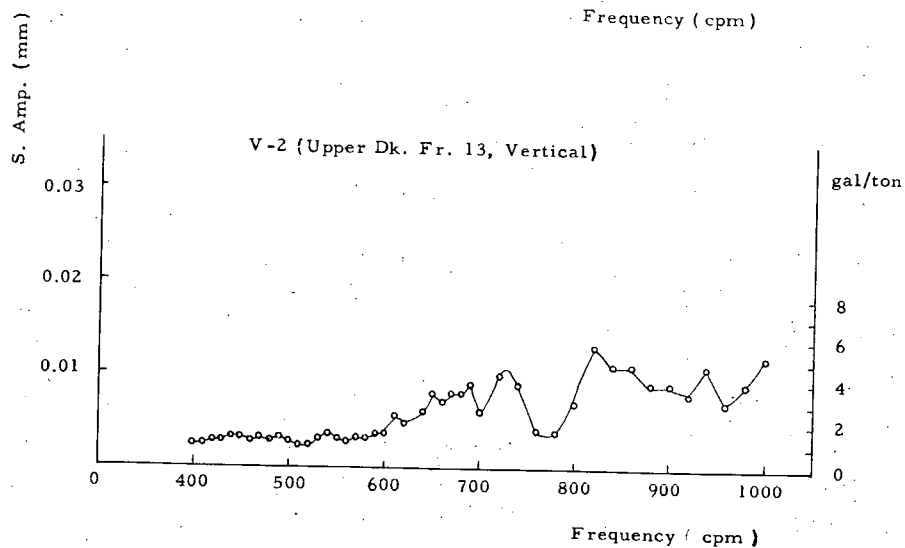
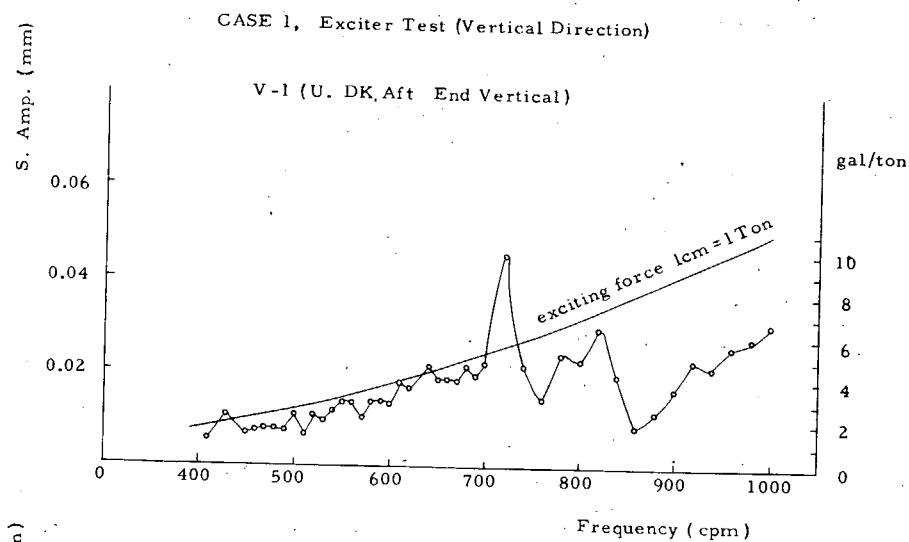
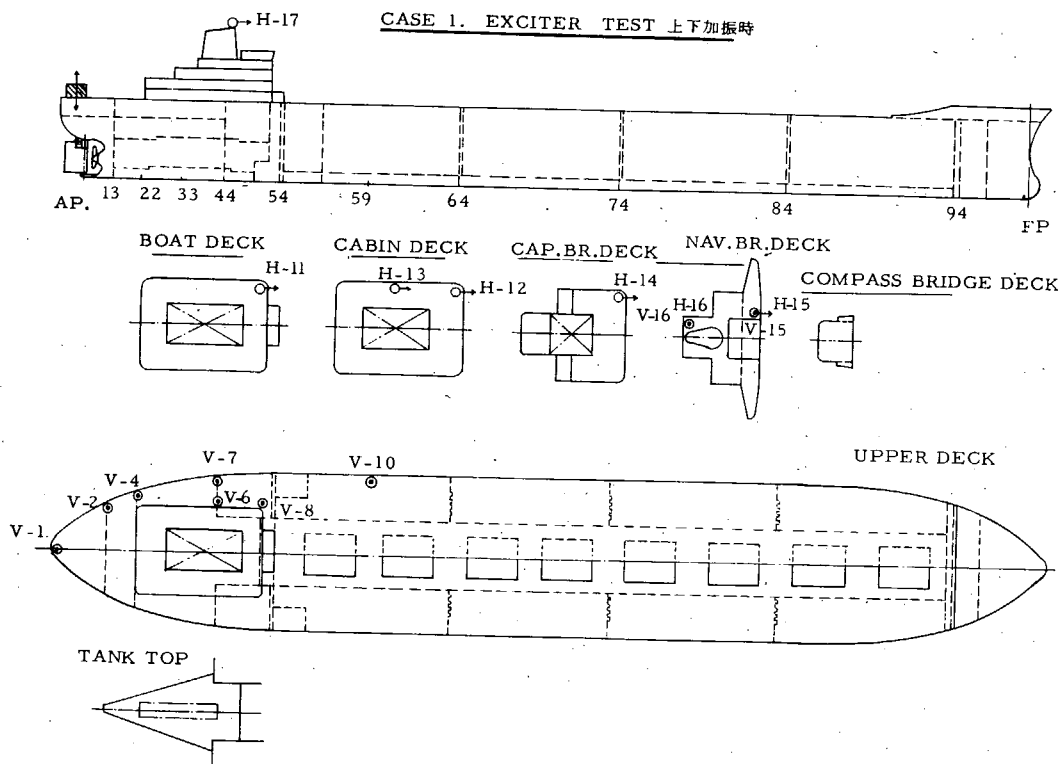
SHIP NO	---
BUILDER	I.H.I.

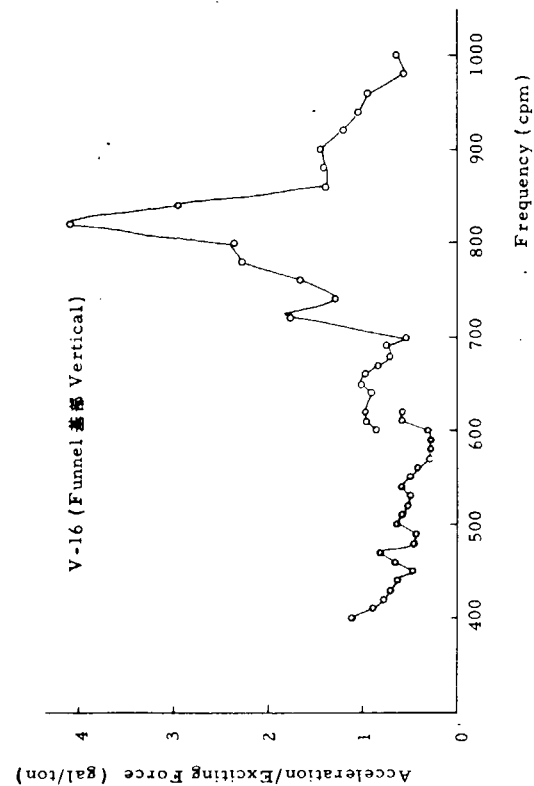
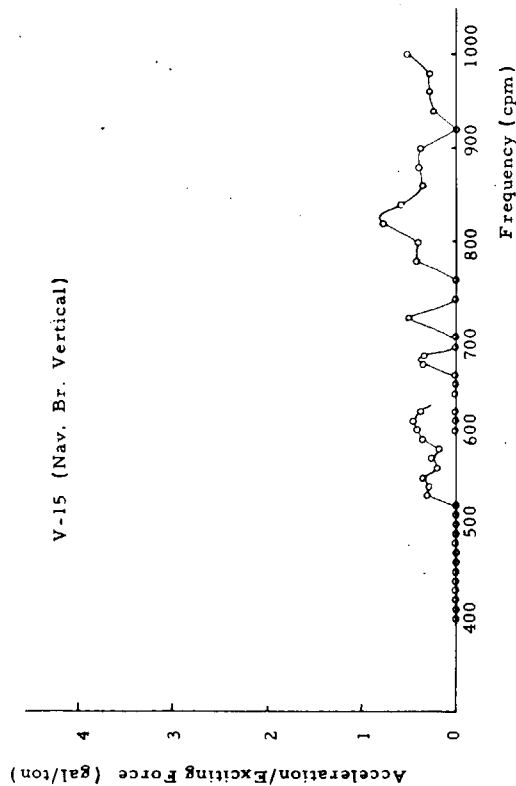
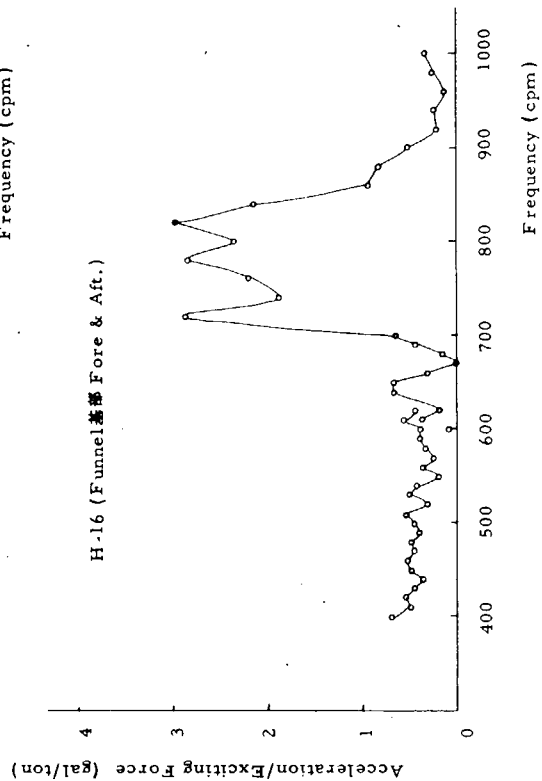
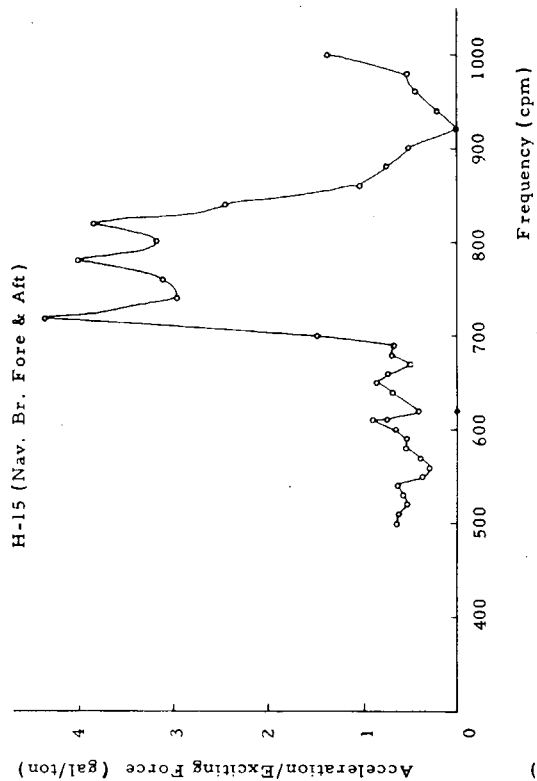
TEST CONDITION			MEASURING INSTRUMENT	
CASE	1	2	3	U-GAGE TYPE ACCELEROMETER & CROSS HINGE TYPE DISP. METER
DATE	Aug. 31 th 67	Sep. 9 th 67	Sep. 24 th 67	
PLACE	A101	A101.	OFF WAKAYAMA	
WEATHER	RAINY	FINE	FINE	CASE 1, 15 POINTS CASE 2, 22 POINTS CASE 3, 59 POINTS
SEA CONDI.	SMOOTH	SMOOTH	SMOOTH	DETAIL OF EXCITER
DEPTH OF WATER	abt. 6 m	abt. 6 m	abt. 100 m	UNBALANCE FORCE TYPE
TEST	19,100 T	19,100 T	106,253 T	MAX. EXCITING FORCE 5 T
d f	—	—	13.38 m	DIRECT. OF EXCITER VERTICAL & HORIZONTAL
d a	—	—	13.42 m	OTHER DESCRIPTION
d m	—	—	13.55 m	CASE 1, EXCITER TEST CASE 2, NO LOAD TEST CASE 3, UNDERWAY TEST
PROPELLER IMMERSION	—	—	136 %	

LOADING PLAN



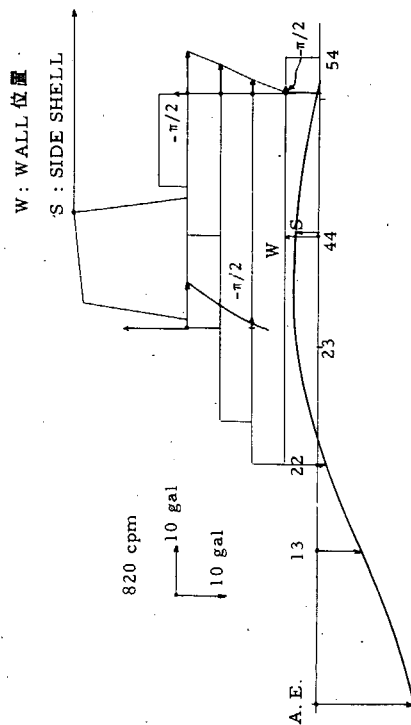
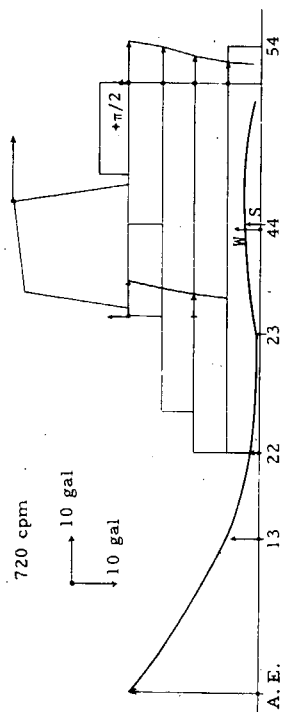
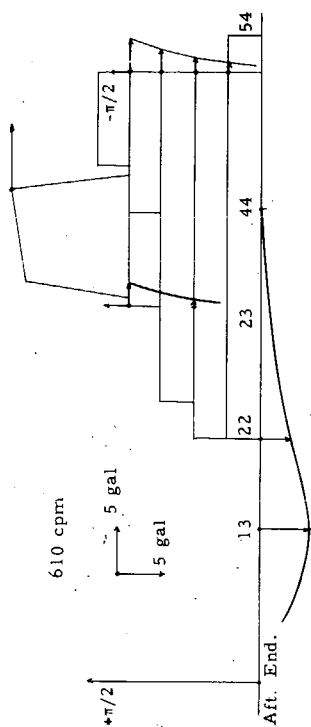
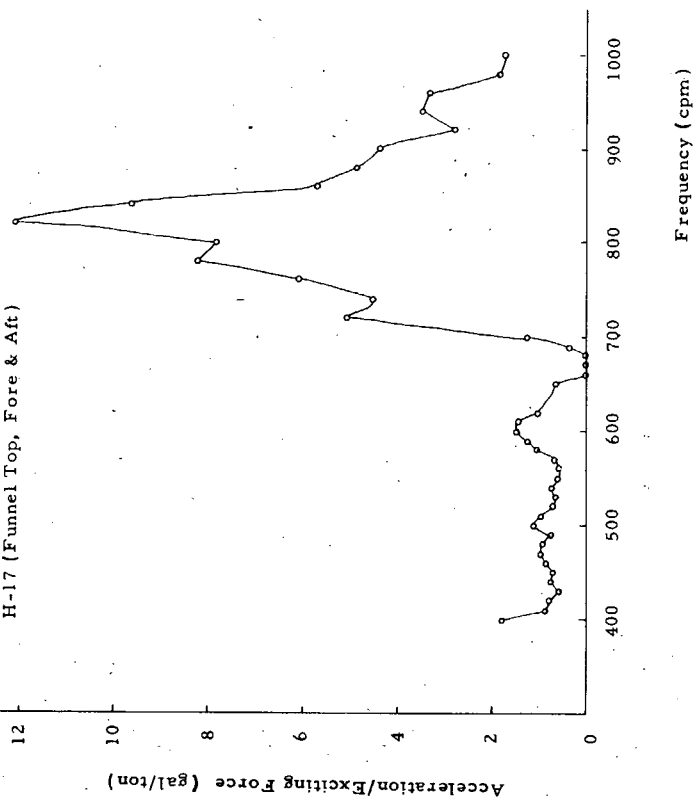
$16.504^T \text{ (p\&s)}$ $19.008^T \text{ (p\&s)}$ $17.254^T \text{ (p\&s)}$
 8.036^T (C) $18.550^T \text{ (p\&s)}$ 5.896^T (C)

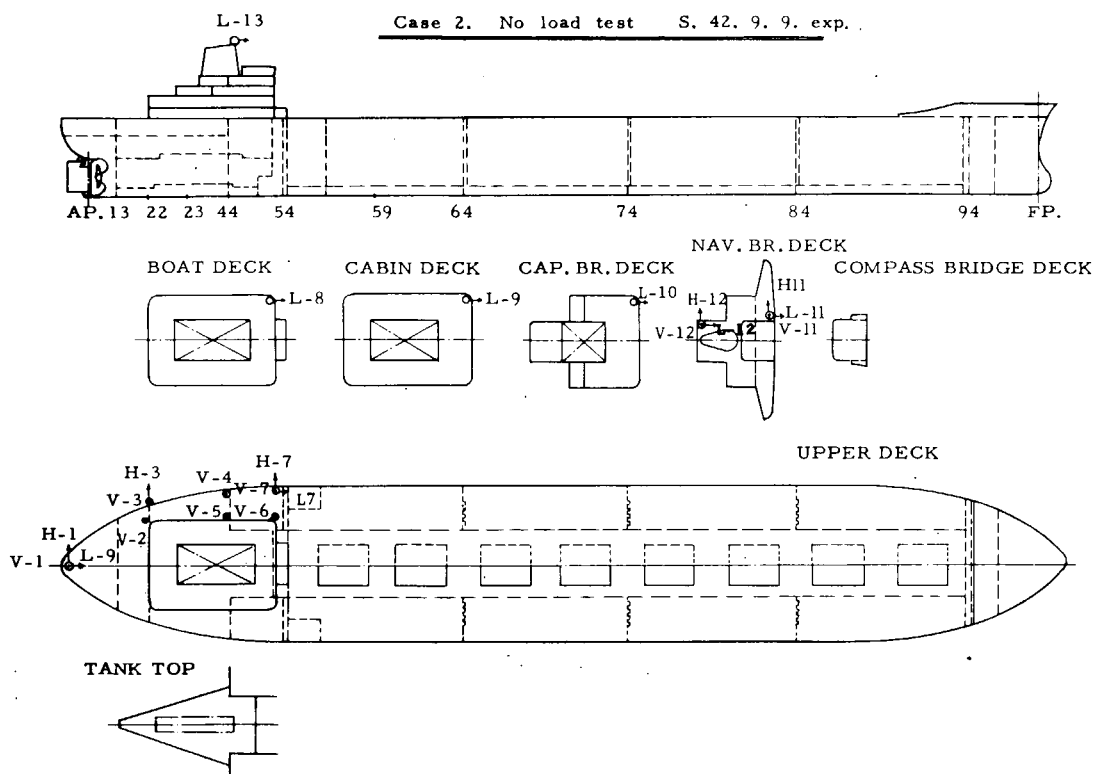
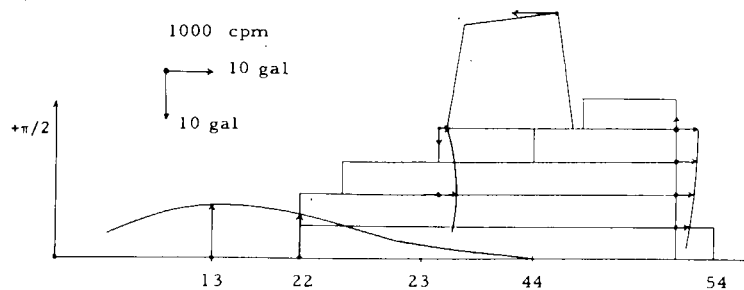




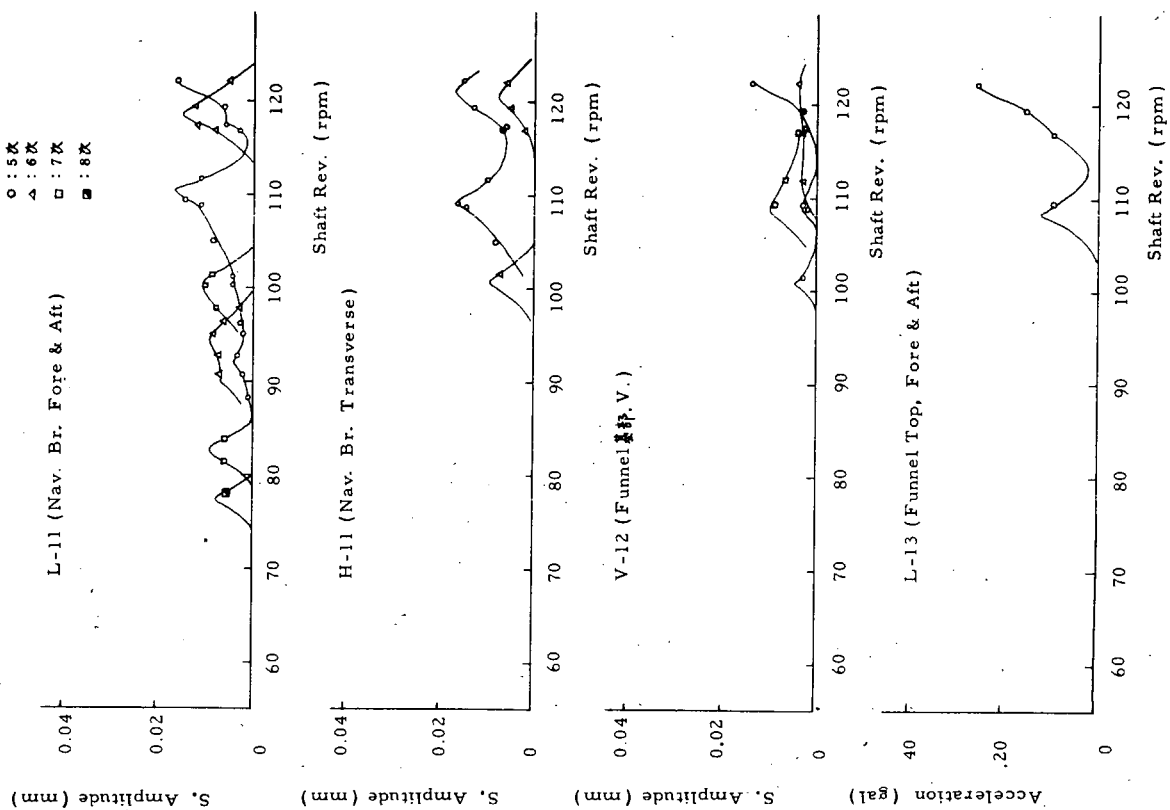
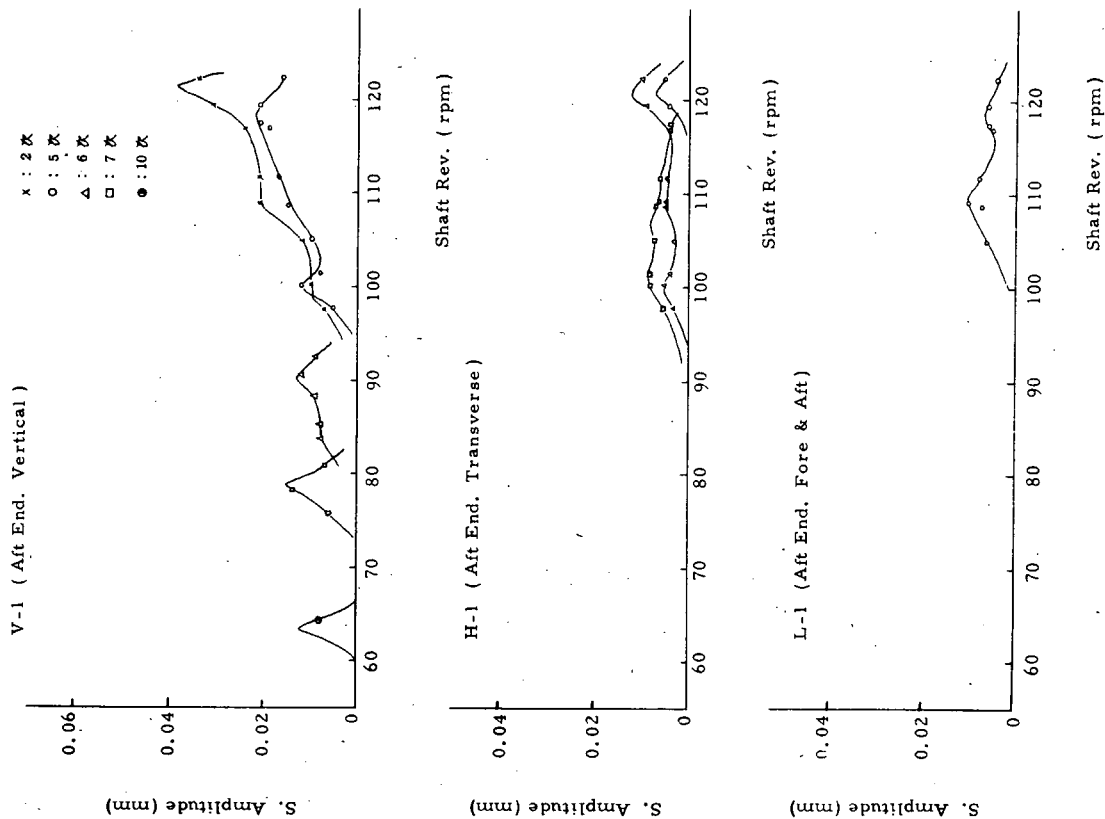
CASE 2. Exciter Test S. 42. 8. 31 exp.
Vertical Direction

H-17 (Funnel Top, Fore & Aft)

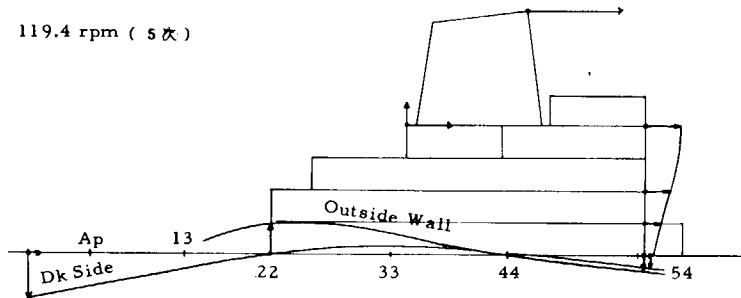
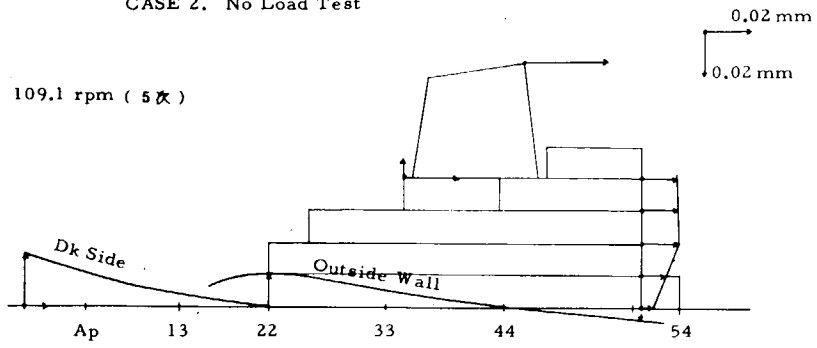




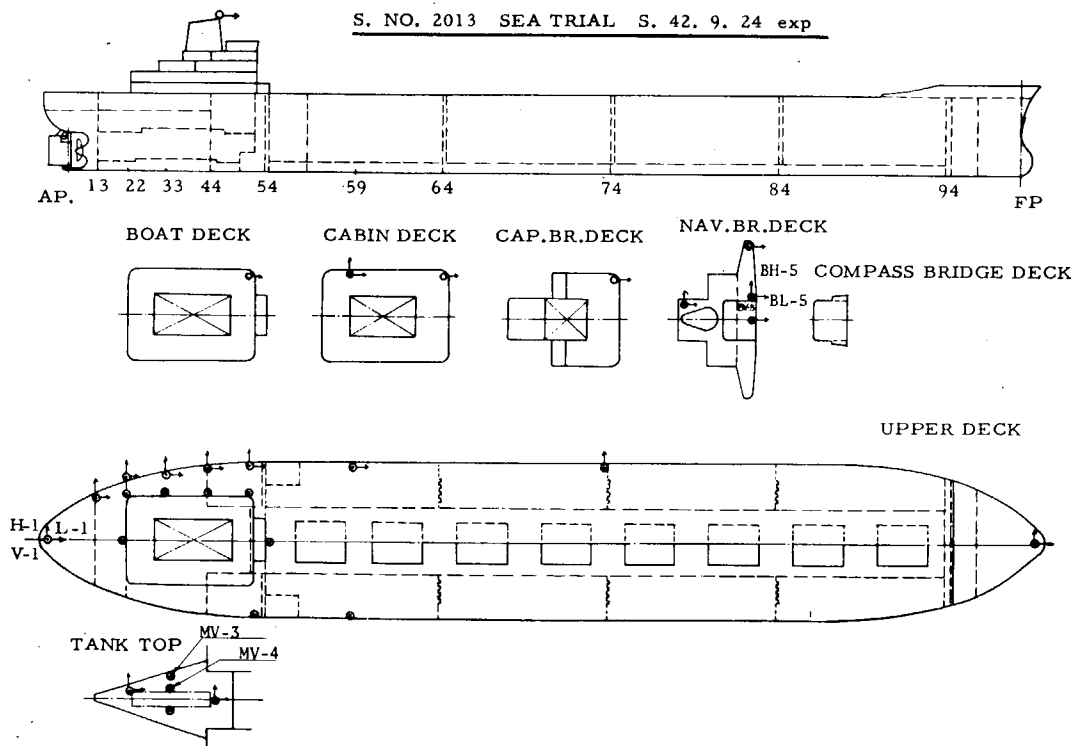
CASE 2. No load test



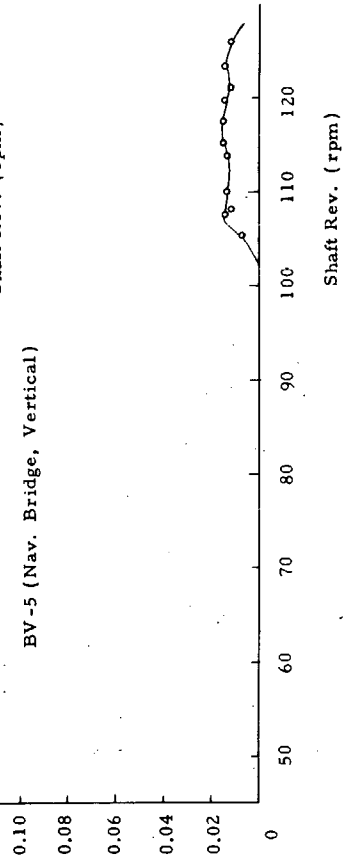
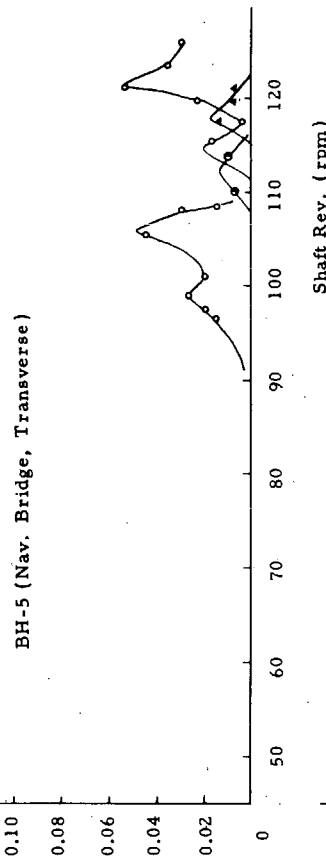
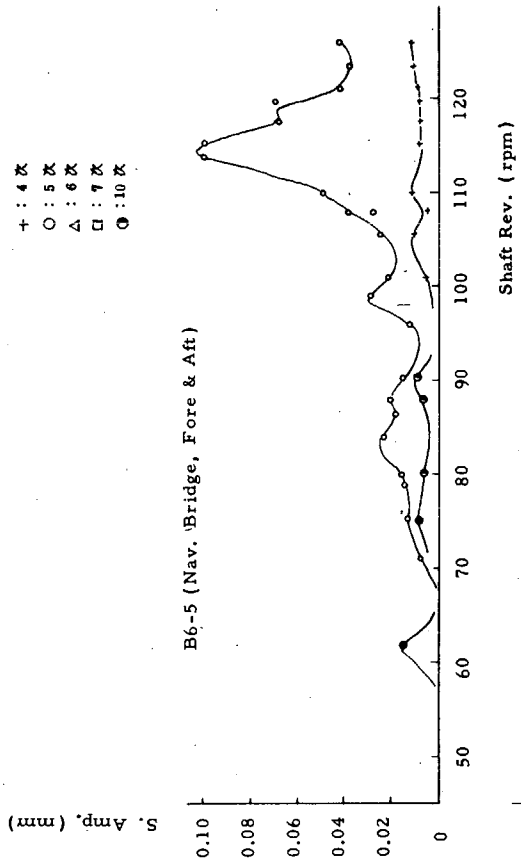
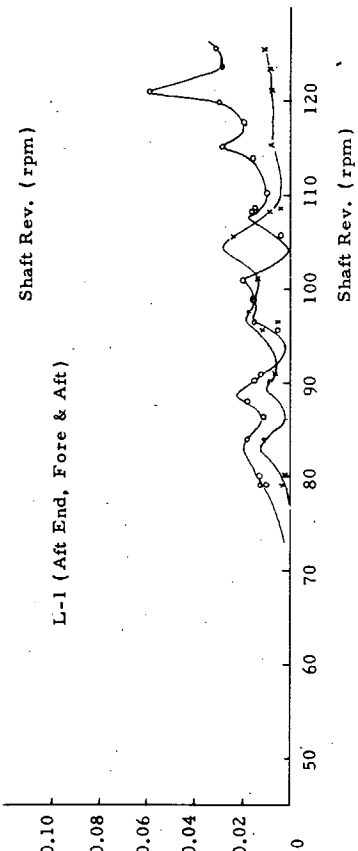
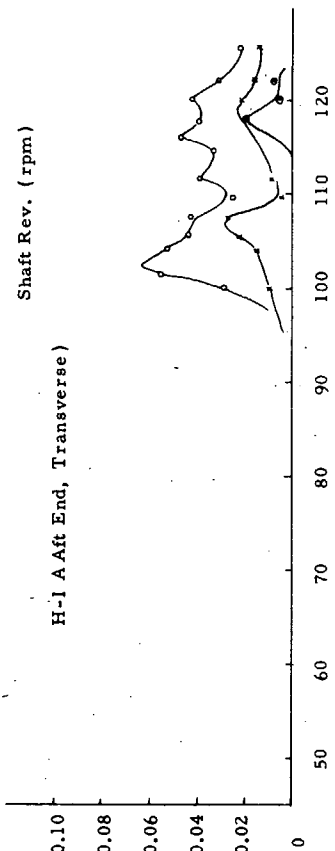
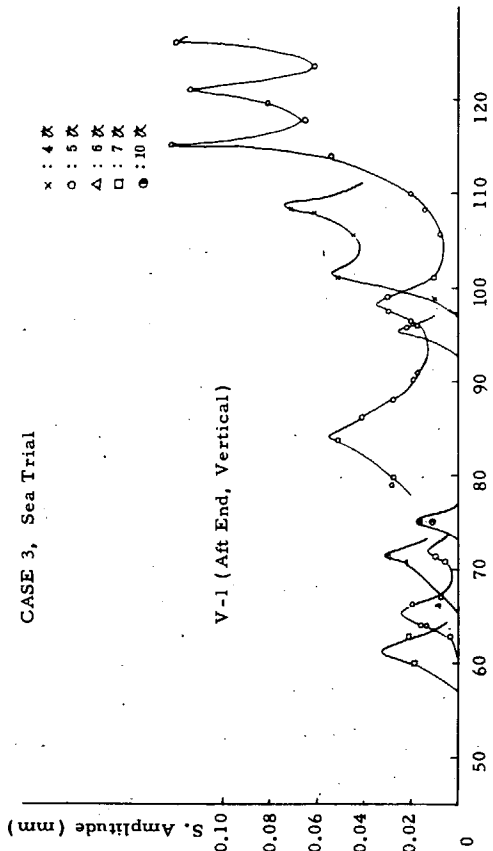
CASE 2. No Load Test

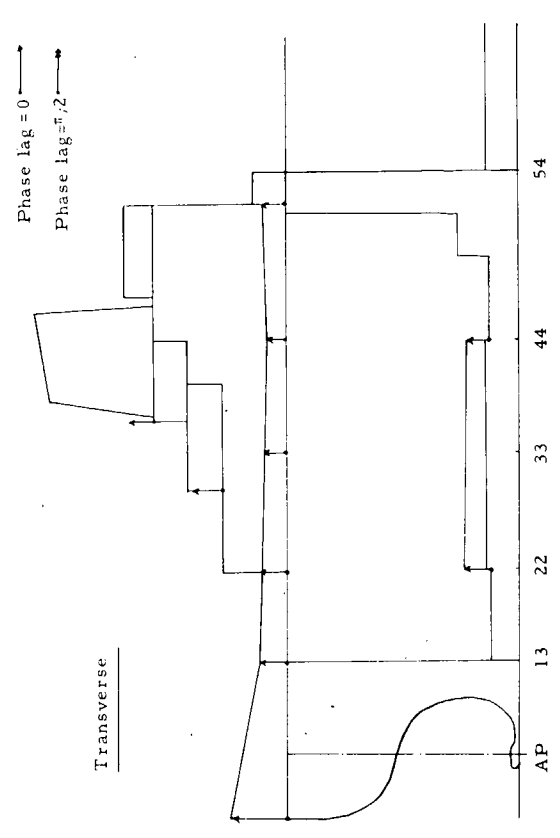
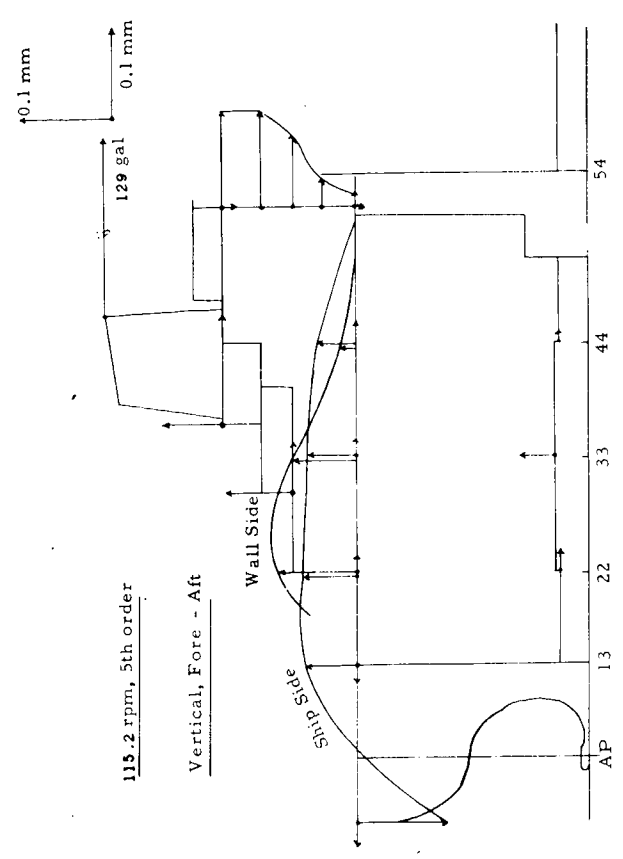
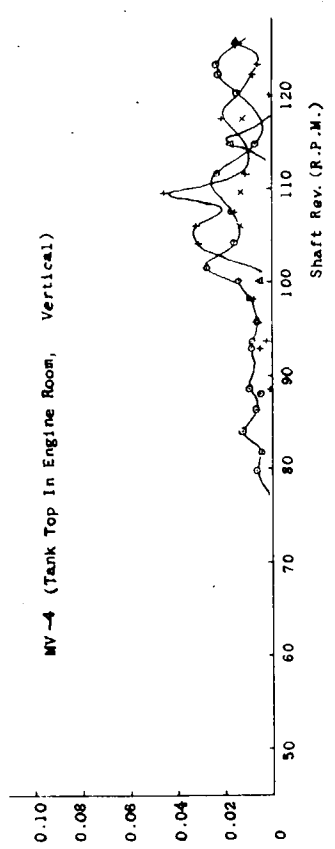
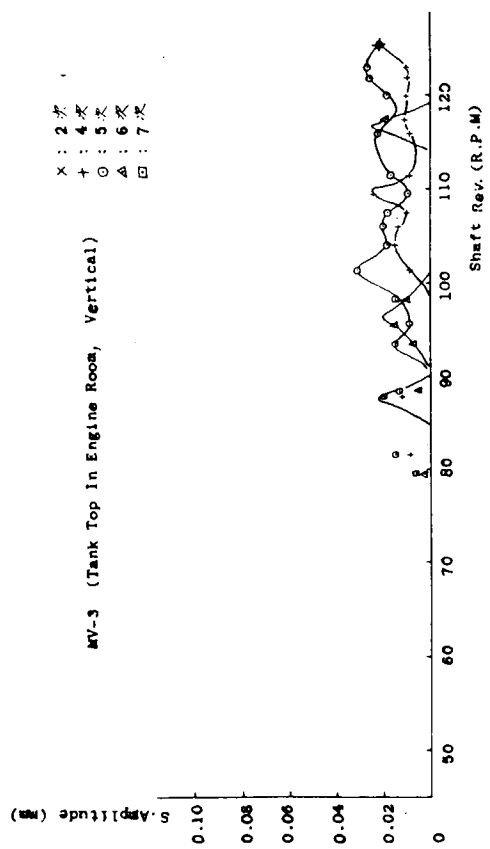


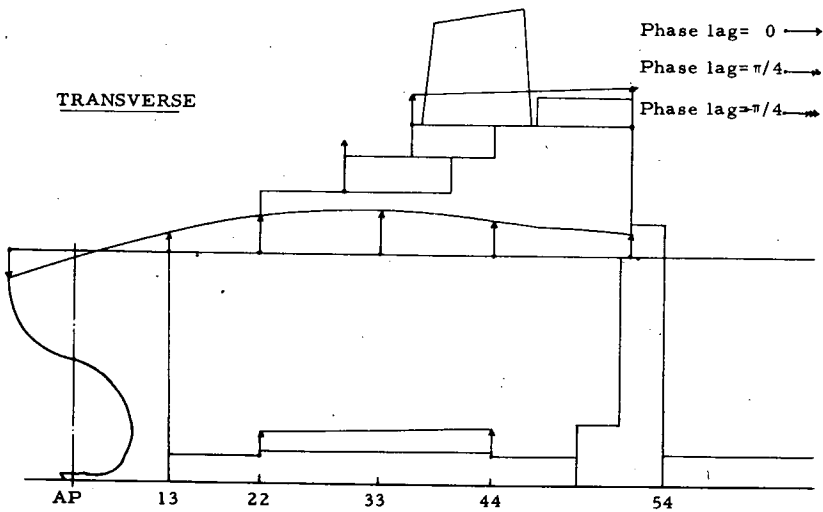
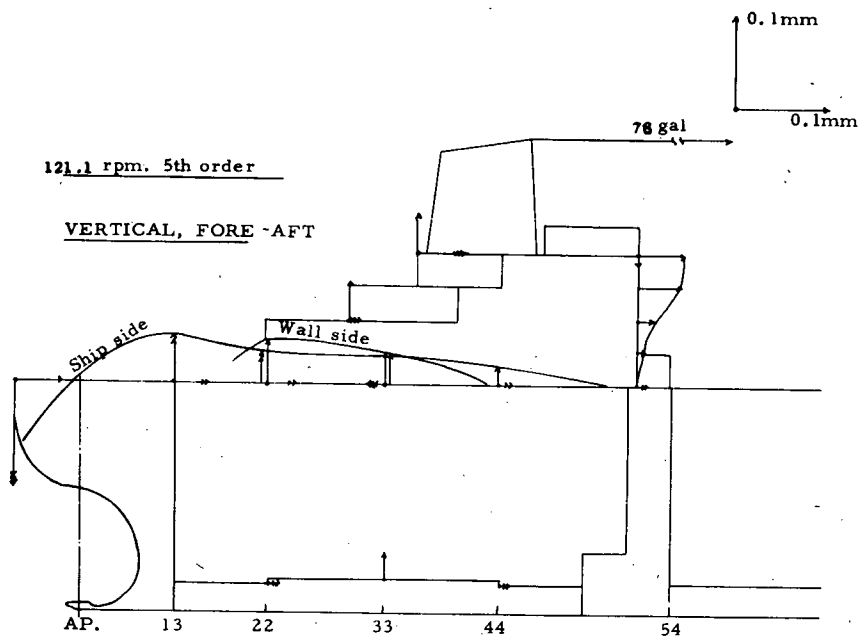
S. NO. 2013 SEA TRIAL S. 42. 9. 24 exp



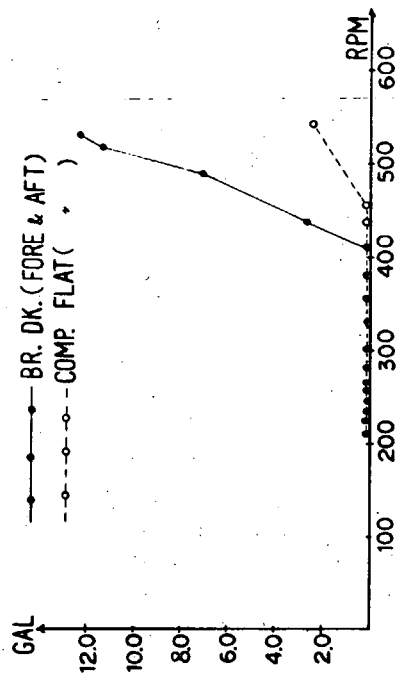
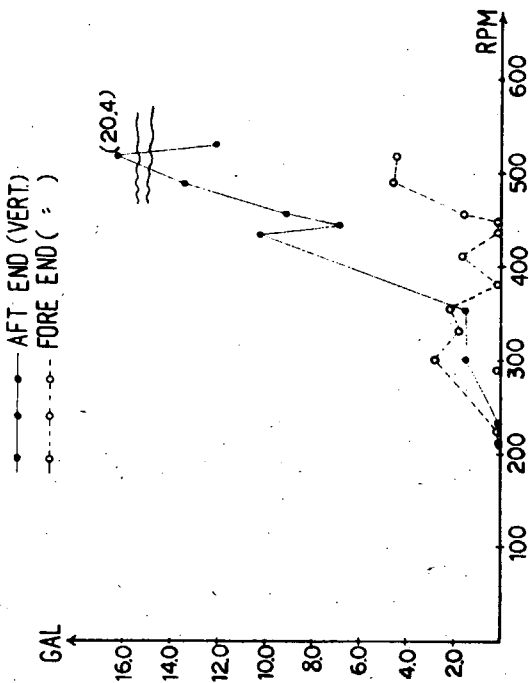
CASE 3, Sea Trial





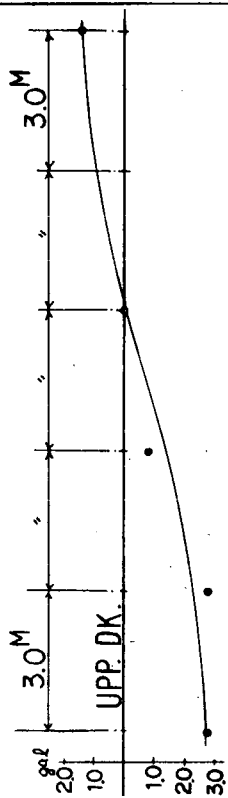


RESONANCE CURVE

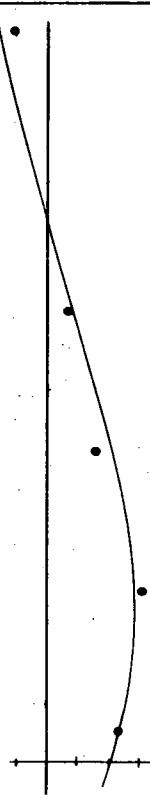


MODE CURVE

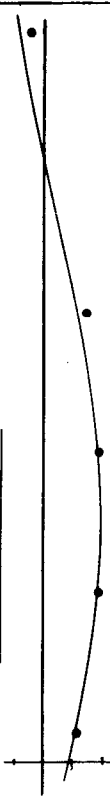
FREQ. = 447 (5×RPM)



AFTER 1/100 SEC.

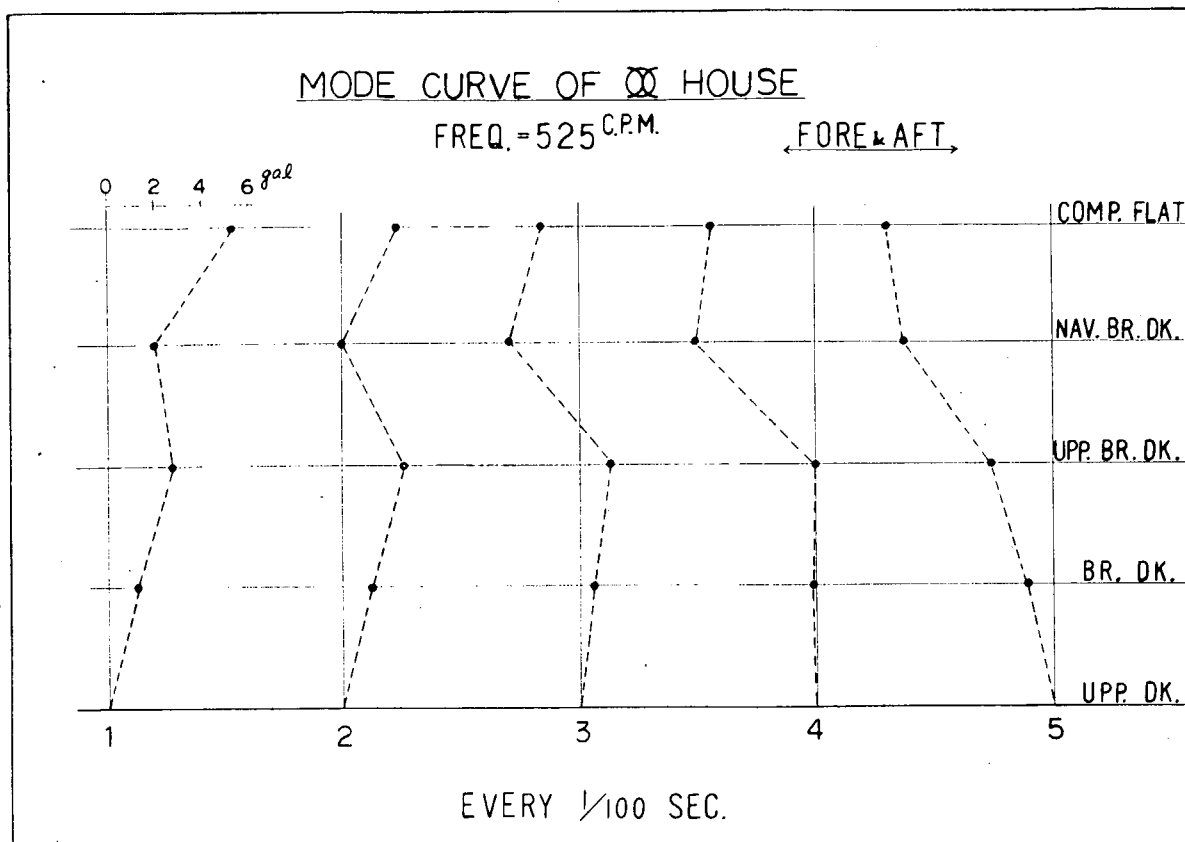


AFTER 2/100 SEC.



AFTER 3/100 SEC.





THE HULL VIBRATION OF NATURAL FREQUENCY IS NOT OBSERVED DURING THE SERVICE NOR OFFICIAL TRIAL. "MODE CURVE" IS THE RECORD MEASURED ON UPPER DECK ALONG THE LONGITUDINAL BULKHEAD LINE. THE VIBRATION IS PROGRESSING WAVE. SOMETIMES, 2-NODE HORIZONTAL VIBRATION OF THE HULL EXIST, BUTT THE RESPONSE IS VERY SMALL. SO THE DATA ARE NOT SHOWN ON THIS REPORT.

第 2 編 主として昭和 4 1 年度実船振動
計測データによる解析結果

第 1 章 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 年度報告（研究資料 60-1）に記載された方法で行なっている。すなわち n 節の上下固有振動数を N_{vn} で表わして、これが

$$N_{vn} = C_{vn} \cdot \frac{60}{2\pi} \cdot n^2 \pi^2 \sqrt{\frac{g E I_v}{\Delta_v L^3 \{1 + (\alpha + \beta) n^2 \pi^2\}}} \quad (\text{CPM}) \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

で求められるものとして、実験値から C_{vn} を求めることを試みた。これらの結果を前年度のデータと共に表示したものが Table 1.1 および 1.2 である。

また、実船の固有振動数と剛性など諸数値との関係、節数と固有振動数との関係、計測されたモード曲線などについても前年度のデータと共に図示している。これを Fig. 1.1 ~ 1.15-(4) に示す。

これらの図および表によつてわかるように、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。

1.2 船体水平固有振動数

水平固有振動数については、実船実験のデータが 1 隻分しかないので昨年度の資料にプロットするのみにとどめた。この場合も上下振動の場合と同様、これまでの結果とそれほど顕著な差はみられず、むしろきわめてよい一致を示している。

1.3 船体縦固有振動数

前年度の解析に取上げた供試船にくらべて、本年度は船型が大型化したためか、実験結果も複雑な性状を示している。すなわち、多数の 2nd Spectrum が実測され、0 節振動のごとき特異な現象も見出されている。これらの現象は文献(1)によれば、主船体の縦振動と上下振動との連成として説明できるので、特異現象を生じた実験においては、このような見掛の現象は除外して考察を行なっている。

1.3.1 固有振動数と主要寸法の関係

起振機実験より得た縦振動数と供試船の A_K , Δ , L との関係を図示すると Fig. 1.29 のごとくなる。ただし、1 節、2 節振動を一括して図示するため、2 節振動の横座標は 2 倍にされている。

この図により振動数の概略の範囲を知ることができるが、Ballast の搭載位置などによつては振動数に $\pm 10\%$ 程度の変化は起りうると考えられる。また、置点された実験値はほとんどが、Ballast Condition におけるものであるが、Full Load Condition の 1 節では図示の平均線より 20% 程度振動数が高くなるものと思われる。（文献 2）

設計の初期には船体部材の断面積 A_K が明らかでない場合が多い。このような時には Fig. 1.30 により A_K を推定できる。

同図中に引いた平均線は Tanker についてのものであり

$$\log A_K = \frac{L - 55}{260}$$

に相当する。ここに A_K , L はそれぞれ m^2 , m の単位である。

1.3.2 縦固有振動数の数値計算

縦振動数は前年度報告書(3)の要領で計算すれば、荷重分布等の影響を考慮した数値を得ることができるが、今回解析した結果によれば、Tank 内の液体の有効重量を推定する必要がある。

縦振動数は次式であらわすことができる。

$$N_{\ell n} = 30 \cdot n \cdot C_{\ell n} \sqrt{\frac{E A_K g}{W L}} \quad (\text{毎分}) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

Table 1.1-(1) NATURAL FREQUENCY OF TESTED SHIPS (FOR VERTICAL VIB.)														
SHIP NAME & TYPE	LPP (m)	B (m)	IV (m ²)	AV (m ²)	d(AT) TEST	1+Z	ΔV (M.T.)	$\sqrt{\frac{B^3}{\Delta V}}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	N6V (CPM)
H-1 (T)	229	35.2	245	2078	6.185	2.141	96,100	1.54	3.94	3.32	585	939	43*	84 127 181 229
					Fail									
					Fail									
					Fail									
H-2 (T)	290	47.5	881.3	2751	8.81	2.139	206,200	1.29	3.61	2.05	989	131	42*	81 123 156 191
					Fail									
					Fail									
H-3 (O/C)	210	32.2	211.2	1298	7.22	2.087	81,300	1.68	4.90	2.76	960	118	60	120 196 234 310
					Fail									
H-4 (O/C)	208	32.2	242	1237	7.92	2.046	80,800	1.83	4.43	2.72	117.5	10.94	57	112 181 225 282
					Fail									
H-5 (T)	225	37.2	313.4	1397	12.47	1.882	164,500	1.85	3.57	1.94	115.1	12.5	43*	95 330 405 570
					Fail									
H-6 (B/C)	216.4	31.7	195.2	1931	6.00	2.135	80,800	1.55	4.48	3.32	56.1		66	140 184 219 408
					Fail									
A (C)	145	19.6	55.9	0.4688	4.16	1.680	15,910	3.63	9.39	4.82	114.8		102	175 264 335 400
					Fail									
B (B/O)	187.5	23.6	107	1.117	9.887	1.801	70,200	1.52	3.64	2.92	69.5		60*	123 190 260 320
					Fail									
C (T)	197	28.4	120.2	1.102	6.18	2.068	51,200	1.75	4.30	3.31	73.0		67	129 209 248 309
					Fail									
D (T)	195.07	27.43	128.7	1.115	10.53	1.806	81,800	1.46	3.19	2.68	78.0		53	119 183 240 292
					Fail									
E (T)	204	28.2	164.5	1.205	5.49	2.080	50,500	1.96	4.52	3.42	85.1	13.0	72	137 215 272 358
					Fail									
F (T)	204	28.2	164.5	1.205	5.49	2.080	50,500	1.96	4.52	3.42	85.1	13.0	72	137 215 272 358
					Fail									
G (T)	213	30.5	197.5	1.283	7.00	2.078	75,300	1.65	3.84	2.83	88.0		60	123 196 255 307
					Fail									
					Fail									

Table 1.1-(2) NATURAL FREQUENCY OF TESTED SHIPS (FOR VERTICAL)														
SHIP NAME & TYPE	LPP (m)	B (m)	IV (m ²)	AV (m ²)	d(AT) TEST	1+Z	ΔV (M.T.)	$\sqrt{\frac{B^3}{\Delta V}}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	$\frac{B^3}{\Delta V}$ (X10 ⁻³)	N5V (CPM)
H (T)	213	30.5	201.7	1343	5.867	2.078	75,300	1.79	4.13	3.12	85.9	10.3	66*	131 194 247
					Fail									
J (C)	145	19.5	406.40442	4.656	1.677	140.80	3.08	9.19	4.65	113	11.2	100	180	270
					Fail									
K (C)	145.38	19.5	47.80559	4.66	1.678	137.0	3.380	9.30	5.30	106			114	193.5
					Fail									
L (B/C)	152	21.0	62.120636	4.115	2.130	203.04	2.949	8.59	4.53	110	13.3	90	176	250 330
					Fail									
M (B/C)	167	22.6	74.450598	4.216	2.138	244.00	2.56	6.91	3.83	116	11.5	79	157	232 300
					Fail									
N (T)	204.4	28.8	158.7	1.115	1.816	84.900	1.399	3.36	2.40	89.1	12.9	54	111	176 234
					Fail									
P (T)	211.8	31.7	190.7	1.243	7.27	2.077	78.950	1.585	3.79	2.71	88.9	9.56	55	114 167 250 282
					Fail									
Q (C)	145	19.5	43.370469	4.622	1.678	138.80	3.21	9.25	4.82	115	12.7	110	193	283
					Fail									
R (C)	145.38	19.5	42.70688	4.622	1.667	135.30	3.645	10.06	6.71	77.0			113	198
					Fail									
S (B/C)	193	27.6	158.51048	5.43	2.119	47.500	2.155	5.75	3.38	106			65*	125
					Fail									
T (T)	195	27.0	130.3	1.053	5.80	2.103	49.700	1.881	4.67	3.30	85.0	10.85	72*	140 209 281 326
					Fail									
					Fail									

* : ESTIMATED VALUE
 f : USED TANKERS VALUE WHEN C₈₂ ≥ 0.75
 $\Delta V = (1+Z) \Delta$
 $\tau = 0.3 \frac{B}{\Delta} - 0.033 \left(\frac{B}{\Delta} \right)^2$ ----- CARGO
 $\tau = 0.4 \frac{B}{\Delta} - 0.035 \left(\frac{B}{\Delta} \right)^2$ ----- TANKER
 © : OTHER SHIP'S DATA

Table 1.1 - (3) NATURAL FREQUENCY OF TESTED SHIPS
(FOR VERTICAL)

SHIP NAME & TYPE	L _{pp} (m)	B (m)	I _v (m ⁴)	A _v (m ²)	d(m) AT TEST	1+J	Δ v (M.T.)	$\sqrt{\frac{I_v}{\Delta L^3}}$ (×10 ⁻⁴)	$\sqrt{\frac{BD^3}{\Delta VL^3}}$ (×10 ⁻⁴)	$\sqrt{\frac{AV}{\Delta VL}}$ (×10 ⁻⁴)	$\alpha = \frac{I_v}{A_r L^2}$ (×10 ⁻⁴)	$\beta = \frac{r^2}{L^2}$ (×10 ⁻⁴)	N2V (cpm)	N3V (cpm)	N4V (cpm)	N5V (cpm)	N6V (cpm)
41-A (B/C)	23622	31.852	240.32	1.93	7.16	2.085	91,404	1.414	4.170	2990	58.10	11.17	※ 45	93	168	204	238
41-B (O/C)	183.0	29.5	104.27	0.81	4.81	2.135	43,383	1.980	6.060	3,194	100.00	10.93	※ 65		210	285	
41-C (B/C)	211.0	31.8	190.65	0.665	5.515	2.140	62,381	1.803	5.395	2,247	167.50		46		147	177	202
41-F (B/O)	2865	43.3	853.4	2.175	8.644	2.123	185,126	1.400	3.870	2,027	124.3	12.80	※ 47		148	199	270
41-G (T)	285.0	48.2	810		5.338	1.760	99,088	1.879	5.223				※ 40		104	158	182
41-H (T)	237	38.9	238.40		7.08	2.144	109,355	1.280	3.947				※ 43	78.6 N7V 233	115.2 N8V 268	150 N10V 337	187.8 N11V 371
					13.040	1.881	185,674	0.982	3.030				464	822	123.0	160.2	220.2
41-I (T)	246.0	40.2	494.59	1.751	8.695	2.136	143,966	1.519	4.410	2,222	121.30		※ 50	117		N8V 383	308 N9V 450
					14.905	1.824	222,948	1.221	3.542	1,786	121.30		※ 50	100	N7V 308	208	N0V 392

Table 1.2-EMPIRICAL FACTOR $C_N = \frac{Nv_n}{1352 \times n^2 \times 10^5} \sqrt{\frac{V}{\Delta v L^3 (1 + (d+8)n^2 L^2)}}$ WHERE $V(M^3), L(M)$ Δ ----- (TON)										
SHIP'S NAME	LPP	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈	C ₉	C
TANKER	H-1	229 ^M Ball	0.608 ^x	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 ^M Ball	0.723 ^x	0.730	0.733	0.695	0.679			0.712
	H-5	225 ^M Full	0.526 ^x	0.627				0.632	0.680	0.616
	E	204 ^M Ball	0.799	0.788	0.808	0.757 (0.842)	0.741	0.715	0.703	0.757 (0.769)
		Full	0.922 ^x	0.965	0.984	0.943	0.894	0.861		0.929
	H	213 ^M Ball	0.802 ^x	0.820	0.794	0.747				0.791
		Full	0.891 ^x	0.984	0.896	0.908	0.877	0.836		0.899
	N	204.4 ^M Full	0.843	0.902	0.990	0.928				0.916
	P	211.8 ^M Ball	0.759	0.814	0.775	0.867	0.775			0.799
		Full	0.899 ^x	0.984	0.915	0.924	0.864 (0.984)	0.918 (0.946)	1.020 (0.997)	0.941 (0.939)
CARGO	T	195 ^M Ball	0.831 ^x	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
	H-3	210 ^M Ball	0.789	0.820	0.883	0.788	0.836	0.804		0.820
		Full	0.707	0.735	0.794	0.736	0.697			0.734
	H-4	208 ^M Ball	0.707	0.735	0.794	0.736	0.697			0.734
	B/C	H-6	216.4 ^M Ball	0.887	0.937	0.792				0.872
		L	152 ^M Ball	0.688	0.709	0.671	0.665			0.683
		M	167 ^M Ball	0.697	0.738	0.732	0.706			0.718
	J	145 ^M Ball	0.735	0.700	0.697	0.725	0.716	0.732		0.718
		Q	145 ^M Ball	0.779	0.722	0.712				0.738
		K	145.38 ^M Ball	0.759	0.670	0.658	0.610	0.565	0.555	0.636
		R	145.38 ^M Ball	0.670	0.520	0.602	0.548	0.532	0.528	0.568

$$CN = \frac{NVn}{13.52 \times n^2 \times 10^5 \sqrt{\frac{IV}{\Delta v L^3 (1 + (\alpha + \beta) n^2 \pi^2)}}}$$

WHERE $IV(M^4)$
 $L(M)$
 $\Delta \dots \dots (TON)$

Table 1.2-2 EMPIRICAL FACTOR CN

	SHIP'S NAME	Lpp	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C
B/C	4 1 - A	236.22	0.669*	0.690	0.800	0.708	0.648				0.703
	4 1 - C	211.0									
O/C	4 1 - B	183.0	0.728*		0.813	0.823					0.788
B/O	4 1 - F	286.5	0.77 *		0.868	0.880	0.960				0.835
TANKER	4 1 - G	285.0									
	4 1 - H	BALL									
		237 FULL									
	4 1 - I	BALL									
		246.0 FULL									

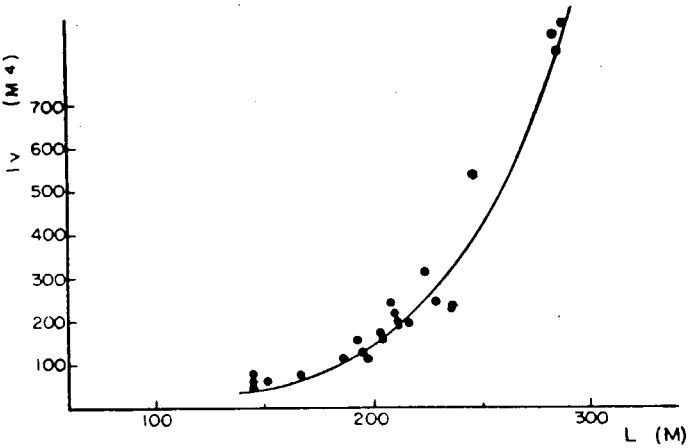


Fig. 1.1 Relation Between L and IV

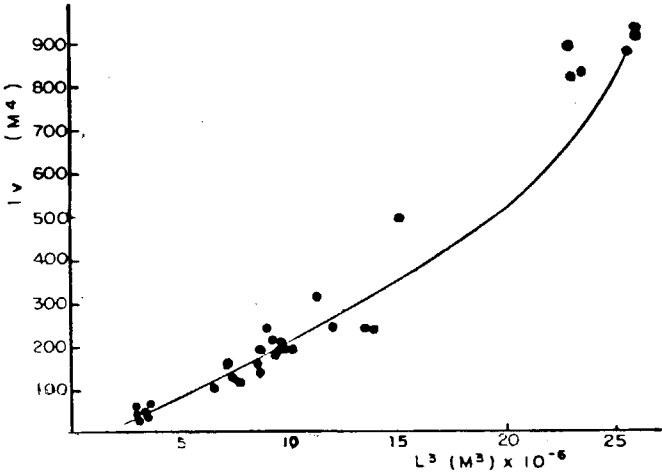


Fig. 1.2 Relation Between L³ and IV

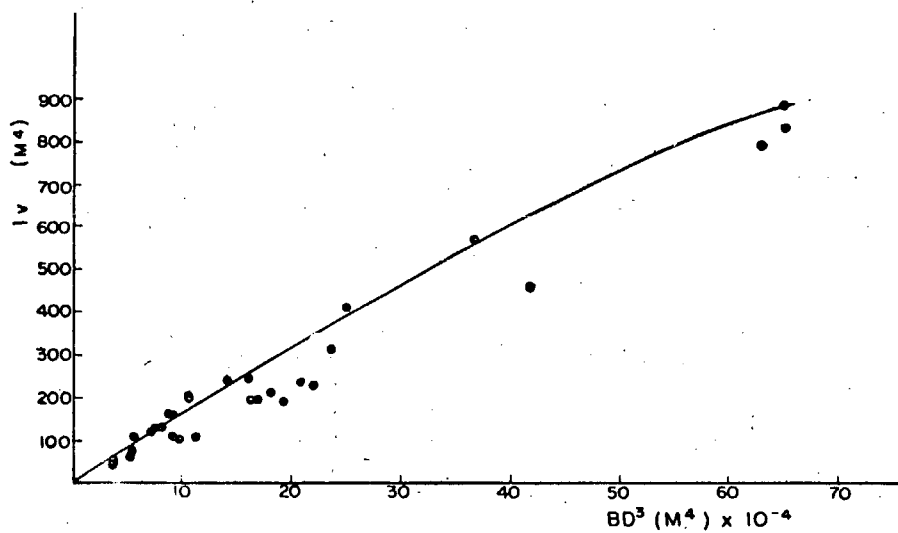


Fig. 1.3 Relation Between BD^3 and I_v

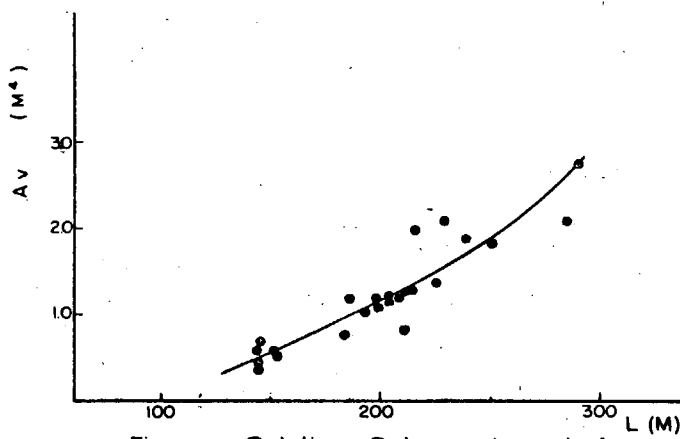
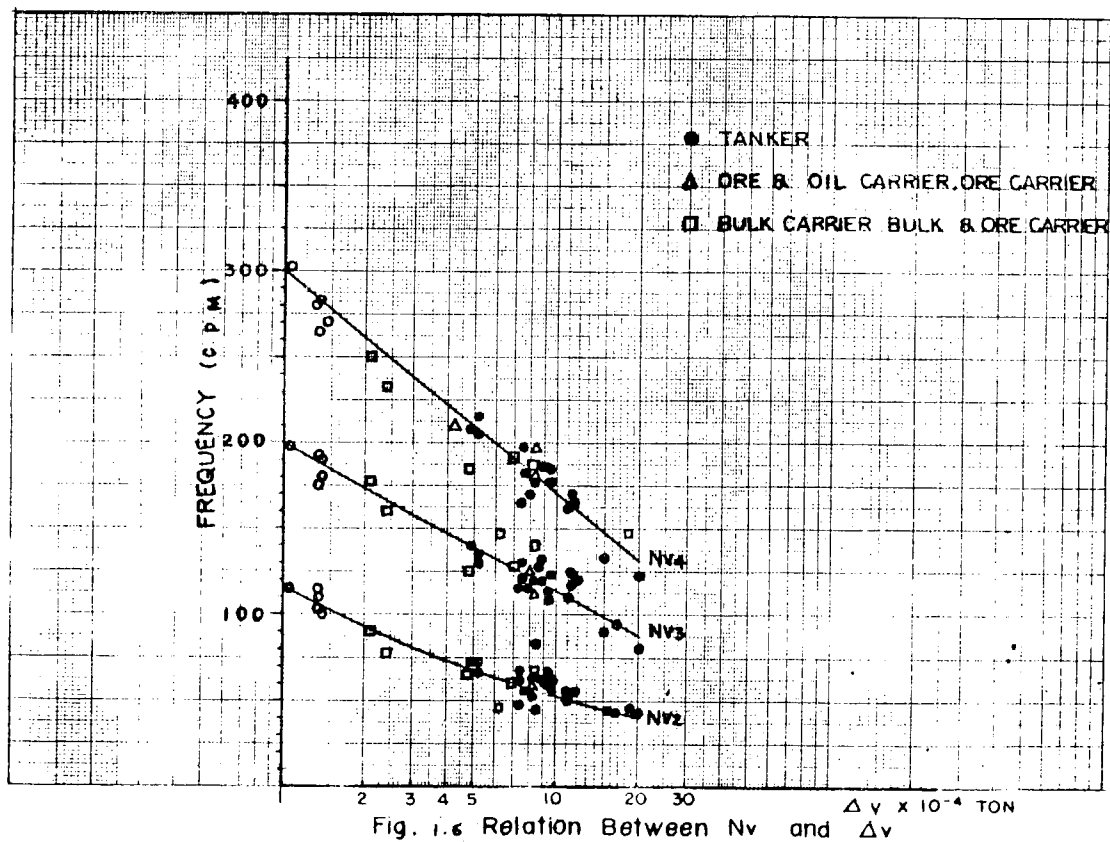
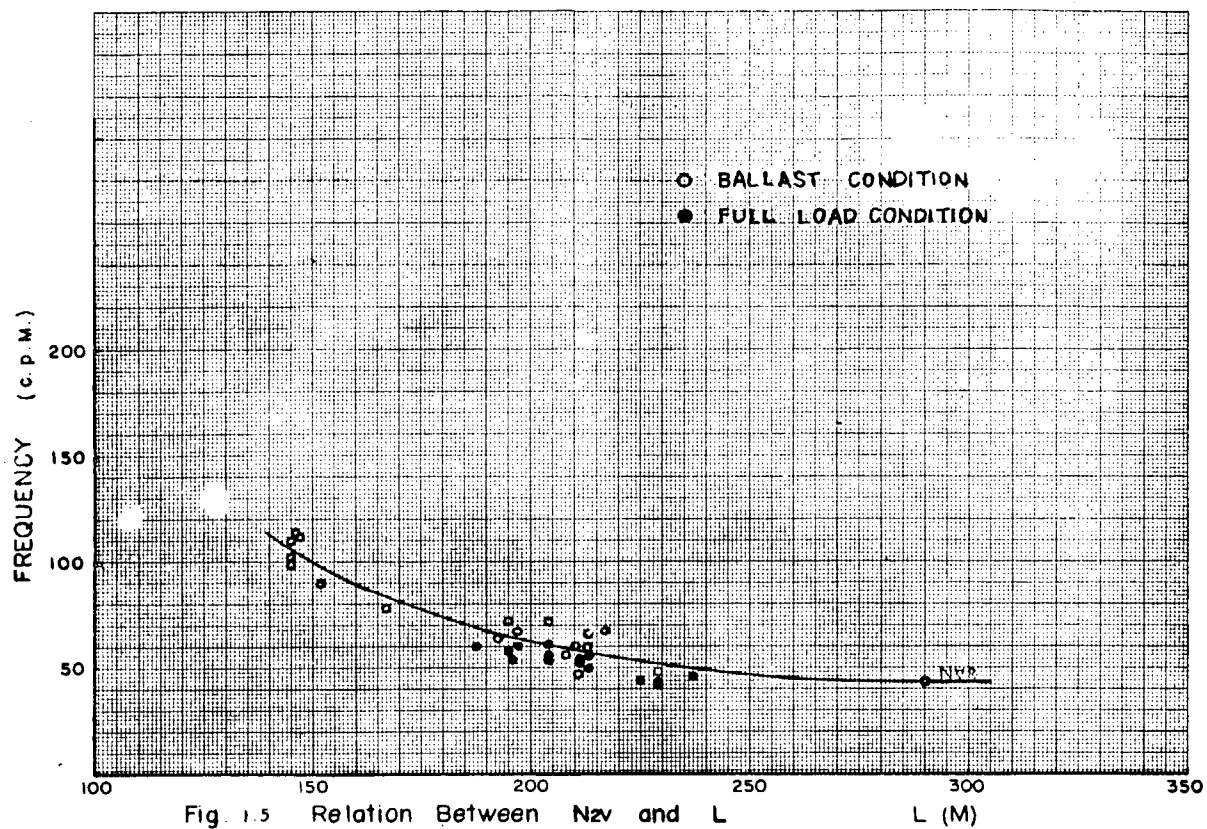


Fig. 1.4 Relation Between L and A_v



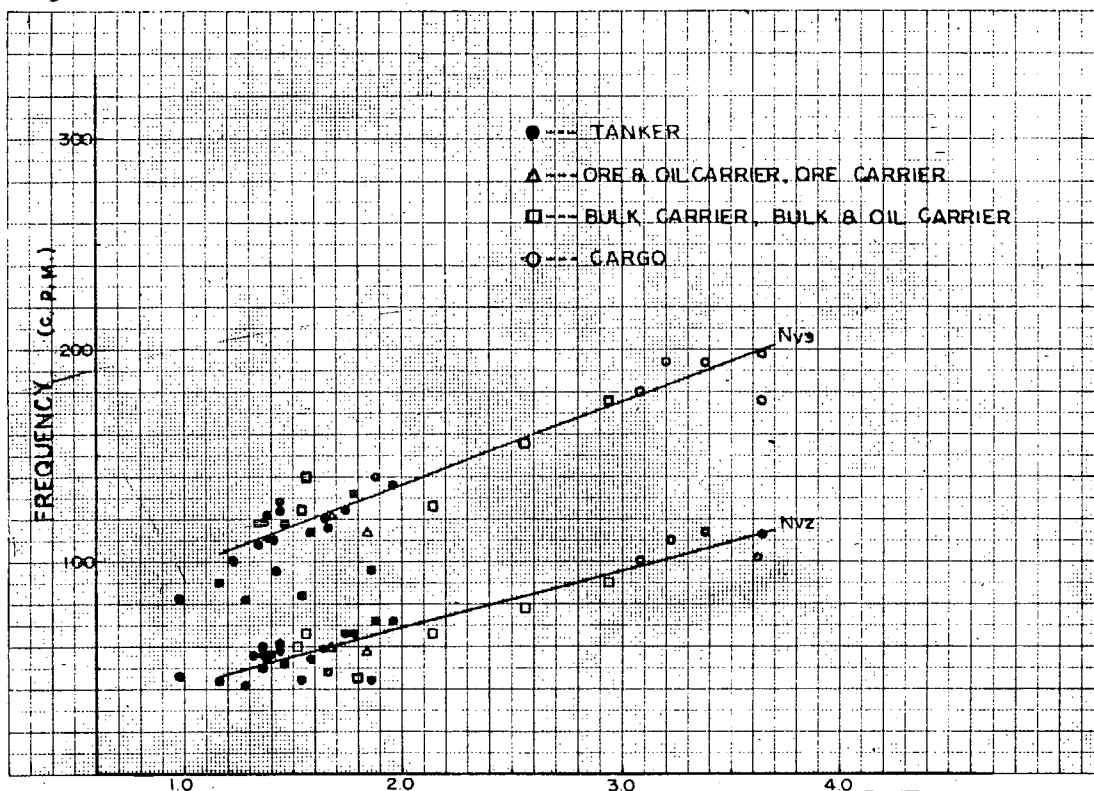


Fig. 1.7 Relation Between N_v and $\sqrt{\frac{IV}{\Delta V L^3}} \times 10^{-5}$

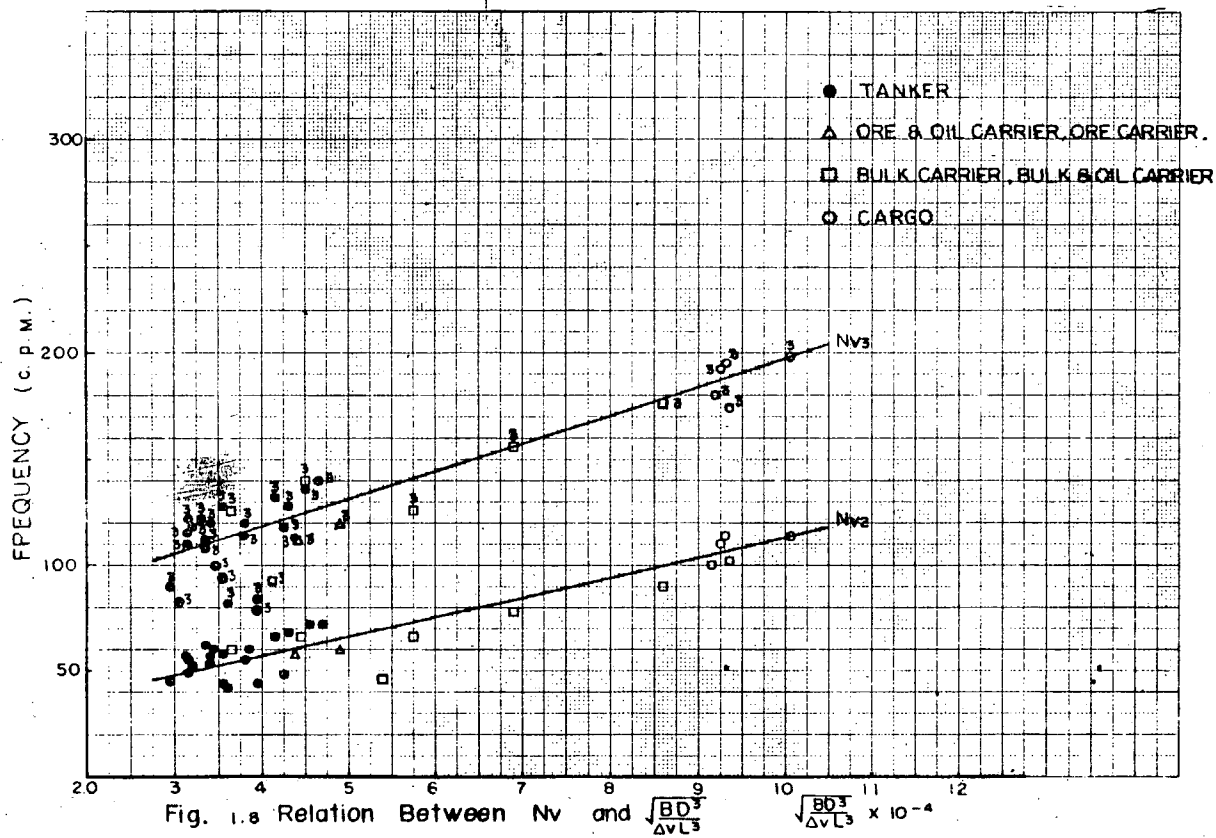
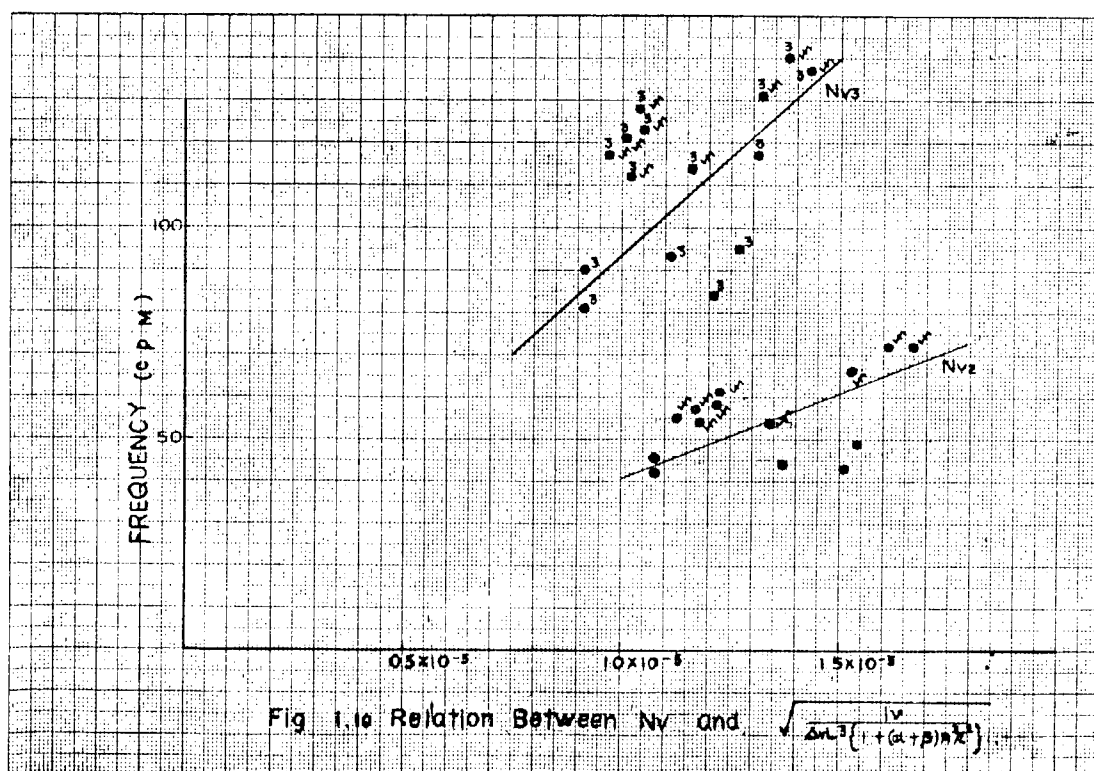
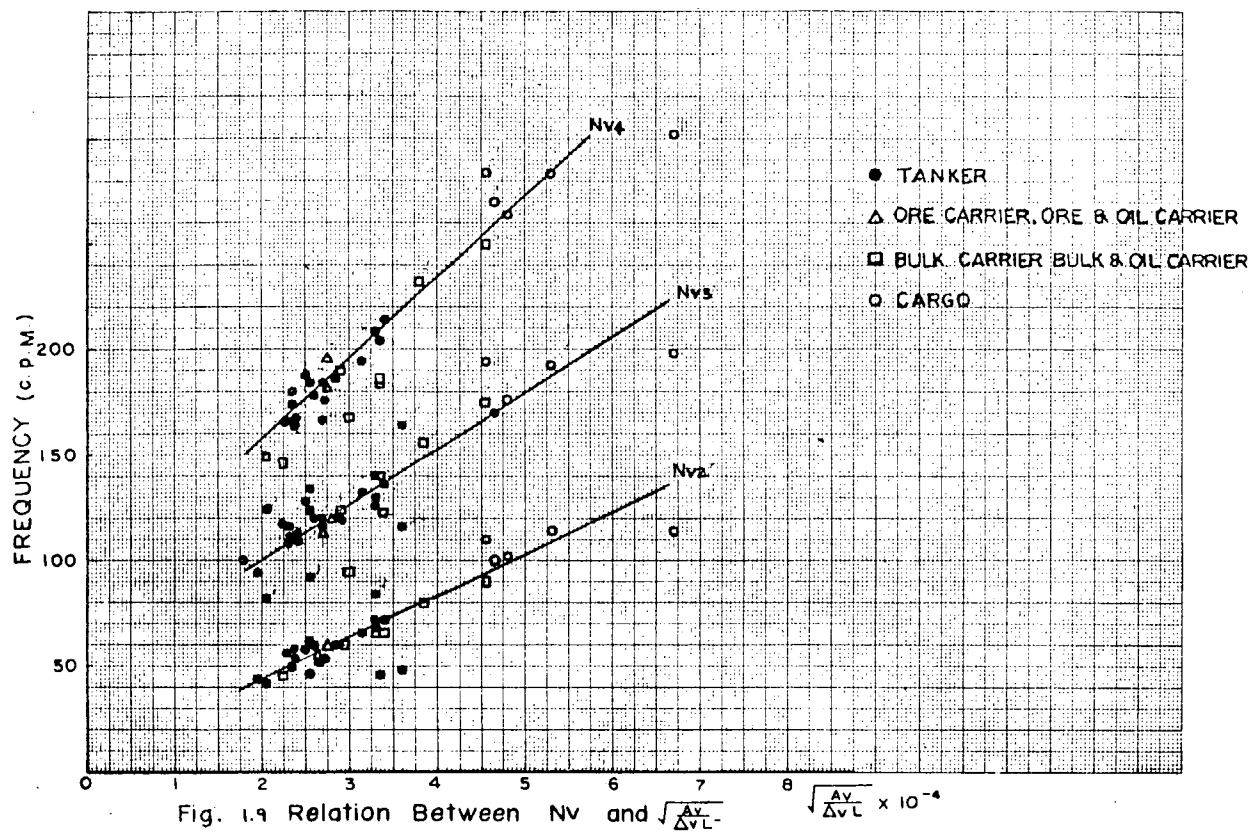


Fig. 1.8 Relation Between N_v and $\sqrt{\frac{BD^3}{\Delta V L^3}} \times 10^{-4}$



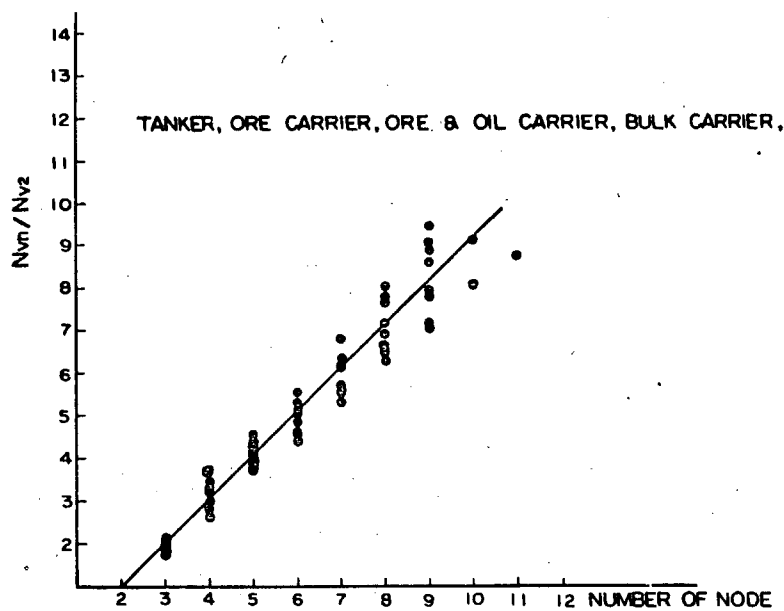


Fig. 1.11 Relation Between N_n/N_{v2} and Number of Node

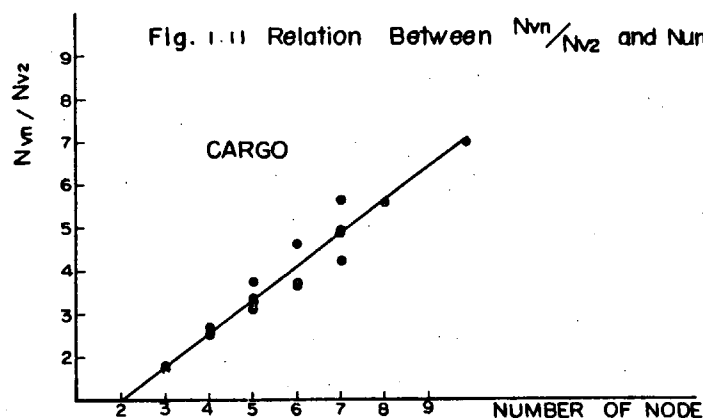


Fig. 1.12 Relation Between N_n/N_{v2} and Number of Node

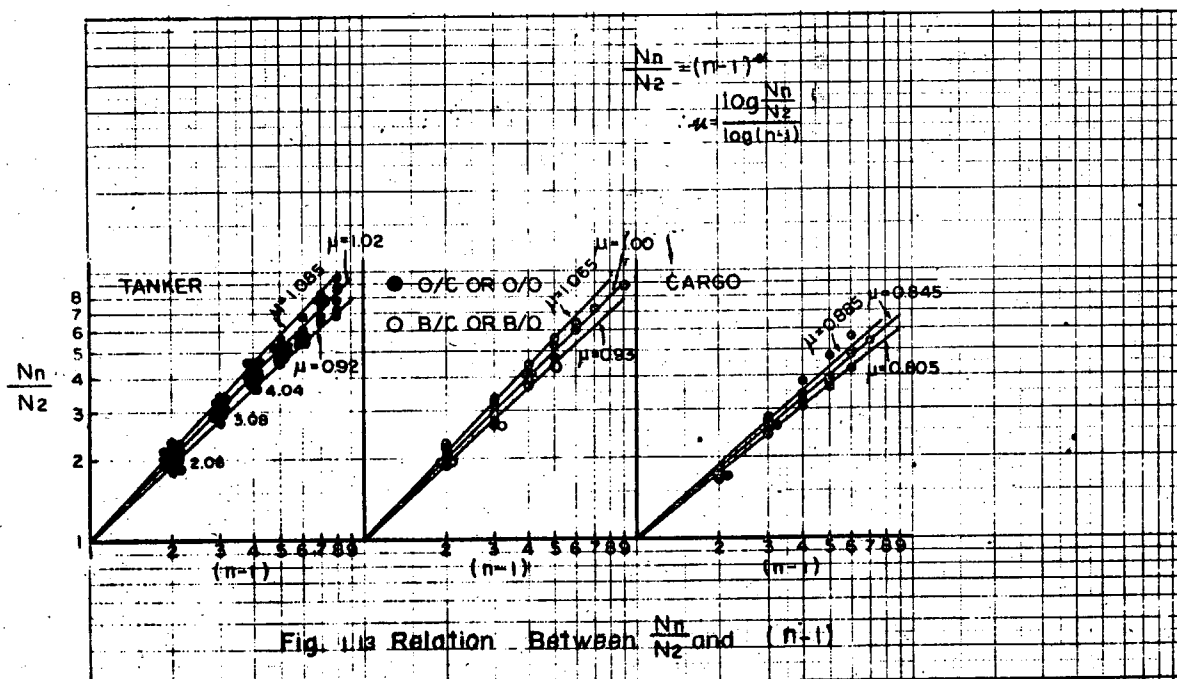


Fig. 1.13 Relation Between $\frac{N_n}{N_2}$ and $(n-1)$

• TANKER, O/C, O/O, B/C
 ○ GARGO

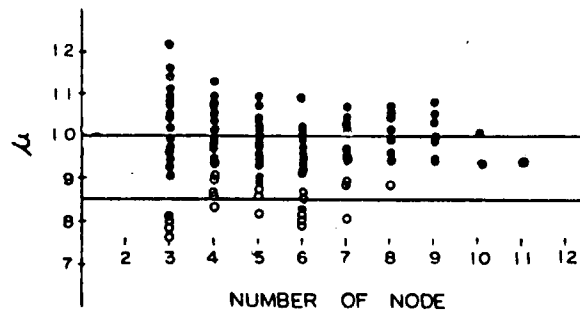


Fig. 1.14 Relation Between μ and Number of Node

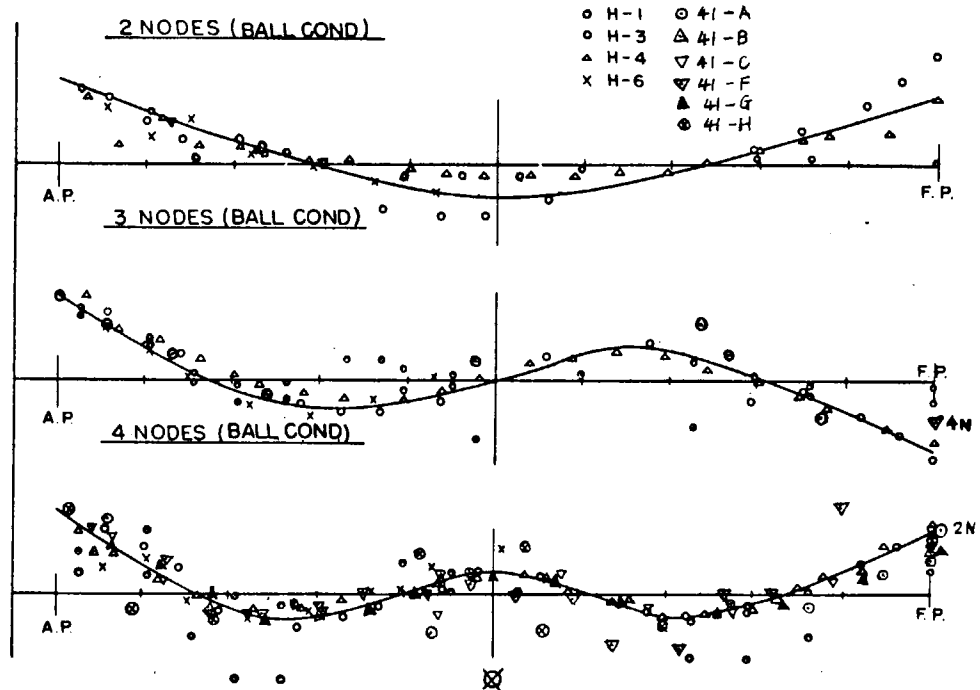


Fig. 1.15-(1) Mode Curves Of Vertical Vibration

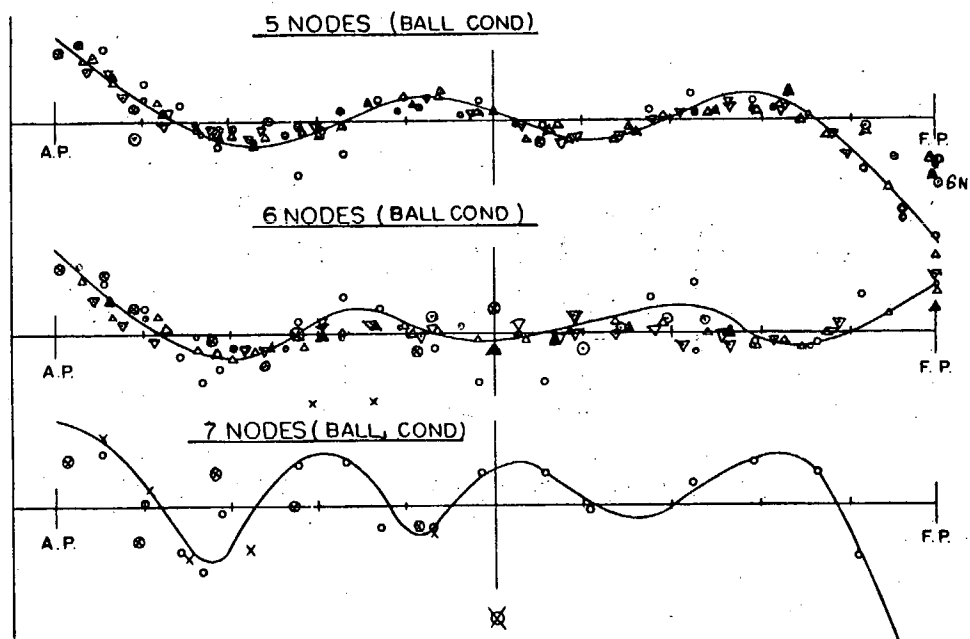


Fig.115-(2) Mode Curves Of Vertical Vibration

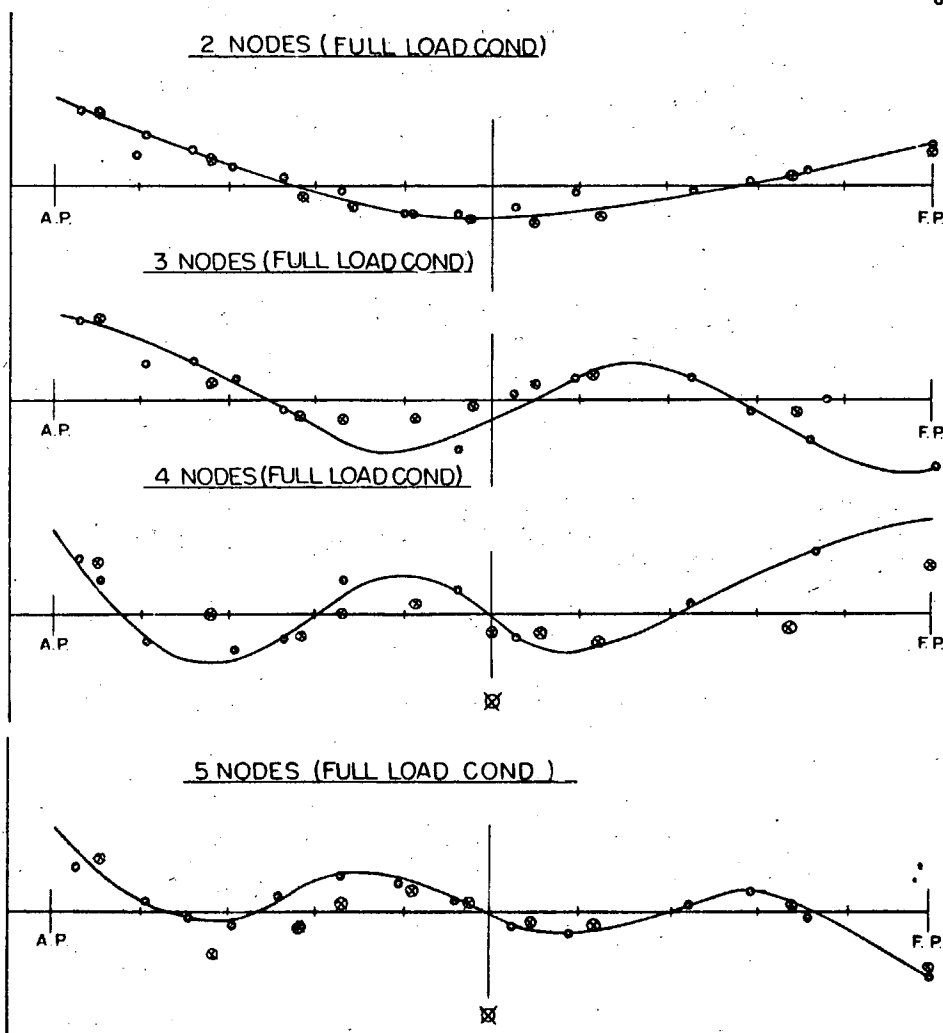


Fig.115-(3) Mode Curves Of Vertical Vibration

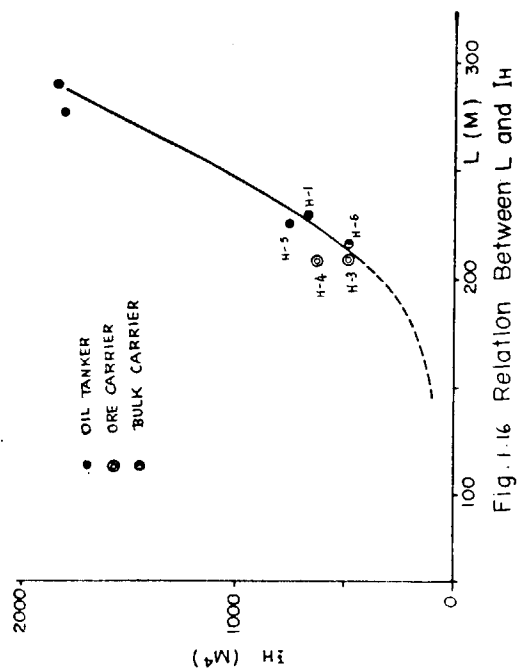


Fig. 1.16 Relation Between L and I_h

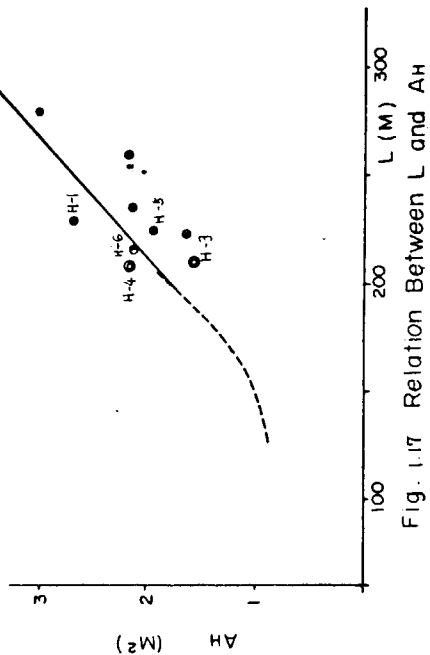


Fig. 1.17 Relation Between L and A_h

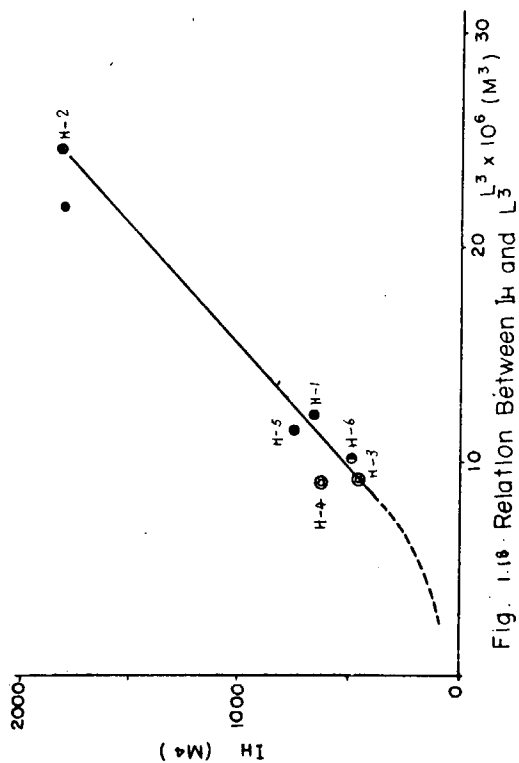


Fig. 1.18 Relation Between I_h and L^3

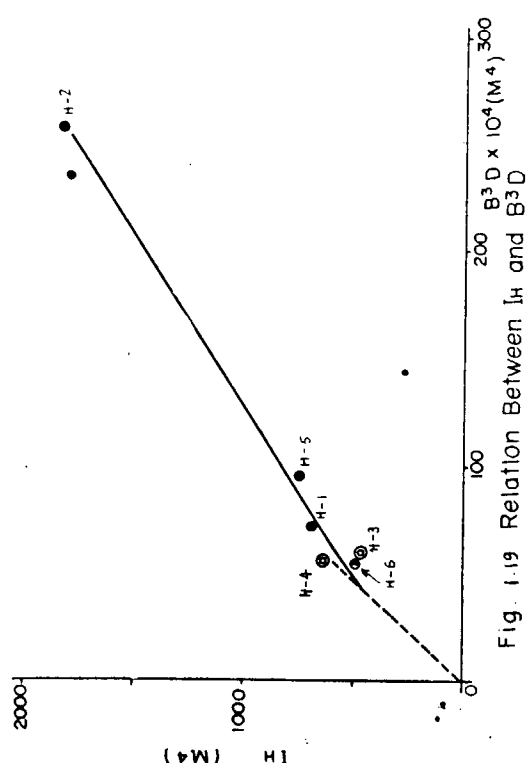
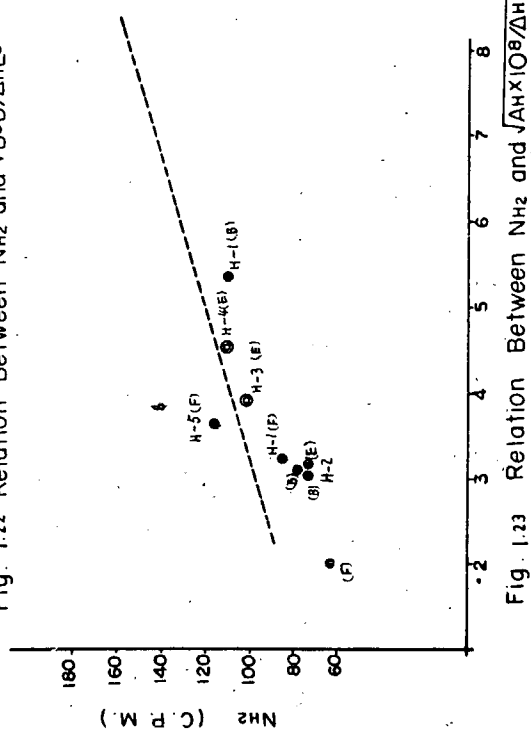
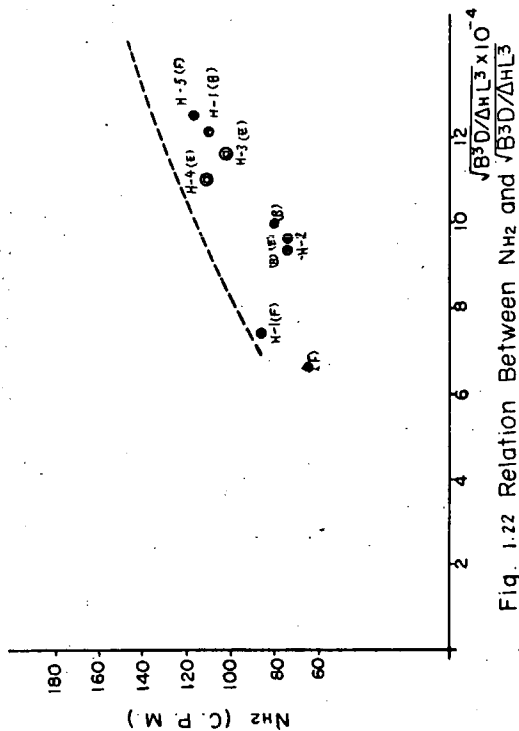
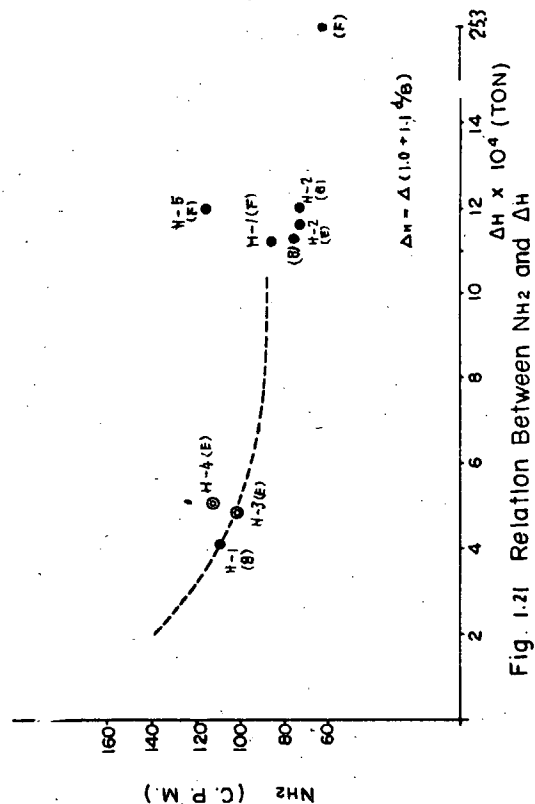
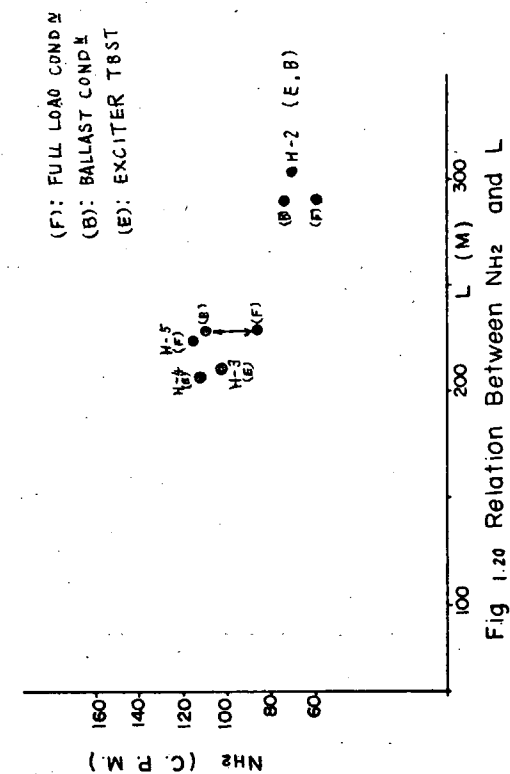


Fig. 1.19 Relation Between I_h and $B^3 D$



$N_{H1}/N_{H2} \sim \text{NO. OF NODES}$

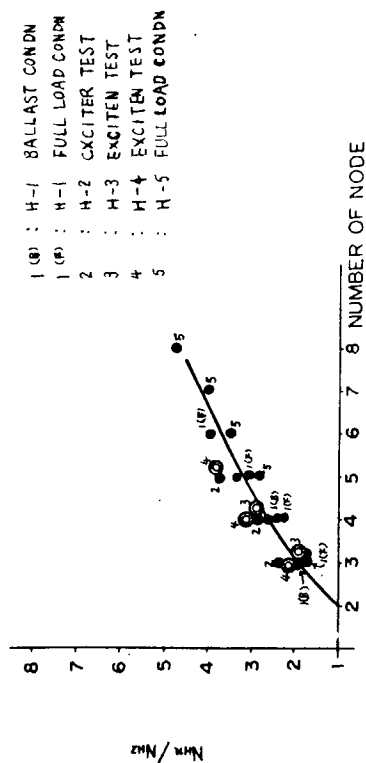


Fig. 1.26 Relation Between N_{H1}/N_{H2} and Number of Node

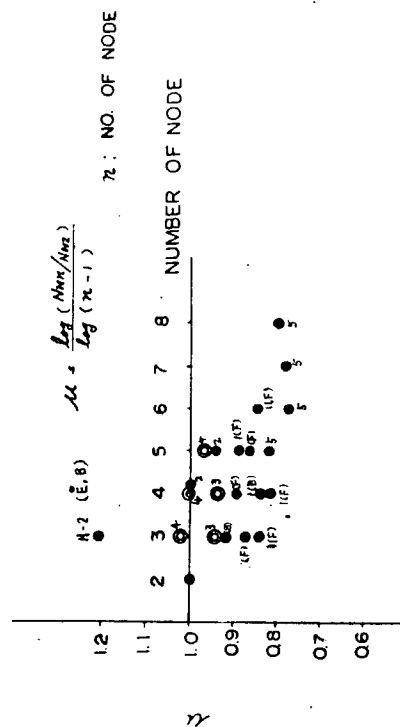


Fig. 1.27 Relation Between μ and Number of Node

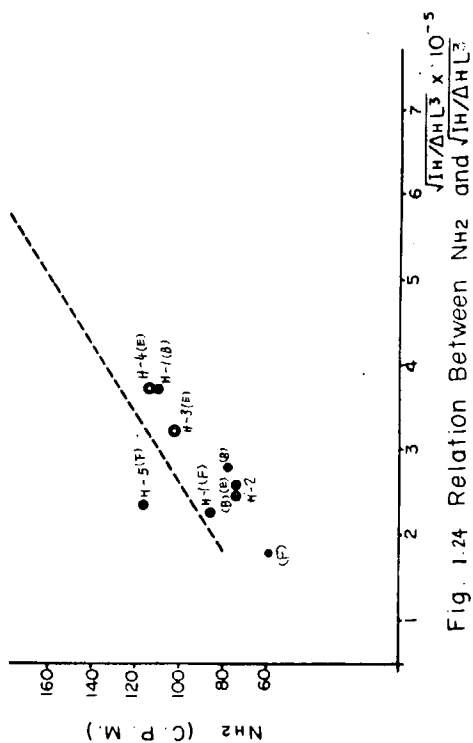


Fig. 1.24 Relation Between N_{H2} and $\sqrt{N_{H2}/N_{H1}}$

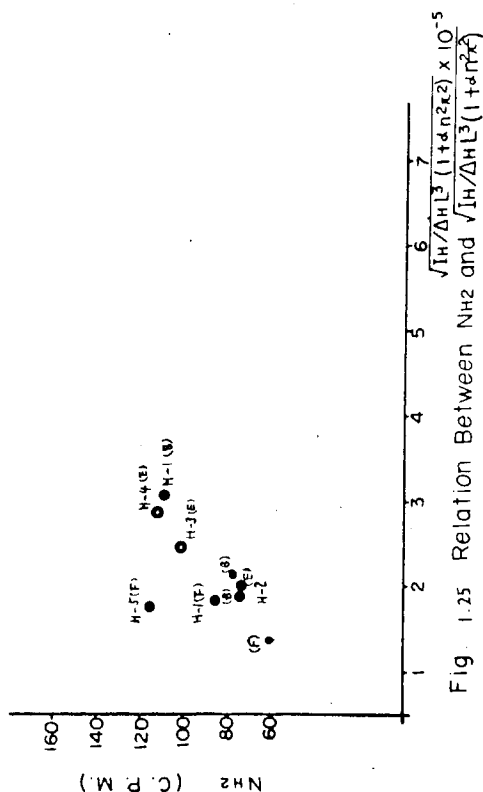


Fig. 1.25 Relation Between N_{H2} and $\sqrt{N_{H2}/N_{H1}}$

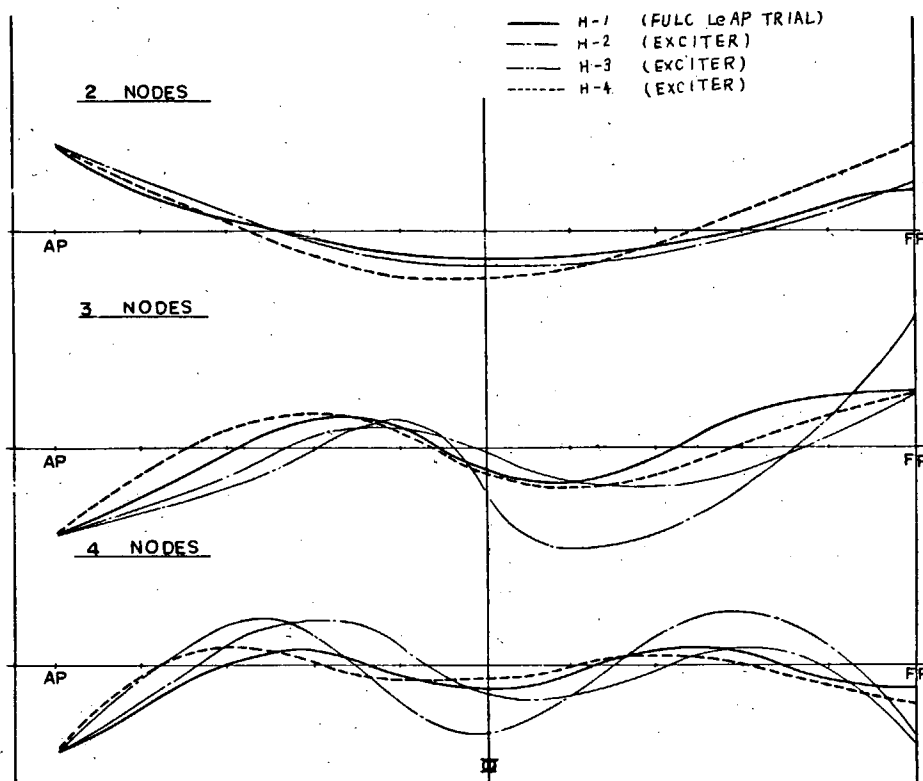


Fig.128-(1) Mode Curves Of Horizontal Vibration

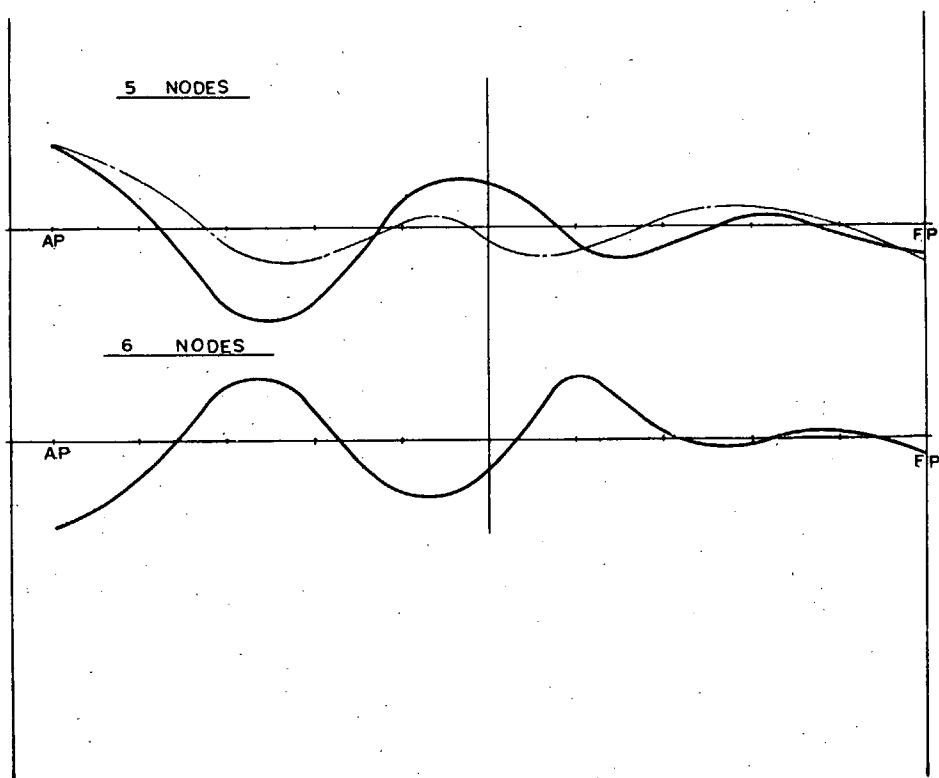


Fig. 128 -(2) Mode Curves Of Horizontal Vibration

Table 1.3 TEST CONDITIONS AND NATURAL FREQUENCY OF TESTED SHIPS

	DWT	L (m)	B (m)	D (m)	d (m)	Δ Full (ton)	I_H (m ⁴)	A_H (m ²)	UNDER WAY TEST						EXCITER TEST		
									BALLAST CONDITION			FULL LOAD CONDITION			Δ (ton)	d (m)	N_{2H} (cpm)
									Δ (ton)	dm (m)	N_{2H} (cpm)	Δ (ton)	dm (m)	N_{2H} (cpm)			
H - 1 (T)	81,000	22,900	3,520	1,660	12.04	81,135	6,725	2,677	35,000	5,435	110	80,800	12.03	86	—	—	—
H - 2 (T)	153,700	29,000	4,750	2,400	1,600	182,567	18,190	3,277	99,340	906	74	—	—	—	96,500	881	74
H - 3 (O/C)	55,800	21,000	3,220	1,780	12.00	67,000	4,620	1,571	—	—	—	—	—	—	38,900	722	102
H - 4 (O/O)	66,500	20,800	3,220	1,640	12.14	66,500	6,240	2,154	—	—	—	—	—	—	39,400	792	112
H - 5 (T)	73,210	22,500	3,720	1,860	12.504	87,430	7,547	1,935	—	—	—	87,600	12.47	116	—	—	—
H - 6 (B/C)	55,000	21,640	3,170	1,730	11.616	67,218	4,924	2,093	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S 180 (T)	153,140	28,100	4,620	2,500	1,660	181,059	18,036.1	3,054	93,492	8,936	762	181,097	16.55	642	181,097 (93,492)	181,097 (89,366)	642 (762)

() : BALLAST

$$C_{\ell n} = \eta_n \cdot C'_{\ell n}$$

ここに、 n : 節数

$C'_{\ell n}$: W , A_{Σ} の分布により定まる係数で、数値計算により求める。

η_n : 実験値に合わせるための Empirical factor

E : Young 係数

A_{Σ} : 区における縦強度材断面積

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

$N_{\ell n}$: n 節縦固有振動数

これらの数値の計算結果は Table 1.4 に示してある。ただし重量曲線および断面積の分布曲線は前年度報告書より推定した。

また、タンク内液体の有効重量の推定は文献(4)の方法によった。同表中 K_n とは (1.2) 式中の W の代りに Δ を使った場合の $C_{\ell n}$ に相当するもので実験値から逆算される。Fig. 1.29 に示した平均線は $K_n = 1$ に相当する。

計算に使用した重量曲線は無次元化して Fig. 1.31、Fig. 1.32 に示した。

Table 1.4

		GAINED IN 1966			GAINED IN 1967
TEST SHIP		L-3	L-4	L-5	L-6
TYPE OF SHIP		BULK CARRIER	TANKER	ORE CARRIER	ORE/OIL CARRIER
L (M)		211.0	285.0	286.5	244.03
B (M)		31.8	48.2	43.3	39.94
D (M)		17.5	23.5	24.69	20.6
DEAD WEIGHT TONS		29150	56300	87200	54480
1-NODE	N_{ℓ_1}	348	325.5	351	320
	K_1	1.06	1.09	1.43	1.18
	C_{ℓ_1}	—	.85	—	.88
	C'_{ℓ_1}	—	.936	—	.98
	η_1	—	1/1.10	—	1/1.11
2-NODE	N_{ℓ_2}	(620)	610.5	—	—
	K_2	.95	1.02	—	—
	C_{ℓ_2}	—	.80	—	—
	C'_{ℓ_2}	—	.81	—	—
	η_2	—	1/1.01	—	—

Table 1.4 によれば、係数 K は船種により大幅に変化することがわかるが、Tanker の 1 節振動については、 K , η ともに昨年度報告書の係数程度であつた。

しかし、2 節振動においては η が昨年度より低下している。

文献(1)によれば $C'_{\ell n}$ の精密な計算は正確に実測値と一致する。したがって本報告書の計算に用いた重量曲線等にさ

らに詳細なものを使用すれば、精度は向上すると思われる。

1.3.3 ま と め

- (1) 設計初期においては Fig.1.29および Fig.1.30を用い、船種、Tank Condition を考慮して、縦振動数を推定できる。
- (2) 自由液面を有する Tank においては有効質量の影響が非常に大である。
- (3) Beam の数値計算を行なった場合の修正係数は Tanker の1節振動については昨年度とほぼ同じであつたが、2節振動の係数は変動している。2節振動は計測値がまだ少ないので資料の集積をまつことにしたい。

参 考 文 献

- 1) 大高勝夫、香川洗二 : 船体縦振動の研究(其の一) 論文集123
- 2) 門 田 道 雄 : 船体固有前後振動数の研究 JSSC資料 V14-1
- 3) SR94部会 : 船体機関の振動防止対策に関する実験研究(其の一)
- 4) 熊 井 豊 二 : 荷油の有効振動質量について 論文集117

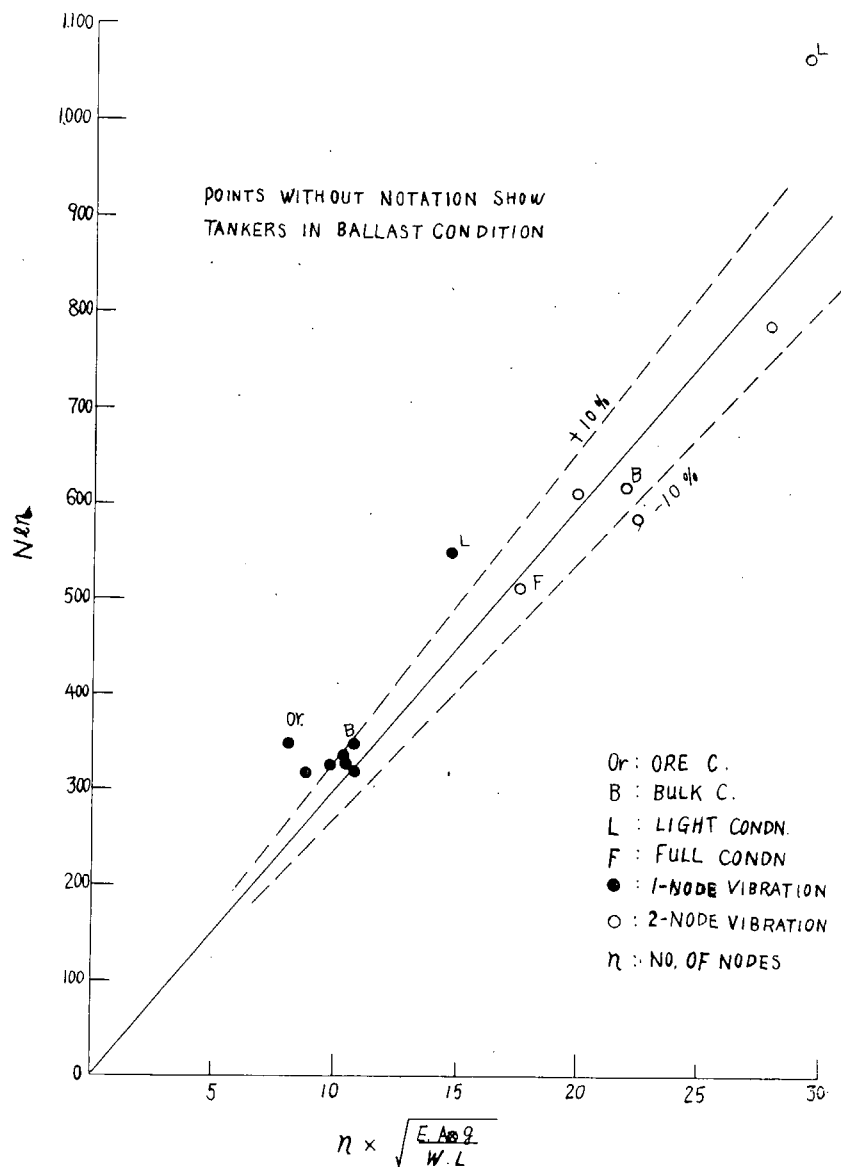
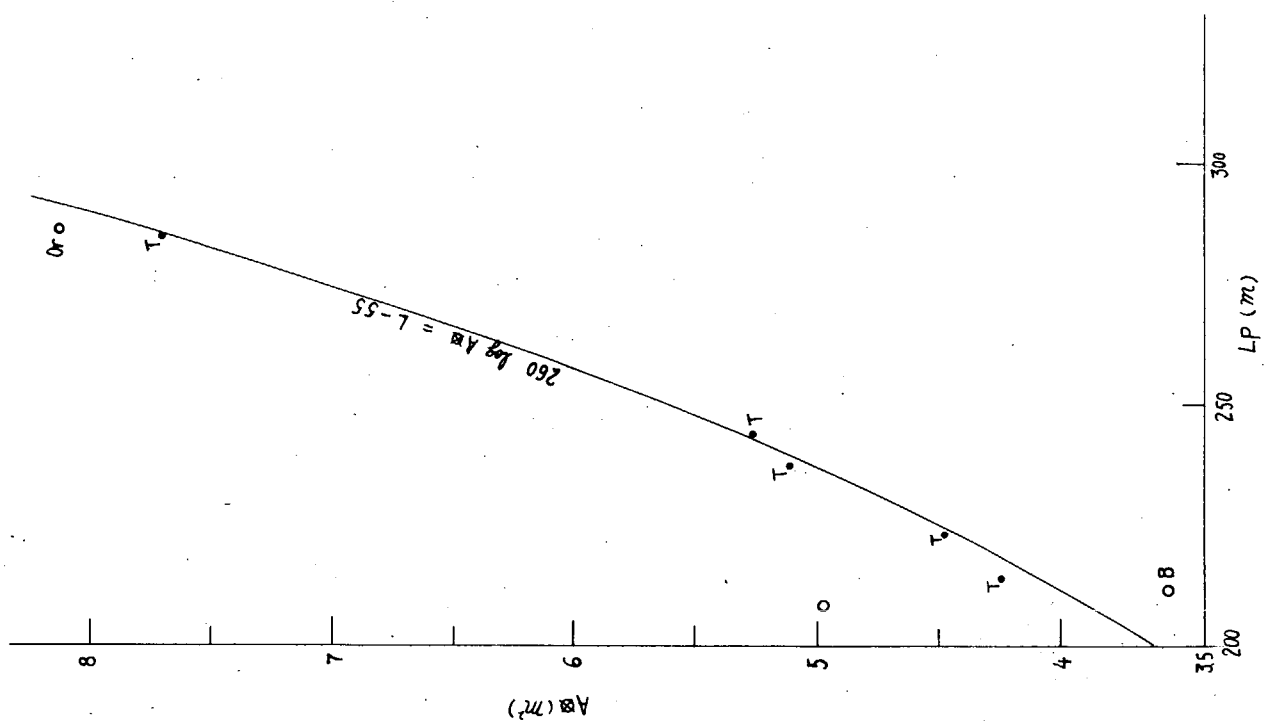
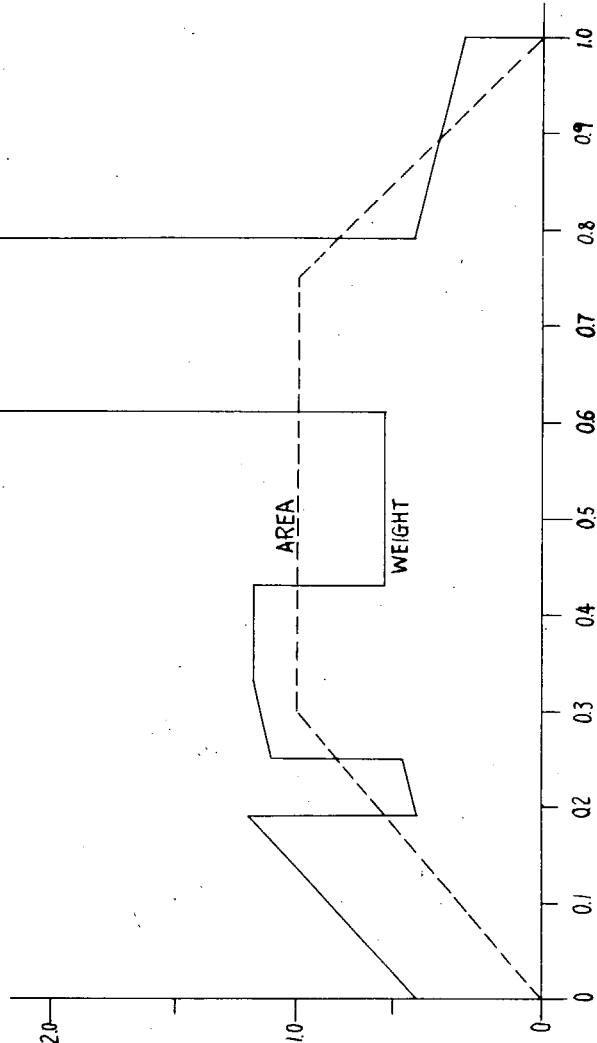
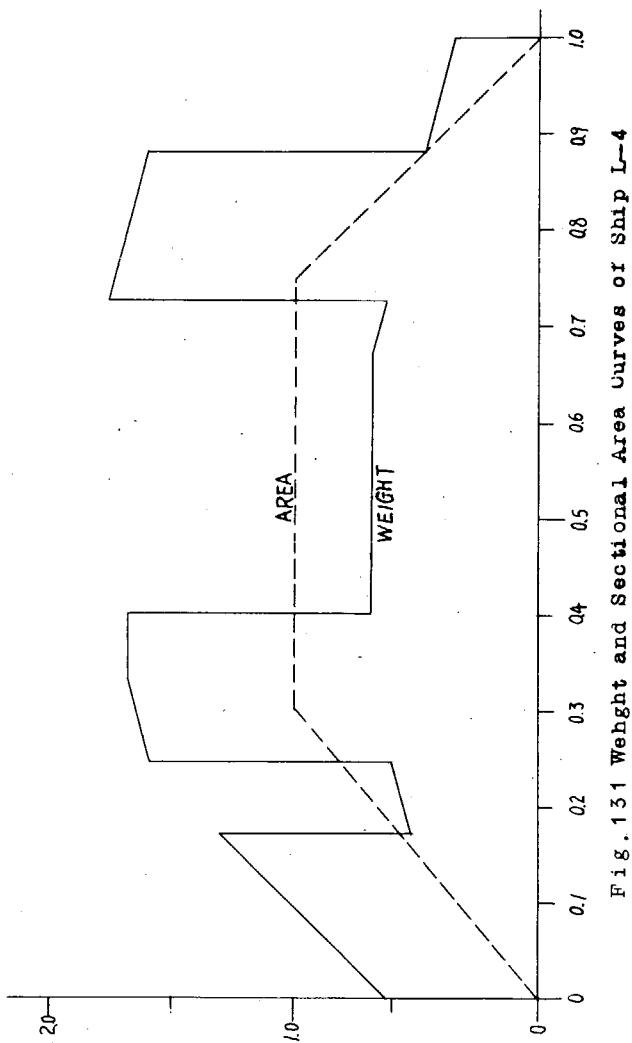


Fig. 1.29 Relation Between Principal Dimensions and Natural Frequencies of Longitudinal Vibration



第2章 船体縦振動と上部構造前後振動の関連

船体縦振動と上部構造前後振動の関連について41年度実験では三菱（神戸）、川重、呉、三菱（長崎）、日立等各社において実施されているが、ここでは日立造船で特にその関連を調べるため実施した実験結果を対象にその定性的な関係について検討を行なった。

2.1 実験結果および検討

供試船は $L \times B \times D = 164 \text{ M} \times 23 \text{ M} \times 5.7 \times 12 \text{ M}$ の主寸法をもつ After Bridge の DWT 21,900^{LT} Oil Tanker であり、Light Condition の状態において 2TON Exciter を Bridge Top に設置し、前後方向に起振を行なった。

実験結果を Fig.2.1 に示す。計測は Exciter によつて発生する力の方角を同時計測して応答加速度の位相との関係を求めた。計測結果によれば上部構造において Peak は 515CPM, 544CPM, 575CPM の3つ得られており、船体縦振動も同様の Peak が得られている。一方上部構造 Top と船体 Upper Deck 上の位相関係は 515CPM では同相、544CPM では 90° おくれ、575CPM では反相となつている。上部構造および船体の Mode は 515CPM では上部構造全体が同相振動する1次型を示すのに対して575CPM では Bridge Top と Upper Deck で反相になり中間に1つの Node を有する2次型を示している。船体縦振動はいずれも1つの Node を有する1次型である。

2.2 船体縦振動と上部構造前後振動の定性的考察

今簡単のため船体を長さ L の均一引張り梁、上部構造を長さ l の均一剪断梁と仮定し、Fig.2.2 に示されたように船尾船楼としてその相対的な関連性を検討する。

連成を考えない場合のそれぞれの固有振動数は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \text{船体縦振動} : N_L &= \frac{30}{\pi} (pL) \sqrt{\frac{Tg}{\Delta L}} \\ \text{上部構造前後振動} : N_S &= \frac{30}{\pi} (kl) \sqrt{\frac{Sg}{wl}} \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

ここに $pL = n\pi$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

$kl = \frac{\pi}{2} (2n - 1)$ ($n = 1, 2, 3, \dots$)

$T = AE = \text{Extensional Rigidity}$

$S = k'A, G = \text{Shear Rigidity}$

連成を考えた場合の振動方程式は次式で与えられる。

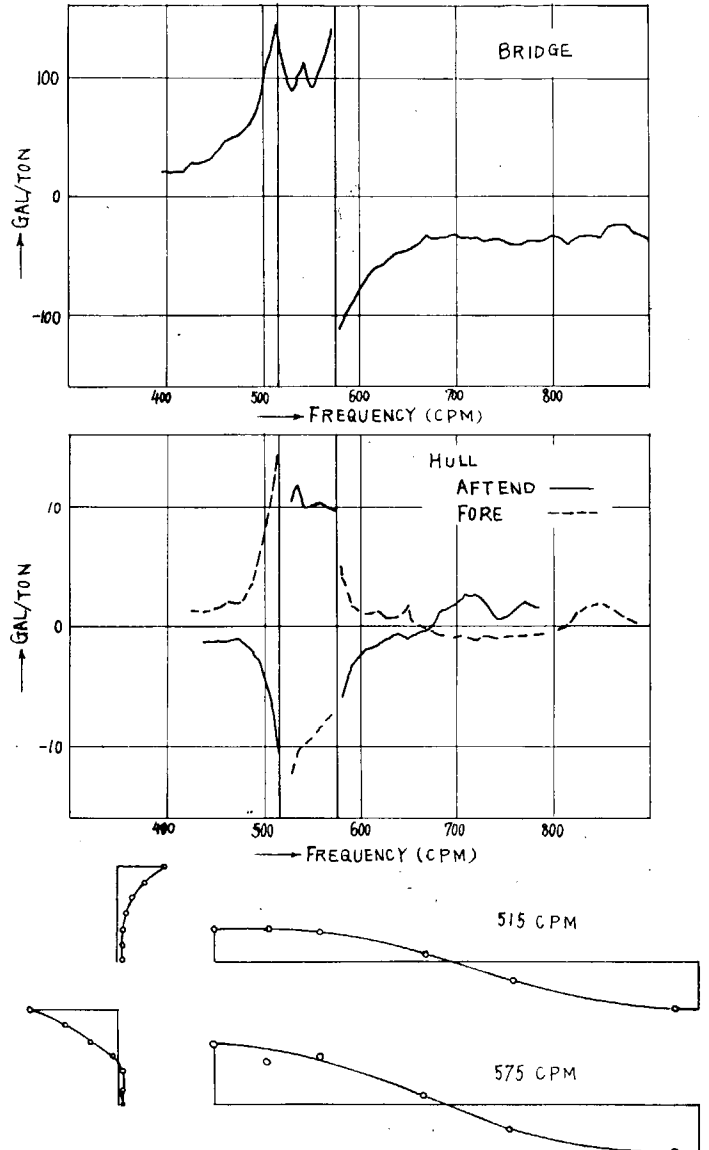


Fig.2.1 Observed Resonance and Mode Curve

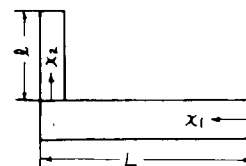


Fig.2.2

$$J \equiv S k \cos p L \sin k l + T p \sin p L \cos k l = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{ここに } k = \omega \sqrt{\frac{w l}{S g}}$$

$$p = \omega \sqrt{\frac{\Delta L}{T g}}$$

ω = Circular Frequency

ある振動数に対応する応答は次式で表わされる。

$$\text{船体縦振動} : \frac{U \omega^2}{P} = \frac{\omega^2}{J} \cos p x_1 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{上部構造剪断振動} : \frac{X \omega^2}{P} = \frac{\omega^2}{J} \left\{ \left(\frac{T p}{S k} \right) \sin p L \sin k x_2 - \cos p L \cos k x_2 \right\} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

今、本船のように実験より求められた Peak が同程度のものが2つあり、どちらが船体によるものか上部構造によるものであるか見分けるのが困難な場合がある。したがって、ここでは2つの Peak を入れかえた場合、共振曲線、共振型曲線にどのような影響が表われるかをしらべて見よう。

本船の場合、検討の対象となる2つの Peak は次のものである。

515 CPM, 575 CPM

これらはいずれも船体縦振動と上部構造前後振動とが連成してあらわれた Peak であるが、以下の検討はこの連成が共振曲線および共振型曲線におよぼす影響の定性的な検討であること、および(2.1)式に直接部材寸法などを代入して求めた固有振動数は、境界条件などの差によつて上記実測値と大巾に相異なることなどがあるので、ここでは実情とは多少異なるが、まず連成しない場合の固有振動数として上記の2つの固有振動数を仮定し、これから部材寸法などを逆に定め、これを用いて(2.2)式により連成固有振動数などを求めることにした。

まず

$$N_{S1} = 515 \text{ CPM}$$

$$N_{L1} = 575 \text{ CPM}$$

として(2.1)式により計算に使用する諸数値を求めれば次のようになる。

$$L = 16.5 \text{ M}, \quad \ell = 1.5 \text{ M}, \quad T = 6.1852 \times 10^7 \text{ TON}, \quad S = 2.7064 \times 10^5 \text{ TON},$$

$$\Delta' = 10^4 \text{ TON}, \quad w = 150 \text{ TON}$$

連成振動による固有振動数は(2.2)式を解くことによつて次のように計算される。

$$N_{S1} = 496 \text{ CPM}$$

$$N_{L1} = 594 \text{ CPM}$$

Bridge Top の Resonance Curve は(2.3)式より Hull After End および Fore End における Resonance Curve を(2.4)式より計算すれば Fig.23 のように決められる。図中各 Peak における船首を1とした場合の相対 Mode も示した。

次にこの2つの Peak を逆にした場合について同様に計算する。

数値は次に示すとおりである。

$$N_{L1} = 515 \text{ CPM}$$

$$N_{S1} = 575 \text{ CPM}$$

$$L = 16.5 \text{ M}, \quad \ell = 1.5 \text{ M}, \quad T = 6.1852 \times 10^7 \text{ TON}, \quad S = 2.7064 \times 10^5 \text{ TON},$$

$$\Delta = 1.2466 \times 10^4 \text{ TON}, \quad w = 120 \text{ TON}$$

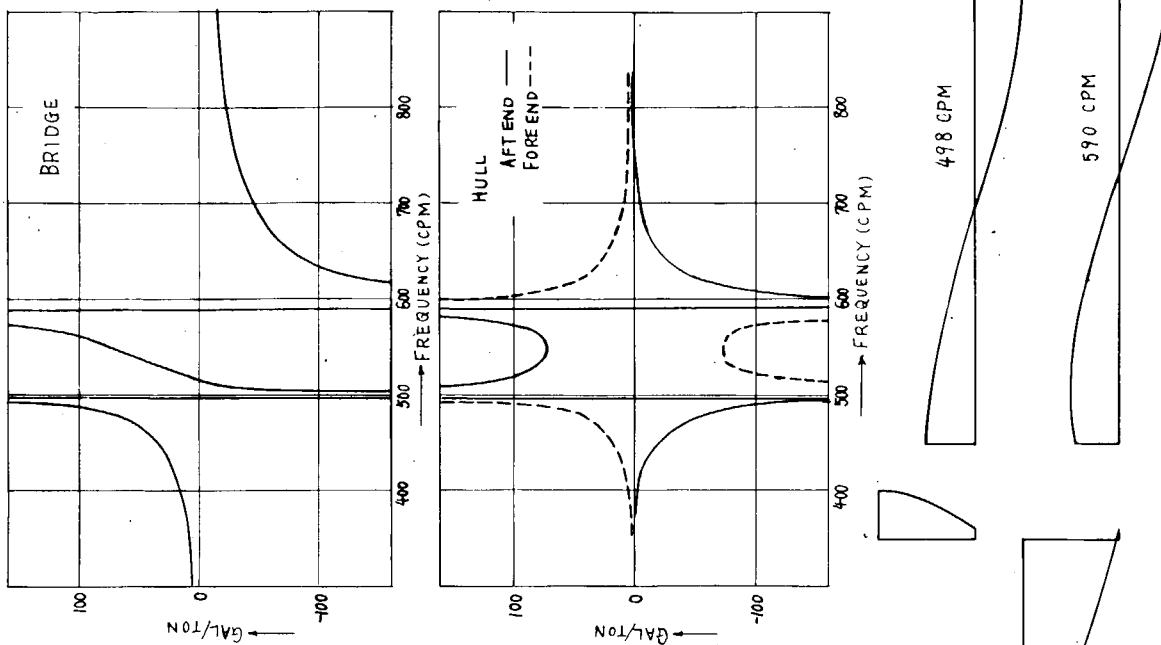


Fig. 23 Calculated Resonance and Mode Curve

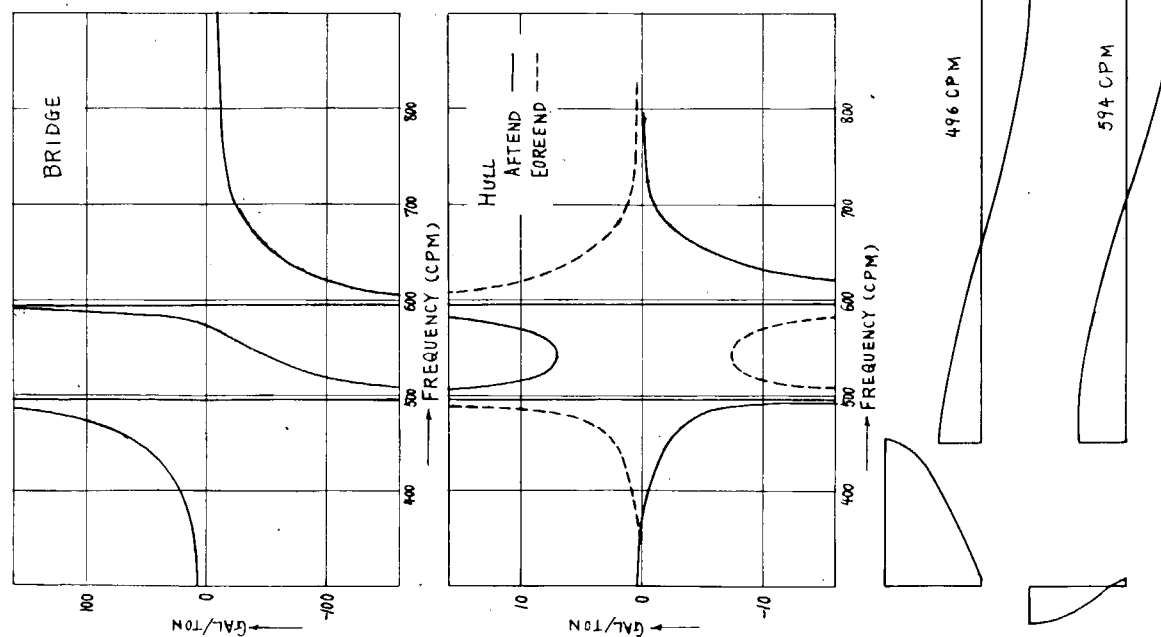


Fig. 24 Calculated Resonance and Mode Curve

連成振動による固有振動数は次の値となる。

$$N_{L1} = 498 \text{ CPM}, \quad N_{S1} = 590 \text{ CPM}$$

計算された Resonance Curve および Mode Curve を Fig. 2.4 に示す。

この2つの場合を比較すれば Bridge に表われる位相関係は全く同じである。ただ2つの Peak の間で振幅が0になる点が存在するが、その位置がいずれの場合も船体縦振動の Peak に近づいている。いいかえれば Bridge の共振曲線で上部構造前後振動の Peak よりも縦振動の Peakの方がするどい山ができる。ただしこの計算では減衰は無視しているので Peak の高さについては比較できない。

船体の Resonance Curve はどちらの場合も、全く同じ位相関係および同じ程度の大きさであるのでこれよりみわけるのは困難である。次に Mode Curve はこの2つの Peak に対してどちらの場合も、最初に表われる Peak が上部構造は1次型、後の Peak が2次型を示している。しかし船体の振幅に対して上部構造固有振動数に対応するものの方が大きく表われることがわかる。先に Fig. 2.1 に示した実験と比較して見ると Bridge における2つの Peak 以下または以上の位相は同じであるが、2つの Peak 間では完全な位相の逆転は見られない。ただ最初の Peak をすぎて次の Peak 間の小さな Peak に行くまでの範囲では90° ずれを生じている。船体の位相関係も700 CPM 以上で乱れるまでは計算値と全く同じ傾向を示す。実験の Mode Curve は575 CPM の方が大きくこちらが上部構造固有振動数とも思えるが515 CPM と比較しても明確な差はなく、まして本計算では、減衰のえいきようを無視していること、また、上部構造を均一剪断梁と見なしたことなどを考えると、どちらが上部構造固有振動数であるかは一概には断言できないようである。

第 3 章 プロペラ起振力

3.1 プロペラクリアランス

プロペラ起振力によつて船体に生ずる、いわゆる“Blade Frequency”の振動を軽減する対策として考えられるものは、大別すると、

- (1) 推進器起振力の減少
- (2) 船体応答を小さくすること

に分けられる。ここで推進器起振力を減少させる有効な手段の一つとして、プロペラクリアランスを適正に選ぶことが挙げられる。

これは推進器の起振力のうちいわゆる“Surface Force”を減少させる手段であるが、これは推進器翼数の選定、あるいは伴流分布の調整と関連して、現在、防振対策上最も具体的なもので、設計にも直接つながる重要な問題の一つである。

このクリアランスの最適なものを与える基準、提案等は種々試みられているが、この定量的な算定は、種々困難な問題にぶつかり、明確な結論は得られていない。そこで本報告では、将来の最適クリアランス基準作成への橋渡しとして、チップクリアランスと船体上下振動との関連を見出すため、現在、実用に供せられている実測データあるいは理論を用いて、実船について数値計算を行なつてみた。

以下にその計算手順および結果を示す。

3.1.1 起振力と船体応答

まず、同調状態での起振力と、これによつて生ずる船体振動加速度との関係は次式で表わされる。

$$a = C_n \cdot \frac{g \pi F}{\Delta_1 \delta_n} \quad \dots\dots\dots (3.1)^1$$

ここに

$$C_n = \frac{\Delta_1 \eta_u \eta_v}{L \int_0^1 w \eta^2 d\xi} \quad \dots\dots\dots (3.2)^1$$

- C_n : n 節のモード係数
- Δ_v : 付加水重量を含む排水量
- w : 単位長さ当りの荷重
- 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 における振巾
- ξ : 船の長さ方向の座標
- δ_n : 対数減衰率
- a : v 点における振動加速度 (G A L)
- F : u 点に作用する起振力 (T O N)

(1) 対数減衰率 δ_n

現在のところ明確な数値を求めるに到っていないが、いままでに種々発表された提案のうち

$$\delta_u = 0.038 \left(\frac{N_2}{100} \right) \left(\frac{N_n}{N_2} \right)^{3/4} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

を用いることとする。

ここで

N_2, N_n : 2 節および n 節の固有振動数

を用いることとする。

(2) 付加水重量を含む排水量

41 年度本部会報告に示されている式を用いる。

$$\Delta_r = (1 + \tau) \Delta \quad \text{ここに } \Delta : \text{排水量}$$

τ : 付加慣性係数

τ は次式で表わされる。

$$\tau = K_1 \frac{B}{d} - K_2 \left(\frac{B}{d} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (3.4)^1)$$

タンカは $K_1 = 0.4, \quad K_2 = 0.035$

貨物船は $K_1 = 0.3, \quad K_2 = 0.033$

(3) Mode 係数 C_n

41 年度本部会報告の中で、実験結果より C_n を求める手法が示されているが、比較的大型の Tanker 等の比較的低位の値しか求められていない。

そこで、ここでは Cargo Ship から Tanker まで広い範囲にわたって電子計算機による計算で求められた結果を用いることとする。

すなわち、節数 n と Mode 係数 C_n との関係は Fig. 3.1 に示すように

$$\frac{1}{C_n} = \frac{0.4}{n} \quad \dots\dots\dots (3.5)^6)$$

で表わされるとする。

ここで C_n を求めるには Blade Frequency における振動節数を求める必要がある。

41 年度本部会報告によると高次振動数の推定は 2 節振動数をもとにして

$$N_{vn}/N_{v2} = (n-1)^\mu \quad \dots\dots\dots (3.6)^1)$$

タンカは $\mu = 1.0$

貨物船は $\mu = 0.85$ で与えられている。

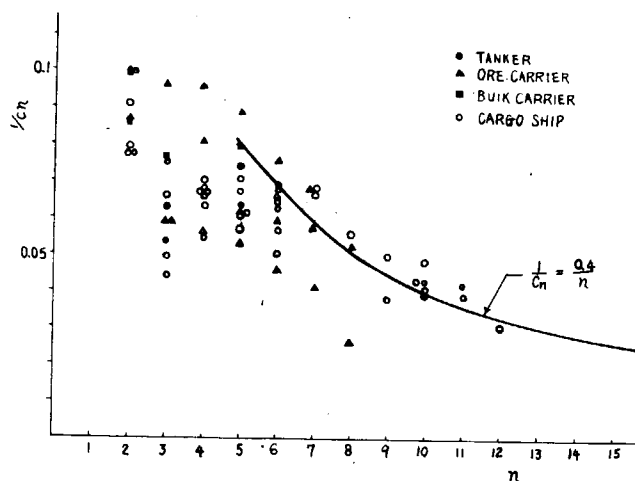


Fig. 3.1 Relation Between $1/C_n$ and n ⁶⁾

よつて、2 節の振動数 N_{v2} を何らかの方法で求

めれば Blade Frequency における節数を求めることができる。

3.1.2 起振力について

(1) Surface Force

単軸船での船尾部外板の水圧計測については 41 年度本部会報告にも 2, 3 述べられているが、これより不均一伴流中の Surface Force の推定法を確立するにはいたっていない。比較的均一な伴流分布を持つ警備艦における実測値はプロペラ直上に平板を置いて求めた横型実験値とよく一致している。この平板における値を基礎にして Surface force を求め、以下 1, 2 の修正を加えて商船の Surface Force を求めるものとする。

まず、起振力および圧力を表現する無次元係数は

$$K_F = \frac{F}{\rho n^2 D^4}$$

$$K_P = \frac{P}{\rho n^2 D^2} \quad \text{と表現される。}$$

ここで

F_S : Surface Force

P : 変動圧力

ρ : τ/g (τ は水の密度)

n : プロペラのRPM

D : プロペラの直径

$$K_P = G \cdot K_q, \quad K = K_F / K_P \quad \text{として上式を書き換えると}$$

$$F_S = P \cdot D^2 \cdot K$$

$$P = G \cdot K_q \cdot \rho \cdot n^2 \cdot D^2$$

ここで

$$K_q = \text{プロペラトルク係数} = Q / \rho \cdot n^2 \cdot D^5$$

実用上便利のようにさらに書き換えると

$$F_S = 0.716 G \frac{K \cdot \text{SHP}}{n D} \quad (\text{TONS}) \quad \dots\dots\dots (3.7)^5)$$

G : Pressure Amplitude Coefficient (Fig.3.2)

K : 変動水圧分布によつて決まる無次元の係数で、Tip Clearance C/D によつて変化する。警備艦の場合には

$$K = 0.69 \cdot C/D + 0.077 \quad \text{と求められている。}$$

SHP : 軸馬力

式(3.7)より、警備艦のように船底が平板に近く、比較的均一な伴流の場合には Surface Force を求めることができるわけであるが、一般商船の場合には船底形状が異り、かつ、不均一伴流であるので、これらに対する修正を行なうこととする。

(i) 船底形状に対する修正

(a) Maximum Pressure の修正^{1), 3)}

41年度本部会報告に述べられた模型実験の結果を利用して、プロペラディスク直上の船体断面形状をくさびと考え、船底が平面の場合との Max. Pressure の比を求める。すなわち、与えられた前進係数、および d/b に対して(ただし、5 Blade, $C/D = 0.1$) $P_{\max.}(\text{Wedge}) / P_{\max.}(\text{Flat Bottom})$ を求めこの値を C_1 とする。

(b) 圧力分布による修正³⁾

断面形状をくさびと考えた場合 d/b が変わる

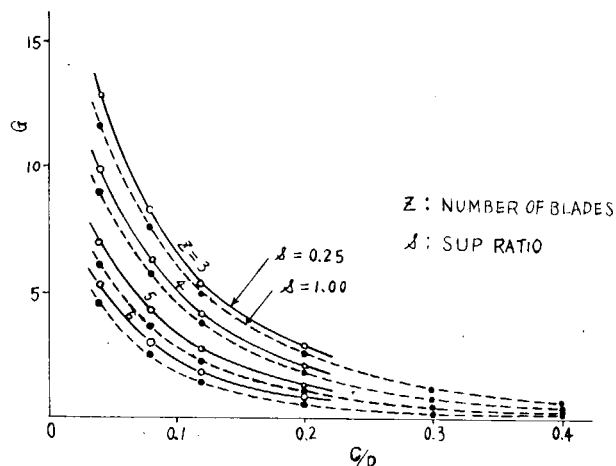


Fig.3.2 Relation Between C/D and G ^{4), 5)}

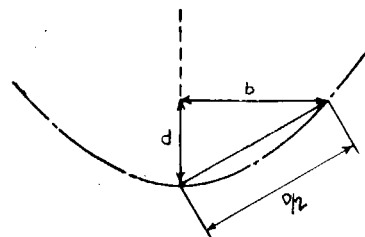


Fig.3.3 Sketch of the Cross Section over the Propeller Tip

ことによる圧力の積分値（起振力）の変化を示す係数 $\mu\theta$ を $d/b=0$ （平面）および与えられた d/b について求め、その比 $\mu\theta$ (Wedge) / $\mu\theta$ (Flat Bottom) を求め、これを C_2 とする。

(ii) 不均一伴流に対する修正

不均一伴流中における Surface Force は均一伴流中の値より大きくなること、理論的にも示されており、一般商船の実測値も、平板の場合より大きくなることが分っているが、これを定量的に求めることは困難をとまなうので、ここでは一応、この点を無視することとする。

以上により Surface Force は式 (3.7) をもとにして、次のように求められる。

$$F_S = 0.716 G \frac{K \cdot \text{SHP}}{n D} \cdot C_1 \cdot C_2 \quad (3.8)$$

(2) Bearing Force

Bearing Force の6成分 M_v, M_h, P_v, P_h, T, Q の内、上下振動の起振力 $M_v/M_0, P_v/P_0$ は次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} M_v/M_0 &= \frac{1}{2} a_1 + \frac{1}{2} \sum_{K=1}^{\infty} (a_{KZ-1} + a_{KZ+1}) \cdot \cos K \cdot Z \cdot \theta \\ P_v/P_0 &= \frac{1}{2} \sum_{K=1}^{\infty} (b_{KZ-1} - b_{KZ+1}) \cdot \sin K \cdot Z \cdot \theta \end{aligned} \right\} \quad (3.9)^{2), 7)}$$

ここに

M_v : 推力によるモーメントの上下方向成分

P_v : トルクによる切線方向力の上下方向成分

M_0, P_0 : 平均伴流に対する上記モーメントおよび力

a, b : プロペラディスクの $0.7R$ の円周における

伴流分布を用いて求めたスラスト係数 K_T ,

トルク係数 K_Q の、平均伴流に対する K_{T0} ,

K_{Q0} に対する比 $K_T/K_{T0}, K_Q/K_{Q0}$ の円周方向分布をフーリエ級数で表わしたときの係数。Fig. 3.7, Fig. 3.8 参照。

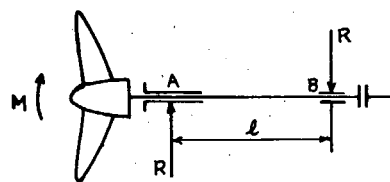


Fig. 3.4 Reaction of Bearing

推力モーメントは船尾管および最後部軸受を通して Fig. 3.4 のように伝わると考えると A, B 点における反力 R は $R = M/l$ で与えられる。また A, B における船体振動形の振巾をそれぞれ η_A, η_B とし、船尾端におけるそれを η_e とすれば、船尾端に換算した有効力 R_e は

$$R_e = \left(\frac{\eta_A}{\eta_e} - \frac{\eta_B}{\eta_e} \right) R = \left(\frac{\eta_A}{\eta_e} - \frac{\eta_B}{\eta_e} \right) \frac{M}{l} \equiv f \cdot M \quad (3.10)$$

したがって起振力の合成上下成分 F_B は (3.9) 式より

$$\begin{aligned} F_B &= \frac{1}{2} f \cdot M_0 \sum_{K=1}^{\infty} |a_{KZ-1} + a_{KZ+1}| \cdot \cos KZ \theta \\ &+ \frac{1}{2} P_0 \sum_{K=1}^{\infty} |b_{KZ-1} - b_{KZ+1}| \cdot \sin KZ \theta \quad (3.11) \end{aligned}$$

これより1次起振力の最大単振巾は、

$$\begin{aligned} (F_B)_{\max.} &= \frac{1}{2} \left[\left\{ f \cdot T_0 \cdot 0.7 R |a_{Z-1} + a_{Z+1}| \right\}^2 \right. \\ &\left. + \left\{ \frac{Q_0}{0.7 R} |b_{Z-1} - b_{Z+1}| \right\}^2 \right]^{1/2} \quad (3.12)^{7)} \end{aligned}$$

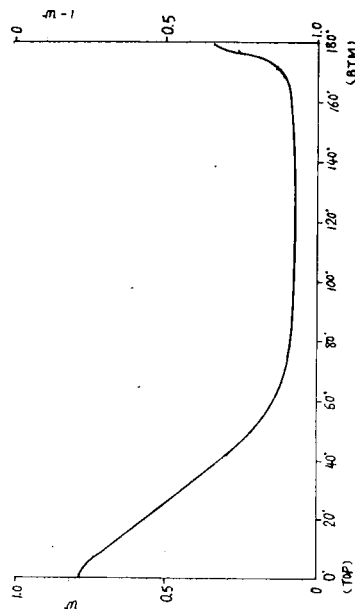


Fig. 3.5 Wake Distribution of "X" Ship (0.7R)

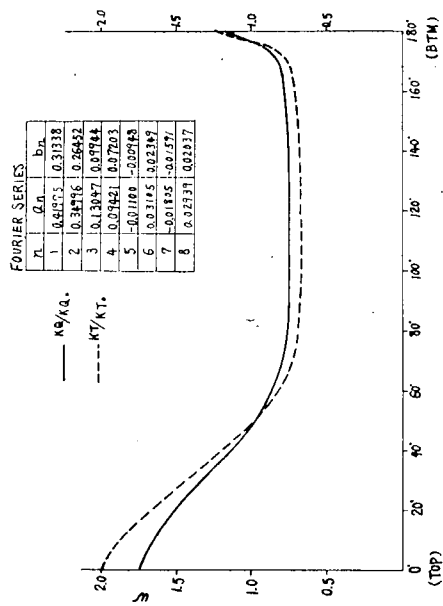


Fig. 3.7 Curves of K_q/K_{q0} and K_t/K_{t0} of "X" Ship

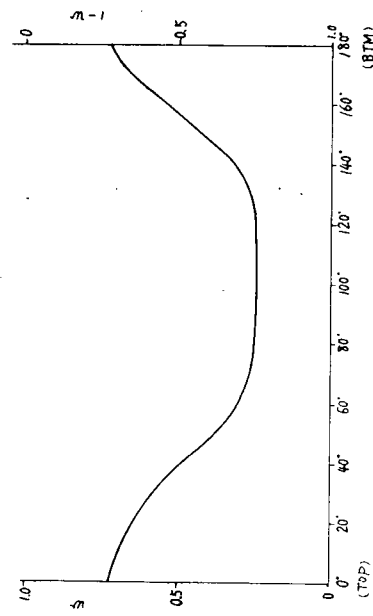


Fig. 3.6 Wake Distribution of "Y" Ship (0.7R)

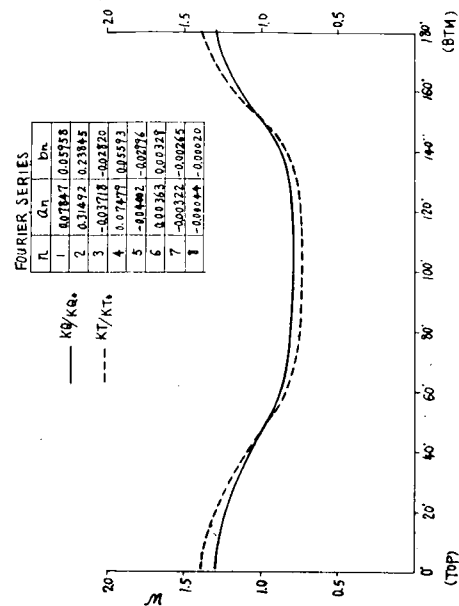


Fig. 3.8 Curves of K_q/K_{q0} and K_t/K_{t0} of "Y" Ship

Q_0, T_0 : 平均伴流に対するトルクおよびスラスト

ここで $(F_B)_{\max}$ を求めるには f を求める必要がある。これはなかなか困難であるが、以下に示す計算例では $\ell = 5M$, $\eta_A/\eta_e = 1$, 振動形 $\eta = \cos 180 n \xi$ と仮定することによって求めた。

Fig. 3.5 ~ Fig. 3.8 に数値計算例に用いた X 船、Y 船の模型試験によつて求めた伴流分布と、それをもとにして作つた K_T/K_{T_0} , K_Q/K_{Q_0} 曲線を示す。

(3) 総合起振力

Surface Force と Bearing Force とより総合起振力を求めるに際して、この両者間の位相差が問題となるが、ここでは便宜上 $F = F_S + F_B$ と考える。

3.1.3 数値計算例

Table 3.1 に示す要目の X 船、Y 船につき上述の方法によつて計算した結果を Table 3.2 に示す。また、Table 3.3 は Tip Clearance Ratio c/D を変えた場合の値を示す。

Table 3.1 Principal Particulars of "X" and "Y" Ship used in Calculation

	"X" SHIP	"Y" SHIP
TYPE OF SHIP	CARGO SHIP	TANKER
L_{pp} (M)	160.020	238.685
B (M)	24.232	38.938
D (M)	13.970	17.678
d (M)	9.147	13.526
D.W (KILOTON)	12.753	89.560
DISPLACEMENT (KILOTON)	20.682	106.697
C_b	0.566	0.827
MAIN ENG. BHP (MCO)	20,700	20,700
" " RPM (")	114	114
PROPELLER DIA. (M)	6.200	6.700
NUMBER OF BLADES	5	5
THRUST T_0 (KILOTON)	110	158
TORQUE Q_0 (TON-METER)	130	130
SPEED (KNOT)	22.45	16.15
w (MEAN VALUE OF WAKE COEF.)	0.228	0.420
J (ADVANCE COEF.)	0.757	0.379
SHAPE OF STERN	MARINER	MARINER
d/b	0.655	0.393
c/D	0.220	0.328

Table 3.2 Results of Numerical Calculation

		"X" SHIP	"Y" SHIP
N_2	(CPM)	70	43
n		13	14
δ_n		0.128	0.114
τ		0.563	0.862
Δ_1	(TON)	32.326	198.670
C_n		32	35
SURFACE FORCE	(TON)	2.22 (4.18)	1.55 (2.29)
BEARING FORCE	(TON)	2.58	1.86
F (TOTAL FORCE)	(TON)	4.80	3.41
a	(GAL)	116	16

Table 3.3 Relation Between C/D and a

	C/D	"X" SHIP	"Y" SHIP
a (GAL)	0.1	212	38
	0.2	150	26
	ACTUAL	116 ($C/D=0.220$)	16 ($C/D=0.328$)
	0.3	114	19

参 考 文 献

- 1) 第94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(その1) (昭和42年3月)
- 2) 熊井 豊二 “船体振動起振力としてのプロペラ BEARING FORCE の一推定法” 西船報第22号
- 3) 熊井 豊二 “プロペラ起振力におよぼす船尾断面形状の影響について” 振動委員会報告 V-19-6-1
(1966)
- 4) 谷口 中 “プロペラ近傍の圧力変動” 西船報第16号
- 5) 谷口 中、大高勝夫 “MEASUREMENTS OF THE PROPELLER-INDUCED VIBRATORY FORCE ON A DESTROYER” 造船114号
- 6) 三菱重工長崎研究所 “プロペラ起振力による船体上下振動の一考察” 構造委西部地区部会報告④-65-32-1/1
- 7) 富田哲治郎、田淵一郎 “船尾振動軽減対策の二三について” 三井造船技報第46号

3.2 プロペラ起振力におよぼすプロペラ翼のスキューバックの影響

3.2.1 緒 言

プロペラ翼にスキューバックをつける理由は翼が High Wake に突入する時翼の受ける衝撃反力を緩和させるためである。現在商船に使用されているプロペラ翼のスキューバックはチップにおいて $0.20 \sim 0.25 \times$ 翼の最大幅程度である。¹⁾

G. Bourceau et A. Loupe're²⁾ (いずれも Bureau Veritas) の実船実験の報告によれば、同一船において対称型の5翼プロペラとスキューバック型の5翼プロペラとによるプロペラ軸の横方向の振巾を比較した結果は Blade Frequency において両者の振巾比は 5:1 であったとのことである。また、J. H. Milton³⁾ も、

上記と同じような実船計測を行なつてプロペラ軸の振動に対するスキューバックの効果を報告している。しかし上記の二つの報告には起振力軽減の原因に関する詳しい説明はない。そこで本論ではまず最初に、与えられた伴流分布における Bearing 起振力におよぼすプロペラ翼のスキューバックの影響を準定常計算によつて試みることにする。

3.2.2 計 算

(I) 振力変動とトルク変動

プロペラ翼の回転角を θ とし、 θ における翼素の推力およびトルクをそれぞれ δT , δQ とすれば、

$$T = \sum_{m=1}^Z \int_{R_0}^R \delta T dr \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

$$Q = \sum_{m=1}^Z \int_{R_0}^R \delta Q dr \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

ここに

- T, Q : それぞれ θ における翼の推力およびトルク
- Z : 翼数
- m : 翼の番号、 $m=1, 2, 3, \dots\dots Z$
- R_0 : ボスの半径
- R : プロペラの半径
- r : 半径方向の翼の長さ

さて (3.13) および (3.14) 式によつて得られた翼の一回転における T および Q の変動は一般に θ に関する Fourier 級数で示される。⁴⁾ すなわち

$$\frac{\Delta T}{\bar{T}} = \sum_1^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

$$\frac{\Delta Q}{\bar{Q}} = \sum_1^{\infty} (c_n \cos n\theta + d_n \sin n\theta) \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

ここに

- ΔT および ΔQ はそれぞれ T および Q の変動
- $\bar{T}$ および $\bar{Q}$ はそれぞれ T および Q の平均値 である。

(3.15) 式および (3.16) 式の Fourier 級数から Z 翼プロペラの Blade Frequency の k 位 Harmonics ($k=1, 2, \dots\dots$) の変動が求められる。すなわち、(3.15) および (3.16) 式において $n=kZ$ とおけば、翼数 Z のプロペラの k 位の Harmonics の変動が得られる。したがつて、変動の複振巾と位相は次式で示される。

$$\left(\frac{\Delta T}{\bar{T}}\right)_{\max} = 2 \sqrt{a_{kZ}^2 + b_{kZ}^2} \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

$$\varphi_{\Delta T} = \frac{1}{kZ} \tan^{-1} \frac{b_{kZ}}{a_{kZ}} \quad \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\left(\frac{\Delta Q}{\bar{Q}}\right)_{\max} = 2 \sqrt{c_{kZ}^2 + d_{kZ}^2} \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

$$\varphi_{\Delta Q} = \frac{1}{kZ} \tan^{-1} \frac{d_{kZ}}{c_{kZ}} \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

準定常計算においては、もし翼にスキューバックがないときには (3.15), (3.16) ~ (3.19), (3.20) 式の中の b_{kZ} および d_{kZ} が 0 になる。この場合は筆者⁵⁾ が以前に行なつた式と一致し、位相差は常に 0 である。スキューバックのある場合には b_{kZ} および d_{kZ} は 0 ではない。非定常計算においては、たとえスキューがない場

合においても (3.15), (3.16) 式の正弦の項が効いてくる。⁶⁾

(2) Bearing Moment および Bearing Force の変動

上下方向の Bearing Moments の近似値はそれぞれ次式で示される。

$$\begin{aligned}\frac{\Delta M_v}{M} &= \frac{\Delta T \bar{r}}{T \bar{r}} \{ \cos (\theta - \bar{r}) \} \\ &= \sum_1^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) (\cos \bar{r} \cdot \cos \theta + \sin \bar{r} \cdot \sin \theta) \\ &= \frac{1}{2} \sum_1^{\infty} \{ A_{n\pm 1} \cos n\theta + B_{n\pm 1} \sin n\theta \} \dots\dots\dots (3.21)\end{aligned}$$

ただし

$\bar{r}$ は $\bar{r}$ (近似的に $\bar{r} = 0.7 R$) におけるスキューバック角である。

$$A_{n\pm 1} = \cos \bar{r} (a_{n-1} + a_{n+1}) - \sin \bar{r} (b_{n-1} - b_{n+1})$$

$$B_{n\pm 1} = \cos \bar{r} (b_{n-1} + b_{n+1}) + \sin \bar{r} (a_{n-1} - a_{n+1})$$

したがって、複振巾および位相は次式で示される。

$$\left(\frac{\Delta M_v}{M} \right)_{\max} = \sqrt{A_{n\pm 1}^2 + B_{n\pm 1}^2} \dots\dots\dots (3.22)$$

$$\varphi_{\Delta M_v} = \frac{1}{n} \tan^{-1} \frac{B_{n\pm 1}}{A_{n\pm 1}} \dots\dots\dots (3.23)$$

$n = kZ$ とおけば異数 Z の k 番目の Harmonics の値が得られる。

水平方向の Bearing Moment の変動は、

$$\begin{aligned}\frac{\Delta M_h}{M} &= \frac{\Delta M \bar{r}}{T \bar{r}} \{ \sin (\theta - \bar{r}) \} \\ &= \sum_1^{\infty} (a_n \cos n\theta + b_n \sin n\theta) (\cos \bar{r} \cdot \sin \theta - \sin \bar{r} \cdot \cos \theta) \\ &= \frac{1}{2} \sum_1^{\infty} \{ A_{n\mp 1} \sin n\theta - B_{n\mp 1} \cos n\theta \} \dots\dots\dots (3.24)\end{aligned}$$

ただし

$$A_{n\mp 1} = \cos \bar{r} (a_{n-1} - a_{n+1}) - \sin \bar{r} (b_{n-1} + b_{n+1}),$$

$$B_{n\mp 1} = \cos \bar{r} (b_{n-1} - b_{n+1}) + \sin \bar{r} (a_{n-1} + a_{n+1}),$$

したがって、複振巾および位相は次式のようになる。

$$\left(\frac{\Delta M_h}{M} \right)_{\max} = \sqrt{A_{n\mp 1}^2 + B_{n\mp 1}^2} \dots\dots\dots (3.25)$$

$$\varphi_{\Delta M_h} = - \frac{1}{n} \tan^{-1} \frac{A_{n\mp 1}}{B_{n\mp 1}} \dots\dots\dots (3.26)$$

次に Bearing Force の上下および左右方向の分力はトルク変動から得られる。

一般に近似値として、 $P=Q/\bar{r}$ と考えられるので、上下方向の Bearing Force の変動は、

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P_v}{P} &= \frac{\Delta Q \bar{r}}{Q \bar{r}} \{ \sin(\theta - \bar{r}) \} \\ &= \sum_1^{\infty} (C_n \cos n\theta + d_n \sin n\theta) (\cos \bar{r} \sin \theta - \sin \bar{r} \cos \theta) \\ &= \frac{1}{2} \sum_1^{\infty} \{ C_{n\mp 1} \sin n\theta - D_{n\mp 1} \cos n\theta \} , \dots\dots\dots (3.27)\end{aligned}$$

ただし

$$C_{n\mp 1} = \cos \bar{r} (C_{n-1} - C_{n+1}) - \sin \bar{r} (d_{n-1} + d_{n+1}) ,$$

$$D_{n\mp 1} = \cos \bar{r} (d_{n-1} - d_{n+1}) + \sin \bar{r} (C_{n-1} + C_{n+1}) ,$$

したがって、複振巾および位相は、

$$\left(\frac{\Delta P_v}{P} \right)_{\max} = \sqrt{C_{n-1}^2 + D_{n+1}^2} , \dots\dots\dots (3.28)$$

$$\varphi_{\Delta P_v} = -\frac{1}{n} \tan^{-1} \frac{C_{n\mp 1}}{D_{n\mp 1}} , \dots\dots\dots (3.29)$$

左右方向の Bearing Force の変動は、

$$\begin{aligned}\frac{\Delta P_h}{P} &= \frac{\Delta Q \bar{r}}{Q \bar{r}} \{ \cos(\theta - \bar{r}) \} \\ &= \sum_1^{\infty} (C_n \cos n\theta + d_n \sin n\theta) (\cos \bar{r} \cos \theta + \sin \bar{r} \sin \theta) \\ &= \frac{1}{2} \sum_1^{\infty} \{ C_{n\pm 1} \cos n\theta + D_{n\pm 1} \sin n\theta \} , \dots\dots\dots (3.30)\end{aligned}$$

ただし

$$C_{n\pm 1} = \cos \bar{r} (C_{n-1} + C_{n+1}) - \sin \bar{r} (d_{n-1} - d_{n+1}) ,$$

$$D_{n\pm 1} = \cos \bar{r} (d_{n-1} + d_{n+1}) + \sin \bar{r} (C_{n-1} - C_{n+1}) ,$$

∴ 複振巾は、

$$\left(\frac{\Delta P_h}{P} \right)_{\max} = \sqrt{C_{n\pm 1}^2 + D_{n\pm 1}^2} , \dots\dots\dots (3.31)$$

位相は、

$$\varphi_{\Delta P_h} = \frac{1}{n} \tan^{-1} \frac{D_{n\pm 1}}{C_{n\pm 1}} , \dots\dots\dots (3.32)$$

スキューバックがない時は上記の(3.21)～(3.22)の式の中で、 $\bar{r}=0$ となる。その結果は筆者⁵⁾が前に計算した式と一致する。したがって、 $\bar{r}$ の値を種々に変えて Bearing Moment および Force の変動におよぼすスキューバックの影響を調べることができる。

3.2.2 数値計算例

以前に筆者等が実験に用いた4万トンタンカの5^M模型(Conventional Stern)の伴流に、対称型翼のプロペラおよび過度のスキューバックのある5翼プロペラを採用したときの推力変動、トルク変動および Bearing

Force 等の計算を試みた。模型船の寸法等はここでは省略する。プロペラ要目およびスキューバックの輪郭は Fig. 3.9 に示してある。Fig. 3.10 はこの模型船の伴流分布の計測値である。この計測は田才教授によるものである。Fig. 3.10 の伴流に従つて対称型翼とスキューバック翼とについて翼素の推力およびトルク等を回転角 ($2\pi/20$) に対して求め、一翼の一回転におけるそれらの変動を示せば Fig. 3.11 および Fig. 3.12 のようになる。Fig. 3.13 は (3.13) および (3.14) 式によつて対称型の翼およびスキューバック翼を有する 5 翼プロペラの推力変動およびトルク変動を計算した結果である。図に示すように変動波形の著しい相違が見られる。しかし変動の振幅の相違はあまり著しくない。

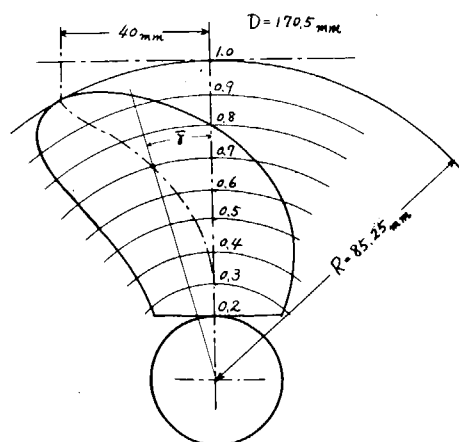
Fig. 3.11 および Fig. 3.12 の曲線を Fourier 級数で表わし、その係数 a_n, b_n および C_n, d_n がわかれば前記の計算に従つて Bearing Moment 等が得られる。その結果を $\bar{r}$ に対して置点すれば Fig. 3.14 のようになる。図には 1st Harmonics (Blade Frequency) と 2nd Harmonics とが示してある。Fig. 3.15 は Fig. 3.11, 3.12 の曲線の Fourier 解析の結果のスペクトルである。この解析は大高委員の協力によるものである。

3.2.3 結 言

Bearing Force におよぼすスキューバックの影響は Fig. 3.13 に見るように 1st Harmonics ではさほど大きくないことが推察される。スキューバックのために起振力が逆に大きくなるものもある。 (ΔM_h と ΔP_v)。これは本数値計算の一例の結果であるから一般的な結論をここで述べるわけにはゆかない。伴流の周方向分布のいかんによつてかなり異なつた結果になることが予想される。今後の研究としてまず模型実験で上記の結果を確かめ、さらに Surface Force についても調べてみる予定である。

参 考 文 献

- 1) Sounders, H. E. : Hydrodynamics in Ship Design, Vol. I, P. 436, Vol. II, P. 603
- 2) Bourceau, G. et A. Loupe're' : Investigation a la mer en vue D'ameliorer le Comportement des Arbres Porte-Helice et de Leurs Paliers Supports, Bull. ATMA, 1961
- 3) Milton, T. H. : Interesting Marine Machinery Investigations, ISP, 1963
- 4) Lewis, F. M. : Propeller Vibration, SNAME, 1935
- 5) 熊 井 豊 二 : 船体振動起振力としての Propeller Bearing Force の一推定法, 西船報 23, 1962
- 6) Lewis, F. M. : Propeller-Vibration Forces, SNAME, Advance copy, 1963



PRINCIPAL PARTICULARS OF
MODEL PROPELLER

D (MM)	170.5	TYPE OF PROPELLER	クランク Y
NO OF BLADES	5	BOSS RATIO	0.2
PITCH RATIO	0.67	t/D	0.05
RAKE	10°	$\bar{r}$	13.8°
SKEW BACK (MM)	40		

Fig. 3.9 Outline of Skewback Blade

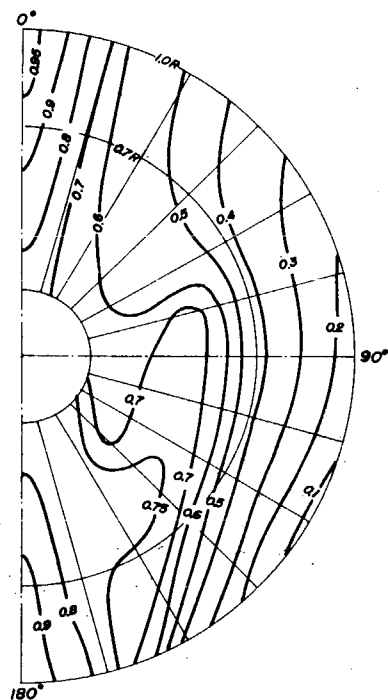


Fig. 3.10 Wake Distribution of the Model Ship
(Measured by Prof. Tasai)

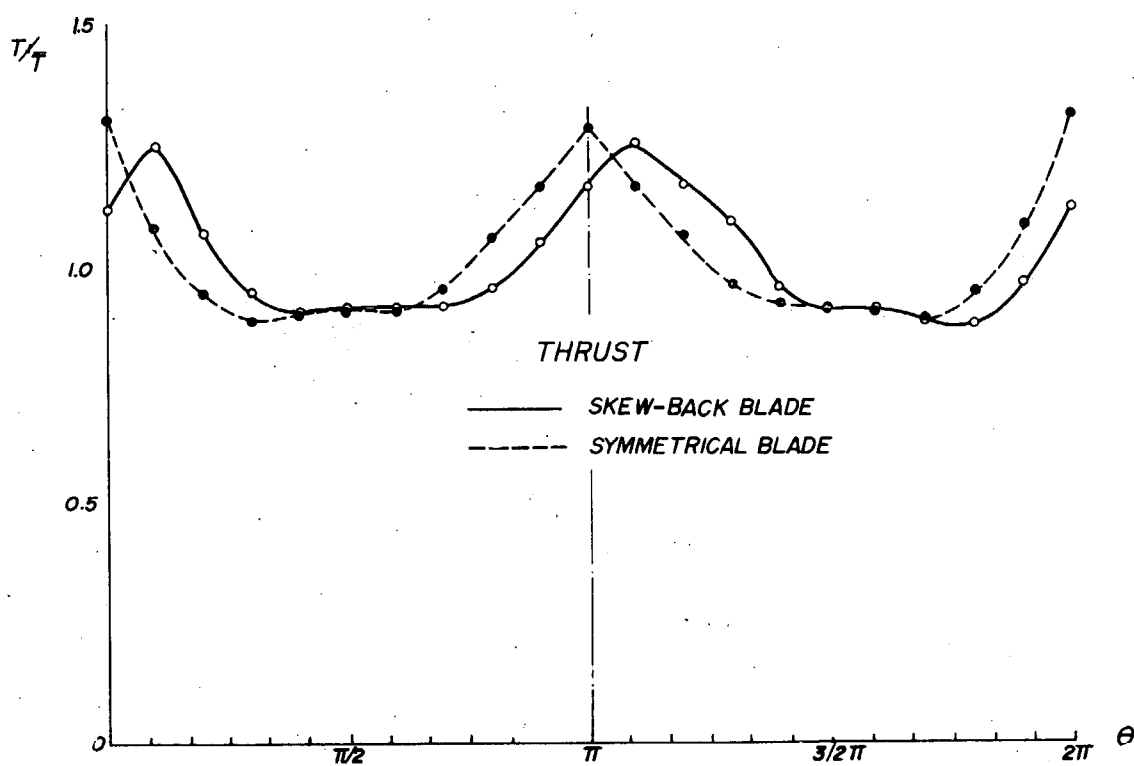


Fig. 3.11 Thrust Distribution

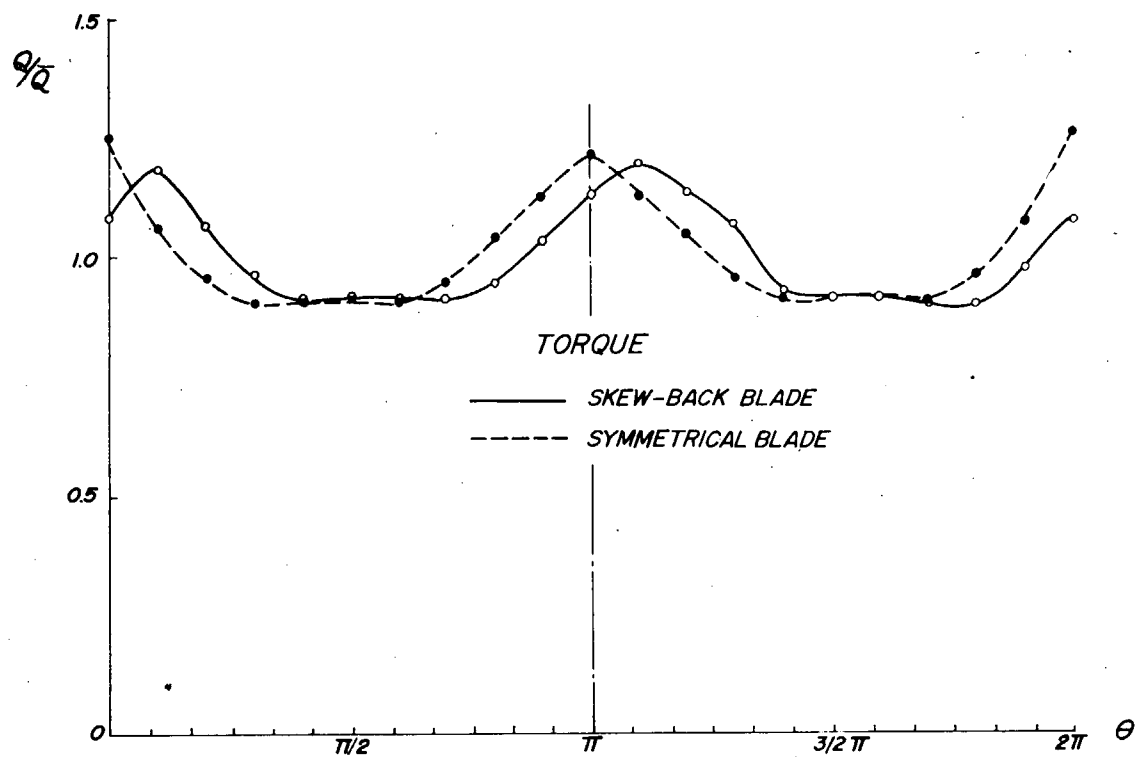


Fig. 3.12 Torque Distribution

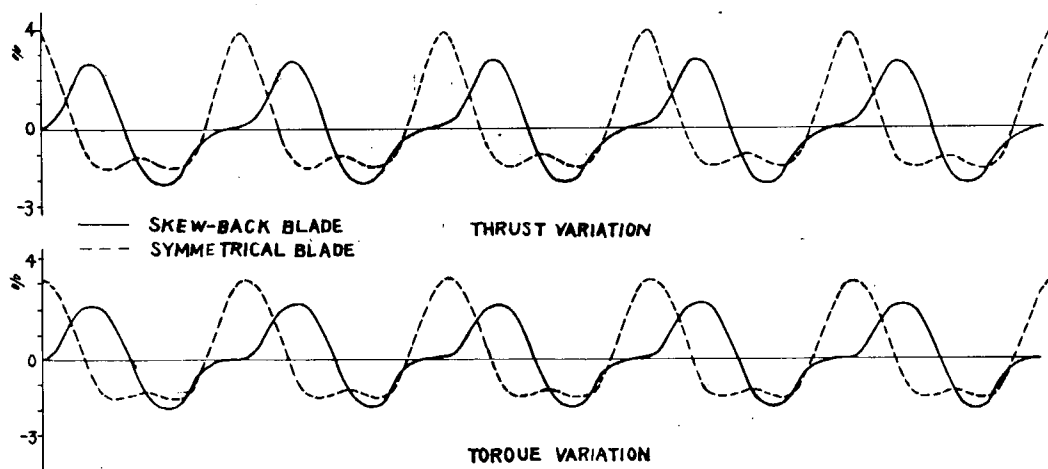


Fig. 3.13 Thrust and Torque Variation

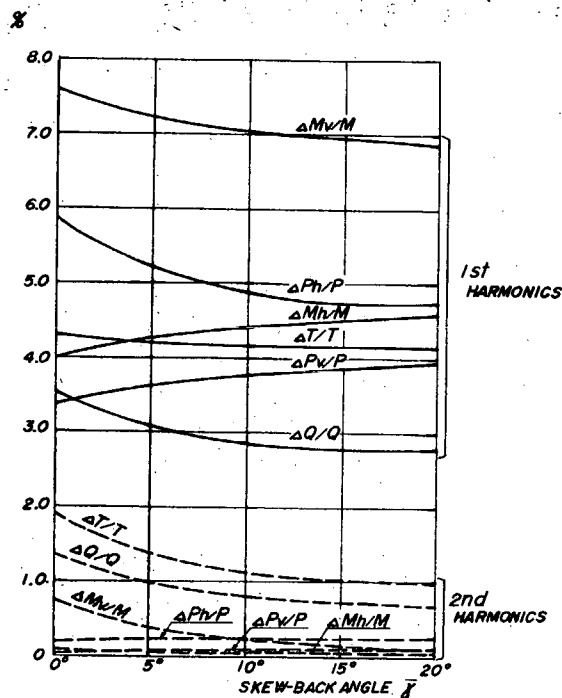


Fig. 3.14 Relation Between Variations of Bearing Force, Moment, Thrust, Torque of 5-Blade Propeller and Skewback Blade

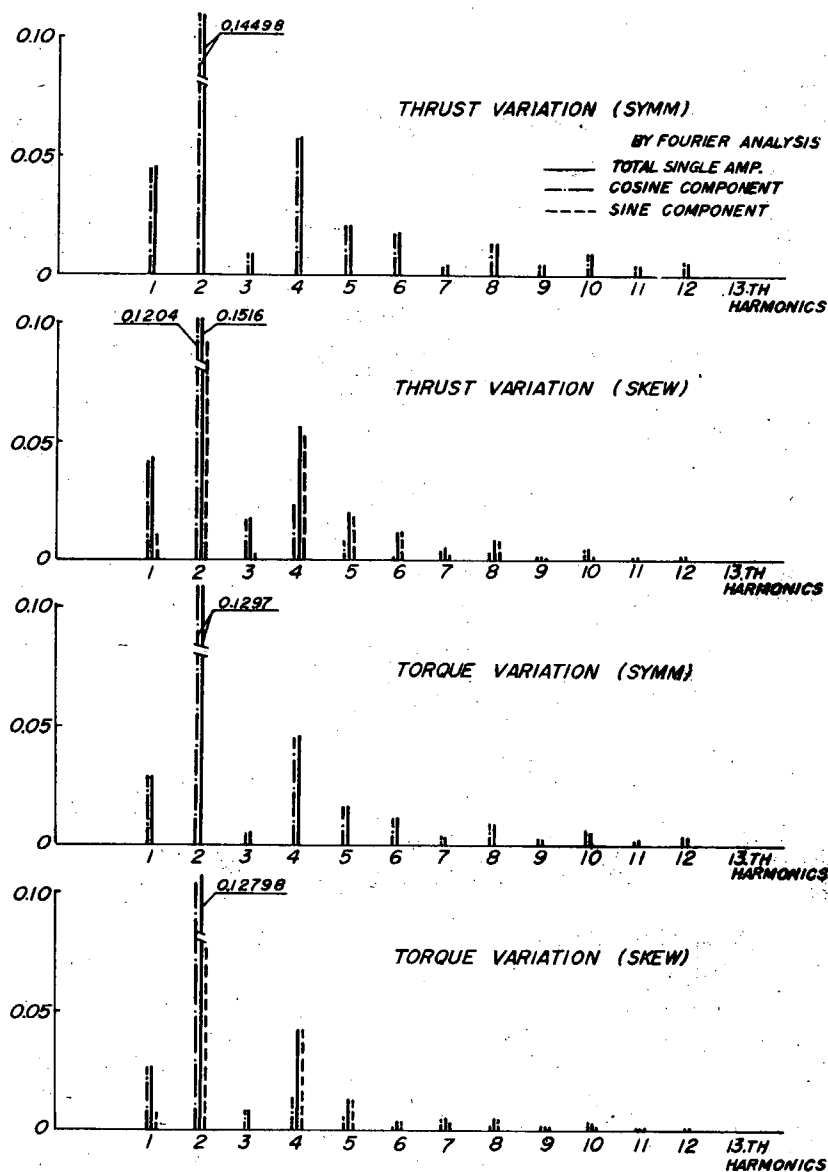


Fig. 3.15 Fourier Series of Thrust and Torque Variation

3.3 プロペラ前方の水圧変動におよぼす集中伴流の影響

3.3.1 緒 言

プロペラ前方の Axial Clearance
と変動圧力との関係は圧力の減衰その他の点で
2次元計算では十分に説明することができない
ので、本論ではプロペラ翼の Tip に近い部分
を半扁平回転楕円体と仮定してその付近の水圧
変動を3次元ポテンシャルから近似的に計算し
てみた。

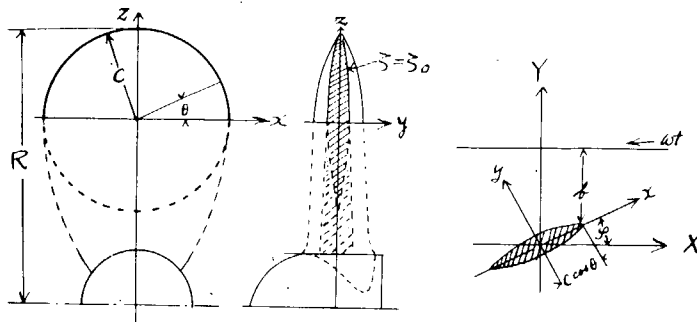


Fig.3.16 Shape of Blade Tip

3.3.2 計 算

Fig.3.16に示すような扁平回転楕円体と共焦点を有する楕円体は次式によつて示される。

$$\left. \begin{aligned} x &= c \sqrt{(1+\xi^2)(1-r^2)} \cos \theta \\ y &= c \xi r \\ z &= c \sqrt{(1+\xi^2)(1-r^2)} \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.3.3)$$

ただし $\xi_0 \leq \xi \leq \infty$, $-1 \leq r \leq 1$, $0 \leq \theta \leq 2\pi$

$\xi = \xi_0$ は楕円体の表面を表わす。中心 ($x=0$, $z=0$) における厚さを t_0 とすればプロペラ翼のように薄い楕円体では、

$$\xi_0 = \frac{t_0}{2c}$$

と置いてよい。

(3.3.3) 式による3次元ポテンシャル Φ についての Laplace 方程式は次のごとくである。

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ (1+\xi^2) \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} \right\} + \frac{\partial}{\partial r} \left\{ (1-r^2) \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right\} + \frac{\xi^2 + r^2}{(1+\xi^2)(1-r^2)} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial \theta^2} = 0 \dots\dots\dots (3.3.4)$$

扁平楕円体における (3.3.4) 式の一般解は次の Legendre 函数と三角函数の積で表わされる。¹⁾

$$Q_n^m(i\xi) \cdot P_n^m(r) \frac{\cos}{\sin} m\theta \dots\dots\dots (3.3.5)$$

ただし $Q_n^m(i\xi) = q_n^m(\xi)$

函数 $q_n^m(\xi)$ は $q_n^m(\xi) \Big|_{\xi \rightarrow \infty} = 0$ である。((3.4.3) 式参照),

今、無限遠点におけるポテンシャルを Φ_1 とすれば、解は

$$\Phi = \sum_{mn} A_{mn}^m q_n^m(\xi) \cdot P_n^m(r) \frac{\cos}{\sin} m\theta + \Phi_1 \dots\dots\dots (3.3.6)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \xi} = \sum_{mn} A_{mn}^m \frac{\partial q_n^m(\xi)}{\partial \xi} P_n^m(r) \frac{\cos}{\sin} m\theta + \frac{\partial \Phi_1}{\partial \xi} \dots\dots\dots (3.3.7)$$

ただし、 A_{mn}^m は未知常数である。

Φ_1 は

$$\Phi_1 = cv \{ -x \cos \alpha_t + y \sin \alpha_t \}$$

ただし、 $\alpha_t = \alpha + \delta f(\omega t)$ (Fig. 3.19 参照)

扁平楕円体座標では

$$\phi_1 = cv \left\{ -(1+\xi^2)^{\frac{1}{2}} (1-r^2)^{\frac{1}{2}} \cos \theta \cos \alpha_t + \xi r \sin \alpha_t \right\} \quad (3.38)$$

r の函数は次の様な Legendre の $P_n^m(r)$ で示される。

$$(1-r^2) \cos \theta = P_1^1(r) \cos \theta, \quad r = P_1^0(r) \text{ であるから}$$

$$\phi_1 = cv \left\{ -(1+\xi^2)^{\frac{1}{2}} P_1^1(r) \cos \theta \cos \alpha_t + \xi P_1^0(r) \sin \alpha_t \right\} \quad (3.39)$$

一方、プロペラ翼は ω なる回転速度で X 方向に回転しているため、次の境界条件が考えられる。

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0} = -\omega \left\{ (R-c+z) \frac{\partial X}{\partial \xi} - X \frac{\partial z}{\partial \xi} \right\}_{\xi=\xi_0}, \quad (3.40)$$

ただし $X = x \cos \varphi - y \sin \varphi$,

$$\frac{\partial X}{\partial \xi} = \frac{\partial x}{\partial \xi} \cos \varphi - \frac{\partial y}{\partial \xi} \sin \varphi$$

ここに、 $\cos \varphi$, $\sin \varphi$ は z の方向に変化する。しかし、そのように考えると解の形が非常に複雑になるので、ここでは Strip 法を目標として常数と考え、与えられた z に対する値をとることとする。

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial \xi} \right)_{\xi=\xi_0} = -\omega \left[(R-C) \frac{\partial x}{\partial \xi} \cos \varphi - \left\{ (R-C) \frac{\partial y}{\partial \xi} + z \frac{\partial y}{\partial \xi} + y \frac{\partial z}{\partial \xi} \right\} \sin \varphi \right]_{\xi=\xi_0} \quad (3.40')$$

R , C 等については Fig. 3.16 参照。

m , n を定めるために (3.40') 式の各項の微分と Legendre の $P_n^m(r)$ の公式を書いてみると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial x}{\partial \xi} &= c \xi (1+\xi^2)^{-\frac{1}{2}} (1-r^2)^{\frac{1}{2}} \cos \theta; & (1-r^2)^{\frac{1}{2}} &= P_1^1(r) \\ \frac{\partial y}{\partial \xi} &= c r; & r &= P_1^0(r) \\ z \frac{\partial y}{\partial \xi} &= c^2 (1+\xi^2)^{\frac{1}{2}} r (1-r^2)^{\frac{1}{2}} \sin \theta; & 3 r (1-r^2)^{\frac{1}{2}} &= P_2^1(r) \\ y \frac{\partial z}{\partial \xi} &= c^2 \xi^2 (1+\xi^2)^{-\frac{1}{2}} r (1-r^2)^{\frac{1}{2}} \sin \theta; & 3 r (1-r^2)^{\frac{1}{2}} &= P_2^1(r) \end{aligned} \right\} \quad (3.41)$$

すなわち、 r と θ との函数形によつてそれぞれ、 n と m が上のように定まるから、それらに応じて (3.36) 式の $q_n^m(\xi)$ が決定する。

(3.37) 式の $\xi = \xi_0$ の値と (3.40') とを等置することにより常数 A_n^m を求むれば次のようになる。ただし、 k , l は (3.40) 式の係数 ωc^2 と (3.38) 式の係数 vc との比であつて、次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} A_1^0 &= \frac{-(1 + \frac{k \sin \varphi}{\sin \alpha_t})}{\left(\frac{\partial q_1^0(\xi)}{\partial \xi} \right)_{\xi_0}}, & A_1^1 &= \frac{(1 + \frac{k \cos \varphi}{\cos \alpha_t}) \xi_0 (1+\xi_0^2)^{-\frac{1}{2}}}{\left(\frac{\partial q_1^1(\xi)}{\partial \xi} \right)_{\xi_0}} \\ A_2^1 &= \frac{-1 \left\{ (1+\xi_0)^{\frac{1}{2}} + \xi_0 (1+\xi_0 (1+\xi_0)^{-\frac{1}{2}}) \right\} \sin \varphi}{3 \left(\frac{\partial q_2^1(\xi)}{\partial \xi} \right)_{\xi_0}}, \\ k &= \frac{R-c}{R-c(1-\sin \theta)} \cos \beta, & l &= \frac{c}{R-c(1-\sin \theta)} \cos \beta. \end{aligned} \right\} \quad (3.42)$$

$k, 1$ もともに z の函数となるが近似的に常数と考え z が変わるとにそれに応じた値をとる。

函数 $q_n^m(\xi)$ は次のように表わされる。

$$\left. \begin{aligned} q_0^0(\xi) &= \cot^{-1} \xi & (\cot^{-1} \xi &= \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \xi) \\ q_1^0(\xi) &= 1 - \xi \cot^{-1} \xi \\ (\text{一般に、} q_n^m &= (1 + \xi^2)^{\frac{m}{2}} \frac{d^m}{d\xi^m} q_n^0) \\ q_1^1(\xi) &= -(1 + \xi^2)^{\frac{1}{2}} \left(\cot^{-1} \xi - \frac{\xi}{1 + \xi^2} \right) \\ q_2^0(\xi) &= \frac{1}{2} (3\xi^2 + 1) \cot^{-1} \xi - \frac{3}{2} \xi \\ q_2^1(\xi) &= (1 + \xi^2)^{\frac{1}{2}} \left\{ 3\xi \cot^{-1} \xi - \frac{1}{2} \frac{3\xi^2 + 1}{1 + \xi^2} - \frac{3}{2} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.43)$$

$\xi_0 \ll 1$ であるから A_n^m は近似値として簡単な形となる。また $P_n^m(r)$ は r の多項式で表わした方が計算に便宜である。最終的に境界条件を満足する Φ は、

$$\begin{aligned} \Phi = cv \left[\left\{ \frac{\xi_0}{2} \left(1 + \frac{k \cos \varphi}{\cos \alpha_t} \right) q_1^1(\xi) - (1 + \xi^2)^{\frac{1}{2}} \right\} (1 - r^2)^{\frac{1}{2}} \cos \theta \cos \alpha_t \right. \\ \left. + \left\{ \frac{2}{\pi} \left(1 + \frac{k \sin \varphi}{\sin \alpha_t} \right) q_1^0(\xi) + \xi \right\} r \sin \alpha_t \right. \\ \left. - \frac{2\ell \sin \varphi}{3\pi} q_2^1(\xi) r (1 - r^2)^{\frac{1}{2}} \sin \theta \right] \dots\dots\dots (3.44) \end{aligned}$$

圧力係数 K_P は次式で求められる。

$$K_P = K_{P1} + K_{P2}$$

ここに K_{P1} は $\partial \Phi / \partial t$ による Dynamical Pressure, K_{P2} は $-\frac{1}{2} \rho v^2$ から得られる Steady Flow による圧力である。いずれもプロペラ近傍の与えられた点 (ξ, r, θ) における圧力係数を次の式から求めればよい。

$$\left. \begin{aligned} K_{P1} &= C_1 \left\{ \frac{\partial \Phi}{\partial t} - \frac{\partial \Phi_1}{\partial t} \right\} \\ K_{P2} &= C_2 \left[\frac{1 + \xi^2}{\xi^2 + r^2} \left\{ \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \xi} \right)^2 - \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial \xi} \right)^2 \right\} + \frac{1 - r^2}{\xi^2 + r^2} \left\{ \left(\frac{\partial \Phi}{\partial r} \right)^2 - \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial r} \right)^2 \right\} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{(1 + \xi^2)(1 - r^2)} \left(\frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right)^2 \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.45)$$

$$\text{ここに } C_1 = \frac{\pi^2}{\cos \beta} \frac{c}{R} \left\{ 1 - \frac{c}{R} (1 - \sin \theta) \right\} \frac{1}{cv}$$

$$C_2 = -\frac{\pi^2}{2} \frac{1}{\cos^2 \beta} \left\{ 1 - \frac{c}{R} (1 - \sin \theta) \right\}^2 \frac{1}{(cv)^2}$$

ξ は与えられた b/D (Axial Clearance) と回転角 ωt によつて次式から求められる。ただし、 $X_1 = \frac{X}{c}$... とおく。(Fig. 3.16 参照)

$$\left. \begin{aligned}
 \xi &= \sqrt{\frac{1}{2}(S^2 + T^2)}, & r &= \cos \theta \\
 S^2 &= X_1^2 + Y_1^2 + Z_1^2 - 1 \\
 T^2 &= \sqrt{S^4 + 4(Y_1 \cos \varphi - X_1 \sin \varphi)^2} \\
 X_1 &= -\left(\frac{R-c}{c} + \sin \theta\right) \omega t \\
 Y_1 &= \frac{b}{D} \frac{2R}{c} + \cos \theta \cdot \sin \varphi
 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.46)$$

3.3.3 計算例

(3.45) 式の K_{P1} , K_{P2} は r/R の位置によつて異なつた式になる。その特例として、 $r/R = 0.7$ と $r/R = 1$ の場合について例示してみる。

(1) $r/R = 0.7$ における K_P

$$\left. \begin{aligned}
 K_{P1} &= C_1 \frac{2}{\pi} q_1^0(\xi) \cos \alpha_t = C_1 \frac{2}{\pi} (1 - \xi \cot^{-1} \xi) \cos \alpha_t \\
 K_{P2} &= C_2 \left\{ \frac{1}{1 + \xi^2} \left\{ \frac{\xi_0}{2} \left(1 + \frac{k \cos \varphi}{\cos \alpha_t}\right) q_1^1(\xi) - (1 + \xi^2)^{\frac{1}{2}} \right\}^2 - 1 \right\} \cos^2 \alpha_t \\
 &= C_2 \cdot \tau_1 \left(\cot^{-1} \xi - \frac{\xi}{1 + \xi^2} \right) \left\{ \tau_1 \left(\cot^{-1} \xi - \frac{\xi}{1 + \xi^2} \right) + 2 \right\} \cos^2 \alpha_t
 \end{aligned} \right\} \dots (3.47)$$

$$\text{ただし } \tau_1 = \frac{\xi_0}{2} \left(1 + \frac{k \cos \varphi}{\cos \alpha_t}\right)$$

(3.47) 式は $r/R = 0.7$ の位置に楕円体の主軸があると仮定した計算式である。 ($C/R = 0.3$)

(2) $r/R = 1$ (プロペラ Tip の位置) の K_P

$$\begin{aligned}
 K_{P1} &= 0 \\
 K_{P2} &= C_2 \left(\left[\frac{1}{1 + \xi^2} \left\{ \frac{\xi_0}{2} \left(1 + \frac{k \cos \varphi}{\cos \alpha_t}\right) q_1^1(\xi) - (1 + \xi^2)^{\frac{1}{2}} \right\}^2 - 1 \right] \cos^2 \alpha_t \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1}{\xi^2} \left\{ \frac{2}{\pi} \left(1 + \frac{k \sin \varphi}{\sin \alpha_t}\right) q_1^0(\xi) + \xi \right\}^2 \sin^2 \alpha \right) \dots\dots\dots (3.48)
 \end{aligned}$$

3.3.4 結 論

3次元計算によつてわかつた主な点は、 $0.7R$ のプロペラ前方の圧力は翼の厚さ τ をふやせば変動が大きくなると同時に減衰が著しくなる。たとえば τ を普通のプロペラの3倍位にふやした場合には圧力減衰の状態およびその値はプロペラの Open Water における計測結果にかなり近づいてくる。(Fig. 3.17)

伴流の影響についていへば厚さ比 τ が小さい場合には伴流の影響が大きいのであるが厚さが厚くなればその影響は小さくなる。これは Dynamical Pressure と Steady Flow による Pressure との最大値の位相とそれぞれの値がちがうからである。

プロペラ Tip では Dynamical Pressure の項が消える。したがつて、伴流の影響はほとんどない。圧力減衰の状態も $0.7R$ 付近とは異なるものと思われる。(計算未了。)

一方模型船におけるプロペラ前方における圧力変動計測の結果は本計算によるものより大きいようである。特に実船計測ではさらに大きく出ている。これらの相違に関しては今後の研究が必要と思われる。

付記: Fig. 3.18は Open Water におけるプロペラ前方の変動圧力の計測の一例である。 K_P は Tip の付近で大きくなるようである。また、減衰は著しいことがわかる。Fig. 3.19 は本計算に用いた伴流分布と模型船のそれとの比較を示したものである。

参 考 文 献

1) Lamb, H. : Hydrodynamics, 1932 P. 142

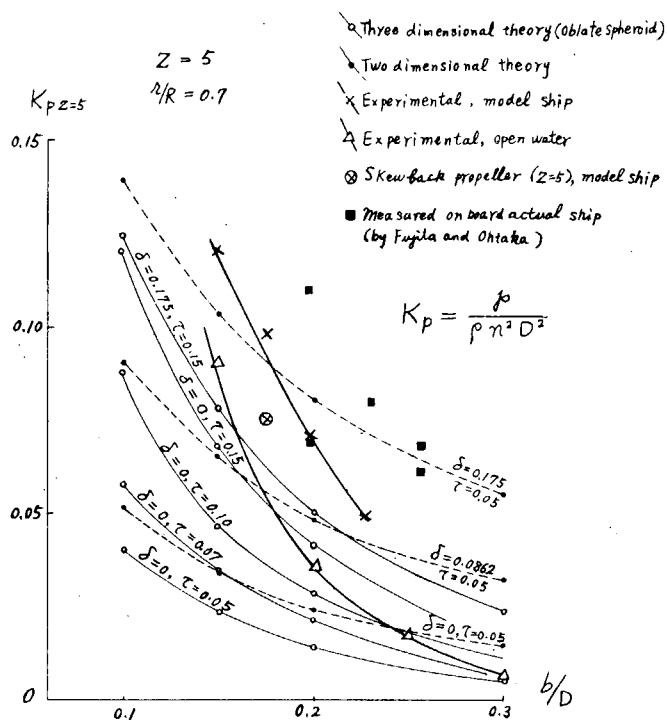


Fig. 3.17 Relation Between $K_{PZ=5}$ and b/D

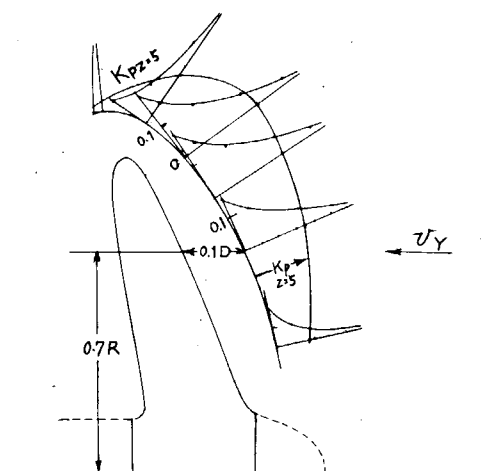
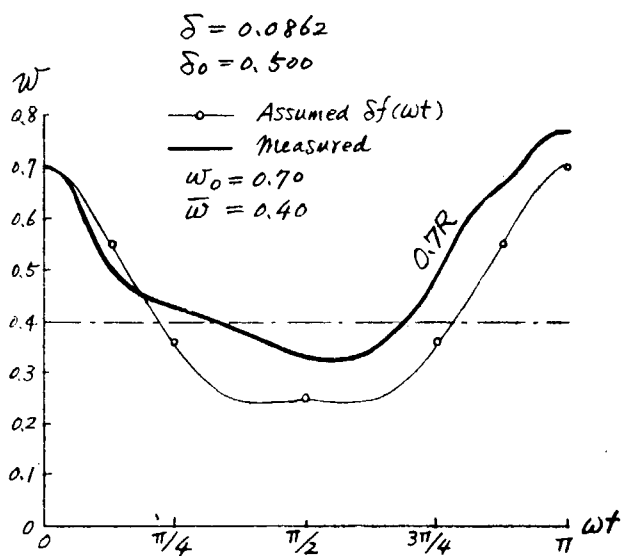


Fig. 3.18 Observed Value of $K_{PZ=5}$ in Front of Model Propeller in Open Water



$$\delta_0 = \frac{\omega_0 - \bar{\omega}}{1 - \bar{\omega}}$$

$$\delta = \delta_0 \tan \beta = \delta_0 \frac{JR}{\pi r}$$

Fig. 3.19 Wake Distribution and $\delta f(\omega t)$ in $0.7R$