日本船舶振興会昭和42年度補助事業
"巨大船に関する調査"

研究資料 No. 71—2

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　2）

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	（呉造船）
	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	（日本鋼管）
	高橋肇	（船舶技術研究所）
	田中兵衛	（昭和海運）
	塚本周吉	（函館ドック）
	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）
飯　塚　晴　彦	（三菱重工業）
梅　崎　一　夫	（三菱重工業）
梅　野　　満	（日本海事協会）
牛　島　正　夫	（三菱重工業）
臼　井　久　益	（三菱重工業）
漆　原　　熙	（三井造船）
伊　藤　敬三郎	（船舶技術研究所）
井　上　吉　行	（佐世保重工業）
池　上　保　彦	（三菱重工業）
大　石　松　二	（三菱重工業）
大　沼　　覚	（三菱重工業）
大　浦　啓　二	（佐世保重工業）
太　田　治　孝	（日本鋼管）
大　森　敏　二	（三菱重工業）
小　野　孝　義	（呉造船）
岡　田　勝　晴	（川崎重工業）
岡　久　泰　明	（川崎重工業）
川　上　　肇	（川崎重工業）
香　川　洸　二	（三菱重工業）

河合	一	（日本鋼管）
河本	達郎	（三菱重工業）
金田	隆良	（呉造船）
熊倉	靖	（石川島播磨重工業）
越川	滋	（三井造船）
小椋	一郎	（呉造船）
佐伯	庄吾	（三井造船）
佐々木	弘蔵	（三菱重工業）
白木	万博	（三菱重工業）
砂原	浩	（舞鶴重工業）
杉山	脩	（佐世保重工業）
関岡	信明	（三菱重工業）
竹沢	節雄	（船舶技術研究所）
田中	紘一	（石川島播磨重工業）
高橋	潔	（三菱重工業）
藁沼	太門	（佐世保重工業）
寺田	邦夫	（三菱重工業）
時枝	彬彦	（三井造船）
土井	丈士	（三井造船）
中田	道雄	（三井造船）
中間	隆三郎	（函館ドック）
永井	将	（日立造船）
永田	勝之	（呉造船）
西木戸	実	（三井造船）
野沢	登	（函館ドック）
藤田	尚身	（浦賀重工業）
藤野	勉	（三菱重工業）
松岡	孝典	（三菱重工業）
松島	洋	（東京測器）
牧野	利雅	（浦賀重工業）
水内	充	（日立造船）
水島	一裕	（日立造船）
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	（三菱重工業）
渡辺	勉	（日本鋼管）
渡辺	昌建	（三菱重工業）

目　　次

第1編　陸上および海上試運転時の主機架構および軸系の縦振動に関する研究 …… 1

第1章　日立造船計測結果とその検討 …… 1

1.1　緒　　言 …… 1

1.2　測定機関および船舶の仕様 …… 1

1.3　測 定 法 …… 1

1.4　測定条件 …… 7

1.5　測定結果 …… 8

1.6　測定結果の検討 …… 46

1.7　総合的検討 …… 77

1.8　ま と め …… 82

第2章　石川島播磨重工業計測結果とその考察 …… 83

2.1　緒　　言 …… 83

2.2　測定項目 …… 83

2.3　測定機関および船体の要目 …… 83

2.4　測定要領 …… 84

2.5　測定結果 …… 88

2.6　測定結果の考察 …… 109

第3章　三菱重工業（神戸）計測結果 …… 114

3.1　陸上運転 …… 114

3.2　海上運転 …… 122

3.3　測定結果について …… 137

第2編　船体船尾側振動と軸系ねじり振動との関連に関する研究 …… 139

第1章　三井造船（玉野）実船計測結果 …… 139

1.1　計測方法 …… 139

1.2　計測結果 …… 147

第3編　機関と機関台に関する模型実験および理論解析 …… 160

第1章　平板による実験（東京大学） …… 160

1.1　まえがき …… 160

1.2　基礎が剛の場合の共振曲線 …… 160

1.3　基礎が柔かい場合 …… 162

1.4　H形2次のモードとX形の固有振動数が近い場合 …… 162

1.5　固有振動数の計算 …… 165

1.6　ま と め …… 169

第2章　機関架構模型実験結果（三菱重工業神戸） …… 170

2.1　模型について …… 170

2.2　模型実験 …… 171

第3章　軸系ねじり縦連成振動の理論解析（三井造船玉野） …… 191

3.1　基礎方程式 …… 191

3. 2　基礎方程式中の諸行列および $\vec{V}oi$, $\vec{\varphi}$ の算出…… 191
3. 3　自然振動数の計算…… 191
3. 4　振動モードと振幅の計算…… 192
3. 5　あとがき…… 192
第4章　クランクスローモデル撓性試験（三井造船玉野）…… 193
4. 1　目　　的…… 193
4. 2　計測方法…… 193
4. 3　計測結果の解析と検討…… 194

第1編　陸上および海上試運転時の主機架構および軸系の縦振動に関する研究

第1章　日立造船計測結果とその検討

1.1 緒　言

本報告は、日立造船において128,000DWT Tanker主機（日立B&W1284－VT2BF－180形機関27,600PS）の陸上および海上運転時に、軸系縦振動とそれに関連するねじれ振動、トルクおよびスラスト変動を測定して、推進軸系の固有振動数および共振点における振幅を求め、さらに機関架構、架台、軸受および軸受台の縦方向振動変位の測定による軸系縦振動と船体振動との関連などについて検討し、それと同時に機関架構および架台の横振動および上下振動変位を測定して、その固有振動、軸系振動に関連する振動および船体振動との関連などを振動数、振動モードによって検討した概要を述べたものである。

なお、船体振動については船体起振実験において機関架構、架台、軸受および軸受台の振動変位を測定し、船体振動時の機関囲りの振動を求めた。

1.2 測定機関および船舶の仕様

1.2.1　測定機関

シリンダ径／行程／シリンダ数	：	840mm／1,800mm／12
回転数／出力（M.C.R.計画）	：	114 rpm／27,600 PS
着火順序	：	1－12－5－7－3－11－4－9－2－10－6－8

1.2.2　測定船舶

L×B×D	：	274m×45.6m×21.6m
△満載（計画）	：	153,660KT
吃水、トリム満載（計画）	：	Fore 14.86m、Aft 14.86m、Trim0
プロペラ直径／翼数	：	7.0m／5
Cb、エンジン位置	：	0.809、Aft
船尾形状	：	通常形（Shoe piece あり）（第1.1.2図参照）

1.3 測　定　法

1.3.1　測定位置

測定機関および機関室のスケルトンと測定位置を第1.1.1～1.1.3図に記号で示した。各記号の説明を以下に述べる。

(1)　陸上運転時

第1.1.1表　軸系振動測定内容

測定項目	測定位置	記号	備考
相対縦振動	クランク軸船首端	1′－A	
ねじれ振動	クランク軸船首端	1′－Tr	

第1.1.2表　振動変位測定内容

振動変位計No.	測定位置	測定方向		
1	6	H（横）	V（上下）	L（縦）
2	7	H	V	
2	8′	H		
3	8	H	V	L
4	9	H	V	L
5	10	H		
6	1	H	V	L
7	2	H	V	L
8	3	H	V	L
9	4	H	V	L
10	5	H	V	L

(2)　海上運転時

第1.1.3表　軸系振動測定内容

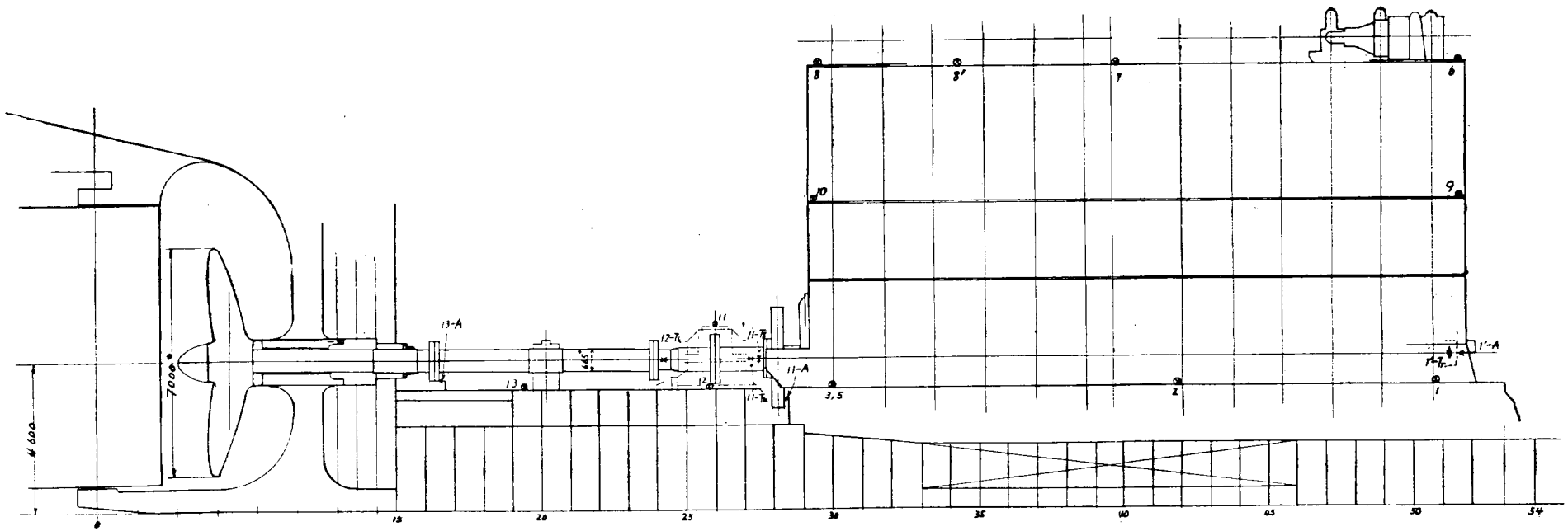
測定項目	測定位置	記号	備考
相対縦振動	クランク軸船首端	1′－A	
〃	中間軸カプリング	13－A	
トルク変動	フライホイル船尾側軸	11－Tq	
スラスト変動	スラスト軸受船尾側軸	12－Th	
ねじれ振動	クランク軸船首端	1′－Tr	

第1.1.4表　振動変位測定位置

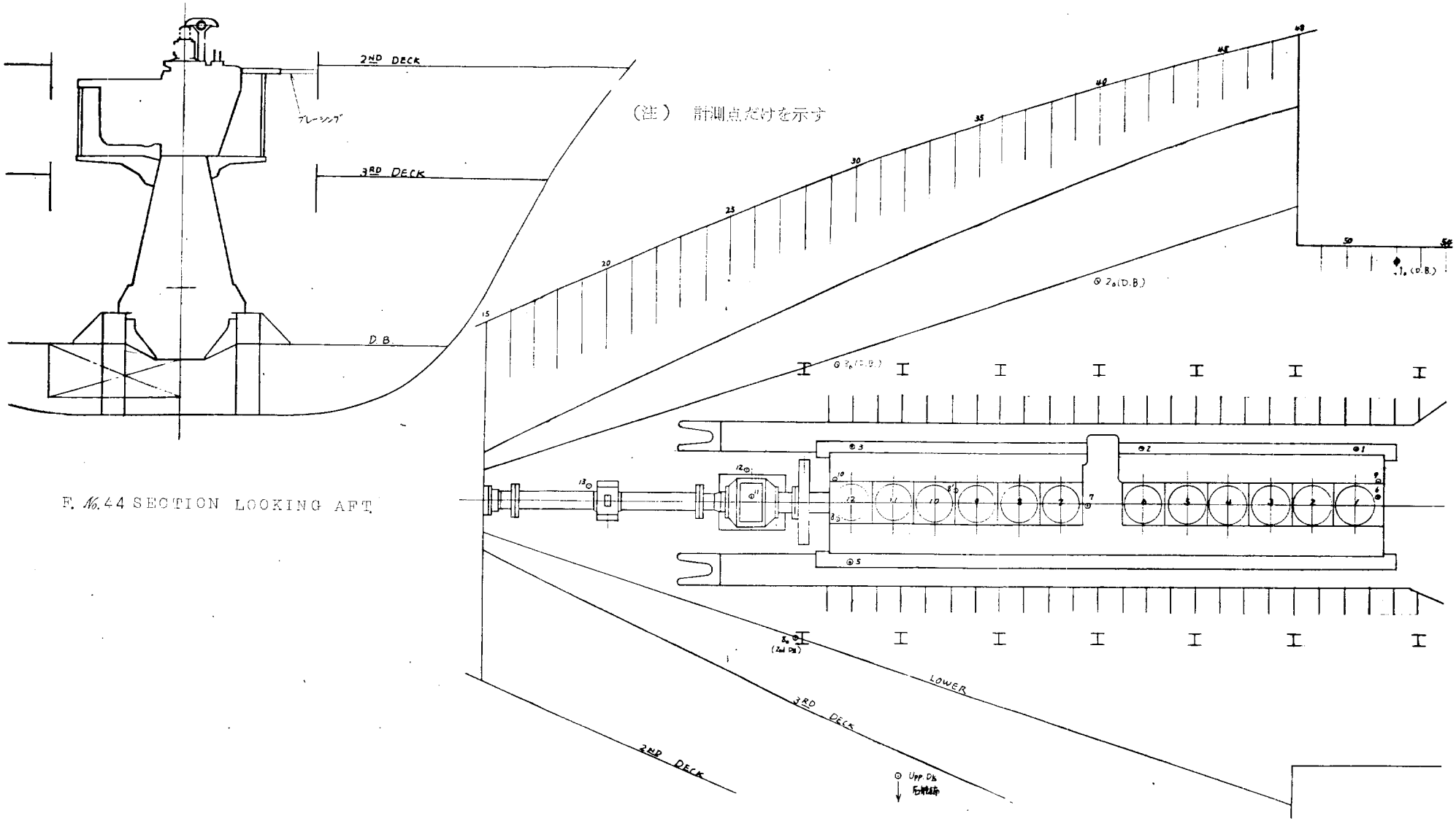
振動変位計No.	測定位置	測定方向	振動変位計No.	測定位置	測定方向
1	6	H（横）	14	1	L（縦）
2	7	H	15	3	L
3	8	H	16	12	L
4	10	H	17	11	L
5	8′	H	18	8	L
6	9	H	19	13	L
8	8_o	H	20 ※	Upp.Dk	H
10	1	H　V（上下）	21 ※	3_o(DB)	V
11	2	H　V	22 ※	2_o(〃)	V
12	3	H　V	23 ※	1_o(〃)	V
13	5	V	24	3_o(〃)	H
13	13	H	25	1_o(〃)	H

（注）　船体分科会にて測定（43年度報告予定）

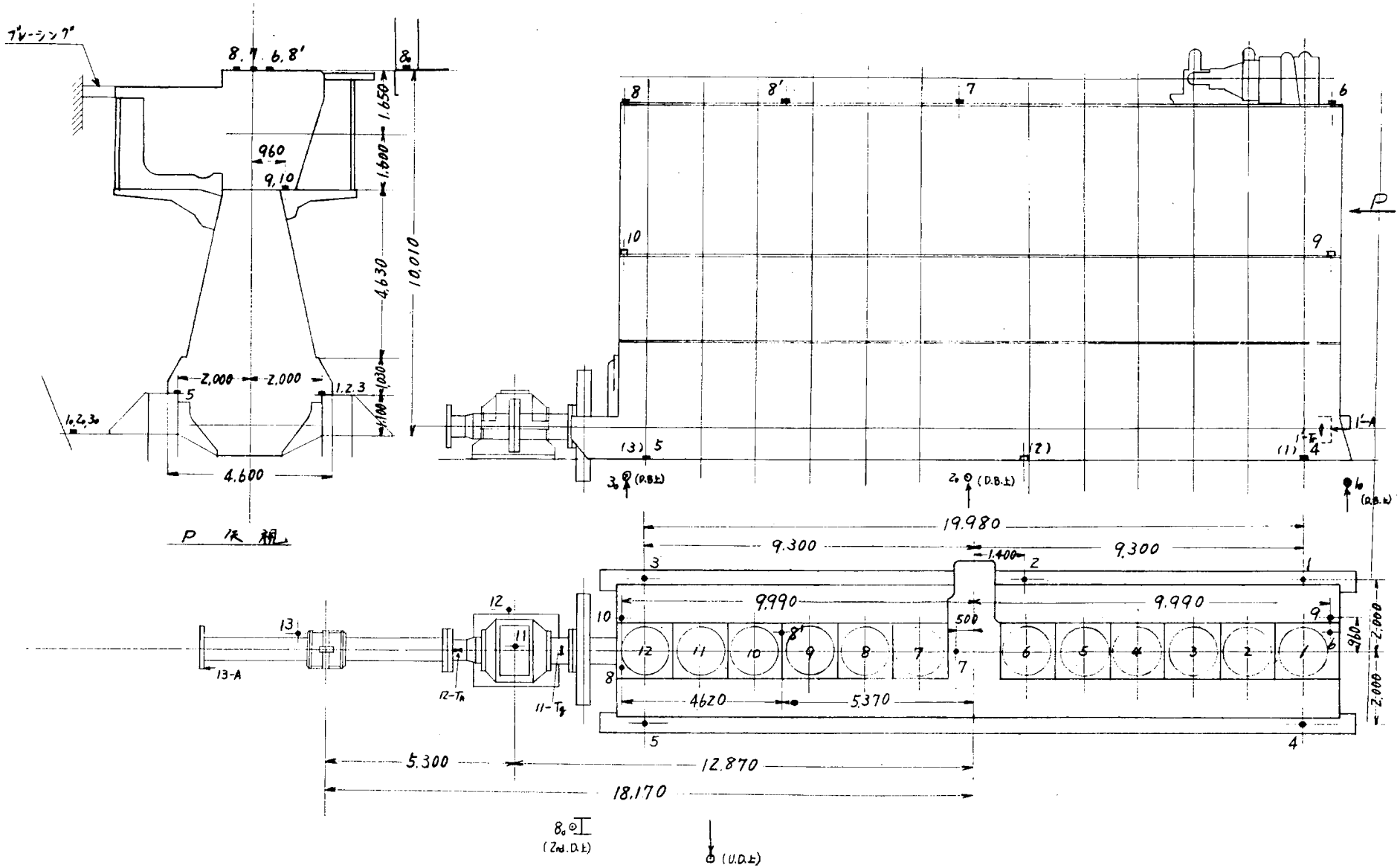
（注）　計測点だけを示す。ただし、11−A　は計測不能
11−Th は一部計測不能



第1.1.1図　機関軸系および船尾のスケルトンと測定位置



第1.1.2図　機関軸系および機関室のスケルトンと測定位置



第1.1.3図 測定位置詳細

1.3.2 測定機器

(1) 軸系相対横振動

ピックアップ　：　ストレンゲージ（ＰＣ－５）（板ばね変位式）

ストレンメータ　：　共和電業製トランジスタ式動ひずみ測定器　ＤＰＭ－６ＣＴ

(2) 軸系トルクおよびスラスト変動

ピックアップ　：　ストレンゲージ（ＰＣ－１０）

ストレンメータ　：　昭和計装舎製ＦＭストレンテレメータ

測定周波数範囲　：　０～１００ｃｐｓ（搬送波周波数２ＫＣ±３％）

(3) 軸系ねじれ振動

国際機械振動研究所製ねじれ振動計　ＴＭ－６１００

検　出　部　：　ＶＰ－９２９０形ねじれ振動検出器（動電形ねじれ検出方式）

測定周波数範囲　：　８～５００ｃｐｓ±３％、３～８ｃｐｓ較正曲線による。

ねじれ角測定範囲：　０～４°（０～１°、０～４°　２段切換）

(4) 振動変位

No. １～６　：　国際機械振動研究所製低域振動計（３素子）

ＶＭ３３０３ＬＬ　２台

振動振幅測定範囲　：　０～±５０μ、１５０μ、５００μ

１.５㎜、５㎜の５ｒａｎｇｅ

振動測定周波数範囲：　１～５０ｃｐｓ、ただし１～２ｃｐｓは指示値較正曲線による。

振動検出部　：　ＶＰ３３００ＬＬ形、動電形振動速度検出方式

精　度　：　±５％

No. ７～９　：　国際機械振動研究所製特殊形振動計

ＶＭ３２０３ＬＬ　３台

振動振幅測定範囲　：　０～±１００μ、１㎜

１０㎜の３ｒａｎｇｅ（振動加速度測定範囲：０～±０.１ｇ、１ｇ、５ｇの３ｒａｎｇｅ）

振動測定周波数範囲：　３～３０ｃｐｓ、ただし３ｃｐｓ以下でも指示値較正曲線によつて可能

振動検出部　：　ＶＰ－９２５３形、動電形振動速度検出方式

精　度　：　±５％

*No.*１０～１２　：　明石製作所製電子管式指示形振動形　テレバイブロメータＬ－１形　ＡＶＬ－１　３台

振動振幅測定範囲　：　０～±５０μ、２５０μ、１㎜の３ｒａｎｇｅ

振動測定周波数範囲：　３～３００ｃｐｓ

振動検出部　：　Ｌ２－Ｐ、動電形振動速度検出方式

精　度　：　±５％

*No.*１３　：　国際機械振動研究所製低域振動計（２素子）

ＶＭ３３００ＬＬ　１台（石川島播磨重工業㈱より借用）

仕様は*No.*１～６と同じ。

*No.*１４～２５　：　保坂振動計器製作所製電磁振動計（６素子）

ＮＤ式　２台（三菱重工業㈱より借用）

(5) 記 録 計

三栄測器製ビジグラフ　FR－102形　3台

〃　FR－101形　2台

1.4 測定条件

1.4.1 負荷、回転数

(1) 陸上運転時

第1.1.5表 陸上運転時の測定回転数

標準回転数における負荷	正味平均有効圧	測定回転数 (rpm)
15%	2.57Kg/cm²	40、43、45、48、50、53、55、58、60、62、65
25	3.62	65、68、70、72(75、78、80)
50	5.74	(80、83、85)88、90、93、95
75	7.52	95、98、100、102、104、106
90	8.50	106、108、110、112
100	9.10	112、114、116、118
110	9.70	118　(計 34回)

(注) 1. アンダラインの回転数はプロペラ曲線上の回転数を示す。

2. ( )内の回転数はクランク軸ねじれ振動の共振回転数にあたるため、この範囲は運転不能。

(2) 海上運転時

第1.1.6表 海上運転時の測定条件

載荷状態	測定回転数 (rpm)
満載(プレーシング付)	30、33、35、40、43、46、49、52、55、58、61、63、65、67、70、72、74、76、78、80、82、84、86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106、108、110、112、114 116、118
満載(プレーシング除去)	40、43、46、49、52、55、58、61、63、65、67、70、72、74
半載(プレーシング除去)	76、78、80、82、84、86、88、90、92、94、96、98、100、102、104、106、108、110、112、114、116

1.4.2 船体条件(測定結果)

第1.1.7表 船体条件(測定結果)

載荷状態	△	吃水	トリム
半載		Fore 4.6m Aft 7.65m	3.05m
満載	154,100K.T	Fore 14.8m Aft 14.8 m	0 m

1.5 測定結果

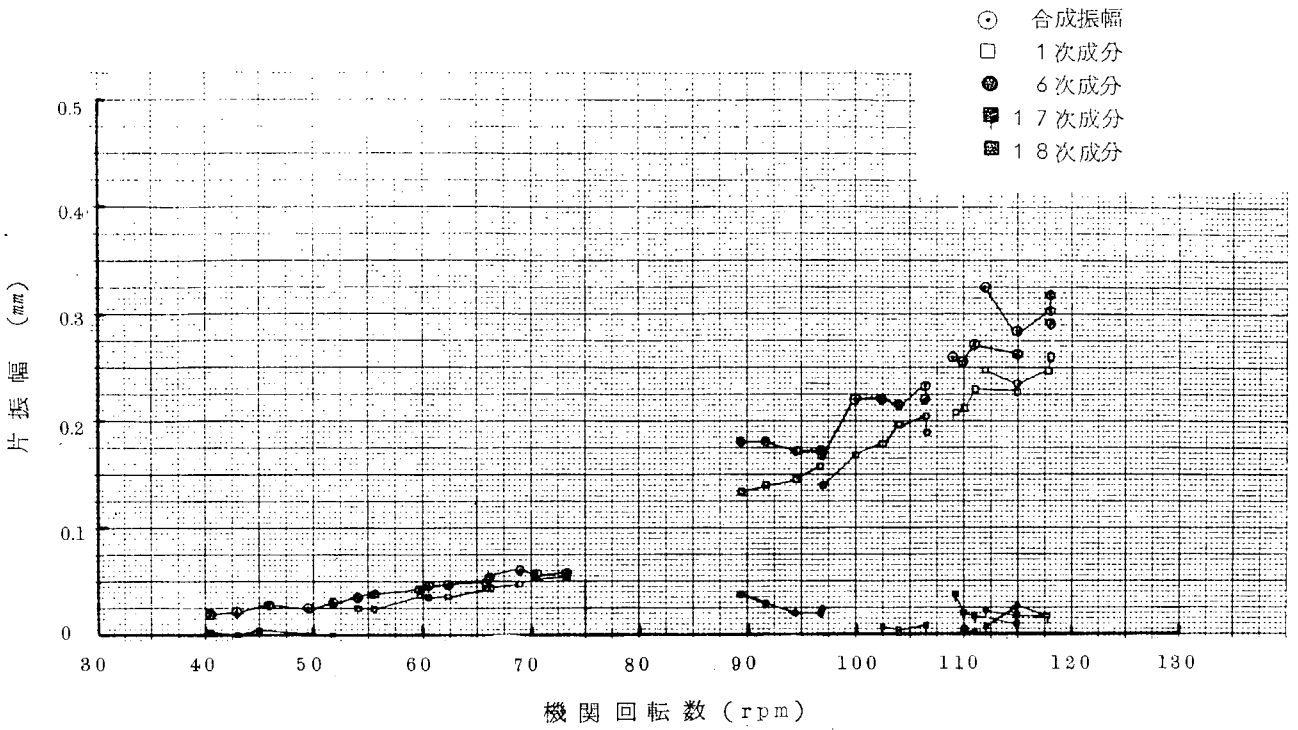
全測定オシログラムを1回転50等分による調和解析を行ない、1次～25次成分の振幅と№1シリンダ上死点からの位相角および合成振幅を求め、全測定回転数に対するそれらをまとめて表を作成（表には24次成分まで記入）し、大きい振幅の成分と合成振幅とを図示した。それら図の内容を第1.1.8表にまとめた。

なお、ここでは紙面の都合により表中図番号を付けたもののみ載せた。

第1.1.8表　軸系および架構振動図番一覧表

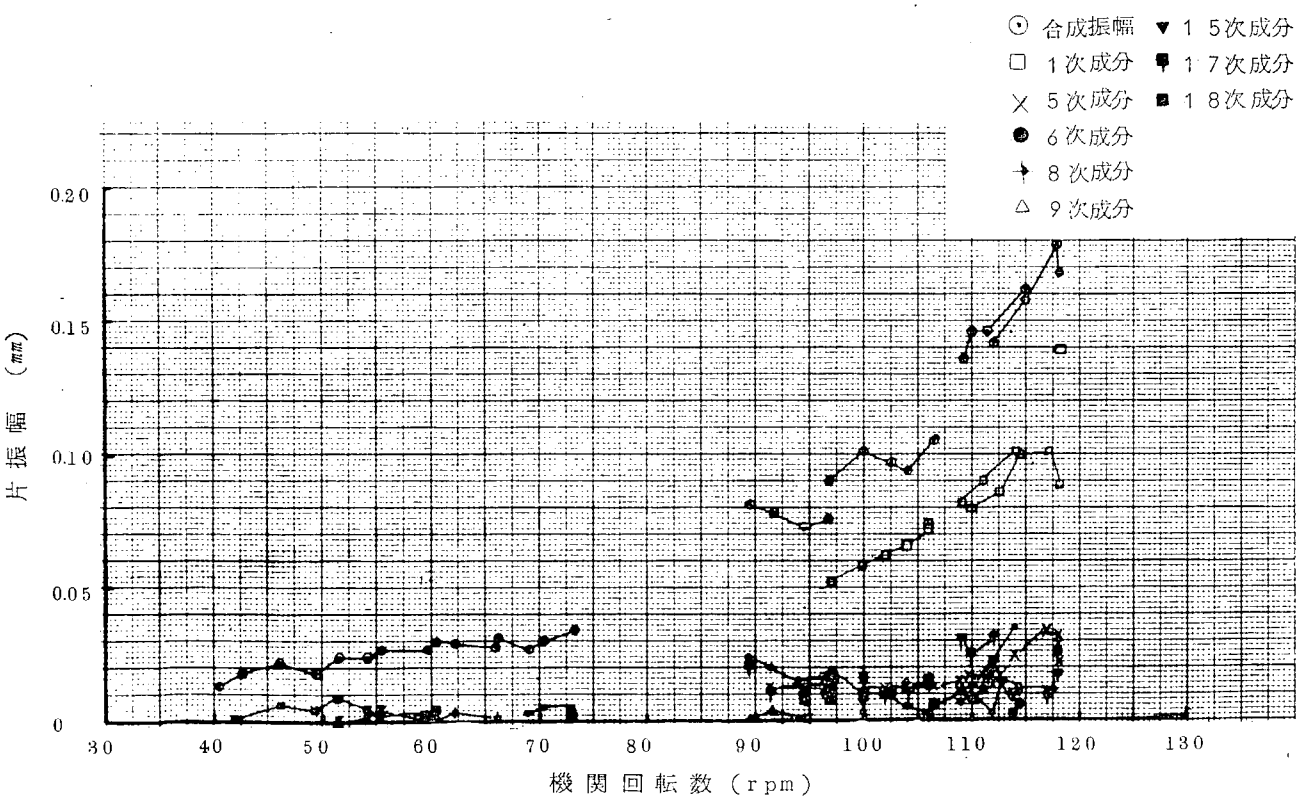
測定項目	測定位置	記号	図番号			
			陸上運転	海上満載 ブレーシング付	海上満載 ブレーシング除去	海上半載 ブレーシング除去
横方向振動変位	機関台板	1－H	1.1.4	1.1.21	1.1.42	1.1.58
		2－H				
		3－H	1.1.5	1.1.22	1.1.43	1.1.59
		4－H		－	－	－
		5－H	1.1.6	－	－	－
	機関上部	6－H	1.1.7	1.1.23	1.1.44	1.1.60
		7－H	1.1.8	1.1.24	1.1.45	1.1.61
		8′－H				
		8－H	1.1.9	1.1.25	1.1.46	1.1.62
	機関中央部	9－H	1.1.10	1.1.26	1.1.47	1.1.63
		10－H				
	船体（機関上部）	8σ－H	－	1.1.27	1.1.48	1.1.64
	中間軸受下部	13－H	－	1.1.28	1.1.49	1.1.65
上下方向振動変位	機関台板	1－V	1.1.11	1.1.29	1.1.50	1.1.66
		2－V				
		3－V	1.1.12	1.1.30	1.1.51	1.1.67
		4－V		－	－	－
		5－V	1.1.13	1.1.31	1.1.52	1.1.68
	機関上部	6－V		－	－	－
		7－V		－	－	－
		8－V	1.1.14	－	－	－
	機関中央部	9－V		－	－	－
縦方向振動変位	機関台板	1－L	1.1.15	1.1.32	1.1.53	1.1.69
		2－L		－	－	－
		3－L	1.1.16	－	－	－
		5－L	1.1.17	－	－	－
	機関上部	6－L		－	－	－
		8－L	1.1.18	1.1.33	1.1.54	1.1.70
	機関中央部	9－L	1.1.19	－	－	－
	推力軸受上	11－L	－	1.1.34	1.1.55	1.1.71
	推力軸受下部	12－L	－	1.1.35	1.1.56	1.1.72
	中間軸受下部	13－L	－	1.1.36	1.1.57	1.1.73
軸系相対縦振動	クランク軸船首端	1′－A	－	1.1.37		1.1.74
	中間軸カプリング	13－A	－	1.1.38		1.1.75
軸系ねじれ振動	クランク軸船首端	1′－Tr	1.1.20	1.1.39	－	1.1.76
軸系トルク変動	フライホイル船尾側軸	11－Tq	－	1.1.40		1.1.77
軸系スラスト変動	スラスト軸受船尾側軸	12－Th	－	1.1.41		1.1.78

測定記号　1－1H1～34－6　　測定位置　1　　方向　H



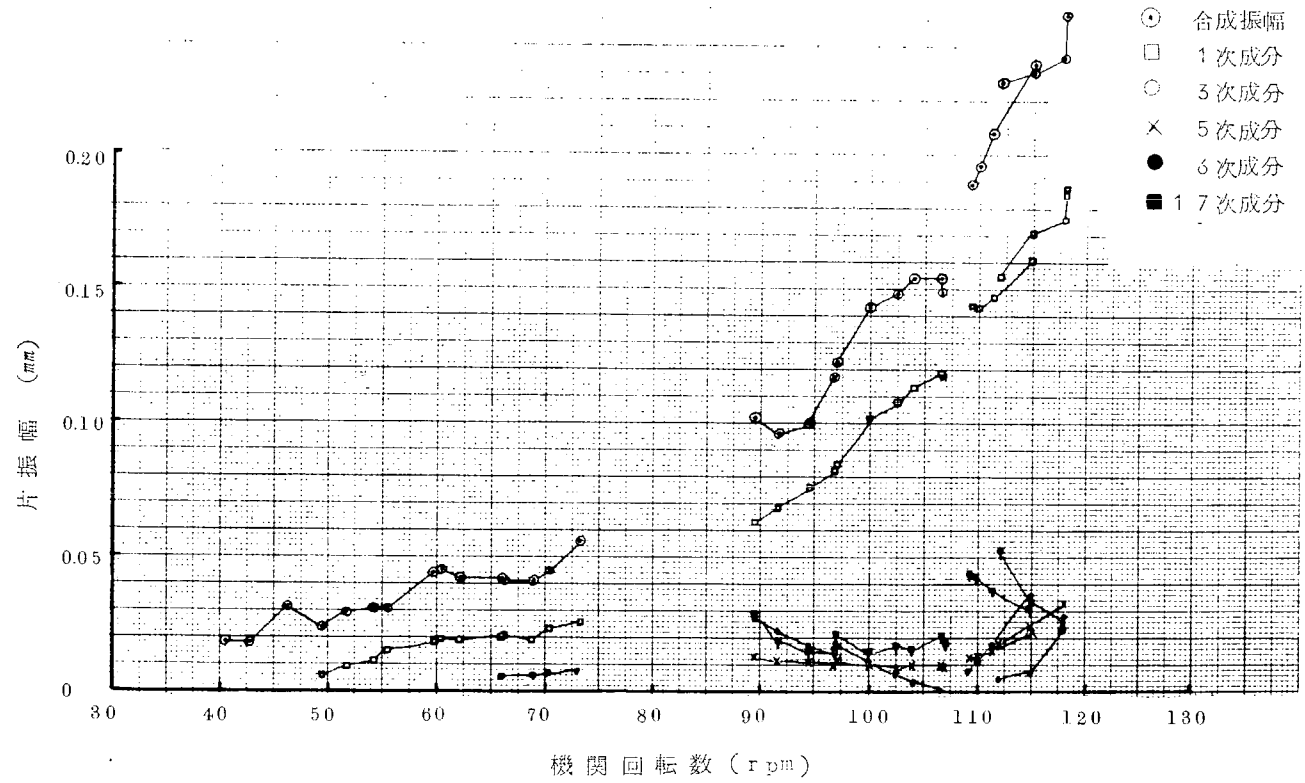
第1.1.4図　陸上運転時架構振動

測定記号　1－2H1～34－2　　測定位置　3　　方向　H



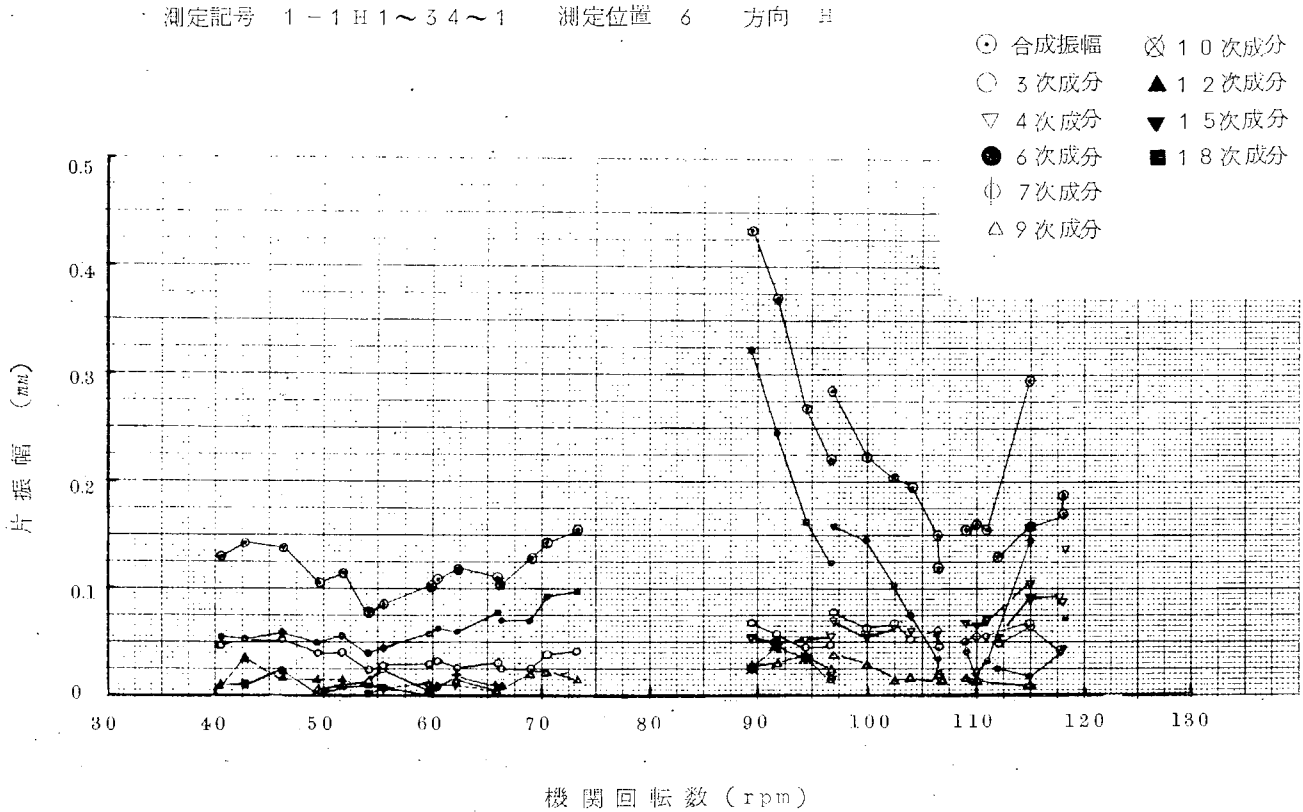
第1.1.5図　陸上運転時架構振動

測定記号　1－2 H 1～3 4－4　　測定位置　5　　方向　H

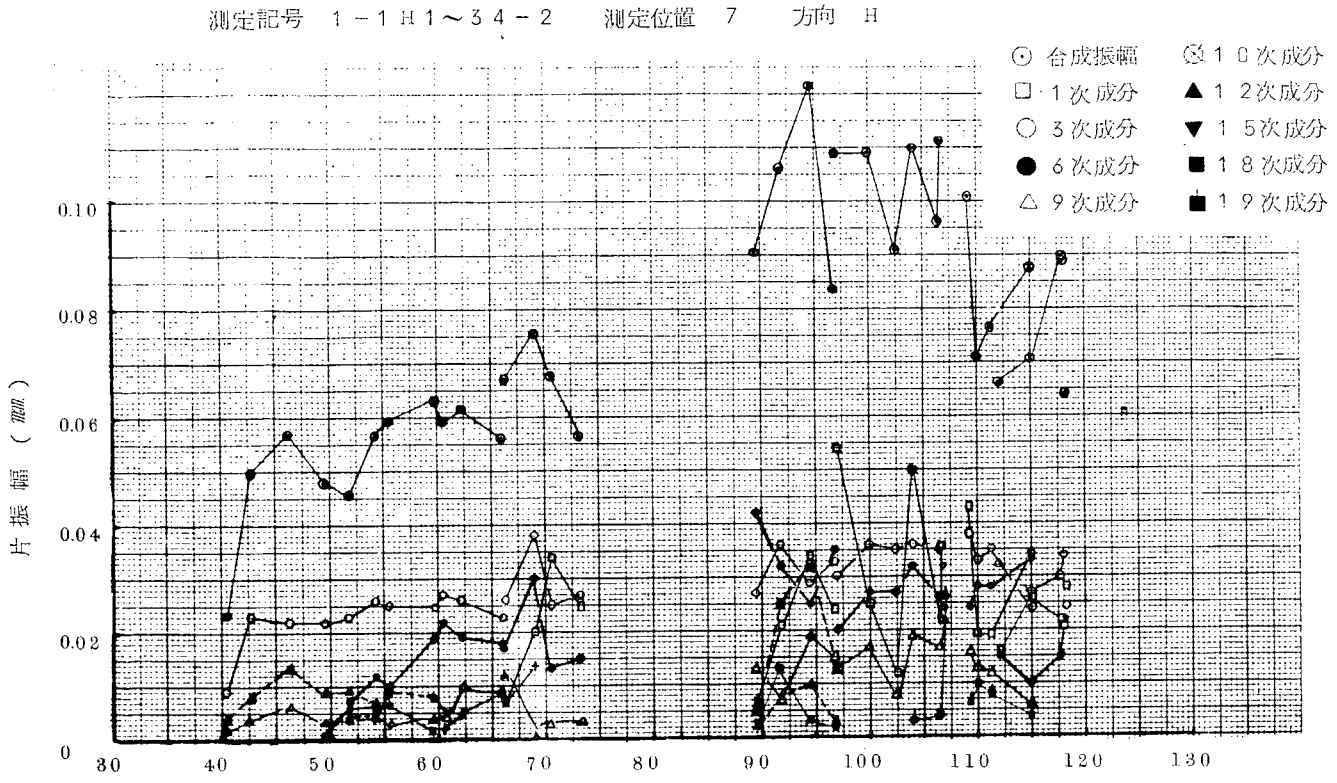


第1.1.6図　陸上運転時架構振動

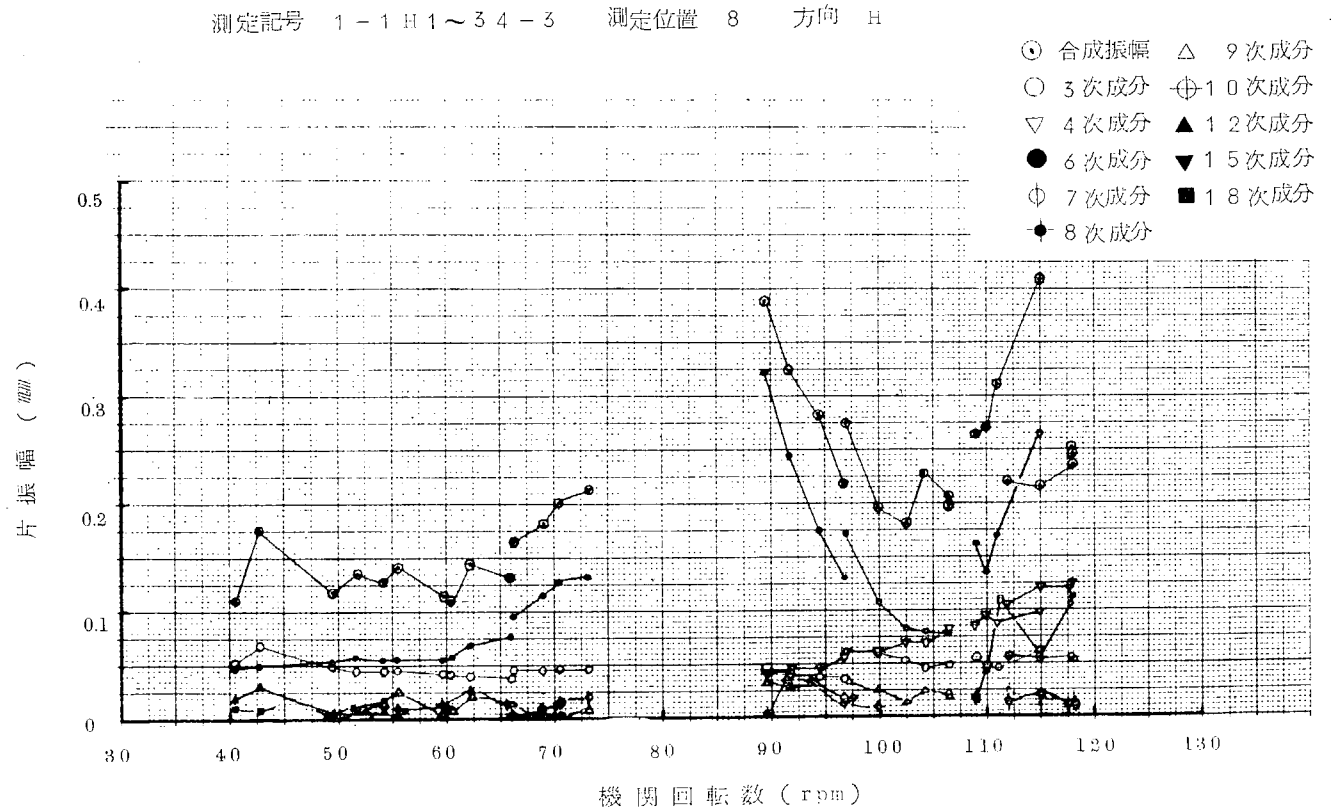
測定記号　1－1 H 1～3 4～1　　測定位置　6　　方向　H



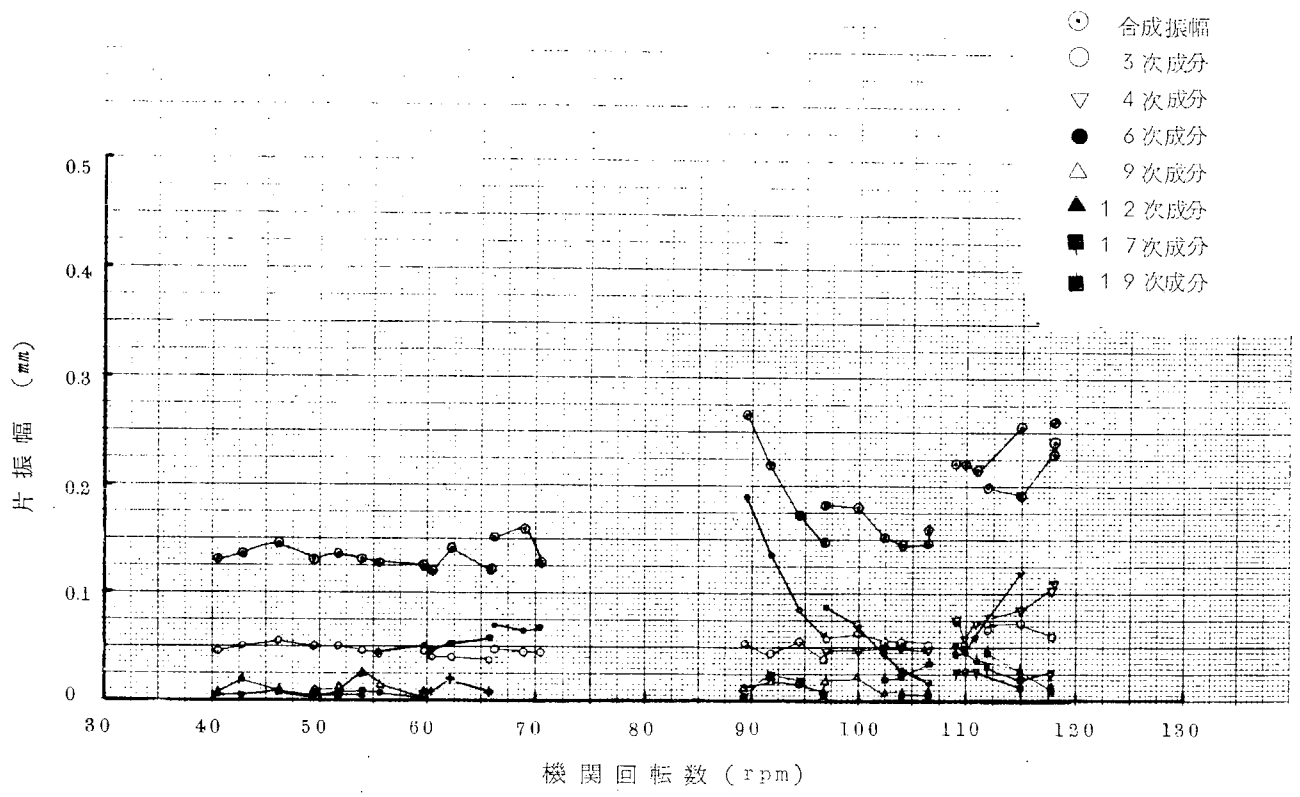
第1.1.7図　陸上運転時架構振動



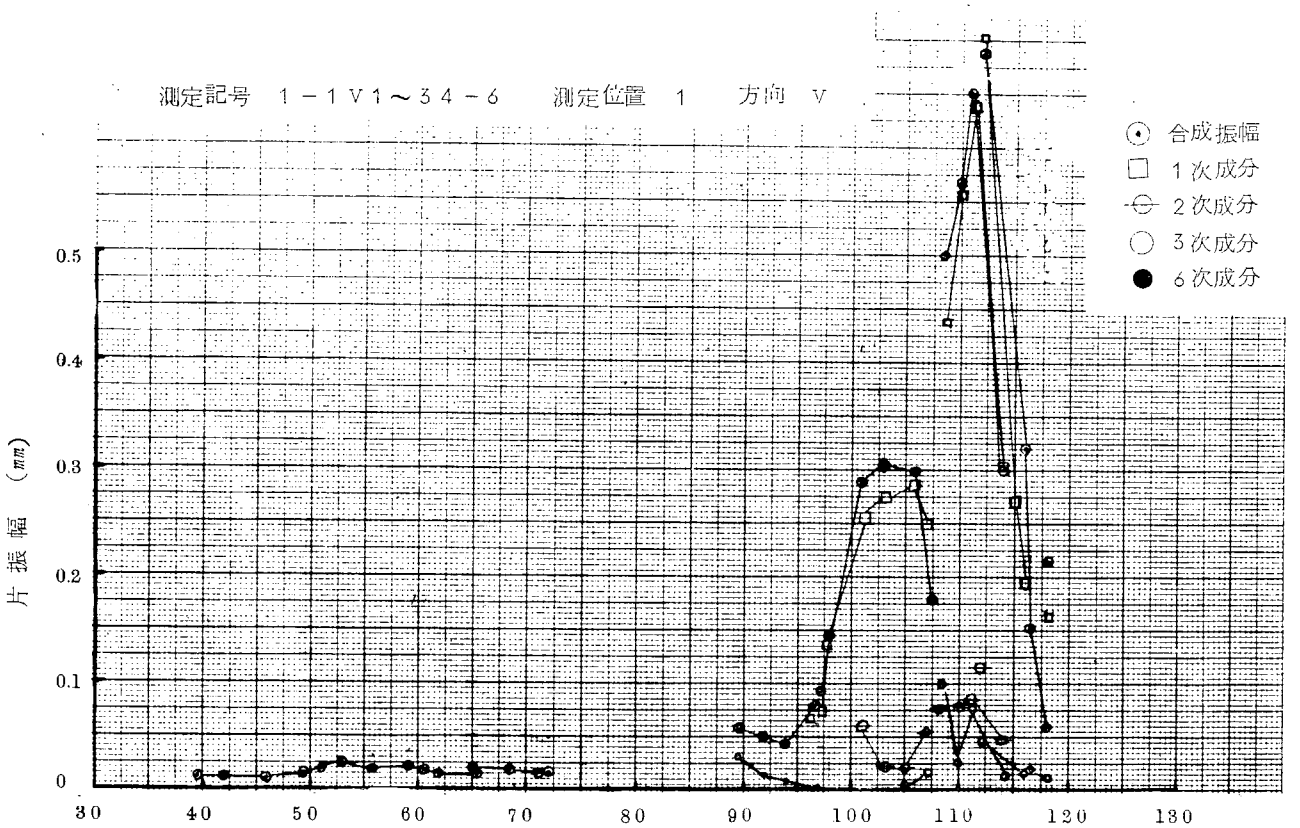
第1.1.8図　陸上運転時架構振動



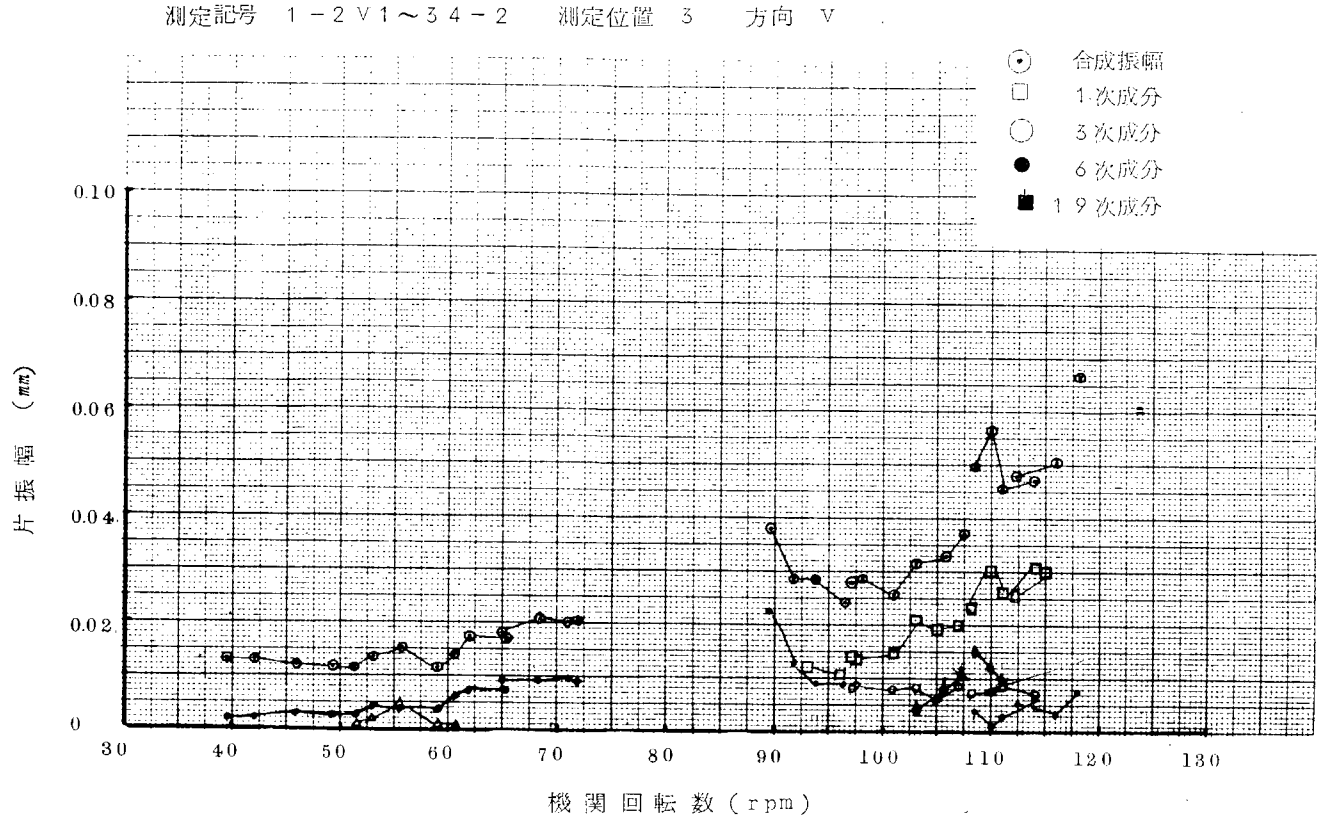
第1.1.9図　陸上運転時架構振動



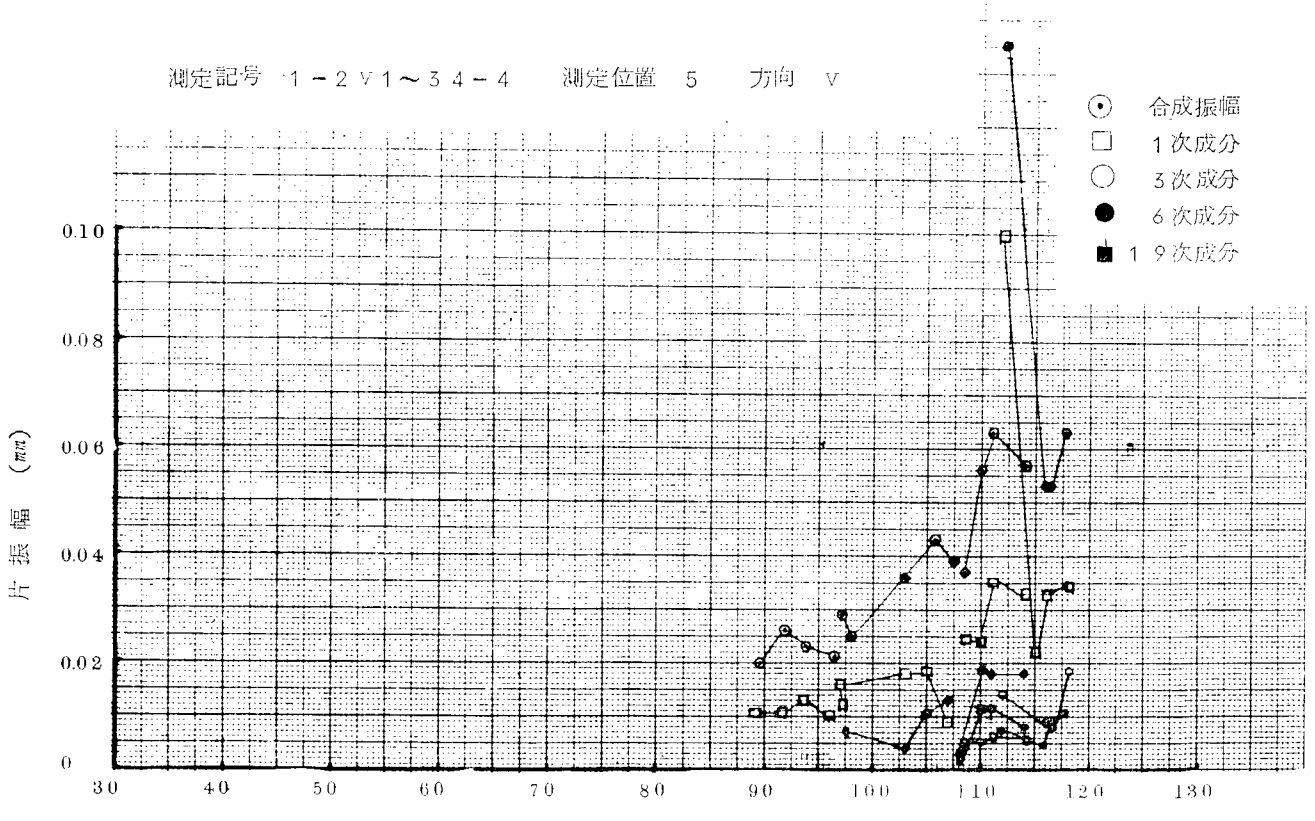
第1.1.10図　陸上運転時架構振動



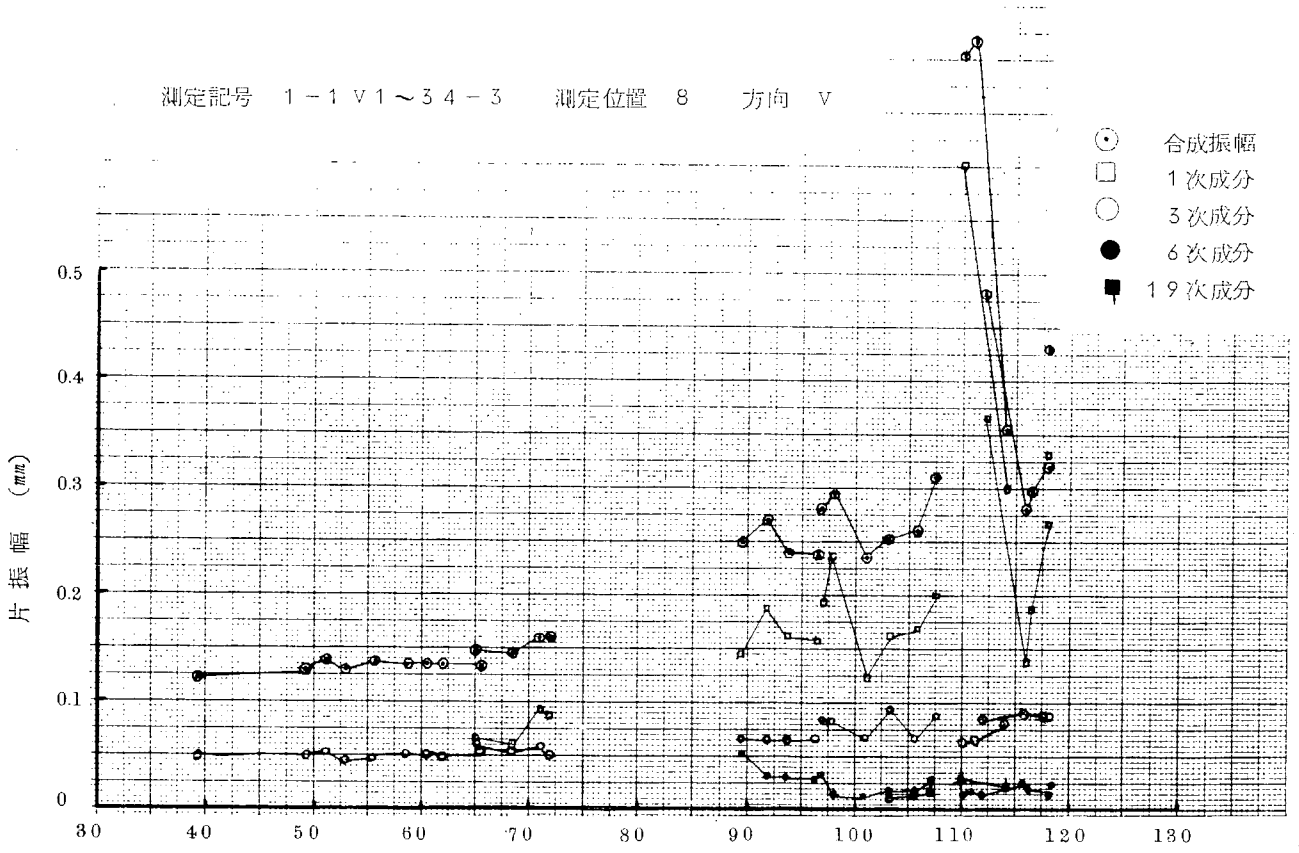
第1.1.11図　陸上運転時架構振動



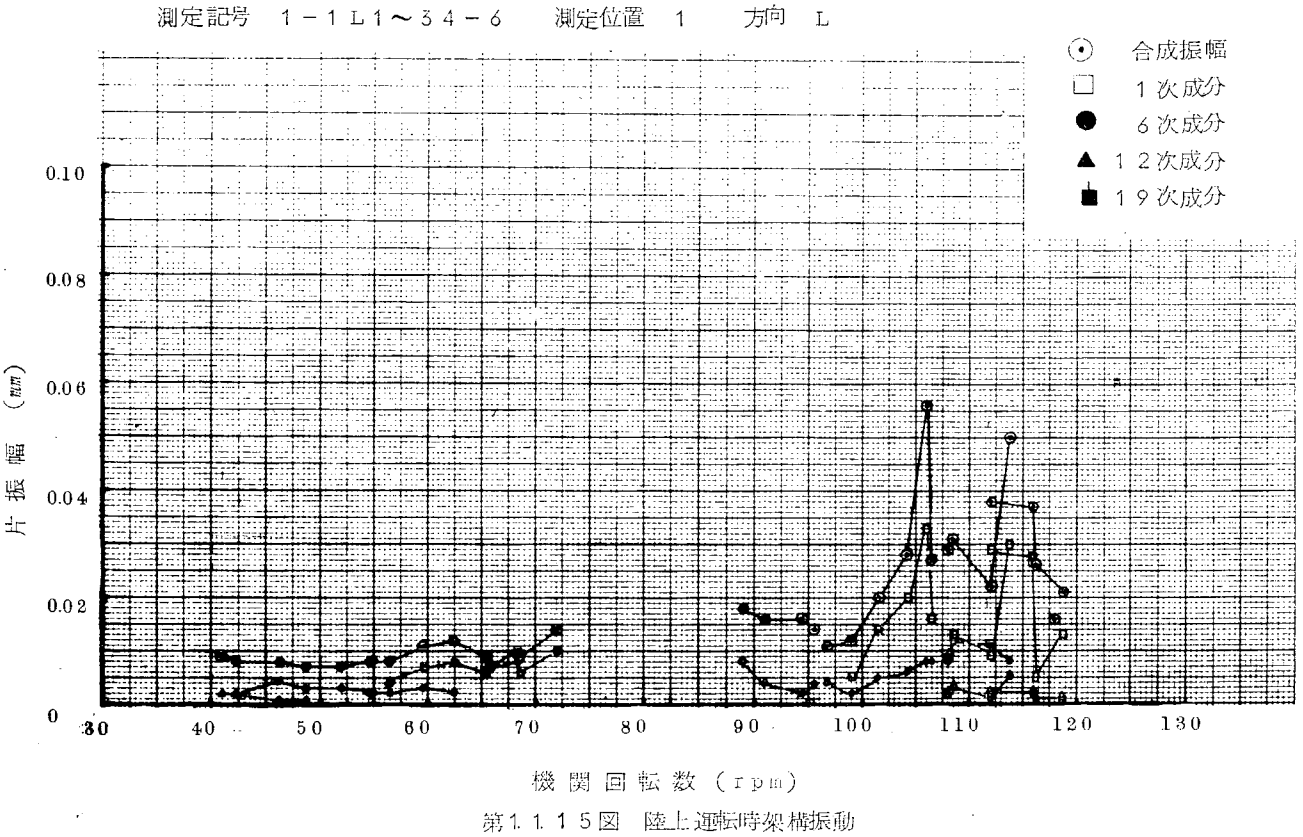
第1.1.12図　陸上運転時架構振動



第1.1.13図　陸上運転時架構振動

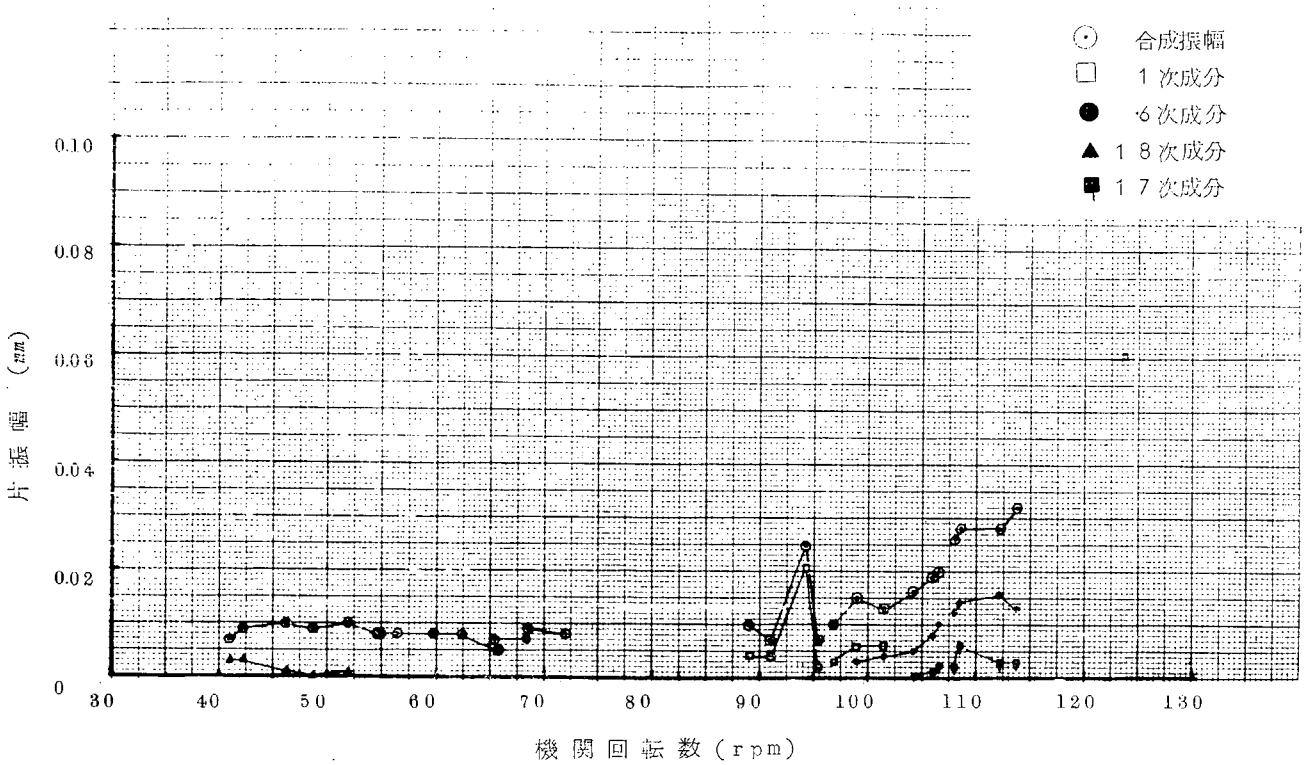


第1.1.14図　陸上運転時架構振動



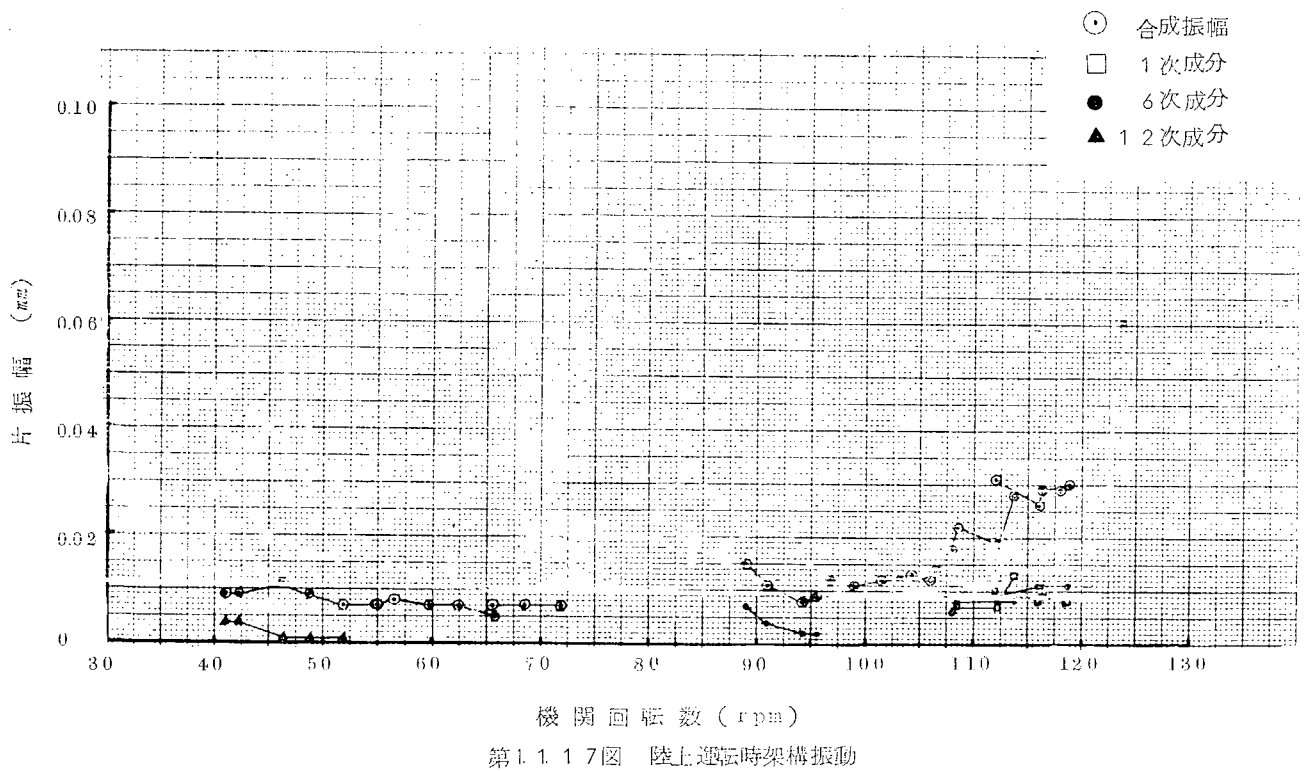
第1.1.15図　陸上運転時架構振動

測定記号　1－2L1～34－2　　測定位置　3　　方向　L

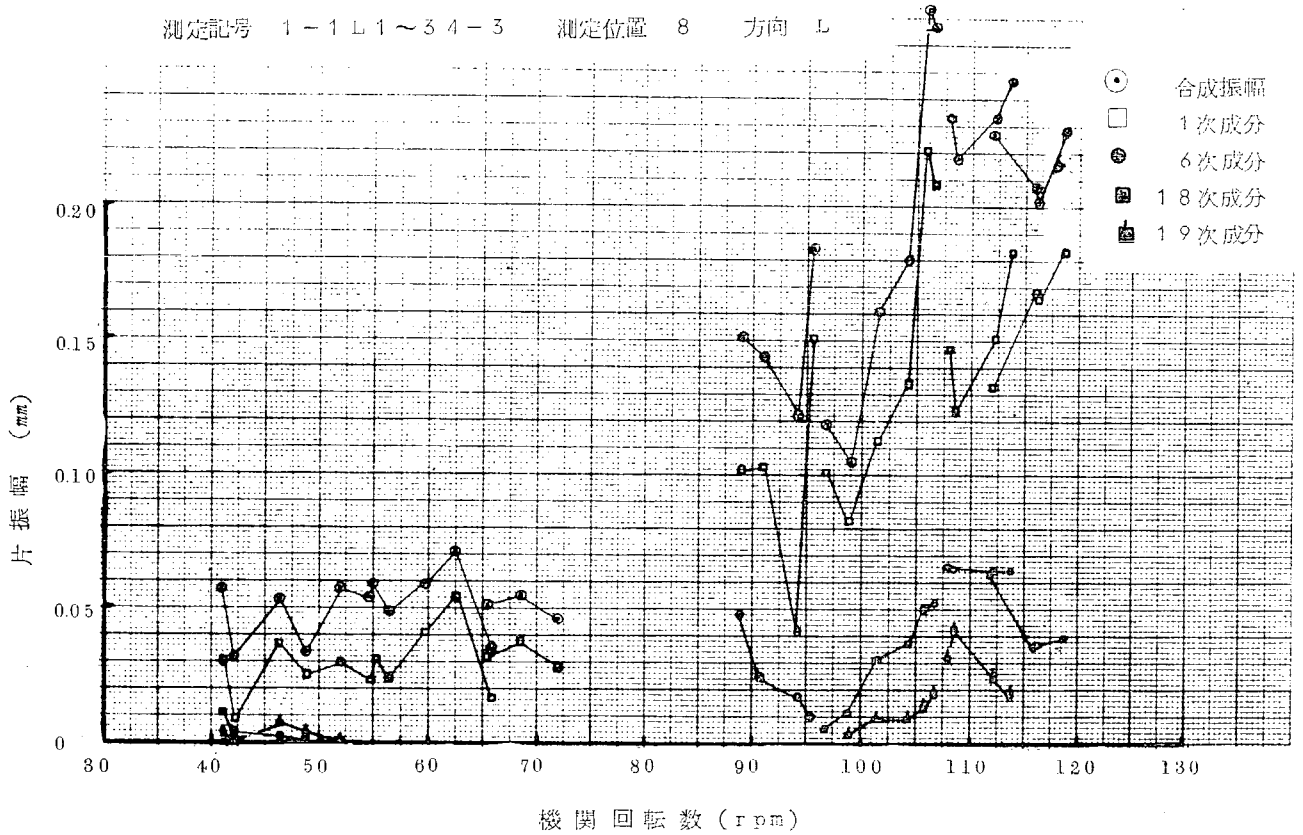


第1.1.16図　陸上運転時架構振動

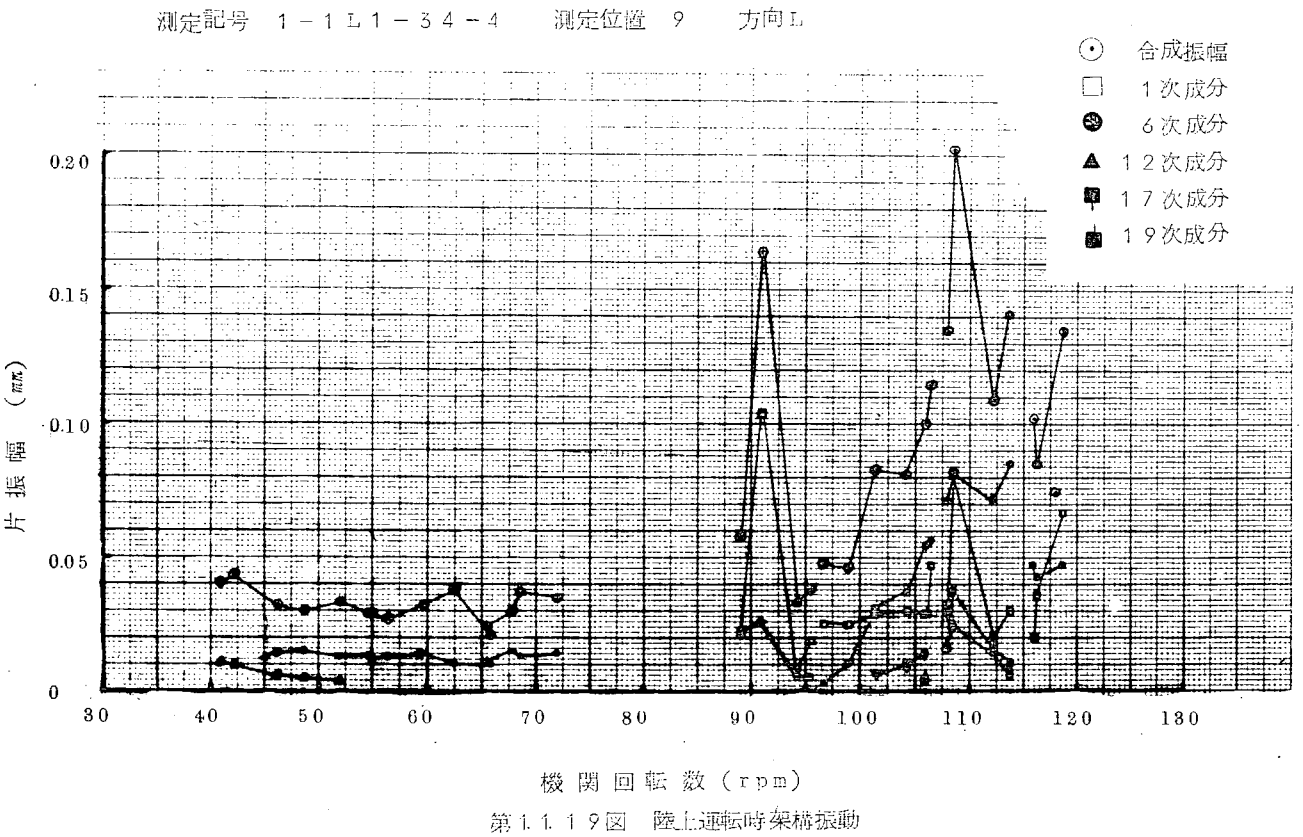
測定記号　1－2L1～34－4　　測定位置　5　　方向　L



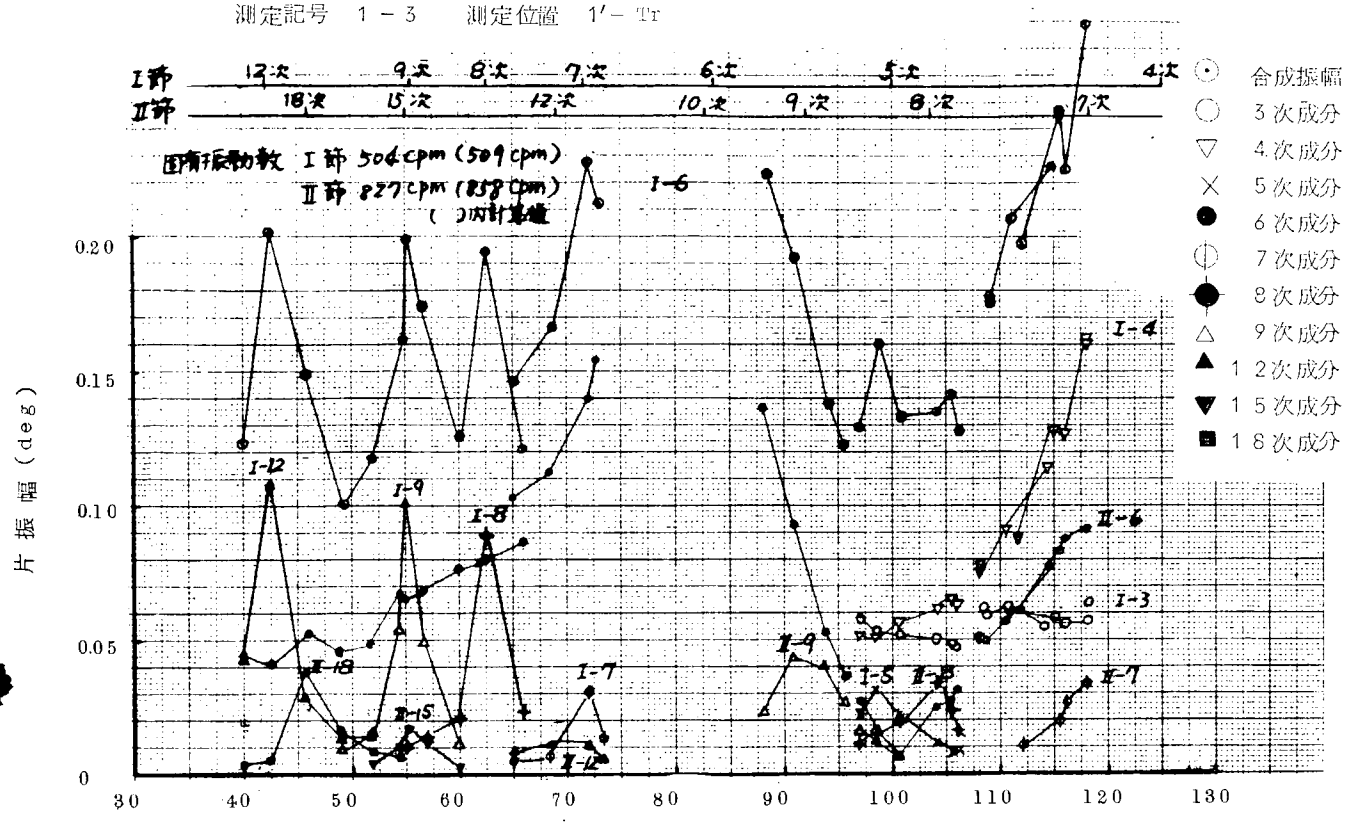
第1.1.17図　陸上運転時架構振動



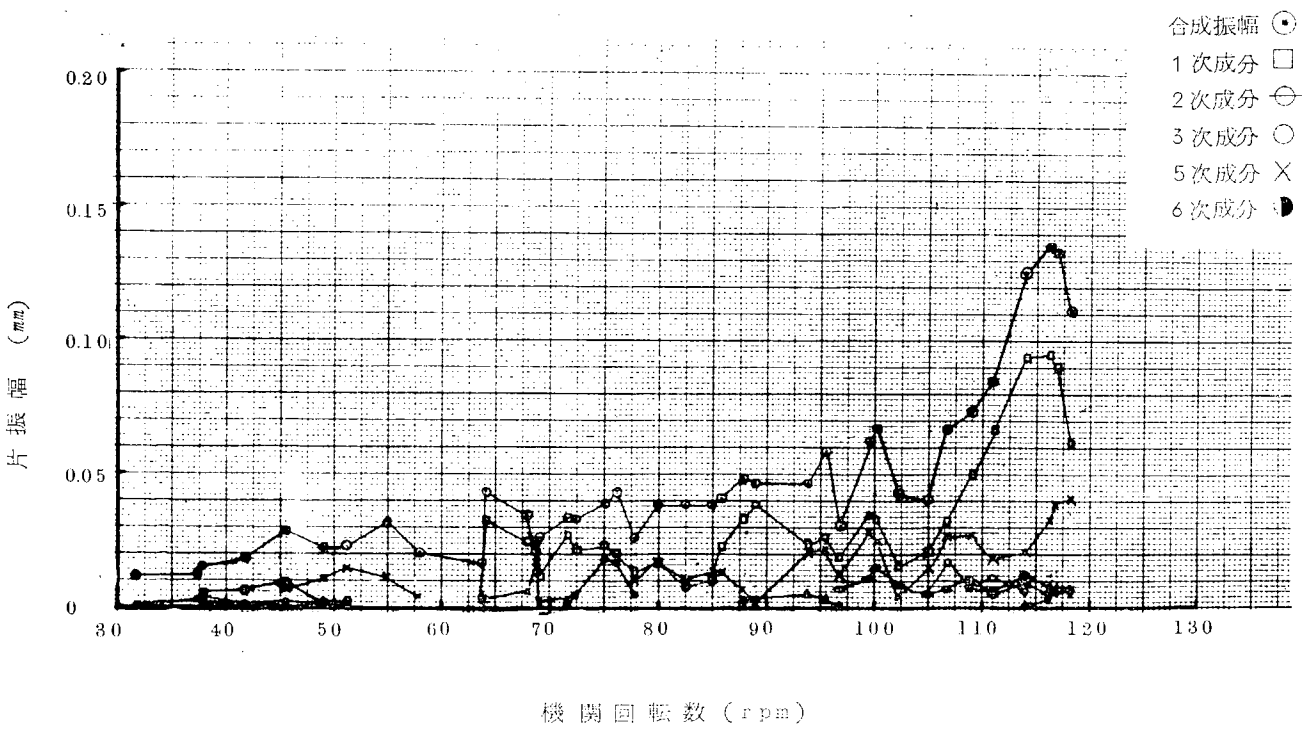
第1.1.18図　陸上運転時架構振動



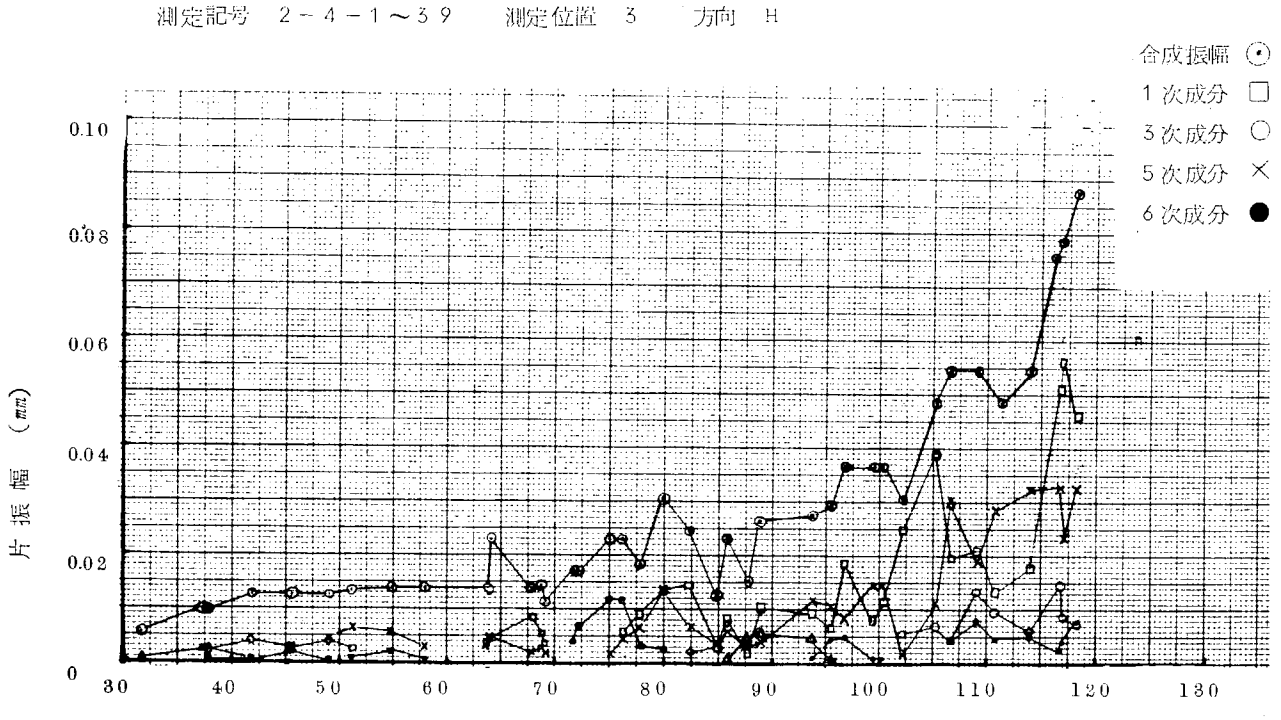
第1.1.19図　陸上運転時架構振動



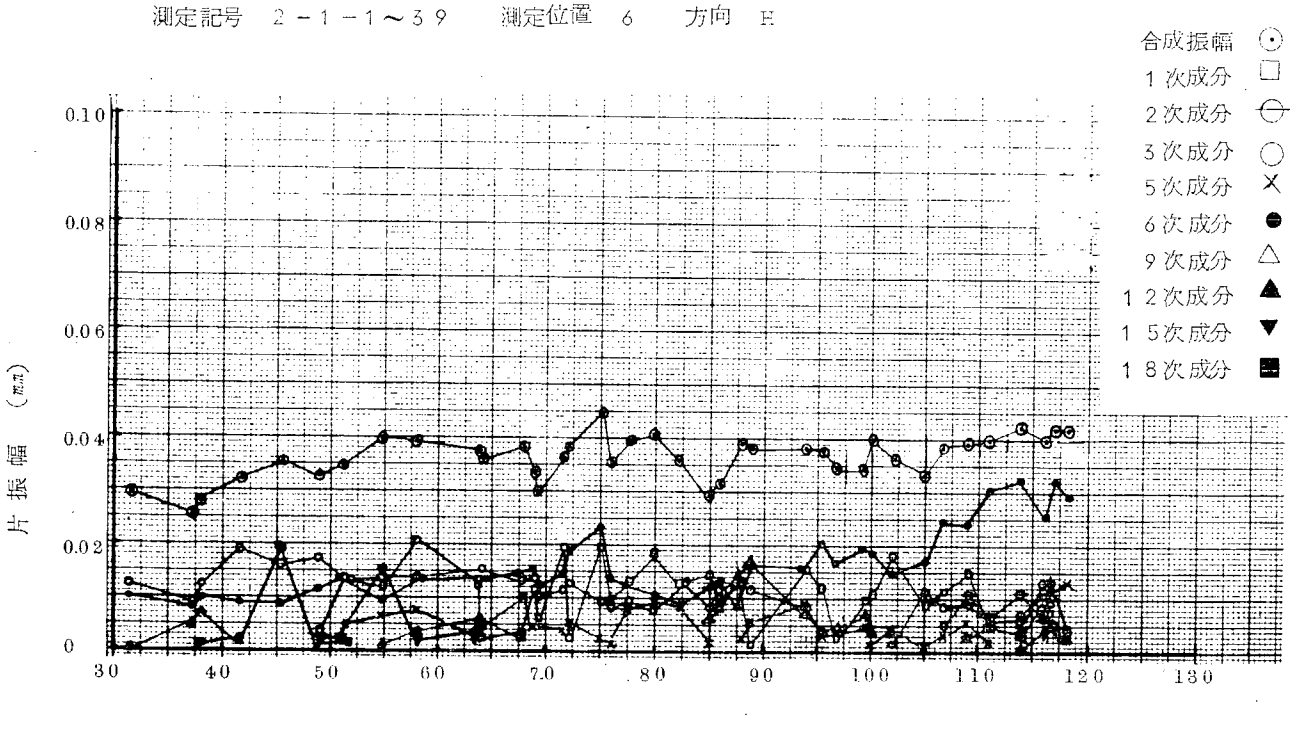
第1.1.2.0図　陸上運転時軸系ねじれ振動



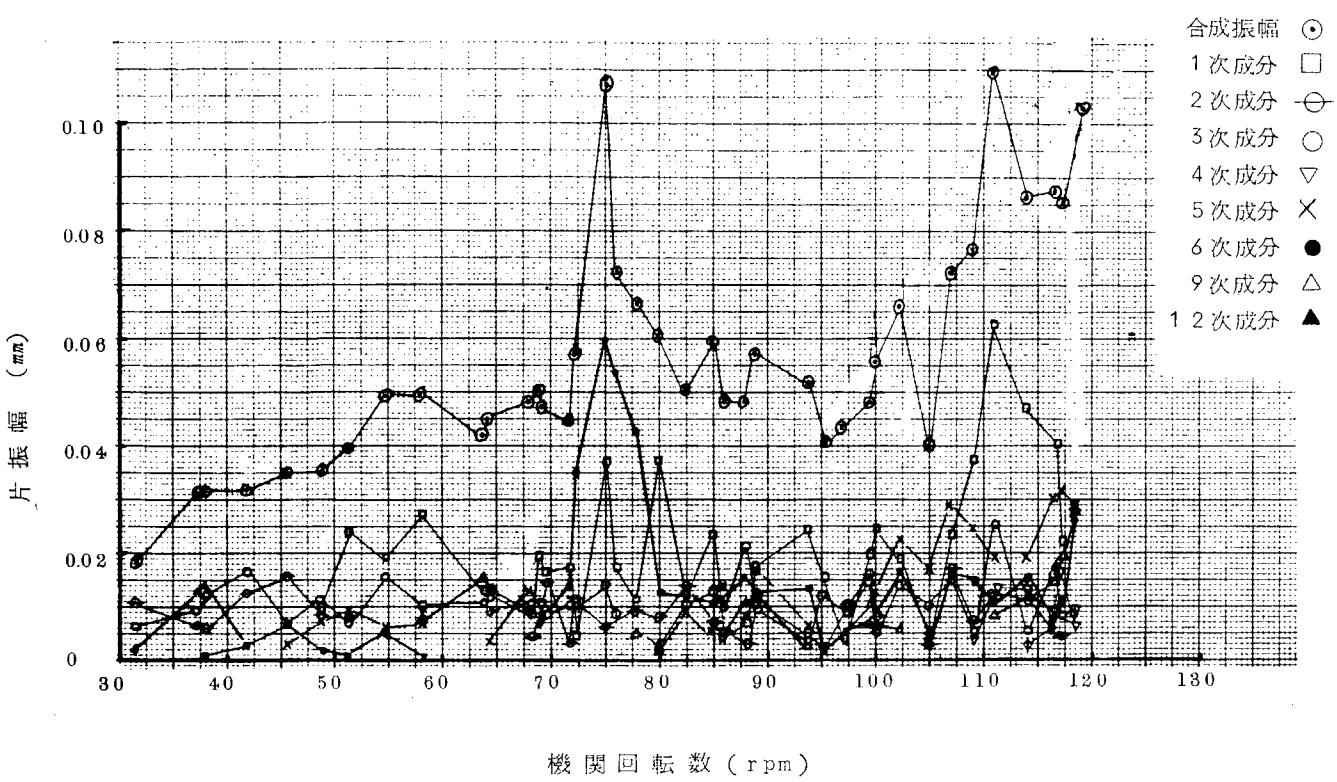
第1.1.21図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）



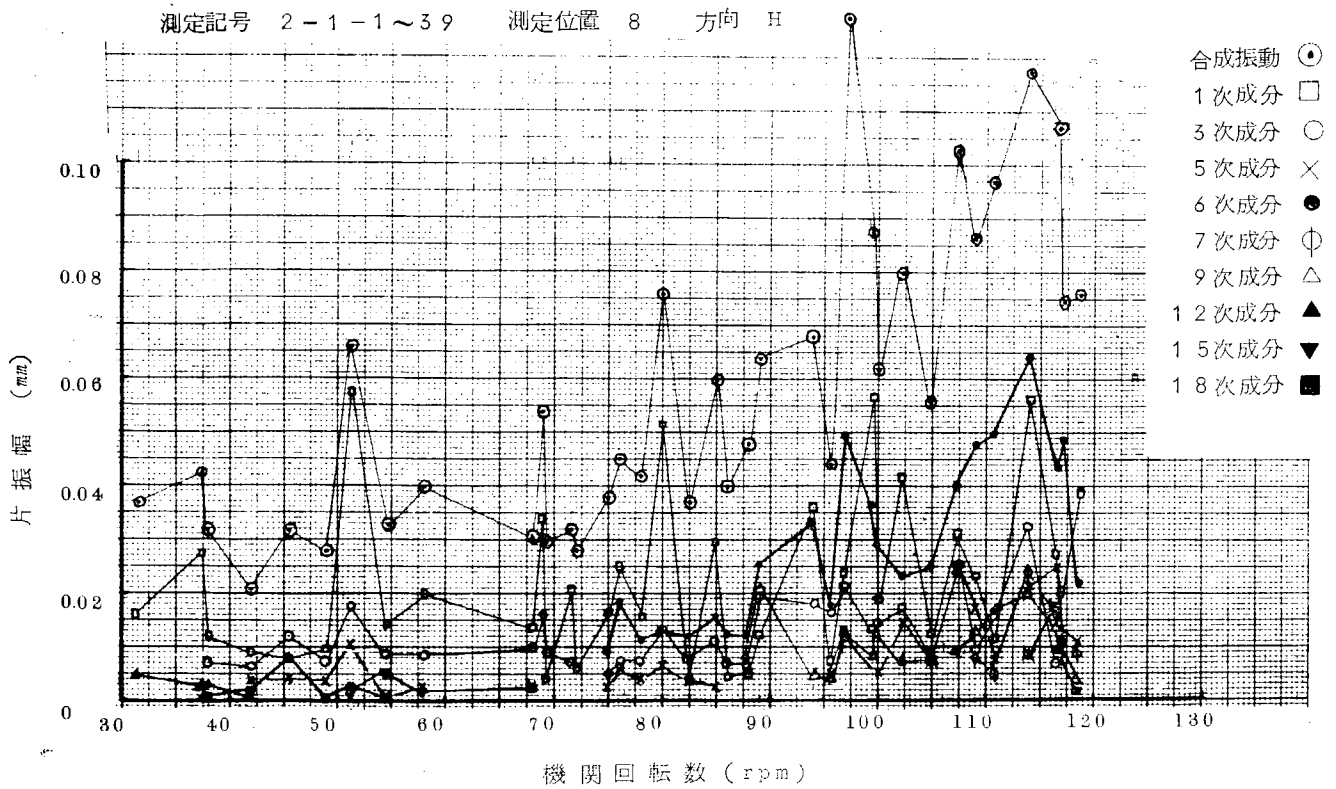
第1.1.22図　海上運転時架構振動（プレーシング付）（満載）



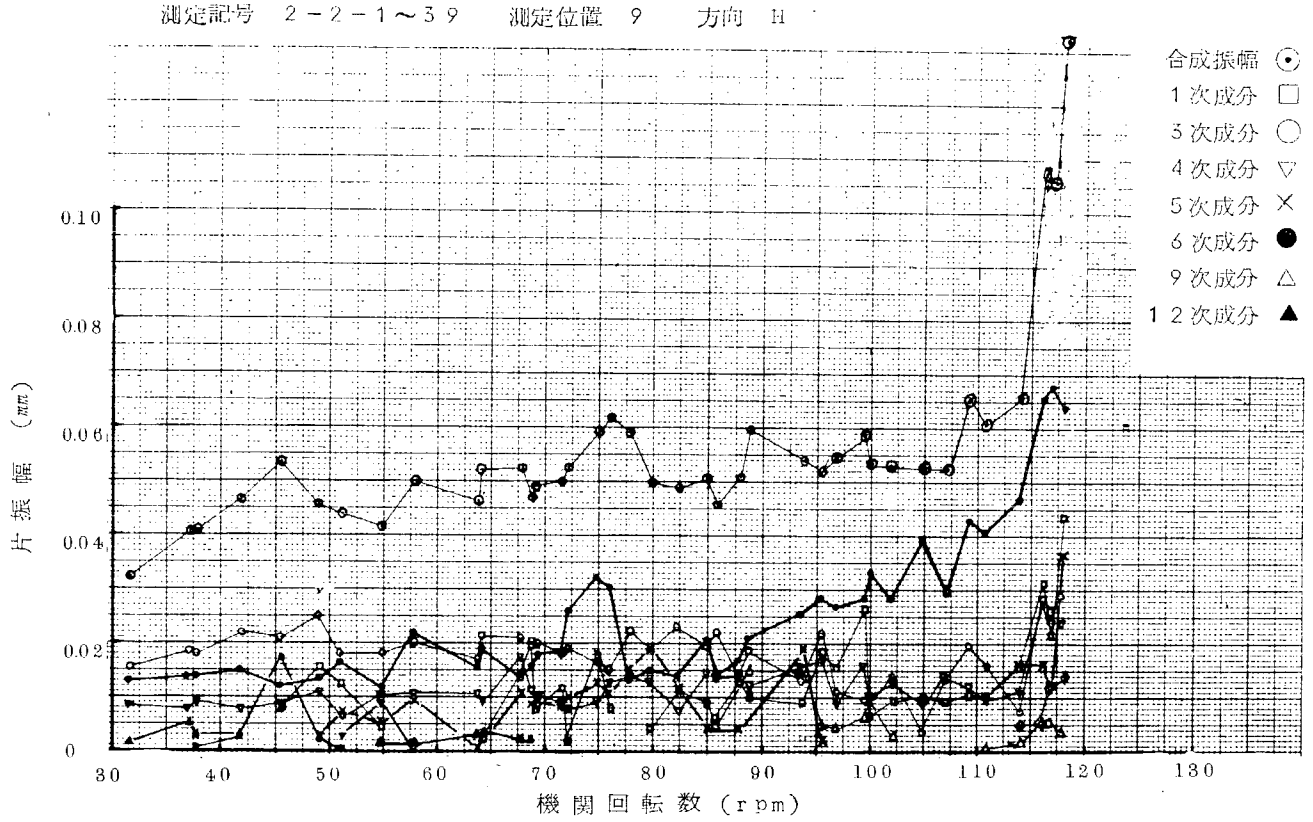
第1.1.23図　海上運転時架構振動（プレーシング付）（満載）



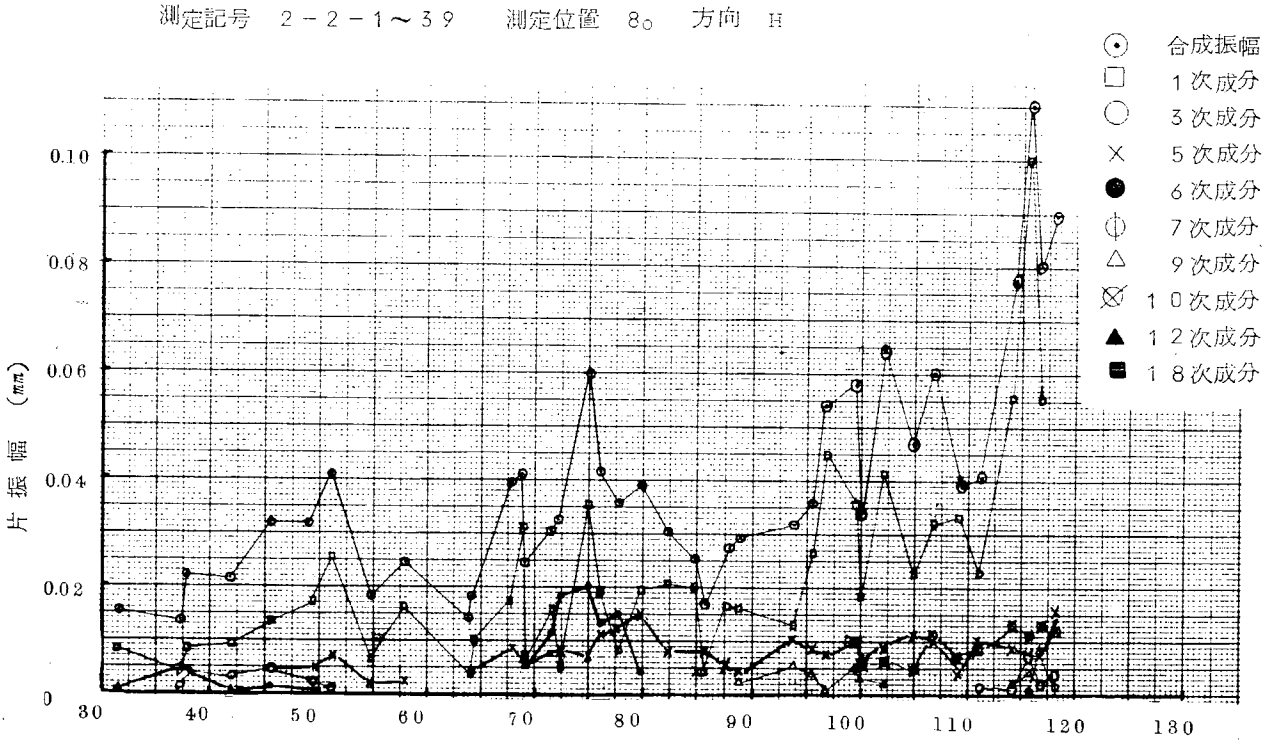
第1.1.24図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）



第1.1.25図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

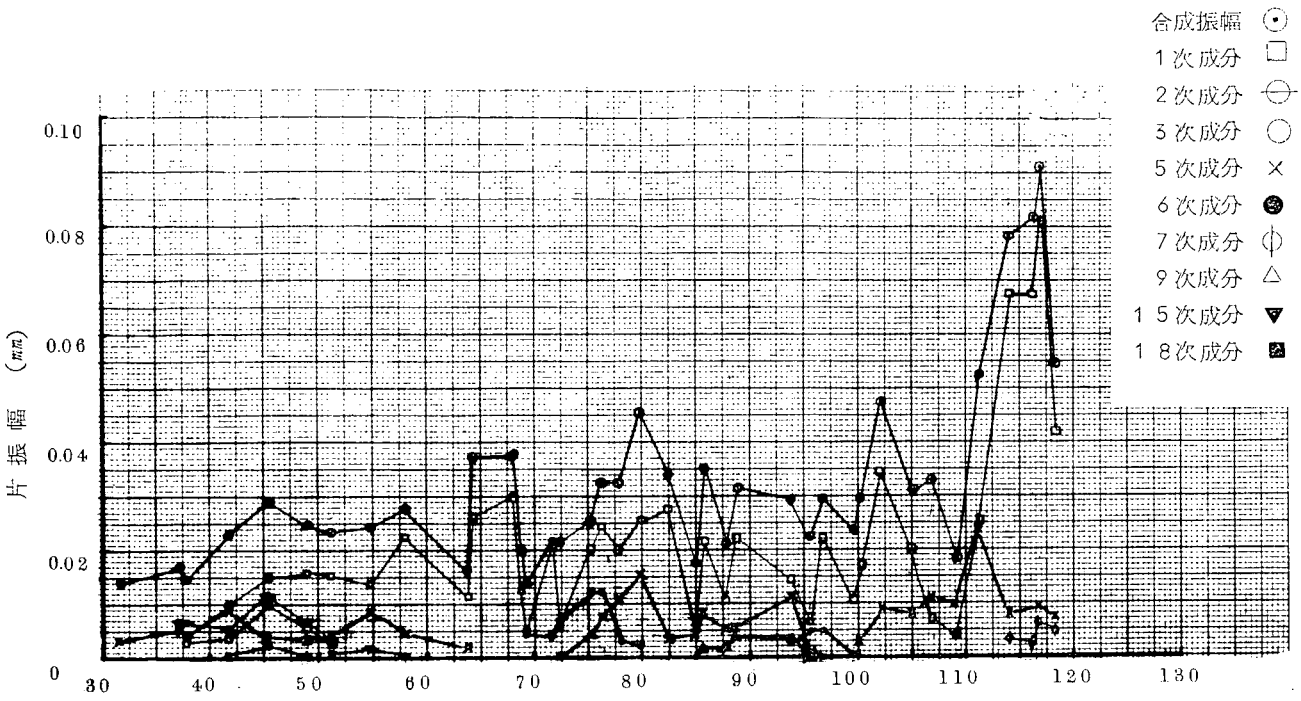


第1.1.26図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）



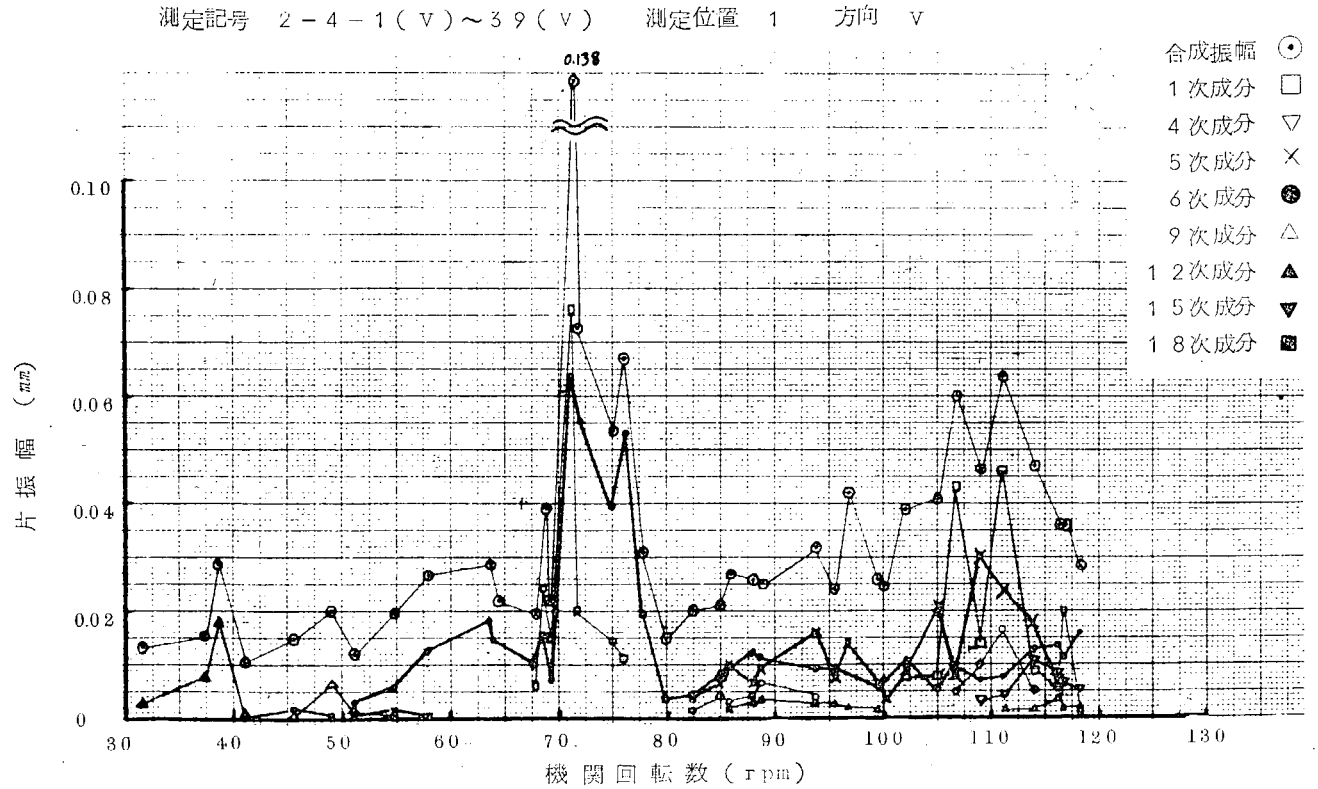
第1.1.27図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

測定記号　２－４－１～３９　　測定位置　１３　　方向　Ｈ



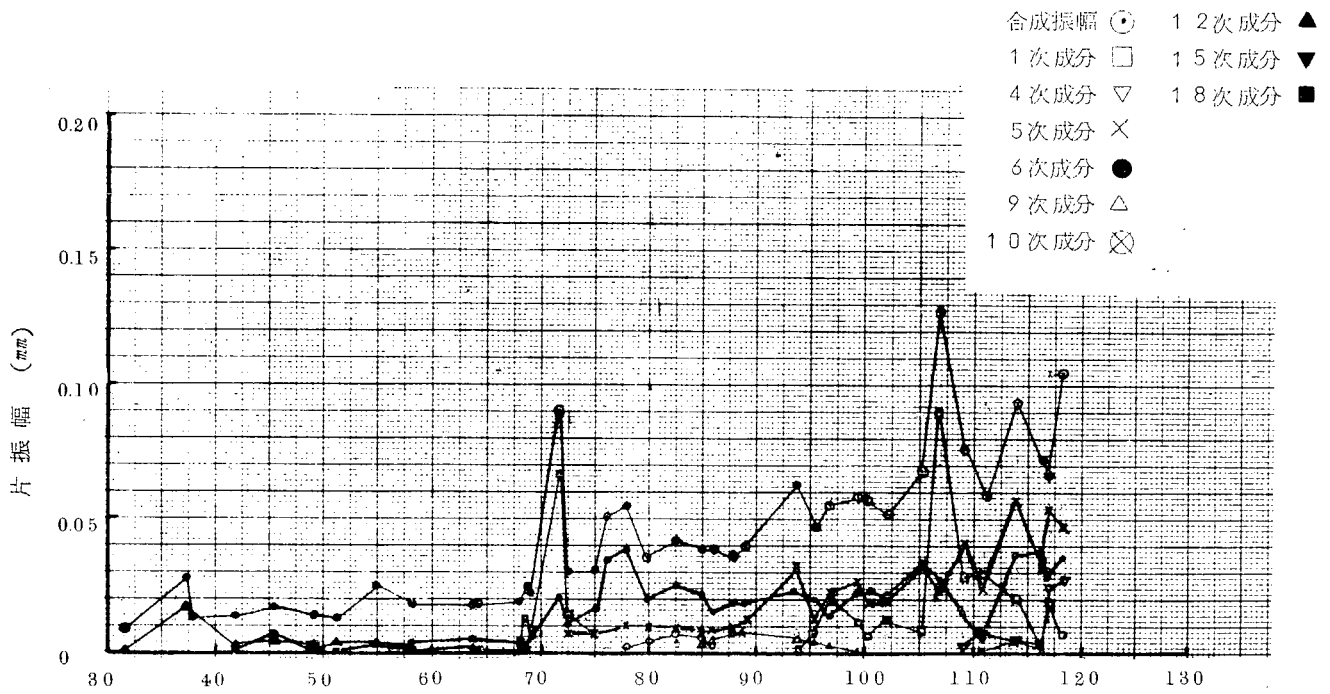
第１.１.２８図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

測定記号　２－４－１（Ｖ）～３９（Ｖ）　　測定位置　１　　方向　Ｖ



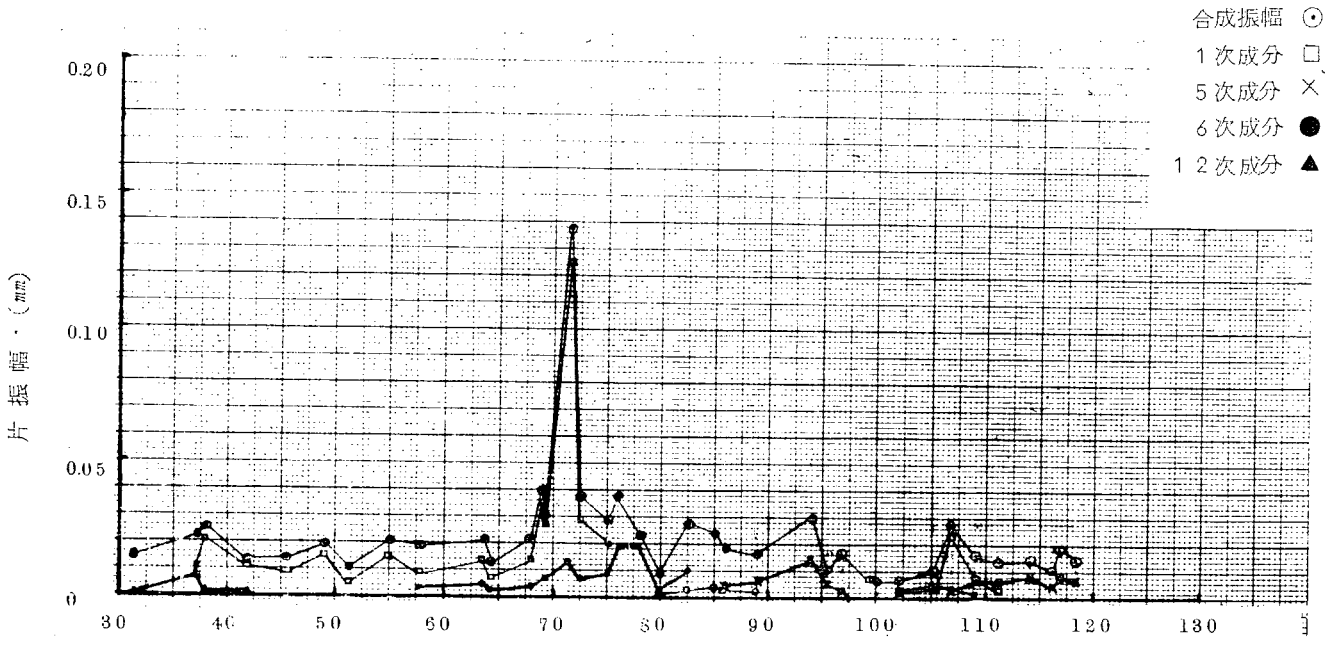
第１.１.２９図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

測定記号　2－4－1(V)～39(V)　　測定位置　3　　方向　V



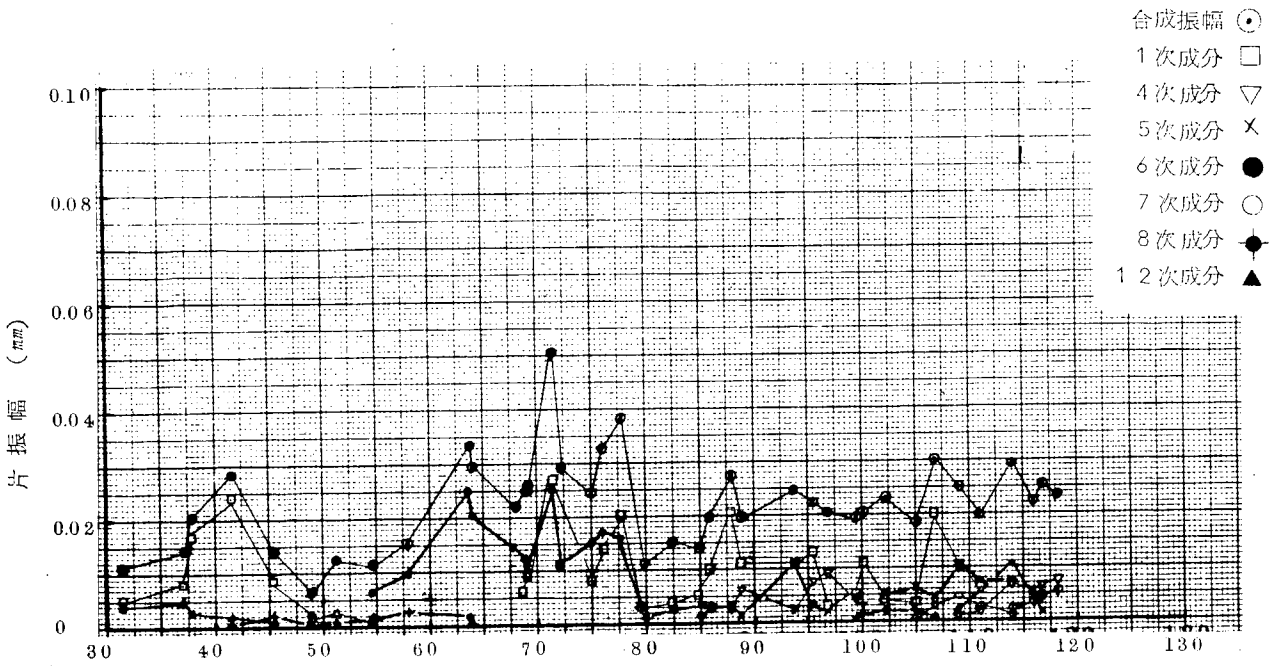
第1.1.30図　海上運転時架構振動（プレーシング付）（満載）

測定記号　2－4－1(V)～39(V)　　測定位置　5　　方向　V



第1.1.31図　海上運転時架構振動（プレーシング付）（満載）

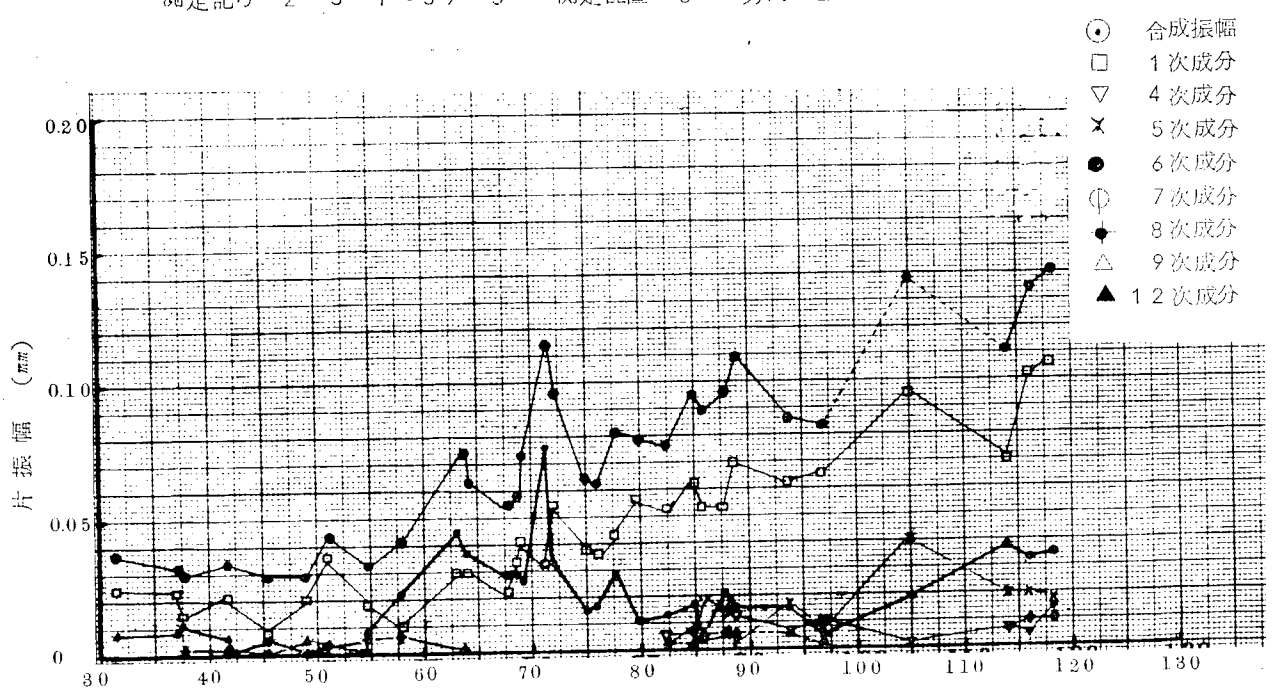
測定記号　2－3－1～39－1　　測定位置　1　　方向　L



機関回転数（rpm）

第1.1.32図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

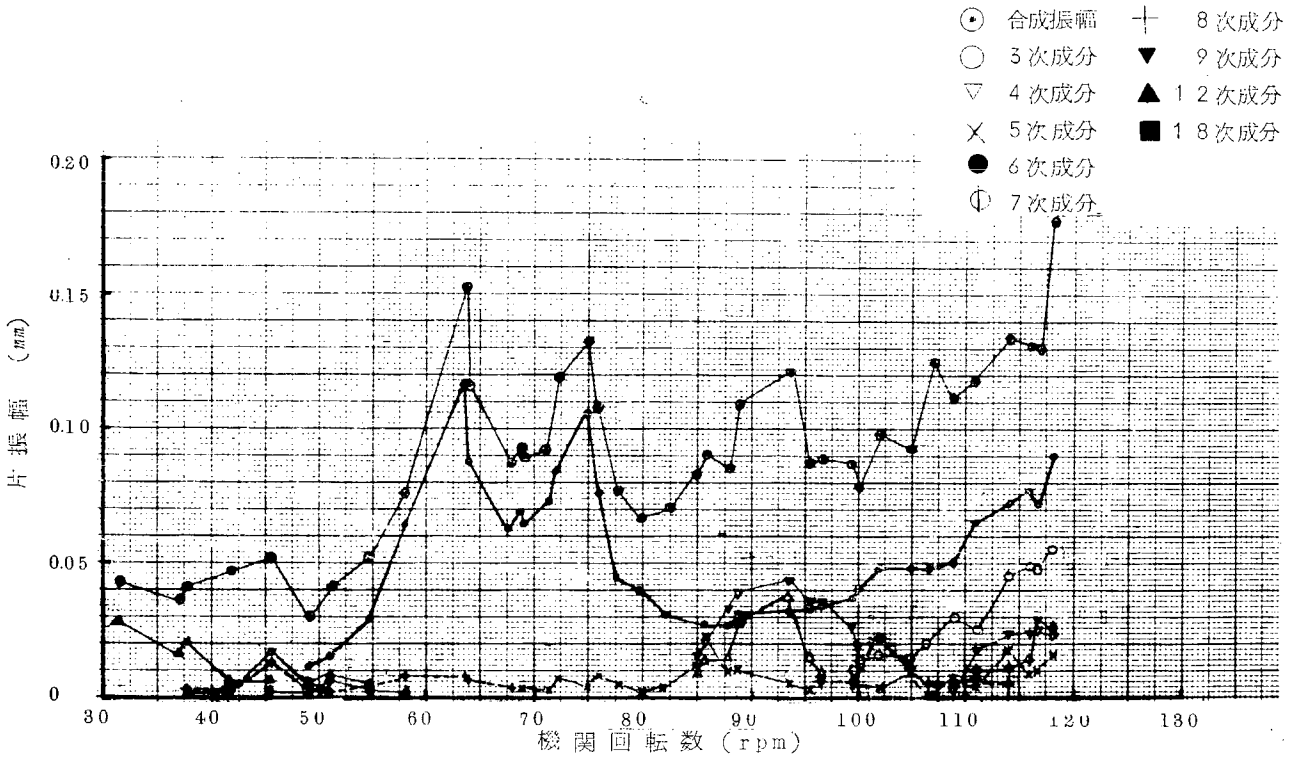
測定記号　2－3－1～39－5　　測定位置　8　　方向　L



機関回転数（rpm）

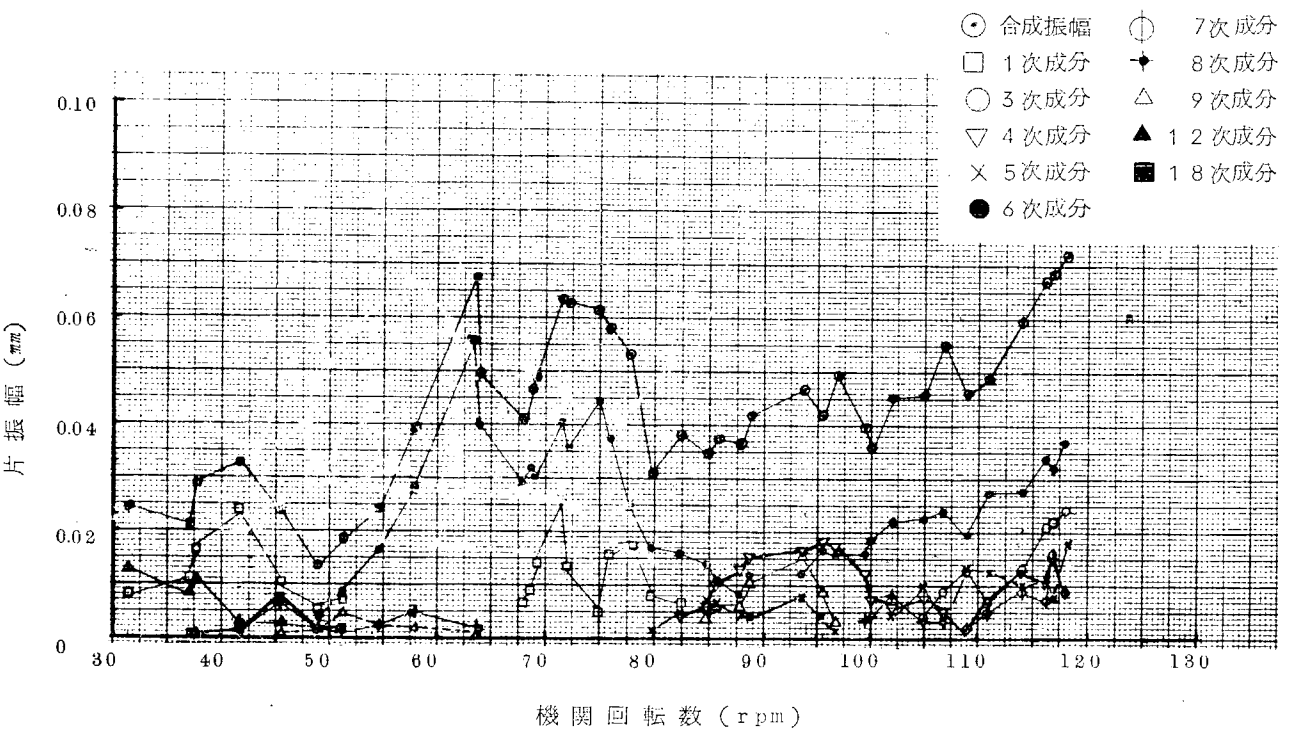
第1.1.33図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

測定記号　２－３－１～３９－４　　測定位置　１１　　方向Ｌ

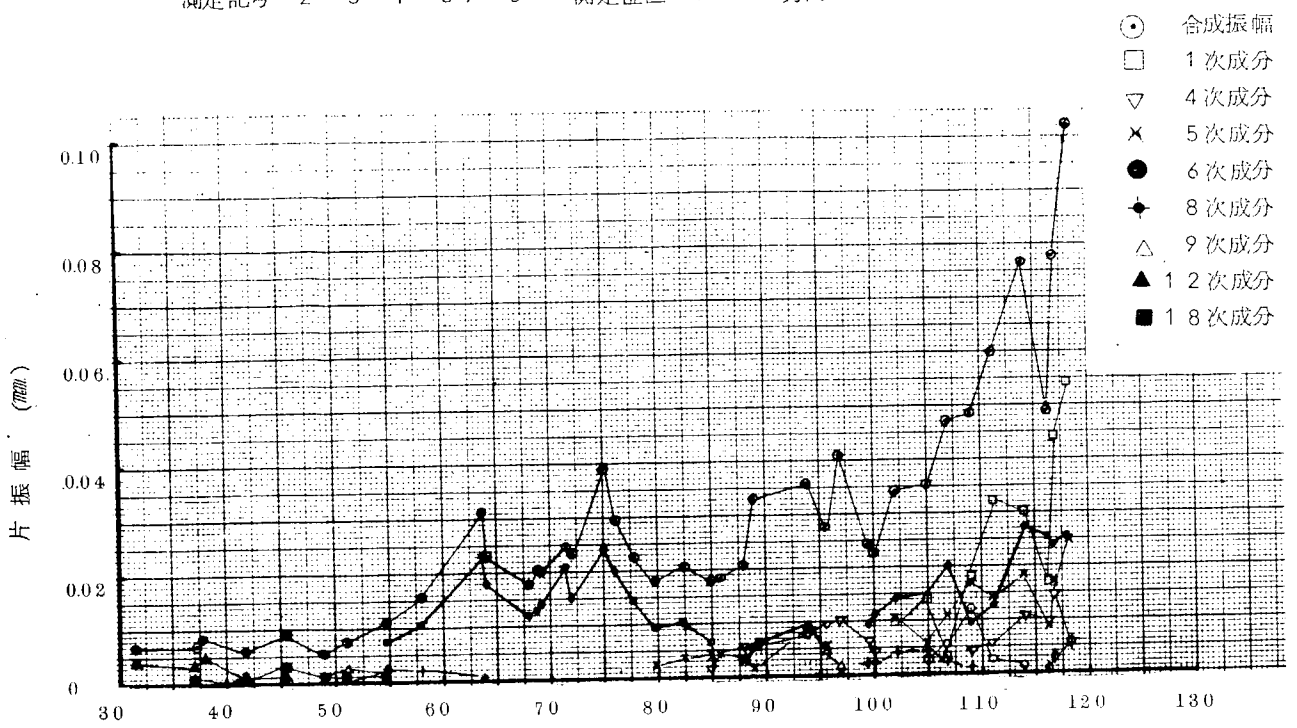


第１.１.３４図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）

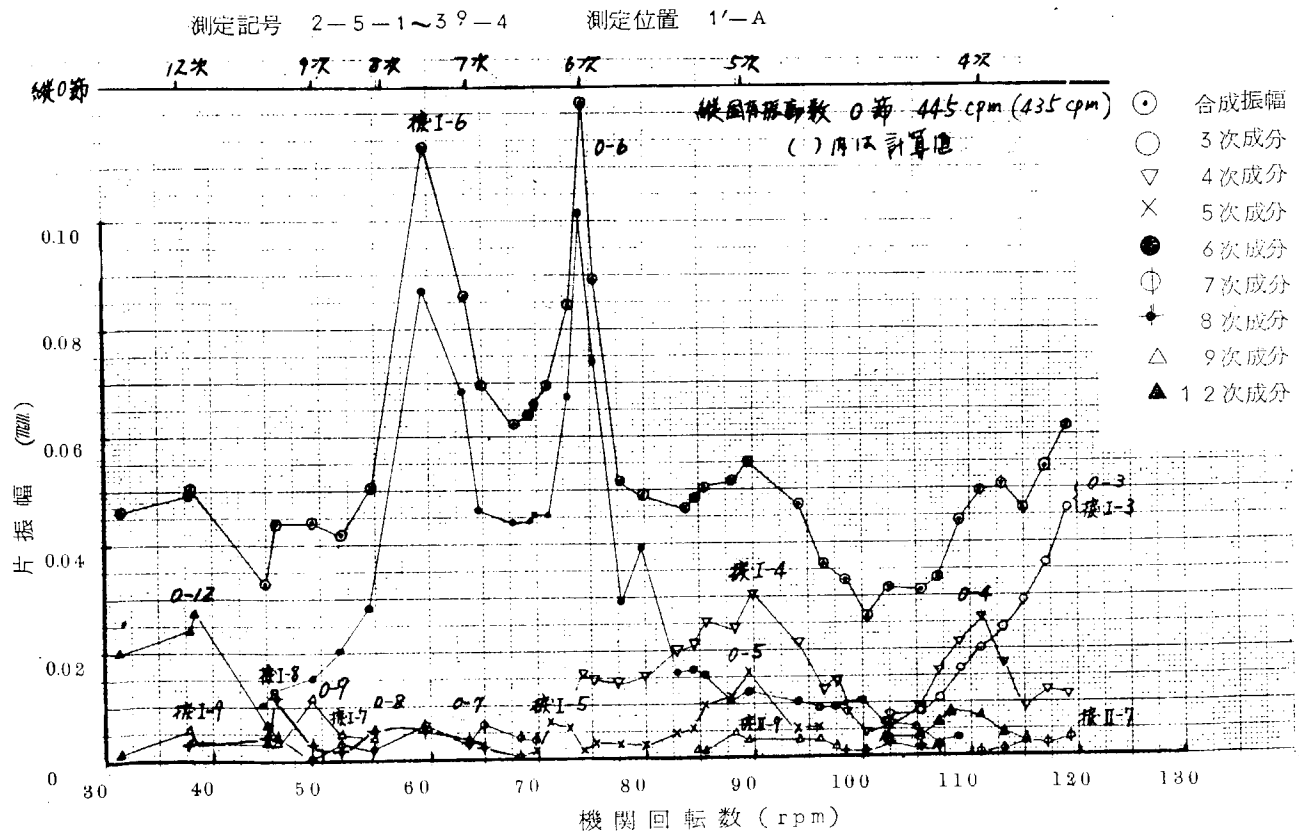
測定記号　２－３－１～３９－３　　測定位置　１２　　方向　Ｌ



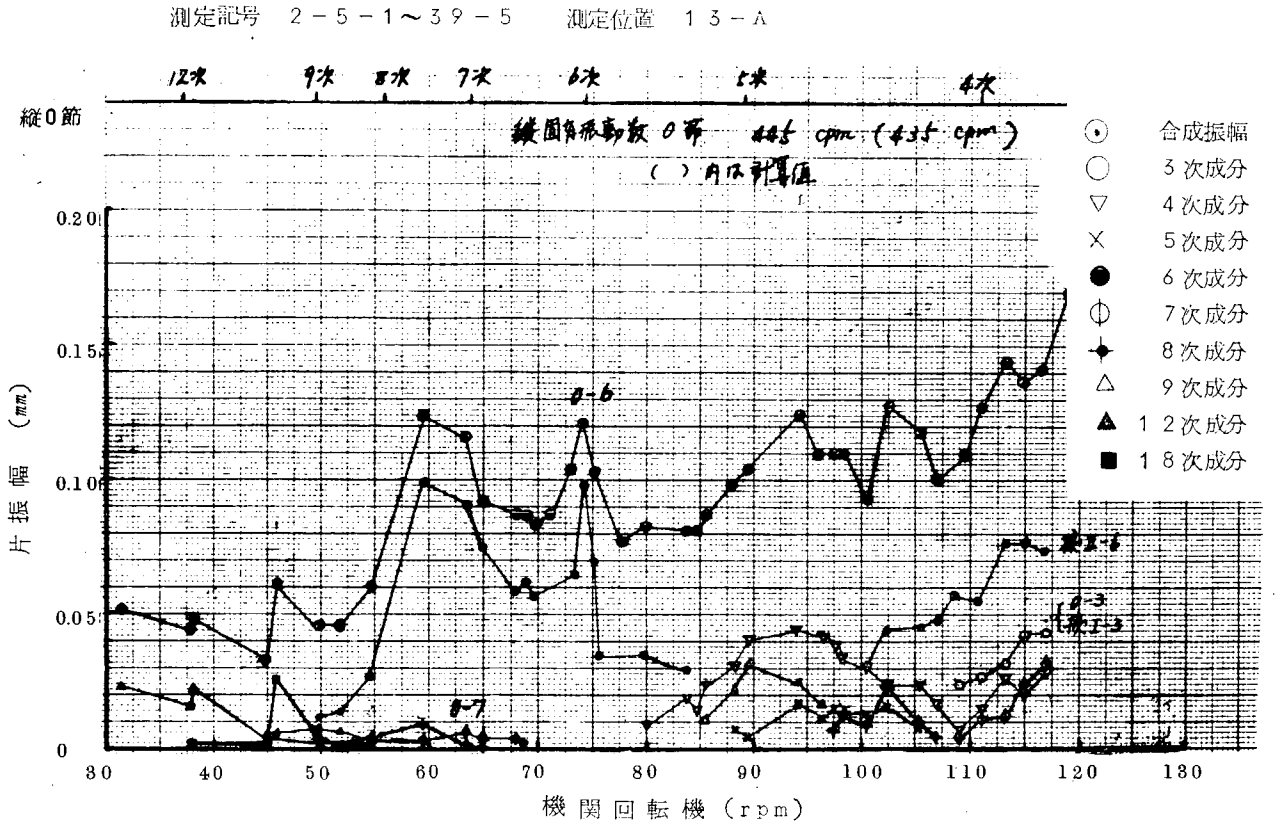
第１.１.３５図　海上運転時架構振動（ブレーシング付）（満載）



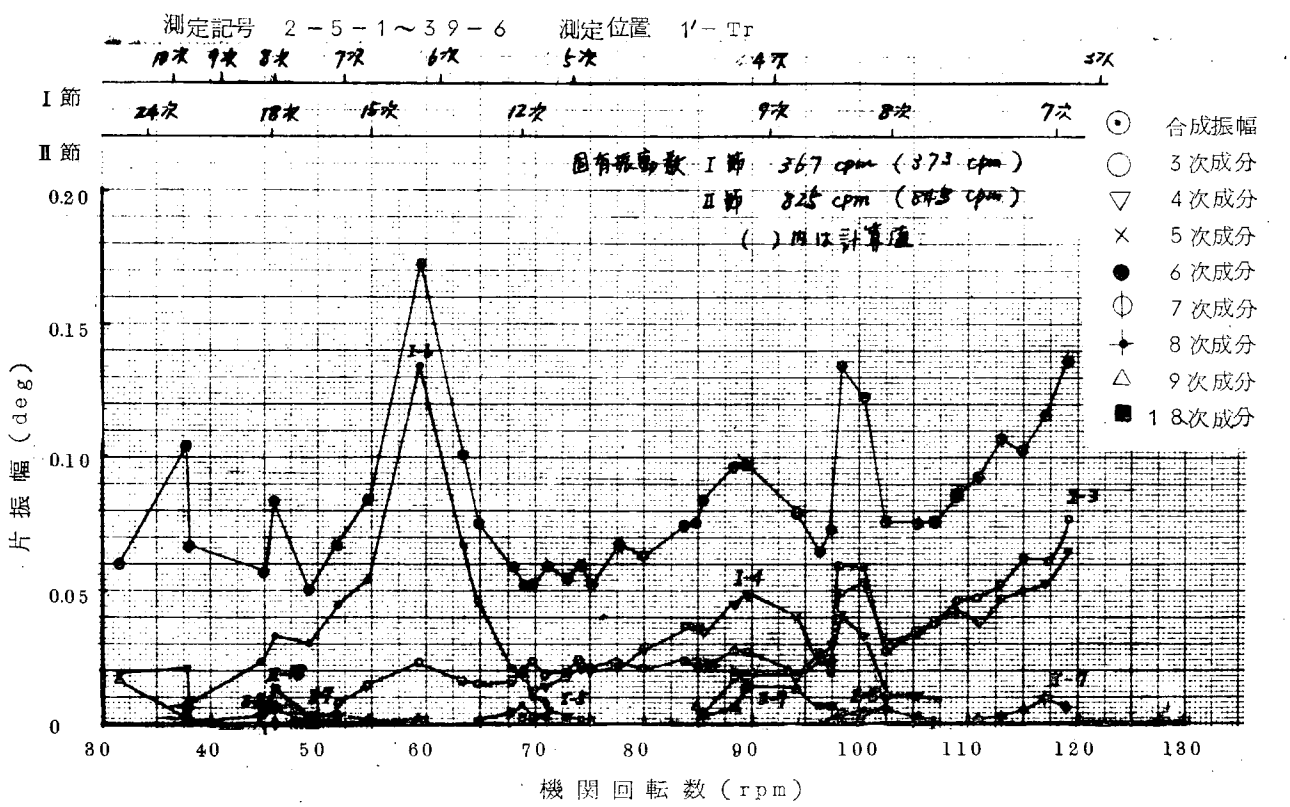
第1.1.36図　海上運転時架構振動（プレーシング付）（満載）



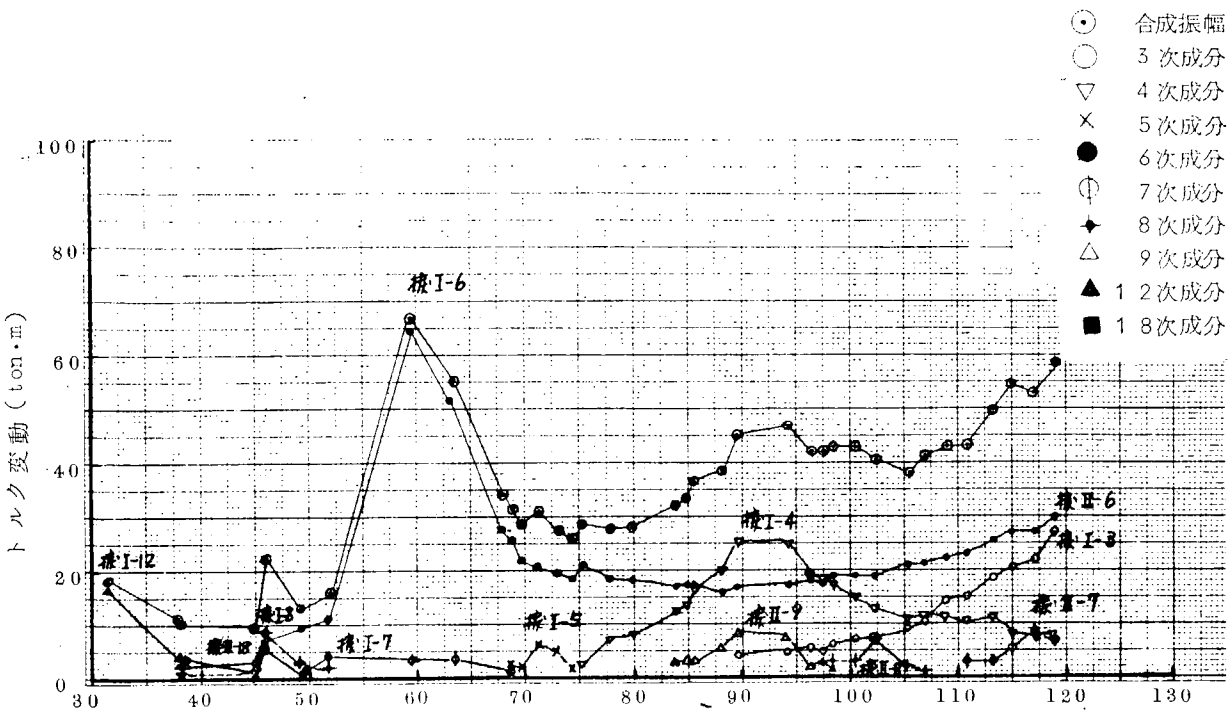
第1.1.37図　海上運転時軸系縦振動（船首端）（プレーシング付）（満載）



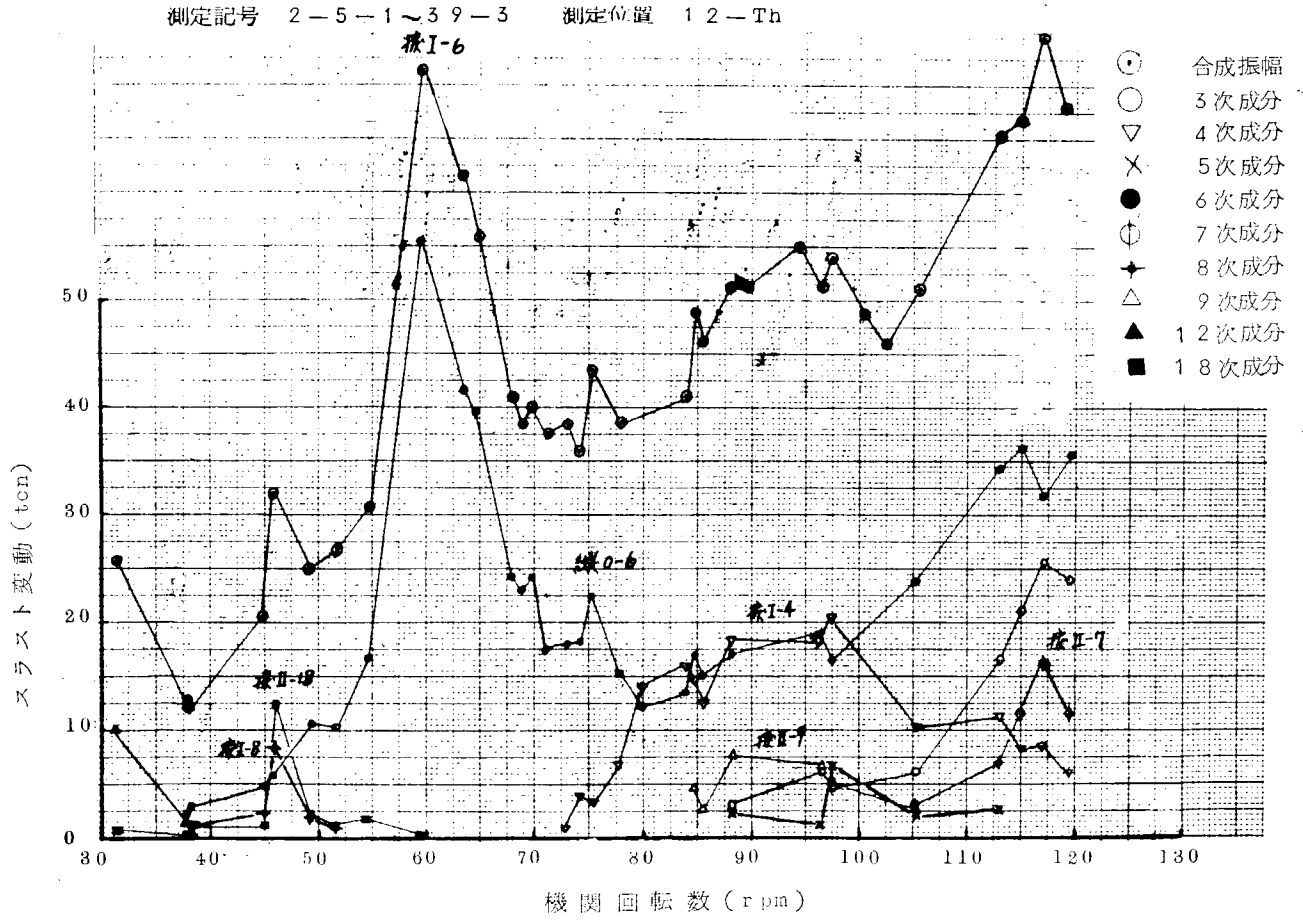
第1.1.38図　海上運転時軸系縦振動（中間軸）（ブレーシング付）（満載）



第1.1.39図　海上運転時軸系ねじれ振動（ブレーシング付）（満載）

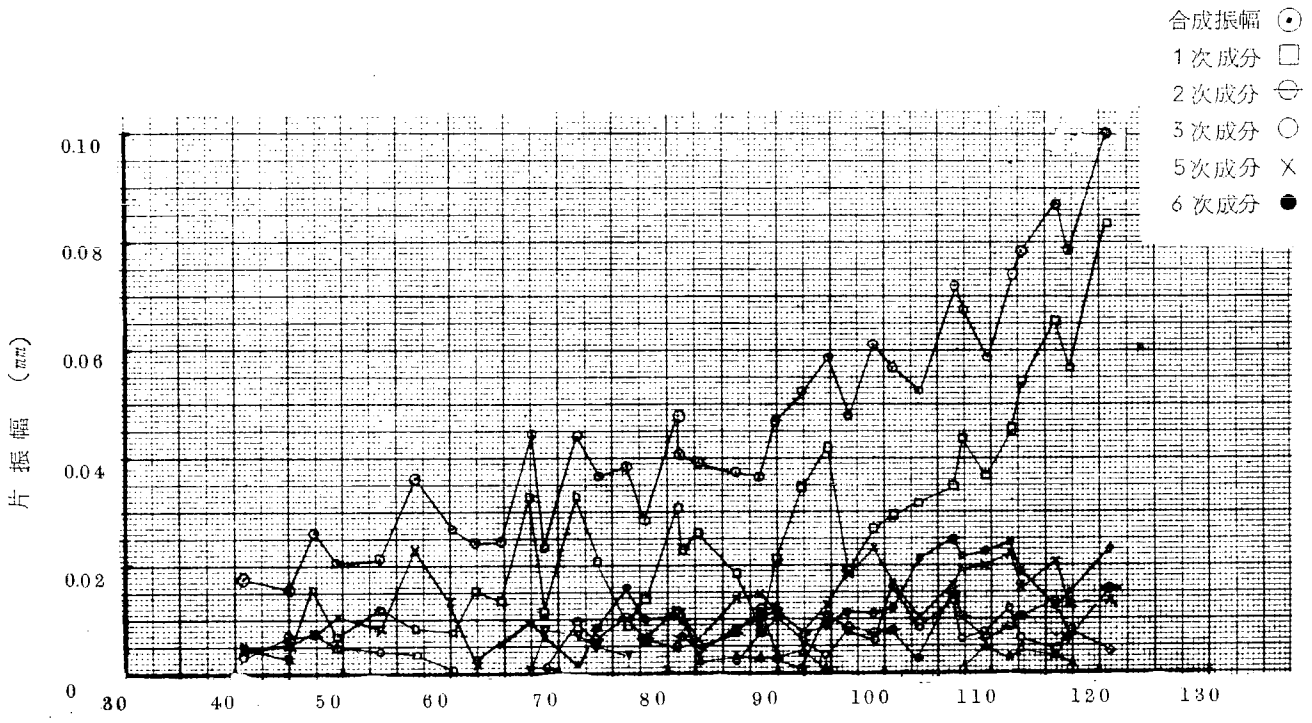


第1.1.40図　海上運転時トルク変動（プレーシング付）（満載）



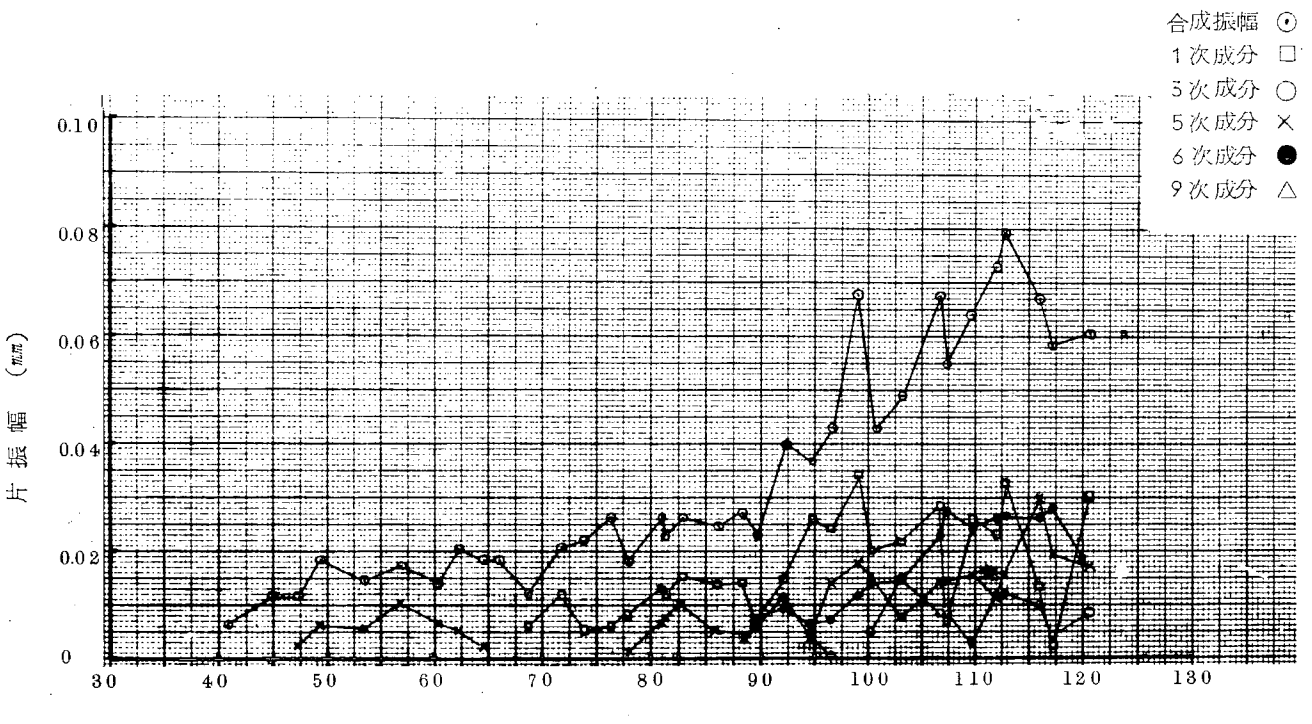
第1.1.41図　海上運転時スラスト変動（プレーシング付）（満載）

測定記号　2－4－40～74　　測定位置　1　　方向　H



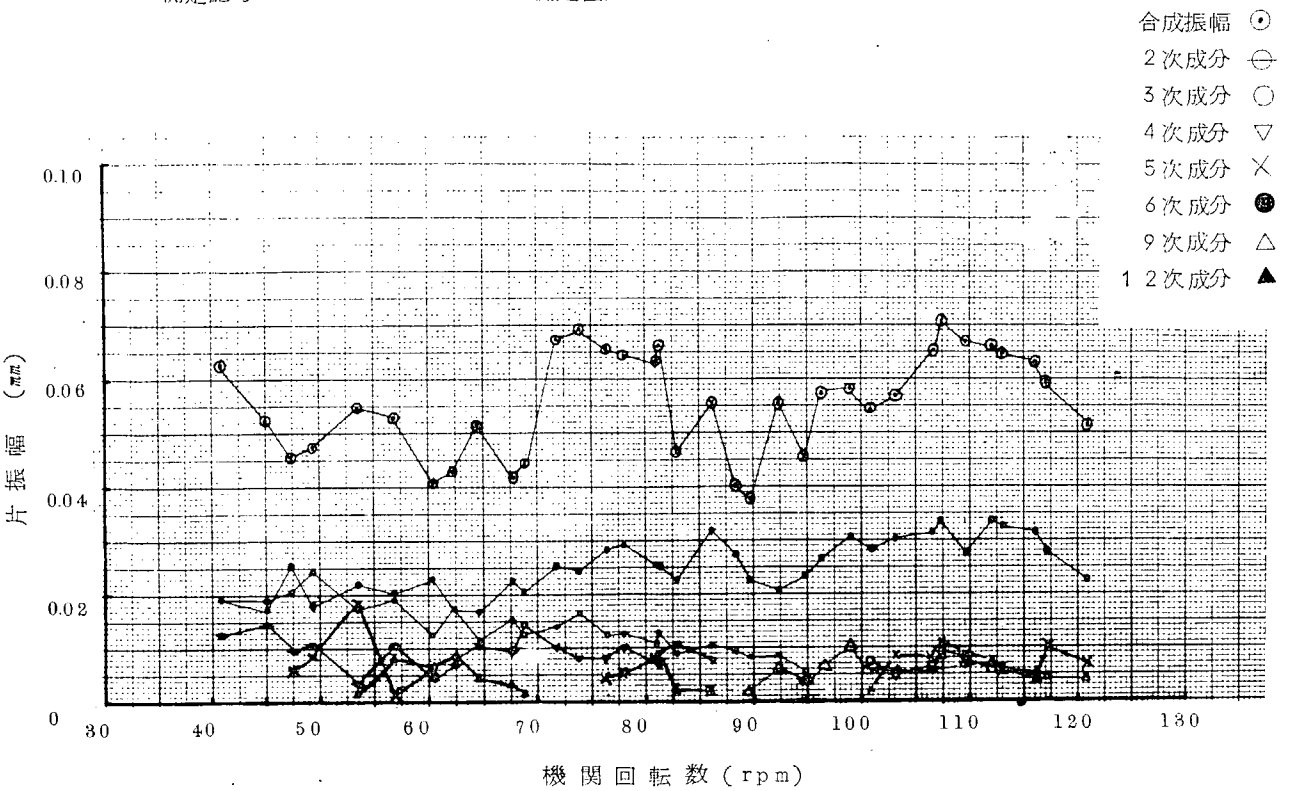
第1.1.42図　海上運転時架構振動（プレージング除去）（満載）

測定記号　2－4－40～74　　測定位置　3　　方向　H



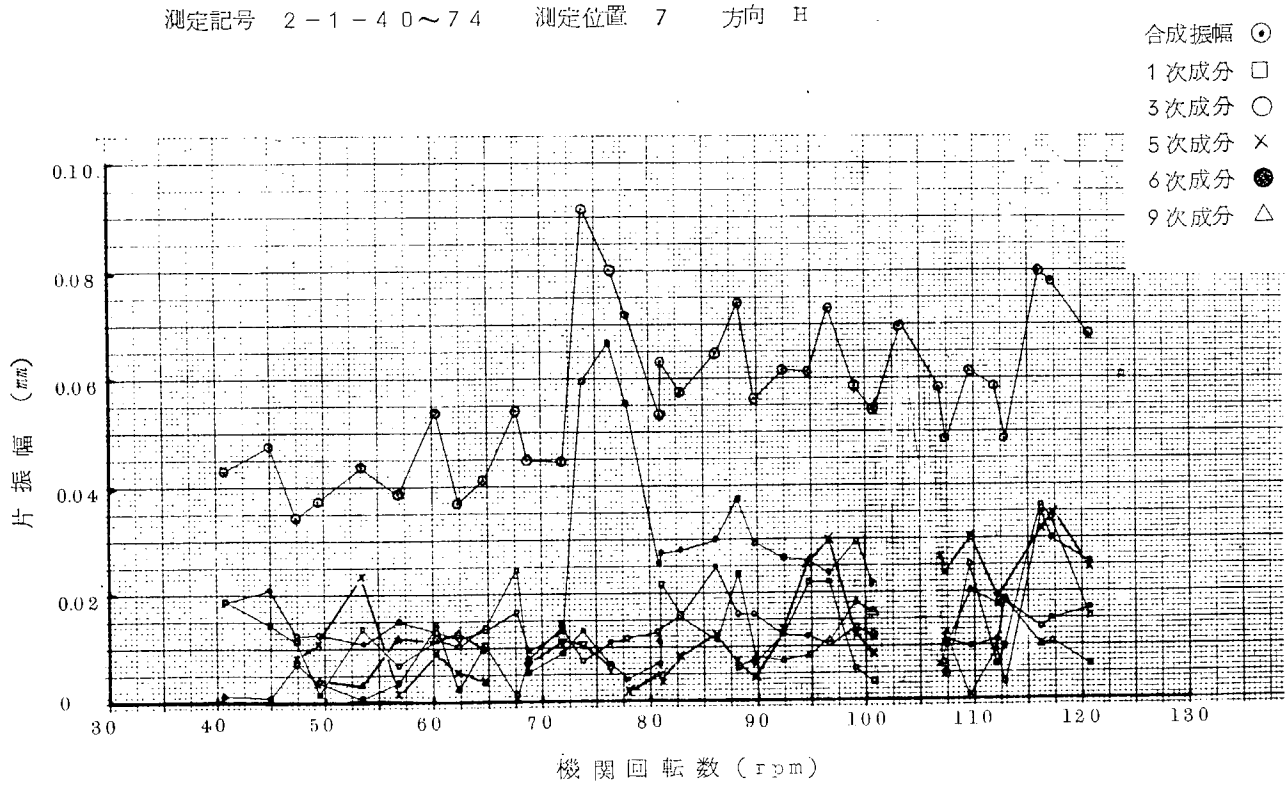
第1.1.43図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　2－1－40～74　　測定位置　6　　方向　H

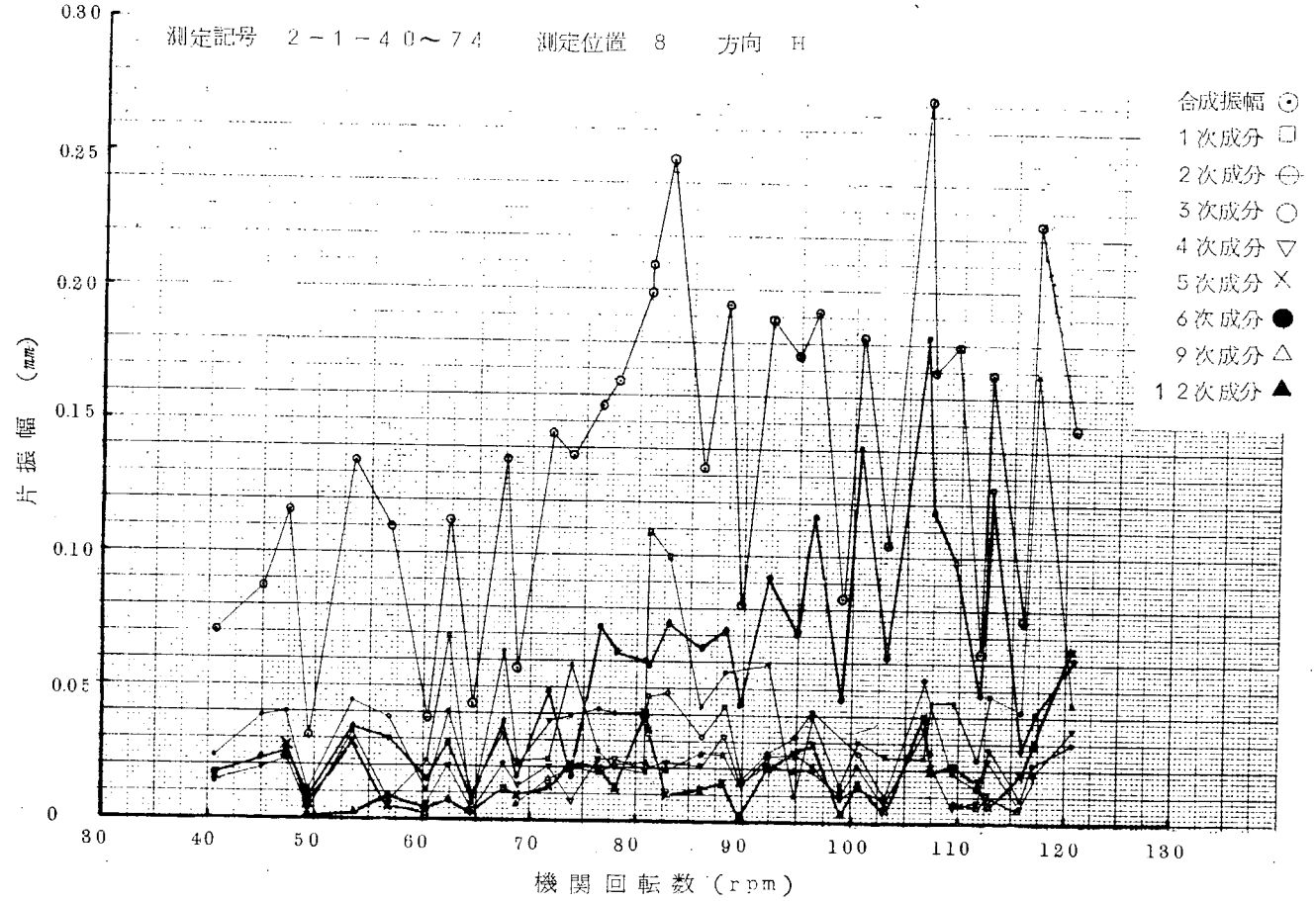


第1.1.44図　海上運転時架構振動（ブレーシング除去）（満載）

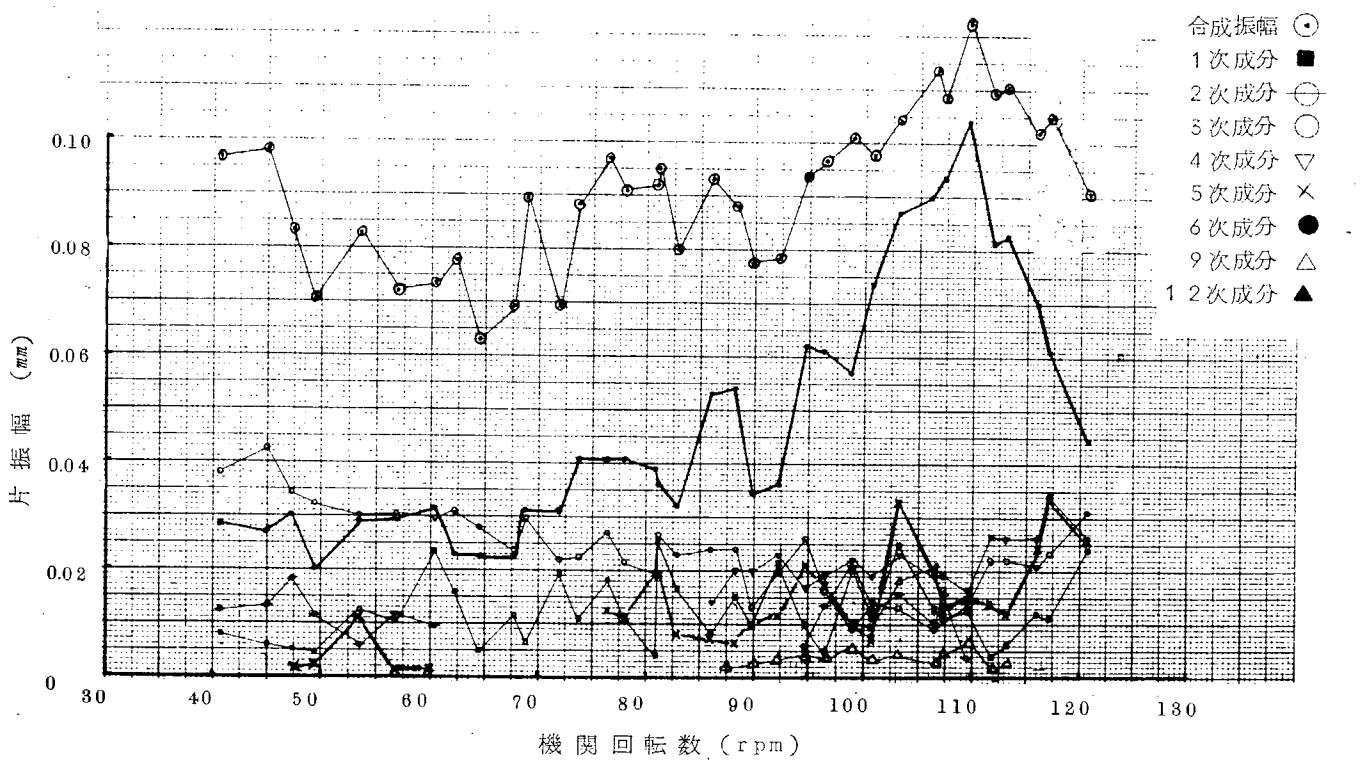
測定記号　2－1－40～74　　測定位置　7　　方向　H



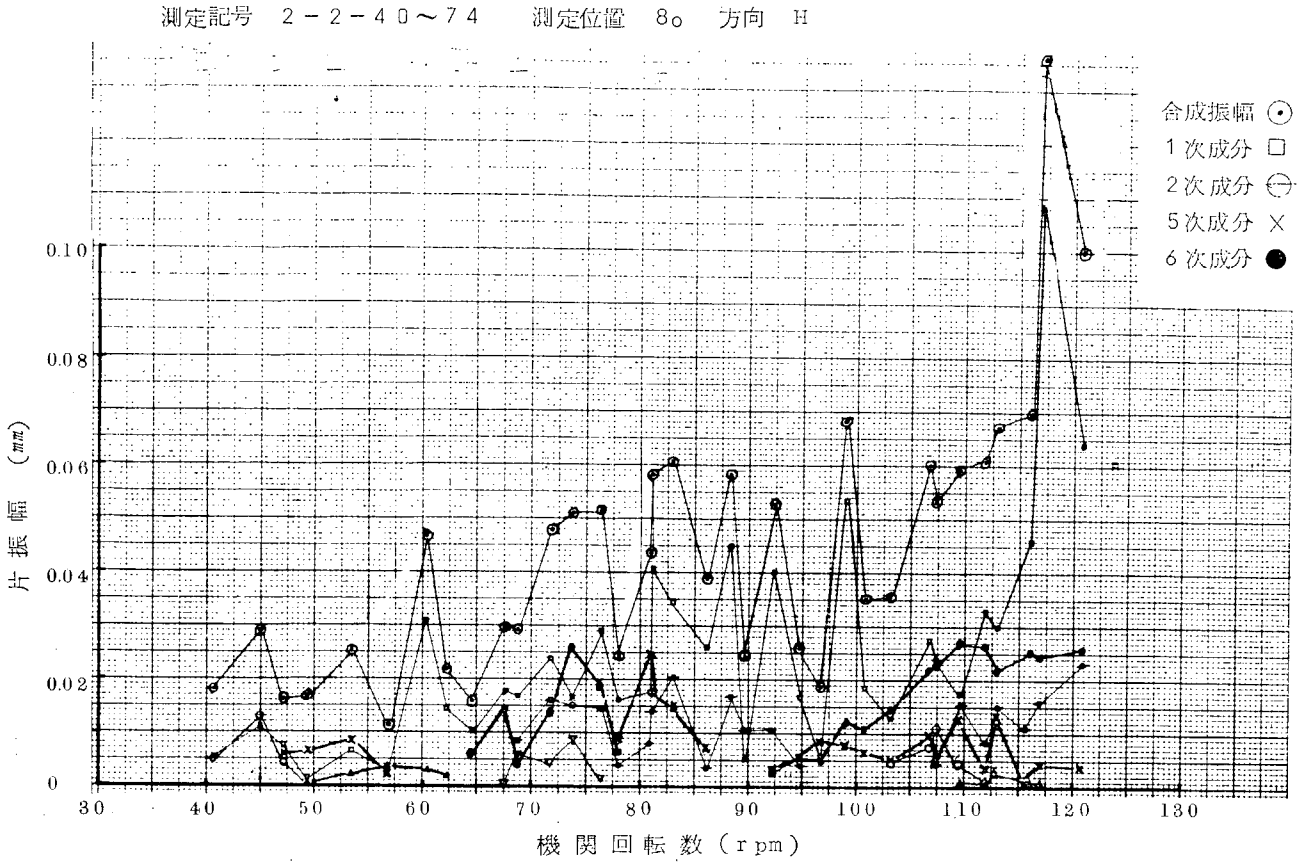
第1.1.45図　海上運転時架構振動（ブレーシング除去）（満載）



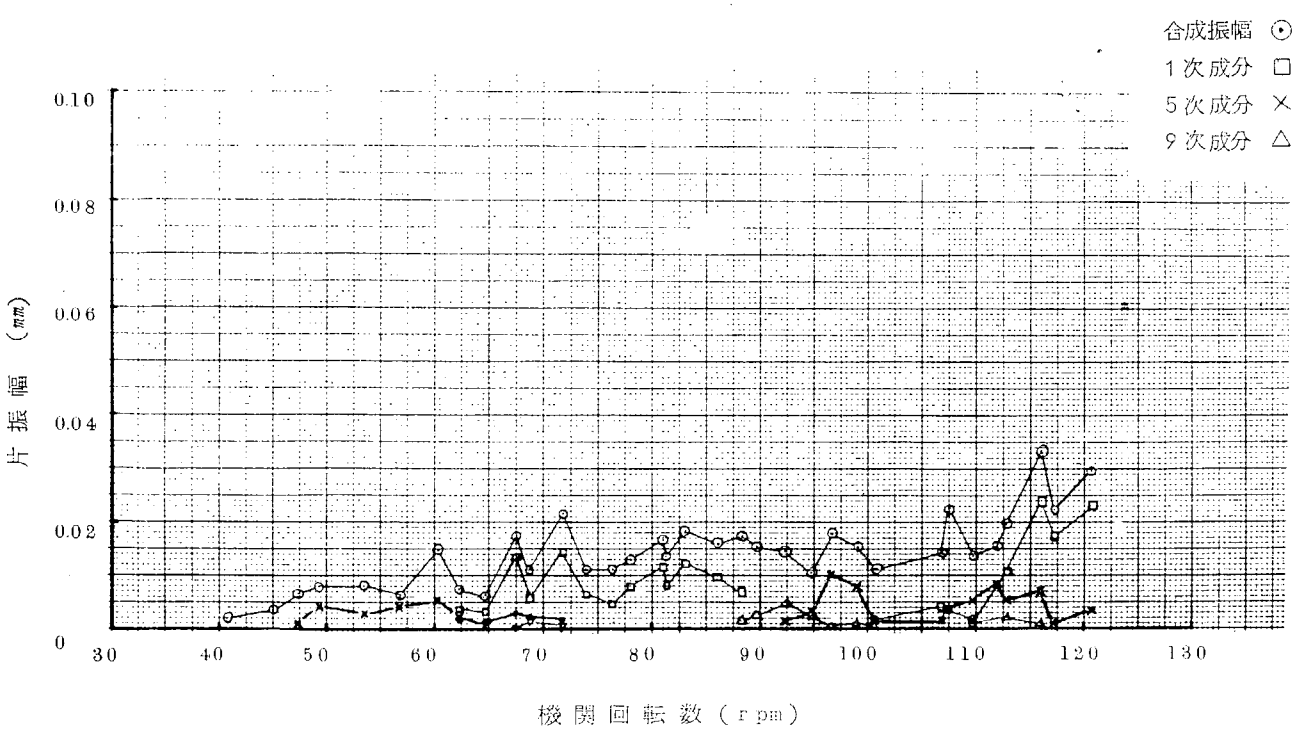
第1.1.46図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）



第1.1.47図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

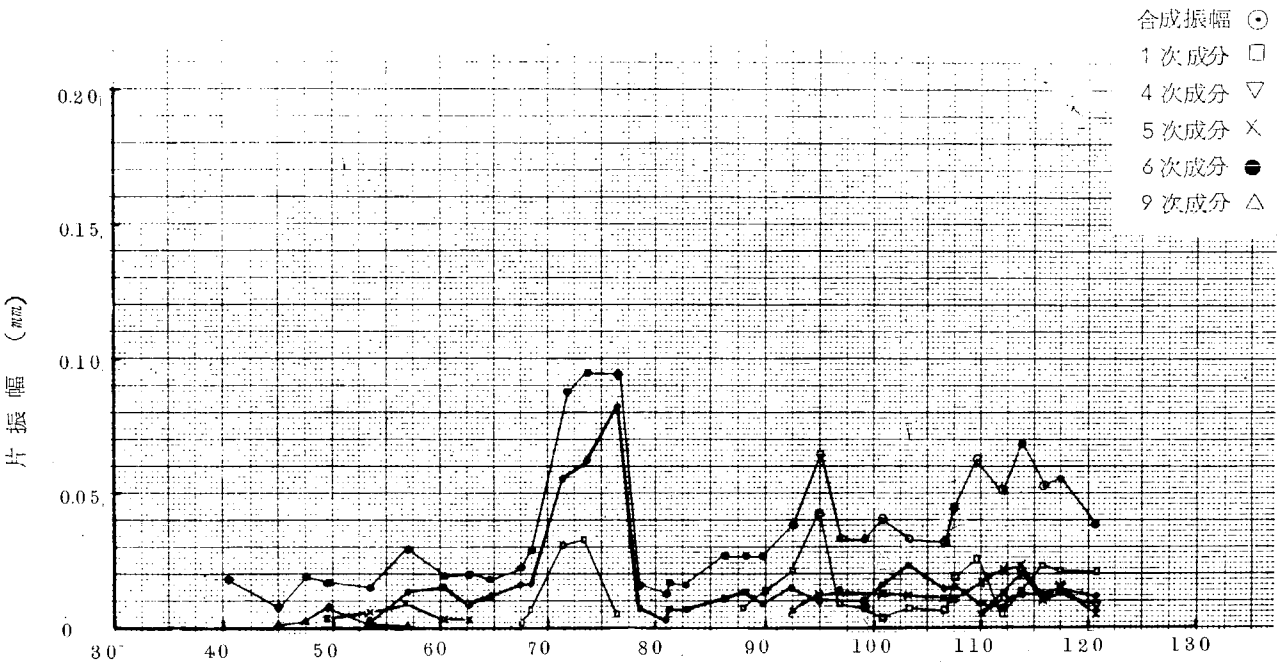


第1.1.48図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）



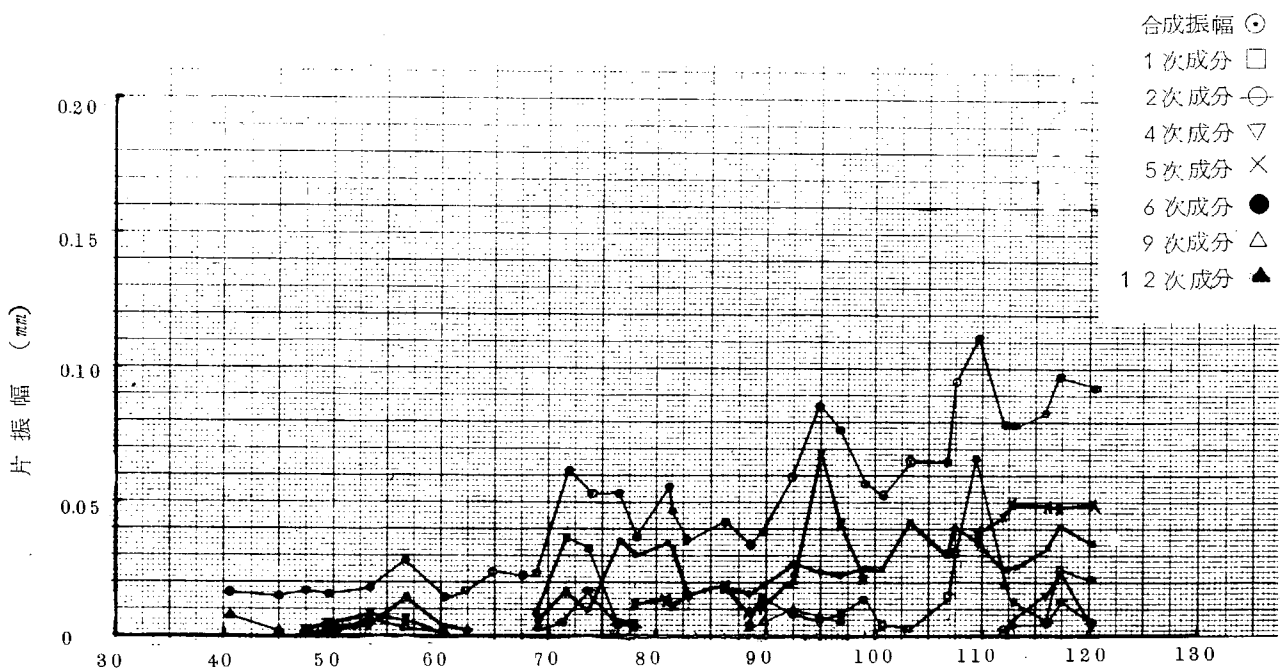
第1.1.49図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　２－４－４０(V)～７４(V)　　測定位置　１　　方向　Ｖ



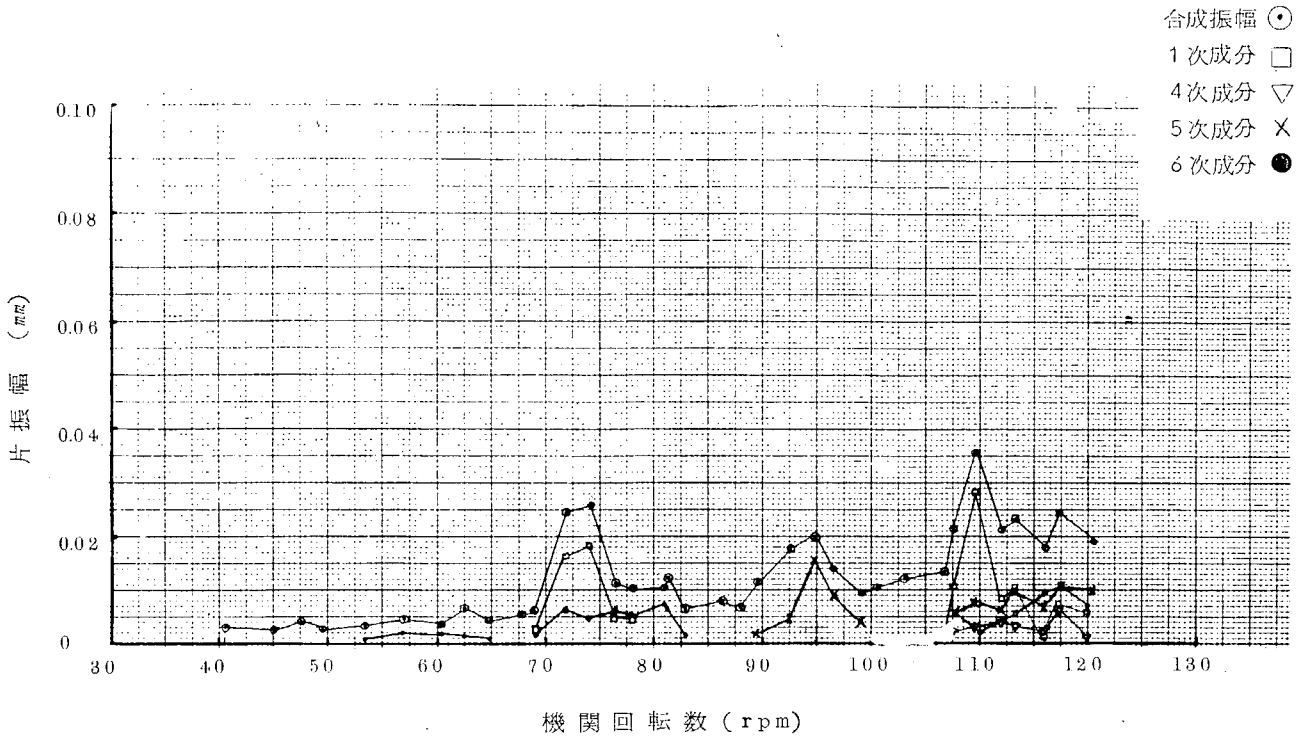
第1.1.５０図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　２－４－４０(V)～７４(V)　　測定位置　３　　方向　Ｖ



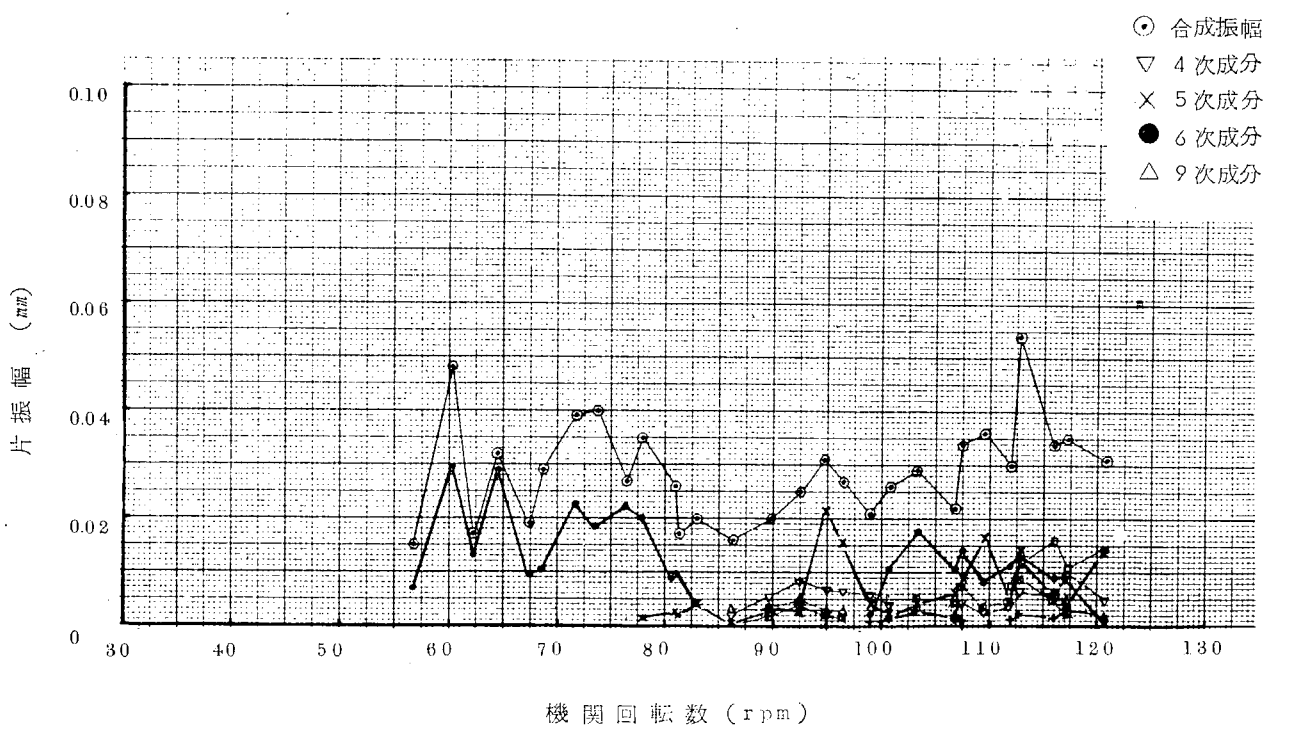
第1.1.５１図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　2－4－40(V)～74(V)　　測定位置　5　　方向　V



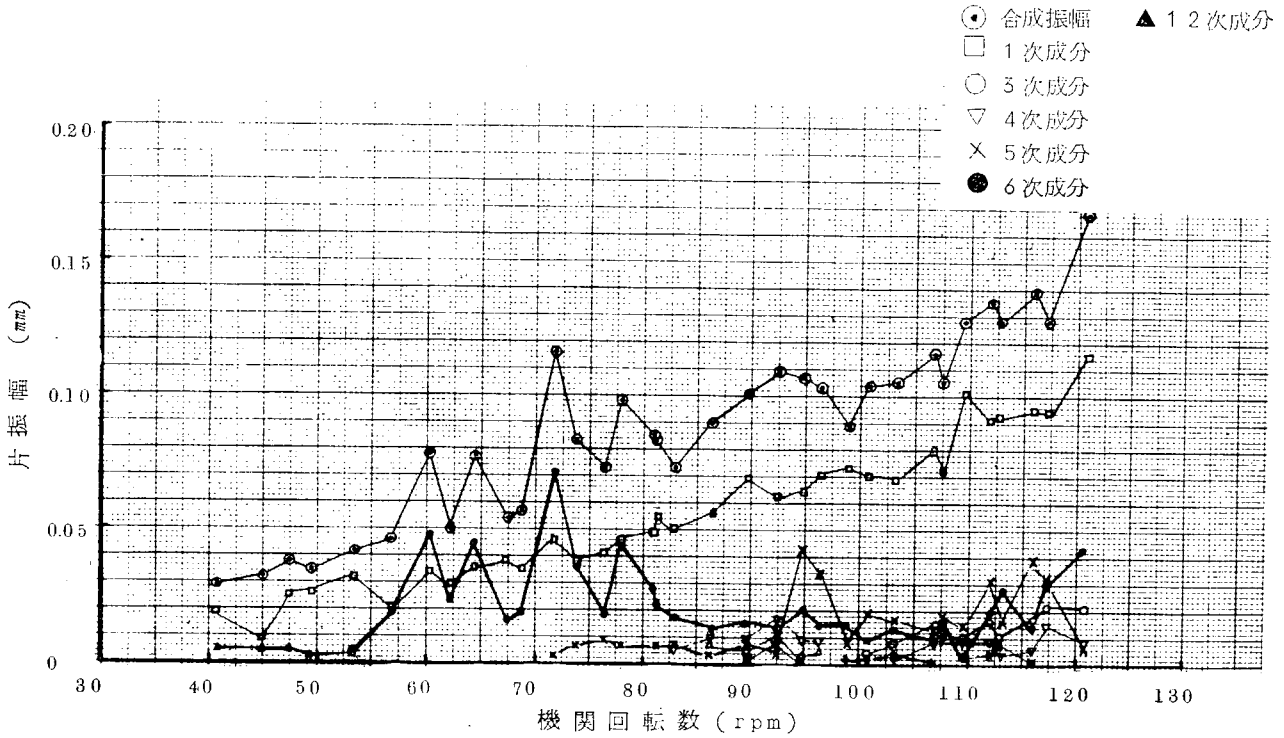
第1.1.52図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　2－3－40～74－1　　測定位置　1　　方向　L



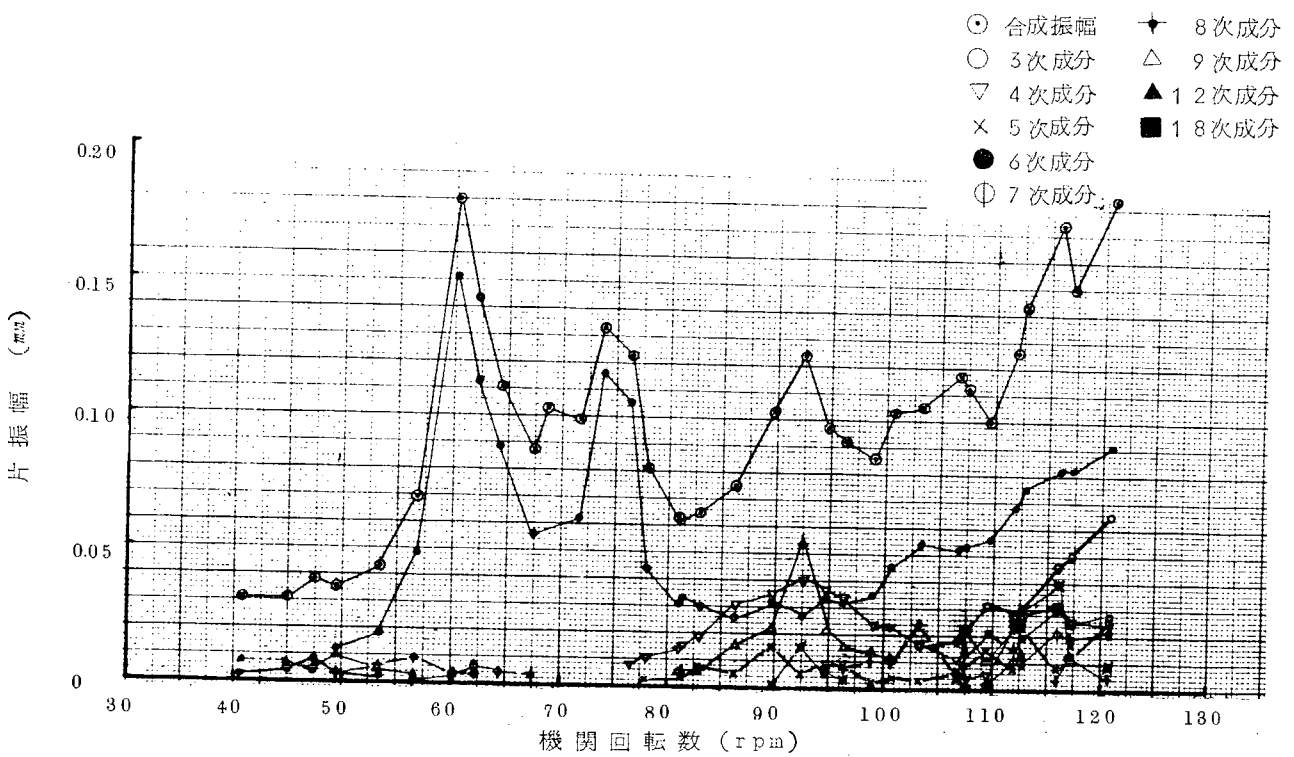
第1.1.53図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　２－３－４０～７４－５　　測定位置　８　　方向　Ｌ



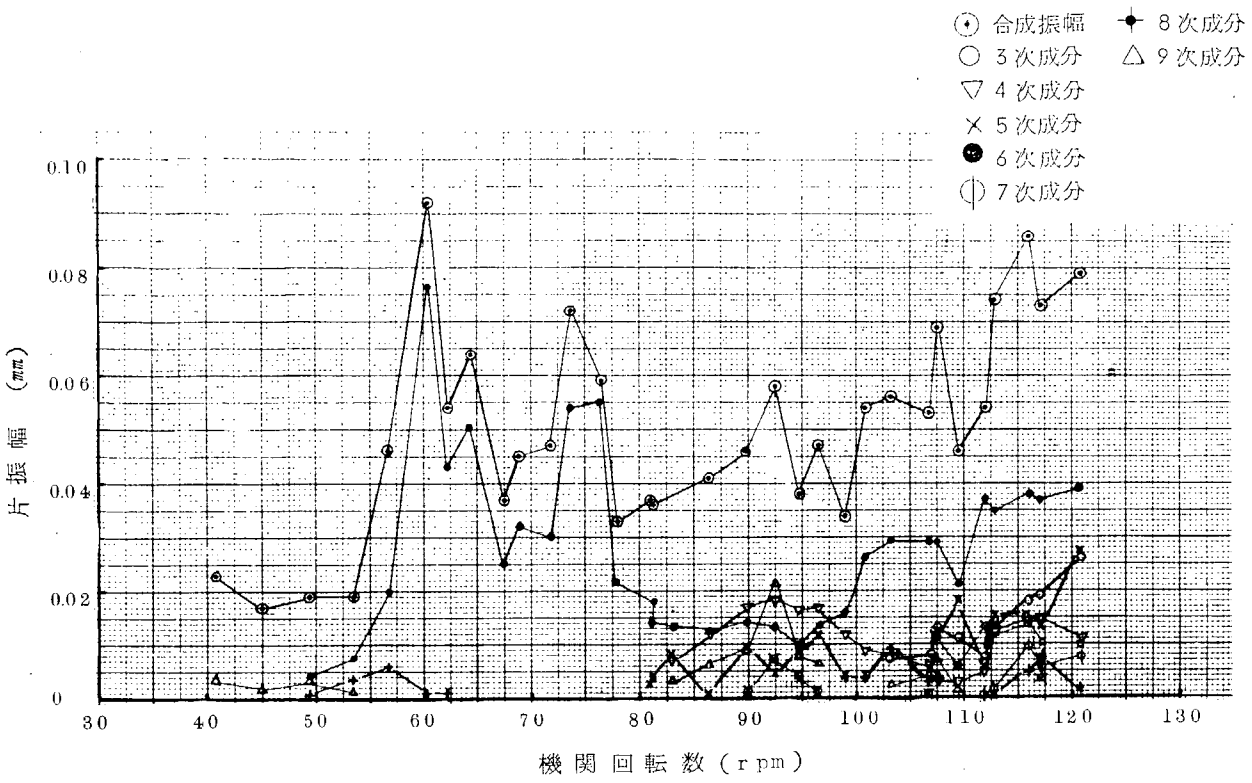
第１.１.５４図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（満載）

測定記号　２－３－４０～７４－４　　測定位置　１１　　方向　Ｌ



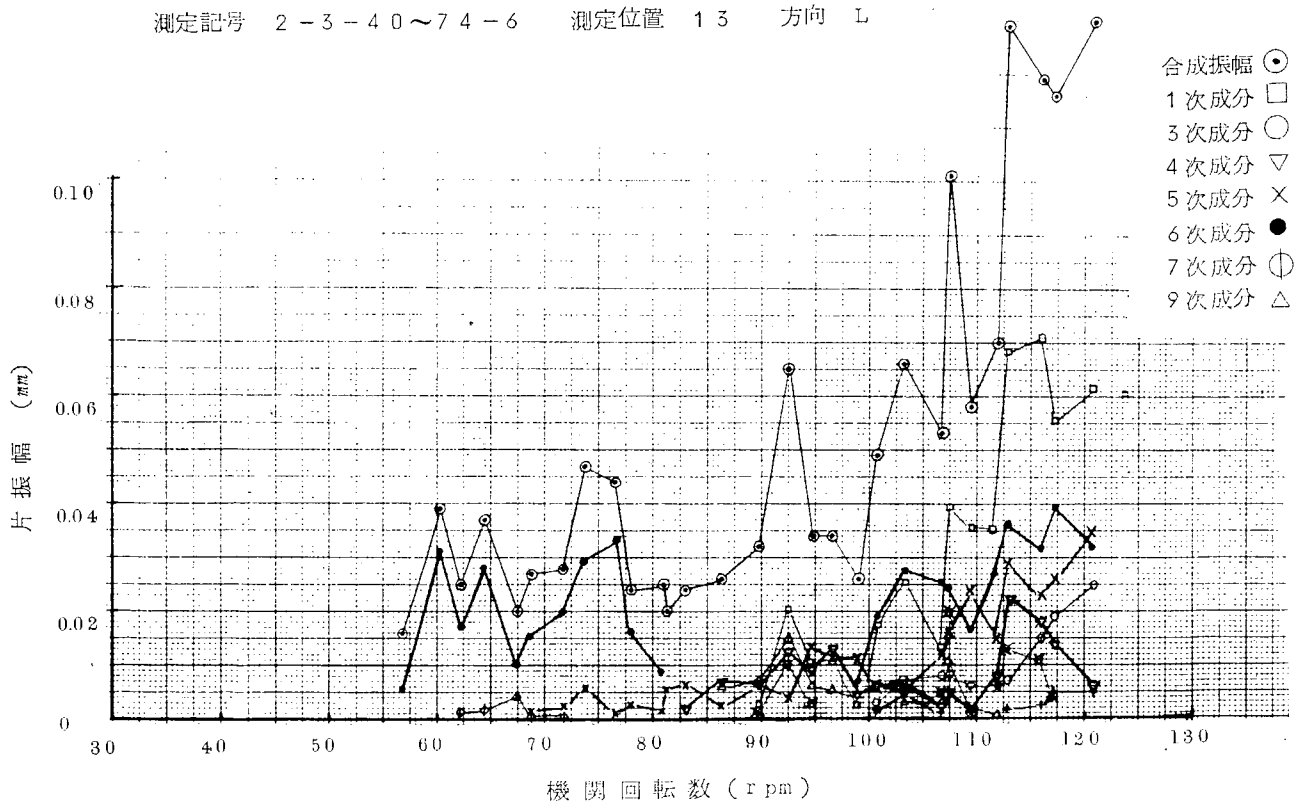
第１.１.５５図　海上運転時（プレーシング除去）（満載）

測定記号　2－3－40～74－3　　測定位置　12　　方向　L



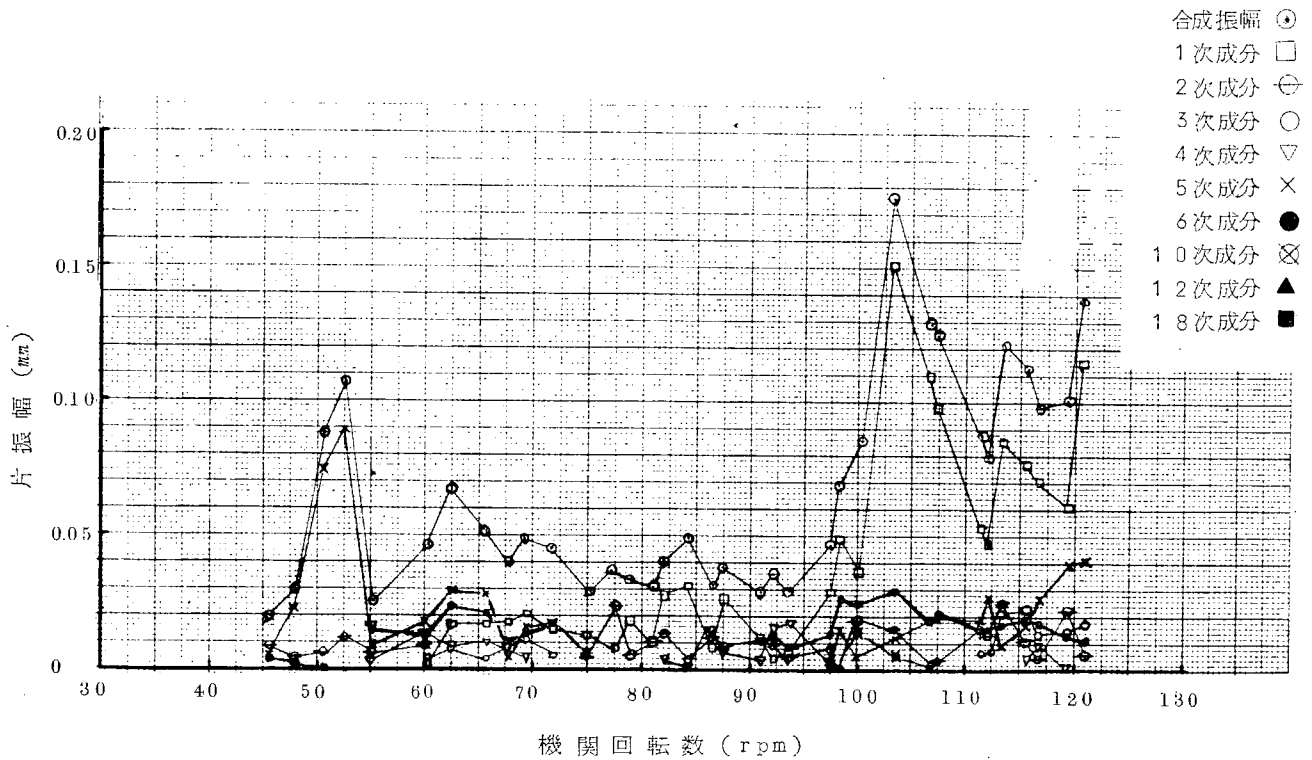
第1.1.56図　海上運転時（プレーシング除去）（満載）

測定記号　2－3－40～74－6　　測定位置　13　　方向　L



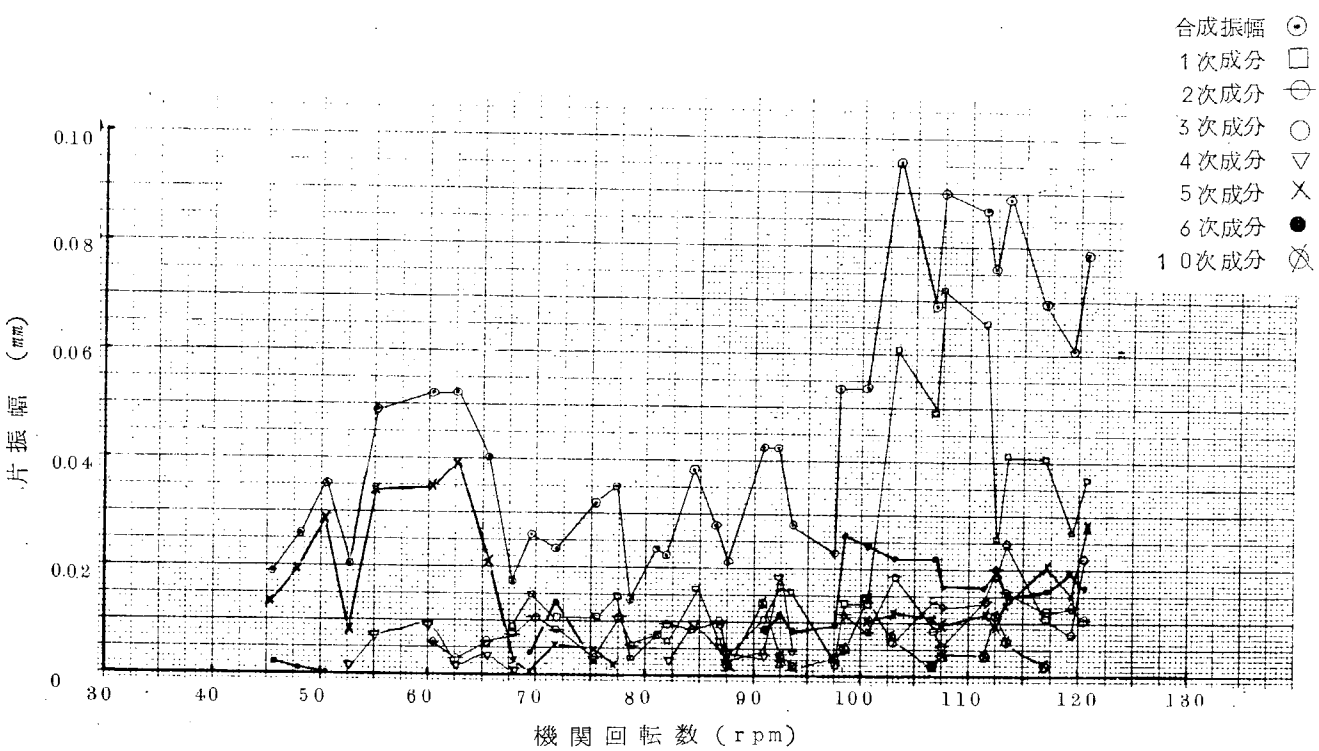
第1.1.57図　海上運転時（プレーシング除去）（満載）

測定記号　2－4－75～109　　測定位置　1　　方向　H



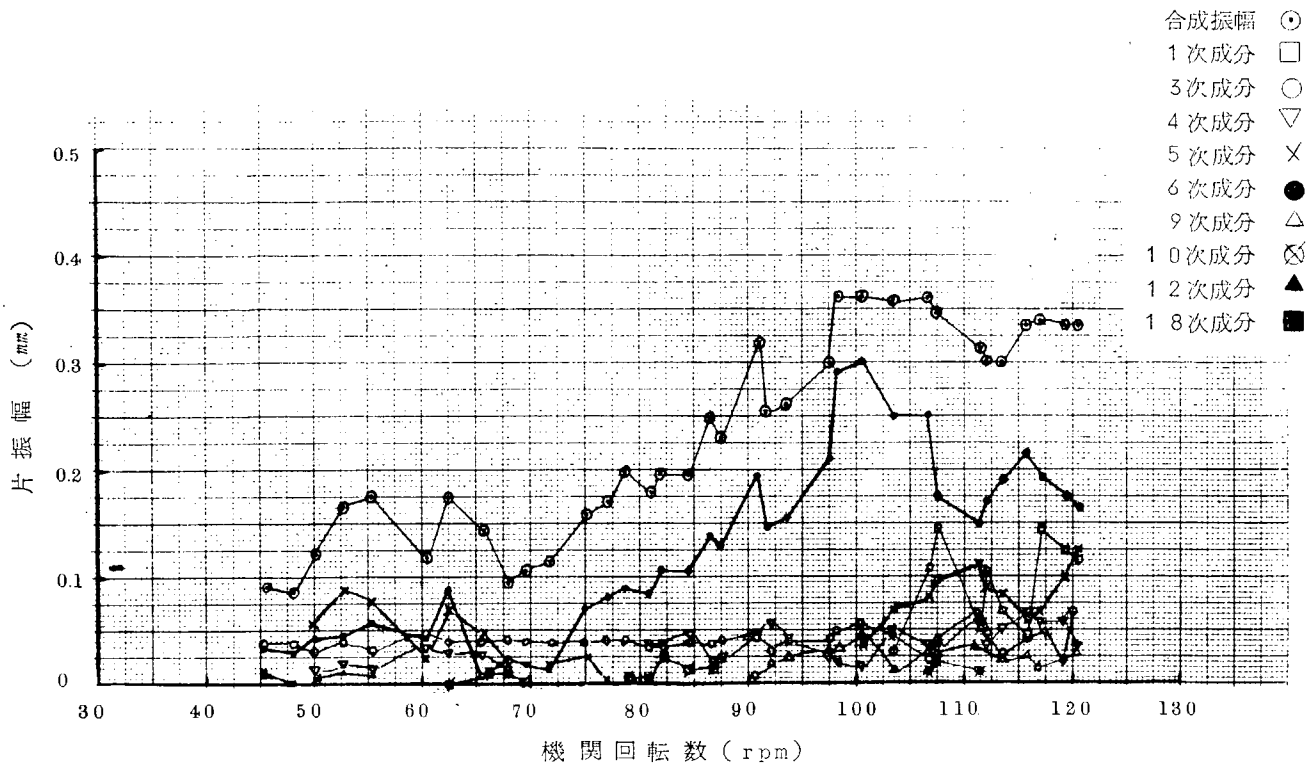
第1.1.58図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－4－75～109　　測定位置　3　　方向　H



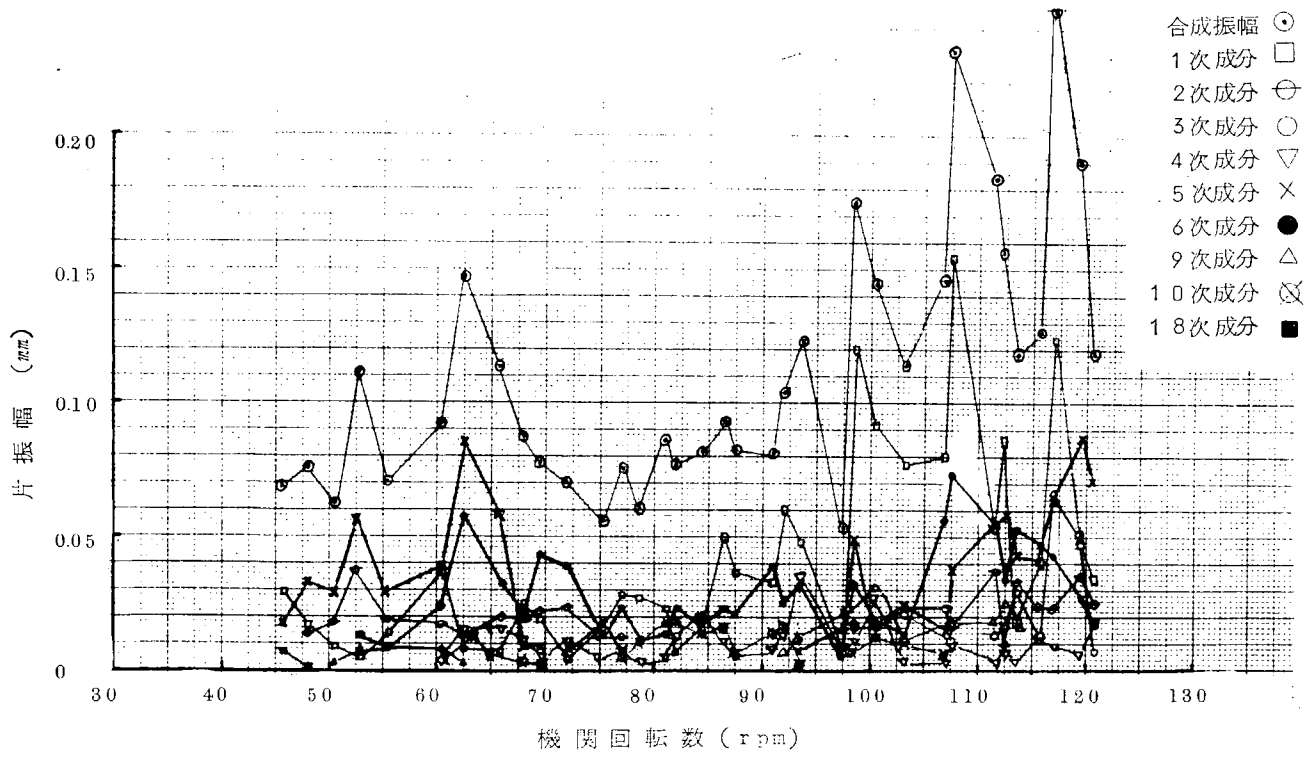
第1.1.59図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）

測定記号　2－1－75～109　　測定位置　6　　方向　H



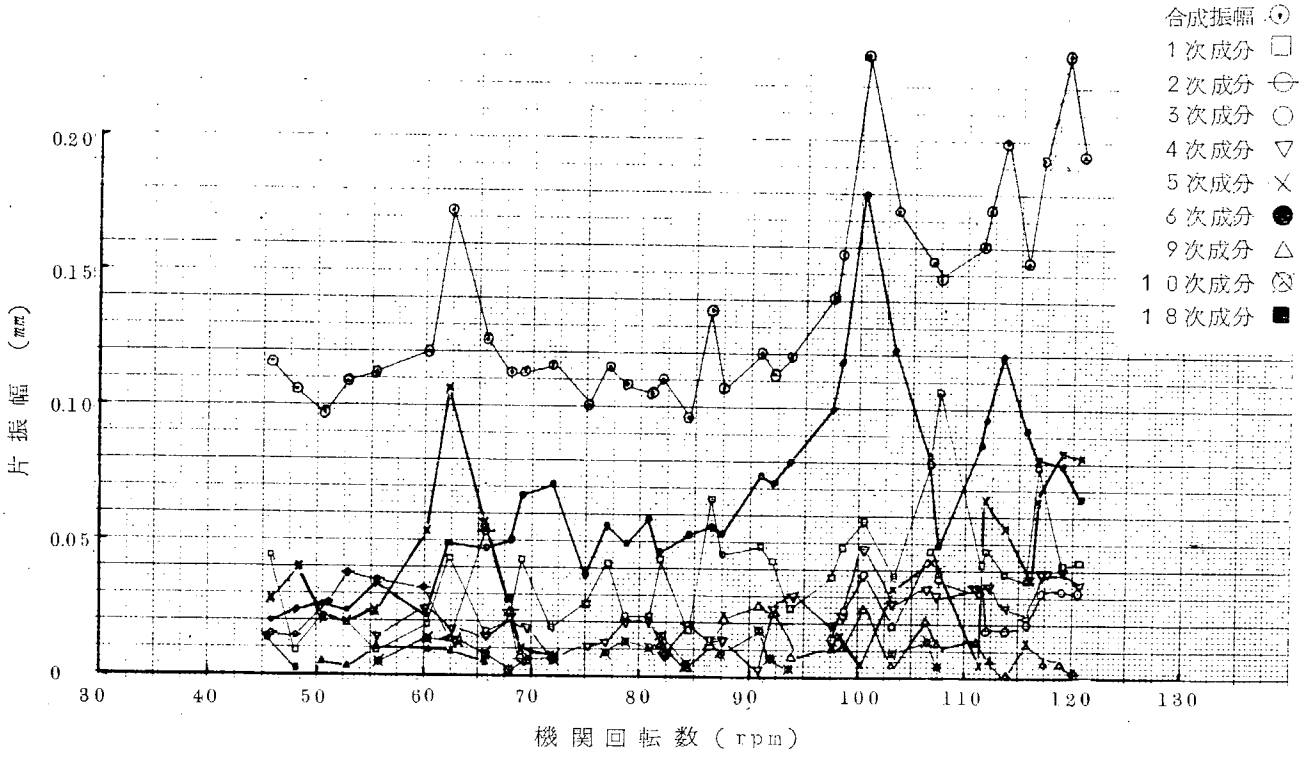
第1.1.160図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－1－75～109　　測定位置　7　　方向　H



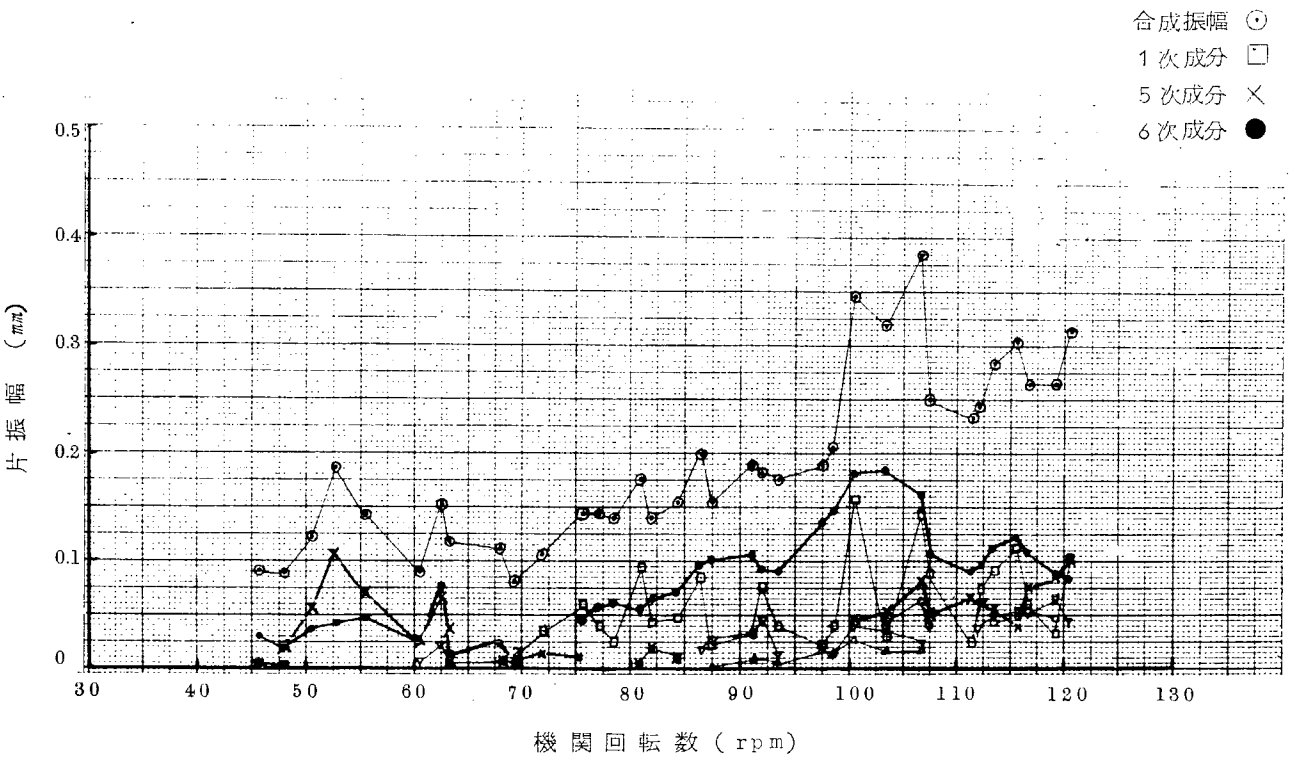
第1.1.161図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－1－75～109　　測定位置　8　　方向　H



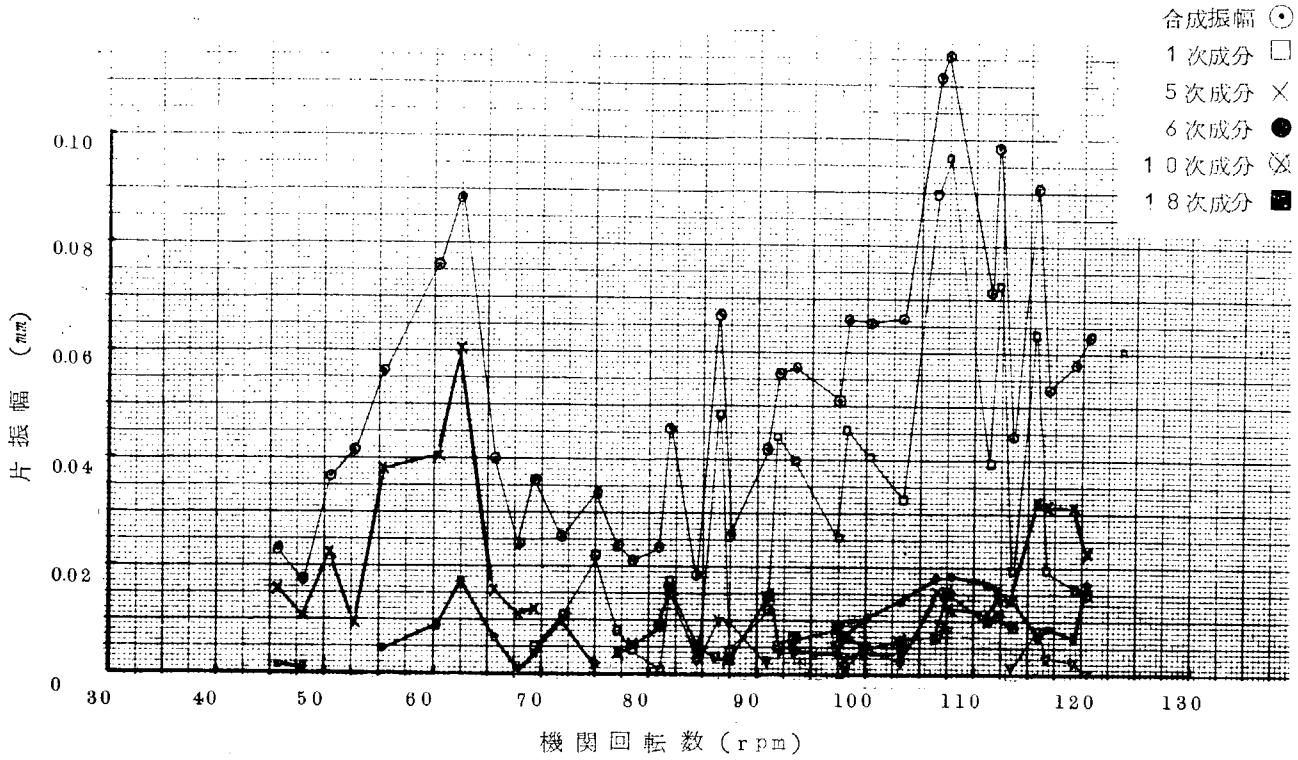
第1.1.62図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－2－75～109　　測定位置　9　　方向　H



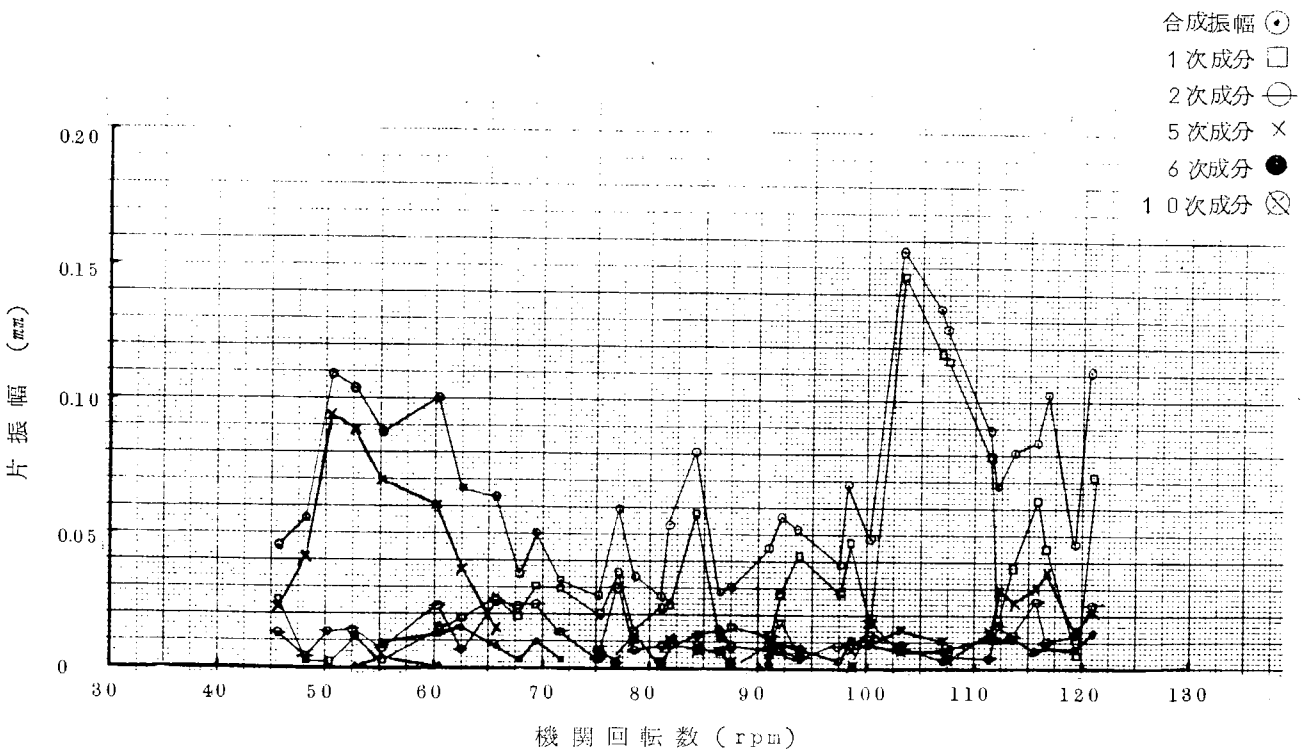
第1.1.63図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－2－75～109　　測定位置　8o　　方向　H



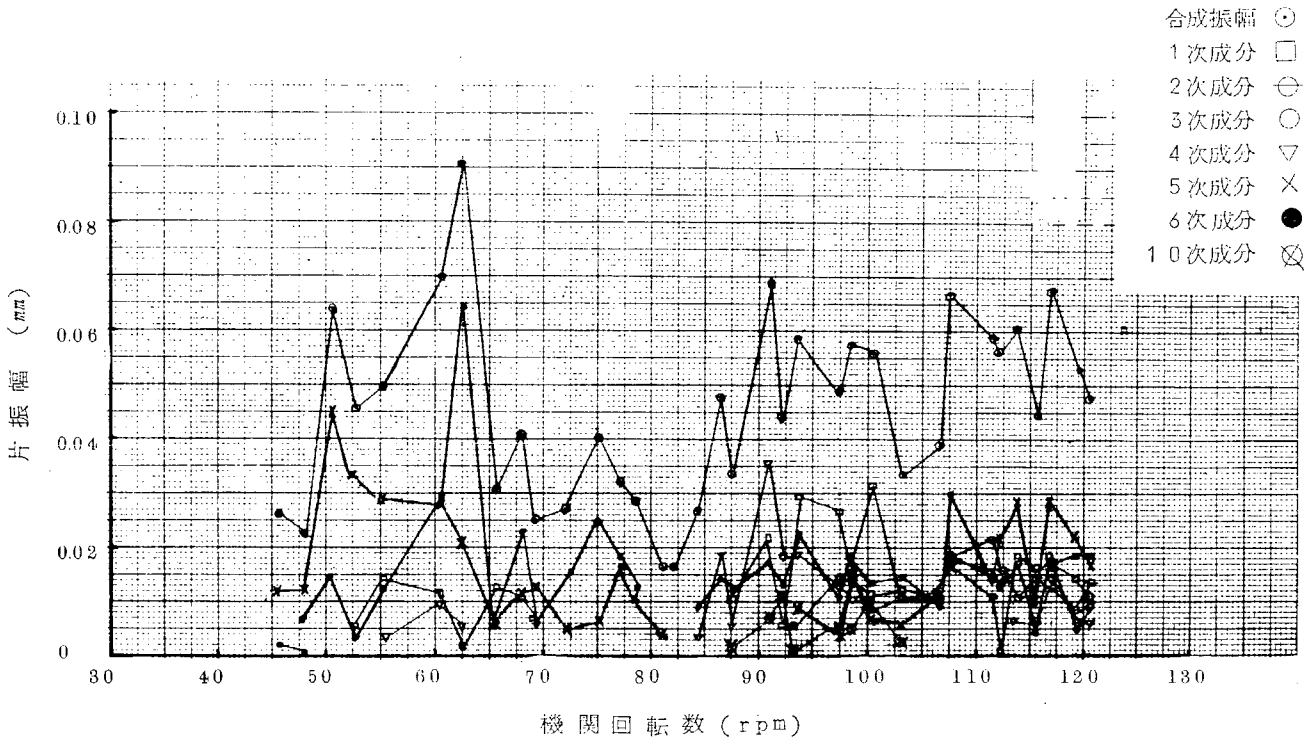
第1.1.64図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－4－75～109　　測定位置　13　　方向　H



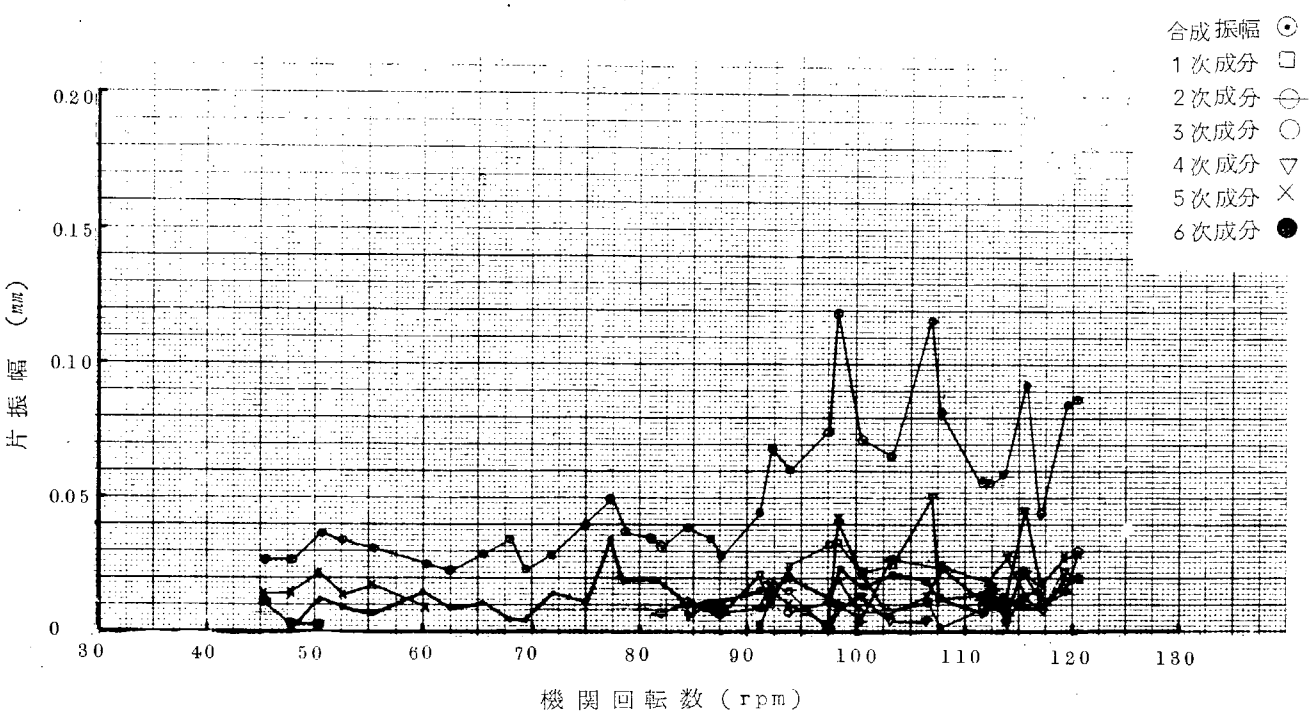
第1.1.65図　海上運転時架構振動（プレーシング除去）（半載）

測定記号　2－4－75(V)～109(V)　　測定位置　1　　方向　V



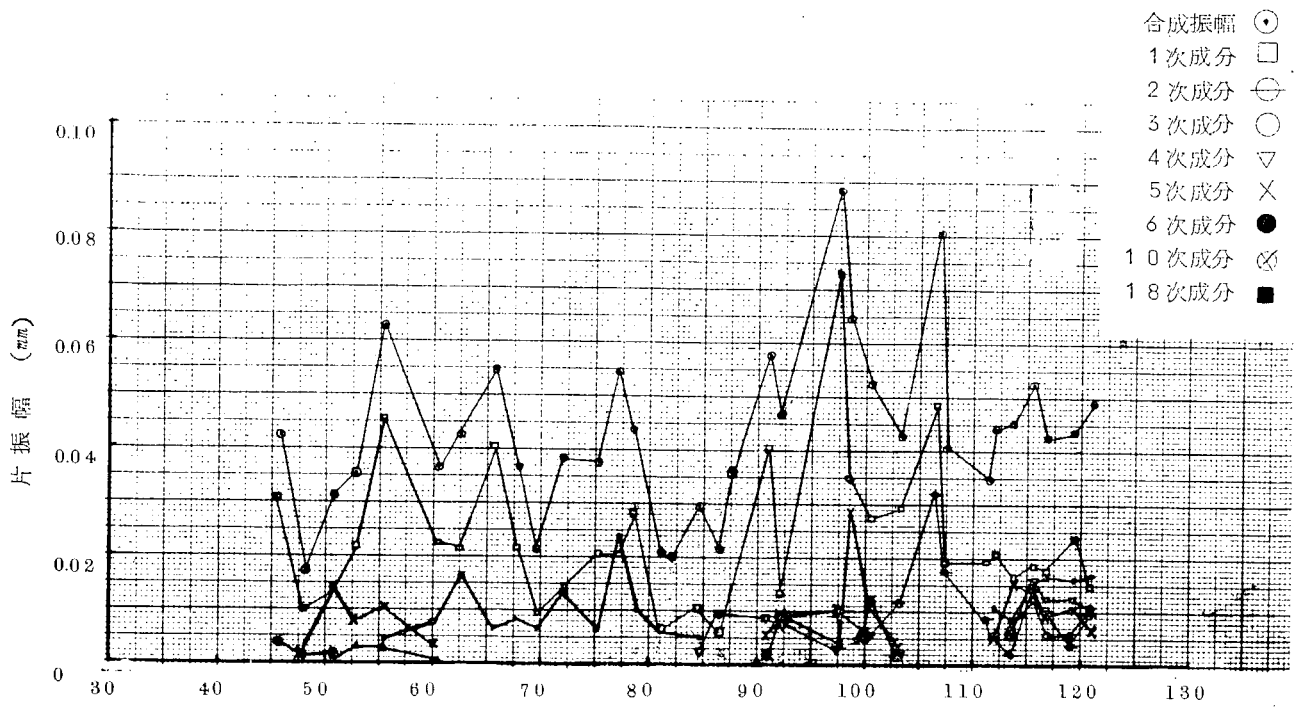
第1.1.66図　海上運転時架構振動(半載)

測定記号　2－4－75(V)～109(V)　　測定位置　3　　方向　V



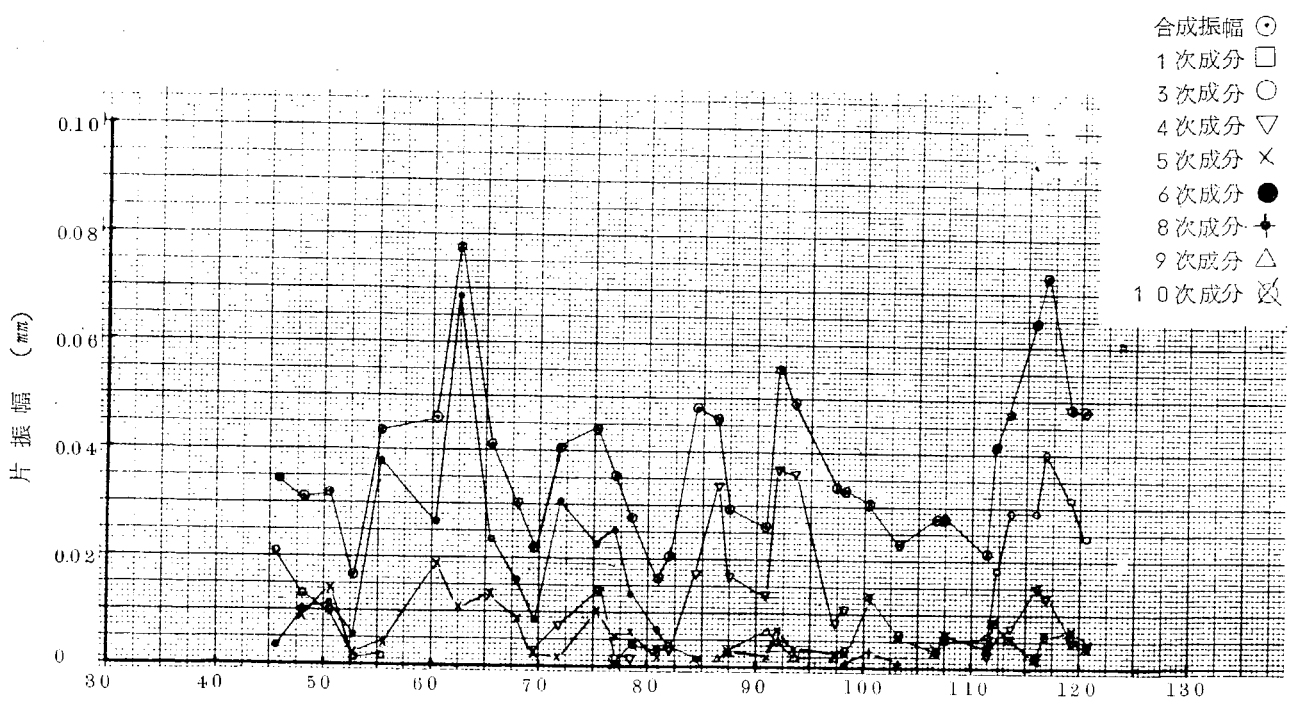
第1.1.67図　海上運転時架構振動(半載)

測定記号　2－4－75(V)～109(V)　　測定位置　5　　方向　V



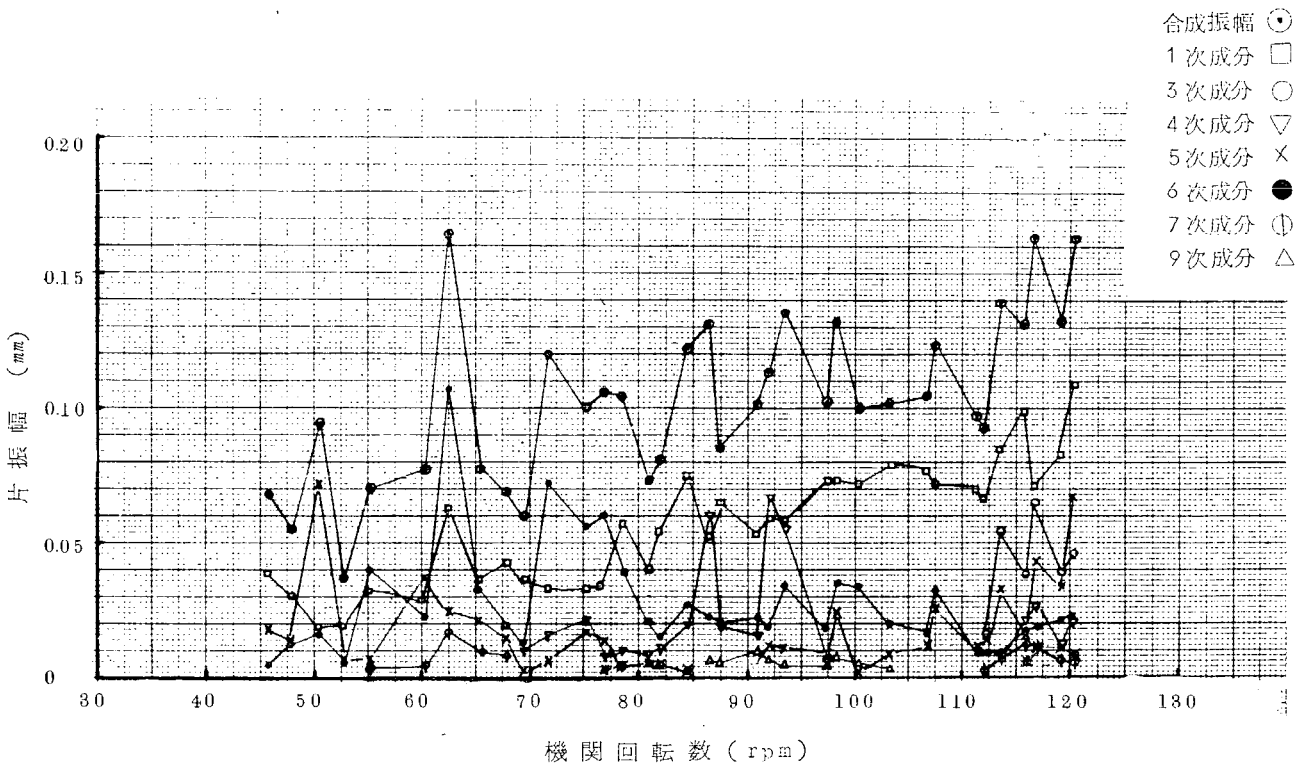
第1.1.68図　海上運転時架構振動

測定記号　2－3－75～109－1　　測定位置　1　　方向　L



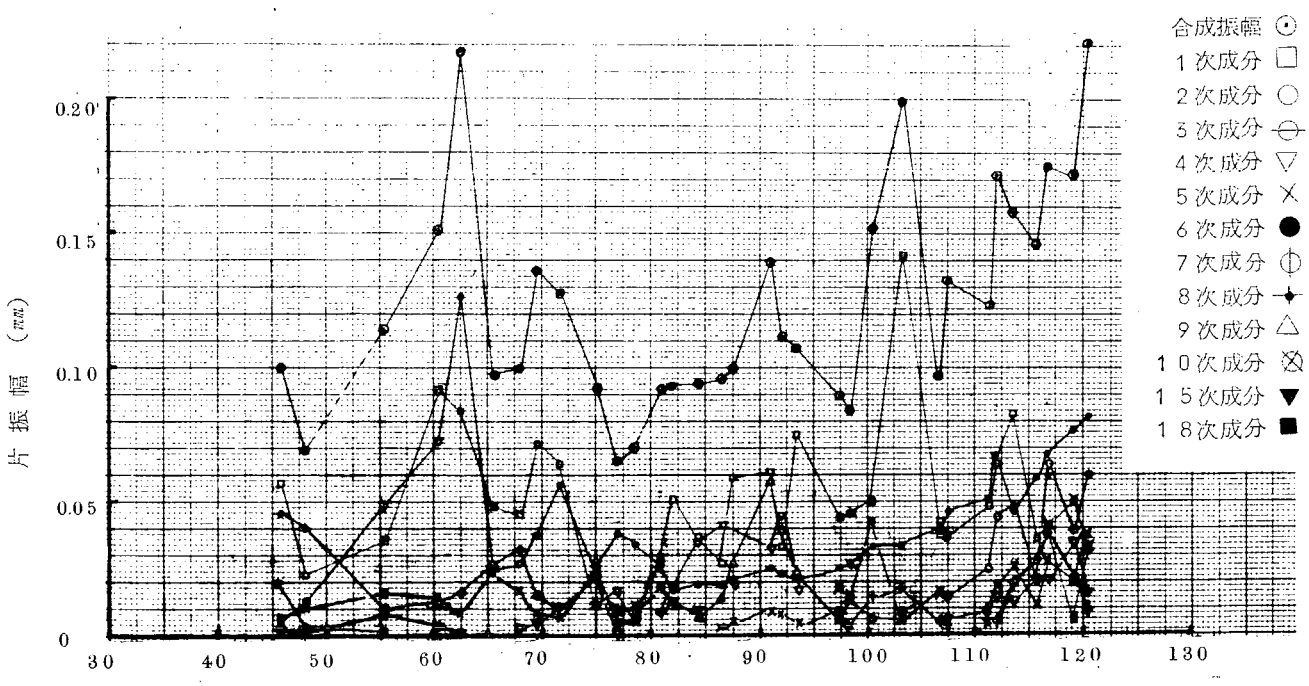
第1.1.69図　海上運転時架構振動（プレーシングなし）（半載）

測定記号　2－3－75～109－5　　測定位置　8　　方向　L

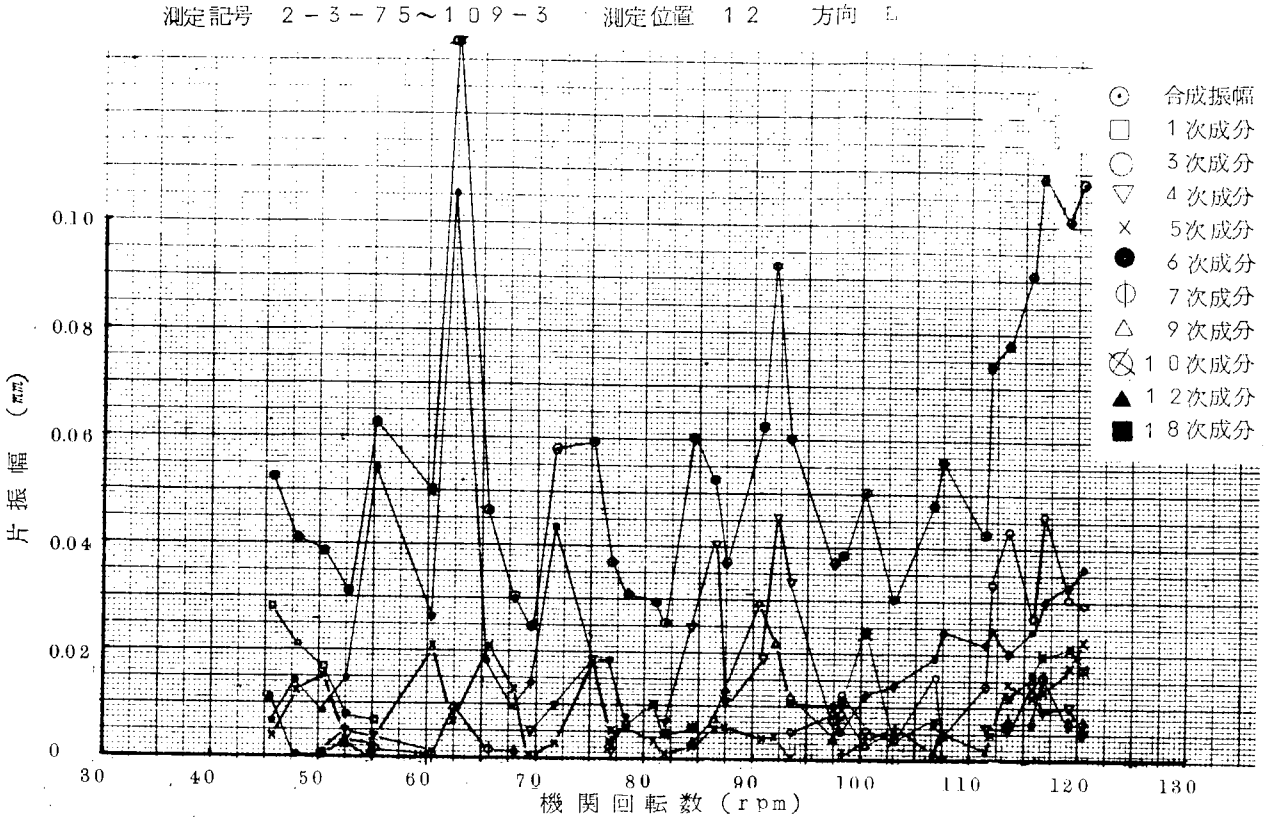


第1.1.170図　海上運転時架構振動（ブレーシングなし）（半載）

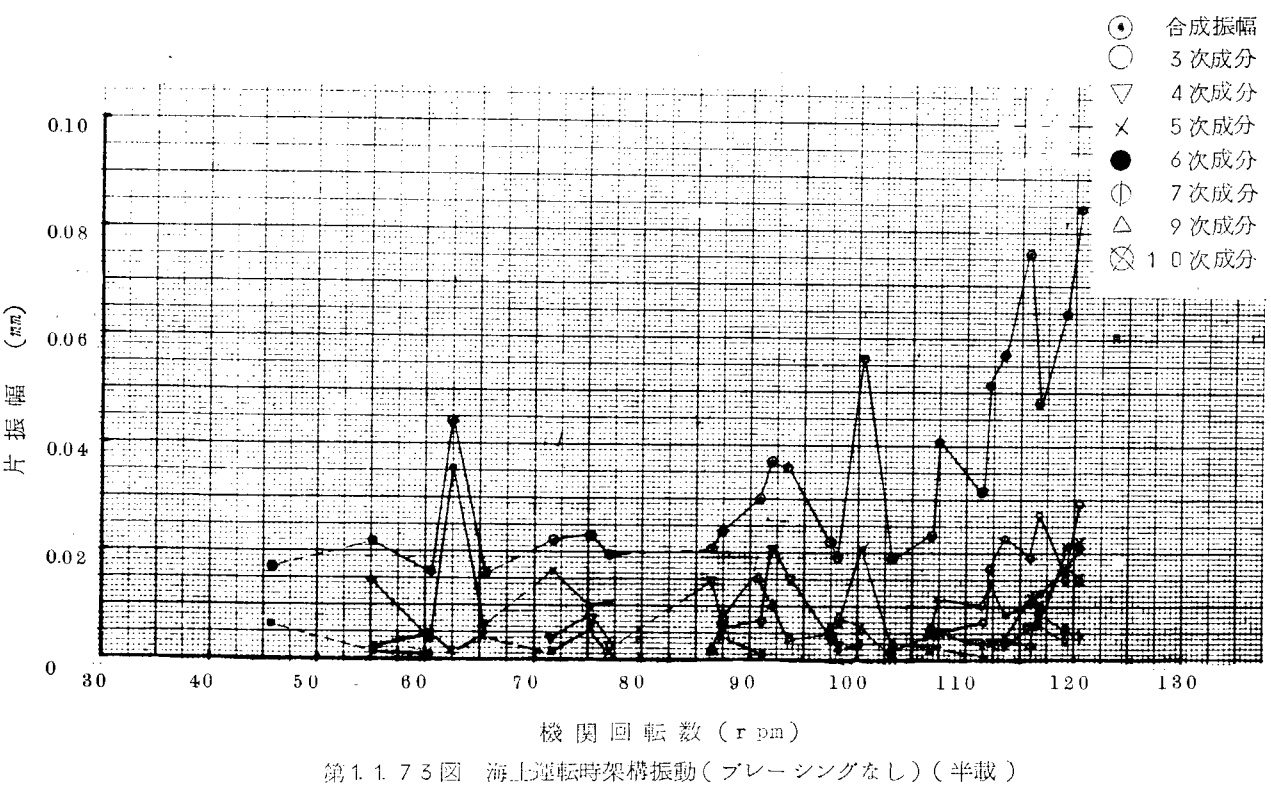
測定記号　2－3－75～109－4　測定位置　11　　方向　L



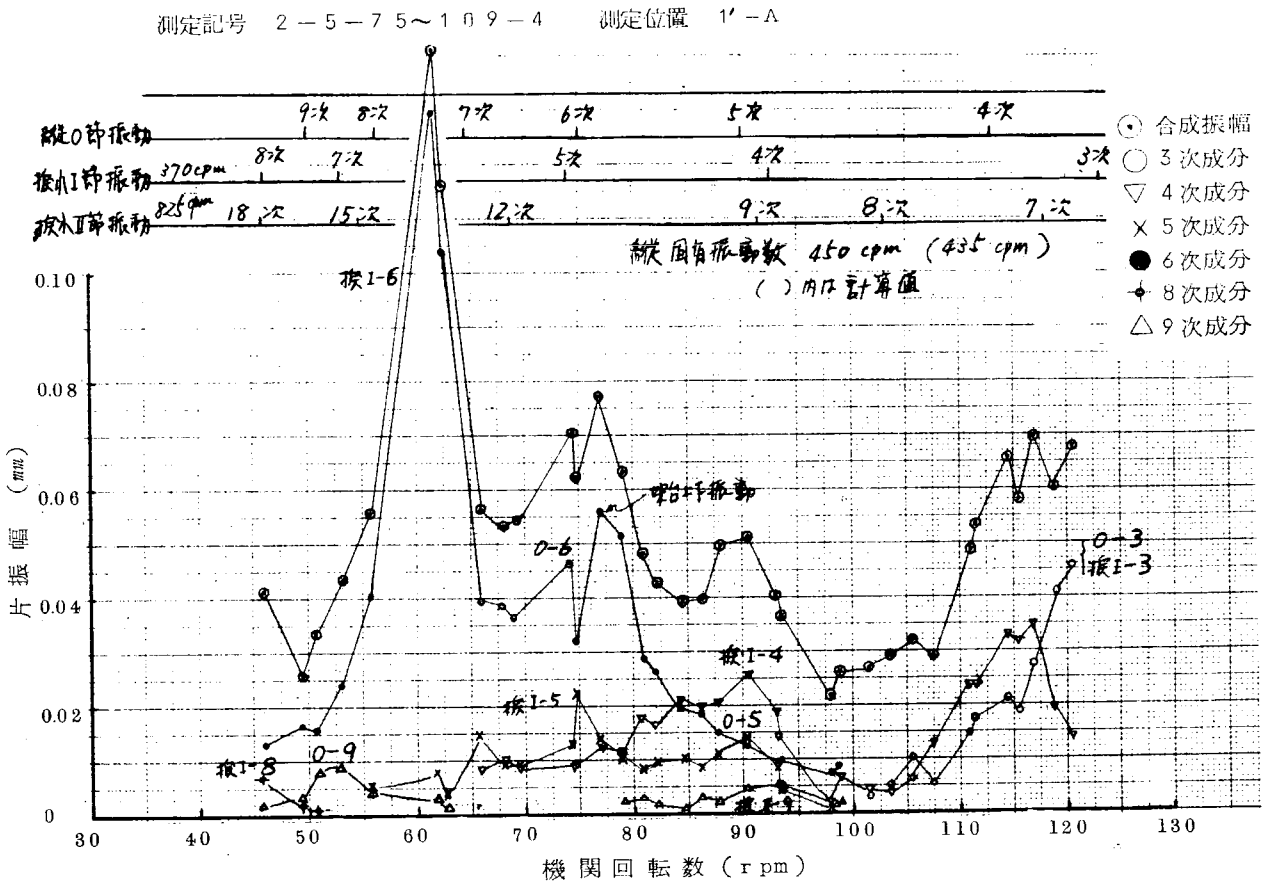
第1.1.171図　海上運転時架構振動（ブレーシングなし）（半載）



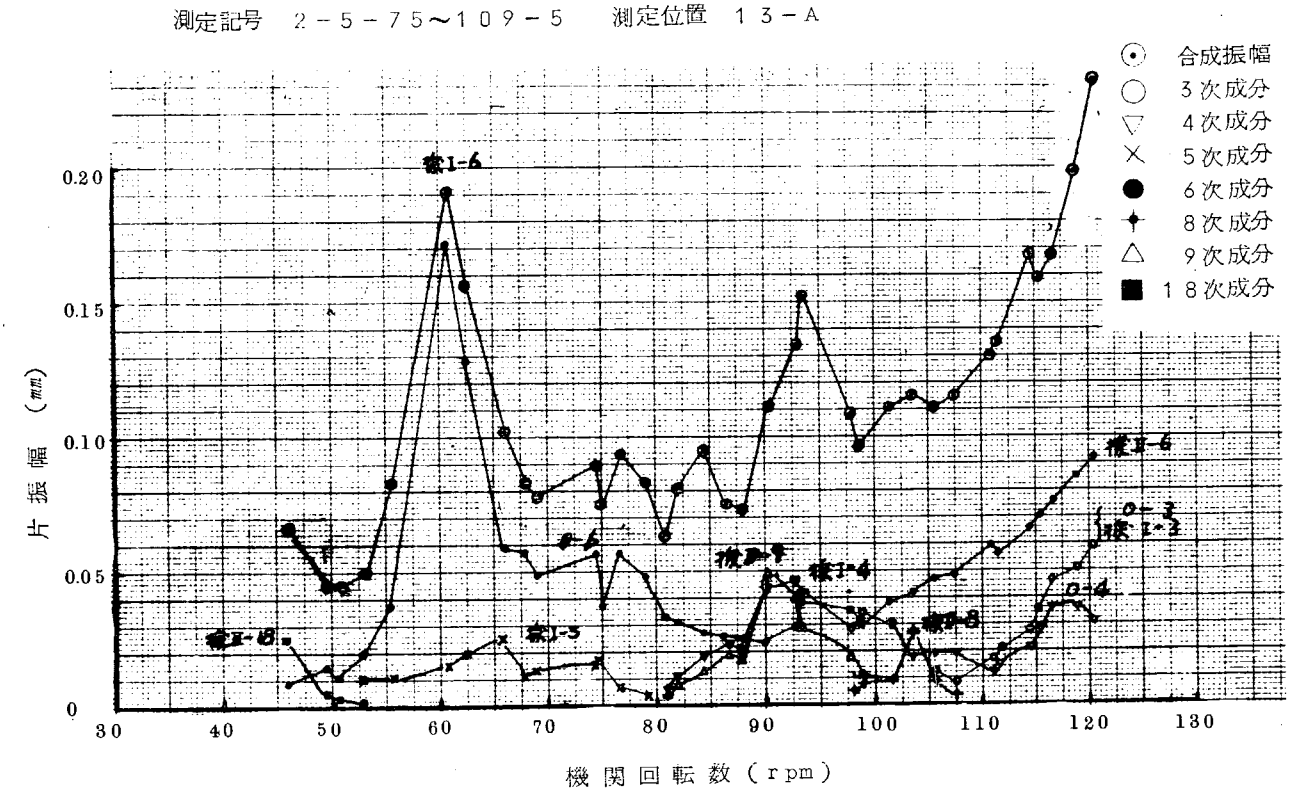
第1.1.72図　海上運転時架構振動（ブレーシングなし）（半載）



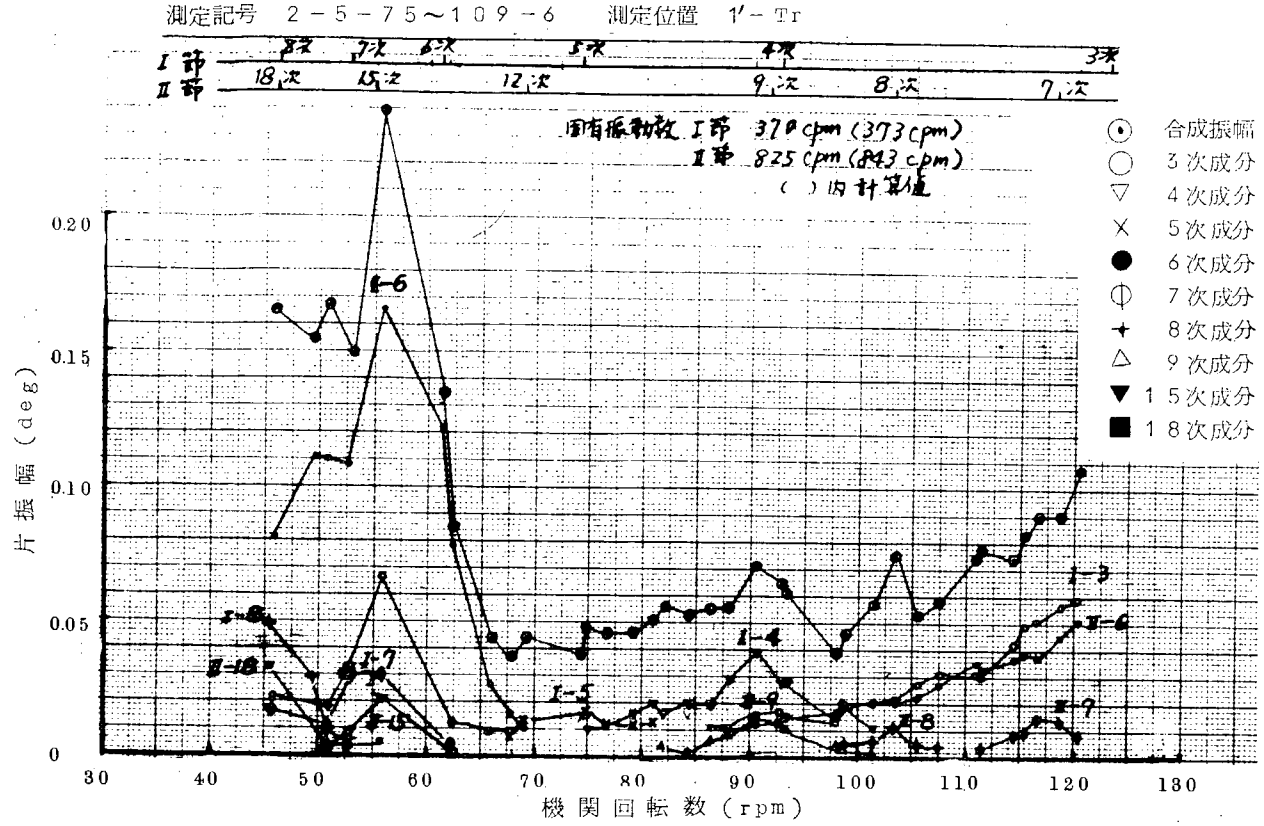
第1.1.73図　海上運転時架構振動（ブレーシングなし）（半載）



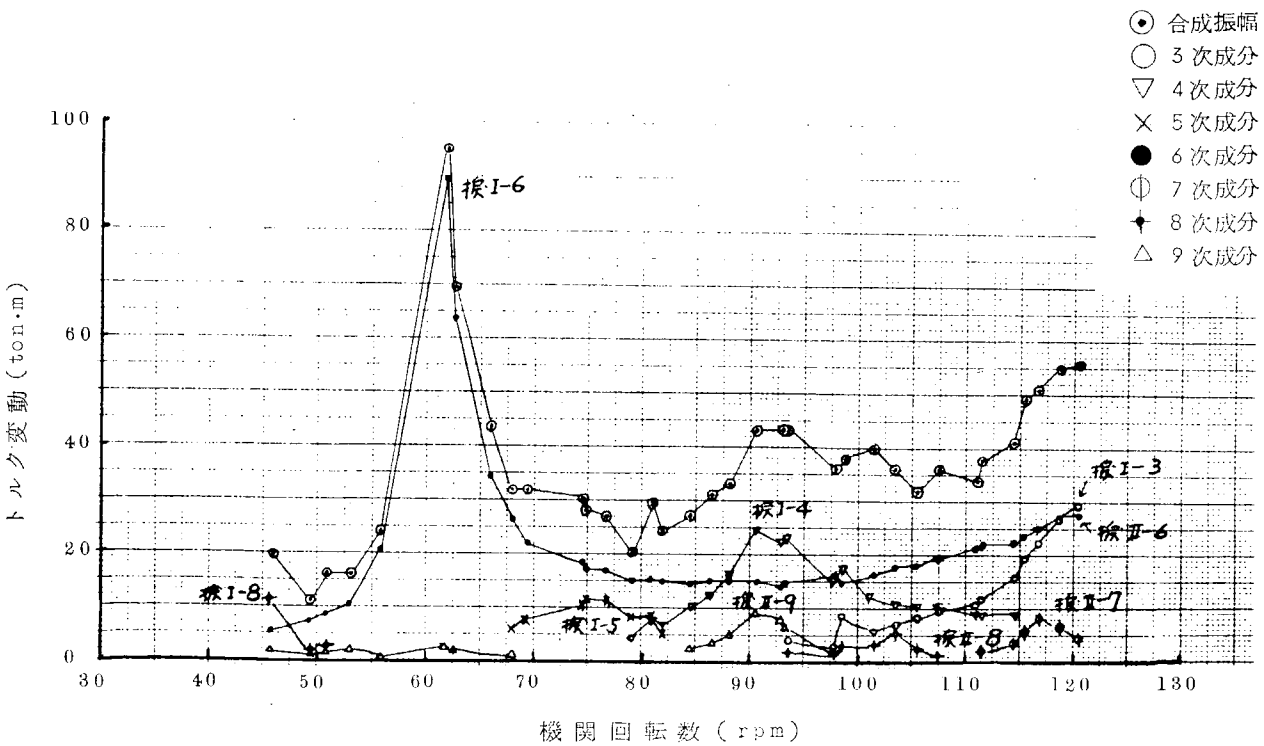
第1.1.74図　海上運転時軸系縦振動（船首端）（プレーシング除去）（半載）



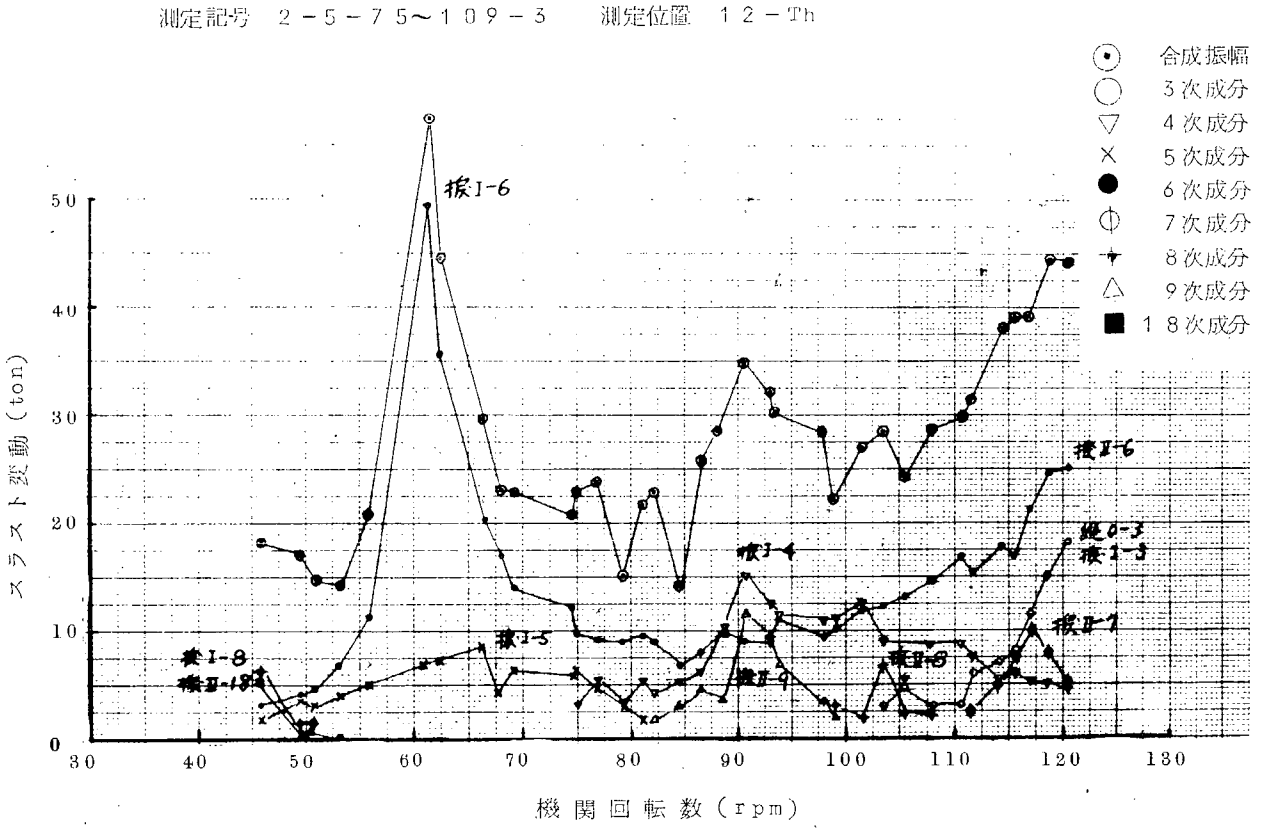
第1.1.75図　海上運転時軸系縦振動（中間軸）（プレーシング除去）（半載）



第1.1.76図　海上運転時軸系ねじれ振動（プレーシングなし）（半載）



第1.1.77図　海上運転時トルク変動（プレーシング除去）（半載）



第1.1.78図　海上運転時スラスト変動（プレーシング除去）（半載）

1.6　測定結果の検討

1.6.1　機関架構および架台の振動

陸上および海上運転時における機関架構の横および上下方向の振動ピークを第1.1.9～1.1.12表に示す。また、ピークにおける機関架構振動モードを第1.1.79～1.1.99図に示す。表中、振動モード欄に該当する図番を示す。

(1)　陸上運転時架構振動

陸上運転時における各計測点のピーク値を第1.19表に示し、それらの振動モードを第1.1.79～1.1.82図に示す。

まず、機関架構X形振動については42.8 rpm に12次：55.6 rpmに9次62.3 rpm に8次のピークが見られるが、これらの振動モード（第1.1.79図参照）からわかるように、船首端および船尾端の振幅は小さい（20～34 μ）が、ほぼ同程度の振動である。これはその振動数が514～500 cpm であることからみて、軸系I節ねじれ振動（504 cpm 、1.6.2(2)参照）による強制振動と思われる。

また、114.9 rpmに6次のピークが現われているが、(注) これも第1.1.80図(1)よりわかるようにX形振動で船尾端の振幅（265 μ）のほうが船首端のそれ（145 μ）よりも大きな値（約1.8倍）を示し、機関架台も横方向、上下方向ともX形振動に準ずる振動を示している。なお、この場合、架台横方向振動の振幅は架構上部X形振動の影響を受け22～36 μ程度の振幅を示している。これは、その振動数（690cpm）から考えて軸系ねじれ振動の影響とも考えられず機関架構の固有振動と思われる。

（注）第1.1.7～1.1.10図のスペクトル図を見ると110 rpmから114.9 rpmへ回転が上昇すると振幅が増大しているが、機関のトルクを変えて112 rpmから再実験すると振幅が大幅に減少している。これは架台ケーソンと地面の関係が変化したものと考えられ、114.9 rpmの振幅波形がきれいな正弦波を呈していることから共振点とした。ゆえにそれから計算された固有振動数にはいく分の誤差が見込まれる。

第1.1.9表　陸上運転時機関架構振動ピーク一覧表

〔注〕 1. 表中（　）内の値は位相角を示す。
2. ＊印はピークでないものを表わす。
3. 〔　〕内は基本回転数付近のピークを示す。

振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H振幅	8'－H振幅	8－H振幅	9－H振幅	10－H振幅	1－H振幅	2－H振幅	3－H振幅	1－V振幅	3－V振幅	5－V振幅	備考
X形	cpm	rpm			〔46.3rpm											第1.1.79図
	514	42.8	12	0.034(207)	0.013(120)〕＊ 0.008(138)＊	0.014 (61)	0.031 (55)	0.020(212)	0.019(58)	0.002(245)＊	0.001(45)＊	0.002(298)＊	0.002(77)＊	0.002(244)＊	－	
	500	55.6	9	0.025 (81)	0.003(146)＊	56.6rpm 〔0.018(285) 0.013(223)＊	0.028(243)	54.2rpm 〔0.023(341) 0.017(69)＊	0.021(243)	0.002(79)＊	0.001(272)＊	0.003(285)	0.002(256)	0.005(56)	－	軸系ねじれ1節振動（504cpm）による強制振動
	500	62.3	8	0.020 (0)	〔66.0rpm 〔0.008(278) 0.005(43)＊	0.019(171)	0.025(153)	0.020(7)	0.020(157)	0.001(44)＊	0.001(204)＊	0.003(219)	0.001(181)＊	0.003(321)＊	－	
X形	690	114.9	6	0.145 (34)	0.033(165)	0.163(174)	0.265(197)	0.121(28)	0.196(197)	0.022(65)	0.013(53)	0.036(224)	0.003(114)＊	0.006(3)	0.018(151)	固有振動 第1.1.80図 (1)
x形	834	46.3	18	0.023(188)	0.003(326)＊	0.011 (14)	－	0.008(198)	0.007(23)	0.003(220)	0.001(25)＊	0.007(50)	0.001(31)＊	0.001(256)＊	－	軸系ねじれ2節振動（827cpm）による強制振動 第1.1.80図 (2)
	850	94.4	9	0.035 (31)	0.019(197)	〔90.9rpm 〔0.014 (34) 0.005(108)＊	〔91.7rpm 〔0.030 (23) 0.028(42)＊	〔91.7rpm 〔0.018(314) 0.017(37)＊	〔91.7rpm 〔0.020(9) 0.015(33)＊	0.002(193)＊	0.003(31)＊	〔91.7rpm 〔0.004(87) 0.001(137)＊	0.002(204)＊	0.001(2)＊	0.003(10)＊	
x形 (1)	974	54.2	18	0.013(328)	0.006(167)	0.002 (5)＊	0.013(349)	0.009(340)	55.6rpm 〔0.009(46)＊ 0.008(336)	0.0002(332)＊	0.0003(54)＊	0.006(248)＊	0.0001(242)＊	0.001(164)＊	－	固有振動 第1.1.80図
	960	106.5	9	0.020(107)	〔106.6rpm 〔0.022(302) 0.017(304)＊	0.017(163)	104.1rpm 〔0.024(58) 0.022(115)＊	0.009(104)	0.017(118)	0.006(5)＊	0.004(330)＊	0.002(133)＊	0.002(22)＊	0.002(355)＊	0.002(98)＊	
x形 (2)	897	59.7	15	0.011(167)	0.008(327)＊	0.001 (4)＊	0.013(140)	0.009(102)	0.004(122)＊	0.001(39)＊	0.001(45)＊	〔55.6rpm 〔0.005(127) 0.002(148)＊	0.0001(158)＊	0.001(216)＊	－	固有振動 第1.1.82図
	917	91.7	10	0.046(342)	〔94.4rpm 〔0.032(282) 0.025(173)＊	〔94.3rpm 〔0.005 (230) 0.002(221)＊	0.034(337)	0.024(355)	0.021(352)	0.006(285)＊	0.004(156)＊	0.002(131)＊	0.003(314)＊	0.002(208)＊	0.002(268)＊	
その他	111	111.0	1	111.3 ＊ 0.020 (41)	111.3 ＊ 0.019(174)	112.3 ＊ 0.039(332)	111.3 0.111(179)	111.3 ＊ 0.042(344)	111.3 0.017(336)	111.3 ＊ 0.231(322)	111.3 ＊ 0.110(304)	111.3 ＊ 0.091(333)	0.645(60)	＊ 0.027(16)	＊ 0.036(112)	基礎は同位相

第1.1.10表　海上運転時架構振動のピーク（満載ブレーシング付き）

（注）：表中（　）内は位相角を示す。※印はピークでないものを表わし、〔　〕内は基本回転数付近のピークを示す。

振動形	基本周波数	基本回転数	次数	機関回転数 6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8o－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
	cpm	rpm														
H	764	63.7	12	0.006(118°)	0.015(129°)	–	64.1／0.007 0.006(143)*	0.004(165)	0.003(152)*	0.001(109)*	0.002(178)*	0.001(178)*	0.001(285)*	0.003(334)	0.001(57)*	固有振動 第1.1.83図 (1)
X	581	96.8	6	95.5 0.020(310) 0.017(304)*	0.005(105)*	0.049(138)	0.027(283)*	95.5 0.011(143) 0.010(130)*	0.004(128)*	0.004(76)*	0.005(130)	95.5rpm 0.005(151) 0.002(122)*	0.009(150)*	0.015(308)*	0.002(335)*	固有振動
X	684	114.0	6	0.032(337)	0.015(142)	0.064(165°)	116.8／0.068 0.047(327)*	116.8／0.012 0.008(163)*	0.008(50)*	0.013(339)	0.005(279)	0.003(352)*	0.013(162)	0.037(355)	0.004(18)*	固有振動 第1.1.83図 (2)
X	819	45.5	18	0.019(175)	0.007(277)	0.008(341)	0.017(144)	0.007(352)	0.001(267)	0.002(304)	0.002(120)	0.002(129)	0.002(329)	0.006(116)	0.001(137)	軸系ねじれ振動Ⅱ節の固有振動数（825 cpm）と一致。強制振動 第1.1.84図 (1)
	822	54.8	15	0.015(66)	0.005(188)	0.005(245)	0.009(67)	0.004(257)	0.0003(158)*	580 0.0012(224) 0.001(109)*	0.002(308)	0.002(327)	0.002(248)	0.003(66)	0.001(107)*	
	799	88.8	9	0.017(107)	0.012(202)	0.020(289)	0.015(117)	87.9 0.007(305) 0.005(302)*	93.8 0.006(358) 0.003(274)*	93.8 0.005(344) 0.003(172)*	0.005(15)	0.004(41)	0.003(294)	0.008(113)	0.002(139)*	
	818	116.8	7	0.013(304)	0.031(162)	114.0 0.024(15) 0.012(17)*	118.3 0.014(59) 0.012(298)*	114.0 0.003(112) 0.002(71)*	0.008(305)	0.007(71)	0.005(182)*	0.014(190)	0.006(117)*	0.003(242)*	0.010(165)*	
x	895	99.5	9	0.007(315)	0.011(176)	100.1 0.013(357) 0.009(53)*	100.1 0.01(357) 0.007(313)*	114.0 0.004(313) 0.001(0)*	0.005(3)	0.001(313)*	0.002(70)*	0.002(225)*	0.002(175)*	0.001(232)*	0.001(48)*	固有振動
x	1.047	116.3	9	0.008(64)	118.3／0.029(289) 0.015(273)*	114 0.02(76) 0.014(82)*	0.013(71)	116.8 0.005(74) 0.002(104)*	0.004(123)	0.001(32)*	0.003(103)*	0.003(165)*	0.004(173)	0.005(33)	0.001(19)*	固有振動 第1.1.84図 (2)
その他	64	64.1	1	0.002(323)*	0.012(233)*		0.002(46)*	0.012(263)*	0.010(226)*	0.033(259)	67.9 0.009(289) 0.005(208)*	67.9 0.030(352) 0.026(279)*	0.002(356)*	0.006(279)*	0.007(319)*	船体横振動㊥
〃	116	116.3	1	0.011(56)	111.1 0.063(236) 0.040(5)*	114.0 0.057(319) 0.028(89)*	0.031(313)	114.0 0.017(280) 0.012(14)*	0.101(308)	0.095(321)	116.8 0.056(331) 0.051(306)*	116.8 0.081(349) 0.067(331)*	116.8 0.020(139) 0.006(112)*	116.8 0.020(89) 0.005(81)*	0.002(199)*	船体横振動（平行） 第1.1.85図(1)
〃	125	41.8	3	0.019(161)	0.017(97)	45.5 0.012(287) 0.007(231)*	0.022(168)	45.5 0.019(289) 0.011(248)*	45.5 0.009(32) 0.006(216)*	45.5 0.010(309) 0.006(316)*	0.004(288)	45.5 0.010(295) 0.004(295)*	0.003(330)*	0.003(323)*	0.003(345)*	架構局部振動

振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8_o－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
その他	342	114.0	3	116.3 0.013(262) 0.006(235)*	111.1 0.026(120) 0.006(120)*	0.033(84)	116.3 0.029(234) 0.007(272)*	0.005(3)*	116.3 0.014(91) 0.003(99)*	111.1 0.012(94) 0.006(150)*	116.3 0.015(124) 0.006(128)*	0.005(285)*	111.1 0.017(357) 0.005(85)*	0.004(339)*	0.002(1)*	船体横振動Ⓗ
	340	67.9	5	0.010(0)	0.013(146)	0.003(97)*	0.011(190)	0.003(106)*	0.009(59)	68.8 0.017(191) 0.006(192)*	64.1 0.005(50) 0.002(106)*	0.002(3)*	0.003(56)*	0.004(333)*	0.001(122)*	
〃	400	79.9	5	0.009(3)	0.002(159)*	0.007(196)	0.019(353)	0.005(137)*	0.015(190)	0.017(40)	0.014(56)	0.015(47)	0.003(345)*	0.010(40)	0.001(265)*	船体ローリング形振動Ⓗ 第1.1.86図(2)
	454	37.8	12	0.007(183)	0.014(174)	0.003(179)	37.3 0.005(74) 0.003(281)*	0.003(184)*	37.3 0.005(87) 0.004(190)*	0.004(163)	0.003(138)	0.0002(74)*	0.018(277)	37.3 0.016(87) 0.003(342)*	37.3 0.009(104) 0.001(20)*	船体横、上下振動(平行) (軸系ねじれ振動もあり) Ⓗ Ⓥ
	451	75.1	6	0.023(337)	0.060(349)	76.1 0.019(81) 0.009(33)*	0.032(324)	76.1 0.010(92) 0.009(51)*	0.020(331)	0.019(52)	0.012(30)	0.002(68)*	76.1 0.053(178) 0.040(134)*	0.016(186)*	0.009(191)*	
	469	93.8	5	0.009(113)	88.8 0.017(262) 0.007(175)*	0.003(120)*	0.019(16)	0.003(101)*	0.010(185)	0.020(64)*	0.012(40)	0.011(22)	0.016(19)	0.033(6)	0.014(5)	第1.1.85図(2)
〃	498	99.5	5	0.005(161)*	0.012(316)*	96.8 0.013(8) 0.003(99)*	0.009(0)*	0.002(130)*	0.010(261)	0.028(168)	0.015(153)	0.004(253)*	0.007(169)*	0.027(28)	0.004(33)*	船体横振動Ⓗ
〃	534	106.8	5	0.003(89)*	0.029(91)	0.025(110)	0.008(87)*	0.007(89)	105.1 0.011(341) 0.010(118)*	0.027(121)	0.030(110)	0.011(93)	105.1 0.021(221) 0.008(226)*	109.1 0.042(75) 0.023(72)*	0.003(101)*	船体横振動Ⓗ ピッチング形 上下を含む
〃	592	118.3	5	0.013(200)	116.8 0.031(162) 0.029(172)*	116.3 0.025(228) 0.011(146)*	0.036(210)	0.002(197)*	0.016(40)	0.041(193)	0.033(176)	0.007(42)*	0.008(323)*	116.8 0.054(82) 0.047(102)*	0.007(125)*	〃 Ⓗ 第1.1.86図(1)
〃	1,140	114.0	10	111.1 0.005(347) 0.004(301)*	116.3 0.010(186) 0.005(194)*	116.3 0.017(7) 0.009(52)*	0.003(174)*	116.3 0.004(346) 0.001(230)*	0.013(203)	0.006(228)	0.002(62)*	0.001(48)*	0.001(116)*	0.005(169)	0.001(166)*	船体 8_o 部部分振動？
上下振動	72	71.6	1										0.077(17)	0.068(344)	0.126(41)	同位相上下振動Ⓥ
	107	106.8	1										0.044(53)	0.090(0)	0.024(69)	〃 Ⓥ
	382	63.7	6										0.019(302)	0.005(243)	0.005(143)	ローリング形 上下軸系ねじれ1節
	430	71.6	6										0.063(38)	0.020(195)	0.013(202)	ピッチング形 上下Ⓥ
	546	109.1	5										0.030(248)	0.042(75)	0.006(85)*	ピッチング形 上下 Ⓥ
	613	102.2	6										0.019(168)	105.1rpm 0.034(331) 0.021(321)*	105.1rpm 0.004(351) 0.003(331)*	〃 Ⓥ

第1.1.11表　海上運転時架構振動のピーク（満載プレーシング除去）

振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8₀－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
H	682	56.8	12	0.008(85)	0.012(57)	0.008(22)	0.006(80)*	0.004(20)*	0.004(353)	0.003(267)*	0.002(231)*	0.001(321)*	0.001(165)*	0.001(267)*	0.0003(264)*	固有振動 第1.1.87図(2)
H	599	99.0～100.7	6	99.0 0.031(9) 0.028(10)*	99.0 0.030(134) 0.022(140)*	0.141(193)	0.074(356)*	0.100(192)	0.011(324)*	0.012(66)*	0.014(215)*	0.001(57)*	0.080(159)*	0.006(320)*	0.002(272)*	固有振動
X	640	106.7	6	107.4 0.034(42) 0.031(35)*	0.015(230)*	0.183(235)	109.6rpm 0.104(61) 0.090(25)*	0.123(233)	0.022(6)*	0.025(95)	0.023(245)*	0.001(341)*	103.2 0.023(198) 0.015(222)*	103.2 0.043(346) 0.030(349)*	0.004(291)*	固有振動 第1.1.88図(1)
	677	1128	6	111.9 0.034(86) 0.033(78)*	0.003(95)*	0.126(277)	0.083(74)	0.057(275)	0.022(80)*	111.9 0.025(126) 0.019(139)*	0.027(280)	0.001(235)*	0.013(0)	0.026(12)*	0.006(318)*	第1.1.88図(2)
X	832	92.4	9	0.006(357)	0.008(97)*	0.022(62)	0.007(305)*	0.011(56)	0.003(299)*	0.004(338)	0.012(96)	0.005(60)	0.002(61)*	0.010(207)	0.002(218)*	軸系Ⅱ節ねじれ振動による強制振動
〃	891	99.0	9	0.010(63)	0.018(229)	100.7 0.021(76) 0.011(61)*	0.011(26)	100.7 0.015(66) 0.006(47)*	0.002(337)*	0.001(120)*	0.002(54)*	0.001(347)	0.004(126)*	0.006(238)*	0.001(306)*	固有振動 第1.1.89図(1)
	1,015	112.8	9	111.9 0.008(179) 0.006(158)*	0.018(323)	0.010(205)	0.006(87)*	0.009(222)	0.003(120)	0.005(76)	0.002(164)*	0.002(279)	0.002(224)*	0.003(60)*	0.001(80)*	第1.1.89図(2)
その他	117	117.2	1	0.006(234)	116.0 0.036(203) 0.034(235)*	0.169(284)	120.7 0.024(355) 0.011(279)*	0.174(283)	0.108(248)	116.0rpm 0.065(293) 0.057(283)*	0.003(138)*	0.017(263)*	116.0 0.023(21) 0.022(69)*	0.025(40)	0.008(85)	船体横振動
〃	135	45.0	3	0.019(190)*	0.021(46)	47.4 0.040(315) 0.039(327)*	0.043(177)	40.7 0.038(315) 0.012(346)*	0.013(103)	0.007(287)	0.003(258)*	0.001(204)*	0.003(319)*	0.003(323)*	0.001(283)*	架構局部振動 第1.1.90図(1)
〃	275	68.7	4	0.014(241)	71.8 0.011(276) 0.007(254)*	0.013(68)*	0.016(229)*	0.017(46)	0.006(86)	0.008(290)	0.004(187)*	0.001(160)	0.002(354)*	0.003(183)*	0.001(132)*	船体局部振動
〃	268	53.5	5	0.018(169)	0.024(146)	0.029(132)	0.023(163)	0.027(128)	0.009(78)	0.008(100)*	0.006(77)*	0.003(358)*	0.006(5)*	0.008(301)	0.001(139)	第1.1.90図(2)
〃	284	56.8	5	0.001(65)*	60.3rpm 0.009(79) 0.002(149)*	0.006(330)*	0.003(55)*	0.006(63)*	0.002(350)*	0.023(105)	0.010(87)	60.3rpm 0.005(335) 0.004(54)*	0.009(37)	0.007(342)*	0.001(304)*	船体横振動Ⓗ
〃	320	106.7	3	0.007(258)*	0.009(116)*	0.054(22)	0.009(235)*	0.044(23)	107.4 0.011(358) 0.008(130)*	0.014(265)	103.2 0.015(44) 0.008(133)*	0.004(116)	0.005(40)*	0.005(84)*	0.002(27)*	船体横振動による架構局部振動 第1.1.91図(1) Ⓗ

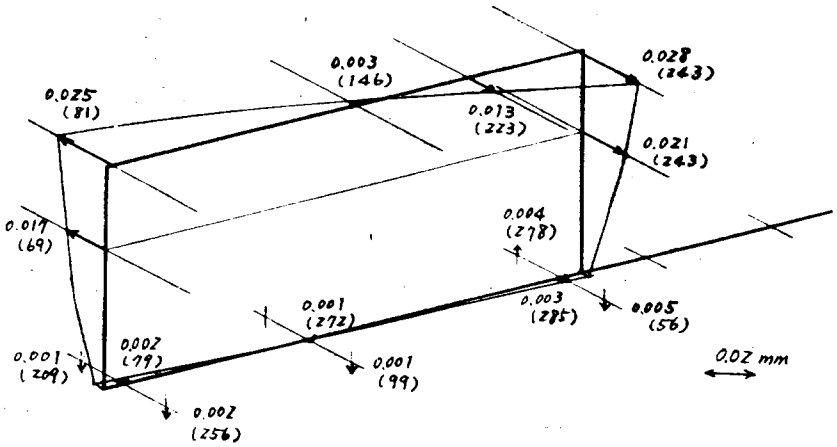
振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8o－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
その他	405	81.0	5	0.008(311)	0.005(88)*	0.041(138)	0.019(319)	0.026(117)	0.025(153)	0.012(20)	0.007(55)*	0.002(8)*	0.004(277)*	0.013(8)	0.003(101)*	船体横振動による架構局部振動㊀ 第1.1.91図 (2)
〃	406	67.6	6	0.023(305)	64.6 0.011(162) 0.001(277)*	0.039(138)	0.022(309)*	68.7 0.027(135) 0.025(128)*	0.015(210)	0.009(15)	0.003(64)*	0.003(22)	0.016(0)*	0.006(317)*	0.001(132)*	
〃	483	96.6	5	0.006(89)*	0.030(75)	0.029(83)	94.7 0.021(350) 0.017(54)*	94.7 0.015(54) 0.012(93)*	0.009(172)	99.0 0.023(92) 0.018(62)*	99.0 0.018(88) 0.014(49)*	0.010(289)	0.013(316)	94.7 0.068(169) 0.041(266)*	94.7 0.016(173) 0.009(269)*	〃 ㊁ 第1.1.87図 (1)
〃	458	76.4	6	0.028(340)*	0.067(8)	0.073(76)	0.041(332)	0.048(84)	73.8 0.026(283) 0.019(353)*	0.016(27)	0.008(5)*	0.001(236)*	0.083(170)	0.036(186)	0.006(183)	船体横、上下振動㊃Ⓥ（軸系縦振動あり）第1.1.92図 (1)
〃	534	106.7	5	107.4 0.011(118) 0.008(94)*	0.027(98)*	0.040(146)	103.2 0.033(353) 0.020(106)*	0.034(141)	0.010(331)	0.016(115)*	0.014(118)*	0.001(18)*	0.012(197)*	0.025(50)*	0.004(74)*	船体横振動にもとずく架構局部振動㊃
	530	88.3	6	86.2 0.032(345) 0.027(351)*	0.038(34)	0.072(130)	0.054(338)	0.051(133)	0.001(212)*	89.7 0.012(72) 0.010(46)*	0.004(102)*	0.001(58)*	0.014(142)	0.015(286)*	0.002(300)*	
〃	586	117.2	5	0.010(311)	0.034(237)	120.7 0.066(275) 0.030(247)*	0.034(256)	0.041(213)	0.004(200)*	116.0rpm. 0.021(181) 0.013(191)*	116.0 0.030(174) 0.019(191)*	0.001(359)*	0.014(338)	120.7 0.051(111) 0.048(92)*	0.011(113)	船体横振動㊁ 第1.1.92図 (2)
上下振動	431	71.8	6										0.056(33)*	0.017(191)	0.006(179)	ピッチング形上下振動Ⓥ
	474	94.7	5										96.6 0.013(316) 0.012(175)*	0.068(169)	0.016(173)	同位相
	486	81.0	6										0.003(209)*	0.035(279)	0.008(287)	〃
	564	112.8	5										0.024(272)	0.050(74)	0.010(88)	ピッチング形Ⓥ
	619	103.2	6										0.023(198)	0.009(346)	0.004(316)*	ピッチング形Ⓥ
	709	117.2	6										0.014(234)	0.042(9)	0.010(0)	ピッチング形

第1.1.12表　海上運転時架構のピーク（半載プレーシング除去）

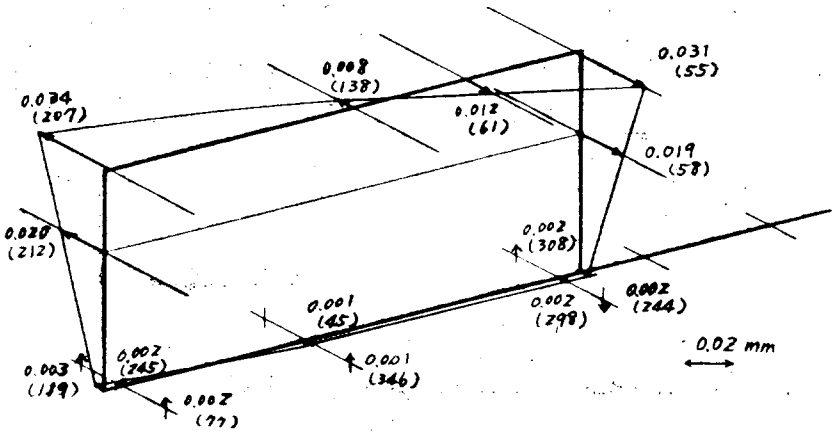
振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8_0－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
H	644	55.3	12	52.7 0.011(86)* 0.009(109)*	0.009(89)	0.010(57)	60.4 0.006(182)* 0.004(116)*	60.4 0.007(29)* 0.002(65)	0.0004(282)*	0.001(250)*	0.001(188)	0.004(168)	0.001(342)	0.001(253)*	0.003(252)	固有振動 第1.1.94図 (2)
X	596	119.3	5	120.6 0.124(201)* 0.100(188)*	0.087(19)	0.104(24)	120.6 0.102(219)* 0.085(190)*	0.124(22)	0.031(286)*	120.6 0.041(186)* 0.040(172)	120.6 0.029(315)* 0.015(294)	0.014(199)*	116.8 0.029(37)* 0.022(108)*	120.6 0.029(227)* 0.028(212)	0.010(299)	固有振動
	602	100.4	6	0.302(60)	98.3 0.032(115)* 0.019(152)*	0.180(238)	103.3 0.185(65)* 0.182(56)	98.3 0.168(205)* 0.157(236)*	0.011(258)*	103.3 0.030(79)* 0.024(70)*	98.3 0.026(209)* 0.025(247)*	0.010(292)	0.013(223)*	0.017(23)*	0.006(230)*	第1.1.93図 (1)
X	682	113.6	6	115.7 0.214(103)* 0.190(98)*	0.053(233)	0.120(264)	115.7 0.123(92)* 0.113(87)	0.099(265)	0.014(64)*	115.7 0.019(137)* 0.017(145)*	0.015(288)*	0.013(58)	0.008(242)*	0.013(34)	0.008(264)*	固有振動 第1.1.93図 (2)
X	819	91.0	9	0.008(296)*	0.003(199)*	0.026(39)	92.1 0.011(350)* 0.004(13)*	0.021(35)	0.003(232)*	0.004(276)	0.005(103)	0.006(333)	0.006(318)*	0.013(117)*	0.009(128)*	第1.1.94図 (1)
	819	81.9	10	0.026(331)	0.018(189)	0.015(225)	0.018(328)	0.006(288)*	0.016(214)	0.005(44)*	0.004(342)*	0.010(17)	0.001(208)*	0.002(275)*	—	軸系Ⅱ節ねじれ振動による強制振動
	823	45.7	18	0.010(290)	0.007(318)	0.016(4)	0.005(241)	0.0004(192)*	0.001(346)	0.004(194)	0.002(93)	0.001(246)*	0.002(287)	0.006(86)	0.004(63)	
x	904	100.4	9	0.044(107)	0.031(265)	0.025(81)	0.027(97)	0.022(93)	0.001(281)*	0.002(191)*	0.003(95)*	0.006(288)	0.002(217)*	0.004(310)*	0.003(32)*	固有振動 第1.1.95図(1)
	910	91.0	10	0.004(144)*	92.1 0.017(282)* 0.014(305)*	0.017(274)	0.009(117)*	0.006(181)*	0.015(314)*	0.004(155)*	0.013(97)	0.010(104)	0.007(289)*	0.003(130)*	0.002(127)*	
x	1.041	115.7	9	0.024(175)	113.6 0.020(1) 0.016(15)*	0.014(187)	0.012(132)*	0.014(192)	0.001(262)*	0.002(156)*	—	0.004(188)*	0.002(153)*	0.005(308)*	0.001(297)*	固有振動
	1,074	107.4	10	0.020(259)	0.003(132)*	106.7 0.014(257)* 0.004(210)*	0.006(255)*	0.004(322)*	0.015(197)	0.005(59)	0.004(215)	0.006(27)	0.006(350)*	0.012(95)	0.005(107)	第1.1.95図 (2)
その他	107	106.7	1	107.4 0.143(54) 0.108(81)*	107.4 0.154(39)* 0.080(35)*	107.4 0.106(42)* 0.080(43)*	0.143(54)	107.4 0.190(27)* 0.130(37)	107.4 0.097(10)* 0.090(359)*	103.3 0.151(273)* 0.110(315)	107.4 0.073(339)* 0.049(311)	103.3 0.147(296)* 0.118(356)	0.012(169)*	0.051(160)	0.048(229)	船体横振動 （平行） 第1.1.96図(1)
〃	242	60.4	4	0.035(214)	0.007(249)*	0.023(15)	62.5 0.022(243)* 0.007(223)*	0.027(33)	0.003(214)*	0.013(83)	0.009(118)	0.019(173)	0.010(199)	0.003(46)*	0.005(17)	船体ローリング形振動
	241	48.1	5	0.028(34)*	0.033(32)	0.040(25)	0.021(347)*	0.027(180)	50.6 0.022(201)* 0.011(357)*	0.022(260)*	50.6 0.029(257)* 0.020(202)*	50.6 0.094(275)* 0.041(222)*	50.6 0.045(356)* 0.012(336)*	50.6 0.022(158)* 0.015(325)*	50.6 0.014(185)* 0.001(291)*	第1.1.96図(2)

振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8₀－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
その他	272	67.9	4	0.013(219)*	65.7 0.016(313)* 0.011(95)*	0.022(61)	0.023(233)*	0.027(61)	0.003(144)*	65.7 0.010(14)* 0.008(344)*	0.001(98)*	0.0004(135)*	0.002(355)*	0.003(336)*	0.001(196)*	船体横振動
〃	264	52.7	3	0.088(58)	0.058(53)	0.020(20)*	0.106(37)	0.024(4)*	0.010(141)*	0.089(41)	0.008(262)*	0.088(253)*	0.034(338)*	0.015(279)*	0.008(156)*	第1.1.97図(1)
〃	320	106.7	3	0.021(301)*	103.3 0.022(169)* 0.011(75)*	0.047(14)	0.063(277)	0.060(10)	0.008(92)*	0.002(47)*	0.014(66)	103.3 0.013(261)* 0.007(36)*	0.005(144)*	0.012(87)	0.006(60)*	船体横振動にもとずく架構局部振動
〃	313	62.5	5	0.069(194)	0.085(137)	0.107(110)	0.067(168)	0.161(100)	0.060(66)	0.030(125)	0.039(93)	0.037(104)*	0.021(179)*	0.005(296)*	0.003(168)*	〃 第1.1.97図(2)
〃	346	86.5	4	84.4 0.046(264)* 0.019(211)*	84.4 0.020(297)* 0.011(293)*	84.4 0.019(66)* 0.014(338)*	0.017(209)*	84.4 0.028(74)* 0.010(345)*	0.010(282)	0.015(134)	0.010(173)	84.4 0.010(147)* 0.007(260)*	0.019(109)	0.010(225)	0.010(285)*	船体、ローリング形横振動
〃	350	116.8	3	0.048(208)	0.067(155)	0.031(96)	0.055(276)	119.3 0.060(72)* 0.028(48)*	0.002(249)*	0.014(77)*	0.011(85)*	0.007(16)*	0.019(100)	0.015(325)*	0.006(32)*	
〃	359	71.8	5	75.2 0.024(211)* 0.017(253)*	75.2 0.018(189)* 0.009(245)*	0.008(136)*	0.015(274)	0.010(67)*	0.002(81)*	0.017(131)	0.006(160)	0.006(274)*	0.005(248)*	0.003(192)*	0.004(241)*	
〃	374	93.6	4	92.1 0.057(260)* 0.043(328)*	0.036(14)	0.030(39)	92.1 0.046(252)* 0.014(337)*	0.043(40)	0.005(21.1)*	0.018(28)	92.1 0.019(249)* 0.005(336)	92.1 0.017(272)* 0.004(286)*	91.0 0.035(87)* 0.019(312)*	91.0 0.007(232)* 0.004(176)*	91.0 0.008(278)* —	ピッチング形上下振動に伴なう架構H形振動、軸系I節ねじれ振動による強制振動第1.1.98図(1)
〃	375	62.5	6	0.087(16)	0.068(46)	0.049(50)	0.078(2)	0.076(50)	0.017(247)	0.024(155)	0.005(301)*	0.015(320)	0.064(329)	60.4 0.016(295)* 0.009(97)*	0.017(120)	
〃	402	100.4	4	0.017(300)*	0.027(59)	0.048(72)	0.039(278)	0.050(76)	0.005(40)	0.005(78)	0.003(140)*	0.002(259)*	0.006(12)*	0.014(236)	0.006(14)	架構局部振動（X形）第1.1.98図
〃	416	69.4	6	0.018(30)*	0.043(103)	71.8 0.071(132)* 0.067(119)*	67.9 0.023(338)* 0.009(17)	71.8 0.075(133)* 0.061(118)*	71.8 0.010(101)* 0.005(144)*	71.8 0.016(159)* 0.014(70)*	71.8 0.014(0)* 0.004(106)*	0.011(268)	0.006(307)*	0.005(194)*	0.007(121)*	(2)（V形）
〃	463	115.7	4	0.067(282)	0.014(267)	119.3 0.041(115) 0.019(120)	0.055(259)	119.3 0.066(104)* 0.035(111)*	0.008(261)	116.8 0.010(22)* 0.005(5)*	—	0.002(207)*	0.006(22)*	0.013(88)	0.015(99)	架構局部振動（X形）
〃	492	98.3	5	0.034(326)*	0.049(282)	0.016(248)	0.024(344)*	0.032(265)	0.003(45)*	0.015(116)	0.003(287)*	0.007(315)*	0.016(126)	0.042(121)	0.029(150)	船体上下振動に伴なう架構局部振動（H形）
〃	534	106.7	5	0.081(78)*	0.015(42)*	0.043(273)	0.081(65)	0.047(275)	0.015(204)	0.019(62)*	0.011(203)*	0.010(334)*	0.011(154)*	0.013(55)*	0.006(238)*	架構局部振動（X形）

振動形	基本周波数	基本回転数	次数	6－H振幅	7－H	8－H	9－H	10－H	8_0－H	1－H	3－H	13－H	1－V	3－V	5－V	備考
その他	546	91.0	6	0.194(4)	0.039(50)	0.075(176)	0.106(2)	0.079(175)	0.004(197)*	0.010(29)*	92.1 0.012(209) 0.008(182)	0.001(40)*	0.017(179)	0.016(331)*	0.003(339)*	架構局部振動（X形）
	558	111.5	5	0.112(140)	112.1 0.059(225) 0.055(150)*	112.1 0.066(227) 0.005(27)*	0.072(134)	0.026(336)*	0.012(245)*	112.1 0.027(97) 0.019(101)*	0.012(310)	112.1 0.030(3) 0.014(336)*	0.016(197)*	0.013(81)*	0.003(144)*	（V形） 第1.1.99図(1)
〃	579	115.7	5	0.062(98)*	0.031(350)*	0.038(337)*	0.039(103)*	0.032(346)*	0.032(259)	0.016(152)*	－	0.030(115)*	0.011(353)*	0.014(200)*	0.014(265)*	船体8_0部、部分振動
〃	644	107.4	6	106.7 0.252(97) 0.175(104)*	0.074(142)	0.049(236)*	0.106(85)*	0.046(234)*	0.019(329)	0.021(140)	0.019(289)*	0.008(47)*	0.030(220)	0.015(13)*	0.004(261)*	ピッチング形上下振動を伴なう架構局部振動 第1.1.99図(2)
〃	253	50.6	5										0.045(356)	0.022(158)	0.014(185)	ピッチング形上下
	364	91.0	4										0.035(87)	0.007(232)*	0.008(278)*	〃
	375	62.5	6										0.064(329)	60.4 0.016(295)* 0.009(97)	0.017(120)	〃 前出
	407	67.9	6										0.023(271)	65.7 0.011(155)* 0.005(214)	0.008(104)*	ローリング形上下
	463	77.1	6										752 0.026(76) 0.018(136)*	0.035(203)	0.024(216)	ピッチング形上下
	492	98.3	5										0.016(126)	0.042(121)	0.029(150)	同位相前出
	562	93.6	6										0.023(141)	0.020(301)	－	
	568	113.6	5										0.028(333)	0.038(142)	0.016(183)	ピッチング形
	644	107.4	6										0.030(220)	0.015(13)*	0.004(261)*	ピッチング形前出
	1,004	100.4	10	0.004(306)*	0.012(276)	0.002(232)*	0.007(163)*	0.007(103)*	0.004(280)*	0.015(133)	0.014(48)	0.018(30)	0.010(281)	0.020(55)	0.011(68)	船体下部左右振動ピッチング形上下振動

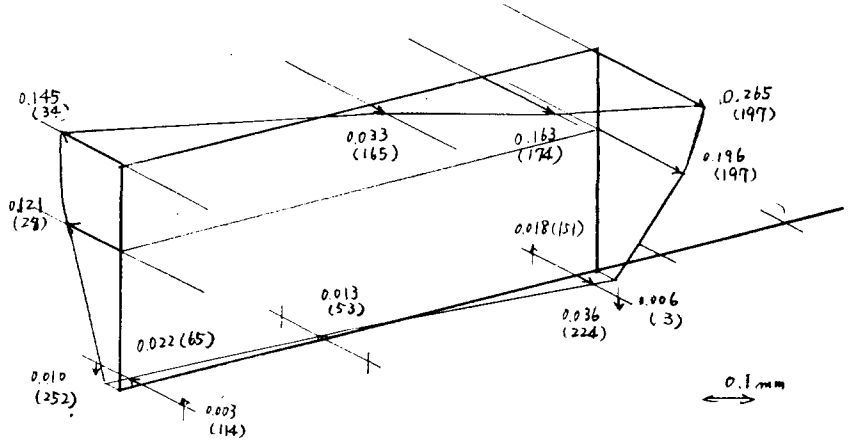


(1) 55.6 rpm × 9次

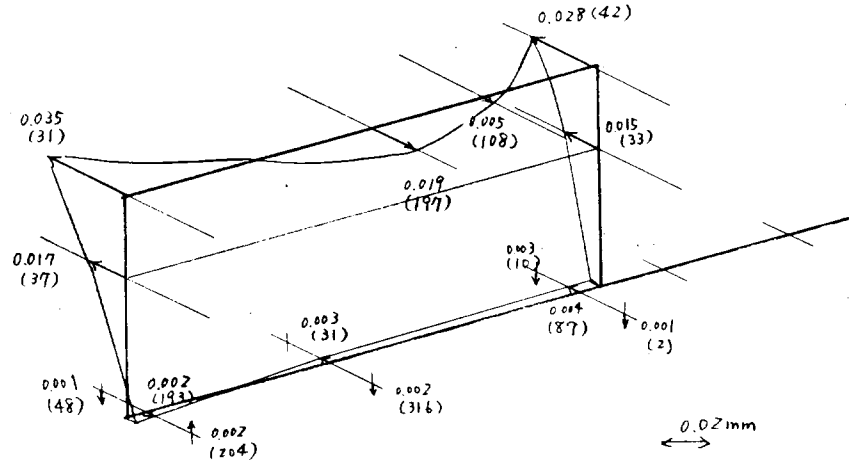


(2) 42.8 rpm × 12次

第1.1.79図 ピークにおける機関架構振動モード(陸上運転)

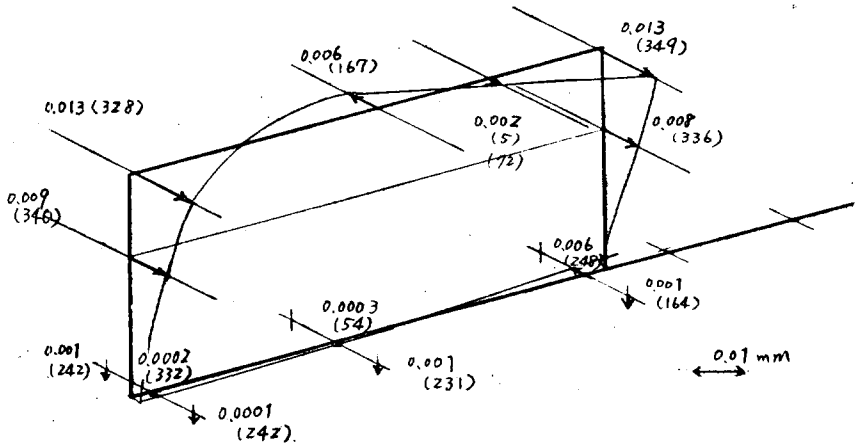


(1) 114.9 rpm × 6次

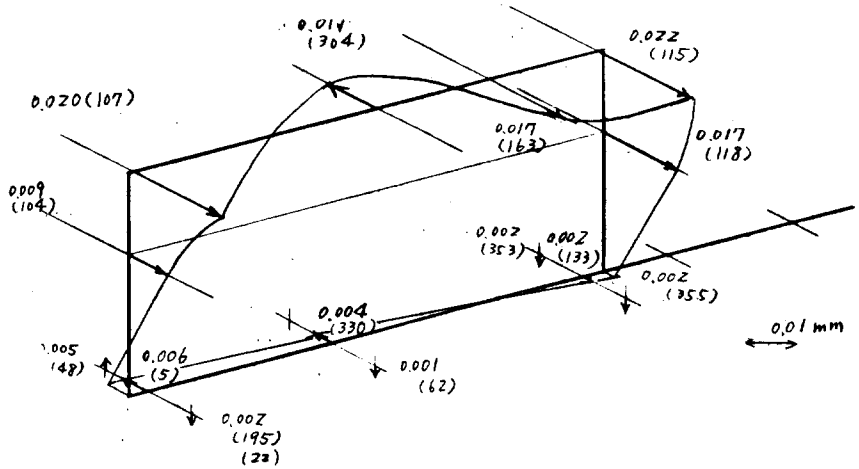


(2) 94.4 rpm × 9次

第1.1.80図 ピークにおける機関架構振動のモード(陸上運転)

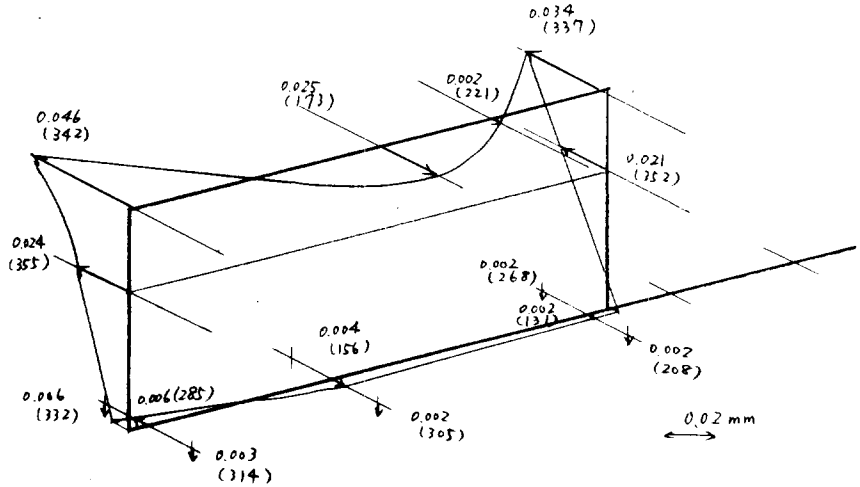


(1) 54.2 rpm × 18次

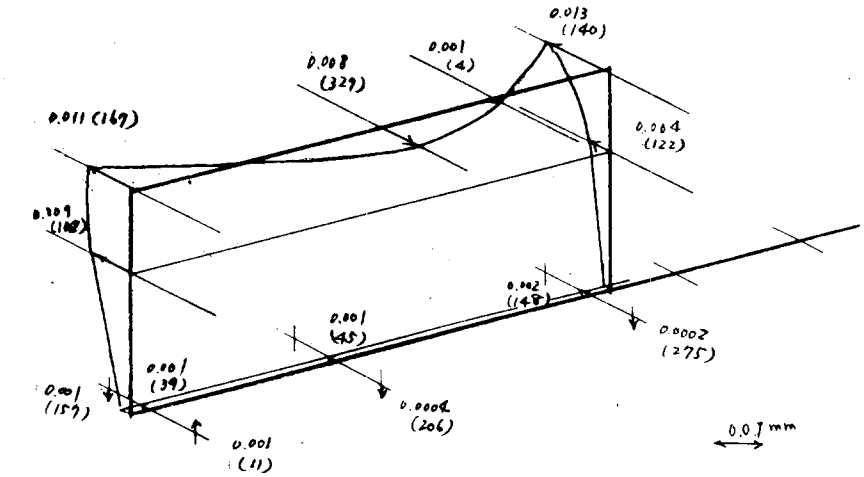


(2) 106.5 rpm × 9次

第1.1.81図　ピークにおける機関架構振動のモード（陸上運転）

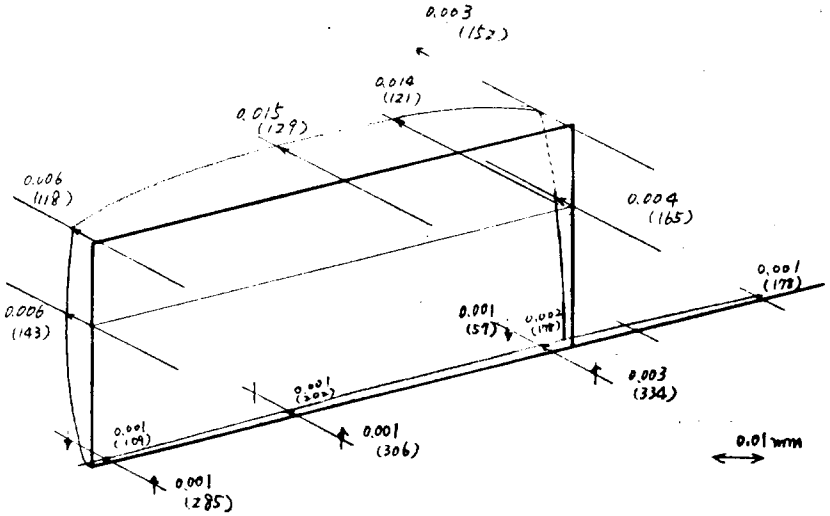


(1) 91.7 rpm × 10次

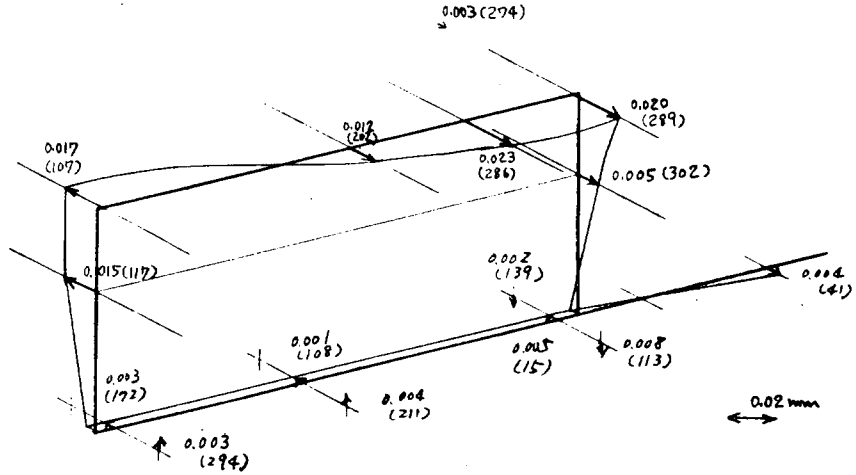


(2) 59.7 rpm × 15次

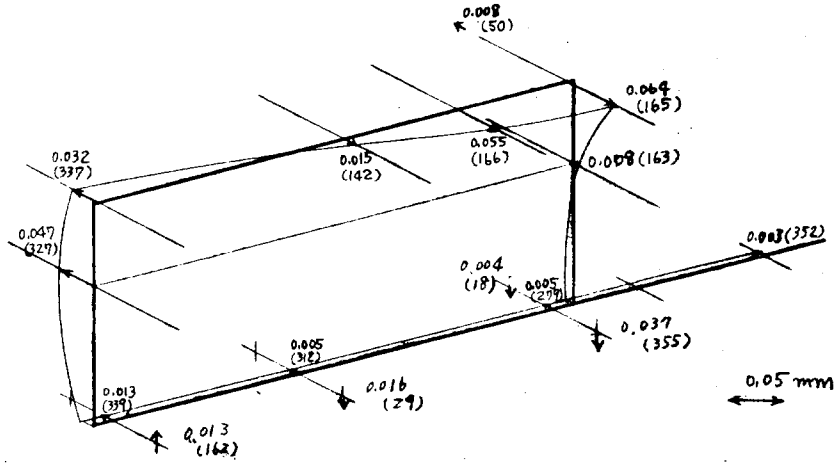
第1.1.82図　ピークにおける機関架構振動モード（陸上運転）



(1) 63.7 rpm × 12次

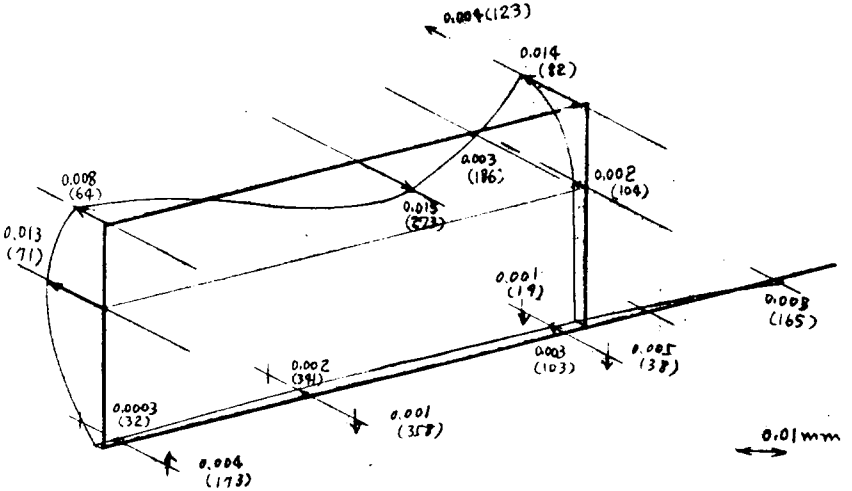


(1) 88.8 rpm × 9次



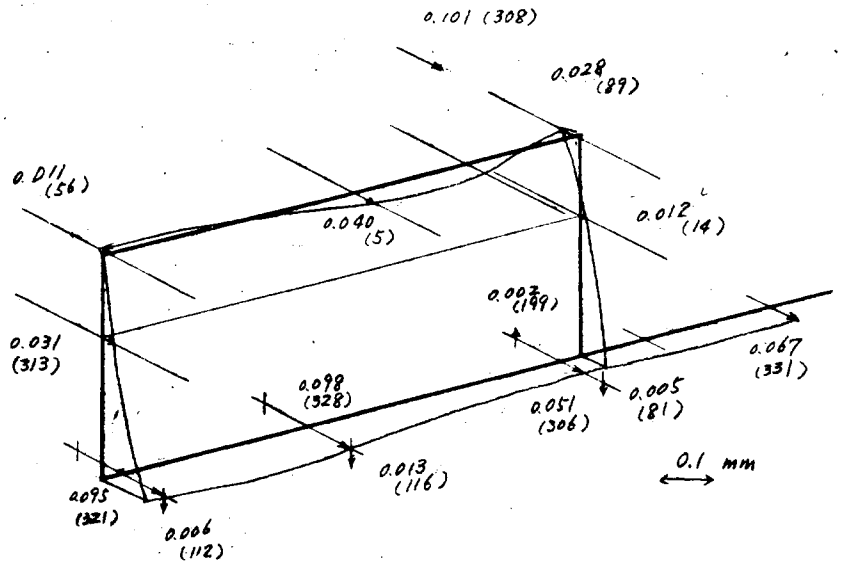
(2) 114 rpm × 6次

第1.1.83図 ピークにおける機関架構横振動モード（海上満載プレーシング付）

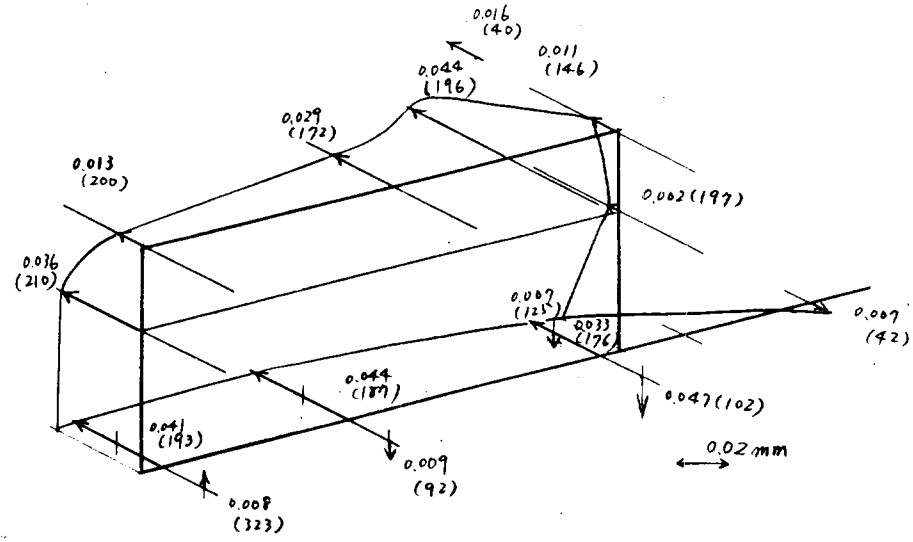


(2) 116.3 rpm × 9次

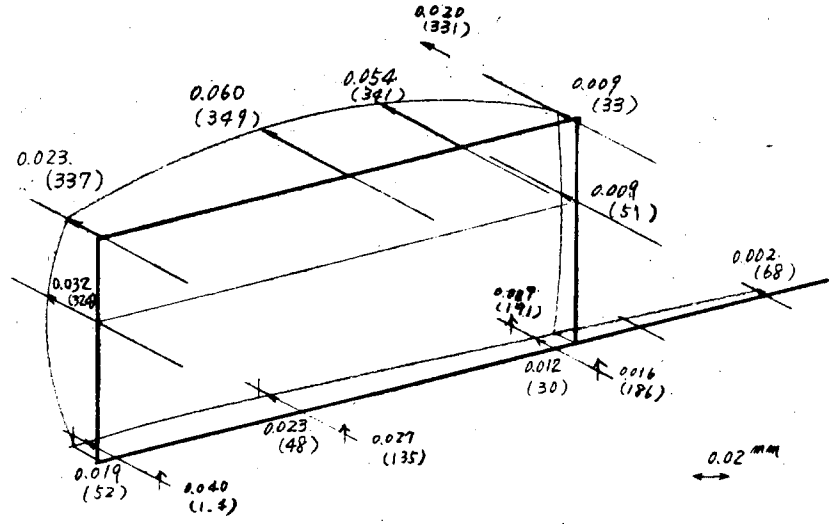
第1.1.84図 ピークにおける機関架構横振動モード（海上満載プレーシング付）



(1) １１６.３ rpm × １次

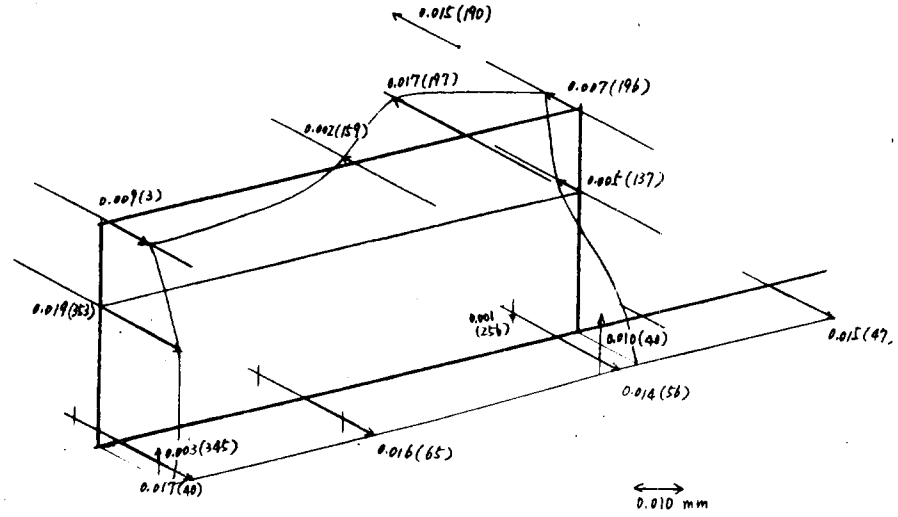


(1) １１８.３ rpm × ５次



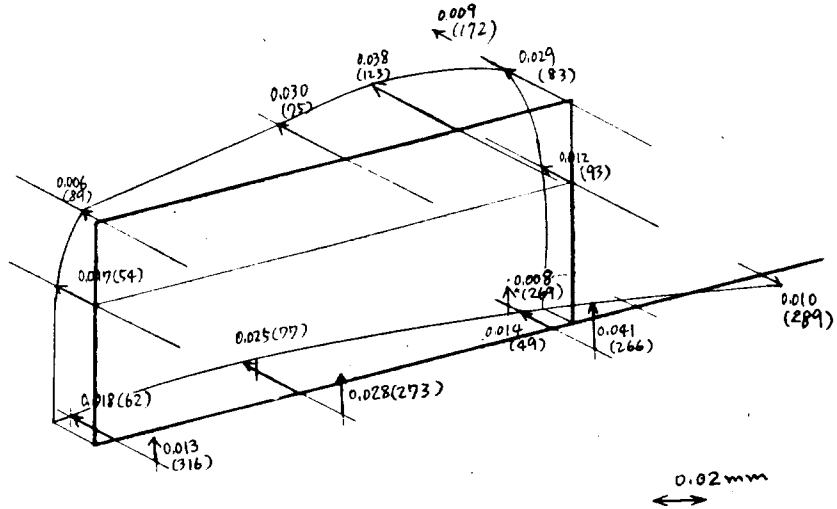
(2) ７５.１ rpm × ６次

第１.１.８５図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上満載プレーシング付）

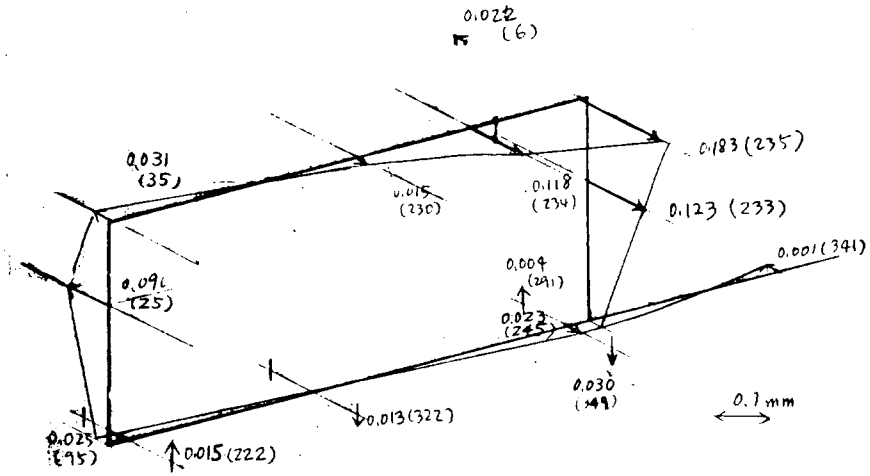


(2) ７９.９ rpm × ５次

第１.１.８６図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上満載プレーシング付）

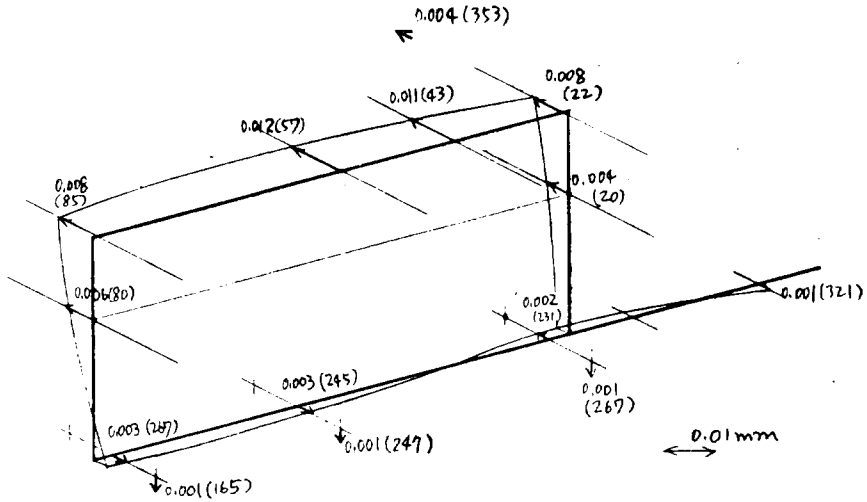


(1) 96.6 rpm × 5次

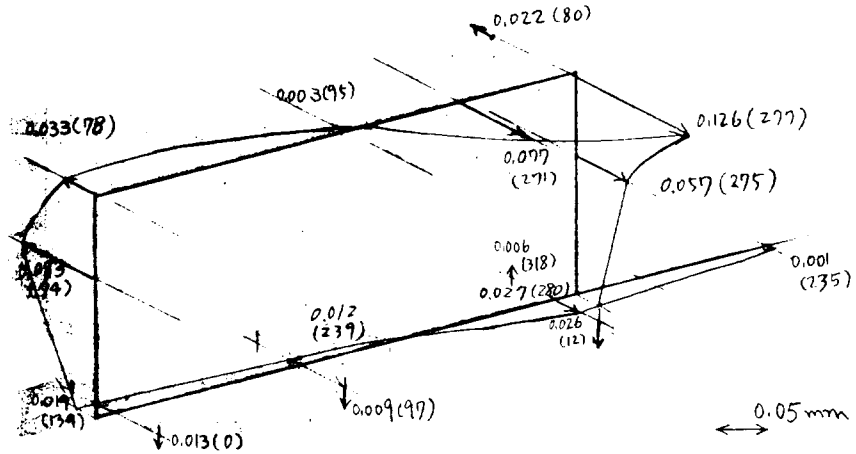


(1) 106.7 rpm × 6次

第1.1.187図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上満載プレーシング除去)

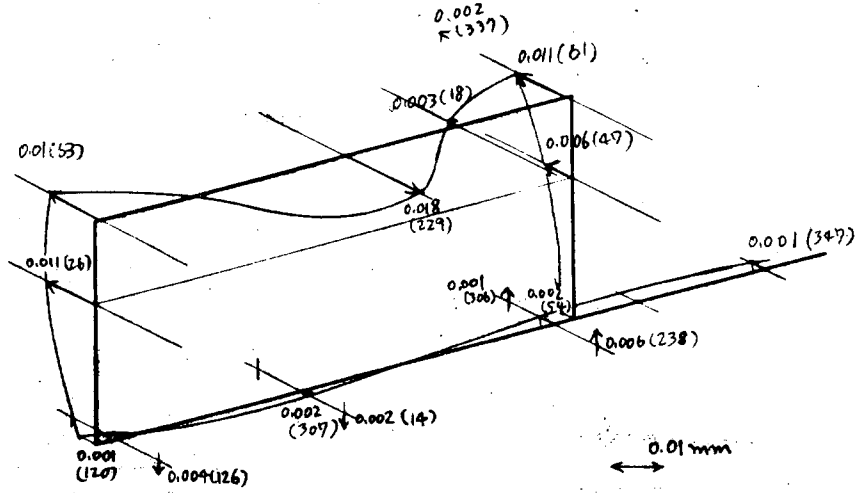


(2) 56.8 rpm × 12次

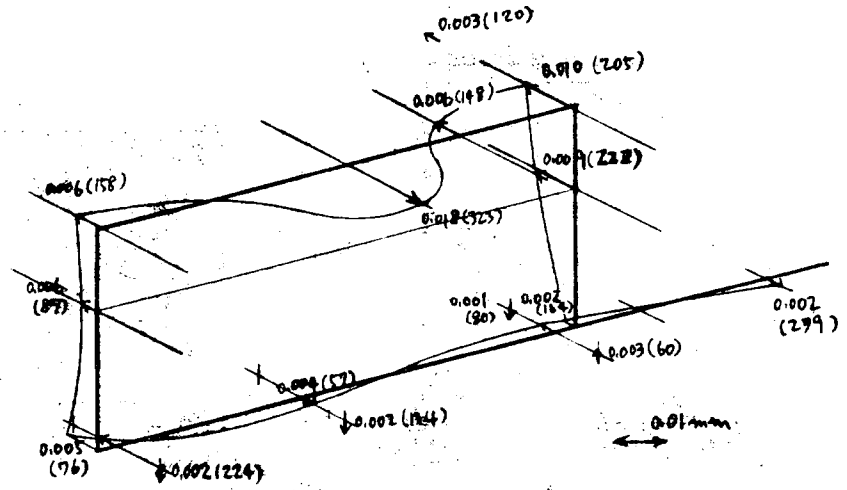


(2) 112.8 rpm × 6次

第1.1.188図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上満載プレーシング除去)

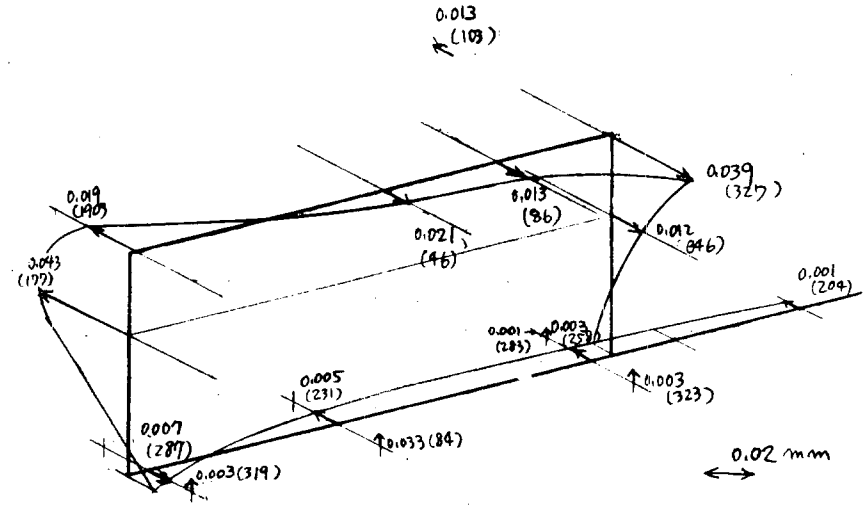


(1) 990 rpm × 9次

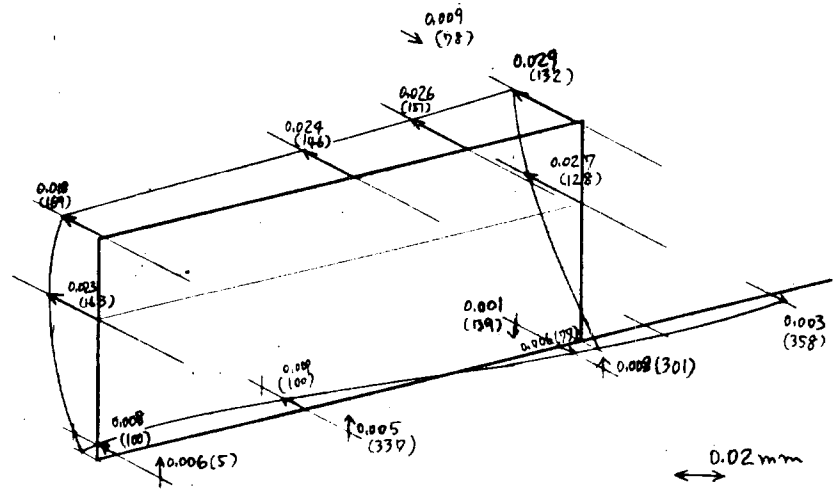


(2) 1128 rpm × 9次

第1.1.189図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上満載ブレーシング除去）

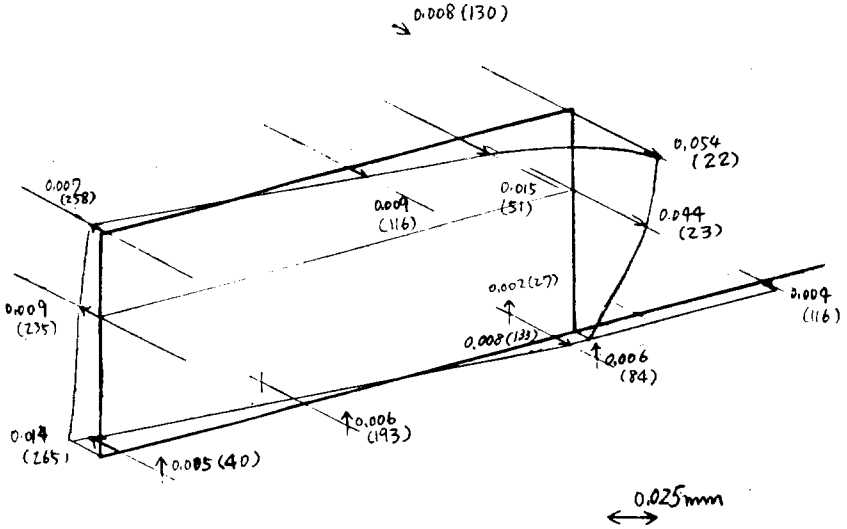


(1) 45 rpm × 3次

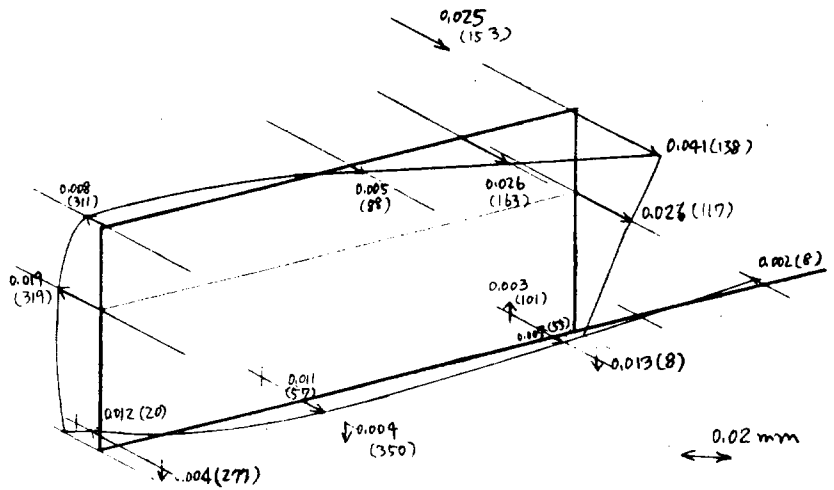


(2) 53.5 rpm × 5次

第1.1.190図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上満載ブレーシング除去）

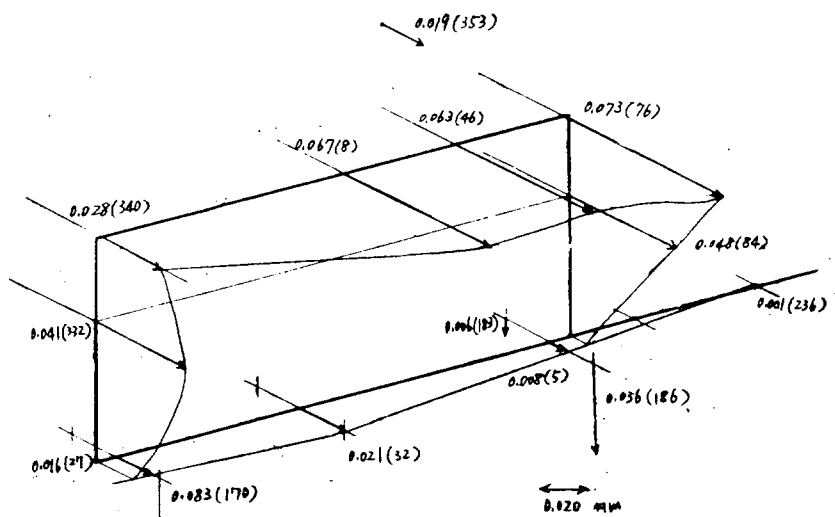


(1) 106.7 rpm × 3次

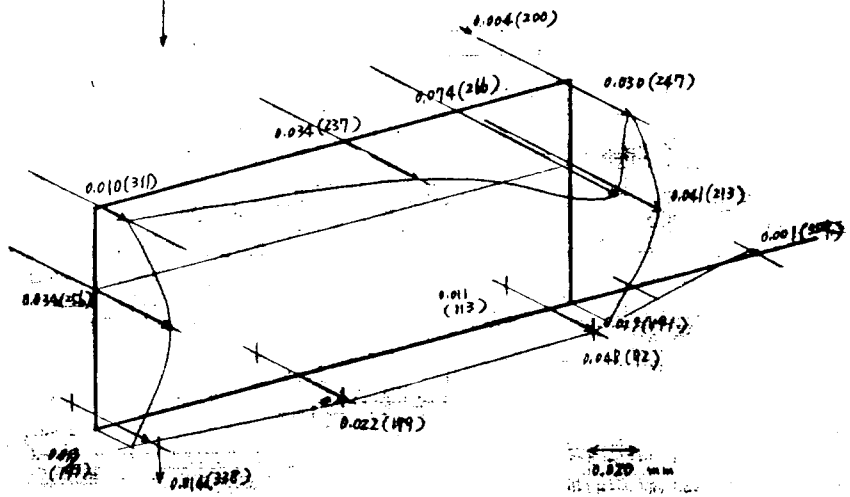


(2) 81 rpm × 5次

第1.1.91図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上満載プレーシング除去)

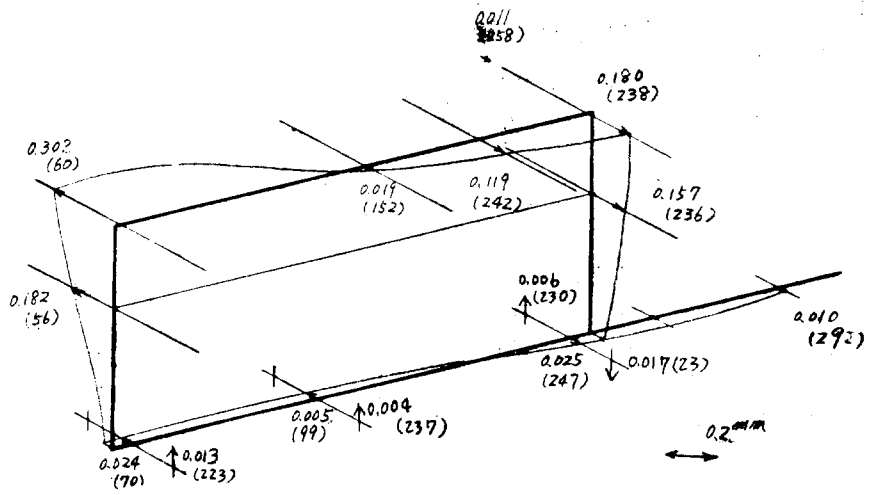


(1) 76.4 rpm × 6次

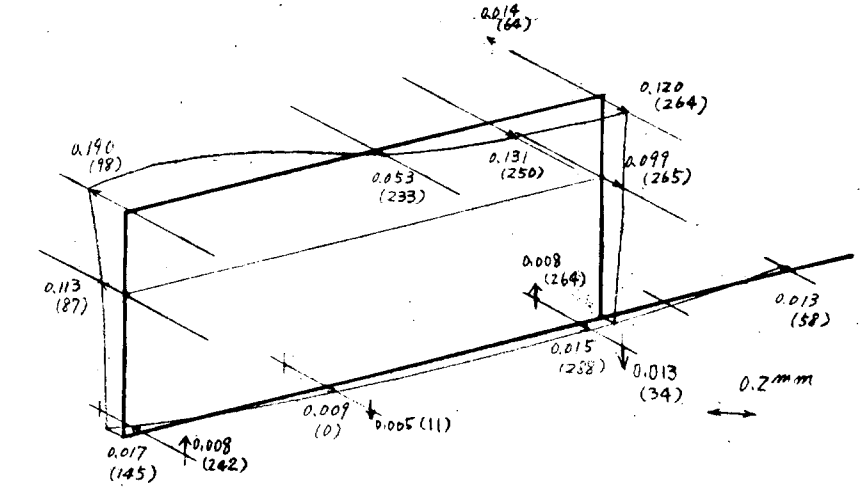


(2) 117.2 rpm × 5次

第1.1.92図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上満載プレーシング除去)

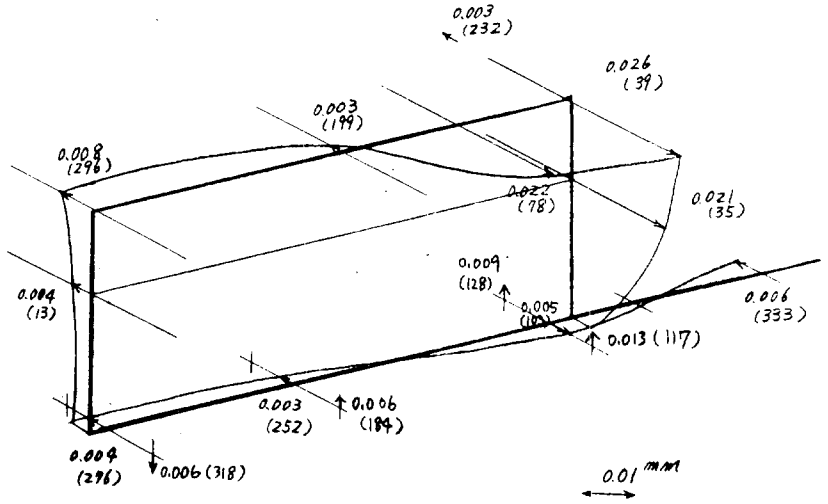


(1) １００．４ｒｐｍ×６次

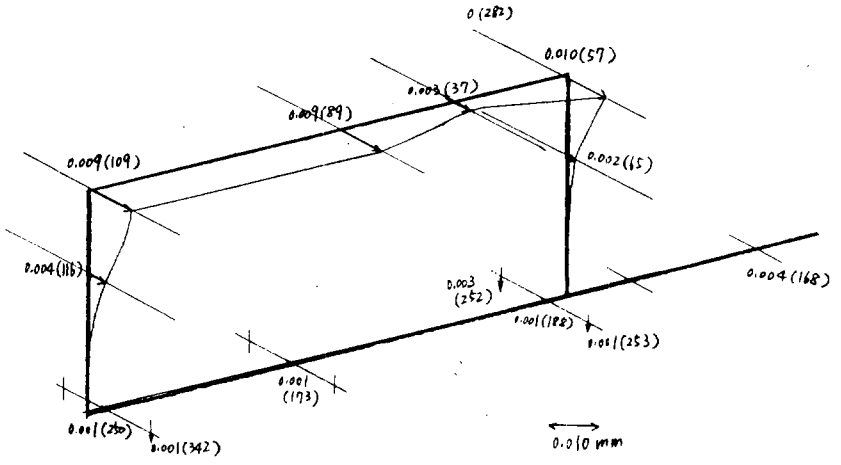


(2) １１３．６ｒｐｍ×６次

第１．１．９３図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上半載プレーシング除去）

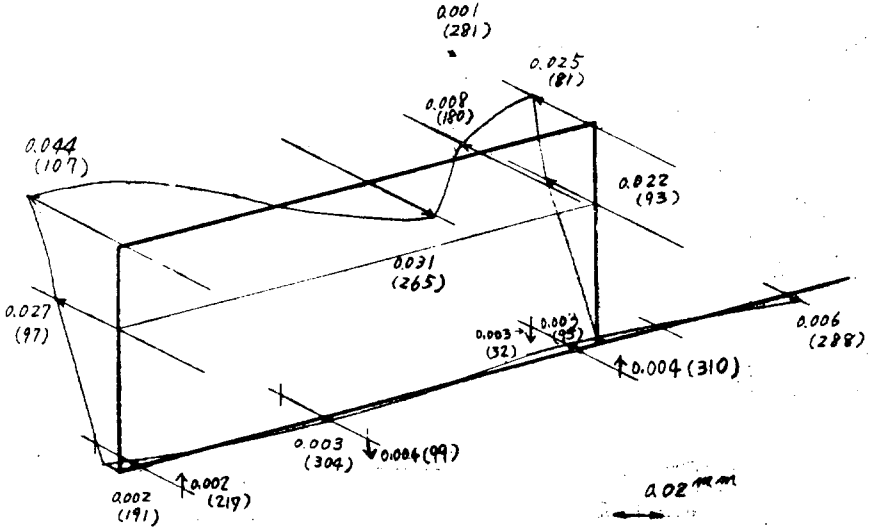


(1) ９１．０ｒｐｍ×９次

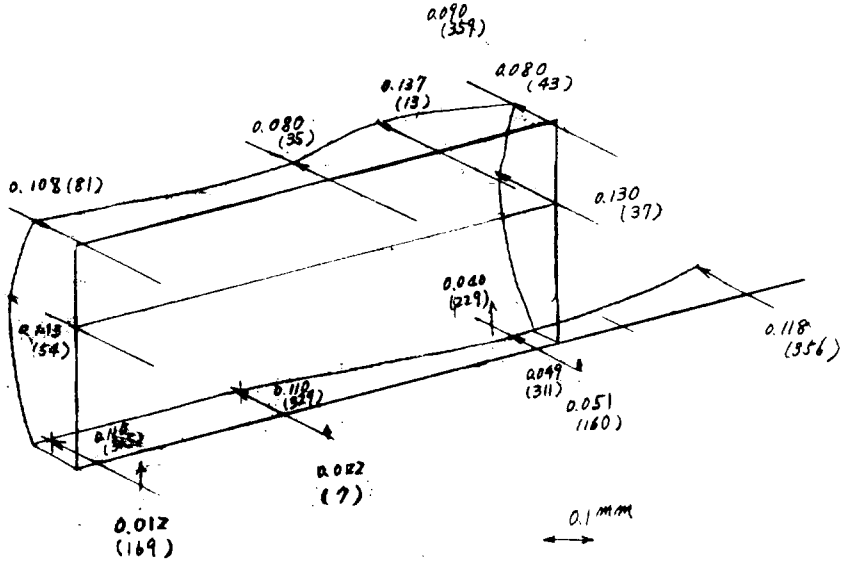


(2) ５５．３ｒｐｍ×１２次

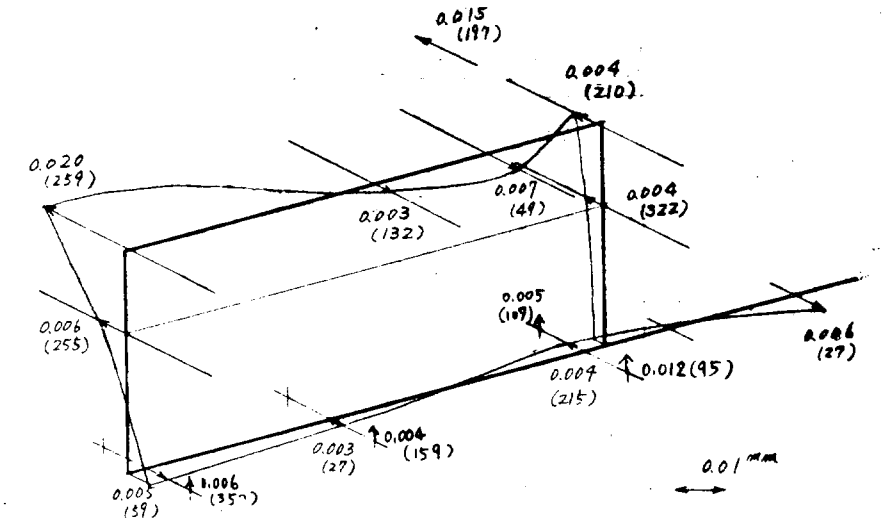
第１．１．９４図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上半載プレーシング除去）



(1) １００．４ｒｐｍ×９次

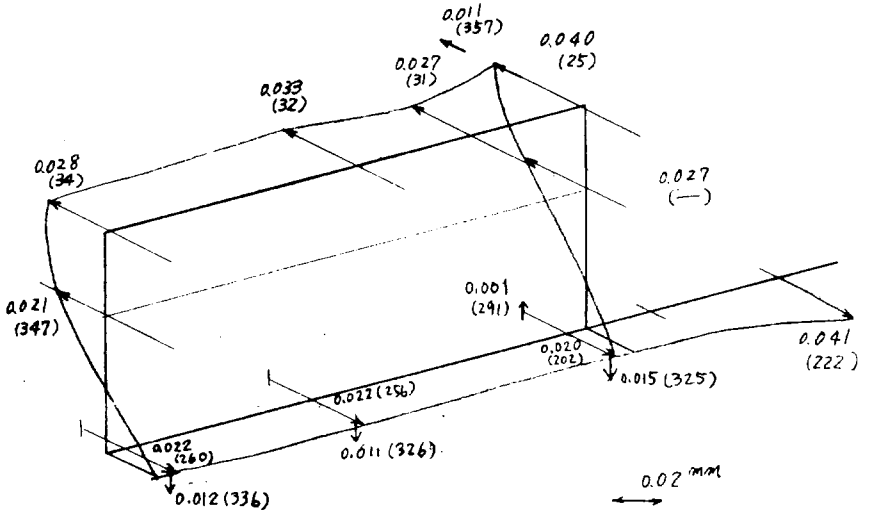


(1) １０６．７ｒｐｍ×１次



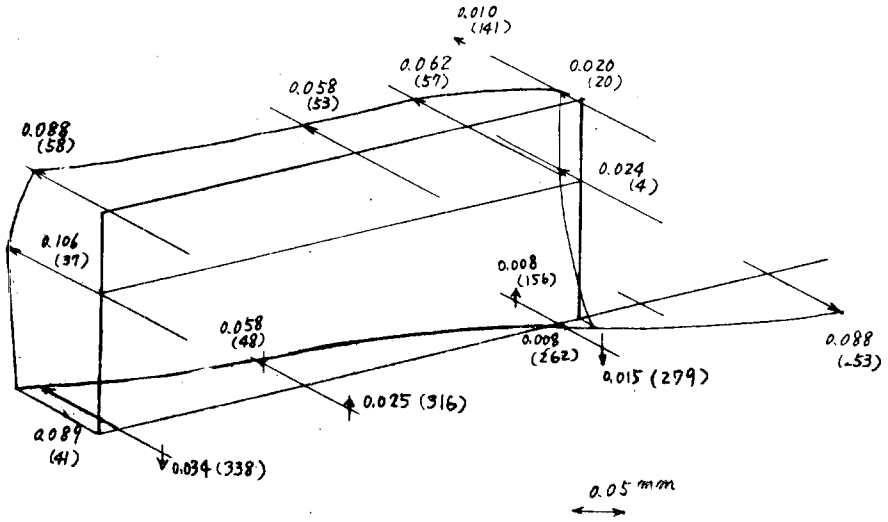
(2) １０７．４ｒｐｍ×１０次

第１．１．９５図　ピークにおける機関架構振動モード（海上半載プレーシング除去）

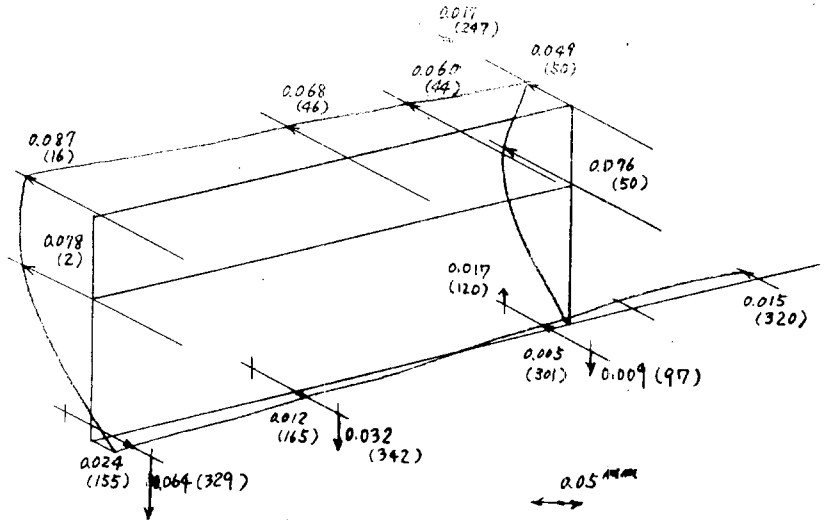


(2) ４８．１ｒｐｍ×５次

第１．１．９６図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上半載プレーシング除去）

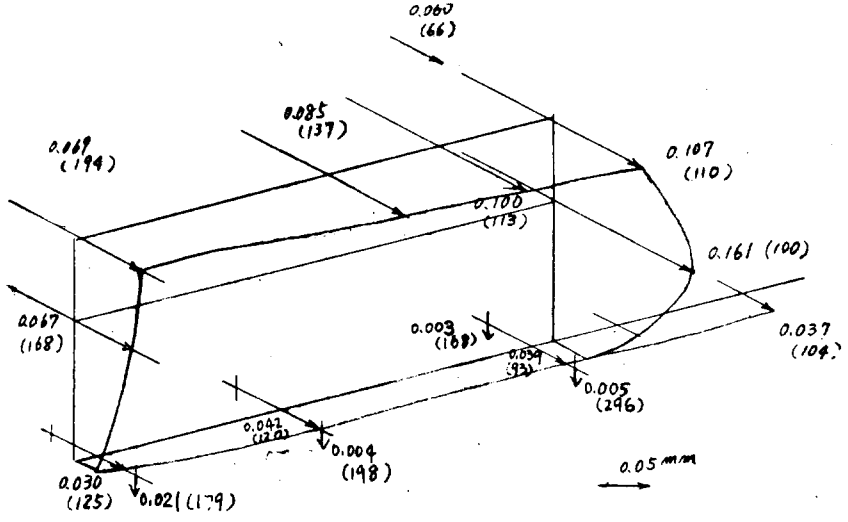


(1) 52.7 rpm × 5次

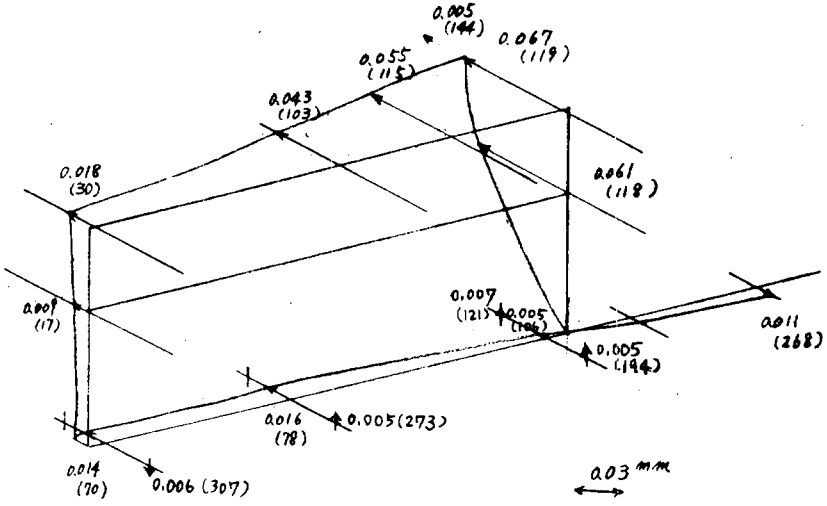


(1) 62.5 rpm × 6次

第1.1.197図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上半載プレーシング除去）



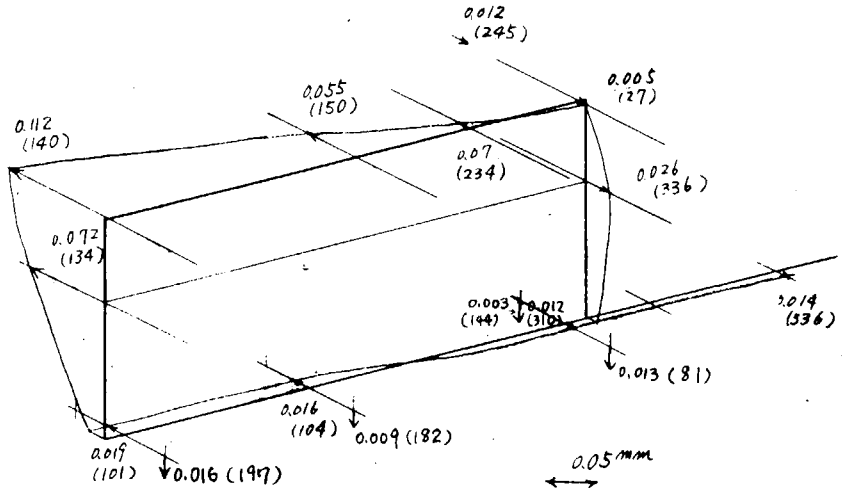
(2) 62.5 rpm × 5次



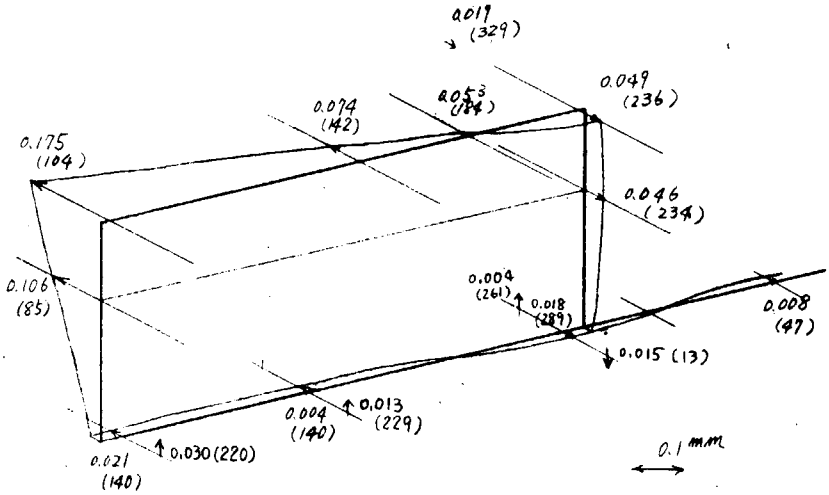
(2) 69.4 rpm × 6次

第1.1.198図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上半載プレーシング除去）

次に、架構x形振動については、４６.３ｒｐｍ１８次（８３４ｃｐｍ）、９４.４ｒｐｍ９次（８５０ｃｐｍ）のピークがあるが（第1.1.80図(2)参照）、これは軸系II節ねじれ固有振動数（８２７ｃｐｍ）に近く、それによる強制振動と思われる。また、５４.２ｒｐｍ１８次（９７４ｃｐｍ）、１０６.５ｒｐｍ９次（９６０ｃｐｍ、第1.1.81図参照）、５９.７ｒｐｍ １５次（８９７ｃｐｍ）および９１.７ｒｐｍ １０次（９１７ｃｐｍ 第1.1.82図参照）のピークがあり、それらの振幅は小さい（５０μ以下）が明瞭なx形振動を示している。



(1)　１１１.５ｒｐｍ×５次



(2)　１０７.４ｒｐｍ×６次

第1.1.99図　ピークにおける機関架構横振動モード
（海上半載プレーシング除去）

これらは、その振動モードからみて、ほぼ対称の振動を呈しており、第1.1.9表からわかるように、位置によりピーク機関回転数が異なつているため、振動数はばらついているが、８９７～９１７および９６０～９７４の２個の固有振動と考えられる。固有振動数が２個存在する理由は架台などとの関連、その他によるものと思われるが、厳密には４３年度の起振機実験によりたい。なお、振幅は９１.７ｒｐｍ １０次が最も大きく、船首端、中央および船尾端の振幅は４６μ、２５μおよび３４μである。

架構H形振動については、振動ピークが現われておらず固有振動数は明確でないが、従来の経験では４８０ｃｐｍ以下であると考えられるため、その場合は１２次のH形振動共振回転数が計測回転数（４０～１１８ｒｐｍ）内に存在しないことになり計測できなかつたと考えられる。

以上、機関架構の横方向共振振動について述べたが、機関の陸上運転においてはコンクリートケーソン（地中に埋められている）に固定された架台上に機関を設置して運転を行なうため、剛体上に固定された状態での機関架構の共振振動は現われずコンクリートケーソンおよび架台を含めた振動系の振動が現われていると考えられる。しかも、コンクリートケーソンは地中に埋められているだけであるため、その固定度は非常に小さく（機関と架台および架台とケーソンの結合よりも弱いと考えられる）その傾向は顕著に現われると思われる。なお陸上運転では機関－架台－ケーソン間の結合も弱いことから、固有振動数のばらつきが生じるものと思われる。

上述の共振振動以外に、１１１.０ｒｐｍに１次の振動ピークがあるが第1.1.9表よりわかるように、船首端左舷架台上の横振動振幅（２３１μ）および上下振動振幅（６４５μ）が大きく、機関据え付基礎船首端左舷部の上下方向共

振振動と考えられる。なお、基礎上下および横方向振動はほぼ同位相である。また、１７～１９次の振動が１００～１１５rpm付近に横方向のみならず上下方向および縦方向にも現われており、一方海上運転では現われていないことから、機関据え付基礎台または動力計まわりの共振振動かと思われる。

(2) 海上運転満載（ブレーシング付き）時架構振動

本機関は船舶搭載時、機関上部チヤージヤ台ブラケツトをブレーシングを介して船体ビームに支持している（第1.1.3図参照）。ここでは、満載状態でブレーシングを付けた場合の架構振動について検討する。各計測点のピーク値を第1.1.10表に示す。

まず、架構X形振動については第1.1.83図(2)に１１４.０rpm6次（６８４cpm）の振動モードを示すが、これは、おそらく機関架構固有振動であろう。この場合、振幅は船首端で３２μ、船尾端で６４μとなり船尾端のほうが2倍の値を示している。この傾向は陸上運転時の機関架構X形固有振動（６９０cpm）の場合にも見られたが、振幅は陸上の場合に比べてかなり小さく架構上段で¼～⅓程度の値を示している。このように振幅が減少したのは、陸上運転の場合基礎であるコンクリートケーソンが地中に埋められているだけであるのに対し海上運転の場合基礎である二重底は船体に固定されているため、海上運転の方が基礎の剛性が大きいこと、また、ブレーシングにより機関架構と船体との結合が強くなり振動系の剛性が大きくなつたことが原因していると考えられる。また、９６.８rpmに6次の振動ピークがあるが、位相から考えて明瞭なX形振動をしており、５８１cpmの機関架構X形共振振動と思われる。固有振動数が2個存在する理由は（前に述べたように）架台との関連、船体振動との関係、架構が完全な弾性体でないことなどが考えられるが、厳密には４３年度の起振機実験によりたい。なお、この場合振幅は船尾端上段が最も大きく４９μである。

次に架構H形振動については６３.７rpm１２次（７６４cpm）のピークがあり、その振幅は小さいがH形固有振動と思われる。第1.1.83図(1)の振動モードからわかるように中央部の振幅が船首、船尾端（６μ程度）に比べて大きく１５μであるが、これはブレーシングの状態に影響されていると考えられる。この場合、振動数７６４cpmは陸上運転時のH形固有振動数（４８０cpm以下）に比べてかなり大きな値を示しているが、これは機関据え付台の固定度および二重底が影響しているのであろう。

次に、架構x形振動について述べる。９９.５rpm9次（８９５cpm）および１１６.３rpm9次（1,０４７cpm、第1.1.84図(2)参照）のピークがあり、架構上段の振幅は7～１５μ程度で小さいがx形振動をしている。前者の場合第1.1.10表よりわかるように船首端と船尾端に位相のずれ（９８°）があるが、船首端および中央部はピークを示し、しかも逆位相であることから考えて架構x形固有振動であろう。一方、後者の場合、その振動モードからみて、架構x形固有振動と考えてよいであろう。陸上運転時のそれら（９０７cpm、９６７cpm）と比べて後者の場合振動数が高いのは基礎およびブレーシングの影響のためと思われる。

以上、機関架構横振動について代表的なものを述べたが、つぎに、軸系振動および船体振動によつて強制される機関架構振動について述べる。第1.1.84図(1)に1例を示すが、４５.５rpm１８次（８１９rpm）、５４.８rpm１５次（８２２rpm）、５４.８rpm１５次（８２２cpm）、８８.８rpm9次（７９９cpm）および１１６.８rpm7次（８１８cpm）のピークがあり、その振幅は３０μ以下である。これは、振動モードからわかるように架構上部はX形振動をしておりそれらの振動数から考えて、軸系Ⅱ節ねじれ振動（８２５cpm）による強制振動であろう。

また、６３.７rpmに振幅は小さい（５～１９μ）が、6次の架構上下方向振動（３８２cpm）がある。これは振動数から考えて、軸系Ⅰ節ねじれの振動数３６７cpmに近く、それにより船体二重底部縦方向振動（６３.７rpm６次、３８２cpm、第1.1.117表参照）および架台部上下方向振動が起つたものと考えられる。

上述の振動以外に船体振動の影響と思われる機関架構の振動について述べる。船体機関停止時に船体上甲板船尾に起振機を据え付け船体の起振実験を行なつた結果を第1.1.１００～1.1.１０３図（後述）に示す。起振機実験においては、船体の上下方向および縦（前後）方向の起振を行ない、機関架構および架台の振動を計測した。この計測結果

をもとにして機関運転時における架構および架台の振動ピーク値（横および上下方向）を整理すると第1.1.110表のその他および上下振動欄のようになる。表中、㊤および㊦は船体起振機実験結果による船体横および上下方向共振点を表わす。それらのうち、代表的なものについて2,3説明を加える。

まず、79.9rpmに5次のピークがあるが、その振動数400cpmは船体横方向共振振動数（起振機実験による）に一致し、第1.1.186図(2)の振動モードよりわかるように船体上部（8○の位置）と架台部（3の位置）の位相が逆であるような船体のローリング形振動である。そのため、船体上下方向振動にもピークが現われ横方向振動に準じた振動をしている。また第1.1.185図(2)に75.1rpm6次の振動モードを示すが、この場合船体は平行な横振動を起し機関架構もそれに伴なつて高さ方向に曲げを生じない平行振動をしている。また、上下方向にもピークがあるが同位相である。

なお、この振動数付近の457および462cpmは船体起振機実験結果の船体横および上下方向共振振動数に一致する。その他、118.3rpm5次のピークがあるが、第1.1.186図(1)よりわかるように船体横振動による架構および架台の横方向振動で機関架台部が大きく振動している。

上述のもの以外に上下方向振動ピークも示し表中、備考の欄に簡単な説明を加えてあるが、これら船体振動の結果については、43年度船体分科会による本船計測結果報告と照合して再検討したい。

(3) 海上運転満載（プレーシング除去）時架構振動

次に、海上運転プレーシング除去時の架構振動について述べる。各点でのピーク値を第1.1.111表に示す。まず、架構X形振動については、99.0～100.7rpmに6次（599cpm）、106.7rpmに6次（640rpm、第1.1.188図(1)）および112.8rpmに6次（677cpm、第1.1.188図(2)のピークがあり、599cpmの場合、99.0rpmでは船首端が共振しているが（このとき、船首端振幅が31μであるのに対し、船尾端振幅は46μと大差ない）、100.7rpmでは船尾端が共振し船尾端の振幅（141μ）は船首端のそれ（28μ）の5倍の値を示している。また、640cpmの場合も、船尾端の振幅（183μ）のほうが船首端のそれより大きく6倍程度の値である。その傾向は677cpmの場合にも見られ、また、いずれの場合も船首端上段の振幅が30μ程度と小さいのに対し船首端中段の振幅は74～90μと大きな値を示している。これらの振動は架構X形固有振動と考えられ振幅は640cpmの場合が最も大きい。また、プレーシング付の場合と比較すると船首端の振幅は変わらないが船尾端のそれは2～3倍の値を示しプレーシングの効果が現われている。

以上のように固有振動数が数個現われること、および振動モードが変態である理由は前述のとおりである。

その他、92.4rpm9次（832cpm）にピークがあるが、その振動数は軸系Ⅱ節ねじれ振動の振動数（825cpm）に近く、それによつてもたらされたものと思われる。この場合、振幅は上述の3種の場合と比べて小さく1/6以下の値（最大22μ）を示している。

次に、架構H形振動については、56.8rpm12次のピークがあり、第1.1.187図(2)に示すように機関高さ方向に曲げを生じた明瞭なH形振動で、架構のH形固有振動と思われる。この振動数は682cpmで満載プレーシング付きの場合（764cpm）に比べると少し低い値を示している。これは、プレーシング除去により振動系の剛性が小さくなつたためと考えられる。しかし、この場合振幅は小さく10μ程度でありプレーシング除去によりあまり変化せず振幅に関してはプレーシングの効果は見られていない。

また架構x形振動については、99.0rpm9次（891cpm）の振動は第1.1.189図(1)の振動モードに見られように、振幅は小さいが（10～18μ）、明瞭なx形振動をしており、架構x形固有振動と思われる。この場合、振幅はプレーシング付の場合と同程度の値である。

また、112.8rpm9次（1,01.5cpm）のピークを第1.1.189図(2)に示すが、船首端と船尾端の位相が架構上段で47°、中段で135°ずれている。しかし、111.9～112.8rpmでピークが現われていることから架構x形固有振動であろう。そしてこの振動数はプレーシング付きの場合より低く、プレーシングの効果を示している。

上述の振動以外に船体振動の影響と思われる機関架構の振動について述べる。機関架構および架台の振動ピーク値（横および上下方向）を整理すると第1.1.111表のようになる。それらの代表的なものの振動モードを第1.1.187図(1)および第1.1.190図(1)～第1.1.192図(2)に示す。106.7rpm3次の振動（第1.1.191図(1)）では、船体上部（8oの位置）と機関架台部（3の位置）は同位相で同程度の振幅で振動しているが、この船体振動によつて架構船尾端が共振している。また、76.4rpm6次（458cpm）の振動においては、その振動モード（第1.1.192図(1)）より明らかなように、船体横振動により架構は横方向に共振している。このとき架台は同位相で上下方向に共振し、船体上下振動のあることを示している。この共振振動数458cpmは軸系縦振動の共振振動数に近く、縦方向の振動にもピークが見られる。また、第1.1.192図(2)に117.2rpm5次の振動モードを示すが、架構は船体横振動の影響をうけ、平行な横振動をしている。

上述の船体横振動ピーク以外のものおよび船体上下振動ピークを簡単な説明とともに第1.1.111表に示す。

(4) 海上運転半載（ブレーシング除去）時架構振動

海上運転時ブレーシング除去の状態での架構振動について述べる。ピーク値を第1.1.112表に示す。まず機関架構X形振動については113.6rpm6次にピークがあり（第1.1.193図(2)参照）、船首端の振幅（190μ）は船尾端の振幅（120μ）の1.5倍程度の値を示しているが、両者の位相差から考えてX形振動の共振と考えられる。そして、その固有振動数は満載ブレーシング除去の場合の677cpmよりいくぶん大きく682cpmである。この両者の場合において、架構上段の振幅を比較すると、船尾端の振幅は両者の場合あまり変化しないが、船首端の振幅は満載の場合、船尾端のそれよりも小さかつたのに対し半載の場合、船尾端のそれよりも異常に大きくなつている。また、119.3rpm5次（596cpm）、100.4rpm6次（602cpm、第1.1.193図(1)参照）にピーク値が見られるが、前者の場合は架構上段の船首端と船尾端の振幅は同程度の値（100～104μ）を示しているが、後者の場合は船首端で302μ、船尾端で180μとなり、船首端がかなり大きく振れている。これらのピークは明瞭に現われており、架構X形固有振動数であろう。このように満載から半載にして船首端の振幅が大幅に増大した理由は船体振動との関連と思われる。その他、91.0rpm9次（第1.1.194図(1)参照）81.9rpm10次および45.7rpm18次のピークがあるが、これは振動数（819～823rpm）から考えて軸系II節ねじれ振動による強制振動と考えられる。この場合、振幅は上述の場合に比べて小さく8～26μ程度である。

次に、架構H形振動については、55.3rpmに12次のピークがあり、第1.1.194図(2)に示すように振幅は10μ程度で小さいが明瞭なH形振動を呈し、振動モードよりH形振動の共振と考えられる。そして、その固有振動数は満載ブレーシング除去の場合と同程度で664cpmである。

次に、架構x形振動について述べる。100.4rpmに9次（第1.1.195図(1)）、91.0rpmに10次の振動ピークがあり、前者の場合、船首端の振幅（44μ）のほうが船尾端の振幅（25μ）より大きいが、明瞭なx形振動である。また、115.7rpmに9次、107.4rpmに10次（第1.1.195図(2)）の振動ピークがあり、振動モードよりみてx形振動である。この場合も、わずかではあるが船首端の振幅のほうが船尾端のそれよりも大きく、最大24μを示している。こ減らは架構x形振動の共振と考えられ、固有振動数は907cpmおよび1,057cpmである。そして後者の振動数は満載の場合に比べて高くなつている。

上述の振動以外に船体振動の影響と思われる機関架構振動ピークを抽出し第1.1.112表に示す。また、それらの振動モードを第1.1.196図(1)～第1.1.199図(2)に示す。

まず、106.7rpmに1次のピークがあるが、第1.1.196図(1)より明らかなように船体横（平行）振動によつて架構は高さ方向に曲げを伴わない横（平行）振動をしている。なお、このとき振幅は100μ以上でかなり大きく振動している。また、48.1rpm5次の振動（第1.1.196図(2)）は船体上部と架台部とが逆位相で振動する船体ローリング形振動である。この場合、振幅はあまり大きくなく、20～40μである。第1.1.197図(1)（52.7rpm5次）は船体横振動による架構横振動モードであるが、架台部は、船尾端で節をもつような魚尾形振動をし、中間軸受部（13

の位置）の振幅は大きく８８μを示している。また、第1.1.99図(1)に１１１.５rpm5次のピークを示すが、１１１.５rpmにおいて船首端の振幅は船尾端のそれ（５μ）に比べてかなり大きく１１２μを示し、架構はV形の振動を呈している。

以上、船体横振動の影響により起る架構横振動の代表的なものについて説明したが、それ以外の横振動ピークおよび上下振動ピークは簡単な説明とともに第1.1.12表に示す。

(5) 機関架構固有振動数

以上の検討結果から、本機関架構の横振動固有振動数を抽出すると第1.1.13表のようになる。

第1.1.13表 機関架構横振動固有振動数

振動モード	陸上運転	海上運転		
		満載ブレーシング付	満載ブレーシング除去	半載ブレーシング除去
H形	480以下 cpm	764 cpm	682 cpm	664 cpm
X形	690	581 684	599 640 677	599 682
x形	907 967	895 1,047	891 1,015	907 1,057

陸上運転時においてH形固有振動数は現われていないが、従来の計測結果を考慮すると計測回転数（40～118rpm）内に12次の共振回転数がはいつてこなかつたと考えられその共振振動数は480cpm以下であろう。H形振動において海上運転時満載の状態での振動数を比較すると、ブレーシング除去により振動数が減少しているが、これは前述のようにブレーシング除去により振動系の剛性が小さくなつたためであろう。

この傾向はx形振動にも見られるが、X形振動については、684cpmにその傾向がみられる。また、ブレーシング除去の場合、満載と半載の場合の振動数を比較するとx形振動では半載のほうが高い値を示している。これは、半載のほうが船側付加水重量が小さいことが原因していると思われるが、この傾向はX形振動にも一部みられる。しかし、H形振動においてはむしろ半載のほうが、低いが、H形振動の共振振動次数は12次であるため共振回転数のわずかな変化で振動数が大きく変わるため一概に考慮できない。

次に、陸上運転の場合と海上運転ブレーシング除去の場合とを比較すると、H形振動の場合、海上のほうが高い値を示しているが、これは海上運転のときの基礎の剛性のほうが大きいためと思われる。この傾向はx形振動の大きいほうの振動数にも見られるが、その他の場合には現われていない。

次に、各運転状態における振幅を比較すると、海上運転におけるH形振動振幅は15μ以下で小さく、運転条件にほとんど関係していない。また、x形振動においては、陸上運転および海上運転半載ブレーシング除去の場合最大振幅は45μ程度であるのに対し、海上運転満載の場合、ブレーシングの有無には関係なく、最大振幅は30μ以下でわずかに小さいが大差なく、運転条件にはあまり関係していない。最も振幅の大きいのは6次のX形振動であり、陸上運転で1個であつたピークが海上運転ブレーシング付では2個現われ、振幅は前者の265μに対し、後者は64μ（684cpmのもの）でかなり減少する。これは、基礎の剛性とブレーシングの影響によるのであろう。そして、満載にてブレーシングを除去するとそのピークは3個に分かれ、（640cpmのピークができる）かつ振幅も183μ（640cpmのもの）に増大し、ブレーシングの効果がみられる。次に、ブレーシング除去のまま半載にすると満載の場合の最大ピーク640cpmは消滅し、かつ最大ピークは599cpmに移るとともに、これまでの最大振幅が船尾端であつたのに対し（船首端の振幅は約½かまたはそれ以下）、この場合は船尾端の振幅は満載のそれとほぼ同一であるが、船首端の振幅はきわめて大きくなり302μに達する。

以上のように、固有振動数が数個存在し、かつ船首、船尾端にてその振幅が異なること、および固有振動ピークの回転数が位置によつていく分異なることを考えると機関架構を従来のように１個の弾性体とみるのではなく、数個の剛性部品の弾性的結合としてみるほうがよいようにも思われる。また陸上、海上または満載、半載によつて各位置に対する架構振幅が大幅に変化することは、架構固有振動と船体固有振動が重合するためとも考えられる。

1.6.2 推進軸系の振動と推力軸受、架台および架構の縦振動

陸上および海上運転時における推進軸系の振動のピーク値を第1.1.１４表および第1.1.１６表に、また機関架構縦方向振動のピーク値を第1.1.１５表および第1.1.１７表に示す。

(1) 推進軸系縦振動

陸上運転においては、スラスト軸系が機関と別置きになつているため、真の縦振動値は得られなかつた。海上運転においては０節１２次の振動が満載（ブレーシング付）の場合３８rpm付近に現われ、その振幅は0.２８㎜を示している。また、０節４次の振動が常用回転数付近に現われているが振幅値は小さく0.２６～0.３３㎜である。次に、０節６次の振動ピーク値は満載の場合1.０１～1.１６㎜と大きな値を示しているが許容値内であり問題はない。これに対し半載の場合０節６次の振動ピーク値は0.４７㎜と満載の場合の約½の値を示しているが第1.1.７４図より分るように船体振動との重合によつてこのように小さな値となつたと思われる。

ここで海上運転満載条件にて、理論計算値と実測値とを比較すると第1.1.１８表のようになる。

第1.1.１４表　陸上運転時軸振動ピーク数値

振動の種類	節－次	機関回転数rpm	振動数 cpm	振　幅 deg
ねじれ振動	1－12	42.4	508	0.108
	9	55.2	496	0.101
	8	62.6	500	0.089
	7	72.1	504	0.030
	5	98.7	493	0.031
	2－18	46.0	827	0.038
	15	55.2	827	0.017
	9	91.1	820	0.043
	8	104.3	835	0.034

第1.1.１５表　陸上運転時架構縦方向振動ピーク

回転数×次数	周波数	振　幅	備　考
42.3rpm×１２次	５０７cpm	＜0.０１㎜	ねじれ振動による
１１０～１１５rpm ×６次	６６０～６９０cpm	0.０１～0.０１５（台板） 0.０５～0.０８（上部）	}機関のX振動による
１０８～１１２rpm ×１７～１９次	1,８４０～ 2,１２０cpm	＜0.０１（台板） 0.０３～0.０４（上部）	}基礎の固有振動
９５～１１０rpm ×１次	９５～１１０cpm	0.０２～0.０６（台板） 0.２～0.３（上部）	}上下方向振動による

（注）　各周波数の振動の位相は位置によつて変化しない。

第 1.1.16表　海上運転時軸系振動ピーク諸数値

載荷状態	振動の種類	節－次	機関回転数 rpm	振動数 cpm	ねじれ振動振幅 deg	縦振動振幅 mm		トルク変動	スラスト変動
						船首端	中間軸	ton-m	ton
満載（プレーシング付）	ねじれ振動	1－4	89.5	358	0.049	0.306	94.3rpm 0.046	25.2	－
		－5	71.2	356	0.012	0.067	－	6.3	3.5
		－6	59.5	357	0.134	0.875	0.099	64.4	55.6
		－7	51.8	363	0.008	0.033	0.006	3.6	3.1
		－8	45.9	367	0.016	0.117	0.009	8.6	8.5
		2－7	117.1	820	0.022	0.021*	0.031	8.5	16.2
		－8	102.6	821	0.015	0.028	0.023	6.8	－
		－9	89.5	806	0.016	0.033*	0.032	8.0	－
		－12	68.8	826	0.007	－	68.0rpm 0.007	－	－
		－18	45.9	826	0.013	49.3rpm 0.017	0.027	5.9	12.6
	縦振動	0－4	110.9	444		0.263	113.3rpm 0.027	－	－
		－5	89.5	448		0.158	0.017	－	－
		－6	74.2	445		1.012	0.088	－	75.2rpm 22.5
		－7	64.9	454		0.066	63.6rpm 0.006	－	－
		－8	54.7	438		0.054	59.5rpm 0.009	－	－
		－9	49.3	444		0.112	0.007	－	－
		－12	38.0	456		0.275	0.023	－	－
満載（プレーシング除）	ねじれ振動	1－4	92.6	370		89.6rpm 0.301	0.042	23.5	13.9
		－5	74.2	371		0.061	71.8rpm 0.009	71.8rpm 4.5	75.5rpm 3.1
		－6	61.1	367		1.132	0.141	82.9	50.5
		－7	53.8	377		57.2rpm 0.060	0.004	3.1	57.2rpm 6.4
		－8	47.1	377		0.066	0.010	5.7	3.2
		2－8	102.4	819		0.028	0.020	5.7	6.5
		－9	92.6	833		0.058	0.042	11.6	11.7
	縦振動	0－4	111.1	444		0.303	112.9rpm 0.031		－
		－5	89.6	448		0.197	－		92.6rpm 3.9
		－6	74.2	445		1.159	0.097		13.2
		－7	64.7	453		0.046	0.004		62.6rpm 4.1
		－8	57.2	458		0.052	0.007		4.1
		－9	49.9	449		0.081	0.008		－

載荷状態	振動の種類	節－次	機関回転数 rpm	振動数 cpm	ねじれ振動振幅 deg	縦振動振幅 mm		トルク変動	スラスト変動
						船首端	中間軸	ton-m	ton
半載（プレーシング除）	ねじれ振動	1－4	90.5	362	0.039	0.256	93.1 rpm 0.046	24.2	15.1
		5	74.9	375	0.016	0.226	0.018	11.3	6.2
		6	61.7	370	55.8 rpm 0.165	1.298	0.161	89.1	49.1
		7	53.3	373	0.030	0.056	0.006	－	－
		2－7	116.8	818	0.014	0.039	0.034	7.8	10.0
		8	103.4	827	0.011	0.040	0.027	5.5	6.7
		9	90.5	815	0.016	93.1 rpm 0.053	0.049	9.1	11.4
		10	82.2	822	0.004	0.010	0.020	2.2	3.9
		12	69.3	832	0.003	74.6 rpm 0.027	－	－	－
		15	55.8	837	0.020	61.7 rpm 0.025	0.015	2.7	1.8
		18	46.2	832	0.033	0.018	0.025	5.1	5.3
	縦振動	0－4	114.6	458		0.326	116.8 rpm 0.036		
		5	90.5	453		0.256	93.1 rpm 0.010		
		6	74.6	448		0.469	0.056		
		7	62.6	438		0.051	－		
		8	55.8	446		0.036	－		
		9	50.9	458			0.007		
	その他（架台上下振動）	6次	76.7	460		0.561	0.057		

（注） 1. ＊はピークでないもの

2. 上記の値はグラフ上のピーク値を示す。

第1.1.17表　海上運転架構L方向振動ピーク諸数値

満載（プレーシング付）

基本周波数	基本回転数	次数	1－L振幅	8－L	11－L	12－L	13－L	備考
cpm	rpm		mm	mm	mm	mm	mm	
375	93.8	4	968rpm 0.009(294) 0.003(276)*	96.8rpm 0.010(272) 0.007(248)*	0.044(221)	95.5rpm 0.019(255) 0.017(223)*	96.8rpm 0.010(251) 0.008(173)	軸系Ⅰ節ねじれ振動（367cpm）と一致強制振動
382	63.7	6	0.025(313)	0.045(313)	0.118(293)	0.057(296)	0.023(245)	
364	45.5	8	0.002(281)	0.005(283)	0.013(247)	0.006(255)	0.002(199)	
379	31.6	12	0.004(323)*	0.008(331)*	0.029(316)	0.014(315)	0.004(262)	
839	116.8	7	1183rpm 0.006(338) 0.005(292)*	1183rpm 0.011(5)	0.030(268)	0.016(282)	1183rpm 0.006(324) 0.003(260)*	軸系Ⅱ節ねじれ振動（825cpm）と一致強制振動
818	102.2	8	0.002(226)		0.022(185)	0.008(196)	0.004(181)	
844	93.8	9	0.002(216)	0.006(35)*	0.039(242)	0.016(245)	0.009(207)	
819	45.5	18	0.001(127)	0.002(314)	0.017(93)	0.007(97)	0.003(63)	
451	75.1	6	76.1rpm 0.017(38) 0.015(11)*	77.8rpm 0.029(55) 0.015(75)*	0.106(339)	0.045(345)	0.025(309)	軸系0節縦振動（445cpm）に近い強制振動
461	51.2	9	0.003(92)	49.0rpm 0.005(111) 0.003(86)*	0.008(69)	0.005(68)	0.003(27)	
454	37.8	12	37.3rpm 0.005(245) 0.003(161)*	0.011(246)	0.020(115)	0.010(117)	0.004(73)	
430	71.6	6	0.025(14)	0.077(31)	0.073(329)*	0.041(343)	0.021(302)	ブリッジ縦振動による
469	93.8	5	0.011(96)	0.018(132)	0.006(208)*	0.008(122)	0.009(30)	船体上下振動と軸系縦振動があり
546	109.1	5	0.011(121)		0.007(133)*	0.013(119)	0.017(78)	船体上下振動？あり
698	116.3	6	114.0rpm 0.010(120) 0.004(82)	114.0rpm 0.038(162) 0.034(186)*	0.077(26)	0.034(50)	114.0rpm 0.027(43) 0.025(36)*	？

満載（プレーシング除）

370	92.4	4	0.008(230)	0.017(203)	0.040(178)	0.018(188)	0.012(192)	軸系Ⅰ節ねじれ振動（367cpm）と一致強制振動
362	60.3	6	0.029(277)	0.048(269)	0.151(240)	0.076(251)	0.031(205)	
826	103.2	8	0.003(189)	0.004(67)	0.024(178)	0.009(197)	0.005(179)	軸系Ⅱ節ねじれ振動（825cpm）と一致強制振動
832	92.4	9	0.005(179)	0.010(345)	0.054(149)	0.021(146)	0.015(138)	
449	89.7	5	0.003(78)	0.007(330)	0.015(131)	0.010(117)	0.007(42)	軸系0節縦振動（445cpm）と一致強制振動
443	73.8	6	71.8rpm 0.023(29) 0.018(7)*	71.8rpm 0.071(54) 0.036(89)*	0.116(342)	76.4rpm 0.055(14) 0.054(347)*	76.4rpm 0.033(335) 0.029(309)*	
116	116.0	1	0.016(182)	0.095(29)	0.030(118)	0.014(185)	0.071(170)	船体横振動あり
431	71.8	6	0.023(29)	0.071(54)	0.062(326)*	0.030(346)*	0.020(313)*	ブリッジ縦振動による
468	78.0	6	76.4rpm 0.022(24) 0.020(98)*	0.044(113)	0.044(13)*	76.4rpm 0.055(14) 0.022(44)*	0.016(13)*	船体上下振動あり
474	94.7	5	0.022(54)	0.043(52)	0.009(202)	96.6rpm 0.012(132) 0.008(70)*	0.013(18)	〃
548	109.6	5	0.016(97)	111.9rpm 0.031(308) 0.015(238)*	0.015(86)	0.018(100)	0.024(62)	船体上下または横振動あり
619	103.2	6	0.018(33)	0.013(201)	0.054(355)	0.029(9)	0.028(355)	船体上下振動あり
677	112.8	6	0.013(61)	0.028(169)	0.075(19)*	0.035(34)*	0.036(27)	？

半幅（プレーシング除）

基本周波数	基本回転数	次数	1－L振幅	8－L	11－L	12－L	13－L	備考
cpm	rpm		mm	mm	mm	mm	mm	
368	92.1	4	0.037(293)	0.067(282)	0.045(242)	0.046(277)	0.021(220)	軸系Ⅰ節ねじれ振動（370cpm）と一致強制振動
376	75.2	5	0.010(135)	0.016(120)	0.024(126)	0.018(125)	0.006(71)	
375	62.5	6	0.069(306)	0.107(317)	0.126(274)	0.105(294)	0.035(234)	
818	116.8	7	0.003(287)*	115.7rpm 0.012(356) 0.011(22)*	0.038(258)	0.016(263)	0.009(234)	軸系Ⅱ節ねじれ振動（825cpm）と一致強制振動
826	103.3	8	100.4rpm 0.003(143) 0.001(220)*	——	0.018( )	0.006(188)	0.003(139)	
819	91.0	9	0.007(168)	0.010(345)	0.058(170)	0.030(152)	0.015(109)	
810	81.0	10	81.9rpm 0.004(196) 0.003(209)*	0.005(351)	0.018(186)	0.010(185)	——	
830	55.3	15	0.002(150)	0.003(12)	0.008(134)	——	——	
823	45.7	18	0.001(105)	0.003(322)	0.020(117)	0.011(128)	0.006(71)	
455	91.0	5	92.1rpm 0.007(184) 0.002(137)*	92.1rpm 0.012(170) 0.002(74)*	0.009(205)	87.5rpm 0.006(108) 0.004(182)	87.5rpm 0.004(13) 0.001(77)*	軸系0節縦振動（450cpm）と一致強制振動
431	71.8	6	0.030(37)	0.072(49)	0.056(355)	0.043(18)	0.016(318)	
253	50.6	5	0.014(100)	0.071(114)	——	0.015(79)	——	船体上下振動あり
346	86.5	4	0.034(193)	0.060(178)	0.042(160)	0.041(190)	0.015(120)	船体横振動あり
350	116.8	3	0.040(257)	0.065(246)	0.064(196)	0.046(240)	0.027(194)	〃
431	71.8	6	0.030(37)	0.072(49)	0.056(355)	0.043(18)	0.016(318)	ブリッジ縦振動による
1,004	100.4	10	0.013(104)	103.3rpm 0.007(183) 0.005(156)*	0.042(66)	0.024(75)	0.020(48)	船体上下振動あり

第1.1.18表　縦振動の実測値と計算値との対比

節	固有振動数cpm		次　数	片振幅　mm	
	実測値	計算値		実測値	計算値
0	445	435	4	0.26～0.30	0.555
			5	0.16～0.20	0.031
			6	1.01～1.16	1.11

振動数に関しては実測値と計算値とはほぼ一致している。また、振幅については6次のものは計算値とよく一致しているが、4次のものは計算値の約½の値しか示していない。5次の実測値は計算値の5倍以上の値を示しているが、これはクランク半径力による変動以外にプロペラ起振力によるプロペラの推力変動をも含んでいるためと考えられる。しかし数値的にみて小さいのは機関からの振動の影響によつてうち消されたためであろう。

また、縦振動には、ねじれ振動によつて発生するものもあり本測定結果においてはねじれ振動Ⅰ節6次およびⅠ節4次の影響によつて船首端で0.88～1.30mmおよび0.26～0.31mmのものが現われ、それぞれ縦0節6次および0節4次の振幅と同程度の値を示している。その他、ねじれⅡ節振動による振幅は小さいがピーク値は明瞭に現われている。なお、ねじれ振動については後述する。

次に、中間軸カツプリング面での縦振動は振幅が0.16mm以下と小さいが第1.1.16表に示したピークは明瞭に認められる。なお、船首端での縦振動との位相差をみると、ねじれⅡ節振動のみ逆位相を示している。

また、満載と半載の場合の振幅および振動数を比べるとほぼ同程度の値を示している。以上の測定結果より軸系縦振動の固有振動数は

陸上　　－

海上満載　　445cpm

〃 半載　　450 〃

である。

(2) 軸系ねじれ振動

陸上運転では、75～85rpmの回転数がクランク軸ねじれ振動の共振回転数にあたり運転しなかつたためねじれⅠ節6次のピーク値は明らかでないが、Ⅰ節12次、Ⅰ節9次およびⅠ節8次のねじれ振動が最も大きく0.11deg 0.10deg.および0.09deg.を記録している。その他Ⅰ節5次、Ⅰ節7次、Ⅱ節8次、Ⅱ節9次およびⅡ節18次のピークが明瞭に現われているが振幅は小さく0.03～0.04deg.程度の値を示している。

海上運転では、固有振動数において満載と半載とで差は認められないが、振幅は半載のほうがやや大きいように思われる。満載の場合、Ⅰ節6次のねじれ振動が最も大きく、0.13deg.を示しⅠ節4次で0.05deg.を示している。また、半載の場合もⅠ節6次のねじれ振動が最も大きいがそのピーク値は明瞭でなく0.17deg.以上の値を示すと思われる。それ以外にⅠ節4次の振動が0.04deg.程度現われ、Ⅰ節8次の振動が、ほぼピーク値に達つしていると思われるが、0.05deg. の値を示している。また、満載および半載においてⅠ節3次の振動は、ピークに到らないが、測定最高回転で振幅0.08deg.および0.06deg.に達している。その他、Ⅰ節およびⅡ節の振動が明瞭に現われているが、振幅は小さく0.03deg.以下である。

これらの測定結果からねじれ振動の固有振動を求めると、

	陸上運転	海上運転満載	海上運転半載
1　節	504cpm	367cpm	370cpm
2　節	827cpm	825cpm	825cpm

である。なお、ここで参考のために陸上運転および海上運転満載条件での固有振動数、振幅値の実測値と計算値とを

対比して第1.1.19表に示す。

第1.1.19表　ねじれ振動の実測値と計算値との対比

	節	固有振動数 cpm		次　数	片振幅 deg	
		実測値	計算値		実測値	計算値
陸上	Ⅰ	504	509			
	Ⅱ	827	858			
海上	Ⅰ	367	373	6 12	0.134 0.018	
	Ⅱ	825	843	9	0.016	

これより分かるように、固有振動数はⅠ節の場合、実測値と計算値とほぼ一致している。

(3) 軸系トルク変動

トルク変動は前述のねじれ振動によつて発生するものが明瞭に現われており、ねじれ振動の振幅0.1deg.に対し大略50 ton-mのトルク変動が発生している。振幅は満載に比べ半載のほうがやや大きな値を示しているが、あまり大差は認められずねじれ振動の傾向とよく似ている。したがつて、トルク変動はねじれⅠ節6次の振動によるものが最も大きく、満載の場合64～83 ton-m、半載の場合89 ton-mの振幅を示している。また、ねじれⅠ節4次振動で満載の場合24～25 ton-m、半載の場合24 ton-mの振幅を示している。その他ねじれⅠ節3次の振動は、ピークには到らないが、測定最高回転で27～30 ton-m程度の値を示し、ねじれⅠ節5次、8次、Ⅱ節7次、8次、9次の振動は5～10 ton-m程度のピーク値を示している。なお、満載においてねじれⅠ節12次の振動によるものが低回転で現われ17 ton-m程度の値を示している。

(4) 軸系スラスト変動

スラスト変動は、軸系ねじれ振動の影響を大きく受けており、ねじれⅠ節6次の振動によるものが最も大きく、変動値のピークは明確でないが、最大値は満載の場合、50～60 ton、半載の場合50ton程度の値を示している。そして、ねじれⅠ節振動については、0.1degのねじれに対し、スラスト変動は満載、半載とも40～45ton程度出ている。その他、ねじれⅠ節3次、4次、8次、Ⅱ節7次、8次、9次、18次の振動によるものが現われ5～25 ton 程度の値を示している。

スラスト変動の軸系縦振動による影響はねじれ振動に対するものに比べて小さい。縦0節6次のピークはねじれⅠ節6次のピークのすそのに当り、明瞭ではないが、その影響をうけて13～23tonを示すが、縦0節5次、7次、8次の振動によるものが一部に現われているだけで、その値も5ton以下である。

(5) 軸系縦振動と軸受および架台の振動

機関架台、推力軸受、中間軸受台などの縦方向の振動をみると、軸系ねじれ振動および縦振動の影響を受けていることがわかるが、満載のときは第1.1.134図と第1.1.138図とを比べてみるとわかるように軸の縦振動スペクトル図がそのまま、推力軸受振動スペクトル図に影響している。

半載の場合も大略似た傾向を示しているが、船体振動などの影響を受けて波形が乱れている。なおスラスト変動にはねじれ振動の影響が縦振動の影響より大きく現われていたが、推力軸受振動にはその状態は見られないことからスラスト計測にはトルク変動の成分をうけ、真のスラスト変動のは握ができないものと思われる。

陸上運転においては、機関台板の各点は同位相の振動を示しているが、軸の縦方向の振動が明確に現われないため架構縦方向の振動も明確に現われていない。しかし、17～19次の振動が現われ、これは海上運転には現われていないため、機関据え付け基礎台または動力計まわりの固有振動と思われる。これはB&W984－VT2BF－180形機関の陸上運転時にも見られたものである。

海上運転においては、上述のように軸の縦方向の変動が機関台板に影響を及ぼし、ねじれＩ節６次、縦０節６次の振動が大きく現われている。また、振幅は第1.1.17表よりわかるように推力軸受で最も大きく（おのおの１５１および１１６μ）、次に軸受台（７６および５５μ）で、中間軸受台、船首側機関架台の振幅は推力軸受のそれよりもかなり小さい。なお、これらの振動の位相はすべて同位相である。

(6) 軸系縦振動と船体振動の関連

軸系のねじれおよび縦振動が機関架構、架台および軸受台に縦振動を与えることは第1.1.17表に示すとおりであり、軸系ねじれＩ節、Ⅱ節振動および軸系縦０節振動が影響している。また、そのほかに第1.1.17表に示したように、船橋固有振動、船体左右振動、上下振動および架構局部振動または架構固有振動が影響を及ぼしていると思われる。

なお船体起振実験時の機関架構、架台および軸受台の縦方向計測結果によると船体の縦方向固有振動は満載にて２７０または３００cpmであるが、この影響は振動数が低いため見られない。また船橋の縦方向固有振動（430cpm）による振動はブレーシングの有無、満載、半載によらず軸系振動によるもの以外では最も大きく、機関架構上部でその振幅は７０～８０μで、軸受、軸受台、架台の順に減少しており、位相もいく分ずれている。

なお今後船体分科会の船体振動測定結果（４３年度に提出される予定である）との対比によつて、厳密な再検討を実施したい。

なお、以上の結果からみて、船体振動などよりも軸系の振動のほうが縦振に及ぼす影響は大きいと考えられ軸系縦振動測定結果は船体振動によつてそれほど乱されていないであろう。

1.7 総合的検討

1.7.1 架構横固有振動

架構の固有振動にはＨ形、Ｘ形およびx形が現われ、その固有振動数と思われるものは次表のとおりである。

	陸上運転	海上満載		海上半載
		ブレーシング付き	ブレーシング除去	ブレーシング除去
Ｈ形	480 cpm以下	764 cpm	682 cpm	664 cpm
Ｘ形	690	581 684	599 640 677	599 682
x形	907 967	895 1,047	891 1,015	907 1,057

Ｈ形振動の振幅はきわめて小さく（１５μ）、運転範囲では海上運転にのみ現われ、かつブレーシングを除去すると固有振動数は低下し、その効果がみられる。x形振動の振幅も小さく（最大４６μ）、各条件にて２個の固有振動数がみられる。最も振幅の大きいのは６次のＸ形振動であり、陸上での固有振動数が１個であるのに対し海上では２～３個現われている。陸上と海上満載ブレーシング付きの固有振動数（６８４cpm）は、ほぼ同一であるが、振幅は前者の２６５μに対し、後者は６４μでかなり減少する。そして満載にてブレーシングを除去すると６８４cpmより固有振動数は低下するうえ、ピークは３個に分かれ、かつ振幅も最大１８３μ（６４０cpmのもの）に増大し、ブレーシングの効果がみられる。

次に、ブレーシング除去のまま半載にすると、満載の場合の最大のピーク６４０cpmは消滅し、かつ最大ピークは５９９cpmに移るとともに、これまでの最大振幅が船尾端であつたのに対し（船尾端の振幅は約½かそれ以下）、この場合は船尾端の振幅は満載のそれとほぼ同一であるが、船首端の振幅はきわめて大きくなり３０２μに達する。

1.7.2 架構振動の性格

次に、本計測結果に合わせて４１年度における日立Ｂ＆Ｗ９８４－ＶＴ２ＢＦ－１８０形機関の計測結果および日立Ｂ＆Ｗ１０８４－ＶＴ２ＢＦ－１８０形機関（これは本研究部会とは関係なく当社で計測したものである）の計測結果

を第1.1.20表に示す。これらの計測結果を全体的に見ると架構の固有振動数は陸上の場合より低い傾向にある。これは、陸上の場合、機関はコンクリートケーソンの上に十分に固定されていないとともにケーソンは地中に埋められただけであるためケーソンそのものの振動（ケーソン自体およびケーソン－土地間の振動）を伴うためと考えられる。また、ブレーシングを除去すると固有振動数は低下し、満載から半載にすると上昇する。これはブレーシング効果と半載による船側付加水重量の影響と思われる。

また1.7.1項で述べたように固有振動数が数個存在し、かつ船首、船尾端にてその振幅が異なること、および固有振動ピークの回転数が位置によつていく分異なることを考えると機関架構を従来のように1個の弾性体としてみるのでなく、数個の剛性部品の弾性的結合（ただしコラムは弾性体として扱かう）としてみるほうがよいようにも思われる。

1.7.3　船体起振実験時の機関架構、架台および軸受の振動

満載ブレーシング付きの状態で船尾端 Upp. Dk に起振機を設置し、V方向およびL方向起振した場合の機関架台V方向、架台、軸受台H方向、架構上部H方向、架台、架構、軸受および軸受台のL方向振動変位計測結果を第1.1.100～1.1.103図に示す。これを見ると横方向には40～50cpm、上下方向には30～40cpmおきにピークが見られ、運転時の船体振動（架構固有振動および軸系によるもの以外のもの）のピークに、その一部がほぼ一致した。次に縦方向振動にも多くのピークが見られるが、そのほとんどは横または上下方向振動によつてもたらされたものと考えられ、縦方向固有の振動としては船体の縦方向固有振動（満載時270または300cpm）、船橋固有振動（430cpm）、機関架構、架台従方向局部振動（570cpm）などが見られる。そして運転時の縦方向振動ピークには船体横、上下振動によるものが多く見られるほか船橋固有振動によるものが最も大きく現われる（機関上部にて70μ）。

なお、船体の横、上下固有振動は上記のようにかなり多く存在するが、その中でも特に大きいものがある。これは船尾構造物特に機関を含めた振動系の局部振動と合致することによるものとも考えられ、船体分科会の船体振動解析（43年度報告）後再検討したい。

1.7.4　船体振動、船体構造と架構の振動の関係

運転時には、船体振動と思われる振動ピークはかなり存在するが、その振幅は1次では200μに及ぶものがあるが、高次では5次の100μ程度が最大である。

一方、架構共鳴振動時の船体振動は横、上下とも特に大きい振幅ではない。これは架構振動が船体振動に及ぼす影響があまり大きくないことを意味する。反対に陸上、海上または満載、半載によつて各位置に対する架構振動振幅が大幅に変化する現象も架構固有振動と船体固有振動とが重合するためとも考えられ、もし重合しなければ、すなわち架構のみの固有振動では振幅は大きくないものと思われる。

また本船ではブレーシングの効果はかなり存在し、かつ振動振幅はかなり小さい。一方Y丸においては同じ機関をもちながら、その振動振幅はブレーシング付きで350～400μであり、かつブレーシングが逆効果を与えていたことを考えると船体構造、船体振動が機関振動に及ぼす影響が大きいことがわかる。

1.7.5　推進軸系の振動

軸系の縦振動およびねじれ振動（I節／II節）の固有振動数は海上満載にて445および367／825cpm、半載にて450および370／825cpmであり、計算値435および373／843cpmとほぼ一致した。

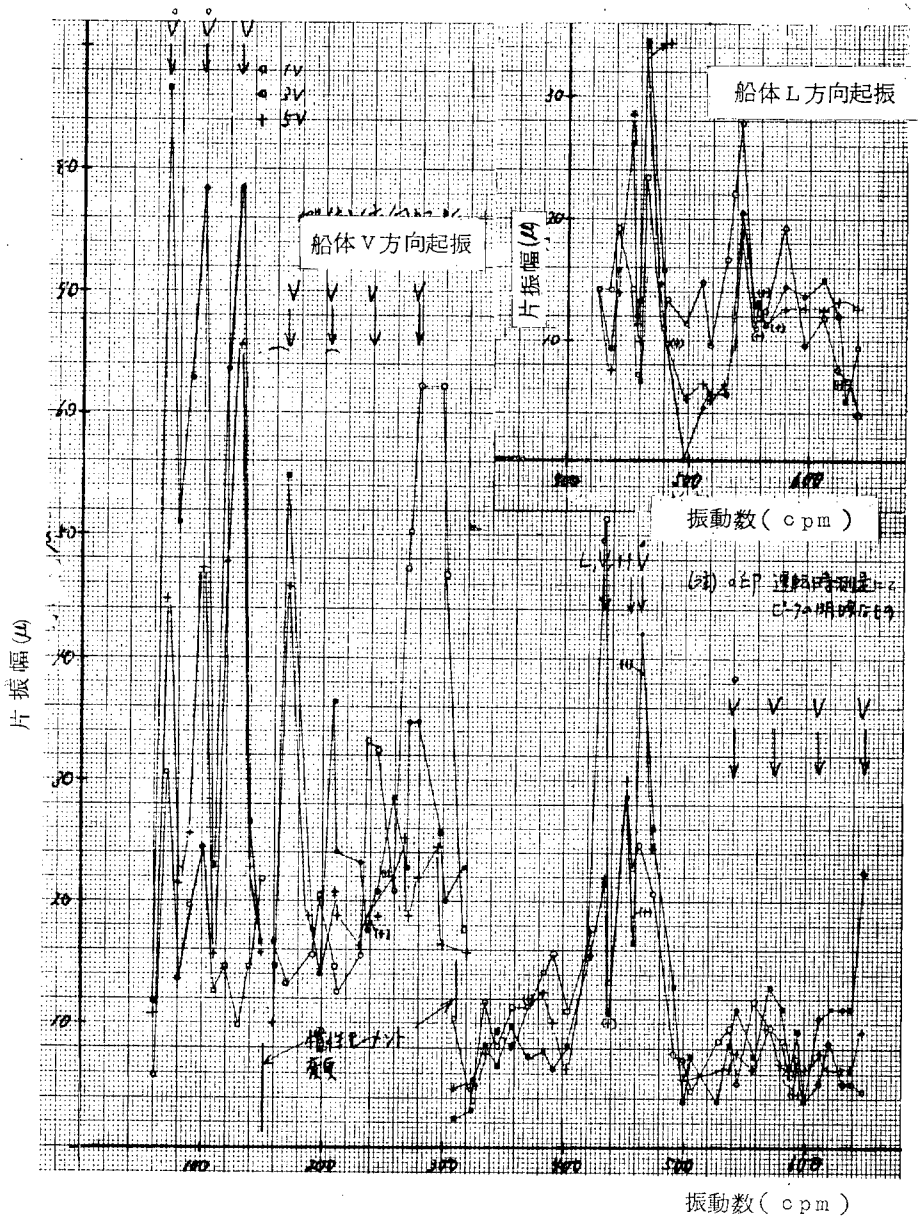
軸系縦振動には純粋の縦振動のほかにねじれ振動によつても現われ、船首端の振幅は0節6次の1.6mm、I節ねじれ振動による1.3mmが最大である。そしてスラスト変動には縦振動によるピークよりもねじれ振動によるピークのほうが大きく、振幅の最大値は前者の22.5tonに比べ後者は55tonに達する。

1.7.6　軸系の振動と架構、架台および軸受の振動

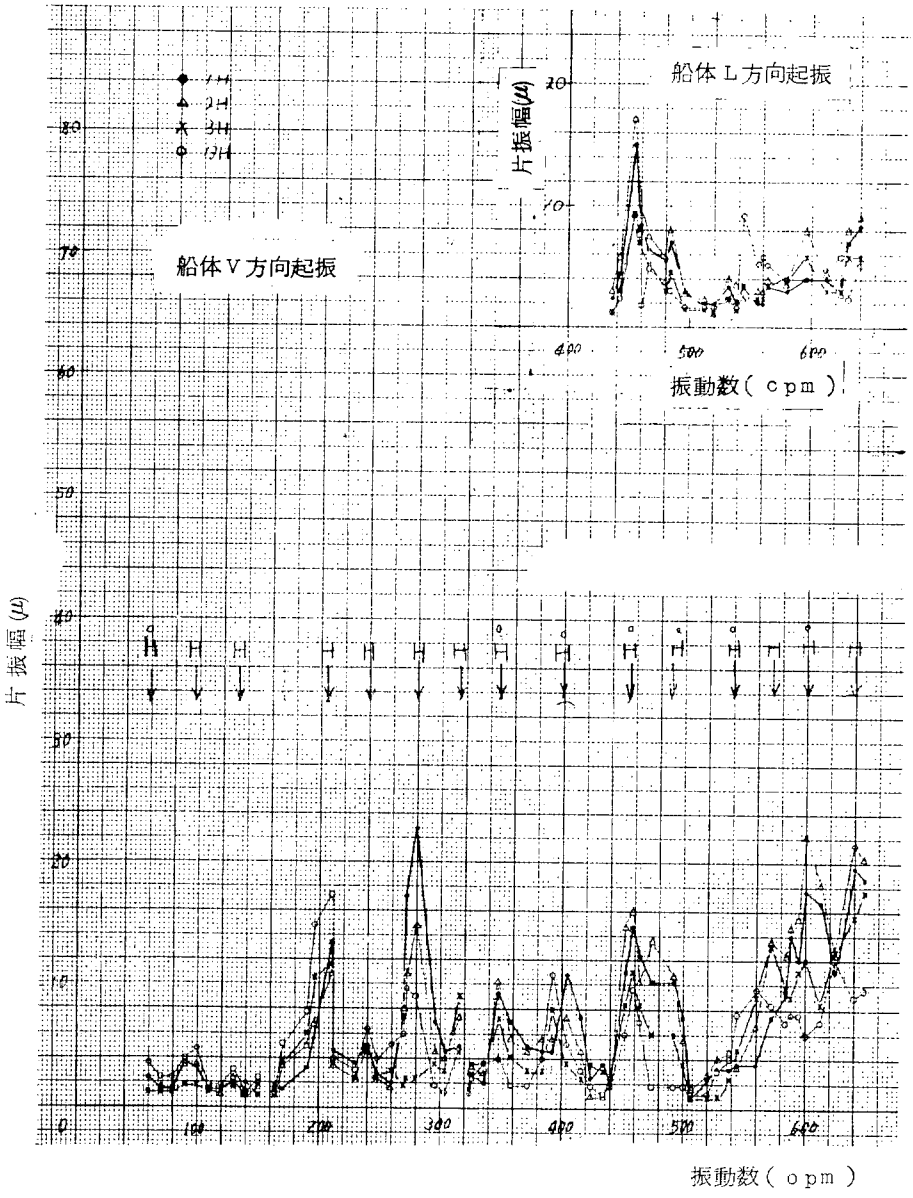
軸系振動による架構の横振動はあまり大きくなく、陸上ではI節ねじれ振動によつてX形振動、II節ねじれ振動によつてx形振動、海上ではII節ねじれ振動によつてX形振動を示しているが、その振幅は最大26μ（海上）であり小さい。

第1.1.20表 固有振動数一覧表

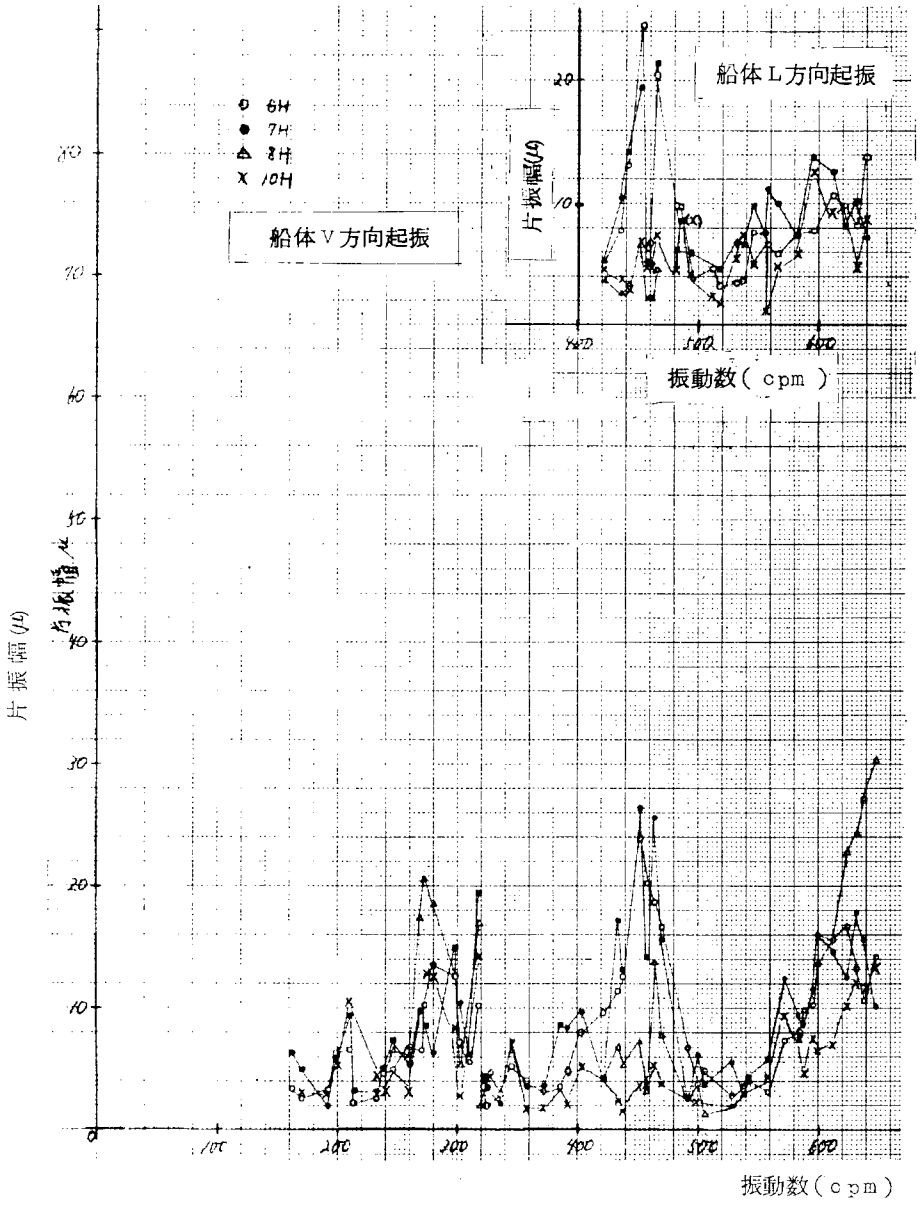
振動形	シリンダ数	陸上	海上半載		海上満載	
			ブレーシング除去	ブレーシング付き	ブレーシング除去	ブレーシング付き
H	12	480cpm以下	664cpm(55.3rpm×12次)		682cpm(56.8rpm×12次)	764cpm(63.7rpm×12次)
	10	425cpm(84.9rpm×5次 / 40.4 ×10次)		756cpm(75.6rpm×10次)		720cpm(71.8rpm×10次)
	9	(42) 495cpm(55 rpm×9次)	585cpm(65rpm×9次)	765cpm(85 rpm× 9次)		730cpm(81 rpm× 9次)
X	12	690cpm(114.9rpm×6次)	599cpm(119.3rpm×5次 / 100.4 ×6) 682cpm(113.6rpm×6)		599cpm(99~100.7rpm×6次) 640cpm(106.7rpm×6次) 677cpm(112.8rpm×6次)	581cpm(96.8rpm× 6次) 684cpm(114rpm× 6次)
	10	415cpm(82.5rpm×5次) 500cpm(100.1rpm ×5) 545cpm(108.8rpm ×5)		445cpm(111.5rpm×4次 / 89.7 ×5) 480cpm(95.5rpm×5次) 535cpm(107.8rpm×5次)		445cpm(110rpm× 4次) 505cpm(101rpm× 5) 565cpm(113rpm× 5)
	9	500cpm(100rpm×5次 / 83 ×6) 654cpm(109rpm×6次)	670cpm(111.5rpm×6次)	な し		663cpm(110.5rpm×6次)
x	12	907cpm(91.7rpm×10次 / 59.7 ×15) 967cpm(106.5rpm× 9 / 54.2 ×18)	907cpm(100.4rpm× 9次 / 91.0 ×10) 1.057cpm(115.7rpm× 9次 / 107.4 ×10)		890cpm(99rpm×9次) 1,015cpm(112.8rpm×9次)	895cpm(99.5rpm×9次) 1,047cpm(116.3rpm×9)
	10					
	9					



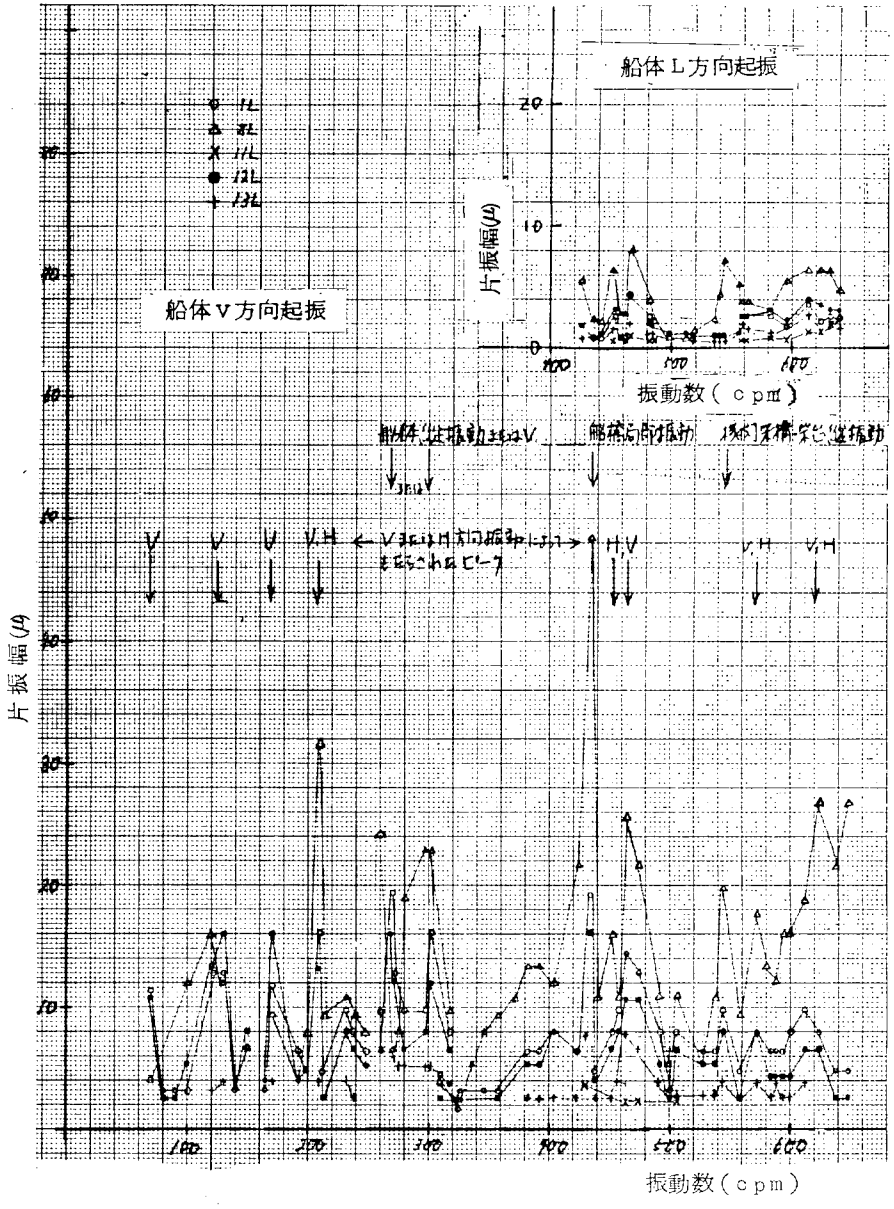
第1.1.100図　船体起振実験における機関架台Ｖ方向振動変位



第1.1.101図　船体起振実験における架台、軸受台Ｈ方向振動変位



第1.1.102図　船体起振実験における機関架構上部H方向振動変位



第1.1.103図　船体起振実験における機関囲りL方向振動変位

また軸系振動はスラスト軸受を介して船体縦振動を与えるが、その最大値は0節6次縦振動および1節6次ねじれ振動に対して、推力軸受上部で116μおよび151μ、軸受台で55μおよび76μである。そして振幅は軸受台から遠ざかるに従い減少する(位相は同位相)。

1.8 まとめ

以上、測定対象機関における機関架構および架台の横、上下および縦3方向の測定結果を整理してその振動ピークを抽出し、それを架構固有振動、軸系振動および船体振動による振動の3種の場合に区分整理した。そして、機関架構振動、軸系振動および船体船体振動の関連について概略的な検討を行なつた。その結果、現段階における船体－機関振動防止対策としては、機関架構(架台を含む振動系)、軸系および船体(全体振動と船橋、船尾局部振動)の固有振動を一致させないことが考えられる。

来年度は、これをもとにして船体分科会による本船測定結果報告と照合して船体振動と機関振動との関連を検討するとともに機関の起振機実験により機関架構の固有振動数を明確にし、船のベツド(二重底)をも含めた振動系についての振動に対する理論的解析を実施したい。

第2章　石川島播磨重工業計測結果とその考察

2.1　緒　　言

石川島播磨重工で建造された８４,２００D.W.T鉱油兼用船用主機、石川島播磨スルザー１０ＲＤ９０型機関の陸上、繋留、および海上満載運転時に、架構振動およびクランク軸縦振動を測定し、それらの固有振動数、振動モードなどをとりまとめて報告する。

2.2　測 定 項 目

１）架構、および主機台の横、上下、前後方向振動変位

２）クランク軸縦振動変位

３）中間軸トルク変動

2.3　測定機関および船体の要目

2.3.1　機関要目

機関型式	石川島播磨スルザー　１０ＲＤ９０型デイーゼル機関
シリンダ径	９００mm
ピストン行程	1,５５０mm
シリンダ数	１０
着火順序	１０－４－３－８－７－１－９－５－６－２
定格出力	２３,４００PS
定格回転数	１２２r.p.m
図示平均有効圧力	9.７２kg/cm^2
最高燃焼圧力	７８kg/cm^2
クランク軸径	６８０mm

2.3.2　船体要目

船　　種	ORE/OIL CARRIER、AFT Br.
$L_{OA}\times L_{Bp}\times B_m\times D_m$	$249.90^{M}\times 240.00^{M}\times 38.94^{M}\times 19.50^{M}$
D.W	８４,２００KT
プロペラ直径	6,６００M
翼　　数	５翼
中間軸径	５９５mm
プロペラ軸径	７００mm
機関位置	Aft.Engine

2.4　測定要領

2.4.1　測定日時

陸上運転：昭和４２年７月９、１０日

繋留運転：昭和４２年９月９日

岸壁繋留、プロペラ軸、切離運転

海上運転：昭和４２年９月２４日

和歌山沖、満載状態運転

2.4.2　測定位置

第1.2.1図に陸上、繋留、海上運転時の測定位置を示す。

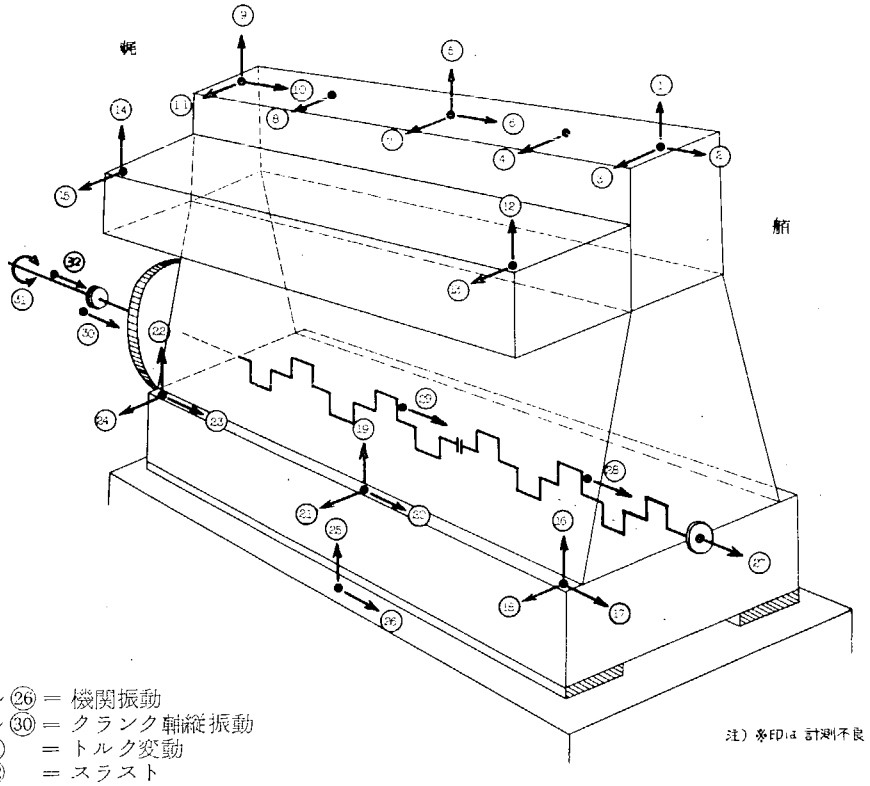
2.4.3　測定条件

主機回転数は、陸上および海上運転では40rpm～１２６rpm、繋留運転では４０rpm～１２２rpmまでとし、約

2回転ごとに整定させて振動測定を行なつた。出力と回転数の関係を第1.2.2図に示す。

2.4.4　主機据付方法

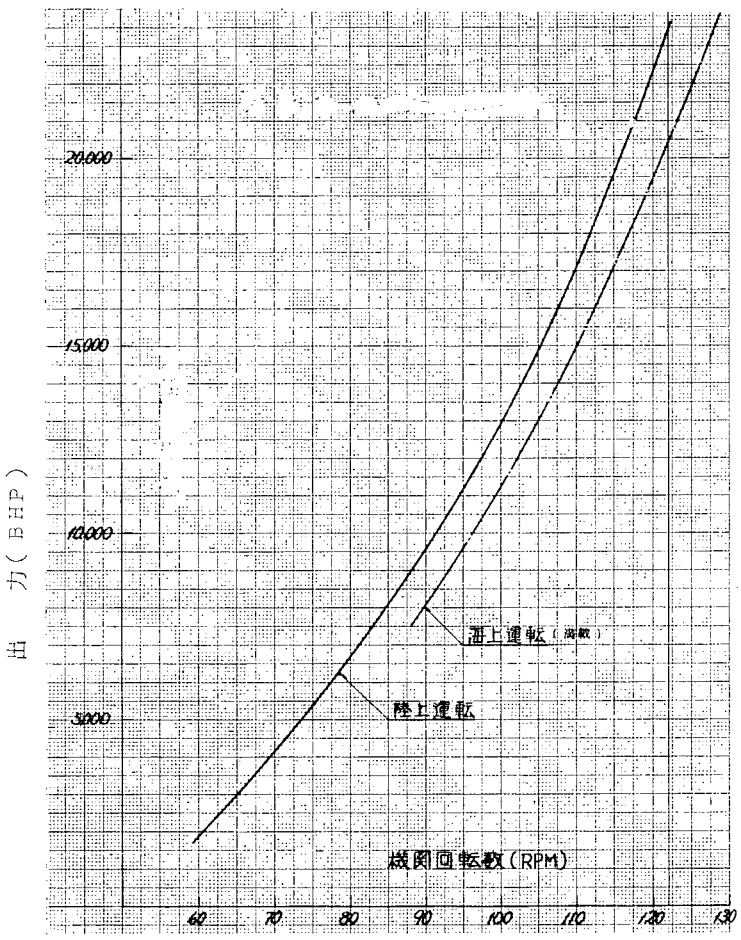
陸上運転時および船内における主機据付方法、防振スプリング取付要領を第1.2.3図～第1.2.6図に示す。



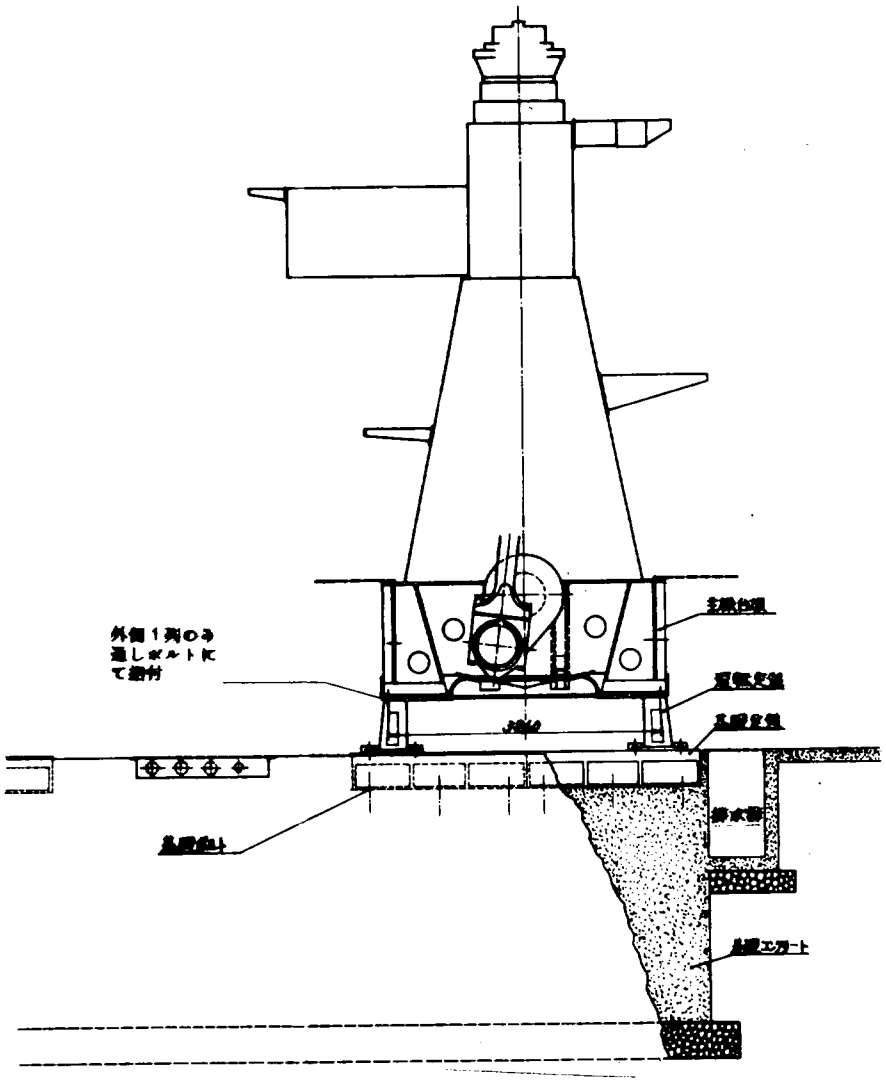
①～㉖＝機関振動
㉗～㉚＝クランク軸縦振動
㉛　＝トルク変動
㉜　＝スラスト

測定位置			
運転種別 / 位置	陸上運転 Ⓐ	繋留運転 Ⓑ	海上運転 Ⓒ
1	○	—	○
2	○	—	○
3	○	○	○
4	○※	—	—
5	○	—	○
6	○	—	—
7	○	—	○
8	○※	—	—
9	○	○	○
10	○	○	○
11	○	○	○
12	○	—	○
13	○※	—	○
14	○	○	○
15	○※	○	○
16	○	—	○
17	○	—	○
18	○	—	○
19	○	—	○
20	○	—	—
21	○	—	○
22	○	○	○
23	○	—	○
24	○	○	○
25	—	—	○
26	—	—	○
27	○	○※	○
28	○	○	○
29	○	○	○
30	○	○	○
31	—	—	○
32	—	—	○※

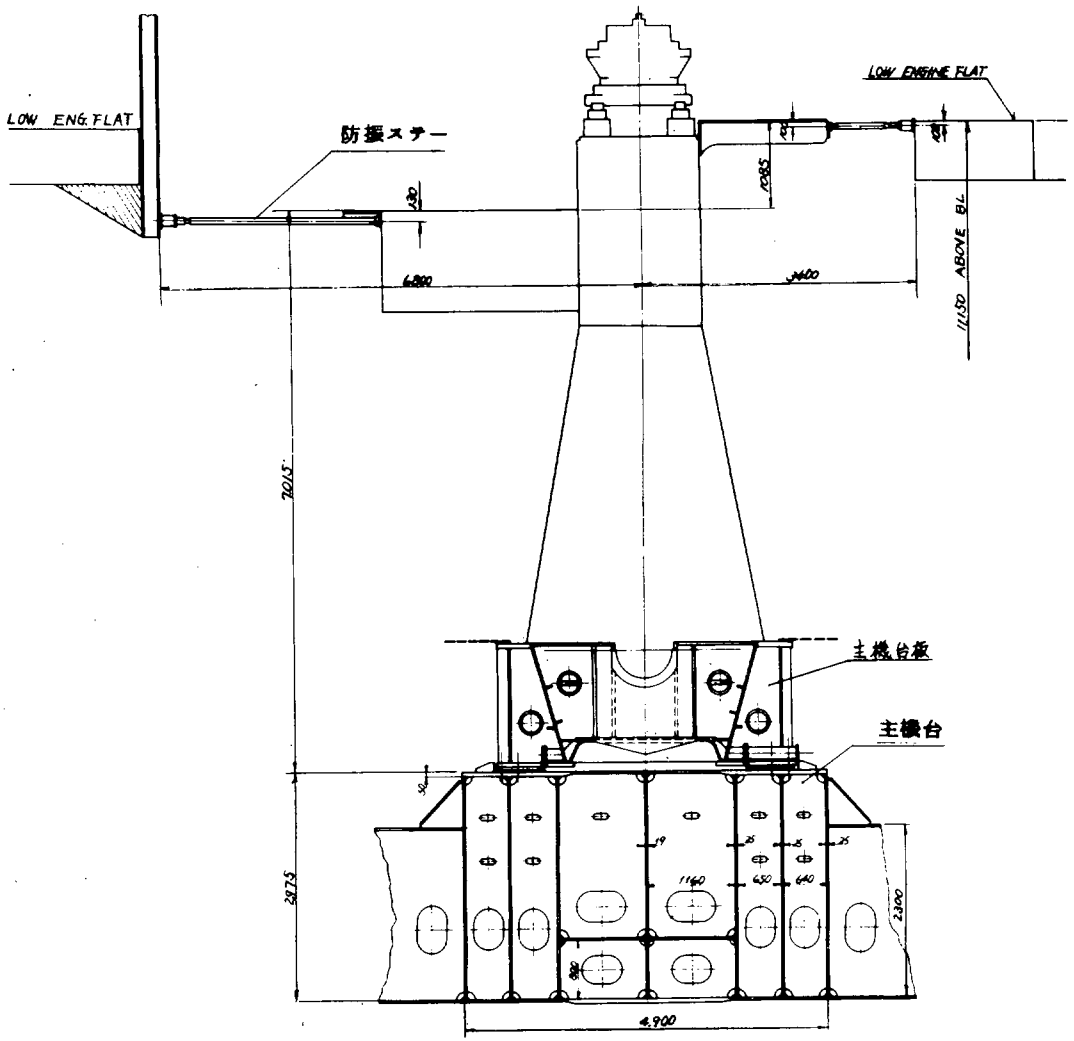
第1.2.1図　測定位置



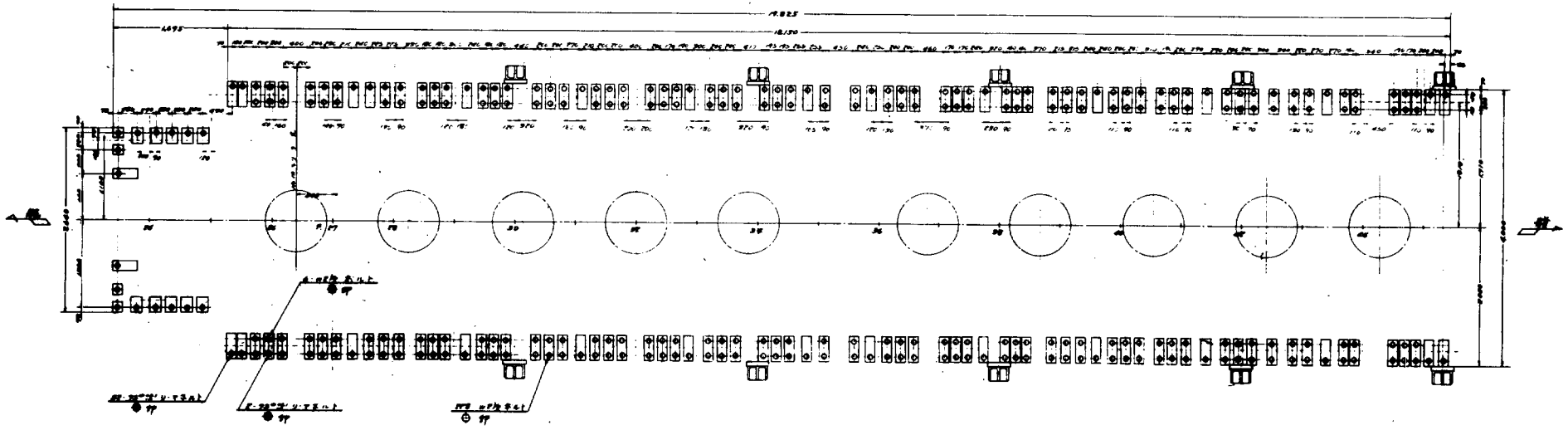
機関回転数（rpm）
第1.2.2図　主機回転数と出力の関係



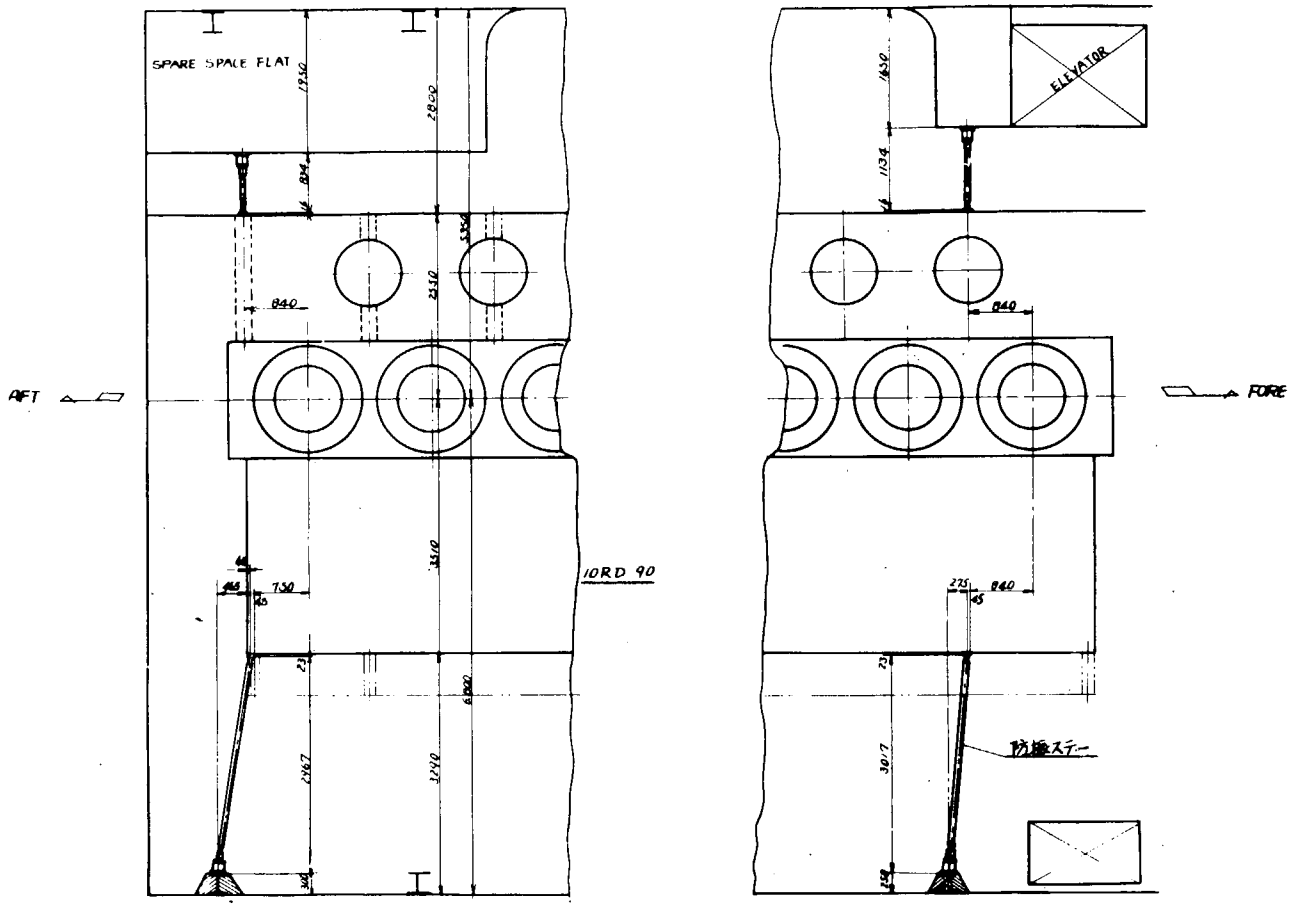
第1.2.3図　陸上運転主機据付方法



第1.2.4図　船内主機据付方法



第1. 2. 5 図　船内主機据付ボルト配置



第 1. 2. 6 図　船内主機防振ステー取付方法

2. 4. 5　使用測定機器

(1)　振動変位計

国際機械振動研究所製低域振動計　ＶＭ－３３０３　ＬＬ型

ＶＭ－３３００ＬＬ型

振動振幅測定範囲	0～±50 μ、±150 μ、±500 μ、±1.5 mm、±5 mm
振動測定周波数範囲	1～５０ CPS
ピックアップ	ＶＰ－３３００ＬＬ型
精　　度	±５％

周波数特性を第 1. 2. 7 図に示す。

(2)　軸系相対縦振動計

ピックアップ	ストレンゲージ（ＫＰ－１０－Ａ１－１１）共和電業製
	（片持梁、板バネ変位式）
ストレンメータ	新興通信工業製　ＤＳ６／ＲＸ型
搬　送　波	５０００ CPS
周波数特性	０～５００ CPS　フラット
	５００～１０００CPS　－１ｄｂ以内

(3)　軸系トルク変動

ピックアップ	ストレンゲージ（ＫＦ－２－D_2－１１）　共和電業製

ストレンメータ　　新興通信工業製　DS6／RX型

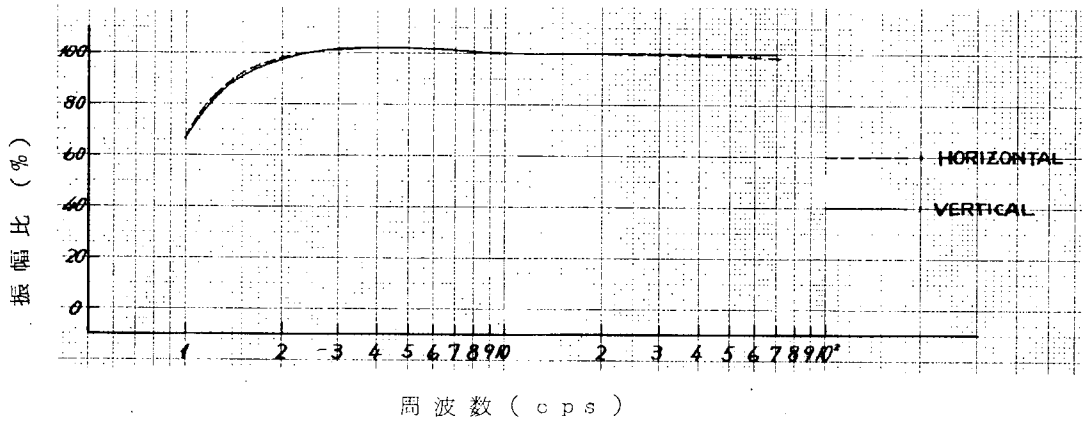
(4) 記　録　計

三栄測器製直記式電磁オシロ　FR－102型

ガルバノメータ　G－　500

G－1000

周波数特性　1000CPS以内はフラット



周波数（cps）

第1.2.7図　振動変位計周波数特性

2.5 測定結果

2.5.1 架構振動

(1) 架構振動調和解析

記録された振動波形をA．OTT製調和解析器を用い調和解析した結果を以下に示す。

陸上運転架構振動調和解析：第1.2.8図～第1.2.14図

繋留運転架構振動調和解析：第1.2.15図～第1.2.19図

海上運転架構振動調和解析：第1.2.20図～第1.2.29図

海上運転主機台振動調和解析：第1.2.30図～第1.2.31図

(2) 架構横振動固有振動数

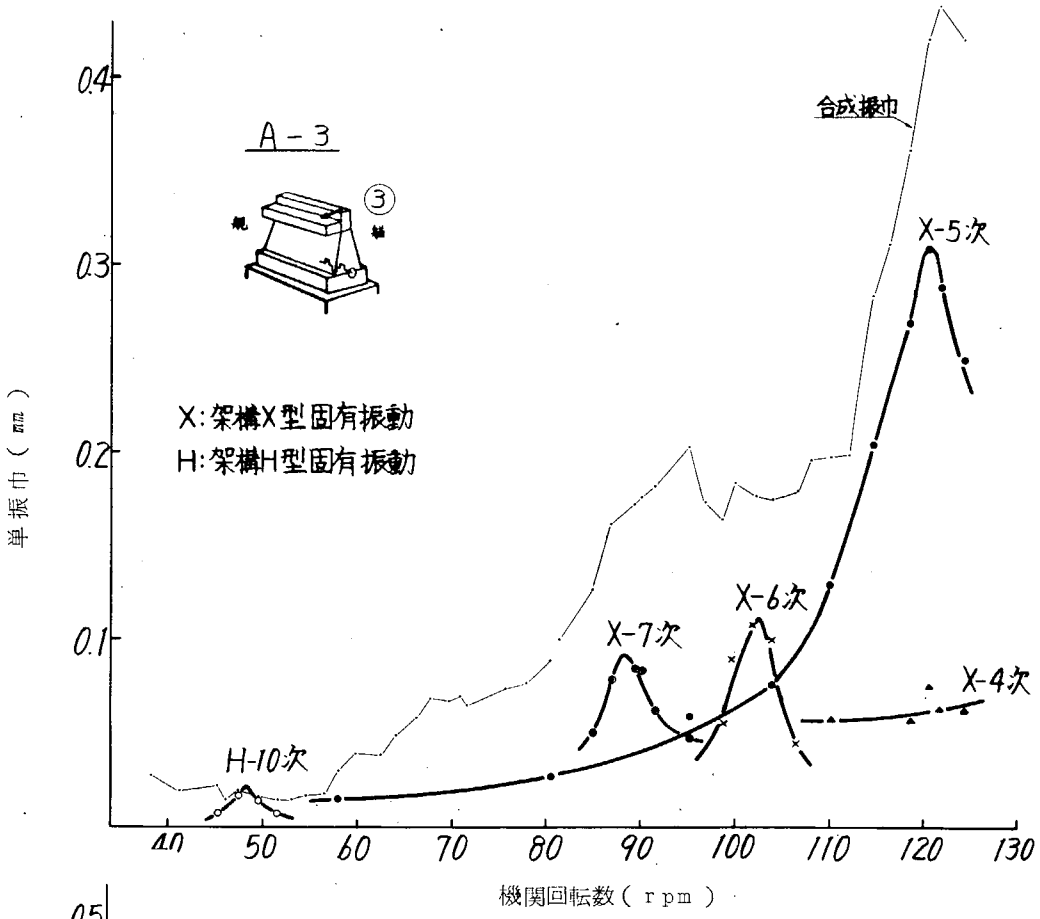
測定結果得られた固有振動数を第1.2.1表に示す。

第1.2.1表　架構横振動固有振動数

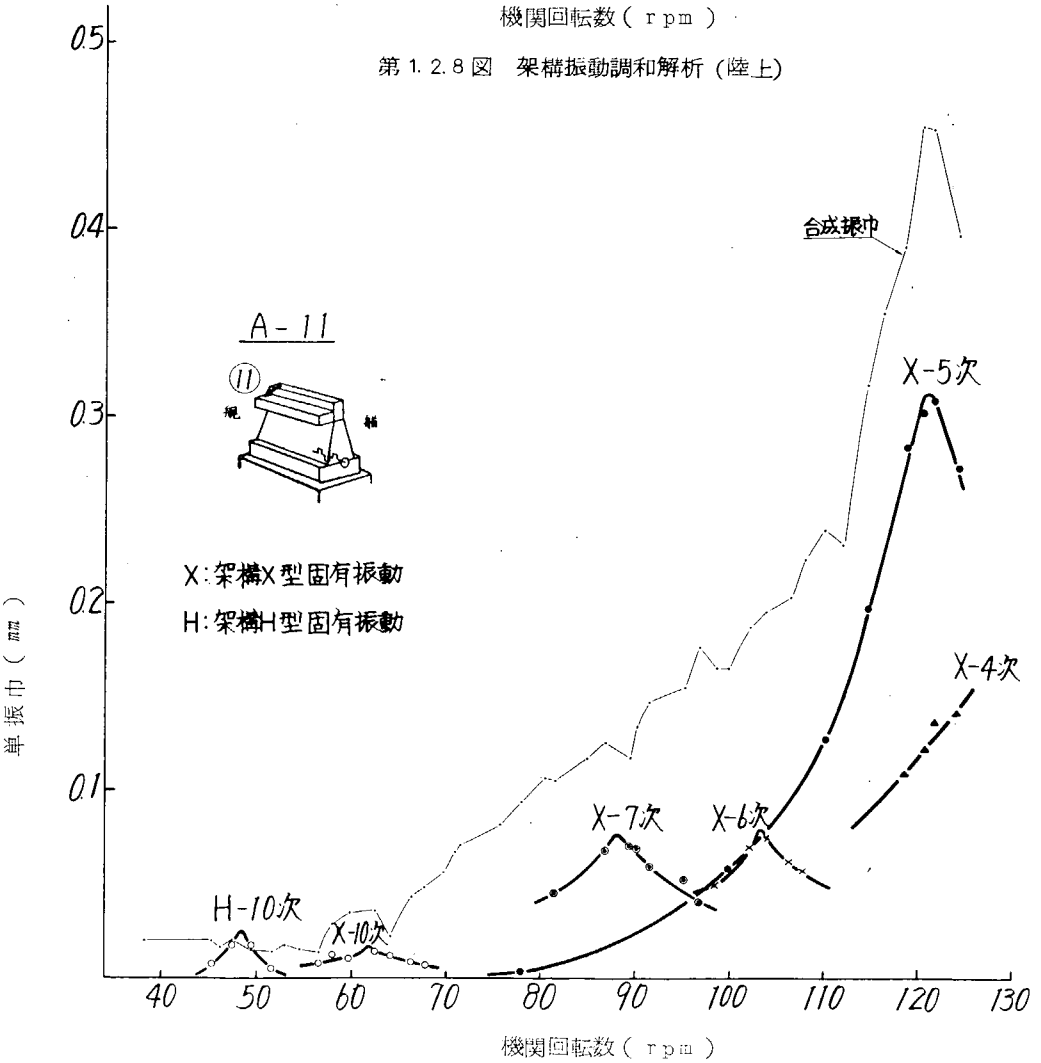
振動形	陸上運転	繋留運転	海上満載運転
H形	485cpm （48.5rpm×10次）		
X形	605cpm （121rpm×5次）	687cpm （114.5rpm×6次）	687cpm （114.5rpm×6次）

(3) 架構横振動固有振動モードおよび架構振動振幅

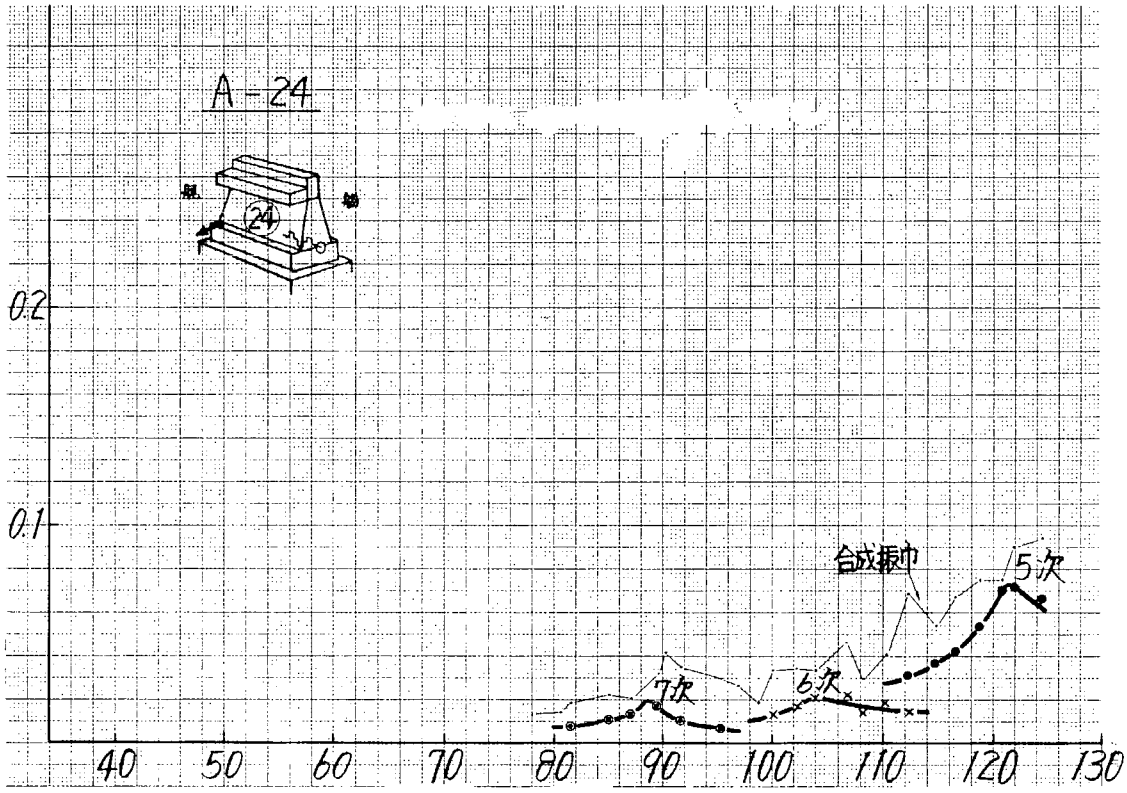
架構横振動固有振動共振点における振動モードおよび振動振幅を第1.2.32図～第1.2.41図に示す。



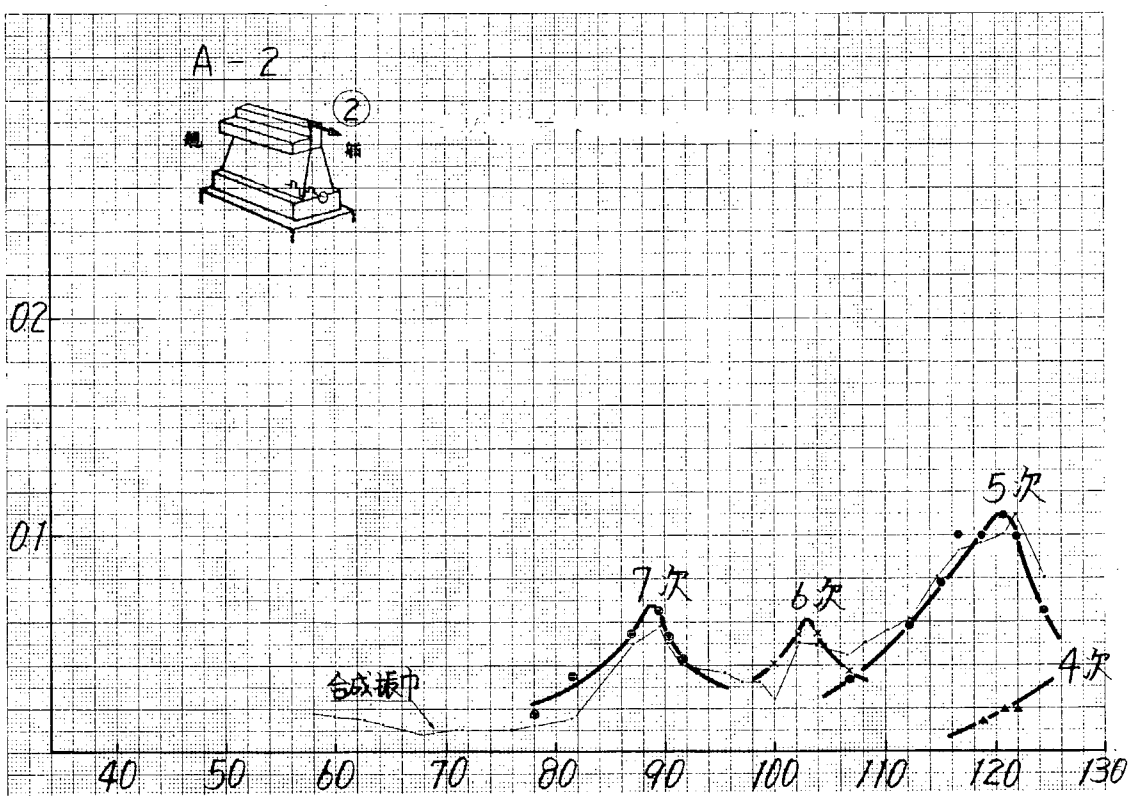
第1.2.8図　架構振動調和解析（陸上）



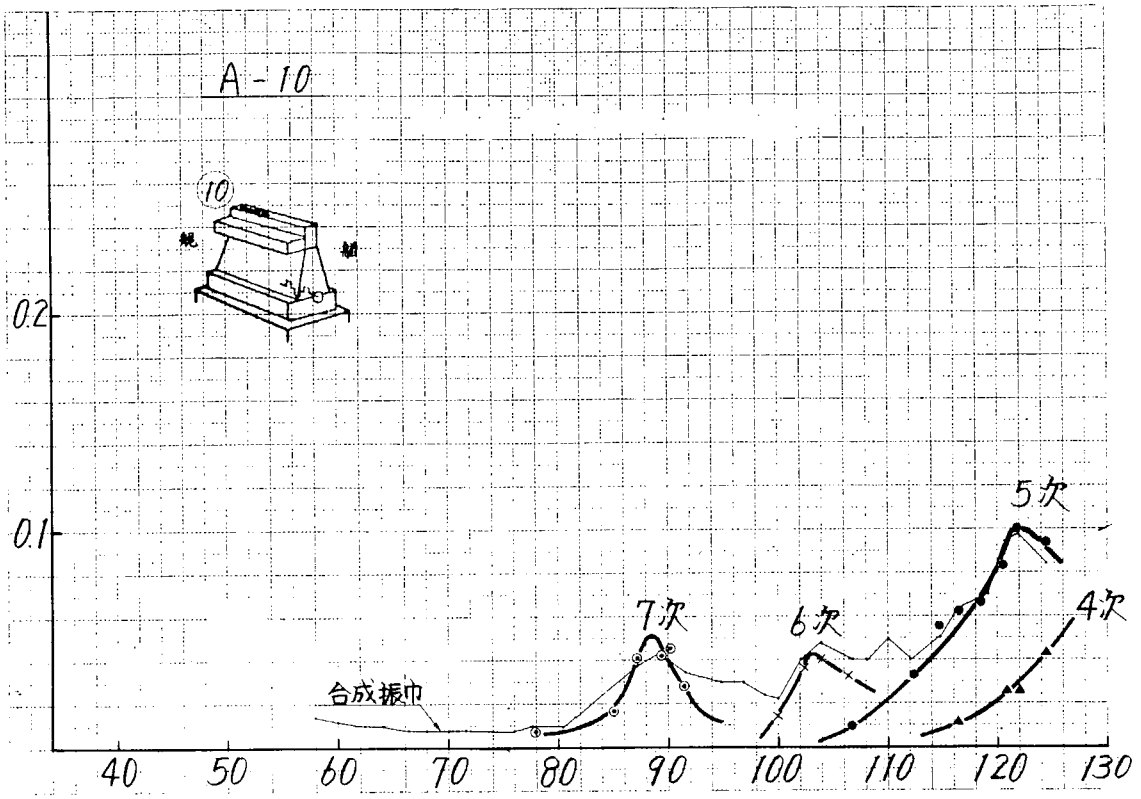
第1.2.9図　架構振動調和解析（陸上）



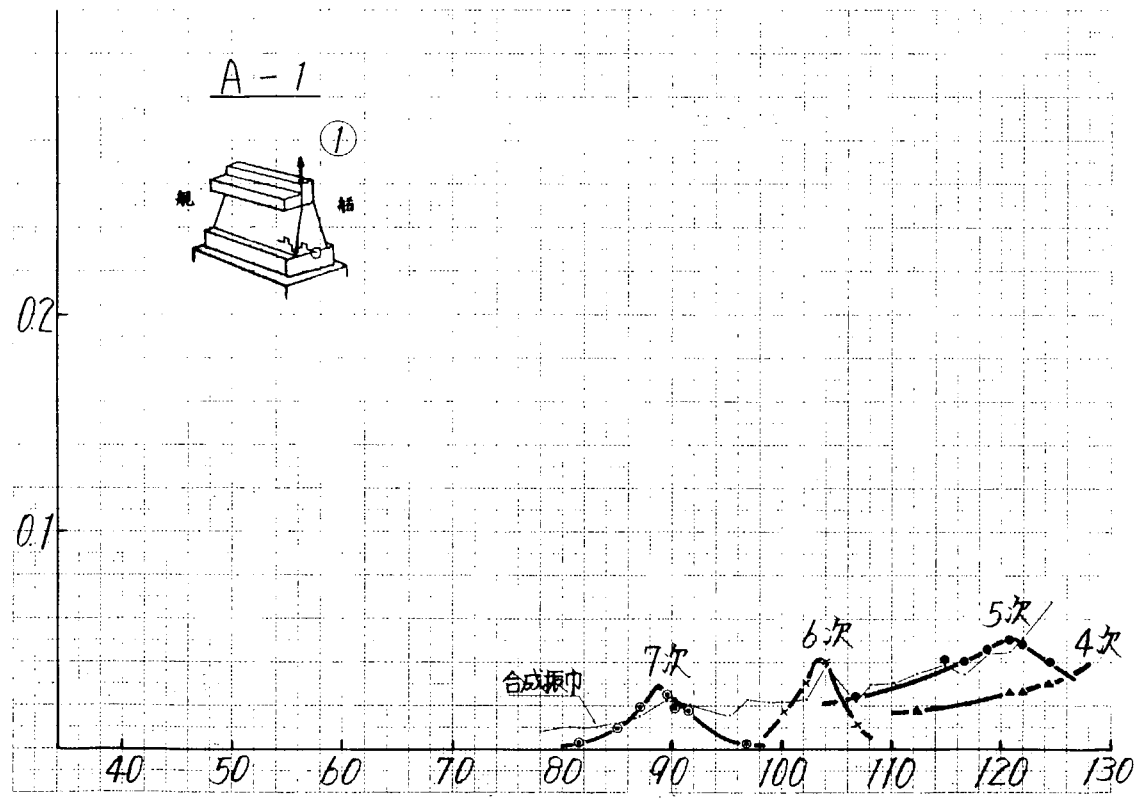
第1.2.10図　架構振動調和解析（陸上）



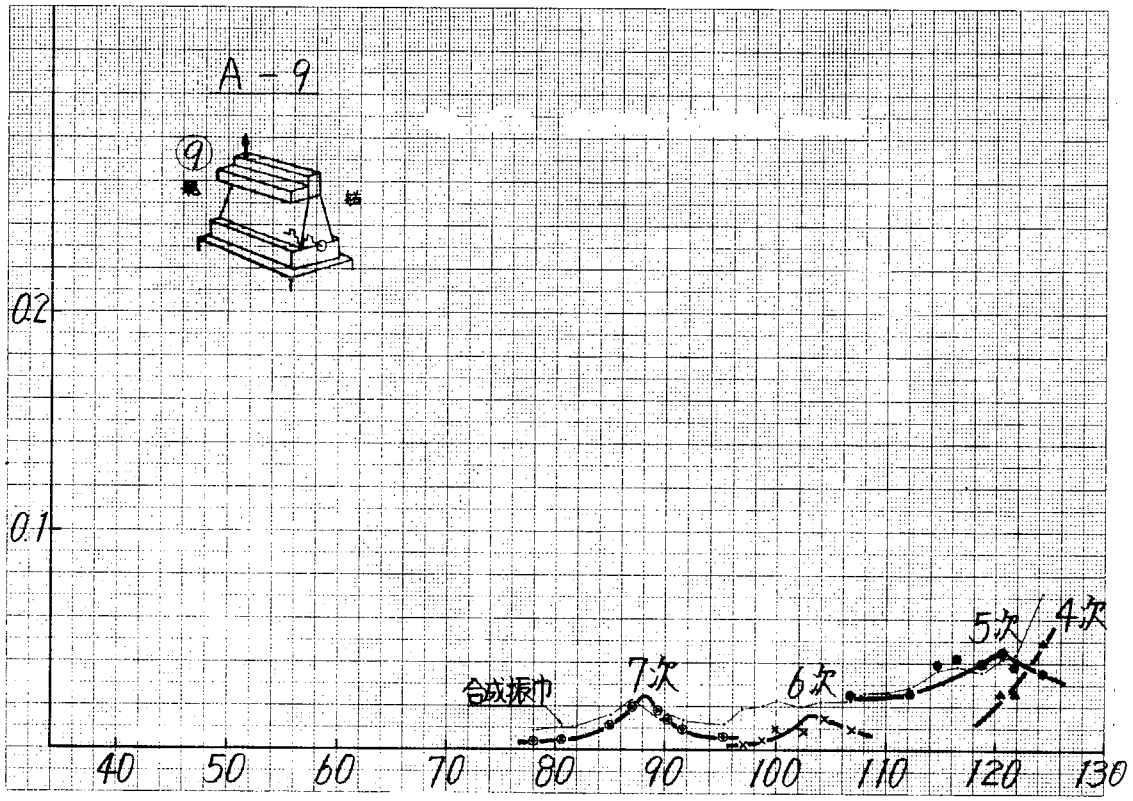
第1.2.11図　架構振動調和解析（陸上）



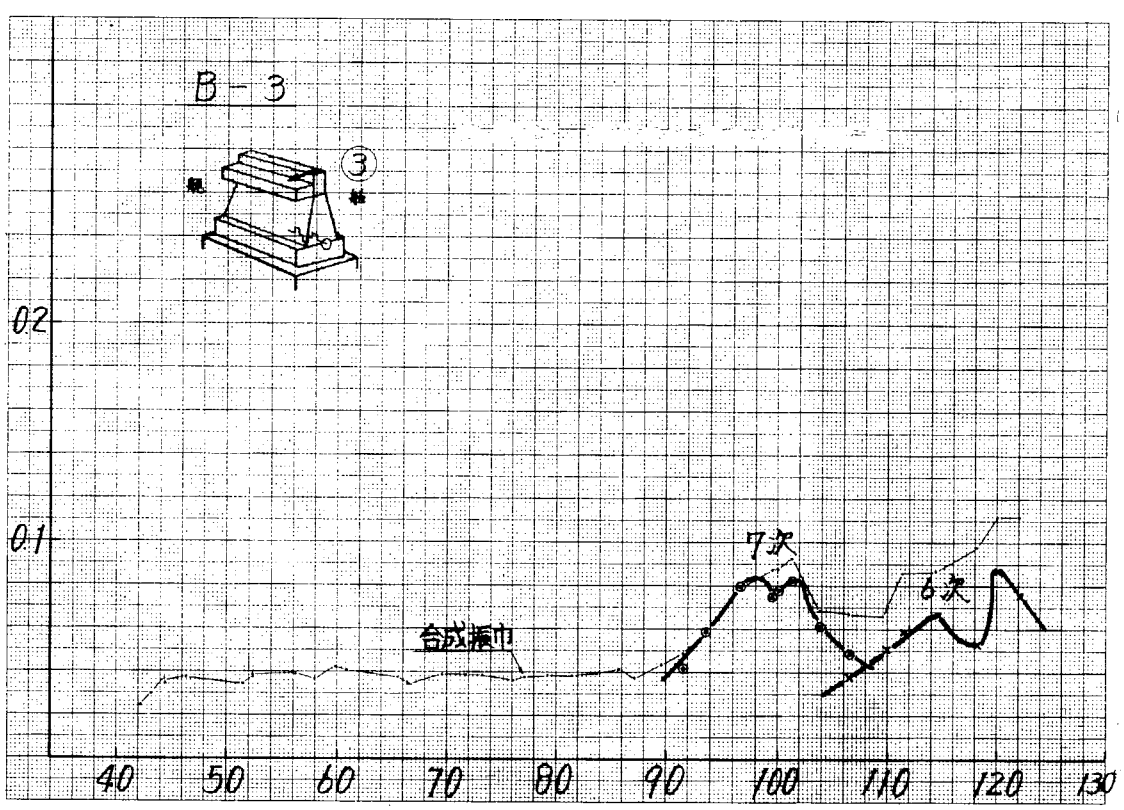
第1.2.12図　架構振動調和解析（陸上）



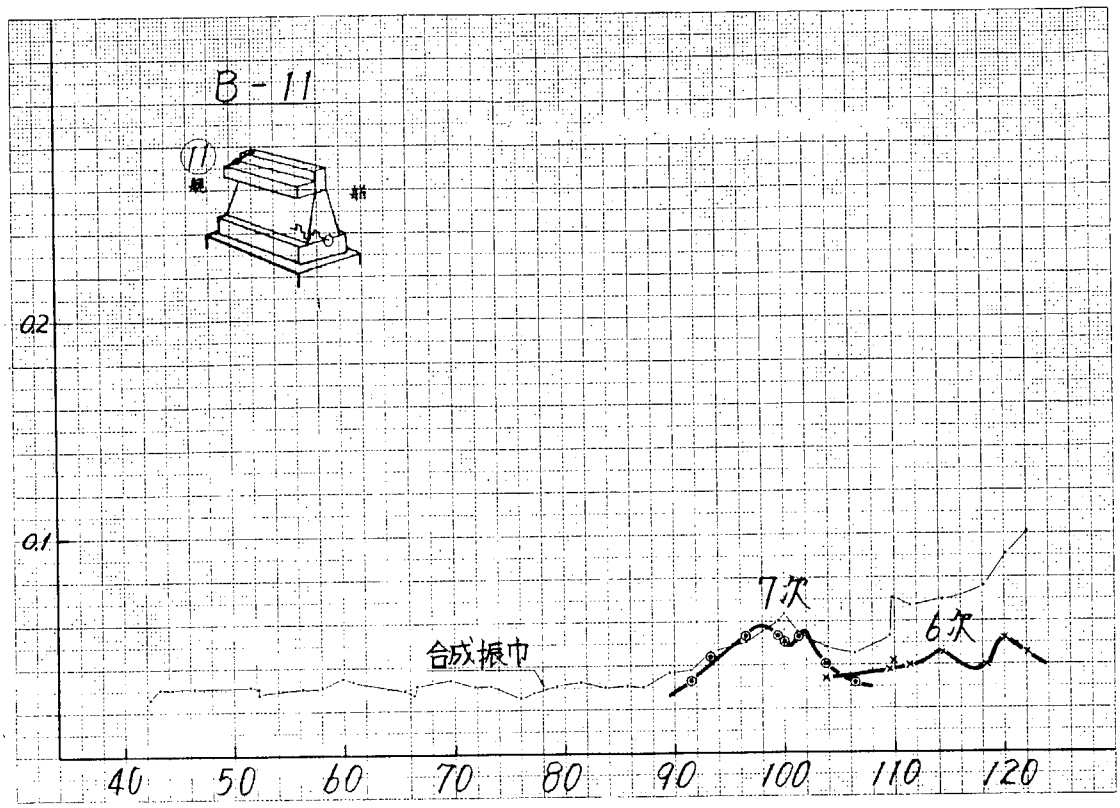
第1.2.13図　架構振動調和解析（陸上）



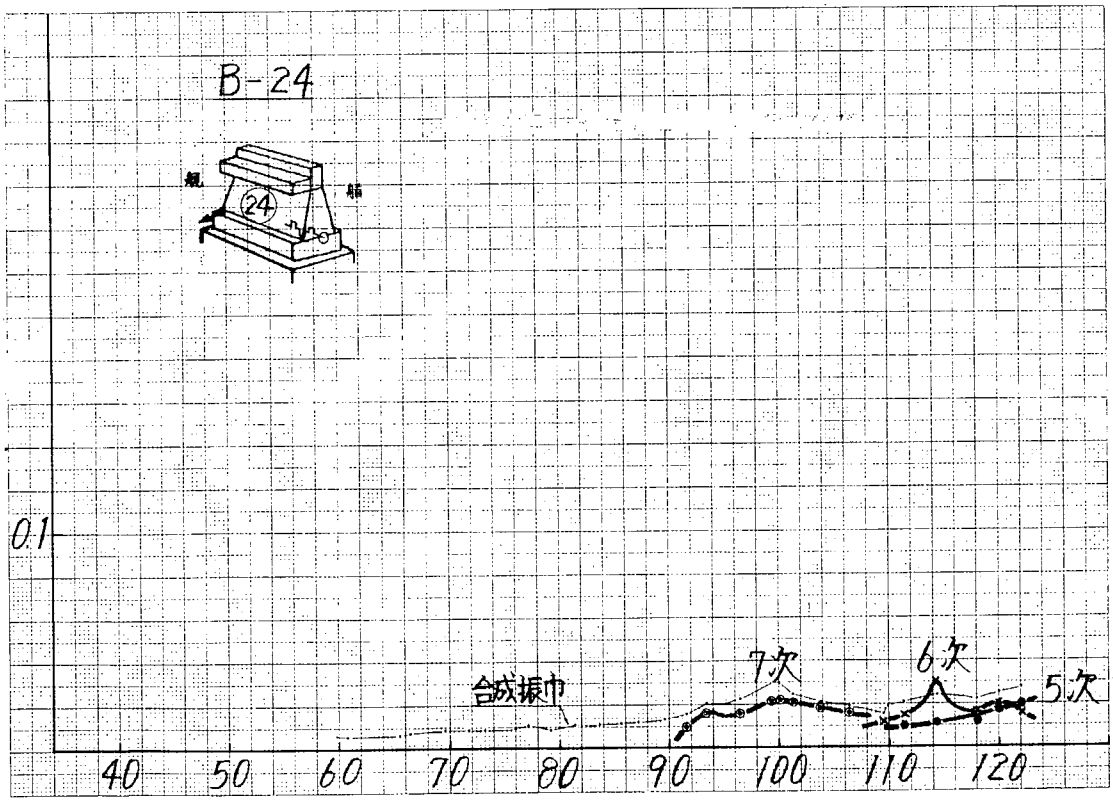
第1.2.14図　架構振動調和解析（陸上）



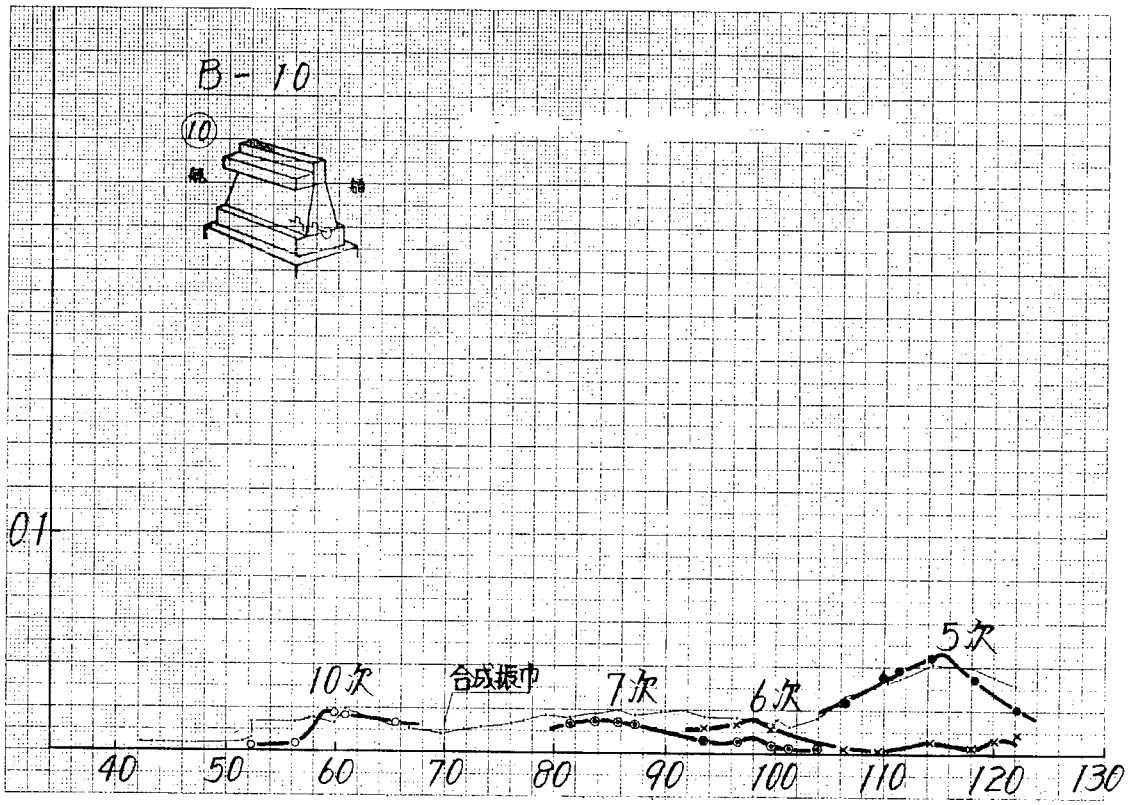
第1.2.15図　架構振動調和解析（繋留）



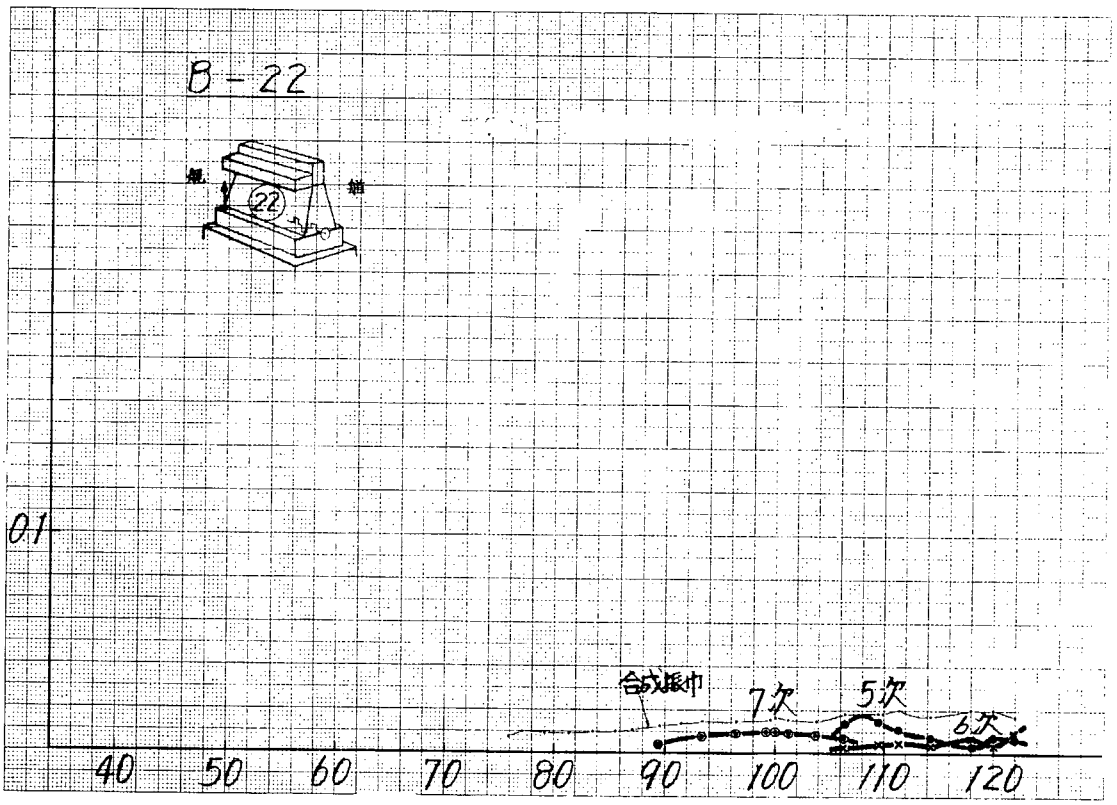
第1.2.16図　架構振動調和解析（繋留）



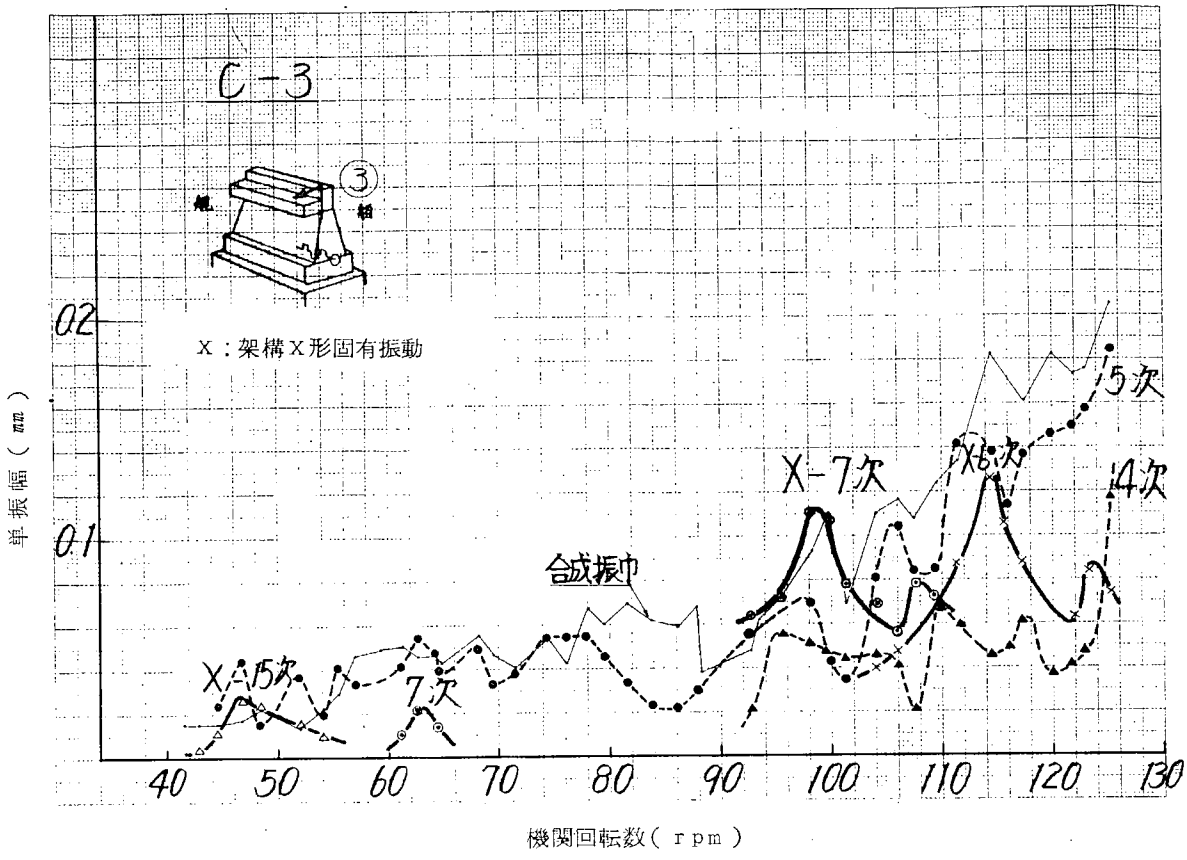
第1.2.17図　架構振動調和解析（繋留）



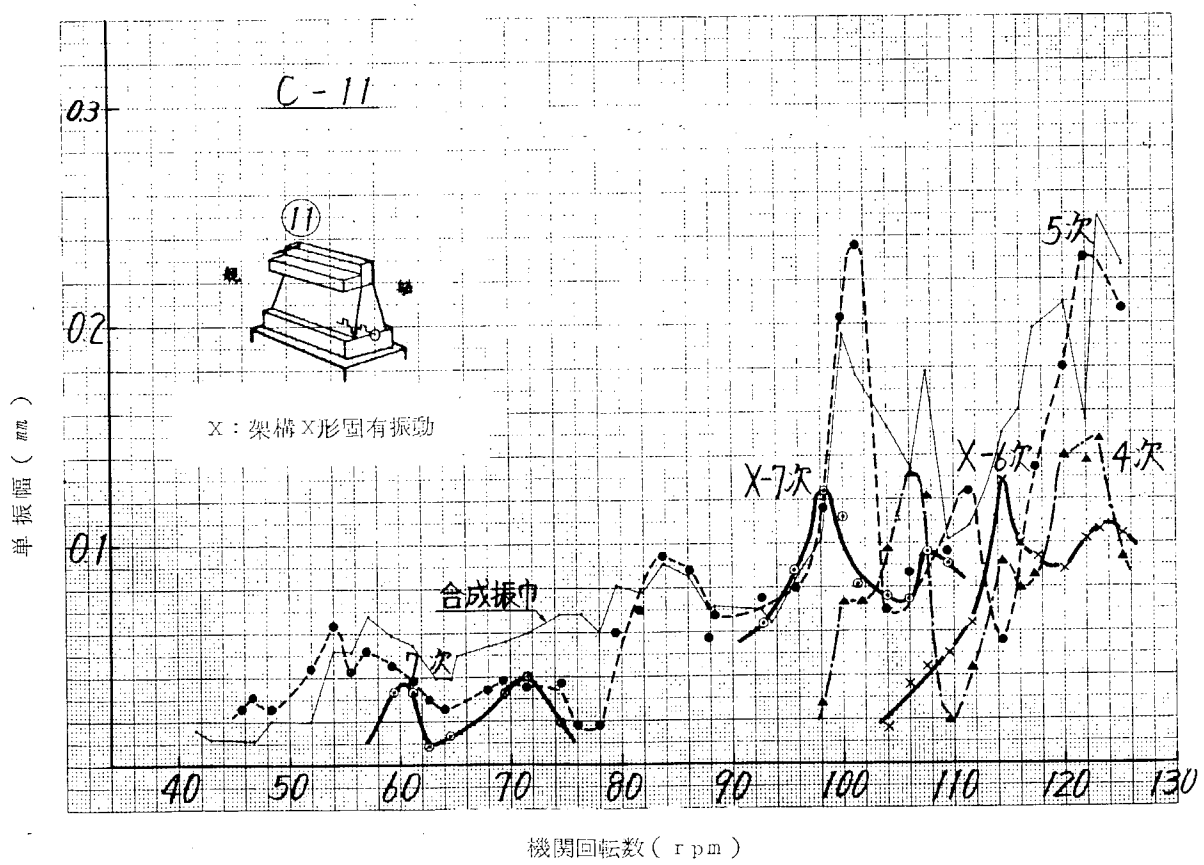
第1.2.18図　架構振動調和解析（繋留）



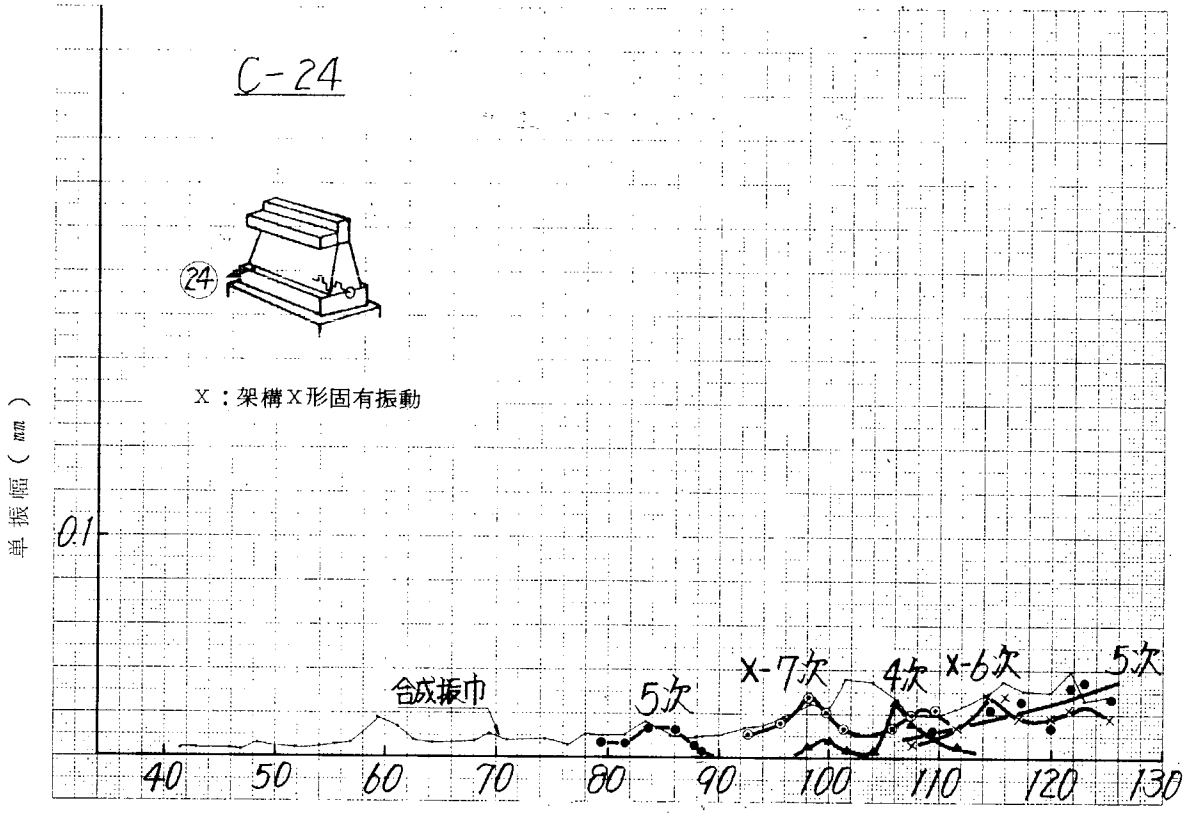
第1.2.19図　架構振動調和解析（繋留）



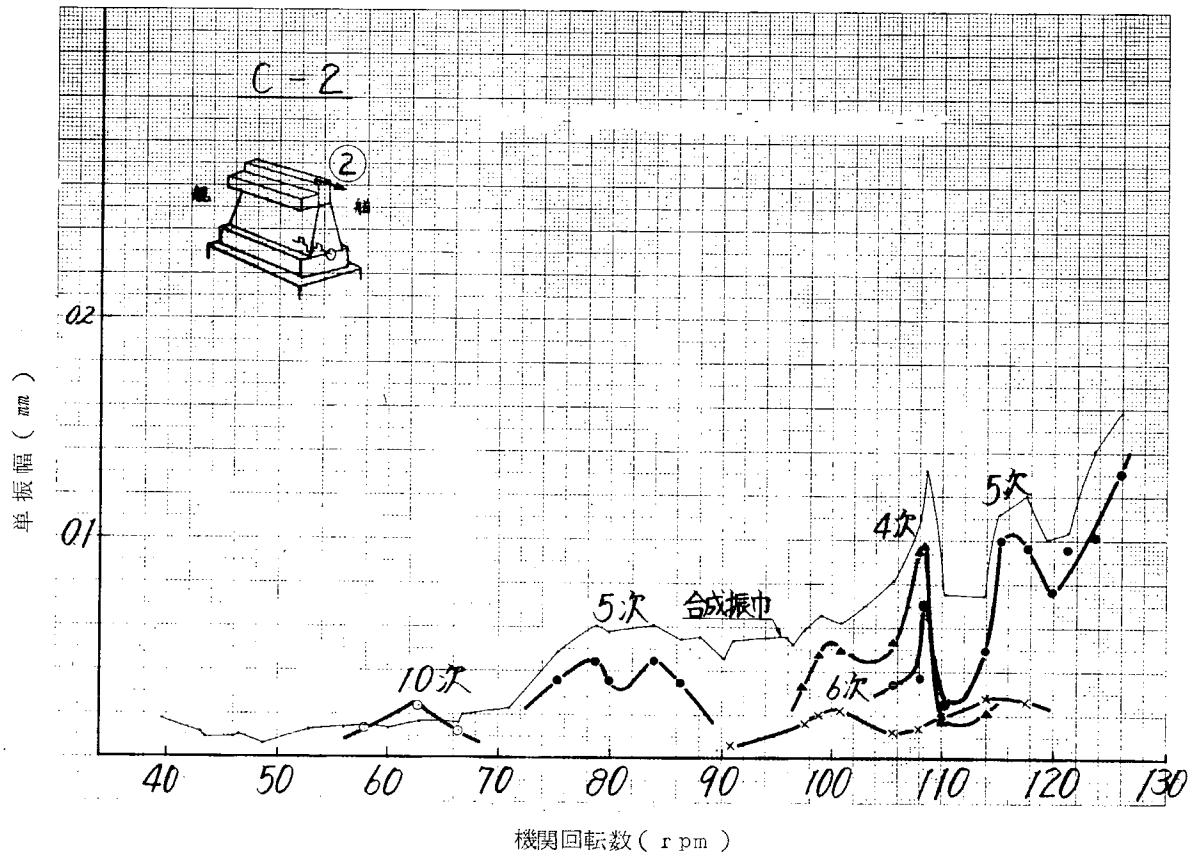
第1.2.20図　架構振動調和解析（海上満載）



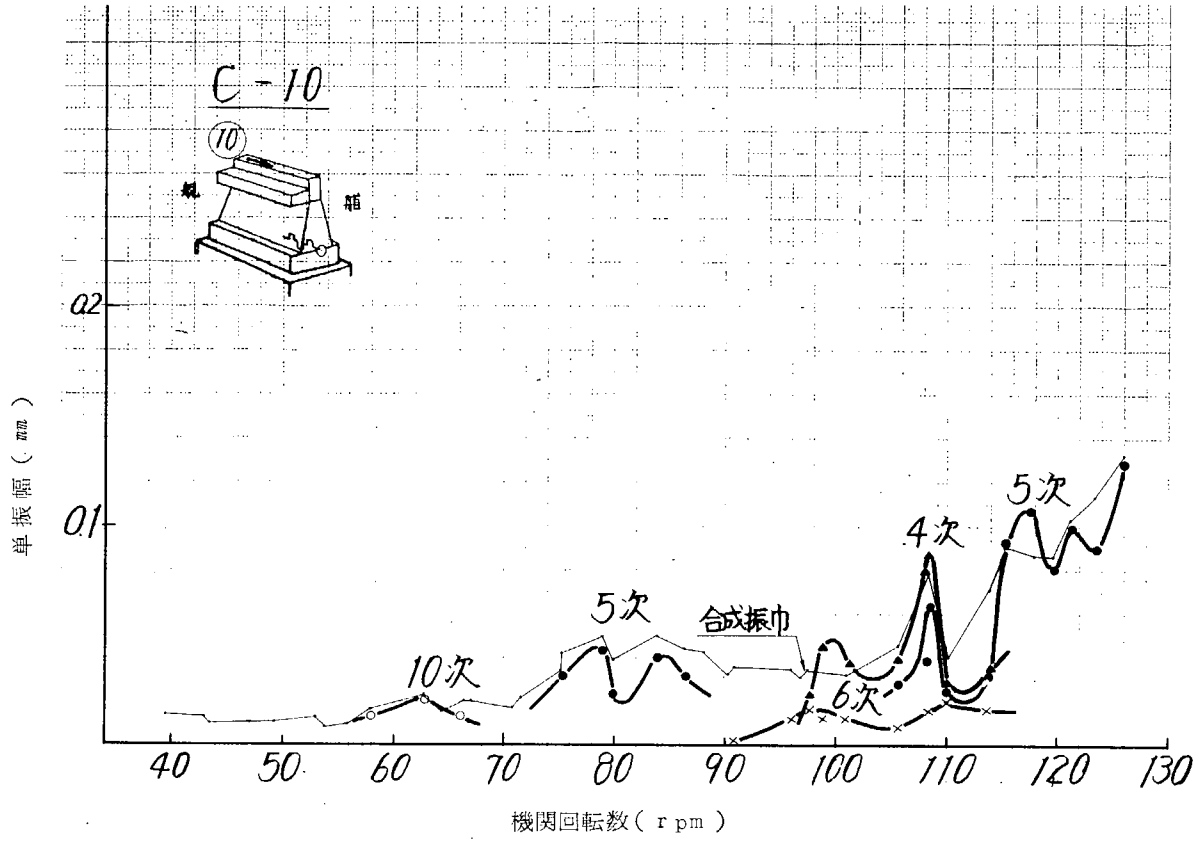
第1.2.21図　架構振動調和解析（海上満載）



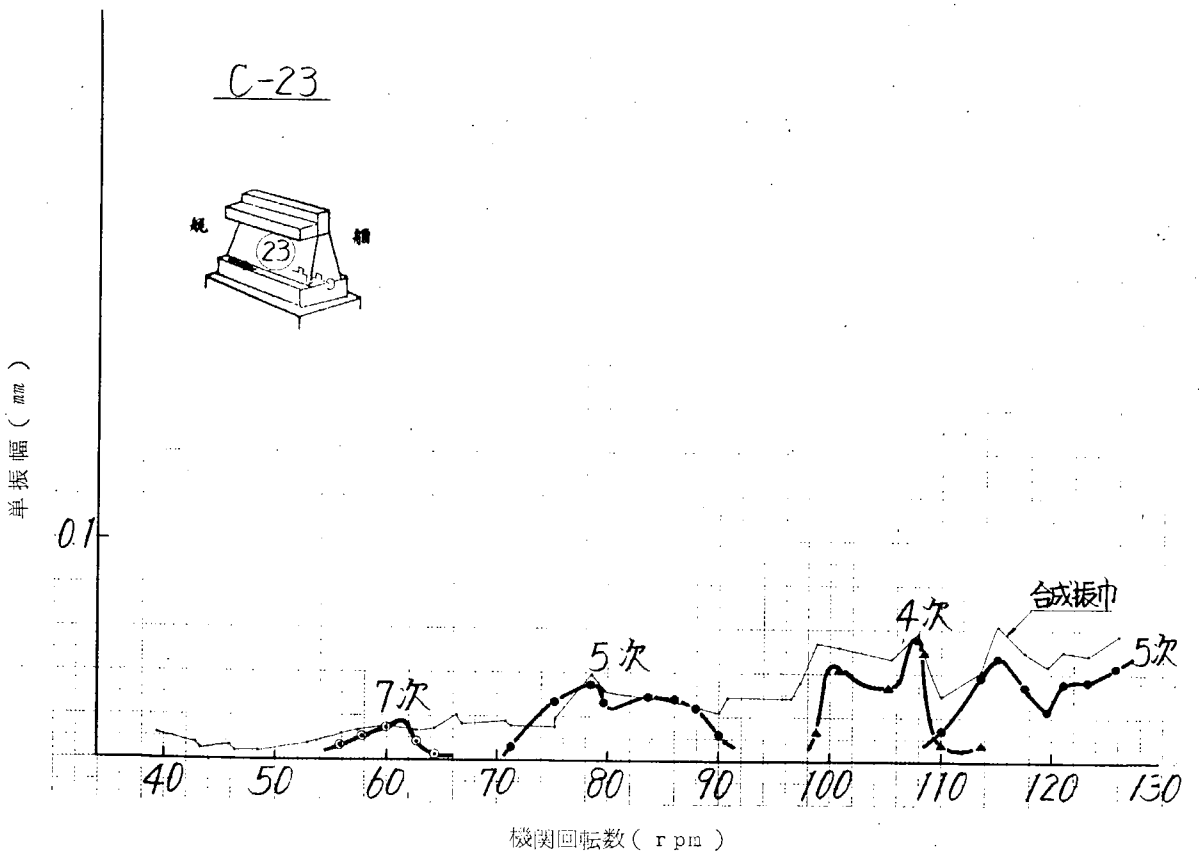
第1.2.2.2図　架構振動調和解析（海上満載）



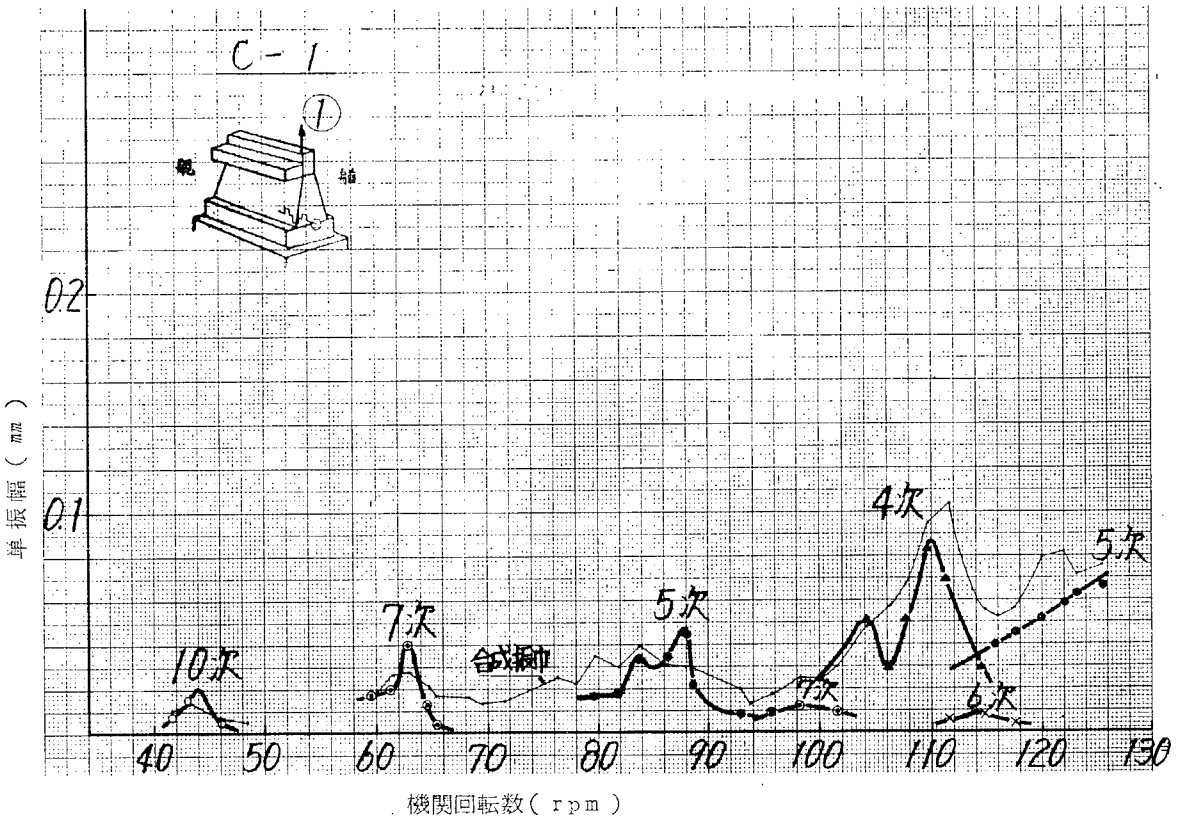
第1.2.2.3図　架構振動調和解析（海上満載）



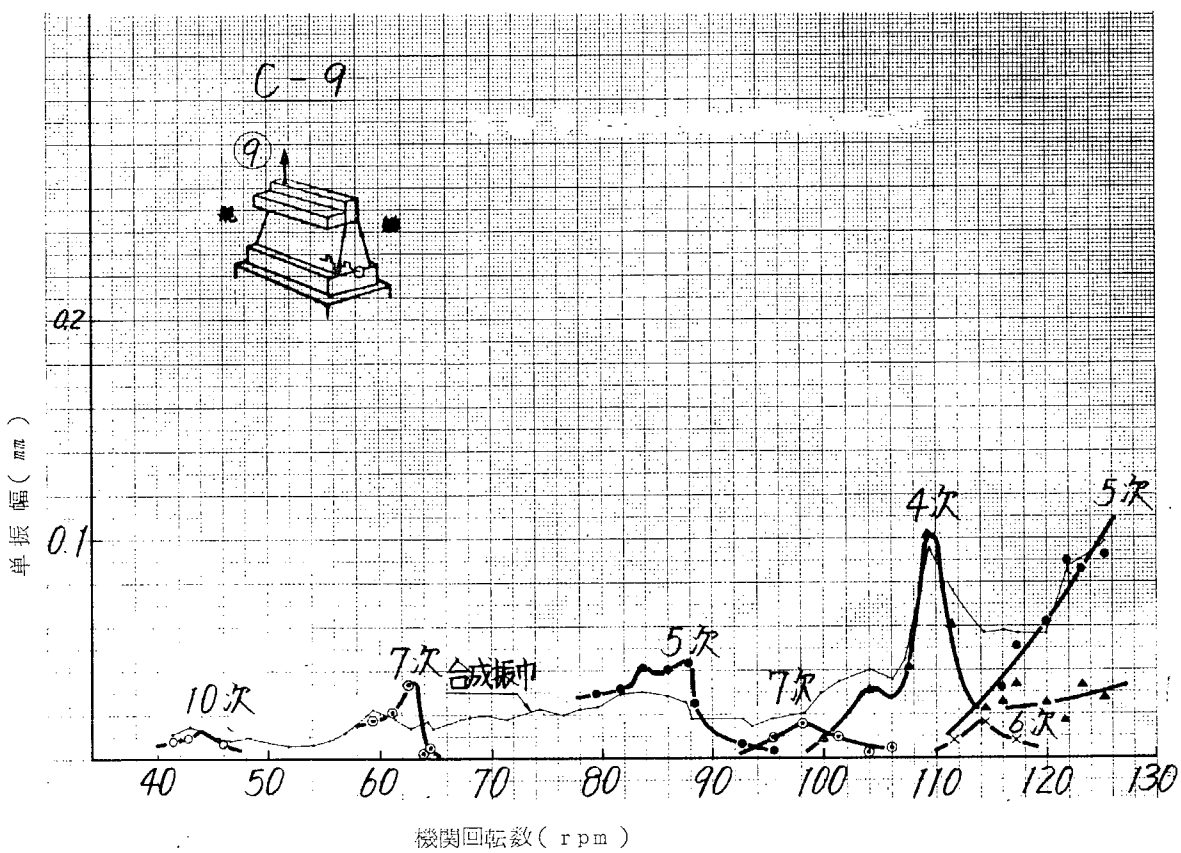
第1.2.24図　架構振動調和解析（海上満載）



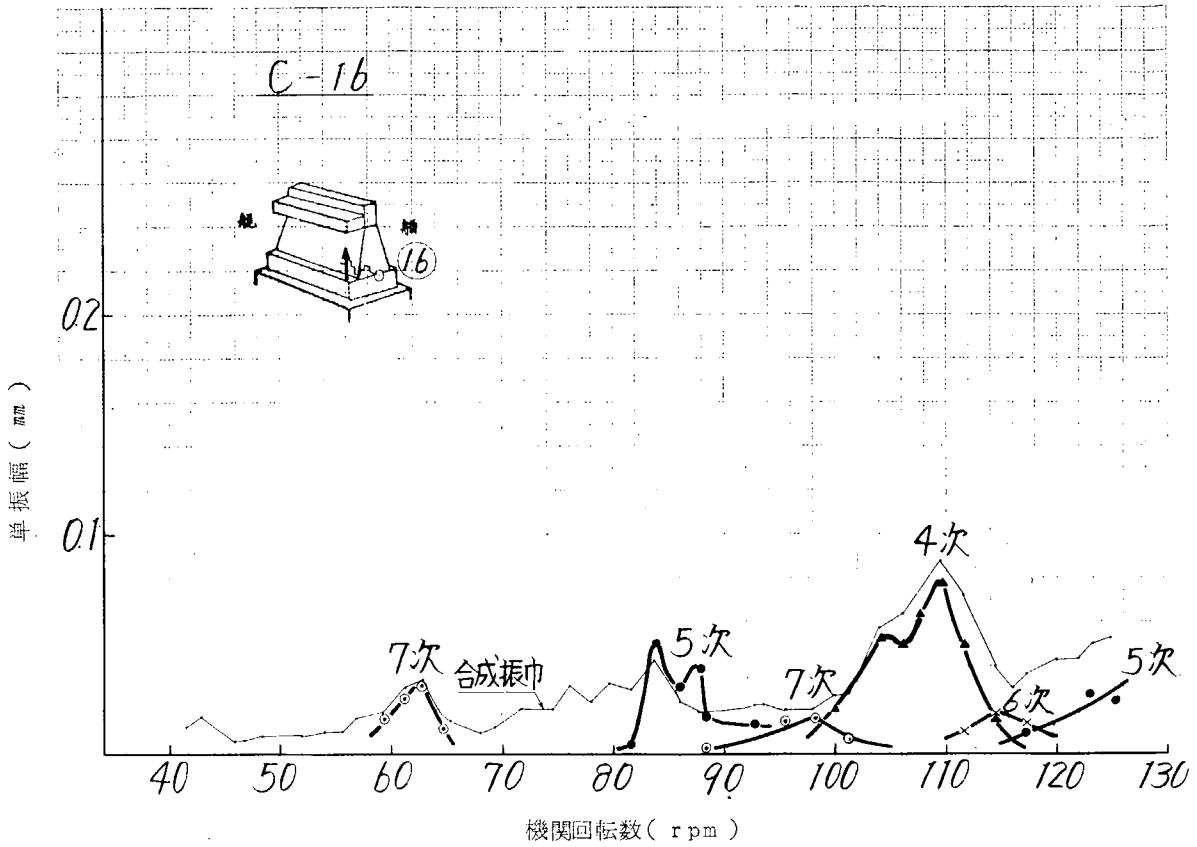
第1.2.25図　架構振動調和解析（海上満載）



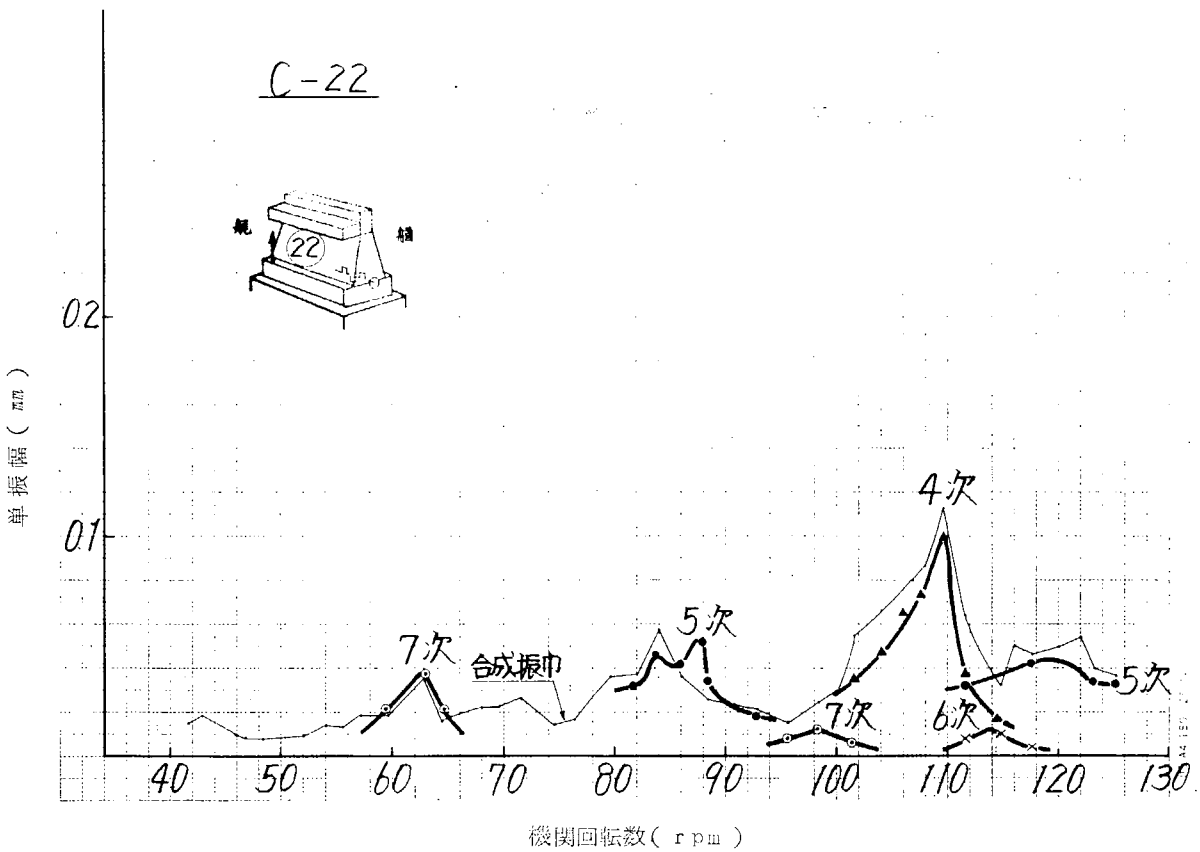
第1.2.26図　架構振動調和解析（海上満載）



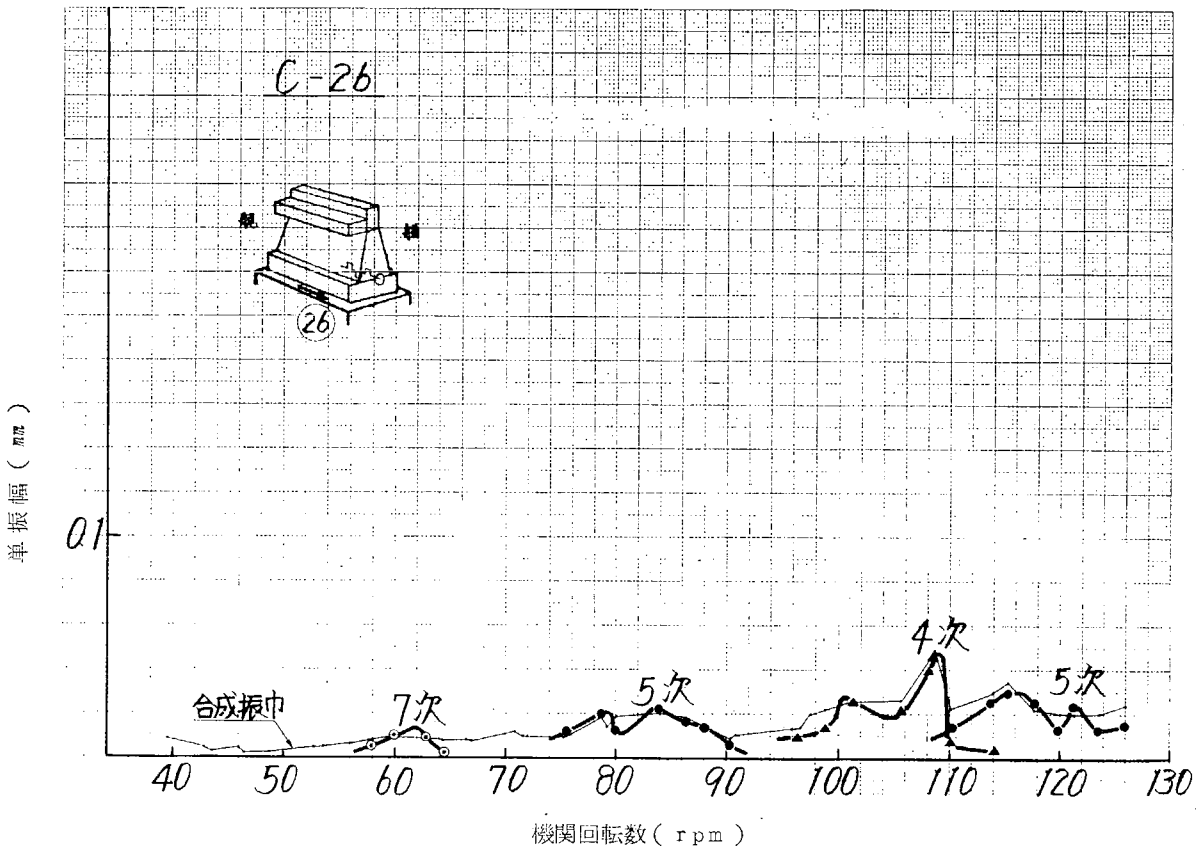
第1.2.27図　架構振動調和解析（海上満載）



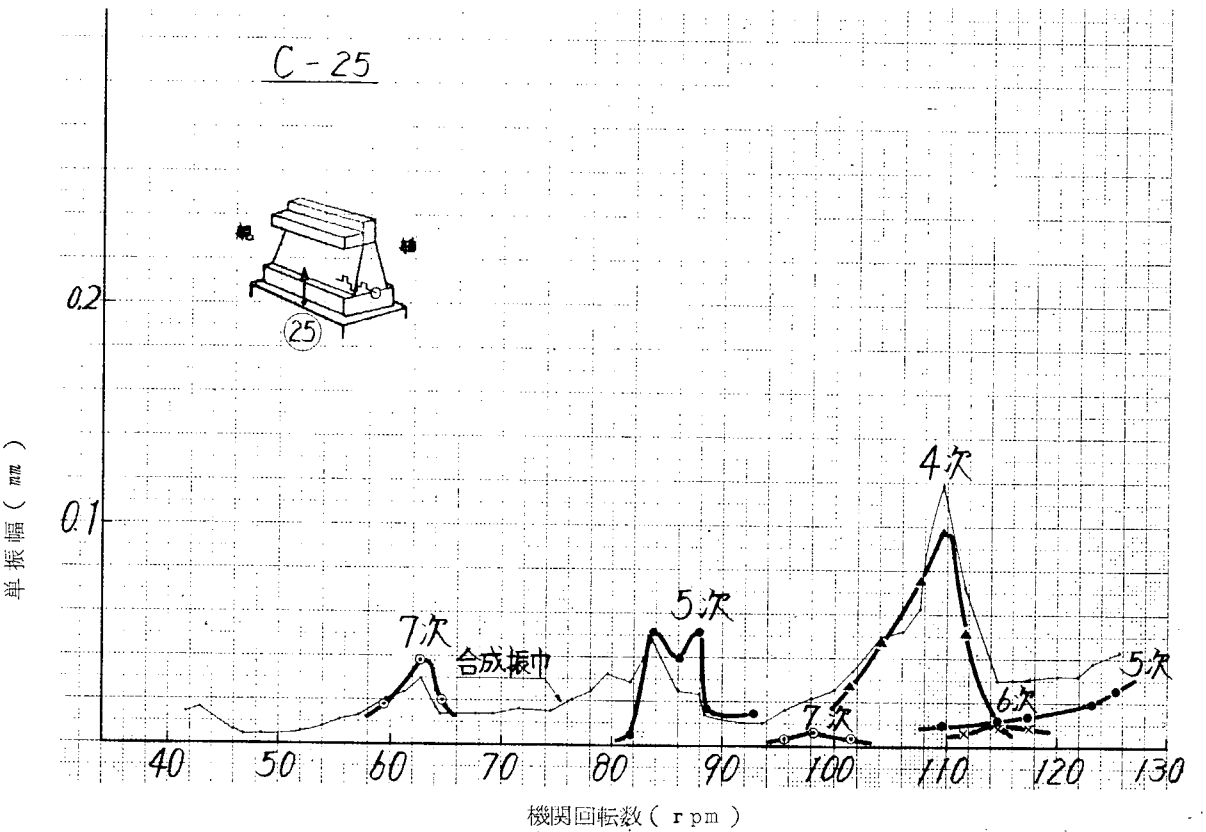
第1.2.28図　架構振動調和解析（海上満載）



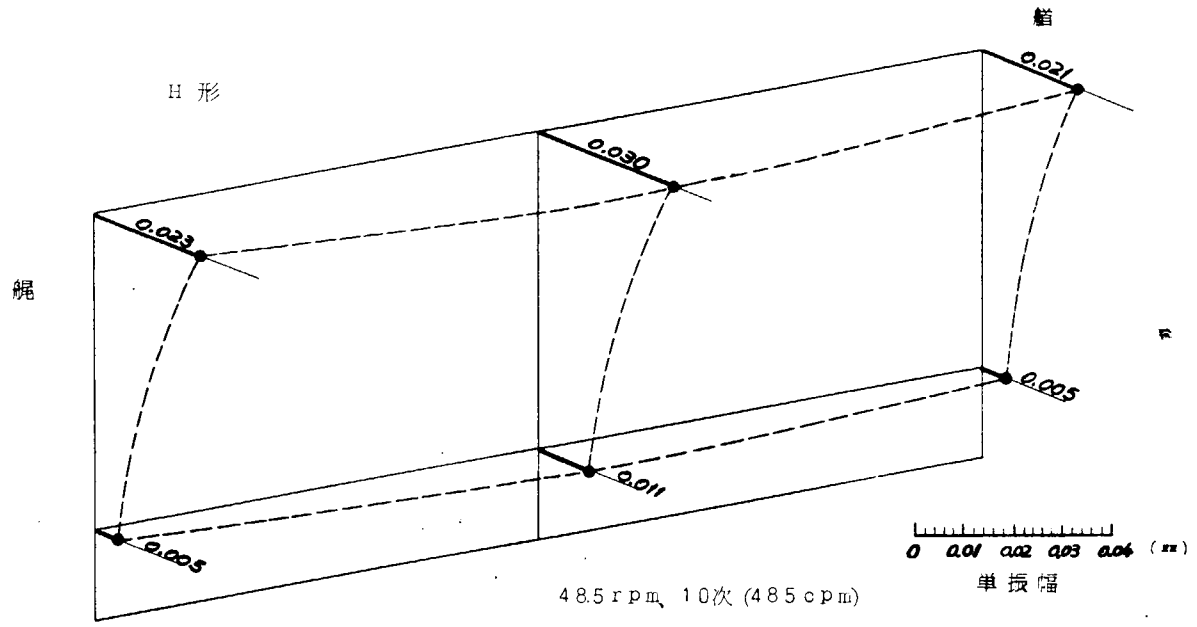
第1.2.29図　架構振動調和解析（海上満載）



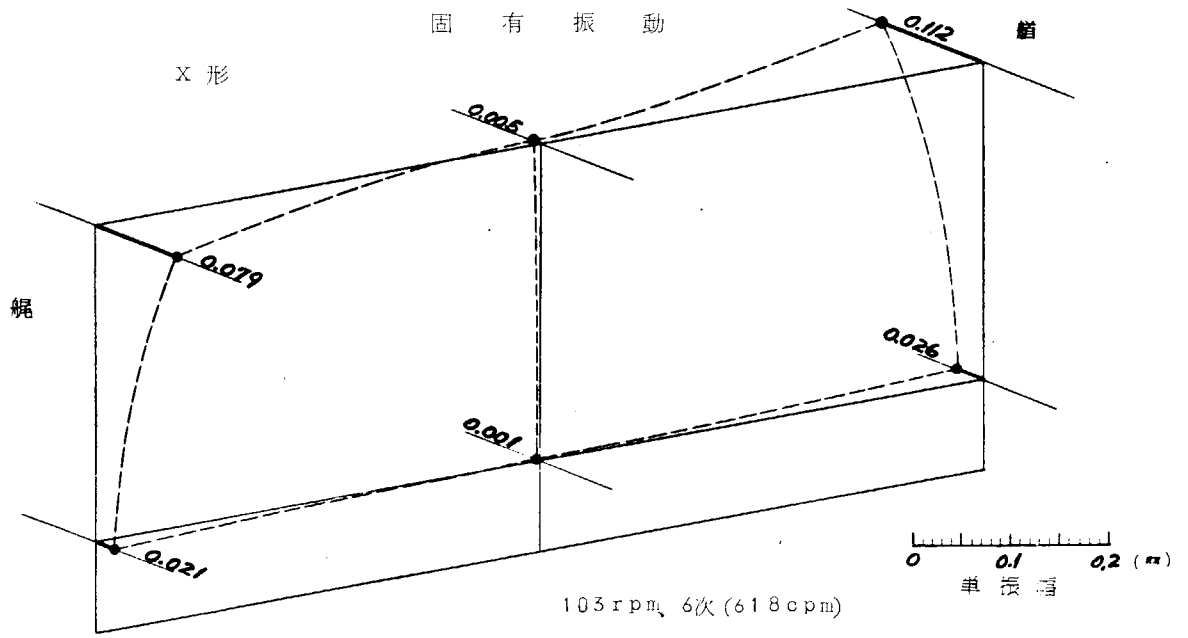
第1.2.30図　主機台振動調和解析（海上満載）



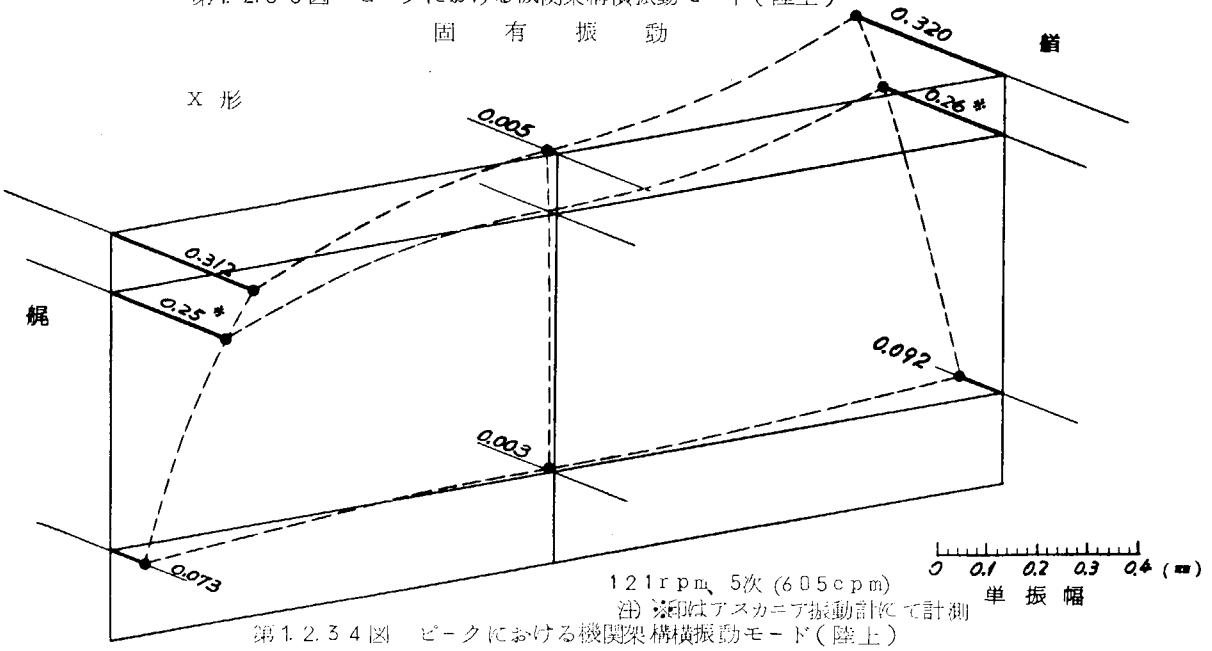
第1.2.31図　主機台振動調和解析（海上満載）



第1.2.3 2図　ピークにおける機関架構横振動モード（陸上）
固　有　振　動

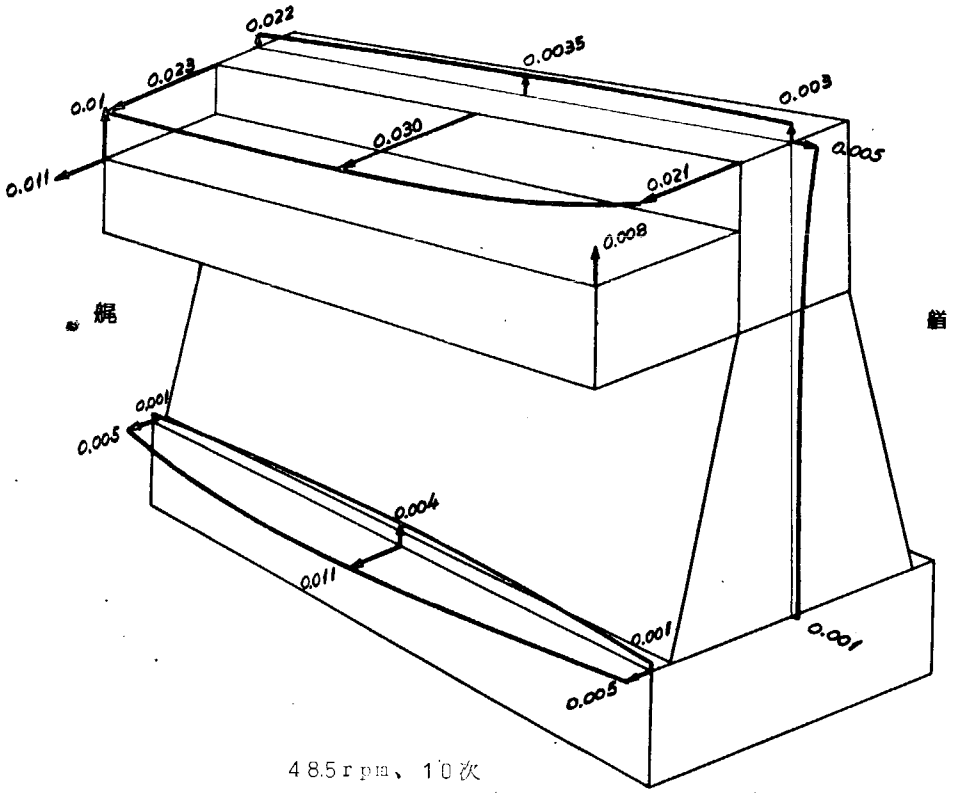


第1.2.3 3図　ピークにおける機関架構横振動モード（陸上）
固　有　振　動



注）※印はアスカニア振動計にて計測

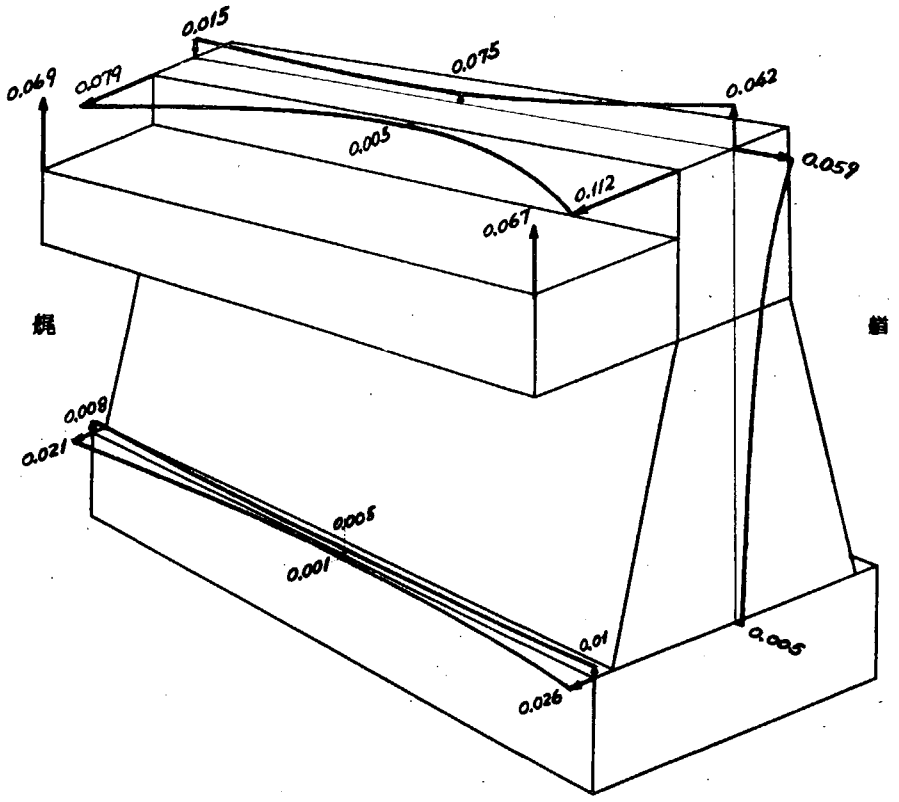
第1.2.3 4図　ピークにおける機関架構横振動モード（陸上）
固　有　振　動



H 形

48.5rpm、10次

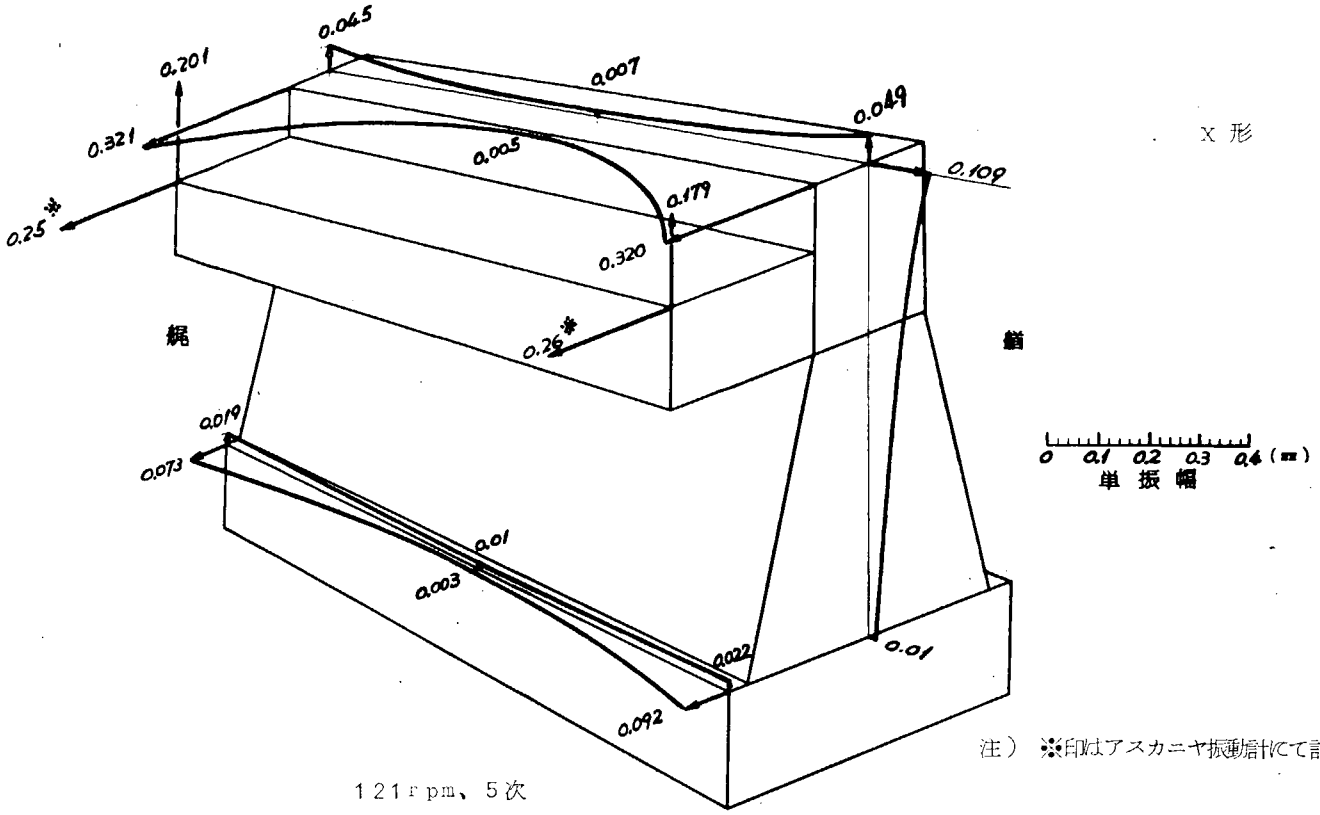
第1.2.35図　架構振動振幅（陸上）



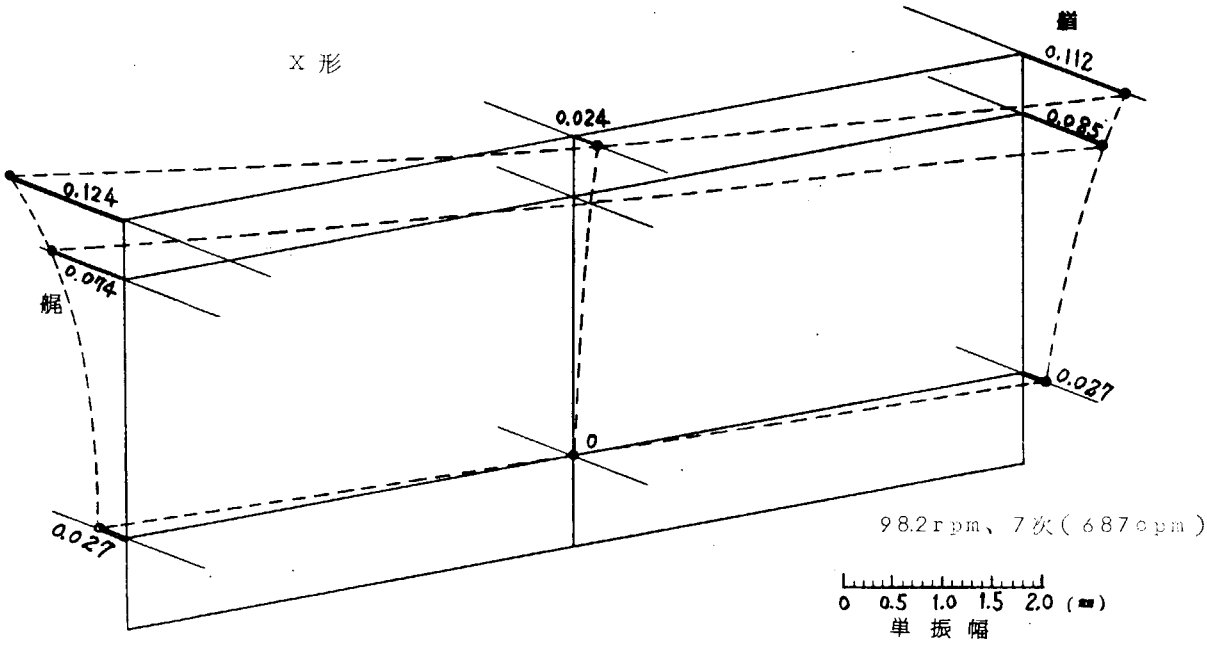
X 形

103rpm、6次

第1.2.36図　架構振動振幅（陸上）

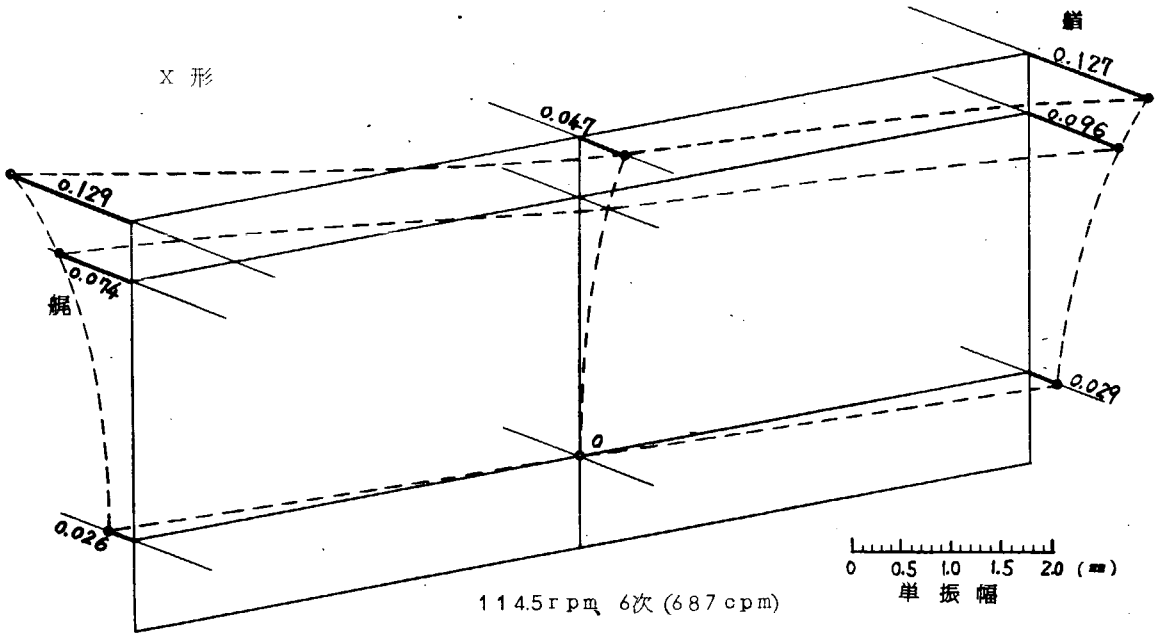


第1.2.37図　架構振動振幅 (陸上)



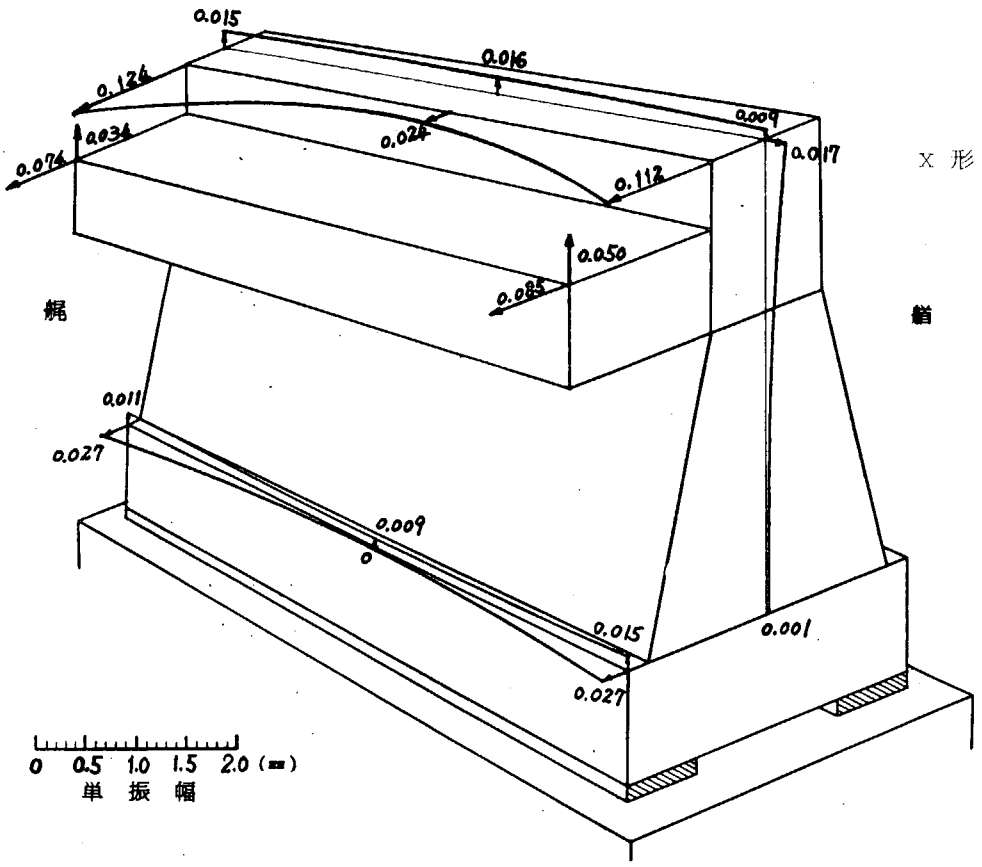
第1.2.38図　ピークにおける機関架構横振動モード(海上)

固　有　振　動



第1.2.39図　ピークにおける機関架構横振動モード（海上）

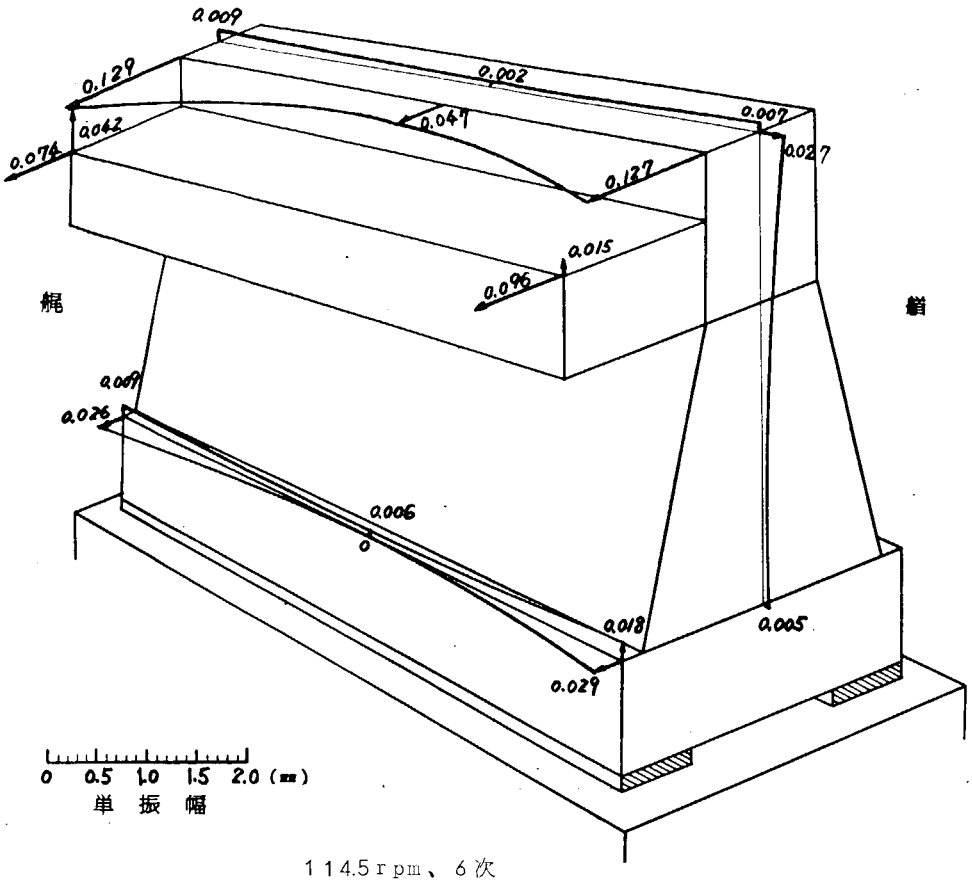
固　有　振　動



98.2rpm、7次

第1.2.40図　架構振動振幅（海上）

X 形



114.5rpm、6次

第1.2.41図　架構振動振幅（海上）

2.5.2　クランク軸縦振動

(1)　縦振動調和解析

縦振動測定結果を以下に示す。

陸上運転クランク軸船首側端部縦振動調和解析	第1.2.42図
繋留運転第3クランクアーム縦振動調和解析	第1.2.43図
海上運転クランク軸船首側端部縦振動調和解析	第1.2.44図
海上運転、クランク軸縦振動振幅比較	第1.2.45図

参考として、ねじり振動測定結果を第1.2.46、1.2.47図に示す。

(2)　縦振動固有振動数

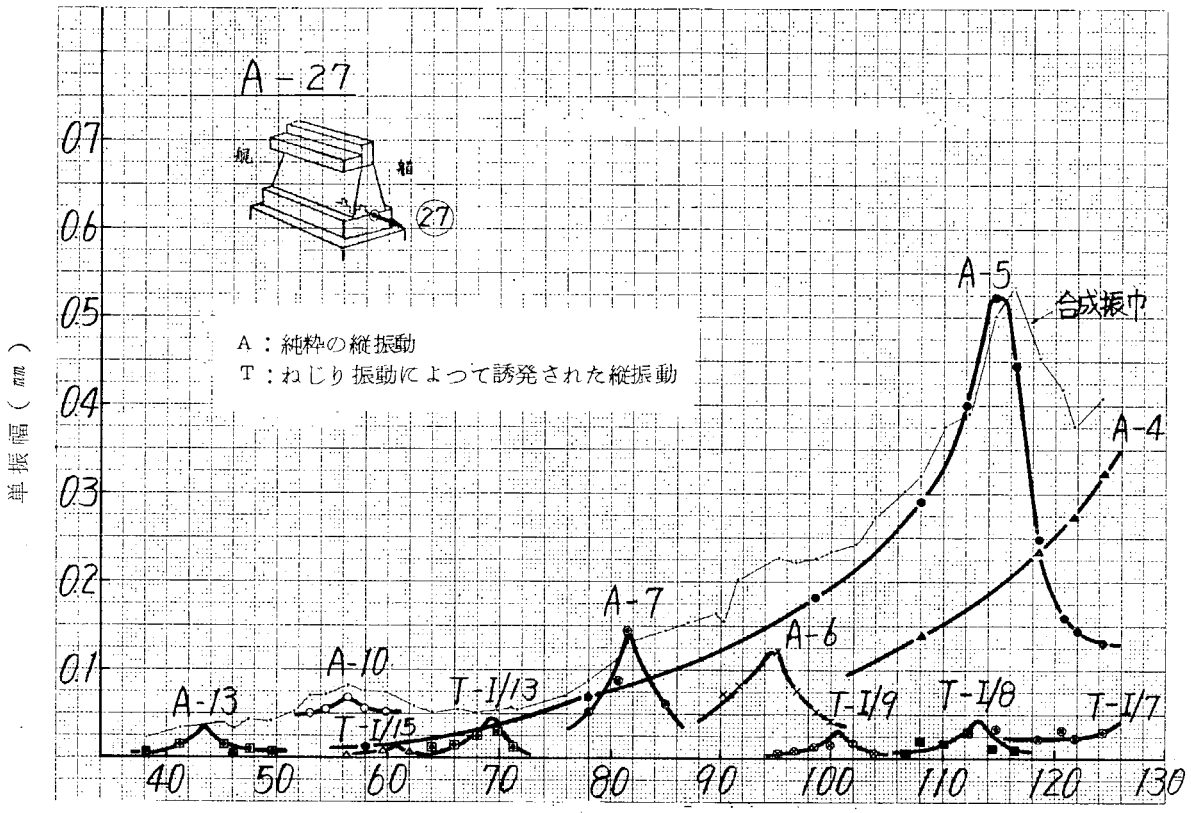
第1.2.2表　クランク軸縦振動固有振動数

節	陸上運転	繋留運転	海上満載運転
0	570cpm （114rpm×5次）	585cpm （117rpm×5次）	630cpm （126rpm×5次）

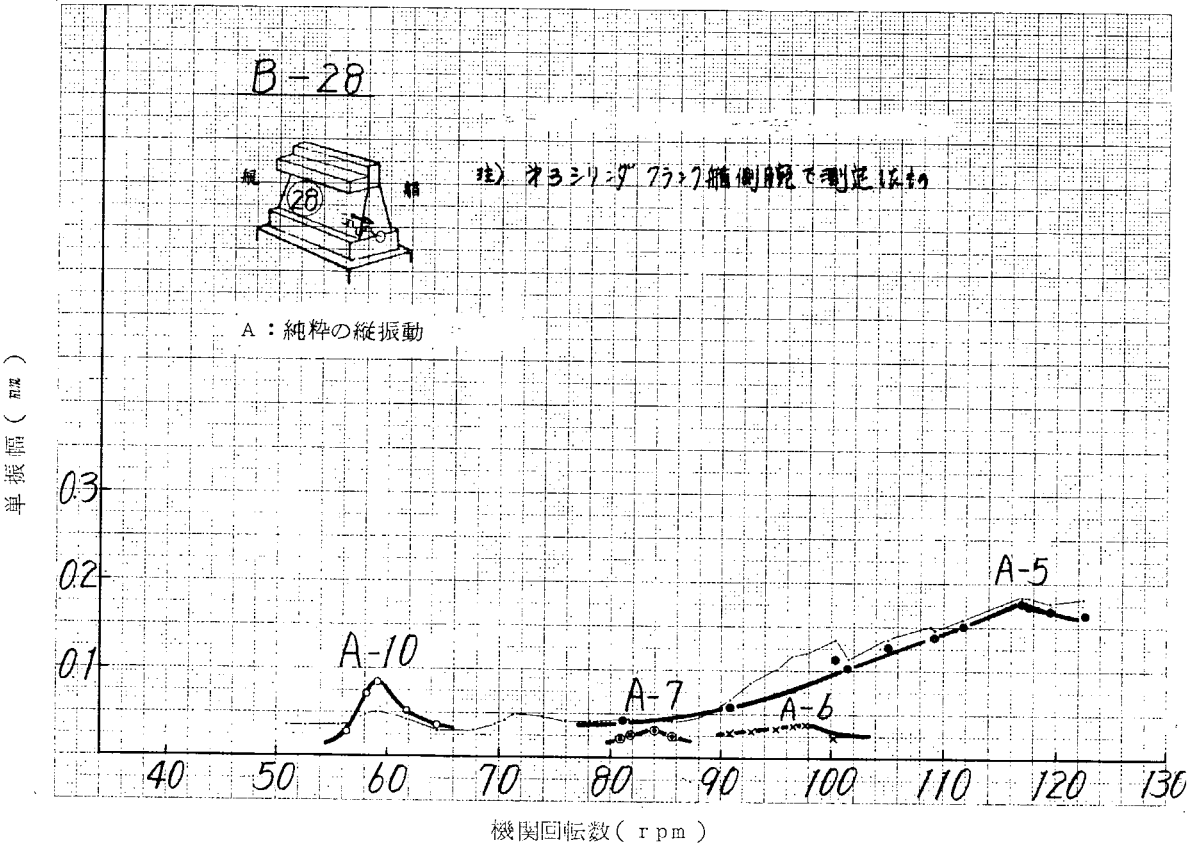
2.5.3　トルク変動

中間軸トルク変動、および平均トルクを第1.2.48図に示す。

中間軸スラストは測定不良につき結果は得られなかつた。

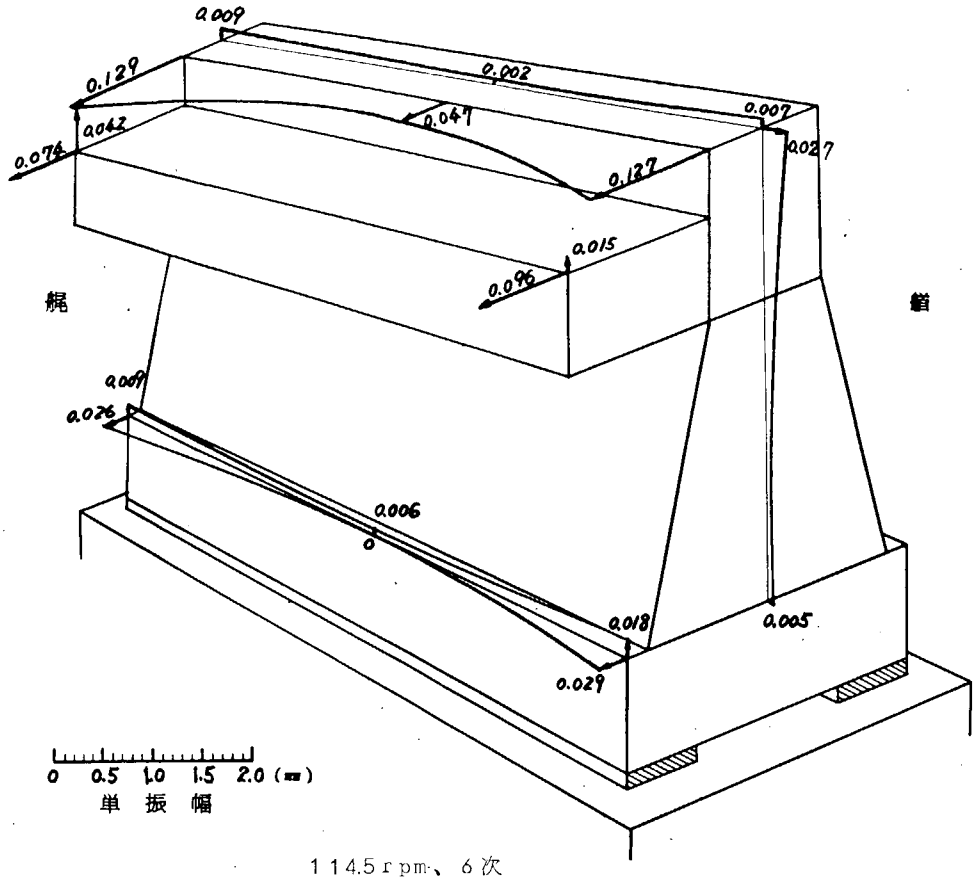


第1.2.4.2図　クランク軸縦振動調和解析（陸上）



第1.2.4.3図　クランク軸縦振動調和解析（繋留）

X 形



114.5rpm、6次

第1.2.41図　架構振動振幅（海上）

2.5.2　クランク軸縦振動

(1)　縦振動調和解析

縦振動測定結果を以下に示す。

陸上運転クランク軸船首側端部縦振動調和解析　　第1.2.42図

繋留運転第3クランクアーム縦振動調和解析　　第1.2.43図

海上運転クランク軸船首側端部縦振動調和解析　　第1.2.44図

海上運転、クランク軸縦振動振幅比較　　第1.2.45図

参考として、ねじり振動測定結果を第1.2.46、1.2.47図に示す。

(2)　縦振動固有振動数

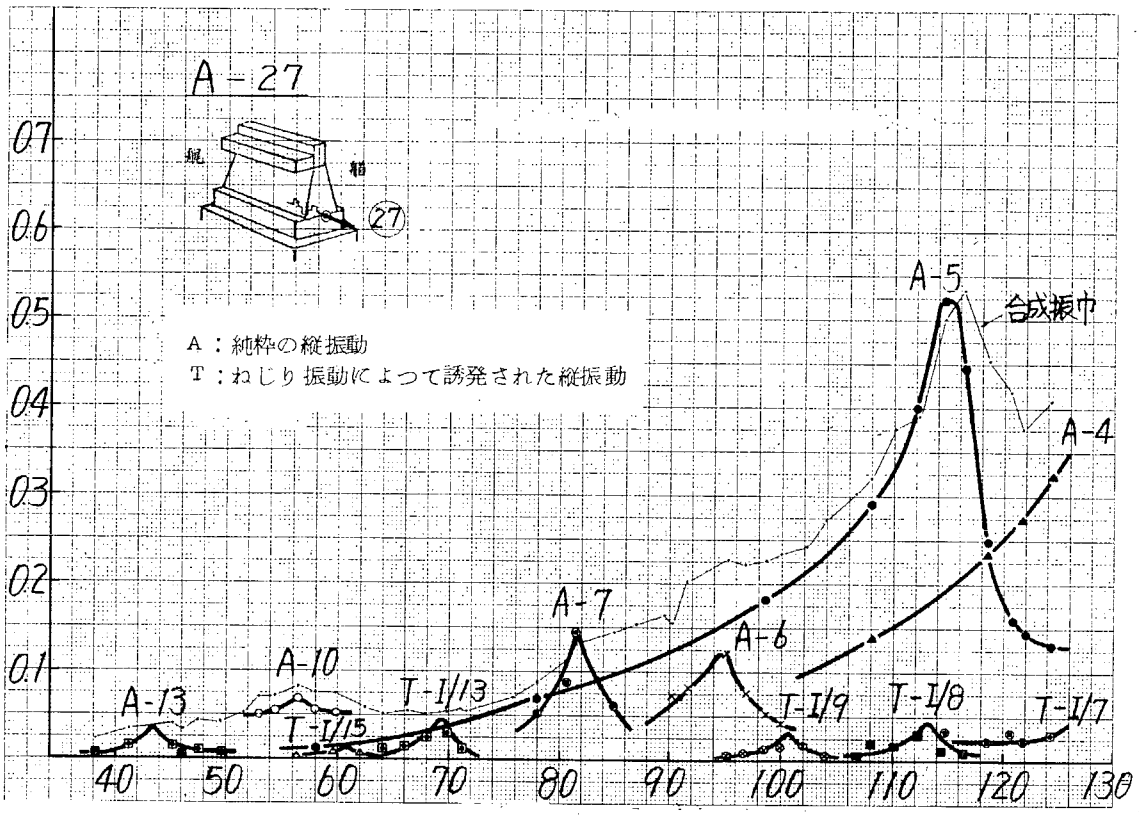
第1.2.2表　クランク軸縦振動固有振動数

節	陸上運転	繋留運転	海上満載運転
0	570cpm （114rpm×5次）	585cpm （117rpm×5次）	630cpm （126rpm×5次）

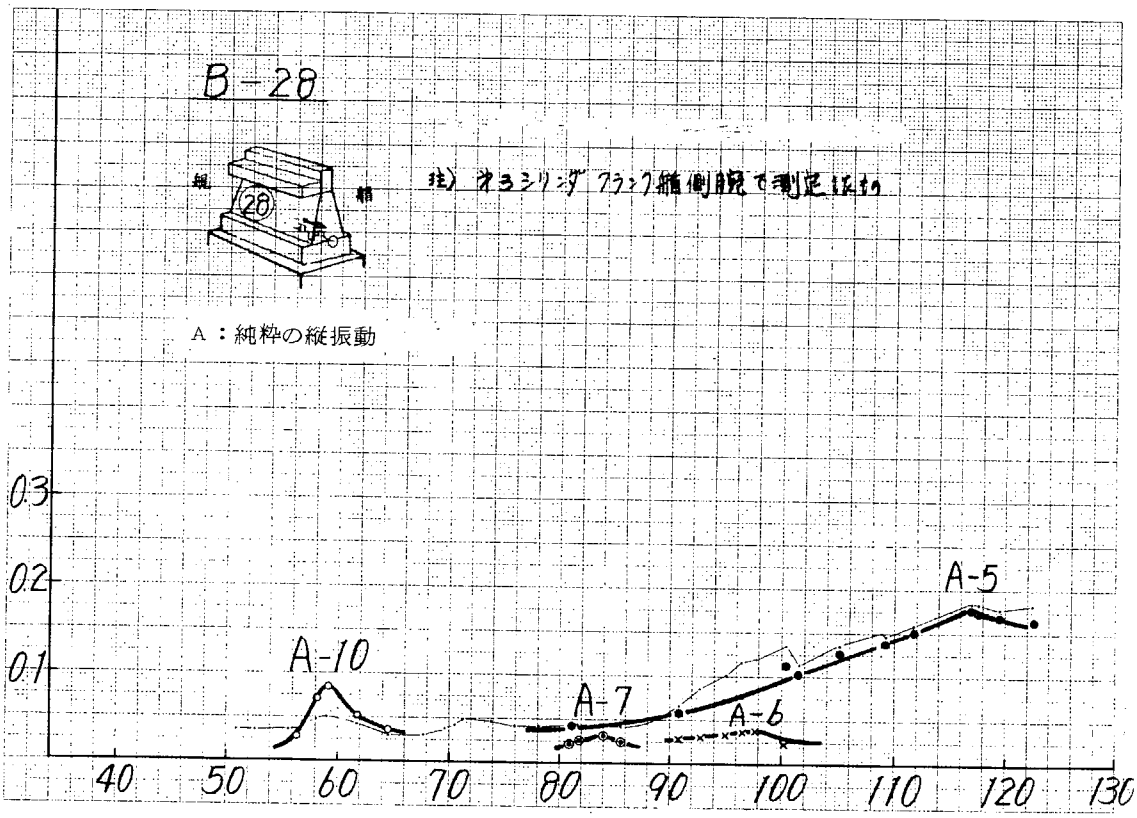
2.5.3　トルク変動

中間軸トルク変動、および平均トルクを第1.2.48図に示す。

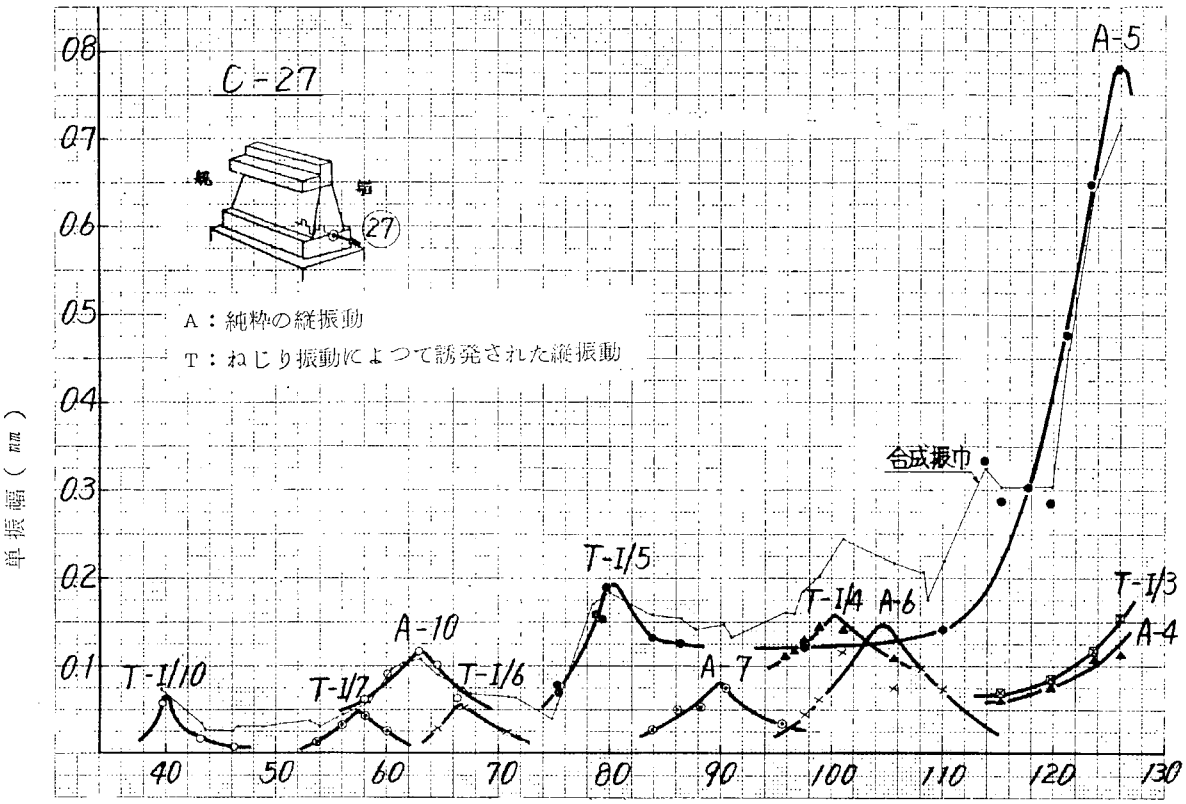
中間軸スラストは測定不良につき結果は得られなかつた。



第1.2.4 2図　クランク軸縦振動調和解析（陸上）



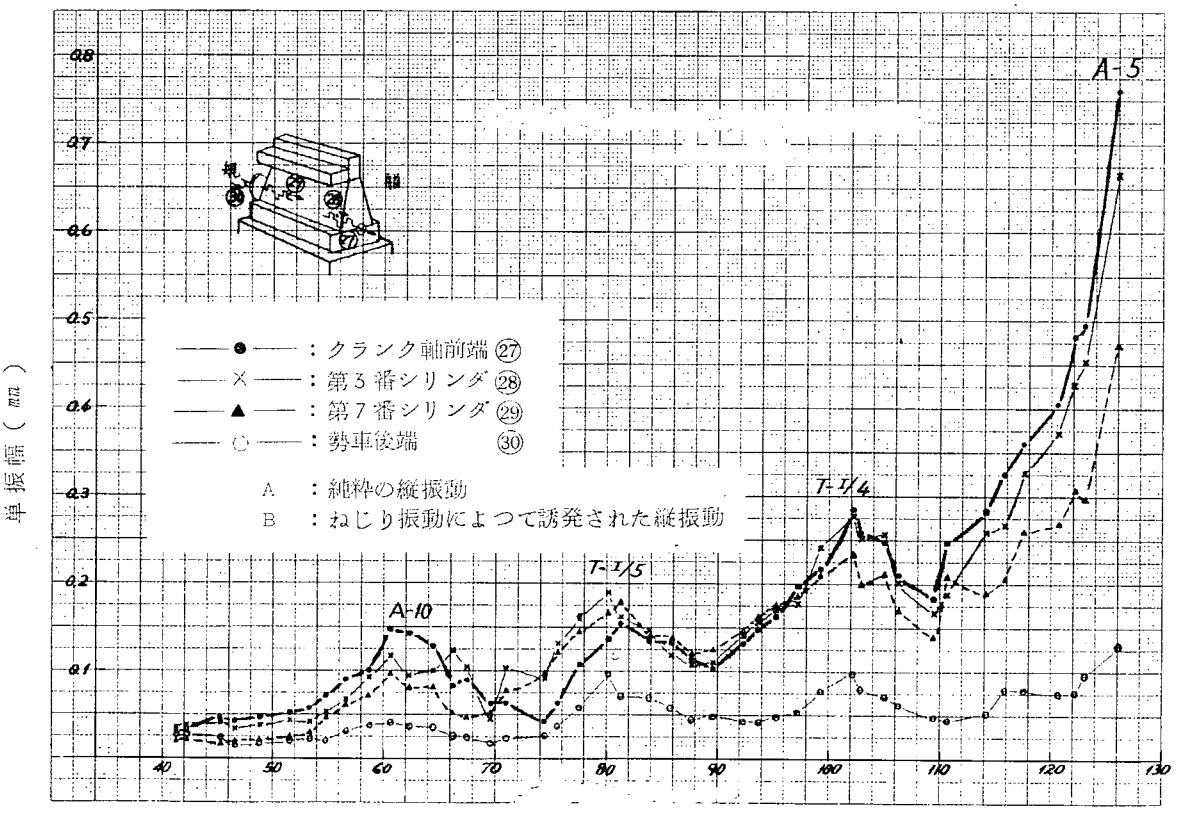
第1.2.4 3図　クランク軸縦振動調和解析（繋留）



単振幅（mm）

機関回転数（rpm）

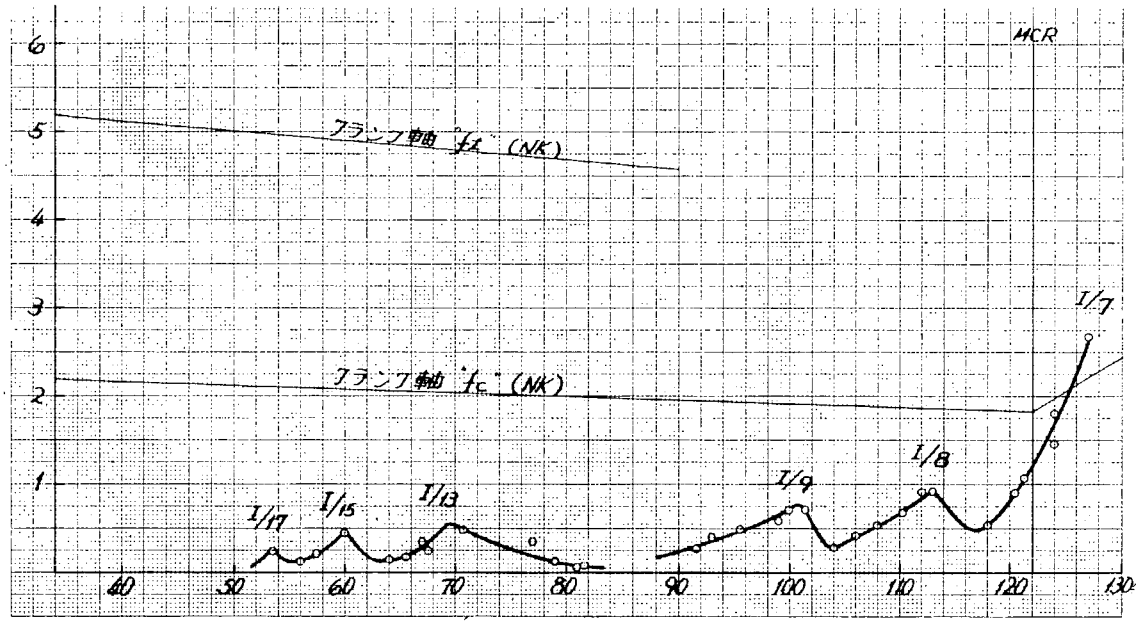
第1.2.4.4図　クランク軸縦振動調和解析（海上満載）



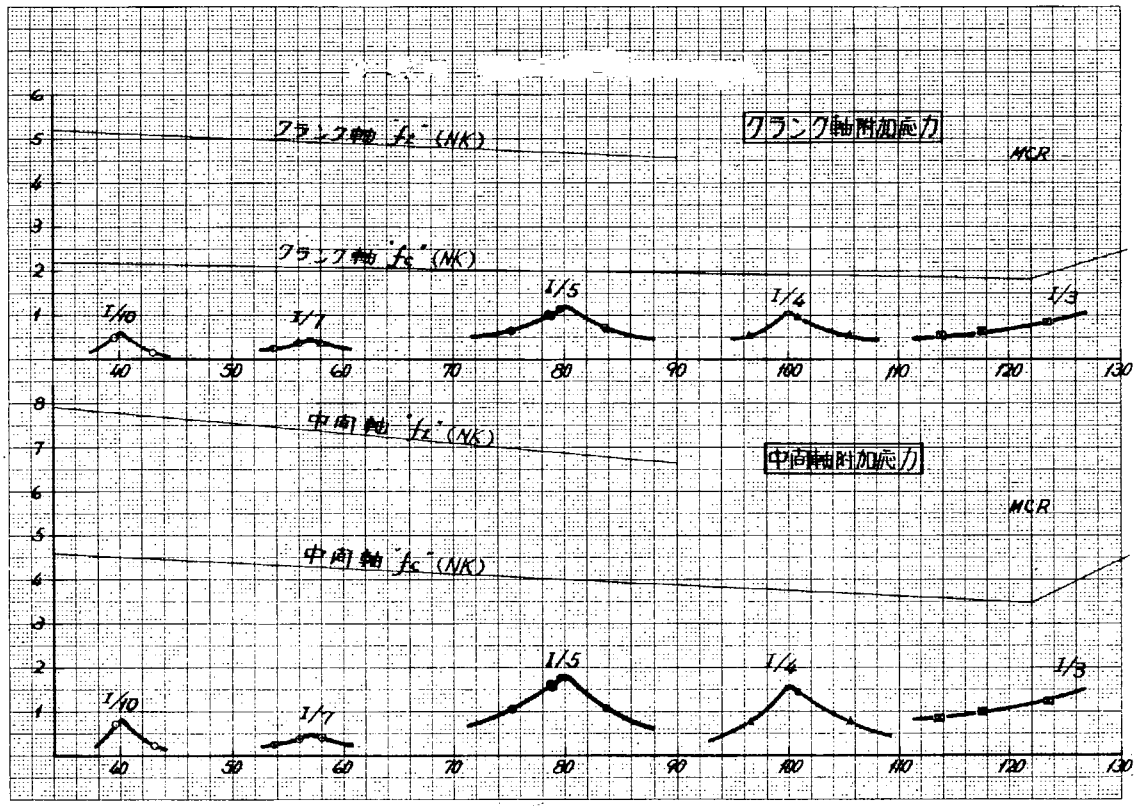
単振幅（mm）

機関回転数（rpm）

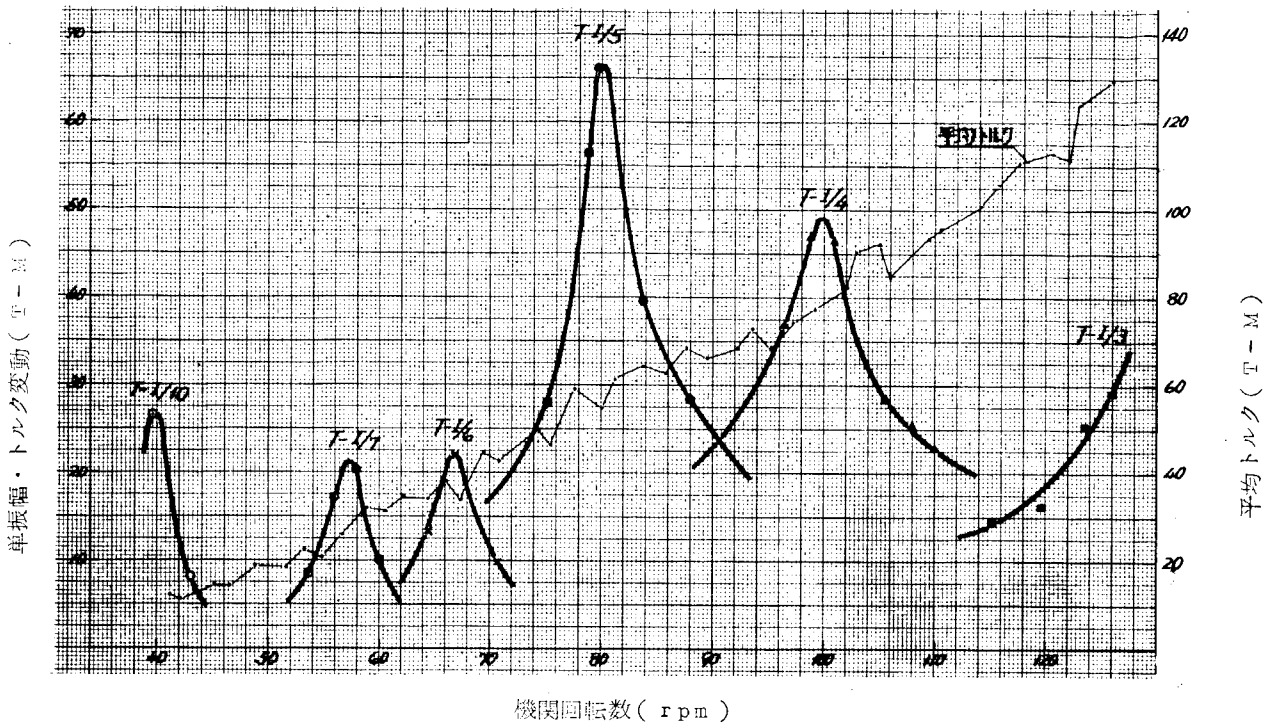
第1.2.4.5図　クランク軸振動（海上満載）—合成振幅—



第1.2.46図　ねじれ振動測定結果（陸上）



第1.2.47図　ねじれ振動測定結果（海上満載）



第1.2.48図　トルク変動（海上満載）

2.6　測定結果の考察

2.6.1　架構振動

第1.2.8図～第1.2.29図までの架構振動調和解析結果のうち顕著なピークを取出し、その回転数、次数、振動数を第1.2.3表にとりまとめて示す。

(1)　陸上運転架構振動

(i)　横　振　動

陸上運転時架構横振動にはX形（ねじれ振動）、およびH形（曲げ振動）の固有振動のみが明確にあらわれている。X形固有振動は、１２１ｒｐｍ×５次の共振点が最大でその固有振動数は６０５ｃｐｍ、振幅はジヤケット上面船首、船尾側とも±0.32㎜程度である。

振動モードは第1.2.33、1.2.34図に示すごとく、架構、台板ともにX形にねじれる振動形である。

H形固有振動は４８.５ｒｐｍ　×１０次の共振点が記録され、その固有振動数は４８５ｃｐｍ、振幅はジヤケット上面で0.02～0.03㎜程度で小さい。

振動モードは第1.2.32図のごとく、H形曲げ振動形である。

(ii)　縦および上下振動

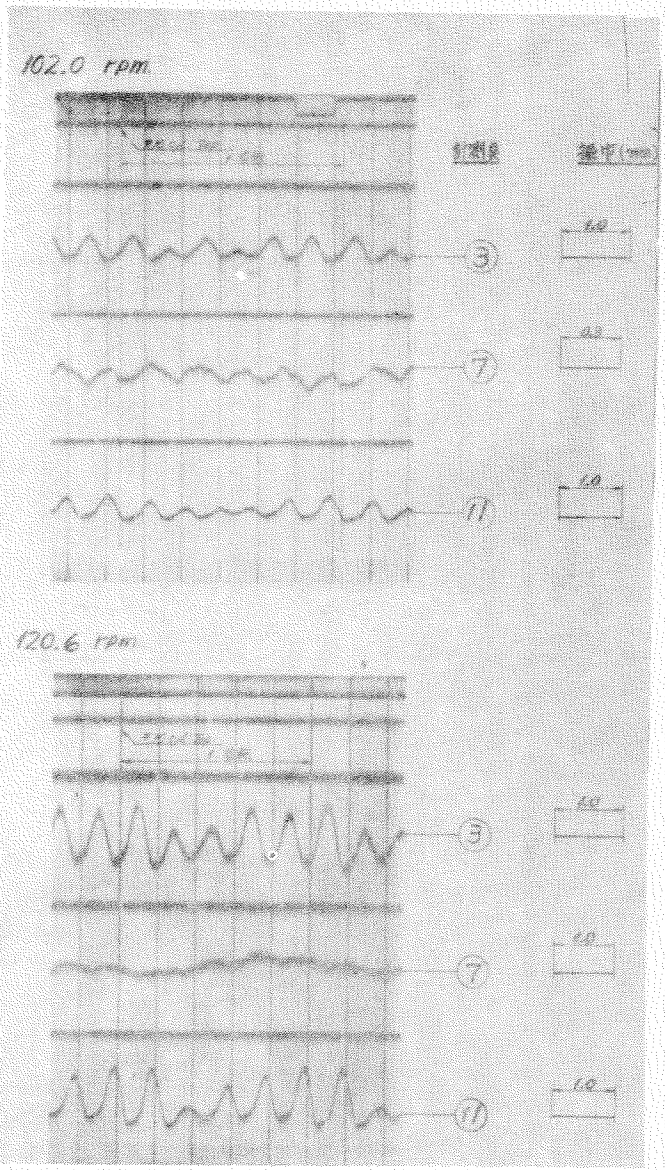
縦および上下振動には、X形横固有振動に併起したものと考えられる８８ｒｐｍ　×７次、１０３ｒｐｍ　×６次のピークのみが記録された。

(2)　繋留運転架構振動

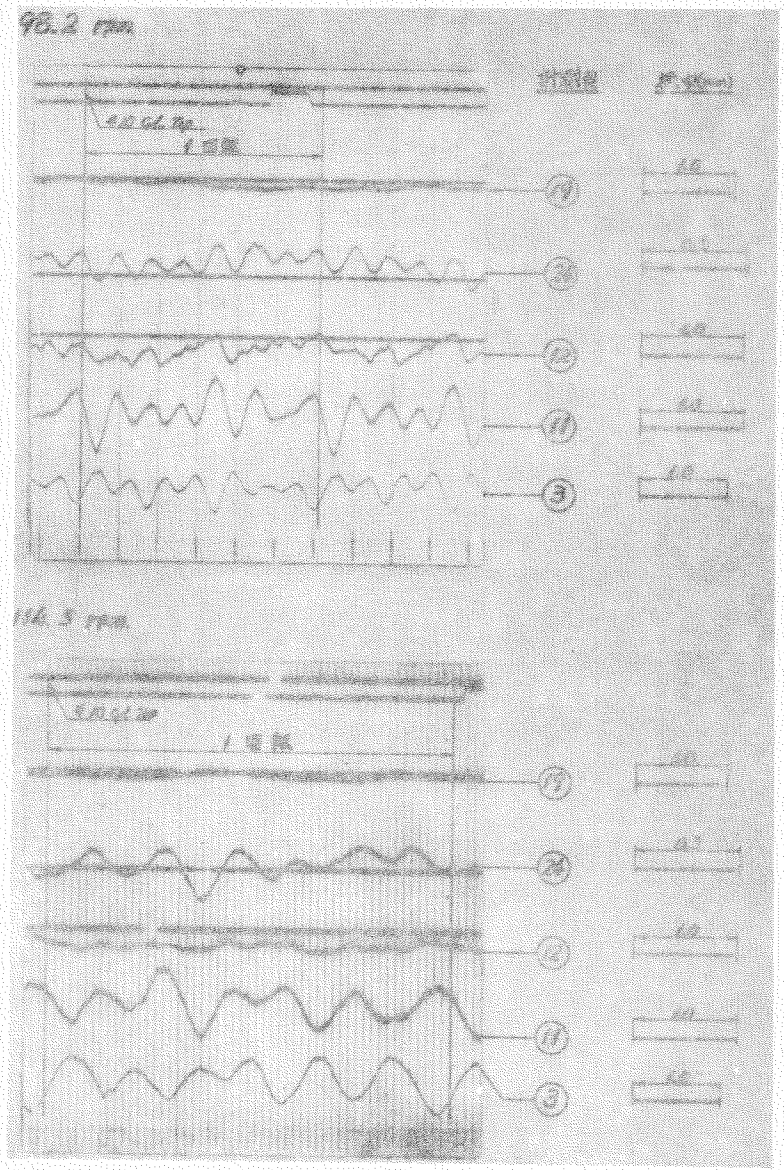
陸上運転時と船内搭載時との主機据付方法の相異が架構振動に及ぼす影響を確認するため、岸壁繋留時にプロペラ軸を切離し、無負荷運転を行なつた。

(i)　横　振　動

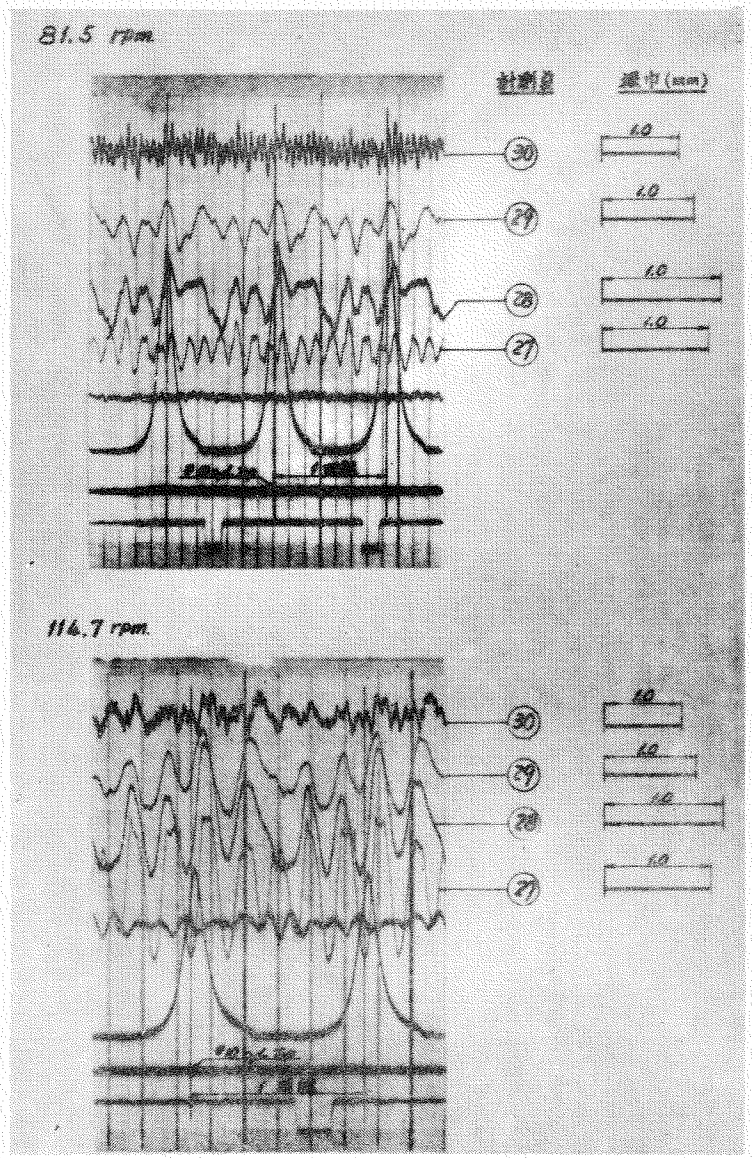
X形固有振動は９８ｒｐｍ、１14.5ｒｐｍにそれぞれ７次、６次の小さい共振点があり、その固有振動数は６８７ｃｐｍで陸上運転時に比べ約１３.５％上昇している。これは第1.2.3,4,5,6図に示すように、陸上運転時には台板据付ボルトを外側一列しか締付けないこと、および船内では、主機掃除空気溜、ジヤケットにそれぞれ防振ステーを取付けていることが影響したものと考えられる。



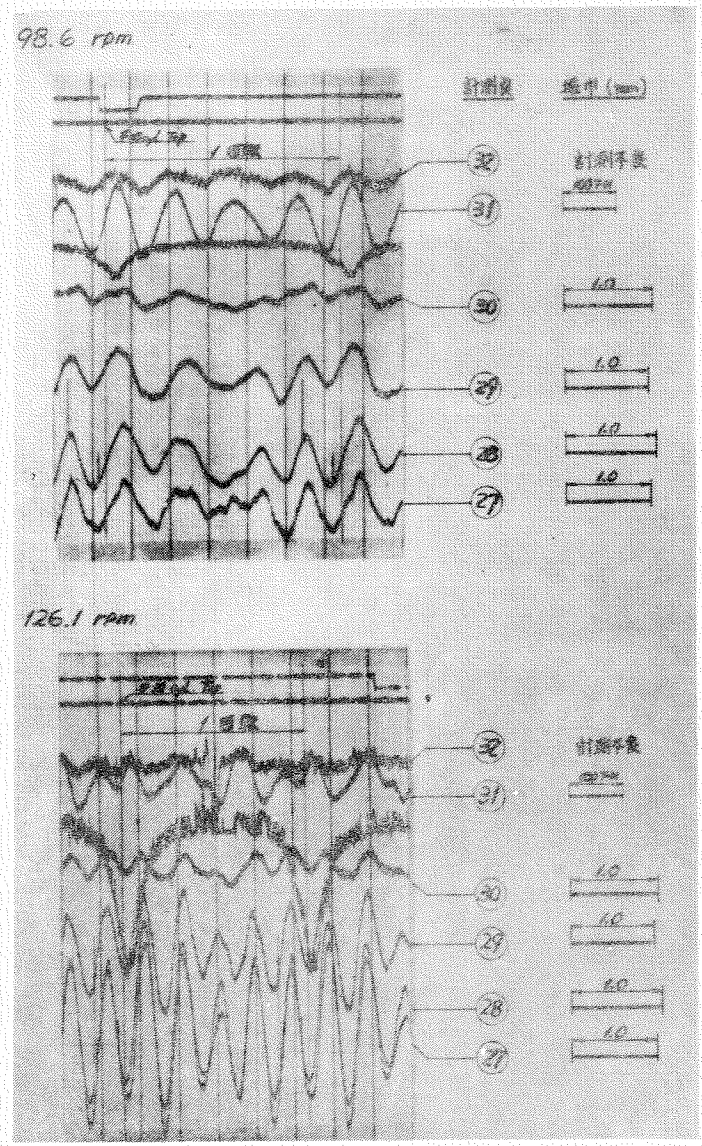
第1.2.49図　架構振動計測例（陸上）



第1.2.50図　架構振動計測例（海上満載）



第1.2.5.1図　クランク軸縦振動計測例（陸上）



第1.2.5.2図　クランク軸縦振動計測例（海上満載）

また、１０２ｒｐｍ ×７次、１２０ｒｐｍ ×６次にも小さなピークが見られ、その振動数は７１４～７２０ｃｐｍである。これは第 1.2.3表に示しているが、同時測定した船尾上甲板船体横振動に１２０ｒｐｍ×６次のピークが見られることから船体振動の影響と考えられる。

(ii) 縦および上下振動

第1.2.１８図に示す縦振動には、第1.2.４３図のクランク軸縦振動０節固有振動にほぼ一致して小さいピークが見られるが、クランク軸縦振動により架構振動が併起したものと考えられる。

上下振動は全般に振幅が0.０２㎜以下で小さく、また明瞭なピークが確認されない。

(3) 海上満載運転架構および主機台振動

(i) 横 振 動

第1.2.２０、２１、２２図からＸ形固有振動の共振点は９８.２ｒｐｍ×７次、１14.5 ｒｐｍ×６次にあり、その固有振動数は６８７ｃｐｍ で繋留運転時と等しい。振動モードは、第1.2.３８、３９図に示すように、架構、台板ともに典型的なＸ形ねじり振動形を呈している。

陸上運転時に記録されたＨ形固有振動は海上運転時には確認されなかつたが、固有振動数が低下したためか、あるいは防振ステー取付けによつて振幅が一層小さくなつたためと考えられる。

第1.2.２１、２２図の機関船尾側、架構横振動の６0.５ｒｐｍ×７次、１０６ｒｐｍ×４次（４２４ｃｐｍ）のピーク、および第1.2.２１図の１０１.５ｒｐｍ×５次の顕著なピークは、同時測定した船尾端上甲板横振動にも１０６ｒｐｍ×４次、１０１.５ｒｐｍ×５次のピークが記録されている点から船体振動の影響を受けたものと推定される。

(ii) 縦および上下振動

架構、台板、主機台の縦振動のピークには

ｉ）純粋のクランク軸縦振動０節１０次によつて誘発されたもの。（６３ｒｐｍ×１０次）

ii）クランク軸ねじり振動Ｉ節４次、Ｉ節５次によるクランク軸縦振動によつて誘発されたもの。（７９ｒｐｍ ×５次、１００ｒｐｍ×４次）

iii）船体振動の影響によると考えられるもの。（１０９ｒｐｍ×４次）

等があり、架構、台板、主機台の船首、船尾側ともに全て同位相である。

上下振動には上記 ii）項と同じく船体上下振動によると考えられるピークが４４ｒｐｍ×１０次、６2.5ｒｐｍ×７次、８８ｒｐｍ×５次、１０９ｒｐｍ×４次（４３８～４４０ｃｐｍ）に見られ、いずれも同位相である。４次のピークの振幅を比較すれば、ジヤケツト上面、台板、主機台、ともに差がなく、主機台中央部で±0.１㎜である。

2.6.2 クランク軸縦振動

(1) 陸上運転クランク軸縦振動

第1.2.４２図に示すように、Ａを付した純粋のクランク軸０節縦振動と、Ｔを付したクランク軸Ｉ節ねじれ振動によつて誘発された縦振動のピークがそれぞれ記録された。純粋の縦振動０節固有振動数は５７０ｃｐｍ で、その振幅は１１４ｒｐｍ ×５次で±0.５２㎜である。

Ｉ節ねじり振動によつて誘発された縦振動は、第1.2.４６図のねじり振動測定結果のＩ節共振点にほぼ一致しているが振幅は小さく±0.０５㎜以下である。

(2) 繋留および海上運転クランク軸縦振動

繋留運転時には、クランク軸前端縦振動が測定不良であつたため、第３クランクアームでの測定結果を第1.2.４３図に示す。純粋の縦振動のみが記録され、その固有振動数は第1.2.２表に示すごとく５８５ｃｐｍである。

海上運転時には陸上運転時と同様に、純粋のクランク軸０節縦振動およびＩ節ねじり振動により誘発された縦振動が、いづれも明瞭なピークを呈している。縦振動０節固有振動数は６３０ｃｐｍ で陸上運転時に比較し約１１％上昇している。１２６ｒｐｍ×５次のピークが最大でその振幅はクランク軸前端で±0.７８㎜であるが、この種機関では、

許容値内で問題はない。５次の共振点における振幅が、陸上運転時に比べ、約1.５倍に増大しているのは、プロペラと機関との相対的取付角度が若干最適値とずれていたため、プロペラによる５次の起振力がベクトル的に加味されたことおよび共振回転数の上昇により機関の起振力が増大したことによるものと考えられる。

第1.2.3表　架構振動のピークにおける回転数、次数、振動数

運転種別	振動方向	図番	回転数	次数	振動数	備考
			rpm	次	cpm	
陸上	横	第1.2.8図 ～ 第1.2.10図	48.5	10	485	H形固有振動
			88	7	616	X形固有振動
			103	6	618	
			121	5	605	
	縦	第1.2.11図 ～ 第1.2.12図	88.5	7	620	X形横固有振動に併起
			103	6	618	
			121	5	605	
	上下	第1.2.13図 ～ 第1.2.14図	88	7	616	X形横固有振動に併起
			103	6	618	
			121	5	605	
繋留	横	第1.2.15図 ～ 第1.2.17図	98	7	686	X形固有振動
			114.5	6	687	
			102	7	714	船尾端船体横振動に120rpm×6次のピークあり
			120	6	720	
	縦	第1.2.18図	60	10	600	クランク軸縦振動とほぼ一致
			116	5	580	
海上	横	第1.2.20図 ～ 第1.2.22図	98.2	7	687	X形固有振動
			114.5	6	687	
		第1.2.21図	60.5	7	424	106rpm×4次の船尾端船体横振動ピークと一致
		第1.2.22図	106	4	424	
		第1.2.21図	101.5	5	508	船尾端船体横振動ピークと一致
	縦	第1.2.23図 ～ 第1.2.25図	63	10	630	純粋のクランク軸縦振動と一致
			79	5	395	ねじり振動により誘発されたクランク軸縦振動と一致
			100	4	400	
			109	4	436	船尾端船体縦振動と一致
	上下	第1.2.26図 ～ 第1.2.29図	44	10	440	88rpm×5次、109.5rpm×4次の船尾端船体上下振動ピークと一致
			62.5	7	438	
			88	5	440	
			109.5	4	438	

第3章　三菱重工業（神戸）計測結果

内燃機関架構の横振動の研究の一つとして昨年度の6RD90機関に続いて、今回は9RD90機関について陸上運転および海上運転時にその固有振動を測定した。以下その結果をとりまとめたものである。

3.1　陸上運転（昭和42年9月9日測定）

3.1.1　測定機関要目

機関形式	：	9RD90三菱スルザディーゼル機関
筒径	：	900mm
行程	：	1550mm
シリンダ数	：	9
着火順序	：	1－6－7－3－4－9－2－5－8
連続最大出力	：	20,700PS
計画回転数	：	119rpm
図示平均有効圧	：	9.80kg/cm²
シリンダ内最大圧力	：	78kg/cm²

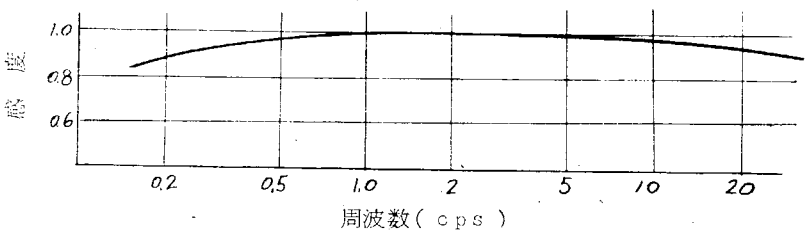
3.1.2　測定方法

(1)　使用測定器

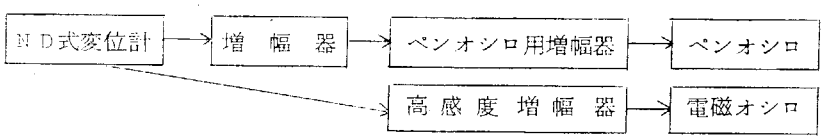
測定には前回実施した6RD90ディーゼル機関と同様、ND式変位計を使用した。

このピックアップは可動線輪形のもので、その出力は加速度に比例している。周波数特性は0.3～30cps の間でフラットである。これを増幅器で2回積分しペンオシロ上に変位として記録されるようになつている。なお、地盤振動として最低1μの振動振幅を計測可能な高感度増幅器も併用した。

測定の概略図およびピックアップの周波数特性は次に示すとおりである。



第1.3.1図　ピックアップの周波数特性および測定のブロックダイヤグラム



(2)　測定条件

測定回転数範囲は35rpm～125rpm で回転上昇時にこの範囲で2回転おきに静定させ振動を測定した。なお回転下降時には回転上昇時の測定結果より見て一部の範囲のみ測定した。

(3)　測定位置

第1.3.2図に示すように測定点は計30点で、このうち測定点1～26が架構の横振動、測定点27～30が地盤の上下振動を測定したものである。

3.1.3　測定結果

測定の結果H形振動およびX形振動の固有振動数および振動モードを求めることができた。

次表に固有振動数と、そのときの回転数および次数を示す。

陸上運転時の固有振動数、回転数、次数

振　動　形	固有振動数 rpm	回転数 rpm × 次数
H　形　振　動	4 0 5	4 5 × 9
X　形　振　動	6 3 0	1 0 5 × 6

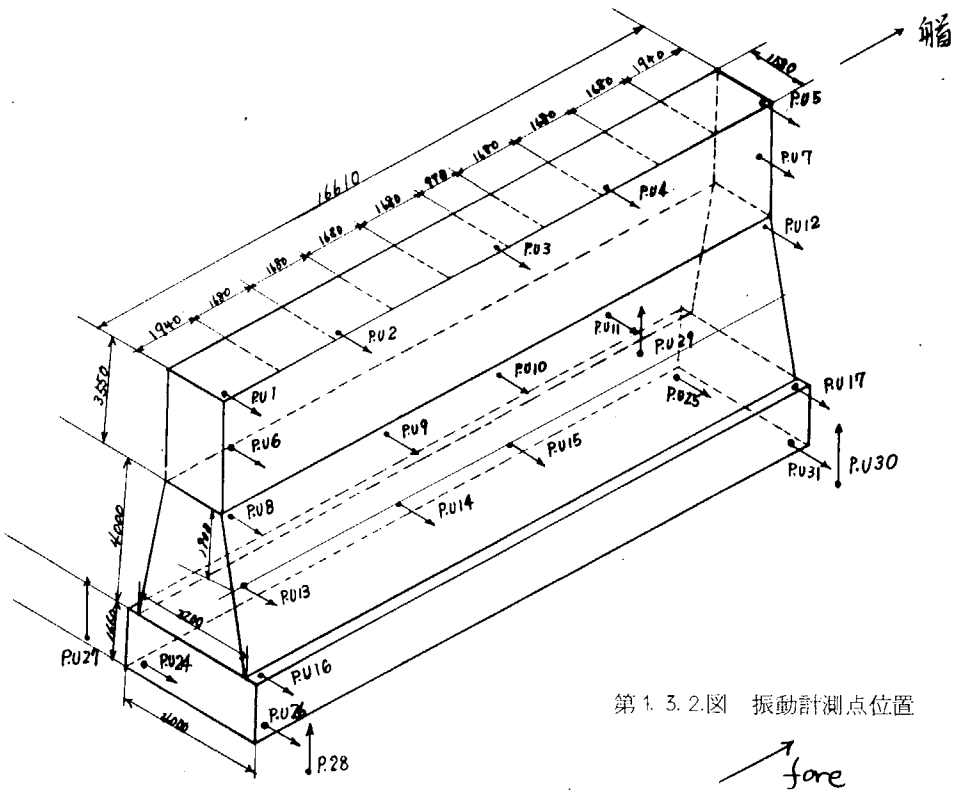
以下順に次のデータを示す。

共振時の架構の横振動振幅　　（第 1. 3. 3 図、第 1. 3. 4 図）

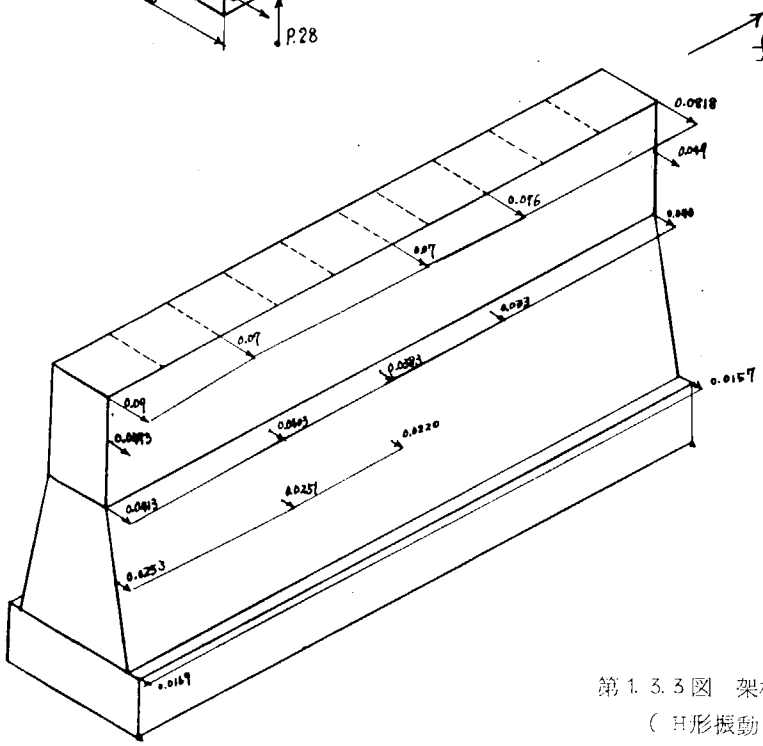
H形振動、X形振動、振動モード（第 1. 3. 5 図、第 1. 3. 6 図）

基礎地盤の振動　　（第 1. 3. 7 図、第 1. 3. 8 図）

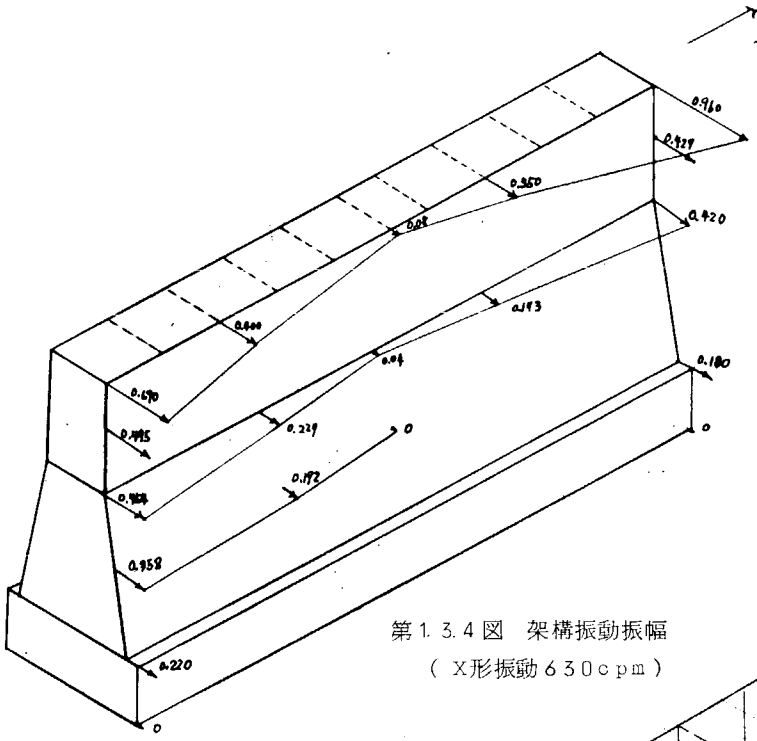
振動スペクトラム　　（第 1. 3. 9 図～第 1. 3. 1 7図）



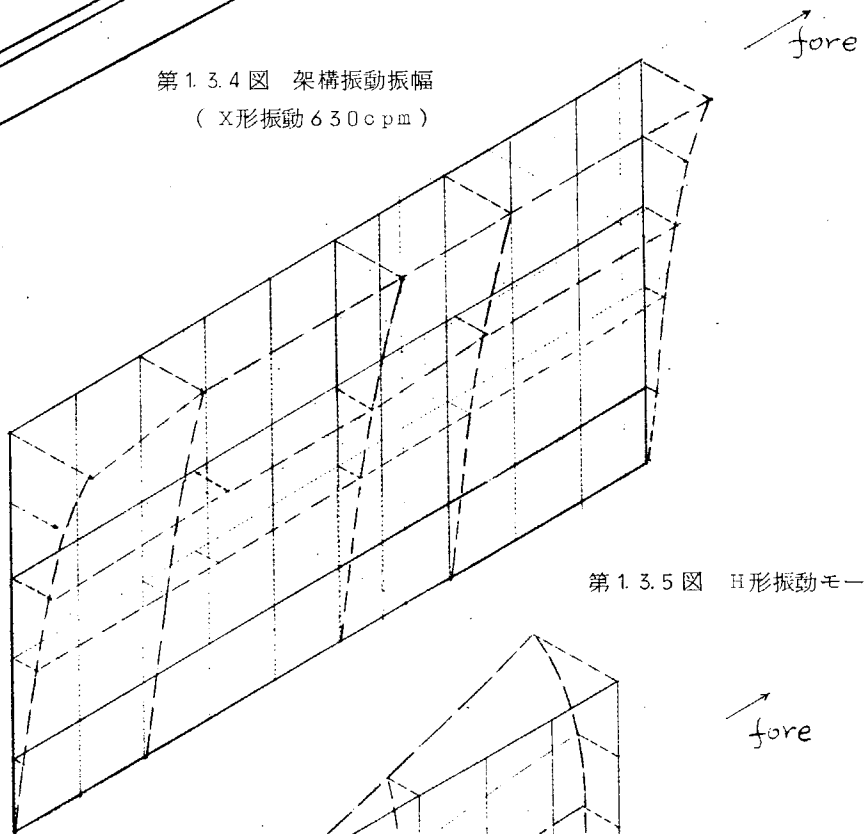
第 1. 3. 2.図　振動計測点位置



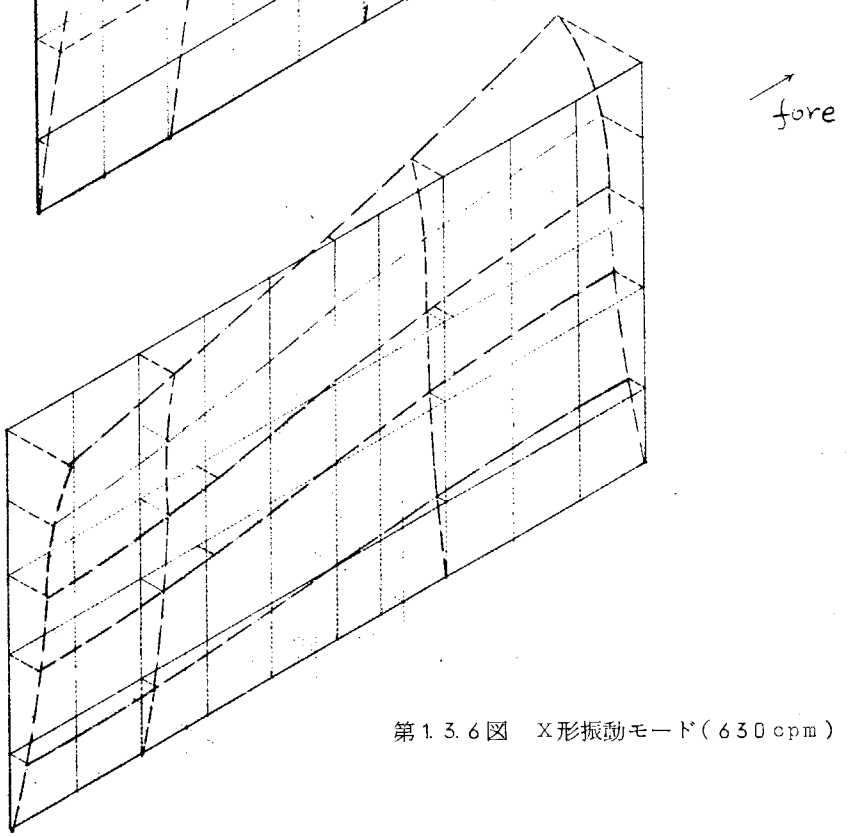
第 1. 3. 3 図　架構振動振幅
（H形振動４０５cpm）



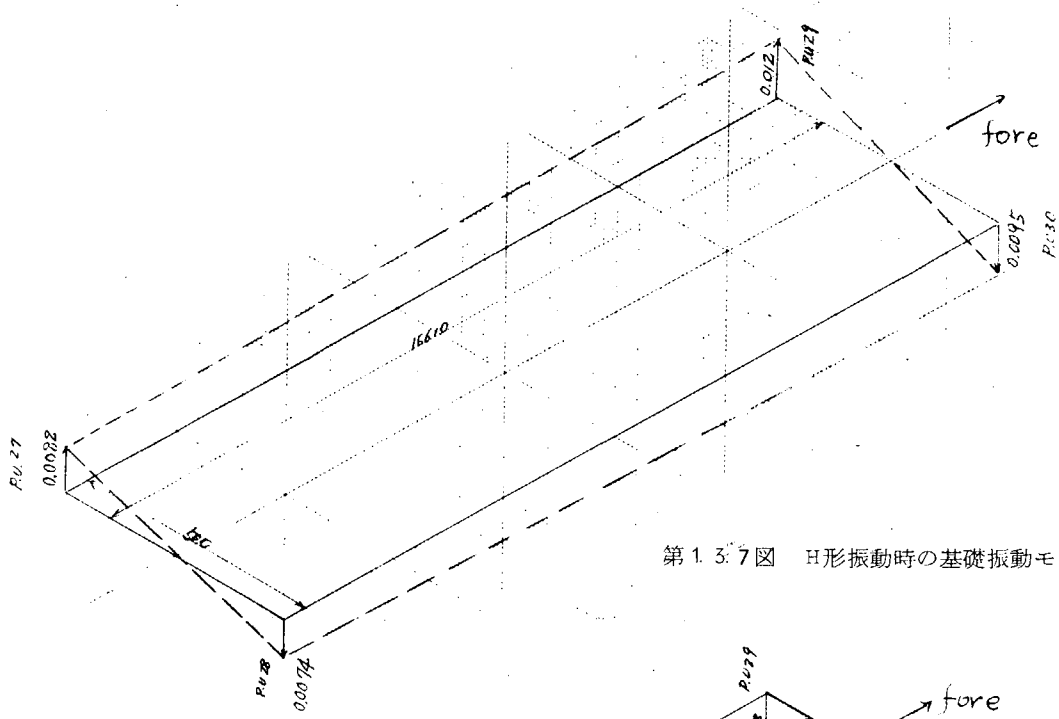
第 1. 3. 4 図　架構振動振幅
（ X形振動６３０ｃｐｍ）



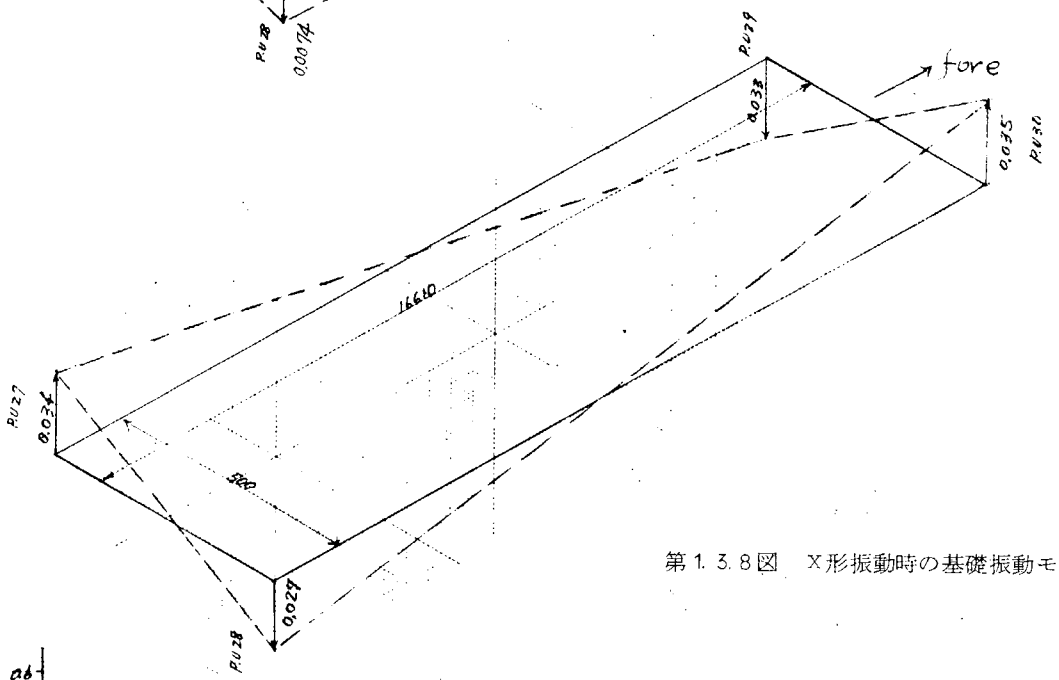
第 1. 3. 5 図　H形振動モード（４０５ｃｐｍ）



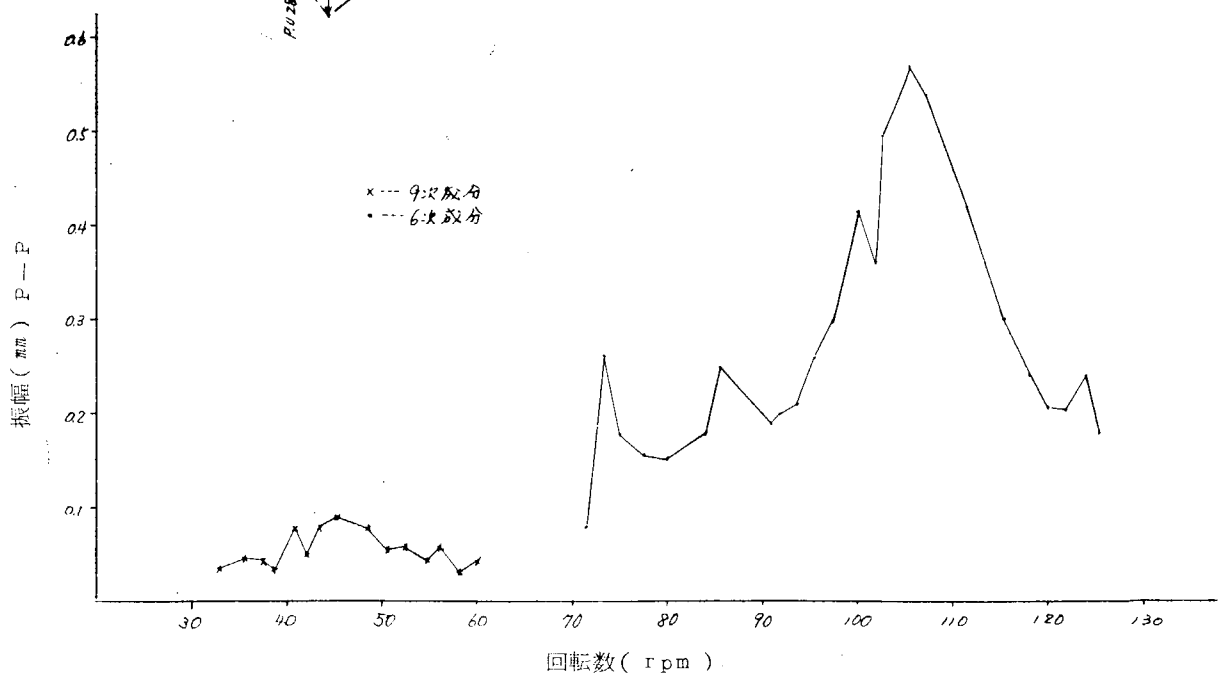
第 1. 3. 6 図　X形振動モード（６３０ｃｐｍ）



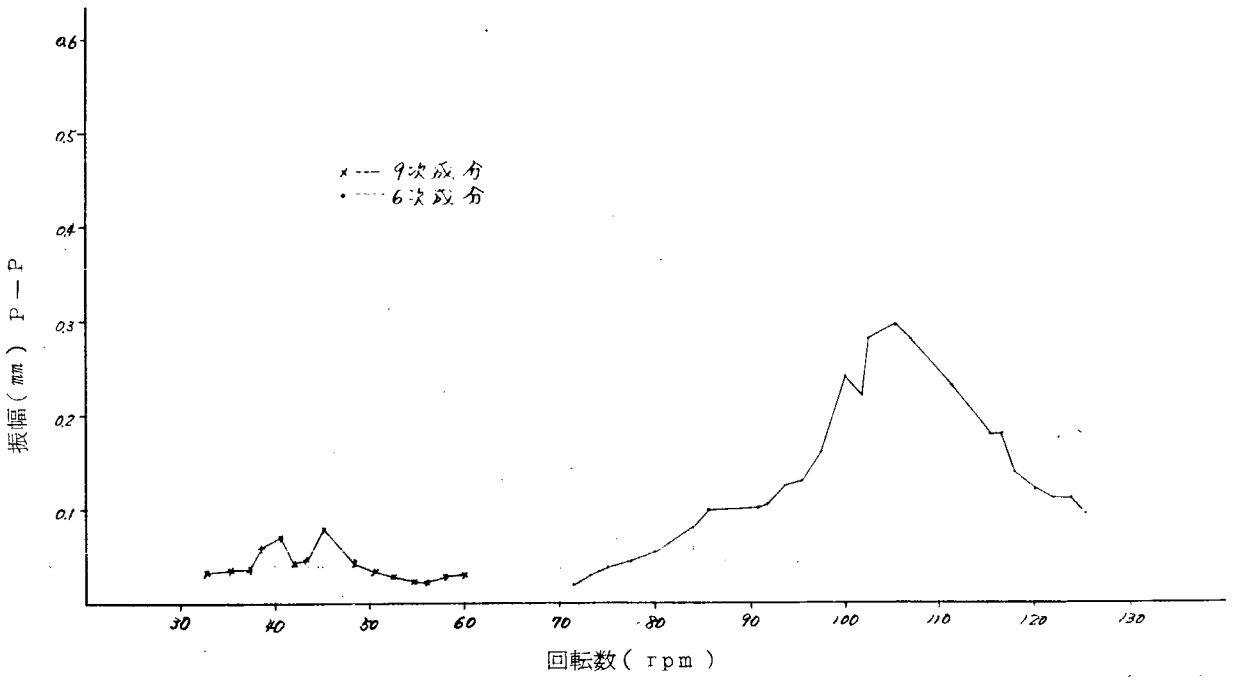
第1.3.7図　H形振動時の基礎振動モード



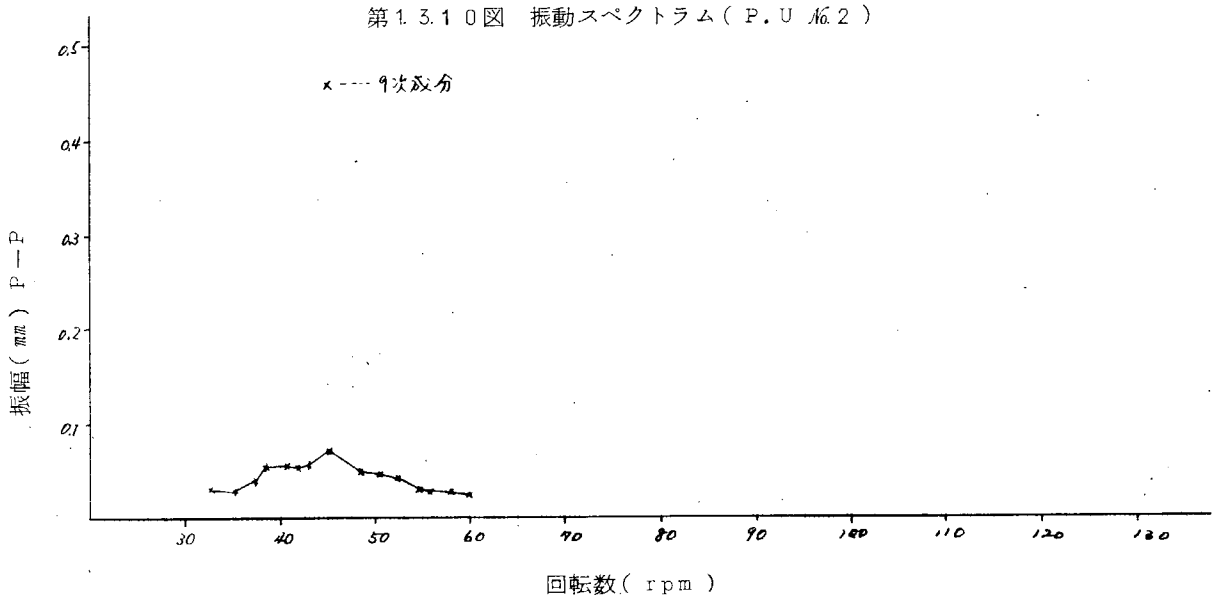
第1.3.8図　X形振動時の基礎振動モード



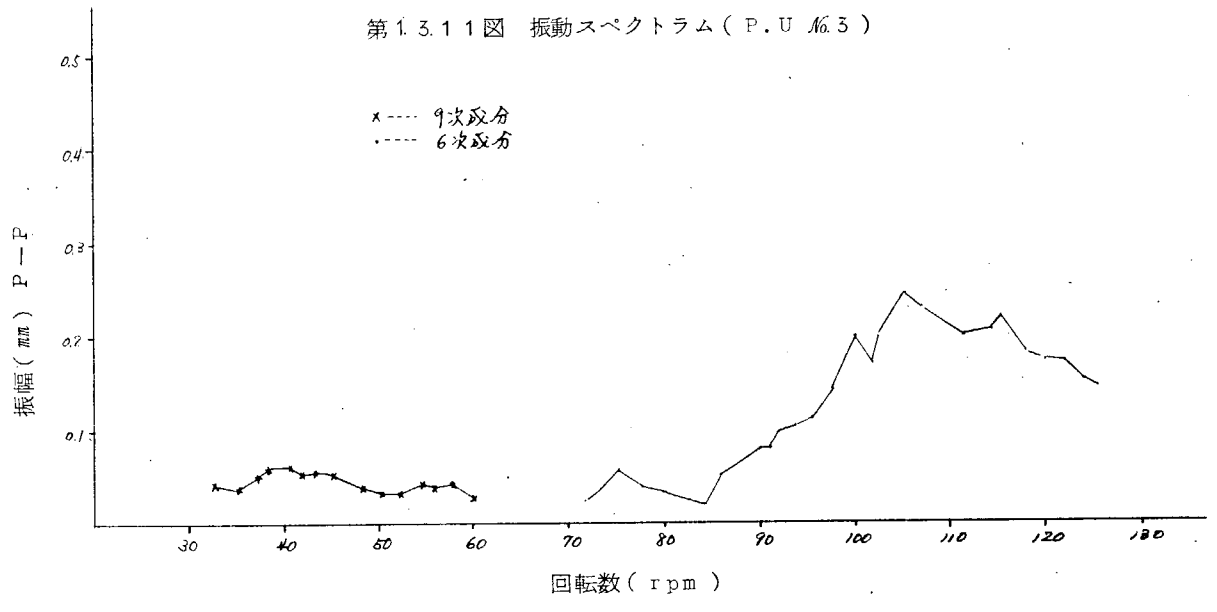
第1.3.9図　振動スペクトラム（P.U №1）



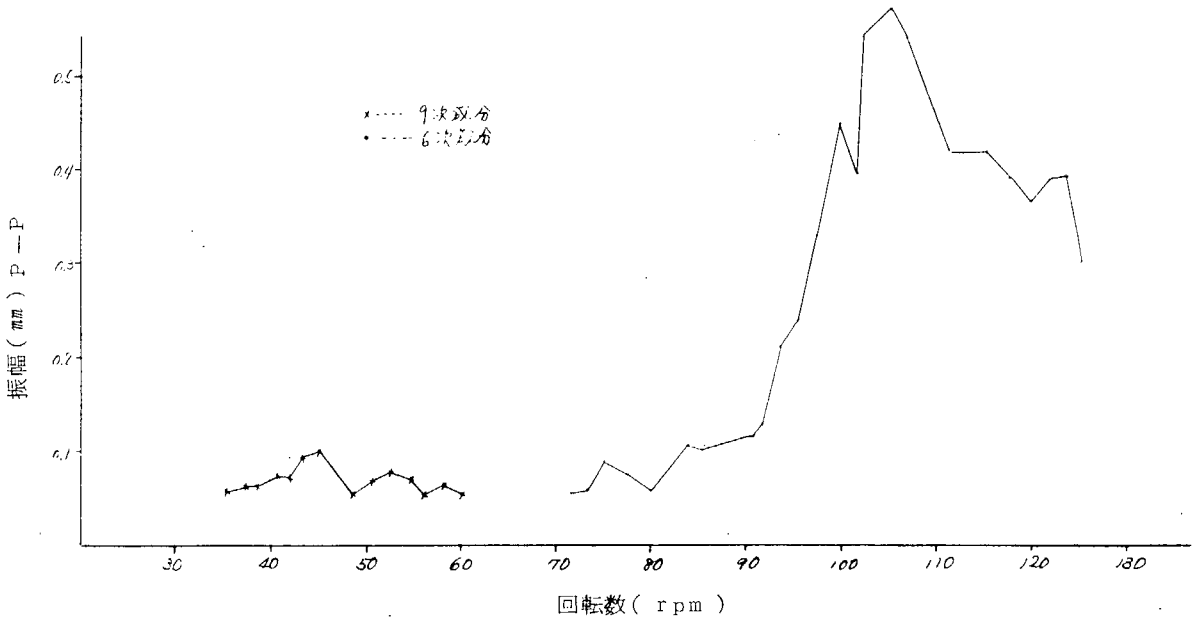
第1.3.10図　振動スペクトラム（ P.U №2 ）



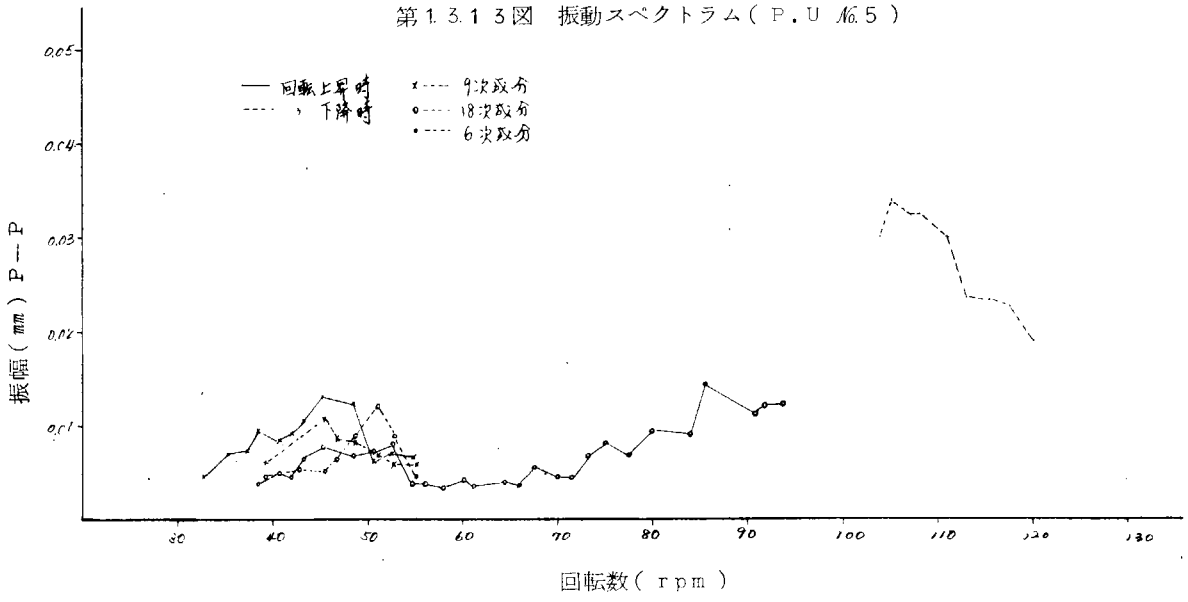
第1.3.11図　振動スペクトラム（ P.U №3 ）



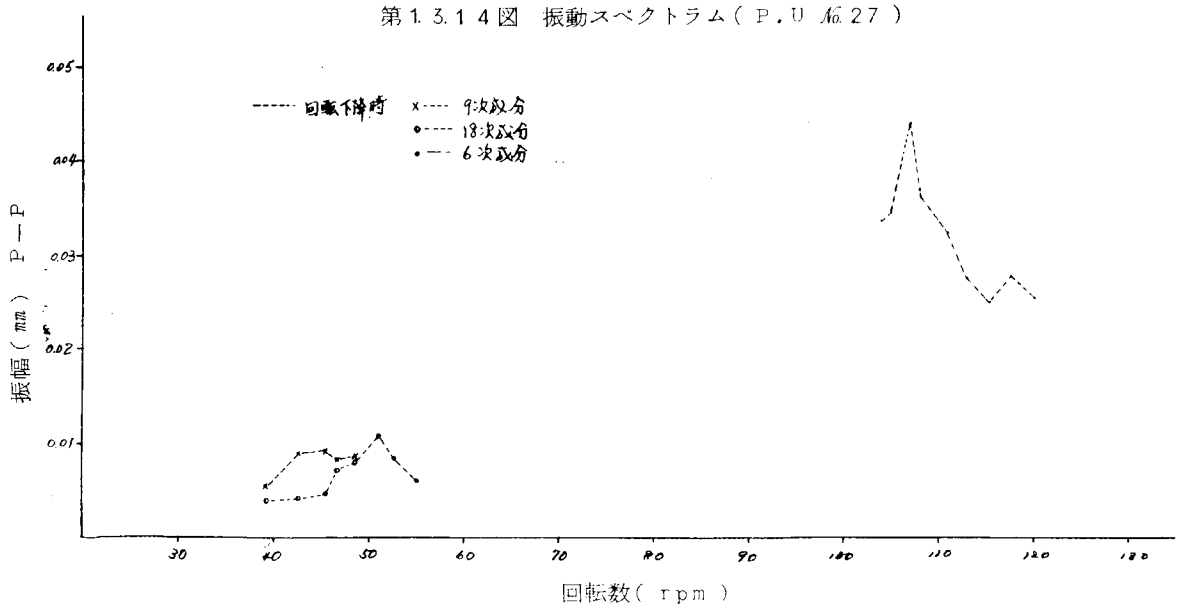
第1.3.12図　振動スペクトラム（ P.U №4 ）



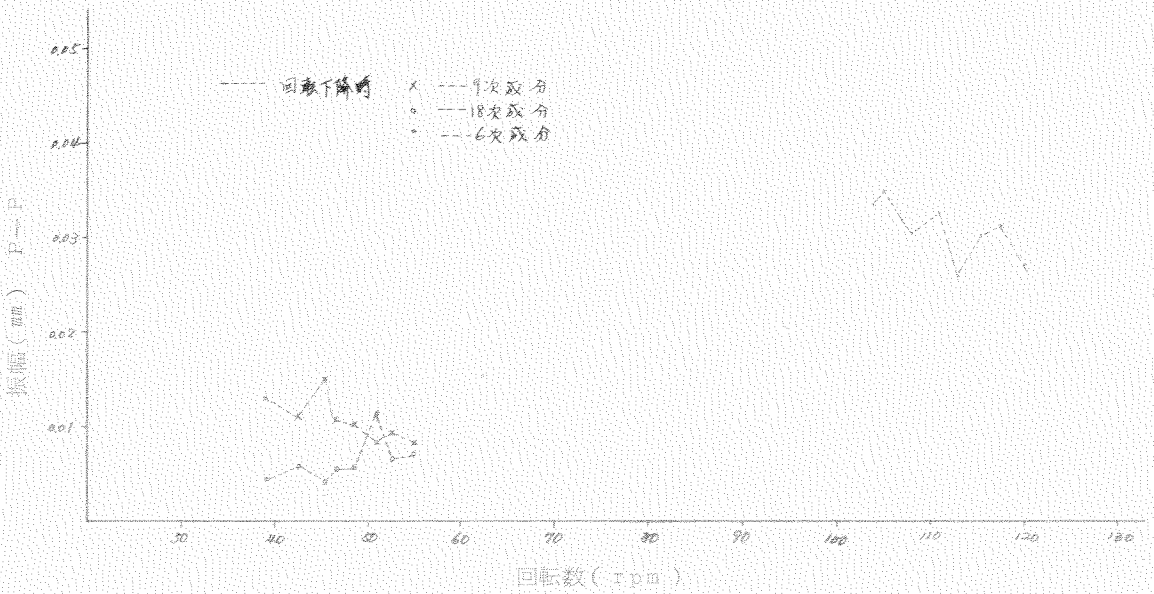
第1.3.13図　振動スペクトラム（P.U №5）



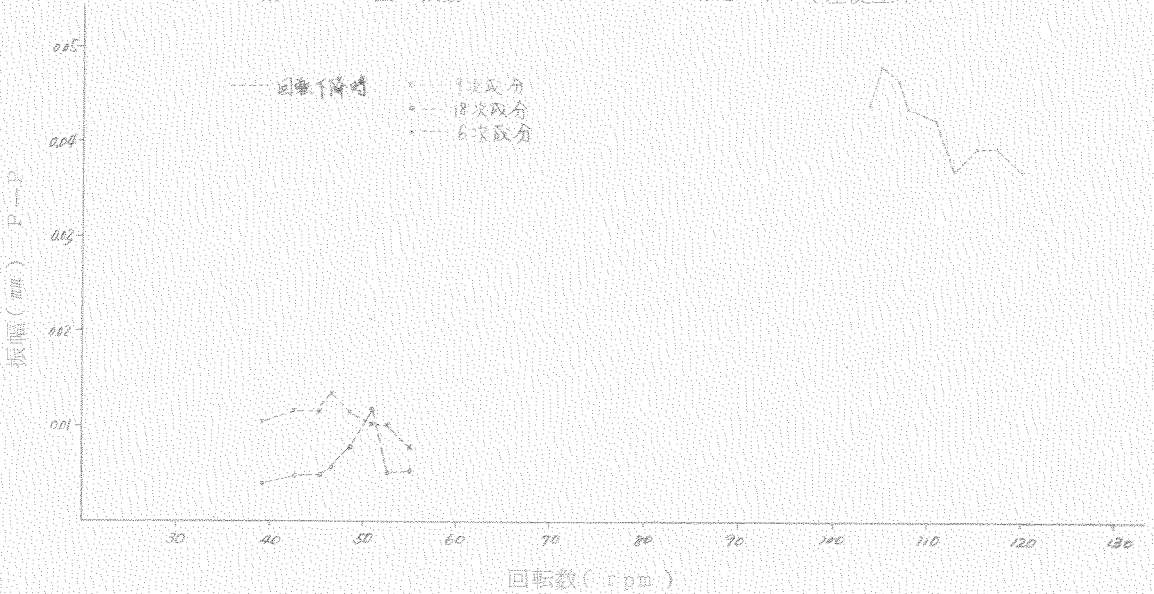
第1.3.14図　振動スペクトラム（P.U №27）



第1.3.15図　振動スペクトラム（P.U №28）　（基礎上下）



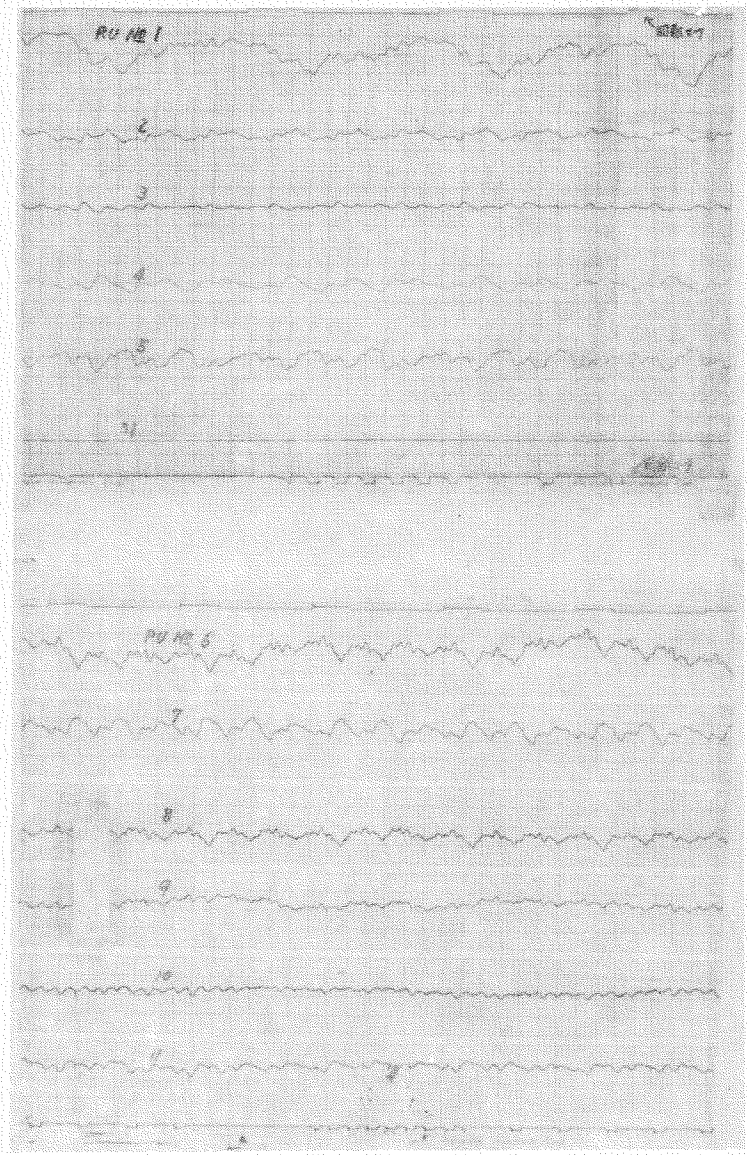
第1.3.16図　振動スペクトラム（P.U No.29）　（基礎上下）



第1.3.17図　振動スペクトラム（P.U No.30）　（基礎上下）

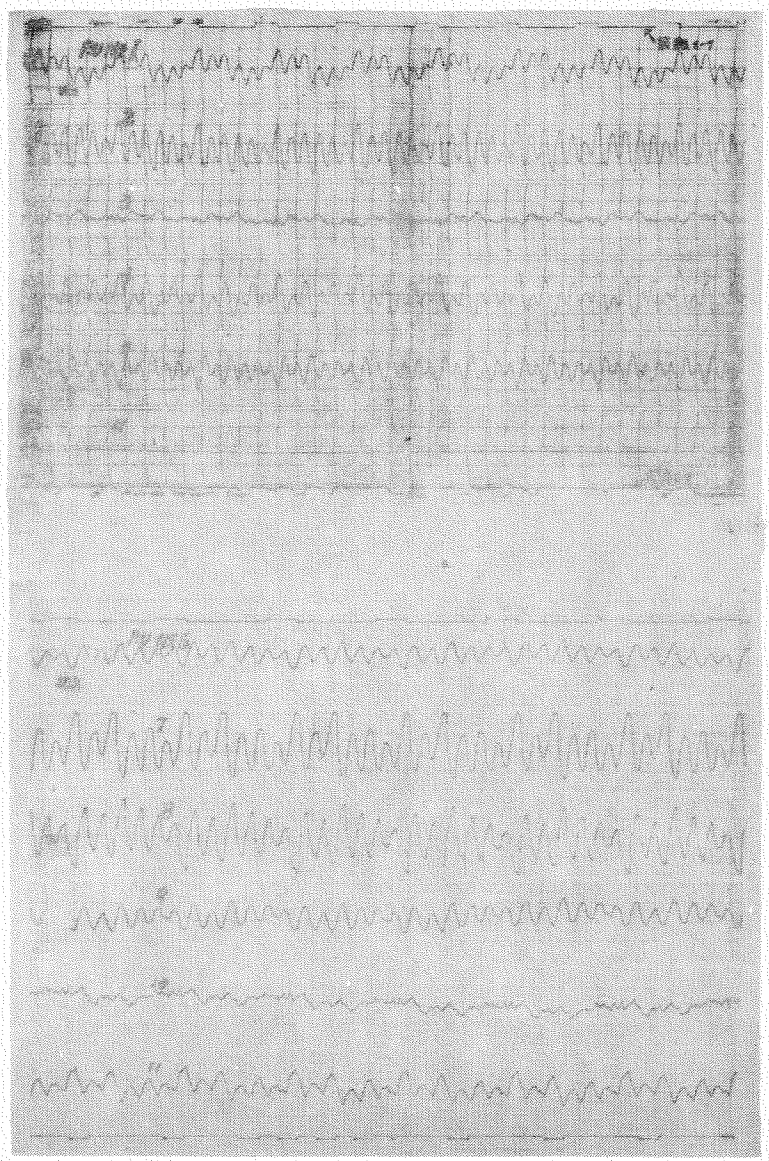
陸上運転

機関回転数　45 rpm



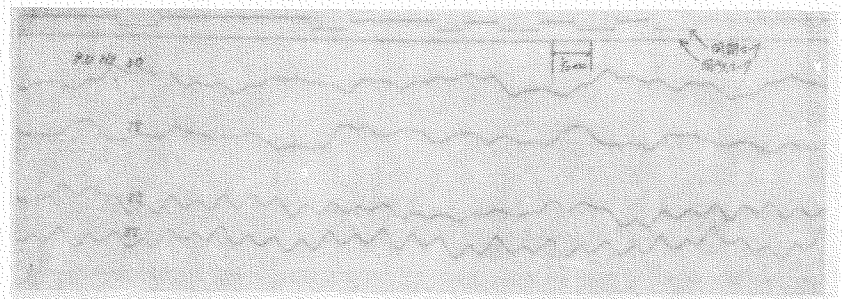
陸上運転

機関回転数　105 rpm

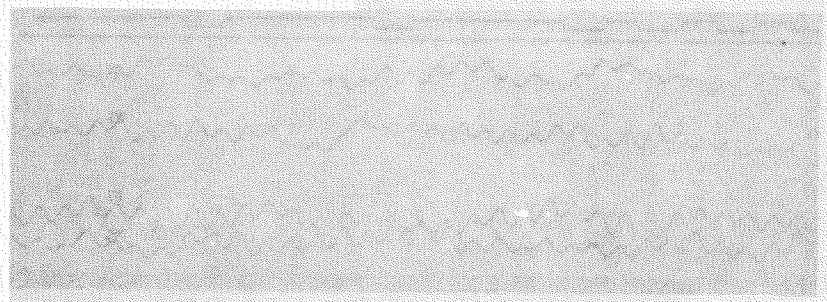


陸上運転基礎振動計測結果

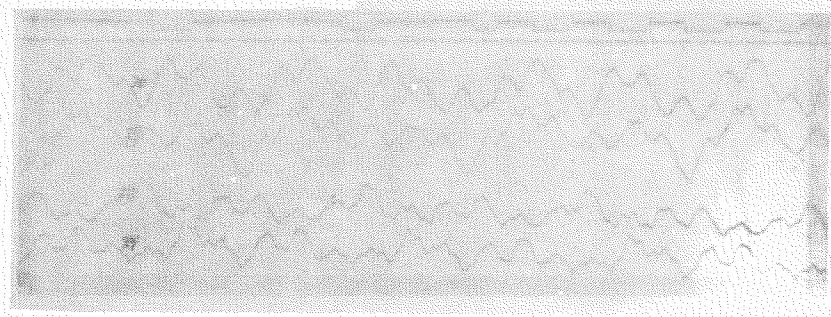
機関回転数　45 rpm



機関回転数　51 rpm



機関回転数　105 rpm



3.2 海上運転（昭和４２年１０月８、９日測定）

3.2.1 測定船要目

船　　種	：	Tanker
Dead Weight	：	７８,８００Ton
L × B × D	：	２３７m × ３７.２０m × １８.５０m

3.2.2 測定方法

(1) 使用測定器

陸上運転時と同様である。ただし高感度増幅器は使用しなかつた。

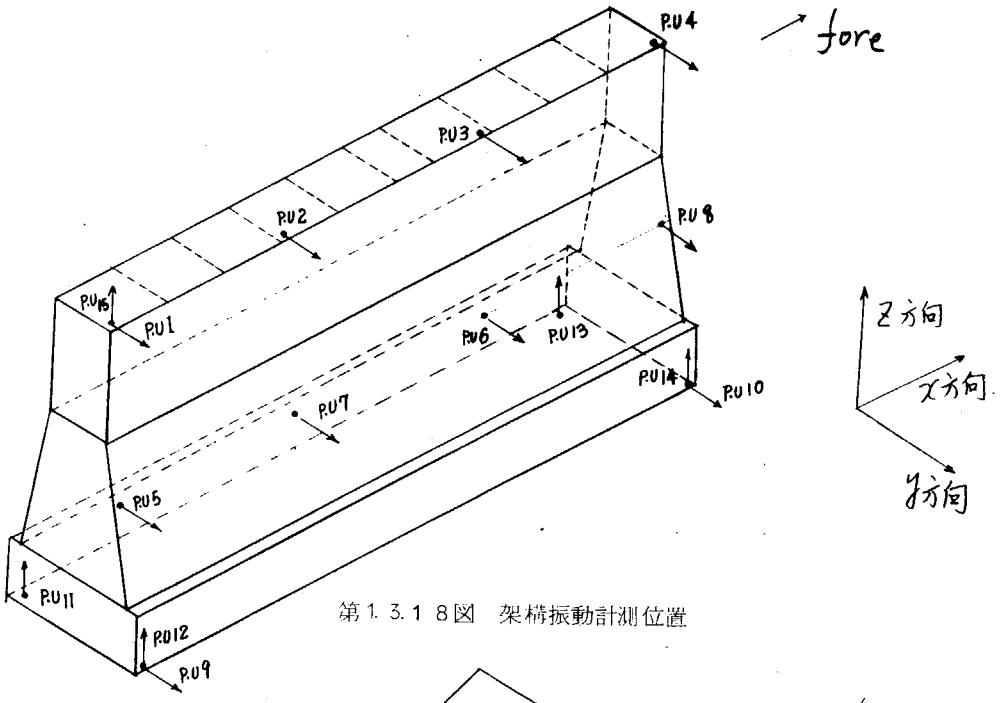
(2) 測定条件

陸上運転と同様である。また、船体の載荷状態は満載である。

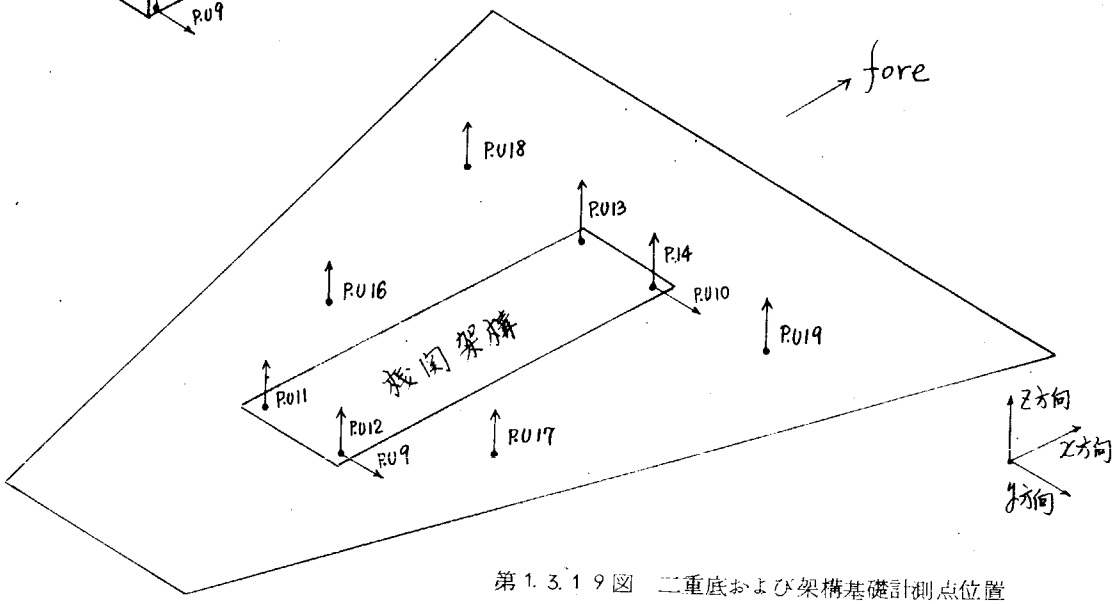
(3) 測定位置

第１.３.１８図～第１.３.２１図に示すように、架構の横方向振動の他に、機関室二重底部の振動および船体の垂直、水平、ねじれ振動も測定した。

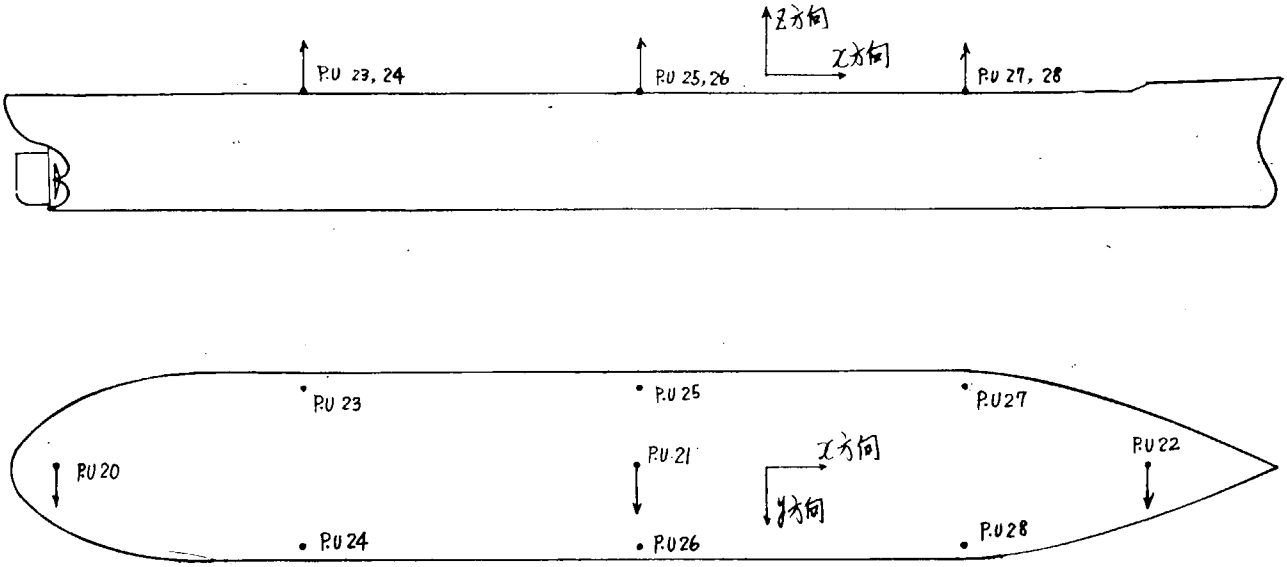
また、本船は架構横振動振幅を少なくするために架構上部にＳｔａｙを設けているが測定はＳｔａｙのある場合とない場合の２通り実施し、Ｓｔａｙのある場合はその応力も測定した。



第１.３.１８図　架構振動計測位置

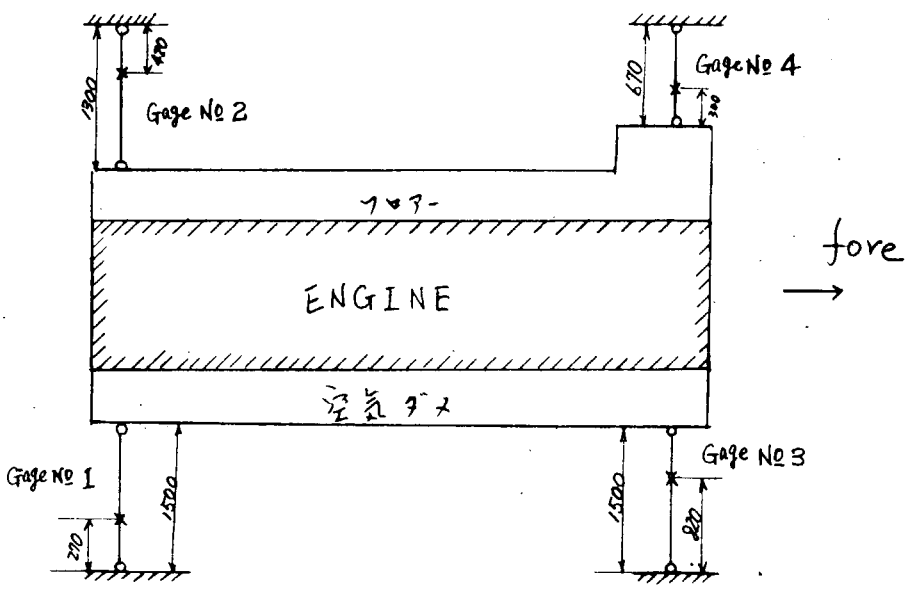


第１.３.１９図　二重底および架構基礎計測点位置



第1.3.20図　船体振動計測点位置

×……ゲージ貼付位置
Stay dia……47φ



第1.3.21図　Stay振動応力計測点位置

3.2.3　測定結果

測定の結果得られた固有振動数とその時の回転数および次数を下表に示す。

海上運転時の固有振動数、回転数、次数

振動形	Stay	固有振動数 cpm	回転数 rpm × 次数
H形振動	有	414	46 × 9
X形振動	〃	690	115 × 6
H形振動	無	423	47 × 9
X形振動	〃	672	112 × 6

なお、この他に567cpm（63rpm×9次）および340cpm（68rpm× 5次）でH形振動に類似した

共振振動モードが得られたが、これらについては後に記すことにする。

以下順に次のデータを示す。

Ｓｔａｙのある場合の

共振時の架構横振動振幅　　（第1.3.22図～第1.3.25図）

Ｈ形振動、Ｘ形振動の振動モード（第1.3.26図～第1.3.29図）

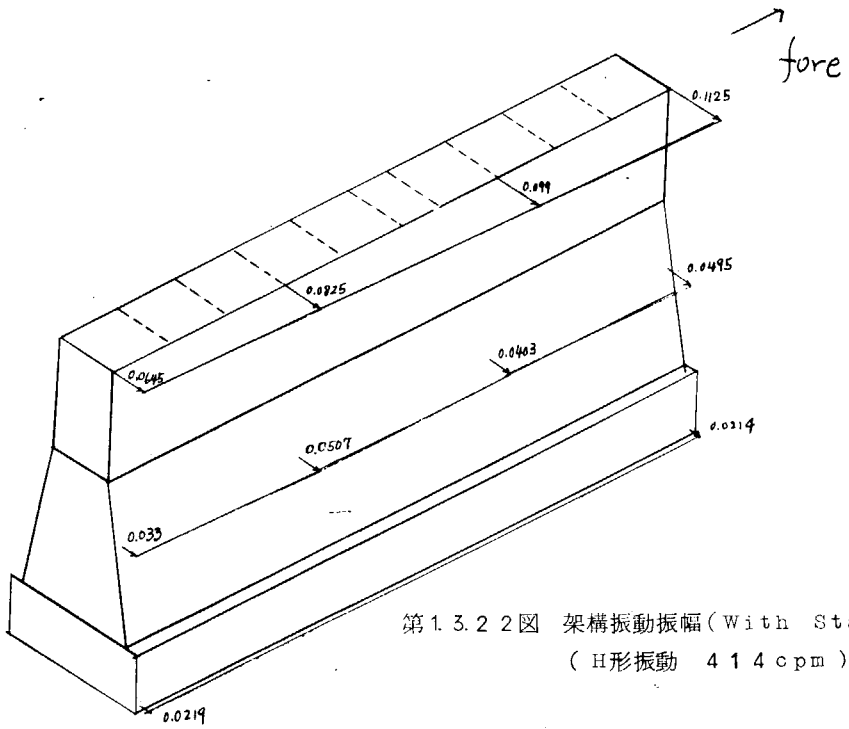
振動スペクトラム　　（第1.3.30図～第1.3.37図）

Ｓｔａｙのない場合の

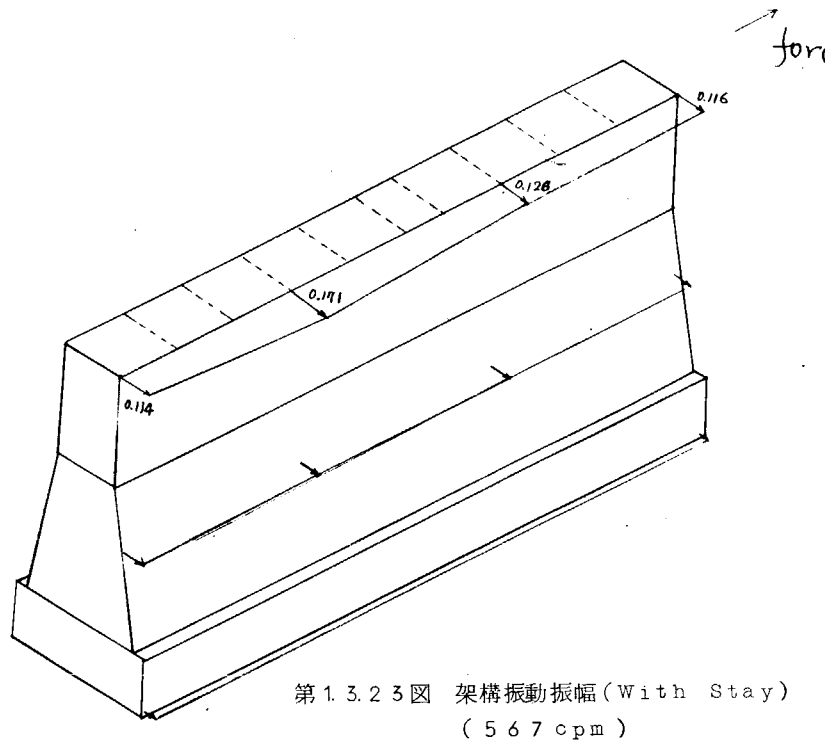
共振時の架構横振動振幅　　（第1.3.38図、第1.3.39図）

Ｈ形振動、Ｘ形振動の振動モード（第1.3.40図、第1.3.41図）

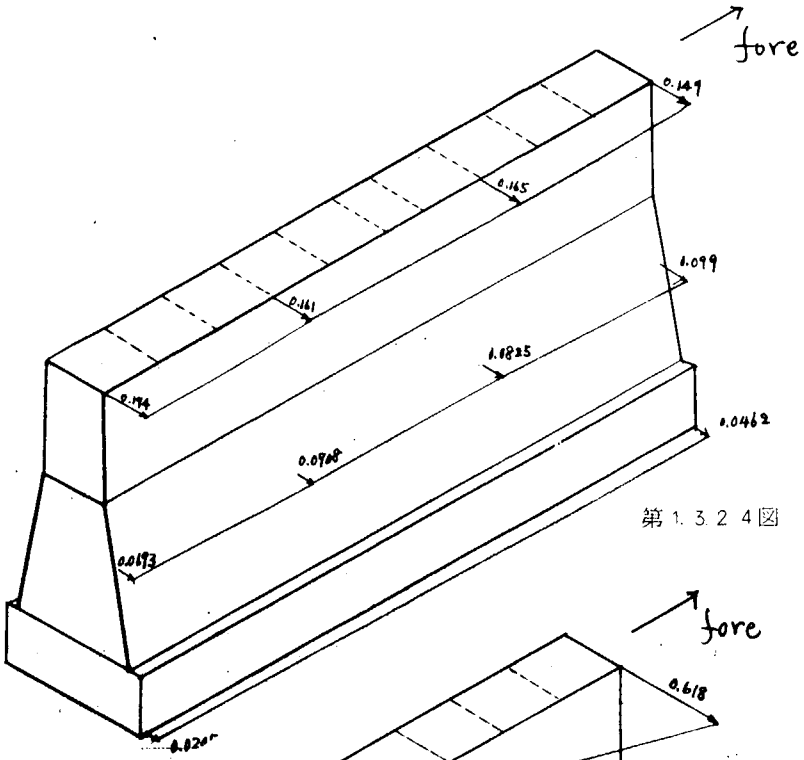
振動スペクトラム　　（第1.3.42図～第1.3.47図）



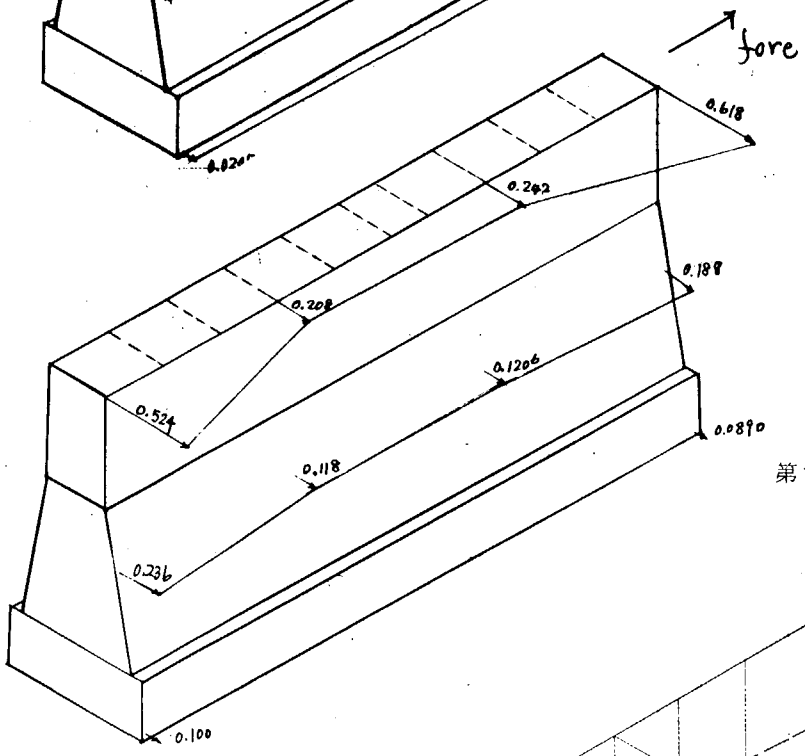
第1.3.22図　架構振動振幅（With Stay）
（Ｈ形振動　414cpm）



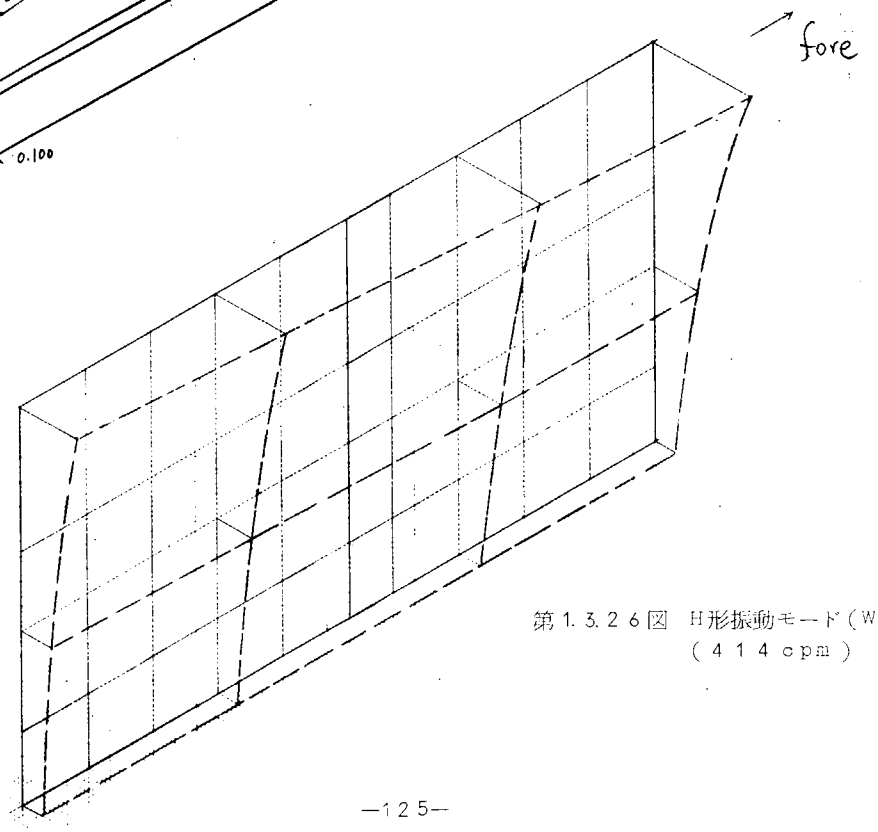
第1.3.23図　架構振動振幅（With Stay）
（567cpm）



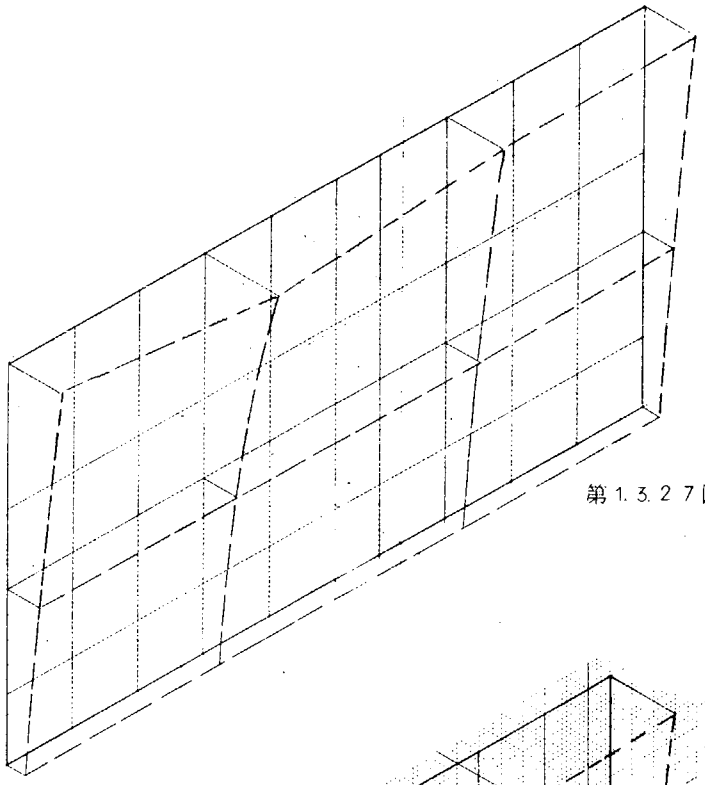
第1.3.24図　架構振動振幅（With Stay）
（340cpm）



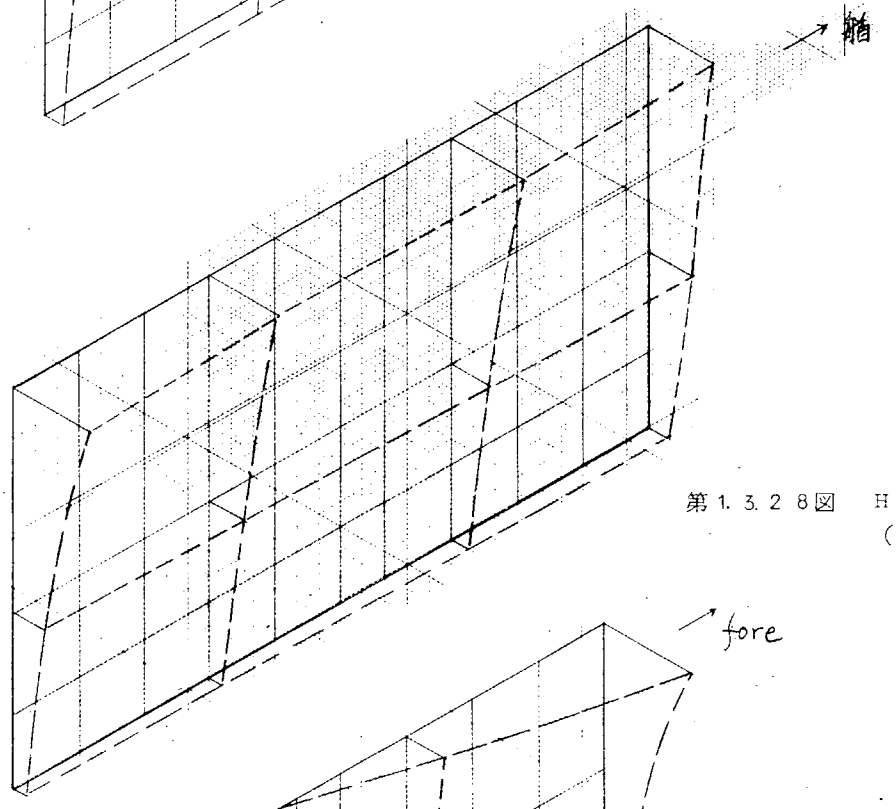
第1.3.25図　架構振動振幅（With Stay）
（X形振動　690cpm）



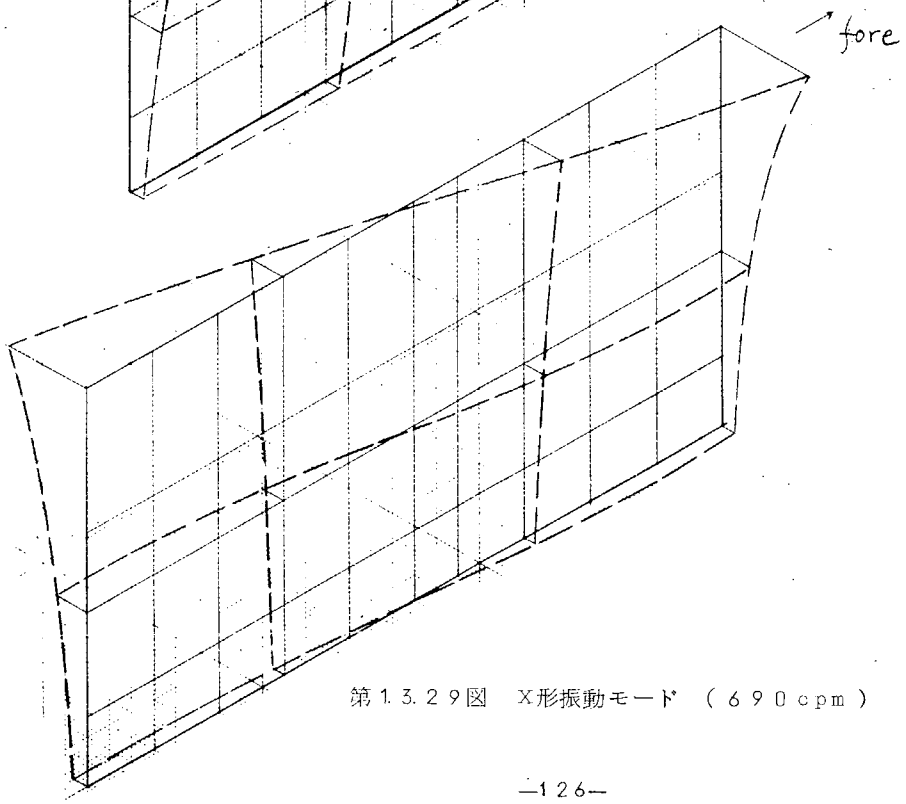
第1.3.26図　H形振動モード（With Stay）
（414cpm）



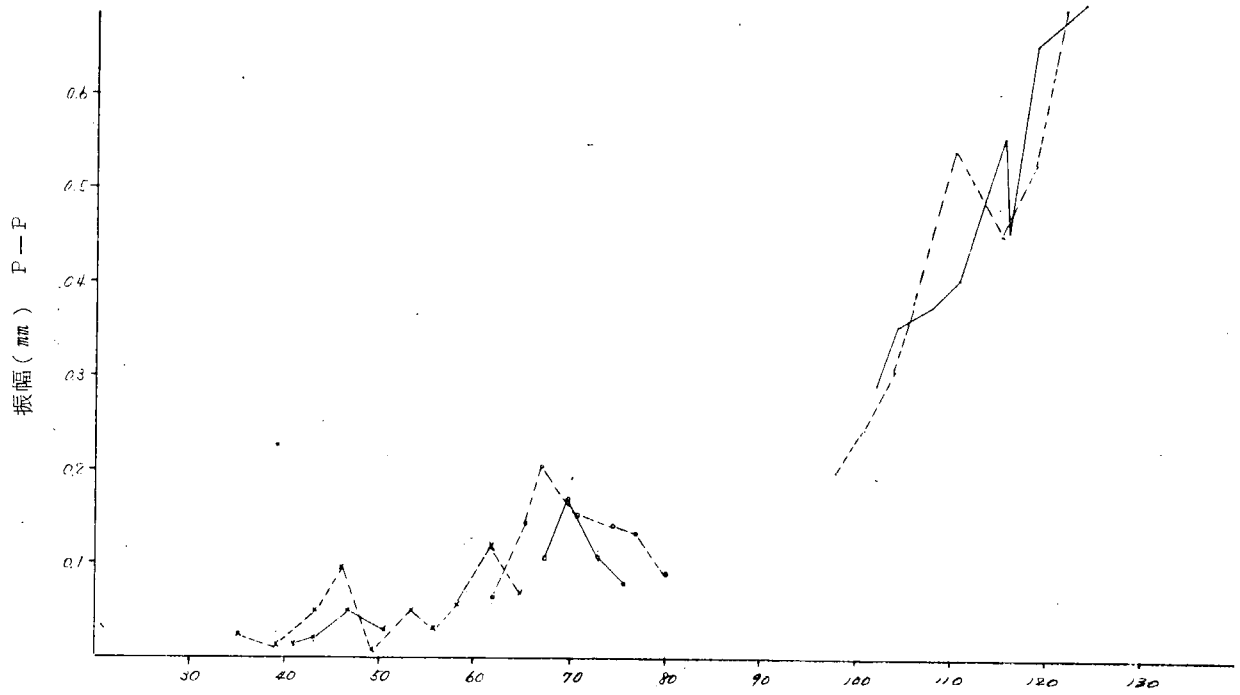
第1.3.27図　H形振動モード
(567cpm)



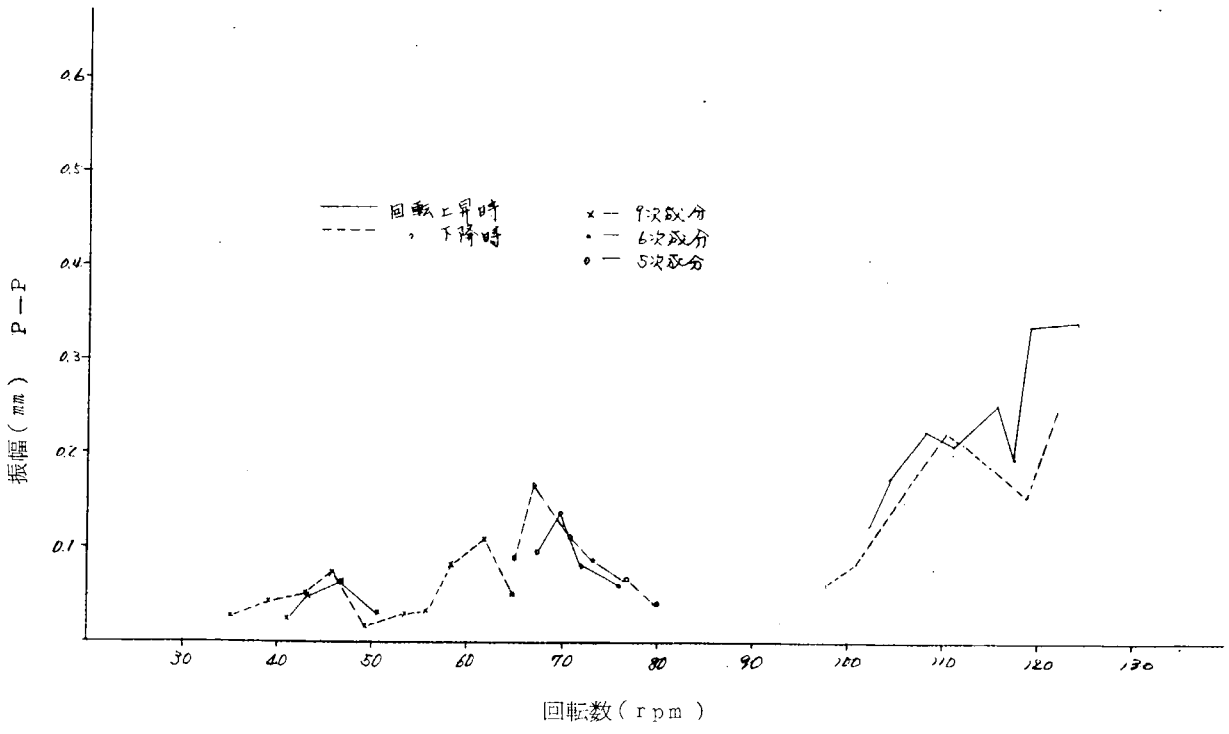
第1.3.28図　H形振動モード
(340cpm)



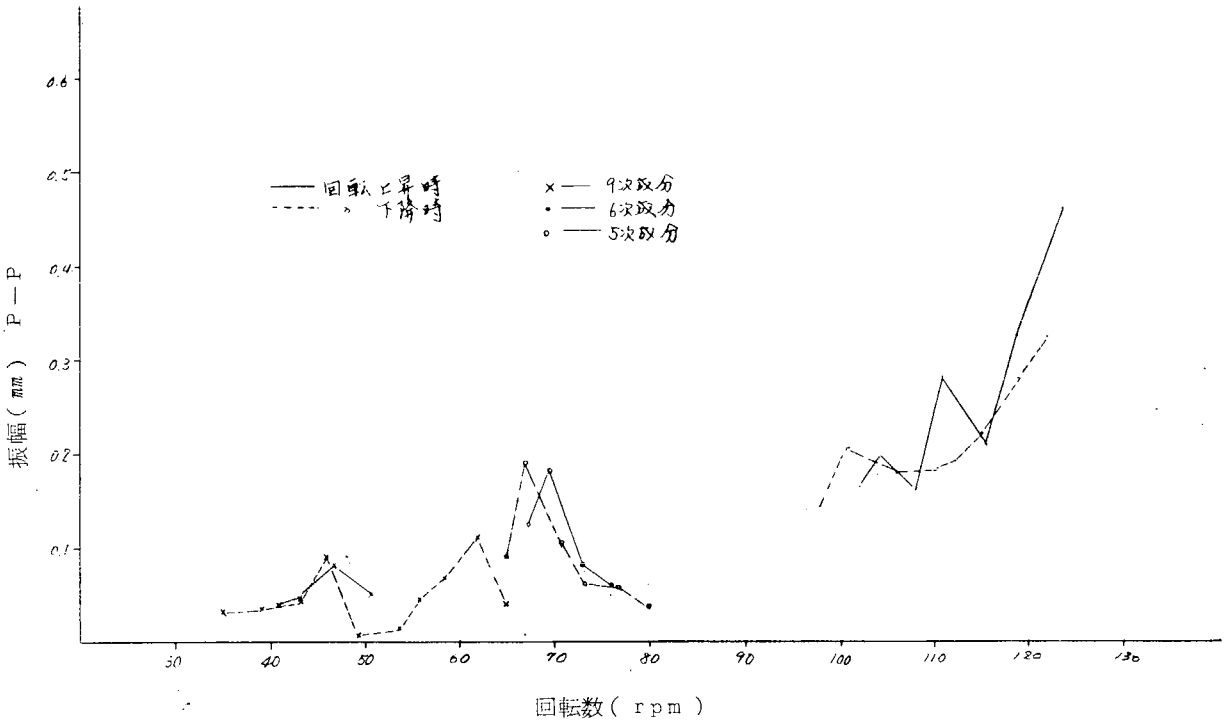
第1.3.29図　X形振動モード　(690cpm)



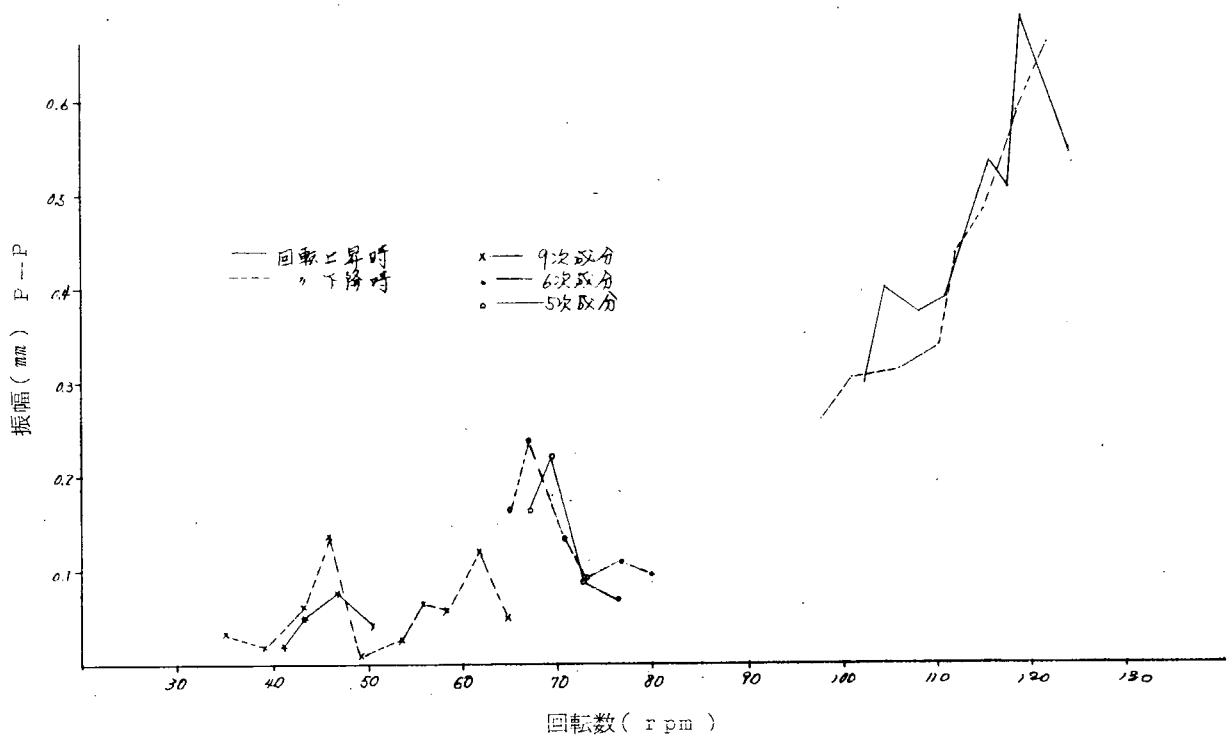
第1.3.30図　振動スペクトラム（With Stay）（P.U №1）



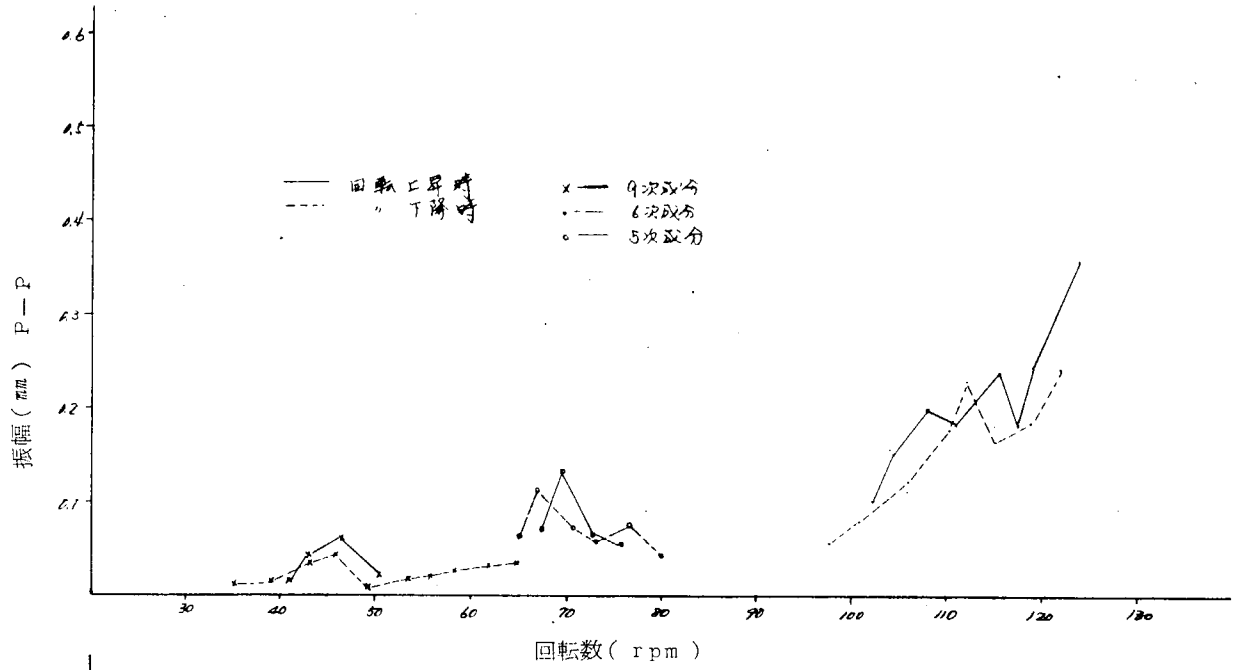
第1.3.31図　振動スペクトラム（With Stay）（P.U №2）



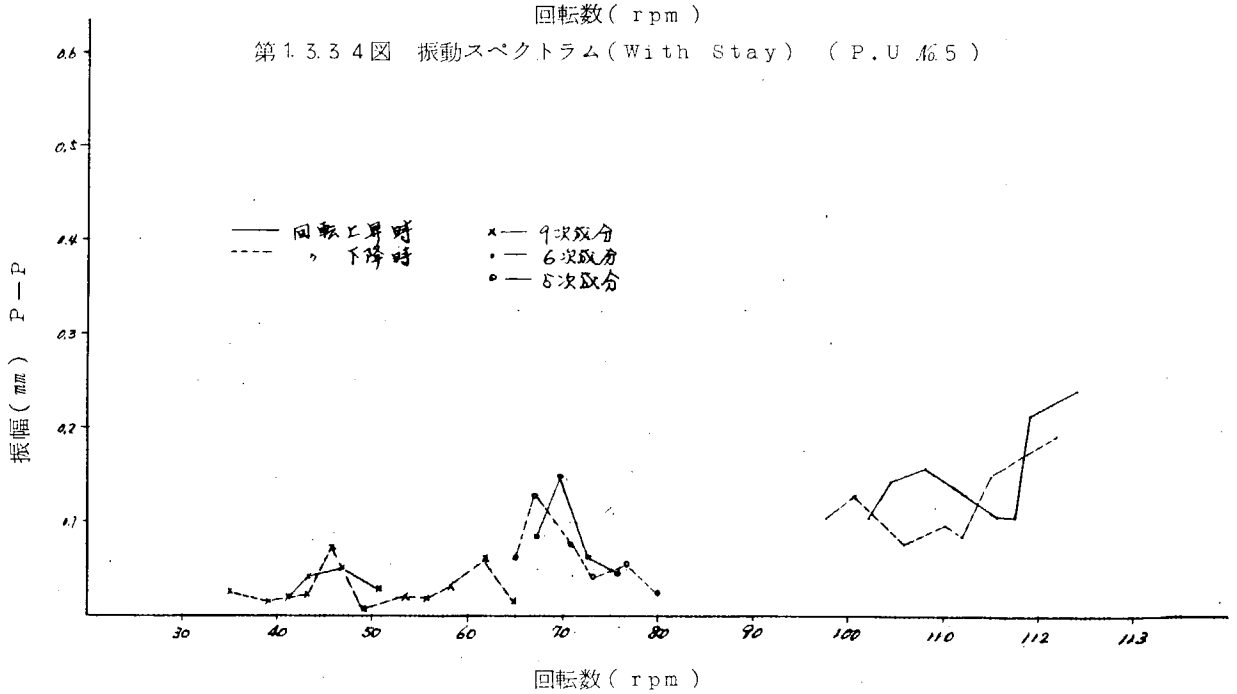
第1.3.32図　振動スペクトラム（With Stay）（P.U №3）



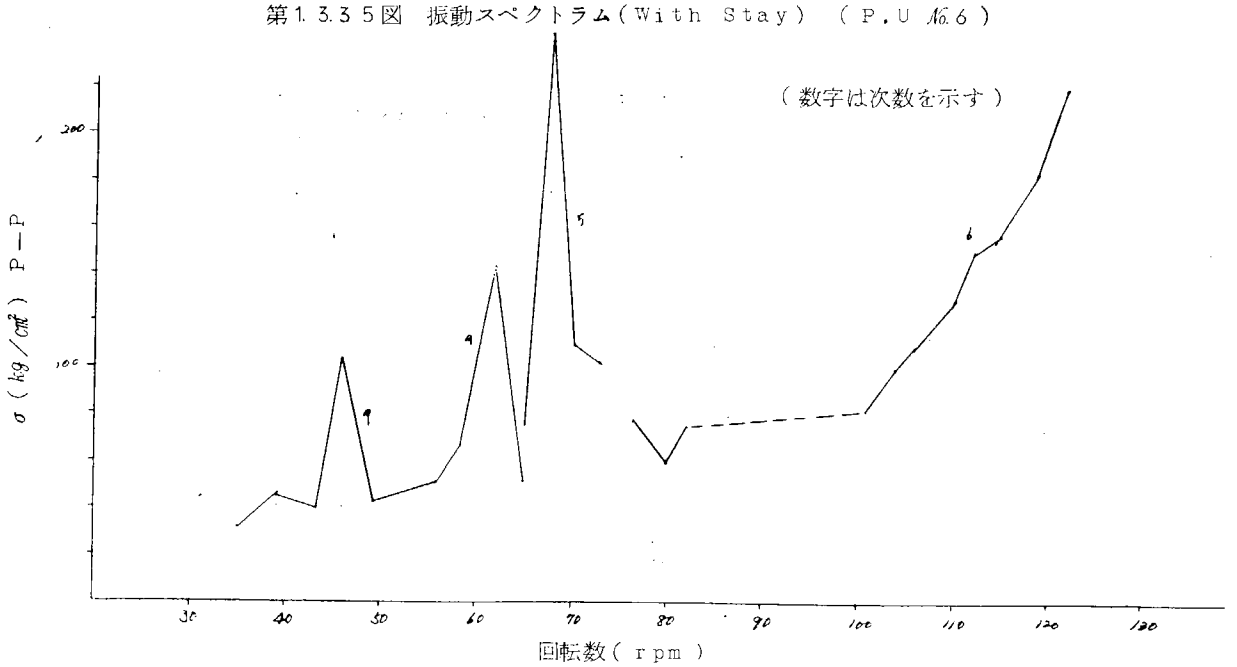
第1.3.33図　振動スペクトラム（With Stay）（P.U №4）



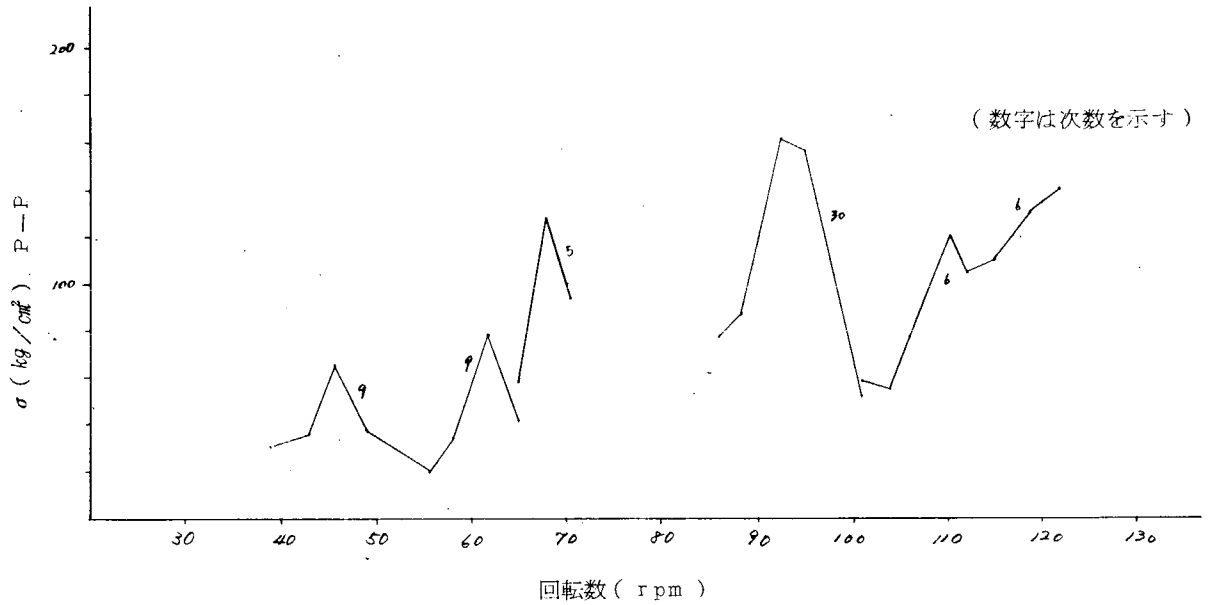
第1.3.34図　振動スペクトラム（With Stay）（P.U №5）



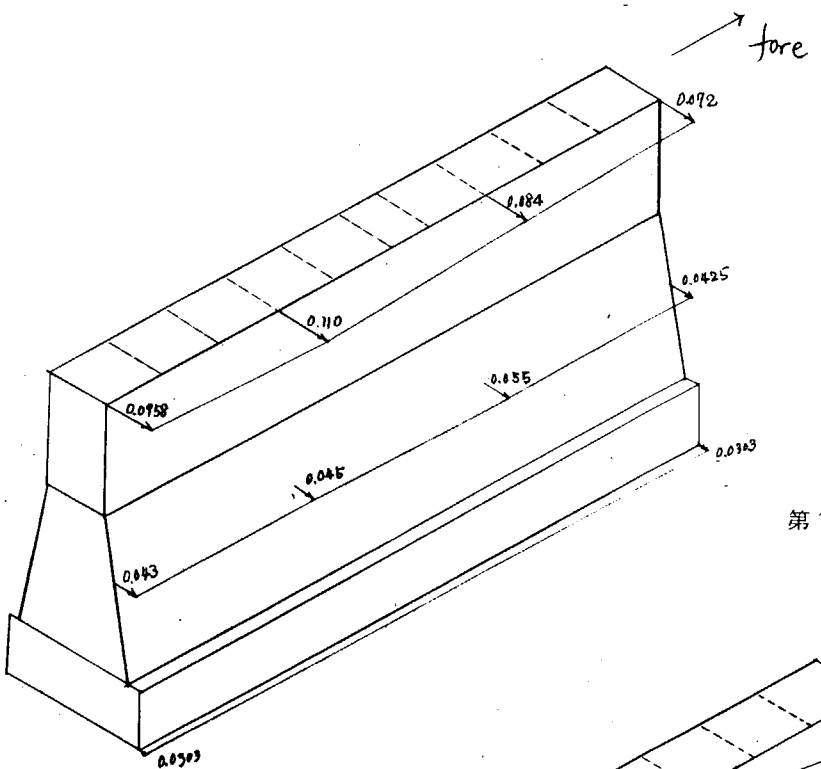
第1.3.35図　振動スペクトラム（With Stay）（P.U №6）



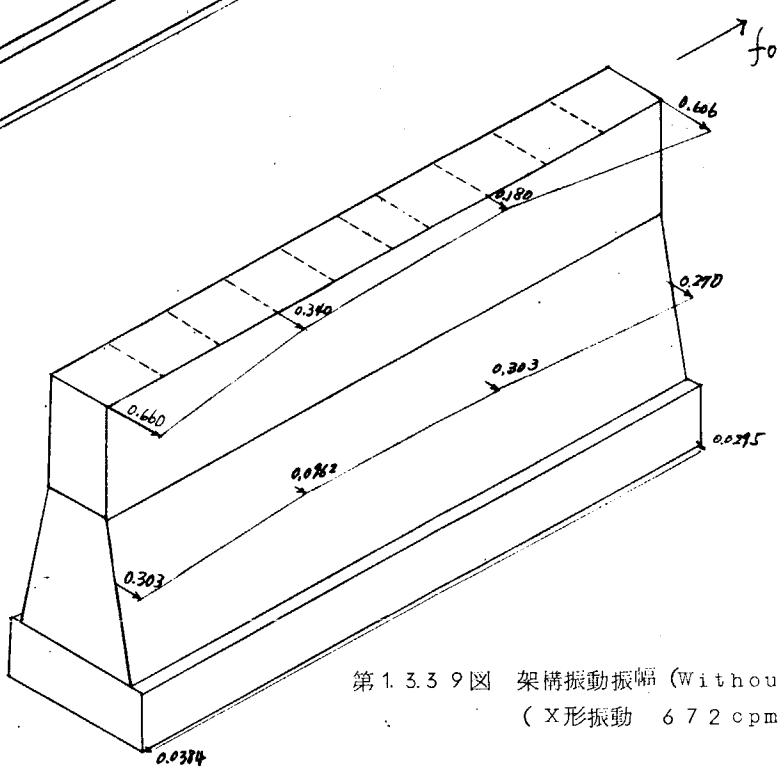
第1.3.36図　Stay応力（Strain Gage №2）



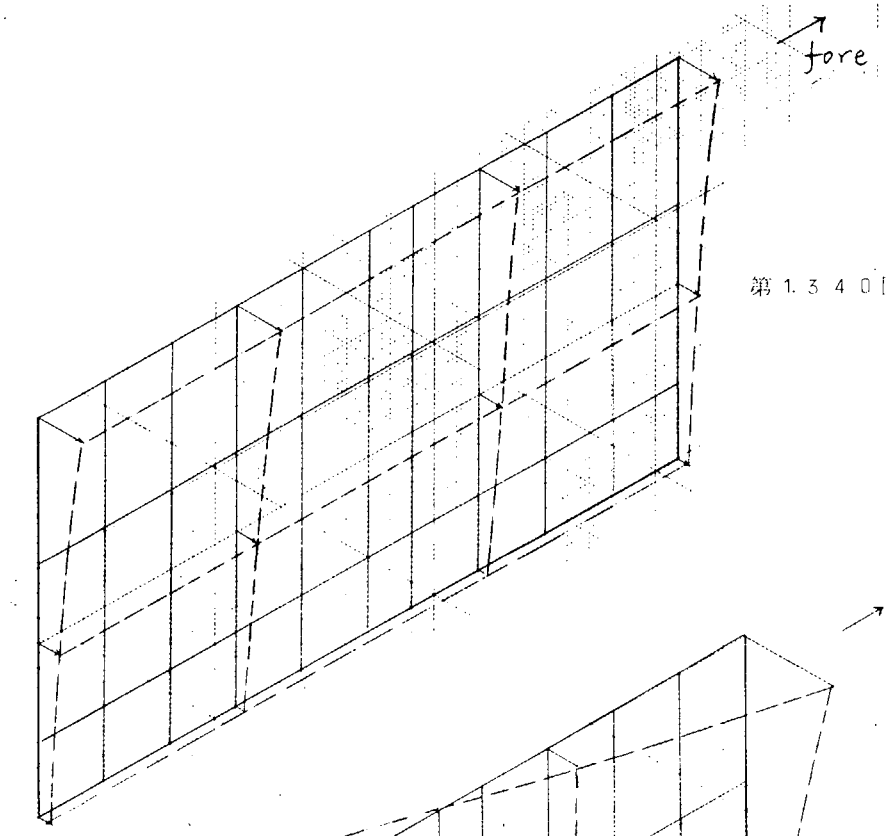
第1.3.37図　Stay応力（Strain Gage №4）



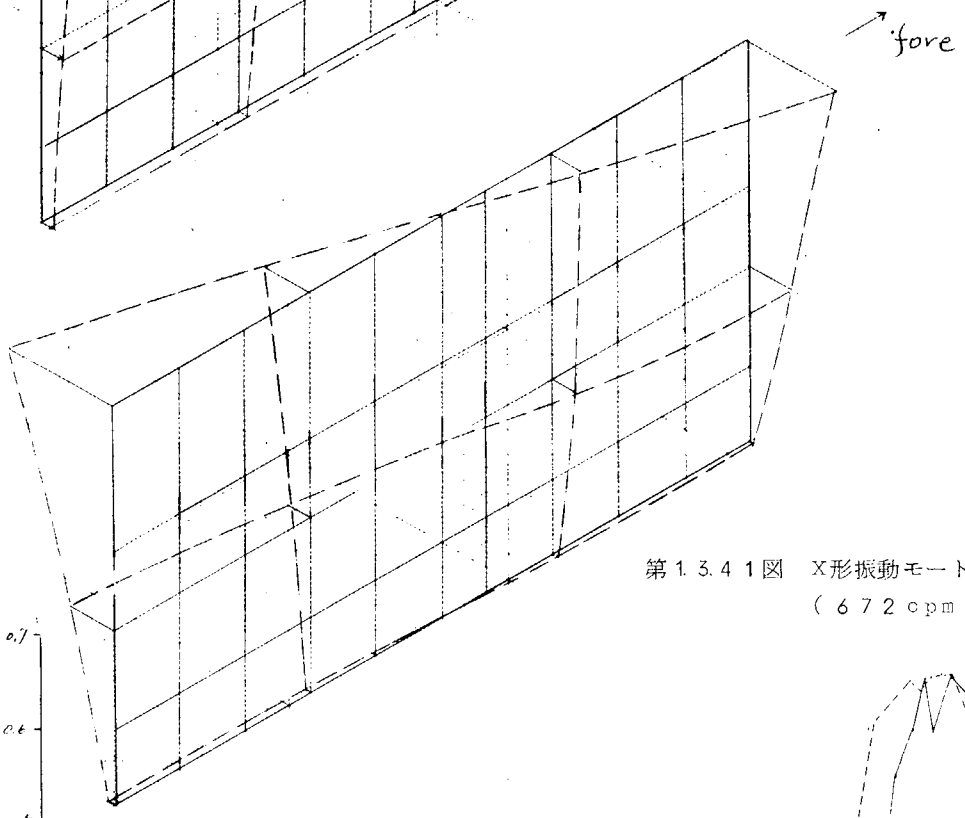
第1.3.38図　架構振動振幅(Without Stay)
（H形振動　423cpm）



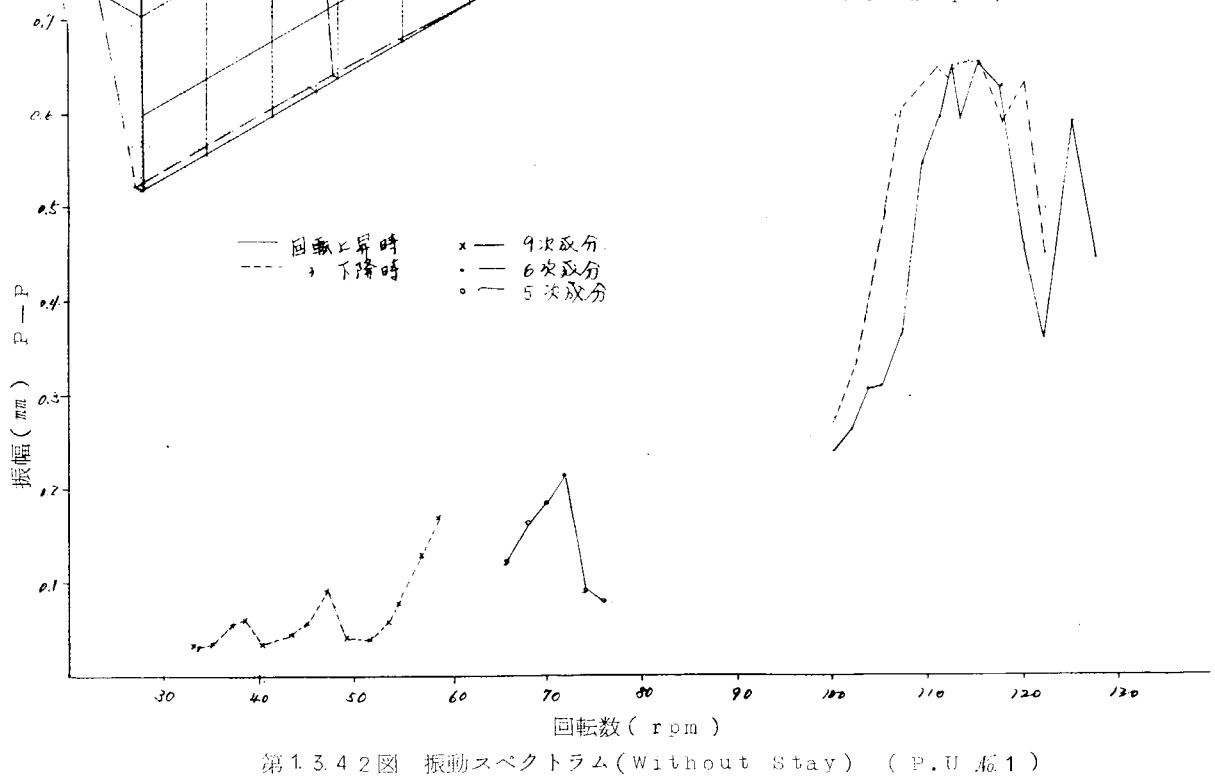
第1.3.39図　架構振動振幅（Without Stay）
（X形振動　672cpm）



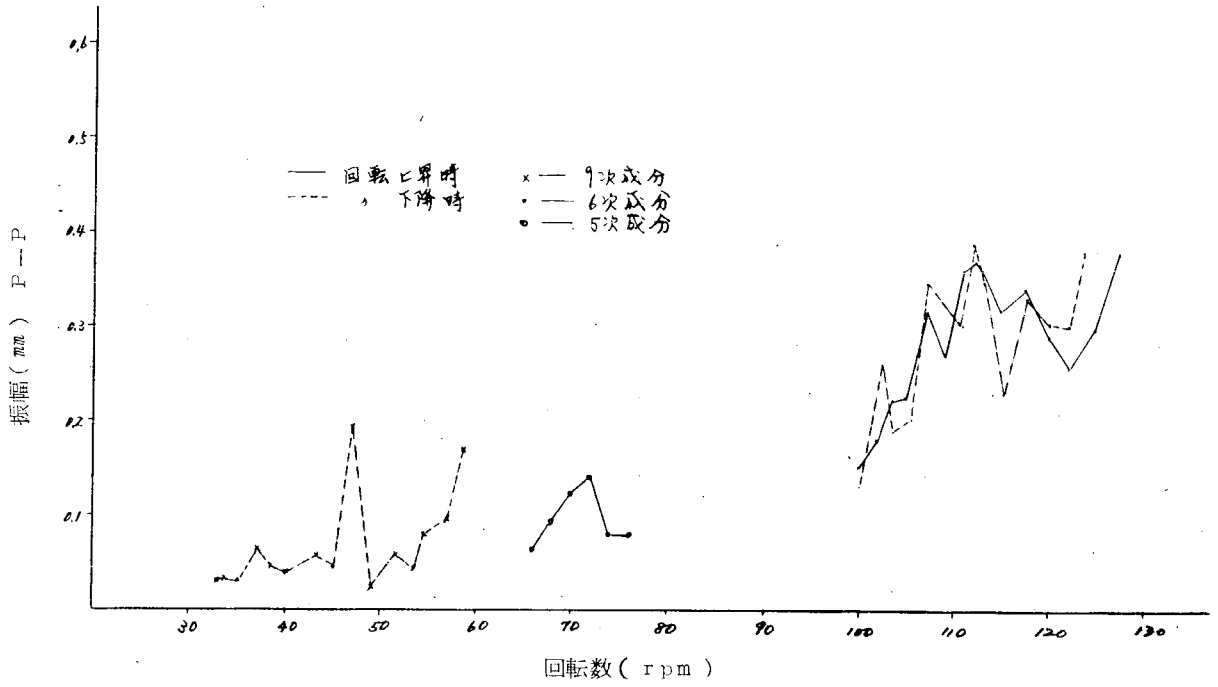
第1.3.40図　H形振動モード
(Without Stay)
(423cpm)



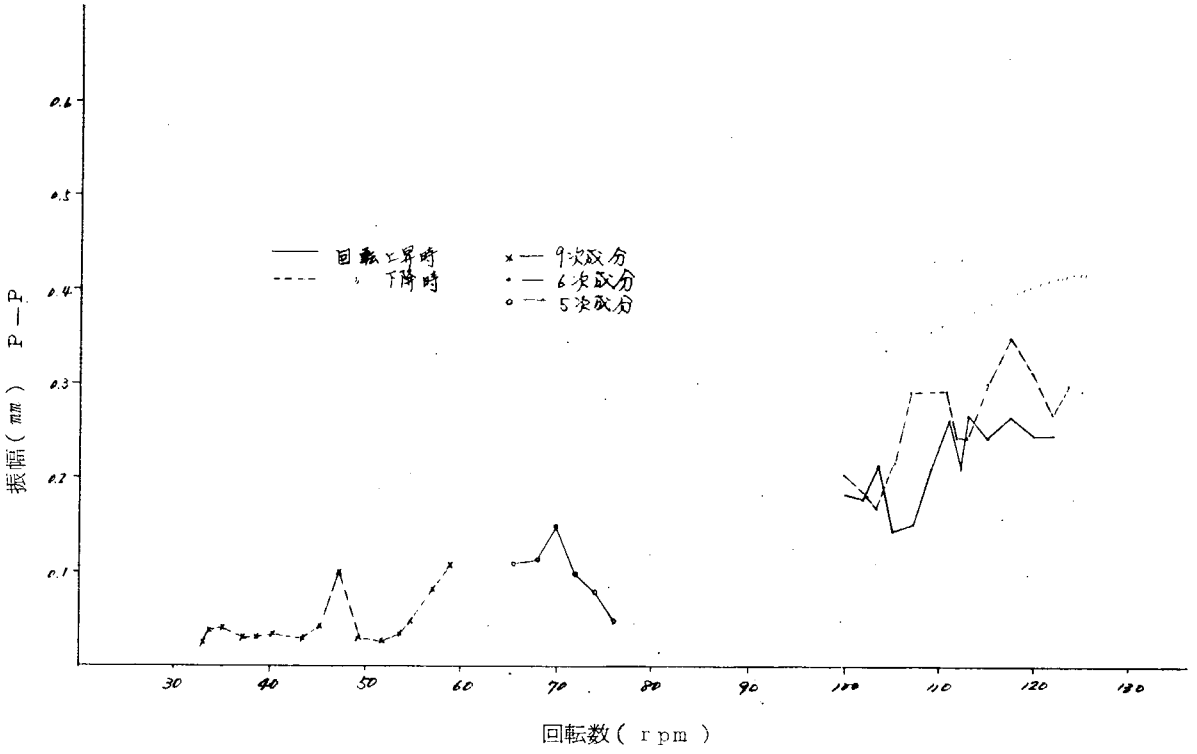
第1.3.41図　X形振動モード(Without Stay)
(672cpm)



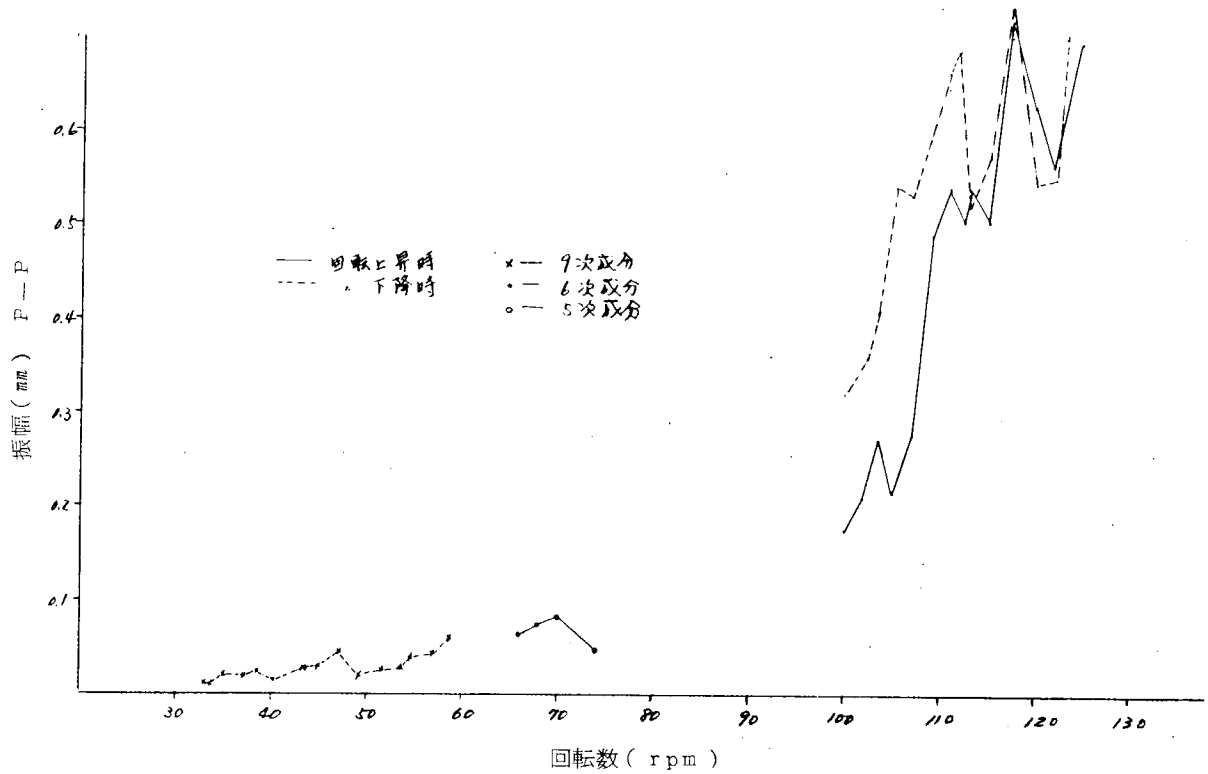
第1.3.42図　振動スペクトラム(Without Stay)　(P.U No.1)



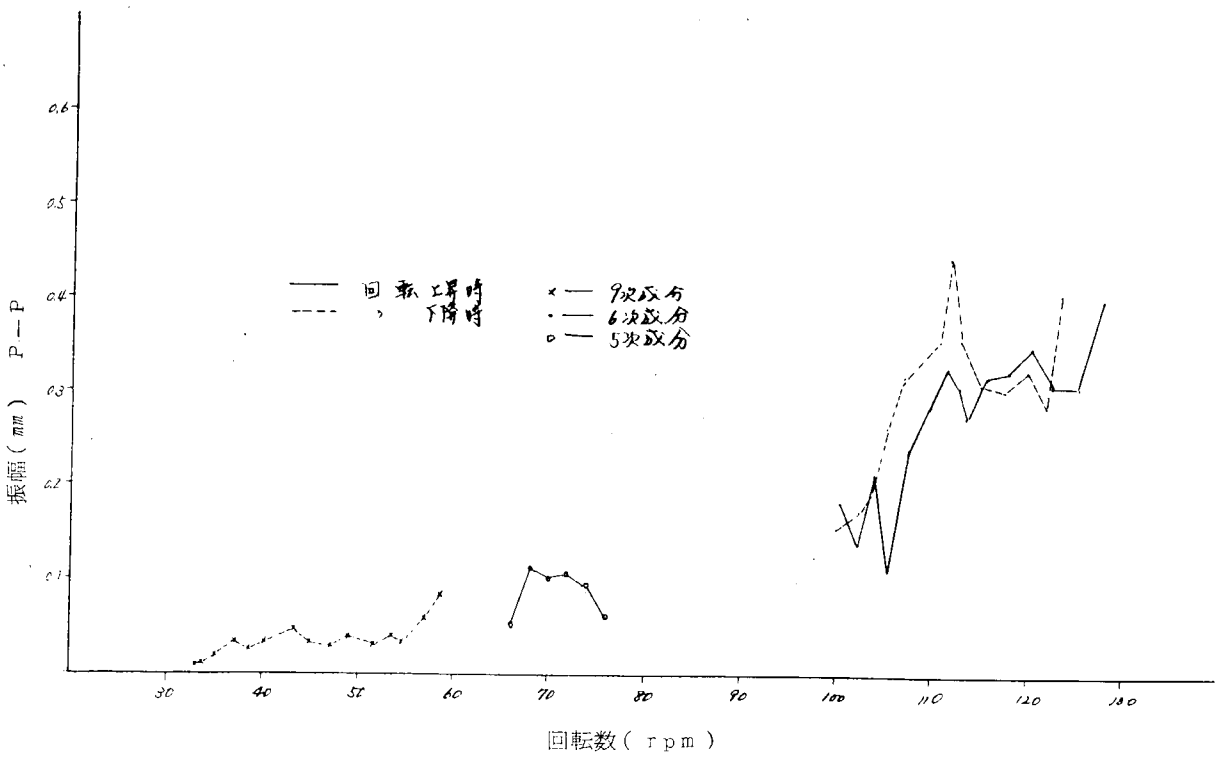
第1.3.43図　振動スペクトラム（Without Stay）（P.U No.2）



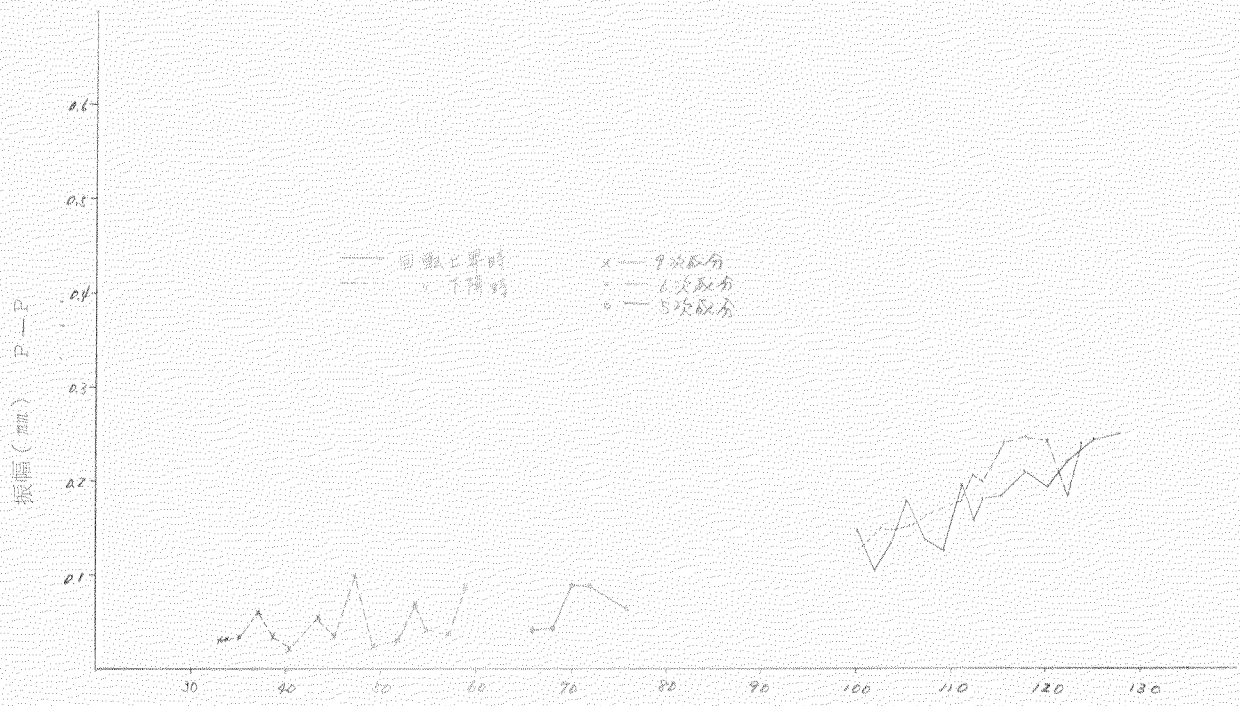
第1.3.44図　振動スペクトラム（Without Stay）（P.U No.3）



第1.3.45図　振動スペクトラム（Without Stay）（P.U №4）



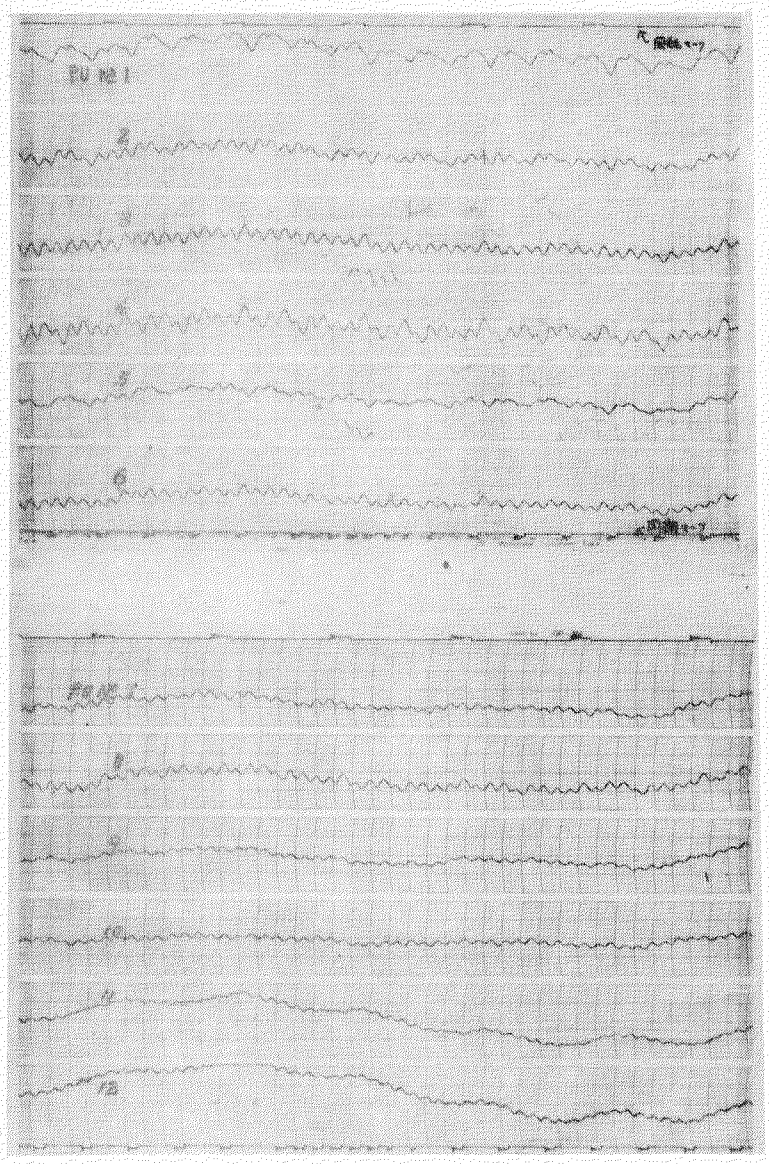
第1.3.46図　振動スペクトラム（Without Stay）（P.U №5）



第１３４７図　振動スペクトラム（Without Stay）（P.U №６）

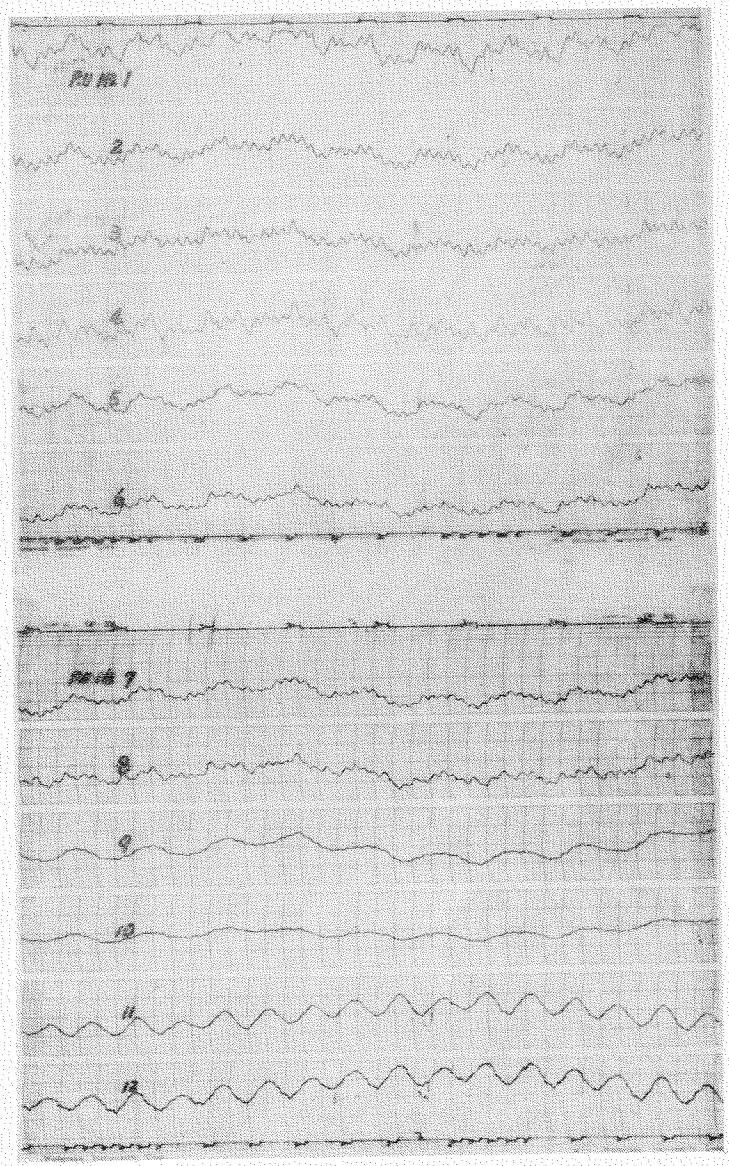
海上運転（With Stay）

機関回転数　４６rpm



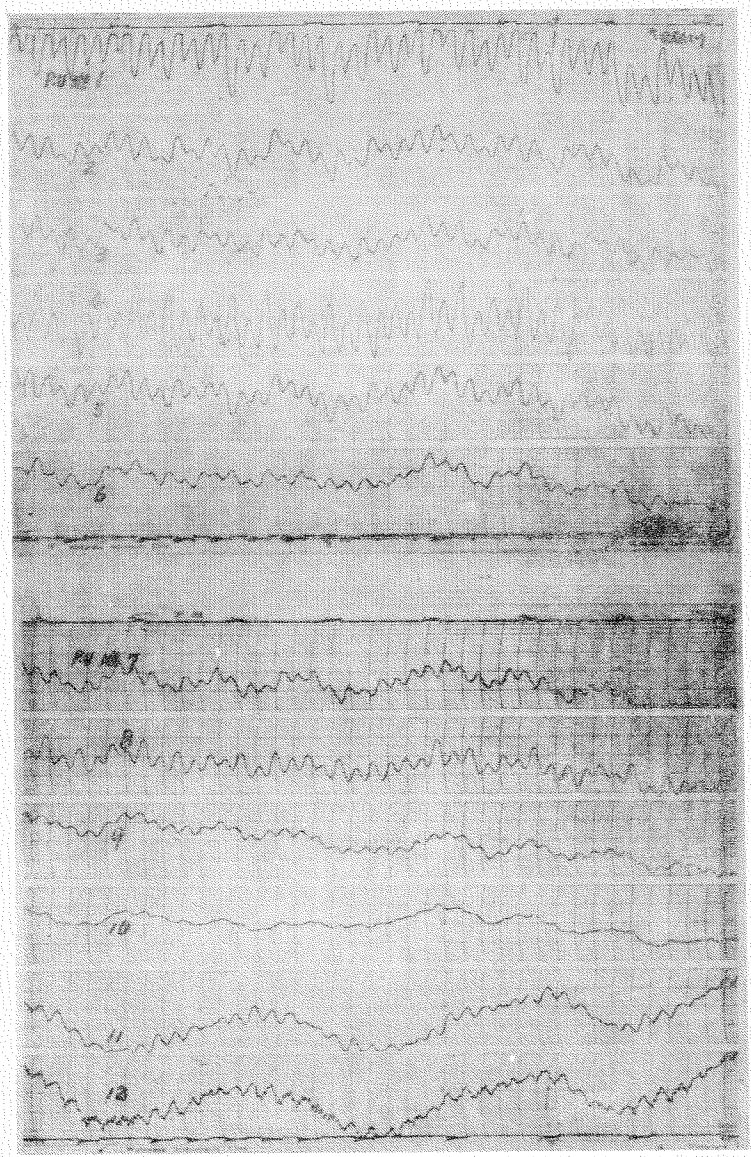
海上運転（With Stay）

機関回転数　６２ｒｐｍ



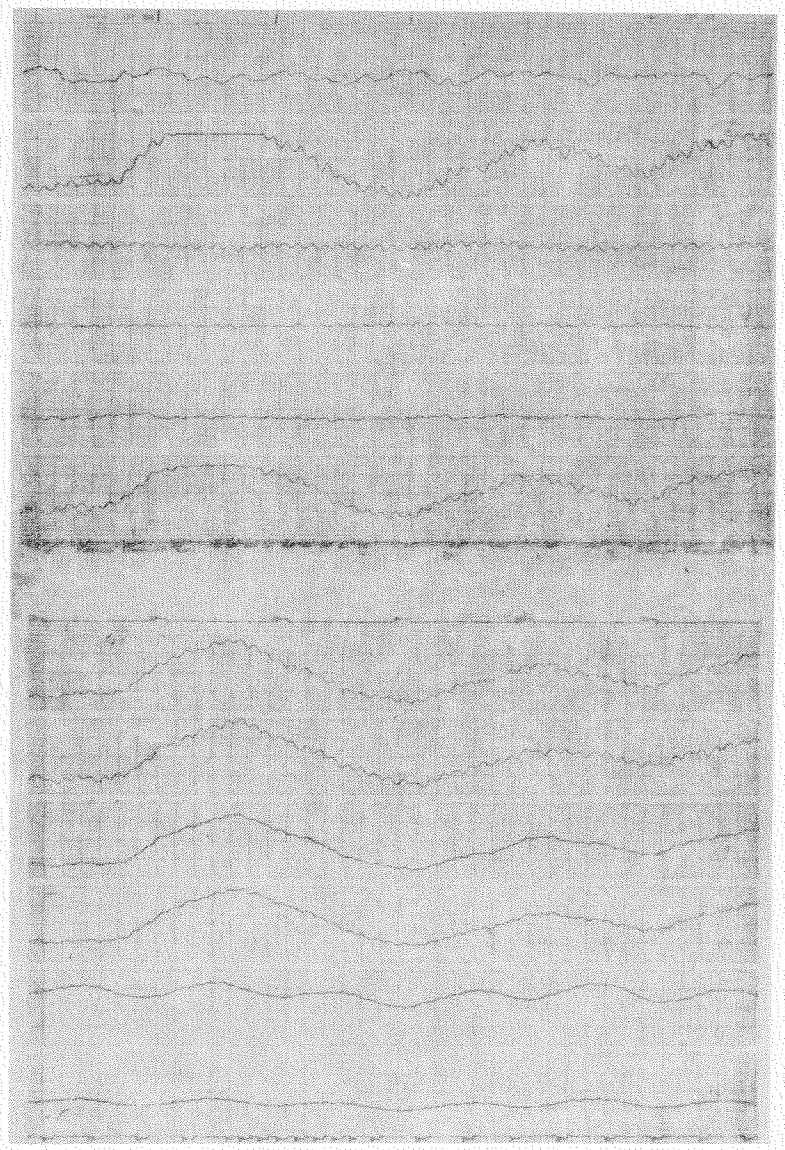
海上運転（With Stay）

機関回転数　１１５ｒｐｍ



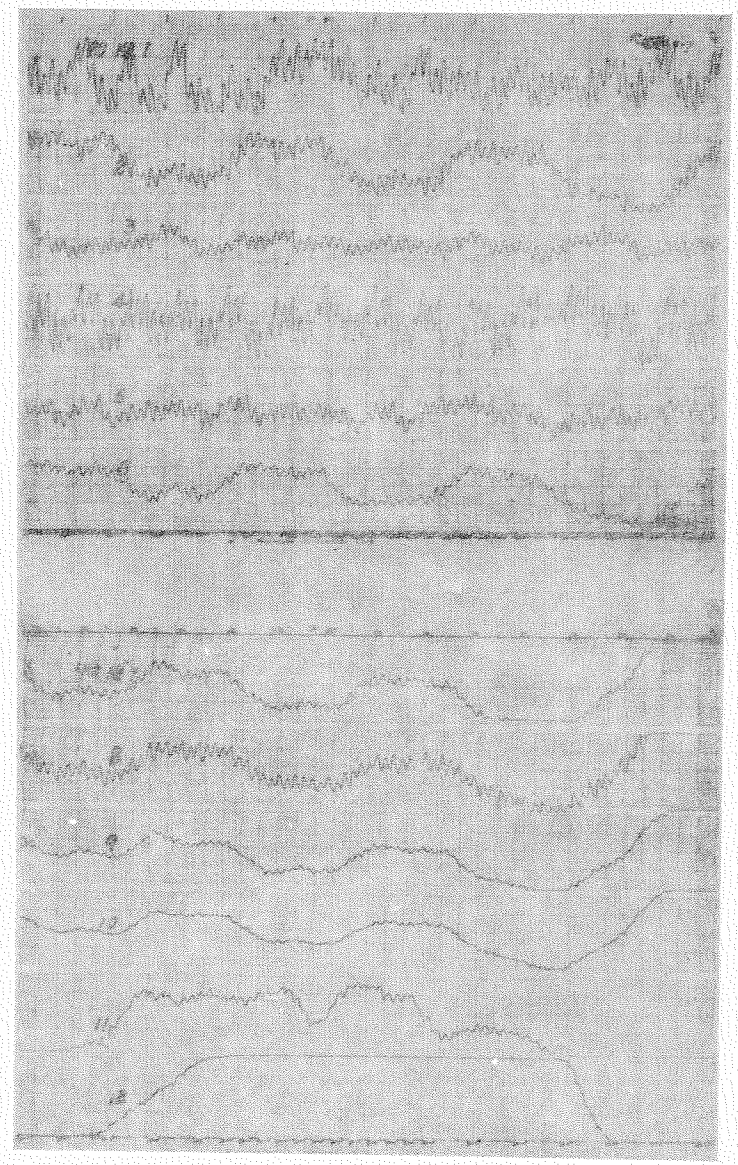
海上運転(Without Stay)

機関回転数　４７rpm

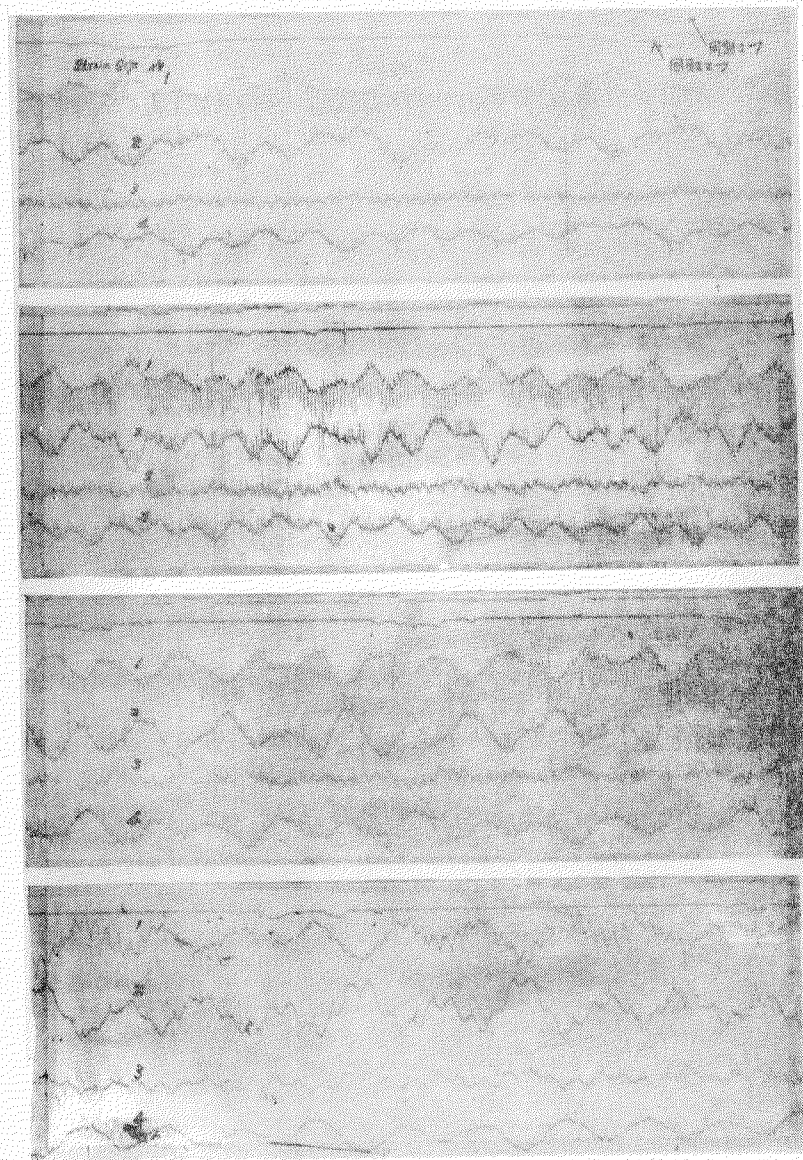


海上運転(Without Stay)

機関回転数　１１２rpm



海上運転　Stay　振動応力



3.3　測定結果について

陸上運転、海上運転時に測定されたH形振動、X形振動の固有振動数およびその時の回転数、次数をまとめて表示すると次のようになる。

9RD90　固有振動数、回転数、次数

振動形	陸上運転	海上運転	
		Stay 有	Stay 無
H	405 cpm 45 rpm × 9次	414 cpm 46 rpm × 9次	423 cpm 47 rpm × 9次
X	630 cpm 105 rpm × 6次	690 cpm 115 rpm × 6次	672 cpm 112 rpm × 6次

参考のため6RD90機関の測定結果を記すと下表のようになる。

6RD90　固有振動数、回転数、次数

振動形	陸上運転	海上運転
H	426 cpm 71 rpm × 9次	384 cpm 64 rpm × 6次
X	814.5 cpm 453 rpm × 18次 90.5 × 9次	801 cpm 89 rpm × 9次

i）今回の９RD９０機関の測定結果では陸上運転時よりも海上運転時のほうが振動数が高くなつており、６RD９０機関の測定結果とくらべて逆の傾向があらわれている。一般的に陸上運転時の基礎が海上運転時のそれより剛性がつよいということはいえないようである。

ii）海上運転時にStayのある場合とない場合について振動測定を行なつたが、H形振動、X形振動ともに固有振動数、振幅の差はあまりみられず、Stayの効果はみられなかつた。

iii）海上運転時に５６７cpm（６３rpm×９次）および３４０cpm（６８rpm×５次）においてH形固有振動モードに類似したものが得られたが前者は軸系のねじり振動によるものである。後者は翼から起振されたものと推定されるがこれについてはよくわからない。

iv）船体の上下振動、水平振動の振動スペクトラムは省略するがその概略値を記すと次のとおりである。

上下振動	２節	—
	３節	８５cpm
	４節	１３２ 〃
	５節	１９０ 〃
水平振動	２節	７２cpm
	３節	１７５ 〃

第２編　船体船尾側振動と軸系ねじり振動との関連に関する研究

第１章　三井造船（玉野）実船計測結果

1.1　計測方法

1.1.1　供試船

(1)　船体要目

船　　番	S．７８８
船　　名	A丸（ばら積貨物船）
L×B×D	２２０.０m × ３１.８m × １８.４５m
満載きつ水	１２.３０m
満載排水量	７７,０４４ KT
載貨重量	６４,１３１ KT
総トン数	３６,８５０.２４ T
機関の位置	船尾機関

(2)　主機関

単動２サイクル高過給式デイーゼル機関

三井Ｂ＆Ｗ８８４－ＶＴ２ＢＦ－１８０　１基

連続最大出力	１８,４００PS × １１４rpm
常用出力	１７,２００PS × １０８rpm
点火順序	１－８－３－４－７－２－５－６
クランク軸形式	フルビルト形
クランクピン直径	６８０㎜
クランクジヤーナル直径	６８０㎜

(3)　プロペラ要目

形	一体形
翼数	5
直径	6,５００m
ピッチ	4,６２９m
展開面積比	0.６２５
ボス比	0.１８５
材質	Ｎｉ－Ａｌ－Ｂｒ
重量	２２,２００*kg*

1.1.2　運転条件

日時	昭和４２年１１月７、８日
天候	曇
海上模様	白波少々
船首きつ水	5.４０m
船尾きつ水	7.５１m

排　水　量　　３６,７００ＭＴ

計測はＡ丸の海上公試運転時に、主機関回転数を２ｒｐｍ ずつ上げ３０～１１４ｒｐｍ の範囲および速力試験運転の際に実施した。

1.1.3　計測量

二重底の計測点の位置を第2.1.1図に、スラストブロックの計測点の位置を第2.1.2図に、軸系の計測点の配置を第2.1.3図に、またブリッジ（コンパスフラット）の計測点位置を第2.1.4図に示す。

(1)　二重底の振動の計測

加速度ピックアップを用いて、二重底等の垂直方向、水平方向、前後方向の振動計測を計測位置番号ＤＩＹ～７Ｙ、Ｄ６Ｘ、Ｄ７Ｘ、Ｄ５Ｚ で行なつた。第2.1.5図にその計測回路を示す。

(2)　推力変動の計測

半導体抵抗線ひずみ計、ＦＭテレメータ方式により、推力変動およびクランク軸縦振動による中間軸の伸縮の計測を計測位置番号ＡＳ で行なつた。第2.1.6図にその計測回路を示す。

(3)　スラストブロックの前後振動の計測

加速度ピックアップを用いて、スラストブロックの各部で前後方向の振動計測を計測位置番号ＴＨ１Ｚ～４Ｚで行なつた。第2.1.5図にその計測回路を示す。

(4)　クランクピンの応力計測

抵抗線ひずみ計、スリップリング方式により各シリンダのクランクピンフイレット部の曲げ応力を計測した。第2.1.7図にその計測回路を示す。

(5)　クランク軸船首端変位の計測

差動トランス方式により、クランク軸船首端の軸方向変位の計測を行なつた。第2.1.6図にその計測回路を示す。

(6)　ねじり振動

抵抗線ひずみ計、ＦＭテレメータ方式により、中間軸のねじり振動の計測を行なつた。第2.1.6図にその計測回路を示す。

(7)　ブリッジコンパスフラット前後振動

加速度ピックアップによりブリッジ最上部（コンパスフラット）の前後振動を計測した。

記　号

Ｄ ；	二重底の加速度	ＨＡ ；	船尾の加速度	Ｒ ；	中間軸受の加速度
ＡＳ ；	中間軸の伸縮	ＴＨ ；	スラストブロックの加速度	Ｃ ；	クランクピン応力
Ａ ；	クランク軸船首端変位	Ｔ ；	中間軸ねじり振動	Ｂ ；	ブリッジの加速度

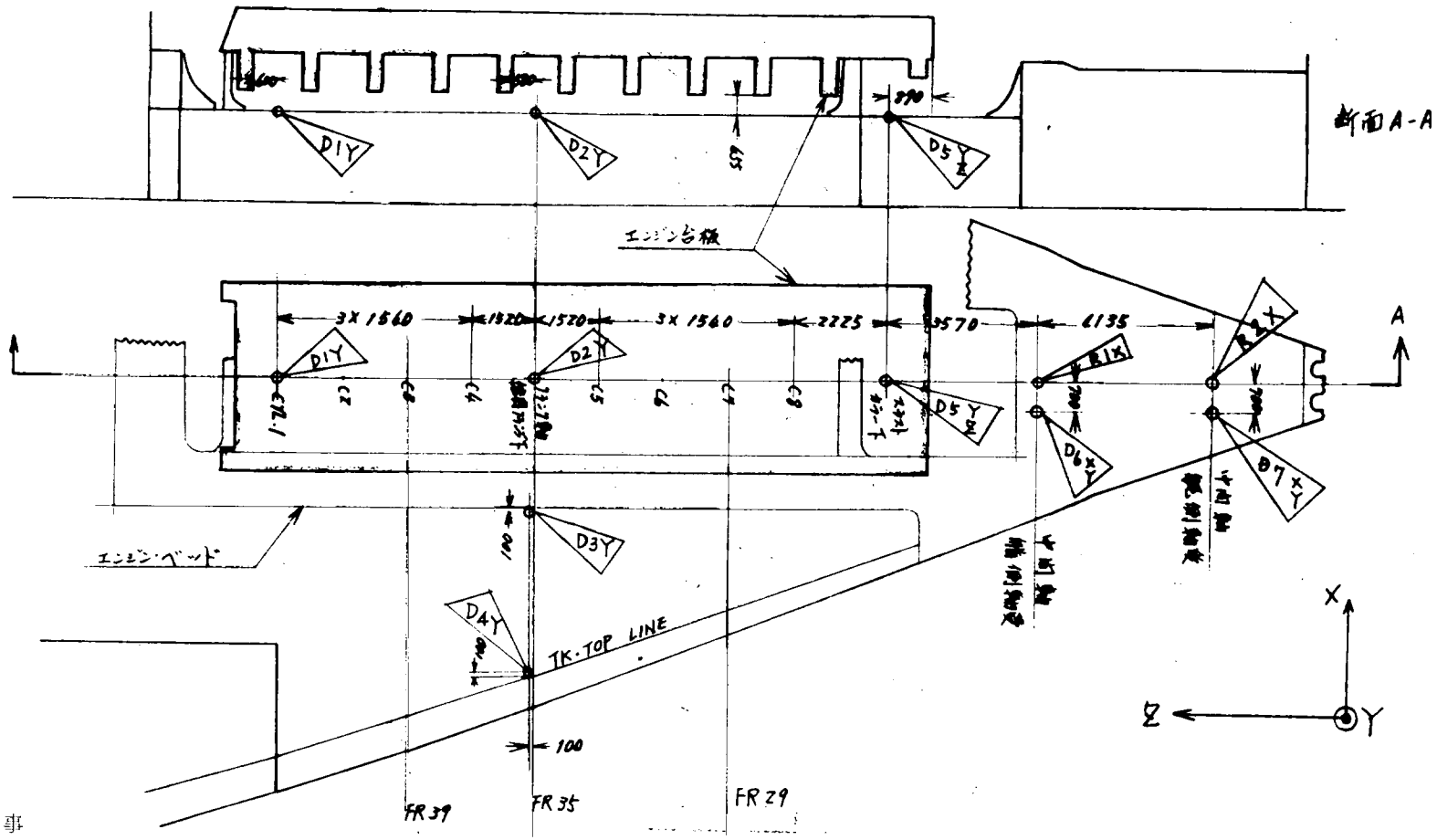
1.1.4　計測機器

第2.1.8図に写真を、第2.1.9図に全体系統図を示す。

1.1.5　データ処理要領

計測データのうちＡＤ変換データ集録装置に入れたものは計測終了後計測条件ごとに紙テープの形で打ち出させる。計測条件は０点Ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ 、標準変位Ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ 、および３０ｒｐｍ ～１１４ｒｐｍ 間２ｒｐｍ おきの測定の４５個で、各計測条件の紙テープをこの順序につないでコンピュータのテープリーダで磁気ディスクに読み込む。一本のテープには約１５チヤンネル分の波形データが時分割で入つているのでこれを分類用プログラムで各チヤンネルごとのデータに分類し、同時に別にカードで読ませた各チヤンネルの計測点名称、Ｃａｌｉｂｒａｔｉｏｎ 用標準変位の値等と組み合わせてカードとして打ち出す。

こうしてチヤンネルごとに１組あてできたカードを振動データ解析用プログラムによつて解析し、各計測条件の波形データの調和解析とＣａｌｉｂｒａｔｉｏｎ データによる較正を行ない、またその結果を同プログラム内に組み込まれた

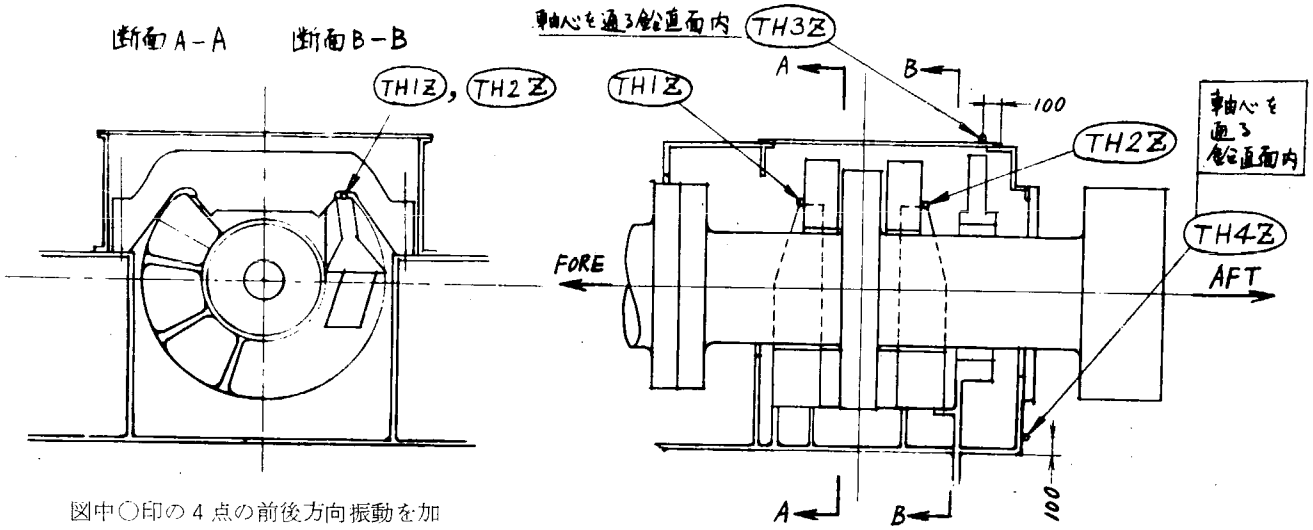


記　事

1. 本船の機関にはOil trayがなく、二重底がその代りをする。
2. 計測位置は矢印▷で示した９ケ所で、各位置で下表○印の方向の振動を加速度ピックアップにより計測する。（R1、R2は中間軸受頂部）

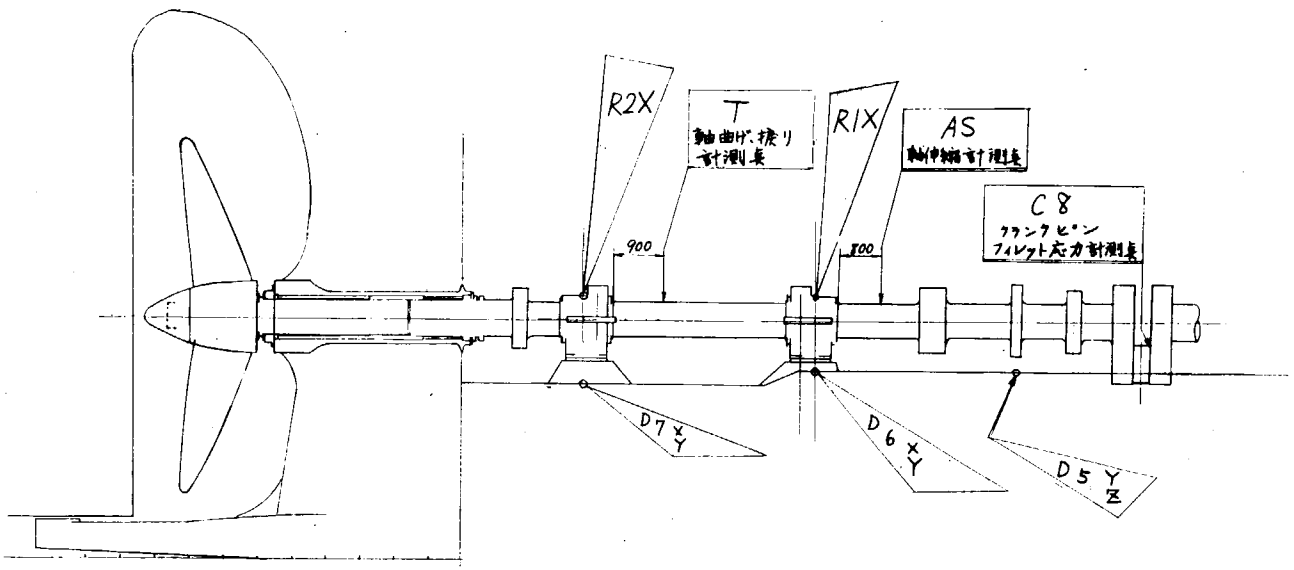
方向＼計測位置	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	R1	R2
上　下（Y）	○	○	○	○	○	○	○		
前　後（Z）					○				
左　右（X）						○	○	○	○

第2.1.1図　二重底計測点

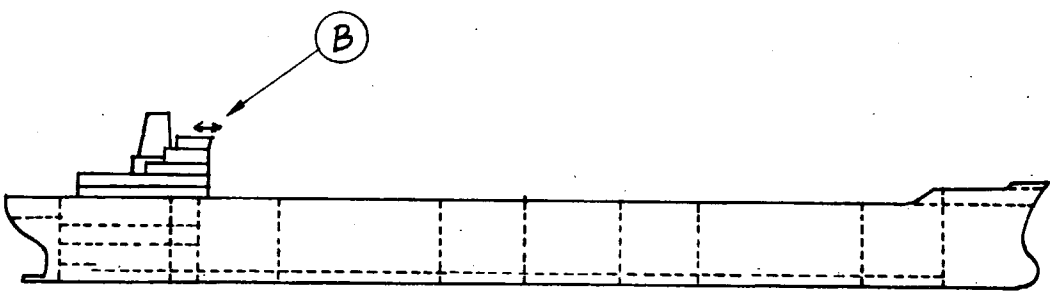


図中○印の４点の前後方向振動を加速度ピックアップで計測する。

第2.1.2図　スラストブロック計測点



第2.1.3図　軸系計測点



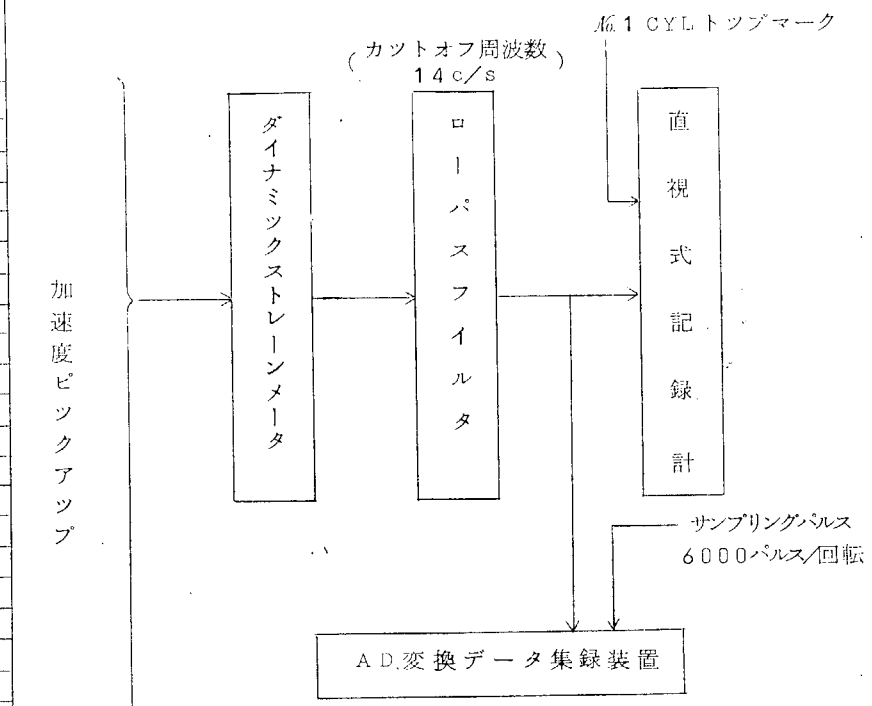
第2.1.4図　ブリッジ上端部前後振動計測点

X：水平方向

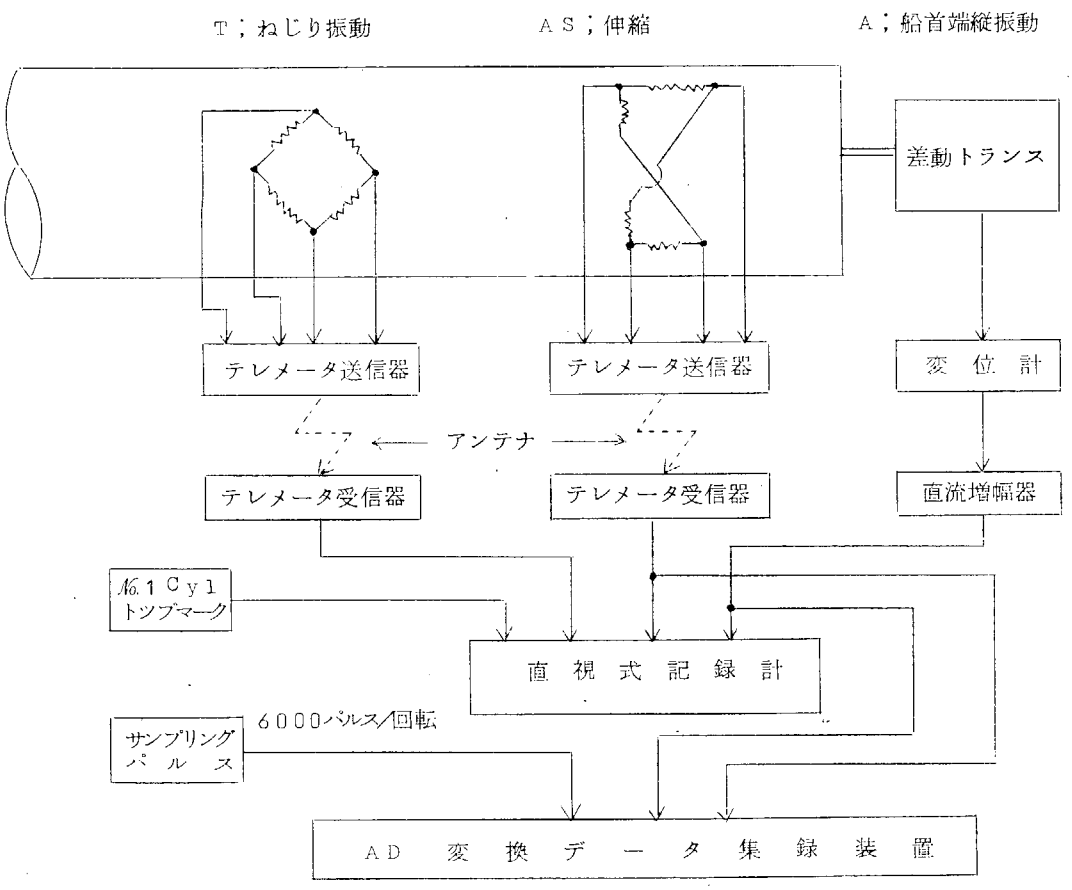
Y：垂直方向

Z：前後方向

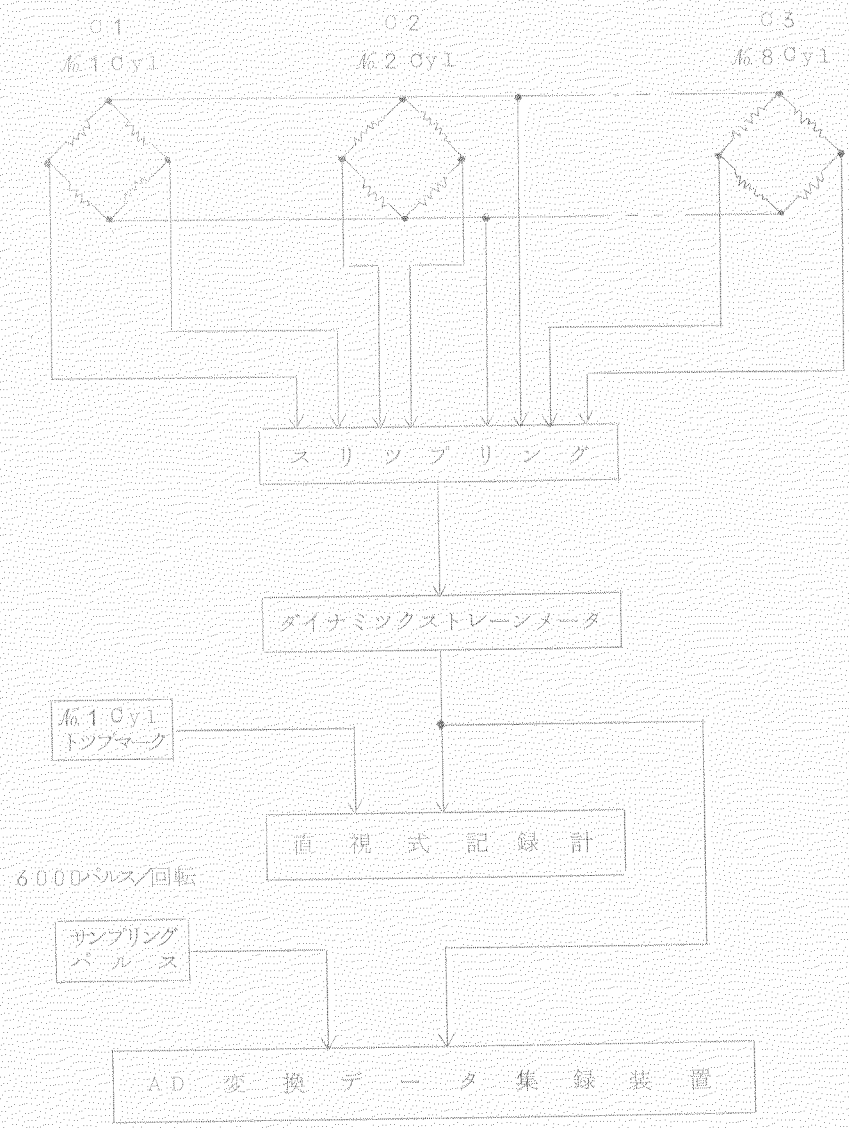
計測点		振動方向
二重底	D1Y	Y
	D2Y	Y
	D3Y	Y
	D4Y	Y
	D5Y	Y
	D5Z	Z
	D6X	X
	D6Y	Y
	D7X	X
	D7Y	Y
船尾	HA1X	X
	HA1Y	Y
	HA2X	X
	HA2Y	Y
	HA3X	X
	HA3Y	Y
	HA4X	X
	HA4Y	Y
中軸間受	R1X	X
	R2X	X
スプラスト	Th1Z	Z
	Th2Z	Z
	Th3Z	Z
	Th4Z	Z



第2.1.5図　二重底、スラストブロック等の振動計測回路



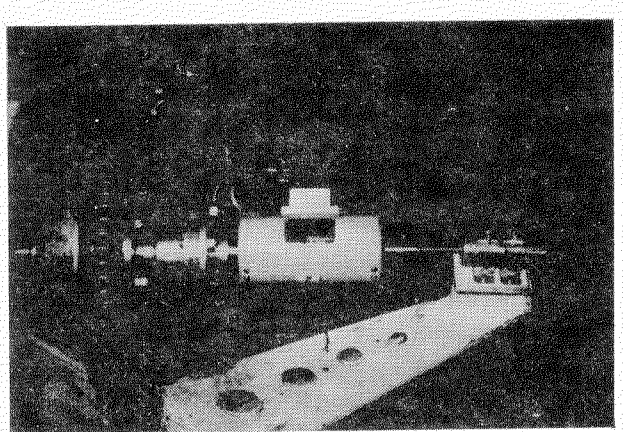
第2.1.6図　軸系振動の計測回路



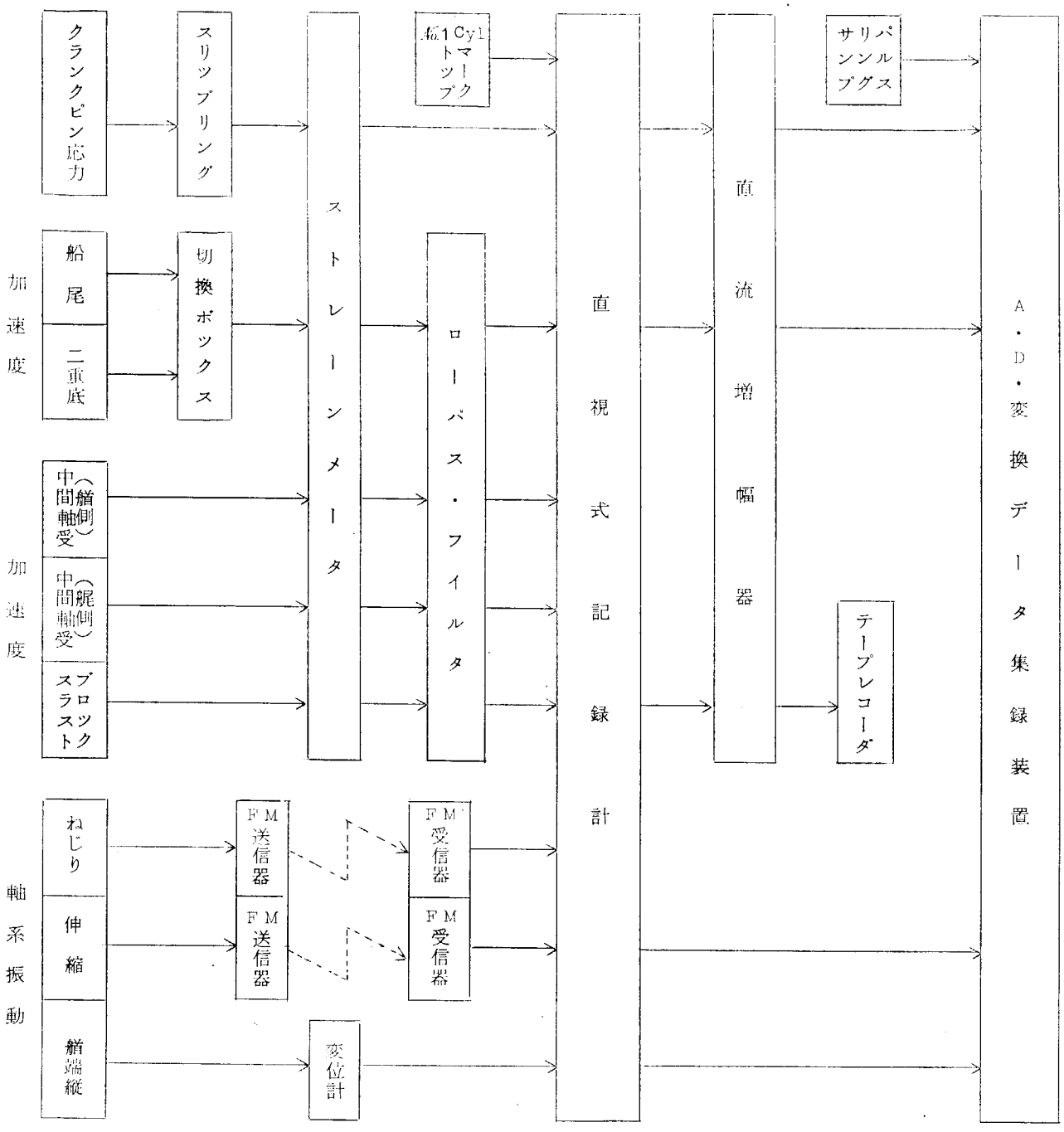
第２.１７図　クランクピンフイレット部曲げ応力の計測回路



第２.１８図　a　計測機器



第２.１８図　b　スリップリング



第2.1.9図　計　測　系　統　図

PLOT サブプログラムにより縦軸に振幅、横軸に回転数をとつた共振曲線として画く。電磁オシロ記録のデータは通常通り記録波形の1サイクルの等分割点の波高を人手で読み、振動データ解析プログラムの入力カードを作り、上記同様に処理する。

1.1.6　加速度計等の特性に関する検討

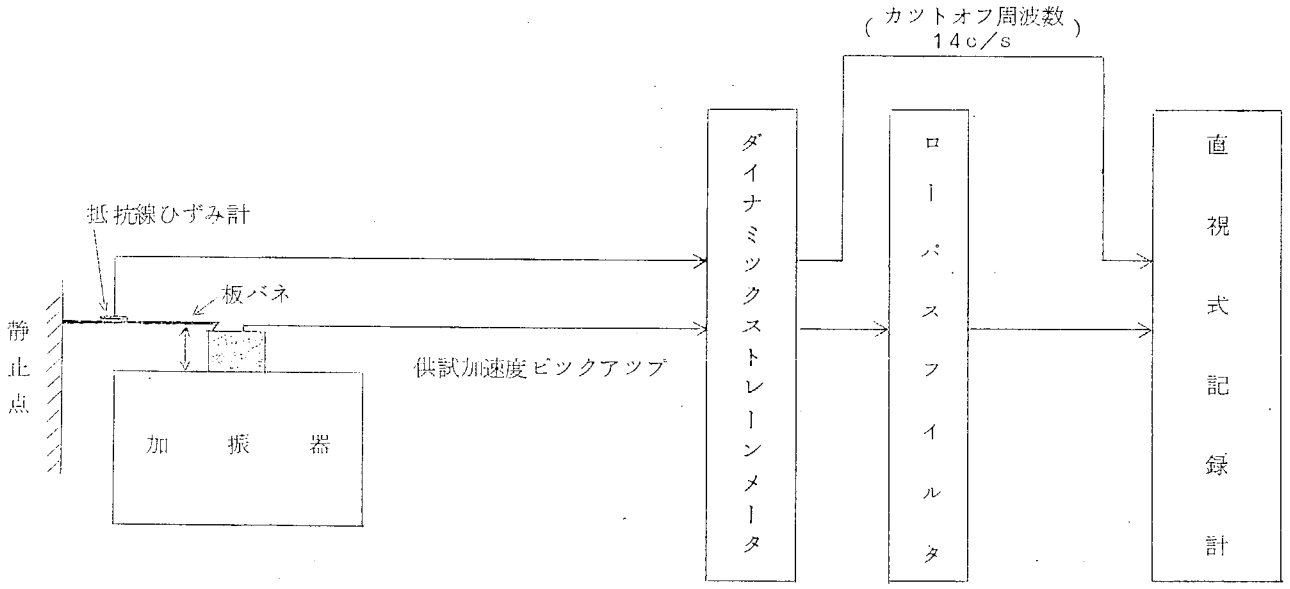
船体振動の計測には、抵抗線ひずみ計式の加速度ピックアップとローパスフイルタを使用したが、これらは振動数の増加とともに真の値よりも振幅を減少させ、位相角を遅らせる特性を持つている。

したがつてこれらの特性を知るために第2.1.10図の測定回路で試験を行なつた。振動は電磁型の加振器で与え、基準の振動計には板バネに抵抗線ひずみ計をはつたものと、圧電式の加速度ピックアップを併用した。

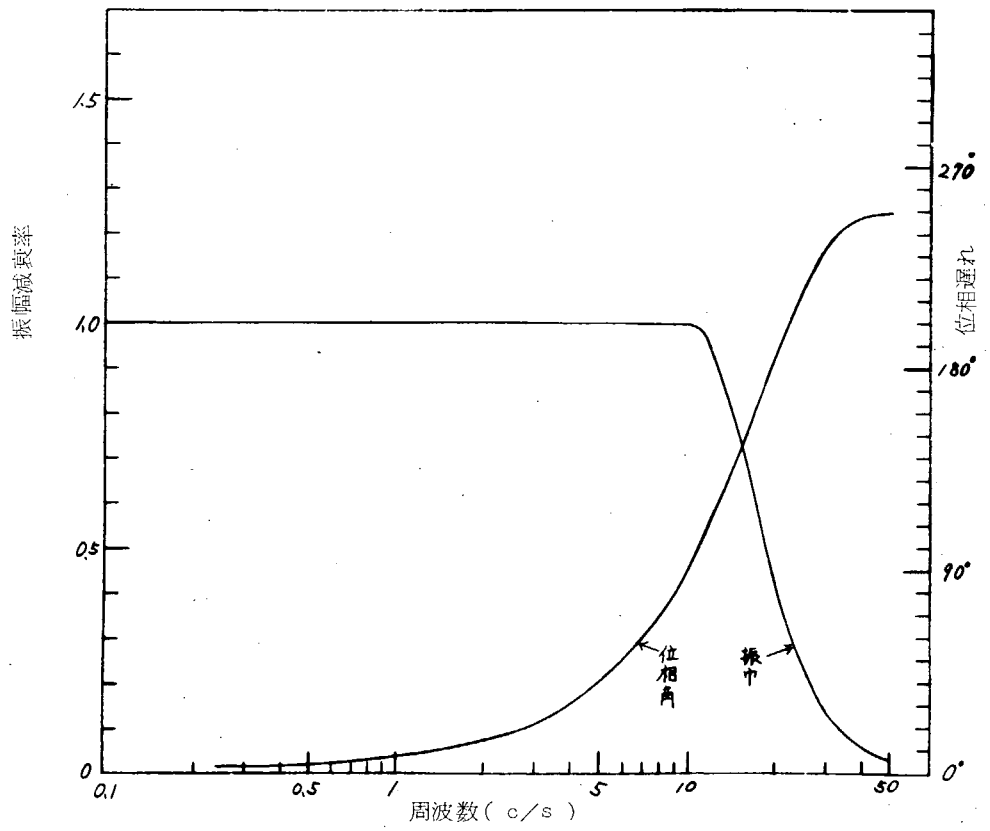
試験の結果得られた振幅と位相角の周波数特性曲線のグラフを第2.1.11図および第2.1.12図に示す。

後で説明する第2.1.18図（二重底振動）と第2.1.28図（スラストブロック振動）はこの周波数特性を使つて計測

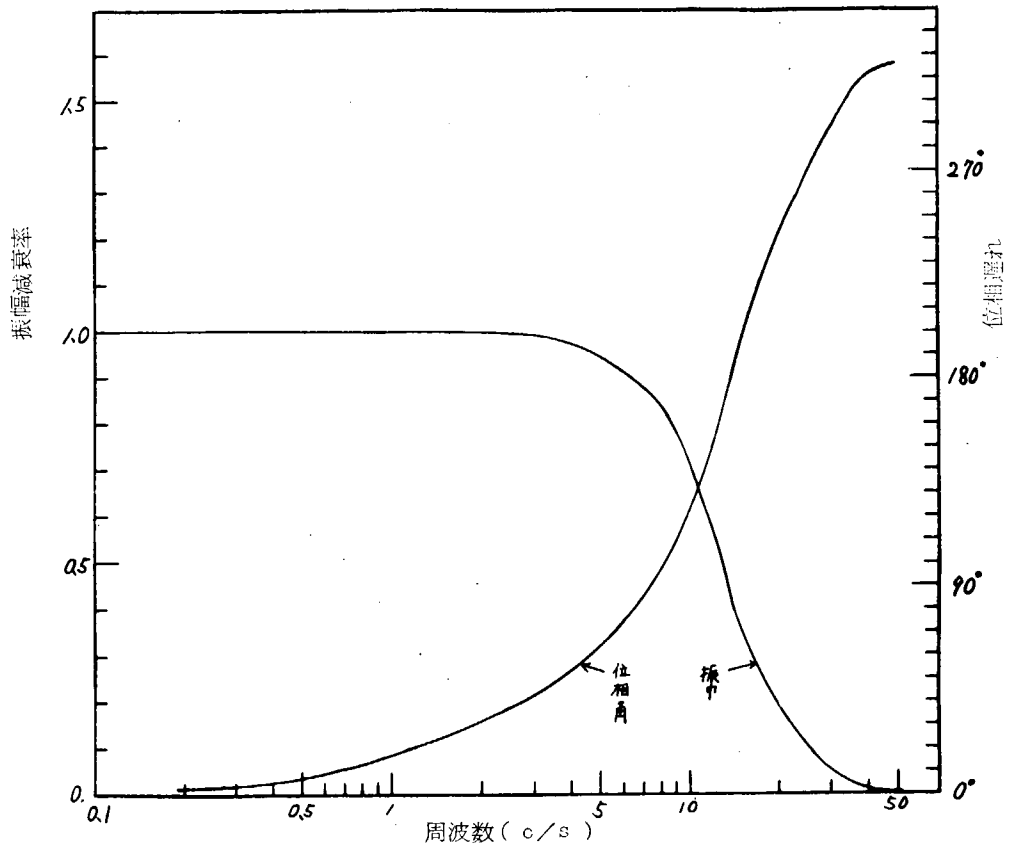
値を修正したものであるが、修正の影響は７次および８次の成分の８０ rpm 以上のところに現れるだけである。その他の曲線は対応する振動数が低く、振幅修正係数が１になり、修正は不要であつた。



第2.1.10図　加速度ピックアップおよびローパスフイルタの特性試験回路



第2.1.11図　ローパスフイルタの周波数特性½
（加速度ピックアップにK製5G、S製2G、S製5G型使用の場合）



第2.1.12図　ローパスフイルタの周波数特性2／2
（加速度ピックアップにK製2G型使用の場合）

1.2　計測結果

計測点は全部で30個以上あるが、ここでは代表的なものだけを拾つて結果の大略を説明する。

例として選んだ各計測点について、オツシロ記録例（46rpm 時と110rpm 時）と1次から8次までの調和成分の共振曲線を収録してある。（オツシロ記録例に選んだ46rpm と110rpm はそれぞれ軸系のねじり振動1節8次、縦振動0節5次の共振点になつている。）なお必要に応じ、上記以外のグラフも若干挿入した。以下計測点ごとに説明する。

1.2.1　二重底の振動（記号D）

オツシロ記録を第2.1.13～2.1.16図に、計測点D1Y の共振曲線を第2.1.17、2.1.18図に示す。軸系のねじり振動1節8次、縦振動0節5次に対応する鋭いピークが現れている。（D1Y のオツシロ記録の振幅は感度を下げてあるため小さい。）

第2.1.19、2.1.20図は二重底の全計測点での振幅分布の例である。これらはいずれも加速度であり、変位ではない。

1.2.2　中間軸の伸縮応力（記号AS）

オツシロ記録を第2.1.21、2.1.22図に、共振曲線を第2.1.23、2.1.24図に示す。ねじり振動1節8次、縦振動0節5次の共振ピークが大きく出ている他、5次成分が70rpm 以上で階段的に大きくなつているのが目立つ。5翼プロペラからの5次推力変動の回転数上昇に伴う増加と関係があると思われる。

1.2.3　スラストブロックの前後振動（記号TH）

オツシロ記録を第2.1.25、2.1.26図に、計測点TH1 の共振曲線を第2.1.27、2.1.28図に示す。やはりねじり振動1節8次、縦振動0節5次に相当する顕著なピークがある。

なおこの測定値は二重底同様、変位でなく加速度である。

1.2.4　クランクピン下船首側フイレット応力（記号C）

オツシロ記録を第2.1.29、2.1.30図に、計測点C1（第1シリンダクランク）の共振曲線を第2.1.31、2.1.32図に示す。この軸系の1節ねじり振動数の計算値は376cpmで8次の共振点を47rpmに持つ。46rpmに出ている共振ピークがこれである。また0節縦振動数は計算上569cpmで5次共振点を114rpmに持つ。110rpmに出ている5次共振ピークがこれに相当する。

第2.1.33図は0節5次縦振動共振点での計測点C1～C8の5次応力調和成分の分布、第2.1.34図は1節8次ねじり振動共振点での計測点C1～C8の8次応力調和成分の分布を示す。

これらの共振点で、C1～C8での振動位相角は大体よくそろつていた。（±20°程度のばらつきはあるが。）

1.2.5　クランク軸船首端縦振動（記号A）

オツシロ記録は前出のクランクピンフイレットの記録中に含まれている記号Aで示した波形である。

共振曲線を第2.1.35、2.1.36図に示す。ねじり振動1節8次に相当する共振ピークは目立たなくなり、縦0節5次のピークだけが大きく残つている。

1.2.6　中間軸ねじり振動応力（記号T）

オツシロ記録は前出第2.1.21、2.1.22図中の記号Tで示した波形である。回転数に対して全振幅を第2.1.37図にプロットして示す。

1.2.7　ブリッジコンパスフラット前後振動（記号B）

ブリッジ最上部で加速度ピックアップで計測された前後振動加速度を第2.1.38図に示す。46rpmのピークは8次、108rpmのピークは5次で、これらはそれぞれ軸系ねじり振動1節8次、縦振動0節5次の共振にもとづくものと思われる。

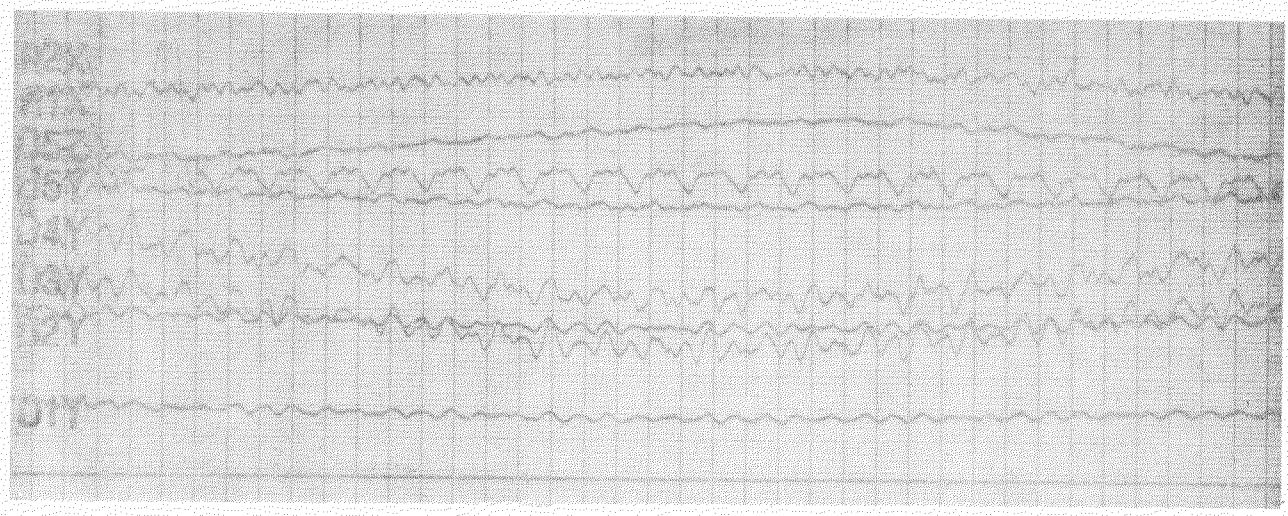
しかし、最大のピークは102rpmの5次のピークであり、これは船体側の自然振動によるものであろう。なお64rpmに出ているピークは8次であり、これらはともに自然振動数が約510cpmだから同一の自然振動と考えられる。

1.2.8　総　括

上記の諸例から軸系のねじり振動または縦振動共振点では二重底、スラストブロック、船体上部構造等軸系以外の部分でも振幅のピークが現れていることがわかる。ただし、これら計測点では変位でなく、加速度を測つているので、変位に換算すれば5次、8次等の高次数の振動はかなり小さく出るだろう。

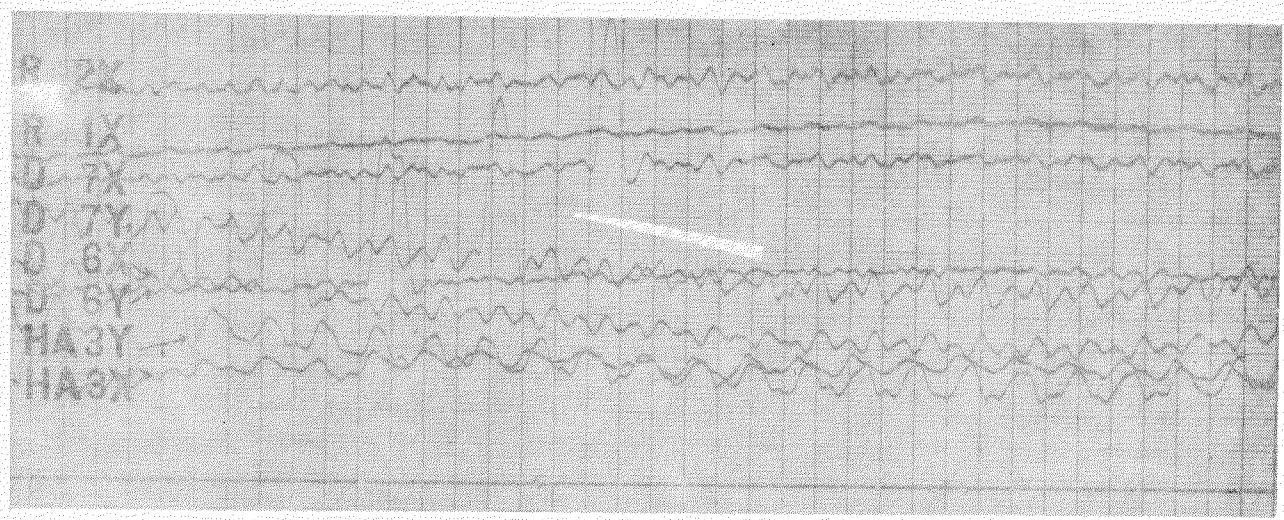
なお、二重底等におけるこれらのピークがそれらの物自身の共振でないことは各部の振動波形の位相角が軸系の場合のようにそろつていないことからわかる。（第2.1.19、2.1.20図は単なる振幅分布であり、モードを表わしてはいない。これに対し、第2.1.33、2.1.34図は各点の位相が略々一致しているのでモードを表わしていると考えてよい。）

なお第2.1.38図の102rpmに出ている船体振動の5次のピークの影響はD1Y、TH1Zおよび PS、A等軸系の計測値にも現れており、従来から問題になつていた縦振動共振ピークが2山に分れる現象は本船同様船体側の共振の影響と思われる。



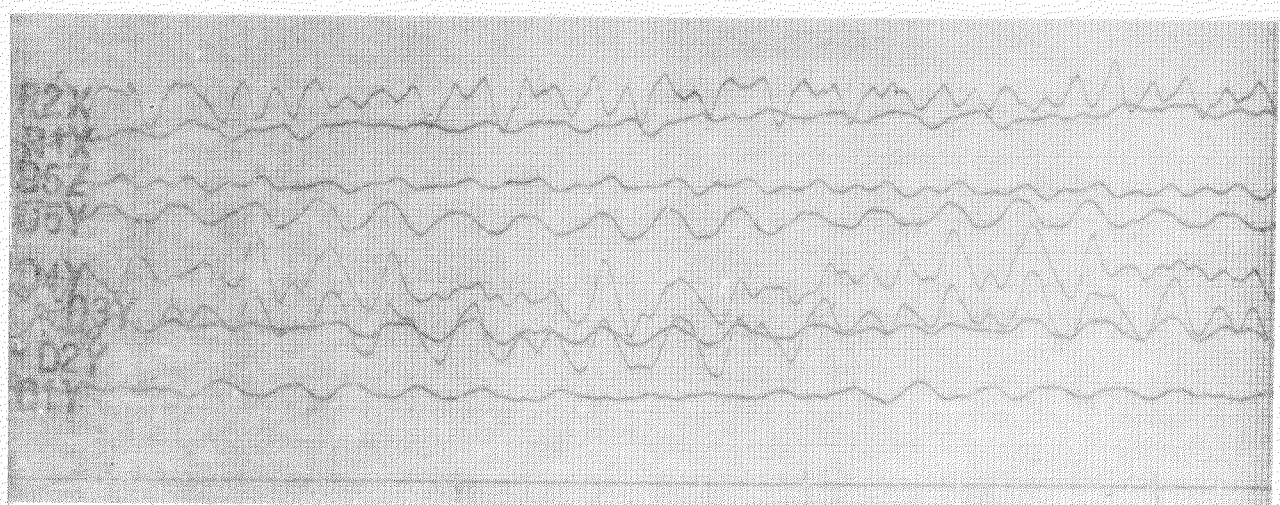
4.6 rpm

第2.1.1.3図



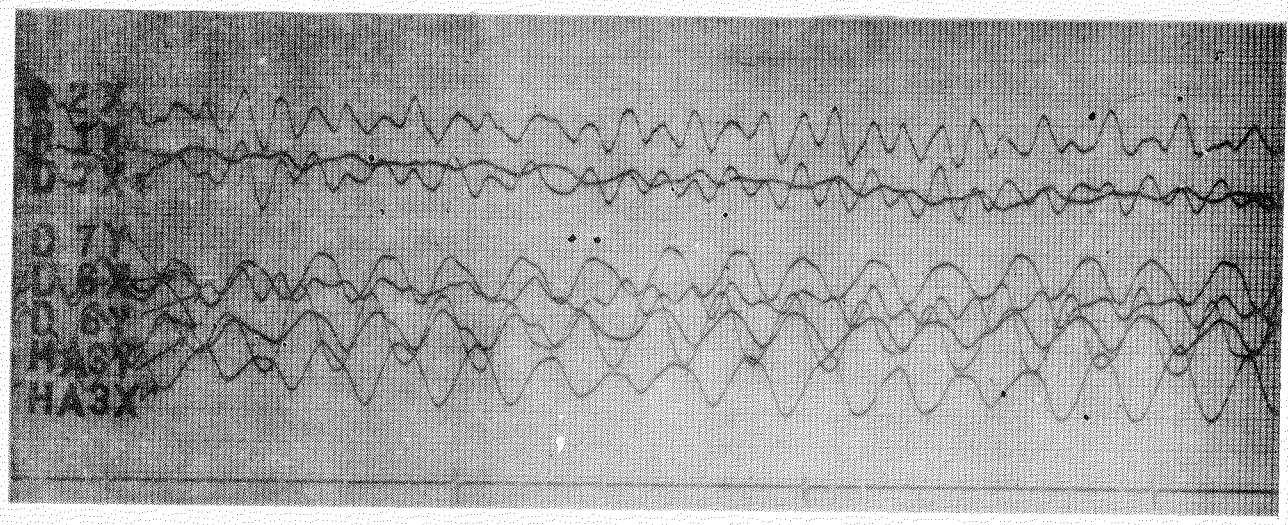
4.6 rpm

第2.1.1.4図



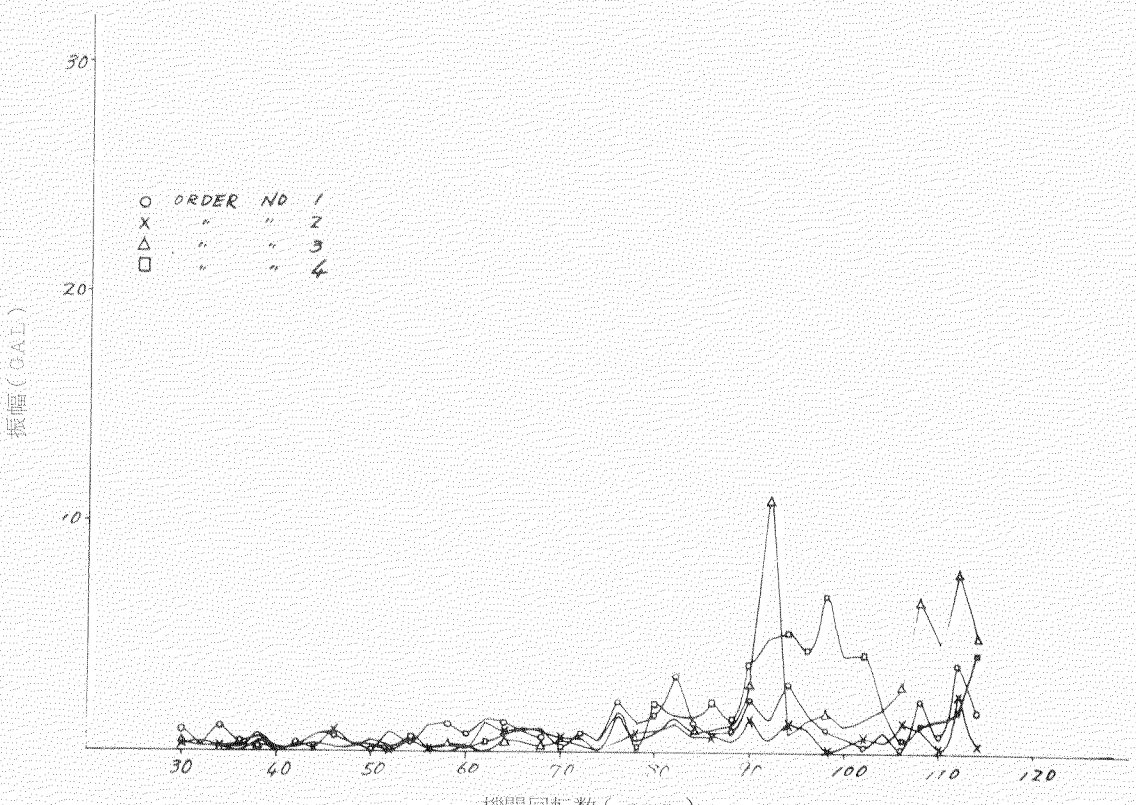
1.1.0 rpm

第2.1.1.5図

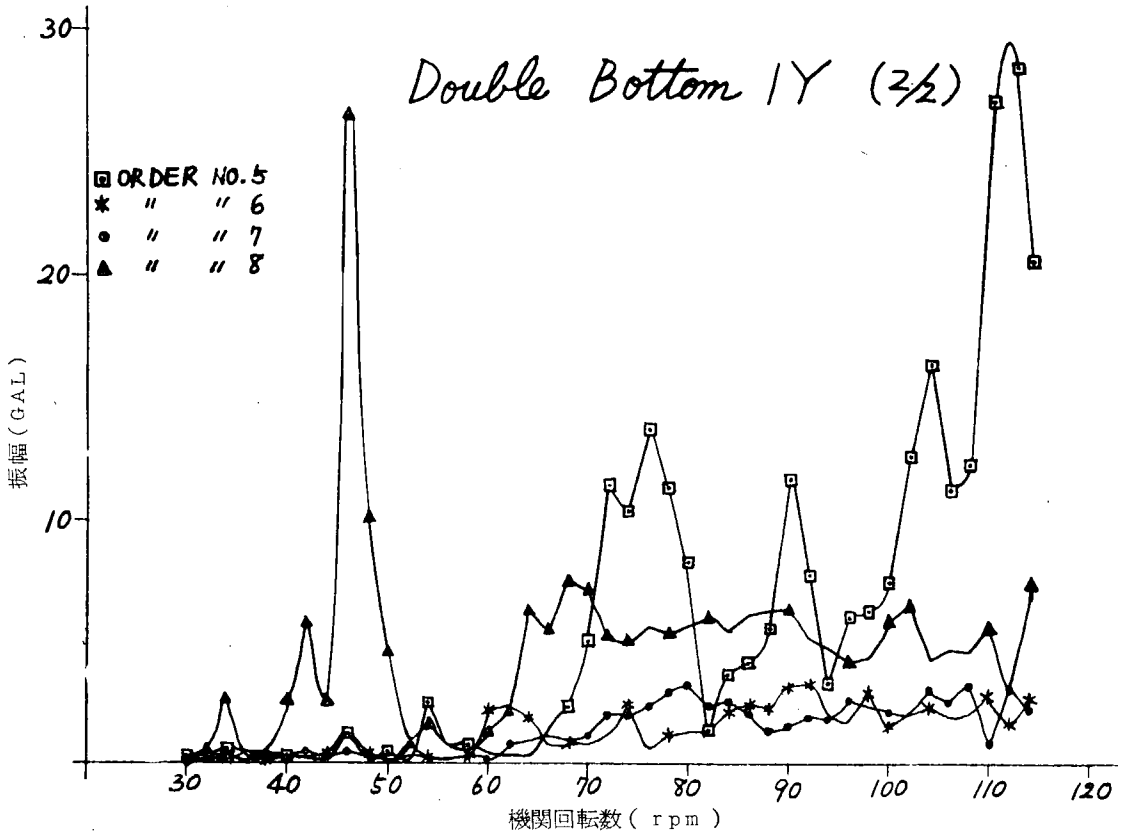


１１０rpm

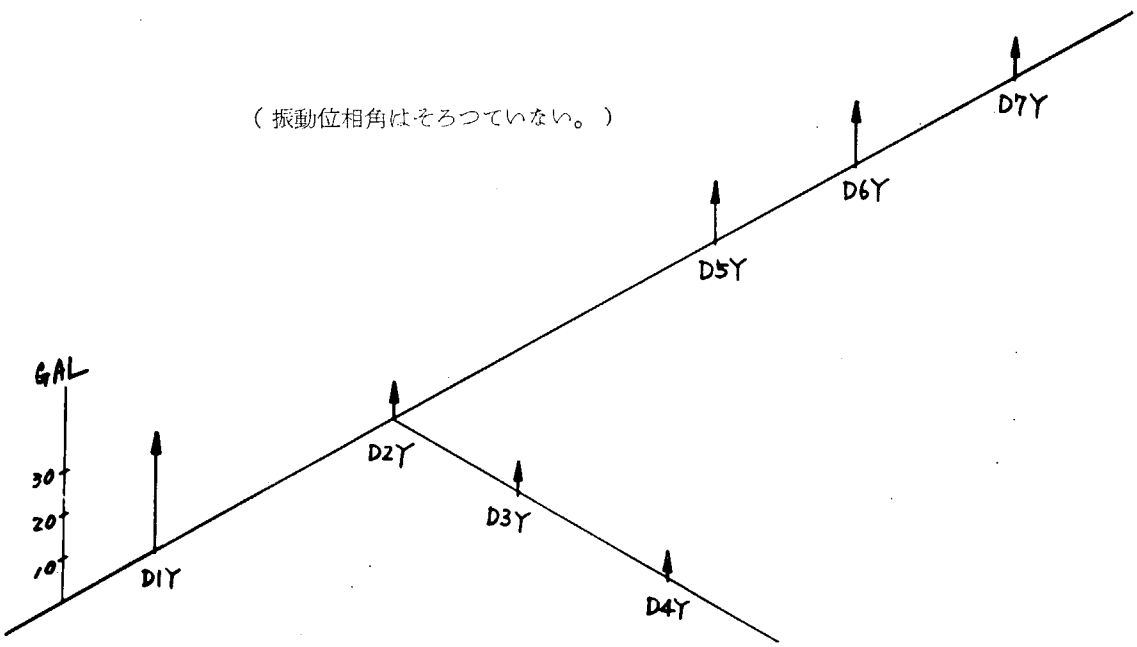
第2.1.16図



第2.1.17図　三重底1Y(1/2)

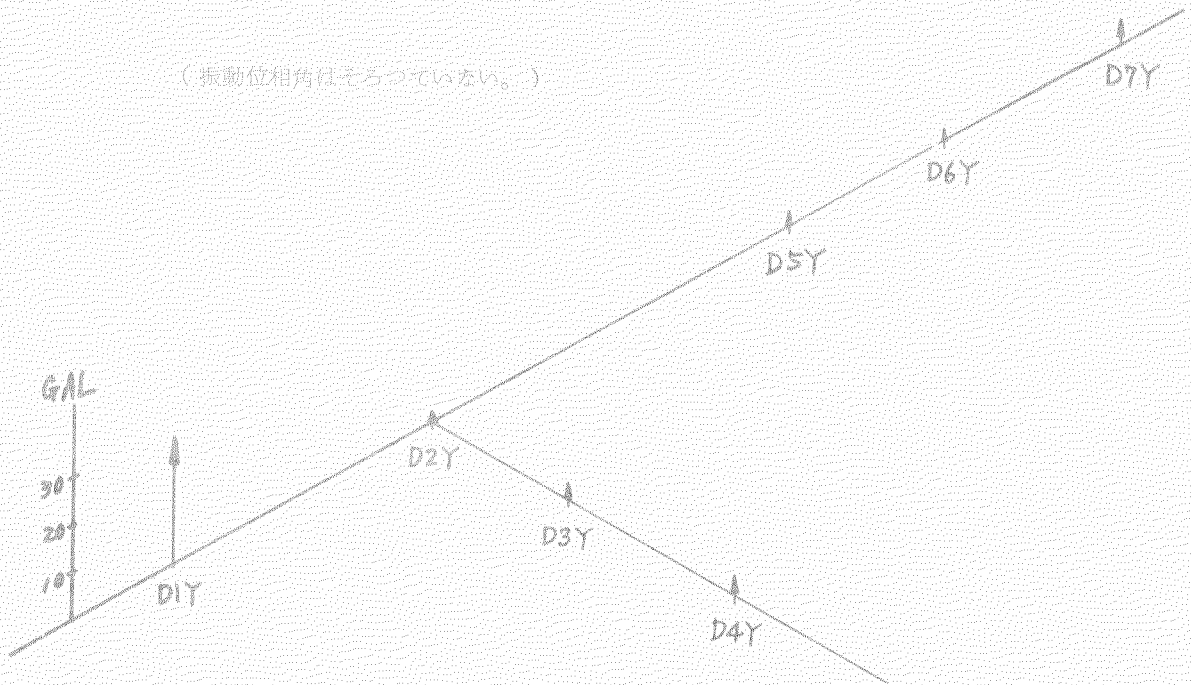


第2.1.18図　二重底1Y(2/2)



第2.1.19図　二重底加速度5次調和成分振幅分布　(110rpm)

（振動位相角はそろっていない。）

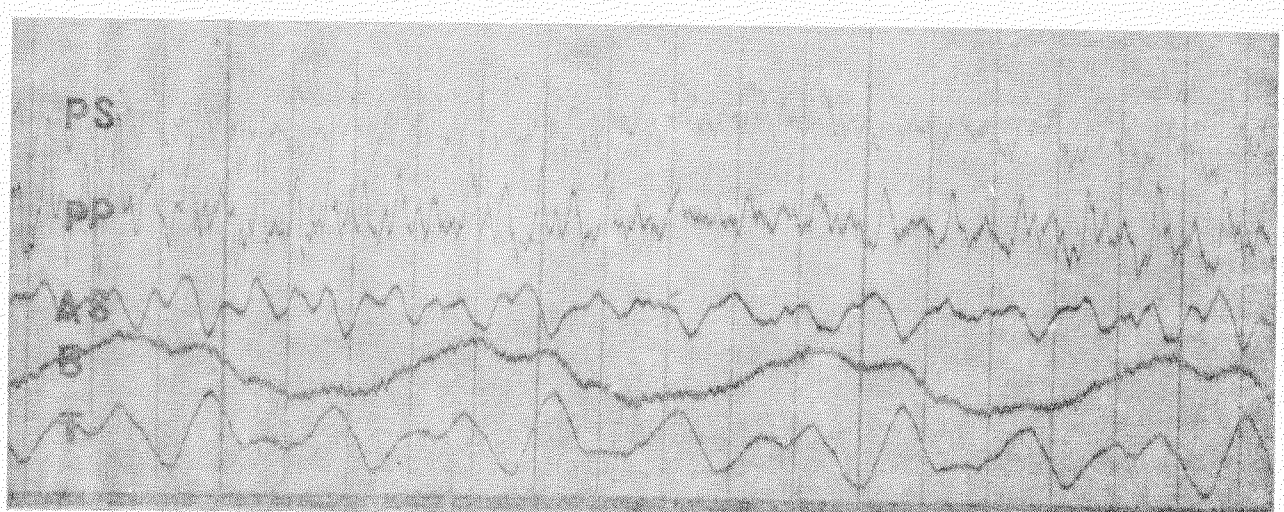


第２．１．２０図　二重底加速度８次調和成分振幅分布　（４６ｒｐｍ）



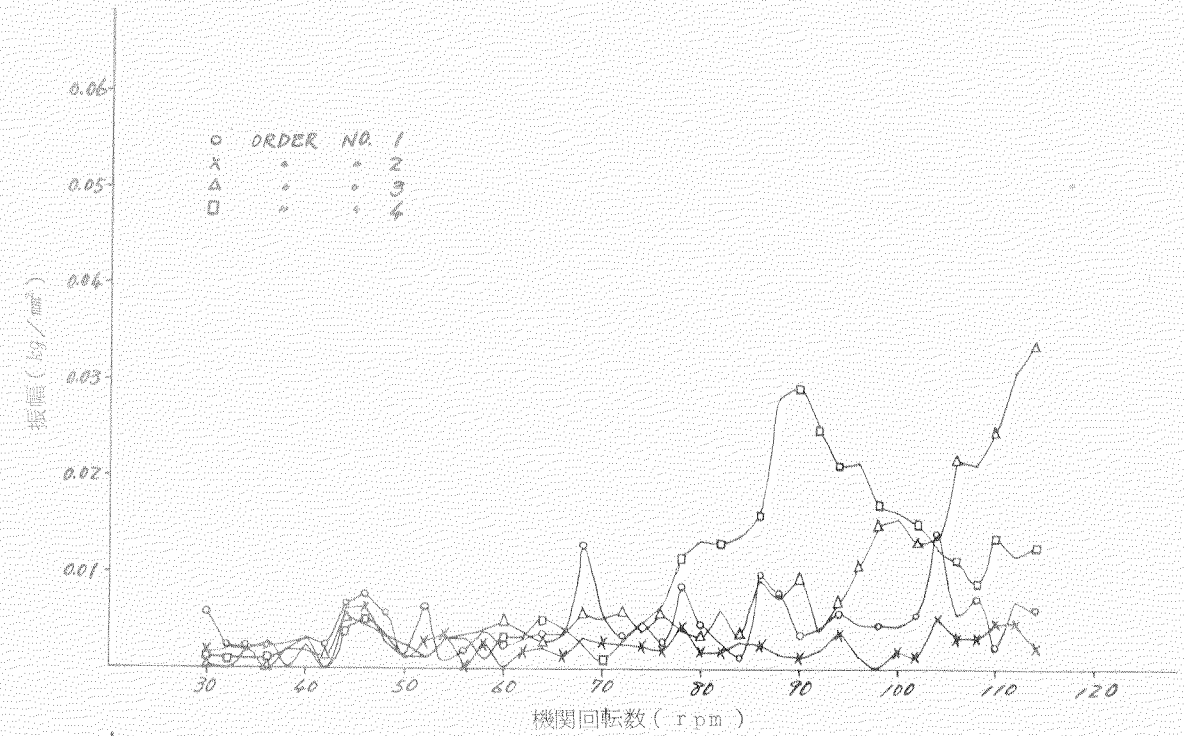
４６ｒｐｍ

第２．１．２１図

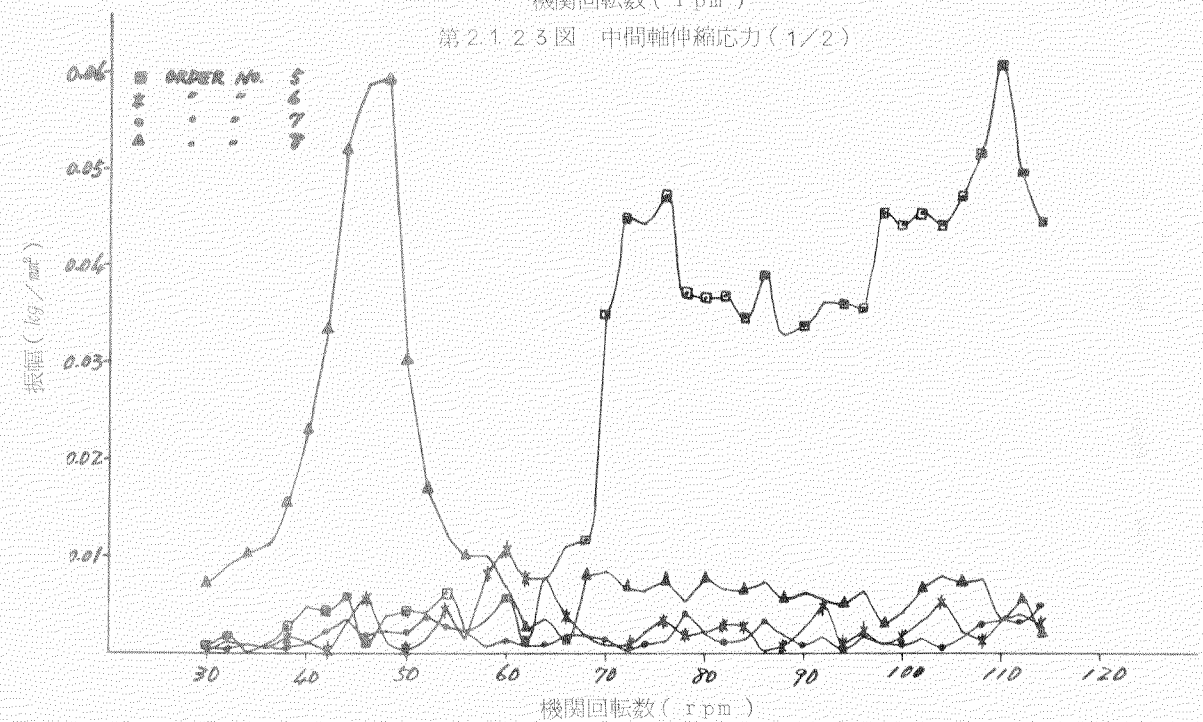


１１０ｒｐｍ

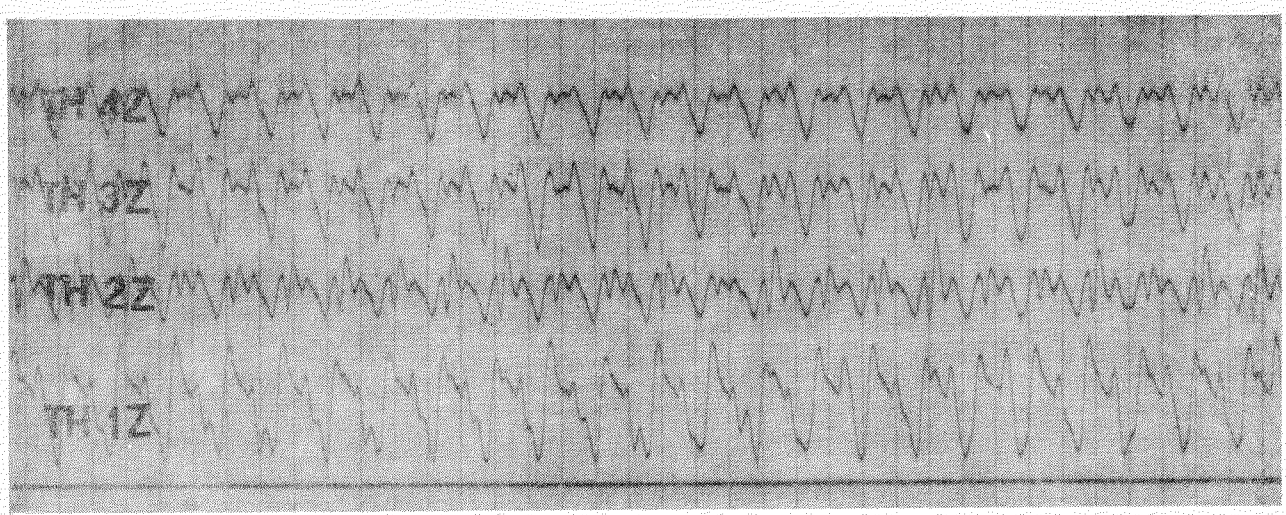
第２．１．２２図



第２．１．２３図　中間軸伸縮応力（１／２）

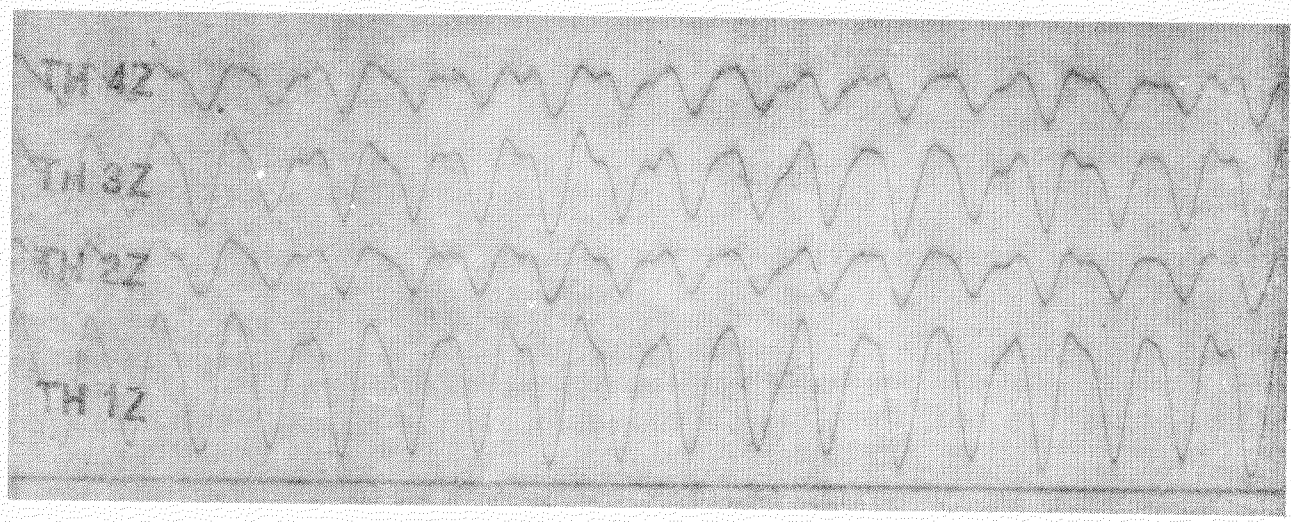


第２．１．２４図　中間軸伸縮応力（２／２）

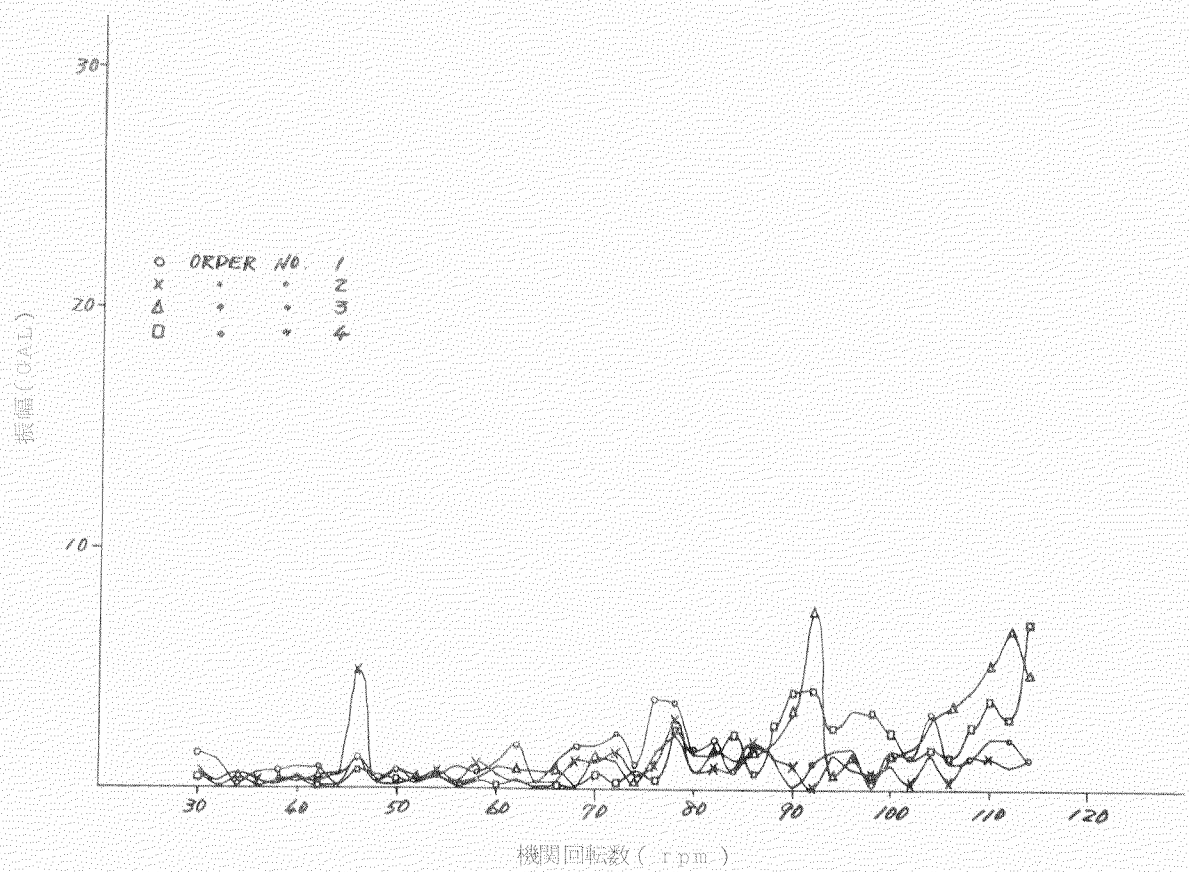


４６rpm

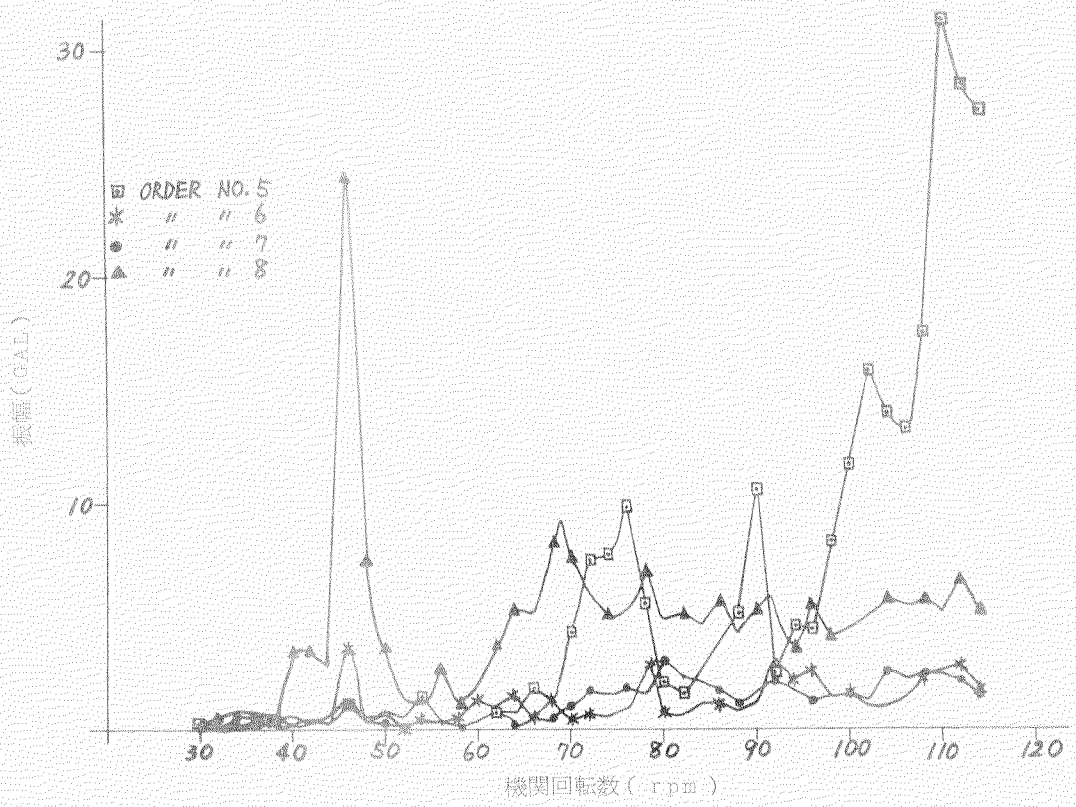
第２．１．２５図



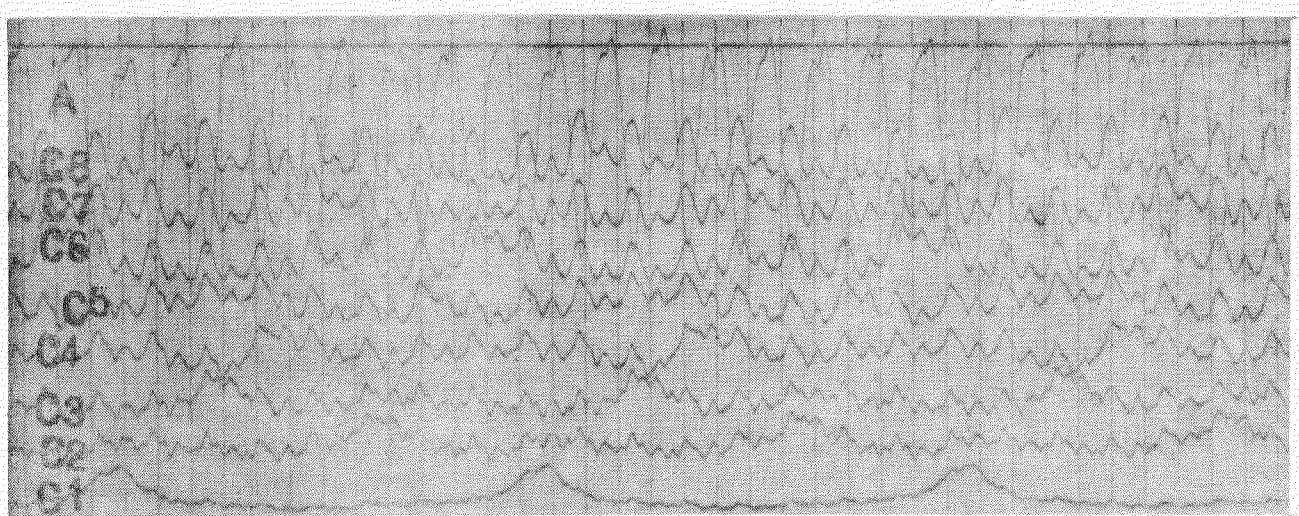
第2.1.26図



第2.1.27図　スラストブロック1Z（1／2）

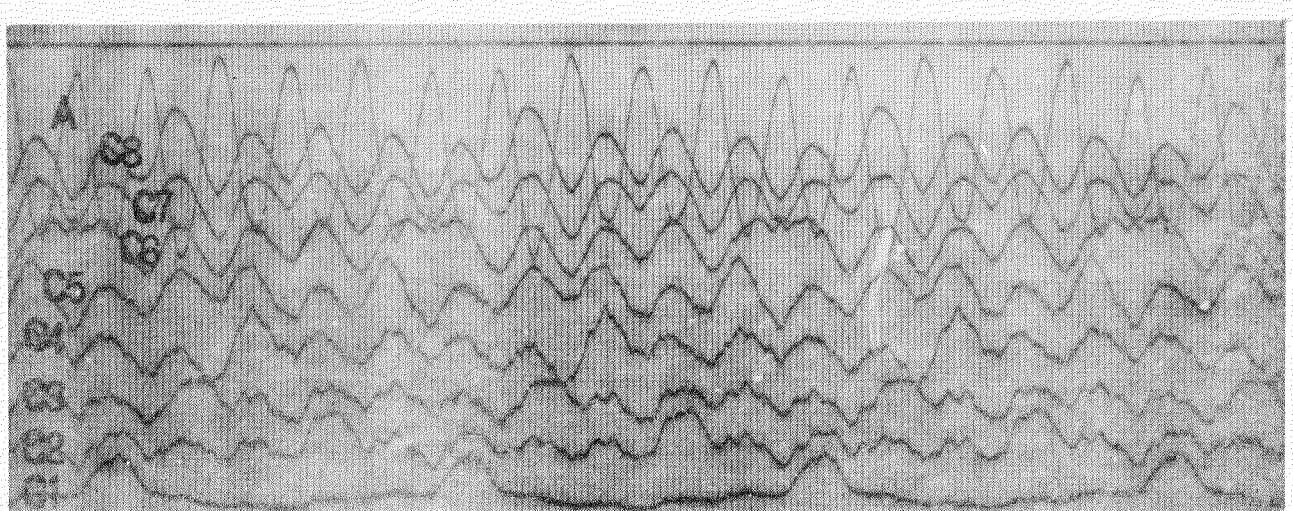


第2.1.28図　スラストブロック1Z(2/2)



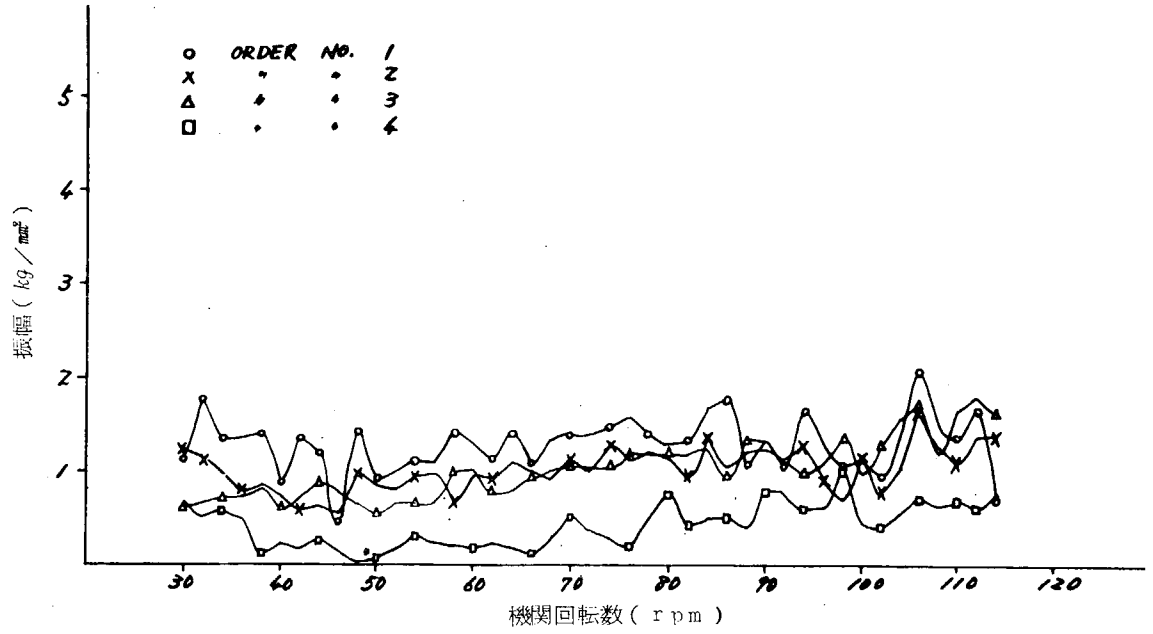
46 rpm

第2.1.29図

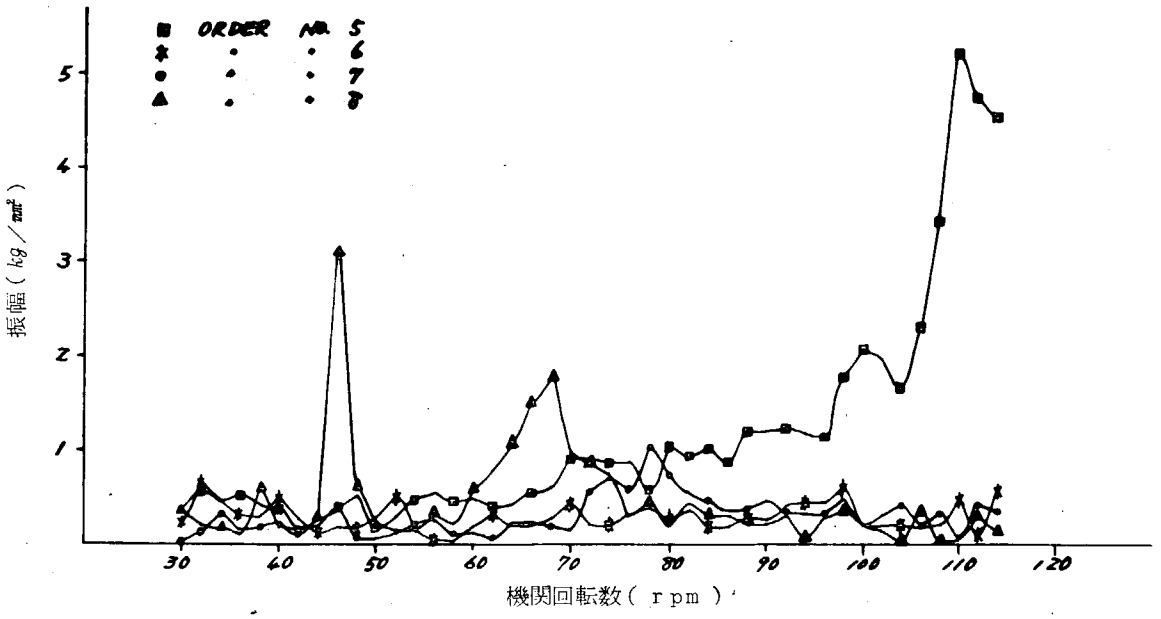


110 rpm

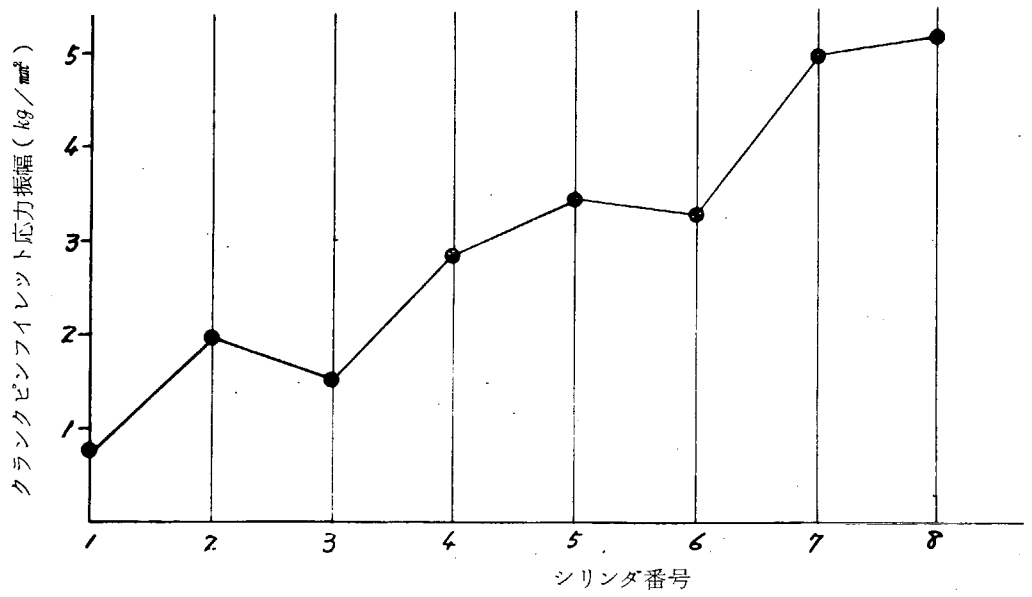
第2.1.30図



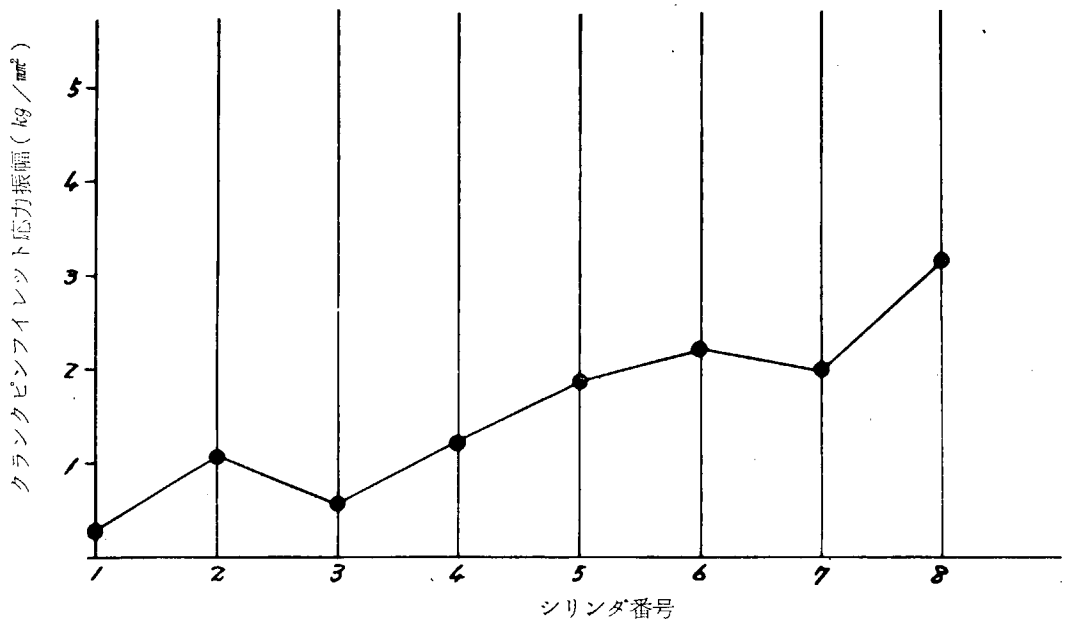
第2.1.31図　M6.8クランクピン応力（1／2）



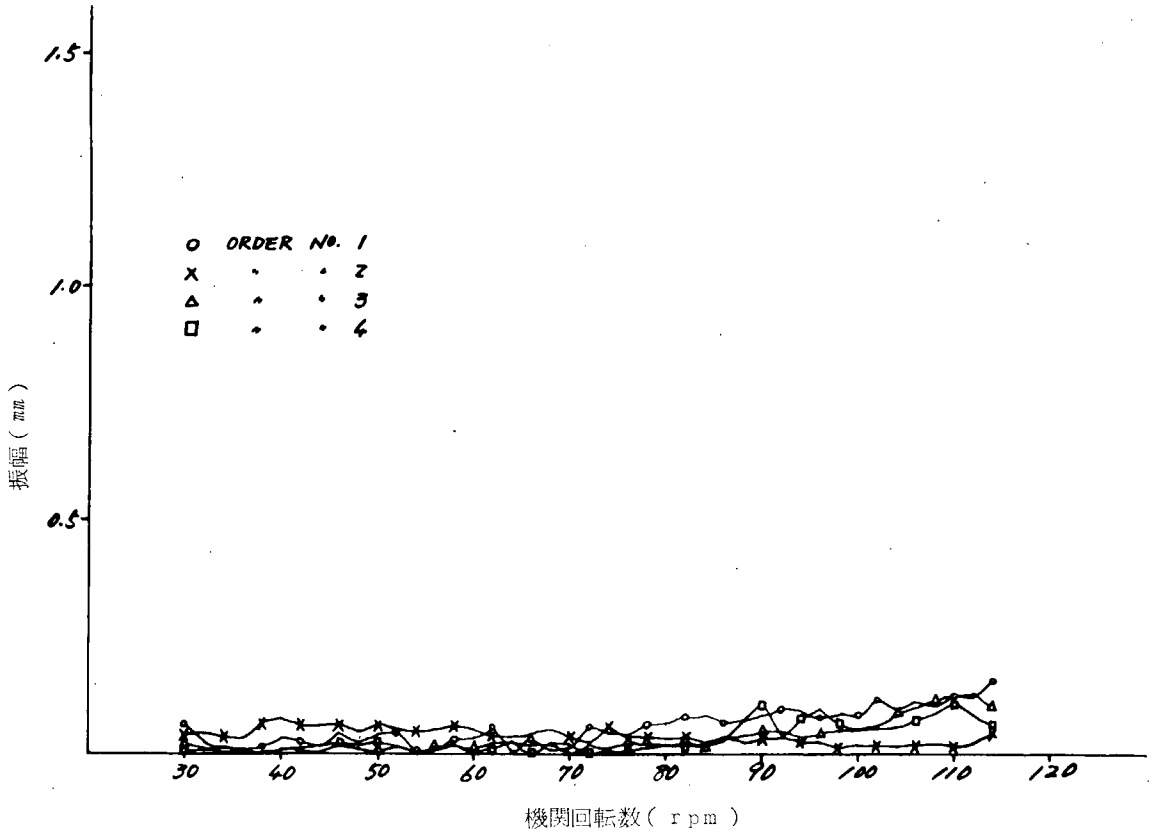
第2.1.32図　M6.8クランクピン応力（2／2）



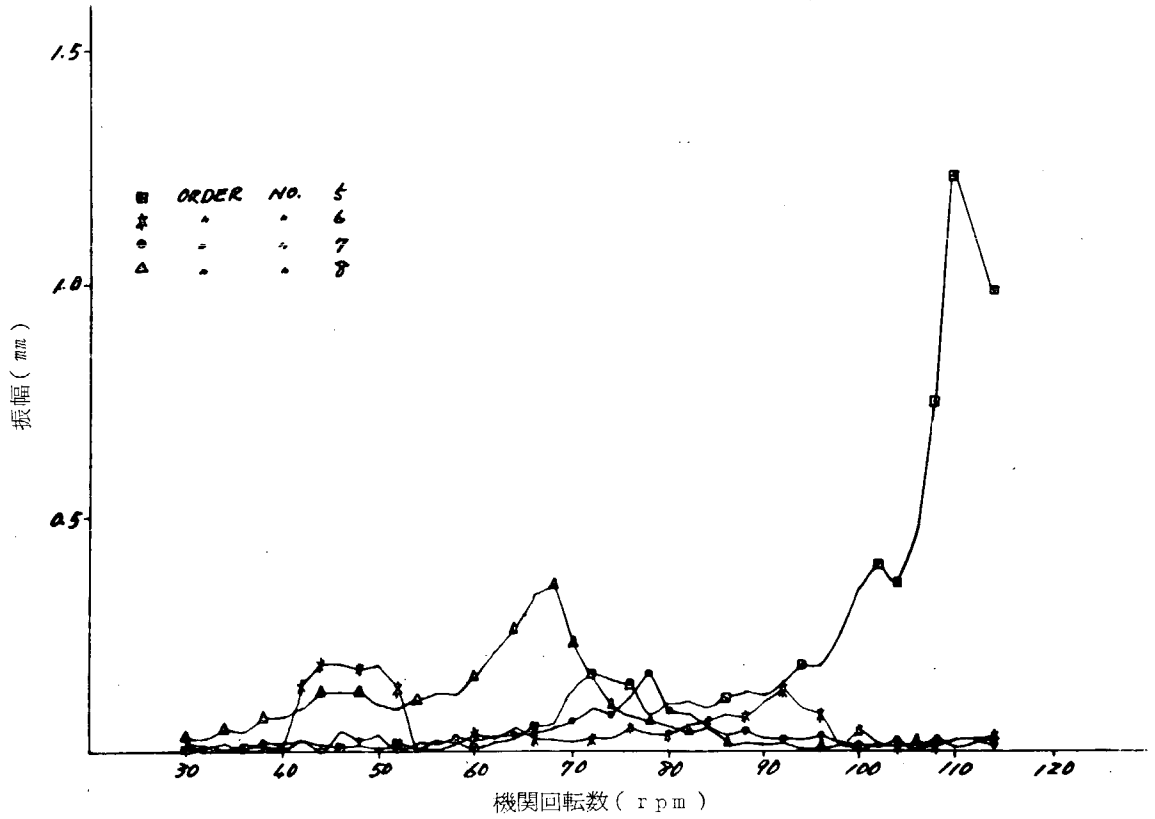
第2.1.33図　軸系縦振動0節5次共振点（110rpm）のクランクピンフイレット曲げ応力5次調和成分振幅
（Sin 表示での位相角はM6.1クランクtop位置から計つて全クランク約0°）



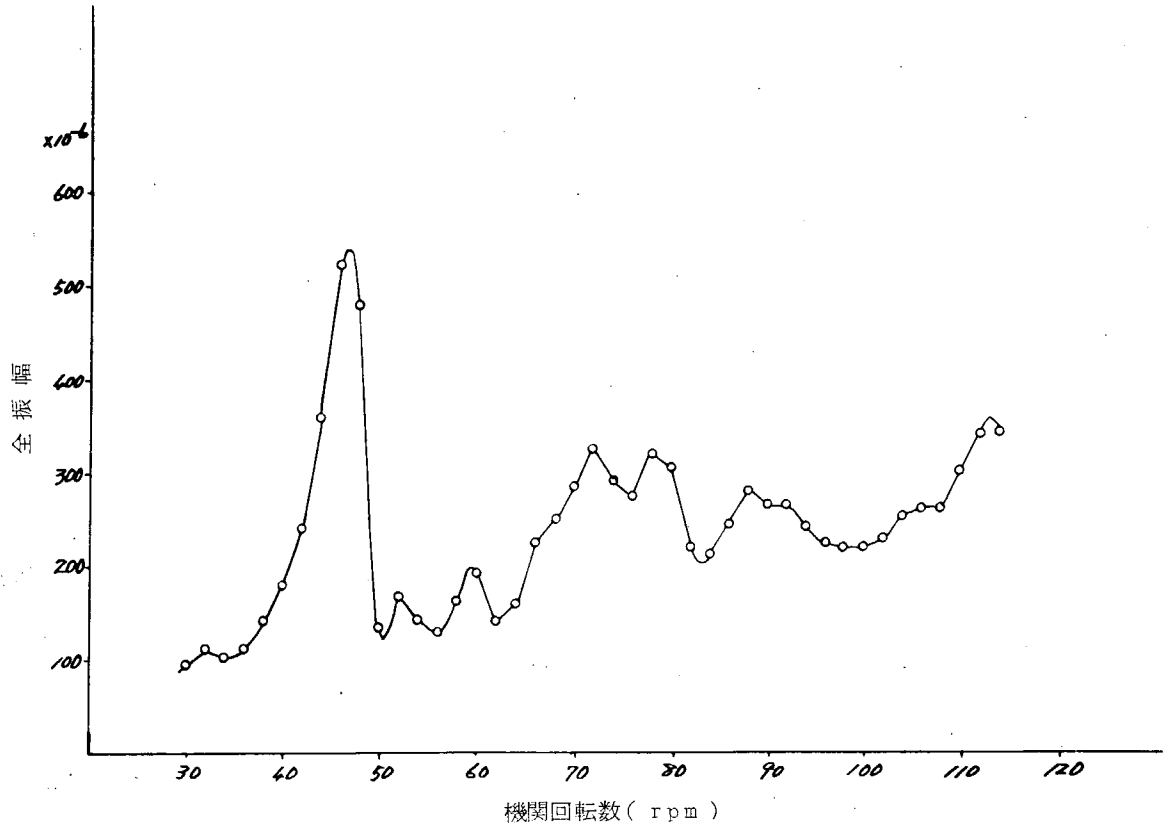
第2.1.34図　軸系ねじり振動1節8次共振点（46rpm）のクランクピンフイレット曲げ応力8次調和成分振幅
（Sin 表示での位相角は№1クランクtop位置から計つて全クランク約150°）



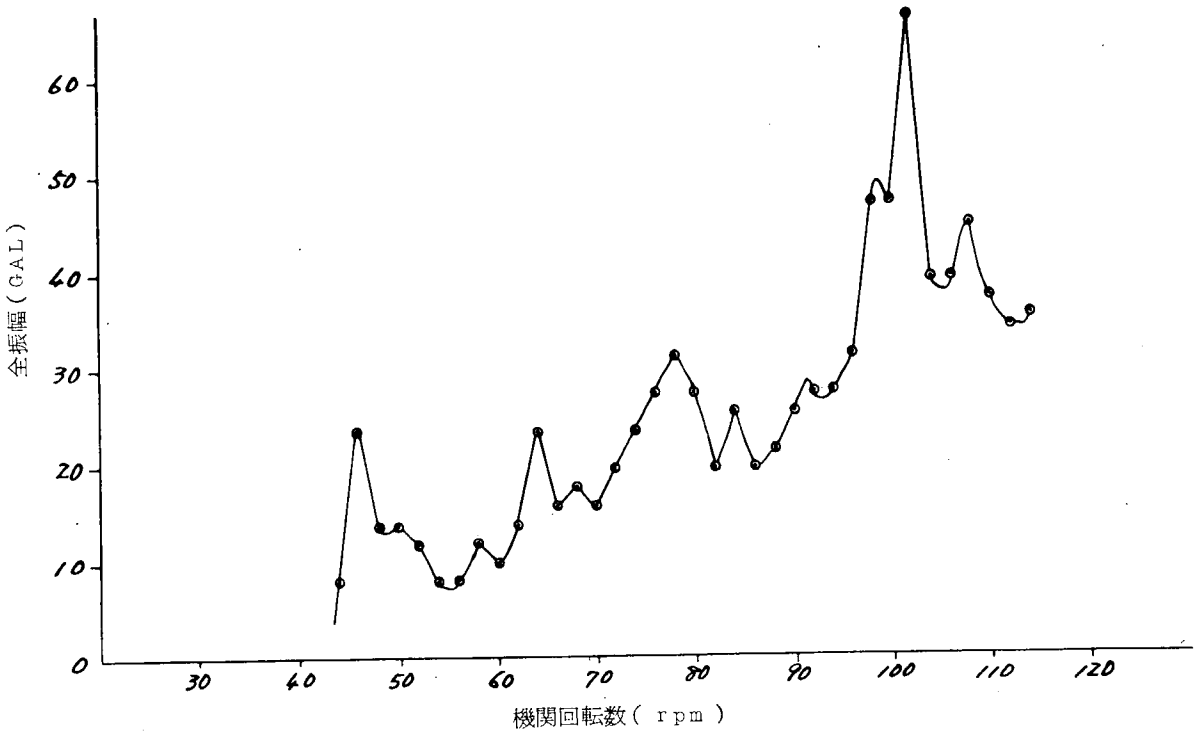
第2.1.35図　クランク軸給首端縦振動（1／2）



第2.1.36図　クランク軸船首端縦振動（2／2）



第2.1.37図　中間軸ねじり振動



第2.1.38図　コンパスフラットB前後振動

第3編　機関と機関台に関する模型実験および理論解析

第1章　平板による実験（東京大学）

1.1　まえがき

機関架構の横振動の振動特性をは握するために、平板（燐青銅板）を用いて機関架構を模擬し、加振機により加振して実験してみた。さらに台板あるいは機械台または基礎の剛性を変えて実験し、基礎の剛性が架構の振動特性に及ぼす影響を調べてみた。また等価ばね一等価質量系による計算式の妥当性を検討してみた。

1.2　基礎が剛の場合の共振曲線

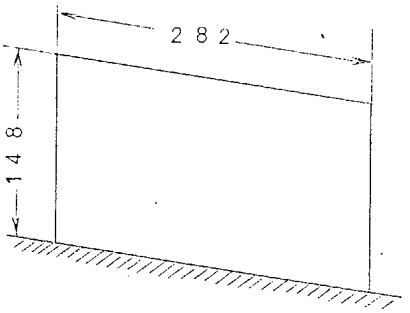
第3.1.1図に示すように1.5㎜厚さの燐青銅板を万力で剛にとりつけて、板面に垂直方向に加振し、板の上部の3点（右、中央、左）で横振動を測定した。

このときの共振曲線を第3.1.2,3,4図に示す。

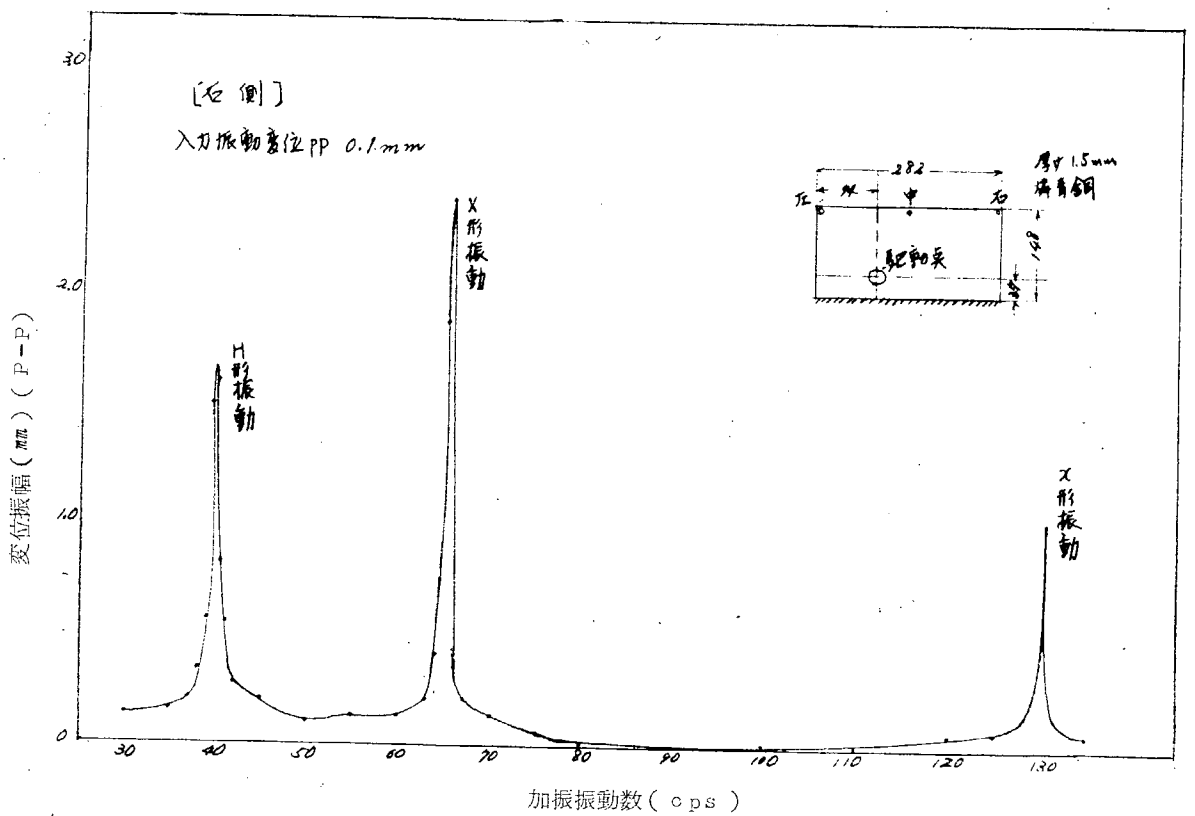
この計測によりH形、X形、x形の固有振動数は次のとおりであつた。

H形	40 cps
X形	65 cps
x形	130 cps

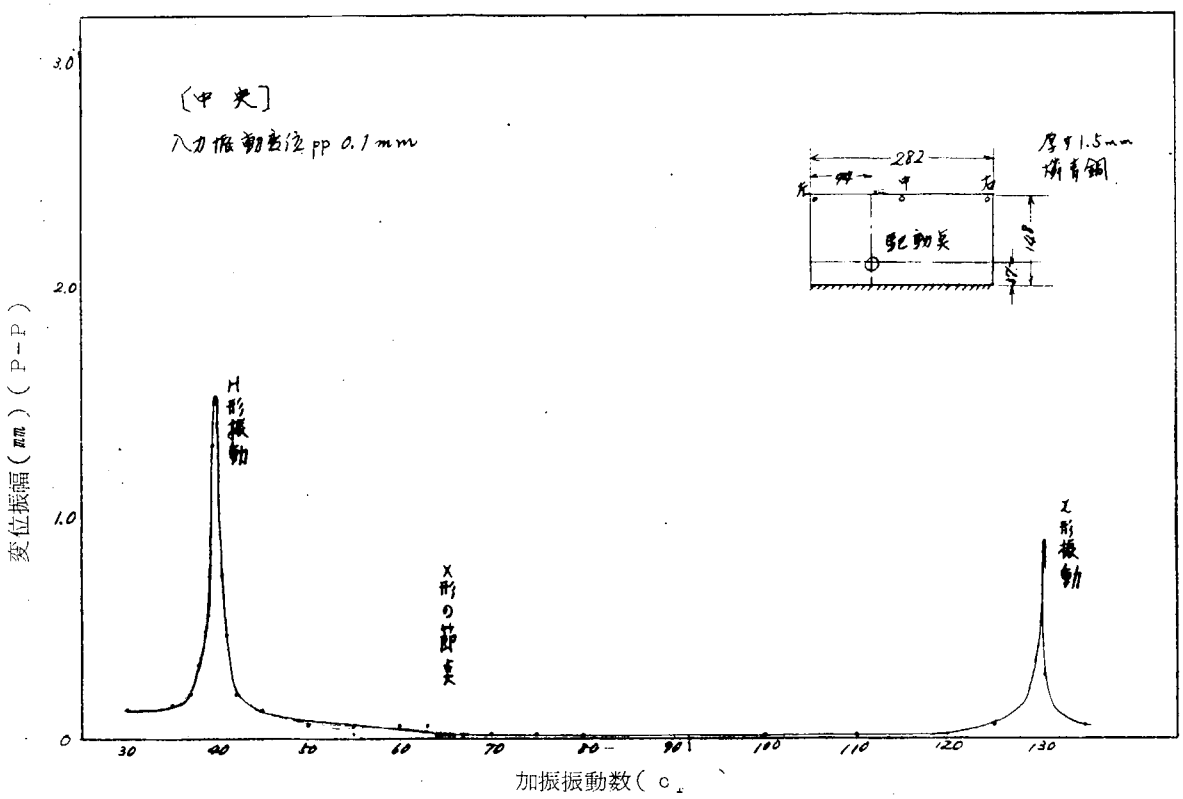
なお、さらに高次の固有振動数は、加振機の能力を越えたところにあつたので測定することはできなかつた。共振時の平板の上部の写真を第3.1.5図に示す。



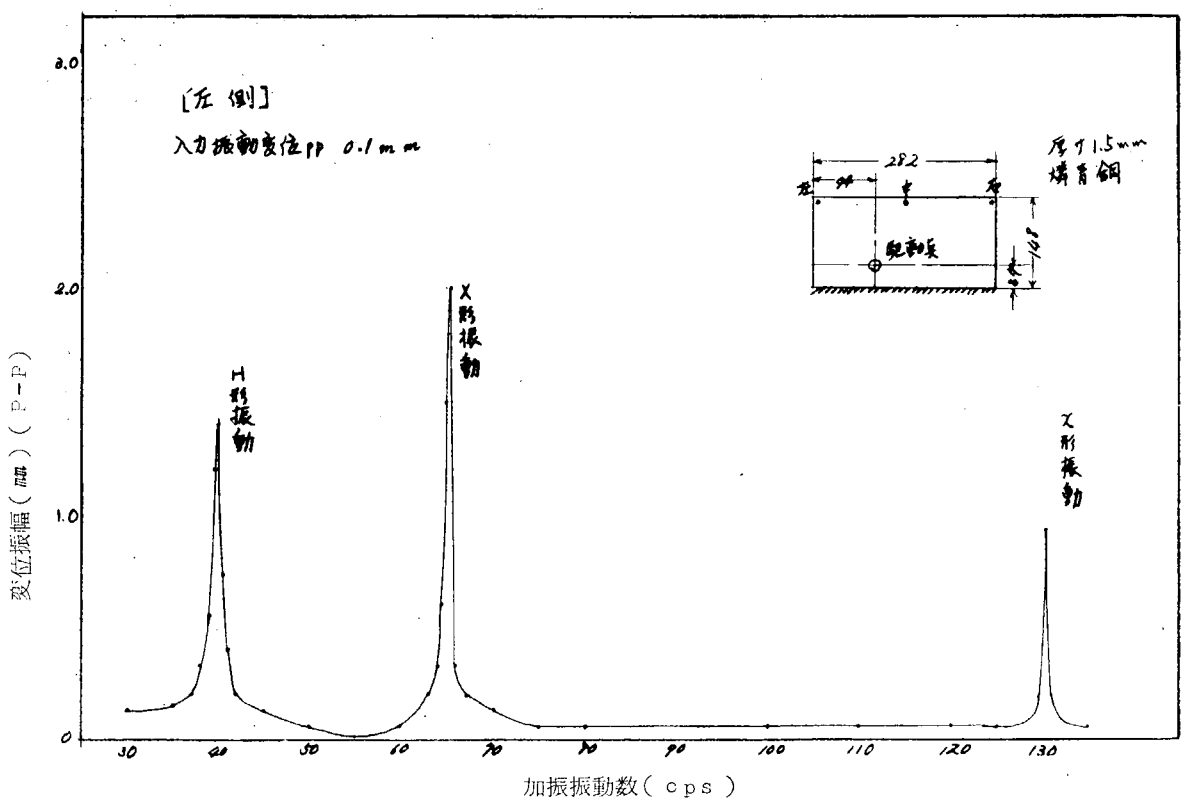
第3.1.1図　架構モデル



第3.1.2図　共振曲線（上部右）



第3.1.3図　共振曲線（上部中央）



第3.1.4図　共振曲線（上部左）

1.3　基礎が矛かい場合

基礎の剛性の影響をみるために、第3.1.1図の板に第3.1.6図に示すような足をつけて実験してみた。足の長さを変えることにより剛性を変えることができる。

厚さ0.25㎜の燐青銅板で足を作り、足の長さを50㎜としたときの振動特性を第3.1.9、10、11図に示す。

H形振動に連成の効果が生じ、基礎が剛であつた場合の固有振動数40cpsの両側に、H形の1次のモードとH形の2次のモードとが現われる。1次および2次のモードは第3.1.7図および第3.1.8図に示すものである。固有振動数は

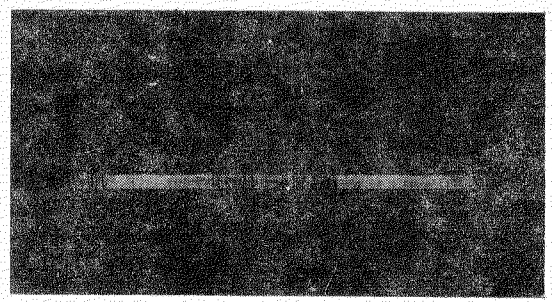
H形1次 …… 20.5 cps

H形2次 …… 42.5 cps

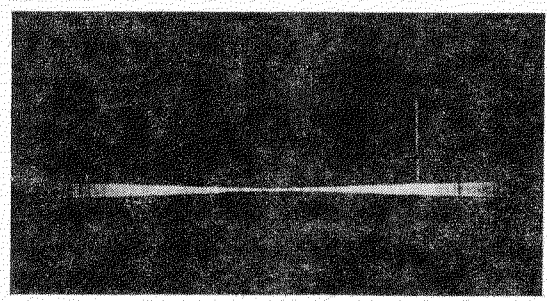
であつた。H形だけについていえば、一つの振動系にもう一つのバネと質量をつけて2自由度系にしたことにより、もとの固有振動数の両側に新しい固有振動数が生じたことと同じである。

X形の固有振動数が少し下つたようであるが他は特に変らない。第3.1.12図に平板の左下で測定した振動特性を示す。X形、α形の場合もわずかに振動している。

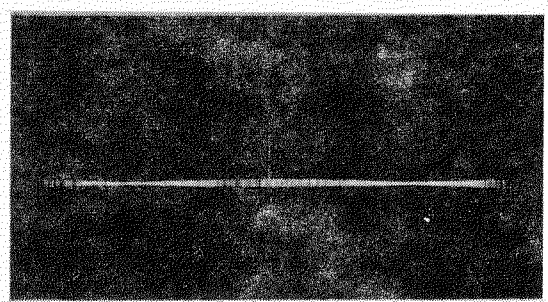
基礎が強くなるにつれてH形2次のモードの固有振動数は高くなつていく。一方H形1次のモードの固有振動数も高くなり、基礎剛の場合の40cpsに近づいていく。



H形振動

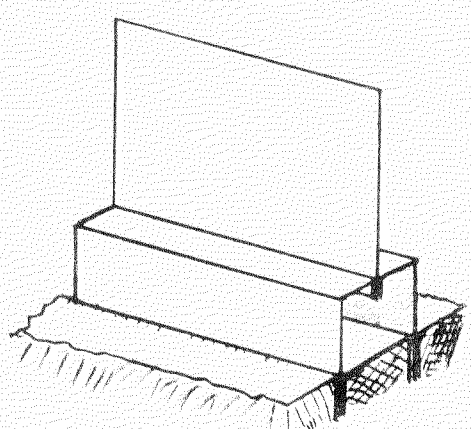


X形振動

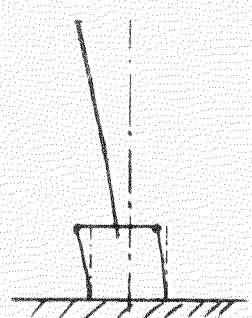


α形振動

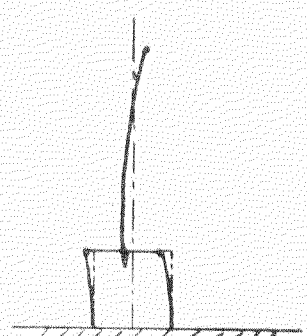
第3.1.5図



第3.1.6図　基礎の剛性を変えるモデル



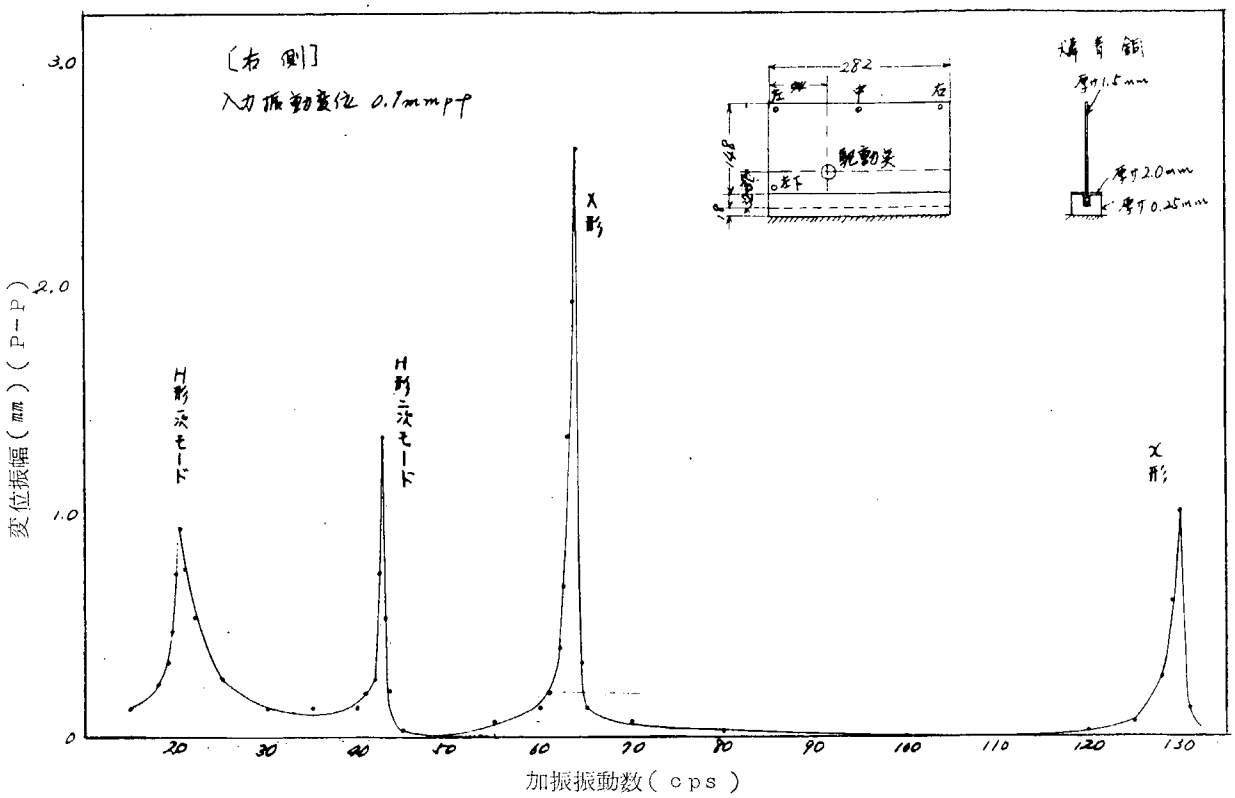
第3.1.7図　H形1次のモード



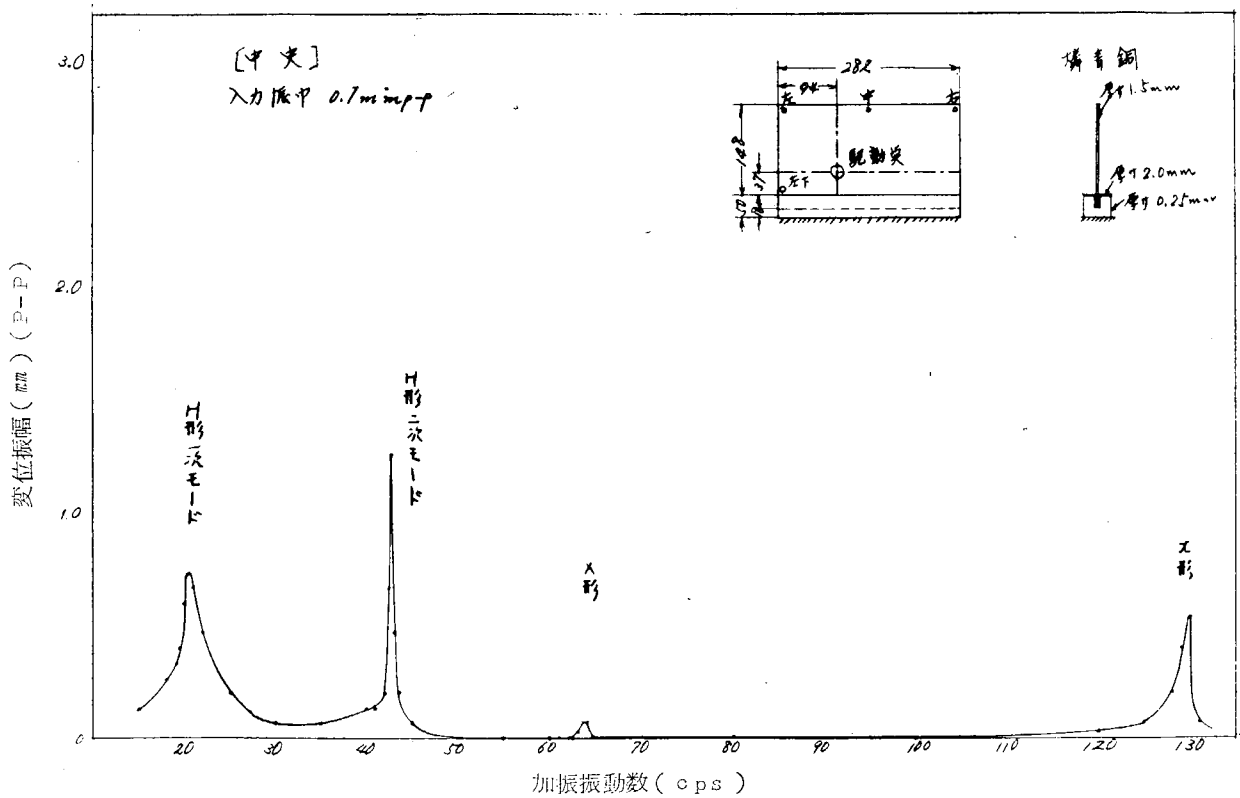
第3.1.8図　H形2次のモード

1.4　H形2次のモードとX形の固有振動数が近い場合

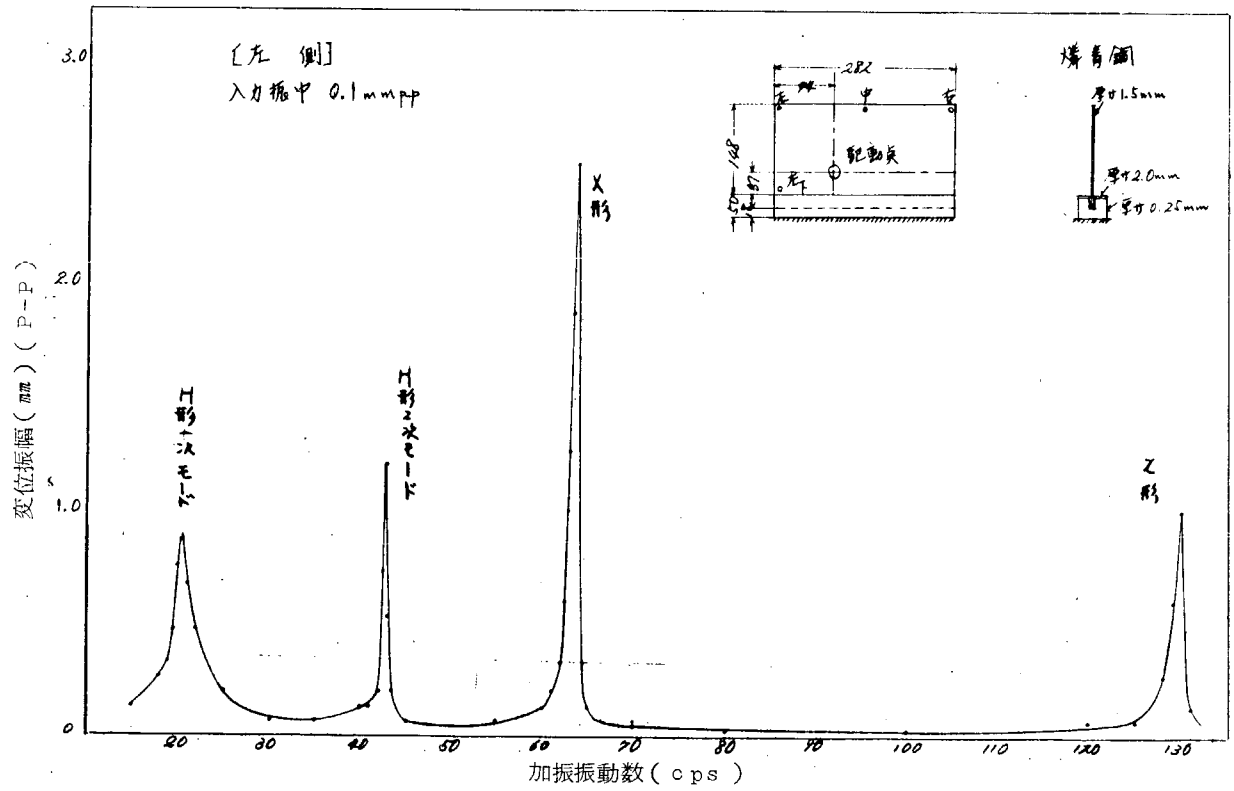
基礎の足の長さを適当に選び基礎の剛性をある値にすると、H形2次のモードの固有振動数とX形の固有振動数とを非常に近くすることができる。このような場合二つの振動モードが同時に励起され、それぞれの振幅および位相の関係で平板の上端ではX形の節点がずれて観察される。振動モードはお互いに独立であり、系を線形と考えれば、このことは第3.1.13図に示すように二つの振動モードを重ね合せることにより説明される。



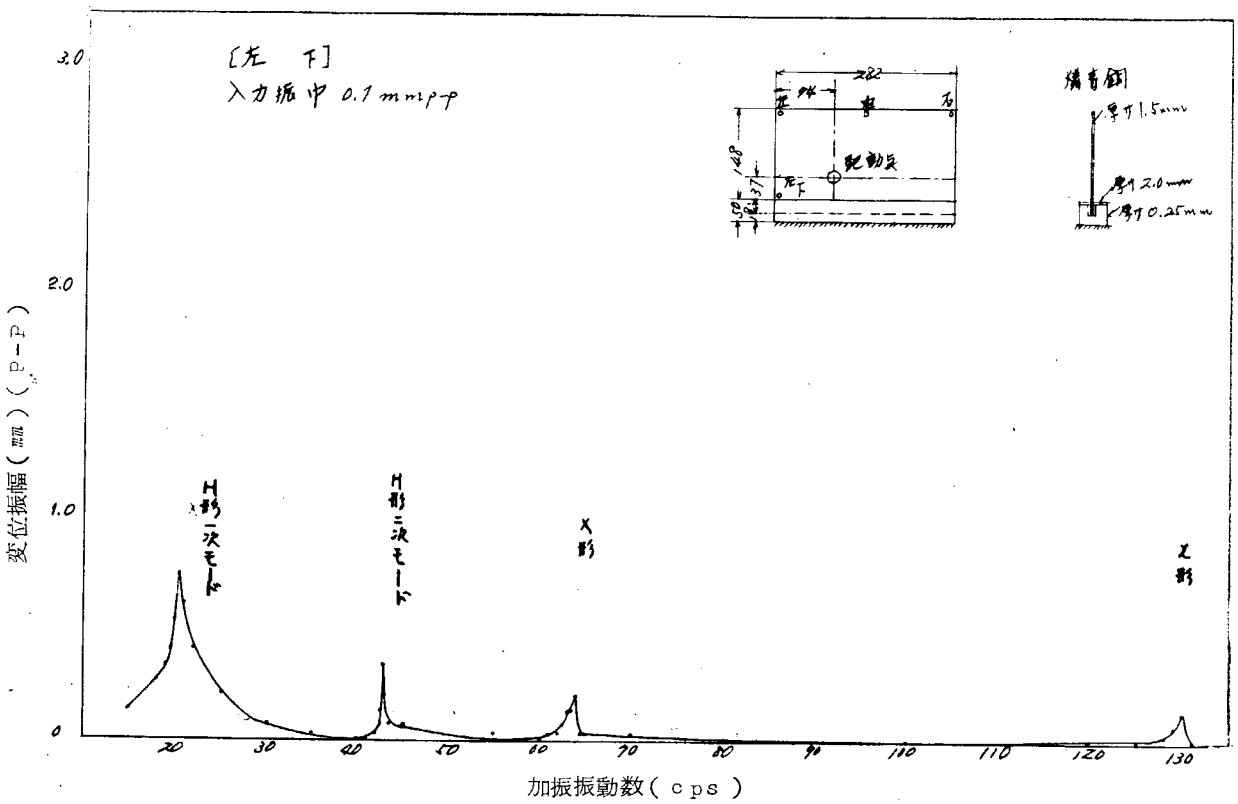
第3.1.9図　共振曲線（上部右）



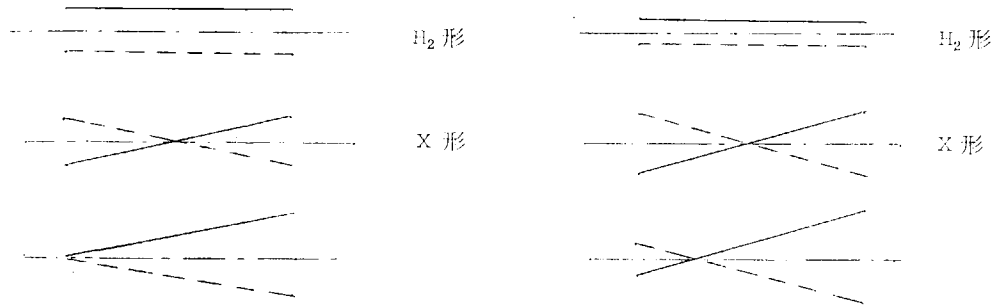
第3.1.10図　共振曲線（上部中央）



第3.1.11図　共振曲線（上部左）



第3.1.12図　共振曲線（下部右）



(1) 計 測 値　　(2) 計 測 値

第3.1.13図

たとえば、H_2 形の振動が出ているとき、X形の固有振動数が近ければ当然X形の振動も出る。したがつて、ちようど左端での振幅が等しければ第3.1.13図(1)のように計測される。X形が大きくなるにつれ計測される節点の位置は右へ移つていく。加振振動数を上げていくとX形がさらに大きくなり右へ移る。また位相の関係で(1)、(2)とちようど反対になる例も観察された。

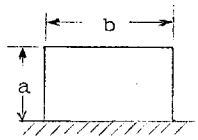
このように系が対称な場合でも、節点の位置がずれて観察されることがある。

1.5 固有振動数の計算

1.5.1 M. V. Bartonによる数値解

M. V. BartonはRitzの方法により、板の固有振動数を求めている（J. Appl Mech 18：129（1951）または Shock and Vibration Handbook Vol. 1, 7-31）。

これによれば第3.1.14図のように、a、bなる長方形の板の固有振動数は $a/b=\frac{1}{2}$ に対して次のように与えられる。

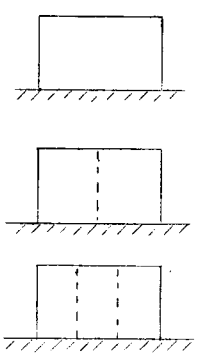


第3.1.14図

$$\omega_n/\sqrt{Dg/\gamma h a^4}=3.508 \quad H\text{ 形}$$

$$=5.372 \quad X\text{ 形}$$

$$=10.26 \quad x\text{ 形}$$



ただし

$$D=\frac{E h^3}{12(1-\mu^2)}$$

E：縦弾性係数

h：板厚

μ：ポアツソン比

γ：比重量

である。

本実験では a／b＝148／282＝0.52 で上記の値に近いので a／b＝0.5 の場合の値を用いて、それぞれの振動形の固有振動数を求めると

f_H＝42.4 cps、f_X＝65.0 cps、f_x＝125 cps

となり実験値に近い値を与える。ゆえに実験結果もほぼ妥当なものと考えられる。

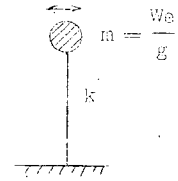
1. 5. 2　等価集中質量換算による方法

いまH形振動について考え、板のH形振動を第3. 1. 1 5図のように質量m、ばね定数kをもつ等価振動系に置きかえたとする。m、kの定め方については昨年度に報告した。

いま、板の先端に集中荷重を与えたときのたわみ曲線を用いてm、kを求めると

$$W_e = \frac{33}{140} W = 0.238 W$$

$$k = \frac{3EI}{h^3}$$



第3. 1. 1 5図　等価振動系

ここでW；板の全重量

W_e；等価重量

I；板の長手方向にとつた断面2次モーメント

h；板厚

である。このとき

$$m = \frac{W_e}{g} = 1.33 \times 10^{-2} \quad kgs^2\,m^{-1} \qquad k = 8.86 \times 10^2\ kg\ m^{-1}$$

となり、

$$f_H = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = 41.1\ cps$$

となる。

また分布荷重を受けたときのたわみ曲線を用いて計算すると

$$W_e = \frac{104}{405} W = 0.257 W$$

$$k = 3.2\frac{EI}{h^3}$$

となり　$m = \frac{W_e}{g} = 1.438 \times 10^{-2}\ kgs^2\,m^{-1}$

$$k = 9.45 \times 10^2\ kg\,m^{-1}$$

$$f_H = 40.8\ cps$$

をうる。

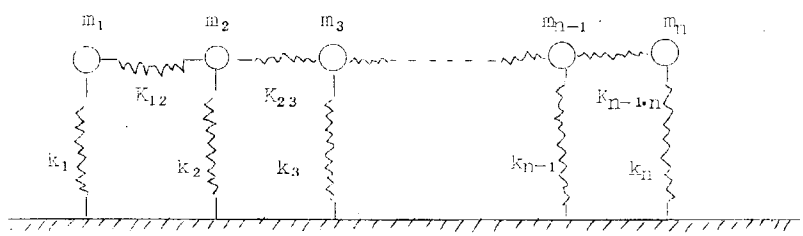
板の先端を引張つて求めたばね定数kは

$$k = 8.6 \times 10^2\ kg\,m^{-1}$$

であるから理論と計算とはだいたい合つている。H形の振動については理論的に推定しうる。

1. 5. 3　多自由度系への拡張

1. 5. 2項の考えを機関架構の横振動に適用してみる。機関架構をいくつかに分割し、第3. 1. 1 6図に示すような等価振動系に置きかえたとする。各質量は紙面に垂直な方向にのみ振動するものとし各質量間は結合ばね定数Kによつて結合されているとする。



第3. 1. 1 6図　振動系のモデル

x_i を質量 m_i の紙面に垂直な方向の変位とするとこの系の自由振動は

$$\left.\begin{aligned} &m_1\ddot{x}_1 + k_1 x_1 + K_{12}(x_1 - x_2) = 0 \\ &m_i\ddot{x}_i + k_i x_i - K_{(i-1)i}(x_{i-1} - x_i) + K_{i\cdot(i+1)}(x_i - x_{i+1}) = 0 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (3.1.1)$$

と表わされる。

また以

$$M\ddot{X} + SX = 0 \quad \cdots\cdots (3.1.2)$$

$$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} \qquad M = \begin{pmatrix} m_1 & & 0 \\ & m_2 & \\ & & \ddots \\ 0 & & m_n \end{pmatrix}$$

$$S = \begin{pmatrix} k_1 + K_{12} & -K_{12} & 0 & \cdots & 0 \\ -K_{12} & k_2 + k_{12} + K_{23} & -K_{23} & & \\ 0 & -K_{23} & \ddots & & \\ & & & k_{n-1} + K_{n-2\cdot n-1} + K_{n-1\cdot n} & -K_{n-1\cdot n} \\ 0 & 0 & \cdots & -K_{n-1\cdot n} & k_n + K_{n-1\cdot n} \end{pmatrix}$$

となる。

この系で、

$m_i = m$ $\quad i = 1, n$

$k_i = k$ $\quad i = 1, n$

$K_{i\cdot i+1} = K$ $\quad i = 1, n-1$

とした場合は簡単になるので、いまこの等しい場合について考えることにする。このとき（3.1.2）式は

$$\ddot{X} + AX = 0 \quad \cdots\cdots (3.1.3)$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{k+K}{m} & -\frac{K}{m} & 0 & \cdots & 0 \\ -\frac{K}{m} & \frac{k+2K}{m} & -\frac{K}{m} & & \\ & -\frac{K}{m} & \ddots & & 0 \\ & & & \frac{k+2K}{m} & -\frac{K}{m} \\ 0 & \cdots & 0 & -\frac{K}{m} & \frac{k+K}{m} \end{pmatrix}$$

となる。固有振動数は行列Aの固有値より求められる。固有値の小さいほうからH形、X形、x形が求められるので、質量数nをパラメータとして、それぞれの場合のH形、X形、x形の固有振動数を表にして示すと次のようになる。

第3.1.1表　固　有　値

質　量　数 （シリンダ数）	H形振動 * ω_H^2	X形振動 * ω_X^2	x形振動 ω_x^2
3	$\frac{k}{m}$	$\frac{k + K}{m}$	$\frac{k+3.0K}{m}$
4	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.586K}{m}$	$\frac{k+2.0K}{m}$
5	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.382K}{m}$	$\frac{k+1.38K}{m}$
6	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.268K}{m}$	$\frac{k + K}{m}$
7	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.198K}{m}$	$\frac{k+0.753K}{m}$
8	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.152K}{m}$	$\frac{k+0.586K}{m}$
9	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.121K}{m}$	$\frac{k+0.468K}{m}$
10	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.098K}{m}$	$\frac{k+0.382K}{m}$
11	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.081K}{m}$	$\frac{k+0.317K}{m}$
12	$\frac{k}{m}$	$\frac{k+0.068K}{m}$	$\frac{k+0.268K}{m}$

＊は原野（三井造船）の計算と同じである。

H形、X形振動の固有振動数をω_H^2、ω_X^2とすると

$$\omega_X^2 = \frac{k + \alpha_n K}{m}$$

$$\omega_H^2 = \frac{k}{m}$$

となる。α_nは係数で、質量数（分割数）によつて定まる係数で第3.1.1表に与えられている。ゆえに、結合ばね定数Kは

$$\frac{K}{k} = \frac{1}{\alpha_n}\left(\frac{\omega_X^2}{\omega_H^2} - 1\right)$$

として、ω_X、ω_Hの測定データより逆算することができることになる。

1.5.4　結合ばね定数

前項の理論では結合ばね定数Kは理論的に求めることは難しく、X形、H形振動の測定データから逆算することになる。

このような考えが妥当かどうかをみるために、前に求めた平板による実験にこれを適用してみる。平板をいくつに分割するかによつてKの値は変るので分割数をパラメータとして表わす。ω_H^2、ω_X^2の測定値よりKを求めたとすると、前記の理論が妥当なものであれば、第3.1.1表によりこのKを使つてω_xが求められる。これより$f_x = \frac{\omega_n}{2\pi}$により、$f_x$を求め測定値と比較すると第3.1.2表のようになる。計測では、分割数に応じて$k \rightarrow \frac{k_0}{n}$、$k_0 = 9.45 \times 10^2\ kg\,m^{-1}$としてある。

第3.1.2表

分割表	K	K／k	f_x（計算）	f_x（測定）
3	$5.13\times10^{2} kg\,m^{-1}$	0.543	99.5 cps	130 cps
4	6.56	0.695	105	〃
5	8.06	0.854	108	〃
6	9.58	1.013	109	〃
7	11.25	1.175	110	〃
8	12.85	1.34	110.3	〃
9	14.3	1.49	110.5	〃
10	16.0	1.67	111.0	〃
11	17.5	1.83	111.3	〃
12	19.2	2.0	111.4	〃

なお、板の中央部が動かないようにして、両端を反対むきに引張つて求めたばね定数は $K=6.1\times10^{2}\ kg\,m^{-1}$ であつた。2分割と考えるとオーダはだいたい合つている。

x 形の固有振動数は測定値より約14％低く出ている。

1.6 まとめ

平板による模型実験および解析から次のことが分つた。

i）振動特性は、定性的には、集中質量系で置きかえたものと同じであると考えてよい（ただし、H形、X形、x 形の範囲において）。

ii）H形の振動に対しては、集中系でおきかえてもほぼ正しい固有値が求められる。しかし、X形の振動数を求めそれから、結合ばね定数Kの値を逆算して、それを用いて x 形の固有振動数を求めると正しい値より、14％位低い値になる。第3.1.16図の振動系のモデルでは、振動特性を理解するのには非常に便利であるが、X形、x 形の固有振動数の正しい値を求めたいときには少し無理があるようである。この点は43年度にさらに研究する予定である。

iii）X形とH形の固有振動数が近いときは、X形の節点の位置がずれて観察されることがある。

43年度においては、船体の二重底を考えて、二重底上での振動特性を模型実験により研究する予定である。

第2章　機関架構模型実験結果（三菱重工業神戸）

2.1 模型について

2.1.1 次元解析

模型を製作する場合、各物理量について模型と実機が、一義的に対応するように、縮小率、材料を決定することが望ましい。この意味から、簡単な次元解析を行なつてみる。

物理量として、下記のようなものを考える。

物理量	記号	単位
長さ、変位	ℓ、δ	cm
断面積	A	cm^2
体積	V	cm^3
断面二次モーメント	I、J	cm^4
重量、力	W、F	kg
ひずみ	ε	—
弾性係数、応力	E、G、σ	kg/cm^2
速度	v	cm/sec
加速度、重力の加速度	α、g	cm/sec^2
振動数	f	$1/sec$
密度	ρ	$kg\,sec^2/cm^4$

1次量としてF；kg、L；cm、T；sec をとれば上記の諸量を含む次元マトリックスは次のような形で表わされる。

	ℓ	A	V	I	W	ε	E	σ	δ	v	α	f	ρ
F	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
L	1	2	3	4	0	0	−2	−2	1	1	1	0	−4
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	−1	−2	−1	2

このマトリックスのランクは" 3 "であり、これから、次のような無次元積の間の関係式が得られる。

$$f\left(\frac{A}{\ell^2}、\frac{V}{\ell^3}、\frac{I}{\ell^4}、\frac{W}{\ell^2 E}、\varepsilon、\frac{\sigma}{E}、\frac{\delta}{\ell}、\sqrt{\frac{\rho}{E}}v、\frac{\rho\ell}{E}\alpha、\ell\sqrt{\frac{\rho}{E}}\cdot f\right)=0$$

この関係から、模型（Model）と実機（Prototype）の関係が第3.2.1表のように求められる。

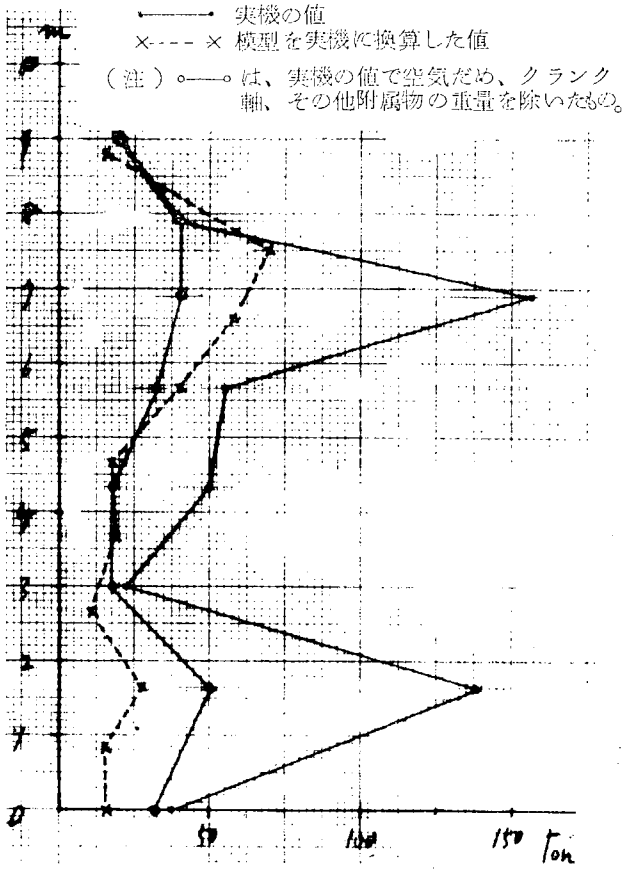
第3.2.1表　模型と実機の対応

物理量	記号	縮小率
長さ	ℓ	$\ell m/\ell p = 1/N$
断面積	A	$Am/Ap = 1/N^2$
体積	V	$Vm/Vp = 1/N^3$
断面二次モーメント	I、J	$Im/Ip = Jm/Jp = 1/N^4$
重量、力	W、F	$Wm/Wp = Fm/Fp = (1/N^2)(Em/Ep)$
ひずみ	ε	$\varepsilon m/\varepsilon p = 1$
応力	σ	$\sigma m/\sigma p = Em/Ep$
変位	δ	$\delta m/\delta p = 1/N$
速度	v	$vm/vp = \sqrt{(\rho p/\rho m)(Em/Ep)}$
加速度	α	$\alpha m/\alpha p = N\cdot(\rho p/\rho m)(Em/Ep)$
振動数	f	$fm/fp = N\cdot\sqrt{(\rho p/\rho m)(Em/Ep)}$

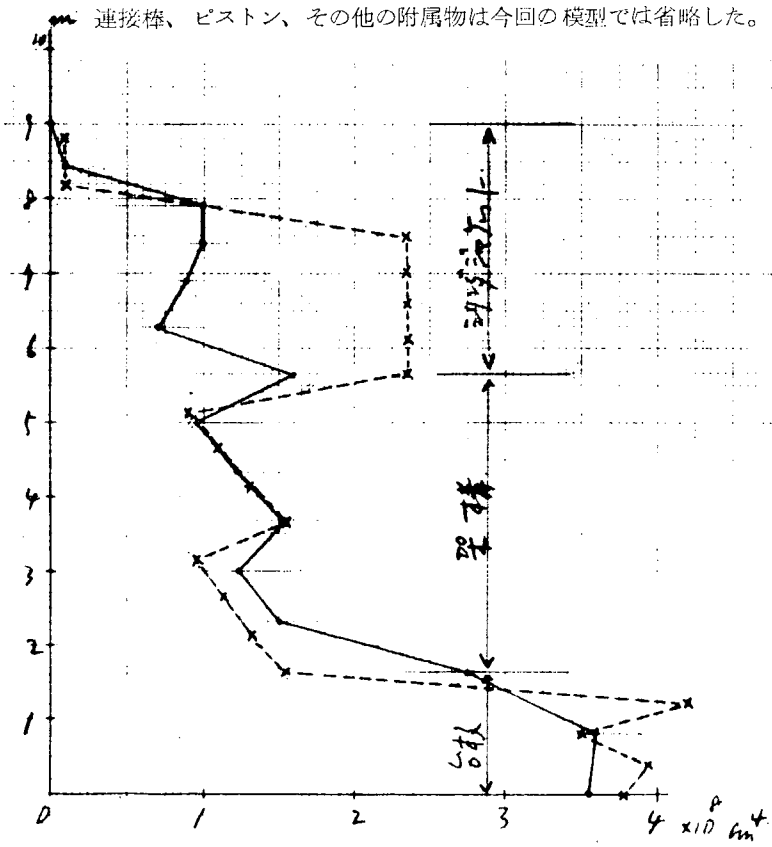
2.1.2　模型について

模型の対象機関として、６ＲＤ三菱スルザディーゼル機関を選んだ。これは、６気筒で筒径９００㎜、行程1,５５０㎜、連続最大出力１５,０００ＰＳである。

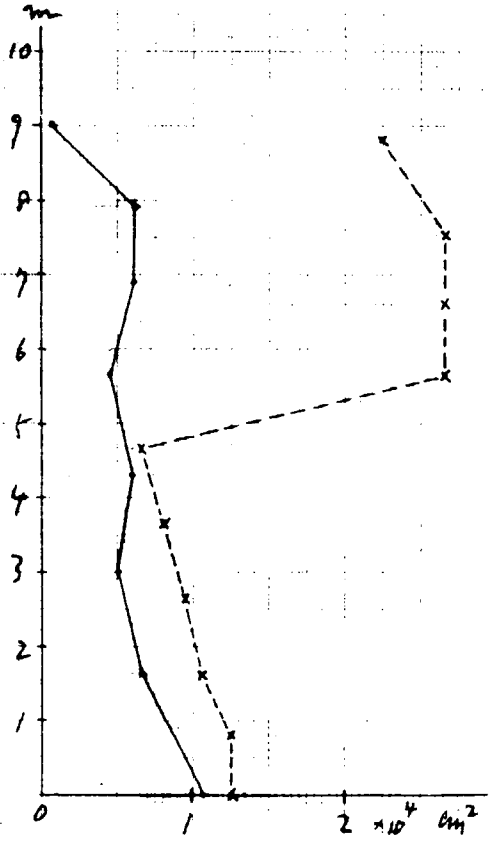
模型は実験上、製作上の観点から縮尺は実機の1/8、材料は主として、アクリライトとした。構造は第3.2.44～3.2.47図および第3.2.39～3.2.43図示すように、実機同様、シリンダジヤケット部、架構部、台板部の３部よりなり、これをテンションボルトにより締めつけて組立てた。このうち、架構部、台板部、テンションボルトはアクリライト製で、ほぼ実機どおりの形状であるが、シリンダ・ジヤケット部は構造上、非常に複雑で、製作が困難であるため、ブロックに、ピストンに相当する径の穴をあけた簡単な構造とした。このため、重量、断面剛性が実機にくらべて、かなり大きくなつたのはやむを得ない。なお、この部分の材料は製作の都合上、塩化ビニルとした。また、過給機、空気だめ、クランクシヤフト、連接棒、ピストン、その他の附属物は今回の模型では省略した。



第3.2.1図　重量分布



第3.2.2図　断面２次モーメント分布



第3.2.3図　せん断断面積分布

第3.2.1～3.2.3図に重量、断面２次モーメント、せん断断面積の各分布を実機と模型を対比させて記した。

2.2　模型実験

実験は、静的試験と振動実験に分けられる。静的実験は、静荷重に対する架構各部の応力、たわみを測定し、架構部材の剛性を評価するための資料とするものであり、振動実験は架構の固有振動を測定したものである。

実機の運転状態では、架構の横振動は基礎の回転剛性を除いて論ずることはできないと考えられるため、基礎固定の実験の他に、架構模型をのせた板を単純支持し、適当な回転剛性を持たせて実験を行なつた。

(1) 模型のテンションボルトの初期締めつけ力について

実機のテンションボルトの初期締めつけ力は、ねじ部断面積 $Ap=213.95\,cm^2$ に対して応力 $\sigma p=10^3\ kg/cm^2$ となるようにしている。

したがつて実機での締めつけ力 Wp は

$$Wp=\sigma p\,Ap=2.14\times10^5\ kg$$ となる。

さて、模型と実機の力の対応は第3.2.1表により関係づけられる。すなわち、

$$Wm=\frac{1}{N^2}\cdot\frac{Em}{Ep}\cdot Wp=47.7\ kg$$

模型のボルトの直径 $dm=2.25\,cm$ であるから、$Am=3.97\,cm^2$ よつて、この場合ボルトに生ずる Stress および Strain は

$$\sigma m=\frac{Wm}{Am}=12\ kg/cm^2$$

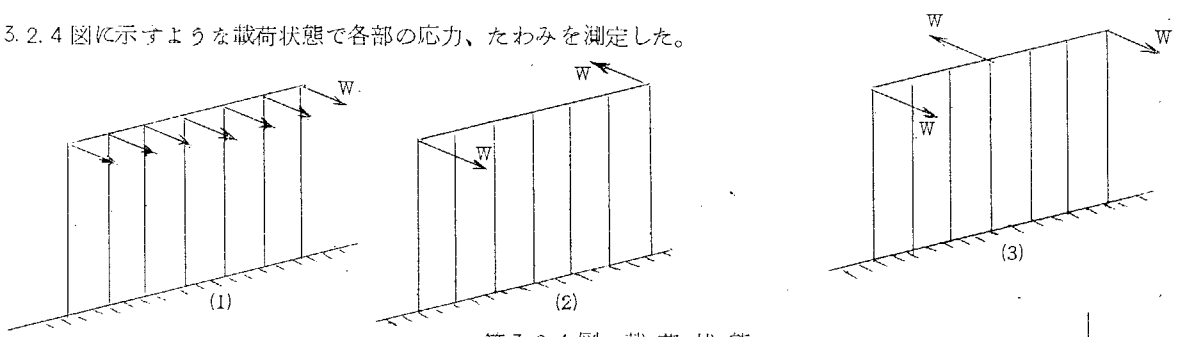
$$\varepsilon m=\frac{\sigma m}{Em}=400\times10^{-6}$$

模型実験を行なう場合、ボルトを上の状態に Set してやらなければならない。

2.2.1 静的実験（基礎固定の場合）

(1) 載荷条件

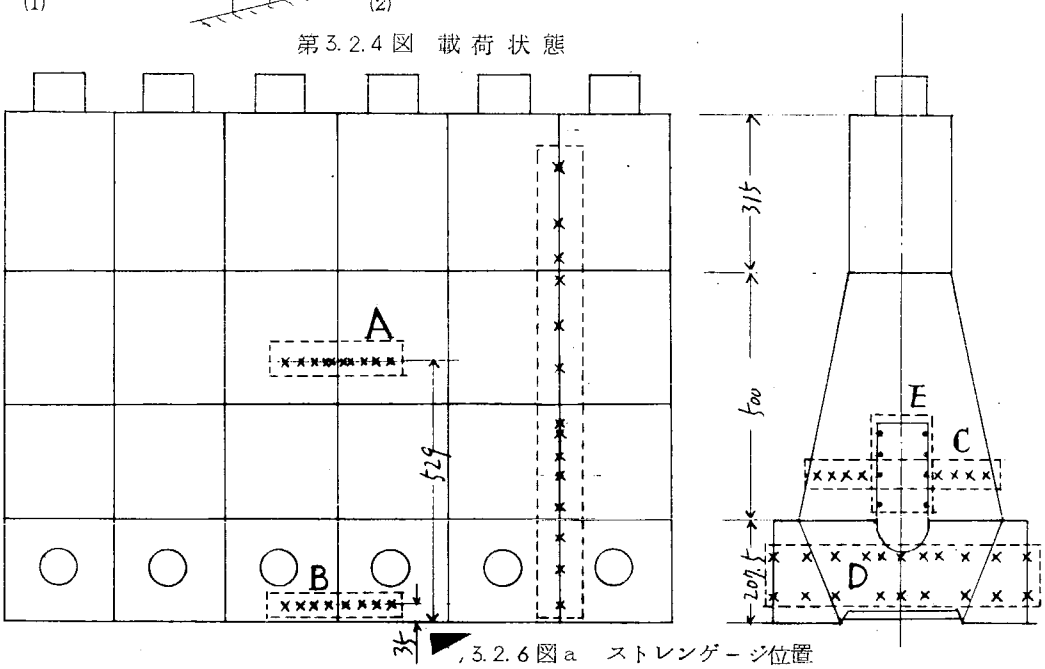
第3.2.4図に示すような載荷状態で各部の応力、たわみを測定した。



第3.2.4図 載荷状態

(2) ストレンゲージ位置

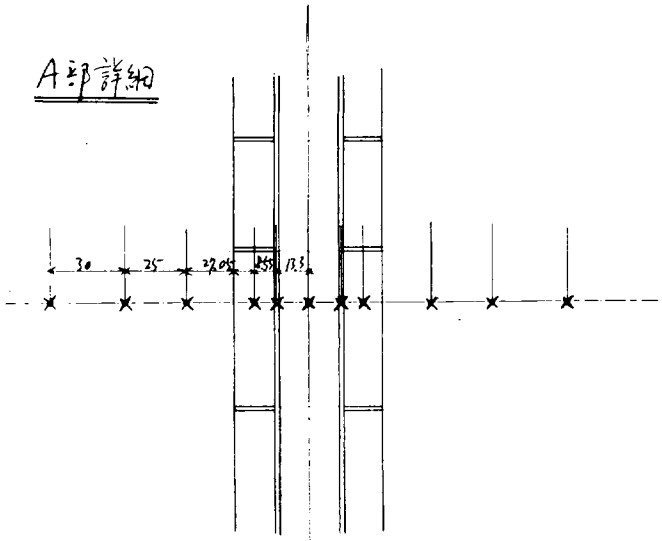
架構・台板部およびテンションボルトのストレンゲージ位置を第3.2.6、3.2.7図に示す。

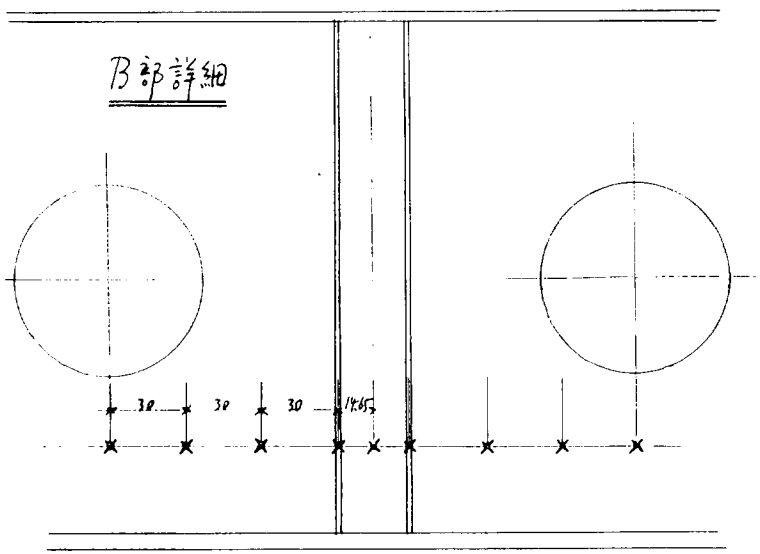


第3.2.6図a ストレンゲージ位置

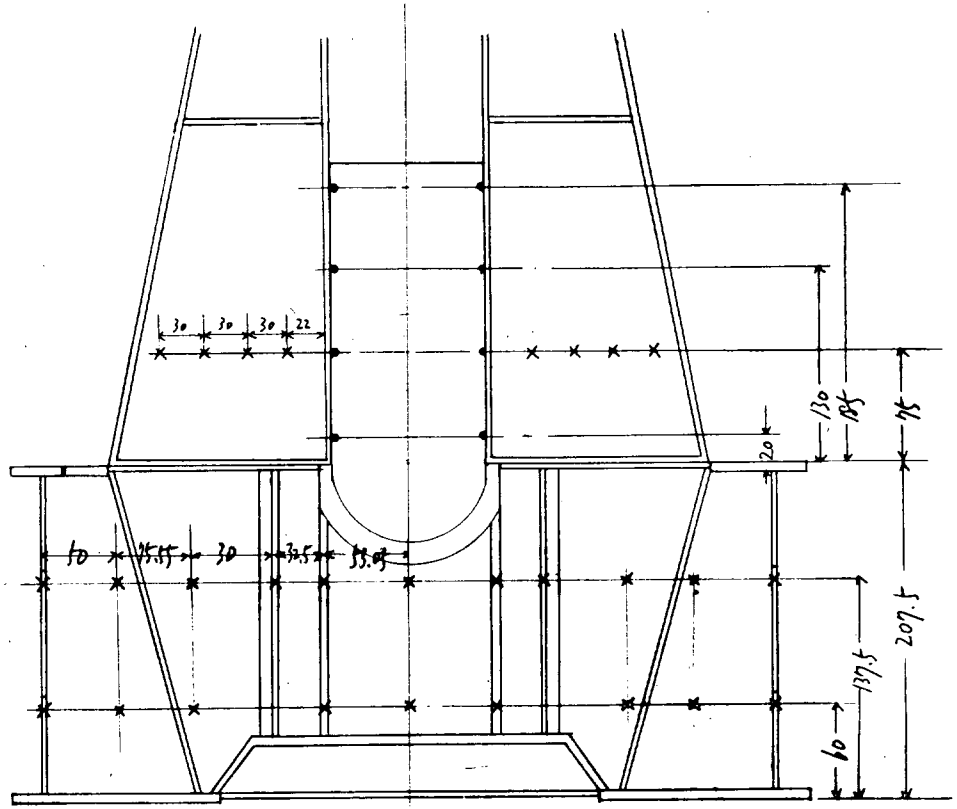
(3) 実験結果

第3.2.8～3.2.10図に、各載荷状態に対する

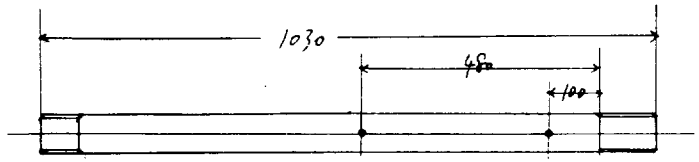




第3.2.6図b　ストレンゲージ位置（A、B部詳細）



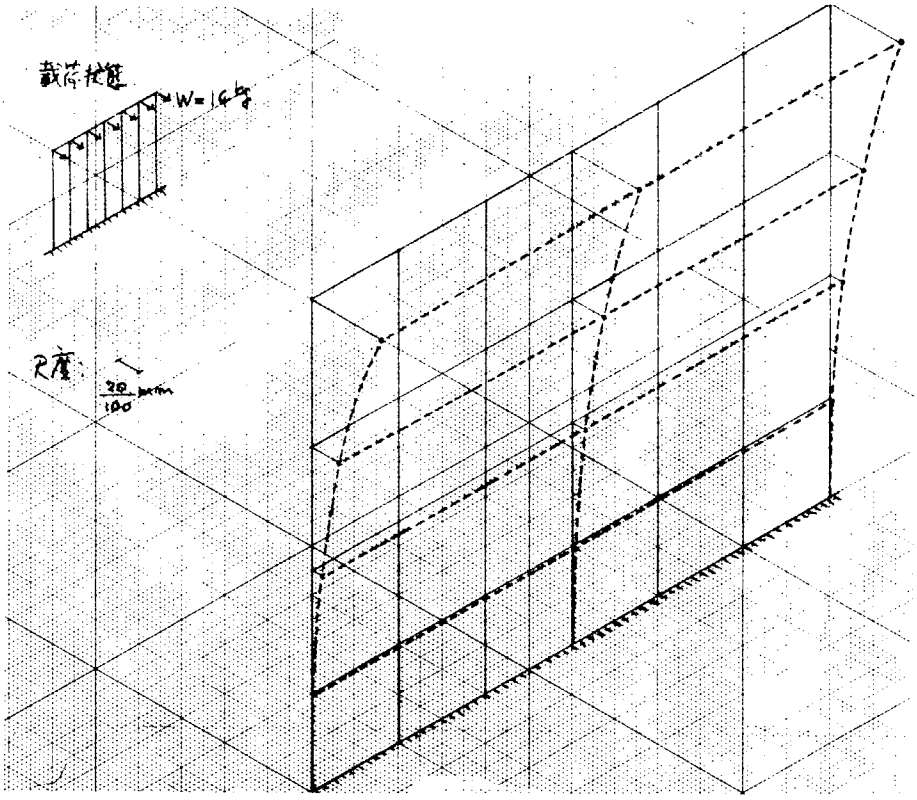
第3.2.6図　ストレンゲージ位置（C、D、E部詳細）



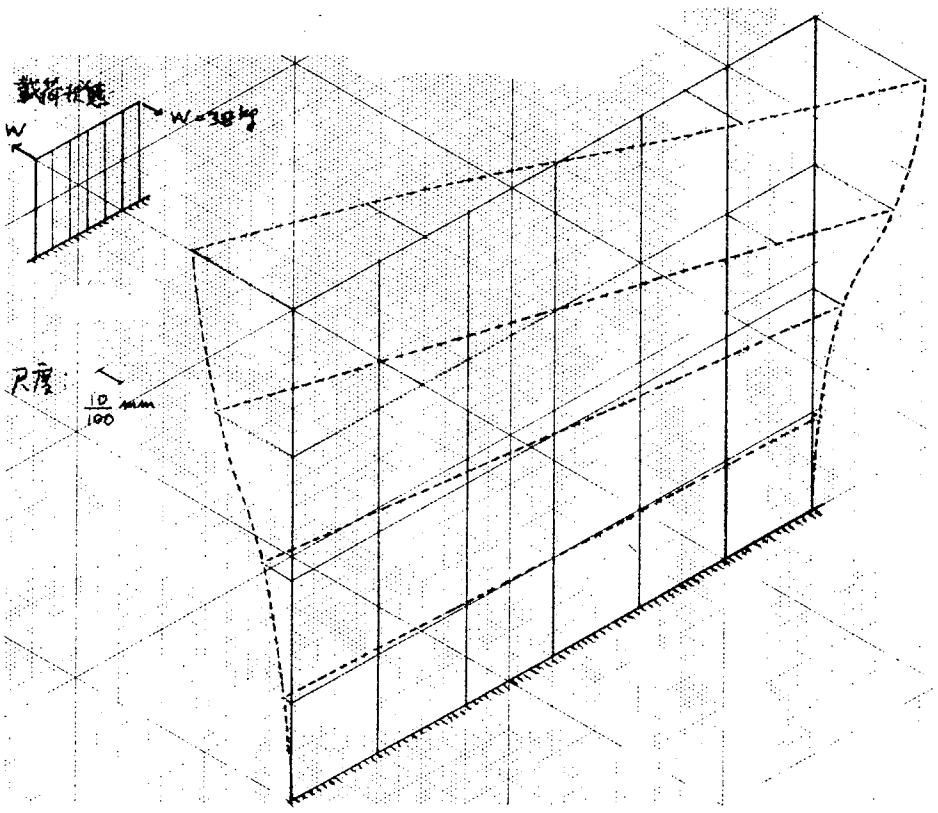
第3.2.7図　ストレンゲージ位置（テンションボルト部）

架構のたわみ曲線を示す。

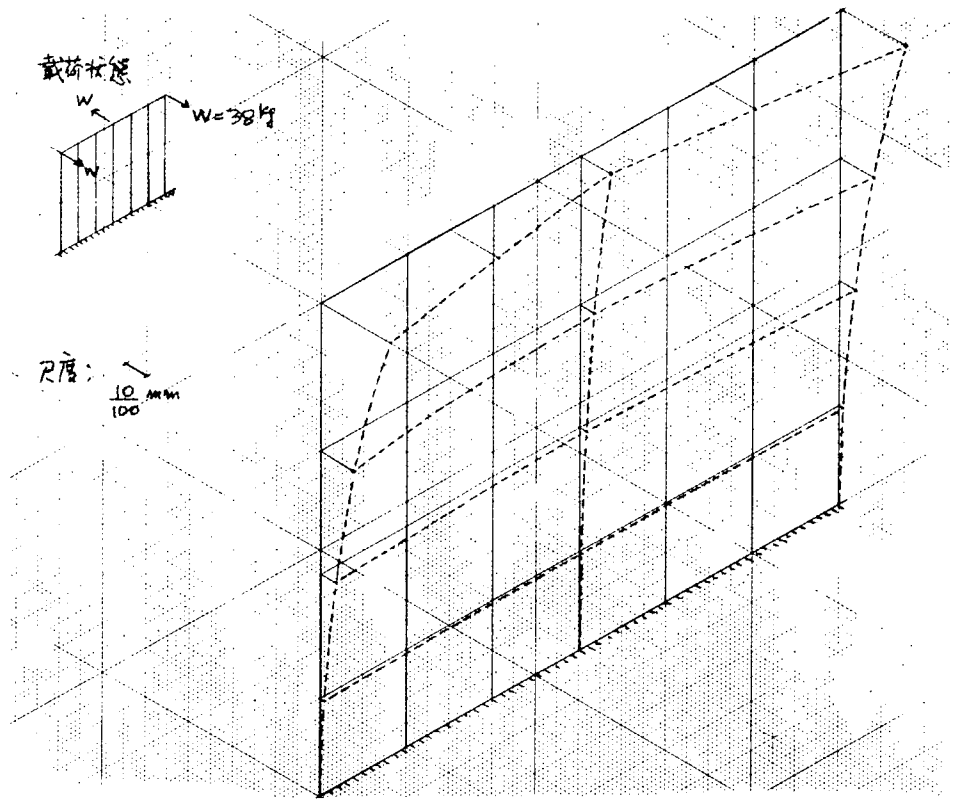
第3.2.11、3.2.12図に、載荷状態(1)に対する架構部（A部）および台板部（B部）のひずみ分布を示し、さらにこの結果より、架構、台板部の外側板の有効幅を計算した結果について記す。



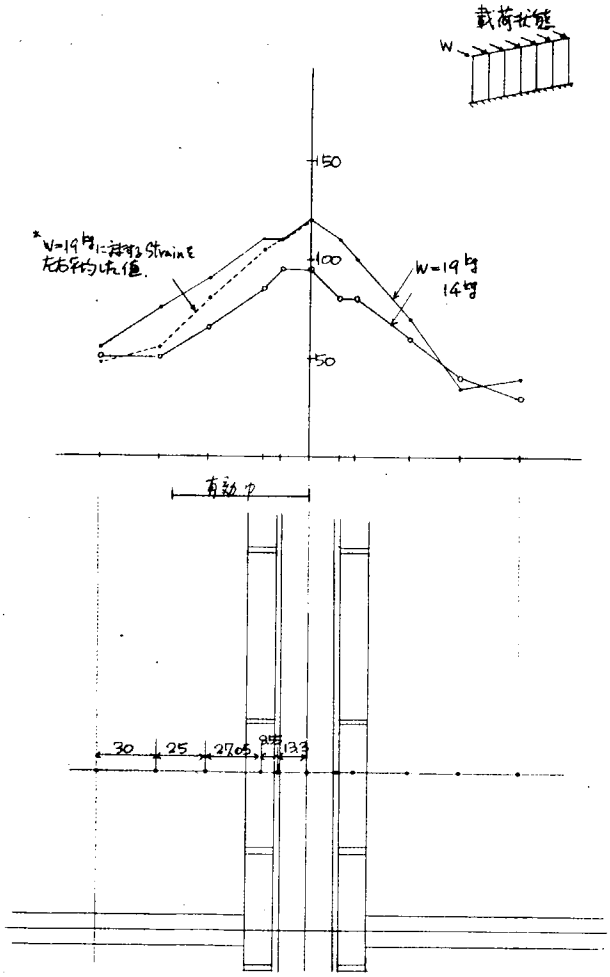
第3.2.8図　架構静たわみ曲線（基礎固定の場合）



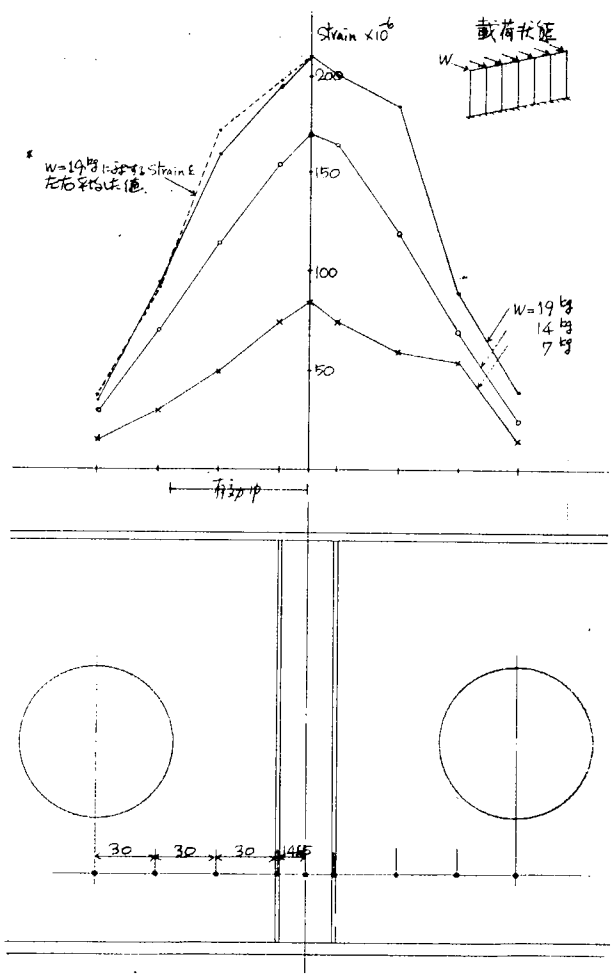
第3.2.9図　架構静たわみ曲線（基礎固定の場合）



第3.2.10図　架構静たわみ曲線（基礎固定の場合）



第3.2.11図　架構部（A部）外側板のひずみ分布



第3.2.12図　台板部（B部）外側板のひずみ分布

(i) 台板部外板の有効幅

(92.5+35.0)×30／2	=	1,910
(172.5+92.5)×30／2	=	3,980
(197.5+172.5)×30／2	=	5,550
(210+197.5)×14.65／2	=	2,980
		14,420

したがつて有効幅leqは

$$210 \times leq = 14,420 \qquad \therefore leq = 68.7$$

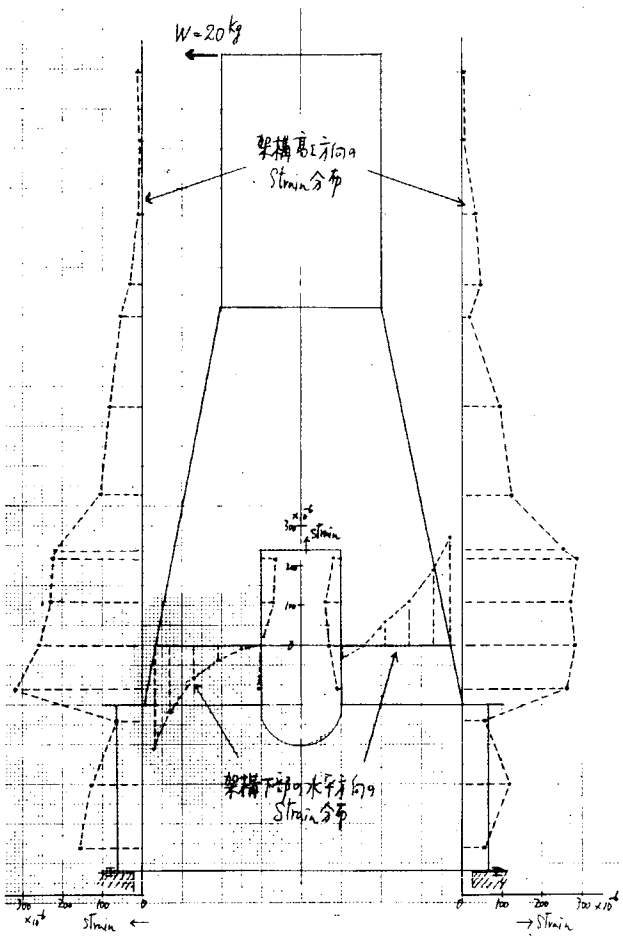
(ii) 架構部外板の有効幅

(55.0+47.5)×30／2	=	1,540
(80.0+55.0)×25／2	=	1,690
(105+80)×27.05／2	=	2,500
(110+105)×8.55／2	=	918
(120+111.0)×13.3／2	=	1,530
		8,178

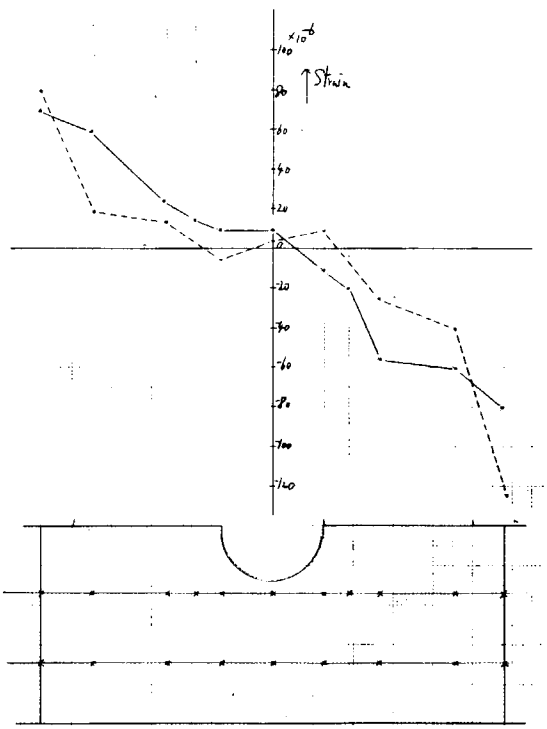
したがつて有効幅leqは

$$120 \times leq = 8,178 \qquad \therefore leq = 68.2$$

この結果をみると、架構部、台板部ともに、外板部に関しては同程度の有効幅をもつているといえるだろう。そして、その有効幅は全幅の65％に相当する。



第3.2.13図　架構各部のひずみ分布



第3.2.14図　台板部ひずみ分布

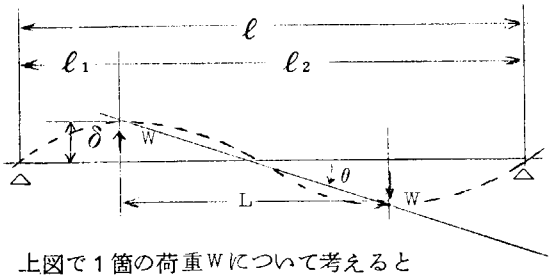
2.2.2　静的試験（基礎が回転剛性を有する場合）

前述のように、基礎が回転剛性を有する場合の実験も行なつた。架構模型をセットした平板の2辺を支持し、基礎に回転剛性をもたせる。

板の寸法は　1,350㎜×1,000㎜×30㎜

材料は塩化ビニルである。

(1)　基礎の回転剛性



上図で1箇の荷重Wについて考えると

$$Y_{X=\ell_1} = -\frac{W\ell^3}{3EI}\left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^2\left(\frac{\ell_2}{\ell}\right)^2$$

$$Y_{X=\ell-\ell_1} = \frac{W\ell^3}{6EI}\left[\left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^4 - \left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^2\left(\frac{\ell_2}{\ell}\right)^2 - 2\left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^3\left(\frac{\ell_2}{\ell}\right)\right]$$

よつて荷重点のたわみδは

$$\delta = (Y)_{X=\ell_1} - (Y)_{X=\ell-\ell_1}$$

$$= \frac{W\ell^3}{6EI}\left[\left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^4 + \left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^2\left(\frac{\ell_2}{\ell}\right)^2 - 2\left(\frac{\ell_1}{\ell}\right)^3\left(\frac{\ell_2}{\ell}\right)\right]$$

ここで　$\ell = 90\,cm$

$\ell_1 = 21\,cm$

$\ell_2 = 69\,cm$

$E = 3.0 \times 10^4\ kg/cm^2$

$I = 298\,cm^4$

$L = 48\,cm$

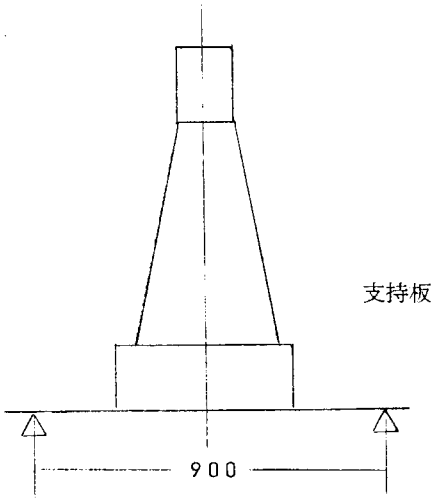
したがつて　　$\delta = 2.11 \times 10^{-4}\,cm$　（$W = 1\,kg$に対して）

回転角　　$\theta = 8.8 \times 10^{-6}$ rad

このときのモーメントは　　$M = WL = 48\,kgcm$

したがつて基礎回転剛性k_θは

$$k_\theta = \frac{M}{\theta} = 5.46 \times 10^6\ kgcm/\text{rad}$$



第3.2.15図　模型支持状態

(2)　載荷状態

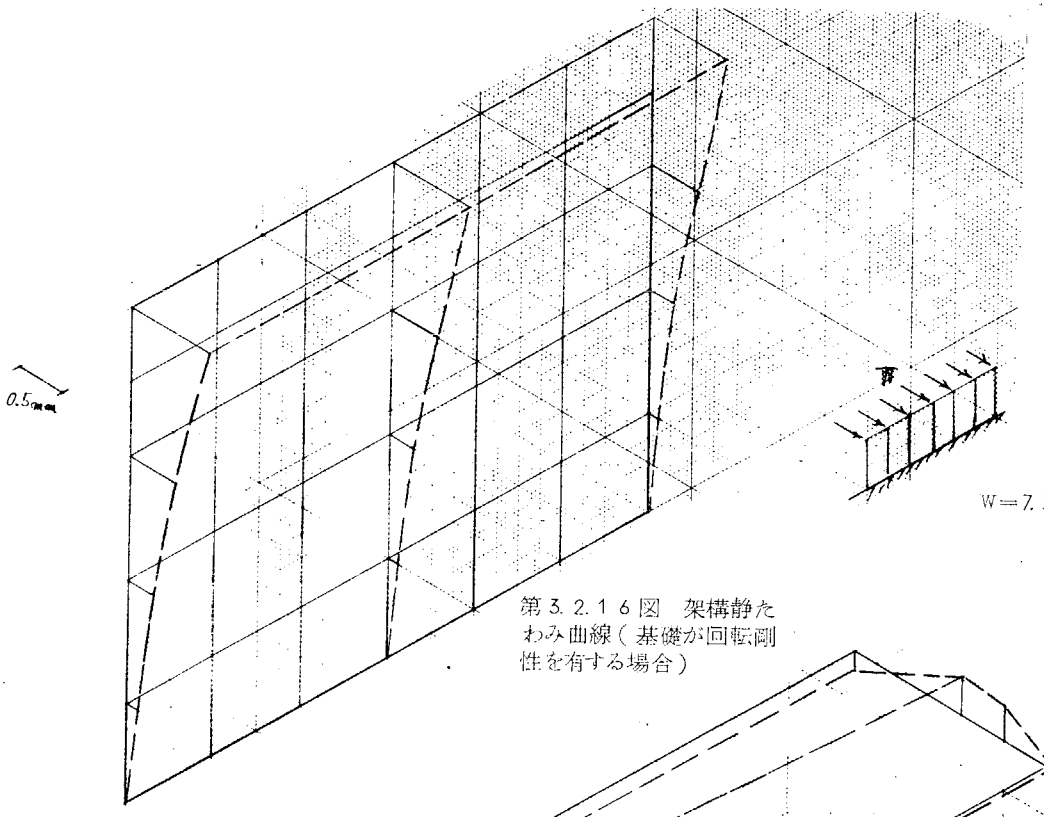
第3.2.4図に示す基礎固定の場合と全く同様である。

第3.2.13、3.2.14図に各々の載荷状態に対する架構および取付板のたわみモードを示す。

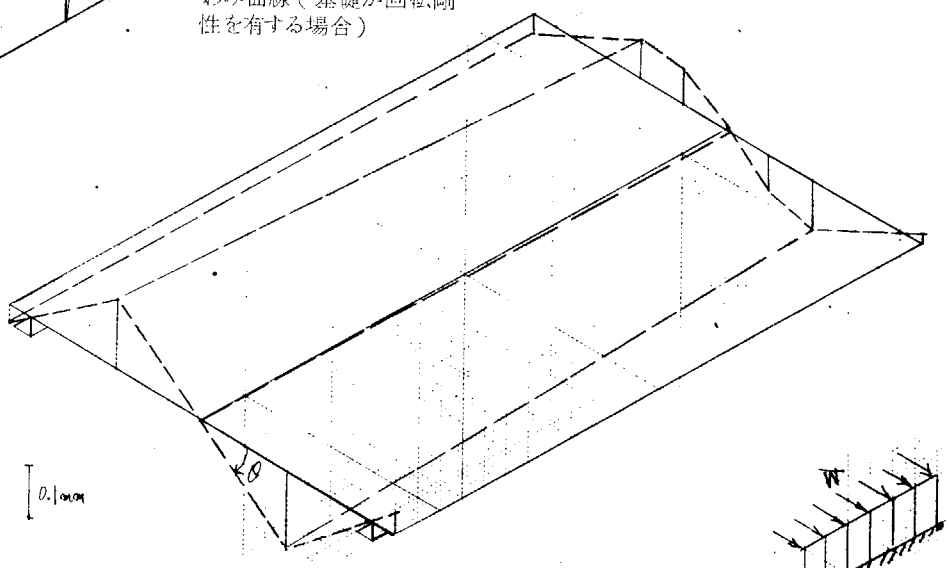
2.2.3　振動実験（基礎固定の場合）

(1)　測定法：

発振器からの出力を電力増幅器で増幅し、Shakerにより模型を加振する。模型の振動は振動計により測定する。また位相の変化は、発振器からの出力をブラウン管のX軸に、振動計からの出力をY軸に入れ、リサージュ図形を描



第3.2.16図　架構静たわみ曲線（基礎が回転剛性を有する場合）



第3.2.17図　架構取付板のたわみ

この結果より基礎回転剛性$k\theta$を求めると、

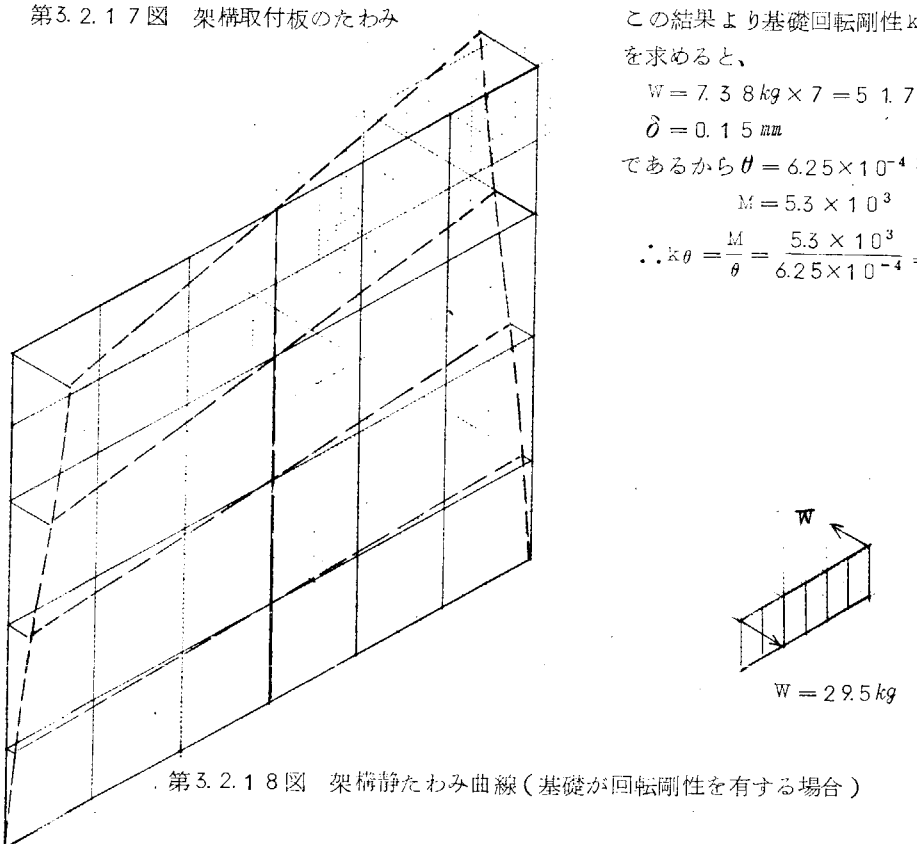
$W = 7.38\,kg \times 7 = 51.7\,kg$

$\delta = 0.15\,mm$

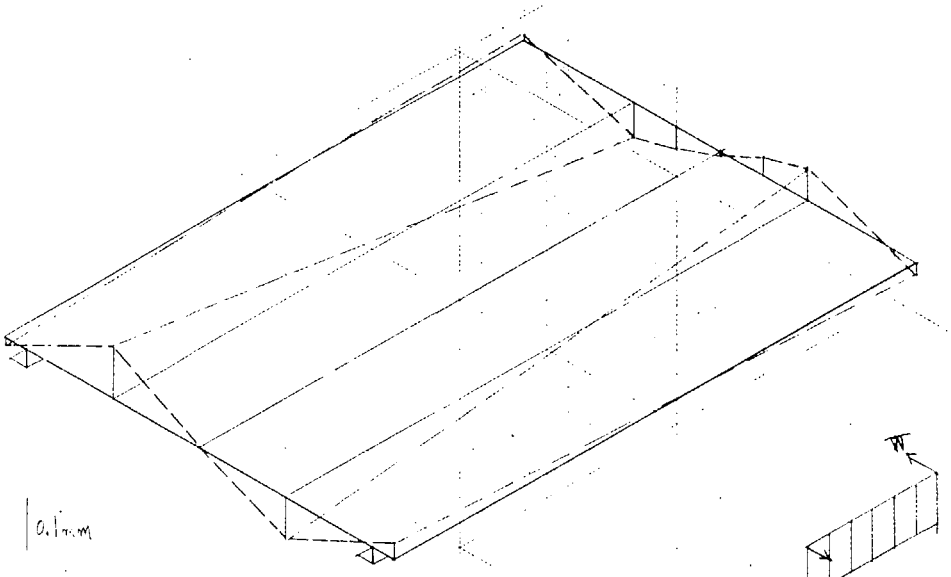
であるから$\theta = 6.25\times10^{-4}$ rad

$M = 5.3\times10^{3}$

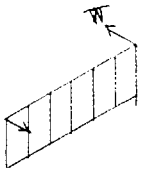
$$\therefore k\theta = \frac{M}{\theta} = \frac{5.3\times10^{3}}{6.25\times10^{-4}} = 8.48\times10^{6}\,kg/\mathrm{rad}$$

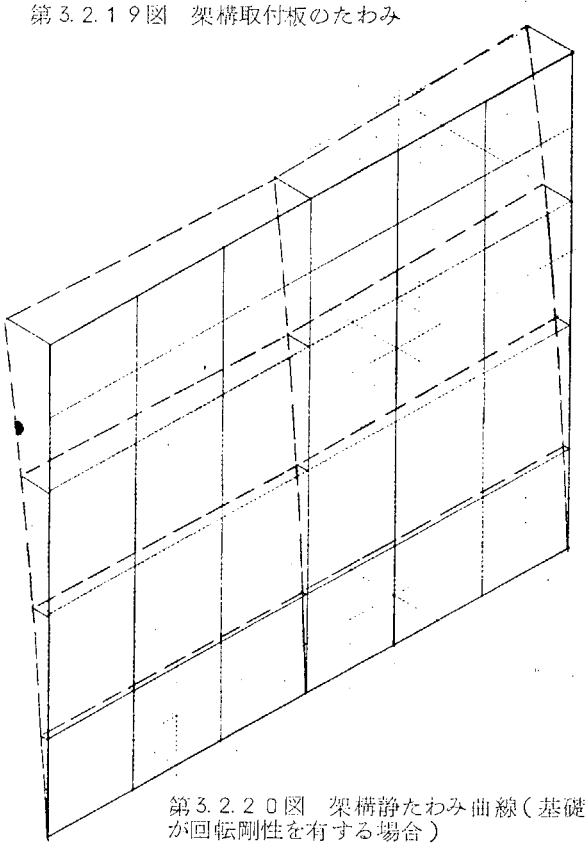


第3.2.18図　架構静たわみ曲線（基礎が回転剛性を有する場合）

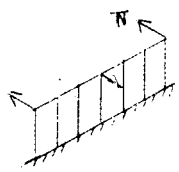


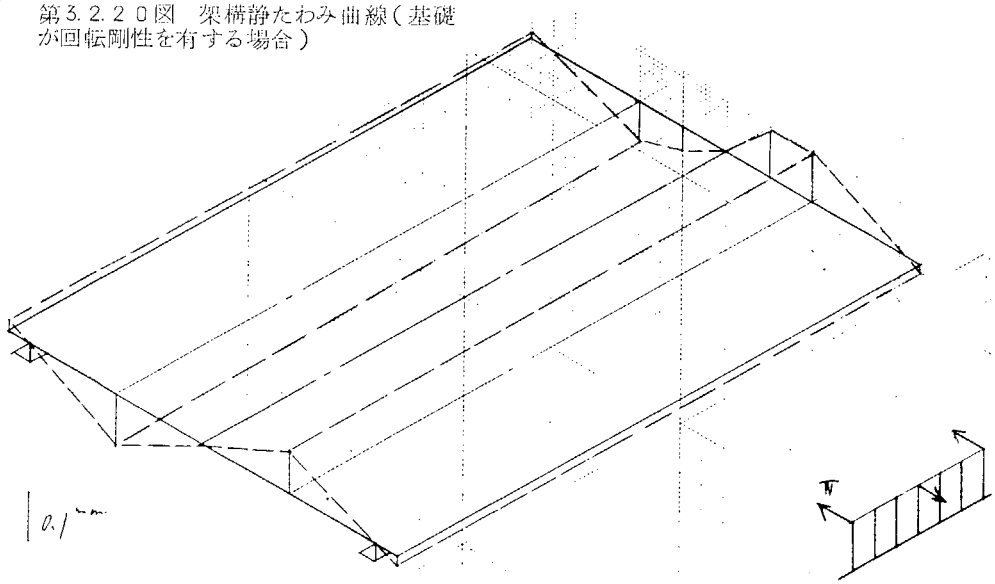
第3.2.19図　架構取付板のたわみ



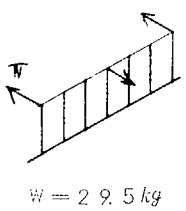


第3.2.20図　架構静たわみ曲線（基礎が回転剛性を有する場合）

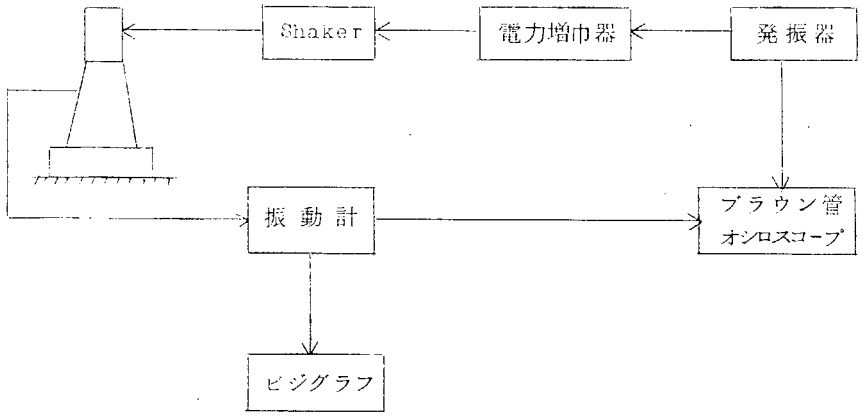




第3.2.21図　架構取付板のたわみ



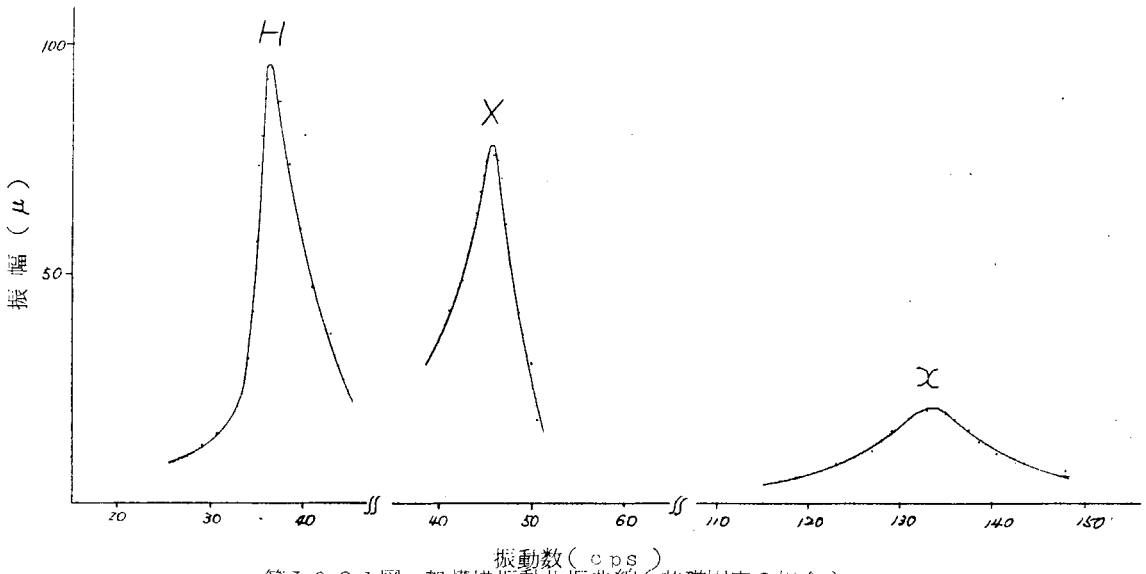
かせることによつて判別する。



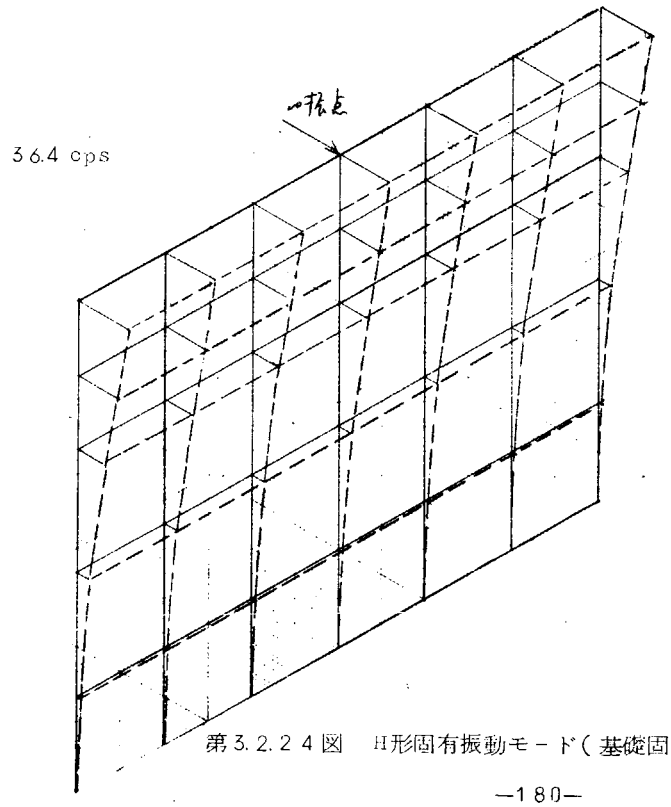
第3.2.22図　測定方法

(2)　実験結果

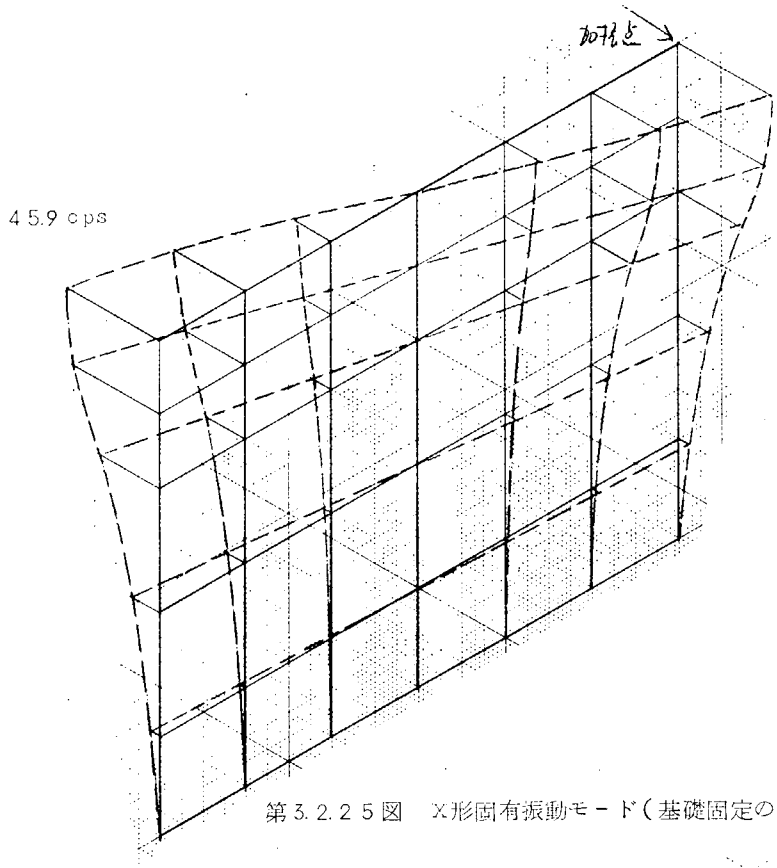
第3.2.23図に共振曲線、第3.2.24～3.2.26図にH、X、x形振動の振動モードを示す。



第3.2.23図　架構横振動共振曲線（基礎固定の場合）



第3.2.24図　H形固有振動モード（基礎固定の場合）

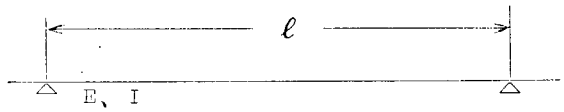


第3.2.25図　X形固有振動モード（基礎固定の場合）

2.2.4　振動実験（基礎が回転剛性を有する場合）

静的試験と同じplateを用い基礎に回転剛性を与える。

plateの固有振動数



張り出し部は無視すると

$$f=\frac{(n\pi)^2}{2\pi\ell^2}\sqrt{\frac{EIg}{A\gamma}}$$

ここで　$I=304\ cm^4$

$\ell=90\ cm$

$A=405\ cm^2$

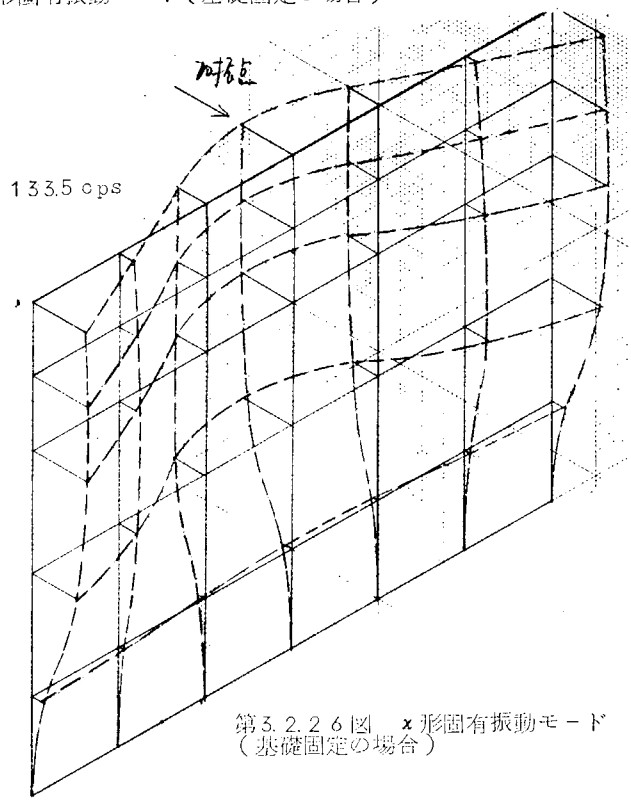
$\gamma=1.38\times10^{-3}\ kg/cm^3$

$E=3.0\times10^4\ kg/cm^2$

$n=1、2\cdots\cdots$

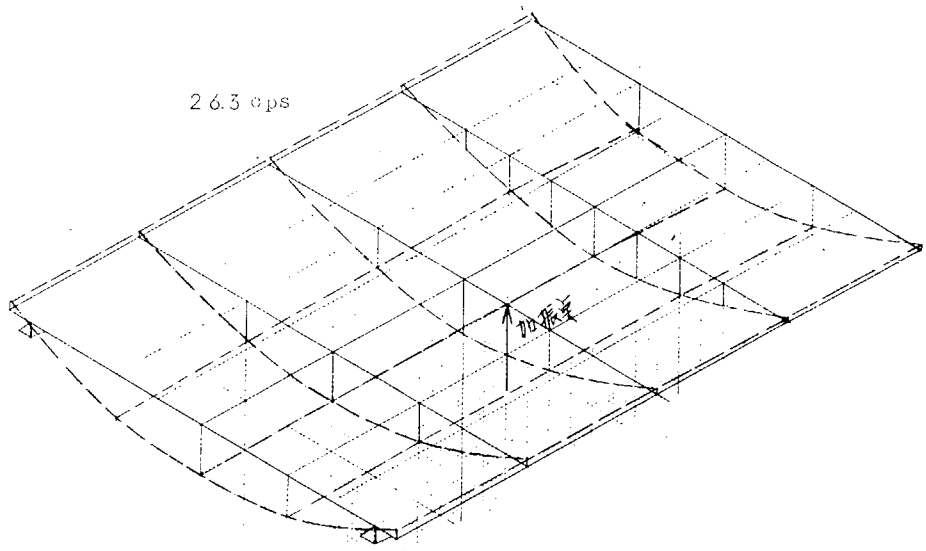
よつて　$f_1=24.6$ cps

$f_2=98.4$ cps

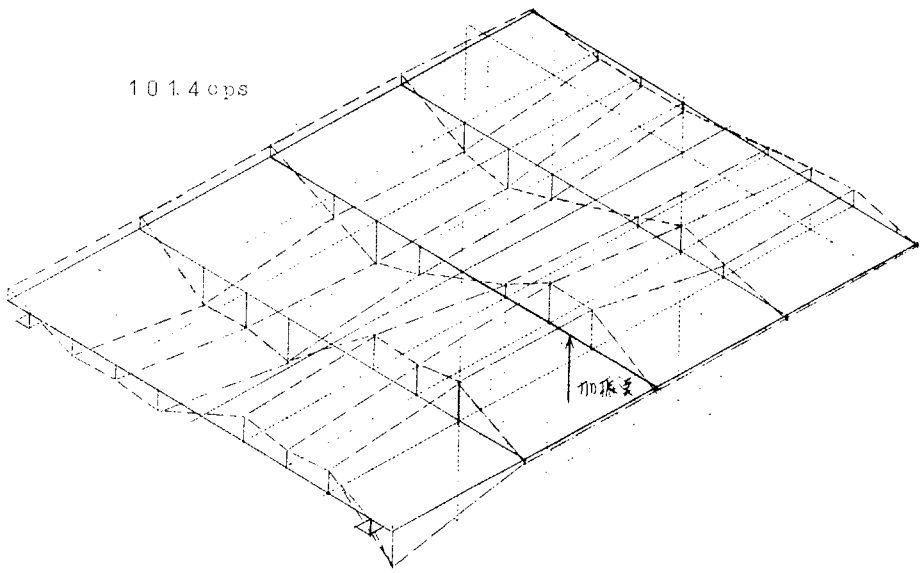


第3.2.26図　x形固有振動モード（基礎固定の場合）

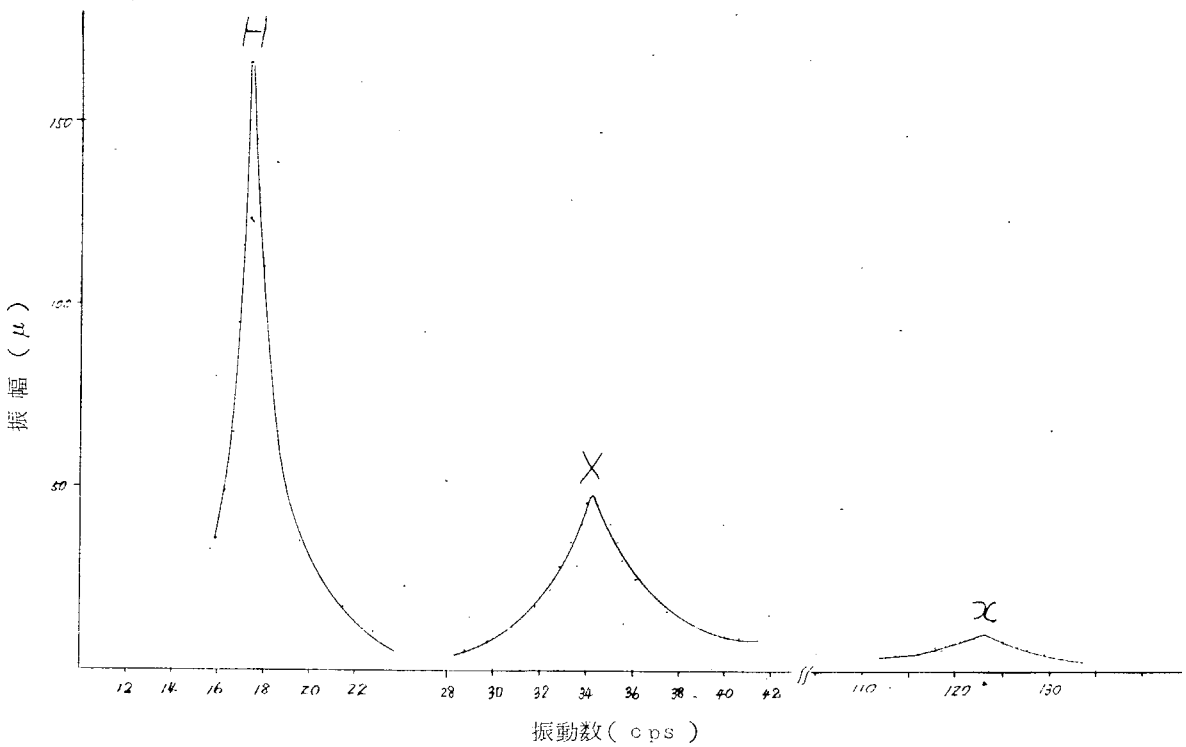
第3.2.27、3.2.28図に架構取付板の固有振動モードの実測結果について示す。



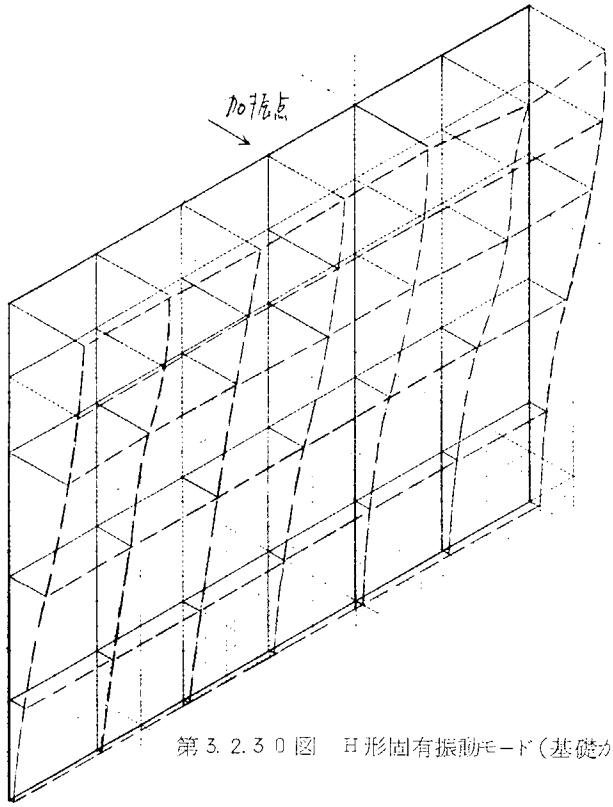
第3.2.27図　架構取付板固有振動モード



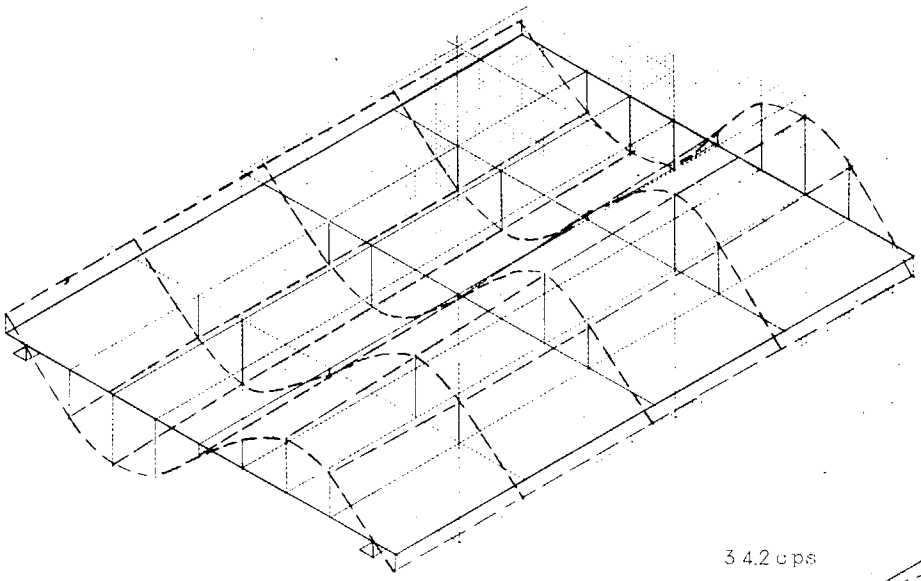
第3.2.28図　架構取付板固有振動モード



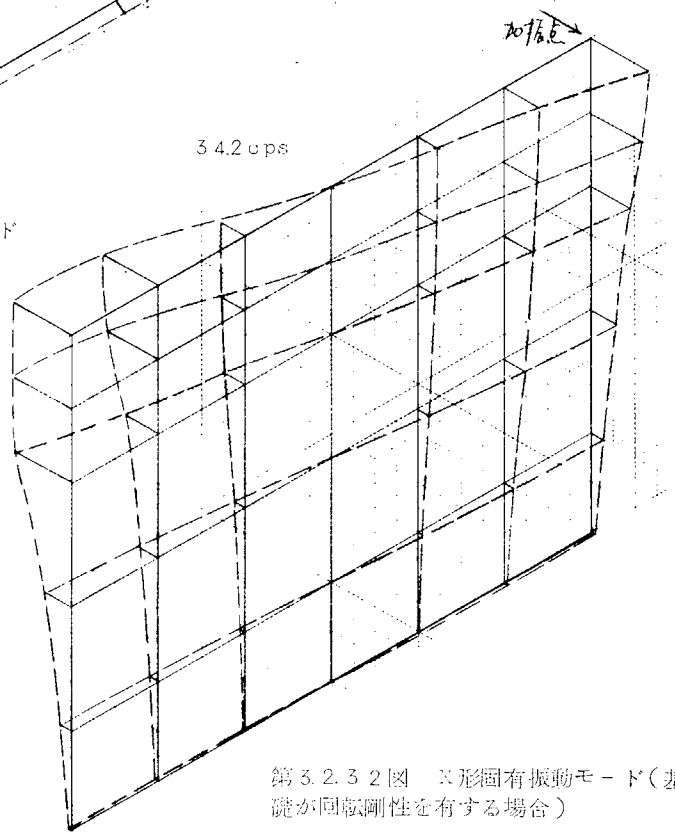
第3.2.29図　架構横振動共振曲線（基礎が回転剛性を有する場合）



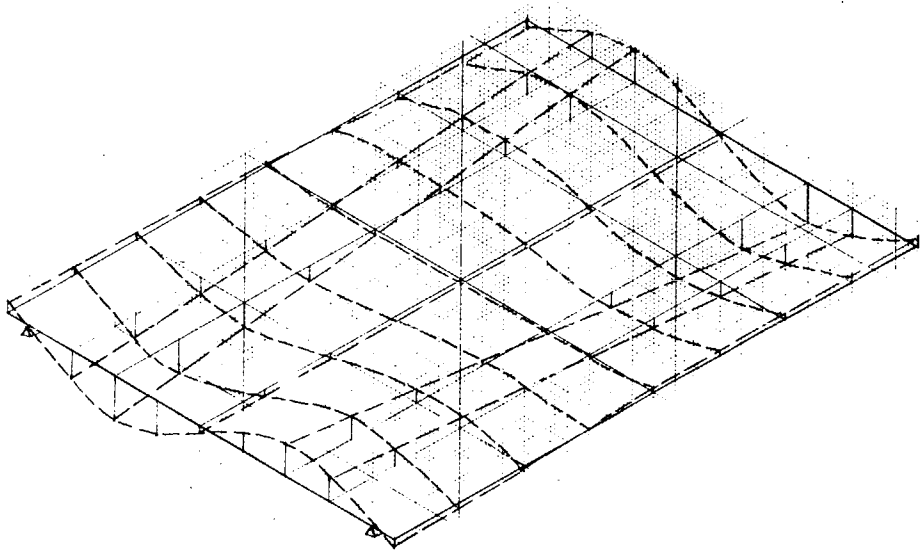
第 3. 2. 3 0 図　H 形固有振動モード（基礎が回転剛性を有する場合）



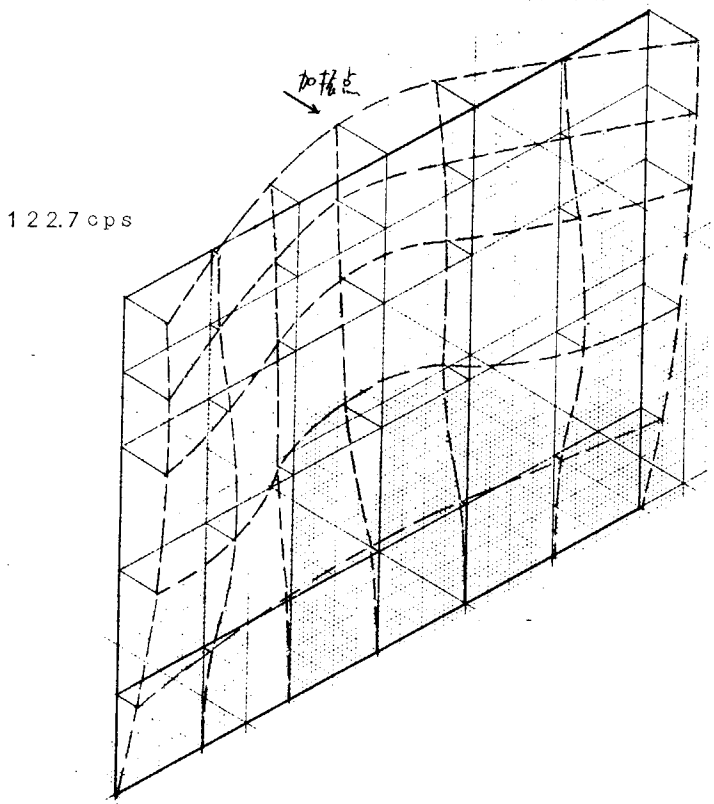
第 3. 2. 3 1 図　H 形固有振動時の架構取付板の振動モード



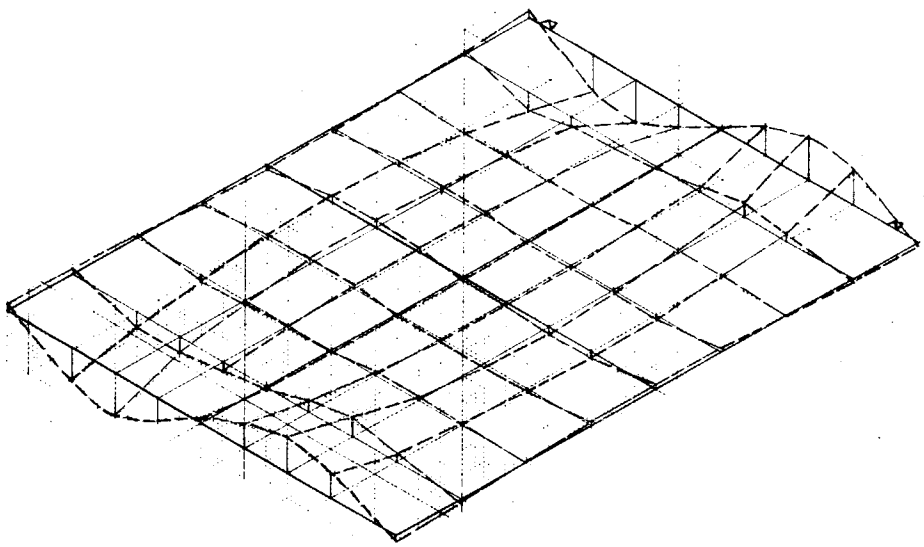
第 3. 2. 3 2 図　X 形固有振動モード（基礎が回転剛性を有する場合）



第3.2.33図　X形固有振動時の架構取付台の振動モード



第3.2.34図　x形固有振動モード（基礎が回転剛性を有する場合）



第3.2.35図　x形固有振動時の架構取付板の振動モード

2.2.5　補足実験

補足実験として次のような実験を行なつた。

(1)　シリンダ・ジヤケツト部曲げ試験

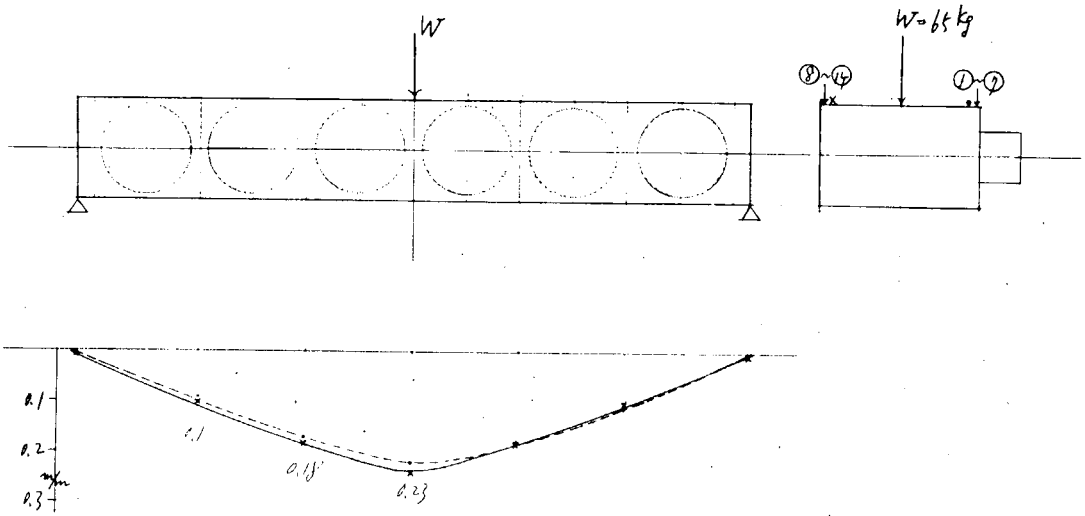
模型のシリンダ・ジヤケツト部のみをとりはずし、第3.2.36図のように両端を単純支持し、中央に集中荷重をかけ、各点のたわみをダイヤルゲージで測定した。

測定結果を第3.2.36図に示す。

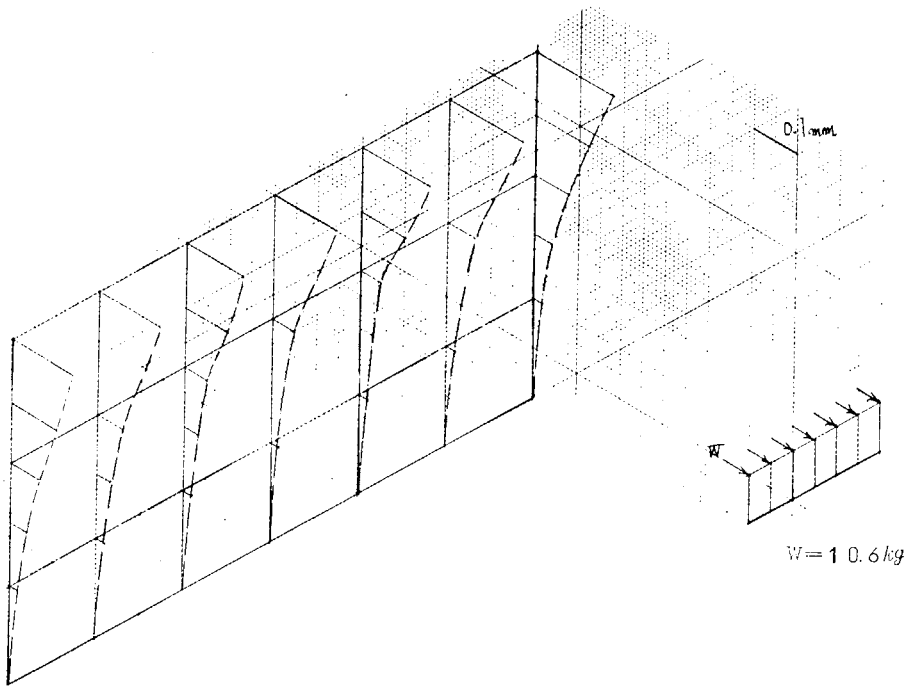
(2)　架構、台板部、静的試験

模型からシリンダ・ジヤケツト部のみをとりはずし、第3.2.37図のように架構部の上端に同一方向に分布荷重を、また、第3.2.38図のように架構部上端の両端を逆方向に荷重をかけ、そのときのたわみをダイヤルゲージで測定した。この場合もちろん、テンションボルトは使用していない。

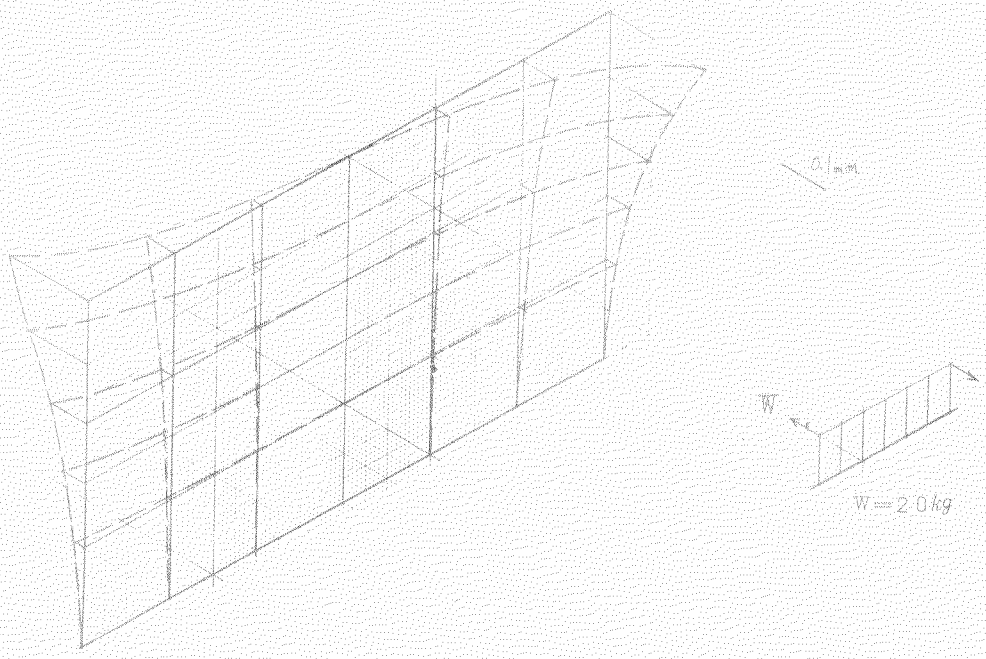
この結果を第3.2.37、3.2.38図に示す。



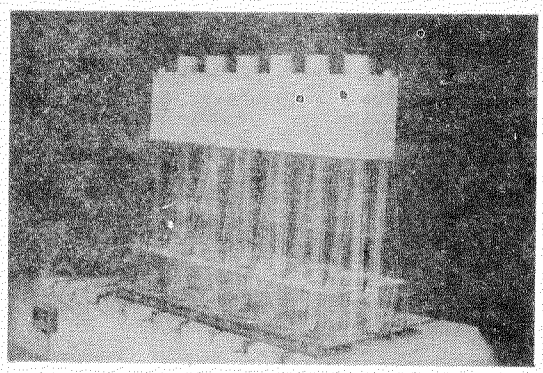
第3.2.36図　シリンダジヤケツト部静たわみ



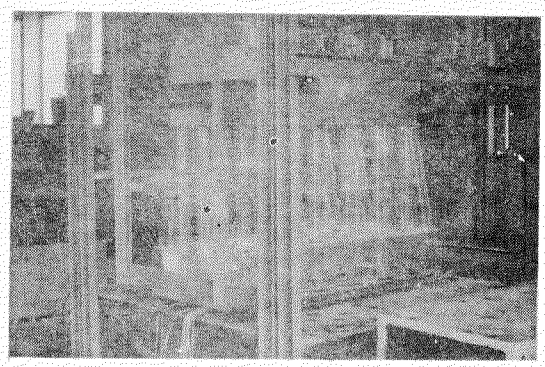
第3.2.37図　架構台板部静たわみ（基礎固定の場合）



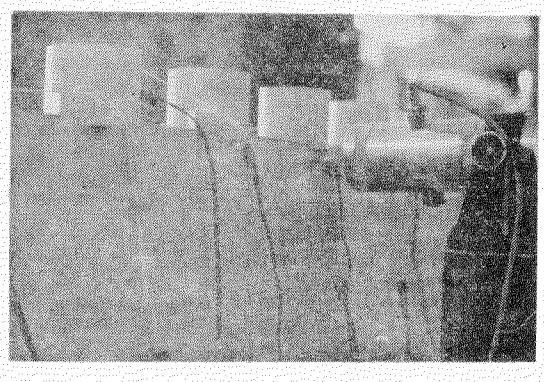
第3.2.38図　架構台板部静たわみ（基礎固定の場合）



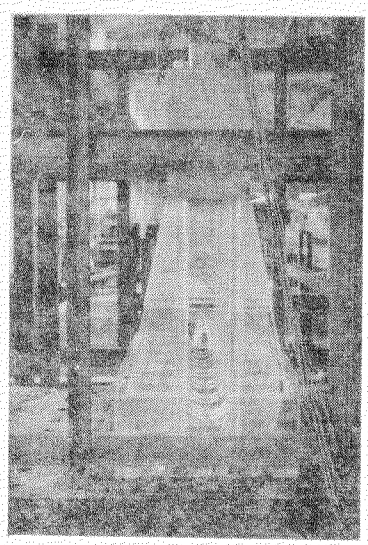
第3.2.39図　架構模型



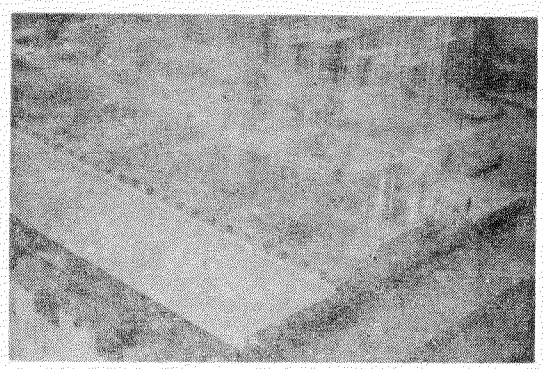
第3.2.41図　架構模型



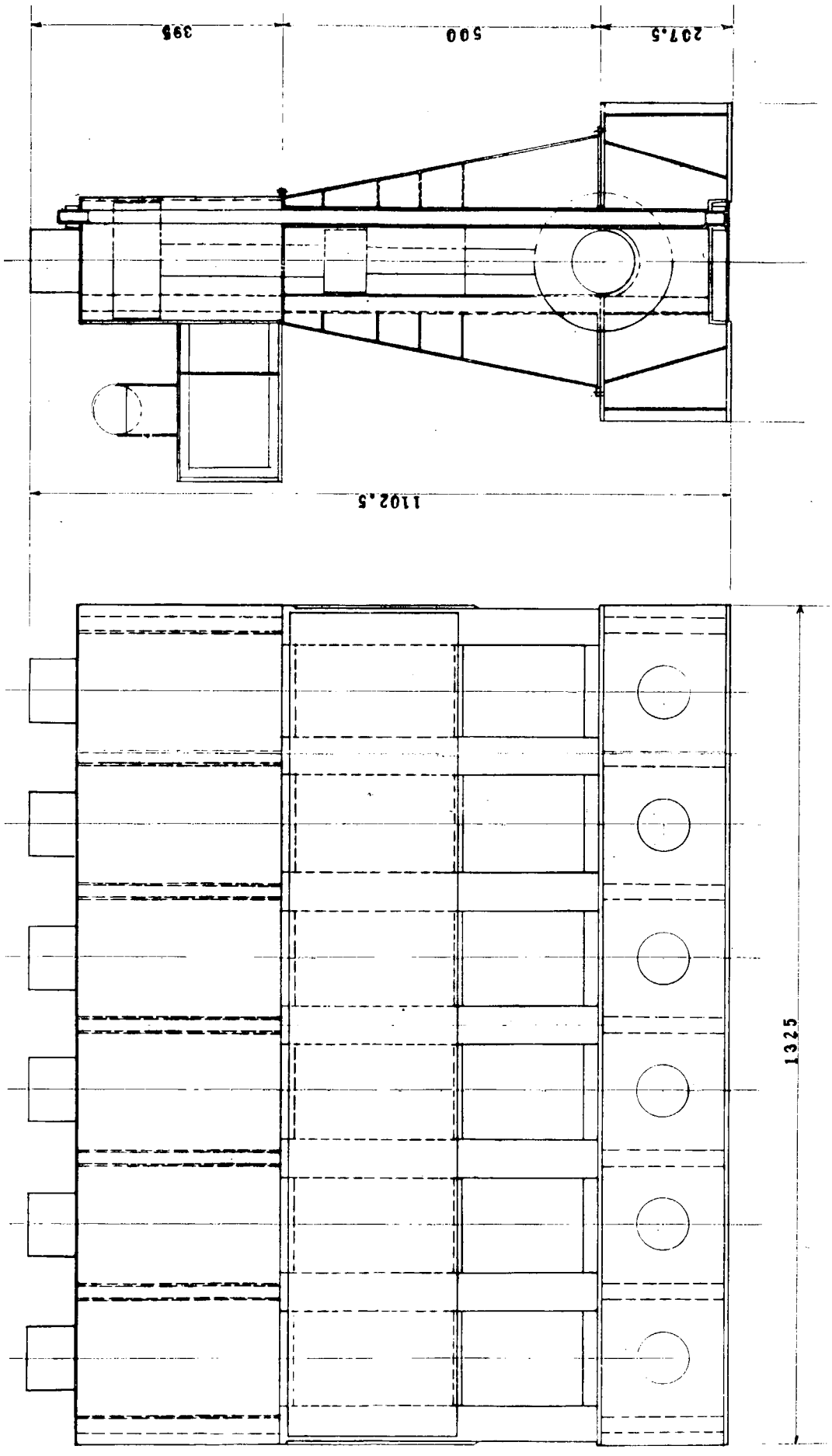
第3.2.42図　加振状態



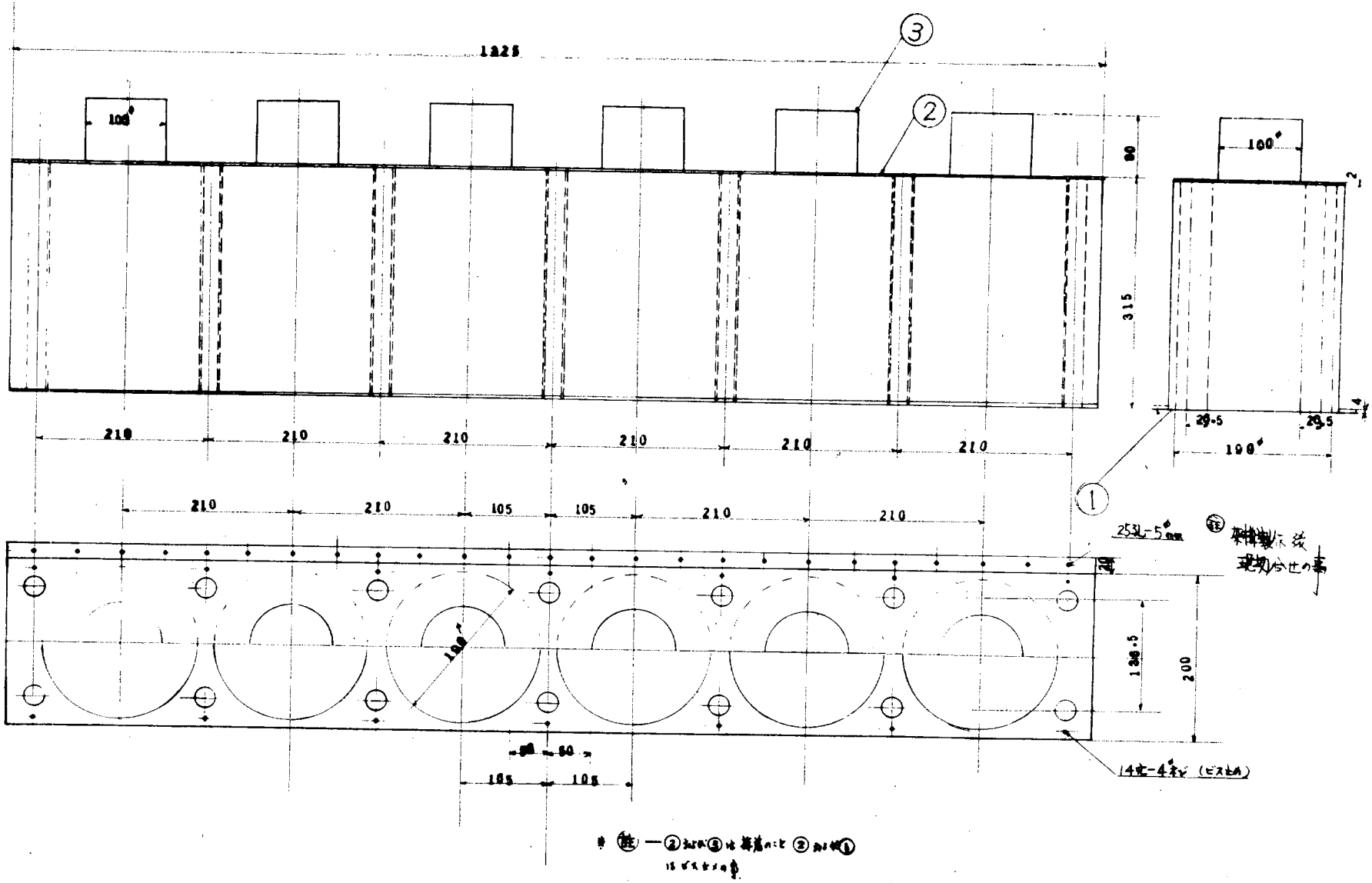
第3.2.40図　架構模型



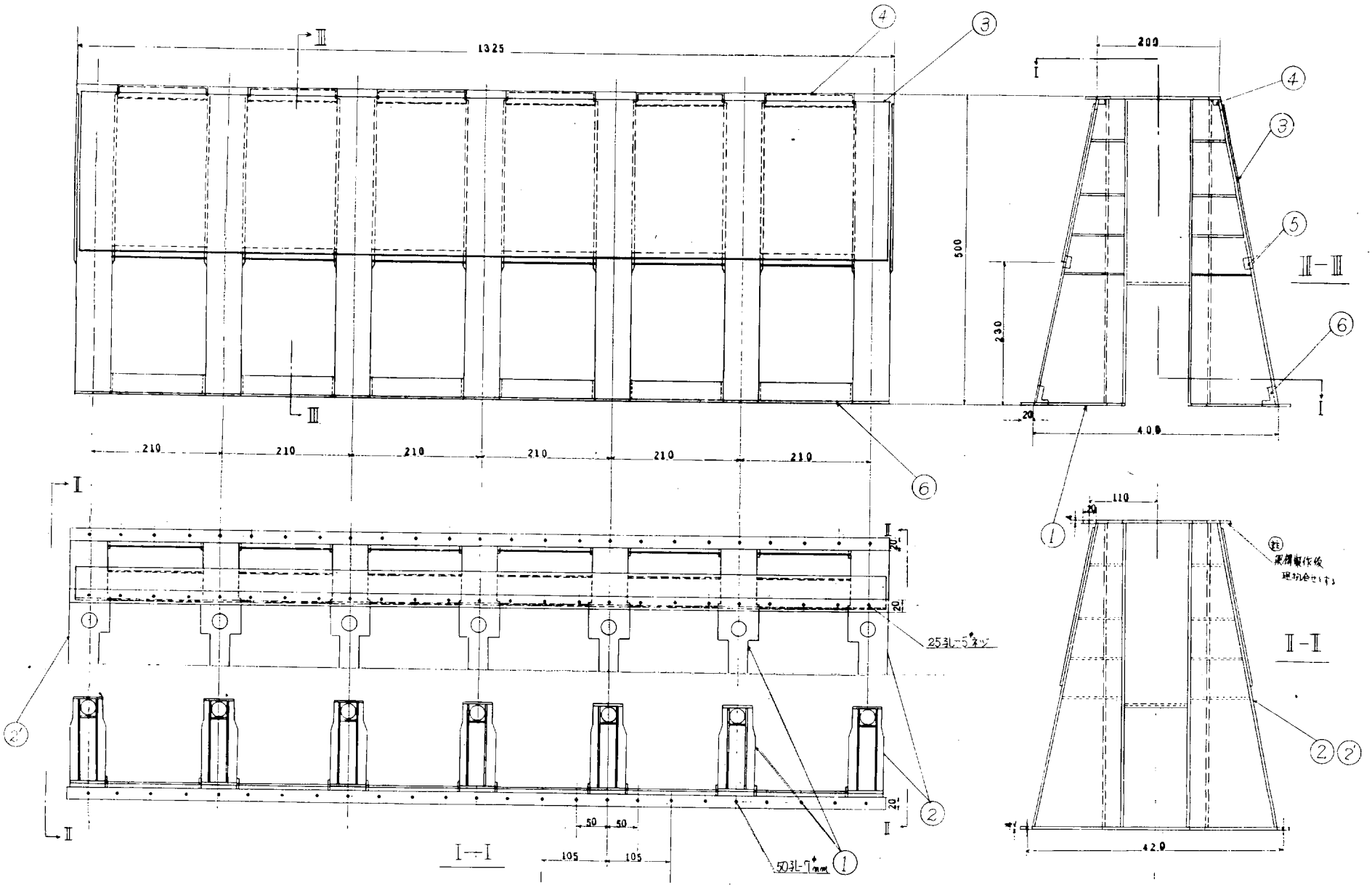
第3.2.43図　架構支持台（基礎が回転剛性を有する場合）



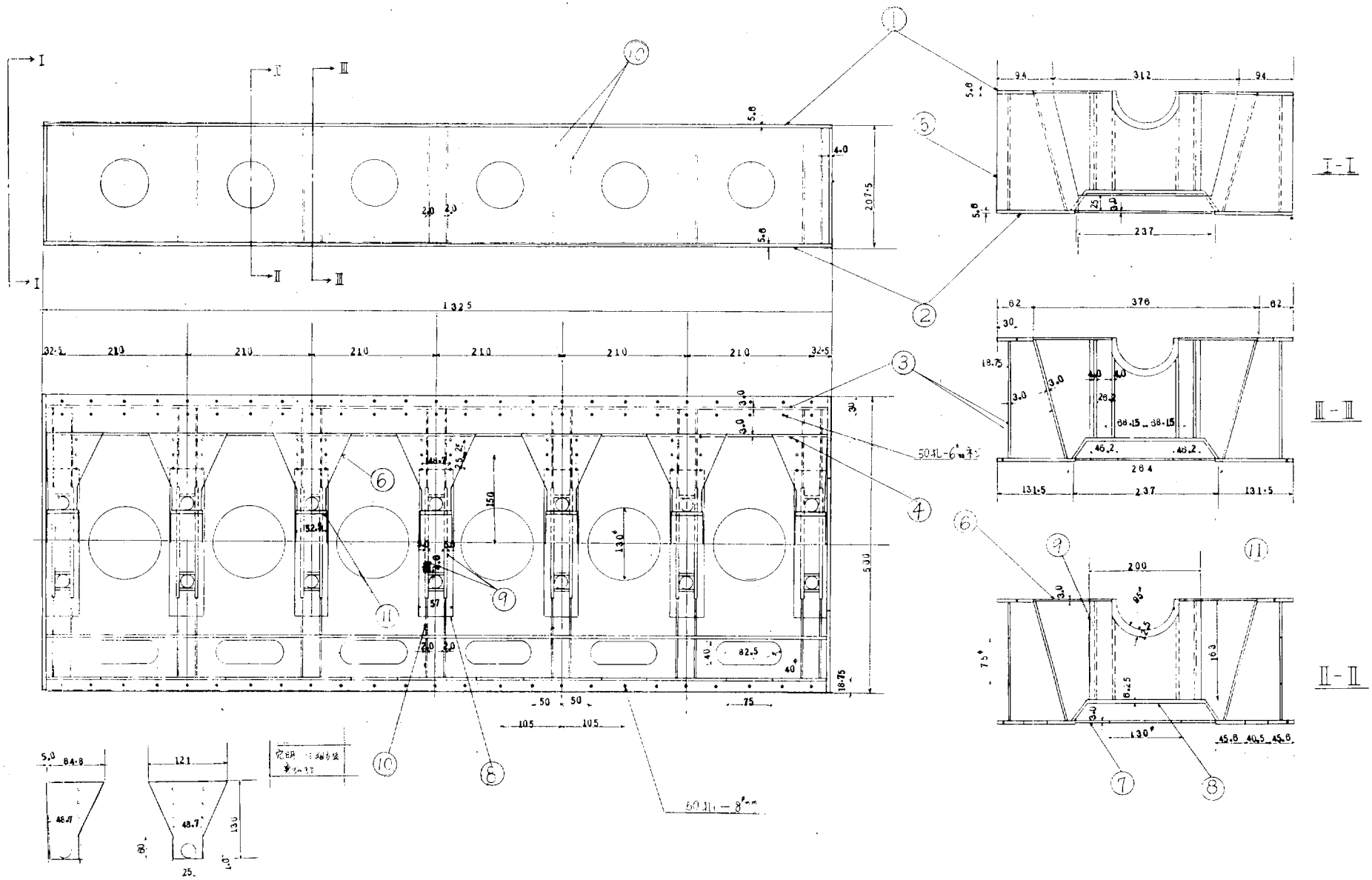
第3.2.44図　6RD90型ディーゼル機関1/8模型総組立図



第3.2.45図　6RD90型ディーゼル機関1/8模型シリンダジャケット図



第3.2.46図　6RD90型ディーゼル機関1/8模型架構組立図



第3.2.47図　6ＲＤ90型ディーゼル機関1/8模型台板組立図

第3章　軸系ねじり縦連成振動の理論解析（三井造船玉野）

3.1　基礎方程式

軸系ねじり縦連成振動の基礎方程式として次式[1]を使用する。

$$M_i\left(\dot{\vec{V}}_{oi}^{(J)}+\dot{\vec{\psi}}_i^{(J)(J)}\right)+T\left(\vec{V}_{oi}+\dot{\vec{\psi}}_i^{(J)}\right)M_i\left(\vec{V}_{oi}+\dot{\vec{\psi}}_i^{(J)}\right)$$
$$+Z_{i-1}\dot{\vec{\psi}}_1^{(K_{i-1})}+B_i\dot{\vec{\psi}}_i^{(J)}+G_{i\,i+1}\,Z_i\,H_{i+1\,i}\dot{\vec{\psi}}_i^{(K_i)}$$
$$+\left(S_{i-1}+R_i+G_{ii}+1\,S_i\,H_{i+1i}\right)\vec{\psi}_i$$
$$=Z_{i-1}\,H_{ii-1}\dot{\vec{\psi}}_{i-1}^{(K_{i-1})}+G_{ii+1}\,Z_i\,\dot{\vec{\psi}}_{i+1}^{(K_i)}$$
$$+S_{i-1}\,H_{ii-1}\vec{\psi}_{i-1}+G_{ii+1}\,S_i\,\vec{\psi}_{i+1}+\vec{\varphi}_i$$

（$i=1\sim N$、Nは等価振動系の剛体個数）

ただし、

- M_i ； 第i剛体の慣性行列
- T ； ベクトルの行列化作用素
- Z_i ； M_i と M_{i+1} の間のダンピング行列
- B_i ； M_i と基礎の間の減衰行列（軸受のダンピング）
- $G_{i\,i+1}$ ； M_{i+1} の重心から M_i の重心への下側伝達行列
- $H_{i\,i+1}$ ； 〃　　上　〃
- S_i ； M_i と M_{i+1} の間の剛性行列
- R_i ； M_i と基礎の間の剛性行列（軸受の剛性）
- $\vec{V}_{oi}$ ； M_i の平均速度ベクトル
- $\vec{\psi}_i$ ； M_i の振動変位ベクトル
- $\vec{\varphi}_i$ ； M_i に働く荷重ベクトル
- $\dot{}^{(J)}$ ； 基礎に固定した座標系Jに対する成分によつて行なつた時間微分
- $\dot{}^{(K_i)}$ ； M_i に固定した座標系 K_i に対する成分によつて行なつた時間微分

ベクトル $\vec{V}_{oi}$、$\vec{\psi}_i$ は並進とともに回転を表わす6次元ベクトルであり、$\vec{\varphi}_i$ は力とともにモーメントも表わす6次元ベクトルである。また M_i、Z_i 等の各行列はこれら6次元ベクトル間の1次変換を表わす6行6列の行列である。

この方程式を解いて $\vec{\psi}_i$ を求めることが最終目標である。

3.2　基礎方程式中の諸行列および $\vec{V}_{oi}$、$\vec{\varphi}$ の算出

基礎方程式中の行列は各々36個の要素からなり、これが各剛体当り数個ある。軸系振動計算では剛体の個数Nは15～20個で数1,000個の数値が必要なので手計算して計算機にinputすることは不可能である。

したがつて軸系の構造諸元（着火順序、クランク差角、標準姿勢におかれた単一クランクスローまたは半クランクスローの慣性モーメント、慣性乗積、連成ばね定数、クランク部と平担軸部のつながり方等の最小限必要なデータのみ）をinputして計算機内で、これから行列の要素を算出させる必要がある。$\vec{V}_{oi}$、$\vec{\varphi}$ についても同様である。

3.3　自然振動数の計算

基礎方程式は左辺第2項に ψ_i の2次の項を含む非線形方程式であるが実用的見地からこれを線形近似し、さらに固有値問題になおして解く。しかし、一般に行列の固有値問題の解に要する時間は行列の次数の4乗に比例する。この基礎方

程式では各剛体に1個の運動自由度しかない純粋のねじれ振動や縦振動方程式の6倍の次数になるので、出てくる行列の特殊性を利用して計算時間を短縮することが絶対に必要である。また行列要素の記憶のための所要spaceもできるだけ小さくしないとかなり大形の計算機でも記憶容量不足になる。

これらの目的の一つまたは両方を達成するための方法について種々検討したが現在次の3通りのやり方を考えている。

i）Unit分割法（IBMの構造解析プログラム" FRAN "で使われているもの）

ii）Myklestadt法（一般化Holzer法）

iii）純粋ねじれ振動および純粋縦振動方程式を使つて、自然振動数の近似値を求めること。

以上の方法中i）、ii）は正確な自然振動数を与え、iii）は近似値しか与えないが、ねじり振動と縦振動の自然振動数が接近した値である場合を除けばこの近似値は実用上十分な精度を持つている。またプログラムが簡単で計算時間も短くてすむので通常の計算はiii）によつて行ない、上記ねじり、縦の振動数が近い場合だけ必要に応じてi）またはii）で正確に計算するのがよい。

3.4 振動モードと振幅の計算

振動モードは3.3で求めた自然振動数を連成振動方程式に代入して出る連立1次方程式を解けば得られる。〔3.3でi）かii）の方法を使う場合は自然振動数とともに連成振動モードも出るのでこの計算は不要である。〕

振幅は減衰と起振力を入れた基礎方程式から出てくる複素連立1次方程式を直接解くか、ベクトル和を使うかすれば算出できる。

3.5 あとがき

本年度は以上、基礎方程式を解くための可能な方法についての検討を行なつた。次年度（43年度）に具体的プログラムの完成、計算および本年度行なわれた実測結果との比較を行なう予定である。

参考文献

1）漆　原　クランク軸縦振動についての理論的一考察、日本舶用機関学会誌　Vol.1 No. 3、1966

第4章　クランクスロー モデル挠性試験（三井造船玉野）

4.1 目　　的

この実験の目的は、第3編第3章に説明した軸系連成振動方程式の数値解を求める際必要となるクランクスローの連成変形特性を実物クランクの縮尺モデルを使つて決定することである。

方程式中に出てくるのはクランクジヤーナル中心 — クランクウエーブ — クランクピン中心に至る半クランクスローの剛性行列で、本実験でもジヤーナル中心とピン中心の間の種々の荷重による変形を測定する。

4.2 計測方法

クランクジヤーナルの中心をA、クランクピンの中心をBとし、A、Bの変位を6次元ベクトル

$$\psi_A = \begin{Bmatrix} u_{Ax} \\ u_{Ay} \\ u_{Az} \\ \theta_{Ax} \\ \theta_{Ay} \\ \theta_{Az} \end{Bmatrix} \quad , \quad \psi_B = \begin{Bmatrix} u_{Bx} \\ u_{By} \\ u_{Bz} \\ \theta_{Bx} \\ \theta_{By} \\ \theta_{Bz} \end{Bmatrix}$$

で表わす。ただし、xはジヤーナル中心Aから向い側のジヤーナル中心に向う軸に平行な座標、yはウエブ長軸に平行で回転中心からピン中心に向う座標、zはx、yとともに右手直交系を作るような座標であり、uはそれら各座標方向の並進変位、θは各座標方向のまわりの微小回転変位である。

A、B間の実質的変形はAに対するBの相対変位ψ_{AB}によつて表わすことができ、これもψ_A、ψ_Bと同様、次の形の6次元ベクトルである。

$$\psi_{AB} = \begin{Bmatrix} u_{ABx} \\ u_{ABy} \\ u_{ABz} \\ \theta_{ABx} \\ \theta_{ABy} \\ \theta_{ABz} \end{Bmatrix}$$

ψ_{AB}はψ_A、ψ_Bから次式で算出できる。

$$\psi_{AB} = \psi_B - H_{BA}\,\psi_A$$

ここでH_{BA}は点A、Bの位置座標（x_A、y_A、z_A）、（x_B、y_B、z_B）から決る次の形の行列である。

$$H_{BA} = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & z_B - z_A & y_A - y_B \\ 0 & 1 & 0 & z_A - z_B & 0 & x_B - x_A \\ 0 & 0 & 1 & z_B - y_A & x_A - x_B & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

ψ_A、ψ_BはA、Bとともに動くようにクランクに取り付けたそれぞれ6個の枝を持つ電極棒の各枝の先端の電極の変位の測定値から算出する。

これら電極はコンデンサの1極になつており、これに対応しておかれた静止電極との間の間隙変化による容量変化から枝先端の変位を知ることができる。

点AからBに至るクランクの部分に、Bを通るピン横断面を通して働く荷重を次の6次元ベクトルφ_Bで表わす。

$$\varphi_B = \begin{pmatrix} F_{Bx} \\ F_{By} \\ F_{Bz} \\ M_{Bx} \\ M_{By} \\ M_{Bz} \end{pmatrix}$$

ただしFはそれぞれの座標方向の力の成分、Mはそれぞれの座標方向まわりのモーメントである。

AからBに至るクランクの部分（半クランクスロー）の撓性行列を$\mathbf{F}$、剛性行列を$\mathbf{S}$とすると、荷重φ_B、変形ψ_{AB}の間には関係

$$\varphi_B = \mathbf{S}\ \psi_{AB}$$

$$\psi_{AB} = \mathbf{F}\ \varphi_B$$

が成り立つ。もちろん、$\mathbf{S}=\mathbf{F}^{-1}$である。

行列$\mathbf{S}$または$\mathbf{F}$は$6\times6=36$個の要素を持ち、これらすべてを決定するには互に1次独立な6個の荷重ベクトルφ_Bに対する6個の変形ベクトルψ_{AB}を計測すればよい。この1次独立な6個の荷重ベクトルを実現するため実験装置の配置を6通りに変化させて計測を行なつた。

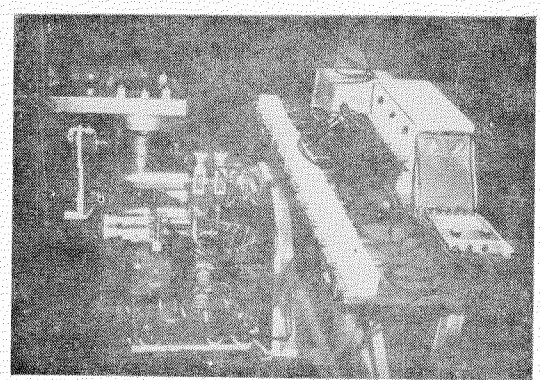
第3.4.1図a、bに装置の外観を示す。第3.4.2図a～fは上記6通りの荷重方法を示す。

4.3 計測結果の解析と検討

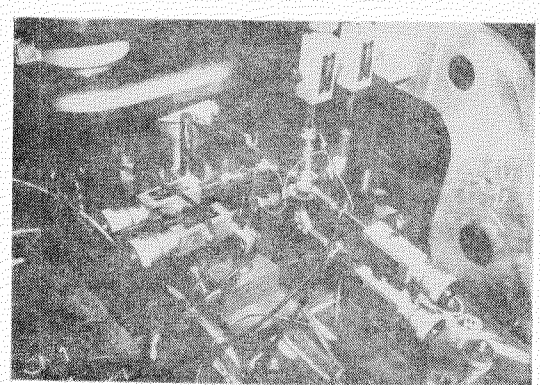
第3.4.1、3.4.2表に計測値の解析結果を示す。第3.4.1表は6種の荷重方法（Arrangement 1～6で示す）で各々1,000kgの荷重をかけたときの荷重ベクトルφ_Bとそれに対応する変形ベクトルψ_{AB}を計測値から算出したものである。

第3.4.2表は第3.4.1表から算出したAからBに至る半クランクスローの撓性行列$\mathbf{F}$と剛性行列$\mathbf{S}$を示す。

第3.4.1、3.4.2表の計算は別に手計算したものをチエックのため電子計算機に行なわせたものであるが、結果は手計算の誤りが1個所発見された以外は、同じ結果が得られた。



第3.4.1図a 実験装置全体配置



第3.4.1図b 変位計測用電極部分

しかし、第3.4.2表の$\mathbf{F}$と$\mathbf{S}$は非対称行列であり、Maxwellの相反定理と矛盾し、明らかに誤つている。また主対角線に負の要素があることも不合理である。

第3.4.3表は比較のために梁理論（曲げの他にねじり、せん断、引張り、変形も算入したもの）によつて計算した撓性行列と剛性行列である。これらはMaxwellの相反定理から要求される対称性を持ち、主対角線要素もすべて正である。なお、撓性行列と剛性行列の第1、2、6行の第3、4、5列成分、およびこれらと主対角線に関し対称な位置にある成分が0になつているが、これはクランクがジヤーナル中心線とピン中心線を含む平面に関し面対称になつているためで、この点からも第3.4.2表の実測から得られた撓性行列、剛性行列は理解できない。

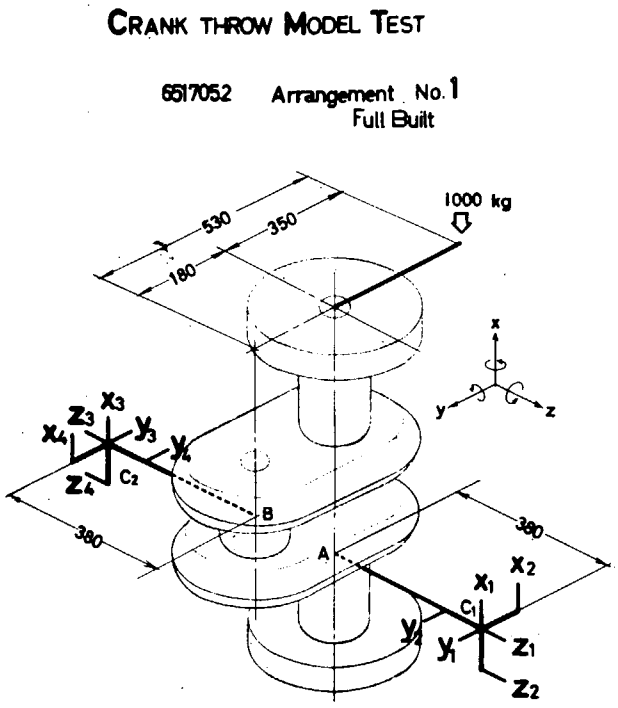
第3.4.4表は、第3.4.3表の撓性行列から前記6種の荷重方法（Arrangement 1～6）に対する変形ベクトルψ_{AB}の理論値を算出したもので、荷重の大きさは第3.4.1表の場合と同じく、1,000kgとしている。なお、第3.4.1～3.4.4表中のUx～THZは$u_{ABx}\sim\theta_{ABz}$と同じ意味であり、FX～MZは$F_{Bx}\sim M_{Bz}$と同じ意味である。

第3.4.1表を第3.4.4表と比較すると、理論ではArrangement 1、2、5のようにクランク対称面に関し対称的

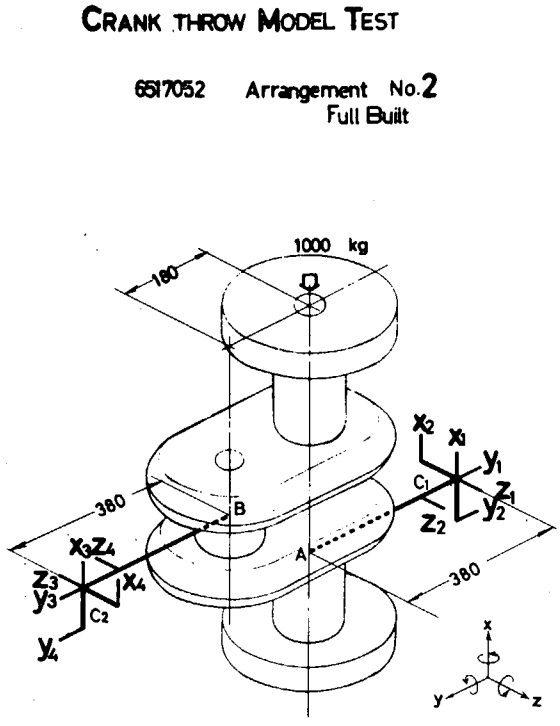
に荷重する場合はＵＺ、ＴＨＸ、ＴＨＹは対称性から当然予想されるように０になるが、実測では必ずしもそうなつておらず、非対称にひねられて変形する傾向があるように見える。

以上のように実験は失敗に終つたが、これがいかなる原因によるのか、いまのところ全くわからない。クランクの変形に伴いコンデンサの極板が平行でなくなるが、これによる相対誤差はこの実験では0.1％以下であり、問題にならないはずである。

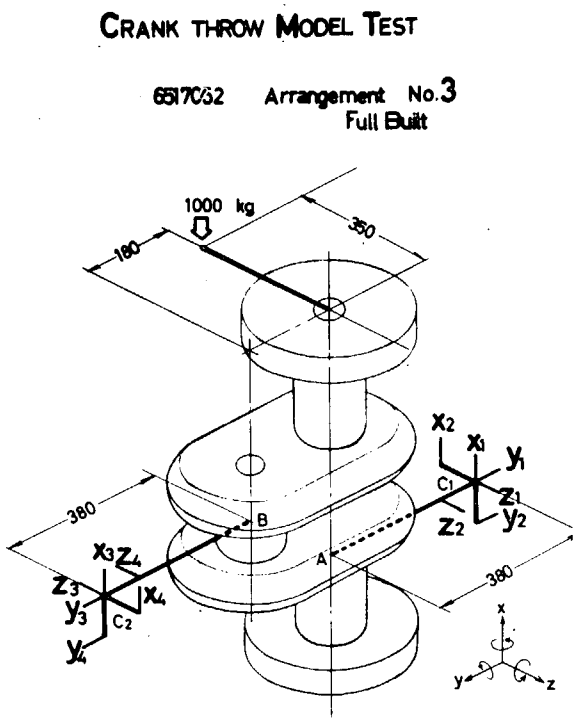
他に考えられる原因としては、荷重点の球面座に圧縮力だけでなく、かなり大きい摩擦力が働いている可能性、電極棒をクランクに取り付ける二つ割り保持リングの変形、変位計の電気的不安定等があるがこれらを調べるのはかなり困難と思う。



第3.4.2図a　荷重方法（その１）



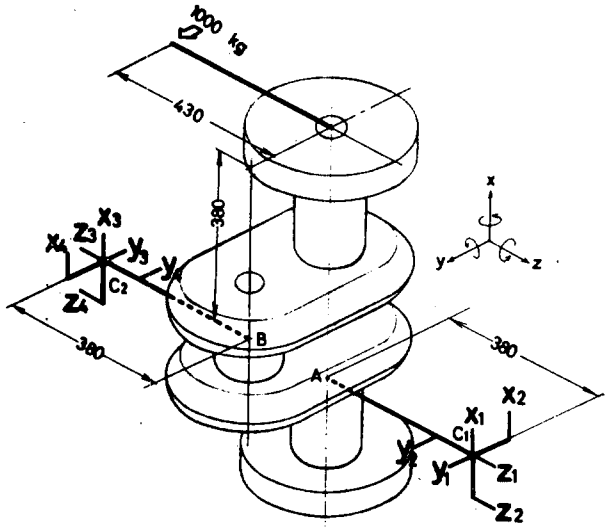
第3.4.2図b　荷重方法（その２）



第3.4.2図c　荷重方法（その３）

CRANK THROW MODEL TEST

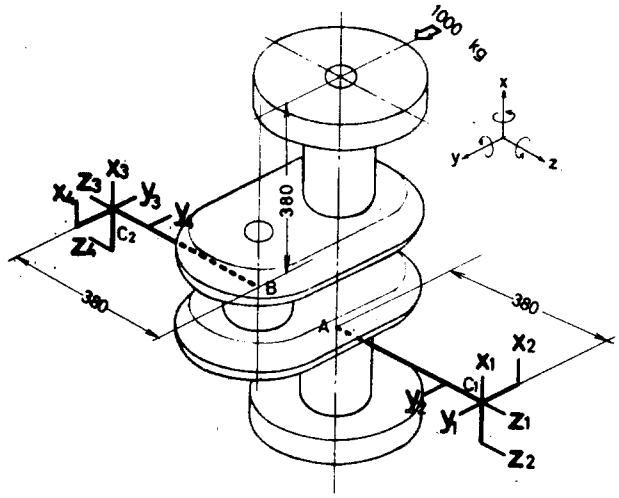
6517052 Arrangement No. 4
Full Built



第3.4.2図d　荷重方法（その4）

CRANK THROW MODEL TEST

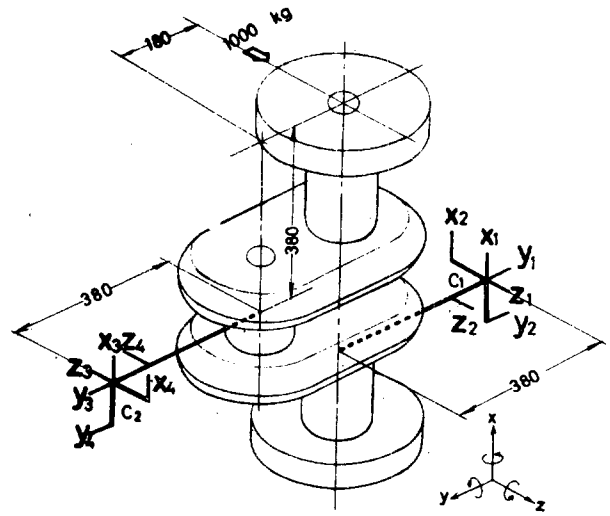
6517052 Arrangement No. 5
Full Built



第3.4.2図e　荷重方法（その5）

CRANK THROW MODEL TEST

6517052 Arrangement No. 6
Full Built



第3.4.2図f　荷重方法（その6）

第3.4.1表　実測変形ベクトル

ANALYSIS OF FLEXIBILITY TEST OF FULL BUILT

LOAD VECTOR (KG-CM*KG) AND DEFORMATION VECTOR(CM-RAD)

ARRANGEMENT ARRANGE 1						
LOAD VECTOR	-0.10000E 04	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.53000E 05
DEFORMATION VECTOR	-0.24997E-04	-0.62175E-02	-0.64826E-08	0.10000E-03	0.42600E-09	-0.57500E-03
ARRANGEMENT ARRANGE 2						
LOAD VECTOR	-0.10000E 04	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.18000E 05
DEFORMATION VECTOR	-0.23750E-02	-0.61500E-03	0.22309E-09	0.0	0.12500E-03	-0.13750E-03
ARRANGEMENT ARRANGE 3						
LOAD VECTOR	-0.10000E 04	0.0	0.0	0.0	0.35000E 05	-0.18000E 05
DEFORMATION VECTOR	0.50000E-02	-0.10000E-03	-0.86501E-03	-0.12500E-04	0.15000E-03	-0.50000E-04
ARRANGEMENT ARRANGE 4						
LOAD VECTOR	0.0	0.10000E 04	0.0	0.43000E 05	0.0	0.38000E 05
DEFORMATION VECTOR	-0.73000E-02	0.27600E-02	0.16925E-02	0.37500E-04	-0.15000E-03	0.10000E-03
ARRANGEMENT ARRANGE 5						
LOAD VECTOR	0.0	0.10000E 04	0.0	0.0	0.0	0.38000E 05
DEFORMATION VECTOR	-0.88750E-02	-0.31475E-02	-0.10250E-02	0.30000E-03	0.24999E-04	0.98750E-03
ARRANGEMENT ARRANGE 6						
LOAD VECTOR	0.0	0.0	0.10000E 04	-0.18000E 05	-0.38000E 05	0.0
DEFORMATION VECTOR	-0.57500E-03	-0.10775E-02	0.12675E-01	-0.12500E-04	-0.45000E-03	-0.50000E-04

第 3.4.2 表　実測撓性および剛性行列

ANALYSIS OF FLEXIBILITY TEST OF FULL BUILT

FLEXIBILITY MATRIX (CM/KG　　CM/CM*KG)
(RAD/KG　　RAD/CM*KG)

	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
UX	0.35836E-05	-0.63236E-05	0.80914E-05	0.36628E-07	0.21071E-06	-0.67143E-07
UY	-0.22663E-05	-0.92302E-05	0.19546E-05	0.13738E-06	0.14714E-07	0.16007E-06
UZ	-0.36717E-11	-0.10250E-05	0.12873E-04	0.63198E-07	-0.24715E-07	0.19159E-12
THX	0.51429E-07	0.40857E-06	-0.13595E-06	-0.61046E-08	-0.35713E-09	-0.28571E-08
THY	-0.18929E-06	-0.11071E-06	-0.49611E-06	-0.40698E-08	0.71429E-09	0.35714E-08
THZ	-0.87500E-07	0.51250E-06	-0.32651E-06	-0.20640E-07	0.25000E-08	0.12500E-07

STIFFNESS MATRIX (KG/CM　　KG/RAD　　)
(CM*KG/CM　　CM*KG/RAD)

	'UX	UY	UZ	THX	THY	THZ
FX	-0.39715E 05	-0.25248E 06	-0.28772E 06	-0.12025E 08	-0.73792E 07	0.23797E 07
FY	0.17193E 05	0.29489E 06	0.46332E 05	0.11166E 08	0.40538E 06	-0.12474E 07
FZ	0.82343E 04	-0.20588E 05	0.86728E 05	-0.27239E 06	0.24754E 06	0.17489E 06
MX	0.66408E 06	0.14260E 08	-0.22879E 06	0.43021E 09	-0.45653E 07	-0.79401E 08
MY	0.52742E 07	0.13510E 08	0.22068E 07	0.49512E 09	0.10045E 09	-0.60206E 08
MZ	-0.72618E 06	0.64476E 07	-0.24674E 07	0.62217E 08	-0.89437E 08	0.33307E 08

第 3.4.3 表　理論撓性および剛性行列

THEORETICAL FLEXIBILITY & STIFFNESS MATRICES OF HALF CRANK MODEL FB

FLEXIBILITY MATRIX (CM/KG　　CM/CM*KG)
(RAD/KG　　RAD/CM*KG)

	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
UX	0.22296E-05	-0.12718E-05	0.0	0.0	0.0	-0.14788E-06
UY	-0.12718E-05	0.12496E-05	0.0	0.0	0.0	0.12326E-06
UZ	0.0	0.0	0.18523E-05	0.60927E-07	-0.50548E-07	0.0
THX	0.0	0.0	0.60927E-07	0.66213E-08	0.0	0.0
THY	0.0	0.0	-0.50548E-07	0.0	0.66208E-08	0.0
THZ	-0.14788E-06	0.12326E-06	0.0	0.0	0.0	0.16315E-07

STIFFNESS MATRIX (KG/CM　　KG/RAD　　)
(CM*KG/CM　　CM*KG/RAD)

	UX	UY	UZ	THX	THY	THZ
FX	0.12283E 07	0.59661E 06	0.0	-0.0	0.0	0.66259E 07
FY	0.59662E 06	0.34303E 07	-0.0	0.0	-0.0	-0.20507E 08
FZ	0.0	-0.0	0.11041E 07	-0.10159E 08	0.84293E 07	-0.0
MX	-0.0	0.0	-0.10159E 08	0.24451E 09	-0.77564E 08	0.0
MY	0.0	-0.0	0.84293E 07	-0.77564E 08	0.21540E 09	-0.0
MZ	0.66259E 07	-0.20507E 08	0.0	-0.0	0.0	0.27627E 09

第3.4.4表　理論的変形ベクトル（cm－rad）

（第3.4.3表の撓性行列から算出した各荷重方法で1,000kgをかけたときの理論変形）

	UX	UY	UZ	THX	THY	THZ
Arrangement1	0.561×10^{-2}	-0.526×10^{-2}	0	0	0	-0.717×10^{-3}
Arrangement2	0.432×10^{-3}	-0.947×10^{-3}	0	0	0	-0.146×10^{-3}
Arrangement3	0.432×10^{-3}	-0.947×10^{-3}	-0.177×10^{-2}	0	0.232×10^{-3}	-0.146×10^{-3}
Arrangement4	-0.689×10^{-2}	0.593×10^{-2}	0.262×10^{-2}	0.284×10^{-3}	0	0.743×10^{-3}
Arrangement5	-0.689×10^{-2}	0.593×10^{-2}	0	0	0	0.743×10^{-3}
Arrangement6	0	0	0.268×10^{-2}	-0.583×10^{-4}	-0.302×10^{-3}	0