

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42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41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1つの報告書としてまとめる予定であるが、さしあたり41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別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)	
	金沢	武	(東京大学)	
	狩野	慎一郎	(三菱重工業)	
	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)	
越智		義夫	(呉造船所)	
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)	
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)	
富田		治	(佐世保重工業)	
中川		万蔵	(三菱重工業)	
中林		次平	(日立造船)	
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)	

委員	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	巳	(藤永田造船所)
	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	互	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	(吳造船所)

討議参加者(敬称略、五十音順)

石	田	国	昭	(吳造船所)
井	関	義	弘	(三井造船)
井	上	吉	行	(佐世保重工業)
今	橋		武	(浦賀重工業)
祝		輝	彦	(佐世保重工業)
内	山	高	昭	(船舶局)
梅	崎	一	夫	(三菱重工業)
漆	原		照	(三井造船)
遠	藤		肇	(三井造船)
大	石		剛	(三井造船)
岡	田	勝	昭	(川崎重工業)
岡	久	泰	明	(川崎重工業)
岡	元	信	義	(吳造船所)
小	椋	一	郎	(吳造船所)
太	田		徹	(日本鋼管)
太	田	治	孝	(日本鋼管)
大	沼		覚	(三菱重工業)
香	川	洗	二	(三菱重工業)
加	藤		瞭	(佐世保重工業)
金	子	浩	一	(防衛庁)
河	津	威	信	(浦賀重工業)
越	川		滋	(三井造船)
小	菅	昭	一	(三菱重工業)
堺		由	鄰	(川崎重工業)

清	水		澁	(川崎重工業)
杉	山		修	(佐世保重工業)
砂	原		浩	(舞鶴重工業)
園	岡	信	明	(三菱重工業)
藜	沼	太	門	(佐世保重工業)
田	中		稔	(日本鋼管)
出	口	一	彦	(浦賀重工業)
寺	田	邦	夫	(三菱重工業)
寺	本		晋	(三菱重工業)
土	井	丈	士	(三井造船)
永	井		将	(日立造船)
西	木 戸		夷	(三井造船)
橋	本	義	敏	(三井造船)
奈		数	夷	(日本鋼管)
藤	田	宏	美	(三菱重工業)
牧	野	利	雅	(浦賀重工業)
松	永	恒	規	(佐世保重工業)
正	岡	勝	彦	(三井造船)
森	田	寿	郎	(三菱重工業)
山	口	富	夫	(三菱重工業)
吉	村		望	(三菱重工業)
米	田	正	春	(浦賀重工業)
渡	辺	昌	建	(三菱重工業)
渡	辺		勉	(日本鋼管)
綿	屋	吾	郎	(佐世保重工業)

目 次

第1編 ディーゼル機関の架構の横振動

第1章 緒 言 —在来の資料と研究—	1
1.1 剛性基礎の上での機関の横振動の固有振動数	1
1.2 機関と船体との共振とその取り扱い	2
第2章 問題の所在	6
2.1 陸上運転時における運転台や基礎が機関の固有振動数に及ぼす影響	6
2.2 船体と機関の連成振動	6
2.3 機関の横振動の起振力と減衰力	6
2.4 振動計器とデータ処理法の合理化	6
第3章 実験研究	7
3.1 ディーゼル機関 (DM850/1700VGA-9U) の陸上および海上運転時における 架構横振動計測結果および若干のフーリエ解析 (佐世保重工業S168番船)	7
3.2 ディーゼル機関 (984-VT28F-180) の陸上および海上運転時における架構横 振動計測結果およびその検討 (日立造船)	32
3.3 ディーゼル機関 (6RD90) の陸上および海上運転時における架構横振動計測結果 (三菱重工神戸)	88
第4章 理論研究および調査	116
4.1 エンジンコラムの横振動についての一考察 —基礎の振動も考慮して—	116
4.2 デジタルデータ処理方法の応用 —調和解析—	124
4.3 振動計測機器の互換性と共同利用	134
第5章 結 言	140

第2編 推進軸系の縦振動

第1章 緒 言 —在来の資料と研究—	141
1.1 ディーゼル機関のクランク軸および軸系の縦振動	141
1.2 タービン船軸系の縦振動	143
第2章 問題の所在	145
2.1 縦振動におけるスラスト軸受とその支持部の剛性	145
2.2 縦振動の起振力と減衰力	145
2.3 クランク軸の縦振動とねじり振動の連成	145
2.4 船体と機関にまたがるその他の振動の問題	145
第3章 実験研究	146
3.1 ディーゼル機関 (K9Z93/170E) 搭載川崎重工業1083番船における軸系縦振 動計測結果	146
3.2 川崎重工業1083番船中間軸のトルクおよびスラストの計測解析結果	157
3.3 ディーゼル機関 (984-VT28F-180) の陸上および海上運転時における軸系縦 振動等の計測結果およびその検討 (日立造船)	179
3.4 タービン船における軸系縦振動計測結果 (三菱重工長崎)	206
第4章 結 言	222

第1編 ディーゼル主機関の架構の横振動

第1章 緒言 —在来の資料と研究—

主機関を据付けた船体の二重底のたわみ、あるいはさらに機関自体の架構の横たわみをも考慮に入れた船底と機関よりなる振動系を考えて、これらの系が機関の回転に伴い生ずるそれぞれの起振力に共振同調することを避けようとする配慮はディーゼル機関の船用進出の当初から採りあげられた問題であつたことは想像に難くない。手許にある資料だけでも、1930年代においてすでに別項のような計算が商船の機関室二重底の設計に際して行なわれており、また、いくつかの機関の架構横振動測定記録がその陸上、海上運転時に採取されている。特にこの年代の後半は2サイクル複動機関の全盛期であつたから、現在の形式の機関に比しその重心高さは高く、機関自体の横振動の固有振動数は低かつたので、往々機関の常用回転速度領域内で共振による著しい振幅の増加があらわれ、関係者をあわてさせ、その対策に苦慮させた事態が生じたこともあつた。

昭和13~14年には12シリンダの2サイクル・トランクピストン型の機関で架構のいわゆるX型振動が問題になり、横振動防止のための動吸振装置が設けられるなど、この現象解明への知見は一段と進んだのであつた。

戦後船用ディーゼル主機関はすべて単動、しかもクロスヘッド型となり架構の剛性は従前に比し一段と増加し、適当なクランク配置や着火順序の選択による共振回避も有効に行なわれ得たので、以来この種の問題はさらに追求する必要がないままに放置されて今日に至つたといえよう。

近年、船体の巨大化、機関の大形化のために、機関の常用回転速度領域内での横振動の共振回避は必ずしも容易でなく、その常用時の応力振幅の定量的な評価如何が設計上決定的因子とならざるを得ない。すなわち、今日求められる知識はただに機関横振動の固有振動数を計算し、好ましくない機関の共振回転速度を推算するに止らず、そのときの振幅や応力を正確に推定しあるいは進んで強制振動時における種種の振動モードや振幅をも予知するにいたることである。そしてこの要求の前には従来のわれわれの知見はまだきわめて不足であり、機関、船体のそれぞれについて解明すべき問題が多く、また、特に両者相関連する領域には特にいくたの盲点が残されていることが指摘されるわけである。

以上の経緯から本研究が再開されるに至つたが、まず以下に在来の知識の簡単な取りまとめを試みた。

1.1 剛性基礎の上での機関の横振動の固有振動数

標準機関形式の1シリンダ分を取り出して考え、その横振動 — クランク軸に垂直な平面内において、シリンダ中心線の左右に揺れる曲げ振動 — を考える。

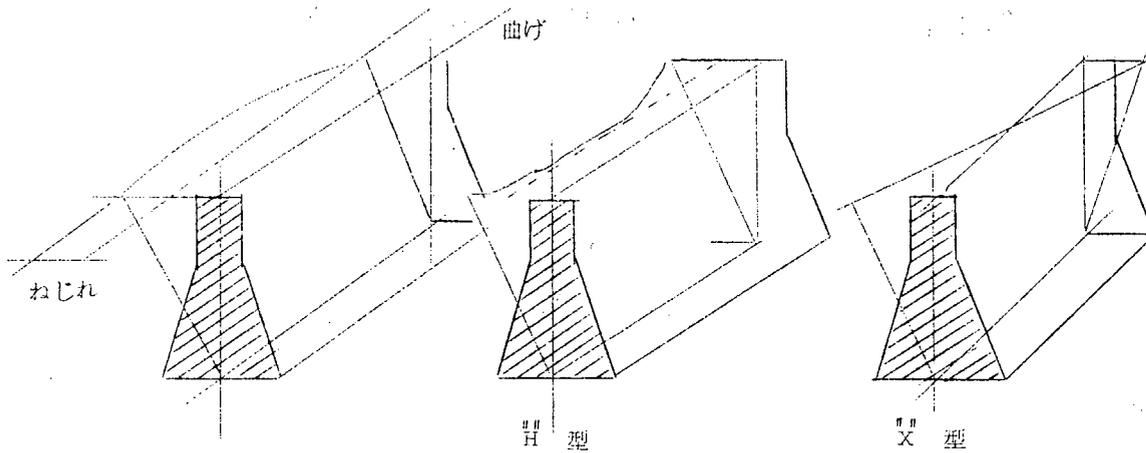
この場合機関はその台板下面にて完全に剛に固定された片持梁と見なされる。この梁は当然設計上与えられる変断面を有し、かつそれぞれの区分に分布質量を持つ。

このような変断面・分布荷重の梁の横振動の固有振動数の算定はレーレ・リッツの方法等種種の方法がある。

あるいは共振時の梁のたわみ曲線を仮定し得たとすれば梁の分布質量のもつ全振動のエネルギーと等価な集中荷重は求めることができるから、系を梁には同じ剛性のみを与え、質量はこの荷重を与える集中質量に集約したものと近似すると、固有振動数 $n_0 = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{Y}}$ で与えられる。Yは上記の集中荷重によるたわみによつて生ずる変位量（集中荷重の位置での）であり、重力による加速度gと同じ長さの単位であらわす。

多シリンダ機関の実際の振動のモードは複雑で起振力や支持台の弾性的性質等で著しく変わるから、あらかじめ機関だけの自由振動モードとその固有振動数を厳密に調べておいても価値は少ない。一般に各シリンダの振幅に差がある場合、また、特にX型と呼ばれるような位相差が機関の前後端で見られるときは、機関の構成部材の軸に沿つたねじり剛性による分だけ固有振動数も上昇してくる。（第1.1.1図）

機関の固有振動数はしたがって実用上その基本形について調べておくに止め、むしろ機関の振動データにもとづき必要に応じ系全体として組み立てて考えることが好ましい。



第 1.1.1 図 多シリンダ機関のモードの例

機関の固有振動数の測定はこれらの振動データの収集や計算法のために必要であるが、陸上運転の場合は運転台の基礎の影響が含まれている。これに対する修正法について、2、3の試みが採られてきたことを記して省略する。

1.2. 機関と船体との共振とその取り扱い

1.2.1 二重底の振動

二重底を第 1.2.1 図のごとく両端支持の梁と見なし、その中央に集中荷重 P を考えると、二重底中央における変位 y は

$$y = \frac{PB^3}{48EI} \quad \text{で}$$

固有振動数 n_e は

$$n_e = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{E}{y}} \quad \dots \dots \dots (1.1)$$

ここで、

$$P = \text{主機械重量} + 0.25 \cdot B^2 \cdot L \cdot 10^{-3} \quad \text{Kg}$$

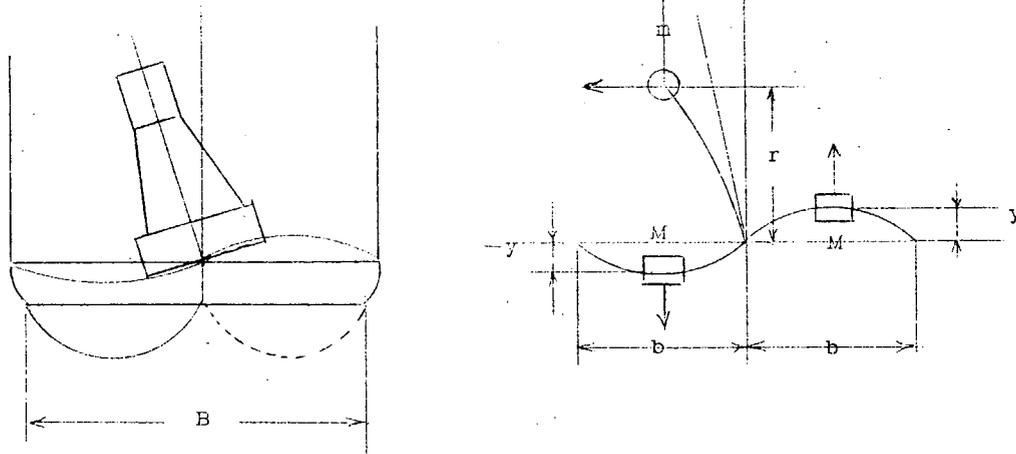
$$B = \text{Knee Plate 中心間隔} \quad \text{cm}$$

$$L = \text{機械台の長} + 2 \text{ Frame Space} \quad \text{"}$$

$$I = \text{船底の平均断面モーメント} \quad \text{cm}^4$$

この振動はこのモデルでは機関の横振動と関係がないが、機関位置が船体中心を外れた、たとえば二軸船では機関の横振動と関連してくる。

1.2.2 架構と二重底の振動



第 1.2.2 図

第1.2.2図のようにモデル化するとこの振動系の固有振動角速度 ω を与える特性方程式は

$$mM \left(\frac{1}{C_x C_y} - \frac{1}{C_x' C_y'} \right) \omega^4 - \left(\frac{m}{C_x} + \frac{M}{C_y} \right) \omega^2 + 1 = 0 \quad \dots \dots \dots (1.2)$$

ここに

- m = 機関の横振動に関する等価質量 $Kg\text{-sec}^2/cm$
- M = 二重底質量 ($\frac{1}{2}$) と付加水質量 "
- C_x = m の位置に作用し m に単位の変位を生ずるに要する力 Kg
- C_x' = M " " " m に " " "
- C_y = M " " " M に " " "
- C_y' = m " " " M に " " "

である。Cは機関についてはその横振動のデータ (n_e, m, r) , また、船体については幾何学的寸法から求められて

$$C_x = \left[\frac{1}{C_E} + \frac{br^2}{bEI} \right]^{-1}, \quad C_E = m \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_e}{30} \right)^2 \quad Kg/cm$$

$$C_x' = \frac{16EI}{b^2 r} \quad "$$

$$C_y = \frac{48EI}{b^3} \quad "$$

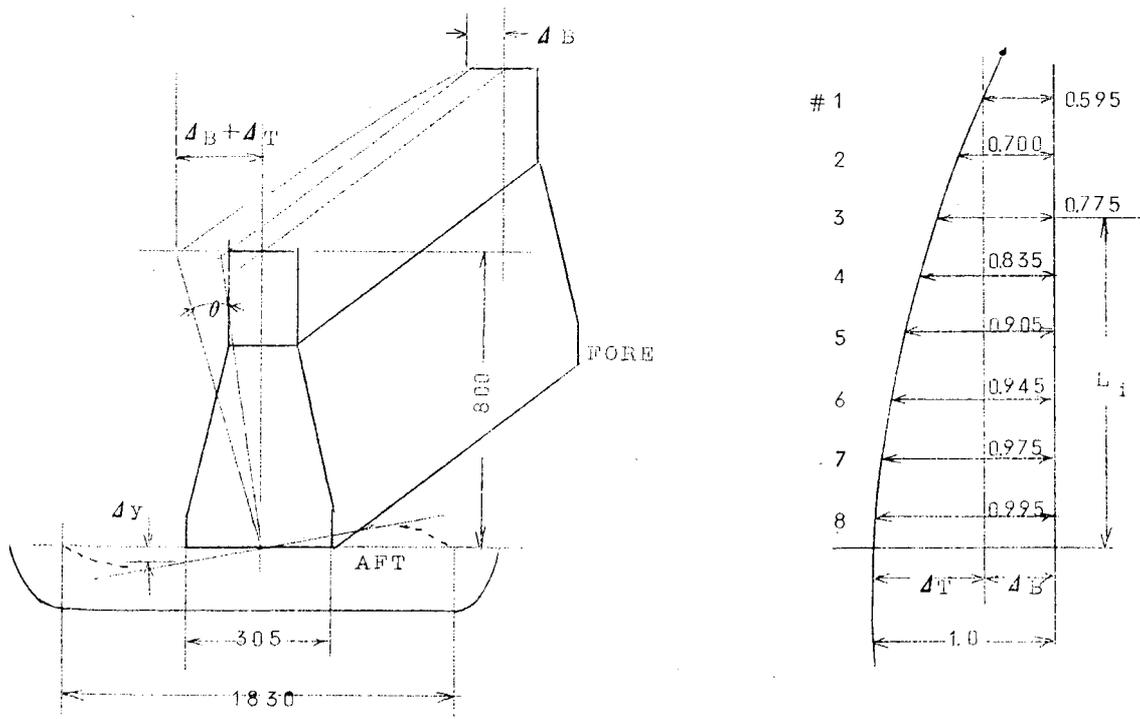
$$C_y' = \frac{32EI}{b^2 r} \quad "$$

ここでIは二重底の曲げに対する断面慣性モーメント、 cm^4 , Eは鋼材の縦弾性係数 Kg/cm^2 , b, rは第1.2.2図に示し cm 示し cm であらわす。

式(1.2)は ω について2個の正根を与えるが、 m と、 M との位相が同相あるいは逆相の場合に対応する。

二軸船機関配置についても同様な計算が適用できる。

1.2.3 二重底のねじれの影響



第1.2.3図

第1.2.3図に示すように第8シリンダの後端で与えられる変位 Δ には第1～8シリンダのトルクの影響を合計した Δ_T を含む。1シリンダ分のトルクによる変位量を機関の単位長さについて求めた値を Δ_{T0} であらわすと各シリンダごとの変位 Δ_{Tn} は

$$\Delta_{Tn} = \Delta_{T0} \cdot \sum_{i=1}^n Li$$

になつてゐるはずである。このような船底のねじれの影響が据付けられた機関の横振動の固有振動数にどのようにあらわれるか、簡単な近似計算例で調べて見よう。

8シリンダ機関について、機関後端の振幅を基準として第1.2.3図のような振幅比を仮定し、機関としては1シリンダ分の横振動の等価荷重が1.5 Ton であつたとすると、機関全体としては

$$\sum_{n=1}^8 \Delta n^2 \cdot 1.5 = 86.7 \text{ Ton}$$

この荷重に対する船底の傾きによる変位量 Δ_{B1} は

$$\Delta_{B1} = \frac{86.7 \times 10^3 \times 800^2 \times 9.15}{6 \times 2 \times 10^6 \times 49.8 \times 10^6} = 0.085 \text{ cm}$$

架構の曲げ変位量 Δ_{B2} は

$$\Delta_{B2} = \frac{86.7 \times 10^3 \times 980}{8 \times 1.5 \times 10^3 \times \left(\frac{800}{60} \cdot 2\pi\right)^2} = 0.101 \text{ cm}$$

$$\Delta_B = 0.085 + 0.101 = 0.186 \text{ cm}$$

一方ねじれによる変位量を求めるのに、ねじれ角 $\theta = \frac{T \cdot l}{I_p \cdot G}$ より

$$\Delta_T = \frac{86.7 \times 800 \times 10^3 \cdot 1.100}{43.6 \times 10^6 \cdot 8.3 \times 10^5} \times 800 = 0.164 \text{ cm}$$

$$\Delta = 0.186 + 0.164 = 0.350 \text{ cm}$$

したがつて $\Delta_B / \Delta = 0.186 / 0.350 = 0.532$ で略最初の仮定を満足する。

ゆえに、固有振動数は

$$n_e = 300 \sqrt{\frac{1}{0.350}} = 300 \times 1.69 = 507 \text{ cpm}$$

機関が剛性の支持のときの固有振動数800に対してかなり低下していることになる。

参考までに船幅Bの影響を見るのに、2.2.0 mまで広げた場合と比較すると、次表のようになる。

B	1.8.30 m	2.2.0 m	
I	49.8×10^6	49.8×10^6	cm ⁴
I ₀	43.6×10^6	75.5×10^6	"
Δ_{B1}	0.085	0.102	cm
Δ_{B2}	0.101	0.101	"
Δ_B	0.186	0.203	"
Δ_T	0.164	0.095	"
Δ	0.350	0.298	"
n _e	507	550	cpm

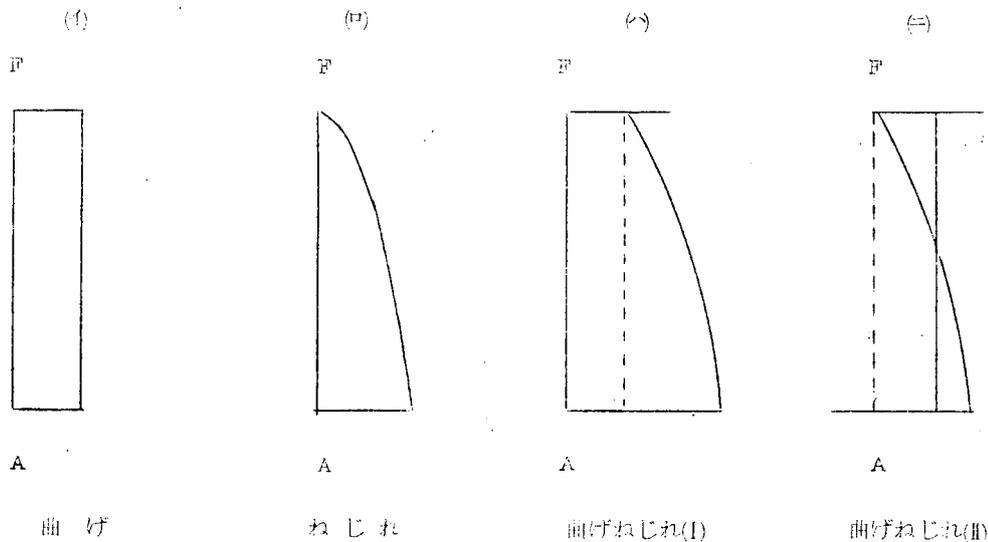
以上の近似計算例でその傾向がわかるように、船幅Bの増大によつて船底のねじれの剛性が増すから、機関室内で船首側と船尾側の Δ の差が減つてくるし固有振動数はある限度までは増加する。

また、機関室が船尾にある場合は船幅は後部に行くほど狭まるのに反しねじりトルクは増すので、固有振動数は中央

機関室の場合よりかなり低下することがわかる。

1.2.4 振動モードと共振次数

機関の振動のモードの代表的な模型として、下図の例を考えることができるが、一般にそれぞれの振動モードについ



てその固有振動数が定まっている。また、その振動モードごとに共振しやすいトルクの調和次数がクランク配置と着火順序で定まってくることは軸のねじり振動の場合と同じであり、同様の手法によつて共振振幅比と共振回転数との目安をつけることができる。

1.2.5 船底の振動

このように機関の振動モードは実際には単純でないし、したがつて機関室の船底に作用する外力は単純でないから、船底自体がまた2次元平板として種種の節線を持つ振動モードを採ることも予想される。さらに船体の側面や甲板の影響も船底の振動には無視できない。

こうした複雑な機関室の振動特性と機関の横揺れとを結びつけて、1つの系の振動として解明するのが今後の課題であるが、前者の部分に対して優れた研究¹⁾が行なわれていることを付記して本項を終る。

参 考 文 献

- 1) Masuo Kawakami "Vibrations of Engine Room of Ship"
 Japan Shipbuilding & Marine Engineering
 Vol.1, No.5 Nov.1966

第 2 章 問 題 の 所 在

前章にのべた従来の経緯から、今後の技術課題として残されてきた問題点のいくつかをあげて見た。その総ての学術的解明はとうてい本研究の目的ではないが、その解決へ向つて若干の寄与をなし、実用上の効果をもたらすことがわれわれのねらいである。

2.1 陸上運転時における運転台や基礎が機関の固有振動数に及ぼす影響

機関の陸上運転時において測定した横振動の実測値をもととして、その機関の振動特性を求め、また、計算結果と照合してその計算法の実用精度を検定せねばならぬ。そのためにはまず実測結果を解析して機関固有の振動特性と運転台等の弾性的性質とを分離して把握する必要がある。

2.2 船体と機関の連成振動

機関固有の振動特性がわかつた後「この機関をある船体上に掘付けた場合、どのような振動が生ずるか」をより正確に推算する必要がある。このための研究の手法としては第一着手として実船測定の結果の調和解析から、

- a) 機関と船体の振動モード
- b) 起振力の共振次数と振動モードとの関連
- c) 非共振時を含めての船体・機関振動の位相差

等の諸点を明らかにする。

他方、両者の系を代表する適当なモデルを設定して理論計算を行ない、実測結果と照合しつつモデルの関係を修正し計算法の定式化を計る。

2.3 機関の横振動の起振力と減衰力

振幅の推算の基礎となるべき上記の資料を調査し、あるいは実測資料の解析により集積して行く。

2.4 振動計器とデータ処理法の合理化

- a) 本研究における振動測定ではその調査対象とする振動は正確に把握するとともに、その目的に不要な雑音はこれを除去してとらえることが望ましい。そのために適当な振動ピックアップを選択することが必要である。
- b) 当然予期される膨大な採取記録の処理法につきあらかじめ対策をたてること。
- c) さらに研究運営の観点から、できるだけ計器の形式規格を統一して研究者相互の流通使用を可能にし、利用率と管理の合理化を計ること。

第 3 章 実 験 研 究

3.1 デーゼル機関 (DM850/1700VGA-9U) の陸上および海上運転時における架構横振動計測結果および若干のフーリエ解析 (佐世保重工業 S168 番船)

3.1.1 調 査

機関架構の横振動の実機試験に先立ち下記のような調査を実施した。

(1) 振動計器の選定

計器の選定にあたって変位計がよいか加速度計がよいか種種検討を加えた。その結果変位計の場合計測後ただちに変位の目安がつくこと、また、加速度計の場合には高次の成分があらわれて解析が困難なことが多いため変位計 (H 製作所製) を採用することとした。

(2) 陸上運転時における横振動の固有振動数の計算および振動モードの推定

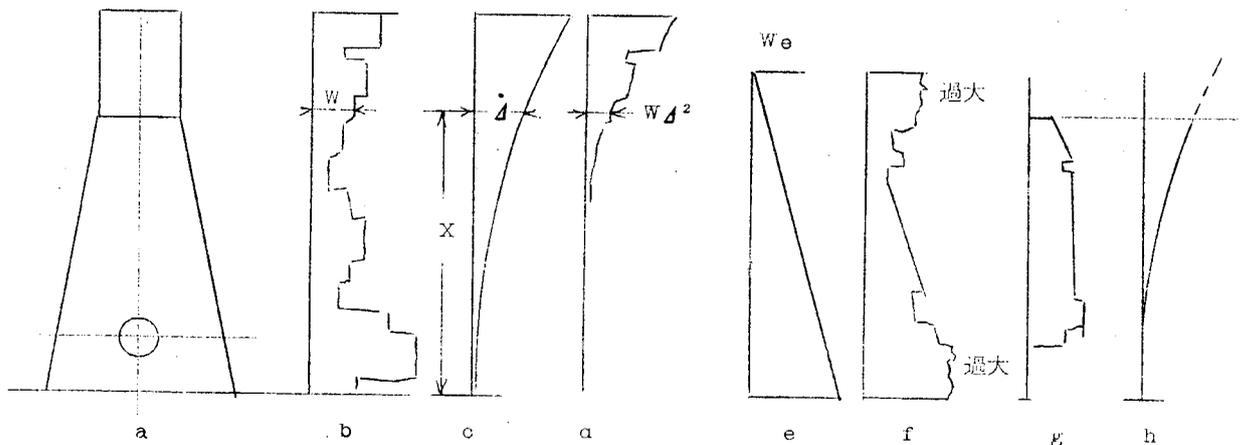
陸上運転時に振動計測を実施する場合の目安とするために、以下に示すとおり図式解法によつて運転場の地盤の剛性をも考慮して固有振動数および振動モードを推定した。

本計算によると固有振動数は H 型で 371 cpm, X 型で 460 cpm である。実機試験の解析結果においては H 型で 374 cpm, X 型で 488 cpm となり計算結果と実機試験結果とはほぼ一致しているようである。

(1) 固有振動数の計算法

架構の横振動は片持梁の曲げ振動および軸方向ねじれ振動と考えられる。

ここでは機関の 1 シリンダ分について変断面梁の曲げ振動を考慮して次のような図式解法によつて H 型振動の固有振動数を計算した。



- a エンジンの 1 シリンダ分を考える
- b 各断面における重量分布図
- c たわみ曲線を仮定 ($\Delta \propto x^3$)
- d 振動のエネルギー: $w\Delta^2$ (w = 重量 / 長さ)
- e 集中荷重 W_e がかつたときの曲げモーメント: M ($W_e = \int w\Delta^2$)
- f エンジンの各高さにおける断面の慣性モーメント (I)
- g M/I 曲線
- h g より求めたたわみ曲線

まずエンジン 1 シリンダ分を考えてその各断面における重量分布を求める。次にたわみ曲線を仮定すると両者によつて振動のエネルギー $w\Delta^2$ が求まりその重心位置に単一等価荷重がかかるものとしてこれを求める。

次にこの等価荷重による曲げモーメント: M と 1 シリンダ分の慣性モーメント: I より M/I を求める (g 図)。

これによつて高断面の場合のたわみを計算し求めたたわみが最初に仮定したたわみ曲線に一致すれば、このたわみを Δ とし固有振動数 n は次式によつて求められる。

$$n = \frac{60}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\Delta}}$$

たわみが一致しなければ求めたたわみ曲線を仮定して計算し、これが一致するまで何回か繰り返す。

なお、本調査においては定盤のたわみの影響を考慮して計算し、X型振動の場合はこれにねじりが加わるので実験係数により求めた。

(ii) 固有振動数の計算

(a) 基礎定盤のバネ定数

振動系に基礎定盤のたわみを考慮するために静荷重によつて定盤の沈下量を計測しバネ定数を求めた。

載荷重 : 600 Ton

荷重の加わる見かけの床面積 : $1.5 \text{ W} \times 1.5 \times 2 = 4.5 \text{ M}^2$

したがつて 面圧 $p = 1.3.3 \text{ Ton/m}^2$

荷重による平均沈下量 = 0.60 (mm)

” 永久 ” = 0.15 ~ 0.34 (mm) 0.25 (mm)

沈下量 = 0.60 - 0.25 = 0.35 (mm)

よつてバネ定数 k' は

$$k' = \frac{1.3.3 \times 10^3 \times 10^{-4}}{0.035} = 3.8 \text{ Kg/cm/cm}^2$$

9 U の試験台と定盤の接触面積 S (片面) は

$$S = 1.895 \times 1.125 = 2.13 \times 10^5 \text{ (cm}^2\text{)}$$

したがつて1シリンダ分 (片側) の地盤のバネ定数 : k は

$$k = 3.8 \times \frac{2.13 \times 10^5}{9} = \underline{\underline{9.0 \times 10^5}} \text{ (Kg/cm of Deflection)}$$

(b) 計算

エンジン1シリンダ分の各断面における重量分布図を第3.1.1図に示し第3.1.2図の①のたわみ曲線を最初に仮定してまずエンジン本体のみに関して計算を行なう。

第3.1.1表に振動のエネルギー $w \Delta^2$ を計算しその重心位置に等価荷重がかかるものとしてこれを計算する。

次にこの等価荷重による曲げモーメント線図 : 第3.1.3図およびエンジン各断面における慣性モーメント線図 : 第3.1.4図より M/I を求めこれを第3.1.5図に示す。

M/I より各断面におけるたわみ角を求めこれを積分してたわみを求める : 第3.1.6図。ここで求めたたわみを第3.1.2図にプロットしこれに定盤の傾斜を考慮してたわみ曲線を修正してこのたわみ曲線を仮定して再び計算を繰り返す。

2回目の計算結果を第3.1.2図にプロットしたたわみ曲線が一致しないので再び計算を繰り返し、最終的に一致した点の重心位置のたわみを Δ とすると、

重心位置 : 8.643 (m) (定盤より)

Δ : 655 (mm)

よつてH型振動の固有振動数 n_H は

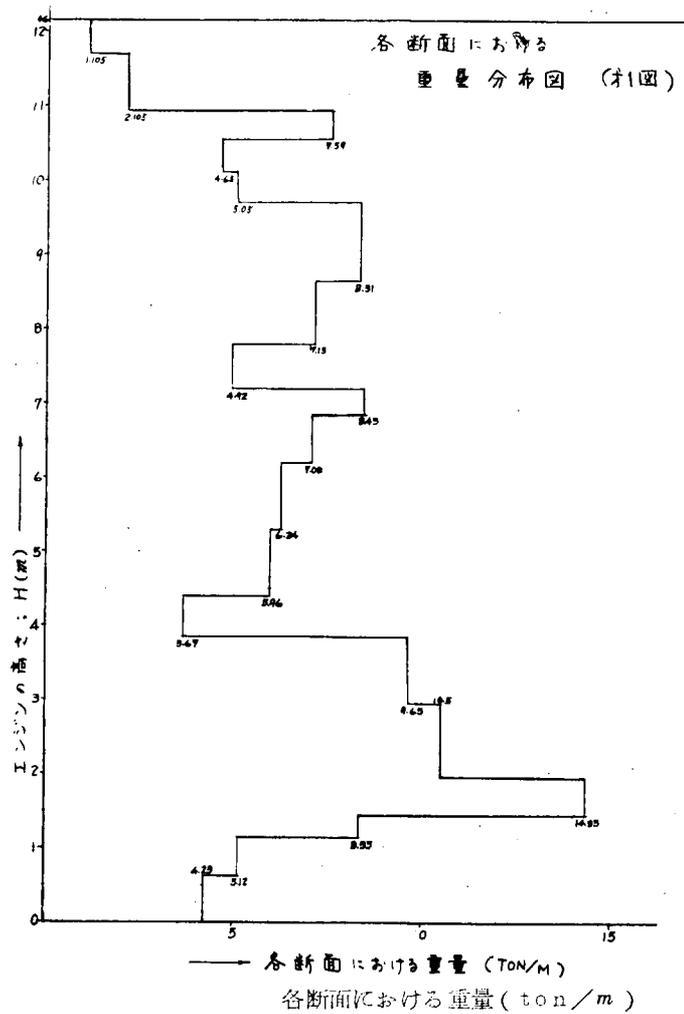
$$n_H = 300 \sqrt{\frac{1}{\Delta}} = 300 \sqrt{\frac{1}{0.655}} = 371 \text{ (cpm)}$$

X型振動に対する固有振動数 n_X は9シリンダエンジンに対する実験値より

$$n_X = 1.24 n_H = 460 \text{ (cpm)}$$

と見なすことができる。

なお、第3.1.9図に9シリンダの場合の横振動モードを示す。



第 3. 1. 1 図 各断面における重量分布図

TRIAL 第 1

第 3. 1. 1 表 $w\Delta^2$ 、 We (等価荷重)、重心位置の計算

基礎定数からの 高さ H (m)	Deflection Δ (mm) (Diagram より記入値)	Δ^2	Distributed Weight w (Ton/m)	Energy $w \cdot \Delta^2$	h	$w \Delta^2 \cdot h$	備 考
11.93	2.32	5.38	1.105	5.945	0.438	2.61	
11.33	2.05	4.20	2.105	8.845	0.766	6.78	
10.74	1.80	3.24	7.588	24.60	0.400	9.84	
10.33	1.63	2.65	4.650	12.32	0.422	5.20	
9.92	1.46	2.13	5.049	10.75	0.410	4.41	
9.19	1.22	1.49	8.314	12.39	1.050	13.00	
8.24	0.94	0.883	7.127	6.30	0.840	5.29	
7.51	0.76	0.578	4.920	2.845	0.625	1.78	
7.03	0.64	0.410	8.426	3.45	0.330	1.14	
6.53	0.54	0.292	7.078	2.07	0.675	1.40	
5.75	0.41	0.168	6.240	1.05	0.888	0.93	
4.85	0.28	0.078	5.958	0.47	0.897	0.42	
4.12			5.370		0.550		
3.40			9.650		0.900		
2.46			10.500		1.000		
1.72			14.330		0.500		
0.75			6.000		1.500		

$\Sigma w \Delta^2 h = 52.79$

重心位置 = 2.91 (m)

(等価荷重) $We = \frac{\Sigma w \Delta^2 \cdot h}{\Delta^2 G} = \frac{52.79}{1.472^2} = 24.35$ (Ton/cyl)

第3.1.2表 $w d^2$ 、 We (等価荷重)、重心位置の計算

基礎定盤からの高さ H(m)	Deflection d (mm)(Diagramより読んだ値)	d^2	Distributed Weight w (Ton/m)	Energy $w \cdot d^2$	h	$w d^2 \cdot h$	備考
11.93	5.86	34.30	1.105	37.9	0.438	16.6	
11.33	5.55	30.75	2.105	64.7	0.766	49.5	
10.74	5.22	27.20	7.588	206.5	0.400	82.6	
10.33	5.00	25.00	4.650	116.3	0.422	49.1	
9.92	4.80	23.00	5.049	116.3	0.410	47.7	
9.19	4.42	19.50	8.314	162.0	1.050	170.0	
8.24	3.96	15.70	7.127	111.8	0.840	93.8	
7.51	3.58	12.80	4.920	62.9	0.625	39.3	
7.03	3.34	11.15	8.426	93.8	0.330	31.0	
6.53	3.08	9.47	7.073	67.0	0.675	45.2	
5.75	2.70	7.28	6.240	45.4	0.888	40.3	
4.85	2.30	5.28	5.958	31.5	0.897	28.2	
4.12	2.00	4.00	3.670	14.7	0.550	8.1	
3.40	1.72	2.96	9.650	28.6	0.900	25.7	
2.46	1.42	2.02	10.500	21.2	1.000	21.2	
1.72	1.20	1.44	14.330	20.6	0.500	10.3	
0.75	0.88	0.72	6.000	4.3	1.500	6.5	

$\Sigma w d^2 h = 765.1$

重心位置 = 8.856

$We = \frac{\Sigma w d^2 \cdot h}{d^2 G} = \frac{765.1}{4.272} = 179.3$ (Ton/cyl)
(等価荷重)

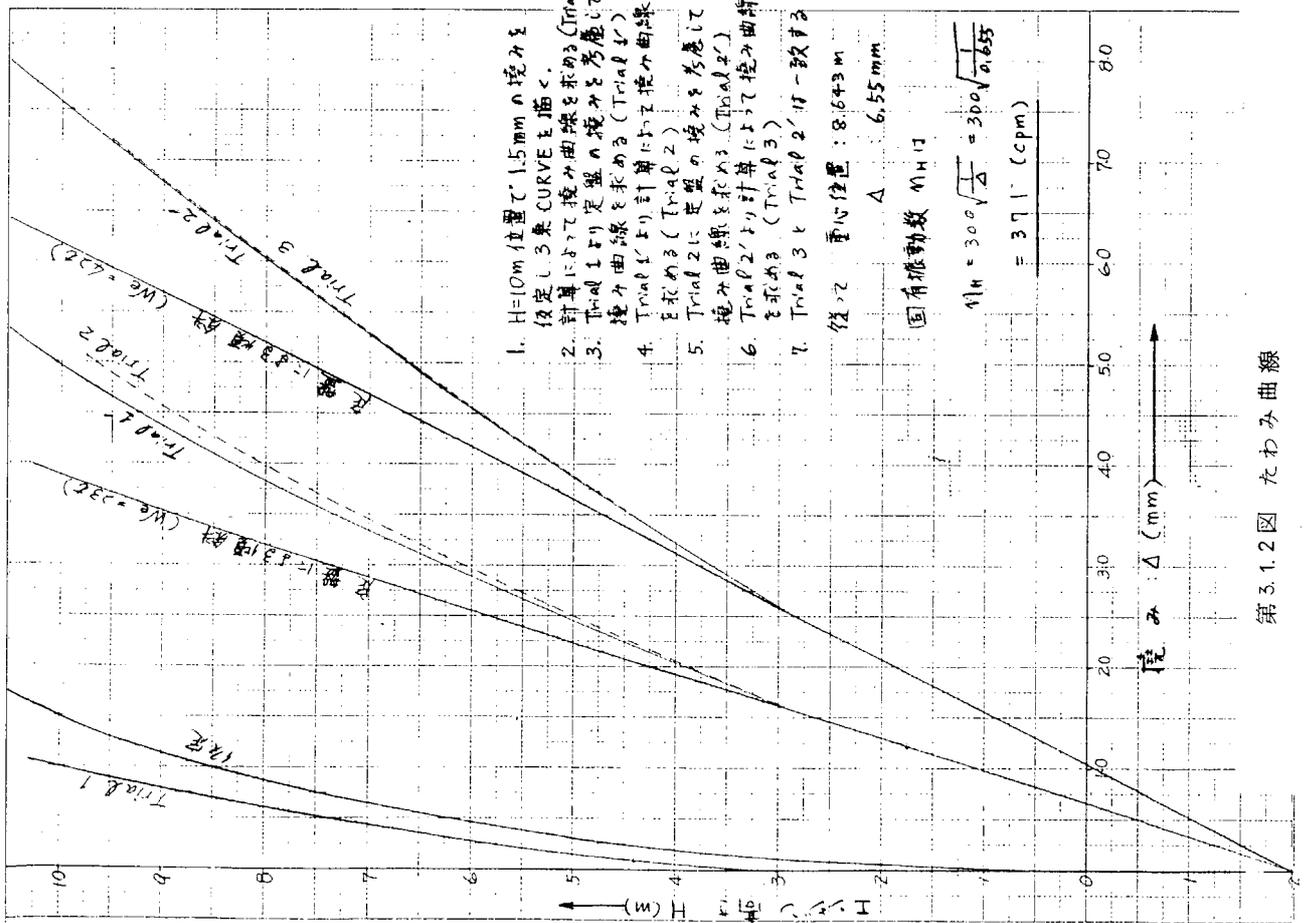
第3.1.3表 $w d^2$ 、 We (等価荷重)、重心位置の計算

基礎定盤からの高さ H(m)	Deflection d (mm)(Diagramより読んだ値)	d^2	Distributed Weight w (Ton/m)	Energy $w \cdot d^2$	h	$w d^2 \cdot h$	備考
11.93	9.08	82.4	1.105	91.1	0.438	39.9	
11.33	8.60	73.9	2.105	156.0	0.766	119.5	
10.74	8.15	66.3	7.588	504.0	0.400	201.6	
10.33	7.85	61.3	4.650	285.0	0.422	120.2	
9.92	7.50	56.2	5.049	284.0	0.410	116.4	
9.19	6.95	48.2	8.314	400.0	1.050	420.0	
8.24	6.23	38.8	7.127	276.0	0.840	232.0	
7.51	5.65	31.9	4.920	157.0	0.625	98.1	
7.03	5.30	28.1	8.426	236.0	0.330	78.0	
6.53	4.94	24.4	7.073	172.0	0.675	116.0	
5.75	4.35	18.9	6.240	118.0	0.888	105.0	
4.85	3.72	13.8	5.958	82.5	0.897	74.0	
4.12	3.24	10.5	3.670	38.5	0.550	21.2	
3.40	2.82	7.95	9.650	76.8	0.900	69.0	
2.46	2.31	5.35	10.500	56.0	1.000	56.0	
1.72	1.93	3.72	14.330	53.3	0.500	26.7	
0.75	1.43	2.04	6.000	12.3	1.500	18.5	

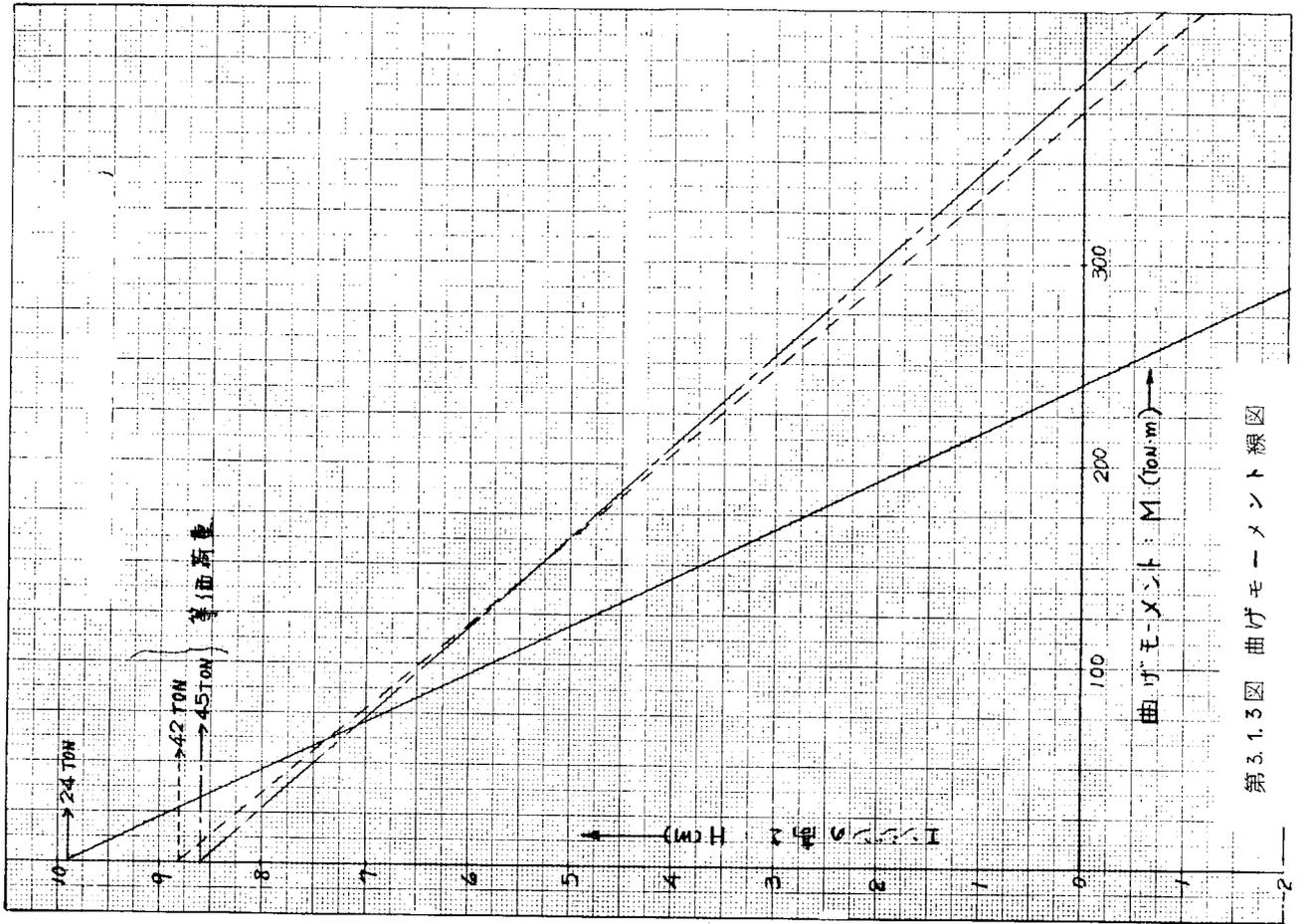
$\Sigma w d^2 h = 1912.1$

重心位置 = 8.643 (m)

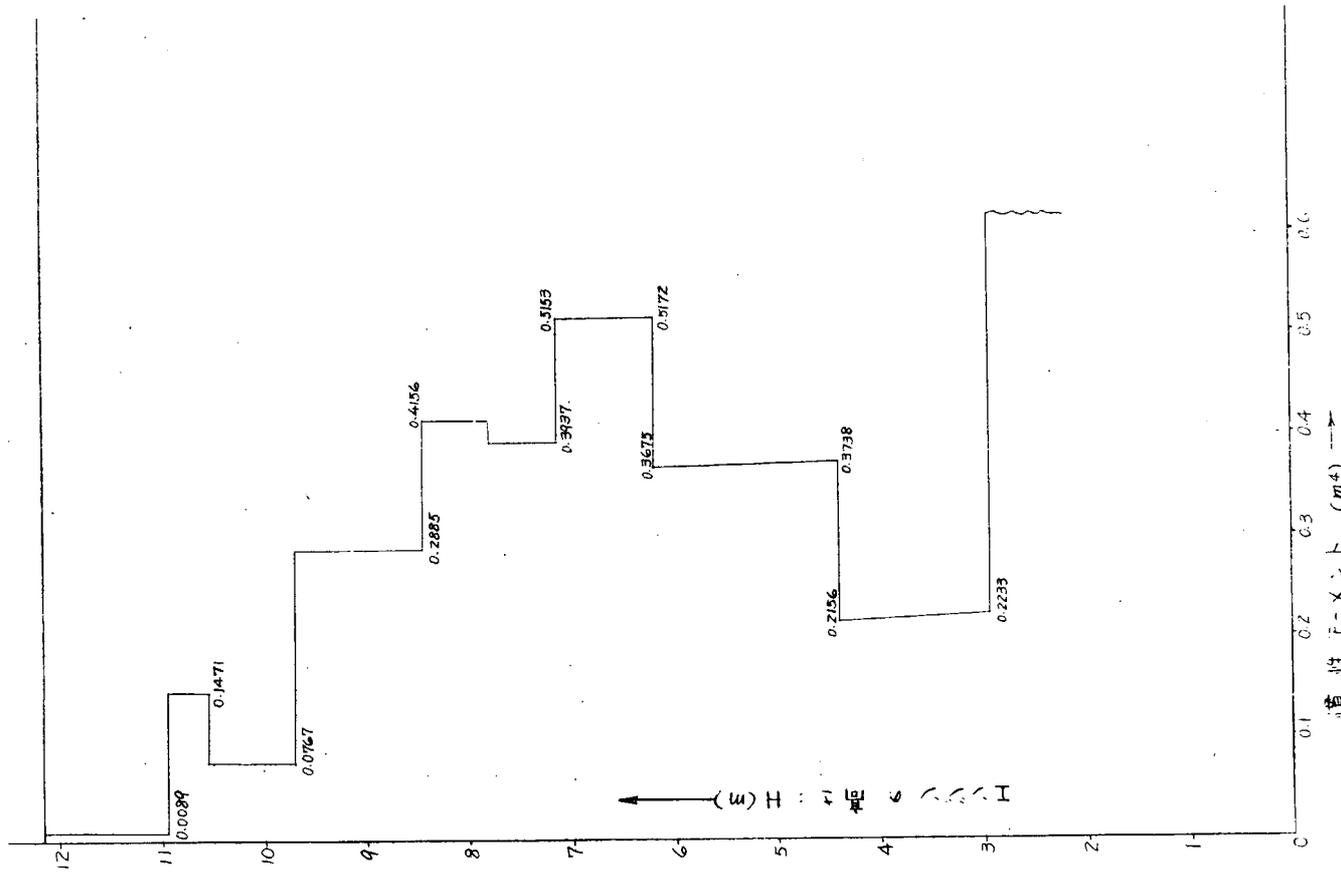
$We = \frac{\Sigma w d^2 \cdot h}{d^2 G} = \frac{1912.1}{6.502} = 294.1$ (Ton/cyl)
(等価荷重)



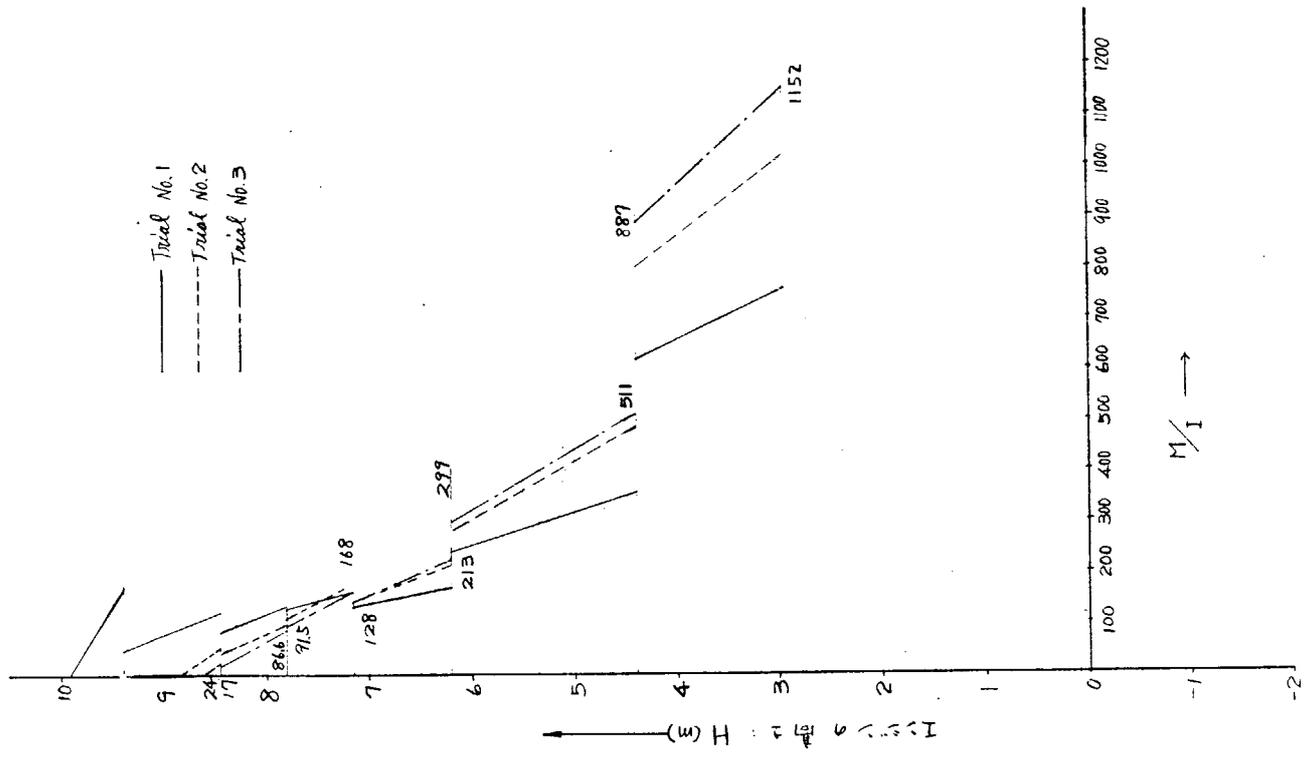
第3.1.2図 丸わみ曲線



第3.1.3図 曲げモーメント線図



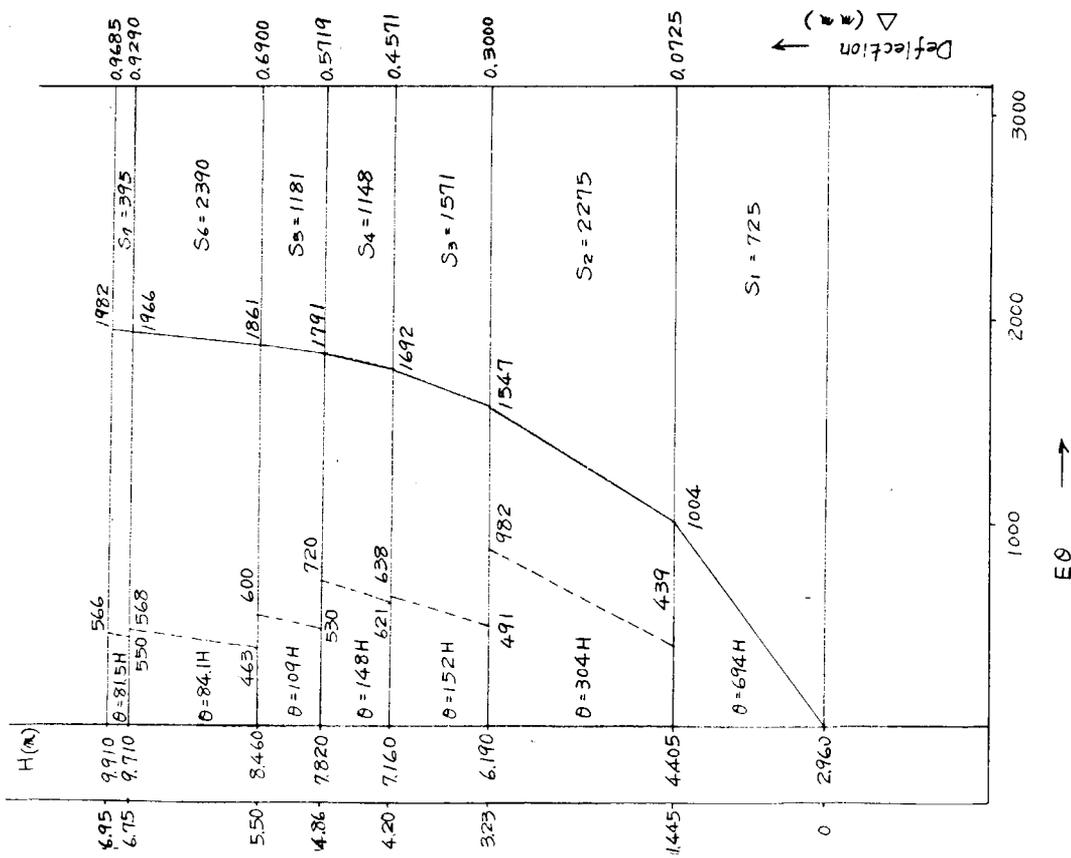
第3.1.4図 慣性モーメント線図



第3.1.5図 曲げモーメント/慣性モーメント (M/I) 線図

No. 1 TRIAL

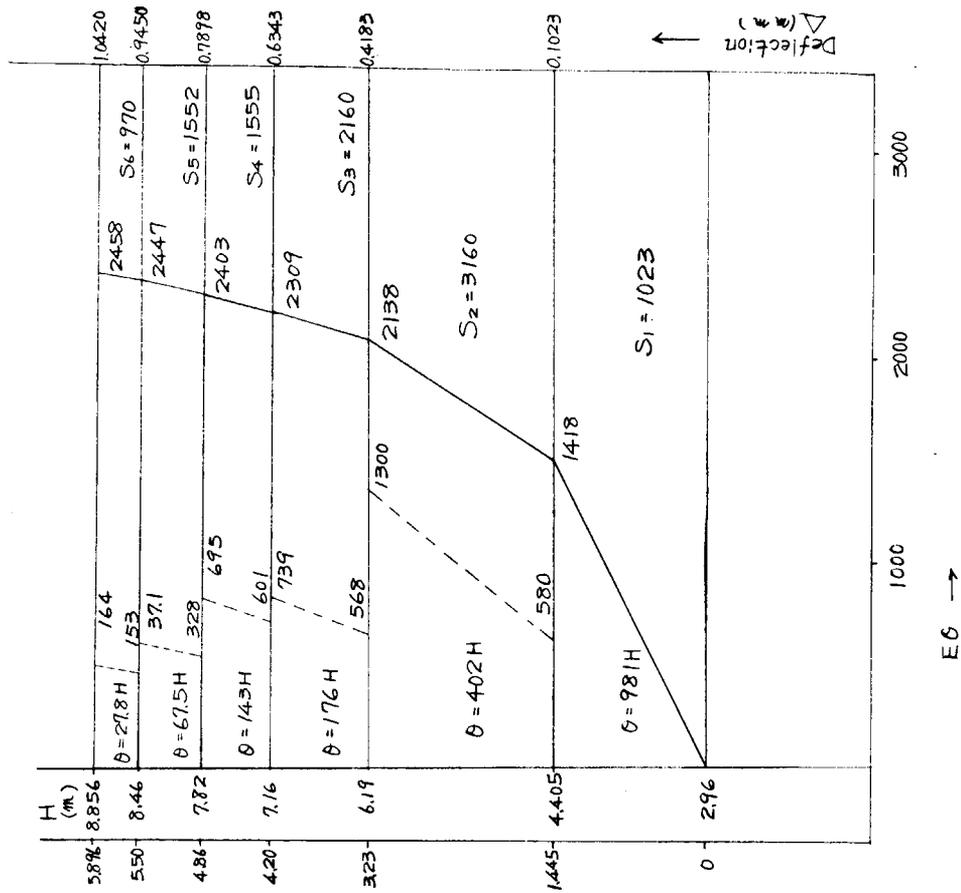
$\Delta = 0.9685$ (mm)
重心位置: 9.910 (m)



第 3.1.6 図 I の計算

No. 2 TRIAL

$\Delta = 1.042$ (mm)
重心位置: 8.856 (m)

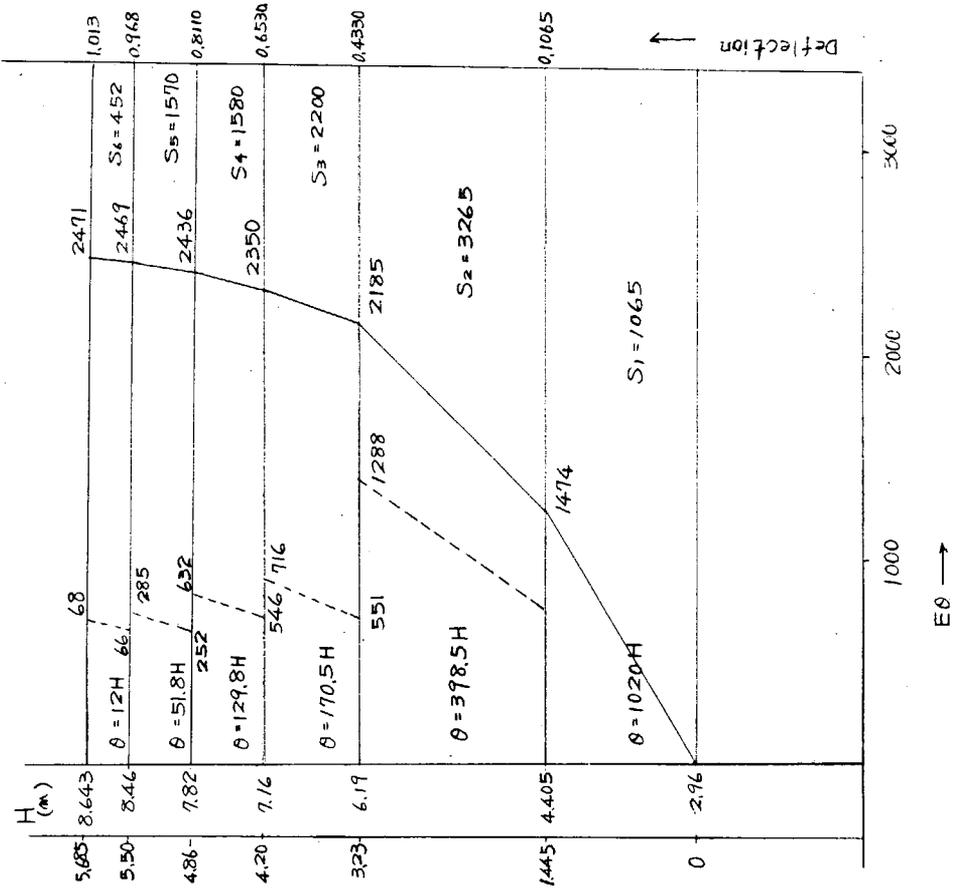


第 3.1.7 図 I の計算

No.3 TRIAL

$\Delta = 1.013 (m)$

重心位置 = 8.643 (m)



第3.1.8図 4の計算

着火順序

1, 6, 7, 3, 4, 9, 2, 5, 8

次数	横振動形	起振偶力ベクトル和
3		15.5
4		4.15
5		4.15
6		15.5
7		0.22
8		0.13
9		5.00

第3.1.9図 DM850/1700VGA-9U機関横振動形および起振偶力ベクトル和

3.1.2 計測要領および結果の解析

(1) 機関形式

佐世保ゲタベルケン

DM850/1700VGA-9U

排気タービン過給機付、単動2サイクル、無気噴射、自己逆転式、クロスヘッド形ディーゼル機関

(2) 機関要目

シリンダ径 850 mm

行程 1,700 mm

MCR回転数 119 rpm

MCR出力 2,600 PSe

着火順序 1-6-7-3-4-9-2-5-8

(3) 測定条件

陸上運転

日時 昭和41年6月8日

負荷、回転数、ブレーキ荷重については第3.1.4表参照のこと。

海上運転

日時	載荷状態	吃水	Trim by stern
41年11月26日	50% Ballast	6.782 m	3.534 m
41年11月28日	Full	12.916 m	0.133 m

回転数については第3.1.5表参照のこと。

(4) 測定法

(i) 計器

			陸上運転時	海上運転時
佐世保	振動計	形式	電磁式振動計 VM 3,300LLH	電磁式地震計 MTDH-3C、MTDV-3C
		メーカー	KK国際機械振動研究所	KK保坂振動計器製作所
東大	記録計	形式	ペン書きオツシロ	電磁オツシロ
		メーカー	KK国際機械振動研究所	KK共和電業
東大	振動計	形式	動歪測定器	電磁式振動計
		メーカー	新興通信	KK国際機械振動研究所
東大	記録計	形式	電磁オツシロ	熱ペン型記録計
		メーカー	三栄測器	

(ii) 測定位置と方向

陸上運転時 第3.1.10図参照のこと。

海上運転時 図3.1.11図参照のこと。

(5) 船体に関するデータ

船 番 : S 1 6 8
 船 名 : B O R G E N
 載 荷 重 量 : 8 2.6 0 0 Ton
 L × B × D : 2 3.7 m × 3 8.7 m × 4.6 m
 △(Displacement) : 1 0 4,1 6 2 Long Ton
 Cb(Block coeff) : 0.8 1 6
 プロペラ直径 : 6,6 0 0 mm
 プロペラ翼数 : 6
 機関の位置 : 船尾機関
 Shoe pieceの有無 : 無
 船尾形状スケッチ : 第3.1.1.2図参照のこと。

第3.1.4表 陸上運転時計測条件

35~123 rpm にて回転数上昇、下降時5 rpm おきに計測した。

番号 T	設 定 回 転 数	実 際 の 回 転 数	ブレーキ 荷 重	番号 T	設 定 回 転 数	実 際 の 回 転 数	ブレーキ 荷 重
1	123	119.3	169.0 ^K	23	37	39.7	51.18 ^K
2	119	119.0	"	24	42	43.3	"
3	115	115.4	"	25	47	44.2	"
4	110	111.0	"	26	52	53.0	"
5	105	105.3	169.0 ^K	27	57	61.7	"
6	105	106.2	114.3 ^K	28	62	66.5	"
7	100	100.7	"	29	62	63.2	72.0 ^K
8	95	95.0	"	30	67	68.5	"
9	90	92.6	"	31	72	74	"
10	85	87.4	"	32	77	80.5	"
11	80	81.2	114.3 ^K	33	82	83.3	"
12	80	80.0	72.0 ^K	34	82	84.5	114.3 ^K
13	75	77.1	"	35	87	89.4	"
14	70	72.7	"	36	92	92.2	"
15	65	67.4	"	37	97	99.7	"
16	60	60.1	72.0 ^K	38	102	102.5	"
17	60	62.1	39.1 ^K	39	107	107.3	"
18	55	58.5	"	40	107	107.7	169.0 ^K
19	50	52.0	"	41	112	112.0	"
20	45	47.7	51.18 ^K	42	117	115.4	"
21	40	42.7	"	43	122	118.0	"
22	35	37.2	"				

第3.1.5表 海上運転時計測条件

番号T1～T57 50% Ballast Condition

番号S1～S42 Full Condition

なお、船体振動も同時計測された。

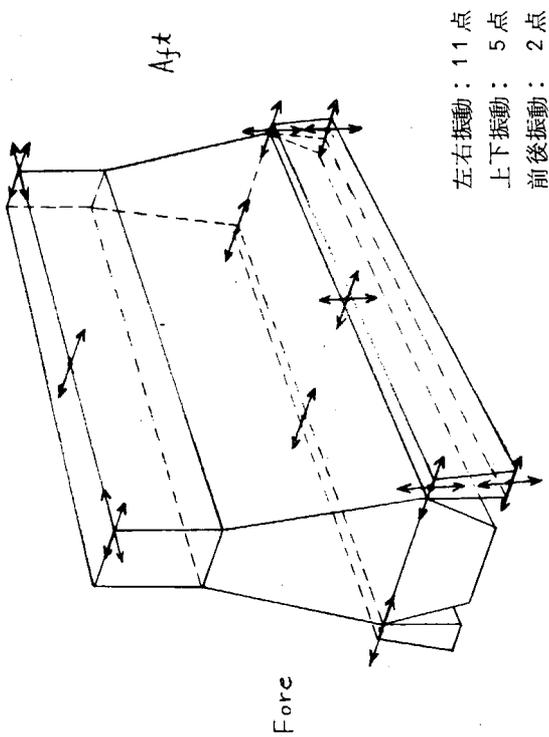
番号 T	設 定 回 転 数	実 際 の 回 転 数	番号 T	設 定 回 転 数	実 際 の 回 転 数	番号 S	設 定 回 転 数	実 際 の 回 転 数	番号 S	設 定 回 転 数	実 際 の 回 転 数
1	35	38.0	30	120	120.8	1	122	120.7	30	35	37.3
2	38	39.3	31	116	118.4	2	119	118.9	31	35	38.3
3	41	43.3	32	113	112.1	3	116	116.5	32	38	41.8
4	44	46.3	33	110	109.8	4	113	112.3	33	41	42.7
5	47	49.4	34	107	105.8	5	110	109.4	34	44	47.0
6	50	52.6	35	104	104.4	6	107	108.5	35	47	48.5
7	53	54.7	36	101	98.7	7	104	105.7	36	50	52.8
8	56	58.5	37	98	97.2	8	101	102.5	37	53	56.1
9	59	60.4	38	95	95.2	9	98	99.2	38	56	58.7
10	62	64.5	39	92	92.4	10	95	95.5	39	59	61.8
11	65	65.0	40	89	88.9	11	92	92.3	40	62	64.8
12	68	71.1	41	86	87.3	12	89	90.6	41	65	67.7
13	71	71.8	42	83	82.0	13	86	86.4	42	68	70.2
14	74	75.3	43	80	77.9	14	84	86.9			
15	77	76.6	44	77	78.4	15	83	84.7			
16	80	81.5	45	74	74.1	16	82	84.4			
17	83	84.8	46	71	70.5	17	81	81.1			
18	86	86.4	47	66	66.4	18	80	82.4			
19	89	89.7	48	62	61.5	19	77	78.6			
20	92	93.6	49	59	60.1	20	74	75.6			
21	95	95.7	50	56	55.1	21	71	72.6			
22	98	92.5	51	53	52.6	22	68	69.6			
23	101	103.3	52	50	50.5	23	65	67.8			
24	104	104.1	53	46	45.9	24	62	64.4			
25	107	107.3	54	43	43.6	25	59	60.0			
26	110	107.8	55	41	43.3	26	56	57.2			
27	113	113.0	56	38	39.9	27	53	54.7			
28	116	119.2	57	33	32.1	28	50	53.5			
29	119	112.2				29	41	43.6			

(6) 計測値解析結果

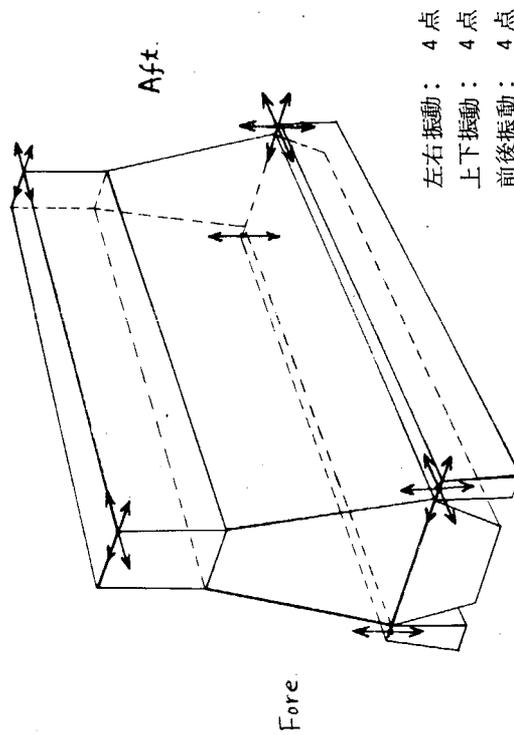
(i) 陸上運転時

(a) 合成振幅および各次数の振幅についての概略

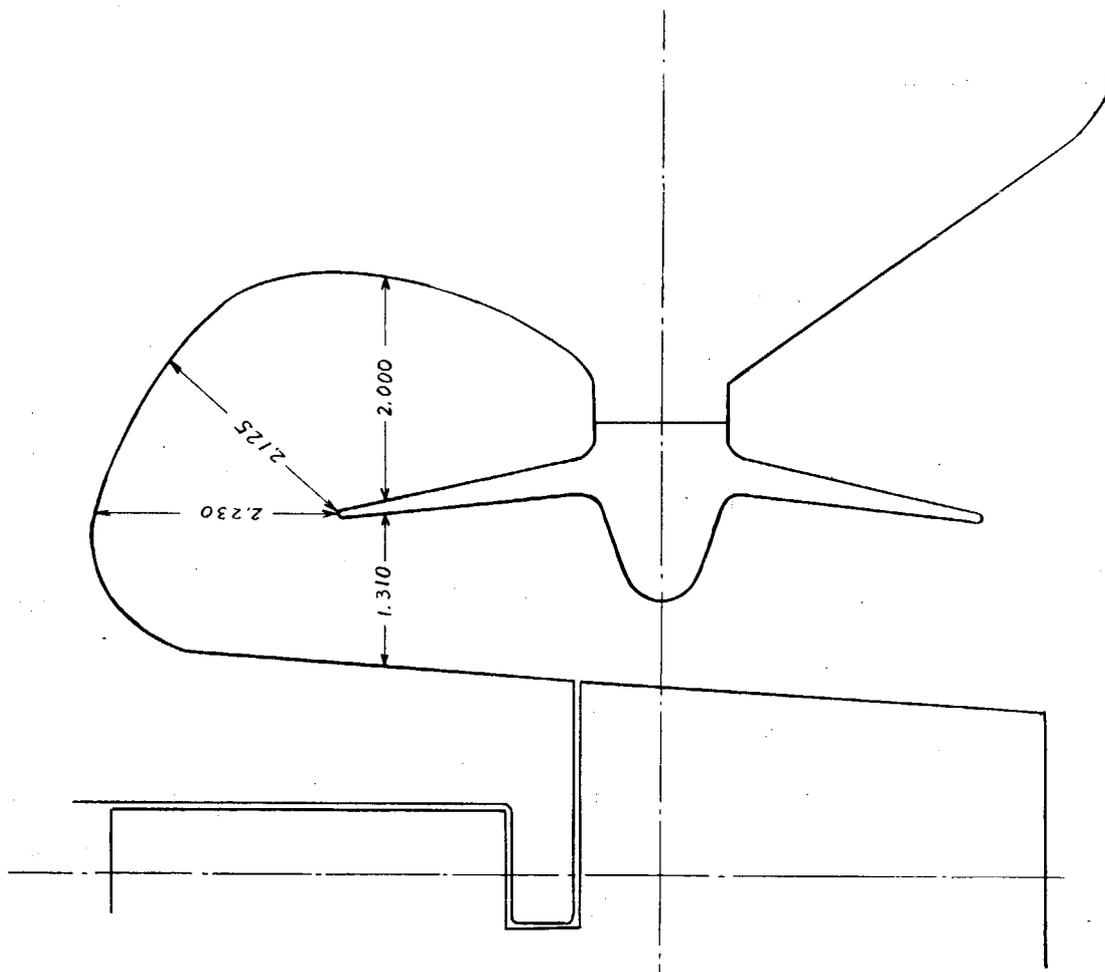
詳細な解析はフーリエ級数に分析しなければわからないが固有振動数の推定はある程度、実際の値に近いものが



第3.1.1.0 陸上運転時計測位置と計測方向



第3.1.1.1 海上運転時計測位置と計測方向



第3.1.1.2 図 S168 船尾形状スケッチ

得られるようである。

以下、位相差および解析結果 (Diagram) を示す。

各振動次数における各点の位相差

pick up 点	計測点	9 次 (43.3 rpm)	6 次 (84.5 rpm)	5 次 (95.0 rpm)
2-1	上段 前端	+	+	+
2-2	" 中央	+	-	+
2-4	" 後端	+	-	-
2-3	中段 前端	+	+	+
2-5	" 後端	+	-	-
1-1	下段、操縦側、前端	-	+	+
1-2	"、"、中央	+	-	+
1-3	"、"、後端	+	+	+
1-4	"、排気側、前端	+	-	-
1-5	"、"、中央	-	-	-
1-6	"、"、後端	-	+	+

注) 同符号 …………… 同位相

異符号 …………… 逆位相

(b) 振動計測結果のフーリエ解析の 1 例

6 月 8 日に計測を行なった佐世保重工 DM850 / 1700VGA-9 U 型機関の横振動について、最上段の横変位を前端、中央、後端についてフーリエ解析してみた。

データ読取：1 サイクルの区間が短い (1.5 ~ 2.5 mm ベンチシロ上) ので精度の上で問題があるが、1 サイクル 3 2 個のデータを読み取った。計算はデジタル計算機によつて行なった。計算時間を短くするため SIN、COS はあらかじめ計算させてメモリさせ、そのつど呼び出して積を取る方式をとった。出力は各調波成分の絶対振幅と位相を求めた。

回転数を横軸にとり各調波の絶対振幅 (片振幅) をプロットすれば第 3.1.2.3 および 3.1.2.4 図のようになる。ここでは 0.05 mm 以下のものは誤差の範囲とみなして省略した。

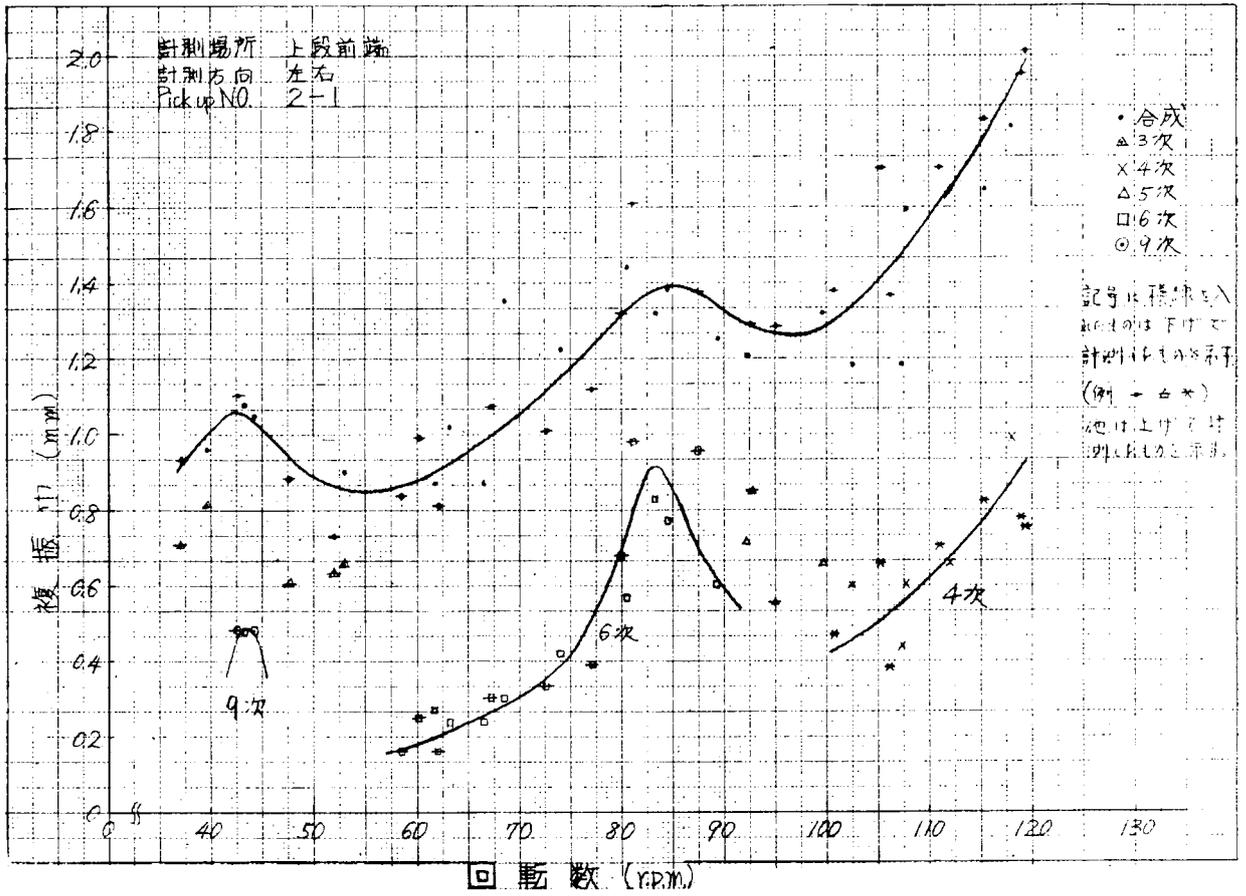
105 rpm、80 rpm、60 rpm 近くで振幅特性が急に変わっているのは負荷がそれぞれ $16.9 \cdot 10^3 \rightarrow 11.4 \cdot 10^3$ 、 $\rightarrow 7.2 \cdot 10^3 \rightarrow 3.9 \cdot 10^3$ へと変わったことによるものである。

中央部では 0.05 mm 以上の成分 (振幅) をもつたものはあらわれなかつたので省略した。(合成振幅では 0.05 mm 以上の所もある)

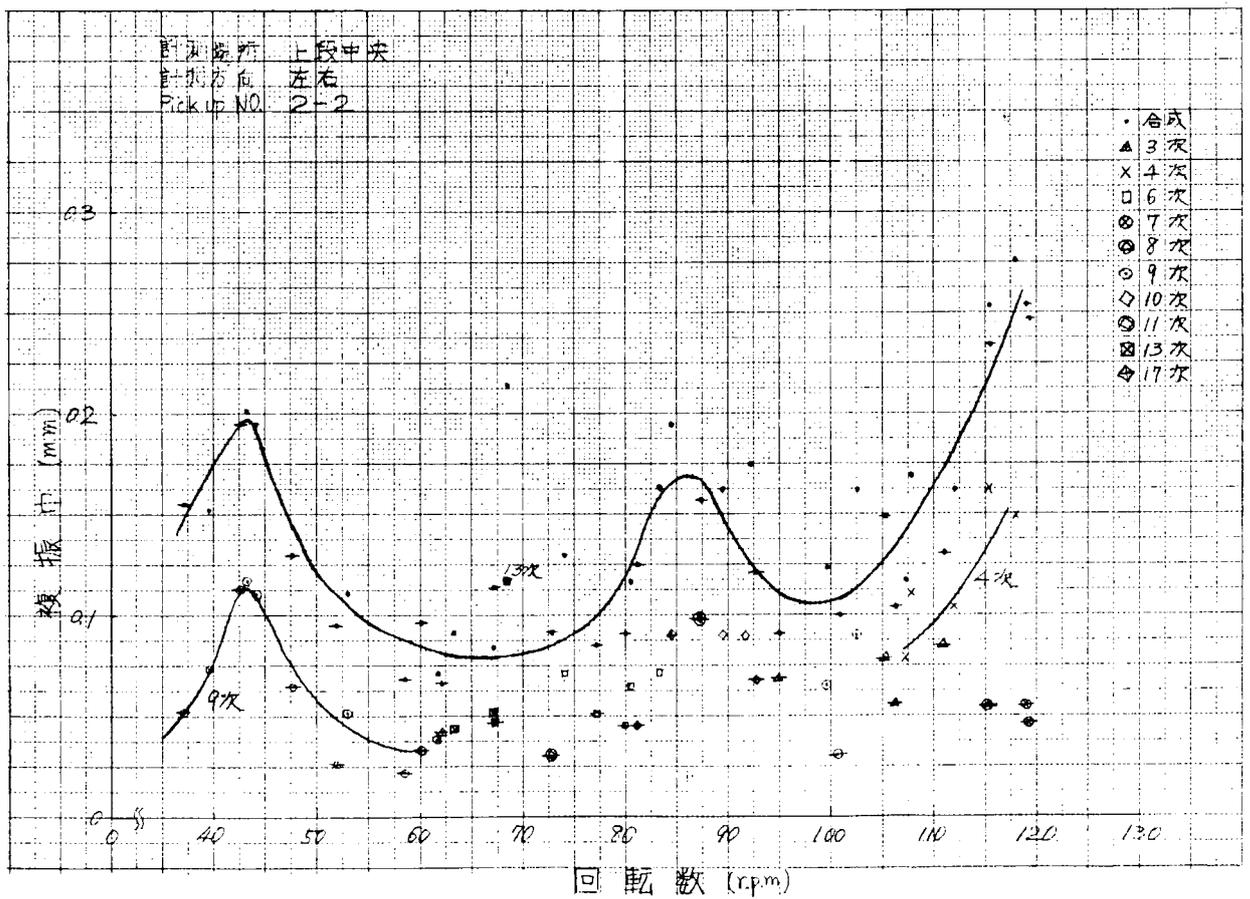
位相特性：位相特性を第 3.1.2.5 図に示す。位相特性のあらわし方には、第 1 シリンダが TDC にある所を規準にしてあらわす方法もあるが、ここでは横振動のモード (X 型か、どうか) を知るために前端後端での位相差であらわした。読み取りの誤差の範囲から考えて、第 3.1.2.5 図の程度で、3、4、5、6 次の振動では、前後が逆相の振動と考えるとよく、X 型の振動であり、1 回転 1 回の振動成分および 1 回転 9 回の 9 次の振動は同相の振動であると考えられる。

以上から次のことがわかる。

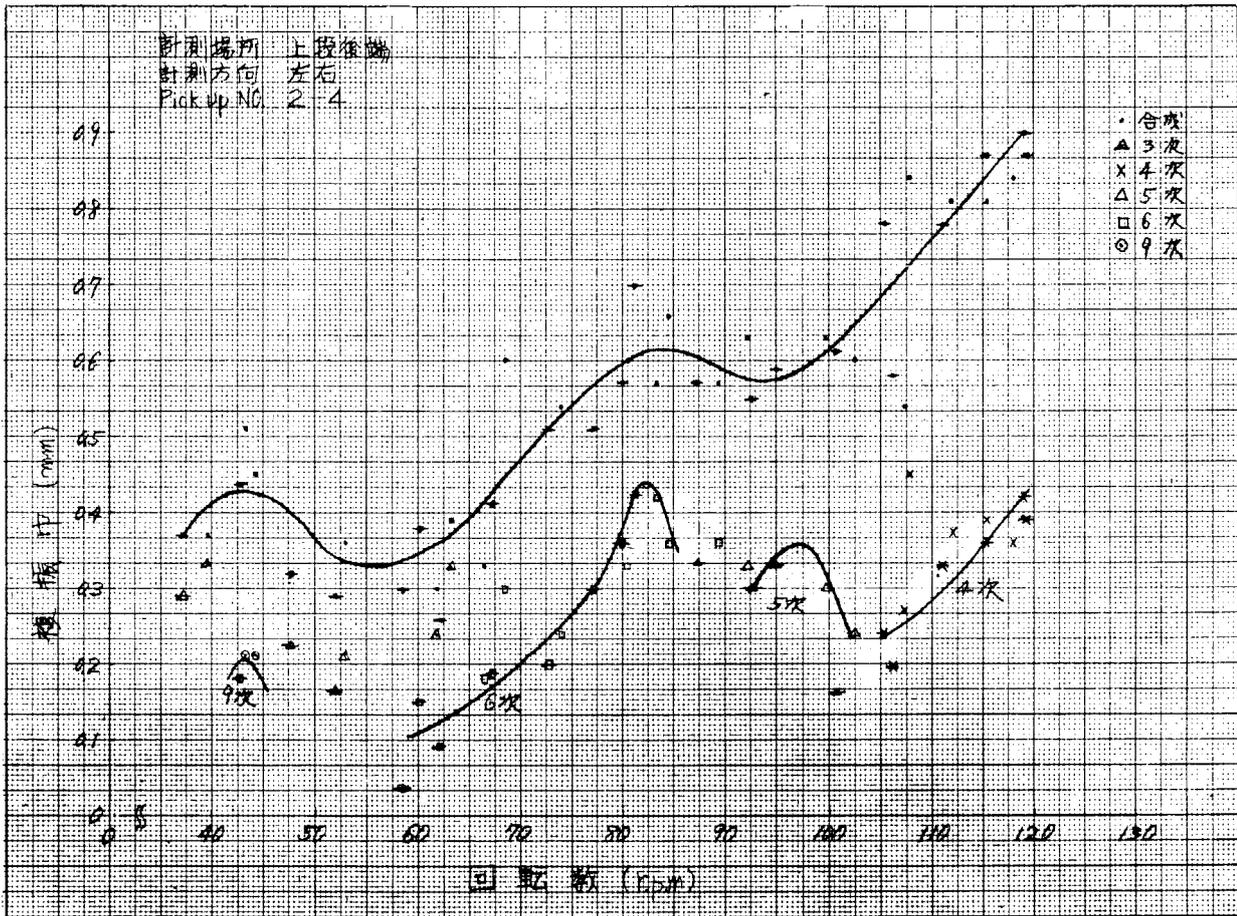
- a) この機関は使用範囲内に 4、5、6 次の共振がある。3 次の成分は共振点までいかないが、使用範囲内でかなり大きな値をもつ。これらはいずれも X 型の振動で前後端が逆位相で振動している。共振振幅は 4 次が一番大きく、6 次 5 次の順である。(回転数が高くなるにつれ負荷も大きくなっている)
- b) 前端が大きくゆれ、後端のゆれは前端の半分くらいである。中央部はほとんどゆれない。



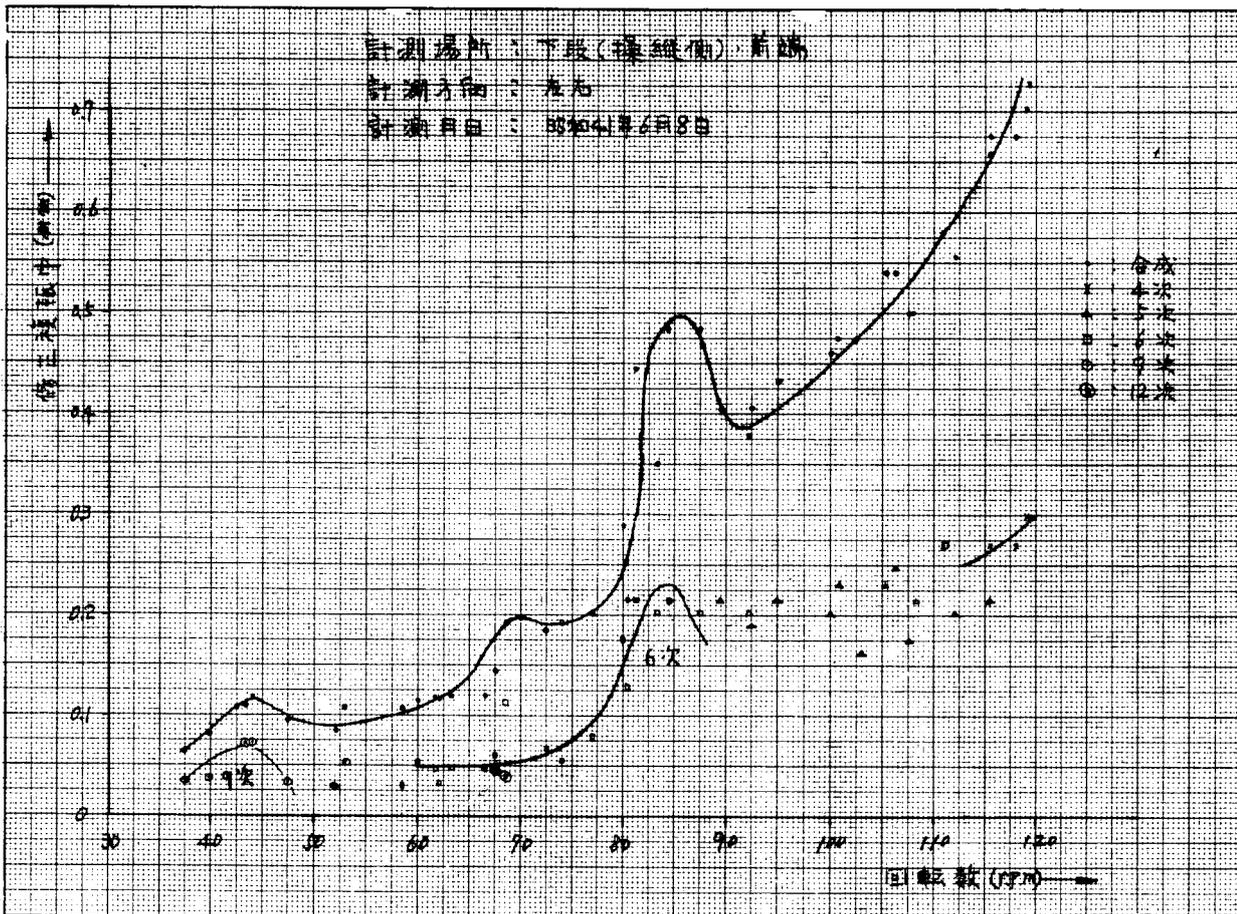
第 3.1.1.5 図



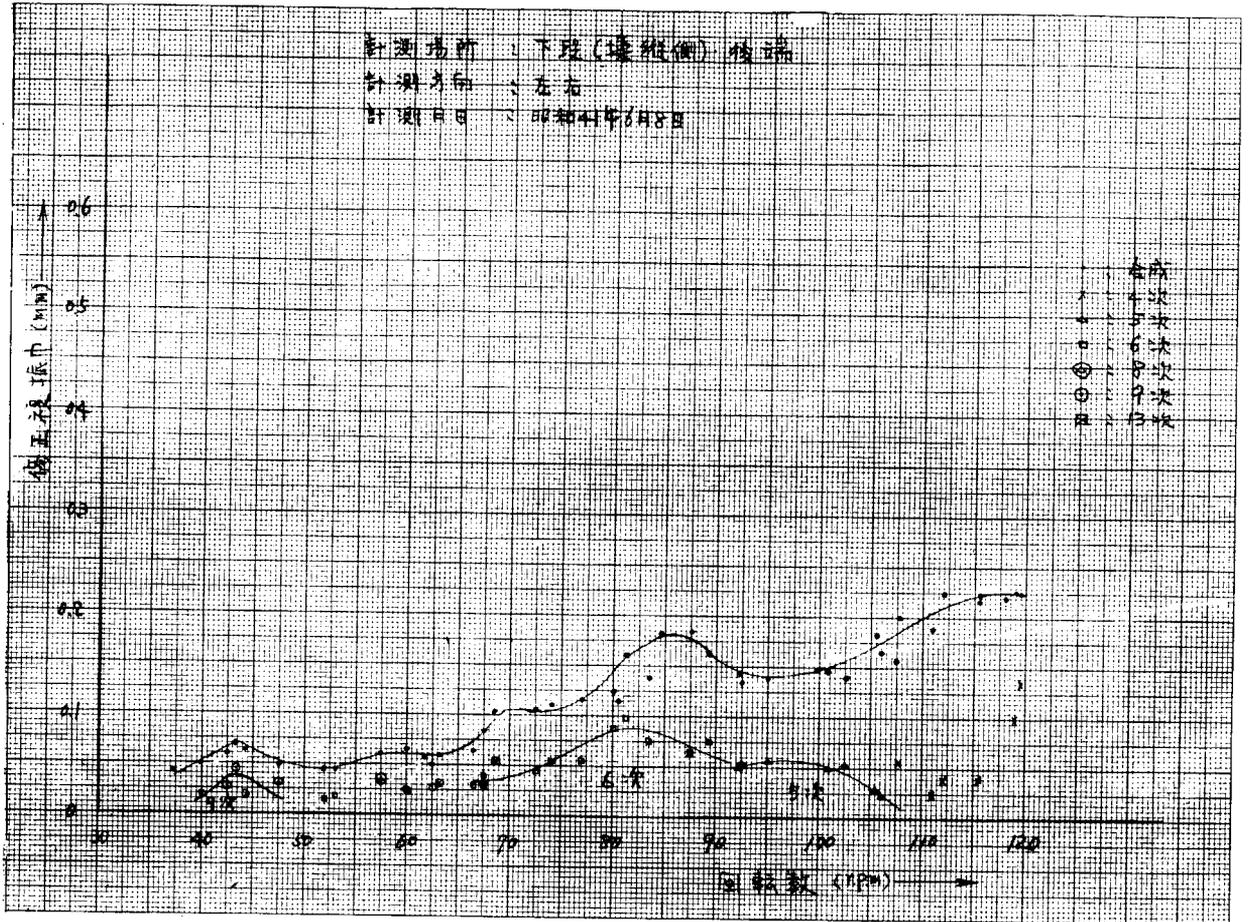
第 3.1.1.6 図



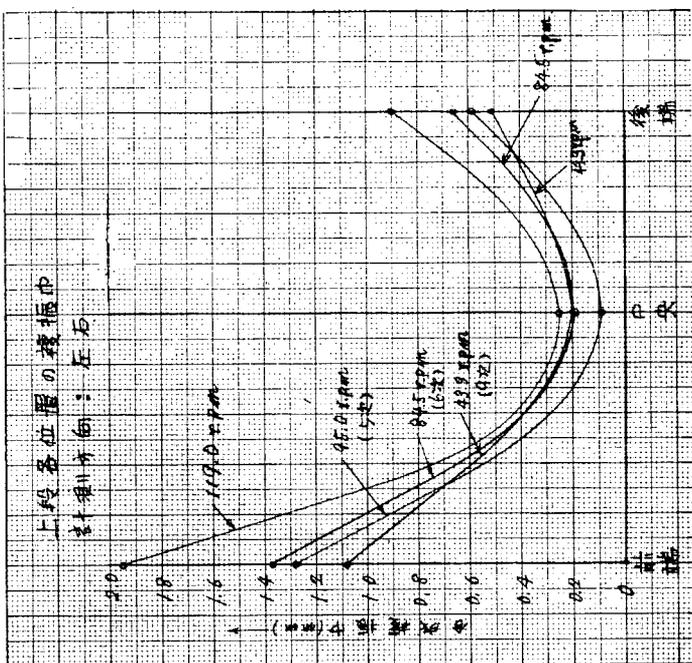
第 3.1.17 図



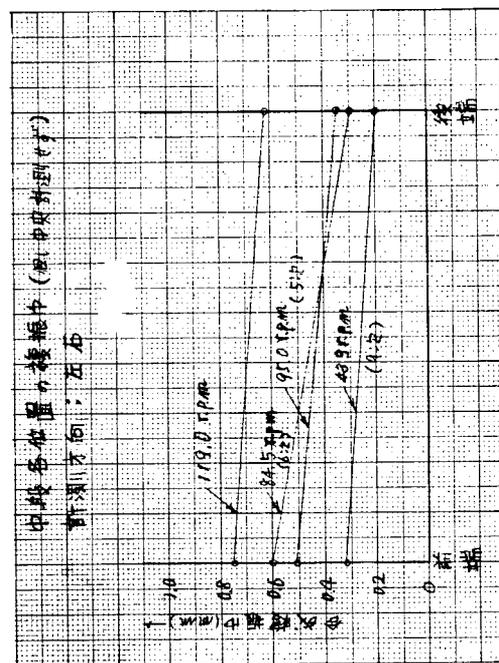
第 3.1.18 図



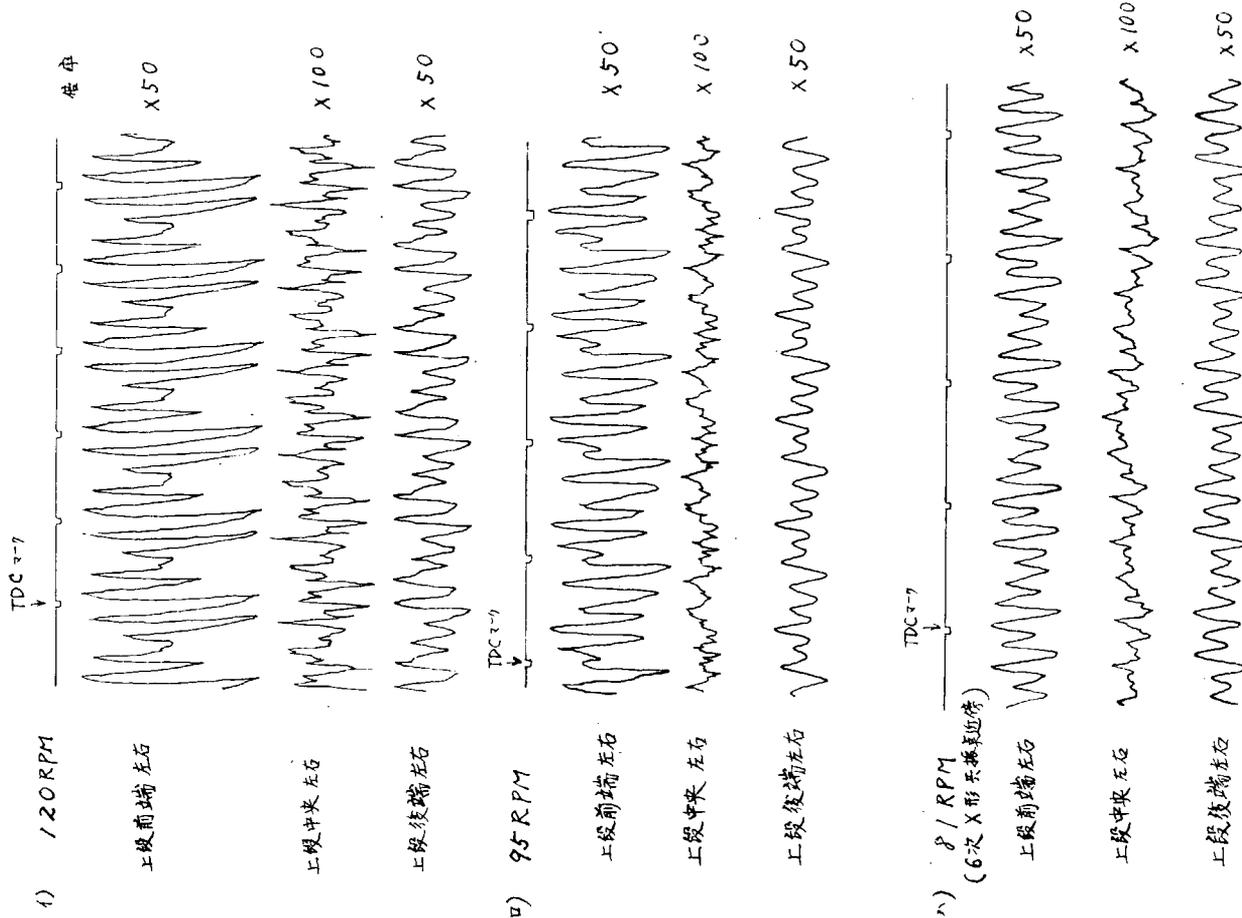
第 3. 1. 1 9 図



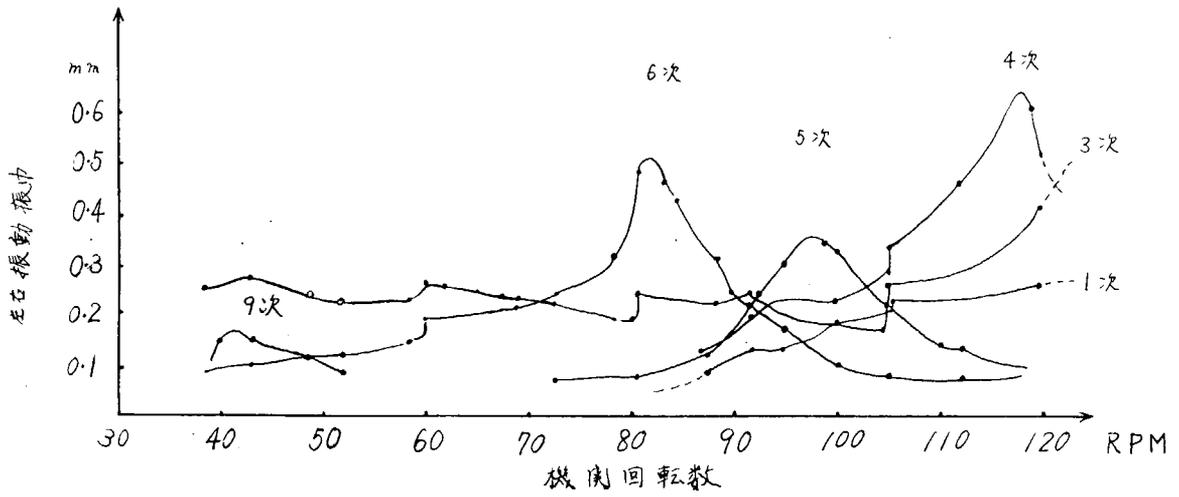
第 3.1.2.0 図 上段各位置の複振幅



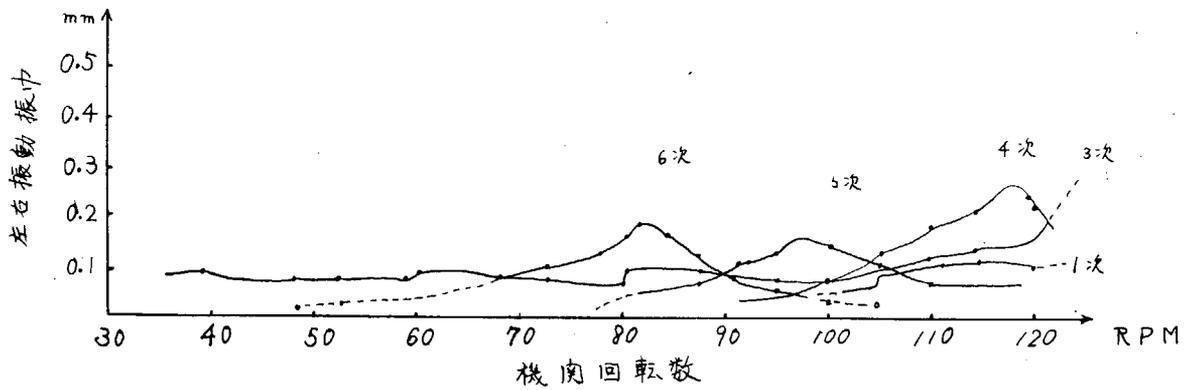
第 3.1.2.1 図 中段各位置の複振幅
(ただし中央計測せず)



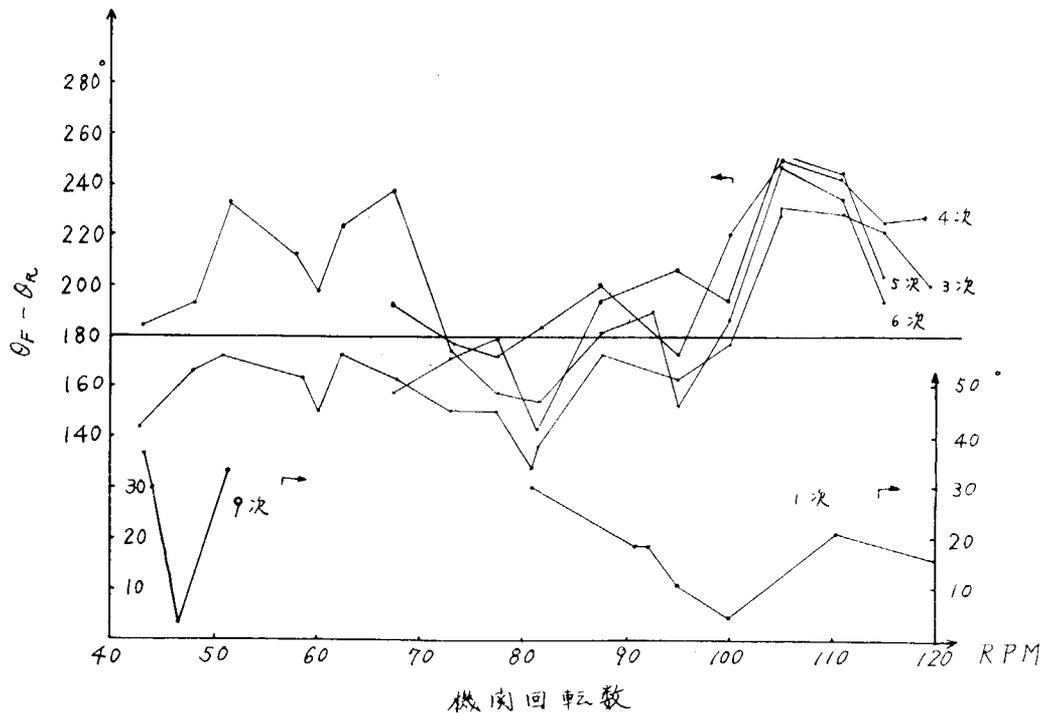
第 3.1.2.2 図 陸上運転時の計測記録の一例



第 3. 1. 2 3 图 上段前端左右振動

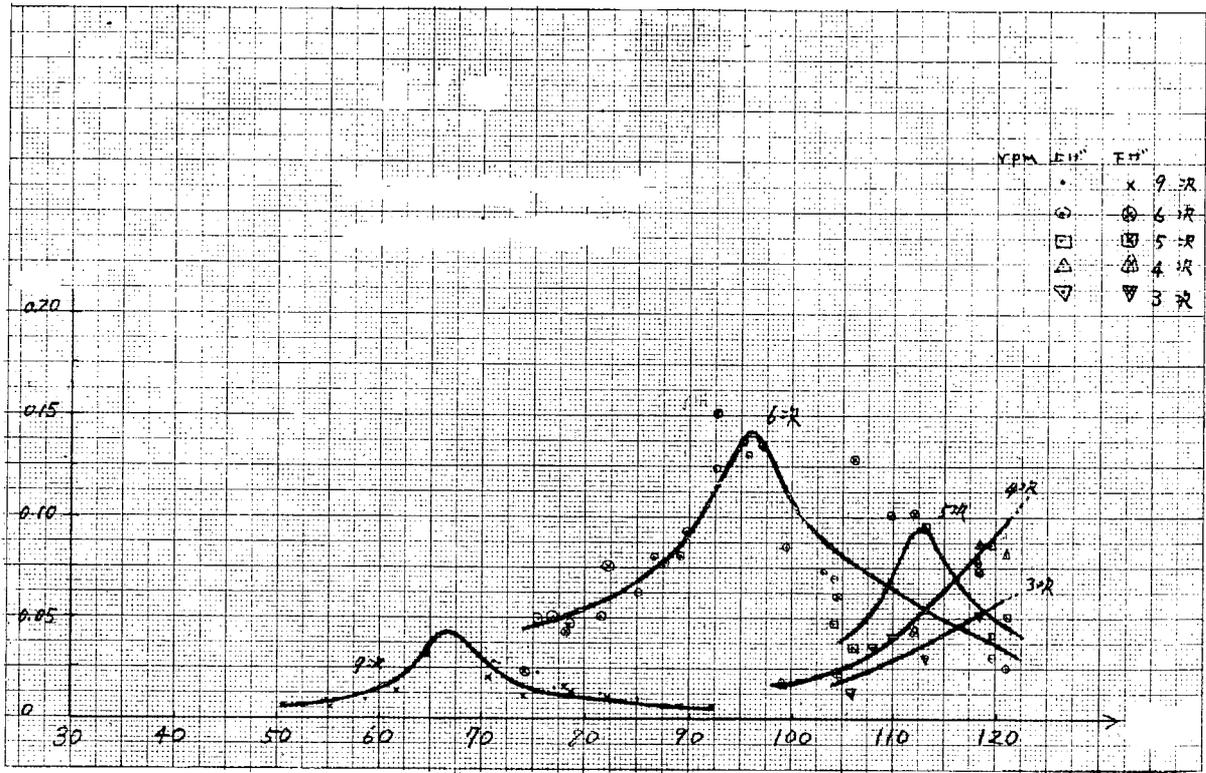


第 3. 1. 2 4 图 上段後端左右振動



第 3. 1. 2 5 图 前端後端の位相差

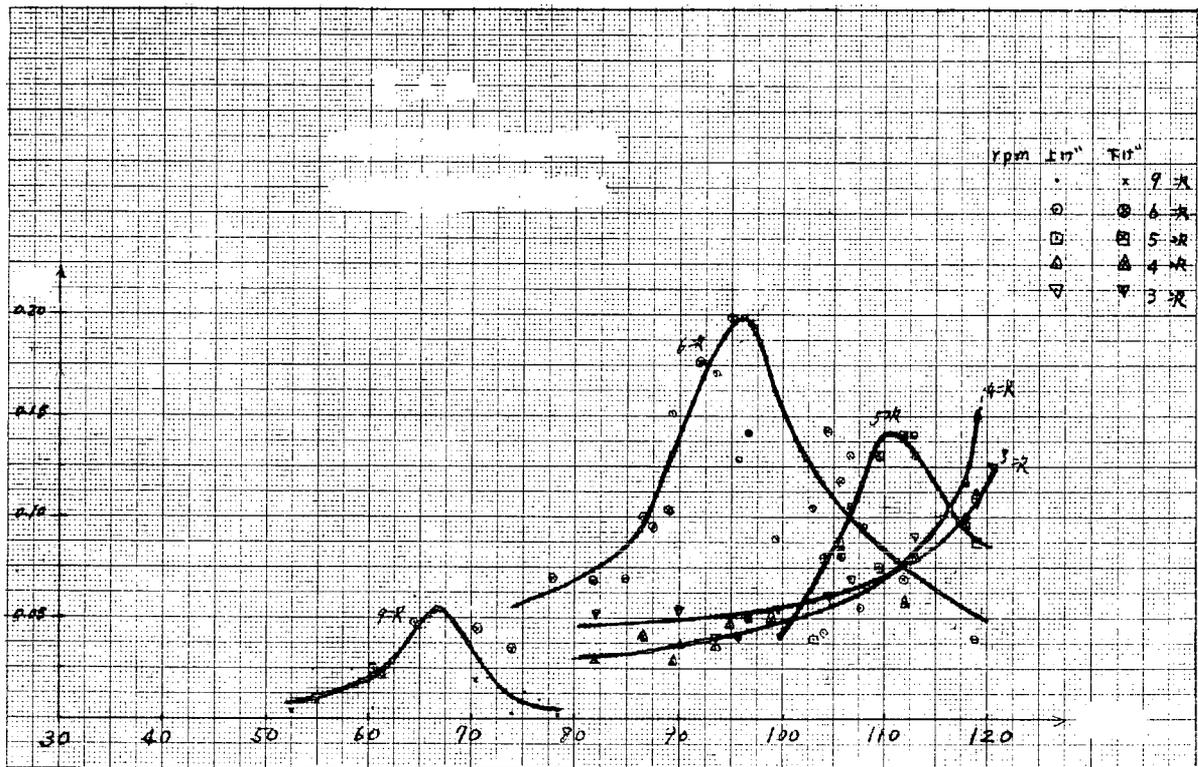
片振幅 (mm)



機関回転数 (rpm)

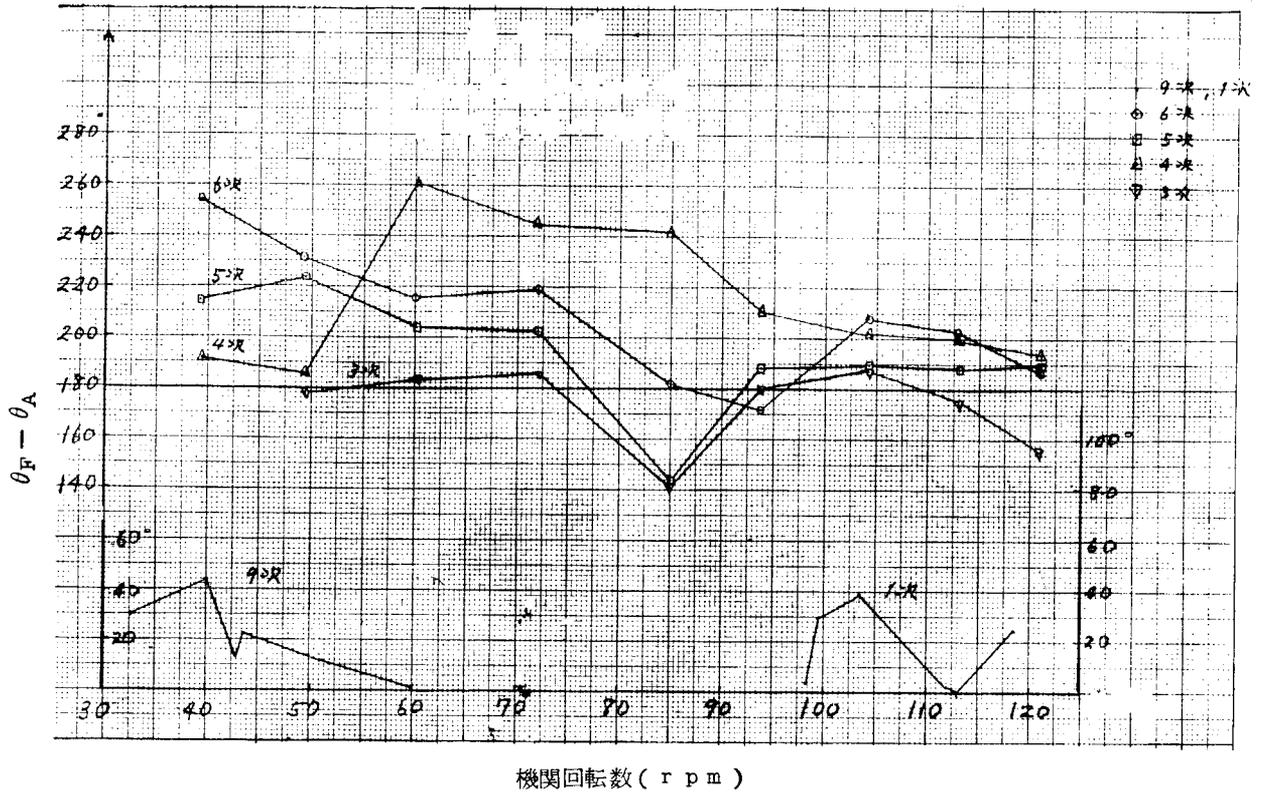
第 3. 1. 2 6 図 50% Ballast Cond. 時上段前端的横変位

片振幅 (mm)

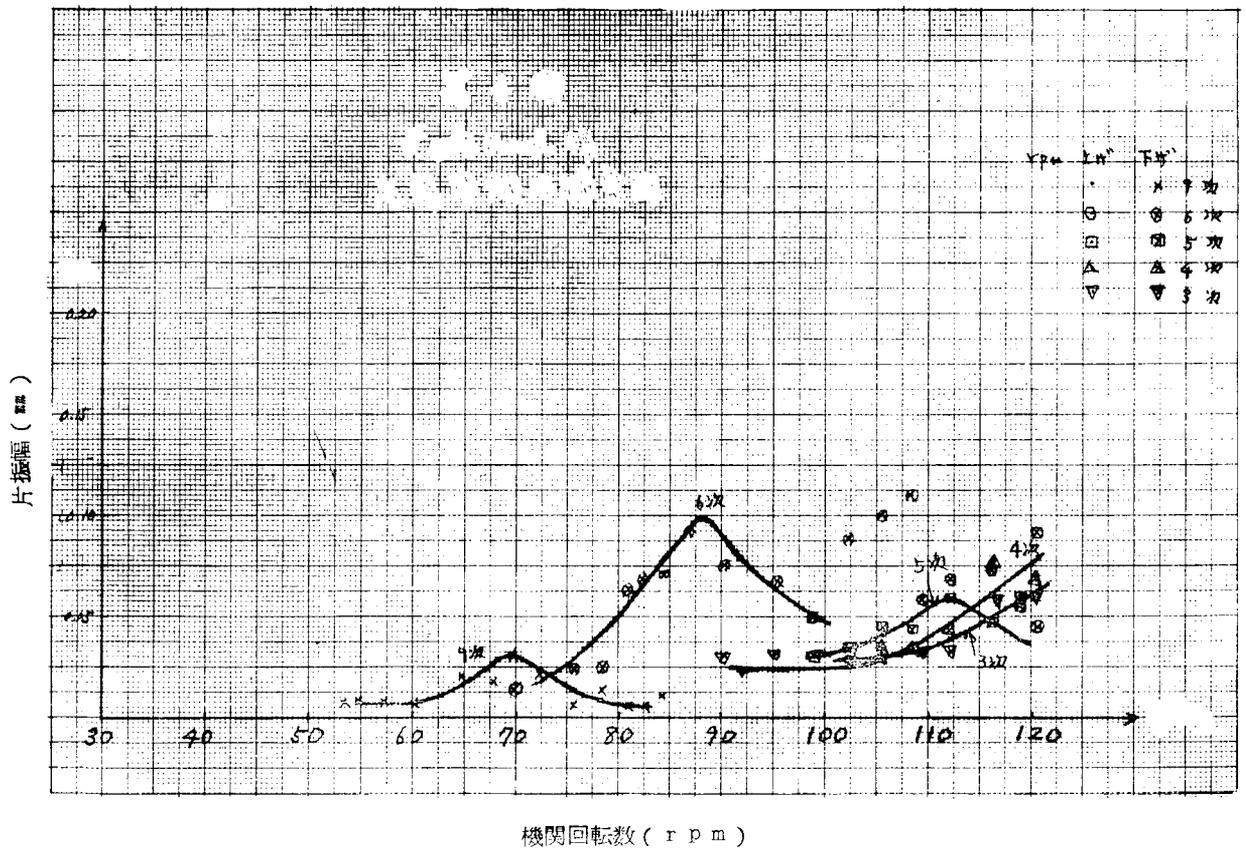


機関回転数 (rpm)

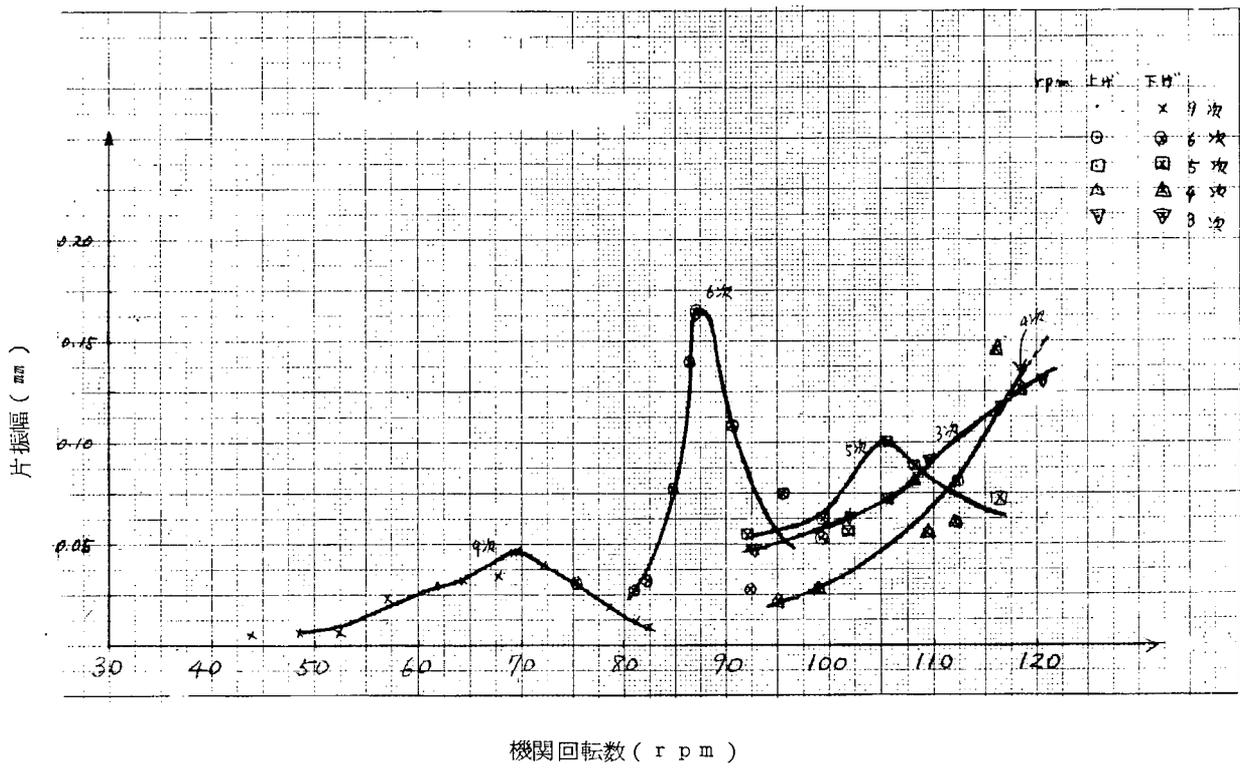
第 3. 1. 2 7 図 50% Ballast Cond. 時上段後端的横変位



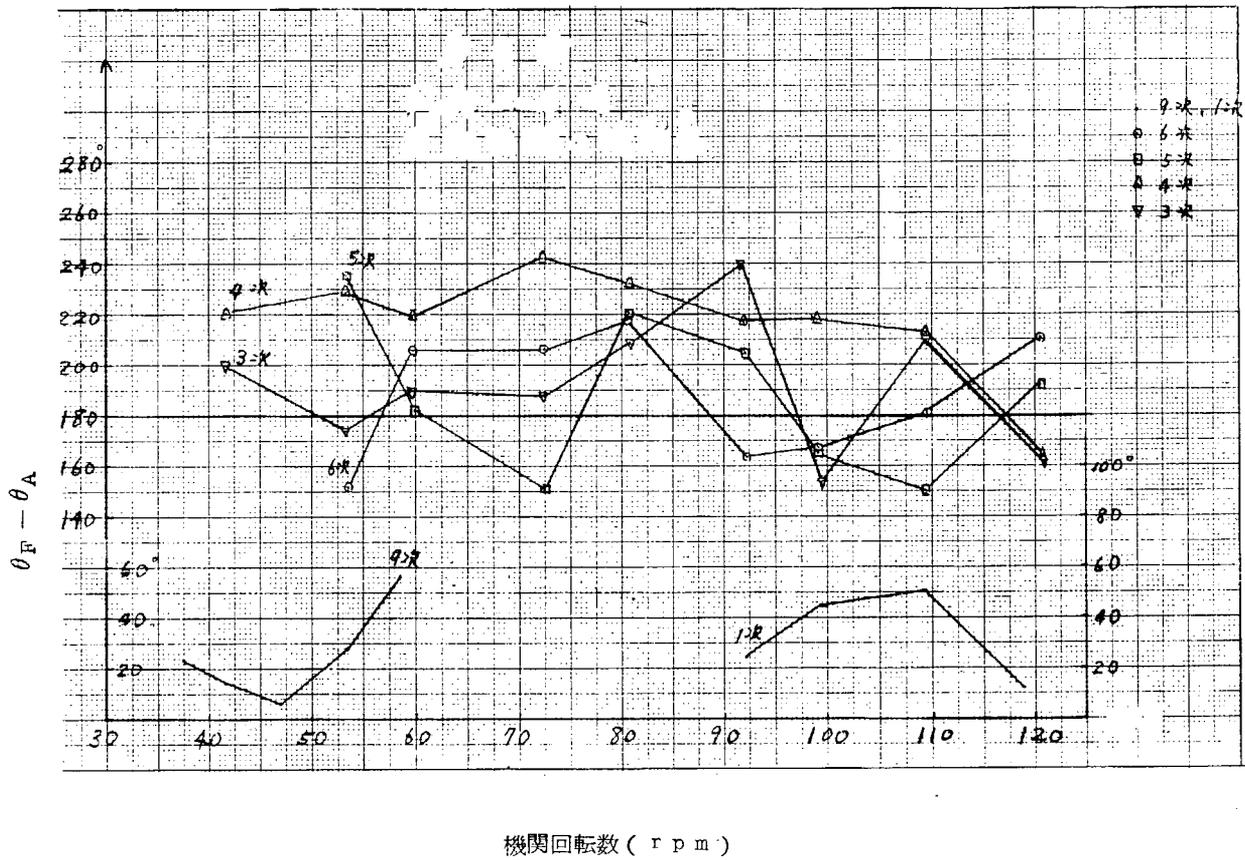
第3.1.28図 50% Ballast Cond. 時前段後端の位相差



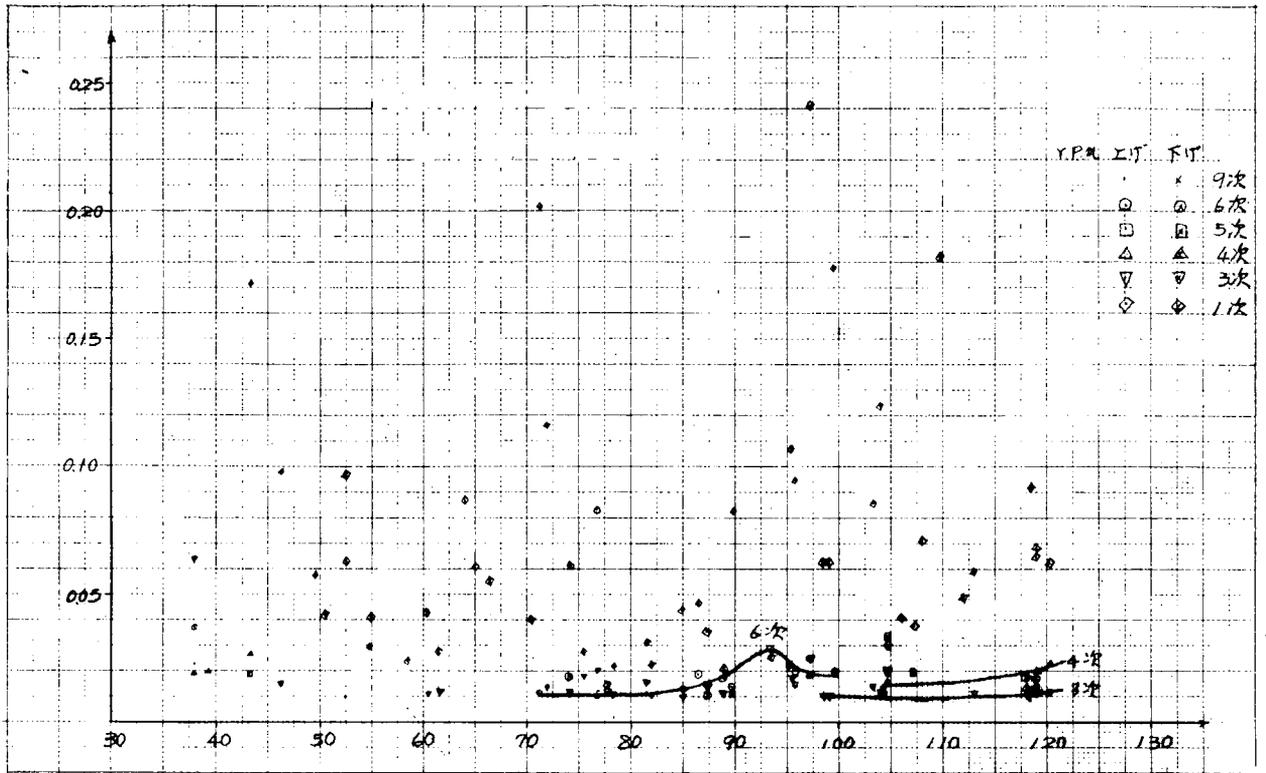
第3.1.29図 Full Cond. 時1段前段の横変位



第 3.1.3 0 図 Full Cond. 時上段後端の横変位

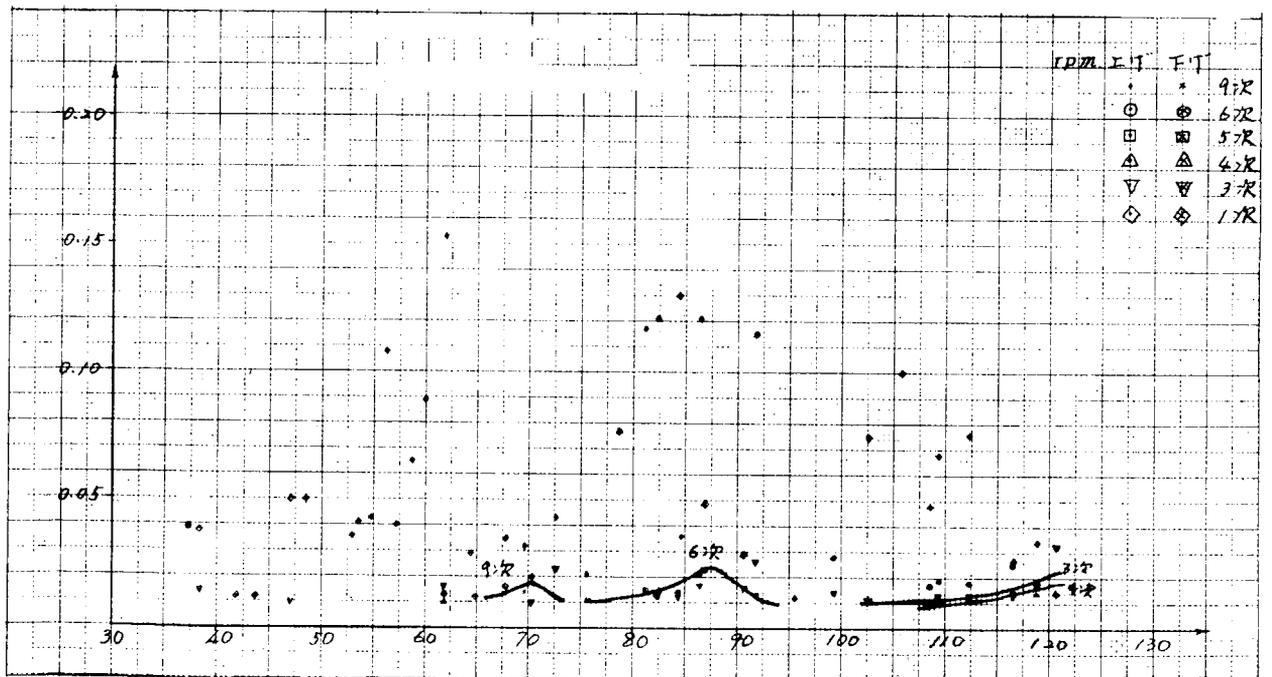


第 3.1.3 1 図 Full Cond. 時前端後端の位相差



機関回転数 (r p m)

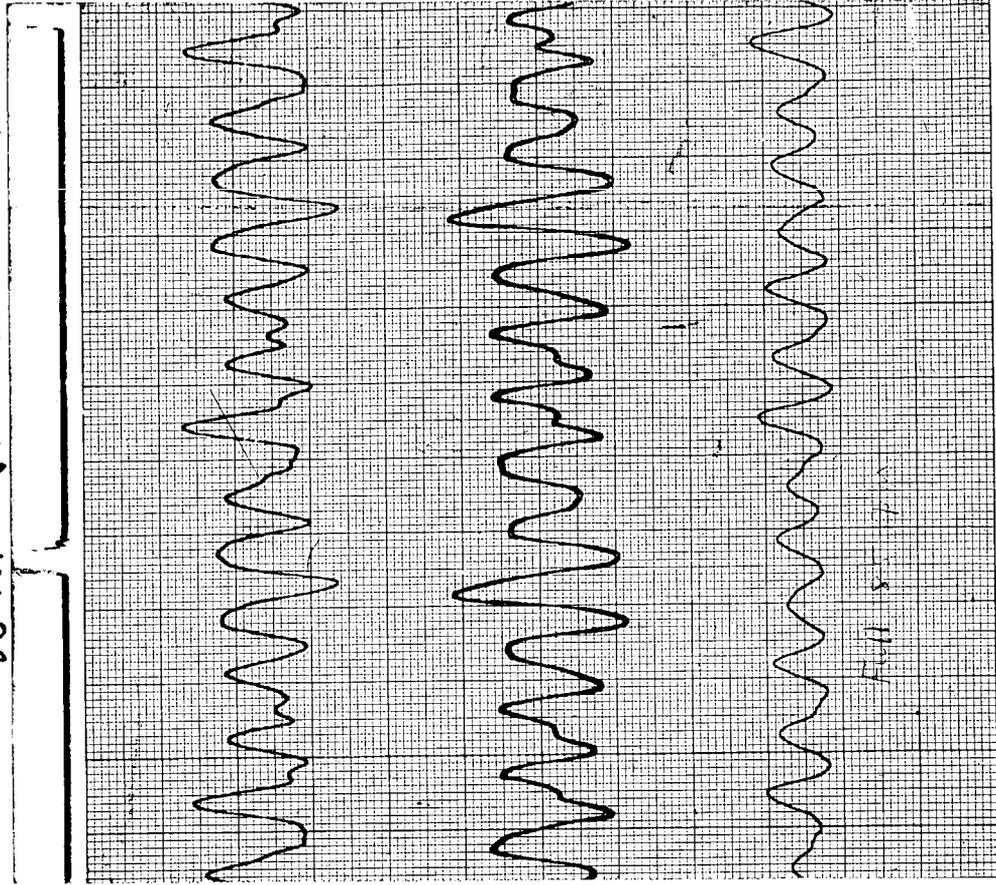
第 3.1.3 2 図 50 % Ballast Cond. 時下段前端の上下振動



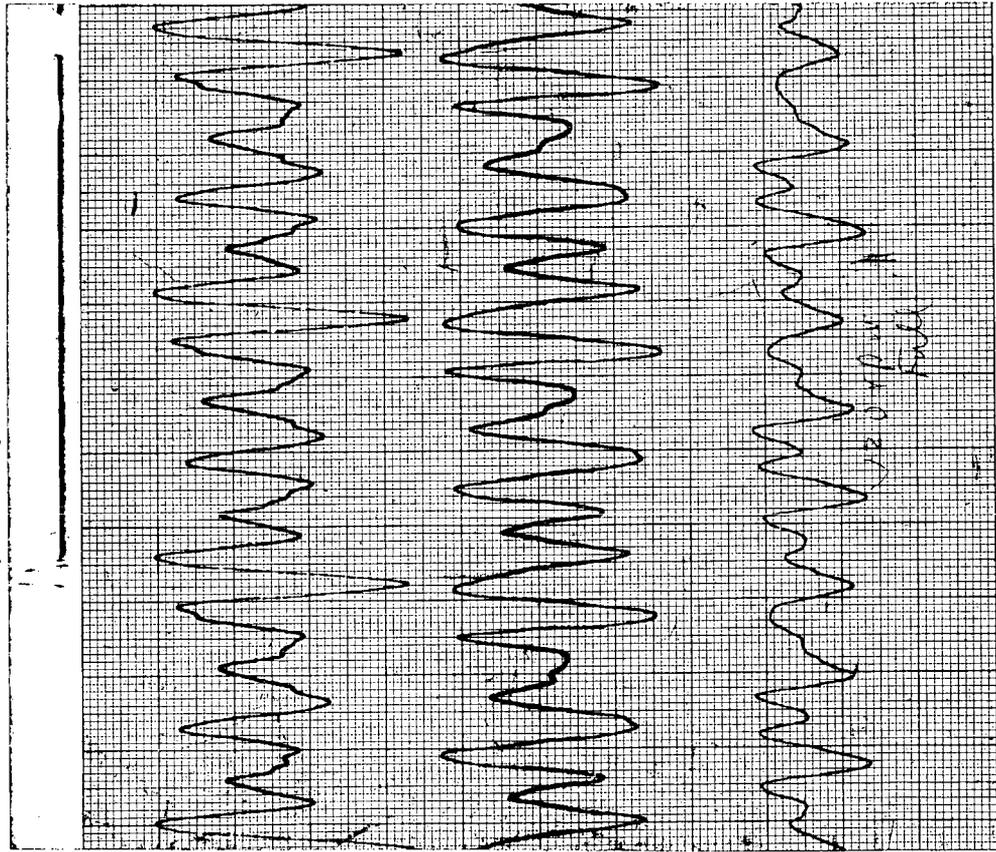
機関回転数 (r p m)

第 3.1.3 3 図 Full Cond. 時下段前端の上下振動

85 RPM (6次X形共振速傍)



120 RPM



上段前左

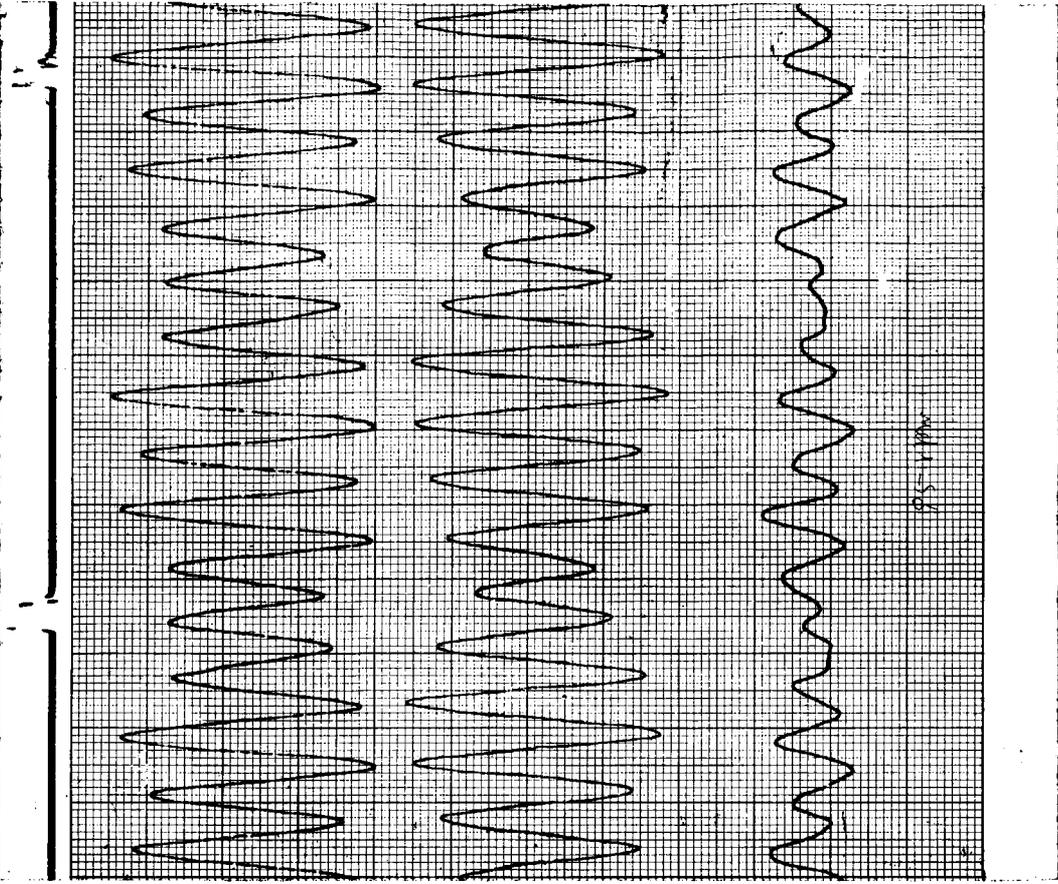
上段後左

下段前下

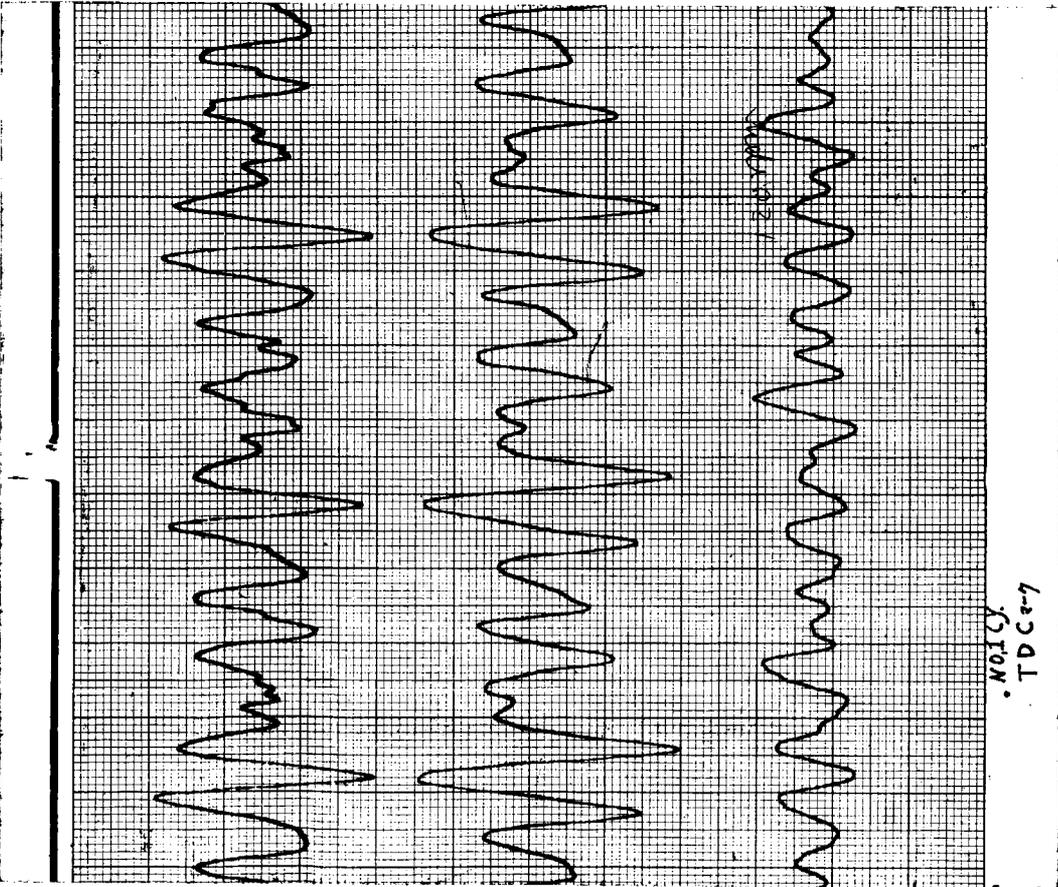
NO. 1 Cy.
TDC 3-7

第 3.1.34 図 海上運転時の計測記録例 (Full Cond.)

95 RPM (6次X形共振莫込傍)



120 RPM



上段前左

上段後左

下段前下

NO.10
TDC-7

第 3.1.3 5 図 海上運転時の計測記録例 (50% Ballast Cond.)

- c) 1次および9次の振動は全体が一緒に首をふる同相の振動モードである。100rpm以上では1回転1回の成分もかなり大きくなる。1次および9次の振動の固有振動数は、5、4、5、6次のものとは異なっている。
- d) 負荷の変化(出力の変化)に対して振幅も変わる。したがって振動源に対して系は一義的な応答をするものと考えられる。すなわち入力が明らかであれば、系を適当な振動系に模擬することにより、それに対する応答が求められるものと思われる。

(ii) 海上運転時における振動計測結果のフーリエ解析

昭和41年11月26日(50% Ballast Condition)および昭和41年11月28日(Full Condition)に計測を行なった佐世保GVエンジンDM850/1700VGA-9U型機関の横振動について、最上段の横変位を前端と後端についてフーリエ解析した。

データ読取：ペンオンロ上で1サイクル37個のデータを読み取り、計算はデジタル計算機によつて行なった。出力は各調和成分の絶対振幅、周波数、補正係数、周波数補正を行なった実振幅(片振幅)および位相を求めた。

回転数を横軸にとり各調波の実振幅(片振幅)をプロットすれば第3.1.26、3.1.27、3.1.29、3.1.30図のようになる。

回転数が上げがつてのときの振幅と下げがつてのときの振幅とが異なっているのは、エンジンが十分整定していない状態で計測したためと思われる。

位相特性：位相特性を第3.1.28図および第3.1.31図に示す。横振動のモード(X型かどうか)を知るために、前端後端での位相差であらわした。読み取りの誤差の範囲から考えて、およそ第3.1.28および第3.1.31図のようになり、3、4、5、6次の振動では前後が逆相の振動と考えられ、X型の振動であり、1回転1回の振動成分および1回転9回の9次の振動は同相の振動であると考えられる。

陸上運転時との比較：陸上運転時は前端が後端よりはるかに大きくゆれたが、海上では反対に後端のほうがゆれが大きい。

また、各次数の共振点が陸上運転時より回転数の高いほうに移動した。このことは各次数の振動の固有振動数が高くなったことを示すものであり、その原因として考えられることは陸上運転時の基礎がやわらかいことおよび定盤との締め付けボルトの数が少ないことによるものと推定される。

(iii) 固有振動数

固有 振動数	陸上運転時		海上運転時			
			50% Ballast		Full	
	X	H	X	H	X	H
計算値	460	371	—	—	—	—
実測値	488	374	576	599	528	626

(iv) 計測生データ

第3.1.34図および第3.1.35図参照のこと。

3.2 デーゼル機関(984-VT2BF-180)の陸上および海上運転時における架構横振動計測結果およびその検討(日立造船)

3.2.1 緒言

本報告は日立造船における74,000DWT Ore, Bulk & Oil Carrier 主機(日立B&W984-VT2BF-180形機関、20,700PS)の陸上および海上運転時において機関架構の横振動および上下振動変位を測定して、その固有振動数、振動モードなどを把握検討し、振動防止対策の資料を得るものである。

3.2.2 調 査

(1) 固有振動数の計算

剛性台上に据付けた状態での機関架構の横揺れ(曲げ、H型)固有振動数の計算を測定対象の機関に対して、佐世保重工と同様、Rayleighの図式解法にて行なつた。その結果固有振動数は次のとおりである。

シリンダ数	12	固有振動数	596 cpm
	10		599
	9		601

(2) 起振偶力ベクトル和の計算

X型横振動の起振偶力ベクトル和の計算結果は次のとおりである。

X型横振動起振偶力ベクトル和

シリンダ数	4次	5次	6次	7次	8次	9次	10次
12	16.8	3.59	43.7	0.77	1.66	2.40	0.076
10		69.4	0.32	4.28	0.37	0.37	--
9		11.3	27.5	0.89	0.86	--	0.31

ただしトルクハーモニックは図示平均有効圧 10 kg/cm^2 (最高圧力 65 atg)、 $l/r = 4$ の値を用い、比振幅は船首端=1、船尾端=-1の軸系ねじれ振動モードを用いた。なおシリンダ数次のベクトル和が0でないが、これはチエイスケーシングが機関中央にないことおよび上記振動モードの仮定によるものと思われる。

つぎにシリンダ数次のH型横振動の起振偶力ベクトル和の計算結果は次のとおりである。

H型横振動起振偶力ベクトル和

シリンダ和	12	10	9
起振偶力ベクトル和	7.0	5.8	11.0

3.2.3 測定機関および船舶の仕様

(1) 測定機関

シリンダ径/行程/シリンダ数	: 840 mm/1,800 mm/9
回転数/出力(M. C. R. 計画)	: 114 rpm/2,0700 PS
着火順序	: 1-6-7-3-5-8-2-4-9

(2) 測定船舶

L×B×D	: 24000×3230×1890 m
△満載(計画)	: 92170 LT
吃水、トリム 満載(計画)	: Fore 13.98 m Aft同左 Trim 0
プロペラ直径/翼数	: 6550 mmφ/5翼
Cb、エンジン位置	: 0.841、Aft
船尾形状	: Shoe Pieceなし(第3.2.1図参照)

3.2.4 測定法

(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5.2.1～3.2.3図に記号で示した。

(i) 陸上運転時

第3.2.1表 陸上運転時の測定位置

振動変位計 No.	測定位置	方向	V (上下)、H (横)
1	6		
2	6'		H
3	7	V	H
4	8	V	H
5	9	V	H
6	10		H
7	1	V	H
8	3	V	H
9	4	V	H
10	2	V	H
11	5	V	H

(ii) 海上運転時

第3.2.2表 海上運転時の測定位置

振動変位計 No.	満載および半載	半載(ブローシング除去)	備考
1	測定位置 6-方向 H (横)	測定位置 6-方向 H (横)	
2	8 H	8 H	
3	9 H	9 H	
4	7 H	6c H	
5	1 H	1 H	
6	3 H	3 H	
7	4 V (上下)	4 V (上下)	
8	3 V	3 V	
9	5 V	5 V	
10	1 V	1 V	
5	13 V		軸系振動測定時、L方向
6	13 H		振動変位測定と同時測定

(2) 測定機器

(i) 振動変位計 周波数特性を第3.2.4図に示す。

No. 1 ~ 6 : 国際機械振動研究所製低域振動計 (3素子) VM-3303LL 2個

振動振幅測定範囲 0 ~ ± 50 μ、150 μ、500 μ、1.5 mm、5 mm、5 range

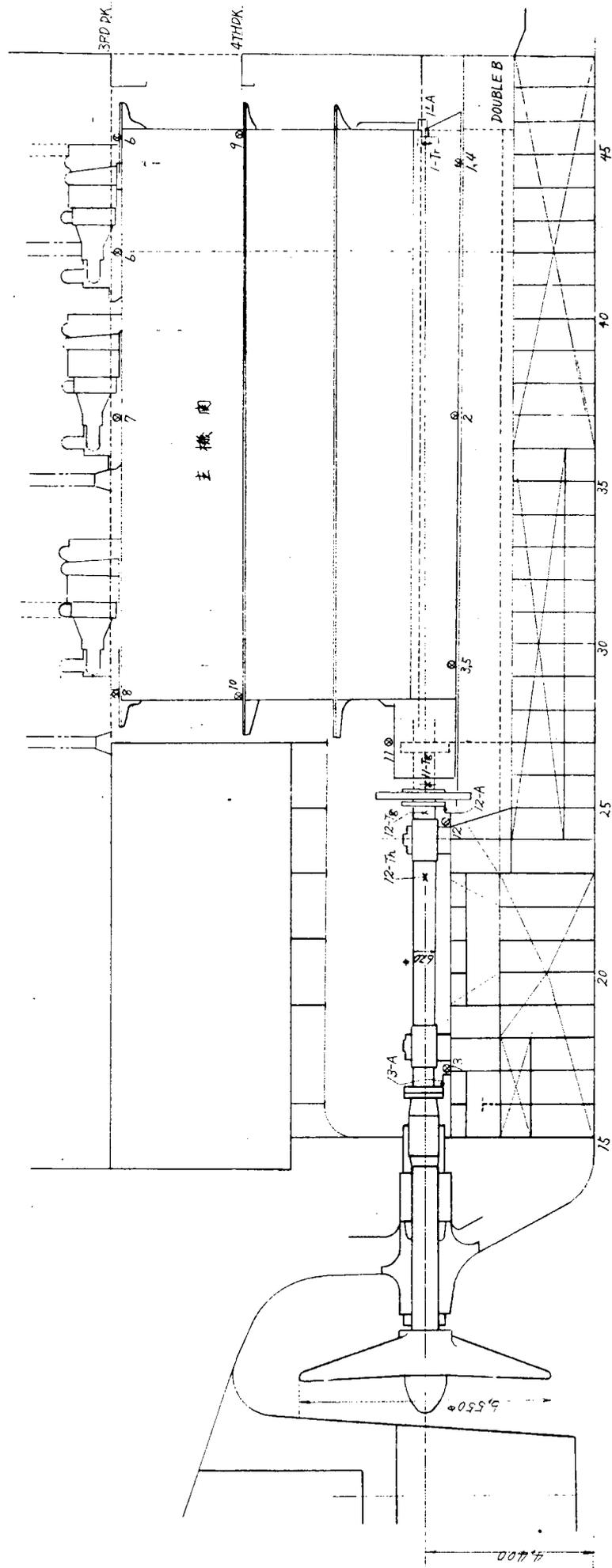
振動測定周波数範囲 1 ~ 50 cps たゞし 1 ~ 2 cps は指示値較正曲線による

振動検出部 VP-3300LL型、動電型振動速度検出方式

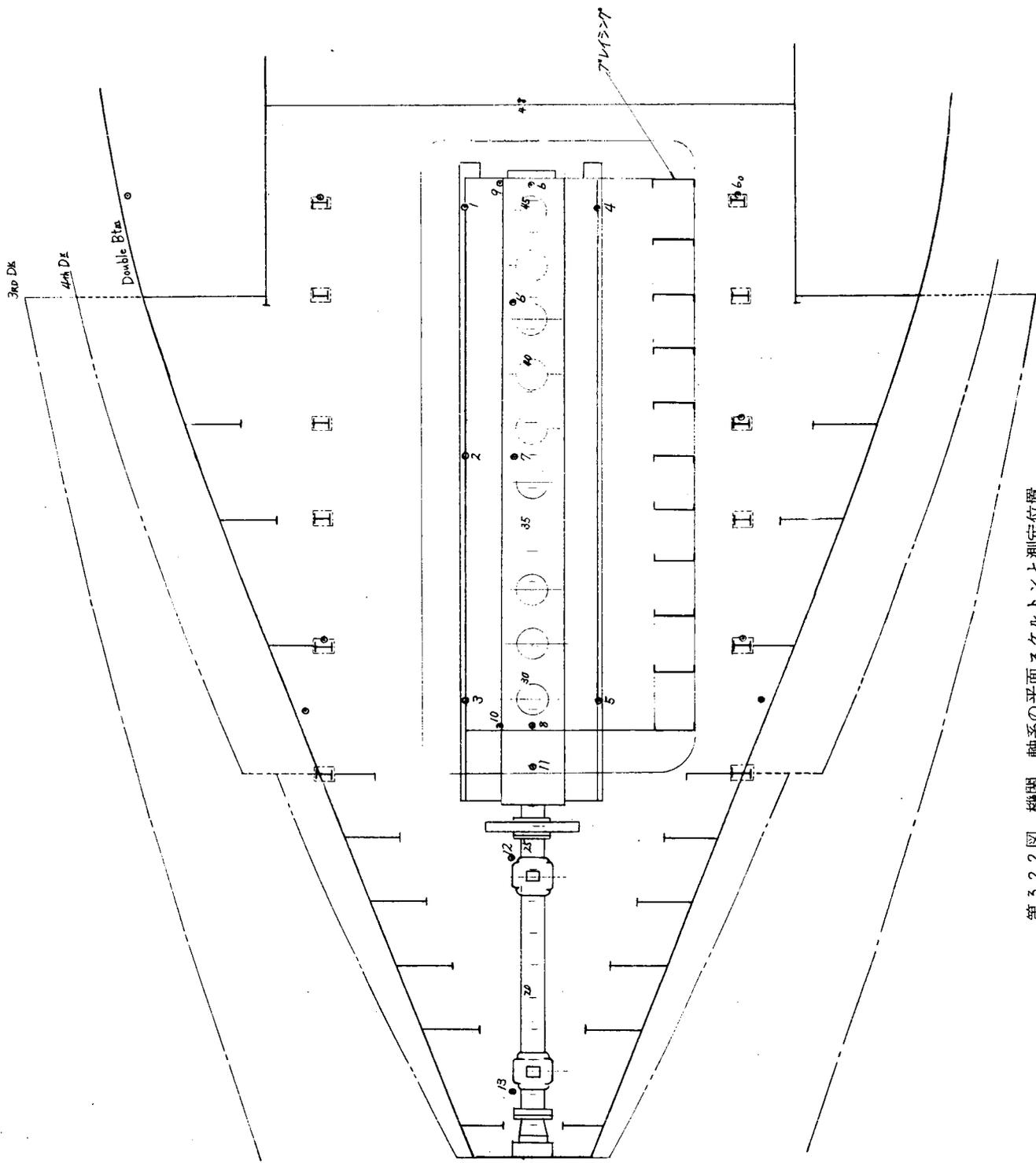
精度 ± 5 %

No. 7 ~ 9 : 国際機械振動研究所製特殊型振動計 VM-3203LL 3個

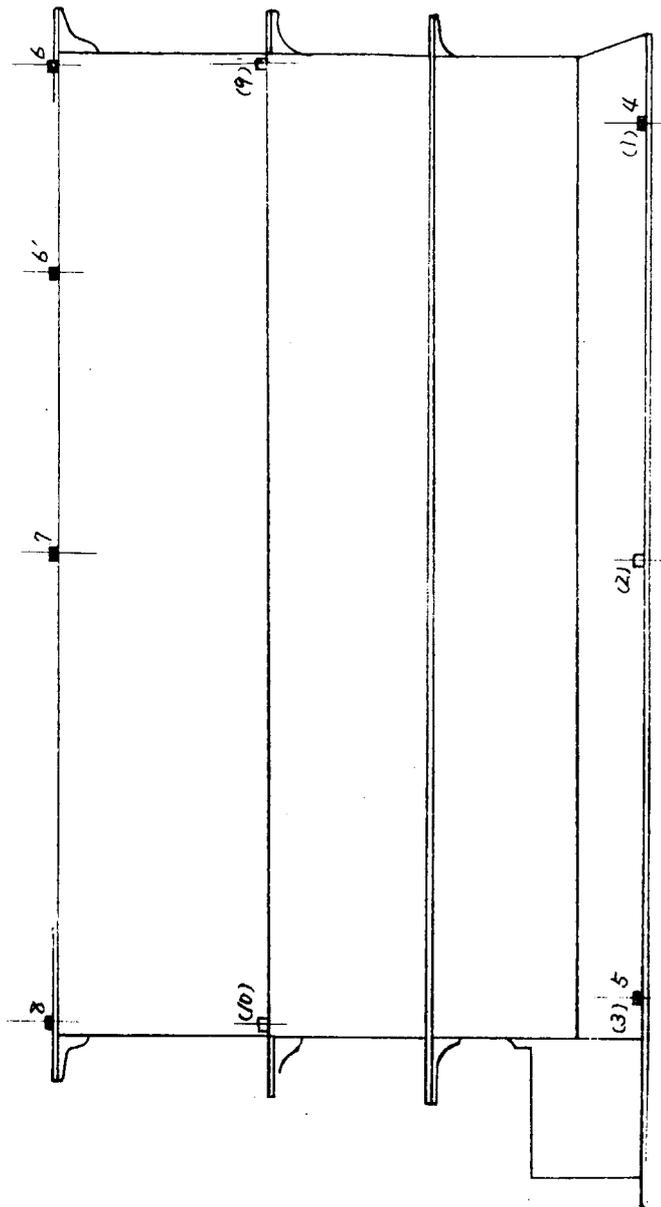
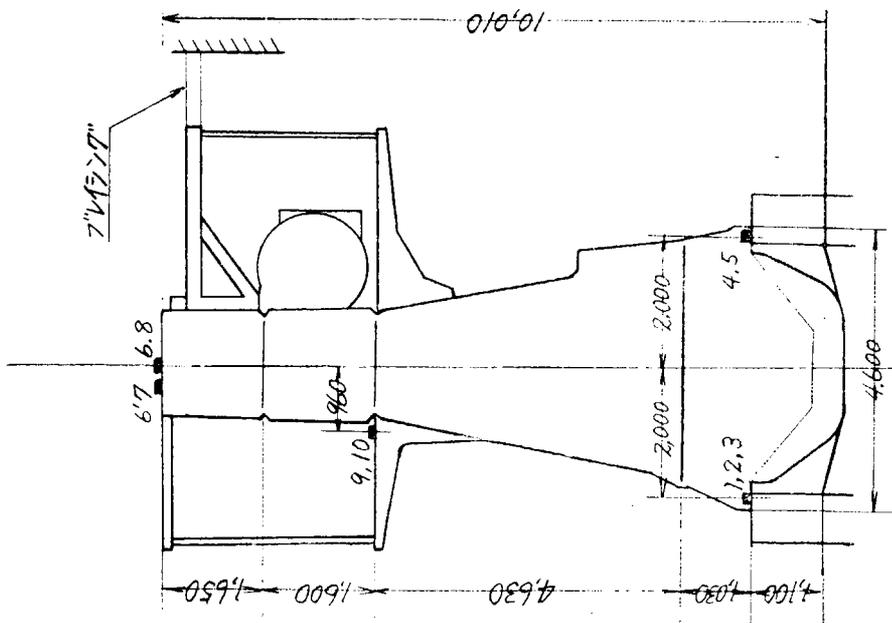
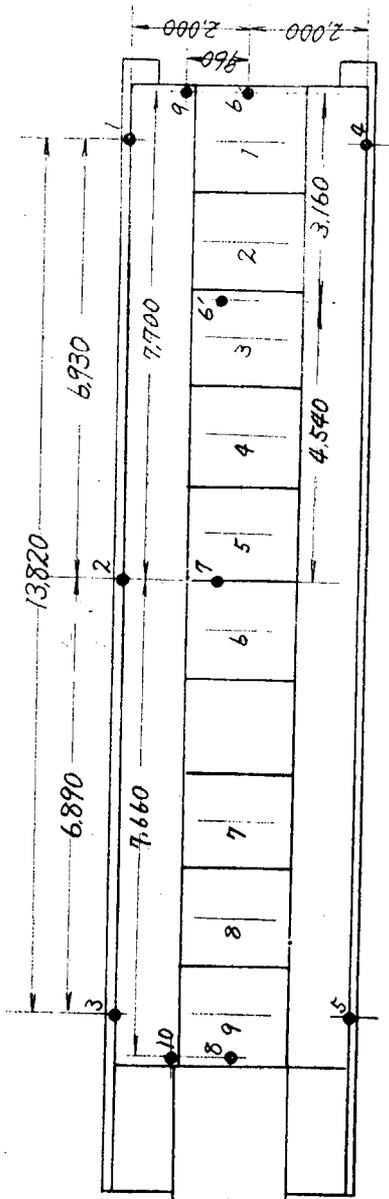
振動検出部 VP-9253型 動電型振動速度検出方式



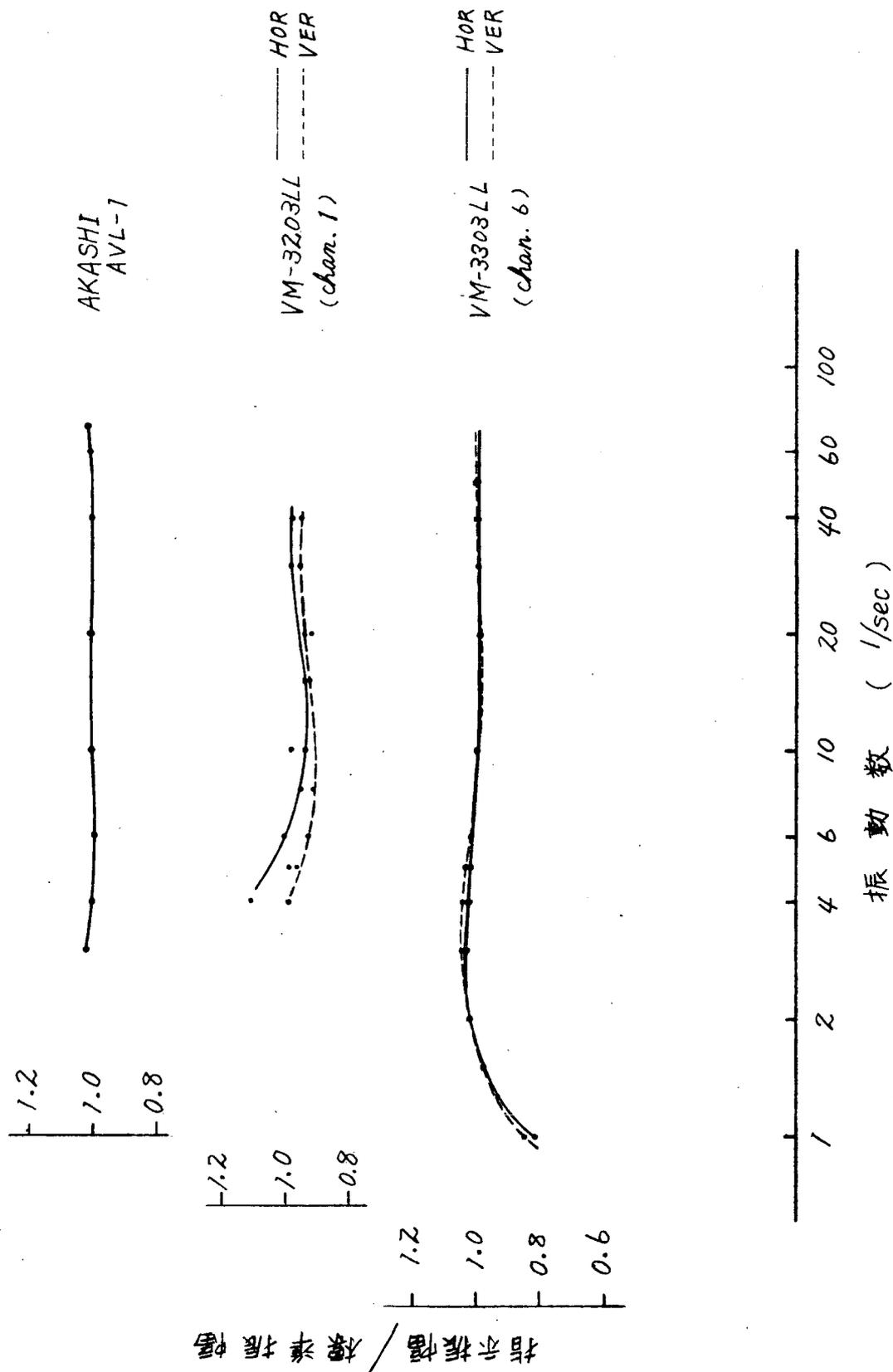
第3.2.1図 機関、軸系および船尾のスケルトンと測定位置



第 3.2.2 図 機関、軸系の平面スケルトンと測定位置



第3.2.3図測定位置詳細



第3.2.4図 振動計周波数特性

振動振幅測定範囲 0 ~ ± 1 0 0 μ、1 mm、1 0 mm、3 range
 (振動加速度測定範囲 0 ~ ± 0.1 g、1 g、5 g 3 range)
 振動測定周波数範囲 3 ~ 3 0 cps ただし 3 cps 以下でも指示値較正曲線によつて可能
 精度 ± 5 %

※ 10、11: 明石製作所製電子管式指示型振動計テレバイプロモータ LI型 AVL-1 2個

振動検出部 L 2 - P 動電型振動速度検出方式
 振動振幅測定範囲 0 ~ ± 5 0 μ、2 5 0 μ、1 mm、3 range
 振動測定周波数範囲 3 ~ 3 0 0 cps
 精度 ± 5 %

(ii) 記録計:

三菱測器製ビシグラフ FR 1 0 2 2個

3.2.5 測定条件

(1) 負荷、回転数

(i) 陸上運転時

第3.2.3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	計40回
15 %	2.57 %	40、43、45、48、50、53、55、58、 <u>60</u> 、62、65	11回
25	3.61	65、68、70、 <u>72</u> 、75、78、80	7
50	5.72	80、83、85、86、 <u>90</u> 、93、95	7
75	7.51	95、98、100、102、 <u>104</u> 、106	6
90	8.48	106、108、 <u>110</u> 、112	4
100	9.10	112、 <u>114</u> 、116、118	4
110	9.71	<u>118</u>	1

(ii) 海上運転時

第3.2.4表 海上運転時の測定条件

載荷状態	測定回転数
半載	30 36 40 42 44 46 48 50 53 56 58 60 62 64 66 68 70 72 74 76 78 80 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108 110 112 114 (39回)
満載 半載(ブローシング除去)	40 43 46 49 52 55 58 61 64 67 70 73 76 79 82 84 86 88 90 92 94 96 98 100 102 104 106 108 110 112 114 (31回)

(2) 船体条件(測定結果)

第3.2.5表 船体条件(測定結果)

載荷状態	△	吃水	トリム
半載	4 3,000 LT	Fore 15' 10.1" (4.83 m)	13' 7.2"
		Aft 29' 5.3" (8.98 m)	(4.15 m)
満載	9 2,240 LT	Fore 45' 3" (13.79 m)	7"
		Aft 45' 10" (13.97 m)	(0.18 m)

3.2.6 測定結果

全測定オンログラムにおいて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シリング上死点からの位相角、および合成振幅を求め、

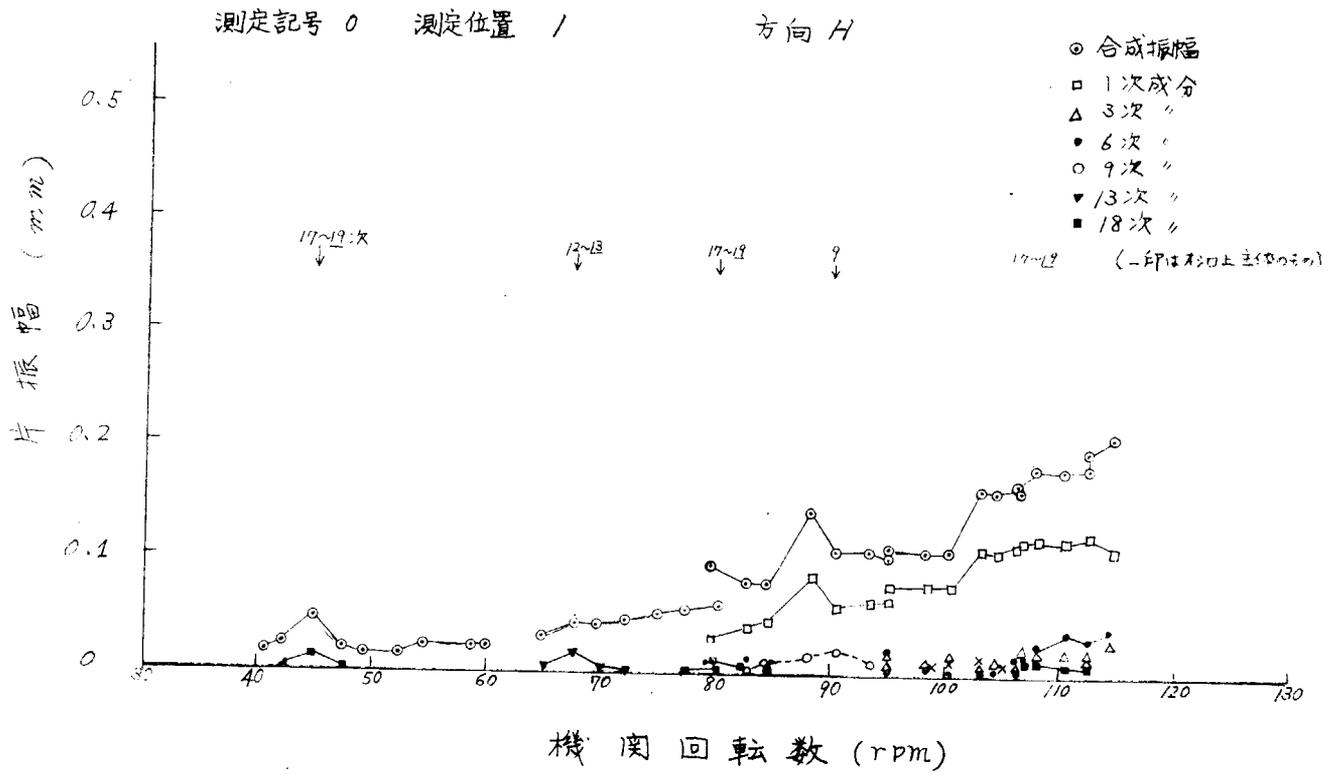
第3.2.6表 表番、図番一覧表

測定位置	方向	表・図番号			
		陸上	海上半載	海上満載	海上半載 ブレイシング除去
1	H	第3.2.5図	第3.2.17図	第3.2.26図	第3.2.35図
	V	第3.2.13図	第3.2.23図	第3.2.32図	第3.2.40図
2	H				
	V				
3	H	第3.2.6図	第3.2.18図	第3.2.27図	第3.2.36図
	V	第3.2.14図	第3.2.24図	第3.2.33図	第3.2.41図
4	H				
	V	第3.2.15図	第3.2.25図	第3.2.34図	第3.2.42図
5	H				
	V				
6	H	第3.2.7図	第3.2.19図	第3.2.28図	第3.2.37図
	V				
6'	H	第3.2.8図			
7	H	第3.2.9図	第3.2.20図	第3.2.29図	
	V				
8	H	第3.2.10図	第3.2.21図	第3.2.30図	第3.2.38図
	V	第3.2.16図			
9	H	第3.2.11図			
	V				
10	H	第3.2.12図			
6 ₀	H				第3.2.39図
13	H		第3.2.22図	第3.2.31図	
	V				

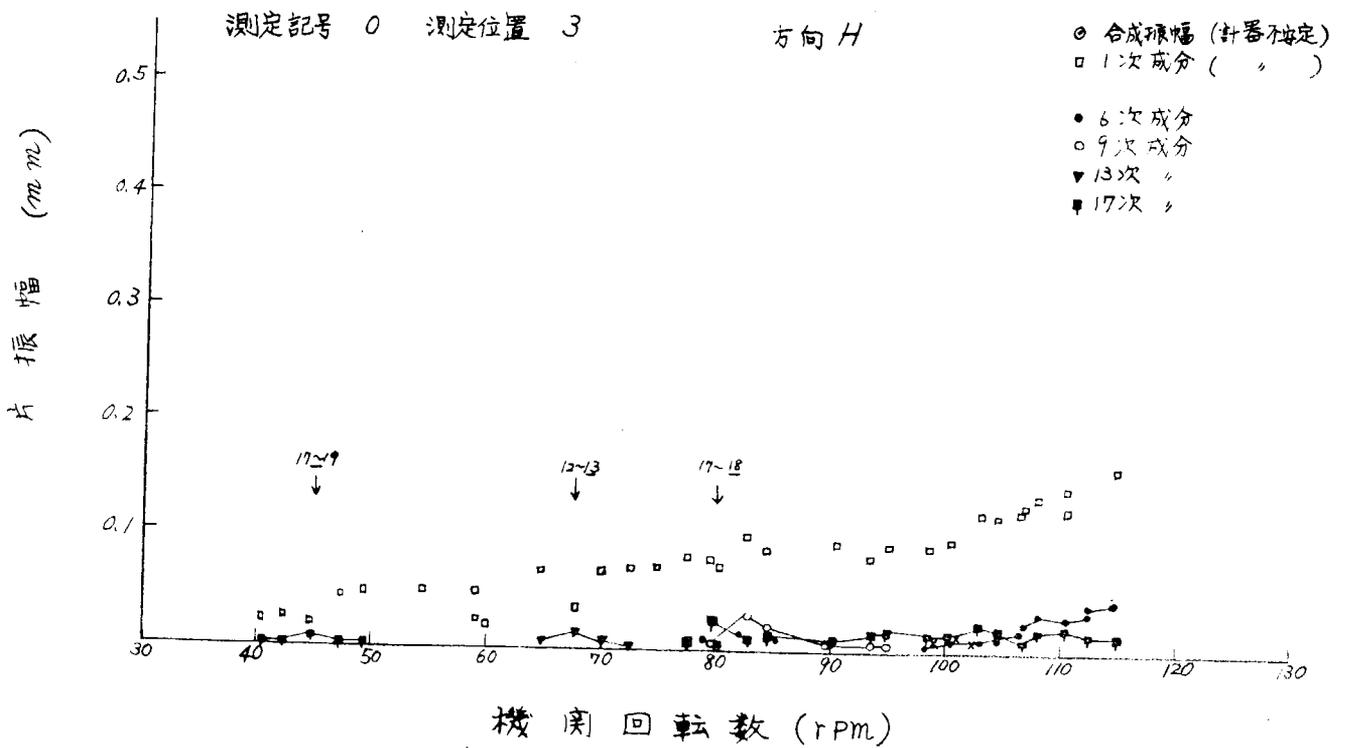
全測定回転数に対するそれらをまとめて表を作成（表には18次成分までを記入）し、また大きい振幅の成分と合成振幅を図示した。それらを第3.2.6表にまとめた。ここでは紙面の都合により表中の図番号を付記した図のみ掲載した。

なお、測定オンログラムの数例を次に示す。

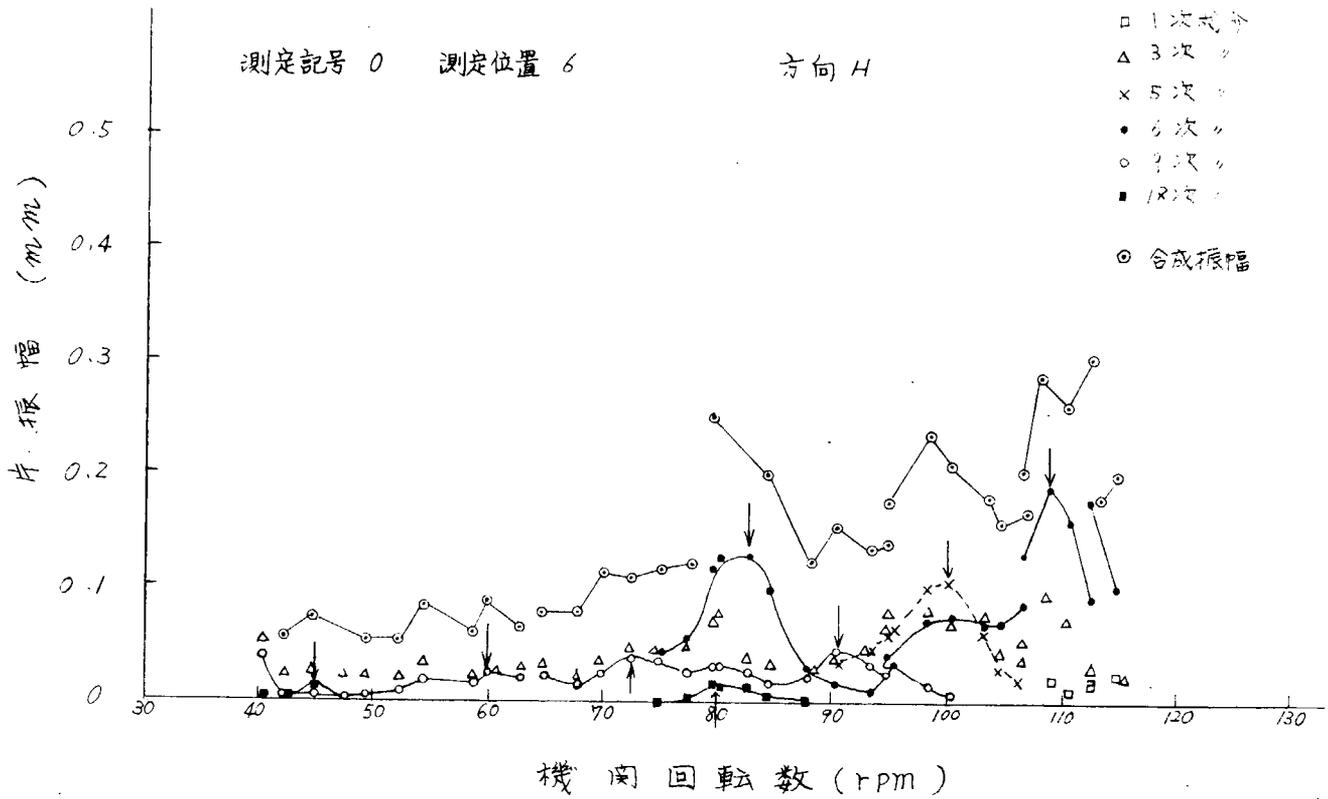
陸上運転	6、6'、7、8、9、10-H	4 4.7 rpm	第3.2.43図
"	"	5 4.4	第3.2.44図
"	"	7 9.6	第3.2.45図
"	"	10 0.4	第3.2.46図
"	"	10 8.0	第3.2.47図
海上半載	6、8、9、7、1、3-H	8 3.9	第3.2.48図



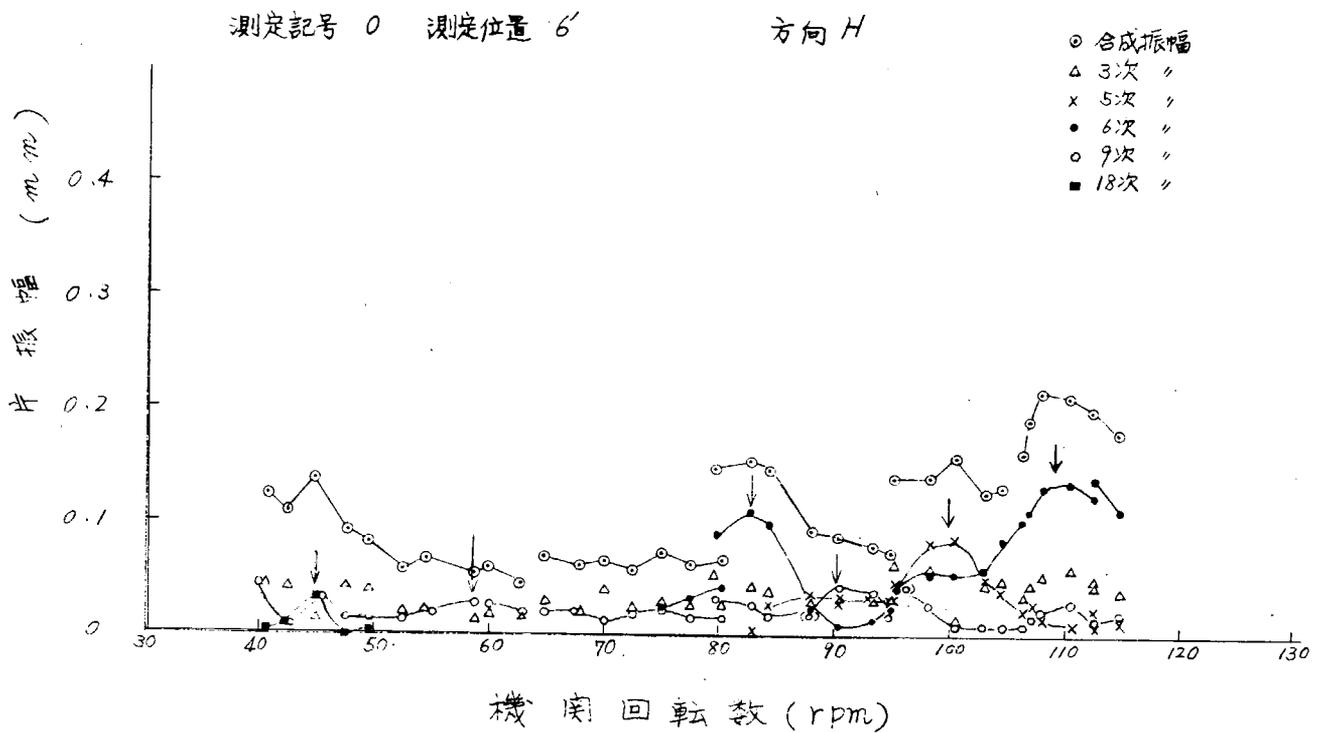
第3.2.5図 陸上運転時架構振動



第3.2.6図 陸上運転時架構振動



第3.2.7図 陸上運転時架構振動

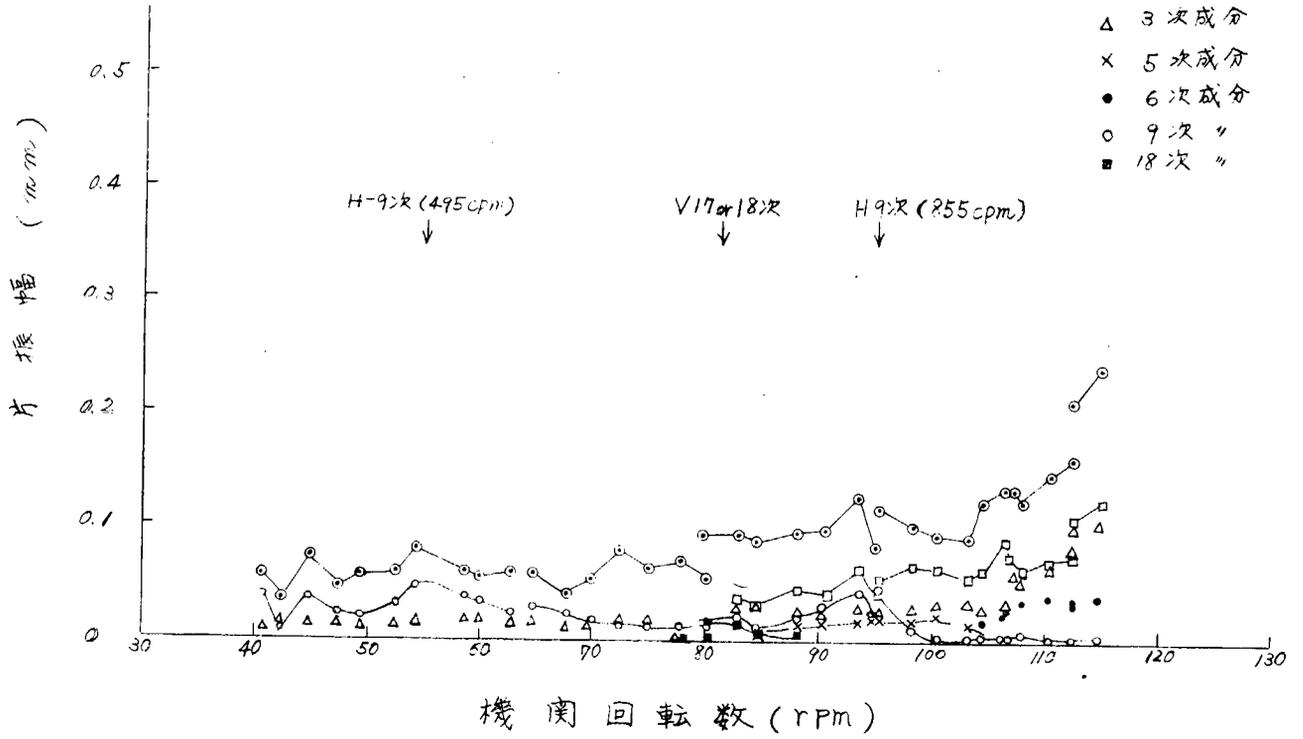


第3.2.7図 陸上運転時架構振動

測定記号 0 測定位置 7

方向 H

- ⊙ 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次成分
- × 5次成分
- 6次成分
- 9次成分
- 18次成分

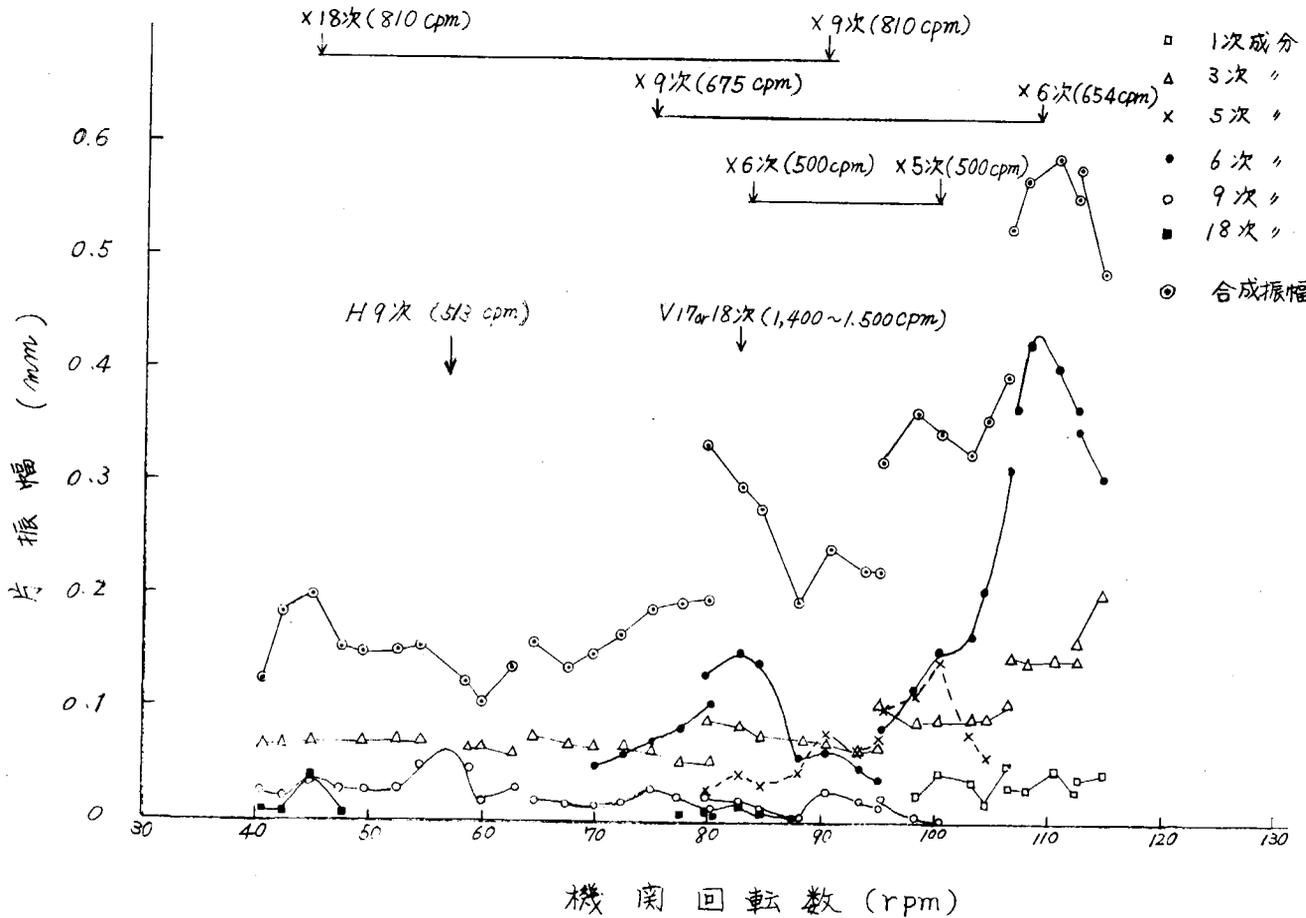


第3.2.9図 陸上運転時架構振動(半載)

測定記号 0 測定位置 8

方向 H

- 1次成分
- △ 3次成分
- × 5次成分
- 6次成分
- 9次成分
- 18次成分
- ⊙ 合成振幅

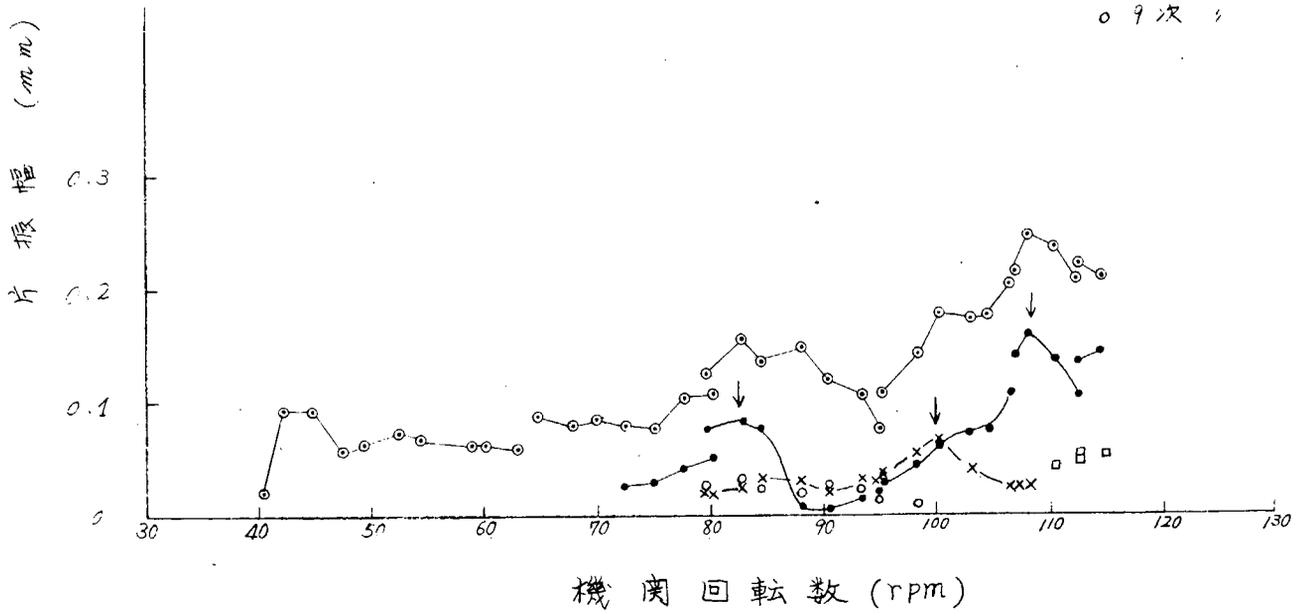


第3.2.10図 陸上運転時架溝振動(半載)

測定記号 0 測定位置 9

方向 H

- ◎ 合成振幅
- 1次成分
- × 5次成分
- 6次成分
- 9次成分

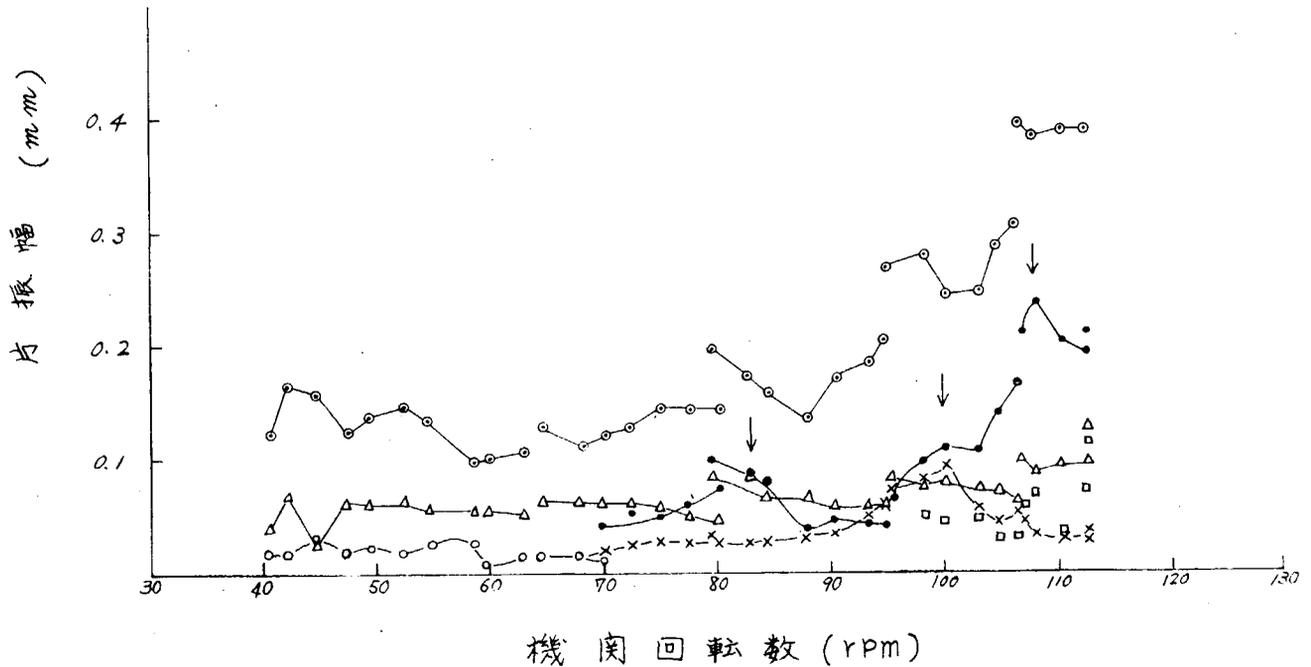


第 3. 2. 1 1 図 陸上運転時架構振動(半載)

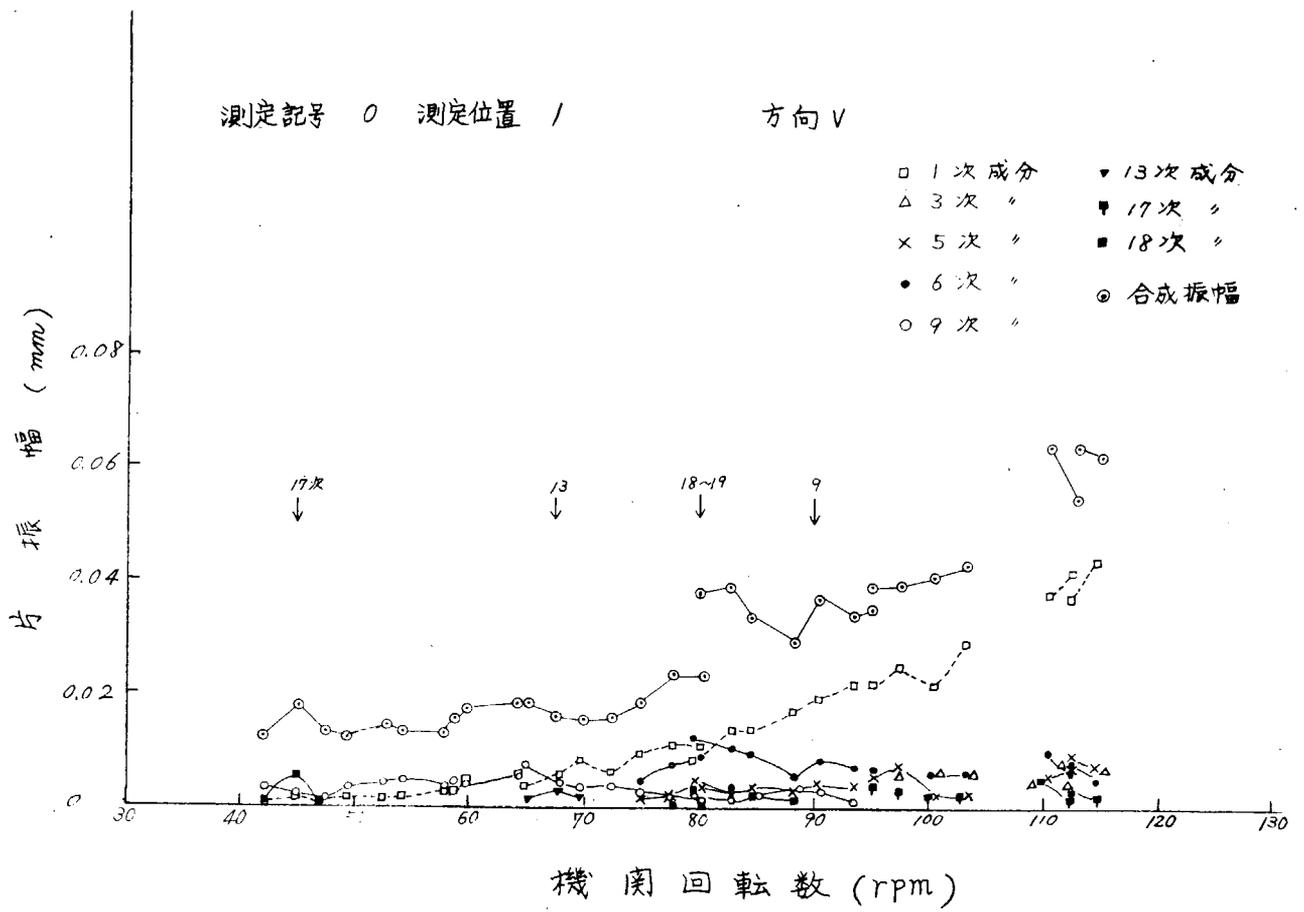
測定記号 0 測定位置 10

方向 H

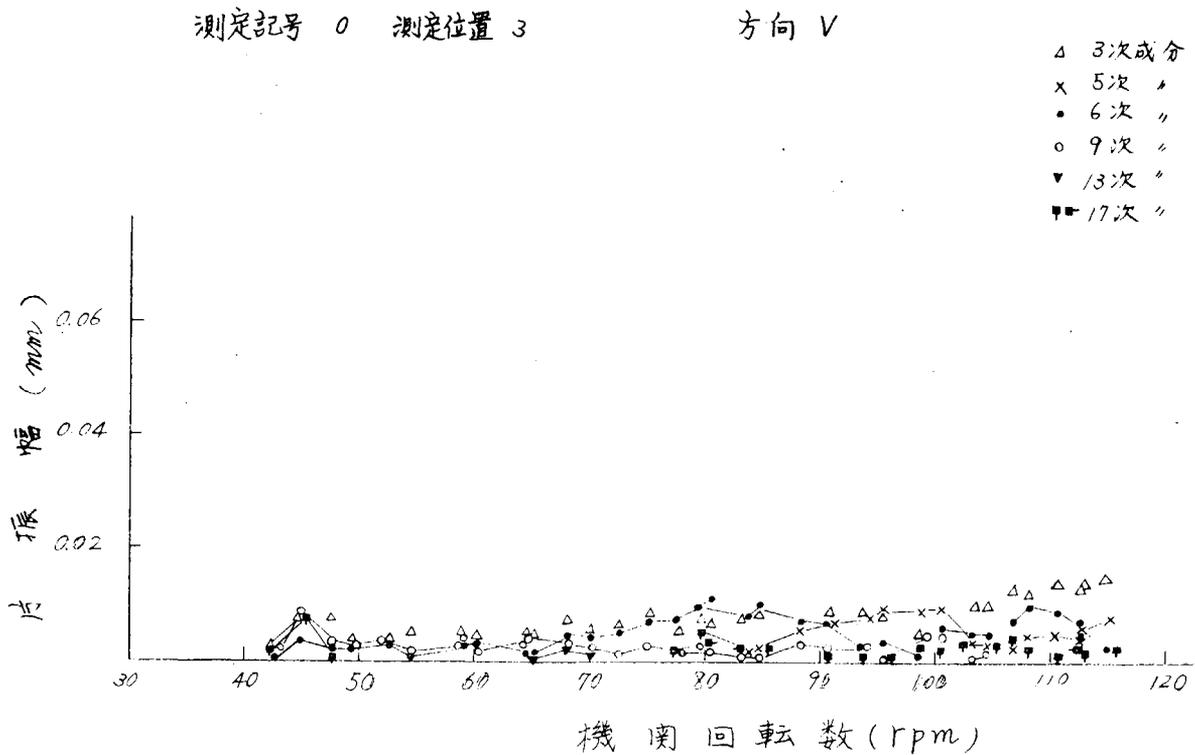
- ◎ 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次成分
- × 5次成分
- 6次成分
- 9次成分



第 3. 2. 1 2 図 陸上運転時架構振動(半載)



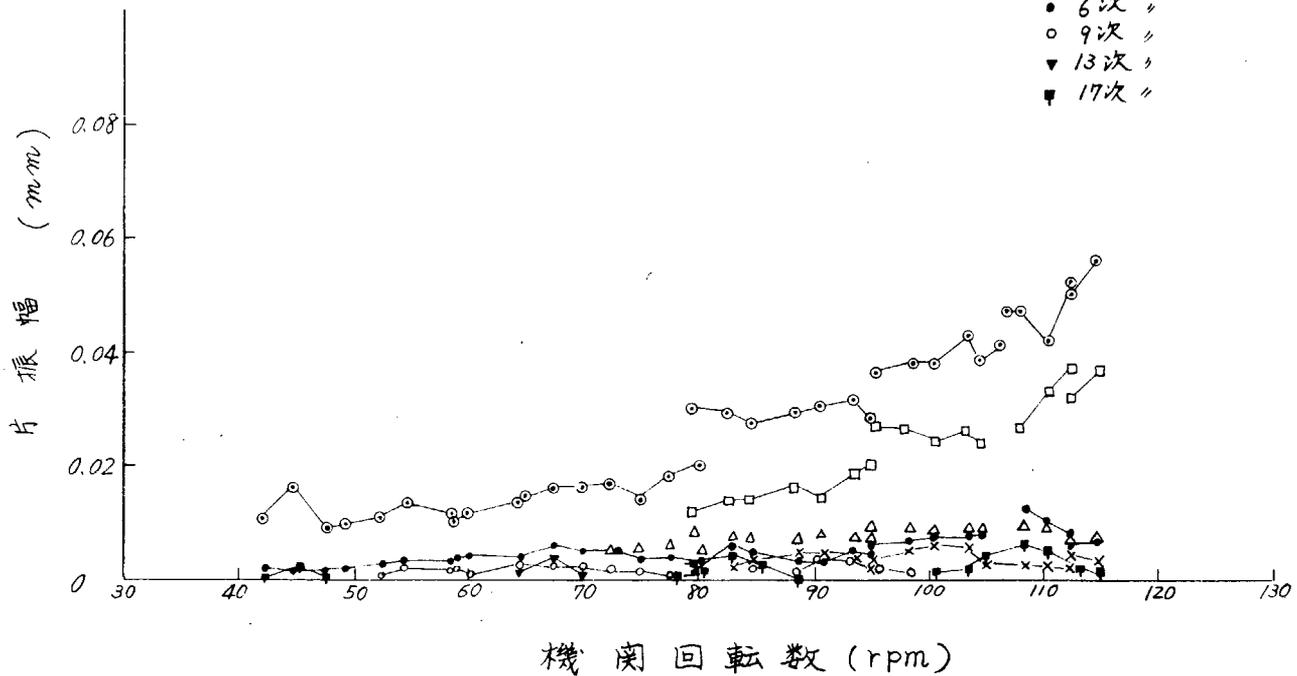
第 3.2.1 3 図 陸上運転時架構振動(半載)



第 3.2.1 4 図 陸上運転時架構振動(半載)

測定記号 0 測定位置 4 方向V

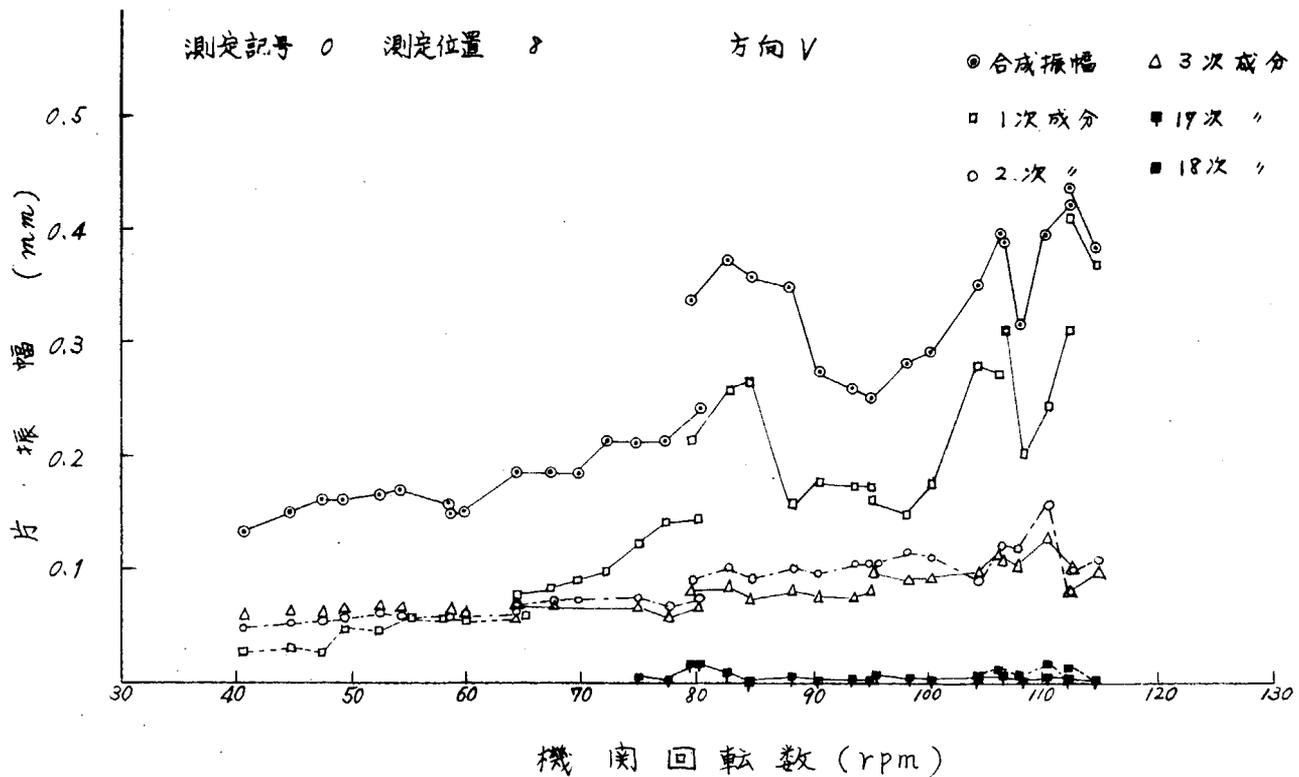
- 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次成分
- × 5次成分
- 6次成分
- 9次成分
- ▼ 13次成分
- 17次成分



第3.2.1.5図 陸上運転時架構振動(半載)

測定記号 0 測定位置 8 方向V

- 合成振幅
- △ 3次成分
- 1次成分
- 17次成分
- 2次成分
- 18次成分



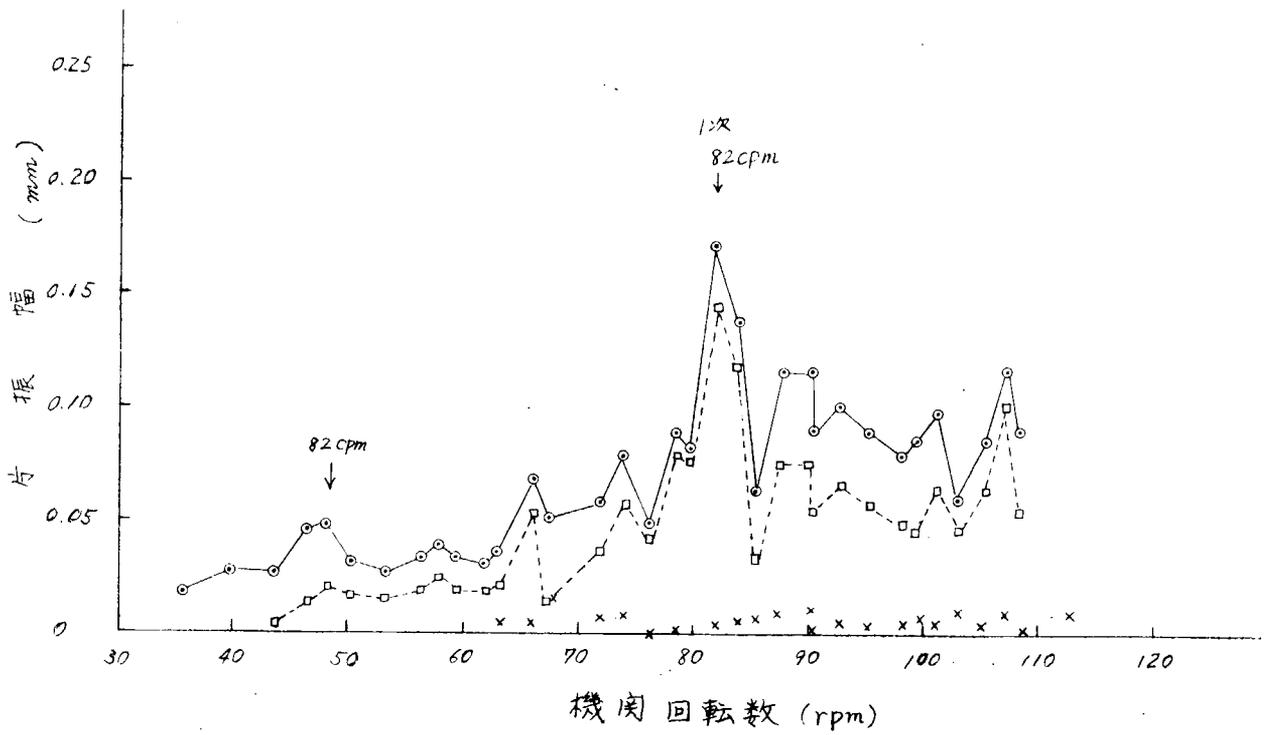
第3.2.1.6図 陸上運転時架構振動(半載)

測定記号 1

測定位置 1

方向 H

- 合成振幅
- 1次成分
- × 5次成分



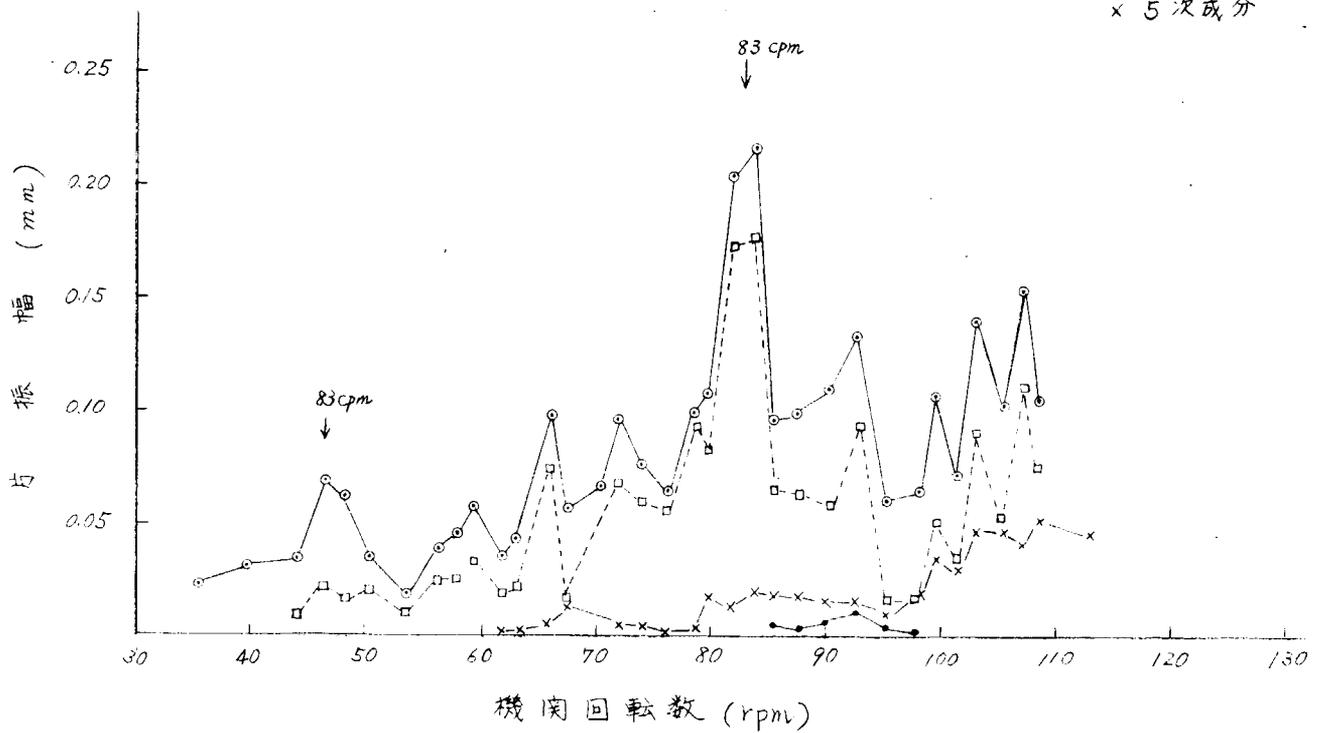
第3.2.17図 海上運転時架構振動(半載)

測定記号 1

測定位置 3

方向 H

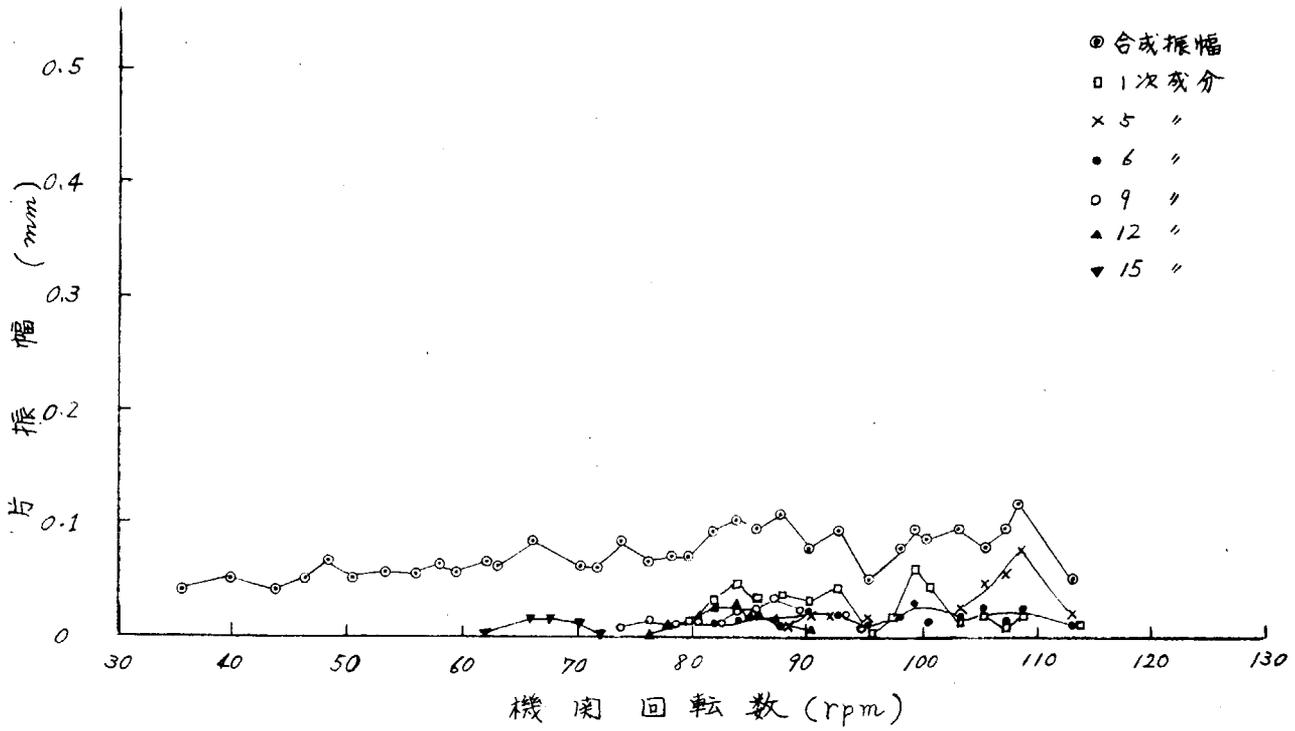
- 合成振幅
- 1次成分
- × 5次成分



第3.2.18図 海上運転時架構振動(半載)

測定記号 1 測定位置 6

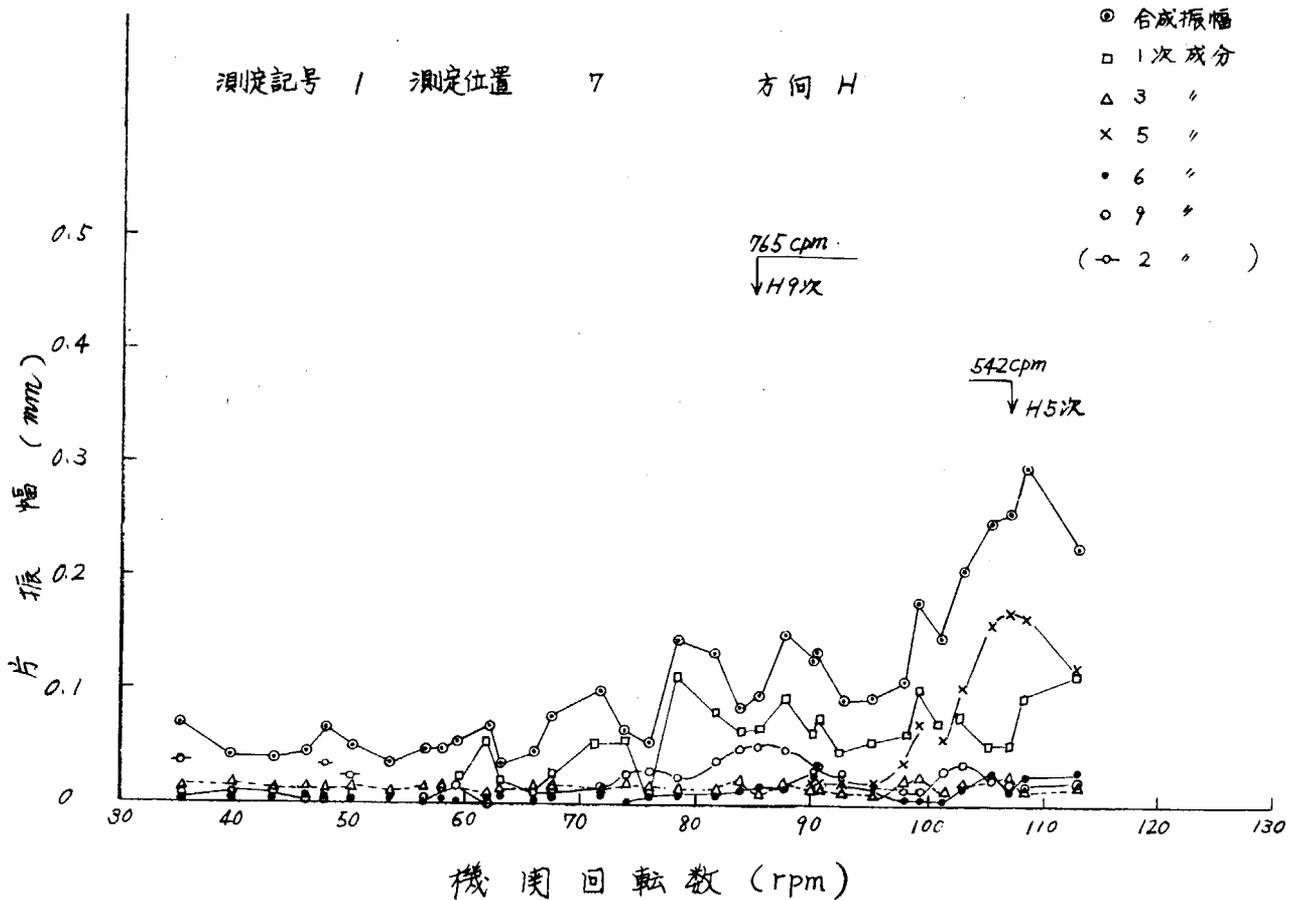
方向 H



第3.2.19図 海上運転時架構振動(半載)

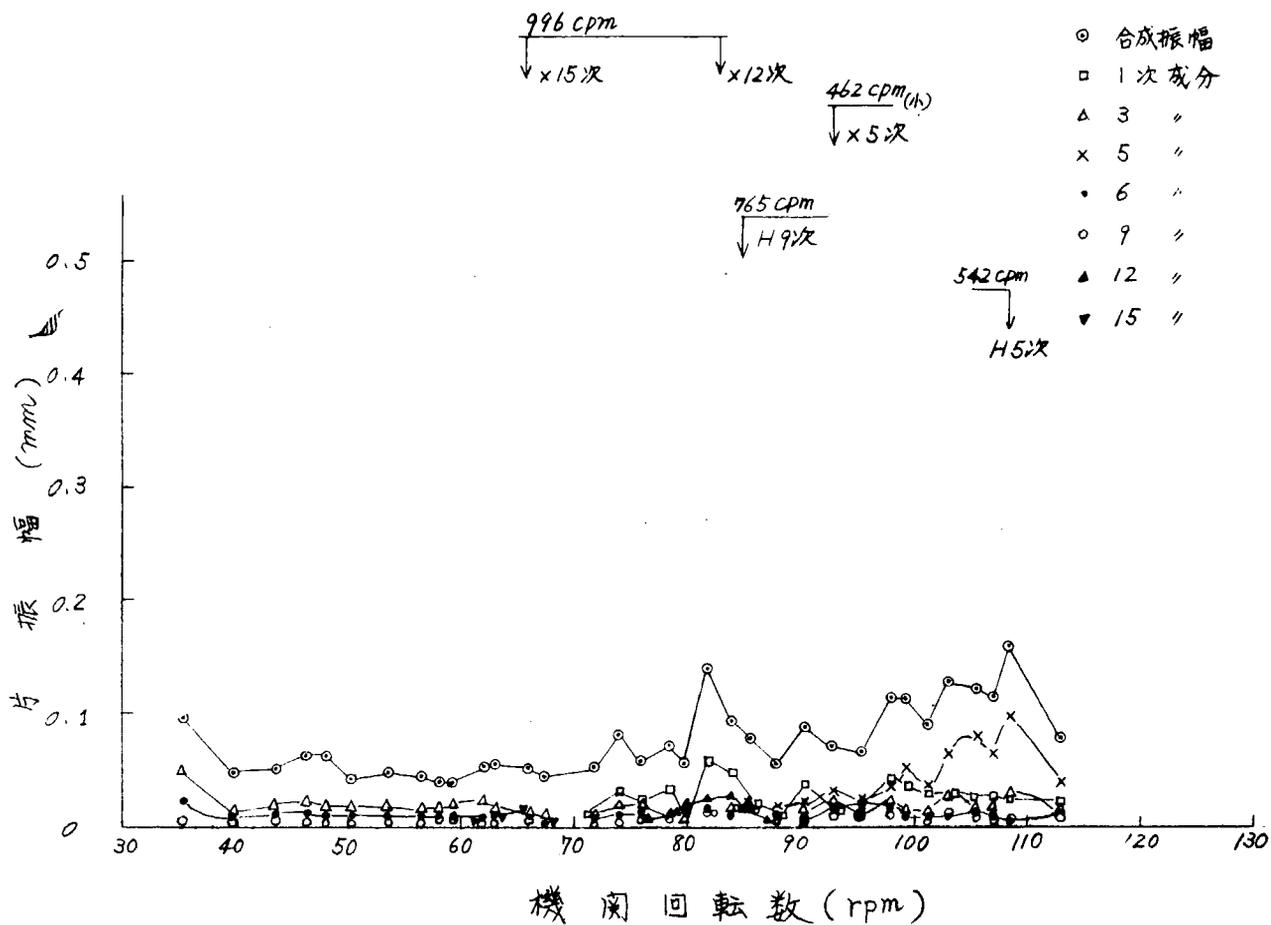
測定記号 1 測定位置 7

方向 H



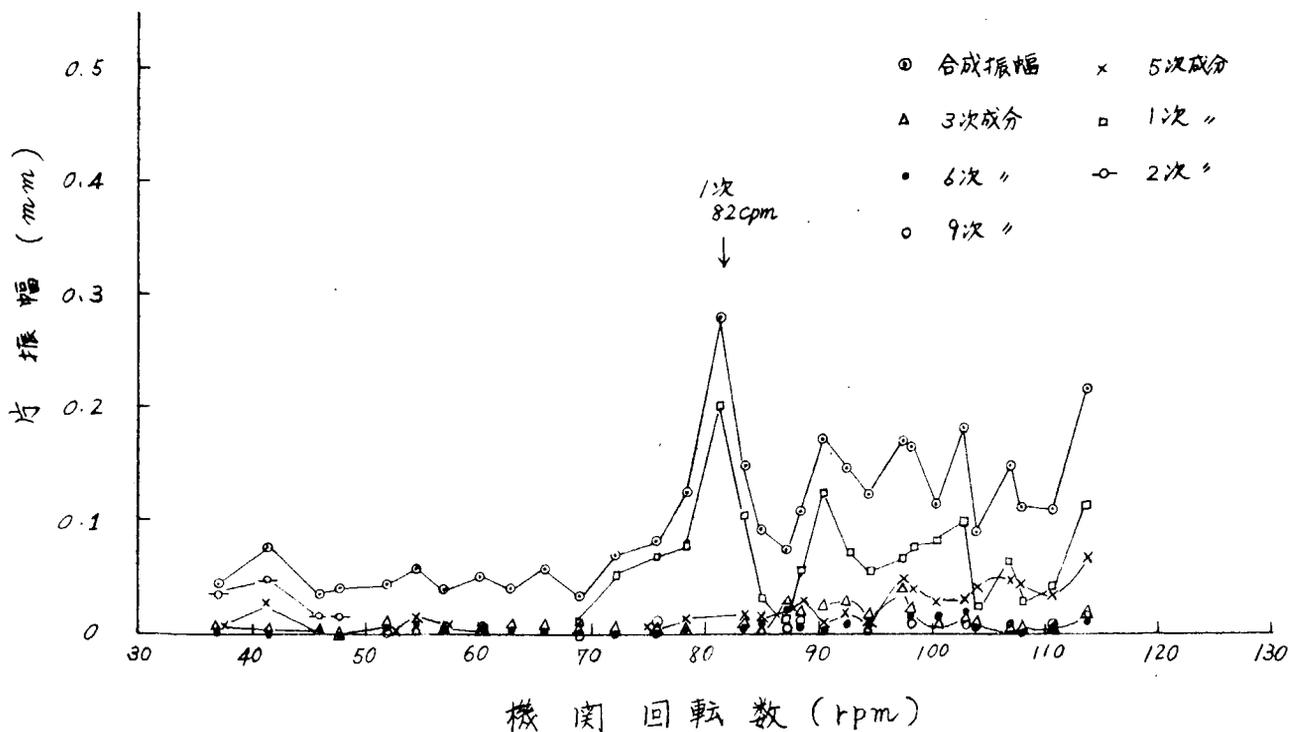
第3.2.20図 海上運転時架構振動(半載)

測定記号 1 測定位置 8 方向 H



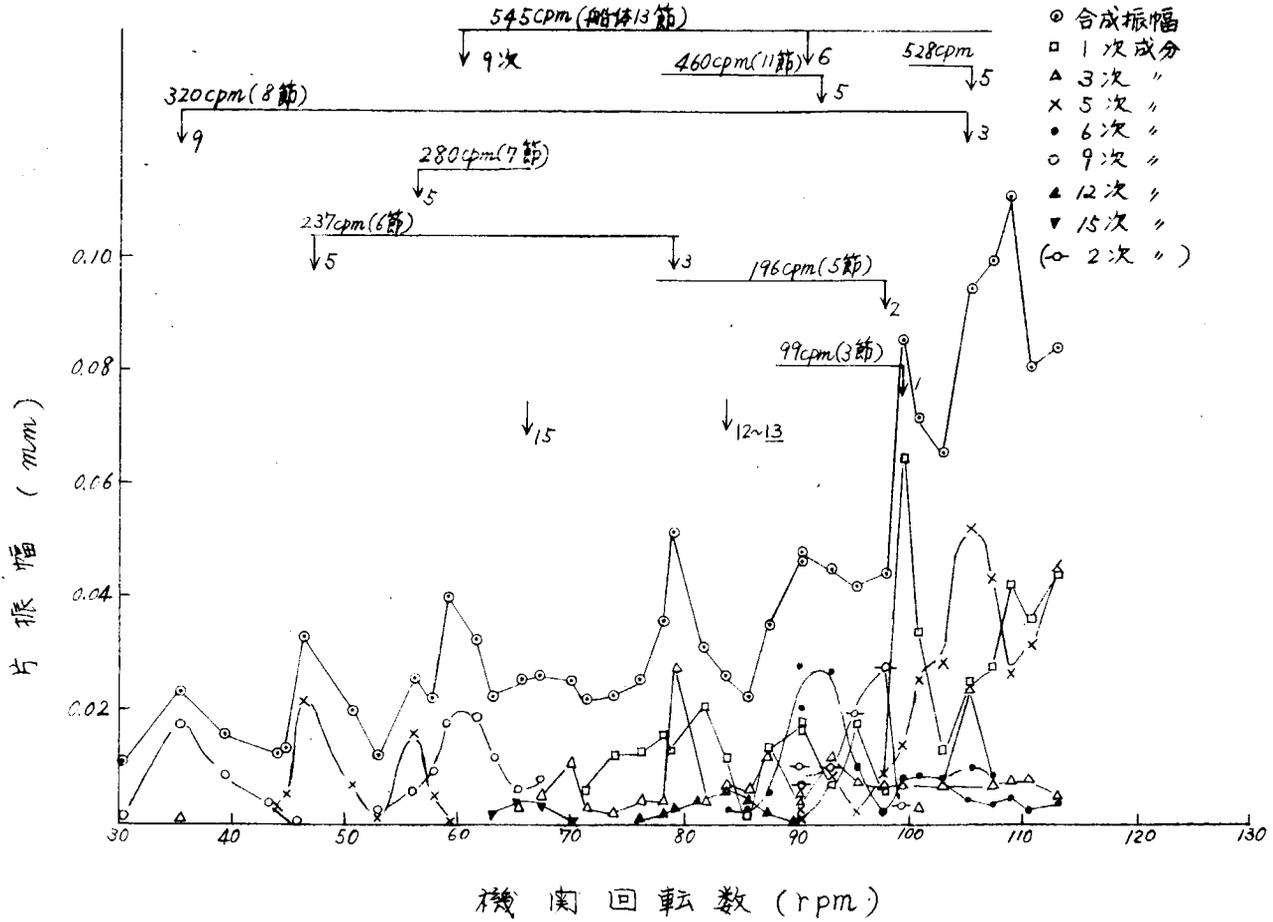
第3.2.2 1図 海上運転時架構振動(半載)

測定記号 2 測定位置 13 方向 H



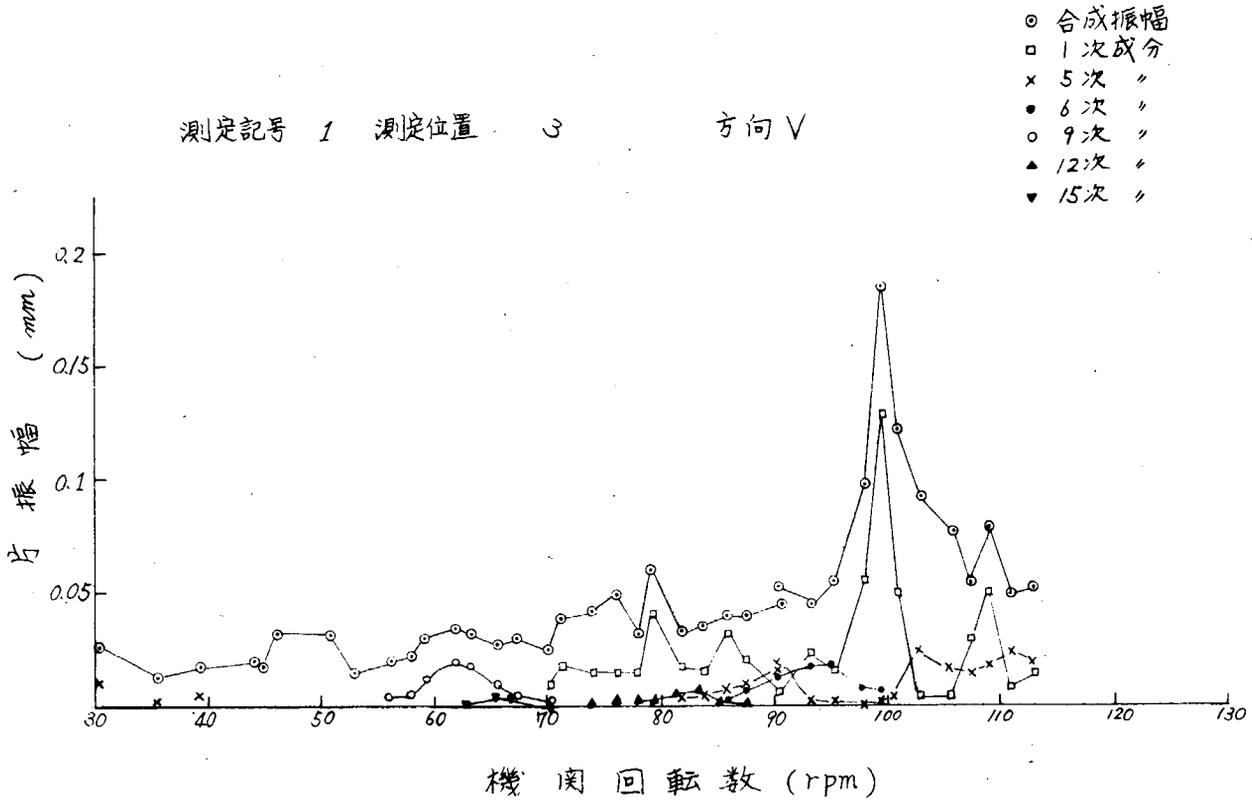
第3.2.2 2図 海上運転時架構振動(半載)

測定記号 1 測定位置 1 方向 V

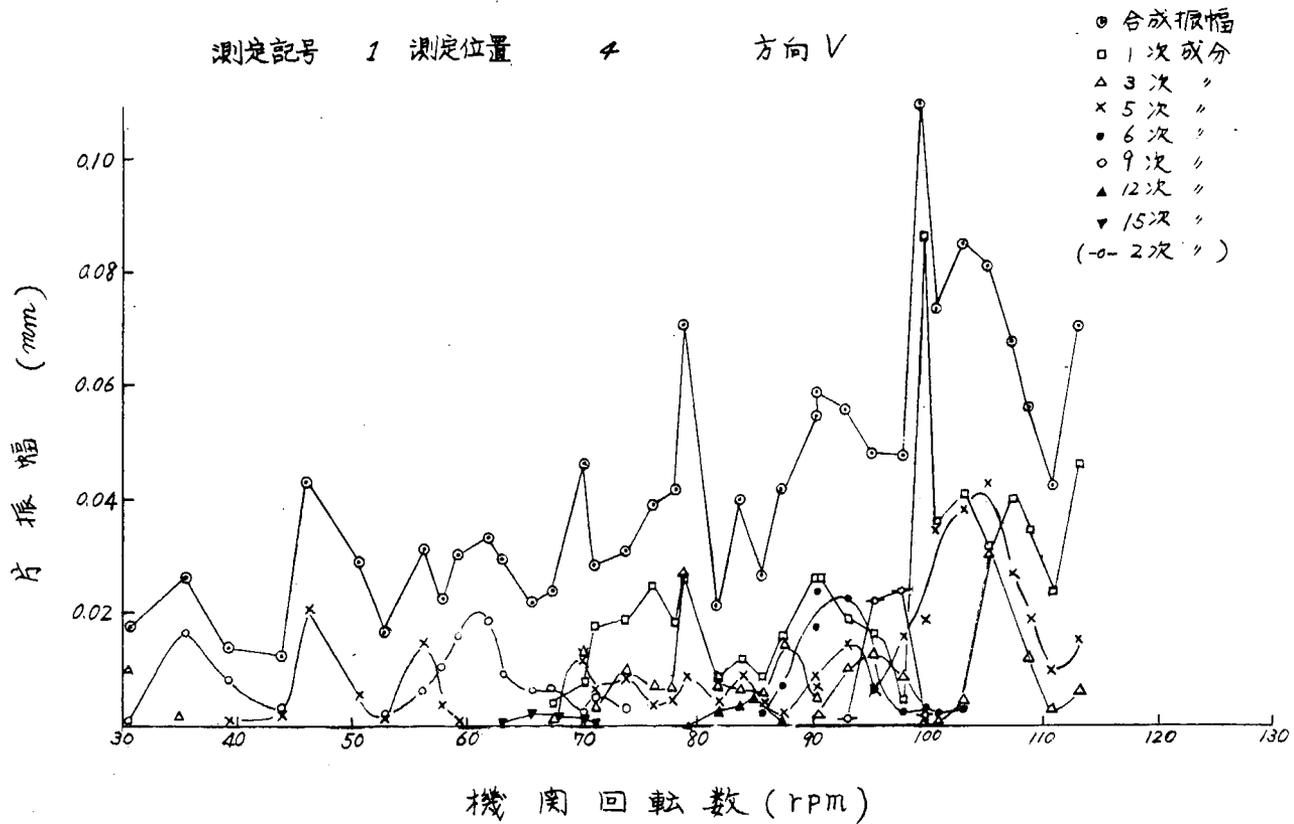


第3.2.2.3図 海上運転時架構振動(半載)

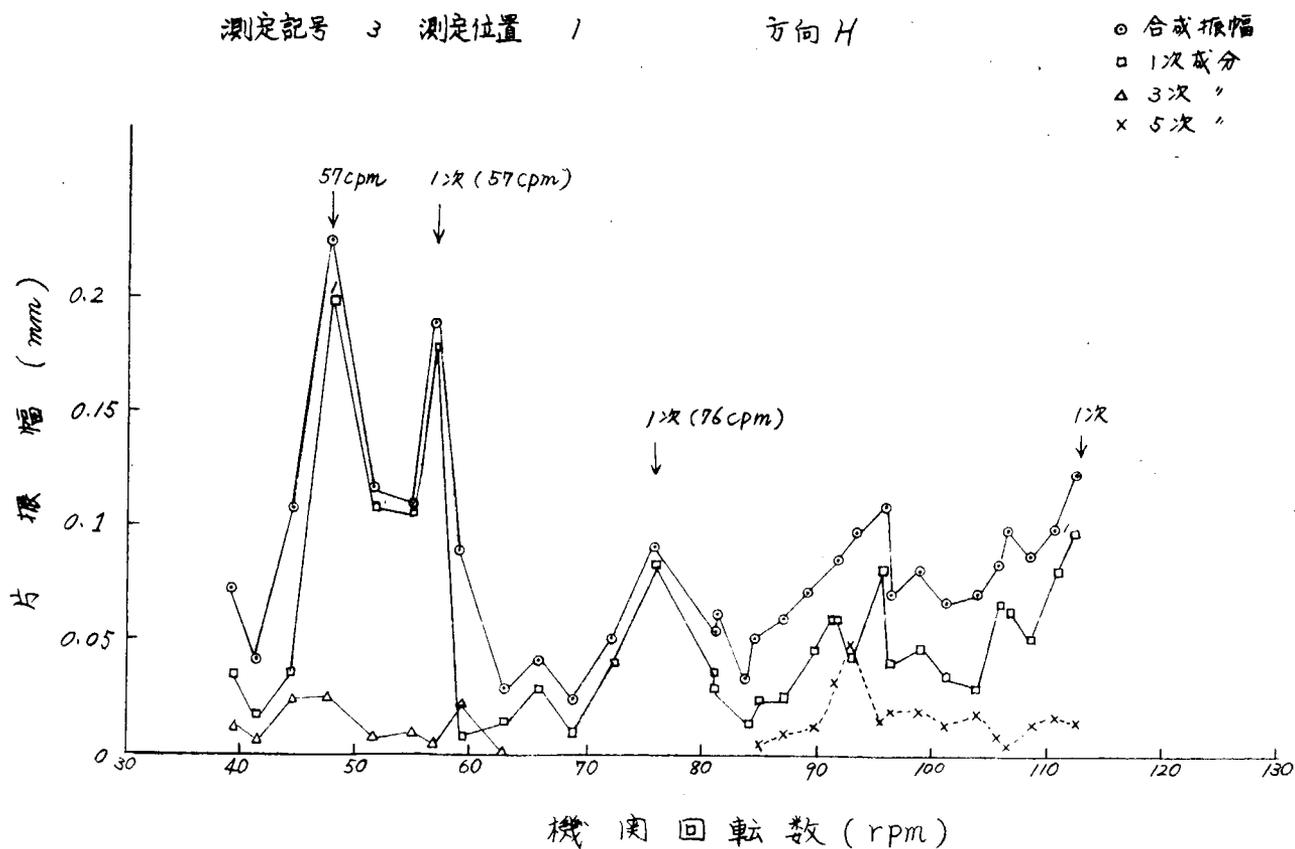
測定記号 1 測定位置 3 方向 V



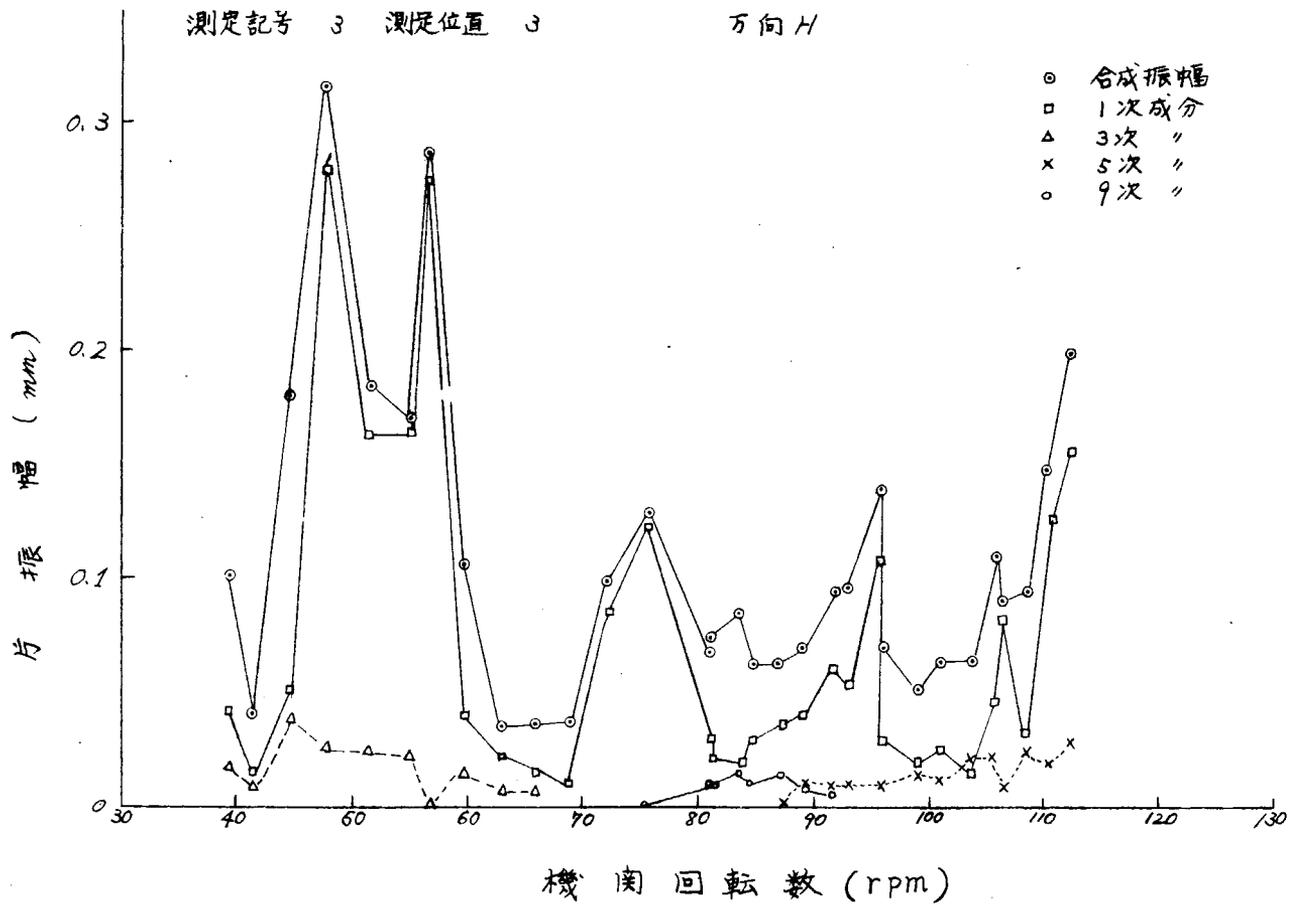
第3.2.2.4図 海上運転時架構振動(半載)



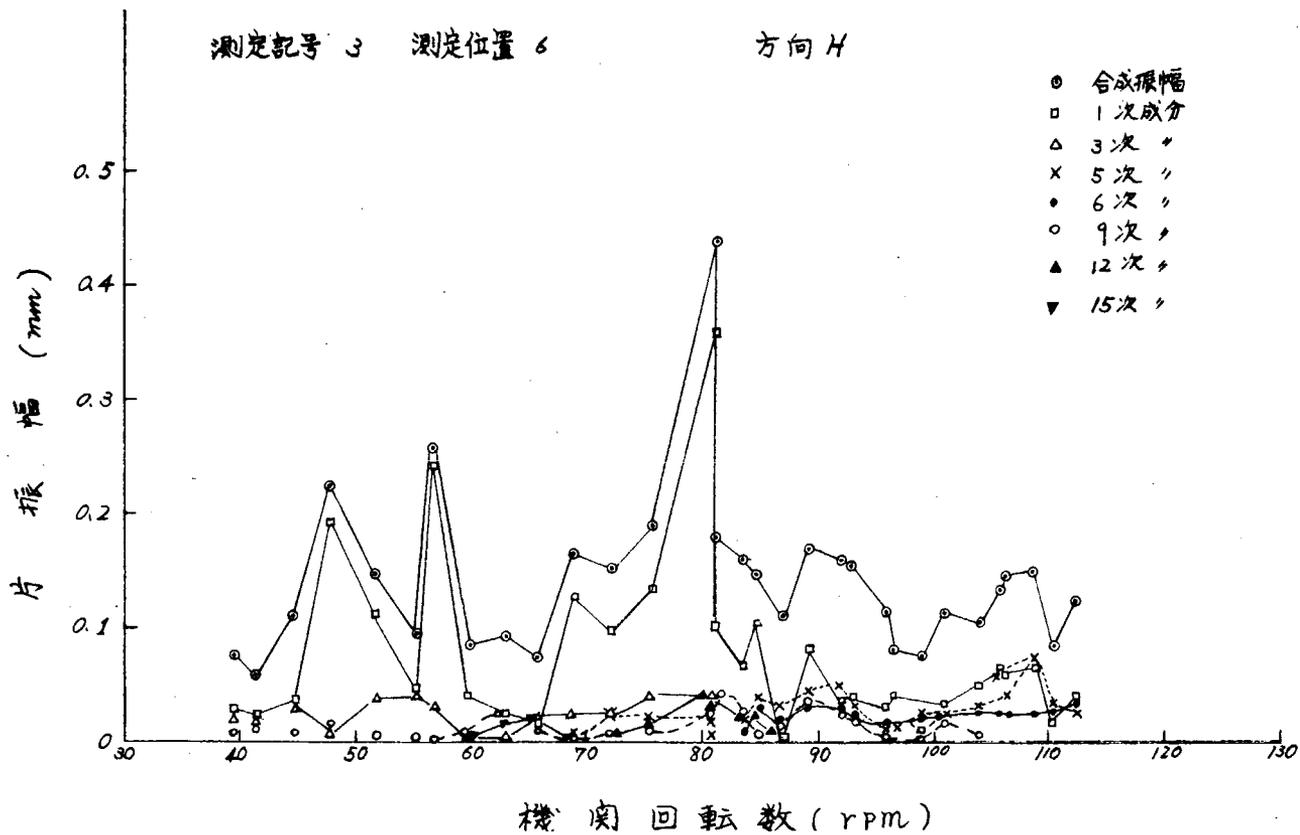
第3.2.2.5図 海上運転時架構振動(半載)



第3.2.2.6図 海上運転時架構振動(満載)



第3.2.27図 海上運転時架構振動(満載)

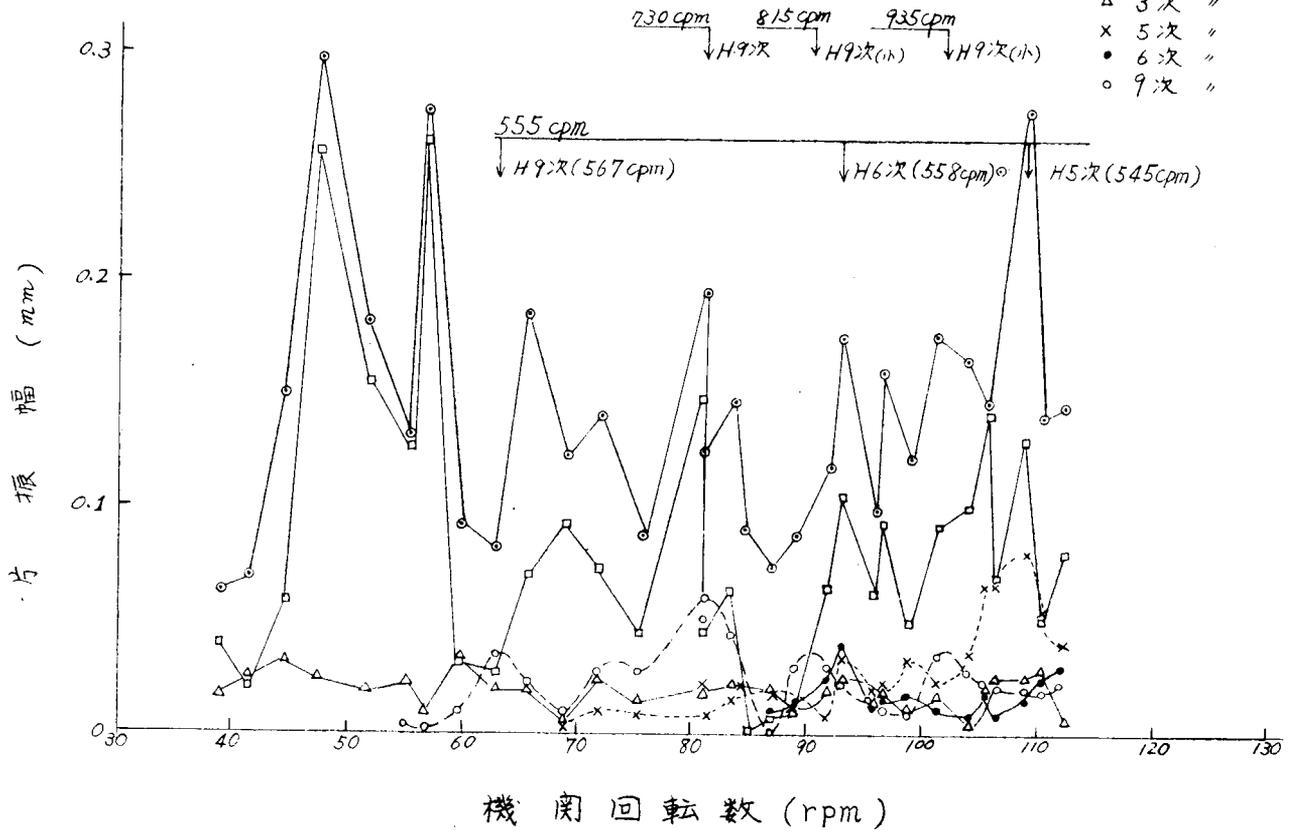


第3.2.28図 海上運転時架構振動(満載)

測定記号 3 測定位置 7

方向 H

- 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次 "
- × 5次 "
- 6次 "
- 9次 "

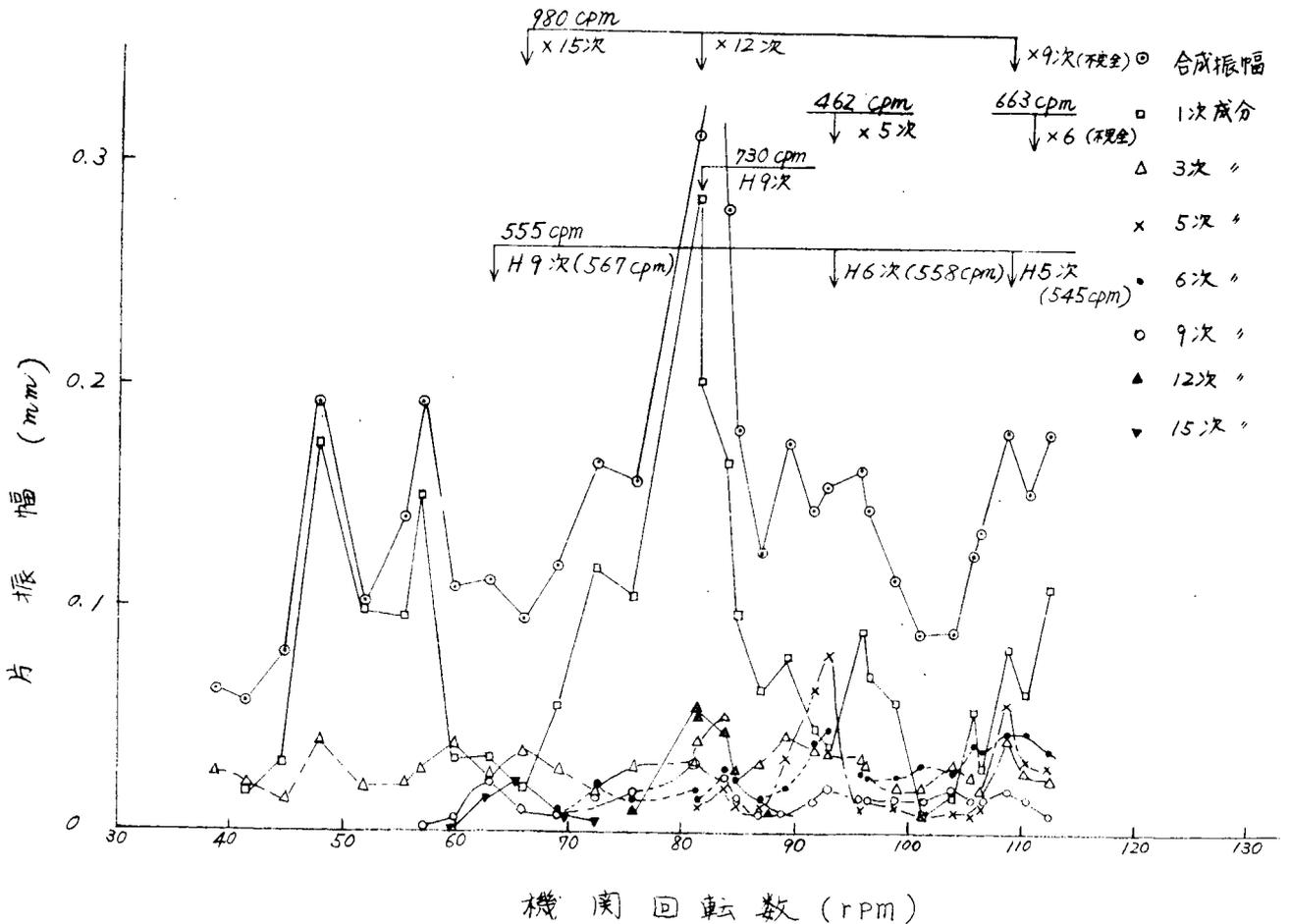


第3.2.2.9図 海上運転時架構振動(満載)

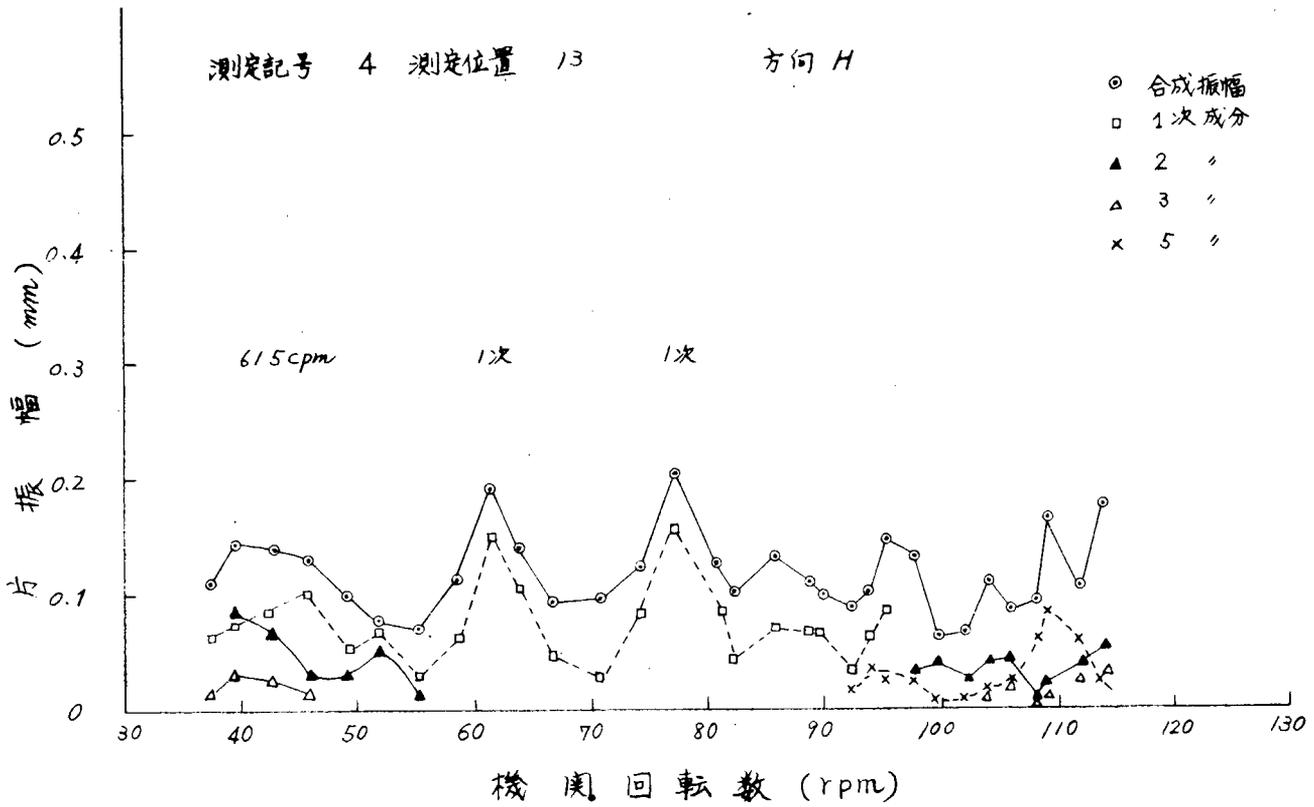
測定記号 3 測定位置 8

方向 H

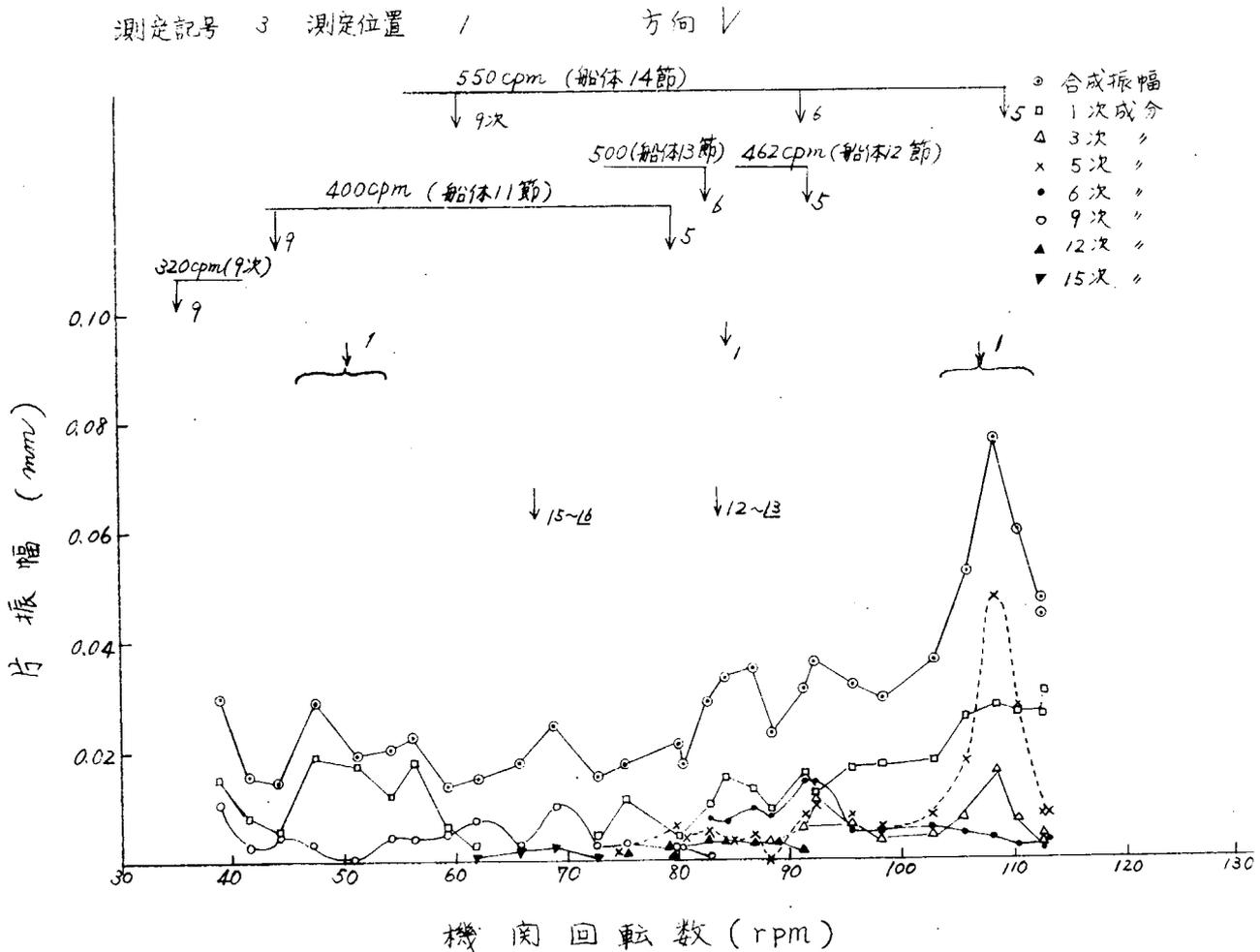
- 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次 "
- × 5次 "
- 6次 "
- 9次 "
- ▲ 12次 "
- ▼ 15次 "



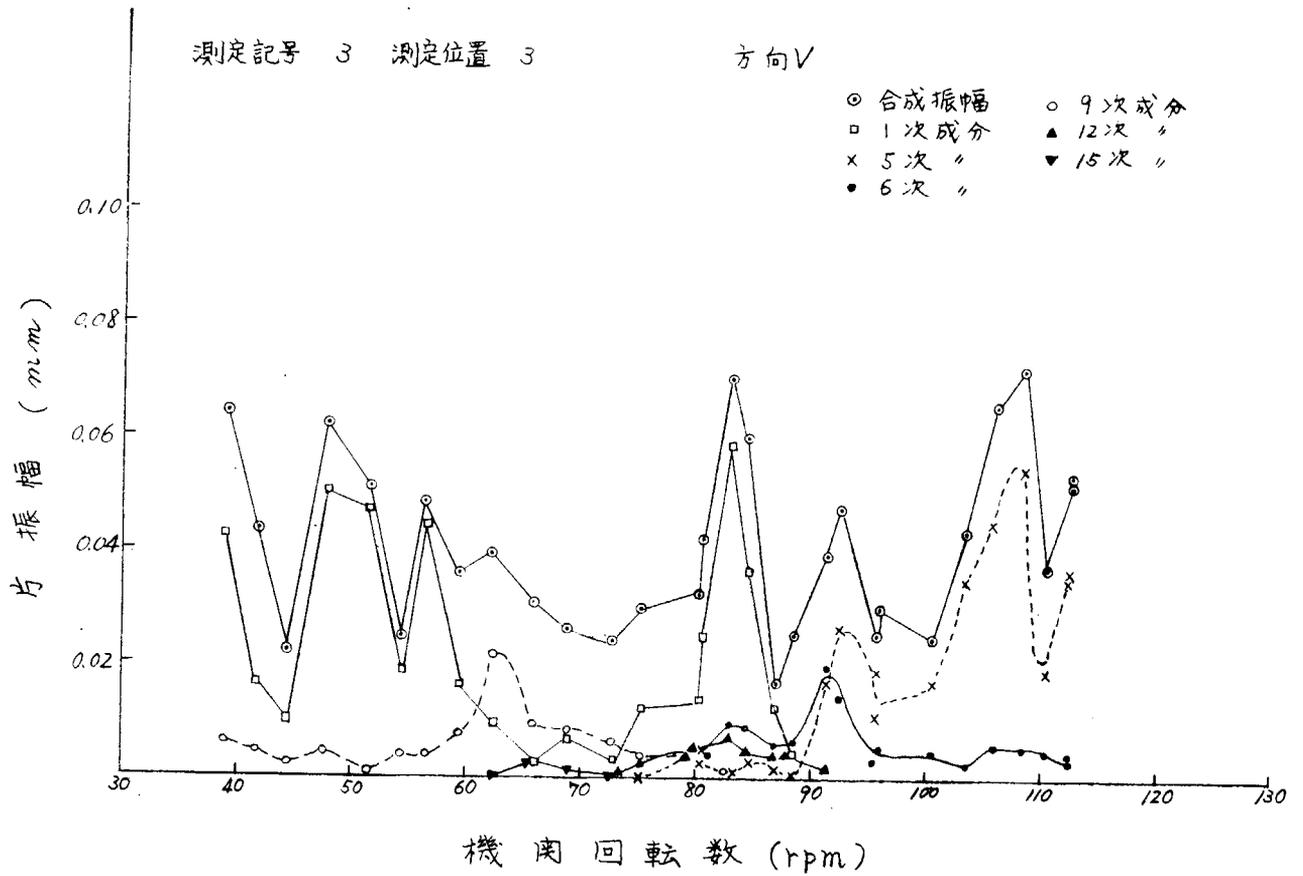
第3.2.3.0図 海上運転時架構振動(満載)



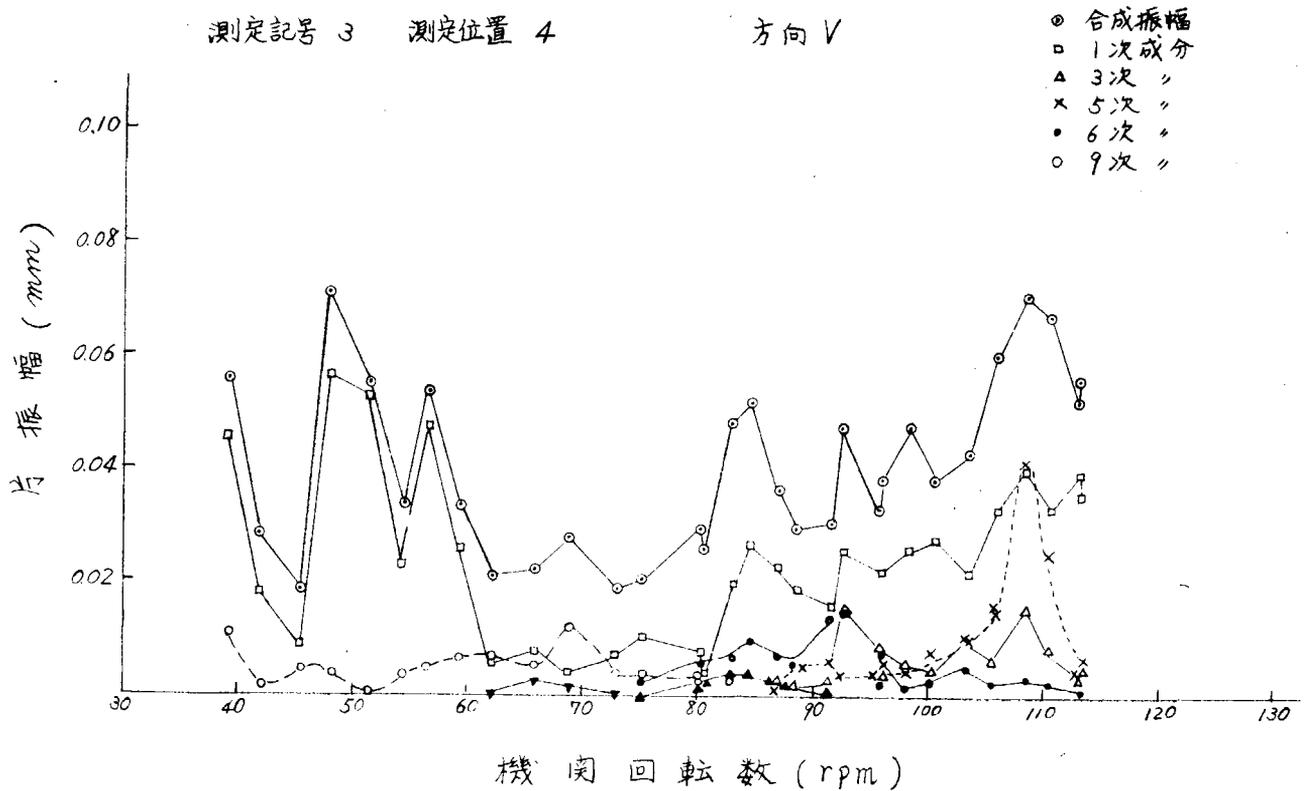
第 3.2.3 1 図 海上運転時架構振動 (満載)



第 3.2.3 2 図 海上運転時架構振動 (満載)



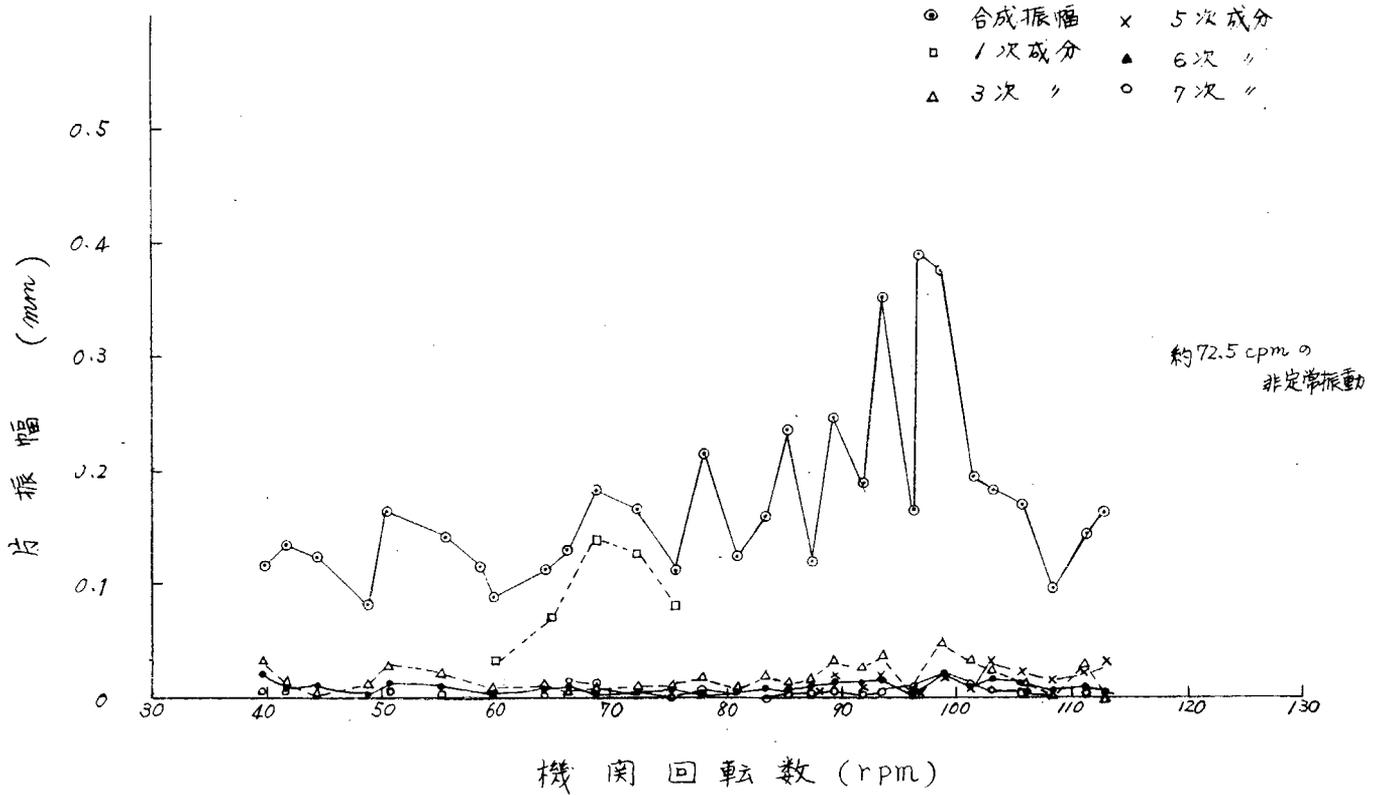
第 3. 2. 3 3 図 海上運転時架構振動 (満載)



第 3. 2. 3 4 図 海上運転時架構振動 (満載)

測定記号 5 測定位置 1

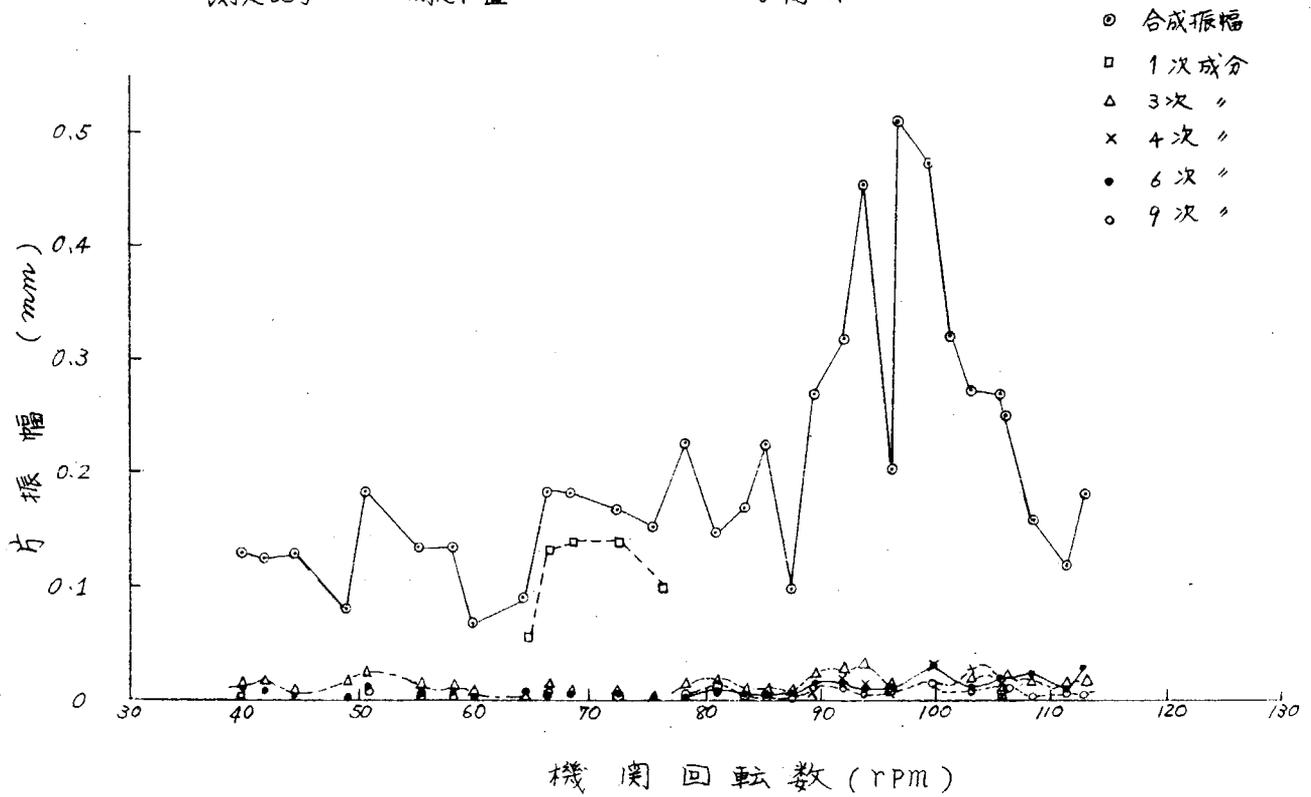
方向 H



第3.2.35図 海上運転時架構振動(ブレイシング除去)(半載)

測定記号 5 測定位置 3

方向 H

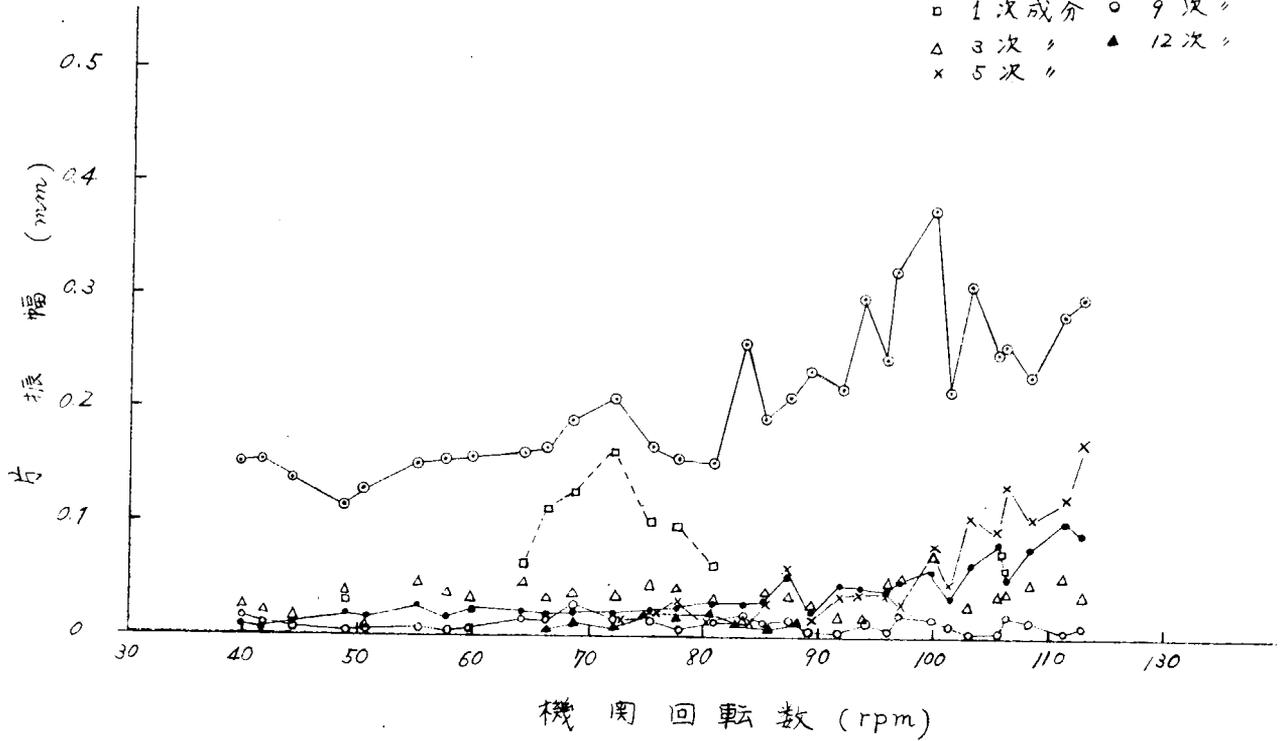


第3.2.36図 海上運転時架構振動(ブレイシング除去)(半載)

測定記号 5 測定位置 6

方向 H

- 合成振幅
- 6次成分
- 1次成分
- 9次成分
- △ 3次成分
- ▲ 12次成分
- × 5次成分

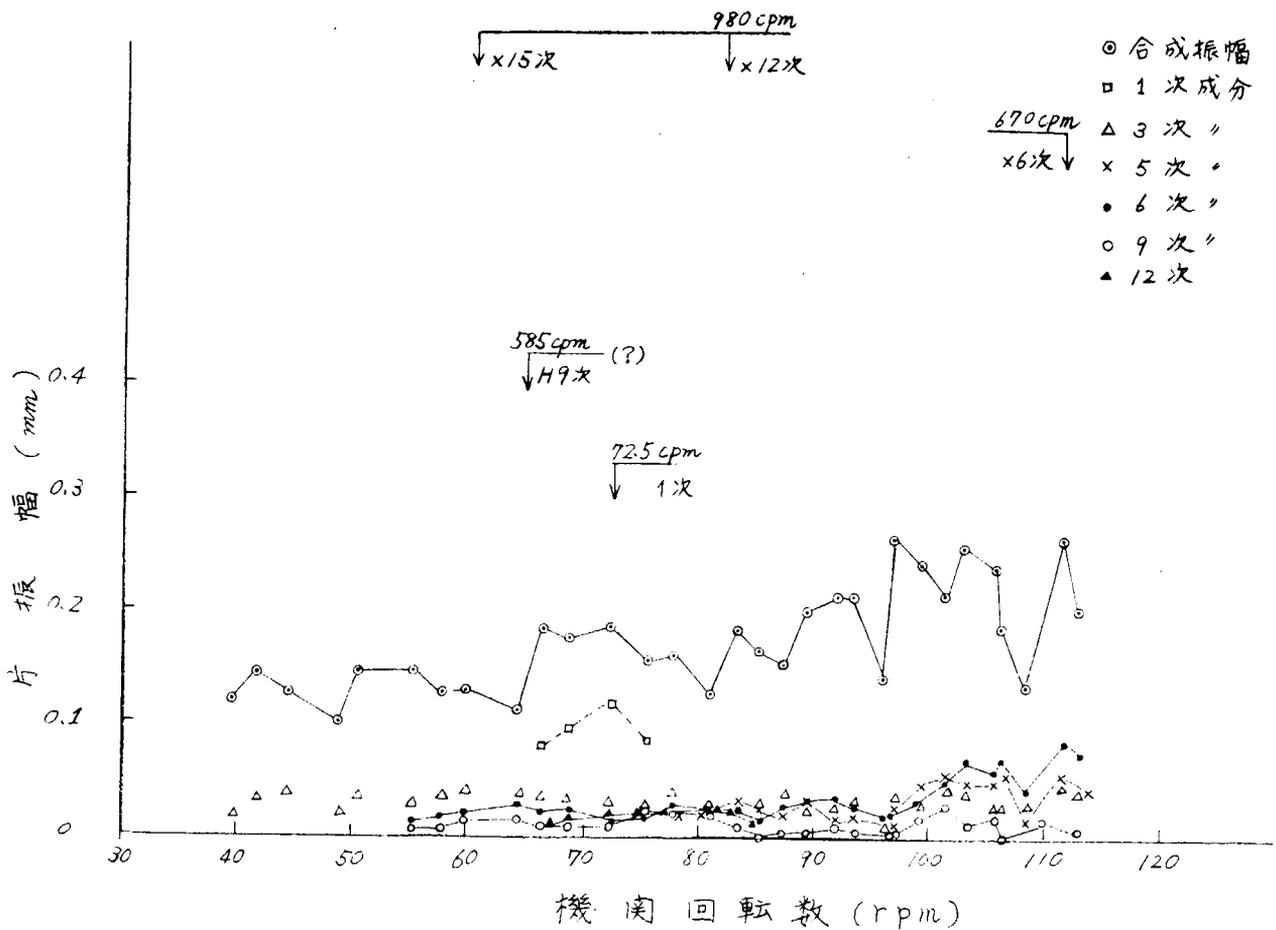


第3.2.37図 海上運転時架構振動(ブレイシング除去)(半載)

測定記号 5 測定位置 8

方向 H

- 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次成分
- × 5次成分
- 6次成分
- 9次成分
- ▲ 12次成分

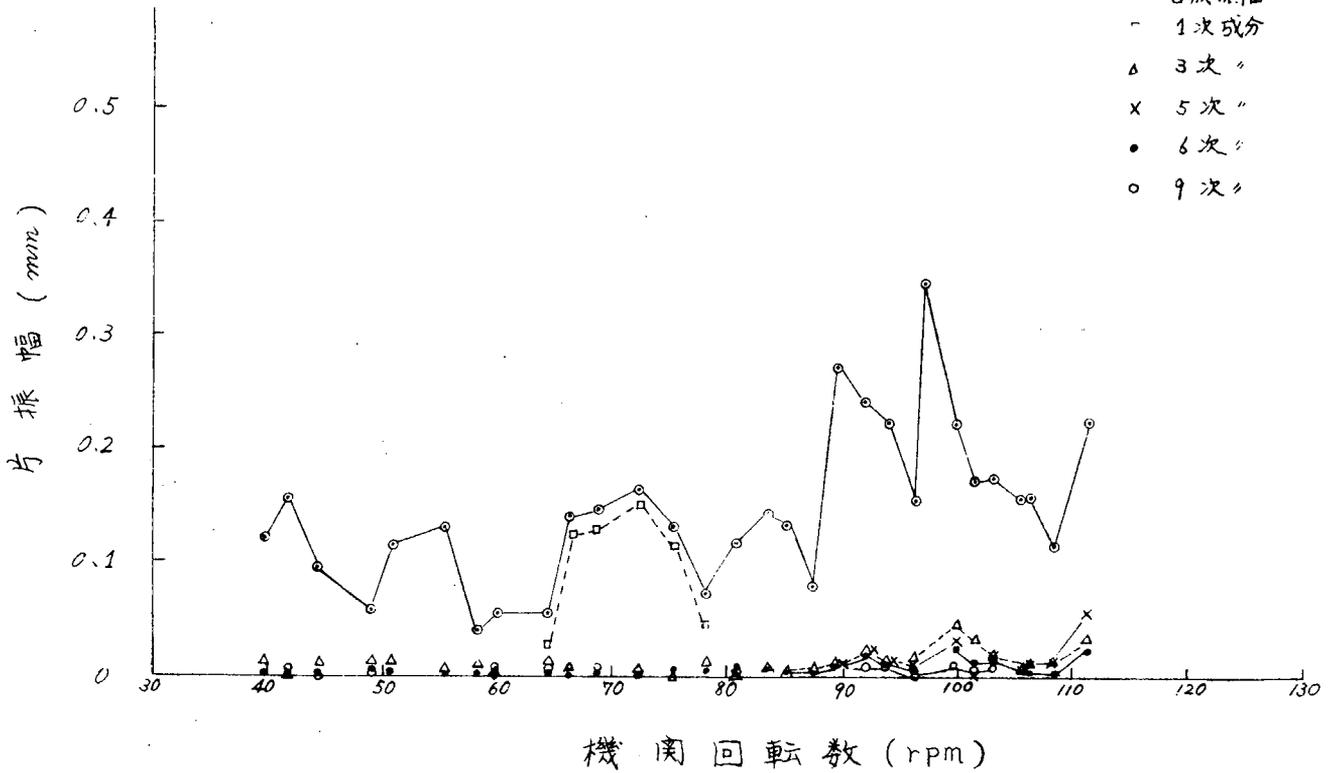


第3.2.38図 海上運転時架構振動(ブレイシング除去)(半載)

測定記号 5 測定位置

方向 H

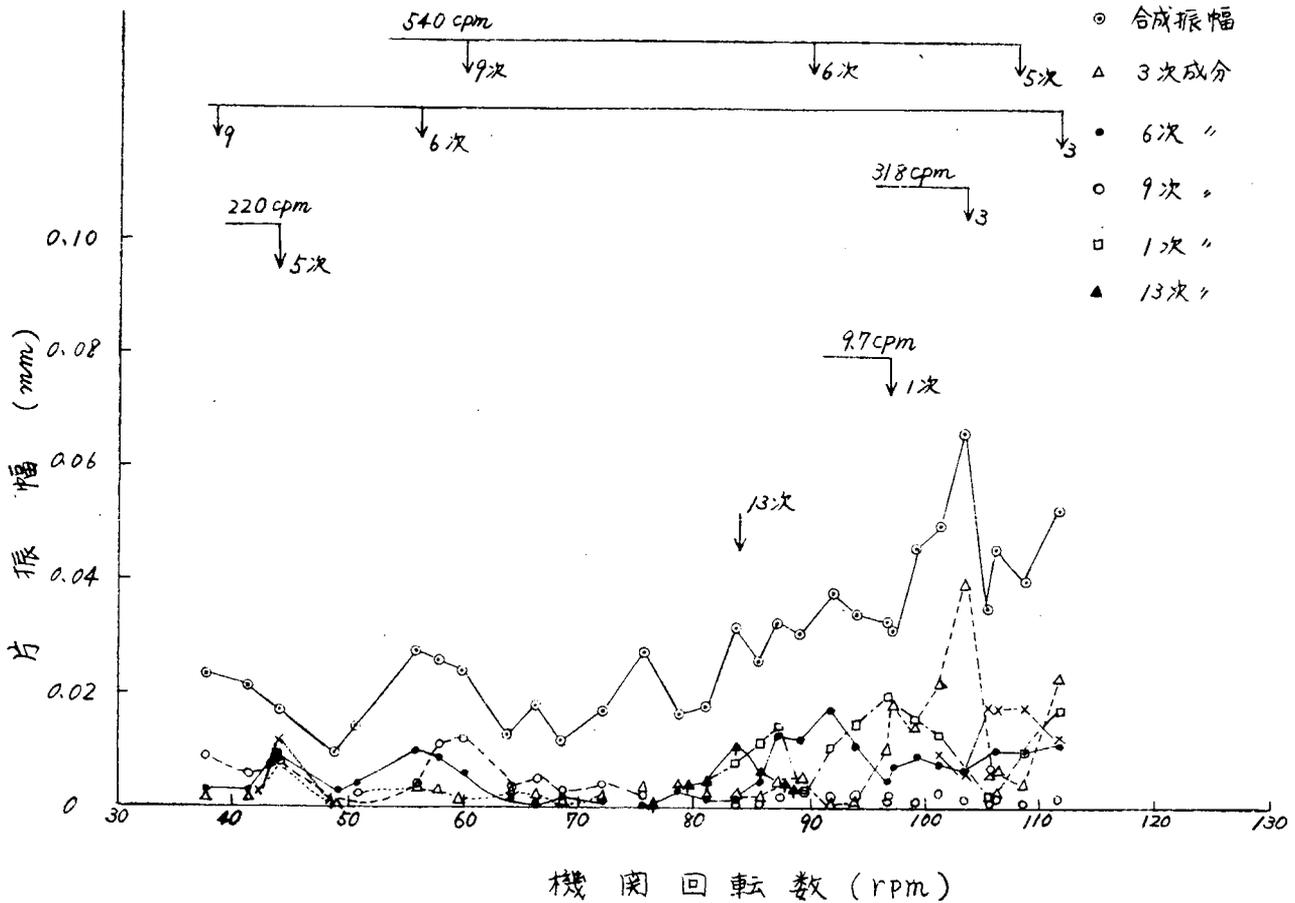
- ◎ 合成振幅
- 1次成分
- △ 3次成分
- x 5次成分
- 6次成分
- 9次成分



第3.2.39図 海上運転時架構振動(ブレイシング除去)(半載)

測定記号 5 測定位置 1

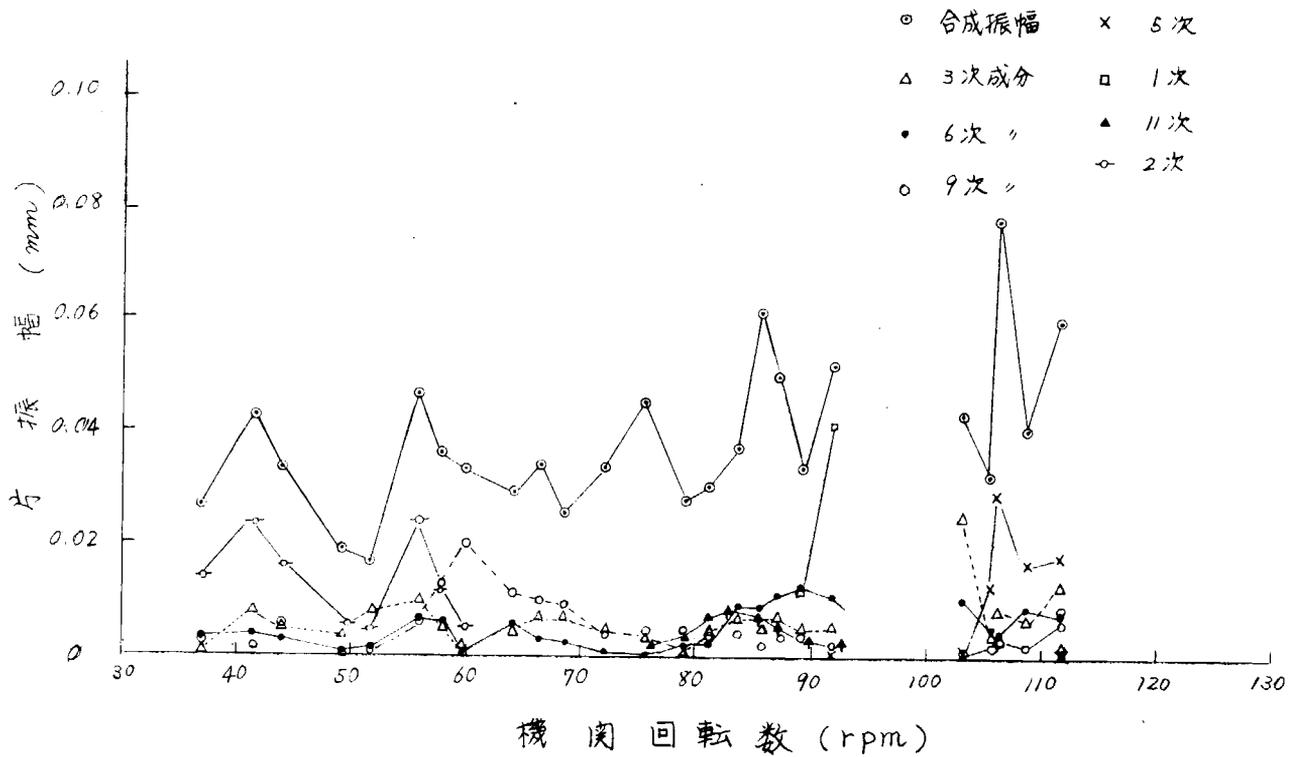
方向 V



第3.2.40図 海上運転時架構振動(ブレイシング除去)(半載)

測定記号 5 測定位置 3

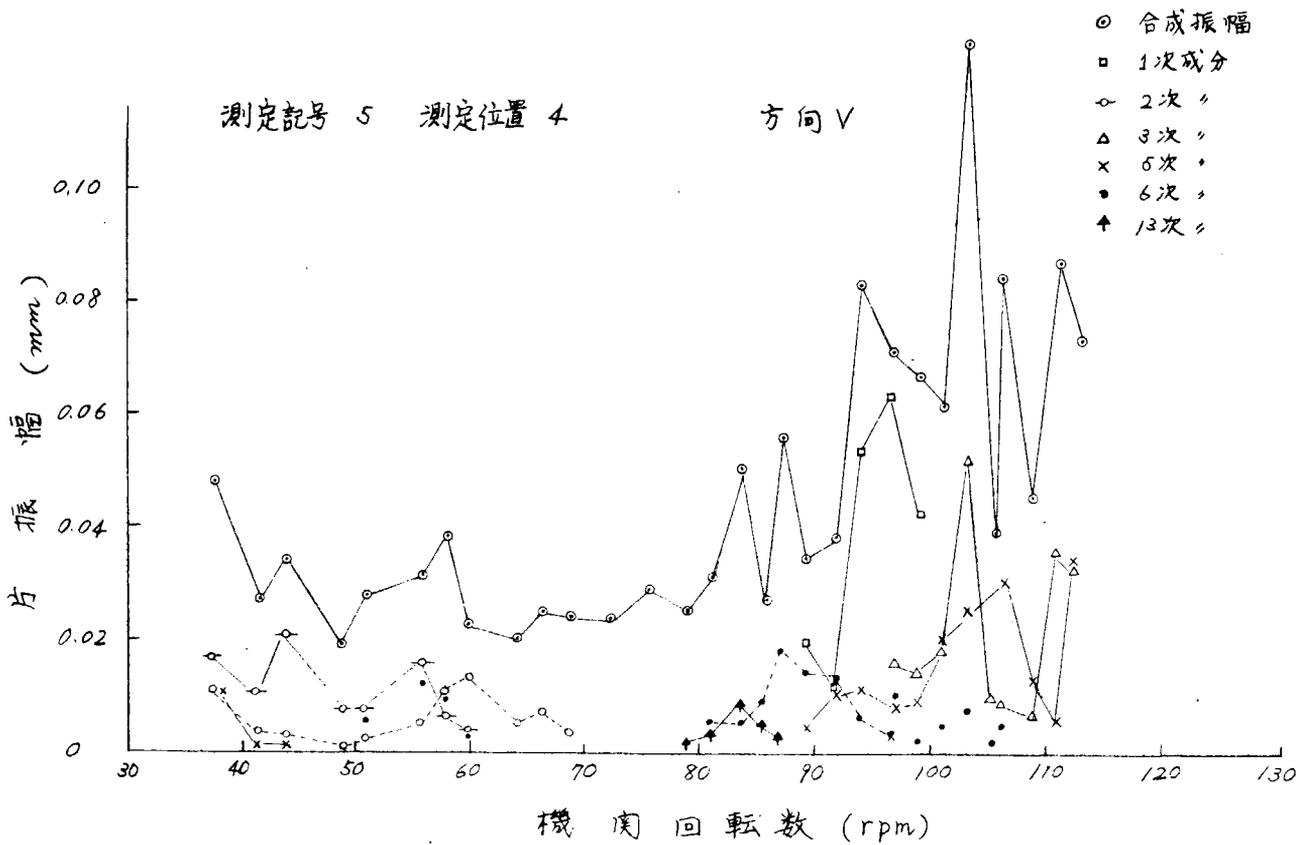
方向 V



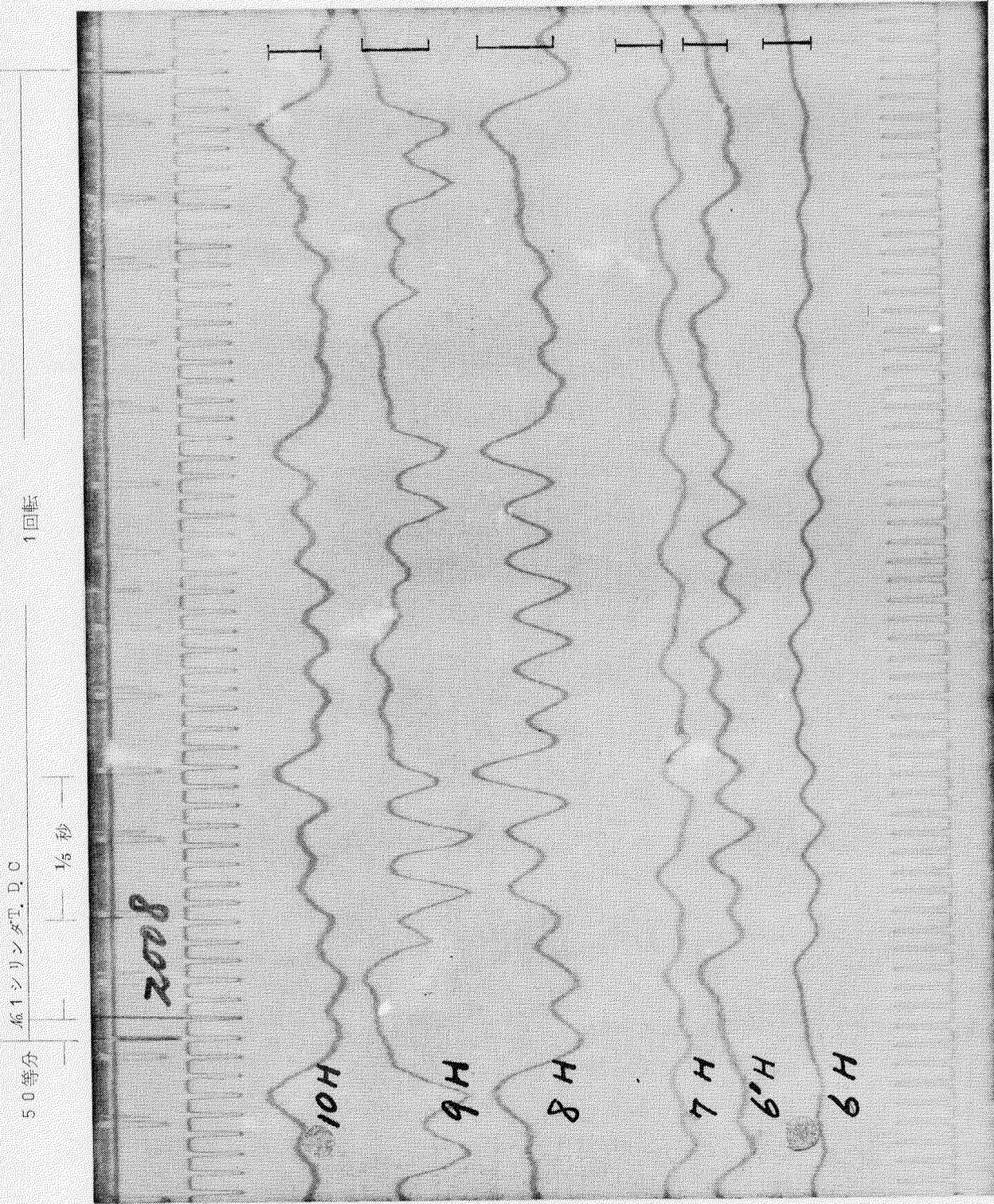
第 3. 2. 4 1 図 海上運転時架構振動 (ブレイシング除去) (半載)

測定記号 5 測定位置 4

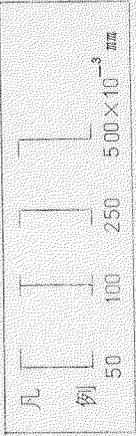
方向 V

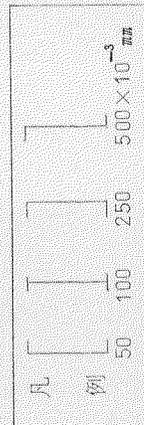
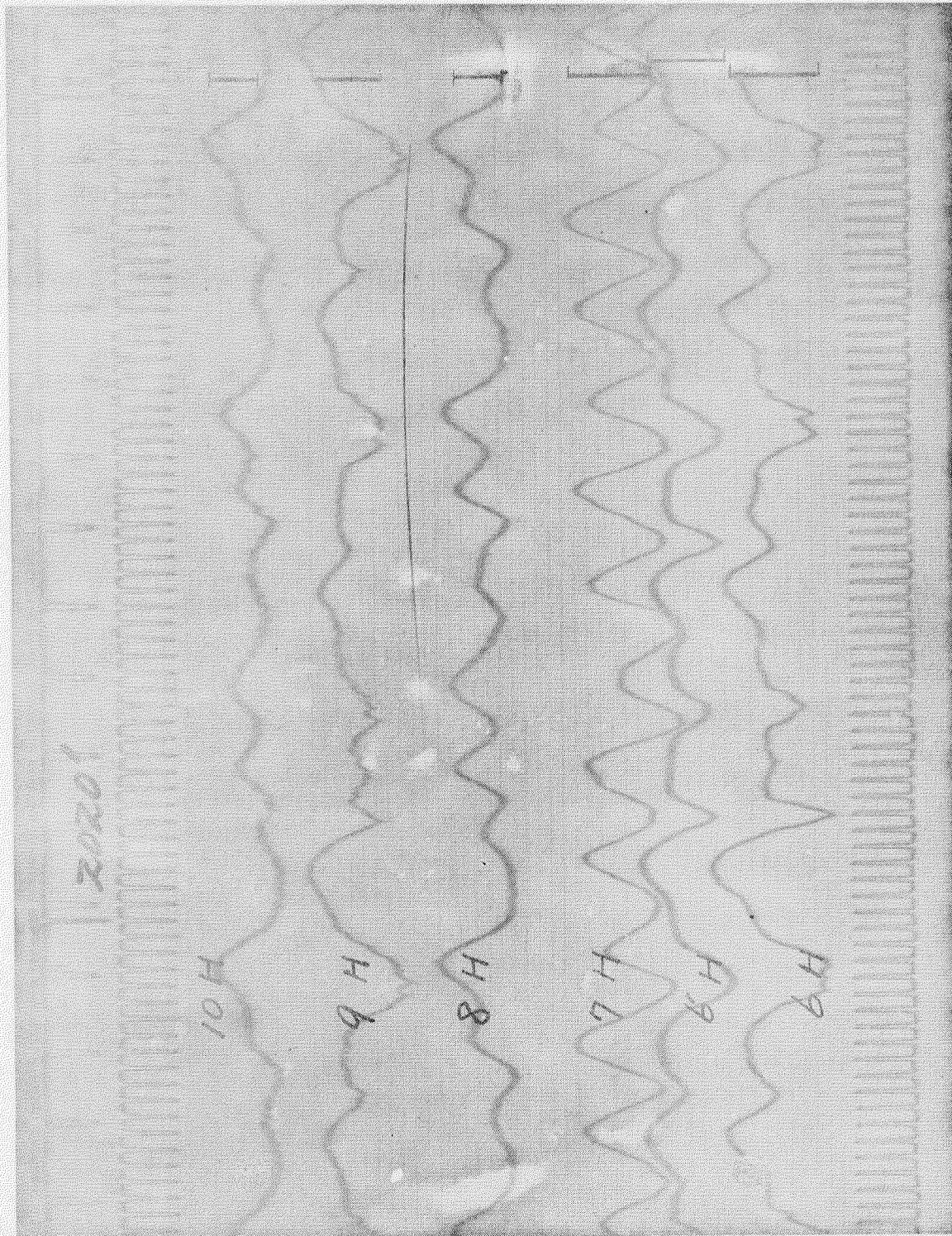


第 3. 2. 4 2 図 海上運転時架構振動 (ブレイシング除去) (半載)

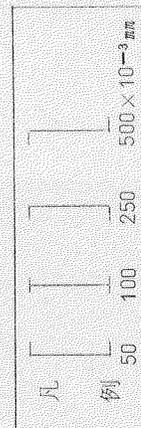
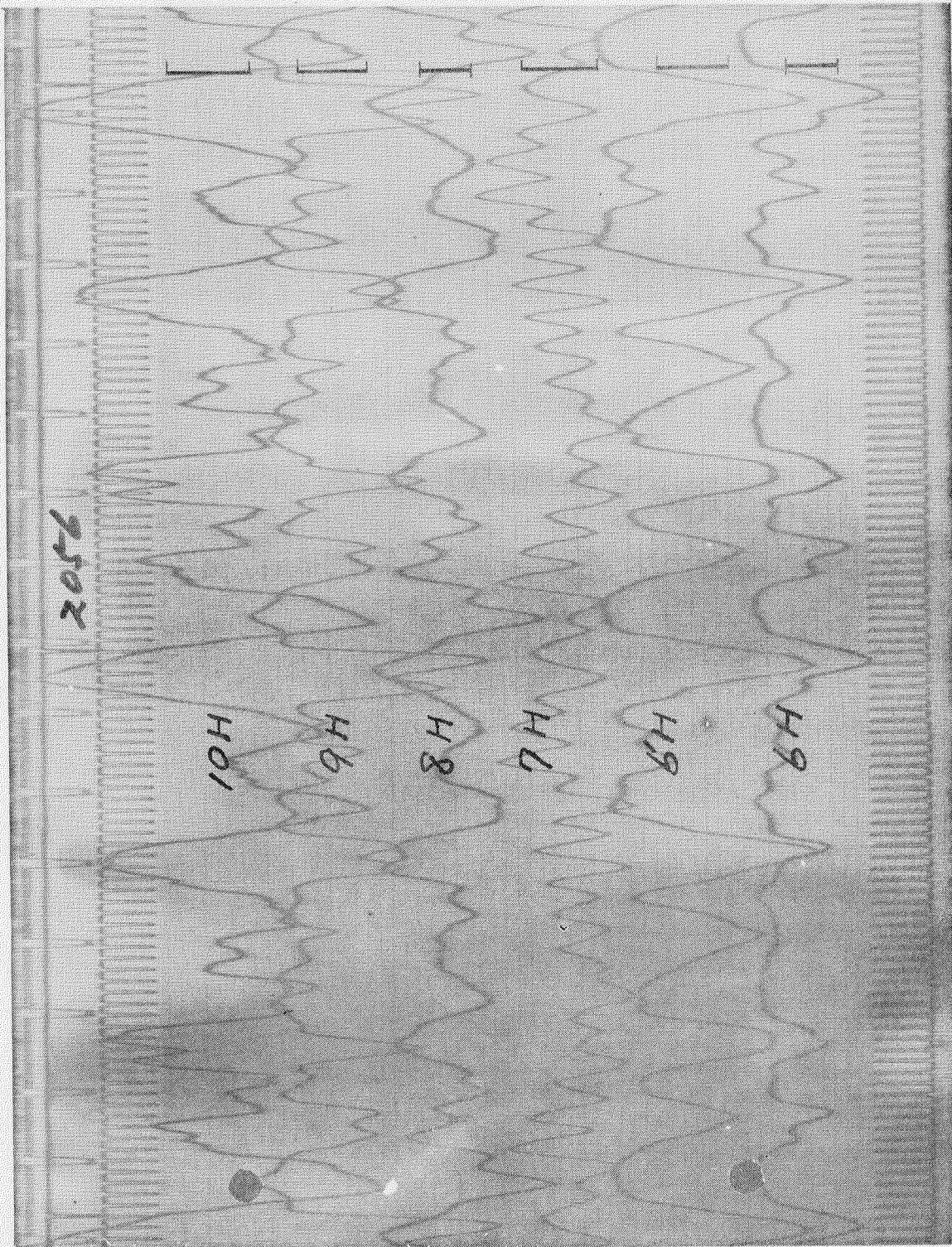


第 3.2.4.3 図 架構振動計測例 (横方向, 4.4.7 r.p.m.) (陸上運転時)

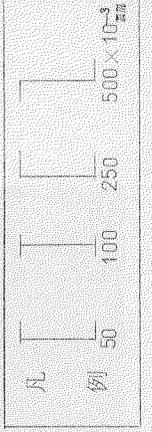
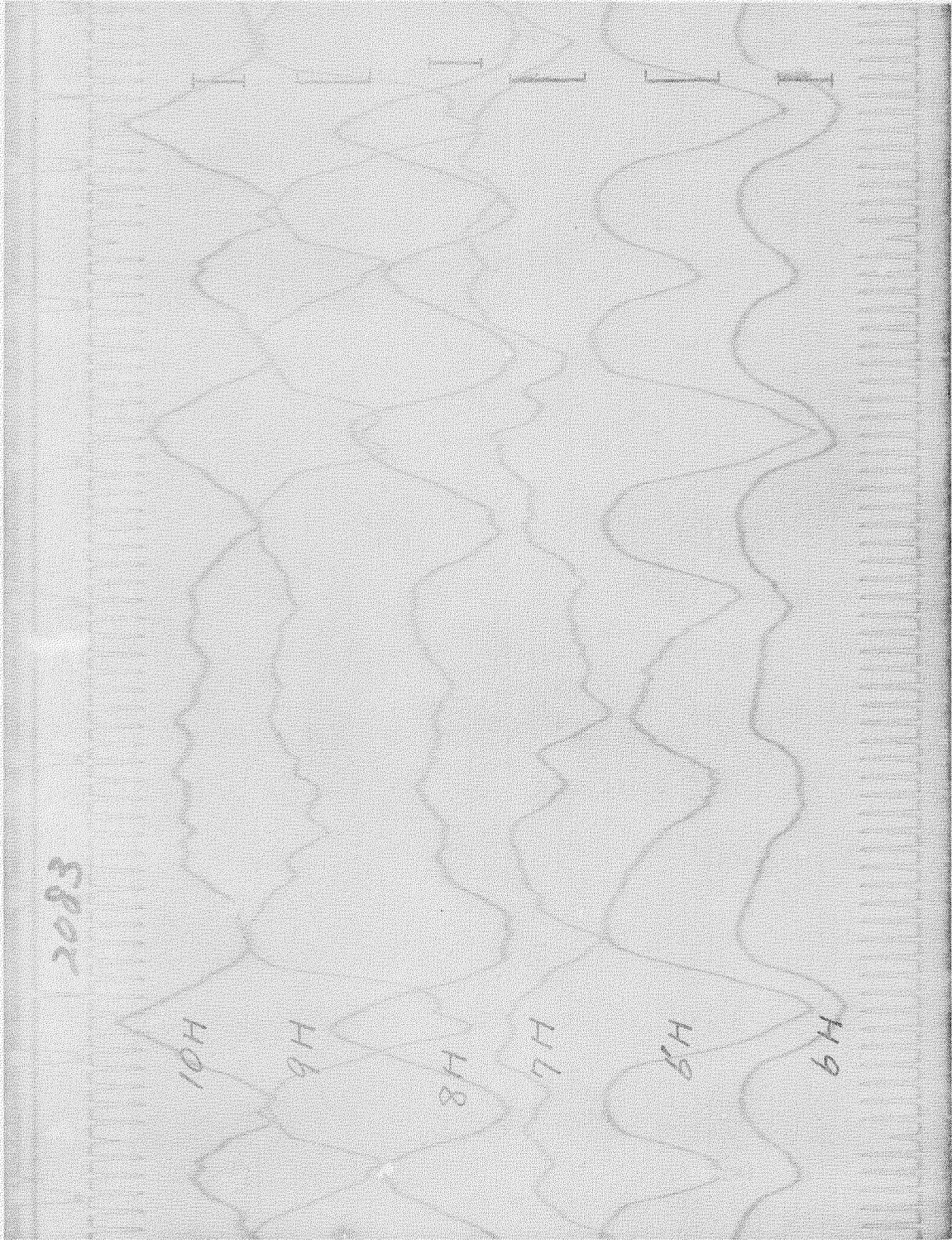




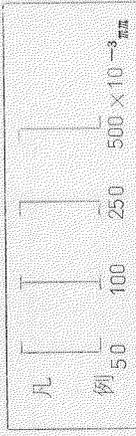
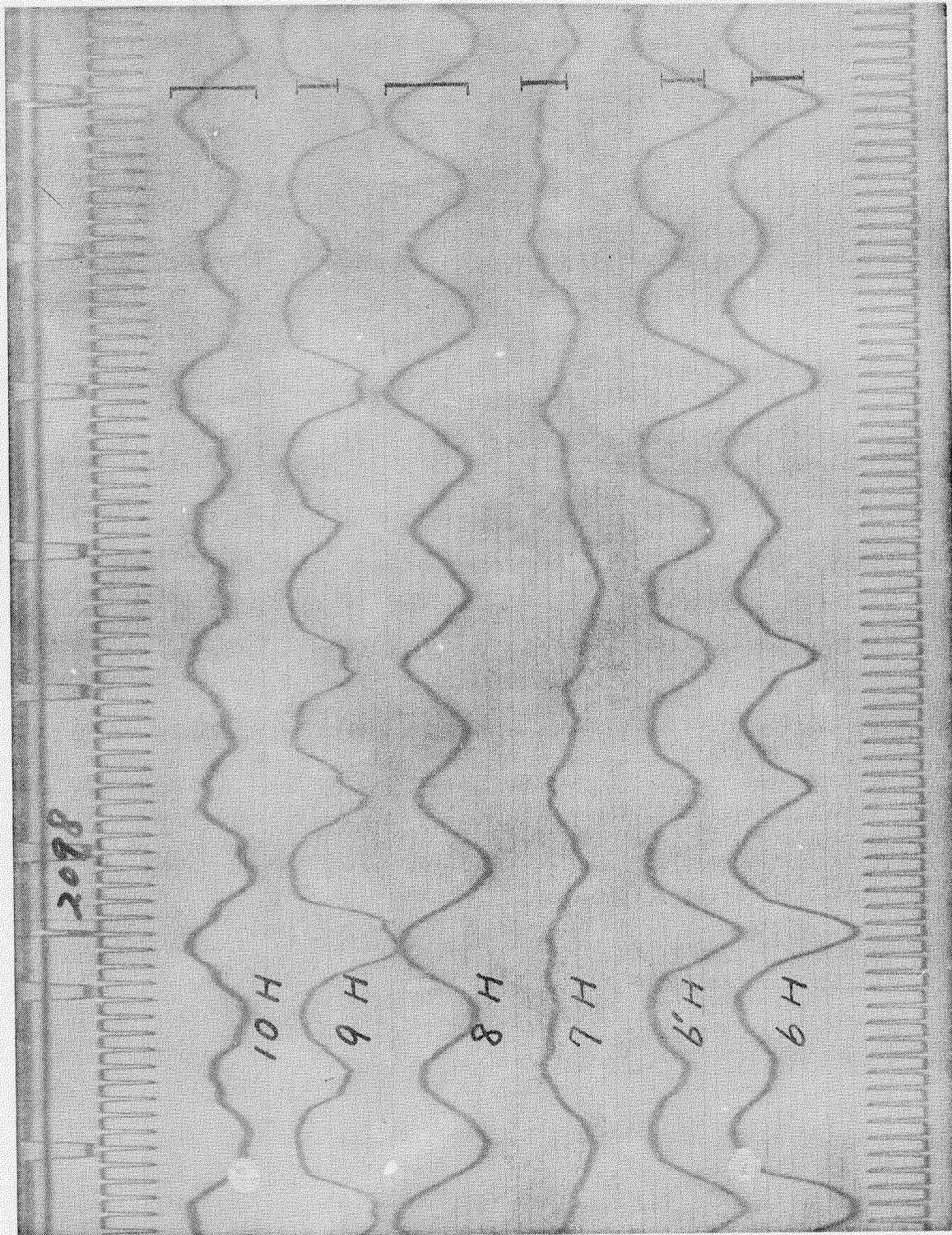
第 3.2.4.4 图 梁構振動音例 (横方向, 5 4.4 T P m)



第 3.2.4.5 図 架構振動計測例 (横方向 7.9.6 I P III)



第 3.2.4.6 图 架桥振动计划例 (横方向 10.0.4 r.p.m.)



第 3.2.4.7 图 架構振動計測例 (横方向 10 8.0 r.p.m)

1/16 インチ T. D. C.

5.0 等分

1/16 秒

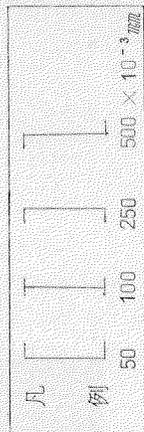
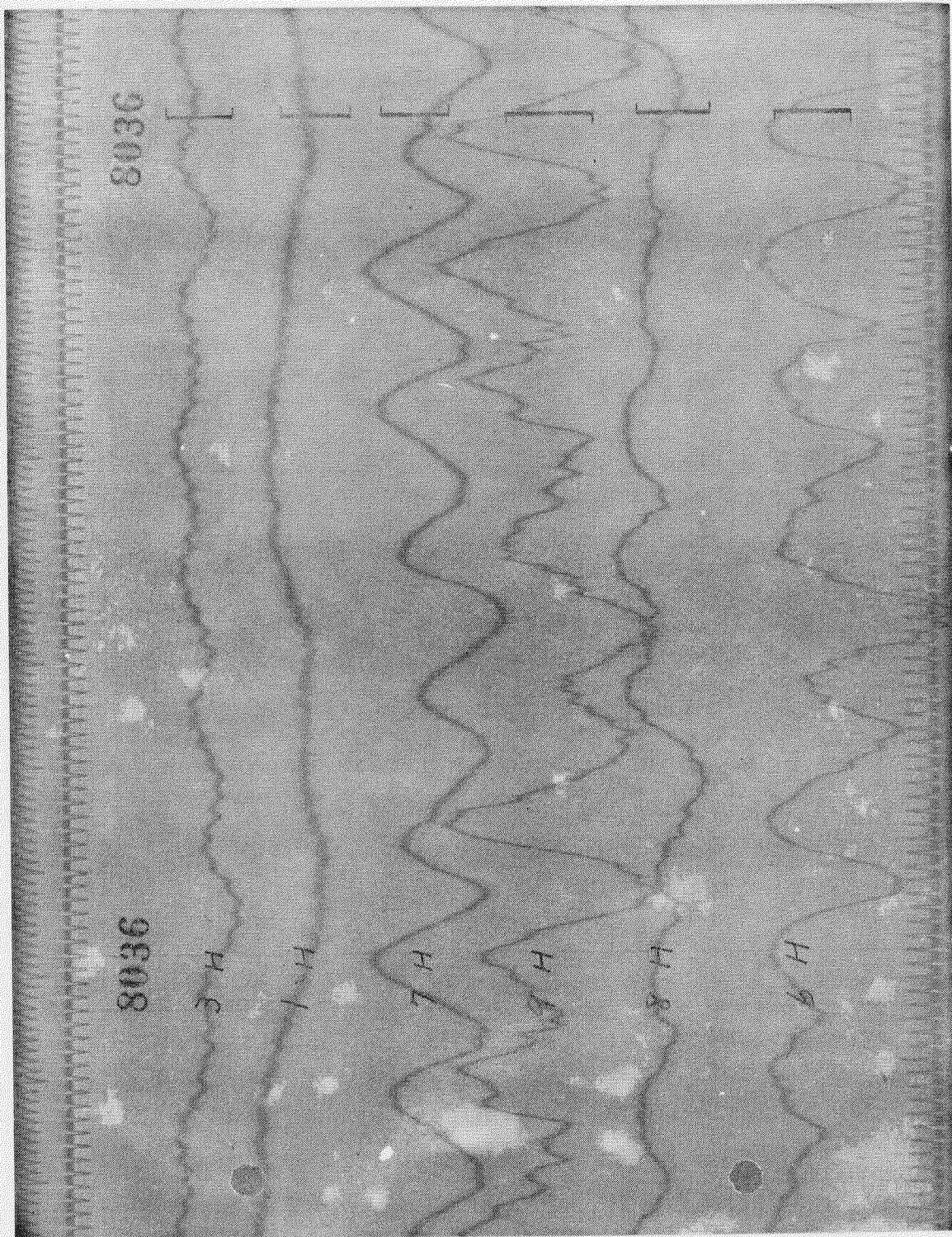
1 回転



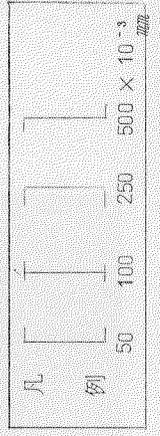
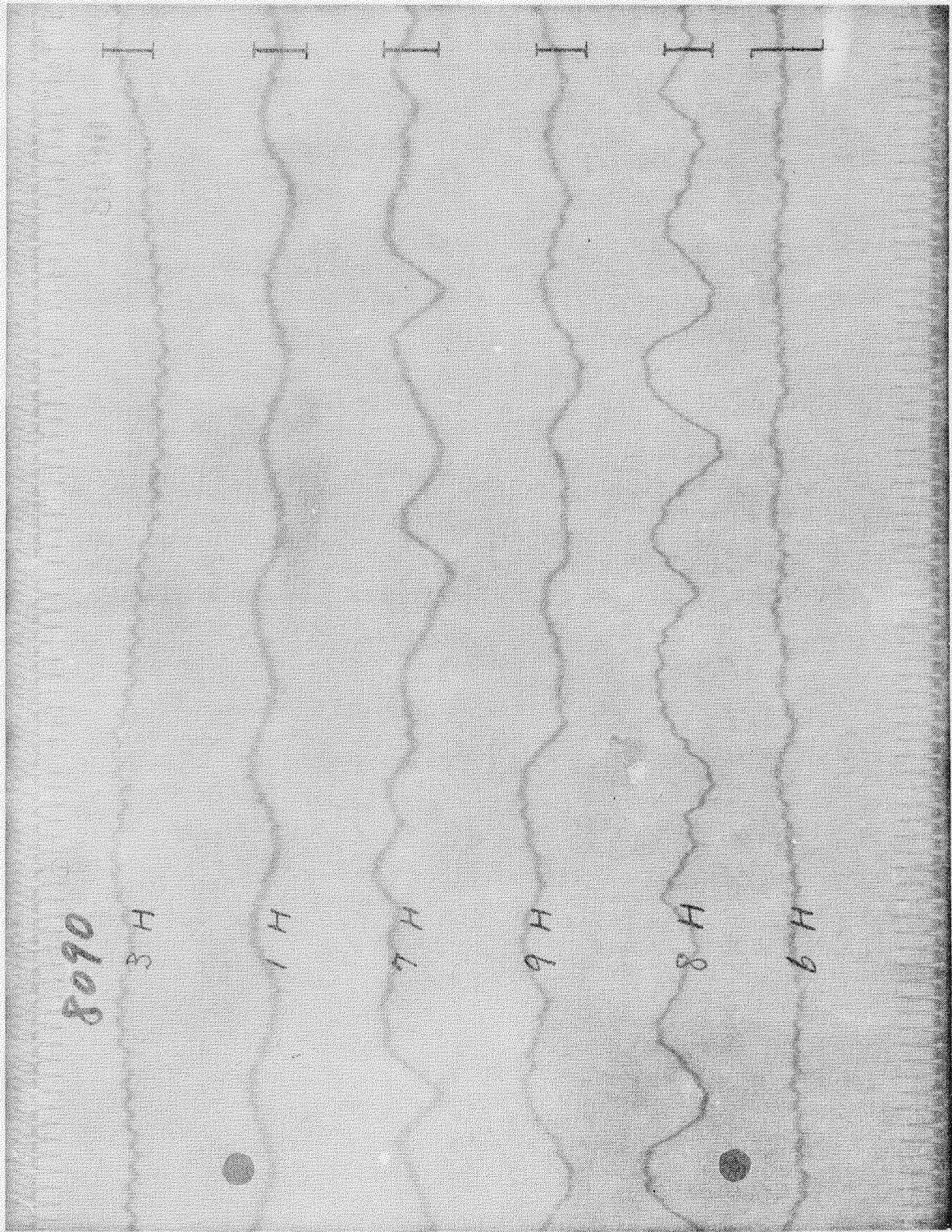
第 3.2.4.8 図 梁構振動計測例 (横方向, 8.3.9 I.P.M.) (海上半載)

凡例

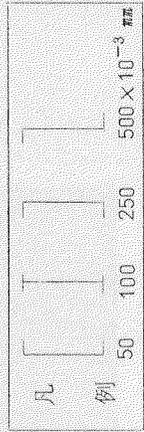
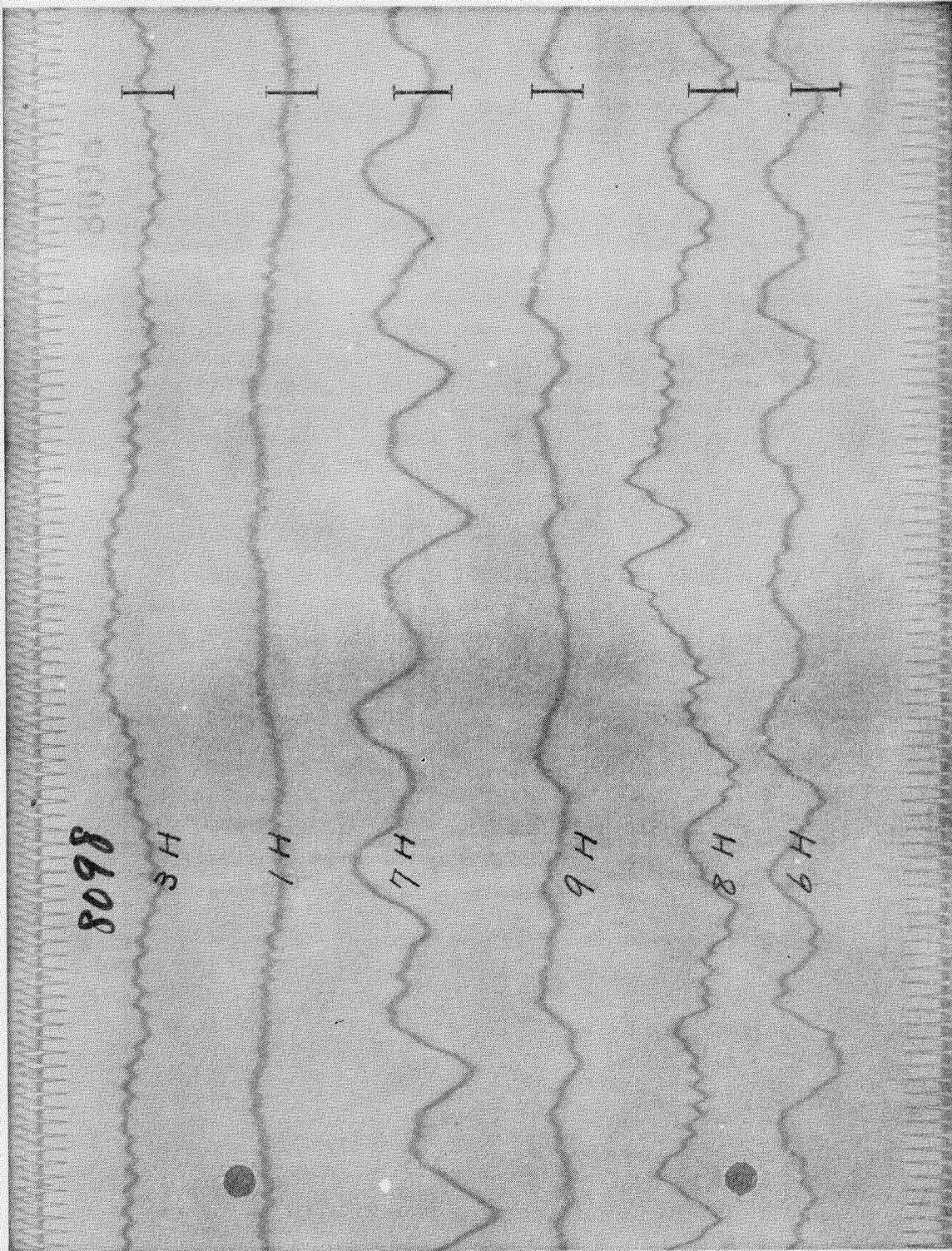
50 100 250 500 $\times 10^{-3}$ mm



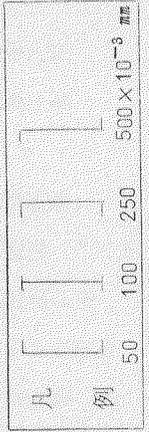
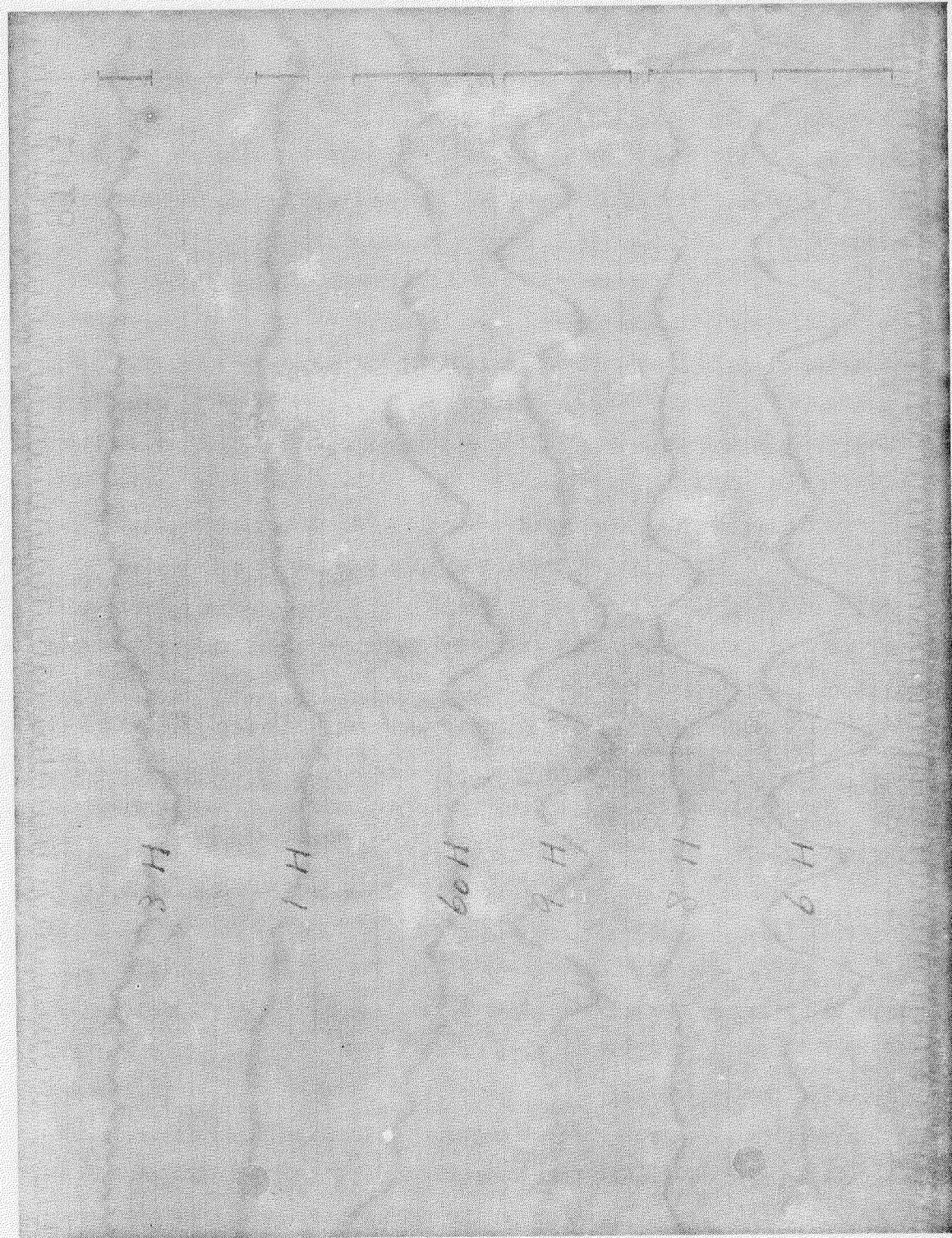
第 3.2.4.9 图 架構振動計測例 (横方向, 108.4 r.p.m.)



第 3.2.5 0 图 架槽振動言測例 (横方向, 92.9 r.p.m.) (海上滿載)



第 3.2.5.1 图 架構振動計測例 (横方向、108.7 r.p.m)



第3.2.5.2図 梁構振動計測例(横方向, 11.6rpm)(海上半載プレッシング除去)

海上半載	6、8、9、7、1、3-H	108.4 rpm	第3.2.4 9 図
海上満載	"	92.9	第3.2.5 0 図
"	"	108.7	第3.2.5 1 図
海上半載(ブレーシング除去)	6、8、9、60、1、3-H	111.6	第3.2.5 2 図

3.2.7 測定結果の検討

先の測定結果から顕著なピークを第3.2.7～3.2.9表に示す。またその振幅の大きなものについて、架構の振動モードを第3.2.5 3～3.2.6 5 図に示す。表中振動モード欄に該当する図番を示した。

(1) 陸上運転時架構振動

第3.2.7表から明らかなように陸上運転時のX型ねじれ振動では3個の異なる振動状態がある。(1)の振動状態では第3.2.5 3 図に見るように台板と架構上部とで振幅値があまり違わない。これは架構の高さ方向に曲げを伴わない振動で架構全体がX型にねじれていることを示す。この振動はクランク軸の1節ねじれ振動(第2編3.3節参照)により誘発されるもので、振動数はねじれ振動の固有振動数と大略一致している。主機回転数45 rpm 時のねじれ振動の共振次数は1節18次であるが、架構振動の周波数分析の結果では、台板の横方向振動の成分は17～19次の範囲でばらついており、ビート現象を呈している。台板の17～19次振動は45 rpm 時のみならず、80～85 rpm および高回転域において、横方向のみならず上下、縦方向にも生じており、一方海上運転ではあらわれないことから機関据付け基礎(ベッド)または動力計まわりの固有振動かと思われる。

次に(2)の振動は曲げを含んだいわゆるX型振動を呈しているが、第3.2.5 4 図(1)に示すように108 rpm 6次の場合、船尾端の振幅は船首端のその2倍以上である。この傾向は機関台板にも見られ、軸系の6次ねじれ振動(ピーク135 rpm)の影響を受けたものと思われる。この現象は93.5 rpm 7次、82 rpm 8次にもあらわれている(モード曲線省略)。ただし第3.2.5 4 図(2)に示すように72.4 rpm 9次はH型(曲げ)振動の影響が大きくいくぶん変わったモードを示している。

また、(3)の振動はきれいなX型振動を呈し(第3.2.5 5 図)、機関台板も横方向、上下方向ともX型振動に準ずる振動を示している。この振動数は軸系縦振動の固有振動数と一致するが縦振動のピークは明確でなく、また軸系縦振動の架構の横振動への影響に疑問があるので、両者の関係はないと考えてよい。以上のように架構のX型振動の固有振動数は654 cpmと500 cpmの2個存在していることがわかる。両者の差違についての明確な解明は来年度の検討にゆだねたいが、それらの振動モードの差違から前者は機関架構を主とする固有振動、後者は機関ベッド(コンクリートブロック)のねじれ特性を含めた固有振動ではないかと思われる。またその振幅は機関上部で最大(船尾端)0.43(前者)および0.15(後者)mmである。

次に80～83 rpm に17～18次のZ型振動が見られ第3.2.5 6 図(2)に示すような複雑な振動モードをもっている。これは軸系の2節ねじれ振動の固有振動数1,430 cpmとほぼ一致しており、それによる振動とも考えられる。来年度、さらに検討したい。

またH型(曲げ)振動については55～60 rpm にピークが見られる。第3.2.5 6 図(1)に示すように位置によつてピークの回転数がいくぶん異なる。この場合も軸系縦振動の固有振動数500 cpm とほぼ一致するが、関係ないものと考えられる。また95 rpm にもピークがあるが、軸系ねじれ振動の影響を受けて船尾端のみ位相がずれておりねじりとの連成振動と思われる。したがって陸上運転におけるH型振動の固有振動は495～540 cpm である。またその振幅は小さく機関上部にて0.05 mm程度である。

なお高回転域での機関台板の横方向振動の主成分は1次(最大振幅0.12～0.15 mm、各点同位相)で、それに3、6、17～19次の高周波が付加されている。一方機関上部には1次成分はあまりない。また台板での上下振動も高回転では1次が主成分であり、X型横振動特に500 cpm 振動に対して明瞭な5次または6次のピークを示している。なお機関上部の上下振動も、1、2、3次の時次が主で17～19次が付加されている。

(2) 海上運転半載、ブレーシング除去時架構振動

本機関は船舶搭載時、機関上部チャージャケッ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3.2.2、3.2.3図参照)。ここでは、まずブレーシングを除去した場合の架構振動について検討する。

まずX型振動は82rpmに12次、65.5rpmに15次が見られるが、その振動数は軸系2節ねじれ振動の振動数(1020cpm)に近く、それによつてもたらされたものと思われる。なお軸系1節ねじれ振動に応じて96rpmに4次、76.8rpmに5次、64rpmに6次のねじれ振動モードに近いX型振動(船首の振幅が船尾の振幅よりかなり大きい)が見られるがあまり明瞭なものではなく表示を省いた。次に111.5rpmに6次のピークが見られる。そのピークはあまり明瞭なものではなく、その振幅も陸上運転時のピークのそれよりかなり小さい($\frac{1}{2}\sim\frac{1}{4}$:0.1mm)が、船首端と船尾端の位相差からX型振動の共振と考えられる。そしてその固有振動数は陸上運転時のそれよりいくぶん大きく670cpmである。振幅の減少および振動数の上昇から船の機関ベッド(二重底)の剛性が陸上運転ベッドのそれより大きいことが推定される。振幅の減少については、このほか、船内においてはブレーシングを除去してもグレーティングその他で船体との結合があり、また今回の測定ではこの回転数付近に5次の成分が大きく、それによつてかなり影響されているものと思われる。なお全回転域5次および6次成分が大きいが、明瞭なピークは見られない。

次にH型振動については明瞭なピークが見られないが65rpm~75rpm特に65rpm付近にそれらしきものが見られ、その振動数は585cpm(H型振動固有振動数)で、陸上運転におけるそれより高い。

また72.5cpm付近に機関各部において同位相の1次のピーク(振幅約0.15mm)があり、その振動数の振動が全回転域で非定常に発生している。したがってピーク以外でのこの振動の起振力は軸系の回転ではなく波浪またはなんらかの衝撃力であろう。そして72.5cpmは船体の横方向固有振動数であろう。

なお本測定時には機関上部と同一面(第3.2.1図3 RED X.)の60点にて横方向振動を測定したが、機関台板の振動とはほぼ同じで高次成分はほとんどない。

また機関台板の上下振動には各種振動数のピークが見られるが、これらは船体振動と思われる。ただ540cpmは軸系縦振動の固有振動数と一致し、それが起振力になつているのかも知れない。この振動は108rpm付近に5次のピークを与え、5次の横振動増大の原因となつているとも考えられる。

(3) 海上運転半載時架構振動

次に海上運転半載、ブレーシング取り付け時の架構振動について述べる。まずX型振動に対しては66.5rpm15次、83rpm12次のピークがあるが、それは軸系2節ねじれ振動によつてもたらされたものと考えられ、また前項にて述べたように軸系1節ねじれ振動によるX型振動(船首端振幅大)も生じているが、表示を省いた。

また、92.5rpmにあまり明瞭ではないが5次のX型振動が見られる。この振動は第3.2.58図(2)に示すように船体横振動によるものと思われる(船体上下振動も11節のピークに相当している)。なお、ブレーシング除去時に見られた111.5rpm、6次のX型共振はブレーシングの拘束によつて消滅している(6次成分の振幅はきわめて小さい(0.03mm以下)がX型振動を呈している)。

またH型振動としては85rpmに9次の共振振動があるが、第3.2.59図(2)に示すように中央部の振幅が船首、尾端(0.015~0.027mm)に比べて大きく0.052mmである。固有振動数は765cpmでブレーシング除去におけるそれよりかなり高い。これはブレーシングによる船体との結合によつて機関-船体系の剛性が高くなつたためと思われる。次に108.5rpmに5次のH型振動(最大振幅0.17mm中央)が見られるが、第3.2.59図(1)に示すように機関ベッド(二重底)の横振動が大きく、しかも上下振動のピークも近いために生じたものと考えられ、船体振動からくるものと思われる。なお92.5rpmに6次の船体上下振動があり、かつ船首端と船尾端で位相が逆になつているため架構の横振動にX型振動が生じている。

次に82rpmに1次の横振動が見られる。第3.2.60図に示すように二重底の振幅が大きく(最大0.2mm)、機関上部は0.1mm以下である。これは船体の1節または2節の固有振動と思われる。この固有振動数はブレーシング除去の場

合の7.2.5 cpm よりかなり高くなつており、機関架構をブレーシング結合することによつて船体の横剛性が高くなることを示している。また、他の回転数域でもこの振動が非正常に発生し、その上に1次の強制振動(66, 93, 107 cpm など)および高次振動が付加されている。そしてブレーシング取り付け時の合成振幅を見ると、82 rpm のピークを除いて台板、軸受台にて0.2 mm以下、機関上部両端にて0.15 mm以下、中央部で0.3 mm以下であり、ブレーシング除去の場合の台板0.5 mm以下、機関上部両端の0.4 mm以下よりかなり減少している。

さらに機関台板の上下方向の振動を見るとブレーシング除去の場合と同様各種振動数のピークが見られる。総体的にブレーシング取り付けによつて船体上下方向の剛性が増加するためか固有振動数がいくぶん上昇している。

(4) 海上運転満載時架構振動

満載時(ブレーシング取り付け時)の架構の振動は定性的には半載の場合と大差ない。すなわち、軸系ねじり振動によつてもたらされるX振動は2節ねじり振動によるもの。(第3.2.6.1図参照、65.5 rpm 15次、82 rpm 12次)、1節ねじり振動によるもの(省略)とも存在し、また、第3.2.6.2図(1)に示す船体の横共振振動によるX型振動も見られる(92.5 rpm 5次)。ただ半載の場合見られなかつたX型固有振動が不完全ながら110.5 rpmに見られ(固有振動数66.3 cpmで半載ブレーシング除去の場合とほぼ同一)るが、その振幅は0.05 mm以下できわめて小さい(半載ブレーシング除去の場合の1/2以下)。

次にH型振動は81 rpmに9次の共振振動があり、半載に比べて固有振動数がやや低下(765→730 cpm)し、振幅はいくぶん増大した。なおピークは小さいが90.5 rpm(81.5 cpm)、102 rpm(93.5 cpm)にH型振動が見られるが、これらの差違については来年度検討したい。また、109 rpm 5次、93 rpm 6次および63 rpm 9次のH型振動はすべて軸系縦振動すなわち台板、ベツドの縦振動のピークと一致しており(第3.2.6.3図(1)、第3.2.6.4図(1)、(2)参照)、その影響による振動と思われる。

また、台板の横振動を見ると48, 57, 76その他に1次を主とするピークが存在する。まず76 rpmでの振動は第3.2.6.5図(1)に示すように、二重底は魚尾振動のような横振動を呈するが機関上部はX型振動をなしている。これは船体のねじれ振動と考えられる。また57 rpmでの振動は第3.2.6.5図(2)に示すような平行振動をなしており、47 rpmでのピークは57 cpmの振動の非正常振動と思われる。ただし、57 cpmのピークは再実験運転での測定結果第3.2.3.1図によると、いくぶん高回転側へ移つており、それ自体非正常振動の可能性も大きい。なお、その他の回転数では112 rpm以上に1次共振点が存在しているようであり、その他の1次の小さいピークは非正常強制振動と思われる。また、高次成分については5次成分が大きく、特に船首端では93 rpm、船尾側軸受台では109 rpmにピークを持つている。すなわち本船の横振動の固有振動数の中には54.5, 46.5 cpmを含んでいることがわかる。次に機関上部の横振動の1次成分を見ると、48, 57 rpmおよび船首、船尾端では76 rpmのほかに81 rpmにきわめて大きいピークが見られるが、これは非正常振動であると考えられる。

さらに機関台板の上下方向の振動を見ると、半載に比べて満載には船体の固有振動数が下がるので、ピークの回転数はいくぶん変化し(軸系縦振動に対応するピークの回転数も縦振動の固有振動数の変化だけいくぶん上昇する)船体振動の節数が大きくなる。そしてピークの数も減少する。

(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。

第3.2.10表 機関架構横振動固有振動数

振動型	陸上運転	海上半載		海上満載
		ブレーシング除去	ブレーシング付き	ブレーシング付き
H型	○49.5 cpm 55 rpm×9次	○58.5 cpm 65 rpm×9次	○76.5 cpm 85 rpm×9次	○73.0 cpm 81 rpm×9次
X型	○65.4 cpm 109 rpm×6次 ○50.0 cpm 100 rpm×5次 85 " ×6"	○67.0 cpm 111.5 rpm×6次	○なし	○66.3 cpm 110.5 rpm×6次

剛性台上に据付けた状態での本機関のH型振動固有振動数の計算値は601cpmであつたが、陸上運転ではベッドと地面間で相対振動が生じやういため機関架構とベッドの結合系での固有振動となり、固有振動数はかなり低下している。これは陸上運転時のH型振動モード(第3.2.5.6図(1))を見ても明らかである。一方船の機関ベッド(二重底)の剛性は陸上運転のベッド(コンクリートケーソンが地中に埋められているのみ)＋地面の剛性より高くその固有振動数が計算値に近づいたものと考えられる。また、ブレーシングを取り付けると振動系は機関ベッド(二重底)＋機関架構＋ブレーシング＋船体＋船体室壁となりその固有振動数はかなり上昇している。また半載から満載にすると固有振動数は低下する。次にX型振動については陸上運転時には2種の固有振動数が得られたが、海上運転時には、そのうち高いほうと大差なく、運転条件の変化に対してもあまり影響を受けない。これはこの固有振動数が機関ベッドにあまり関係しない機関架構時々の固有振動数であるためと思われる。そして半載ブレーシング取り付けの場合はX型振動のピークを得ることができなかつた。これは半載のほうがブレーシングの結合状況がよい(載荷の変化による船体のたわみのためと思われる)ためと思われる。そして、それはH型振動固有振動数が満載より半載にて高いことをも説明しうる。

第3.2.7表 陸上運転時架構振動のピーク

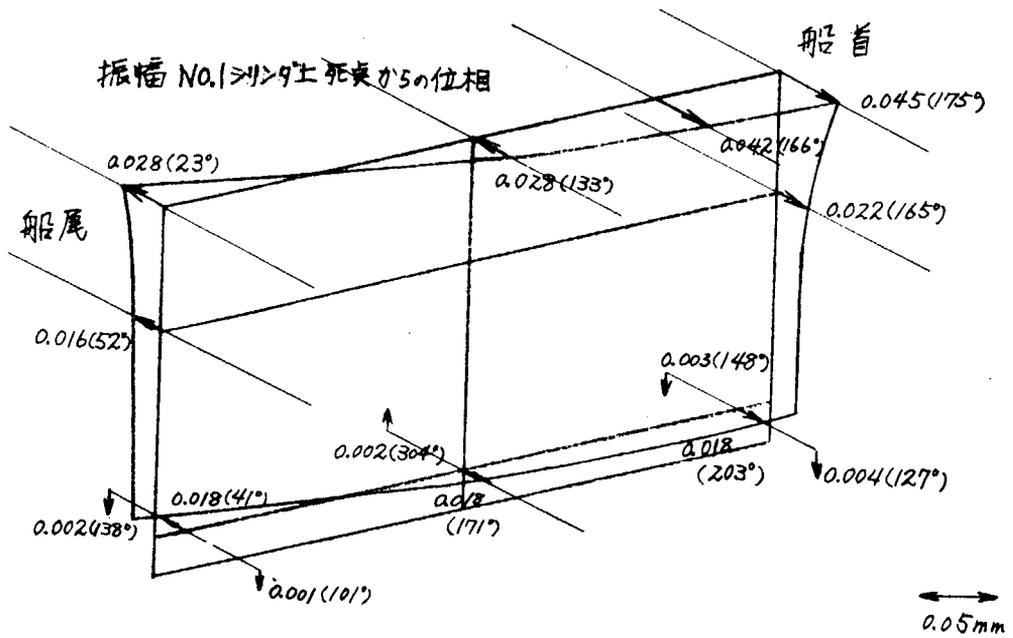
振動型	ピーク	オンログラフ	振動モード	備考
X型	(1) 4.5 rpm × 18次 = 810 cpm 6.7.5 × 12次 = 810 (小) 9.0 × 9次 = 810	第3.2.4.3図	第3.2.5.3図(2)	軸系1筋ねじれ振動(814cpm)と一致。強制振動
	第3.2.5.3図(1)			
	(2) 72.5~75 × 9次 = 654~675cpm (小) 10.9 × 6次 = 654 cpm		第3.2.4.7図	第3.2.5.4図(2) 第3.2.5.4図(1)
α型	(3) 8.3 × 6次 = 500 cpm 10.0 × 5次 = 500	第3.2.4.6図	第3.2.5.5図(1)	軸系縦振動(500cpm)と一致
	第3.2.5.5図(2)		するが関係なし。固有振動	
α型	(1) 8.0~8.3 × 17~18 = 1360~1490cpm	第3.2.4.5図	第3.2.5.6図(2)	軸系2筋ねじれ振動(1,432cpm)と一致。強制振動(?)
H型	(1) 5.5~6.0 × 9次 = 495~540cpm	第3.2.4.4図	第3.2.5.6図(1)	軸系縦振動(500cpm)と一致するが関係なし。固有振動
	(2) 9.5 × 9次 = 855cpm (変形)			曲げおよびねじりの連成

第3.2.8表 海上運転半載ブレーシング除去運転時架構振動のピーク

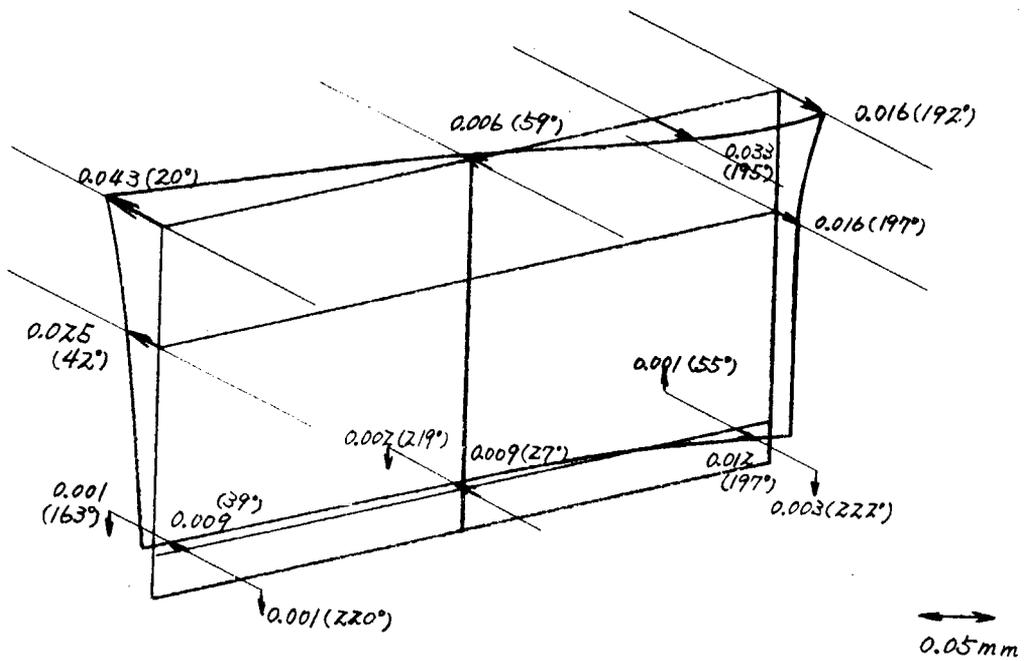
振動型	ピーク	オンログラフ	振動モード	備考
X型	(1) 8.2 rpm × 12次 = 980 cpm 6.5.5 × 15次 = 980 (小)		第3.2.5.7図(2)	軸系2筋ねじれ振動(1,020cpm)に近い。強制振動
	(2) 11.15 rpm × 6次 = 670 cpm		第3.2.5.2図	第3.2.5.7図(1)
H型	(1) 6.5~7.5 × 9次 = 585~675cpm (小)			固有振動
その他	(1) 7.2.5 × 1次 = 7.2.5 cpm			平行振動(船体振動)

第3.2.9章 海上運轉時架構振動のピーク

振動型	半 載			海 載			備 考	
	ピーク	オンログラフ	振動モード	ピーク	オンログラフ	振動モード		
X 型	(1) 665 rpm × 15 = 996 cpm	第3.2.48図	第3.2.58図(1)	(1) 655 rpm × 15 = 980 cpm	第3.2.51図	第3.2.61図(2) 第3.2.61図(1)	軸系2箇ねじれ振動(1,020 cpm)に近い。強制振動	
	(2) 83 rpm × 12 = 996 cpm			(2) 110.5 rpm × 6 = 663 cpm(小)				固有振動
	(3) 92.5 rpm × 5 = 462 cpm(小)			(3) 92.5 rpm × 5 = 462 cpm				第3.2.62図(1)
H 型	(1) 85 rpm × 9 = 765 cpm	第3.2.48図 第3.2.49図	第3.2.59図(2) 第3.2.59図(1)	(1) 81 rpm × 9 = 730 cpm	第3.2.51図 第3.2.50図	第3.2.63図(2) 第3.2.64図(2) 第3.2.63図(1) 第3.2.64図(1)	固有振動 機関台板にも横振動のピークあり。船体振動 機関台板に、上下振動のピークあり	
	(2) 108.5 rpm × 5 = 542 cpm			(2) 109 rpm × 5 = 545 cpm				第3.2.65図(2)
	(3) 82 rpm × 1 = 82 cpm			(3) 76 rpm × 6 = 558 cpm 63 rpm × 9 = 567 cpm				第3.2.65図(1)
その他	(1) 82 rpm × 1 = 82 cpm 他に66, 93, 107rpmに1次らしいピークがあるが、非定常強制振動	第3.2.48図	第3.2.60図	(1) 48 rpm × 6 = 57 cpm (57 rpm × 1 = 57 cpm 76 rpm × 1 = 76 cpm (他にも1次らしいピークが見られるが、非定常強制振動)	第3.2.65図(2) 第3.2.65図(2) 第3.2.65図(1)	平行振動(船体振動)		

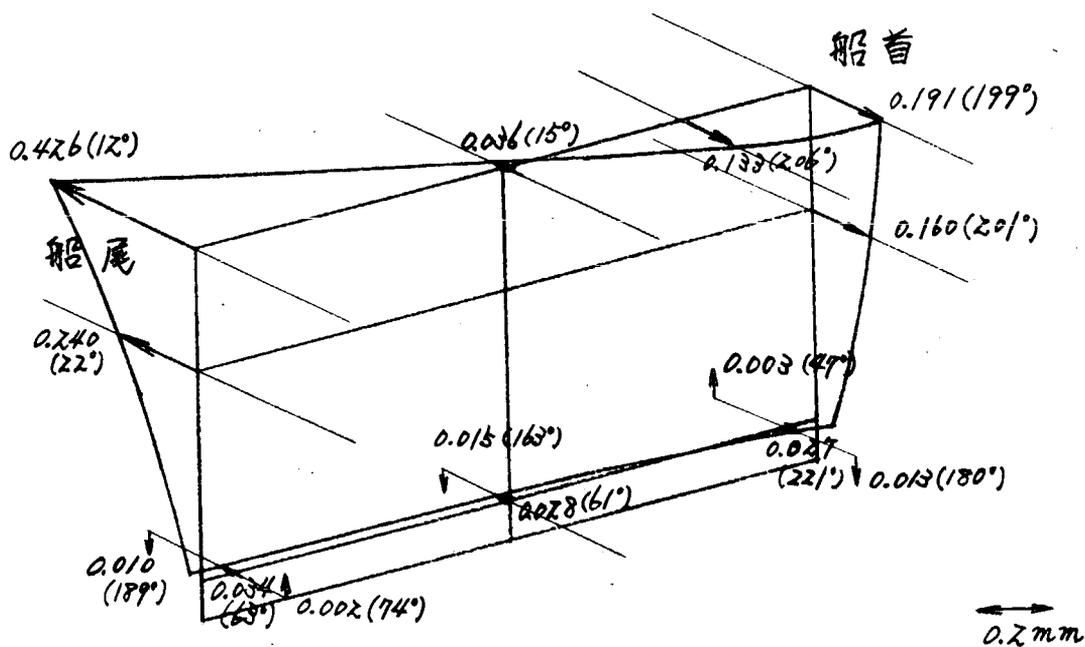


(1) 90.5 rpm 9次 (810 cpm)

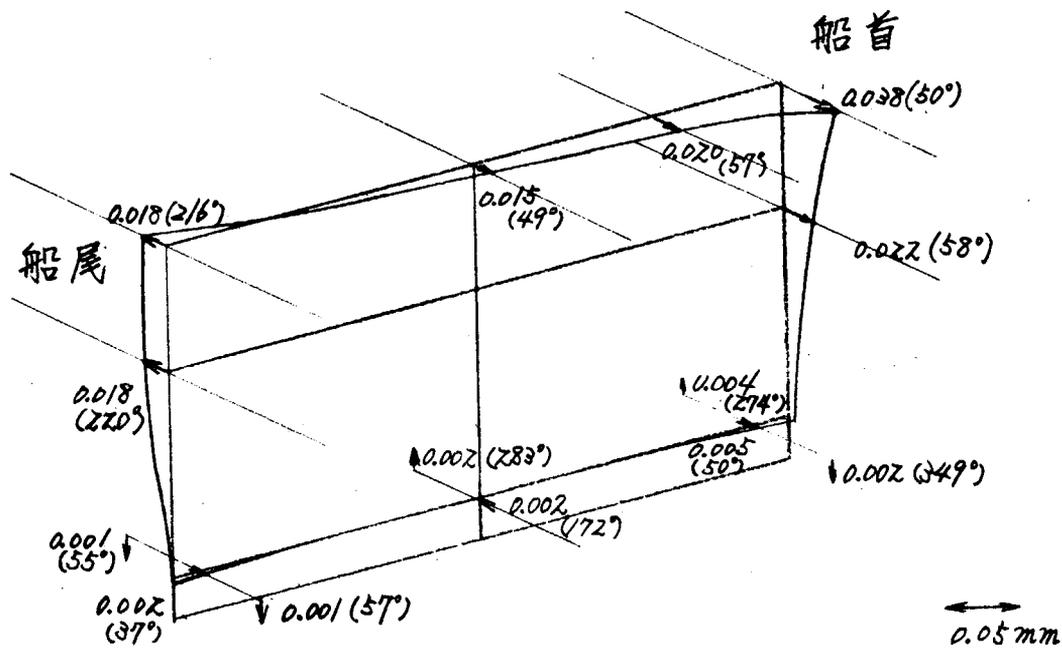


(2) 44.7 rpm 18次 (810 cpm)

第3.2.5.3図 ピークにおける機関架構横振動モード(陸上運転時)

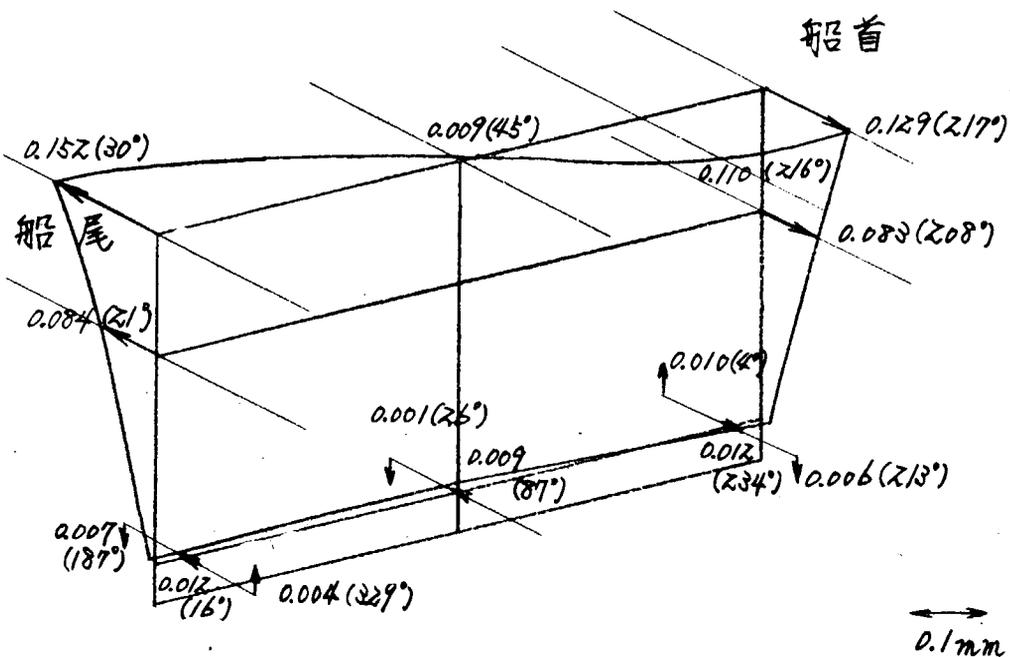


(1) 108 rpm 6次 (654 cpm)

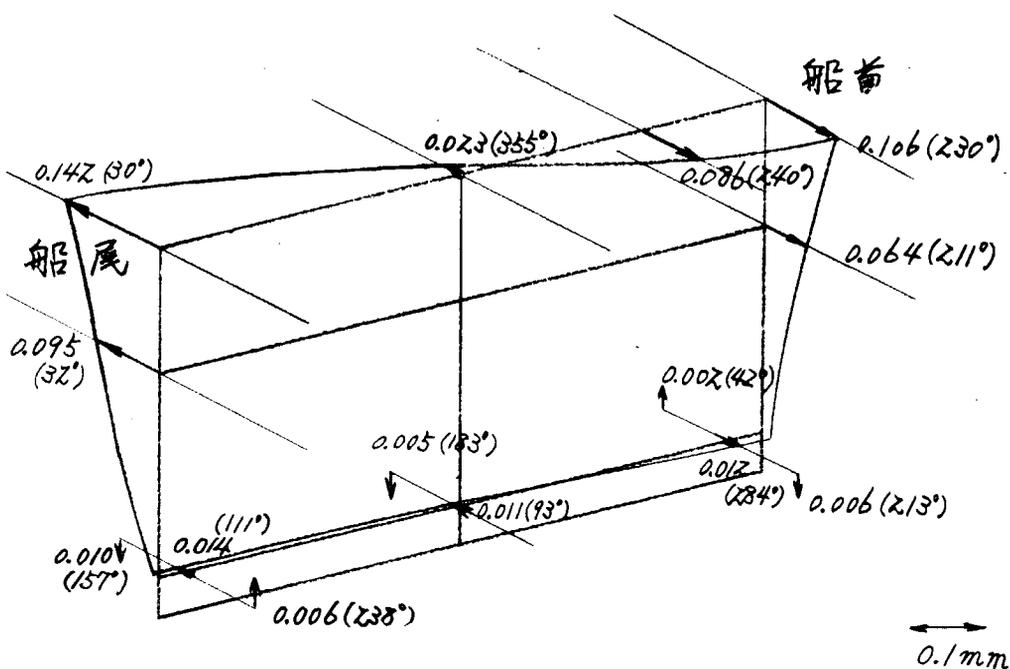


(2) 72.4 rpm 9次 (654 cpm)

第 3.2.5.4 図 ビークにおける機関架構横振動モード (陸上運転時)

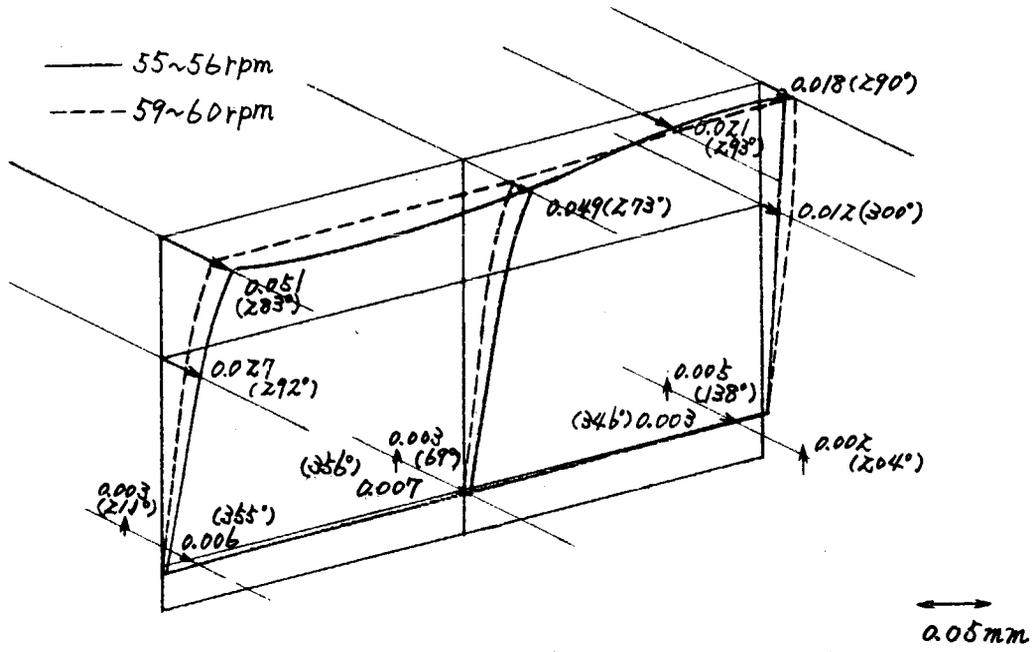


(1) 82.8 rpm 6次 (500 cpm)

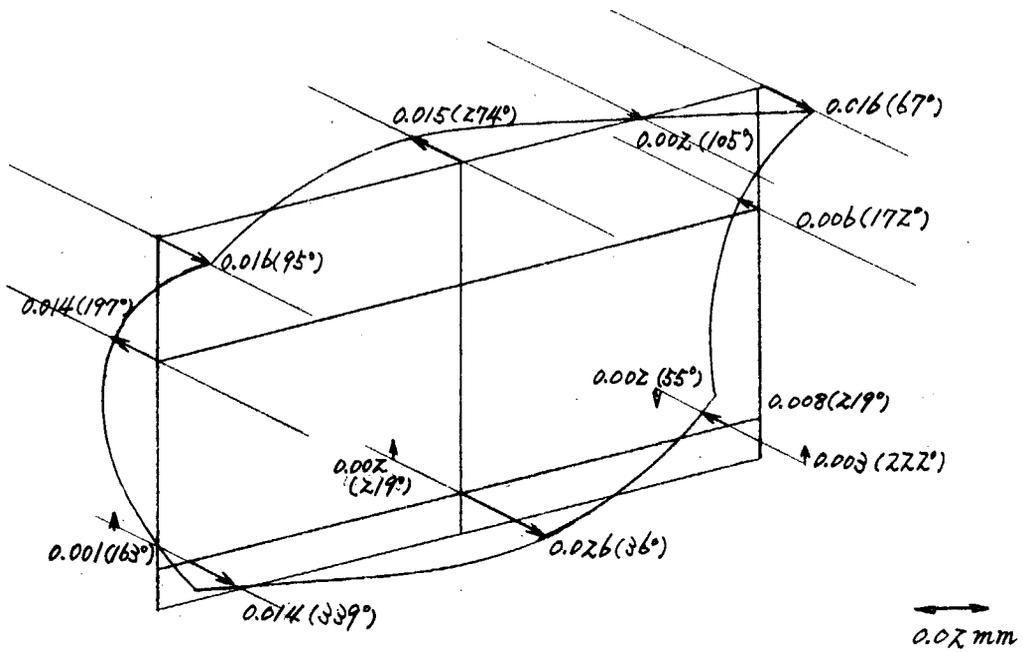


(2) 100.4 rpm 5次 (500 cpm)

第 3.2.5 5 図 ピークにおける機関架構横振動モード(陸上運転時)

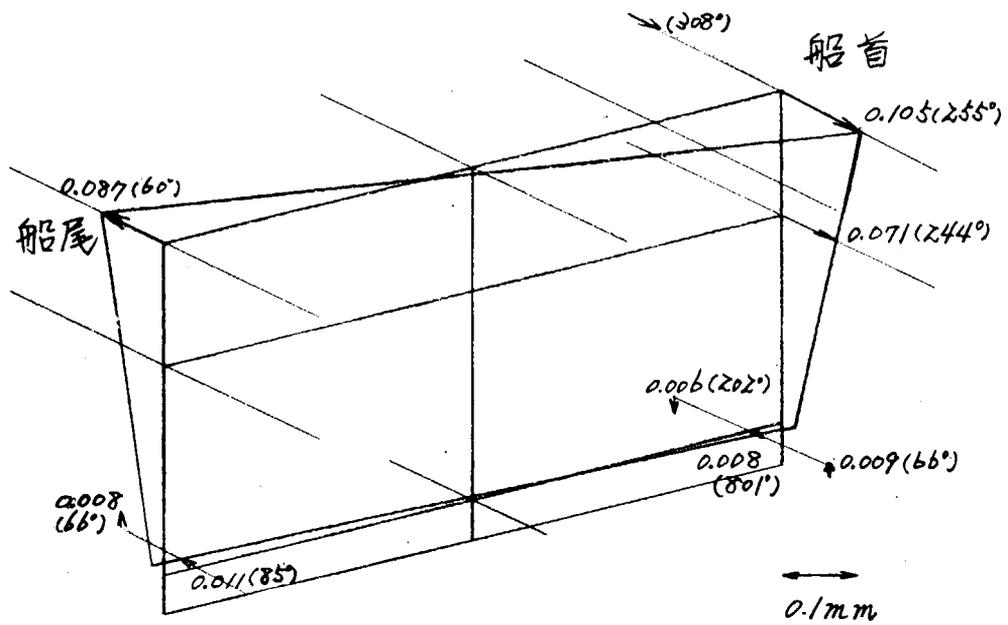


(1) 55~56 rpm 9次 (495~503 cpm)
 59~60 9 (531~540 ")

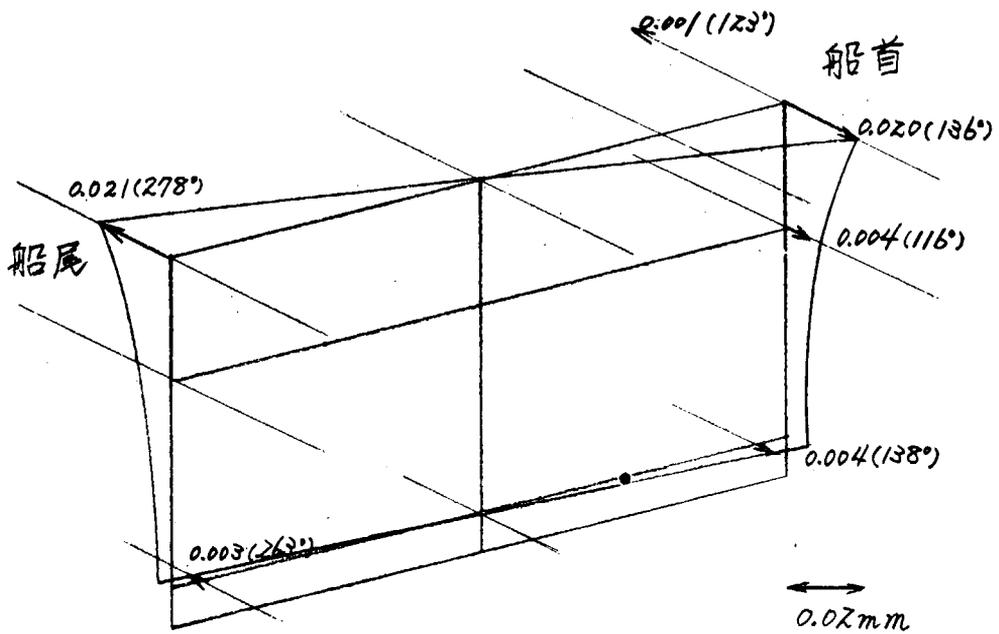


(2) 80 rpm 18次 (1,440rpm)

第 3.2.5 6 図 ピークにおける機関架構横振動モード (陸上運転時)

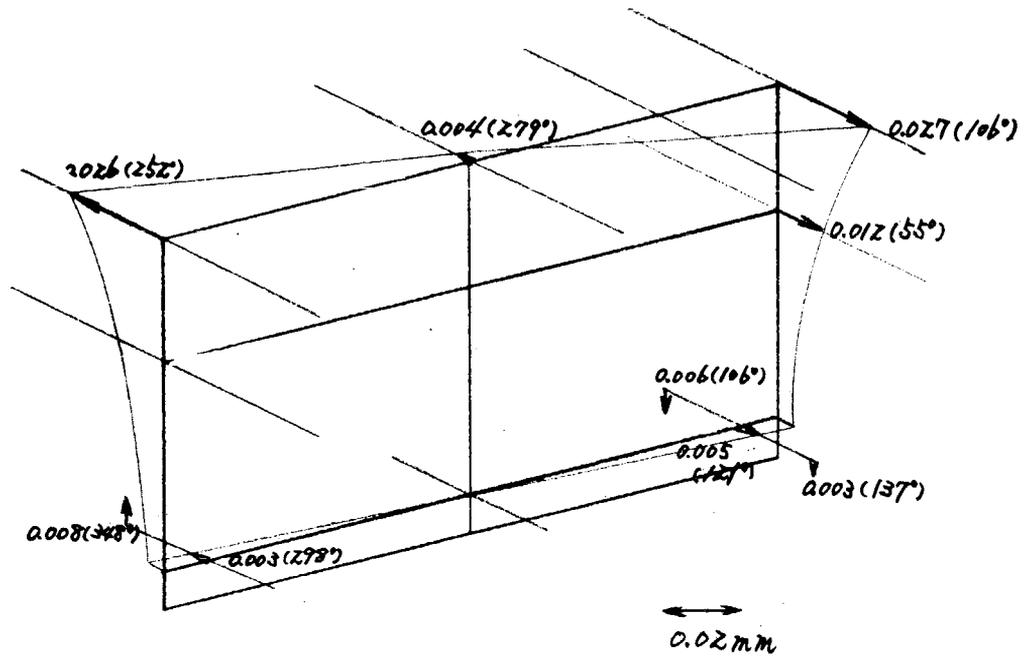


(1) 111.6 rpm 6次 (670 cpm)

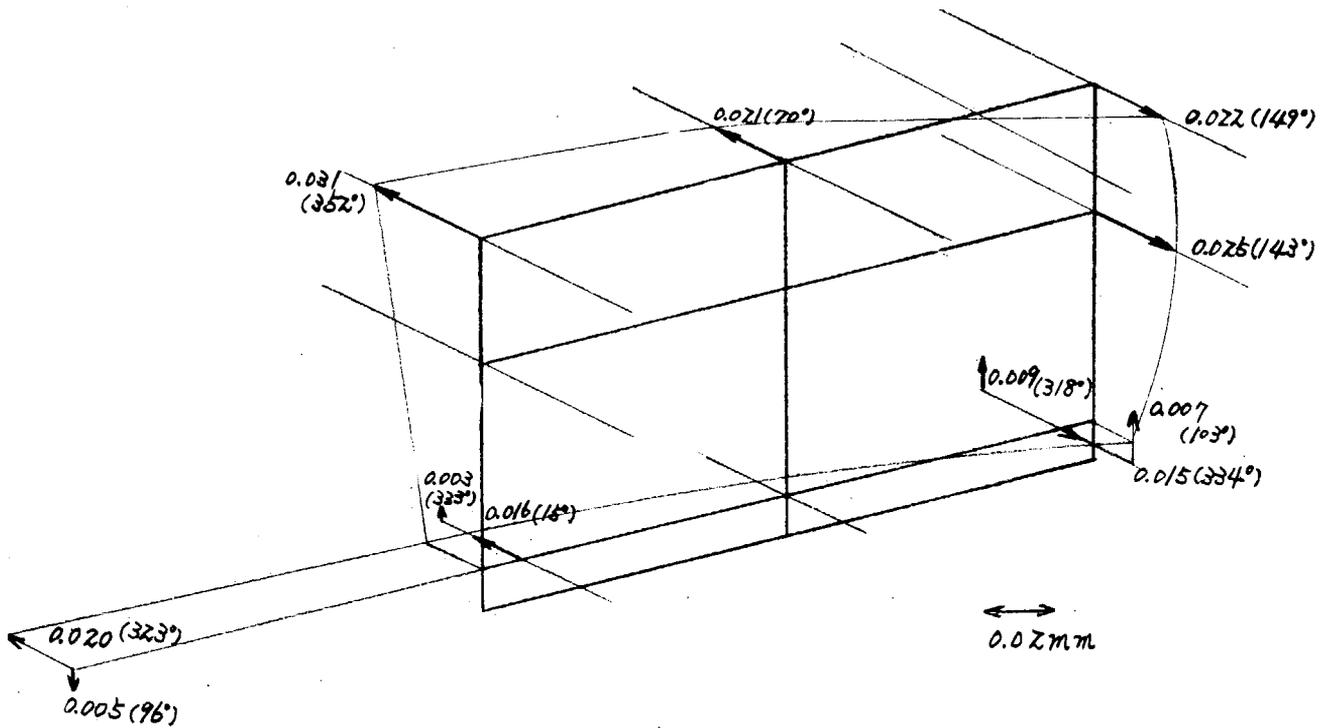


(2) 81.1 rpm 12次 (980 cpm)

第3.2.57図 ピークにおける機関架構横振動モード
(海上半載ブレーシング除去)

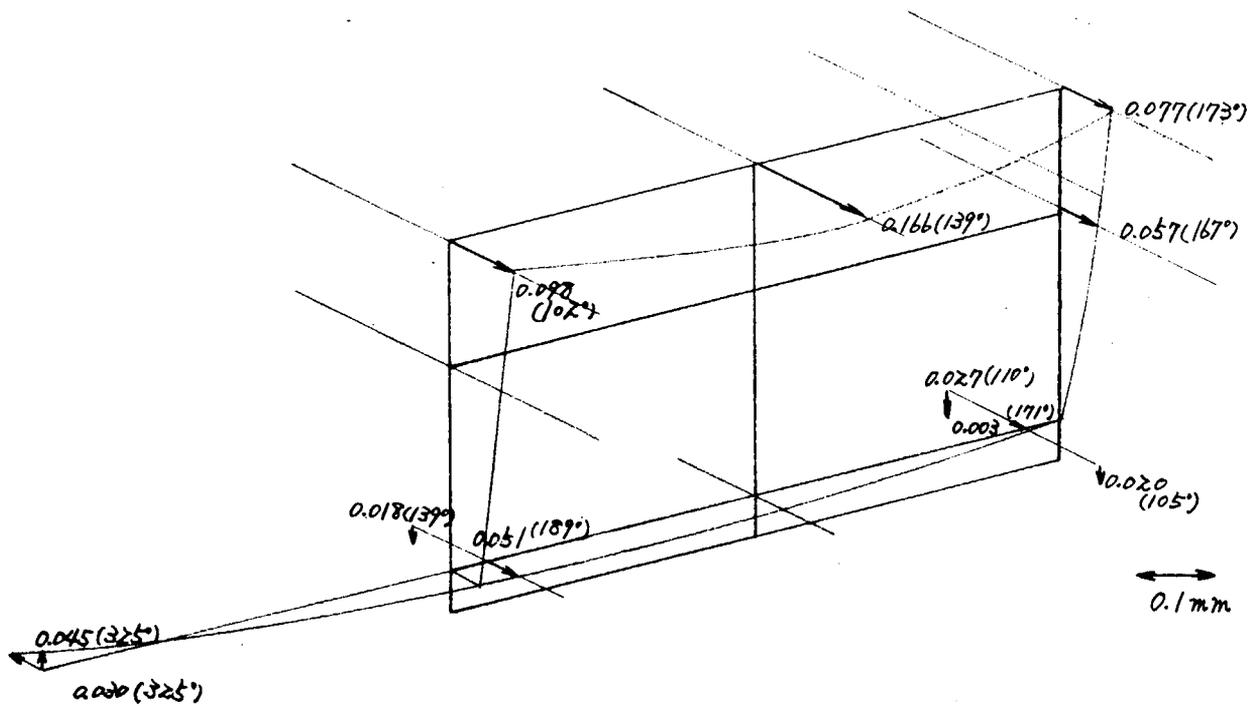


(1) 83.9 rpm 12次 (996 cpm)

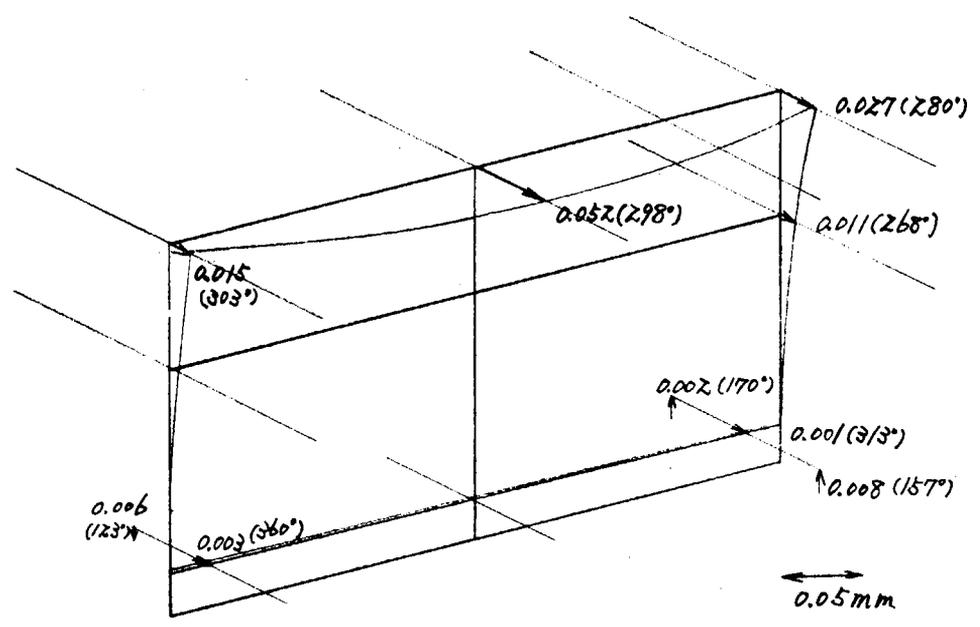


(2) 92.7 rpm 5次 (462 cpm)

第 3.2.5 8 図 ピークにおける機関架構横振動モード (海上半載)

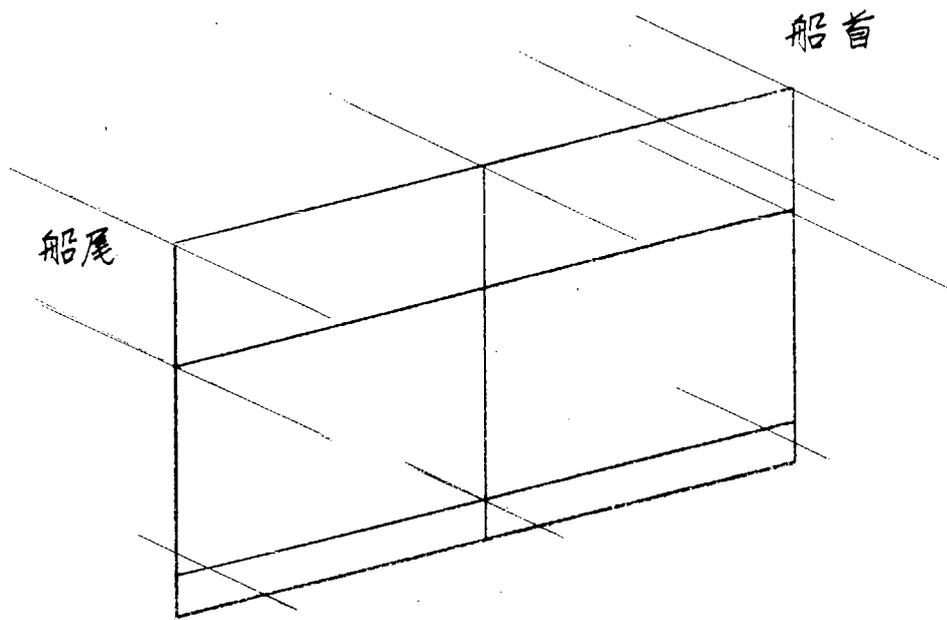


(1) 108.4 rpm 5次 (542 cpm)

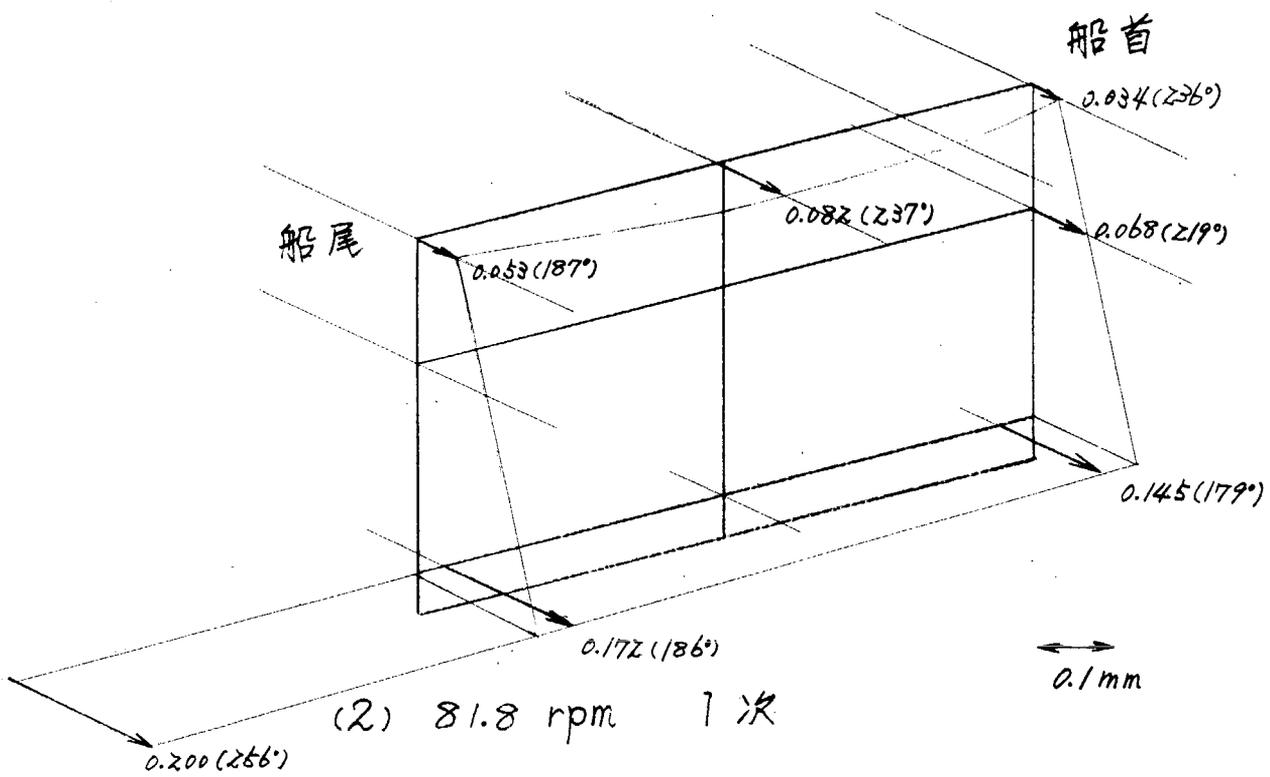


(2) 85.5 rpm 9次 (765 cpm)

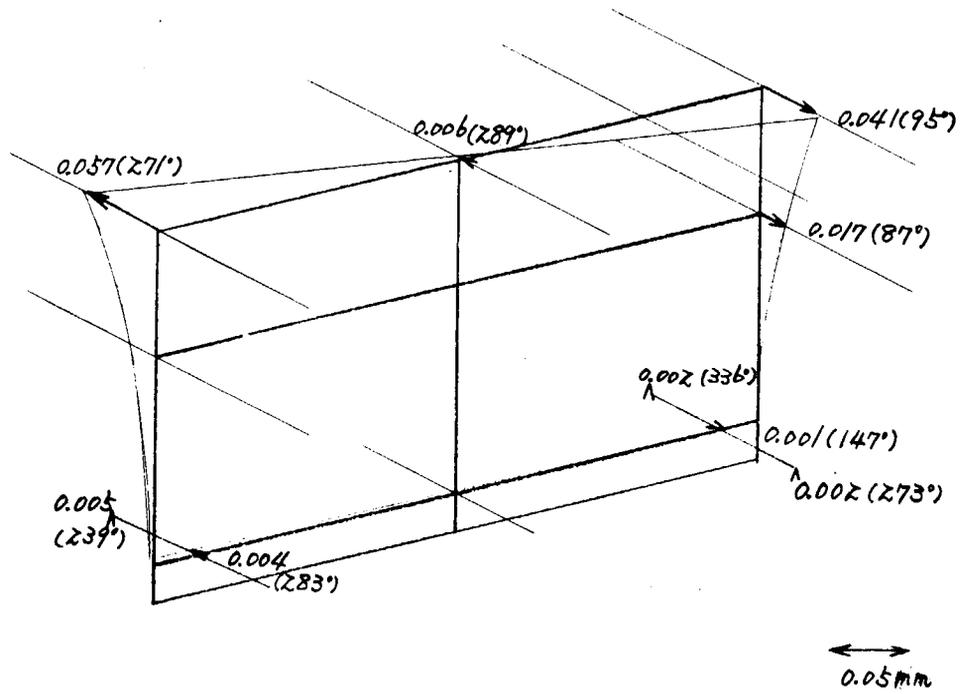
第3.2.59図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上半載)



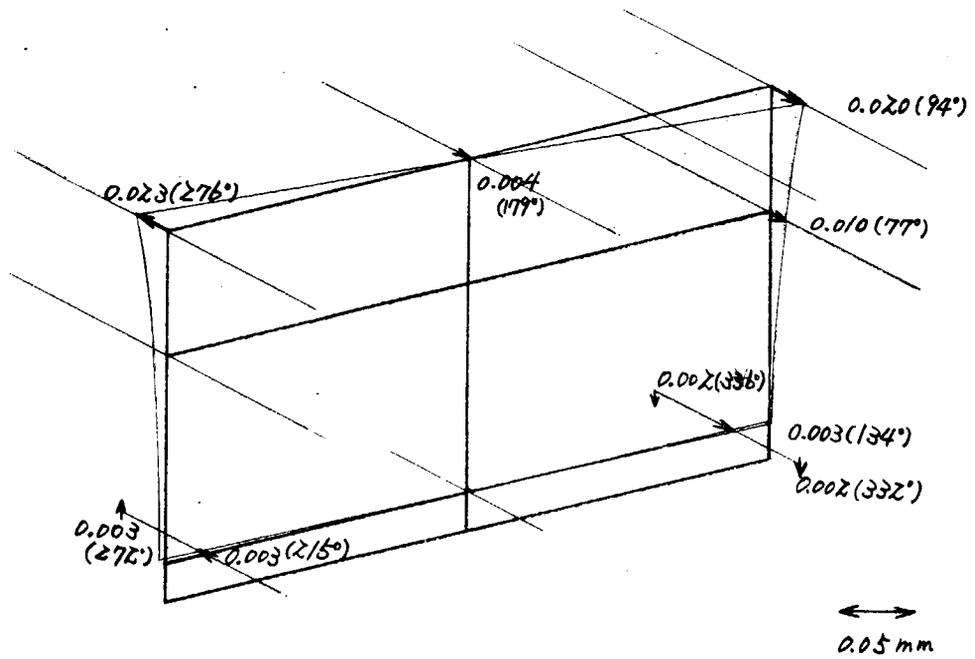
(1) rpm 次



第3.2.60図 ビークにおける機関架構横振動モード(海上運転半載)

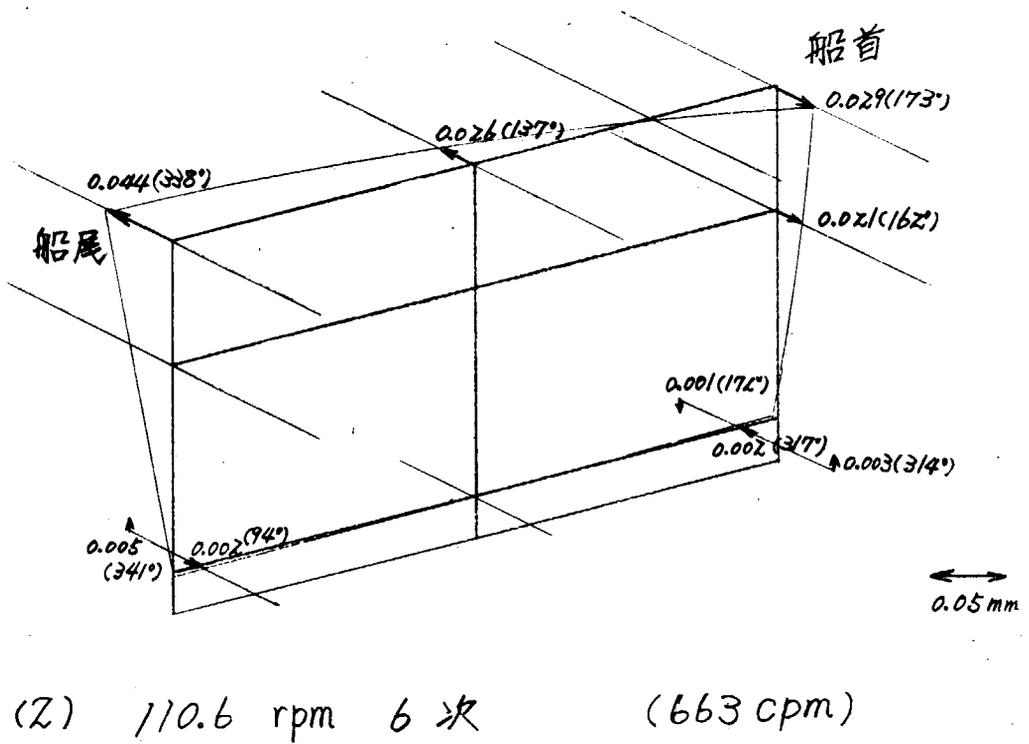
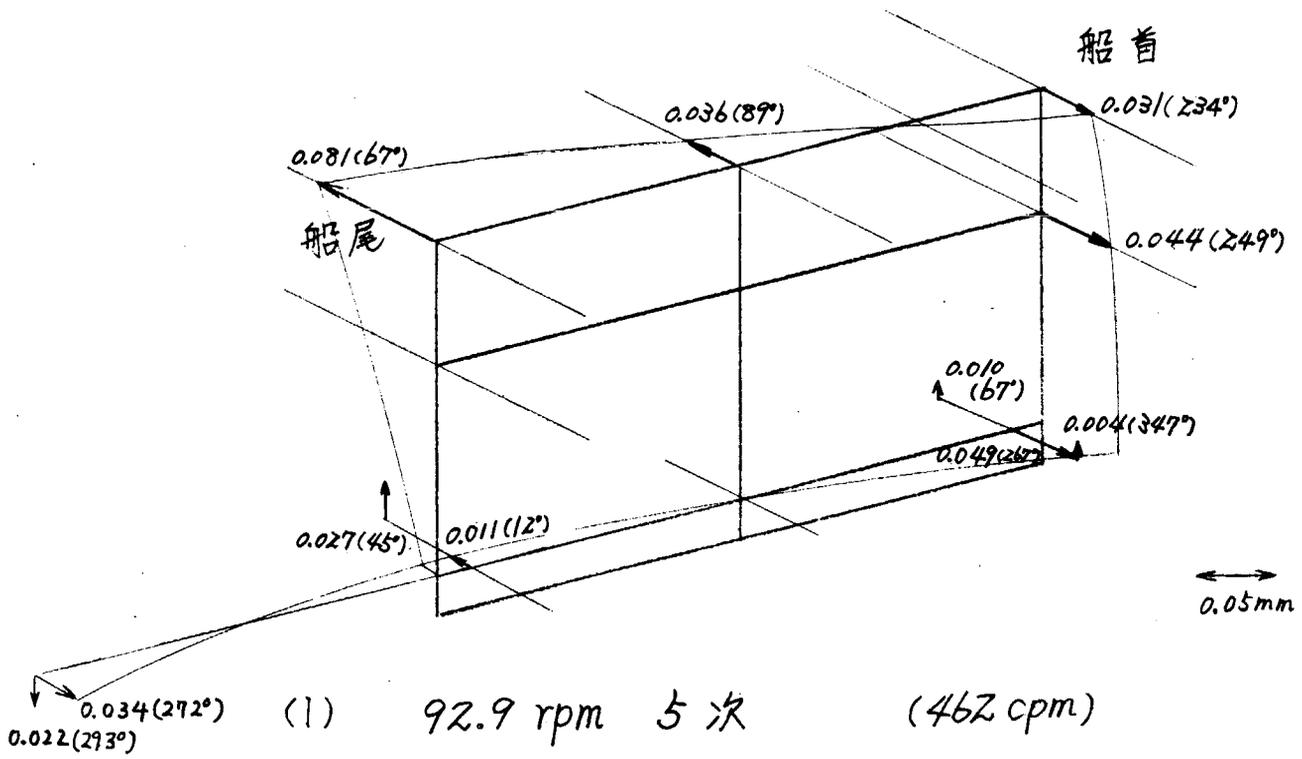


(1) 81.3 rpm 12次 (980 cpm)

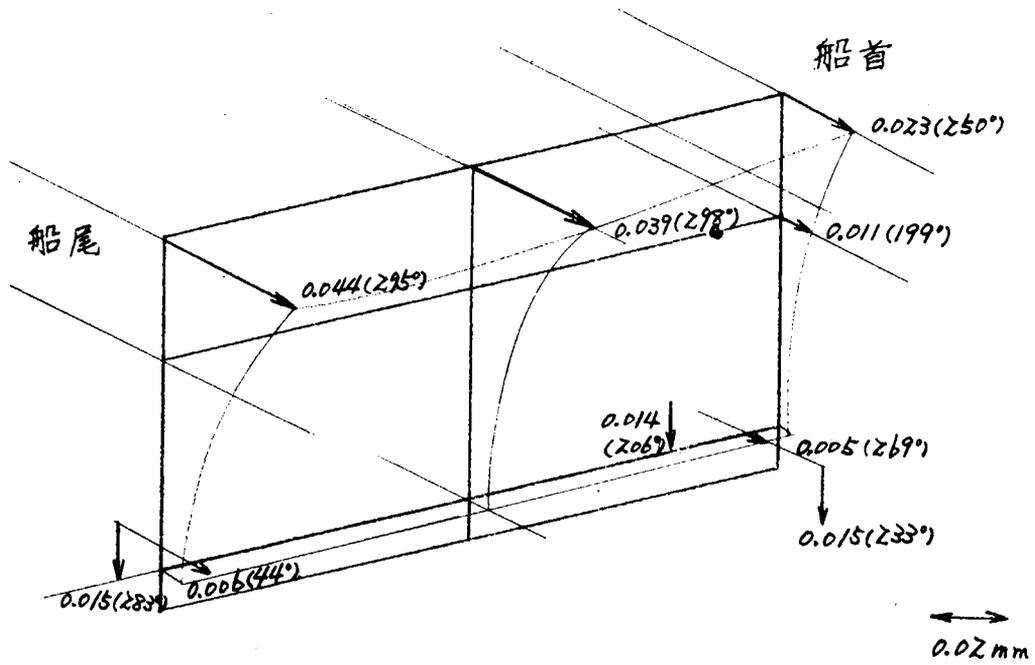


(2) 65.9 rpm 15次 (980 cpm)

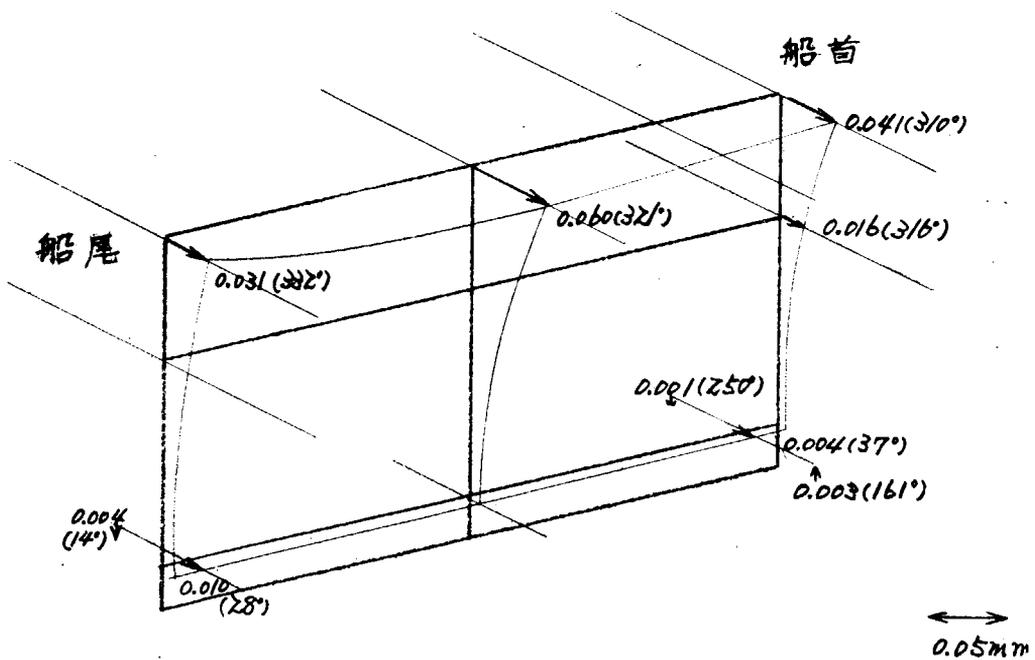
第 3.2.6 1 図 ピークにおける機関架構横振動モード (海上運転満載)



第3.2.6 2図 ビークにおける機関架構横振動モード(海上運転満載)

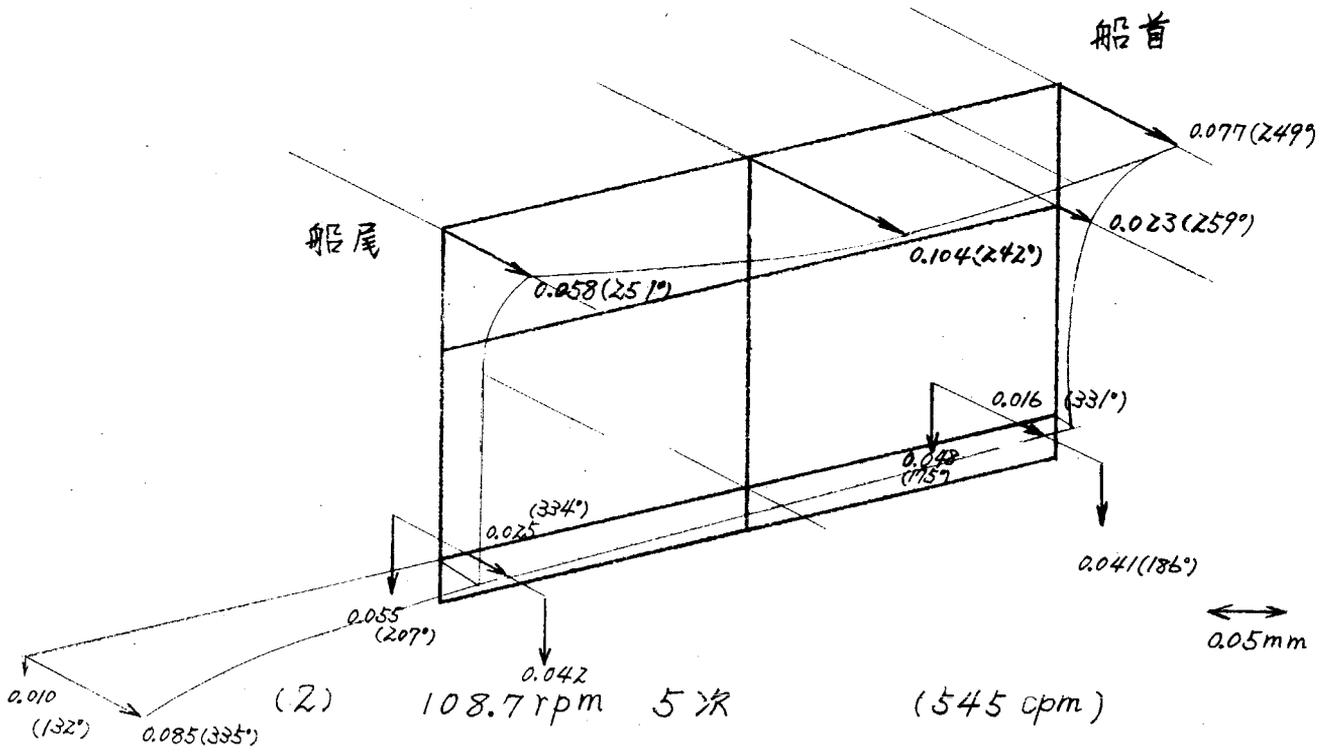
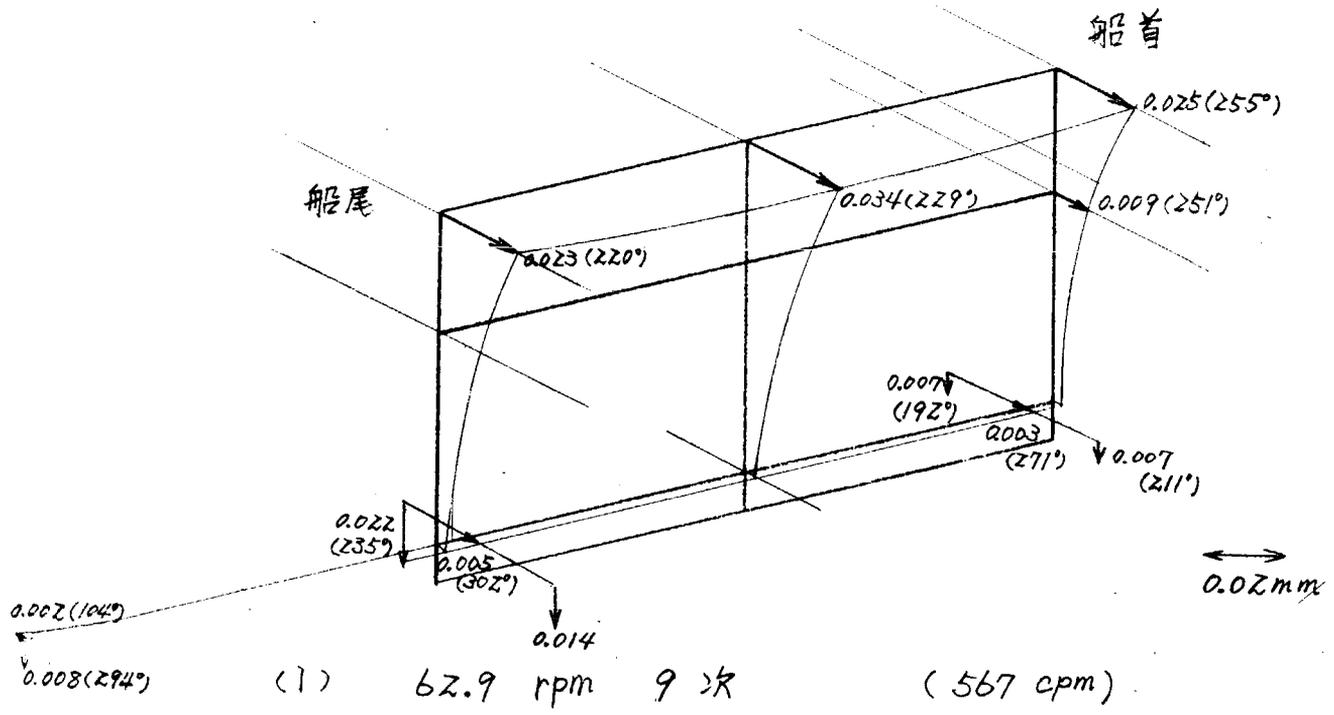


(1) 92.9 rpm 6次 (558 cpm)

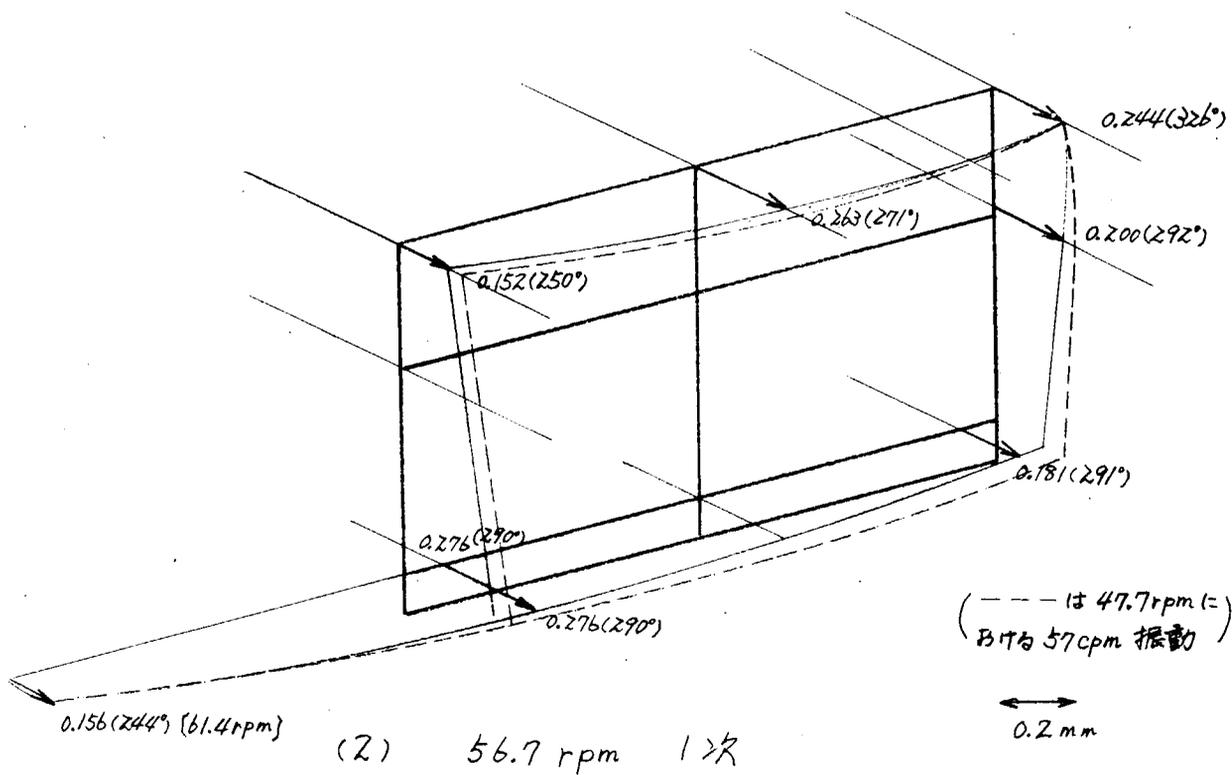
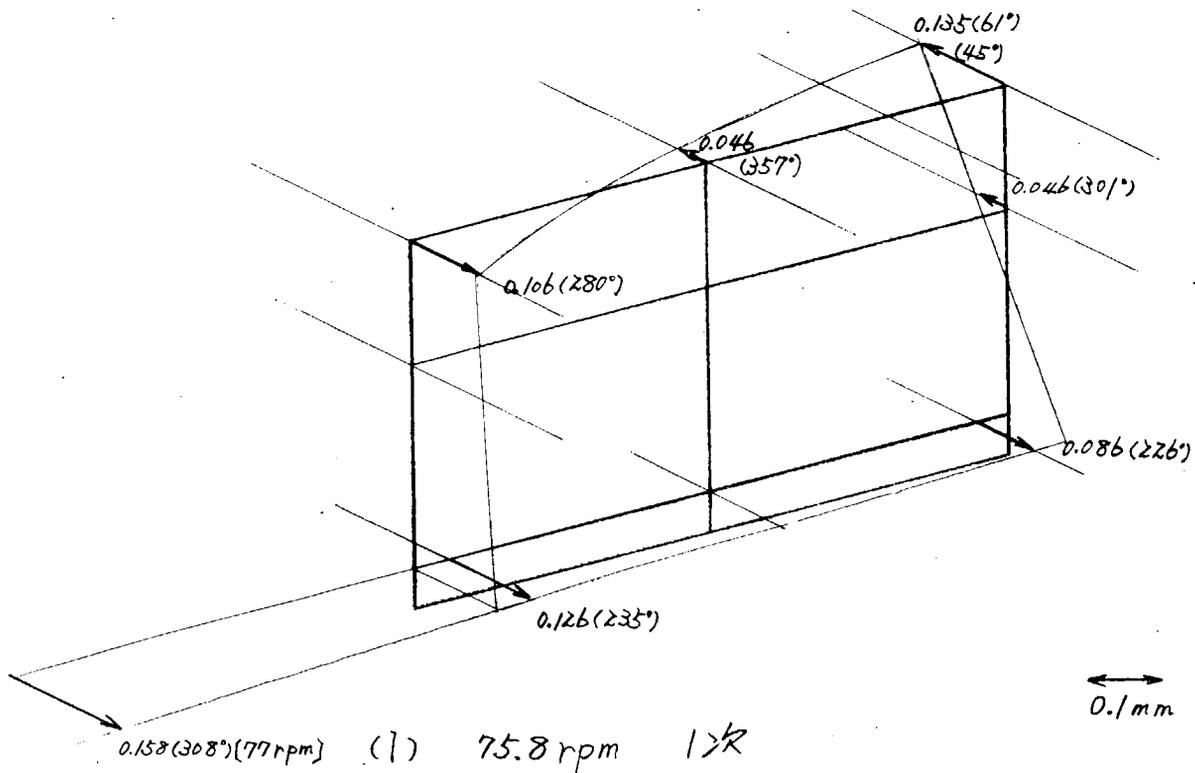


(2) 81.3 rpm 9次 (730 cpm)

第3.2.6.3図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上運転満載)



第3.2.6.4図 ピークにおける機関架構横振動モード(海上運転満載)



第 3.2.6 5 図 ピークにおける機関架構横振動モード (海上運転満載)

3.2.8 まとめ

以上測定対象機関における機関架構振動測定結果を整理して、その振動のピークについて、軸系振動、船体振動との関連において概略的検討を加え、架構の固有振動数を求めた。来年度はこれをもとにして船体分科会による本船振動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し、また主として軸系振動から振動起振力を検討するとともに、それと架構、ベンドの振動との関連を解析するとともに、架構振動に対する理論的解析を実施したい。

3.3 ディーゼル機関(6RD90)の陸上および海上運転時における架構横振動計測結果(三菱重工業神戸)

本節は、機関架構の横振動の固有振動を把握するため6RD90機関について、陸上運転および海上運転時に、その振動を測定した結果をとりまとめたものである。

3.3.1 陸上運転

(1) 測定機関要目

機関形式	6RD90三菱スルザディーゼル機関
筒径	900mm
行程	1,550mm
シリンダ数	6
着火順序	1-6-2-4-3-5
連続最大出力	15,000PS
計画回転数	122rpm
図示平均有効圧力	10.39 Kg/cm ²
シリンダ内最大圧力	8.2 Kg/cm ²

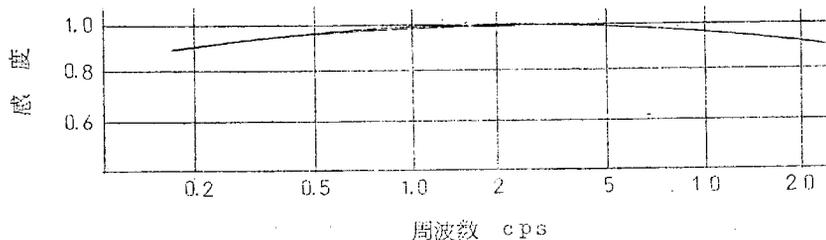
(2) 測定方法

(i) 使用測定器

測定にはND式変位計を用いた。このピックアップは可動線輪型のもので出力は速度に比例するが、オーバードンピングの速度計の方式をとっているため結局出力は加速度に比例するようになる。これを増幅器で2回積分し、ペンオシロ上には変位として記録されるようになっている。周波数特性は、0.3 cps ~ 30 cps の間でほぼフラットである。

ピックアップの特性および測定のプロックダイアグラムを次に示す。

ND式変位計の周波数特性



測定のプロックダイアグラム



(ii) 測定条件

測定回転数は35rpm ~ 125rpmの範囲で5回転ごとに静定させ、振動を測定した。測定は、回転上昇時、回転下降時とも実施した。

測定点数の関係上2回に分けて測定し、第1回目は主として左右方向を、第2回目は上下および前後振動を測定した。陸上運転の場合の動力計負荷は、船用特性にあわせた。出力と回転数の関係を陸上、海上運転時あわせて第3.3.1図に示す。陸上運転の場合は、動力計負荷と回転数、海上運転の場合は、燃料消費量と回転数の関係より求めたものである。

(iii) 測定位置

第3.3.2図に示すように、架構を高さ方向に、A～E段に分ける。Aは最上段、Eは最下段（定盤）となる。このおのこの段において測定点に番号をつける。また、振動測定方向は、機関架構の左右方向をX、前後方向をY、上下方向をZとする。したがって、最上段、最前（船首側）部、左右方向の振動をあらわす記号はA_X-1となる。

第1回測定点および第2回測定点を記すと次のようになる。

第1回測定点

- A段 A_X-1, A_X-2, A_X-3, A_X-4, A_X-5, A_Y-1, A_Z-1
- B段 B_X-1, B_X-2, B_X-3
- C段 C_X-1, C_X-2, C_X-3
- D段 D_X-1, D_X-2, D_X-3
- E段 E_X-1, E_X-2

計18点

第2回測定点

- A段 A_X-1, A_X-3, A_X-5, A_Y-1, A_Y-5, A_Z-1, A_Z-3, A_Z-5
- B段 B_Y-1
- C段 C_Y-1
- D段 D_Z-4, D_Z-5, D_Z-6, D_Z-7
- E段 E_Z-3, E_Z-4, E_Z-5, E_Z-6

計18点

(iv) 測定結果

測定の結果得られた架構の曲げ振動（H型振動）およびねじり振動（X型振動）の固有振動数とそのときの回転および次数を第3.3.1表に、振動モードを第3.3.3図に示す。

第3.3.1表 陸上運転時の固有振動数、回転数、次数

振動型	固有振動数 ^{cpm}	回転数 ^{rpm} × 次数
H型振動	426.0	71.0 × 6
X型振動	814.5	45.3 × 18 90.5 × 9

以下順に次のデータを示す。

- 共振点における架構の振動振幅（第3.3.4図～第3.3.6図）
- エンジン最上段の横振動の調和解析結果（第3.3.7図～第3.3.11図）
- 各測定点における総合振幅（第3.3.12図～第3.3.15図）
- 共振点付近の振動波形（第3.3.16図～第3.3.18図）

3.3.2 海上運転

(1) 測定機関要目

陸上運転と同一である。

(2) 船体要目

船種	Bulk Carrier
L _{pp} × B _{mld} × D _{mld}	211.00 m × 31.80 m × 17.50 m

△full	65,400 Ton
C _D full	0.8269
プロペラ直径	6.000 m
翼数	5
機関の位置	Aft. Engine
Shoe Piece	有
載荷状態	
吃水 dm	5.515 m
Trim by Stern	3.390 m

(3) 測定方法

(i) 使用測定器

陸上運転と同一である。

(ii) 測定条件

主機回転数は、30 rpm～125 rpm までとし、約2回転ごとに静定させ、振動を測定した。

出力と回転数の関係はすでに第3.3.1図に示した。

(iii) 測定位置

高さ方向にA～C段の3つに分け、各段に番号をつけ、また、振動方向をX、Y、Zで示す。

陸上運転と異なり、左右方向がY、前後方向がZとなっている。

第3.3.19図に測定位置を示す。

第1回測定点

A段 A_Y-1, A_Y-2, A_Y-3, A_Y-4, A_X-1, A_X-4

B段 B_Y-1, B_Y-2

C段 C_Y-4, C_Y-6

第2回測定点

A段 A_Y-1, A_Y-4, A_Z-1, A_Z-4

B段 なし

C段 C_Z-1, C_Z-3, C_Z-4, C_Z-6, C_X-4, C_X-6

(4) 測定結果

測定の結果得られた架構のH型振動およびX型振動の固有振動数とそのときの回転数および次数を第3.3.2表に、振動モードを第3.3.20図に示す。

第3.3.2表 海上運転時の固有振動数、回転数、次数

振動型	固有振動数 ^{cpm}	回転数 ^{rpm} ×次数
H型振動	384.0	64.0 × 6
X型振動	801.0	89.0 × 9

以下順に次のデータを示す。

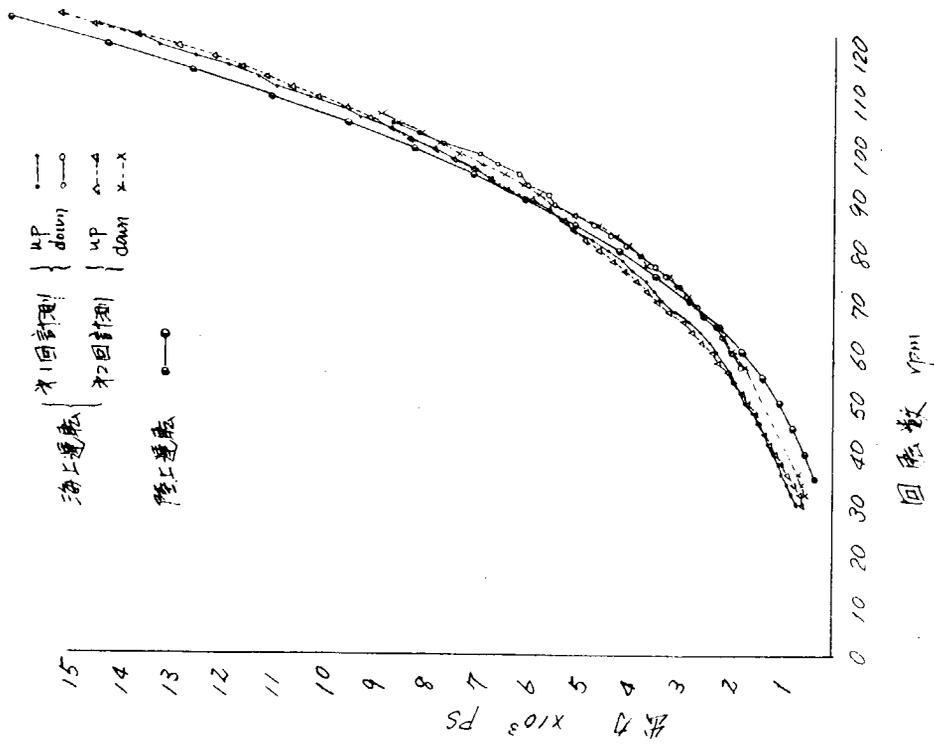
A段 横振動の調和解析結果 (第3.3.21図～第3.3.31図)

B段 横振動の調和解析結果 (第3.3.32図～第3.3.37図)

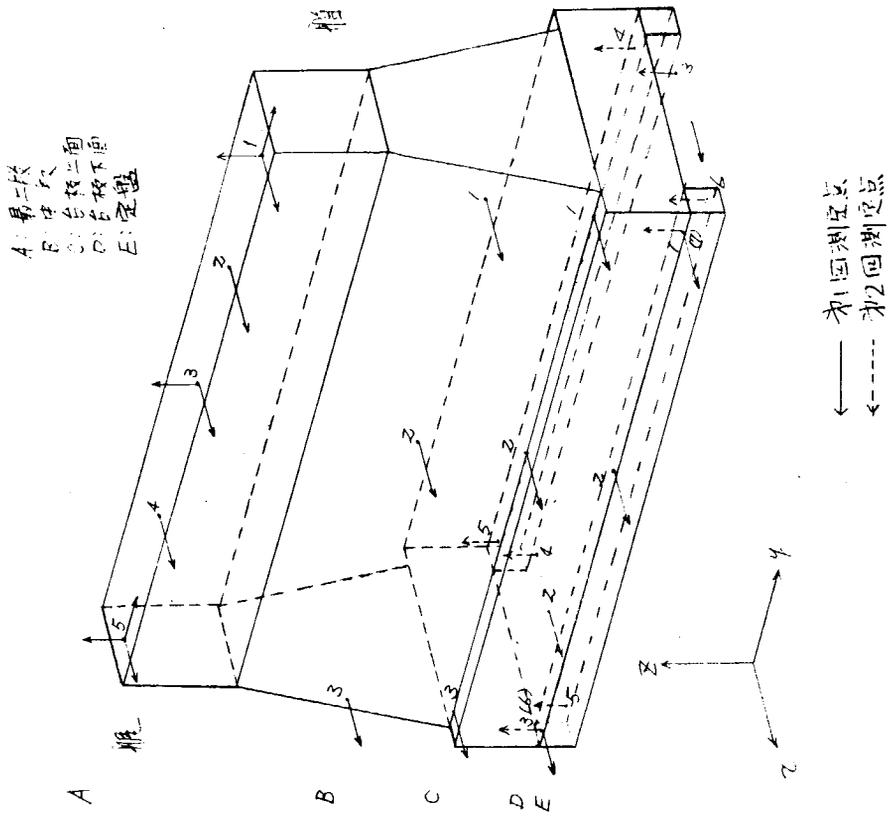
C段 上下振動の調和解析結果 (第3.3.38図～第3.3.43図)

各測定点の総合振幅 (第3.3.44図～第3.3.51図)

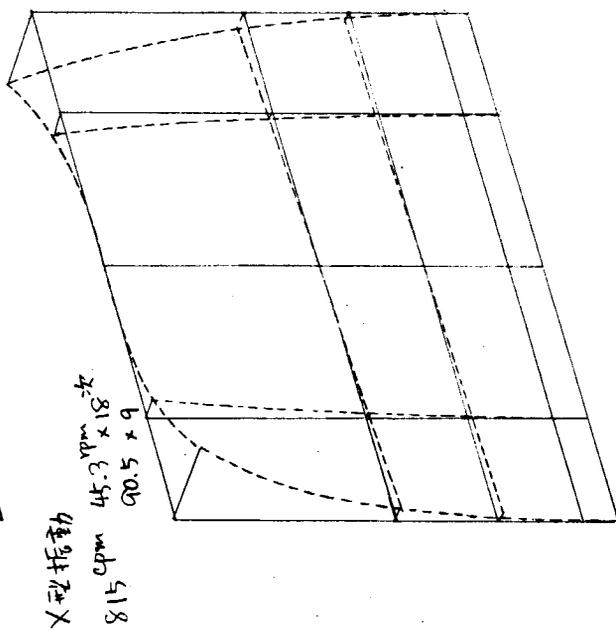
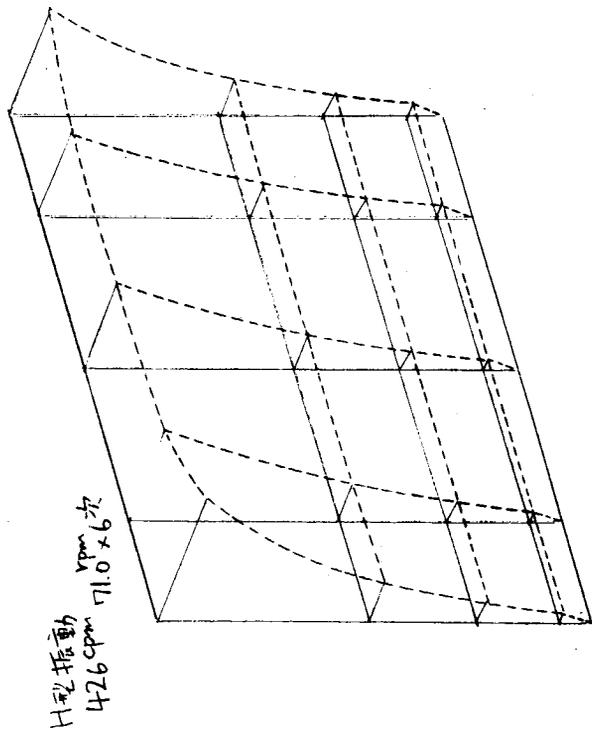
共振点付近の振動波形 (第3.3.52図～第3.3.53図)



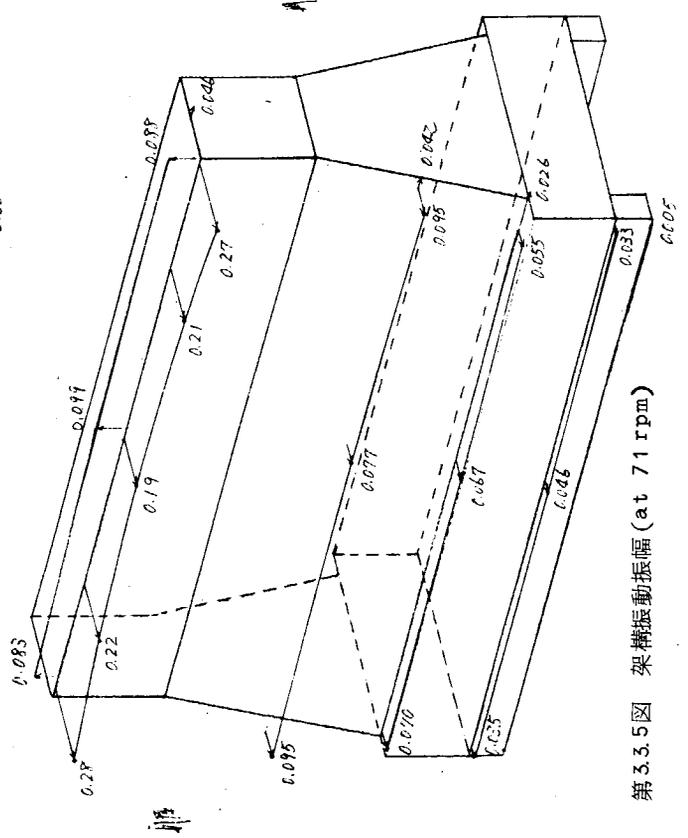
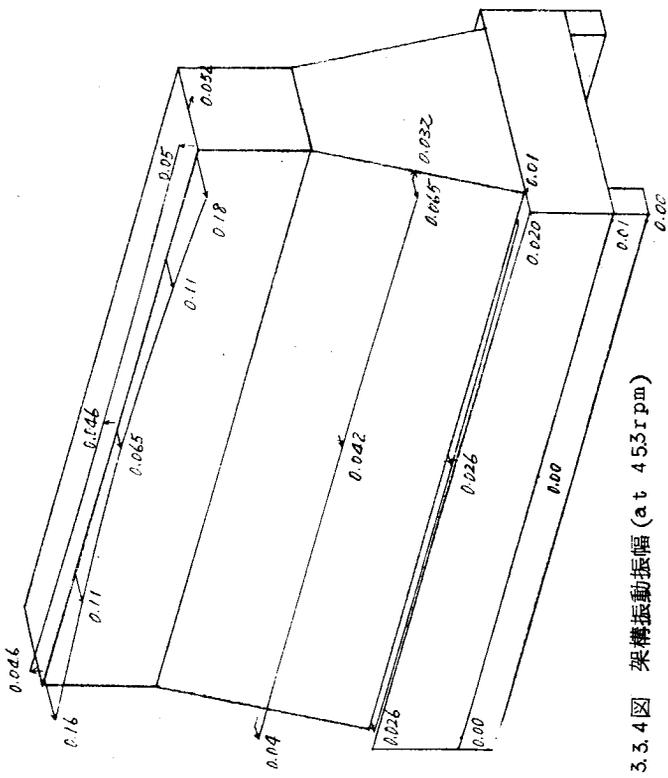
第 3.3.1 図 計測回転数と出力の関係

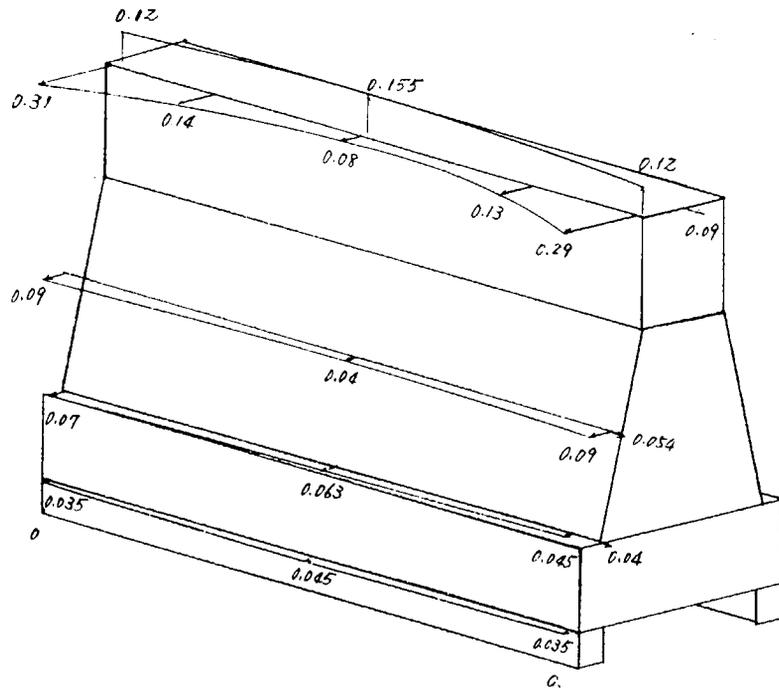


第 3.3.2 図 陸上運転測定位置

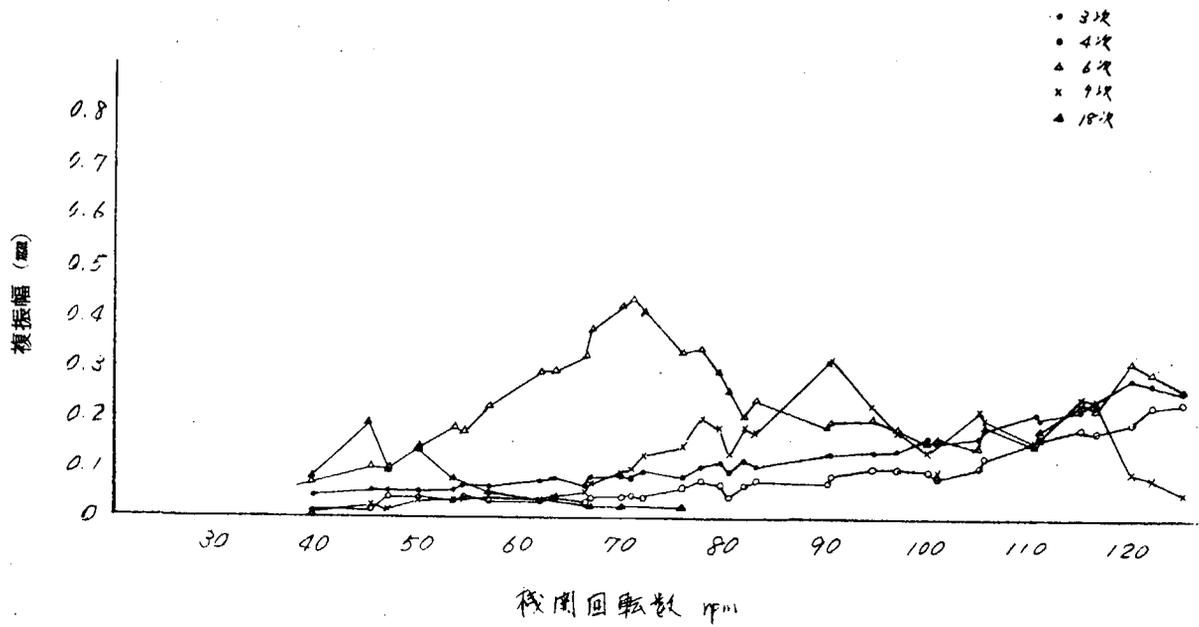


第3.3.3図 固有振動モード

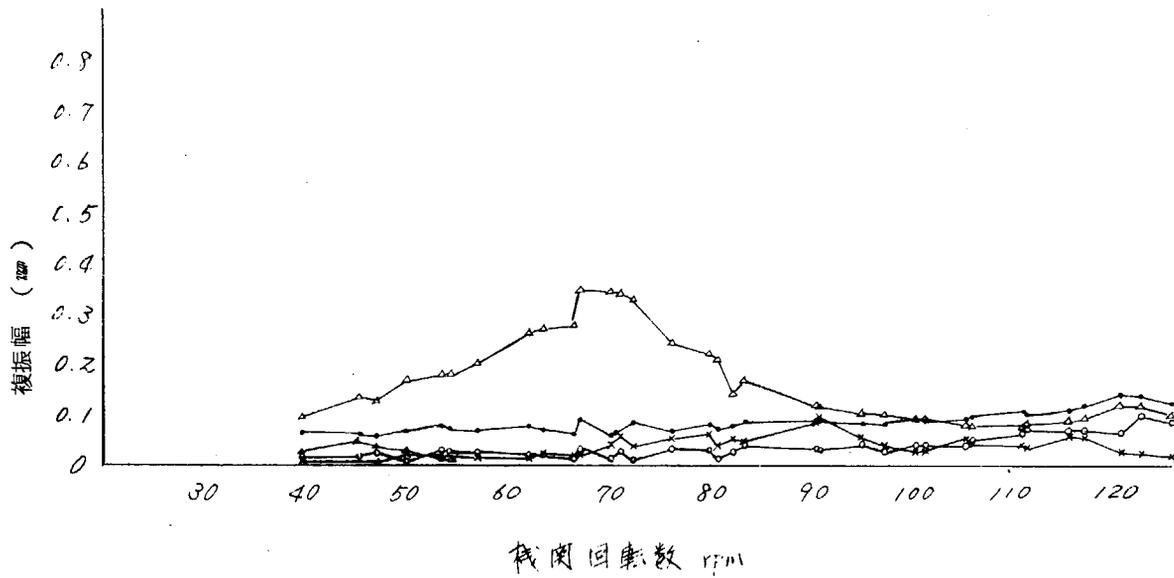




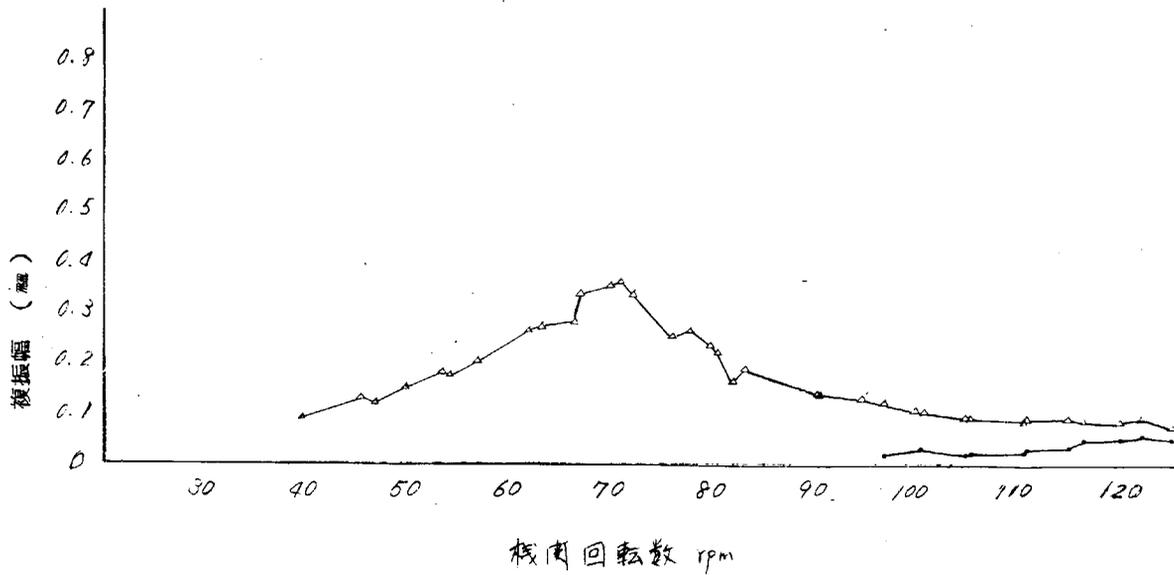
第 3.3.6 図 架溝振動振幅 (at 90.5 r p m)



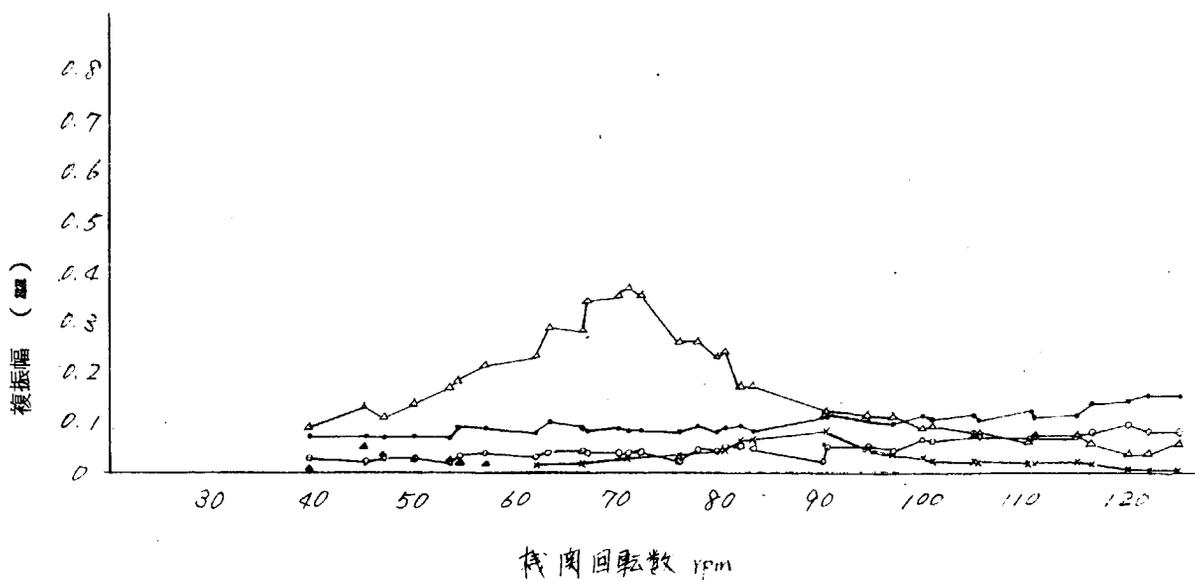
第 3.3.7 図 振幅—回転数の関係 (測定点 Ax-1)



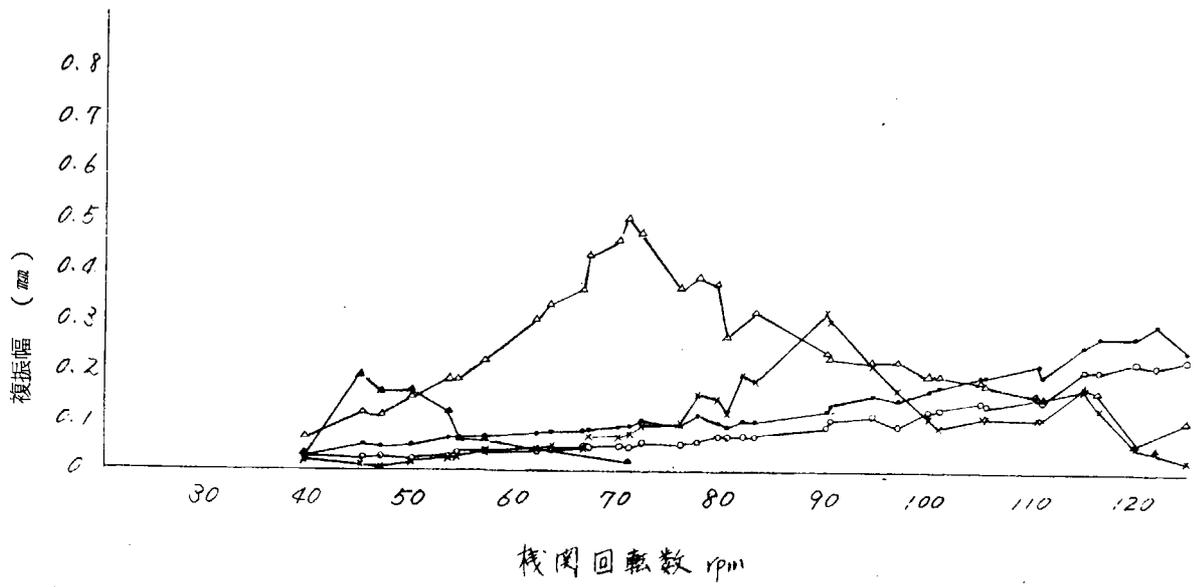
第 3.3.8 図 振幅—回転数の関係 (測定点 Ax-2)



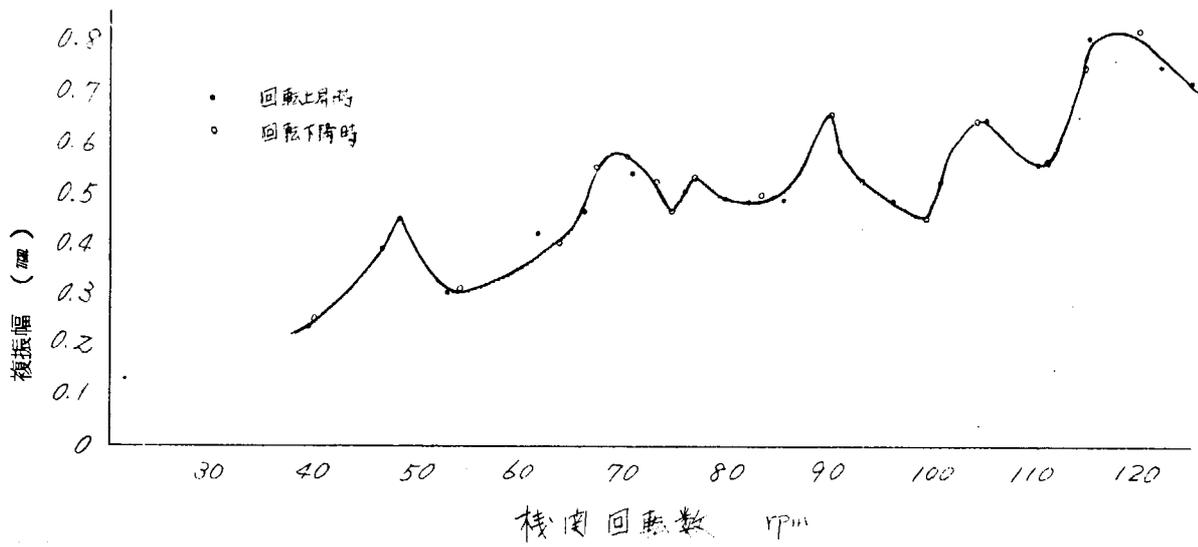
第 3.3.9 図 振幅—回転数の関係 (測定点 Ax-3)



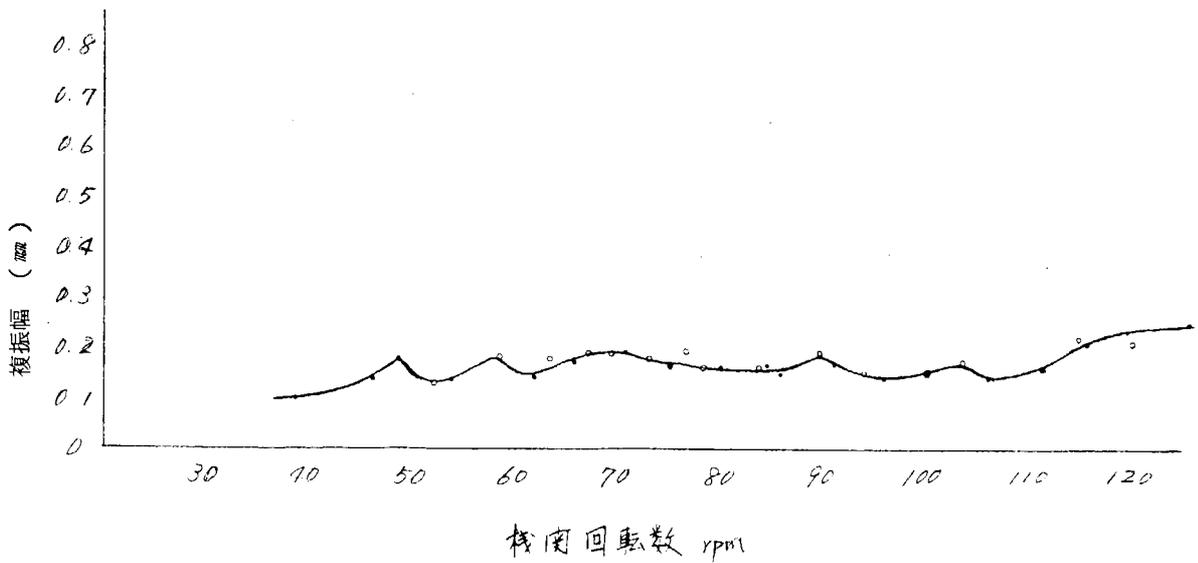
第 3.3.10 図 振幅—回転数の関係 (測定点 Ax-4)



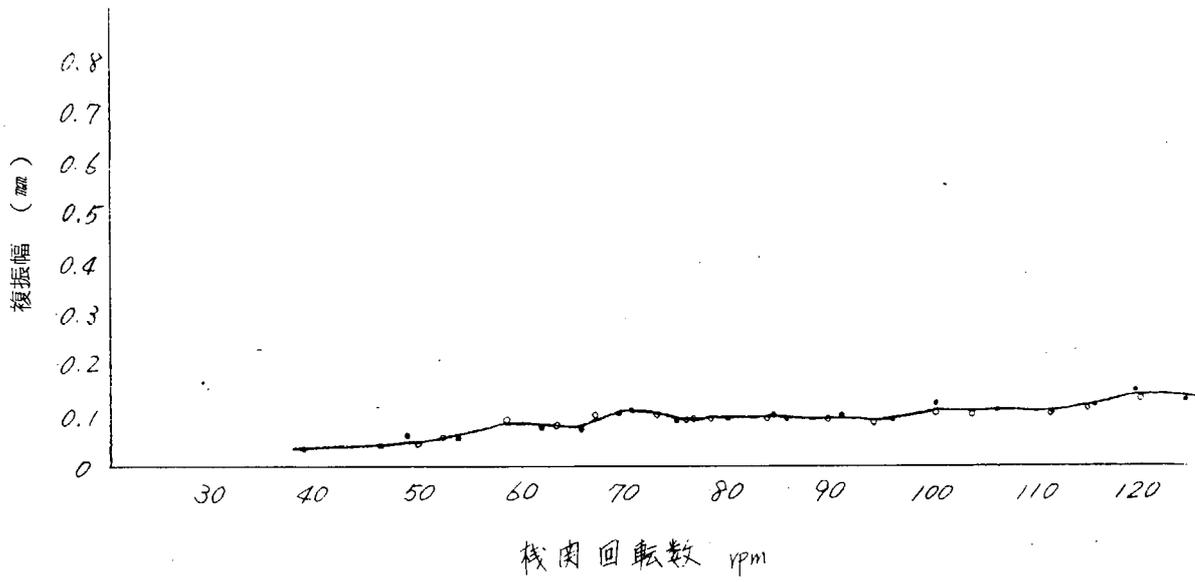
第 3.3.1.1 図 振幅—回転数の関係(測定点 Ax-5)



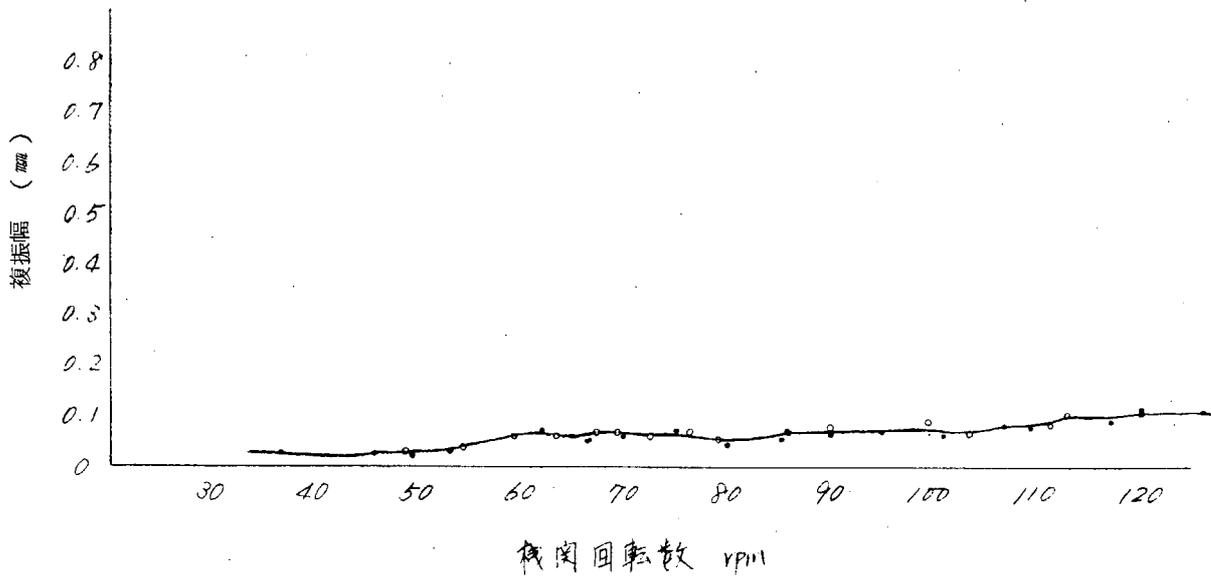
第 3.3.1.2 図 機関振動振幅計測結果(計測点 Ax-1)



第 3.3.1.3 図 機関振動振幅計測結果(計測点 Bx-1)

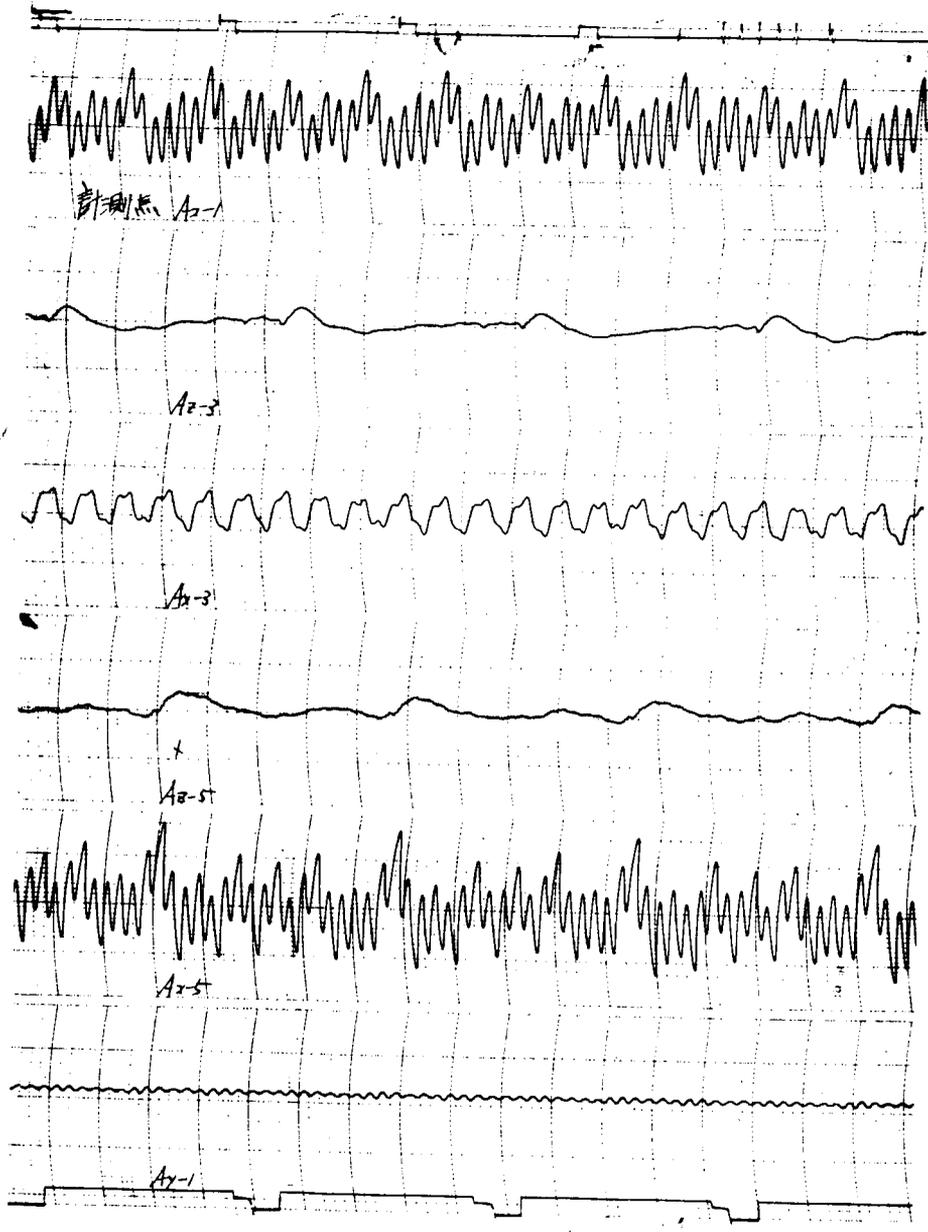


第 3. 3. 1 4 図 機関振動振幅計測結果 (計測点 C_x-1)



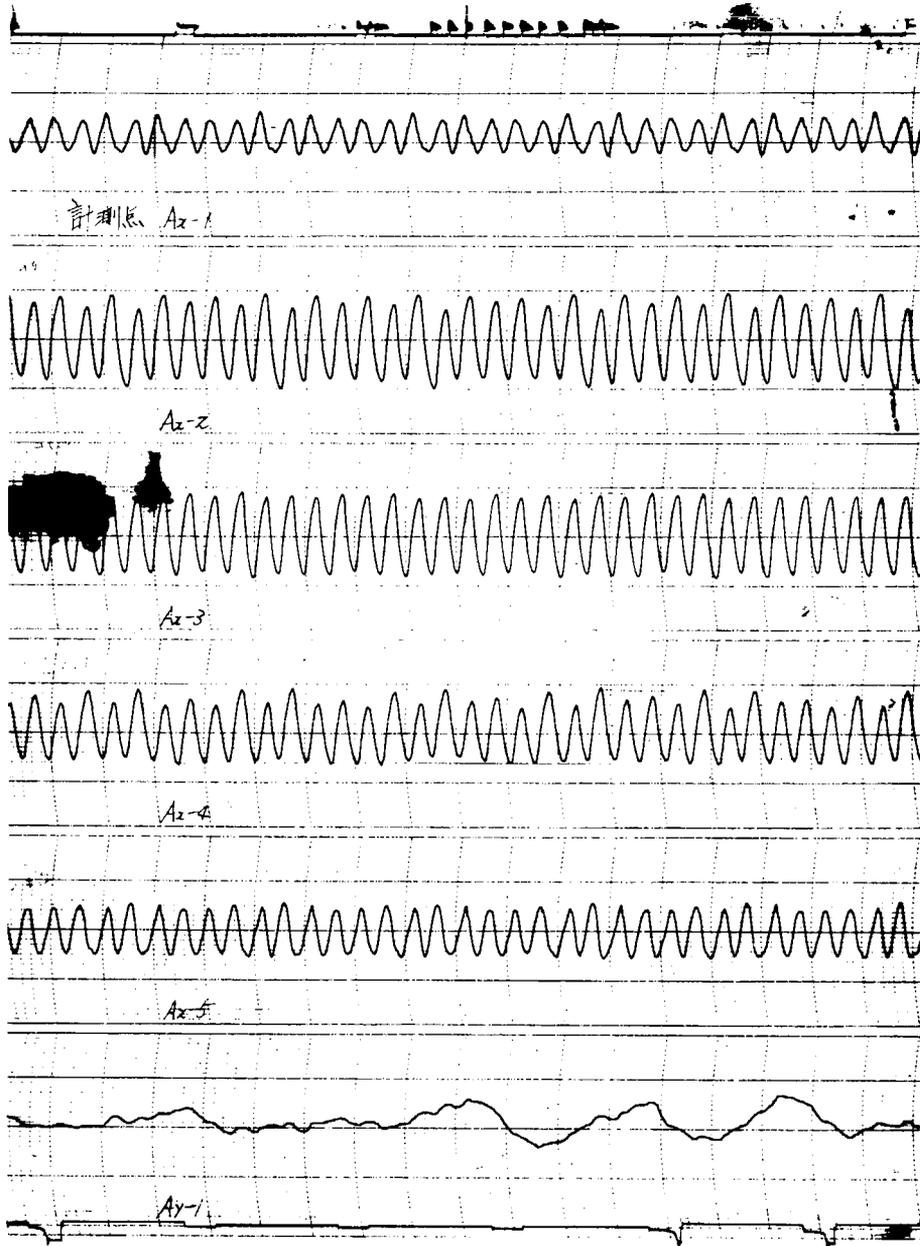
第 3. 3. 1 5 図 機関振動振幅計測結果 (計測点 D_x-1)

機関振動(46.7rpm)



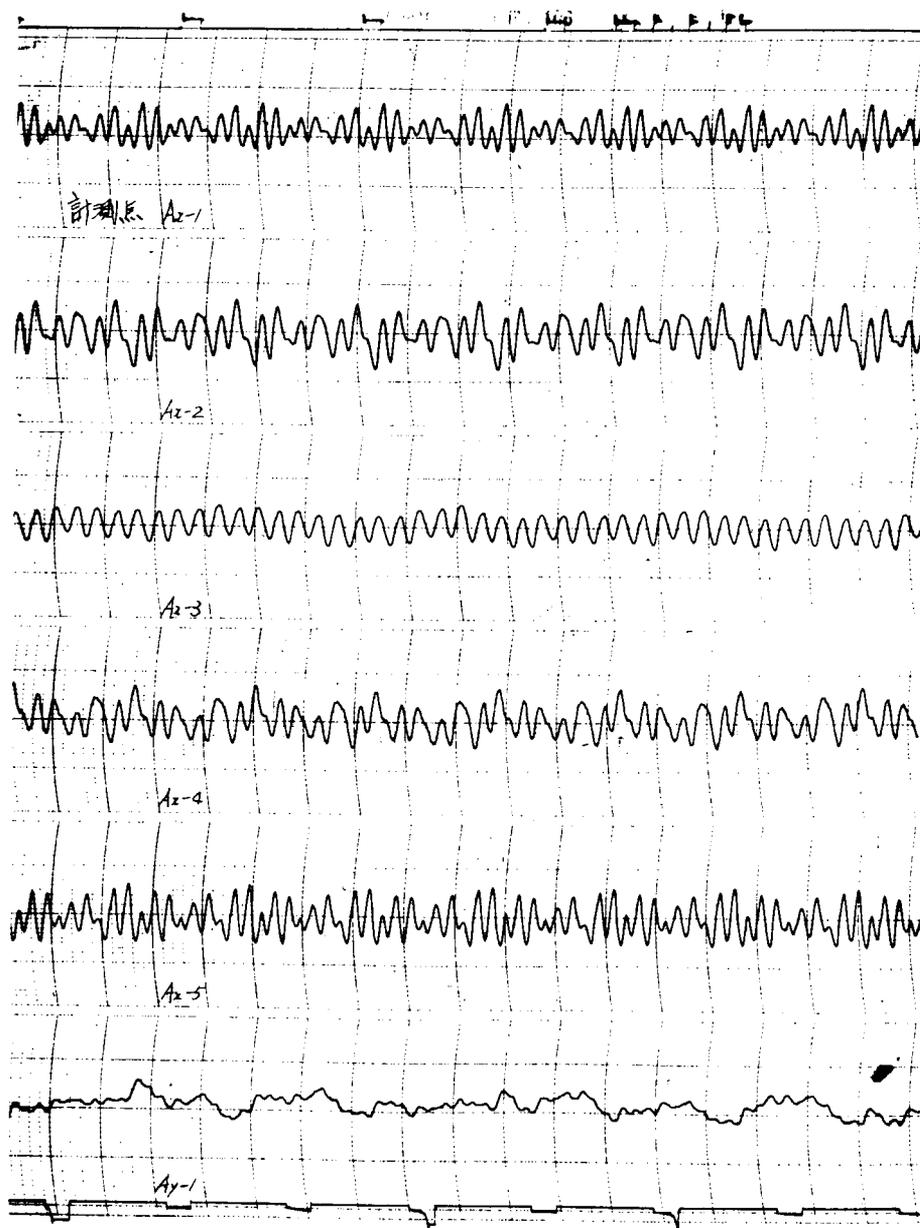
第3.3.16図 振動波数

機関振動 (7 0 . 6 r p m)

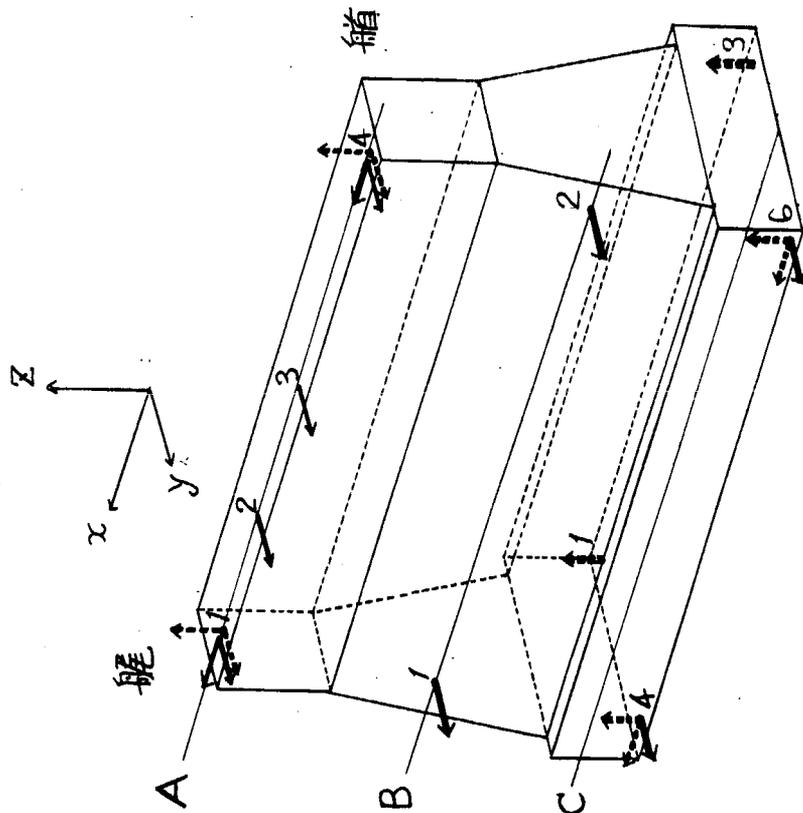
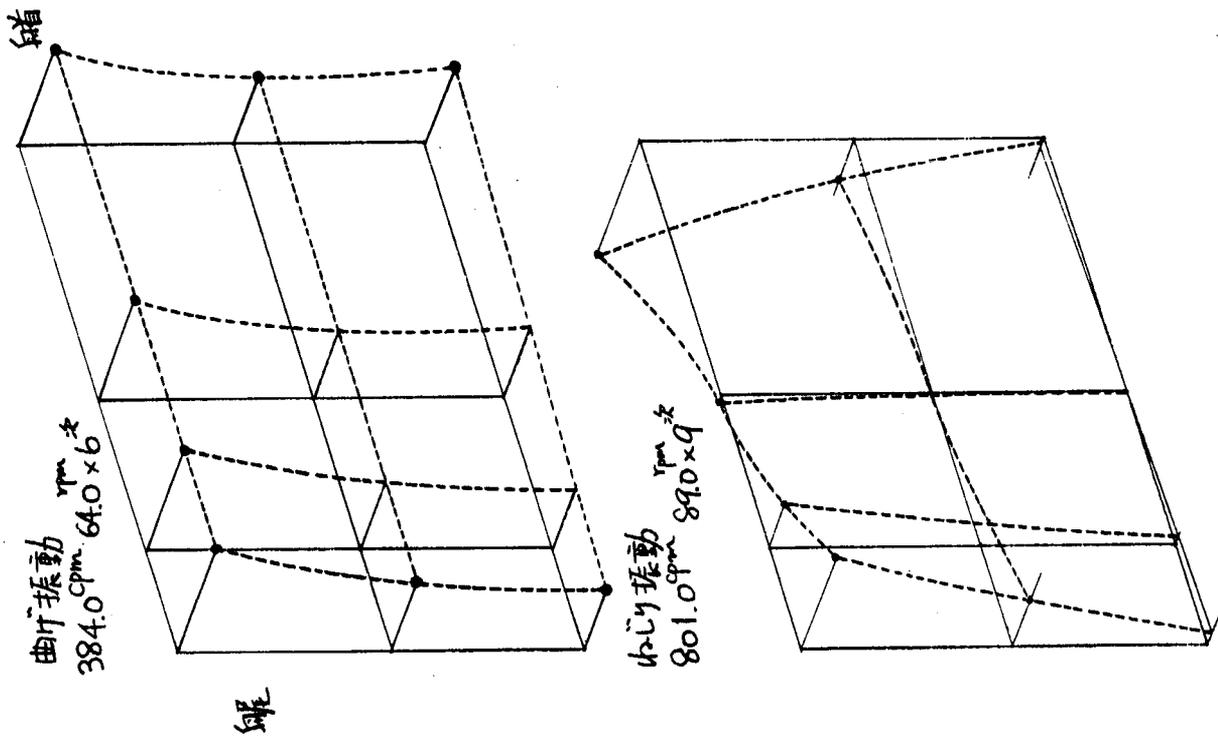


第 3. 3. 1 7 图 振 動 波 形

機関振動(90rpm)



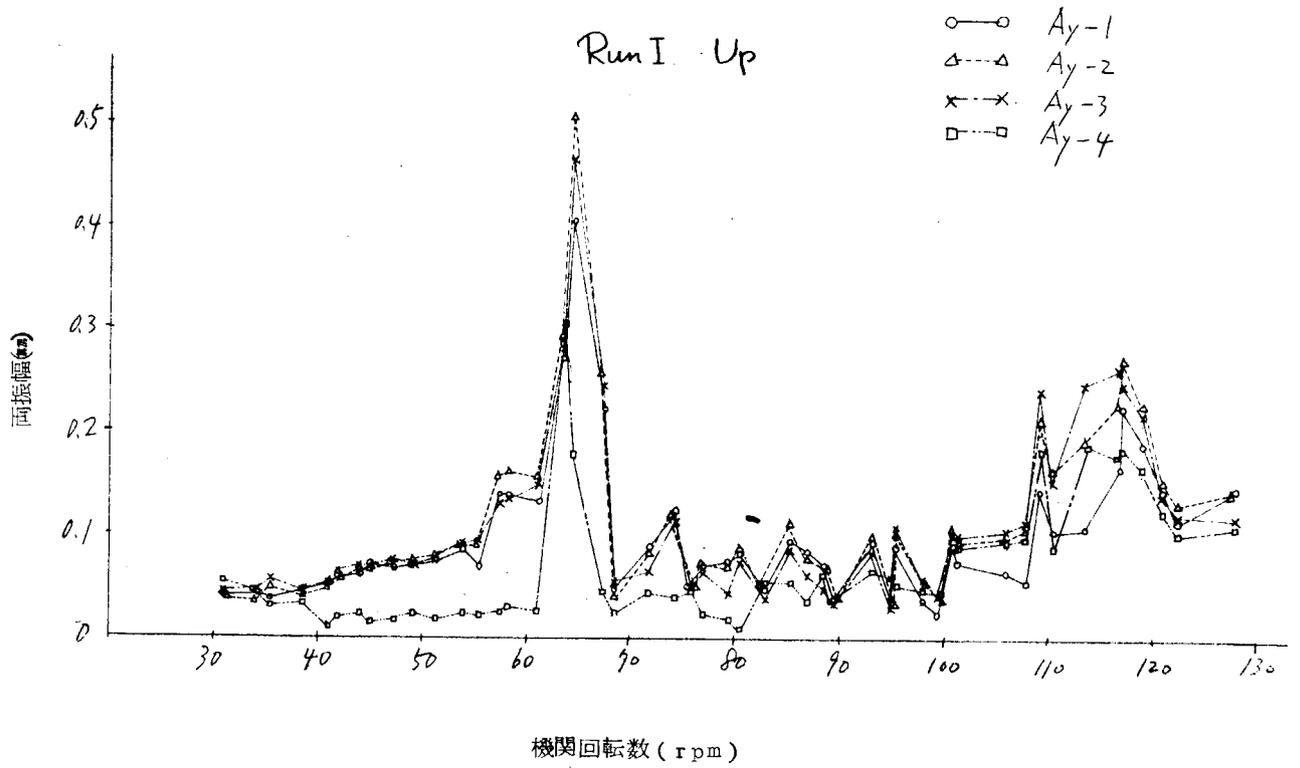
第3.3.18図 振動波形



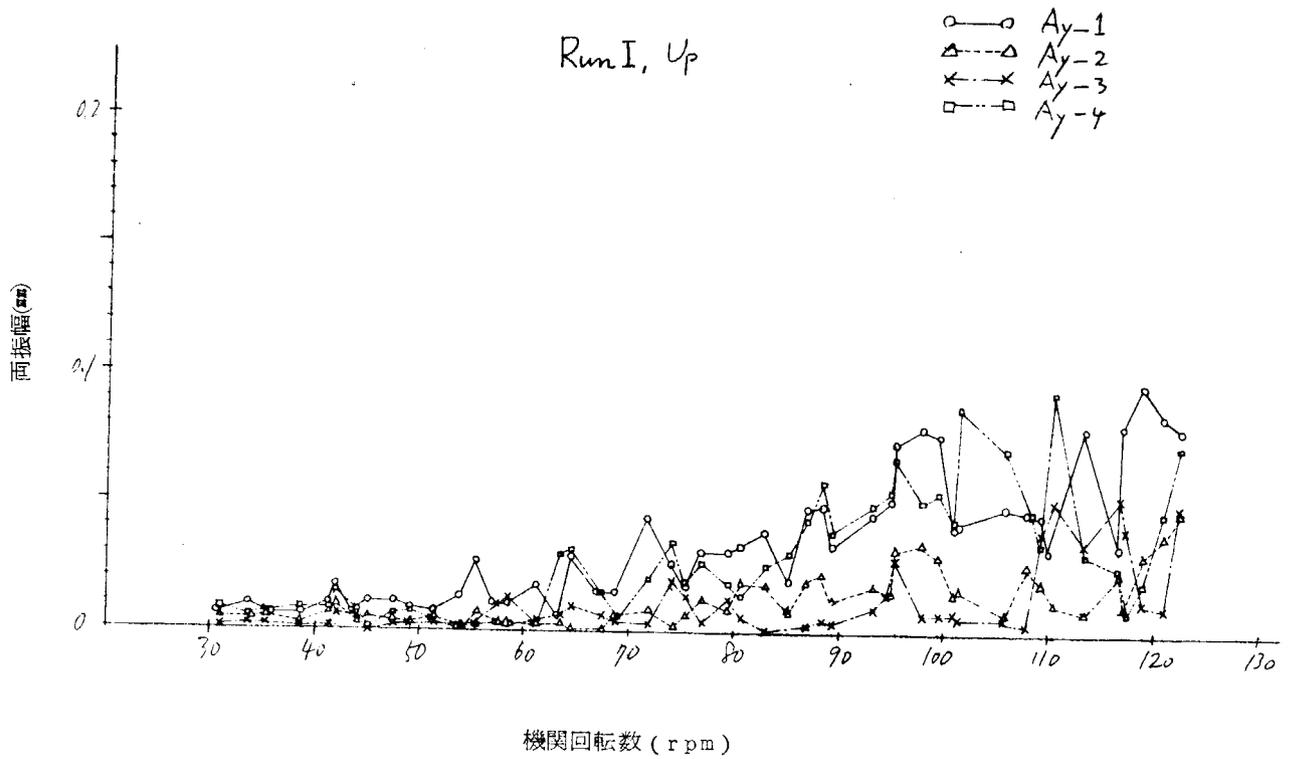
(注)：→ 1回測定点
 → 2回測定点
 ○ C段は陸上運転の場合、D段に相当する。
 ○ 以後 測定が1回目と Run I、
 測定が2回目と Run II、
 回転上昇時と Up 回転下降時と Down とす。

第 3.3.20 図 固有振動モード

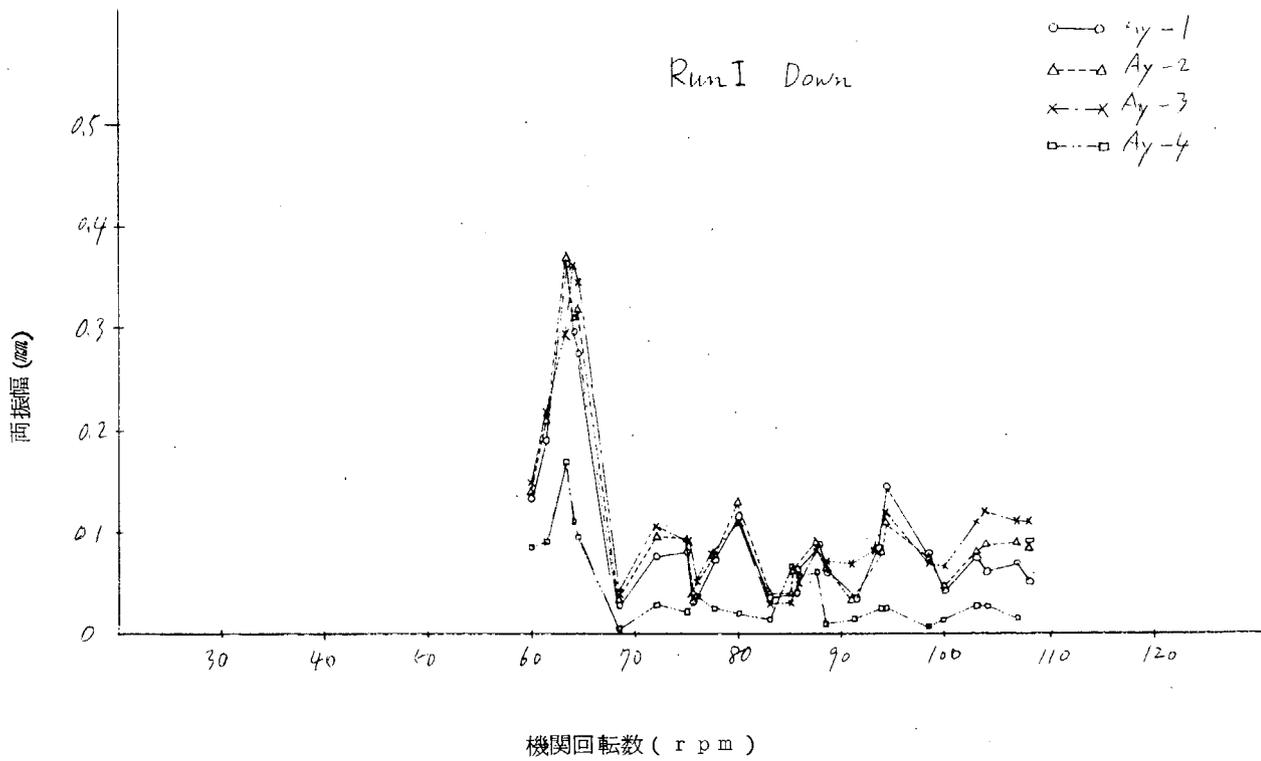
第 3.3.19 図 海上運転測定位置



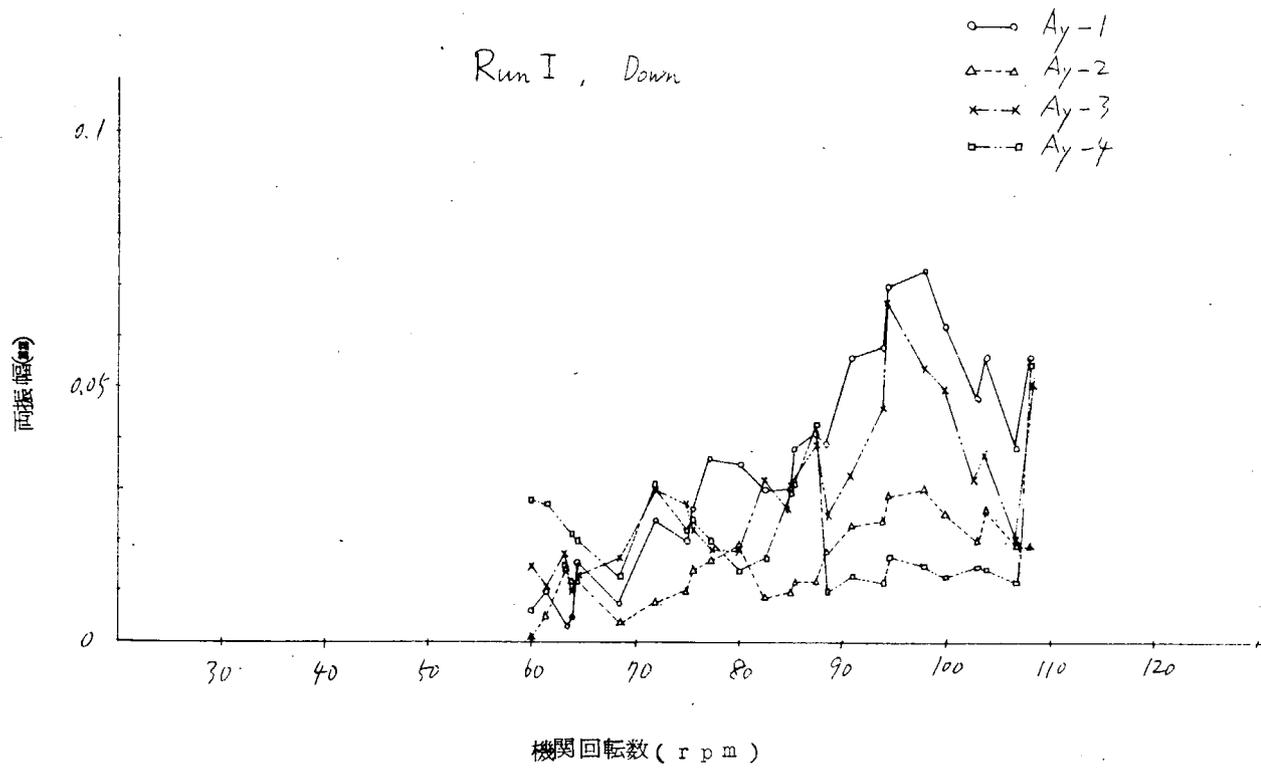
第 3. 3. 2 1. 図 振 幅 — 回 転 数 の 関 係 (6 次 成 分)



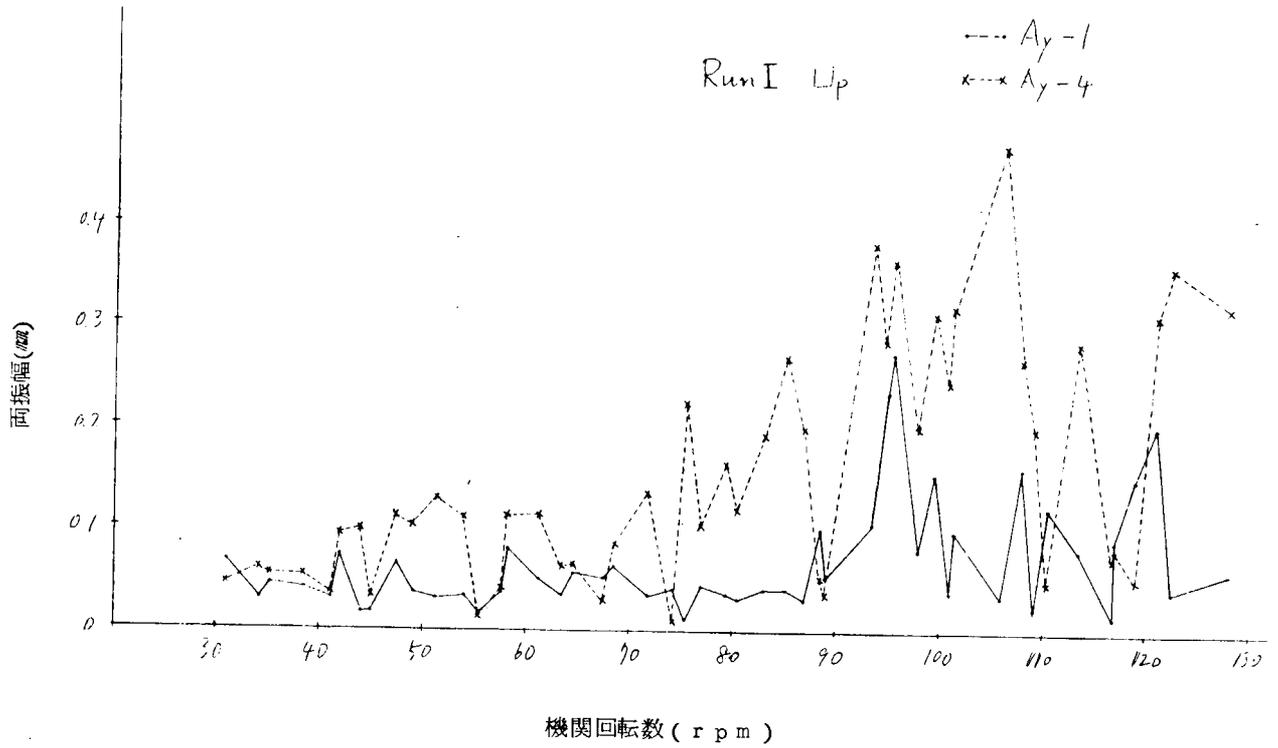
第 3. 3. 2 2 図 振 幅 — 回 転 数 の 関 係 (9 次 成 分)



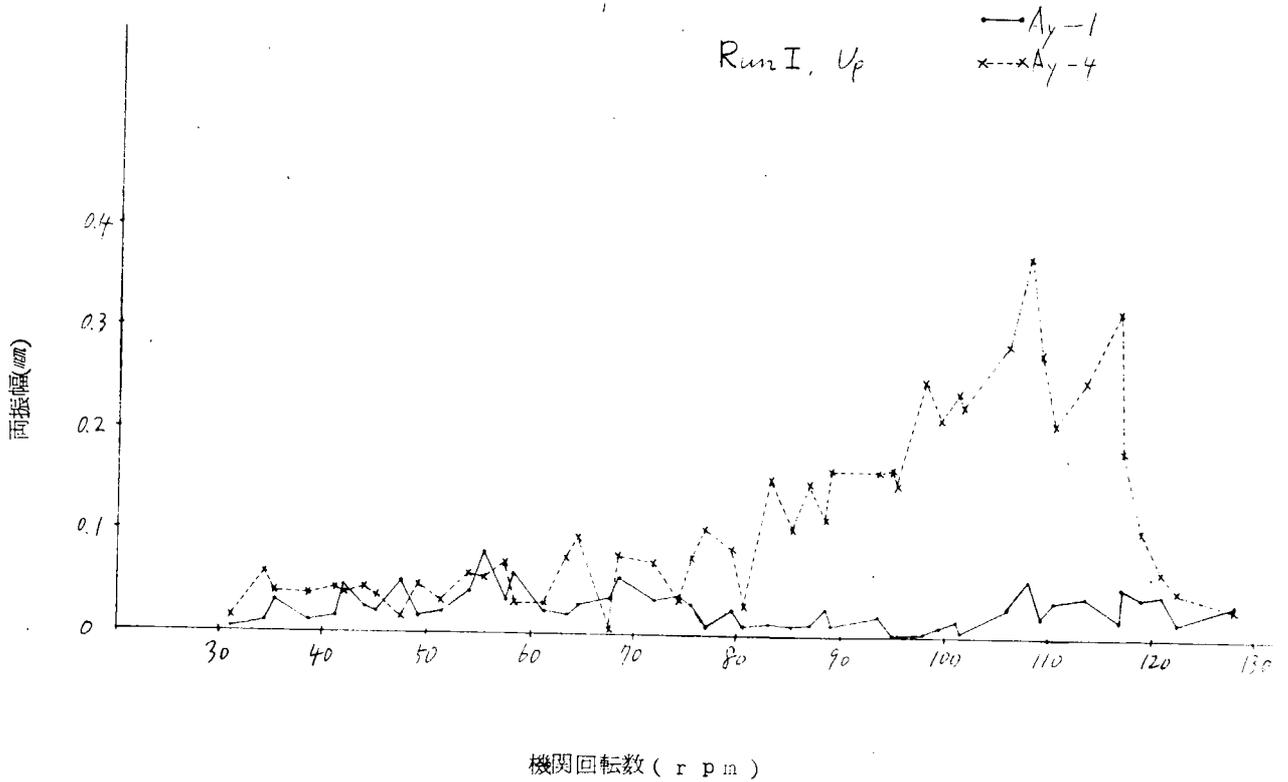
第 3.3.2 3 図 振幅一回転数の関係 (6次成分)



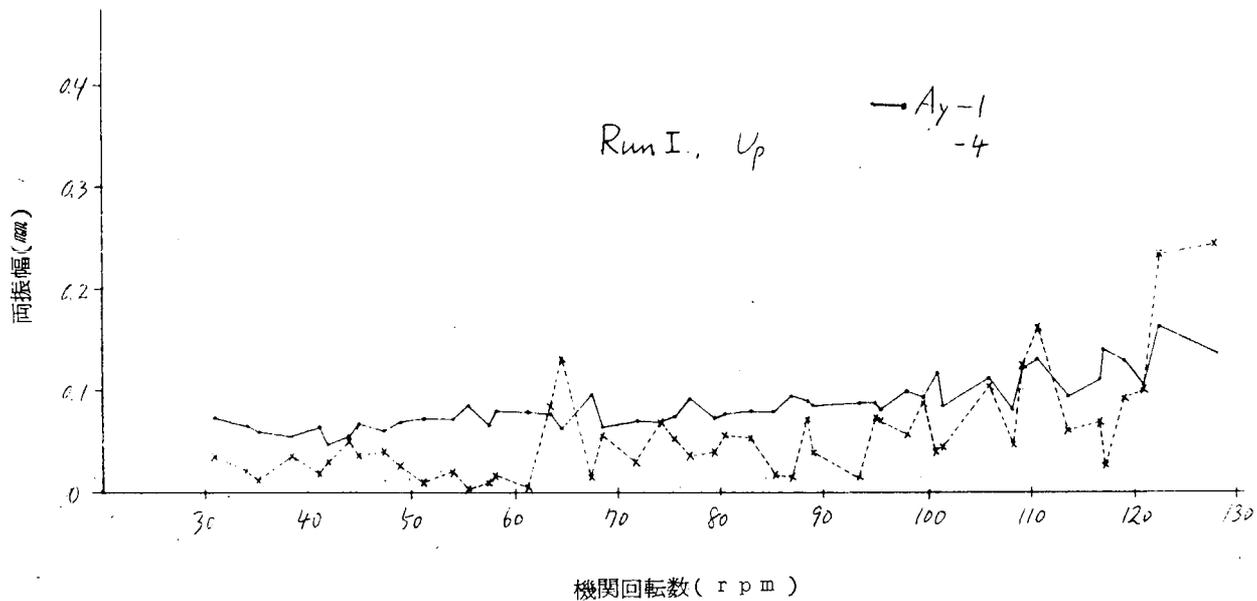
第 3.3.2 4 図 振幅一回転数の関係 (9次成分)



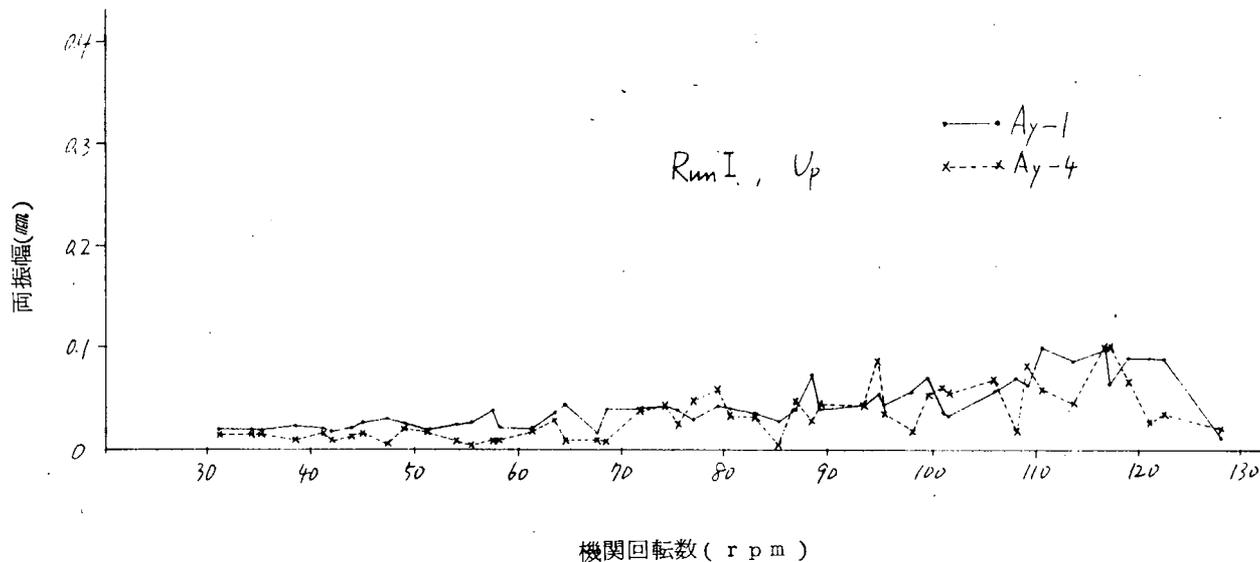
第 3.2.2 5 図 振幅 — 回転数の関係 (1 次成分)



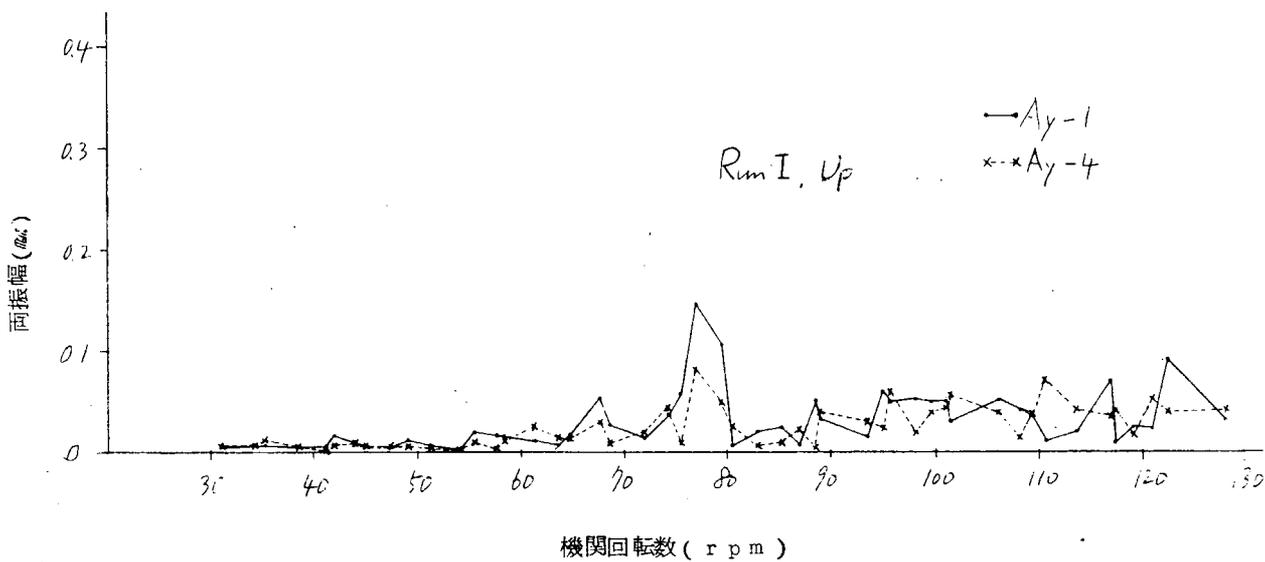
第 3.2.2 6 図 振幅 — 回転数の関係 (2 次成分)



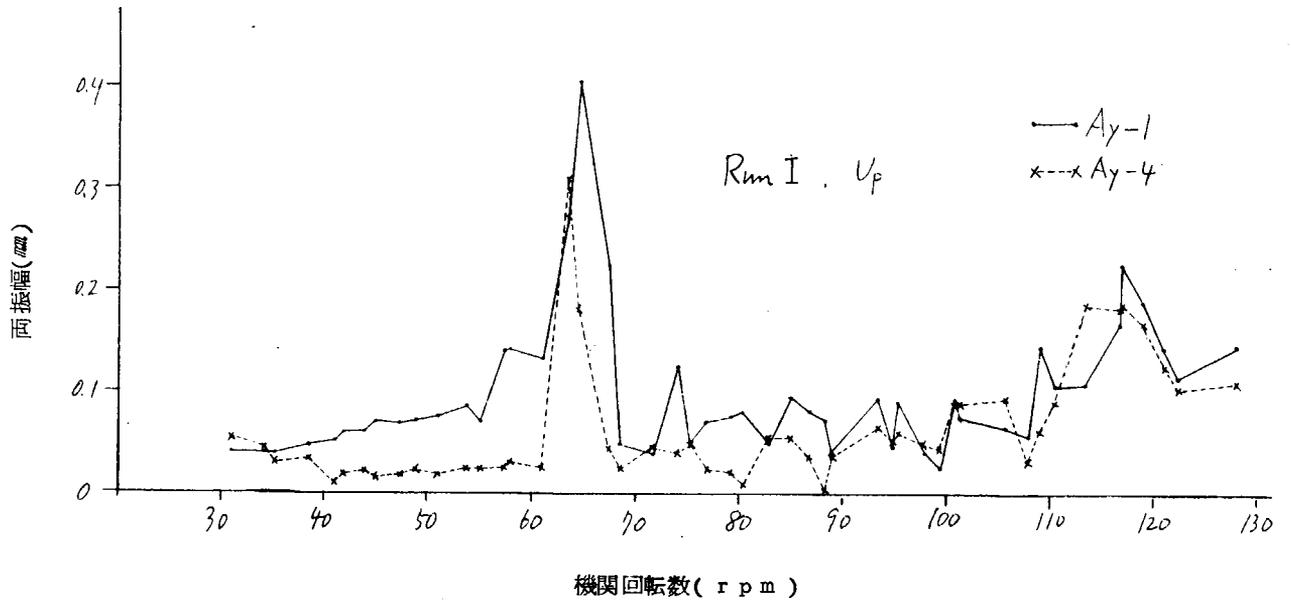
第 3.3.27 図 振幅 — 回転数の関係 (3 次成分)



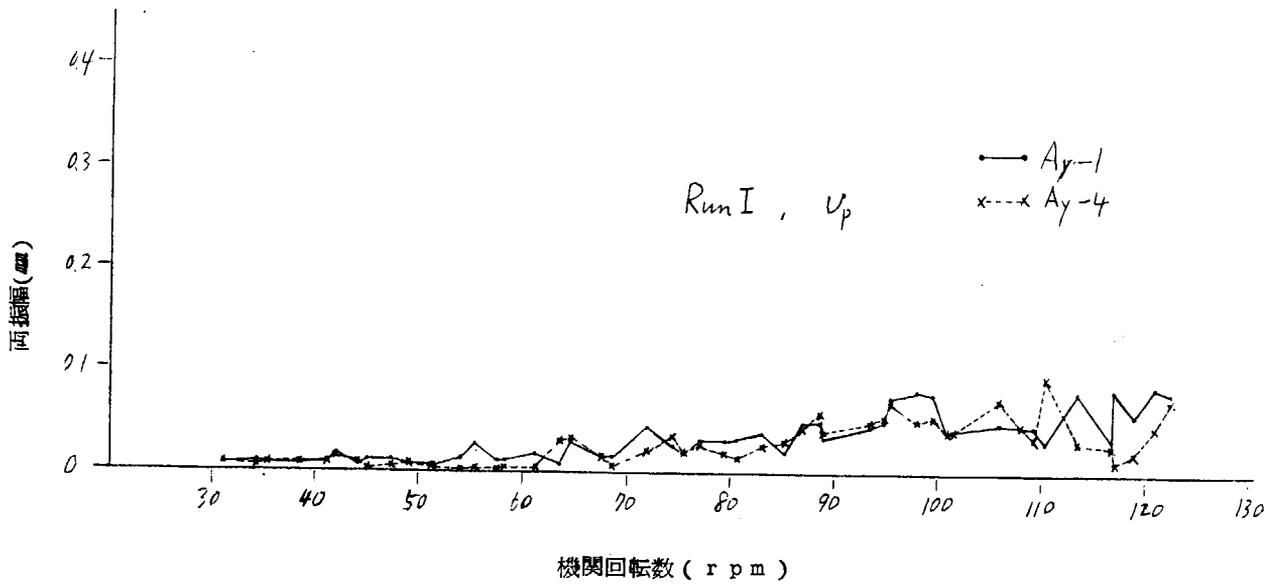
第 3.3.28 図 振幅 — 回転数の関係 (4 次成分)



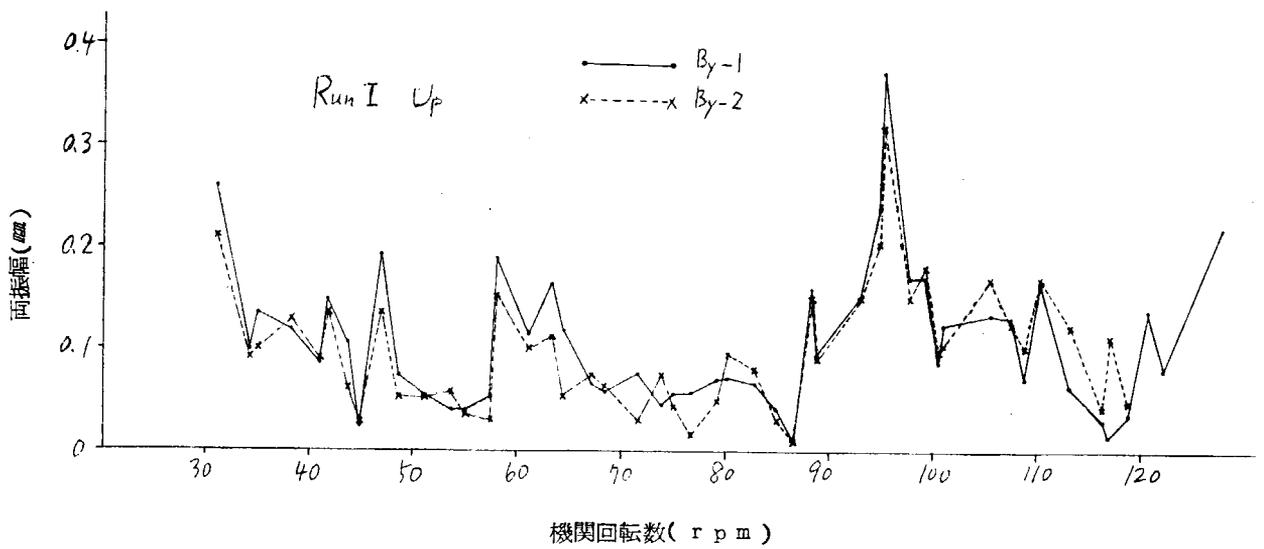
第 3.3.29 図 振幅 — 回転数の関係 (5 次成分)



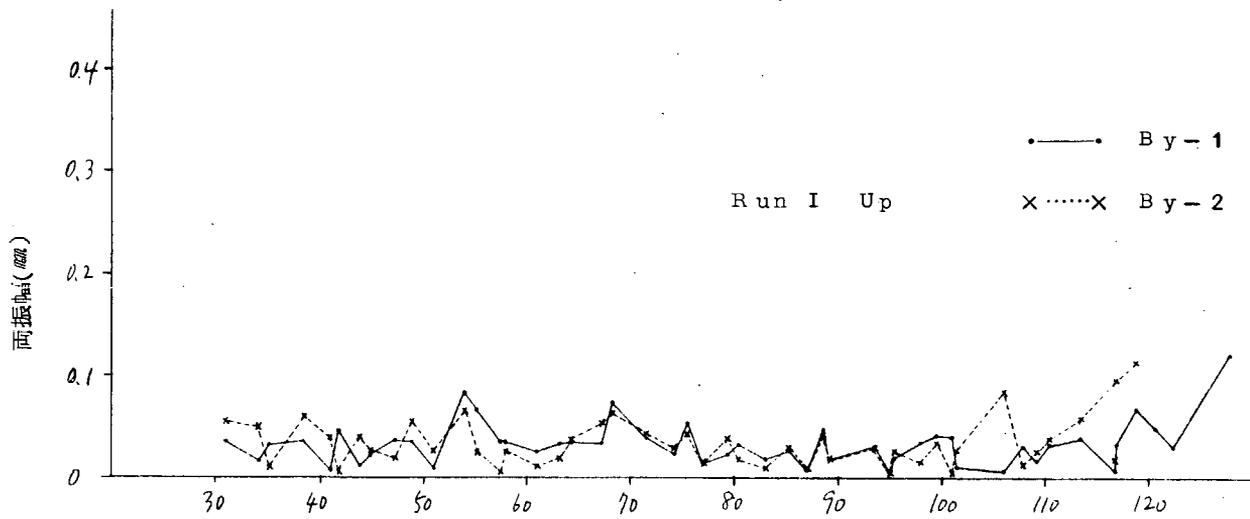
第 3.3.3.0 図 振幅 — 回転数の関係 (6次成分)



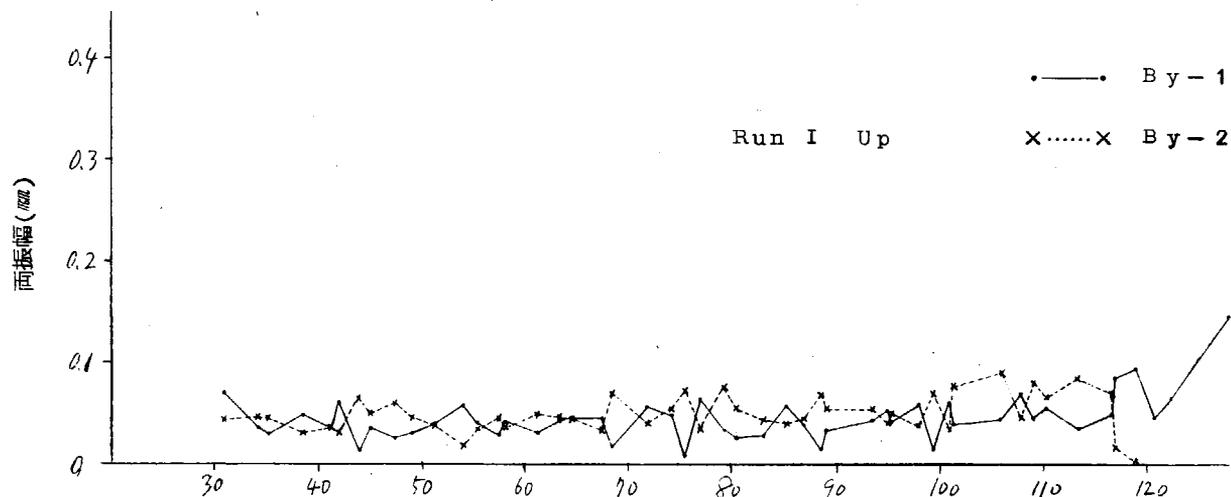
第 3.3.3.1 図 振幅 — 回転数の関係 (9次成分)



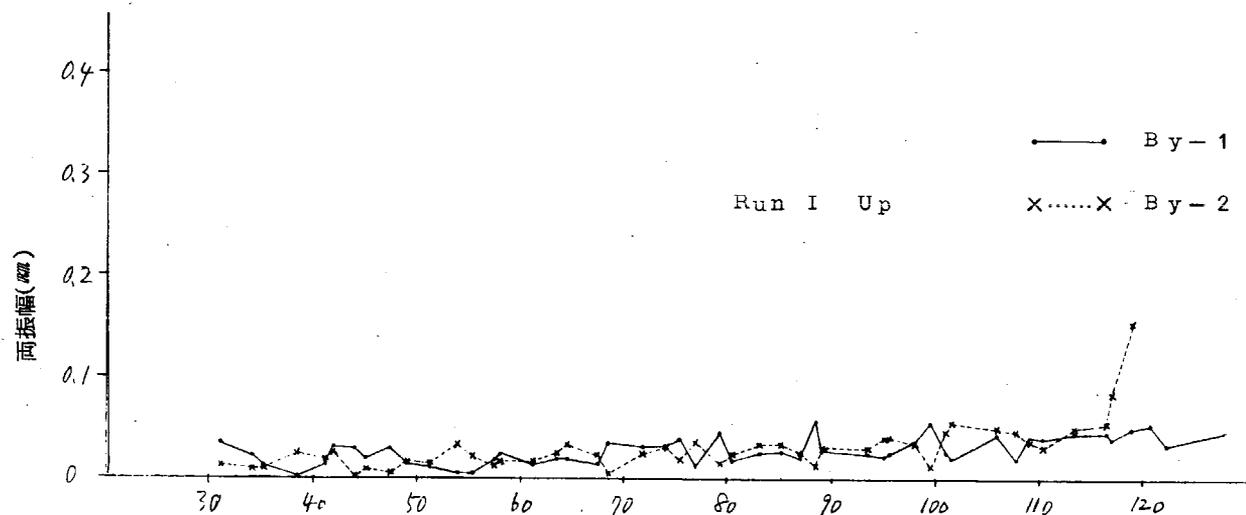
第 3.3.3.2 図 振幅 — 回転数の関係 (1次成分)



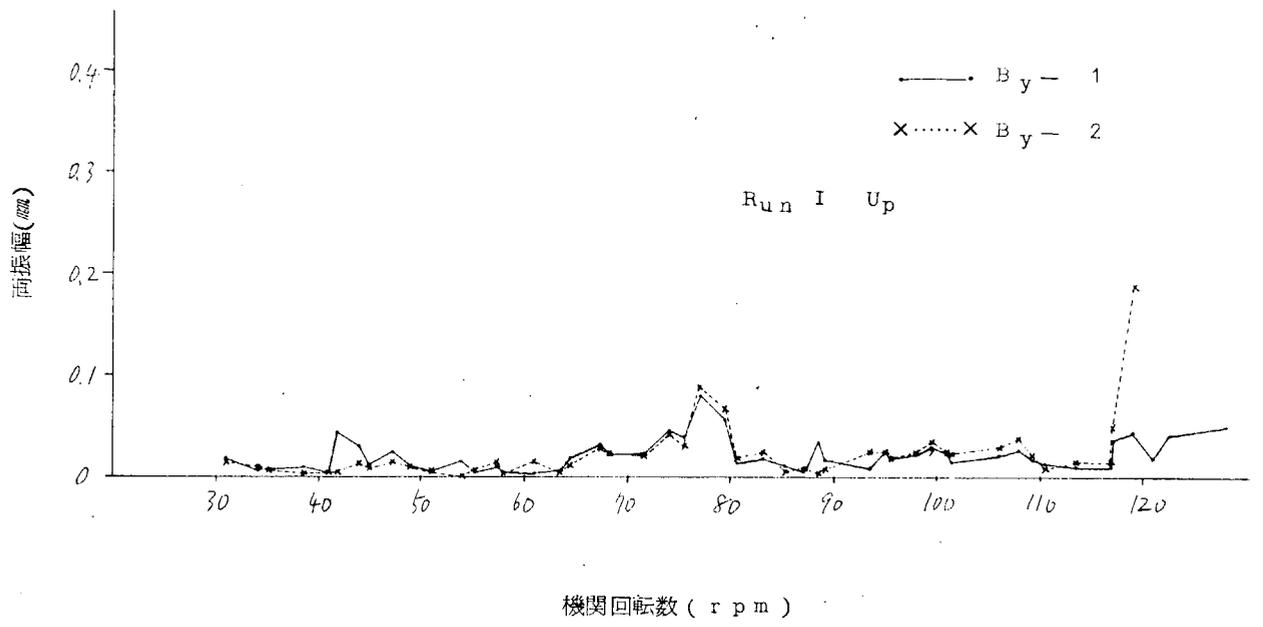
機関回転数 (rpm)
 第 3.3.3.3 図 振幅 — 回転数の関係 (2 次成分)



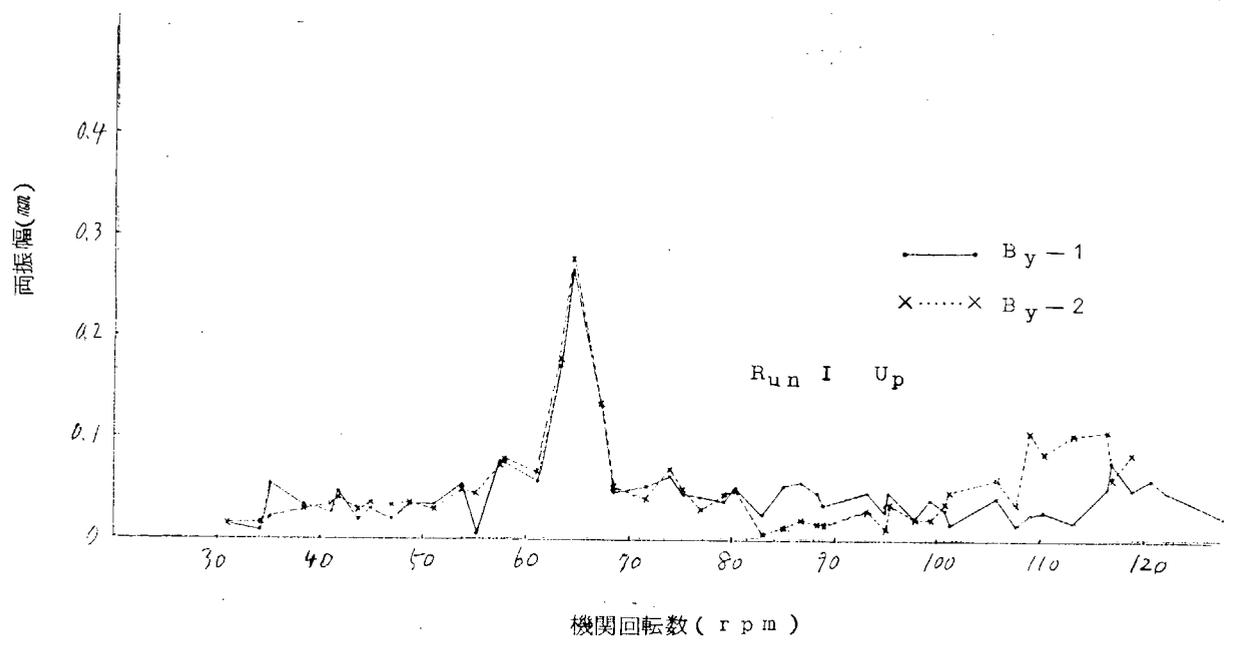
機関回転数 (rpm)
 第 3.3.3.4 図 振幅 — 回転数の関係 (3 次成分)



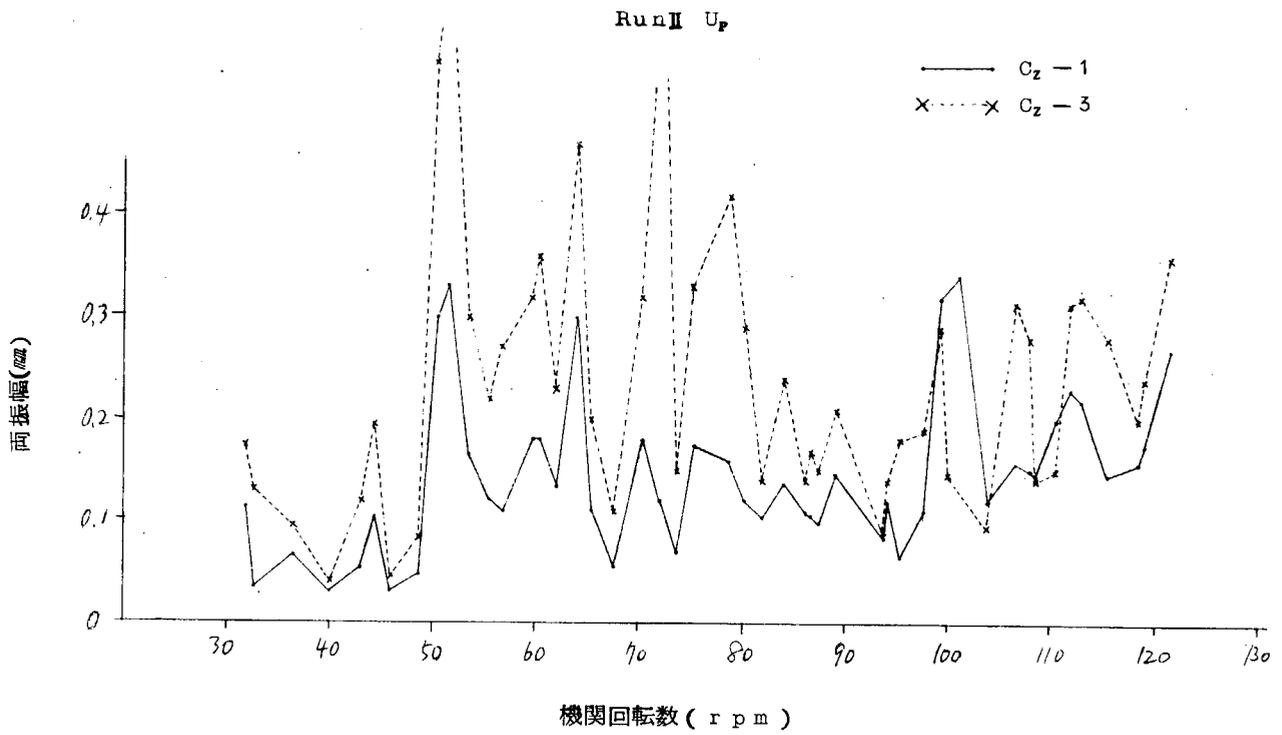
機関回転数 (rpm)
 第 3.3.3.5 図 振幅 — 回転数の関係 (4 次成分)



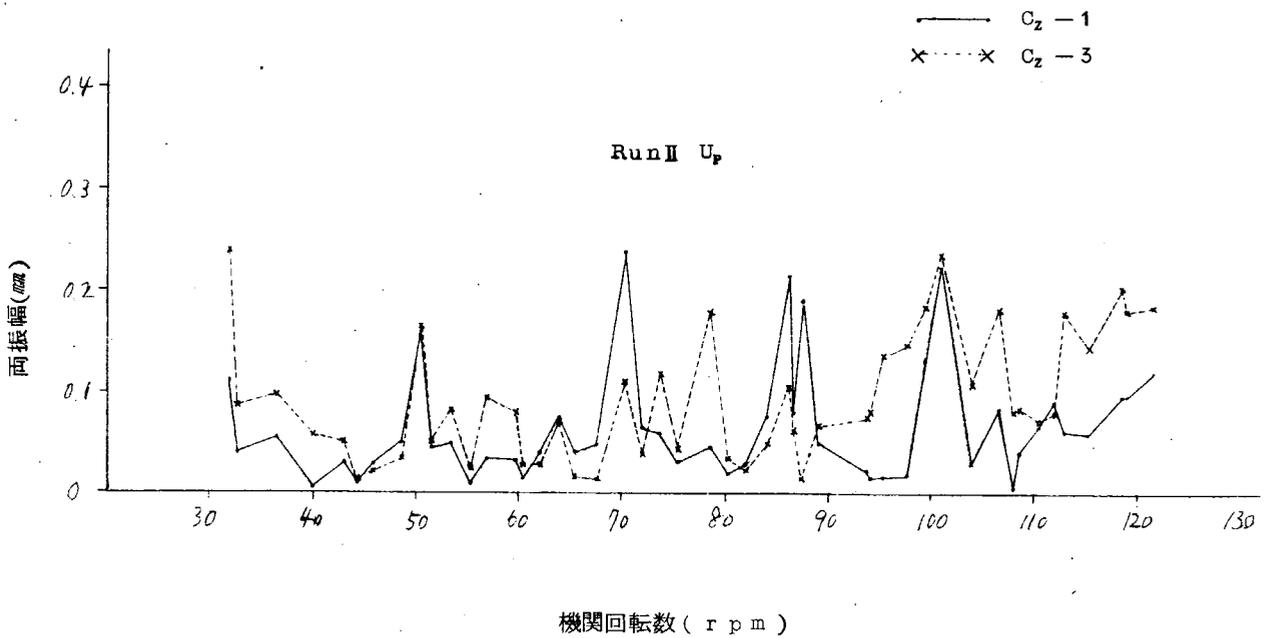
第 3. 3. 3 6 図 振幅 — 回転数の関係 (5 次成分)



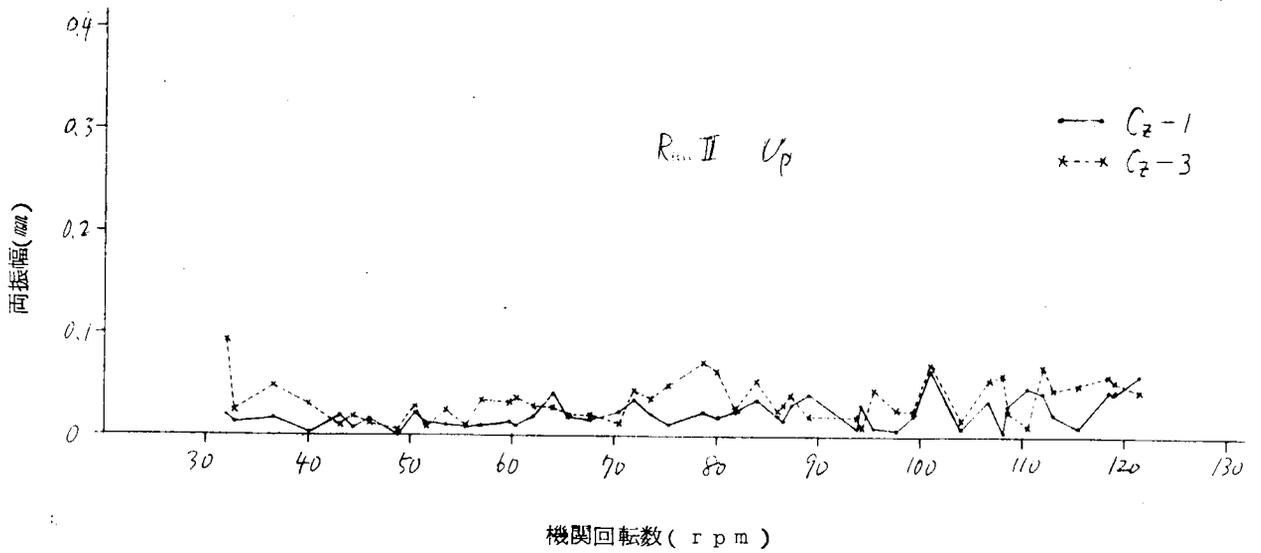
第 3. 3. 3 7 図 振幅 — 回転数の関係 (6 次成分)



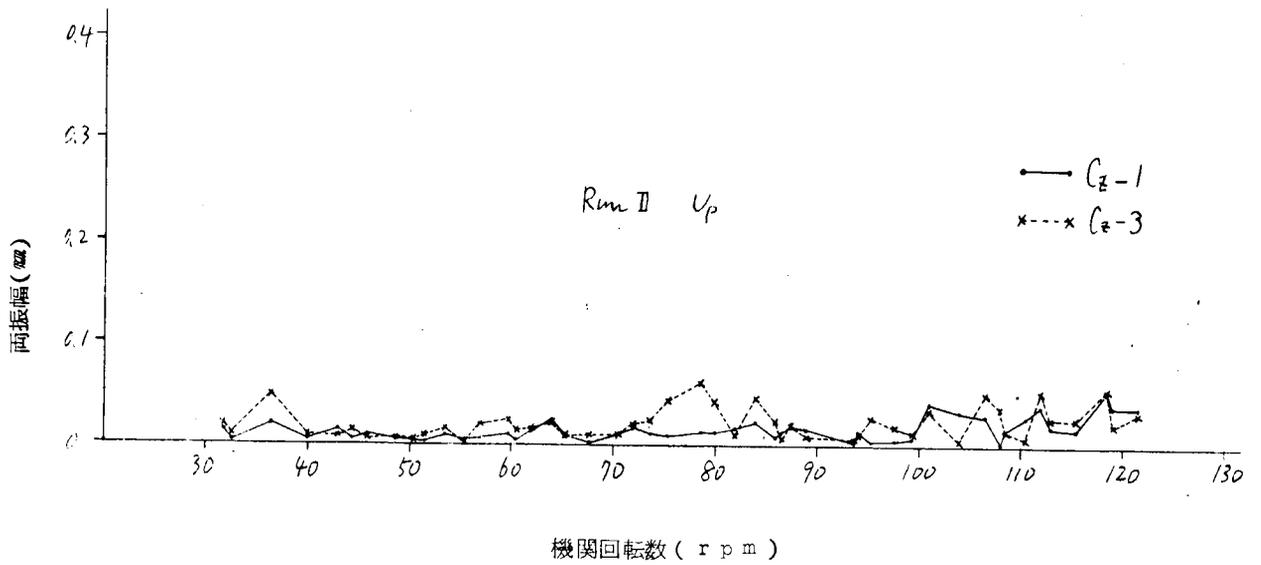
第 3.3.38 図 振幅 — 回転数の関係 (1次成分)



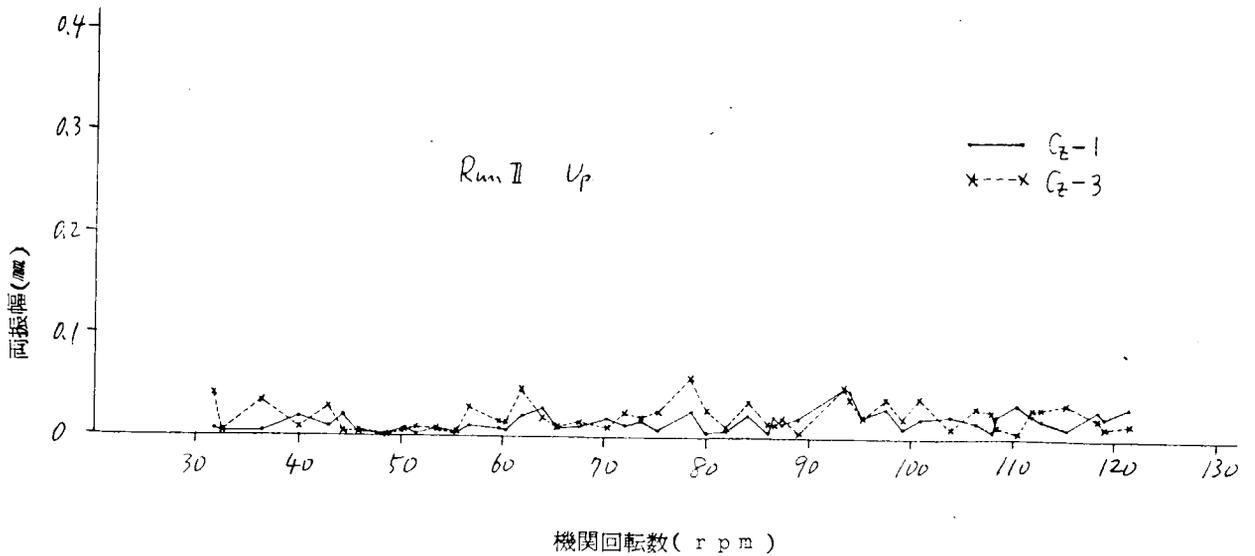
第 3.3.39 図 振幅 — 回転数の関係 (2次成分)



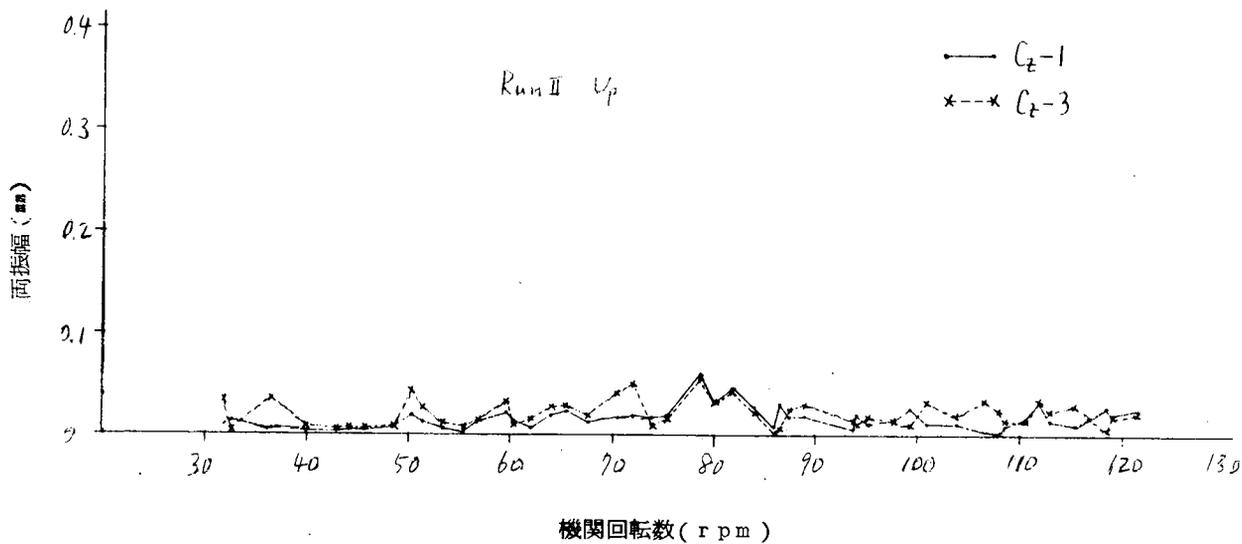
第 3.3.4.0 図 振幅 — 回転数の関係 (3次成分)



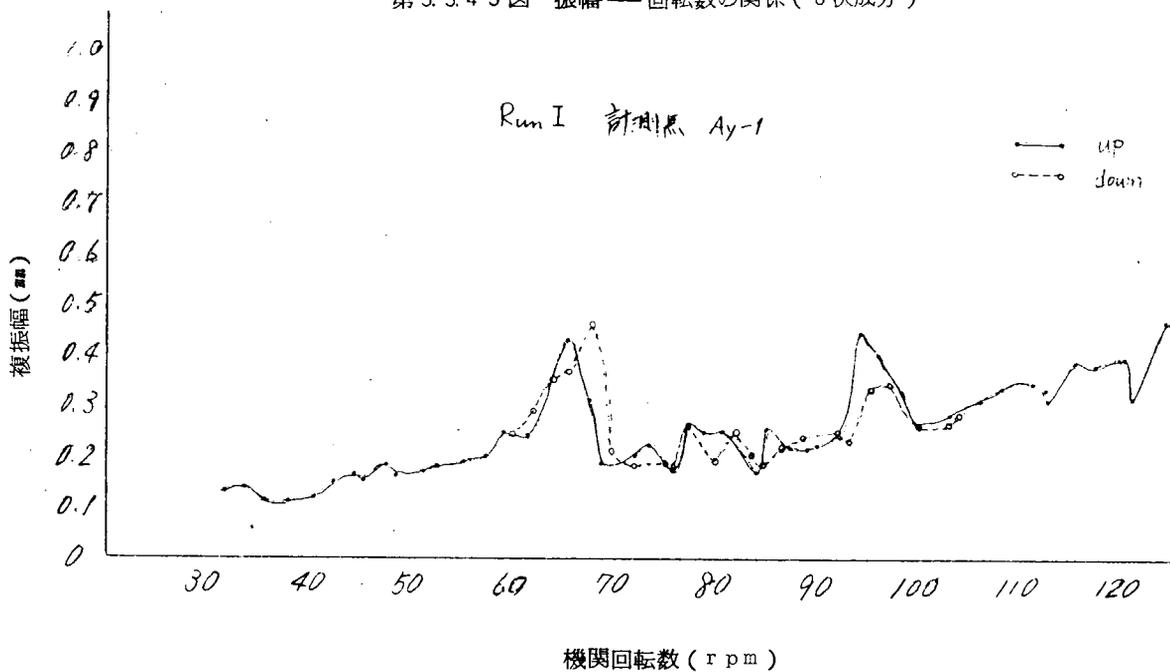
第 3.3.4.1 図 振幅 — 回転数の関係 (4次成分)



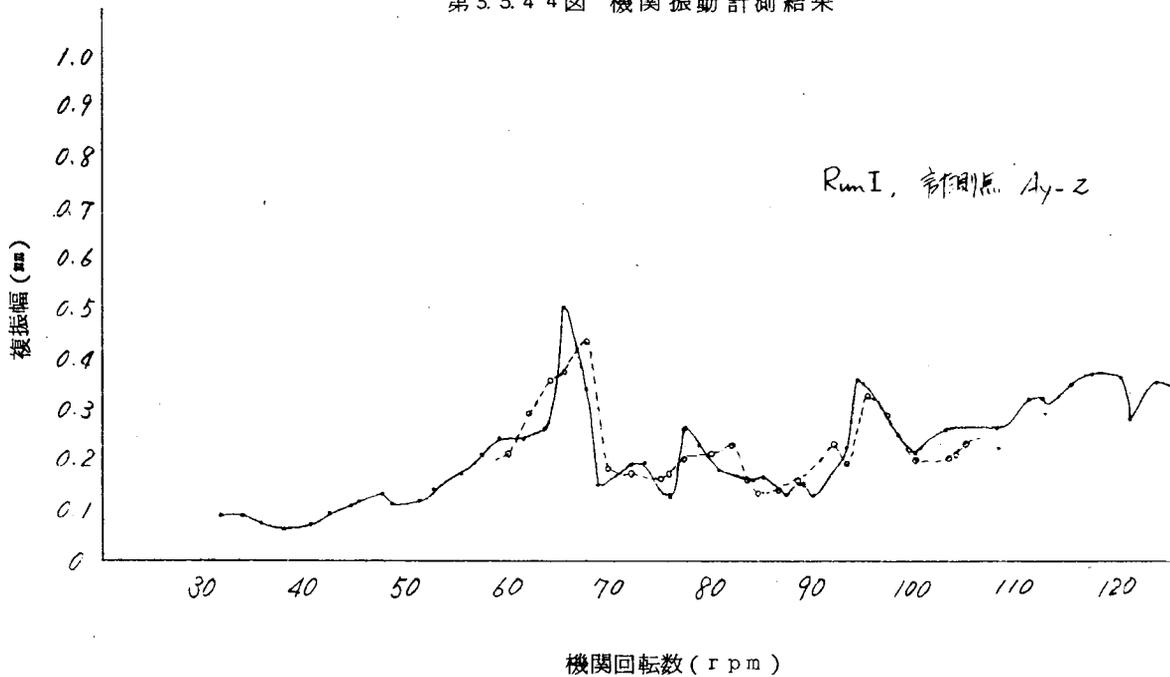
第 3.3.4.2 図 振幅 — 回転数の関係 (5次成分)



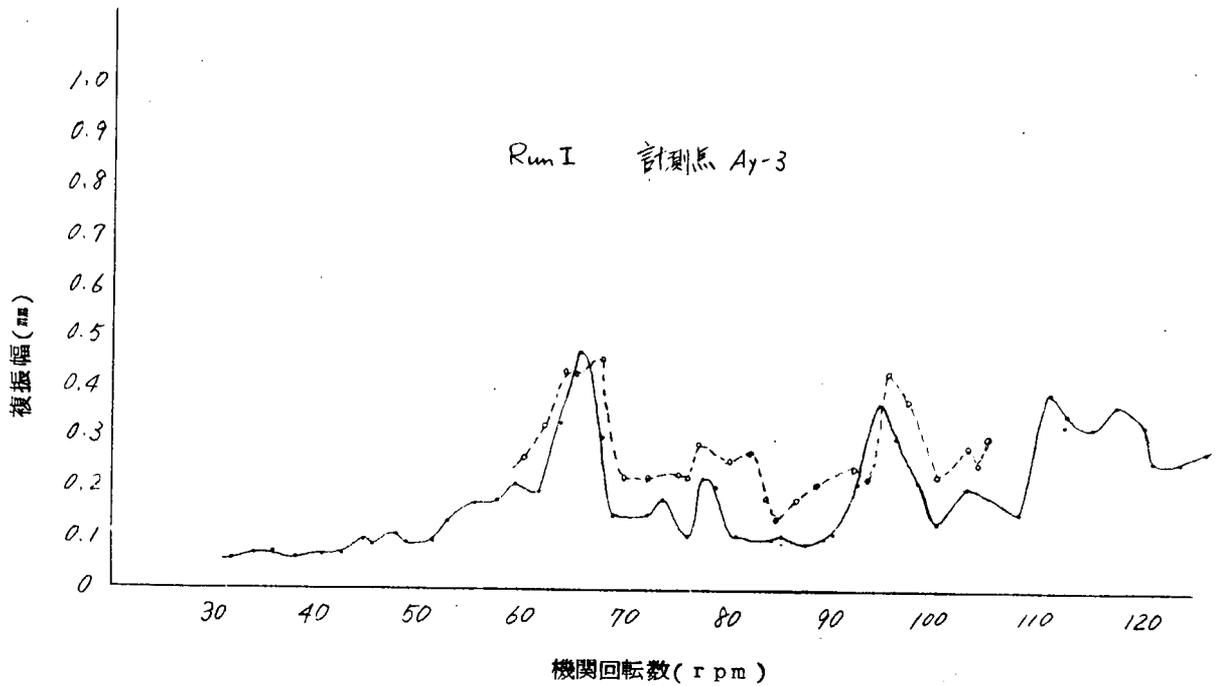
第 3. 3. 4 3 図 振幅—回転数の関係 (6次成分)



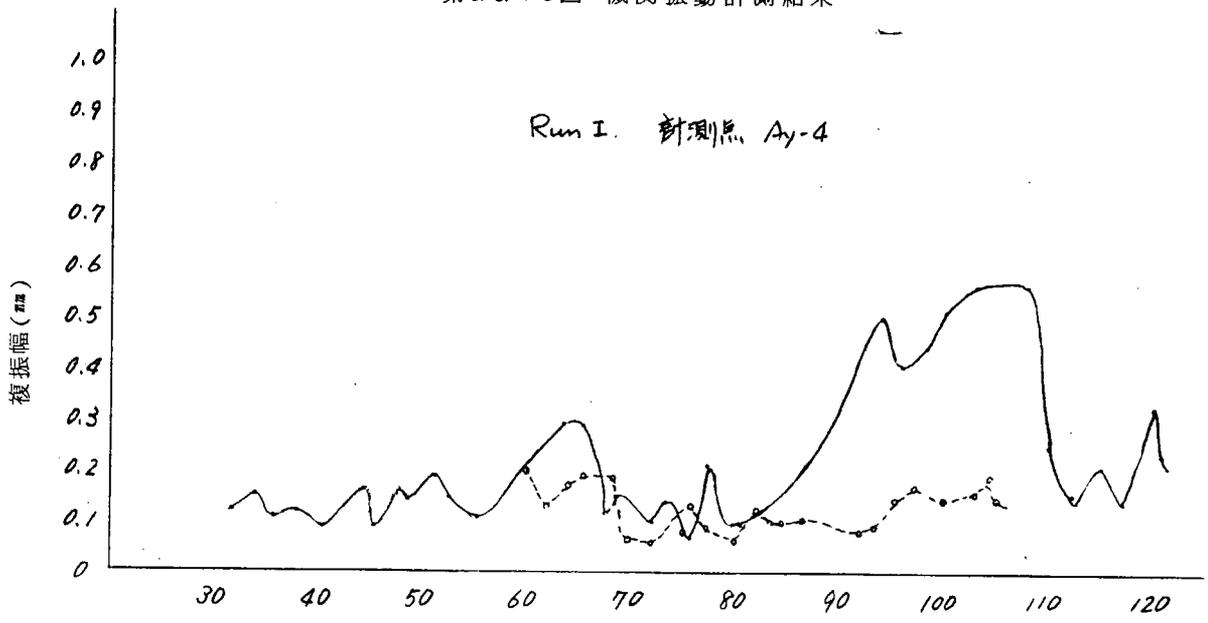
第 3. 3. 4 4 図 機関振動計測結果



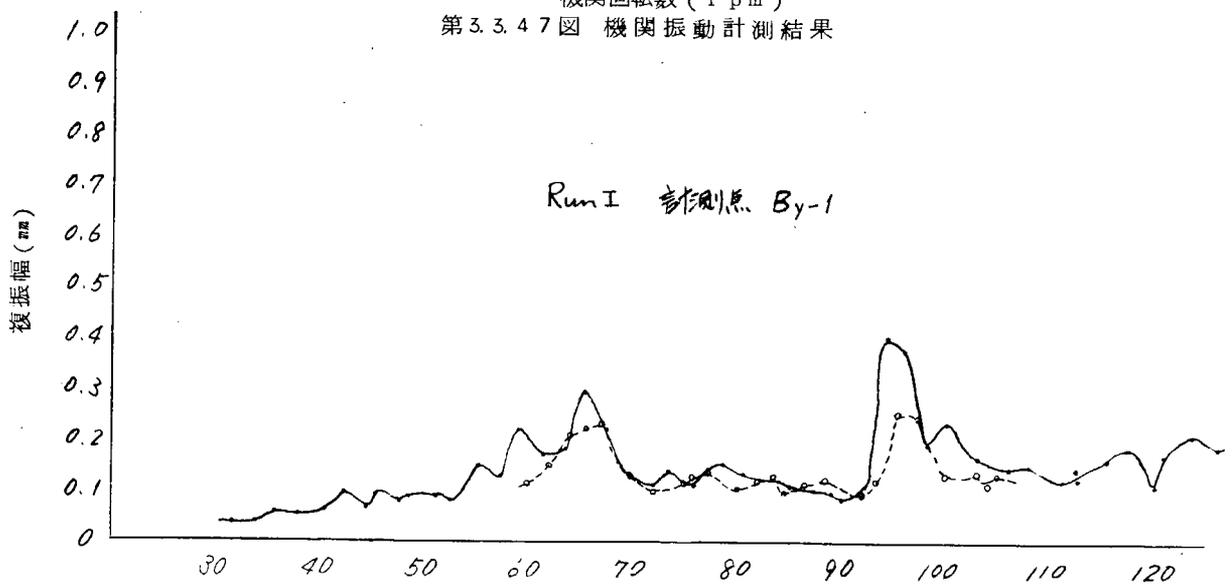
第 3. 3. 4 5 図 機関振動計測結果



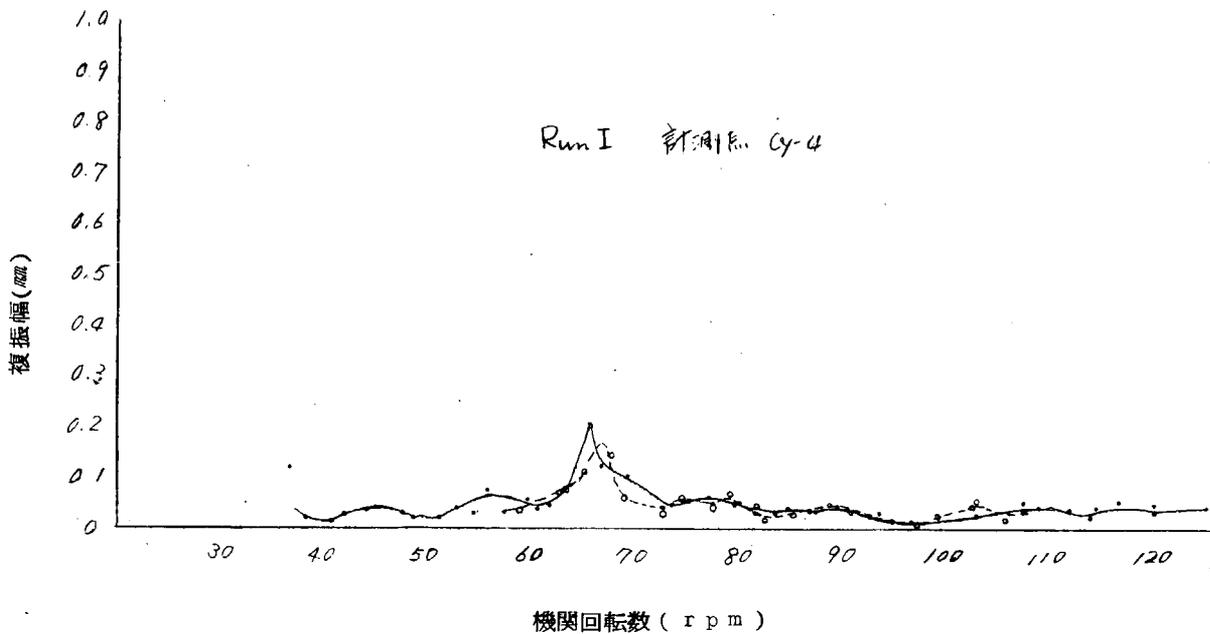
第3.3.46圖 機関振動計測結果



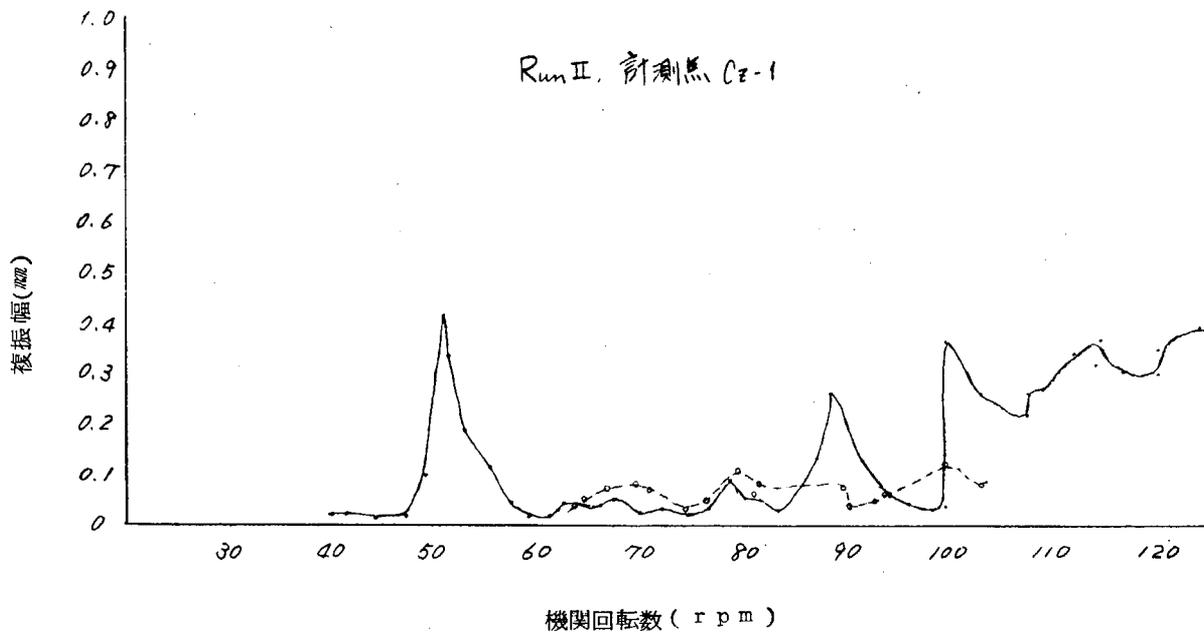
第3.3.47圖 機関振動計測結果



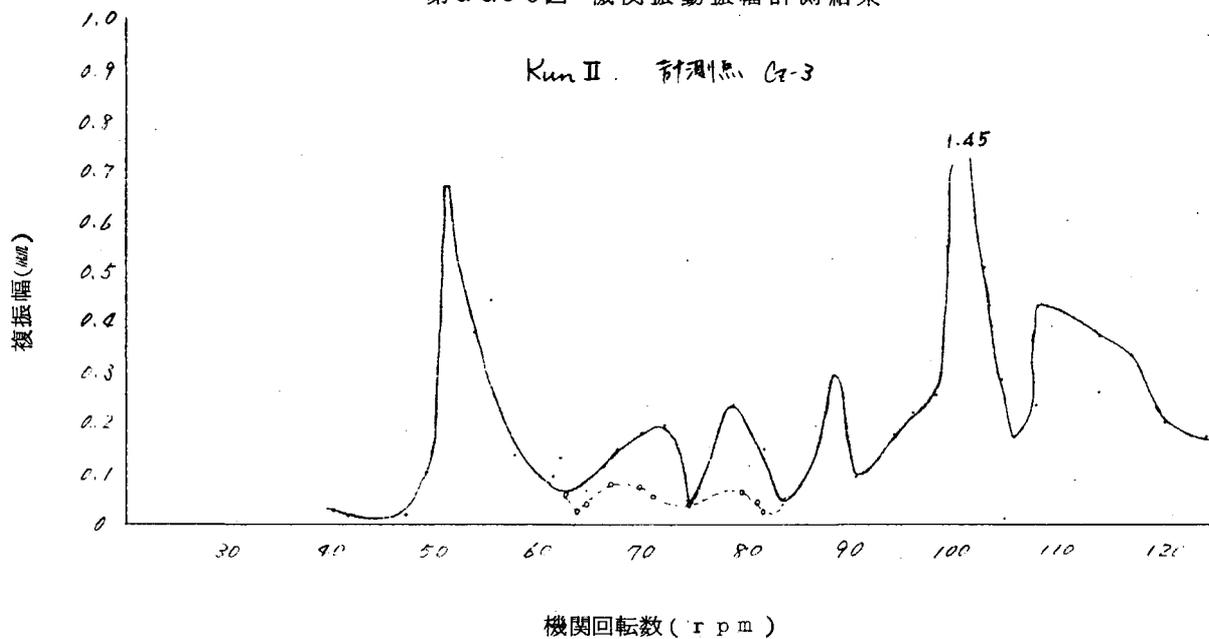
第3.3.48圖 機関振動計測結果



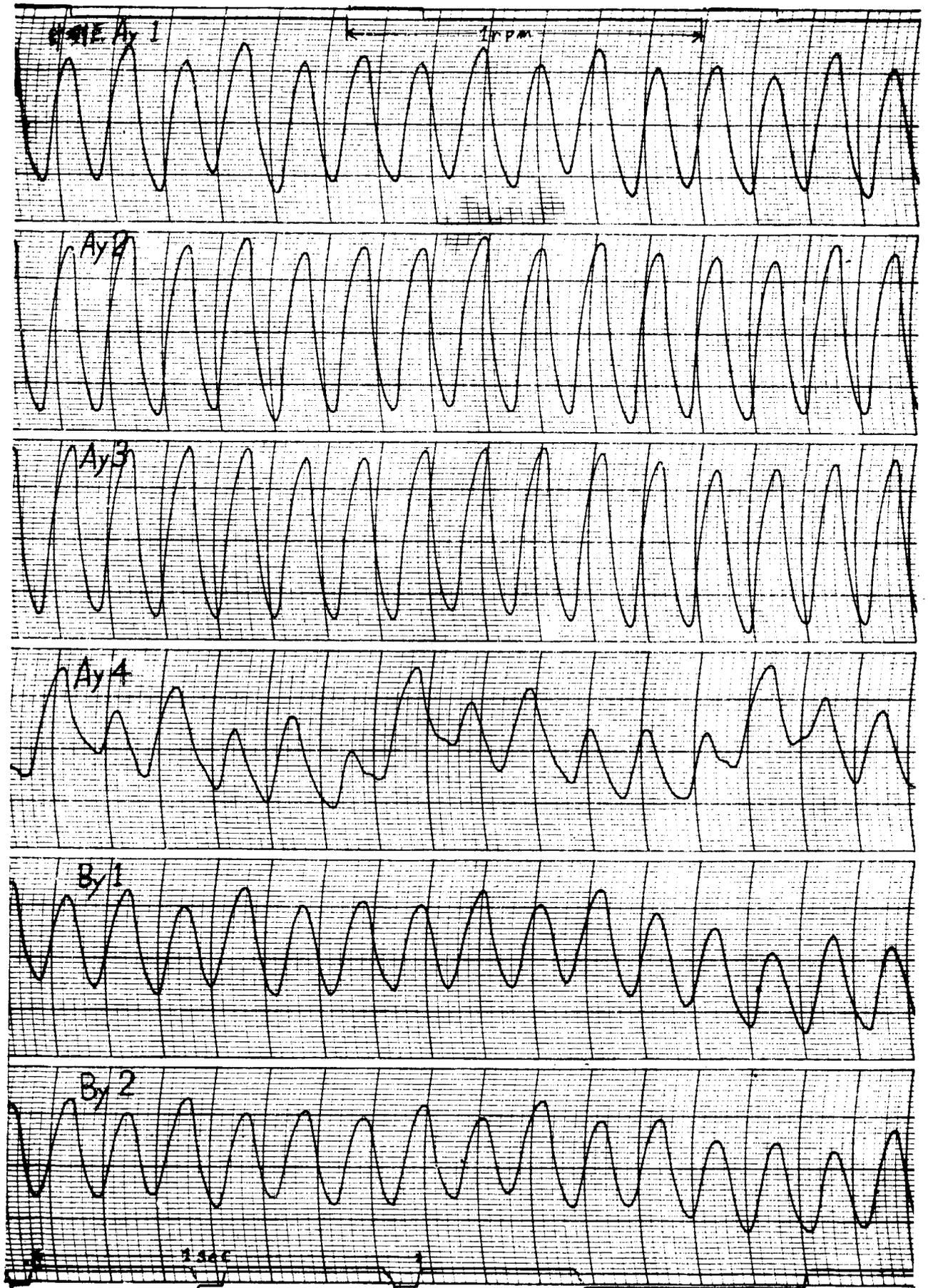
第 3.3.49 圖 機関振動振幅計測結果



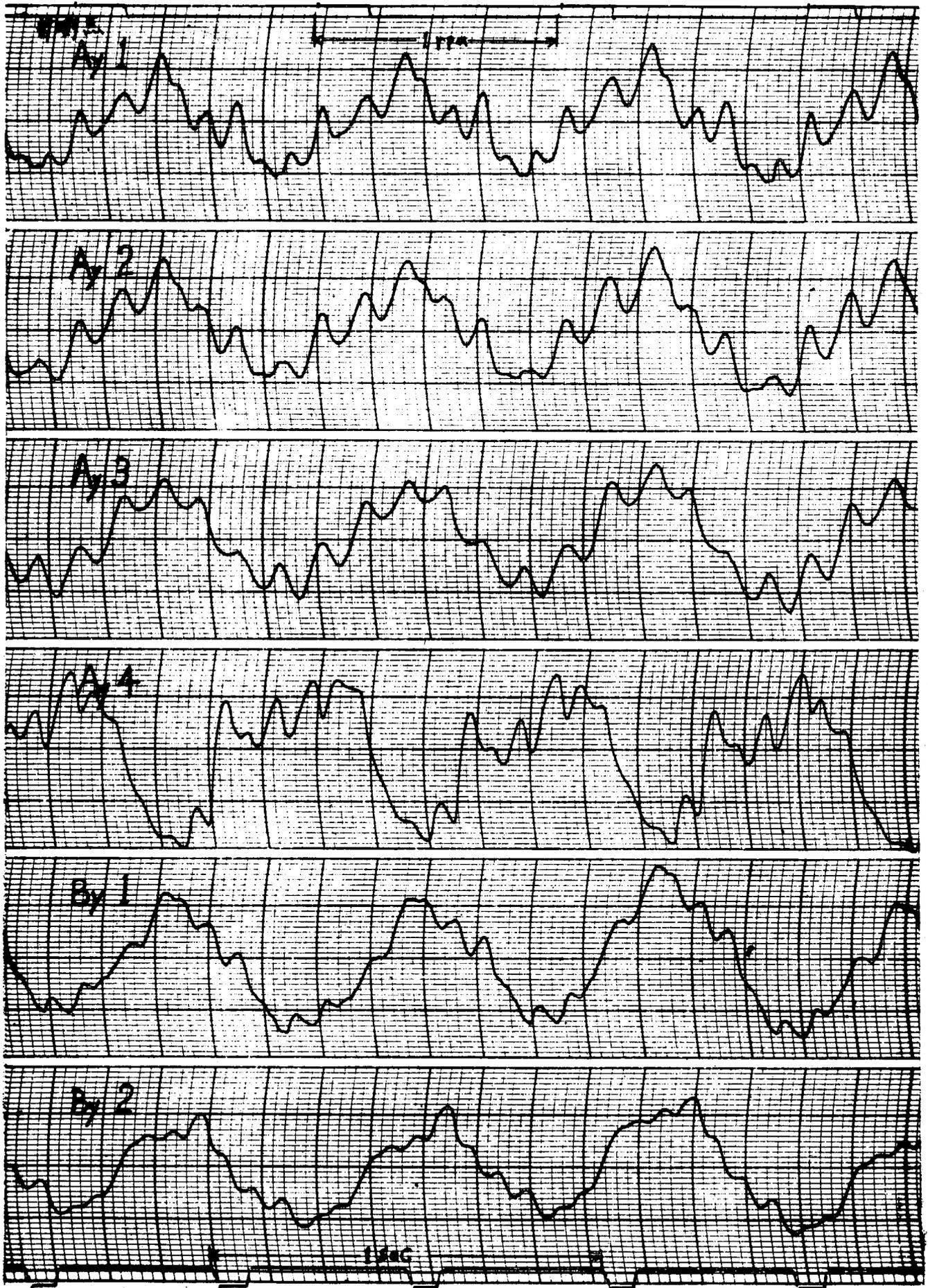
第 3.3.50 圖 機関振動振幅計測結果



第 3.3.51 圖 機関振動振幅計測結果



第 3.3.5 2 圖 振 動 波 形



第3.3.53圖 振動波形

3.3.3 測定結果について

陸上運転時に架構ねじり振動が4 5.3 rpm と9 0.5 rpm の2か所であらわれている。これは架構の非線型特性のため、9 次の2倍の高調波の強制力である1 8次が作用しているため、9 0.5 rpmの $\frac{1}{2}$ である4 5.3 rpm で共振状態となつたものである。ただし、海上運転時には、このような現象は見られなかつた。

曲げ振動については、陸上運転、海上運転時ともほぼ同程度の振動振幅であるが、ねじり振動については、海上運転時は、陸上運転時に比べてはるかに小さく振動スペクトラムに明確なピークがあらわれていない。

また、海上運転時の曲げ振動モードで二重底の振動振幅が大きい。船体の水平振動の測定結果においてもこの回転数で大きな振幅が記録されていることから見て、船体のなんらかの水平振動と連成していることが考えられる。振動スペクトラムに見られるように海上運転時には、陸上運転時に比べて非常に多くの回転数において振幅にピークがあらわれている。これらは船体、二重底その他の影響によるものであらうと考えられるが、おのおのについて、それがなにに起因するかを説明することはできない。しかし、船体上下振動測定結果と対比してみると、振動スペクトラムの中には明らかにこの影響によると考えられるものがある。すなわち第3.3.3 8図で、5 1 rpm, 1 0 0 rpmにおける振動は、おのおの船体上下2、3節振動、第3.3.3 9図で、7 0 rpm, 8 6 rpm, 1 0 1 rpmにおける振動は、おのおの船体上下4、5、6節振動によるものである。

また、明らかに二重底自身の固有振動と思われるものは見あたらなかつた。

陸上および海上運転時に測定されたエンジン架構の固有振動数を第3.3.3表に示す。

第3.3.3表 陸上運転、海上運転時の固有振動数比較

振 動 型	陸 上 運 転	海 上 運 転
H 型 振 動	4 2 6.0	3 8 4.0
X 型 振 動	8 1 4.5	8 0 1.0

上表に見られるように、固有振動数は陸上運転に対し曲げ振動が約1 0%、ねじり振動が約2%海上運転時のほうが小さくなつている。

海上運転では、一般的に基礎（二重底）の回転剛性が陸上運転の場合と比較して相当弱いため振動数が低下したものと考えられる。

軸系のねじり振動は、陸上運転では軸長が短いため、エンジンの中間でノードをもつ振動をし、測定結果では1 15 rpm × 9次（1 0 3 5 cpm）において、振動スペクトラムにピークがあらわれていて、ねじり振動が架構の横振動に影響を及ぼしていることは明らかである。ところが海上運転では軸長が長くなるため1節振動の場合、エンジンの部分ではすべて同位相となり、したがつて6次の起振力がねじり振動に作用するようになる。測定結果では7 0 rpm × 6次（4 2 0 cpm）であるが、架構の振動スペクトラムには全くあらわれていない。

第 4 章 理論研究および調査

4.1 機関架構の横振動についての一考察 (基礎の振動も考慮して)

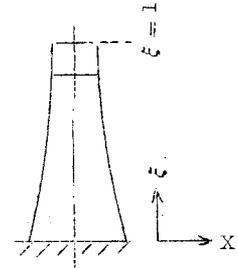
4.1.1 変えがき

機関架構の横振動の振動特性を把握するために、機関架構を集中質量系におきかえたモデルを考えて解析してみた。また機関を据付ける基礎は一般に静止してはいないので、基礎も横変位と重心まわりのローリングを行ないうるものとした。

4.1.2 振動系の設定

(1) 機関架構の集中質量系への変換

機関架構を長手方向にいくつか分割したもの1つ、たとえば1気筒分、を考えるとこれは一端固定他端自由の梁である。この梁は水平方向に首をふるとして、振動しているときは規準弾性曲線の形を保つたままとしているとし、その曲線を $f(\xi)$ とする。 $f(\xi)$ は、 $\xi=1$ で $f(1)=1$ となるようにとるものとする、各点の横変位 X は最上段での横変位 x によつて



第 4.1.1 図

$$X = x f(\xi) \quad \dots\dots\dots (4.1.1)$$

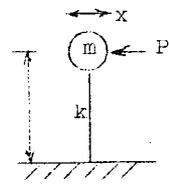
とあらわされる。このとき、運動エネルギー $K \cdot E$ およびポテンシャルエネルギー $P \cdot E$ は次のようにあらわされる。

$$\left. \begin{aligned} K \cdot E &= \frac{1}{2} \dot{x}^2 \int_0^1 \rho(\xi) f^2(\xi) d\xi = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 \\ P \cdot E &= \frac{1}{2} x^2 \int_0^1 EI(\xi) \cdot f''^2(\xi) d\xi = \frac{1}{2} k x^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

ここで $\rho(\xi)$ は ξ 断面の質量、 $EI(\xi)$ は ξ 断面の曲げ剛性であり

$$\left. \begin{aligned} m &= \int_0^1 \rho(\xi) f^2(\xi) d\xi \\ k &= \int_0^1 EI(\xi) f''^2(\xi) d\xi \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

である。 m 、 k を (4.1.3) 式のように定義すれば第 4.1.1 図は第 4.1.2 図に示すように、質量 m 、ばね定数 k をもつた 1 自由度の系となる。質量 m の横変位は最上段の横変位 x をあらわす。



第 4.1.2 図

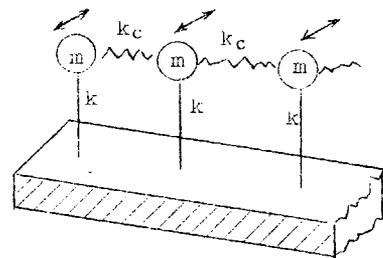
質量 m に働く外力としては、トルクの反作用を考える。基礎からみれば質量 m に PI なるモーメントが加わることになり、質量 m からみれば力 P が水平方向に加わっているものとする。

(2) シリンダ間の連成

1 自由度の系でおきかえた系は、機関架構の長手方向にバネ定数 k 、なるばねによつて連らなつていて、各質量は共通の基礎の上に乗っているものとする。したがつて系は第 4.1.3 図のようになる。

(3) 基礎の振動

ここでは基礎は剛体であるとする。基礎には機関架構の取り付け面を通してモーメント M とせん断力 F が働くものとし、基礎は横変位およびその重心まわりのローリングを行なうものとする。



第 4.1.3 図

復原力としては陸上運転の場合は地面から、回転角に比例した反力モーメントおよび横変位に比例した反力を受けるものとする。海上運転の

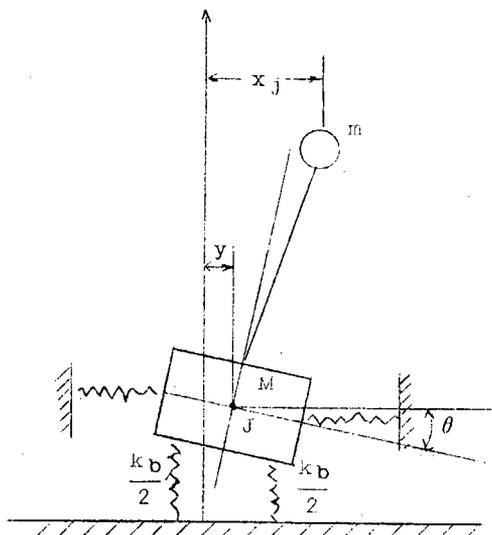
場合は二重底の等価なばねの反力を考えることにする。

4.1.3 振動系の解析

(1) 振動方程式

座標および記号を次のように定める。

- m_j : 架構の j 番目のブロックの集中化質量
- k_j : 架構の j 番目のブロックのばね定数
- k_{cj} : 架構のブロック間の結合ばね定数
- M : 基礎の質量
- J : 基礎の重心まわりの慣性モーメント
- k_τ : 基礎の横変位に対するばね定数
- k_b : 基礎のローリングに対するばね定数
- x_j : m_j の絶対横変位
- y : 基礎の絶対横変位
- θ : 基礎の重心まわりの回転角
- L : m_j から基礎の重心までの長さ



第 4.1.4 図

架構の上下方向、前後方向の振動は連成していないとし、また微小振動を考えると、系全体の運動エネルギー T およびポテンシャルエネルギー P は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n m_j \dot{x}_j^2 + \frac{1}{2} M \dot{y}^2 + \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 \\ P &= \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n k_j (x_j - y - L\theta)^2 + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n-1} k_{cj} (x_j - x_{j+1})^2 \\ &\quad + \frac{1}{2} k_\tau y^2 + \frac{1}{2} k_b \theta^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

ここでは k_τ による反力の作用線は基礎の重心を通るものとして k_τ による反力はモーメントをもたないものと仮定している。

振動モードをみるために、一応減衰のない場合を考えてみる。運動方程式は

$$\left. \begin{aligned} m_j \ddot{x}_j + k_j (x_j - y - L\theta) + k_{cj} (x_j - x_{j+1}) - k_{c(j-1)} (x_{j-1} - x_j) &= P_j(t) \\ &j = 1, 2, \dots, n \\ M \ddot{y} + k_\tau y - \sum_{j=1}^n k_j (x_j - y - L\theta) &= 0 \\ J \ddot{\theta} + k_b \theta - L \sum_{j=1}^n k_j (x_j - y - L\theta) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

となる。ただし $k_{c0} = k_{cn} = 0$ である。

ここで $P_j(t)$ は j 番目のブロックに働く力である。基礎が横変位しないでローリングだけのときは $y \equiv 0$ とおけばよい。絶対変位であらわせば (4.1.5) 式のように基礎と架構とは変位の間の連成となつている。 m_j の変位をあらわすのに、基礎の中心線からの相対変位

$$x_{rj} = x_j - y - L\theta \dots\dots\dots (4.1.6)$$

であらわせば、慣性連成のある式をうる。実際に計測されるのは、絶対変位のほうであるので、ここでは (4.1.5) 式によつて考える。

(2) 自由振動と振動モード

解析を簡単にするために機関架構を 3 ブロックに分割した場合を考える。また、各ブロックの質量 m_j 、ばね定数

k_j および結合のばね定数 k_{c_j} はおのおの等しいとして対称な場合を考える。

$$m_1 = m_2 = m_3 = m, \quad k_1 = k_2 = k_3 = k, \quad k_{c_1} = k_{c_2} = k_{c_3} = k_c$$

とおき、次の記号を定める。

$$\left. \begin{aligned} \omega_1^2 &= \frac{k}{m}, & \omega_2^2 &= \frac{k_c}{m}, & \omega_\tau^2 &= \frac{k_\tau}{M}, & \omega_\beta^2 &= \frac{k_\beta}{J} \\ \mu &= \frac{m}{M}, & \sigma &= \frac{mL^2}{J} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

(4.1.5) 式は次のように書ける。

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_1 + (\omega_1^2 + \omega_2^2) x_1 - \omega_2^2 x_2 - \omega_1^2 (y + L\theta) &= \frac{1}{m} P_1(\tau) \\ \ddot{x}_2 + (\omega_1^2 + 2\omega_2^2) x_2 - \omega_2^2 (x_1 + x_3) - \omega_1^2 (y + L\theta) &= \frac{1}{m} P_2(\tau) \\ \ddot{x}_3 + (\omega_1^2 + \omega_2^2) x_3 - \omega_2^2 x_2 - \omega_1^2 (y + L\theta) &= \frac{1}{m} P_3(\tau) \\ \ddot{y} + (\omega_\tau^2 + 3\mu\omega_1^2) y + 3\mu\omega_1^2 L\theta - \mu\omega_1^2 (x_1 + x_2 + x_3) &= 0 \\ L\ddot{\theta} + (\omega_\beta^2 + 3\sigma\omega_1^2) L\theta + 3\sigma\omega_1^2 y - \sigma\omega_1^2 (x_1 + x_2 + x_3) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

$P_1(\tau) = P_2(\tau) = P_3(\tau) = 0$ として自由振動を考える。

いま

$$\left. \begin{aligned} x_1 - x_2 &= z_1 \\ x_2 - x_3 &= z_2 \\ x_1 + x_2 + x_3 &= z_3 \\ y &= z_4 \\ L\theta &= z_5 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

とおくと (4.1.8) は

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_1 + (\omega_1^2 + 2\omega_2^2) z_1 - \omega_2^2 z_2 &= 0 \\ \ddot{z}_2 + (\omega_1^2 + 2\omega_2^2) z_2 - \omega_2^2 z_1 &= 0 \\ \ddot{z}_3 + \omega_1^2 z_3 - 3\omega_1^2 (z_4 + z_5) &= 0 \\ \ddot{z}_4 + (\omega_\tau^2 + 3\mu\omega_1^2) z_4 + 3\mu\omega_1^2 z_5 - \mu\omega_1^2 z_3 &= 0 \\ \ddot{z}_5 + (\omega_\beta^2 + 3\sigma\omega_1^2) z_5 + 3\sigma\omega_1^2 z_4 - \sigma\omega_1^2 z_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_3 + \omega_1^2 z_3 - 3\omega_1^2 (z_4 + z_5) &= 0 \\ \ddot{z}_4 + (\omega_\tau^2 + 3\mu\omega_1^2) z_4 + 3\mu\omega_1^2 z_5 - \mu\omega_1^2 z_3 &= 0 \\ \ddot{z}_5 + (\omega_\beta^2 + 3\sigma\omega_1^2) z_5 + 3\sigma\omega_1^2 z_4 - \sigma\omega_1^2 z_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

のように2つに分れる。

(4.1.10) 式は基礎に関係しない各架構ブロック間の相互振動をあらわし、(4.1.11) 式は架構全体が同位相で振動し基礎と連成した振動系をあらわす。

(1) 架構自身の振動

(4.1.11) 式より自由振動の固有振動数を求めると

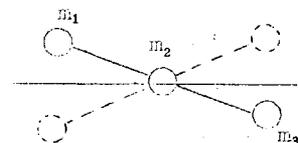
$$\left. \begin{aligned} \lambda_1^2 &= \omega_1^2 + \omega_2^2 \\ \lambda_2^2 &= \omega_1^2 + 3\omega_2^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

をうる。

λ_1 の振動数に対しては $z_1 : z_2 = 1$ となり、また x_1, x_2, x_3 であらわすと、

$$x_1 : x_2 : x_3 = 1 : 0 : -1$$

となり、いわゆる X 型の振動モードを与える。



第 4.1.5 図

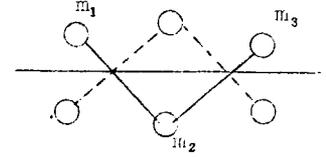
λ_2 の振動数に対しては $z_1 : z_2 = -1$ となり、また x_1, x_2, x_3 であらわすと

$$x_1 : x_2 : x_3 = 1 : -2 : 1$$

となり、いわゆる2節振動または α 型の振動モードを与える。

すなわち基礎が剛体で変形しないときは、X型および α 型の固有振動数は基礎の影響を受けず架構だけの質量とばね定数だけで定まる。この場合は架構の

各ブロックはすべて対称であるとしたので $x_1 + x_2 + x_3 = 0$ となる。架構自身がX型、 α 型の振動としていても $x_1 + x_2 + x_3 = 0$ となる場合は、基礎が剛で水平面内で鉛直軸まわりに回転しえないときは、基礎は振動しない。



第4.1.6図

ii) 架構全体の曲げ振動

(4.1.1 1) 式は架構の各ブロックが同位相で全体として一緒に振動する場合の振動をあらわす。この場合の振動数方程式は

$$(\omega_1^2 - \lambda^2)(\omega_b^2 - \lambda^2)(\omega_\tau^2 - \lambda^2) + \frac{3\omega_1^2}{\mu + \sigma} \lambda^2 \left(\lambda^2 - \frac{\sigma\omega_\tau^2 + \mu\omega_b^2}{\sigma + \mu} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (4.1.1 3)$$

となる。この式の根を小さいほうから $\lambda_3, \lambda_4, \lambda_5$ とすると、根は

$$\left. \begin{aligned} f_1(\lambda^2) &= (\lambda^2 - \omega_1^2)(\lambda^2 - \omega_b^2)(\lambda^2 - \omega_\tau^2) \\ f_2(\lambda^2) &= \frac{3\omega_1^2}{\mu + \sigma} \lambda^2 \left(\lambda^2 - \frac{\sigma\omega_\tau^2 + \mu\omega_b^2}{\sigma + \mu} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.1.1 4)$$

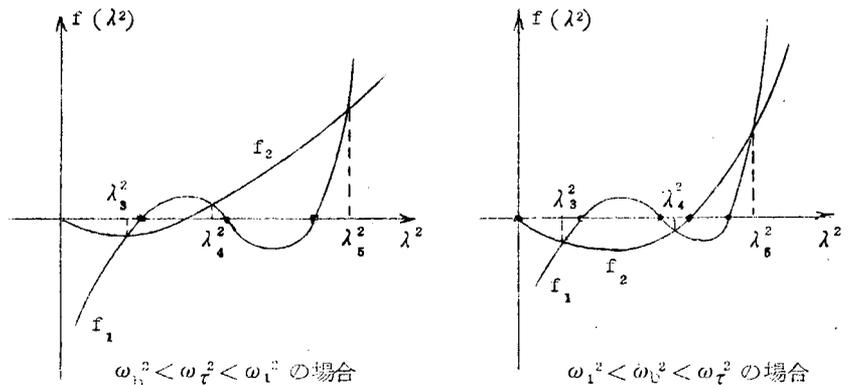
なる2つの曲線の交点として与えられる。 $\lambda^2 = \frac{\sigma\omega_\tau^2 + \mu\omega_b^2}{\sigma + \mu}$ は $\omega_1^2, \omega_b^2, \omega_\tau^2$ のうち最小のものより大きく、最大のものより小さい。

そして3つの交点が必ず存在する。

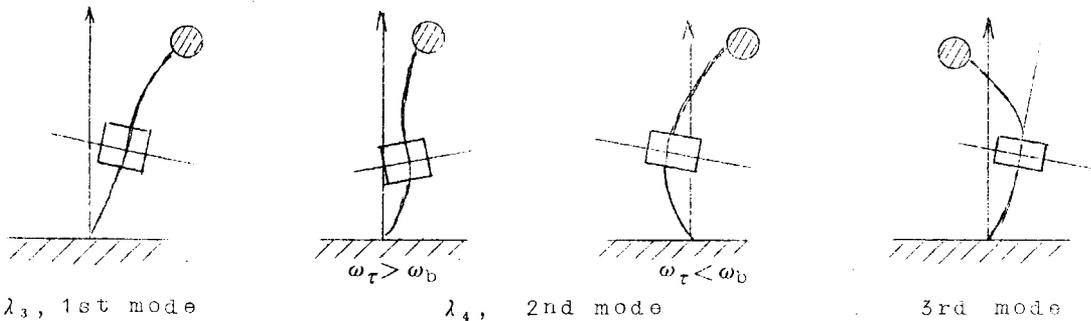
λ_3 は $\omega_1, \omega_b, \omega_\tau$ のうちの最小のものより小さく、 λ_5 は、最大のものより大きくなる。

振動モードは次のようになる。

λ	λ_3	λ_4	λ_5
		$\omega_\tau > \omega_b$	$\omega_\tau < \omega_b$
z_3	+	+	+
z_4	+	+	-
z_5	+	-	+



第4.1.7図



第4.1.8図 振動モード

以上から機関架構の横振動は、架構相互間の相互振動（X型、x型）と架構が同位相で基礎と連成して起る振動との和としてあらわされることがわかる。同位相の振動では基礎の弾性により一体振動の固有振動数は必ず低下することがわかる。

4.1.4 強制振動のアナログ計算機による解

(1) 入力（強制力）の模擬

機関架構の横振動を起す力としてはガスの爆発圧力が一番大きいのでガス圧をとることとする。ガス圧はクランク角に応じ各シリンダごとに位相が異なる。

いま仮に2サイクル9シリンダの場合を考えてみる。1, 2, 3シリンダ、4, 5, 6シリンダ、7, 8, 9シリンダのように3つのブロックに分けると、

各ブロックは1回転に3回ずつの力を受ける。

着火順序が1-6-7-3-4-9-

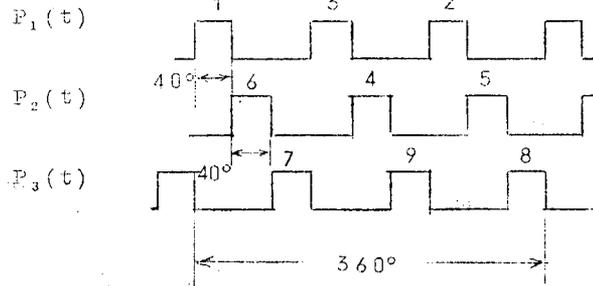
2-5-8の場合は、各ブロックは40°

ずつ位相の異なるつたガス圧を3回ずつ受け

る。ガス圧力を矩形波で近似することにする。

対称な矩形波では奇数次の調波成分しか含まれないので、多くの調波成分を含ませるために第4.1.9図の波形を $P_1, P_2,$

P_3 なる入力として用いた。



第4.1.9図 入力波形

この場合1つの矩形波は1つの矩形波の周期を基本として1, 2, 4, 5, 7, 8, のように3の倍数を除いた調波成分が含まれる。3つの矩形波を360°としてクランク軸1回転とすれば、これらはクランク1回転を周期として、3, 6, 12 …… 次の成分となる。

(2) アナログ解

アナログ計算機に入れるために(4.1.8)式を次のように書きかえる。

$\omega_1 t = \tau$ とすると、(4.1.8)式は

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + 2\zeta_1 \dot{x}_1 + \left(1 + \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}\right) x_1 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} x_2 - (x_4 + x_5) &= P_1\left(\frac{\tau}{\omega_1}\right) \\ \ddot{x}_2 + 2\zeta_2 \dot{x}_2 + \left(1 + 2\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}\right) x_2 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} (x_2 + x_3) - (x_4 + x_5) &= P_2\left(\frac{\tau}{\omega_1}\right) \\ \ddot{x}_3 + 2\zeta_3 \dot{x}_3 + \left(1 + \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2}\right) x_3 - \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} x_2 - (x_4 + x_5) &= P_3\left(\frac{\tau}{\omega_1}\right) \\ \ddot{x}_4 + 2\zeta_4 \dot{x}_4 + \left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} + 3\mu\right) x_4 + 3\mu x_5 - \mu(x_1 + x_2 + x_3) &= 0 \\ \ddot{x}_5 + 2\zeta_5 \dot{x}_5 + \left(\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} + 3\sigma\right) x_5 + 3\sigma x_4 - \sigma(x_1 + x_2 + x_3) &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.1.15)$$

となる。ここで

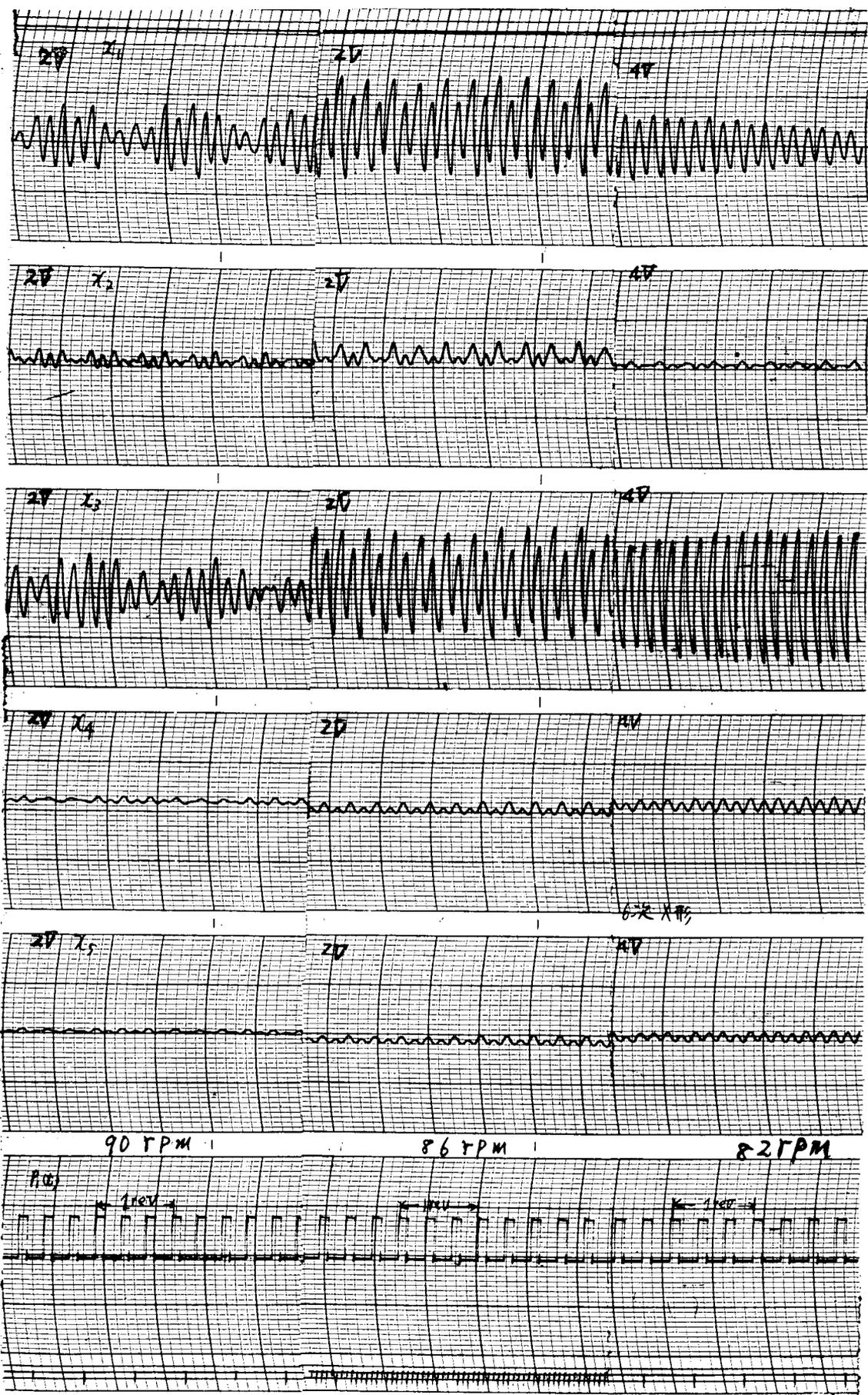
$$x_4 = y, \quad x_5 = L\theta$$

であり、ダンピングは絶対速度に比例するもの考えた。計算に当たっては、

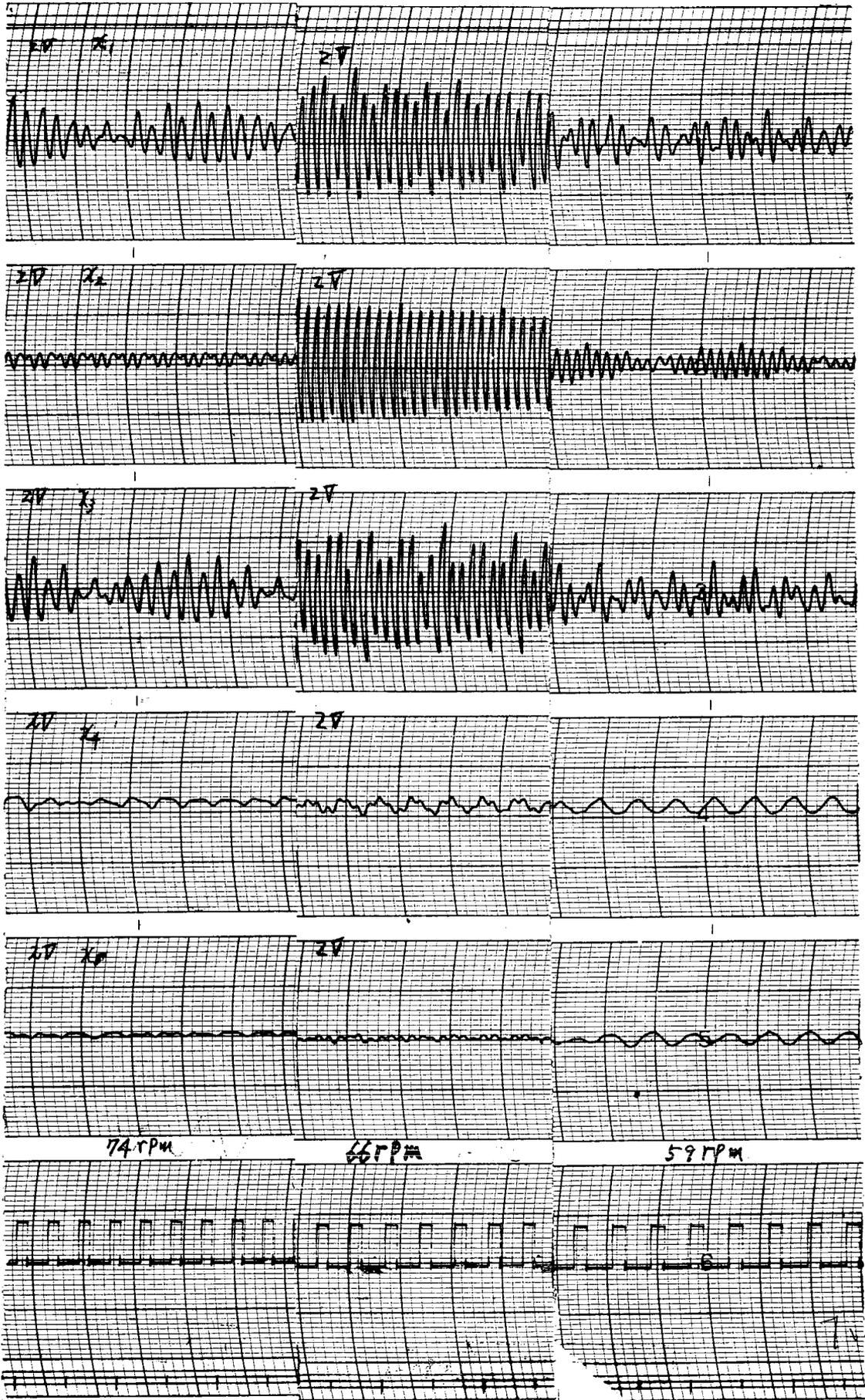
$$\frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = 4, \quad \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = 0.8, \quad \frac{\omega_2^2}{\omega_1^2} = 0.5, \quad \mu = 0.1, \quad \sigma = 0.1, \quad \zeta_1 = \zeta_2 = \zeta_3 = 0.01, \quad \zeta_4 = \zeta_5 = 0.1$$

とした。X型の固有振動数が480 rpmとなるようにした。

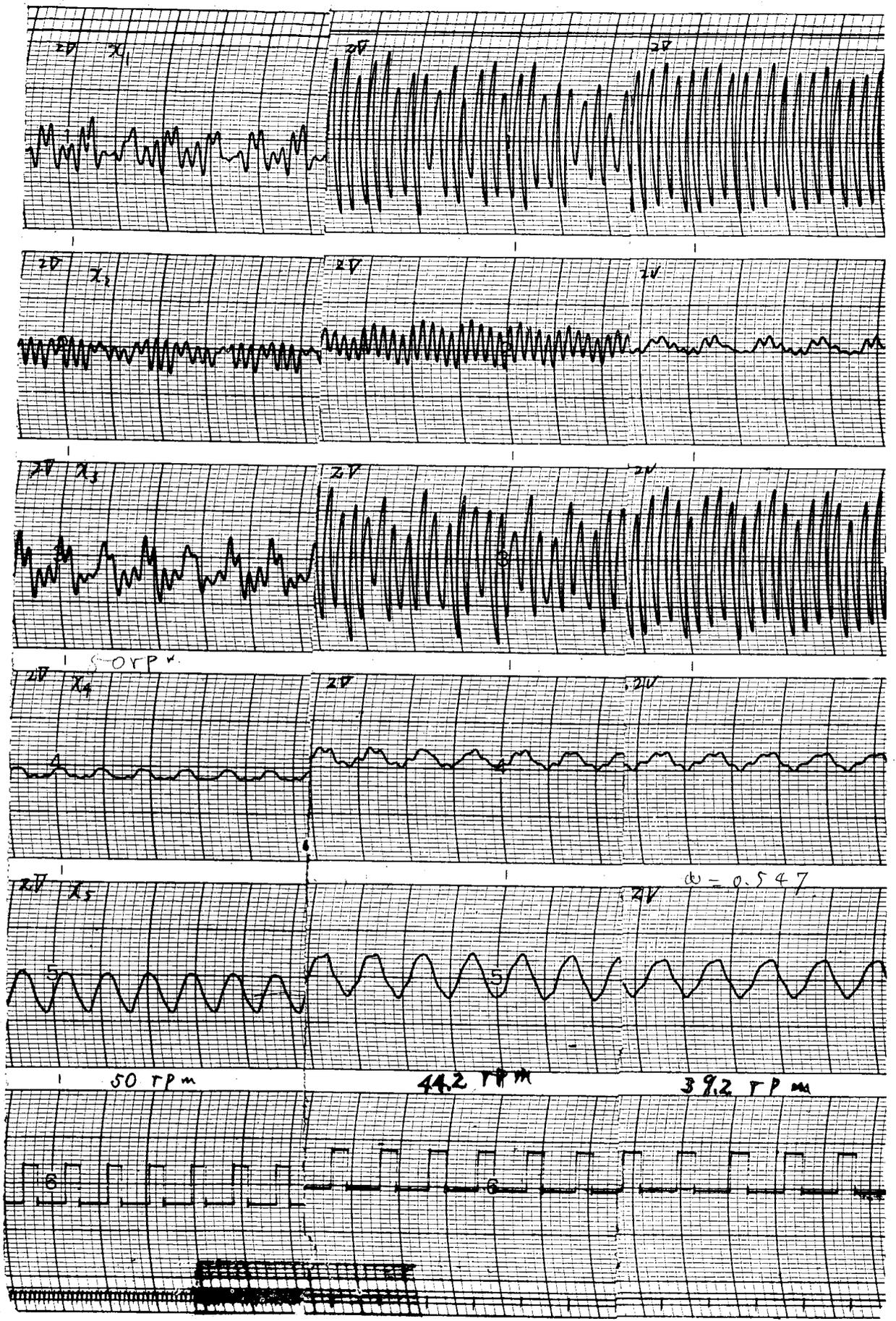
クランク回転数 90~40 rpm に対応する応答を第4.1.10~4.1.12図に示す。



第 4.1.1 0 图



第 4.1.11 图



第 4.1.1 2 图

(3) 結 言

以上のことから次のことがわかった。

- a) アナログ計算機と実測データとは入力成分が実際のものとは異なるので同じ波形にはならないが、入力に含まれる調和成分が系の固有振動数に一致したところで共振が起り、共振点は忠実にあらわれる。
- b) $x_1 + x_2 + x_3$ なる和の成分の振動が基礎の固有振動数に近くなれば基礎は大きくゆれる、 x_1, x_2, x_3 がいかに大きくてもその和が小さいときは基礎はあまりゆれない（6次の共振点近く）。
- c) 3ブロックの近似ではあるが、架構の横振動の振動特性は定性的にはよく示され、X型、Y型の振動まで模擬しうるということがわかった。
- d) 入力の波形を実際のものに近づけると、かなり実際のものに近づくものと思われる。
- e) 機関架構のモデル化および船体に据付けた場合に、基礎および船体との連成などをいかにモデル化したらよいかということについては、昭和42年度にさらに研究を進める予定である。

4.2 デジタルデータ処理方法の応用 — 調和解析 —

4.2.1 まえがき

ディーゼル機関に発生するような振動は明らかにフーリエ級数

$$f(\omega t) = a_0 + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + a_3 \cos 3\omega t + \dots$$

$$+ b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t + b_3 \sin 3\omega t + \dots$$

であらわすことができ、すなわち、角振動数 $\omega, 2\omega, 3\omega, \dots$ を持つ調和振動に分解することができる。

ここで係数 a_0, a_k, b_k は、項数に無関係に決定でき

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos k\omega t d(\omega t)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin k\omega t d(\omega t)$$

} (4.2.1)

ただし、 $k = 1, 2, \dots, n$

となる。この係数を求める操作を調和解析と呼ぶわけであるが、数値計算するには、(4.2.1)式のままではできないので、 $0 \sim 2\pi$ を $2n$ 等分し、各分割点の $f(\omega t)$ を読み取るとして (4.2.1) 式の積分の代わりに

$$a_0 \approx \frac{1}{2n} \sum_{m=1}^{2n} f\left(\frac{m\pi}{n}\right)$$

$$a_k \approx \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{2n} f\left(\frac{m\pi}{n}\right) \cos \frac{km\pi}{n}$$

$$b_k \approx \frac{1}{n} \sum_{m=1}^{2n} f\left(\frac{m\pi}{n}\right) \sin \frac{km\pi}{n}$$

} (4.2.2)

$k = 1, 2, \dots, n$

なる式を用いて行なう。この計算は、各分割点の $f\left(\frac{m\pi}{n}\right)$ さえ与えられれば、デジタル電子計算機の利用によりきわめて容易に算出できるので、結局、調和解析を行なう上で問題になるのは、計算機にかけるまでの操作である。この操作を分析すれば

- a) 波形の記録
- b) 波形のトレースおよび等分割
- c) $f\left(\frac{m\pi}{n}\right)$ の読み取り

d) データシートへの書き込み

からなる。これは、これまでディーゼル機関のねじり振動あるいは縦振動等の調和解析を行なうのに用いてきた手順で、電磁オシログラフに記録し、これをトレーシングペーパーにトレースし、等分割して各分割点の $f(\frac{m\pi}{n})$ を読み取り計算機用のデータシートに書き込むという操作で、b) から d) までの操作はいずれも分割数を多くとつた場合、あるいはデータ数が多い場合には大変な労力と時間を要し、しかも、b) および c) の操作では人為的誤差を生じるおそれがある。このことが、これまで十分密度の高い波形解析を困難にしていた理由でもある。

そこで、これらの問題の解決策としてデジタルデータ集録装置の利用を考えた。

すなわち、a) で現象波形が電圧波形として記録されてさえいれば、b) に対しては、サンプリングなる操作、c) に対しては A-D 変換なる操作、d) に対しては紙テープへのさん孔なる操作が応用できる。

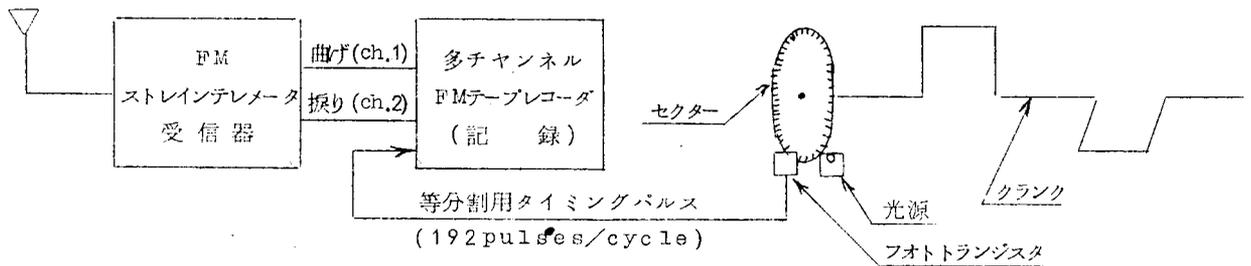
この手法の採用により、現象記録から調和解析までの過程が、ほとんど人手を要せず高速かつ容易に行なえるようになったので、以下に実例をあげて紹介する。

応用例は、三井 B & W 884VT2BF-180 型機関に対する陸上運転時のクランクピンナみ内部の曲げおよびねじり応力の解析である。

4.2.2 論理構成および動作説明

現象波形の記録から電子計算機へのデータ読み込みまでの論理構成は、大きく分けて 4 ブロックからなる。

(1) 現象および等分割用タイミングパルスの磁気テープレコーダへの同時記録



第 4.2.1 図

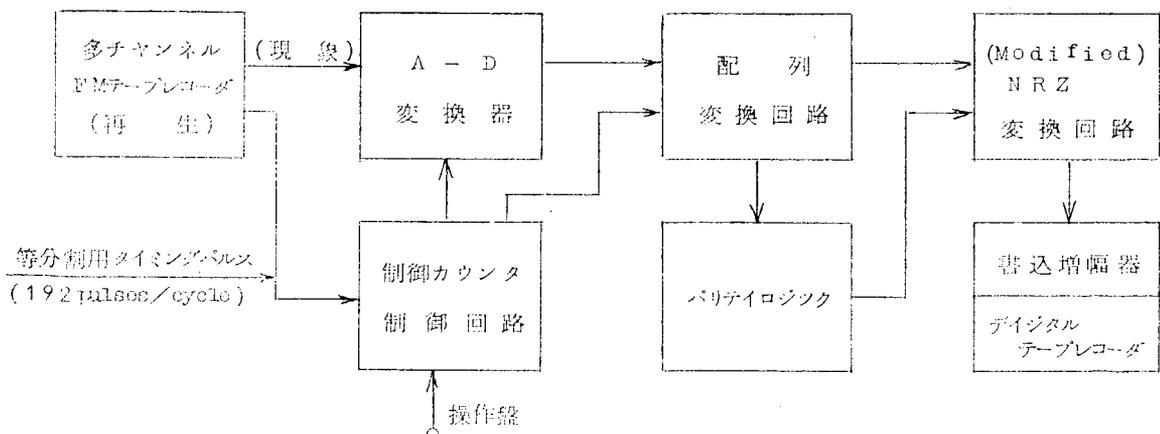
第 4.2.1 図に示したごとく、まず、現象（ひずみ測定器の出力）および等分割用タイミングパルスを多チャンネル磁気テープレコーダに同時記録する。多チャンネル磁気テープレコーダは DC から記録可能なもの (FM 式)。

等分割用タイミングパルスは、クランク軸軸端に取り付けたセクターから光電式に発生させる。

パルス数は A-D 変換器等の制御上、分割数 (サンプリング数) の 4 倍を必要とする。

本計測の場合には、分割数を 48 に選んだので、1 回転に 192 個のパルスを発生させている。

(2) サンプリング、A-D 変換およびデジタルテープレコーダへの高速記録



第 4.2.2 図

(1)で記録された現象および等分割用タイミングパルスを再生し、現象波形は直接A-D変換器の入力に、等分割用タイミングパルスはひとまず制御回路を通つて、1サイクル48個のサンプリングパルスとして成形された後にA-D変換器に制御用として印加され、ここでサンプリングなる操作およびA-D変換なる操作が施される。

すなわち、時間的に連続な現象波形は、サンプリングパルスのタイミングに従つて離散的なパルス振幅に変換され、さらに各パルス振幅は、振幅、極性に応じて、正負符号および2進10進3桁のデジタル符号に変換される。

次に、配列変換回路に送られて使用電子計算機(OKITA C-5090)のコードに変換され、パリティロジックで、パリティビットが挿入される。しかる後に、NRZ変換回路および書き込み増幅器で書き込み用の操作が施されて、デジタルテープレコーダに記録される。

(3) デジタルテープレコーダから紙テープへのさん孔

(2)で記録されたデジタルテープレコーダの内容を、そのまま紙テープにさん孔する。

本計測では、1サイクルを48分割しているので、任意に48個データを打ち出せば、これは、数10サイクル連続して記録されている現象のうちの任意のサイクルの $f(\frac{in\pi}{n})$ の読み取り値、すなわち、 $f(\frac{2\pi}{48}) \sim f(2\pi)$ のものである。

(4) さん孔紙テープから計算機入力カードに変換

(3)でできた紙テープをコンバータ(テープリーダー)にかけて、紙テープの内容をカードに変換し、これをデータカードとし、別に作ったタイトル用カードと合わせて電子計算機にかけて調和解析を行なう。

4.2.3 実 例

(1) 題 名 クランクピンすみ肉部の曲げおよびねじり応力の解析

(2) 供試機関 884VT2BFP-180

(要 目)

シリンダ数	8
シリンダ径	840 mm
行 程	1,800 mm
定格回転数	114 rpm
定格出力	18.400 BHP (連続最大)
クランクピン外(内)径	680 (260) mm
ジャーナル外(内)径	680 (260) mm
すみ肉半径	6 mm
腕 厚	350 mm
腕 幅	1,440 mm
着火順序	1-8-3-4-7-2-5-6

(3) 計測箇所 No.5, No.7 クランクピン内側すみ肉部(船尾側)

(4) 運転条件 陸上運転、無負荷およびプロペラ法則
50 rpm より、3~5回転ピッチで回転上昇

(5) 使用測定器

FMストレインテレメータ	(ブリモ) ST-410型(2ch)
電磁オシログラフ	(共和) MA型
磁気テープレコーダ	(ソニー) 通倍用FMテープレコーダ
A-D変換器	} (岩崎) DATA C-1000
制御回路	
デジタルテープレコーダ	
さん孔機	
直流増幅器	
その他付属回路	

(6) 解析例

No Load 95 rpm 時の解析例を以下にあげる。

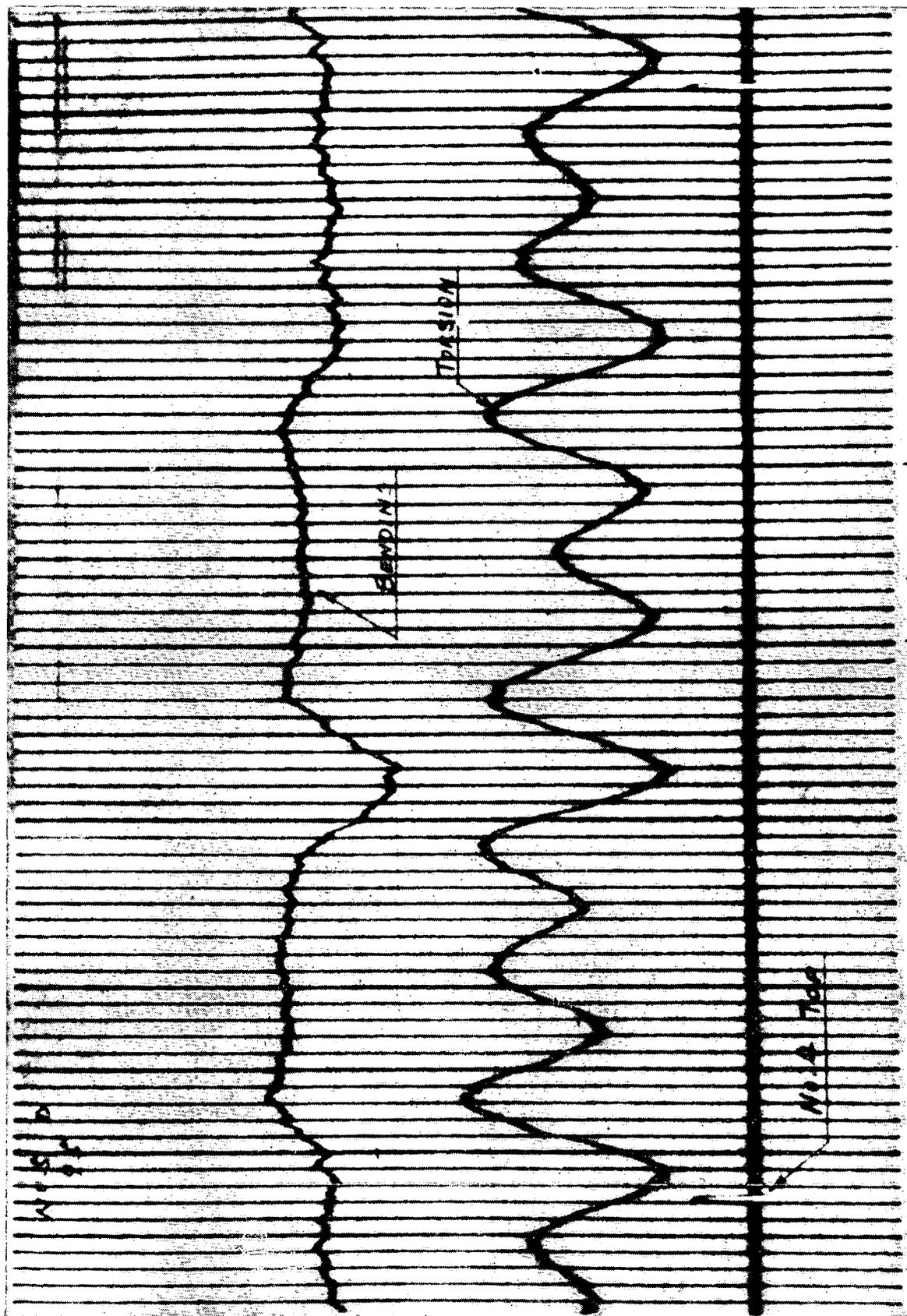
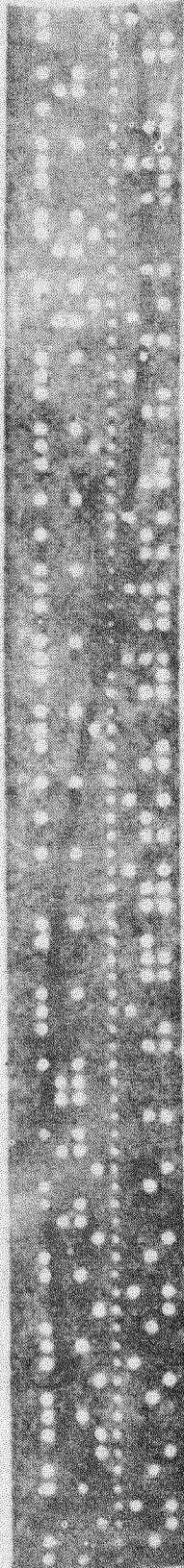
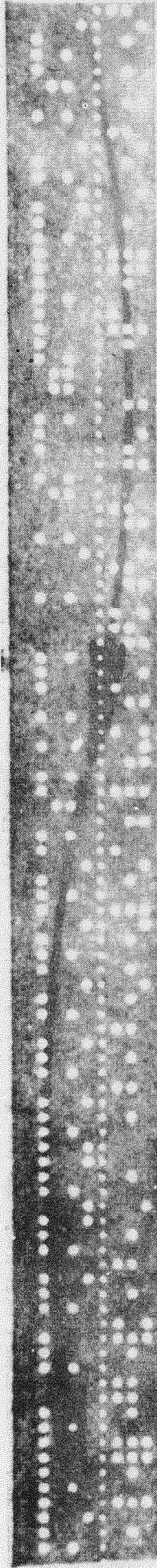
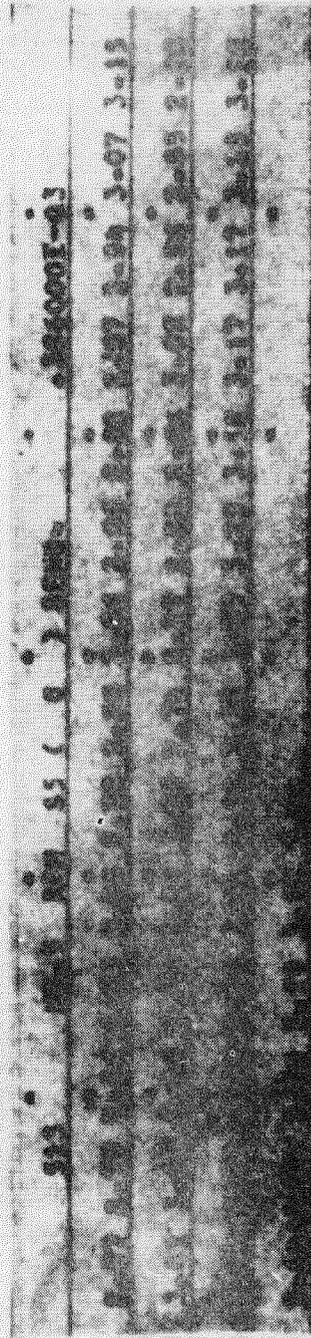


图 4.2.3

曲げ (95 rpm , No Load) 1 サイクル 48 データ



Y-9カ-ド内層

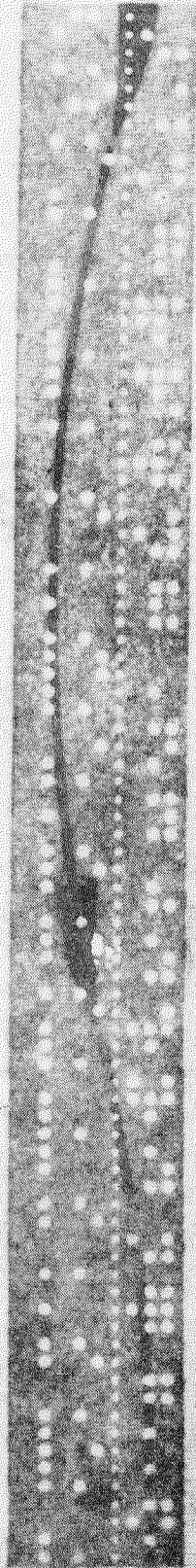
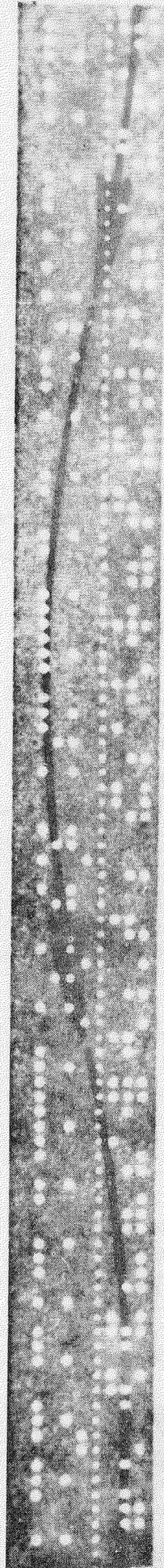


符号構成

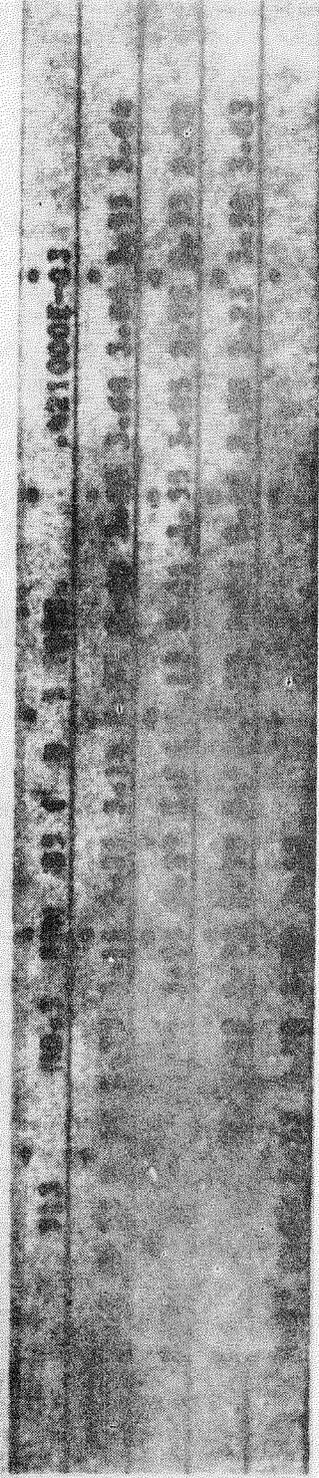
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	+	-	F	D	6	4
7	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
6	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

第 4.2.4 図 さん孔テープ

ねじり (95rpm, No Load)



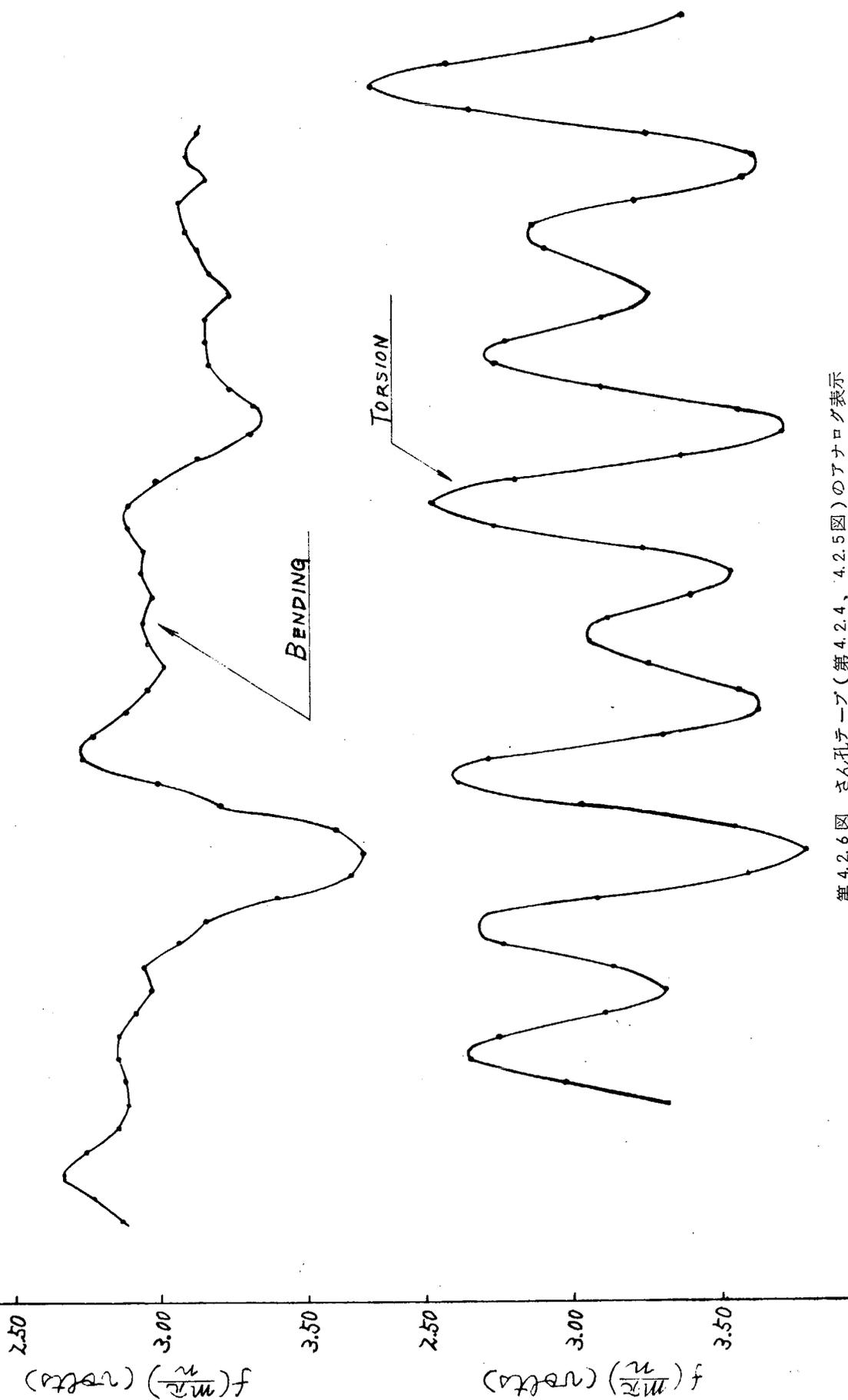
7-70-1 内景



第 4.2.5 図 さん孔カーブ

分割表 (1サイクル 48等分割)

48 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 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 / 2 3 4 5



第 4.2.6 図 さん孔テープ (第 4.2.4、4.2.5 図) のアナログ表示

HARMONIC ANALYSIS

DATA NO. 13 DATA NAME 513 NO.5 RPM 95 (0) BEND.

MULTIPLIER R = .586000E-03

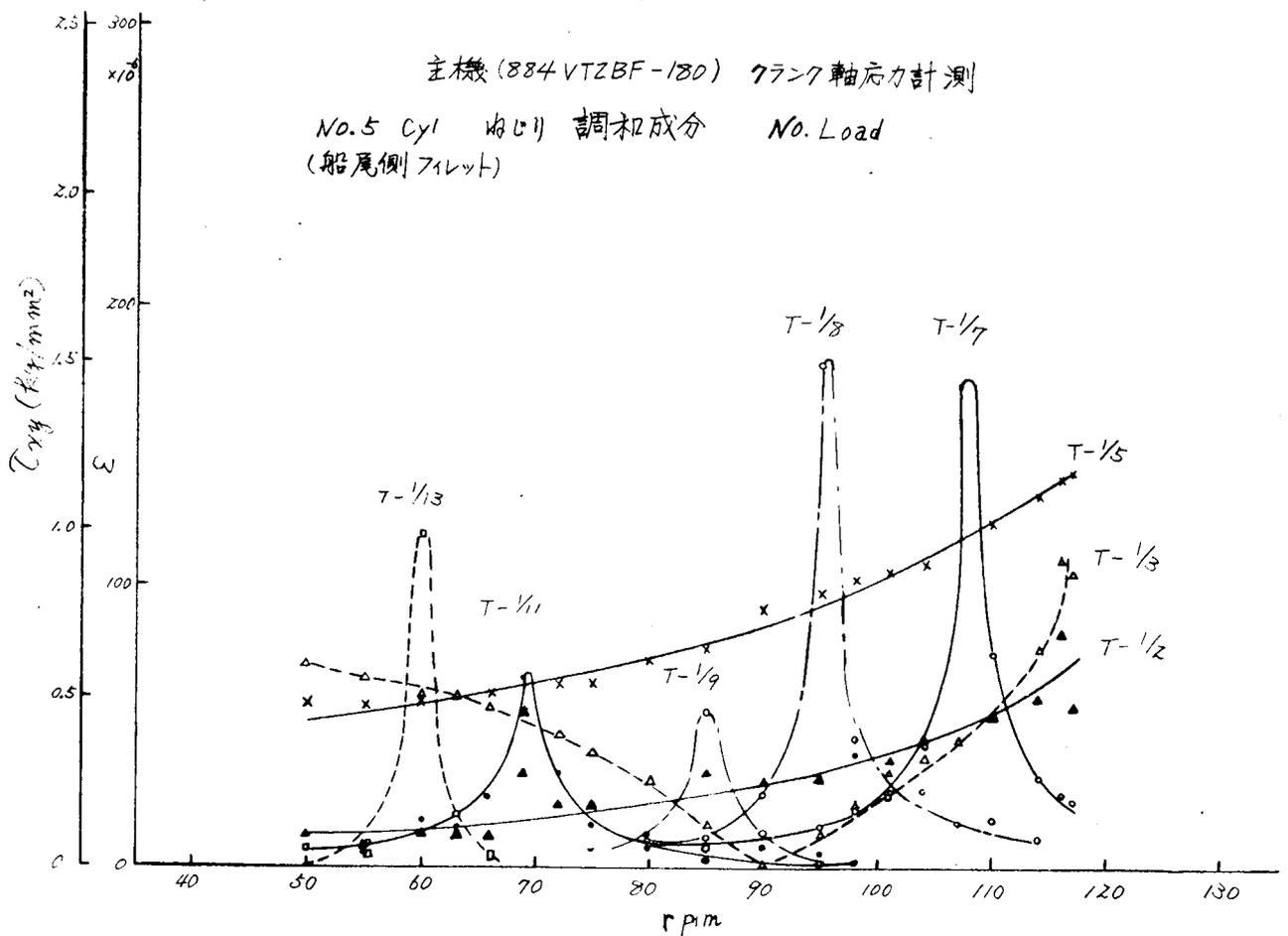
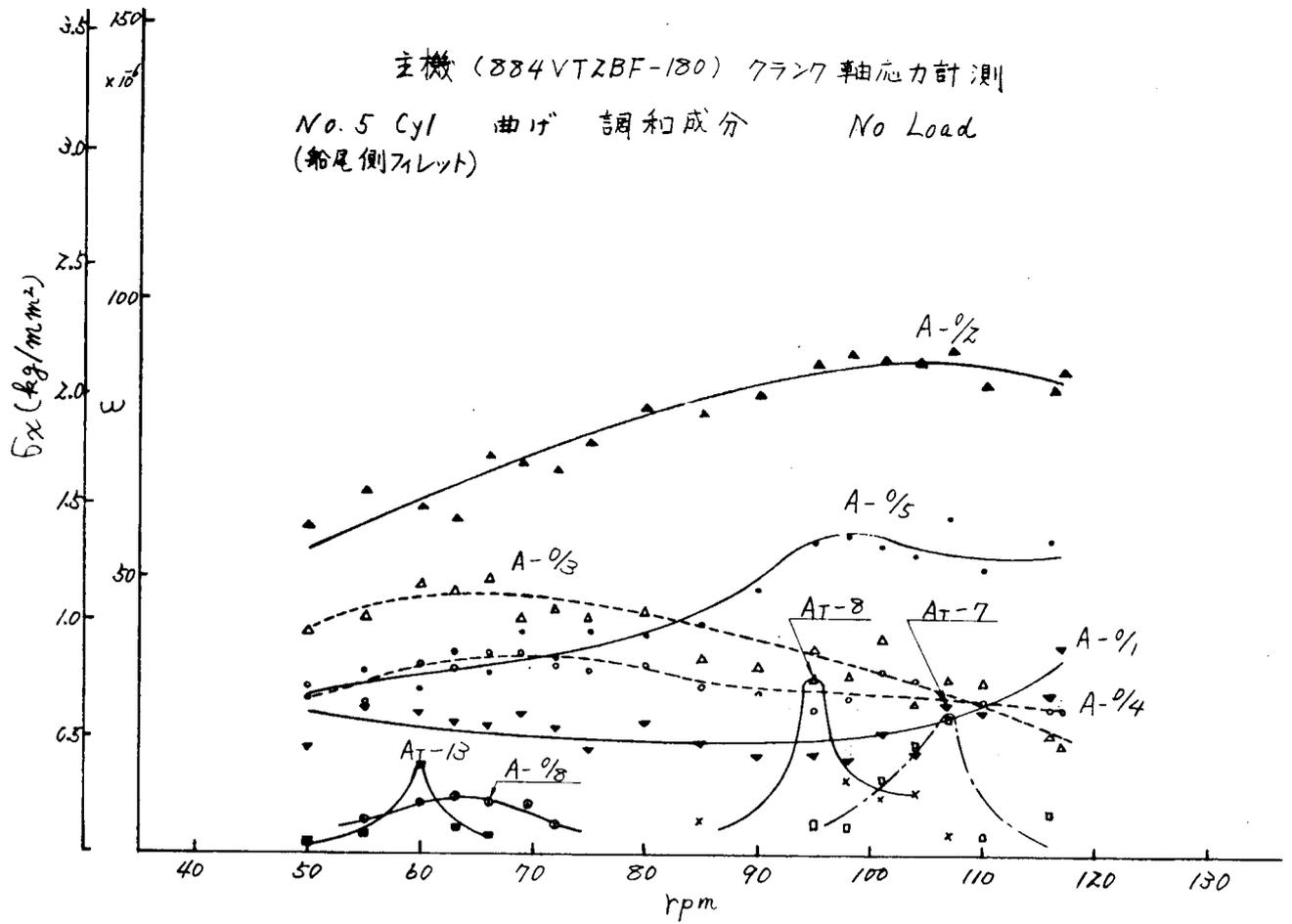
ORDER	SIN COMP.	COS COMP.	AMPLITUDE	PHASE(DEG)	DIAGRAM AMP.
1	.000000E-50	.117971E-02	.117971E-02	270.00	3.05
2	-.116220E-04	-.136378E-04	.179181E-04	229.56	.04
3	-.764399E-04	-.443959E-04	.883972E-04	210.14	.22
4	-.205738E-06	.369166E-04	.369172E-04	90.31	.09
5	.231307E-04	-.117261E-04	.259332E-04	333.11	.06
6	-.565370E-04	.549128E-06	.565396E-04	179.44	.14
7	.147905E-04	.188342E-04	.239476E-04	51.85	.06
8	.240623E-06	-.538563E-05	.539100E-05	272.55	.01
9	-.183857E-04	.255724E-04	.314958E-04	125.71	.08
10	-.113737E-05	.129190E-05	.172122E-05	131.36	.00
11	.223903E-05	.453553E-06	.228451E-05	11.45	.00
12	.190234E-05	.103408E-05	.216524E-05	28.52	.00
13	.482503E-06	.176916E-05	.183377E-05	74.74	.00
14	.315804E-06	-.153271E-05	.156491E-05	281.64	.00
15	.638550E-06	.126858E-05	.142023E-05	63.28	.00
16	.130271E-05	.120892E-05	.177723E-05	42.86	.00
17	-.557138E-06	-.482503E-06	.737030E-06	220.89	.00
18	-.175022E-05	-.503370E-07	.175094E-05	181.64	.00
19	-.611619E-08	-.499238E-06	.499276E-06	269.29	.00
20	.265641E-05	.754017E-05	.799441E-05	70.59	.02
21	.195928E-05	-.114017E-05	.226704E-05	329.79	.00
22	-.355563E-05	.561580E-05	.664679E-05	122.33	.01
23	.107384E-05	.600378E-05	.609906E-05	79.85	.01
24	-.105283E-05	.118977E-05	.158871E-05	131.50	.00
25	.261222E-10	.385999E-05	.385999E-05	89.99	.00

HARMONIC ANALYSIS

DATA NO. 13 DATA NAME 613 NO.5 RPM 95 (0) TOURS.
 MULTIPLIER R = .421000E-03

ORDER	SIN COMP.	COS COMP.	AMPLITUDE	PHASE(DEG)	DIAGRAM AMP.
1	.000000E-50	.131466E-02	.131466E-02	270.00	3.12
2	.130528E-04	-.431793E-04	.451091E-04	286.81	.10
3	-.226356E-04	-.227157E-04	.320682E-04	225.10	.07
4	-.109303E-05	-.119736E-04	.120234E-04	264.78	.02
5	-.704938E-05	-.123383E-04	.142101E-04	240.25	.03
6	.920082E-04	.306874E-04	.969909E-04	18.44	.23
7	.709663E-05	.772563E-05	.104903E-04	47.42	.02
8	-.124889E-04	.525300E-05	.135487E-04	157.18	.03
9	.896299E-05	.179188E-03	.179412E-03	87.13	.42
10	-.527089E-06	-.463876E-05	.466861E-05	263.51	.01
11	.456948E-05	-.138366E-05	.477437E-05	343.15	.01
12	.121102E-05	.553106E-06	.133135E-05	24.54	.00
13	.701670E-06	-.403458E-05	.409514E-05	279.86	.00
14	-.809266E-05	-.391830E-05	.899134E-05	205.83	.02
15	.977268E-06	.318729E-05	.333375E-05	72.95	.00
16	.106412E-05	-.450054E-05	.462464E-05	283.30	.01
17	-.349404E-05	-.324521E-05	.476862E-05	222.88	.01
18	.119317E-05	-.164331E-05	.203080E-05	305.98	.00
19	.183413E-05	-.708969E-06	.196638E-05	338.86	.00
20	-.164928E-05	.150450E-05	.223240E-05	137.62	.00
21	-.668941E-06	.163789E-05	.176922E-05	112.21	.00
22	-.203473E-06	-.638721E-06	.670348E-06	252.32	.00
23	-.983801E-07	.212917E-06	.234547E-06	114.79	.00
24	.927177E-06	.919614E-06	.130589E-05	44.76	.00
25	.281435E-10	.157874E-05	.157874E-05	89.99	.00

第 4. 2. 8 图



まず、電磁オシロによる記録波形を第4.2.3図にあげる。次に、磁気テープレコーダに記録し、4.2.2項に記した(2)、(3)の処理過程を経て得られたさん孔テープを第4.2.4、4.2.5図に、また、これらのテープの内容をコンパターにかけて得られたデータカードとタイトルカードとを合わせて得られたカードの内容をプリントしてそれぞれのさん孔テープの下にあげる。さらに、参考のためにそれぞれのさん孔テープのアナログ表示を第4.2.6図に示す。第4.2.7、4.2.8図に、電子計算機で得られた解析結果をあげる。

このようにして得られた調和成分をプロットして第4.2.9、4.2.10図に示す。

4.2.4 結 び

以上に、波形の記録から電子計算機に入れるまでの操作を、A-D変換器を主としたデジタルデータ処理装置を用いて行なう方法を述べたが、この方法の採用により、波形解析が装置の操作のみできわめて簡単かつ高速に行なえることがわかった。

このため、分割数およびデータ数が増えることは大した問題にならず、さらに、解析するに当たって代表的な1サイクルを選んで行なうのみならず、分割数の整数倍を連続打ち出し、各分割点に対応する $f(\frac{m\pi}{n})$ の平均値をとる操作を行なわせれば、連続した数10サイクルに対して、平均された波形の調和解析も容易に行なえる。したがって、波形解析の精度も十分上げうる。

また、このような方法をいろいろと、変形、拡張すれば、電子計算機をフルに活用させることによつて、調和解析以外の波形解析、すなわち、パワースペクトル、相関等、種種の解析処理も行なえる。

(付 録)

主要装置の性能

(1) A-D変換器

入 力 電 圧	+9.99V ~ -9.99V
入 力 抵 抗	100KΩ 以上
出 力 符 号	2進化10進3桁および正負符号
変 換 精 度	±5mV ± 1/2 LSD
変 換 時 間	80μsec 以内

(2) デジタルテープレコーダ

ト ラ ッ ク 数	7
ヘ ッ ド	記録読み取り各1個
テ ー プ 幅	1/2 インチ
使用テープ	Scotch, No.498
使用リール	10 1/2' NABハブ
テ ー プ 速 度	{ 高速 3.2 m/s, 1.6 m/s, 0.8 m/s 低速 3.2 mm/s, 1.6 mm/s, 0.8 mm/s
速 度 偏 差	±1%
ワウ, フラッタ	0.2% R.M.S. 以下

(3) さん孔機

さん孔単位	8単位
テ ー プ 幅	1 インチ
さん孔速度	110 キャラクタ/sec 以下 (60 cps のとき)
リ ー ル 径	8 インチ
紙テープ長	27.5 m

4.3 振動計測機器の互換性と共同利用

最近の計測機器の進歩はきわめて著しく、船舶関係の諸研究も、これら計測機器の発達によるところが大きい。しかしながら、このような貢献とともに、計測機器の購入価格が上昇し研究予算の過半を占める傾向となり、また、計測機器の取り扱いが複雑になり熟練者でなければ操作できない、などという弊害も見逃しえなくなっている。

一方、本研究部会のように、各社でそれぞれ計測を行ない、これらの結果をとりまとめ、普遍的な解析を実施しようとする場合には、各実験所における計測の精度がそのまま解析結果の信頼度を支配することになり、計測方法および記

録方法が統一されていれば、解析に要する手数も著しく軽減される。

このような観点から、本研究部会は実験計測を実施するとともに、現在各社で実験計測に用いられている振動計測用機器の実態についてアンケートを行ない、機器の共同利用の可否および各社の配備状況を調査した。アンケートは、測定器（振動計、動的ひずみ計）、記録器（オシログラフ、ビジュグラフ）およびテープレコーダについて、10社、2官公立研究所に対して行ない、2社を除き、計112通の解答を得た。

第4.3.1表ないし第4.3.5表はそれぞれ、動的ひずみ計、振動計、FMテレメータ、テープレコーダおよび記録器のアンケート結果を示し、各社手持の計器のなかには、造船研究会で購入したもの以外にもかなりの数のものが共同使用可能であることがわかる。ただ、テープレコーダは数が少なくかつ操作に熟練を要するため共同使用の可能性は少なく、また、ビジュグラフ、ラビコーダ、ホットコーダなども各社の使用頻度が高く、共同で使用できるものは少ない。

振動計は多種多様なものが使用されており、ピックアップと増幅器のインピーダンスもそれぞれ異なっており、これらを交換して使用できるようにするためには、各製造者に使用者側の意向を伝えることがまず第一に必要であり、そのためには、船舶関係の振動計測器の仕様を本研究部会の構成員のなかの計測関係者が集って審議できるような組織の設立が要望される。とくに、振動ピックアップのうち直接に変位を検出しうるものは、船体のローリング、ピッチングなどが付加されて海上航走時には使用不可能であり、動電型で速度を検出しこれを積分するものは、校正が困難であつて精度が確認し難いこと、および低い周波数成分（スペクトラム）において位相角のずれが起る、という欠点があり、さらに圧電型、ひずみゲージ型の加速度ピックアップを用いて変位を測定しようとする場合には、二重積分をするため低周波の振動スペクトラムの位相角のずれはさらに激しくなる。

したがつて、今後本研究部会において、振動入出力の応答（レスポンス）を研究しようとする場合、入力と出力の位相角の差は重要な因子となり、現状のような、位相角のずれが懸念される測定結果をもとにしたのでは、十分な解析を行なうことはできない。それゆゑ、この点についても本研究部会のなかで、船舶用の振動計測機器に関する検討の場を設けることの必要性が痛感される。

第 4.3.1 表 振動計測機器調査表 動的ひずみ計

番号	種別	名称	N	SC/RC	IpQ	Ω	OpQ	Ω	検出部	f	OPS	所	有	者	担当者	共同使用の可否	備考
101	ひずみ計	DS6/MTH	6	50	120(60~2500)		H: 500K		ひずみゲージ・ピックアップ	DC~1000		東大工、船用機械		葉山真治	可		
102	ひずみ計	DS6/MTH	6	50	120(60~2500)		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
103	ひずみ計	DS6/RX	6	50	120(30~2000)		H: 500K		同上	DC~1000		川原、造船設計部		松村徳郎	可		
104	ひずみ計	DS6/MTH	6	50	120(60~2500)		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
105	ひずみ計	DS6/MTH	6	50	120(60~2500)		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		浦賀、玉島、内燃機設計		山下郁夫	不可		
106	ひずみ計	DPM-6CT	8	50	60 ~ 1000		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		三井造船、研究所発部玉野研		井関義弘	不可		
107	ひずみ計	DPM-8CT	6	50	60 ~ 1000		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		日立造船、技研、第3研室		永井 将	不可		
108	ひずみ計	DPM-6CT	6	50	60 ~ 1000		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		IEI機器構造研究部計測実験室		大塚正次	可	3394 購入品	
109	ひずみ計	DM-3H	3	50	120(60~1000)		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
110	ひずみ計	DM-6E	6	50	120(60~1000)		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
111	ひずみ計	DM-6E	6	50	120(60~1000)		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
112	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	60 ~ 1000		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
113	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
114	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
115	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
116	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
117	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
118	ひずみ計	DM-3H	6	50	120(60~1000)		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
119	ひずみ計	DM-6E	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
120	ひずみ計	DM-6E	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
121	ひずみ計	DM-6E	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
122	ひずみ計	DM-6E	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
123	ひずみ計	DM-6E	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	可		
124	ひずみ計	DPM-8CT	8	50	60 ~ 1000		H: 500K, 5K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
125	ひずみ計	DS-6RJ	6	50	120(30~2000)		H: 500K		同上	DC~1000		IEI, 船機基本設計部		後藤大三	可		
126	ひずみ計	DS-6RJ	6	50	"		"		同上	DC~1000		同上		同上	不可		
127	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	60 ~ 1000		H: 500K		同上	DC~1000		三發広島、広研研研室		相 楽	不可		
128	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	60 ~ 1000		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	不可		
129	ひずみ計	DPM-8AT	8	50	60 ~ 1000		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	不可		
130	ひずみ計	DPM-8AT	8	50	60 ~ 1000		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	不可		
131	ひずみ計	DM-6E	6	50	120(60~1000)		H: 500K		同上	DC~1000		海軍協会技研		星野次郎	可	ベンシオンアンプ付	
132	ひずみ計	DPM-6AT	6	50	60 ~ 1000		H: 500K		同上	DC~1000		同上		同上	可		
133	ひずみ計	PM-5L	1	1.5	120(60~500)		H: 7		同上	DC~300		同上		同上	可		
134	梁位計	TDM-6-1	6	3.6	120 ~ 250		L: 20		同上	DC~500		同上		同上	可		

注) N:チャンネル数, SC:ゲージ印加周波数, IpQ:入力インピーダンス, OpQ:出力インピーダンス, f:周波数範囲, *:担当者と打合せを要する

第 4.3.2 表 振動計測機器調査表 振動計および振動検出用ピックアップ

番号	種別	名称	称	N	SO KC	I _{PQ} Ω	O _{pQ} Ω	検出部	r _{CPS}	所有者	担当者	共同使用 の可否	備考
201	振動計	周波数分析器(ロイドリッガン)		1	~	~	5K(10V)	電磁型	2~25,000	三菱広島広研、計装研究課	相 柴	否	SR94 購入品
202	振動計	MTDV-3C(保坂)		3	5CPS	2.5K	120(1mA)	動コイル型、垂直	1~	佐世保、機械設計部	富田 治	可	同上
203	振動計	MTDH-3C(保坂)		7	5CPS	2.5K	120(1mA)	動コイル型、水平	1~	同上	同上	可	同上
204	振動計	BRÜEL&KJÆR		1	~	~	50(4.5V)	圧電型(4312, 4315)	2~45,000	三井造船、研発部玉野研	井関 義弘	不可	周波数分析計、レベルコーダ付
205	振動計	振動計(日本測器)		1	~	>40M	72(3.2V)	圧電型(541-A)	2~35,000	同上	同上	不可	積分増幅器502A、計測増幅器354-A
206	振動計	変位測定器(新光電気)		3	1.2	~	500(1.5mA)	差動変圧器(DS-36S-L)	0~	川橋、造船設計部、機面	松村 徳郎	可*	検出部のみ
207	振動計	テレシプロメータ(明石)		2	~	~	>1000 <600	動電型	3~	日立造船、技研、第3研室	永井 将	可*	AVL-1
208	振動計	VM5203LL(国際)		3	~	5K	H. 15K(0.15V) L. 20(10mA)	動電型	3~	同上	同上	可*	
209	振動計	VM5300LL(国際)		6	~	~	H. 15K(0.15V) L. 20(10mA)	動電型	1~	同上	同上	可*	SR94 購入品
210	振動計	ロイドリッガン		1	~	~RS25193型	型番 1063	型番 1063	20~25,000	IHI、機構部計装課	大場 正次	可*	
211	振動計	AVU-IS(明石)		1	~	~	H. 1K(0.5V) L. 3.5(3mA)	UT-PA型	10~	同上	同上	可*	
212	振動計	VM5200LL(国際)		1	~	~	~	動電型VP9253	1~	同上	同上	可*	
213	振動計	VM5200L		1	~	~	~	動電型VP9252	4~ 8~	同上	同上	可*	
214	振動計	FM容量型(プリモ)		1	40MC	~	H. 600(1V) L. 10(3mA)	容量型(変位検出)	0~10,000	同上	同上	可*	プリアンプ1606 増幅器2603
215	振動計	BRÜEL&KJÆR		1	~	~	~	圧電型(4332)	2~10,000	IHI、船殻基本設計部	後藤 大三	可*	
216	振動計	万能式(広船製)		1	~	200	5(10V)	動電型	12~	三菱広島、コンプレッサー工務	相 柴	不可	広島振動工業製
217	振動計	ハンディタイプロチェッカー		1	~	200	5K(3V)	動電型	12~	三菱広島、青機械工場	相 柴	不可	動ひずみ計用
218	ピックアップ	UA-2E-120(新興)		5	5	120	~	0~3G	0~	川橋、造船設計部機面課	松村 徳郎	可	同上
219	ピックアップ	UAL-30-120(新興)		12	5	120	~	電磁型、0~4°	0~	IHI、船殻基本設計部	後藤 大三	可*	
220	ねじり振動計	TK-6100(国際)		1	~	2K	5K	9~102型	3~	日立造船、技研、第3研室	永井 将	可*	角速度、変位両用
221	ねじり振動計	CRQ, 1-117型		1	~	696	H. 500K L. 100		3~	IHI、機器構研部、計装課	大場 正次	可*	

注) N, SO, I_{PQ}, O_{pQ}, f, *は第4.3.1表と同じ

第 4.3.3 表 振動計測機器調査表 FM テレメータ

番号	種別	名称	SO			TF ₁₀	I _{pQ} Ω	OpQ Ω	検出部	f cps	所有者	担当者	共同使用可否	備考
			1	2	3									
301	FMテレメータ	(監和計測)	4	2		~	120 Ω	15V	0~100	日立造船技研第3研室	永井 将	2チャンネル可	クラシク軸専用	
302	FMテレメータ	ST407 (プリモ)	2	3	3.9	40.68	120 Ω	16 Ω	0~100	海事協会技研	星野次郎	可	同上	
303	FMテレメータ	ST407 (プリモ)	2	3	3.9	42.89	120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	可	太陽電池、スタビラ付	
304	FMテレメータ	ST410 (プリモ)	3	2.5	3.9	40.68	120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	可	同上	
305	FMテレメータ	ST410 (プリモ)	3	2.3	3.9	44.27	120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	可	同上	
306	FMテレメータ	ST430 (プリモ)	3	2.3	3.9	40.68	120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	可	同上	
307	FMテレメータ	ST430 (プリモ)	3	2.3	3.9	44.27	120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	可	同上	
308	FMテレメータ	ST406 (プリモ)	1		3.0		120 Ω	16 Ω	0~100	三井造船玉野研、応物室	井関義弘	不可		
309	FMテレメータ	ST410 (プリモ)	2		3.0		120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	不可		
310	FMテレメータ	T-62AT, R-64A	1	1	1.0	~	120 Ω	H3K	~	同上	同上	不可		
311	FMテレメータ	ST410 (プリモ)	3	2.3	3.9	47.27	120 Ω	16 Ω	0~100	IHI, 機器研研部計測課	大場正次	不可	Industrial Electro-netua Co.製	
312	FMテレメータ	ST406	1		3.0	42.89	120 Ω	16 Ω	0~100	同上	同上	不可		

注) N: チャンネル数, SO: ゲージ印加周波数, TF: 送信周波数, I_{pQ}: 入力インピーダンス, OpQ: 出力インピーダンス, f: 周波数

第 4.3.4 表 振動計測機器調査表 テープレコーダー

番号	種別	名称	トラック数	変調方式	テープ送速度 cm/s	I _{pQ} Ω	OpQ Ω	f cps	所有者	担当者	共同使用可否	備考
401	テープレコーダ	TC-777A (ソニー)	2	AB	19	100K (0.2V)	8	30~17,000	三菱広域広研 計測研	相 楽	不可	
402	テープレコーダ	TC-802 (ソニー)	1	AB	12.7				同上	同上	不可	
403	テープレコーダ	TC-802 (ソニー)	1	AB	12.7				同上	同上	不可	
404	テープレコーダ	通減用磁気テープレコーダ	4	2chテーダ(A,B) 2ohマーカー(A,B) 2-テーダ	記録3.8,再生1.9	600 (±1V)		記録(70~15,000) 再生(50~7500)	三井造船研 研、応物室	井関義弘	不可	ソニー
405	テープレコーダ	通減用磁気テープレコーダ	8	FM磁気マーカー	記録3.8,再生3.6	600 (±1V)		記録(0~1200) 再生(0~1200)	同上	同上	不可	ソニー
406	テープレコーダ	NAGRA B	1	6KC.AB	9.5, 19, 3.8	25K, 100K	600 (4.4V)	30~17,000	同上	同上	不可	SONY-KUDELSKI
407	テープレコーダ	8100 (ハネウエル)	10	FM10a 1音声 PWA-3, 3.5kHz AB-1	7.8 301Vc1/sec	10K (±2V)	50 (±2V)	0~10,000	同上	同上	不可	Honeywell
408	テープレコーダ	MA-33, PWA-23	3	AB-1	19, (2.5)	5K (±1V)	600 (±1V)	0~100	海軍協会技研 日立総研、技研 研、第5研室	星野次郎	可	ソニー
409	テープレコーダ	NDR-7000	4	FM	3.8~7.6, 4段	100K (±1V)	600 (1V)	0~10,000	同上	永井 将	可	日本計装

注) AE: 交流バイアス方式, I_{pQ}: 入力インピーダンス, OpQ: 出力インピーダンス, f: 周波数

第 4.3.5 表 振動計測機器調査表 オシログラフ

番号	種別	名称	N	送り速度 cm/sec	ガルバ	IPQ	Ω	i	所	有	者	担当者	共同使用 の可否	備考
501	ペンオシロ	IR-302	6	01~20		1.850(平衡)		0~50	東大、船用機械			葉山真治	可	Pre App DA-603 付
502	ペンオシロ		6	"		1.850(")		0~50	三菱横浜、機械設計部			森川	不可	Pre App 付
503	ペンオシロ	WTR211-80(渡辺)	8	"		30		0~70	三井玉野研広物研室			井関義弘	可	
504	ペンオシロ		6	0.5~100	E-1000 E-6000	2.000(平衡)		0~50	海軍協会技研			星野次郎	可	
505	電磁オシロ	100B	6	"		5.0		350	東大、船用機械			葉山真治	可	
506	電磁オシロ	100	6	"		3.5Ω		2,100	IHI, 機器研部、計美課			大場正次	可	
507	電磁オシロ	100	12	"		20, 23		350	同上			同上	可	
508	電磁オシロ	MA-33	6~8	"		20, 23		350	同上			同上	可	
509	電磁オシロ	同上	6~8	"		8		330	同上			同上	可	
510	電磁オシロ	同上	6~8	"		8		330	同上			同上	可	
511	電磁オシロ	同上	6~8	"		8		330	同上			同上	可	
512	電磁オシロ	100-A	6~8	"		5~20		350	浦賀玉島、内燃機設計課			山下郁夫	否	
513	電磁オシロ	100-A	12	"	0-300A	20		50,100,300,500	海軍協会技研			星野次郎	可	
514	電磁オシロ	MA-53A	6~8	"		8		0~200	同上			同上	可	
515	ビジグラフ	PR-102	10(12)	0.4~100	0-300A(5) 0-500A(5)	20		100, 200	東大、船用機械			葉山真治	可	
516	ビジグラフ	FR-102	12	"	0-100~0-1,000	20		200, 350	日立造船、技研第3室			永井 将	可	
517	ビジグラフ	FR-102	12	"	"	20		100~1,000	同上			同上	可	
518	ビジグラフ	FR-102	12	"	0-500A	20		"	IHI, 船基設部			後藤大三	不可	
519	ビジグラフ	FR-102	12	"		7		350	三菱広島、計装研究課			相 楽	可	
520	ビジグラフ	FR-101	12	10~100	0-100A~0-100	20		300	日立造船、技研第3室			永井 将	不可	
521	ビジグラフ	FR-102	12	0.4~100	0-500A	20		100~1,000	IHI, 機器研部、計美課			大場正次	可	
522	ビジグラフ	FR-102	12	"	"	20, 23		350	同上			同上	可	
523	ビジグラフ	FR-102	12	"	"	"		"	同上			同上	可	
524	ビジグラフ	FR-201	6	"	"	"		"	同上			同上	可	
525	ビジグラフ	FR-201	6	"	"	"		"	同上			同上	可	
526	ビジグラフ	FR-201	6	"	"	"		"	同上			同上	可	
527	ビジグラフ	FR-102	12	0.4~100	0-300A	20		200	海軍協会技研			星野次郎	可	
528	ビジグラフ	FR-101	6	1~50	0-300A	20		200	同上			同上	可	
529	ラビコーダ	RMV-33E	12	"		33		0~70	佐世保、機械設計部			富田 治	可	
530	ラビコーダ	RMV-33E	18	"		9		450	三井造船、玉野研、応物研室			井関義弘	可	
531	ラビコーダ	RMV-13	6	"		9		450	同上			同上	可	
532	ラビコーダ	RMV-33	12	"		7		250	三菱広島、広研構造強度研			相 楽	可	
533	ホトコーダ	EMO-62	6	"		30		300, 500	IHI, 機器研部、計美課			大場正次	可	
534	ホトコーダ	EMO-62	6	"		30		300, 500	同上			同上	可	
535	ホトコーダ	EMO-62	6	"		30		300, 500	同上			同上	可	
536	ホトコーダ	EMO-121	12	"		30, 33		500, 50	川重、造船設計部、機関計画			松村徳郎	不可	

本年度においては上述のごとく3種類の機関について周到な実機計測を行ない所期の資料を得たが、さらに詳細な解析を進めて、振動のモードと起振力との関連も逐次明らかになりつつある。これと併行して適当なモデルの設定により、基礎を含めて機関の横振動をアナログ解法することによつて、複雑した船体機関の連成振動に取り組み理論解析法の第一着手とした。

振動計器の適正化とその利用度の向上を目的として、現在の計測法と計器を調査し、さしあたり必要な選択を行なつたこと、さらには予想される膨大な記録の処理法について研究を開始したこと、も本年の成果の一つである。

次年度においてはさらに若干の実機計測を加えるが、主力はすでに採取した資料の解析に置き、ひとまず機関側のデータの確立をはかる必要がある。

船体と機関の連成の系については本年に引き続き理論を主体に実験研究を続ける必要がある。

計測法およびデータ処理法についてはさらに研究を行なつて、適正な計器を開発しかつ、合理的な計器管理の方式、データ処理の方式を立案するにいたりたいと考えている。

以上要約すれば、ディーゼル機関の横振動の研究は本年(41年)度ようやくその緒を見出し得たわけで、42年度において機関側の問題の大半を処理し、船体との関連分野の最終的なまとめは43年度にはいるのではないだろうか。

第 2 編 推進軸系の縦振動

第 1 章 緒言 — 在来の資料と研究

推進軸系の縦振動に関する問題はその性質上

- a) ディーゼル機関、クランク軸および軸系の縦振動
- b) タービン船の軸系の縦振動

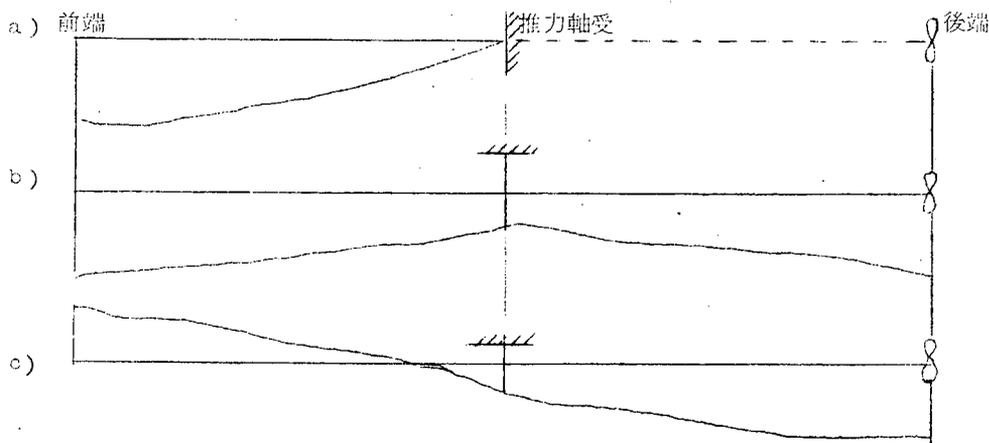
に別けて採りあげる。

1.1 ディーゼル機関のクランク軸および軸系の縦振動

クランク軸の軸方向の剛性は機関が大形化されて行程が増大するほど低下してくるし、シリンダ数が増すほど減少してくる。すでに昭和10年代において、12シリンダの機関で陸上運転中著しいクランク軸の船首端における縦振動が計測され、その固有振動数が推察され確められている。さらにこの種の振動がその起振力としてねじり振動に負うことが多く、特に両者の固有振動数がたまたま近接している場合には縦振動として誘起された振幅は有害な程度に達することが認められた。しかし通常縦振動の固有振動数は1節の軸系のねじり振動数より高く両者の間に相当の懸隔があるので、実用上問題視されることがなかつたのである。

戦後、機関出力の著しい増加と機関の大形化に伴い、クランク軸の応力水準も高くなつた結果、各種の振動による付加応力についても、一段と嚴重な管理を要することが、偶発したクランク軸切損事故原因の究明から明らかになり、クランク軸を含めた軸系全般の縦振動についても調査が再開されている。

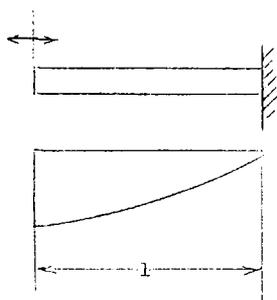
振動モードの基本形としては下図のような形がある。



a) のモードはクランク軸のみで決定され、その把握も簡単であるが b)、c) はスラスト軸受が弾性支持となり、その性質の把握に問題がある上、起振力として機関側のほかに推進器のスラストの回転変動分を究明しなければならない。

第 1.1.1 図は実測された数値を示すが、共振次数にこれらの問題のあることを示している。

1.1.1 単純な棒の縦振動



$$n = \frac{1}{4l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

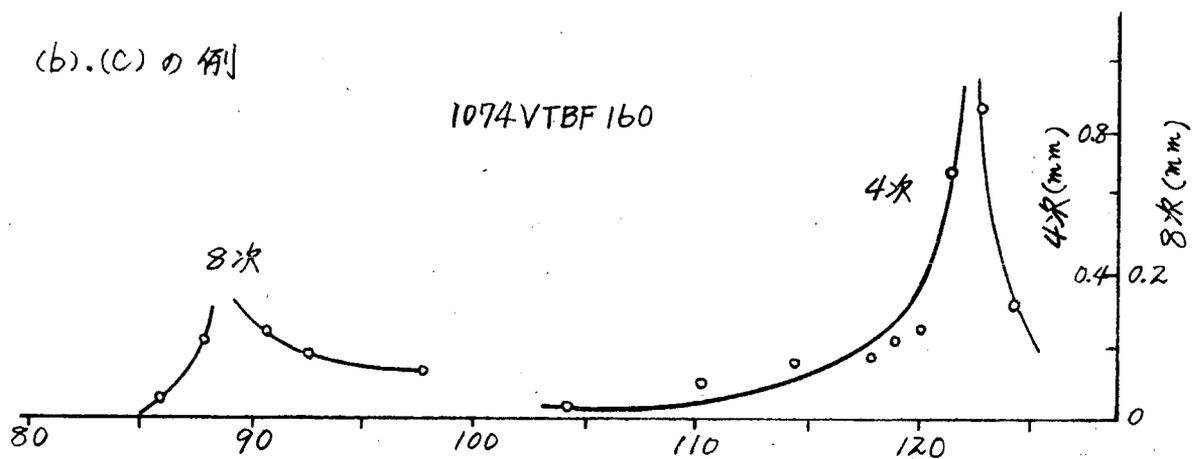
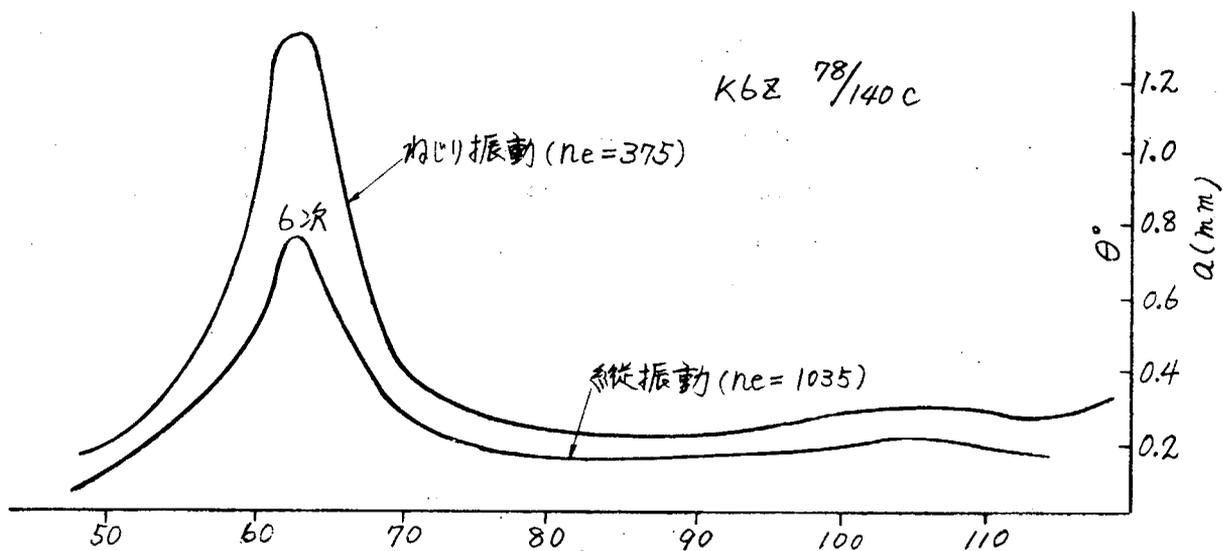
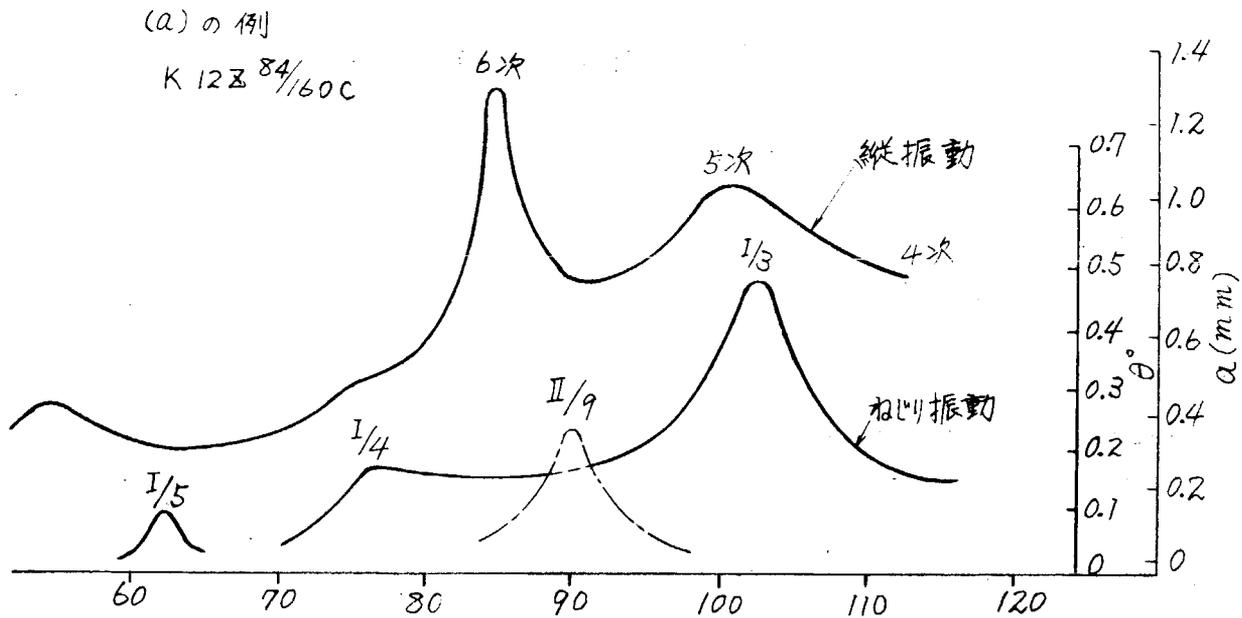
n = 毎秒振動数 cps

E = 縦弾性係数 Kg/cm^2

l = 長 cm

ρ = 密度 $\text{Kg-sec}^2/\text{cm}^4$

もし棒の重量が自由端に集中して棒は弾性のみを与えると考えたときは、固有振動数 n' は $n'/n = 2/\pi$



第 1. 1. 1 図

1.1.2 クランク軸の等価長

クランク軸の1シリンダ分の軸方向の単位荷重に対する変位量を等価な同径の軸の長さ l であらわすと、

$$l = l_1 + l_2 + l_3 + l_4$$

l_1 は自由状態のクランクの曲げによる軸方向の変位の等価長で

$$l_1 = A R^2 \left(\frac{a}{I_d} + \frac{2}{3} \frac{R}{I_w} \right)$$

l_2 は軸方向の圧縮または引張りによる変位の等価長でシリンダ間隔そのもの

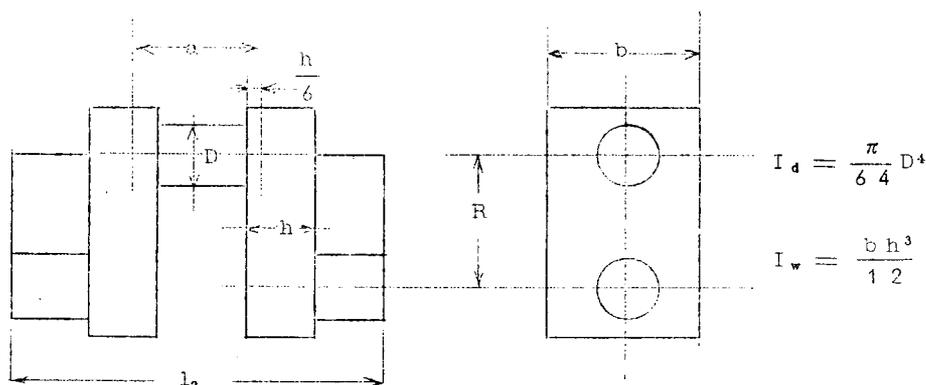
l_3 はクランク腕のせん断応力による軸方向の変位の等価長で

$$l_3 = \frac{2 A E R}{b h G}$$

l_4 はクランク軸が実際には自由端でなく両端に軸受などによる拘束モーメントが作用するための補正值の等価長で

$$l_4 = k \cdot A R^2 \left(\frac{a}{2 I_d} + \frac{R}{2 I_w} \right)$$

と書ける。 k は1より小さい係数である。



近似的には $l_2 - l_3 - l_4 = 0$ と見なされる。

1.1.3 クランク軸のねじりの影響

クランク軸のねじりによつて軸方向の変位が2次的に誘起されたことは明らかであるがその大きさはクランク軸が自由の場合と軸受到拘束があつた場合とでは、その拘束条件に応じて異なるので縦振動の固有振動数への影響は一義的に把握するのは困難である。

一方、ねじり振動は1周期ごとに2回の縦振動を起振することになるので、同時共振によつてねじり振動が縦振動の起振源となる例も計測されている。しかし一般には両者の固有振動数は異なるので、両者が複雑な位相差でからみあつた縦ねじり連成振動を考える必要がある。

これらの問題については最近ようやく採りあげられ、別項のような研究がある。

1.2 タービン船軸系の縦振動

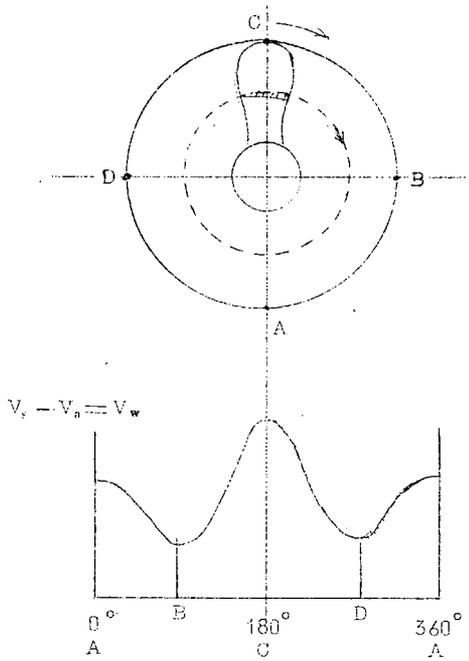
タービン船軸系では、スラストにより生ずる軸系の曲げひずみか減速歯車のかみあいに影響を及ぼすことを極度におそれ、従来から、船体のスラスト軸受台の補強や軸の支持点の配置に細心の考慮を払つてきた。

しかし多くの場合、スラスト軸受台近傍の船底は直径の大きい親歯車のために大きくえぐられて十分な剛性の維持が困難である上に、二重底上の軸心高さも船体の巨大化に伴つて大きくなり、軸受の剛性は幾何学的相似構造でも必然的に低下する。さらに出力増大による振動系質量の増加も伴つて、軸系の縦振動の固有振動数は低下し、ようやくその共振現象が運転回転範囲で問題視されるにいたつたものといえる。

この振動は特に高力度の減速歯車の場合のデリケートな歯車のかみあい状態に影響を及ぼすことが予想されるので、実

状の正確な把握と予知の技術の確立が要望されている。

この場合の起振力としてはプロペラスラストの変動成分であるが、プロペラ周辺の伴流分布の非一様性からくる翼の揚抗力の変化によるもので、プロペラのトルク変動とも根源を同じくしている。したがってその変化は1翼について1回転



伴流の分布 (一軸船)

第 1. 2. 1 図

ごとに、1次と2次の調和波が主であるから軸には異数 Z と回転数 N として、 NZ および $2NZ$ のトルクおよびスラスト変動が同時にあらわれる。

また、伴流分布の中心非対称性から軸スラストの中心は軸中心と一致せず若干の曲げモーメントとしてあらわれていることもわかる。

プロペラから生ずるこの種の変動力は軸系の曲げ、ねじり、縦振動の起振源として作用するから、その性質の究明は従来とも行なわれていくたの研究が発表されているが、実用上定量的な資料の点ではまだ不足のうらみが深く、今後の努力が望まれる。

参 考 文 献

鬼頭史城 「船に関する振動問題」

日本機械学会誌 37年7月 Vol. 6.5 №522

第 2 章 問 題 の 所 在

2.1 縦振動におけるスラスト軸受とその支持部の剛性

最も必要としてしかも最も把握の困難な問題であるが、実船計測資料の解析結果を蓄積するとともに船体構造上からも、その関連因子の究明を行なう必要がある。

2.2 縦振動の起振力と減衰力

さしあたり実測資料の解析により集成するほか、プロペラの起振力については別途に適切な実験研究を企画することが好ましい。

2.3 クランク軸の縦振動とねじり振動の連成

理論解析および所要の弾性モデルによる実験研究の要がある。

2.4 船体と機関にまたがるその他の振動の問題

本研究に採りあげられたディーゼル機関の横振動や軸系の縦振動以外に、船体機関の関連分野として残された問題には、機関の不均衡慣性力やモーメントによる台板やクランク軸の曲げ応力や曲げ振動の問題があり、また船尾管軸受部にもプロペラのトルクや推力の変動成分や偏心成分による振動の問題もあつて、いずれも船体の巨大化に伴つてますます検討する必要性が増している。

これらは本研究の主題とは異なるものであるが関連する問題であつて、実船計測の資料等はほとんど同一のものが利用できると思われるから、実船試験の計画に際してはこれらの問題についても効果的な配慮が望ましい。

第 3 章 実 験 研 究

3.1 デーゼル機関 (K9Z93/170E型) 搭載川崎重工業 1083 番船における軸系縦振動計測結果

3.1.1 研究目的

本研究は、機関のクランク軸系に起る縦振動の固有振動数および共振点における振幅等を、正確に予測することのできる計算方法を確立し、さらには縦振動と船体振動との関連を明らかにすることを最終目的とし、3か年計画で行なわれる。以下に、本研究の第1年度研究「実機計測」の一環として行なわれた川崎重工 1083 番船におけるクランク軸系の縦振動計測結果について、その概要を述べる。

3.1.2 軸系縦振動の推定

(1) 供試船の主要目

第 3.1.1 表に示す。

(2) 0 節自然振動数の推定

実機計測に先立ち、供試船の軸系縦振動について以下に述べる推定を行なった。

供試船のクランク軸系に起る純粋の縦振動は、0 節縦振動で、その共振振動次数は 9 次および 6 次であることが過去の測定実績 (文献, 資料 5) から容易に推定されたので、まず、実際の振動系を相当振動系に置換し、しかる後 Holzer の方法により 0 節自然振動数を計算した結果 $f_0 = 63.70 \text{ ppm}$ を得た。(文献, 資料 1), 2), 5) ただし、この値はプロペラの海水付加率を 60% とし、スラストブロックの剛性は供試船と略同型の D 丸 (文献資料 5) において本推定計算方法と全く同一の計算方法を用いて逆算した結果得られたる値 $2.62 \times 10^6 \text{ Kg/cm}$ をそのまま適用した場合のものである。実際および相当振動系を第 3.1.1 図に示し、プロペラの海水付加率を 60% に固定し、スラストブロックの剛性を種種変化させた場合の 0 節自然振動数の変化の状態を第 3.1.2 図に示す。

なお以上の計算で得られた 0 節振動の 1 つ (スラストブロックの剛性が $2.653 \times 10^6 \text{ Kg/cm}$ の場合) について、その Holzer 表を第 3.1.2 表に、振動形を第 3.1.1 図に示す。

(3) 文献、資料

- 1) 大型船用ディーゼル機関クランク軸における応力 (国際燃焼機関会議 1962 年) : Götaverken 製造機 振動計算部、実験部
- 2) クランク軸の軸方向振動に関する実験 (1962 年国際燃焼機関会議) : Fiat 機関総合工場 Torino
- 3) 船用大型ディーゼル機関クランク軸系の縦振動 (内燃機関 Vol. 4, No. 37, 1965-7) : 三井造船 (株) 漆原、井関
- 4) 船用 2 サイクル大型ディーゼル主機関のクランク軸系の縦振動について (クランク軸強度研究委員会資料 1-18, 1965) : 日本海事協会
- 5) 当社軸系縦振動実績

	主 機 関		機 関 位 置	0 節 縦 振 動 数 測 値	クランク軸 付 釣 合 錘
	シリンダ径×行程×シリンダ数	出力 × 回転数			
A 丸	780mm×1,400mm×9	13,500PS×118rpm	AFT	7600/M	無
B 丸	840"×1,600"×9	16,000" ×115"	"	720"	"
C 丸	860"×1,600"×9	19,500" ×115"	"	684"	有
D 丸	930"×1,700"×10	26,000" ×112"	"	600"	無

3.1.3 実機計測

(1) 計測期日および測定条件

第3.1.3表に示す。

(2) 計測項目、計測箇所および計測方法

計測は供試船の海上試運転時に、バラストおよび満載の2状態について各1回計2回行なつたそれぞれの測定条件は第3.1.3表に示すとおりである。

縦振動の計測は、クランク軸、スラスト軸および中間軸の3点についてその変位を計測し、また船体振動との関連を調整するためスラスト軸受部の船体二重底の加速度を計測した。

計測ピックアップには差動変圧器および加速度計を使用した。

計測は機関回転数を35～116rpmの範囲で2rpmごとで整定し、回転上昇時に行なつた。第3.1.3図に本計測の計測項目、計測箇所および計測装置を示す。図中、計測項目番号④、⑤、⑦は、同①、②、③の個所の絶対変位を知るためのもので、また①、③に対する手持振動計による変位の計測は、単におのおのの計測ピックアップの測定精度を確認するために行なつたものである。

なお、本計測と同時に行なわれた関連他計測は、船体上部構造の振動計測（川重計測）、クランク軸応力および軸系のスラスト変動計測（日本海事協会）である。

3.1.4 計測結果および若干の考察

(1) 計測結果

(i) 振幅曲線およびその他図表

第3.1.4図に計測記録波形の1例を示す。

この記録波形は、満載状態における0節6次縦振動の共振点近傍に該当する部分のもので、記録には振動波形の他に $\frac{1}{2}$ sec.マーク、機関No.6CYL.T.D.C.マークおよび合図マーク（船体上部構造の振動記録の合図マークと同調）が記録されており、これらのマークから関連他計測で得られた振動波形との位相関係を知ることができる。

一般に0節縦振動では、すでに示された第3.1.1図および第3.1.2表からもわかるごとく、クランク軸自由端の振幅は他の2点（スラストカラー、プロペラ軸—中間軸間接手）の振幅に比べてはるかに大きい。このことは第3.1.4図の記録波形や、後述の第3.1.4表に示されている前述の3点の変位の実測結果が十分裏付けしている。

したがって、供試船の軸系縦振動の性状を知るための一連の解析は、0節縦振動の特性上、種種の詳細解析に際して重要度が高く、かつ前述の他の2点に比べて振幅が大なるために解析精度の高いクランク軸自由端の振動について主として行ない、前述の他の2点については特に必要のない限りこれを省略した。

クランク軸自由端の縦振動について、第3.1.5図にその相対全振幅（計測項目番号①）を第1回と第2回の結果とを比較して示し、第3.1.6および3.1.7図には第1回および第2回計測におけるその振動の調和成分の中で振動の顕著な次数の振幅曲線（計測項目番号①を実線で、④を点線であらわす）を同時に手持振動計により計測された振幅値（一点鎖線であらわす）と比較して示す。

なお、手持振動計による振幅値は、計測項目番号①の個所の計測記録波形において、1回転の範囲で最も顕著にあらわれている次数の比較的安定した波形の振幅値を読みとつたもので、厳密には調和成分のものではない。

また第3.1.8図には、第3.1.6および3.1.7図に示されている振動調和成分（計測項目番号①）を、第1回計測とほぼ同一条件の下で測定した軸系のねじり振動と対応させて示した。

第3.1.4表には、第3.1.6および3.1.7図に示されている9次および6次の各共振点近傍におけるクランク軸自由端、スラストカラー、およびプロペラ軸—中間軸間接手の各部振動変位および位相角を示す。

(ii) 0節縦振動数実測値、スラストブロックの剛性および各振動次数の起振力

第3.1.5～3.1.7図をそれぞれ比較すれば、第3.1.5図の相対全振幅曲線中の2つのピークはかのおの0節9次および6次の共振によるものであることがわかり、各次数の共振回転数から供試船の0節縦振動数は626cpmであることが明らかとなる。

この値は、あらかじめ計算により推定された637 rpmと略一致している。

また、この0節縦振動の共振点近傍での振動モードは、第3.1.4表から明らかごとく軸系の各部がほぼ同位相の0節振動をしており、比振幅も第3.1.1図および第3.1.2表に示す計算結果と略一致している。

前述の0節縦振動数の実測値と、第3.1.2図に示した0節自然振動数とスラストブロックの剛性との関係から、供試船のスラストブロックの剛性は、プロペラの海水付加率を60%と仮定した場合 2.4×10^6 Kg/cmであるということが出来る。

なお、スラストブロックの剛性のより妥当な値を得るためには、さらにI節縦振動における自然振動とスラストブロックの剛性との関係をも考慮する必要があるが、本計測ではこれに必要なI節縦振動数の実測値を得ることができなかつたので、これを行なうことはできない。

ねじり振動による縦連成振動については、第3.1.6および3.1.7図に9次、6次、5次、12次、4次、3次の振動が示されているが、第3.1.8図からこれらがねじり振動との連成によるものであることが容易に認められる。

また、0節縦振動9次および6次については、第3.1.6および3.1.7図中のA(0)-9は機関側9次起振力($\Delta \bar{a}$)と $\Delta \bar{a}$ は第3.1.2表より0.786)により起振されるもので、A(0)-6は機関側6次起振力($\Delta \bar{a} = 0.241$)およびプロペラ側6次起振力(比振幅0.2289)の両作用によるものである。

(2) 若干の考察

(i) 0節9次および6次縦振動について

第3.1.9および3.1.10図は、0節縦振動9次および6次の各共振点近傍におけるクランク軸自由端(計測項目番号①)の振動のおのおのの調和成分の位相角変化の様子を示すものであるが、これらの図および第3.1.3表に示されている振動計測時の諸条件をもとに、0節9次縦振動についてこれの減衰係数およびバラストと満載の両状態における振幅の相違、さらに0節6次縦振動の振幅ピークが2つの山に分かれていることについて考えてみる。

0節9次

一般に多自由度系の1つの共振点近傍における振動は、これの減衰が十分小さい場合には1自由度系の振動から類推することが可能であつて(文献、資料3)、第3.1.10図の0節9次の位相変化は、この理論および第3.1.9図の位相変化により、その共振点を69.5 rpmとして作成したものであるが、機関9次起振力の回転数による位相の変化は無視されており、また振動の次数が高いことに起因する解析誤差もあつて、理論計算による位相変化とは十分合致していない。

しかしこの図から大体においていえることは、0節9次の減衰係数が0.02~0.04程度で、バラスト、満載の両状態の間に大差はなく、またこの振動の共振点近傍ではほぼ1自由度と等価の振動をしているということである。

また、第3.1.8図において、0節9次の振幅は満載時よりもバラスト時のほうが大きい。この理由としては、両者の減衰係数は前述のごとく略同一であることおよび第3.1.3表に示されている両者の低回転時における回転数と出力との関係から、この振動の共振点近傍では、バラスト時の起振力が満載時のそれよりも大であつたことが考えられるが、この程度のデータではまだこれを十分説明し得ない。

0節6次

第3.1.7図に示されているとおり、満載状態での0節6次の振動は、その振幅ピークが共振点近くで2分されているが、この現象の原因については以下のように考える。

供試船において、プロペラは機関に対して、0節6次の縦振動がいくらかでも緩和されるべく機関およびプロペラの6次起振エネルギー(両エネルギー比は $E/P = 0.3$ 程度と考えられる)が、6次の共振点近傍で互に打ち消し合うように取り付けられているが、実際の振動状態における両起振エネルギーの正確な位相関係は、現在のところわからない。

したがつて、大体において両者の位相関係が6次の共振点近傍では逆あるいはそれに近い状態になつてると仮

定すれば、6次振幅曲線の2つの山は、その共振点近傍で両起振エネルギーベクトルの大きさおよび方向がおのおの
変化しちよど2つの山の間の谷にあたる部分で両起振エネルギーのベクトル和が他の2つの山におけるベクトル
和に比べて急激に小さくなりその方向も変化したために生じたものであるといえる。

第3.1.9図に示されている6次振動の共振点近傍(104~106 rpm)における特異な位相変化の様相が、このこ
とを間接的に裏付けている。

なお、本現象と同様な現象の他船における発生の事例は、文献3)にも報告されている。

一方バラスト状態での0節6次振動に関しては、第3.1.6図に示されているとおり105 rpmにおける記録波形が
採取されていないために、この近辺における振動の様相が不明であるが、第3.1.9図に示されているごとく、この
近辺における6次振動の位相変化が満載時のそれとはほぼ同様の傾向を示していることから、おそらくこの近辺にお
いても満載状態と同様に6次振幅ピーク2分の現象が起つているものと推定される。

以上6次の振幅ピークが2分された原因について述べたが、現在、機関およびプロペラ起振力の詳細なデータが
乏しいので、これを十分裏付けすることができないが、今後この裏付けを行なうとともに、別な角度からこの原因
を調査する必要がある。

なお、手持振動計による振幅曲線は、その解析精度が低いので以上に述べた考察の対象からは除外した。また、
0節9次の減衰係数の計算は、これを位相変化による方法で行なつたが、さらにその結果を機関の起振力および比
振幅のベクトル和と振幅の実測値とからによる減衰係数の計算結果で裏付けすることが望まれるので、今後機関起
振力の詳細なデータを入手してこれを行なつてみたい。

(ii) その他

軸系縦振動の船体上部構造振動におよぼす影響については、本計測と同時に行なわれた船体上部構造の振動計測の
結果によればバラストおよび満載の両状態とも0節9次および6次に起因すると思われる9次および6次の局部振動
が、ほぼ縦振動9次および6次の共振点近傍で発生している。本計測における差動変圧器の信頼度については、第
3.1.6および3.1.7図に示されている手持振動計による振幅と差動変圧器による振幅との比較から、十分高いことが
わかる。

また加速度計の信頼度についてはこれを十分確認することはできなかつたが、今後、これを確認することおよびこ
れの使用にあつては後々のデータ解析を容易ならしめるためできる限り低周波用のものを採用するつもりである。

なお、計測項目⑦(プロペラ軸-中間軸間接手部変位計測用差動変圧器取り付け部の加速度)の加速度計による計
測は、機関回転数70 rpm以上において、加速度計の取り付けられている差動変圧器取り付け金具が船体船尾部構造
の高周波の局部振動の影響を受けて共振し、このために記録波形に高周波の振動が混入して記録の解析がきわめて困
難となつた。(第3.1.4図に記録波形の1例を示す)したがつて、今後これと同様な計測を行なう場合には、計測ピ
ックアップの取り付けに際して取り付け金具自体の剛性および金具を固定する場所の選定に十分注意しなければなら
ない。

第3.1.1表 供 試 船 主 要 目

船 体	
船 型 お よ び 船 種	Oil Tanker , Flush Decker
$L_{pp} \times B_{mld} \times D_{mld} \times d_{full}$	260m × 42m × 24.2m × 15.5m
$\Delta_{full} / D.W.$	140,260 t / 118,400 lt
C_{bfull}	0.807
Shoe piece	有

機 関	
型 式	川崎-MANK9Z 93/170E型 ディーゼル機関
定格出力 × 回転数	24,750 PS × 115rpm
シリンダ径 × 行程 × シリンダ数	930mm × 1,700mm × 9
着 火 順 序	1-9-4-2-8-5-3-7-6
機 関 位 置	船 尾 側
軸 系	
クランク軸径 × 長さ × 個数	700mm × 18,163mm × 1
中 間 " × " × "	620mm × 8,065mm × 1
プロペラ " × " × "	730mm × 8,805mm × 1
プロペラ直径 × 翼 数	6,700mm × 6

第3.1.2表 0 節縦振動のHolzer表
(プロペラの海水付加率60%)

$$\omega_0^2 = 4,465$$

$$\omega_0 = 66.8$$

$$f_0 = 639 (\text{cpm})$$

記号	M (KgS ² /cm)	a (cm)	$\Sigma M \omega_0^2 a \times 10^4$ (Kg)	$\frac{1}{G} \times 10^6$ (cm/Kg)	Δa (cm)
1	7.6602	1.0000	3.4203	0.3914	0.0134
2	15.7939	0.9866	10.3778	0.3496	0.0363
3	15.7939	0.9503	17.0793	0.3800	0.0649
4	13.9510	0.8854	22.5945	0.3800	0.0859
5	13.9510	0.7995	27.5747	0.3560	0.0982
K ₁	20.2126	0.7013	33.9039	0.2790	0.0946
6	17.3632	0.6067	38.6075	0.2726	0.1052
7	13.9510	0.5015	41.7314	0.3496	0.1459
8	13.9510	0.3556	43.9465	0.3220	0.1415
9	6.9755	0.2141	44.6133	0.0087	0.0039
T	7.9429	0.2102	45.3588		
スラストブロック 弾性反作用					
--(0.2102 × 2.653 × 10 ⁶) = -55.7661					
45.3588 - 55.7661 = -10.4073				0.0119	-0.0012
F	17.1623	0.2114	-8.7873	0.1239	-0.0109
K ₂	25.0674	0.2223	-6.2992	0.1041	-0.0066
P	6.17112	0.2289	0.0079		

$$\Sigma M a^2 = 84.630$$

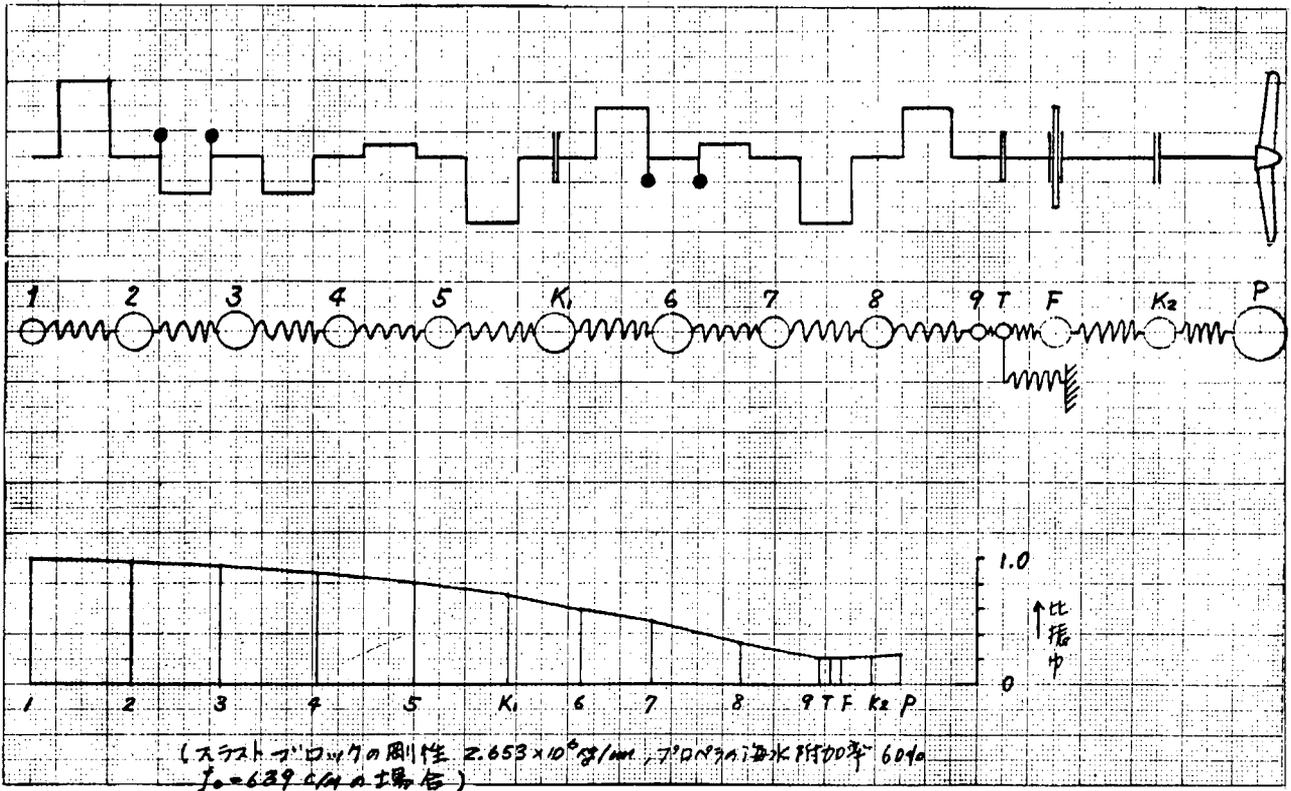
第 3.1.3 表 軸系縦振動測定条件

		第 1 回計測 (バラスト)	第 2 回計測 (満 載)
日 付		S41-12-28~29	S42-1-6~7
場 所		日ノ岬沖	日ノ岬沖
△ test		68,330 lt	140,250 lt
df × da		6.4 m × 9.6 m	15.5 m × 15.5 m
I/D		70%	158%
機関出力	1/2 負荷	12,900 PS × 93 rpm × 14.6 kt	13,575 PS × 96.4 rpm × 14.1 kt
× 回転数	3/4 "	19,660 " × 106.5 " × 16.8 "	19,370 " × 108.3 " × 15.9 "
× 船 速	85% "	22,360 " × 112.2 " × 17.6 "	22,000 " × 111.4 " × 16.5 "
	4/4 "	25,525 " × 117.3 " × 18.2 "	26,160 " × 116.8 " × 17.4 "

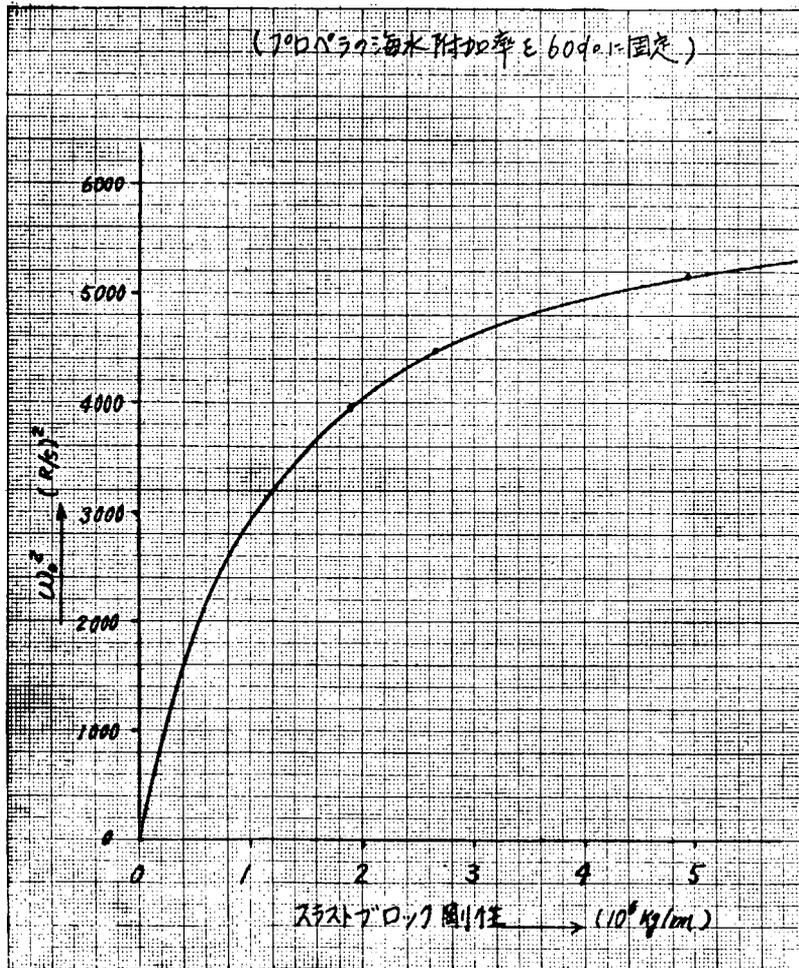
第 3.1.4 表 0 節縦振動の共振点近傍における軸系各部の
振動変位および位相角

計測点	第 1 回計測 (バラスト)		第 2 回計測 (満 載)	
	変位 (mm)	位相 角(度)	変位 (mm)	位相 角(度)
クランク軸自由端	±0.740	270	±0.705	145
スラストカラー	(0.19) ±0.140	250	(0.21) ±0.145	155
プロペラ軸-中間軸間接手	(0.22) ±0.165	245	(0.21) ±0.145	170
			(0.16) ±0.095	285
			(0.25) ±0.218	170
			(0.28) ±0.165	305
			(0.29) ±0.250	200

- (注) 1. ()内数値はクランク軸自由端に対する比振幅を示す。
 2. 各計測点の変位および位相角は、差動変圧器および加速度計により得られた両変位の調和成分ベクトル合成値を示す。変位は絶対変位を示し、位相角は各次数にかけるもので、機関No.6 UZL, T.D.C.に対する進み角を示す。



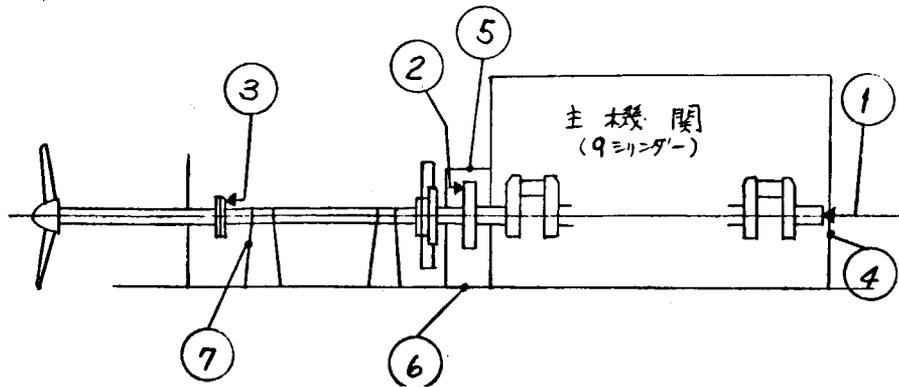
第 3. 1. 1 図 軸系の相当振動系への置換、および 0 節縦振動の振動形



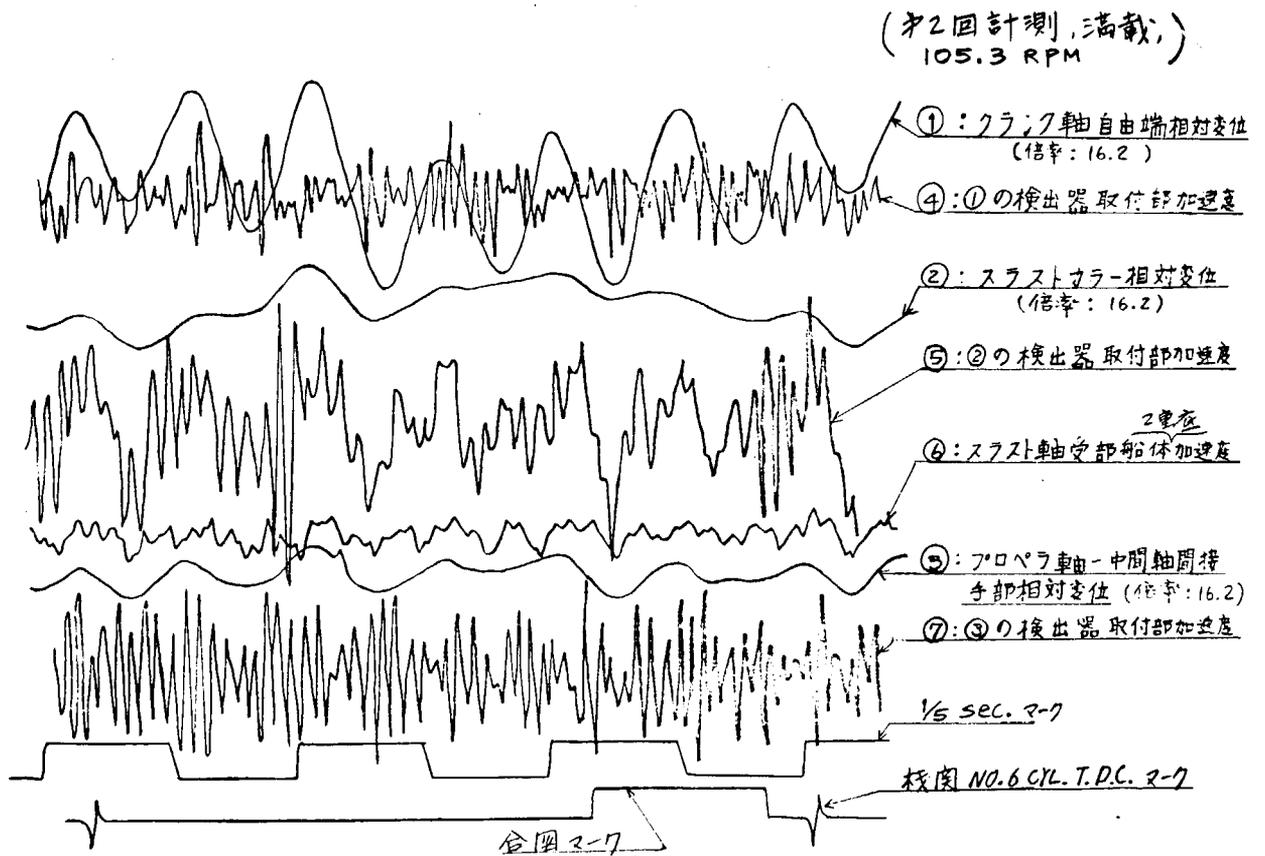
第 3. 1. 2 図 0 節縦振動の自然振動数とスラストブロックの剛性との関係

- * ① クランク軸自由端相対変位
 - ② スラストカラー 相対変位
 - * ③ プロペラ軸-中間軸間揺手部相対変位
 - ④ ① 検出器取付部加速度
 - ⑤ ② " " " "
 - ⑥ スラスト軸受部船体加速度
 - ⑦ ③ 検出器取付部加速度
- DS-36S-L型 差動変圧器 (3套) → MI-3W-11型 変位計
 EMO-121型 直記式電磁ホログラフ (1台)
 UA-2G-120型 加速度計 (4套) → DS6MTH型 動歪計 (1台)

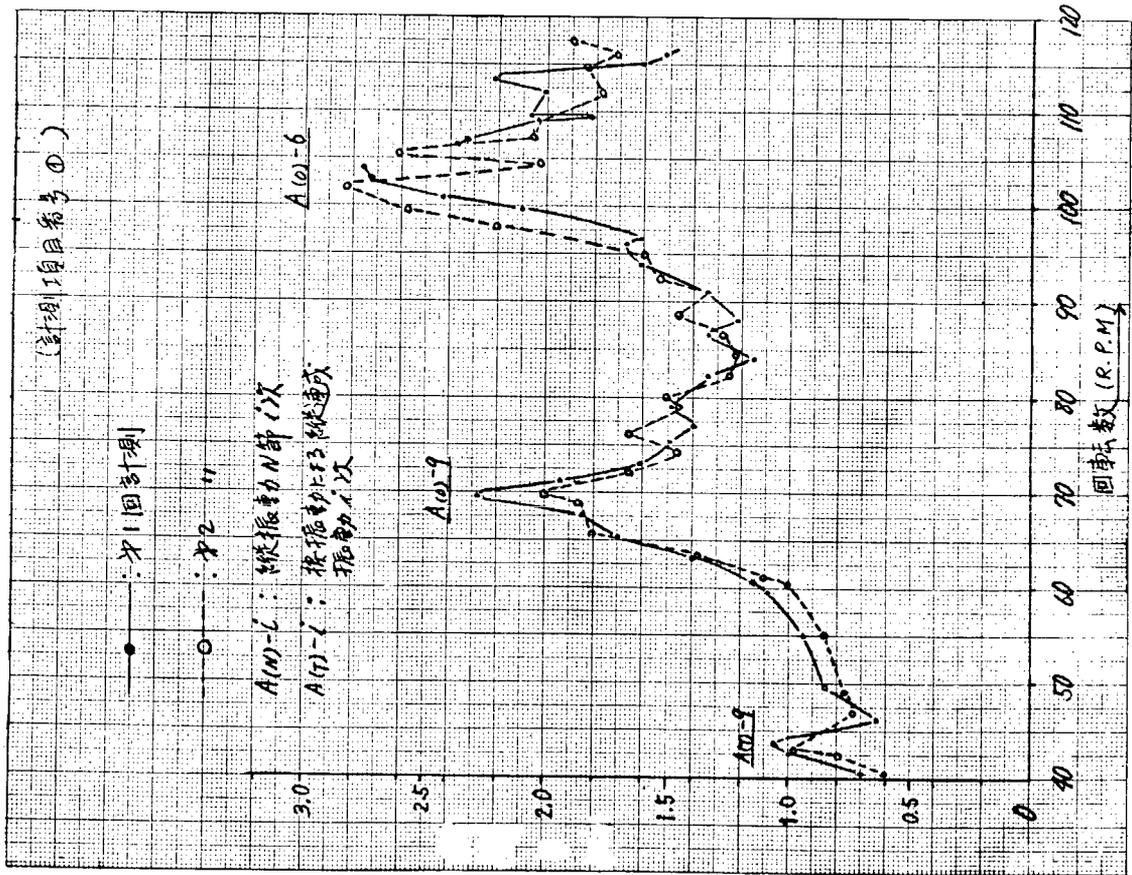
* 印箇所は同時に手持振動力計にて計測す。(2台)



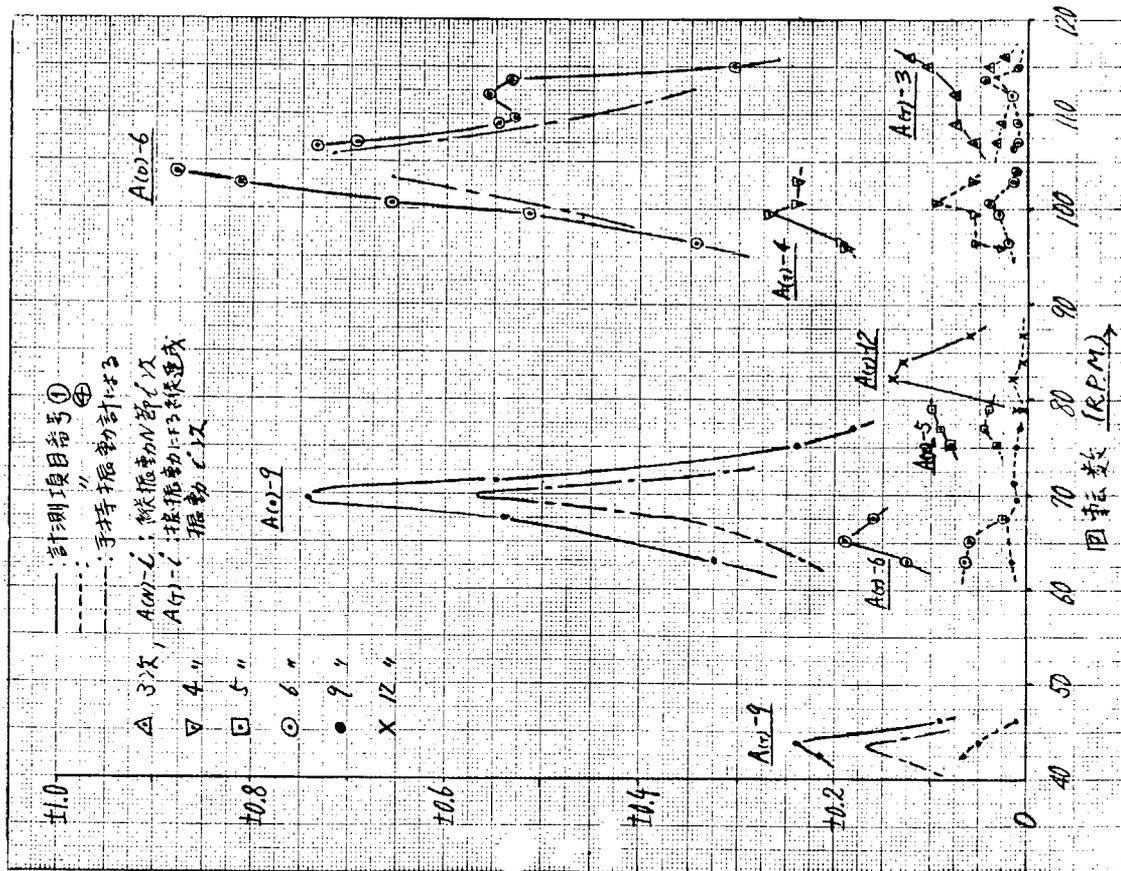
第3.1.3図 軸系縦振動計測項目、計測箇所および計測装置



第3.1.4図 軸系縦振動計測記録波形の1例



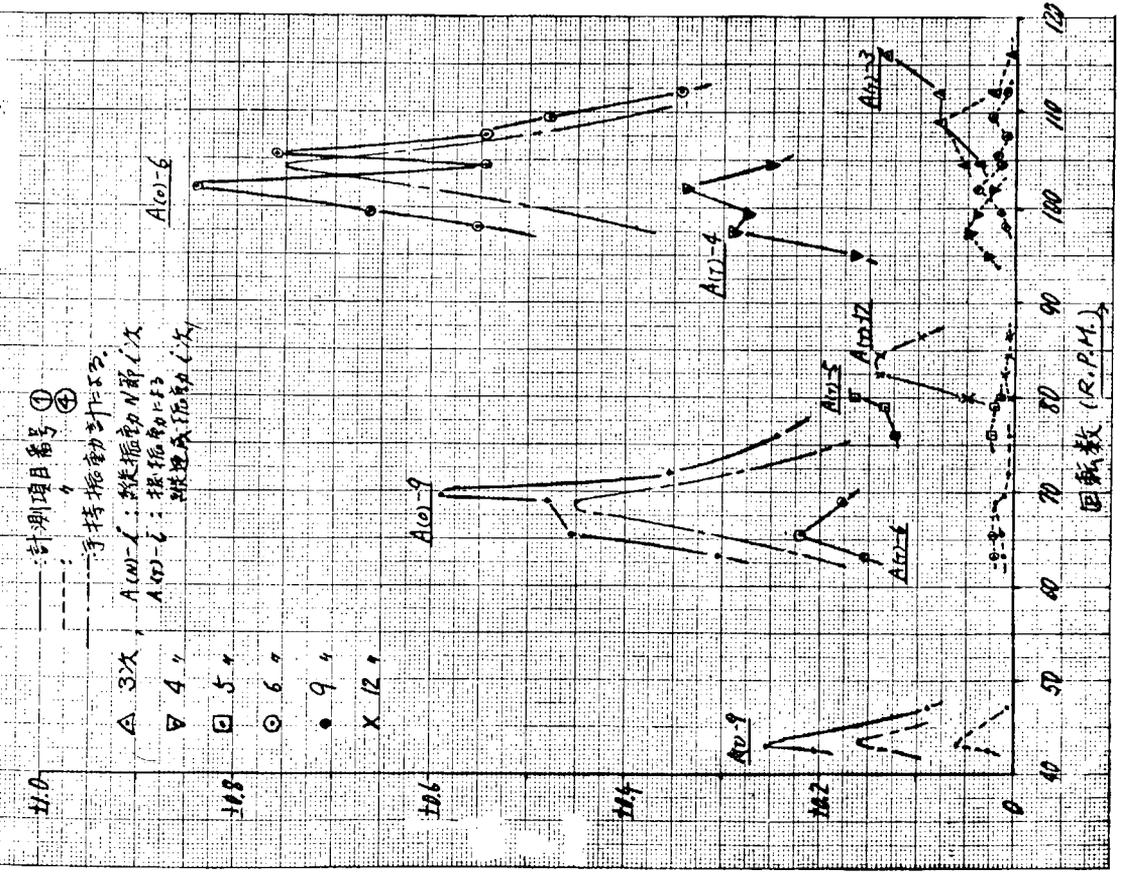
(mm) 全振幅



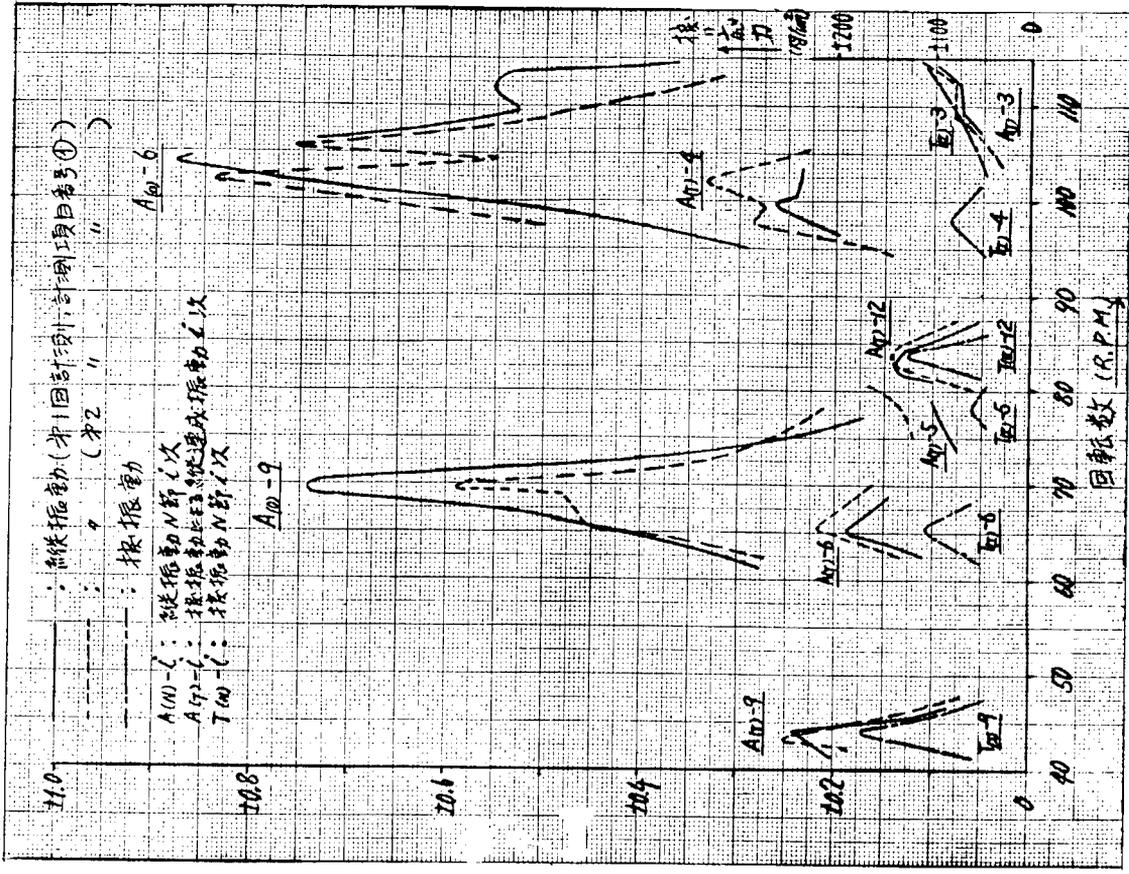
(mm) 振幅

第 3.1.5 図 クランク軸自由端縦振動相対全振幅曲線

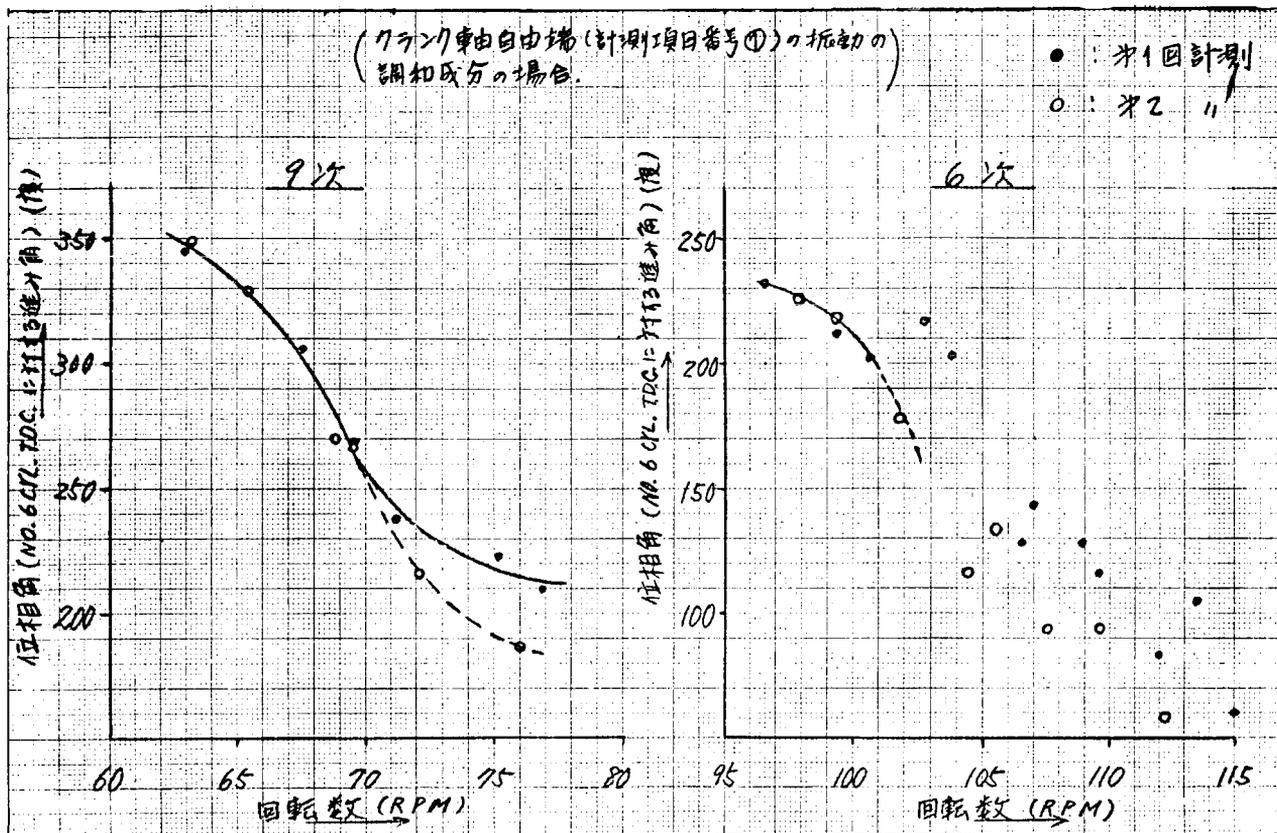
第 3.1.6 図 クランク軸自由端の縦振動調和成分振幅曲線 (第 1 回計測)



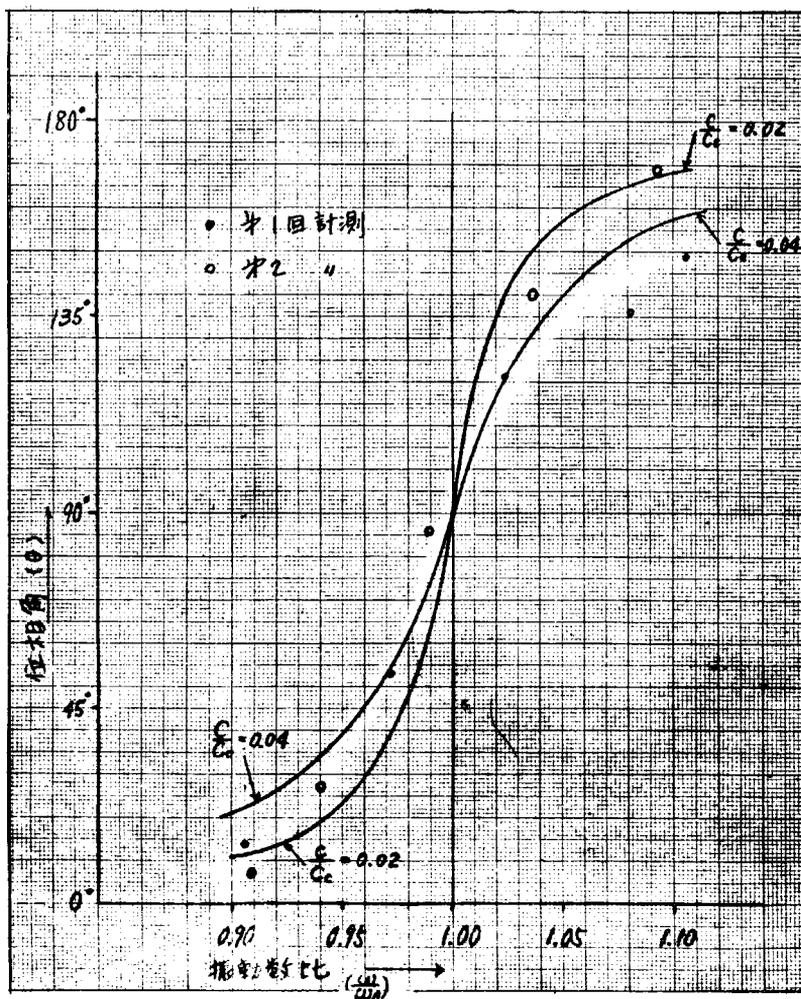
第3.1.7図 クランク軸自由端の縦振動調和成分
振幅曲線 (第2回計測)



第3.1.8図 クランク軸自由端の縦振動調和成分
振幅曲線とねじり振動付加応力曲線



第 3. 1. 9 図 0 節縦振動の共振点近傍における位相変化



第 3. 1. 1 0 図 0 節縦振動 9 次調和成分の共振点近傍における位相変化

3.2 川崎重工業1083番船中間軸のトルクおよびスラストの計測解析結果

3.2.1 測定法

計 器 FMテレメータ, ST410 2ライン(ブリモ)

測定位置 中間軸の船首側軸受の船尾側端面より約1mの軸身表面

3.2.2 測定結果

第3.2.1図 バラスト時のスラスト平均値と全振幅

第3.2.2図 バラスト時のトルク平均値と全振幅

第3.2.1表(a, b, c, d) バラスト時のスラスト調和成分と位相角

第3.2.2表(a, b, c, d) バラスト時のトルク調和成分と位相角

第3.2.3図 バラスト時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係

第3.2.4図 満載時のスラスト平均値と全振幅

第3.2.5図 満載時のトルク平均値と全振幅

第3.2.3表(a, b, c, d) 満載時のスラスト調和成分と位相角

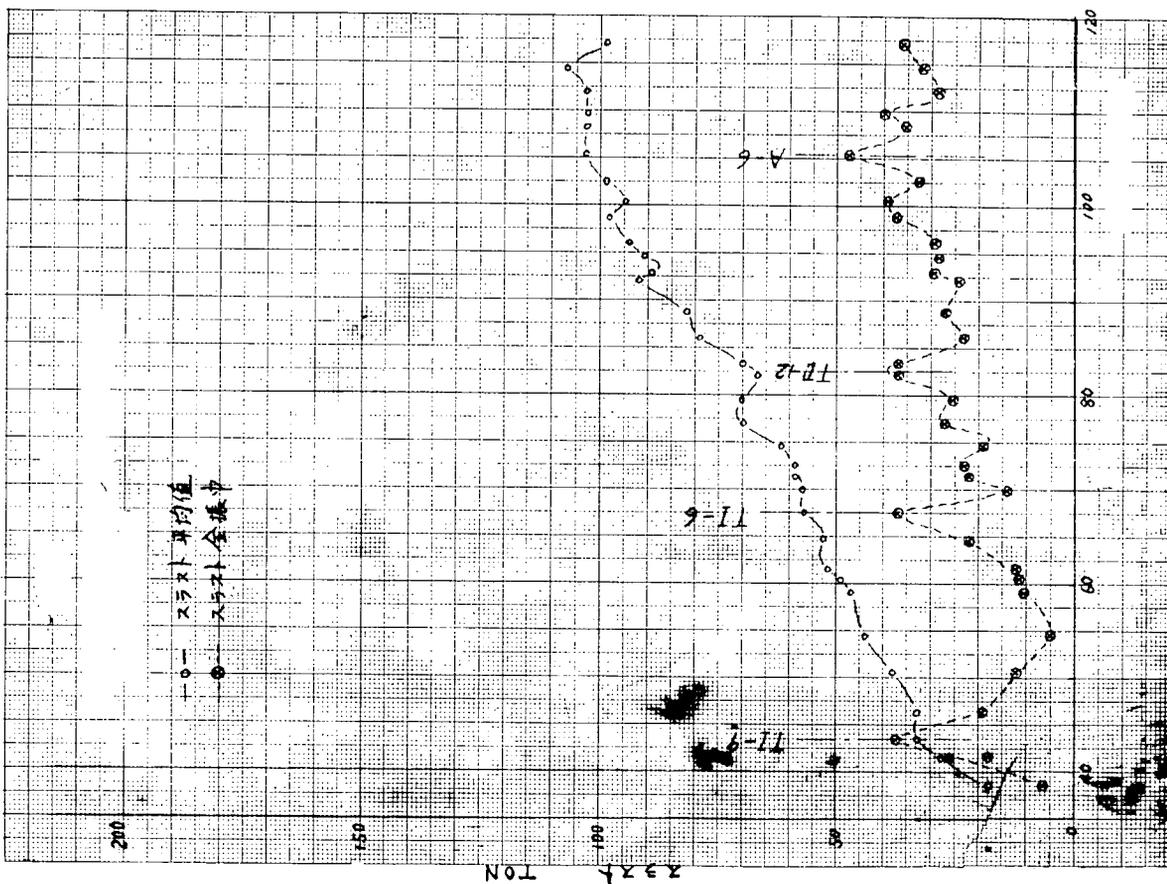
第3.2.4表(a, b, c, d) 満載時のトルク調和成分と位相角

第3.2.6図 満載時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係

バラスト時のスラストおよびトルクの共振点と調和成分振幅

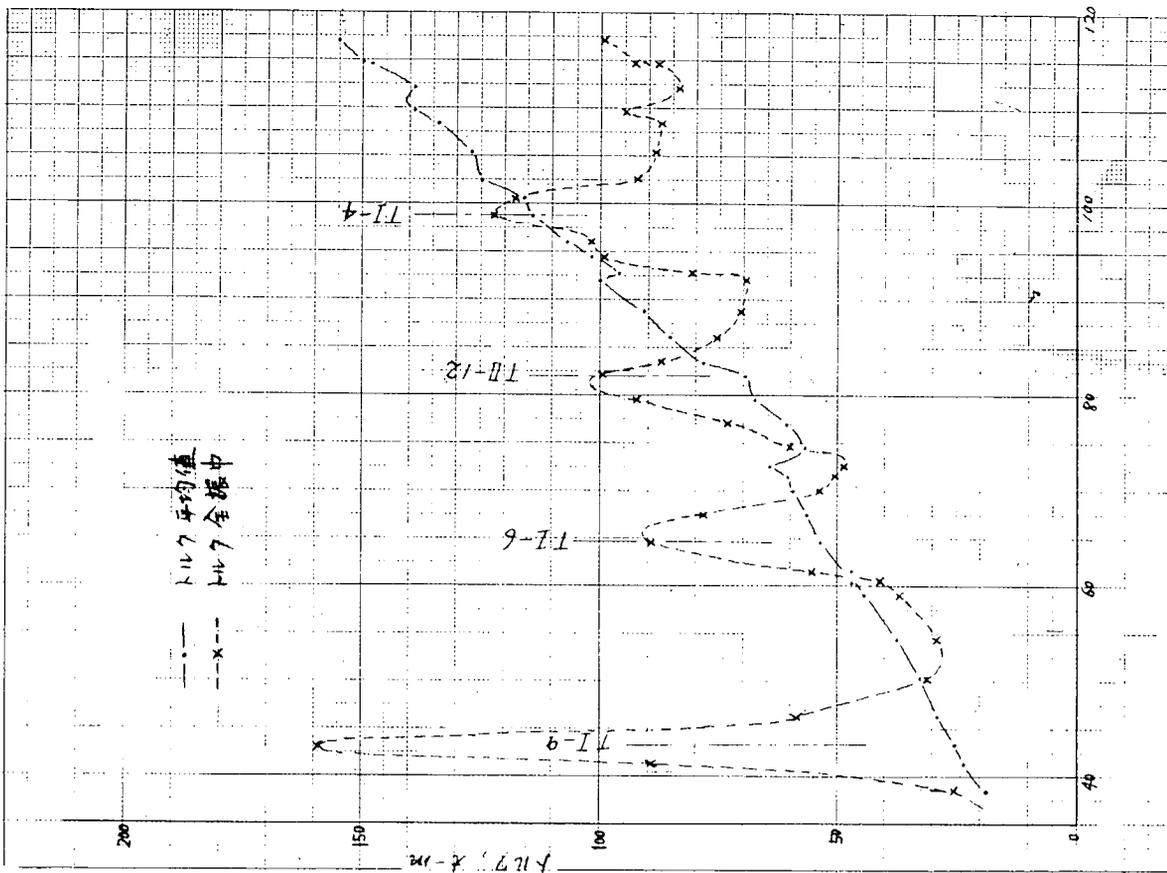
	1 節 お じ り 振 動				2 節 お じ り 振 動				1 節 縦 振 動			
	スラスト		トルク		スラスト		トルク		スラスト		トルク	
	Ton	rpm	T-m	rpm	Ton	rpm	T-m	rpm	Ton	rpm	T-m	rpm
4 次	8.0	99	3.7	99	/	/	/	/	/	/	/	/
5 次	4.7	80	2.3	80	/	/	/	/	/	/	/	/
6 次	8.8	65	3.9	65	/	/	/	/	10.5	107	/	/
8 次	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
9 次	16.5	44	7.6	44	5.3	110	9.1	110	1.8	70	/	/
10 次	/	/	/	/	2.2	99	3.3	99	/	/	/	/
11 次	/	/	/	/	3.6	92	4.6	92	/	/	/	/
12 次	/	/	/	/	10.3	82	1.8	82	/	/	/	/
13 次	/	/	/	/	/	/	3.6	77	/	/	/	/
15 次	/	/	/	/	3.0	65	5.0	65	/	/	/	/

スラスト 110rpm以上で3次成分大、60~116rpm間で6次成分1.5~6.0%、104、108、
114.5rpmでそれぞれ12次成分4.7~3.7%、111rpmで9次成分5.5%、
トルク 110rpm以上で3次成分大、20~32T-m、



回転数 (rpm)

第 3.2.1 図 バラスト時のスラスト平均値と全振幅



回転数 (rpm)

第 3.2.2 図 バラスト時のトルク平均値と全振幅

第3.2.1表(e) バラスト時のスラスト調和成分と位相角

回転数 rpm	1		2		3		4		5	
	スラスト Ton	位相角 deg								
39.4	1.15	108.43	0	170.54	0	-135.00	0	18.42	0	45.00
41.3	0.81	66.80	0.81	35.53	1.15	135.00	0	59.03	0	-0.03
41.3	1.15	90.54	2.16	12.98	0	120.96	0	-45.00	0	-0.03
43.3	2.31	-15.94	2.16	29.47	0	-26.56	0	146.30	0	11.31
46.2	3.27	1.39	0	-0.03	0	63.43	1.41	52.42	0	-90.54
50.3	1.83	-32.27	1.15	-90.54	1.15	-8.12	0	-78.69	0	0.03
54.3	0.81	-7.12	0	-51.33	0	-179.96	0	0.03	0.81	123.69
58.9	1.63	-31.43	2.16	-131.01	0	-19.42	0.81	-142.12	0.81	8.12
60.3	1.41	42.51	1.15	36.87	2.16	34.29	0	0.03	2.00	-0.03
61.5	1.15	-21.03	0.81	-89.45	0	-90.54	0	18.42	0	-36.87
62.8	2.00	83.16	2.00	0.03	0	-179.96	0	18.42	0	-90.54
64.7	3.17	-1.43	0	-179.96	1.63	-229.2	0.81	135.00	1.42	-37.57
67.6	3.06	41.76	0.81	126.87	0.81	41.63	1.41	176.44	0.81	20.55
69.8	0	101.31	0.81	45.00	0	-0.03	1.15	8.74	0.81	20.55
71.3	0.81	-21.79	0	-179.96	0.81	-66.80	0	116.56	2.16	-11.31
72.5	1.15	89.45	0.81	-40.60	0	-89.45	0	80.53	1.63	5.70
74.5	0	-68.20	0.81	-143.12	1.63	36.67	1.41	90.54	3.47	-1.32
77.0	1.63	-43.02	1.15	56.30	0	-26.56	1.15	22.61	4.25	-48.91
79.6	2.71	-5.18	1.15	-39.80	0	-56.30	0.81	41.63	4.70	-111.61
82.1	4.25	156.37	0	26.56	1.41	167.76	1.15	12.98	4.09	-140.62
83.3	2.31	157.07	2.31	-14.52	0.81	100.30	1.63	0.03	3.84	-127.12
86.1	1.15	-32.47	0	89.45	2.00	26.56	1.83	34.38	2.58	-174.30
88.7	1.63	-147.09	1.15	-171.87	1.15	-3.79	3.17	24.56	2.59	-131.19
91.9	1.41	70.56	0.81	-41.18	1.41	-33.69	5.66	23.40	2.31	-158.96
92.8	2.00	31.76	0	14.03	3.06	14.03	5.73	65.62	2.71	-171.38
94.5	1.15	31.60	2.16	-136.54	2.45	1.87	5.67	67.12	0.81	146.30
95.9	1.83	79.69	1.63	-27.89	1.41	16.38	6.18	67.49	1.63	-174.57
98.7	1.15	82.40	0.81	-144.46	2.95	11.31	7.94	108.61	2.16	-138.17
100.4	1.41	-59.03	2.00	77.73	2.83	-132.3	7.72	126.39	1.41	-120.96
102.5	1.41	-93.55	1.41	-167.47	2.95	-7.90	6.01	139.39	1.83	-171.87
105.2	1.63	-89.45	0	-179.96	3.56	-9.24	5.61	139.12	3.06	-167.47
108.3	0.81	-123.69	0.81	29.74	5.50	-16.18	4.41	163.91	2.45	-132.72
109.6	1.15	-107.09	0	111.79	3.84	-11.26	3.56	179.96	0	-168.69
111.9	1.41	-130.24	1.15	167.01	6.12	36.87	3.66	161.57	1.15	-172.41
114.5	0.81	-76.30	0.81	68.20	5.67	26.56	3.06	163.01	1.41	-173.66
114.8	2.31	-90.54	0	-18.42	7.18	-11.17	3.06	147.99	3.06	-172.30
116.1	1.63	-75.25	0	-71.57	7.68	-27.92	3.37	175.83	2.31	-130.82

注：位相角は5シリンダーT. D. C. から正転方向にとつた位相角

第3.2.1表(四) バラスト時のスラスト調和成分と位相角

次数 回転数 rpm	6		7		8		9		10	
	スラスト Ton	位相角 deg								
38.4	0	90.54	0	-116.56	0	26.56	2.00	78.23	0.81	139.39
41.3	0	111.79	0.81	69.44	1.15	101.31	7.41	41.42	0.81	-29.05
41.3	0.81	24.43	0	116.56	0	179.96	7.55	34.38	1.63	-16.69
43.3	1.41	7.12	0.81	-21.79	1.15	17.09	16.38	-27.71	1.15	-149.74
46.2	0.81	54.45	1.15	-102.99	0.81	102.52	5.30	-103.39	0.81	-105.25
50.3	0.81	-63.43	0.81	106.69	1.63	-161.57	2.16	-126.03	0.81	50.19
54.3	0.81	56.30	0.81	-130.60	1.15	-4.06	0.81	-131.19	0.81	-171.87
58.9	2.16	35.53	1.41	93.55	0	-179.96	1.15	-146.30	0	45.00
60.3	2.31	64.36	1.63	32.00	0.81	-156.80	0	-108.43	0.81	150.94
61.5	5.30	40.60	0	89.45	2.00	-165.38	0.81	-108.43	0	-89.45
62.8	5.84	56.97	0.81	123.69	0.81	-90.54	0	-141.33	0.81	-101.31
64.7	8.74	114.88	0	0.03	0.81	123.69	0	-89.45	0	63.43
67.6	5.73	169.96	0	153.43	0.81	-15.94	0.81	-5.18	0.81	179.96
69.8	5.79	178.42	1.15	94.06	0	135.00	1.83	25.45	0	-21.79
71.3	3.92	174.06	0	-71.57	0	158.20	1.63	-64.80	0	63.63
72.5	4.84	-174.11	0.81	-90.54	1.15	-184.2	0.81	-65.55	0.81	89.45
74.5	3.27	168.41	0	108.43	0.81	90.54	1.41	-139.39	0.81	-95.70
77.0	3.37	-173.05	0.81	-90.54	0	-179.96	1.15	-78.69	1.15	-114.77
79.6	4.01	179.96	0	116.56	1.15	143.12	1.41	-146.30	1.41	93.34
82.1	3.92	-175.25	2.00	168.23	1.15	-59.73	1.15	-85.61	1.83	-27.75
83.3	3.37	174.44	0	135.00	0	179.96	2.45	-88.12	0.81	-0.03
86.1	4.63	-160.28	1.15	51.33	0.81	81.87	2.58	-137.60	1.15	175.93
88.7	4.55	-156.67	0.81	-130.60	0	45.00	2.71	-147.26	0.81	-89.45
91.9	3.37	-154.06	1.15	135.00	0	184.2	3.37	-158.46	0.81	-34.99
92.8	3.92	-158.20	0	-90.54	0	-90.54	1.41	-173.66	0.81	-179.96
94.5	4.77	-146.85	0.81	-37.87	1.15	-57.52	1.15	-176.20	1.83	177.42
95.9	3.75	-163.54	0.81	163.30	0	-90.54	2.16	-143.52	1.52	-156.80
98.7	4.41	176.84	0	-161.57	0.81	-105.94	2.45	-156.80	2.16	-15.63
100.4	9.19	-145.17	2.00	168.23	0	-45.00	1.15	-155.22	0.81	12.52
102.5	6.55	146.70	0	63.43	0.81	-146.30	1.63	-153.43	2.16	85.61
105.2	8.97	-140.93	0.81	-40.60	1.15	-26.56	2.45	-157.83	0.81	116.56
108.3	10.48	-134.05	0.81	-81.87	0.81	164.05	4.84	-163.40	0	56.30
109.6	6.90	-115.95	1.41	-7.12	0.81	-135.00	4.55	-158.01	0.81	-75.96
111.9	7.13	-105.31	1.41	-30.96	0	120.96	5.30	98.88	0.81	135.00
114.5	2.31	-165.96	1.63	-40.91	1.15	15.94	3.84	82.57	1.41	100.00
114.8	4.33	-157.80	0	168.69	0.81	26.56	2.16	76.50	0.81	-179.96
116.1	6.07	-165.96	0	90.54	1.15	102.99	2.83	86.75	0	-135.00

第 3.2.1 表(c) バラスト時のスラスト調和成分と位相角

回数 rpm	11		12		13		14		15	
	スラスト Ton	位相角 deg								
38.4	0	135.00	0.81	35.53	0	-179.96	0	165.96	0	45.00
41.3	1.15	-175.93	1.41	29.74	0	120.96	0	-143.12	0	-0.03
41.3	0	135.00	1.15	94.06	0	89.45	1.15	129.8	1.41	161.57
43.3	0.81	-125.54	0.81	-24.43	0.81	-94.75	0.81	73.30	0.81	-116.56
46.2	0.81	-69.44	0	11.31	0.81	41.18	0	-153.43	1.15	-68.96
50.3	0	-53.12	0	89.45	0.81	15.25	0.81	-140.19	0.81	12.52
54.3	0.81	119.74	0.81	7.12	0	-168.69	0	-116.56	1.15	-168.69
58.9	1.15	4.38	0	-153.43	0	-56.30	0	-111.79	0	-634.3
60.3	0	0.03	0	45.00	0	-18.42	0	90.54	0	-143.12
61.5	0.81	90.54	0	0.03	0.81	-105.25	0.81	94.75	1.15	175.61
62.8	0	120.96	0.81	45.00	1.15	21.03	0.81	146.30	1.15	153.43
64.7	0.81	171.87	0	-153.43	0	45.00	1.15	-126.03	2.95	1223.5
67.6	0	0.03	0	179.96	0.81	68.20	0	71.57	2.16	6.57
69.8	0.81	60.25	1.15	-81.25	0.81	90.54	0.81	54.45	2.71	-178.7
71.3	0.81	-56.30	0.81	179.96	0	71.57	0	-18.42	0.81	-23.19
72.5	0	-90.54	0.81	-172.87	0	-143.12	0.81	45.00	2.16	-20.55
74.5	0.81	-10.30	1.83	127.41	1.41	172.87	0	108.43	0	153.43
77.0	0	-63.43	2.16	-159.44	2.58	67.52	0.81	69.44	1.15	53.96
79.6	0.81	90.54	6.90	175.25	1.41	-18.42	0	135.00	1.63	-32.00
82.1	0.81	89.45	10.35	-140.77	2.45	-70.97	3.27	-116.56	0.81	29.05
83.3	0.81	32.00	10.16	-79.32	2.16	-111.79	2.16	-52.69	0.81	-26.56
86.1	1.15	7.59	5.61	-39.70	1.83	-61.18	1.41	-49.39	0.81	483.6
88.7	1.15	-8.74	3.66	-25.40	0	135.00	1.15	17.09	1.83	71.57
91.9	3.56	-63.68	2.45	-5.89	0	80.53	0	-0.03	1.63	115.34
92.8	1.15	-102.99	2.31	-50.70	2.16	130.37	0.81	-29.05	0.81	155.56
94.5	1.83	-81.87	4.91	23.56	1.15	175.93	0.81	95.70	0	161.57
95.9	0.81	-153.43	2.16	-0.03	1.15	151.70	0	-14.03	0.81	167.47
98.7	3.56	-133.15	0.81	-90.54	0	-170.54	1.15	-89.45	0.81	0.03
100.4	0.81	-175.25	4.77	-22.16	0	161.57	1.15	45.00	0	1413.3
102.5	1.41	169.38	0.81	-4.74	0	0.03	0	161.57	0.81	-5.70
105.2	0.81	138.36	0.81	-45.00	0	-135.00	1.15	-129.81	1.15	179.96
108.3	1.15	-151.70	4.25	-3.27	2.16	-148.67	0.81	113.19	0	123.69
109.6	2.16	-164.93	1.63	-4.287	1.41	89.45	0	141.33	0.81	-5.18
111.9	0.81	173.66	1.63	-148.56	0	-179.96	0	90.54	0.81	-79.30
114.5	0	90.54	3.66	-28.29	1.83	169.69	0.81	-50.19	0.81	57.99
114.8	0.81	-0.03	2.58	-68.20	0.81	-143.99	1.41	82.87	1.41	-28.07
116.1	1.41	153.43	0.81	-9.45	0	149.03	0	-161.57	1.15	-53.96

第 3.2.1 表(3) バラスト時のスラスト調和成分と位相角

回転数 rpm	16		17		18	
	スラスト Ton	位相角 deg	スラスト Ton	位相角 deg	スラスト Ton	位相角 deg
384	0.81	290.5	0.81	81.87	0	89.45
413	0	135.00	0.81	48.36	0	-89.45
413	1.41	116.56	0	135.00	0	-89.45
433	1.15	-18.42	0.81	-156.80	0	89.45
462	0	128.66	0.81	29.74	1.15	89.45
503	0.81	-97.12	0	-179.96	0.81	89.45
543	0.81	56.30	0	30.96	2.00	89.45
589	0.81	-25.19	0.81	84.81	0.81	89.45
603	1.15	-167.01	0.81	-159.44	2.83	89.45
615	0	-30.96	1.15	160.35	2.95	89.45
628	0.81	89.45	0.81	123.69	3.75	89.45
647	0	-0.03	2.16	94.22	0	89.45
676	0.81	-123.69	0.81	-29.74	1.15	-89.45
698	0	11.31	0	-89.45	0	-89.45
713	0.81	-70.02	0	26.56	2.00	-89.45
725	0.81	-105.94	0	26.56	0	-89.45
745	0.81	-45.00	1.63	5.99	0	-89.45
770	0	-89.45	0.81	-174.81	0	89.45
796	0	89.45	1.15	-50.70	0	89.45
821	0	-90.54	1.15	12.08	0	89.45
833	0.81	116.56	0.81	-89.45	0	-89.45
861	0.81	138.81	0	56.30	1.63	89.45
88.7	0	135.00	0.81	-116.56	0	-89.45
91.9	0	-90.54	0	2.45	1.63	-89.45
92.8	1.15	68.96	0	-30.96	0	-89.45
94.5	1.15	18.42	0.81	89.45	1.41	-89.45
95.9	0.81	-48.36	0	99.46	0	-89.45
98.7	0	53.12	0.81	-173.66	0	-89.45
100.4	0.81	26.56	0.81	102.52	0	-89.45
102.5	0.81	63.43	0	135.00	0.81	-89.45
105.2	0	90.54	1.41	109.43	0	-89.45
108.3	0.81	-179.96	0.81	-45.00	0	89.45
109.6	1.41	126.26	1.41	-89.45	0	-89.45
111.9	0.81	-119.74	1.41	-86.84	0	-89.45
114.5	0.81	-135.00	0	-45.00	0.81	89.45
114.8	0	135.00	0.81	-106.69	0	89.45
116.1	0	-21.79	0	-45.00	0	-89.45

第3.2.2表(c) バラスト時のトルク調和成分と位相角

次数 回転数 rpm	1		2		3		4		5	
	トルク T-m	位相角 deg								
3.84	1.70	-167.99	0.50	141.33	0.75	-166.61	0	-89.45	0	-26.56
4.13	1.05	151.90	1.10	119.74	1.90	107.41	0.60	89.45	1.85	54.45
4.13	1.70	139.14	1.00	62.52	2.20	95.60	0.85	61.38	1.15	61.11
4.33	1.55	153.43	1.10	-75.07	1.10	-159.87	0.60	89.45	1.50	-145.55
4.62	1.05	82.40	0.60	-82.87	0.50	98.74	0.35	45.00	1.85	-14.61
5.03	0.90	92.17	0.60	-156.37	0.50	128.66	0.60	17.34	0.50	28.10
5.43	1.65	117.64	0.60	76.76	0.75	90.54	0.75	-2.57	0.35	-113.19
5.89	1.20	110.55	1.00	-89.45	1.00	63.43	1.20	-5.02	1.45	27.18
6.03	0.50	129.81	1.45	-142.85	1.25	49.57	0.35	23.19	2.05	40.81
6.15	1.40	110.72	0.50	-175.93	1.25	78.99	0.75	-23.19	1.40	188.8
6.28	2.30	110.65	0.35	0.03	1.90	89.45	0.70	66.04	2.75	41.18
6.47	1.15	47.48	0.90	-147.52	1.90	28.94	0.85	-51.70	3.70	-21.6
6.76	1.60	74.05	0.35	-179.96	2.45	63.80	1.10	-5.34	5.50	26.89
6.98	1.25	123.69	0.50	-157.38	2.65	46.60	2.90	-9.92	4.95	24.16
7.13	2.05	97.98	0.70	-124.51	2.70	47.11	2.20	-14.03	9.20	19.40
7.25	1.70	127.35	0	-101.31	2.55	38.29	2.70	-9.70	7.90	15.90
7.45	1.70	84.06	0.60	-122.74	2.50	36.38	3.15	-25.40	14.00	-6.57
7.70	0.85	156.56	0.50	-160.35	2.60	47.72	4.05	-18.42	19.35	-27.76
7.96	1.85	71.22	0.75	-177.42	3.55	37.67	4.20	-28.72	22.80	-77.63
8.21	1.00	91.94	0.35	122.78	3.45	50.78	5.65	-14.55	26.90	-100.07
8.33	1.35	62.78	0.35	69.44	3.90	30.06	6.40	-9.61	14.55	-110.78
8.61	1.60	102.52	0	-179.96	4.85	35.44	9.55	-1.24	11.90	-110.71
8.87	1.50	146.68	0.90	143.97	4.70	32.97	12.05	0.03	9.60	-121.04
9.19	2.65	98.45	0.90	143.97	6.60	36.87	15.20	8.77	9.95	-124.37
9.28	1.35	43.95	1.00	158.96	6.65	26.01	21.30	26.61	8.20	-124.93
9.45	1.60	90.54	0.90	-177.91	7.35	22.46	25.60	32.91	8.35	-132.93
9.59	0.50	53.96	1.15	156.57	7.45	24.84	29.85	41.17	8.90	-124.07
9.87	1.55	38.66	1.30	138.23	9.65	29.40	35.80	82.85	8.00	-132.84
10.04	1.40	119.74	1.80	100.20	12.50	26.78	31.75	98.33	9.05	-122.94
10.25	1.00	-139.18	1.00	83.89	13.15	22.60	31.00	108.78	7.25	-135.79
10.52	0.60	-137.49	1.60	128.86	14.85	18.73	24.10	124.51	8.50	-142.12
10.83	0.75	131.42	1.75	94.56	17.20	14.29	19.65	133.08	7.30	-145.53
10.96	1.50	-138.81	1.95	89.01	20.40	11.18	18.90	139.73	7.25	-134.40
11.19	2.30	-123.21	1.45	105.37	22.20	3.19	18.80	134.84	6.25	-137.07
11.45	1.10	-147.80	3.05	85.30	28.50	-2.04	15.70	142.08	7.05	-151.62
11.48	0.85	143.61	2.65	126.42	29.95	6.27	15.40	137.90	9.85	-136.16
11.61	0.50	-81.25	3.15	84.87	30.75	0.42	13.20	138.94	6.70	-136.50

注：位相角は5ピストンT.D.C.から正転方向にとった角度

第3.2.2表(b) バラスト時のトルク調和成分と位相角

次数 rpm	6		7		8		9		10	
	トルク T-m	位相角 deg								
55.4	0.50	-31.60	0	146.50	0.90	101.31	9.40	84.12	1.10	-165.07
41.3	1.10	71.57	1.25	82.09	3.80	120.87	37.40	56.19	5.40	-66.80
41.3	1.20	32.44	1.45	57.84	3.35	132.44	39.35	53.39	5.80	-56.20
43.3	1.80	-52.90	1.25	-162.07	0.90	-11.31	76.45	-9.40	0	-161.57
46.2	1.55	1.26	0	-90.54	2.95	73.30	26.40	-95.26	0.90	69.44
50.3	2.35	-11.44	0	-179.96	2.65	-149.03	10.90	-101.86	0.35	78.69
54.3	4.55	5.38	2.85	-137.00	1.20	-121.83	6.80	-113.47	0	71.57
58.9	10.85	11.93	1.60	96.33	0.85	-118.61	4.80	-119.59	0.35	74.05
60.3	12.95	120.7	2.75	111.93	0.35	97.12	4.35	-113.24	0.35	15.94
61.5	19.20	23.61	1.20	89.45	0.70	-92.83	4.10	-123.28	0.35	-119.05
62.8	26.10	31.82	1.70	71.57	0	-90.54	4.40	-115.94	0.70	-90.54
64.7	39.10	81.33	2.40	108.69	0.35	-36.80	2.80	-115.53	0.35	164.54
67.6	28.00	138.87	0.70	69.77	1.05	-74.58	4.10	-126.18	0.50	-98.12
69.8	19.65	148.12	1.55	44.09	0.35	-143.12	3.05	-152.24	0.35	-60.25
71.3	13.15	142.61	1.45	75.96	0.55	-52.12	2.55	-145.20	0.35	0.03
72.5	14.55	149.85	0.70	111.24	1.10	-95.34	2.25	-132.45	0.70	-152.10
74.5	11.90	148.35	1.10	114.14	0.65	-29.74	2.20	-138.28	0.35	-33.69
77.0	10.80	156.65	0.75	55.61	0	-90.54	2.60	-124.99	0	-45.00
79.6	9.80	157.54	0.85	99.09	0.60	21.79	1.60	-133.21	0	-71.57
82.1	9.50	162.79	1.10	88.18	0.50	22.61	1.70	-117.09	0.75	20.84
83.3	8.70	159.42	0.50	58.38	0.70	-32.90	2.05	-122.36	0.70	106.69
86.1	8.40	160.73	1.20	136.2	0.35	-65.55	2.50	-112.98	0.60	169.99
88.7	8.90	163.52	0.60	75.96	0.70	5.70	2.45	-133.26	0.85	177.64
91.9	7.50	163.98	0.50	39.29	0	-14.03	2.80	-125.78	0.85	-41.63
92.8	7.60	170.27	0.70	22.82	0.50	-18.42	2.05	-151.23	0.65	-125.54
94.5	7.00	167.61	1.05	34.22	0.70	2.98	1.45	-133.02	1.55	-150.57
95.9	8.05	172.91	0.85	53.12	0.50	-11.31	1.10	-151.82	1.30	-142.52
98.7	8.65	173.61	0.35	45.00	1.20	1.65	1.25	-128.16	3.25	-52.52
100.4	9.85	179.62	1.10	29.05	1.25	37.18	1.55	-141.54	2.05	-29.74
102.5	9.80	175.21	0.75	37.87	0.50	38.66	1.50	-108.00	1.70	0.03
105.2	10.85	-178.53	1.35	15.11	1.30	35.36	3.35	-102.26	0.35	19.97
108.3	9.70	-167.08	1.50	29.57	1.40	43.99	7.15	-110.68	0.85	6.83
109.6	9.55	-161.09	1.30	-2.98	1.65	62.35	9.10	-149.11	1.05	39.56
111.9	7.70	-169.36	0.85	2.26	1.40	58.29	7.95	50.44	0.75	35.84
114.5	7.50	-173.72	0.85	-11.76	1.55	57.71	4.30	126.99	1.00	70.91
114.8	7.35	179.96	2.25	-35.96	4.55	43.11	3.85	91.01	1.70	-24.79
116.1	8.90	-168.47	1.25	-25.86	1.70	49.14	3.35	126.39	0.35	0.03

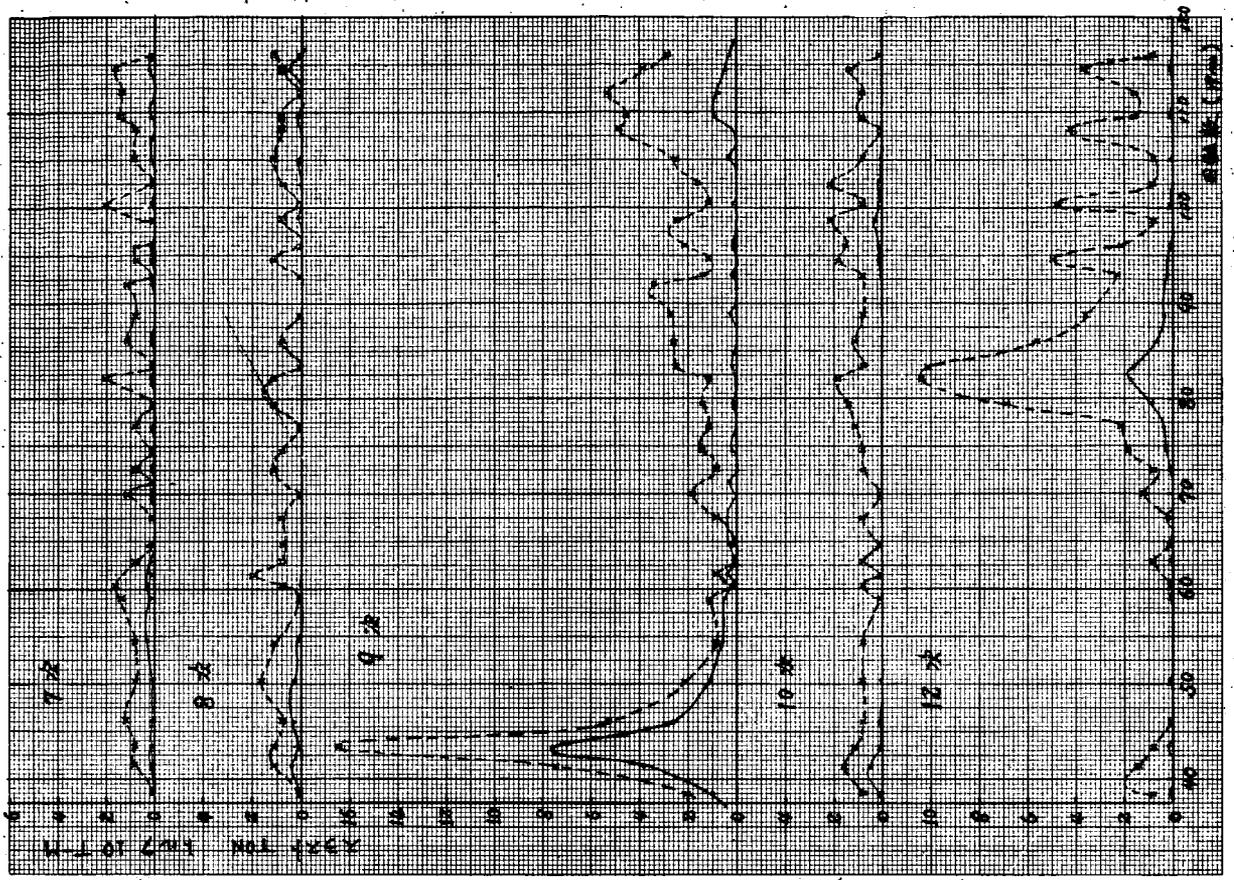
第 3.2.2 表(c) バラスト時のトルク調和成分と位相角

次数 回転数 rpm	11		12		13		14		15	
	トルク T-m	位相角 deg								
38.4	1.70	121.76	1.10	3.67	0	-90.54	0	90.54	0.50	-105.94
41.3	1.80	-133.41	1.00	-22.92	1.10	-114.14	0	-71.57	0.50	-105.94
41.3	2.10	-147.37	1.60	26.00	0.60	-120.96	0.35	-45.00	0.75	-142.59
43.3	0.90	-55.70	1.95	-5.601	1.35	-25.90	1.00	85.93	0.85	-117.64
46.2	0.70	130.91	0.90	38.66	0	-90.54	0.70	18.42	2.05	-128.05
50.3	0.35	127.88	1.25	40.42	0	90.54	0	-45.00	0.35	-50.19
54.3	0.50	148.39	0.70	87.30	0.35	-119.74	0.50	112.61	0.50	-109.64
58.9	0.35	90.54	1.05	99.78	0.60	-86.65	0.35	146.30	0.35	164.05
60.3	0.35	161.57	0.70	51.33	0	-90.54	0.35	89.45	1.10	-155.86
61.5	0.35	-108.43	0.75	113.19	0.35	-113.96	0.70	179.96	1.05	-170.54
62.8	0.35	105.94	0.70	75.96	0.85	-87.73	0.60	124.70	1.25	-176.74
64.7	0.35	95.18	1.35	82.69	0.50	151.39	1.05	135.00	5.00	145.07
67.6	0.35	131.63	2.20	125.22	0	-165.96	0.50	135.00	3.55	53.58
69.8	0	-38.66	2.10	98.67	0.70	-150.94	0.85	106.92	2.35	27.71
71.3	0	99.46	1.85	97.66	1.00	-155.22	0.50	-151.39	0.90	63.43
72.5	0.50	129.81	1.85	115.60	1.50	-148.56	0.60	-72.65	0.70	23.95
74.5	0	-81.45	3.05	98.03	1.55	-166.61	0	-63.43	0.70	26.56
77.0	0.35	-65.55	3.50	112.12	3.65	122.77	0.70	83.99	0.85	92.35
79.6	0.60	21.79	8.70	134.34	1.20	42.61	0.35	-4.74	0.35	45.00
82.1	0.90	-171.57	17.60	-179.92	0.35	30.96	0.90	79.11	0.90	98.74
83.3	2.00	123.41	16.35	-121.82	0.50	94.06	1.35	171.03	0.50	50.70
86.1	2.20	88.18	6.70	-74.56	0.60	123.69	0.85	-123.02	0.70	57.99
88.7	3.25	61.18	3.60	-60.67	0.35	19.97	0.50	-75.07	0.70	57.08
91.9	4.60	0.39	3.55	-79.59	0	0.03	0.75	-85.04	0	18.42
92.8	1.95	-49.39	2.45	-32.78	0	68.20	0.35	-129.81	0.60	-17.34
94.5	0.75	-79.69	1.95	-35.42	0.50	26.56	0.35	-135.00	0.35	9.45
95.9	1.75	-67.56	1.45	-52.84	0.35	97.12	0.60	-130.24	0.60	-19.43
98.7	1.30	-77.47	2.20	-56.36	0.35	-34.99	0.35	-95.70	0.85	12.25
100.4	0.35	-113.96	1.65	-29.29	0.35	-105.94	0.35	-95.18	0.90	-0.03
102.5	0.50	-75.07	1.85	14.57	0.35	-172.87	0	-101.31	0.50	63.43
105.2	0.35	-57.99	0.90	26.56	0.35	156.80	0.35	-89.45	0.35	54.45
108.3	1.20	-48.49	1.45	30.25	0.35	164.05	0.35	-83.66	0.35	-26.56
109.6	1.35	-67.75	0.60	-3.34	0.35	-140.3	0.35	32.00	0.60	-86.65
111.9	0.90	-118.44	0.35	-30.96	0.35	-170.54	0	90.54	0.35	-71.2
114.5	0.70	171.47	1.00	-2.01	0	-63.43	0.70	174.00	0.35	5.18
114.8	1.65	170.02	1.40	-53.12	1.25	146.30	1.55	-134.99	1.35	-166.33
116.1	1.15	-105.70	0	89.45	0	-89.45	0.85	-82.87	0.35	-41.63

第3.2.2表(4) バラスト時のトルク調和成分と位相角

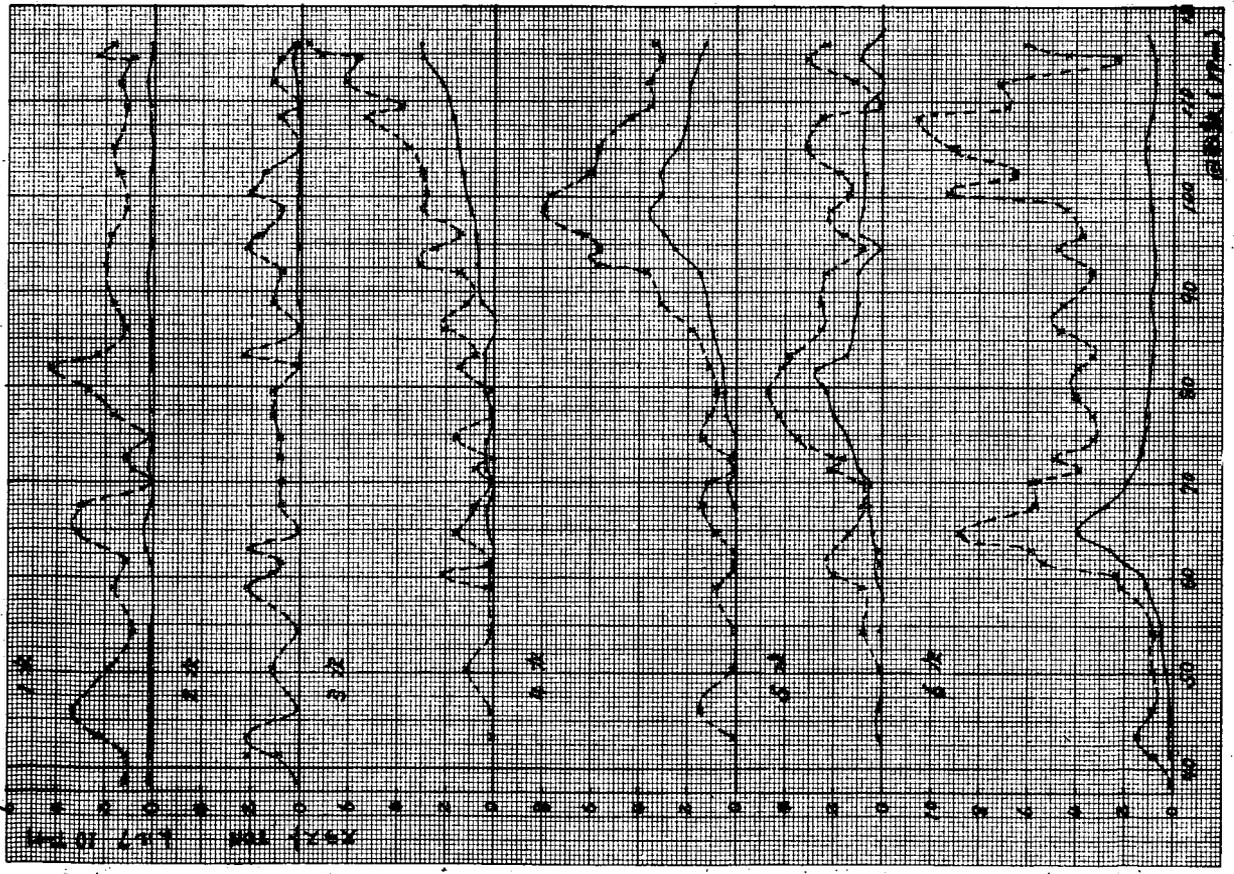
回転数 rpm	16		17		18	
	トルク T-m	位相角 deg	トルク T-m	位相角 deg	トルク T-m	位相角 deg
38.4	0.50	-19.64	0	75.96	0.85	89.45
41.3	0.50	-31.60	0.35	-90.54	0.85	89.45
41.3	0.35	-6.33	0.35	-122.01	0.60	89.45
43.3	1.55	-113.70	0.75	-149.93	1.95	89.45
46.2	0	-11.31	0	-99.46	0	89.45
50.3	0.50	-112.61	0.60	14.03	0.35	89.45
54.3	0	90.54	0.35	78.69	1.00	89.45
58.9	0.35	-48.80	0.85	-97.12	0	89.45
60.3	0.50	-51.33	0.70	-153.43	0	89.45
61.5	0.60	6.33	0.50	-104.03	0	-89.45
62.8	0.60	77.47	0	-170.54	0	-89.45
64.7	0.50	108.43	0.70	-162.48	0.85	89.45
67.6	0	158.20	0.60	146.30	0.35	89.45
69.8	0.35	-138.36	0.50	146.12	0	89.45
71.3	0.50	118.61	0.35	90.54	0.75	89.45
72.5	0.35	60.25	0.35	-140.19	0.75	89.45
74.5	0.35	123.61	0	-14.03	0.70	89.45
77.0	0.35	-52.12	0	89.45	0	-89.45
79.6	0	-149.03	0.35	37.87	0.60	89.45
82.1	0	116.56	0.35	160.02	0	89.45
83.3	0.60	159.44	0.75	-142.59	0.35	89.45
86.1	0.35	-116.56	0.35	-144.46	0.35	-89.45
88.7	0.50	71.57	0.60	90.54	0.60	89.45
91.9	0.35	-172.87	0.75	179.89	0	-89.45
92.8	0.35	127.88	0.60	-109.43	0.35	-89.45
94.5	0	-90.54	0.35	168.69	0	-89.45
95.9	0.50	-81.87	0.50	-112.61	0	-89.45
98.7	0.50	-147.52	0.70	-64.80	1.00	-89.45
100.4	0.50	45.00	0.35	0.03	0	-89.45
102.5	0.90	-59.41	0.50	-4.38	0	89.45
105.2	0	90.54	0	-90.54	0.70	89.45
108.3	0	-63.43	0	14.03	0.35	89.45
109.6	0.50	-51.33	0.35	35.53	0.50	89.45
111.9	0	-179.96	0.35	-56.30	0	89.45
114.5	0	0.03	0	168.69	0.35	89.45
114.8	1.40	157.93	1.70	129.96	2.50	89.45
116.1	0	116.56	0.35	0.03	0.70	89.45

—トルク
--x--スラスト



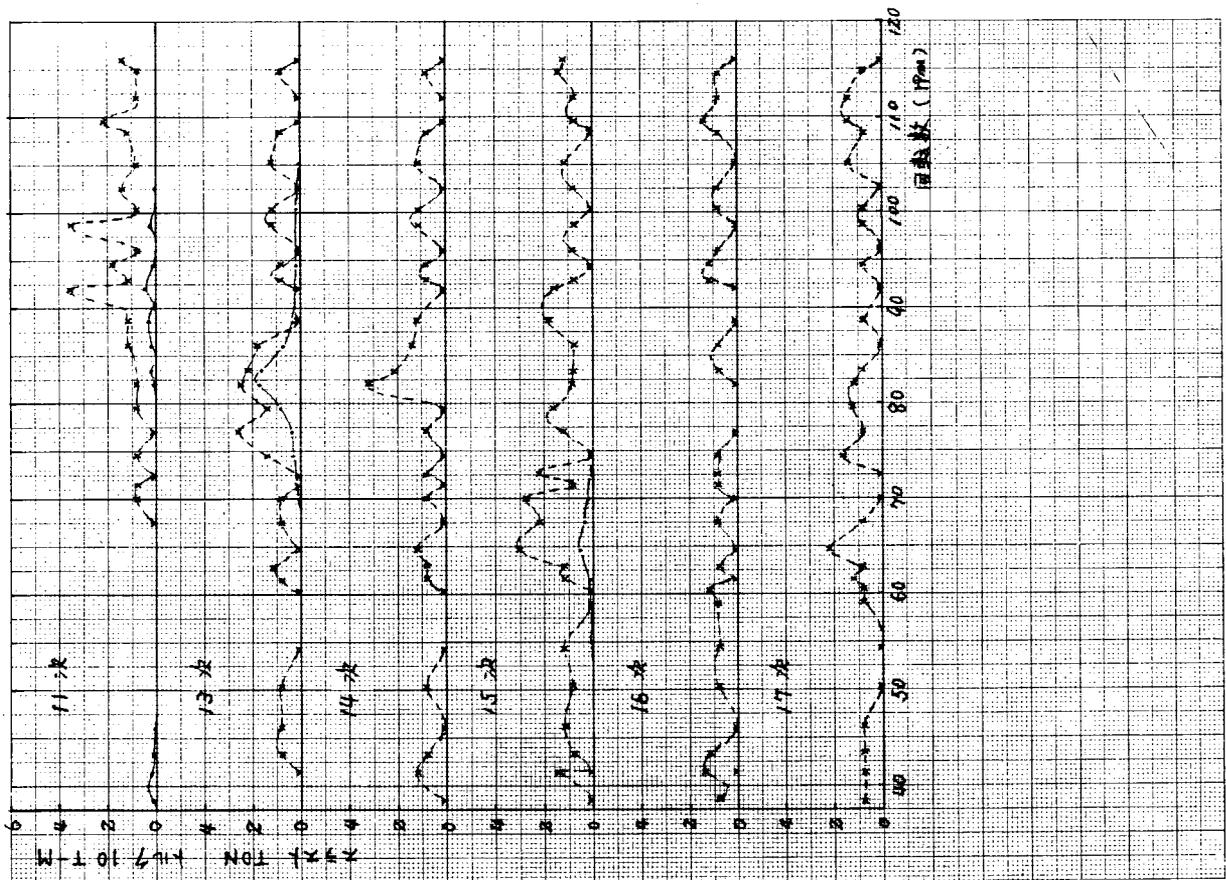
第3.2.3 図(b) パラスタ時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係

—トルク
--x--スラスト

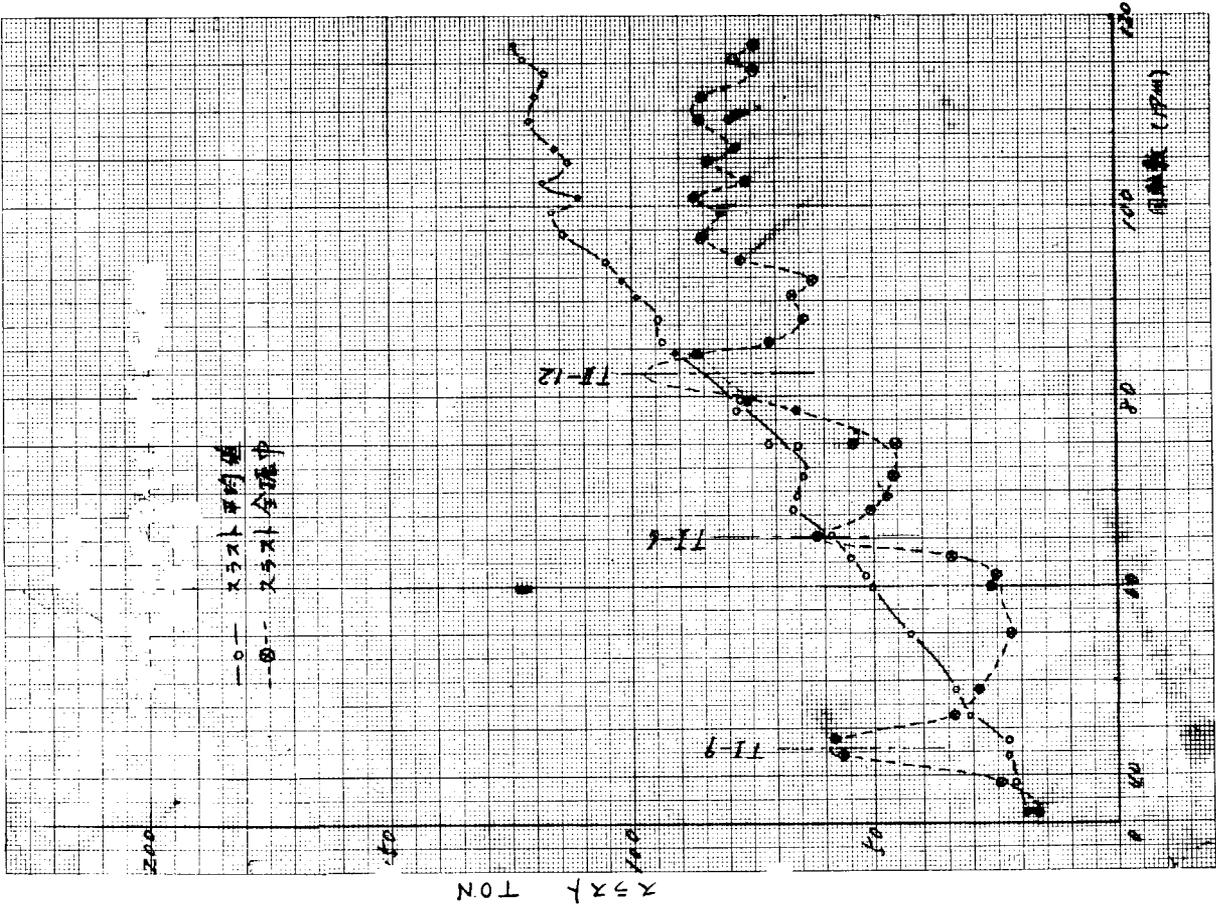


第3.2.3 図(a) パラスタ時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係

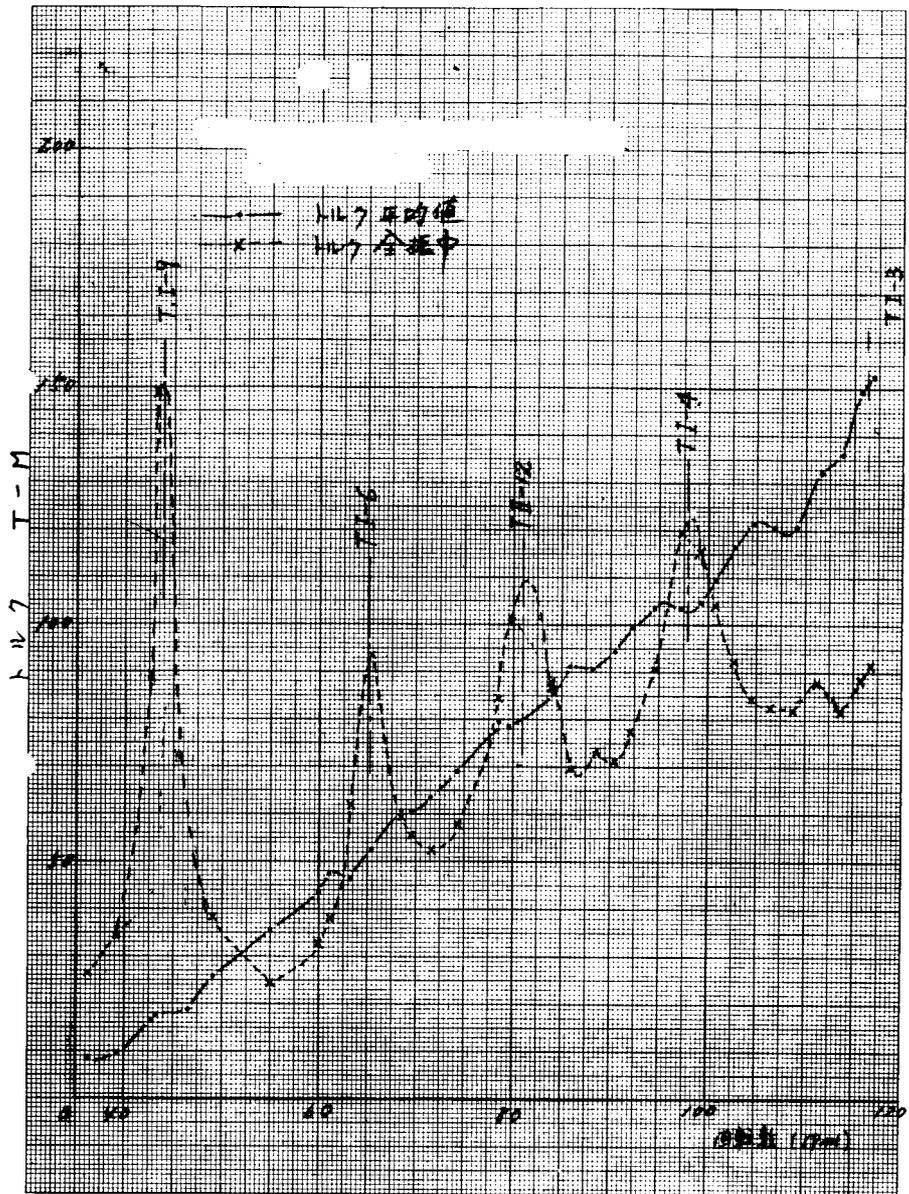
●——トルク
 ×---スラスト



第3.2.3図(c) バラスト時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係



第3.2.4図 満載時のスラスト平均値と全振幅



第 3. 2. 5 図 満載時のトルク平均値と全振幅

第 3.2.3 表(a) 満載時のスラスト調和成分と位相角

次数 rpm	1		2		3		4		5	
	スラスト Ton	位相角 deg								
36.1	1.08	-138.57	0	116.56	0	143.12	0.48	174.81	0	56.30
39.3	1.74	-132.71	0.96	2.69	0.68	36.87	0.96	75.96	0.83	-86.65
42.6	2.46	-150.39	0.48	165.96	0.83	-42.51	1.18	112.24	1.67	155.69
43.2	1.99	-117.18	0	-89.45	0	-161.57	1.28	167.01	0.48	-45.00
46.5	2.69	-116.56	0.48	-179.96	0	-89.45	0.96	132.88	0.48	98.12
49.0	2.73	-127.07	0.48	122.01	0	45.00	1.08	-171.87	0.68	-94.38
55.0	1.45	-138.99	0.48	-142.12	1.53	-95.51	0.48	-174.29	1.53	-146.81
60.0	2.46	-138.17	0.48	90.54	0.48	-165.96	0.48	95.18	1.28	-125.54
61.0	1.45	-53.12	1.18	175.44	0.48	-90.54	0.83	164.48	0.48	-164.05
63.2	1.60	-126.53	0.48	66.04	0.48	-113.19	0.83	179.96	0.68	-89.45
65.3	5.02	-179.96	1.28	36.02	1.36	-173.89	0.83	108.43	2.51	-146.00
68.6	0	45.00	0.83	106.38	1.08	-140.52	1.74	168.69	1.60	-122.74
69.6	2.21	-143.87	0	0.03	1.08	-167.20	1.53	150.25	2.90	-137.02
71.6	2.21	-136.79	0.83	76.76	1.87	-150.06	1.08	153.43	5.21	-152.96
74.4	1.53	-145.30	1.74	60.63	1.60	-176.55	1.18	150.25	7.21	-162.42
74.6	2.69	-137.93	0.68	45.00	1.36	-165.47	0.83	103.24	7.06	-170.92
78.5	1.67	-46.16	1.28	-168.69	0.96	-174.00	2.82	172.15	11.50	133.64
79.6	0.68	-38.66	0.48	-290.6	1.36	-90.54	2.78	166.93	11.44	113.96
82.4	1.93	-168.41	0.68	-12.08	2.16	-174.93	3.38	160.02	7.95	96.99
84.1	0.48	-140.8	1.53	178.24	1.60	-167.66	4.71	-175.89	7.30	75.04
85.7	1.13	-49.89	0	89.45	2.21	-136.79	5.34	170.11	7.21	63.26
88.5	2.39	-140.85	1.81	16.98	4.04	-144.22	5.82	174.29	5.58	76.44
90.5	2.16	-170.96	0.96	87.16	2.86	175.17	9.04	-172.00	5.94	50.60
92.1	0	-89.45	1.67	31.82	3.74	-169.56	10.68	-157.62	4.30	45.00
94.4	0.48	26.56	0	-78.69	3.71	-164.16	13.81	-146.86	4.79	56.94
97.1	1.60	-146.30	0	18.42	5.82	-162.62	18.46	-119.18	4.88	65.46
99.3	0	-179.96	0.96	-90.54	5.18	-179.50	19.94	-88.64	4.79	28.37
100.9	0.83	-9.45	0.83	-161.57	6.63	-165.66	16.87	-74.53	5.58	48.85
102.6	1.28	107.09	0.96	-120.46	7.35	-166.70	14.68	-56.82	4.84	41.35
104.6	3.38	117.30	2.94	-129.69	11.42	-179.96	10.66	-56.08	1.08	117.76
106.8	0	116.56	0.48	-41.18	9.77	-179.19	10.83	-42.10	3.87	31.70
109.0	0.96	-2.83	1.93	-135.00	11.37	-179.55	9.20	-45.63	3.99	36.59
111.7	0.48	113.1	2.05	-60.42	12.77	175.23	8.46	-35.69	5.05	39.17
113.8	1.28	129.8	1.93	-106.14	14.13	165.72	8.18	-27.47	3.87	29.12
115.8	2.51	62.44	1.74	-175.25	16.19	154.12	7.71	-25.27	5.64	43.26
116.9	1.36	33.11	1.28	-78.69	16.92	157.47	8.53	-31.07	4.40	50.35

注：位相角はNo.5ピストンT.D.Oから正転方向にとった角度

第3.2.3表(b) 満載時のスラスト調和成分と位相角

次数 回転数 rpm	6		7		8		9		10	
	スラスト Ton	位相角 deg								
36.1	265	-46.46	0.68	128.66	0.83	33.69	3.71	-37.61	0.48	-26.56
39.3	232	-28.70	0	104.03	0.48	82.87	6.60	-50.35	1.81	178.52
42.6	282	-10.91	0	-161.57	0	179.96	2.44	-100.97	1.36	-77.90
43.2	342	-0.76	1.36	93.92	1.36	114.77	3.395	-138.69	1.81	-63.43
46.5	237	-31.76	0.48	-95.70	0.68	-131.99	10.14	14.668	0.48	57.99
49.0	331	-5.86	0.48	-179.96	2.10	-18.84	6.60	130.24	0.68	42.27
55.0	145	-36.87	1.45	34.22	0.83	150.25	3.21	97.76	0.48	63.3
60.0	210	130.32	0.68	31.60	0.48	-142.12	0.83	100.00	0	158.20
61.0	365	172.41	0.83	-35.53	0.96	-145.48	1.08	63.43	0.48	-63.42
63.2	872	171.06	0.68	28.60	1.28	-70.20	0	-161.57	0.83	-143.74
65.3	1891	-107.87	1.45	-131.01	1.45	61.69	0.68	-98.12	0.48	-16.69
68.6	1472	-54.89	1.36	-77.90	2.42	82.03	2.16	152.15	0.83	-7.12
69.6	1243	-58.95	0.96	-109.23	1.08	87.53	2.05	166.29	0.48	95.18
71.6	236	-54.24	0	-11.31	0.68	102.99	4.59	149.65	1.08	85.04
74.4	266	-41.75	0.96	-62.10	0.48	113.96	3.49	136.12	0	-0.03
74.6	213	-40.27	0.83	34.69	0.48	-105.25	3.28	139.76	1.28	21.6
78.5	348	-29.78	1.45	-38.36	1.08	-5.18	3.52	130.01	0	165.96
79.6	738	-31.60	1.08	-343.8	0.68	0.03	3.74	104.21	0.48	66.04
82.4	881	-35.17	0.48	-146.30	1.08	0.03	3.28	126.03	2.16	102.80
84.1	836	-21.36	1.74	-77.12	1.18	73.07	3.31	102.61	1.18	123.69
85.7	793	-25.62	0.83	-47.28	1.28	79.11	3.96	113.74	0.48	-105.25
88.5	887	-25.16	0.96	-66.04	1.81	82.30	4.35	91.87	0.48	-90.54
90.5	1002	-8.32	1.36	-435.3	2.10	143.39	5.16	83.01	1.53	171.12
92.1	1002	-17.11	1.45	-157.83	0.83	86.44	3.55	86.10	0.68	-113.19
94.4	1139	-3.14	0.68	-93.79	0.48	74.05	3.81	62.78	0.83	-172.87
97.1	1258	-8.62	1.18	-89.45	1.36	-164.05	5.25	71.23	3.38	66.37
99.3	1390	11.03	1.18	-146.30	1.18	145.00	3.45	-45.56	5.45	116.33
100.9	1597	10.11	0.48	111.79	0.48	64.04	4.07	66.17	3.90	165.62
102.3	1485	16.65	0.68	-175.93	0.48	135.00	5.09	64.65	4.32	-161.77
104.6	1660	26.48	3.17	-363.5	2.82	25.06	7.03	41.66	1.87	-82.69
106.8	1282	14.87	1.60	178.29	0.48	136.04	7.86	58.06	2.56	-100.88
109.0	1529	12.05	2.21	-157.97	0.48	-30.96	1.456	39.87	2.26	-62.35
111.7	1419	19.72	1.99	-142.85	0.68	-176.20	11.96	-29.05	0.96	-141.33
113.8	1369	18.10	0.83	-139.39	0.48	81.37	7.19	-32.62	1.93	-85.72
115.8	1557	28.39	0.48	123.69	2.21	-148.39	8.67	-54.08	0.83	-49.75
116.9	1728	19.29	1.36	136.39	1.53	-170.84	7.04	-53.49	1.74	146.30

第3.2.3表(1) 満載時のスラスト調和成分と位相角

回転数 rpm	11		12		13		14		15	
	スラスト Ton	位相角 deg								
361	0.48	-53.12	0.48	62.44	0	71.57	0	90.54	0.48	135.00
393	0.48	-123.69	0.48	-39.80	0.48	-59.03	0.48	-160.02	0.48	89.45
426	0.48	-99.46	1.53	-55.29	0.83	-124.70	0	90.54	0	90.54
432	0.83	-172.87	0.96	-20.21	0.96	83.99	0.48	-77.47	0	-89.45
465	0.48	-49.39	0.48	-123.69	0.68	-155.22	0.68	-126.03	1.74	-88.44
490	0	0.03	1.45	-147.37	0.68	170.9	0.48	109.97	2.32	46.68
55.0	0.83	-71.57	0.68	-123.69	0	89.45	0.68	67.38	1.28	155.38
600	0.48	-15.25	1.53	-88.18	0.48	84.81	0.48	33.69	0.95	60.63
610	0	90.54	2.10	-86.02	0.83	-132.51	0.48	-19.97	0.83	71.57
632	1.18	-126.39	1.36	-119.68	0.96	-144.78	0.83	-124.70	1.28	-83.42
653	0.83	-96.70	1.53	-114.90	0.48	179.96	1.08	-92.57	8.64	20.66
686	1.45	-103.56	3.24	-113.87	0.96	125.22	0.68	-32.47	6.52	-83.19
696	0.48	-49.39	2.69	-86.95	0.68	170.9	0.48	-89.45	5.18	-78.19
716	1.28	-70.20	3.58	-118.30	1.08	84.81	1.81	32.00	2.53	-96.45
744	1.36	-79.50	4.79	-101.08	2.16	75.65	1.08	113.19	2.82	-109.05
746	1.28	-60.52	4.64	-126.51	2.21	60.09	0.96	-81.02	1.93	-115.27
78.5	1.18	179.96	8.02	-126.66	2.98	-77.77	0.83	-90.54	1.18	29.74
796	0.48	20.55	8.27	-130.49	4.07	-119.91	0.96	-111.24	1.45	39.56
82.4	0.96	157.17	2.611	-9.59	2.51	-179.96	2.80	-15.84	1.74	74.05
84.1	2.26	25.45	21.25	59.92	1.08	167.20	1.45	50.43	2.21	134.12
85.7	1.28	-30.58	16.77	70.10	0.48	90.54	0.96	55.48	2.32	103.17
88.5	4.16	-86.69	9.06	106.11	2.05	64.65	1.60	74.29	4.16	123.87
90.5	5.38	-162.22	3.93	95.63	1.87	168.11	1.60	-164.29	2.60	-169.32
92.1	4.88	151.66	6.19	159.44	1.93	87.16	1.93	115.27	3.90	-137.00
94.4	1.45	78.69	4.02	93.42	1.08	179.96	0.68	50.19	1.67	-94.88
97.1	2.60	114.17	2.60	-148.67	0	-179.96	0.48	10.30	2.73	-97.12
99.3	2.78	143.52	3.38	-175.93	1.87	148.78	0.83	-0.03	2.94	-68.89
100.9	3.06	119.41	2.32	-139.26	1.53	-116.56	1.28	-85.61	2.16	-75.65
102.6	0.43	89.45	2.82	28.76	0.96	39.09	1.67	54.45	1.08	-87.53
104.6	3.58	68.63	4.74	39.20	2.90	105.41	1.81	-147.17	3.35	-119.54
106.8	1.28	51.00	2.78	117.89	0.48	41.63	0	45.00	1.93	-94.27
109.0	1.81	-0.03	3.42	151.26	0.68	-53.12	1.08	55.61	2.56	-104.29
111.7	1.81	28.60	2.32	146.97	1.81	-100.71	0.83	149.03	2.73	-123.41
113.8	0.96	-90.54	1.08	-0.03	0.96	-92.83	0.96	107.52	2.56	-125.79
115.8	1.67	5.02	0.68	-26.56	0.96	-147.09	0.48	140.19	2.94	-149.19
116.9	0	-108.43	2.46	143.80	1.60	-104.03	1.28	-51.00	2.65	-134.25

第 3.2.3 表(d) 満載時のスラスト調和成分と位相角

回転数 rpm	16		17		18	
	スラスト Ton	位相角 deg	スラスト Ton	位相角 deg	スラスト Ton	位相角 deg
36.1	0.83	61.92	0.48	-45.00	0.68	89.45
39.3	0.48	-89.45	0	104.03	1.28	89.45
42.6	0	153.43	0.68	-24.77	0.83	89.45
43.2	0	-90.54	0.83	122.74	1.36	89.45
46.5	0	89.45	0.48	-159.44	0.83	89.45
49.0	0.83	-45.00	0.68	-118.61	1.53	89.45
55.0	0.96	78.11	1.28	-154.44	3.28	89.45
60.0	0.48	89.45	0.83	157.62	2.60	-89.45
61.0	1.18	94.75	0.96	133.02	3.68	-89.45
63.2	0.83	164.48	0.48	179.96	3.71	-89.45
65.3	1.60	-164.29	3.84	14.55	6.34	-89.45
68.6	0	-51.53	2.42	-79.59	6.10	-89.45
69.6	0.48	-102.52	1.36	-115.64	4.24	-89.45
71.6	0	103.43	1.18	-71.57	3.28	-89.45
74.4	0.83	54.45	1.81	-136.08	1.99	-89.45
74.6	1.28	89.45	0.48	104.03	0.68	-89.45
78.5	1.28	117.55	1.08	-160.02	1.99	89.45
79.6	1.45	152.59	0.48	-98.12	2.26	-89.45
82.4	0.96	130.91	0.48	145.00	1.53	-89.45
84.1	0.48	-45.00	1.08	-100.30	4.98	-89.45
85.7	1.08	167.20	0.48	-45.00	2.94	-89.45
88.5	1.53	75.53	1.45	-141.94	2.05	-89.45
90.5	0.68	-37.9	1.60	-88.29	0.48	89.45
92.1	1.36	-12.08	0.68	-28.29	2.32	-89.45
94.4	2.37	-20.27	1.81	124.12	2.21	89.45
97.1	1.87	-76.67	0.83	151.92	0	89.45
99.3	0.48	-108.43	1.60	145.83	2.26	89.45
100.9	2.10	-83.37	1.36	161.57	2.51	89.45
102.6	1.18	-94.56	0	-78.69	2.64	89.45
104.6	2.78	-165.96	3.96	-118.44	2.56	89.45
106.8	0.83	-126.26	0.83	-176.44	0	89.45
109.0	0	63.43	2.16	-156.30	3.93	89.45
111.7	1.67	-49.75	0.68	135.00	1.28	89.45
113.8	1.81	0.03	1.60	100.30	1.28	-89.45
115.8	2.21	-20.40	1.08	100.30	0.48	-89.45
116.9	1.53	-28.17	0.83	93.34	0	89.45

第 3.2.4 表(a) 満載時のトルク調和成分と位相角

回数 rpm	1		2		3		4		5	
	トルク T-m	位相角 deg								
36.1	0.60	-150.25	0.60	-130.60	0.60	7.12	0.30	-0.03	0.80	174.81
39.3	2.00	-29.74	1.60	-177.54	1.20	-1.59	1.00	-152.59	0	0.03
42.6	0.80	126.39	0.80	177.54	0.50	-123.69	1.00	-76.43	1.70	-0.03
43.2	1.80	-143.56	1.40	-101.31	0.70	98.53	1.70	-77.97	0.70	-46.98
46.5	0.70	158.75	1.00	-136.33	0.60	163.61	0.60	-32.73	0	78.62
49.0	1.20	162.13	0	108.43	0	0.03	1.00	-79.50	0	81.45
55.0	0.90	90.54	0.80	-159.15	0.80	85.44	0	-63.43	0.90	72.90
60.0	1.00	77.90	0	-90.54	1.00	91.94	0.80	-17.64	1.10	65.09
61.0	1.40	55.91	0.60	-176.65	1.20	68.84	0.60	-22.37	1.80	36.87
63.2	1.10	108.43	0.30	-123.69	1.30	97.90	0.60	32.73	1.40	33.27
65.3	3.50	94.75	1.70	-139.26	1.50	72.80	0.30	-98.12	3.20	52.73
68.6	1.20	71.57	0.90	-171.25	1.90	80.36	3.30	-65.97	4.40	63.01
69.6	0.90	89.45	0.80	-177.64	1.70	63.43	1.80	-26.56	6.00	71.35
71.6	1.40	88.56	0.60	137.49	2.70	67.20	2.10	-50.56	10.20	55.10
74.4	1.60	90.54	0.70	147.99	2.70	62.10	2.90	-46.97	14.70	43.10
74.6	1.40	145.92	0.80	2.35	2.30	64.61	3.00	-22.55	14.30	36.14
78.5	1.90	82.33	0.30	127.88	2.30	48.07	4.80	-44.08	23.40	-15.81
79.6	1.20	49.75	1.40	152.78	2.70	43.39	5.80	-36.37	26.00	-40.52
82.4	0.80	116.56	0	89.45	3.10	62.24	6.50	-49.01	14.90	-66.36
84.1	0.80	-153.43	1.90	98.42	6.50	55.41	6.00	-33.02	16.60	-75.57
85.7	1.20	74.29	1.60	173.80	4.50	47.94	9.60	-31.82	12.40	-81.44
88.5	1.70	76.55	1.70	149.03	5.30	33.82	11.60	-28.08	9.40	-87.38
90.5	0.30	41.18	0.60	-162.65	5.40	36.02	15.30	-16.03	9.70	-98.09
92.1	0.70	60.94	2.10	175.25	6.50	45.00	17.50	-7.61	7.90	-95.23
94.4	1.50	76.60	1.30	163.61	7.60	42.12	25.10	7.46	8.60	-97.99
97.1	0	-14.03	1.40	127.75	9.30	49.39	34.20	32.79	7.20	-94.87
99.3	0.50	78.69	0.90	89.45	10.20	35.82	33.90	64.75	7.30	-107.53
100.9	1.20	1.59	1.60	96.47	11.50	38.49	31.60	75.13	7.60	-104.82
102.6	0.30	-29.74	2.00	96.10	12.60	39.51	26.90	89.45	7.60	-107.13
104.6	0.80	-146.30	1.60	95.18	13.70	32.93	22.90	102.69	6.90	-108.52
106.8	0.60	47.48	2.10	94.75	16.10	27.88	20.20	112.27	7.10	-104.66
109.0	0.70	-177.01	2.50	94.01	19.10	30.21	17.10	118.30	7.60	-108.34
111.7	1.20	-145.83	3.10	87.39	21.70	24.97	14.70	122.44	7.30	-112.27
113.8	0.80	-114.22	3.00	100.24	24.40	16.67	15.00	125.85	6.80	-106.89
115.8	2.00	16.53	1.30	130.60	28.30	3.04	12.70	129.24	8.20	-121.53
116.9	1.70	-133.26	2.90	89.45	28.80	7.35	13.90	127.38	6.50	-117.13

注：位相角は5ピストンT.D.C. から正転方向に与った角度

第 3. 2. 4 表(b) 満載時のトルク調和成分と位相角

次数 回転数 rpm	6		7		8		9		10	
	トルク T-m	位相角 deg								
36.1	0.70	117.89	0.30	-179.96	0.50	14.92	7.80	163.41	1.40	146.72
39.3	1.40	164.25	0.50	-109.64	0.60	-56.30	13.70	143.15	3.20	-188.2
42.6	1.10	-169.04	0.90	89.45	0.50	151.39	48.40	97.27	0.30	140.3
43.2	3.50	-137.52	3.40	-58.82	3.70	-74.89	69.70	67.20	4.60	97.56
46.5	0.80	-148.23	0.30	-138.36	1.50	-5.30	21.60	-10.92	1.00	-91.87
49.0	1.30	-172.10	0.60	-60.63	4.20	140.88	12.50	-35.44	0.70	-107.52
55.0	1.90	-82.47	1.90	-89.45	0.70	-108.43	6.80	-42.62	0.50	-45.00
60.0	8.90	-54.94	1.20	159.44	0.60	-111.79	5.00	-50.50	0	-89.45
61.0	12.10	-34.88	1.20	157.89	0.50	89.45	4.80	-54.15	0.90	118.44
63.2	22.70	-21.11	1.50	159.91	0.50	105.94	3.00	-53.81	0.60	-130.24
65.3	38.60	35.67	1.40	127.15	0.80	177.64	3.50	-59.33	1.10	5.34
68.6	22.60	91.06	0.50	126.03	1.10	-170.84	3.90	-67.42	0.60	163.61
69.6	20.80	87.73	0.90	-94.22	1.00	-138.99	3.00	-72.85	0.30	-81.87
71.6	14.30	93.53	0.60	130.60	0.80	-77.19	2.50	-72.35	0	89.45
74.4	12.50	97.12	1.20	90.54	0.70	-154.66	2.90	-62.17	0.50	-141.33
74.6	13.10	111.62	1.40	143.97	1.00	-117.40	2.40	-80.53	0.30	-179.96
78.5	9.30	106.08	0.70	-126.87	1.10	-89.45	2.20	-89.45	0.30	-10.30
79.6	10.90	118.00	0.50	131.99	1.30	-59.29	2.10	-75.00	0.30	-138.36
82.4	10.90	115.54	1.10	126.16	0.80	-82.57	2.60	-61.01	0.90	-78.69
84.1	7.20	123.53	1.90	152.95	1.30	133.92	2.70	-54.81	1.00	-74.58
85.7	9.40	132.35	0.30	63.43	0.30	-56.30	1.90	-99.63	0.50	72.90
88.5	9.30	123.26	0.80	82.87	0.60	-29.35	1.10	-77.27	0.60	137.49
90.5	6.70	130.87	0.60	132.71	1.10	-3.55	1.20	-100.62	0	18.42
92.1	8.90	140.07	0.60	150.64	0.70	-45.00	0.90	-87.82	0.70	141.33
94.4	8.40	141.29	0.60	67.62	0.90	-13.49	1.30	-78.69	1.10	172.65
97.1	9.10	141.08	1.00	56.88	1.20	-11.62	2.00	-74.74	2.60	-169.63
99.3	8.90	150.31	1.00	81.45	0.50	45.00	1.40	-101.88	2.70	-112.50
100.9	8.30	137.45	1.70	57.99	0.50	56.30	1.80	-71.57	1.40	-97.30
102.6	8.90	148.11	1.10	37.23	1.20	-24.30	2.10	-73.39	0.80	-40.10
104.6	8.00	144.00	1.10	20.76	0.80	2.45	2.90	-67.81	0.30	-40.60
106.8	9.20	153.63	1.40	29.74	1.60	0.03	4.30	-76.43	0.30	-79.69
109.0	9.20	156.86	0.80	48.80	1.80	7.96	7.40	-102.61	1.00	-28.29
111.7	9.80	151.74	1.50	31.86	1.50	17.99	7.00	-166.68	0.70	-8.53
113.8	9.90	157.74	1.10	30.65	1.30	26.56	4.20	168.21	0.50	-51.33
115.8	8.80	153.01	2.90	59.03	2.00	81.87	1.80	139.02	2.00	-136.43
116.9	10.00	164.91	1.40	12.67	2.10	15.94	3.20	140.93	0	63.43

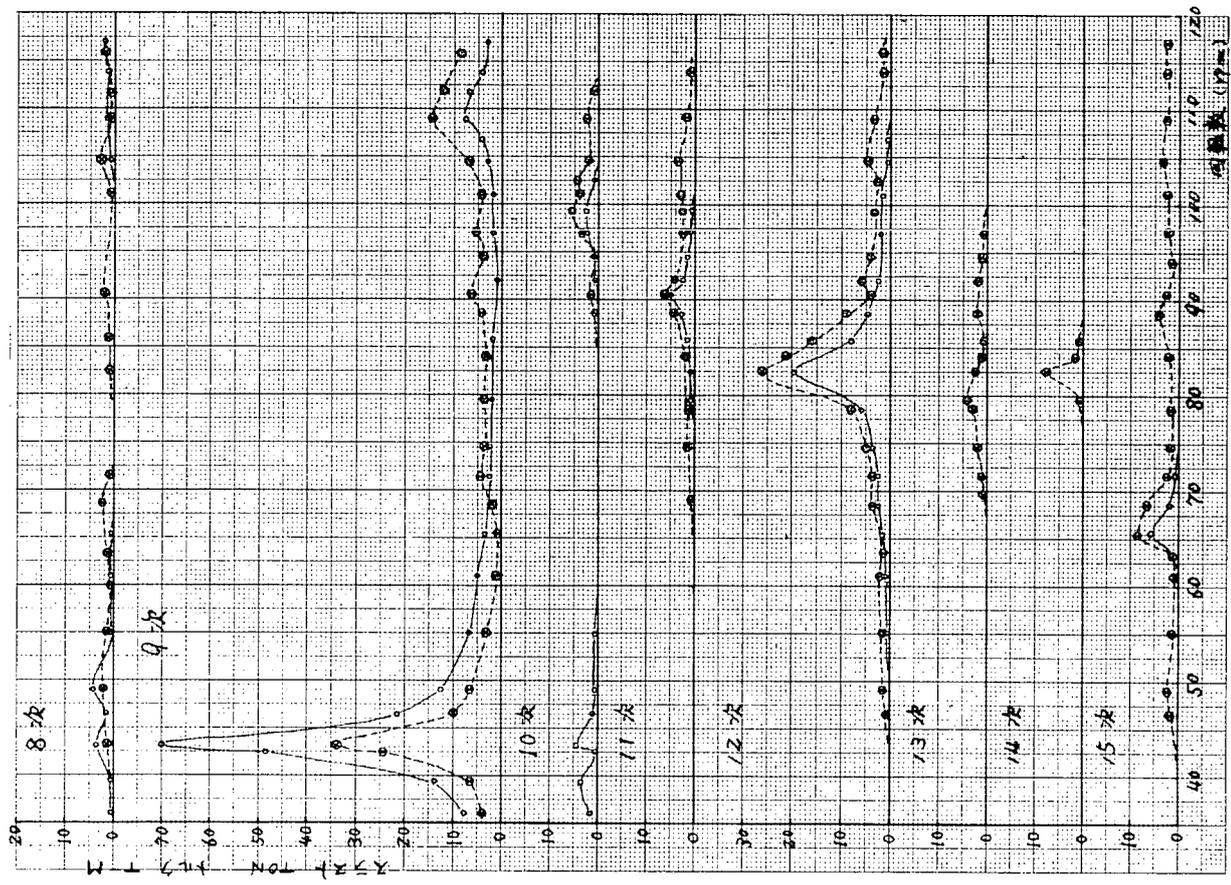
第3.2.4表(c) 満載時のトルク調和成分と位相角

次数 rpm	11		12		13		14		15	
	トルク T-m	位相角 deg								
3.61	0.70	-49.08	0.30	-116.56	0.60	113.62	0	-78.69	0.30	135.00
3.93	0	0.03	0.80	-135.00	0.70	64.80	1.00	-15.94	0	-101.31
4.26	0.30	-102.52	0.70	-128.66	1.20	4.88	0.50	57.52	0.70	75.96
4.32	1.50	24.77	1.80	-162.98	0.80	-36.38	1.40	125.22	0	-45.00
4.65	0	0.03	1.20	-54.45	0.30	25.19	0.80	151.18	1.60	46.78
4.90	0.30	-153.43	0.80	-343.8	0.50	72.90	0.30	-52.12	0.30	-95.18
53.0	0.30	131.19	0.50	-422.7	0.50	-94.06	0.30	-131.63	0.30	-95.70
60.0	0.30	179.96	0.80	-184.2	0	-71.57	0.30	-74.74	1.10	-53.83
61.0	0.30	-20.54	0.80	-184.2	0	-81.45	0	89.45	1.20	-68.84
63.2	0.50	151.70	1.40	-165.4	0.60	103.24	0.30	-135.00	1.90	-45.74
65.3	1.40	65.43	1.60	-27.11	0.30	81.2	0.80	-9.09	5.80	-108.20
68.6	0.30	-161.57	2.40	203.4	0.80	-46.73	0.30	-71.57	1.80	161.20
69.6	0.30	135.00	1.90	2.04	0.30	-100.30	0.90	-23.74	1.30	171.87
71.6	0.30	132.32	2.50	204.5	0.50	-105.94	0.60	-107.35	0.80	131.63
74.4	0.30	-171.87	2.70	353.3	2.20	-71.57	0.60	-74.47	1.30	146.30
74.6	0.30	116.56	3.60	30.17	1.90	-90.54	0.60	-103.24	1.40	90.54
78.5	0.60	-130.24	5.70	475.5	2.10	153.43	0	0.03	0.80	-167.20
79.6	0.60	-72.38	7.00	51.47	1.30	125.00	0	-116.56	0.60	86.65
82.4	0.80	-90.54	1.940	116.51	1.00	-9.03	1.10	67.52	0.80	145.00
84.1	4.10	-144.22	10.50	178.66	1.20	86.75	3.10	154.33	1.00	-47.85
85.7	1.40	144.78	7.90	-164.38	0.60	172.87	0.30	119.05	0.80	71.57
88.5	2.80	140.76	4.70	-156.75	0	116.56	0.80	143.61	1.40	125.71
90.5	4.80	78.35	2.80	-125.71	1.60	154.59	0.50	28.29	1.20	103.24
92.1	2.50	16.38	2.60	-111.36	0.60	72.99	0.30	165.96	0.60	74.47
94.4	1.50	1.26	2.30	-105.94	0.50	164.05	0.50	-105.94	0.50	0.03
97.1	0.90	-20.55	2.00	-105.25	0.30	153.43	0.70	-154.80	0.30	24.43
99.3	0.90	-70.20	1.70	-75.67	0.80	-32.41	0	-101.31	0	-14.03
100.9	0.70	-40.91	1.40	-92.76	0.80	52.71	0.60	89.45	0.50	-28.29
102.6	0.30	-125.2	1.30	-72.07	0.30	34.81	0.50	-135.61	0.50	104.03
104.6	0.80	-10.78	0.60	-223.5	0.50	-53.12	0.60	179.96	0.50	53.96
106.8	0.60	63.3	0.70	-46.97	0	92.46	0.30	-112.74	0.50	66.80
109.0	0.90	-13.49	0.90	-31.32	0.60	-86.84	0.30	78.69	1.00	27.40
111.7	0.50	-94.38	0.90	-17.74	0.30	-164.05	0.50	-65.22	0.30	-0.03
113.8	0.50	-26.56	0	-0.03	0	179.96	0	-30.96	0.30	68.29
115.8	2.60	-93.95	2.40	-40.13	1.50	153.20	-1.80	70.87	2.30	61.45
116.9	0	-184.2	0.50	31.60	0.50	-41.93	0.50	-171.87	0.30	0.03

第3.2.4表(d) 満載時のトルク調和成分と位相角

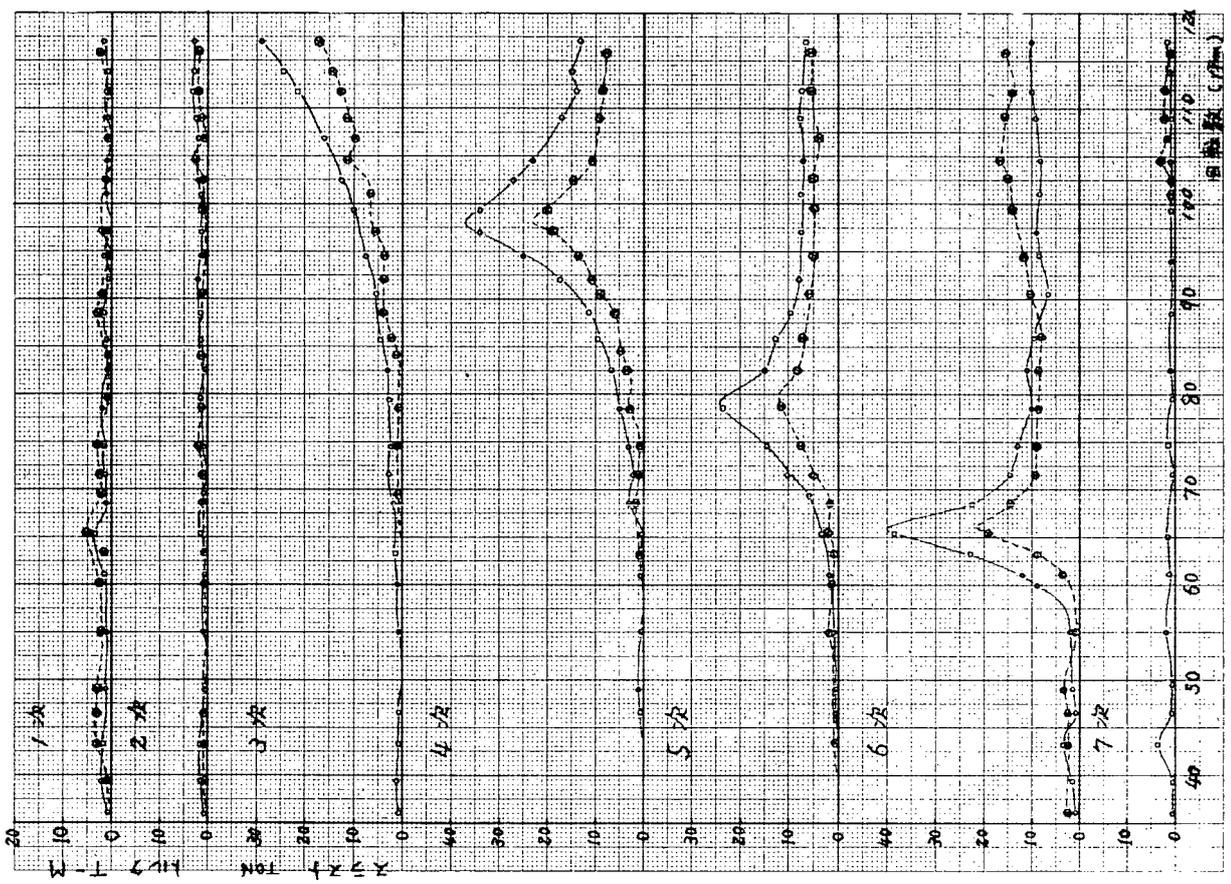
回転数 rpm	16		17		18	
	トルク T-m	位相角 deg	トルク T-m	位相角 deg	トルク T-m	位相角 deg
361	0.30	-75.96	0.30	89.45	0	89.45
393	0.30	-82.87	0.70	-104.03	1.40	-89.45
426	0	38.66	0.50	-104.03	0.90	-89.45
432	1.00	51.94	2.00	77.69	2.40	89.45
465	0.70	-35.21	0.30	-57.99	0	89.45
490	0.60	145.30	0.30	-45.00	0.50	-89.45
55.0	0.50	-39.29	0.50	-104.92	0.90	-89.45
60.0	0.50	-143.97	0.50	7.59	0	89.45
61.0	0.30	-122.01	0.80	-9.86	0	89.45
63.2	0.70	-64.65	0.70	57.08	0	-89.45
65.3	0.90	-64.44	0.90	15.06	0	-89.45
69.6	0.30	69.44	0	-170.54	0	-89.45
69.6	0	-0.03	0.30	-0.03	0.70	-89.45
71.6	0.30	-89.45	0.50	4.38	0	-89.45
74.4	0.30	10.30	0.50	-131.99	0	-89.45
74.6	0.80	-16.92	0.70	-107.52	0	89.45
78.5	0	26.56	0.30	-123.69	0.30	-89.45
79.6	0.50	-135.00	0.60	70.56	0.70	89.45
82.4	0.30	33.69	0	0.03	0.30	-89.45
84.1	2.90	-41.98	3.30	175.61	2.40	89.45
85.7	0.50	53.96	0.60	-142.42	0	89.45
88.5	0	-89.45	0.30	179.96	0	-89.45
90.5	1.40	82.69	0.80	99.09	0.70	89.45
92.1	0.50	-53.96	0.30	167.47	0.30	89.45
94.4	0.30	-156.80	0.70	145.48	1.00	89.45
97.1	0.30	73.30	0.50	168.69	0	-89.45
99.3	0.50	-56.30	0.80	-79.21	0.50	-89.45
100.9	0.60	-166.76	0.50	-90.54	1.10	-89.45
102.6	0	-90.54	0.30	89.45	0.30	-89.45
104.6	0.30	-106.69	0	51.33	0	-89.45
106.8	0.60	-17.34	0.50	32.47	0	89.45
109.0	0.30	-9.45	0.50	39.80	0.80	89.45
111.7	0	-56.30	0	30.96	0	-89.45
113.8	0	71.57	0.30	150.25	0	-89.45
115.8	2.40	170.68	1.40	-41.98	1.80	-89.45
116.9	0	0.03	0	0.03	0.80	89.45

●—トルク
 ---x---スラスト



第3.2.6図(b) 満載時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係

●—トルク
 ---x---スラスト



第3.2.6図(a) 満載時のスラストおよびトルクの調和成分と軸回転数との関係

3.3 ディーゼル機関(984-VT2BF-180)の陸上および海上運転時における軸系縦振動等の計測結果 (日立造船)

3.3.1 緒言

本報告は日立造船における74,000DWT Orc, Bulk C. Oil Carrier主機(日立B&W984-VT2BF-180形機関、20700PS)の陸上および海上運転時の軸系縦振動および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、推進軸系の縦振動の固有振動数および共振点における振幅などを正確に予測することのできる計算方法の確立に対する基礎的資料を得、かつ機関および軸受台の縦方向振動変位を測定し、軸系縦振動と船体振動との関連を検討した概要を述べるものである。

3.3.2 調査

(1) 軸系縦振動固有振動数および振幅の計算

(i) 固有振動数の計算

縦振動の振動モードとしては、0節、1節、2節、……などが考えられるが、測定対象機関については、使用回転範囲で問題となる危険回転数は0節振動によるものである。

そこで、固有振動数の計算法であるが、まず、各クランクスロー、スラスト軸、スラスト軸受、中間軸、プロペラ軸などを、質量を持ったばねと考え、これらをスラスト軸受カラー中心位置でスラスト軸受ばねにより拘束される一つのばね系(プロペラまで含めた)として、クランク軸船首端に基準縦振幅を与えたときに、プロペラにてスラストが0となるようにHolzerの逐次計算法を用いて固有振動数を求めた。

この方法により当機関の0節固有振動数を求めると、540.4cpmとなった。

(ii) 振幅の計算

縦振動をひき起こす起振力としては、クランク半径力、クランク接線力およびプロペラのスラスト変動が考えられ、厳密に、共振時の振幅を求めるには、これら三者の合成力を考えねばならないが、ここでは、プロペラのスラスト変動とクランク半径力の合成力による縦振幅およびクランク接線力によりひき起こされるねじれ振動の共振時に発生する縦振幅については割愛し、クランク半径力によって発生する縦振幅について簡単に述べる。

(a) クランク半径力による起振エネルギー

起振エネルギーの構成要素としては、クランク半径力、クランク半径力を軸方向の力に変換する変換係数および変換された力のベクトル和などが考えられる。すなわち1つのシリンダのある次数の半径力が軸方向の力に変換され、その力が各シリンダにより合成されてある次数の起振エネルギーとなる。このうち各次数の半径力については、機関のクランク半径力を調和解析して求めることができ、また、起振力のベクトル和は、さきに(i)項で述べたHolzer表より求めることができる。

半径方向の力を軸方向の力に変換する変換係数は、クランクスローの変形を計算することにより理論的に概略計算できるが、その精度を考えると、正確には実験による他ない。なお、この係数については、ここでは後述の動倍率にこの係数をかりこんで考えることにした。

(b) 振幅の概略計算法

共振時の共振振幅は、散逸エネルギーと起振エネルギーとが等しいと考えて求めることができる。そして、縦振動の減衰作用として質量の絶対速度の2乗に比例する粘性減衰を考え、この粘性減衰による散逸エネルギーと前述の起振エネルギーとが等しいとして、共振時の振幅を求めることができる。

散逸エネルギーを求めるには種種の仮定を考えねばならないが、ここではすべての仮定を動倍率に含め(この中に前述の変換係数も含む)、いままでの縦振動振幅の実測記録からこの動倍率を決定した。

以上の方法により、測定対象機関の共振時における縦振動振幅を計算すると次のようになった。

5次 0.318mm(片振幅)

6次 0.693 mm (片振幅)

9次 0.708 " (")

(2) 軸系振動の測定実績

従来、各種機関について軸系の縦振動を測定してきたが、ここでは代表的な機関について、測定の結果を簡単にとりまとめた。

シリンダ径840mm機関の各シリンダ数に対する縦振動の実測例を先述の理論計算により推算した値と対比して第3.3.1表に示した。第3.3.1表では固有振動数と主要な次数の最大振幅値とを示しており、その他にも振幅の小さい他の次数のものがあるが、省略した。なお縦振動には、ねじれ振動によって発生するものもあるが、これについては計算値を省略し、実測値のみを第3.3.2表に示した。

第3.3.1表 縦振動の実測値と計算値との対比

シリンダ数	次数	実測値		計算値		備考		
		振動数 cpm	片振幅 mm	固有振動数 cpm	片振幅 mm	機位 機置	スラスト 軸受	プロペラ 翼数
12	6	440	1.22	434.8	1.11	船尾	別置	5
10	5	520	0.95	494.9	1.35	"	"	5
	10		0.36		0.51			
9	5	550	0.68	540.7	0.32	"	"	5
	6		0.70		0.69			
	9		0.60		0.71			
8	5	565	0.80	542.8	1.08	"	"	5
	8		0.54		0.73			

第3.3.2表 ねじれ振動により発生する縦振動の実測値

シリンダ数	ねじれ振動 筋一次	振動数 cpm	片振幅 mm
12	I-6	365	2.08
10	I-5	335	0.79
	II-10	920	0.36
9	I-9	380	1.09
8	I-5	380	0.45

測定結果を見ると、縦振動は一般にシリンダ数と同次数および半数次のもが大きく、これらが縦振動の主および副危険次数となっているが、これら以外に着火順序の影響を大きく受けて大きい縦振動を発生することもある。また、ねじれ振動による縦振動は、後述するねじれ振動の測定結果からわかるように、大きなねじれ振動に対して必ず大きな縦振動が発生している。実測値と計算による推算値とを比較すると、第3.3.1表からもわかるように、2,3異なるものも見られるが、だいたいにおいてよく一致していることがわかる。

3.3.3. 測定機関および船舶の仕様

(1) 測定機関

シリンダ径/行程/シリンダ数：840mm/1800/9
 回転数/出力(MCR計画)：114rpm/20700PS

着火順序 : 1-6-7-3-5-8-2-4-9

(2) 測定船舶

L×B×D : 240.000×32.30×18.90m
 △満載(計画) : 92,170LT
 吃水、トリム満載(計画) : Fore13.98m Aft13.98m Trim 0
 プロペラ直径/翼数 : 6,550mm/5
 Cb, 機関位置 : 0.841, Aft
 船尾形状 : Shoe Pieceなし(第1編第3.2.1図参照)

3.3.4 測定法

(1) 測定項目および測定位置

測定機関の軸系および船尾のスケルトンと測定位置を第1編第3.2.1および3.2.2図に記号で示した。各記号の説明を以下に述べる。

(i) 陸上運転時

軸系振動測定項目および振動変化の測定位置を第3.3.3および3.3.4表に示す。

第3.3.3表 陸上運転時の軸系振動測定項目

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

第3.3.4表 陸上運転時の振動変位測定位置

振動変位計No.	測定位置	方向	備考
1	6	L	
3	7	"	
4	8	"	
5	9	"	
7	1	"	
8	3	"	
9	4	"	
10	2	"	
11	5	"	

(ii) 海上運転時

軸系振動測定項目および振動変位測定位置を第3.3.5および3.3.6表に示す。

第3.3.5表 海上運転時の軸系振動測定位置

測定項目	測定位置	記号	備考
軸系相対縦振動	クランク軸船首端	1'-A	
"	フライホイール船尾側面	12'-A	
"	中間軸プロペラ側カプリング	13'-A	
軸系ねじれ振動	クランク軸船首端	1'-Tr	
軸系トルク変動	フライホイール船尾側軸	12'-Tq	
軸系スラスト変動	"	12'-Th	

第 3.3.3 表 海上運転時の振動変位測定位置

振動変位計 No.	測定位置	方 向	備 考
1	6	L	
2	8	"	
3	12	"	
4	13	"	
7	4	"	
8	3	"	
9	11	"	
10	1	"	

(2) 測定機器

(i) 振動変位計

第 1 編 2.2 節と同じ。

(ii) 軸系相対縦振動計

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的ひずみ測定器 DPM-6CT

(iii) 軸系ねじれ振動計

国際機械振動研究所製ねじれ振動計 TM-6100

検出部 : VP-9290 型ねじれ振動検出器 (動電型ねじれ検出方式)

測定周波数範囲 : 8~500 cps $\pm 3\%$ 、3~8 cps 較正曲線による

振動周波数分析範囲 : 3~500 cps (3 段切換連続)

ねじれ角測定範囲 : 0~4° (0~1°、0~4° 2 段切換)

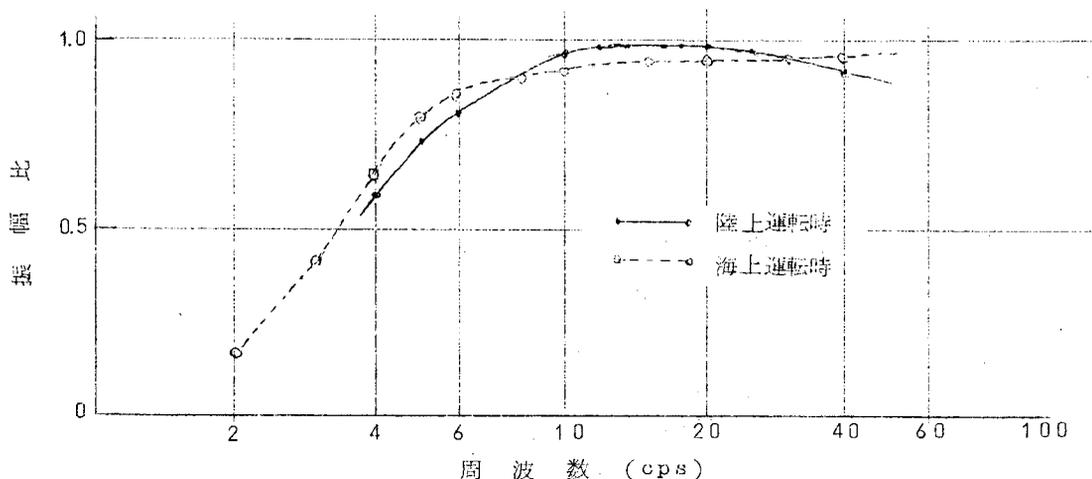
周波数特性実測結果を第 3.3.1 図に示す。

(iv) 軸系トルク、スラスト変動計

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 : 0~100 cps (搬送波周波数 $2K0 \pm 3\%$)



第 3.3.1 図 ねじれ振動計周波数特性

(M) 記 録 計

三菱測器製 ビジグラフ FR-101

” FR-102

3.3.5 測定条件

(1) 負荷、回転数

第1編3.2節と同じ。ただし、海上運転の測定回転数は満載、半載とも満載時の測定回転数と同一。

(2) 船体条件

第1編3.2節と同じ。

3.3.6 測定結果

全測定オシログラムにおいて1回転50等分による調和解析を行ない、1次～25次成分の振幅と各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し(表には18次成分までを

第3.3.7表 測定結果図、表の内容一覧表

測定項目	測定位置	記号	図、表番号		
			陸上運転	海上半載	海上満載
軸系相対縦振動	クランク軸船首端	1-A	第3.3.2図	第3.3.4図	第3.3.10図
	フライホイール船尾側面	12-A		第3.3.5図	第3.3.11図
	中間軸	13-A		第3.3.6図	第3.3.12図
軸系ねじれ振動	クランク軸船首端	1-Tr	第3.3.3図	第3.3.7図	第3.3.13図
軸系トルク変動	フライホイール船尾側軸	12-Tq		第3.3.8図	第3.3.14図
軸系スラスト変動	”	12-Th		第3.3.9図	第3.3.15図
振動変位	機 関 台 版	1-L	第3.3.16図	図3.3.17図	第3.3.18図
		2-L			第3.3.19図
		3-L			
		4-L			
		5-L			
	機 関 上 部	6-L			
		7-L			
		8-L			第3.3.20図
	機 関 中 央 部	9-L			
	推 力 軸 受 上	11-L			第3.3.21図
中間軸受(船首側)	12-L				
” (船尾側)	13-L			第3.3.22図	

記入)、また大きい振幅の成分と合成振幅を図示した。

それらを第3.3.7表にまとめた。ここでは紙面の都合により第3.3.7表中に図番号を付記した図のみ掲載した。

なお、測定オシログラムの数例を次に示す。

軸系振動測定オシログラム 海上満載 6.28 rpm 第3.3.23図

” ” 9.15 ” 第3.3.24図

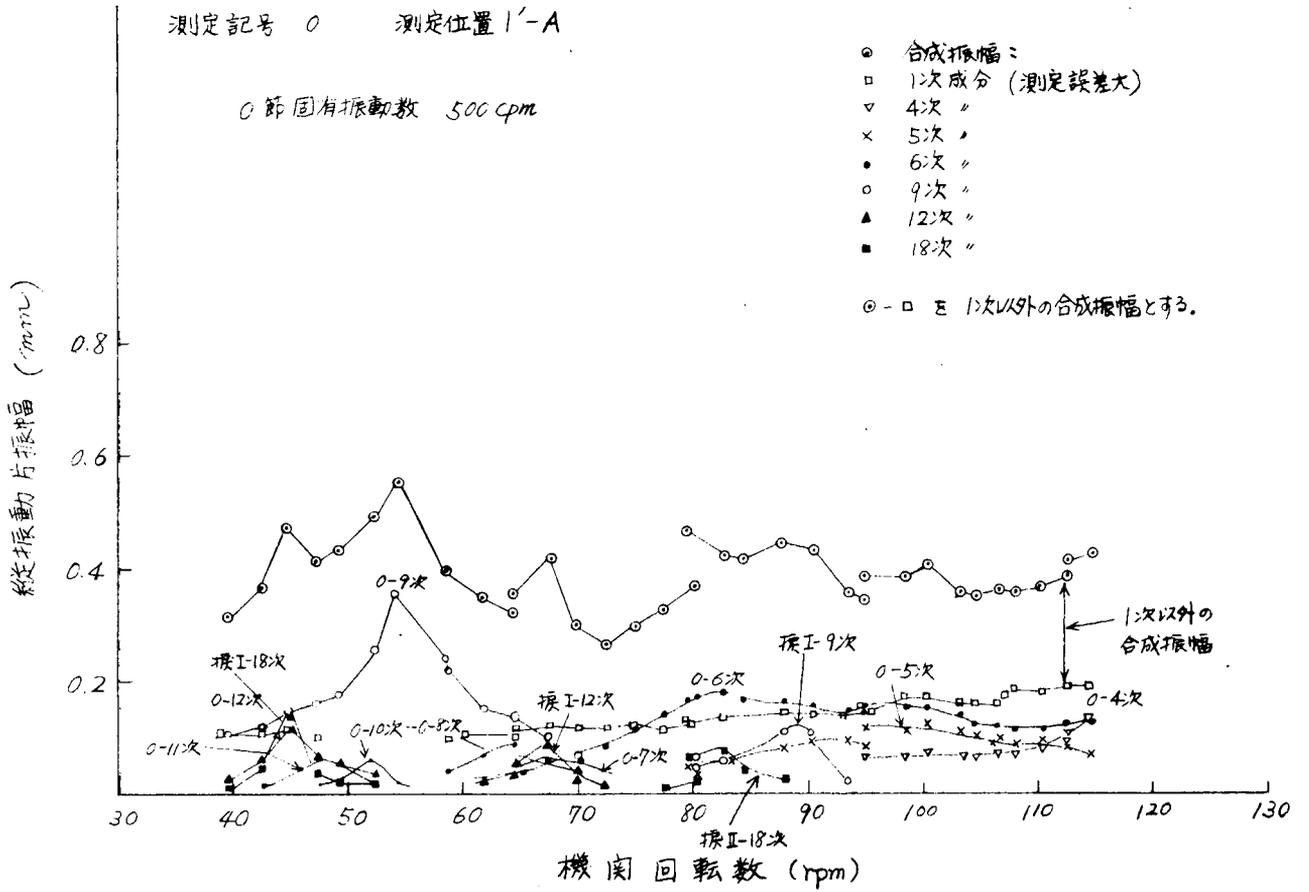
軸系振動測定オシログラム	海上満載	108.6 rpm	第3.3.25図
縦方向振動変位測定オシログラム	"	61.3 "	第3.3.26図
"	"	64 "	第3.3.27図
"	"	92.5 "	第3.3.28図
"	"	111.4 "	第3.3.29図

また第3.3.2～3.3.15図から軸系縦およびねじれ振動のピークに最も近い測定回転数および、その場合の振動数、ねじれ振動振幅、縦振動振幅（陸上は船首端のみ、海上はフライホイールおよび中間軸部を含む）、トルクおよびスラスト変動（海上運転のみ）をピックアップして第3.3.8表（陸上運転時）、第3.3.9表（海上運転時）に示した。なお測定回転数が明らかにピークをずれていると思われるものについては、推定ピーク諸数値を()内に示した。

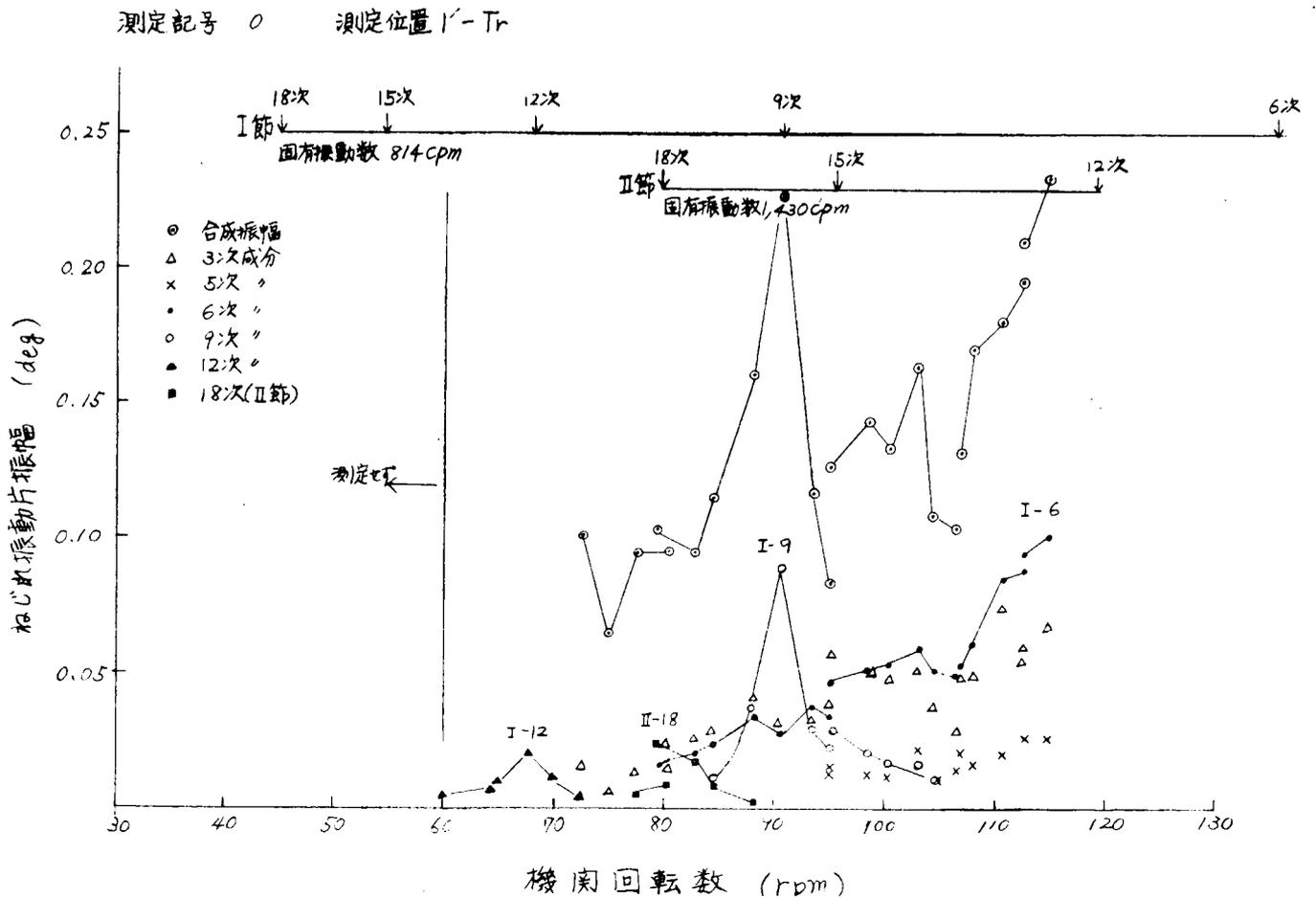
第3.3.8表 陸上運転時軸系振動ピーク諸数値

振動の種類	節一次	機関回転数 rpm	振動数 rpm	ねじれ振動 振幅 deg	縦振重力 振幅 μ
ねじれ振動	1-18	(45.2) 44.7	(814) 805	-	138
	15	-	-	-	-
	12	67.7	813	0.020	87
	9	90.5	814	0.089	109
	2-18	79.6	1432	0.024	64
縦振動	0-12	44.7	536		112
	11	48.0	528		60
	10	52.0	520		60
	9	(55.5) 54.4	(500) 490		357
	8	64.0	512		85
	7	38.0	476		65
	6	83.0	498		180
	5	100.0	500		120

(注) ()内はピーク推定値

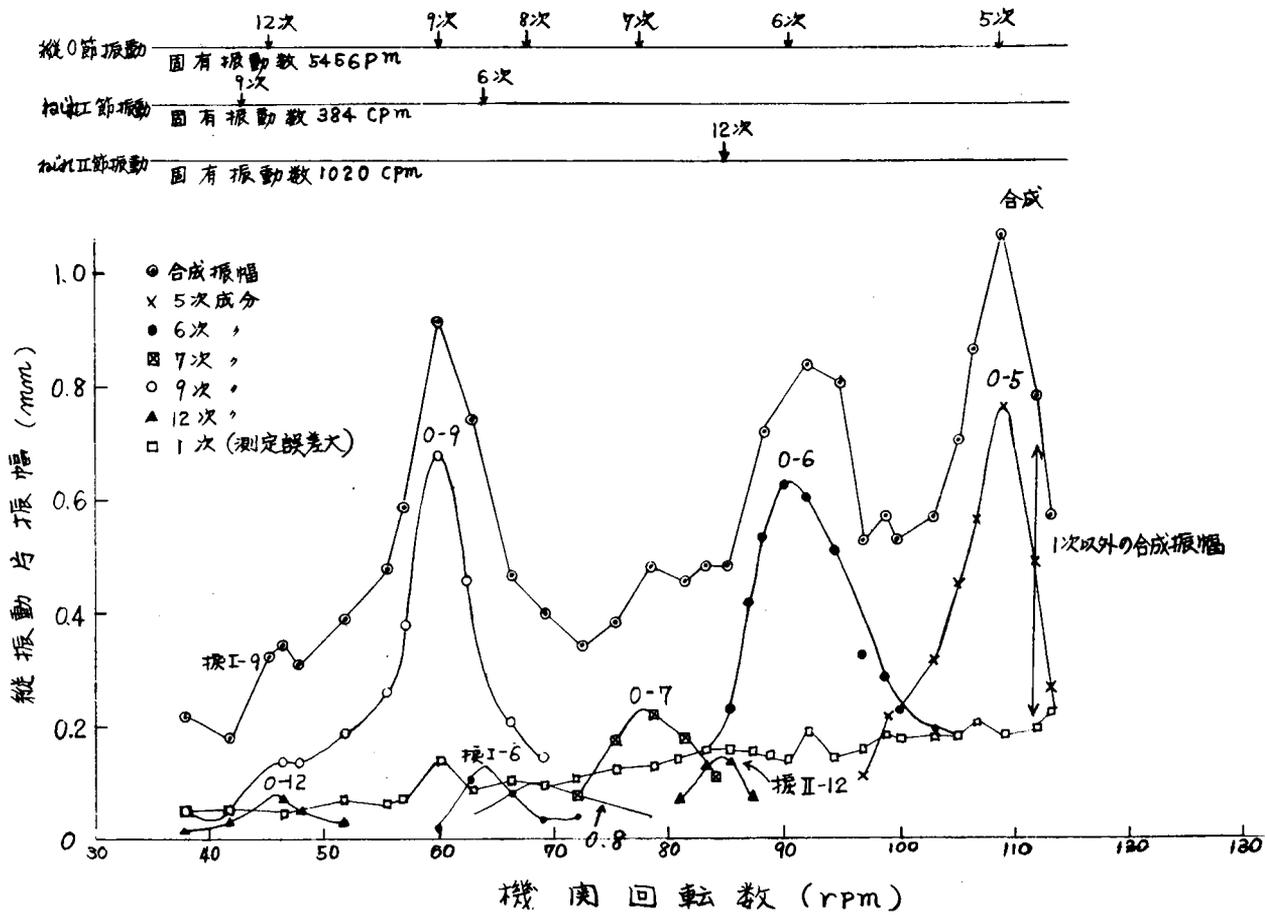


第 3.3.2 図 陸上運転時軸系縦振動 (船首端)



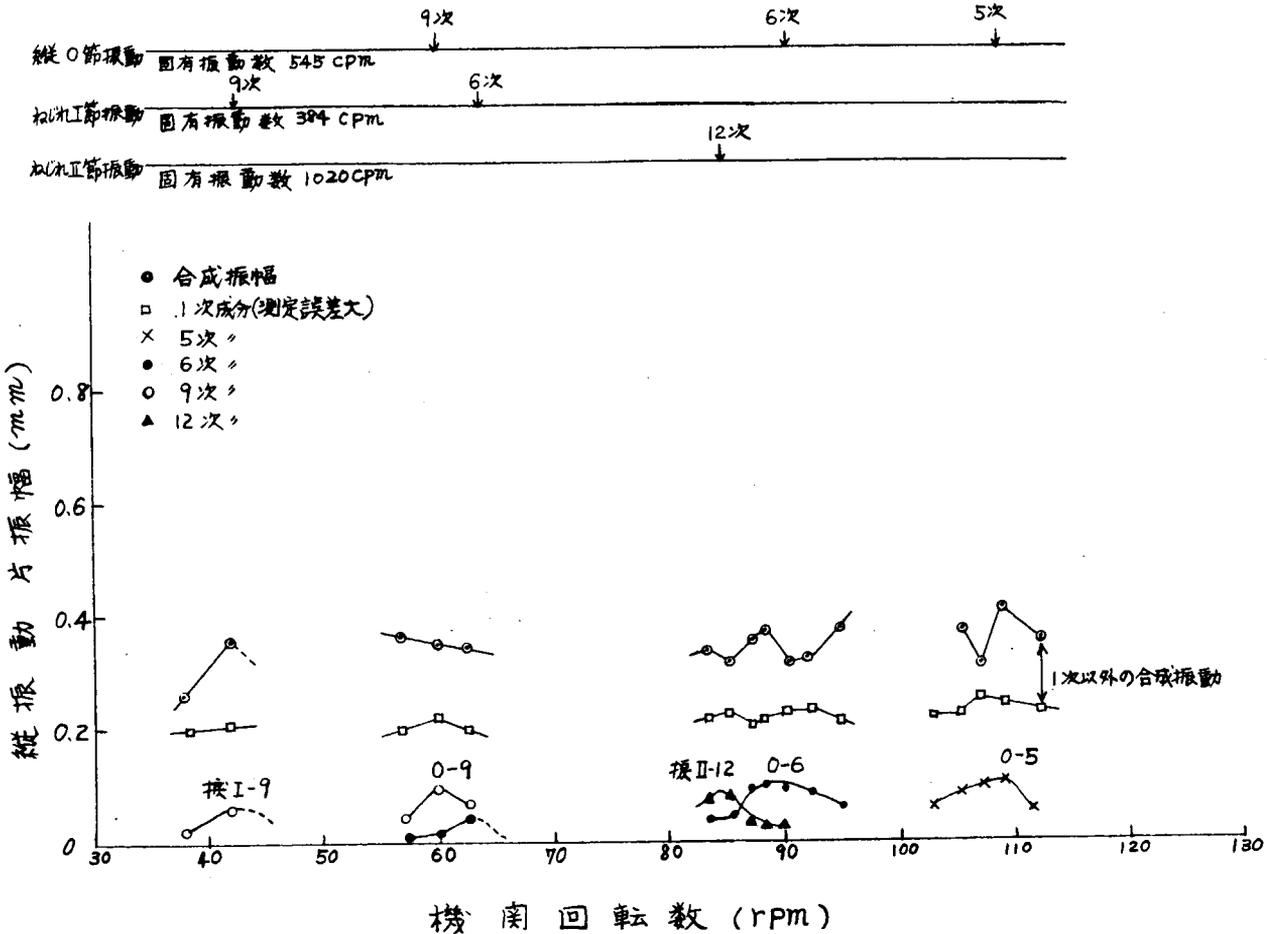
第 3.3.3 図 陸上運転時軸系ねじれ振動

測定記号 2 測定位置 1-A



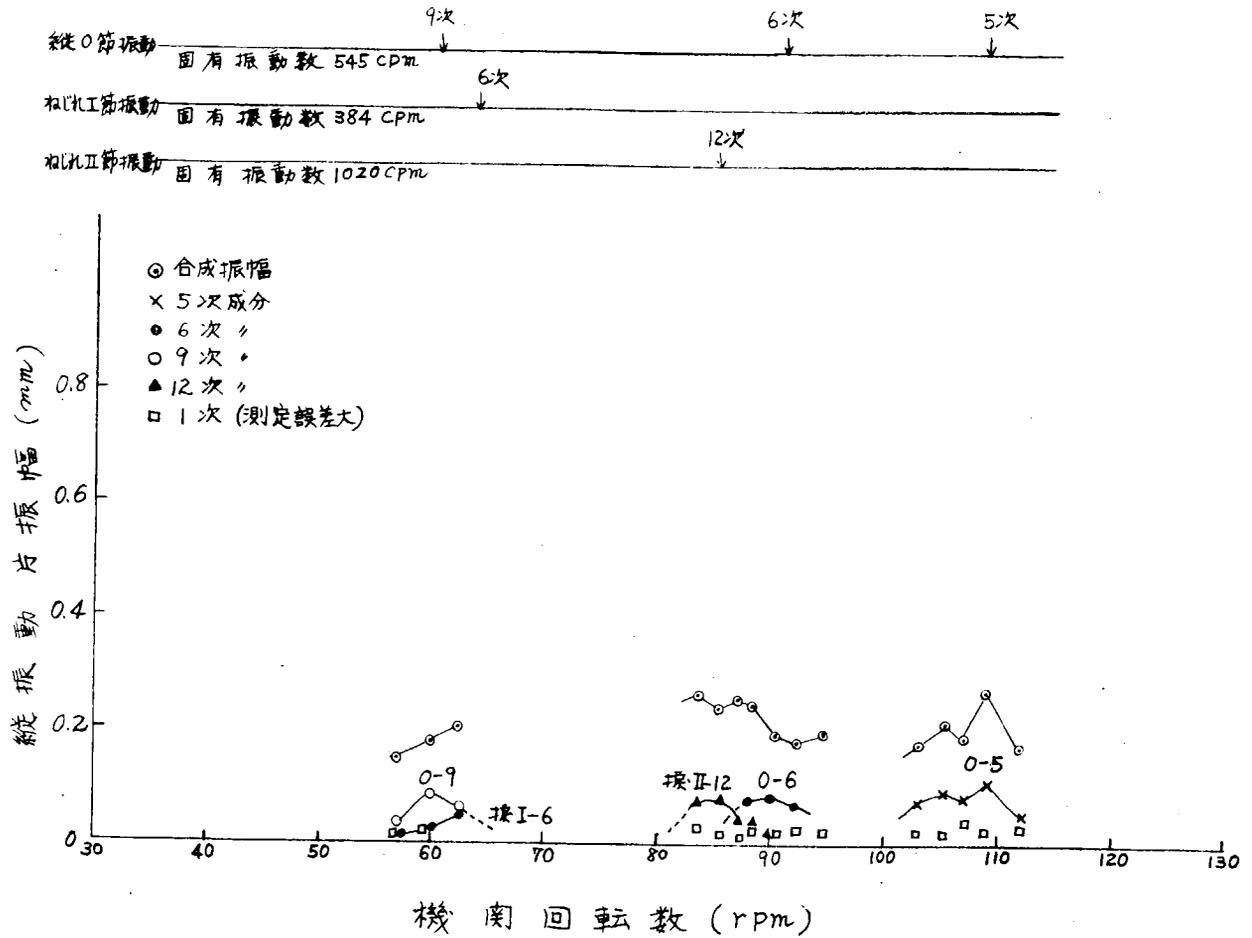
第 3. 3. 4 図 海上運転時軸系縦振動(船首端)(半載)

測定記号 2 測定位置 12-A

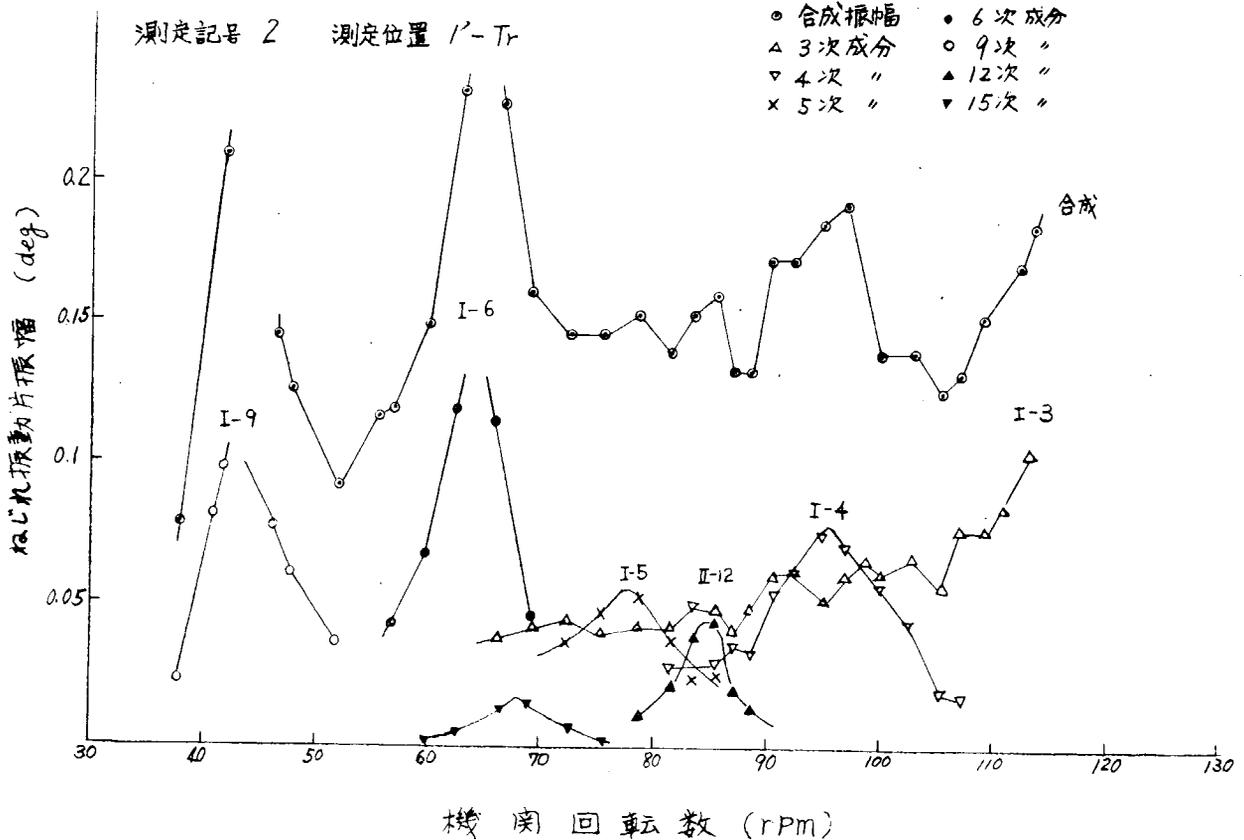


第 3. 3. 5 図 海上運転時軸系縦振動(フライホイール)(半載)

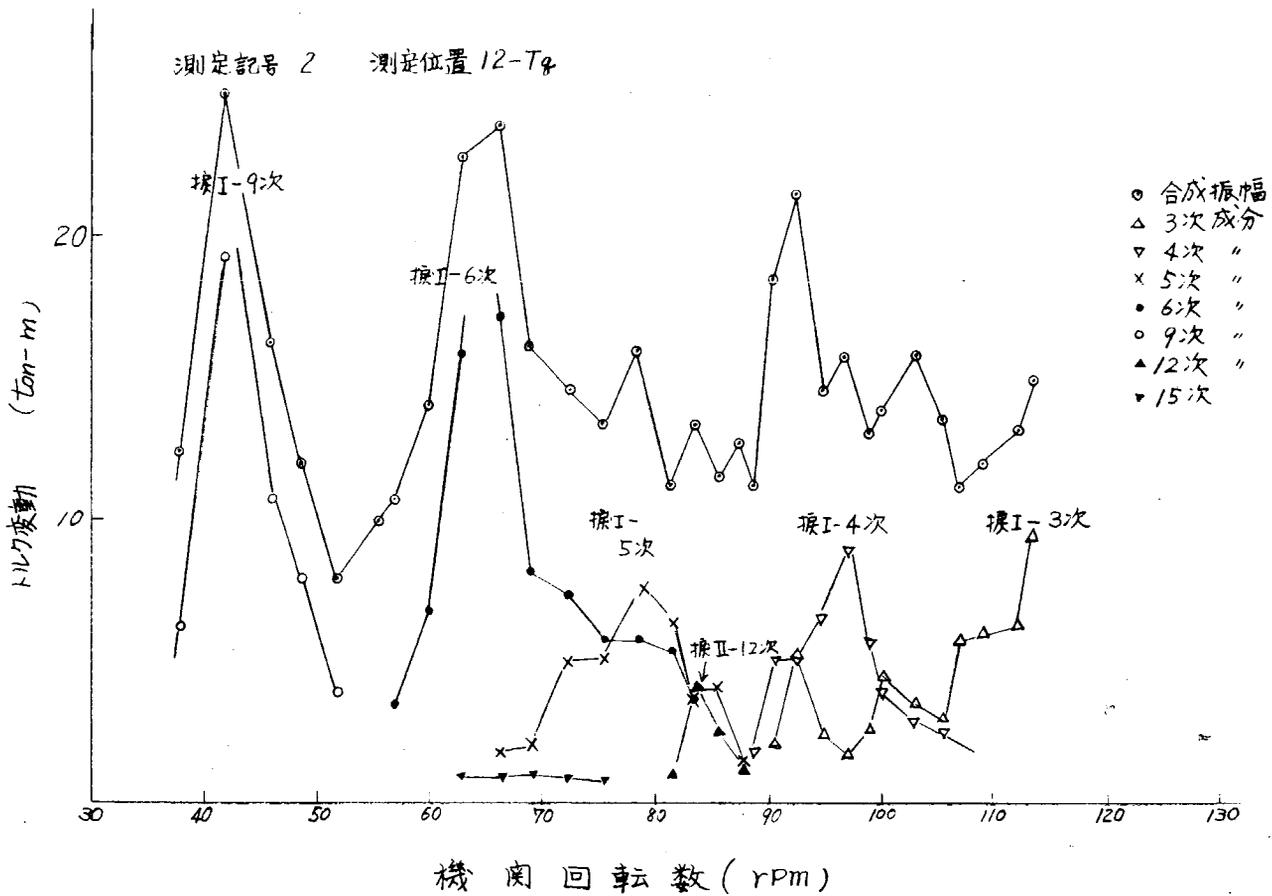
測定記号 2 測定位置 13-A



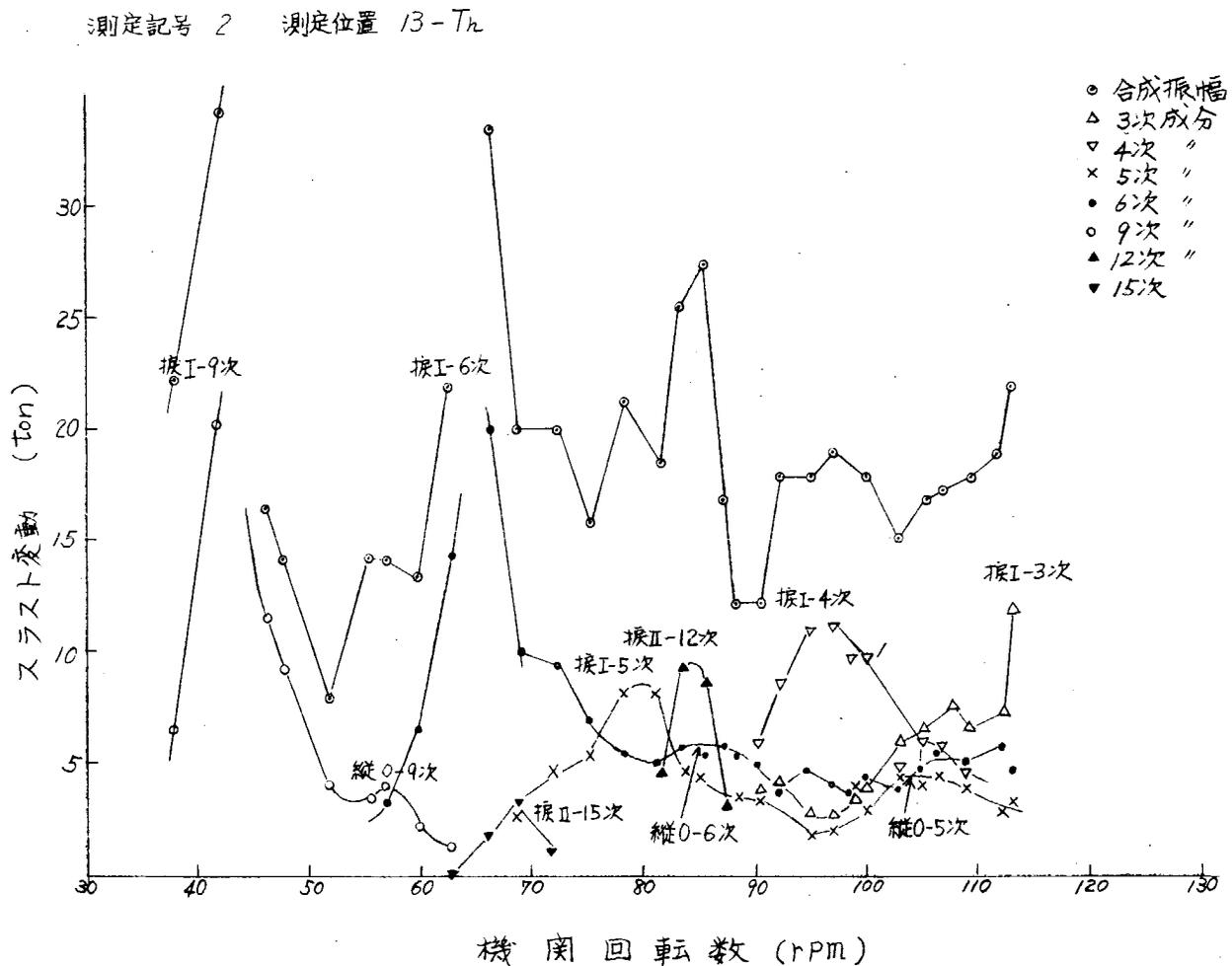
第 3.3.6 図 海上運転時軸系縦振動 (中間物カブリング) (半載)



第 3.3.7 図 海上運転時軸系ねじれ振動 (半載)

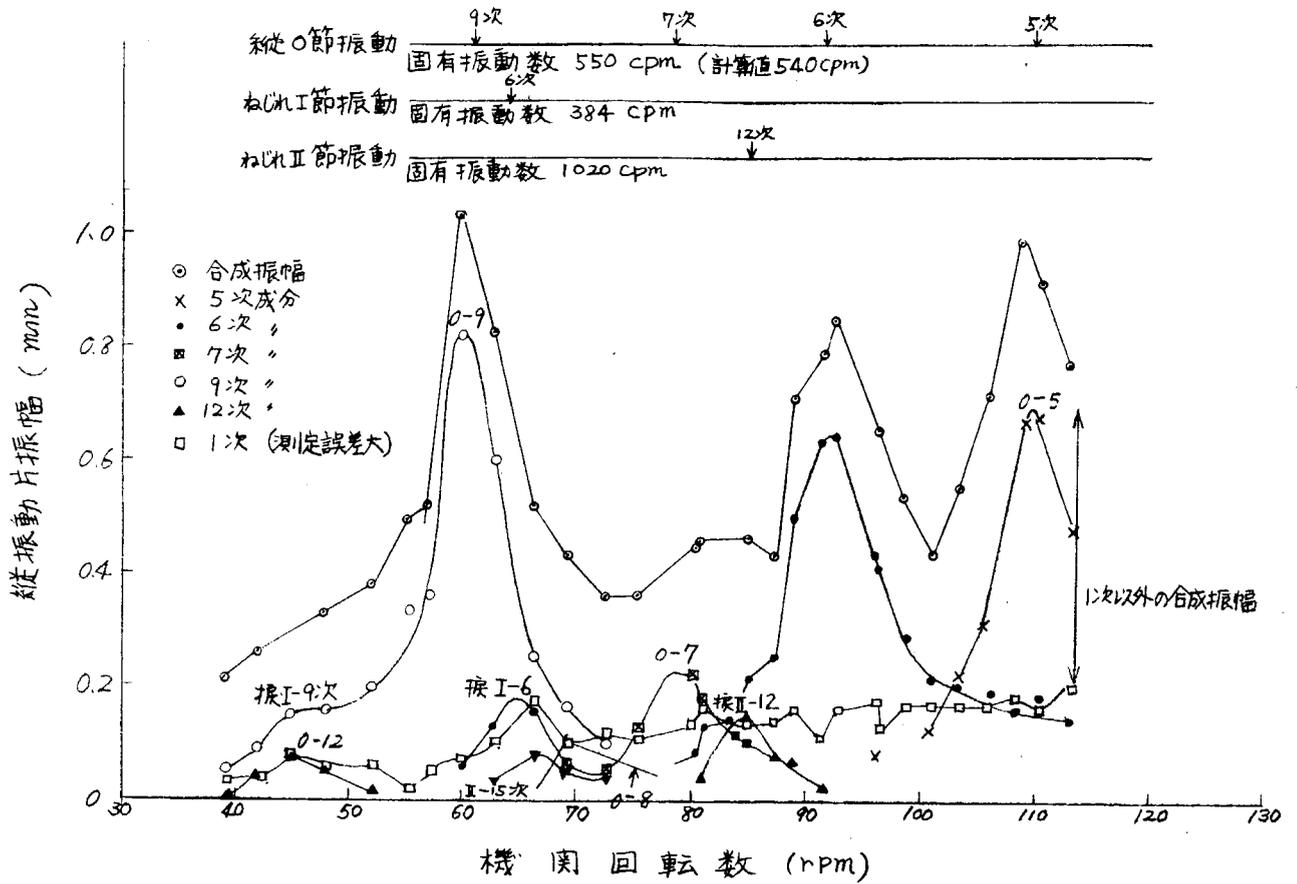


第 3.3.8 図 海上運転時トルク変動(半載)



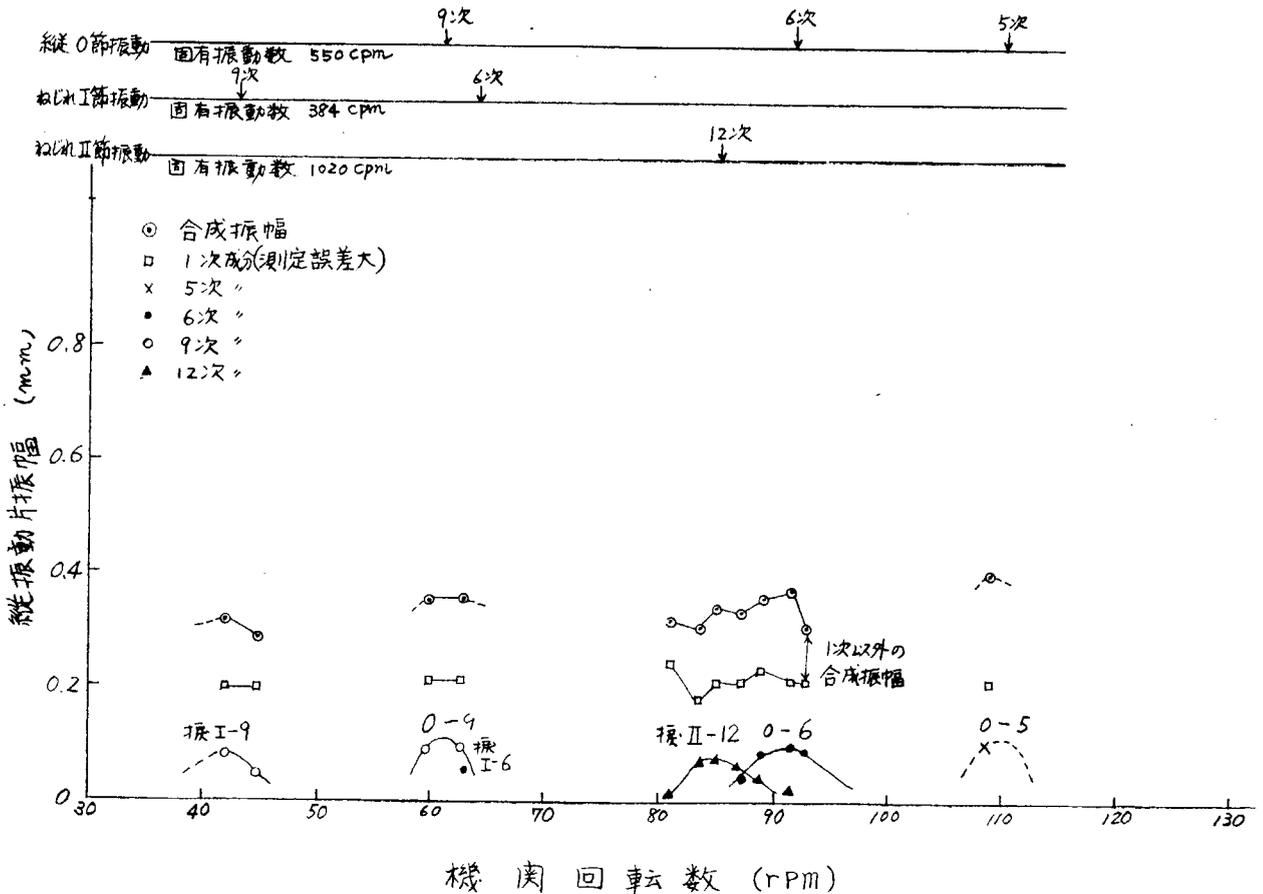
第 3.3.9 図 海上運転時スラスト変動(半載)

測定記号 3 測定位置 1'-A



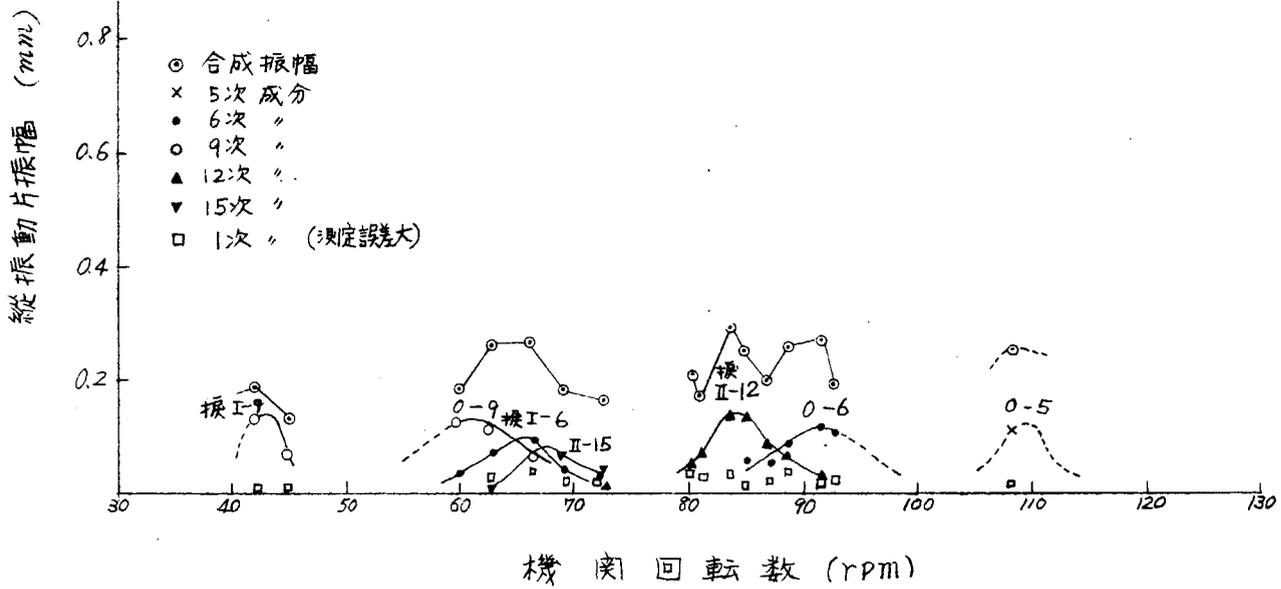
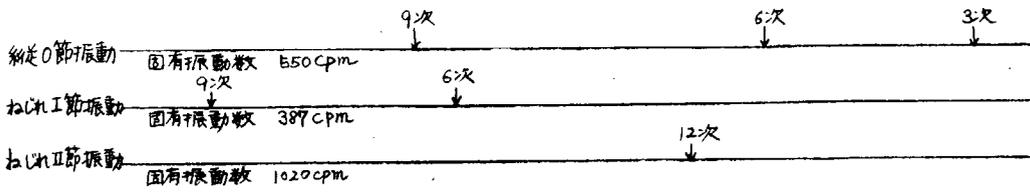
第 3. 3. 1 0 図 海上運転時軸系縦振動 (船首端) (満載)

測定記号 3 測定位置 12-A

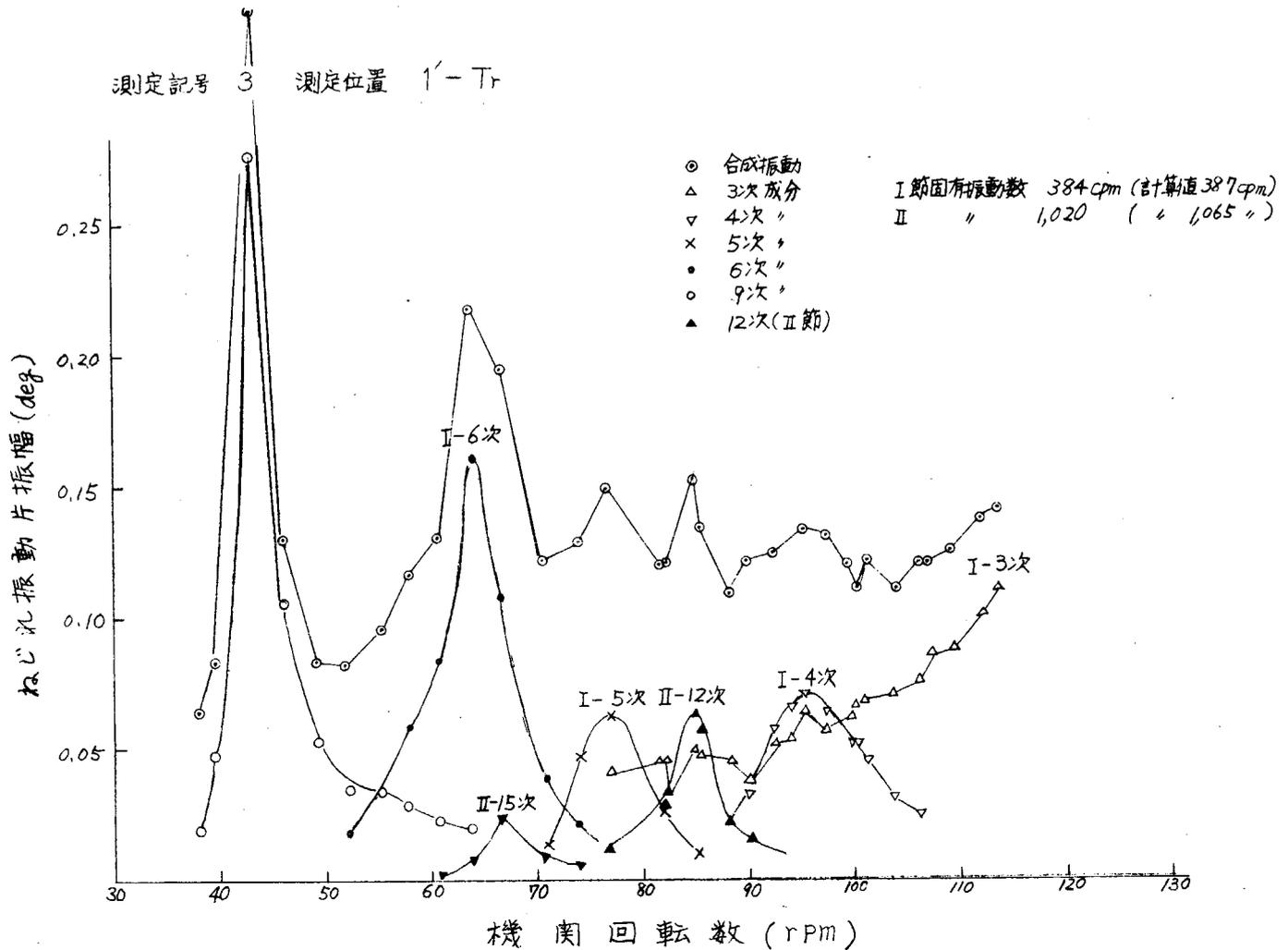


第 3. 3. 1 1 図 海上運転時軸系縦振動 (フライホイール) (満載)

測定記号 3 測定位置 13-A

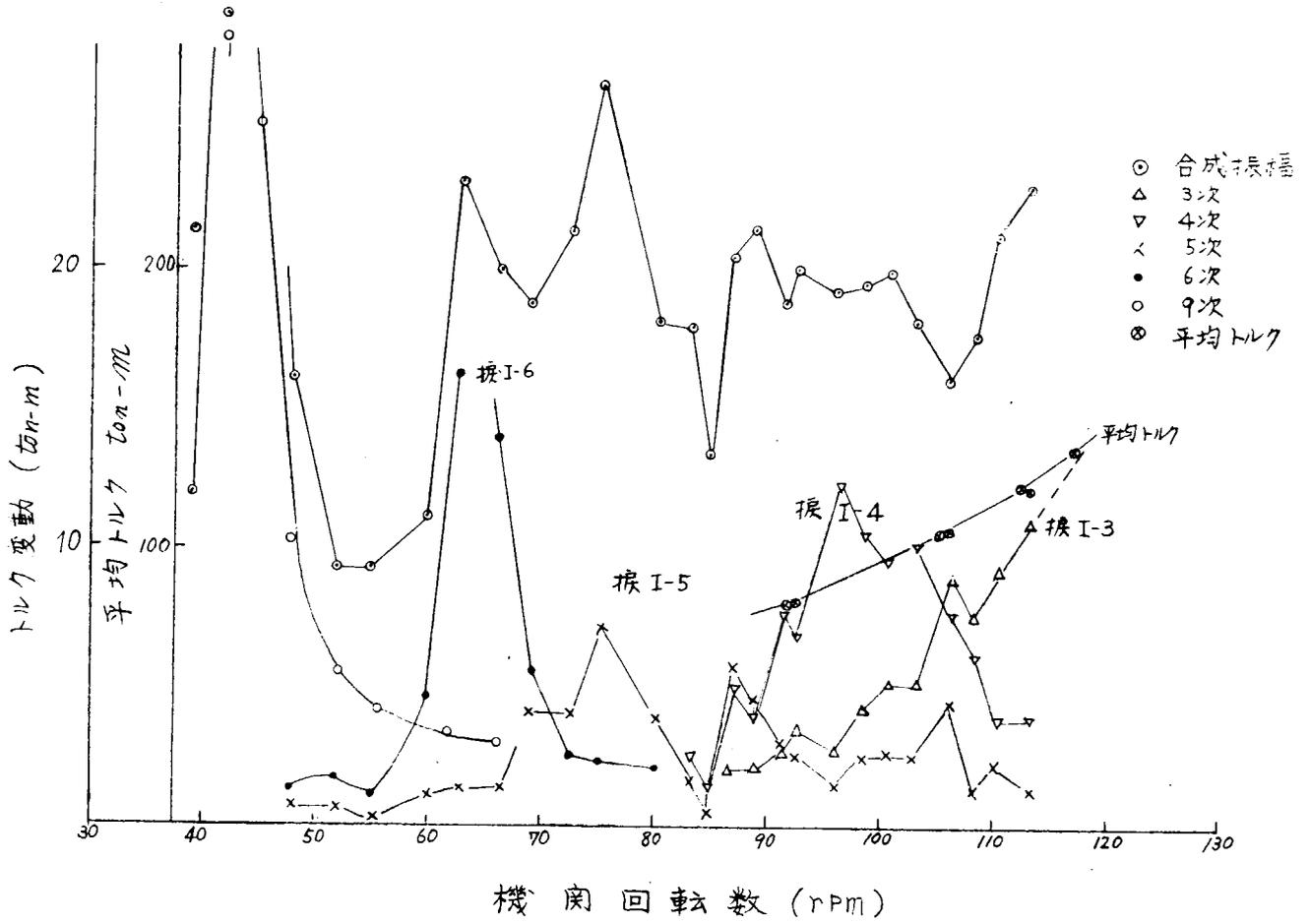


第 3.3.1 2 図 海上運転時軸系縦振動 (中間軸カブリング) (満載)

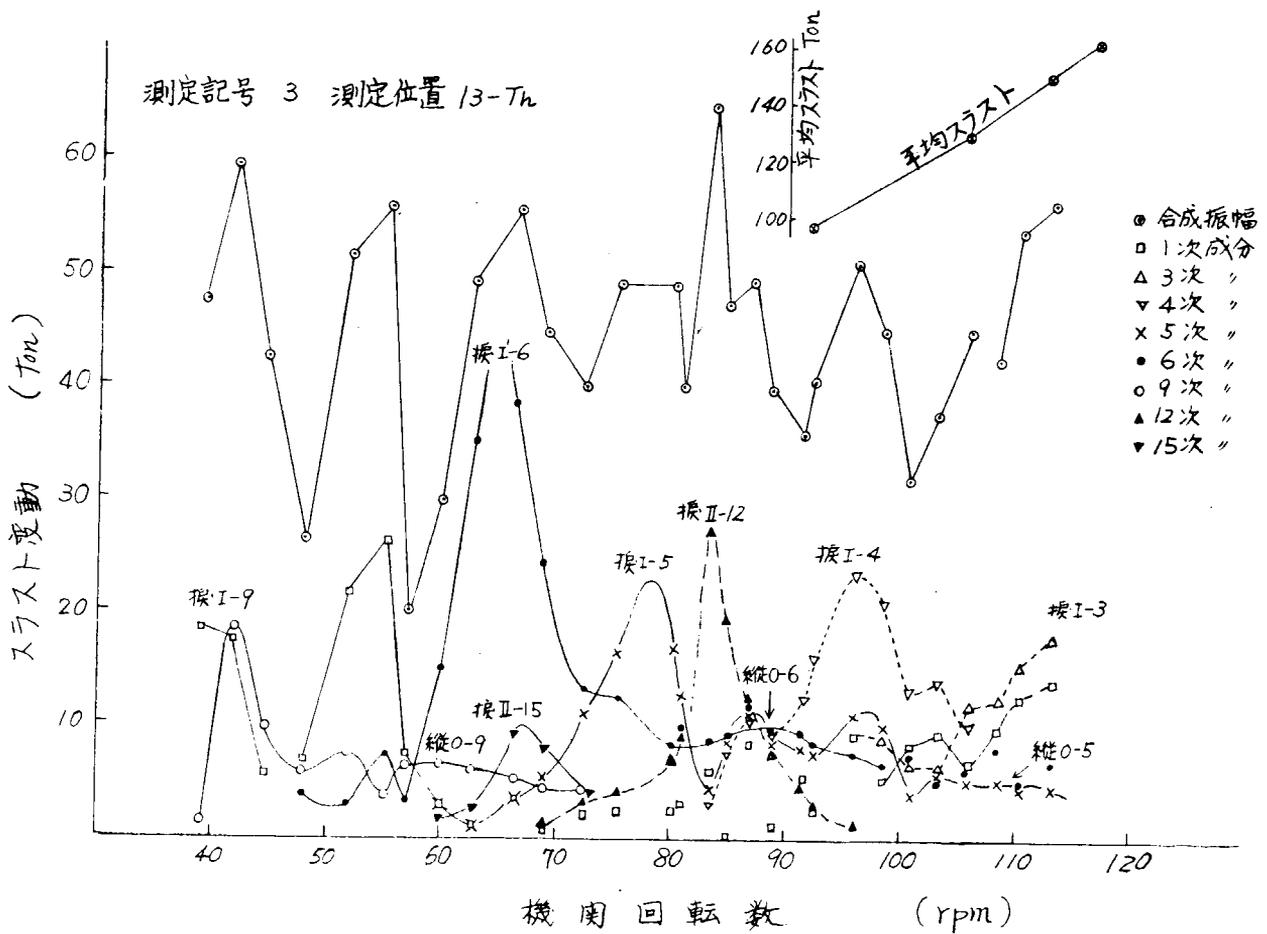


第 3.3.1 3 図 海上運転時軸系ねじれ振動 (満載)

測定記号 3 測定位置 12-T_g 方向

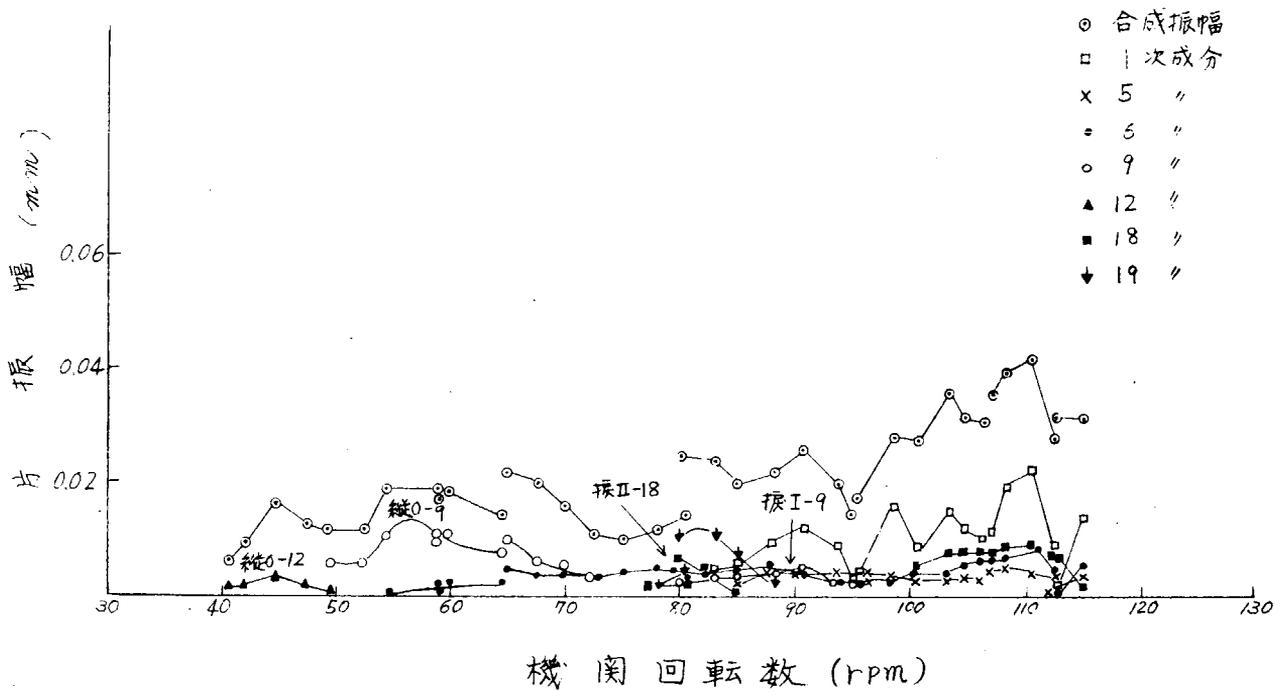


第3.3.1.4図 海上運転時トルク変動(満載)



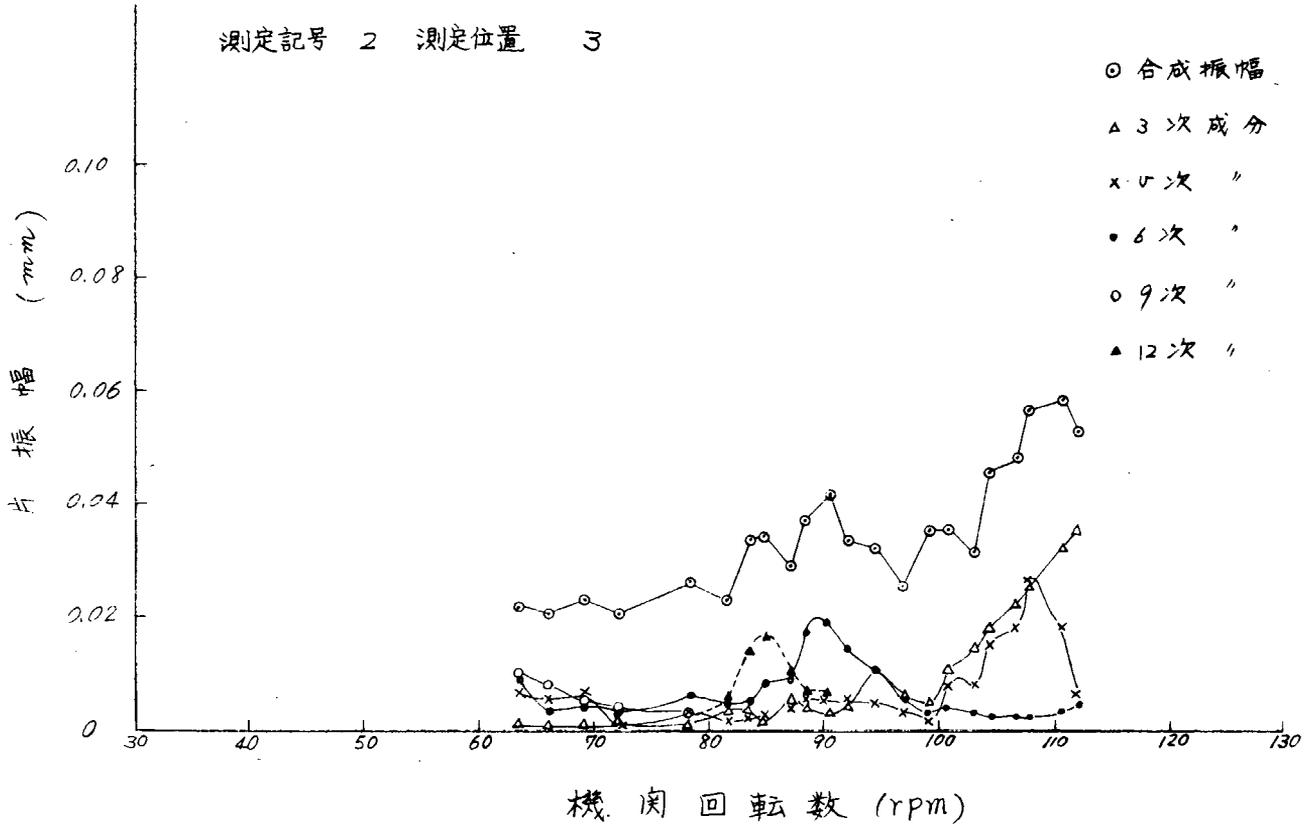
第3.3.1.5図 海上運転時スラスト変動(満載)

測定記号 0 測定位置 2



第 3. 3. 1 6 図 陸上運転時架構振動

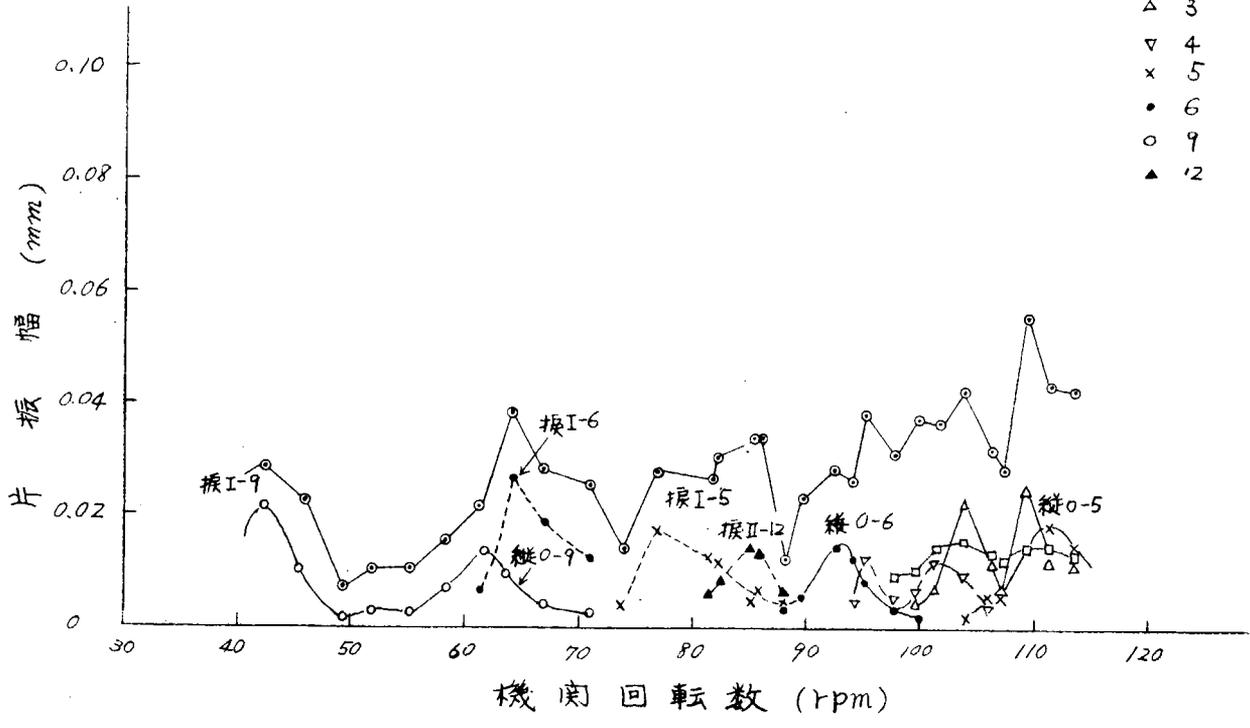
測定記号 2 測定位置 3



第 3. 3. 1 7 図 海上運転時架構振動(半載)

測定記号 4 測定位置 1 方向 \angle

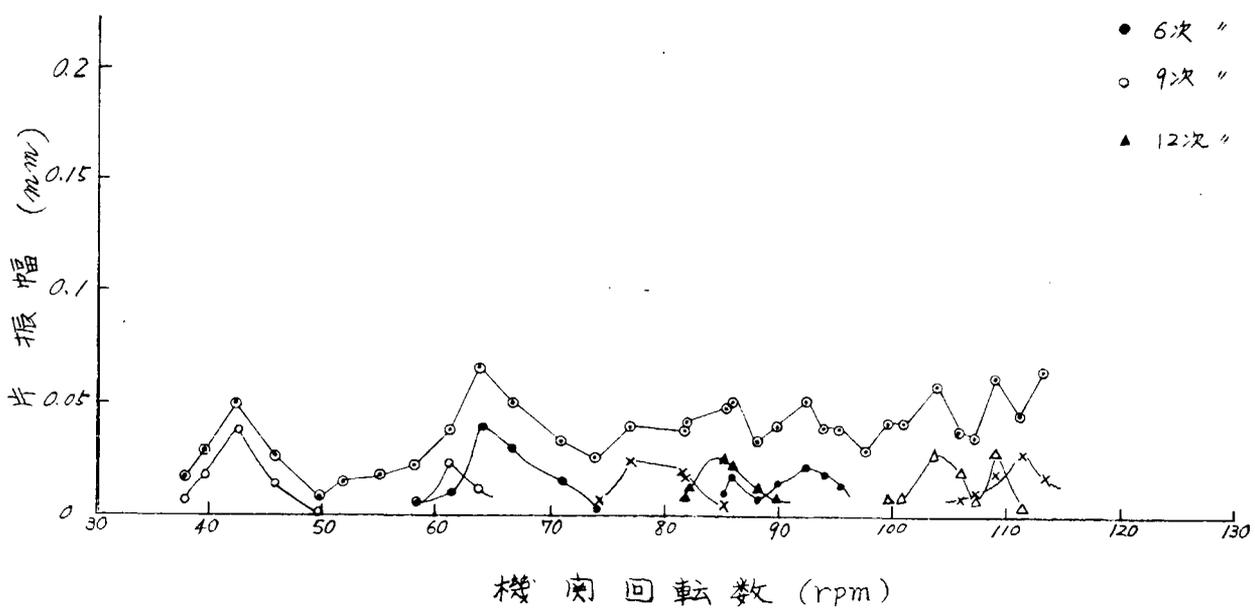
- ◎ 合成振幅
- 1次成分
- △ 3 " "
- ▽ 4 " "
- × 5 " "
- 6 " "
- 9 " "
- ▲ 12 " "



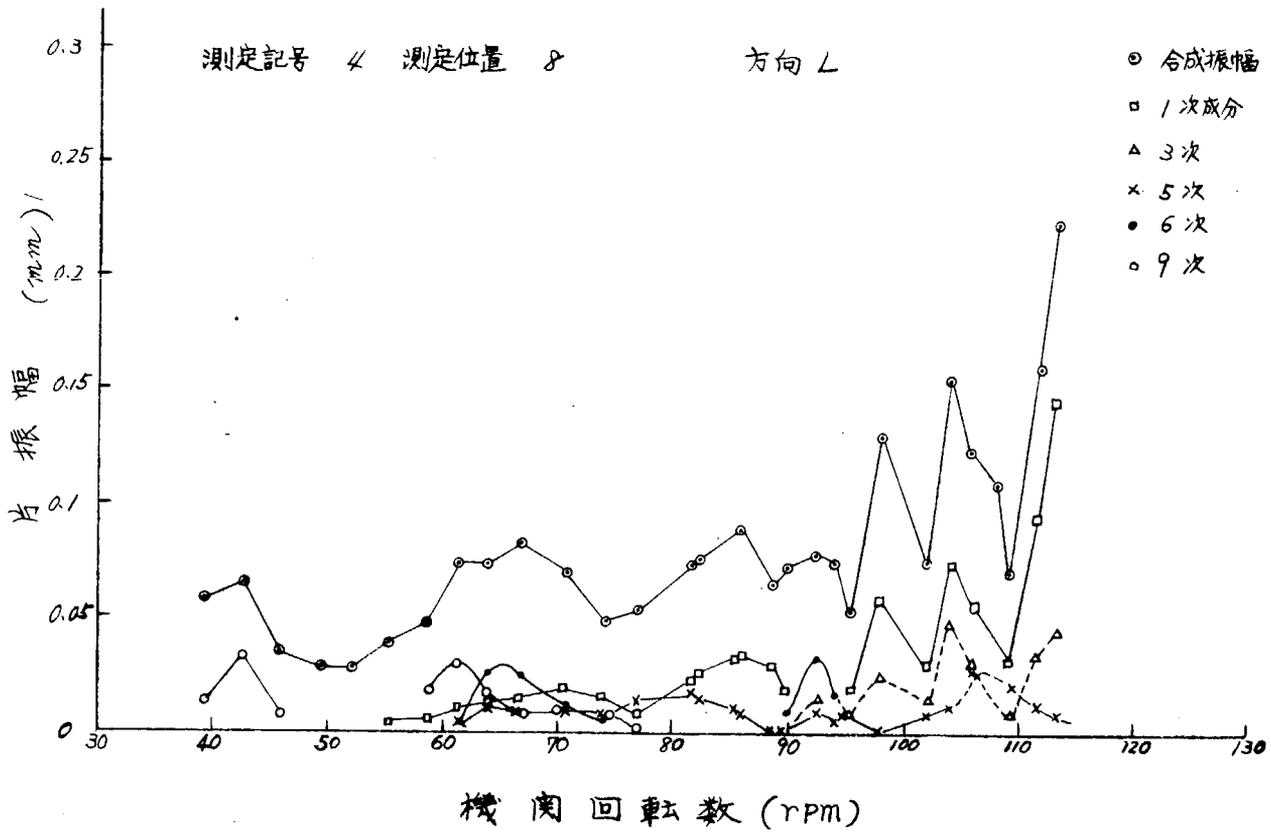
第 3. 3. 1 8 図 海上運転時架構振動 (満載)

測定記号 4 測定位置 3 方向 \angle

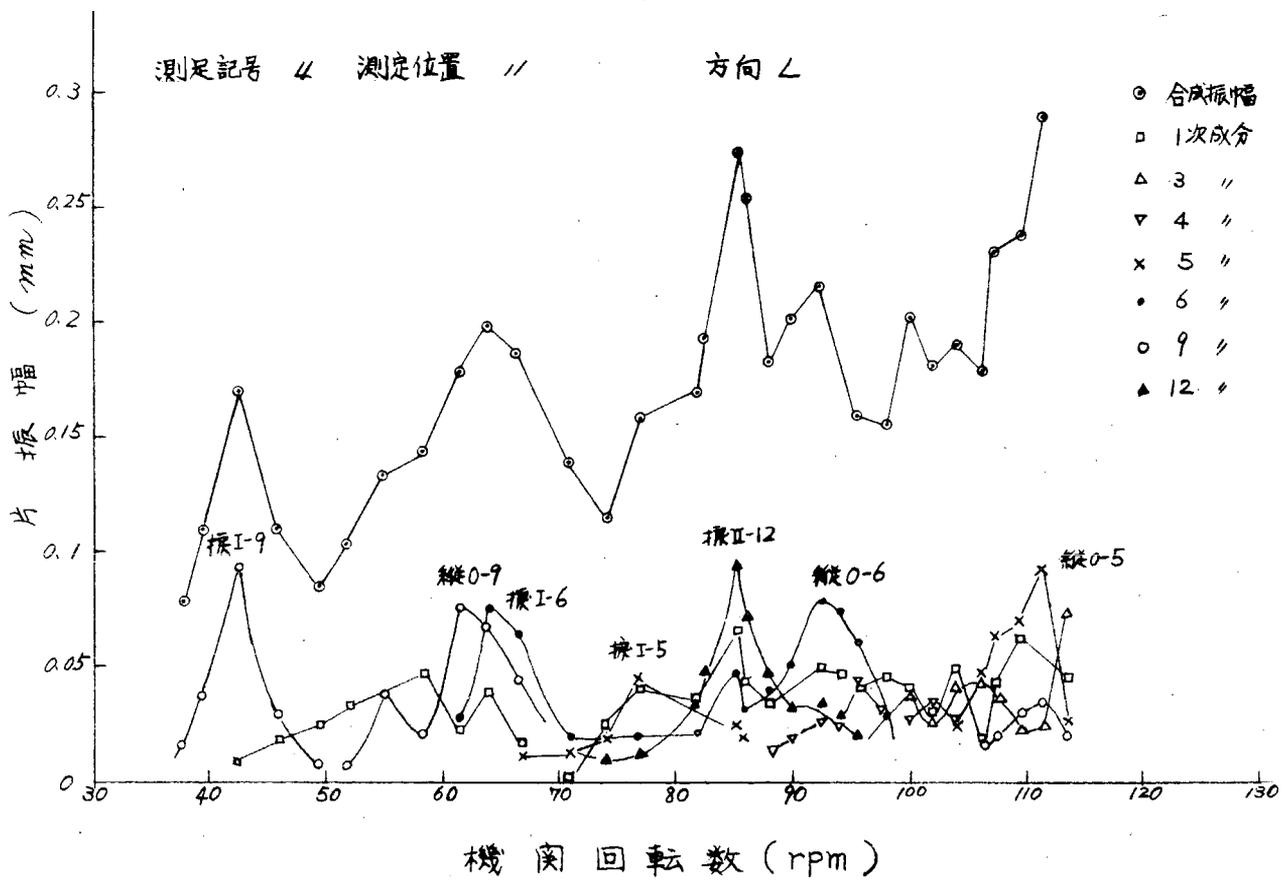
- ◎ 合成振幅
- △ 3次成分
- × 5次 "
- 6次 "
- 9次 "
- ▲ 12次 "



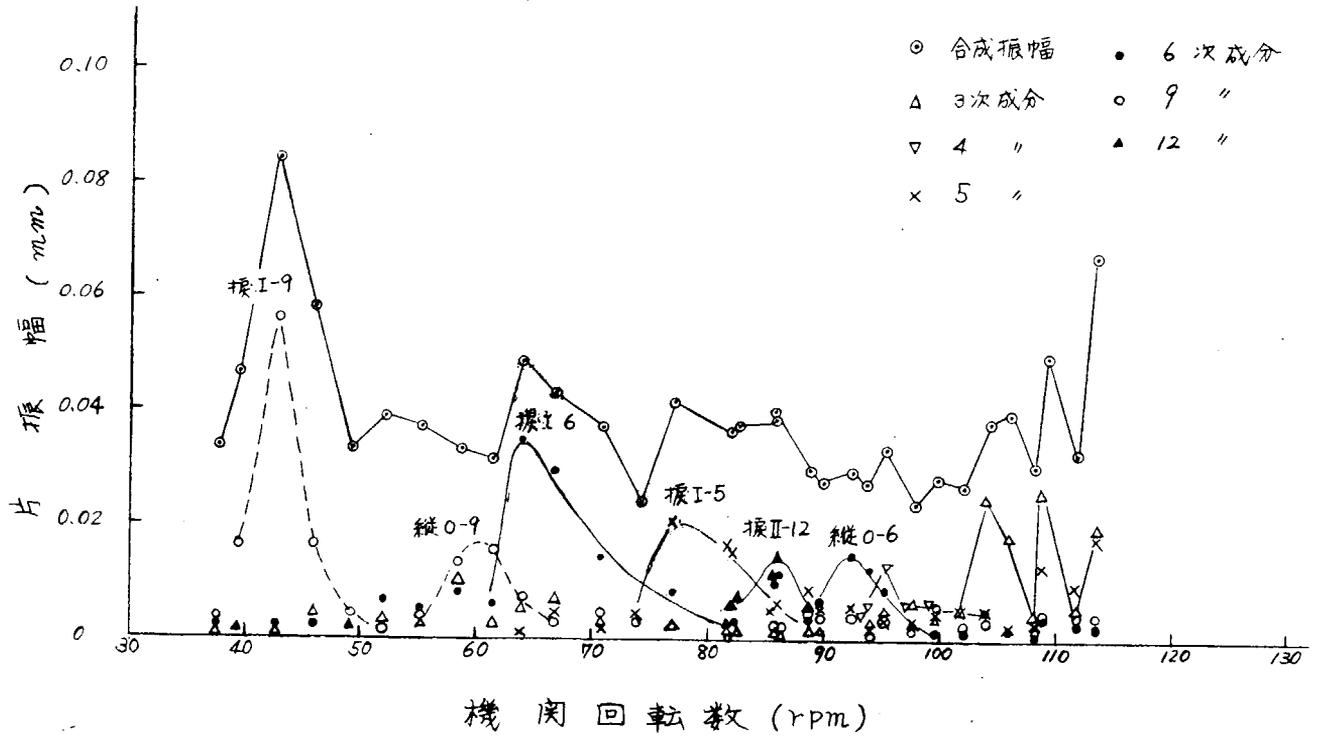
第 3. 3. 1 9 図 海上運転時架構振動 (満載)



第 3. 3. 2 0 図 海上運転時架構振動 (満載)



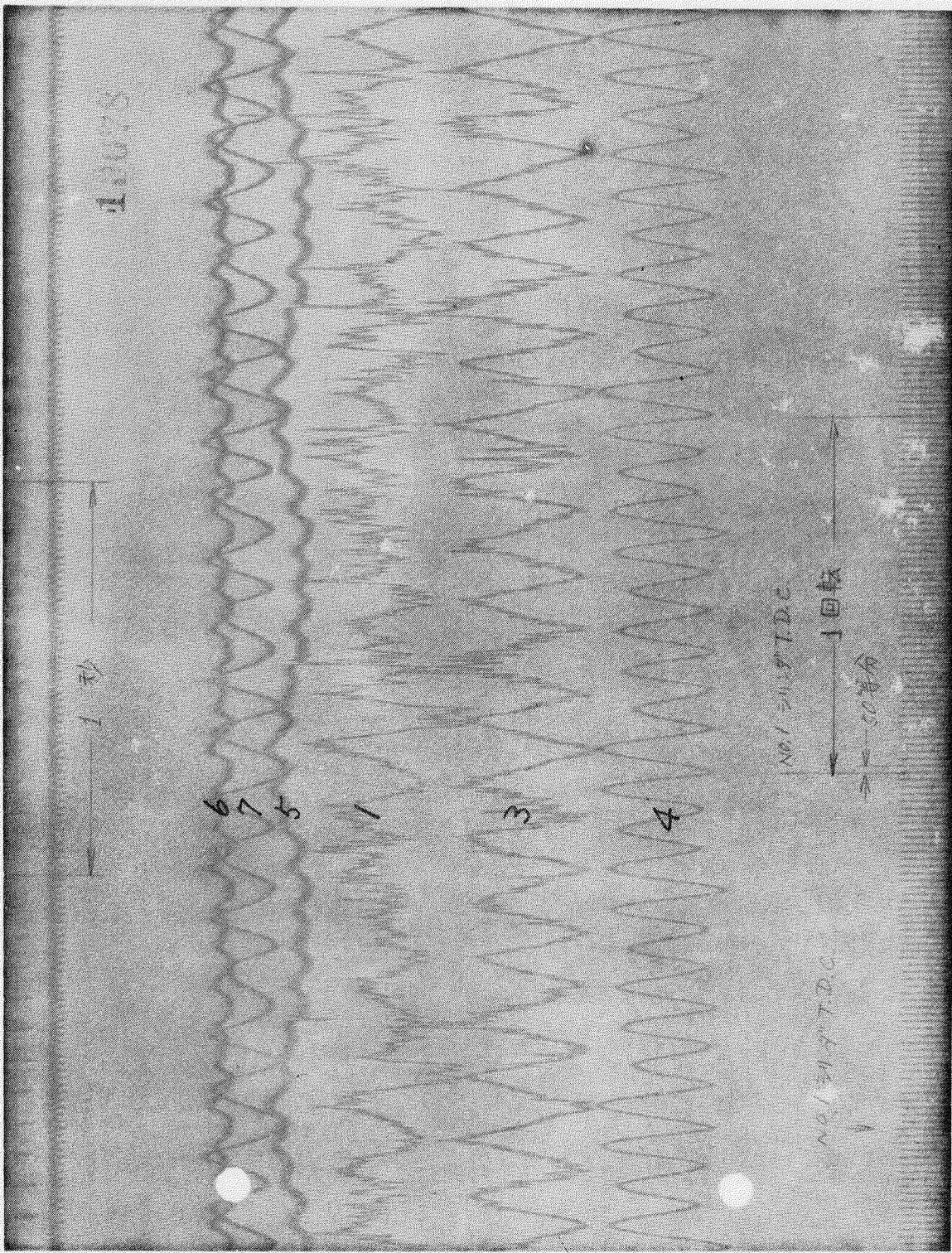
第 3. 3. 2 1 図 海上運転時架構振動 (満載)



第 3. 3. 2 2 図 海上運転時架構振動 (満載)

計測名および単位

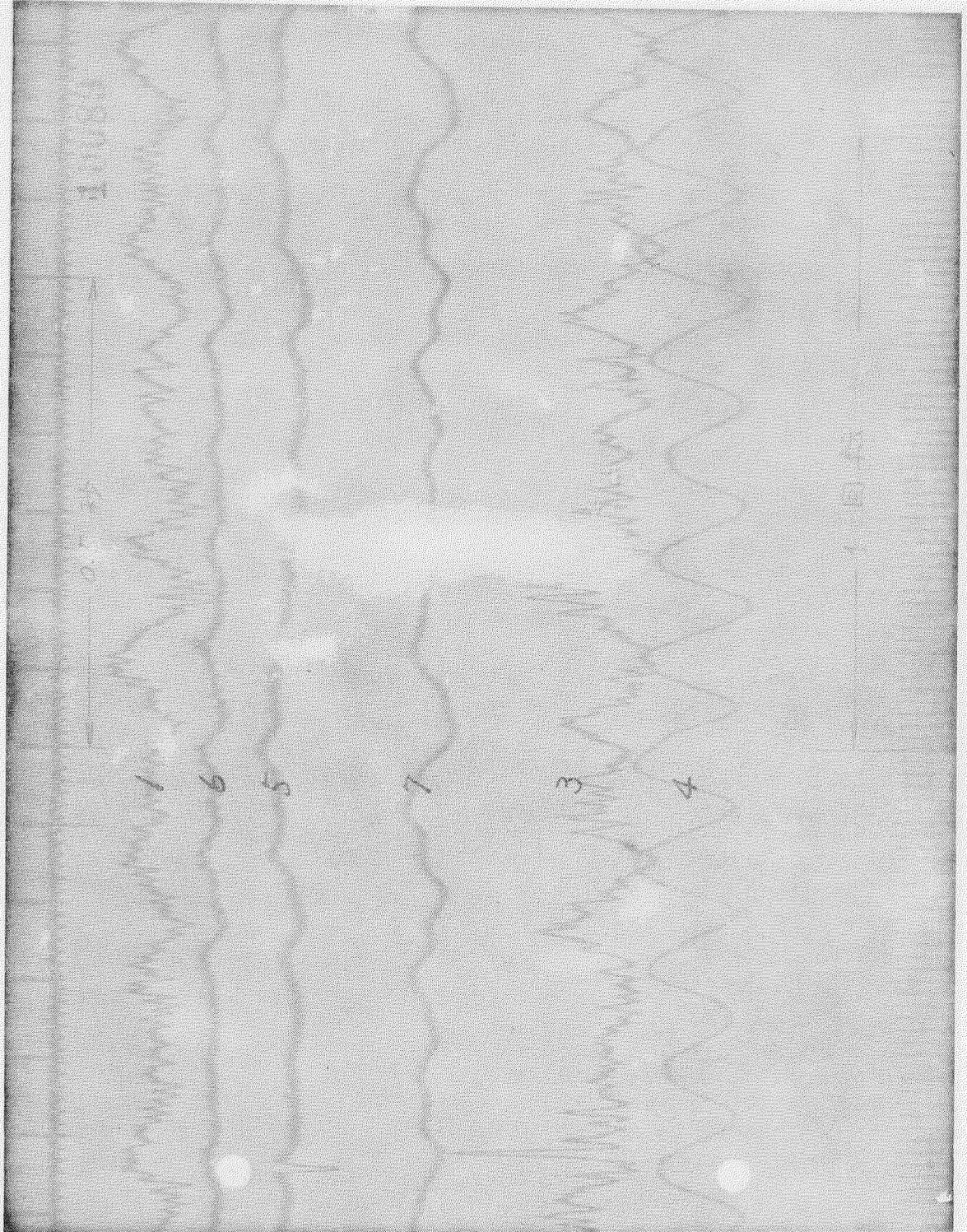
- 1. トルク変動
20 Ton・m
増加
- 3. スラスト変動
20 Ton
増加
- 4. 縦振動
(クランク軸箱端)
0.5 mm
箱側
- 5. 縦振動
(フライホイール)
0.5 mm
箱側
- 6. 縦振動
(中間軸アブリング)
0.5 mm
箱側
- 7. わじれ振動
0.1 degree
箱側



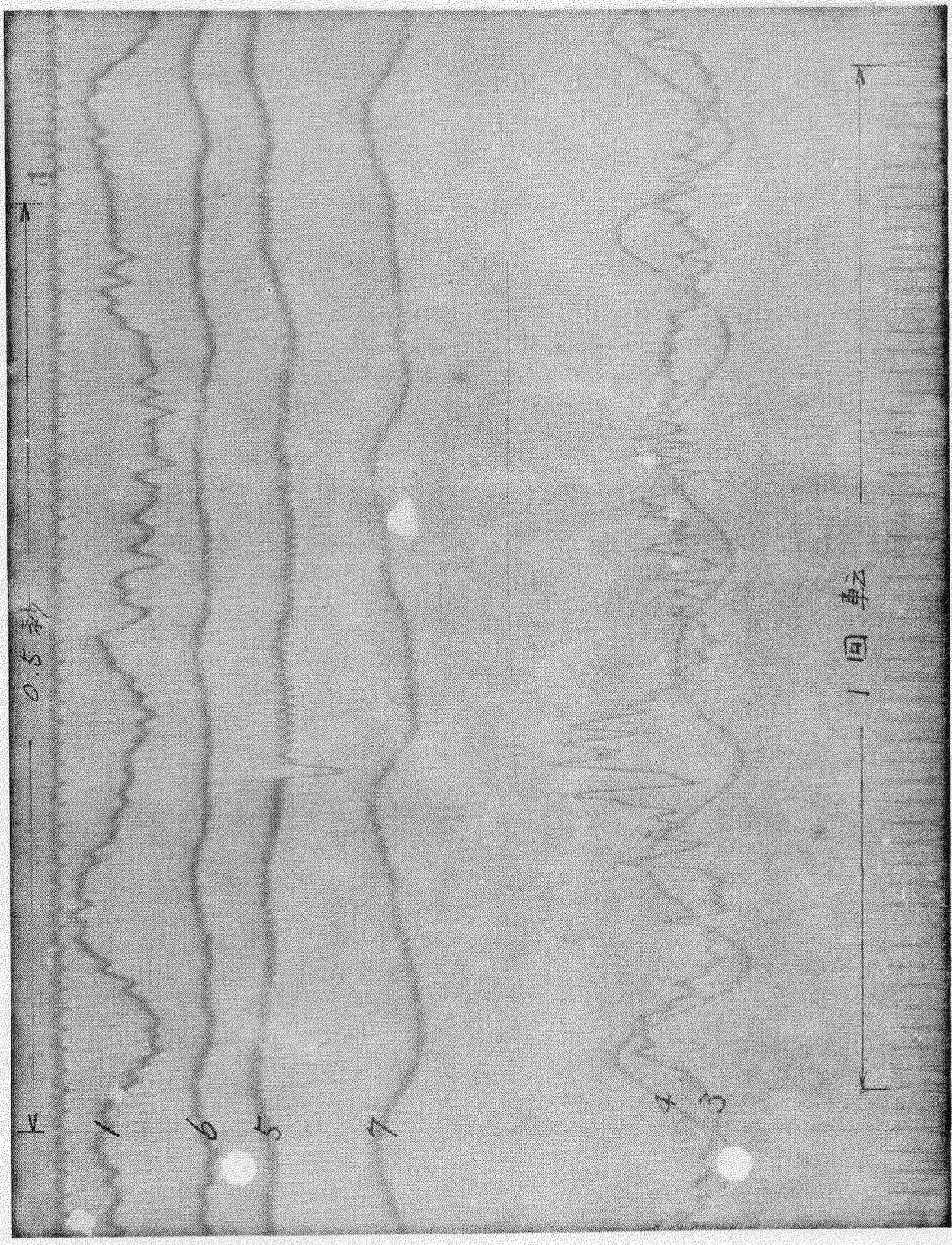
第 3.3.2.3 図 海上運転時軸系振動計測例 (満載) 6 2.8 r.p.m

計測名および単位

- 1.トルク変動
20 Ton.m ↑増加
- 3.スラスト変動
20 Ton ↑増加
- 4.縦振動
(フランク軸指端) 0.5 mm ↑縮側
- 5.縦振動
(フライホイール) 0.5 mm ↑縮側
- 6.横振動
(中間軸カブリング) 0.5 mm ↑縮側
- 7.ねじれ振動
0.1 degree ↑縮側



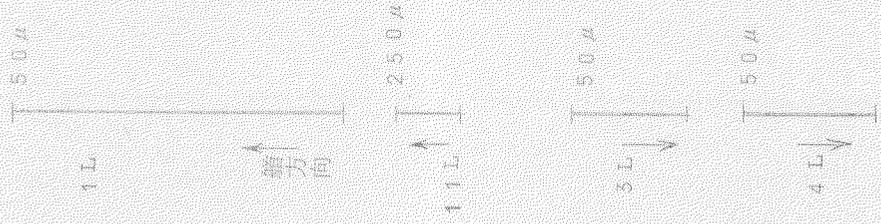
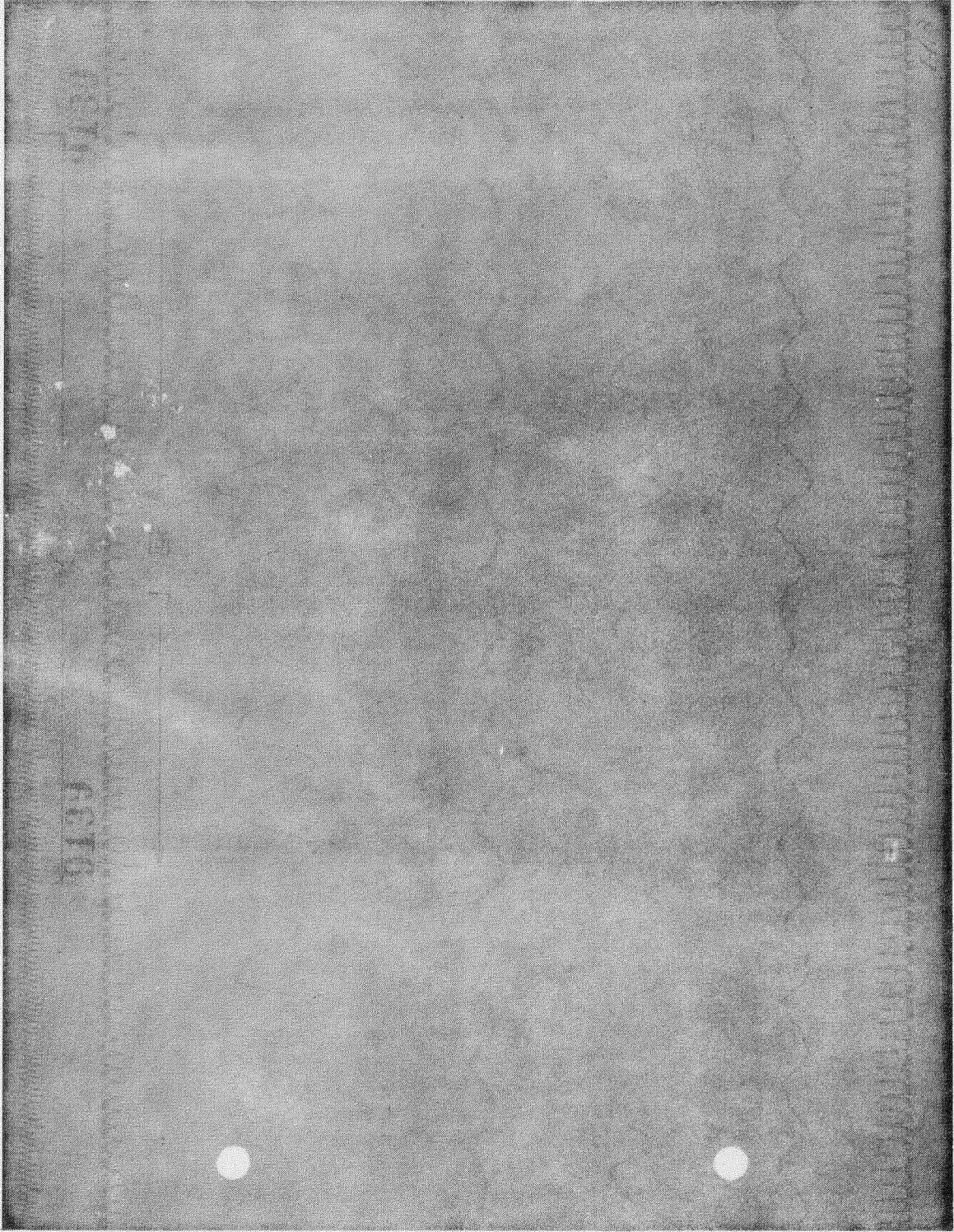
第 3.3.2.4 図 海上運転時軸系振動計測例 (海敷) 9 1.5 rpm



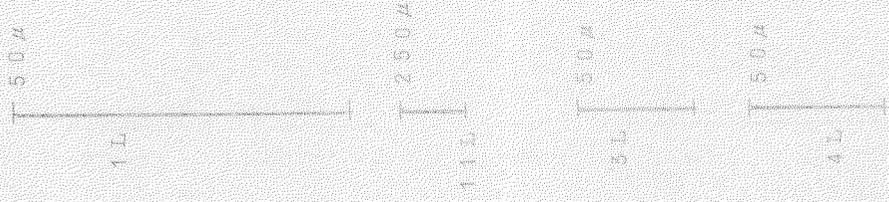
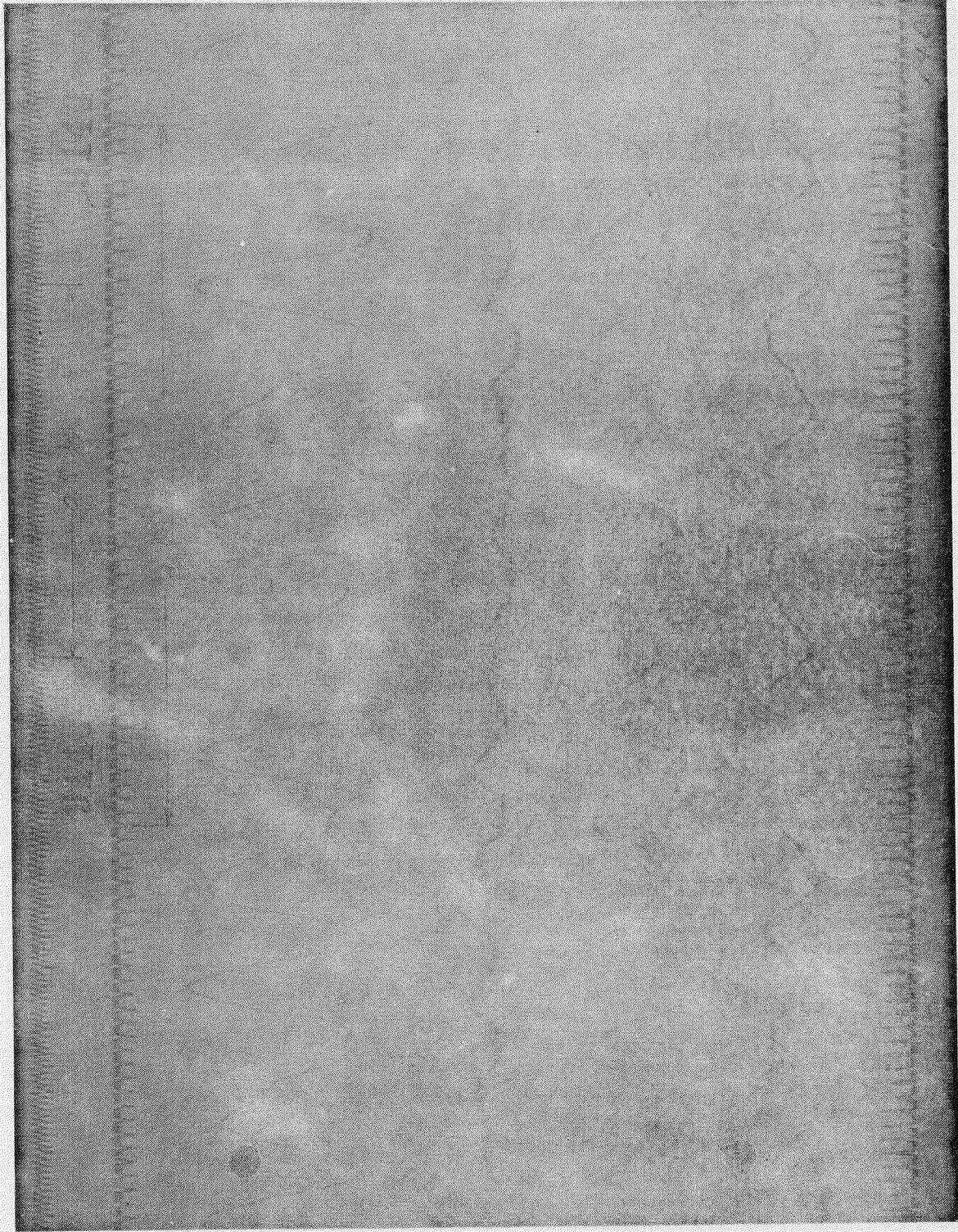
計測名および単位

- 1. トルク変動
2.0 Ton・m 増加
- 3. スラスト変動
2.0 Ton 増加
- 4. 縦振動
(クランク軸直端) 0.5 mm 傾斜
- 5. 縦振動
(フライホイール) 0.5 mm 傾斜
- 6. 縦振動
(中間軸ブッシング) 0.5 mm 傾斜
- 7. ねじれ振動
0.1 degree

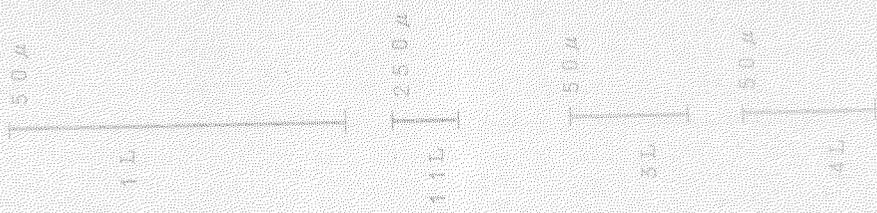
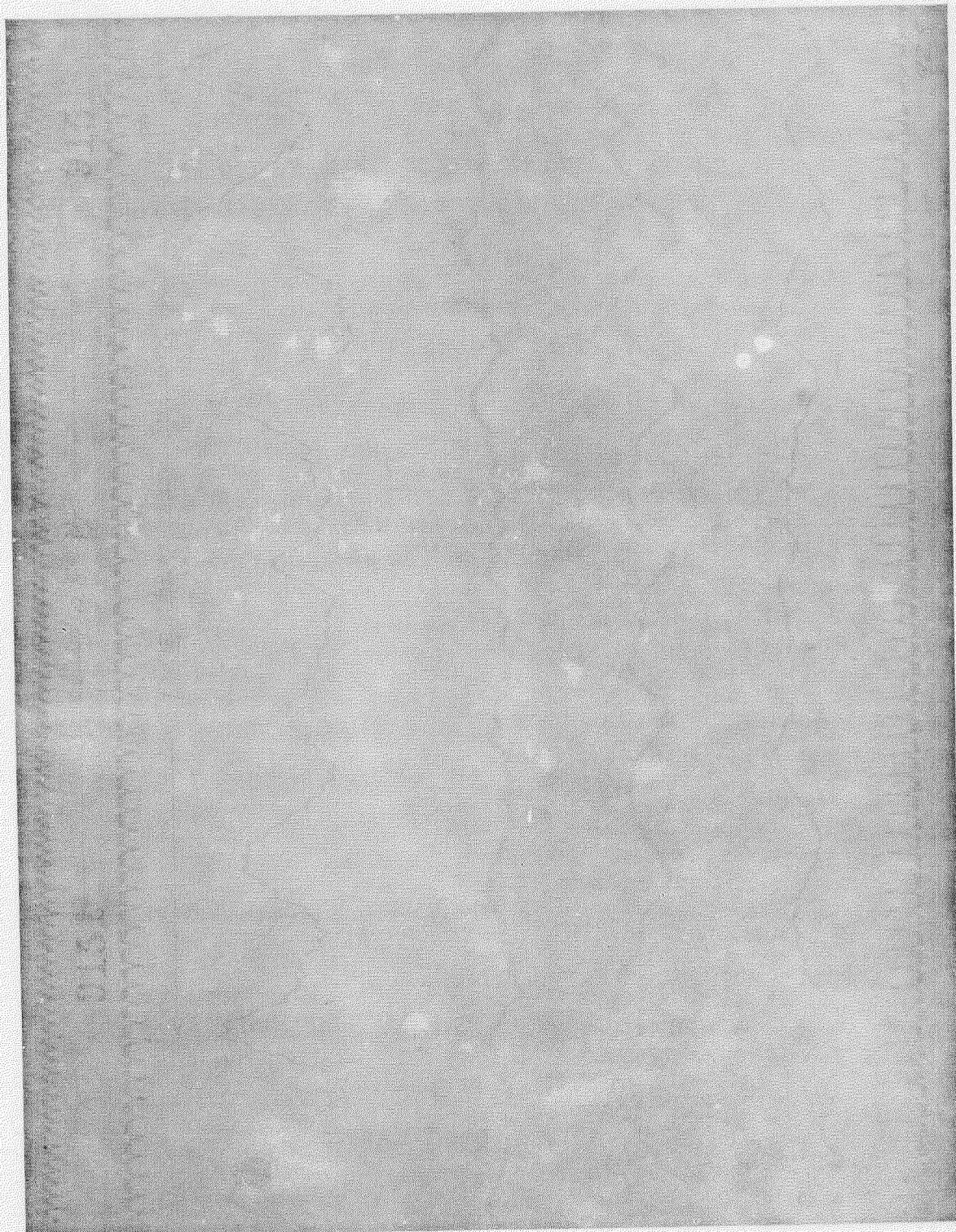
第 3.3.2.5 図 海上運転時軸系振動計測例 (満載) 108.6 r.p.m.



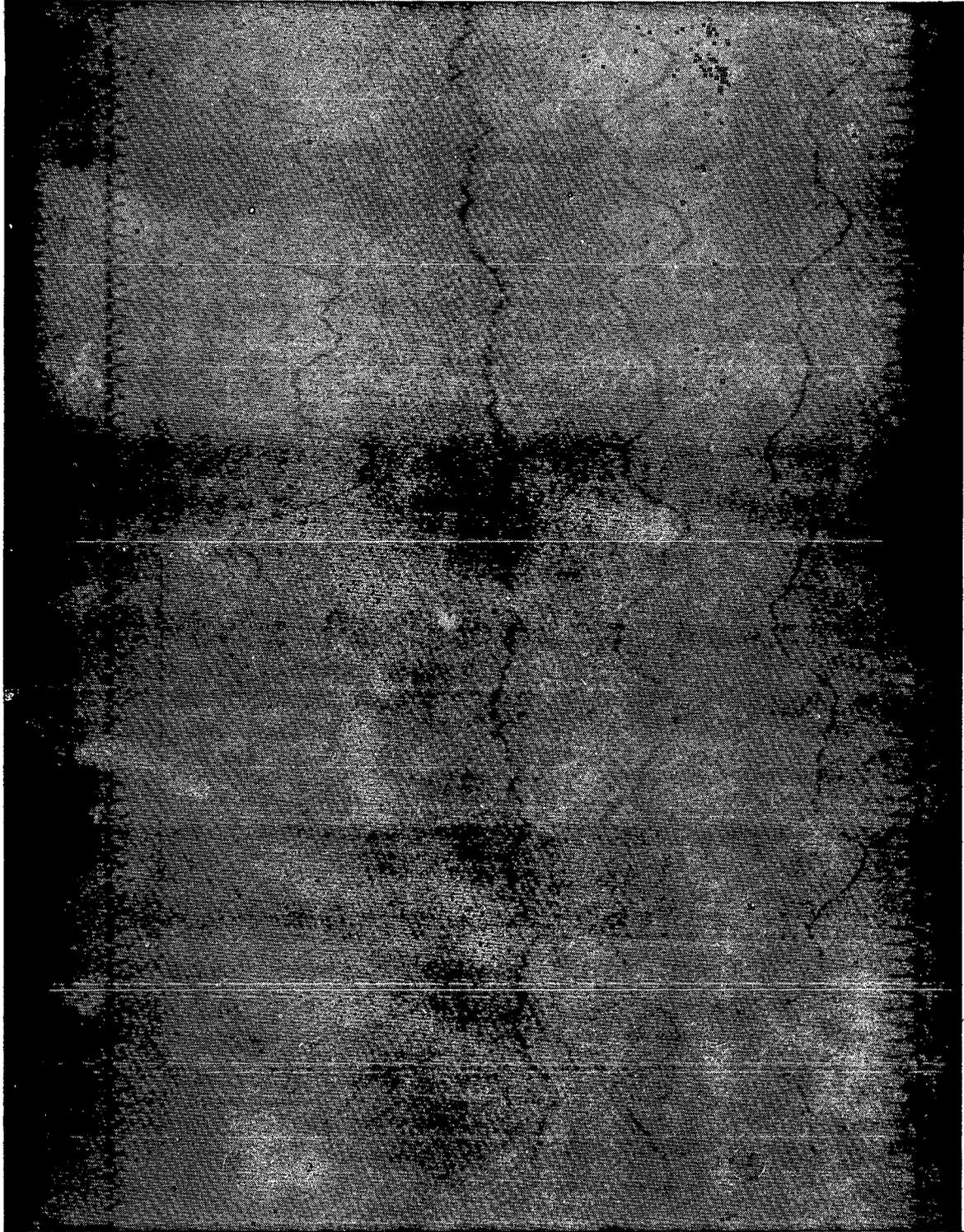
第 3.3.2.6 圖 海上運轉時架構振動縱方向 (滿載) 6 1.3 r p m



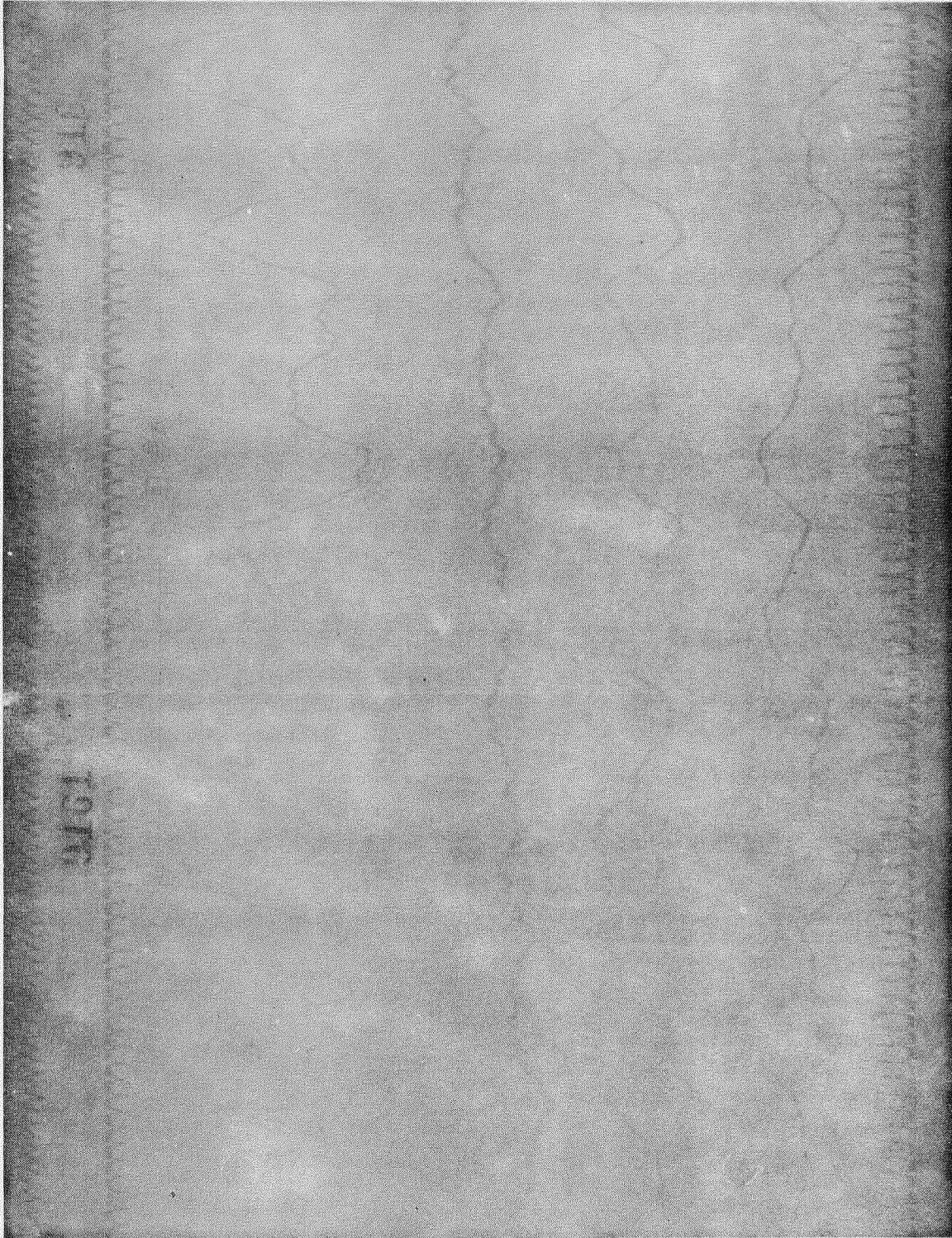
第 3.3.2.7 図 海上運轉時架構振動綫方向 (滿載) 6.4.0 I P III



第 3.3.2.8 図 海上運転時梁振動縦方向 (満載) 9.2.5 r.p.m.



第 3.3.2.9 図 海上運轉時梁構振動縦方向 (満載) 11.1.4 IPD



第 3.3.2.9 図 海上運轉時架構振動縱方向 (滿載) 1 1.4 r.p.m.

船首端で0.1～0.15 mm程度のものがあらわれている。なお、ねじれ振動については後述する。

フライホイール面および中間軸カブリング面での縦振動は振幅が0.15 mm以下と小さく、測定困難であったが、縦振動の0節9次、6次および5次、ねじれ振動1節9次および2節12次による振動は明瞭に認められる。またフライホイール面と中間軸カブリング面との振幅には大きい差は認められないが、半載ではフライホイール面がやや大きいのに比べ、満載ではやや小さい。なお船首端での縦振動との位相差を見るとねじれ2節振動のみ逆位相を示している。

また半載と満載の場合の振幅および振動数を比べるといくぶん満載のほうが大きい程度で大差ない。以上の測定結果から軸系縦振動の固有振動数は次のとおりである。

陸上		500 cpm
海上	半載	545 "
海上	満載	550 "

なお、測定結果の1次成分は測定方法からみて誤差が大きいので注意を要する。

(2) 軸系ねじれ振動

陸上運転では低回転域での測定をしていないが、測定した範囲内では、1節9次のねじれ振動が最も大きく、0.09度を記録した。1節6次のもはピークにいたらないが、1節9次のピークと同程度の振幅値を示している。その他1節12次および2節と思われる18次のもが出てはいるが振幅は小さく0.02～0.03度である。

海上運転では、定性的には半載と満載とで差は認められないが、振幅は満載のほうがやや大きいように思われる。半載、満載いずれの場合にも1節9次および6次のねじれ振動が大きく、振幅値は満載で1節9次0.28度、1節6次0.16度を記録した。なお、半載の場合1節9次、6次のピークが明瞭に捕えられていないが、振幅は0.15度以上になるものと予測される。また、1節3次はピークにいたらないが、測定最高回転数で振幅は0.1度に達している。その他1節4次、5次および2節12次、15次のもが明瞭に出ているが、振幅は小さく0.05～0.08度程度である。

これらの測定結果からねじれ振動の固有振動数を求めると次のようである。

運 転 条 件	節	固有振動数 cpm
陸上運転	1	814
"	2	1,430
海上運転	1	384
"	2	1,020

(3) トルク変動

トルク変動は、前述のねじれ振動によって発生するものが明瞭にあらわれており、1節ねじれ振動に対しては振幅0.1度に対し10～20 Ton-mのトルク変動が発生しているが、2節振動に対するトルク変動はかなり小さい。前述したように半載と満載とでねじれ振動に大差がないのでトルク変動のほうも半載、満載で大差が認められず、ねじれ振動の傾向とよく似ている。したがって、トルク変動は、ねじれ振動の1節9次、6次、5次、4次、3次および2節12次によるものが大きく、4 Ton-m以上の変動値を示しており中でも1節9次のねじれ振動によるものが最も大きく、満載の場合変動値は40 Ton-mを超えている。その他全域にわたって、2～4 Ton-mの5次のトルク変動が見られるが、これはプロペラの翼数が5枚だからである。

なお、常用回転数付近での平均トルクを測定した結果を第3.3.14図に併記しているが、この付近でのトルクの変動は各次成分にて平均トルクの約10%、合成振幅にて約20%である。

(4) 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、ねじれ振動の1節9次および6次に対するものが大きく、変動値のピークは明確でないが、最大値は半載の場合20 Ton 以上、満載の場合にはこれより大きく30～40 Ton 程度になっている。そして、ねじれの1節振動については、0.1度のねじれに対しスラスト変動は半載で15～

20 Ton、満載では半載の場合の約2倍程度出ている。

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比べて小さいが、縦振動の0節9次、6次および5次の影響が明瞭にあらわれており、そのピークの振幅値は5～10 Ton 程度であり、半載に比べて満載のほうがかなり大きい。

なお、第3.3.1.5図に90 rpm 以上の平均スラストを付記した。

(5) 機関架構縦方向振動

機関台板、スラスト軸受、中間軸受台などの縦方向の振動を見ると、軸系のねじれ振動および縦振動の大きいところで大きくなっているが、ねじれ振動および縦振動の影響度はほぼ同程度で、船首端軸系縦振動のねじれ振動および縦振動のピークとスラスト変動のそれらの平均的な傾向を示している。そしてそれらの振幅は小さい。

陸上運転の場合、機関台板の各点は同位相の振動を示しており、軸系振動による高次の振動振幅はスラスト軸受のある船尾側のほうがいくぶん大きい。そして最大振幅は合成振幅でも0.06 mm以下できわめて小さい。しかし軸系ねじれ1節9次、2節18次、縦0節12、9次振動によるピークが見られる。また陸上運転で特に注目されるのは19次～18次という振動が大きく出ていることである。この振動は海上運転では見られず、陸上運転特有のもので、機関据付け基礎台または動力計まわりの固有振動かと思われる。

海上運転での機関台板の縦方向振動は陸上運転時より大きく、また満載のほうが半載よりいくぶん大きい。そして軸系ねじり1節9、6、5次、2節12次、縦9、6、5次振動によるピークが明瞭に見られる。ピークの振幅はスラスト軸受にて最も大きく最大0.1 mmを示し、中間軸受台、船尾側機関台板はほぼ同程度で、スラスト軸受のそれよりかなり小さく、船首側機関台板が最も小さい。また機関上部は軸系振動による高次振動は小さくなっているが、3次～1次の低次振動は大きくなる。そしてこれらの振動の位相はすべて同一である。

なお高回転域にて見られる3次振動は船体振動によるものではないかと思われ、半載における3次の傾向と満載におけるそれはかなり異なる。また軸系相対縦振動の測定において固定端となった船首側機関台板、軸受台の縦方向振動変位は0.02 mm以下であり、相対縦振動は絶対縦振動としても大差ないと思われる。

3.2.7 測定結果の検討

(1) 理論計算値と実測値との比較

海上運転の満載条件にて、さきに3.2.2節で述べた計算法によって計算した軸系縦振動の固有振動数と振幅値を測定結果と対比すると第3.3.1.0表のようになる。

第3.3.1.0表 縦振動の実測値と計算値の対比

節	固有振動数 rpm		次 数	片 振 幅 mm	
	実 測 値	計 算 値		実 測 値	計 算 値
0	545～ 550	540	5	0.68	0.32
			6	0.65	0.69
			9	0.82	0.71

これより、固有振動数の実測値と計算値とはよく一致しており、固有振動数の計算法がよく適していることがわかる。振幅については5次のを除いては計算値とよく一致しているが、5次の振幅の相違は、プロペラのスラスト変動によるものと推察され、計算における起振力としてクランク半径力のみを考慮したためと思われる。今後プロペラによる起振力およびクランク接線力をも考慮した計算法を確立すべきであろう。

軸系ねじれ振動についても参考のために海上運転の満載条件での固有振動数と振幅値の実測値と計算値とを対比して第3.3.1.1表に示した。

第3.3.1.1表 おじれ振動の実測値と計算値の対比

節	固有振動数 rpm		次数	片振幅度	
	実測値	計算値		実測値	計算値
1	384	387	4	0.080	0.116
			5	0.071	0.077
			6	0.183	0.198
			9	0.320	0.376
2	1,020	1,035	12	0.066	0.104

※ 測定器の校正曲線により補正

これからわかるように、固有振動数の実測値は計算値とよく一致しており、また振幅についても1節は大略一致している。

(2) 軸系縦振動と船体縦振動の関連

軸系のおじれおよび縦振動が樁突台板、軸受台に縦振動を与えることは前に述べたが、それと船体縦振動との関連を検討する。起振機テストによると半載における縦振動の固有振動数は318 rpmのみ、満載における固有振動数は明瞭に出ない。したがって本測定結果の台板、軸受台上の縦振動において、100 rpm以上にある3次成分が船体固有振動によるもので、他は、軸系振動によってもたらされたものと推定される。したがって軸系振動測定結果は船体振動によって乱されていない。

なお来年度には、船体分科会の船体振動測定結果との対比によって、より厳密な検討を実施したい。

3.4 タービン船における軸系縦振動計測結果(三菱重工業長崎)

タービン船の起振力は、ほとんどプロペラに誘起されるものであり、プロペラ起振力は、直接圧力波の形で船体表面に伝達されるいわゆるSurface Forceと、プロペラ軸系および軸受を通して伝達されるいわゆるBearing Forceとがある。今回計測は、後者についての計測を行なった。供試船は第3.4.1表に要目を示す150,000 DWタンカで、計測時状態は第3.4.2表に示す。計測項目は、次のとおりである。

計測項目	記号	計測点位置	計測結果	
スラスト変動	TH	第3.4.1図	オシログラム 変動量	第3.4.3～3.4.8図 第3.4.9図
トルク変動	TR	第3.4.1図	オシログラム 変動量	第3.4.3～3.4.8図 第3.4.10図
軸曲げモーメント変動	B1, B2	第3.4.1図	オシログラムに 変動量	BLADE FREQ.殆どないため省略 第3.4.11図
軸の縦振動	P1, P2 P3, P4	第3.4.1図	オシログラム 変動量	第3.4.3～3.4.8図 第3.4.12図
推力軸受の前後振動	D1, D2	第3.4.1図 第3.4.2図	オシログラム	第3.4.3～3.4.8図
二重底上下振動	D3	第3.4.1図	オシログラム	第3.4.3～3.4.8図

結果の概要は次のとおり。

- a) 6翼プロペラの12次(Blade Frequency×2)のスラスト、トルク変動は、Blade Frequency成分に比して小さいといわれているが、計測結果も大体その傾向を示している。第3.4.9図のスラスト変動の平均値を平均スラスト^{*}で割ってスラスト変動率を求めると次のようになる。

主機回転数	Blade Frequency スラスト変動率 %	Blade FX2 スラスト変動率 %
65	2.9	1.3
70	3.9	2.1
80	5.7	5.5
85 (MCR)	7.8	4.9

80 rpm 付近で12次 (Blade Frequency $\times 2$) のスラスト変動が比較的大きいのは、軸の縦振動の共振点付近のため、共振による応力が付加されたためと考えられる。軸の縦振動の共振点がこの付近の回転数にあることは、第3.4.12図の縦振動共振曲線や第3.4.7、3.4.8図の波形から推察できる。

b) 軸の縦振動は軸自身の弾性的伸縮よりも、スラスト軸受部のパネで支持された剛体振動に近いことが、第3.4.7図の P_1 、 P_2 、 P_3 および D_1 の振幅比較からわかる。したがって、タービン船の軸系の縦振動数の推定精度は、ほとんどスラスト軸受部のパネ定数で定まる。

*平均スラストは、船型試験場における推定値である。

c) トルク変動の6次 (Blade Frequency) 成分が40~45 rpm で大きいのは、ねじれ振動の共振点である。

d) 軸の曲げ応力に rpm $\times (6 \pm 1)$ 成分または rpm $\times (12 \pm 1)$ 成分はほとんど検出できなかった。一方、第3.4.11図に示すごとく6次 (Blade Frequency) 成分は、一定ではなく回転数により増減する。前者は偶数翼では軸曲げモーメントが小さいという従来の定説通りである。熊井²⁾ Manen¹⁾ の実験でも略同様の結果を得ている。後者は、次のように考えられる。6次 (Blade Frequency) の成分の原因は、軸系の自重とプロペラの推力偏心とが考えられる。前者は、回転によって変化しないが、後者は、Wake分布その他により変化する。そしてManenの模型実験では、推力偏心による軸曲モーメントはトルクの25~50%に達する。この推力偏心による曲げモーメントが、回転数により変化するものと思われる。しかし、当日は海象が悪く (Moderate) 船体運動がかなり多くかつ舵角も0~5°のあて舵を取る状態であったため、これらの影響もあったことと考えられる。

e) 軸縦振動の共振点である80 rpm 付近における船体振動は比較的小さく、船尾端で上下振動10 gal、前後振動25 galくらいであり、Compass Bridgeの前後振動20 gal以下で、したがって、軸系の縦振動は船体振動にあまり大きい影響を与えないものと思われる。

参 考 文 献

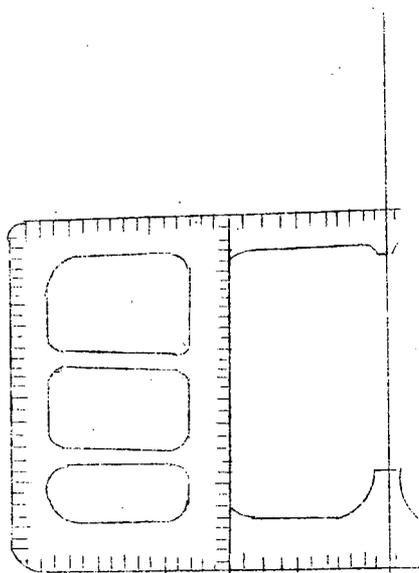
- 1) Manen, J.D. van and Wereldsma, R., "Propeller Excited Vibratory Forces in the Shaft of a Single Screw Tanker", Int. Ships. Prog. vol.7 №73 Sept. (1960)
- 2) Kumai, T. et al., "Measurement of Propeller Forces Exciting Hull Vibration by Use of Self-propelled Model," Rep. Res. Inst. Appl. Mech. Kyushu Univ. vol. X №33 (1961)

SHIP NO.	
BUILDER	MIITSUBISHI MAGASAKI

PARTICULARS OF SHIP

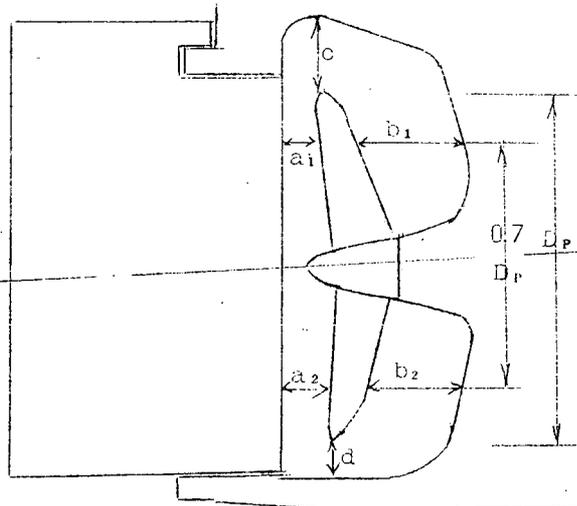
HULL		MAIN ENGINE		
KIND & TYPE	OIL TANKER WITH BRIDGE AFT	KIND & TYPE	STEAM TURBINE (MT-300-3)	
CLASS	NV	NUMBER	1	
CONSTRUCTION	Longitudinal SYSTEM	POSITION OF ENG.		
L oa	300 ^M 00	SEP	30,000 PS ATMCR	
L pp	285 ^M 00	RPM	90	
B mld	48 ^M 20	UNBALANCED FORCE	Fv1	—
D mld	23 ^M 50		Fv2	—
d full	16 ^M 30		Fh	—
Δ full	187,213 TONS	UNBALANCED MOMENT	Mv1	—
D.W.	156,700 TONS		Mv2	—
Cb full	0.816		Mh	—
MOMENT OF INERTIA	Ivm	766 M ⁴	PROPELLER	
	Ihm	1,895 M ⁴	NUMBER	1
WEB AREA	Avm		NO. OF BLADES	6
	Ahm		DIAMETER	8 ^M 100

SKETCH OF SECTION



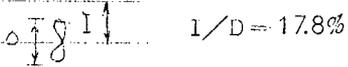
0 5 10^M

SKETCH OF SCREW APERTURE



a_1/D_p	13.7%	b_2/D_p	32.4%
a_2/D_p	14.8%	c/D_p	35.6%
b_1/D_p	30.4%	d/D_p	15.1%

第 3. 4. 2 表

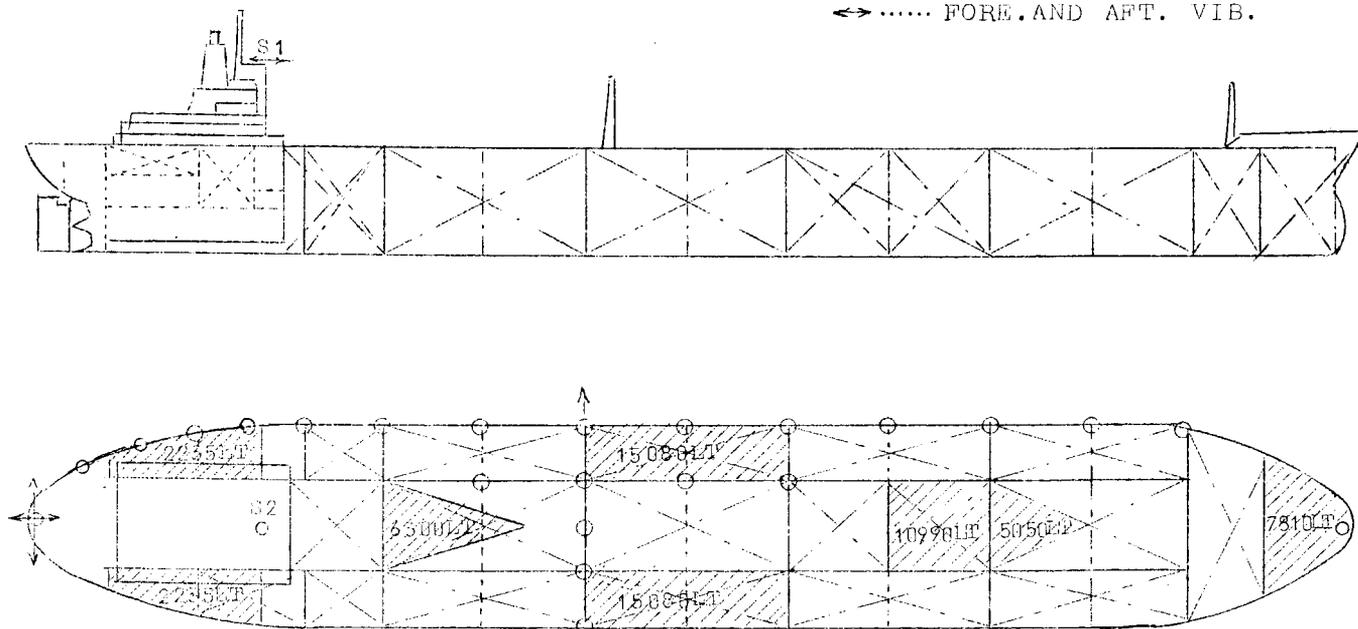
TEST CONDITION		MEASURING INSTRUMENT	
DATE	FEB. 6 1967	TYPE OF PICK UP	UNBONDED ELECTRIC RESISTANCE TYPE ACC. PICK UP
PLACE	OFF MIYE	NO. OF MEAS. PTS.	MAIN HULL 26 S-STRUCTURE 8 SHAFT ETC 11
WEATHER	CLOUDY, LATER FINE	DETAIL OF EXCITER	
SEA CONDITION	MODERATE	TYPE OF EXCITER	
DEPTH OF WATER	AB. 60M	MAX. EXCIT. FORCE	
Δ test	94,900T	DIRECT. OF EXCIT.	
d f	734M	OTHER DESCRIPTIONS	
d a	1006M		
d m	869M		
PROPELLER IMMERSION	 $I/D = 17.8\%$		

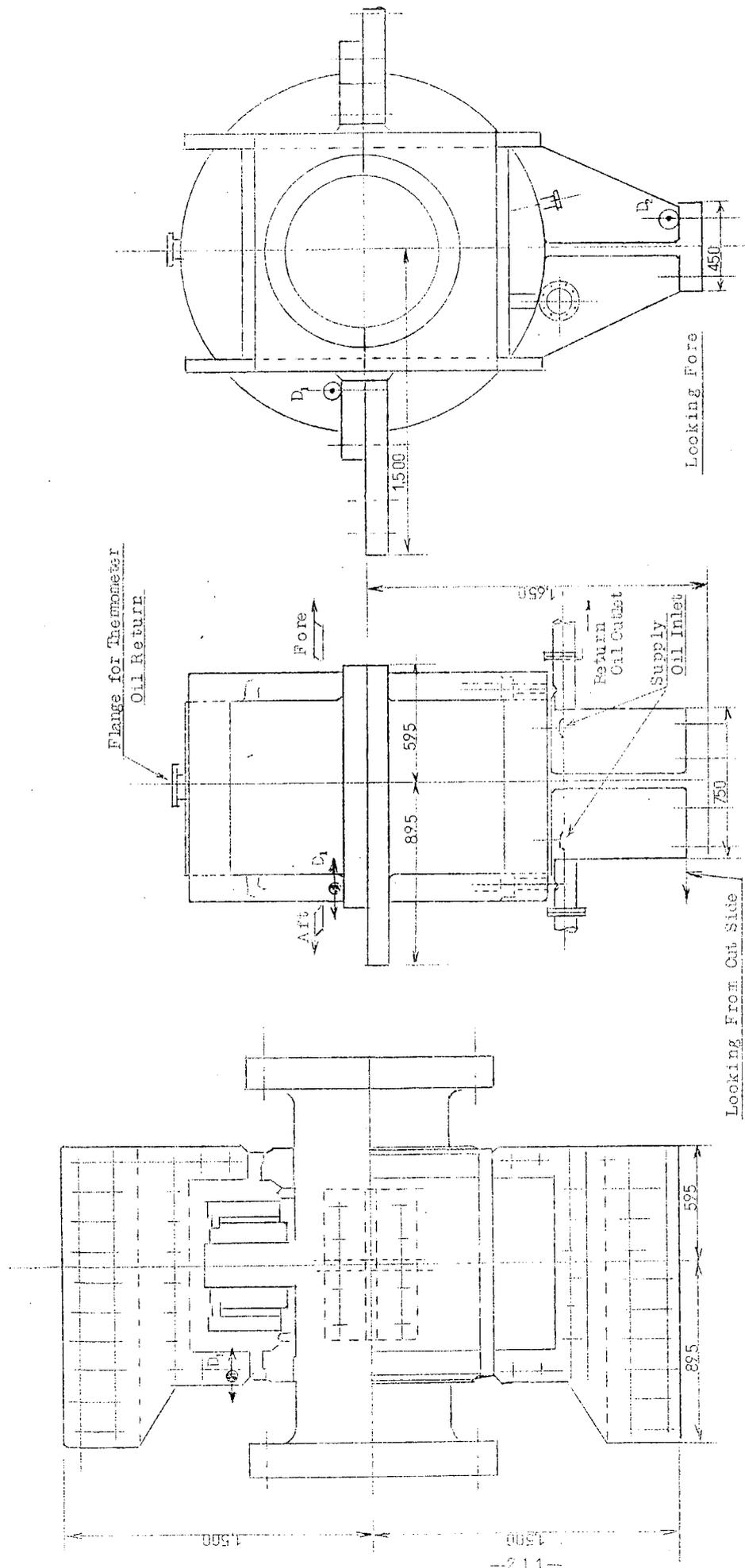
ROUGH ARRANGEMENT OF MEASURING POINTS

AND LOADING PLAN

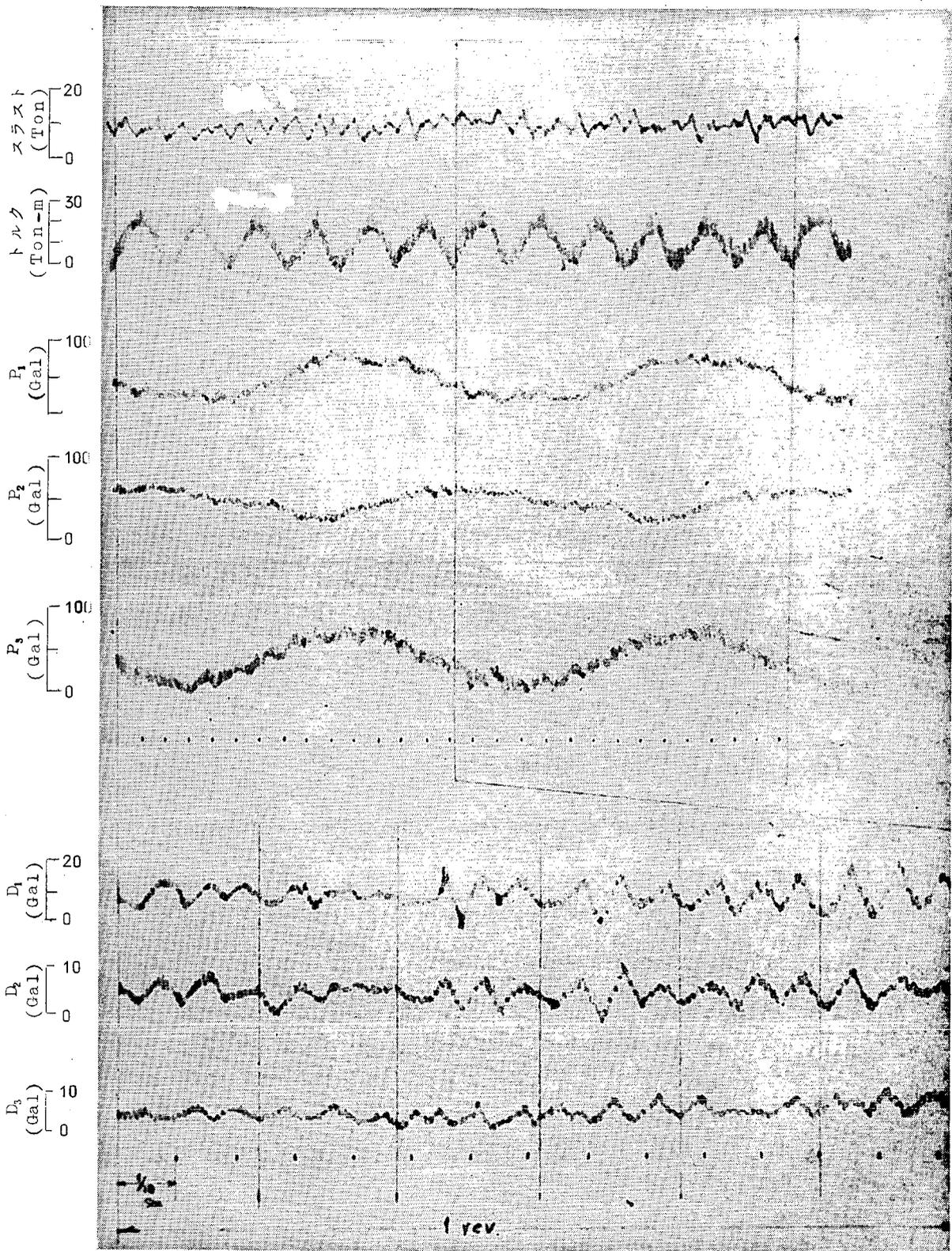
○ VERTICAL VIB.

↔ FORE AND AFT VIB.



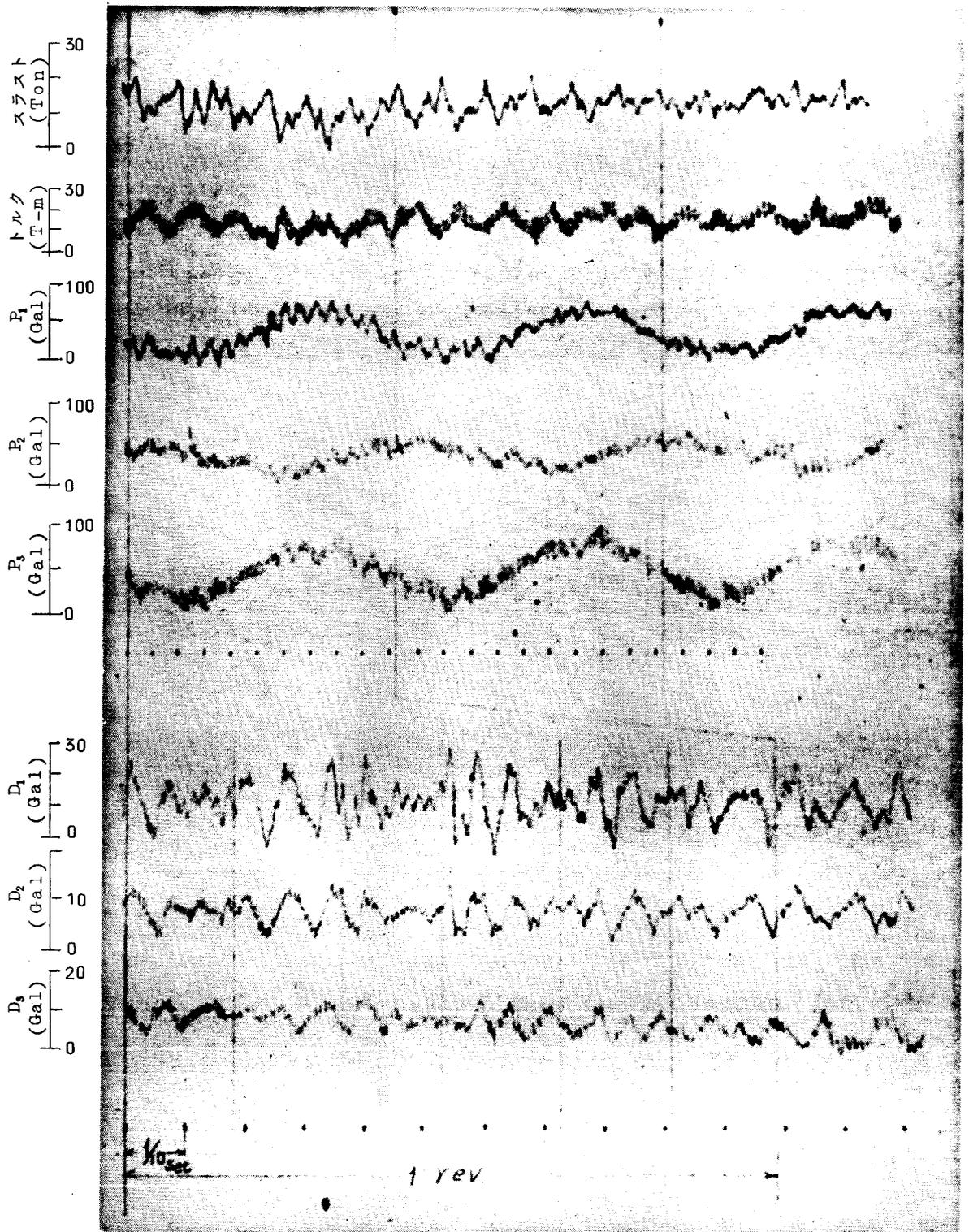


第 3. 4. 2 图 計測点位置图 (推力軸受)



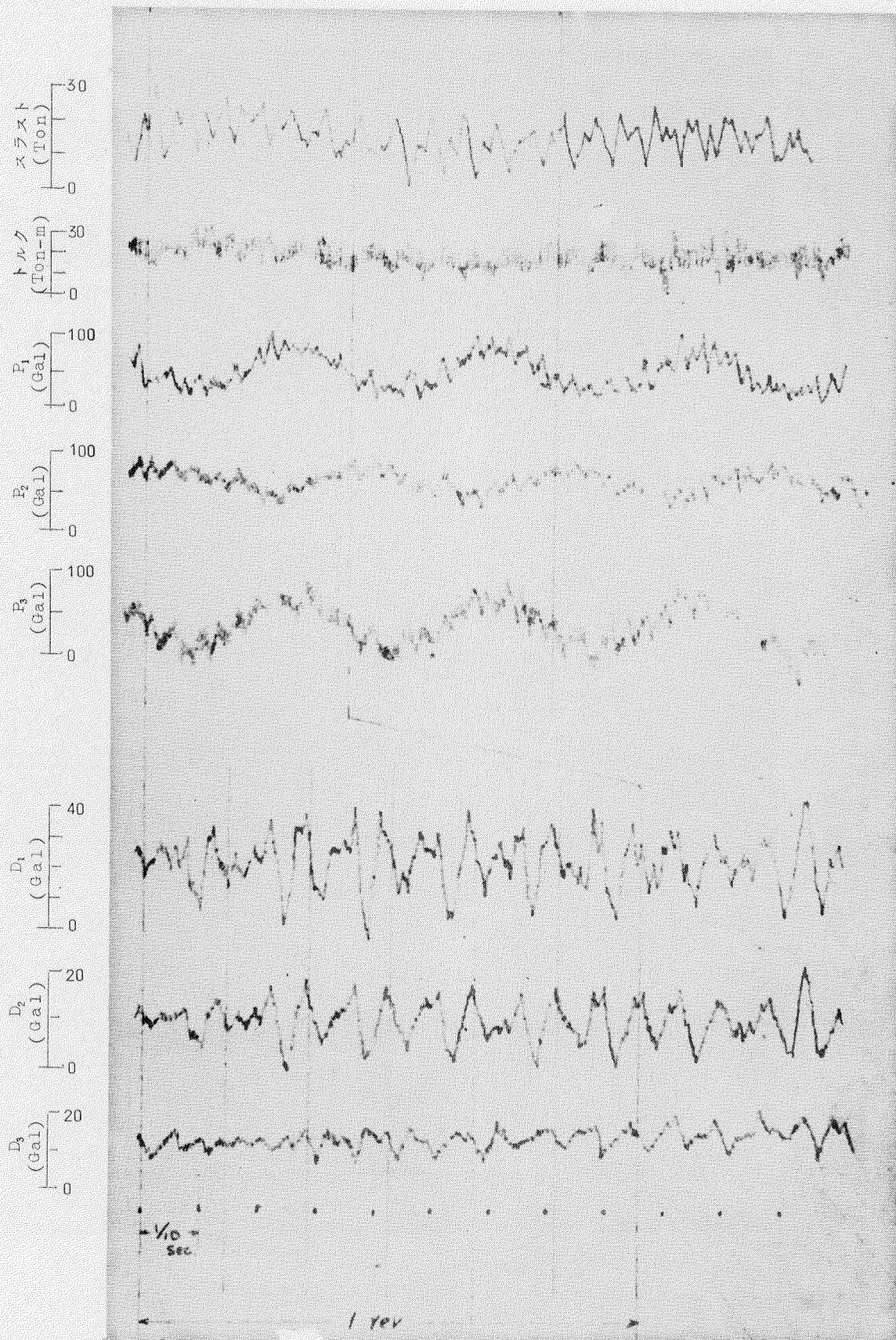
第3.4.3図 42 r p m のオシログラム
 (縦線はプロベラチップが直上位置にある時刻を示す)

55 r p m



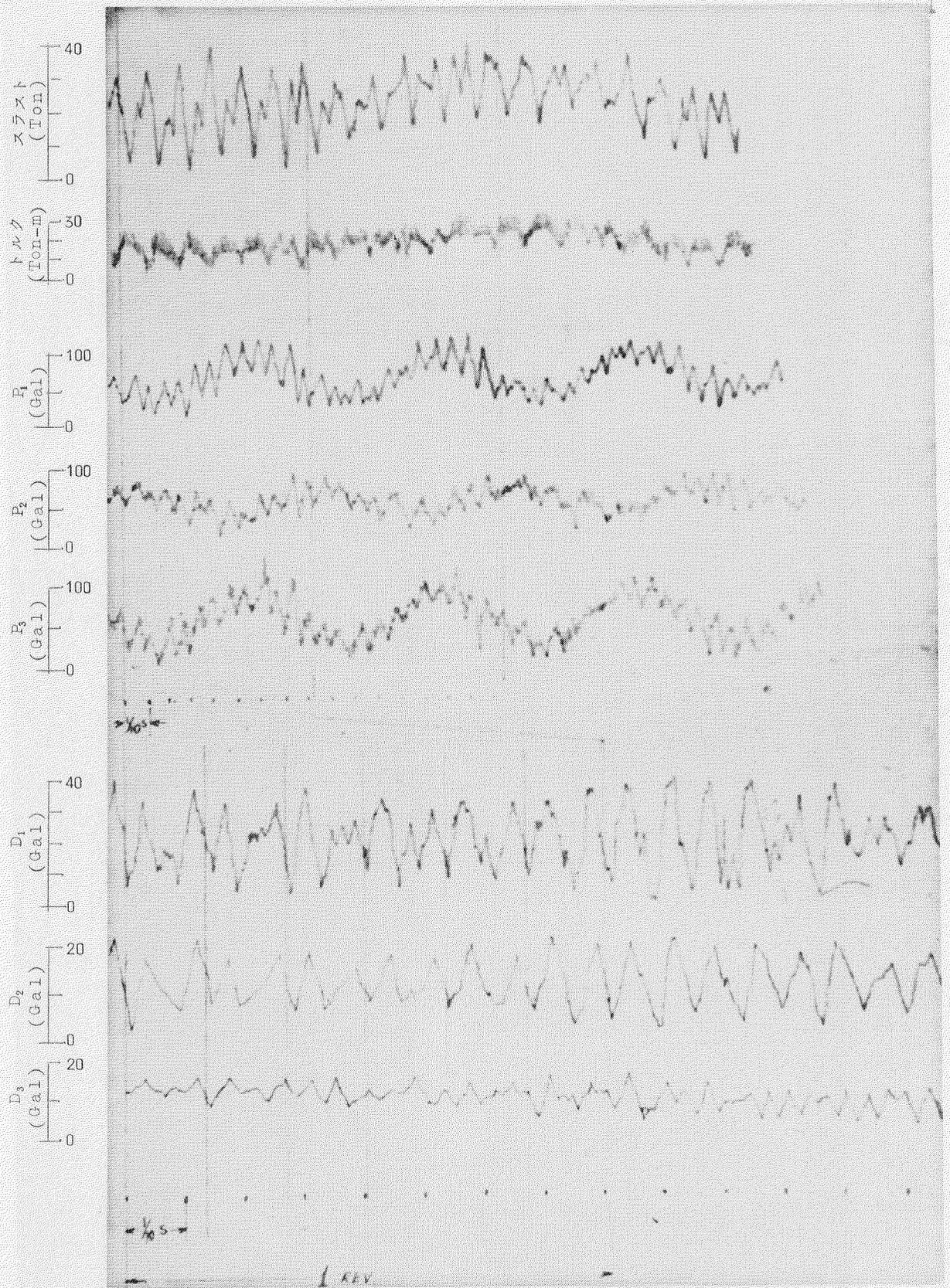
第3.4.4図 55 r p m のオンログラム
(縦線はプロベラチップが直上位置にある時刻を示す)

70 r p m

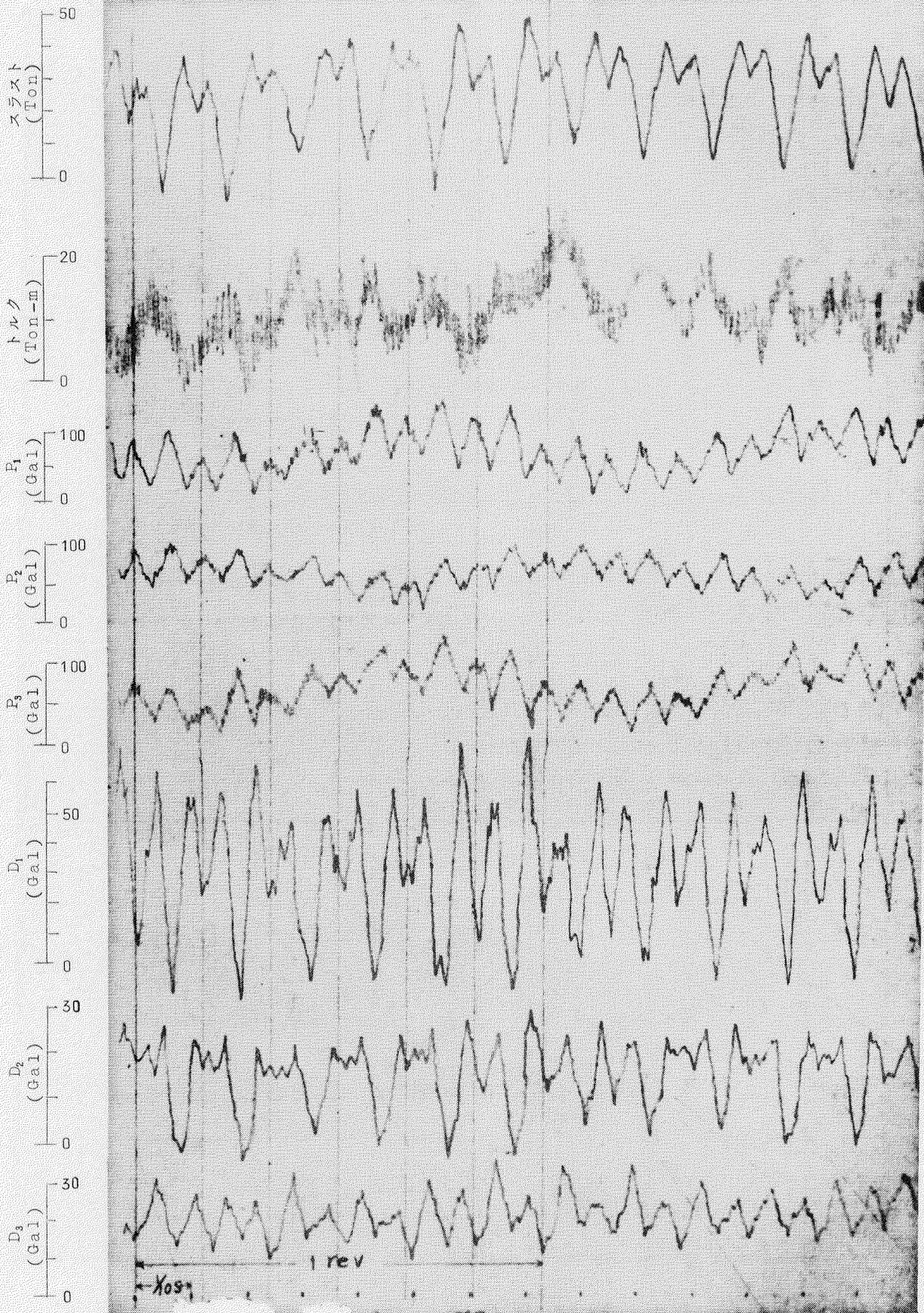


第 3.4.5 図 70 r p m のオシログラム
(縦線はプロペラチップが直上位置にある時刻を示す)

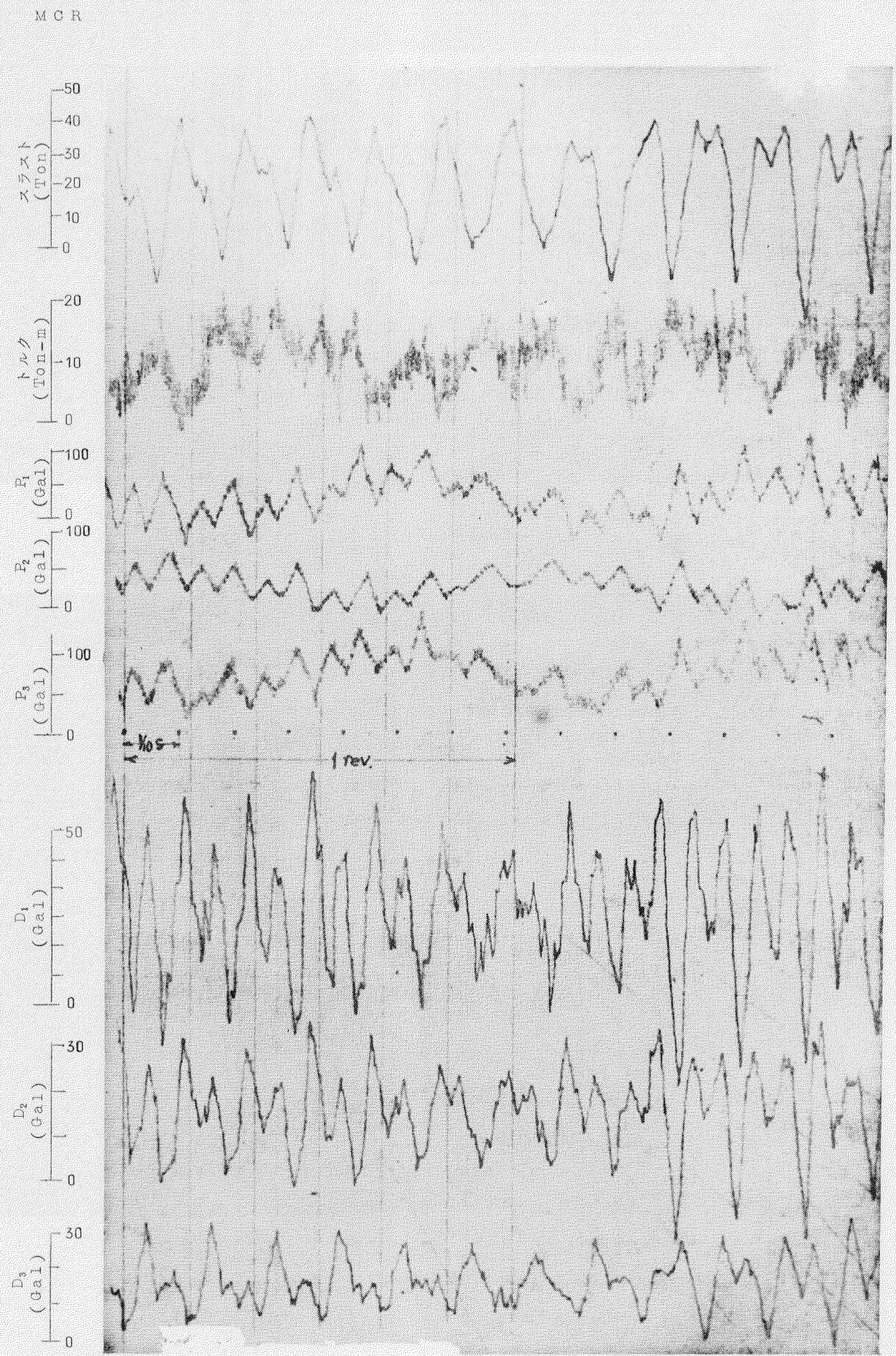
73 r p m



第3.4.6図 73 r p mのオシログラム
(縦線はプロベラチップが直上位置にある時刻を示す)

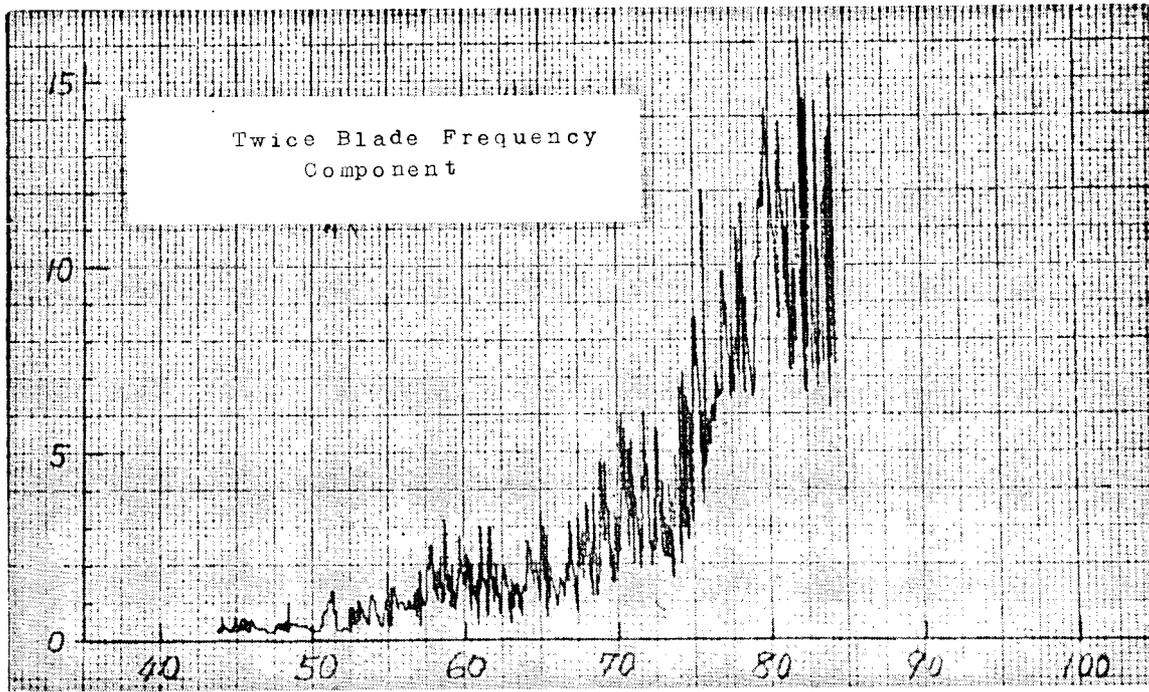


第3.4.7図 82r p mのオンログラム
 (縦線はプロベラチップが直上位置にある時刻を示す)



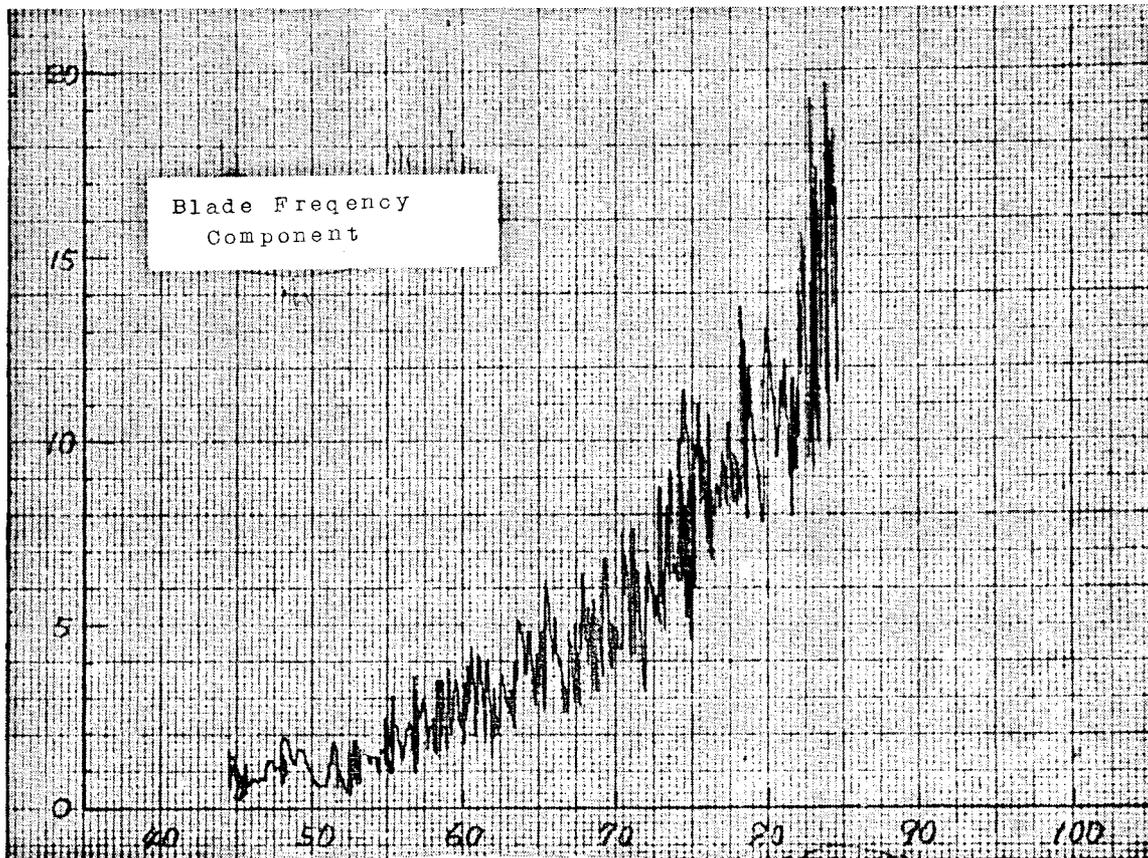
第3.4.8図 MCRのオシログラム
 (縦線はプロペラチップが直上位置にある時刻を示す)

スラスト変動 (Ton)
(単振幅)



軸回転数 (rpm)

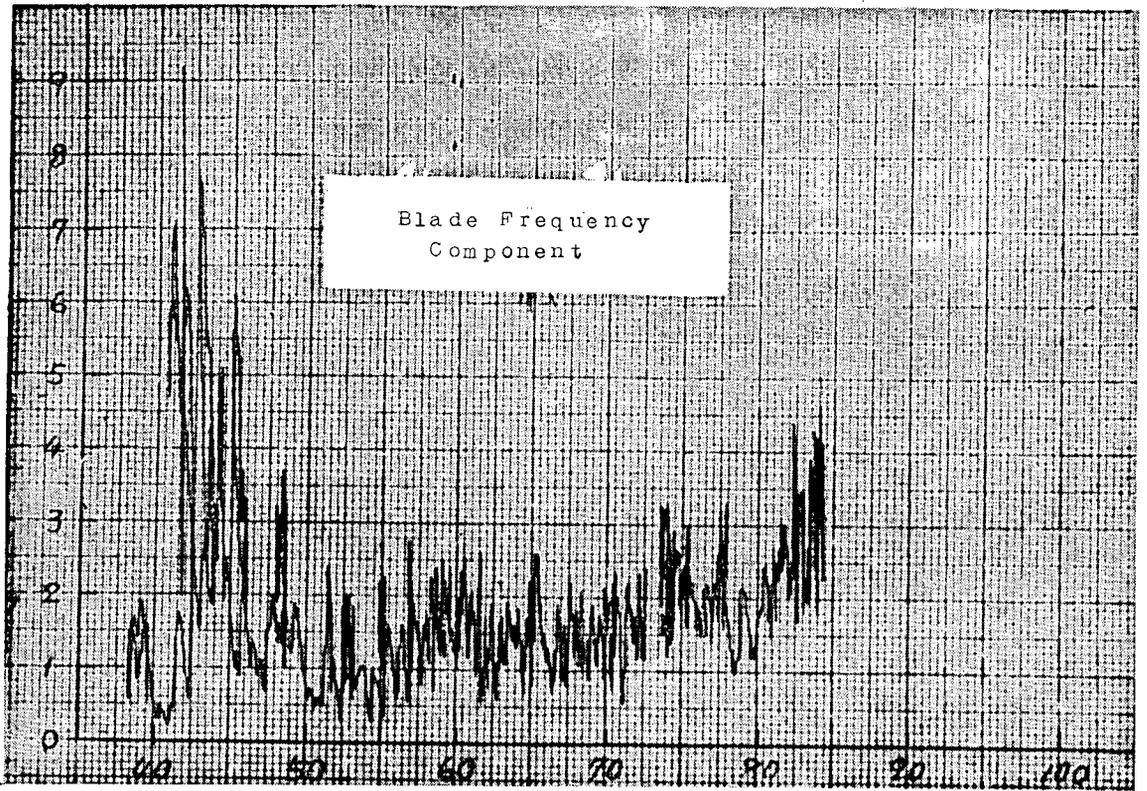
スラスト変動 (Ton)
(単振幅)



軸回転数 (rpm)

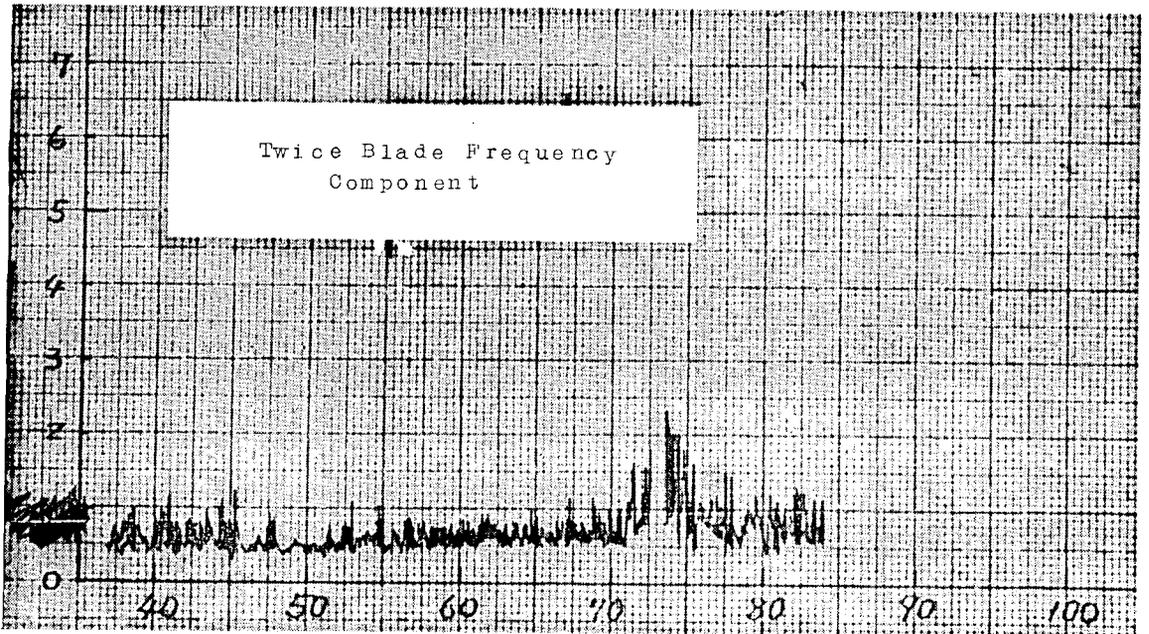
第3.4.9図 スラスト変動

トルク変動 (Ton-m)
(単振幅)



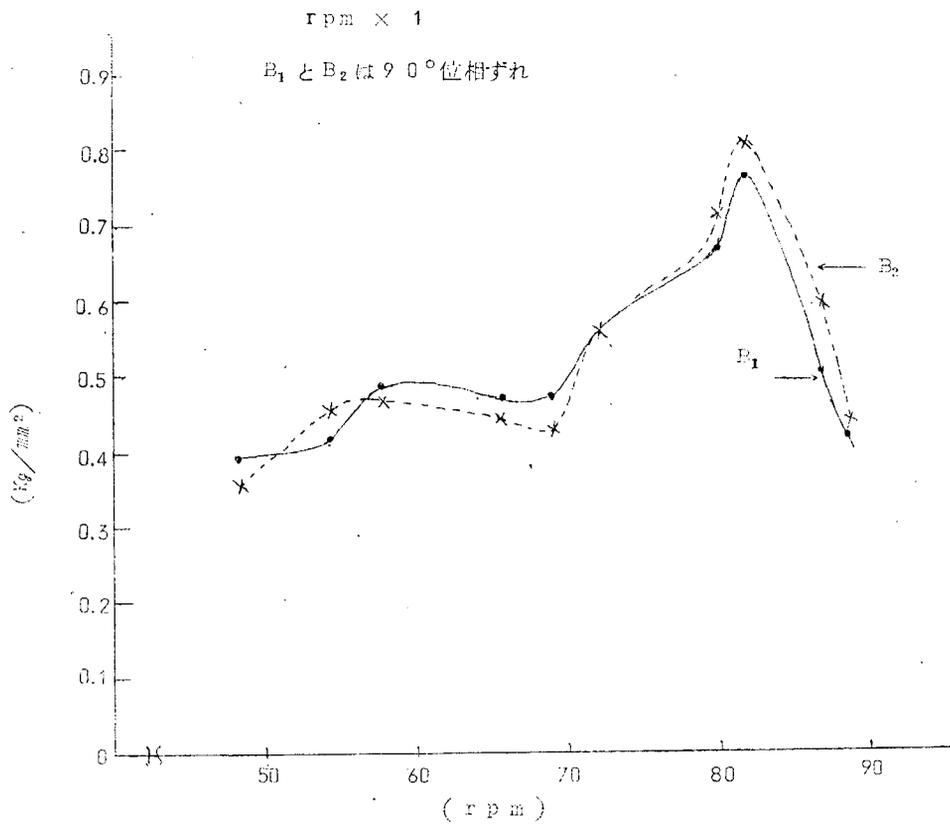
軸回転数 (rpm)

トルク変動 (Ton-m)
(単振幅)



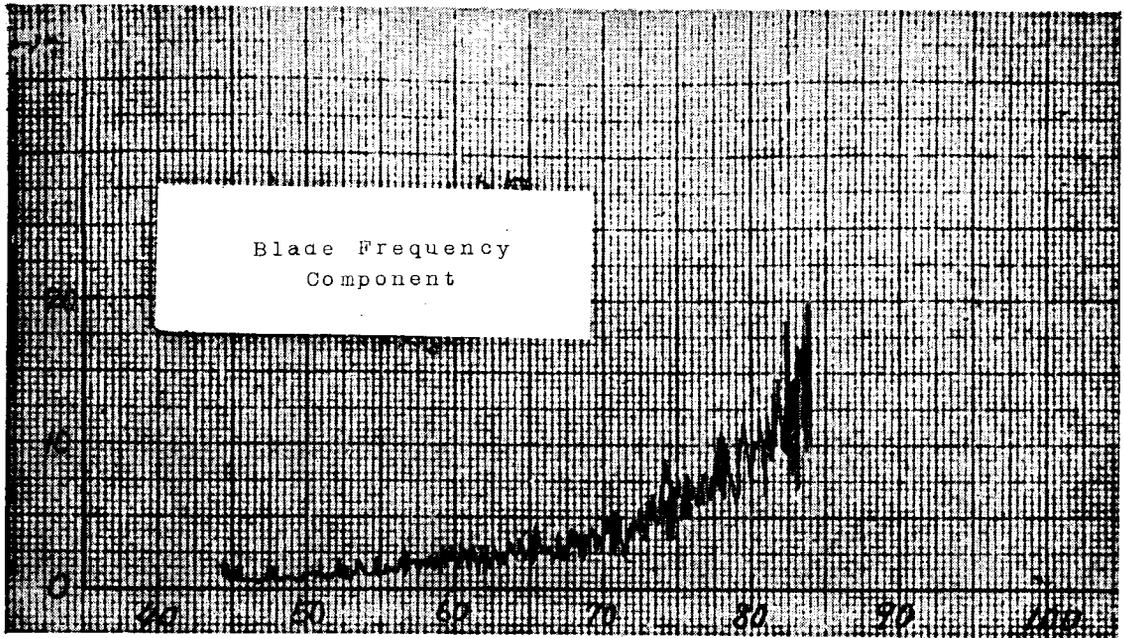
軸回転数 (rpm)

第 3.4.10 図 トルク変動



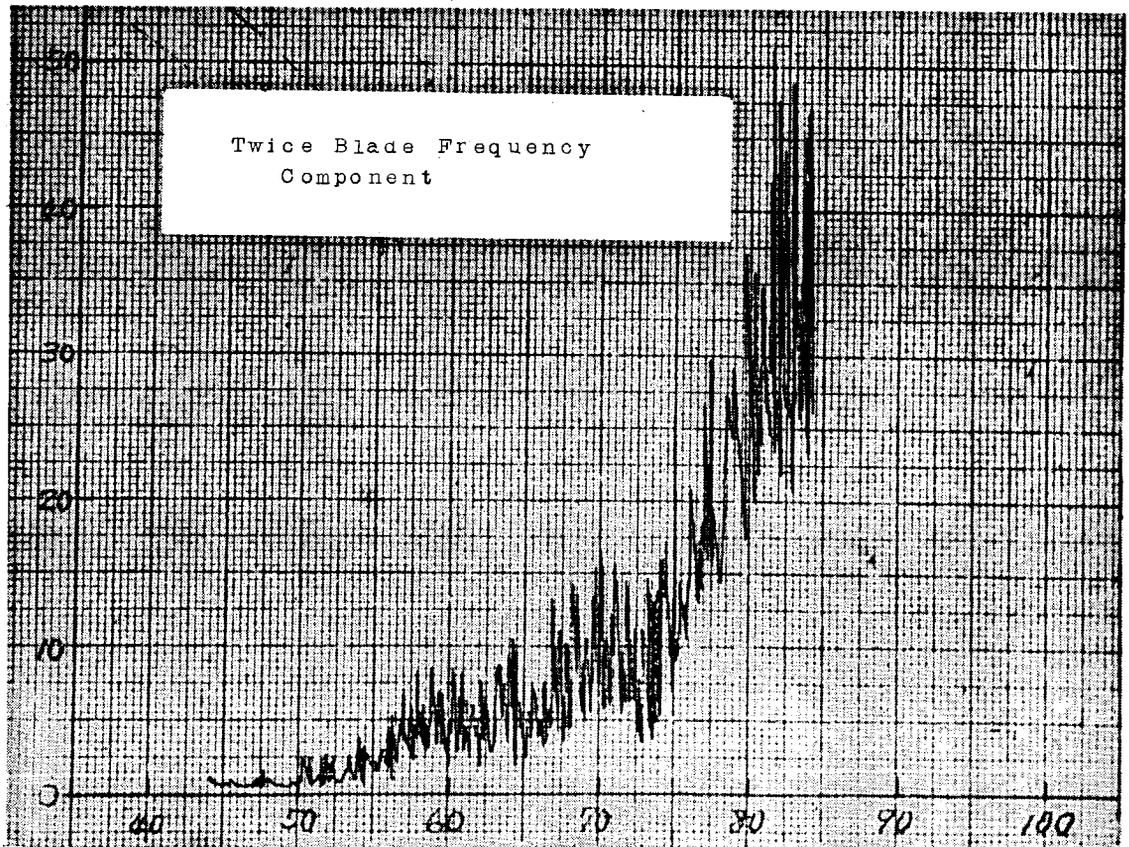
第 3.4.1.1 図 軸曲げ応用変動

加速度 (Gal)



軸回転数 (rpm)

加速度 (Gal)



軸回転数 (rpm)

第 3. 4. 1 2 図 軸縦振動 (計測点 P₁)

第 4 章 結 言

本年度においては、上述のごとく、ディーゼル船 2、タービン船 1 の軸系縦振動に関する実船計測がなされ、それぞれ所期の資料が得られている。これらの資料は次年度において行なわれる若干の実船計測資料とともに解析することによって、この種振動におけるスラスト軸受支持部の影響が明らかになり船体と機関部とのこの点における関連研究への一つの指針を提示することを期待している。

クランク軸の縦剛性や連成振動の問題は次年度以降、本格的に採りあげられることとなつた。

プロペラによる起振力は本課題のみならず関連した軸系や船尾管、さらには機関と船底等の振動問題の解明のためにも、本格的研究を行なう必要がある課題であるといえる。