

第112研究部会

機関およびプロペラの起振力と 船体振動の応答に関する研究

報告書

〔その1 船体振動の総合的特性に関する研究〕

昭和48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47年度補助事業「船舶の構造・性能に関する基礎的研究」の一部として日本造船研究協会が第112研究部会第1小委員会においてとりまとめたものである。

本研究の委員は次のとおりである。

第112研究部会委員名簿（敬称略、順不同）

部会長	熊井豊二（九州大学）		
委員	安東重美（三井造船）	飯塚晴彦（三菱重工業）	
	植田靖夫（船舶技術研究所）	梅崎一夫（三菱重工業）	
	榎本圭助（三井造船）	大浦啓義（佐世保重工業）	
	大高勝夫（三菱重工業）	大坪昇（日立造船）	
	岡田弘昭（佐野安船渠）	金沢武（東京大学）	
	川上肇（川崎重工業）	川上益男（広島大学）	
	河津威信（住友重機械工業）	河本達郎（三菱重工業）	
	熊倉靖（石川島播磨重工業）	小泉磐夫（金沢大学）	
	小林三蔵（名村造船）	後藤寿穂（日立造船）	
	関内実（三井造船）	高橋通雄（神戸製鋼所）	
	高橋肇（船舶技術研究所）	田村暢重（川崎重工業）	
	辻寿一（大阪造船所）	辻川吉郎（日立造船）	
	富田治（佐世保重工業）	安江義忠（川崎重工業）	
	野沢登（函館ドック）	葉山真治（東京大学）	
	原野二郎（三井造船）	日高正孝（日本海事協会）	
	広渡智雪（日立造船）	福田安助（日本鋼管）	
	藤井克哉（石川島播磨重工業）	藤井正規（白杵鉄工所）	
	星野次郎（日本海事協会）	高橋紘一（住友重機械工業）	
	松浦義一（大阪大学）	松村治雄（日本鋼管）	
	真砂宏（大阪商船三井船舶）	宮本哲陽（石川島播磨重工業）	
村松省吾（三保造船所）	本岡隆雄（三菱重工業）		
森川卓（日本船主協会）	山口富夫（三菱重工業）		
山越道郎（九州大学）	山本善之（東京大学）		
吉田真（石川島播磨重工業）	渡辺昭二（昭和海運）		
渡辺昌建（三菱重工業）			

第1小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主査委員	熊井豊二（九州大学）		
	安東重美（三井造船）	飯塚晴彦（三菱重工業）	
	梅崎一夫（三菱重工業）	榎本圭助（三井造船）	

大浦啓義 (佐世保重工業)	大高勝夫 (三菱重工業)
金沢武 (東京大学)	川上肇 (川崎重工業)
川上益男 (広島大学)	河本達郎 (三菱重工業)
熊倉靖 (石川島播磨重工業)	関内実 (三井造船)
高橋肇 (船舶技術研究所)	辻川吉郎 (日立造船)
松岡孝典 (三菱重工業)	安江義忠 (川崎重工業)
日高正孝 (日本海事協会)	広渡智雪 (日立造船)
藤井克哉 (石川島播磨重工業)	藤居正規 (白杵鉄工所)
高橋紘一 (住友重機械工業)	松浦義一 (大阪大学)
松村治雄 (日本鋼管)	宮本哲陽 (石川島播磨重工業)
山越道郎 (九州大学)	山崎隆介 (九州大学)
山本善之 (東京大学)	渡辺昌建 (三菱重工業)

第2小委員会委員名簿 (敬称略、順不同)

主 査 委 員	小泉磐夫 (金沢大学)	梅崎一夫 (三菱重工業)
	植田靖夫 (船舶技術研究所)	河津威信 (住友重機械工業)
	川上益男 (広島大学)	富田治 (佐世保重工業)
	後藤寿穂 (日立造船)	原野二郎 (三井造船)
	葉山真治 (東京大学)	藤盛豊介 (川崎重工業)
	福田安助 (日本鋼管)	南方潤三 (神戸製鋼所)
	星野次郎 (日本海事協会)	吉田真 (石川島播磨重工業)
	本岡隆雄 (三菱重工業)	

第3小委員会委員名簿 (敬称略、順不同)

主 査 委 員	川上益男 (広島大学)	梅崎一夫 (三菱重工業)
	植田靖夫 (船舶技術研究所)	大高勝夫 (三菱重工業)
	榎本圭助 (三井造船)	川上肇 (川崎重工業)
	越智義夫 (石川島播磨重工業)	熊井豊二 (九州大学)
	河津威信 (住友重機械工業)	小泉磐夫 (金沢大学)
	熊倉靖 (石川島播磨重工業)	関内実 (三井造船)
	後藤寿穂 (日立造船)	安江義忠 (川崎重工業)
	富田治 (佐世保重工業)	原野二郎 (三井造船)
	葉山真治 (東京大学)	福田安助 (日本鋼管)
	広渡智雪 (日立造船)	藤盛豊介 (川崎重工業)
	藤井克哉 (石川島播磨重工業)	高橋紘一 (住友重機械工業)
	星野次郎 (日本海事協会)	本岡隆雄 (三菱重工業)
	松村治雄 (日本鋼管)	山越道郎 (九州大学)
	山口富夫 (三菱重工業)	

山本善之（東京大学） 吉田真（石川島播磨重工業）

第4小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主査	金沢武（東京大学）	
委員	新井淳一（日本海事協会）	植田靖夫（船舶技術研究所）
	梅崎一夫（三菱重工業）	大浦啓義（佐世保重工業）
	大高勝夫（三菱重工業）	川原隆（日本郵船）
	神田寛（海上労働科学研究所）	後藤大三（石川島播磨重工業）
	白木万博（三菱重工業）	尾川宣之（日本鋼管）
	玉木一三（三井造船）	中野有朋（石川島播磨重工業）
	安江義忠（川崎重工業）	難波精一郎（大阪大学）
	葉山真治（東京大学）	原野二郎（三井造船）
	日高正孝（日本海事協会）	広渡智雪（日立造船）
	福田安助（日本鋼管）	藤井克哉（石川島播磨重工業）
	高橋紘一（住友重機械工業）	三輪俊輔（労働衛生研究所）
	本岡隆雄（三菱重工業）	

第5小委員会委員名簿（敬称略、順不同）

主査	大江卓二（日本船舶機器開発協会）	
委員	石井和也（運輸省）	白石博祥（運輸省）
	工藤荘一（水産庁）	渡辺義夫（水産庁）
	川上益男（広島大学）	熊井豊二（九州大学）
	葉山真治（東京大学）	山越道郎（九州大学）
	山本善之（東京大学）	植田靖夫（船舶技術研究所）
	高橋肇（船舶技術研究所）	土屋孟（水産庁）
	日高正孝（日本海事協会）	星野次郎（日本海事協会）
	榎本圭助（三井造船）	香川洸二（三菱重工業）
	川上肇（川崎重工業）	永井冽（石川島播磨重工業）
	林和男（日本鋼管）	広渡智雪（日立造船）
	藤井克哉（石川島播磨重工業）	南真和（三井造船）
	磯貝信（三保造船所）	梅木春見（山西造船鉄工所）
	奥山孝志（日本中型造船工業会）	小林鉄男（林兼造船）
	鈴木勝（波止浜造船）	高橋長生（幸陽船渠）
	三村進（金指造船所）	神田耕作（神田造船所）
	中野早苗（赤坂鉄工所）	板沢俊夫（かもめプロペラ）
	久米領平（新潟鉄工所）	孝橋謙一（阪神内燃機工業）
	滝上満（富士ディーゼル）	

目 次

1. 船体振動の総合的特性に関する研究	1
ま え が き	1
1.1 船体高次振動	1
1.1.1 計測点および解析方法	1
1.1.2 データ解析の結果	2
1.1.3 船体高次振動に関する考察	2
1.1.4 結 言	4
1.2 波浪による船体振動	36
1.2.1 Springingに対するデジタルデータ解析結果	36
1.2.2 神和丸のSpringingに関する理論との比較	61
1.2.3 神和丸実験計測データの解析(非定常性を考慮したスペクトル解析)	70
1.2.4 衝撃による船体高次過渡振動	83
1.3 局部構造部材の振動応力	88
1.3.1 緒 言	88
1.3.2 振動応力の計測点配置および計測時状態	88
1.3.3 部材寸法および固有振動数	88
1.3.4 データ解析結果	91
1.3.5 データ解析結果の考察	91
1.3.6 結 言	94
1.4 プロペラ起振力	126
1.4.1 プロペラ変動水圧計測結果の従来実績との比較	126
1.4.2 プロペラ起振力の模型試験	131

1. 船体振動の総合的特性に関する研究

ま え が き

近年、船体振動に関して、推進器および機関による船体振動の他に、波浪による船体振動と局部構造部材の振動応力について研究を要する問題のある事が明らかになって来た。

本第112研究部会では、この点を考慮して、57,000 DWT 鉾石船神和丸の就航中に、諸条件の下での振動加速度、水圧、応力等の計測を実施し、前年度までに、アナログ記録データの解析、考察がおこなわれた。本年度は、主としてデジタル記録データの解析結果に基づき、波浪による船体振動、船体高次振動および振動応力に関する考察をおこなうと共に、プロペラ起振力の模型試験をおこなって、船体振動の総合的特性を研究した。

船体高次振動については、船体上下、左右振動の振動特性と機関、プロペラ起振力の関連および上部構造、機関室二重底、機関横振動の振動特性を検討した。波浪中の船体振動については、Springing Stressと船体外板上の水圧分布の検討、熊井の理論によるSpringing起振力と応答の計算、非定常性を考慮したスペクトル解析、衝撃による船体、過渡振動の検討をおこなった。局部構造部材の振動応力については、起振外力、部材の固有振動数、応力値、接水影響などを検討した。

なお供試船神和丸の主要目はTable 1.1の通りである。

Table 1.1 神和丸 主要目

垂線間長さ	213.00 m
幅	32.80 m
深さ	17.00 m
吃水(満載)	11.55 m
主機関	SULZER 6RD90
出力	15,000 PS × 125 RPM
推進器	5 翼

1.1 船体高次振動

1.1.1 計測点および解析方法

神和丸の船体高次振動に関する計測は、軸系プロペラ関係および船体縦振動については、アナログ記録をおこない、機関架構振動および船体上下、水平振動についてはデジタル記録をおこなった。

アナログ記録データの解析結果は、SR112 昭和46年度報告書に述べられており、ここでは、Fig 1.1.1に示すデジタル記録データの解析結果を述べる。計測点は、図示のように、船体上下、左右振動、ディーゼル機関架構の26点である。

神和丸のtest 3Aでは、60 rpmより、117 rpmまでの主機変速時に、49回の記録がとられているので、軸の回転信号(1パルス/1回転)によって識別される14回転分のデータについて15次までのフーリエ解析をおこなった。

test 3A計測時の本船状態は、ballast condition ($\Delta = 43,941$ t、d fore = 7.05 m、d aft = 8.25 m) であり、風力2の平穏な海象であった。

又、平穏な海象の test 3A と荒天時の test 6A の同一回転数の記録について、頻度解析とパワースベクトル解析をおこなった。

デジタルデータの解析計算には、前年度に作成した振動解析プログラムを用いた。

1.1.2 データ解析の結果

test 3A のフーリエ解析の結果は、横軸を振動数 (cpm) にとった共振曲線、軸回転数 (rpm) にとった共振曲線の形で作図した。主要な結果を Fig 1.1.2 ~ 1.1.12 に示す。

1.1.3 船体高次振動に関する考察

(1) 神和丸の振動の特徴

神和丸は、推進器 5 翼、機関 6 気筒のディーゼル船であるから、推進器による 5 次、10 次の起振力の他に、ディーゼル機関による各種次数の起振力がある。

Fig 1.1.13 ~ 1.1.20 は、主要点のキャンベル線図である。Fig 1.1.13 ~ 1.1.16 からは、船体の上下、左右振動共に 5、6 次振動が優勢であり、2、8、9 次振動も少なくない事がわかる。

コンパスブリッジの前後振動 (L6) (Fig 1.1.17) においては、2、5、6、9、10、12 次振動が大きく、又、ディーゼル機関架構 (Fig 1.1.19、1.1.20) は、6、8、9 次振動が大きい。機関室二重底の上下振動 (Fig. 1.1.18) は、機関架構の影響を受けて 6 次の振動レベルが高い。

上記の様に、本船の主要起振力は、5、6 次であり、この他 2、8、9、10、12 次の起振力も優勢であるが、3、4、7、11 次の起振力は小さいと言える。

振動加速度の最大値は、船尾端上下振動が 58 gal (103 rpm × 5 次)、上部構造前後振動が約 20 gal、機関架構横振動が 116 gal (96 rpm × 6 次) であり、振動レベルは大きくない。

上記のように、複雑な動特性を持つ機関起振力が存在するので、まず、機関架構の振動について考察する。

(2) 機関架構の横振動

機関架構の頂部と基部の共振曲線 (Fig. 1.1.21) より、機関架構の共振点は、390、576、864 cpm とわかる。各共振点のモード曲線は、Fig. 1.1.28 ~ 1.1.30 に示すように、390、576 cpm は H 型モード、864 cpm は、X 型モードである。

Fig. 1.1.21 より、390、576 cpm の共振点は、6 次のみが大きく、864 cpm では 8 次、9 次のみが大きく、又、Fig 1.1.10 ~ 1.1.12 の位相曲線によれば、機関前端 (H9) と機関後端 (H11) の位相は、6 次が同位相であり、8、9 次は逆位相であることがわかる。H 型の起振力は 6 次、X 型の起振力は 8、9 次であり、共振点のみではなく広い振動数範囲で同様の型を示している。

機関架構振動と機関室二重底の振動との関連はモード曲線から、明らかなように、576 cpm では、二重底は、架構振動の位相にしたがう S 字形のモードをとっている。390 cpm は、架構基部の横振動も大きく、架構単独の変形は小さいので、主として二重底の剛性に支配される共振点である。864 cpm では、二重底の計測点が、節線上にあると考えられるので、実測結果からの判断はできないが、同様に架構振動にしたがう S 字形モードであろう。

(3) 船体高次振動

(a) 船体上下振動の特性

船体各部の上下振動の共振曲線 (Fig 1.1.23、1.1.25) の考察および船首端 (V1) と後部船体 (V16) の位相 (Fig 1.1.2、1.1.4) の比較から上下振動の共振振動数は、Fig 1.1.26 のように推定される。

5 節以下の振動数は (節数 - 1) に対し直線的に増加するが、6、7 節では局部振動の影響を受けて低下の傾向があらわれている。

300 cpm 以上の顕著な共振点は、船尾端の共振曲線 (Fig 1.1.25) から判るように、378 cpm の 6 次振動、515 cpm の 5 次振動である。378 cpm と 515 cpm のモード曲線は Fig 1.1.31、1.1.32 に示す通りであり、船体後部の振巾が大きい上、横断面の振動が顕著である。

また、Fig 1.1.13、1.1.14 のキャンベル線図より、600 cpm 以上では、船首端の振動は微少であり、船尾部に集中して振動が発生しているものと見られる。

(b) 船体上下振動の起振源

Fig 1.1.22、1.1.23 の共振曲線に見られる 2 次 217 cpm の共振は、船体の 5 節振動であり、主機の慣性不平衡によるものである。

360~400 cpm では、機関と船体の共振点が近接して存在しているので、船体各部の共振曲線を拡大して Fig 1.1.27 に示した。同図より、船体の共振点 378 cpm と機関の横振動の共振点は一致していない事がわかる。又、Fig. 1.1.23 の共振曲線から、490~520 cpm では、船体部には 6 次振動が出ているが機関は非共振状態であること、576 cpm の機関の共振点では、船体に共振点は認められないことが認められる。したがって、機関の固有振動数が船体の固有振動数に接近しているような場合は若干の影響があるとしても、H 型振動が船体上下振動に与える影響は小さいものと考えられる。

機関 X 型共振点の 864 cpm 近傍の船体振動 (Fig 1.1.23 (b)) は、船体後部では、6~8 gal 程度の加速度レベルがあるが、機関は 8 次振動が大きく、船体は 9 次振動が大きい。

プロペラ起振力による 5、10 次の振動は、Fig. 1.1.23 から知られるように 6 次振動と同程度の加速度である。

これらの事から、本船の上下振動の起振力は、5、10 次のプロペラ起振力、6、8、9 次を主とする機関による起振力、および慣性不均衡による 2 次の起振力であると考えられる。機関による起振力は、横振動の影響によるものよりも、ガス圧による力が直接船体に伝わるものが、船体を起振するケースが多いと推定される。

(c) 船体水平振動

キャンベル線図 (Fig 1.1.15、1.1.16) より、船体水平振動には、92 rpm × 1 次、108.4 × 2 次、99 rpm × 3 次等の共振点があると見られるが、加速度振巾が非常に小さく、正確な判断は困難である。2 節固有振動数は 92 cpm と推定できる。

水平振動の主要な次数は、5、6 次振動であるから、以下に 6 次振動について起振力との関連の検討をおこなう。

390 cpm の機関 H 型共振点では、Fig. 1.1.27 より判るように船首 (H1)、船体中央部 (H4) 共に、ピークを示しているが、576 cpm の H 型共振点では、近接して 560 cpm に船体水平振動の共振があるにもかかわらず、船体に共振は見られない。又、Fig. 1.1.24 の共振曲線の比較から、520 cpm 近傍の機関の非共振状態において、船体に 6 次振動があらわれていることがわかる。したがって、機関 H 型振動と船体左右振動とは、直接関連するものとは限らず、船体の振動特性によって関連

の度合が変るものと見られる。

6次振動のレベルが5次振動と同程度に高いという傾向は、上下振動と同様であるから、機関のガス圧による起振力をプロペラ起振力と同様に考慮せねばならないであろう。

船体高次振動の起振力の性質として、上記の他に船体の上下、左右、前後振動が同一振動数で共振している現象がある。

例えば、Fig. 1.1.27の378 cpm(6次)では上下と左右振動に共振が見られ、515 cpm(5次)では、上下振動(Fig. 1.1.25)、左右振動(Fig. 1.1.24)に共振点があり、前年度報告書に収録されている前後振動の結果にも共振点がある。その他の振動数でも類似の事例が散見され、この事は、機関、軸等、プロペラの系の起振力及びその伝達特性に、上下、左右、前後方向の連成特性が存在する可能性も考えられ、今後の検討を要する事項であろう。

(4) 局部振動

(a) 上部構造

キャンベル線図(Fig. 1.1.17)から判るように、上部構造の前後振動には2、5、6、9、10、12次の振動があらわれており、各々の次数の最大加速度には大きい差異はないので、上記のような多種の起振力の影響を受けている事が明らかである。

共振曲線(Fig. 1.1.23(b))から、10次振動は780~860 cpm、9次振動は840~900 cpm、12次振動は、780~940 cpmにて、20gal程度の振動があると見られ、この時の船体後部(V17)の加速度は5gal以下である。

510 cpm、570 cpm近傍にも、上部構造のピークがあるが、8gal程度の加速度であるから、上部構造の共振振動数は、850 cpm付近と考えられる。

(b) 機関室二重底

Fig. 1.1.22の共振曲線に見られるように、機関室二重底は機関H型共振点の390、576 cpmにおいて、6次振動の顕著な共振を示すが、(2)機関架構横振動の項に述べたように、390 cpmは二重底の振動に支配され、576 cpmは、機関の横振動に支配される共振点と考えられる。したがって、390 cpm近傍にFig. 1.1.28、1.1.31のモード曲線で示されるような二重底の振り変形主体の共振点が存在するものと考えられる。

5次振動の共振曲線から、二重底中央部の振巾(V_{2n} 、 V_{21})が他の点の上下振動に比べて、大きい共振点を求めると、578 cpmである。この時の二重底のモードは、Fig. 1.1.33に示す対称型であり、578 cpmが、対称型の曲げ変形を主体とする共振点と推定される。

5次、578 cpmは、機関H型共振点の6次、576 cpmに近いが、5次のモードは、Fig. 1.1.29の6次のモードとは明らかな相異がある。この事は、578 cpmが対称型曲げ変形の共振点である事を示すと共に、576 cpmの機関H型共振点が機関架構の変形に支配される型である事を裏付けている。

1.1.4 結 言

船体上下、左右振動、機関室二重底の上下振動、機関横振動および上部構造の前後振動の計測点の記録について、フーリエ解析をおこない、1次~12次振動について検討した。主な結果をとりまとめると次の通りである。

- (1) 推進器5翼、6気筒機関の神和丸の主要振動次数は、5、6次であり、2、8、9、10、12次の振動

も優勢である。その他の次数の振動は小さい。

- (2) 機関架構横振動のH型共振振動数は6次、390 cpm、576 cpmでありX型振動数は、8、9次、864 cpmである。390 cpmのH型は機関室二重底の変形を主体とするモードであり、576 cpmのH型は機関架構の変形を主体とするモードである。576 cpmでの二重底のモードは架構の変形にしたがうS字形である。
- (3) 船体上下固有振動数は、5節振動以下では(節数-1)に対し直線的に増加するが6、7節では低下の傾向がある。
- (4) 300 cpm以上の船体上下振動のモードは、計測点数の不足のために求められなかったが、横断面の振動が存在する事は認められた。
- (5) 船体上下、水平振動には、広い振動数範囲に、6、8、9次振動が存在するが、機関横振動の共振点と船体振動の共振点は一致しない場合が多い。又、機関架構は非共振状態で、振巾が小さい振動数範囲で、船体に比較的大きい振巾があらわれている場合がある。この事から、機関振動と船体振動は、直接関連するものとは限らず、ディーゼル機関のガス圧による起振力が6次等の船体振動を起振している場合があると推定される。
- (6) 船体の上下、左右、縦振動において、同一振動数において、共振峰があらわれる現象が認められた。機関、軸系、プロペラの系の起振力およびその伝達特性に上下、左右、縦方向の連成特性が存在する可能性も考えられ、今後さらに検討を要する。
- (7) 機関室二重底の共振振動数として、振り変形主体型の390 cpm、対象曲げ変形主体型の578 cpmが得られた。

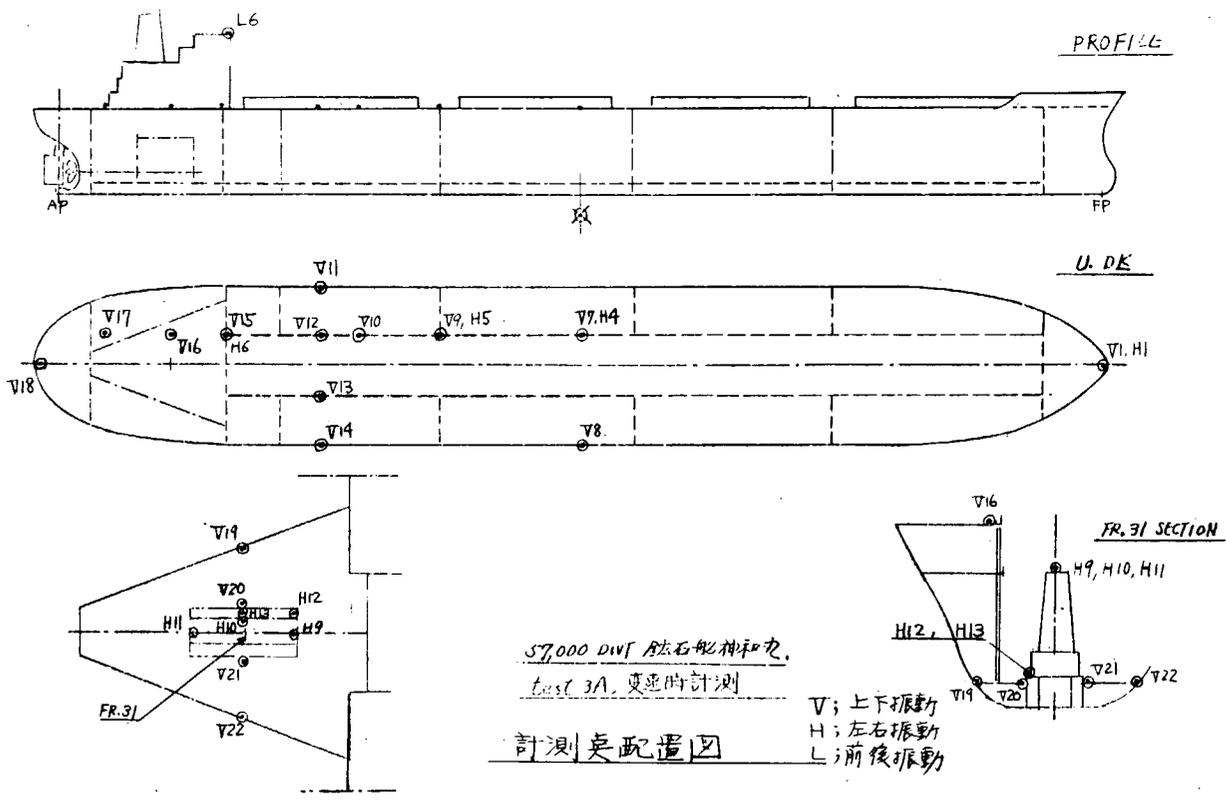


Fig. 1.1.1 計測点配置図

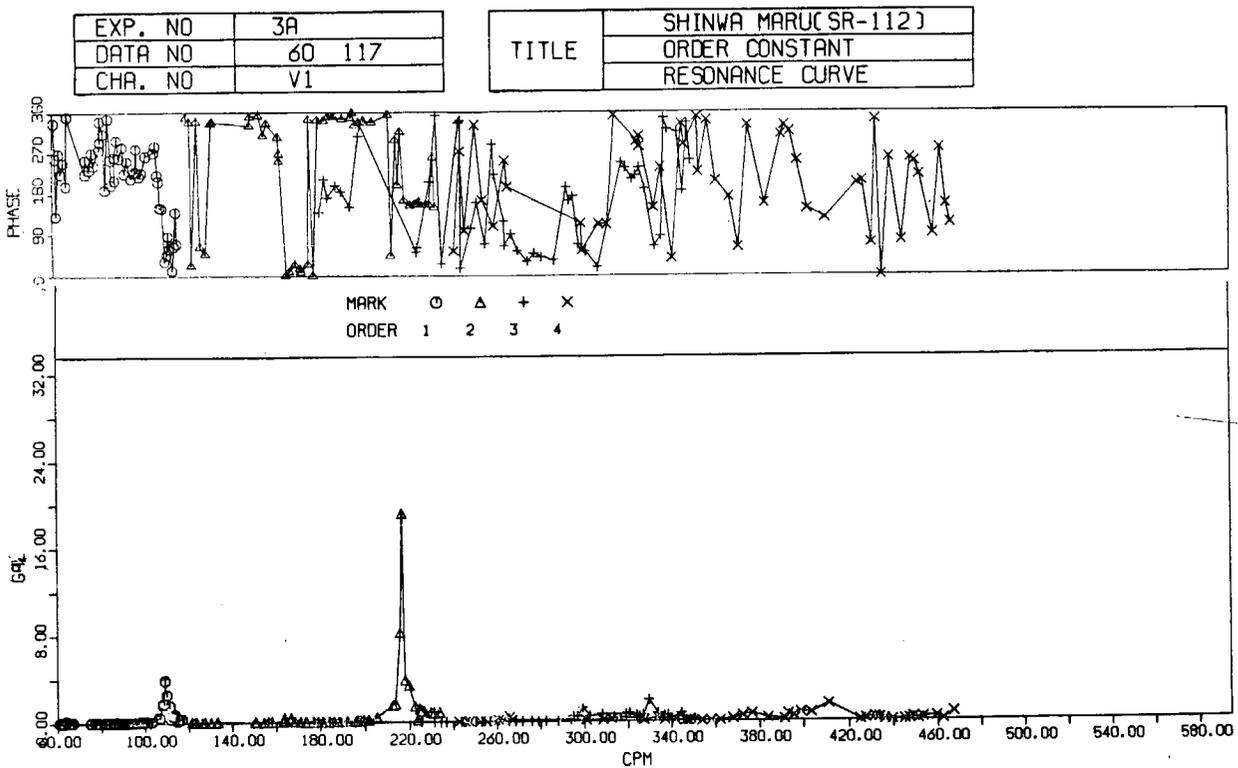
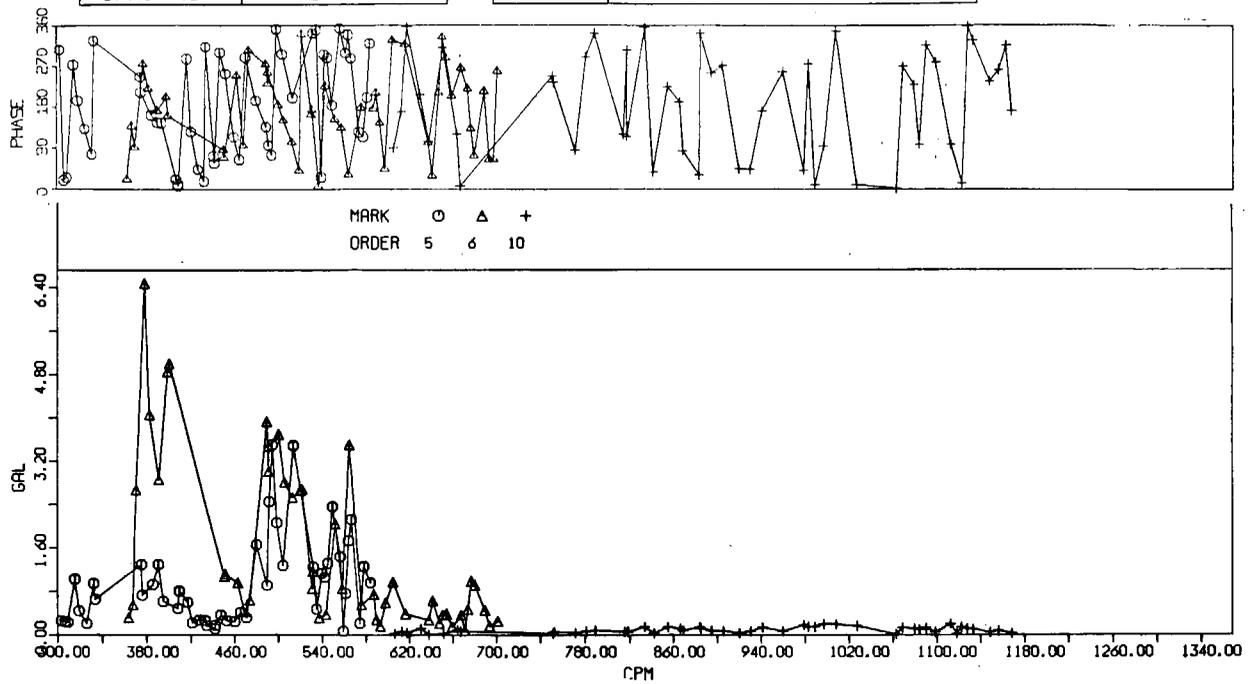


Fig. 1.1.2 (a) 船首端上下振動 (V₁) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V1

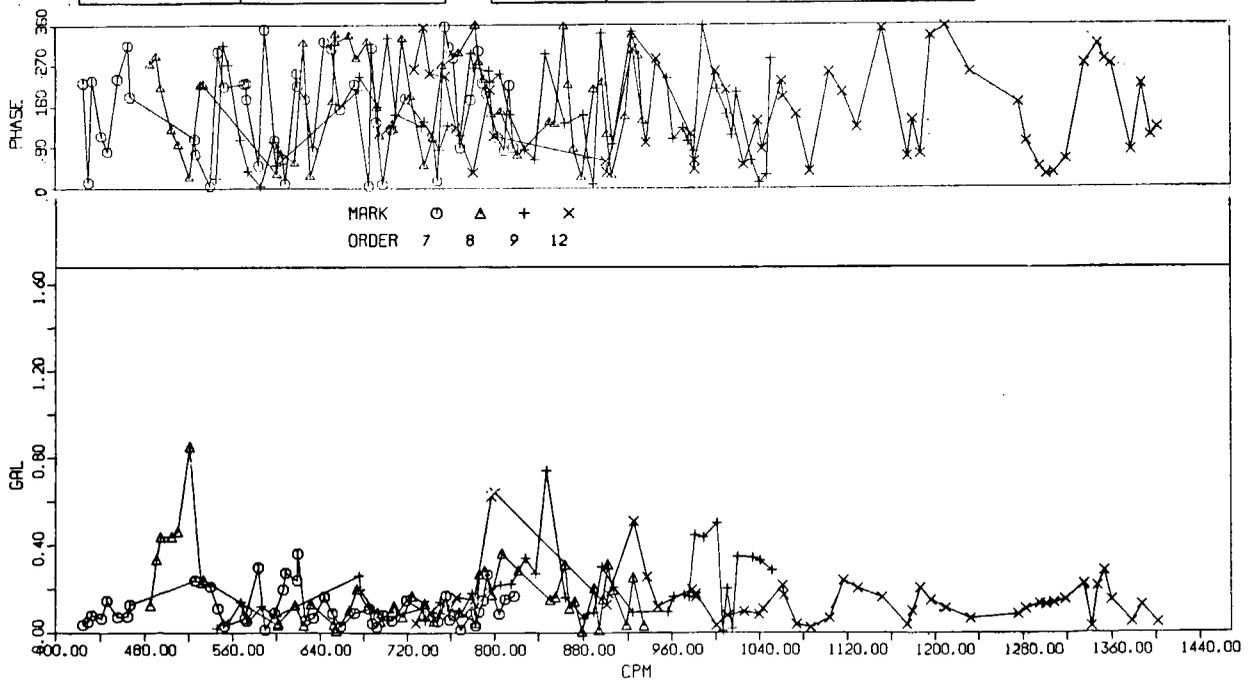
TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

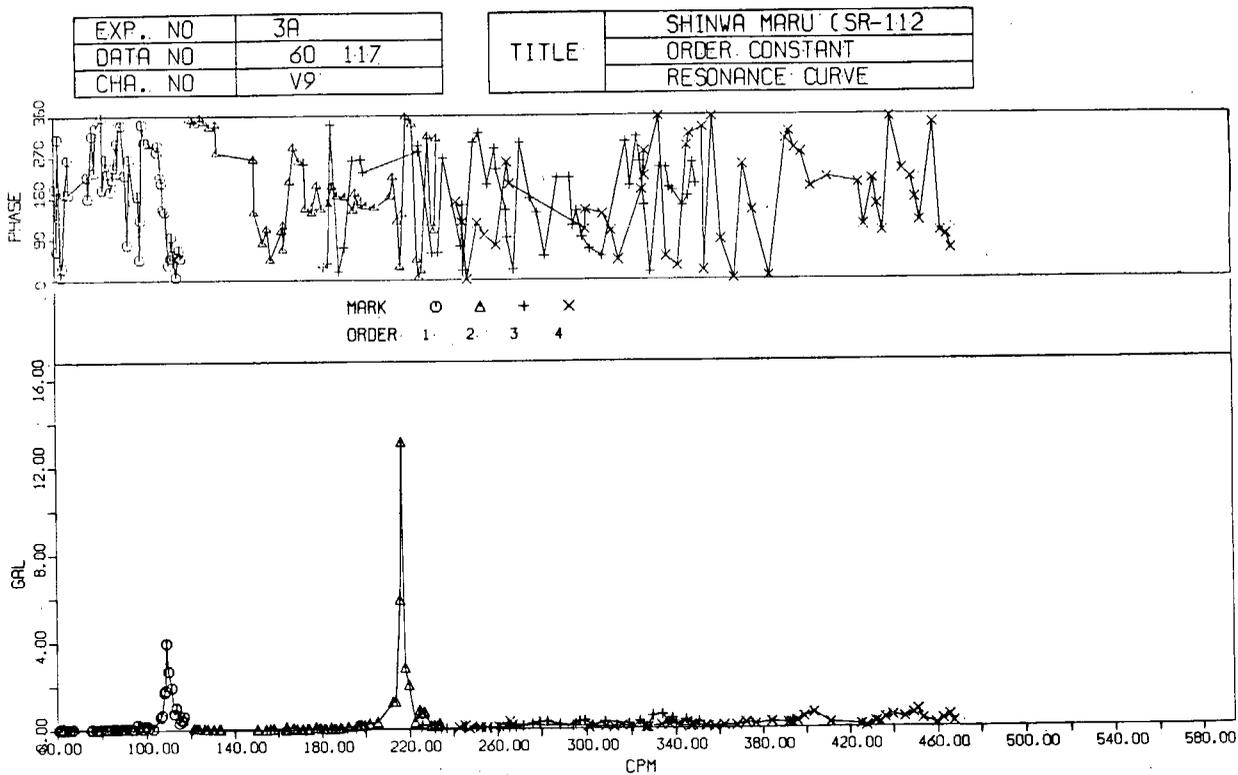
EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V1

TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

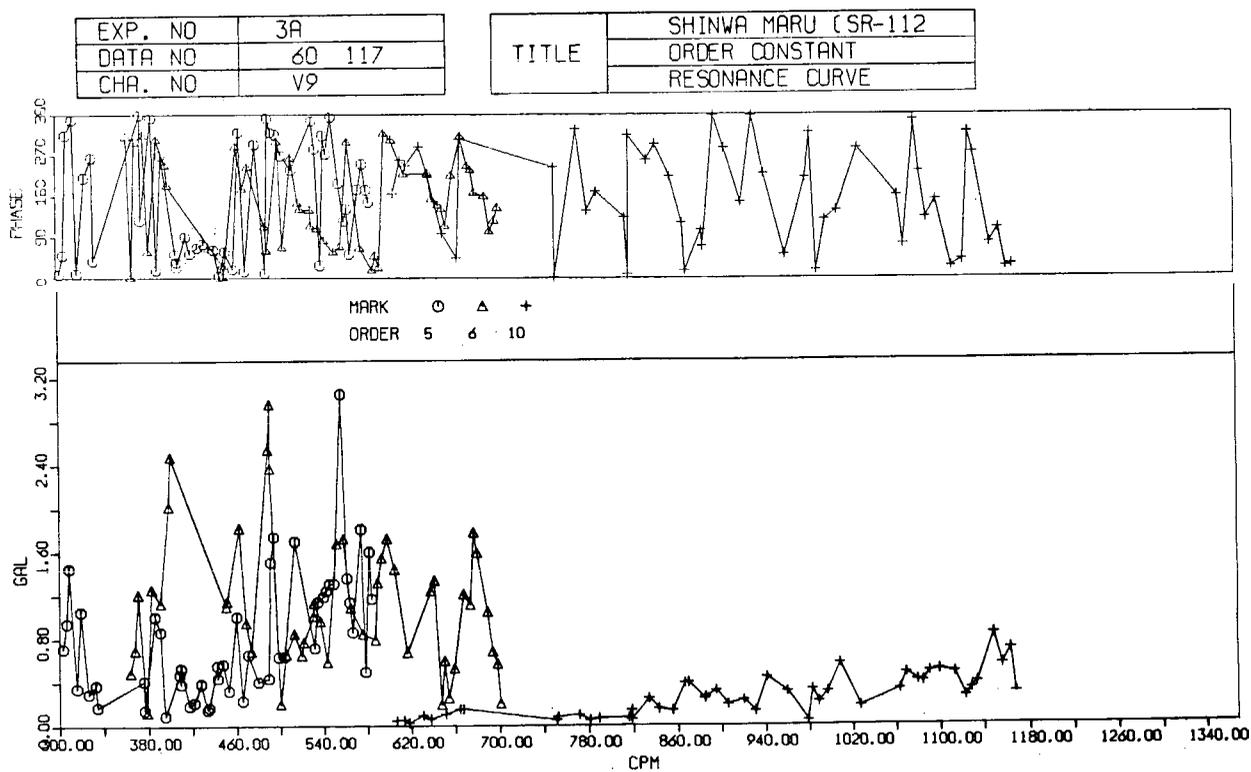


(c)

Fig. 1.1.2 (b), (c) 船首端上下振動 (V₁) の共振曲線



(a)



(b)

Fig. 1.1.3 (a)、(b) 船体中央部上下振動 (V₉) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V9

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

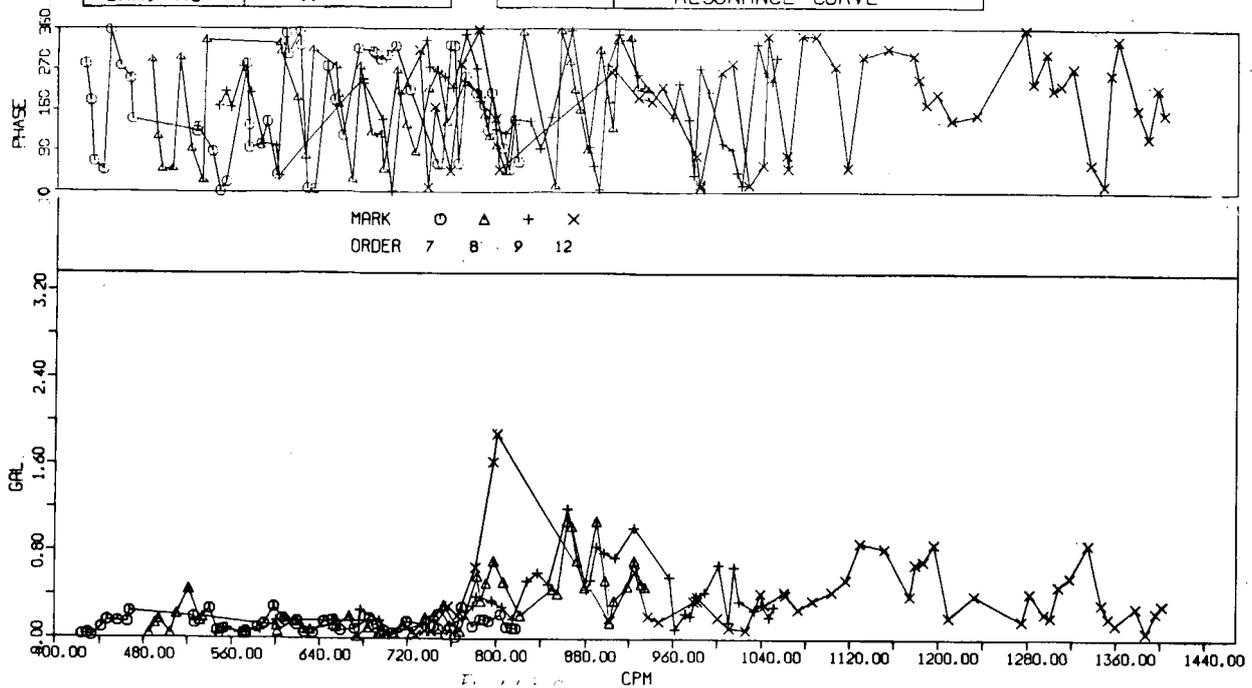


Fig. 1.1.3 (○) 船体中央部上下振動 (V_9) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V17

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

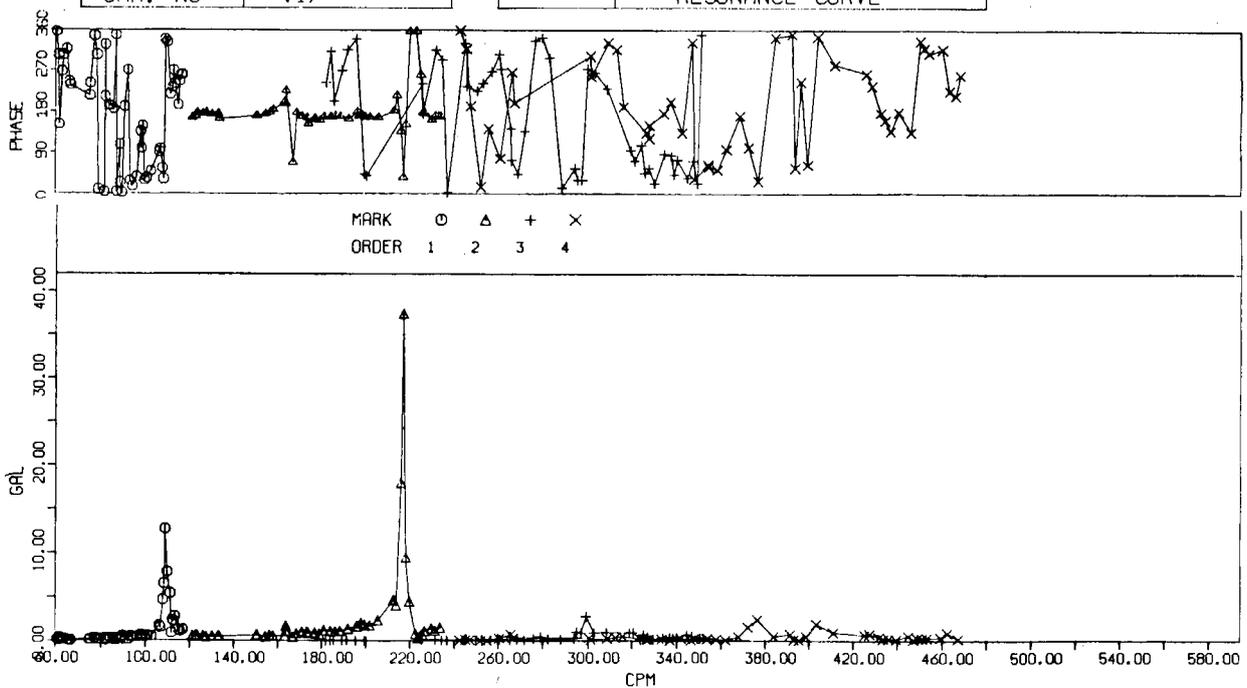
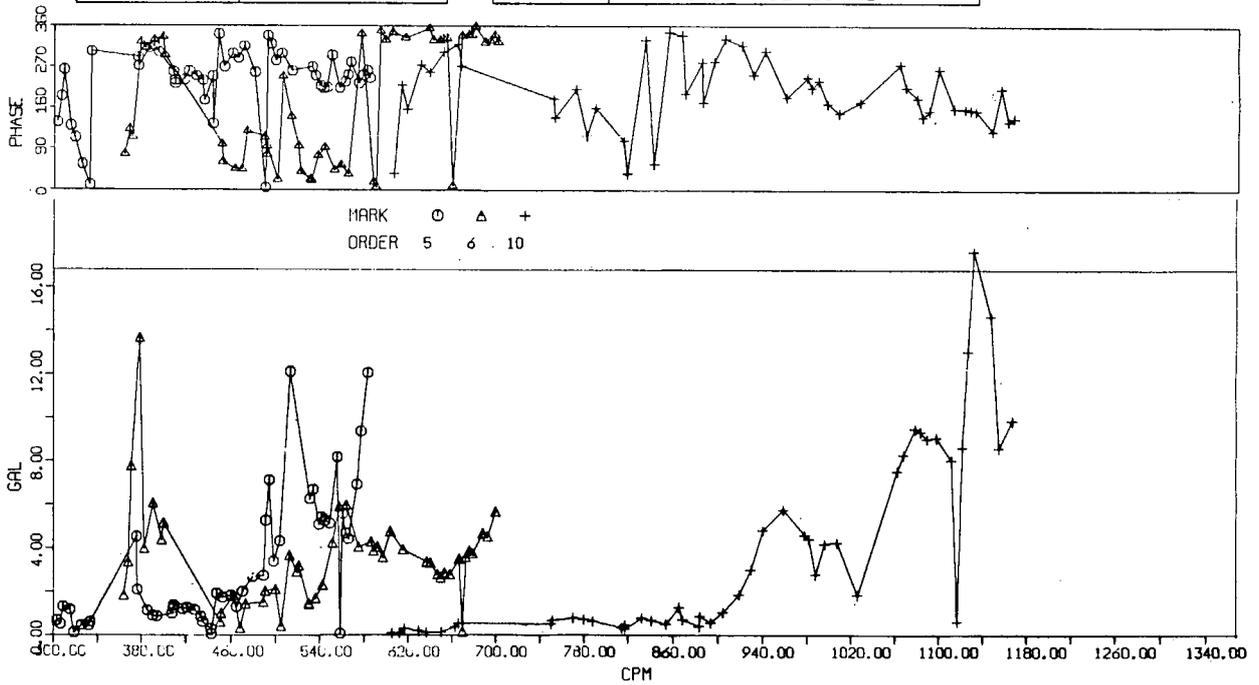


Fig. 1.1.4 (a) 船体後部 (V_{17}) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V17

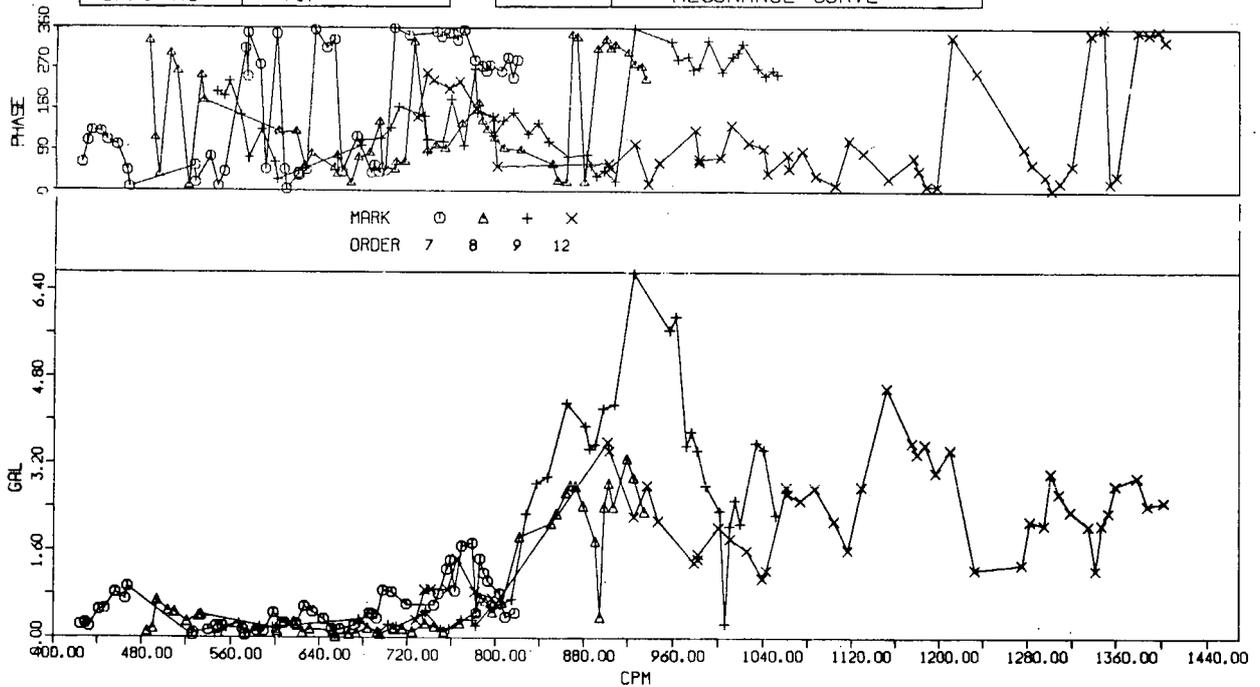
TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V17

TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

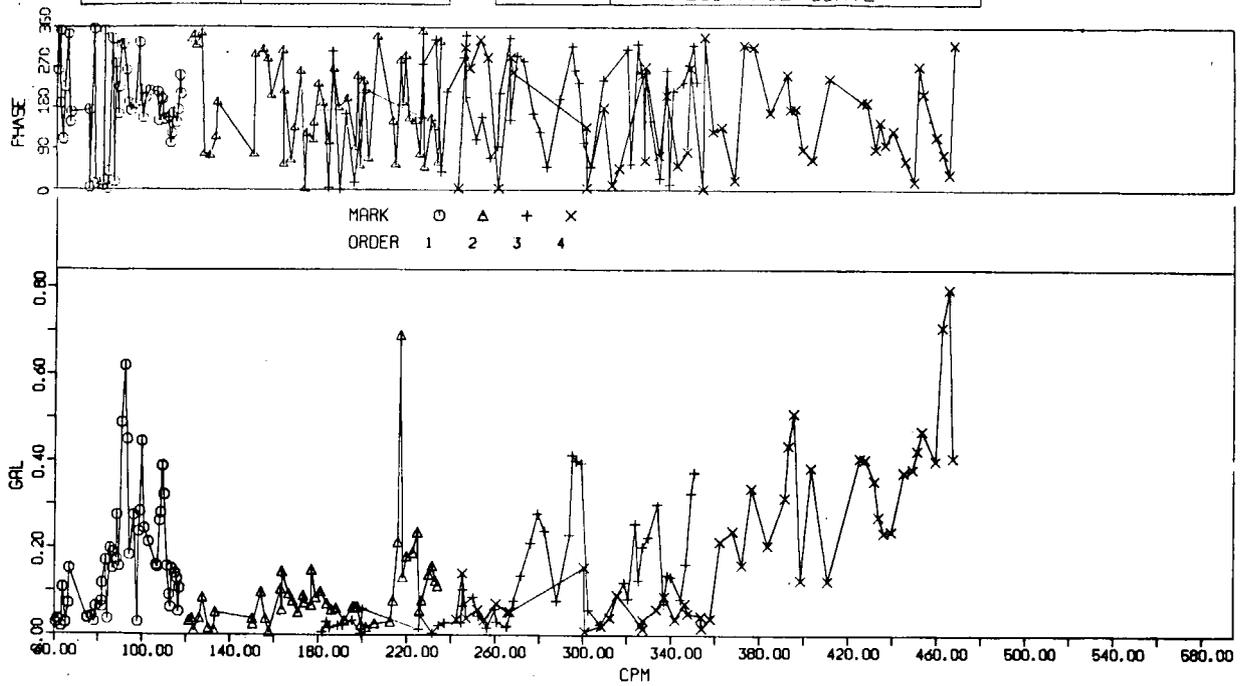


(c)

Fig. 1.1.4 (b)、(c) 船体後部 (V₁₇) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H1

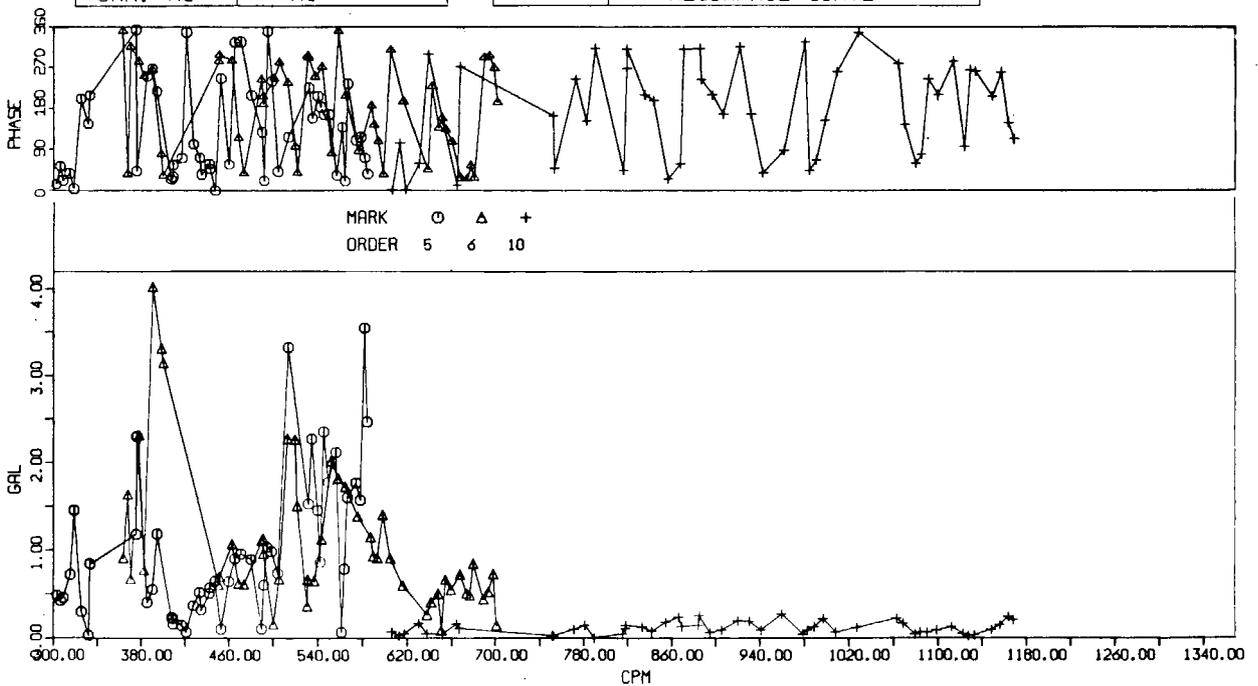
TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(a)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H1

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

Fig. 1.1.5 (a), (b) 船首端左右振動 (H_1) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H1

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER-CONSTANT
	RESONANCE CURVE

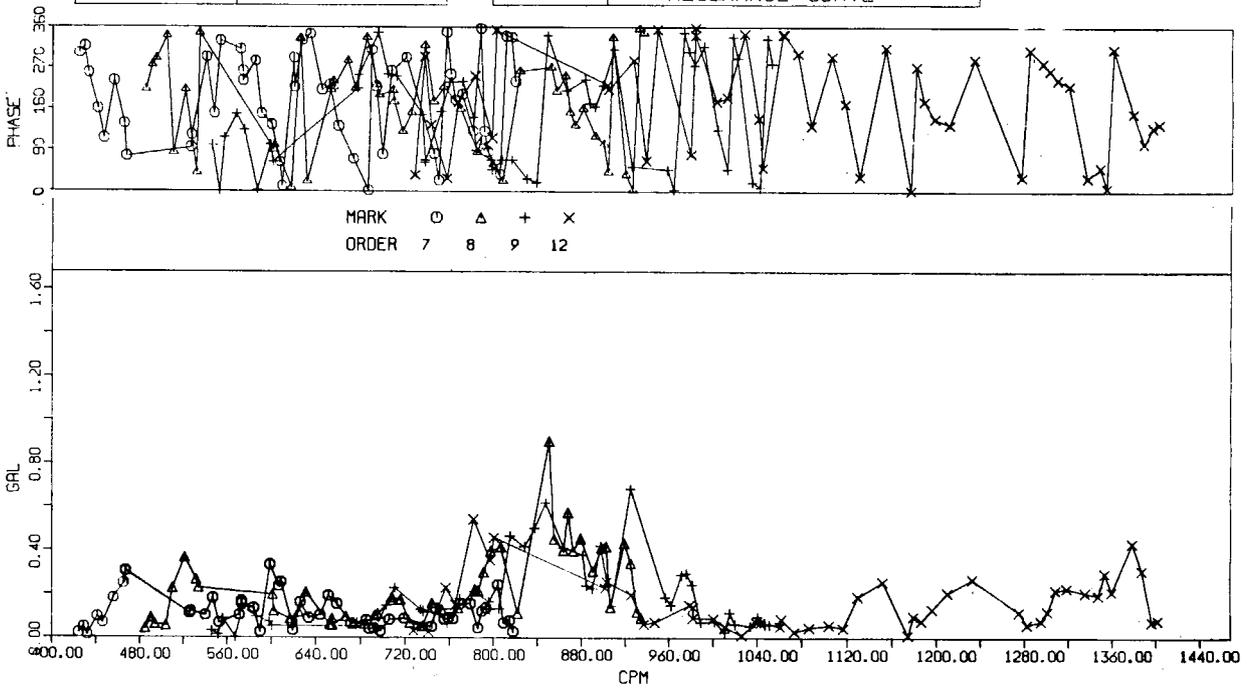


Fig. 1.15 (e) 船首端左右振動 (H_1) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	81 117
CHA. NO	H6

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER-CONSTANT
	RESONANCE CURVE

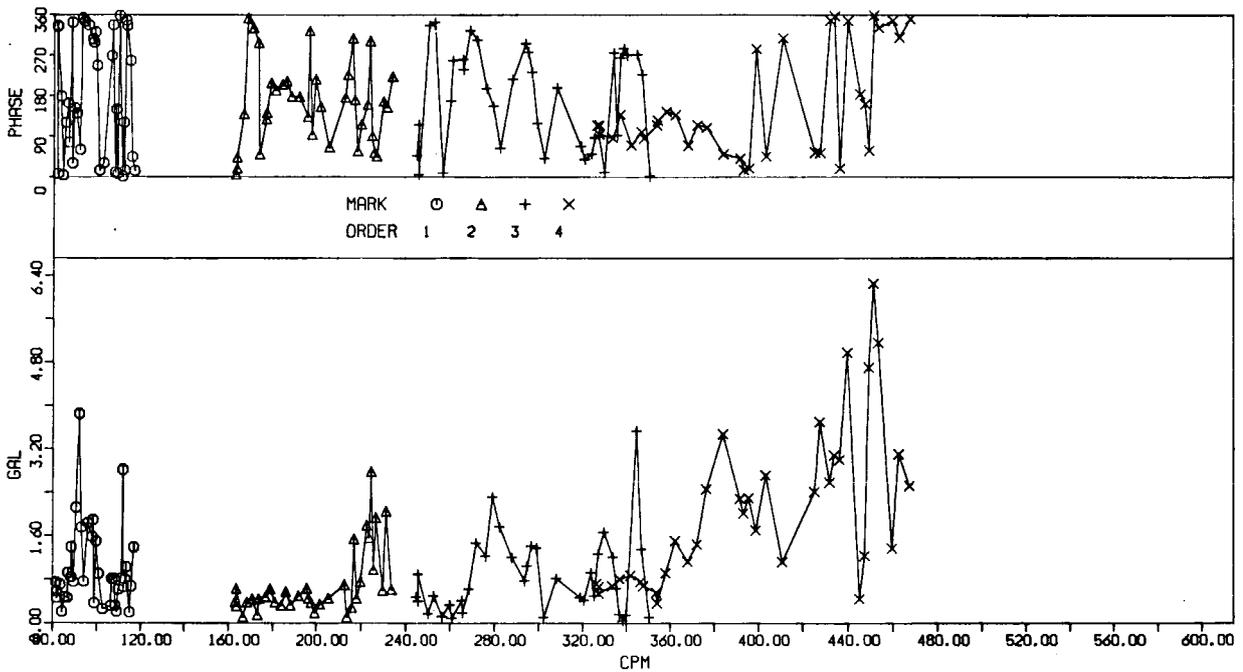
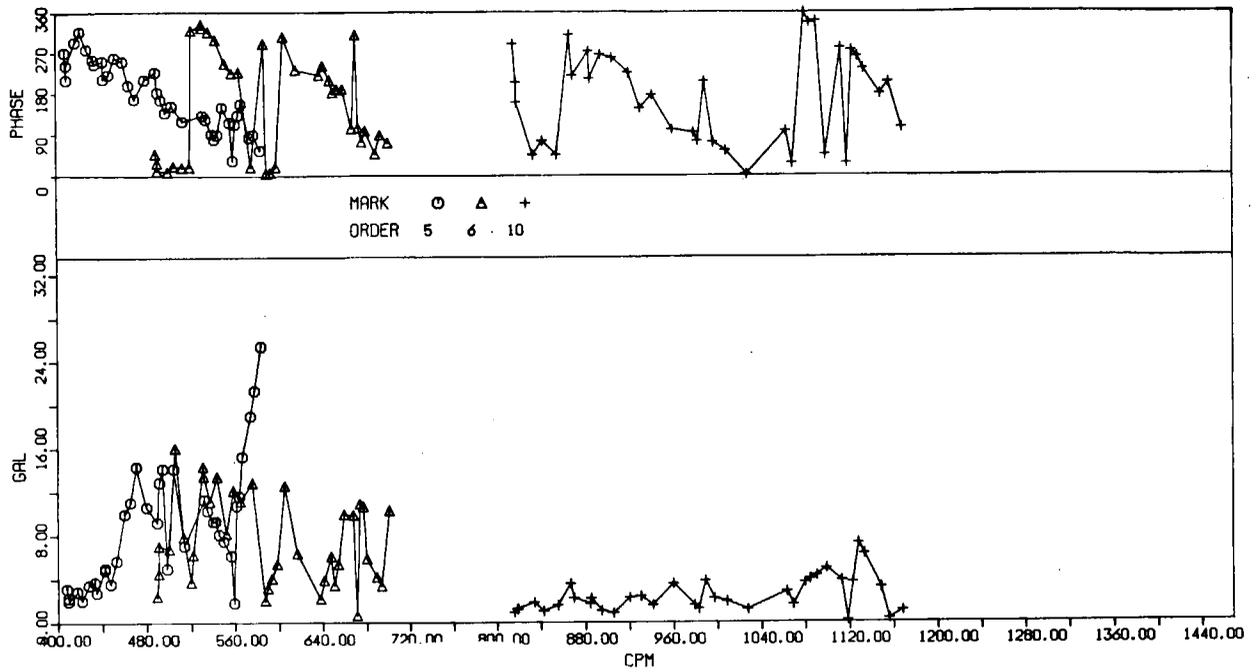


Fig. 1.16 (a) 船体後部 (H_6) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	81 117
CHA. NO	H6

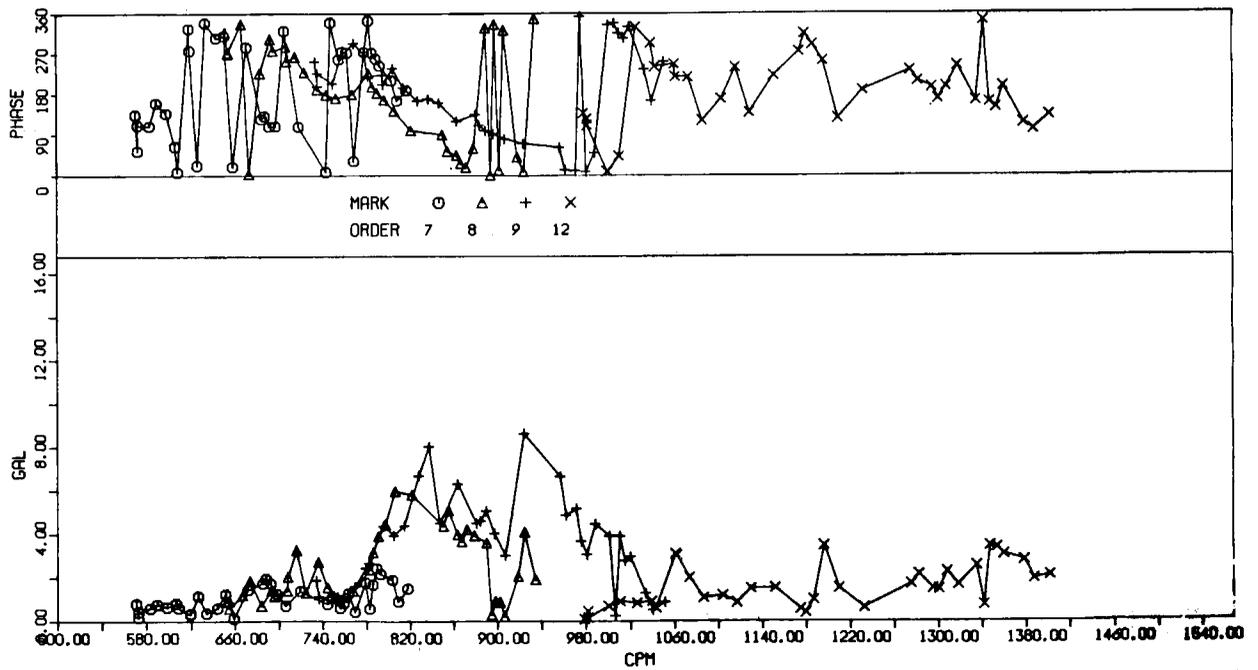
TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

EXP. NO	3A
DATA NO	81 117
CHA. NO	H6

TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

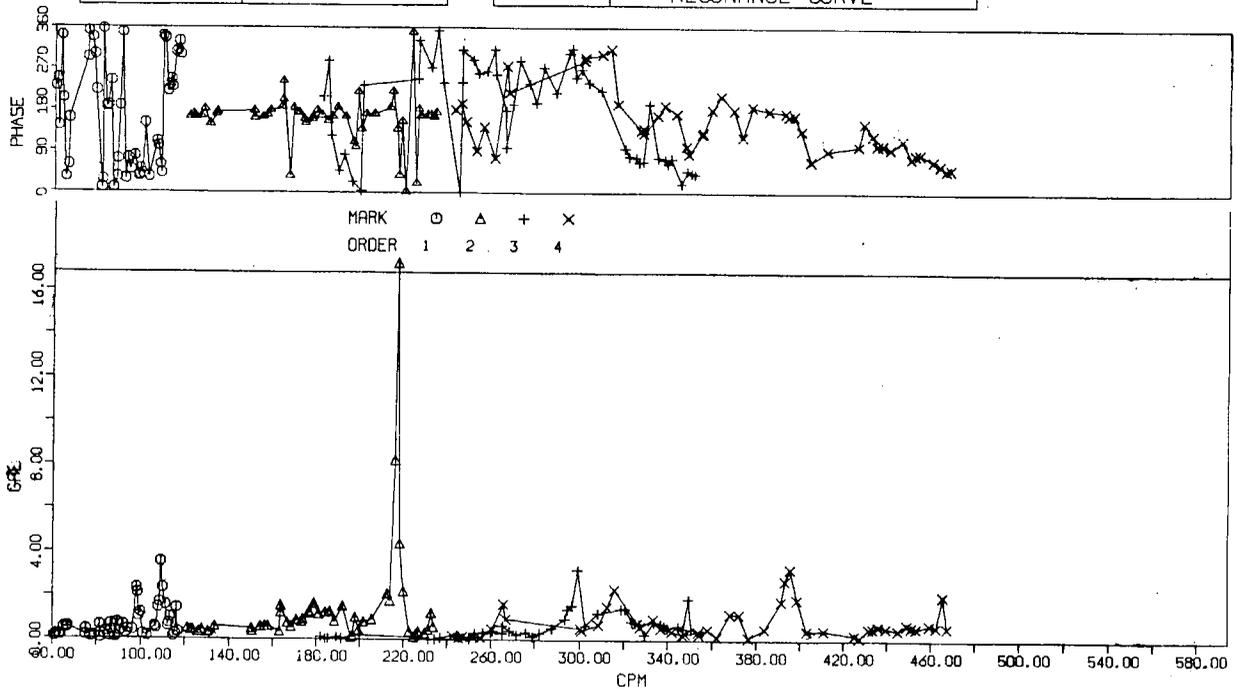


(c)

Fig. 1.1.6 (b)、(c) 船体後部 (H₆) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	L6

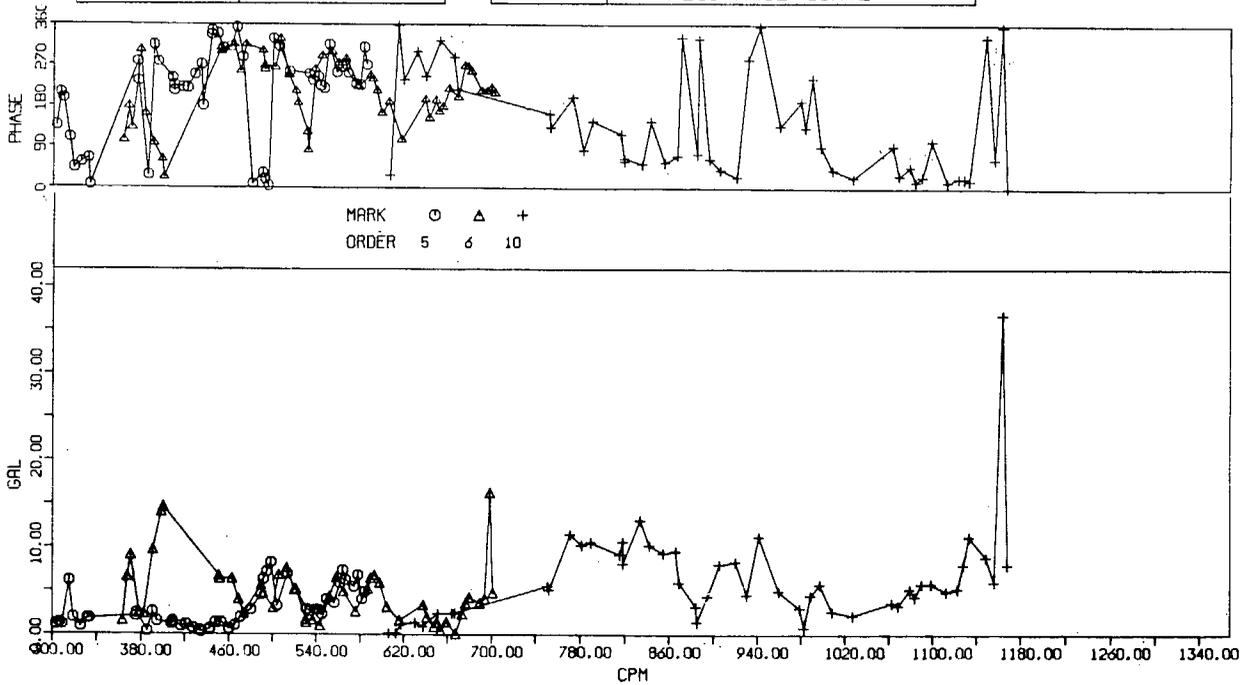
TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(a)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	L6

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

Fig. 1.1.7 (a)、(b) 上部構造前後振動 (L_6) の共振曲線

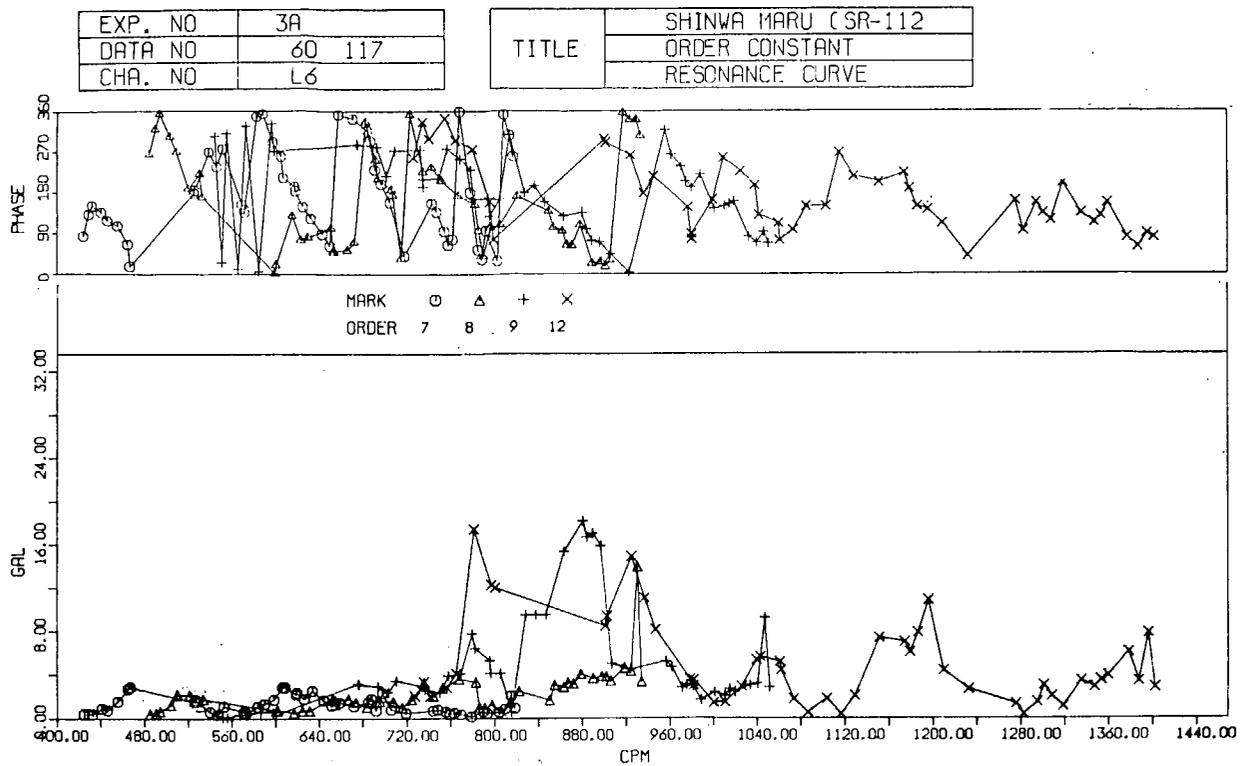


Fig. 1.1.7 (c) 上部構造前後振動 (L_6) の共振曲線

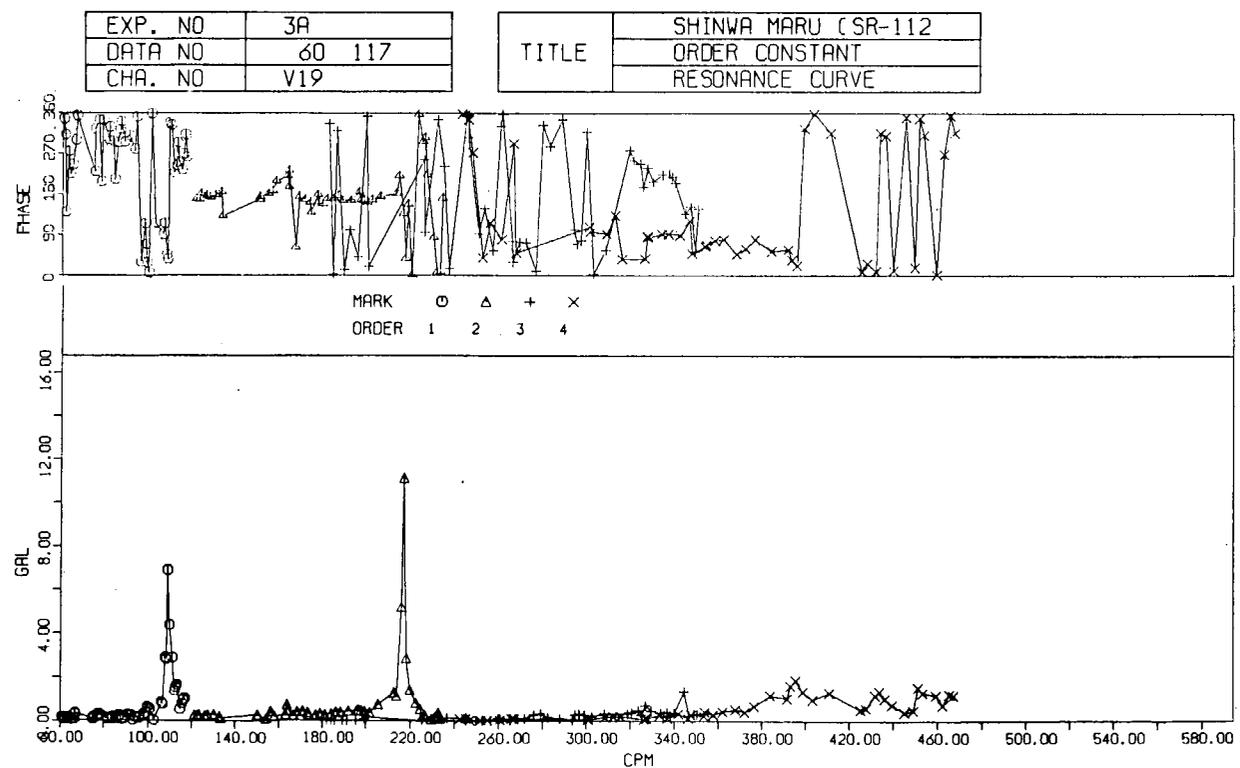
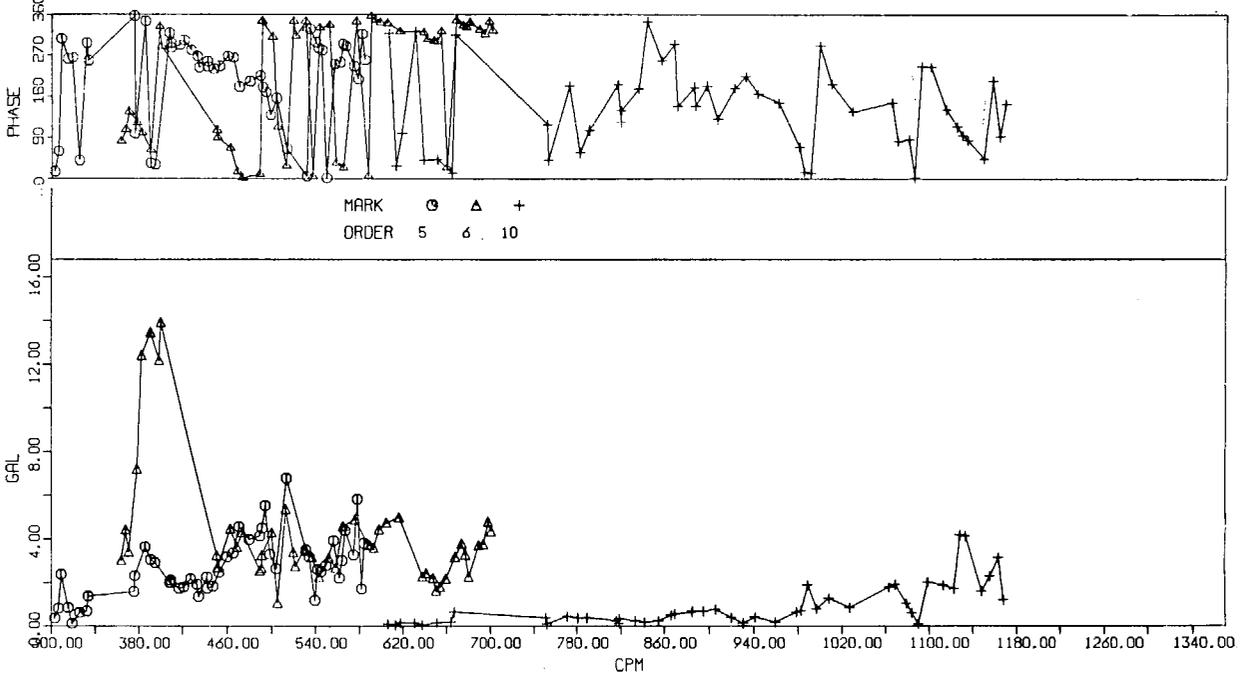


Fig. 1.1.8 (a) 機関室二重底の船側位置上下振動 (V_{19}) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V19

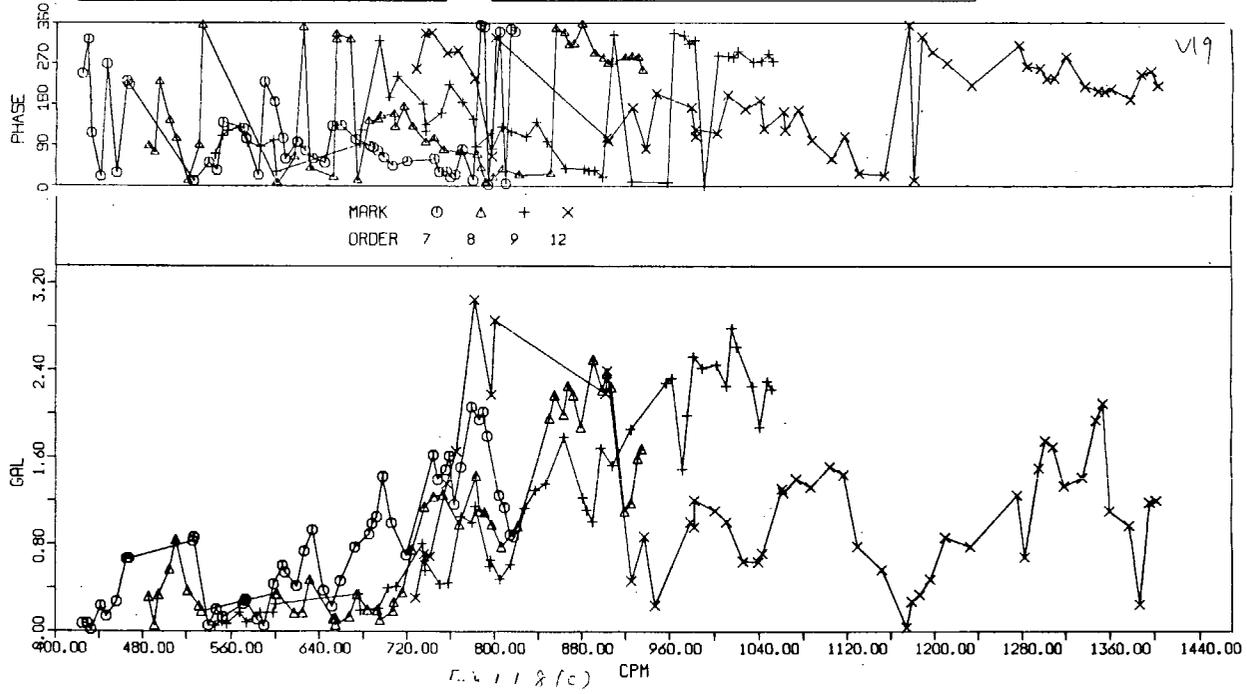
TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	V19

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

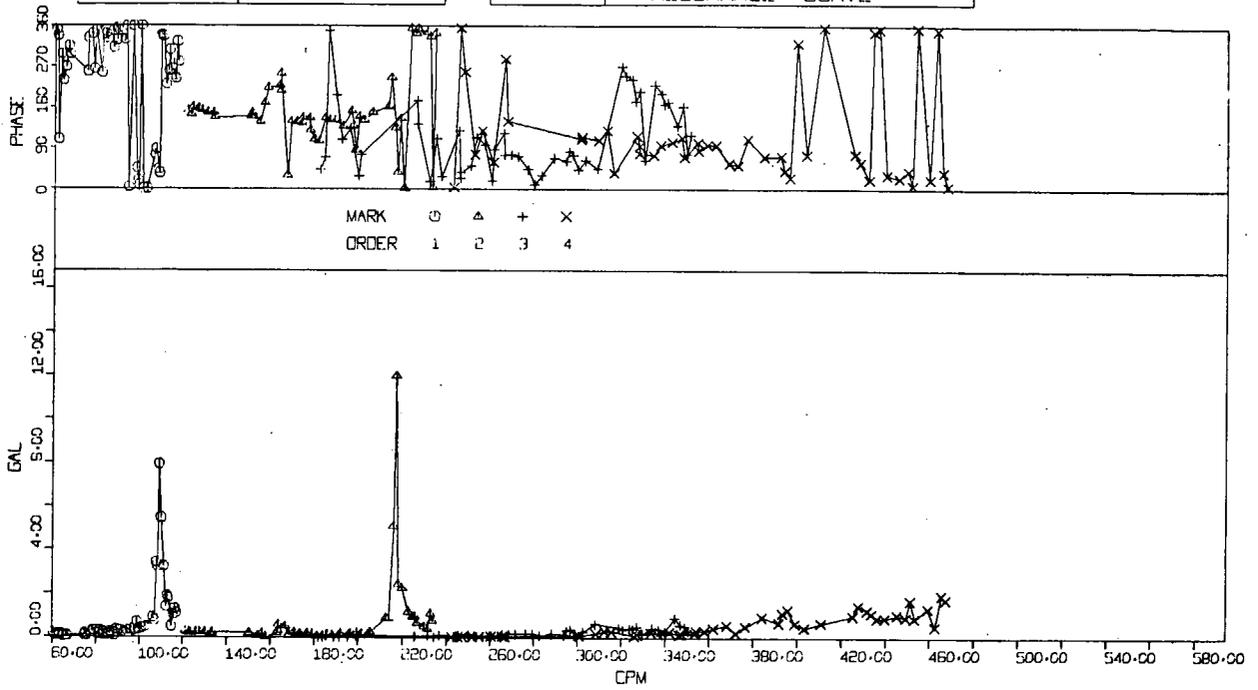


(c)

Fig. 1.1.8 (b)、(c) 機関室二重底の船側位置上下振動 (V₁₉) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	V20

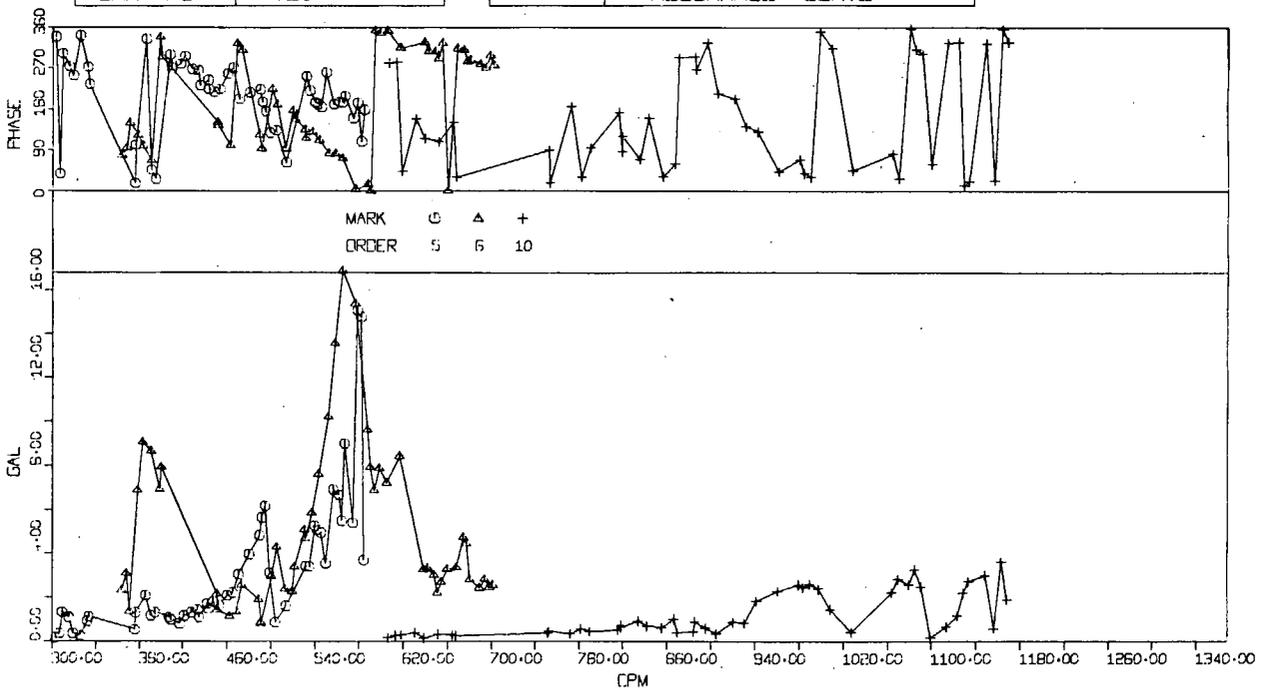
TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(a)

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	V20

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

Fig. 1.1.9 (a)、(b) 機関室二重底の機関基部上下振動 (v_{20}) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	V20

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

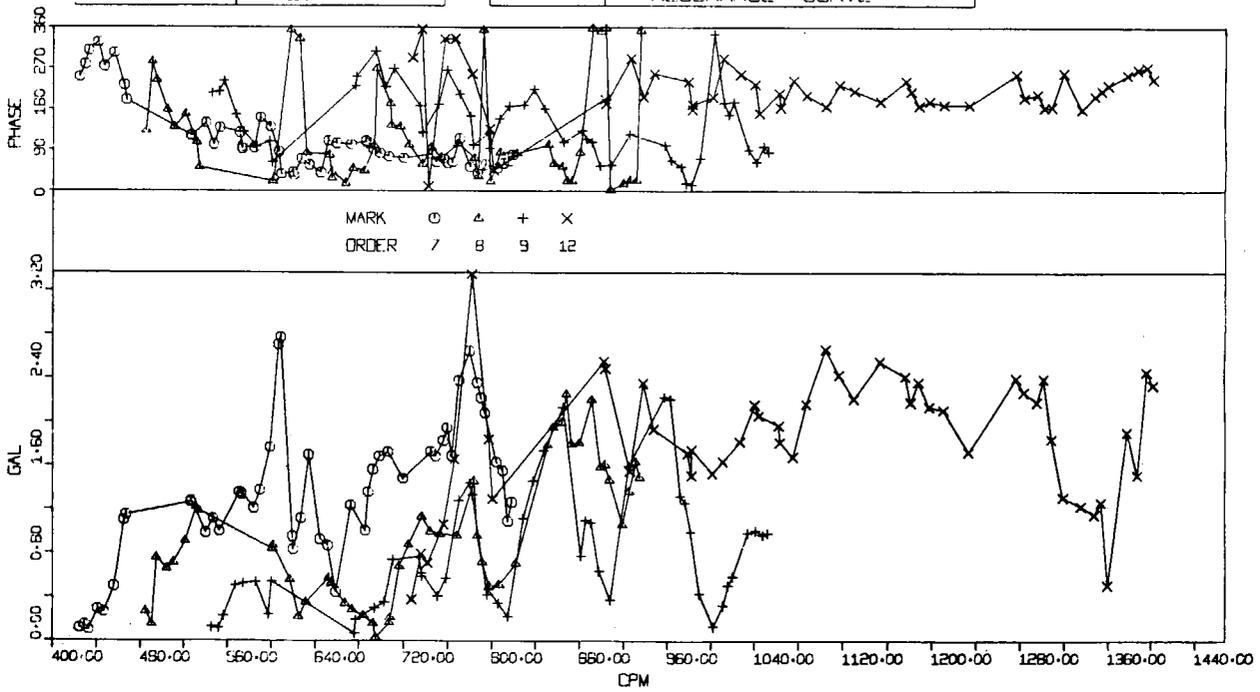


Fig. 1.1.9 (c) 機関室二重底の機関基部上下振動 (V_{20}) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H9

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

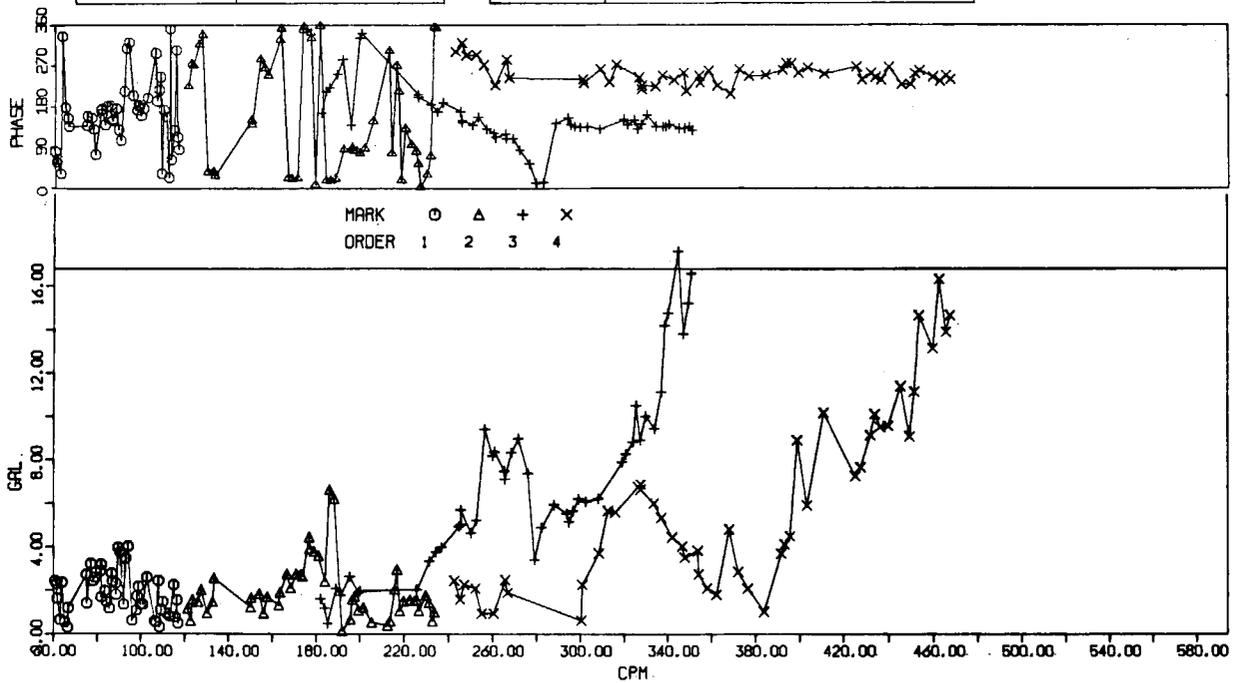
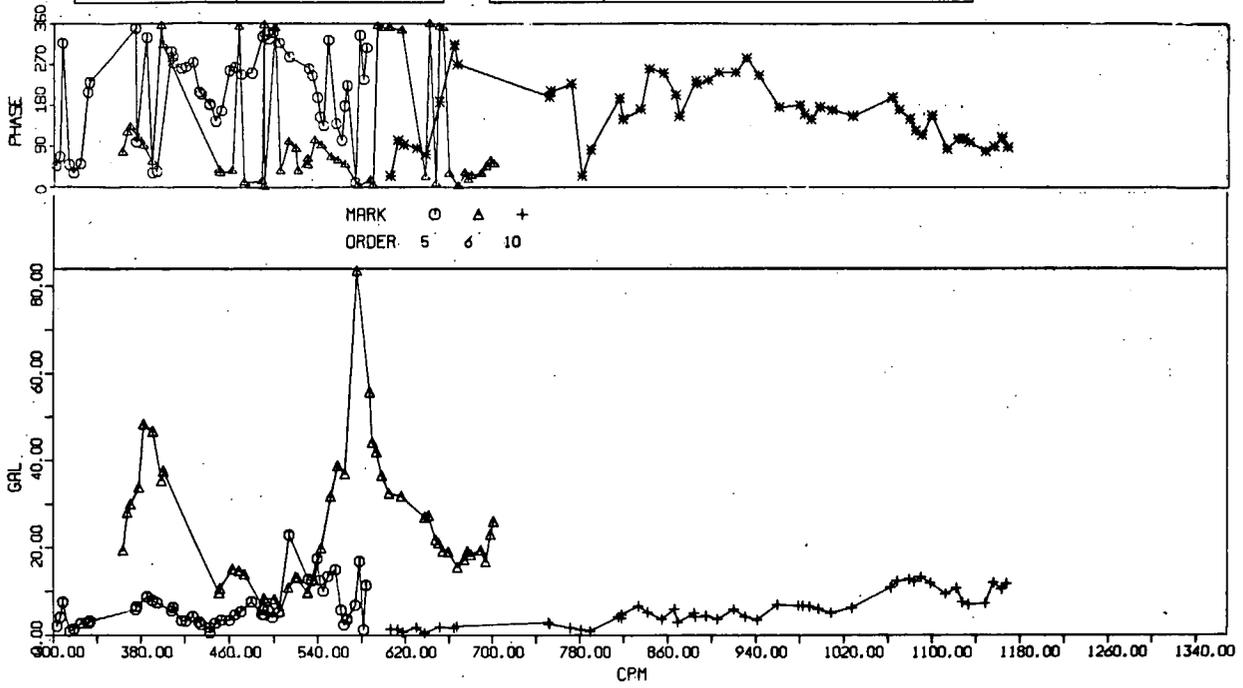


Fig 1.1.10 (a) 機関架構前端頂部左右振動 (H_9) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H9

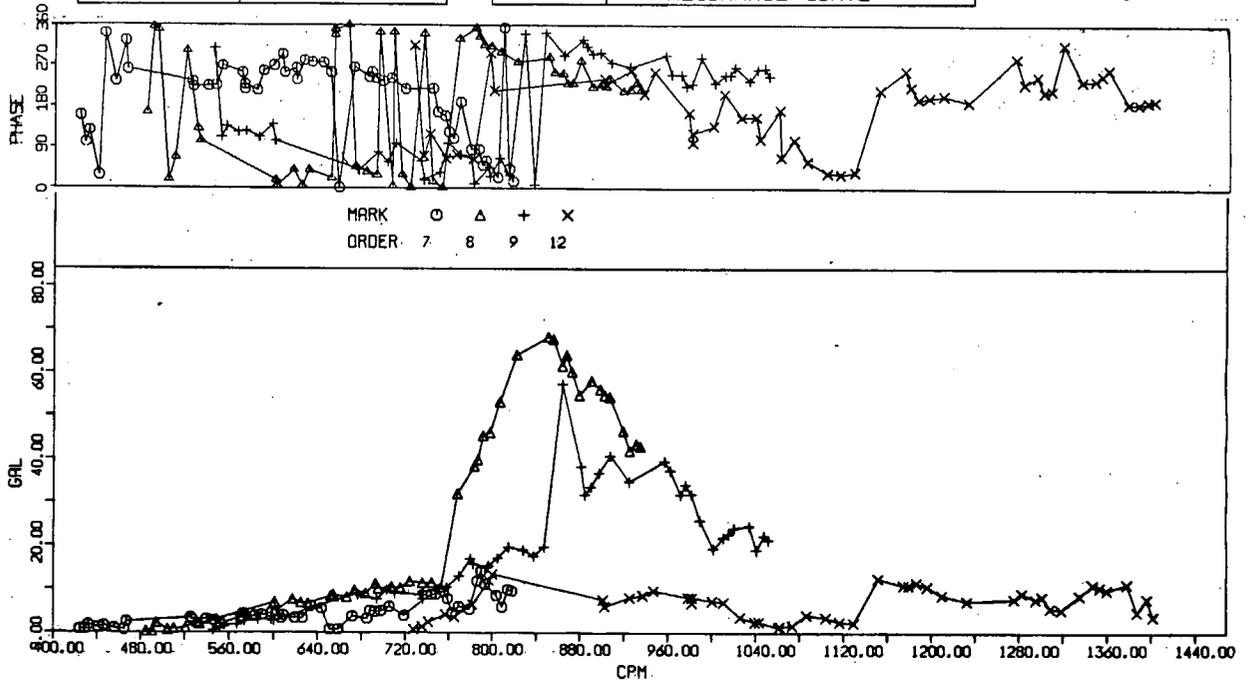
TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H9

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

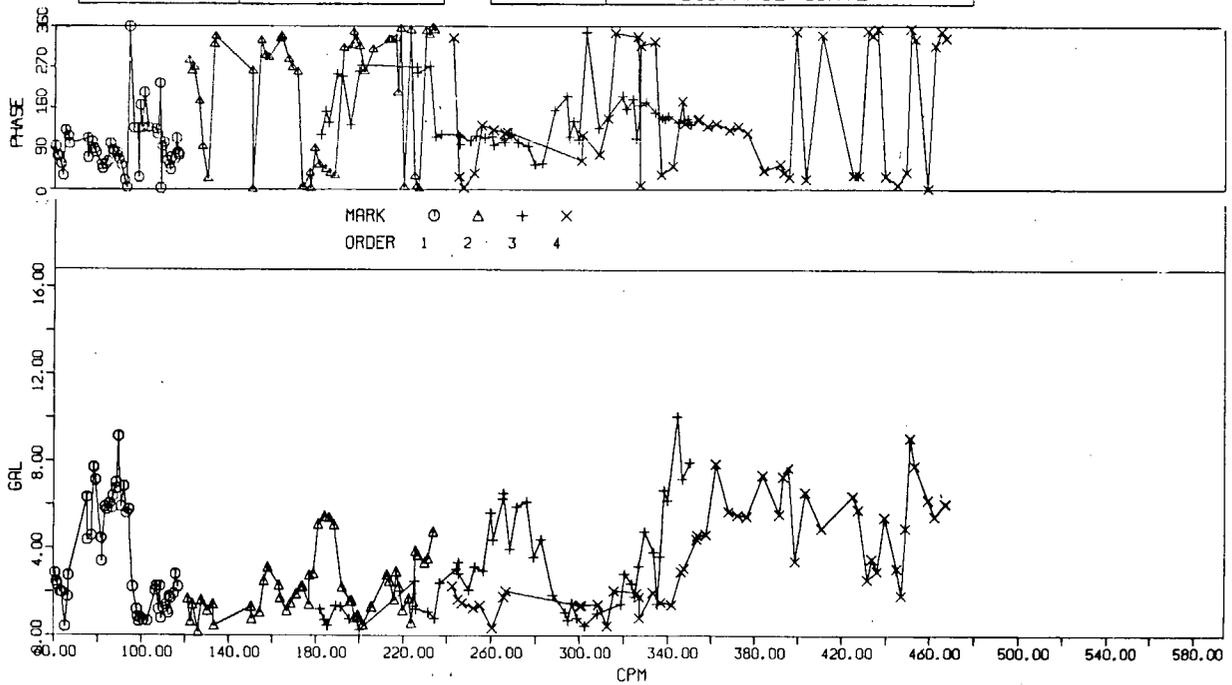


(c)

Fig 1.110 (b)、(c) 機関架構前端頂部左右振動 (H₉) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H10

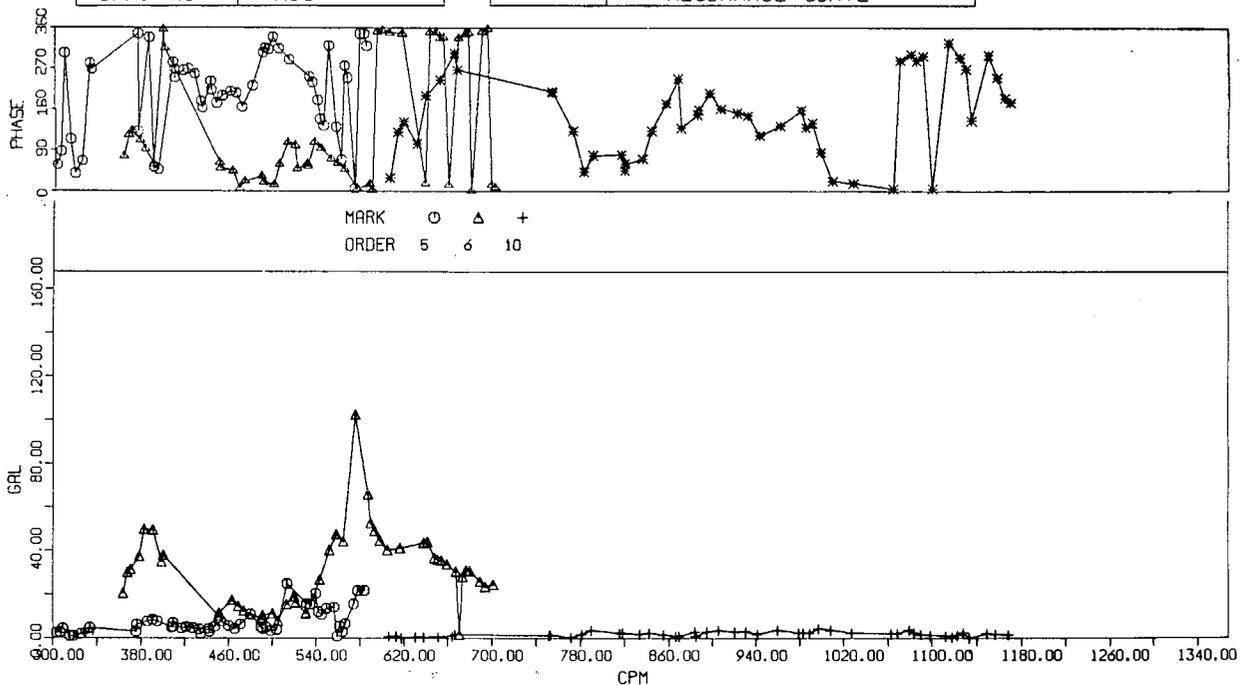
TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(a)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H10

TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

Fig 1.1.11 (a)、(b) 機関架構中央頂部左右振動 (H_{10}) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H10

TITLE	SHINWA MARU(SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

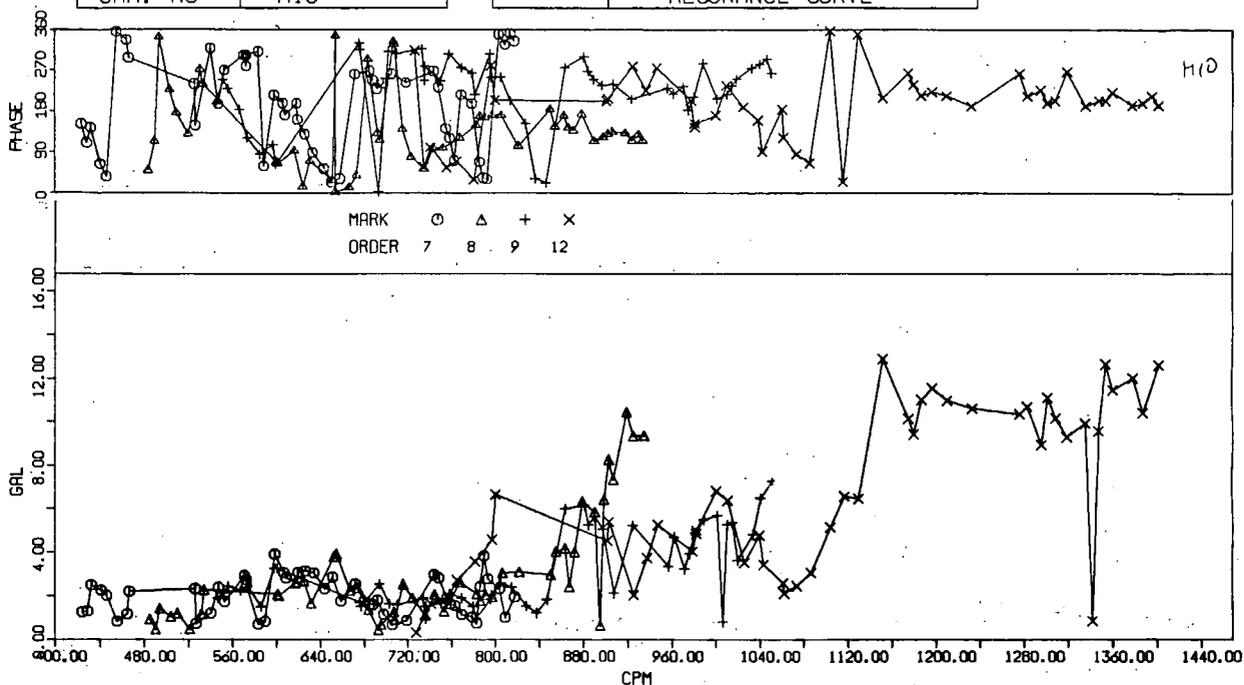


Fig 1.1.11 (c) 機関架構中央頂部左右振動 (H₁₀) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H11

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

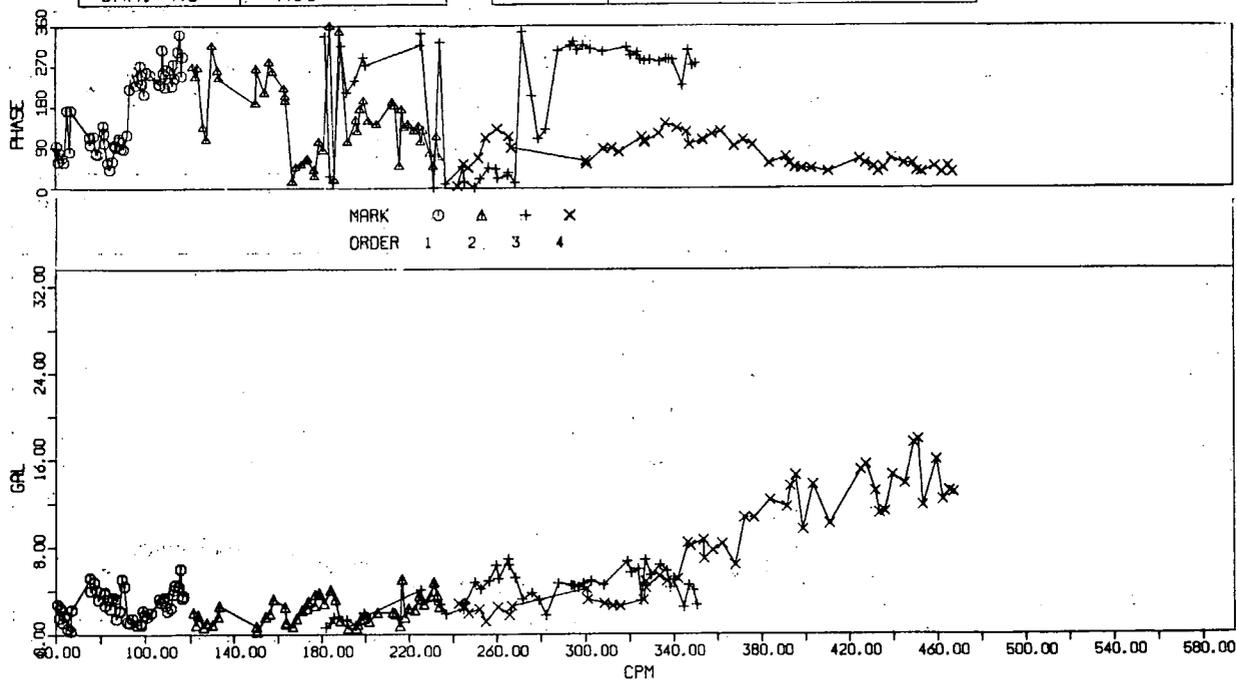
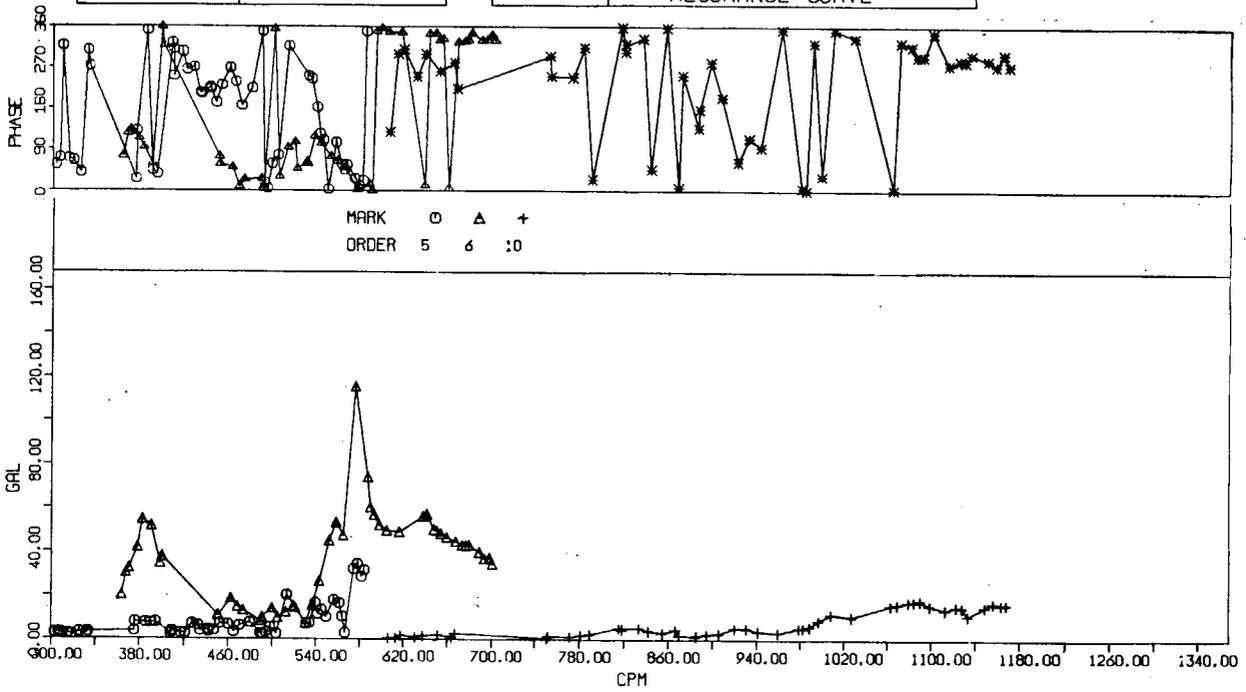


Fig 1.1.12 (a) 機関架構後端頂部左右振動 (H₁₁) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H11

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE



(b)

EXP. NO	3A
DATA NO	60 117
CHA. NO	H11

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

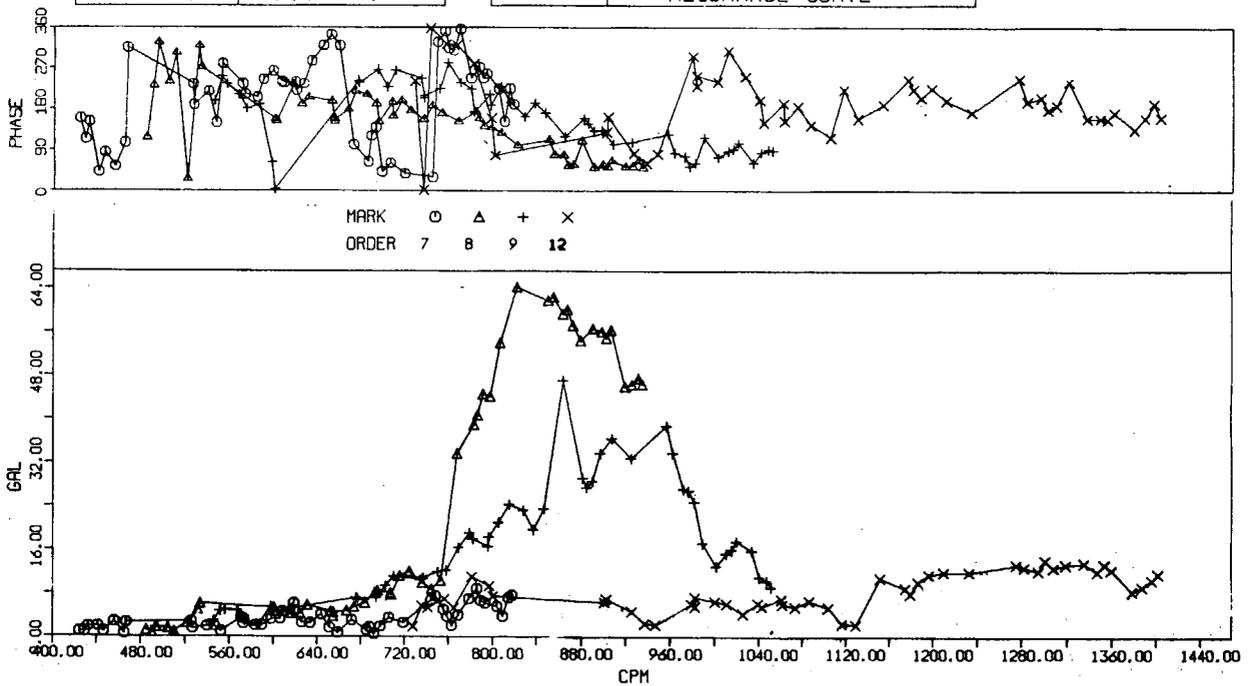


Fig. 1.1.12 (d), (o) 機関架構後端頂部左右振動 (H₁₁) の共振曲線

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	V1

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

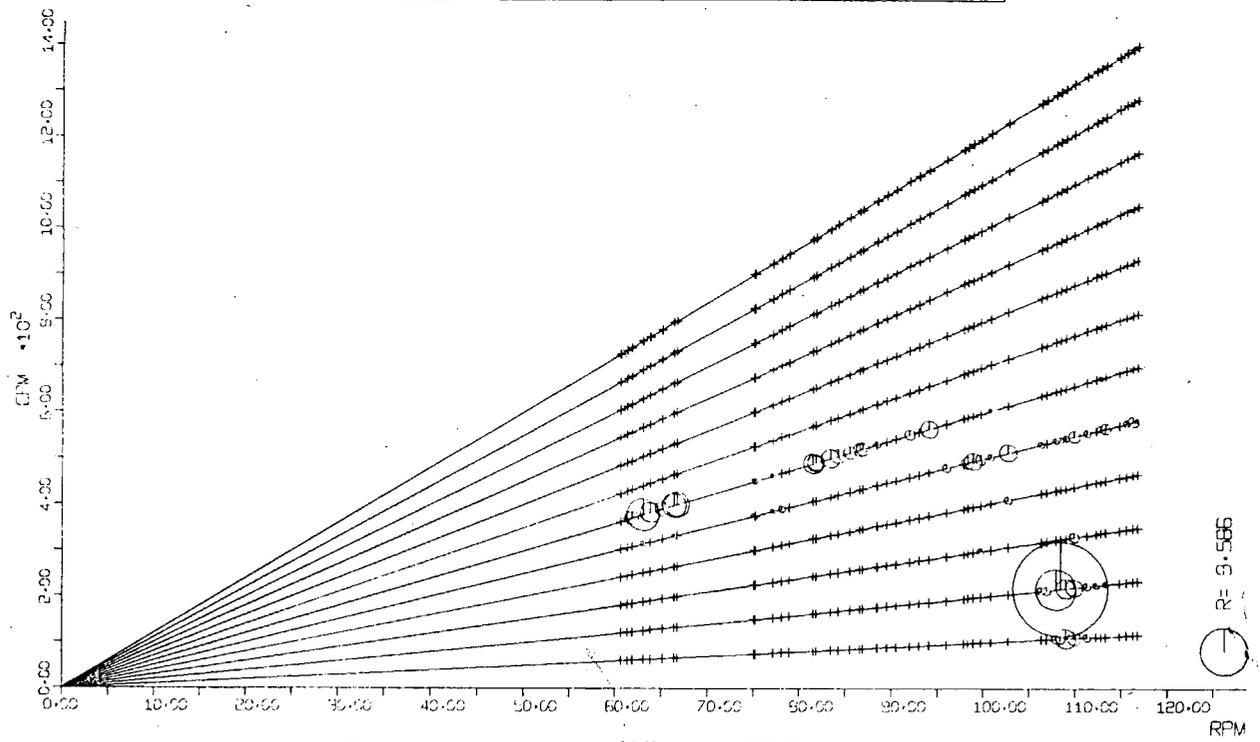


Fig. 1. 1. 13 船体後部上下振動 (V_1) のキャンベル線図

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	V17

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

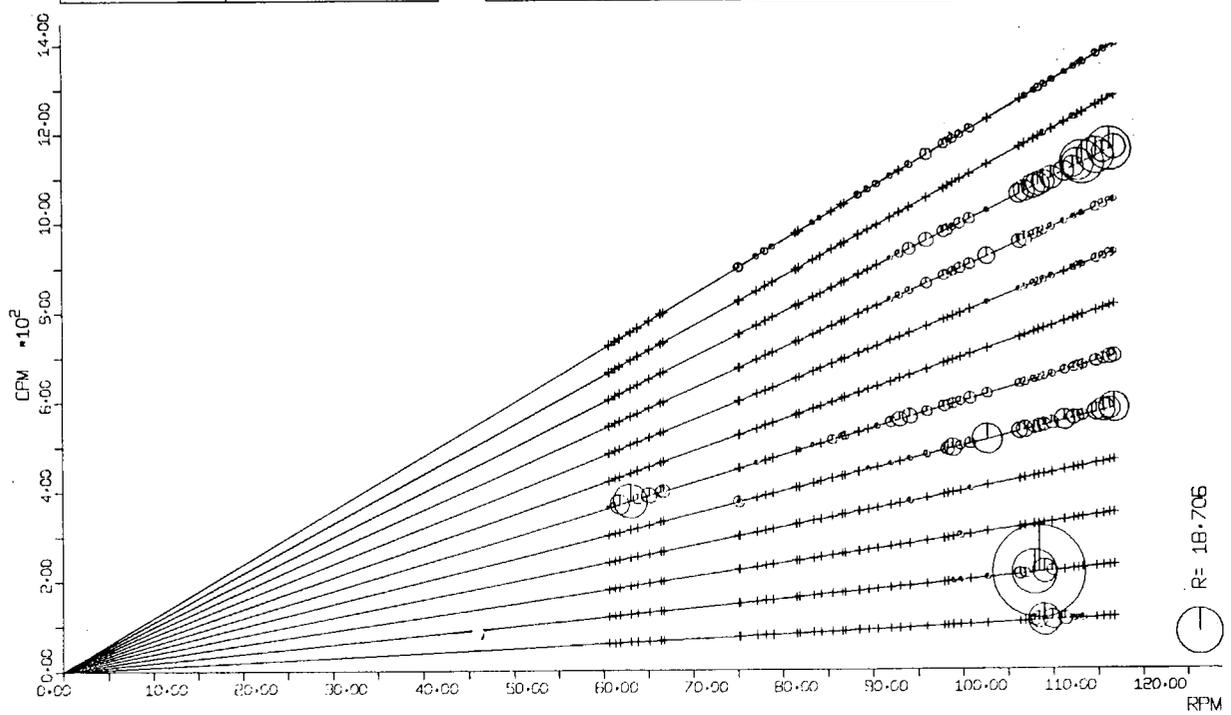


Fig. 1. 1. 14 船体後部上下振動 (V_{17}) のキャンベル線図

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	H1

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

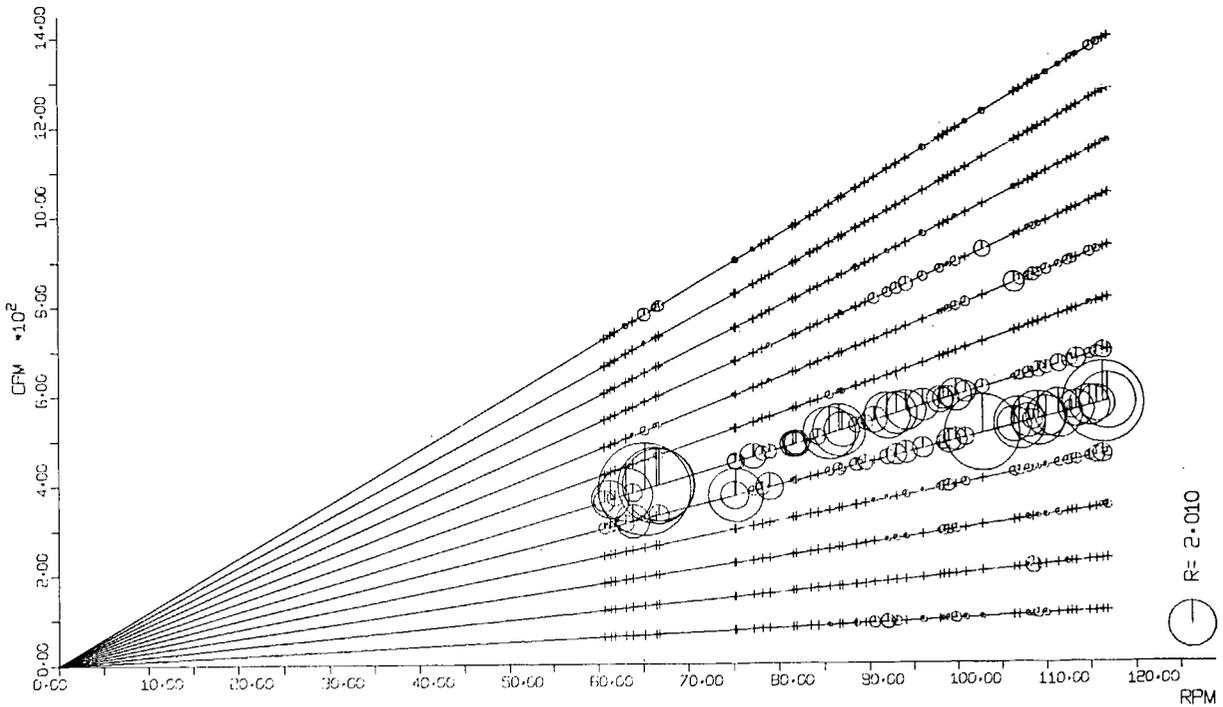


Fig. 1. 1. 15 船首端左右振動 (H_1) のキャンベル線図

- 2 6 -

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	H4

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

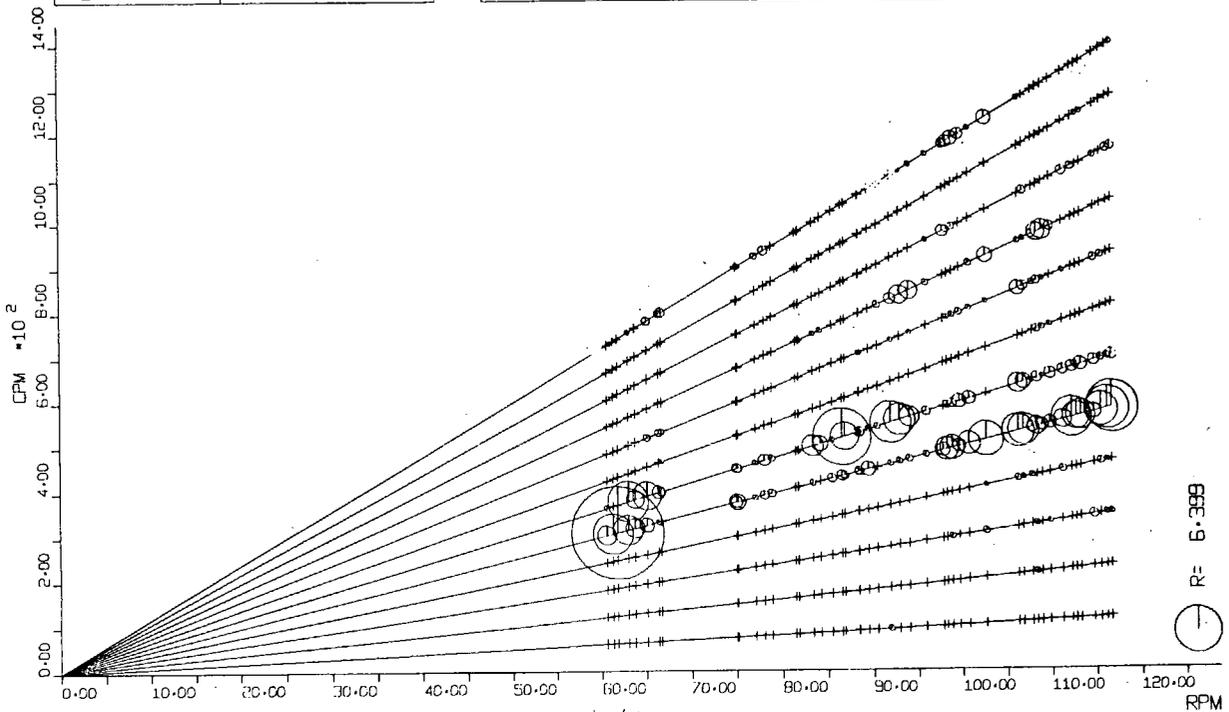


Fig. 1. 1. 16 船体中央部左右振動 (H_4) のキャンベル線図

- 2 4 -

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	L6

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

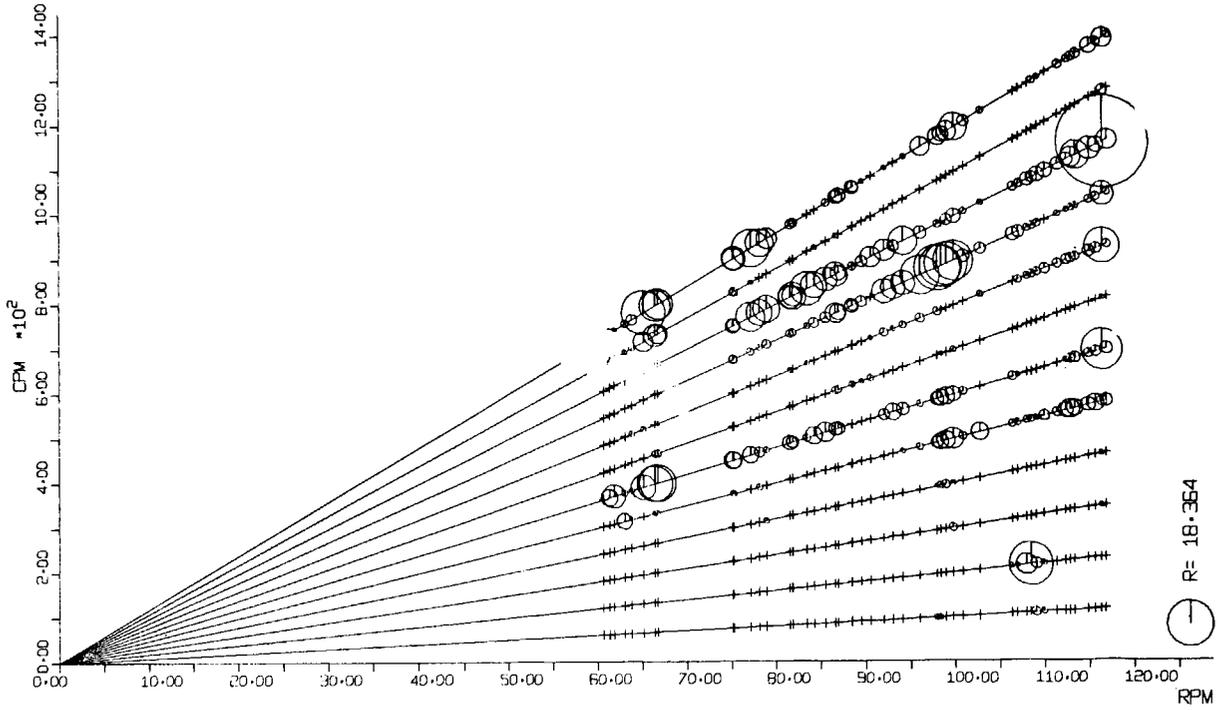


Fig. 1. 1. 17 上部構造前後振動 (L_6) のキャンベル線図

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	V20

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

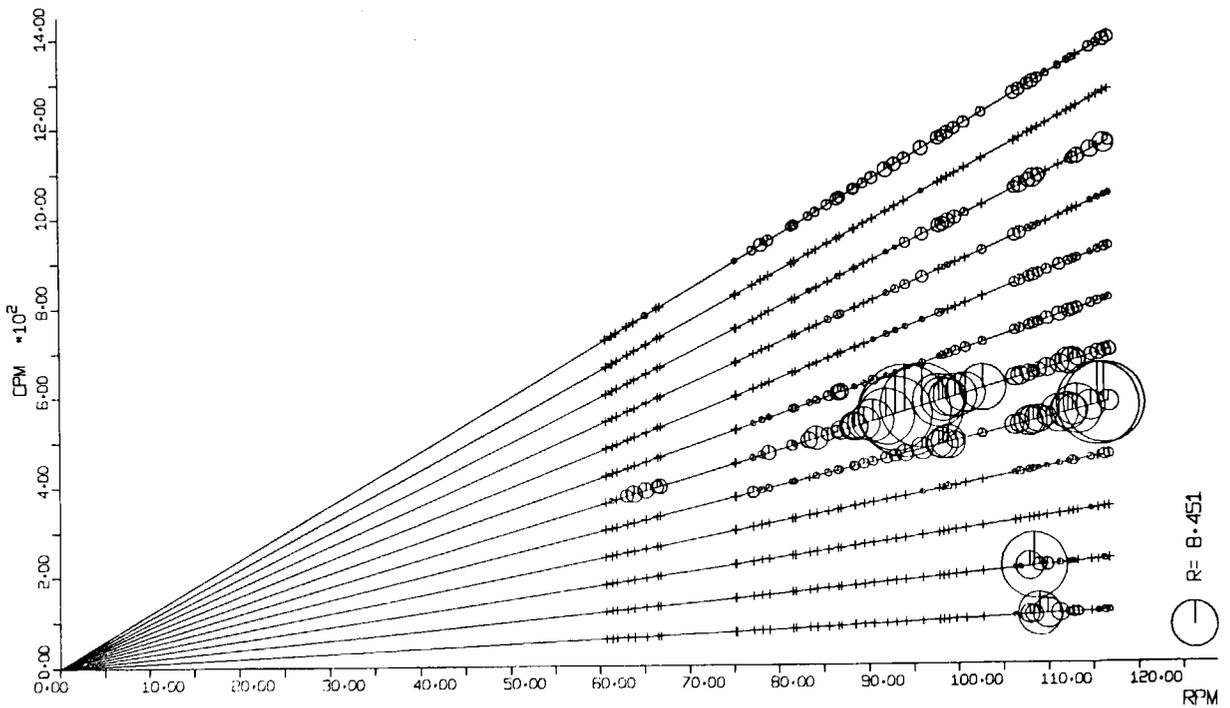


Fig. 1. 1. 18 機関室二重底上下振動 (V_{20}) のキャンベル線図

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CH. NO	H10

TITLE	SHINWA MARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

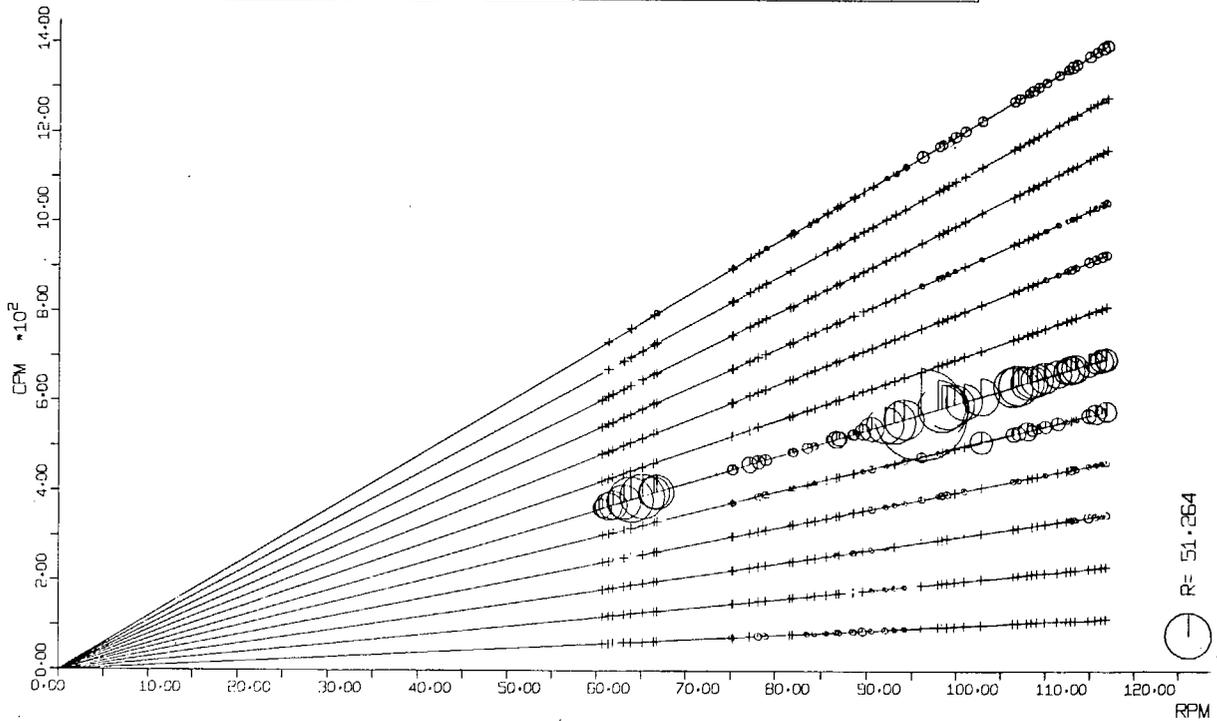


Fig. 1. 1. 19 機関架構中央頂部左右振動 (H_{10}) のキャンベル線図

EXP. NO	3A
DATA NO	14 61
CHA. NO	H11

TITLE	SHINWAMARU (SR-112)
	CAMBEL DIAGRAM

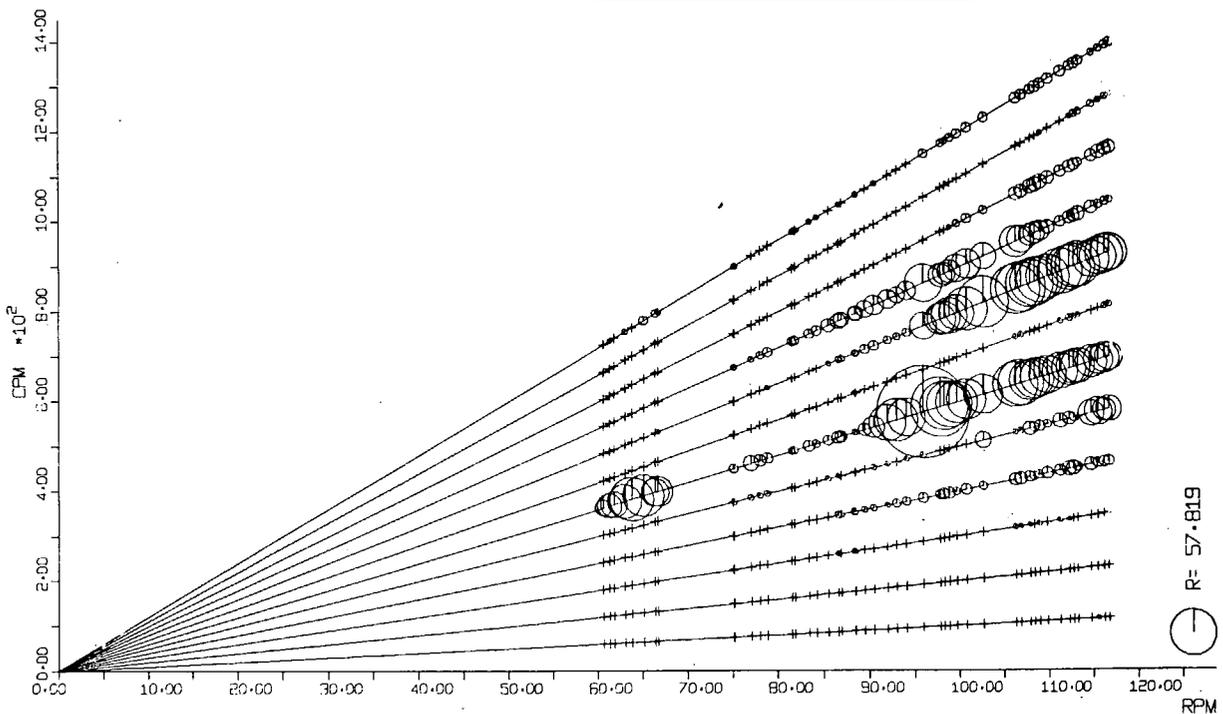


Fig. 1. 1. 20 機関架構後端頂部左右振動 (H_{11}) のキャンベル線図

SHINWAMARU (SR-112)

ORDER
MARK

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 ⊖ ⊖ ▷ + × ⊖ ⊖ ▷ + × ⊖ ⊖

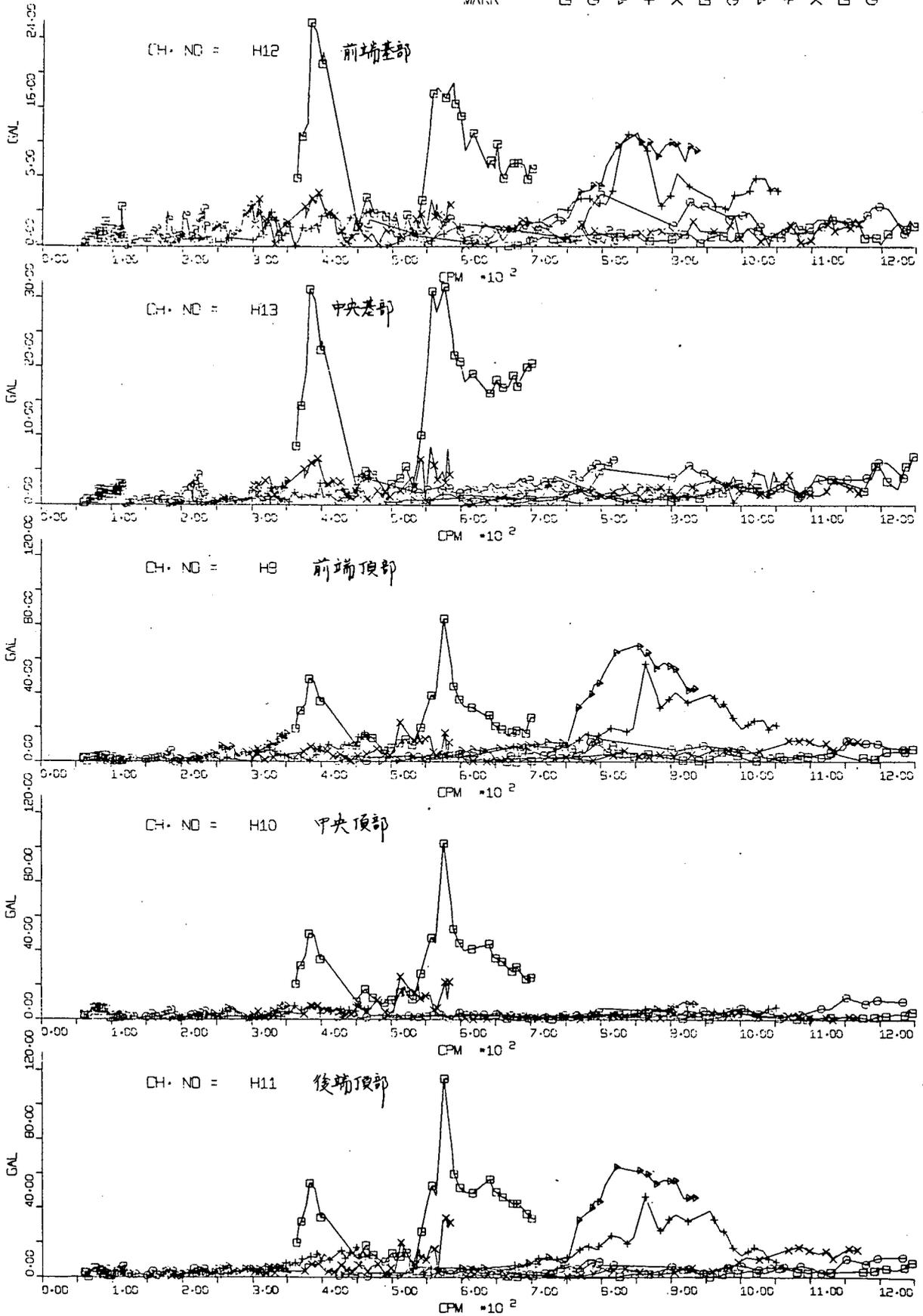


Fig. 1.1.2.1 機関架構振動の共振曲線比較

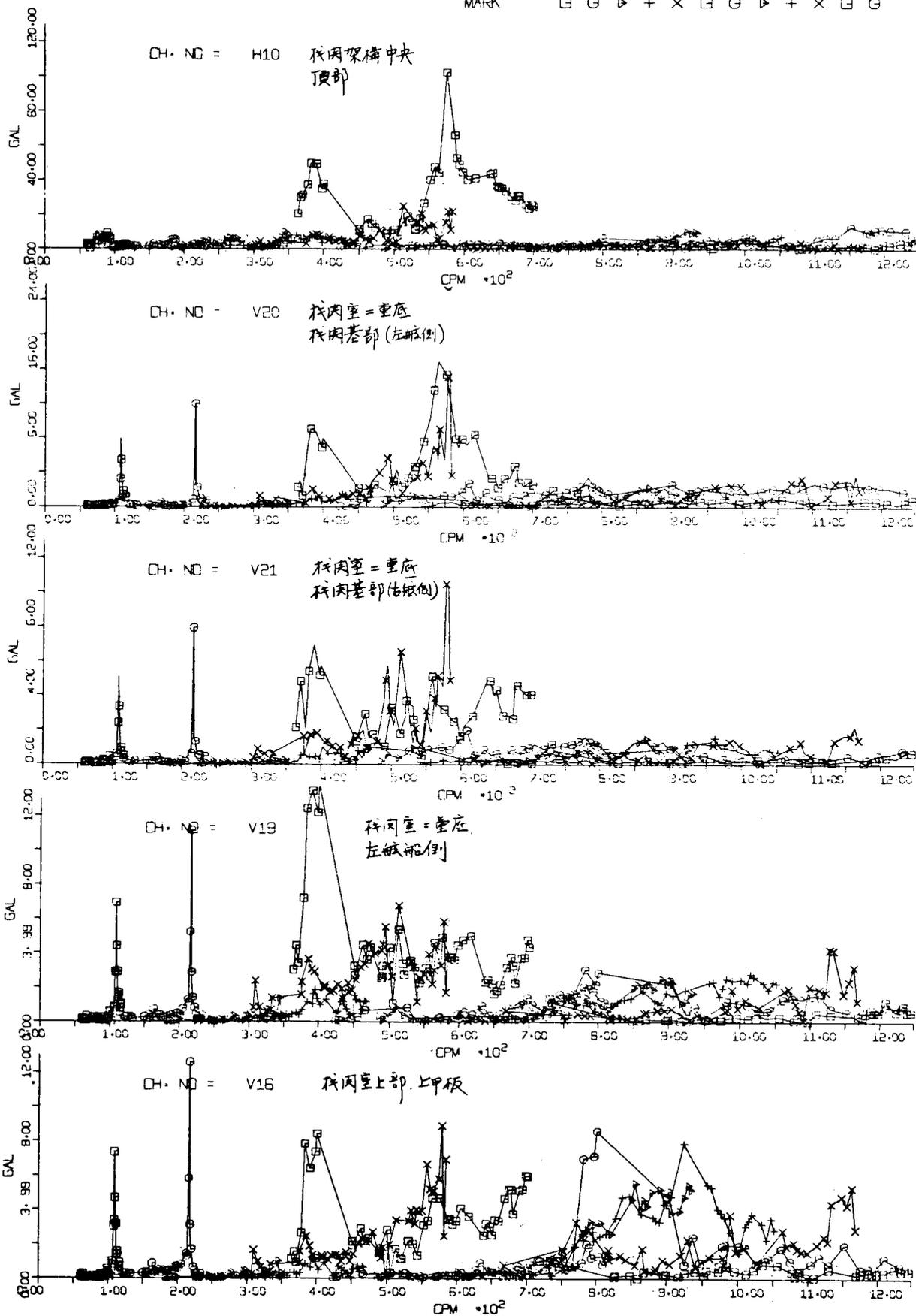


Fig. 1.1.2.2 機関室二重底振動の共振曲線比較

SHINWAMARU (SR-112)

ORDER MARK 0 2 3 4 5 6 7 8 9
 □ ○ ▽ + × □ ○ ▽ +

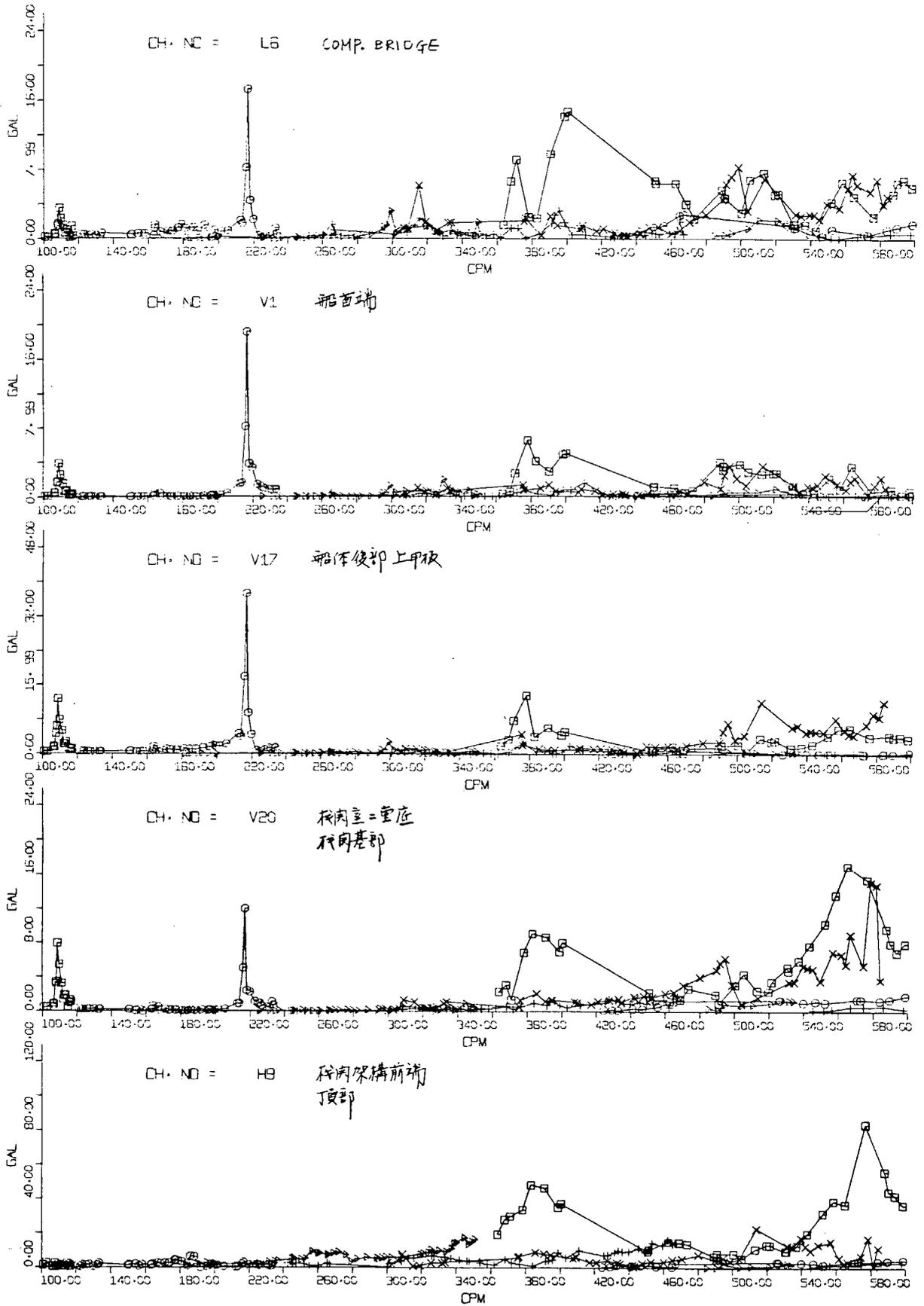


Fig. 1.1.2.3 (a) 船体上下振動の共振曲線比較

SHINWAMARU (SR-112)

ORDER 5 6 7 8 9 10 11 12
MARK □ ○ ▷ + × □ ○ ▷

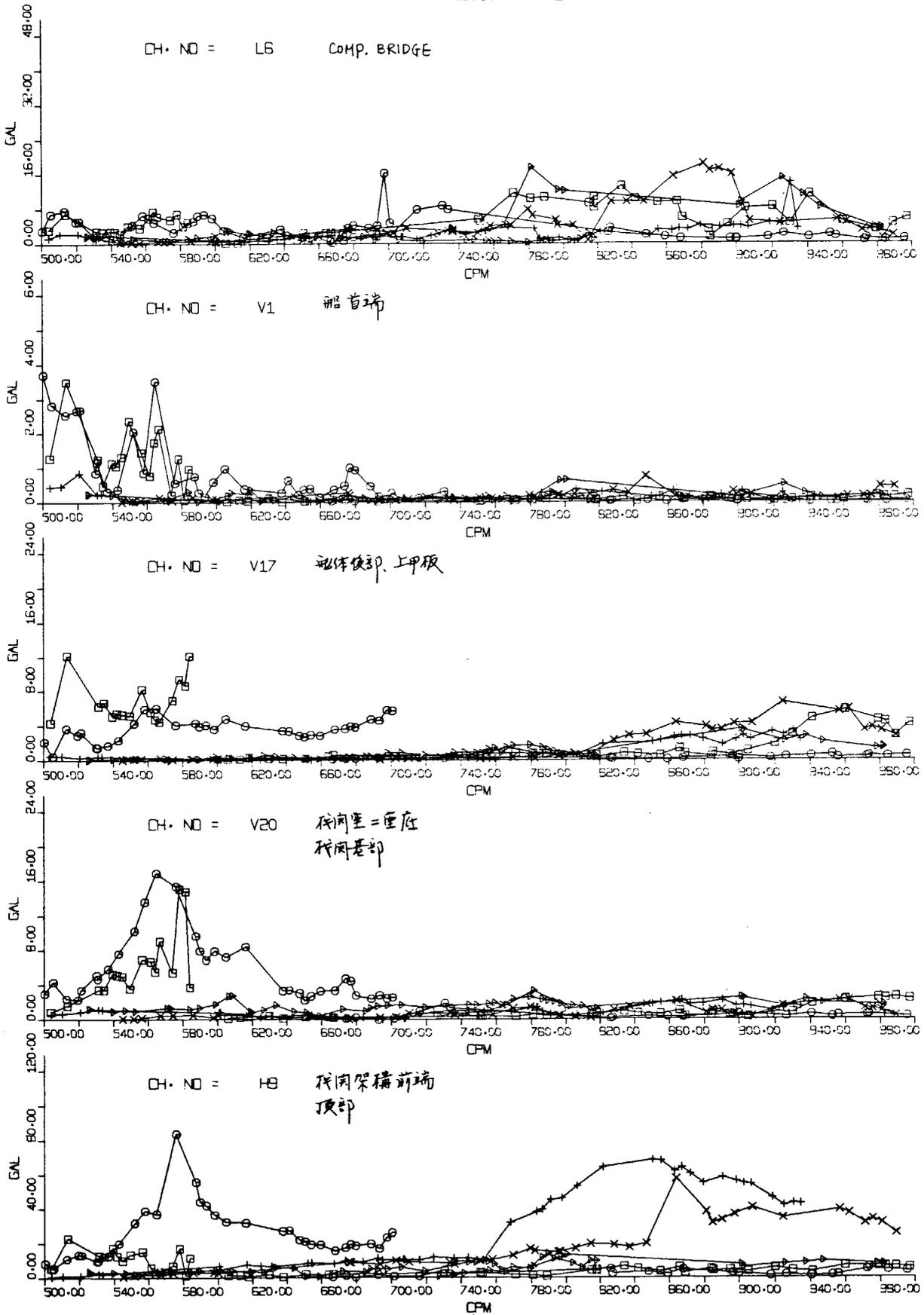


Fig. 1.1.23 (b) 船体上下振動の共振曲線比較

SHINWAMARU (SR-112)

ORDER MARK 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
 □ ○ ▽ + × □ ○ ▽ + × □ ○

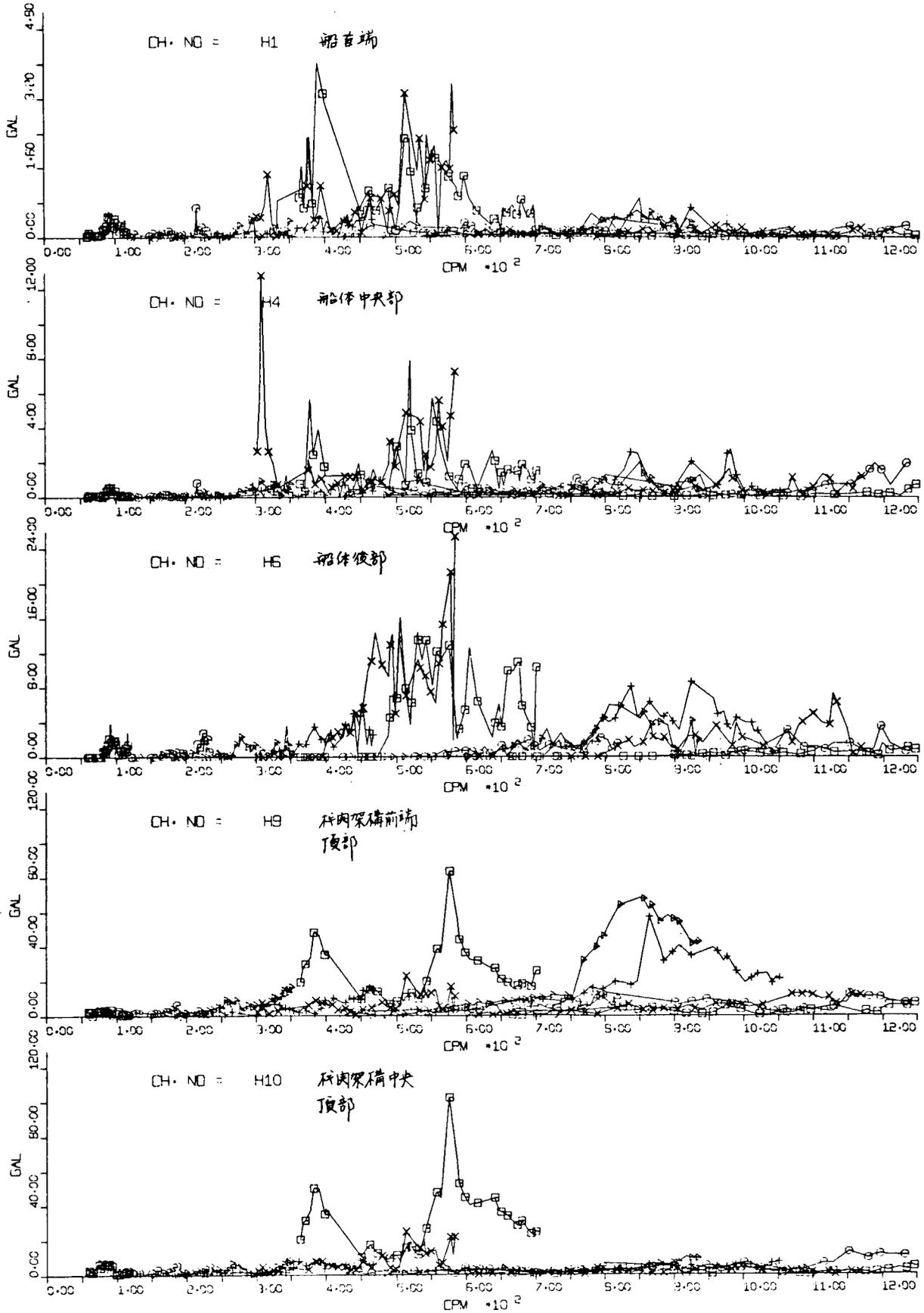


Fig. 1.1.24 船体水平振動の共振曲線比較

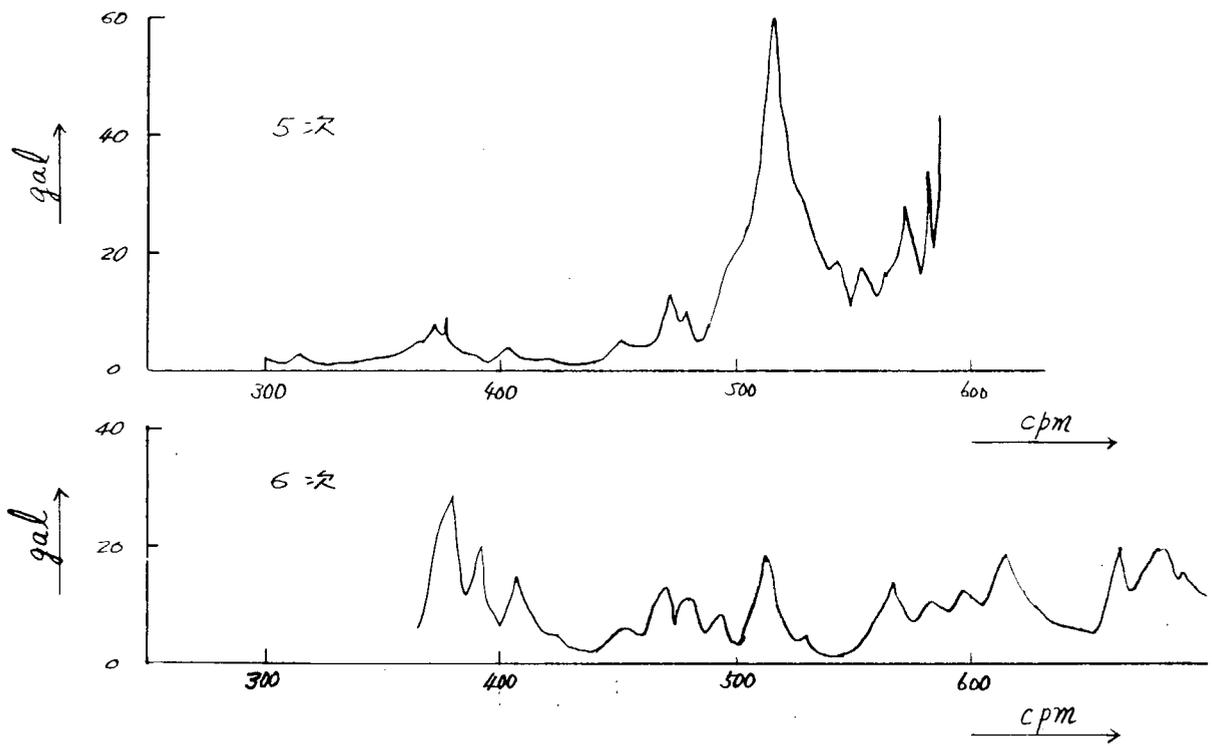


Fig. 1.1.25 船尾端上下振動 (v_{18}) の共振曲線

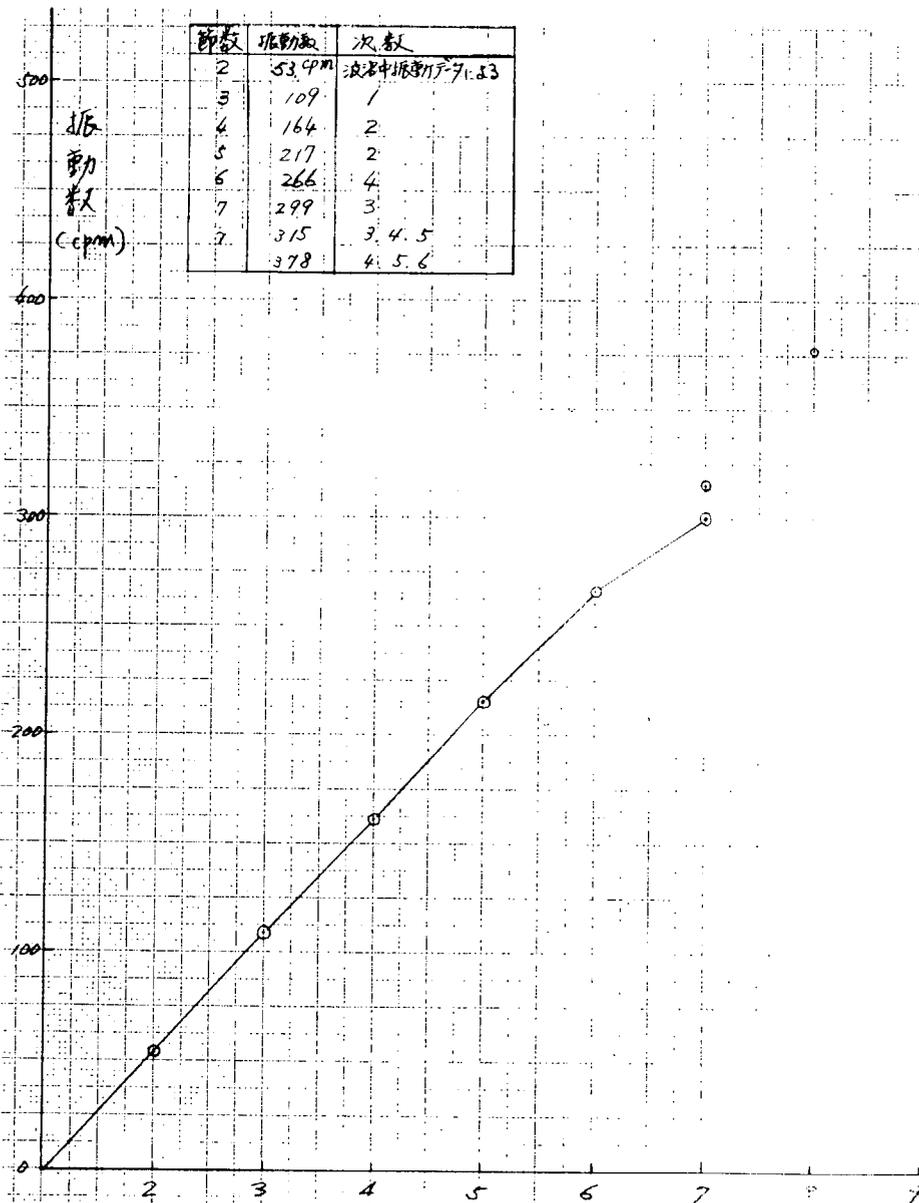


Fig. 1.1.26 船体上下振動の固有振動数

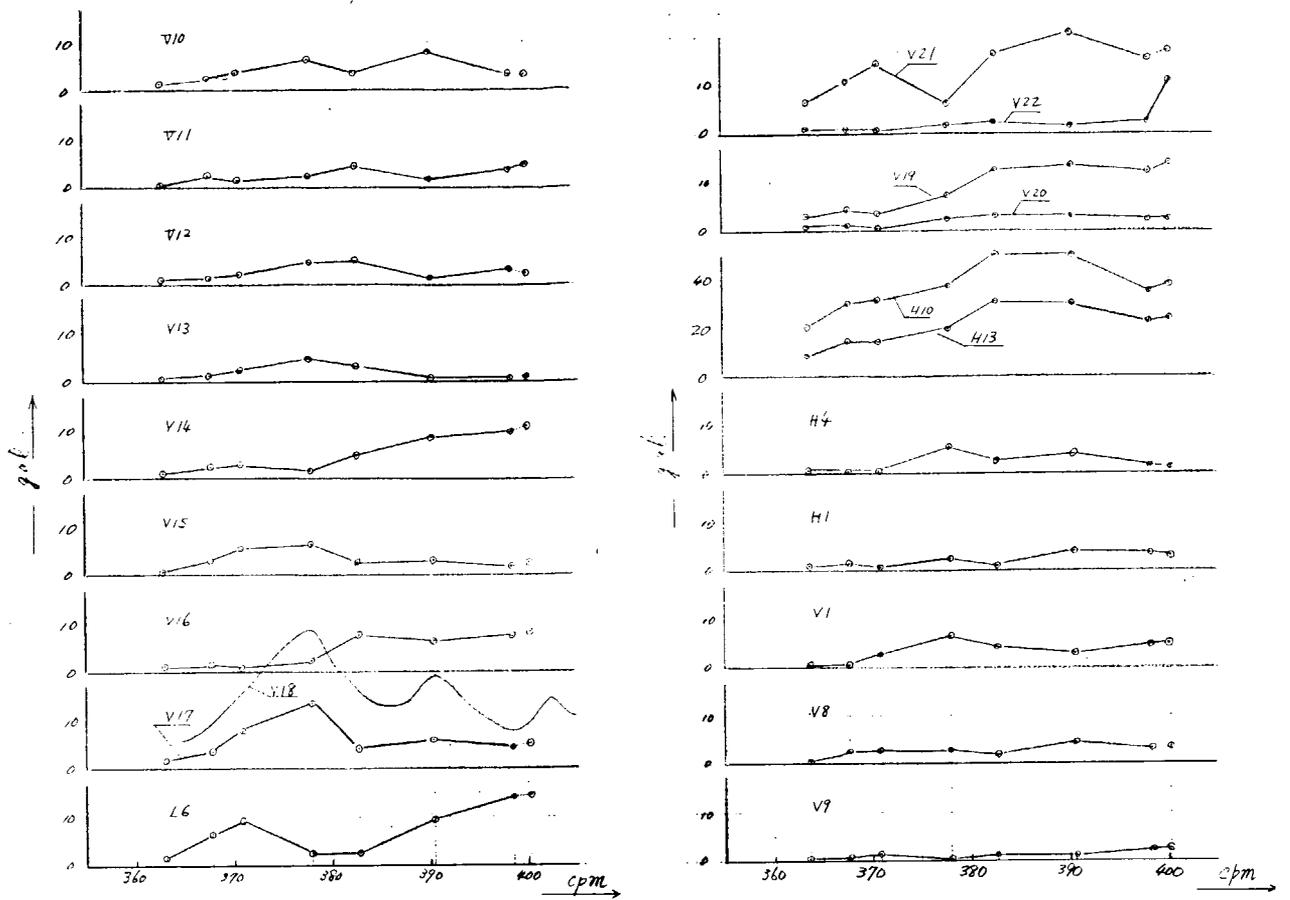


Fig. 1.1.27 360~400cpmの各部共振曲線

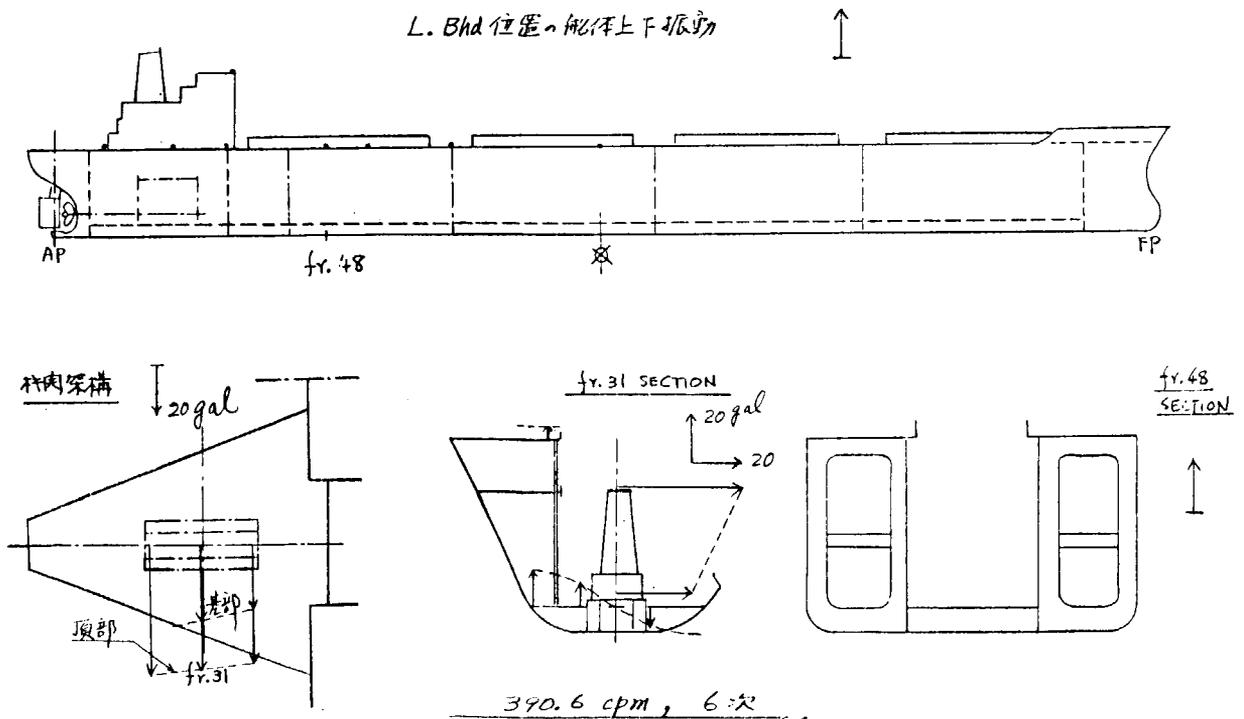


Fig. 1.1.28 機関H型共振時のモード曲線

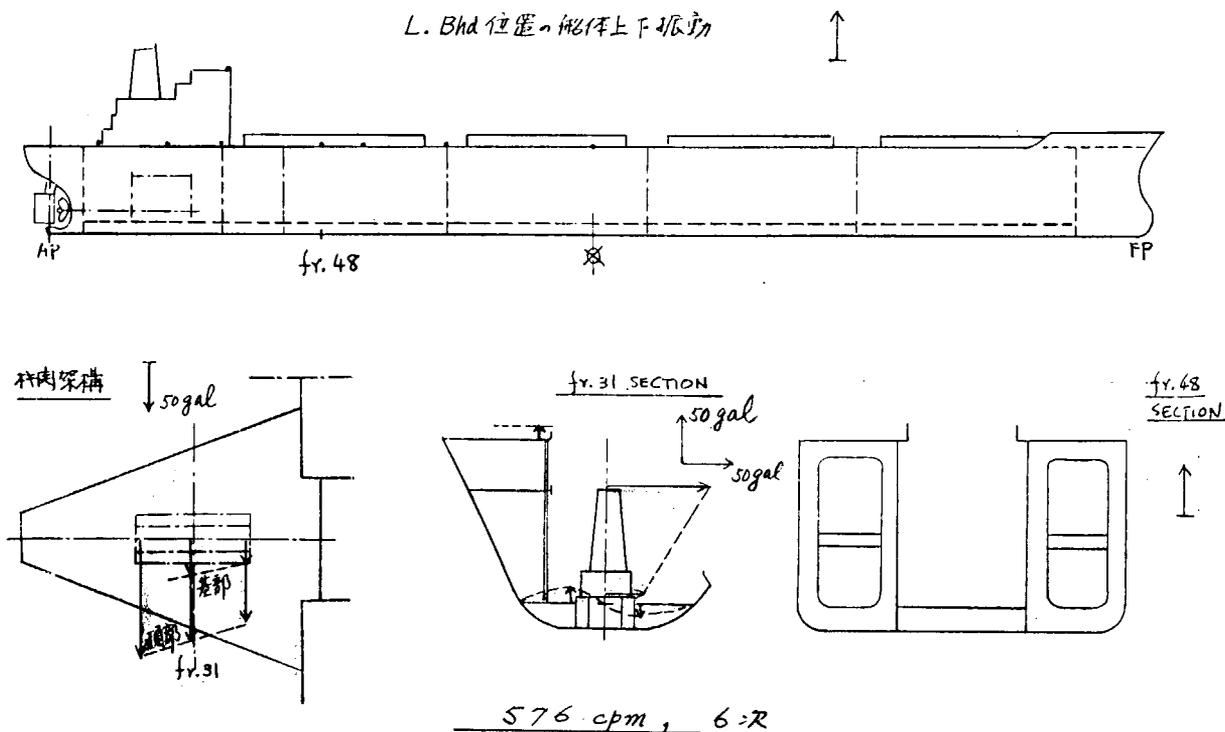


Fig. 1.1.29 機関H型共振時のモード曲線

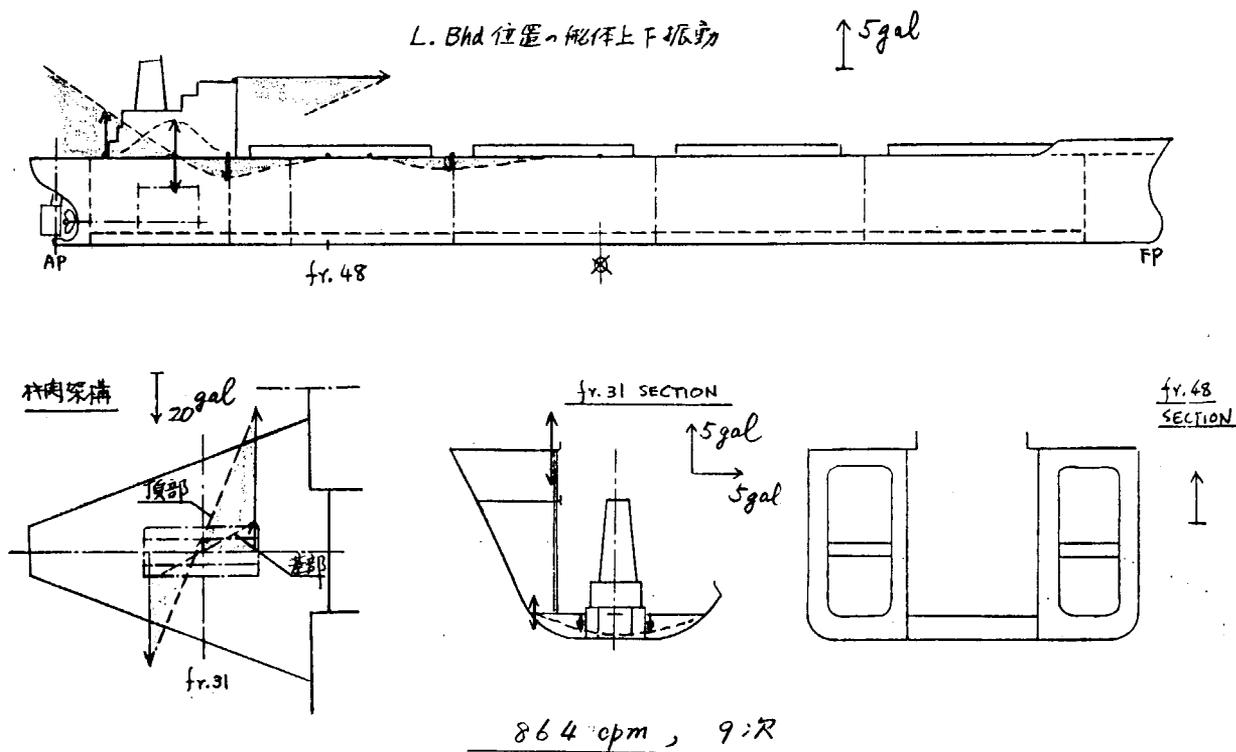


Fig. 1.1.30 機関X型共振時のモード曲線

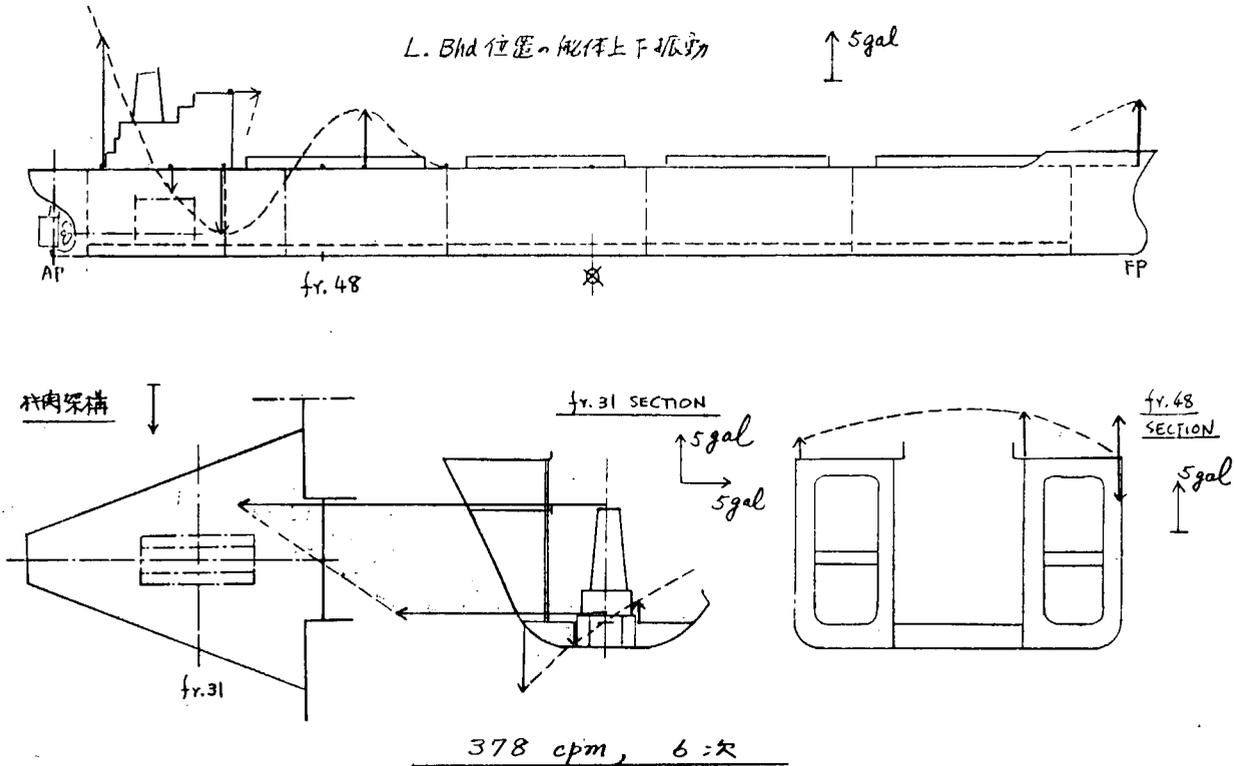


Fig. 1. 1. 31 船体上下振動のモード曲線

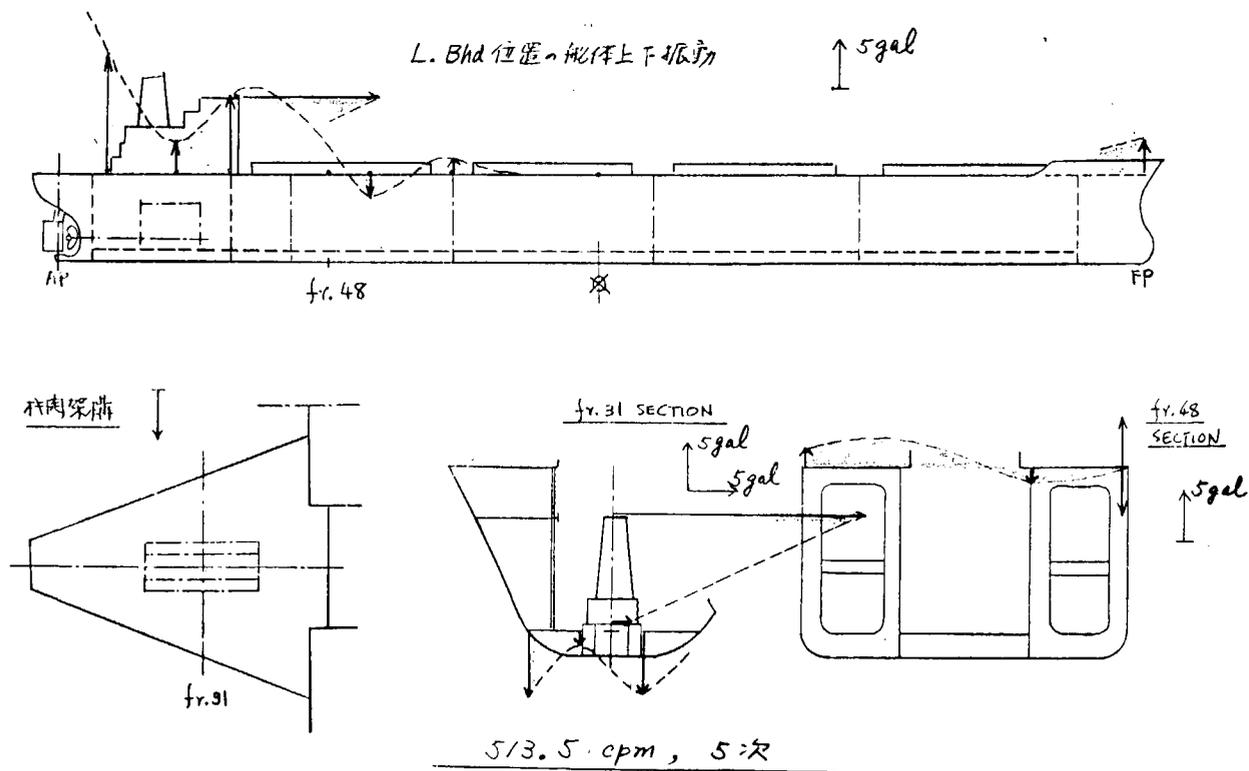


Fig. 1. 1. 32 船体上下振動のモード曲線

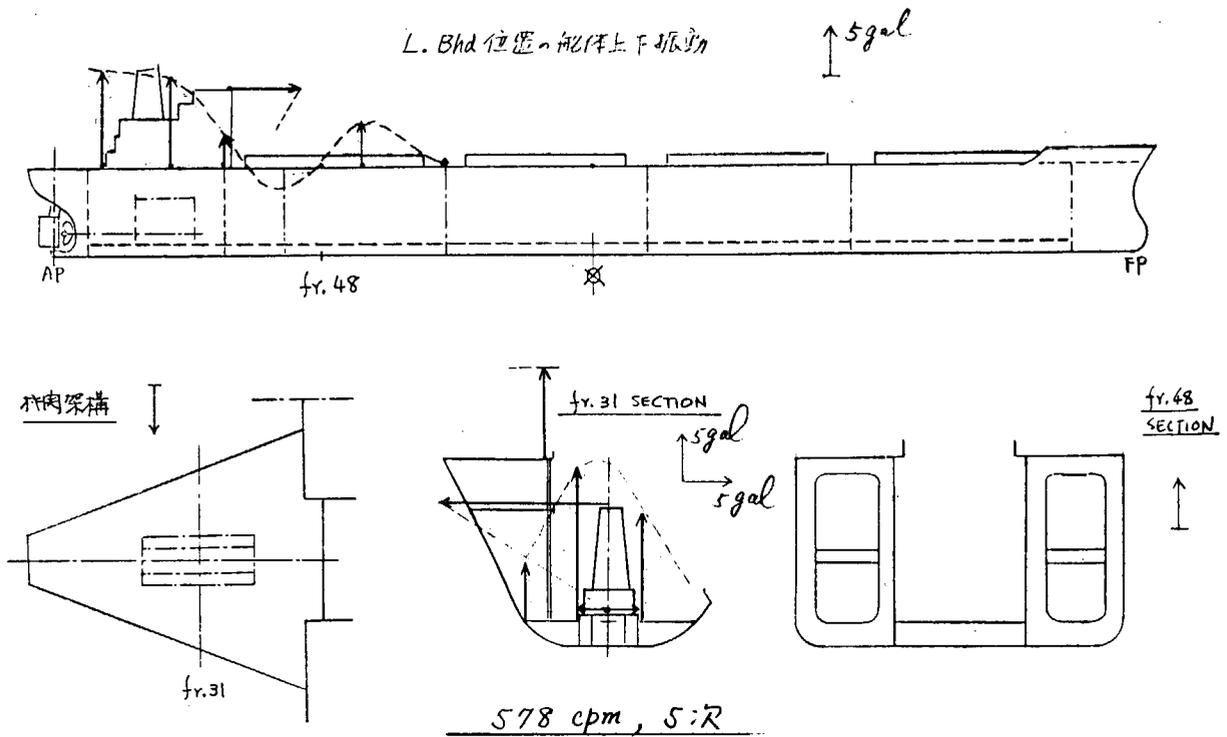


Fig. 1.1.33 船体上下振動のモード曲線

1.2 波浪による船体振動

1.2.1 Springingに関するデジタルデータ解析結果

(1) 八角航走試験結果

浪との出会角と船体の応答との関連を調査するために実施した八角航走試験 (Test # ② 45年10月27日) に対するアナログ記録データの解析結果は、既に46年度の報告に記載されている通りであるが、本報告ではデジタル記録データの解析を行った結果、アナログ記録データの解析と同様な結果が得られた。

船中央部上甲板縦通隔壁位置における縦曲げ応力 (S_2) のパワースペクトラム密度を Fig. 1.2.1.1 に、再成波形を Fig. 1.2.1.2 に、自己相関関数を Fig. 1.2.1.3 に例示する。これらの図から迎え波に於いて振動が成長する様子が良く判る。出会角による波浪曲げ応力及び振動応力のパワースペクトラム密度の値の変化は、後述する頻度解析の結果と共に Fig. 1.2.1.8 に示している。

(2) 極大値頻度への計数結果

低周波数成分と高周波数成分が共存する不規則振動の場合には、極大値の確率密度関数は次式で表わされるといわれている。¹⁾

$$P_Z(z, \alpha) = \frac{\sqrt{1-\alpha}}{\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{z^2}{2(1-\alpha)}\right] + \frac{z\sqrt{\alpha}}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left\{ z\sqrt{\frac{\alpha}{2(1-\alpha)}} \right\} \right] \cdot \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] \quad (1.2.1.1)$$

ここに、 α は次式で定義されるパラメーターである。

$$\alpha = \frac{(\phi_0^{(2)})^2}{\phi_0 \phi_0^{(4)}} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad (1.2.1.2)$$

$$\phi_0^{(n)} = \int_0^\infty \omega^n S(\omega) d\omega$$

(1.2.1.1)式より、累積分布関数として次式が得られる。

$$F_Z(z, \alpha) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left\{ \frac{z}{\sqrt{2(1-\alpha)}} \right\} \right] - \frac{\sqrt{\alpha}}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left\{ \frac{z\sqrt{\alpha}}{\sqrt{2(1-\alpha)}} \right\} \right] \cdot \exp \left[\frac{-z^2}{2} \right] \quad (1.2.1.3)$$

なお、 z はRMSによって無次元化された極大値である。本船の計測結果より、船中央縦曲げ応力(S_2)の極大値頻度を計数し、無次元化表示に改めて、上記の理論分布関数と比較して、Fig. 1.2.1.4に示した。なお、経過頻度が正規分布($\alpha = 0$)とはほぼ一致することはFig. 1.2.1.5に示されている。

Fig. 1.2.1.4より、計測結果が理論計算に一致するパラメーター α の値は概略 $\alpha = 0.2$ 前後であることが判る。即ち、本船の場合には、縦曲げ応力の極大値の短期分布は、(1.2.1.1)式、(1.2.1.3)式において $\alpha \approx 0.2$ として与えられる。

一方、同一の計測波形のパワースペクトラム密度から(1.2.1.2)式を用いて求めたパラメーター α の値をTable 1.2.1.1に示す。パワースペクトラム密度より求めた α の値は $\alpha = 0.01 \sim 0.02$ 程度であり振動応力の影響が過少評価されていることが判る。極大値頻度の計数結果より極大値の2乗平均値 E を求めてTable 1.2.1.1に示している。これら計数結果と風力等の関係については後述する。

(3) 振巾頻度によるSpringing Stressの検討

46年度に本部会において作成されたデータ解析プログラムにおいてはSpringing Stressのみを単独に取り出す機能は付与されていないので本報告ではSpringing Stressの検討のため、振巾頻度の計数結果を利用した。即ち、Fig. 1.2.1.6に示す如き、Wave Bending StressとSpringing Stressが共存するCombined Stressにおいて、その振巾頻度はSpringing Stressの極大値頻度を与えるものと考えた。計数結果を、前節と同様に理論関数と共にFig. 1.2.1.7に示す。Fig. 1.2.1.7よりSpringing Stressの短期分布はRayleigh分布($\alpha = 1$)になることが確認された。

振巾頻度より、Springing Stressの分散 σ_S^2 (RMSの2乗)、 $\sqrt{2\sigma_S^2 \sqrt{\log_e N}}$ を求め $\sqrt{2\sigma_S^2 \sqrt{\log_e N}}$ を計算最大値として計測値と比較し、Table 1.2.1.1に示した。更に $\sigma_W^2 = \sigma^2 - \sigma_S^2$ 、 $\sqrt{2\sigma_W^2 \sqrt{\log_e N}}$ よりWave Bending Stressを求め、combined Stress σ_C 、Springing Stress σ_S 、Wave Bending Stress σ_W の関係 $\sigma_C / (\sigma_S + \sigma_W)$ および $\sigma_C / \sqrt{(\sigma_S)^2 + (\sigma_W)^2}$ を求めてTable 1.2.1.1に示した。

Table 1.2.1.1に示された諸数値間の関係についてFig. 1.2.1.8に図示した。図より風力と船体応答との関係はさほど強い傾向はみられないが風力階級と共に若干応答は増加している。また当然ながら E の増加と σ^2 の増加の間には強い相関が認められるが σ^2 と σ_S^2 の間には明瞭な相関は得られなかった。

Springing Stressの最大値はCombined Stressの最大値の増加と共に増加傾向を示しているが平均 1/3 程度である。計測された最大値は 1.15 Kg/mm^2 である。 $q_c / (\sigma_s + \sigma_w)$ はばらつきが大きいが $0.7 \sim 1.2$ 程度、 $\sigma_c / \sqrt{(\sigma_s)^2 + (\sigma_w)^2}$ は $1.0 \sim 1.5$ 程度である。

波との出会角による応答は、全般的にみて、迎え波において応答が大きい、Springing Stressの増加の割合はWave Bending Stressに比較して特に急激であって、追い波の場合、Wave Bending Stress に対しわずかに1%のSpringing Stress が迎え波では20%を越えている。

なお、Table 1.2.1.1の α' とは、パワースペクトラム密度より求められる α に代えて次式によって求めたものである。

$$\alpha' = \frac{(\sigma_s^2 f_s^2 + \sigma_w^2 f_s^2)^2}{\sigma^2 (\sigma_s^2 f_s^4 + \sigma_w^2 f_w^2)} \quad (1.2.1.4)$$

ここに f_s は船体の上下2節振動数、 f_w は波との出会振動数、 σ^2 はCombined Stressの分散、 σ_s^2 はSpringing Stressの分散、 σ_w^2 はWave Bending Stressの分散である。

α' の計算値は、パワースペクトラム密度より求めた α より大きく、極大値頻度より求められた α (Fig. 1.2.1.4) に近い値を与えることが判る。

また、本節で行なった如き、振巾頻度によるSpringing Stressの検討は、振動波形にSpringing Frequencyより高い周波数を持つ成分が含まれている場合 (Fig. 1.2.1.9(a)) には、高周波成分を計数することになるので正しい結果は得られない。また、Springingに比較して低周波数を持つ成分が特に大きい場合 (Fig. 1.2.1.9(b)) には、Springingの極値が低周波数成分の影響で消えてしまい、振巾頻度として低周波数の大振巾を計数することになってSpringing Stressを過大評価することになる。このため、本報告では極大値頻度の最大値より大きな振巾頻度の計数結果は無視して σ_s^2 を求めた。従ってこの様な場合にはSpringing Stressの最大計測値(振巾頻度の最大値)は、 σ_s^2 より計算された推定最大値より大きくなった。Combined Stressとの比較では計算値を使用した場合も()でTable 1.2.1.1に示している。なおこの様な場合には一般に前記のパラメータ α' が他に比較して小さくなっている。

上記の計算を通じて本解析のデータ長(約150秒)はかなり短いと思われた。

(4) 船速とSpringing Stress

変速時応力計測試験 (Test # 5 C) のデータより、主軸の回転数90 rpm、100 rpm、110 rpm、120 rpmにおけるSpringing StressのRMSを求めた。又、本船の就航実績より、主軸回転数と船速との関係を求め、Springing Stressとの関連をFig. 1.2.1.10に示した。Springing Stressは、船速の2乗及び3乗の曲線に沿って船速と共に増加しているがhump, hollowがみられる。

(5) 船体外板上の水圧分布の検討

Test # 7 B₁において計測された波浪中振動の計測波形をFig. 1.2.1.11に示す。なお V_2 は船首部上下加速度、 S_2 は船中部縦曲げ応力、 P_{12} は球状船首側外板での水圧、 P_3, P_7, P_8, P_9 は船底の水圧である。これらの計測波形のパワースペクトラム密度をFig. 1.2.1.12に示す。 V_2 のパワースペクトラム密度には、振動波形からはなかなか判り難い3節振動、4節振動まで認められる。水圧計測結果のパワースペクトラム密度は、低レベルまで考察出来る様に対数目盛にして示している。Spring-

ing Frequency で船底水圧には付加水質量効果による水圧が現われているが、それ以外の周波数域は、波との出会い周波数域に比較して値が小さく、又特に卓越したパワーはなく、風波のパワースペクトラム密度は広い周波数範囲にわたって分布し、高周波数になる程レベルが下がっていることが判る。

各計測点によって水圧のパワースペクトラム密度のレベルに差があり、 P_8 , P_9 , P_3 , P_7 , P_{12} の順になっている。全般的にレベルの高い P_8 には他の計測点と異った様子が観察される。即ち波出会周波数域 (0.12 ~ 0.23 Hz) のほぼ整数倍毎にレベルが高くなっており、Springing は丁度 5 倍の周波数域に合致している。このことは船体運動周波数の整数倍の起振力の存在を示唆しているものとも考えられるが、尙データ処理上の精度の問題も残っており今後の追試が必要と思われる。

出会周波数から波長を逆算すると出会角 $\theta = 30^\circ \sim 45^\circ$ で 70 ~ 180 m (平均 120 ~ 130 m) となる。(Fig. 1.2.1.13 参照)

一方、 P_8 , P_9 の分散 (Table 1.2.1.1) より相対的な有義波高を求めると 2 ~ 3 m となる。

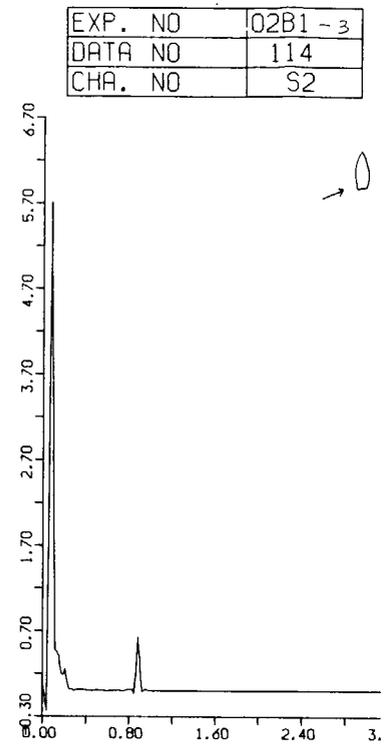
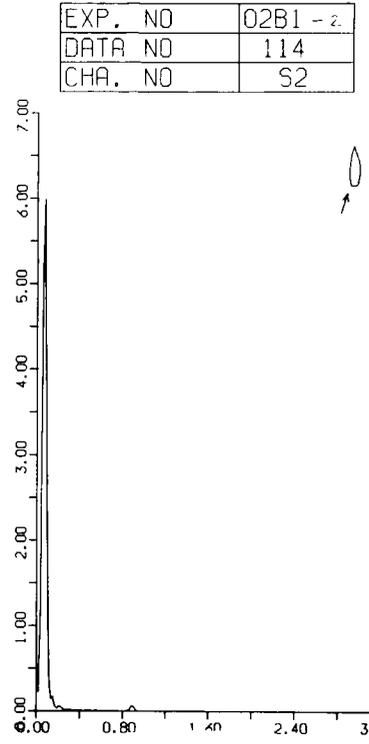
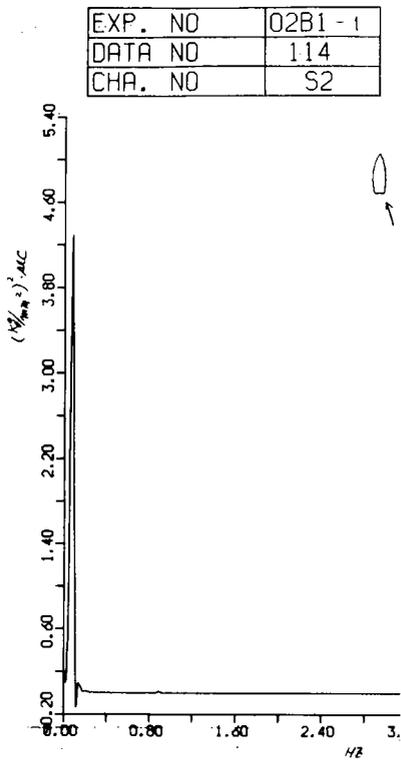
これに対し、目視の記録では、波長 50 ~ 60 m、波高 1.5 ~ 2 m としている。出会周波数より逆算された波長と船長の比は約 0.75 程度故、船長に沿っての水圧分布計測結果を、模型実験による船側波高の計測結果²⁾と比較して Fig. 1.2.1.14 に図示した。Fig. 1.2.1.14 は船中央部の P_8 における値を基準に船長に沿っての分布を比で示したもので模型船の船側波高が船首部において大きいのに反し、実船の計測水圧は船中央部に比較して小さくなっている。この原因は実船の水圧計測が主として船底に作用する水圧変動を計測しているため、船中央部の船底水圧が船側波高による水圧以上に船体運動の影響を大きく受けていると思われ、この結果見かけ上船中央部に対し船首部の水圧が小さくなっている。従って、今後 Springing の起振力を水圧計測によって検討する場合には、水圧計の取り付け位置に対する考察を十分行う必要がある。

参 考 文 献

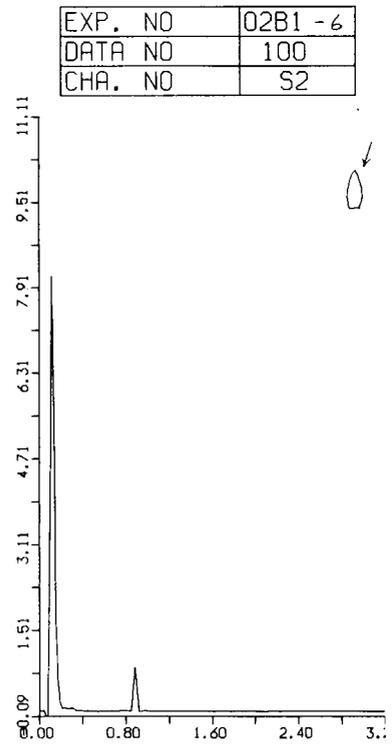
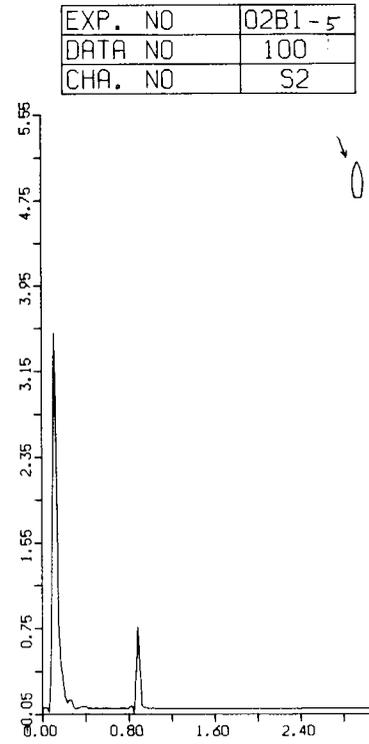
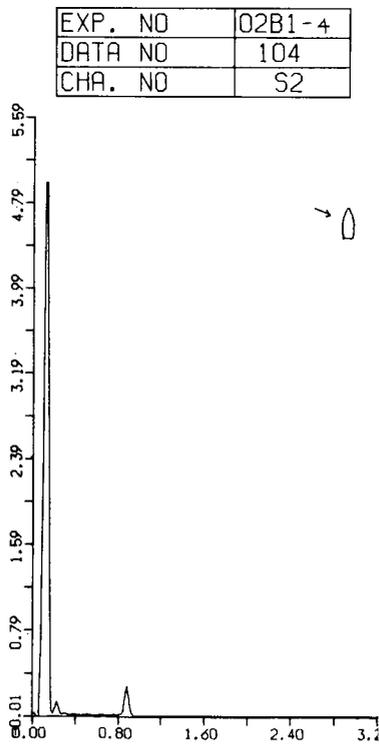
- 1) M. D. Miles "On the Short-term Distribution of the Peaks of Combined Low Frequency and Springing Stress" SNAME
- 2) Kumai, Rep. of Res. Inst. of Appl. Math. Kyushu Univ. vol. XXI No. 66 (1973)

Table 1. 2. 1. 1

TEST %	PT	σ^2	α	PEAK C			RANGE C		MAX. (MEAS.)		meas/cal of Springing	Combined /sum	Combined /root	α'
				N	E	N	σ^2	Combined 片振り	Springing 片振り () 計算					
2 B 1-1	S ₂	0.36190	0.00030976	44	0.57147	40	0.004	1.3000	0.6000 (0.172)	3.4927	0.83264 (1.147)	1.147 (1.331)	0.03324	
2 B 1-2	S ₂	0.64730	0.0006749	56	0.70250	56	0.012634	1.6000	0.7500 (0.319)	2.3517	0.73150 (0.911)	0.987 (1.087)	0.038955	
2 B 1-3	S ₂	0.55310	0.002509	70	0.81932	70	0.048634	2.1000	1.0000 (0.643)	1.5556	0.88741 (1.045)	1.240 (1.391)	0.10358	
2 B 1-4	S ₂	0.62320	0.0013995	68	0.86104	66	0.032699	1.9000	0.9000 (0.523)	1.7194	0.76654 (0.904)	1.046 (1.142)	0.085879	
2 B 1-5	S ₂	0.43500	0.0032787	65	0.52892	66	0.064744	2.1000	1.0000 (0.737)	1.3577	0.93331 (1.057)	1.312 (1.447)	0.17638	
2 B 1-6	S ₂	0.82000	0.0020995	63	1.1304	61	0.074534	2.4000	1.1500 (0.783)	1.4691	0.83036 (0.951)	1.151 (1.258)	0.12123	
2 B 1-7	S ₂	0.40730	0.0010963	60	0.61485	58	0.01583	1.5000	0.7000 (0.356)	1.9524	0.77105 (0.935)	1.0500 (1.157)	0.074255	
2 B 1-8	S ₂	0.41280	0.0007684	63	0.54956	62	0.0082157	1.5000	0.7000 (0.260)	2.6880	0.79664 (1.039)	1.091 (1.238)	0.039267	
7 B 1	S ₂	0.12950	0.020051	125	0.22842	121	0.035011	1.2000	0.5750	0.99225	0.88735	1.2411	0.33184	
	P ₃	0.002704	0.005048	115	0.0033772	101	0.0000984	0.1200						
	P ₉	0.005495	0.020555	178	0.0074299	171	0.000712	0.2125	0.1000 (0.085)	1.1686	0.7562 (0.797)	1.028 (1.061)	0.1906	
7 B 1-1	S ₂	(0.12950)	(0.020051)	12	0.49634	10		1.1000	0.5250					
7 B 1-2	S ₂	(0.12950)	(0.020051)	13	0.12563	10		0.5600	0.2700					
7 B 1-3	S ₂	(0.12950)	(0.020051)	133	0.46011	113	0.075091	1.6000	0.7500	0.89010	1.19980	1.5611	0.61399	
7 B 1-4	S ₂	(0.12950)	(0.020051)	127	0.26662	104	0.059038	1.1000	0.5250	0.70894	0.93206	1.1125	0.50049	
7 B 1-5	S ₂	(0.12950)	(0.020051)	132	0.44781	127	0.10067	1.7000	0.8001	0.81007	1.3791	1.5767	0.79529	
1 2 B ₁	S ₂	0.10381	0.003467	68	0.1602	66	0.01663	0.8500	0.4000 (0.373)	1.0715	0.78808 (0.808)	1.0791 (1.098)	0.2424	
1 5 B ₁	S ₂	0.04514	0.001635	46	0.08391	40	0.00592	0.6000	0.2900 (0.209)	1.3876	0.86469 (0.979)	1.2067 (1.319)	0.2077	
1 6 B ₁	S ₂	0.02668	0.004086	68	0.04766	66	0.0052125	0.5600	0.1900	0.90913	1.0492	1.4258	0.29285	
1 7 B ₁	S ₂	0.32920	0.0011533	47	0.58694	45	0.029646	1.6000	0.750 (0.475)	1.5787	0.85933 (1.008)	1.193 (1.323)	0.15296	
1 8 B ₂	S ₂	0.3243	0.001644	46	0.3531	42	0.010432	1.8000	0.7000 (0.279)	2.5067	1.0141 (1.329)	1.4033 (1.621)	0.0891	



(a)



(b)

Fig. 1.2.1.1 (a), (b) 八角航走のパワースペクトラム密度

EXP. NO	02B1-7
DATA NO	107
CHA. NO	S2

EXP. NO	02B1-8
DATA NO	106
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 7 14
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PHI*FQ

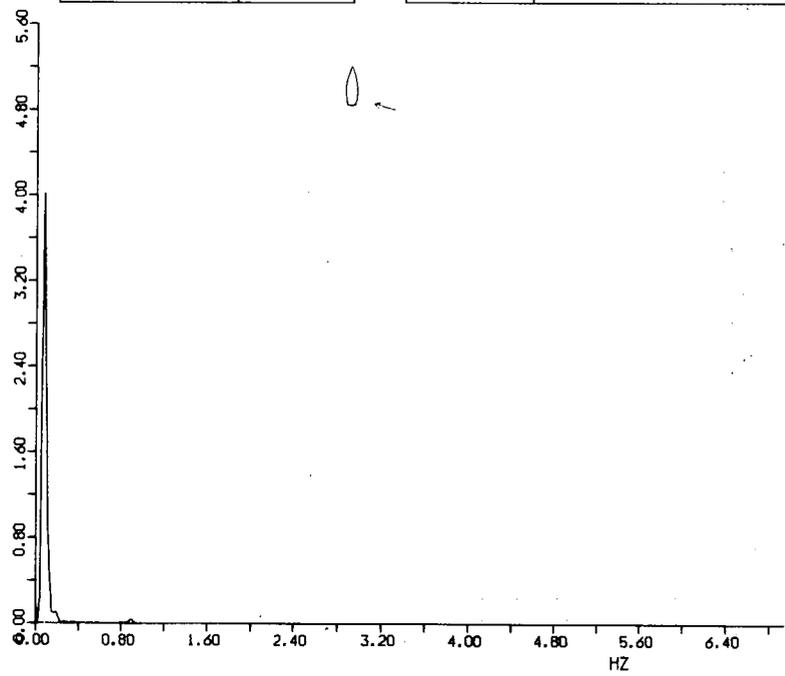
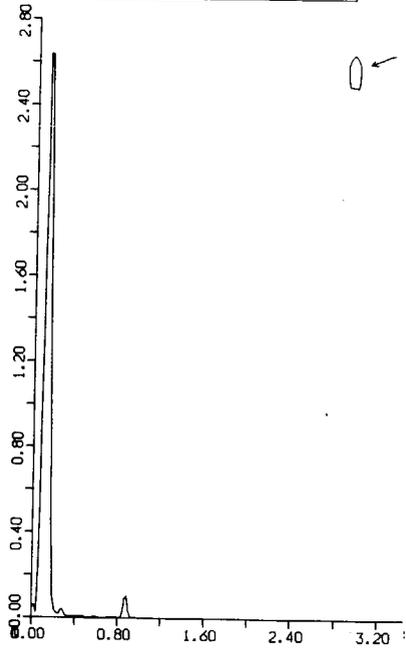


Fig. 1.2.1.1 (o) 八角航走のパワースペクトラム密度

EXP. NO	02B1-1
DATA NO	114
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 7 14.OKT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	1024
T	0.07812

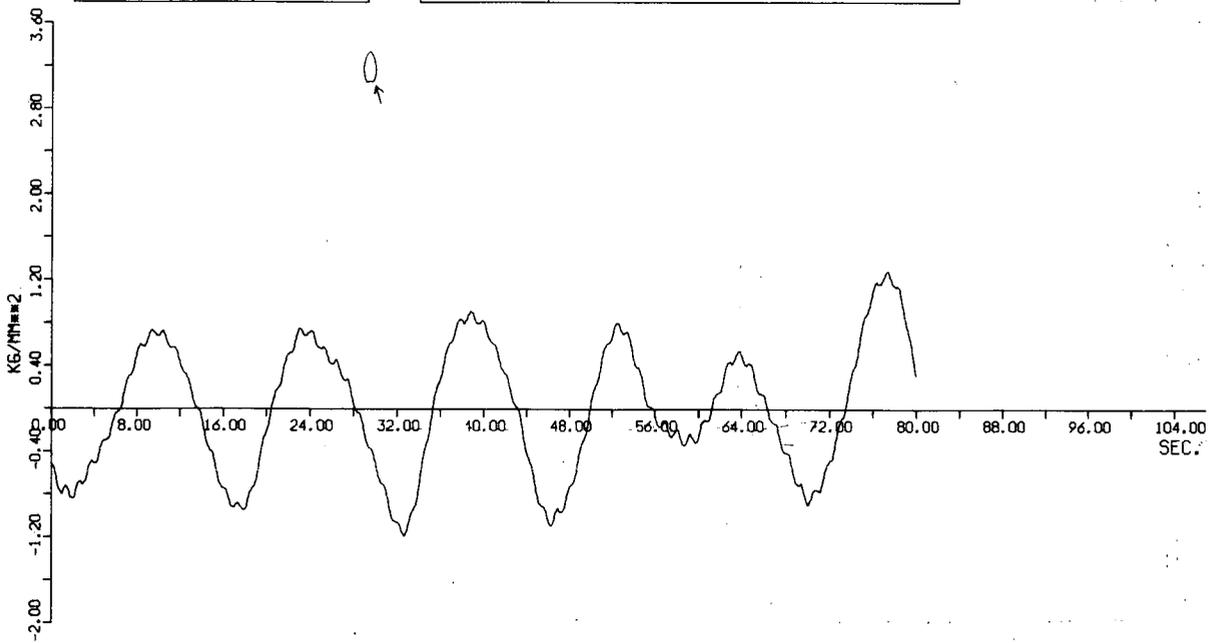


Fig. 1.2.1.2 (a)

EXP. NO	02B1-5
DATA NO	100
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 7 14.0KT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	1024
T	0.07812

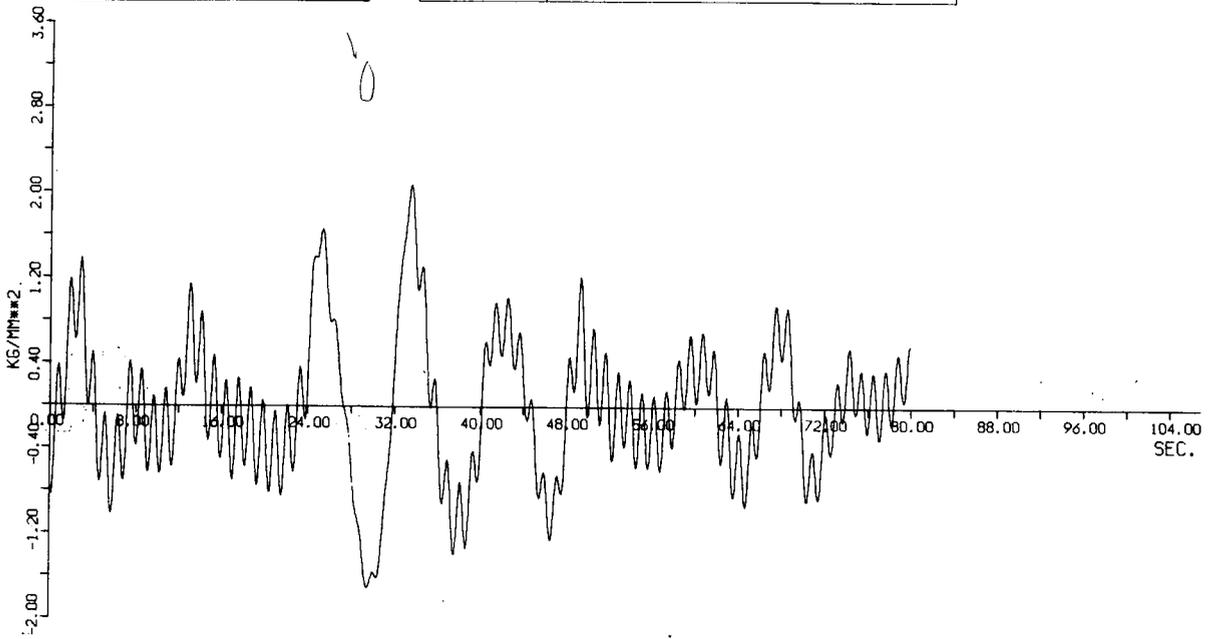


Fig. 1. 2. 1. 2 (b)

EXP. NO	02B1-1
DATA NO	114
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 7 14.0KT
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	342
T	0.07812

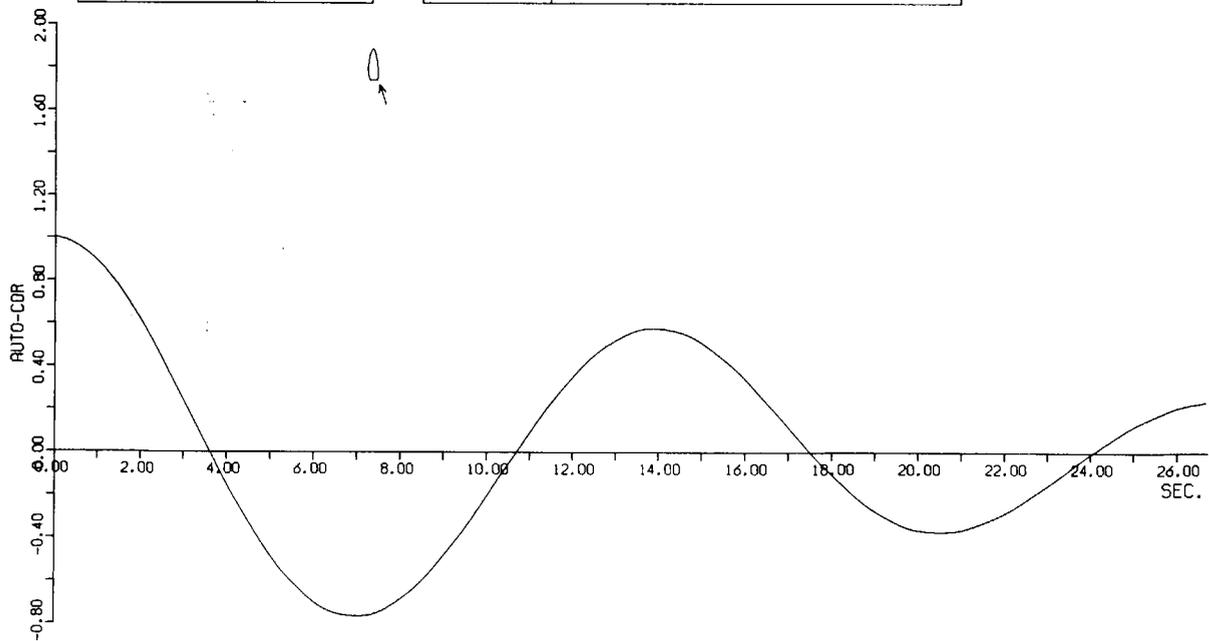


Fig. 1. 2. 1. 3 (a)

EXP. NO	02B1-5
DATA NO	100
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 7 14.0KT
	AUTO-CORRELATION FUNCTION

N	342
T	0.07812

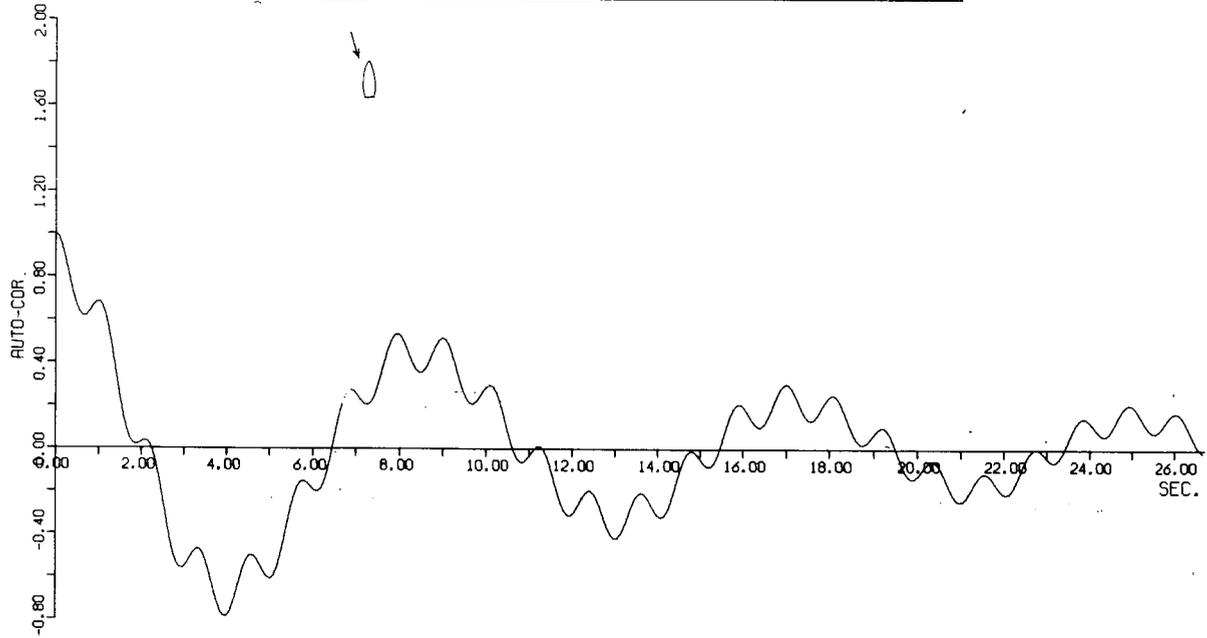


Fig. 1.2.1.3 (b)

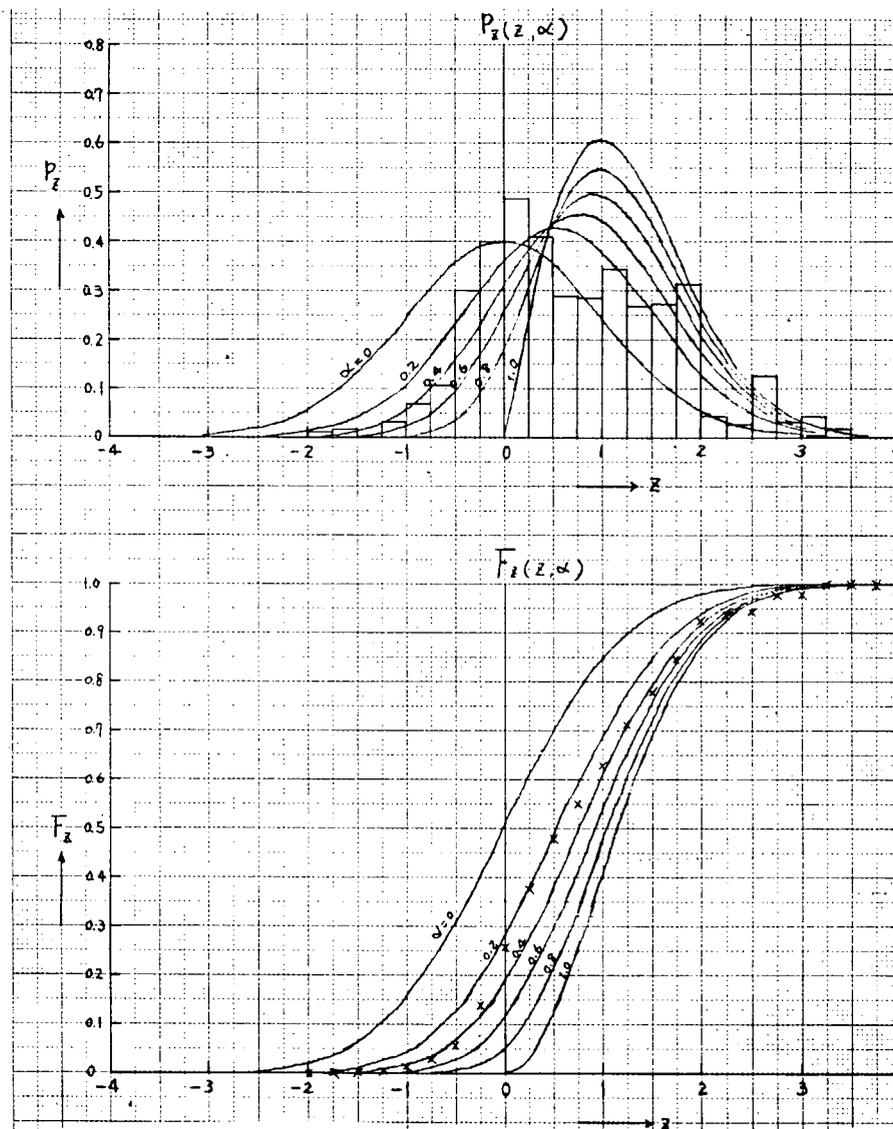


Fig. 1.2.1.4 (a) PEAK COUNT OF S_2 (Test No. 7 B₁)

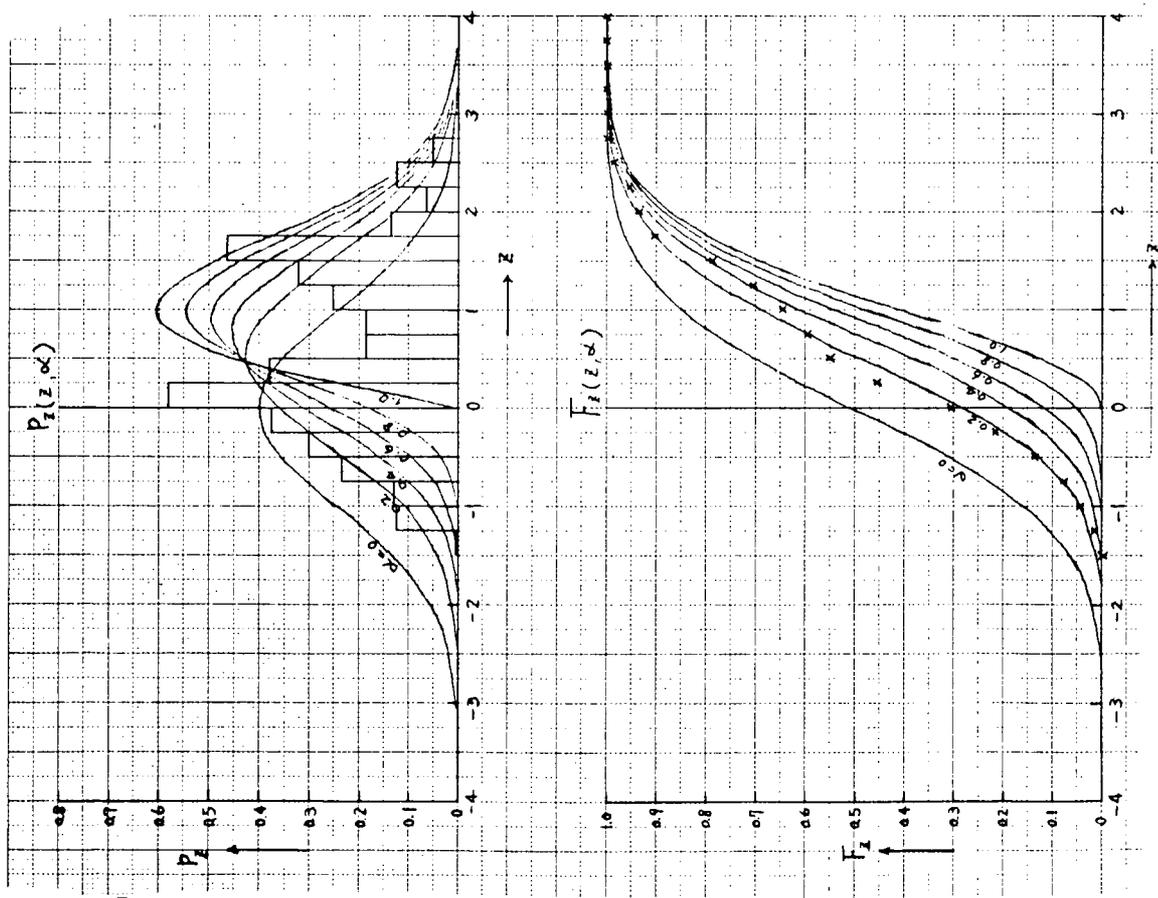


Fig. 1.2.1.4 (b) $S_2(12B_1)$

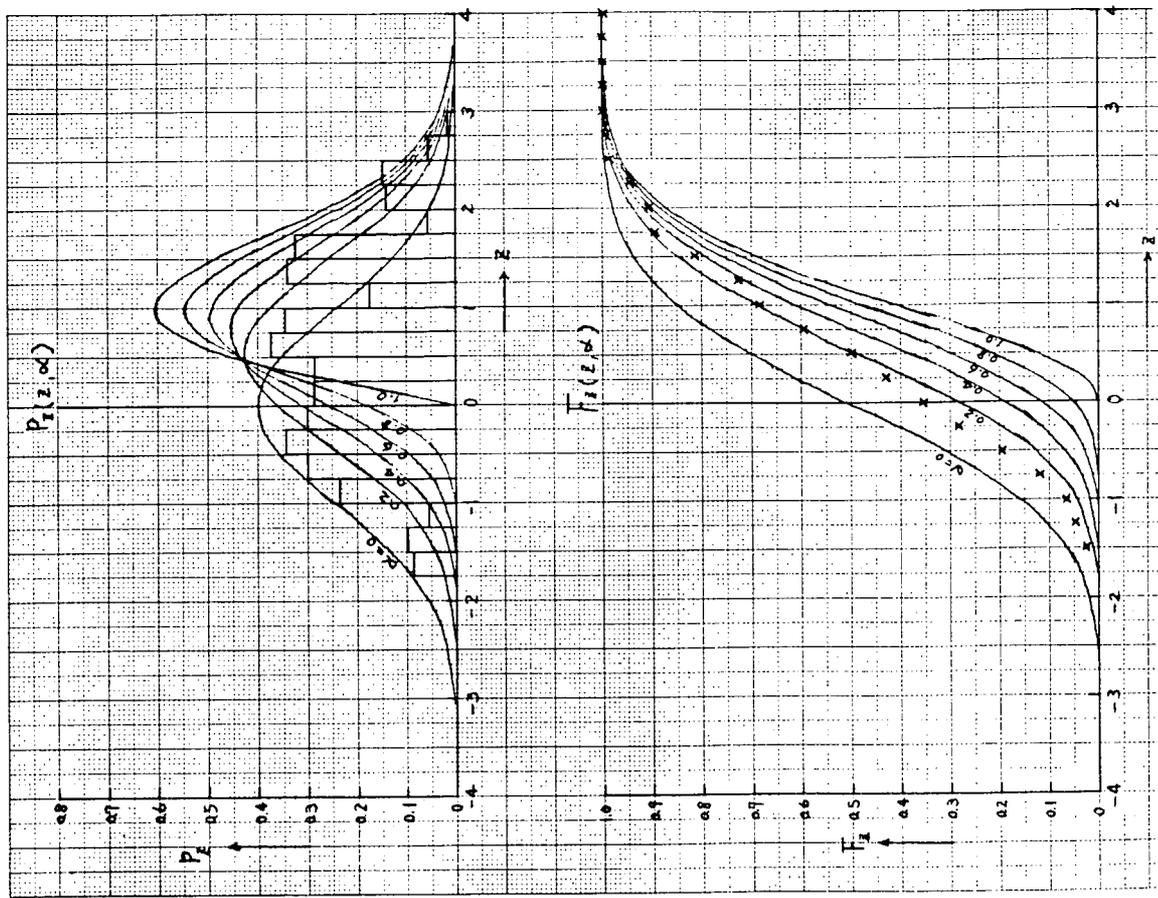


Fig. 1.2.1.4 (c) $S_2(15B_1)$

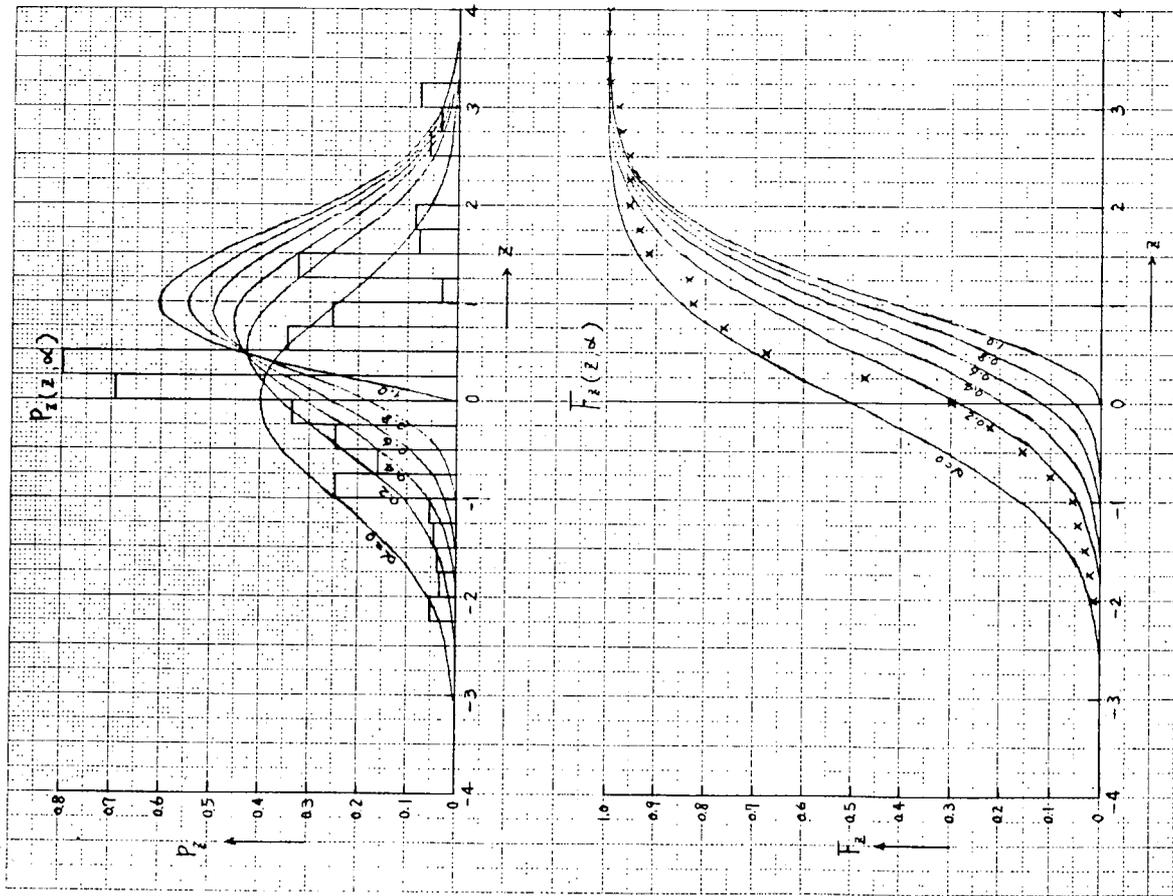


Fig. 1.2.1.4 (e) $S_2(18B_2)$

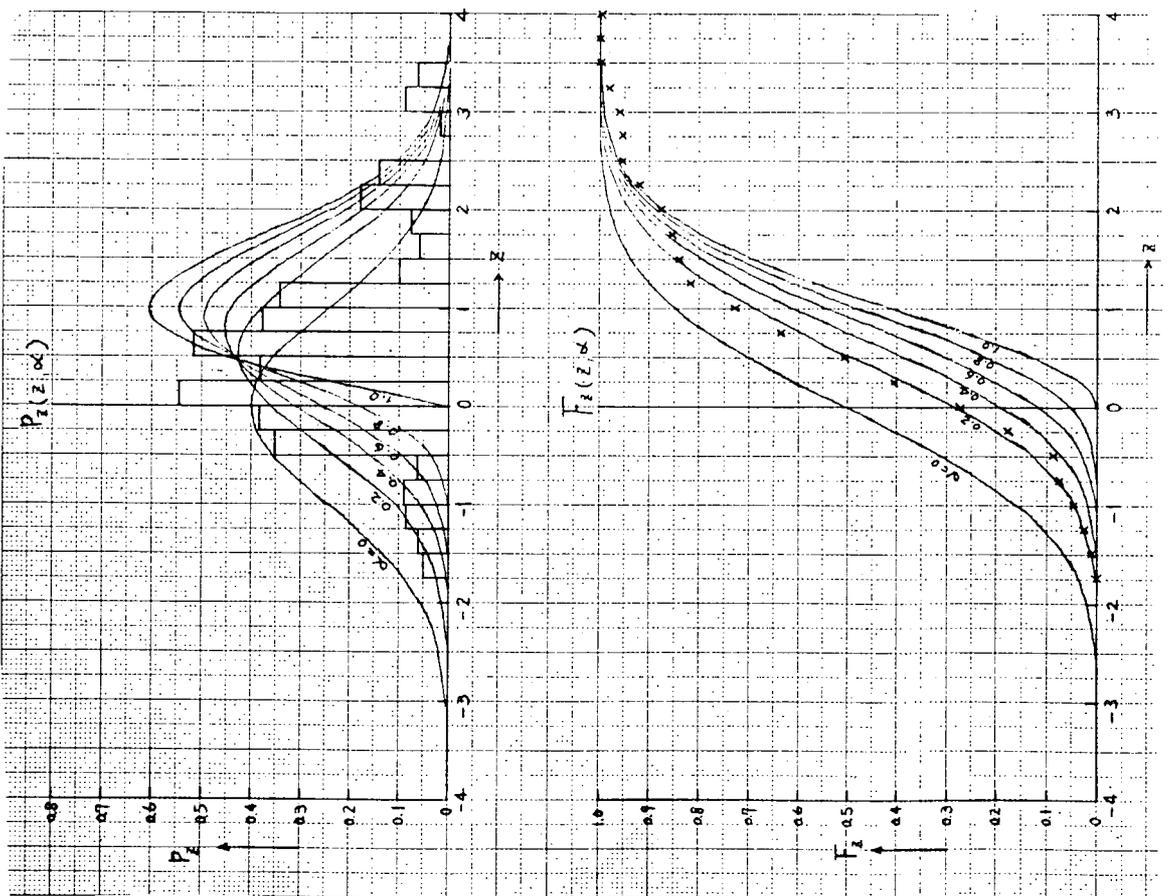


Fig. 1.2.1.4 (d) $S_2(16B_1)$

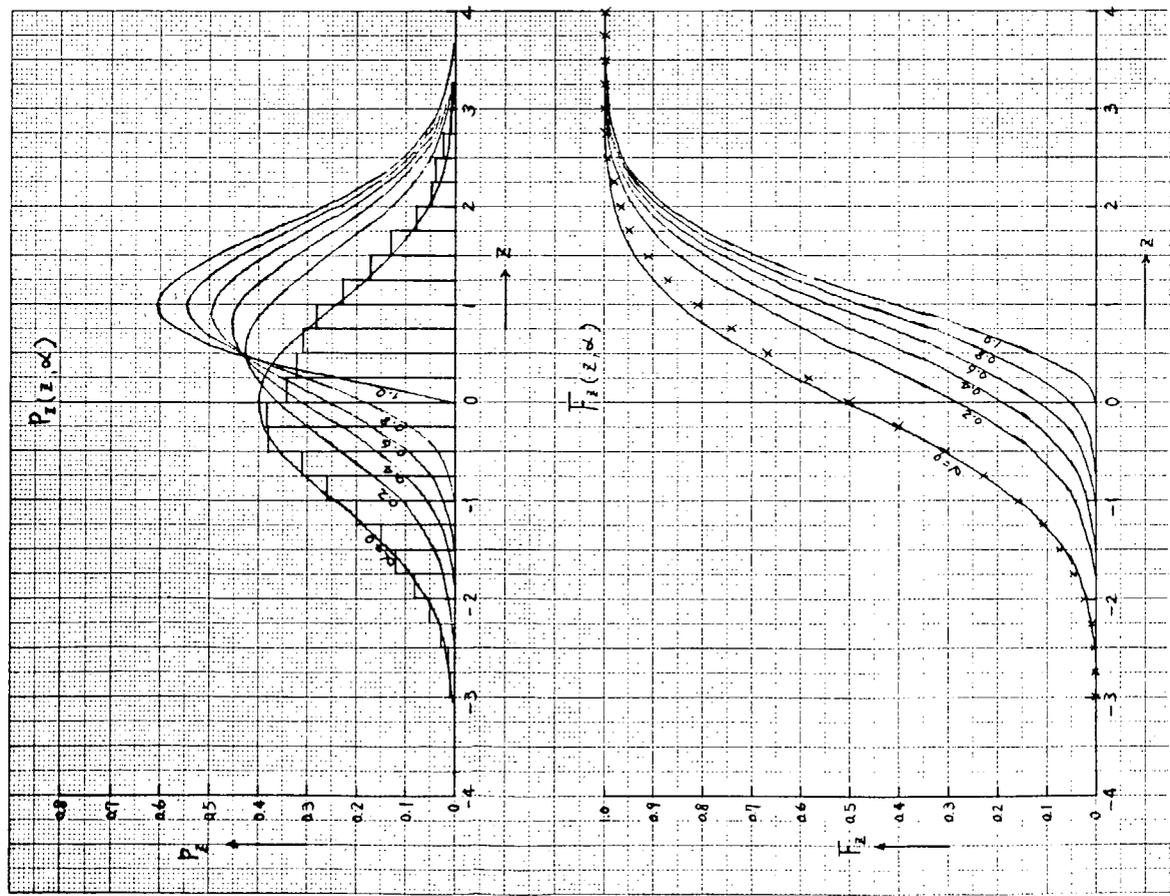


Fig. 1.2.1.5 (a) LEVEL COUNT OF S_2 (Test %7 B_1)

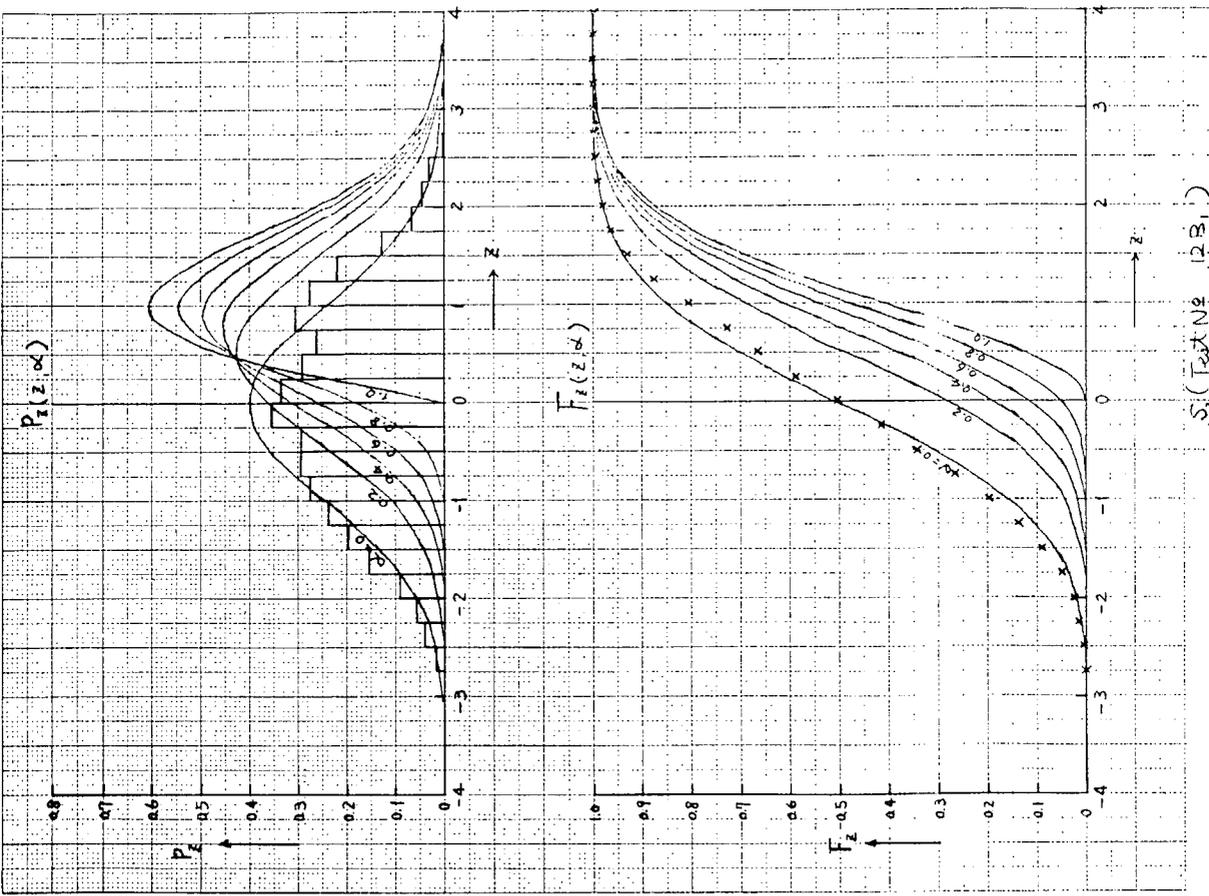


Fig. 1.2.1.5 (b) S_2 (Test %12 B_1)

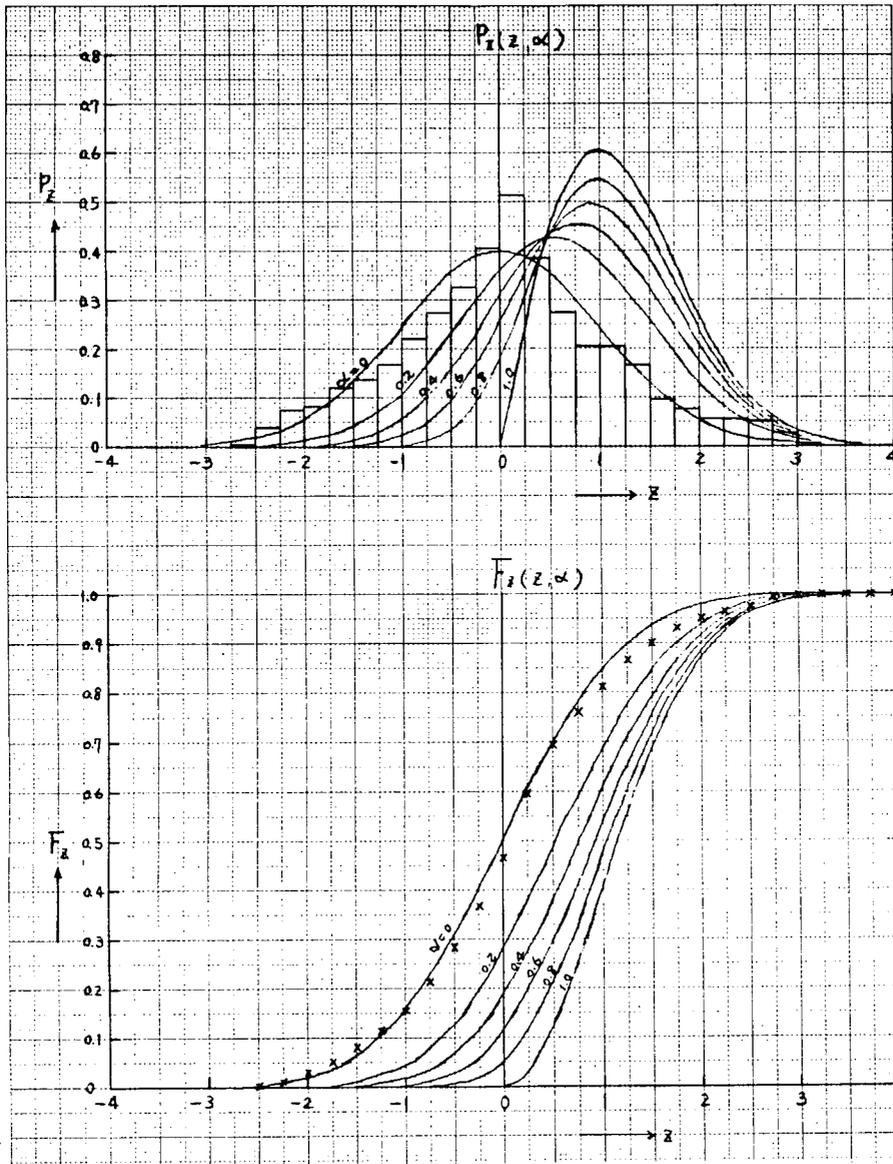


Fig. 1.2.1.5 (c) S_2 (Test №18 B₂)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY OF
	DATA WITH CALIB

N	1024
T	0.15000

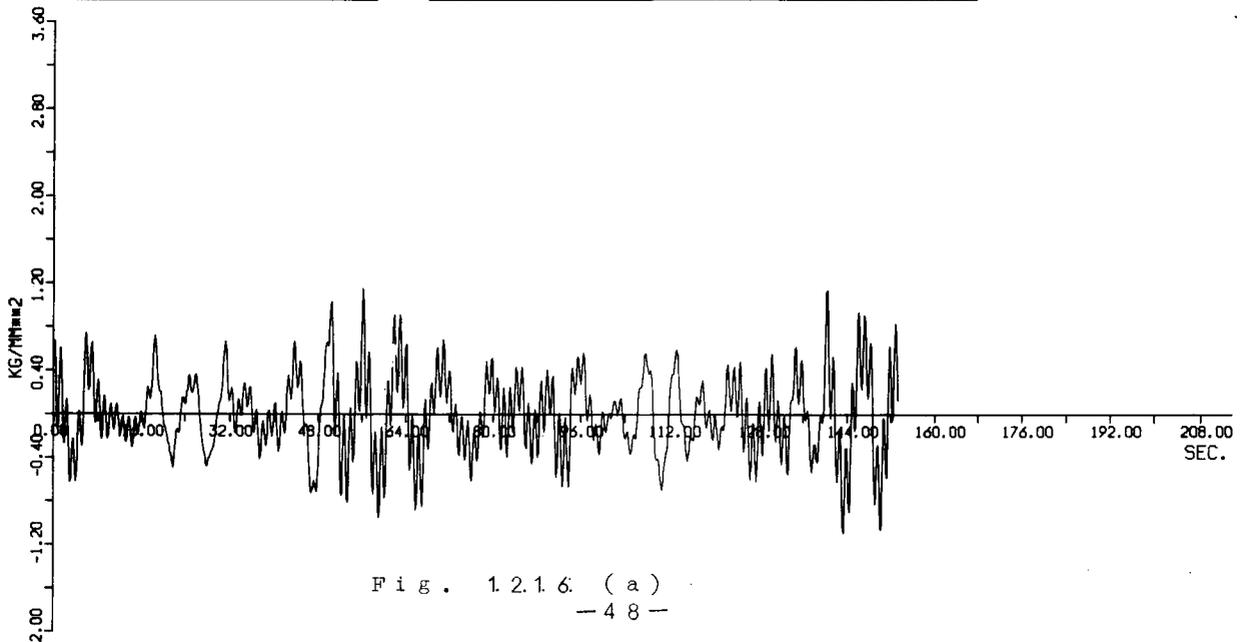


Fig. 1.2.1.6. (a)

EXP. NO	12B1
DATA NO	114
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 6 14.5KT
	TIME HISTORY OF
	DATA WITH CALIB

N	1024
T	0.08437

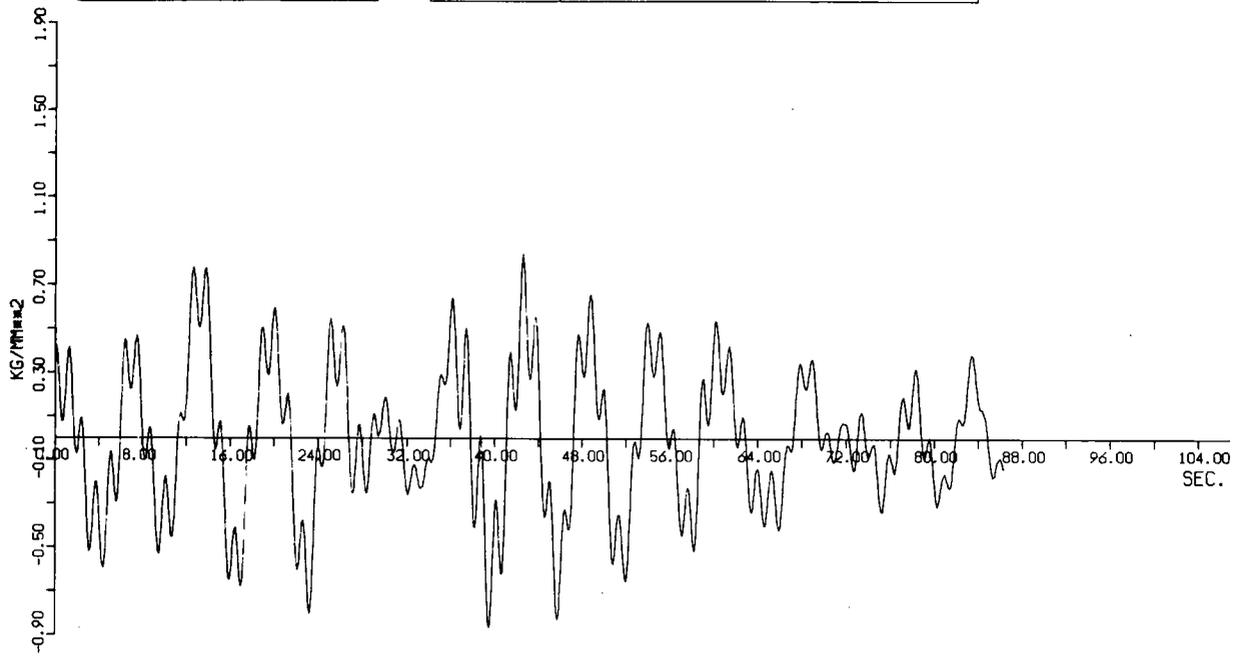


Fig. 1. 2. 1. 6 (b)

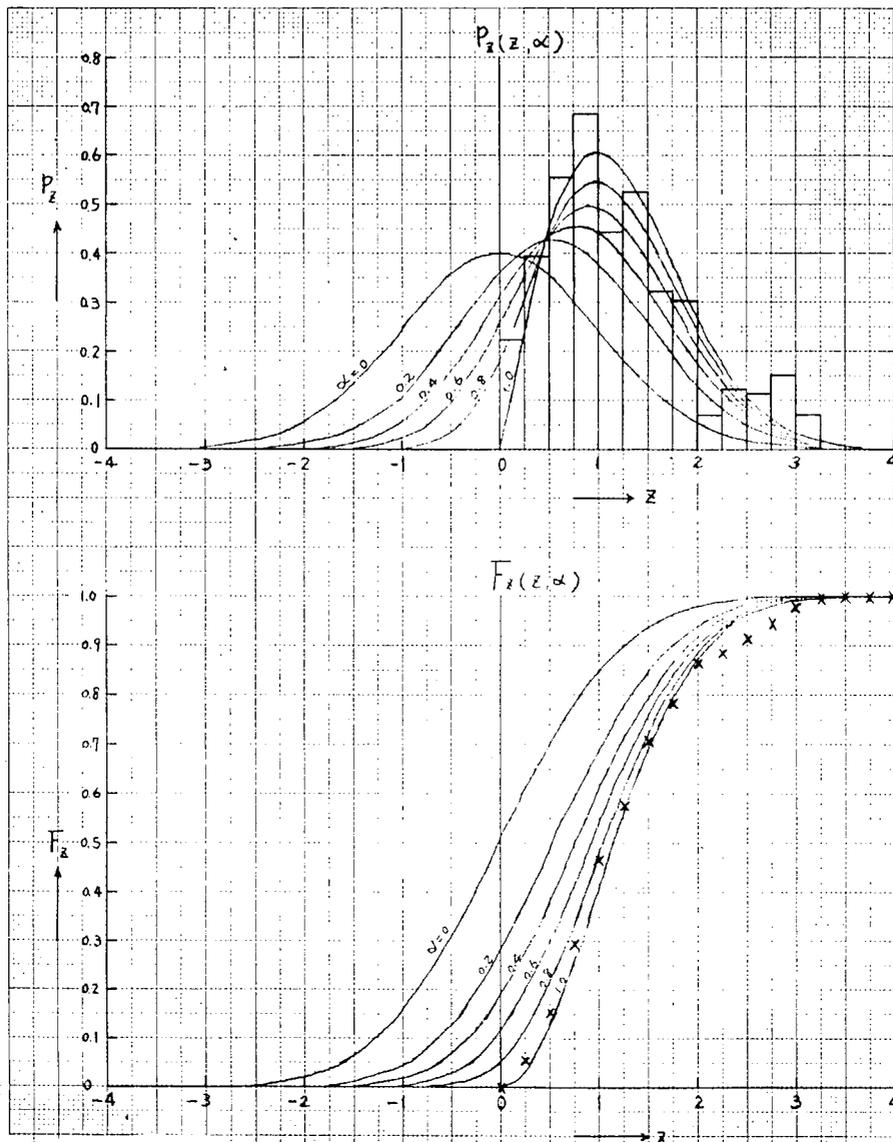


Fig. 1.2.1.7(a) RANGE COUNT OF S_2 (Test No. 7 B₁)

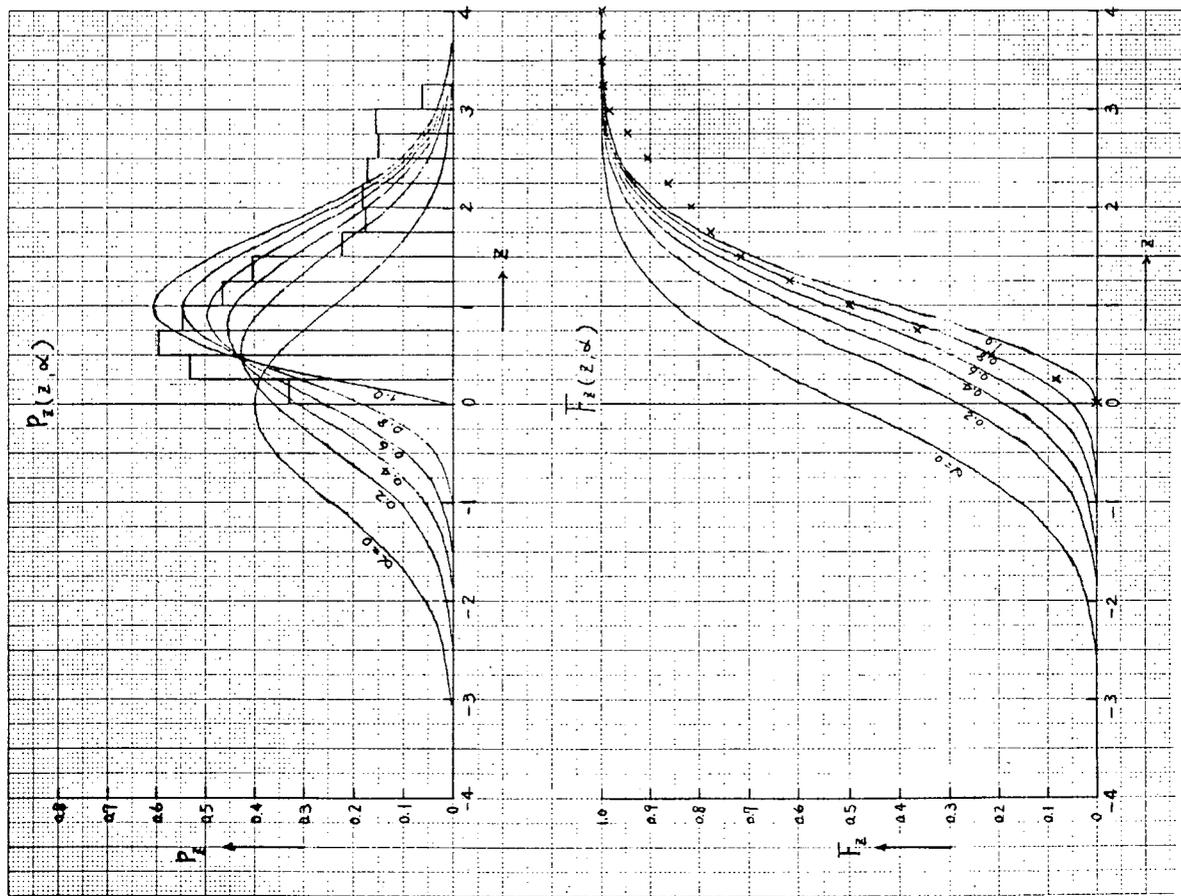


Fig. 1.2.1.7 (b) S_2 (Test No. 12 B₁)

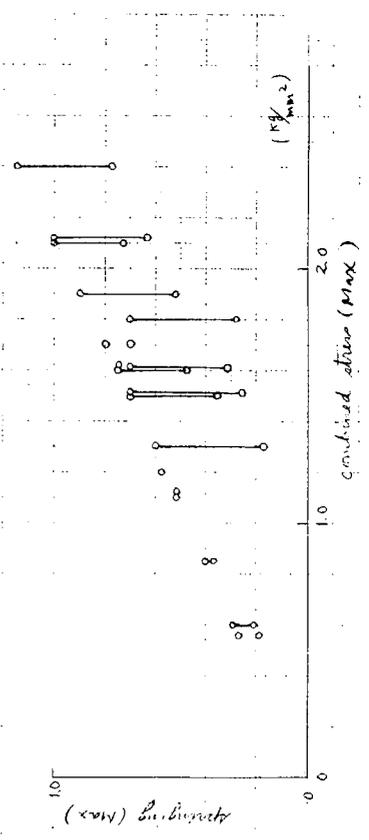
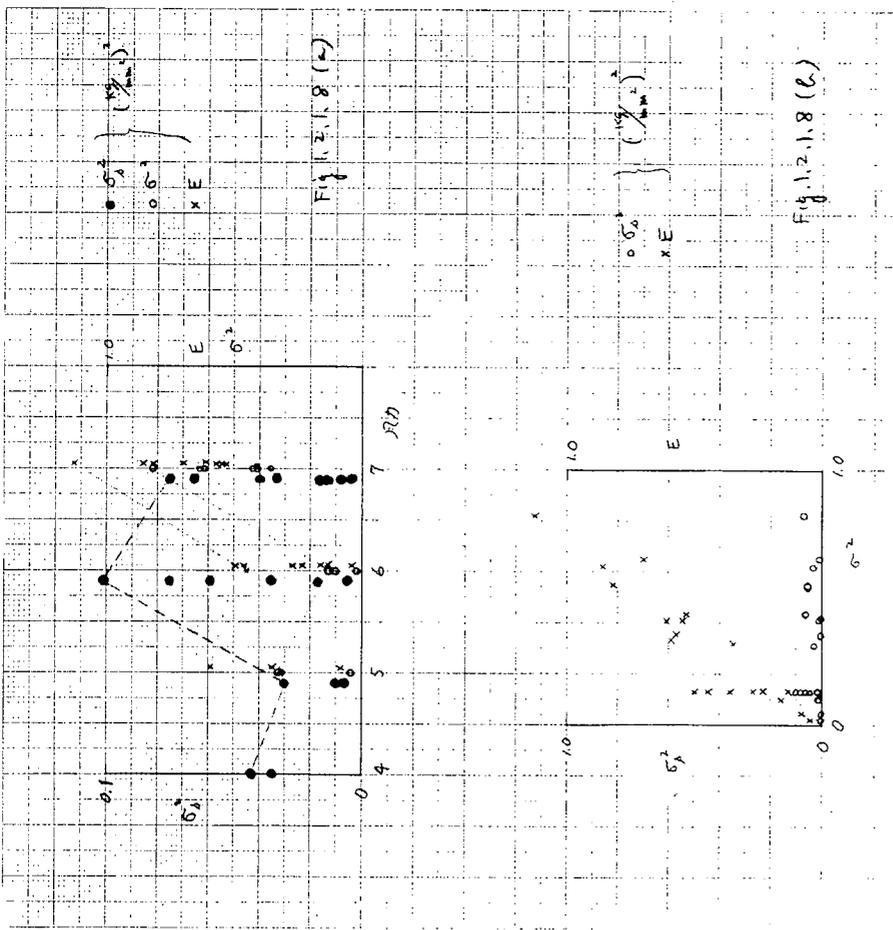


Fig. 1.2.1.8 (c)

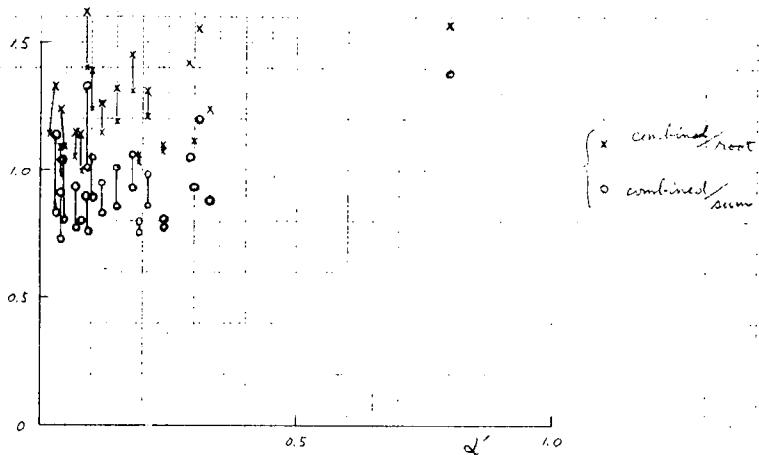


Fig. 1.2.1.8. (d)

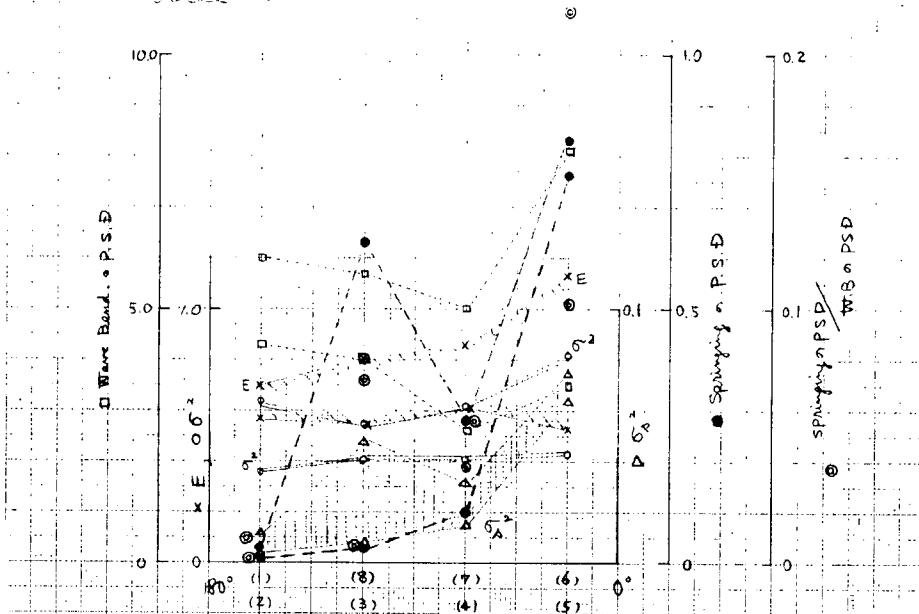


Fig. 1.2.1.8. (e)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	P3

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY OF
	DATA WITH CALIB

N	1024
T	0.15000

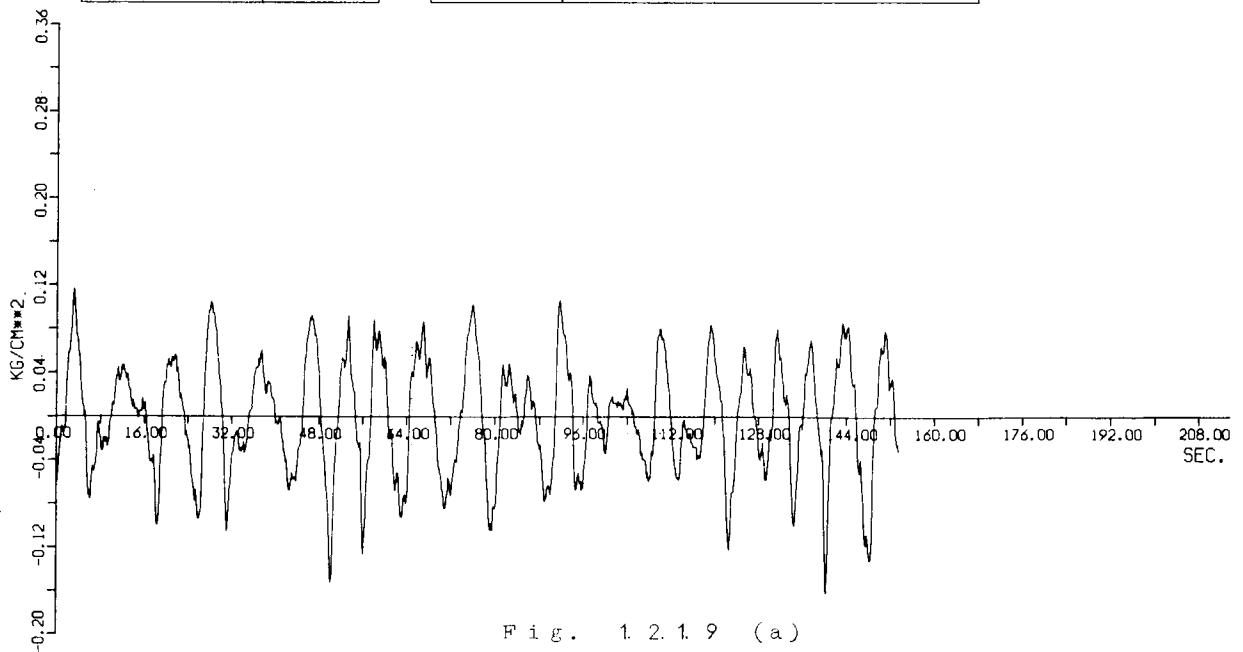


Fig. 1.2.1.9 (a)

EXP. NO	18B2
DATA NO	92
CHA. NO	52

TITLE	SR112 B.NO 5 9.5KT
	TIME HISTORY OF
	DATA WITH CALIB

N	1024
T	0.08437

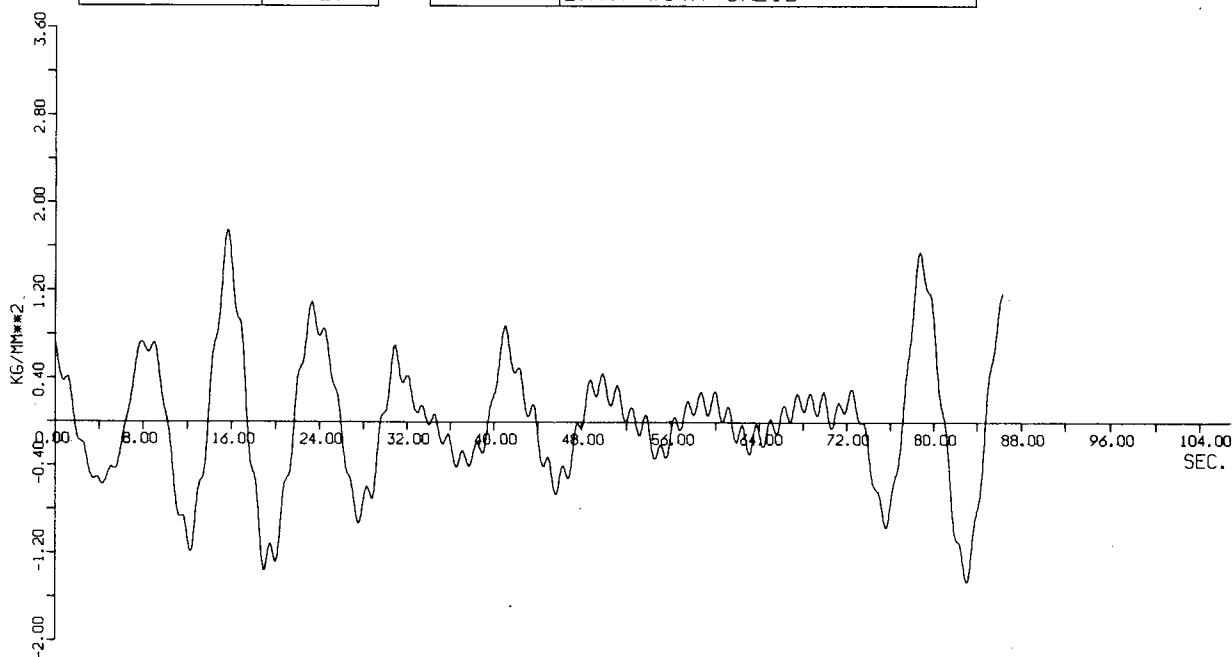


Fig. 1. 2. 1. 9 (b)

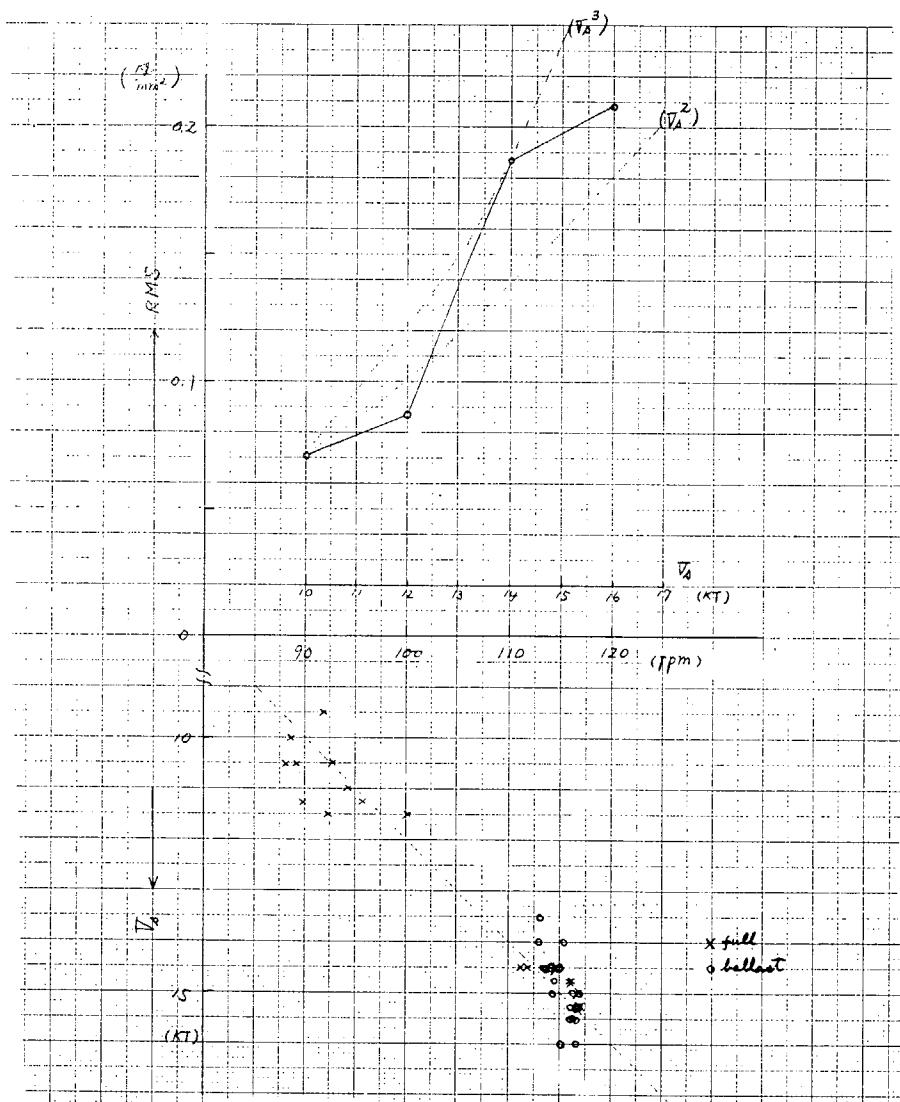


Fig. 1. 2. 1. 10 船速と Springing stress

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	V2

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT TIME HISTORY WITH MEAN PROC
-------	---

N	1000
T	0.15000

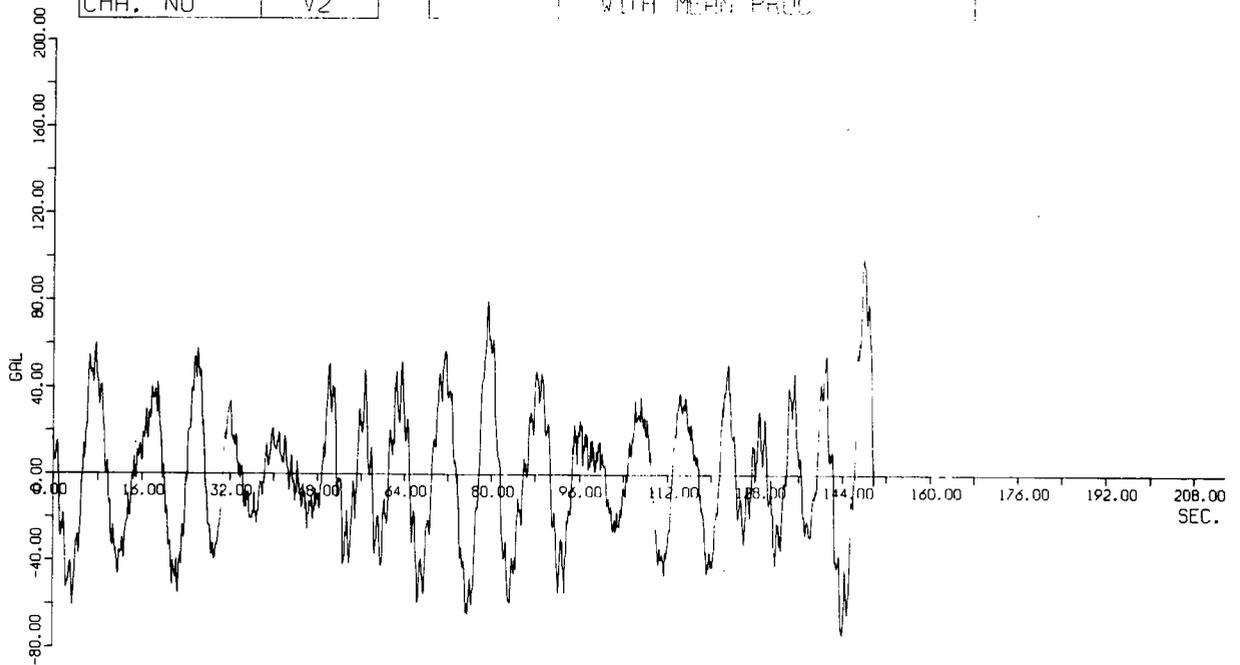


Fig. 1. 2. 1. 11 (a)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT TIME HISTORY WITH MEAN PROC
-------	---

N	1024
T	0.15000

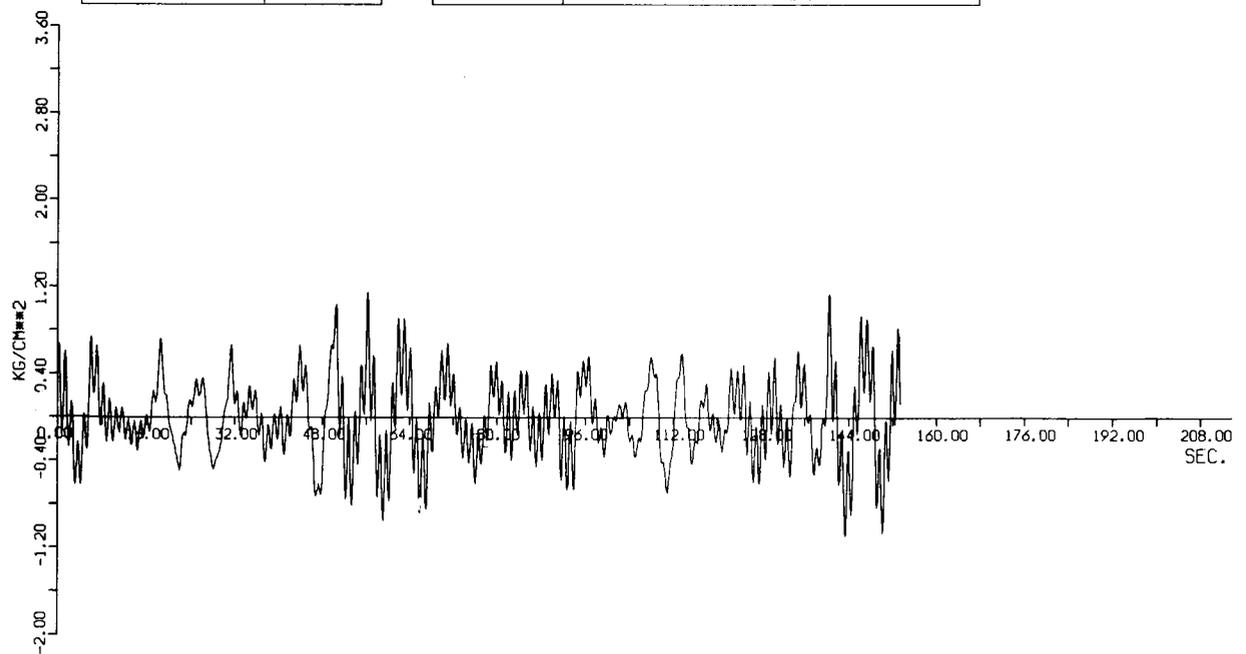


Fig. 1. 2. 1. 11 (b)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	P12

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	1024
T	0.15000

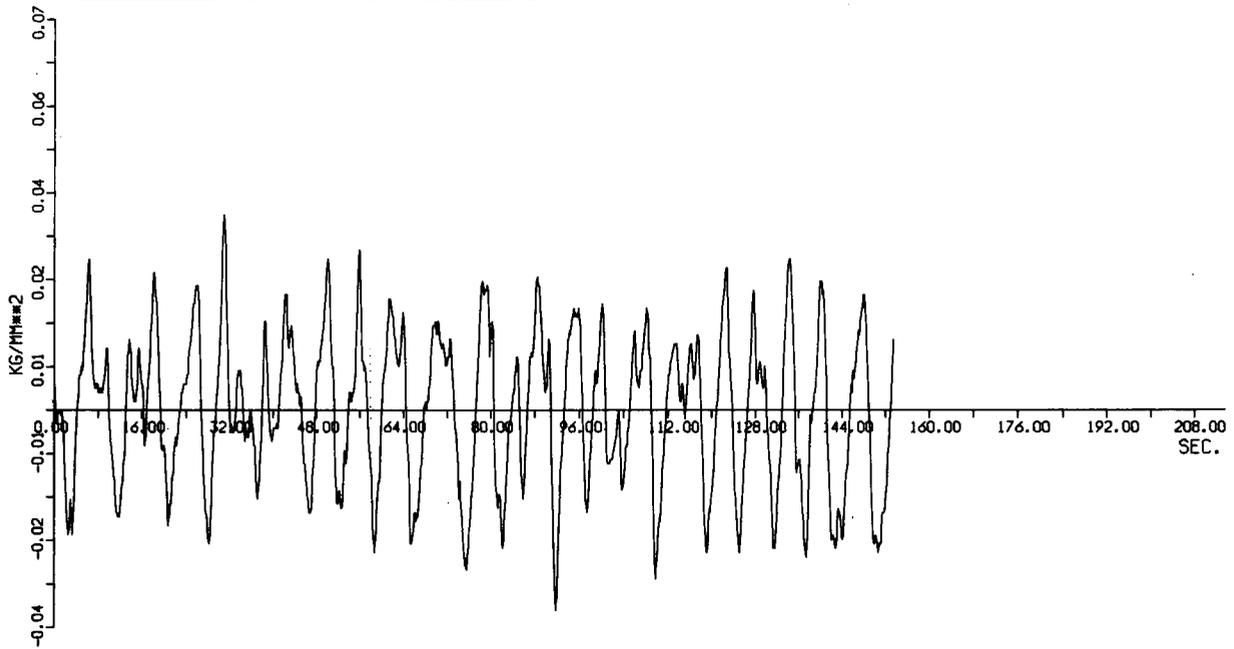


Fig. 1. 2. 1. 11 (c)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	P3

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	1024
T	0.15000

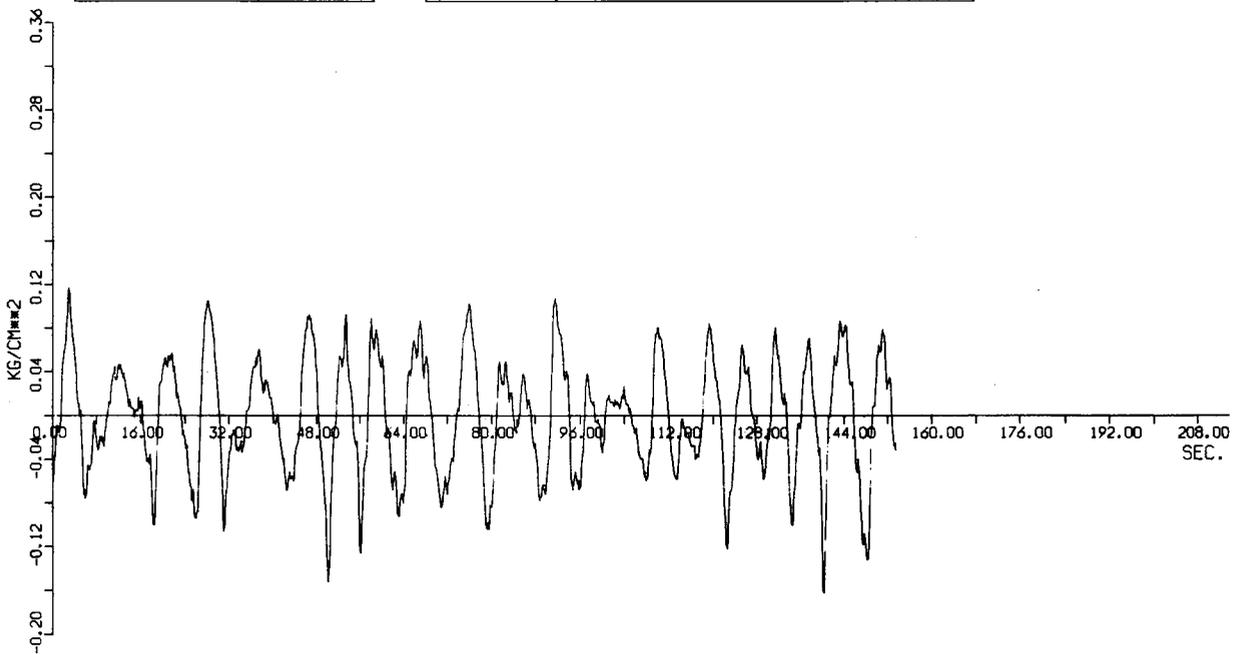


Fig. 1. 2. 1. 11 (d)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	P7

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	1024
T	0.15000

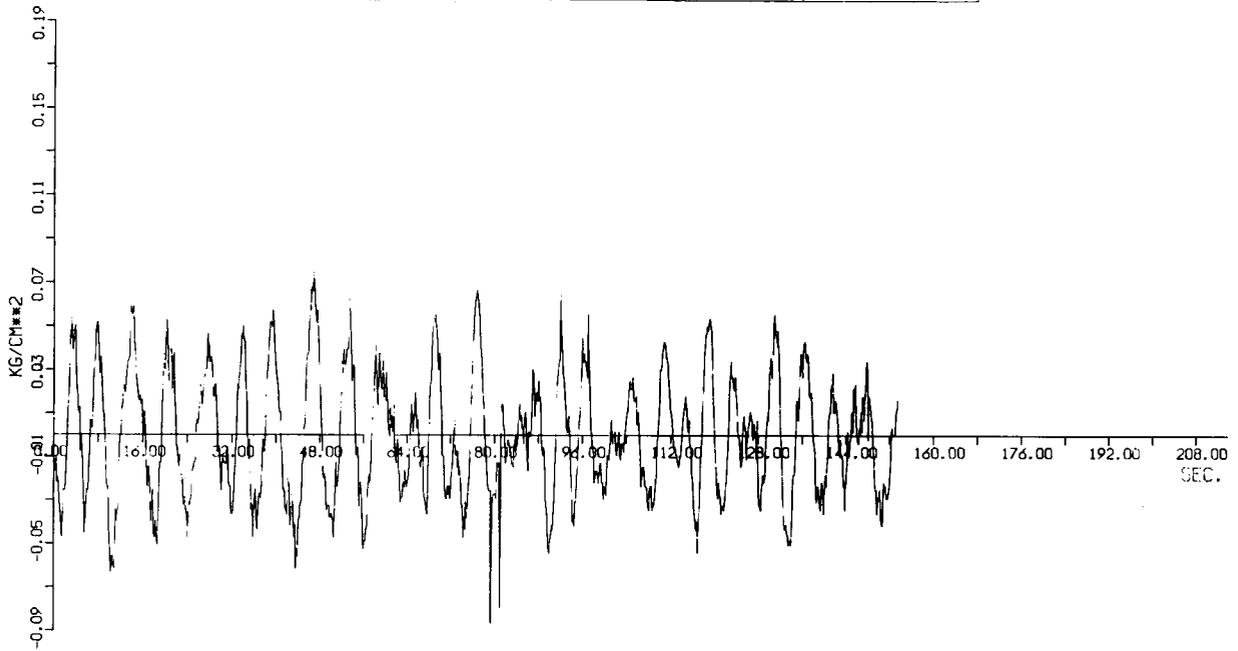


Fig. 1. 2. 1. 11 (e)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	P8

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	1024
T	0.15000

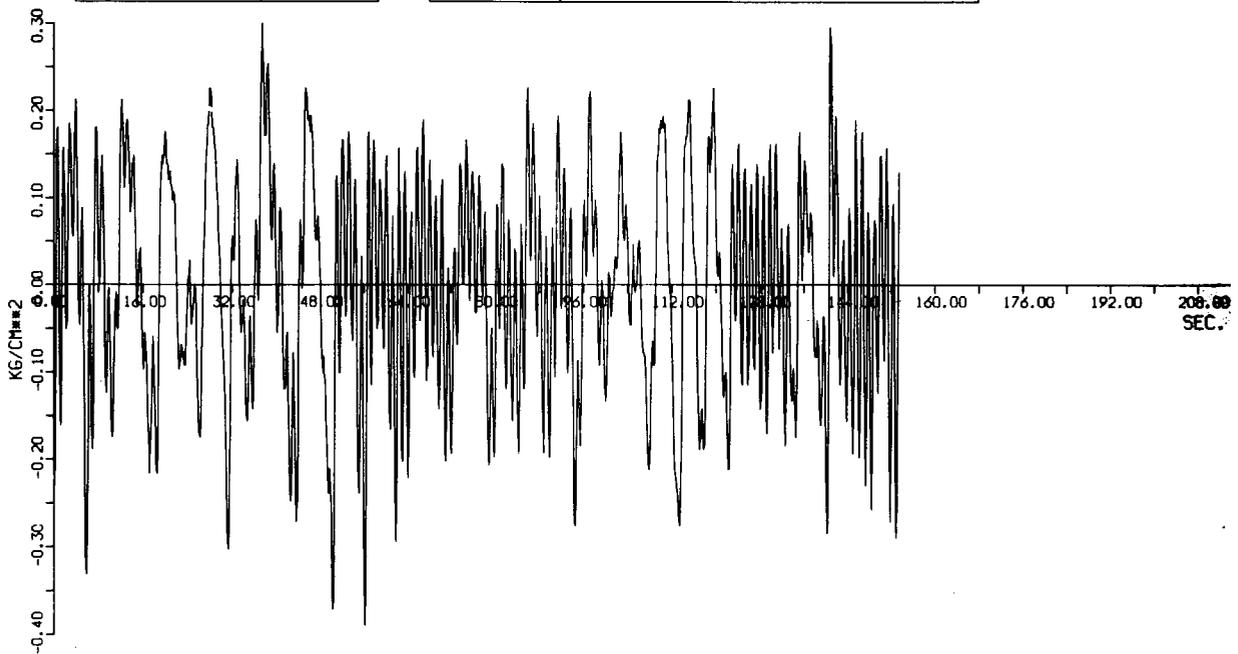


Fig. 1. 2. 1. 11 (f)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	P9

TITLE	SRI12 B.NO 6 13.5KT
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC.

N	1024
T	0.15000

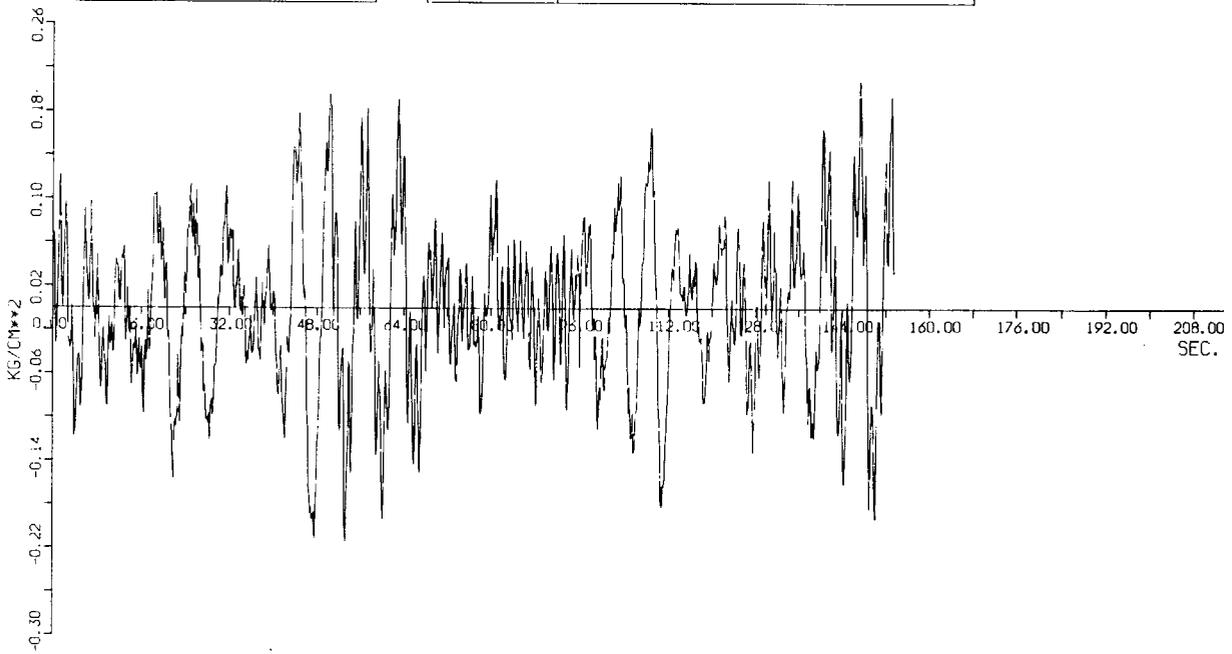


Fig. 1. 2. 1. 11 (g)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	V2

TITLE	SRI12 B.NO 6 13.5KT
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PA[*FQ]

N	334
T	0.15000

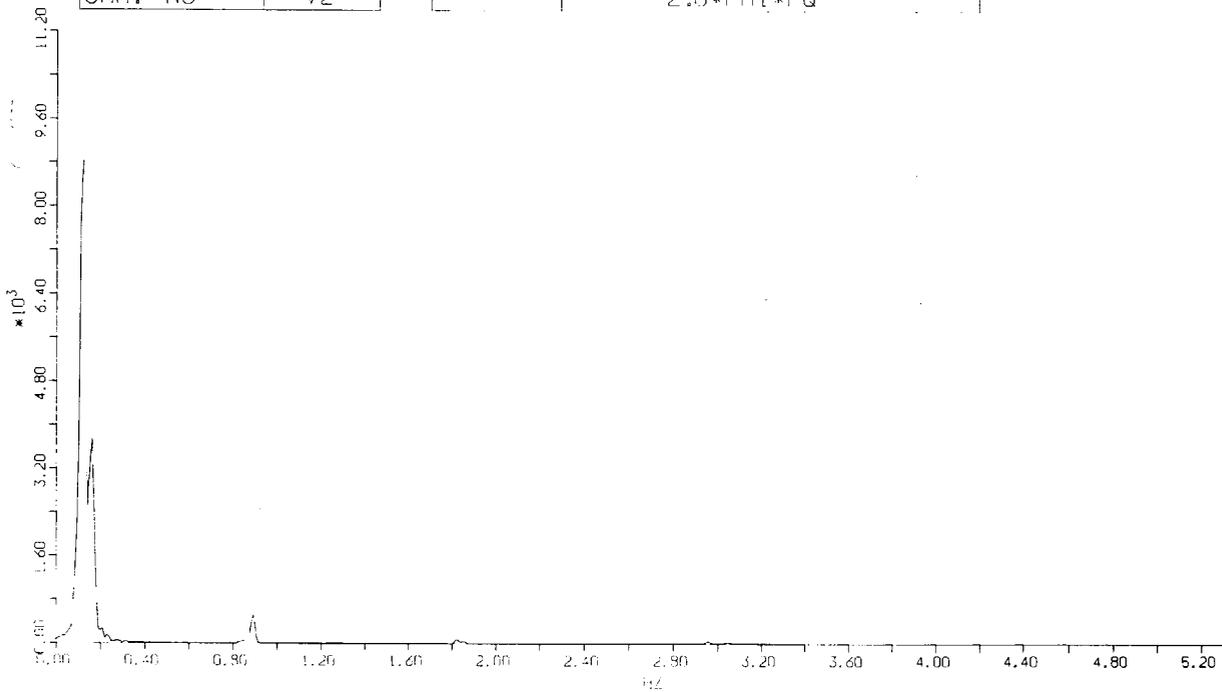


Fig. 1. 2. 1. 12 (a)

EXP. NO	07B1
DATA NO	111
CHA. NO	S2

TITLE	SR112 B.NO 6 13.5KT
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	342
T	0.15000

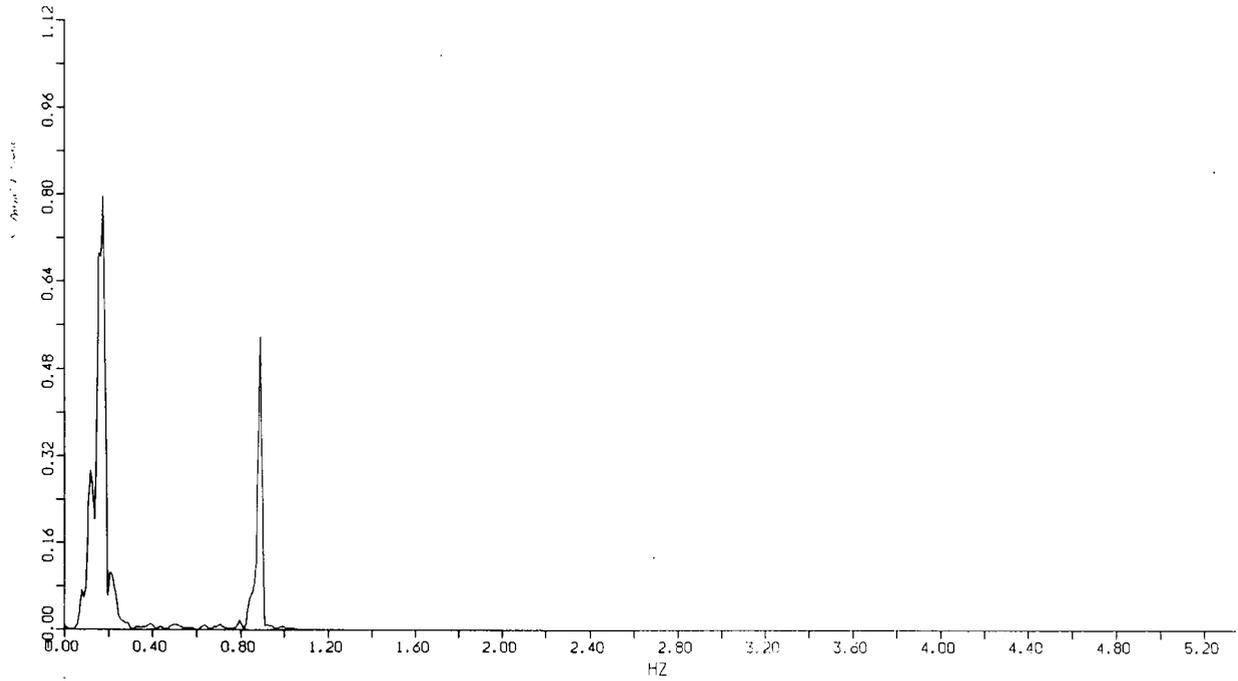


Fig. 1. 2. 1. 12 (b)

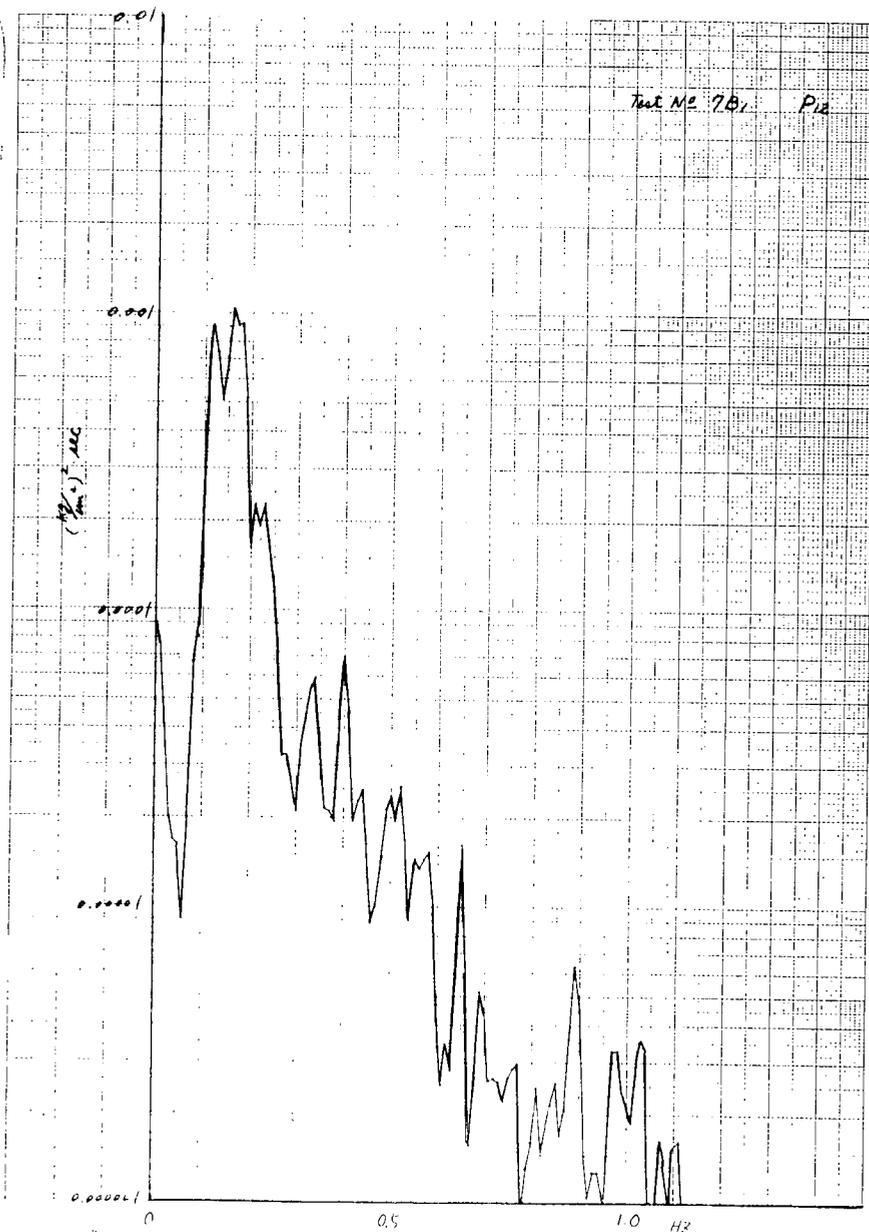


Fig. 1. 2. 1. 12 (c)

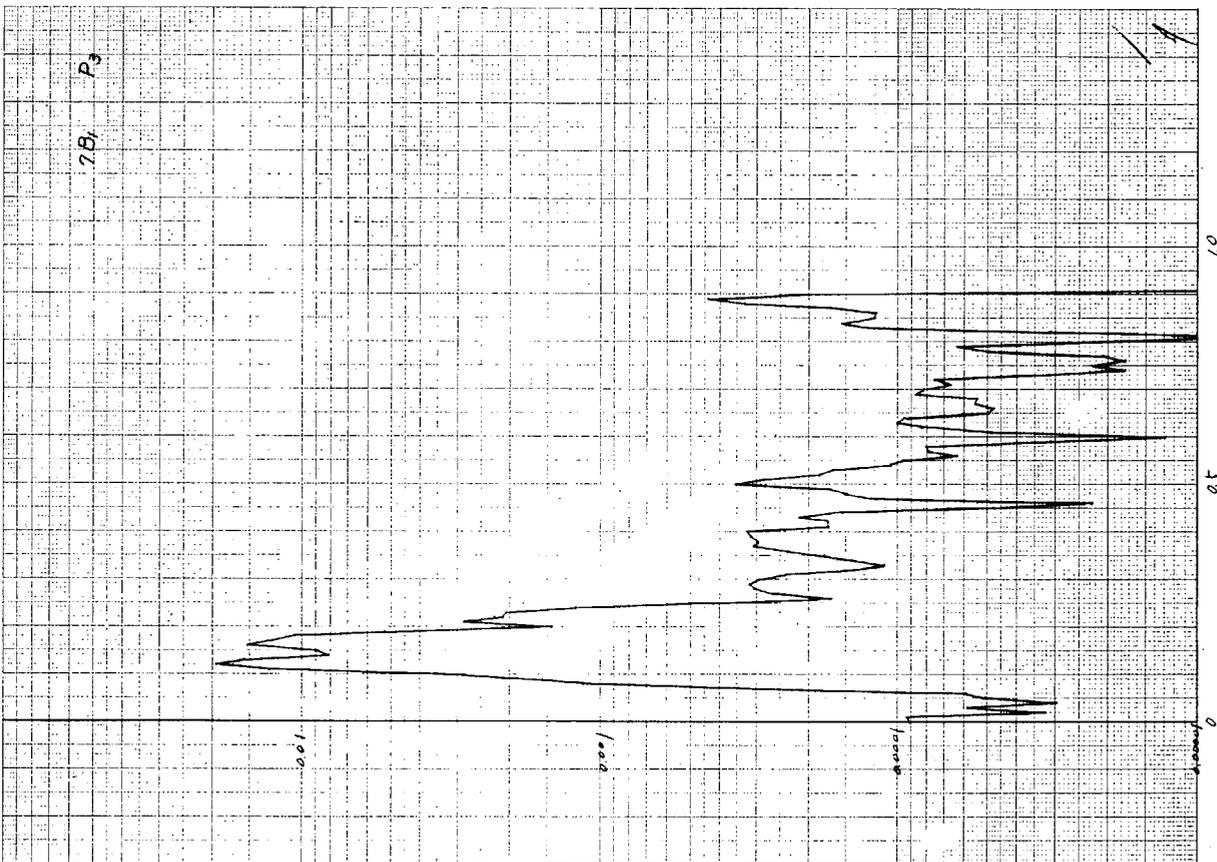


Fig. 1. 2. 1. 12 (d)

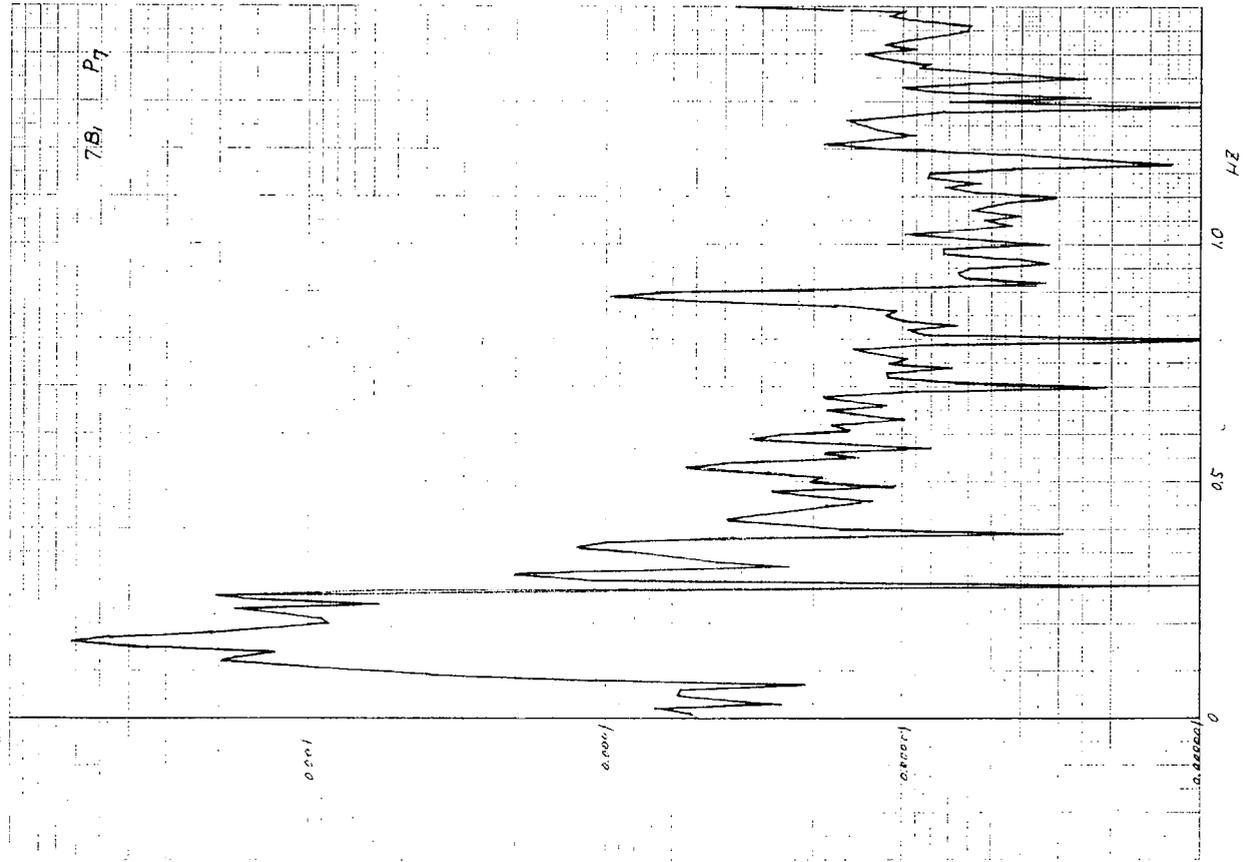


Fig. 1. 2. 1. 12 (e)

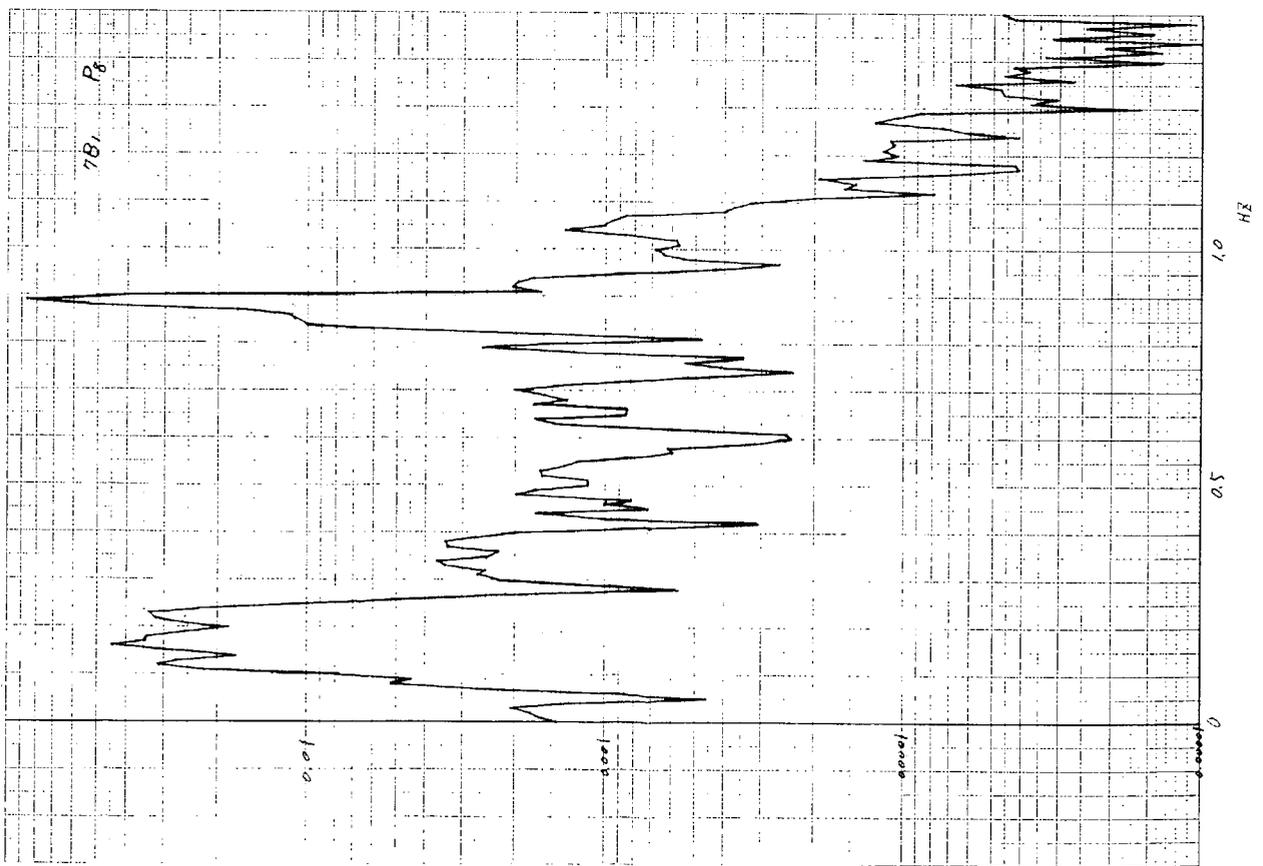
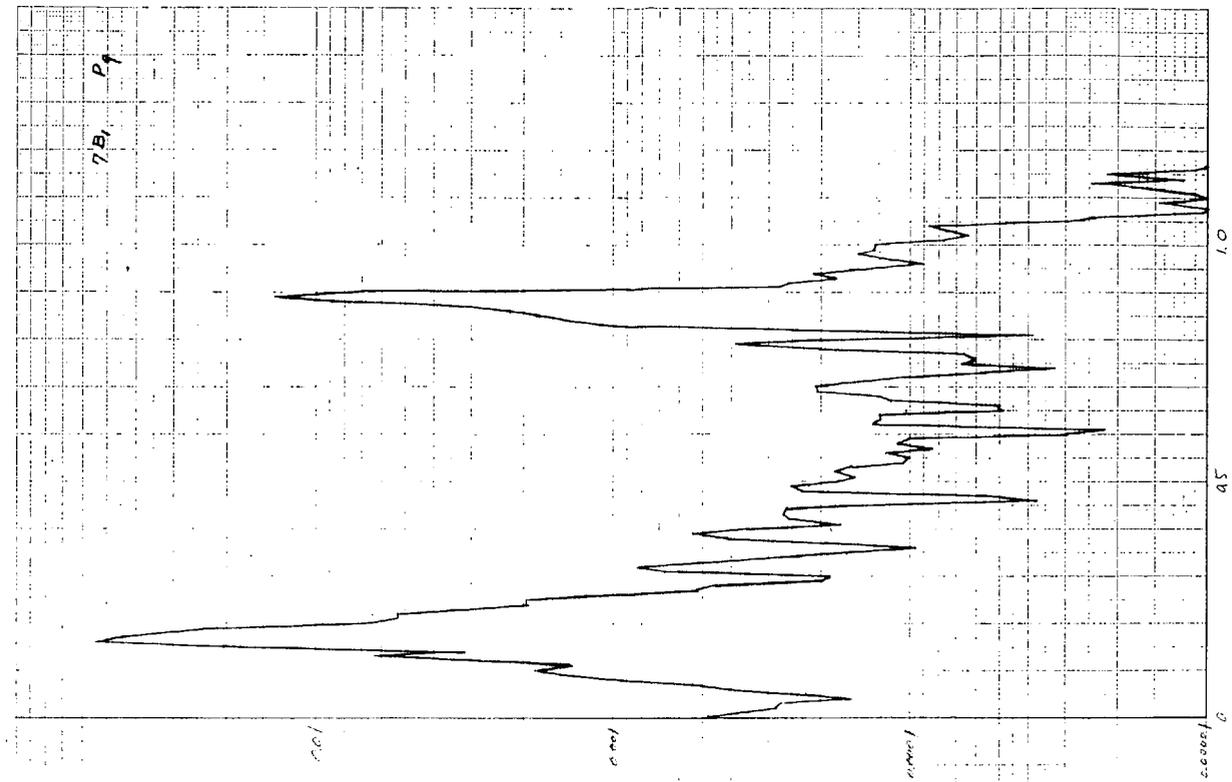


Fig. 1.2.1.12 (g)

Fig. 1.2.1.12 (f)

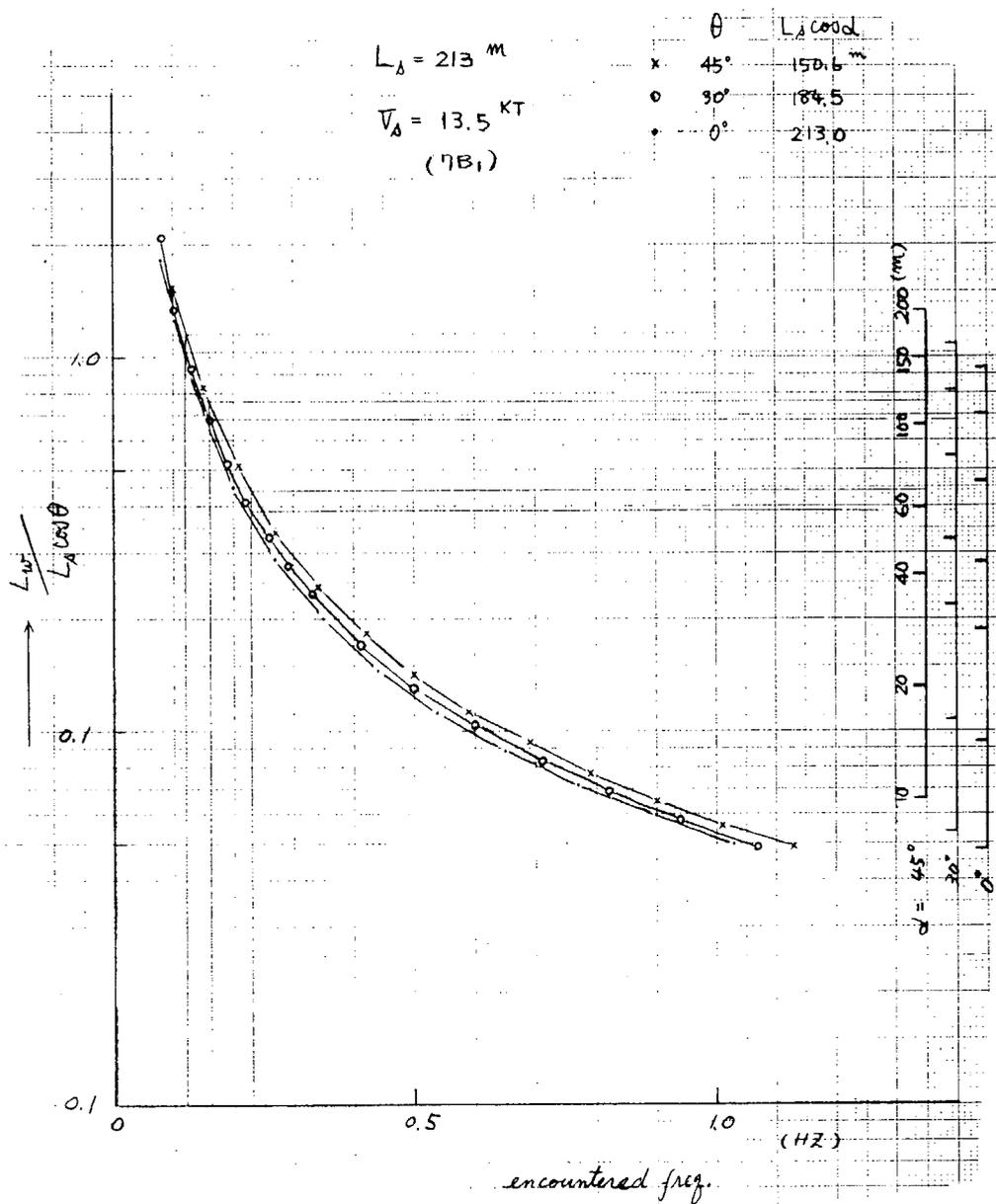


Fig. 1. 2. 1. 13

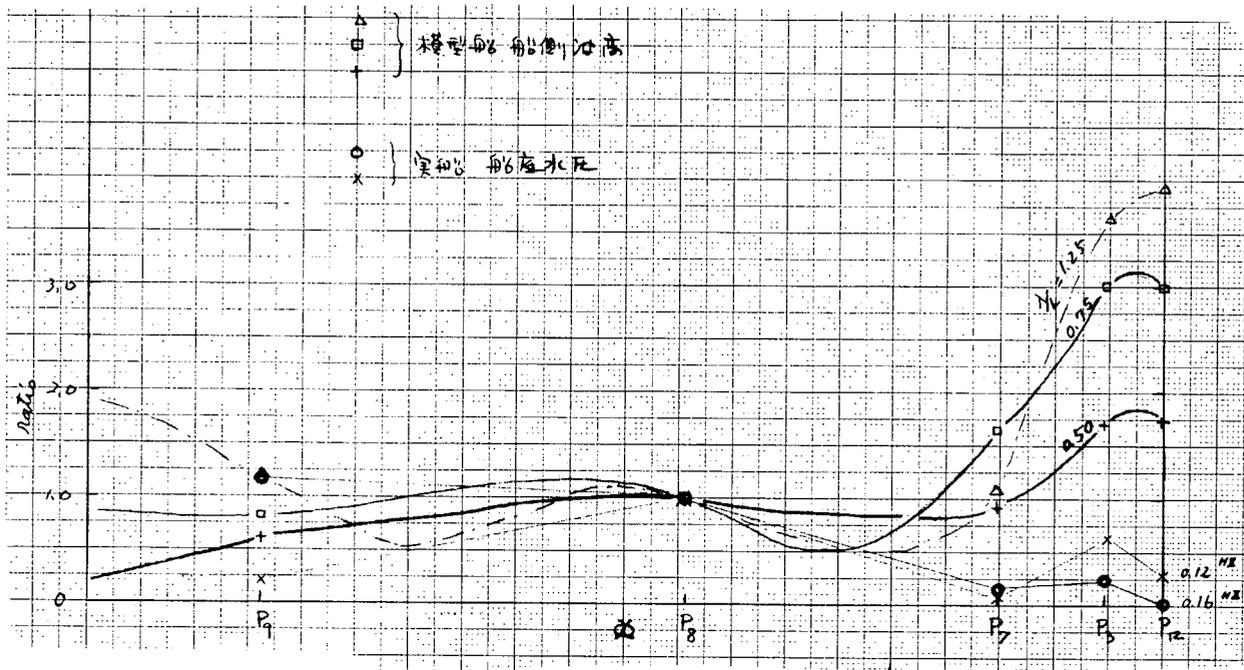


Fig. 1. 2. 1. 14

1.2.2 神和丸の Springing に関する理論との比較

本章では船側波形の変形の影響を考慮した波浪起振力の計算について熊井教授の理論¹⁾²⁾³⁾より計算手順を抜萃し、神和丸の計測 Data よりいくつかの計算を行ってみる。

(1) 概説

波によって誘起される起振力は次のように考えられる。

$$F = \int_0^L (\Delta F_V + \Delta F_b) \eta dx \quad (1.2.2.1)$$

ΔF_V : 単位長さ dx あたりの Virtual Mass Force

ΔF_b : " Buoyant Force

η : Normalized Mode

L : 船の長さ

(1.2.2.1) 式の ΔF_V 、 ΔF_b はそれぞれ次のような形で表わされる。

$$\Delta F_V = \frac{\rho \pi b_0^2 h \omega^2}{4} \left(\frac{b}{b_0}\right)^2 \sum_{n=1}^{12} C_m \cos(n\omega t - \psi_n) \quad (1.2.2.2)$$

$$\Delta F_b = 2 \rho g b_0 C_m (\bar{d} + \bar{h}) \sum_{n=1}^9 B_n \cos(n\omega t - \psi_n) \quad (1.2.2.3)$$

ρ : 海水の密度

g : 重力の加速度

b_0 : 船中央における船の半幅

b : 任意の断面における船の半幅

h : 波高

ω : 波と船との出会い角振動数

C_m : Midship Coeff.

\bar{h} : 最大波高

(1.2.2.2)、(1.2.2.3) 式で示されるように波浪起振力は多数の Spectrum から成立していると考えられるので波浪力 Spectrum の n -th Harmonic の振動数が船体上下 2 節振動の固有振動数と同調し、いわゆる選択共振として発生する。この時の n は次式で求められる。

$$n = \frac{f_2}{f_e} \quad (1.2.2.4)$$

f_2 : 船体上下 2 節固有振動数

f_e : 波と船との出会い振動数

出会い振動数 f_e は次のように表わされる。

$$f_e = \frac{V_s \cos \theta + \sqrt{\frac{g}{2\pi} \lambda}}{\lambda} \quad (1.2.2.5)$$

V_s : 船速

θ : 波と船との出会い角

λ : 波長

(2) Virtual Mass Force

船体の各断面におけるVirtual Mass Forceは次のように表わされる。

$$\Delta F_V = - \frac{\partial}{\partial t} \left(m_e \frac{\partial z}{\partial t} \right) \quad (1.2.2.6)$$

m_e : 単位長さ dx あたりのVirtual Mass

(1.2.2.6)式の m_e は

$$m_e = \frac{\rho \pi b_0^2}{2} \left(\frac{b}{b_0} \right)^2 J C_V \quad (1.2.2.7)$$

J : Virtual Massの3次元修正係数

C_V : Lemws' coeff.

船側波高を h_s とし、 $\zeta = 2z/h_s$ とおくと、(1.2.2.6)式は次式のようになる。

$$\Delta F_V = - \frac{\rho \pi b_0^2 h_s}{4} \left(\frac{b}{b_0} \right)^2 \frac{\partial}{\partial t} \left(J C_V \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right) \quad (1.2.2.8)$$

吃水 z 即ち ζ は波形と出会い周期との関係によって時間的に、また船体の長さ方向に変化するものと考えられる。従って ζ を次のように仮定する。

$$\zeta = a_0 + \sum_{n=1}^3 a_n \cos n \left(\omega t - \frac{2\pi L}{\lambda} \xi \right) \quad (1.2.2.9)$$

$$\xi = x/L$$

この波形を表わす ζ の Fourier component a_0, a_n を Table 1.2.2.1 に示す。¹⁾

I は Trochoidal Wave、II、III は 76,000 D.W.T. Tanker の実測値より求められたものである。

Table 1.2.2.1

	a_0	a_1	a_2	a_3
I	0.825	0.9375	0.1875	0.0625
II	0.806	0.8500	0.1940	0.1500
III	0.800	0.7470	0.2000	0.2530

また $J C_V$ については 100,000 D.W.T. Tanker の主要断面の cylinder による実験結果²⁾ より求められ、その変数は吃水である。

$J C_V$ はまず mean draft、 d における W.L. を原点とした z 座標で示される。(Fig. 1.2.2.1 参照)

即ち

$$J C_V = \bar{C}_0 + \sum_{r=1}^3 \bar{C}_r z^r \quad (1.2.2.10)$$

次に波の trough を原点とし Crest において 2 となる様な座標 ζ を考え (Fig. 1.2.2.1)、

その様な座標による $J C_V$ を次のように表示する。

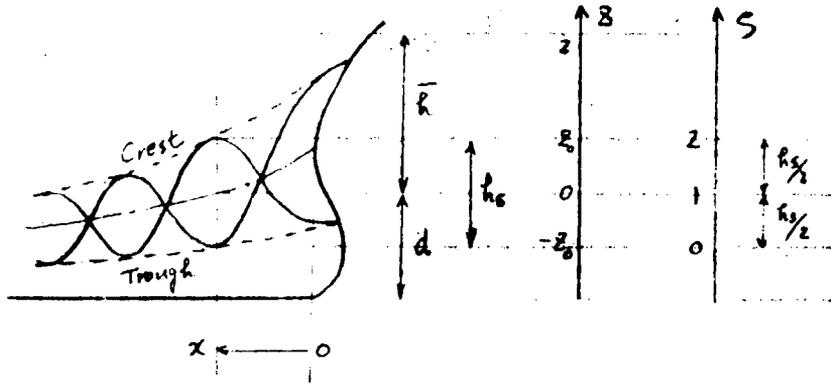


Fig. 1.2.2.1

$$J C_V = C_0 + \sum_{r=1}^3 C_r \zeta^r \quad (1.2.2.11)$$

任意の断面の船側波高を h_s とすれば

$$z_0 = 2 \cdot \frac{h_s/2}{h} = \frac{h_s}{h} = \frac{h}{h} \cdot \frac{h_s}{h} \quad (1.2.2.12)$$

$$z = z_0 (\zeta - 1) \quad (1.2.2.13)$$

(1.2.2.10)、(1.2.2.11) 及び (1.2.2.13) 式より次のような関係式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} C_0 &= \bar{C}_0 - \bar{C}_1 z_0 + \bar{C}_2 z_0^2 - \bar{C}_3 z_0^3 \\ C_1 &= \bar{C}_1 z_0 - 2 \bar{C}_2 z_0^2 + 3 \bar{C}_3 z_0^3 \\ C_2 &= \bar{C}_2 z_0^2 - 3 \bar{C}_3 z_0^3 \\ C_3 &= \bar{C}_3 z_0^3 \end{aligned} \right\} \quad (1.2.2.14)$$

100,000 D.W.T. Tanker の自航模型試験より得られた静水中の船側波形を Fig. 1.2.2.2 に示す。³⁾ この吃水を Base にした時の C_V の値を Table 1.2.2.2 に示す。³⁾

Table 1.2.2.2

ξ	\bar{C}_1	\bar{C}_2	\bar{C}_3
0	0.192	-0.115	0.0333
0.05	0.230	-0.125	0.0250
0.10	0.200	-0.135	0.0550
0.15	0.115	-0.142	0.0950
0.20 ~ 0.7	0.085	-0.148	0.0975
0.80	0.152	-0.130	0.0500
0.85	0.212	-0.095	0.0230
0.90	0.200	0.010	-0.0100
0.95	0.107	0.080	-0.0070
1.00	0.0	0.0	0.0

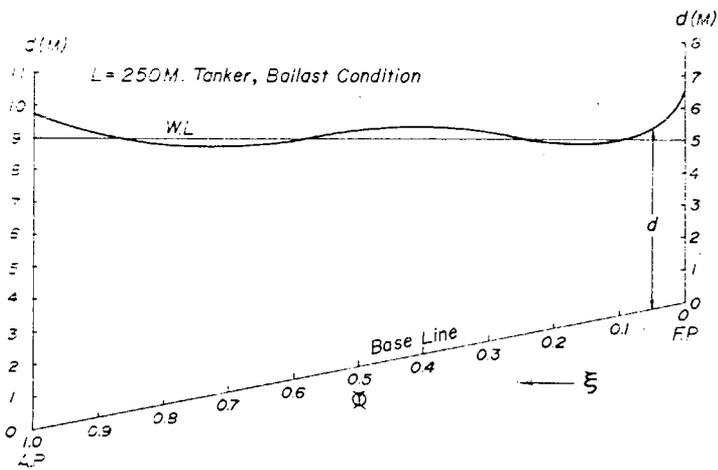


Fig. 1.2.2.2 Deformed water line when model ship is going in smooth water

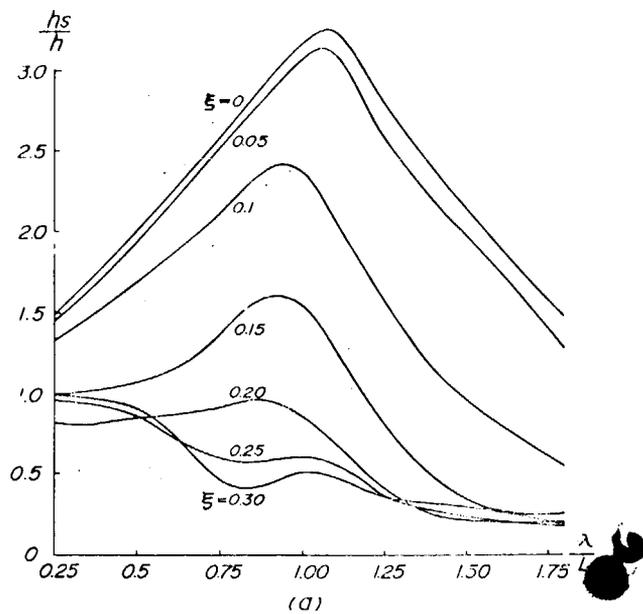


Fig. 1.2.2.3(a) Ship side wave versus wave length ratio with parameter of ship section

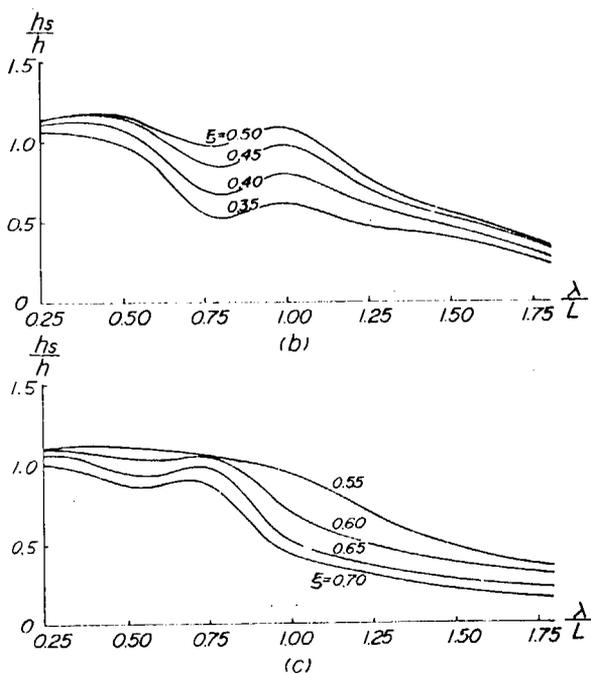


Fig. 1.2.2.3 (b)(c)

Ship side wave versus wave length ratio with parameter of ship section

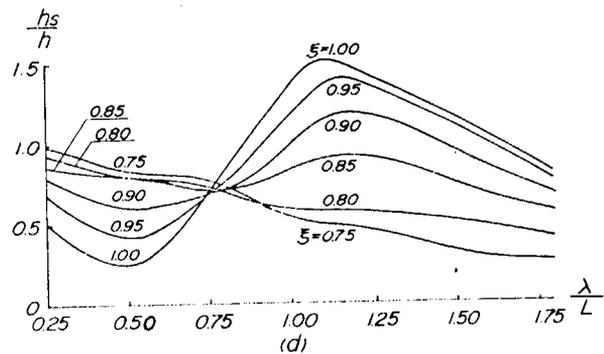


Fig. 1.2.2.3 (d)

Ship side wave versus wave length ratio with parameter of ship section

また(1.2.2.12)式の $\frac{h_B}{h}$ についても同実験(波長 λ を変化させる)より得られた値をFig. 1.2.2.3に示す。³⁾ h_B/h は ξ 及び λ/L の函数である。

波によって生じる有効な Virtual Mass は $m_e(\zeta = \zeta_0) - m_e(\zeta = 0)$ であるから $J C_V$ についても

$$\delta J C_V = J C_V(\zeta) - J C_V(0) = \sum_{r=1}^3 C_r \zeta^r \text{----- (1.2.2.15)}$$

故に(1.2.2.9)、(1.2.2.15)式より

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} (J C_V \frac{\partial \zeta}{\partial t}) &= \frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_{r=1}^3 C_r \cdot \zeta^r \cdot \frac{\partial \zeta}{\partial t} \right) \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \left[\sum_{r=1}^3 C_r \cdot \left\{ a_0 + \sum_{n=1}^3 a_n \cos n \left(\omega t - \frac{2\pi L}{\lambda} \xi \right) \right\}^r \right] \\ &= \frac{\partial}{\partial t} \left\{ a_0 + \sum_{n=1}^3 a_n \cos n \left(\omega t - \frac{2\pi L}{\lambda} \xi \right) \right\} \\ &= -\omega^2 \sum_{n=1}^3 C_n \cos \left(n \omega t - \frac{2n\pi L}{\lambda} \xi \right) \text{----- (1.2.2.16)} \end{aligned}$$

(1.2.2.16)式の n 次の項を(1.2.2.8)式に代入すれば Virtual Mass Force は次式のように表わされ(1.2.2.2)式の n 次の項となる。

$$\Delta F_{Vn} = \frac{\rho \pi b_0^2 h \omega^2}{4} \left(\frac{b}{b_0} \right)^2 \cdot \frac{h_B}{h} C_n \cos \left(n \omega t - \frac{2n\pi L}{\lambda} \xi \right) \text{----- (1.2.2.17)}$$

(3) Buoyant Force

船体の各断面における Buoyant Force は次のように表わされる。

$$\Delta F_b = 2 \rho g \delta A = 2 \rho g b_0 \cdot C_m (d+h) \frac{\delta A}{A_0} \text{----- (1.2.2.18)}$$

δA : 断面積の変化

A_0 : 中央横断面積

各断面の各吃水における断面積、 A と A_0 との比を $f(z)$ とおくと Virtual Mass の場合と同様に Fig. 1.2.2.1 の z 座標に対して次のように表わす事が出来る。

$$f(z) = k_0 + \sum_{r=1}^3 \bar{k}_r z^r \text{----- (1.2.2.19)}$$

この $f(z)$ を ζ 座標で表示すると

$$f(\zeta) = k_0 + \sum_{r=1}^n k_r \zeta^r \text{----- (1.2.2.20)}$$

k_0, k_r は(1.2.2.14)式と同様に次のように関係式となる。

$$\left. \begin{aligned} k_0 &= \bar{k}_0 - \bar{k}_1 z_0 + \bar{k}_2 z_0^2 + \bar{k}_3 z_0^3 \\ k_1 &= \bar{k}_1 z_0 - 2 \bar{k}_2 z_0^2 + 3 \bar{k}_3 z_0^3 \\ k_2 &= \bar{k}_2 z_0^2 - 3 \bar{k}_3 z_0^3 \\ k_3 &= \bar{k}_3 z_0^3 \\ z_0 &= \frac{h}{h} \cdot \frac{h_B}{h} \end{aligned} \right\} \text{----- (1.2.2.20)}$$

100,000 D.W.T. Tanker の自航模型実験の際に計算した k_r の値を Table 1.2.2.3 に示す。

Table 1.2.2.3

ξ	\bar{k}_1	\bar{k}_2	\bar{k}_3
0	0.050	-0.0130	-0.00016
0.05	0.175	0.0275	-0.00733
0.10	0.260	0.0320	-0.00733
0.15	0.300	0.0225	-0.00660
0.20	0.325	0.0160	-0.00610
0.3~0.6	0.358	0.0150	-0.00320
0.70	0.282	0.0045	-0.00150
0.80	0.238	0.0072	-0.00025
0.85	0.208	0.0210	-0.00570
0.90	0.120	0.0090	0.01030
0.95	0.060	0.0017	0.01130
1.00	0.0	0.0	0.0

波によって変化する面積は次式で表わされる。

$$\delta \frac{A}{A_0} = \delta f(\xi) = f(\xi) - f(0) = \sum_{r=1}^3 k_r \xi^r = \sum_{n=1}^9 B_n \cos \left(n \omega t - \frac{2n\pi L}{\lambda} \xi \right) \quad (1.2.2.2)$$

故に n 次の Buoyant Force は (1.2.2.2) 式の n 次の項を (1.2.2.18) 式に代入して得られる。

$$\Delta F_{bn} = 2 \rho g b_0 C_m (d+h) B_n \cos \left(n \omega t - \frac{2n\pi L}{\lambda} \xi \right) \quad (1.2.2.3)$$

(4) 応答

n 次の波浪起振力は (1.2.2.1) 式に示すように、(1.2.2.17) 式と (1.2.2.3) 式の ΔF_{vn} と ΔF_{bn} との和に Normalized mode η を乗じて船の全長について積分すれば得られる。

この起振力を F_n とすれば、加速度応答式は次のように表わされる。

$$a = C_2 \frac{g \pi F_n \eta_2}{\Delta_1 \delta_2} \quad (1.2.2.4)$$

C_2 : 船体上下 2 節振動の応答係数

δ_2 : " の対数減衰率

Δ_1 : 有効排水量

これは起振力 $F_n = \int_0^L \Delta F_n \cdot \eta dx$ が働いた時の Normalized mode、 η_2 の位置における加速度を表わしている。(1.2.2.4) 式の C_2 / δ_2 を応答係数 α として実測値より求める。

(5) 計算例

以上の理論は Tanker を Base に進められているが、そのまま神和丸 (57,120 D.W.T. Ore Carrier) に適用してもこの程度の船舶の Springing に関する傾向を把握する事が出来ると思われる。

神和丸の計算に入る前に吃水について修正を行う必要がある。Table 1.2.2.2、1.2.2.3の \bar{c}_r 及び \bar{k}_r の値は $d_f = 5$ m、 $d_a = 9$ mとした100,000 D.W.T. Tankerの模型実験の際求められたものであるので、神和丸の計測時の吃水に対する値に修正する。

Table 1.2.2.2、1.2.2.3の値をそれぞれ c'_r 及び k'_r と置き換える。そしてFig. 1.2.2.4に示すように神和丸の座標系を Z 、 z 、計測時の吃水を d とし、模型実験を行ったTankerの座標系、吃水を Z' 、 z' 及び d' とする。

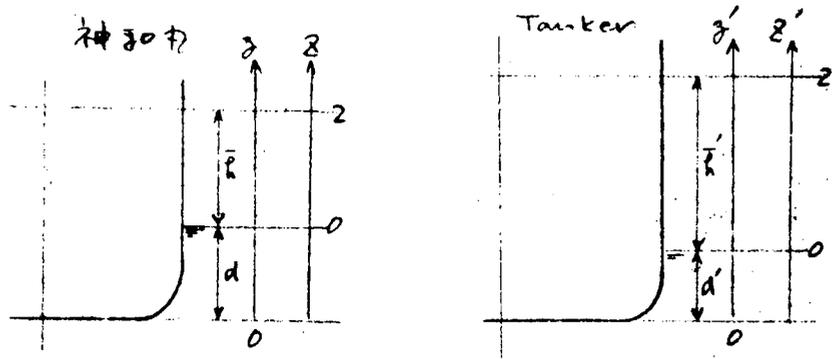


Fig. 1.2.2.4

神和丸における(1.2.2.10)式を

$$\delta J C_V = \sum_{r=1}^3 \bar{c}_r Z^r \text{-----} (1.2.2.25)$$

Tankerの模型実験における(1.2.2.10)式を

$$\delta J C_V = \sum_{r=1}^3 c'_r Z'^r \text{-----} (1.2.2.26)$$

とすると、次式より(1.2.2.27)式のように置く事が出来る。

$$z = \frac{Z}{2} \bar{h} + d$$

$$z' = \frac{Z'}{2} \bar{h}' + d'$$

$$z' = \frac{d' + \bar{h}'}{d + \bar{h}} z$$

故に

$$z' = A Z + B$$

ただし

$$A = \frac{(d' + \bar{h}') \bar{h}}{(d + \bar{h}) \bar{h}'}$$

$$B = \frac{2}{\bar{h}'} \left(\frac{d' + \bar{h}'}{d + \bar{h}} d - d' \right)$$

$$\delta J C_V = \sum_{r=1}^3 \bar{c}_r Z^r = \sum_{r=1}^3 c'_r (A Z + B)^r \text{-----} (1.2.2.27)$$

よって次の関係式が得られる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{C}_1 &= C'_1 A + 2 C'_2 AB + 3 C'_3 AB^2 \\ \bar{C}_2 &= C'_2 A^2 + 3 C'_3 A^2 B \\ \bar{C}_3 &= C'_3 A^3 \end{aligned} \right\} \text{----- (1.2.2.28)}$$

\bar{k}_r についても同様に Table 1.2.2.3 の値を k'_r と置き換えると

$$\left. \begin{aligned} \bar{k}_1 &= k'_1 A + 2 k'_2 AB + 3 k'_3 AB^2 \\ \bar{k}_2 &= k'_2 A^2 + 3 k'_3 A^2 B \\ \bar{k}_3 &= k'_3 A^3 \end{aligned} \right\} \text{----- (1.2.2.29)}$$

また吃水については、模型実験の際の吃水 Fig. 1.2.2.2 は次のように表わされる。

$$d' = 5 + (9 - 5) \xi + \Delta d \text{----- (1.2.2.30)}$$

この Δd を用いて、神和丸の静水中の吃水を求める事が出来る。

$$d = d_f + (d_a - d_f) \xi + \frac{L}{L'} \Delta d \text{----- (1.2.2.31)}$$

L : 神和丸の長さ (213 m)

L' : Tanker の長さ (250 m)

また、 $\frac{b}{b_0}$ について次のように仮定する。

$$\left. \begin{aligned} \frac{b}{b_0} &= \sin \frac{5}{2} \pi \xi & (0 \leq \xi < 0.2) \\ &= 1.0 & (0.2 \leq \xi \leq 0.8) \\ &= \sin \frac{5}{2} \pi (1 - \xi) & (0.8 < \xi \leq 1.0) \end{aligned} \right\} \text{----- (1.2.2.32)}$$

f_e については計測 Data より求め (1.2.2.5) 式を用いて λ を計算し (1.2.2.28)、(1.2.2.29) 式の修正及び (1.2.2.32) 式の仮定のもとに神和丸の計測 Data より、起振力及びひ応答の計算を行う。

計算結果は Table 1.2.2.4 に示す。

(5) 結論

Table 1.2.2.4 の計算結果によると、付加水質量による起振力が全起振力の 93~94 % 程度を占め、 n が大きくなると浮力による起振力は徐々に小さくなる。また Springing を避けるためには n を大きくする。即ち、出会い振動数を出来るだけ小さくする事がひとつの方法であり、そのためには、船速を低下させるか、船の波に対する角度を大きくする事が効果がある。

λ/L が 1 に近づくとも、船側波高が大きくなり、起振力が大きくなる。応答係数 α については 4 Case 共かなり近い値を示しておりこの程度の船の Springing の応答係数の Order を与えていると思われる。

参考文献

- 1) 波による起振力と Whipping の応答
日本造船研究協会第 112 研究部会報告書 昭和 46 年 3 月
- 2) Wave-Induced Force Exciting Hull Vibration and its Response.
西部造船会々報 第 44 号 昭和 47 年

Table 1.2.2.4

Test %	主機回轉數 (r.p.m.)	船首吃水 d _f (m)	船尾吃水 d _a (m)	船速 V _B (kt)	出會い角 θ(deg)	出會い振動數 f _e (1/sec)	波長 λ(m)	λ/L	波高 h(m)	2節固有振動數 f ₂ (1/sec)	n	Typo of Wave
12 B ₁	114	11.10	11.12	14.5	30.0	0.167	120.92	0.568	6.20	0.80	5	III
7 B ₁	111	7.05	8.56	13.5	30.0	0.155	131.04	0.615	6.57	0.89	6	III
2 B ₁	104	7.05	8.25	12.8	67.5	0.120	147.37	0.692	7.19	0.89	7	III
2 B ₁	100	7.05	8.25	12.0	22.5	0.112	214.10	1.005	9.51	0.89	8	III
Test %	主機回轉數 (r.p.m.)	Add Mass F _v (ton)	Buoyant F _b (ton)	Total Force F(ton)	F _v /F (%)	排水量 Δ(ton)	有効排水量 Δ ₁ (ton)	船首加速度 a(gal)	応答係數 α=C ₂ /δ ₂			
12 B ₁	114	17.3	1.3	18.6	93.0	64,934	129,868	2.25	60.0			
7 B ₁	111	7.5	0.6	8.1	92.6	44,036	88,072	1.30	54.0			
2 B ₁	104	4.2	0.3	4.5	93.4	44,000	88,000	9.5	71.0			
2 B ₁	100	9.8	0.6	10.4	94.2	44,000	88,000	15.5	50.1			

3) Effect of Ship Side Wave upon the Responce of Hull Springing.

九大応力研英文報告 Vol. XXI №66 1973年

1.2.3 神和丸実船計測データ解析

—非定常性を考慮したスペクトル解析—

(1) まえがき

波浪外力による船体振動の実測波形には、船体低次のたわみ振動成分が間欠的かあるいは持続していることがしばしば観察される。持続する場合でも短時間で、対象とする時間範囲によっては非定常であるとも考えられる。

ここでは、むしろ非定常であるものと考えて、非定常性を考慮したスペクトル解析を試み、低次のたわみ固有振動数におけるピークとその周辺スペクトル分布との時間変化を観察することによって波浪外力によって生ずる船体低次のたわみ振動発生原因に対する手懸りを得ようとしたものである。

非定常性を考慮したスペクトル解析の方法としては佐藤^{*1)}らの手法を用いた。時間とともに変動する要素の表現はCOMシステムによる動画表示が容易である。本紙は抜萃を添付する。

(2) 解析方法

非定常不規則時間関数 $f(t)$ を $t = t_0$ において $F(t, t_0)$ とあらわして、これが $t = t_0 - \tau$ の値に依存しており

$$F(t, t_0) = f(t)w(\tau) = f(t)w(t - t_0) \quad (1.2.3.1)$$

と記述できるものと仮定する。ここで $w(\tau)$ を移動ウィンドウ関数と呼ぶことにする。この $w(\tau)$ は不規則波中の τ だけ離れた2点の相関性をあらわしている。パワースペクトル密度の計算は時間短縮を考え、時系列波形に直接フーリエ変換 (FFT法による) を適用して求める方法を採用する。

(a) 分散: $\sigma^2(t_0)$

$$\sigma^2(t_0) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M F(t, t_0)^2 \quad (1.2.3.2)$$

(b) パワースペクトル密度: $\overline{P}(f_k)$

(P.S.D)

(c) 時系列: X_i ($i = 0, 1, \dots, M-1$)

$$X_i = F(t, t_i)$$

(d) 複素フーリエ係数: C_k ($k = 0, 1, \dots, M/2$)

$$C_k = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} X_i e^{-2\pi j \frac{ki}{M}} \quad (1.2.3.3)$$

(e) 周波数 $f_k (= K / M \Delta t)$ における P.S.D: $\overline{P}(K)$

$$\overline{P}(K) = \frac{1}{2N+1} \sum_{m=-N}^N P_N(k+m) \quad (1.2.3.4)$$

*1) 佐藤はか、"非定常性を考慮した地震動および地震応答の動的解析の一手法について"

生産研究 23-11、1971-11

ここで

$$P_N(K) = 2 M \Delta t |C_k|^2 \text{ --- (1.2.3.5)}$$

$$P : \frac{2P+1}{M\Delta t} \approx W \text{ となるような整数 } N$$

$$|C_{-k}|^2 = |C_k|^2, |C_{\frac{M}{2}+k}|^2 = |C_{\frac{M}{2}-k}|^2$$

(f) 移動ウィンドウ関数: $w(\tau)$

種々のタイプがあるが、ここでは Exponential type を用いる。

$$w(\tau) = \begin{cases} e^{-\alpha|\tau|} & (|\tau| \leq T) \\ 0 & (|\tau| > T) \end{cases} \text{ --- (1.2.3.6)}$$

(3) 数値計算

数値計算は神和丸のテスト #7 (B-1) およびテスト #17 (B-1) のデータで計測点 V-2、S-2、P-3 について行なう。前者は往航時、後者は復航時の計測である。

(a) 移動ウィンドウの関数の定数 α の選定 (Fig. 1.2.3.1)

ここでは本計算結果を左右する、移動ウィンドウ関数の定数 α を選定するため、 α を種々に変えた場合の $\sigma(t_0)$ を計算し、 $|f(t)|$ をあわせて Fig. 1.2.3.1 に示す。 α の選択の条件の一つは $|f(t)|$ と $\sigma(t_0)$ を最大値が同じゲインとなるようなスケールで描いたとき、 $\sigma(t_0)$ が $|f(t)|$ の曲線を近似的に包絡することである。その意味では $\alpha = 0.3$ 以上が妥当のようである。以下の計算では $\alpha = 0.3$ を用いる。Fig. 1.2.3.1 の計算はテスト #7 (B-1)、V-2 について行なったものである。

(b) R.M.S 値 ($\sigma(t_0)$) の時間変化 (Fig. 1.2.3.2)

計算結果の R.M.S 値 ($\sigma(t_0)$) の時間変化を Fig. 1.2.3.2 に示す。V-2、P-3 の時間変動は S-2 に較べて、大きく、また変動の様相は V-2 と P-3 は類似した傾向がみられる。

(c) P.S.D 分布の時間変化 (Fig. 1.2.3.4、1.2.3.5)

ここでは P.S.D 分布の時間変化について一部を抜萃したものを示す。以下に気付いた点を列記する。

① 卓越したピークは、次表の振動数にみられる。

	TEST #7	TEST #17
船体運動 or 出会周期	0.14 Hz 付近	0.13 Hz
2 節 振 動	0.88	0.8
3 節 振 動	1.8	1.65

3 節振動におけるピークは Test #17 の場合は、Test #7 に較べてはるかに小さい。

② 2 節振動における山の形は S-2、V-2 はよく似た傾向を持っているが、P-3 は異なった形状を示す時がある。船体運動に相当するピーク付近では、3 者は異なった挙動をしている。3 節振動では S-2 はほとんどみられない。すなわち 2 節振動に関しては S-2 と V-2 が良い相関を持っており、船首加速度は縦曲げ応力の指標と考えることを示している。

③ 0.13 ~ 0.14 Hz と 2 節振動のピーク値を比較した場合、V-2、P-3 は前者の方が大きい、S-2 に関しては後者の方が大きく、しかもレベルそのものも大きい場合がみられる。それは時系列波形でも確認できる。すなわち縦曲げ強度を考える場合、波浪曲げ応力のみで代表させることは不

分で2節振動を無視できないことを意味している。

④ V-2、S-2のスペクトル分布は前述の表の振動数にそれぞれに卓越したピークを持つ分布形をしているがP-3は谷を埋めた形で広範囲にわたって漸減する分布(例えば Fig. 1.2.3.4(b) $t=211.8 \text{ sec}$)を示すことがある。このような分布を示した場合、後の2節振動の成長に何らかの関連があるように思われる。

⑤ Springingの発生原因として熊井教授は、出会い周期の整数倍成分との共振をあげている。したがって、本解析にあたっての関心は、出会い周期の整数倍の振動数にピークを持つスペクトル分布を呈するかどうかであったが、それらしき様子もみられなくはないが、余り顕著ではなかった。さらに出会い周期とspringing波形の変化を観察するためにBAND PASS FILTERを用いてWave-induced stressとspringing stressの分解を試みてみた。(注 アナログフィルターを用いたため位相遅れが見られる)結果は原波形と並べて、Fig. 1.2.3.6(a)(b)(c)に示す。springing stressの波形に着目してみると、出会いの波頂部分で増巾され次の波頂までの間で減衰することを繰り返していることがわかる。

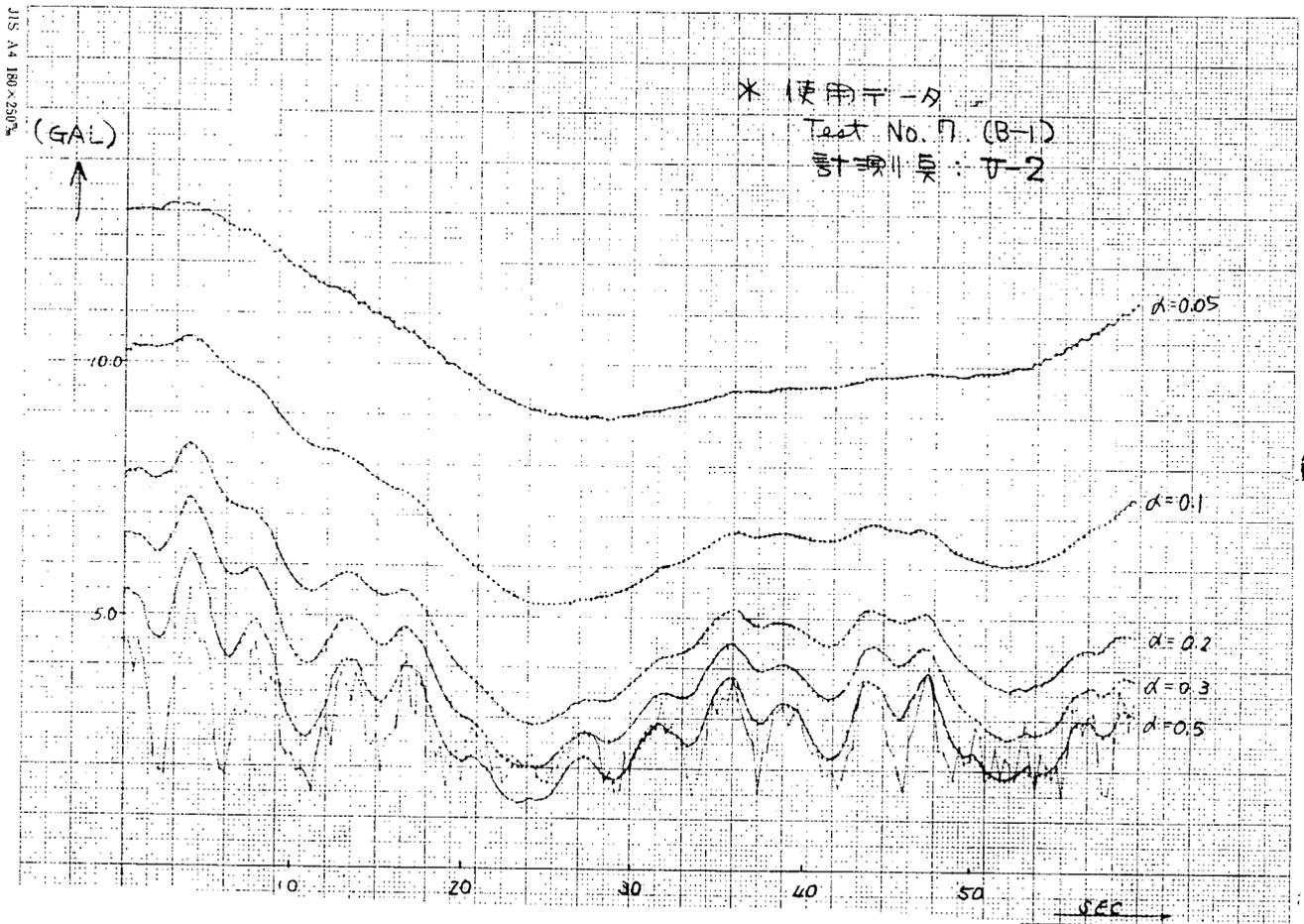


Fig. 1.2.3.1 移動ウィンドウ開放の定数 α の選定

$\text{kg/cm}^2 \times 10^2$ $\text{gal} \times 10$ $\text{kg/cm}^2 \times 10^2$
 (P-3) (V-2) (S-2)
 3.0 1.5 1.5

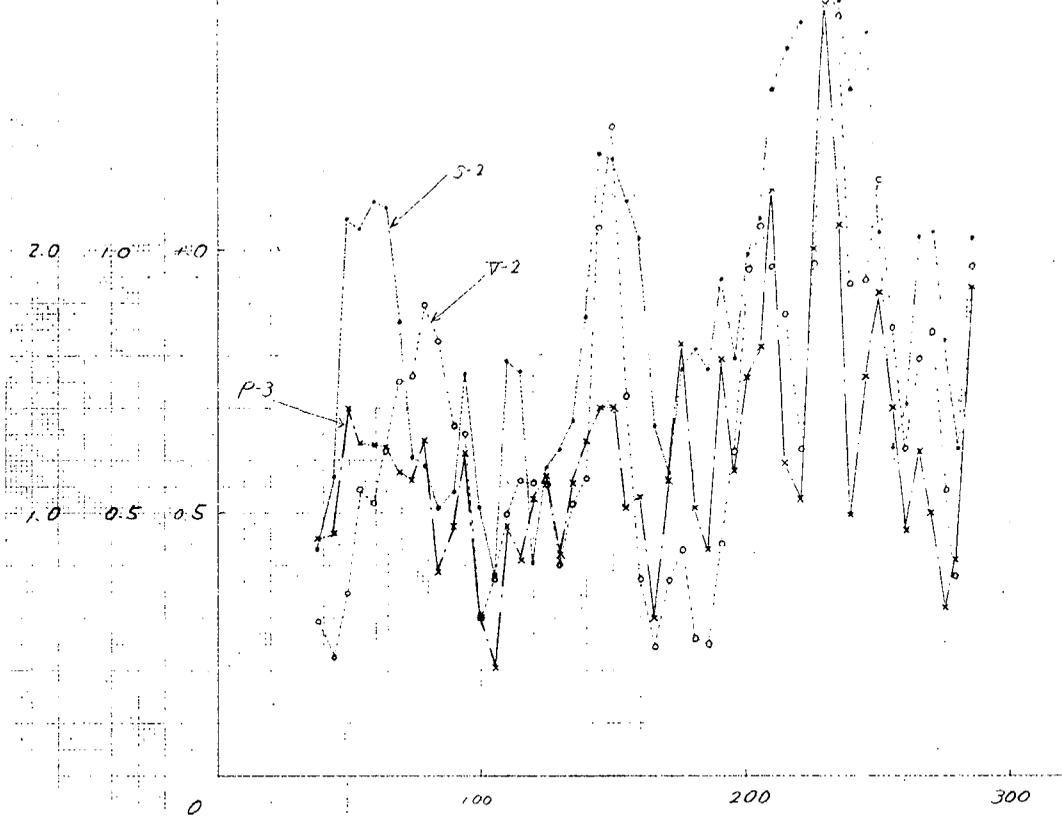


Fig. 1. 2. 3. 2 R.M.S. の時間変化 (Test No. 7, B-1)

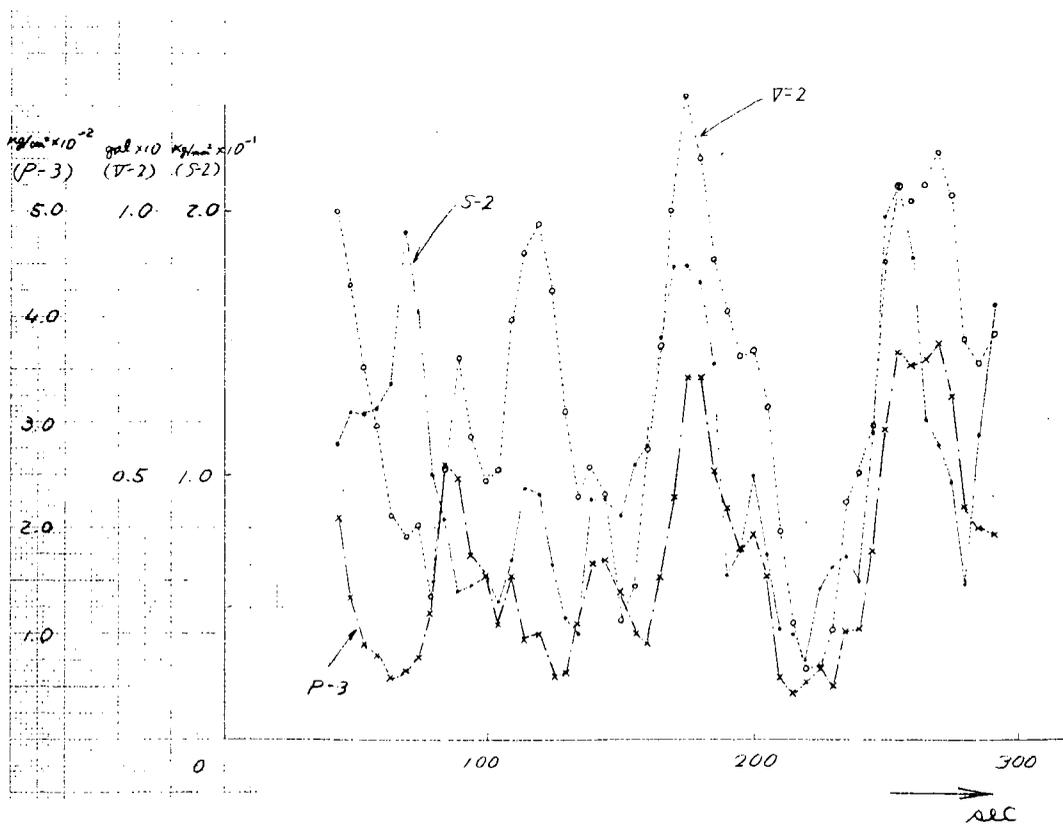


Fig. 1. 2. 3. 3 R.M.S. の時間変化 (Test No. 17, B-1)

(左肩の矢印)

- ↖ : 前者のコリに数々2
5-2の2階布の数が分が
大きくはいるもの。
- ↙ : ほぼ同じ
- ↘ : 下へたもの

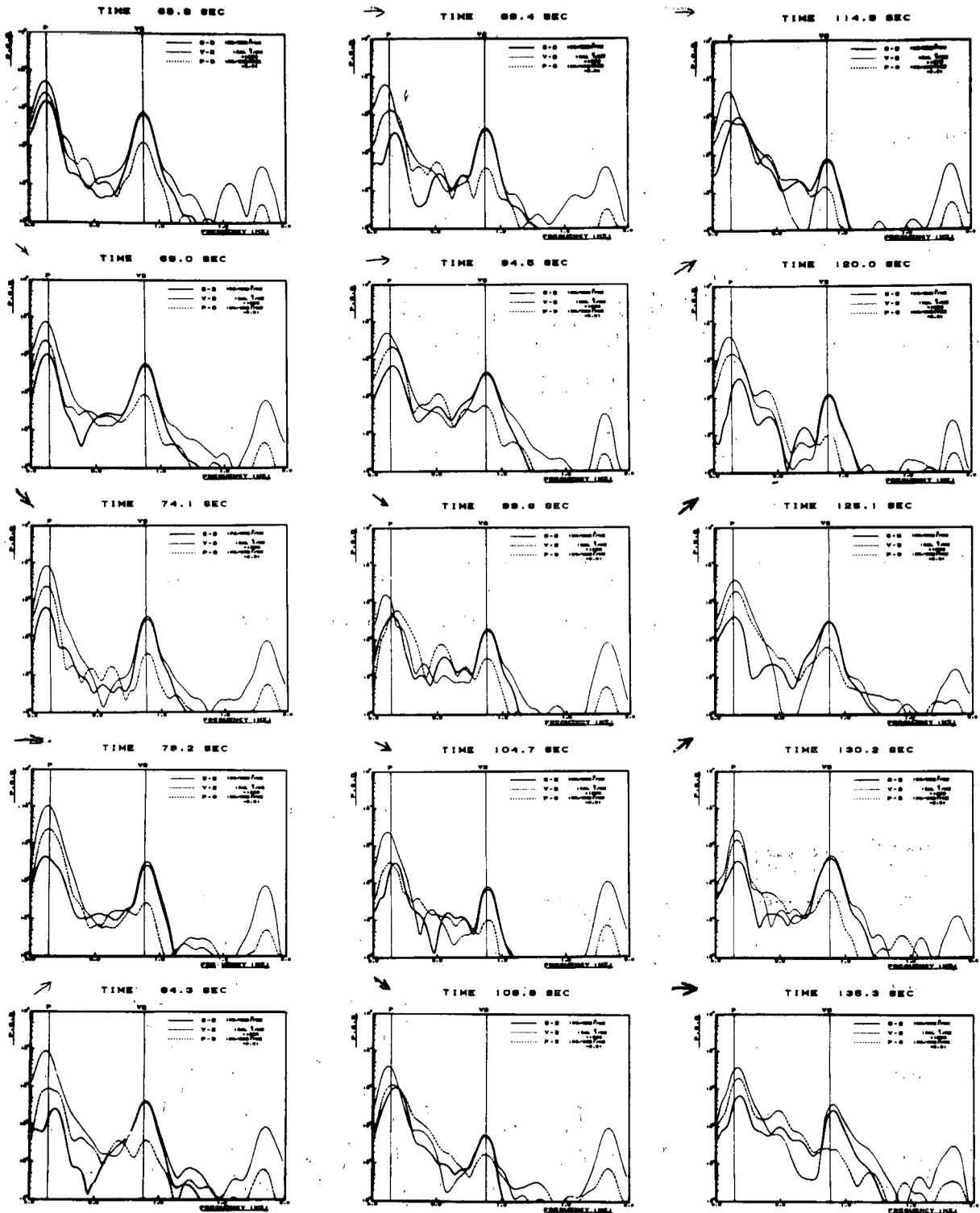


Fig. 1. 2. 3. 4 (a) P.S.D. の時間変化 (TEST №. 7 B-1)

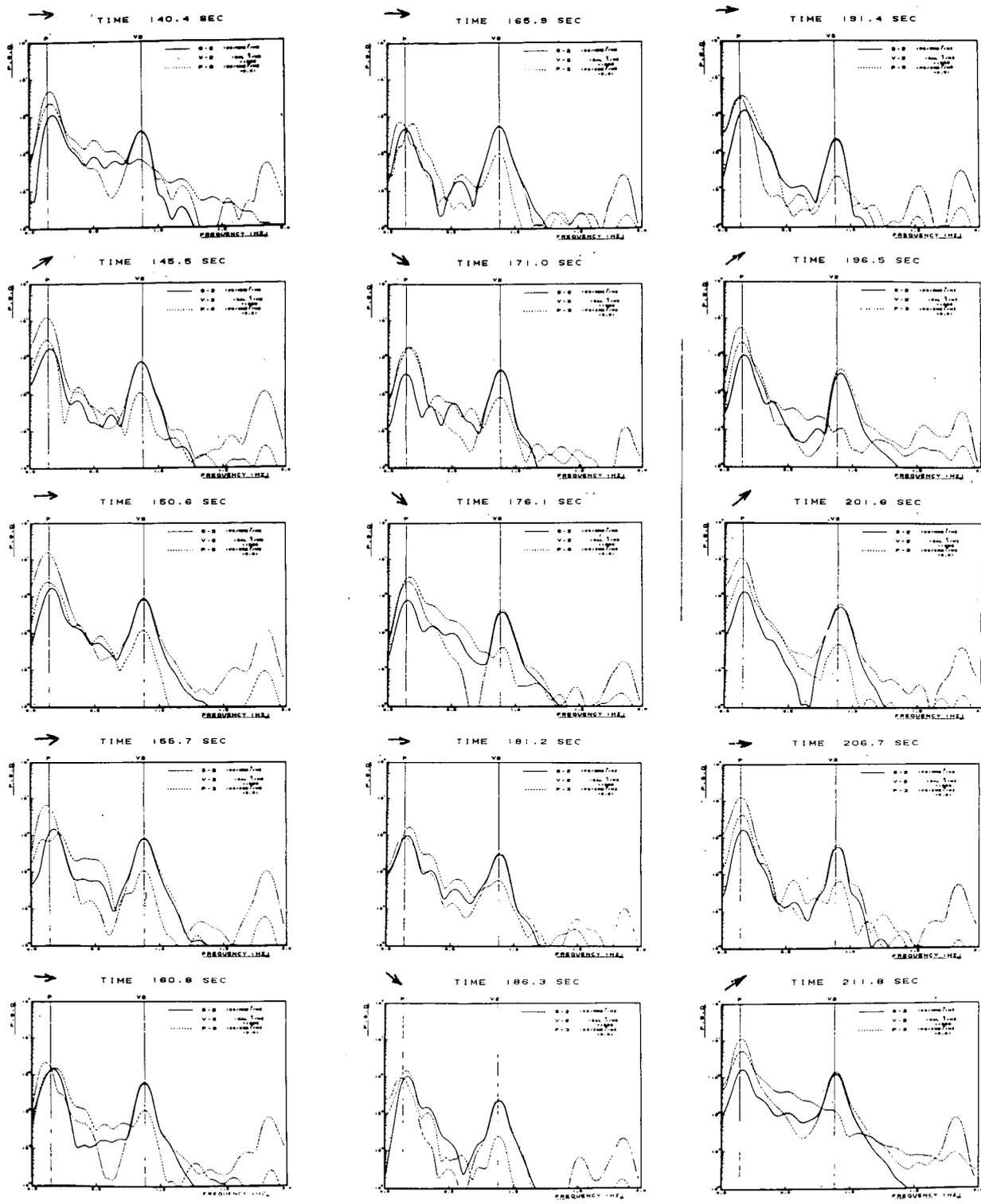


Fig. 1. 2. 3. 4 (b) P.S.D. の時間変化 (TEST №7 B-1)

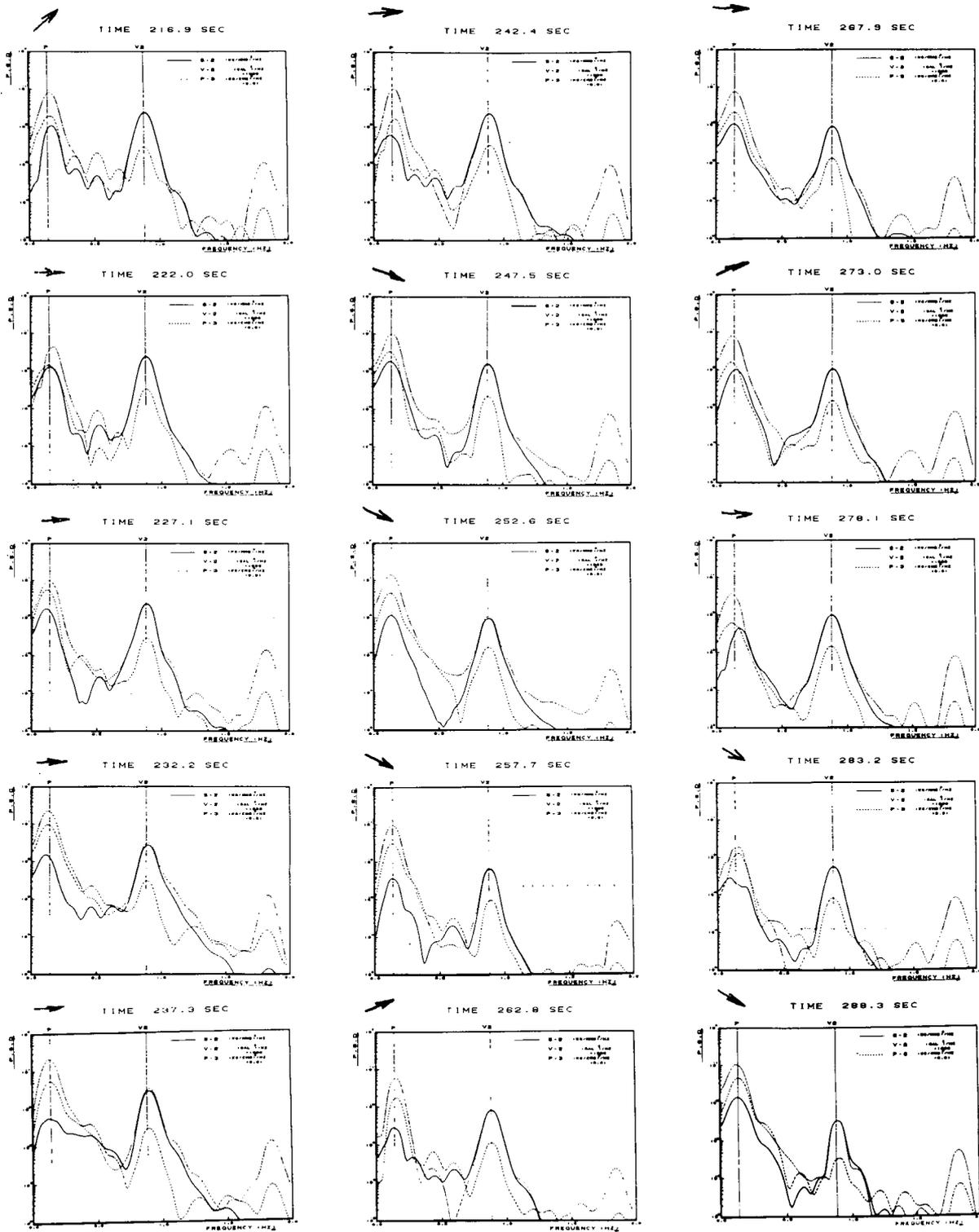
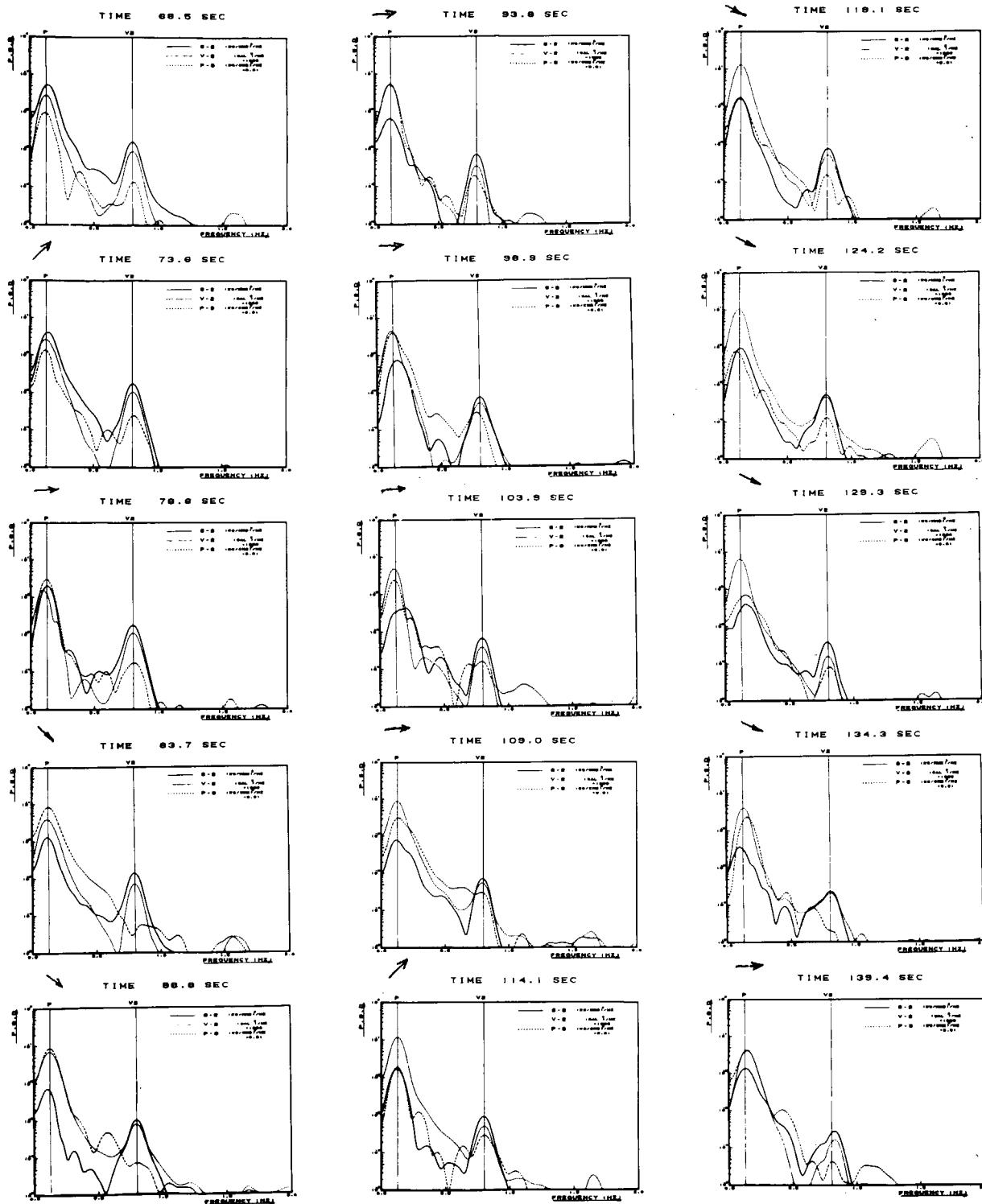
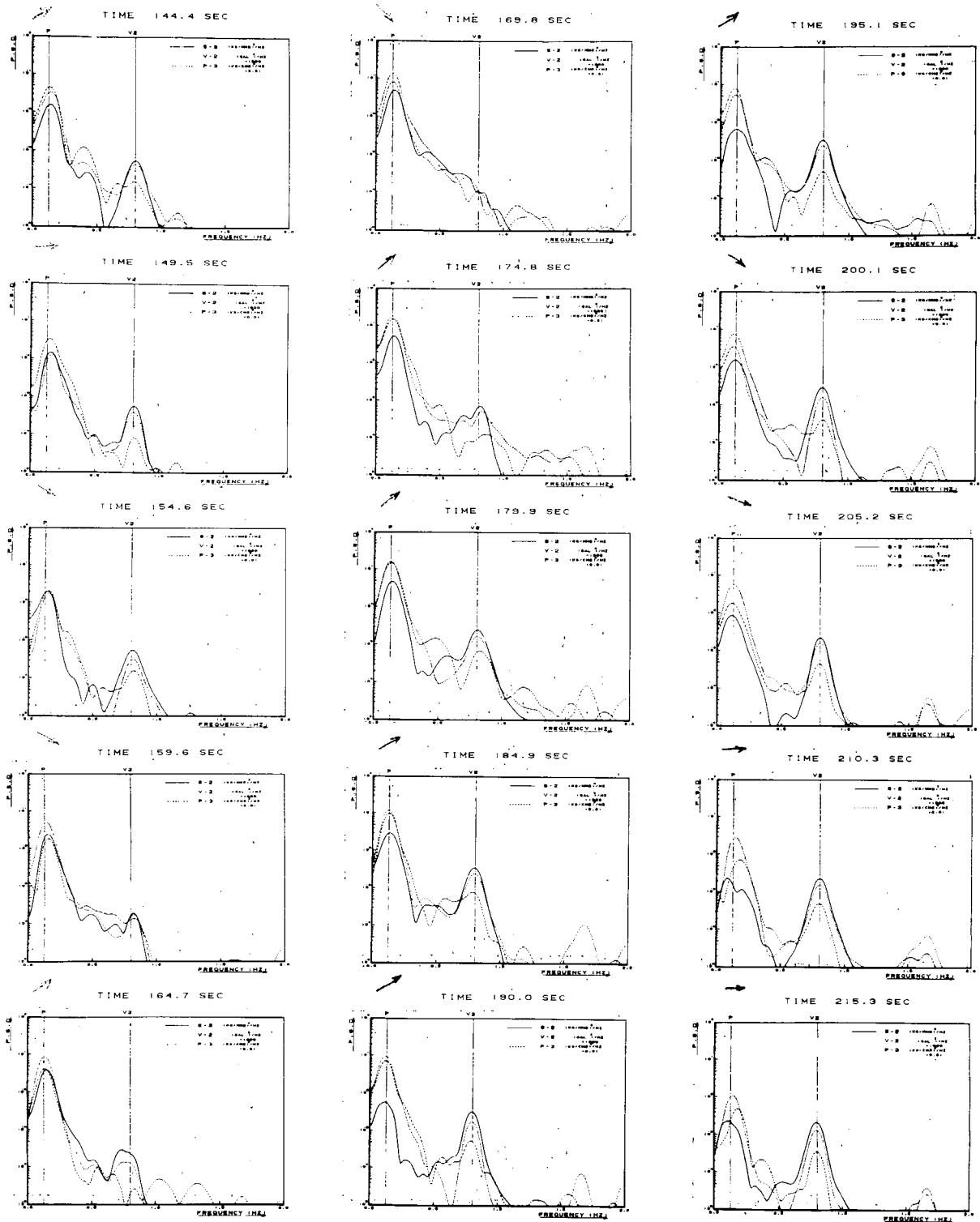


Fig. 1. 2. 3. 4 (c) P.S.D. の時間変化 (TEST №.7 B-1)



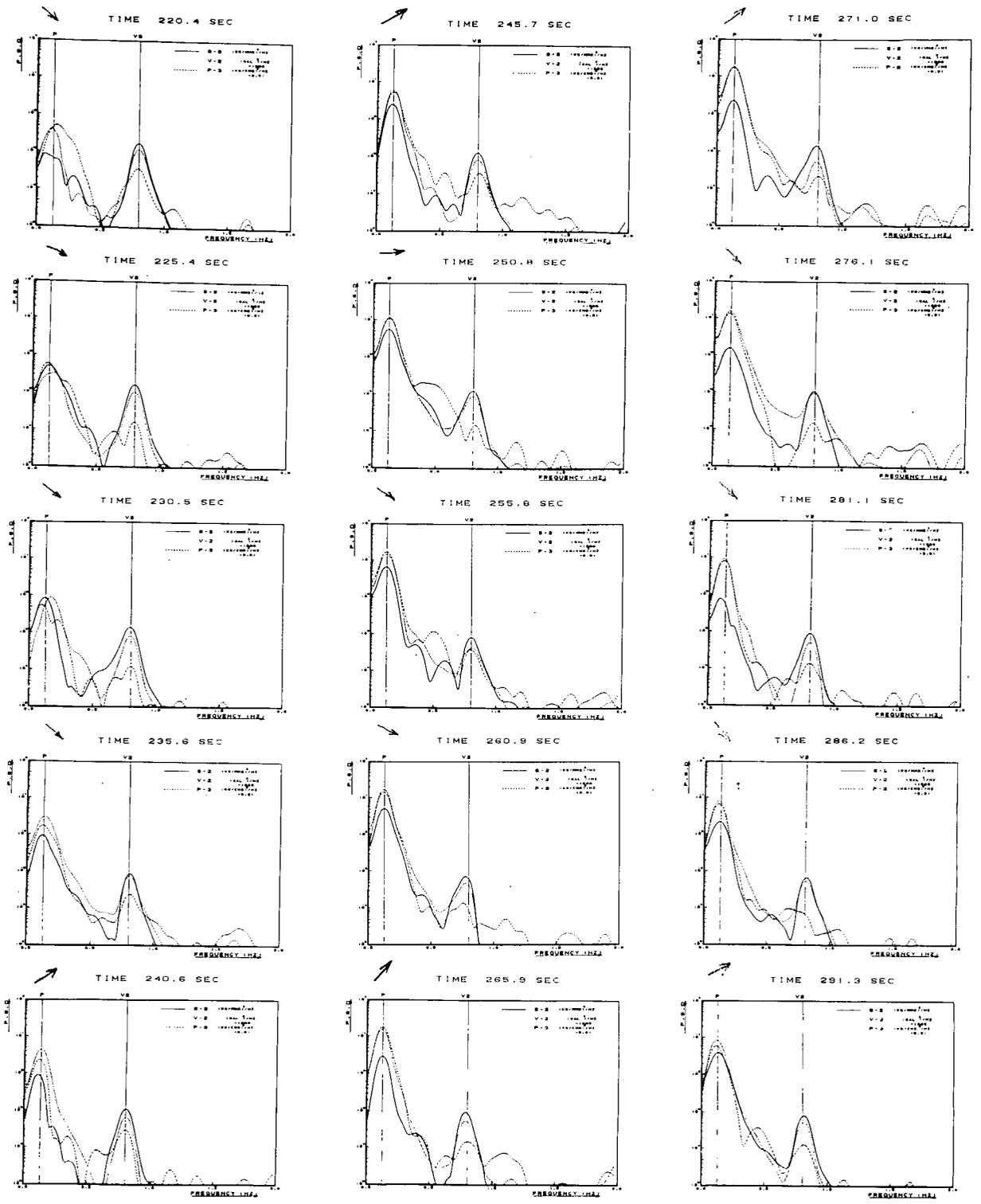
P. S. D の時間変化 (TEST 17 B-1)

Fig. 1. 2. 3. 5 (a)



P. S. D. の時間変化 (TEST №.17 B-1)

Fig. 1. 2. 3. 5 (b)



P. S. D. の時間変化 (TEST №17 B-1)

Fig. 1. 2. 3. 5 (c)

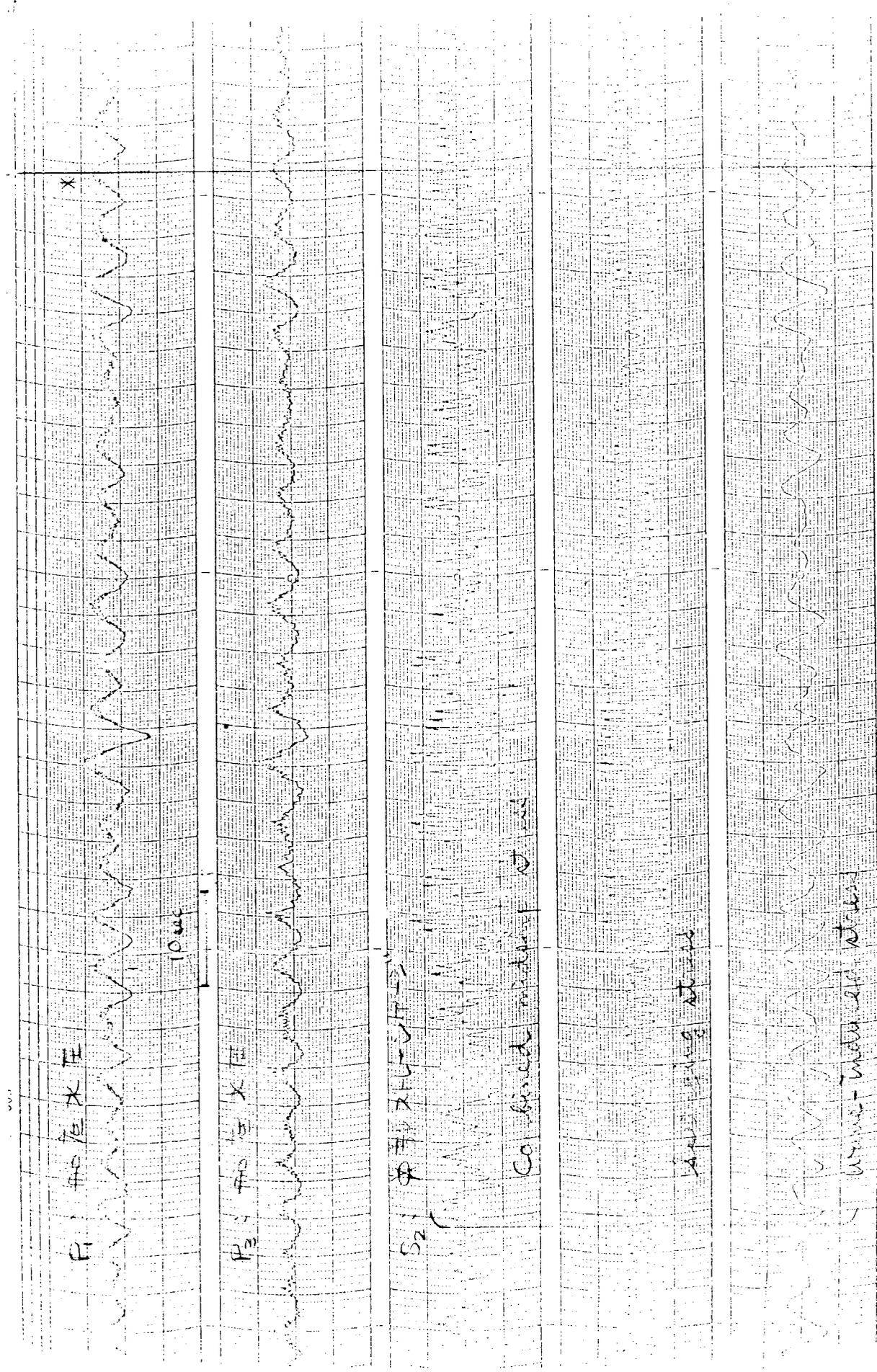


Fig. 1. 2. 3. 6 (a) 時系列波形 (TEST No. 7 B-1)

CHART No. CP-506

2



Fig. 1. 2. 3. 6 (b) 時系列波形 (TEST No. 7 B-1)

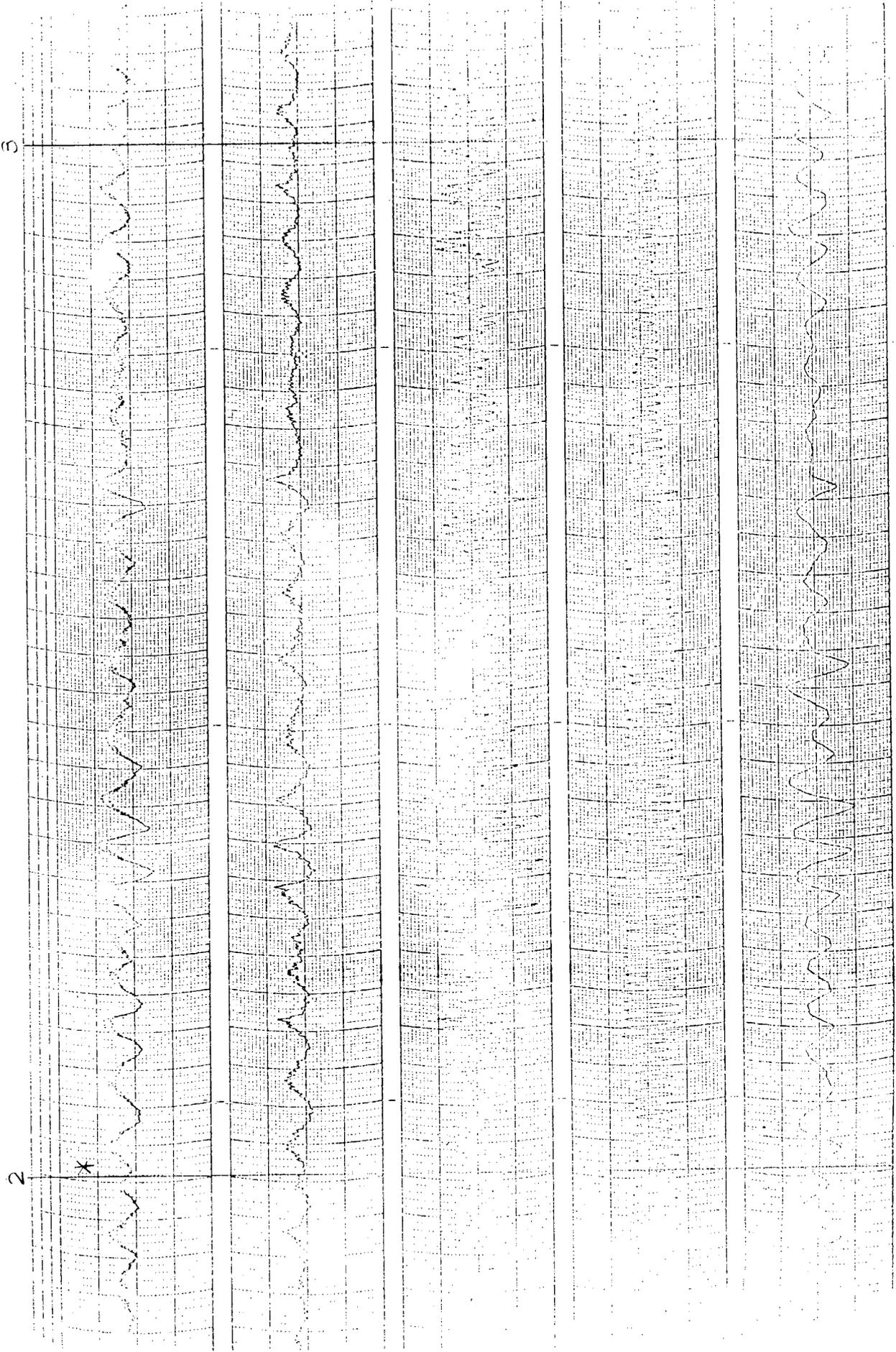


FIG. 1 2 3 6 (c) 時系列波形 (TEST №7 B-1)

1.2.4 衝撃による船体高次過渡振動

Test No. ②-6 に於て、ほぼ迎波の状態で、球状船首船底の水圧 P_1 に衝撃波形が記録され、同時に船体高次の過渡振動が計測された。本節では、46年度の報告に示された過渡振動計算法によって、本船の高次過渡振動を再現し、計算理論及び計測結果の妥当性を確認した。まず計測結果の記録波形を Fig. 1.2.4.1 に示す。

計算に使用した衝撃力の Time History は ate^{-bt} で表わされるものと仮定し、 P_1 の記録波形と比較した。(Fig. 1.2.4.2)

衝撃力の最大値は $t=\tau/4$ に於て 10 ton と仮定し、 τ を衝撃力の作用時間の長短を表すパラメーターと考えた。

2 節振動の対数減衰率を δ とし、高次振動に於ける対数減衰率は、振動数に比例するものと仮定した。船体の梁理論に於る Normal Mode は他船の計算モード (7 節までは a/c 、8 節~11 節は B/c) を流用した。振動数は本船の固有振動数計測結果から決定した。振動モード及び振動数を Fig. 1.2.4.6 に示している。計算結果として、まず $\tau=0.08$ sec、 $\delta=0.003$ の場合の各点の Time History を Fig. 1.2.4.3 に示す。衝撃力の作用点に近い船首端では衝撃力作用と同時に振動が発生し、最大振巾 (a_{51}) に達してその後減衰しているが、この減衰は純粹とは云い難く、ビートを打っている。これは衝撃によって発生する振動が1個の固有振動ではなく、近接した固有振動数が全て発生するためにビートを呈するものと思われる。船尾端では衝撃力が作用して後 0.06~0.07 sec に於て最大振巾 (a_1) を示しており、船首から船尾への振動伝播に 0.06 sec 程度かかったことが判る。これは計測記録によく一致している。尚、計測記録では、 P_1 の衝撃水圧記録開始より、約 0.05 sec 程度先行して船首部の加速度に振動が発生していることから、船体の船首部への衝撃力作用時刻は P_1 の位置に於る衝撃水圧記録時刻より、約 0.05 sec 先行している事が認められる。

次に減衰率を変えた場合について計算を行い、高次過渡振動に対する減衰の影響を調べた結果を Fig. 1.2.4.4 に、 τ を種々変えて計算し、衝撃継続時間の影響を Fig. 1.2.4.5 に示す。船首端に於る振動振巾 a_{51} は減衰及び継続時間によらずほぼ一定の結果を示し、船尾端の振巾 a_1 は減衰の増加と共に減少している。計測との比較によれば Fig. 1.2.4.4 より $\delta=0.005$ となる。また船首振巾、船尾振巾の大きさより衝撃力の大きさは

$$272 \text{ gal} / 21.7 \text{ gal} \times 10 \text{ ton} = 125 \text{ ton}$$

$$242 \text{ gal} / 18.5 \text{ gal} \times 10 \text{ ton} = 131 \text{ ton}$$

となる。しかし、これらの値は、記録波形が頭打ちになっている事や、計算に際し、最高の節数を 11 節とし振動数を 495 cpm までとしている事などの計算仮定があるため必ずしも正しいものとは云えないがほぼ概略の値を与えているものと思われる。

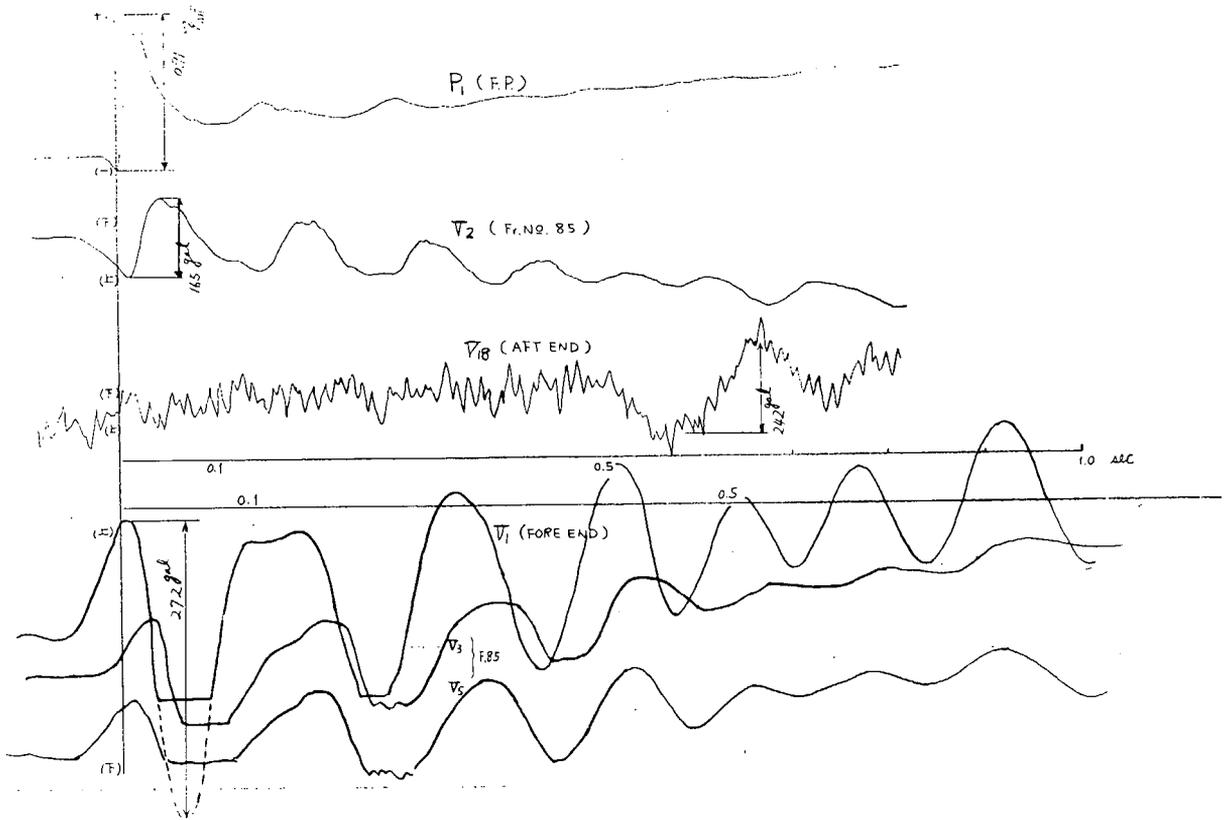


Fig. 1.2.4.1 記録波形

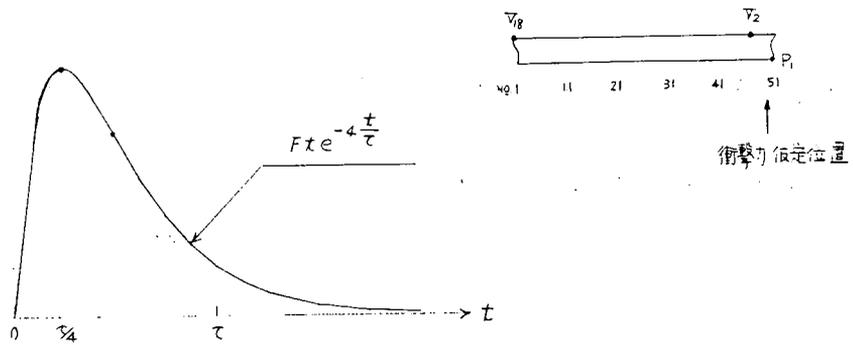
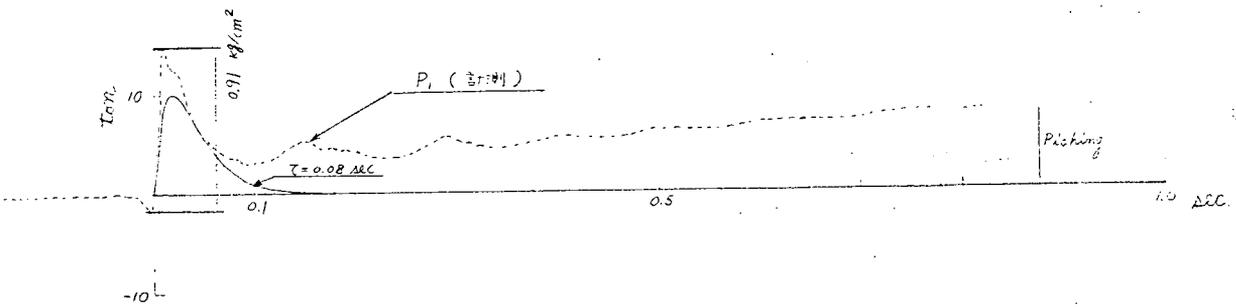


Fig. 1.2.4.2 衝撃力の仮定

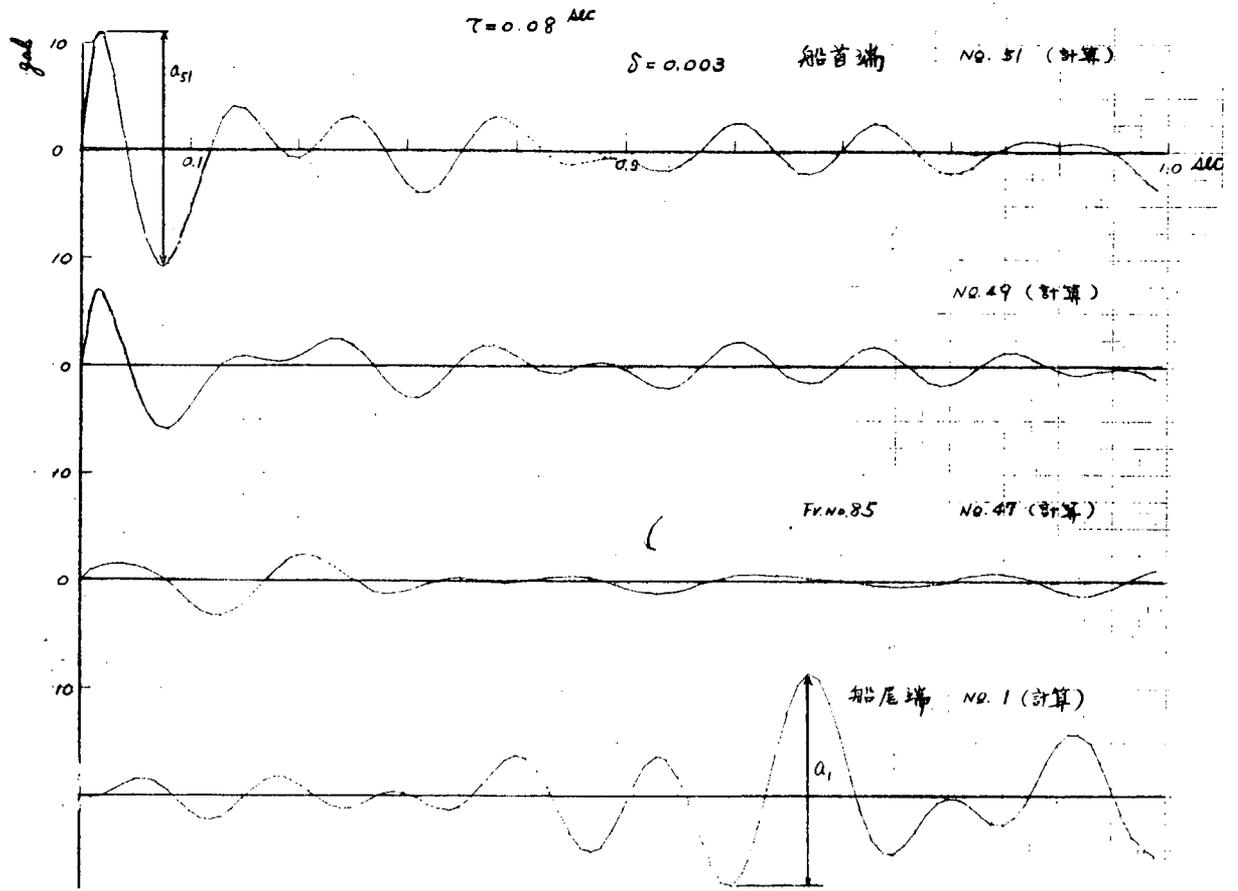


Fig. 1. 2. 4. 3

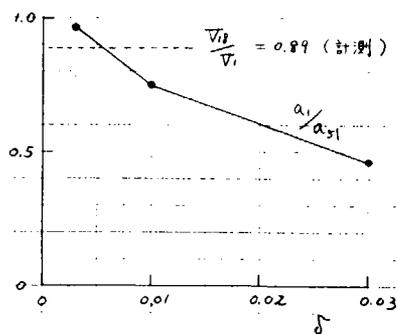
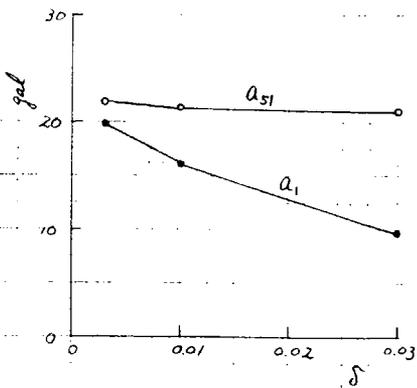
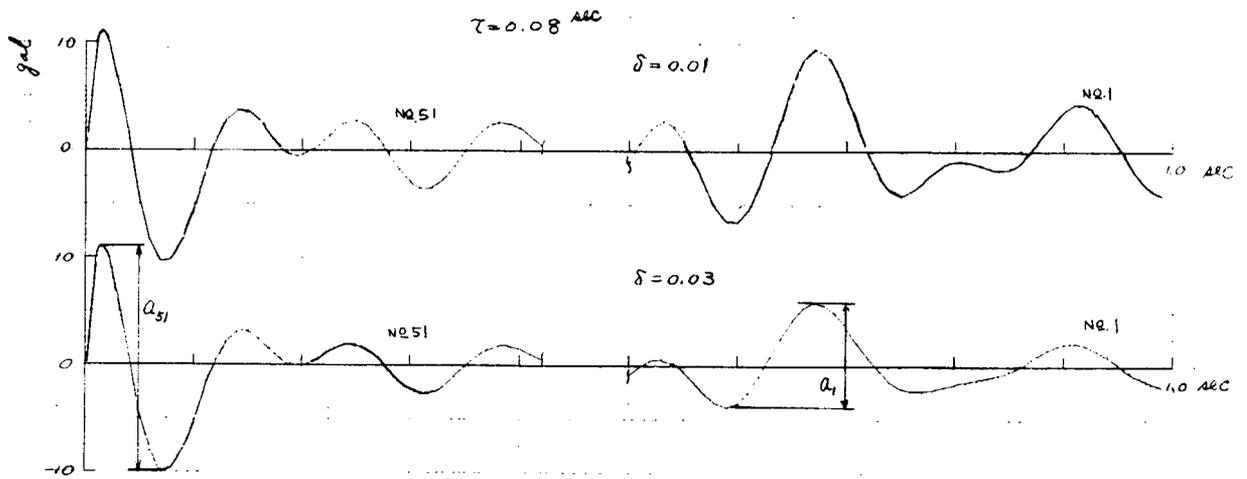


Fig. 1. 2. 4. 4

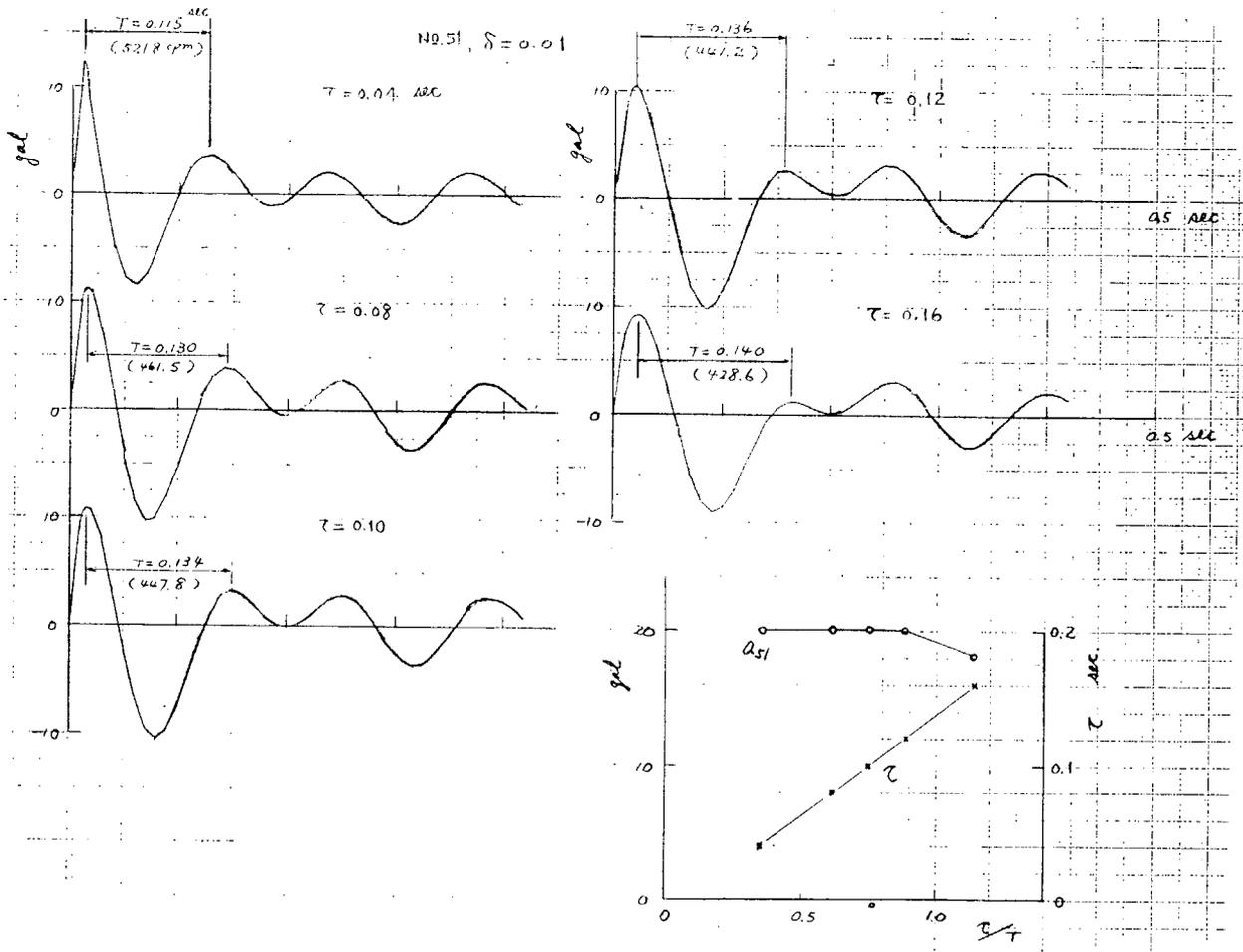


Fig. 1. 2. 4. 5

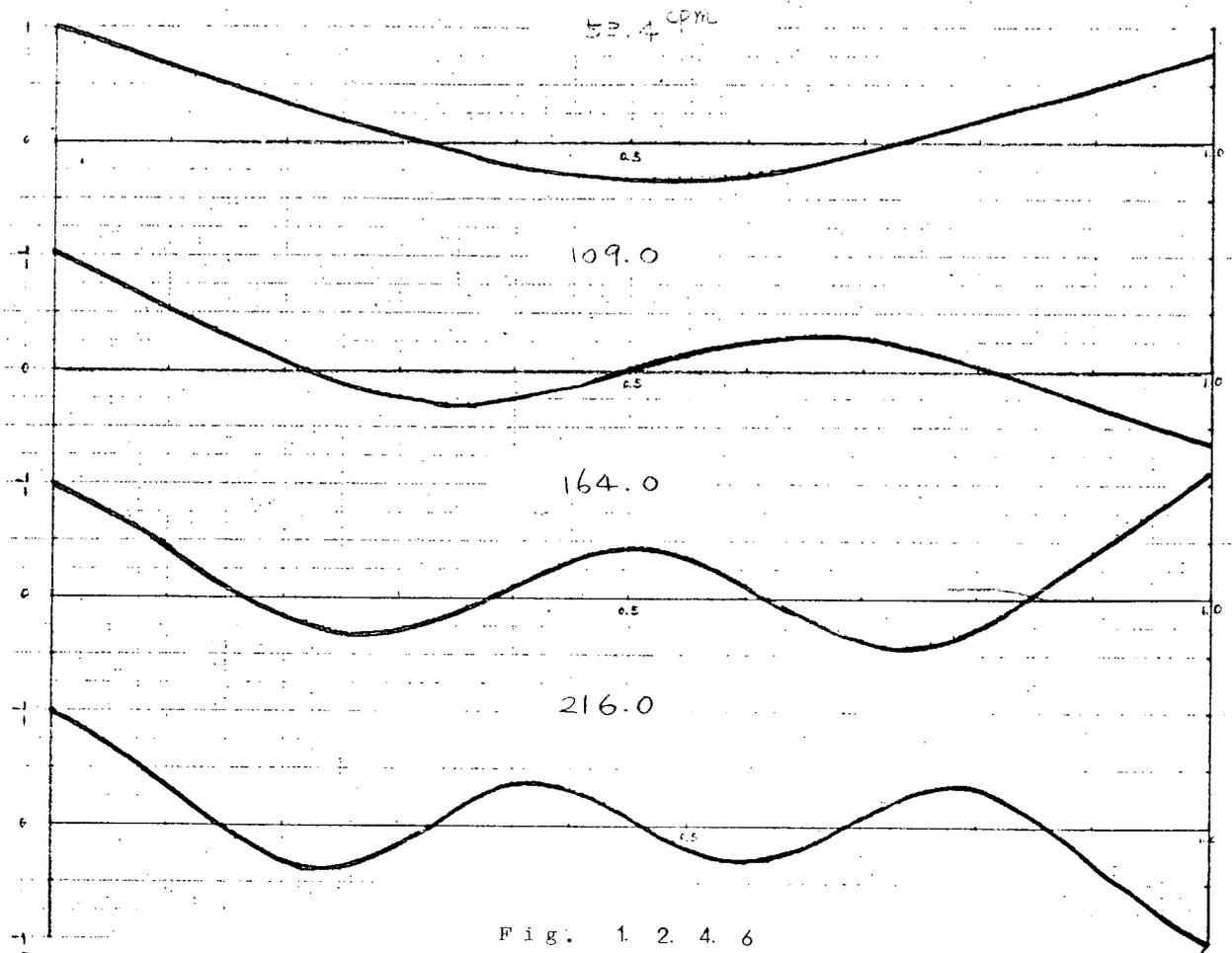


Fig. 1. 2. 4. 6

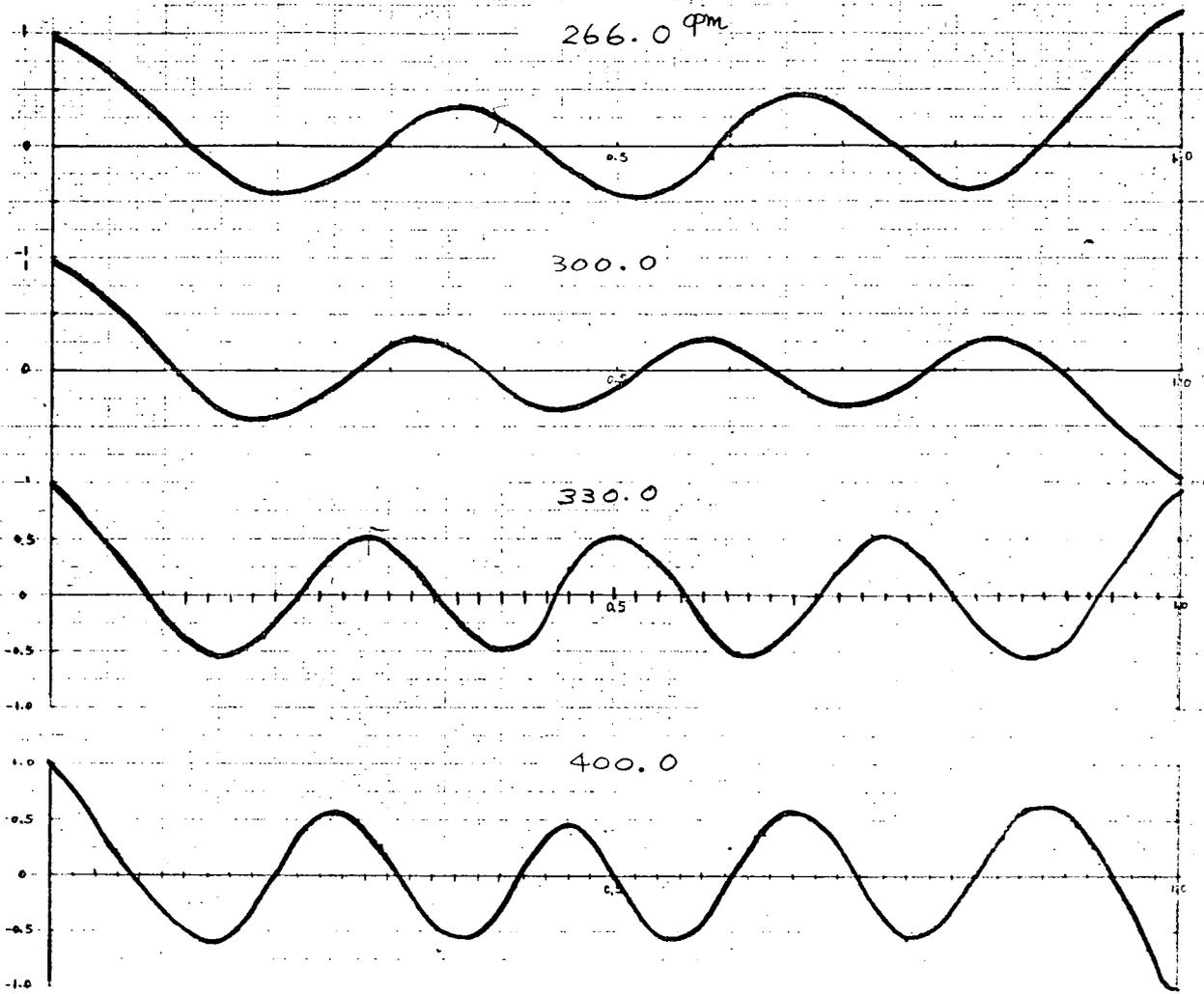


Fig. 1 2. 4. 6 (続き)

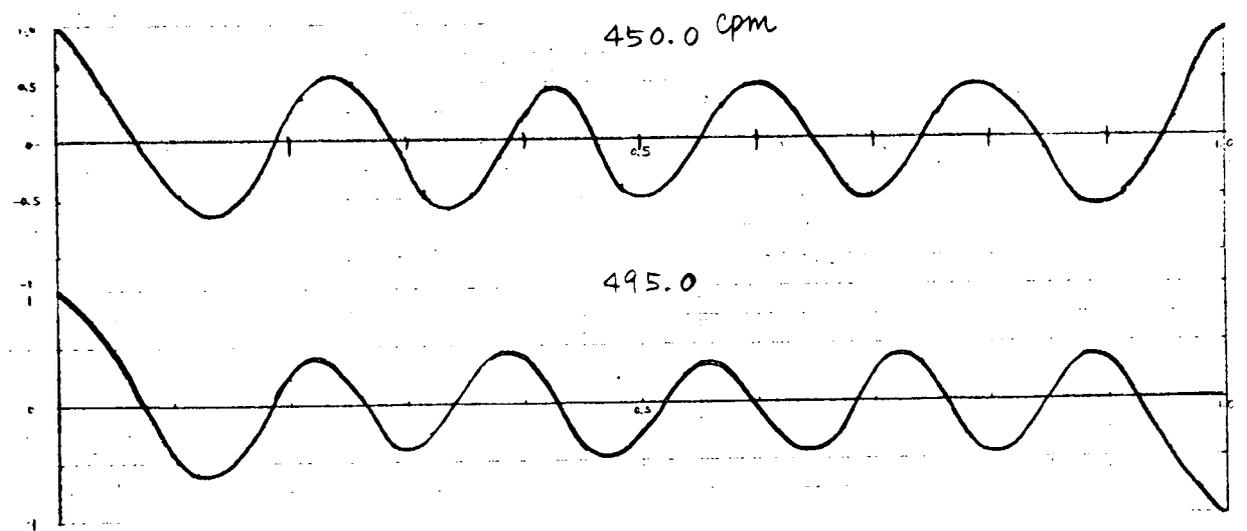


Fig. 1 2. 4. 6 Whipping の計算に使用した振動数とモード
(続き)

1.3 局部構造部材の振動応力

1.3.1 緒言

SR112前年度報告書ではアナログ記録データに収録された振動応力計測の解析結果が報告されており、船体主構造および trans ring等の局部構造に働く振動応力が求められている。

今回の振動応力関係のとりまとめは神和丸実船計測のデジタル記録データを振動データ処理プログラムを使用して解析を行なうものである。

振動応力の計測は主としてspringingによる船体主構造に働く応力および trans ring等のweb panelやstrut等の局部構造部材の損傷の因になる振動による応力の性状を調査するために行なわれたものであるが前者については前年度および本年度報告書のspringingの章において詳しく述べられているのでここでは局部構造部材に働く振動応力に限った。

1.3.2 振動応力の計測点配置および計測時状態

神和丸の振動計測の計画時に於いてはFig. 1.3.1に示したように多数のストレイン・ゲージが振動応力計測のために貼布されたが、計測終了時までゲージに異常がなく、無事にデータが収録されたものは図中四角印でかこんだもののみである。これらの計測点について試験番号別に計測記録を分類すればTable 1.3.1に示したようになる。本年度の予算額に制限があるため、本年度の解析対象は次の3個所の計測点より得られたものに限定することにした。

Table 1.3.2 解析を行なった計測点

計測点	貼布場所	位置
S13	trans webのパネル中央	Fr 48左舷
S33	trans webのパネル中央	Fr 82左舷
S19	strutの中央部	Fr 61左舷

また実験状態もこれらの計測部材が接水および空中状態となる5c(接水)および10c(空中)についてのみ解析を行なった。これらのものはTable 1.3.1において黒丸印をつけた点である。

1.3.3 部材寸法および固有振動数

Table 1.3.2に示した部材3点の詳細寸法をFig. 1.3.2に示す。これらのパネルおよびストラットをそれぞれ矩形板および梁と考へて求めた固有振動数の計算結果をTable 1.3.3に示す。

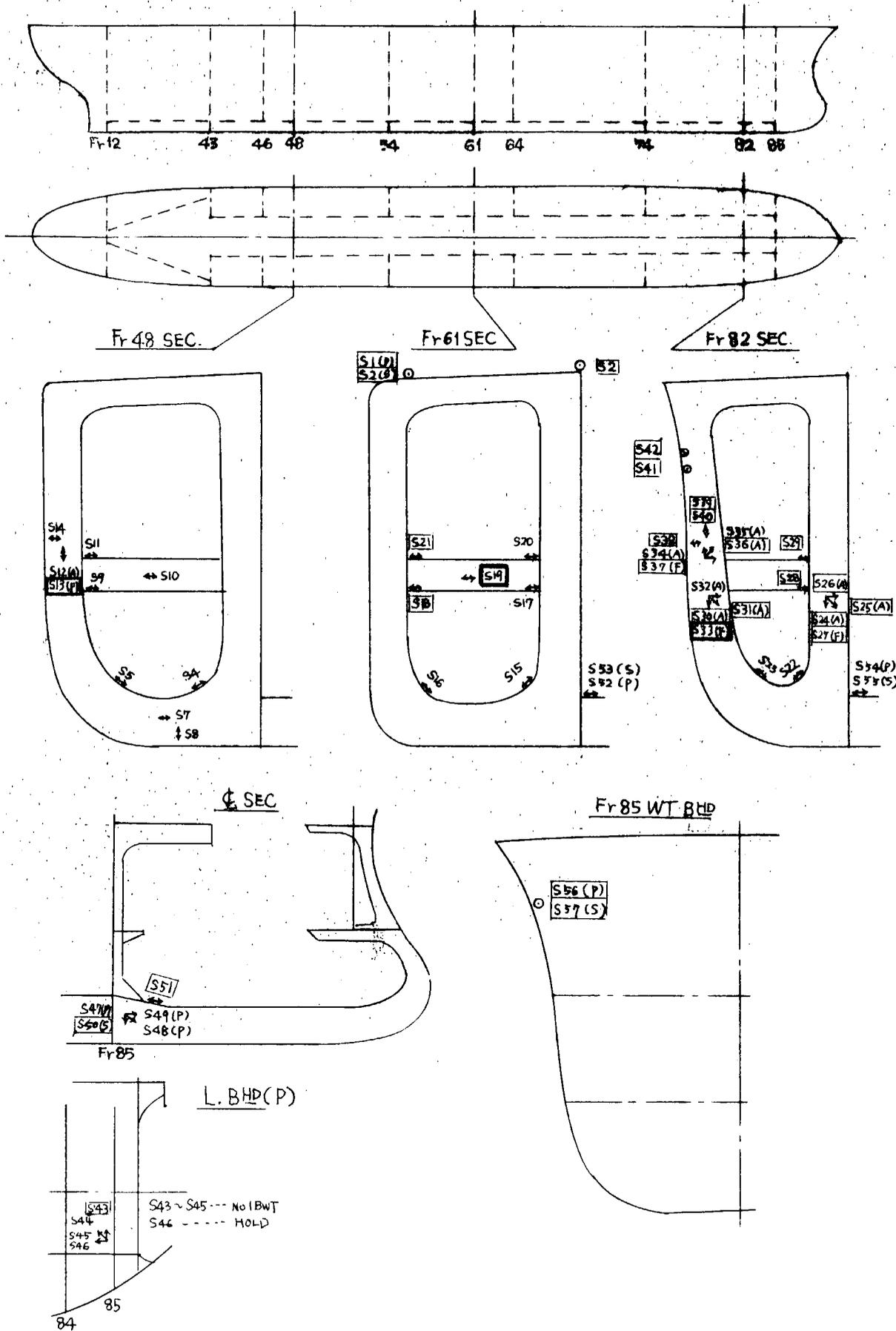


Fig. 1. 3. 1 計測点配置

1.3.4 データ解析結果

振動データ処理プログラムを使用して種々の解析を実施した。ここではその代表的な図のみを示すことにする。混乱をさけるため、掲げた図番を Table 1.3.4 に示している。これらの図はいずれもデータ処理プログラムのプロッター・アウト・プットとして得られたものであるが、最後の Cambel 線図形式で応力の $\rho_{wea} \text{ Level}$ を示したものは実験固有振動数を求めるのに判別しやすいためである。

Table 1.3.3 計算固有振動数

部 材	計 測 点	周辺状態	c pm	
			空中状態(10C)	接水状態(5C)
Panel	S 13 (Fr48)	支 持	2800	1040*1
		固 定	5600	2080
	S 33 (Fr82)	支 持	2800	1040
		固 定	5600	2080
Strut	S 19 (Fr61)	支 持	853	306*2
		固 定	1943	697*

*1 Panelの接水時固有振動数 f_w は空中時固有振動数を f_0 とすれば $f_w = f_0 / \sqrt{1 + \epsilon}$ から計算した。ただし、接水低下率 ϵ は次の値

$$\epsilon = \frac{\rho_w}{\rho_0} \frac{a}{t} \frac{C}{\pi \sqrt{1 + (a/b)^2}} \text{ を用いた。}$$

*2 Strutの接水低下率 ϵ は近似的に円断面に対するものを流用した。

$$\epsilon = \frac{W_w}{W_m} = \frac{\rho \pi b^2 J L}{\mu g L}$$

ここに、三次元修正値 J は Taylor の式を用いこの場合 $J = 0.882$ とした。

1.3.5 データ解析結果の考察

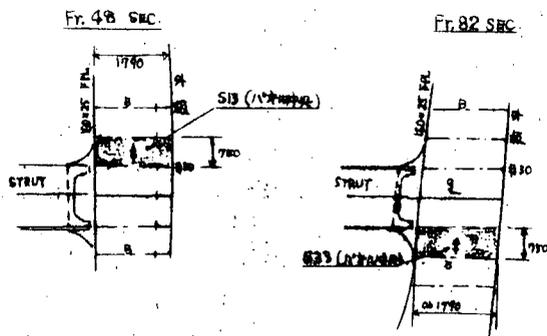
(1) 局部構造部材に作用する起振外力

局部構造部材に作用する起振外力の主なものとして、プロペラによるもの、主機関によるものおよび波によるもの等が考えられる。本船の場合これらから発生する起振振動数成分は次のようなものが考えられる。

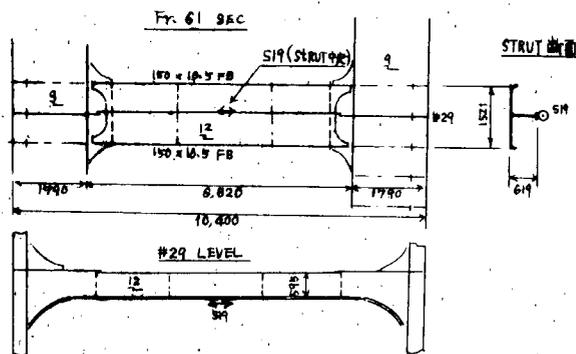
Table 1.3.5 起振振動数成分 (N=軸回転数)

起 振 源	振 動 数 成 分
プロペラ (5 翼)	5N, 10N
主機関 (IHI SULZER 6RD90)	4N, 6N, 8N, 9N, 12N
波	N に無関係

前節に示した解析結果を検討すると明らかなように起振外力の種類はプロペラおよび主機関による主軸回転数の整数倍の振動数成分をもつものがほとんどであり、波によるものと見られる回転数に無関係な振



a) 計測点 S13 パネル寸法図 b) 計測点 S19 パネル寸法図



(c) 計測点 S19 ストラット寸法図

Fig. 1. 3. 2 計測点詳細図

Table 1. 3. 4 図番一覧表

解析項目	試験番号	計測点	panel S13	panel S33	strut S19
タイムヒストリー		5C	Fig 1.3.3 (a)	Fig 1.3.4 (a)	Fig 1.3.5 (a)
		10C	Fig 1.3.3 (b)	Fig 1.3.4 (b)	Fig 1.3.5 (b)
共振曲線		5C	Fig 1.3.6 (a), (b), (c), (d)	Fig 1.3.7 (a), (b), (c), (d)	Fig 1.3.8 (a), (b), (c), (d)
		10C	Fig 1.3.6 (e), (f), (g), (h)	Fig 1.3.7 (e), (f), (g), (h)	Fig 1.3.8 (e), (f), (g), (h)
自己相関関数		5C	Fig 1.3.9 (a)	Fig 1.3.10 (a)	Fig 1.3.11 (a)
		10C	Fig 1.3.9 (b)	Fig 1.3.10 (b)	Fig 1.3.11 (b)
パワースペクトル		5C	Fig 1.3.12 (a)	Fig 1.3.13 (a)	Fig 1.3.14 (a)
		10C	Fig 1.3.12 (b)	Fig 1.3.13 (b)	Fig 1.3.14 (b)
振動数スペクトル		5C	Fig 1.3.15	Fig 1.3.16	Fig 1.3.17
		10C	—	—	—
線スペクトル		5C	Fig 1.3.18	Fig 1.3.19	Fig 1.3.20
		10C	—	—	—
キャンベル線図	フーリエ解析	5C	Fig 1.3.21 (a)	Fig 1.3.22 (a)	Fig 1.3.23 (a)
		10C	Fig 1.3.21 (b)	Fig 1.3.22 (b)	Fig 1.3.23 (b)
	パワースペクトル解析	5C	Fig 1.3.24 (a)	Fig 1.3.25 (a)	Fig 1.3.26 (a)
		10C	Fig 1.3.24 (b)	Fig 1.3.25 (b)	Fig 1.3.26 (b)

動数はあまり見受けられない。例えば S 1 3 の計測点の振動数スペクトル (Fig 1. 3. 1 5) では主機関による 6 N, 4 N, 8 N 成分およびプロペラの 1 0 N 成分が顕著に表われている。これはさらに Fig. 1. 3. 1 2 (a) に示した power spectrum を見れば尙明らかであり、これらの spectrum はどれもがそれぞれの成分をもつ line spectrum の形状を示している。またこれらは Cambel 線図 (Fig 1. 3. 2 1 (a) ~ Fig 1. 3. 2 3 (b)) を見れば明らかにどの振動数成分が卓越しているかがわかる。各計測点別に卓越振動数の主なものを抜粋すると Table 1. 3. 6 に示したようになる。

Table 1. 3. 6 卓越振動成分と応力値

計測場所	⑤ C : 部材は接水状態				⑩ C : 部材は非接水状態			
	次 数	振 動 数 c p m	応 力 値 (Kg / m ²)	次 数	振 動 数 c p m	応 力 値 (Kg / m ²)		
S 1 3 panel	1	10 N	1 144	0.17	1	6 N	7 17	0.005 1
	2	6 N	7 15	0.12	2	5 N	5 98	0.004 4
	3	9 N	8 95	0.10	3	12 N	1 341	0.003 9
	4	8 N	7 88	0.09	4	10 N	1 196	0.003 8
S 3 3 panel	1	5 N	5 84	0.04	1	9 N	9 83	0.004 7
	2	6 N	9 94	0.02	2	10 N	1 092	0.003 1
S 1 9 strut	1	4 N	4 39	0.06	1	10 N	1 182	0.000 7
	2	5 N	4 57	0.05	2	5 N	5 46	0.000 6
	2	6 N	6 86	0.05	3	6 N	7 17	0.000 3

Table 1. 3. 6 よりプロペラ起振力と主機起振力との応答におよぼす影響を見ると接水状態では panel 部には 1 0 N および 5 N の振動数成分が卓越しているのに対して strut では 4 N 成分が 5 N 成分よりやや大きく計測されている。これは後述するように strut の接水状態の固有振動数が Table 1. 3. 2 6 (b) の Cambel 線図から明らかなように 4 5 0 c p m にあり 4 N 成分の応答が顕著に表われたものと思われる。したがって接水状態ではプロペラ起振力の影響の方が主機関起振力よりやや大きいものと推定される。またこの 3 点の計測点は船長方向に船の船倉部の船尾側 (S 1 3)、中央部 (S 1 9)、船首側 (S 3 3) に配置されているが、応答振動数成分は S 1 3 では 7 N ~ 1 0 N の範囲が多いのに対して (Fig. 1. 3. 2 4 (a))、S 1 9 では 4 N ~ 6 N (Fig 1. 3. 2 6 (a)) S 3 3 では 5 N、6 N (Fig 1. 3. 2 5 (a)) の成分が卓越しており、起振源から離れるにつれて低次振動成分が現われる傾向がある。

一方、空中状態ではプロペラ起振力と主機関起振力が同等程度の割合で表われており特にどちらの影響が強いということはない。また船長方向にも 5 N ~ 1 0 N の振動成分がほぼ同程度で表われていることがわかる。

次に振動応力の大きさを比較して見ると Table 1. 3. 6 から明らかなように接水状態では空中状態よりはるかに大きな応力値となっている。振動応力値は最大 0.17 Kg / m² と非常に小さく、これは前年度の報告書の中のアナログデータによる計測値 (同状態 ⑤ C、S 7 ~ S 1 1) と同程度の値となっている。また 1 0 C (空中状態) における応力の傾向も前年度と同様な小さい値となっている。

(2) panelおよびstrutの固有振動数

これらの航走時解析データより部材の固有振動数を見出すのは多少無理があるがFig 1.3.21(a) → Fig 1.3.26(b)のCambel線図より判別して部材のpeak値のうち固有振動数で共振しているものと思われるものを求めればTable 1.3.7に示したようになる。

Table 1.3.7 実験より求めた固有振動数 (cpm)

計測点	状態	空中状態	接水状態
S13	Panel	—	1130
S33	Panel	(1030)	(570)
S19	Strut	1180	450

Table 1.3.3に示した計算固有振動数と比較すると、S13のpanelの接水状態の固有振動数は周辺支持した計算値とはほぼ一致を示している。またこの時10Nの起振外力と共振している。空中状態に対する実測固有振動数は求められていないが、これは計算固有振動数から推定するとはほぼ25N程度の起振外力と共振することになり、実際にはこの様な外力が存在しないためと考えられる。またS33はS13と同じ寸法のpanelであるが実測では低い振動数が主に表われており、これはおそらく計算固有振動数との比較からしてこの小panelの固有振動数ではなく、その場所の近辺にある振動系によるものと思われる。このpanelが接水状態において10N成分との共振の可能性があるにもかかわらず、それが起っていないのはS13が起振源に比較的近いのに対して、S33は距離的に起振源より3倍近くも離れた断面であるため10Nの高次の振動数をもつ外力は減衰したためと考えられる。一方strutの実測固有振動数は計算値の両端支持と固定の両境界条件の中間の値を示しており、接水固有振動数は空中固有振動数の0.38倍程度となっている。

(3) 振動応力頻度

これまでの考察で明らかになったようにtank部の局部構造部材に働く起振外力はプロペラおよび主機関による周期的なものであるのである回転数に対してはほぼ定常な振動応答を示すものが多い。全振幅のパラッキを表わすrange Countの解析例をFig 1.3.27に示す。これは10C、S33、N=120の場合の解析例であるが応力levelの頻度はある一定のlev 1内におさまっており、この振動応力の応答はほぼ定常な周期をもつものであることが推定される。応力頻度の解析結果と疲労による損傷との関連については本報告では取り上げない。

1.3.6 結 言

局部構造部材に働く振動応力について振動データ処理プログラムを用いてデータ解析を行ない、その結果を考察した。これらの検討により得られた結果をまとめれば次の通りである。

- (1) 試験番号⑤(バラスト状態)および⑩(満載状態)の実験において主に計測されている起振外力の振動数成分の種類はプロペラによるもの(5N、10N)および主機関によるもの(4N、6N、9N)であり波によると思われるものはあまり計測されていない。
- (2) 部材が接水状態にある時、振動応力におよぼす影響はプロペラ起振力の方が主機関起振力よりやや大きい、空中状態では同程度の影響となっている。

- (3) 船長方向の振動数成分の分布は接水状態において船倉の船尾側では7 N ~ 10 Nが顕著であるのに対して船首側では4 N ~ 6 Nの低い振動数成分が顕著になる。
- (4) 振動応力値は接水状態の方が空中状態に比較してはるかに大きいとその値は高々最高0.17 Kg/mm²程度の比較的小さい値である。
- (5) panelおよびstrutの接水固有振動数は計算値とかなりよい一致を示している。その振動数低下率はこの部材の場合

$$\text{panel} \quad \frac{f_w}{f_0} = 0.37$$

$$\text{strut} \quad \frac{f_w}{f_0} = 0.38$$

の値となっている。

- (6) 全振幅(一度解析(Range Count))によれば、比較的変動応力値のバラツキは少ない。これは局部構造部に対して定常的な周期的応力応答が得られているためと思われる。

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	800
T	0.00675

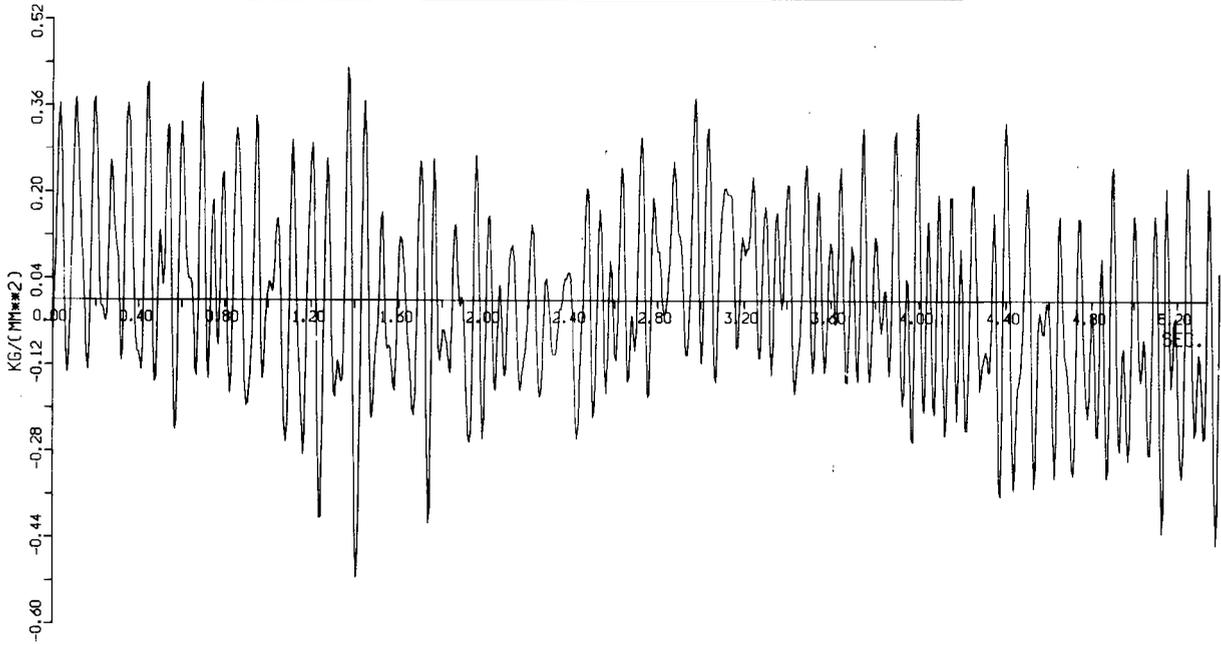


Fig. 1.3.3 (a) タイムヒストリ

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA MARU
	TIME HISTORY

RPM	119.6
N	669

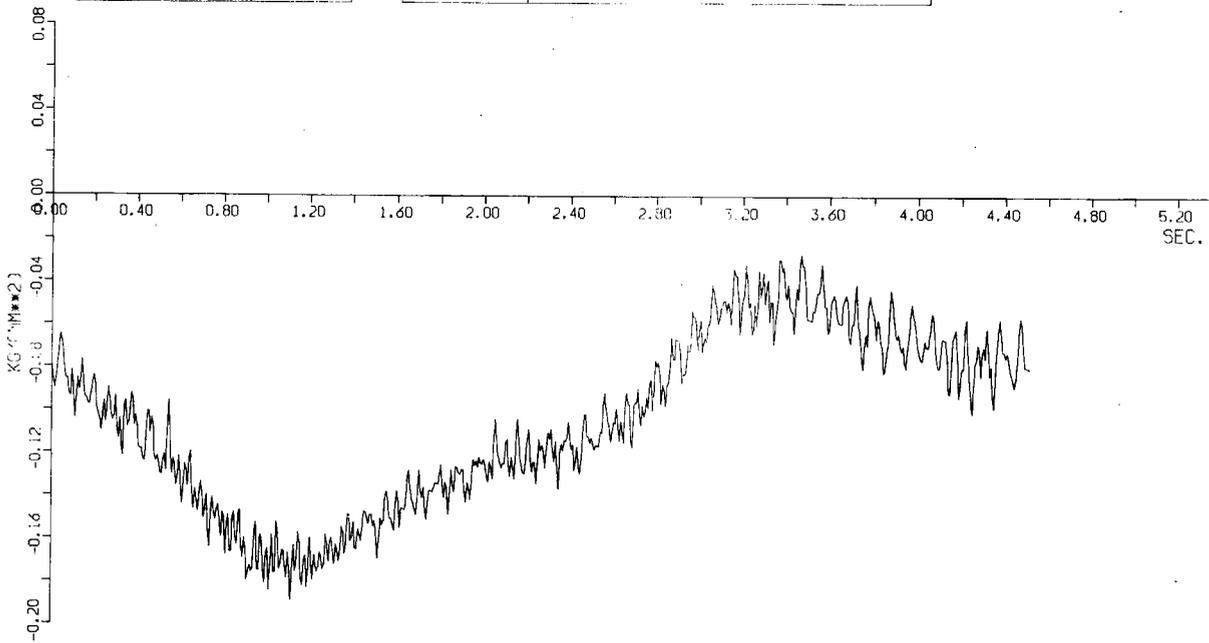


Fig. 1.3.3 (b) タイムヒストリ

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	800
T	0.00675

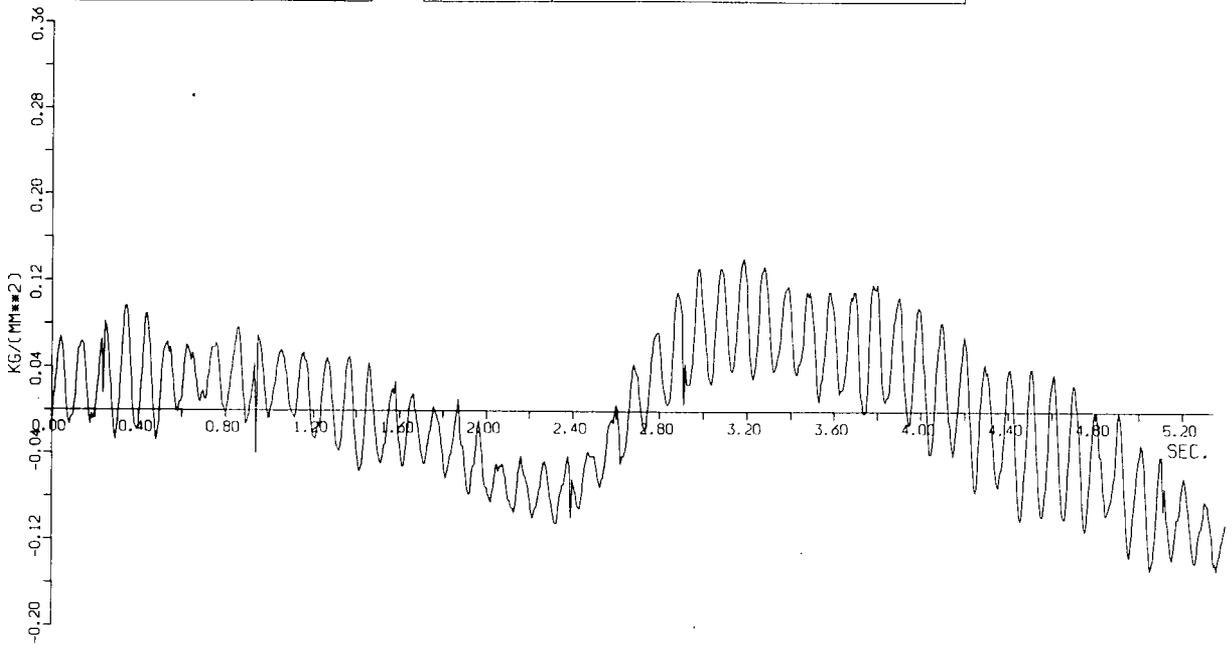


Fig. 1. 3. 4 (a) タイムヒストリ

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA MARU
	TIME HISTORY

RPM	119.6
N	669

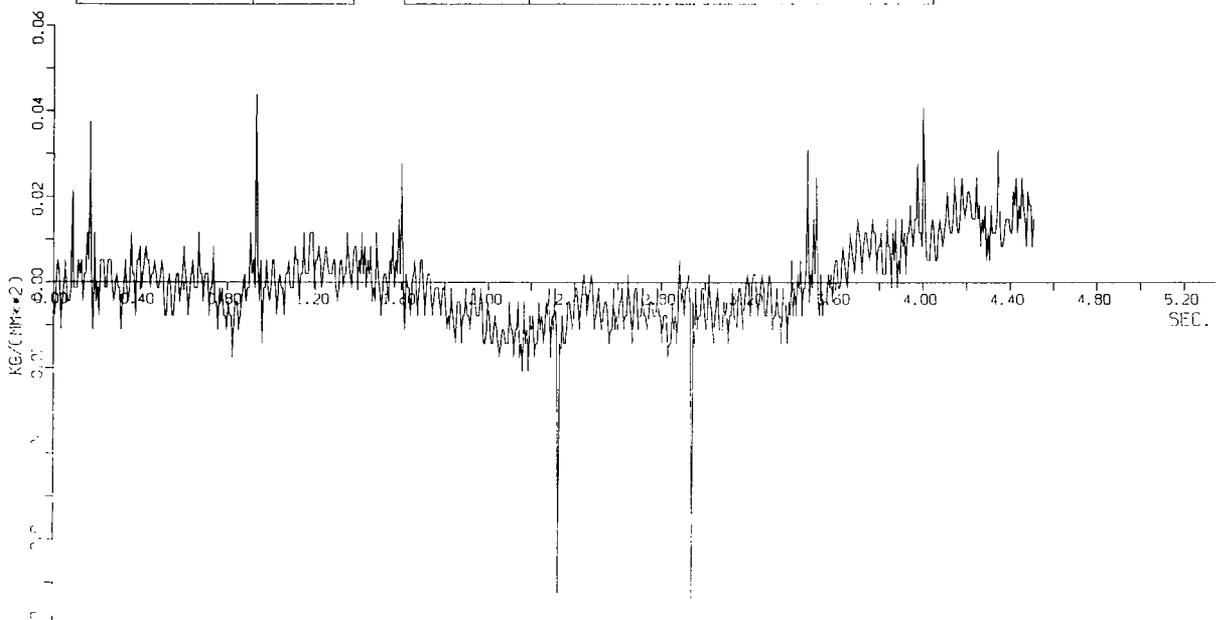


Fig. 1. 3. 4 (b) タイムヒストリ

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	TIME HISTORY
	WITH MEAN PROC

N	800
T	0.00675

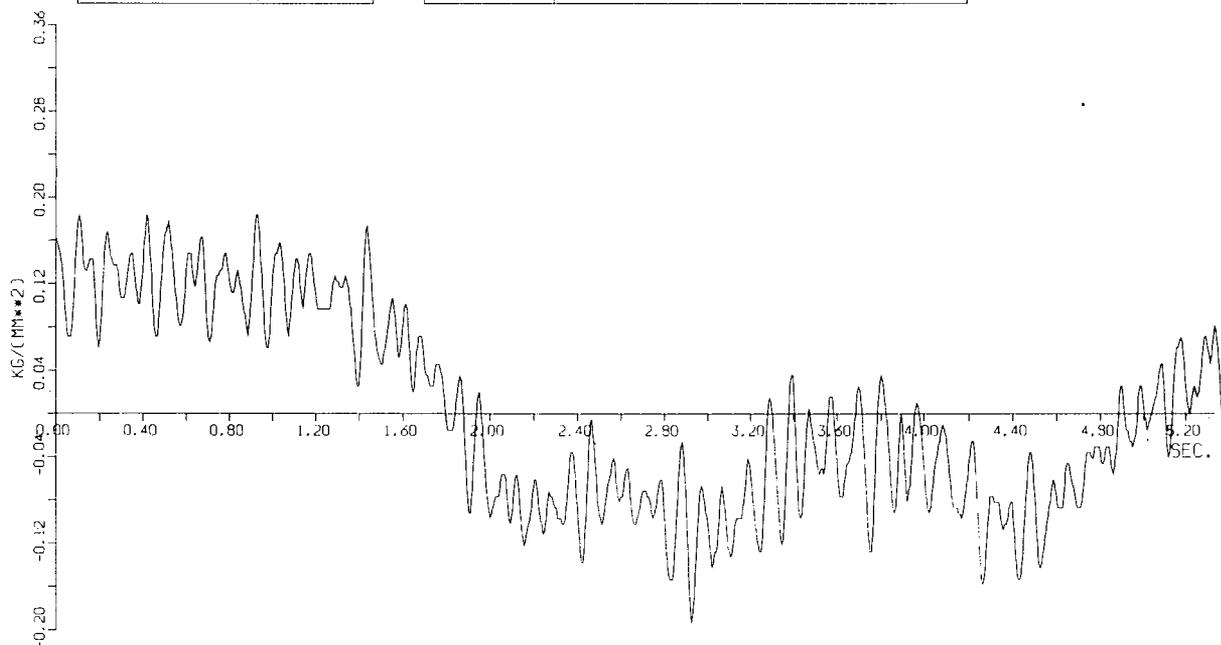


Fig. 1. 3. 5 (a) タイムヒストリ

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	TIME HISTORY

RPM	119.6
N	669

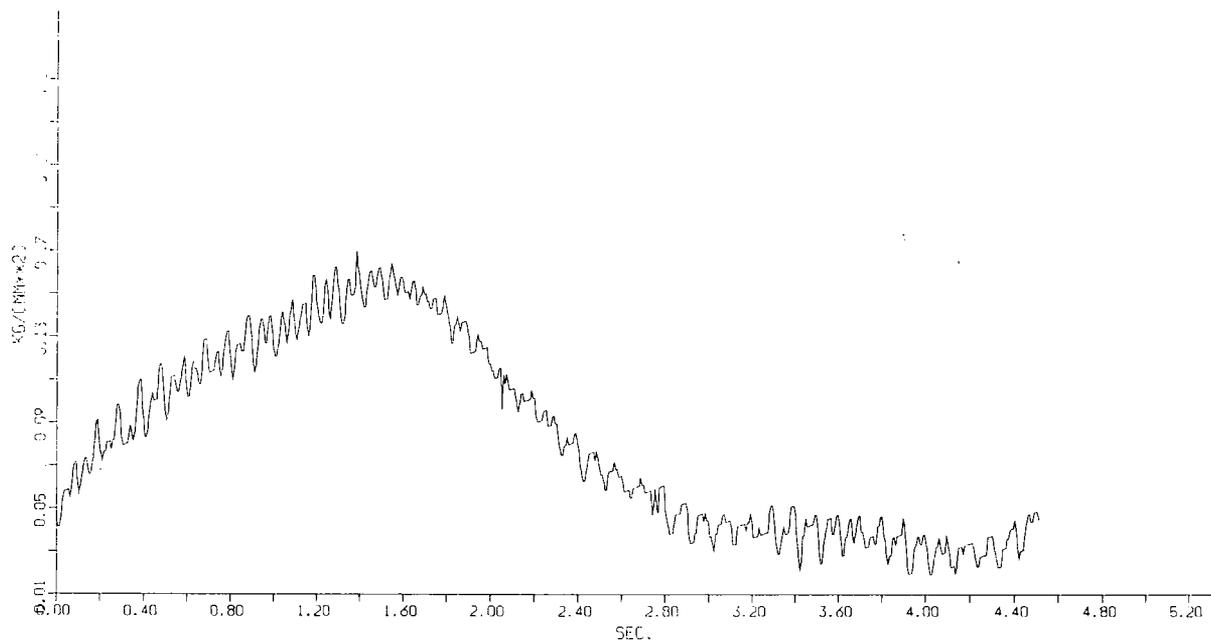


Fig. 1. 3. 5 (b) タイムヒストリ

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRL12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

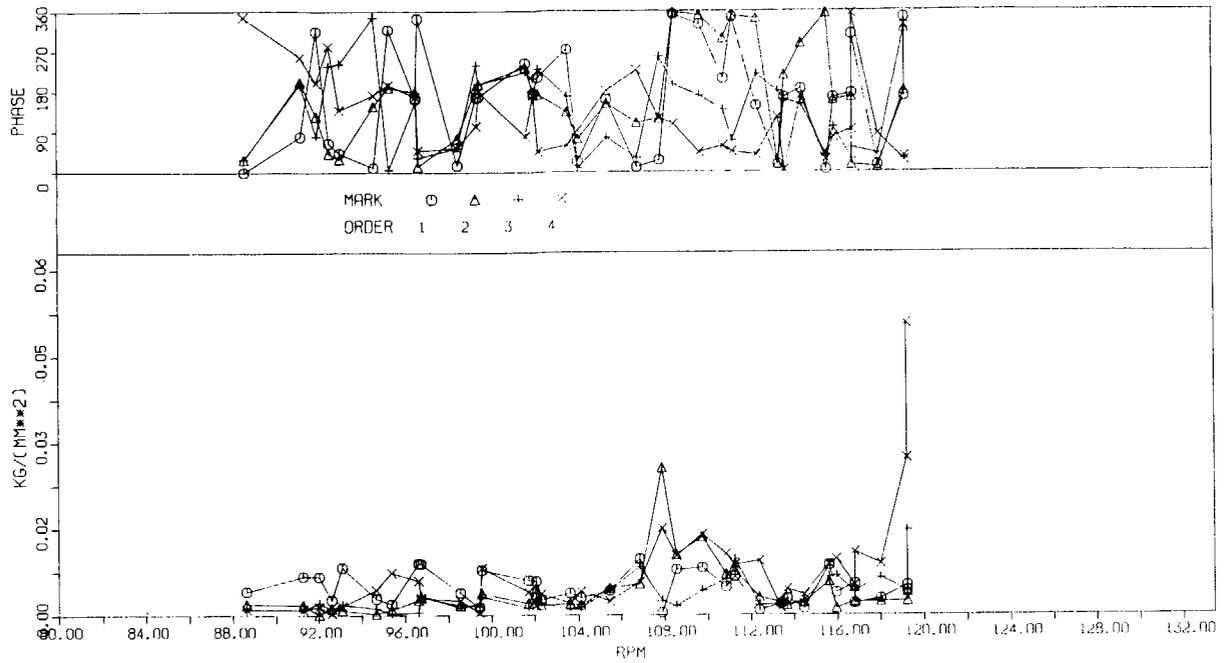


Fig 1. 3. 6. 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRL12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

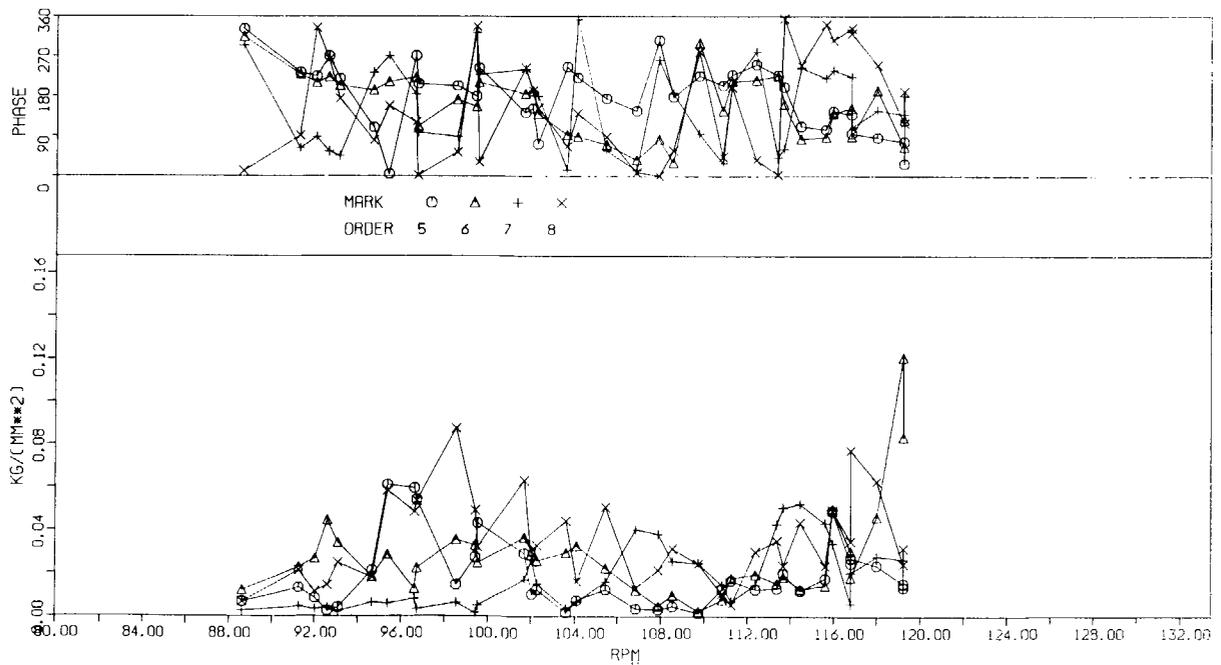


Fig 1. 3. 6. 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

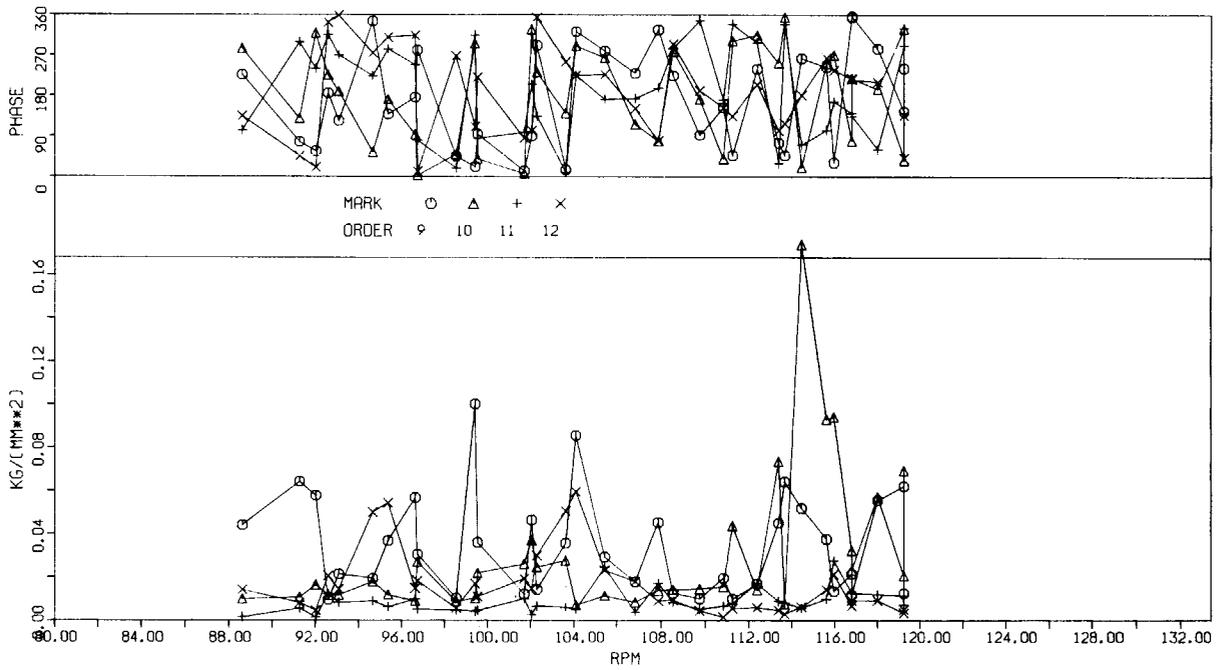


Fig. 1. 3. 6 (c) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

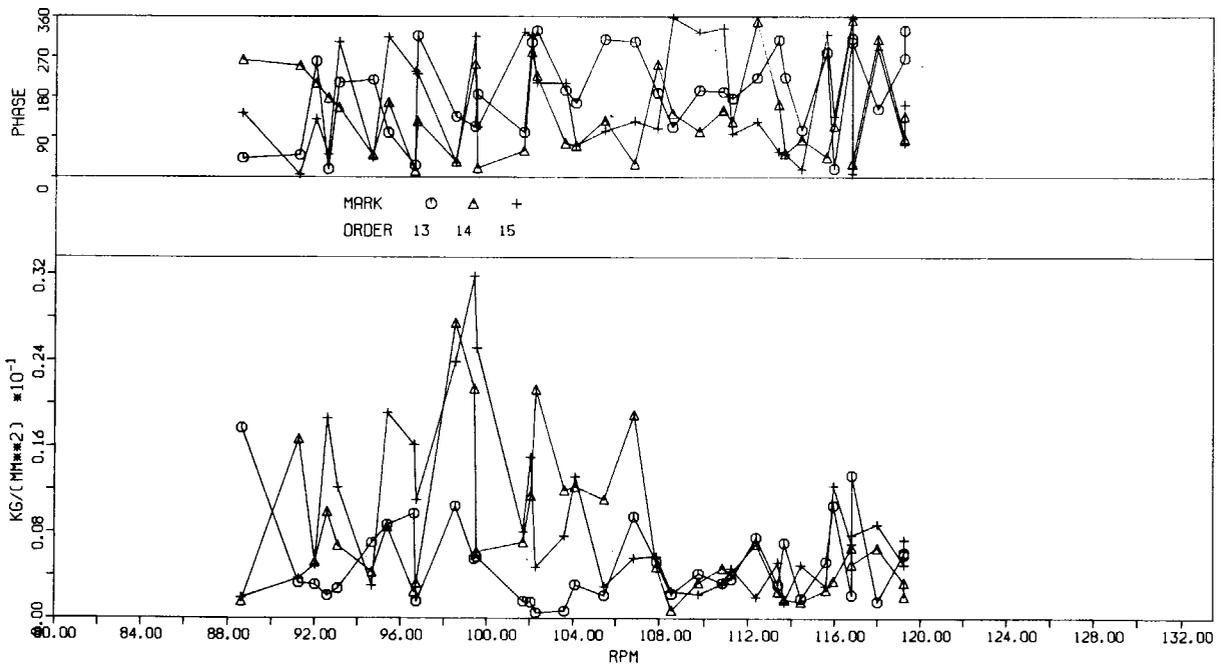


Fig. 1. 3. 6 (d) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

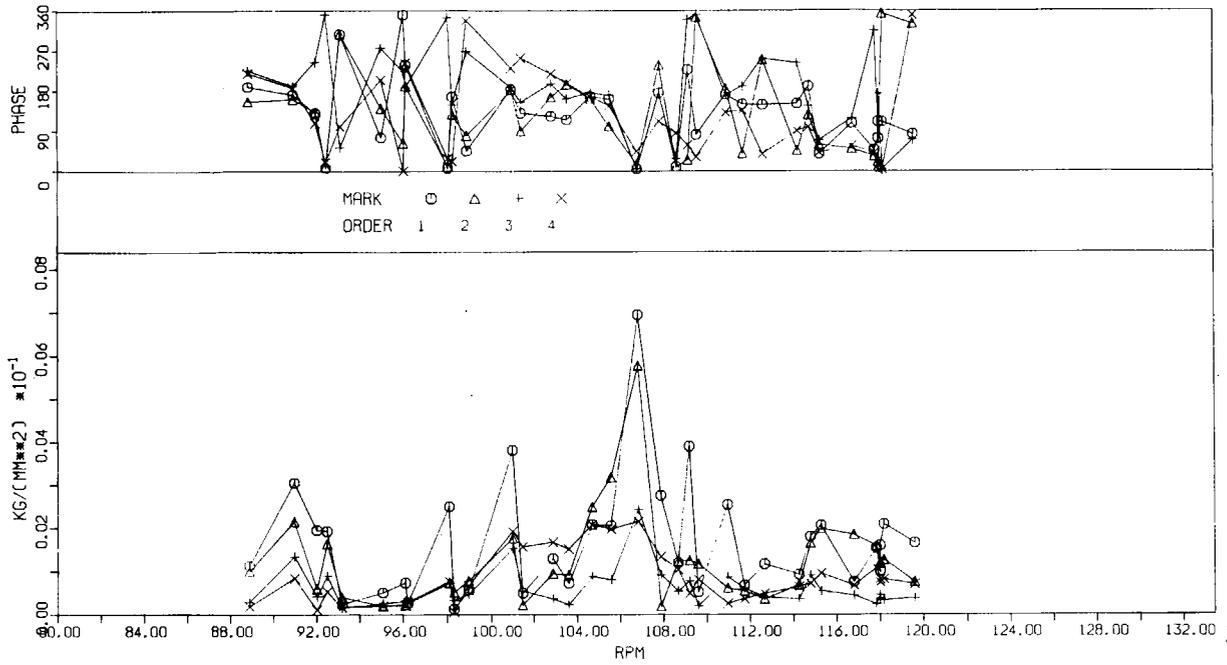


Fig. 1. 3. 6 (e) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

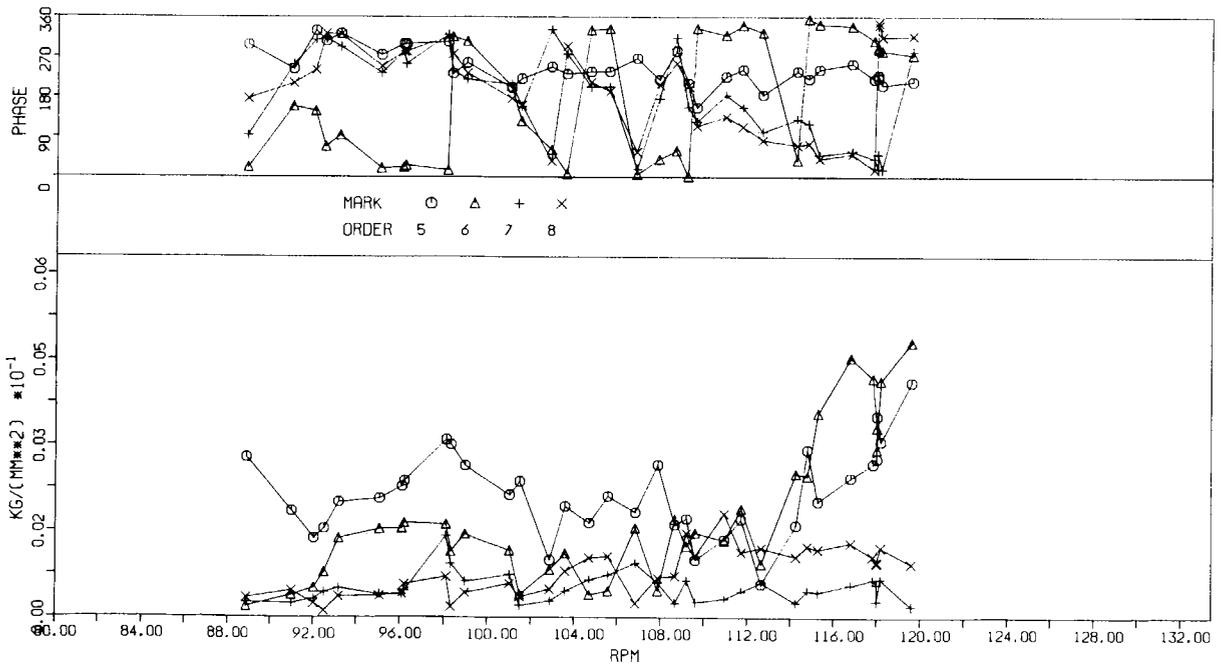


Fig. 1. 3. 6 (f) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

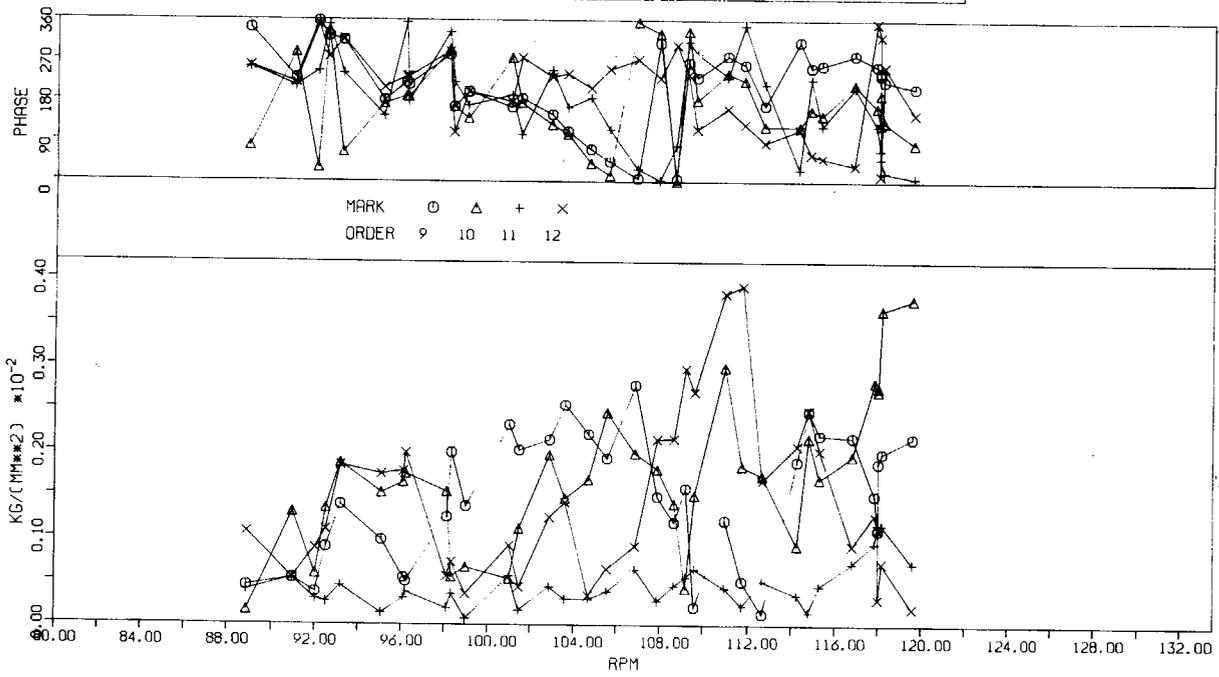


Fig. 1. 3. 6 (g) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

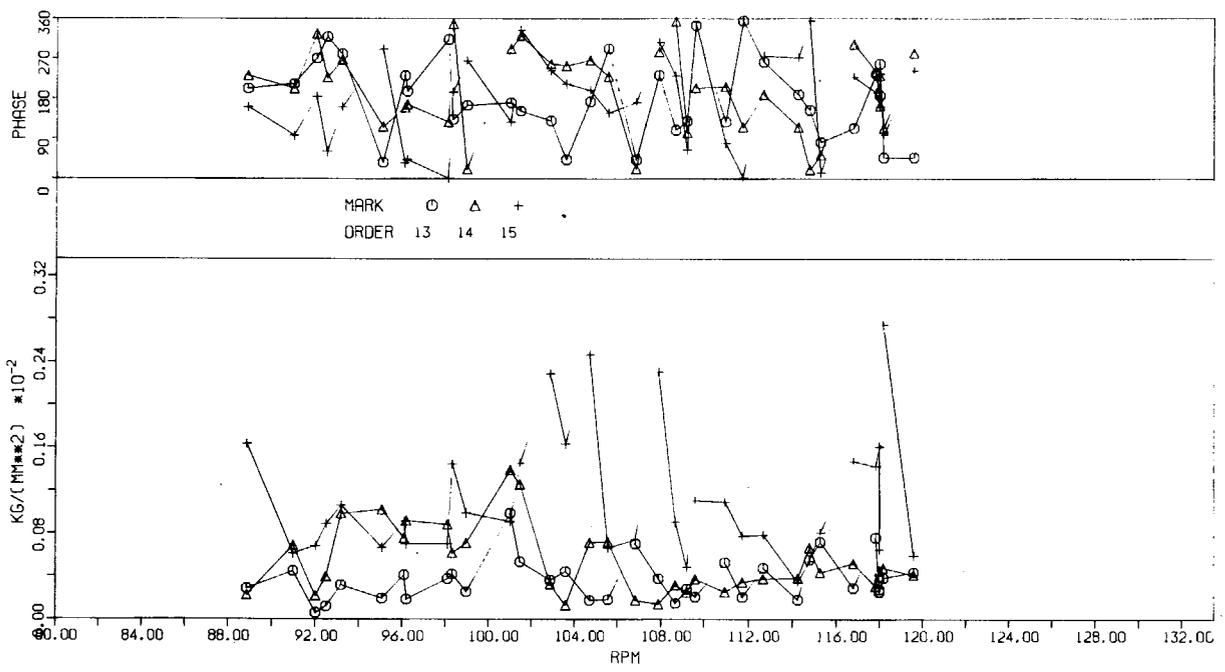


Fig. 1. 3. 6 (h) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU ORDER CONSTANT RESONANCE CURVE
-------	--

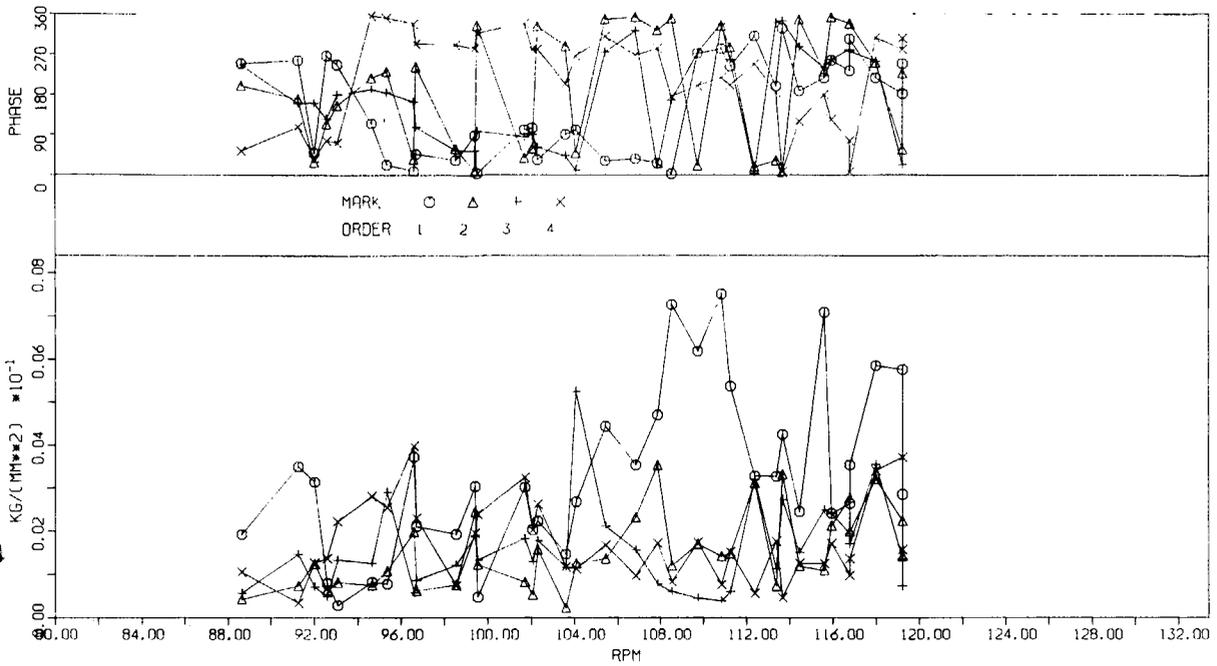


Fig. 1. 3. 7 (a) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU ORDER CONSTANT RESONANCE CURVE
-------	--

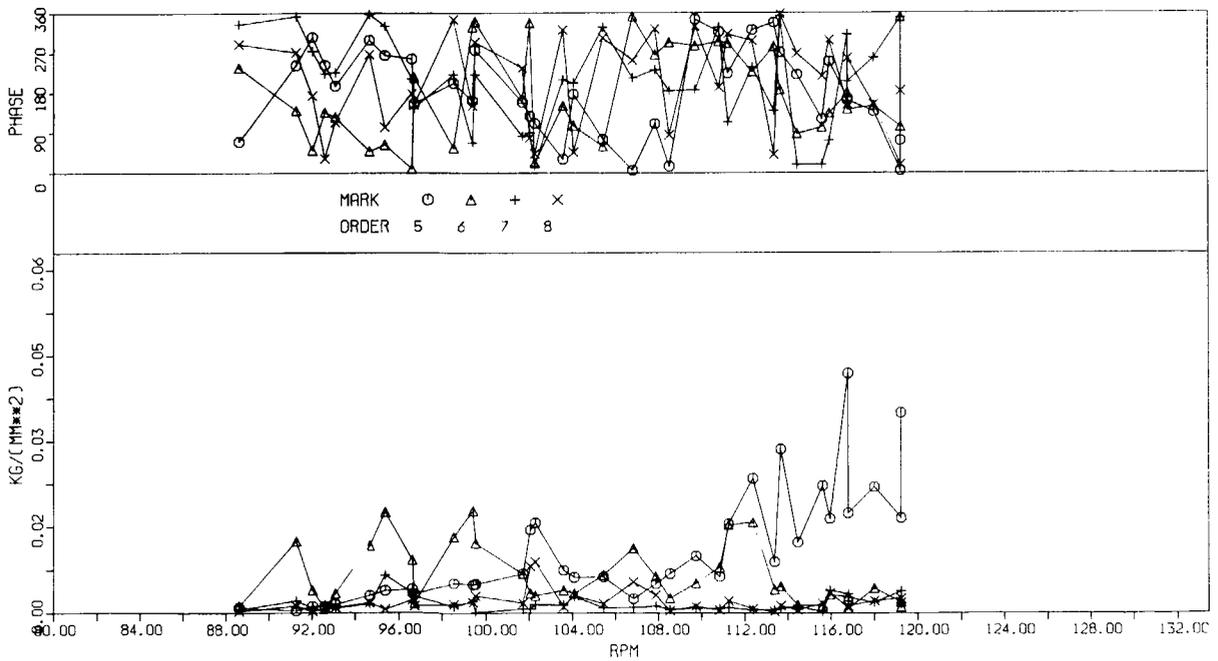


Fig. 1. 3. 7 (b) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRL12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

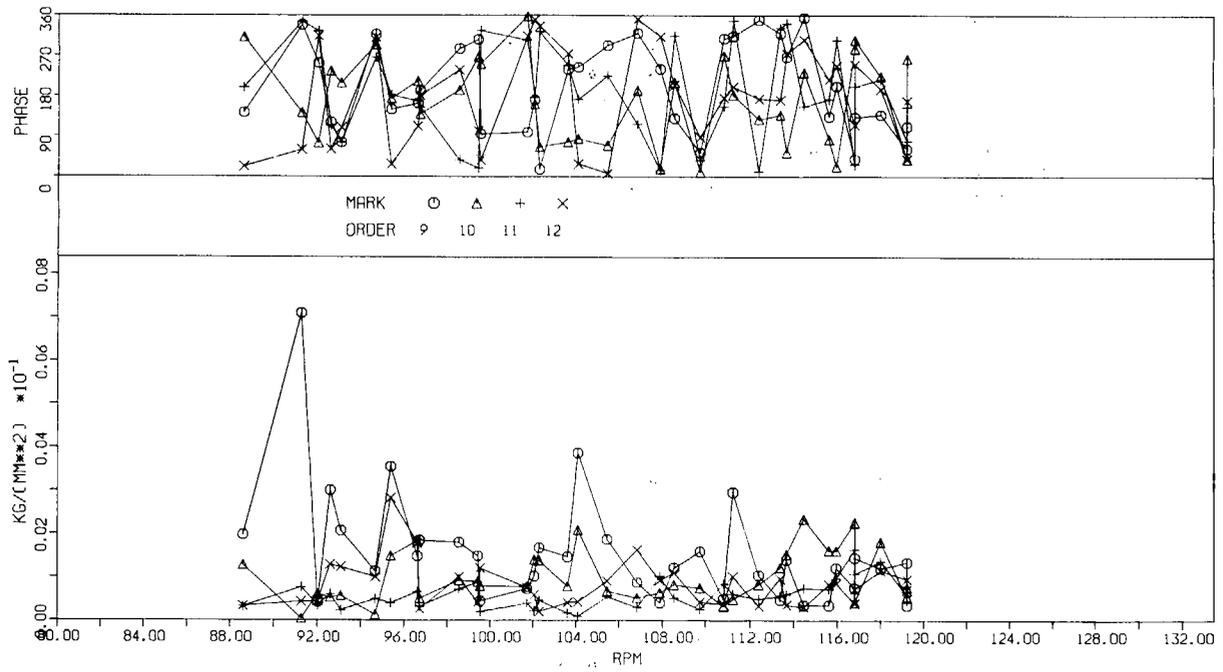


Fig. 1. 3. 7 (c) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

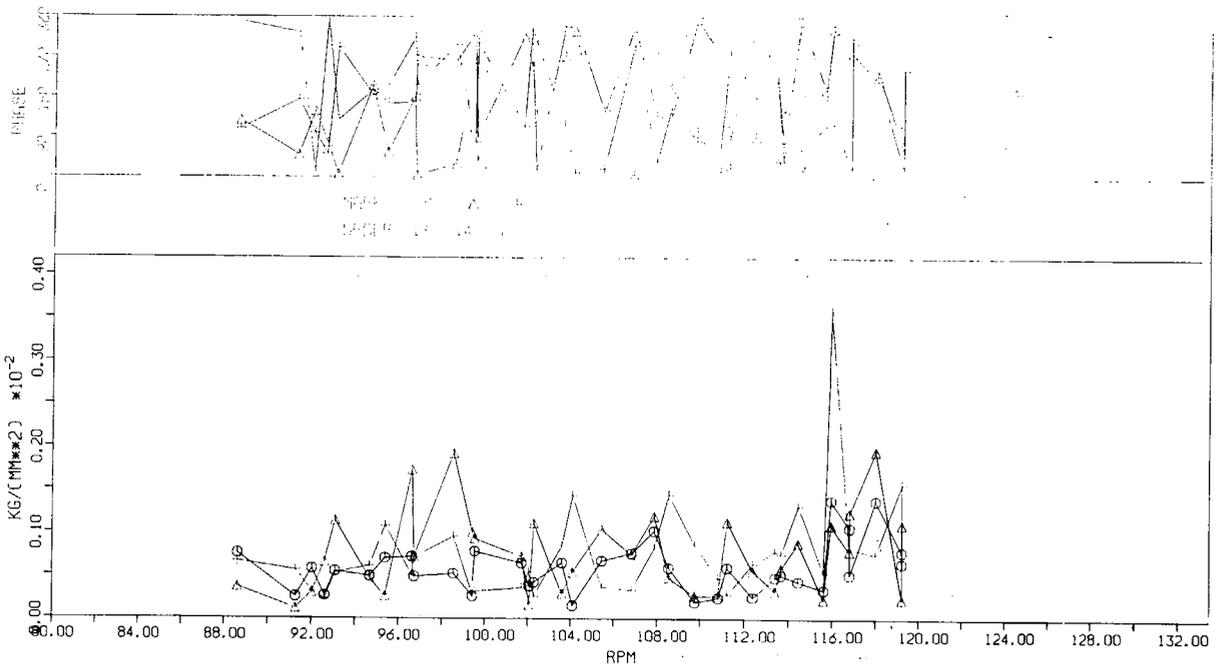


Fig. 1. 3. 7 (d) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRL12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

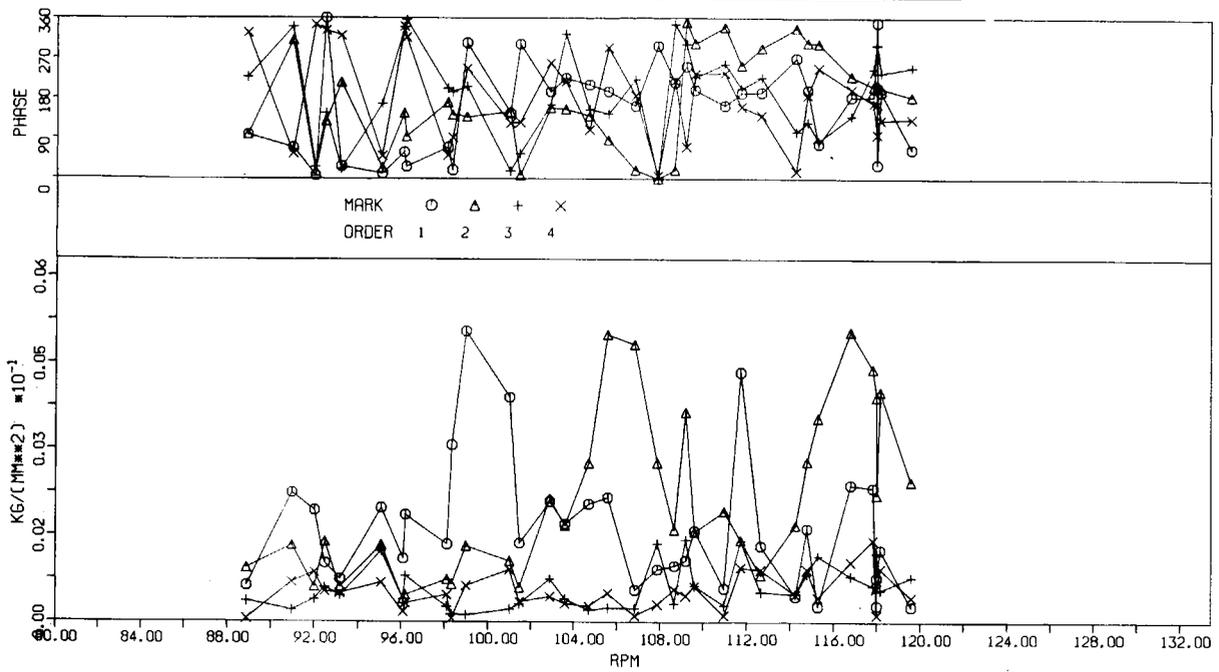


Fig. 1. 3. 7 (e) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRL12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

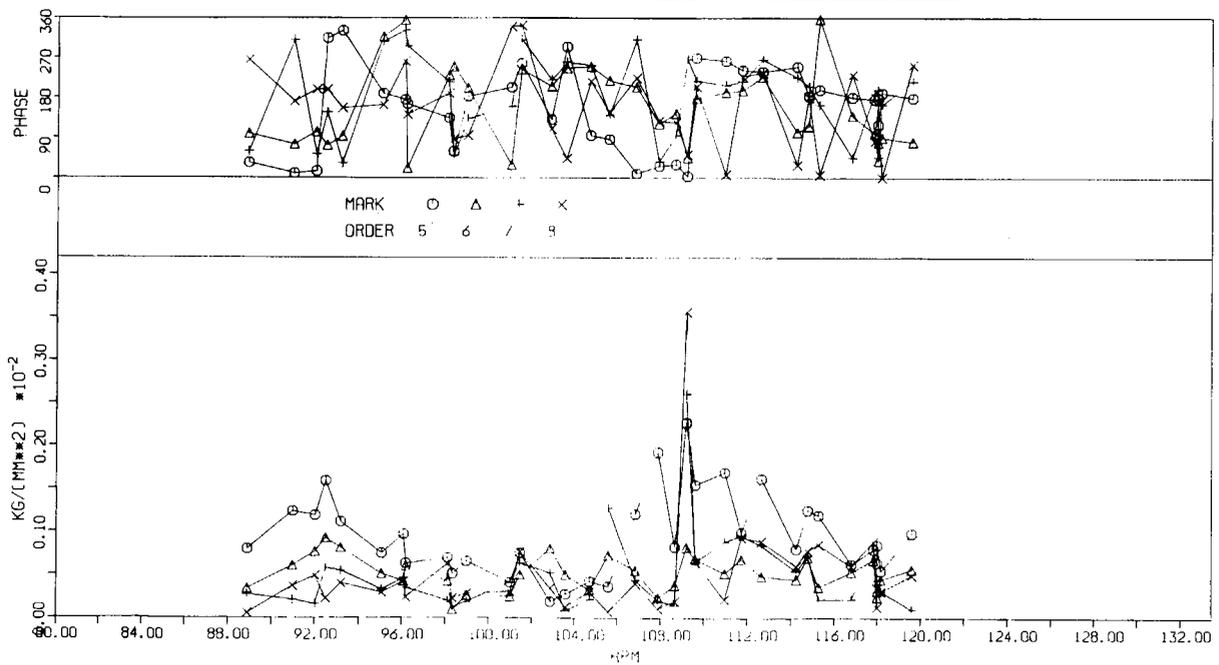


Fig. 1. 3. 7 (f) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

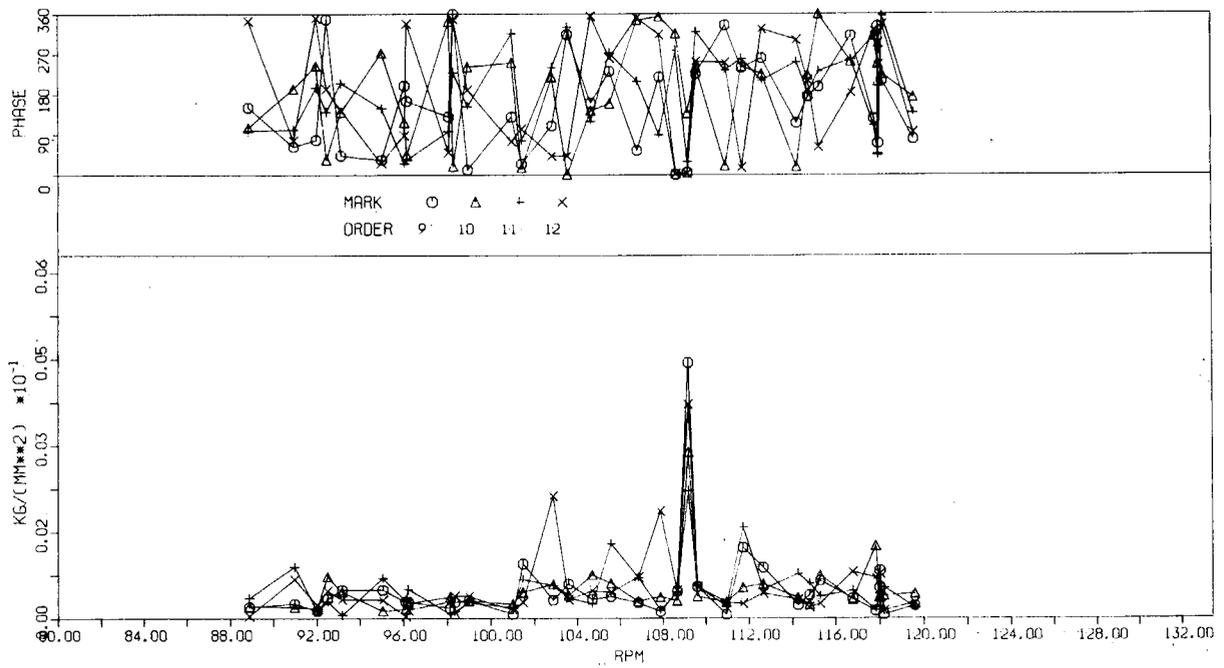


Fig. 1. 3. 7 (g) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

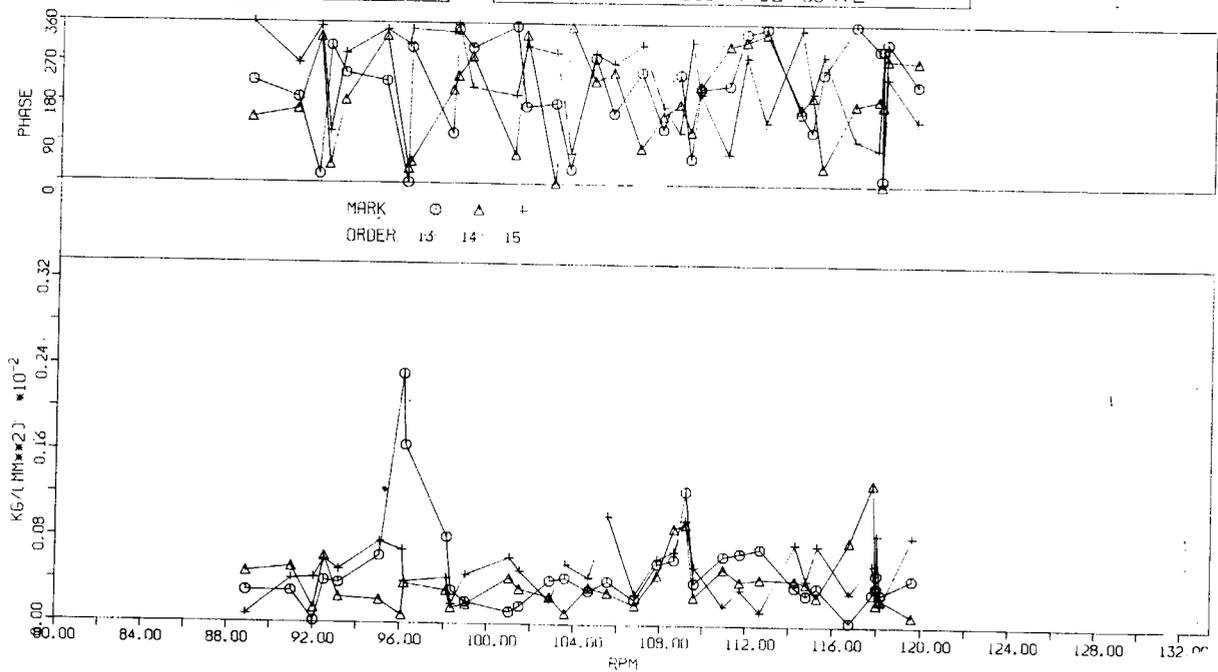


Fig. 1. 3. 7 (h) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

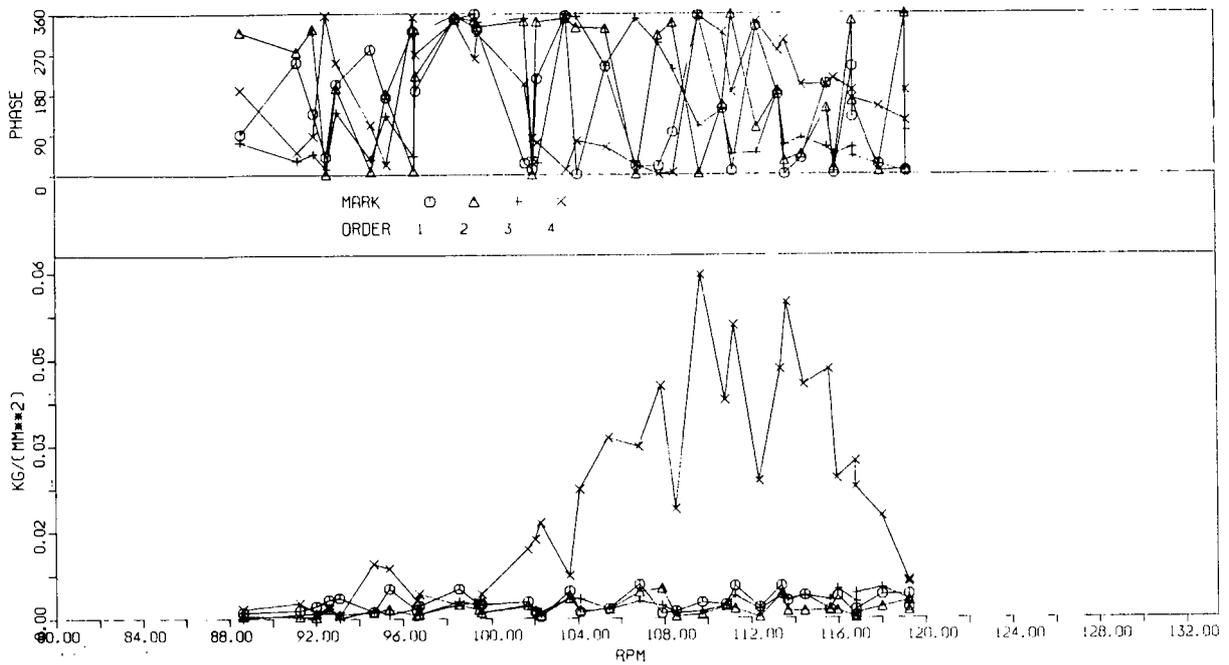


Fig. 1. 3. 8 (a) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

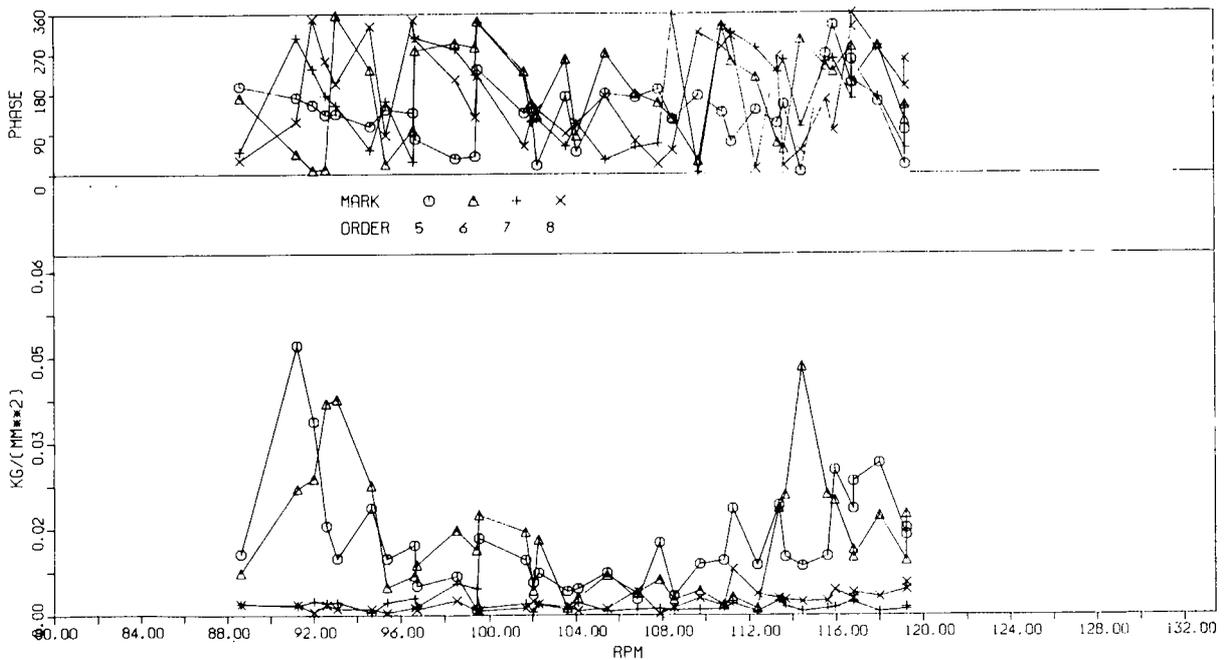


Fig. 1. 3. 8 (b) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

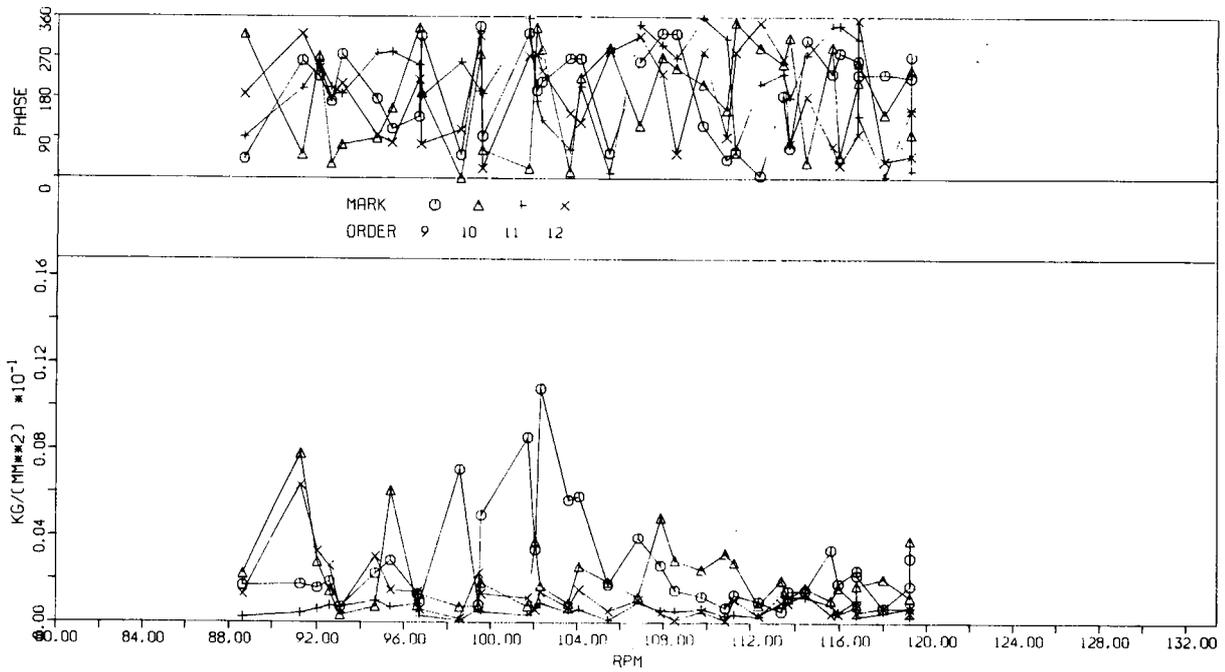


Fig. 1. 3. 8 (c) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

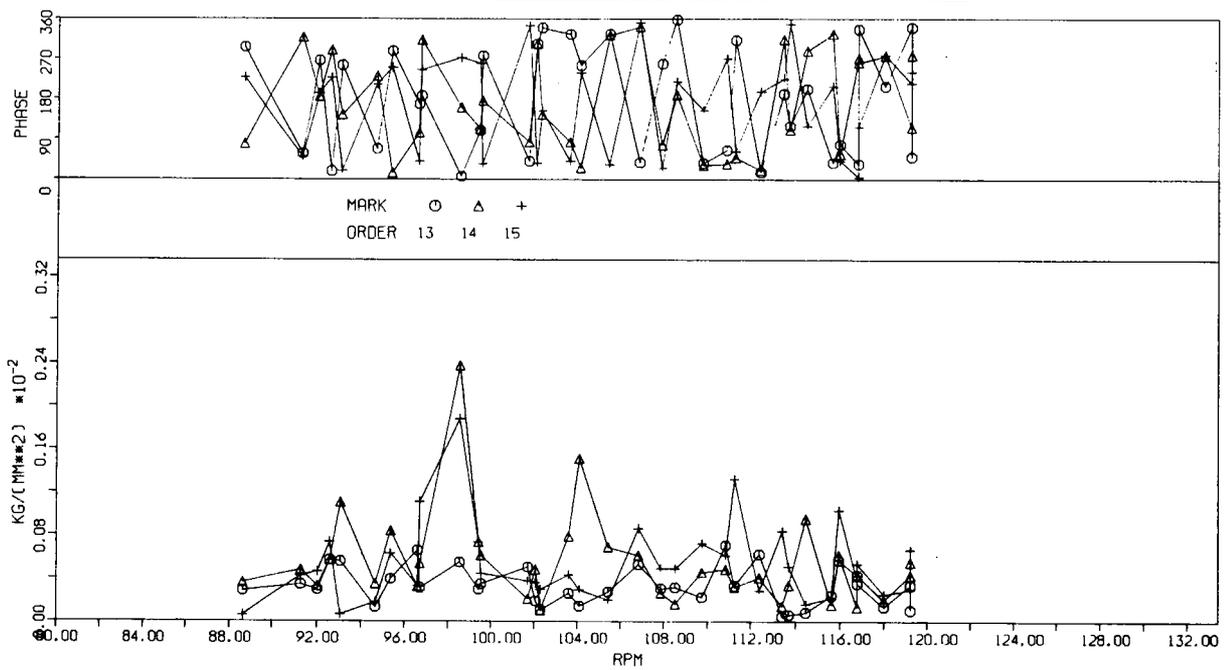


Fig. 1. 3. 8 (d) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

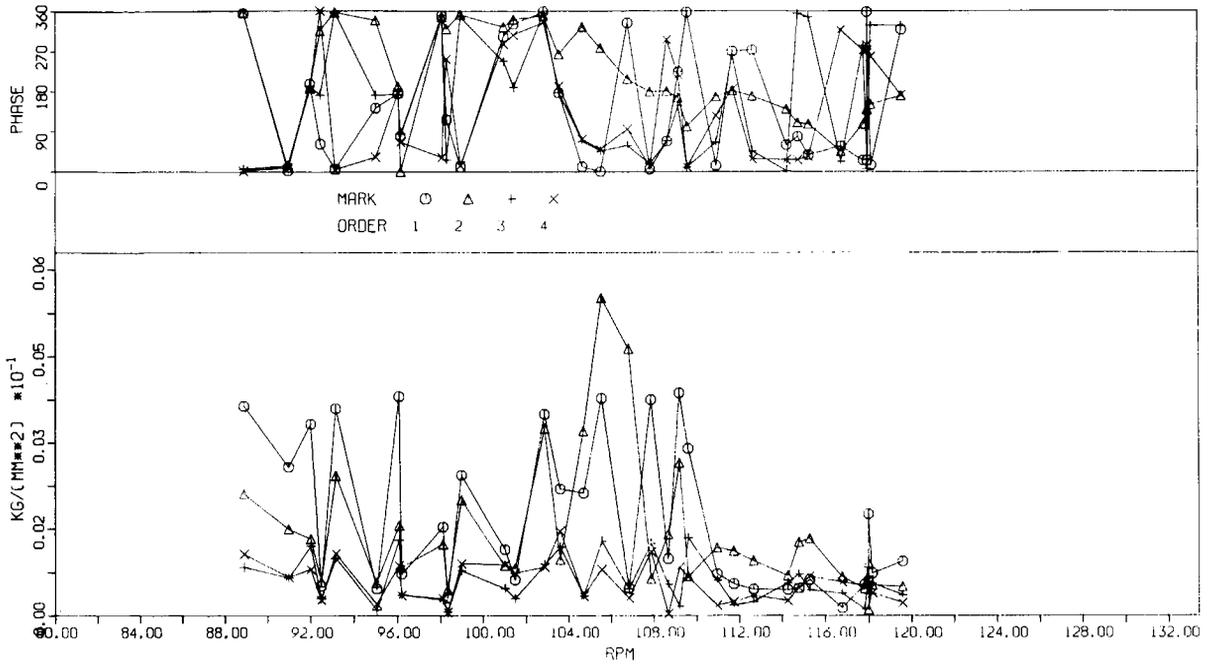


Fig. 1.3.8 (e) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

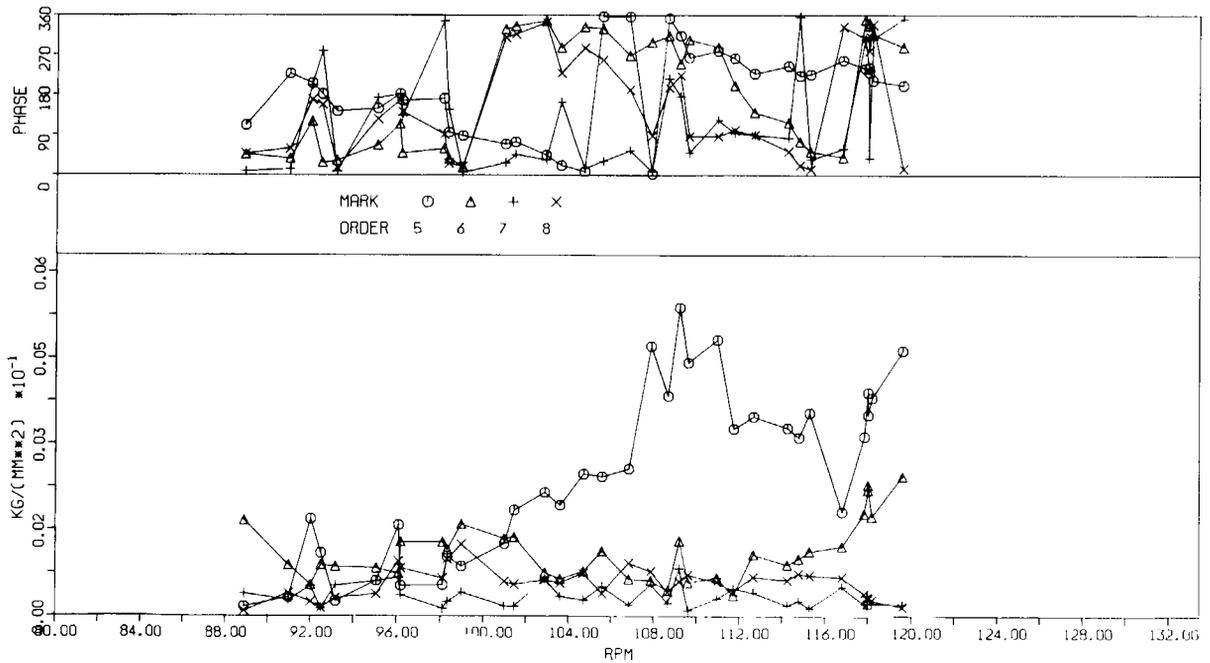


Fig. 1.3.8 (f) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

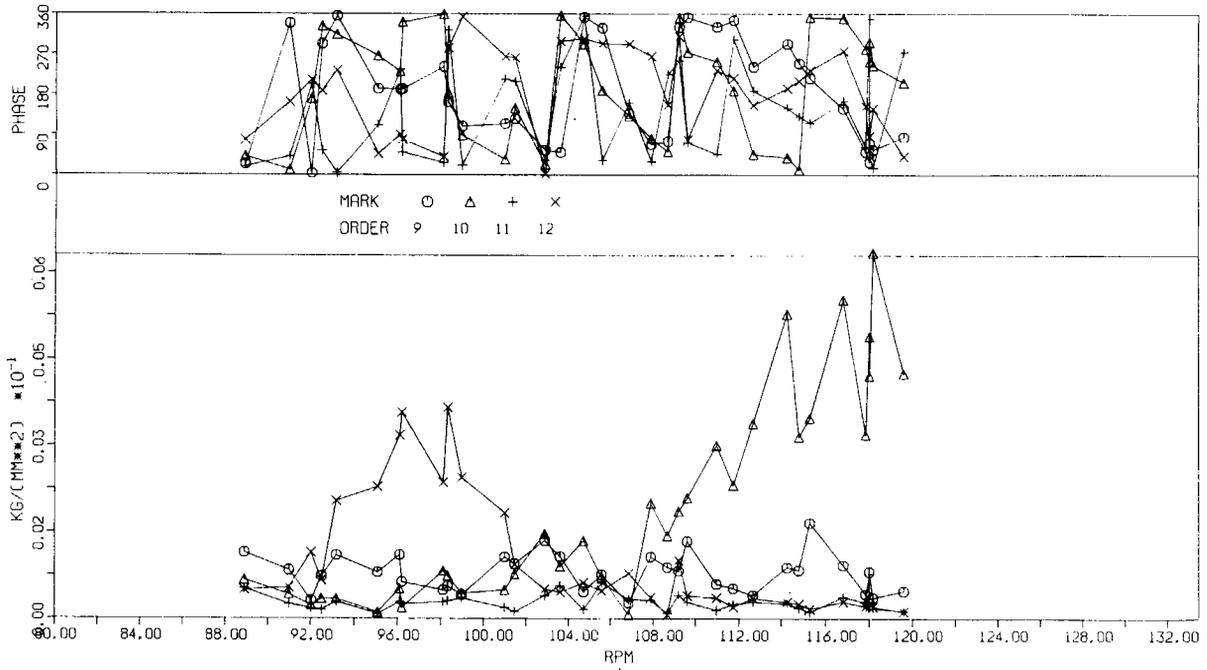


Fig. 1. 3. 8 (g) 共振曲線

EXP. NO	10C
DATA NO	90 120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	ORDER CONSTANT
	RESONANCE CURVE

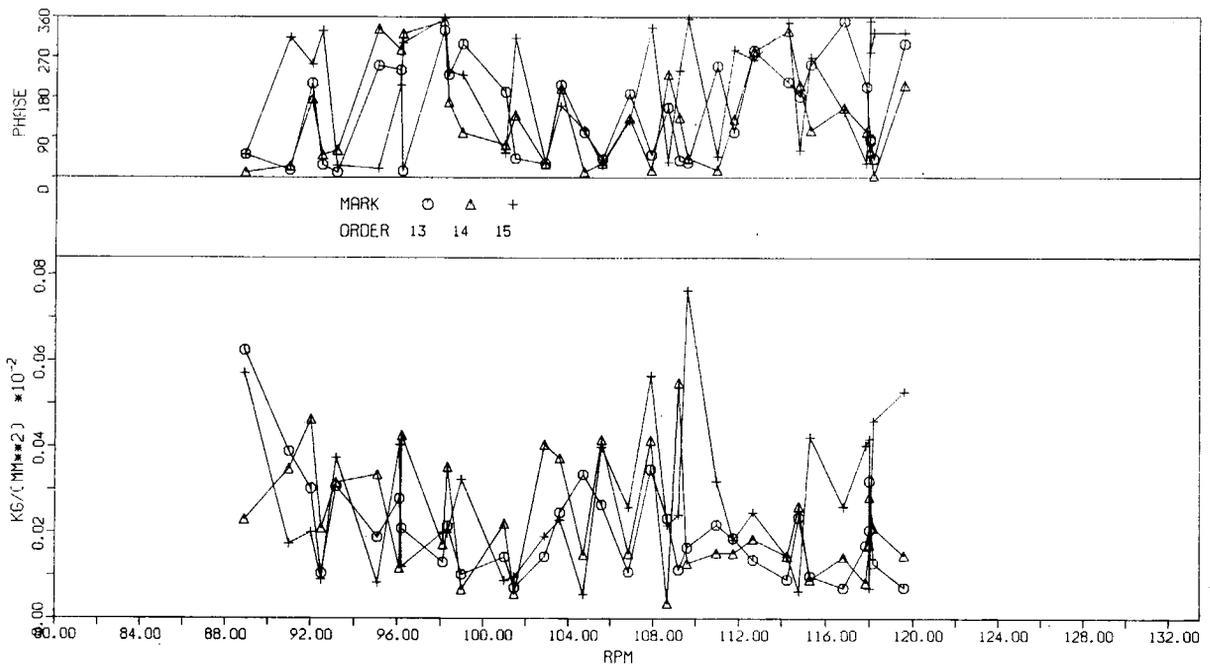


Fig. 1. 3. 8 (h) 共振曲線

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	267
T	0.00675

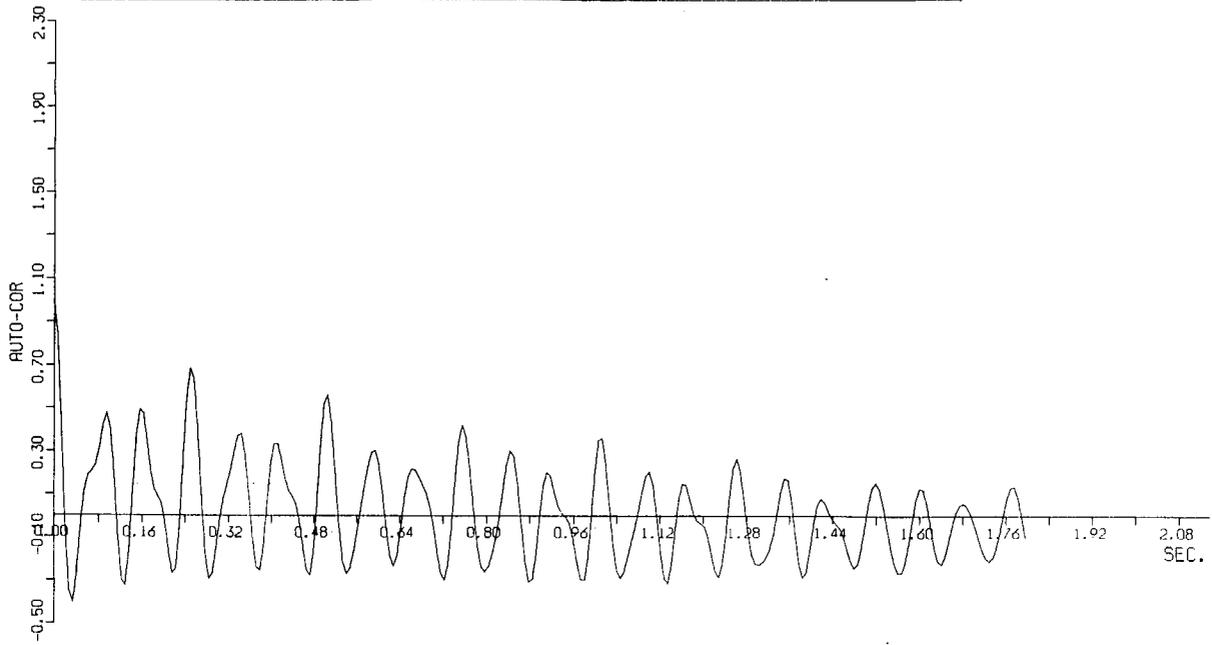


Fig. 1. 3. 9 (a) 自己相関数

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	267
T	0.00675

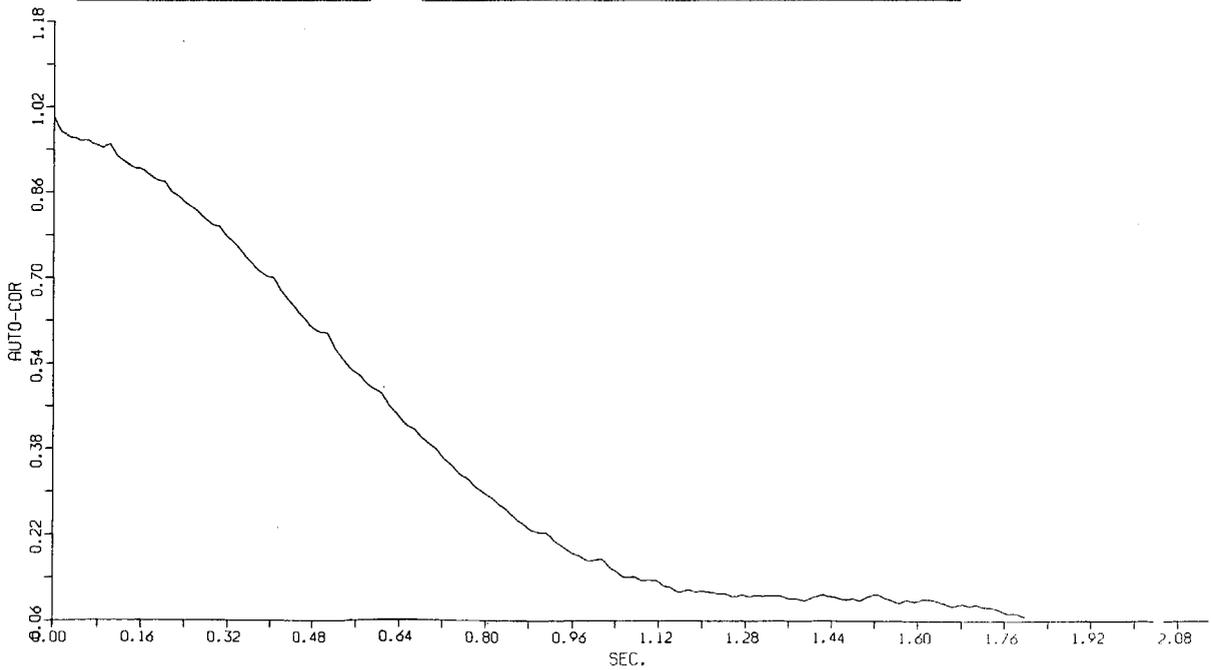


Fig. 1. 3. 9 (b) 自己相関関係

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	267
T	0.00675

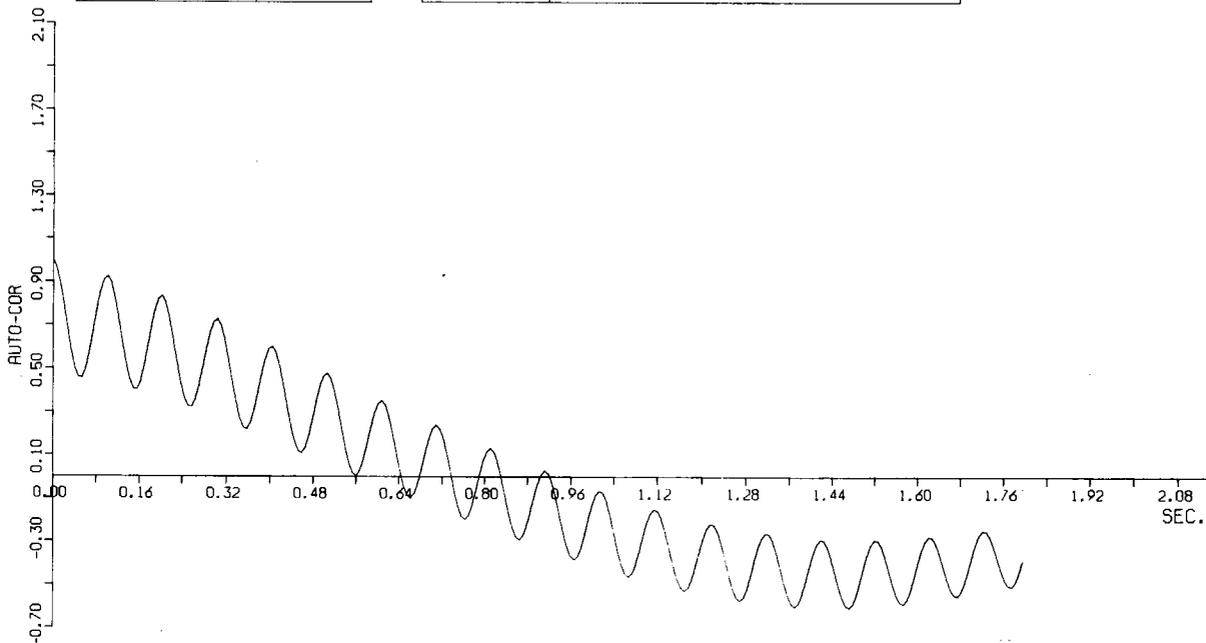


Fig. 1. 3. 10 (a) 自己相関関数

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	267
T	0.00675

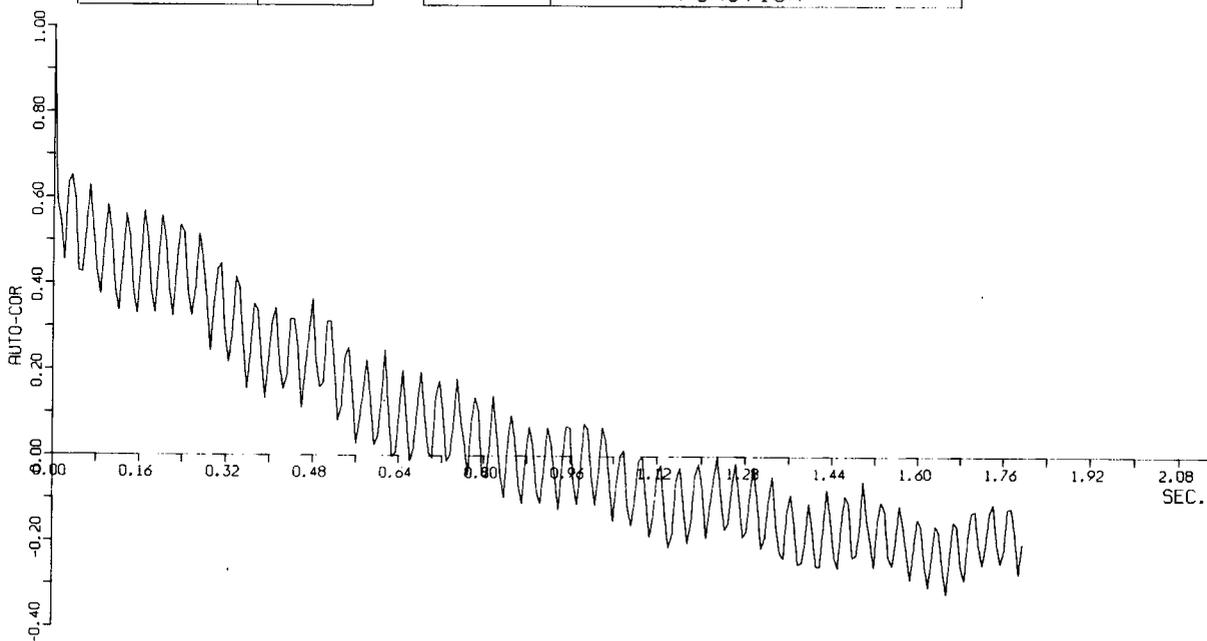


Fig. 1. 3. 10 (b) 自己相関関数

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	267
T	0.00675

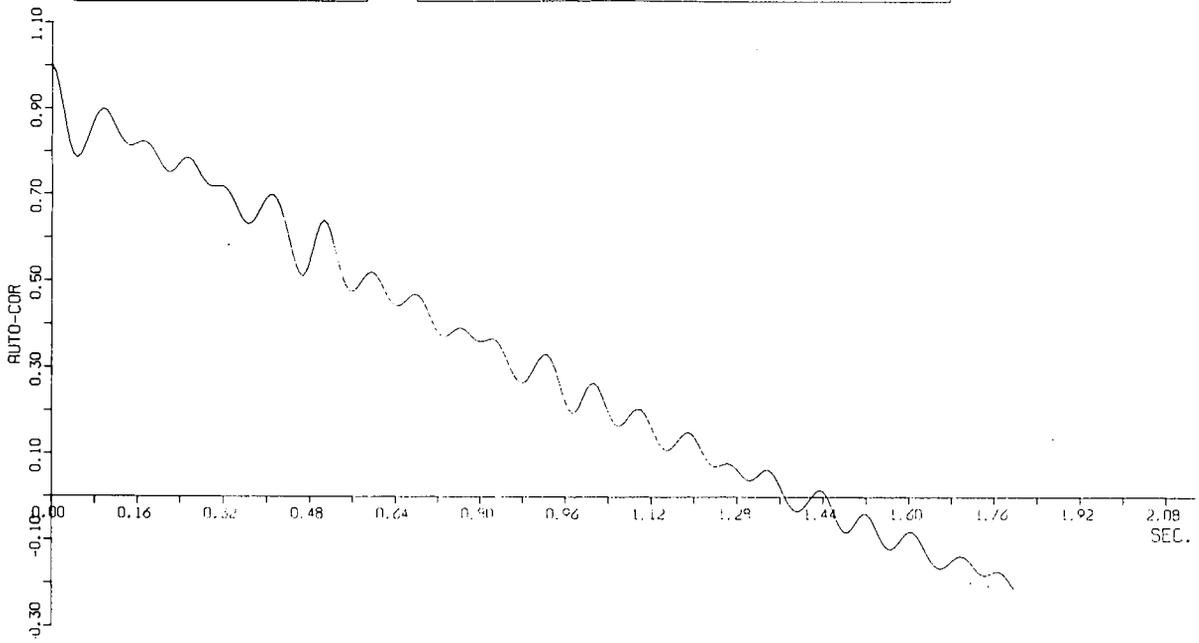


Fig. 1. 3. 11 (a) 自己相関関数

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	AUTO-CORRELATION
	FUNCTION

N	267
T	0.00675

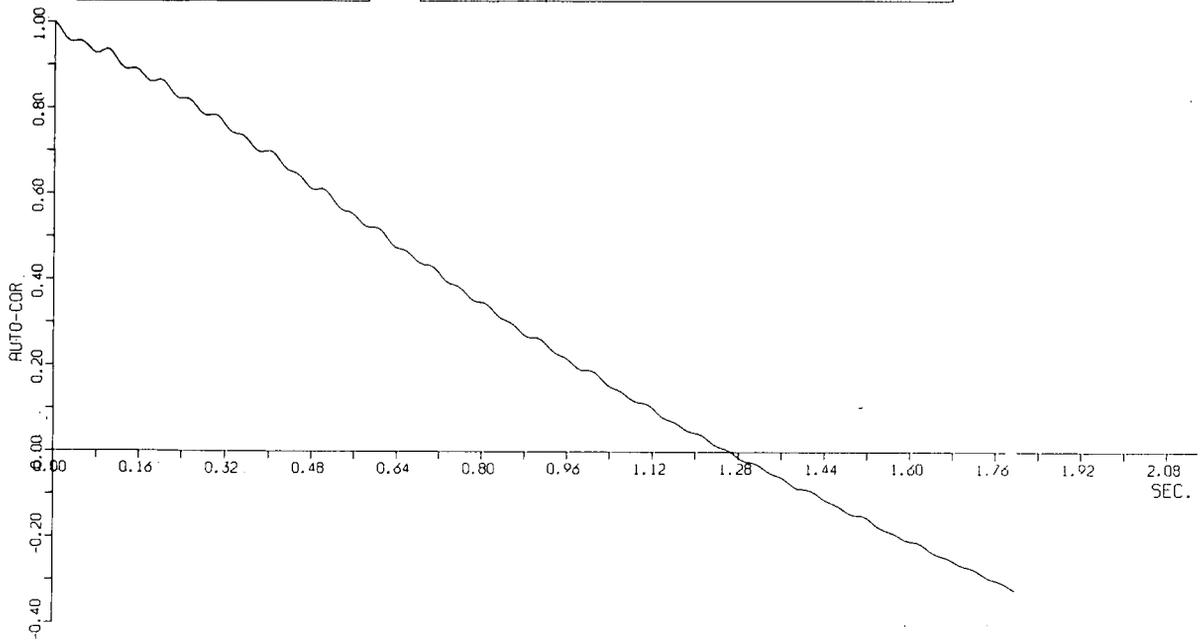


Fig. 1. 3. 11 (b) 自己相関関数

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	267
T	0.00675

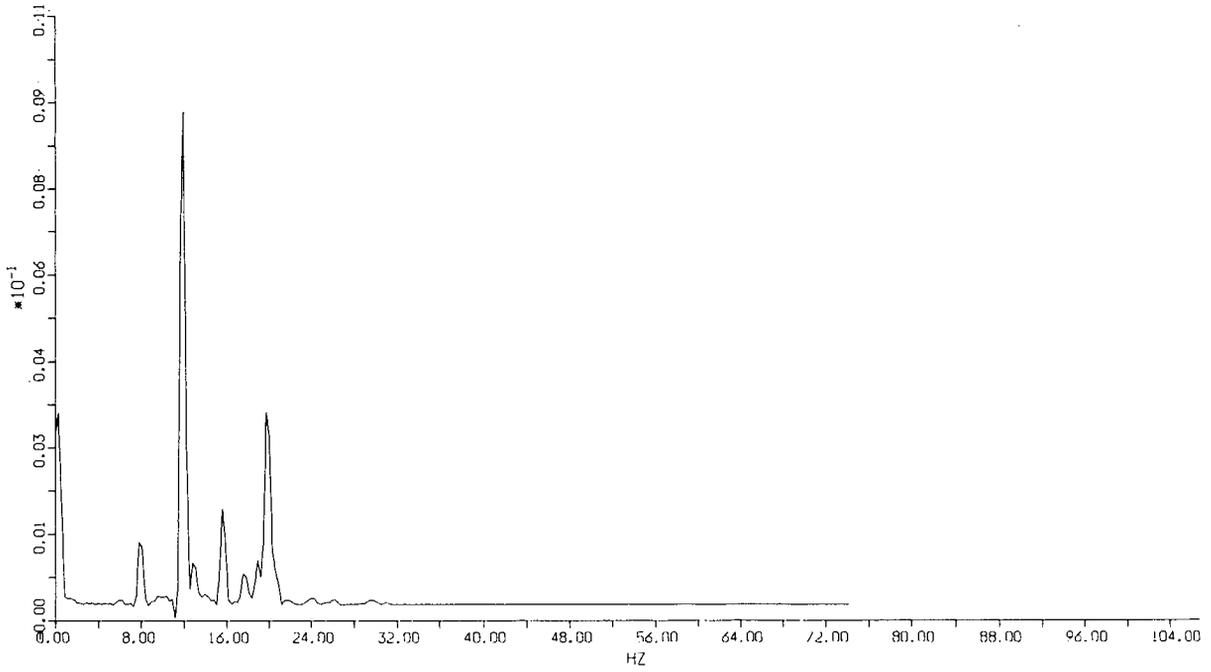


Fig. 1. 3. 12 (a) パワースペクトル

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	267
T	0.00675

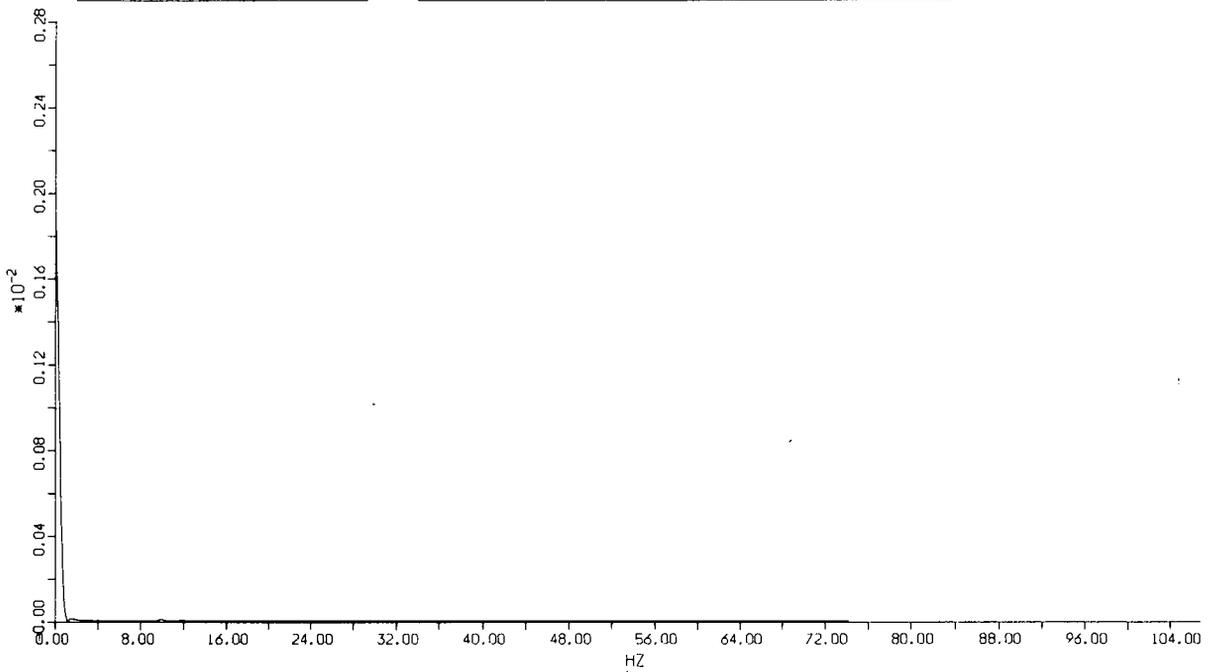


Fig. 1. 3. 12 (b) パワースペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	267
T	0.00675

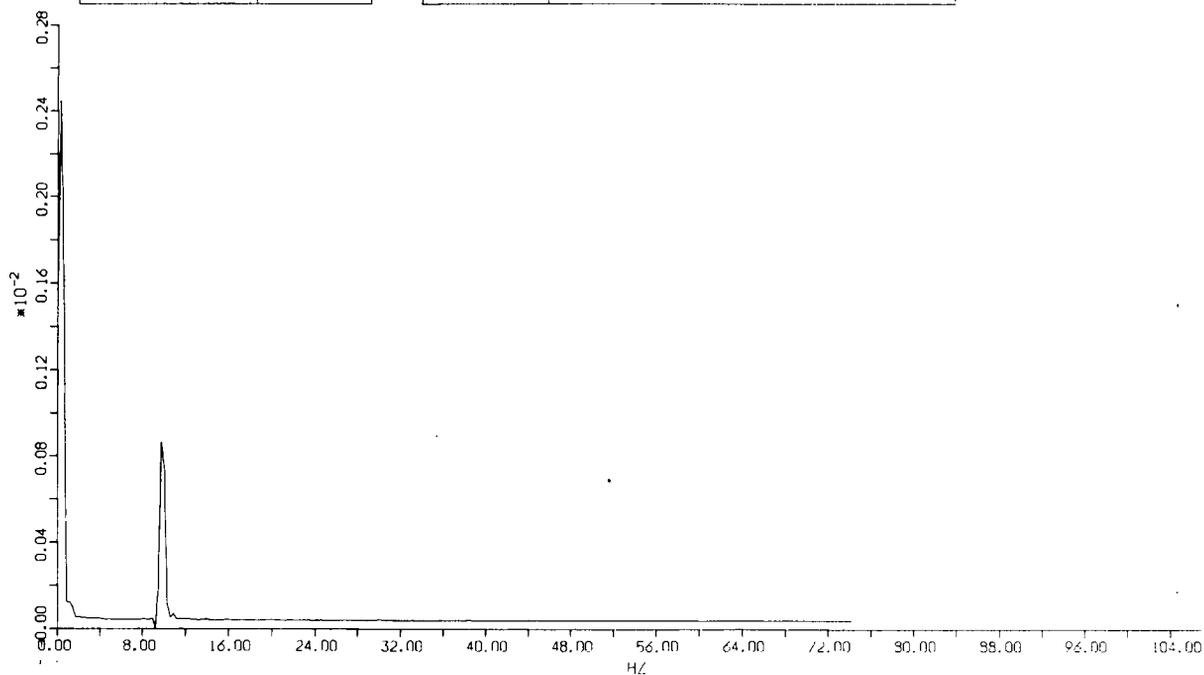


Fig. 1. 3. 13 (a) パワースペクトル

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	267
T	0.00675

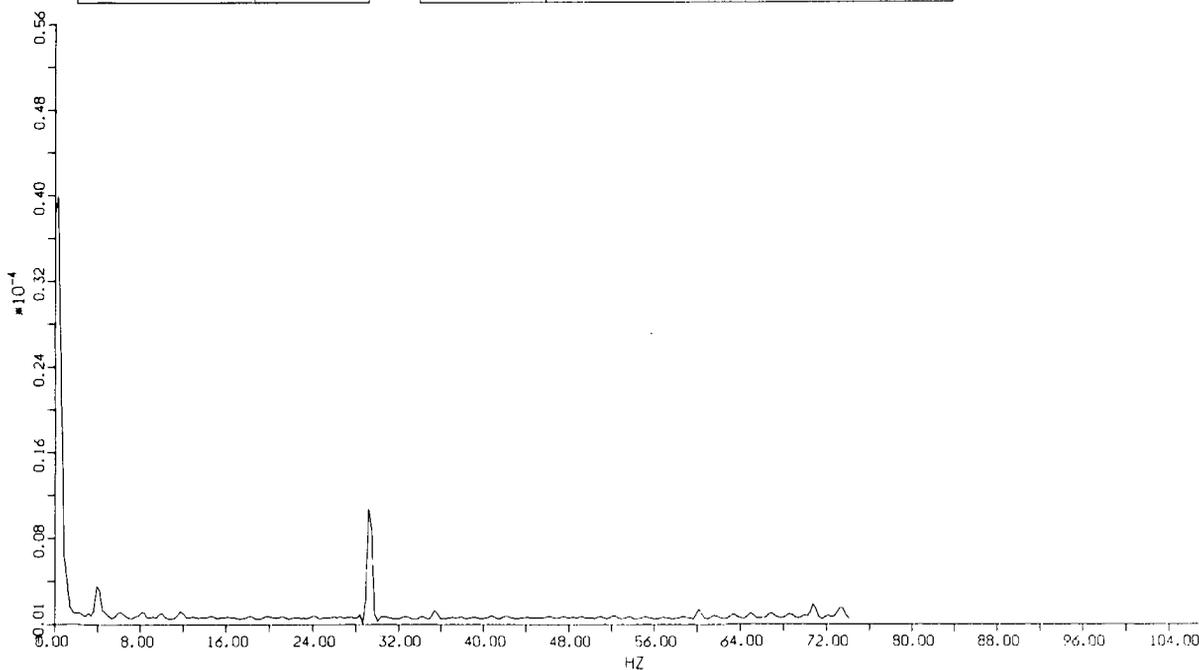


Fig. 1. 3. 13 (b) パワースペクトル

EXP. NO	10C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	267
T	0.00675

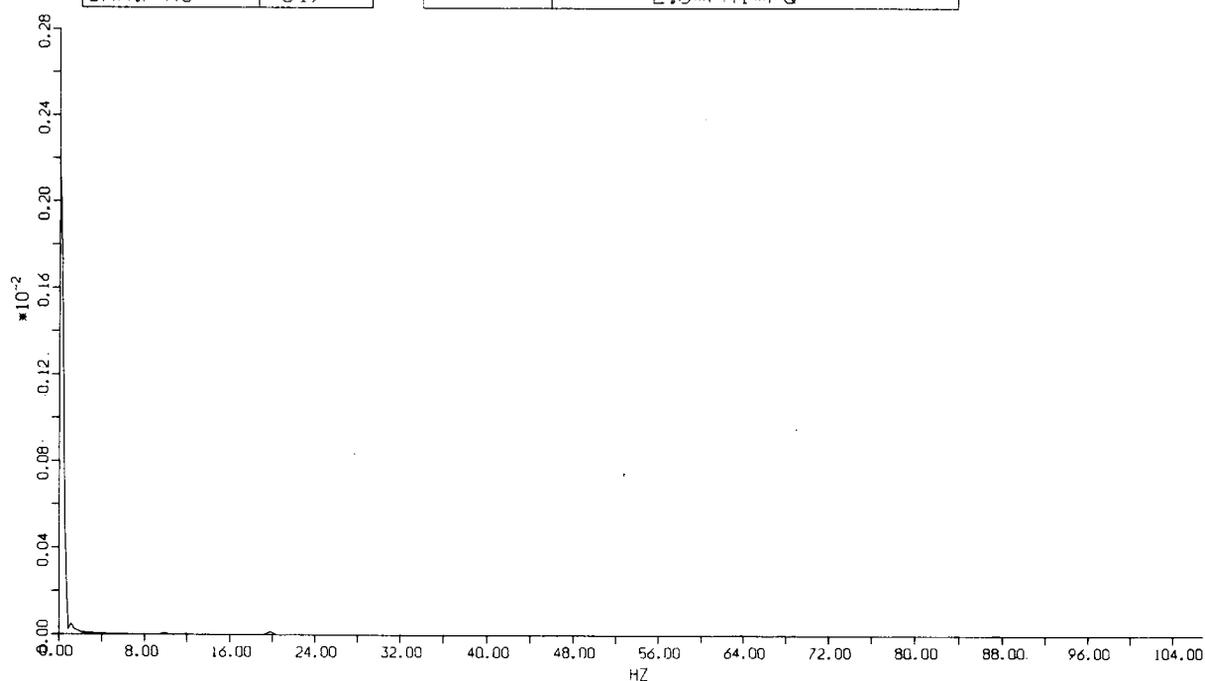


Fig. 1.3.14 (a) パワースペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	POWER-SPECTRUM
	2.0*PAI*FQ

N	267
T	0.00675

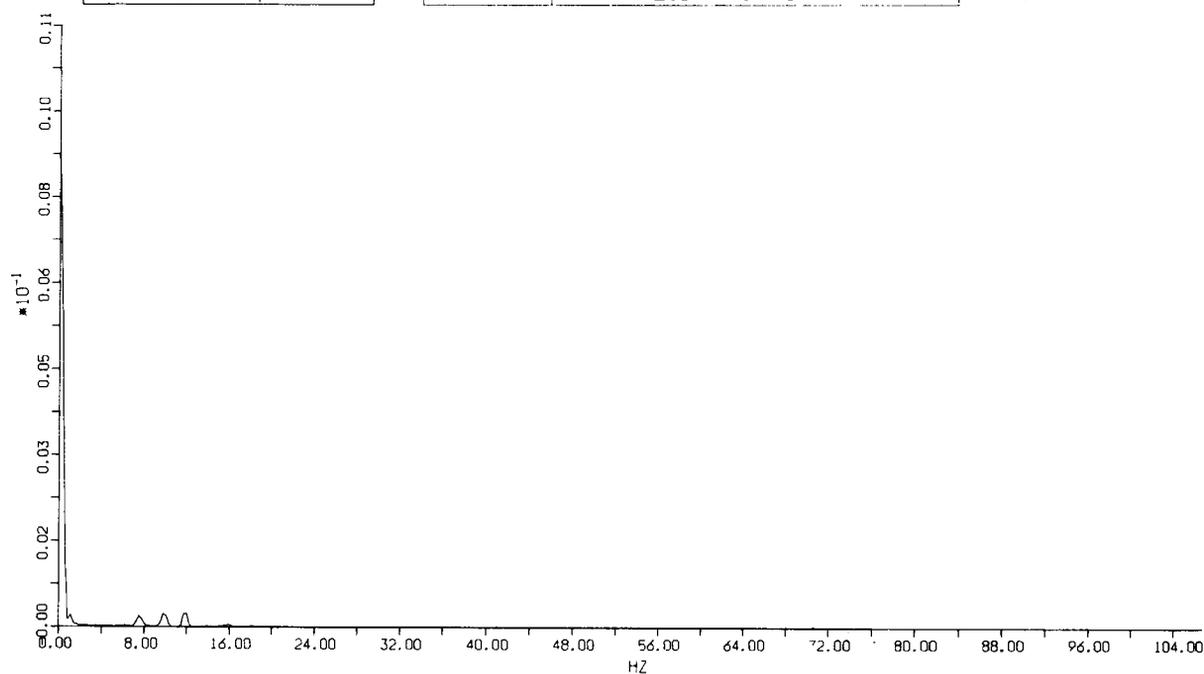


Fig. 1.3.14 (b) パワースペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	PERIOD GRAPH
	RPM CONSTANT

RPM	119.2
N	671

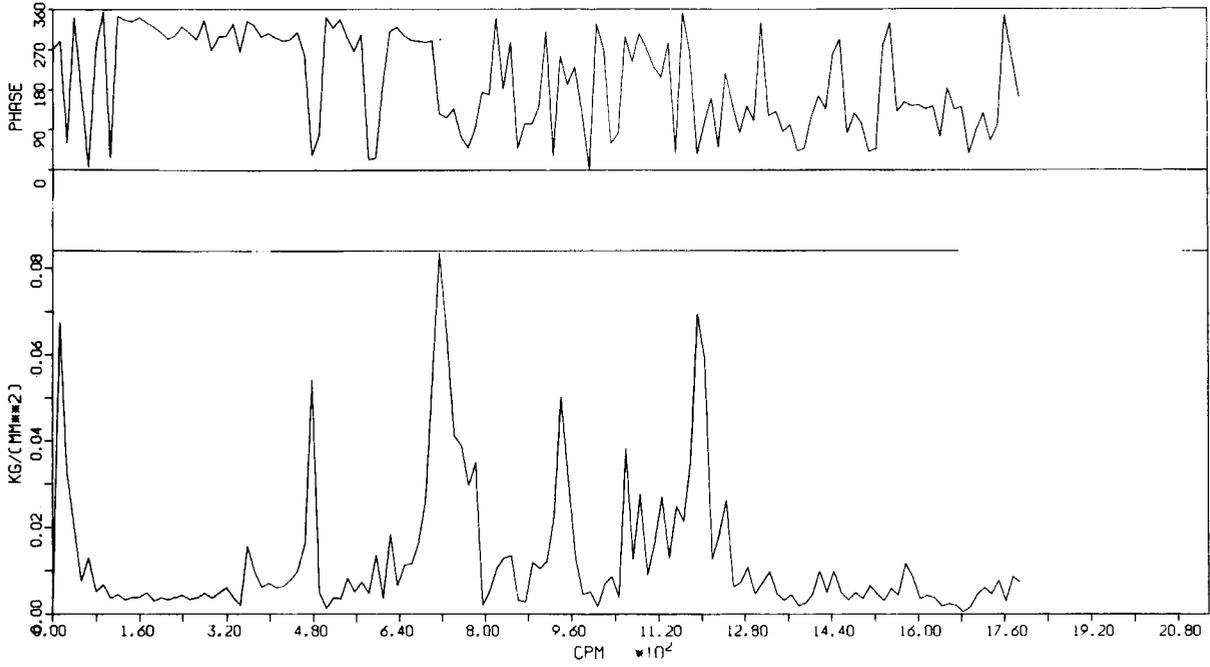


Fig. 1. 3. 15 振動数スペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	PERIOD GRAPH
	RPM CONSTANT

RPM	119.2
N	671

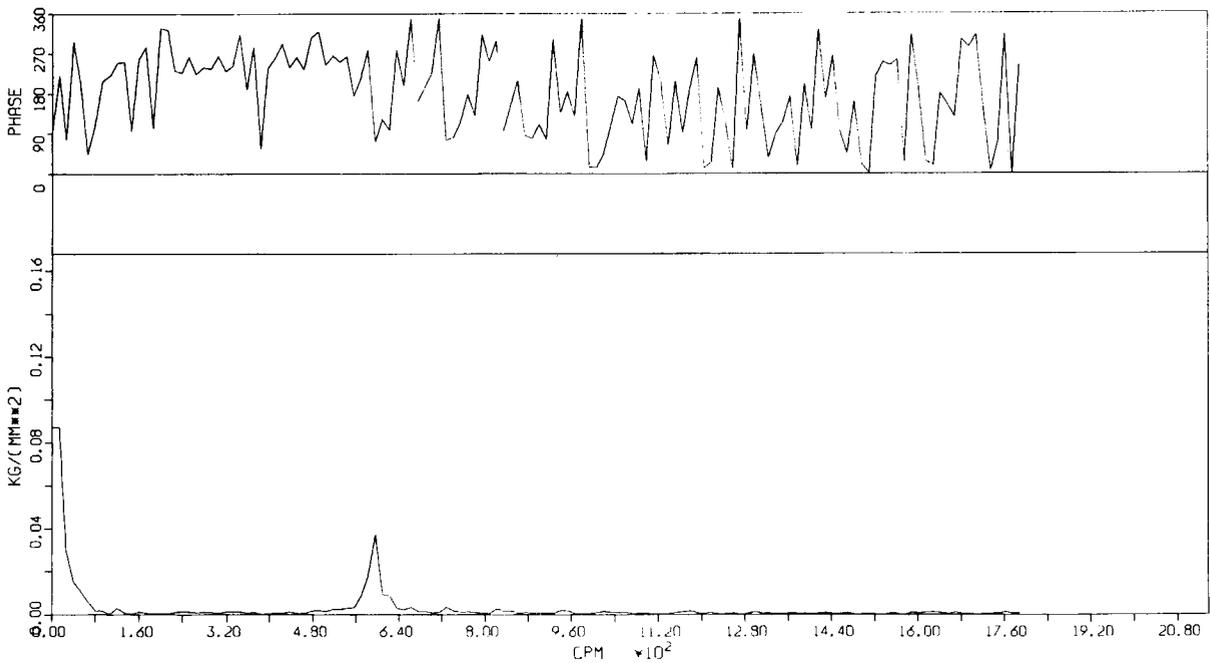


Fig. 1. 3. 16 振動数スペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	PERIOD GRAPH
	RPM CONSTANT

RPM	119.2
N	671

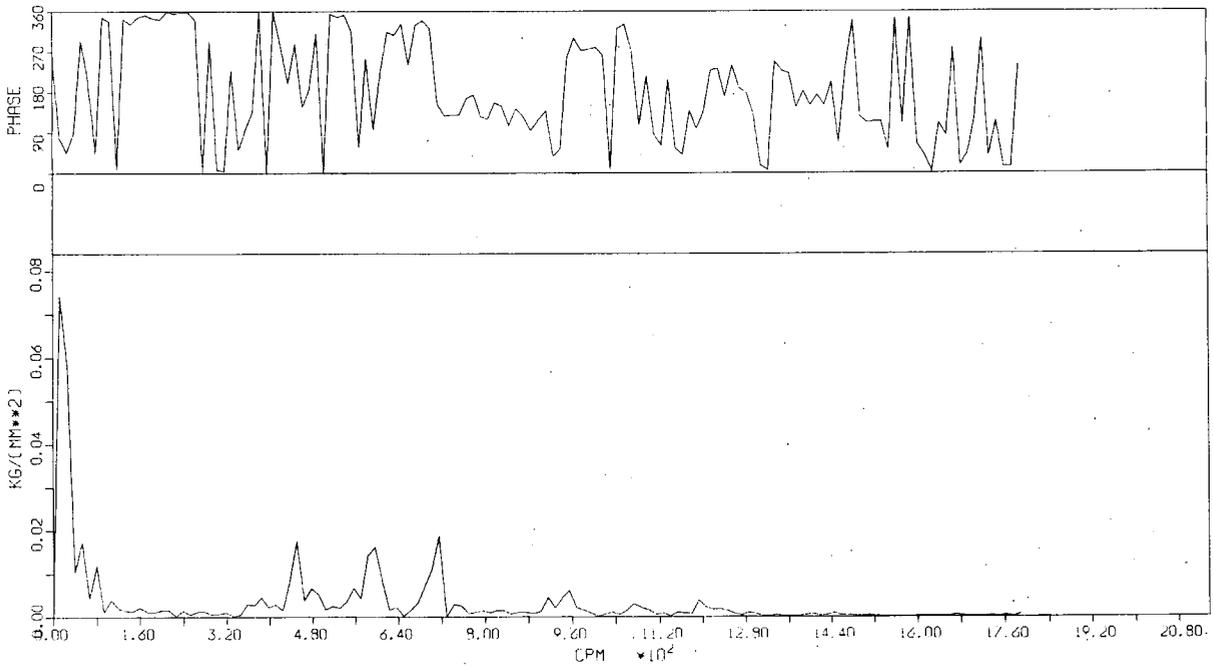


Fig. 1. 3. 17. 振動数スペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S13

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	PERIOD GRAPH
	RPM CONSTANT

RPM	119.2
N	671

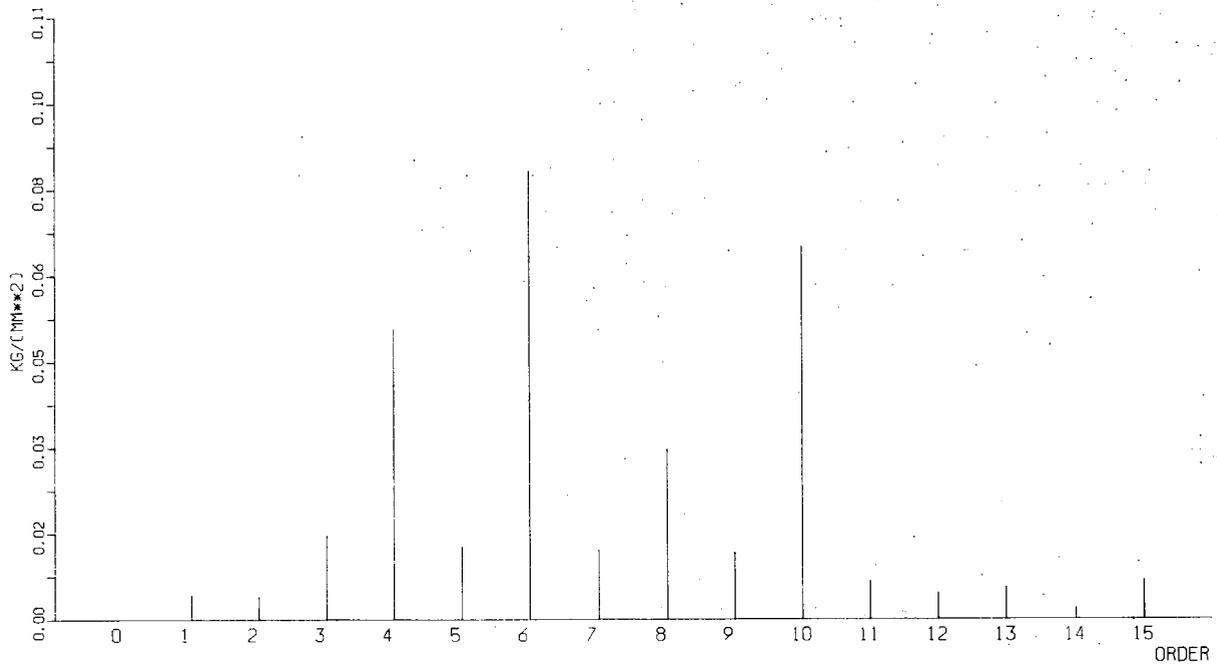


Fig. 1. 3. 18. 線スペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	PERIOD GRAPH
	RPM CONSTANT

RPM	119.2
N	671

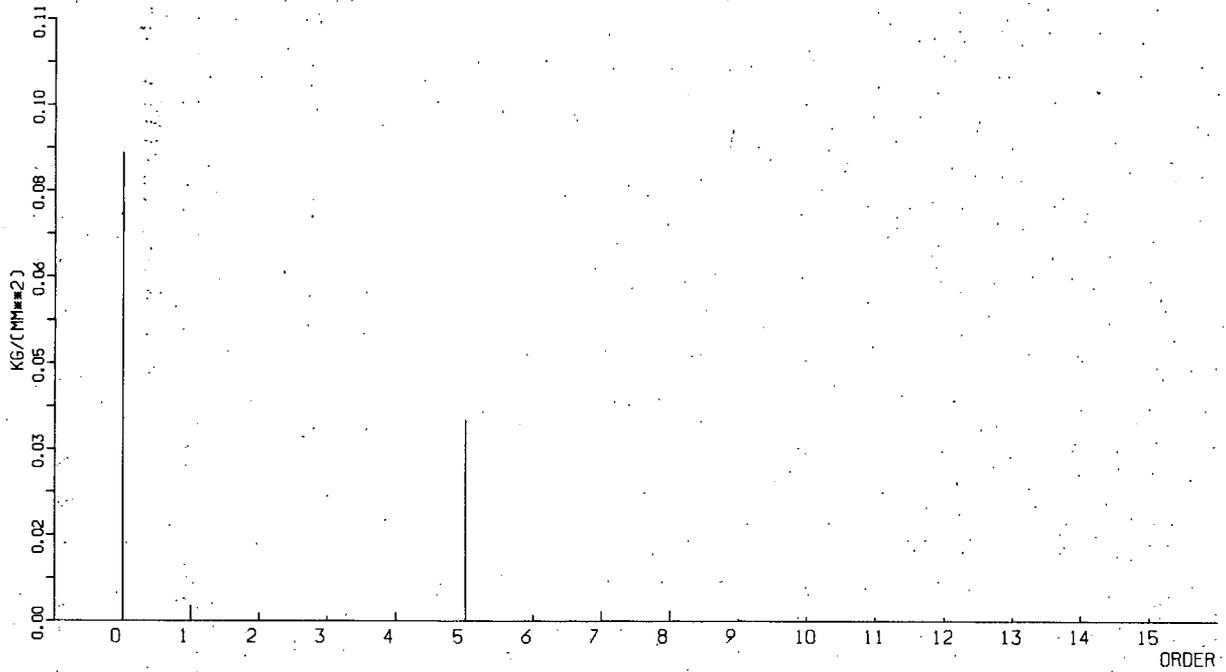


Fig. 1.3.19 線スペクトル

EXP. NO	5C
DATA NO	120
CHA. NO	S19

TITLE	SRI12 SHINWA-MARU
	PERIOD GRAPH
	RPM CONSTANT

RPM	119.2
N	671

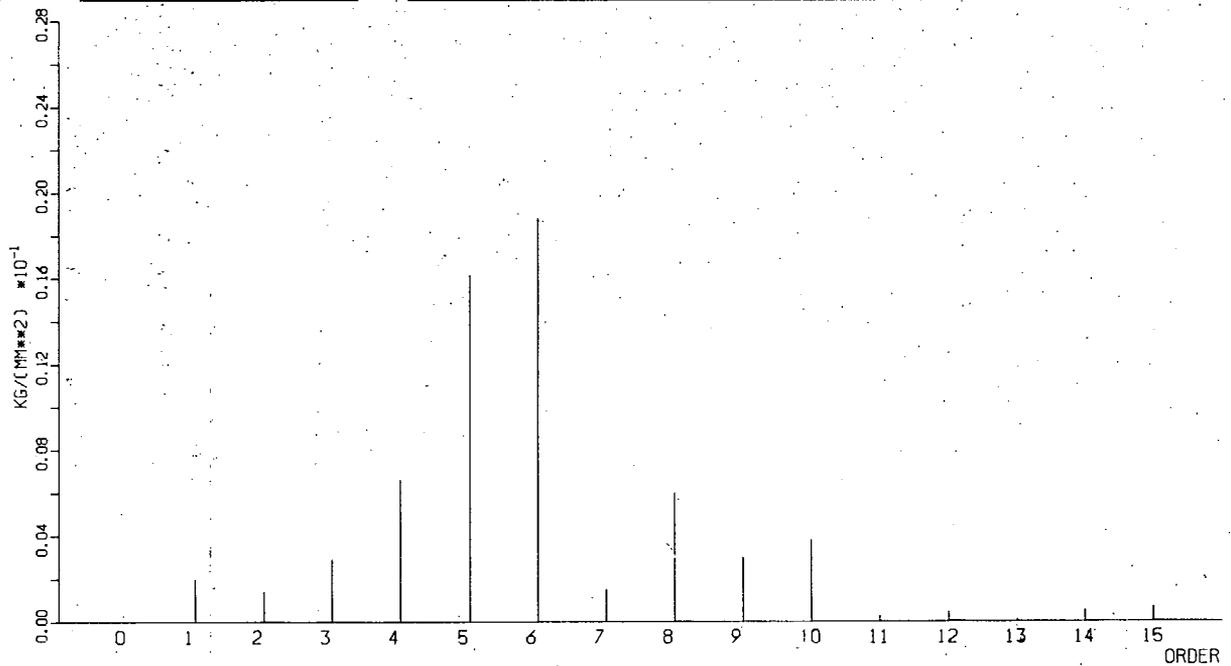


Fig. 1.3.20 線スペクトル

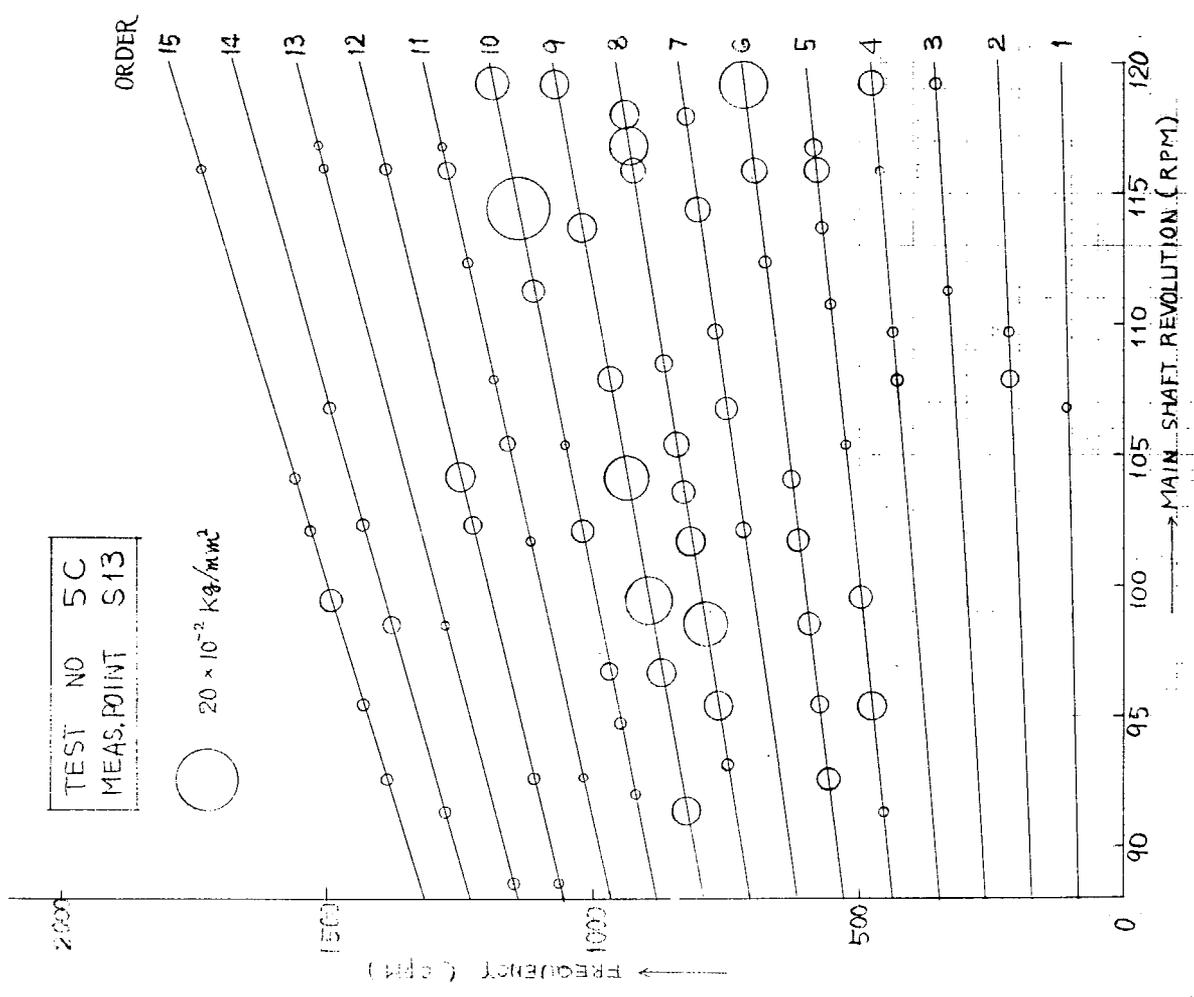


Fig. 1. 3. 21 (a) キヤンベル線図

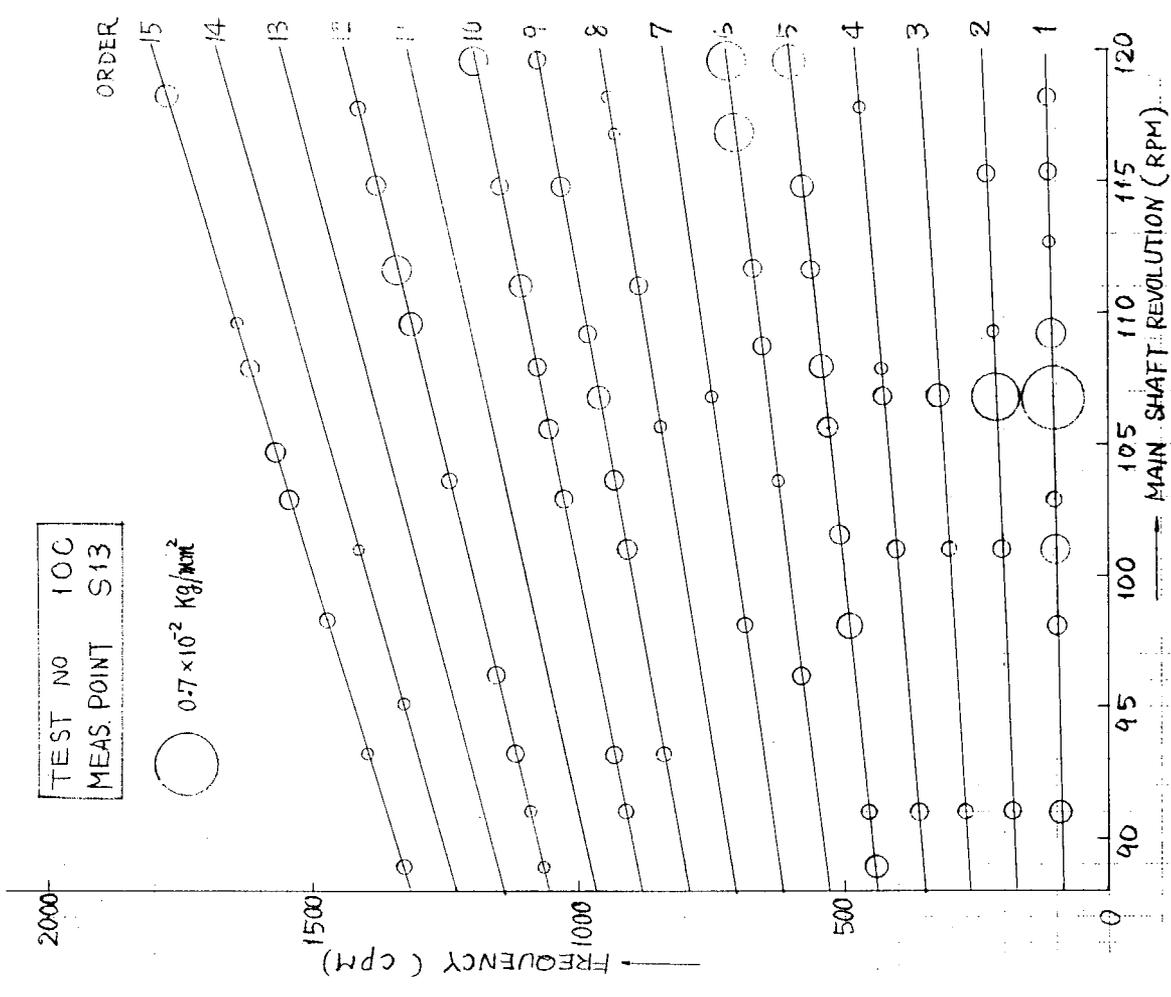


Fig. 1. 3. 21 (b) キヤンベル線図

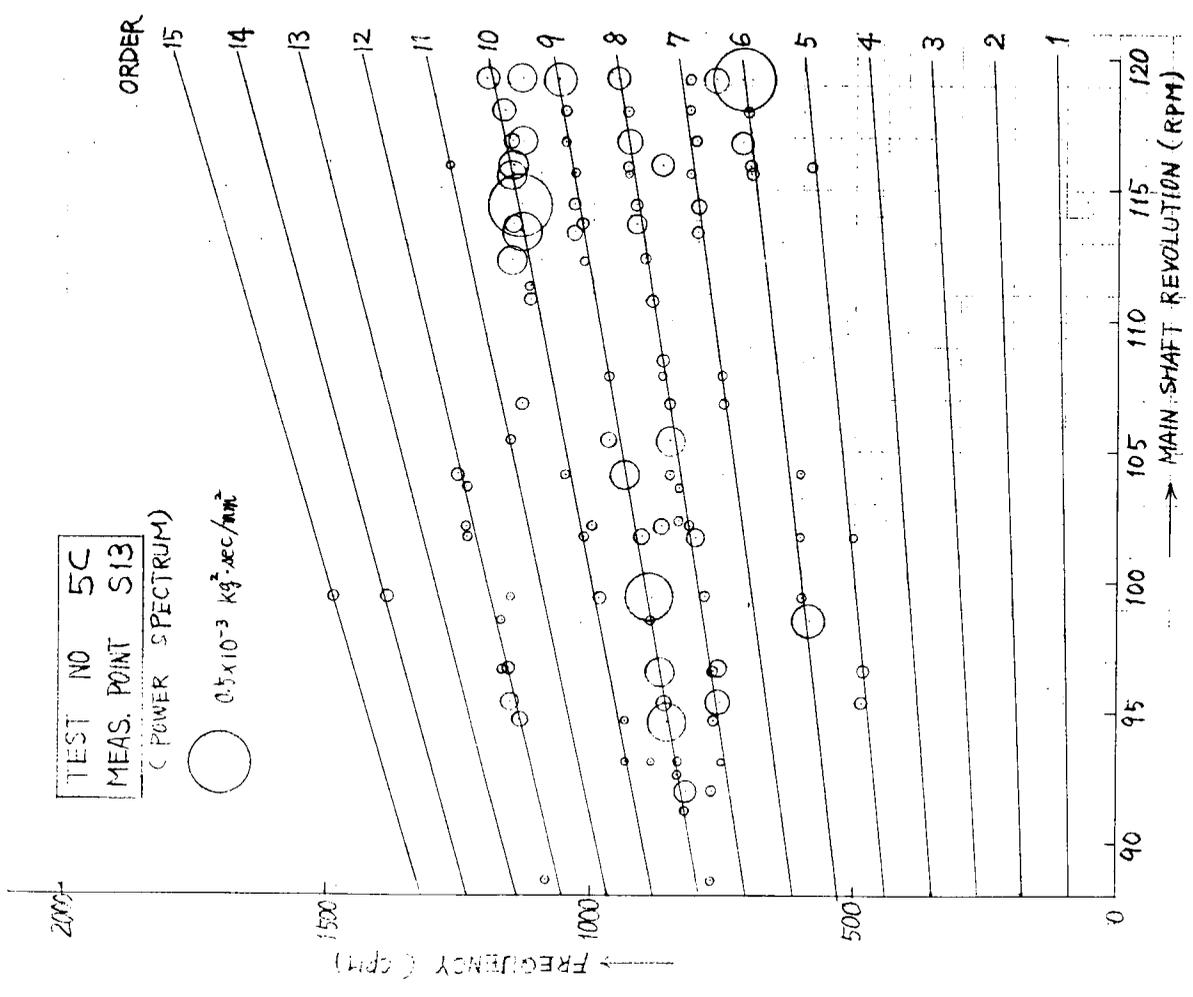


FIG. 1. 3. 22 (a) キャンベル線図

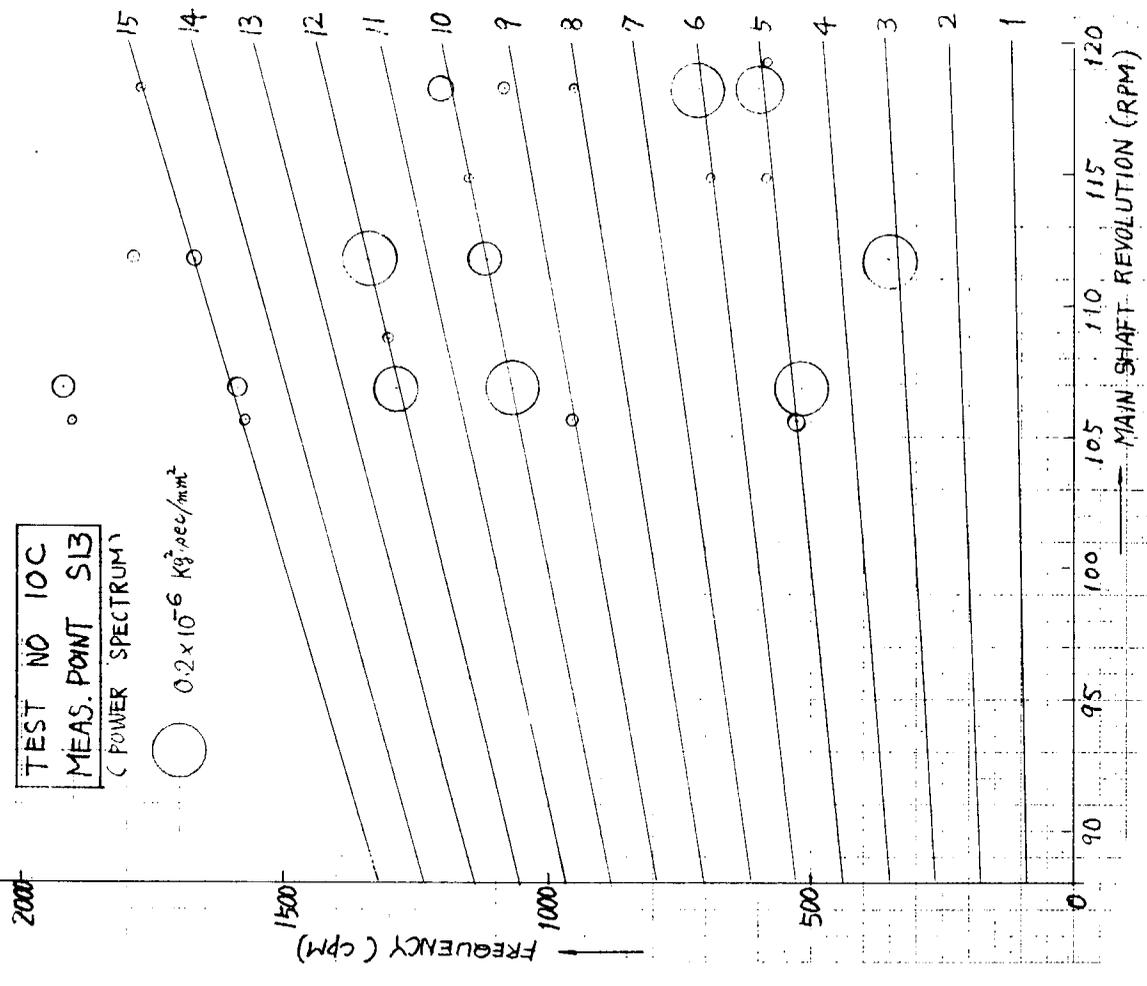


FIG. 1. 3. 22 (b) キャンベル線図

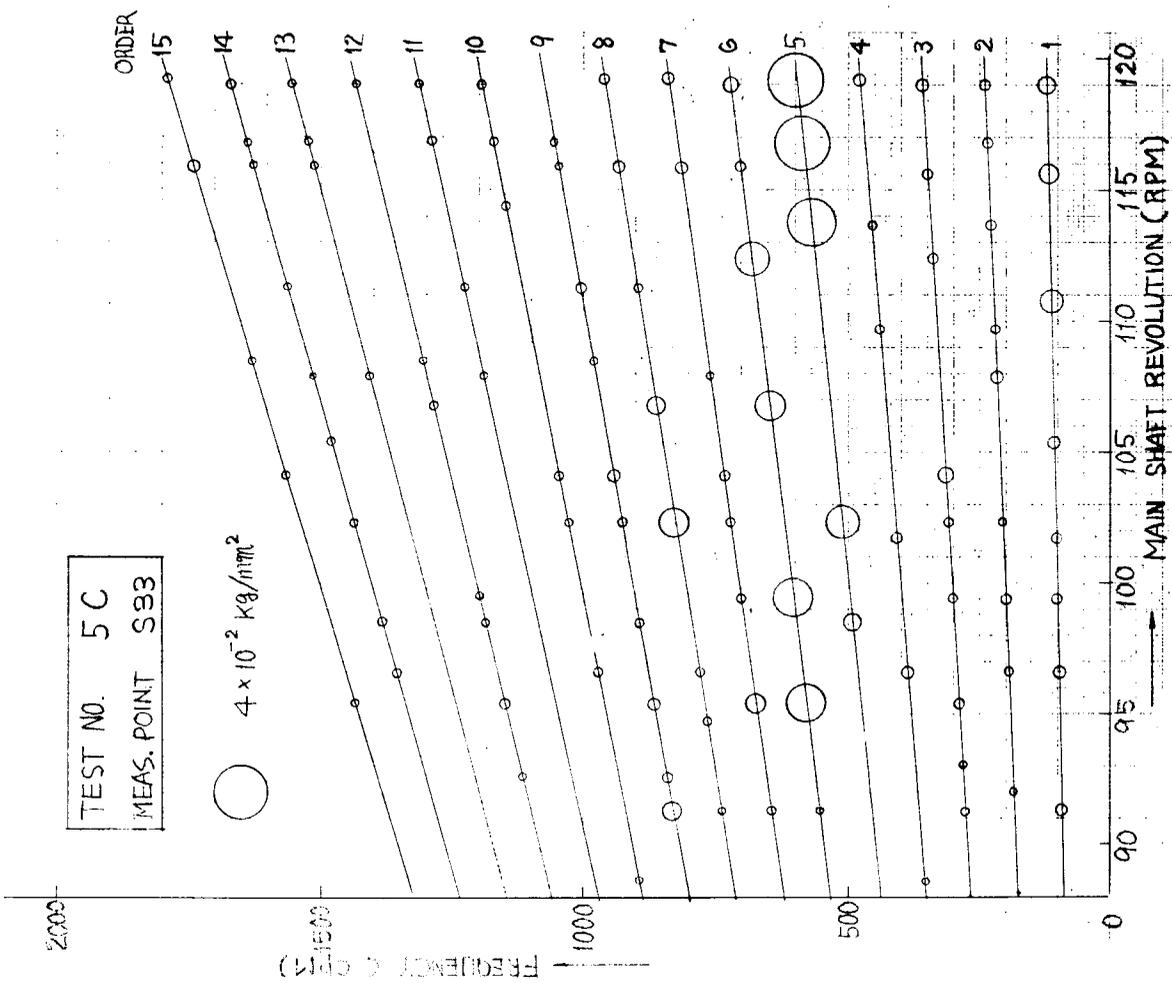


Fig. 1. 3. 23 (a) キャンベル線図

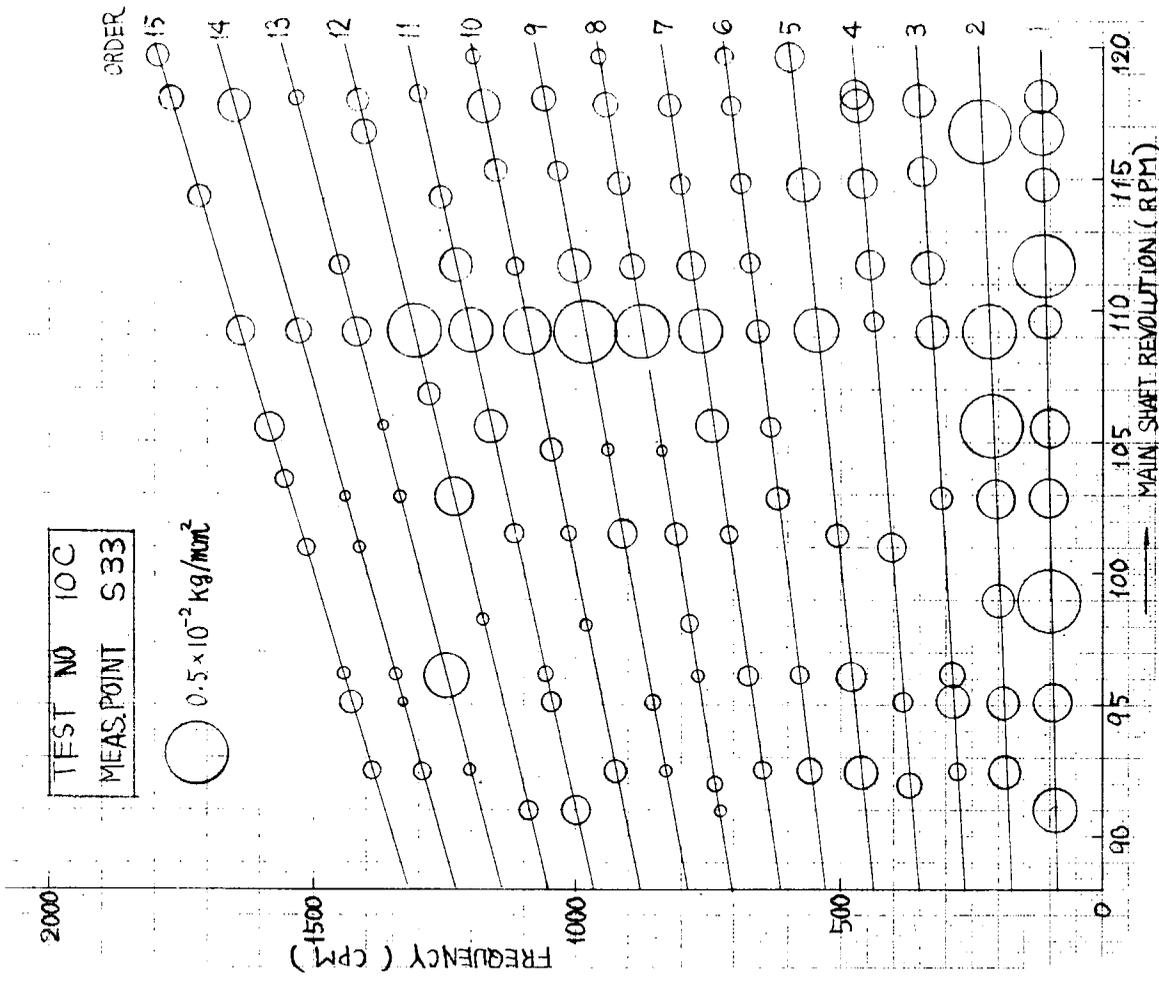


Fig. 1. 3. 23 (b) キャンベル線図

TEST NO 5C
MEAS. POINT S33
(POWER SPECTRUM)

$9 \times 10^{-6} \text{ Kg}^2 \cdot \text{sec}^2 / \text{mm}^4$

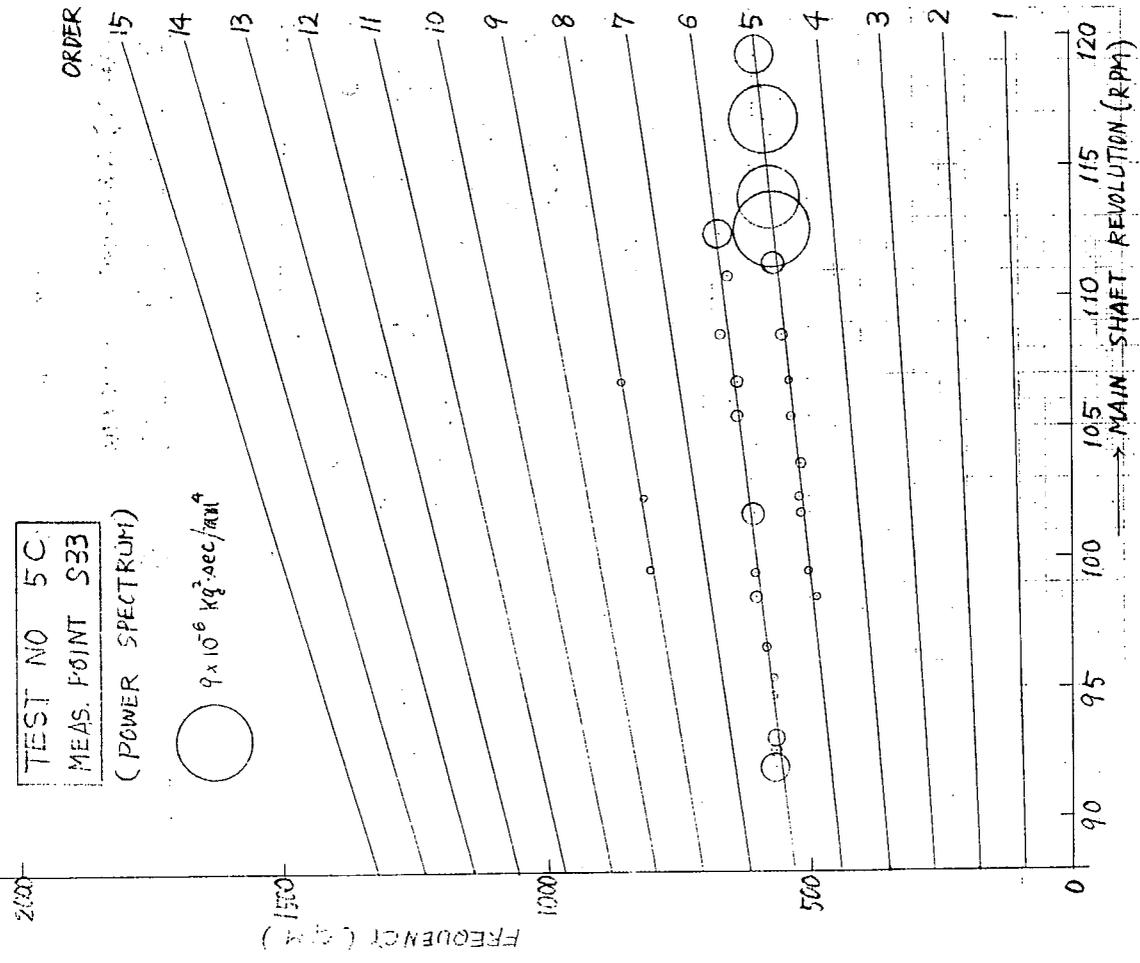


Fig. 1. 3. 24 (a) キヤンベル線図

TEST NO 10C
MEAS. POINT S33
(POWER SPECTRUM)

$0.1 \times 10^{-6} \text{ Kg}^2 \cdot \text{sec}^2 / \text{mm}^4$

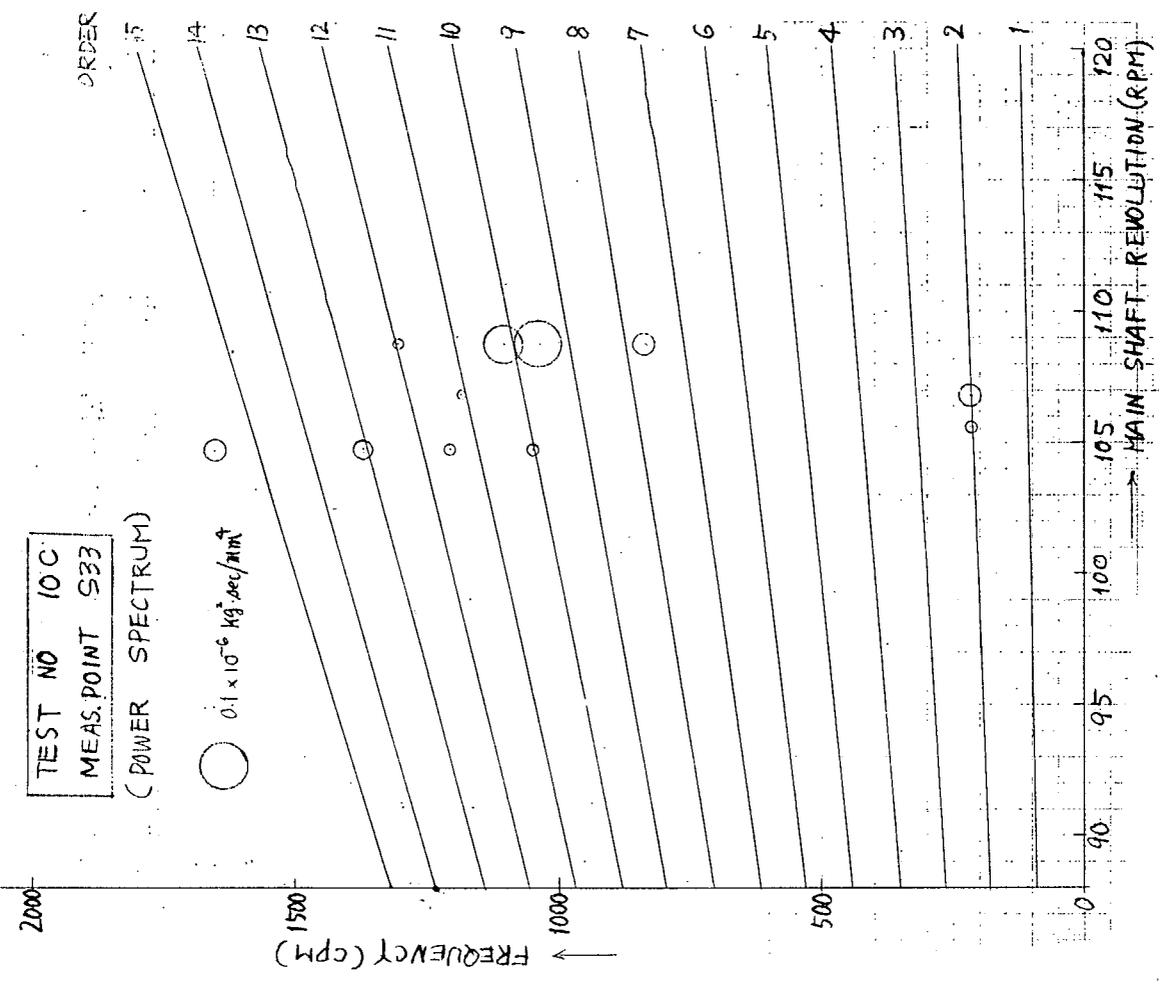


Fig. 1. 3. 24 (b) キヤンベル線図

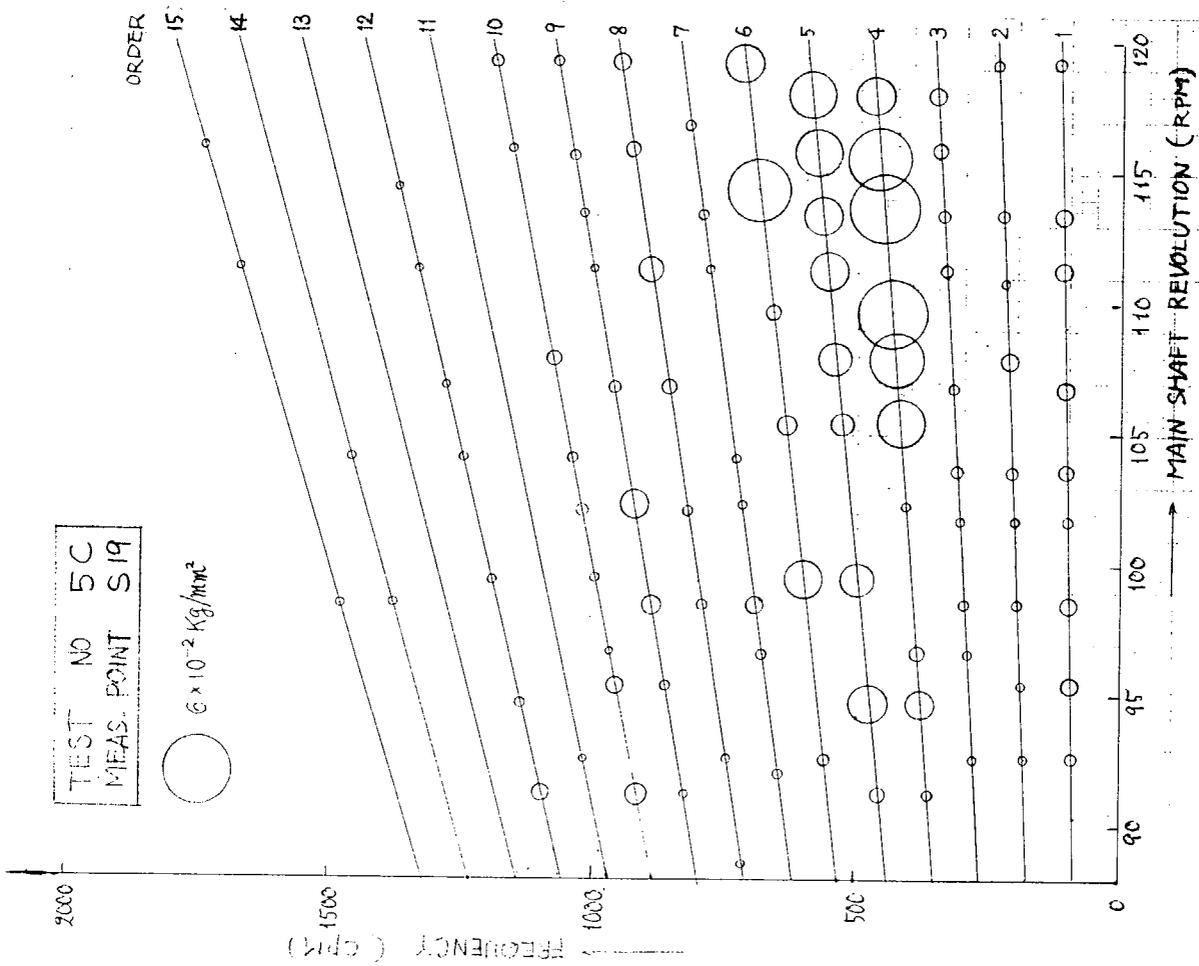


Fig. 1.3.25(a) キャンベル線図

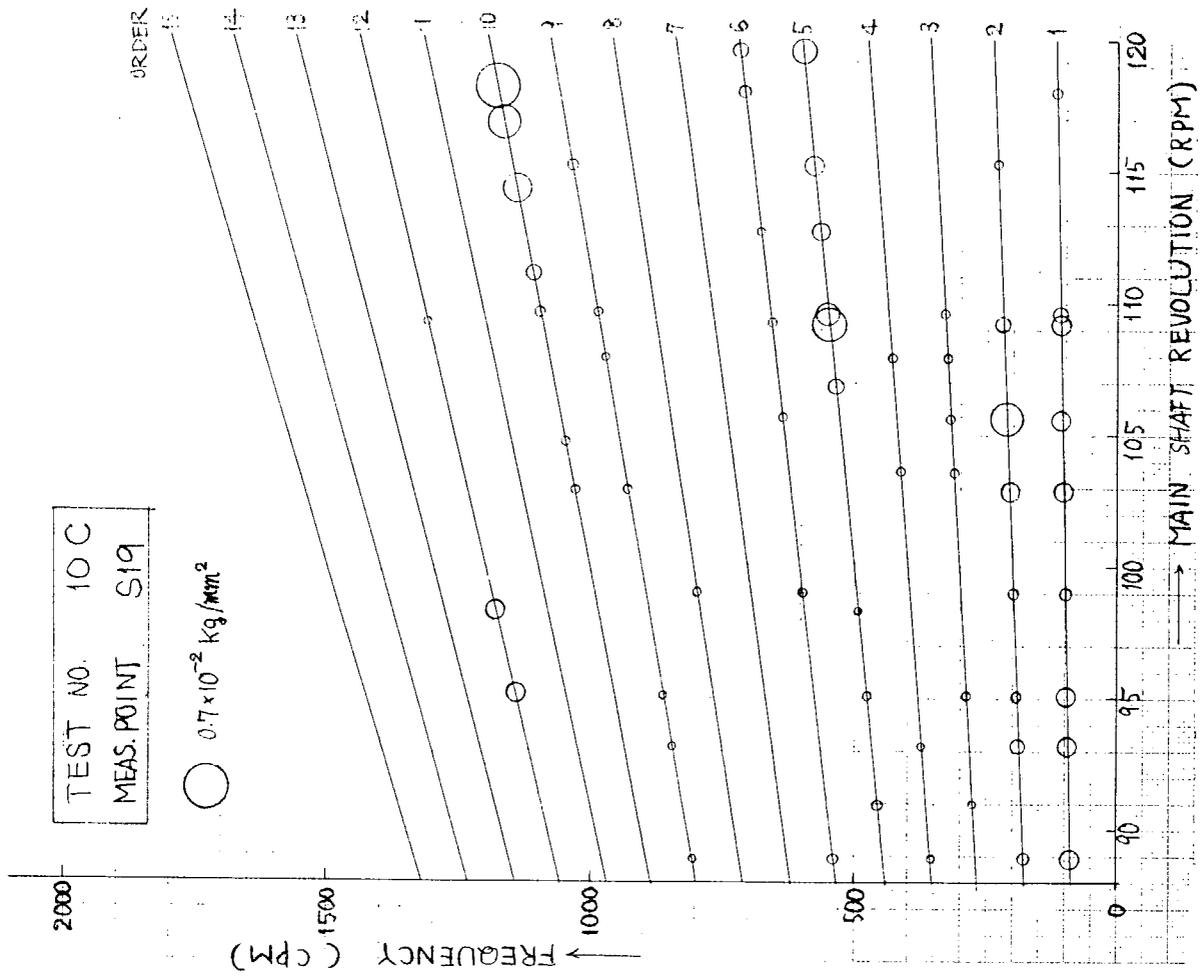


Fig. 1.3.25(b) キャンベル線図

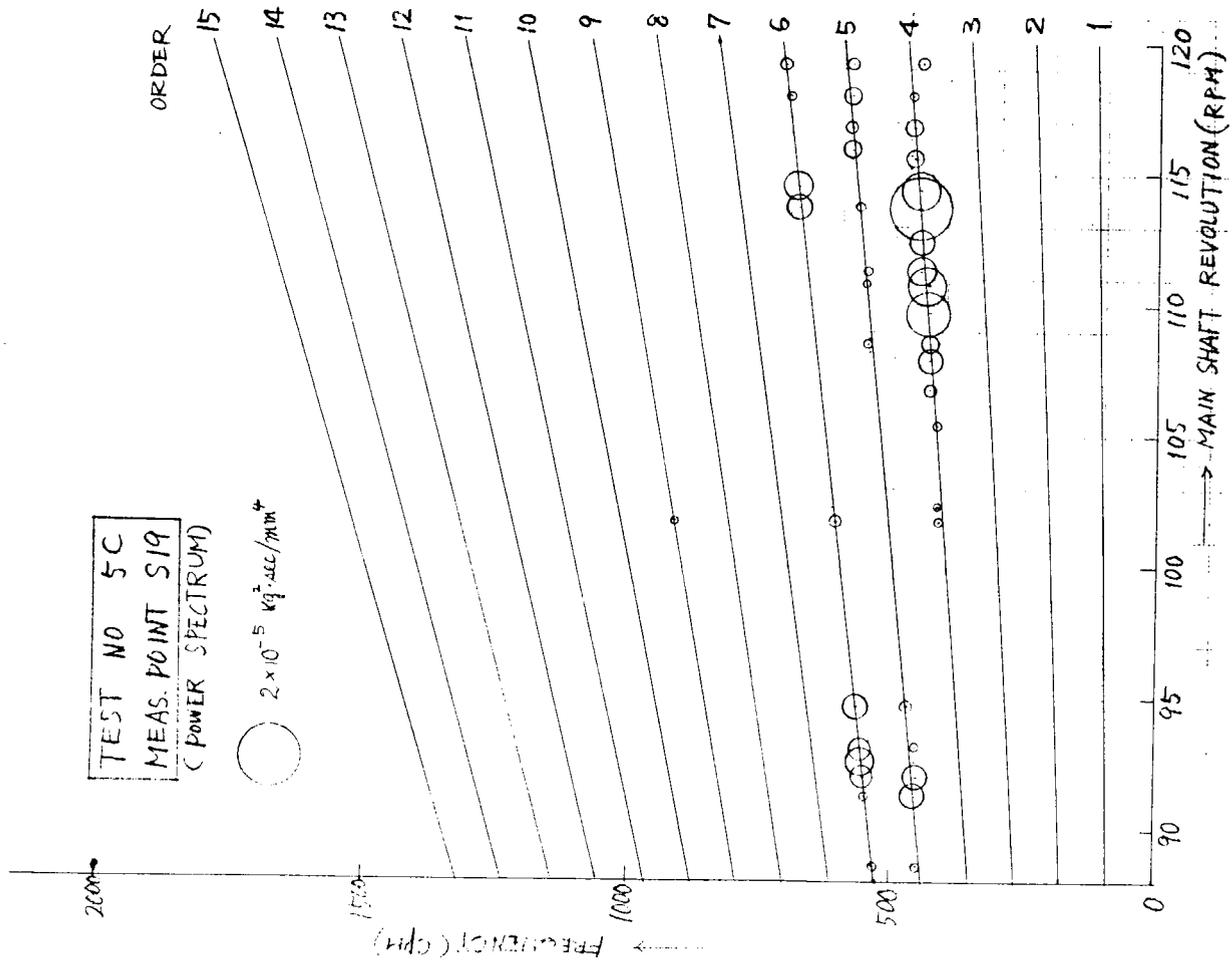


Fig. 1.3.26(a) キヤンペル線図

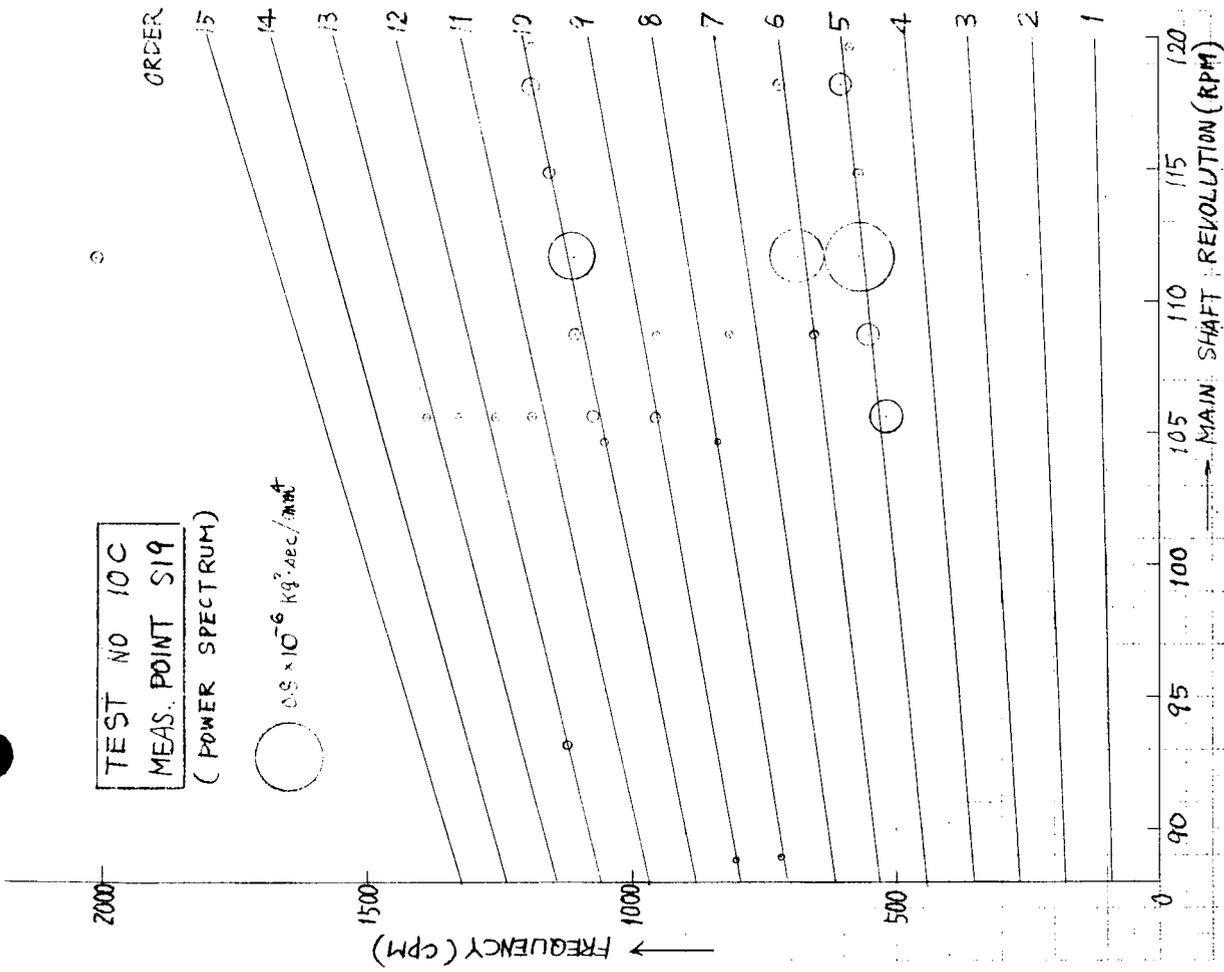


Fig. 1.3.26(b) キヤンペル線図

EXP. NO	100
DATA NO	120
CHA. NO	S33

TITLE	SRI 12 SHINWA-MARU
	RANGE COUNT

N	1389
T	0.00675

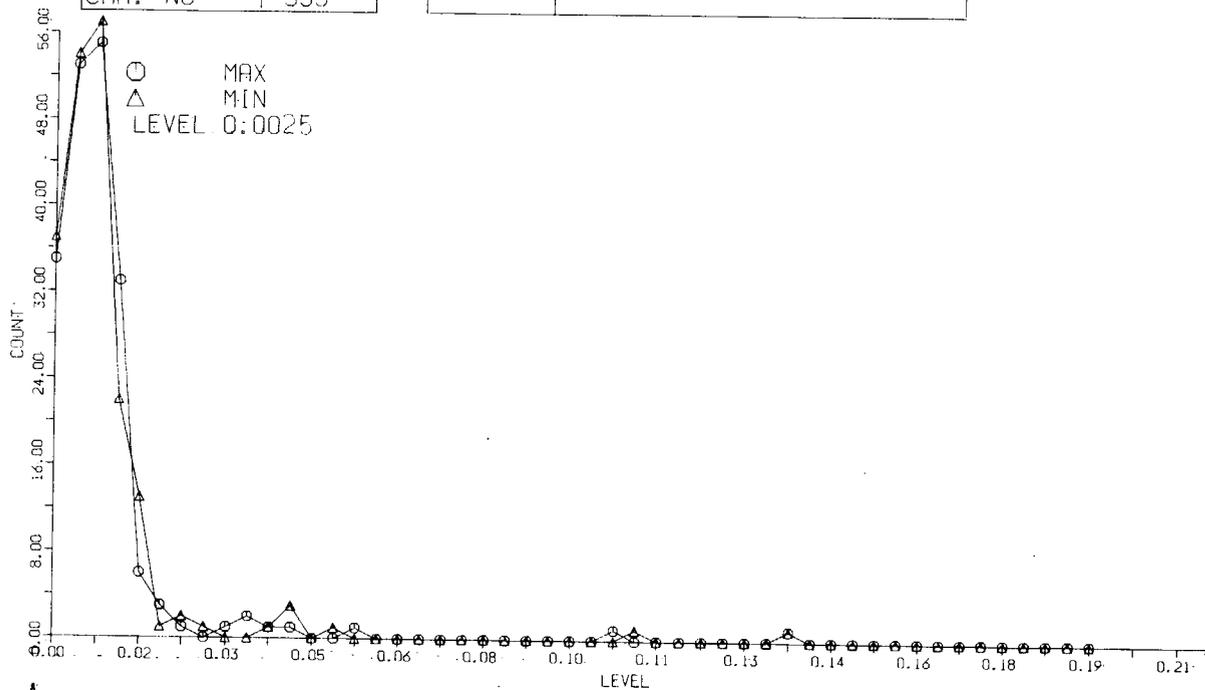


Fig. 1. 3. 27 振 幅 頻 度

1.4 プロペラ起振力

1.4.1 プロペラ変動水圧計測結果の従来実績との比較

神和丸に於て計測されたプロペラ変動水圧を無次元化して、これまでに計測されている他の実船計測結果¹⁾と比較した。

計測データは前年度の報告²⁾に示されているものから、主軸回転数が117 rpmに達したときの値を用いた。水圧の計測値には、かなりのばらつきが存在するので、計測点P₁₀の値として、0.0245~0.035 Kg/cm²を用いた。水圧の無次元化には、従来のデータ¹⁾と同様に次式を使用した。

$$G = \frac{P}{k g \rho n^2 D_p^2} \quad (1.4.1)$$

ただし：

P = 水圧計測値 (片振り) n = 主軸回転数 (毎秒)
 kg = トルク係数 D_p = プロペラ直径
 ρ = 流体密度

計算に使用した諸数値を以下に示す。

P = 0.0245~0.035 kg/cm² (Blad Frequency)
 kg = 0.0255 ρ = 1.046 × 10⁻⁶ kg · sec² / cm⁴
 n = 1.95 rps (117 rpm) D_p = 6.0m

計算結果は G=0.671~0.959 となり、tip clearance ratio C/D_p=0.275 に対し置点すれば Fig. 1.4.1.1 の S となる。図には Table 1.4.1.1 に示す他船の結果も示されている。本船の計測結果を平板模型に対する値と比較して、他船のデータと共に Fig. 1.4.1.2 に示す。Fig. 1.4.1.1 及び

Fig. 1.4.1.2より本船の結果は、従来のデータに比較してはほぼ妥当なものと思われる。尙本船の計測点 P_{10} の位置は Fig. 1.4.1.1 の A 点より若干前寄りになっていたので、他船の平均線に対し計測値が少々低くなったものであろう。Fig. 1.4.1.1 及び Fig. 1.4.1.2 に示される如く、実船の計測結果が平板模型の値に対し 2~3 倍になる事の主な原因としては cavitation の影響が考えられるが、 C/D_p が増加するに従い、平板模型の値に近づいていることから、 C/D_p が小さい場合には wake の影響により tip pressure が増加していると思われる。このことは、又、伴流不均一が小さい特殊船尾形状を有する MT の tip pressure が平板模型に近いことからもうかがわれる。

次に、計測値に対する船体振動の影響を検討する。船体振動の付加水質量効果によって生ずる水圧は次式で概略求められる。³⁾

$$p = 0.875 \times 10^{-4} \alpha b \quad (1.4.1.2)$$

ただし

p = 水圧変動 (片振巾 Kg/cm^2)

α = 振動加速度 (gal)

b = 断面の水線に於る半巾 (m)

(1.4.1.2) 式による tip pressure は、 $\alpha = 10$ gal、 $b = 2$ m とすれば $p = 0.00175 Kg/cm^2$ で、計測点 P_{10} の計測結果の 5~7 % 程度であり小さい。

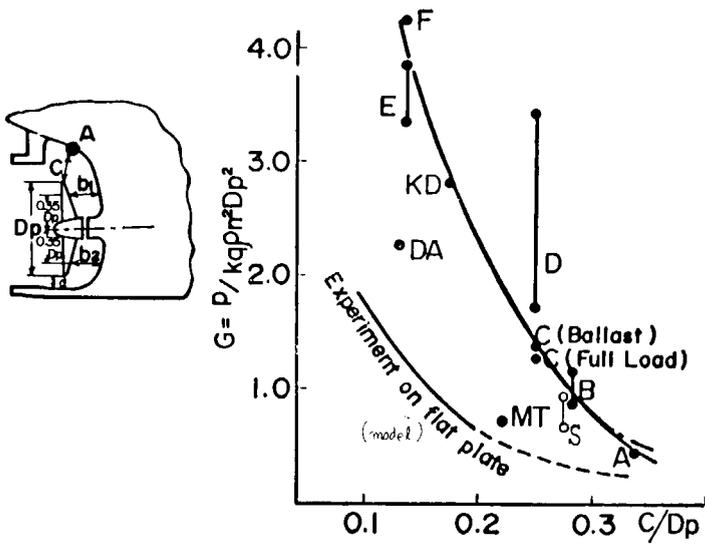
最後に Fig. 1.4.2.3 に tip pressure の計測波形を示す。Ship F の様に C/D_p が小さいときには鋭い負圧が認められるが C/D_p が大きくなると緩和されている。又、Ship F では Blade Frequency の 2 倍の成分が明瞭に認められるが、 C/D_p が大きくなると 2 倍成分が小さくなることが判る。

参 考 文 献

- 1) Discussion to the Report of Committee 7 on Vibration, 4-th International Ship Structures Congress, Tokyo. (1970)
- 2) SR112 研究部会・機関およびプロペラの起振力と船体振動の応答に関する研究 研究資料 第 147 (昭 47-3)
- 3) 三菱長崎研究所：船体振動による水圧変動 (付加水質量効果) がプロペラ起振力の計測値に及ぼす影響について、船体構造委員会資料③小-1-32- $\frac{1}{4}$ (1967)

Table. 1. 4. 1. 1 Particulars of ships shown in Fig. 1. 4. 1. 1

Ship name	A	B	C	D	E	F	MT	KD	DA	S	
Hull & Engine Particulars	D.W. (ton)	208,800	52,000	49,699	89,918	46,631	51,157	33,000	49,326	57,124	
	L x B x D (m)	300 x 50 x 27	208 x 32.2 x 16.4	213 x 30.5 x 15.2	254 x 37.2 x 19.5	213 x 30.5 x 15.2	213 x 30.5 x 15.2	72.8 x 13.5 x 5.1	190 x 26.3 x 14	215 x 31 x 16.48	213 x 32.8 x 17
	Full load	19.0	12.14	11.45	14.21	11.332	12.09		10.59		11.55
	Type	Turbine	Turbine	Diesel	Turbine	Turbine	Turbine		Diesel		Diesel
Rating at MCR	36,000 x $\frac{ps}{rpm}$	18,000 x 105	16,500 x 120	24,000 x 105	17,600 x 112	17,600 x 112	2,000 x 190	15,000 x 115	18,200 x 110	15,000 x 125	
Propeller Particulars	No. of blades	5	5	5	5	5	5	5	4	5	
	Diameter (m)	8.6	6.75	6.1	7.2	6.6	6.6	2.9	6.3	6.0	
	Pitch (m)	6.0	5.123	4.4	5.3	4.6	4.8	2.85	4.568	4.050	
	Exp. A.R.	0.6025	0.559	0.602	0.565	0.561	0.570	0.7	0.564	0.670	
Screw apertures	a ₁ /Dp (%)	13.4	14.4	19.7	14.9	10.6	10.6		16.95	26.0	
	b ₁ /Dp (%)	30.8	28.7	25.6	22.9	19.8	19.8		22.26	16.0	
	c/Dp (%)	33.7	28.2	25.1	25.1	13.6	13.6	22.0	17.4	13.0	
	a ₂ /Dp (%)	16.3	28.7	19.7	15.4	12.4	12.4		16.95		
Measuring condition	b ₂ /Dp (%)	30.8	25.5	25.1	25.8	18.5	18.5		19.24	26.3	
	d/Dp (%)	12.2	10.05	7.7	9.3	4.4	4.4		5.56	8.3	
	Date	June 1969	June 1969	Aug. 1962	June 1962	Feb. 1960	May 1961	1967	1961	1963	Nov. 1970
	d (m)	19.04	7.92	7.90	7.634	7.295	7.29		5.63		7.81
A (ton)	243,164	114,670	40,650	61,270	56,374	37,978		21,223		44,036	
計測者	三峯 長山			Kail			川原 神戶			Prager	
	SR112										



- P : Single amplitude of oscillating pressure at A
- k_q : Torque coefficient
- ρ : Density of fluid
- n : Revolution per second of propeller

Blade frequency pressures near propeller
measured on board actual ships

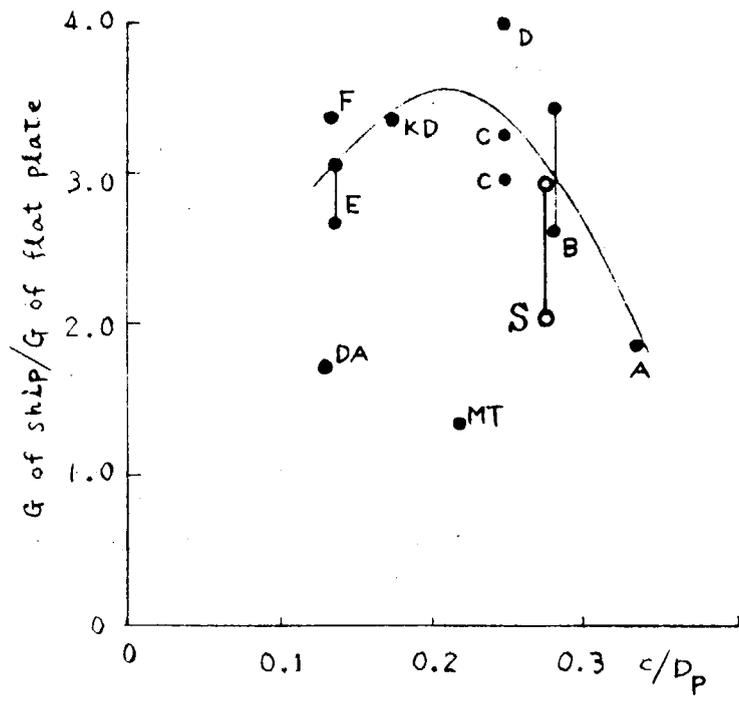


Fig. 1. 4. 1. 2 平板との比

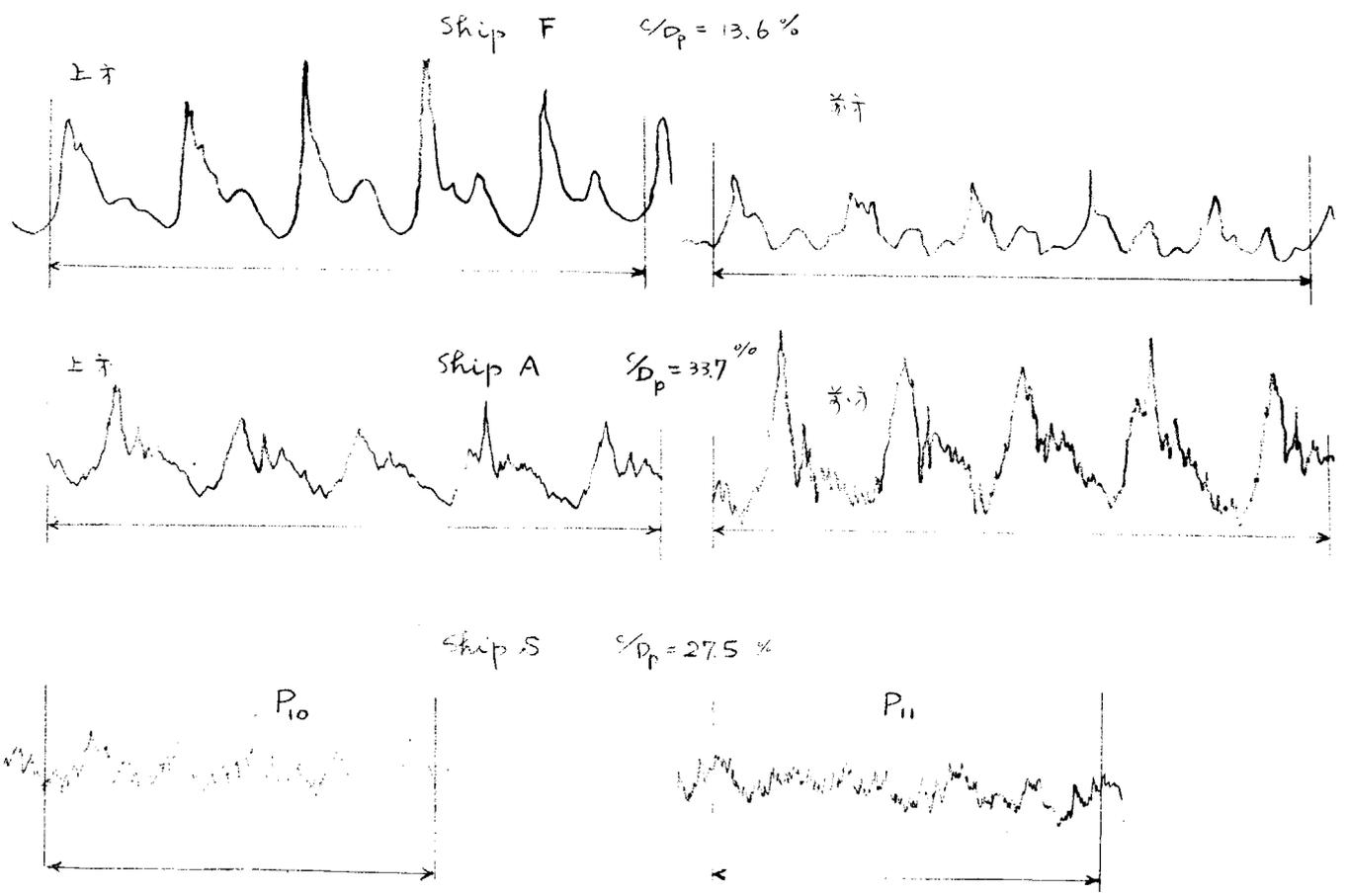


Fig. 1. 4. 1. 3 変動水圧波形

1.4.2 プロペラ起振力の模型試験

(1) 模型及び試験方法

実船試験に用いられた「神和丸」の $1/35.5$ の木製模型を作り自航試験を行なって船尾部附近の水圧変動、トルク、スラスト全量、変動量の計測を行った。

実船と模型の主要寸法をTable 1.4.2.1に、プロペラの主要寸法をTable 1.4.2.2に示す。

Table 1.4.2.1 (単位 m)

	Full load		Ballast	
	Ship	Model	Ship	Model
L_{pp}	213.000	6.000	213.000	6.000
L_{wL}	216.135	6.088	210.270	5.923
B	32.800	0.924	32.800	0.924
d_{\otimes} : Draft at \otimes	11.110	0.313	7.810	0.2200
d_a : Draft at A.P.	Do.	Do	8.560	0.2411
d_f : Draft at F.P.	Do.	Do	7.050	0.1986
∇ (m ³)	63,520	1.4198	43,560	0.9737

Table 1.4.2.2 (単位 m)

	Ship	Model
D	6.000	0.1690
P	4.050	0.11408
P/D		0.675
RAKE ANGLE		7 deg.
Z		5 "
回転方向		右まわり

満載状態とバラスト状態の吃水は実船計測時の吃水に対応するように決めた。

自航試験は各状態とも1.0 m/sec ~ 1.5 m/secの範囲の5種の試験速度とこれに対応するプロペラ回転数にて実施した。

水圧変動の計測はプロペラ周辺の各計測個所に棒状圧力計を船体表面に突起、くぼみが生じないように埋め込み、プロペラ回転により生じる水圧変動の変動分のみを計測した。

トルク、スラストの計測は特にこの試験のために製作した自航動力計を用いた。トルク、スラストとも磁わい方式にて全量値を計測し変動分は全量値の変動部分をスラスト変動では4倍に、トルク変動の場合5倍に拡大して全量値とは別にとり出し全量値と同時記録を行った。

(2) 解析結果

高速磁気テープデータ集録装置に記録した計測結果の中から任意にプロペラ9回転分のデータを取り出し12次までの調和解析を行なった。

(a) 水圧変動

プロペラ周辺の20点の水圧変動計測値を $K_p = \Delta p / (K_Q \rho n^2 D^2)$ (Δp : 水圧変動の複振巾、 K_p : 1.4.1節のGと同じ)なる式で無次元化すると5次の変動水圧は、プロペラ回転数に関係なく一定である。プロペラ tip 直立点のデータを一例としてFig. 1.4.2.1に示す。調和解析を行うと5次の成分のみ大きく、他の成分はこれに比して15%程度であった。この例をFig. 1.4.2.2に示す。各計測点においてプロペラ回転数に関係なく一定とみなせる平均化された K_0 を船体表面に分布させる

と Fig. 1.4.2.3、Fig. 1.4.2.4 のようになり、ピークはプロペラ面より前方に寄っている。

Fig. 1.4.2.3と Fig. 1.4.2.4 の圧力分布を比較すると、自由表面の影響の大きい吃水線の近傍を除き、満載状態であってもバラスト状態であってもほぼ同じ値をとる。

④ を中心に左右方向の圧力分布を調べると Fig. 1.4.2.5 のようになりプロペラ面より前の方では左舷にピークがあり、後に寄るに従って右舷にピークがずれていく傾向が現われている。

(h) トルク、スラスト変動

トルク、スラストの全量は満載状態 15.10 kt に相当する 1304 m/sec において、プロペラ回転数 $n = 1157$ rps、スラスト $T = 2.382$ Kg、トルク $Q = 4.79$ Kg·cm スラスト係数 $K_T = 0.214$ 、トルク係数 $K_Q = 0.0255$ であった。バラスト状態 15.11 kt に相当する 1305 m/sec においては、 $n = 1072$ rps、 $T = 2.191$ Kg、 $Q = 4.35$ Kg·cm、 $K_T = 0.2295$ 、 $K_Q = 0.0270$ であった。

スラスト、トルクの変動値は $\Delta K_T = \Delta T / (\rho n^2 D^4)$ 、 $\Delta K_Q = \Delta Q / (\rho n^2 D^5)$ (ΔT 、 ΔQ : スラスト、トルクの片振り変動値) により無次元化を行った。

スラスト変動の場合、5次の成分に着目して ΔK_T を図示すると Fig. 1.4.2.11、Fig. 1.4.2.12 のようになる。

全量値に対する比は 15 kt、117 RPM に相当する速度、回転数において満載状態で 3.0% 程度、バラスト状態では 1.7% 程度であった。トルク変動の場合、同じく 5次の成分に着目して ΔK_Q を図示すると Fig. 1.4.2.13、Fig. 1.4.2.14 のようになる。全量値に対する比は 15 kt 程度で満載、バラスト両状態ともに 2.0% 程度であった。

ΔK_T 、 ΔK_Q はいずれも滑らかな曲線にのっているが、バラスト状態のトルク変動はばらつきがやや大きい。その誤差は 20% 程度である。プロペラから発生するとみられる 5次、10次の変動値は他の次数と比較して特に大きいものではなく、ほぼ比較し得る大きさであった。本船の伴流分布にも左右されるが、本来他の次数の変動値は 5次、10次のそれに比して小さいと考えられるので、上述の精度の問題と共に更に検討を要する。

(3) 実船計測値との比較

実船計測値については既に SR-112 報告 (文献(1)) としてまとめられている。これを参考に下記のような比較検討を行った。

(a) 水圧変動

プロペラ面の右舷 0.2 D にとりつけられた水圧計はバラスト状態では吃水線に出るが、実船ではおそらくプロペラ回転による水の盛り上がり現象により没水し Fig. 1.4.2.6 に水圧変動が記録されている。模型ではバラスト状態では没水せず満載状態で計測できた。実船計測値 Fig. 1.4.2.6 から船体振動の影響を 1.4.1 節の方法で 7% と仮定して除き無次元化すると Fig. 1.4.2.7 のようになる。一方相当点の模型計測結果の K_p は同図のように回転数に関係なくほぼ一定値をとるので実船の K_p は模型の K_p に比べて 117 RPM で 3.6 倍に達する。実船の K_p に自由表面の影響の小さい満載状態の K_p を用いるならばこの倍率は更に大きくなると考えられる。この原因は文献(2)、(3)、(4)、(5)に指摘されているように実船のプロペラにおけるキャビテーションの発生が考えられ、他に船体振動による修正方法の精度に起因すると考えられる。

各計測点は同時に最大振巾をとることはなく計測点間に位相差があることは当然であるが、いまの場合、模型計測の振巾、位相差をそのまま使い、プロペラ上部附近の変動水圧を長さ方向 1.18 D、横方

向Dの水平面内の矩形に投影し、その周辺では変動水圧は常に0という境界条件でプロペラ回転角を 5° ずつ回転させ模型船尾に加わる上下方向の5次のサーフェイスフォースを計算し、これを実船に換算した。その最大値をとったのが Fig. 1.4.2.8の曲線(I)である。実際には模型計測の K_p より実船の K_p は大きいから Fig. 1.4.2.7でそれぞれ回転数での倍率を求めて乗じると曲線(II)が求まる。回転数が上昇するとサーフェイスフォースは回転数と共に大きくなり、117 RPMで片振り4 ton程度の5次の上下起振力が予想される。模型と実船では位相が異っており、実船の位相を使って計算すると模型の位相を使ったときの約2倍の起振力になるとの文献(4)、(5)があり、実船計測値に自由表面の影響を受けたバラスト状態の K_p を用いていることを考えると実際に働らく起振力は曲線(II)より更に大きいと考えられる。

(b) トルク、スラスト変動

スラスト変動の場合、さきに求めた ΔK_T から実船へ換算すると Fig. 1.4.2.15、Fig. 1.4.2.16のようになり、Fig. 1.4.2.16のバラスト状態の場合、既に実船計測値が解析されているので同図中に模型計測結果から実船への換算値を黒丸で示した。模型と実船の結果の両者とも回転数の上昇と共に変動分はゆるやかに増加する傾向にある。実船計測結果には同一回転でも上下の巾がかなりみられる。実船計測結果の精度を推定してみると記録中の最大値が14 tonなのに対し、5次の変動値は1 ton前後なので、この計測値にある程度の計測誤差が含まれている可能性がある。従って模型計測と実船計測の平均値にわずかに差が認められるが重要な差とは判断できない。

トルク変動の場合、実船へ換算すると Fig. 1.4.2.17、Fig. 1.4.2.18のようになり Fig. 1.4.2.18のバラスト状態の場合、実船計測結果に模型計測結果を黒丸で示した。プロペラ回転数が上昇するとトルク変動はゆるやかに減少していく傾向がみられる。たゞし実船の場合82回転に振り振動の共振点があるため、その影響が含まれるが、高速回転域の傾向から推定できないことはない。模型計測値と実船計測値とはほぼ一致しているが実船計測値は記録中の最大値が130 ton-mなのに対し、5次の変動値は2.5 ton-m程度なのでかなりの誤差が入っている可能性があり、模型実験値と一致、不一致を判断し難い。

以上のような考察から、スラスト、トルク変動の計測値を比較するのにやゝ難点があるが、模型の計測値と実船の計測値は同程度の値を示すと考えてよいであろう。

(4) むすび

以上の模型試験と実船計測値との比較から次のようにまとめることができよう。

- (a) 模型試験の水圧変動値の無次元値 K_p はプロペラ回転数によらずほぼ一定である。
- (b) 水圧変動の K_p には実船と模型との間に差があることを確めた。プロペラ回転数が上昇すると共にその差は大きくなる。
- (c) トルク、スラスト変動は模型計測と実船計測結果はほぼ同程度の値を示す。

参 考 文 献

- (1) 日本造船研究協会 第112部会 昭和46年度報告 (1971)
- (2) Takahashi & Ueda "An experimental investigation into the Effect of Cavitation on Fluctuating Pressure around a Marine Propeller", 12th I.T.T.C. Proceedings (1969)

- (3) 高橋 他 コンテナ船のプロペラ起振力について
 西部造船会会報 第44 (昭和47年)
- (4) 高橋 コンテナ船のプロペラ起振力メモ SR-112 審議資料V-73-5
- (5) Takahashi "On Propeller Vibratory Force of the Container
 Ship" Papers of Ship Research Institute, 第44
 (1973)

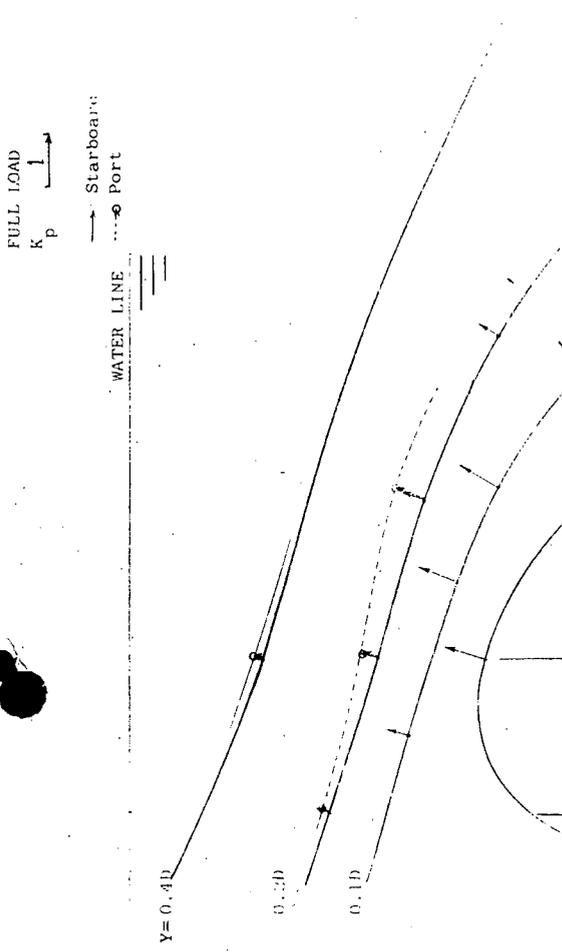


Fig. 1. 4. 2. 3 K_p (5次)の分布

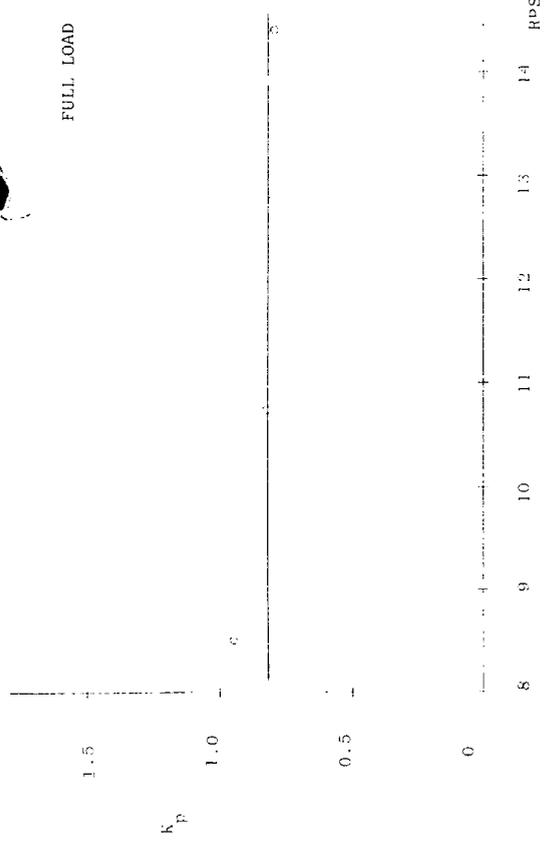


Fig. 1. 4. 2. 1 プロペラ tip 直上点の K_p (5次)

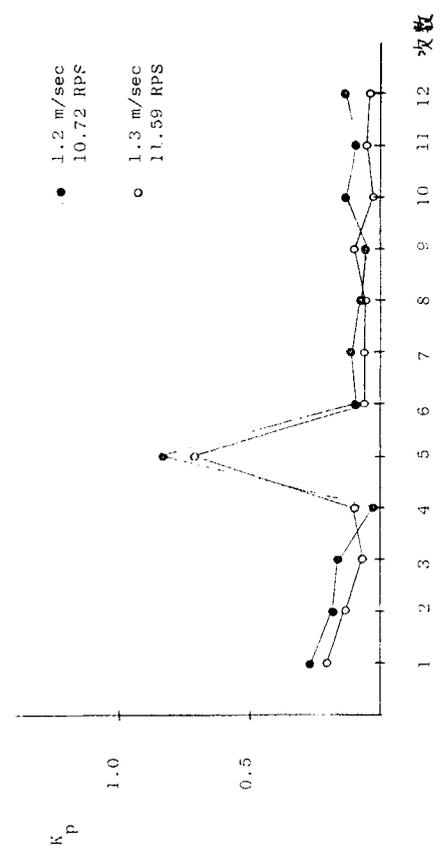


Fig. 1. 4. 2. 2 プロペラ tip 直上点の K_p

BALLAST

K_p

— Starboard
- - - Port

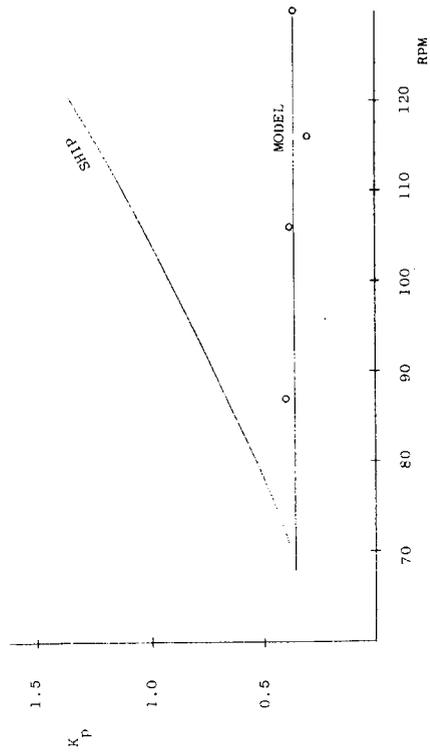
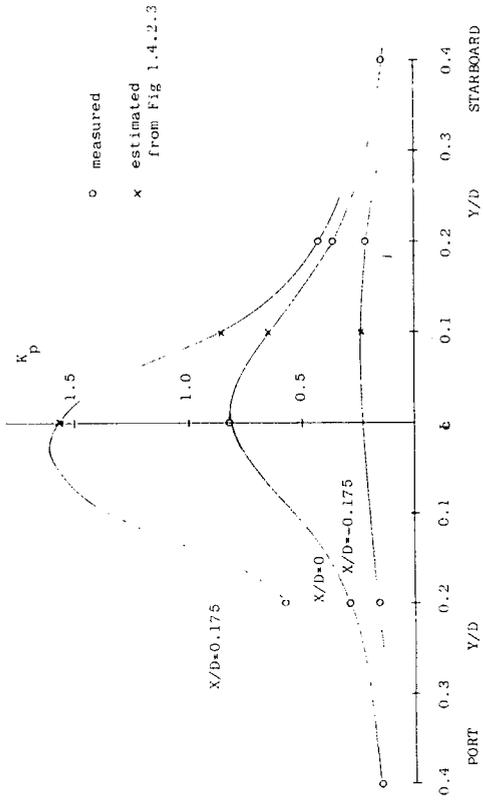
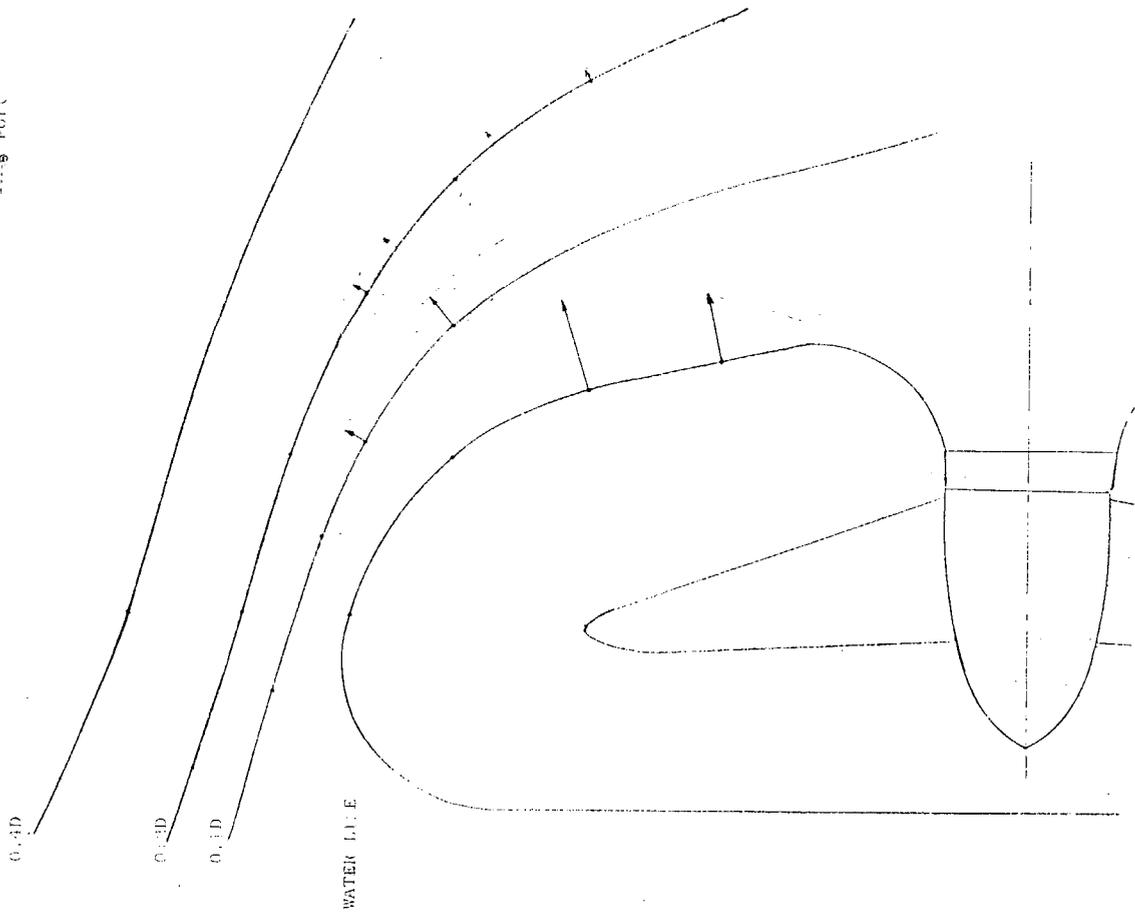


Fig. 1.4.2.4 K_p (5次) の分布

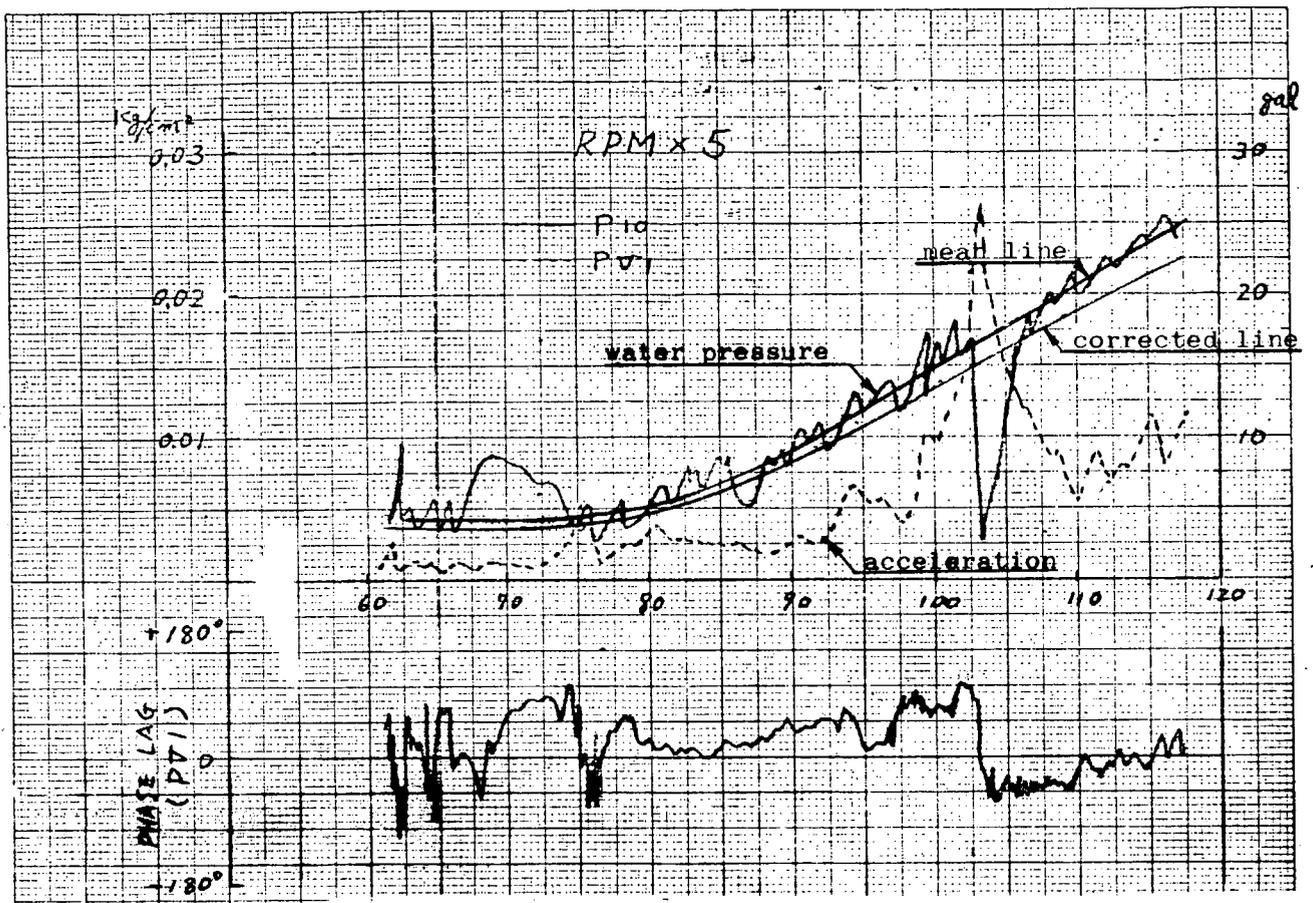


Fig. 1. 4. 2. 6 変動水圧の実船計測値

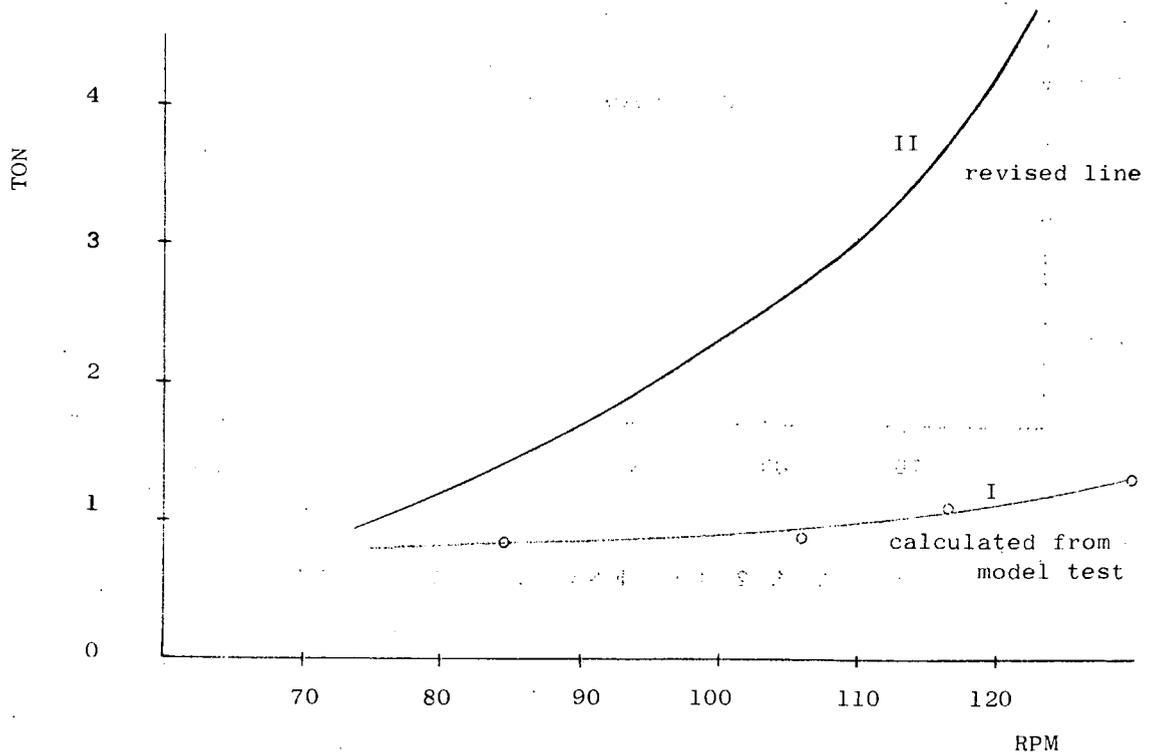


Fig. 1. 4. 2. 8 Surface force (5次) の推定値

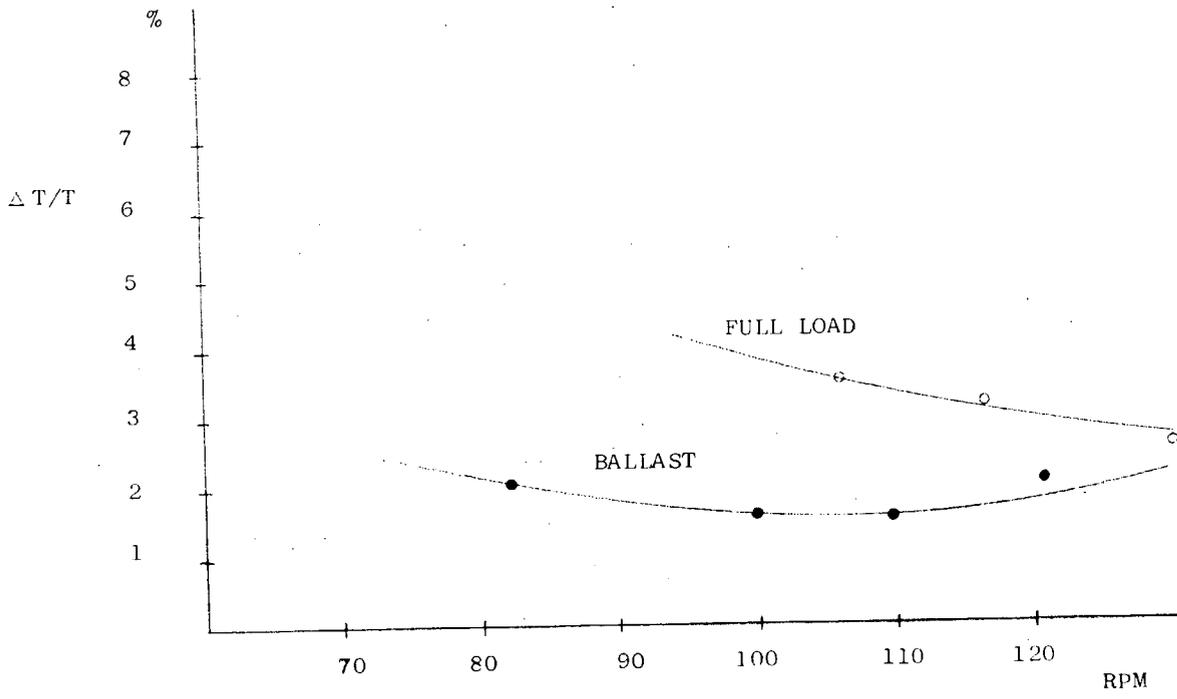


Fig. 1. 4. 2. 9 スラスト変動(5次)と全量の比

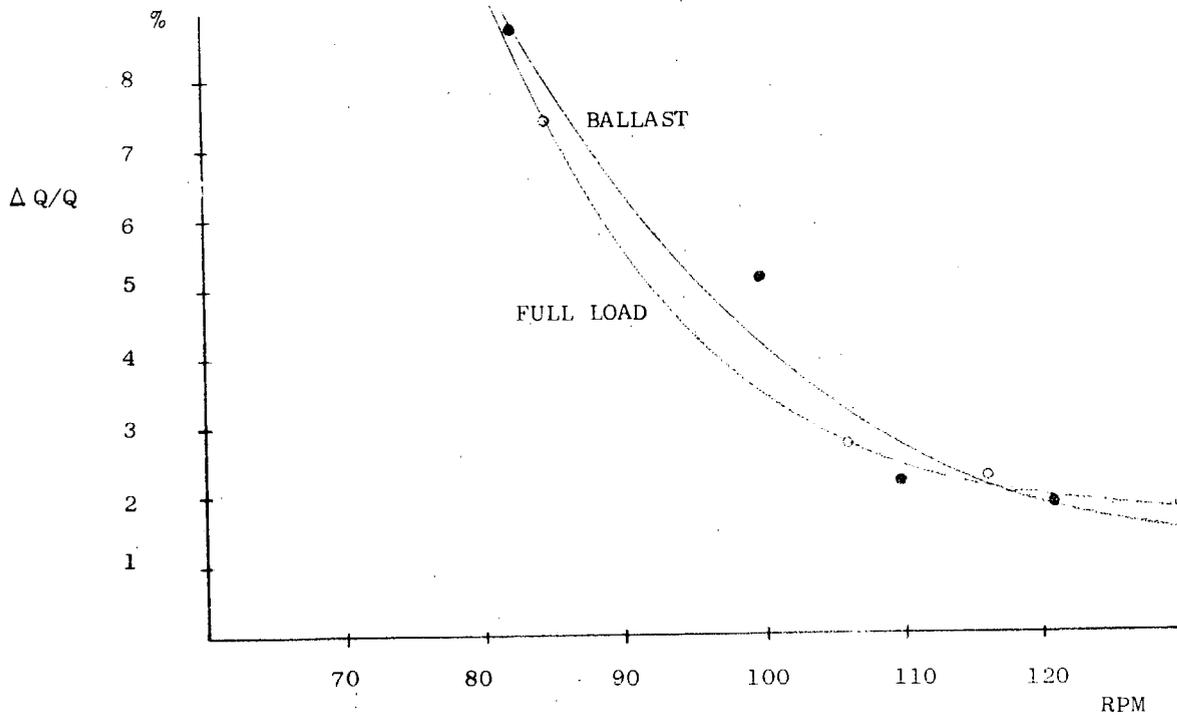


Fig. 1. 4. 2. 10 トルク変動(5次)と全量の比

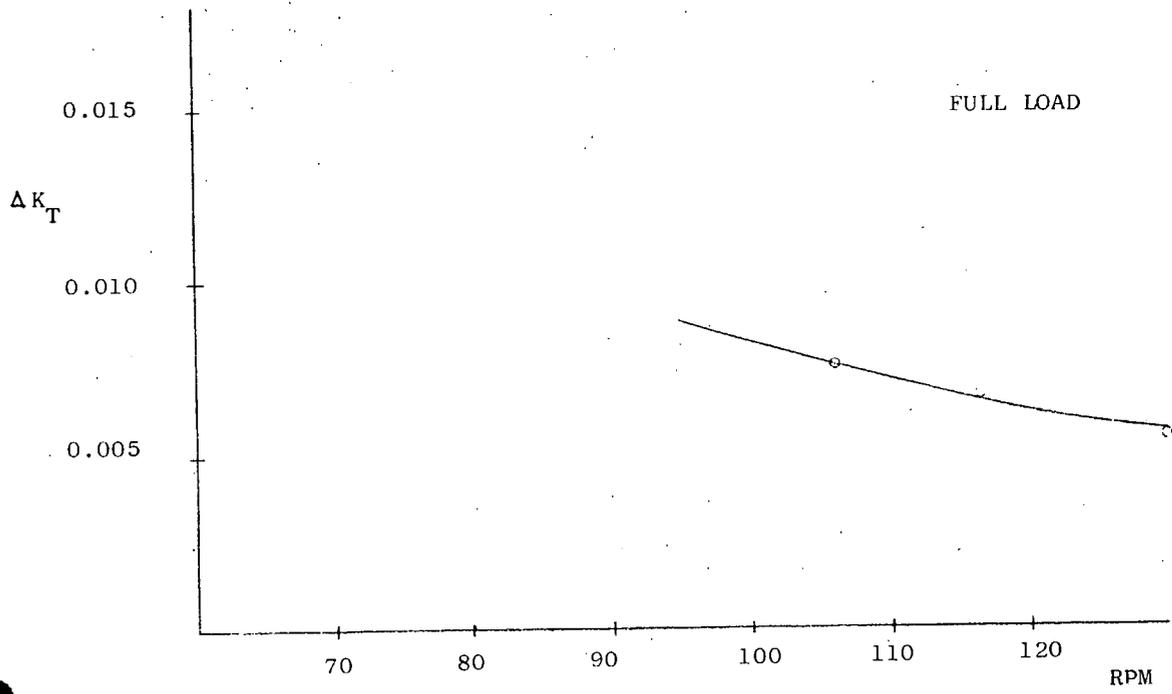


Fig. 1. 4. 2. 11 スラスト変動 (5次)

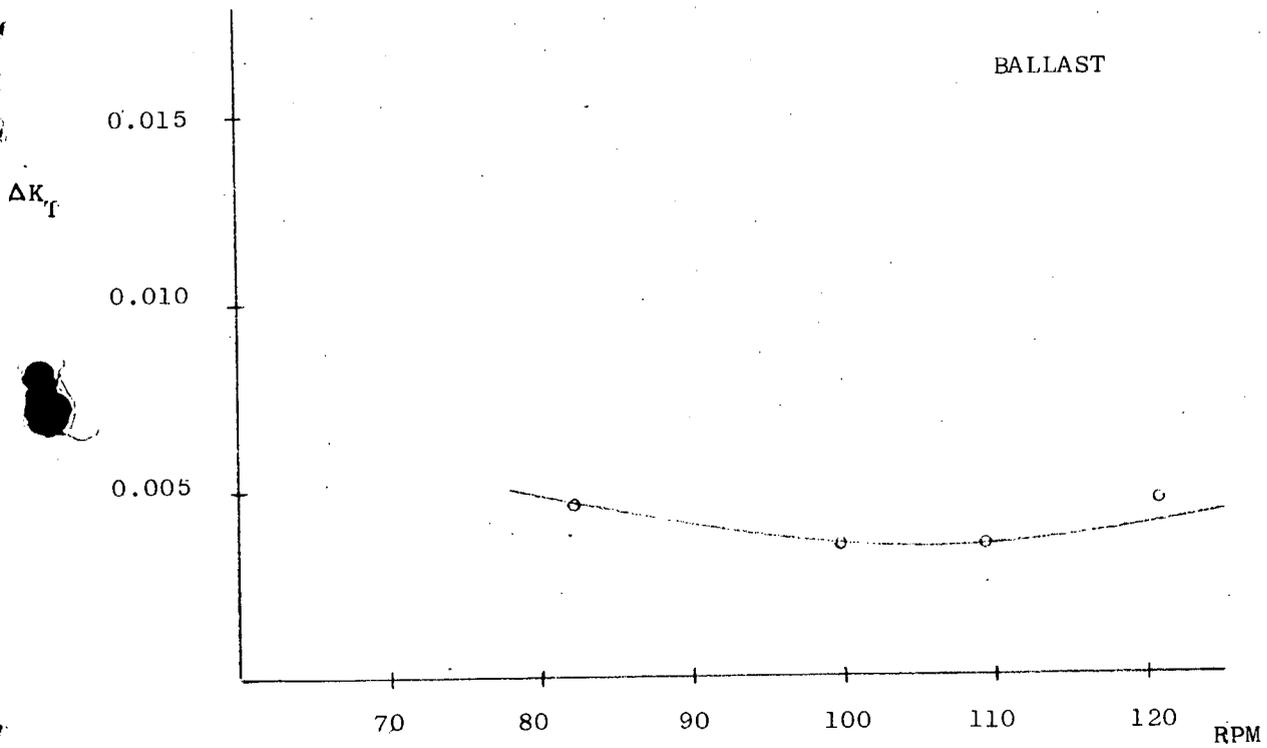


Fig. 1. 4. 2. 12 スラスト変動 (5次)

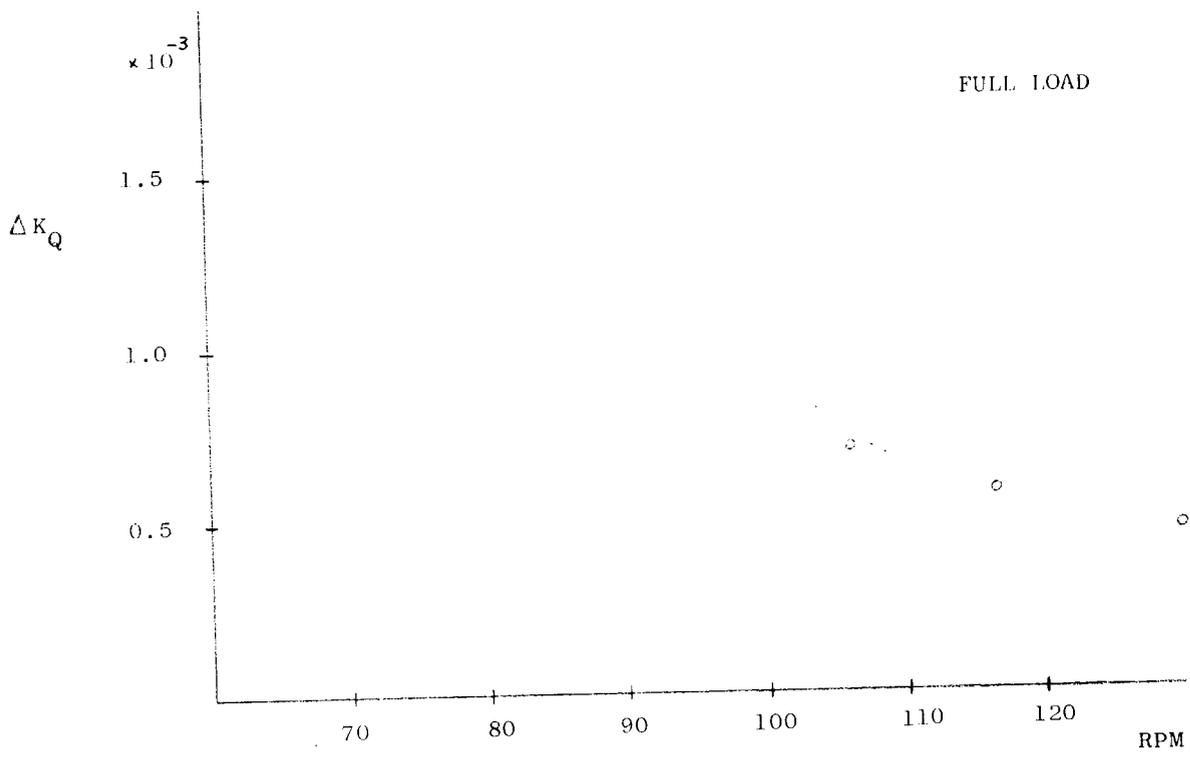


Fig. 1.4.2.13 トルク変動 (5次)

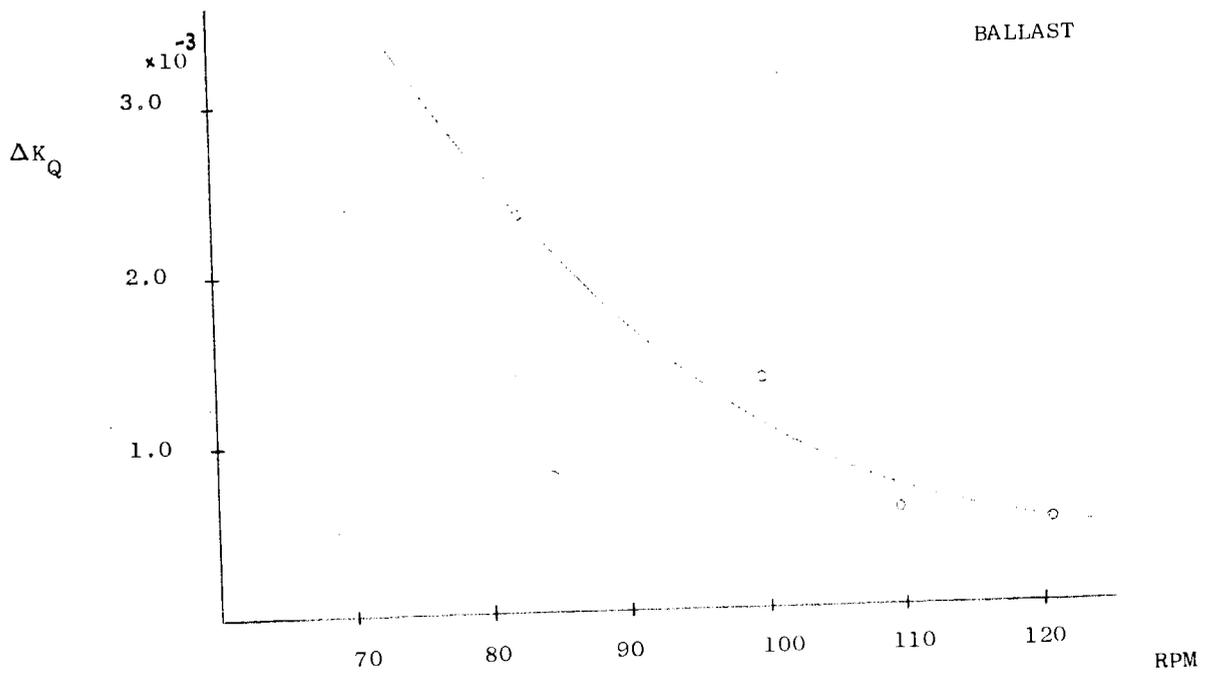


Fig. 1.4.2.14 トルク変動 (5次)

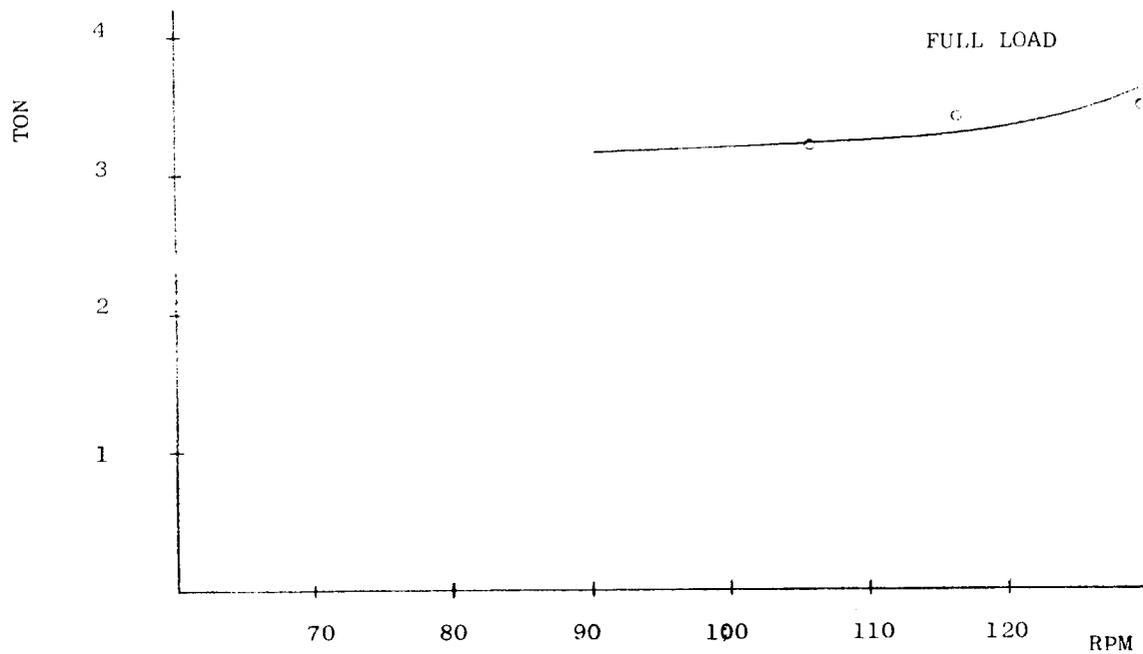


Fig. 1. 4. 2. 15 実船のスラスト変動推定値 (5次)

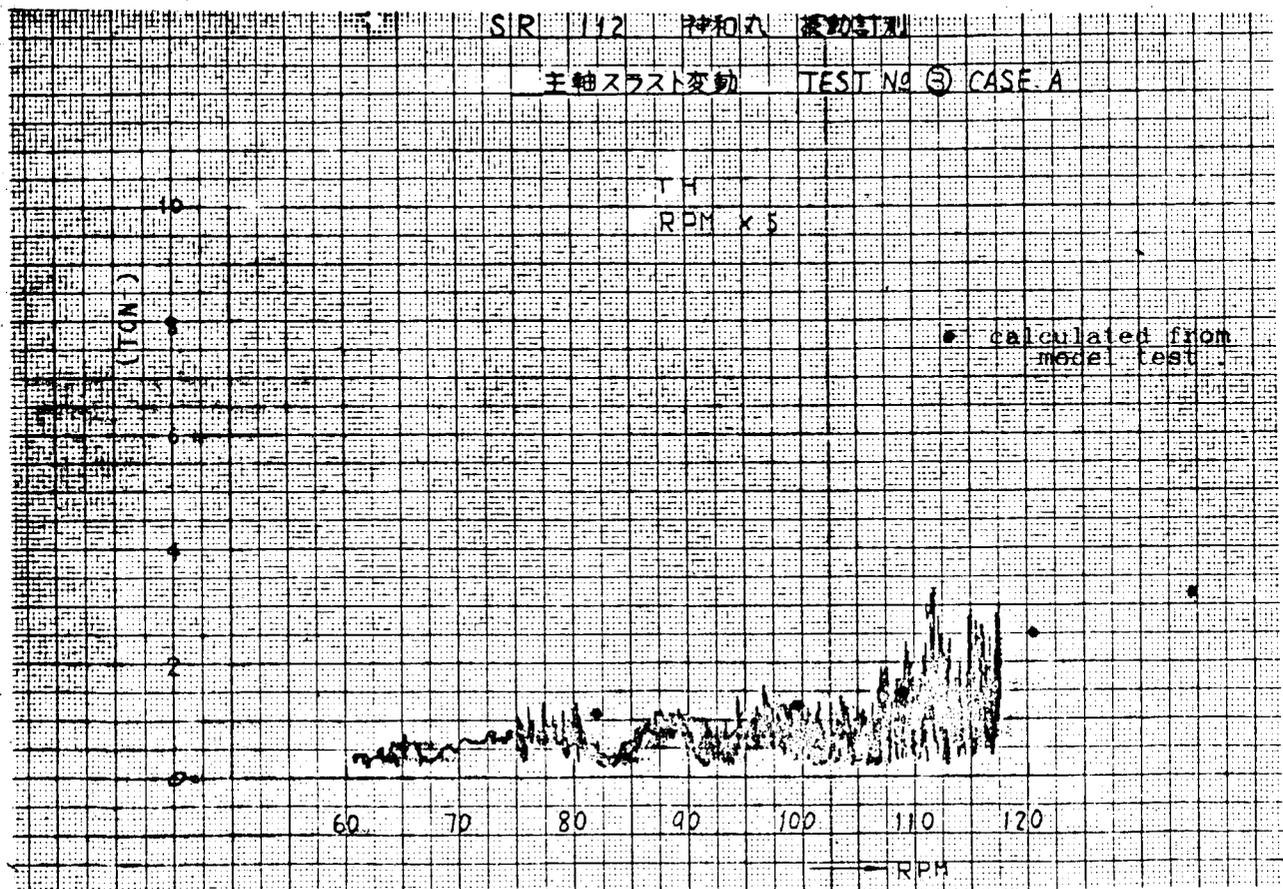


Fig. 1. 4. 2. 16 模型計測結果と実船計測結果の比較 (バラスト状態)

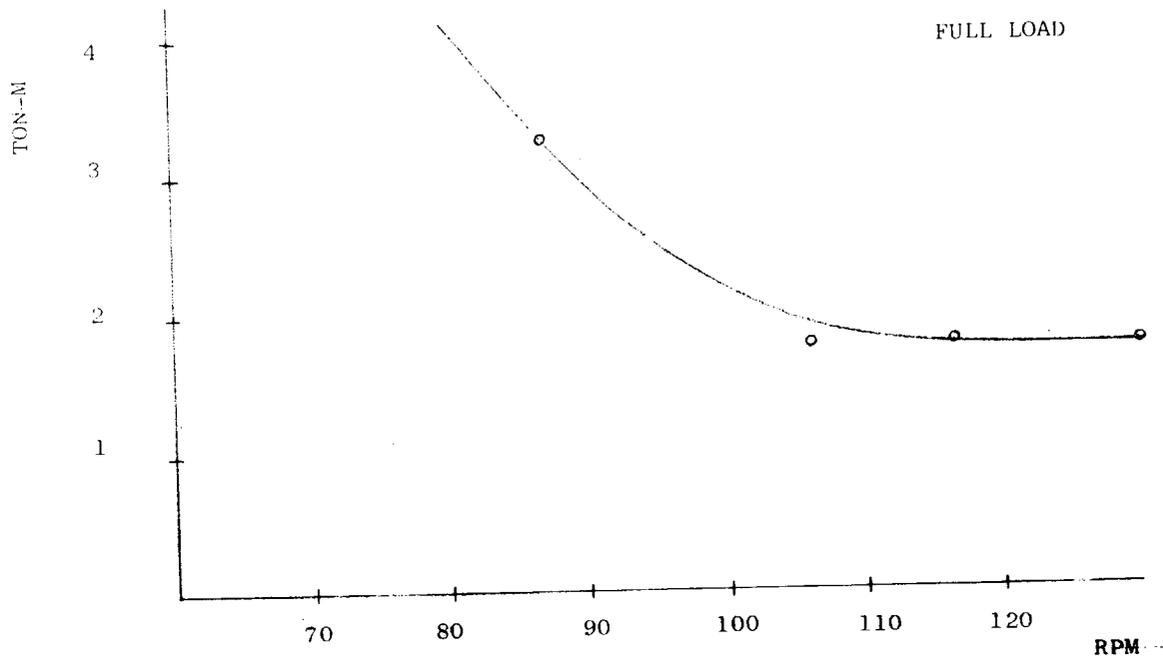


Fig. 1. 4. 2. 17 実船のトルク変動推定値 (5次)

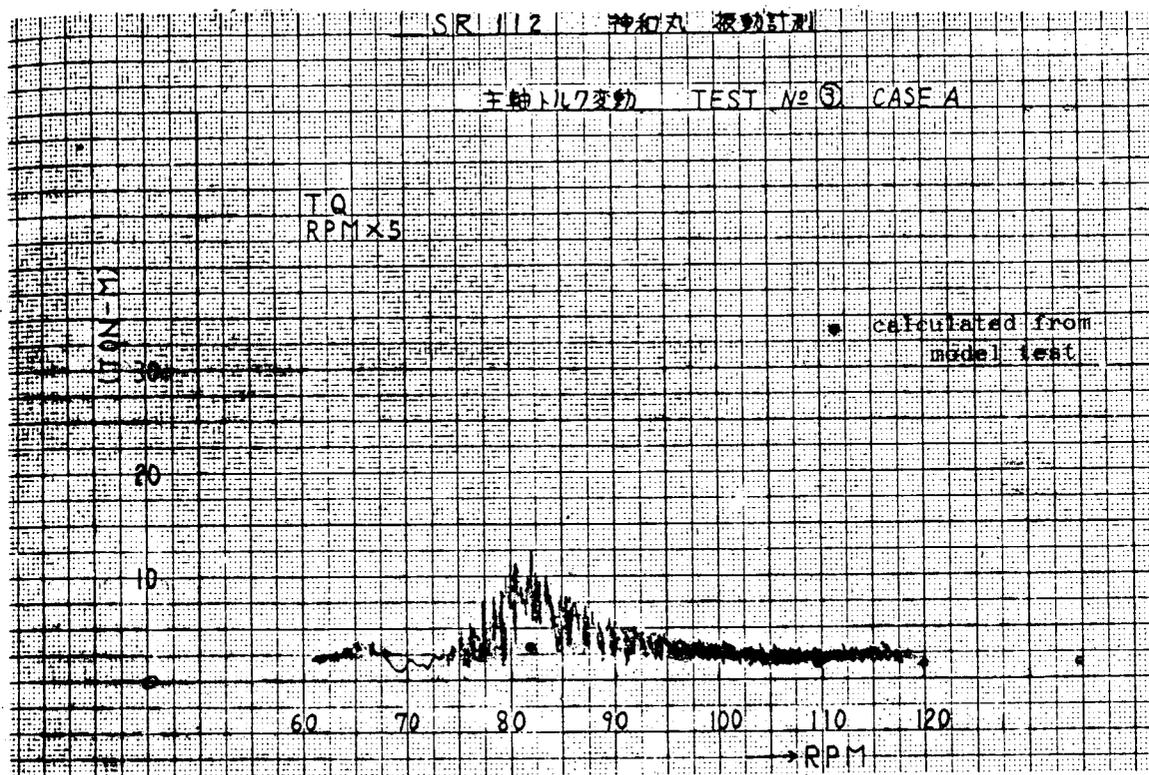


Fig. 1. 4. 2. 18 模型計測結果と実船計測結果の比較 (バラスト状態)