

第118研究部会

大型鉱石運搬船の船体各部 応力に関する実船試験

報告書

昭和47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46年度補助事業「船体の構造・性能に関する基礎的研究」として、日本造船研究協会が第118研究部会においてとりまとめたものである。

第118研究部会委員名簿(敬称略、順不同)

部会長	高橋幸伯(東京大学)	
幹事	安藤文隆(船舶技術研究所)	梅崎一夫(三菱重工業)
	尾花皓(運輸省船舶局)	金井一十三(昭和海運)
	熊倉靖(石川島播磨重工業)	郷田国夫(船舶技術研究所)
	小杉隆祥(大阪商船三井船舶)	高城清(川崎汽船)
	寺田邦夫(三菱重工業)	長沢準(船舶技術研究所)
	中村昭和(川崎重工業)	萩原孝一(三菱重工業)
	藤田譲(東京大学)	松村治雄(日本鋼管)
	舩田吉郎(日本海事協会)	渡辺昌建(三菱重工業)
委員	小林三蔵(名村造船所)	酒井利夫(日立造船)
	真田良(日本船主協会)	田添英士(大阪造船所)
	西牧興(日立造船)	野沢登(函館ドック)
	服部堅一(住友重機械工業)	堀之北克朗(運輸省船舶局)
	綿屋吾郎(佐世保重工業)	

乗船計測員名簿(敬称略、順不同)

遠藤久芳(船舶技術研究所)	大石智也(川崎重工業)
大山綱之(川崎重工業)	小畑和彦(東京大学)
菊入博昭(日本海事協会)	楠原泰四郎(日本鋼管)
久保米豊(三菱重工業)	小林祐規(船舶技術研究所)
清水誠(船舶技術研究所)	竹本博安(船舶技術研究所)
谷政明(船舶技術研究所)	直井保(船舶技術研究所)
中村義二(日本鋼管)	能勢義昭(東京大学)
平岡善博(日本海事協会)	松岡孝典(三菱重工業)
渡辺佐千雄(東京大学)	

日本造船研究協会、第118研究部会

大型鉦石運搬船の船体各部応力
に関する実船試験

研究資料 №152. 昭和47年3月

日本船舶振興会昭和46年度補助事業

“船舶の構造性能に関する基礎的研究”

社 団 法 人

日 本 造 船 研 究 協 会

FULL SCALE MEASUREMENTS OF HULL STRESSES OF
LARGE BULK / ORE CARRIERS

by

The 118th Research Committee,
The Shipbuilding Research Association of Japan

Research Memoir, No.152

The Shipbuilding Research Association of Japan

March 1972

大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験

目 次

	ページ
1. まえがき	1
2. 試験の概要	2
2.1 試験船	2
2.2 試験方法	3
2.2.1 計測項目	
2.2.2 計測位置および計測点数	
2.2.3 計測装置	
2.2.4 計測方法	
2.2.5 解析方法	
2.3 理論計算	5
3. 統計解析	6
3.1 応力頻度解析	6
3.1.1 応力頻度解析方法	
3.1.2 応力頻度解析結果	
3.2 コレログラム・スペクトラム	12
3.2.1 計算方法	
3.2.2 動揺および各部応力	
3.2.3 振動による応力	
4. 立体強度計算	19
4.1 荷積・荷卸時の応力	19
4.1.1 有限要素法による計算結果	
4.1.2 計測応力と計算応力の比較	
4.2 Alternate Loading 時の応力	21
4.2.1 骨組構造解析結果	
4.2.2 有限要素法による解析結果	
4.3 波浪による変動応力	22
4.3.1 骨組構造解析	
4.3.2 計測応力と計算応力の比較	
4.3.3 動的鉱石圧	
5. あとがき	25

CONTENTS

1	PREFACE	1
2	OUTLINE OF THE RESEARCH	2
2.1	MEASURED SHIP	2
2.2	MEASURING METHOD	3
	2.2.1 Measuring Item	
	2.2.2 Measuring Position	
	2.2.3 Measuring Apparatus	
	2.2.4 Measuring Method	
	2.2.5 Analysing Method	
2.3	THEORETICAL ANALYSIS	5
3	STATISTICAL ANALYSIS	6
3.1	FREQUENCY DISTRIBUTION OF HULL STRESSES	6
	3.1.1 Analysing Method	
	3.1.2 Result of Analysis	
3.2	CORRELOGRAM AND SPECTRUM	12
	3.2.1 Calculating Method	
	3.2.2 Ship Motion and Hull Stress	
	3.2.3 Springing Stress	
4	THEORETICAL CALCULATION OF STRUCTURAL STRENGTH	19
4.1	STRESSES BY LOADING AND UNLOADING	19
	4.1.1 Calculation by Finite Element Method	
	4.1.2 Comparison of Calculated and Measured Stresses	
4.2	STRESSES OF ALTERNATE LOADED CONDITION	21
	4.2.1 Frame Structure Analysis	
	4.2.2 Analysis by Finite Element Method	
4.3	STRESS VARIATION BY WAVE LOAD	22
	4.3.1 Frame Structure Analysis	
	4.3.2 Comparison of Calculated and Measured Stresses	
	4.3.3 Dynamic Pressure by Ore Cargo	
5	CONCLUSION	25

1. ま え が き

最近の大型ばら積貨物兼鉱石運搬船は、その構造配置・載貨状態等が従来の一般貨物船や小型鉱石運搬船とは著しく異なるため、船体構造強度に関して多くの特殊な問題があるものと思われる。本研究は、これらの大型ばら積貨物兼鉱石運搬船の、波浪中航走時における船体に加わる荷重と船体応答、貨物積み卸し時の船体応力などと実船において計測し、就航中の実態、問題点の所在を明らかにして、構造強度検討の基礎資料を求めようとするものである。

日本造船研究協会は、日本船舶振興会の研究補助金の交付を得て、才118研究部会を組織し、昭和44年度から3ヶ年計画で本研究を実施してきた。

実船計測は、昭和44・45両年度にわたって、川崎汽船(株)の“八雲丸”、昭和海運(株)の“昭武丸”、大阪商船三井船舶(株)の“紀見丸”の3隻について、遠べ7航海について実施した。計測項目は、大別して静的計測と動的計測の2種類で、静的計測は港内で積荷・荷卸し中の船体各部の変力変動を求めたものであり、動的計測は航行中の波浪荷重に対する各種応答を計測するものである。動的計測では、船体揺動・波浪曲げ応力の計測のほか、多角同時記録装置によって、横強度部材、船底構造、ボンプ部などの局部構造における応力分布の測定なども行った。

実船計測と併行して、実測結果と比較対照するため、理論解析と電子計算機によって、荷役時の静応力、波浪荷重の統計推定値、立体骨組構造モデルおよび有限要素法による横強度部材の計算などを行った。

本年度は、記録再生装置の都合で昨年度は十分にできなかった統計解析に主力を注ぎ、応力頻度分布・各種応答間の相関・スペクトラムなどの検討を行った。また理論計算の方面も、荷重条件・波浪条件などとせうに追加して、系列計算も行ない、実船計測値との比較を行った。

以下、才2章(試験の概要)では3ヶ年の概要と要約したが、才3章以下では、本年度行った解析結果のみを主として述べてある。

3ヶ年を通じて本研究に御協力をいただいた関係者各位に対して、心から謝意を表す。次頁である。

2 試験の概要

本年度は実船計測は実施せず、試験結果の解析と立体強度計算の追補を行なったわけであるが、3ヶ年間の本研究の概要をとりまとめて報告する。昨年度までの詳細は前報（研究資料120,昭45.3 および 135,昭46.3）を参照されたい。

2.1 試験船

計測対象とした試験船は、八雲丸、昭武丸、紀見丸の3隻で、いずれも6万トン級のばら積兼鉱石運搬船である。その主要目を表2.1.1に、試験期間、航路および計測乗組員を表2.1.2に示す。

表2.1.1 試験船 主要目

Ship	八雲丸 Yakumokawa Maru	昭武丸 Shobu Maru	紀見丸 Kimi Maru
Lpp (m)	220.00	236.22	238.00
B _m (m)	32.20	31.85	32.20
D _m (m)	18.50	18.75	18.20
d _m (m)	12.30	11.93	12.23
D.W. (t)	64,880	63,420	62,325
Main Engine	Kawasaki MAN K7Z 86/160E	Uraga SULZER 6RD90	Mitsubishi SULZER 8RD90
PS x RPM (MCR)	16,000 x 115	15,000 x 112	18,400 x 122
Number of Blades	5	5	5
Service Speed(kt)	15.25	15.25	15.50
Owner	Kawasaki Kisen Kaisha, Ltd.	Showa Shipping Co., Ltd.	Mitsui O.S.K. Lines, Ltd.
Completion	Oct. 1967	Dec. 1966	June 1969

表2.1.2 試験期間 航路

Ships	Period	Course	Measurement Staff
八雲丸	1 Aug. '69 Dec. '69	Aioi→Weipa(australia)→Emden(W.Germany)→ Norfolk & Newport News(U.S.A.)→Mizushima	清水 (船舶技研) 大石 (川崎重工業)
	2 Dec. '69 April '70	Mizushima→Gent(Belgium)→Norfolk & Newport News(U.S.A.)→Chiba	谷 (船舶技研) 大山 (川崎重工業)
昭武丸	1 Nov. '69 Jan. '70	Yokohama→St.Nicolas(Peru)→Tobata	能勢 (東京大学) 竹本 (船舶技研) 中村 (日本鋼管)
	2 Jan. '70 Feb. '70	Sakai→Port Headland(Australia)→Fukuyama	直井 (船舶技研) 藤入 (海事協会) 榎原 (日本鋼管)
紀見丸	1 June '70 July '70	Kobe→Robert Bank(Canada)→Wakayama	遠藤 (船舶技研) 小畑 (東京大学) 久保 (三菱重工業)
	2 July '70 Sept. '70	Wakayama→Newport News & Norfolk(U.S.A.)→ Kashima	小林 (船舶技研) 渡辺 (東京大学) 松岡 (三菱重工業)
	3 Dec. '70 Jan. '71	Wakayama→Robert Bank(Canada)→Wakayama	平岡 (海事協会)

2.2. 試験方法

2.2.1 計測項目

本試験における主要な計測項目は、

- 1) 航海中波浪によって生ずる船体の動的応力
- 2) 鉱石等の積荷、積卸時の船体各部の静的応力

である。2のほか、船体運動および船首部の青波打込水圧の計測も試みた。気象・海象・船速その他の外界条件は目視観測およびログブックに記載によった。

2.2.2 計測位置および計測回数

各船における計測中、ひずみゲージによる船体応力の計測位置および回数を表2.2.1～表2.2.3に示す。

表2.2.1 ハ雲川丸 応力計測長

Position		Dynamic	Static	Total
Upper Deck		3	4	7
No.4 Cargo Hold	Hopper & Frame	3	6	9
	Double Bottom	4	12	16
Total		10	22	32

表2.2.2 昭武丸 応力計測長

Position		Dynamic	Static	Total
Upper Deck		14	5	19
No.4 Cargo Hold	Inner Bottom Plate	2	6	8
	Double Btm.(Floor,Girder)	12	42	54
	Side Frame	4	18	22
	Side Shell Plate		18	18
Total		32	89	121

表2.2.3 紀貝丸 応力計測長

Position		Dynamic	Static	Total
Upper Deck		8	11	19
No.1 Hold Frame & Side Shell Pl.		5	5	10
No.3 Cargo Hold	Inner Bottom Plate	2	6	8
	Bottom (Floor & Girder)	12	26	38
	Hopper Part		27	27
	Side Frame	3	22	25
Total		30	97	127

2.2.3 計測装置

各艇の計測に使用した主な計測機器を 表2.2.4 および 表2.2.5 に示す。八雲丸における計測は、計測回数も少なく手動解析を前提とした比較的簡単な方式であるが、昭武丸および紀見丸では、計測回数も相当多いので、計算機処理を前提として、磁気テープに30エレメントの変動をデジタル記録する高速データ集録装置 (DATAC 1500) と、90エレメントの自動計測印字を行なう静的なデジタルひずみ測定装置を装備した。青波水圧計測用としては、主として44 および49 研究部会で用いた 簡易水圧頻度計および最高水圧計 (造船研究協会報告, 49, 昭40.3) を使用した。

なお、紀見丸の3次航だけは、記録装置を解析のため撤収揚陸したため、電磁アシログラフによる記録と、R.M.S.計の計測のための簡単な方式とした。

表2.2.4 八雲丸における計測装置

Sensor	Meter	Recorder
Strain Gages	Dynamic Strain Meters	El. Mg. Oscillograph
Vertical Gyro.	Ship Motion Meter	
Strain Gages	Switch Box Static Strain Meter	(Reading)
Strain Gage	Dyn. Strain M.—Stress Cycle Counter	(Reading)

表2.2.5 昭武丸および紀見丸における計測装置

Sensor	Meter	Recorder
Strain Gages	Dyn. Strain M.—Filter	High Speed Digital Data Recorder (30 el.)
Vertical Gyro.	Ship Motion Meter	
Strain Gages	Scanning Switch (90 el.) & Static Strain Meter	Digital Printer
Strain Gage	Dynamic Strain Meter & R.M.S. Computer	Penwriting Oscillograph
Strain Gage	Dyn. Strain M.—Stress Cycle Counter	(Reading)
Diaphragm	Green Sea Pressure Meter	(Reading)
Bellows	Green Sea Pressure Counter	(Reading)

2.2.4 計測方法

a) 動的計測

原則として1日1回定時に20分間の動的応力の連続記録を行ない、このほか、悪天時には同様の計測を随時追加して行なった。応力頻度計、R.M.S.計の計測は毎日8~20時の間4時間ごとに記録を行ない、さらに毎回20分間ずつの短期分存の計測も行なった。また、航海中4時間ごとの気象、気象、船速、虫会角などの外界条件の記録も集録した。

6) 静的記録

各港において荷役の開始から終了まで一定時間(1~2時間)間隔で、船体各部のひずみおよび関連する積載重量、吃水などの計測を行った。

2.2.5 解析方法

主として目視観測による海象・気象その他の外界条件や、オシログラフに記録されたデータは、従来の手動解析によって、統計的整理、外界条件と船体応答との関連などを検討した。

動的変動現象は大部分高速データ収録装置(DATAC 1500)の磁気テープに記録されているので、本年度はこれらのデータの計算機による処理を主として行ない、頻度解析および相関・スペクトラムなどの検討を行った。

2.3 理論計算

波浪曲げモーメントについては、ストリップ法によって計算した応答関数を用いる方法で近似計算を行ない、I.S.S.C.の波浪スペクトルを用いて不規則波中の統計値を計算した。船体に働く波浪水圧についても、同様にストリップ法と応答理論を用いて計算した。

横部材応力については、簡単な立体モデルについての骨組構造計算と有限要素法による計算とを、各種の積荷条件や波浪条件について行なった。

また、船体運動と艀石圧の動的変動との関係についても、近似計算を行なって計測結果と比較検討した。

3 統計解析

3.1 応力頻度

3.1.1 応力頻度解析方法

第一年度に実験を実施した昭武丸および第二年度に実験を実施した紀見丸の両船について、波浪による船体の主要構造部分の動的応力の計測結果を頻度解析し、その結果をまとめたものである。

高速歪集録装置（データック 1500）によって求めた動的変動応力の解析方法は、前年度の報告（研究資料 NO.135 PP 40~41）に述べてあるが、記録されたデータには Hog-Sag による比較的low周波数の変動応力に、Whipping または Springing といわれる高周波数の振動応力が重畳している。

解析にあたっては、ニルラ二種の振動成分の分離をまず電子計算機によって行ない、生のデータについての変動応力のほか、それぞれの周波数の変動応力を分離した結果について、応力頻度の統計的解析を行なった。

また、ニルラ各種の変動応力について、応力頻度の計数方式は、それぞれ図 3.1.1 に示す極値計数方式と、振巾計数方式の両方法によって計算を行ない、一つのデータについて合計六種の応力頻度を求めた。

ニルラを次の記号によって分類した。

[11] 振動成分を含んだままの生データで、平均値から極大値（山）までの値を計数する極値計数方式（都合で極小値はとらなかった）。

[12] 同上のデータについて、peak to peak（谷から山まで）の range（複振巾）を計数する振巾計数方式

[21] 振動成分を除去した Hog-Sag の変動成分のみについての極値計数方式

[22] 同上のデータについての振巾計数方式

[31] Hog-Sag の低周波変動を除去した振動成分のみについての極値計数方式

[32] 同上のデータについての振巾計数方式

すなわち、オ1数字の1は振動成分を含んだ生のデータ、2は振動成分を除去したもの、3は振動成分のみのデータであることを示し、オ2数字の1は極値計数方式、2は振巾計数方式であることを示す。

以上の応力頻度について振巾の計数レベルは、紀見丸の場合は、極値頻度では 0.5 kg/mm^2 、振巾頻度では 1.0 kg/mm^2 であり、昭武丸の場合は、極値頻度では

0.2 kg/mm^2 , 振巾頻度で 0.4 kg/mm^2 とした。

図3.1.1 においてA印で示すような 0.1 kg/mm^2 以下の微少な変動は、無効振巾として計数から除外することとした。

なお、計測した変動応力が絶対値ゼロの線を正確に求めることは不可能であるので、近似的な方法として、解析を行なう20分間の計測値について、極大値を計数しながらその和を求めて、最後に総個数で割って平均を求め、これを応力ゼロの基準線と考えた。

二乗平均値については、このゼロシフト分(応力ゼロとデータ集録装置のゼロとの差)だけ計算された二乗平均値の平方根より差し引いて補正を行なった。

これまでの各種の計測結果から実証されているように、応力の各極値の分布が Rayleigh 分布に適合するものとすれば、各計数方式における二乗平均と $\sqrt{E}$ (E は累積エネルギー密度) との関係は図3.1.2 に示すようになる。

二乗平均値の他に、各計測時における変動応力の最大値を求めた。

これらの二乗平均値および最大値は、極値(片振巾)および複振巾(peak to peak)の両計数方式によって求めたが、一部前年度の報告にも示した通り、極値方式と複振巾方式とによって、極めて近い結果がえられた。したがって、ここに示した結果は、複振巾計数方式によるもののみを用いてある。

3.1.2 応力頻度解析結果

(1) 応力頻度分布

前年度までに、航海中に船体を受けた船体縦応力の応力頻度について、また各計測卓における主として荒天時における応力頻度分布について、それぞれ結果を示した。

これに続いて、本年度において、昭武丸における全計測資料について解析を行ない、全測定卓の応力頻度を求めた。

今回の解析においては、前項に述べたごとく、応力頻度の計数レベルを前回の 0.5 kg/mm^2 から 0.2 kg/mm^2 にして頻度数を求めた。

これらの計測結果は、比較的平穏な海象での計測が多かったため、低応力のレベル内に応力が多く計数され、必ずしも応力の統計的な処理に適しないものもあったが、ある程度以上の荒天時の計測においては、応力頻度の分布は概ね Rayleigh 分布に近い分布を示していた。

そこで、これらの応力頻度分布は Rayleigh 分布に従うものと考えて、それぞれの計測値の短期分布から二乗平均値 RMS を求め、この RMS を各測定卓について比較検討した。

代表的海象条件のもとにおけるこれらのデータを昭武丸については表3.1.2 に、紀見丸については表3.1.4 にそれぞれ示した。またこの資料に対応する各

海象，本船等の条件を表 3.1.1 および表 3.1.3 にそれぞれ示した。ここに示した応力は振動成分を除いた応力（前項〔22〕）である。

これらの表には、応力の二乗平均値と同時に、各測定点の一回の計測中の最大応力を同時に示した。

これらの代表的な海象における測定値から、昭武丸と紀見丸の両船においてそれぞれ相対的に応力の大きい個所が明らかとなっている。

すなわち、平均して大きな応力を示すところとしては、上甲板上の縦応力であり、Hatch corner 部においてはさらに応力集中によって大きな応力が記録されている。

上甲板以外においては、船倉内の船側肋骨のフランジ上において、また二重底内の Girder, Floor などの Web 上において比較的大きな応力が生じている。

これらの点を除けば、かなりの荒天時においても、応力の変動量はかなり小さくなっている。

以上、応力頻度の解析結果から、比較的大きな応力の出現する船体構造部分が明らかとなったので、つぎに、これらの主要な応力の大きい測定点の応力について、さらにこれらの応力の大きさと海象，気象などの外力条件との関連性について解析を行ない、また、これらの応力と船体運動条件との相互相関あるいは二測定個所の応力と応力との相互相関などについて解析を行なうこととした。以下に、順を追ってこれらの解析結果を示す。

(2) 平均応力および最大応力と海象，気象との関係

表 3.1.2 および表 3.1.4 に示した昭武丸および紀見丸における全測定点の代表的な海象における応力の二乗平均応力 RMS および最大応力から、大きな応力の生ずる個所が明らかである。

したがって、両船についてこれらの中で次のような代表的な測定点を選び、海象あるいは気象条件と、応力の短期分布の RMS および最大値との関係などを求め、図 3.1.3 ～ 3.1.23 に示した。

昭武丸

DD-5（上甲板中央部縦応力）

海象，気象と応力の RMS との関係

図 3.1.3

〃 最大応力との関係

図 3.1.4

DD-10（上甲板上中央部横応力）

海象，気象と応力の RMS との関係

図 3.1.5

〃 最大応力との関係

図 3.1.6

DF-1（NO.4 船倉内船側フレームフランジ上）

海象，気象と応力の RMS との関係

図 3.1.7

〃 最大応力との関係

図 3.1.8

DB-1 (NO.4 船倉内底板上縦応力)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.9

〃 最大応力との関係

図 3.1.10

DB-2 (NO.4 船倉内底板上横応力)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.11

〃 最大応力との関係

図 3.1.12

DG-1 (NO.4 船倉内=重底 Center Girder のウェブ上)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.13

〃 最大応力との関係

図 3.1.14

DL-1 (NO.4 船倉内=重底 Floor ウェブ上)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.15

〃 最大応力との関係

図 3.1.16

紀見丸

DD-4 (上甲板上縦応力)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.17

DC-1 (上甲板 NO.3 船倉, Hatch Corner 部)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.18

DB-2 (NO.3 船倉内内底板上縦応力)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.19

DG-1 (NO.3 船倉内=重底 Center Girder のウェブ上)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.20

DL-2 (NO.3 船倉内=重底 Floor ウェブ上)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.21

DF-2 (NO.3 船倉内船側肋骨ウェブ上)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.22

DF-5 (NO.1 船倉内船側肋骨ウェブ上)

海象, 気象と応力の RMS との関係

図 3.1.23

これらの応力の二乗平均 RMS および最大応力は、いずれも応力変動の Peak to Peak から求まる複振中計数方式によるものであり、直接計測した生のデータから求めたもの (記号 [12]) と、このデータから振動成分と考えられる比較的短周期の振動成分を除いたもの (記号 [22]) と、さらに振動成分だけのもの (記号 [32]) について、それぞれ分類して示した。

計測応力の大きい測定点は、表 3.1.2 あるいは表 3.1.4 に示した結果から明らかであるが、振動成分だけをとり出した振動応力についても測定点によって多少の差があり、昭武丸の場合 Center Girder 上の振動応力が比較的大きく注目される。大体において、振中の大きさは 0.5 kg/mm^2 (複振中の RMS) 程度

である。

長周期と短周期の応力成分が重畳する生のデータ [12] についての応力の RMS をみると、短周期の成分を除いた場合に比べて殆ど差がない。これは振動成分の振中が小さいことから当然であるが、しかし上甲板上の縦応力など、一部の計測応力には振動成分の重畳によって、応力の RMS がかえって減少する場合もある。

解析的には、振動成分を分離した長周期の応力変動成分 [22] と、短周期の振動成分 [32] についてのみ意義があると考えられるので、主として、これらについてのみ考察を行なった。

長周期の応力変動成分については、波浪階級 7 程度において、上甲板上の船体中央部縦応力が、紀見丸の場合 1.0 kg/mm^2 程度であり、昭武丸においては約 2.0 kg/mm^2 であった。

最も大きい応力を記録した紀見丸の Hatch Corner 部での応力の RMS は、同じ海象条件に対し、約 2.5 kg/mm^2 と上甲板上の縦応力の約 2~3 倍となっている。

海象とこれら各測定点の応力の複振中の RMS との対応を、図 3.1.3 以下に示したが、一般に海象が荒天になるにつれて応力は当然ながら大きくなるが、その大きさのバラツキが比較的甚だしい。これらのバラツキの平均あるいは上限は、海象の悪化とともにほぼ比例して増大すると考えられる場合が多いが、その下限は海象によって殆ど増加しない場合もある。

気象条件の変化と応力の RMS との関係も同時に示してあるが、海象に対する場合とほぼ同様の傾向を示している。

ここでは、海象のスケールとして、風浪階級、うねりの波高およびうねりの波長の 3 種をとり、また気象のスケールとして Beaufort 階級をとり応力との対応を求めたわけであるが、これらの海象あるいは気象のスケールのなかで、応力と最もよい対応を示すのは、うねりの波高であると考えられる。

昭武丸および紀見丸の第一次、第二次計測を通じて、極端な荒天に遭遇しなかったため、荒天時の資料が少なく、大部分の測定点においては、複振中の RMS が $1.0 \sim 2.0 \text{ kg/mm}^2$ 程度しか記録されなかった。

一回の計測における最大応力と、気象、海象条件との対応を昭武丸について応力の RMS と同様を示したが、RMS の場合とほぼ同様な傾向を示している。この場合も、同じ海象または気象条件での応力のバラツキはかなり広がっている。したがってその最大値と最小値とはかなりの差がある。

応力の最大値は、上甲板上および船倉内の船側肋骨上でそれぞれ $7 \sim 8 \text{ kg/mm}^2$ 、内底板上で $10 \sim 12 \text{ kg/mm}^2$ 、Floor のウエブ上で 5 kg/mm^2 程度と比較的大きい値を示した。

なお二重底 Center Girder 上の DG-1 における計測値は、ゲージの絶縁がやや不良のため、最大応力についてのデータの信頼性は少ないと考えられる。

3.2 コレログラム、スペクトラム

これまでには主に、波浪や船体の運動により生じる動的応力の大きさと頻度に注目してきたが、さらに船体運動各部の応力の特性および相互の関係を把握するために、コレログラム、スペクトラムによる解析を実施した。解析の内容は紀見丸における動揺と代表的な計測点における応力に関するものと、昭武丸における縦曲げ振動による応力に関するものに分けられる。これは紀見丸において動揺の計測が比較的にうまくいっていることと、昭武丸においては甲板上の縦応力計測点が多いことによる。はじめにコレログラム、スペクトラムの計算法について簡単に述べ、次に紀見丸、昭武丸の解析結果について述べる。

3.2.1 コレログラム、スペクトラムの計算法

(1) コレログラム

時間間隔 Δ でサンプリングされた2つの量 $x(i)$ 、 $y(i)$ 、($i=1, 2, \dots, M$) について、相互相関関数 $R(m)$ は次式により計算される。

$$\left. \begin{aligned} R(m) &= \frac{1}{M} \sum_{n=1}^{M-n} \tilde{x}(m+n) \cdot \tilde{y}(n), \text{ for } m=0, 1, 2, \dots, h \\ R(m) &= \frac{1}{M} \sum_{n=1-m}^M \tilde{x}(m+n) \cdot \tilde{y}(n) \text{ for } m=-1, -2, \dots, h \end{aligned} \right\} \quad (3.2.1)$$

M : x, y のデータ数

h : ラグの最大値

m : ラグ数

$\tilde{x}, \tilde{y}$: x, y の零点の修正を行なったもの。

$$\left. \begin{aligned} \tilde{x}(n) &= x(n) - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x(i) \\ \tilde{y}(n) &= y(n) - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y(i) \end{aligned} \right\} \quad (3.2.2)$$

式(3.2.1)で $\tilde{y}(n)$ のかわりに $\tilde{x}(n)$ を用いると自己相関関数が求められる。尚、相関関数(Correlation Function) $R(m)$ を正規化したものを相関係数(Correlation Coefficient)という。以下、特に記さない限り $R(m)$ は相関係数を表わすものとする。ラグ数 m の符号と x, y の関係は、図3.2.1に示すように x を左にずらした時間的に進めた状態を正とし逆を負としている。

このようにして求められる相関係数と (x, y) の関係を把握するために、実際の計算より散布図の例を、図3.2.2に示す。

これは紀見丸の1次航、計測番号15の縦応力、縦揺角をそれぞれ $x(i)$ 、 $y(i)$

にとり x, y 座標にプロットしたものである。

尚、 x, y は正規化してある。ラグは、0.96秒の间隔で0秒から+4.80秒までとり対応する相関係数と共に示してある。 (x, y) のデータ数は約1000である。この図より (x, y) の分布状態の変化と相関係数の関係を比較的に容易に把握できる。なお、相関係数が ± 1.0 のときには、データはそれぞれ $y = \pm x$ の上にのることになる。

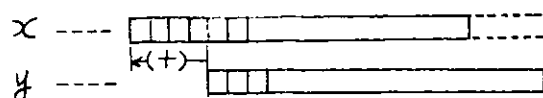


図3.2.1 ラグの符号

(2) スペクトラム

式(3.2.1)により求められた相関関数 $R(m)$ を用いて、スペクトラム $P(r)$ は次式で求められる。

$$P(r) = \sum_{m=-h}^h R(m) e^{-\frac{j2\pi r m}{h}} \quad (3.2.3)$$

ト：角周波数のパラメータ $(= \omega / \pi h)$

実際には式(3.2.3)により求められたスペクトラムは、この計算自身により真のスペクトラムから変形された形で表われるため、修正のためにこゝでは W_2 というウィンドウによる平滑化を行なっている。これは、 $(-0.06, 0.2401, 0.6398, 0.2401, -0.06)$ という重みつき移動平均に相当する。これによって得られたスペクトラムにもわずかに負の切れこみを生じている。

(3) 計算プログラム

計算に使用したプログラムは

The Response Function of a System Having Multiple Inputs

(安藤定雄：“不規則振動の系計算機用プログラム”，
船舶技術研究所報告，7巻4号，昭45.7.)

で、計算において用いた諸パラメータ等は次のとおりである。

データ数：1,000

サンプリング間隔：(紀見丸振動成分) 0.96 秒
(昭武丸振動成分) 0.12 秒

ラグ数：100

数値の単位：(ひずみ) $\times 10^{-6}$ および (角度) 度

[計算の手順]

データは総て DATAC により磁気テープに記録されているが、これを計算機用テープに変換したものを使用する。このデータは一般に船の動揺等と同程度の遅い現象と船体の曲げ振動程度以上の比較的に早い現象を含んでおり、これを同時に処理することはできないので初めに図 3.1.1 に示すように振動成分を含まないデータ(2)と振動成分のみのデータ(3)に分解して磁気テープに記録しておく。上述の計算プログラムはこの磁気テープから必要なデータを読み、コレログラム、スペクトラムを計算する。計算結果はラインプリンターにより作表されるが、コレログラムは、さらに XY プロッターにより作図される。必要があれば、計算を始める前に、全データを XY プロッターへプロットして、データのチェックを行なうことができる。計測データの例として、このデータを図 3.2.3 に示す。これは紀見丸の計測番号 1218 の場合で、左の棒グラフはキヤリブレーションである。

電算機は FACOM 270/30、(コア容量 65 KWords)を使用した。これは記憶容量の大きさと DATAC 用システムを使用するための必要性による。

3.2.2 動揺および各部応力

紀見丸では約 30 点の動的応力計測点について、中 1 次航、2 次航合わせて約 3 ヶ月にわたり 79 回の計測が DATAC を使用して行なわれている。本解析においては表 3.2.1 に示す代表的な応力、動揺 6 点を選び、表 3.2.2 に示す 6 例についてコレログラム、スペクトラムを計算した。表 3.2.2 における TEST NO の 1206...1219 は下 2 桁が計測番号を示し、上 2 桁はデータ処理の識別記号である。表 3.2.3 に示すように全部の組合せについてスペクトラム、コレログラムを計算した。又計測値は DATAC により CH.1 より CH.30 まで時間的に直列的に記録されるため各計測点間でサンプルする時刻のズレを生ずる。表 3.2.4 はこのサンプリングによるデータのズレを示す。単位はミリ秒である。この場合のサンプリング、速度は 250 Hz で各点のサンプリング周期は 0.96 秒である。

各計測の海象は表 3.2.2-5 に示すように計測番号 19 が風浪、うねりともに大きく、しかも向い波である。船速はかなり下がっている。以下 18、15、12 とおだやかな海象になっている。これらの海象は計測員の目視観測によるものである。尚、計測番号 6、7、12 は軽荷状態、15、18、19 は満載状態である。

(1) コレログラム

図 3.2.4 ~ 21 にコレログラムの計算結果を示す。縦軸は相関係数、横軸は

ラグ(単位:秒)を表わす。0点がズレたものもあるが、これはデータ中にノイズが含まれているせいだと思われる。これらの図からラグ $T=0$ の値 $Rt=0$ と相関値の最大値 R_{max} とその時のラグ T_M を読みとり表 3.2.1-6~11 に示す。表中の M, N により示される数字と計測点の関係は表 3.2.1 に示されている。

(2) スペクトラム

図 3.2.22 ~ 27 に各計測毎のスペクトルを示す。更に図 3.2.28 ~ 33 に各計測点毎にまとめたスペクトルを示す。図 3.2.34 ~ 39 は、これを同一スケールで重ね合わせたものである。これらのグラフにおいて縦軸は動的歪または動揺角のエネルギー密度を表わし、横軸は角速度 (rad/sec) を表わす。

(3) 考察

(a) Pitching

Pitching のスペクトラムは、海象のスペクトラムと船の速度、進行方向等によって決まると考えられる。図 3.2.28 に示されるように天部倉は 6.25 cpm ~ 7.5 cpm のあたりにピークがあり、追い波を受ける 1212 の場合にのみ 3.1 cpm あたりにピークがある。これらは、船と波の出会周期にほぼ一致している。図 3.2.34 によれば、1215, 1219 が特に大きく他は余り差がない。

(b) Rolling

図 3.2.29 に Rolling のスペクトラムを示してあるが、いずれの計測においても非常に狭い帯域に限られており、妥当な傾向だと考えられる。1215, 1218, 1219 は満載状態で他は軽荷状態であり、周期に差があるのはこのためだと思われる。Rolling と Pitching との相関は、全体的に非常に低い。

(c) DD-4 (Deck 上の縦応力)

図 3.2.30 に DD-4 の応力のスペクトルをまとめているが 1215, 1219, 1212 の順で大きい。この周期は Pitching の場合とよく合っている。図 3.2.4 ~ 21 の DD-4 と pitching との相関を見ると 1215 の場合に非常に相関があり、他では 0.5 前後の値を示している。位相は Pitching に対しわずかに遅れる。Rolling との相関は非常に低い。

(d) DC-1 (Hatch Corner 部の応力)

図 3.2.31 に DC-1 の応力のスペクトルをまとめている。これは甲板上の縦応力 DD-4 と非常によく似ているが、図 3.2.22 ~ 27 により明らかなように各計測により DD-4 との比は非常に異なる。

応力集中度 = (DC-1 の応力) / (DD-4 の応力) として各計測の値を比較すると 1219 の 2.68 を最高に他は 1.3 ~ 2.2 位であるが 1215 だけ 1.0 と特に小さい。1215 において特に応力集中度が小さいのは、この時の海象は

左斜め前方より波を受ける状態であり、この波による揺りモーメントが縦曲げモーメントによる応力集中を緩和するように作用しているためと考えることができる。図 3.2.5~21 の Pitching との相関は、位相関係も含めて DD-4 によく似ており、計測によっては DD-4 の場合よりも相関の高い場合もある。Rolling との相関は一般に低い。

(e) DS-2 (No.1 Hold の右舷外板の応力)

図 3.2.30.22~27 のスペクトルを見ると DD-4 の場合と同様に Pitching に似た傾向を示し、大小関係も甲板の縦応力 DD-4 に非常によく似ている。図 3.2.4~21 の DS-2 は DD-4, DC-1 と逆符号であるが位相、傾向は非常によく似ていることが分かる。これは DS-2 が船首部に近い No.1 Hold の外板にあり Pitching による、あるいは Pitching を生じさせる水圧による成分を多く含んでいることを意味するものと考えられる。

(f) DF-2 (右舷船側フレーム)

図 3.2.33.22~27 に示される DF-2 のスペクトルによれば、この場合もやはり Pitching と同じ傾向が見られる。DF-2 の応力において、本船が出会う波が DF-2 の船側を通過する時の水圧により生ずる応力変動が主なものであるとすれば、これは納得できるものである。更に 1219, 1218 を比べてみると Pitching や DS-2 の場合とは逆に 1219 の方が非常に大きい。これは、波の出会方向が 1219 では正面波のに対し 1215 では DF-2 の位置とは逆の左斜前方であることと関係があるように思われる。DF-2 と Pitching の相関は一般に低いが、1215, 1219 の場合に高い相関を見せる。位相は Pitching に対してわずかに進みの傾向を示す。Rolling との相関は全体的に低い。これは Rolling による応力変動が他の原因によるもの比べて小さいことを示していると考えてよいであろう。これは予期に反するものであるが、満載状態においては Rolling による鉛直圧が水圧と打ち消しあうということも当然考えられる。以上の解析はごく限られた場合について定性的にみたものであるが更に多くの解析が必要である。

3.2.3 振動による応力

昭武丸では、上甲板上に約 10 点の動的応力計測点が配置されているが、航海中に生じる縦曲げ振動による応力について検討するために、このうちの長さ方向にほぼ等間隔に配置された 6 点を選び、その計測値の振動による成分について、相関、スペクトラムを計算した。(計測位置は図 3.2.42 を参照のこと) 計算を行なった計測点は、DD-1, 2, 4, 6, 8, 9 の 6 点である。データは、昭武丸 / 次航(横浜→サンフランシスコ)の計測番号 24, 25, 26 の 3 例をとった。載

荷状態は、総て軽荷状態である。この時の海象を表 3.2.3-1 に示す。いずれの場合にも波との出会い方向は前方又は斜の前方である。計測データは DATAC により 500Hz でサンプリングされたものを 1 個おきにとり、データ間隔 0.12 秒とした。計算は $\text{strain} \times 10^6$ を単位として行なっている。

(1) コレログラム

図 3.2.40~45 に 3024, 25, 26 の各場合の主なコレログラムを示す。主なケースとして、自己相関 6 点と DD-4 と他の 5 点との相互相関を選んだ。縦軸は相関係数を、横軸はラグ (単位: 秒) を表れる。尚 3026, DD-2 の Auto Correlogram の形が他と異なるのは、計測データにかなり周期の長いノイズを拾ったためである。これはスペクトラムの中にかなり広いピークとして表われている。

(2) スペクトラム

図 3.2.46~48 は、各計測毎にスペクトラムをまとめたものである。図 3.2.49~54 は各計測点毎にスペクトルを同じスケールで重ね合わせたものである。

(3) 考察

図 3.2.46~48 において各計測点のスペクトルを比較すると $\omega = 42.5 \text{ CPM} \sim 45 \text{ CPM}$, $97.5 \text{ CPM} \sim 105 \text{ CPM}$ のあたりに共通の成分を持っている。図 3.2.55, 56 に本船のバラスト状態等を考慮して計算した振動数とモード・カーブが示されているが、これによると前者は 2 節振動、後者は 4 節振動に相当する。3 節振動は、DD-1 にわずかに現れるが他ではほとんど現れない。各点間の相互相関係数を見ると $42.5 \text{ CPM} \sim 45 \text{ CPM}$ の成分は総て $\tau=0$ で最大となり位相のズレがないことを示している。図 3.2.58 は、この 2 節振動成分のエネルギー密度を各点についてプロットしたものである。この場合振動モードは点線が示されるようなものになると思われる。一方 105 CPM のあたりの各計測点間の位相関係は、コレログラムより直接には分からないので 105 CPM の成分が大きい計測 3026 においてクロス・スペクトラムを調べる。図 3.2.59 の位相関係は、3026 のクロス・スペクトラムの 105 CPM の $\cos$ 成分, $\sin$ 成分を x, y 軸に表わしたものである。これによると計測 3026 の 105 CPM の成分は、DD-1 を基準にして、DD-2, 4, 6, 8, 9 の順に位相が進んでおり、DD-1 と DD-9 は同位相になることを示している。これは振動が船尾から船首へ進んでいることを示していると考えられる。図 3.2.57 は各スペクトルの $97.5 \text{ CPM} \sim 105 \text{ CPM}$ の成分のエネルギー密度を各点についてプロットしたものである。上の位相関係を考慮すると振動モードは点線のような形になり伝播していくものと考えられる。これは図 3.2.3-14 の計算によるモードとも矛盾するものではない。

この解析により、2節振動、4節振動の特性について確認された誤りがあるが
海象その他のパラメータとの関係をとらえるためには、更に多くの計測データ
についての解析が必要であると思われる。

4. 立体強度計算

立体強度計算には、立体骨組構造解析プログラムFRAMEを用いた。このプログラムは大型骨組構造を解析することを目的として開発されたもので、等断面部材よりなる立体骨組構造を曲げ剛性のほか、剪断剛性、捩り剛性も考慮して解くものである。

現状では、電子計算機的能力から撒積貨物船のような複雑な構造を完全に置換することはできないので、ここでは次のような2段階の計算を行った。まず、船体横断面を単純化した立体モデルに置換して3船倉にわたって解き、計算対象としたTransverse Ring位置における変形および縦通部材からかかる力とモーメントを求め、ついで、この変形および力とモーメントを用いて、詳細に分割した横断面モデルについて骨組構造計算と有限要素法により計算し、各部の部材力および応力を求めた。

立体強度計算の理論および手法については、研究資料No 120, 135 に詳述したので説明は省略する。

4.1 荷積・荷卸時の応力

紀見丸の才1次航および才2次航における荷積時および荷卸時の応力解析のうち、昭和45年度は骨組構造解析（研究資料No 135 P. 97～P. 105参照）を行ったが、昭和46年度は有限要素法による解析を行い、さらに、骨組構造解析結果および有限要素法による解析結果と計測値の比較検討を行った。

4.1.1 有限要素法による計算結果

平面面内3角形6節点要素を使用した有限要素法のプログラムで、応力計測位置（No 3 Cargo Hold 中央）のTransverse Ringの応力を計算した。

Transverse Ringの分割図を図4.1.1に示す。全要素数156、頂点節点数124である。

計算荷重条件は以下に示す6ケースである。

- 条件1 才1次航ロバートバンク入港状態
- 条件2 才1次航ロバートバンク出港状態
- 条件3 条件1と2の差（才1次航荷積時計測値に対応）
- 条件4 才2次航ハンプトンロード入港状態
- 条件5 才2次航ハンプトンロード出港状態
- 条件6 条件4と5の差（才2次航荷積時計測値に対応）

また、入港時および出港時の載貨状態を表4.1.1に示す。
各荷重条件に対し得られた計算結果を以下のように示す。

条件1	-----	図4.1.2
条件2	-----	図4.1.3
条件3	-----	図4.1.4
条件4	-----	図4.1.5
条件5	-----	図4.1.6
条件6	-----	図4.1.7

次に計算結果に対する検討を行う。

計算結果をみると、才1次航、才2次航とも積荷が石炭であり積付状況がほぼ同じであるため、荷積前（図4.1.2と図4.1.5）、荷積後（図4.1.3と図4.1.6）、荷積前後の差（図4.1.4と図4.1.7）はほぼ同じ値になっている。

各部材の応力については、図4.1.2～図4.1.7より以下のことが判る。

- (1) トップ サイド タンクは、荷積前にはバラストをはつており、荷積後にはバラストを抜いているため荷積前は大きな応力が生じているが、荷積後はほとんど応力が生じていない。
- (2) ホッパー タンクは、他部材に比較し大きな応力が生じている。
- (3) 二重底の応力は全般に小さい。

二重底のフロアーでは、曲げ応力（船の幅方向の応力）よりも大きな応力がフロアーの高さ方向に生じている。この原因として、二重底には図4.1.8に示すように荷重がかかっているため、荷積前のバラスト状態では引張応力が、また、荷積後の満載状態では圧縮応力が、フロアーの高さ方向に生じるものと思われる。

図4.1.2～図4.1.7には、内底板、面材の応力も示しているが、骨組構造解析結果（研究資料№135の図3.6-8～図3.6-15参照）と大体一致している。また、骨組構造解析では計算出来なかったホッパー タンク トップ サイド タンクのコーナー部で、かなり大きな応力が生じていることが判る。

4.1.2 計測応力と計算応力の比較

骨組構造解析による計算応力と計測応力の比較を、図4.1.9および図4.1.10に示している。図4.1.9に示した才1次航のフレームの応力が平行に移動して

いる外は、ほぼ計測応力と計算応力はよい一致を示している。また、荷卸時の応力は、荷積時の符号を逆にしただけであると考えてよいので、図4.1.9には参考のため荷卸時の計測応力も示しているが、フレームの応力についてはこの方がよく一致している。二重底とホッパー部のつなぎ目の位置（図4.1.9および図4.1.10のAの位置）における計測応力と計算応力は大幅に異っているが、この原因は有効幅の減少や応力集中の影響によるものと思われる。

有限要素法による計算応力と計測応力の比較を図4.1.11に示している。図4.1.11において、二重底（DFL1,2,3）とホッパー部のコーナー部（SH7,8,9）ではよく一致しており、ボトム トランス（SH4,5,6）でもほぼ一致しているが、スロッピング トランス（SH13,14,15）ではあまり一致していない。ホッパー部のトランス リングには、船の長さ方向にロンジを通すため比較的大きなスロットがあいており、また、スチフナおよびブラケットも配置されているが、図4.1.11に示した計算応力にはこの影響ははいつていない。したがって、スロット、スチフナおよびブラケットの影響を検討するため、ホッパー部のみ取り出して有限要素法により再計算を行った。結果を図4.1.12に示す。図4.1.11と図4.1.12を比較すると、それほど大きな差はなく、スロット、スチフナ、ブラケットの影響は小さいと考えられる。

以上、骨組構造解析結果および有限要素法解析結果と計測結果の比較を行ったが、全体として比較的よく一致していると考えられる。

4.2 Alternate Loading 時の応力

立体強度解析により得られた応力と計測応力は比較的よい一致をしたので、撒積貨物船において最も苛酷と考えられるAlternate Loading の計算を紀見丸に対し行った。

荷重は設計時に想定したものとした。また、貨物の鉱石は表4.2.1に示すような物性をもつものと仮定した。

解析は、鉱石倉および空倉について行ったが、鉱石倉と空倉では図4.2.1に示すようにフレームの寸法が異っており、さらに、二重底の内底板の板厚も異っているのでこの影響は考慮した。

4.2.1 骨組構造解析結果

鉱石倉（No 3 Cargo Hold）に対する解析結果を図4.2.2に、また、空倉（No 2 or No 4 Cargo Hold）に対する解析結果を図4.2.3に示す。

図4.2.2 および図4.2.3において、鉱石倉では最大剪断応力がホッパー部で生じ 6.5 Kg/mm^2 、最大曲げ応力もホッパー部で生じ 10.0 Kg/mm^2 となっており、空倉

では最大剪断応力が二重底で生じ 5.5 kg/mm^2 、最大曲げ応力はフレームで生じ 11.0 kg/mm^2 となっている。才1次艀および才2次艀の荷積前後の骨組構造解析を昭和45年度に行なったが、この時の積荷は石炭であったため一様積付 (Uniform Loading) になっており、図4.2.2 および図4.2.3 に示した Alternate Loading の場合に比較しかなり低い応力になっている。

4.2.2 有限要素法による解析結果

鉱石倉に対する解析結果を図4.2.4に、また、空倉に対する解析結果を図4.2.5に示す。

図4.2.4 および図4.2.5には、内底板、面材の応力も示しているが、図4.2.2 および図4.2.3 に示した骨組構造解析結果と大体一致している。

4.3 波浪による変動応力

4.3.1 骨組構造解析

4.1 および4.2で荷積、荷卸時および Alternate Loading の解析に使用した立体強度解析を用いて、波浪による変動応力を計算する。

境界条件は、図4.3.1に示すようにNo 2 Cargo Hold 前端およびNo 4 Cargo Hold 後端で単純支持とする。

計算の対象は才1次艀口バートバンク出港状態で、No 3 Cargo Hold が波高3m、6m、9mの波の山にある時と波の谷にある時の応力差、すなわち変動応力の波高による変化を計算する。

波の形は図4.3.1に示すように対象となるNo 3 Cargo Hold のみ一様に変化するとし、No 2 およびNo 4 Cargo Hold では平喫水のままであるとした。したがって境界条件と合わせて考えると、No 2 Cargo Hold の前端からNo 4 Cargo Hold の後端まで79.2 mあるので、波長158.4 mの波に対する計算に対応するものと考えられる。

研究資料No 135 に示した Neumann-Pier son の完全発達不規則波に関する式より導いた波高と波長の関係式によると、波高6 mで波長は160 m程度になっている。厳密には各波高に対し波長自体も変化させる必要があるものと考えられるが、横断面の応力に対する影響はそれほど大きくないと思われたので、波長は一定とした。

また、波浪による横断面方向の水圧分布は図4.3.2のように仮定した。

計算結果を以下のように示す。

(1) 波高3mの変動応力 ----- 図4.3.3

(2) 波高 6^m の変動応力 ----- 図 4.3.4

(3) 波高 9^m の変動応力 ----- 図 4.3.5

図 4.3.3 ~ 図 4.3.5 より、波浪による変動応力のうち、フレームの曲げ応力、剪断応力および二重底の剪断応力が大きくなっている。

4.3.2 計算応力と計測応力の比較

次に波浪による変動応力の計算値と計測値の比較を行う。4.3.1 節で求めた二重底中央およびフレーム中央における各波高に対する計算応力を、表 4.3.1 および 図 4.3.6、図 4.3.7 に示す。

また、図 4.3.6 および 図 4.3.7 には、DATAC 1500 により計測した応力の $\sqrt{}$ うち満載状態に対するものも示している。

図 4.3.6 において、フレーム中央における計算応力と計測応力を比較すると計測応力は計算応力と比較し $\frac{1}{2}$ から $\frac{1}{3}$ の値となっている。この原因として、以下のことが考えられる。

- (1) 計算時に仮定した波形と実際の波形の差が大きい。
- (2) ローリングの影響を無視している。
- (3) 船側における波浪水圧が計算で仮定したものより小さい。
- (4) フレームの変形により積荷の石炭より反力を受ける。

図 4.3.7 に二重底中央における計算応力と計測応力の比較を示している。計測応力は計算応力と比較し 2 倍程度になっているが、この原因として、フレームで考えた原因の (1)、(2) の外以下の点が考えられる。

- (1) 計算応力は船底における波浪水圧を、波高に対する head の $\frac{1}{2}$ にしているが、これよりも大きな水圧がおおっている。
- (2) 計測応力の $\sqrt{}$ を求める際振幅が 0.1 kg/mm^2 以下のものは切り捨て、それ以上のものについて計算している。
- (3) ピッチング、ローリングによる動的鉱石圧の影響による。

これらの原因のうち特に (2) の影響が大きいものと思われる。

4.3.3 動的鉱石圧

ピッチング、ローリングにより動的な鉱石圧がどの程度生じているか、計測値より検討を行った。

図 4.3.8 に DATAC 1500 より再生したグラフを示す。再生したデータの種類は以下のとおりである。図 4.3.9 にはひずみの計測位置を示す。

- (1) 動的鉱石圧により インナー ボトム ロンジに生ずるひずみ -- ε_0
- (2) 二重底の曲げひずみ ----- ε_B
- (3) ピッチング角
- (4) ローリング角
- (5) インナー ボトム ロンジ (DL-1) のひずみ ----- ε_L
- (6) デッキの縦曲げ (DD-4) ひずみ ----- ε_D
- (7) 二重底センター ガーダ (DB-1) のひずみ ----- ε_G

以下に、 ε_0 、 ε_B を求めた手法を示す。

インナー ボトム ロンジのひずみ (ε_l) は、動的鉱石圧により インナー ボトム ロンジに生じるひずみ (ε_0) と二重底の曲げひずみ (ε_B) と船体の曲げひずみの 3つを加えたものである。一方、二重底センター ガーダのひずみ (ε_G) は、二重底の曲げひずみ (ε_B) と船体曲げひずみを加え合わせたものである。したがって近似的に動的鉱石圧により インナー ボトム ロンジに生じるひずみ (ε_0) は以下のようになる。

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_L - \varepsilon_G$$

また、二重底センター ガーダ位置での船体曲げひずみは、梁理論よりデッキの縦曲げひずみ ε_D の (-0.567) 倍となる。したがって、二重底の曲げひずみ ε_B は以下のように表わされる。

$$\varepsilon_B = \varepsilon_G + 0.567 \varepsilon_D$$

なお、再生したデータの計測日および海象を表 4.3.2 に示す。

石炭積込時に計測された ε_0 は約 240 μ であるので、動的鉱石圧は図 4.3.8 より、積込時の鉱石圧の最大 3% 程度であり小さいことが判る。また、図 4.3.8 に示した動的鉱石圧は貨物倉の中央での計測値であるため、ローリングの影響は小さく、ピッチングの影響が大きくなっている。

5 あ と が き

本年度は、昨年度および一昨年度の実験計測結果の計算機処理による統計解析と、立体強度計算の進捗とを行なった。結果のおもなものを要約すると次のとおりである。

5.1 応力強度

昭武丸および紀見丸の各1, 2次航における航海中波浪荷重による応力強度の解析結果から、次のようなことが明らかとなった。計測記録された応力には、波浪荷重による比較的長周期の変動応力と、whipping まるは springing と称される振動応力が重畳しているが、これらを電子計算機により分離して解析を行なった。

振動応力を除きし変動応力についてみると、比較的大きな値を生じたのは、上甲板の彎曲げ応力、船倉内の船側肋骨のフランジの応力、二重底内ガーダーの応力、フロアウェブ上の応力などであり、特に上甲板上の舷口隅部における変動応力はきわめて大きかった。

これら比較的大きな応力を生じた箇所を主として、各計測時ごとの短期間の応力のRMS値を求め、これらと気象・海象との相関関係を求めたが、この結果によると、一般に海象または気象が荒天になるにつれて応力は常識的に増大する傾向にあるが、同じ海象または気象に対しては応力の大きさにかなりのばらつきがある。ばらつきの最大値あるいは平均値に着目すれば、海象または気象とともに応力がほぼ比例して増大する傾向があるようである。

海象については、特に目視観測による計測誤差もあるので、これらの結果には多少の影響があると思われる。海象または気象条件としてとったパラメタのなかで、変動応力に対して最もよい対応を示すものはうねりの波高と考えられる。

5.2 相関およびスペクトラム

紀見丸の計測資料から、動揺および船体応力の相互関係について検討した結果、次のことが明らかとなった。

各箇所の計測応力は一般に船体縦揺れとの相関が高い。これは、必ずしも縦揺れにより応力を生じているということではなく、縦揺れが比較的によく海象を代表しているためと考えられる。

船側フレームにおける応力は、予想と反して船体横揺れによる成分は小さく、他の原因によるものが大きいという傾向を示している。

上甲板応力の縦揺れに対する割合は、一応常識的な結果が得られながら、倉口隅部の応力については、場合によっては縦揺れによって応力集中が緩和されるような現象が認められる。これは、逆の場合もありうることを示しているので、さらに多くの理論計算および解析が必要と考えられる。

昭武丸の上甲板応力の振動成分の解析では、2節および4節振動が観察され、2節振動の場合は典型的な2節振動のモードを示しているが、4節振動の場合には、振動が船尾から船首へ伝播していることが明らかとなった。

以上の解析は計測資料の一部の解析結果であり、必ずしも一般的なものとはいえない理由もあり、さらに多くの外界条件下での資料の解析と蓄積することにより、現象をより的確にとうえることができるようになるものと思われる。

5.3 立体強度計算

紀見丸の第1次航および第2次航について立体強度計算結果と計測結果の比較を行ない、骨組構造解析結果および有限要素法による解析結果とも計測結果に比較的良好に一致することも確認した。

また、設計上最も苛酷な条件となる alternate loading に対する立体強度解析を、紀見丸について行なった。Uniform loading に比較し alternate loading では、かなり大きな応力を生じているが、最大で 11.0 kg/mm^2 程度で、強度上問題となるほどではない。

さらに、紀見丸について波高 3, 6, および 9 m の波により生ずる、ある横断面での各部材の変動応力を近似計算したが、波高 9 m の波に乗った場合、最大となるところで 14 kg/mm^2 (p-p) 程度であった。荷重時に静的にかかっている応力の影響も考えても、この程度の波に対しては十分な疲労強度を有するものと思われる。しかし、疲労強度の検討には、応力集中のほか工法誤差の影響も考慮する必要があるが、さらに、波浪外力についても、紀見丸第3次航では上甲板で 20 kg/mm^2 程度の応力が計測されており、今後さらに検討が必要であるものと思われる。

四

表

目 录

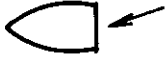
	ページ
表 2. 1. 1	試験船主要目
表 2. 1. 2	試験期間 および航路
表 2. 2. 1	八雲丸応力計測点
表 2. 2. 2	昭武丸応力計測点
表 2. 2. 3	紀見丸応力計測点
表 2. 2. 4	八雲丸における計測装置
表 2. 2. 5	昭武丸および紀見丸における計測装置
表 3. 1. 1	海象, 気象 (昭武丸)
表 3. 1. 2	昭武丸各測定点の応力複振中の R.M.S と最大値計測例
表 3. 1. 3	海象, 気象 (紀見丸)
表 3. 1. 4	紀見丸各測定点の応力複振中の R.M.S と最大値計測例
表 3. 2. 1	計測点
表 3. 2. 2	計測番号
表 3. 2. 3	解析内容
表 3. 2. 4	サンプリングによる位相のズレ
表 3. 2. 5	海象 (紀見丸)
表 3. 2. 6	相関係数 (紀見丸) Test No. 1206
表 3. 2. 7	“ “ Test No. 1207
表 3. 2. 8	“ “ Test No. 1212
表 3. 2. 9	“ “ Test No. 1215
表 3. 2. 10	“ “ Test No. 1218
表 3. 2. 11	“ “ Test No. 1219
表 3. 2. 12	海象 (昭武丸)
表 4. 1. 1	荷積前および荷積後の載貨状態 (紀見丸)
表 4. 2. 1	鉱石の物性
表 4. 3. 1	波浪による変動応力計算値
表 4. 3. 2	再生データの計測日および海象
図 3. 1. 1	応力頻度計数方式
図 3. 1. 2	$\sqrt{E}$ の計算法
図 3. 1. 3	海象又は気象と応力 (複振中の R.M.S, $2\sqrt{E}$)
図 3. 1. 4	“ “ “ (“ “ “)
図 3. 1. 5	“ “ “ (“ “ “)

図 3. 1. 6	海象又は気象と応力 (複振中の R.M.S, $2\sqrt{E}$)	45
図 3. 1. 7	“ “ “ (“ “)	46
図 3. 1. 8	“ “ “ (“ “)	47
図 3. 1. 9	“ “ “ (“ “)	48
図 3. 1. 10	“ “ “ (“ “)	49
図 3. 1. 11	“ “ “ (“ “)	50
図 3. 1. 12	“ “ “ (“ “)	51
図 3. 1. 13	海象又は気象と応力 (複振中の R.M.S, $2\sqrt{E}$)	52
図 3. 1. 14	“ “ “ (“ “)	53
図 3. 1. 15	“ “ “ (“ “)	54
図 3. 1. 16	“ “ “ (“ “)	55
図 3. 1. 17	“ “ “ (“ “)	56
図 3. 1. 18	“ “ “ (“ “)	57
図 3. 1. 19	“ “ “ (“ “)	58
図 3. 1. 20	“ “ “ (“ “)	59
図 3. 1. 21	“ “ “ (“ “)	60
図 3. 1. 22	“ “ “ (“ “)	61
図 3. 1. 23	“ “ “ (“ “)	62
図 3. 2. 1	ラグの符号	13
図 3. 2. 2	縦応力と横揺角の相関係数とデータ散布図 (1)(2)(3)	63~65
図 3. 2. 3	計測データの例	66
図 3. 2. 4	コレログラム (紀見丸 Test No. 1206 の 1)	67
図 3. 2. 5	“ (“ “ 1206 の 2)	68
図 3. 2. 6	“ (“ “ 1206 の 3)	69
図 3. 2. 7	“ (“ “ 1207 の 1)	70
図 3. 2. 8	“ (“ “ 1207 の 2)	71
図 3. 2. 9	“ (“ “ 1207 の 3)	72
図 3. 2. 10	“ (“ “ 1212 の 1)	73
図 3. 2. 11	“ (“ “ 1212 の 2)	74
図 3. 2. 12	“ (“ “ 1212 の 3)	75
図 3. 2. 13	“ (“ “ 1215 の 1)	76
図 3. 2. 14	“ (“ “ 1215 の 2)	77
図 3. 2. 15	“ (“ “ 1215 の 3)	78
図 3. 2. 16	“ (“ “ 1218 の 1)	79
図 3. 2. 17	“ (“ “ 1218 の 2)	80
図 3. 2. 18	“ (“ “ 1218 の 3)	81

図 3.2.19	コレログラム (紀見丸 Test No. 1219 の 1)	82
図 3.2.20	“ (“ “ 1219 の 2)	83
図 3.2.21	“ (“ “ 1219 の 3)	84
図 3.2.22	スペクトラム (紀見丸 Test No. 1206)	85
図 3.2.23	“ (“ “ 1207)	86
図 3.2.24	“ (“ “ 1212)	87
図 3.2.25	“ (“ “ 1215)	88
図 3.2.26	“ (“ “ 1218)	89
図 3.2.27	“ (“ “ 1219)	90
図 3.2.28	“ (“ <i>Pitching</i>)	91
図 3.2.29	“ (“ <i>Rolling</i>)	92
図 3.2.30	“ (“ <i>DD-4</i>)	93
図 3.2.31	“ (“ <i>DC-1</i>)	94
図 3.2.32	“ (“ <i>DS-2</i>)	95
図 3.2.33	“ (“ <i>DF-2</i>)	96
図 3.2.34	“ (“ <i>Pitching</i>)	97
図 3.2.35	“ (“ <i>Rolling</i>)	97
図 3.2.36	“ (“ <i>DD-4</i>)	98
図 3.2.37	“ (“ <i>DC-1</i>)	98
図 3.2.38	“ (“ <i>DS-2</i>)	99
図 3.2.39	“ (“ <i>DF-2</i>)	99
図 3.2.40	コレログラム (昭武丸 Test No. 3024 の 1)	100
図 3.2.41	“ (“ “ 3024 の 2)	101
図 3.2.42	“ (“ “ 3025 の 1)	102
図 3.2.43	“ (“ “ 3025 の 2)	103
図 3.2.44	“ (“ “ 3026 の 1)	104
図 3.2.45	“ (“ “ 3026 の 2)	105
図 3.2.46	スペクトラム (“ “ 3024)	106
図 3.2.47	“ (“ “ 3025)	107
図 3.2.48	“ (“ “ 3026)	108
図 3.2.49	“ (“ <i>DD-1</i>)	109
図 3.2.50	“ (“ <i>DD-2</i>)	109
図 3.2.51	“ (“ <i>DD-4</i>)	110
図 3.2.52	“ (“ <i>DD-6</i>)	110
図 3.2.53	“ (“ <i>DD-8</i>)	111
図 3.2.54	“ (“ <i>DD-9</i>)	111

図 3.2.55	昭武丸縦曲げ振動数	112
図 3.2.56	モード・カーブ(昭武丸)	112
図 3.2.57	エネルギー密度の分布(4節振動)	113
図 3.2.58	“ “ (2節振動)	113
図 3.2.59	4節振動における位相関係	114
図 3.2.60	紀見丸計測位置	115
図 4.1.1	Transverse Ringの有限要素分割図(紀見丸)	116
図 4.1.2	有限要素法による応力分布(条件1)	117
図 4.1.3	“ “ (条件2)	118
図 4.1.4	“ “ (条件3)	119
図 4.1.5	“ “ (条件4)	120
図 4.1.6	“ “ (条件5)	121
図 4.1.7	“ “ (条件6)	122
図 4.1.8	二重底における荷重	123
図 4.1.9	骨組構造解析による計算値と計測値の比較(紀見丸1次航)	123
図 4.1.10	“ “ “ “ (紀見丸2次航)	123
図 4.1.11	有限要素法による計算値と計測値の比較	124
図 4.1.12	“ “ “ “	124
図 4.2.1	紀見丸フレームの形状,寸法	124
図 4.2.2	Alternat Loading 骨組構造解析結果(紀見丸鉦石倉)	125
図 4.2.3	“ “ “ “ (“ 空倉)	126
図 4.2.4	有限要素法による応力分布(鉦石倉)	127
図 4.2.5	“ “ (空倉)	128
図 4.3.1	変動応力計算におけるHold端部の境界条件および波形	129
図 4.3.2	変動応力計算における水圧分布	129
図 4.3.3	波高3mの波による変動応力(紀見丸1次航)	130
図 4.3.4	波高6mの波による変動応力(紀見丸1次航)	131
図 4.3.5	波高9mの波による変動応力(紀見丸1次航)	132
図 4.3.6	紀見丸における波高と屈の関係(DF-2フレーム中央)	133
図 4.3.7	“ “ “ “ (DB-1二重底中央)	134
図 4.3.8	紀見丸計測データ再生結果(その1)	135
図 4.3.8	“ “ “ “ (その2)	136
図 4.3.9	動的鉦石圧ひずみ計測位置	136

表 3.1.1 海象, 気象 (昭武丸)

計測日時		1970.1.8, 12.30	1970.1.29, 8.30	1970.1.29, 12.30
天 候		快 晴	雨	雨
載荷状態		満 載	軽 荷	軽 荷
船 速		13.0 kt	12.2 kt	13.0 kt
主機回転数		109.7 RPM	92.1 RPM	92.5 RPM
波 浪	うねり 方向	うねり → 風浪 		
	波高	5~6 (0.5) m	2.5 (1.5) m	10 (3) m
	波長	120 (3~5) m	60 (40) m	80 (40) m
	周期	10 ~ 15 sec	8 (2.5) sec	8.0 (6) sec
	波浪 階級	3	5	8
風 力	風速 風向 (対 船)	→ SSW  8 m/s	30° → WNW  20 m/s	120° → NNW  20~25 m/s
	絶対風速	4.5 m/sec	15.5 m/sec	28.5 m/sec
	風力階級	3	6	11
横 撓	左 右	9°, 9°	13°, 13°	15°, 15°
	周期	9.5 sec	6 sec	7 sec
海象 情況		波長の長いうねりと小波が大きく なった程度.	風が強く 白波が多い.	白波が多く 波頭がくずれ.

※ () 内は風浪を示す。

表3.1.2 昭武丸各測定点の応力の複振中のRMSと最大値計測例]

単位 kg/mm^2

計測日時	1970. 1. 8, 12. 30		1970. 1. 29, 8. 30		1970. 1. 29, 12. 30	
応力 測定点	二乗平 均値, $\sqrt{E}$	最大値	二乗平 均値, $\sqrt{E}$	最大値	二乗平 均値, $\sqrt{E}$	最大値
DD-1	0.788	1.907	0.674	1.673	0.423	1.130
DD-2	1.047	2.796	1.062	2.560	0.711	1.472
DD-3	2.251	4.760	1.701	4.003	1.168	2.583
DD-4	2.384	5.156	2.015	4.904	1.375	3.024
DD-5	2.366	5.528	2.163	5.250	0.896	1.875
DD-6	2.293	4.788	1.877	4.452	1.407	2.967
DD-7	1.985	4.151	1.569	3.810	1.237	2.479
DD-8	1.655	3.749	1.385	3.353	1.025	1.997
DD-9	1.153	2.500	0.734	1.887	0.531	1.153
DD-10	0.212	0.457	0.350	2.475	0.244	1.249
DD-11	1.905	4.158	1.326	3.223	1.023	1.982
DD-12	2.220	4.824	1.974	4.688	1.380	3.045
DB-1	0.755	1.874	0.541	2.575	0.387	1.308
DB-2	1.964	4.451	0.606	1.389	0.469	0.914
DF-1P	1.801	3.602	0.580	1.682	0.372	0.882
DF-2P	0.607	1.176	—	—	—	—
DF-1S	2.564	5.006	0.310	1.875	0.270	0.914
DF-2S	0.948	2.009	0.286	0.590	0.208	0.405
DL-1F	0.376	0.784	0.383	0.906	0.325	0.628
DG-1P	0.840	1.915	—	—	0.519	1.044
SB-1			1.029	2.764	0.760	1.445
SB-2			0.593	1.279	0.487	2.058
SB-5			0.305	0.649	0.455	0.907
SB-6			1.446	3.804	0.281	0.455

表 3.1.3 涌浪現象(紀見丸)

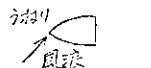
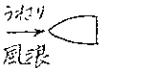
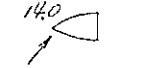
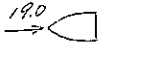
計測日時		1970.6.28, 12.30	1970.6.28, 12.30	1970.6.30, 12.30	1970.7.7, 12.50	1970.7.10, 12.30	1970.7.11, 12.30
天候		曇	曇	曇	曇	曇	曇
観荷状態		軽荷	軽荷	軽荷	軽荷	軽荷	軽荷
船速		17.33 kt	16.90	16.82	14.83	15.47	12.57
主機回転数		117.7 RPM	117.3	117.3	103.5	115.2	89.5
波	うねり 方向						
	波高	1.5 (0.1) m	2.5 (2.0)	5.0 (1.0)	8.0 (1.0)	4.0 (2.0)	10.0 (6.0)
	波長	30 (0.3) m	50 (7)	70 (10)	190 (5)	60 (20)	180 (30)
	周期	(1) sec	(6)	(7)	(6)	(6)	(5)
	波高比	1	4 (4)	6 (5)	7 (4)	5 (5)	7 (7)
風	風速 風向 (対船)						
	絶対風速	5.0 m/sec	8.0	6.0	6.0	12.0	17.0
	風力階級	3	5	4	4	6	7
横揺	左右	—	—	2, 2	2, 2	3, 3	2, 2
	周期	—	—	10	7	10	10
海象 情況		おだやか	激しい白浪 一面	うねり高し	うねり巨大	うねり高し	波高し、うねり大

表 3.1.4 紀見丸 右側定梁の応力複振中の RMS および最大値計測例 単位 kg/mm²

計測日時	1970.6.28, 12.30		1970.6.28, 12.30		1970.6.30, 12.30		1970.7.7, 12.50		1970.7.10, 12.30		1970.7.11, 12.30	
	= 集平 均値, VE	最大値	= 集平 均値, VE	最大値	= 集平 均値, VE	最大値	= 集平 均値, VE	最大値	= 集平 均値, VE	最大値	= 集平 均値, VE	最大値
DD-1	0.361	0.715	0.379	0.768	1.680	4.204	2.045	5.535	0.986	2.305	2.323	1.225
DD-2	0.373	0.724	0.326	0.638	1.189	3.373	1.973	5.473	1.422	2.872	2.378	5.109
DD-3	0.285	0.646	0.242	0.482	0.965	2.509	1.775	5.171	0.721	1.324	1.826	4.771
DD-4	0.313	0.757	0.257	0.738	0.989	2.670	2.819	7.962	1.028	2.051	2.056	5.469
DD-1	0.208	0.428	0.155	0.256	0.551	1.122	1.522	3.385	0.767	1.774	1.266	3.245
DC-1	0.446	1.038	0.372	0.862	1.915	4.604	2.668	7.120	1.809	4.543	5.323	1.5073
DF-1	0.148	0.189	0.307	0.613	0.531	0.973	0.671	1.756	0.265	0.582	0.885	1.462
DF-2	0.118	0.131	0.131	0.206	0.453	1.447	1.731	3.922	0.781	1.406	2.616	4.552
DF-3	0.153	0.222	0.256	0.457	0.411	0.760	0.660	1.713	0.291	0.572	0.645	1.569
DF-4	0.111	0.124	0.170	0.283	0.227	0.361	0.309	0.656	0.159	0.258	0.330	0.732
DF-5	0.113	0.132	0.228	0.402	0.325	0.580	1.661	3.337	0.128	1.293	1.362	2.451
DF-6	0.162	0.120	0.174	0.280	0.261	0.433	0.330	0.740	0.262	0.293	0.400	0.871
DS-1	0.122	0.172	0.129	0.164	0.341	0.657	0.465	1.312	0.169	0.319	0	0
DS-2	0.009	0.009	0.154	0.240	0.357	0.718	1.068	2.386	0.262	0.517	0.880	1.807
DB-1	0.097	0.137	0.107	0.107	0.205	0.323	0.447	1.207	0.175	0.341	0.351	0.863
DB-2	0.143	0.232	0.135	0.185	0.450	0.851	0.720	1.919	0.357	1.175	0.527	1.425
DG-1P	0.172	0.322	0.141	0.227	0.540	1.069	0.951	2.539	0.352	0.766	0.683	1.849
DG-2P	0.062	0.062	0	0	0.178	0.309	0.213	0.437	0.194	0.325	0.192	0.431
DG-3P	0	0	0	0	0.118	0.120	0.120	0.188	0	0	0.111	0.147
DG-1S	0.156	0.265	0.126	0.179	0.439	0.870	0.719	1.991	0.297	0.617	0.510	1.412
DG-3S	0	0	0	0	0.118	0.141	0.169	0.144	0.095	0.125	0.090	0.110
DFL-1A	0	0	0	0	0.153	0.264	0.295	0.717	0.133	0.177	0.285	0.250
DFL-2A	0.111	0.132	0.113	0.129	0.283	0.516	0.388	1.147	0.131	0.255	0.352	0.865
DFL-3A	0	0	0	0	0.145	0.222	0.157	0.263	0.091	0.113	0.189	0.408
DL-1	0.139	0.285	0.126	0.181	0.406	0.784	0.754	1.959	0.273	0.602	0.550	1.554
DL-2	0.176	0.285	0.187	0.313	0.732	1.502	0.761	2.503	0.347	0.809	0.974	2.943
DL-3	0.141	0.237	0.182	0.334	0.590	1.269	0.600	1.582	0.370	0.891	0.885	2.323

表3.2.1 計測点

M,N	GAGE NO.	ITEM	
1	DF-2	STRESS	FRAME
2	DD-4	STRESS	DECK
3	DC-1	STRESS	HATCH CORNER
4	DS-2	STRESS	SIDE SHELL
5	Roll	ANGLE	ROLLING
6	Pitch	ANGLE	PITCHING

表3.2.2 計測番号

TEST NO.	DATE
1206	1970/6/28(1)
1207	1970/6/28(2)
1212	1970/6/30
1215	1970/7/7
1218	1970/7/10
1219	1970/7/11

表3.2.3 解析内容

測定点 \ 解析	スペクトラム	相互相関					
		1	2	3	4	5	6
1 DD4(DK)	○						
2 DF2(内板)	○	●					
3 DC1(内板)	○	●	●				
4 DS2(外板)	○	●	●	●			
5 Rolling	○	●	●	●	●		
6 Pitching	○	●	●	●	●	●	

表3.2.4 サンプリングによる位相のズレ (単位 m sec)

ch.		2	15	17	25	29	30
2	DF-2	0					
15	DD-4	52	0				
17	DC-1	60	8	0			
25	DS-2	92	40	32	0		
29	Roll	108	56	48	16	0	
30	Pitch	112	60	52	20	4	0

表3.2.6 相関係数
(紀見丸)

M-N	R _{t=0}	Tm	Rmax
6-5	0.073	-17.28	-0.197
6-4	0.100	0.96	0.140
6-3	-0.303	-3.84	0.325
6-2	-0.307	0.00	-0.307
6-1	-0.175	-1.92	-0.315
5-4	0.019	-36.48	0.120
5-3	0.040	13.44	-0.189
5-2	-0.251	11.52	-0.278
5-1	-0.339	-5.76	0.346
4-3	-0.260	-0.96	-0.280
4-2	-0.444	0.00	-0.444
4-1	-0.118	-9.60	-0.414
3-2	0.823	0.00	0.823
3-1	-0.334	0.96	-0.391
2-1	-0.271	0.96	-0.302

表3.2.7 相関係数
TEST NO. 1207 (紀見丸)

M-N	R _{t=0}	Tm	Rmax
6-5	0.117	-6.72	-0.300
6-4	0.067	-2.88	-0.256
6-3	0.087	4.80	0.325
6-2	-0.047	5.76	0.370
6-1	-0.049	14.40	-0.263
5-4	-0.114	4.80	0.154
5-3	-0.112	2.88	-0.240
5-2	-0.383	0.00	-0.383
5-1	0.159	-0.96	0.175
4-3	-0.275	0.00	-0.275
4-2	-0.231	0.00	-0.231
4-1	0.163	-6.72	0.245
3-2	0.764	0.00	0.764
3-1	-0.268	22.08	-0.350
2-1	-0.424	0.00	-0.424

表3.2.8 相関係数
TEST NO. 1212 (紀見丸)

M-N	R _{t=0}	Tm	Rmax
6-5	0.228	-17.28	-0.236
6-4	0.220	2.88	0.474
6-3	0.163	3.84	-0.564
6-2	-0.078	-2.88	0.478
6-1	-0.087	3.84	-0.216
5-4	-0.073	26.88	0.178
5-3	0.146	-0.96	0.165
5-2	-0.076	-4.80	0.194
5-1	0.113	4.80	-0.208
4-3	-0.488	1.92	-0.730
4-2	-0.658	0.96	-0.714
4-1	-0.280	6.72	0.412
3-2	0.807	-0.96	0.875
3-1	0.180	-2.88	0.433
2-1	0.198	6.72	-0.363

表3.2.9 相関係数
TEST NO. 1215 (紀見丸)

M-N	R _{t=0}	Tm	Rmax
6-5	0.062	-33.60	-0.150
6-4	0.836	3.84	-0.877
6-3	-0.710	3.84	0.871
6-2	-0.771	8.64	-0.873
6-1	0.691	-0.96	0.786
5-4	0.148	-16.32	-0.210
5-3	0.077	47.04	-0.166
5-2	0.040	37.44	-0.124
5-1	0.252	-0.96	0.289
4-3	-0.875	0.00	-0.875
4-2	-0.890	0.00	-0.890
4-1	0.675	-4.80	-0.865
3-2	0.903	0.00	0.903
3-1	-0.561	-9.60	-0.791
2-1	-0.504	-9.60	-0.839

表3.2.10 相関係数
TEST NO. 1218 (紀見丸)

M-N	R _{t=0}	Tm	Rmax
6-5	0.172	-1.92	0.275
6-4	0.509	0.00	0.509
6-3	0.111	2.88	-0.549
6-2	0.075	-1.92	0.463
6-1	0.311	-3.84	-0.385
5-4	0.425	-26.88	-0.460
5-3	0.482	0.00	0.482
5-2	0.154	72.00	0.214
5-1	0.023	-17.28	-0.357
4-3	0.079	23.04	0.332
4-2	-0.287	0.96	-0.518
4-1	0.411	4.80	-0.450
3-2	0.310	-3.84	-0.456
3-1	-0.314	7.68	-0.420
2-1	-0.153	-5.76	-0.162

表3.2.11 相関係数
TEST NO. 1219 (紀見丸)

M-N	R _{t=0}	Tm	Rmax
6-5	-0.066	-12.48	0.231
6-4	0.642	3.84	-0.721
6-3	-0.618	3.84	0.678
6-2	-0.472	3.84	0.538
6-1	0.074	1.92	-0.598
5-4	0.278	5.76	-0.338
5-3	-0.041	-2.88	0.207
5-2	-0.098	-17.28	-0.196
5-1	0.373	0.00	0.373
4-3	-0.764	0.00	-0.764
4-2	-0.767	0.00	-0.767
4-1	0.323	-5.76	-0.725
3-2	0.637	0.00	0.637
3-1	-0.186	-6.72	0.734
2-1	-0.336	-9.60	-0.517

表3.2.5. 海象 (紀見丸)

月 日	天候	計測番号	計測時間	横揺(Deg)	波			浪			風			船速 (kts)	プロペラ 回転数	海象状況
					片振 周期(sec)	うねり方向	波高(m)	波長(m)	周期(sec)	波階	対船方向 及び風速(m/s)	絶対方向 及び風速(m/s)	力階			
6/28	曇	6	12:30~ 12:50			風	1.5 (0.1)	3.0 (0.3)	(1)	1 (2)	→ 12.0	→ 5.0	3	17.33	117.7	おだやか
6/28	薄曇	7	12:30~ 12:50			風	2.5 (2.0)	5.0 (7)	(6)	4 (4)	→ 14.0	→ 8.0	5	16.90	117.3	向波で, 風浪だけ波しい向 波一面
6/30	薄曇	12	12:30~ 12:50	2	10	風	5.0 (1.0)	7.0 (10)	(7)	6 (3)	→ 6.5	→ 6.0	4	16.82	117.3	うねり高し
7/7	曇	15	12:50~ 13:10	2	7	風	8.0 (1.0)	19.0 (5)	(6)	7 (4)	→ 12.0	→ 6.0	4	14.83	103.5	うねり巨大
7/10	曇	18	12:30~ 12:50	3	10	風	4.0 (2.0)	6.0 (20)	(6)	5 (5)	→ 14.0	→ 12.0	6	15.47	115.2	うねり高し, 横揺れ大きい
7/11	薄曇	19	12:30~ 12:50	2	10	風	10.0 (6.0)	18.0 (30)	(5)	7 (7)	→ 19.0	→ 17.0	7	12.57	89.5	大波高し, うねり巨大

表3.2.12 海象 (昭武丸)

月 日	天 候	計測番号	計測時間	横 揺 (Deg)		波 浪			風 力			船 速 平 均 (Kts)	プロペラ 回 転 数	海 象 状 況			
				左	右	周期 sec	うねり方向	波 高 (m)	波 長 (m)	周期(sec)	波 浪 階 級				対船方向及び 風速(m/s)	絶対方向及び 風速(m/s)	風力 階級
12/11	曇	TAPE③ 24	12:45 ~ 13:05	2	2	11.2	風 →	2~3 (1~2)	120 (7~8)	—	3	→ 15m	→ SE 7.5	4	16.5	110.7	全 上
12/13	曇	TAPE⑧ 25	13:00 ~ 13:20	0	0	0	→ 風	2~3 (1~2)	30 (7~8)	—	3	→ 12m	↑ ENE 5.2	3	13.5	111.2	全 上
12/12	晴	TAPE⑧ 26	12:40 ~ 13:00	0	0	0	→	1~2 —	140 —	20 —	2	→ 11.5m	↑ NE 4.5	3	14.0	111.7	波長の長いうねりがある 程度

表 4.1.1 荷積前 および荷積後の載貨状態 (紀見丸)

位 置	A.P.T.	No. 13	No. 9	No. 7	No. 6	No. 5	No. 4	No. 3	No. 2	No. 1	F.P.T
W.B.T 容量(t)	317	267	124	2,165	3,441	2,327	3,104	3,128	4,115	2,393	3,543
Cargo Hold 容量(m ³)	—	—	—	9,460	12,999	9,623	12,938	9,662	12,945	8,267	—
荷積前バラスト(t)	316	267	124	2,165	3,441	2,326	3,104	3,128	4,114	2,392	896
荷積後石炭(t)	—	—	—	7,874	10,820	7,671	9,775	7,112	10,262	6,706	—
荷積前バラスト(t)	317	267	124	2,165	3,441	2,327	3,104	3,129	4,111	2,391	1,001
荷積後石炭(t)	—	—	—	7,712	11,011	7,262	7,185	6,769	10,372	6,818	—

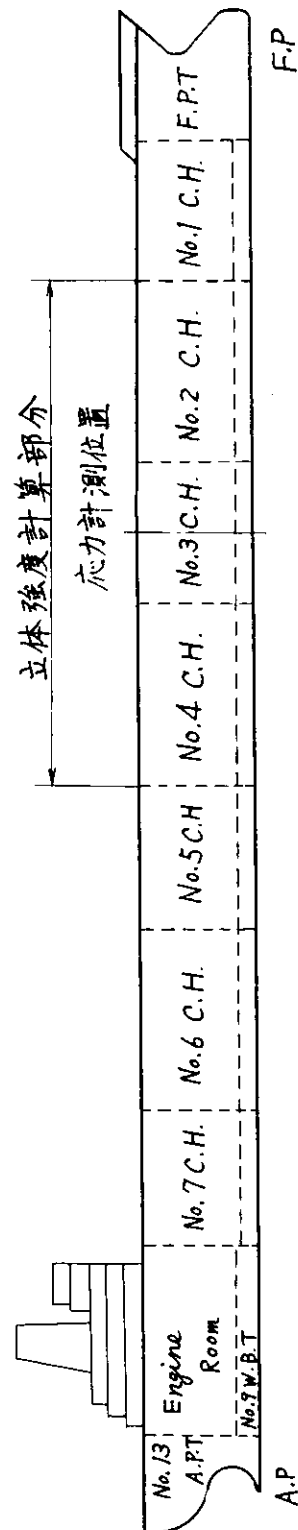


表 4.2.1 鉍石の物性

密 度	1.65 t/m^3
内 部 摩 擦 角	$30^\circ *$
鉍石と壁面の摩擦角	0°
表 面 傾 斜 角	$30^\circ *$

* TOP SIDE TK の傾斜角と
同じとした。

表 4.3.1 波浪による変動応力計算値 (kg/mm^2)

位置*	波 高 ゲージ No. (m)			
		3	6	9
二重底	DB1	0.09	0.18	0.24
フレーム	DF2	2.9	6.0	8.0

* 位置

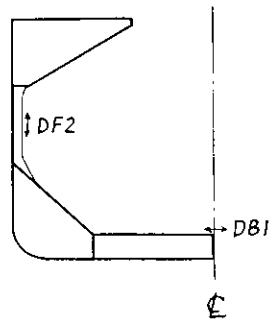


表 4.3.2 再生データの計測日および海象

	計測日	波 高(m)	波 長(m)	風力階級
1	昭和45年6月29日	4.0	80	4
2	7月7日	8.0	190	4
3	7月11日	10.0	180	7
4	9月13日	2.5	95	1
5	9月21日	4.0	120	7

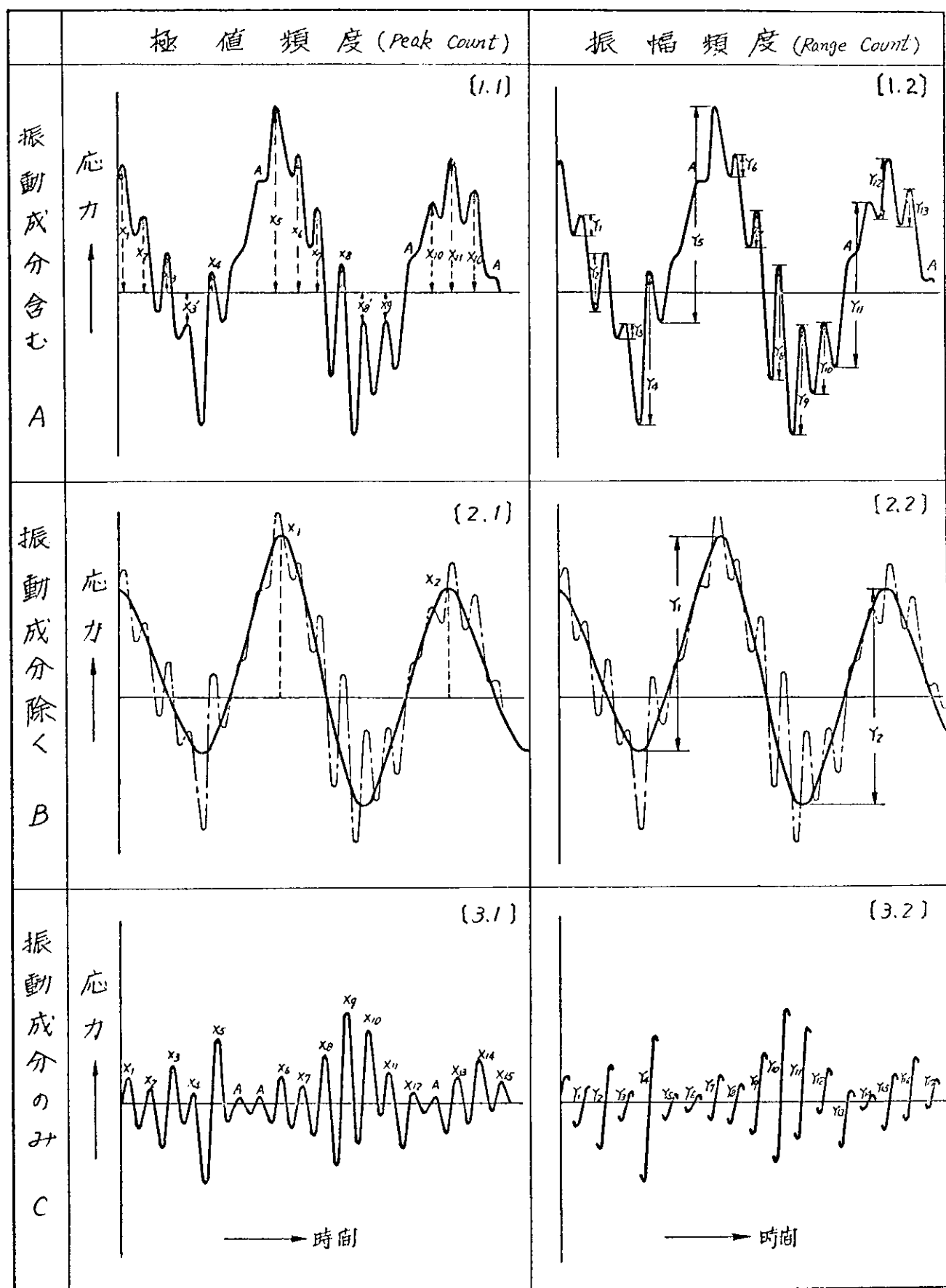
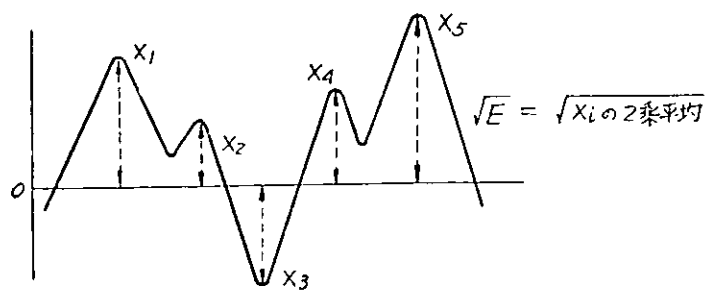
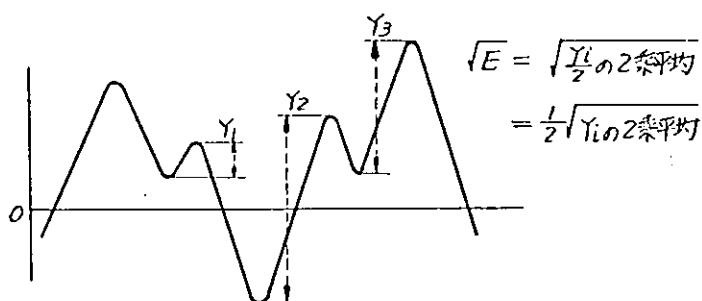


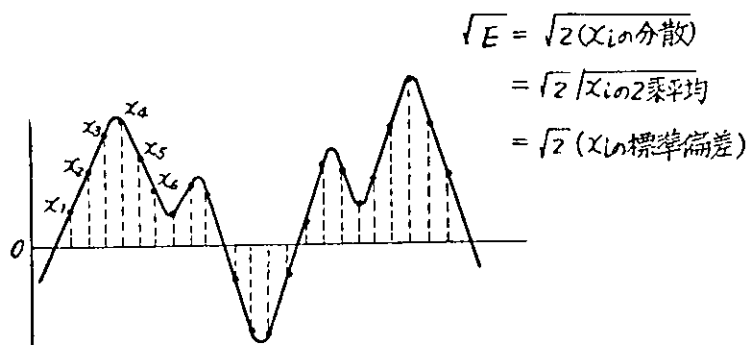
図 3.1.-1 応力頻度計数方式



(A) 極値頻度

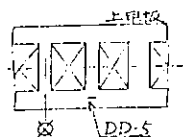


(B) 振幅頻度



(C) 等時間隔サンプリング

図 3.1.-2 $\sqrt{E}$ の計算法



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高 (M)
 L(SWELL) うねり波長 (M)

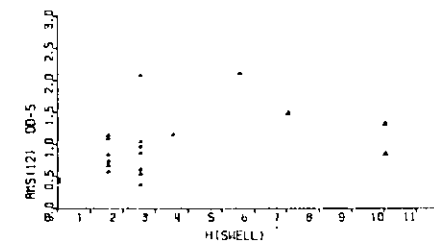
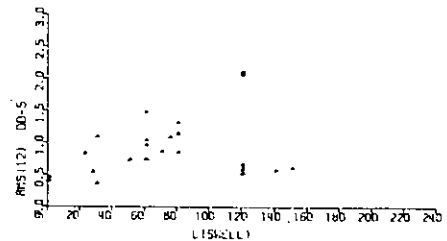
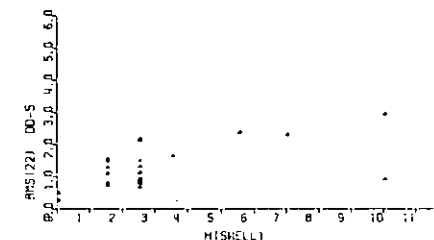
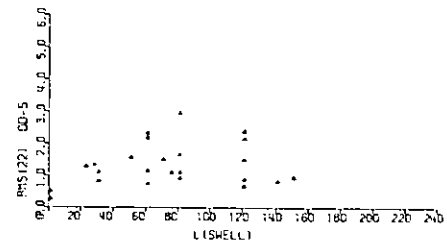
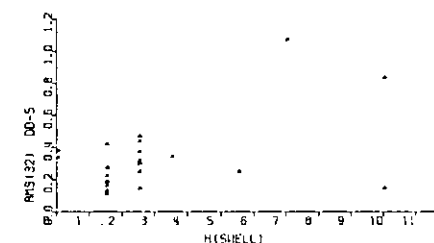
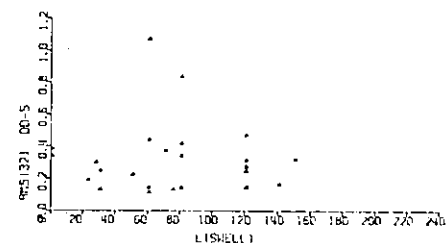
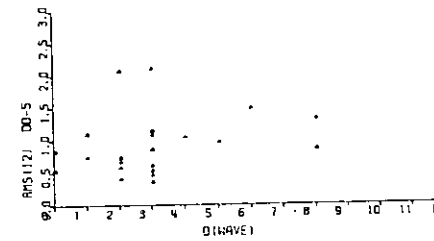
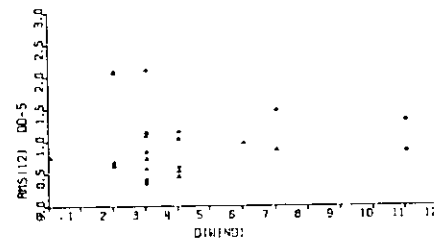
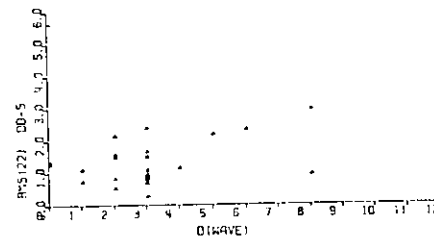
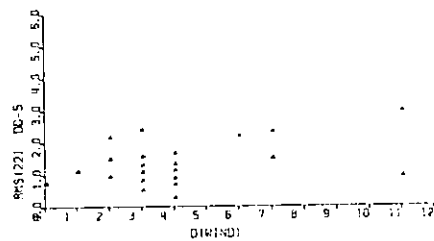
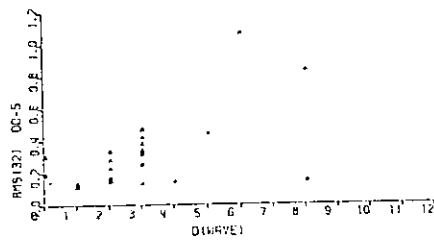
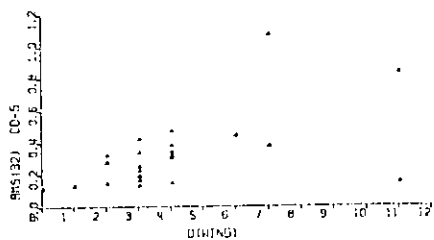
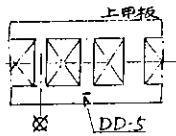


図 3.1.3 海象又は気象と応力(複振中のRMS, 2/E)



D(WIND) 風力階級
D(WAVE) 風浪階級
H(SWELL) うねり波高(M)
L(SWELL) うねり波長(M)

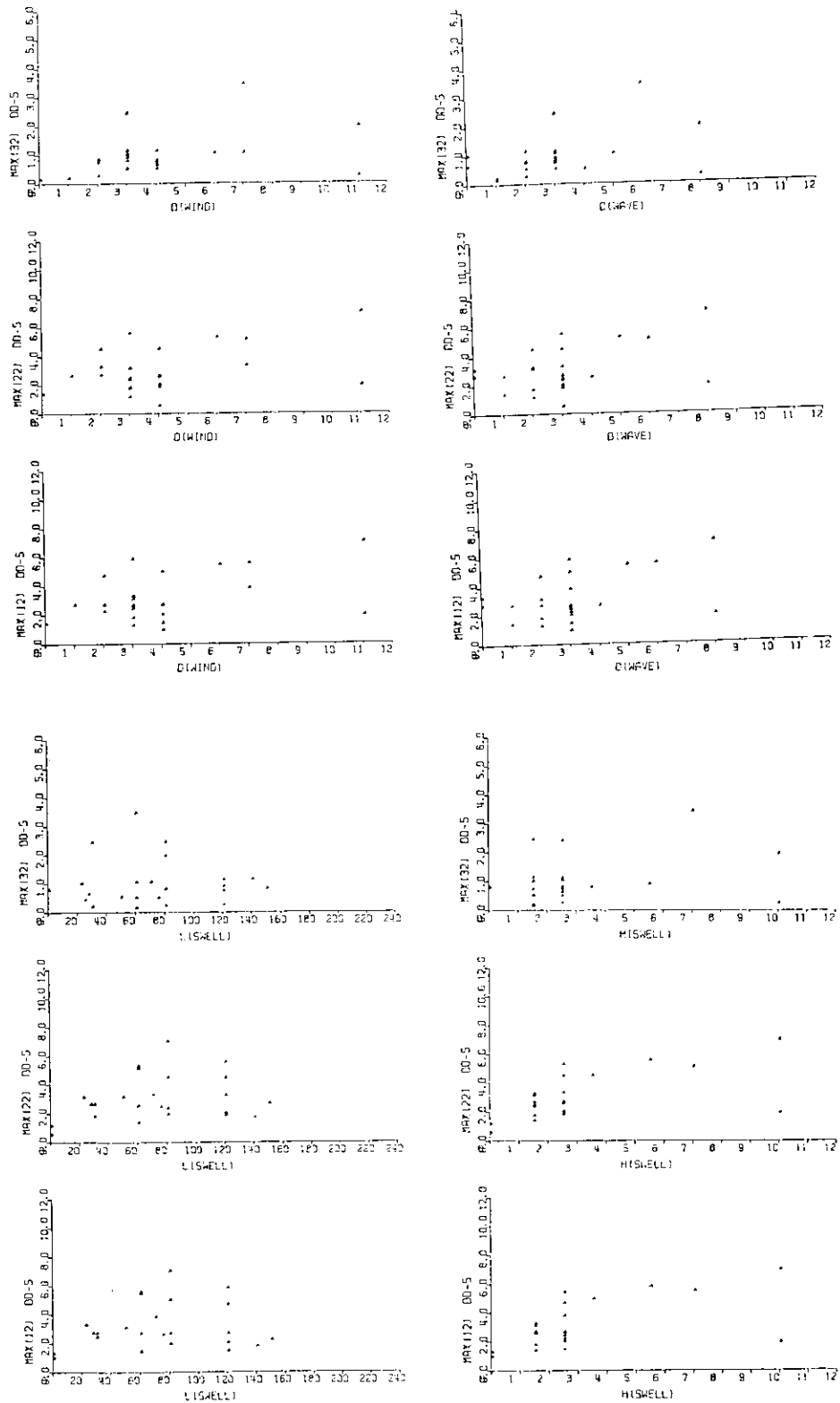
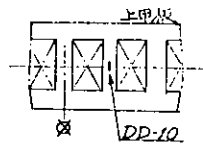


図 3.14 海象又は気象と応力(複振中のRMS, 2FE)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高(M)
 L(SWELL) うねり波長(M)

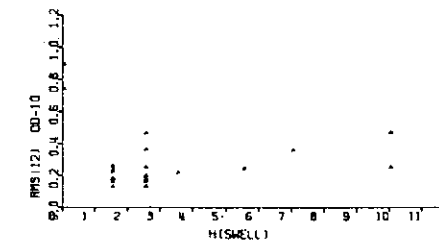
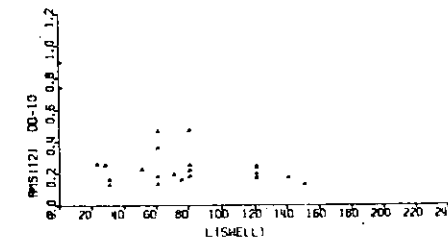
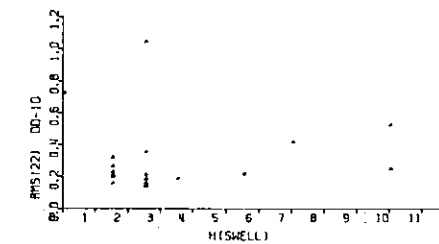
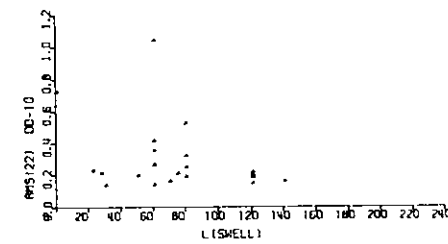
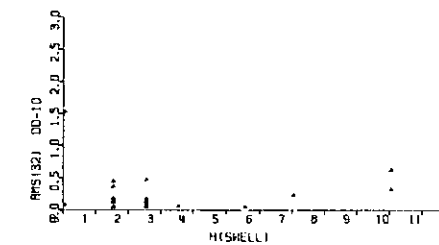
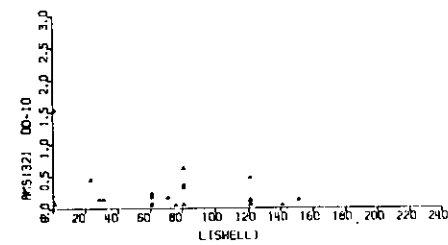
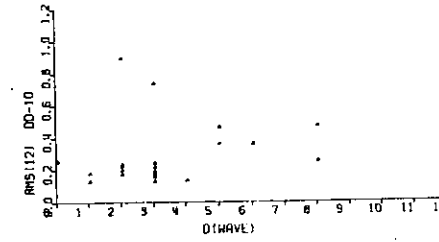
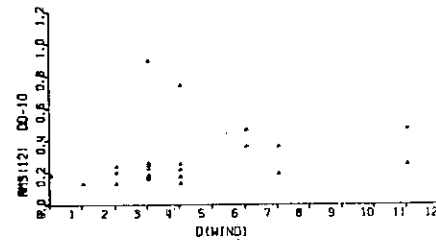
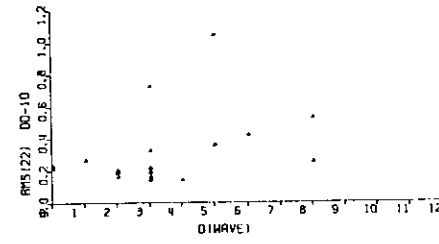
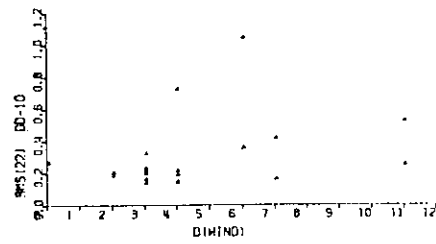
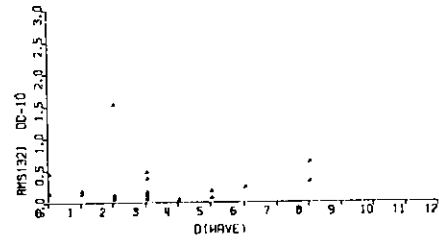
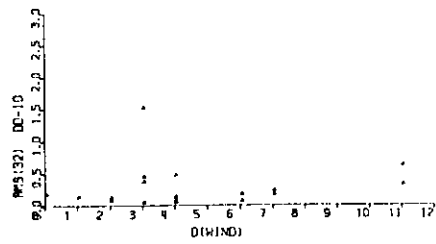
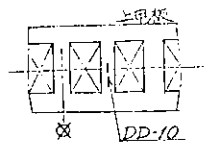


図 3.1.5 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2VE)



D[WIND] 風力階級
 D[WAVE] 風浪階級
 H[SWELL] うねり波高(M)
 L[SWELL] うねり波長(M)

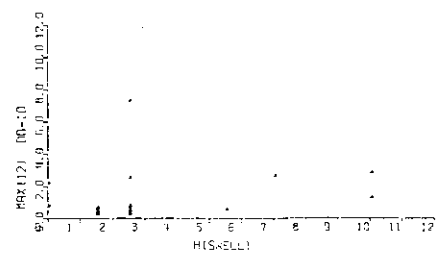
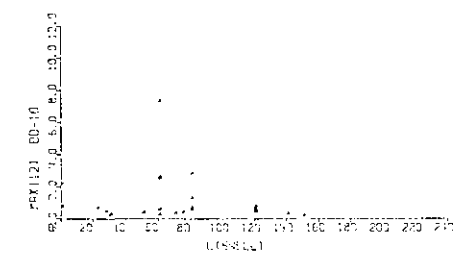
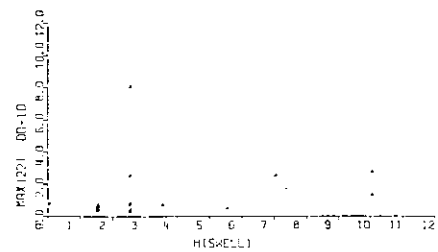
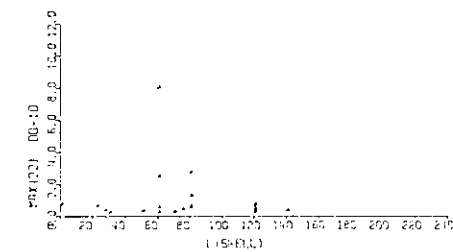
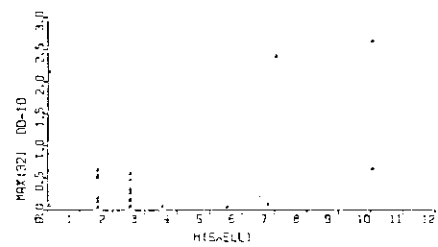
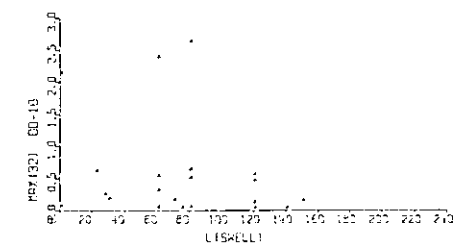
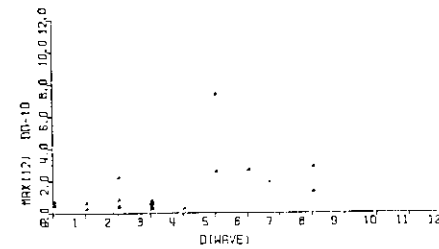
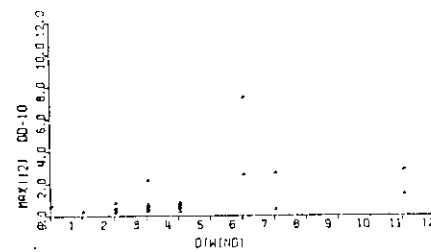
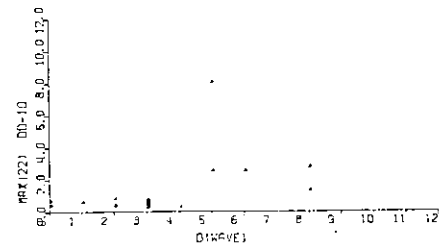
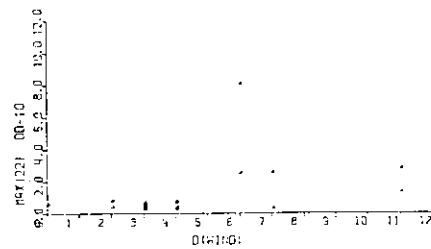
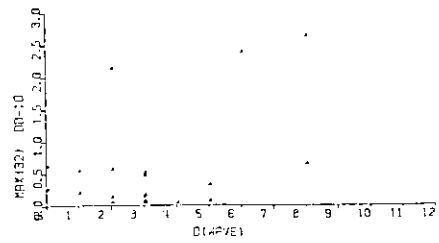
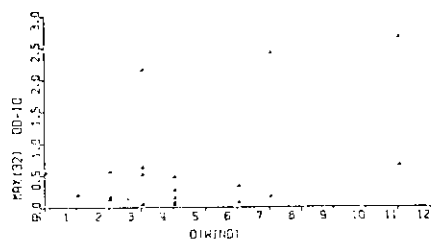


図 3.1.6 海象又は気象と応力(複振中のRMS, 2/E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高(M)
 L(SWELL) うねり波長(M)

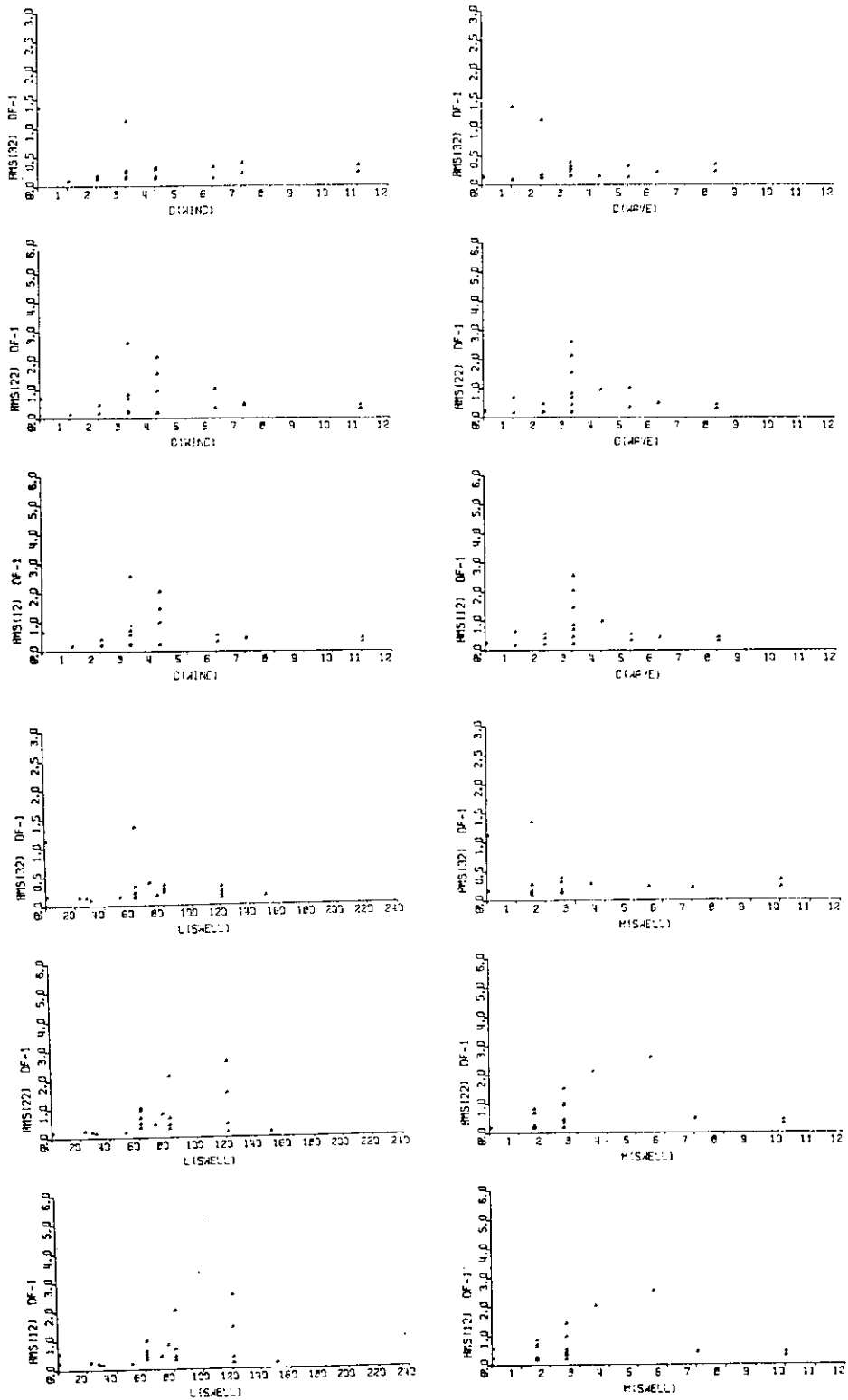
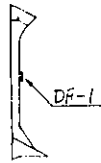


図 3.17 海象又は気象と応力(複振中のRMS, Z/E)



D[WIND] 風力階級
 D[WAVE] 風浪階級
 H[SWELL] うねり波高(M)
 L[SWELL] うねり波長(M)

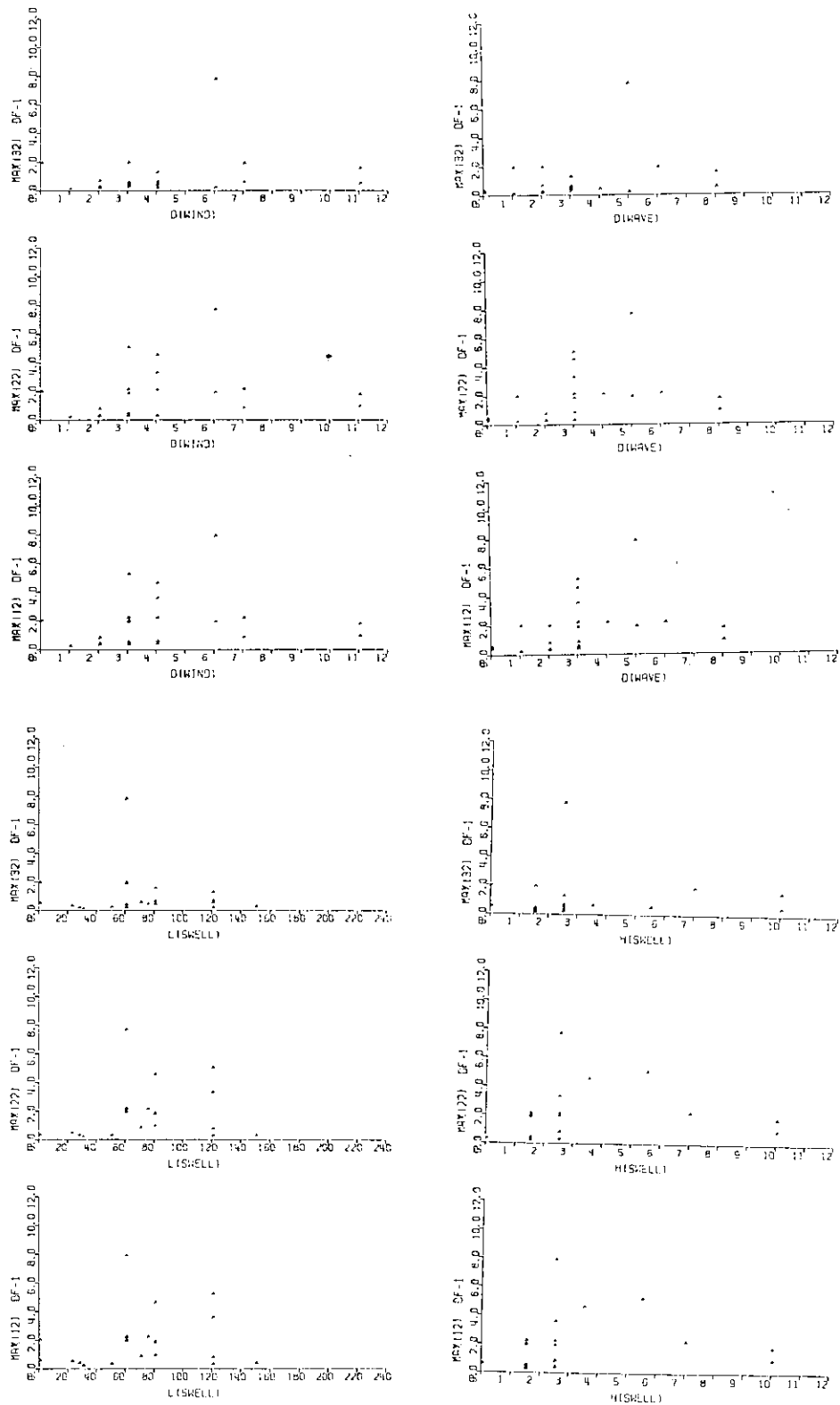
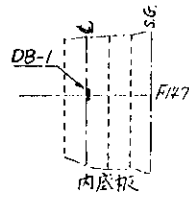


図 3.1.8 海象又は気象と応力(模擬中のRMS, Z/E)



D[WIND] 風力階級
 D[WAVE] 風浪階級
 H[SWELL] うねり波高 (M)
 L[SWELL] うねり波長 (M)

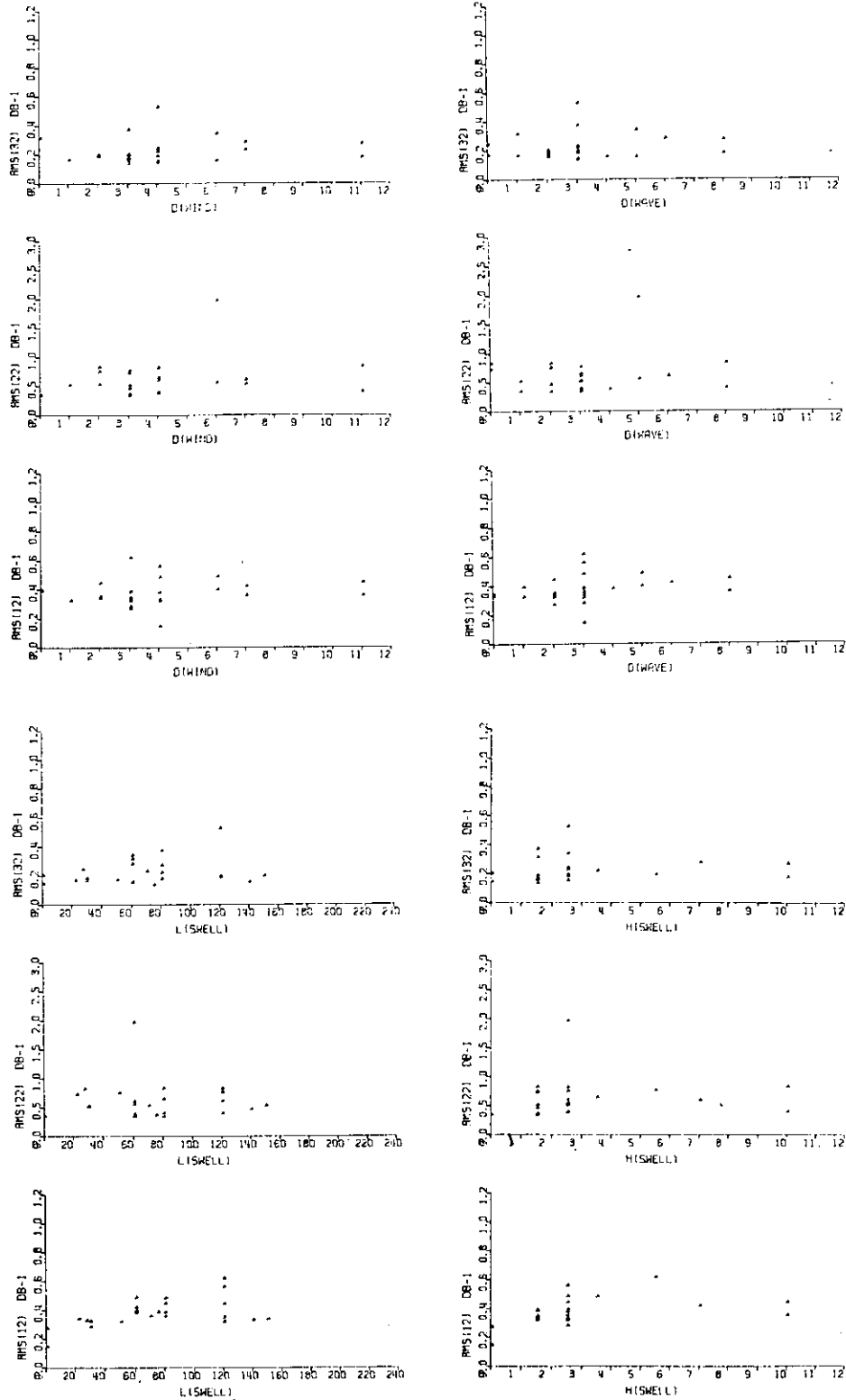
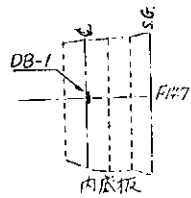


図 3.1.9 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2F)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高(M)
 L(SWELL) うねり波長(M)

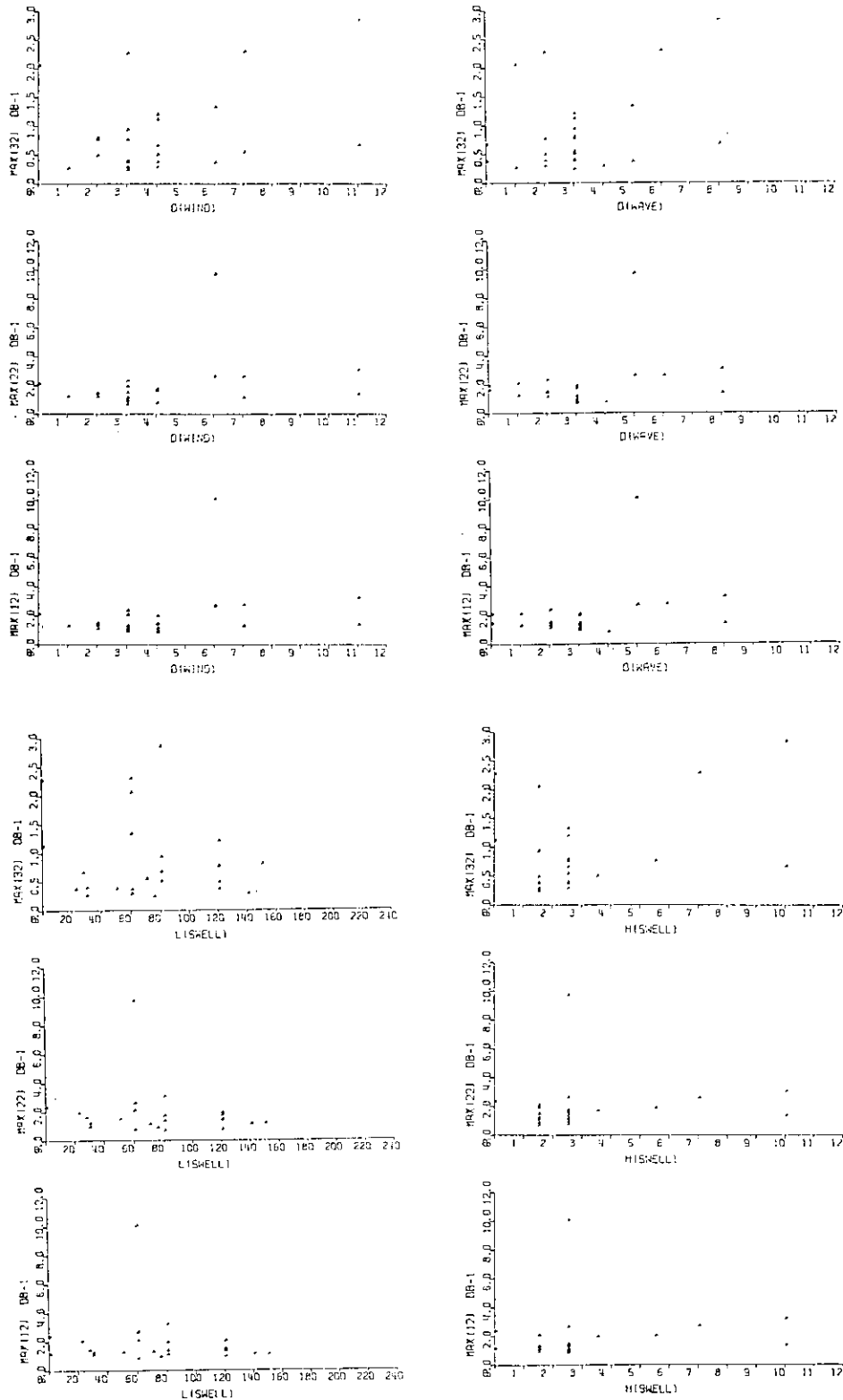
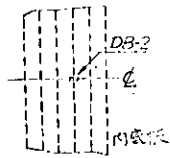


図 3.1.10 海象又は気象と応力(模擬中のRMS, 2FE)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高(M)
 L(SWELL) うねり波長(M)

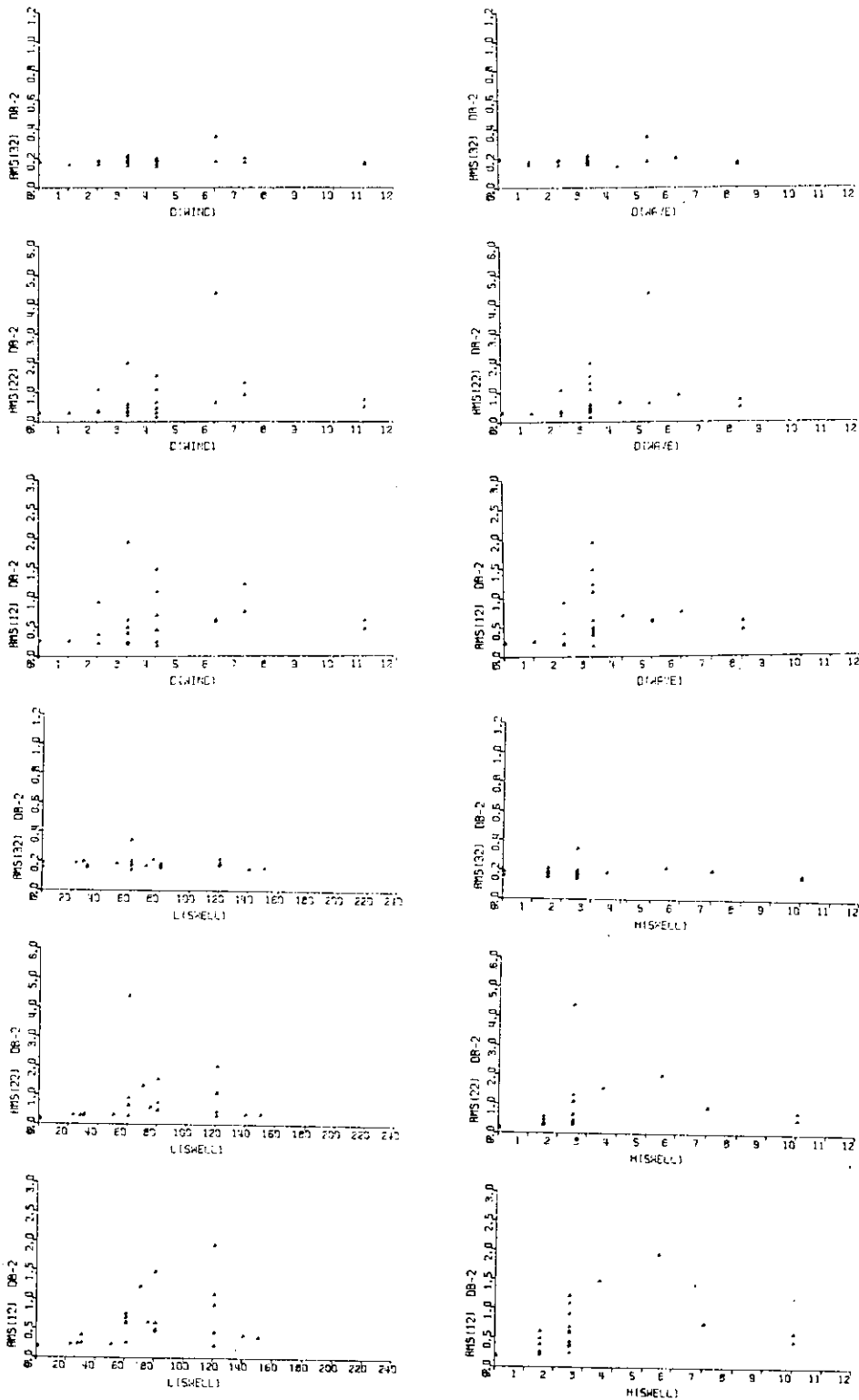
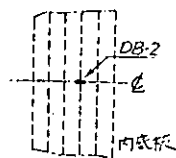


図 3.1.11 海象又は気象と応力(模擬中のRMS, Z/E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高(M)
 L(SWELL) うねり波長(M)

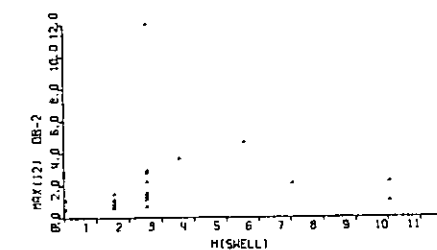
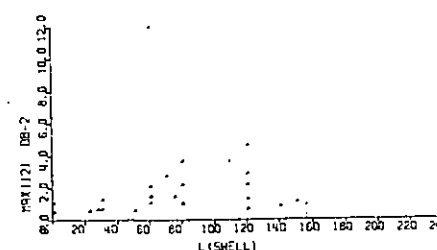
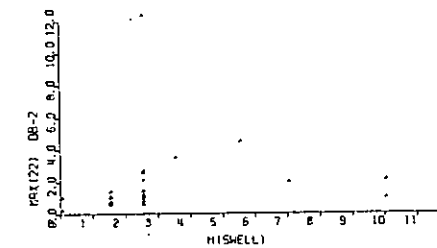
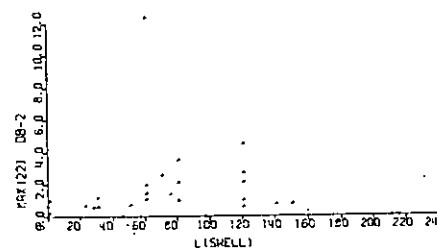
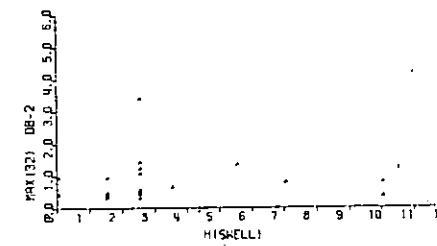
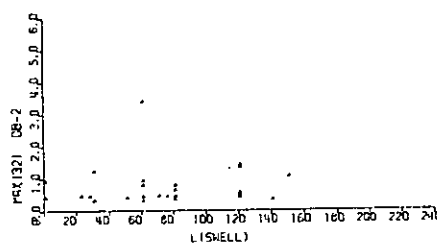
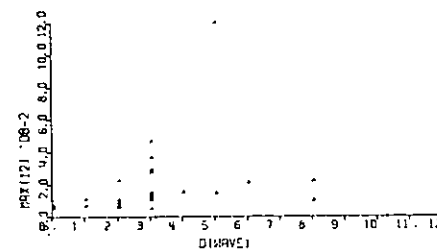
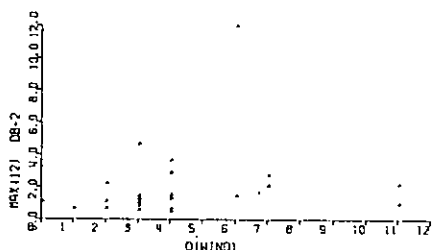
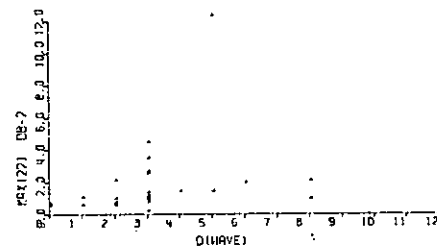
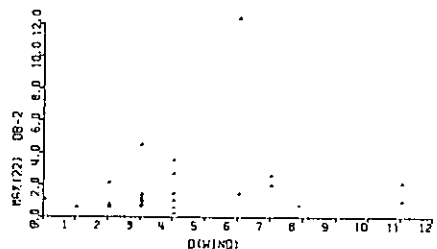
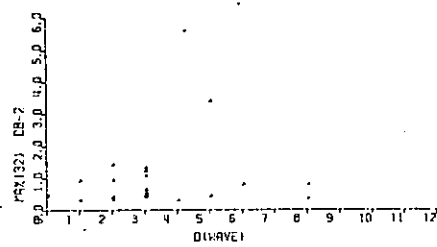
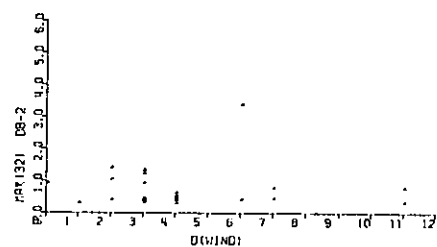
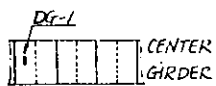


図 3.1.12 海象又は気象と応力(模擬中のRMS, 2σE)



D(WIND) 風力階級
D(WAVE) 風浪階級
H(SWELL) うねり波高(M)
L(SWELL) うねり波長(M)

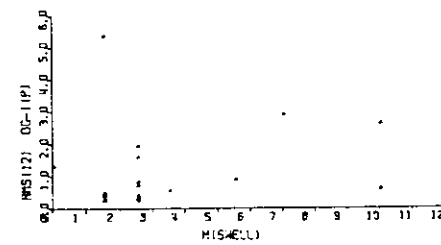
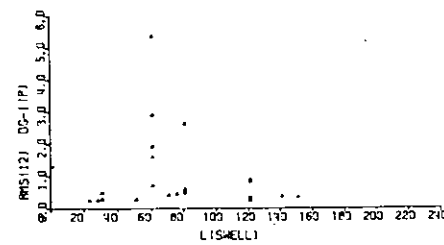
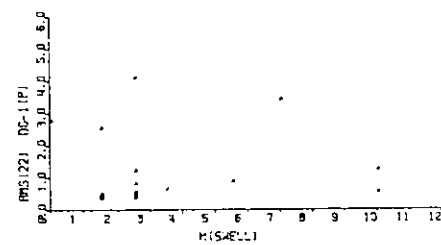
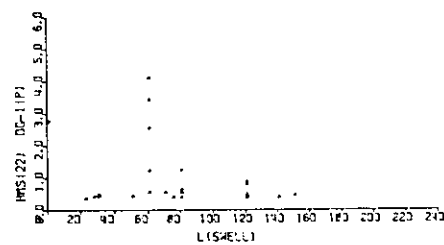
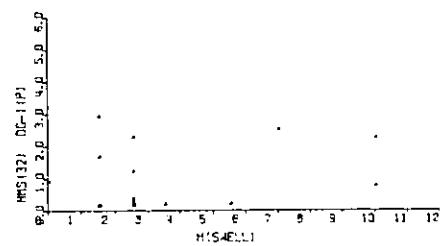
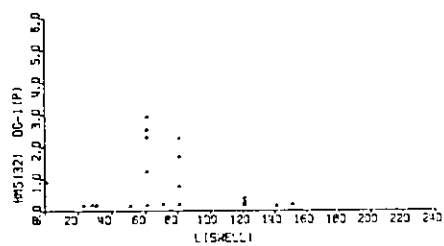
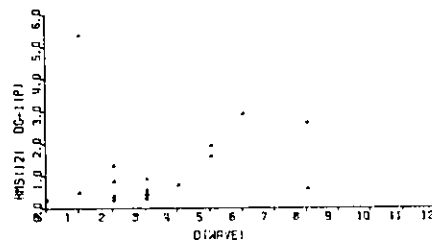
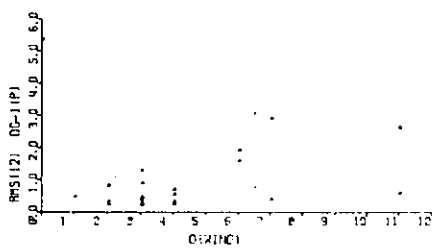
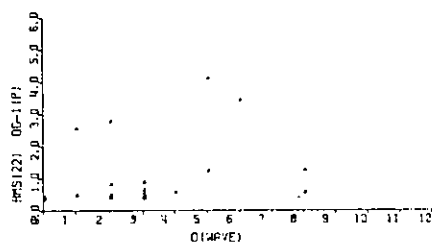
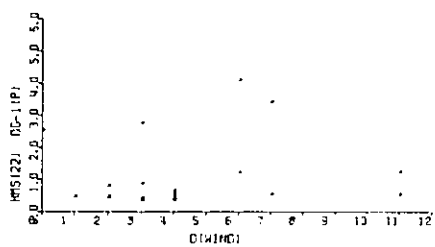
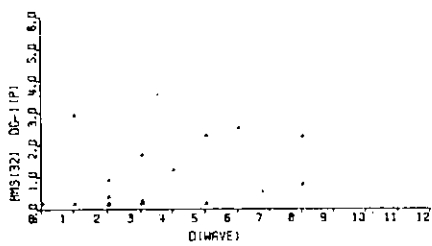
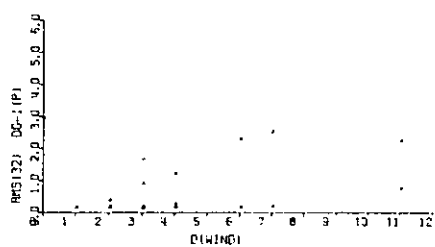
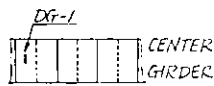


図 3.1.13 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2/E)



D[WIND] 風力階級
D[WAVE] 風浪階級
H[SWELL] うねり波高(M)
L[SWELL] うねり波長(M)

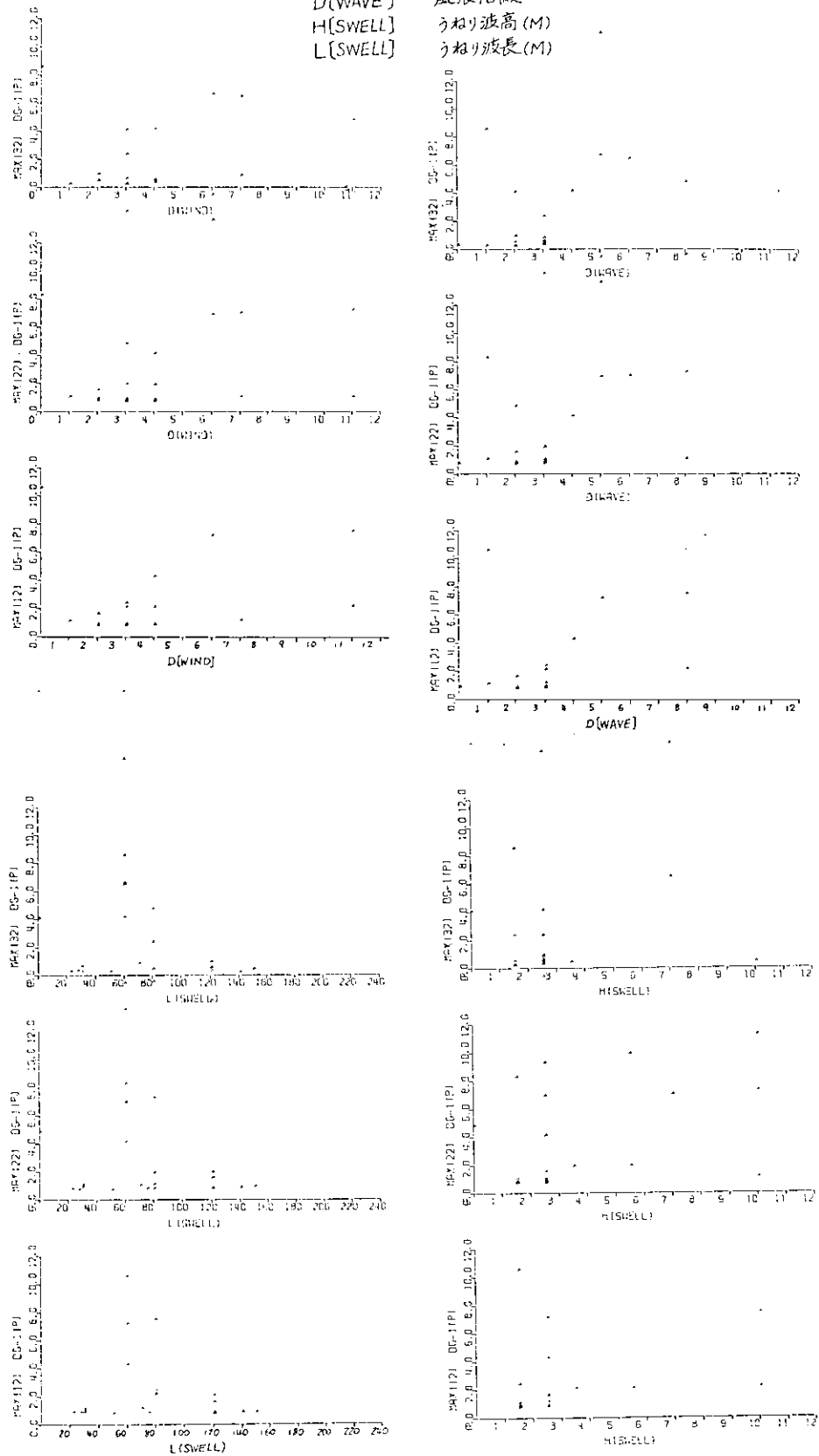
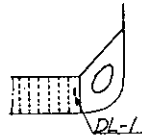


図 3.14 海象又は気象と応力(複振中のRMS,34E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高 (M)
 L(SWELL) うねり波長 (M)

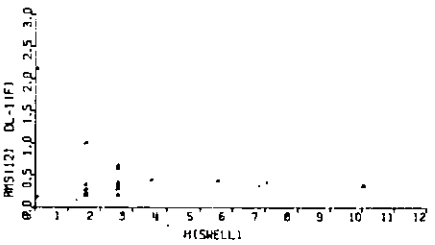
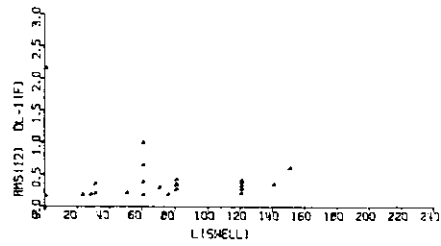
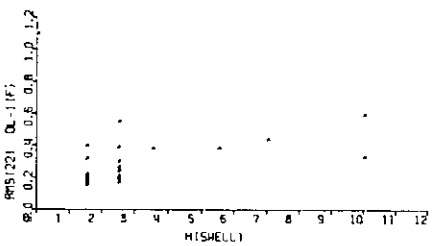
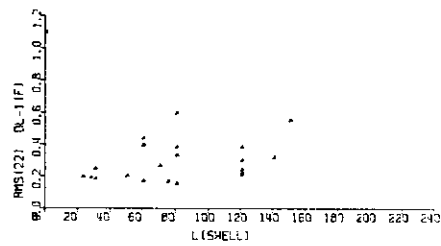
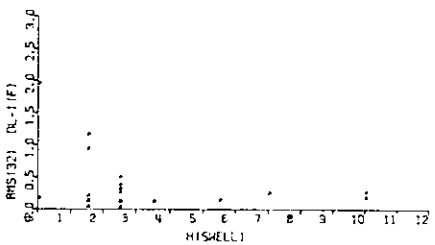
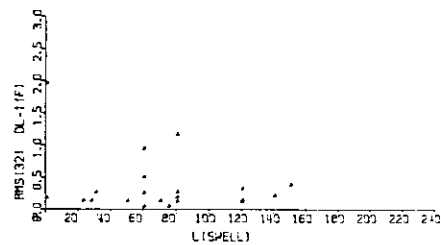
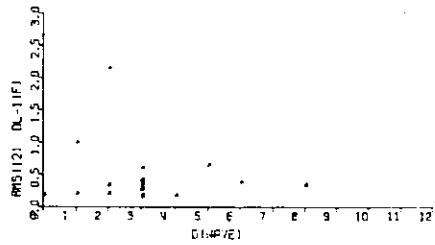
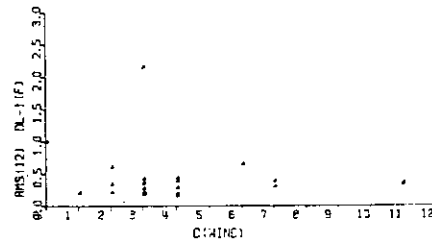
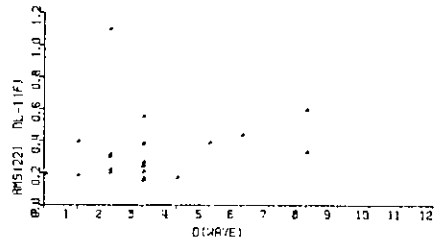
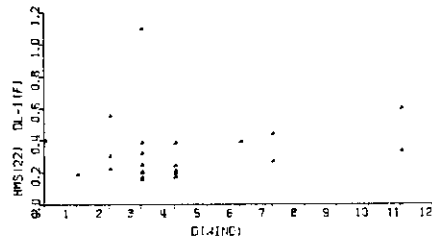
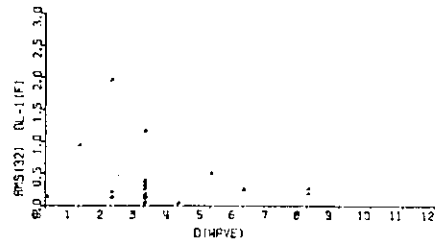
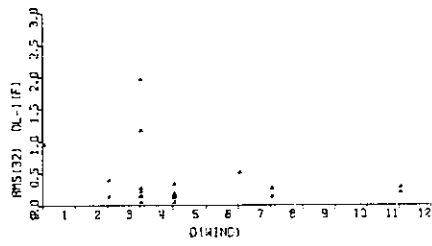
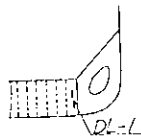


図 3.1.15 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2/E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高 (M)
 L(SWELL) うねり波長 (M)

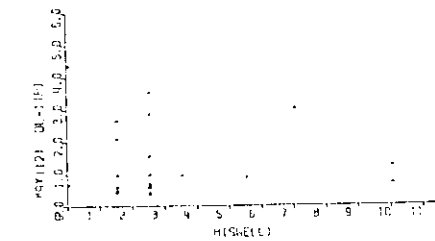
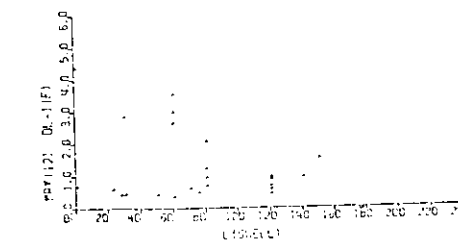
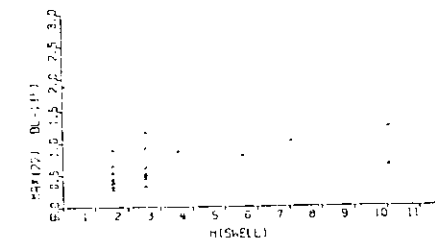
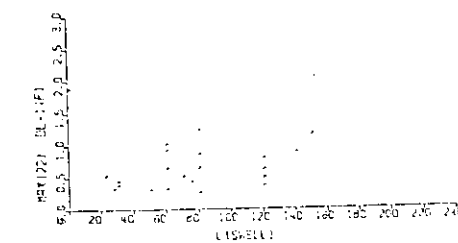
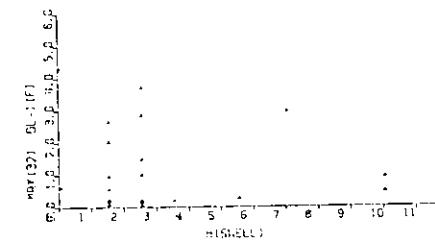
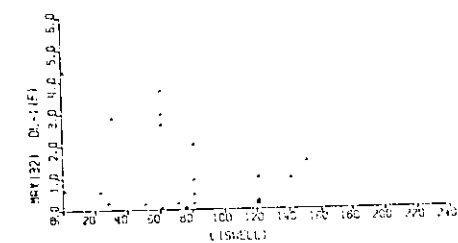
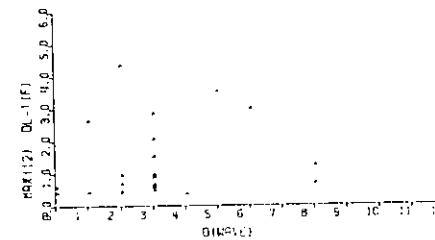
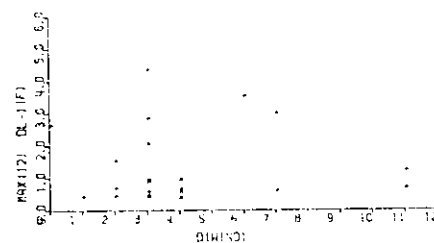
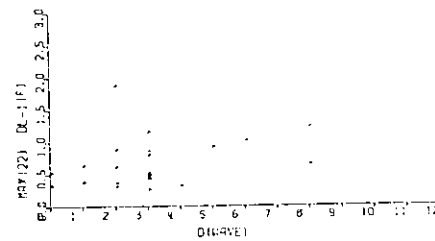
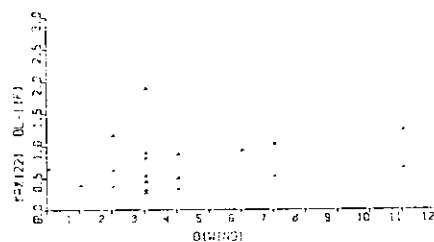
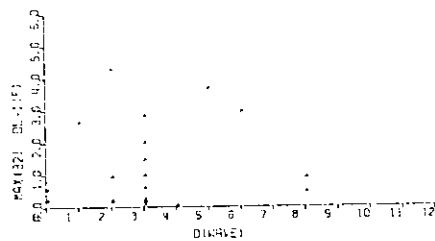
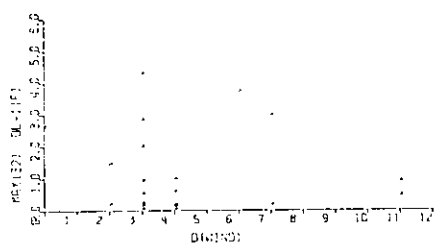
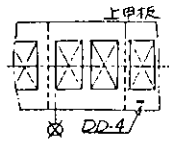


図 3.1.16 海象又は気象と応力(複根中のRMS, 2/E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高 (M)
 L(SWELL) うねり波長 (M)

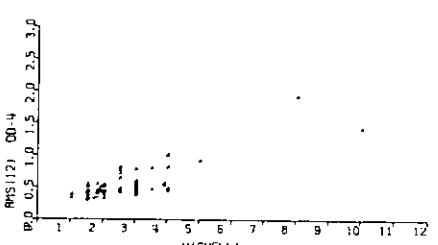
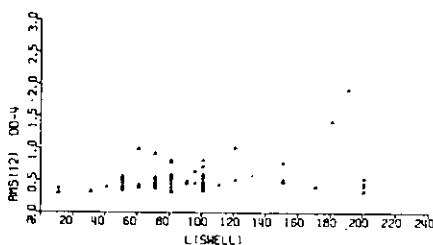
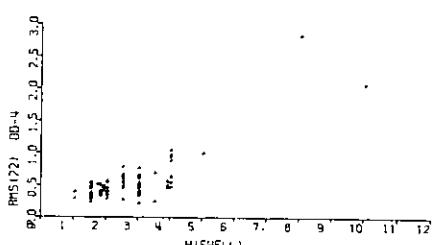
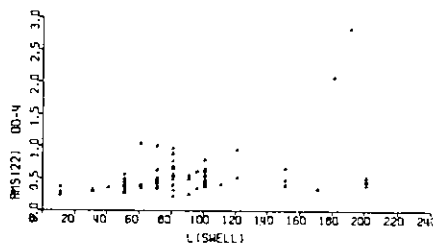
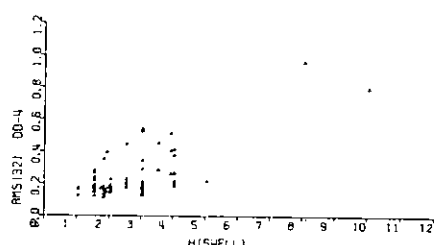
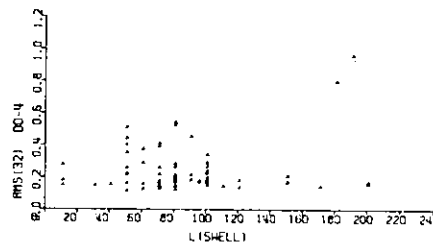
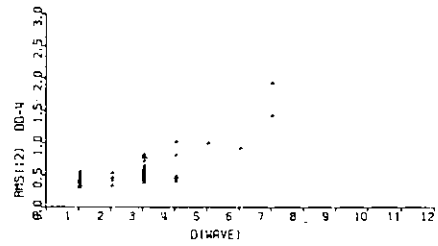
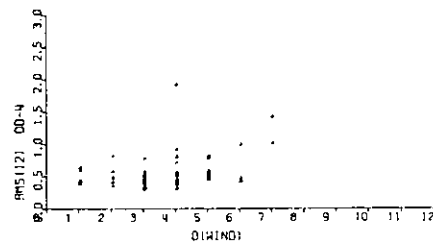
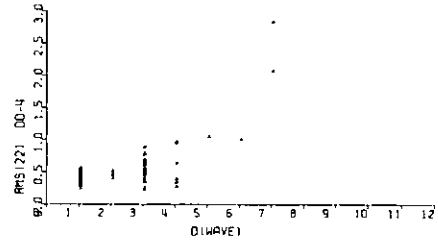
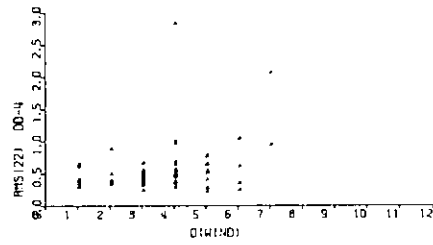
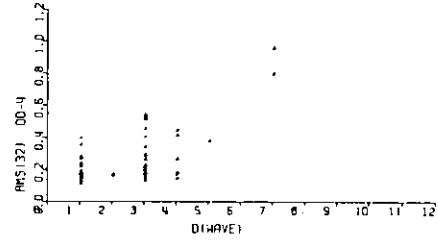
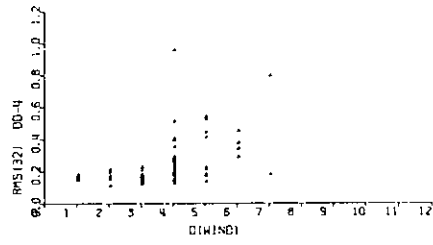
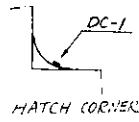


図 3.1.17 海象又は気象と応力(複振中のRMS, 2/E)



D[WIND] 風力階級
D[WAVE] 風浪階級
H[SWELL] うねり波高(M)
L[SWELL] うねり波長(M)

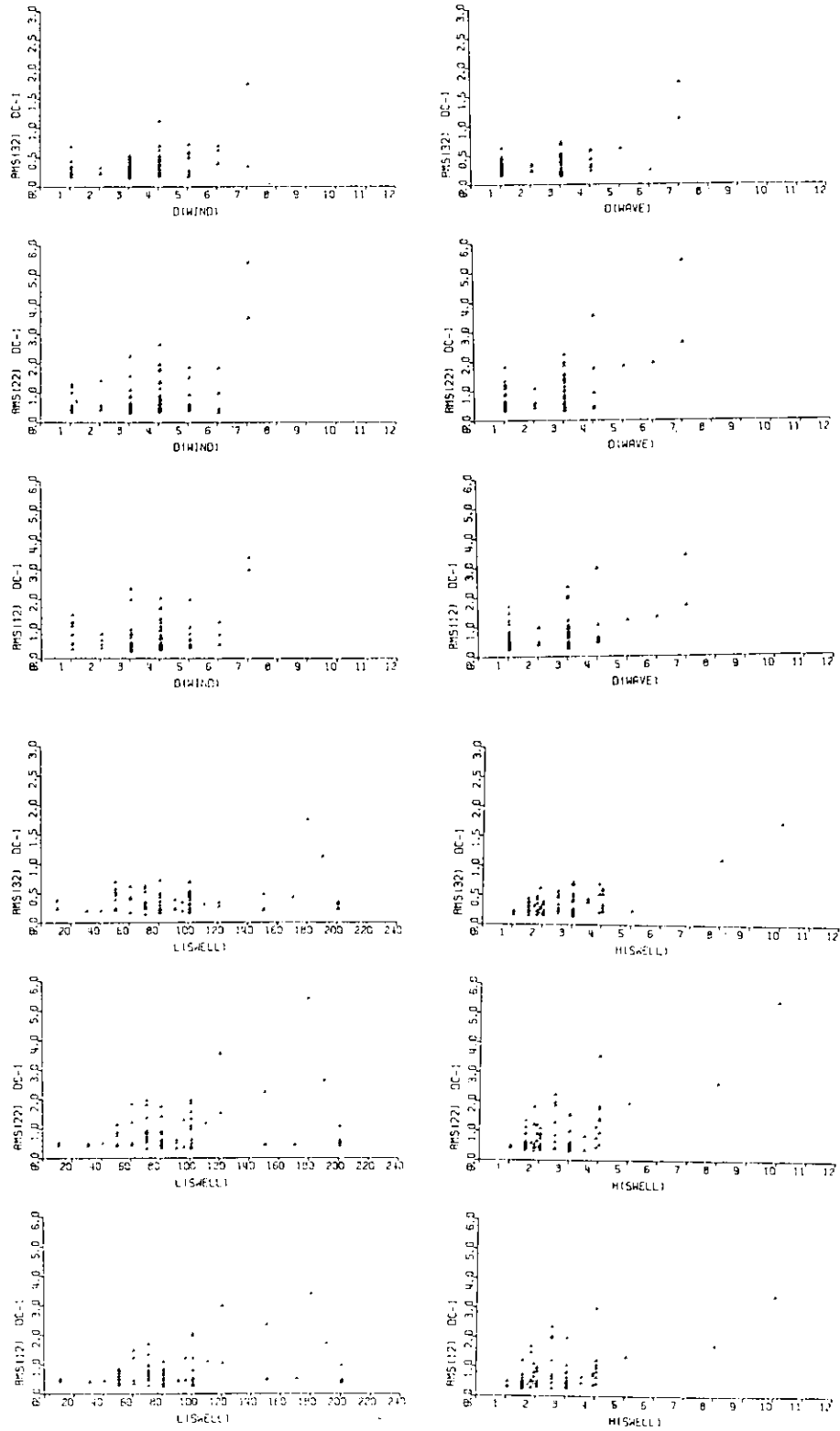
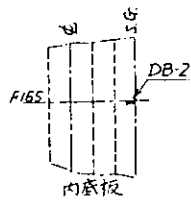


図 3.1.18 海象又は気象と応力(複振中のRMS, Z/E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高 (M)
 L(SWELL) うねり波長 (M)

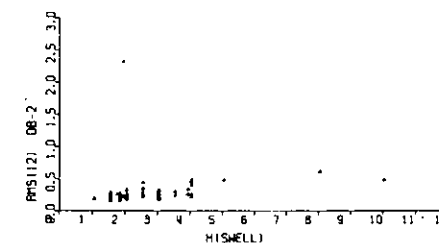
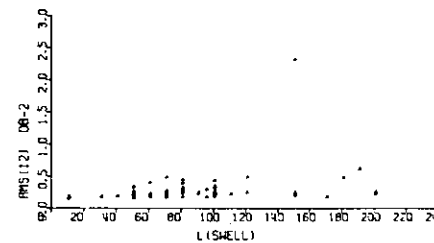
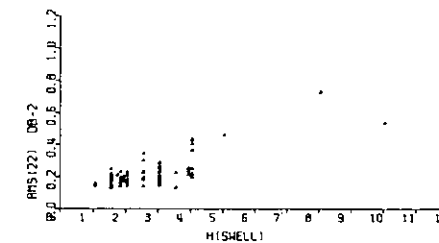
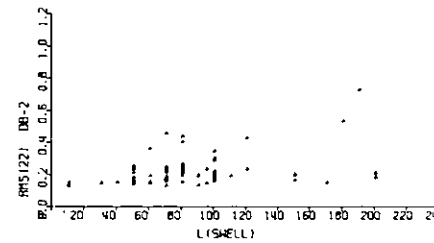
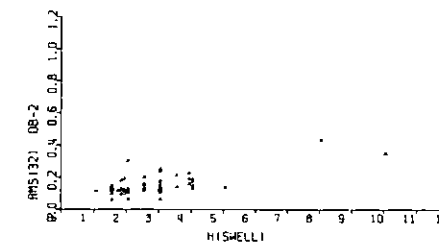
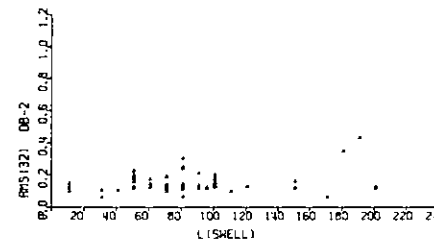
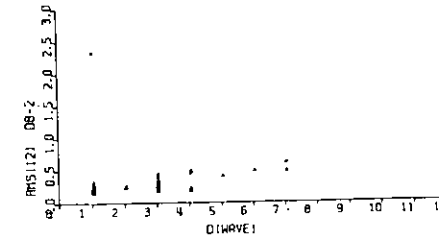
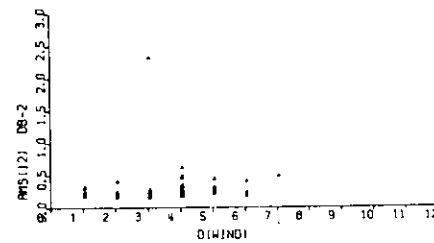
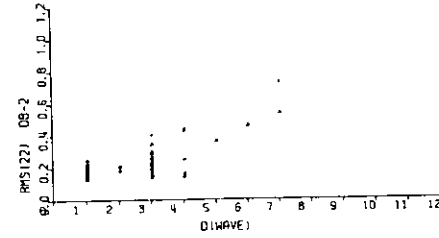
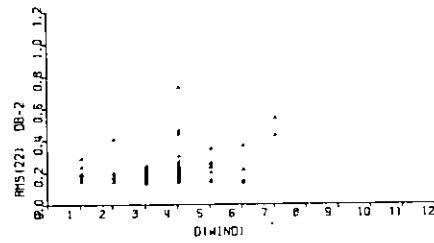
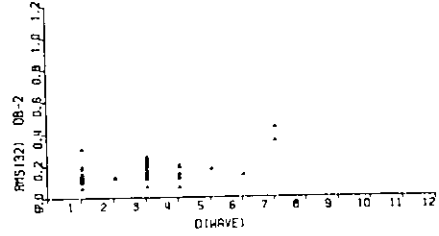
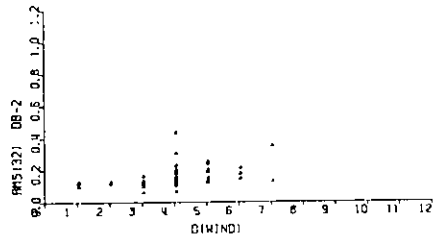
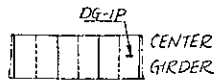


図 3.1.19 海象又は気象と応力(複振中のRMS, 2/E)



D(WIND) 風力階級
 D(WAVE) 風浪階級
 H(SWELL) うねり波高(M)
 L(SWELL) うねり波長(M)

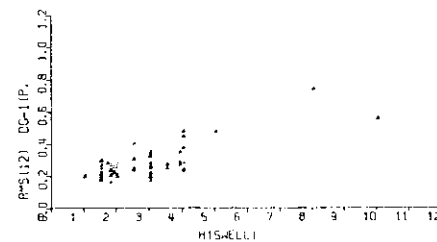
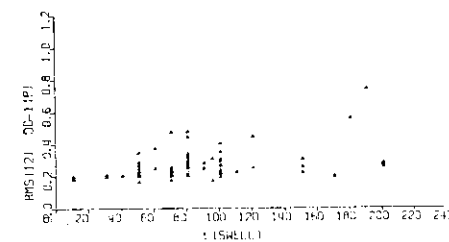
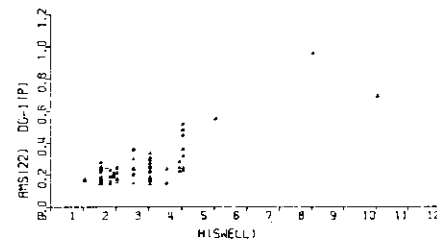
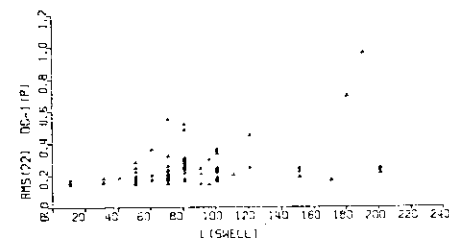
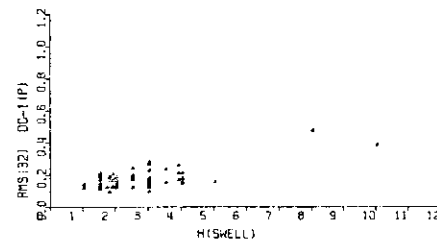
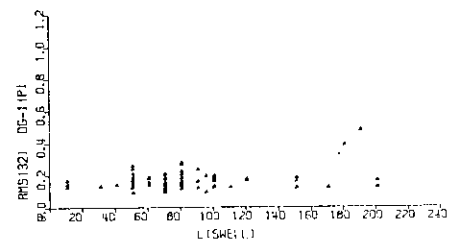
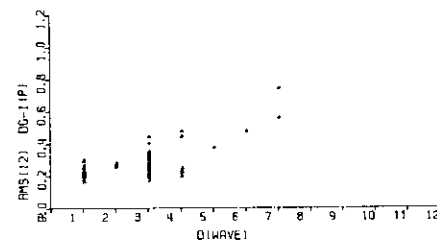
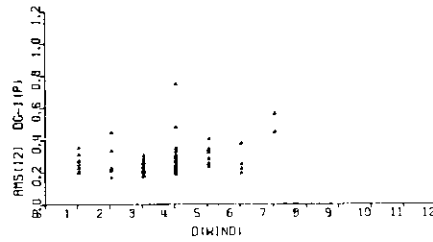
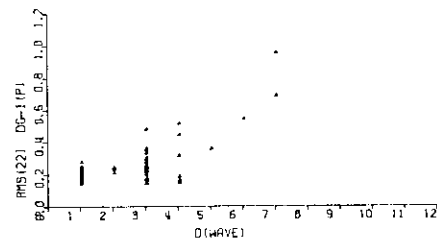
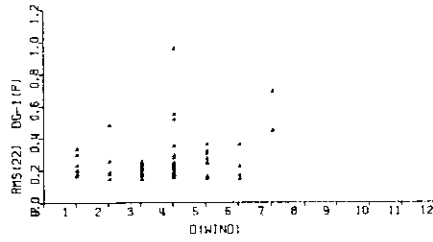
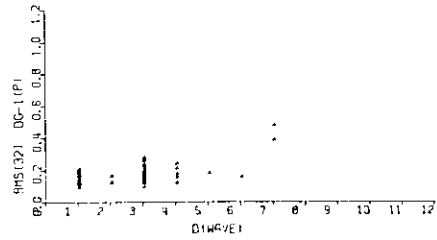
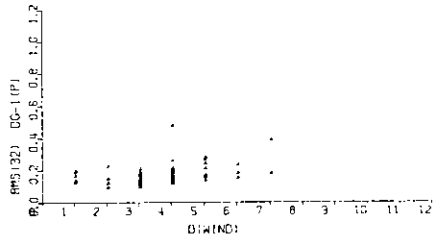
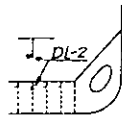


図 3.120 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2F)



D[WIND] 風力階級
 D[WAVE] 風浪階級
 H[SWELL] うねり波高(M)
 L[SWELL] うねり波長(M)

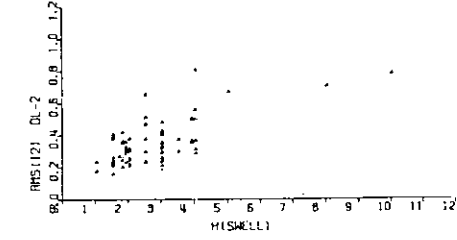
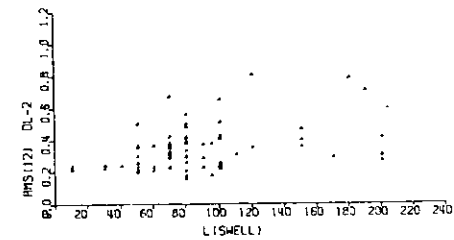
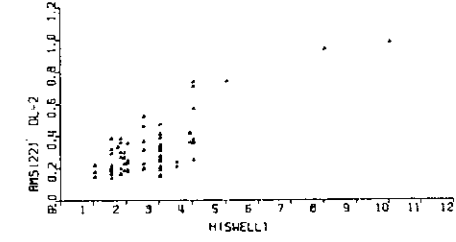
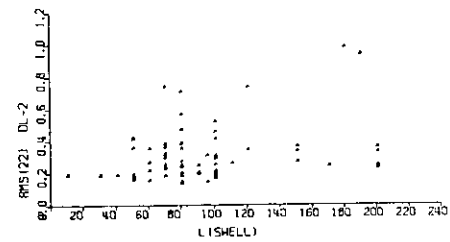
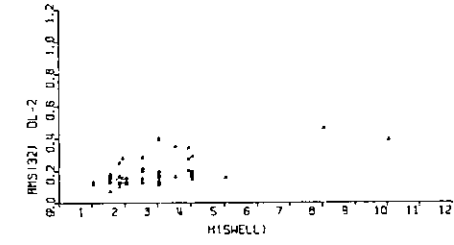
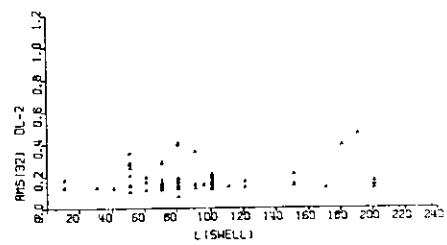
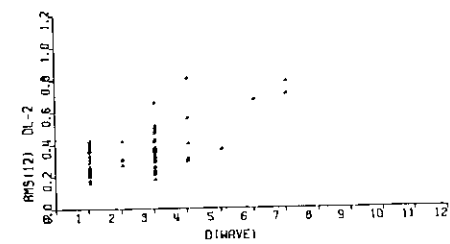
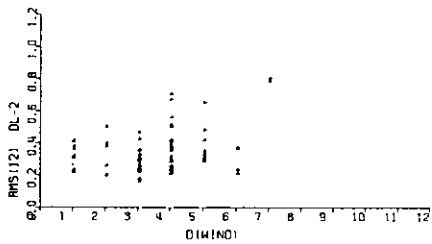
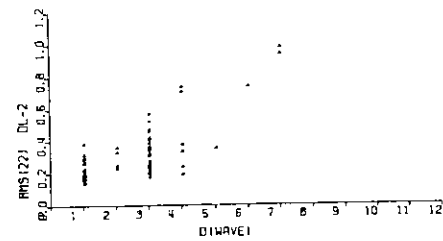
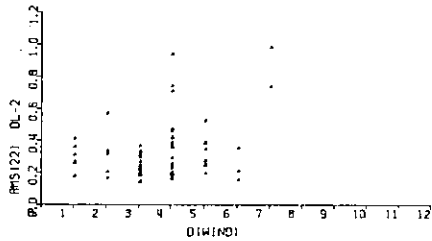
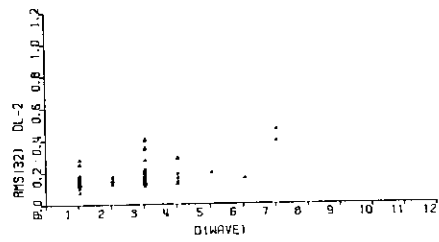
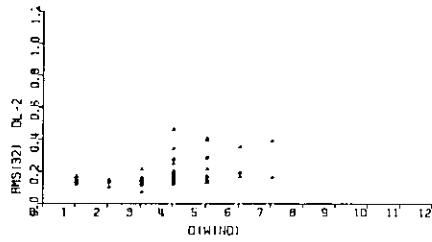
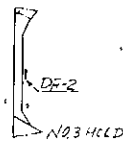


図 3.1.21 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2/E)



D[WIND] 風力階級
 D[WAVE] 風浪階級
 H[SWELL] うねり波高(M)
 L[SWELL] うねり波長(M)

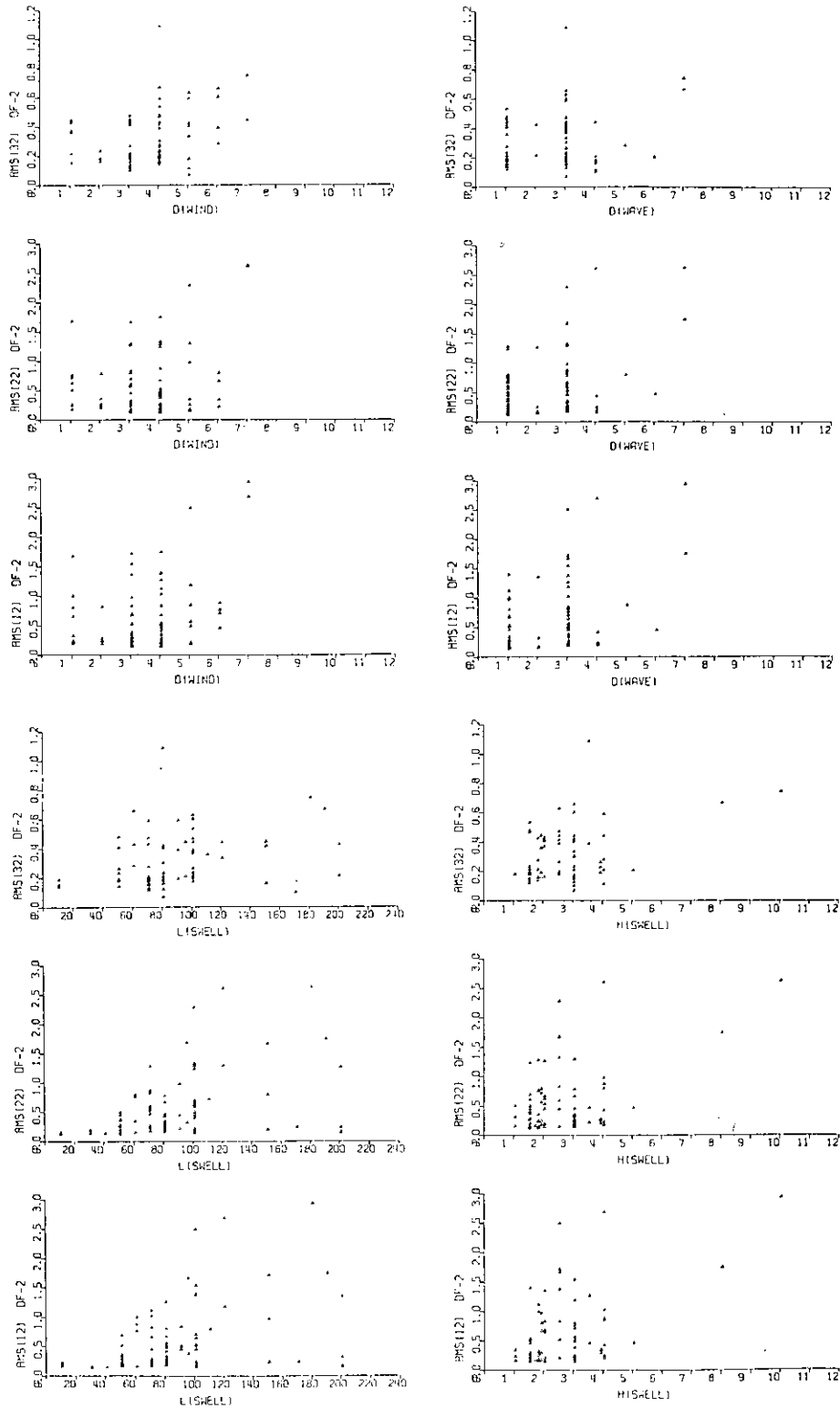
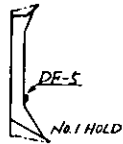


図 3.1.22 海象又は気象と応力(複振中のRMS,2 σ)



D(WIND) 風力階級
D(WAVE) 風浪階級
H(SWELL) うねり波高(M)
L(SWELL) うねり波長(M)

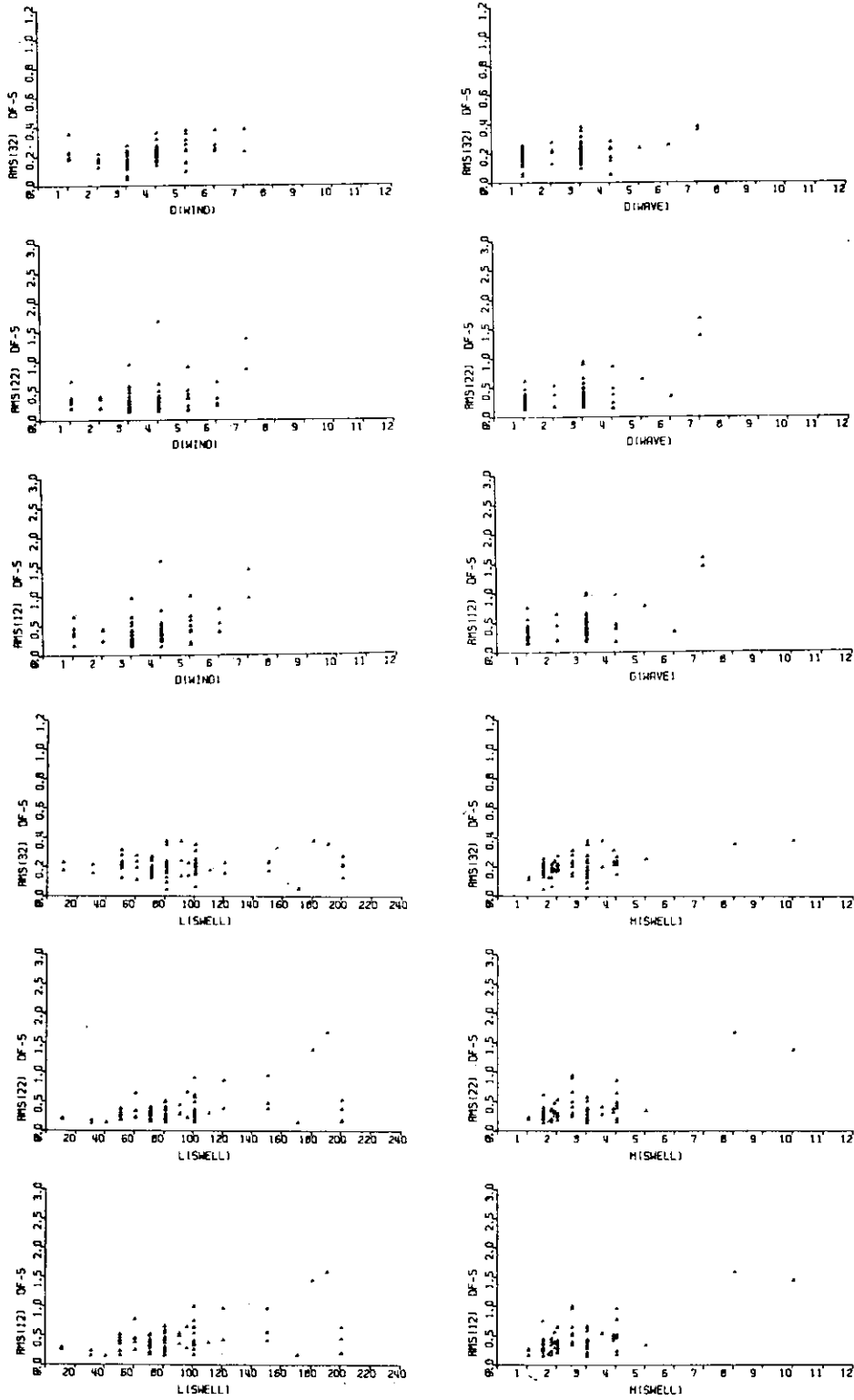


図 3.1.23 海象又は気象と応力(複根中のRMS,2F)

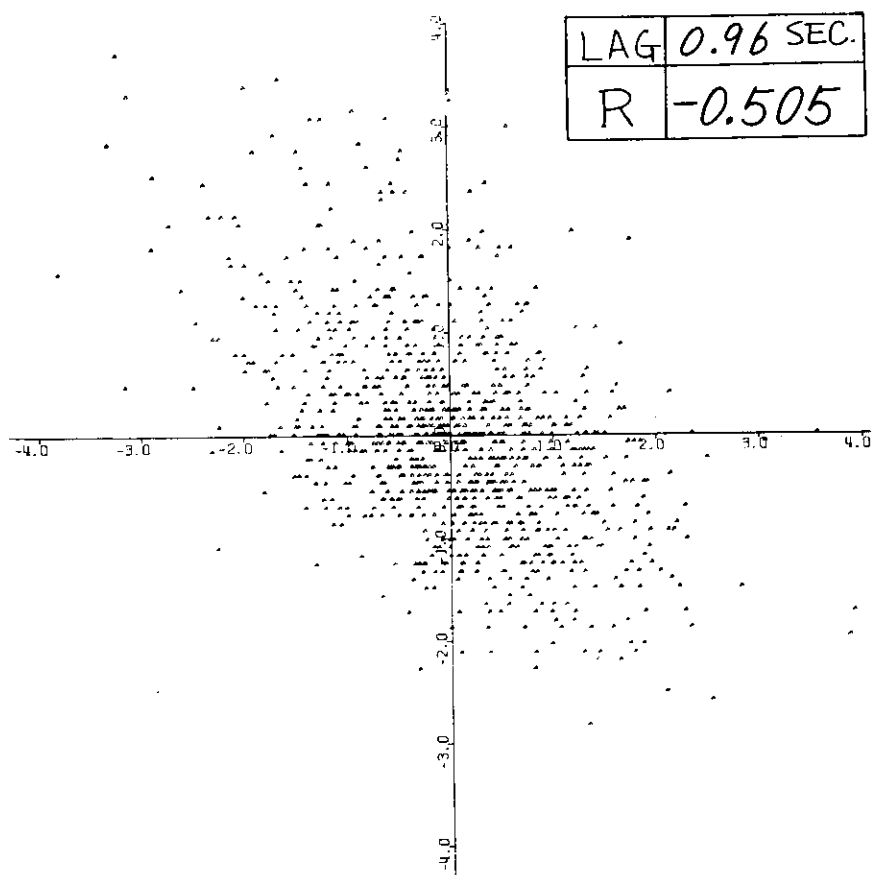
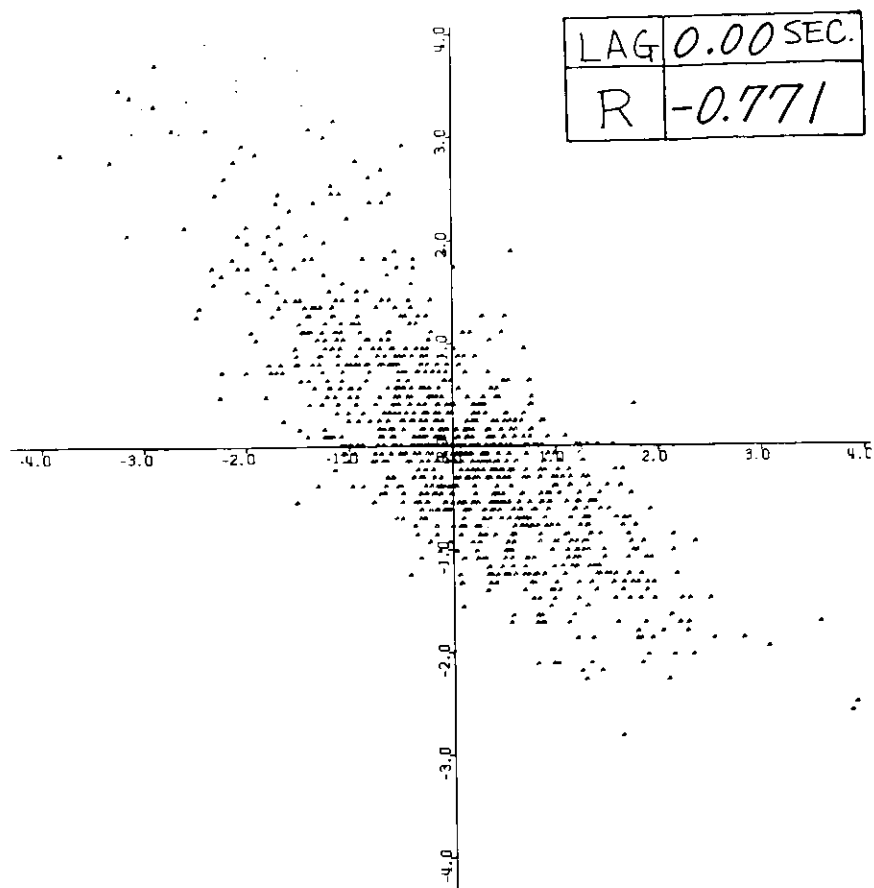


図 3.2.2 縦応力と縦揺角の相関係数とデータ散布図(紀見丸/次航)(1)

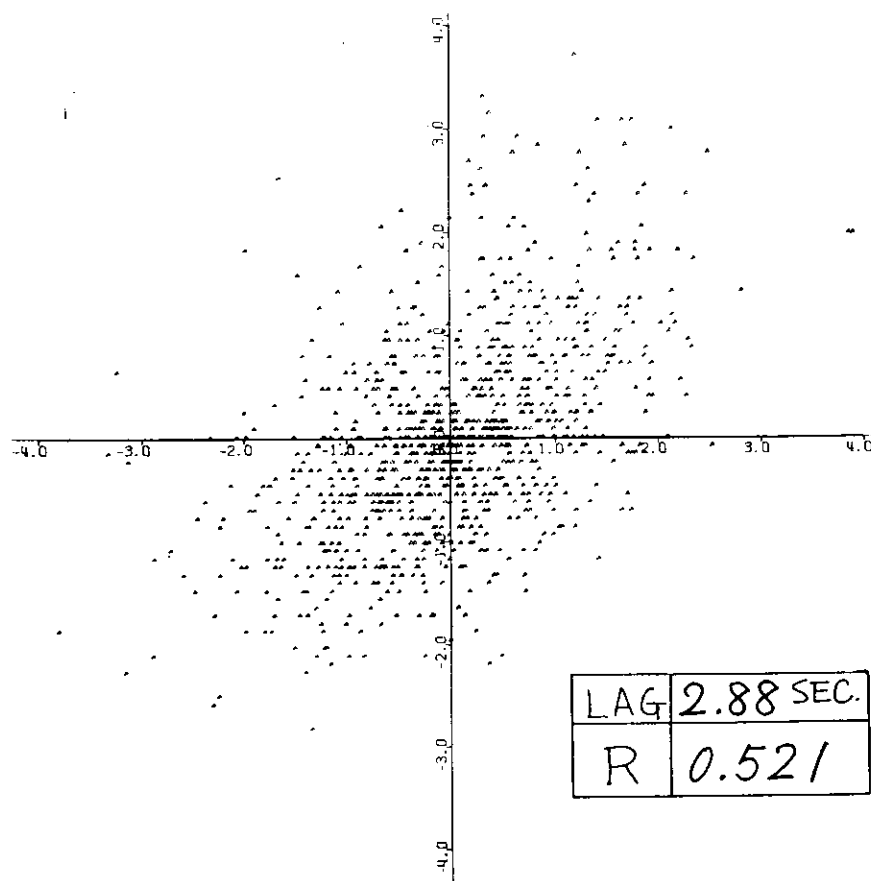
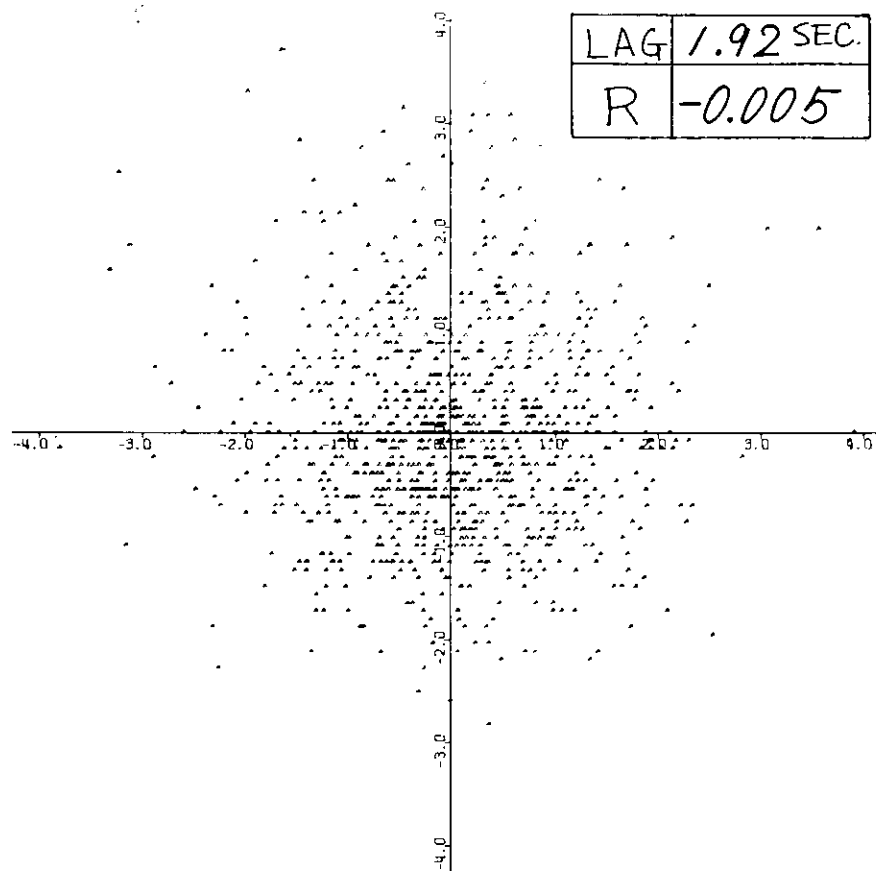


図3.2.2 縦応力と縦揺角の相関係数とデータ散布図 (紀見丸1次航) (2)

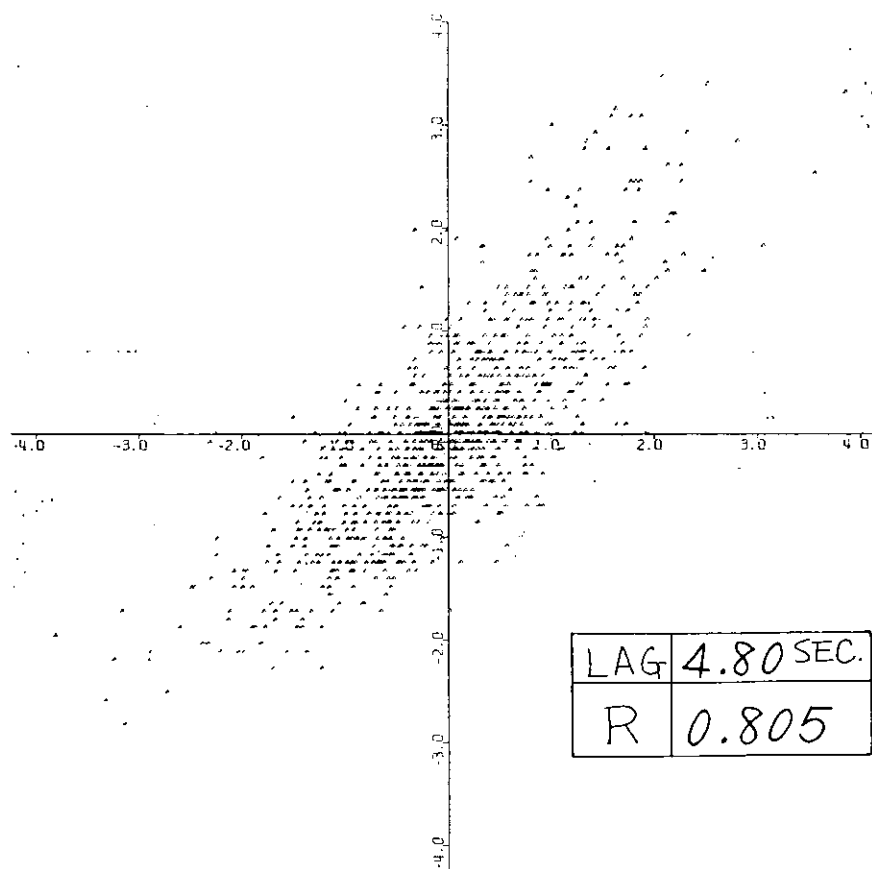
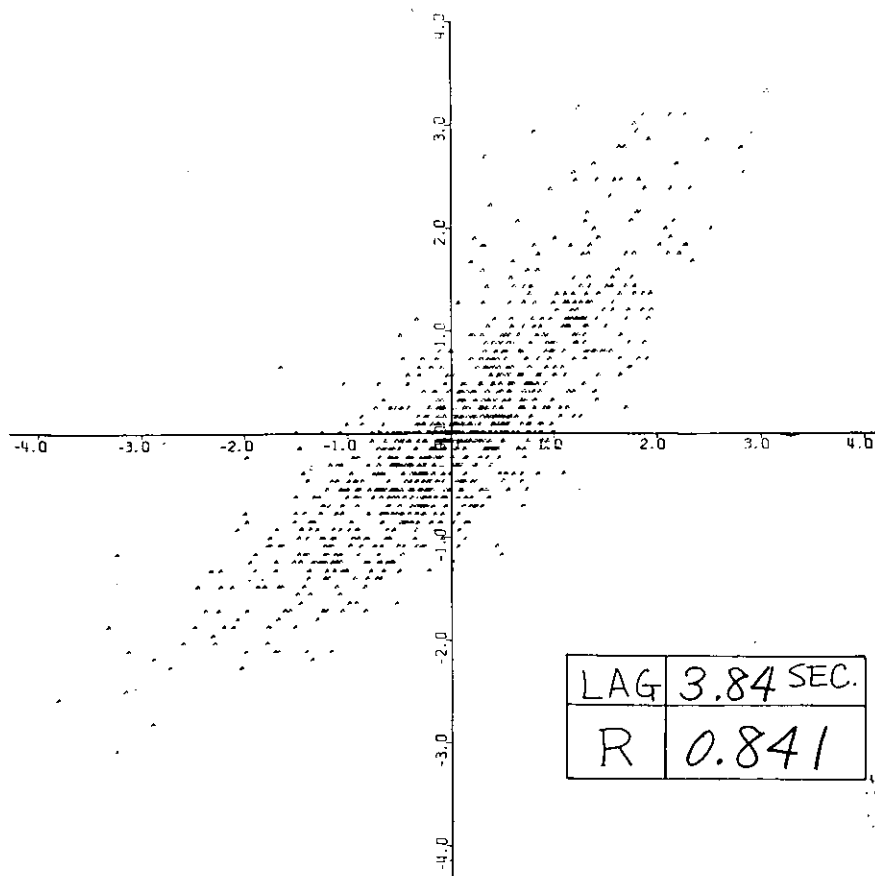


図 3.2.2 縦応力と縦揺角の相関係数とデータ散布図(紀見丸1次航)(3)

紀見丸
 Test No. 1218
 CAL. 500 μ strain
 10°

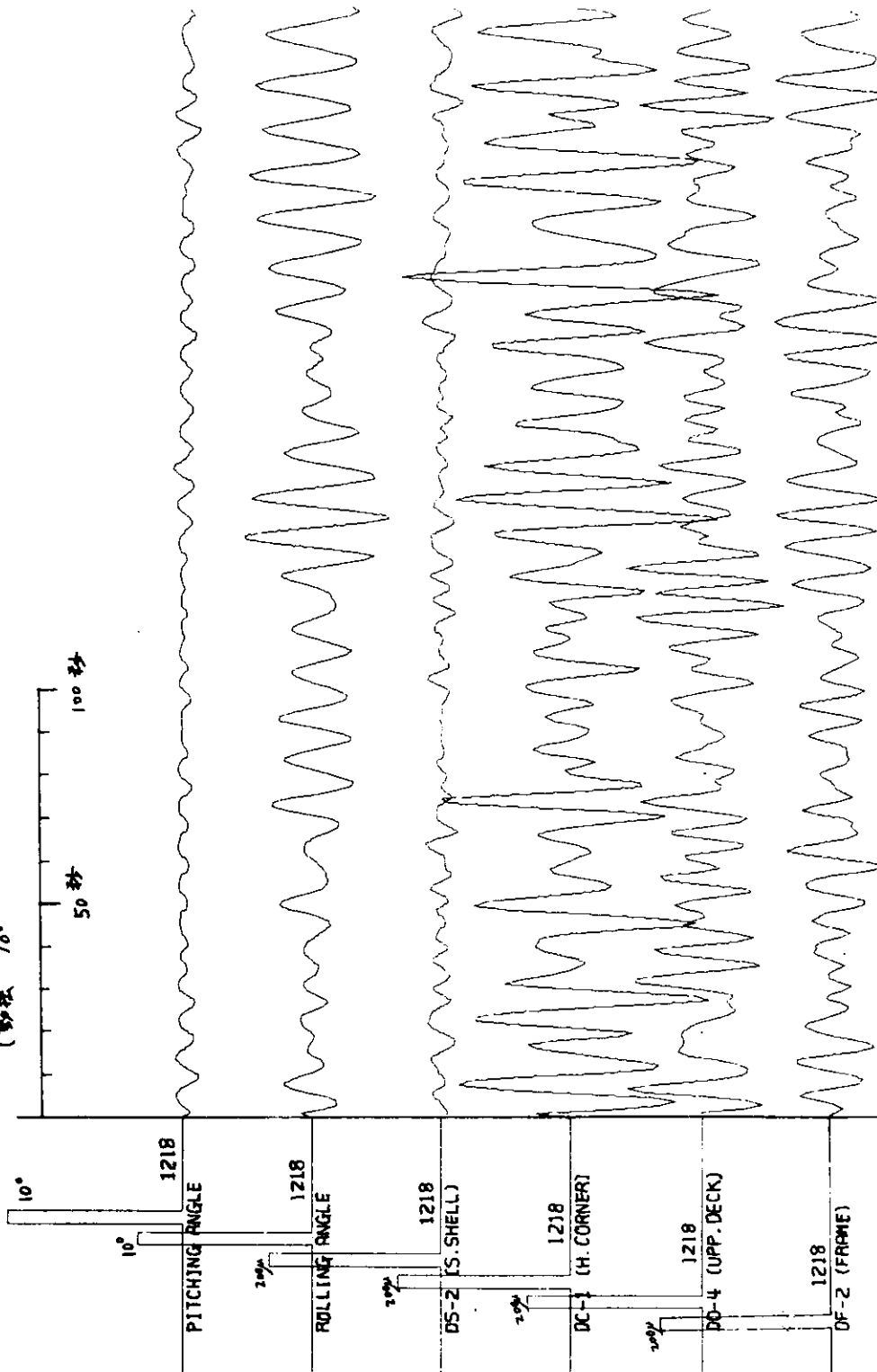


図 3.2.3. 計測データの例

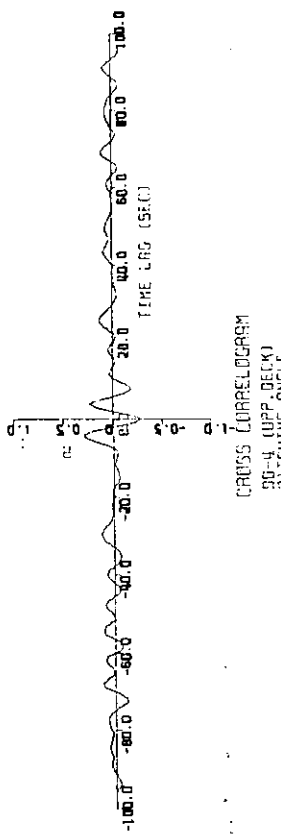
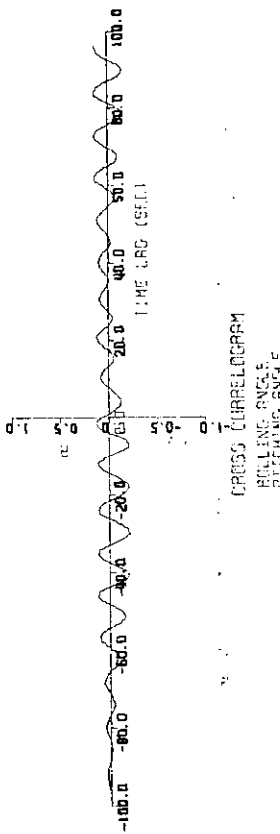
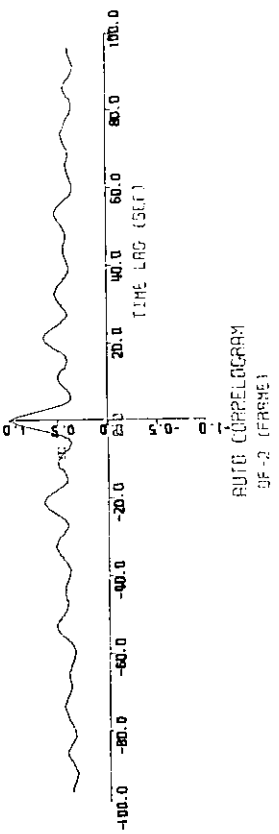
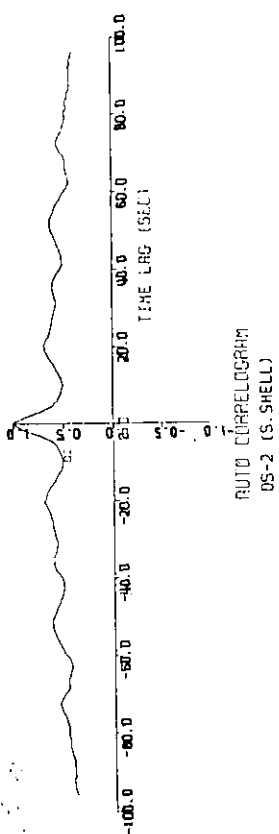
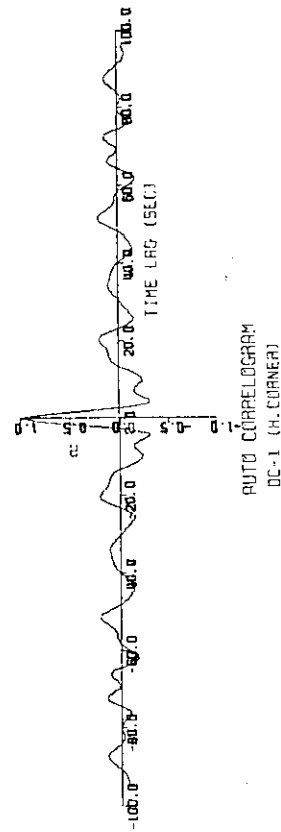
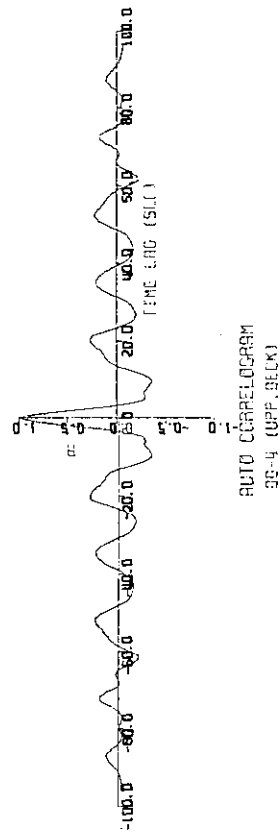
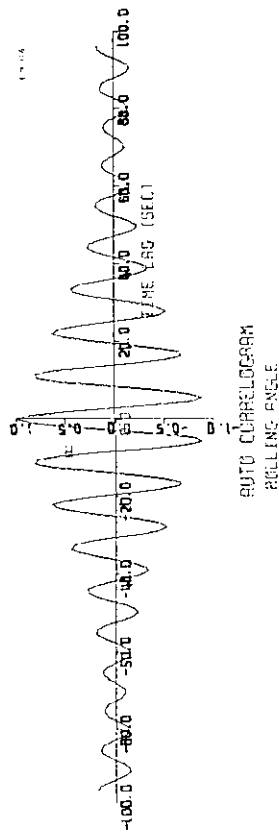
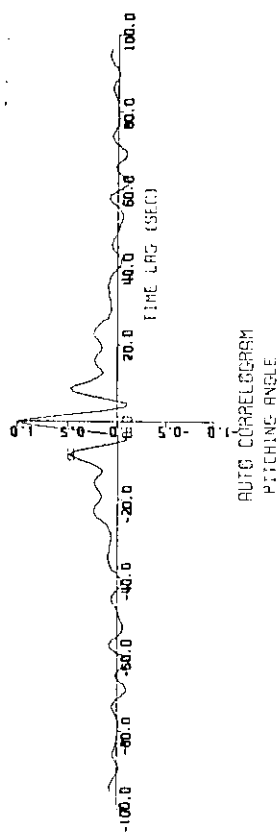


図 3.2.4. プログラム (総見丸 Test No. 1206 の 1)

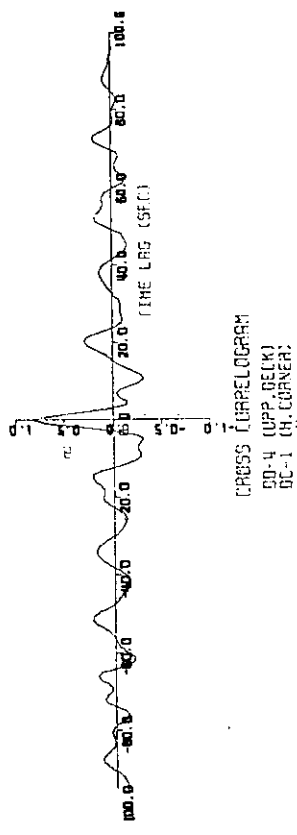
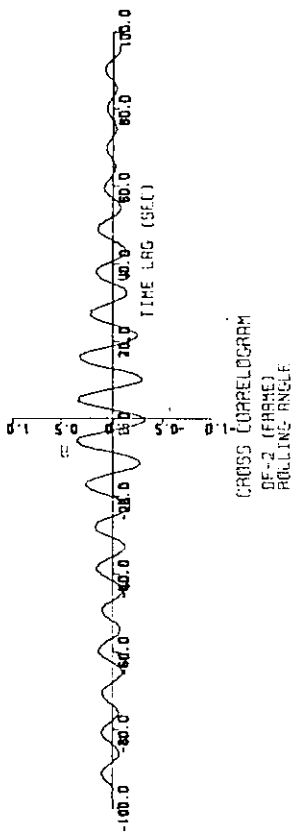
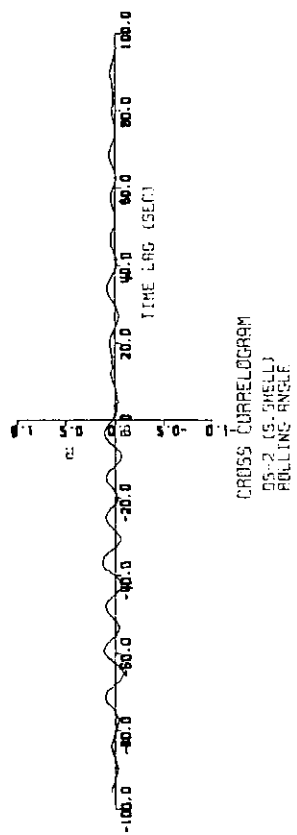
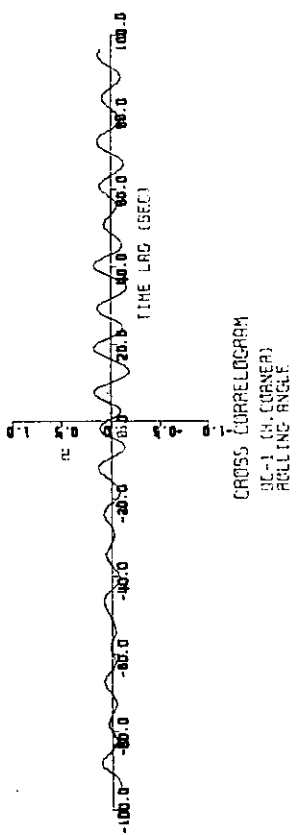
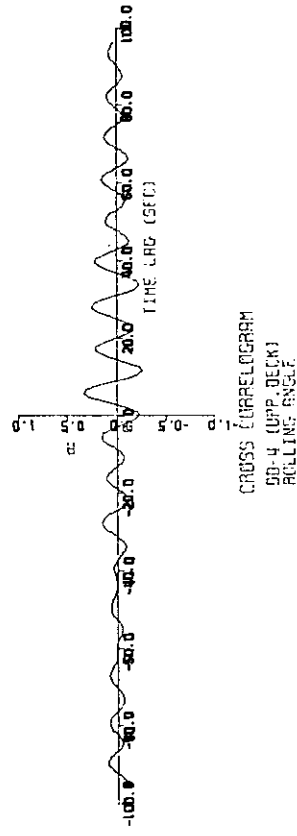
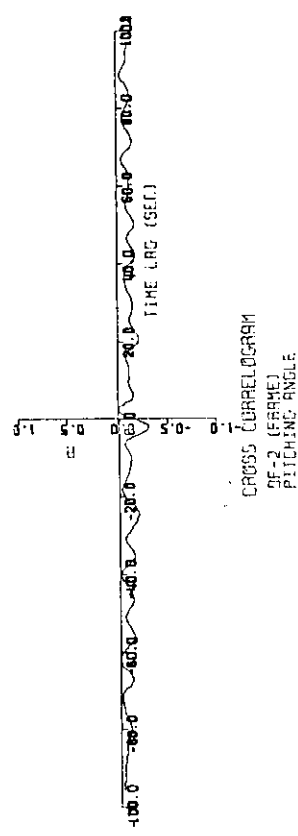
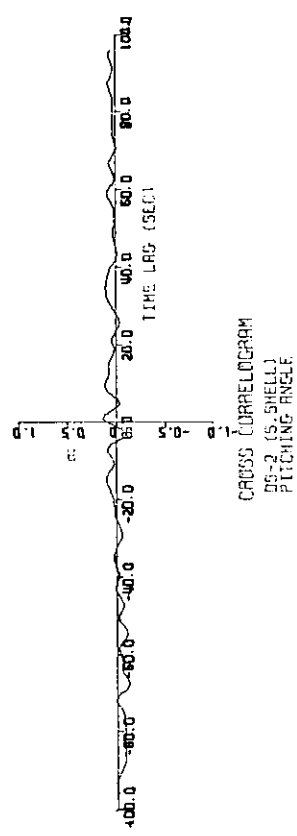
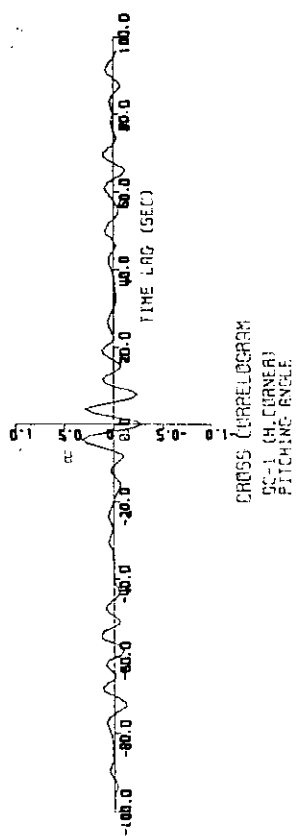
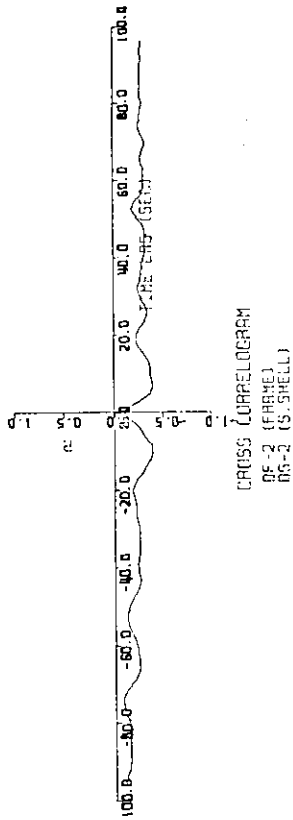
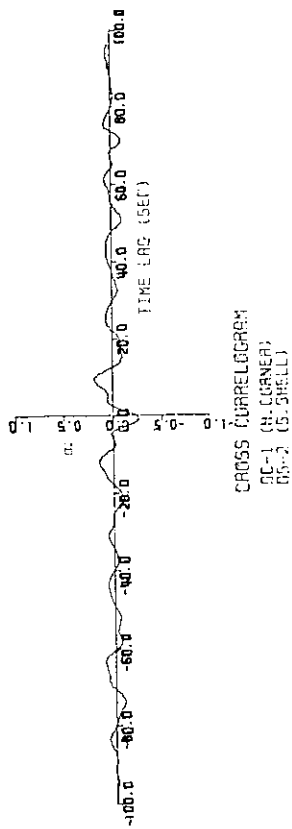
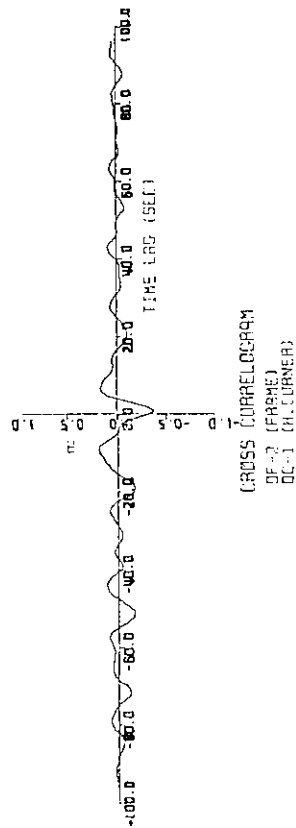
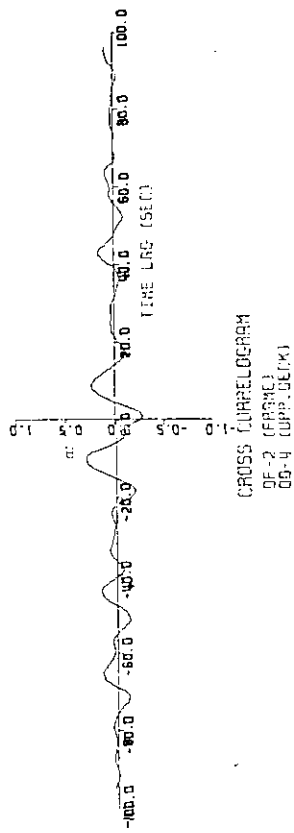
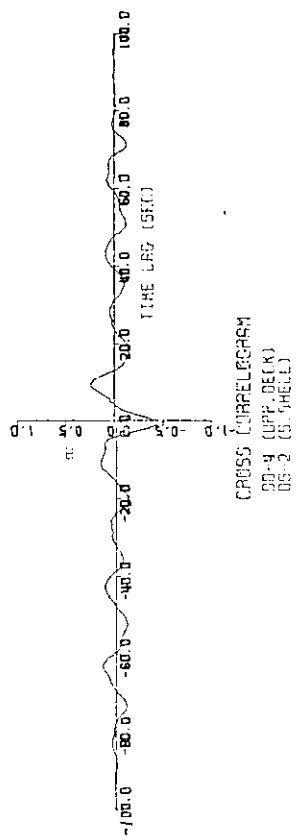
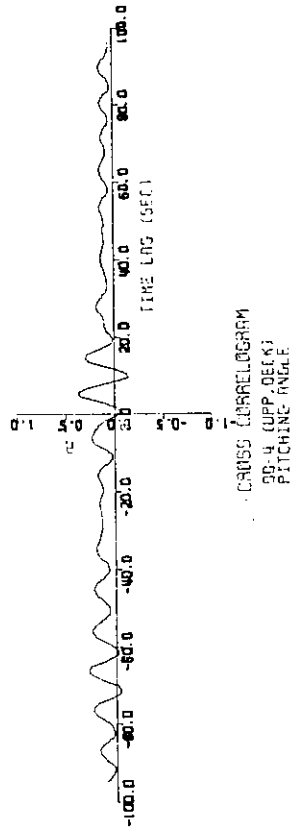
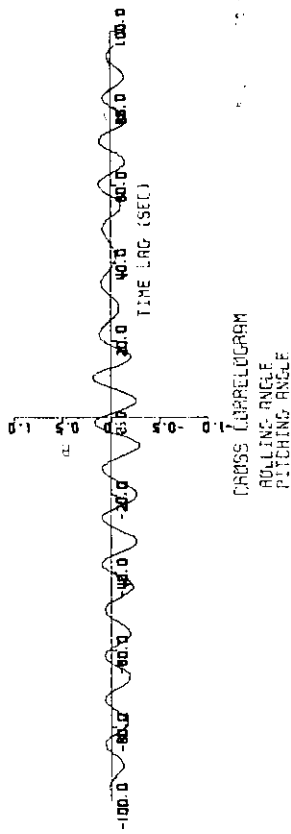
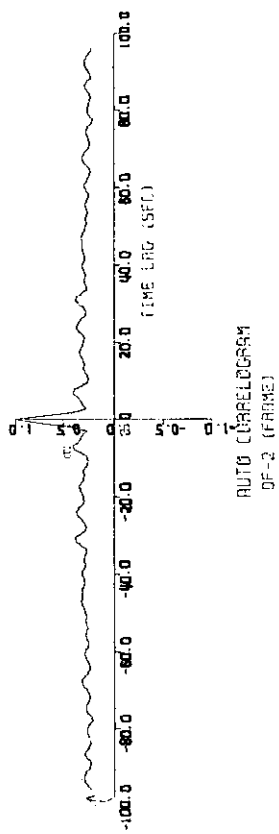
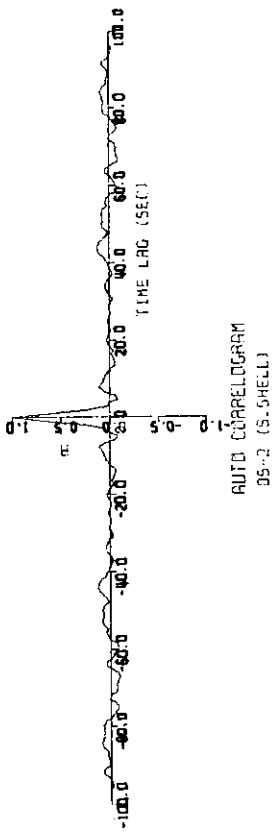
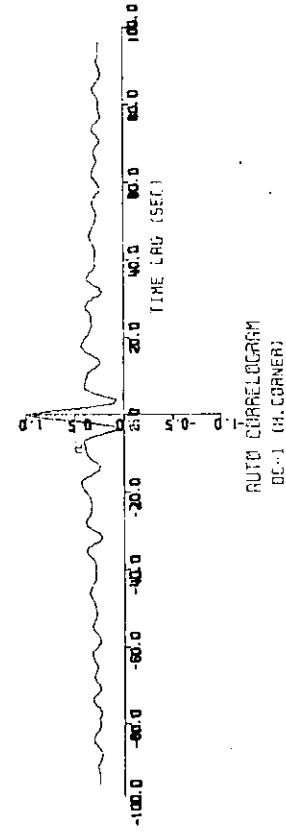
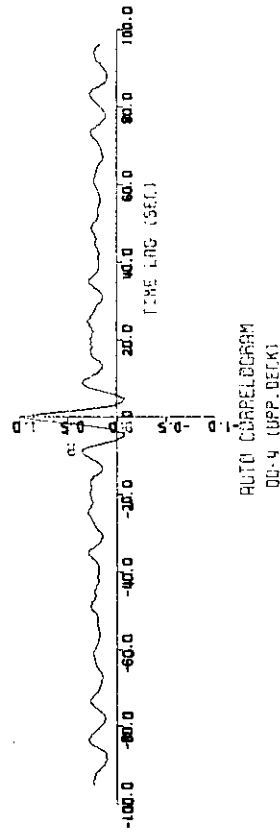
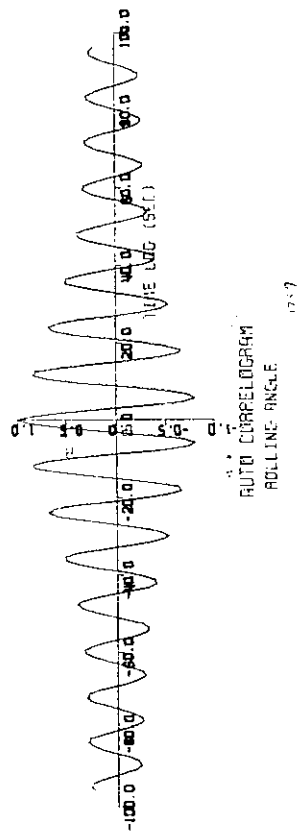
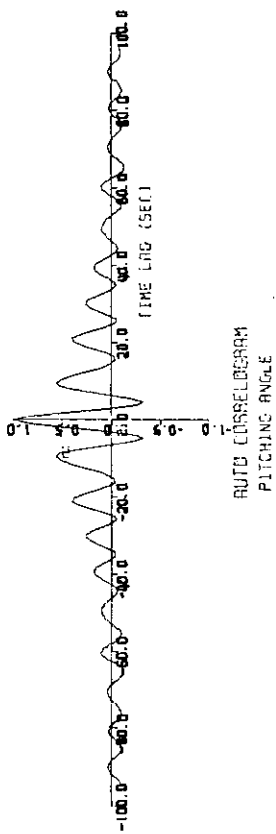


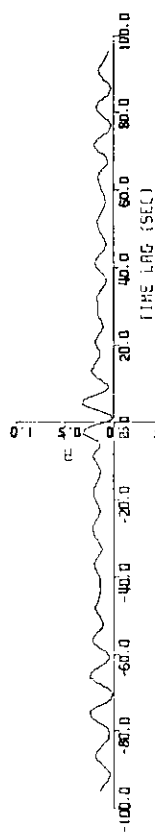
図 3.2.5 コログラム (紀見丸 Test NO. 1206 の 2)



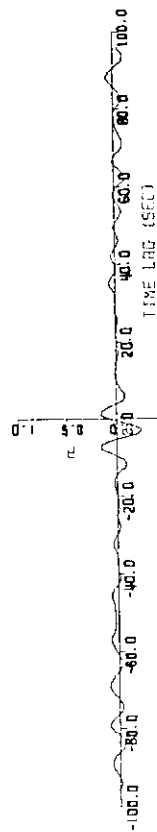
☑ 3.2.6 コログラム (紀見丸 Test No. 1206 の3)



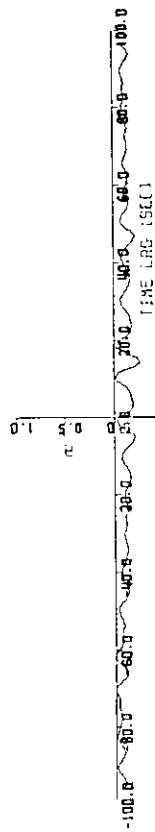
3.2.7 コログラム (紀見丸 Test No 1207 の1)



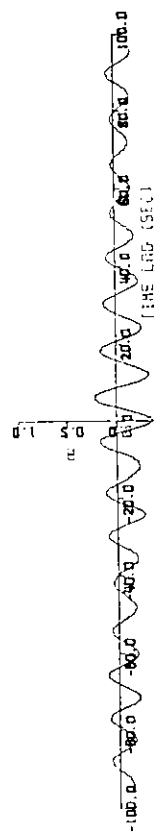
CROSS CORRELOGRAM
DC-1 (H. CORNER)
PITCHING ANGLE



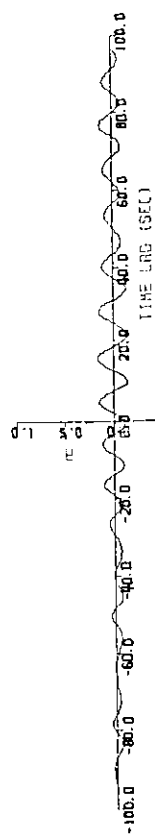
CROSS CORRELOGRAM
DC-2 (S. SHELL)
PITCHING ANGLE



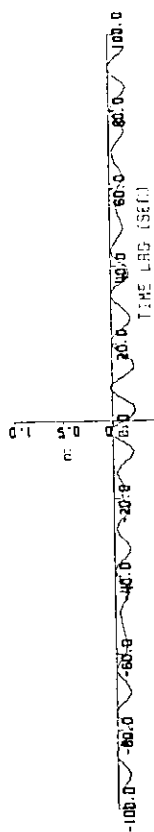
CROSS CORRELOGRAM
DC-2 (FRAME)
PITCHING ANGLE



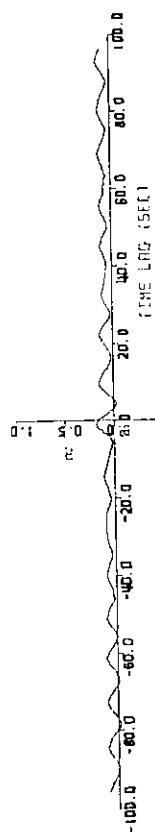
CROSS CORRELOGRAM
DC-4 (UPP. DECK)
ROLLING ANGLE



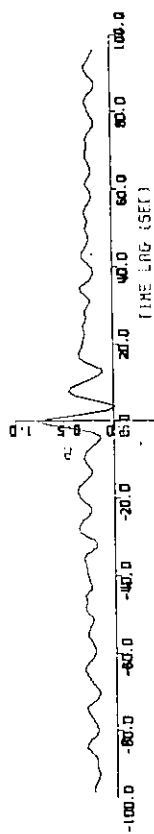
CROSS CORRELOGRAM
DC-2 (S. SHELL)
ROLLING ANGLE



CROSS CORRELOGRAM
DC-1 (H. CORNER)
ROLLING ANGLE

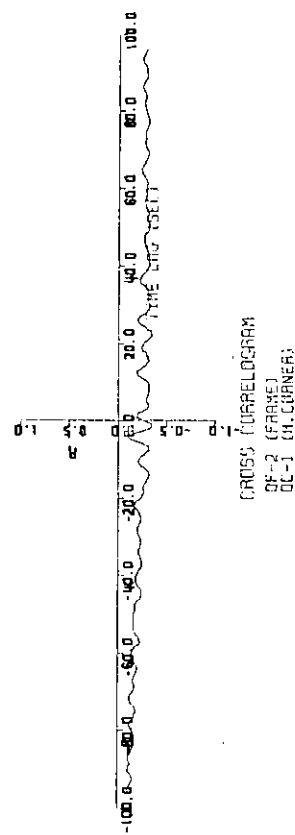
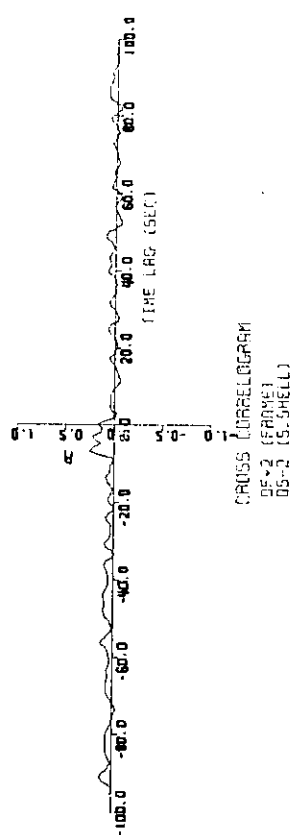
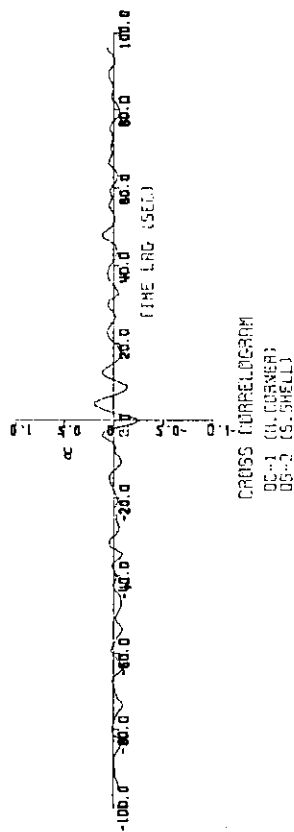
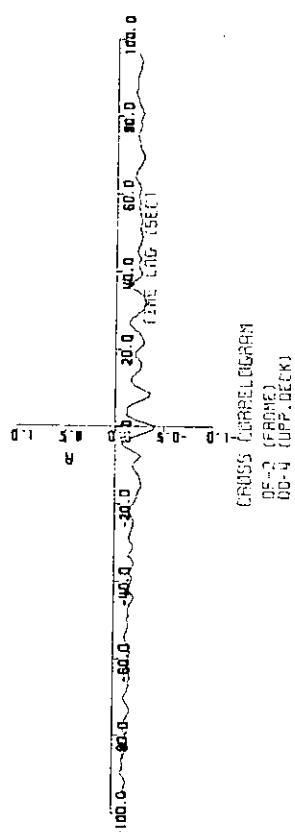
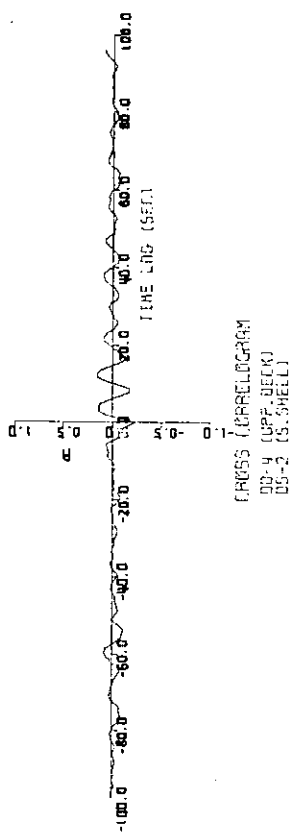


CROSS CORRELOGRAM
DC-2 (FRAME)
ROLLING ANGLE

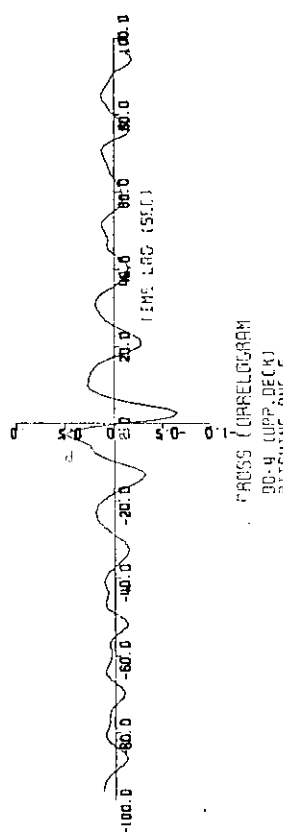
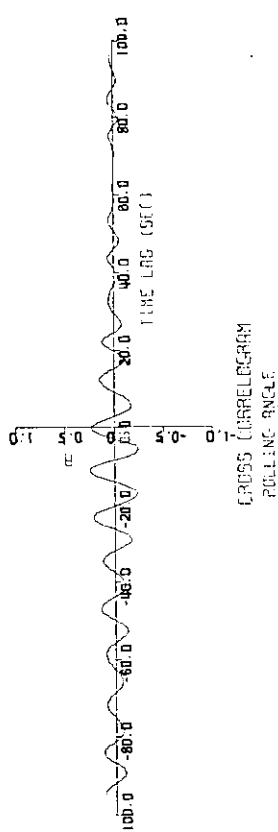
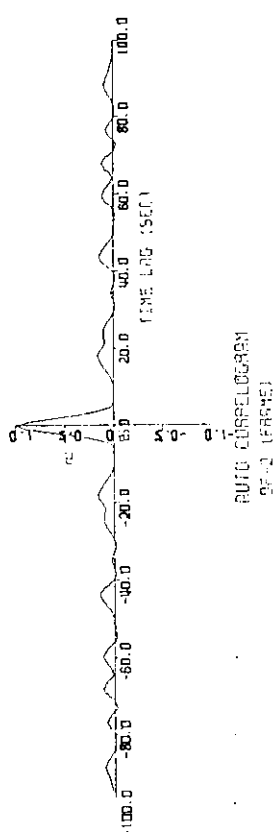
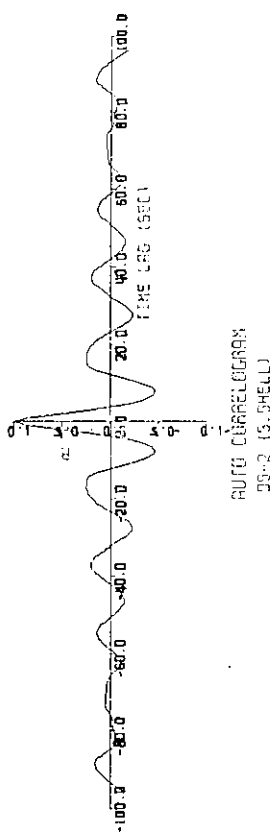
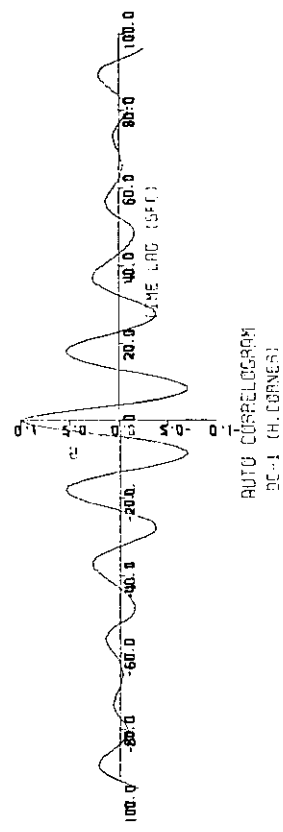
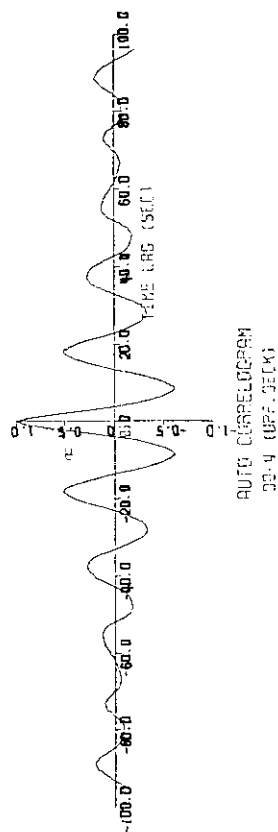
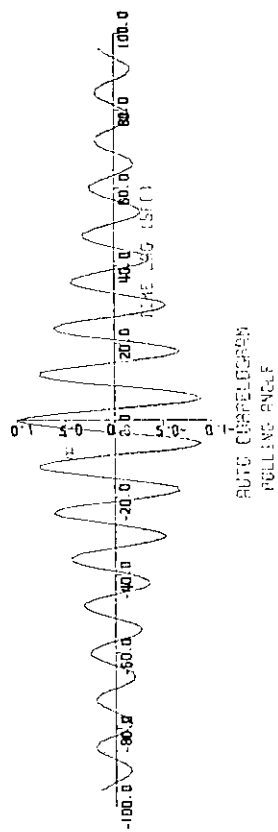
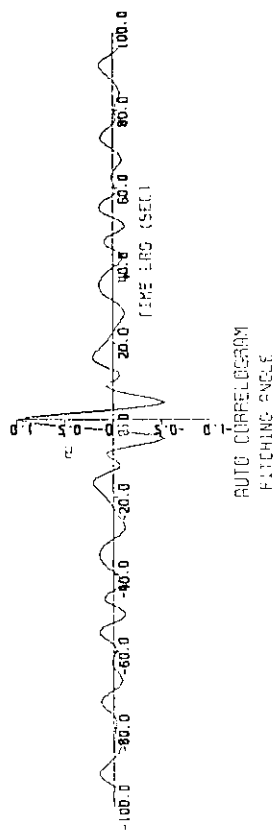


CROSS CORRELOGRAM
DC-4 (UPP. DECK)
ROLLING ANGLE

図 3.2.8 コログラム (紀見丸 Test No. 1207 の 2)



☒ 3.2.9 グロブグラフ (紀見丸 Test No. 1207 の3)



3.2.10 コログラフ (総見丸 Test No. 1212 の1)

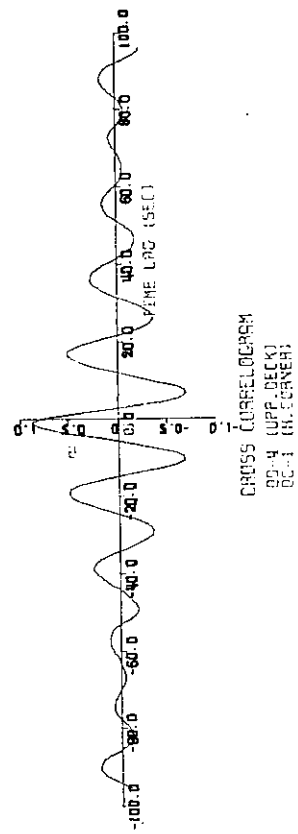
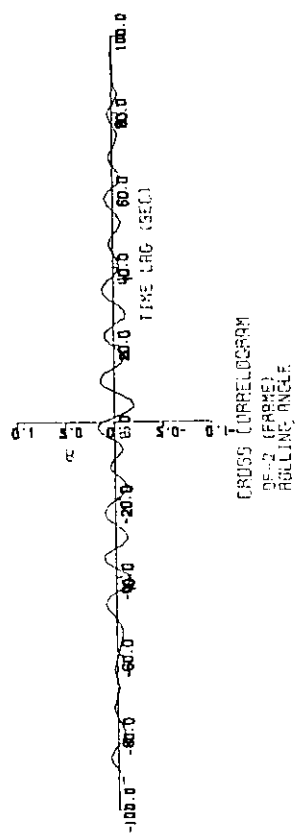
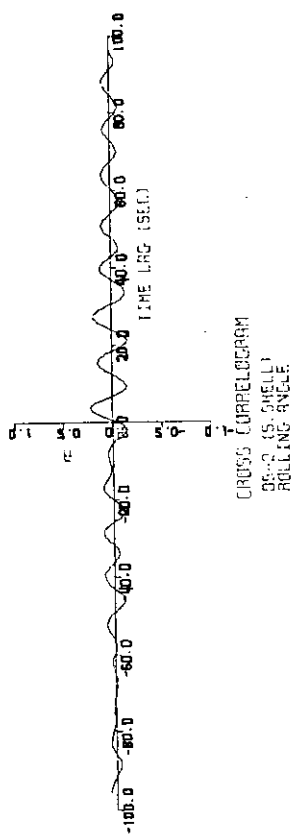
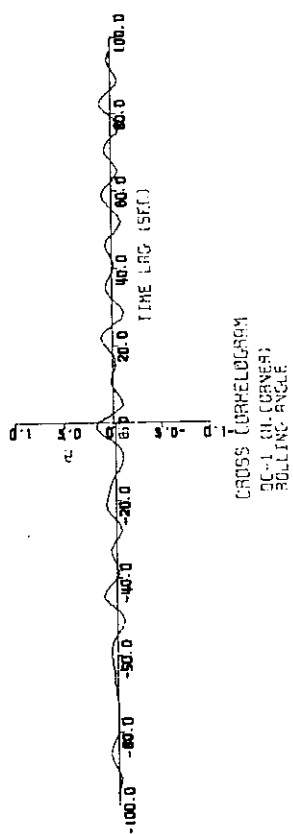
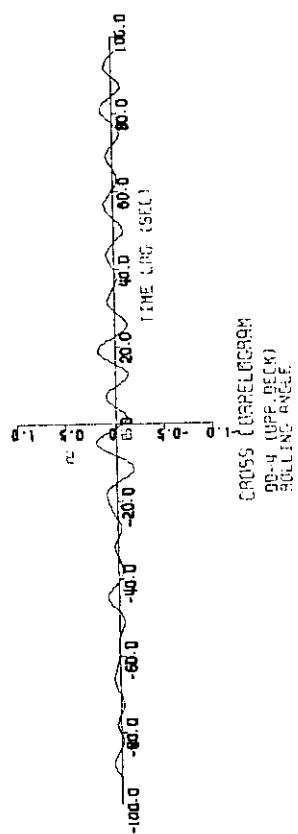
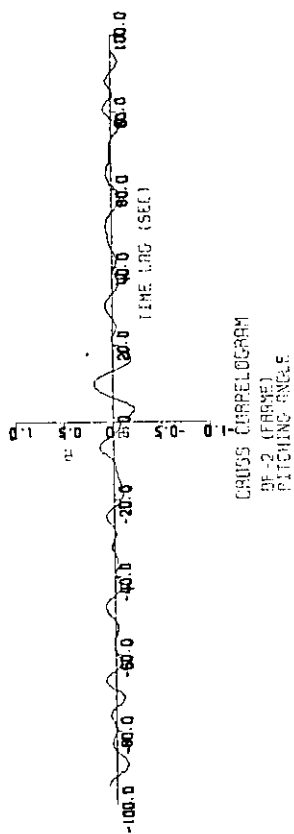
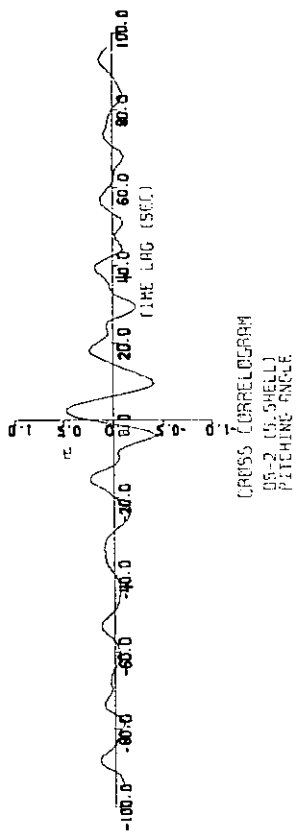
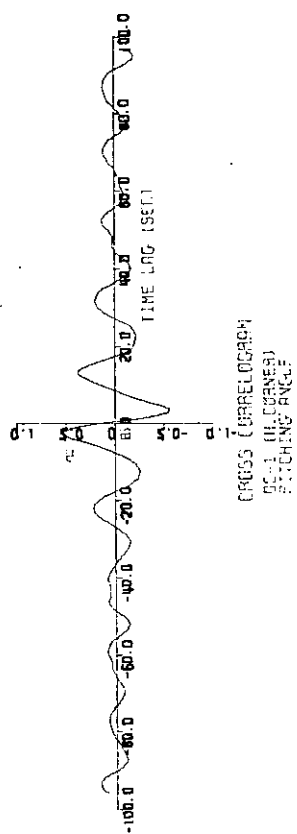
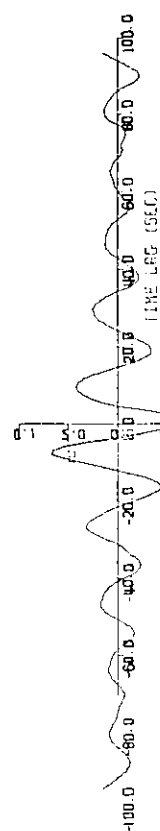
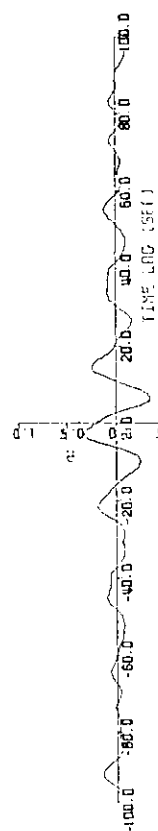


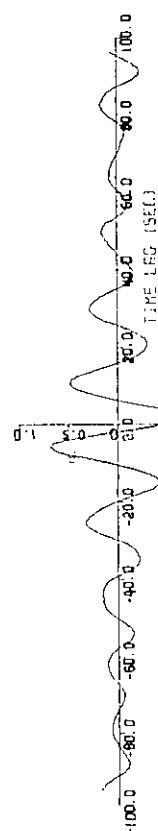
図 3.2.11 コログラム (紀見丸 Test No. 1212 の2)



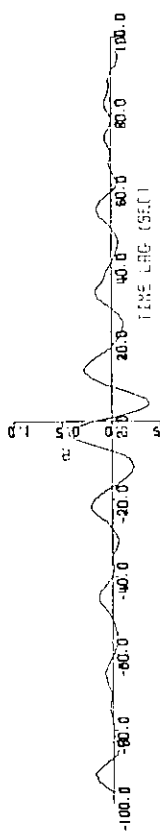
CROSS CORRELOGRAM
DF-4 (UPP-DECK)
DS-4 (S. SHELL)



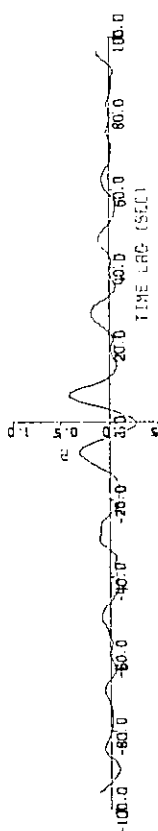
CROSS CORRELOGRAM
DF-2 (FRAME)
DS-4 (UPP-DECK)



CROSS CORRELOGRAM
DF-4 (H. CORNER)
DS-4 (S. SHELL)



CROSS CORRELOGRAM
DF-2 (FRAME)
DS-1 (H. CORNER)



CROSS CORRELOGRAM
DF-2 (FRAME)
DS-3 (S. SHELL)

図 3.2.12 コログラム (紀見丸 Test No. 1212 の3)

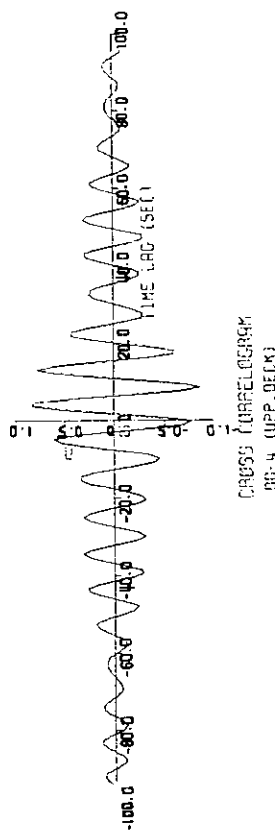
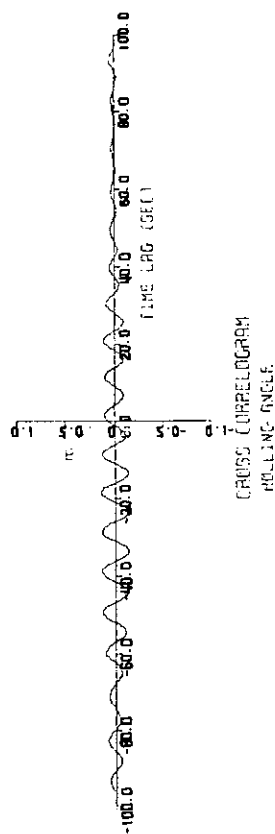
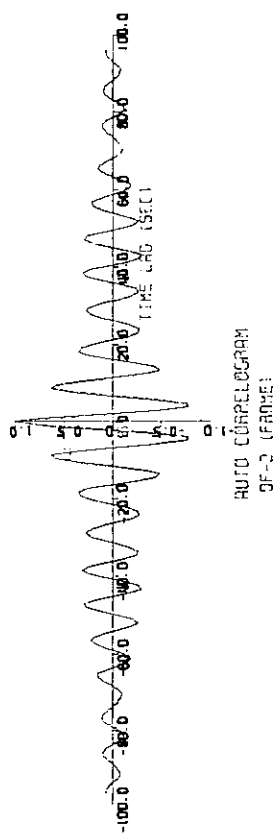
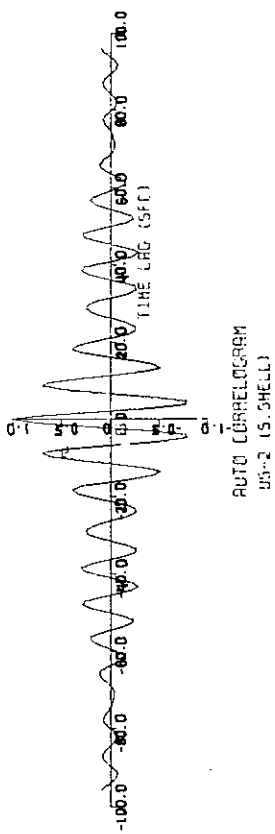
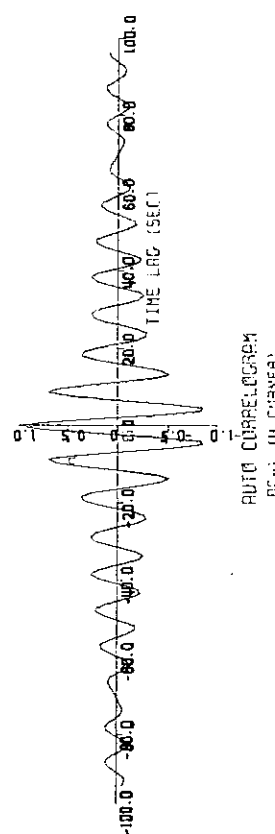
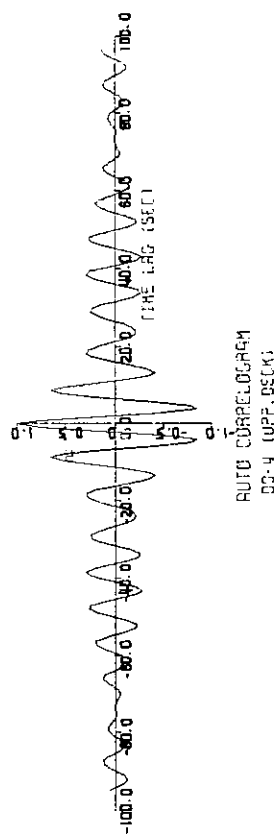
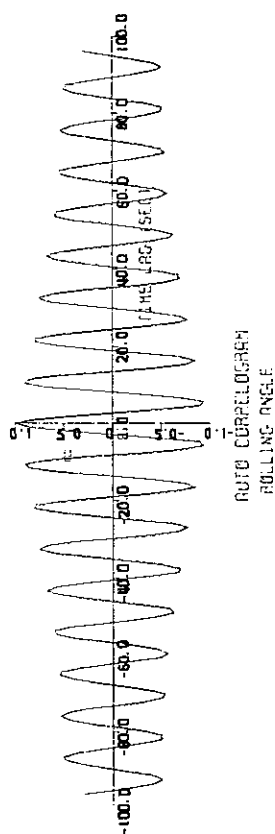
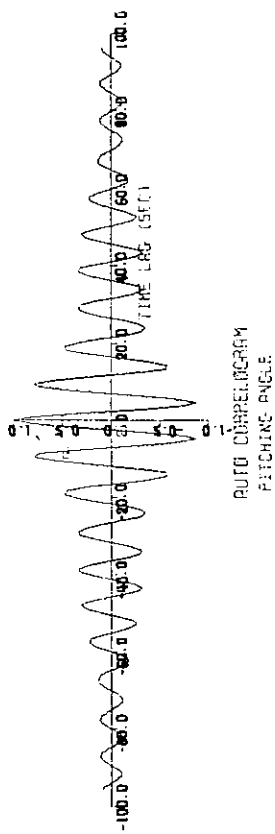


図 3.2.13 ヲログラム (紀見丸 Test No 1215 の1)

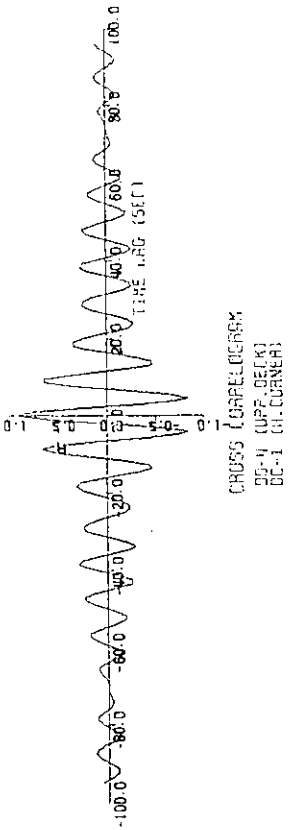
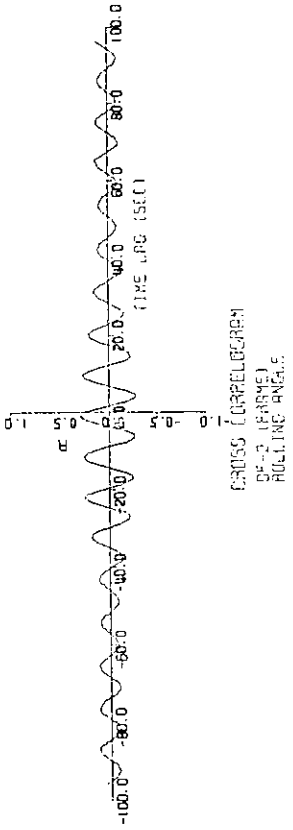
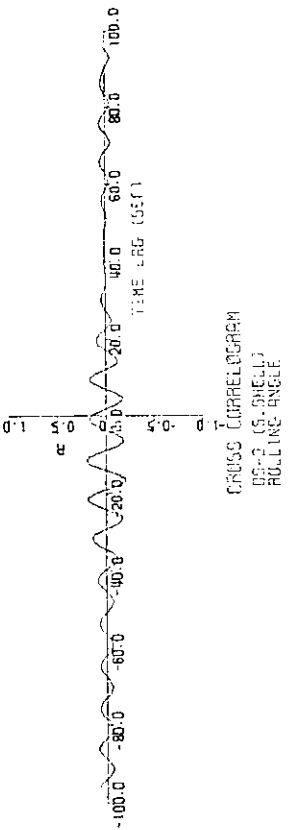
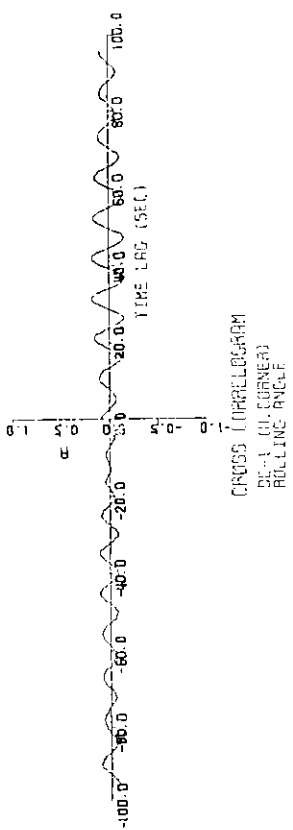
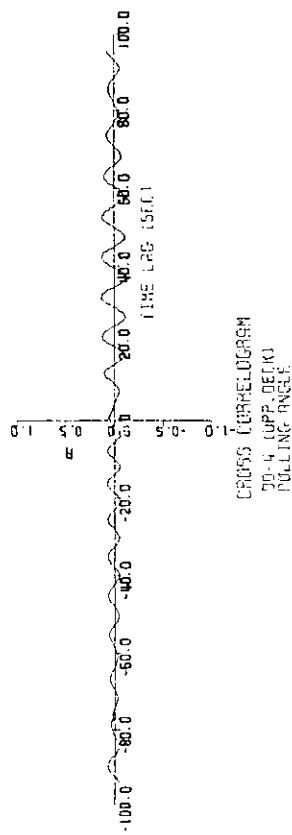
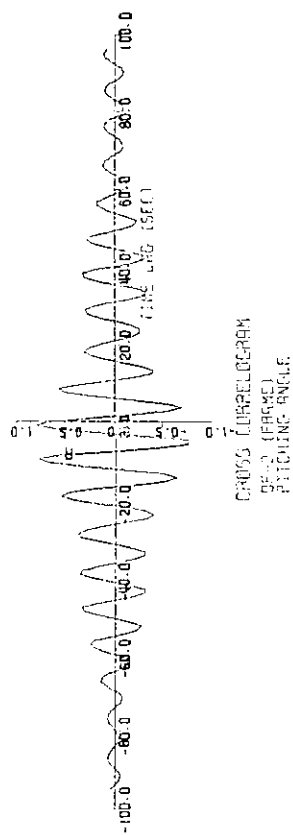
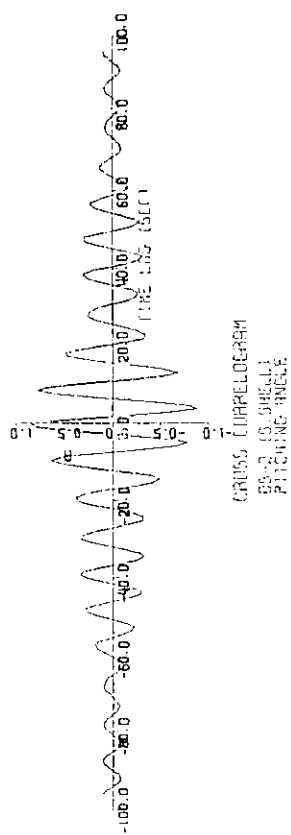
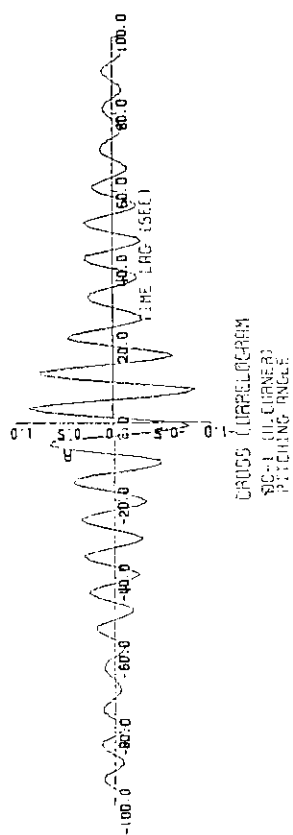
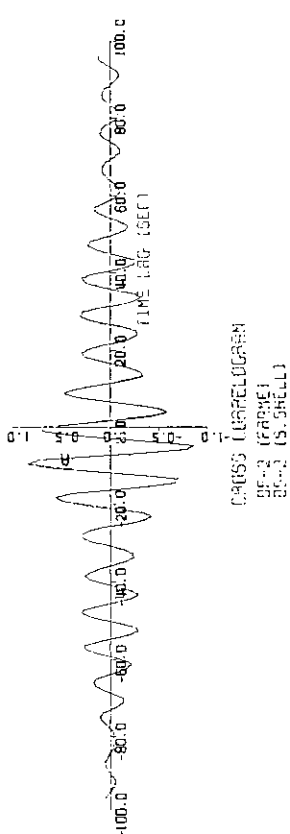
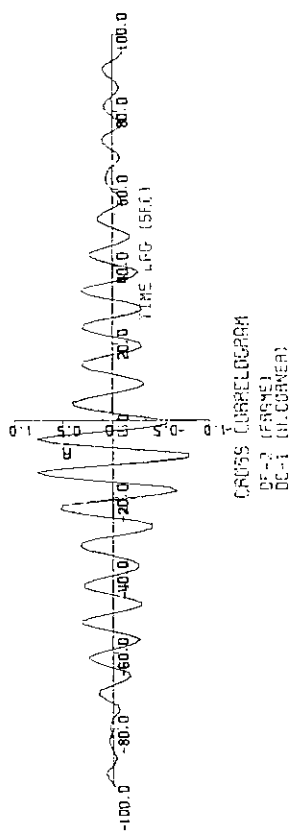
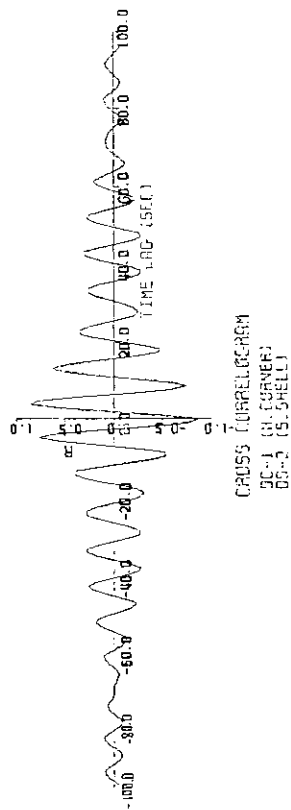
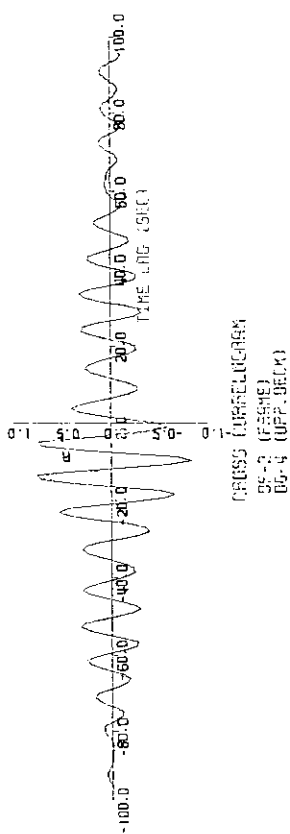
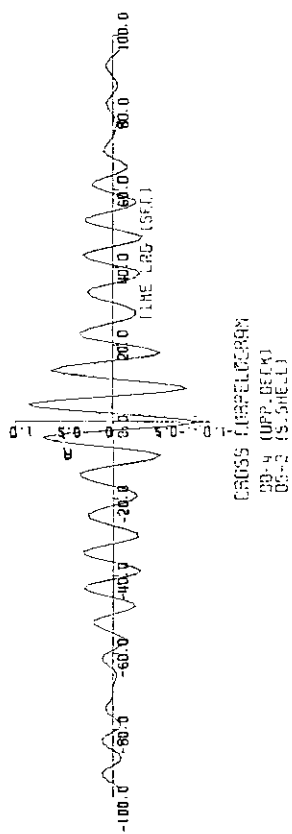
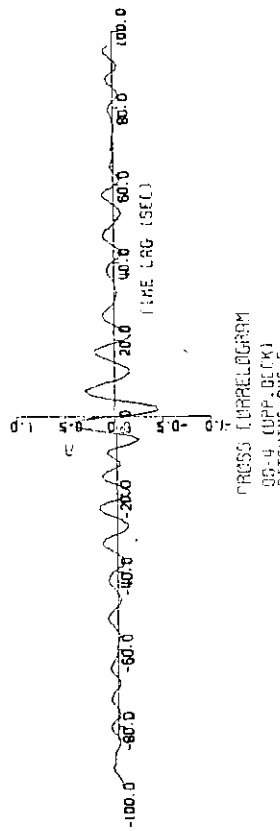
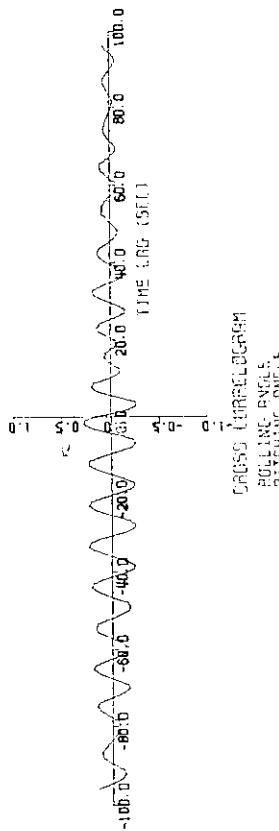
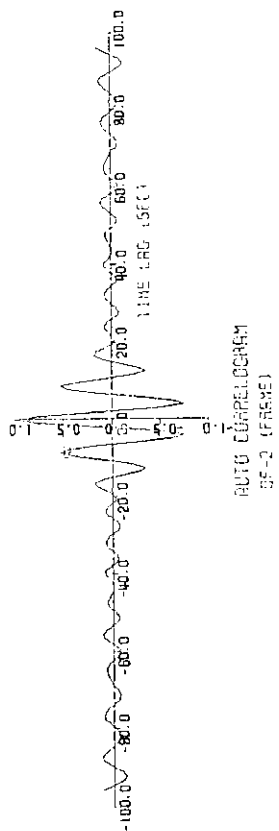
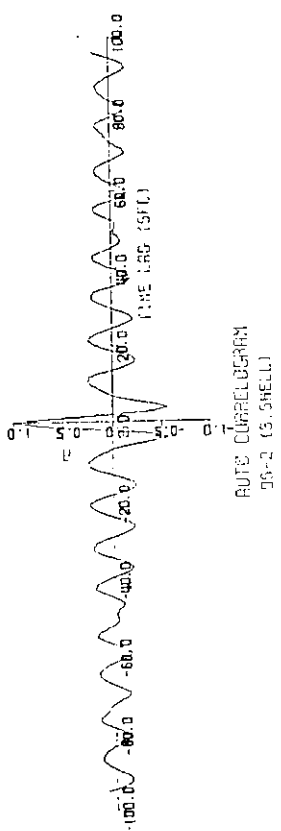
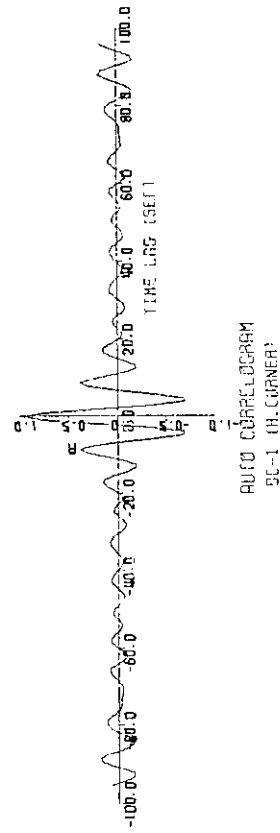
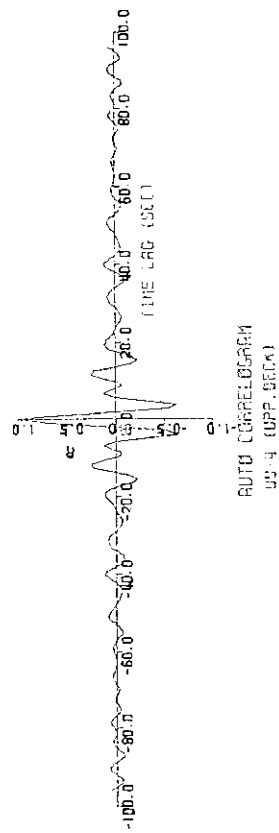
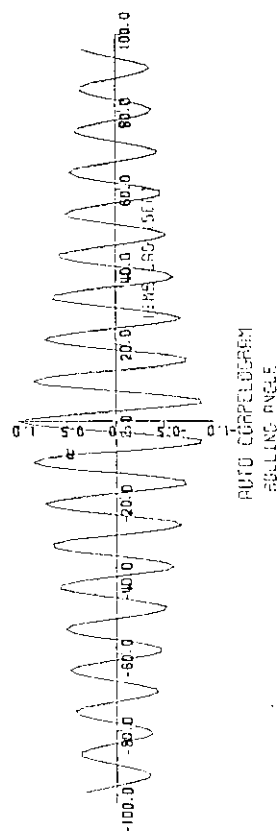
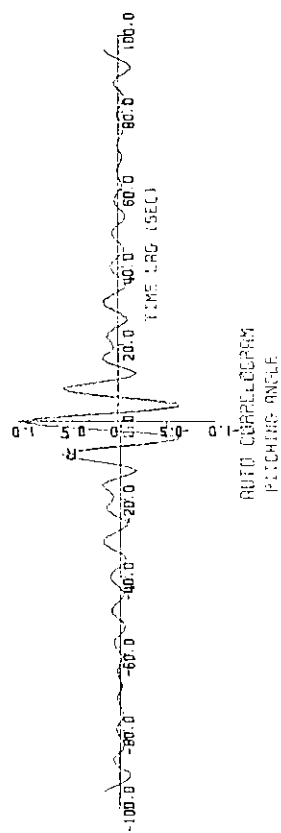


図 3.2.14 プログラム (総見れ Test No 1215 の 2)



☒ 3.2.15 クログラム (紀見丸 Test No. 12/15 の3)



3.2.16 コログラム (紀見丸 Test No. 1218 の1)

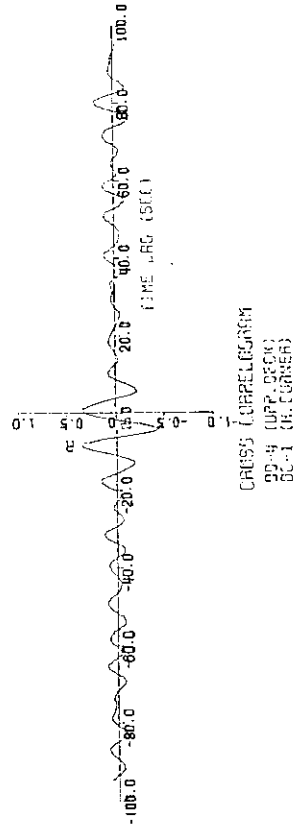
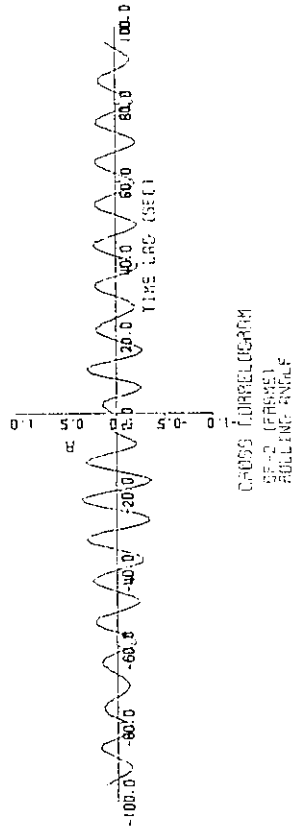
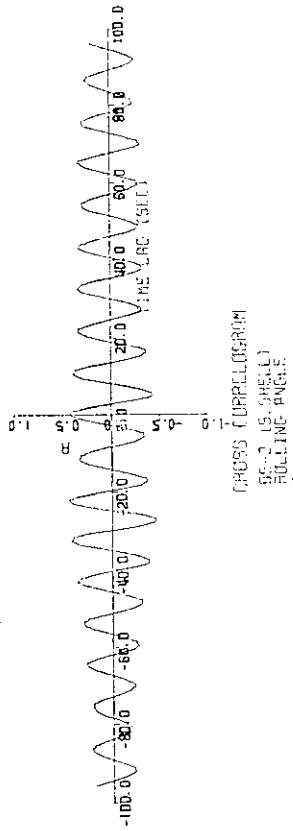
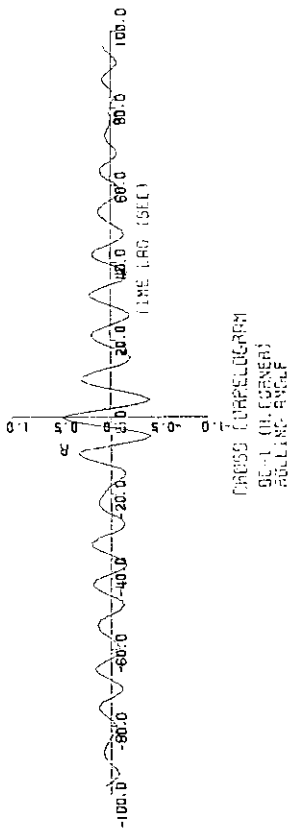
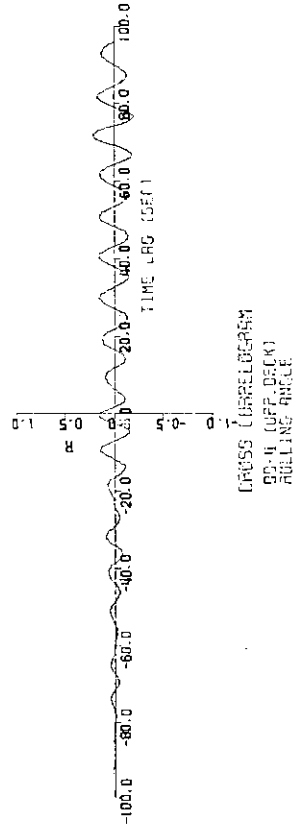
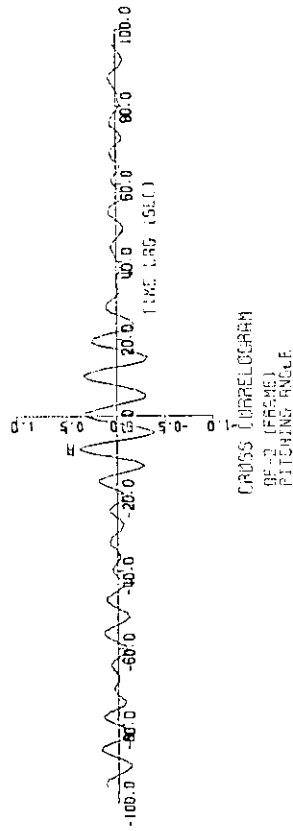
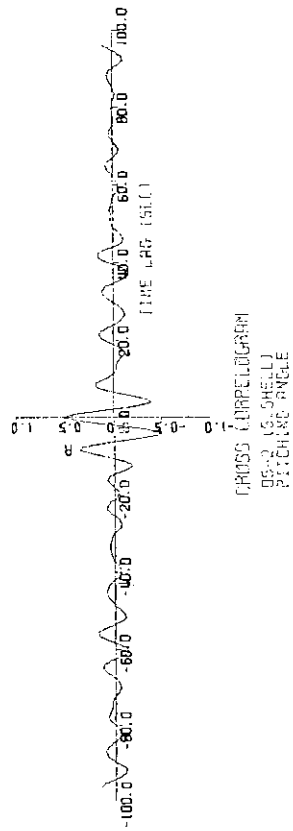
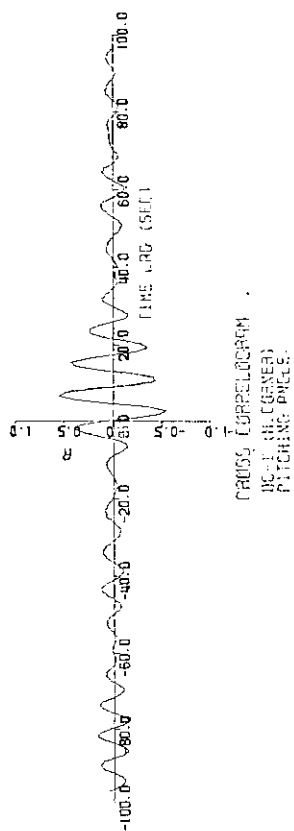
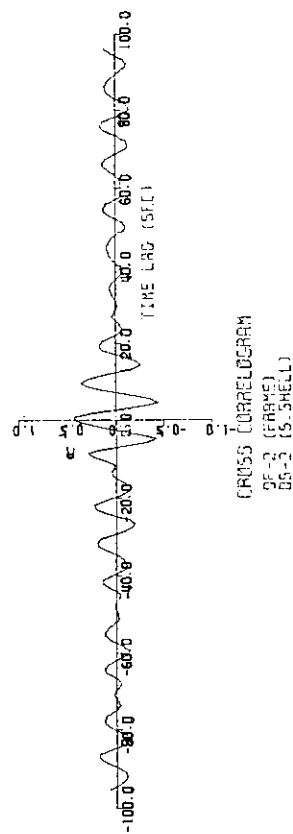
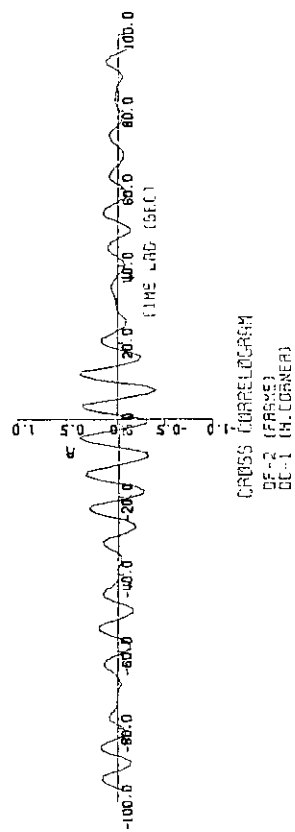
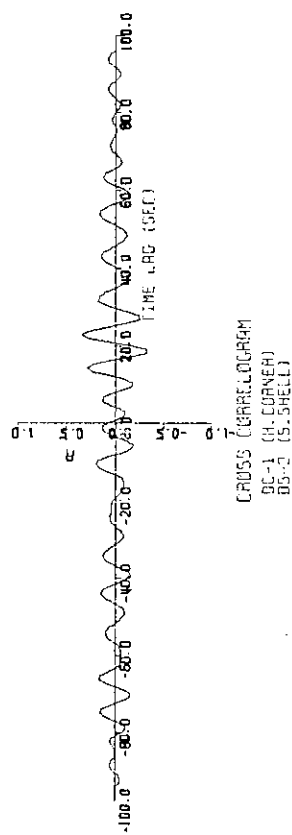
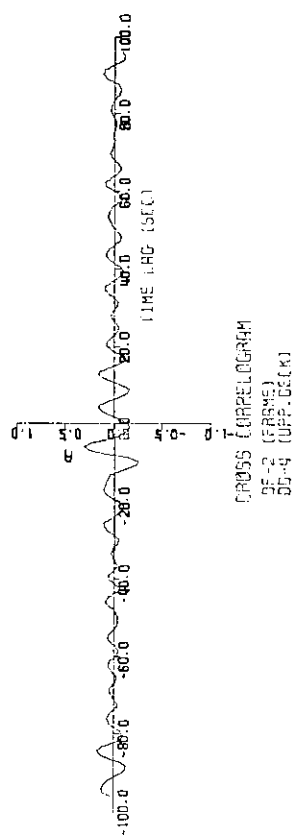
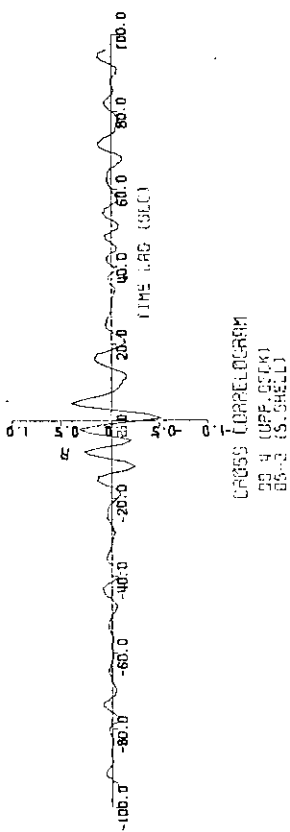


図 3.2.17 コログラム (総見丸 Test No 1218 の 2)



☑ 3.2.18 プログラム (総見丸 Test No 1218 の3)

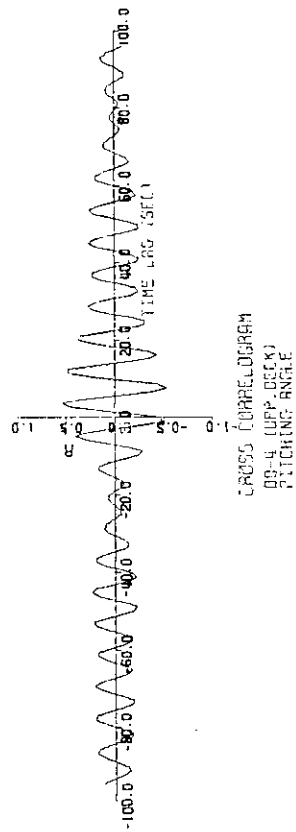
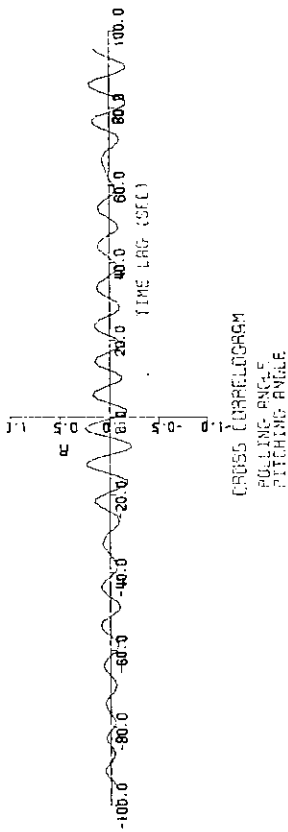
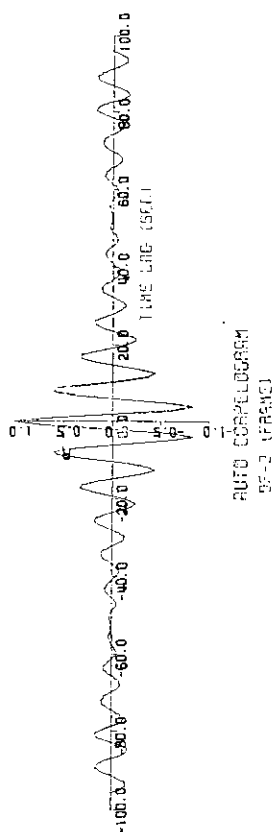
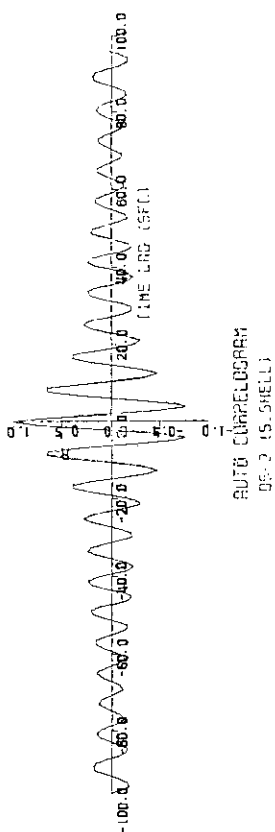
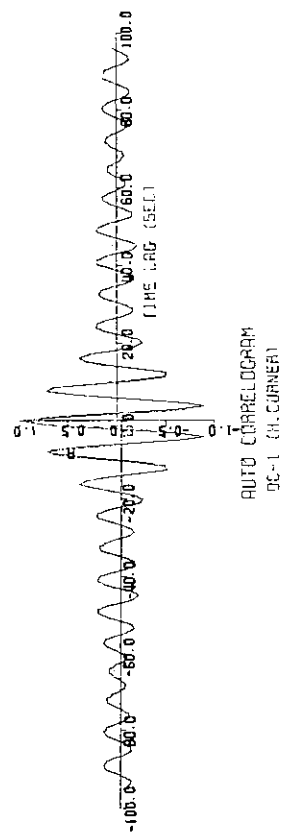
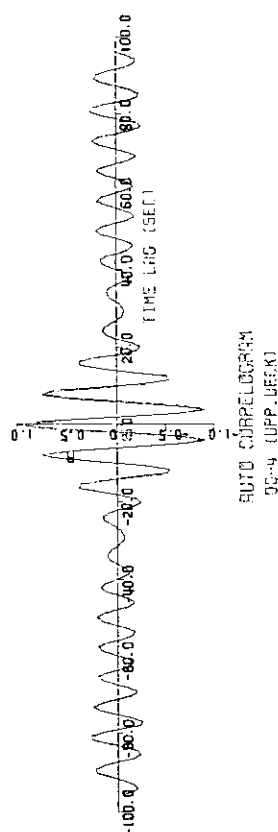
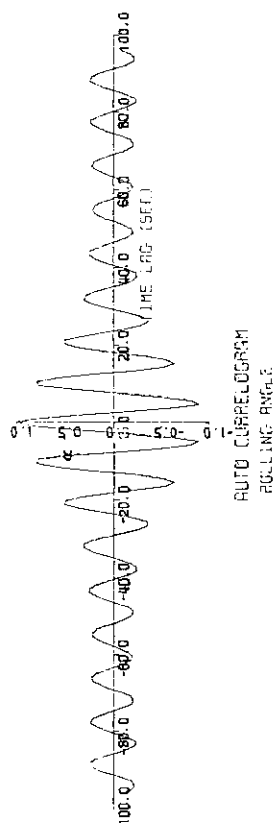
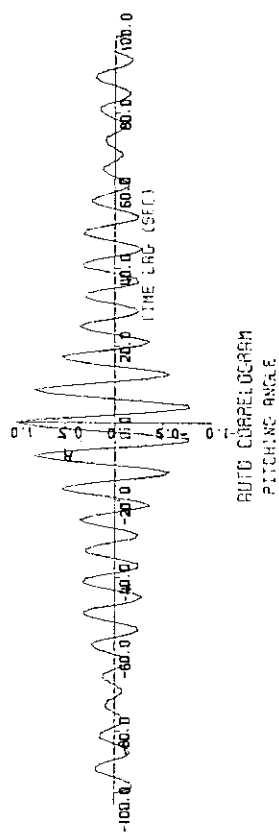
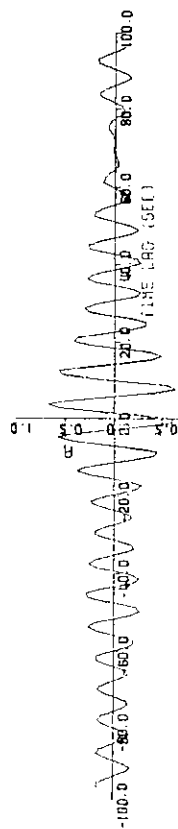
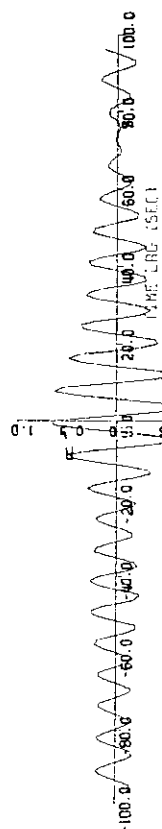


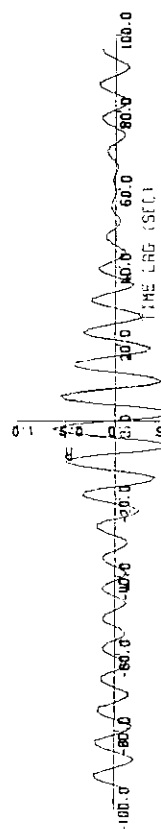
図 3.2.19 グロブグラム (紀見丸 Test No. 1219 の1)



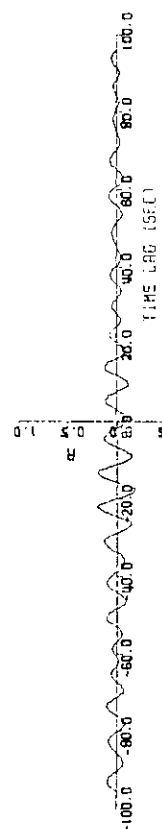
CROSS CORRELATION
DE-1 (UPPER)
DE-1 (DOWN)
PITCHING ANGLE



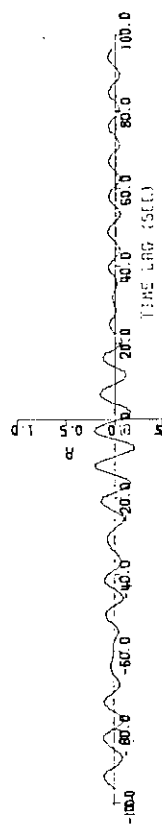
CROSS CORRELATION
DE-2 (UPPER)
DE-2 (DOWN)
PITCHING ANGLE



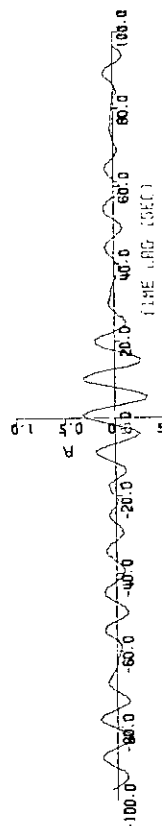
CROSS CORRELATION
DE-3 (UPPER)
DE-3 (DOWN)
PITCHING ANGLE



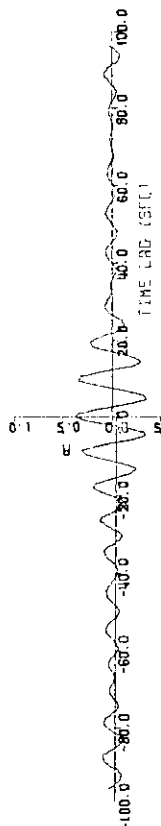
CROSS CORRELATION
DE-4 (UPPER)
DE-4 (DOWN)
PITCHING ANGLE



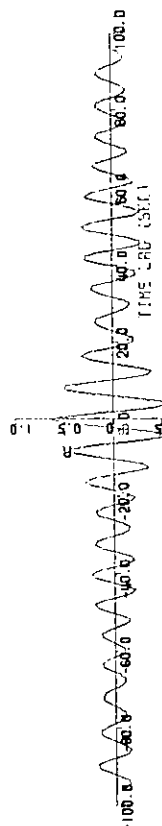
CROSS CORRELATION
DE-1 (UPPER)
DE-1 (DOWN)
ROLLING ANGLE



CROSS CORRELATION
DE-2 (UPPER)
DE-2 (DOWN)
ROLLING ANGLE



CROSS CORRELATION
DE-3 (UPPER)
DE-3 (DOWN)
ROLLING ANGLE



CROSS CORRELATION
DE-4 (UPPER)
DE-4 (DOWN)
ROLLING ANGLE

図 3.2.20 コログラム (総見丸 Test No. 1219 の 2)

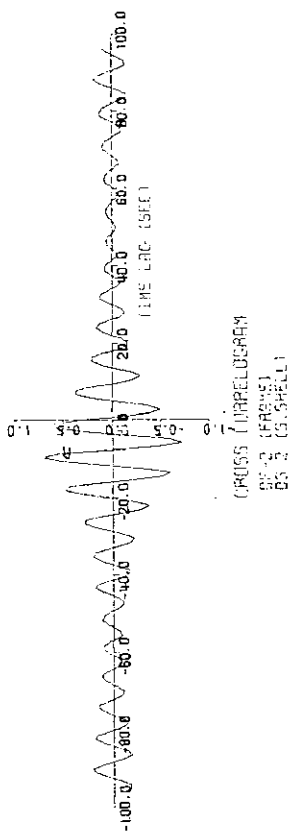
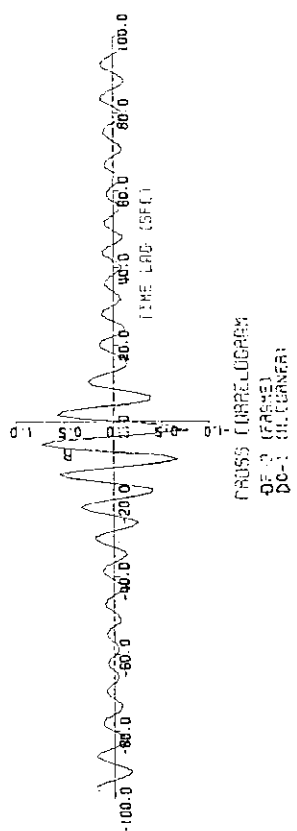
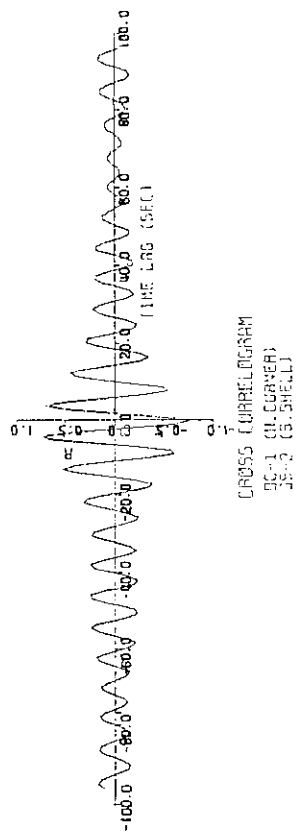
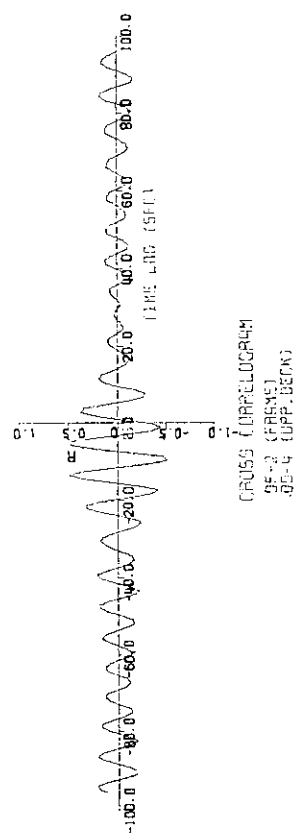
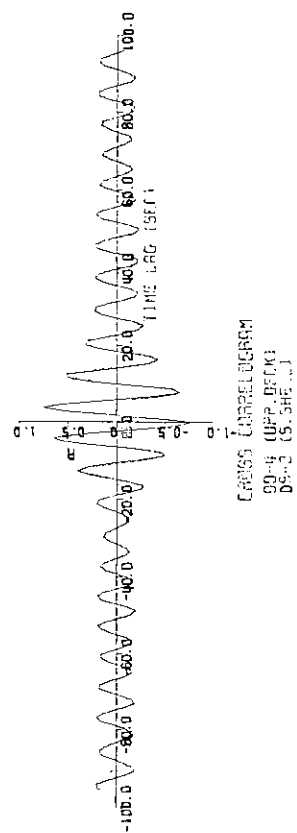


図 3.2.21 コログラム (紀見丸 Test No.1219 の3)

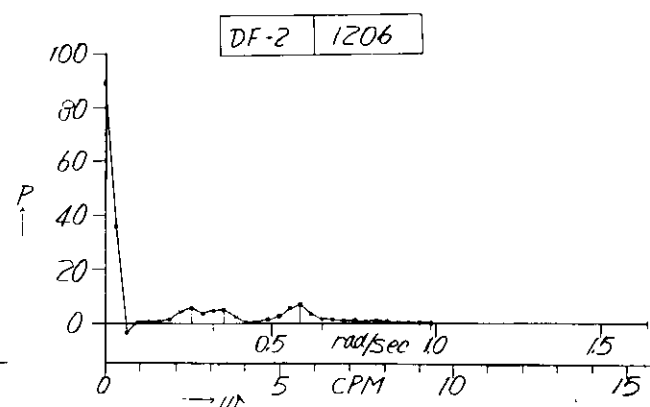
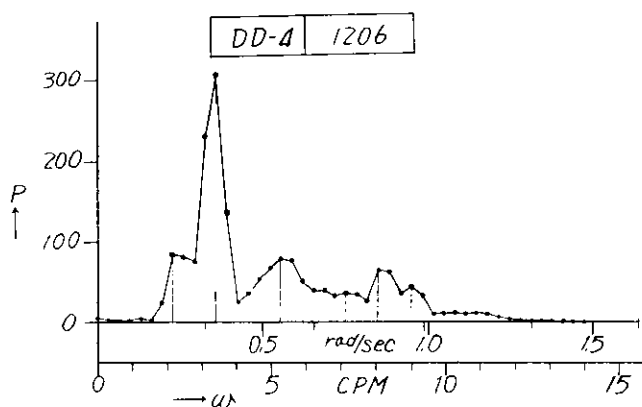
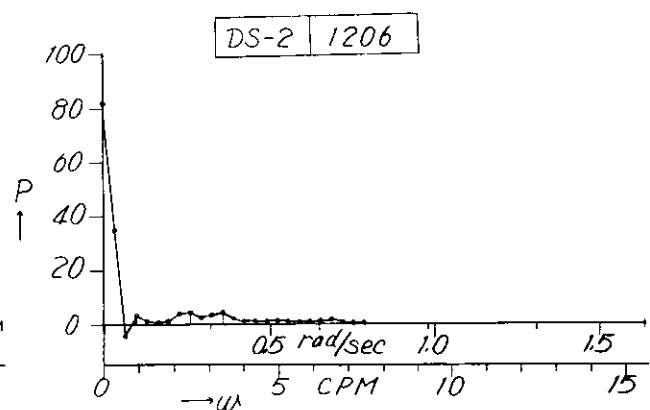
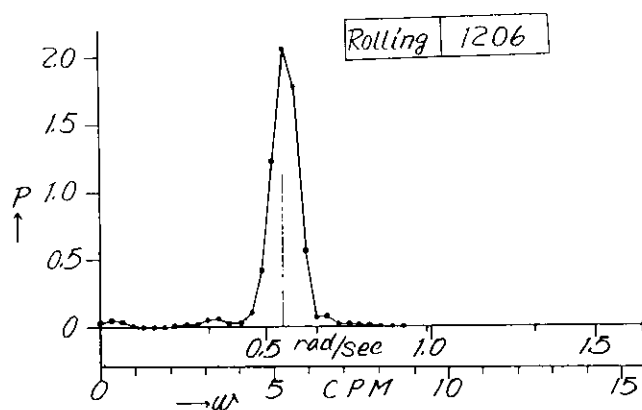
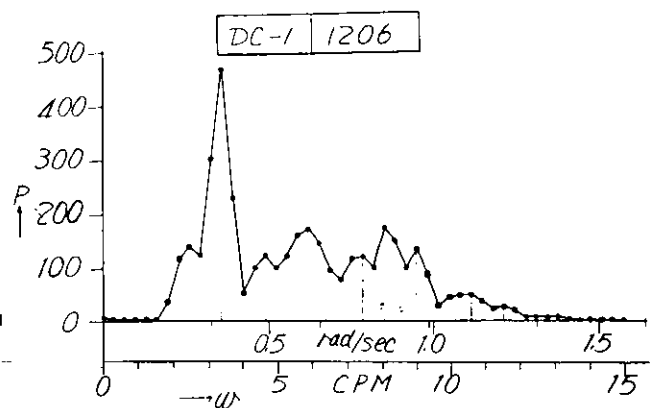
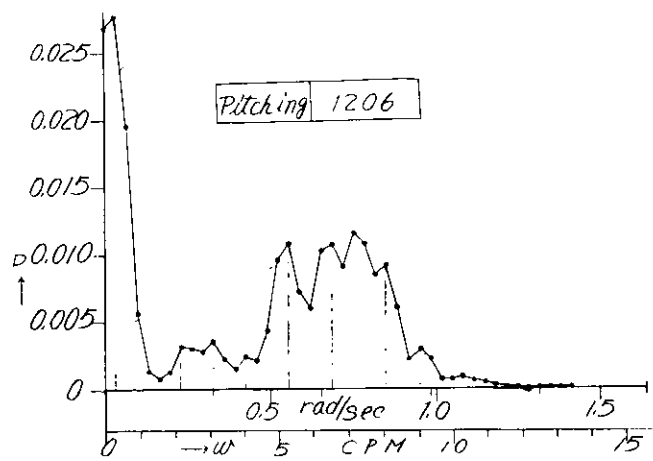


図 3.2.22 各方向の振動 (観測点 Test No. 1206)

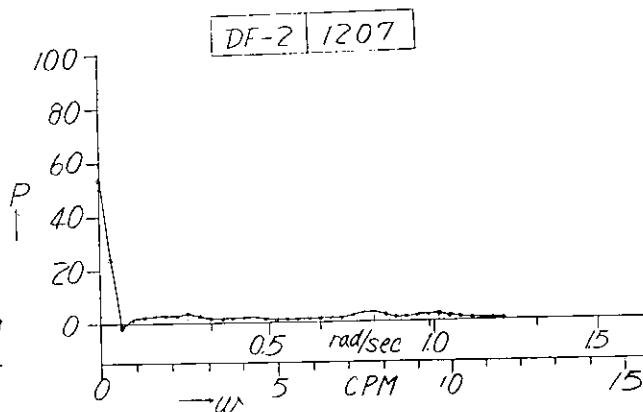
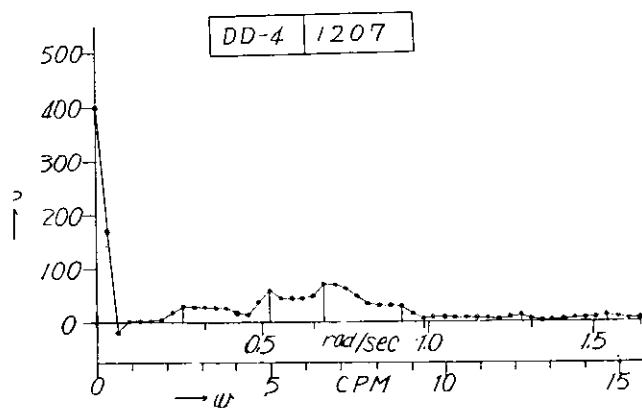
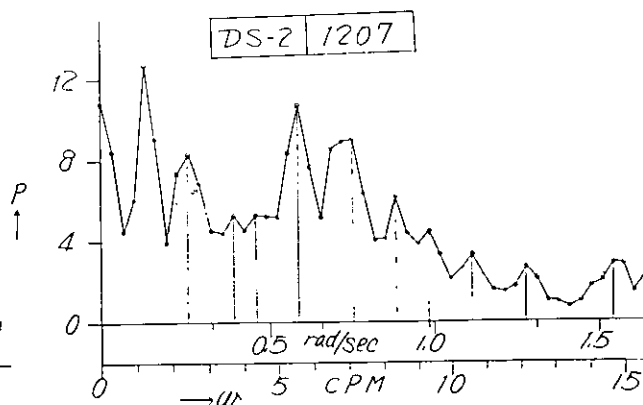
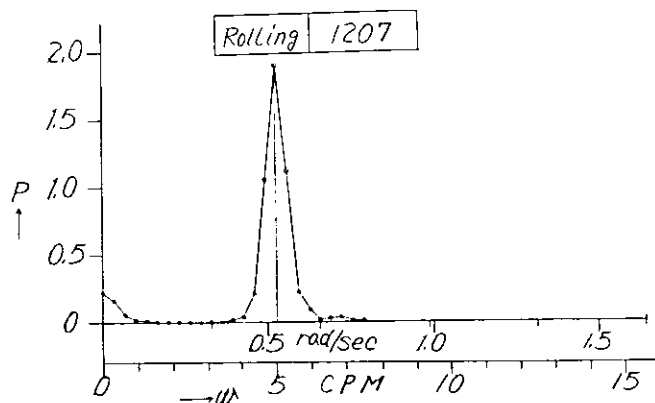
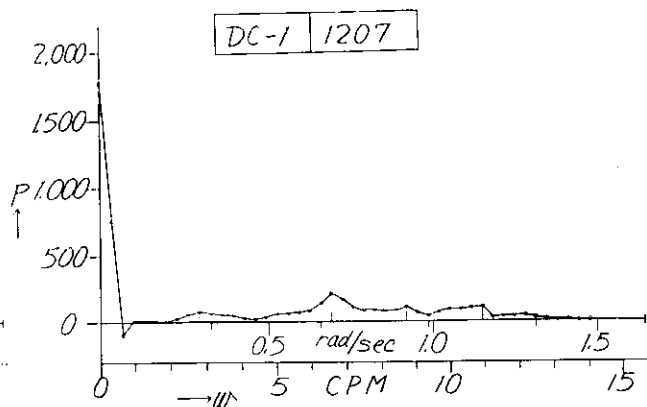
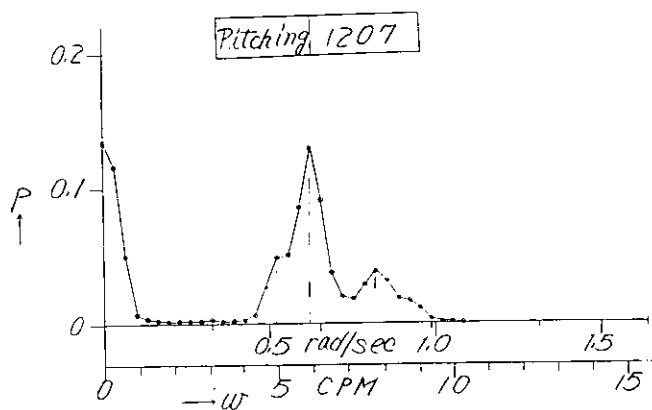


図 3.2.23 スペクトラム (総見れ Test No. 1207)

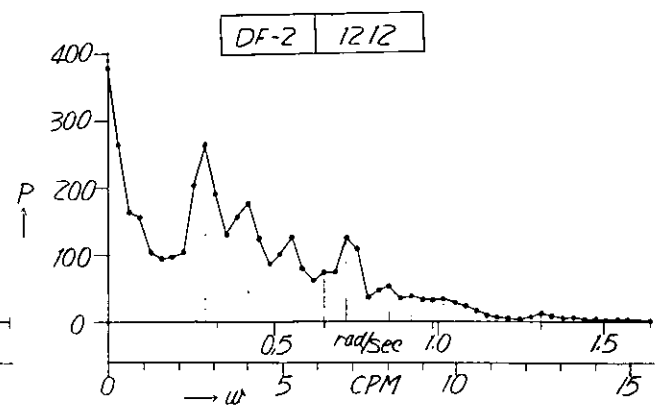
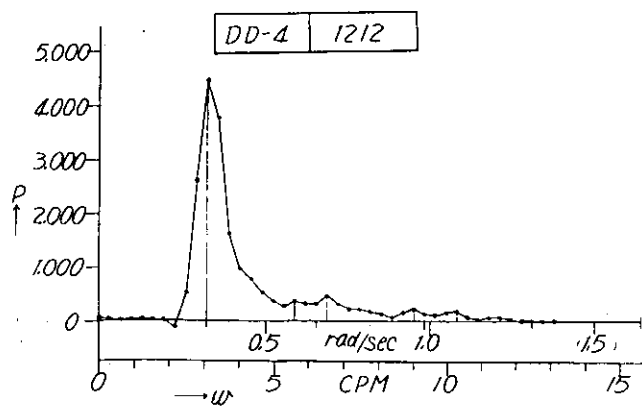
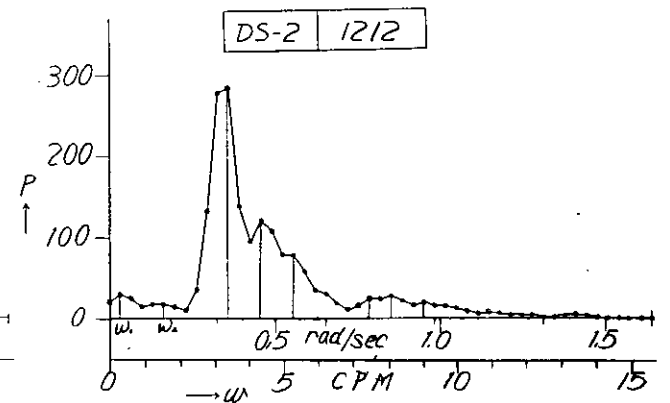
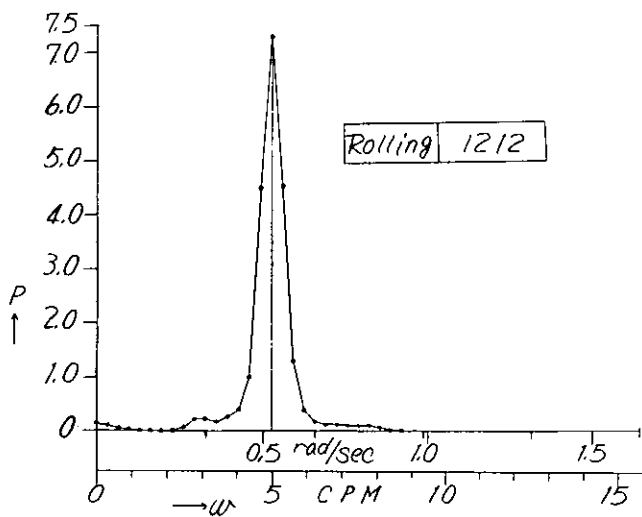
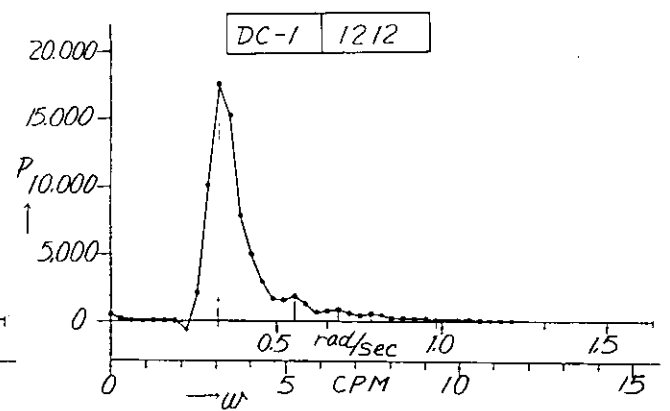
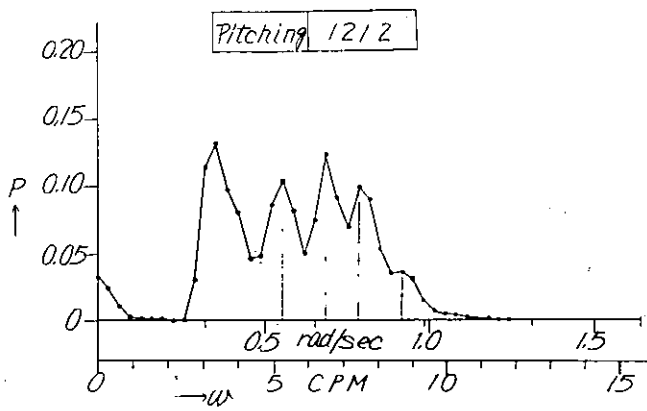


図 3.2.24 スペクトラム (紀見丸 Test No. 1212)

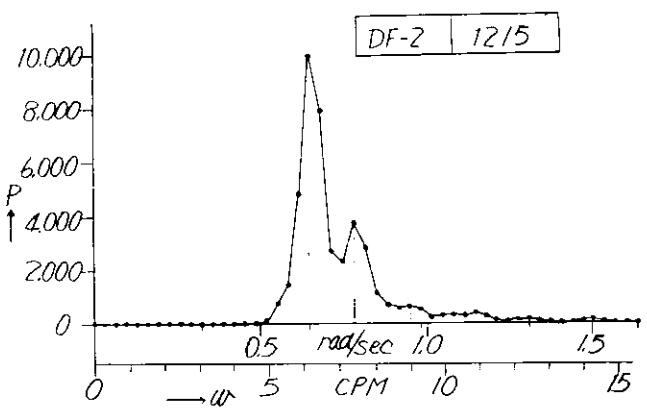
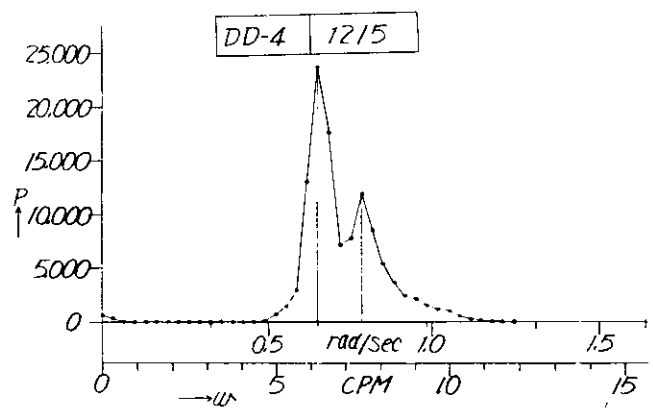
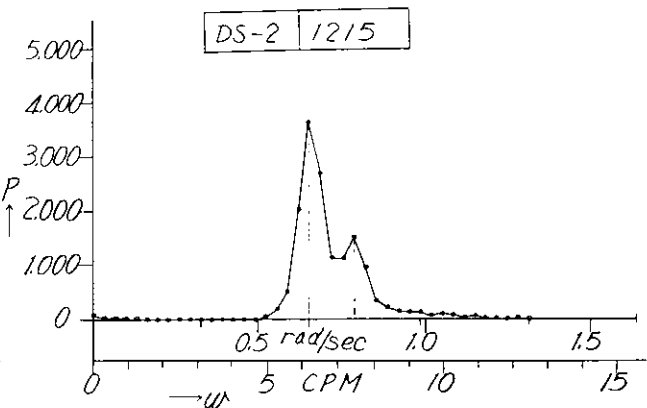
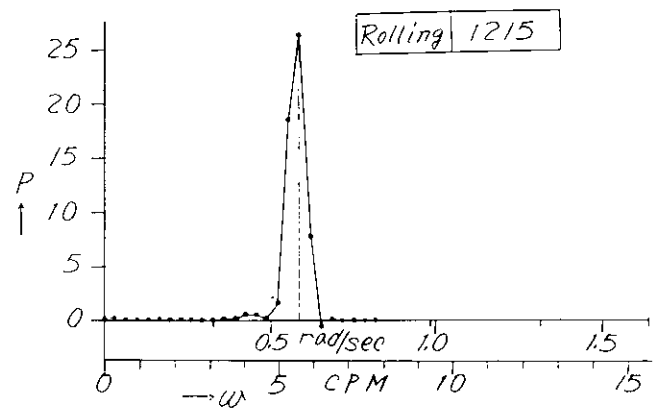
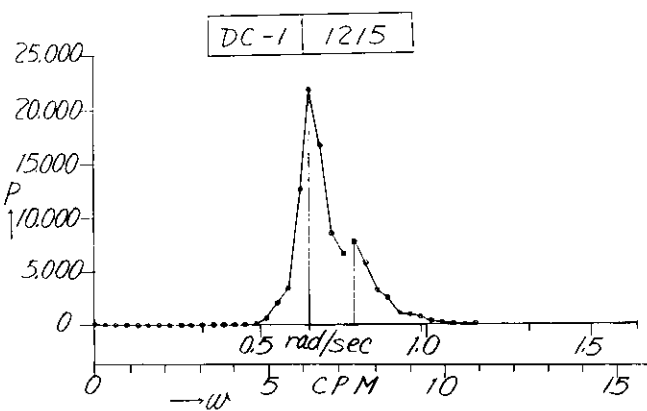
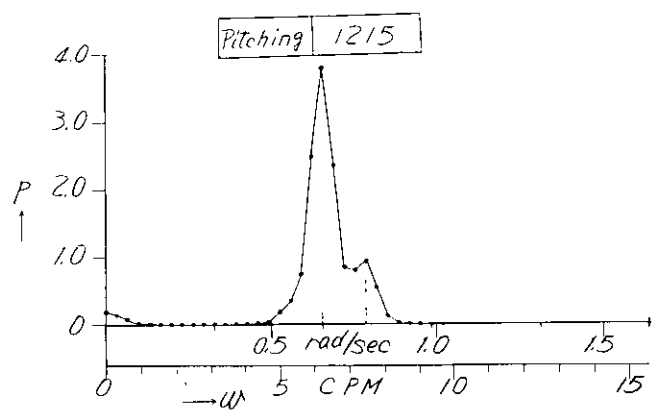


図 3.2.25 スペクトラム (紀見丸 Test No 1215)

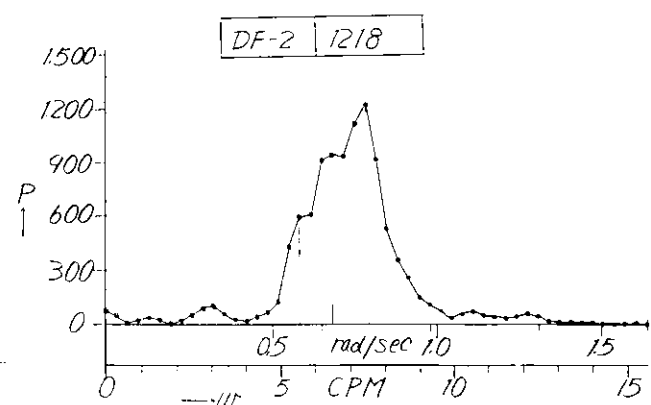
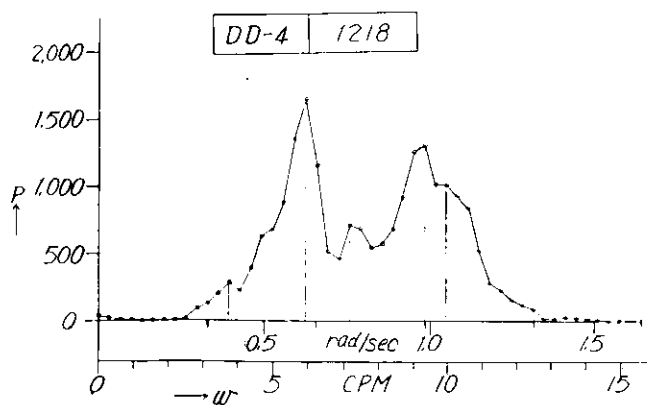
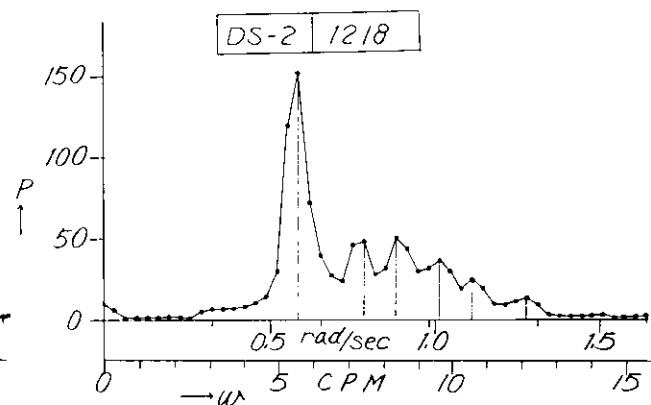
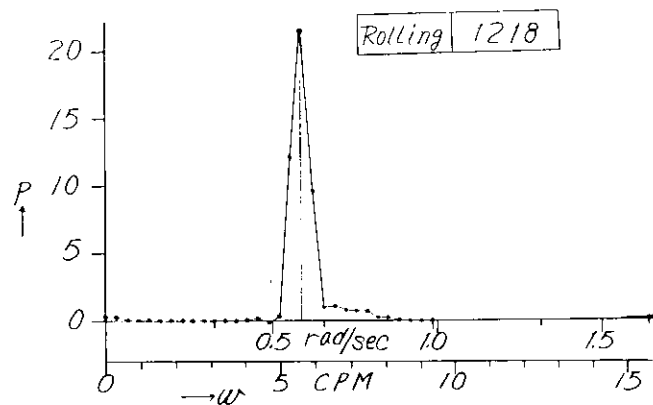
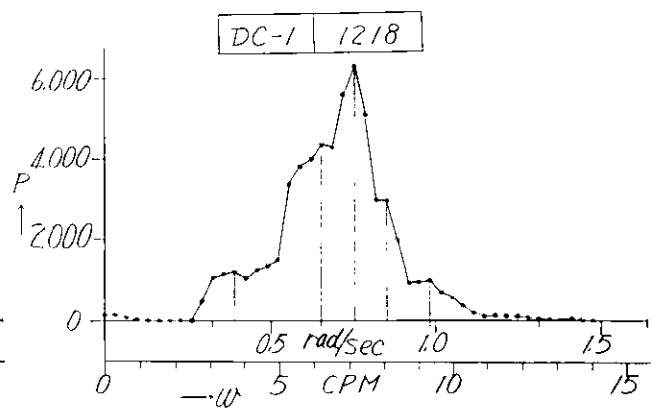
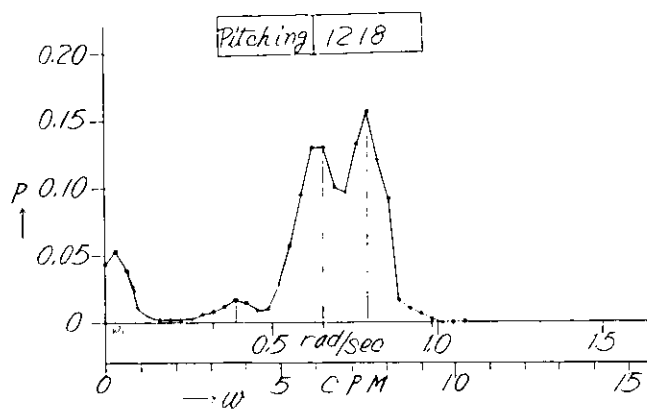


図 3.2.26 スペクトラム (記号 Test No 1218)

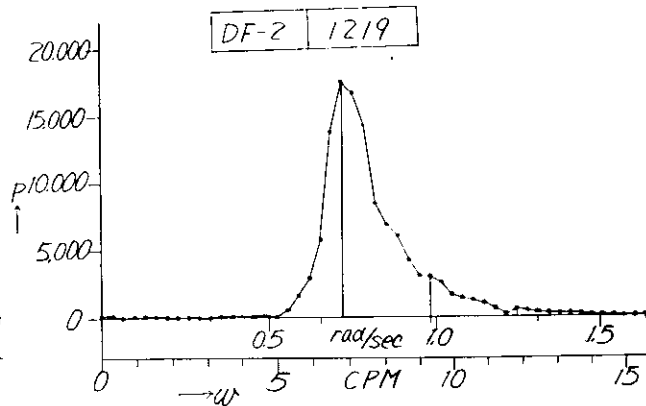
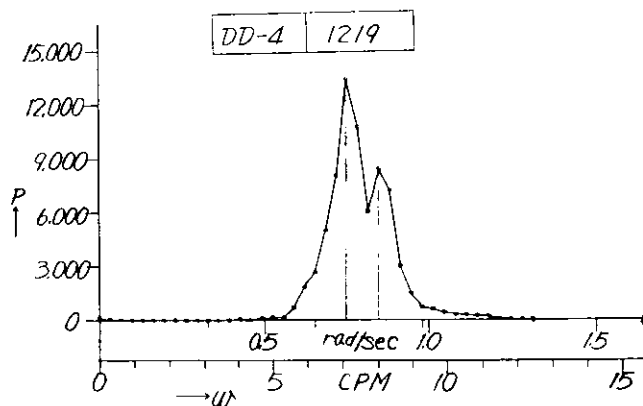
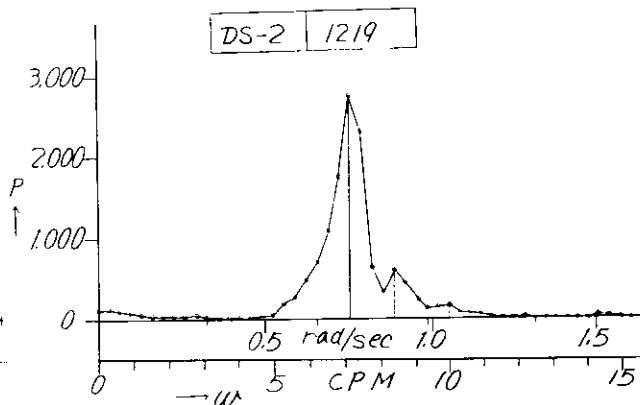
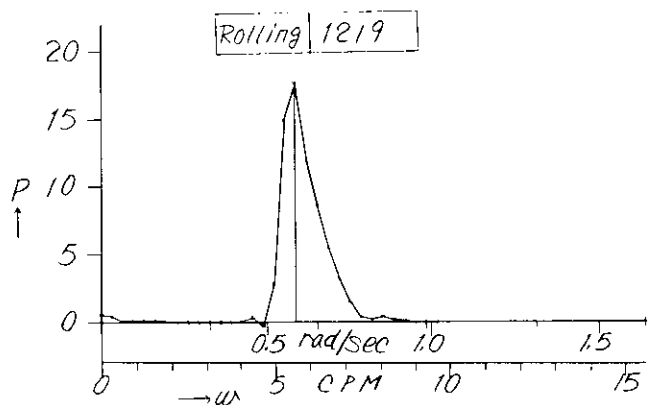
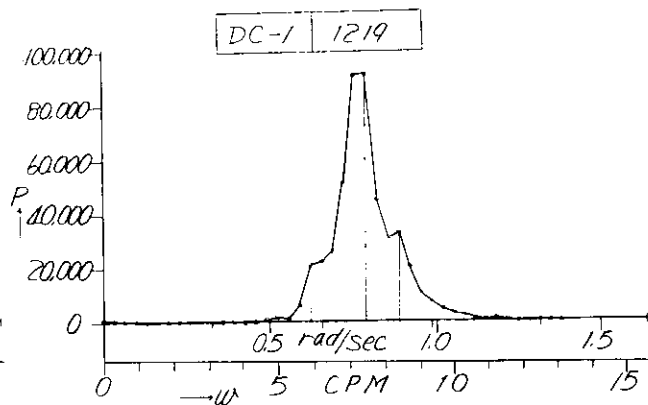
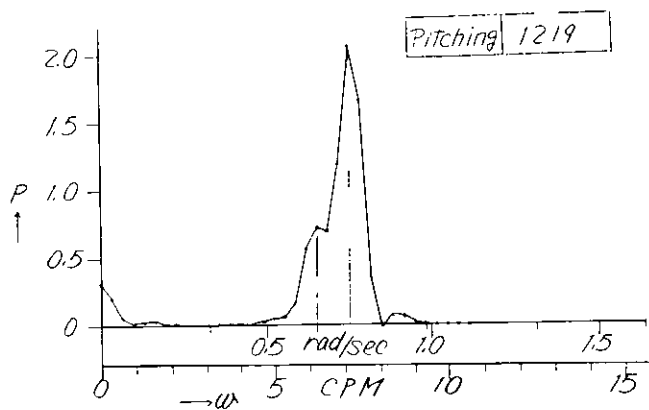


図 3.2.27 スペクトラム (紀見丸 Test No. 1219)

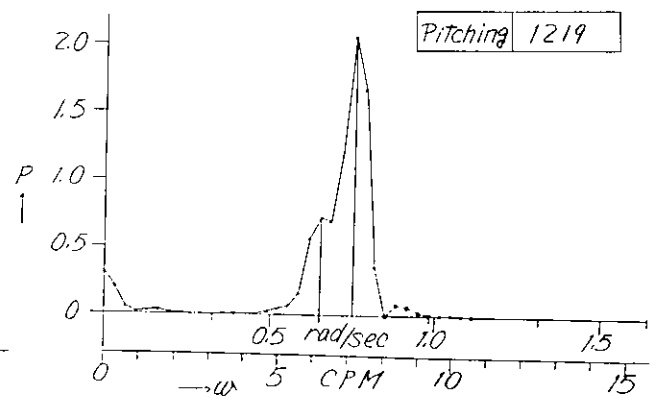
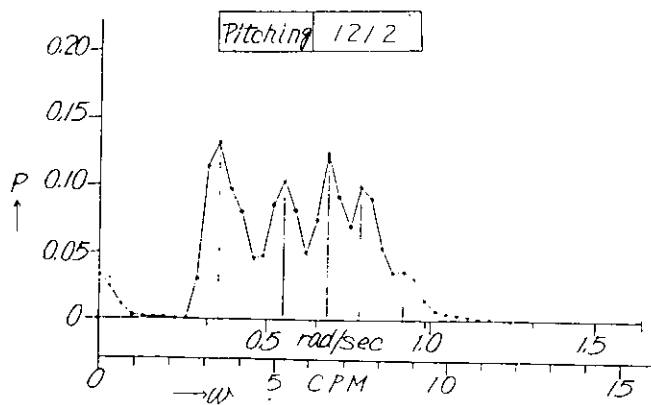
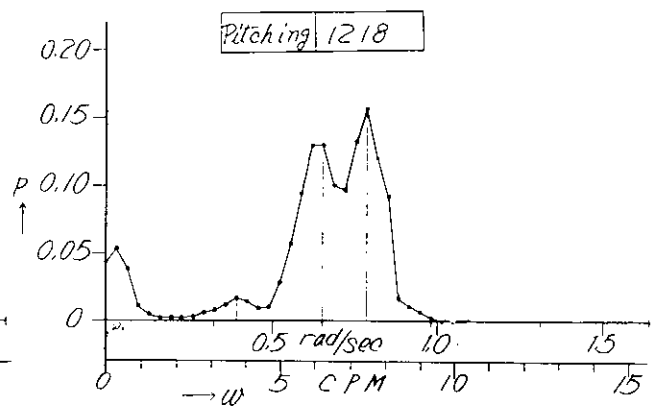
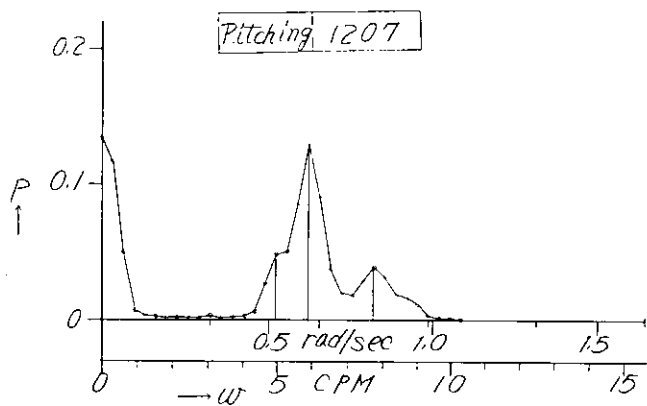
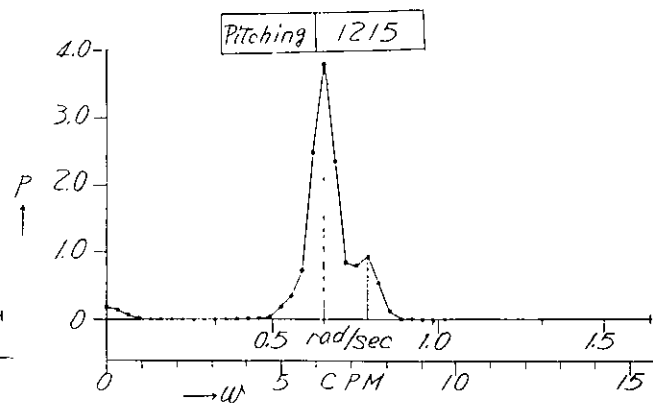
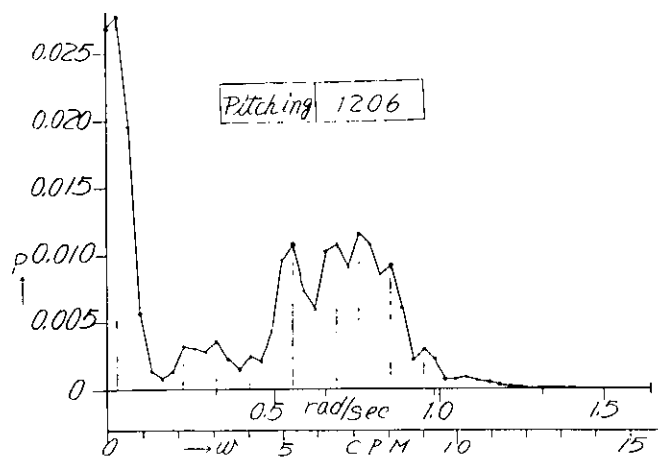


図 3.2.28 スペクトラム (Pitching 観見丸)

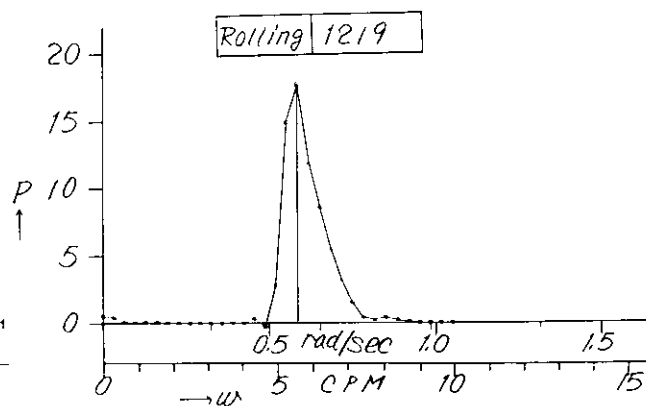
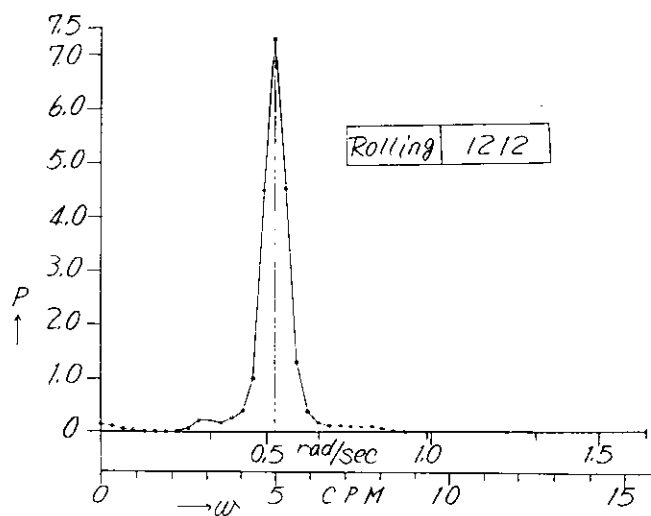
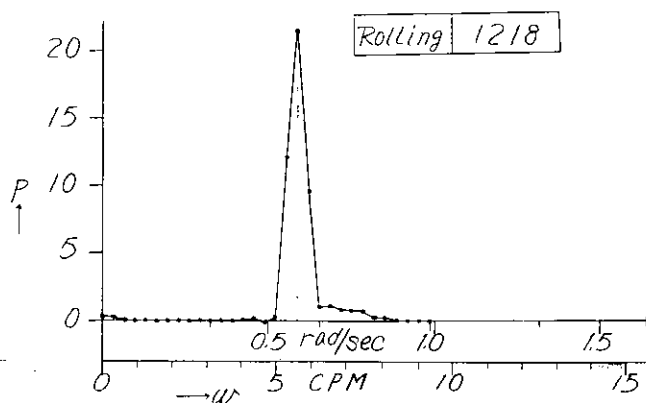
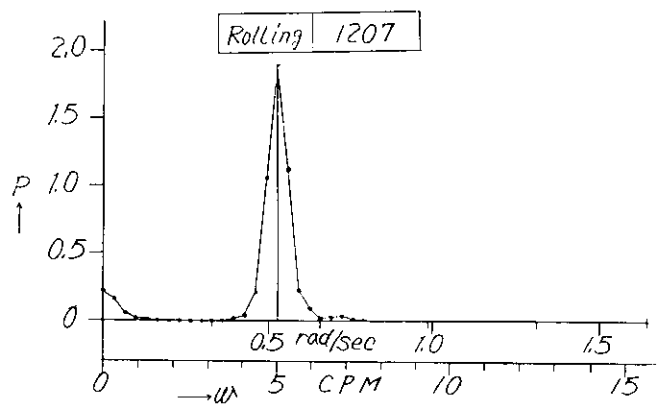
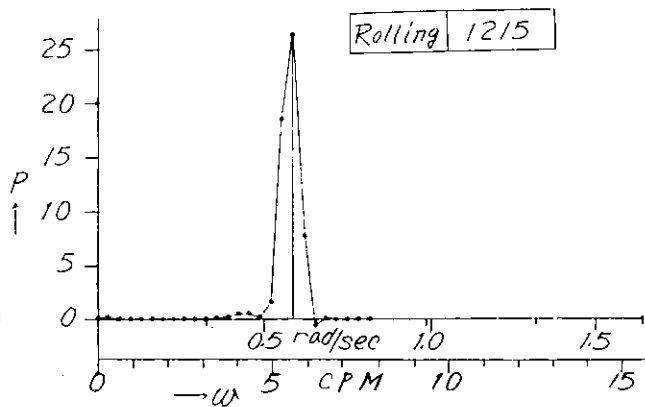
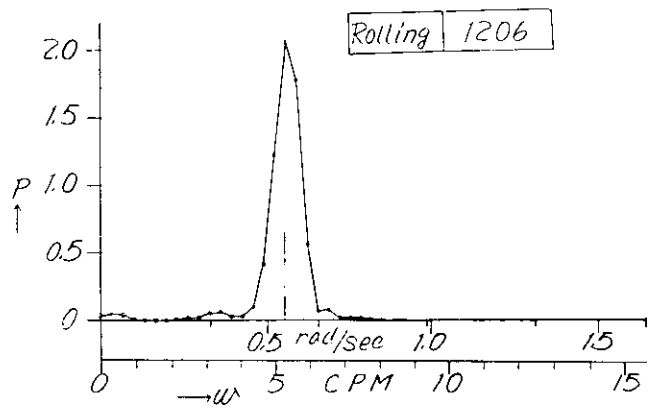


図 3.2.29 スペクトラム (Rolling 紀見丸)

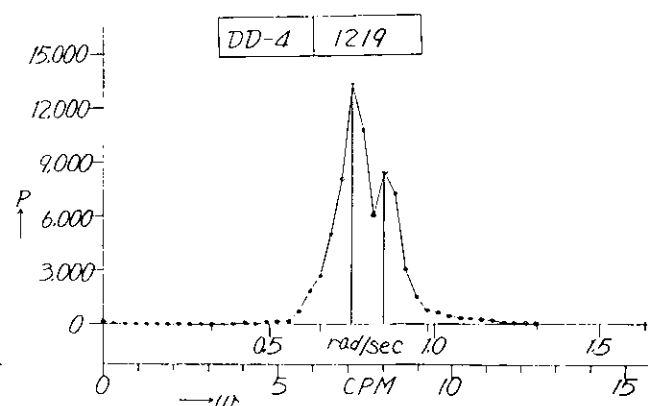
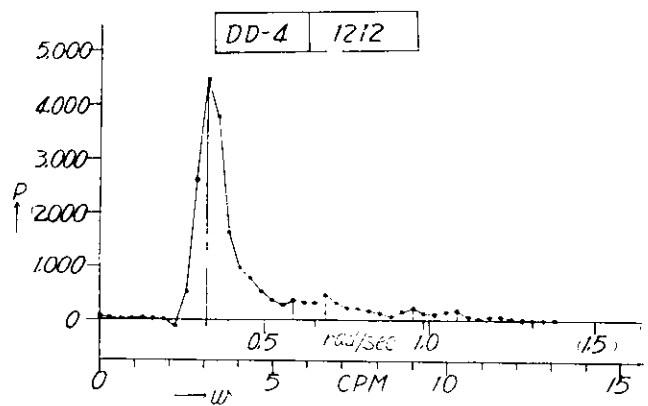
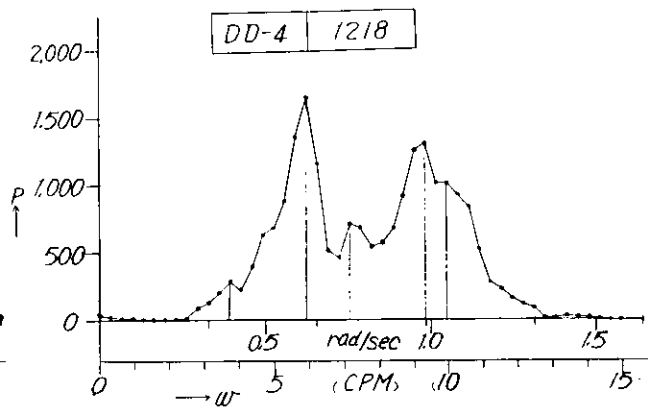
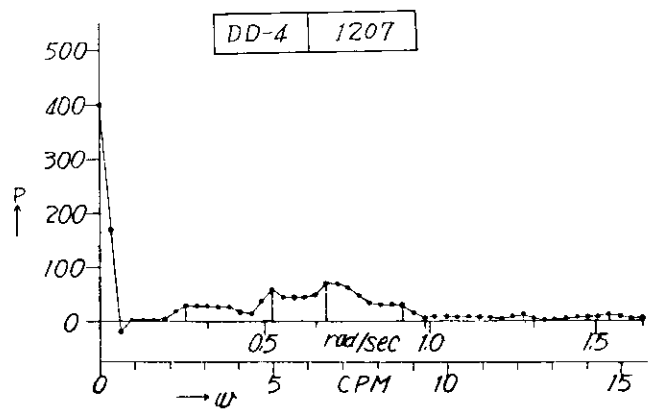
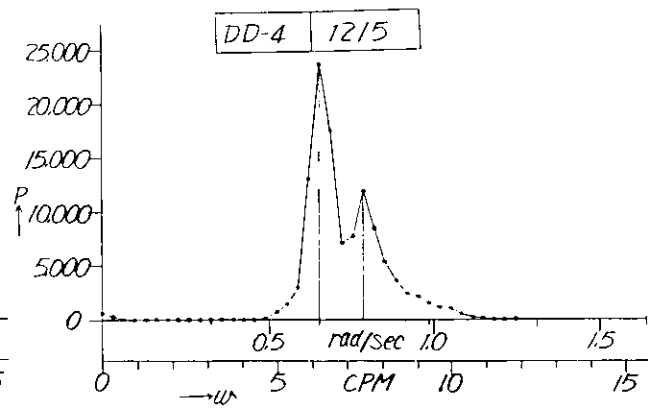
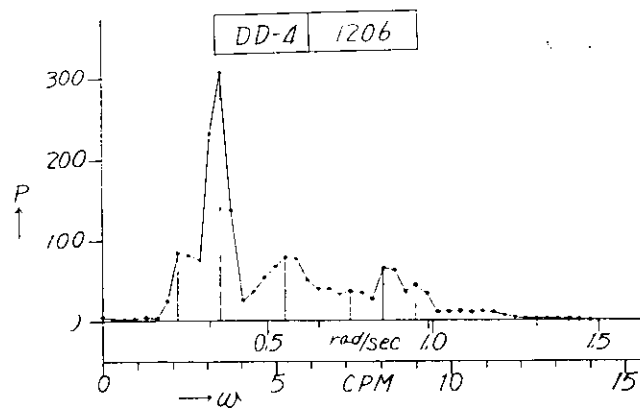


図 3.2.30 スペクトラム (DD-4 紀見丸)

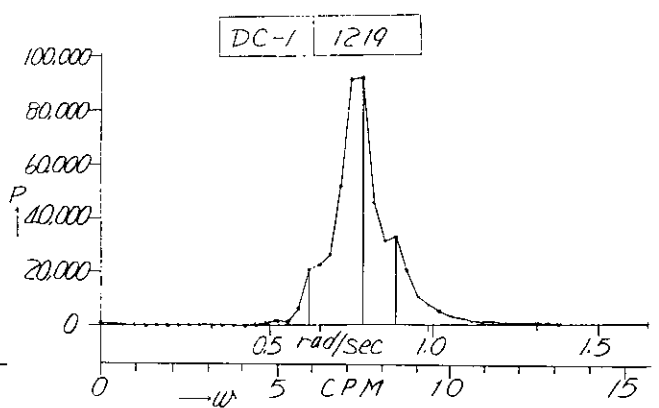
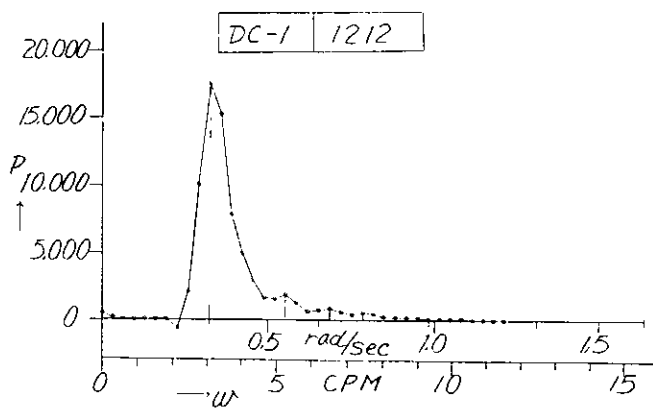
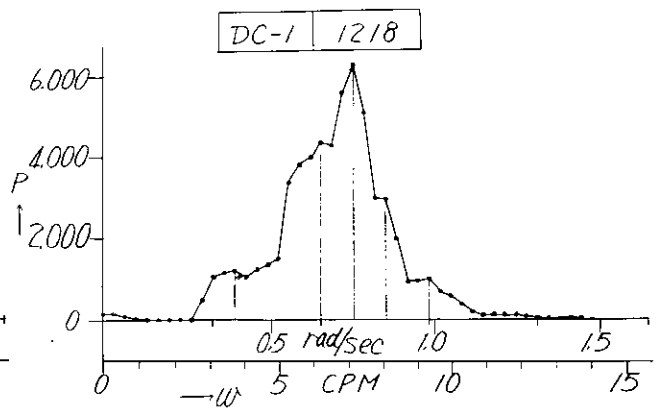
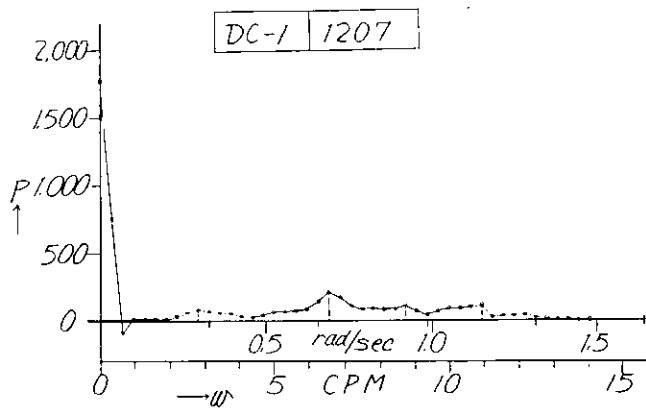
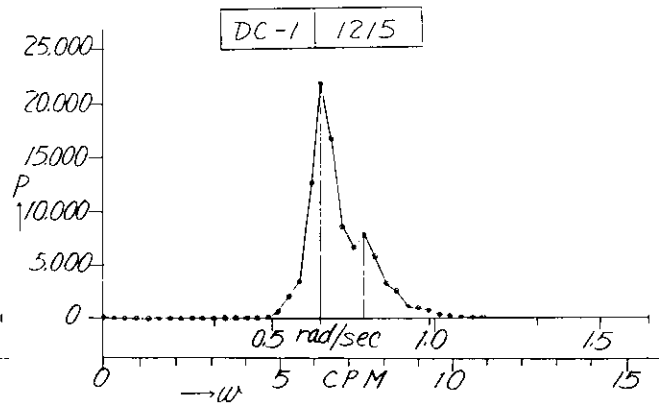
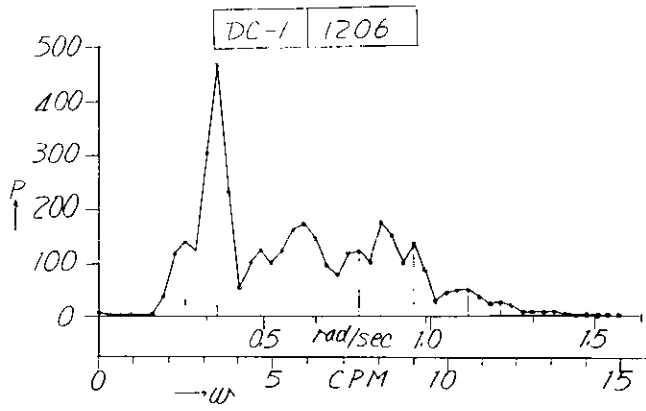


図 3.2.31 スペクトラム (DC-1 紀見丸)

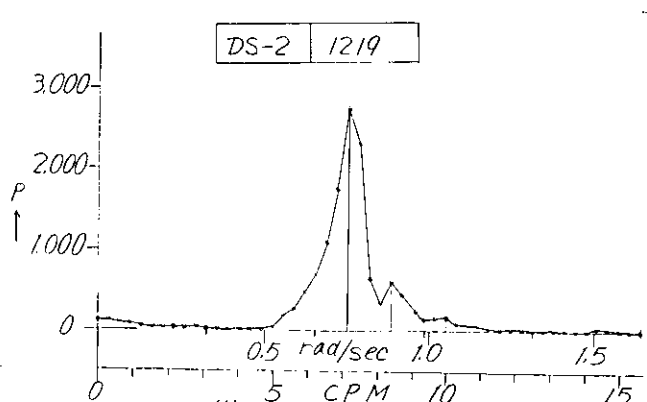
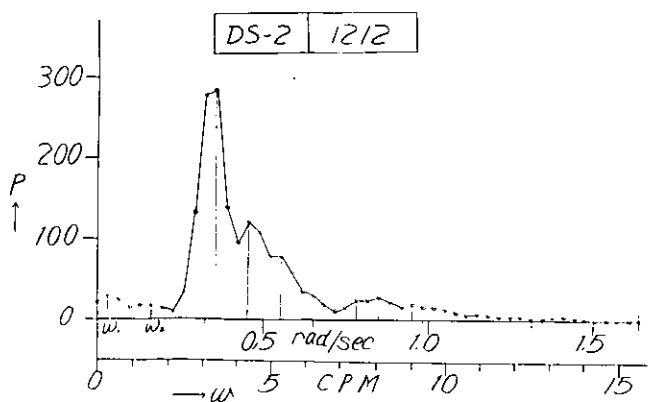
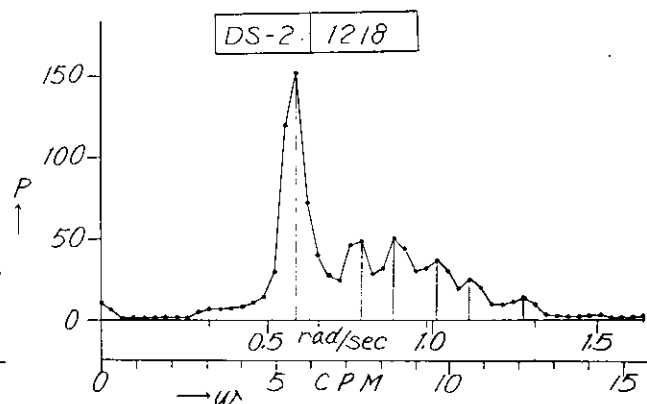
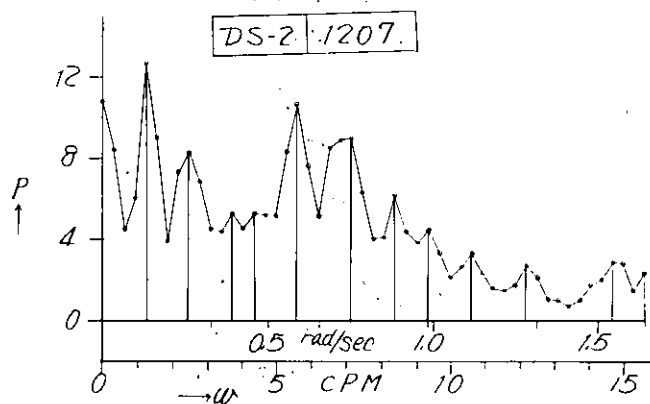
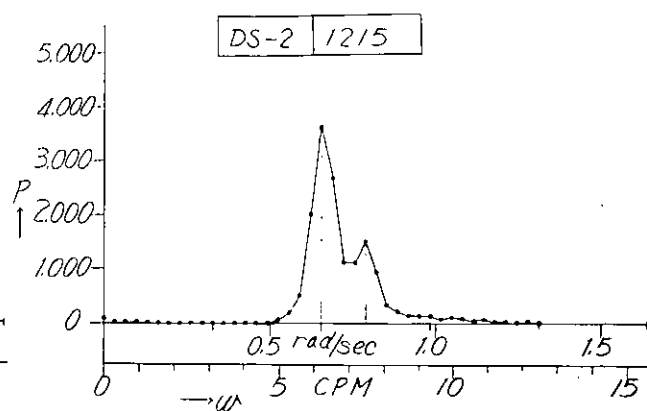
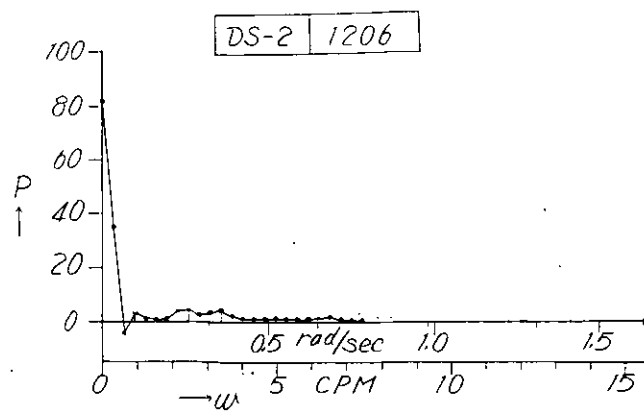
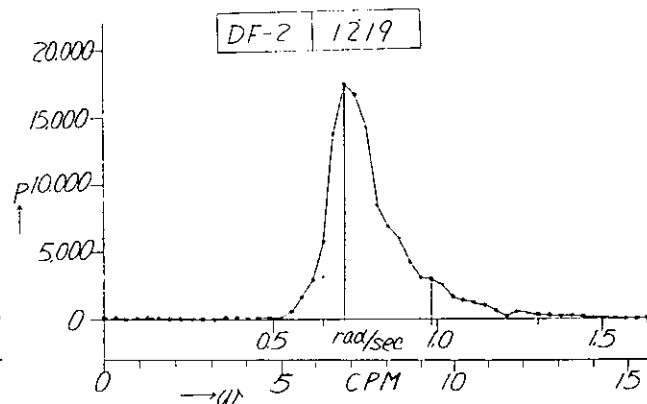
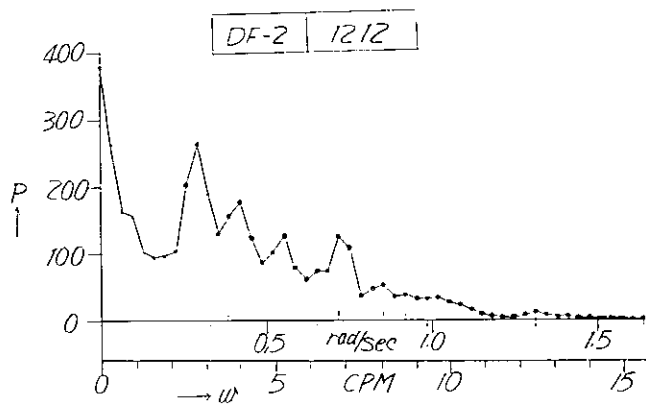
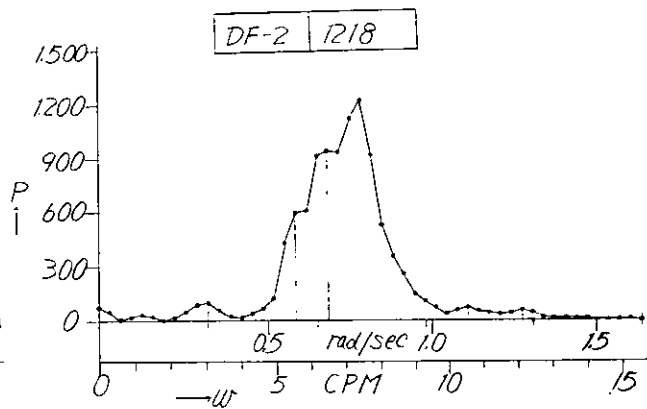
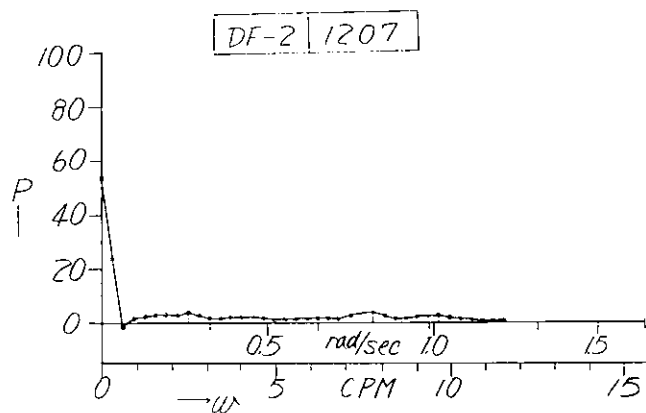
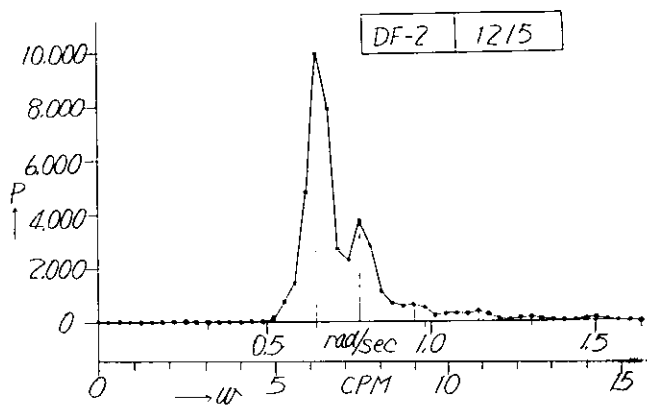
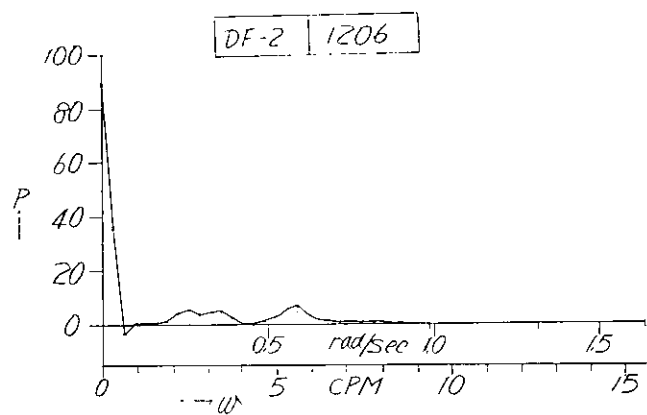


図 3.2.32 スペクトラム (DS-2 紀見丸)



3.2.33 スペクトラム (DF-2 紀見丸)

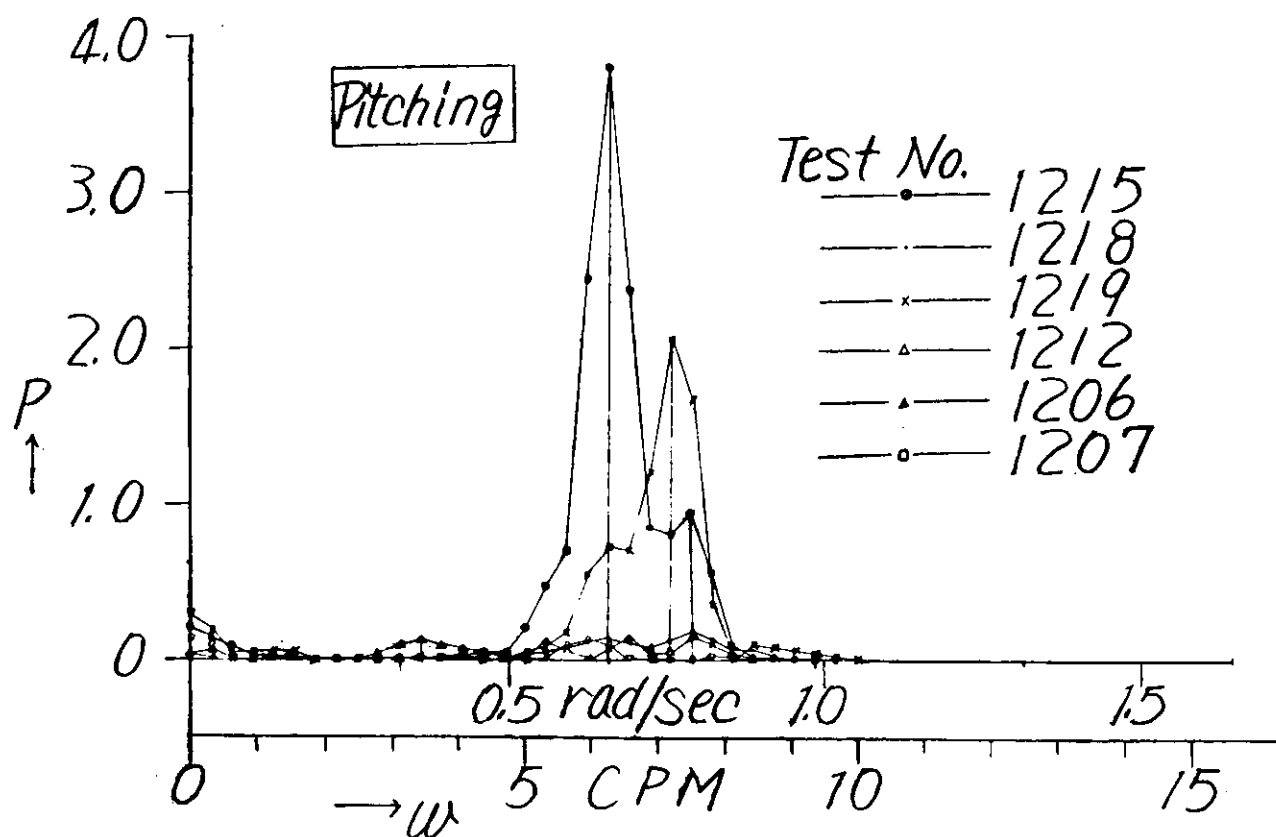


図 3.2.34 スペクトラム (Pitching 紀見丸)

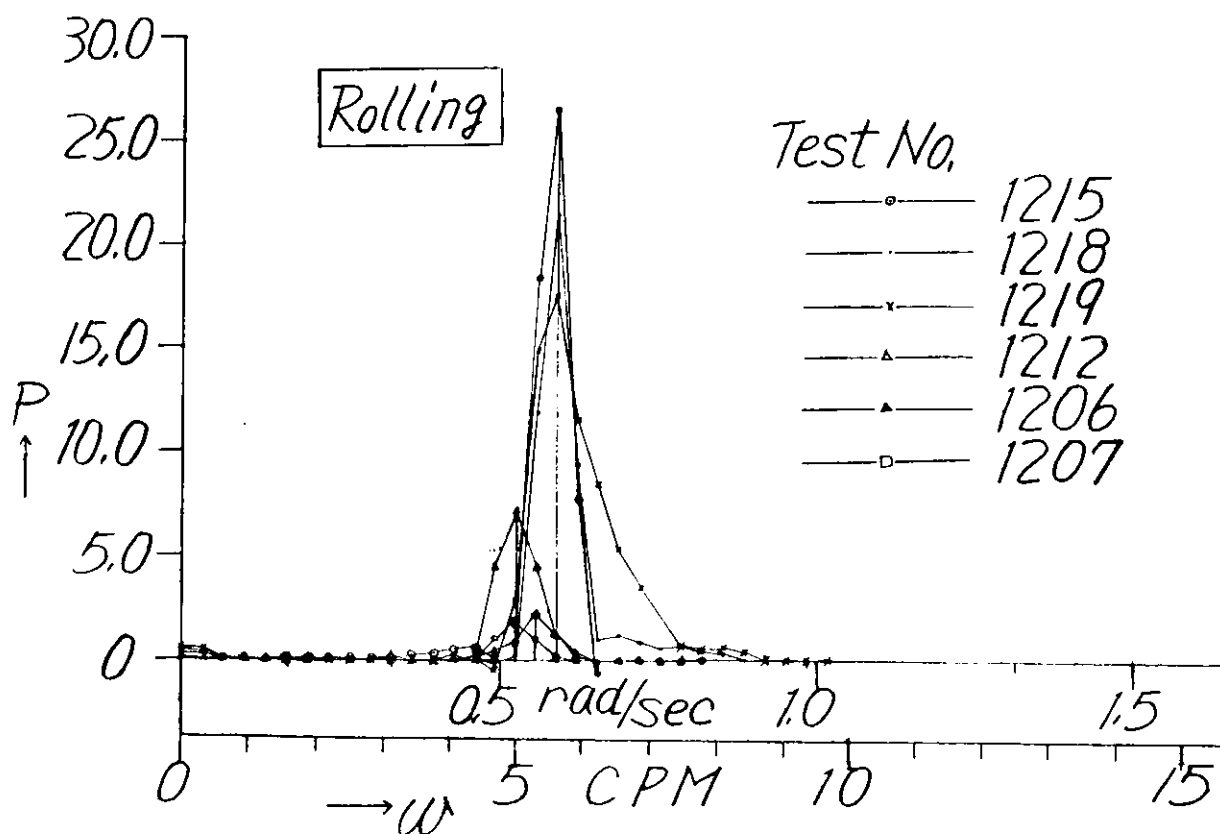


図 3.2.35 スペクトラム (Rolling 紀見丸)

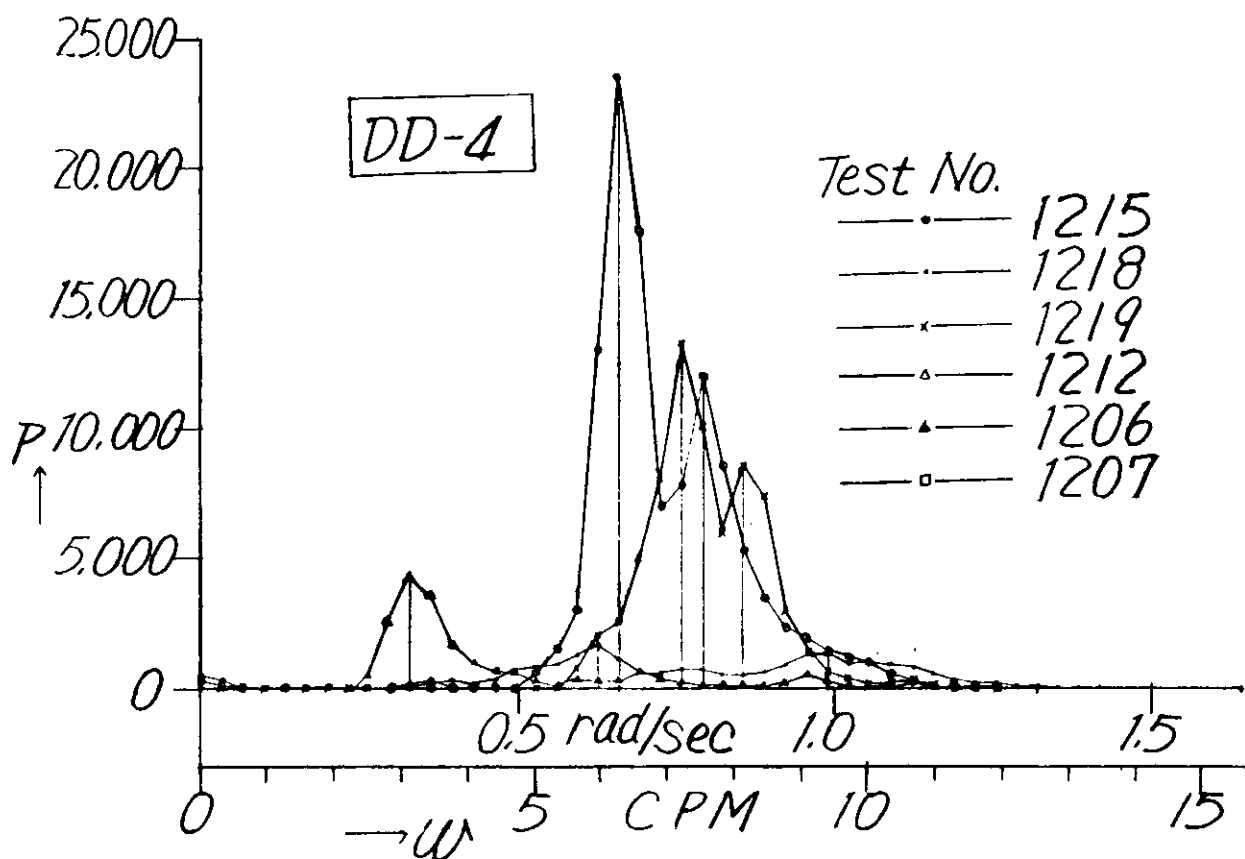


図 3.2.36 スペクトラム (DD-4 紀見丸)

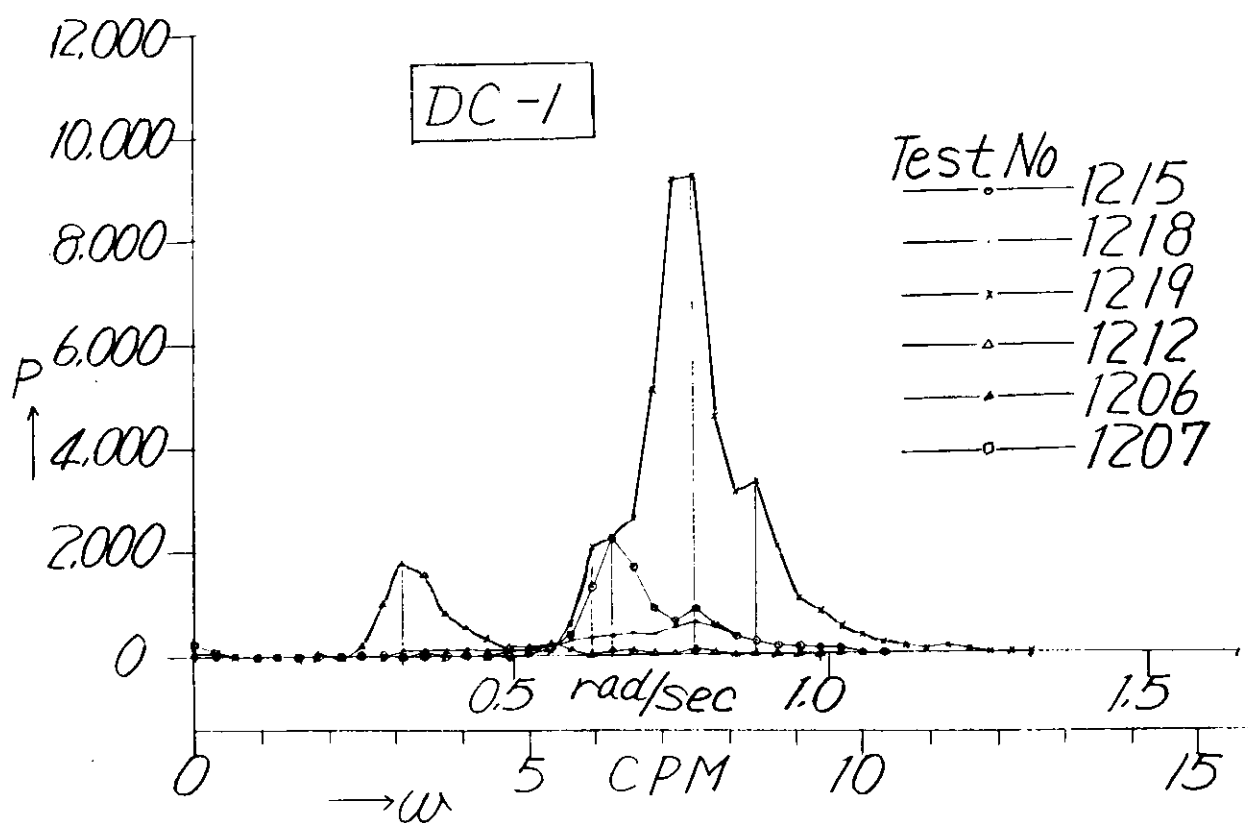


図 3.2.37 スペクトラム (DC-1 紀見丸)

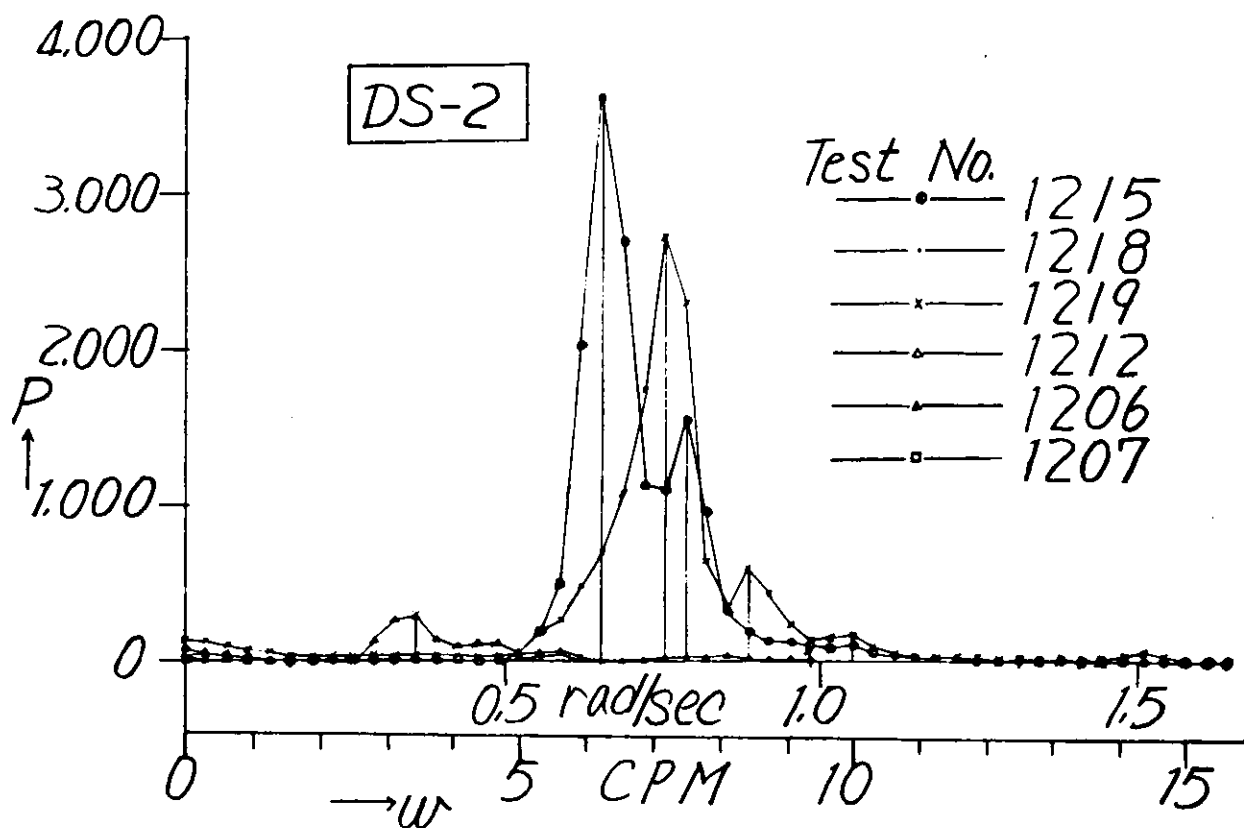


図 3.2.38 スペクトラム (DS-2 紀見丸)

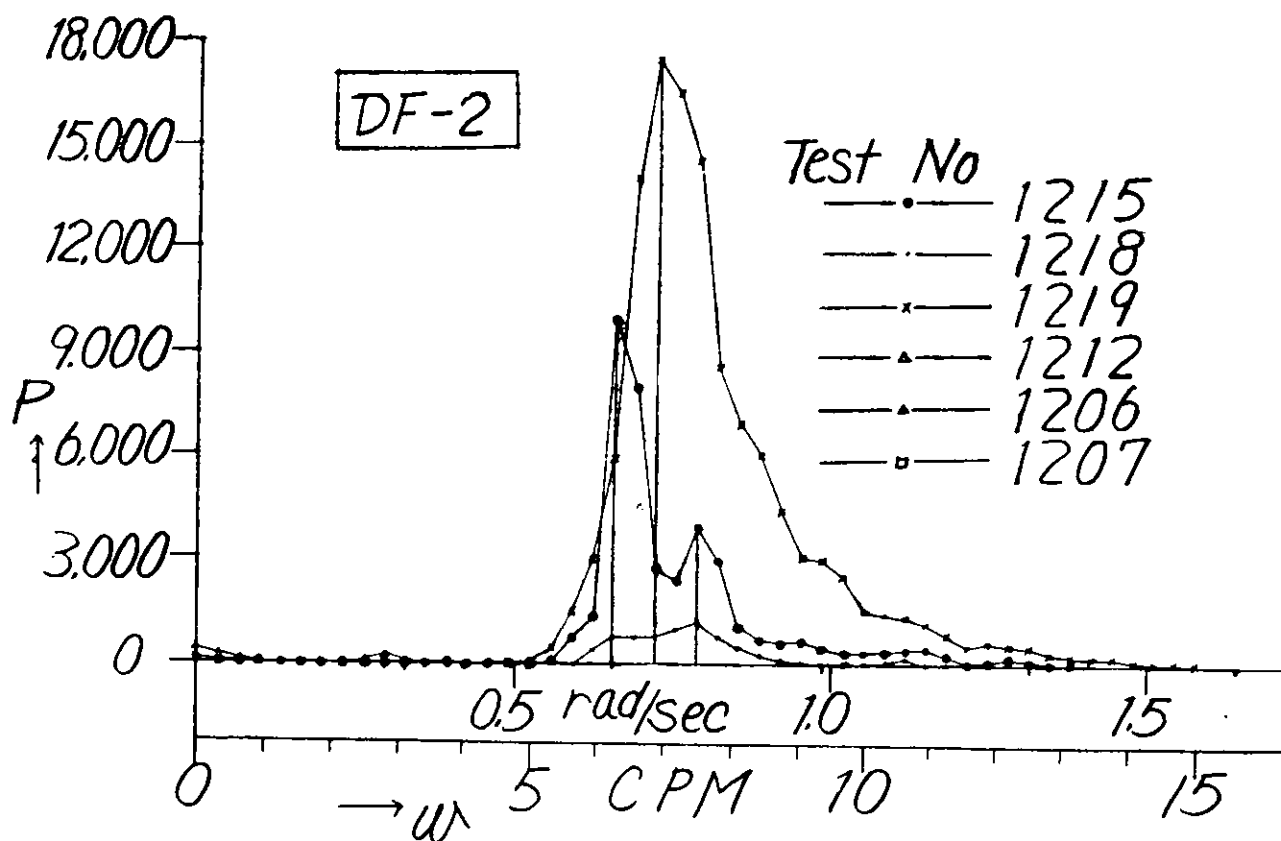
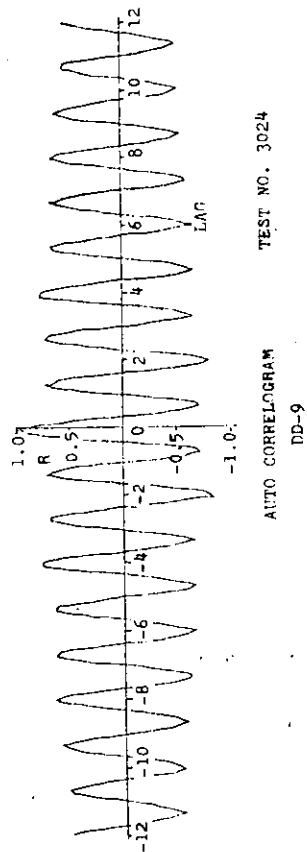
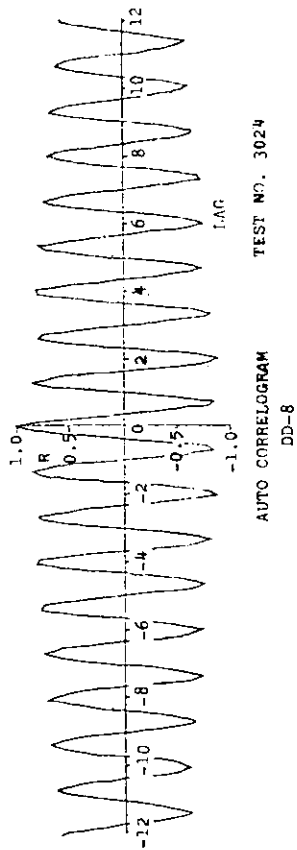
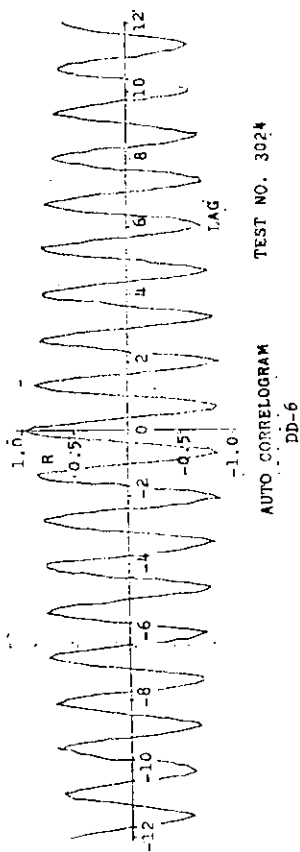
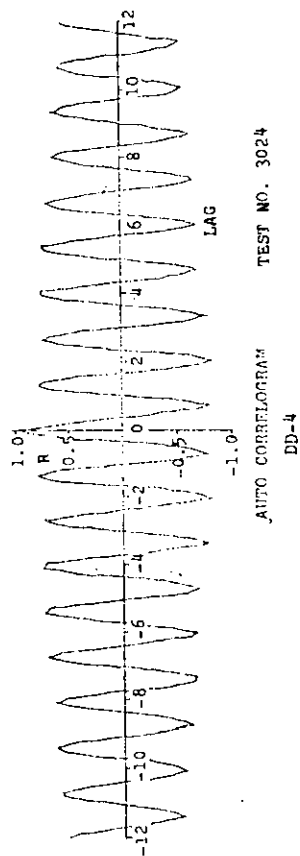
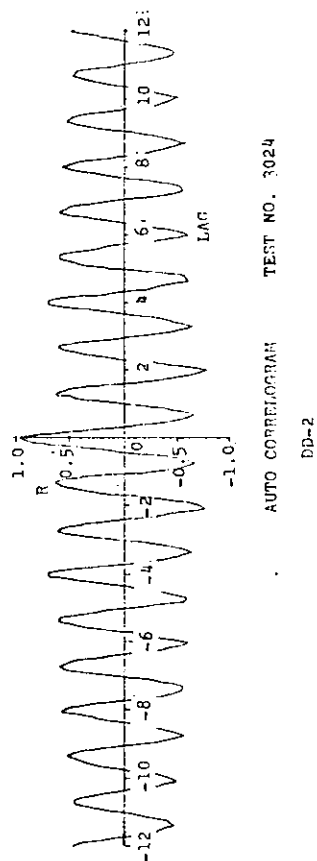
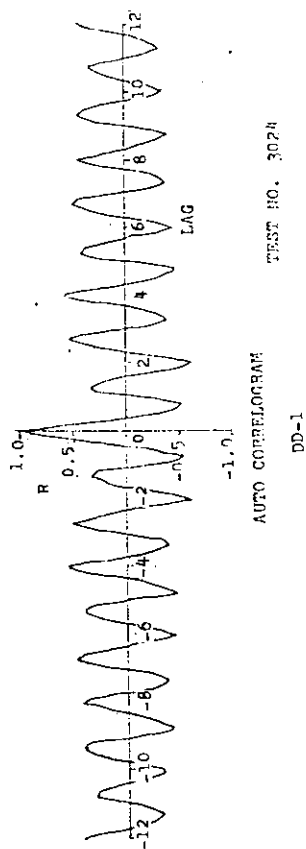
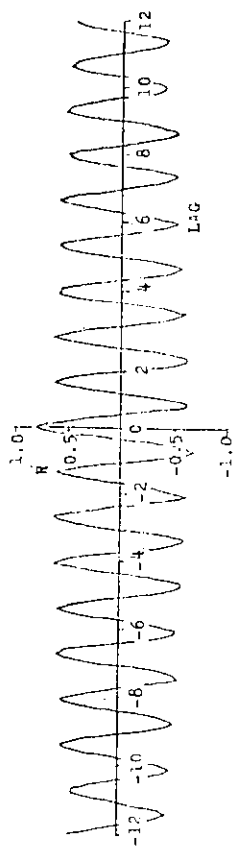


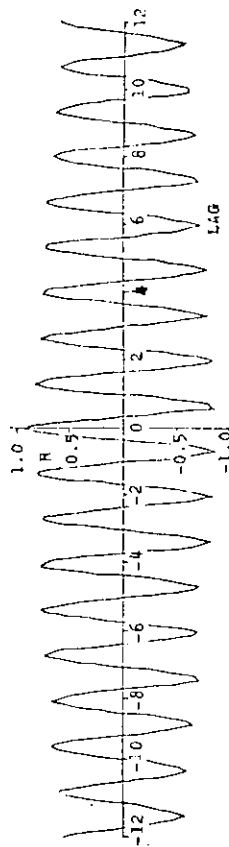
図 3.2.39 スペクトラム (DF-2 紀見丸)



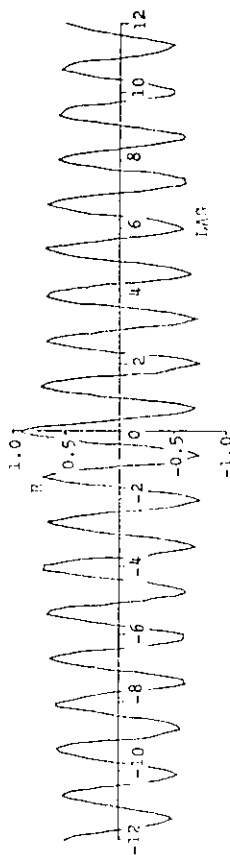
☑ 3.2.40 フロクラム (昭武丸 Test No. 302401)



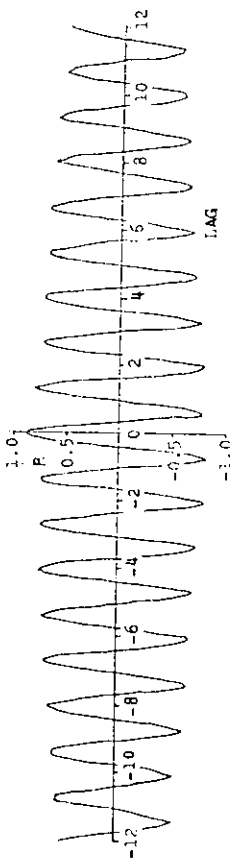
CROSS CORRELOGRAM
DD-1 DD-4
TEST NO. 3024



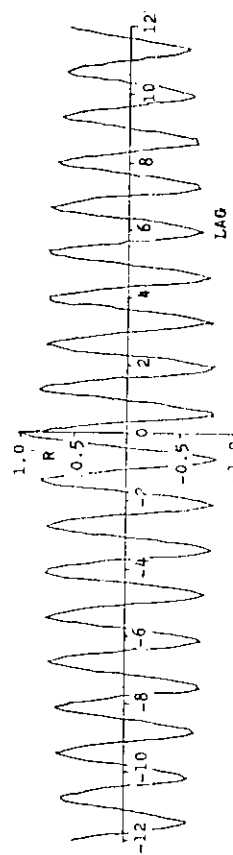
CROSS CORRELOGRAM
DD-4 DD-R
TEST NO. 3024



CROSS CORRELOGRAM
DD-2 DD-4
TEST NO. 3024

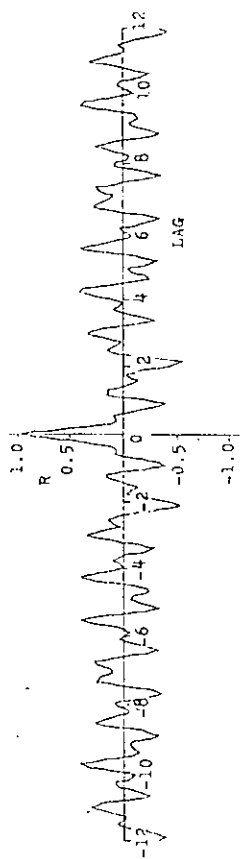


CROSS CORRELOGRAM
DD-4 DD-9
TEST NO. 3024



CROSS CORRELOGRAM
DD-4 DD-6
TEST NO. 3024

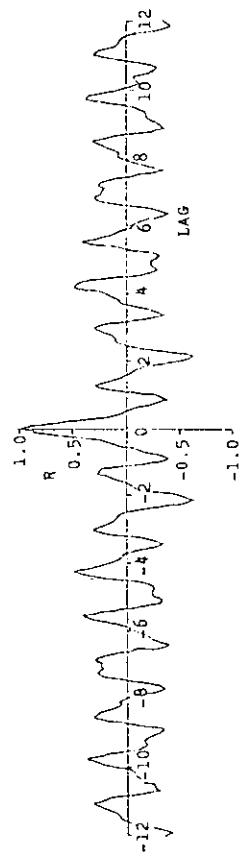
図 3.2.41 コログラム (昭武丸 Test No. 3024の2)



AUTO CORRELOGRAM

TEST NO. 3025

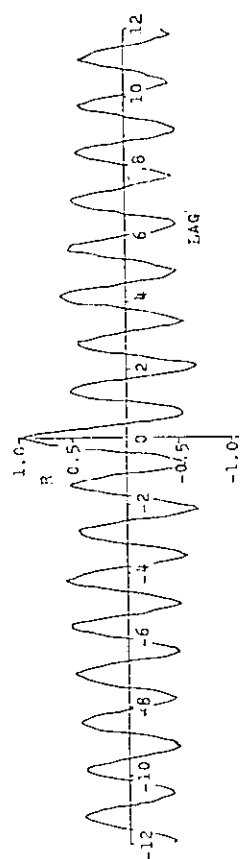
DD-1



AUTO CORRELOGRAM

TEST NO. 3025

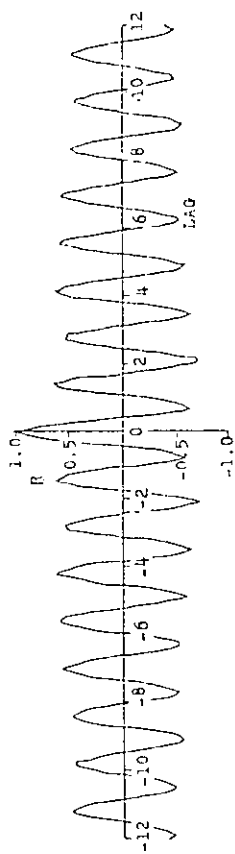
DD-2



AUTO CORRELOGRAM

TEST NO. 3025

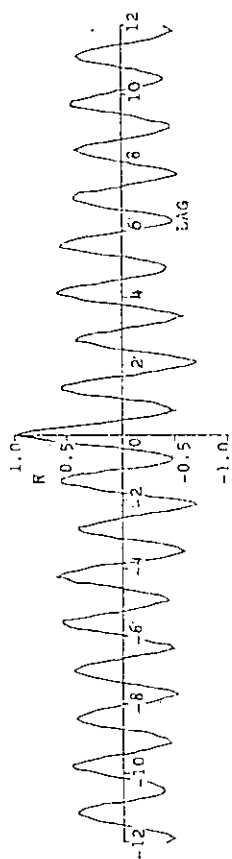
DD-4



AUTO CORRELOGRAM

TEST NO. 3025

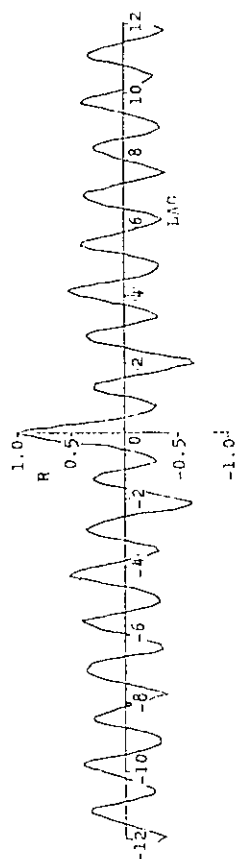
DD-6



AUTO CORRELOGRAM

TEST NO. 3025

DD-8

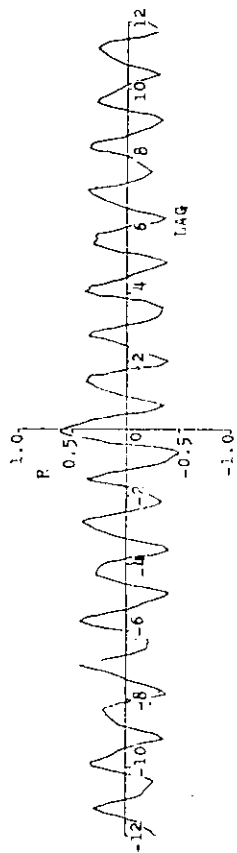


AUTO CORRELOGRAM

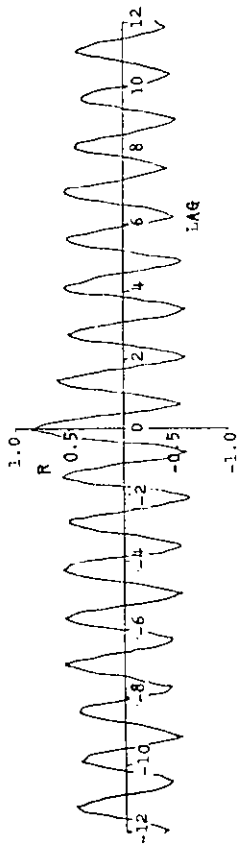
TEST NO. 3025

DD-9

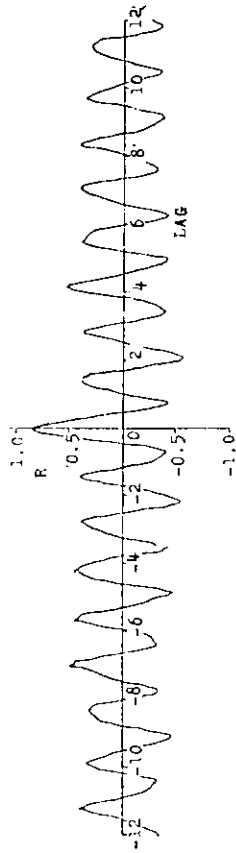
図 3.2.42 ヲログラム (昭武丸 Test No. 3025 の 1)



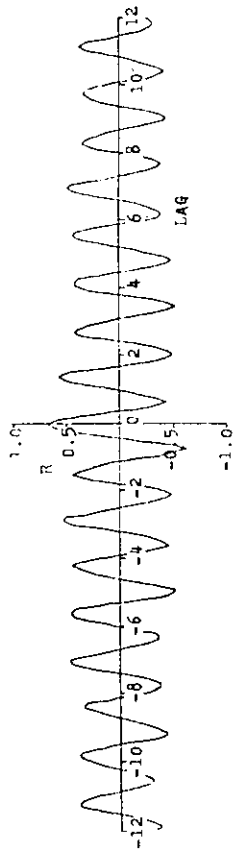
CROSS CORRELOGRAM
DD-1 DD-4,
TEST NO. 3025



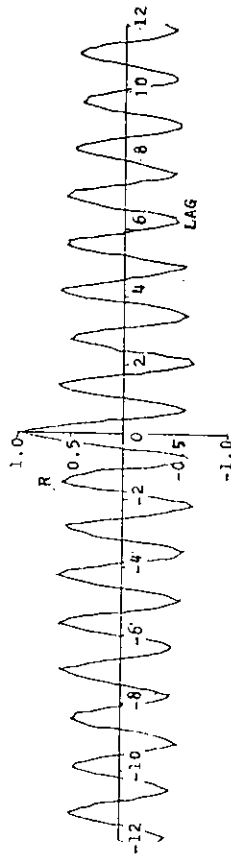
CROSS CORRELOGRAM
DD-4 DD-8
TEST NO. 3025



CROSS CORRELOGRAM
DD-2 DD-4
TEST NO. 3025

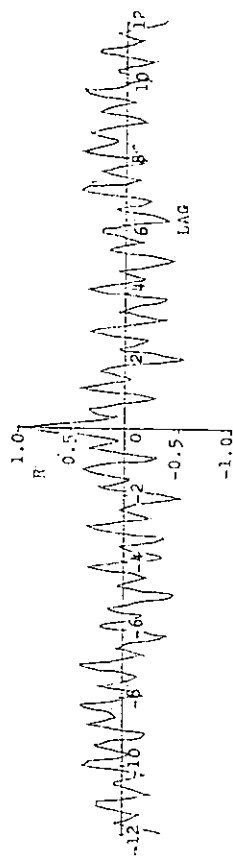


CROSS CORRELOGRAM
DD-4 DD-9
TEST NO. 3025

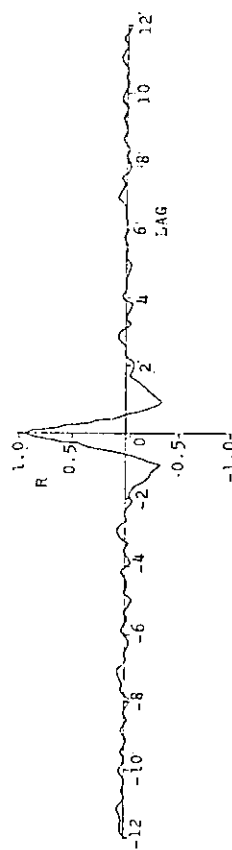


CROSS CORRELOGRAM
DD-4 DD-6
TEST NO. 3025

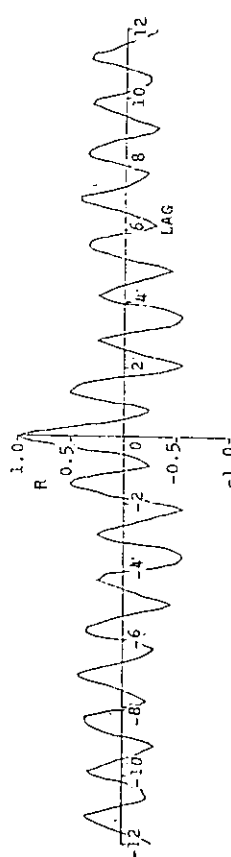
図 3.2.43 コログラム (昭武丸 Test No. 3025 の 2)



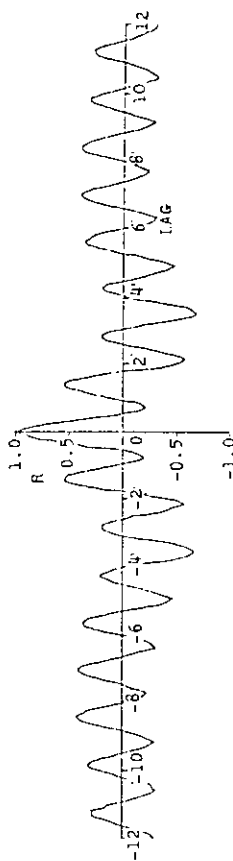
AUTO CORRELOGRAM
DD-1
TEST NO. 3026



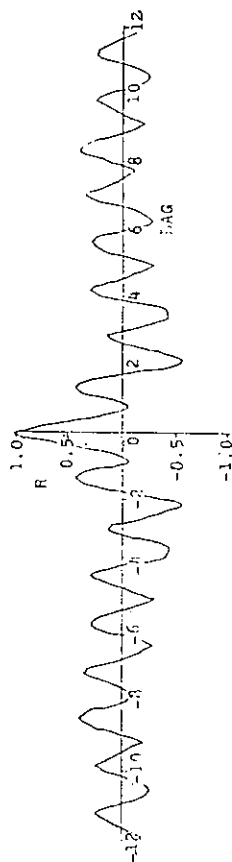
AUTO CORRELOGRAM
DD-2
TEST NO. 3026



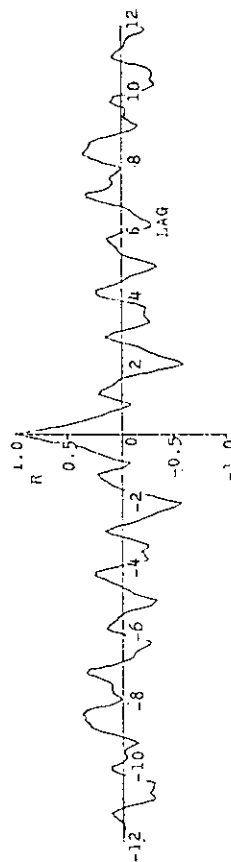
AUTO CORRELOGRAM
DD-4
TEST NO. 3026



AUTO CORRELOGRAM
DD-5
TEST NO. 3026



AUTO CORRELOGRAM
DD-8
TEST NO. 3026



AUTO CORRELOGRAM
DD-9
TEST NO. 3026

図 3.2.44 コログラム (昭武丸 Test No. 3026 の 1)

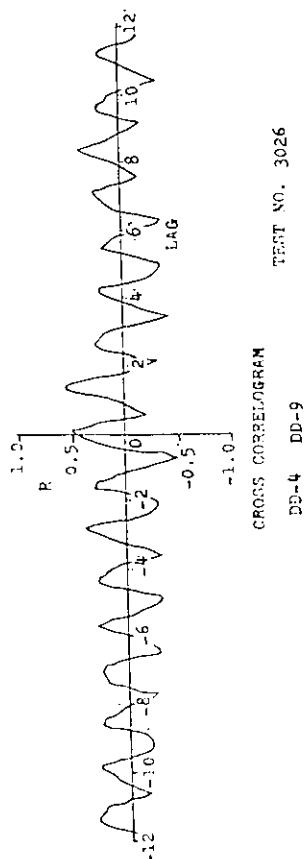
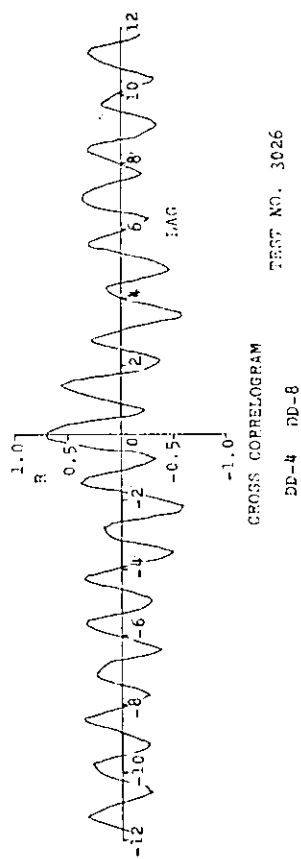
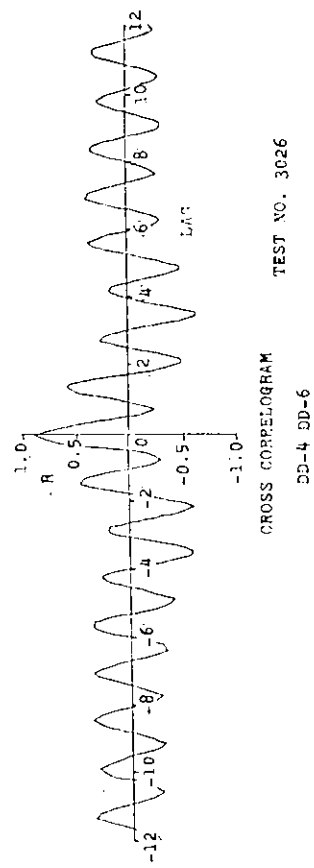
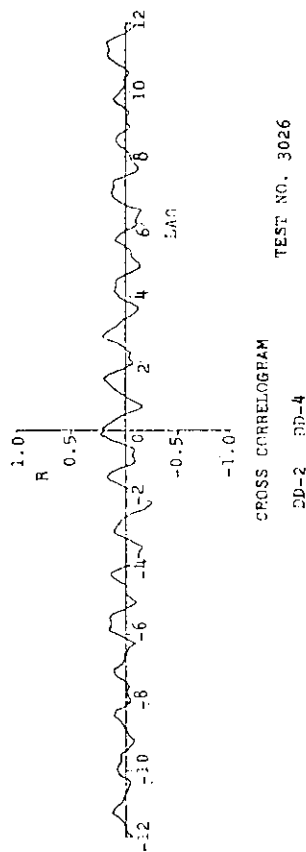
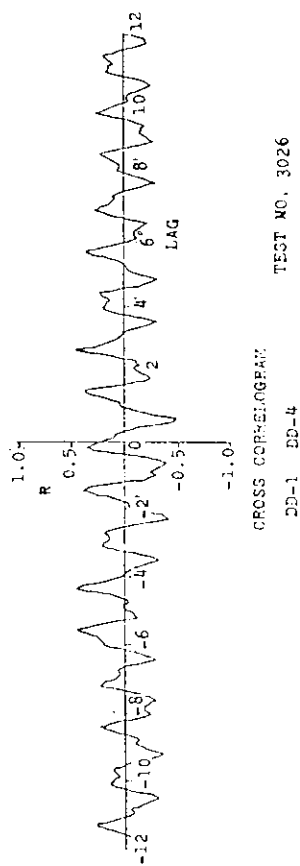


図 3.2.45 コログラム (昭武丸 Test No. 3026 の 2)

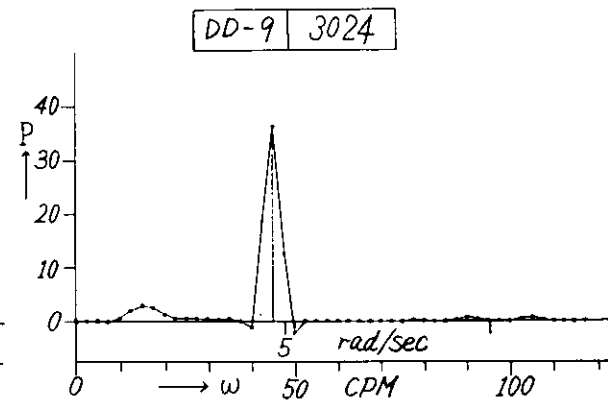
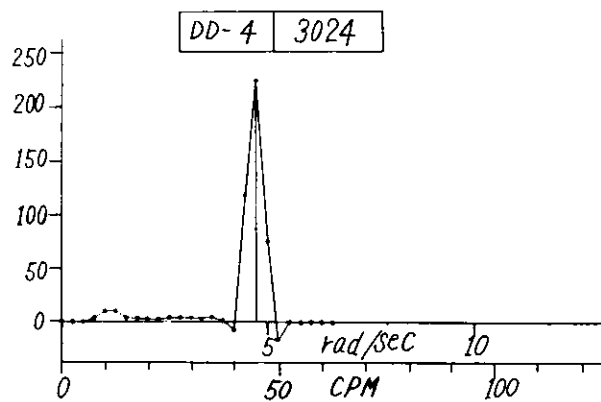
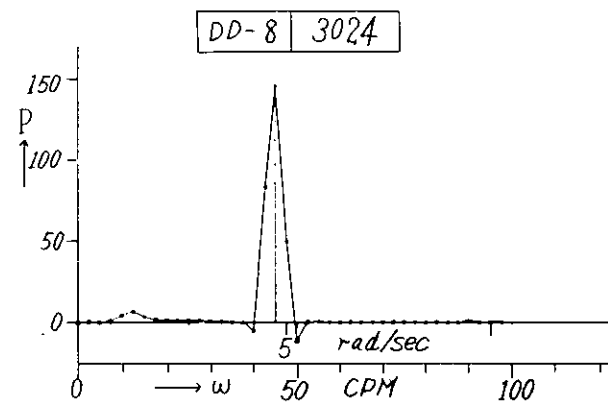
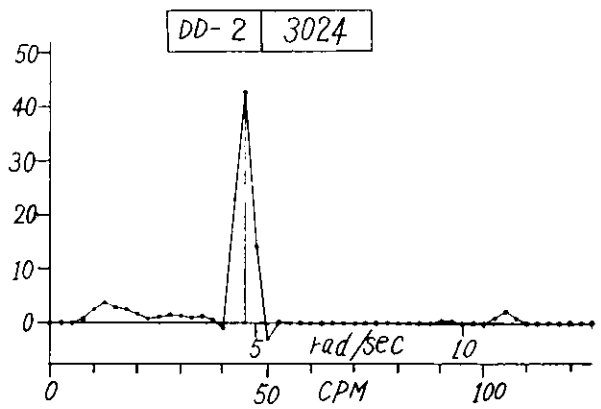
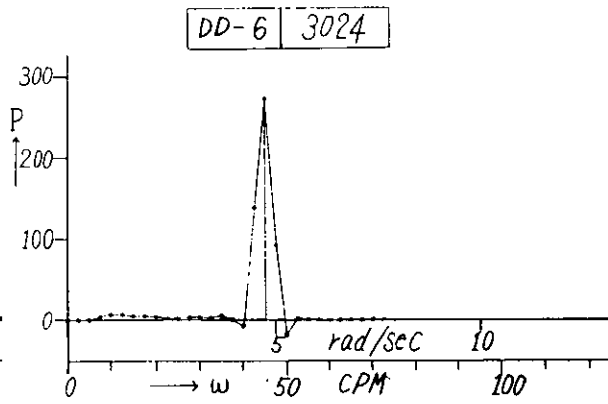
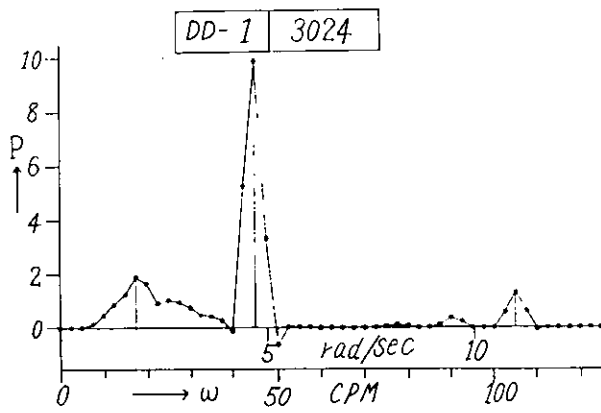


図 3.2.46 スペクトラム (昭武丸 Test No. 3024)

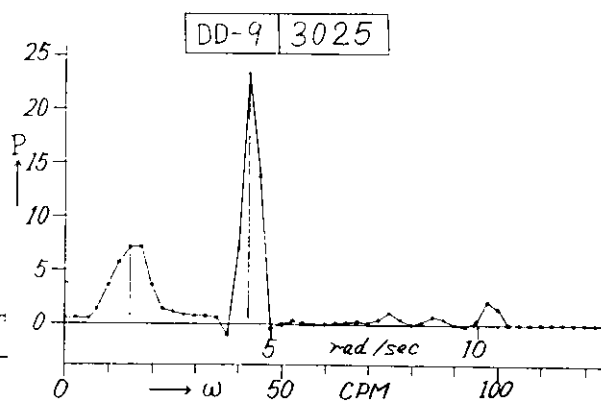
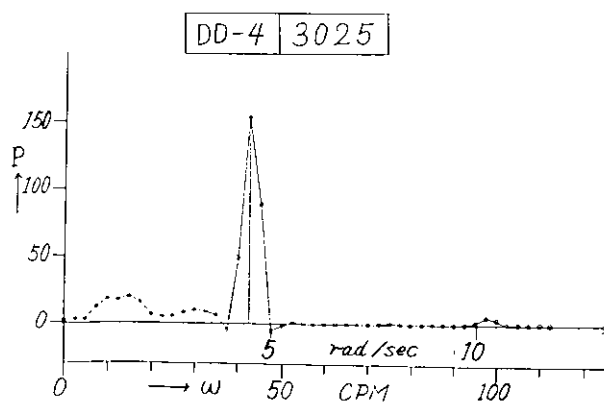
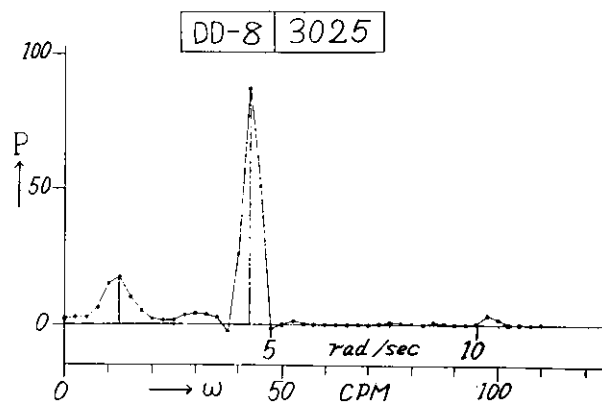
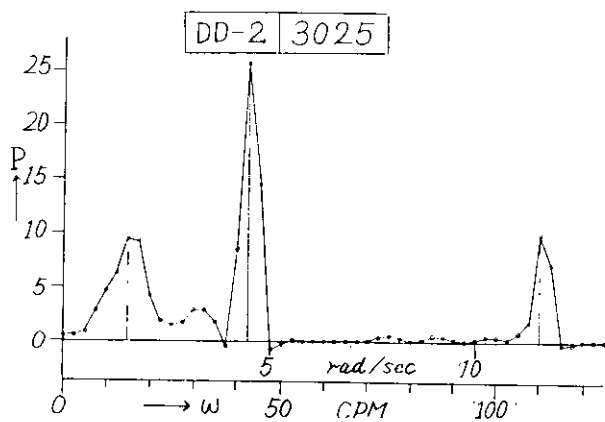
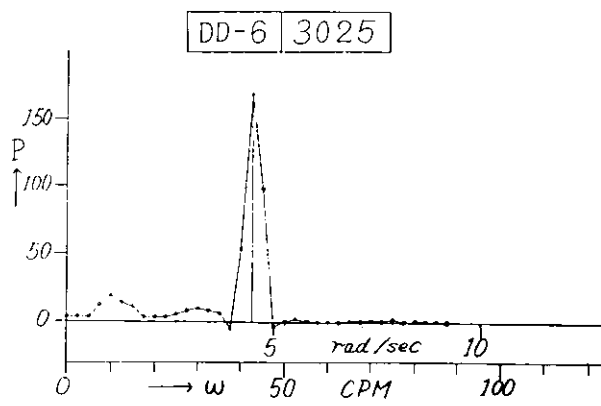
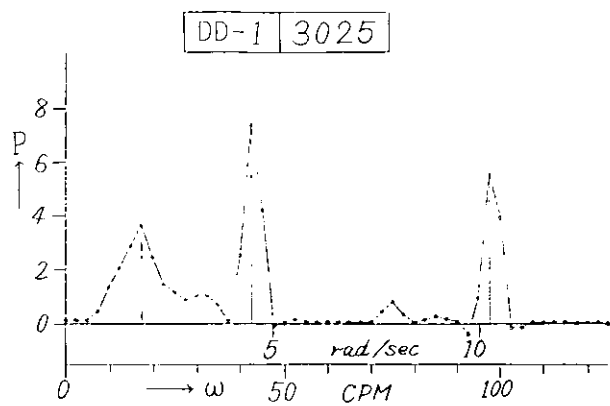


図 3.2. 47 スペクトラム (振試丸 Test No. 3025)

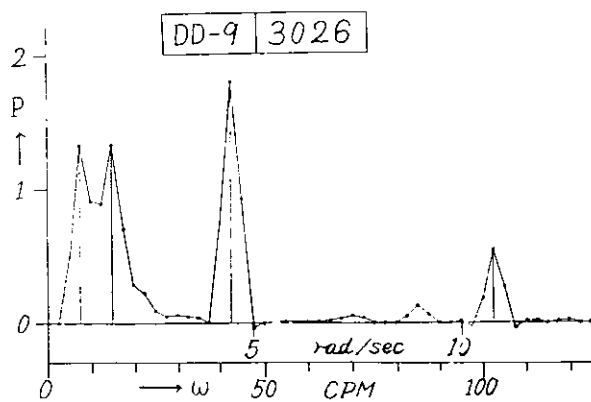
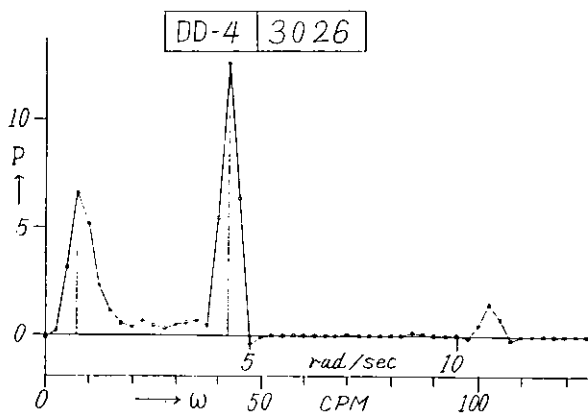
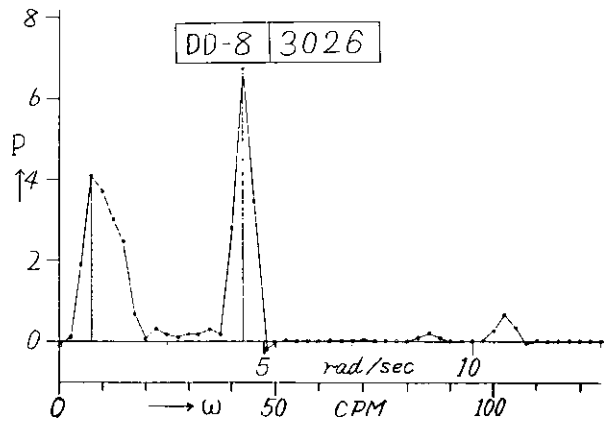
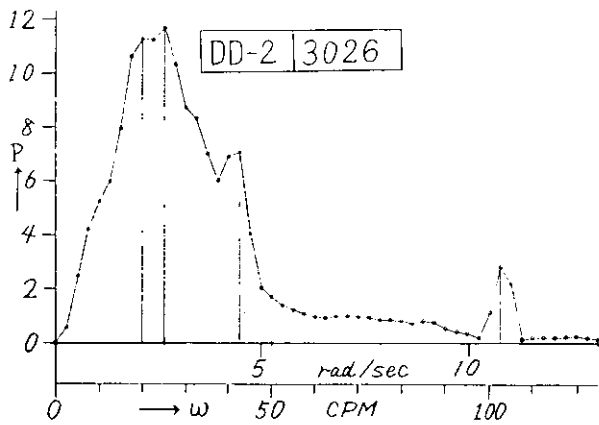
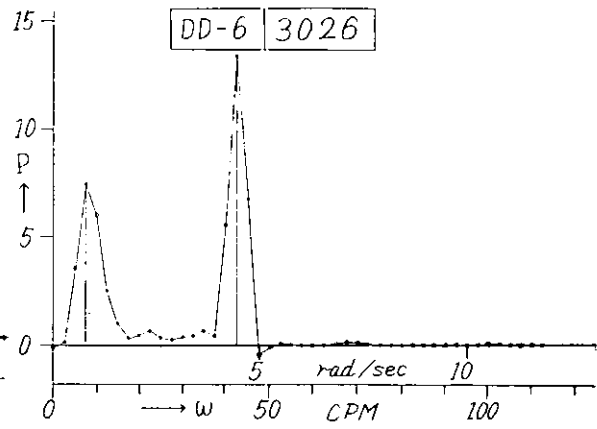
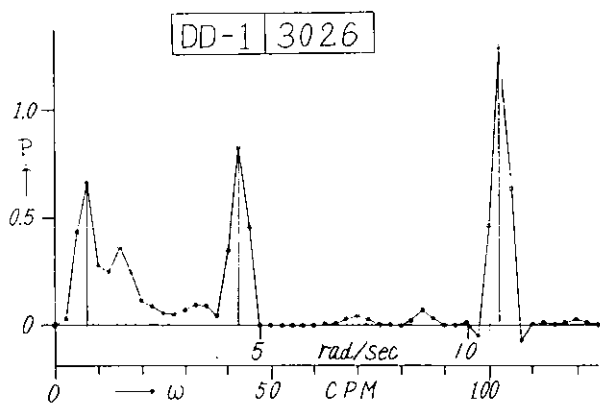


図 3.2.48 スペクトラム (昭試丸 Test No. 3026)

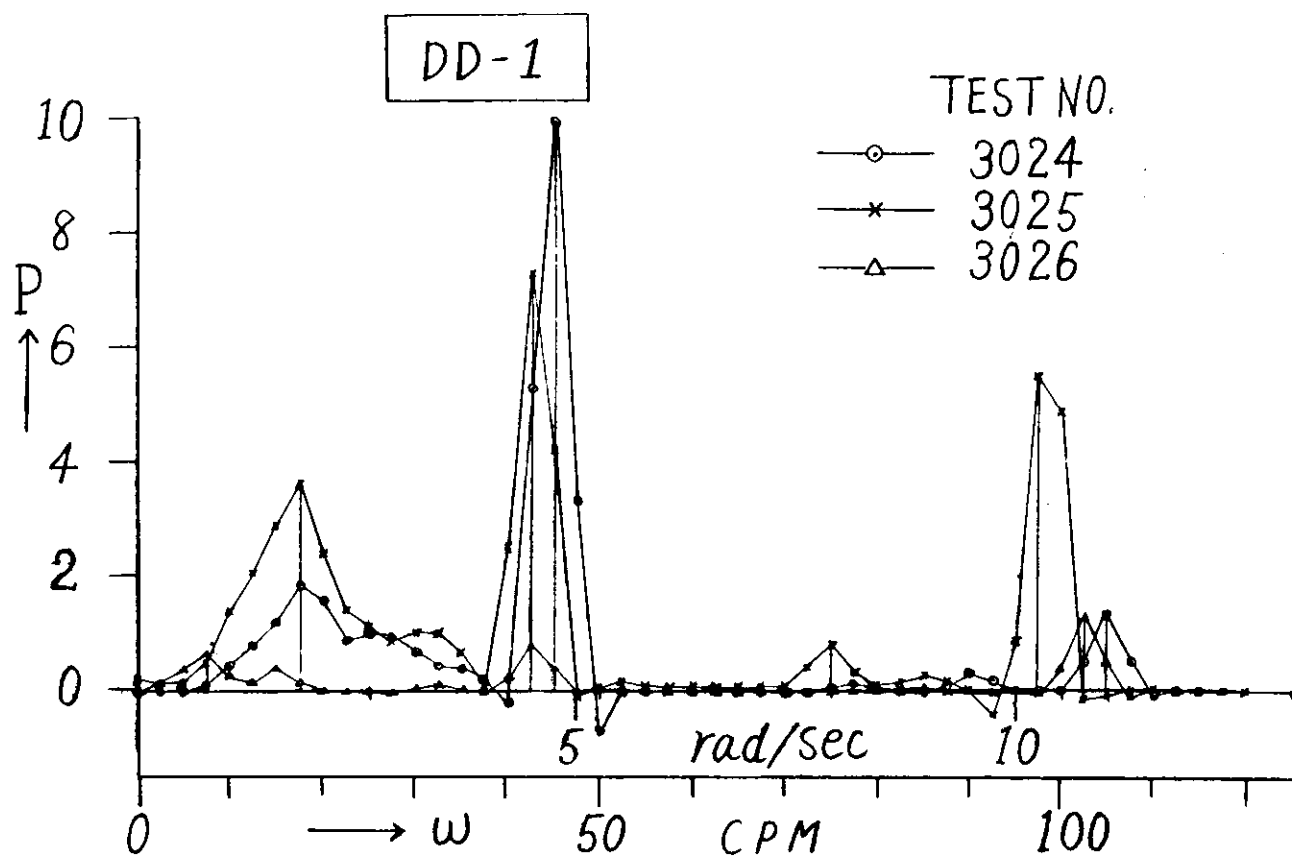


図 3. 2. 49 スペクトラム (昭武丸 DD-1)

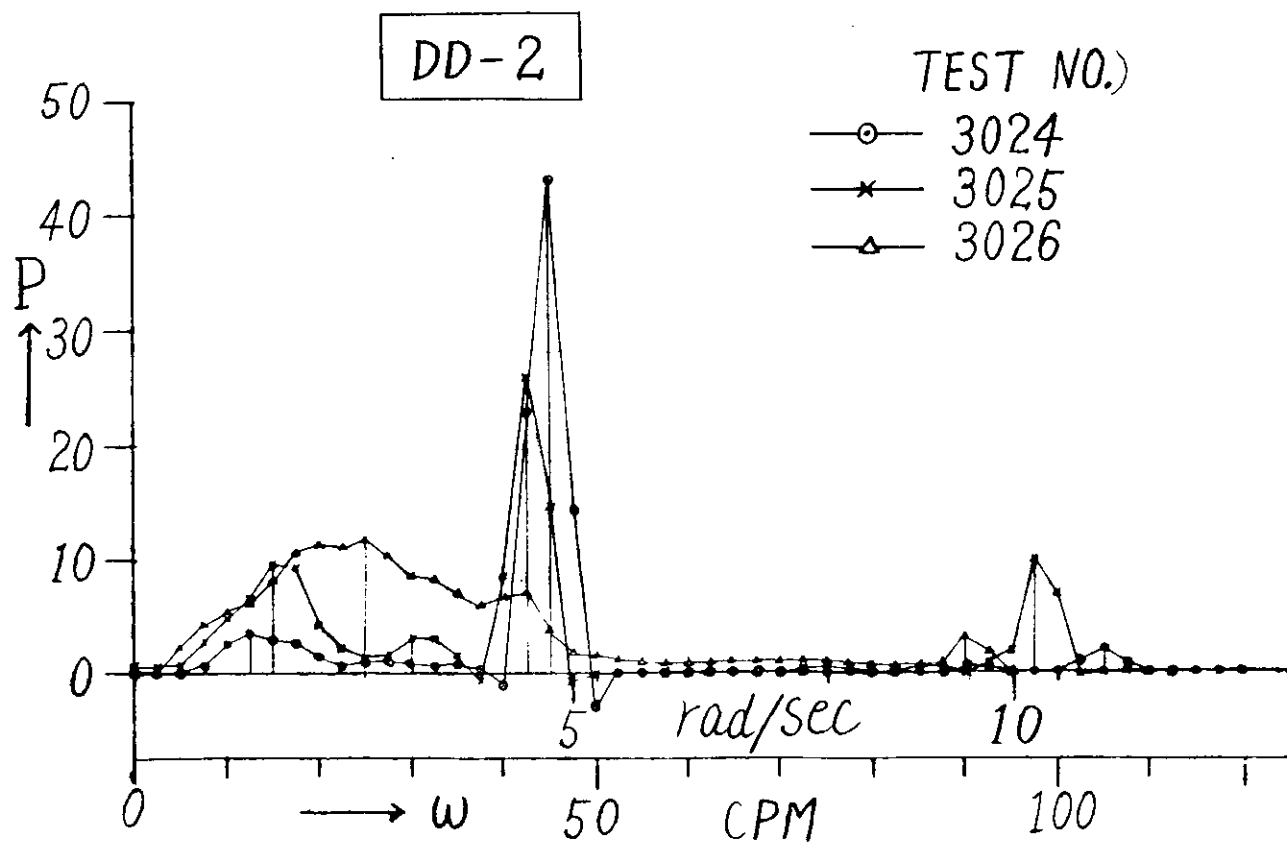


図 3. 2. 50 スペクトラム (昭武丸 DD-2)

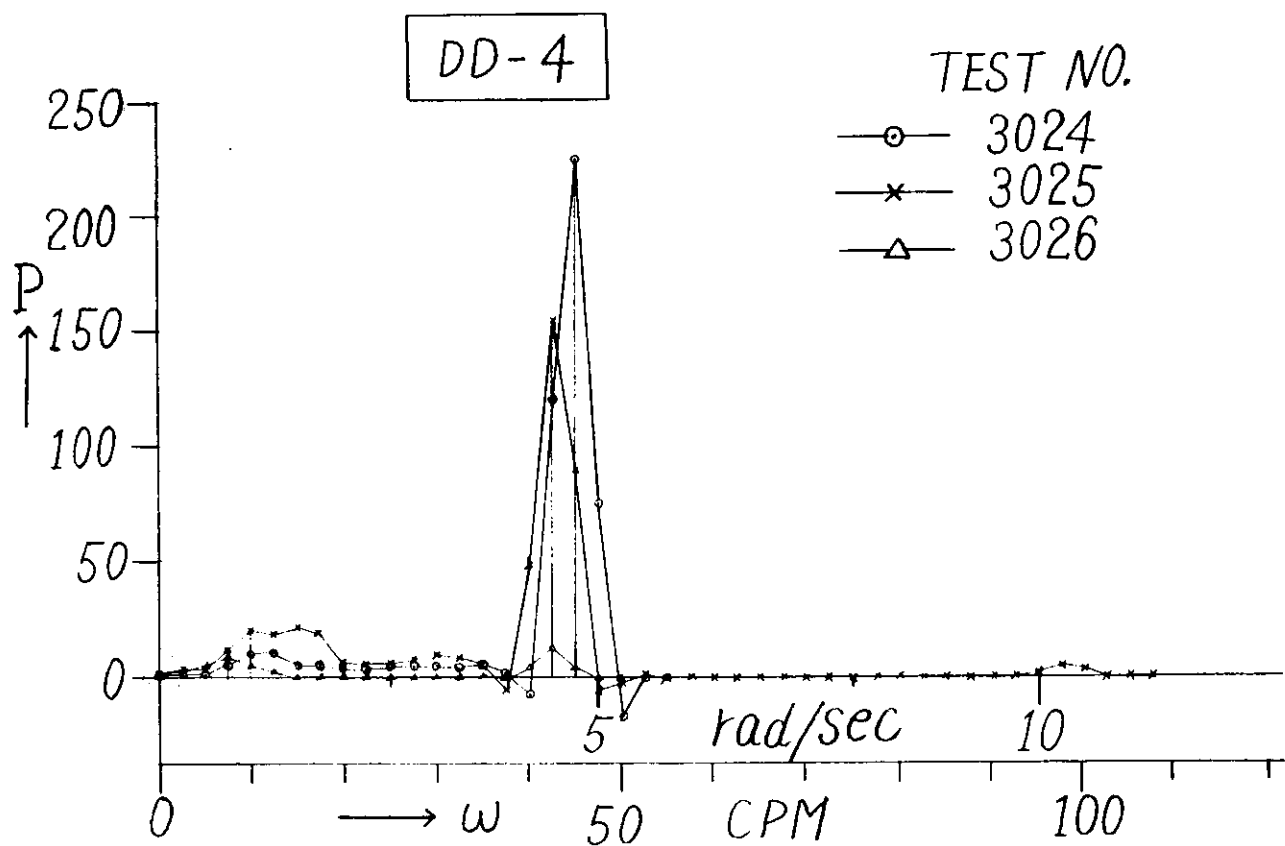


図 3. 2. 51 スペクトラム (昭武丸 DD-4)

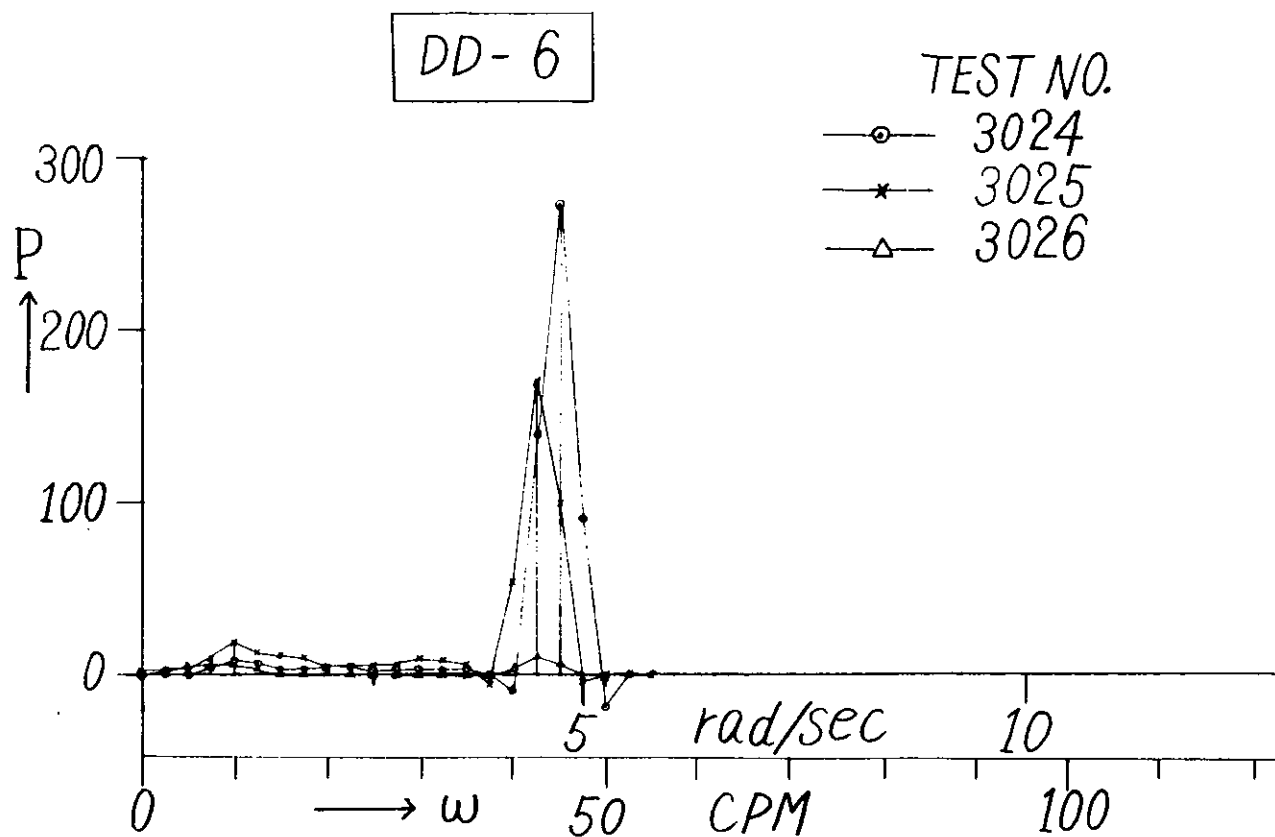


図 3. 2. 52 スペクトラム (昭武丸 DD-6)

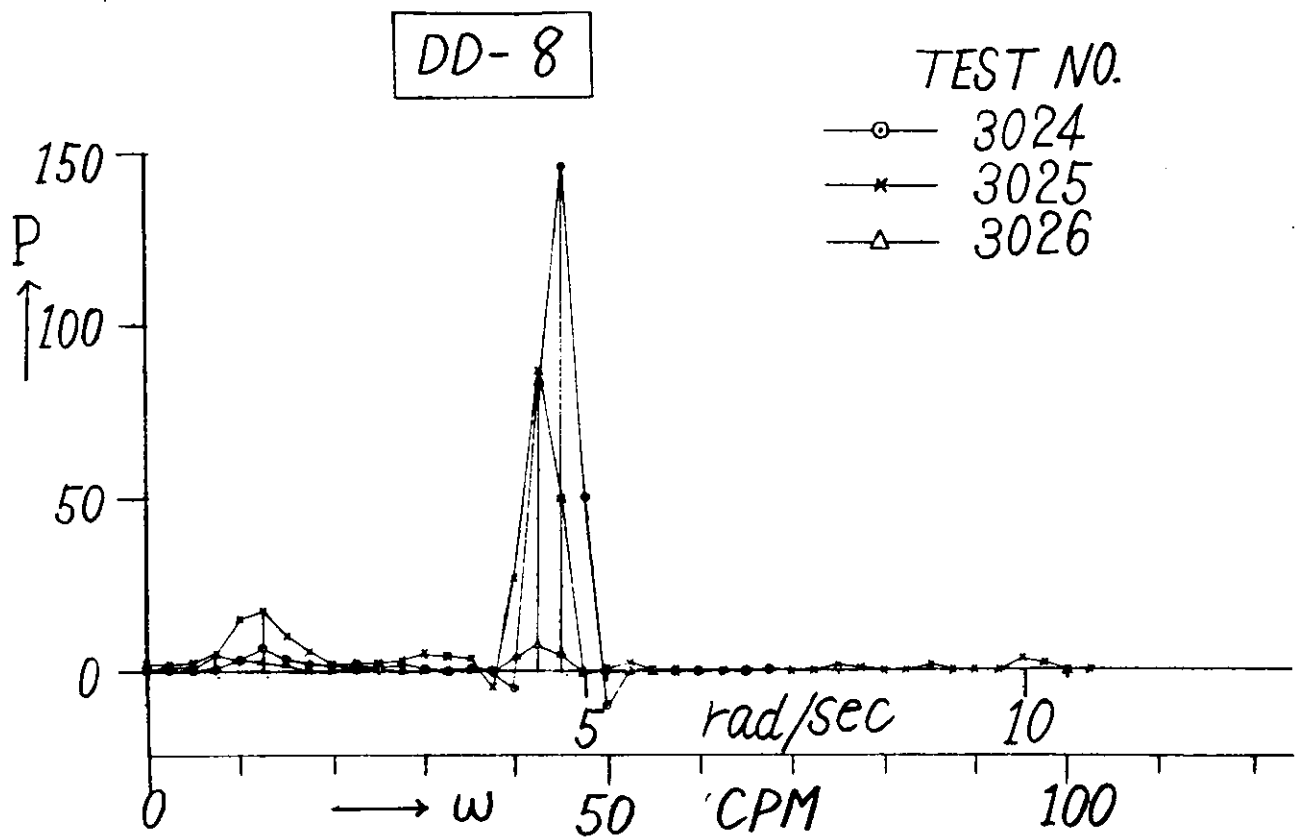


図 3. 2. 53 スペクトラム (昭武丸 DD-8)

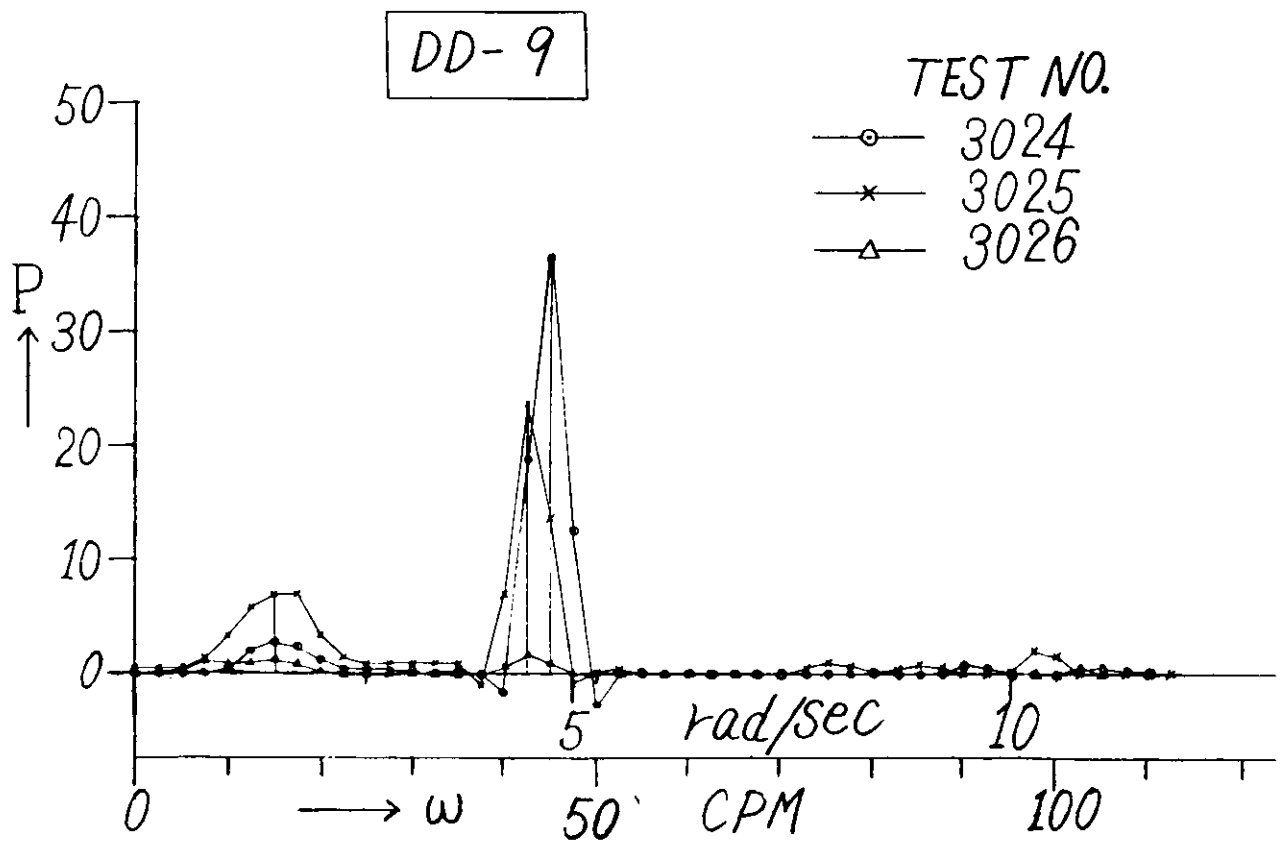


図 3. 2. 54 スペクトラム (昭武丸 DD-9)

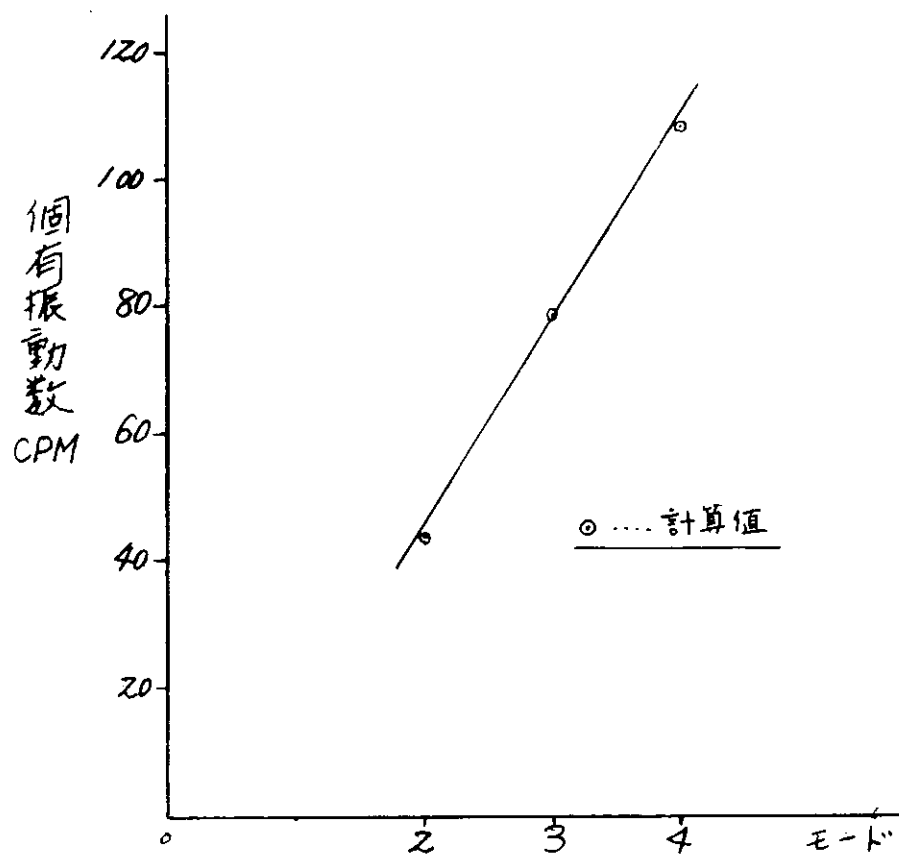


図3.2.55 昭武丸継曲げ振動数

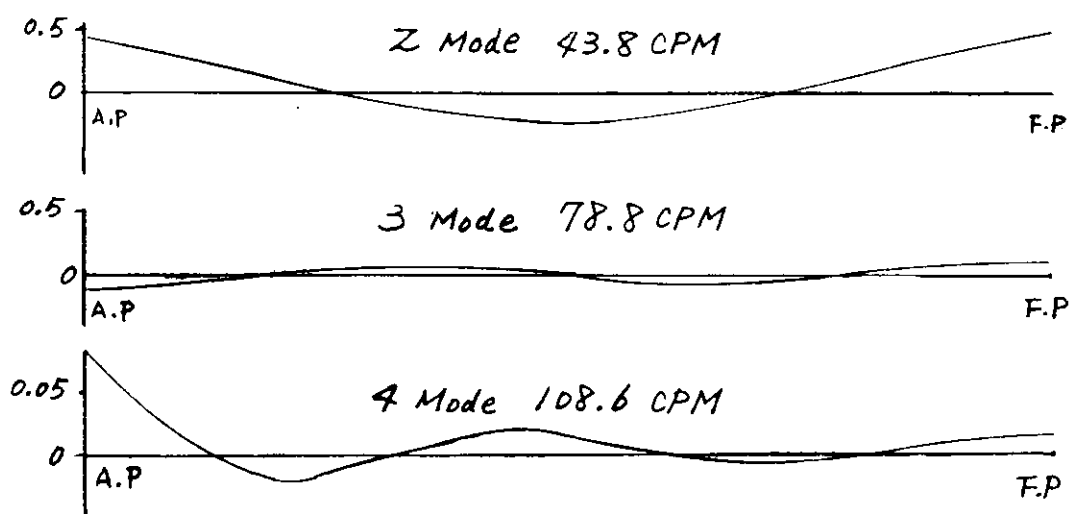


図3.2.56 モード・カーブ (昭武丸)

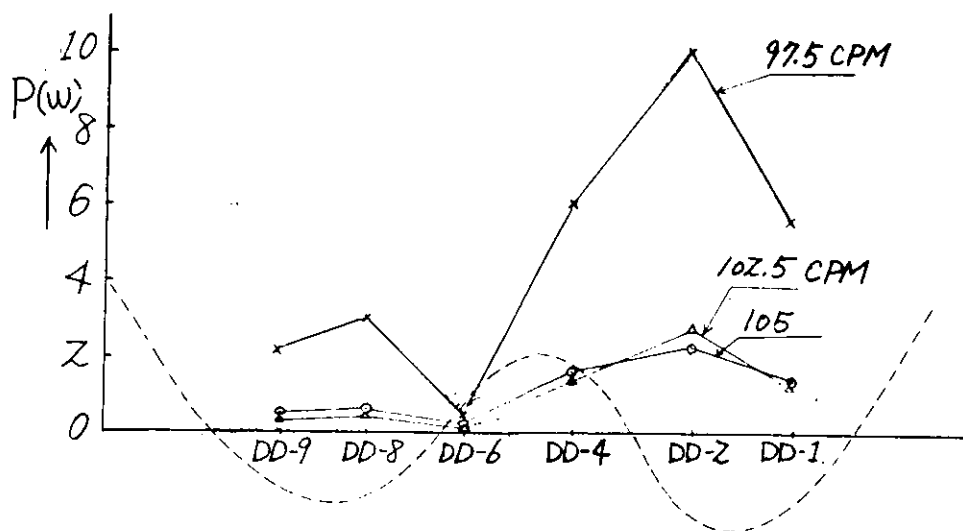


図 3.2.57 エネルギー密度の分布 (4 節振動)

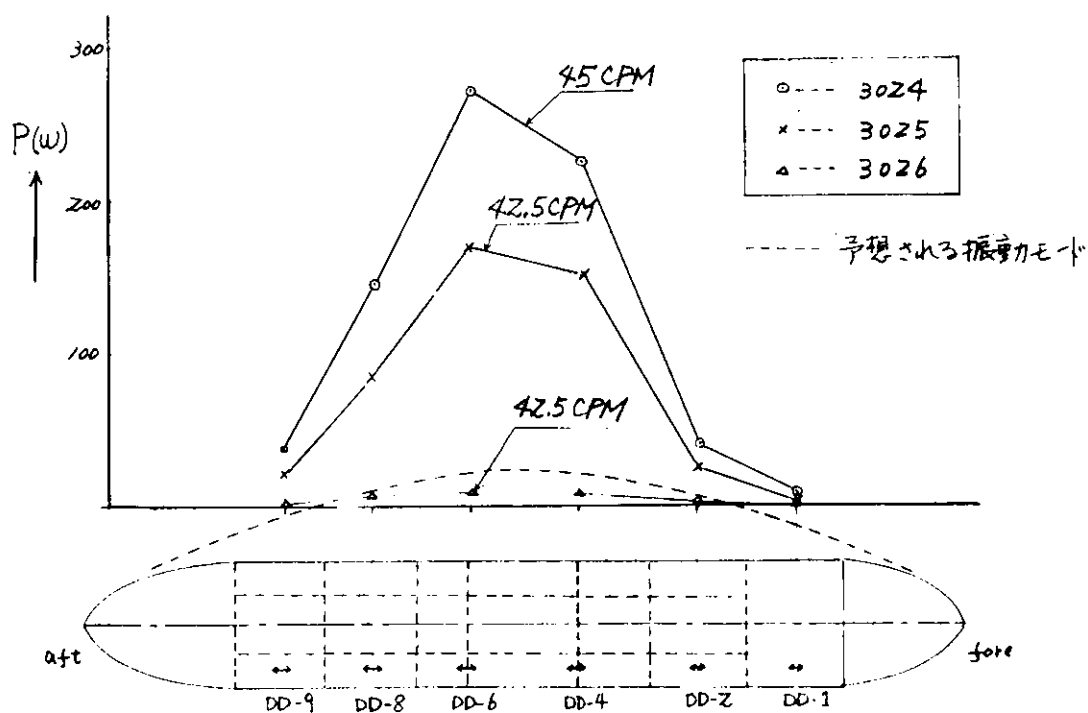


図 3.2.58 エネルギー密度の分布 (2 節振動)

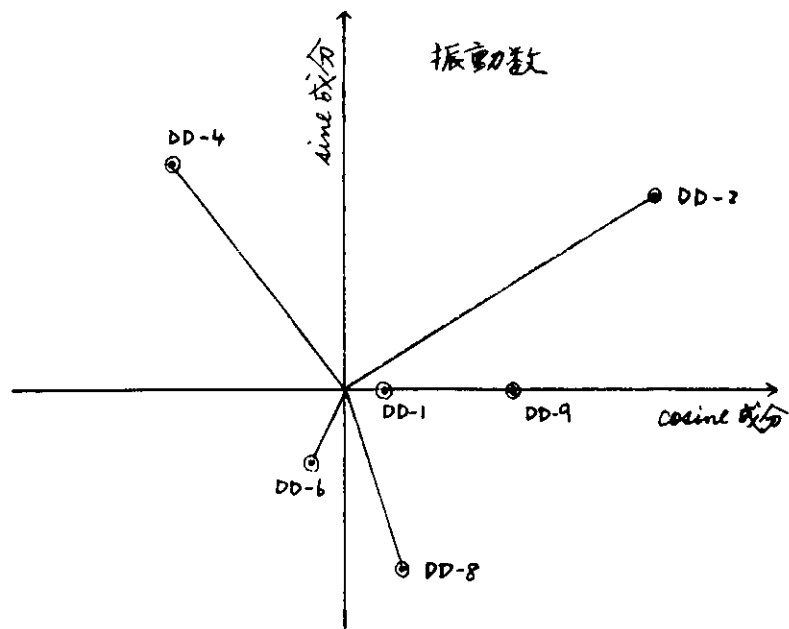
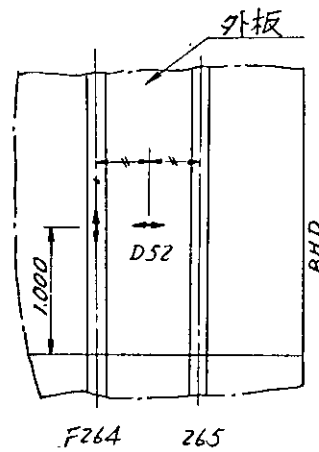
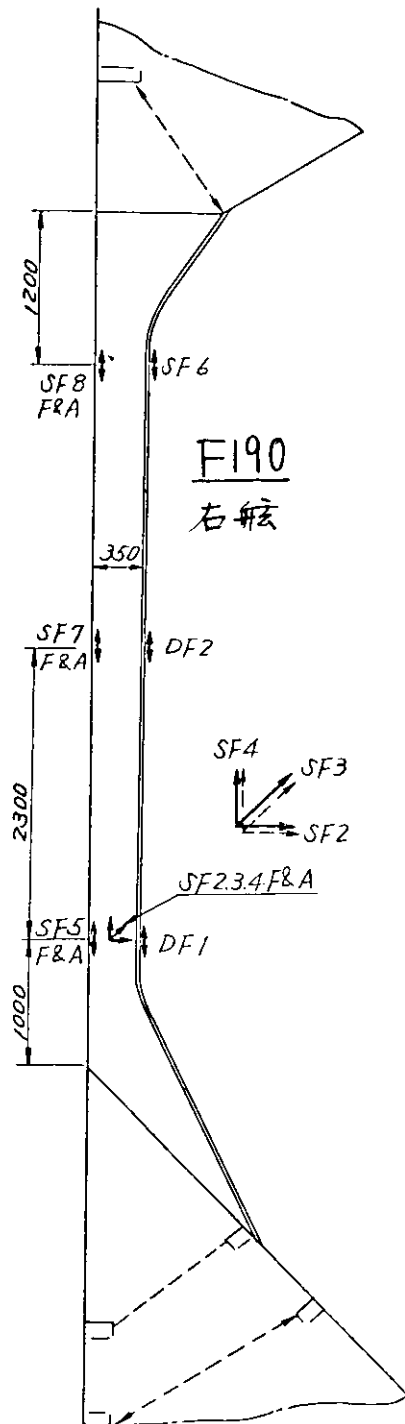
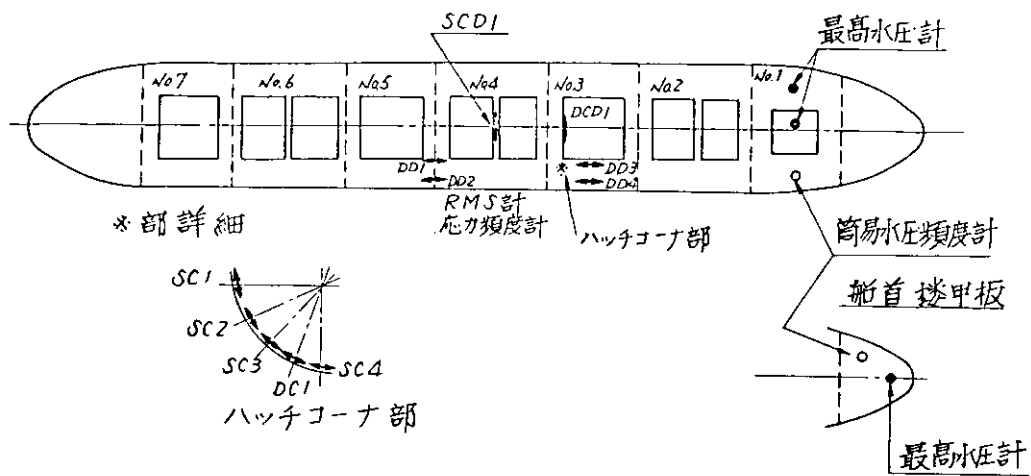


図3.2.59 4節振動における位相関係

上甲板



NO.1 Hold 右舷

図3.2.60 紀見丸計測位置



図 4.1.1 Transverse Ring の有限要素法分割図 (紀見丸)

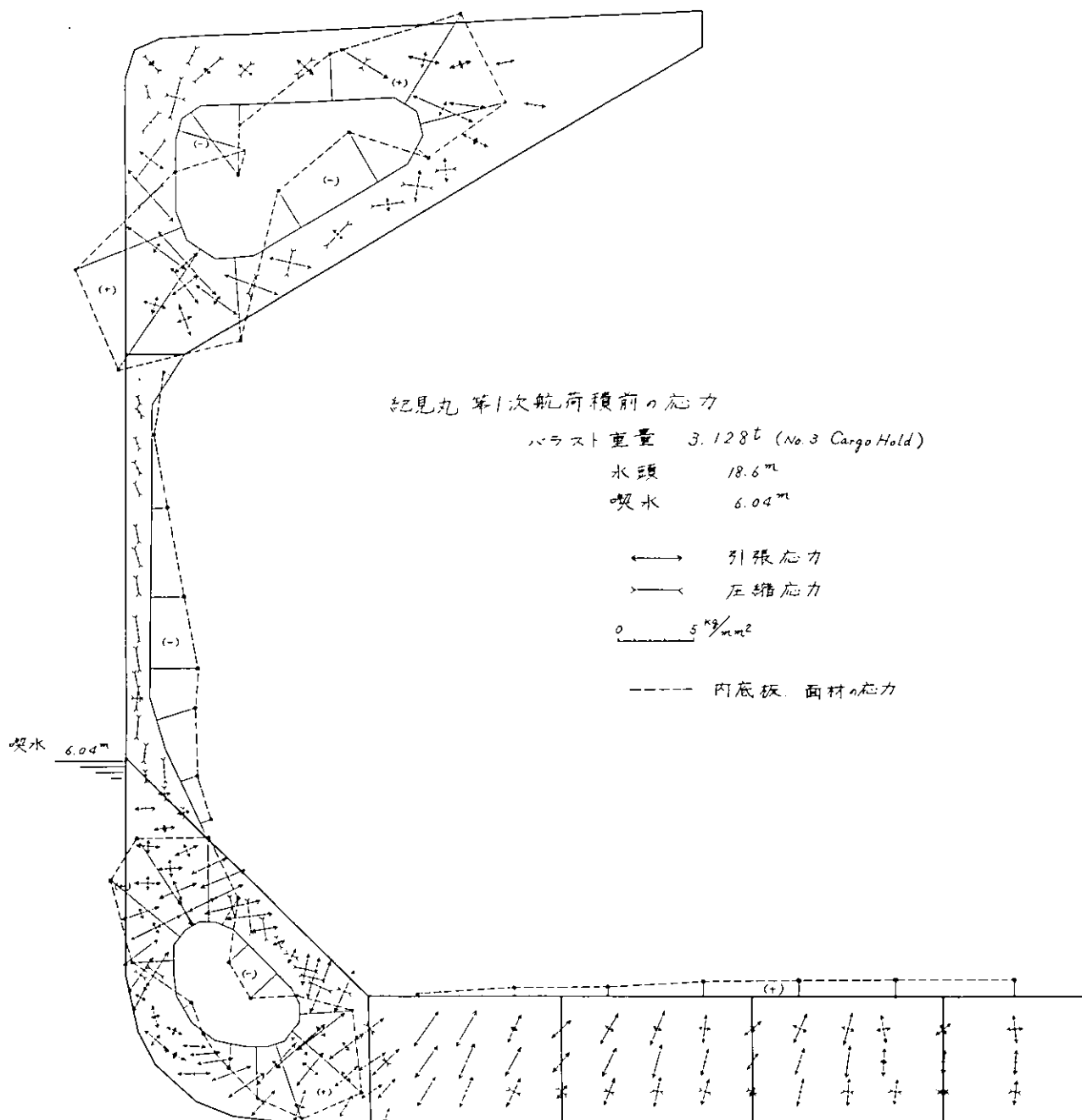


図 4.1.2. 有限要素法による応力分布 (条件1)

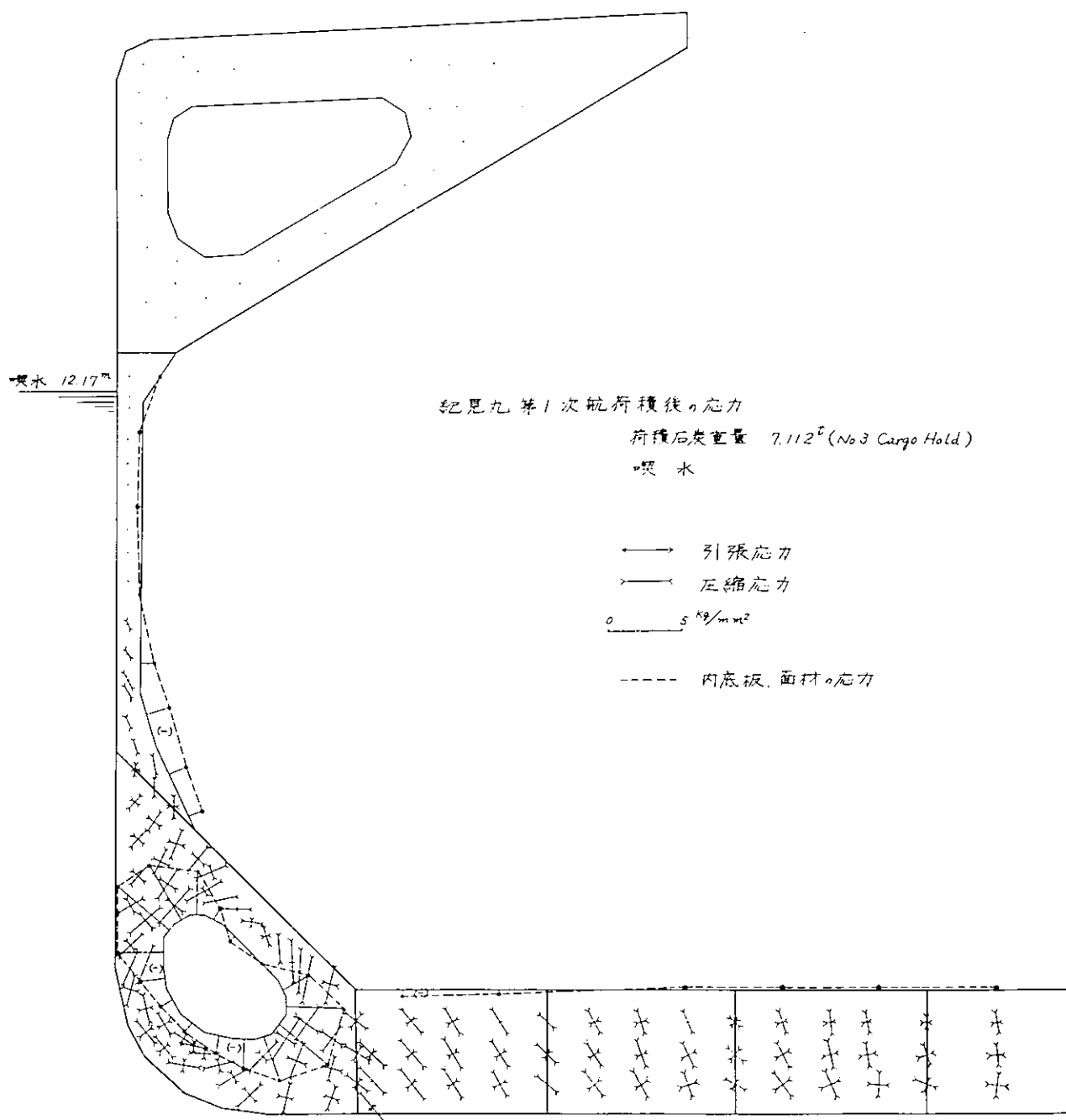


図 4.1.3. 有限要素法による応力分布 (条件 2)

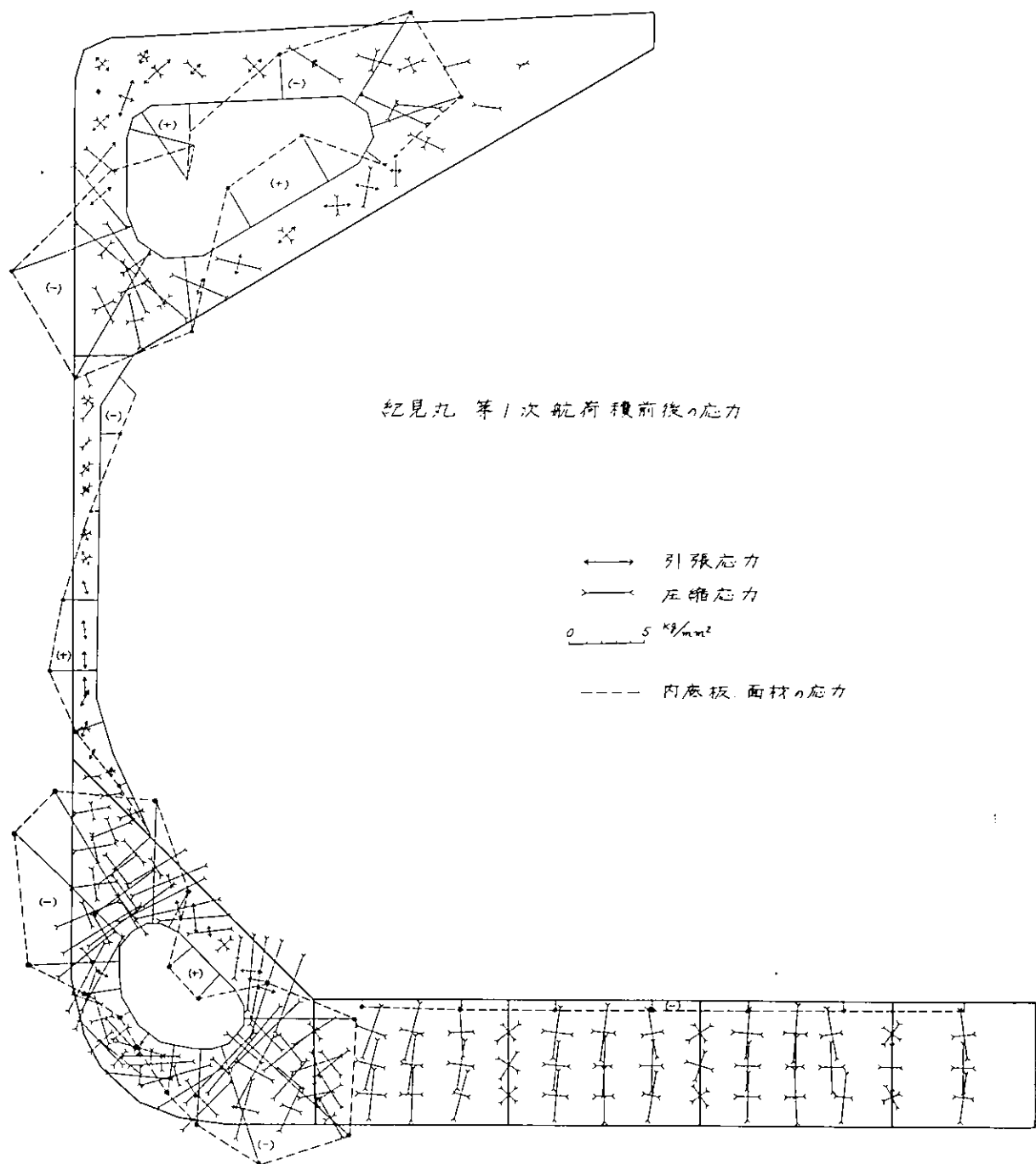


図 4.1.4. 有限要素法による応力分布 (条件 3)

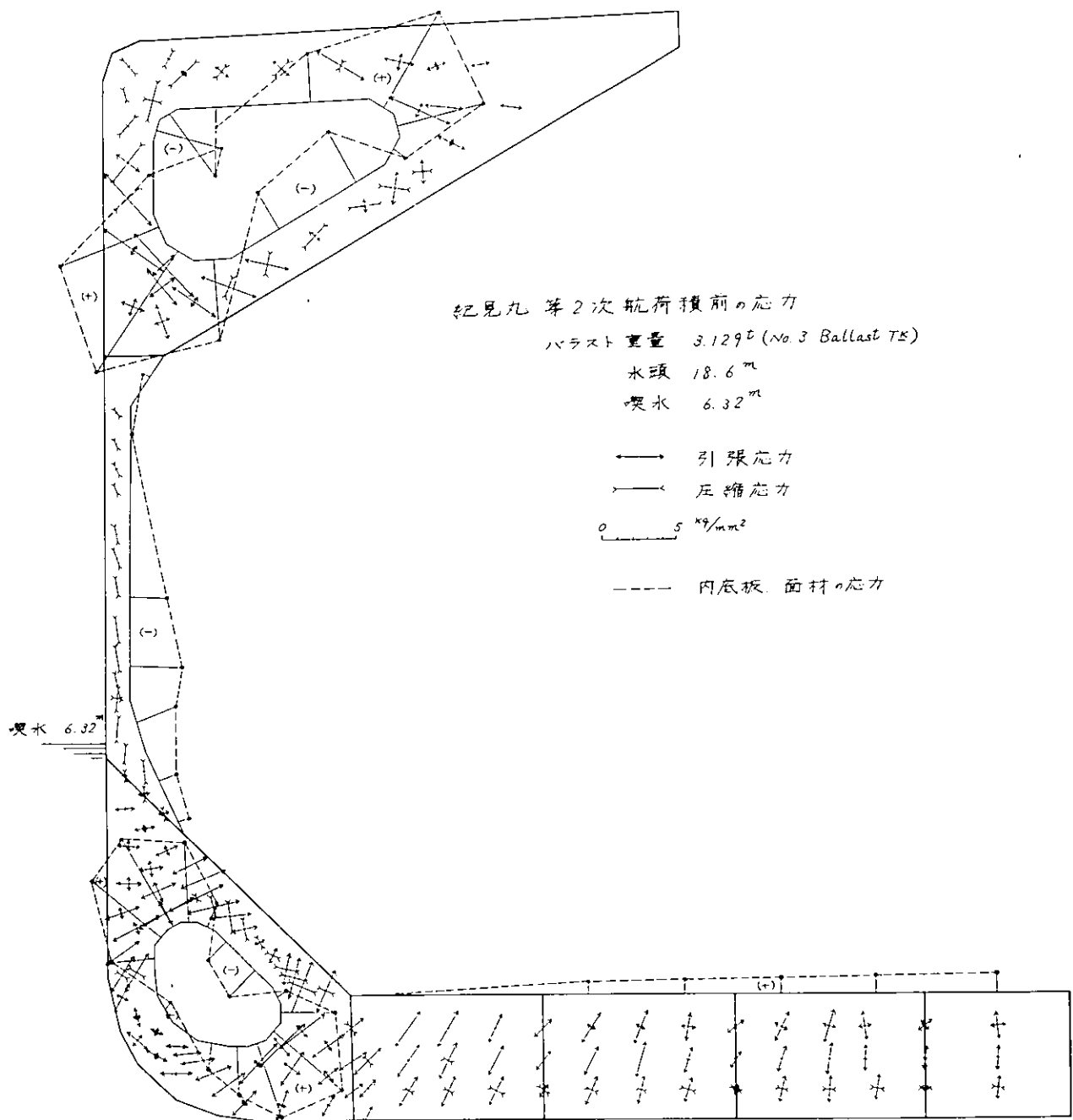


図 4.1.5. 有限要素法による応力分布 (条件 4)

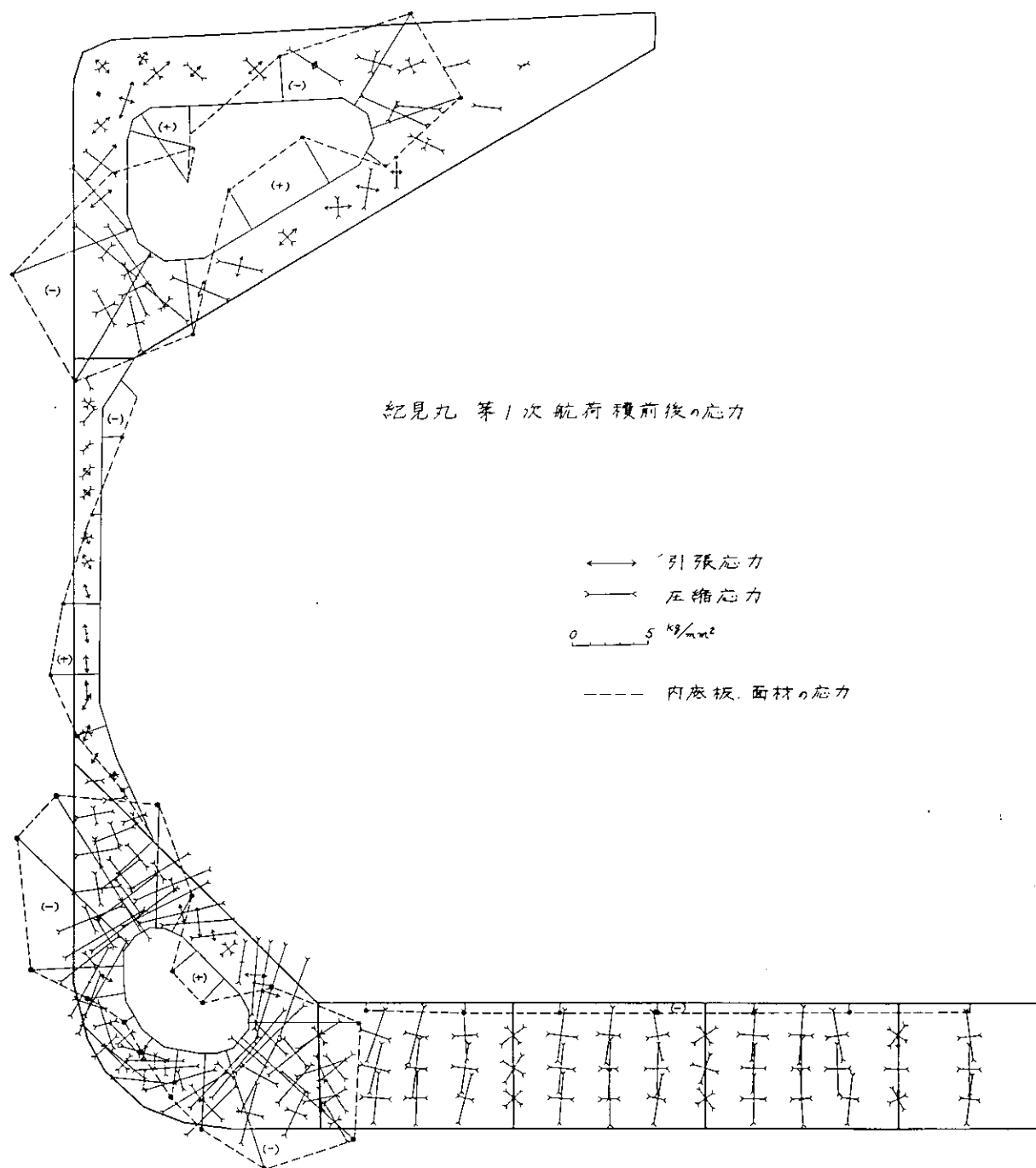


図 4.1.4. 有限要素法による応力分布 (条件3)

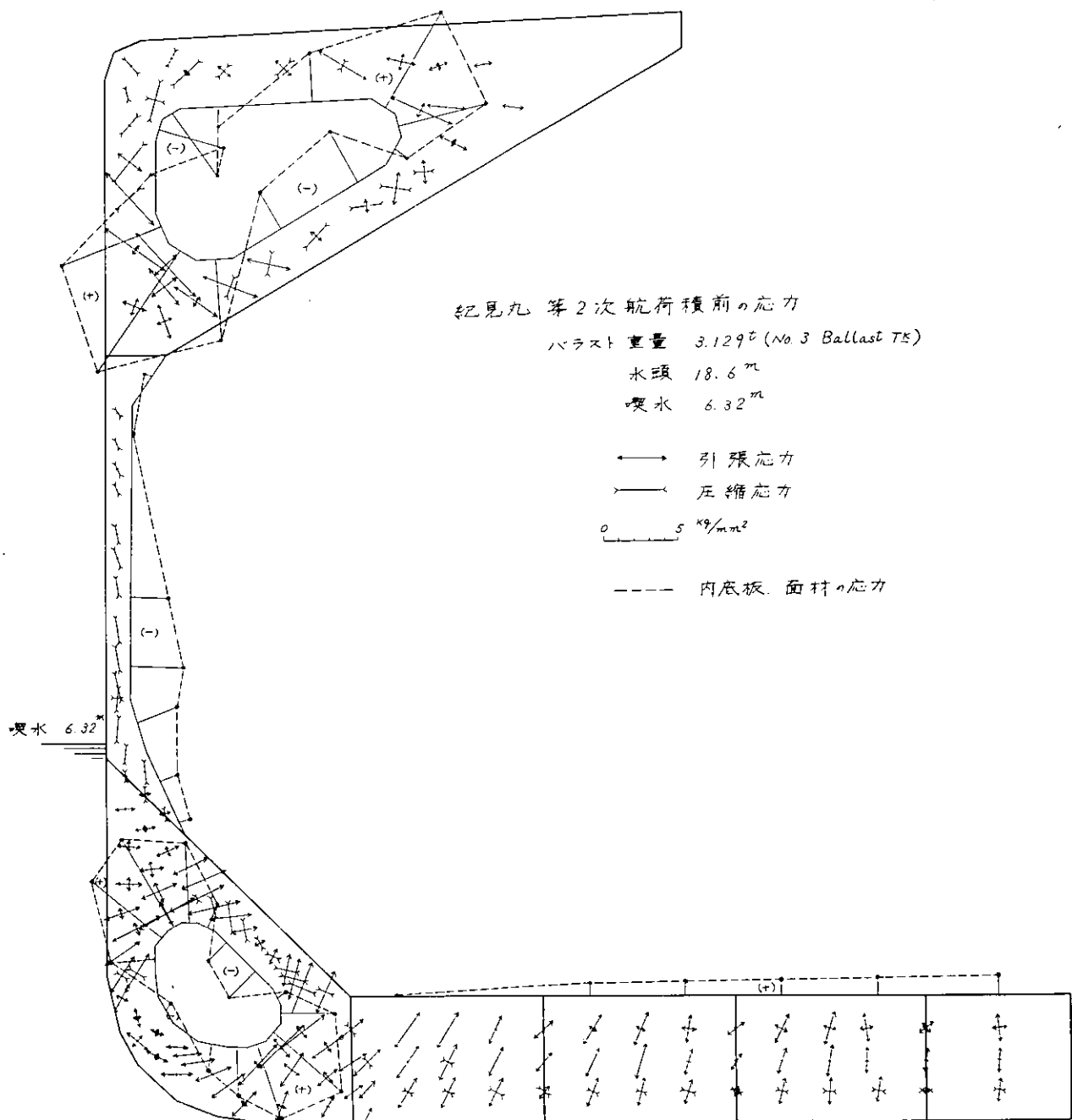


図 4.1.5. 有限要素法による応力分布 (条件 4)

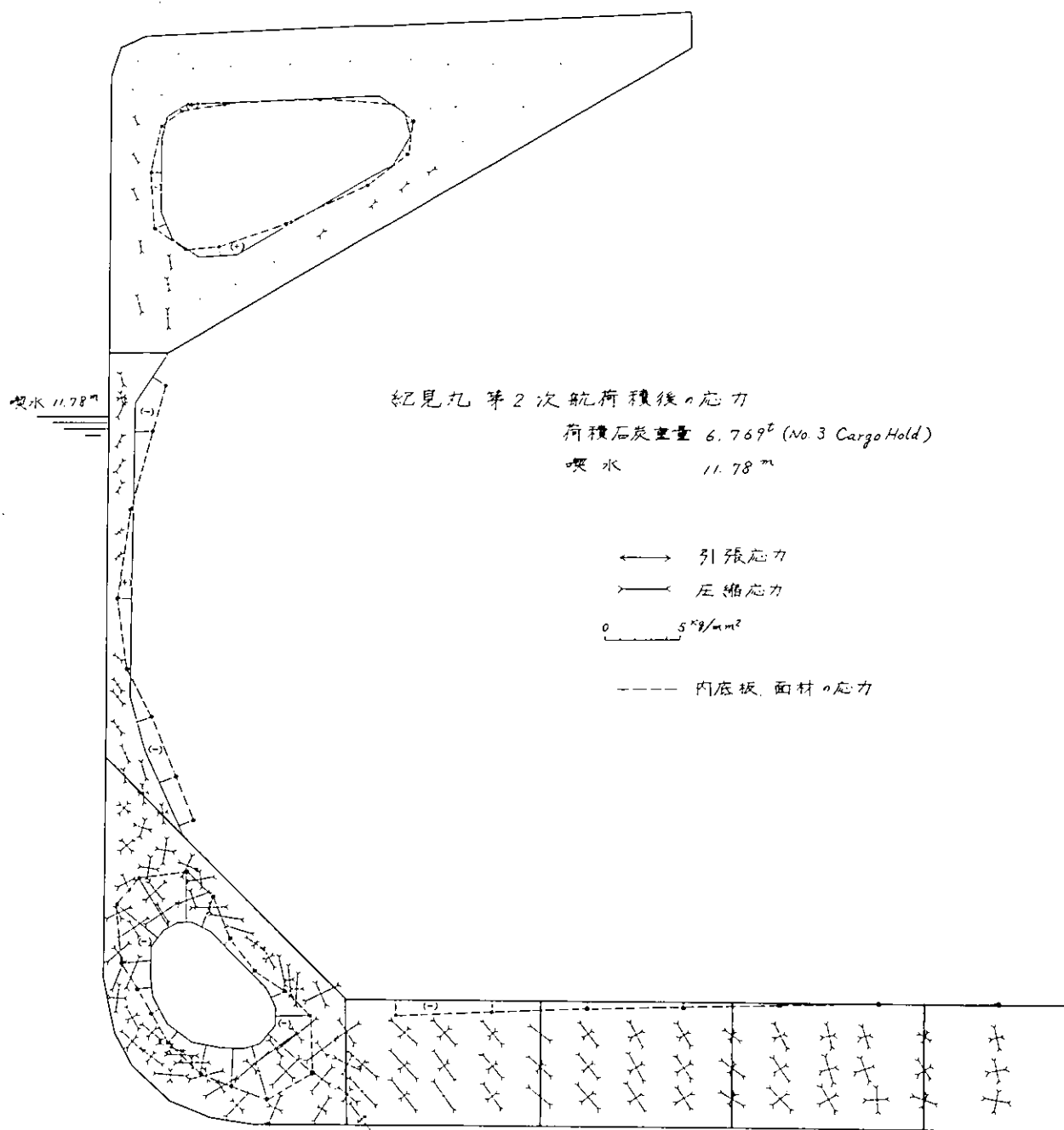


図 4.1.6. 有限要素法による応力分布 (条件 5)

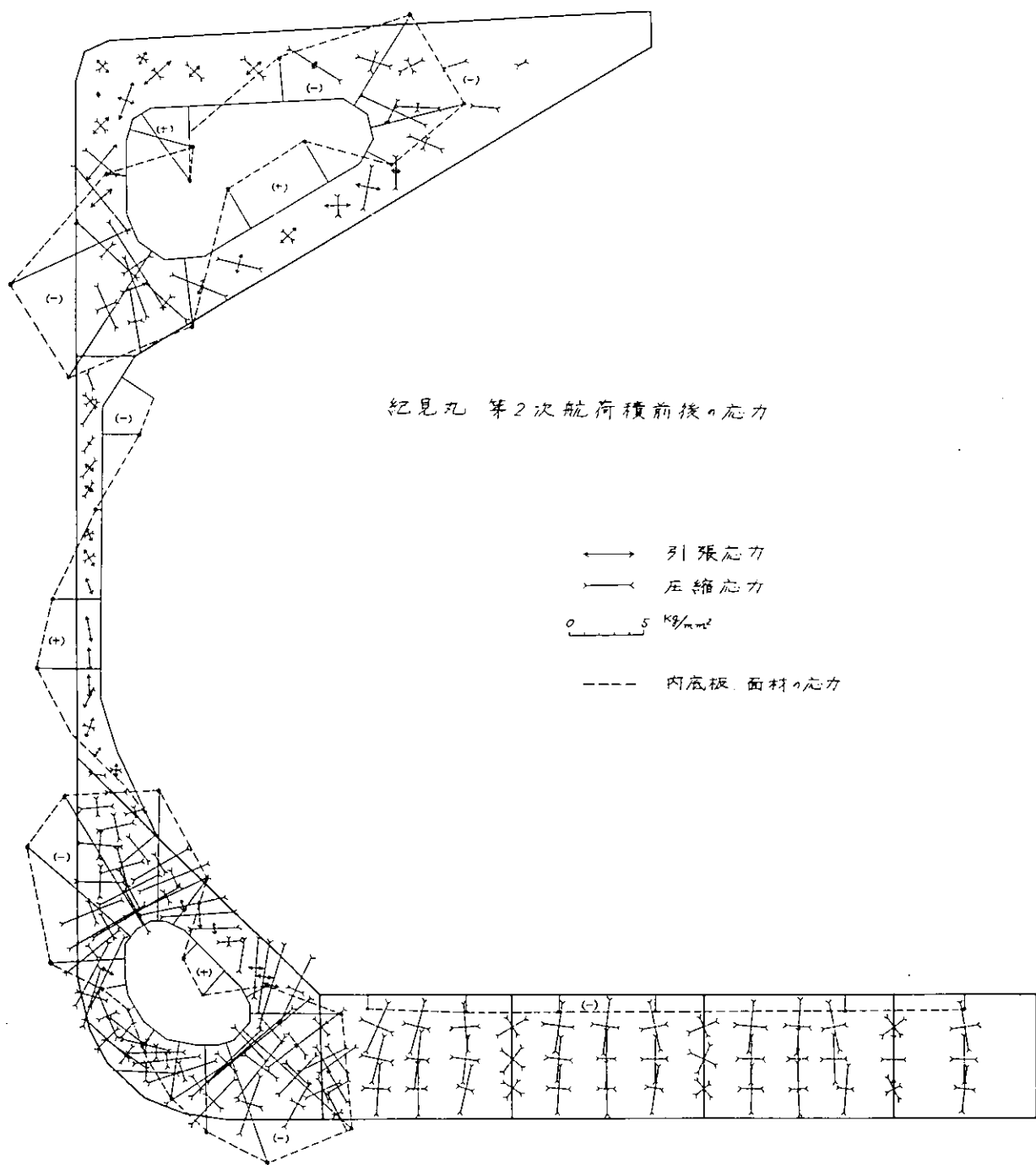


図 4.1.7. 有限要素法による応力分布 (条件 6)

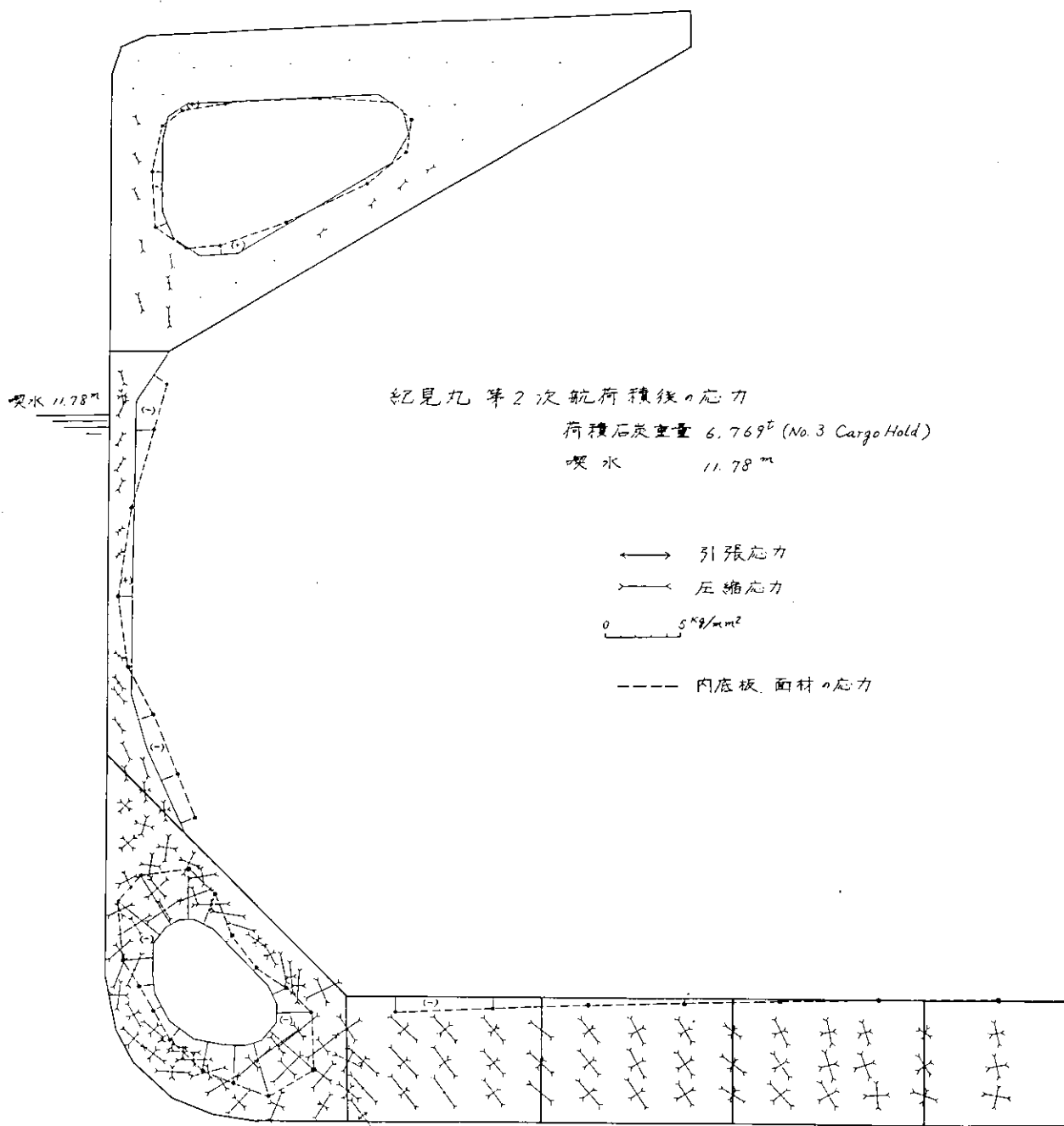


図 4.1.6. 有限要素法による応力分布 (条件 5)

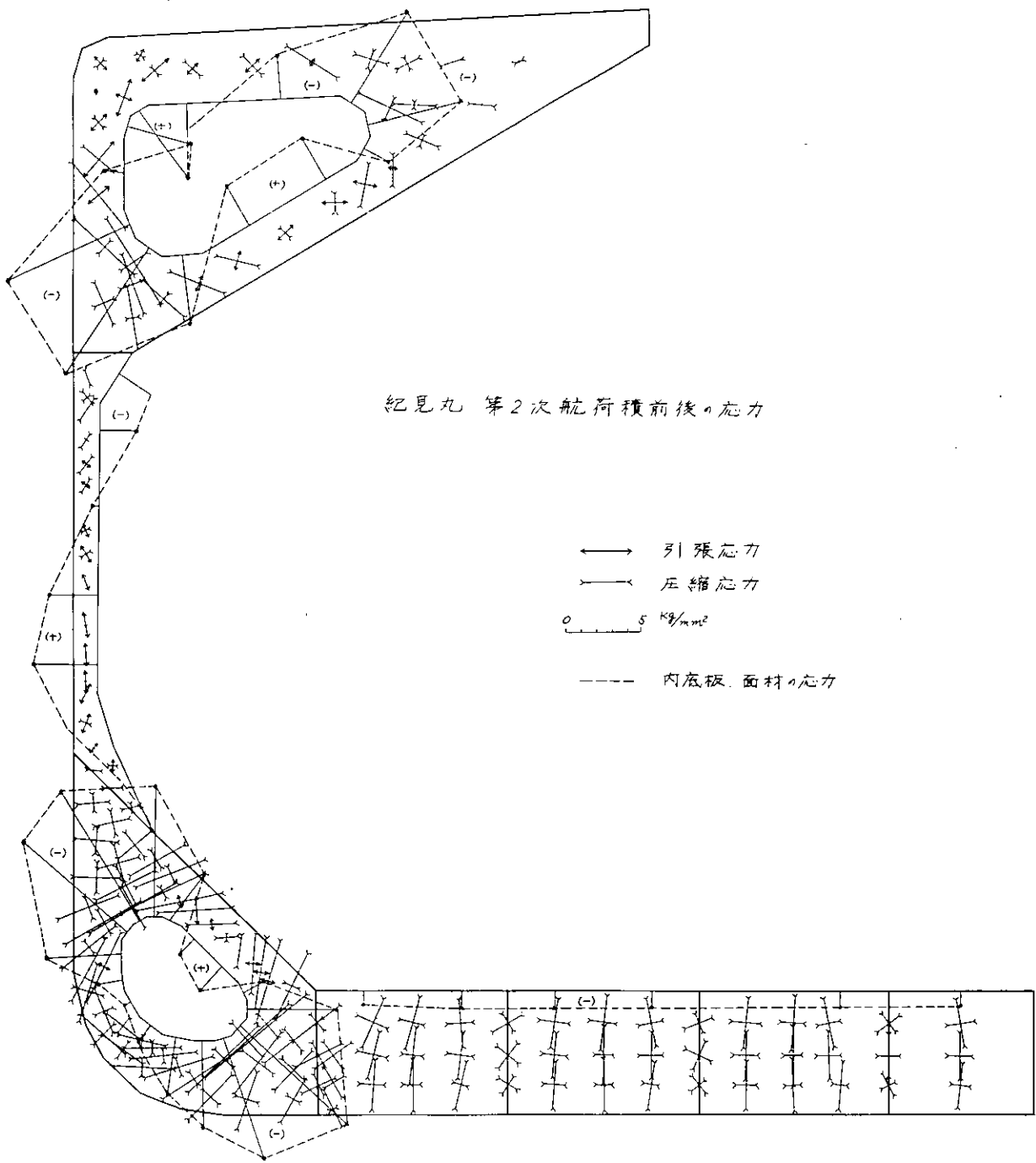


図 4.1.7. 有限要素法による応力分布 (条件 6)

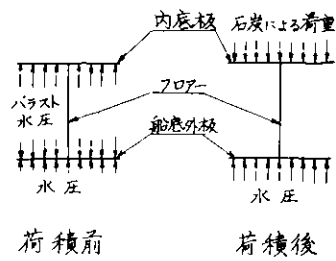


図4.1.8 二重底における荷重

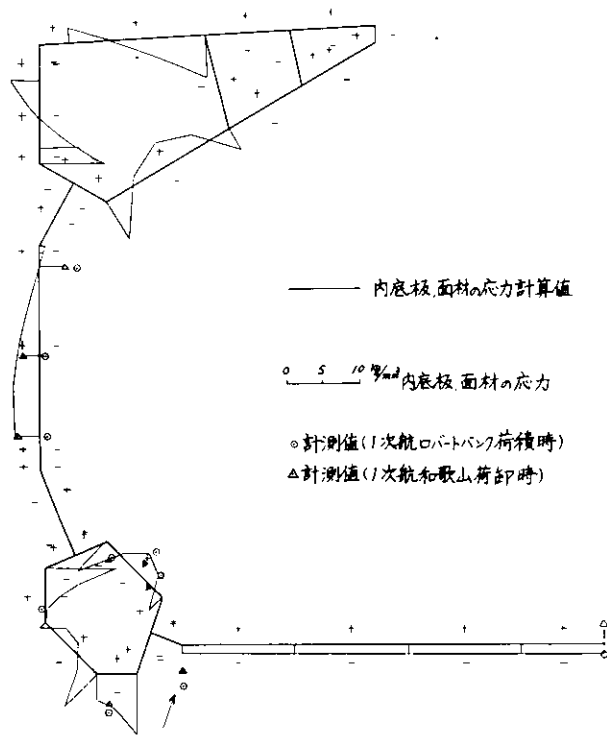


図4.1.9 骨組構造解析による計算値と計測値の比較
(紀見丸才1次航)

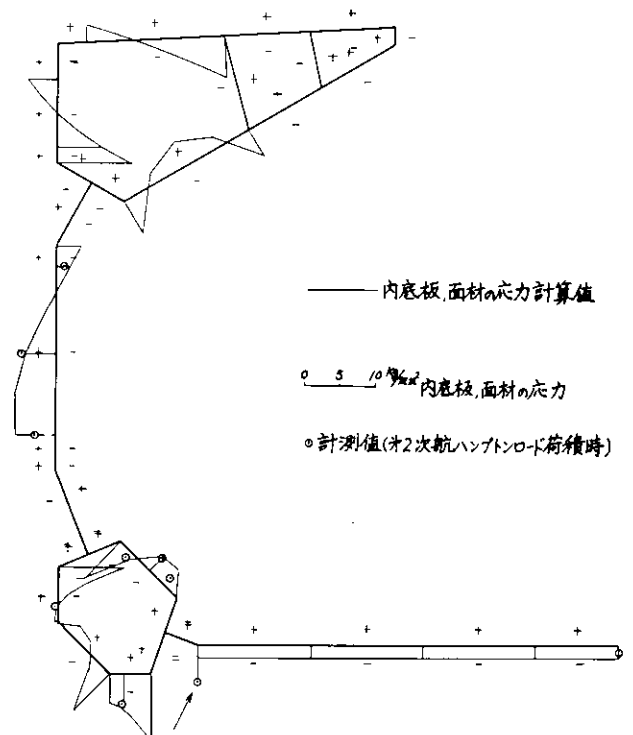


図4.1.10 骨組構造解析による計算値と計測値の比較
(紀見丸才2次航)

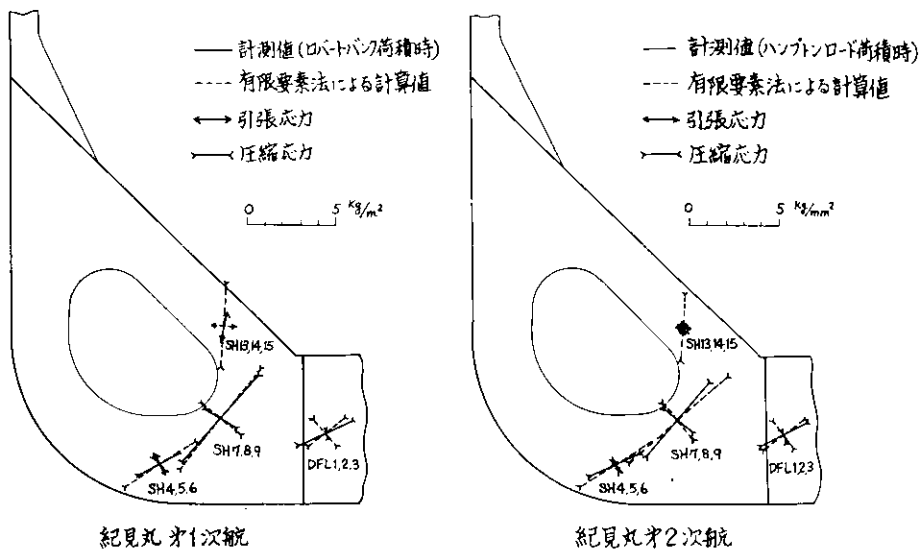


図 4.1.11 有限要素法による計算値と計測値の比較
(スロットおよびステフナ、ブラケット無視)

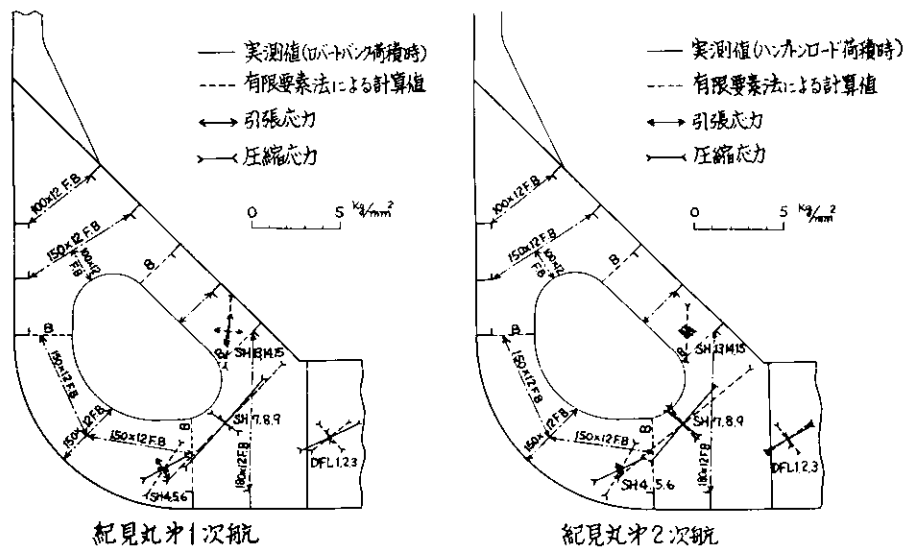


図 4.1.12 有限要素法による計算値と計測値の比較
(スロットおよびステフナ、ブラケット考慮)

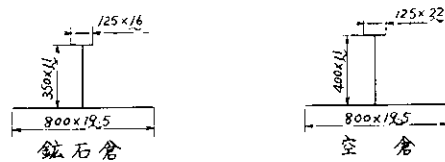
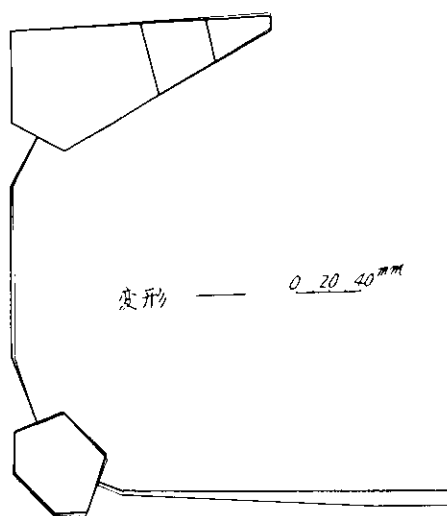
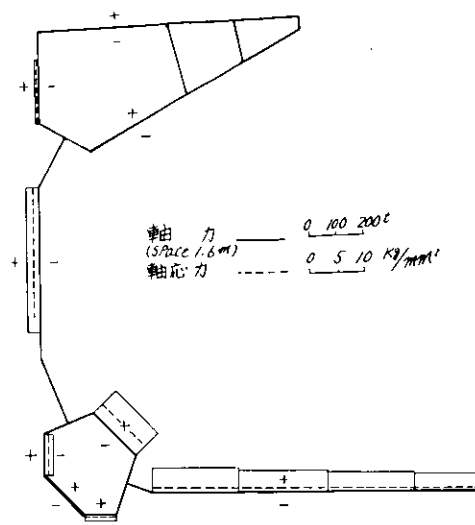


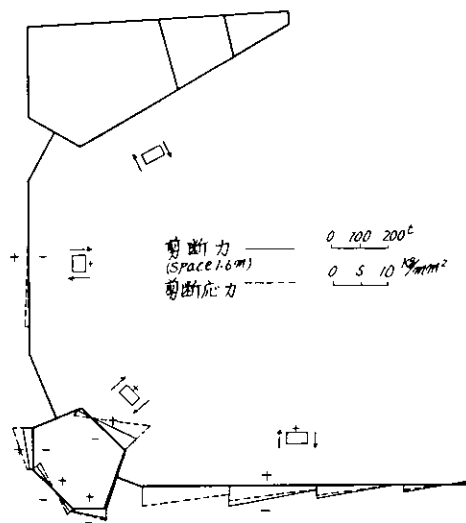
図 4.2.1 紀見丸フレームの形状、寸法



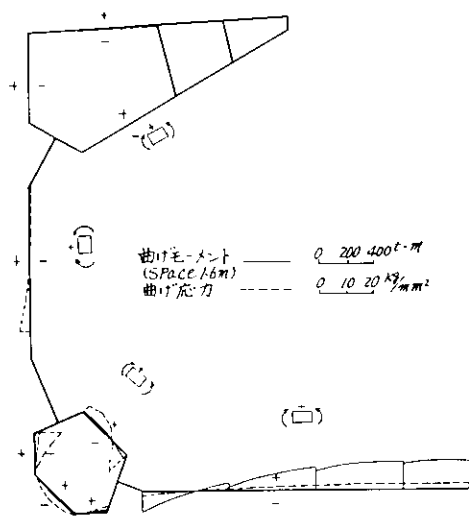
(A) 変形



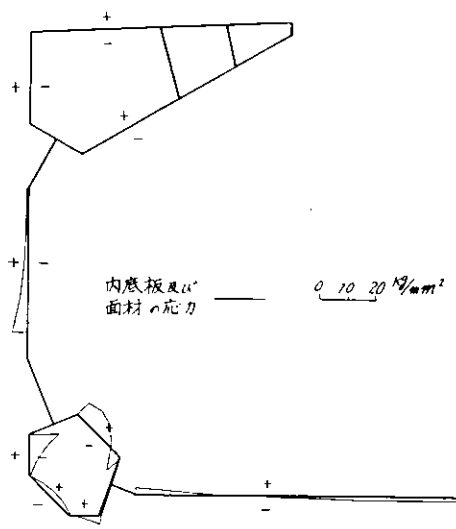
(B) 軸力および軸応力



(C) 剪断力および剪断応力

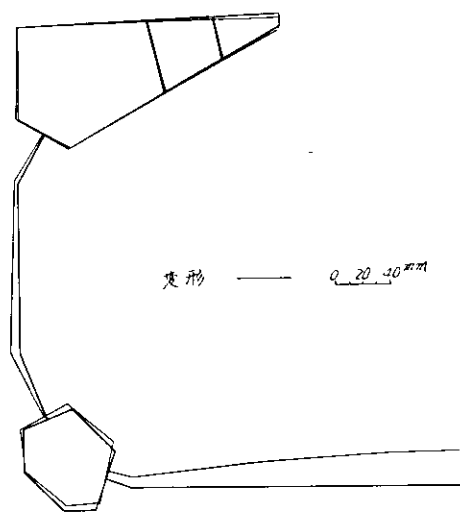


(D) 曲げモーメントおよび曲げ応力

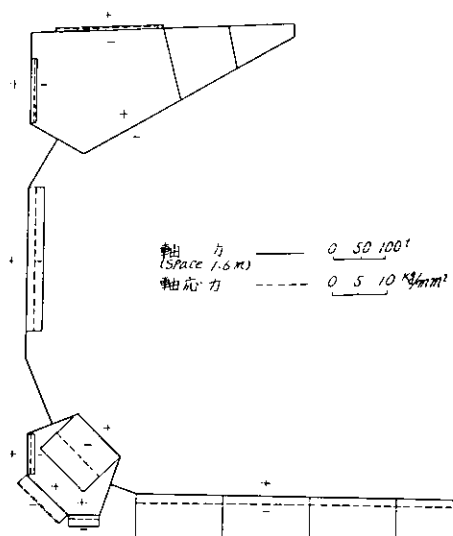


(E) 内底板および面材の応力

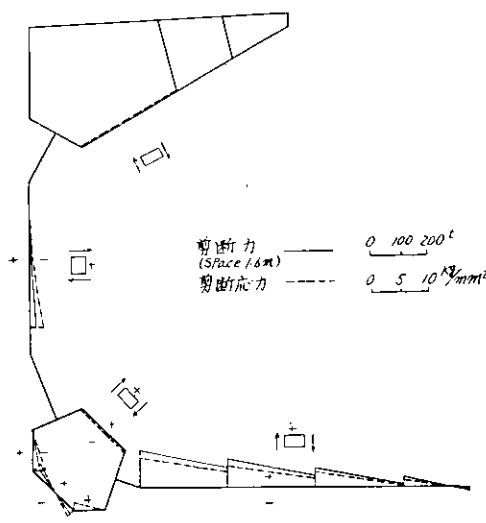
図4.2.2 Alternate Loading 骨組構造解析結果 (紀見丸 鉾石倉)



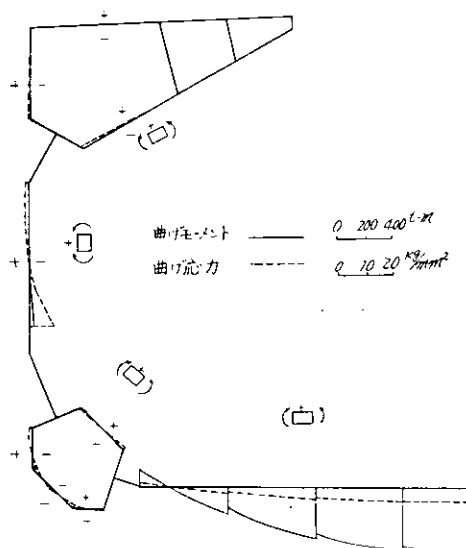
(A) 変形



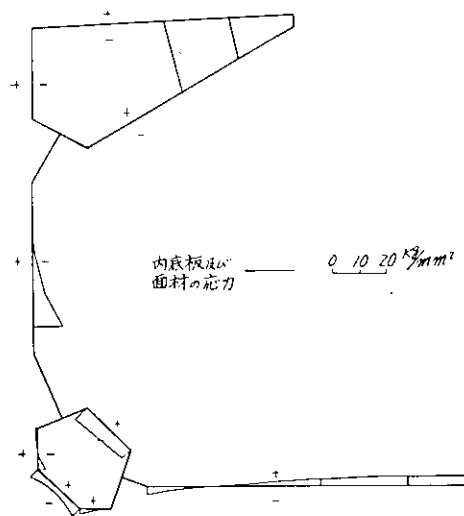
(B) 軸力および軸応力



(C) 剪断力および剪断応力



(D) 曲げモーメントおよび曲げ応力



(E) 内底板および面材の応力

図4.2.3 Alternate Loading 骨組構造解析結果 (紀見丸空倉)

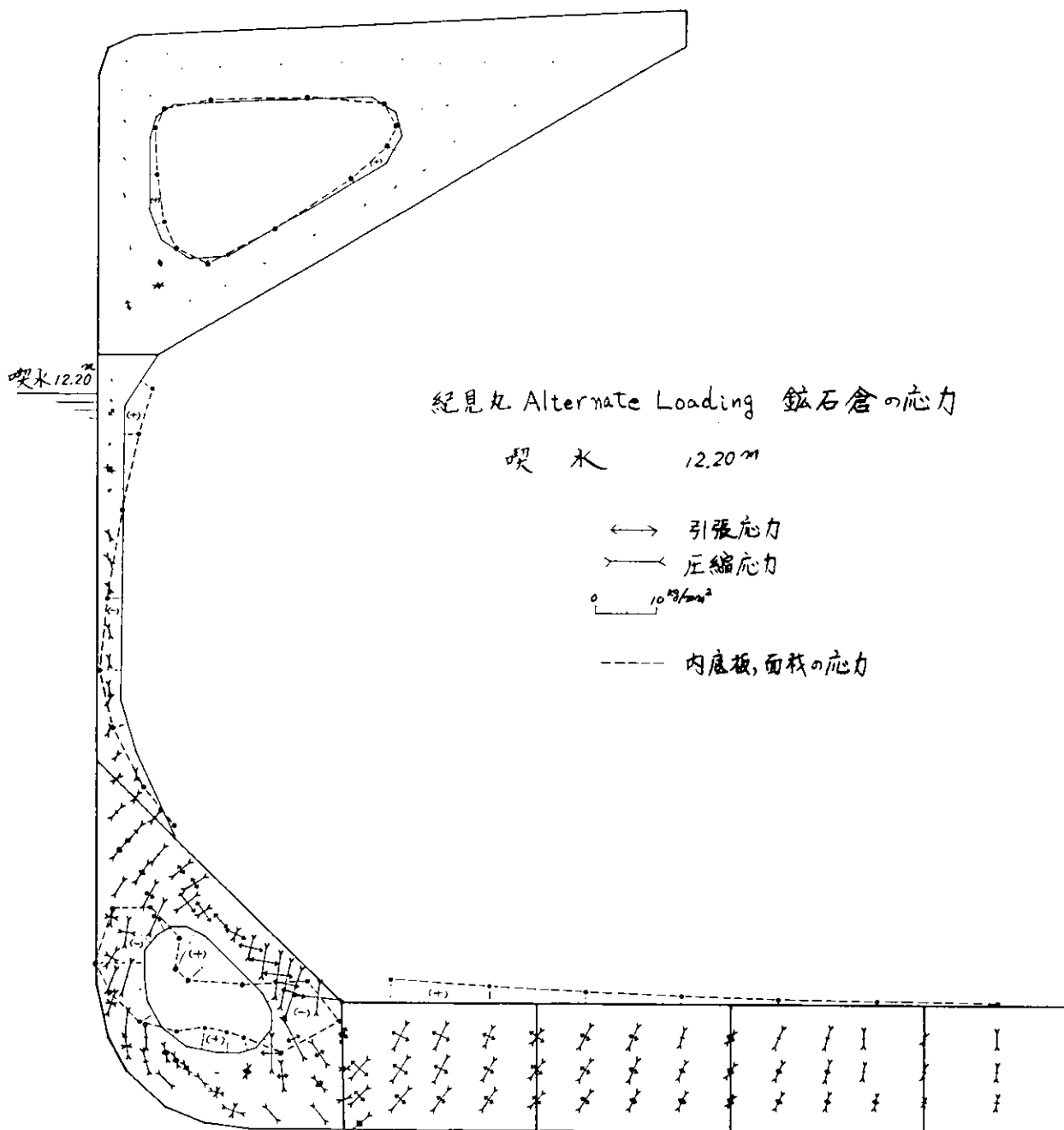


図 4.2.4 有限要素法による応力分布 (鉍石倉)

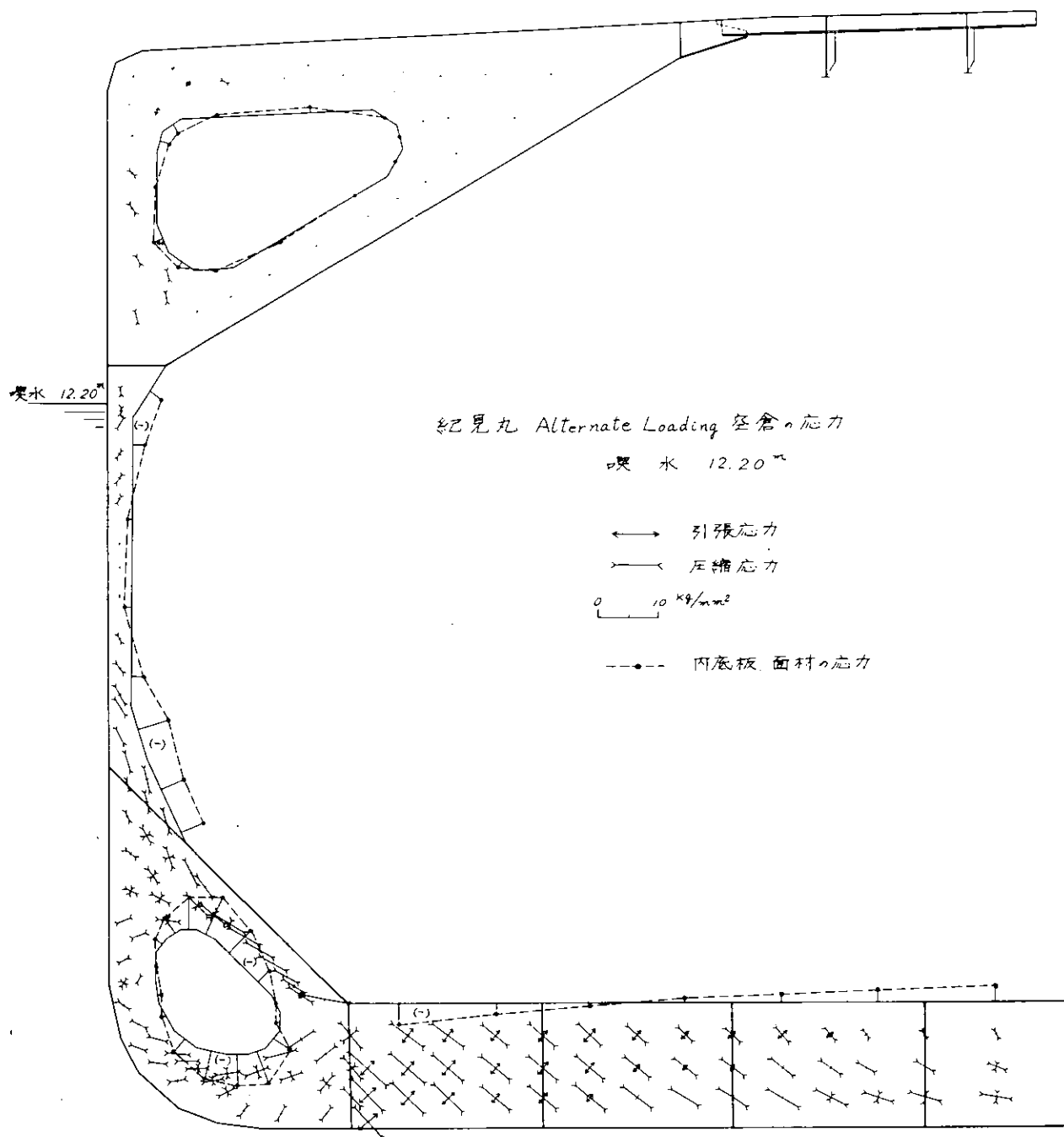
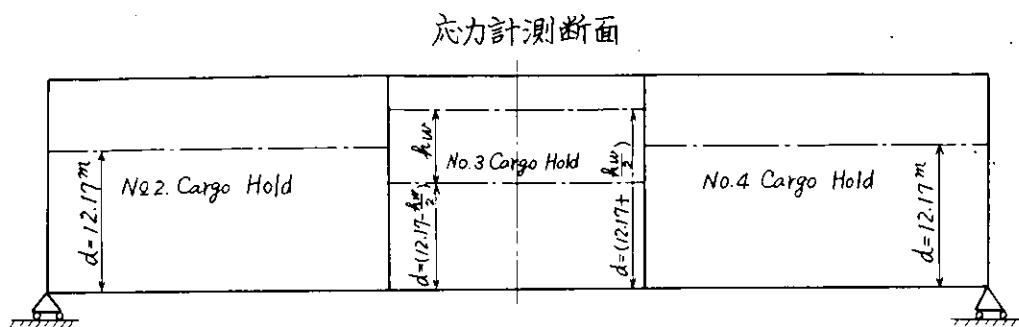


図 4.2.5. 有限要素法による応力分布 (空倉)



h_w : 波高

図4.3.1 変動応力計算におけるHold 端部の境界条件および波形

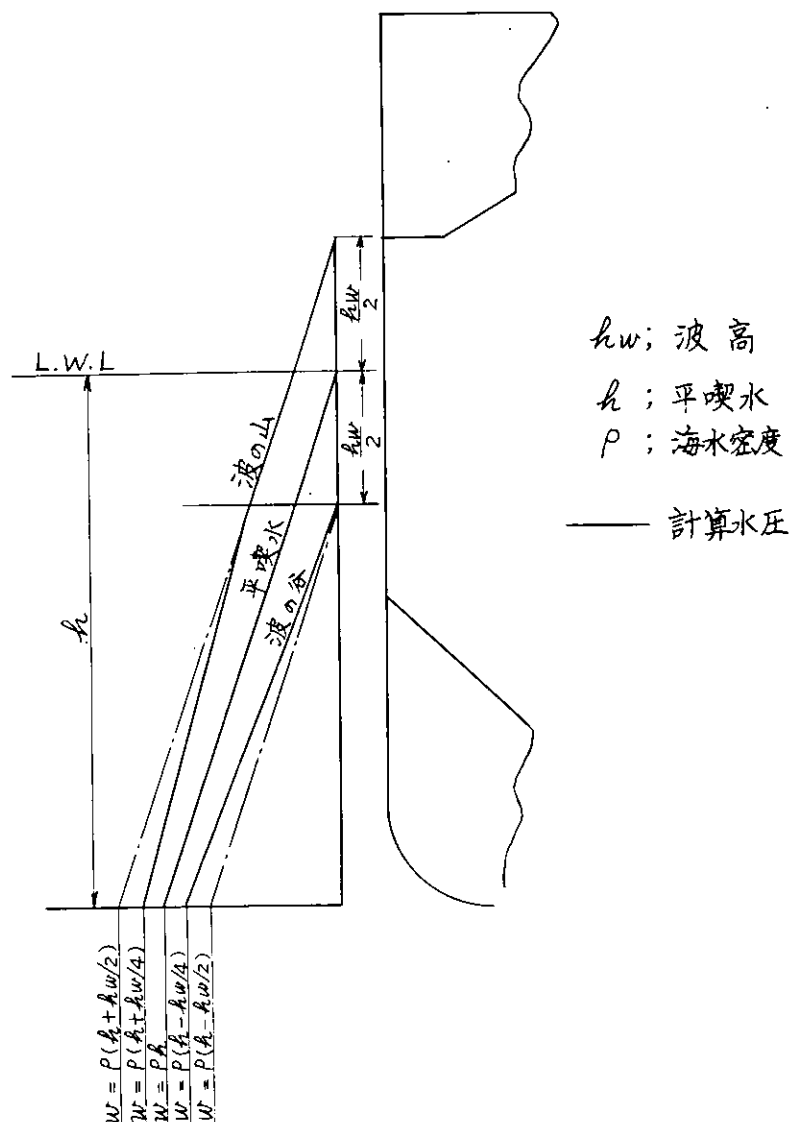
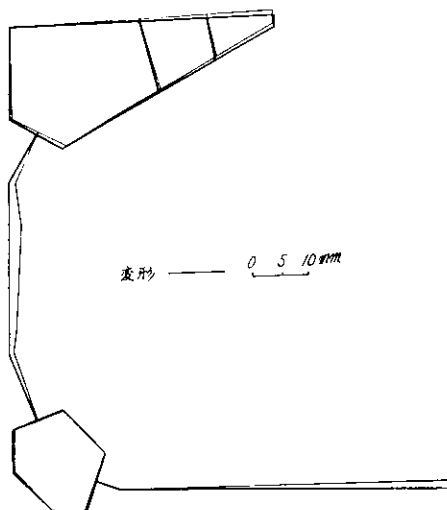
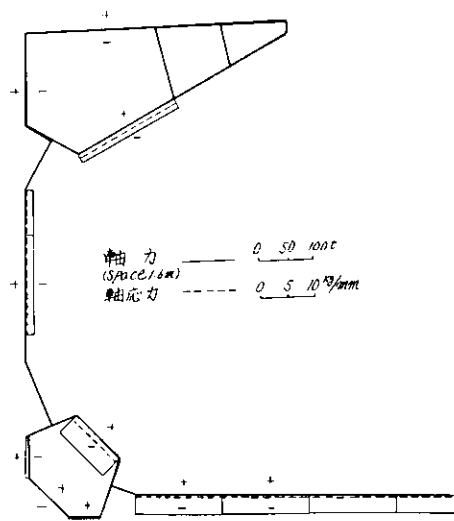


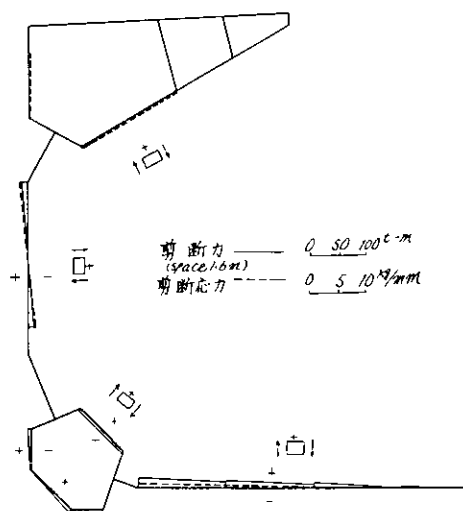
図4.3.2 変動応力計算における水压分布



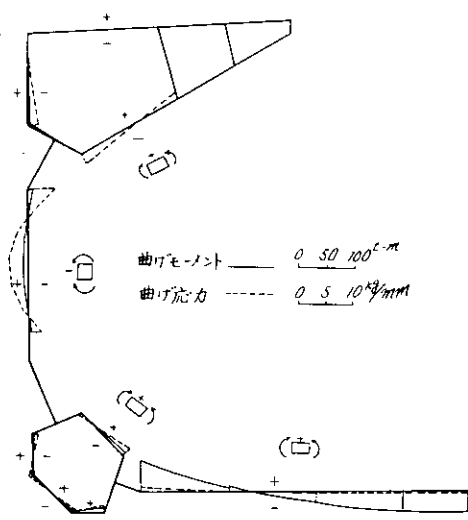
(A) 変形



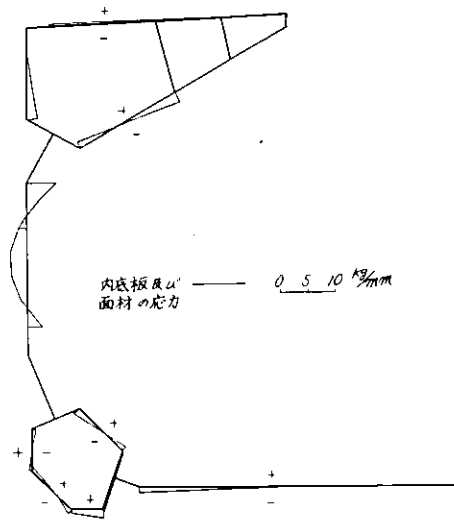
(B) 軸力および軸応力



(C) 剪断力および剪断応力

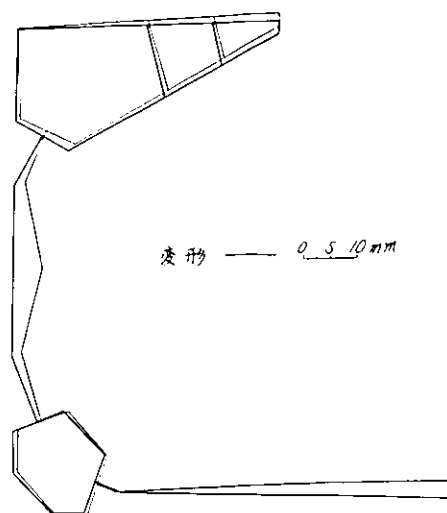


(D) 曲げモーメントおよび曲げ応力

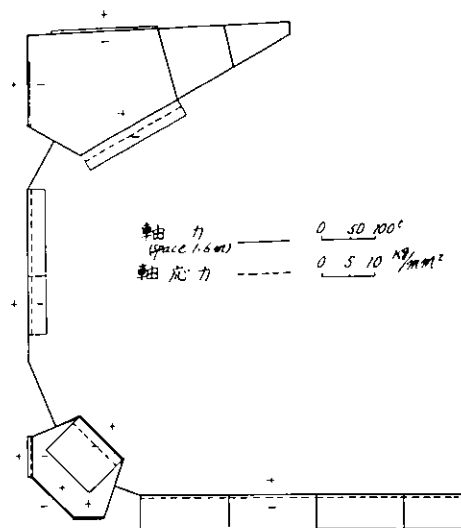


(E) 内底板および面材の応力

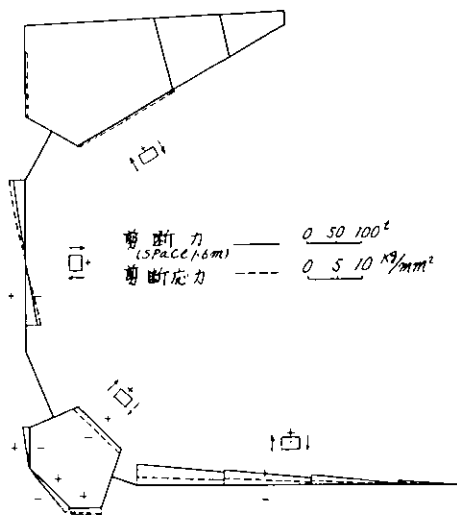
図 4.3.3 波高 3 m の波による変動応力 (紀見丸 才 1 次航)



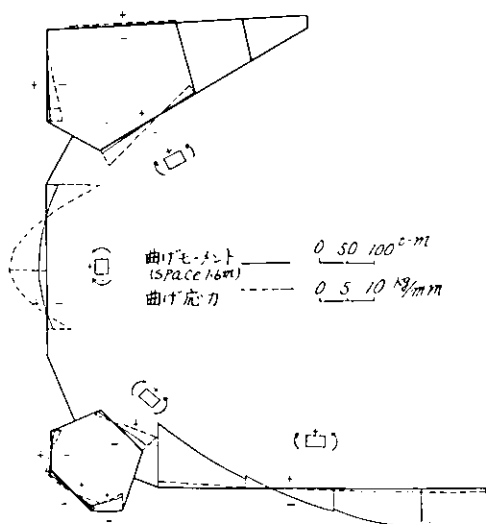
(A) 変形



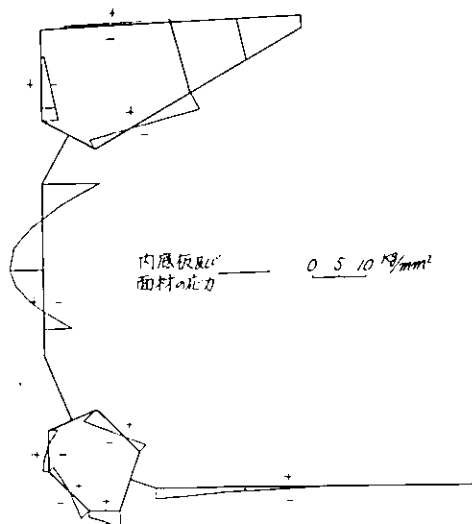
(B) 軸力および軸応力



(C) 剪断力および剪断応力

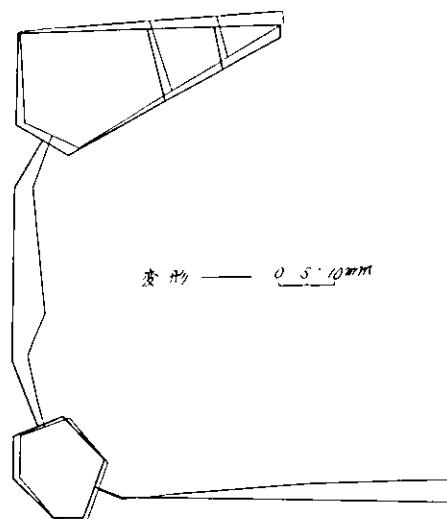


(D) 曲げモーメントおよび曲げ応力

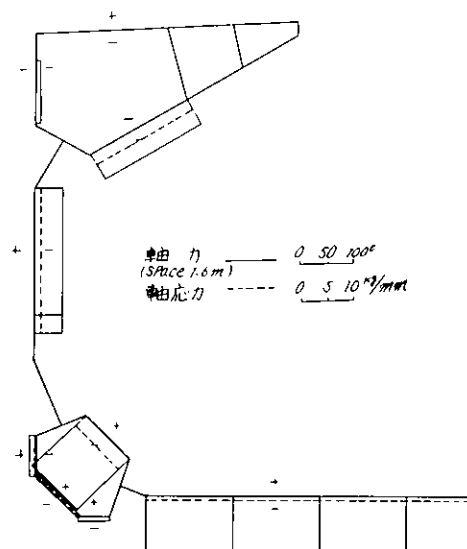


(E) 内底板および面材の応力

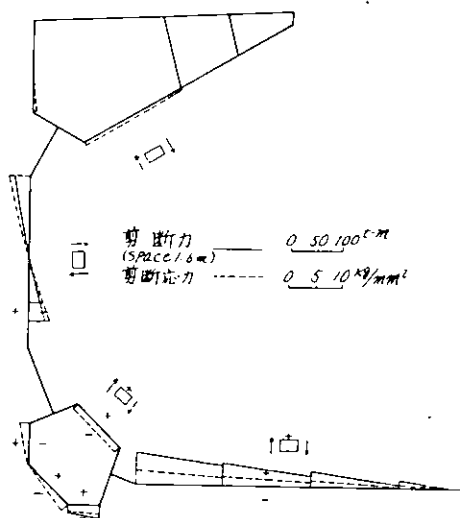
図4.3.4 波高6mの波による変動応力 (紀見丸才1次航)



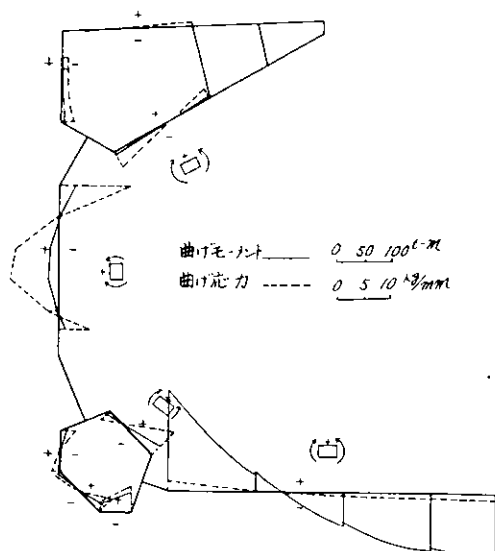
(A) 変形



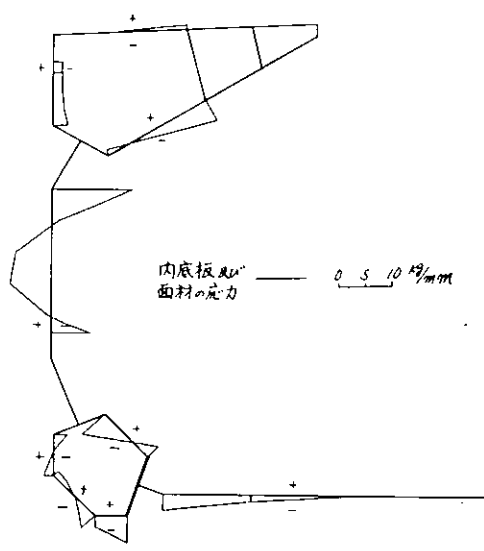
(B) 軸力および軸応力



(C) 剪断力および剪断応力



(D) 曲げモーメントおよび曲げ応力



(E) 内底板および面材の応力

図 4.3.5 波高 9m の波による変動力 (紀見丸 第 1 次航)

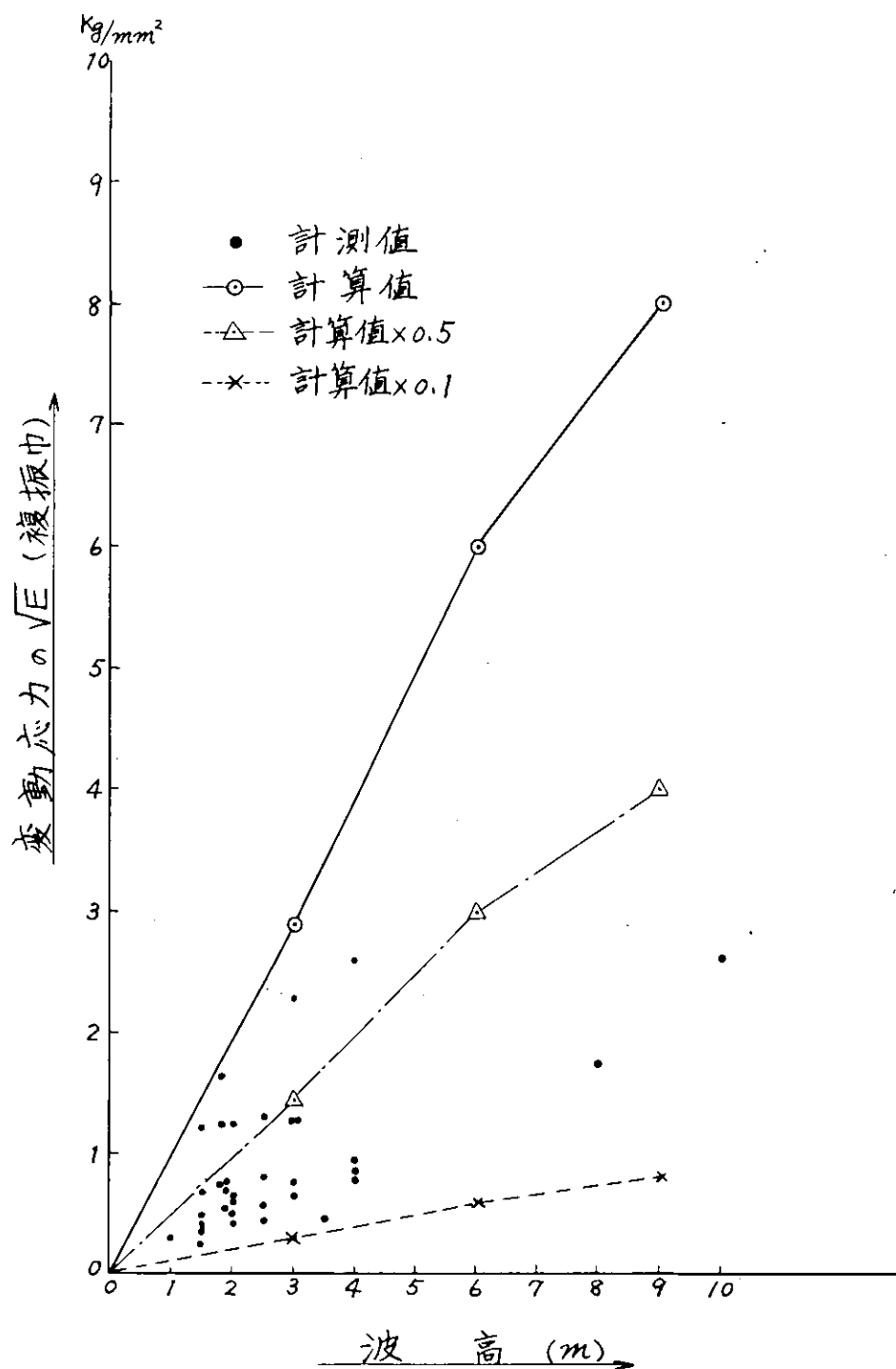


図 4.3.6 紀見丸における波高と $\sqrt{E}$ の関係
(DF2-フレーム中央)

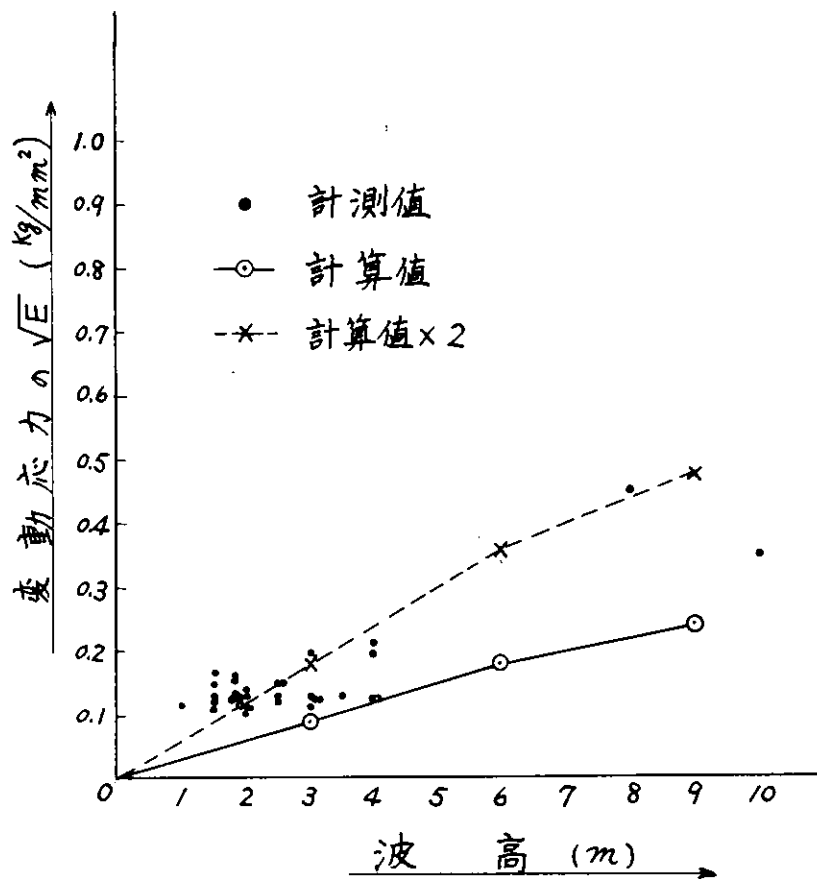
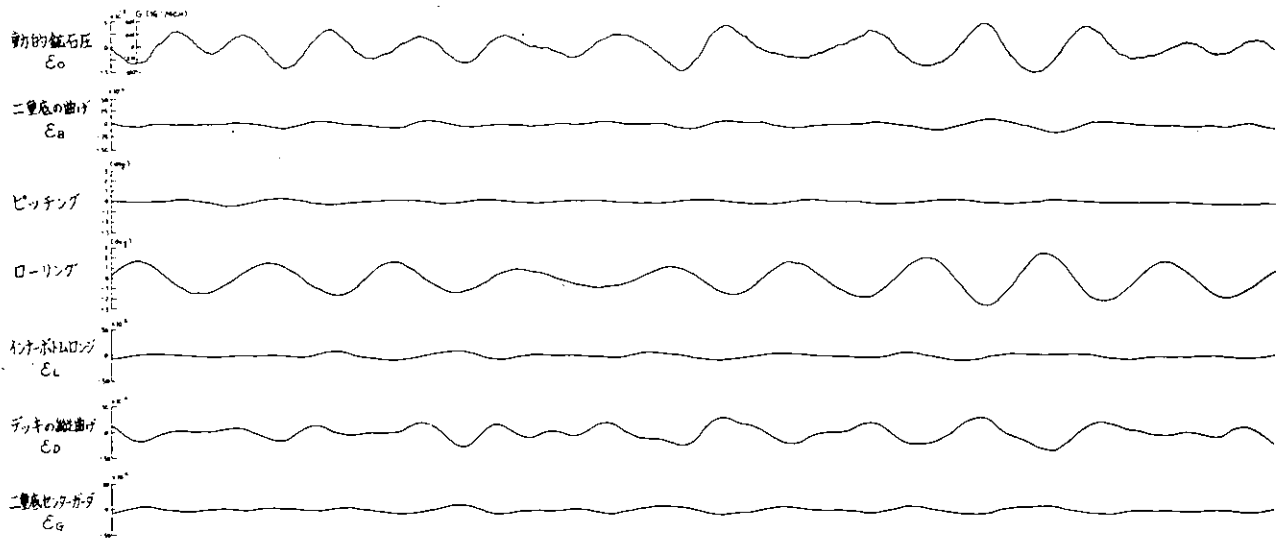
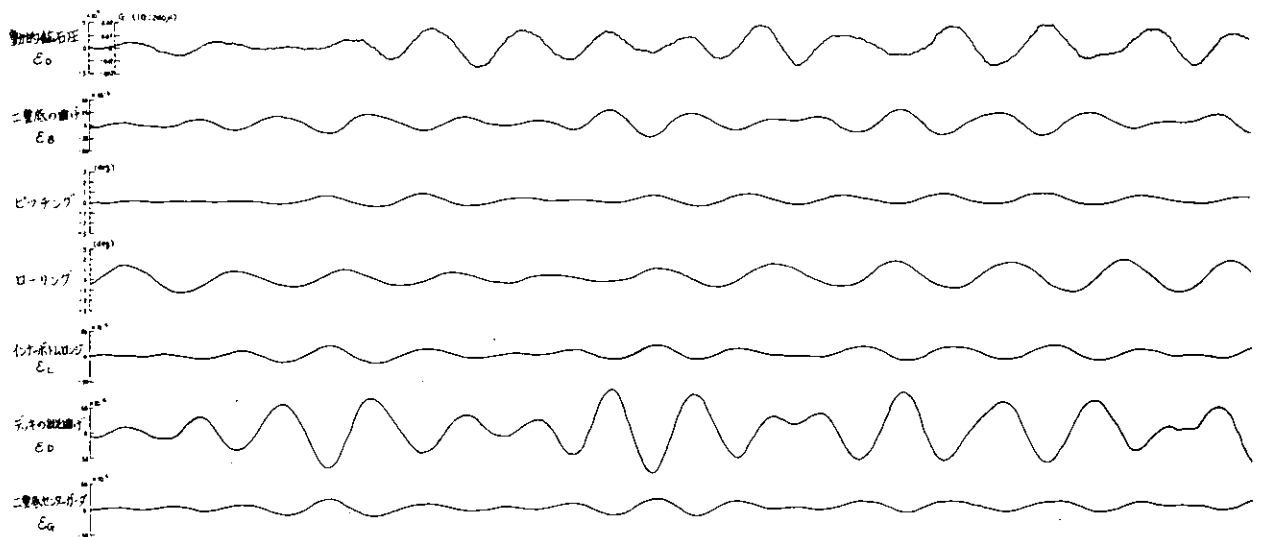


図 4.3.7 紀見丸における波高と $\sqrt{E}$ の関係
(DB1-二重底中央)

日付	S 45.6.29	中 1 次 観
観測	増設 3	増設 4
観測	深さ 1.0m	深さ 4.0m
観測	深さ 5.0m	深さ 8.0m



日付	S 45.7.7	中 1 次 観
観測	増設 4.0	増設 7.0
観測	深さ 1.0m	深さ 8.0m
観測	深さ 5.0m	深さ 190.0m



日付	S 46.7.11	中 1 次 観
観測	増設 7.0	増設 7.0
観測	深さ 6.0m	深さ 1.00.0m
観測	深さ 30.0m	深さ 180.0m

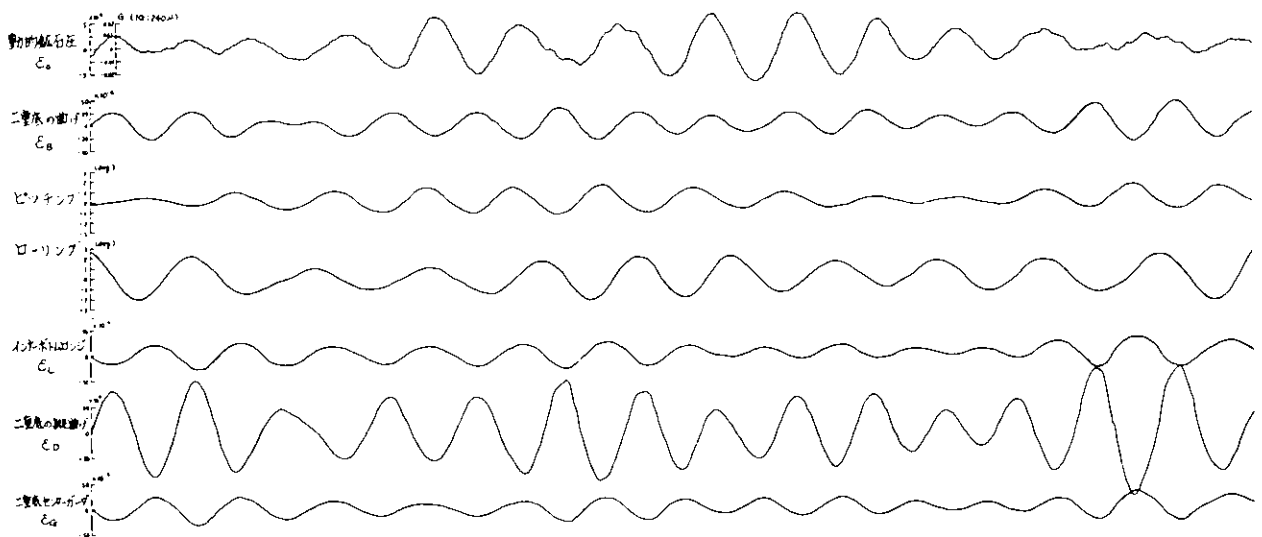
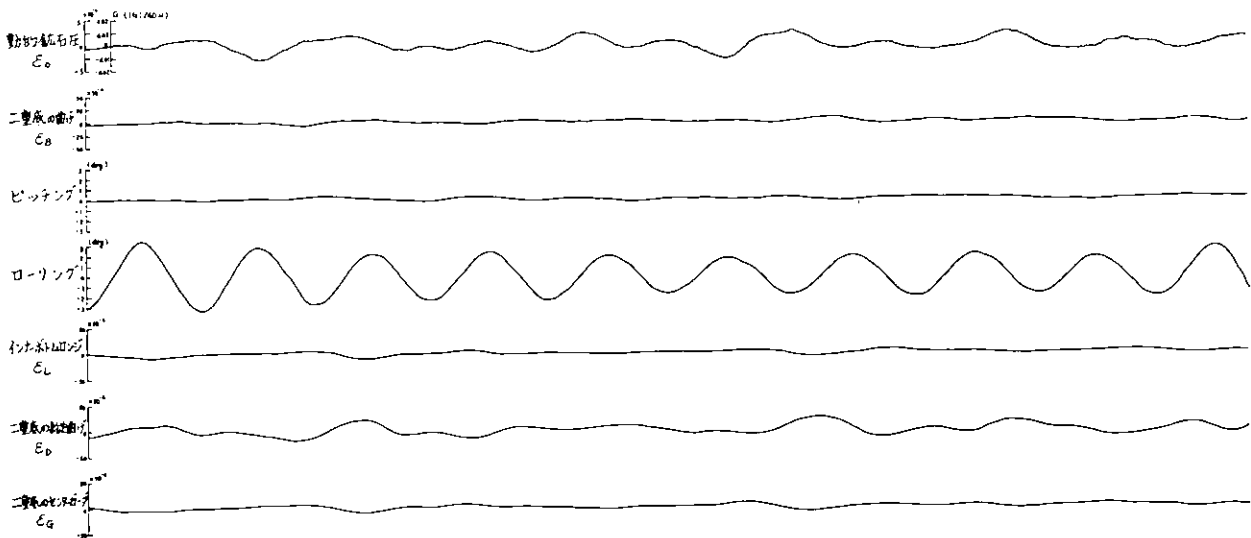


図 4.3.8 紀見れ計測データ再生結果 (その1)

日付	S 46.9.15	サ 2 穴 掘
風速	階級 1.0	階級 3.0
波高	0.1m	波高 2.5m
波長	0.5m	波長 95.0m



日付	S 46.9.27	サ 2 穴 掘
風速	階級 6.0	階級 4.0
波高	4.0m	波高 4.0m
波長	10.0m	波長 120.0m

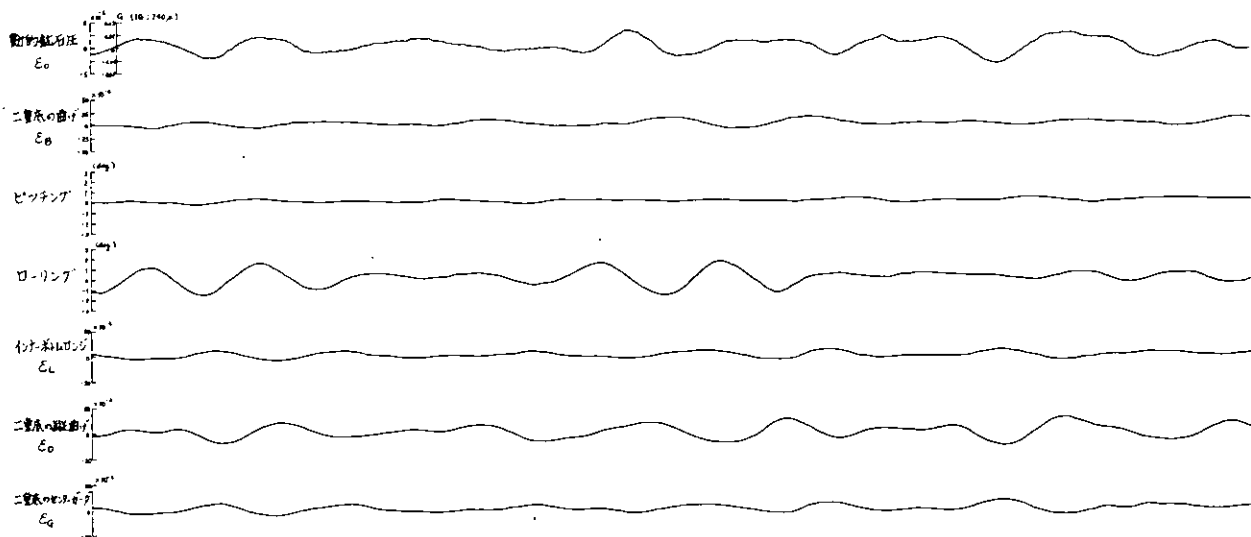


図 4.3.8 紀見丸計測データ再生結果 (その2)

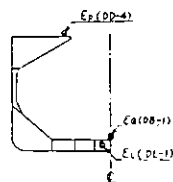


図 4.3.9 動的鉛石圧いび計測位置