

浮体式波力装置「マイティーホエール」プロトタイプモデル の不規則波中応答特性に関する実験的研究

横澤 均^{*1} 大澤 弘敬^{*1} 鷲尾 幸久^{*1}
今井 正明^{*1} 安田 哲也^{*2}

浮体式波力装置「マイティーホエール」プロトタイプモデルの浅海域における水槽実験を行い、各応答特性に関して検討を行ったので、その結果を本報で示す。水槽実験は、6本の係留索で弛緩係留された模型を用い、規則波、不規則波の条件下で運動応答、係留索張力、空気室内圧力について計測を行った。特に不規則波中実験では、台風時の暴風状態を想定した設計条件下で浅海域における係留システムの安全性の検討を行った。その結果、マイティーホエールの規則波中応答特性は、波エネルギー吸収効率の高い短周期側を除いてほぼ理論的に推定できることが確認された。また、不規則波中応答特性は、水平面内の運動モードの固有周期が長いため、波周期に相当する一次応答に比べ、弛緩係留特有の大振幅の長周期運動が支配的であり、それに伴い張力も増大することが確認された。これにより、マイティーホエールの係留システムの安全性を検討する上で貴重なデータ及び知見が得られた。

キーワード：浮体式波力装置，係留システム，長周期運動，波エネルギー

Model Tests to Determine the Response Characteristics of the Prototype Wave Power Device, "Mighty Whale"

Hitoshi YOKOZAWA^{*3} Hiroyuki OSAWA^{*3}
Yukihisa WASHIO^{*3} Masaaki IMAI^{*3}
Tetsuya YASUDA^{*4}

Wave tests were performed on the Mighty Whale to investigate the effectiveness of the 6-point mooring system in shallow water. Of particular importance is the safety of the system in realistic typhoon conditions.

Mooring tensions, device motions, and air chamber pressures were measured in both regular and irregular waves.

The results from the regular wave tests showed good agreement with (linear) theoretical

* 1 海域開発：利用研究部第一研究グループ

* 2 石川島播磨重工業(株)船舶海洋事業本部新技術開発部

* 3 COASTAL RESEARCH DEPARTMENT

* 4 ISHIKAWA JIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO.,LTD

results, except at frequencies corresponding to high efficiency of wave energy absorption.

However, irregular wave tests produced large (non-linear) slow drift oscillations. These low frequency motions are often associated with slack line mooring systems, and are difficult to calculate theoretically. In many tests the slow drift motions were larger than the wave-frequency motions, and consequently the mooring line tensions were larger than in the regular wave tests.

Thus the important data and knowledge have been obtained for safely determining the mooring system of the Mighty Whale.

Key Words : Floating Wave Power Device, Mooring system, Slow drift oscillation, Wave energy

1 はじめに

沖合浮体式波力装置「マイティーホエール」(以降マイティーホエール)は、波浪制御構造物として沿岸海域の総合利用を推進する目的で海洋科学技術センターにおいて研究・開発され、平成10年よりプロトタイプモデルの実海域実験が開始される予定である。

マイティーホエールを用いた沿岸海域の総合利用とは、単に波のエネルギーを吸収し、そのエネルギーを電力、圧縮空気、熱などの多目的なエネルギーに変換、利用するにとどまらず、波の消波効果により装置後背域に静穏海域を創成することが可能である。

さらに浮体式であるため、装置後背域の静穏海域の海水交換性を妨げず、周辺の自然環境に対しても“環境にやさしい構造物”といえる。

マイティーホエールに関する現在までの研究開発はターミネータータイプの基本特性の検討に始まり¹⁾、波のエネルギー吸収効率^{2)~5)}やマイティーホエール周辺の波高分布^{6), 7)}等について定量的な把握が行われてきた。

しかし、浮体式のマイティーホエールは波、風、潮流等の自然環境外力により動揺し、位置保持のため必ず係留されなければならない。

そのためマイティーホエールの安全性の検討は、荒天時においても船舶と違って常にその海域に係留されていなければならない。荒天時環境条件下における係留システムの安全性の評価が重要となる。特にマイティーホエール設置予定海域の三重県五ヶ所湾は夏場の台風の経路に当たり、過去伊勢湾台風等が襲来して甚大な被害を被った地域である。

そこで、本研究では弛緩係留されたマイティーホエールプロトタイプモデルの規則波、大波高不規則波中における水槽実験を行い、波浪中応答特性を把握するとともに係留システムの安全性について検討、考察する。

2 実験概要

2.1 供試模型

本実験で用いたマイティーホエールの供試模型は図1に示すように実機で長さ50m、幅30m、吃水8m(最大吃水)の1/40縮尺を想定した長さ1.25m、幅0.75m、吃水0.2mの模型を用いた。

このマイティーホエールの供試模型はくじらの形状をしており、波の入射方向に対して3室の空気室を有しているターミネーター型の浮体式波力装置である。さらに係留システムは図2に示す配置で、波上側4本(実機換算で $\phi 150\text{mm}$, $l=250\text{m}$)、波下側2本(実機換算で $\phi 100\text{mm}$, $l=200\text{m}$)の係留索で弛緩係留され、水中重量が模型縮尺と同一となるように選定した。この時、係留索の海底取付部は水槽の底部にシンカーで固定された。供試模型の浮体模型の浮体諸元を表1に示す。

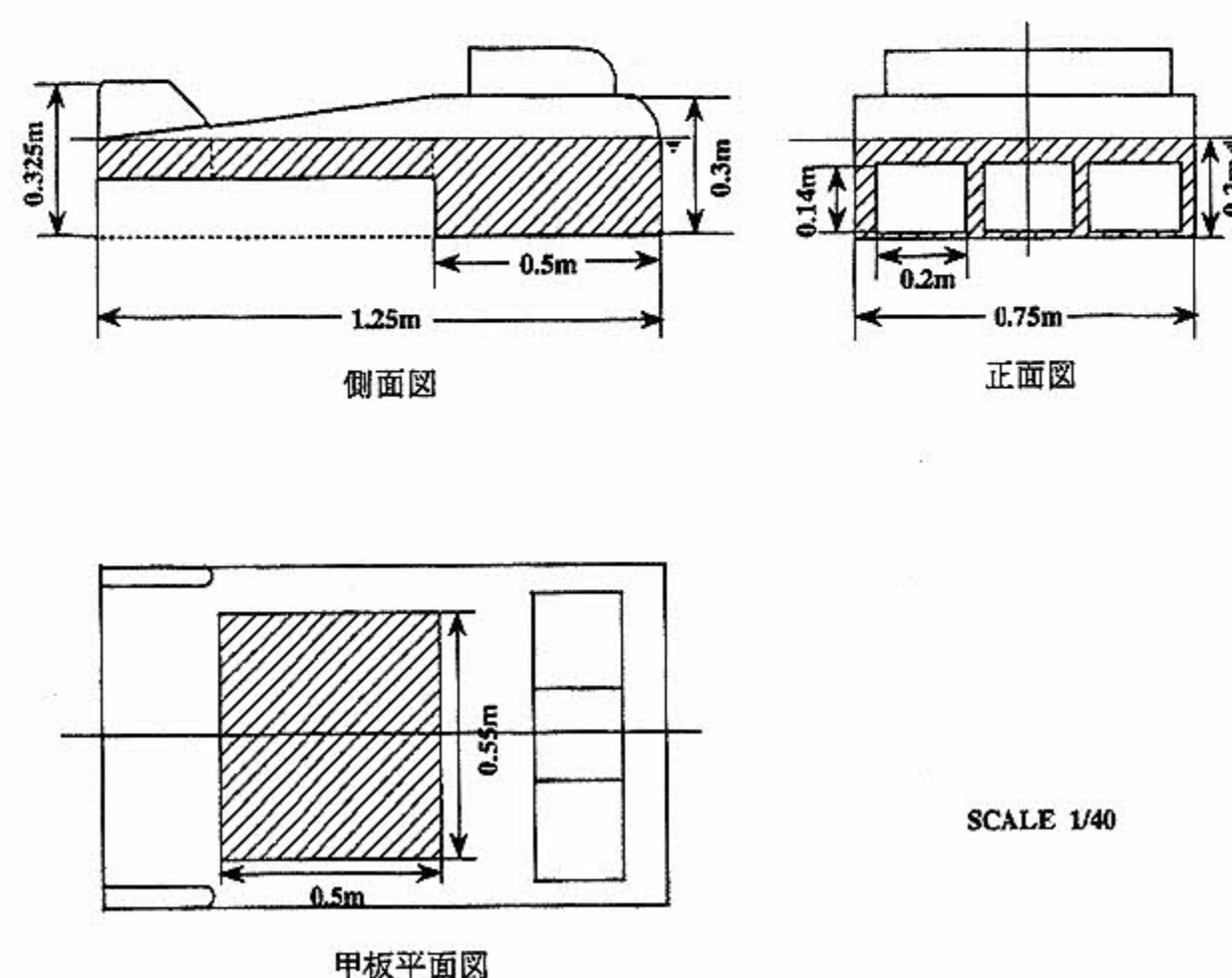


図1 模型概略図

Fig. 1 A scheme of the model.

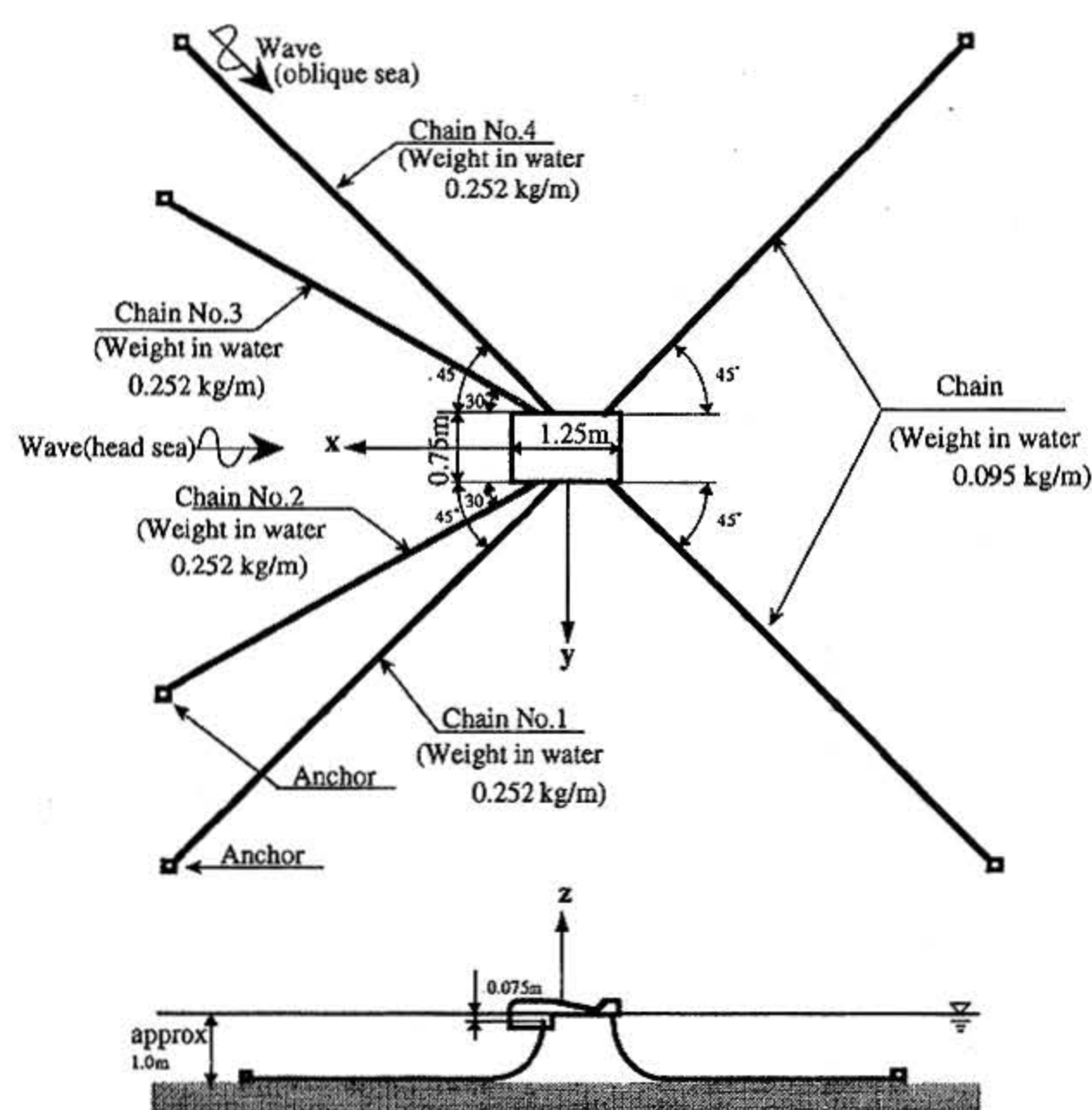


図2 実験配置図

Fig. 2 Layout of experimental model.

表1 浮体諸元

Table 1 Principal particulars of "Mighty Whale"

		Model (1/40)	Full scale
Length (m)		1.25	50.00
Breadth (m)		0.75	30.00
Depth (m)		0.20	8.00
Displacement volume (m ³)		0.07	4500.00
Water plane area (m ²)		0.51	820.00
Transverse metacentric height(m)		0.42	16.88
Longitudinal metacentric height(m)		1.00	40.15
Transverse qyradius (m)		0.23	9.24
Longitudinal qyradius (m)		0.35	13.97
Yaw qyradius (m)		0.40	16.11
Center of gravity (m)	X _G	0.10	4.00
	Y _G	0.00	0.00
	Z _G	-0.04	-1.70
Chain length (m)	No.1,2,3,4	6.25	250.00
	No.5,6	5.00	200.00
Weight in water (kg/m)	No.1,2,3,4	0.25	4.63 × 10 ⁵
	No.5,6	0.10	1.75 × 10 ⁵
Water depth (m)		1.00	40.00

2.2 実験水槽

実験は図3に示すノルウェーのトロントハイム市の

MARINTEK社所有の平面水槽において実施された。

この水槽は長さ80m, 幅50m, 水深0~10m(可変)の諸元において, 50mの横方向側面より最大波高0.9mの波(規則波, 不規則波)を起こさせるダブルフラップ型の造波機を有している。また, 80mの長手方向側面のうち一面は144個に分割された分割型の造波装置を装備し, 任意の多方向不規則波の造波が可能である。本実験では大波高不規則波中でのマイティーホエールの安全性の検討が主目的であるため, 50mの横方向側面のダブルフラップ型造波機を用いて, 設置想定海域水深40mの1/40縮尺の水深1mの条件で一方向規則波, 不規則波を造波し実験を行った。

2.3 計測項目

計測は図4に示すように波高, 運動応答, 係留索張力, 空気室内圧力について行われた。

2.3.1 波高

波高はマイティーホエール側面及び重心位置での入射波高(H1, H5)とマイティーホエール後背部の透過波高(H2, H3, H4)の位置に容量式波高計を設置して計測した。なお, 重心位置での入射波高H5は運動応答等の解析に用いる波高とするため, 構造物の影響がない波検定の時だけ計測した。

2.3.2 運動応答

運動応答はsurge, sway, heave, roll, pitch, yawの6自由度について計測した。

また, 運動計測装置は機械的摩擦を避けるため, マイティーホエールの四隅に取付けられたセンサーと水槽に固定されたカメラから構成される非接触型の光学式計測システムを用いた。

2.3.3 係留索張力

係留索張力は波上側の係留索についてだけ計測を行い, 今回の実験では波下側の係留索については計測を行わなかった。張力は係留索の浮体側取付点L1b~L4bと係留索の水槽底部L1a~L4aに設置された張力計(リングゲージ)により計測を行った。

2.3.4 空気室内圧力

空気室内圧力はマイティーホエール空気室(3室)上部のオリフィスに取付けられた空気圧力計P1~P3により計測された。

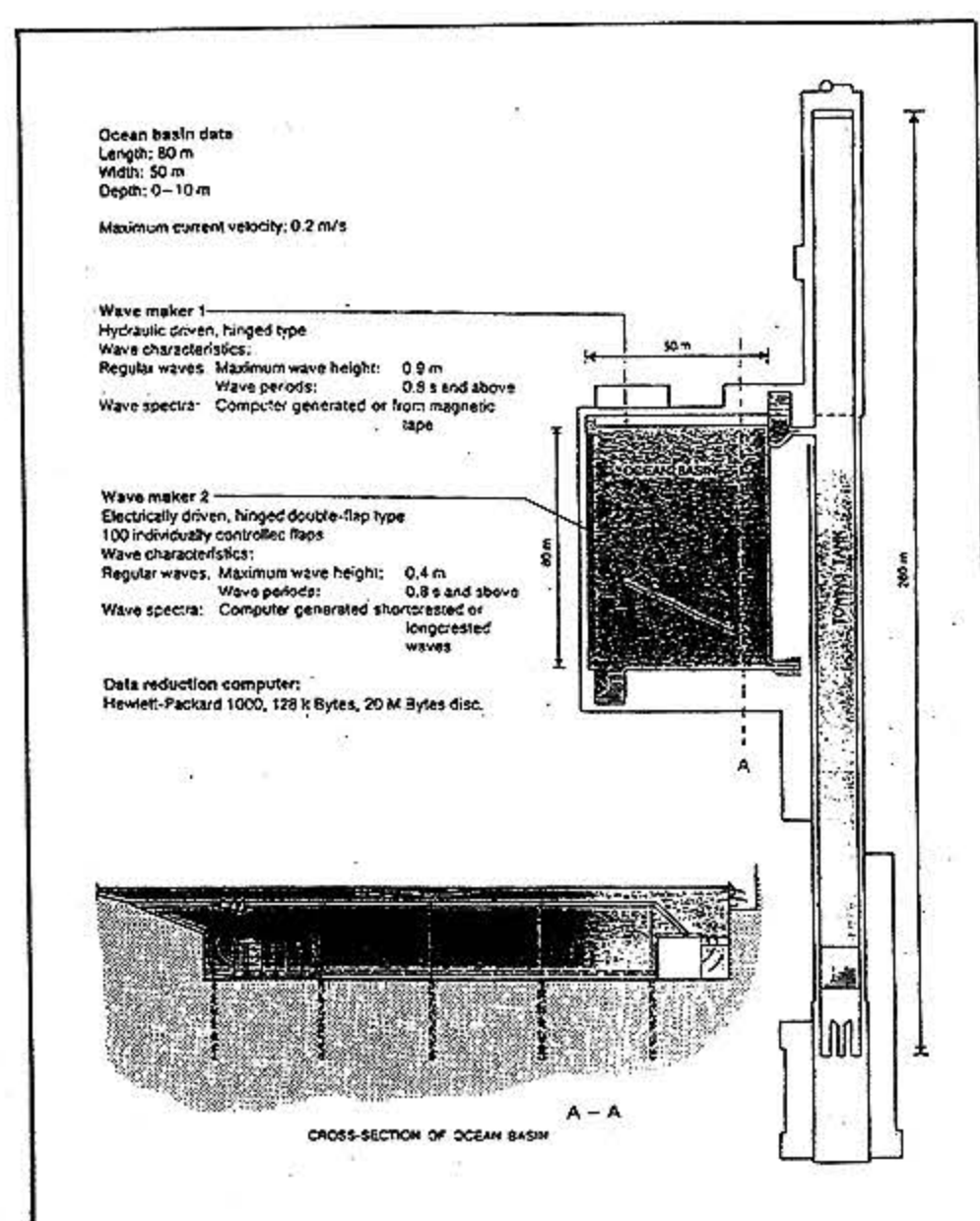


図3 実験水槽概略図

Fig.3 A scheme of the Ocean Basin.

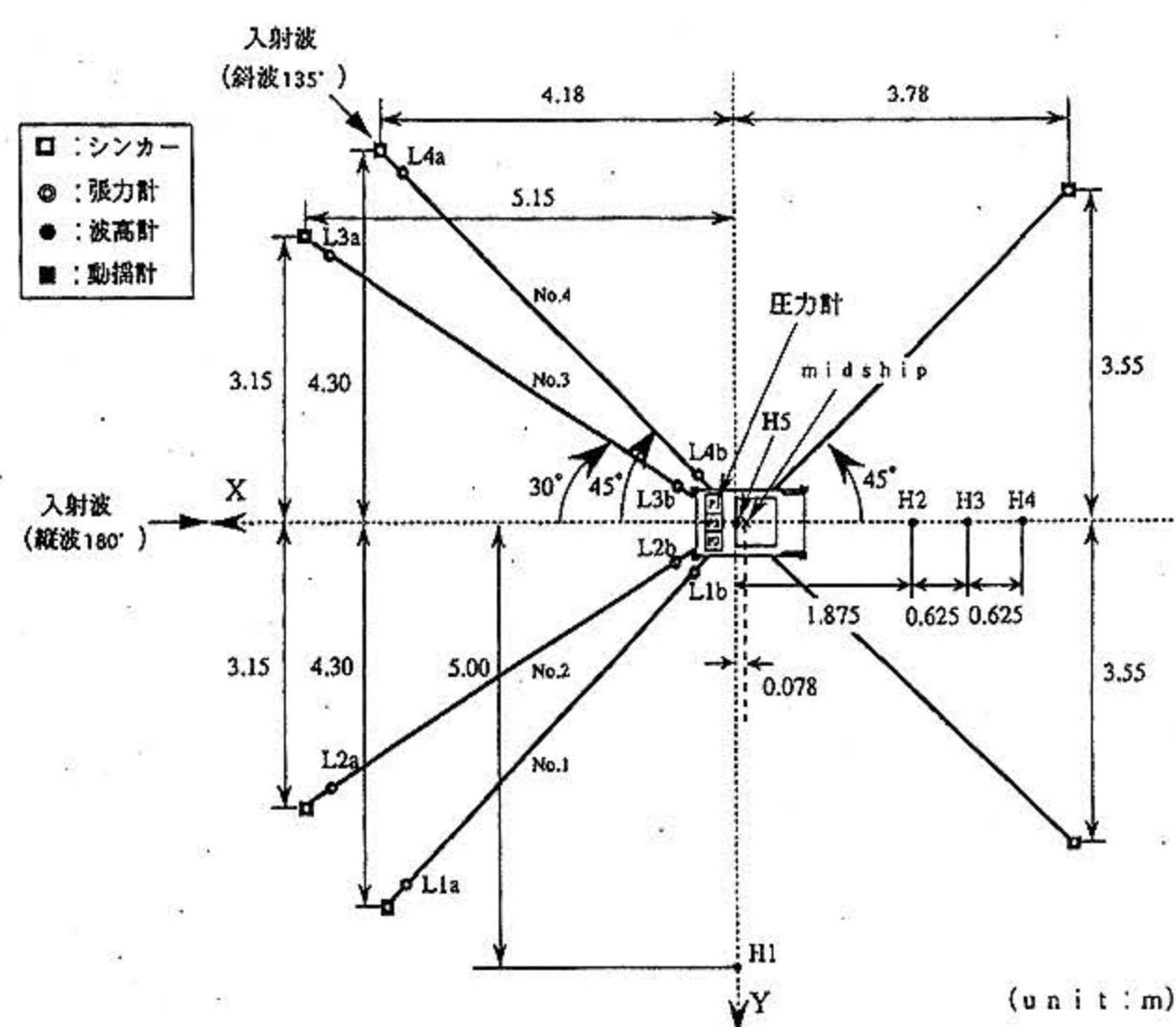


図4 計測点

Fig.4 Measuring points.

2.4 実験条件

実験は表2に示す設計条件を基に実験条件を設定し行った。実験条件は規則波、不規則波について正面波及び斜波を表3のように設定した。

不規則波は設置海域の波浪観測結果より波浪のスペクトル形状としてJONSWAP型が最も相関が良いことより、実験に用いる。

波スペクトルをJONSWAPスペクトルとした。また、

環境外力の風、潮流に関しては定常外力として取扱い、外力方向は構造物にとって最も厳しいと想定される同一方向とし、あらかじめ波下側の係留索に風、潮流の定常外力分の張力を加えた。

2.5 解析方法

計測された各計測結果は、規則波実験に関してはFFT処理した後、各応答値に変換した。また不規則波実験に関しては規則波実験同様FFT処理の後各応答をスペクトル解析するとともに、時刻歴結果を統計処理した。

表2 設計条件

Table 2 A design condition.

	設計条件
風	
定常風速 (10分間平均風速) m/sec	36.4
波	
有義波高 m	8.00
有義周期 sec	10.0~15.0
潮流 m/sec	1.2
定常外力	
縦波中 (風荷重+潮流力) ton	14.0
斜波中 (風荷重+潮流力) ton	19.0

表3 実験条件

Table 3 Wave condition for experiments.

実験番号	波の種類	波向き	波周期	波高	γ
211	規則波	縦波	1.0s(6.3s)	0.10m(4.0m)	
212	規則波	縦波	1.2s(7.6s)	0.10m(4.0m)	
213	規則波	縦波	1.4s(8.9s)	0.10m(4.0m)	
214	規則波	縦波	1.6s(10.1s)	0.10m(4.0m)	
216	規則波	縦波	1.8s(11.4s)	0.10m(4.0m)	
219	規則波	縦波	2.0s(12.6s)	0.20m(8.0m)	
1221	規則波	縦波	2.2s(13.9s)	0.28m(11.2m)	
1222	規則波	縦波	2.4s(15.2s)	0.28m(11.2m)	
411	規則波	斜波	1.0s(6.3s)	0.10m(4.0m)	
412	規則波	斜波	1.2s(7.6s)	0.10m(4.0m)	
413	規則波	斜波	1.4s(8.9s)	0.10m(4.0m)	
414	規則波	斜波	1.6s(10.1s)	0.10m(4.0m)	
416	規則波	斜波	1.8s(11.4s)	0.10m(4.0m)	
419	規則波	斜波	2.0s(12.6s)	0.20m(8.0m)	
421	規則波	斜波	2.2s(13.9s)	0.10m(4.0m)	
422	規則波	斜波	2.4s(15.2s)	0.28m(11.2m)	
331	一方向不規則波	縦波	Tp=1.4s(8.9s)	Hs=0.13m(5.2m)	3.3
332	一方向不規則波	縦波	Tp=1.8s(11.4s)	Hs=0.15m(6.0m)	3.3
333	一方向不規則波	縦波	Tp=2.1s(13.3s)	Hs=0.20m(8.0m)	3.3
334	一方向不規則波	縦波	Tp=2.5s(15.8s)	Hs=0.20m(8.0m)	2.2
1531	一方向不規則波	斜波	Tp=1.4s(8.9s)	Hs=0.13m(5.2m)	3.3
532	一方向不規則波	斜波	Tp=1.8s(11.4s)	Hs=0.15m(6.0m)	3.3
1533	一方向不規則波	斜波	Tp=2.1s(13.3s)	Hs=0.20m(8.0m)	3.3
534	一方向不規則波	斜波	Tp=2.5s(15.8s)	Hs=0.20m(8.0m)	2.2

3 実験結果及び考察

3.1 規則波中応答

3.1.1 運動応答

(1) 縦波中応答

マイティーホエールの縦波中（入射角 180° ）の surge, heave, pitch の運動応答の実験結果及び計算結果の比較を図5～図6に示す。計算結果は、マイティーホエールのように複雑な三次元形状物体の運動応答をどの程度理論的に把握できるかを確認するための参考値として記載した。

また、計算手法は浮体表面を図7に示すようにパネル分割し、各流場の境界条件を満足したグリーン関数を用い、浮体表面上の境界値問題を満足するように波源強度を積分方程式に帰着することにより決定する。そして、その波源強度より求められた圧力により流体力、波強制力を求め、運動を計算するものである⁸⁾。各図の横軸は波長 λ を構造物代表長さ L で無次元化した値、縦軸は並進運動に関しては波振幅 a 、回転運動に関しては波傾斜（波数 $k \times$ 波振幅 a ）で無次元化した値を示す。

surge, heave, pitch のそれぞれの運動の実験値と計算値の結果は比較的良く一致しているといえる。しかし、heave の $\lambda/L < 2.0$ の短周期側において実験値と計算値の相関は悪い。この理由として、運動の計算結果は空気室による波エネルギー吸収の影響は考慮されておらず、そのため運動が大きくなったものと考えられる。また、マイティーホエールの波エネルギー吸収効率は後述するように $\lambda/L \approx 1.0 \sim 2.0$ の間で最も良いことよりも、上記理由を証明しているといえる。

(2) 斜波中応答

斜波中の surge, sway, heave, roll, pitch, yaw の運動応答の結果を図8～図9に示す。縦波中の結果同様、運動応答の実験値と計算値の結果は比較的良く一致しているといえる。また、heave の応答では縦波中に顕著に現れていた計算値のピークが、斜波中では小さくなっていることがわかる。roll, pitch, yaw の回転運動に関しては計算値が実験値より全体的に大きな値を示しており、粘性影響が寄与していることがうかがえる。

以上より、周波数領域における各運動応答はマイティーホエールのような三次元的に複雑な形状をした浮体でも波エネルギー吸収の大きくなる短周期側を除いて、ほぼ理論的に推定できるものと考えられる。

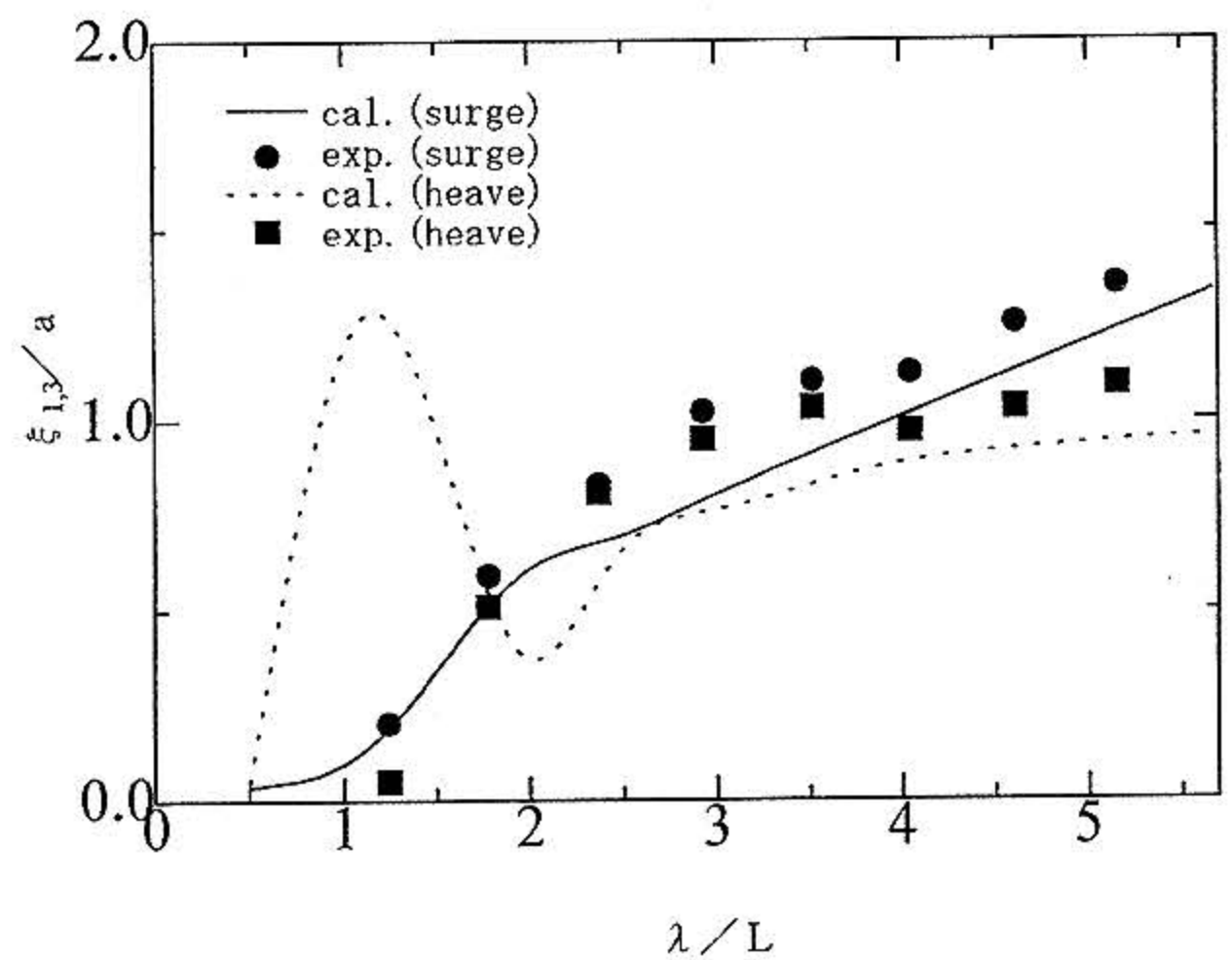


図5 マイティーホエール前並進モード運動応答 (180°)
Fig. 5 Response function of irotation motion in head sea condition.

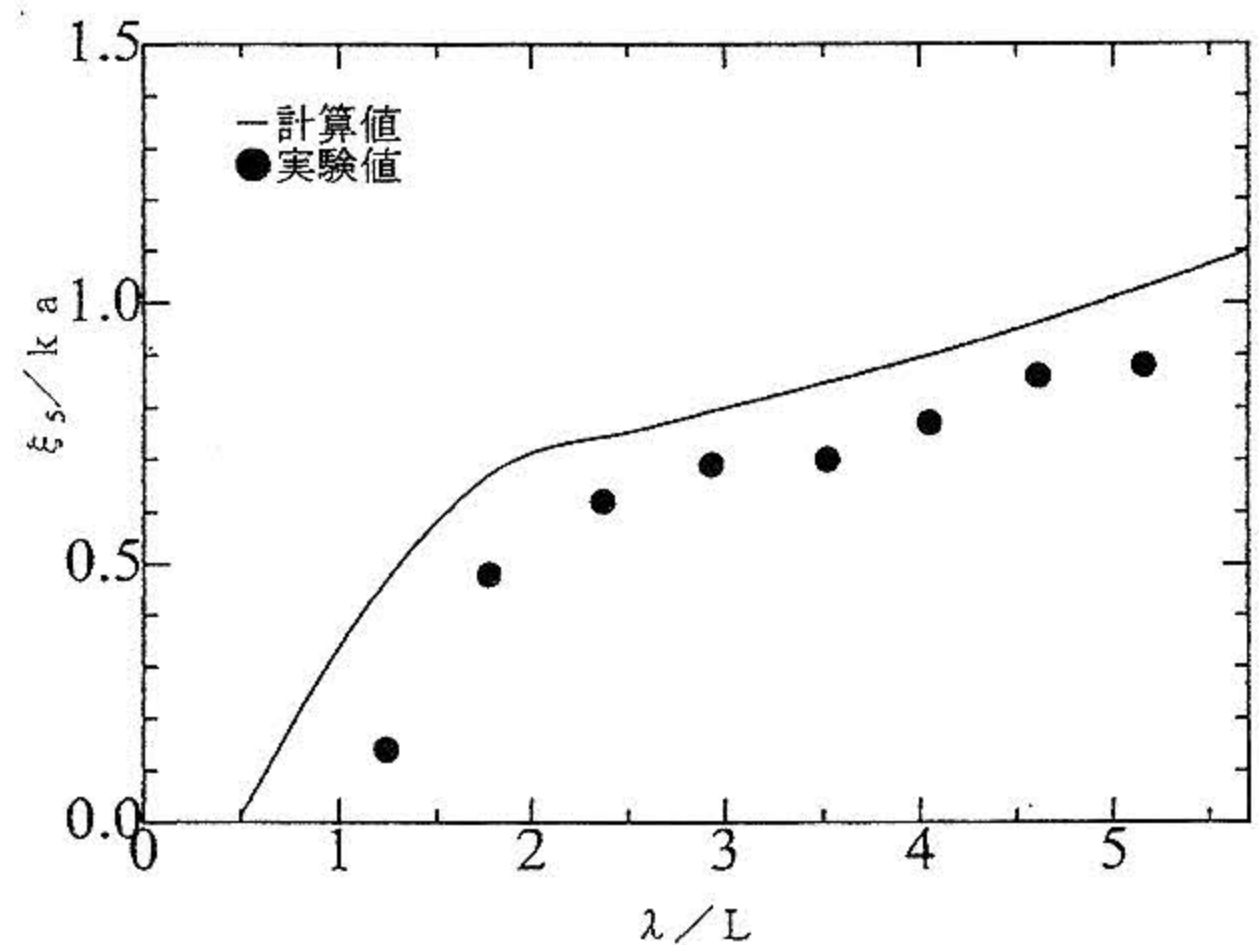


図6 マイティーホエール縦揺れ運動応答 (180°)
Fig. 6 Response function of pitch motion in head sea condition.

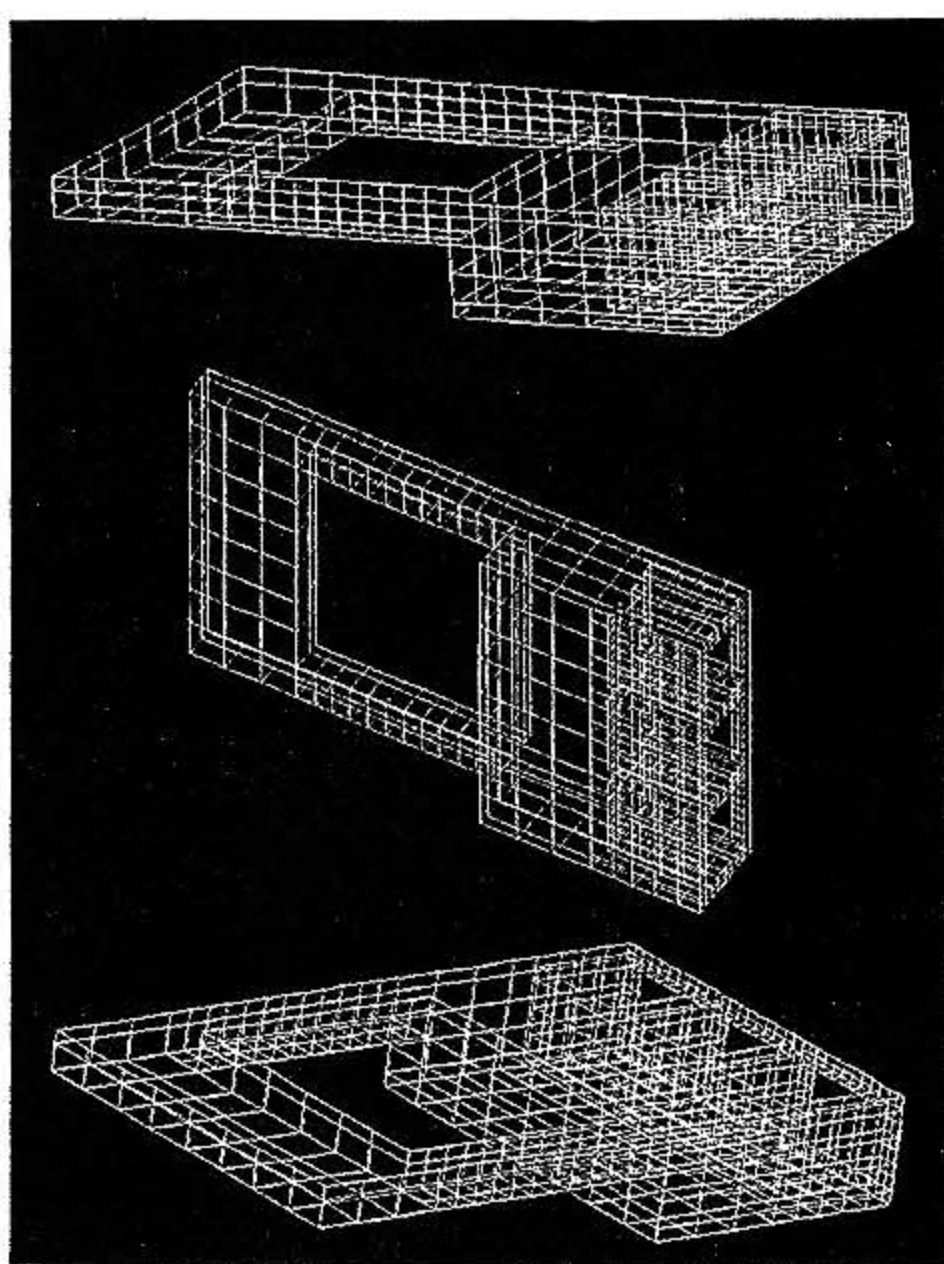


図7 計算に用いたマイティーホエールの要素
Fig.7 Calculation mesh of "Mighty Whale".

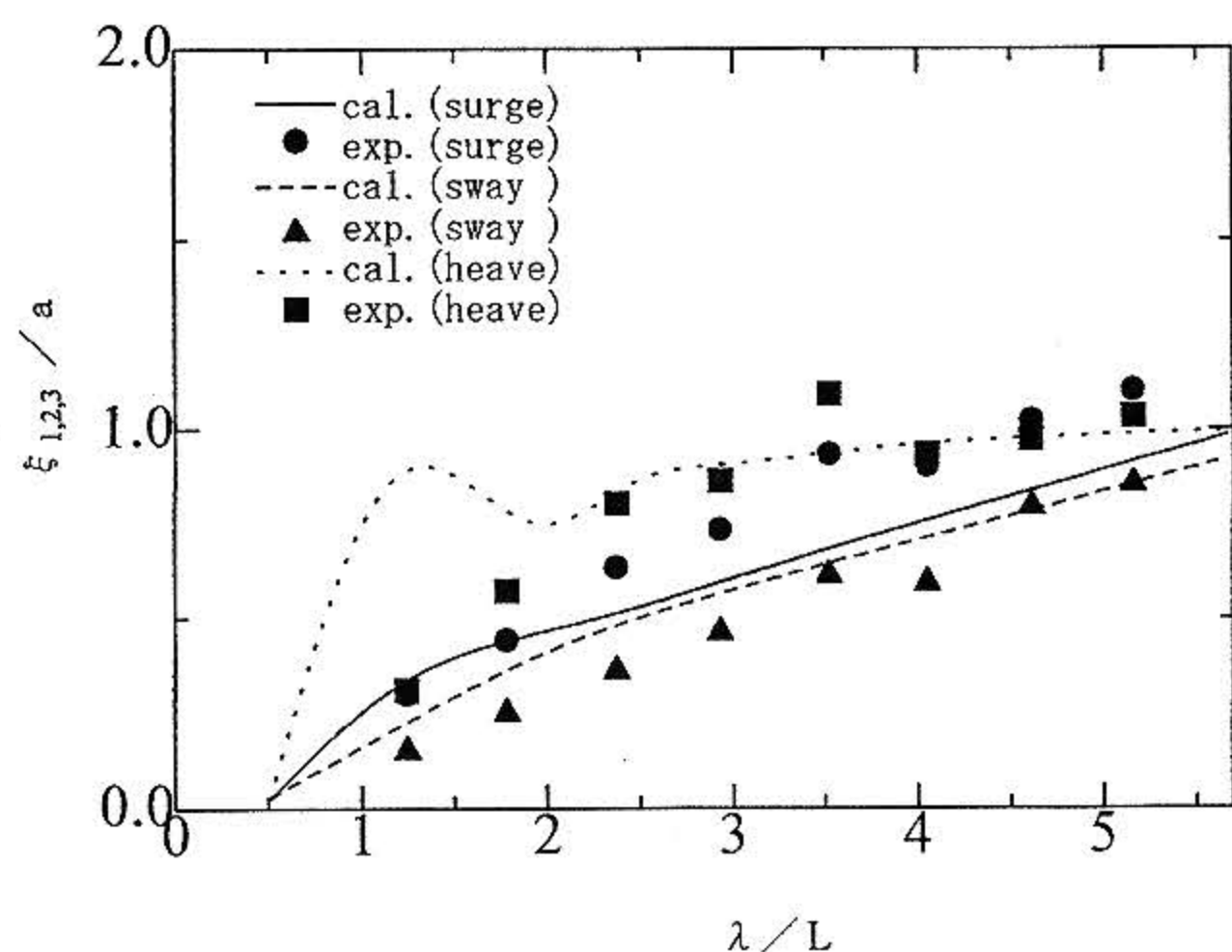


図8 マイティーホエール並進モード運動応答 (135°)
Fig. 8 Response function of irotation motion in oblique sea condition.

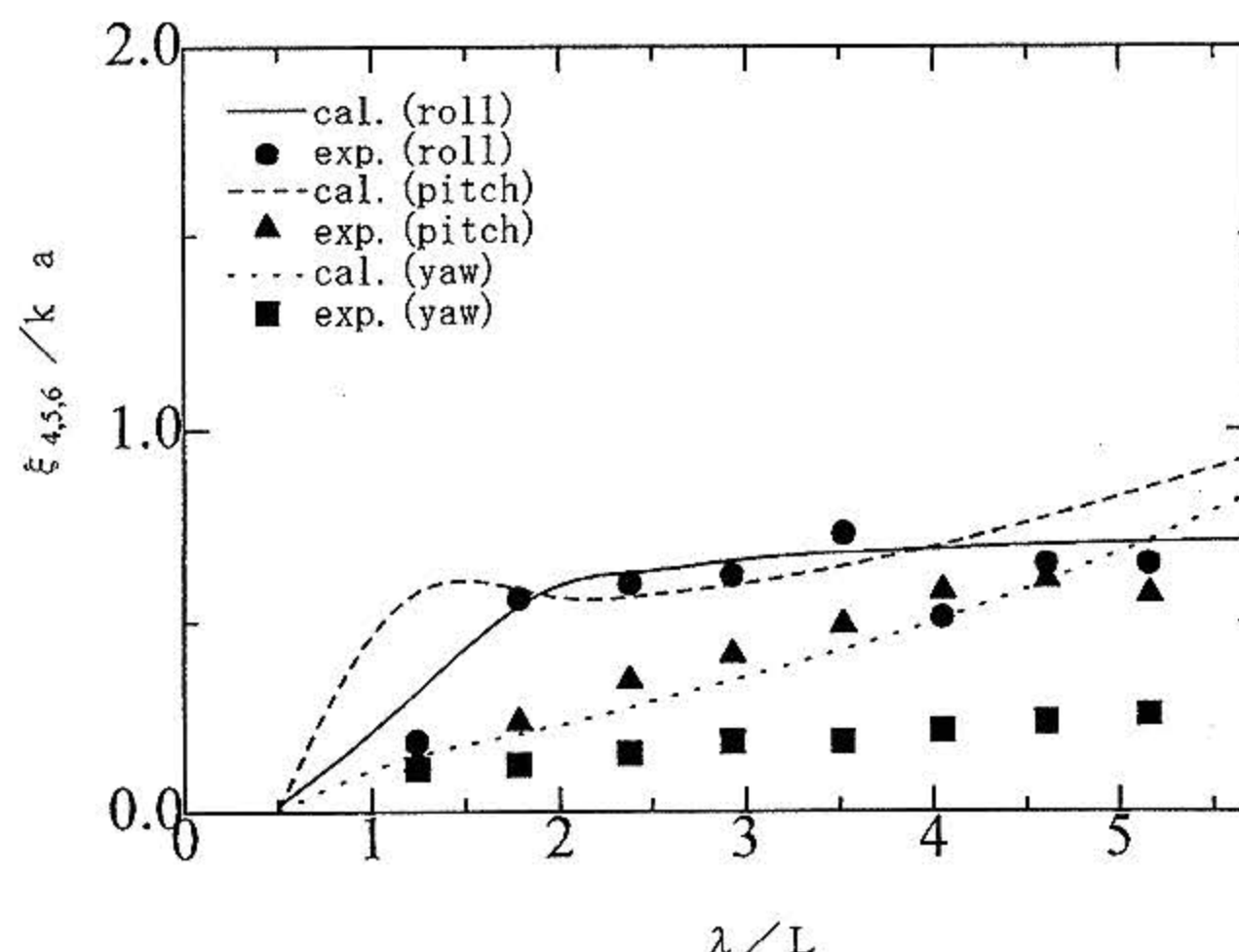


図9 マイティーホエール回転モード運動応答 (135°)
Fig. 9 Response function of rotation motion in oblique sea condition.

3.1.2 係留索張力

(1) 縦波中応答

縦波中における波上側係留索No. 1～No. 4の張力応答の結果を図10に示す。図の横軸の表示は運動応答と同様であるが、縦軸は各張力 $\rho g L a^2$ で無次元化 (ρ : 流体密度, g : 重力加速度, L : 構造物代表長さ, a : 波振幅) した値を示す。

張力の応答の結果は、入射波方向に対して索の取付角度が閉じているNo. 2, No. 3の索張力が入射方向に対して開いているNo. 1, No. 4の索張力に比べ大きいことがわかる。また、張力の大きさは各運動が急激に大きくなる $\lambda/L=2.0$ 付近より、長周期側において大きくなっていることがわかる。

(2) 斜波中応答

斜波中における波上側係留索No. 1～No. 4の張力応答の結果を図11に示す。

波の入射波方向に当るNo. 3, No. 4はNo. 1, No. 2に比べ応答が大きい。しかし、係留索No. 3, No. 4の張力応答は縦波の時と傾向が違い、 $\lambda/L < 2.0$ の低周期域において張力が大きい結果となっている。

この原因として、縦波中応答と違い斜波中応答では6モードの運動が生じ、その各運動の位相差により短周期域において運動の絶対値が大きくなり、逆に長周期域においては運動の絶対値が小さくなったためと考えられる。従って張力の応答、特に斜波中のような条件下では運動の位相差を考慮した張力の評価が必要となるものと考えられる。

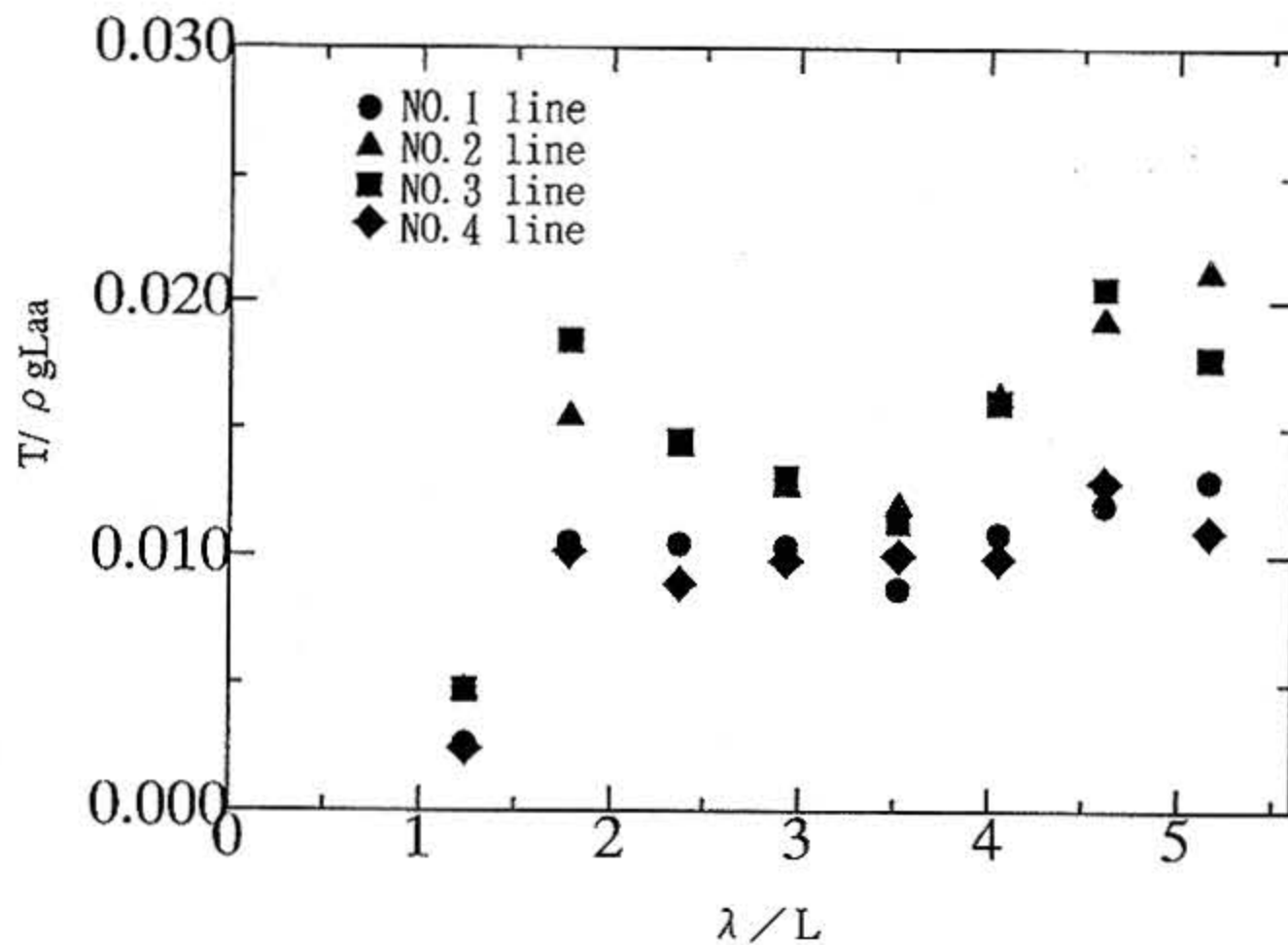


図10 係留索の張力応答の実験値 (180°)

Fig.10 Tension of mooring line head sea condition.

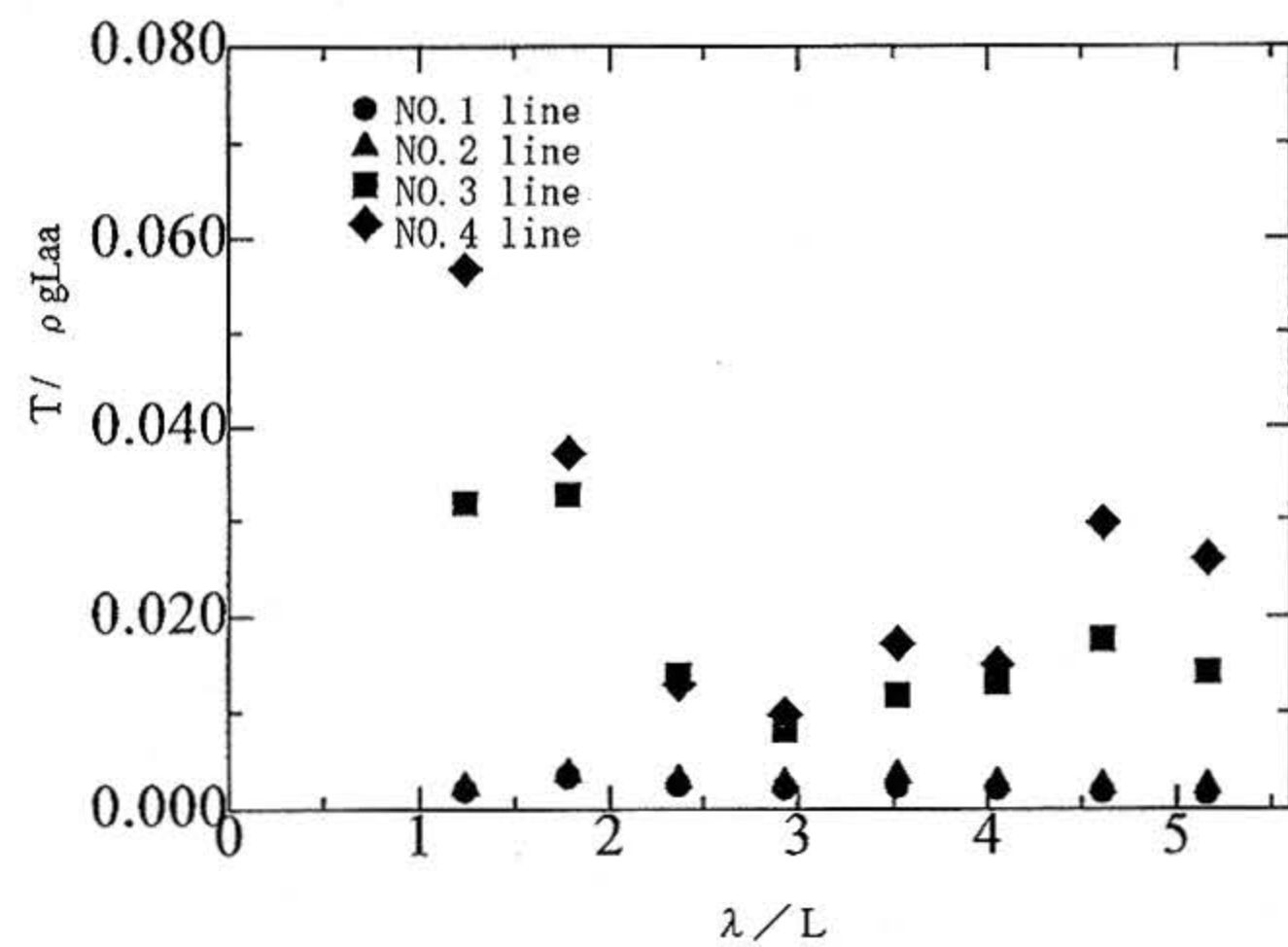


図11 係留索の張力応答の実験値 (135°)

Fig.11 Tension of mooring line in oblique sea condition.

3.1.3 波エネルギー吸収効率及び消波効率

(1) 縦波中応答

縦波中におけるマイティーホエールの波エネルギー吸収効率及び消波効率の実験結果を図12, 図13に示す。

エネルギー吸収率は著者らが先に示した⁹⁾ように各空気室内の圧力計P1, P2, P3より求めた波エネルギー吸収量の総和Wと入射波エネルギーEの比率を表したものである。

また、消波率はマイティーホエール背後の静穏度の指標として、背面に設置した波高計H2, H3, H4で計測された波高と波検定で計測された波高との比率を表したものである。波エネルギー吸収率は先の運動応答でも述べたとおり $\lambda/L=2.0$ 付近で吸収効率が約0.45と最も良く、また消波率も $\lambda/L < 2.0$ の範囲で1.0を切っていることがわかる。

(2) 斜波中応答

次に斜波中におけるマイティーホエールの波エネルギー吸収効率及び消波効率の実験結果を図14, 図15に示す。

波エネルギー吸収率は縦波中に比べ低く、消波率も波エネルギー吸収率との相関がとれていない。この原因として、マイティーホエールの周辺から周り込んだ波が消波特性に影響を及ぼしており、マイティーホエール1基だけを設置した場合、全周期帯に渡って背後の静穏海域を創造することは、この結果より難しいものと考えられる。

従って、マイティーホエールを波の入射波方向に対して連なるように設置して、マイティーホエール背後の静穏海域を創造することが望ましいと考える。

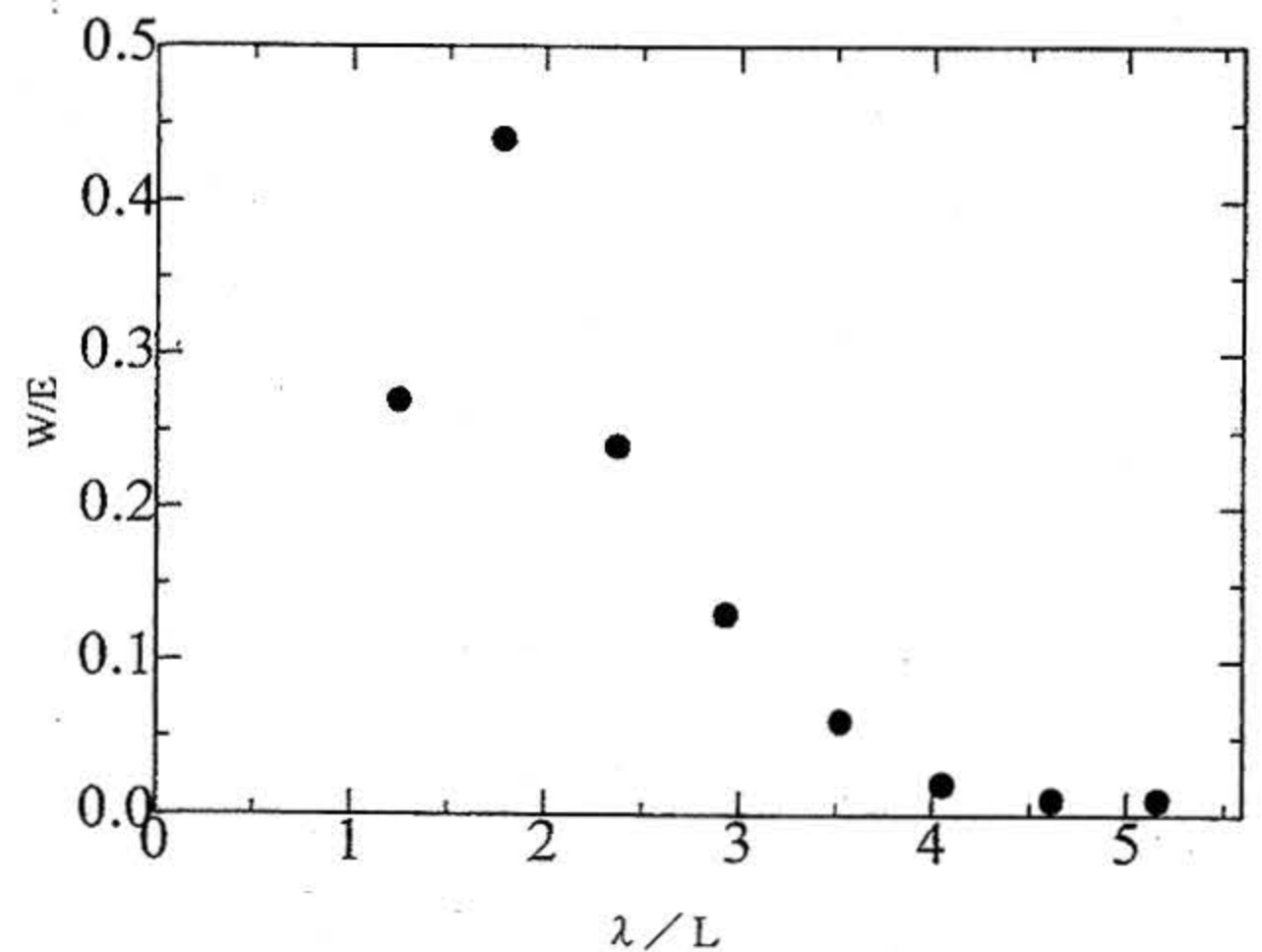


図12 波エネルギー吸収効率 (180°)

Fig.12 Performance of the wave power absorption in head sea condition.

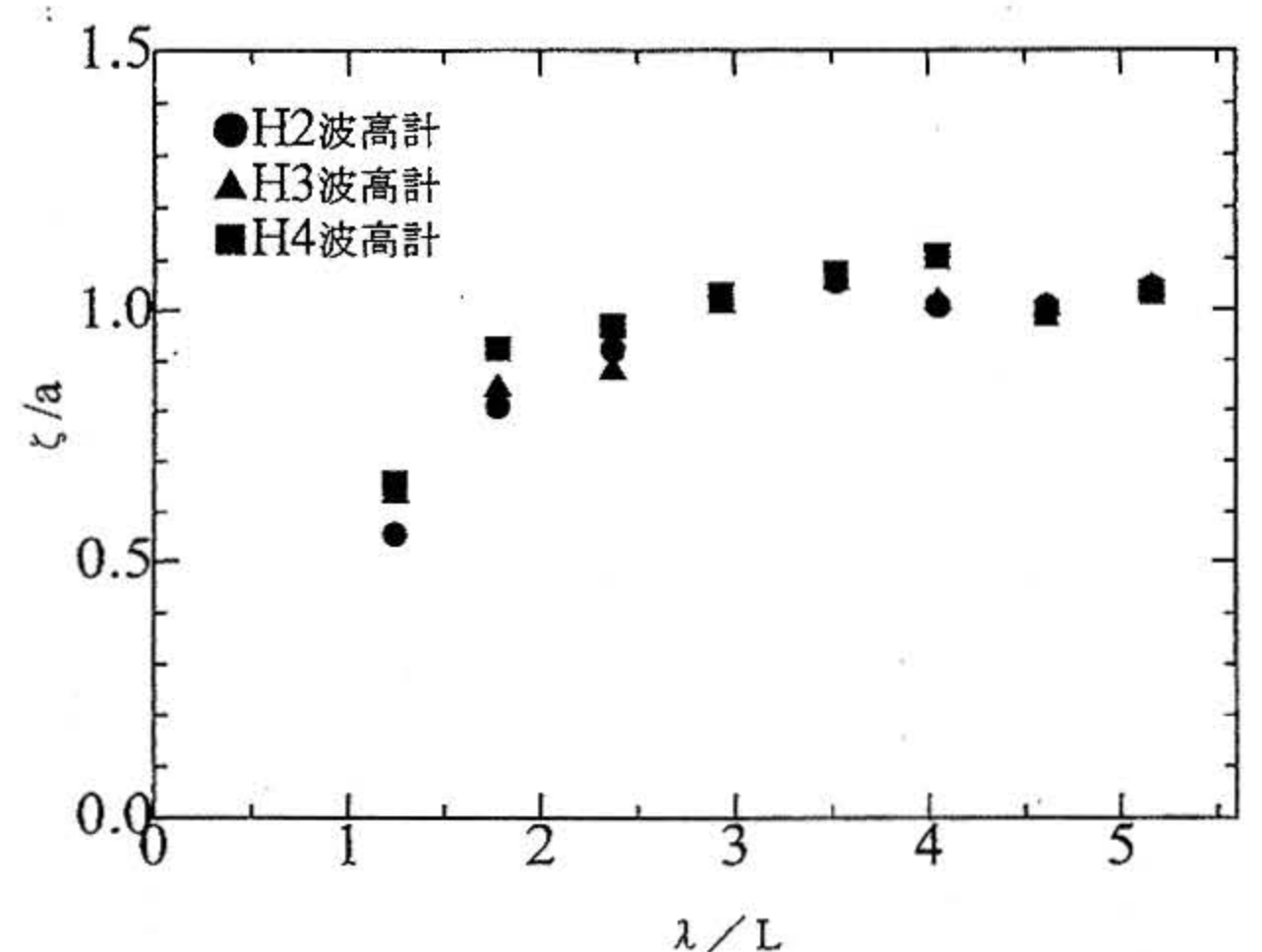


図13 消波効率 (180°)

Fig.13 Performance of the wave height dissipation in head sea condition.

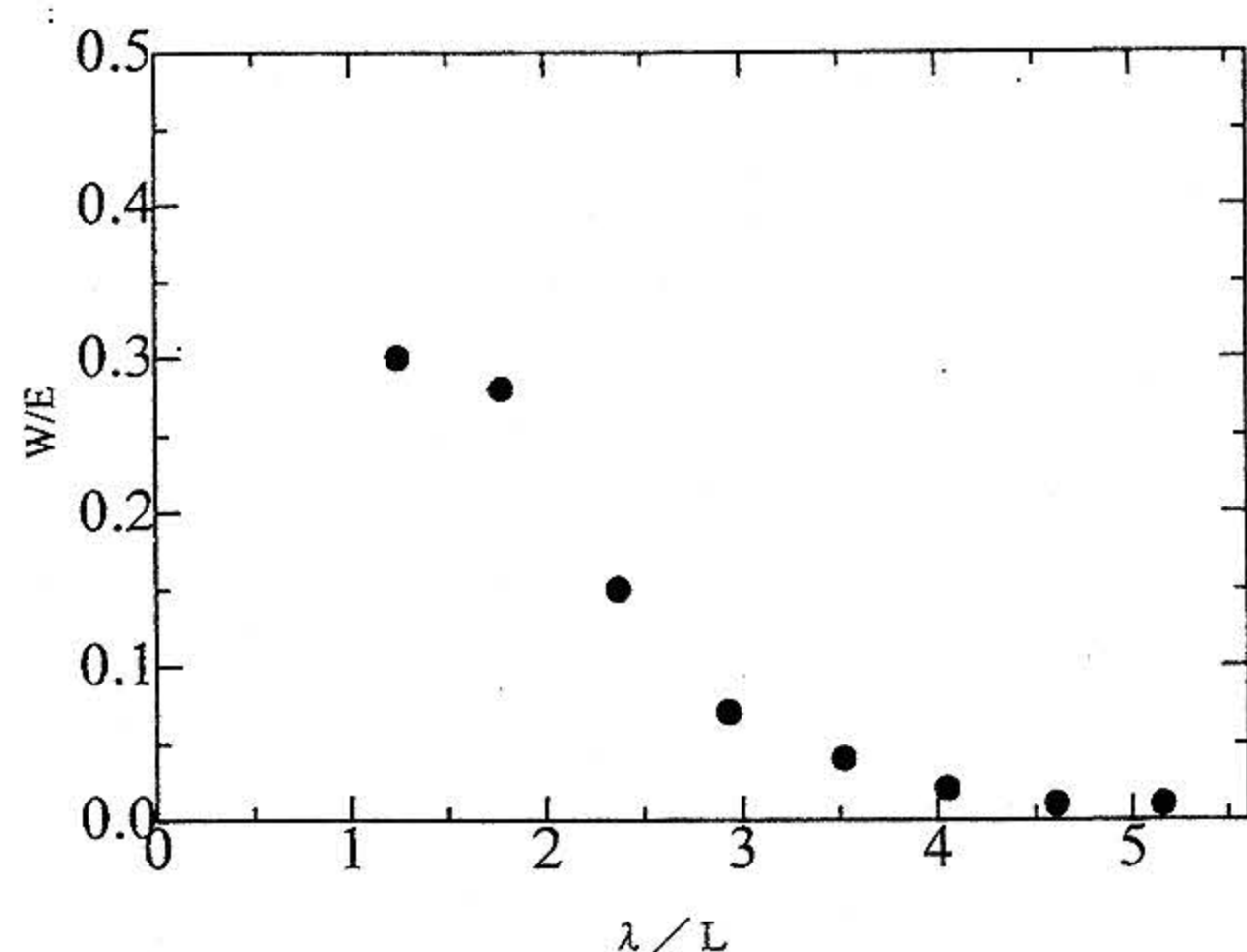


図14 波エネルギー吸収効率 (135°)
Fig.14 Performance of the wave power absorption in oblique sea condition.

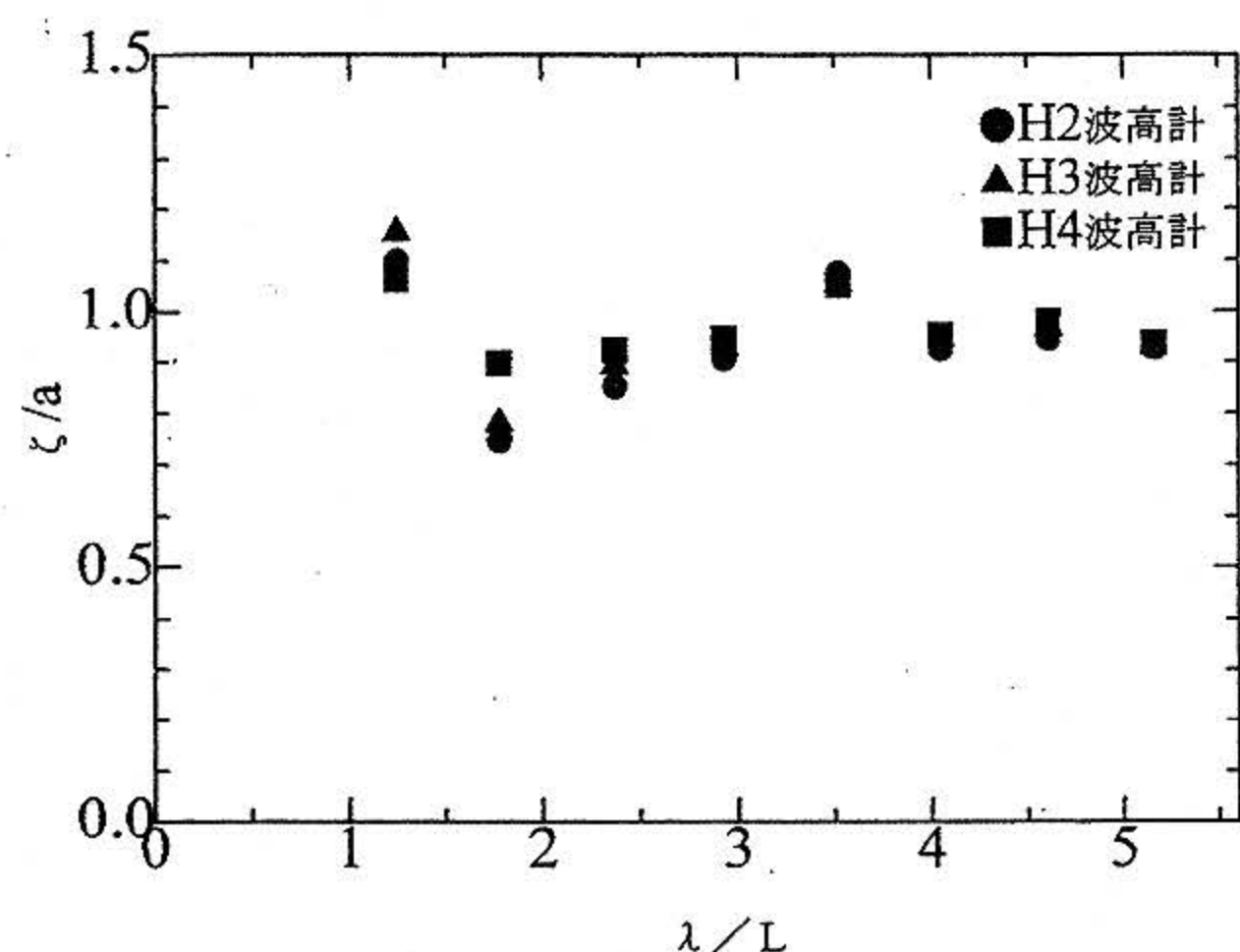


図15 消波効率 (135°)
Fig.15 Performance of the wave height dissipation in oblique sea condition.

3.2 不規則波中応答

不規則波中実験では、想定した波スペクトルを持った不規則波が実際の水槽において確実に造波されているかを確認する必要がある。

図16は、有義波高 $H_s=0.2\text{m}$ 、ピーク周期 $T_p=2.1\text{sec}$ 、 $\gamma=3.3$ のJONSWAP型スペクトルの理論値（一点鎖線）を浮体の重心位置に設置された波高計H5により計測された波のデータをスペクトル解析した結果（実線）の一例を比較したものである。

理論値と実験値は良く一致しており、想定したスペク

トルの波が実際の水槽によって造波されていることが検定されたといえる。

また、その他の実験ケースについても同様に検定した結果、実験に用いる不規則波として問題ないことを確認した。

3.2.1 縦波中応答特性

縦波不規則波中における、各運動応答の実験結果の時刻歴及びスペクトル解析結果の一例を図17、図18に示す。入射波は、図16に示したJONSWAP型（ $H_s=0.2\text{m}$ 、 $T_p=2.1\text{sec}$ 、 $\gamma=3.3$ ）のスペクトルより生成した不規則波である。

実験のsurgeの結果は、heaveなどの結果と違い、波の周期に比べ弛緩係留特有の大振幅の長周期運動が顕著に表れている。

この長周期運動の周期は、スペクトルの結果からもわかるように静水中の自由振動実験から求めた、surge方向の固有周期（約13.0s）に対応しており、波の一次成分の応答に比べ非常に大きいことがわかる。長周期運動は、水平面内の運動モードの固有周期近傍における減衰力が非常に小さいため、波面の非線型相互干渉から生じる長周期の非線形波力が起因力となって発生する共振現象である。

そのため、一度この周期で動揺し始めると非常に大きな運動振幅となり、その大きな運動振幅の中に波の一次成分の運動が組み合わされる形で応答が生じるものである。

次に、この長周期運動時の波上側係留索張力の時刻歴及びスペクトルの実験結果を図19、図20に示す。

各張力の結果は、surgeの長周期運動に起因して非常に大きな張力となり、その周期もスペクトル結果より固有周期と同じ周期で変動している。特に係留索の浮体側取付点は、surgeの運動により大きく移動する。そのため海底に設置されているシンカー点と係留索浮体側取付点間の水平距離が次第に大きくなり、索が緊張状態となったところに他のheave等の運動モードが重なって張力が増大していることが想像できる。

また、表4に入射波、各運動、係留張力の時刻歴結果とゼロクロス法により解析した各応答の最大値の結果を示す。

この各応答の最大値の結果より見てもsurge方向の長周期運動の影響が係留索張力に最も影響を及ぼしていることがうかがえる。

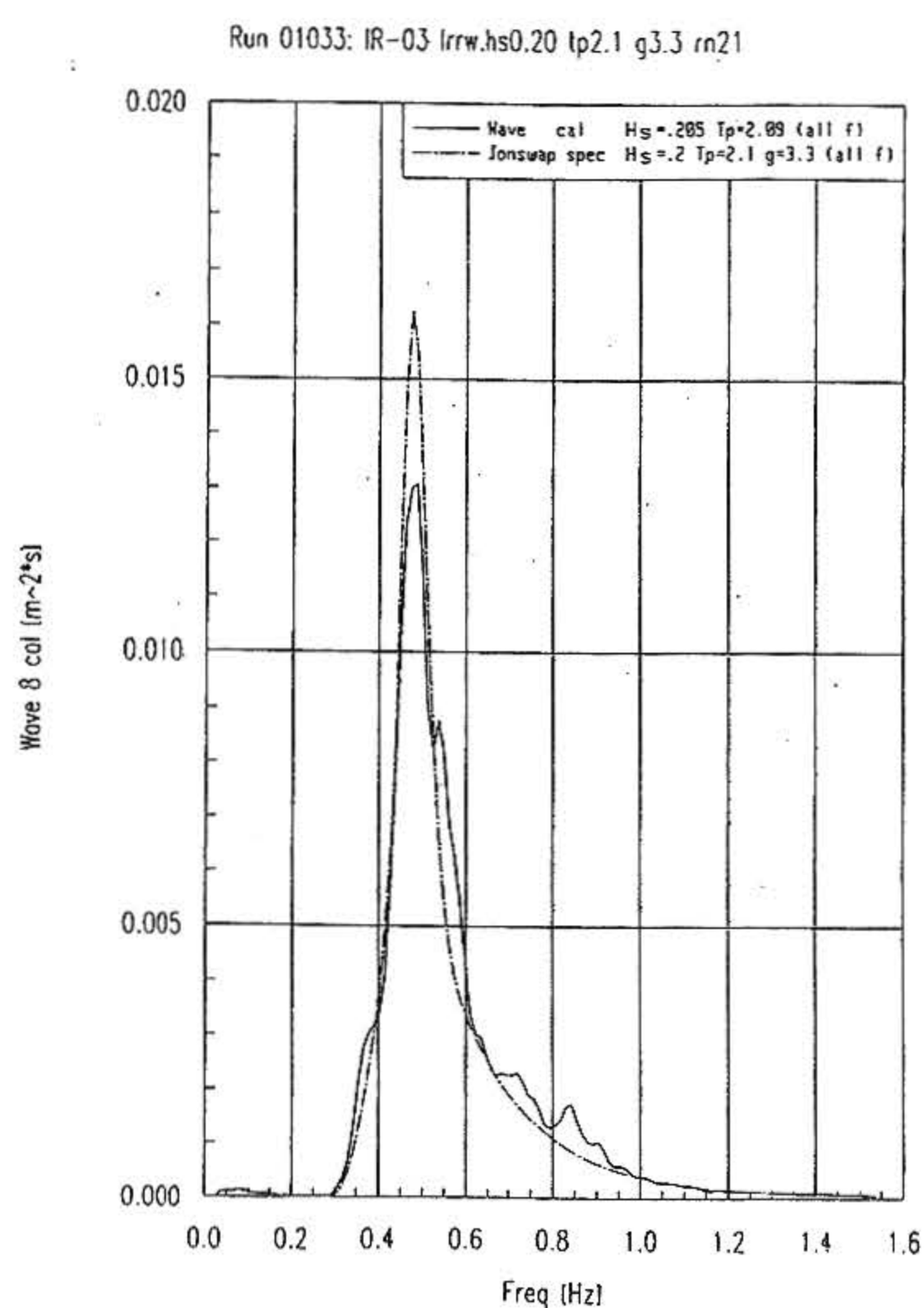


図16 造波波浪
Fig.16 Generated waves.

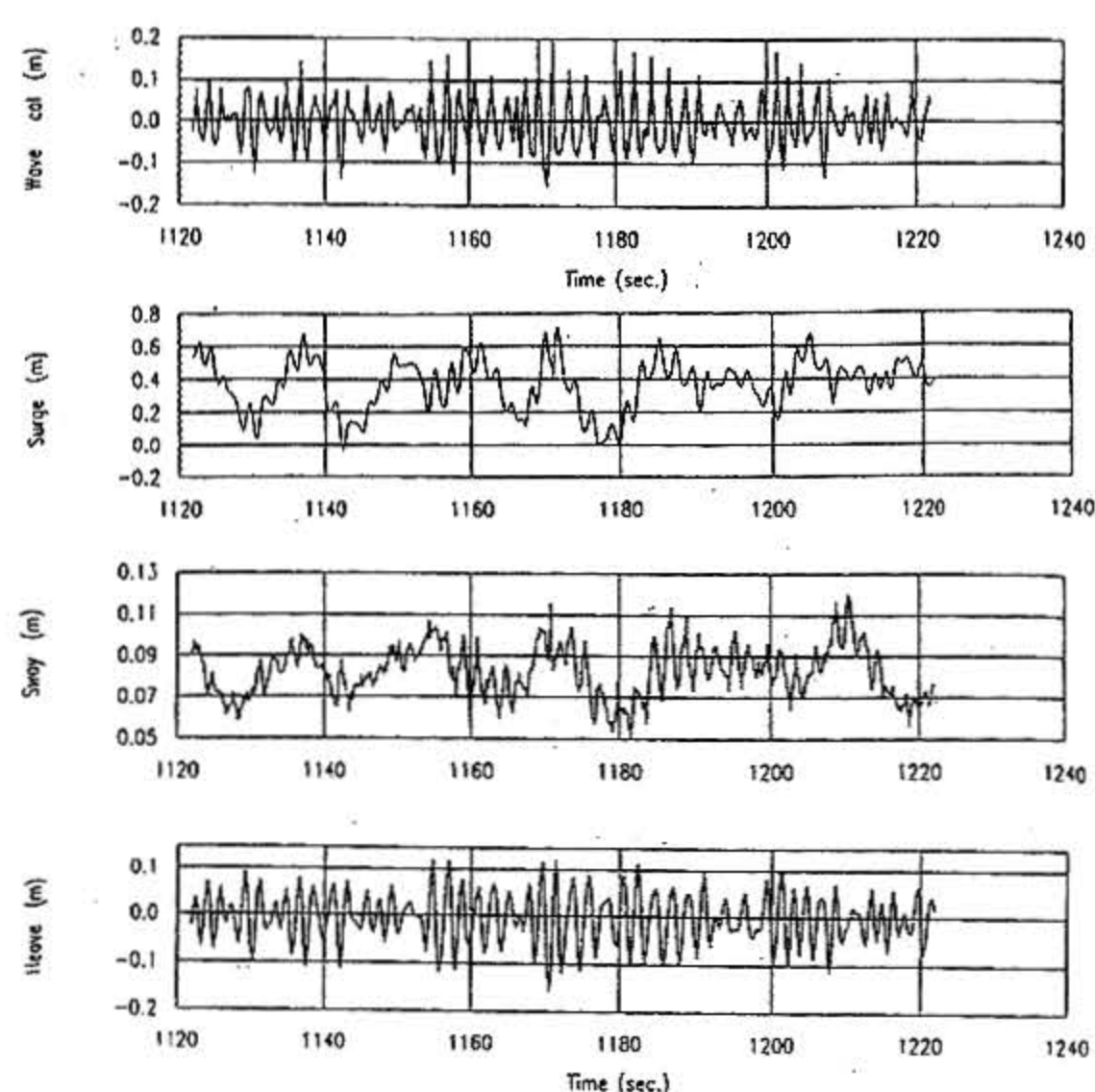


図17-1 運動応答の時刻歴結果 (180°)
Fig.17-1 Time series of motion in head sea condition.

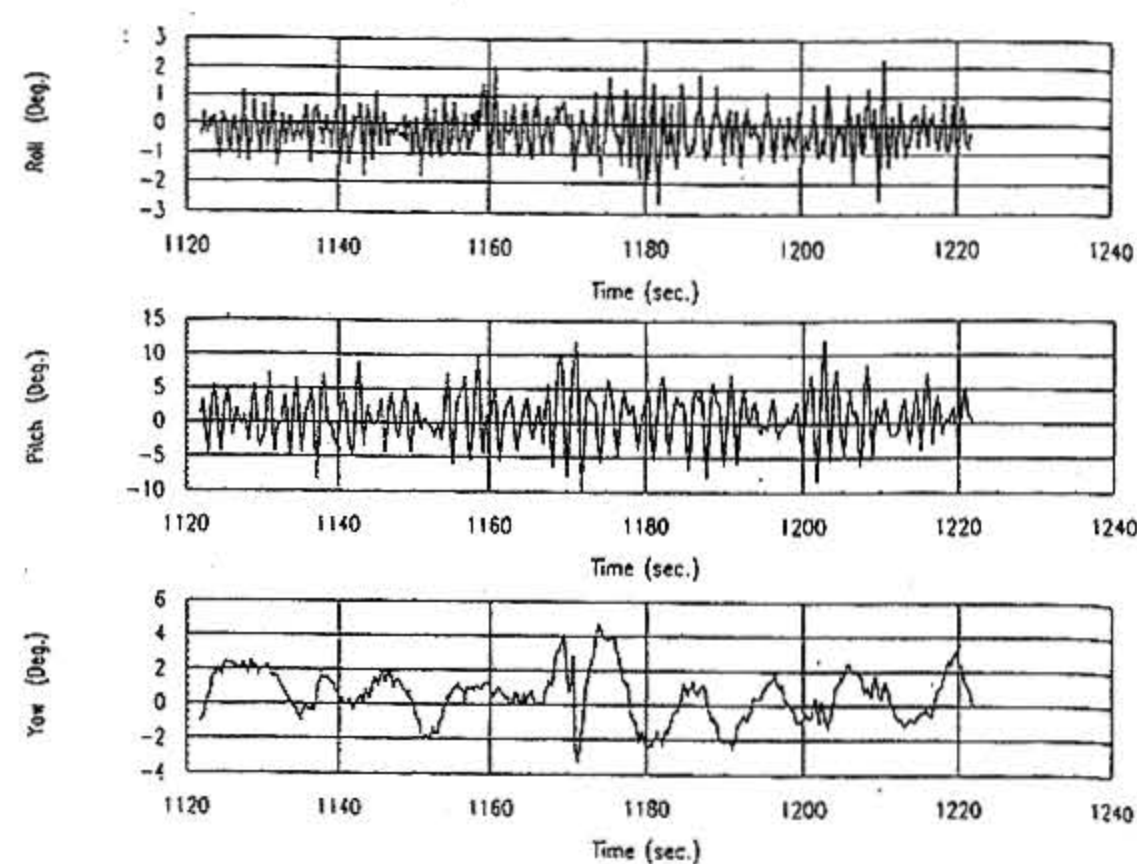


図17-2 運動応答の時刻歴結果 (180°)
Fig.17-2 Time series of motion in head sea condition.

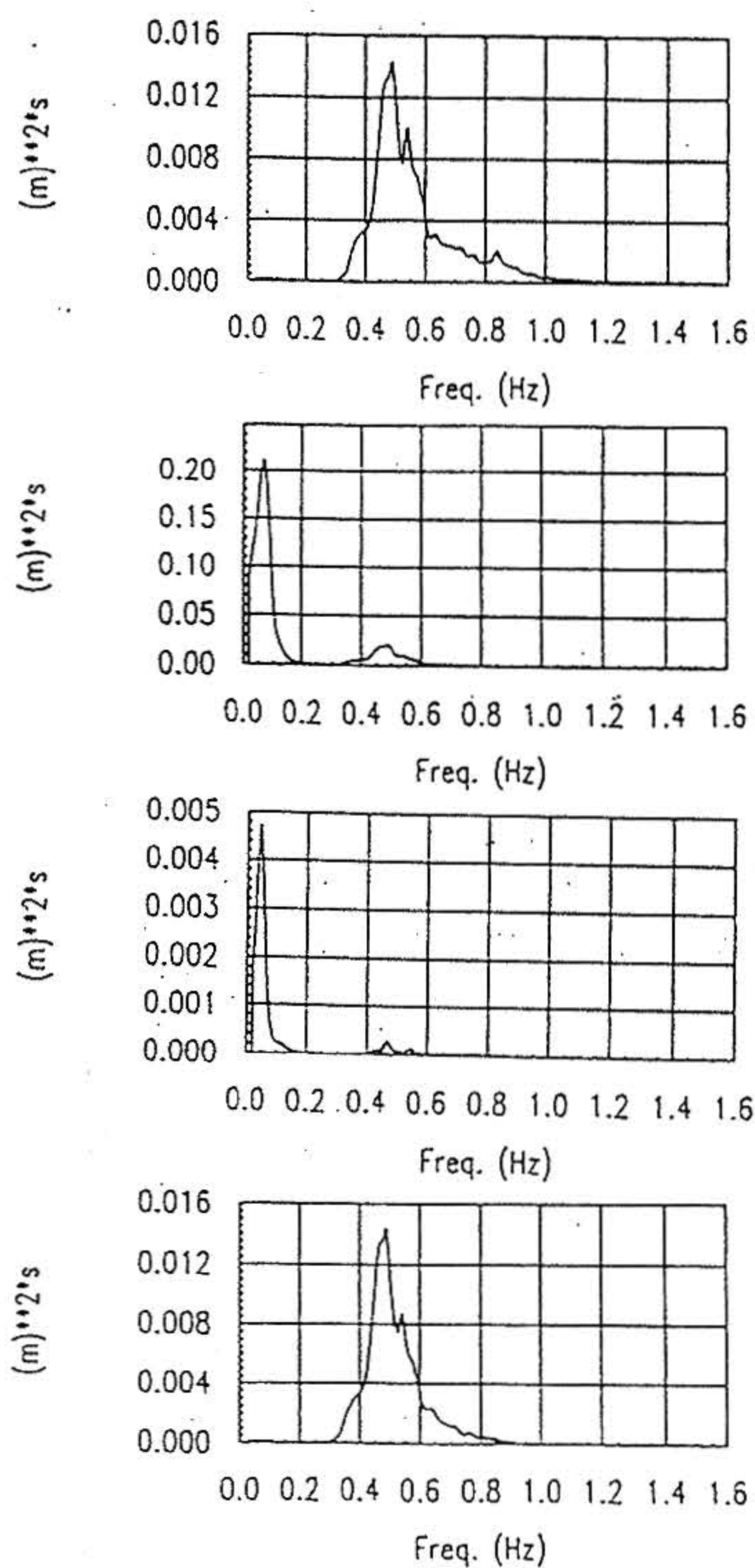


図18-1 運動応答のスペクトル結果 (180°)
Fig.18-1 Spectra of motion in head sea condition.

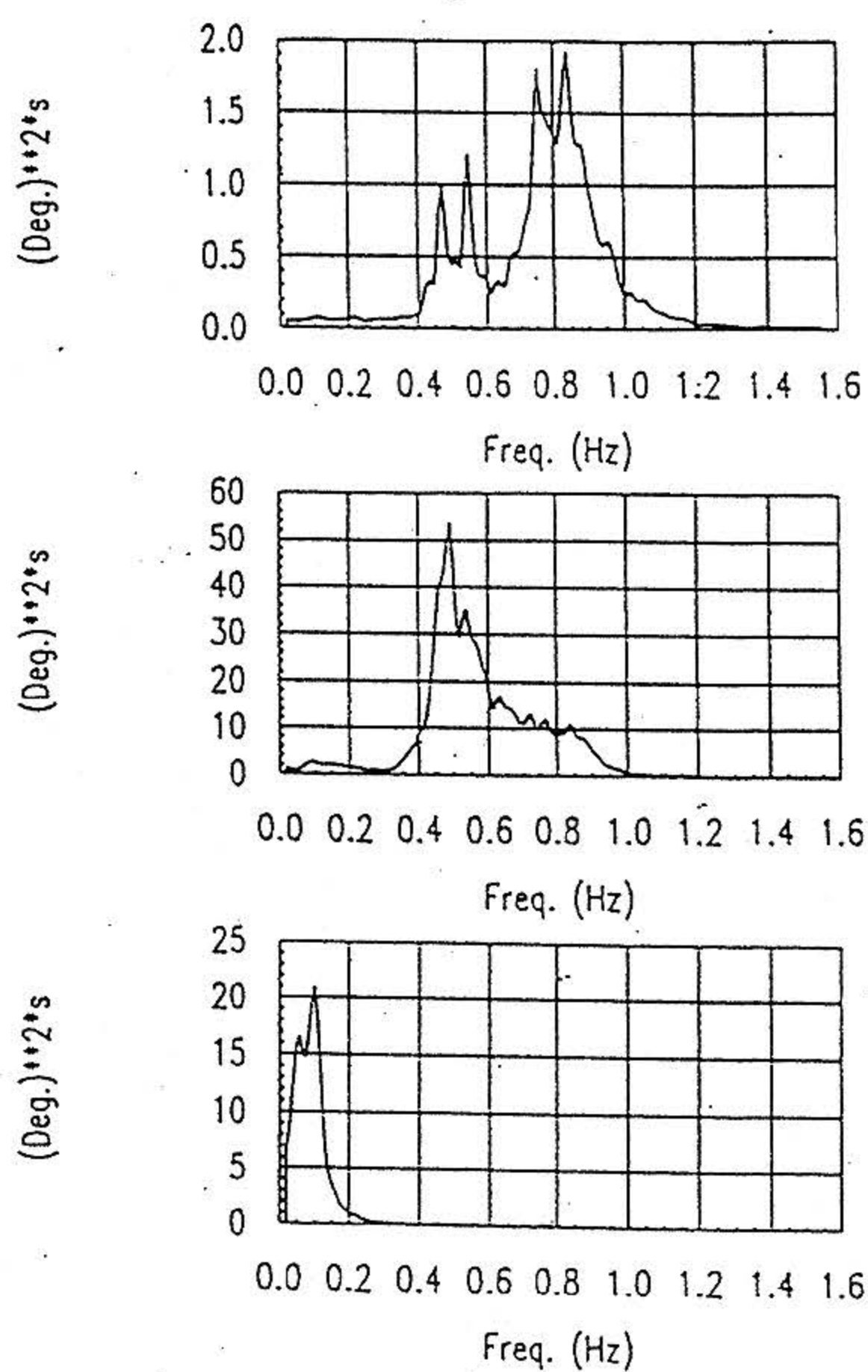


図18-2 運動応答のスペクトル結果 (180°)
Fig.18-2 Spectra of motion in head sea condition.

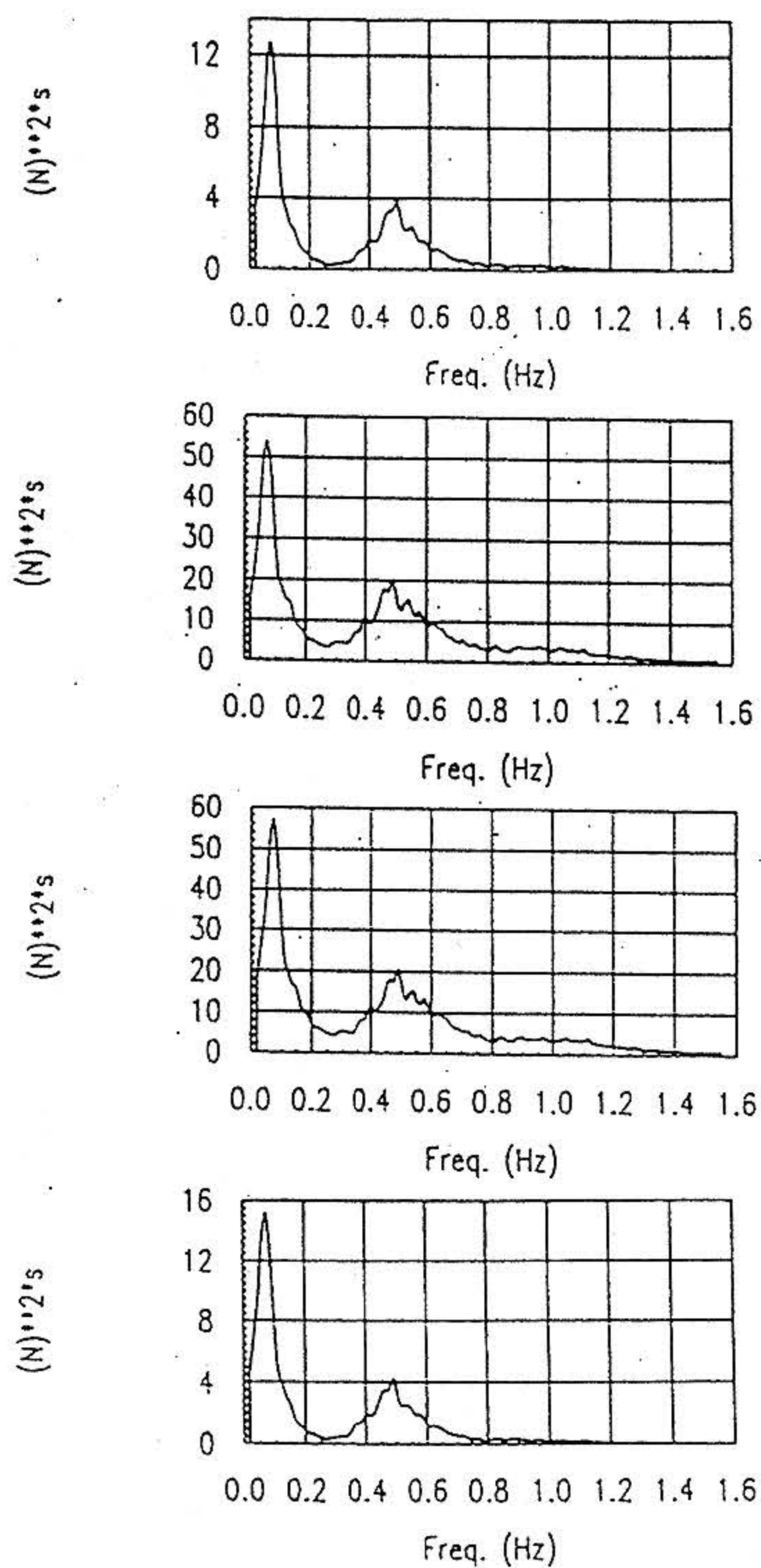


図20 係留索張力のスペクトル結果 (180°)
Fig.20 Spectra of tension of mooring lines in head sea condition.

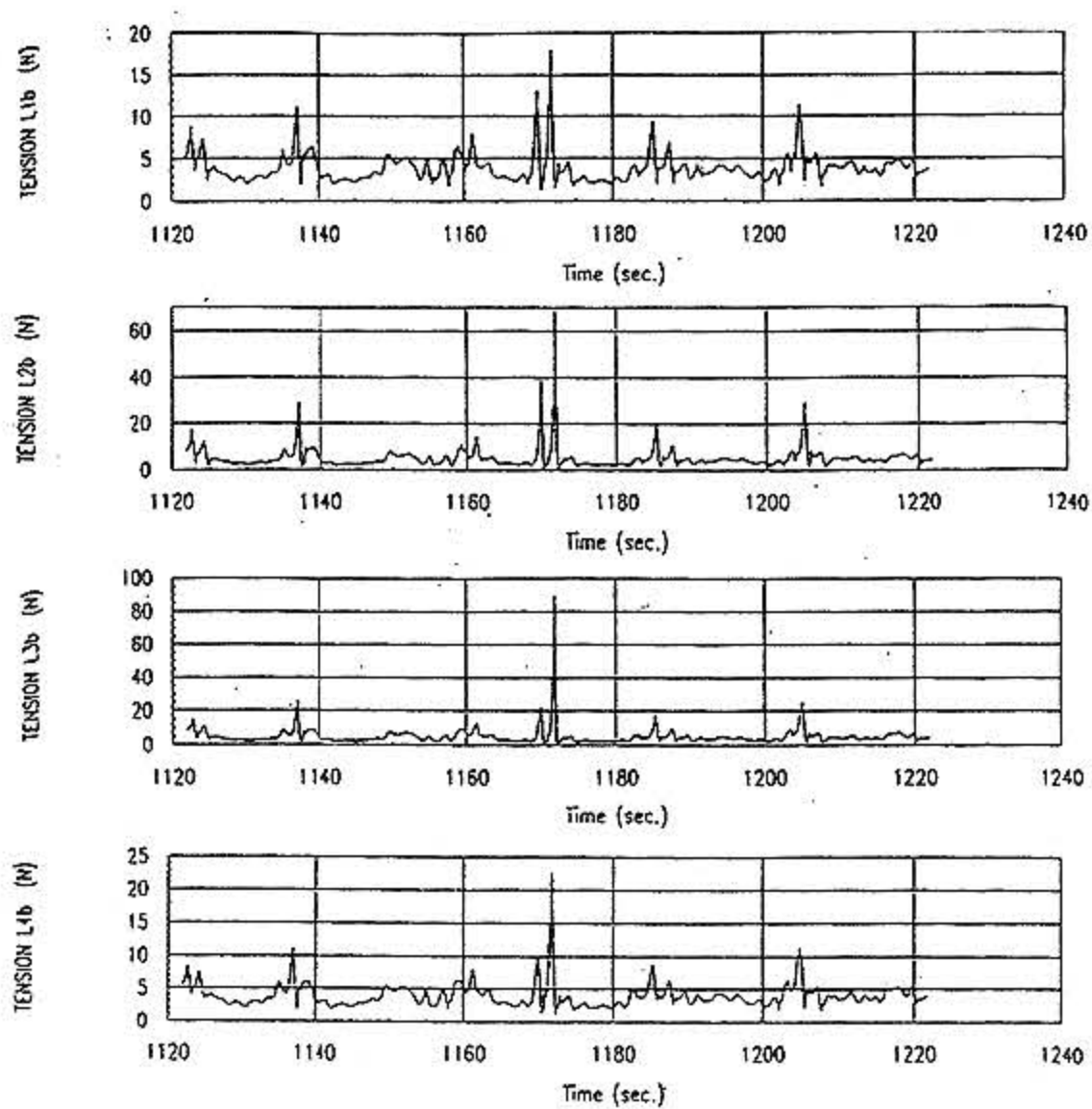


図19 係留索張力の時刻歴結果 (180°)
Fig.19 Time series of tension of mooring lines in head sea condition.

3.2.2 斜波中応答特性

斜波不規則波中における、各運動応答の時刻歴及びス

表4 応答の最大値 (180°)

Table4 Maximum value of time series response in head sea condition.

EXP.Case	incident wave		motions (max)						tensions (max)			
	H _i (m)	H _{max} (m)	surge(m)	sway(m)	heave(m)	roll(degree)	pitch(degree)	yaw(degree)	No.1(N)	No.2(N)	No.3(N)	No.4(N)
331 (H _i =0.13m T _p =1.4s)	0.134	0.275	0.784	0.105	0.164	4.59	21.30	9.61	21.8	94.1	92.3	20.5
332 (H _i =0.15m T _p =1.8s)	0.154	0.286	0.897	0.064	0.205	4.43	18.50	5.73	19.3	72.5	65.9	17.4
333 (H _i =0.20m T _p =2.1s)	0.204	0.363	0.867	0.093	0.322	5.22	22.39	9.95	20.5	89.4	89.4	24.0
334 (H _i =0.20m T _p =2.5s)	0.191	0.351	0.586	0.064	0.308	4.57	18.27	8.32	10.1	22.6	29.2	13.3

3.2.2 斜波中応答特性

斜波不規則波中における、各運動応答の時刻歴及びスペクトルの実験結果を図21、図22 に示す。

縦波不規則波中の運動応答の結果と違い、斜波不規則波中応答の結果は、水平面内の運動であるsurge, sway, yawの全ての運動モードに長周期大振動の応答現象が表れている。これらの運動モードは、係留索がなければ浮体自体では復元力がない運動モードであり、今回のように非常にスラックな係留状態ではその固有周期も長くな

る。そのため長周期運動も大きくなり、係留索に過大な張力を生じる原因となる。

斜波中では、その現象が顕著であり、surge, sway, yawに加えてheave, roll, pitchの全ての運動モードの位相差が最も悪い状況の時に最大張力が発生しているものと考えている。

特に図23、図24に示す各張力の時刻歴、スペクトルの実験結果では、No.3, No.4の係留索が765s付近で張力の最大値が発生しており、運動の時刻歴の結果と照らし合わせるとsurge, heave, yawの運動が同位相で運動した時に縦波中の結果よりさらに大きな最大張力が発生しているものと考えられる。

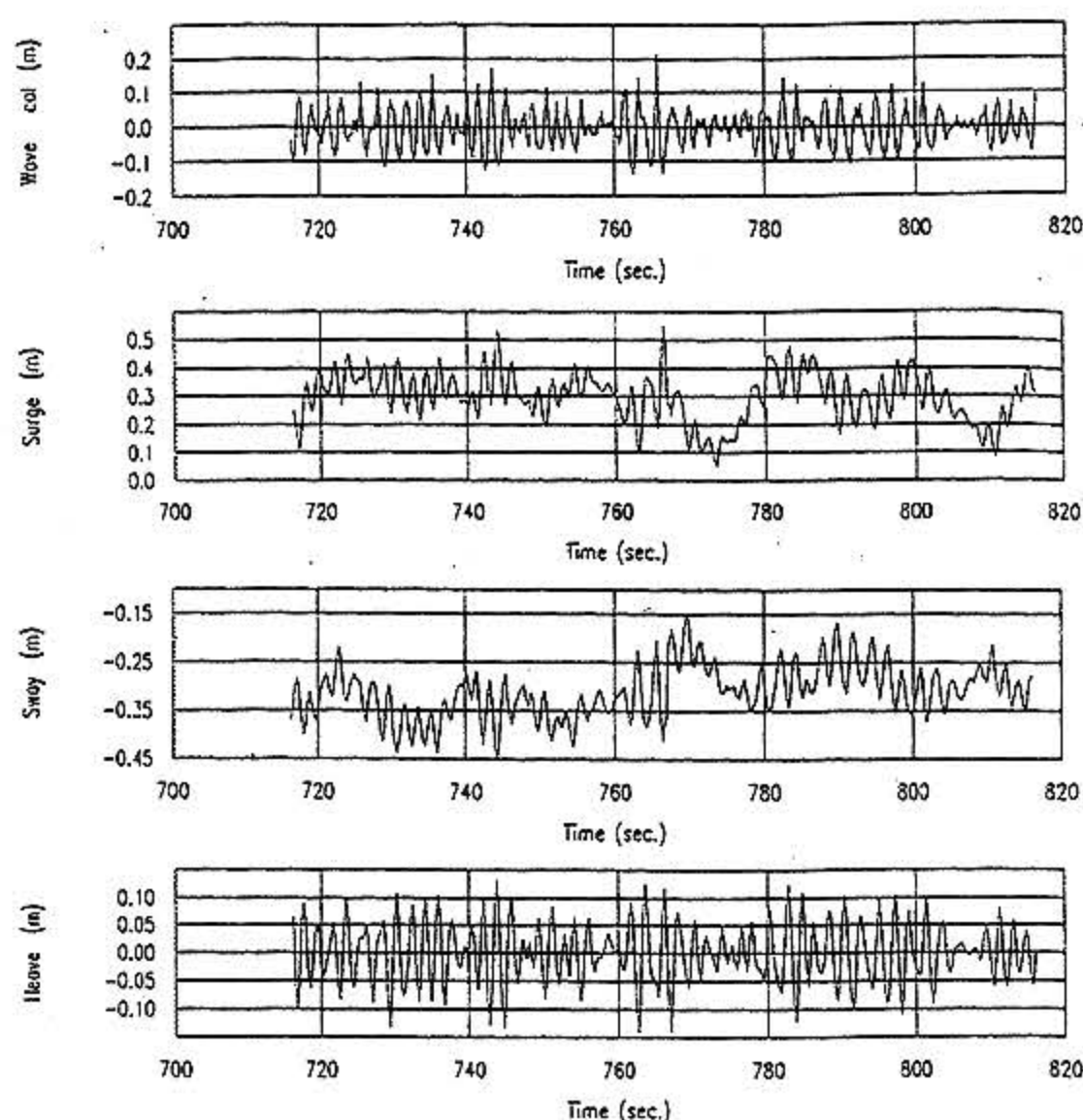


図21-1 運動応答の時刻歴結果 (135°)

Fig.21-1 Time series of motion in oblique sea condition.

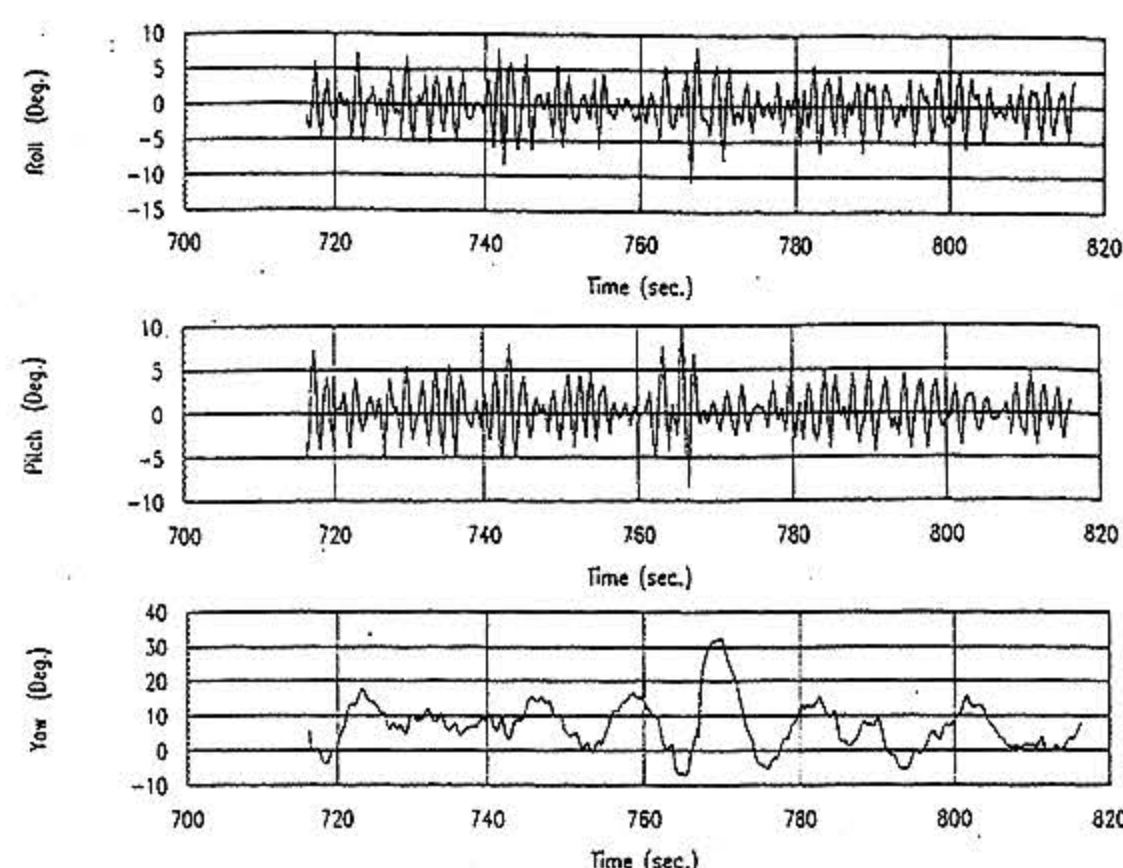


図21-2 運動応答の時刻歴結果 (135°)

Fig.21-2 Time series of motion in oblique sea condition.

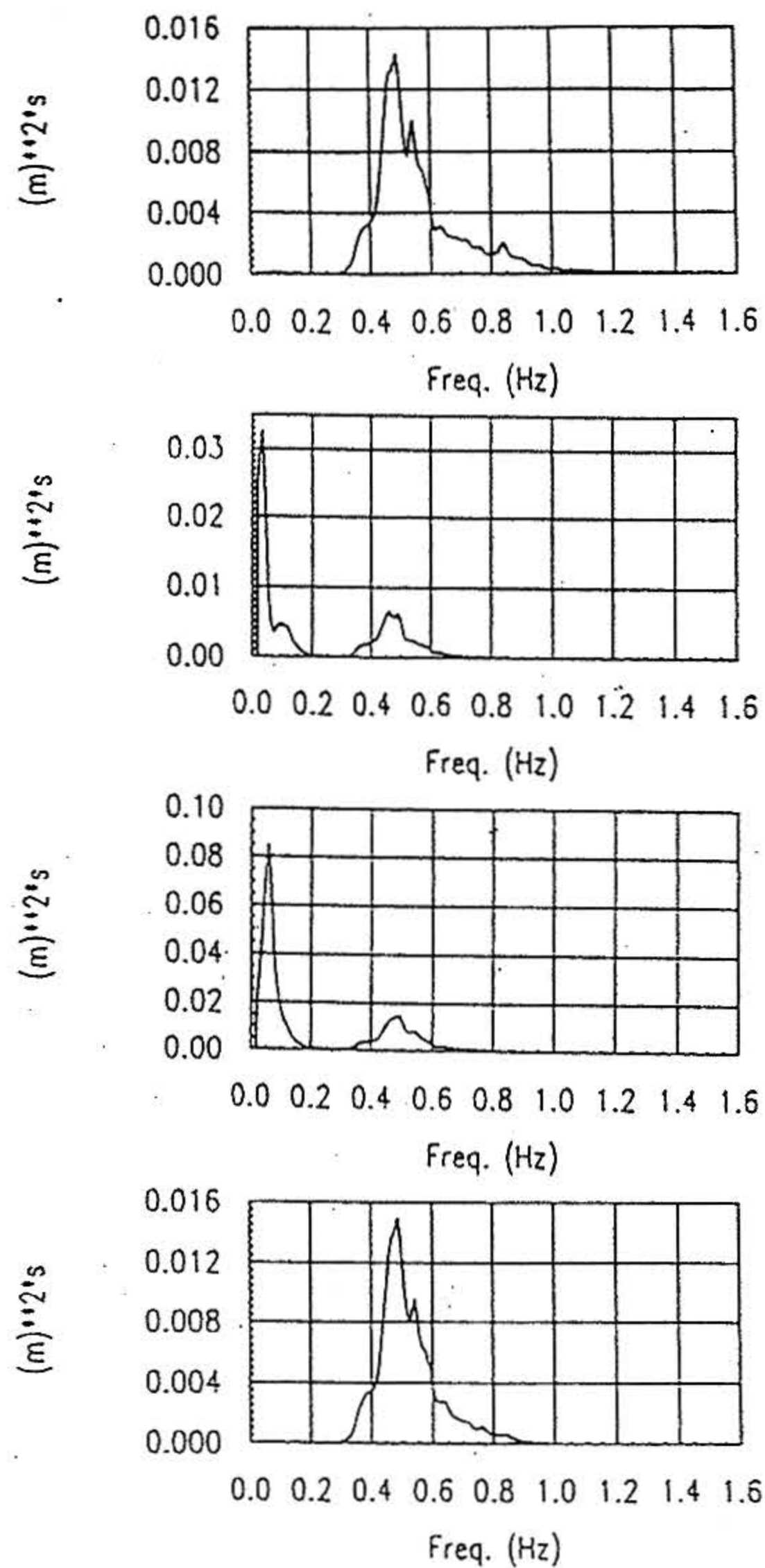


図22-1 運動応答のスペクトル結果 (135°)

Fig.22-1 Spectra of motion in oblique sea condition.

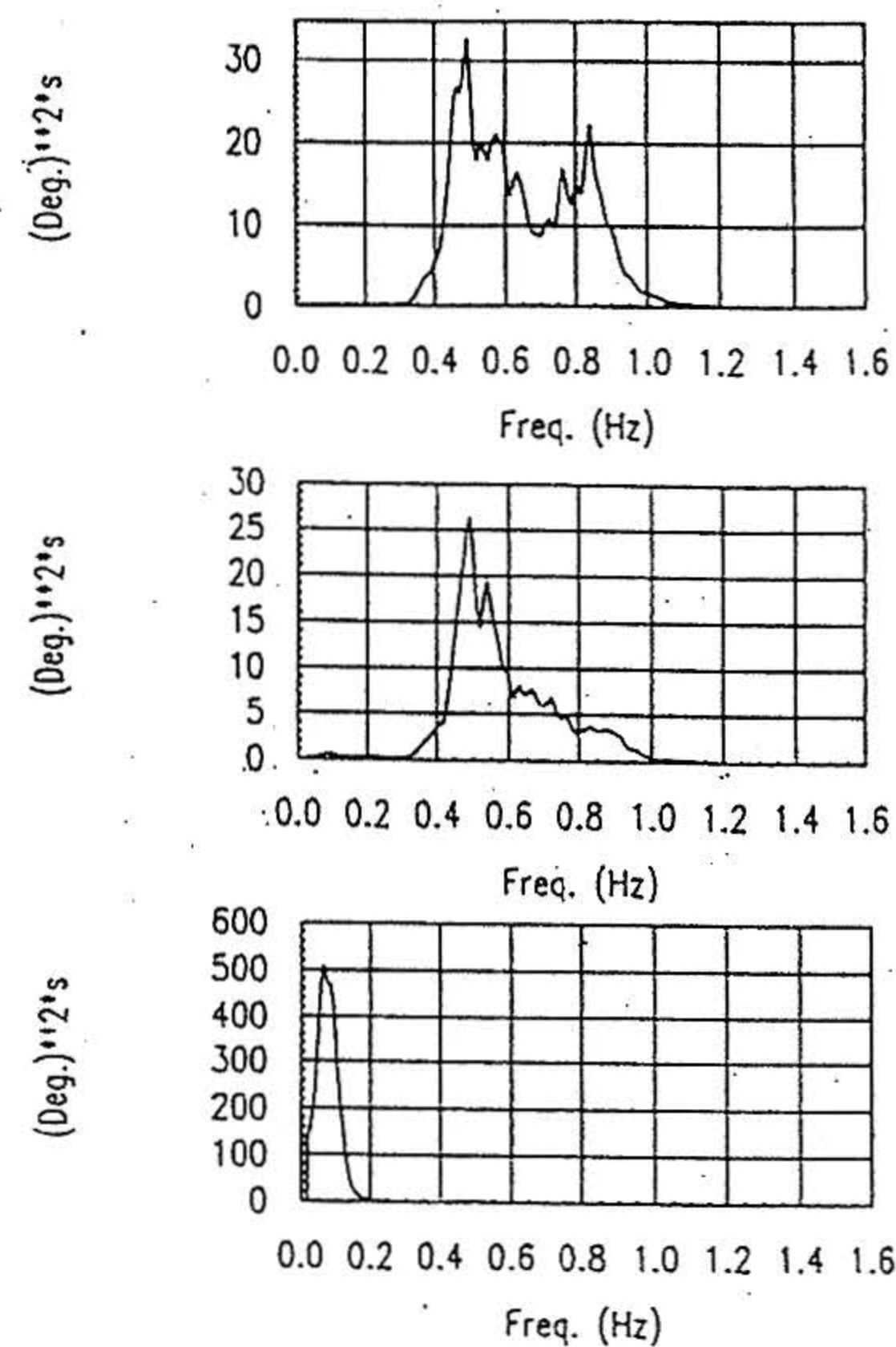


図22-2 運動応答のスペクトル結果 (135°)

Fig.22-2 Spectra of motion in oblique sea condition.

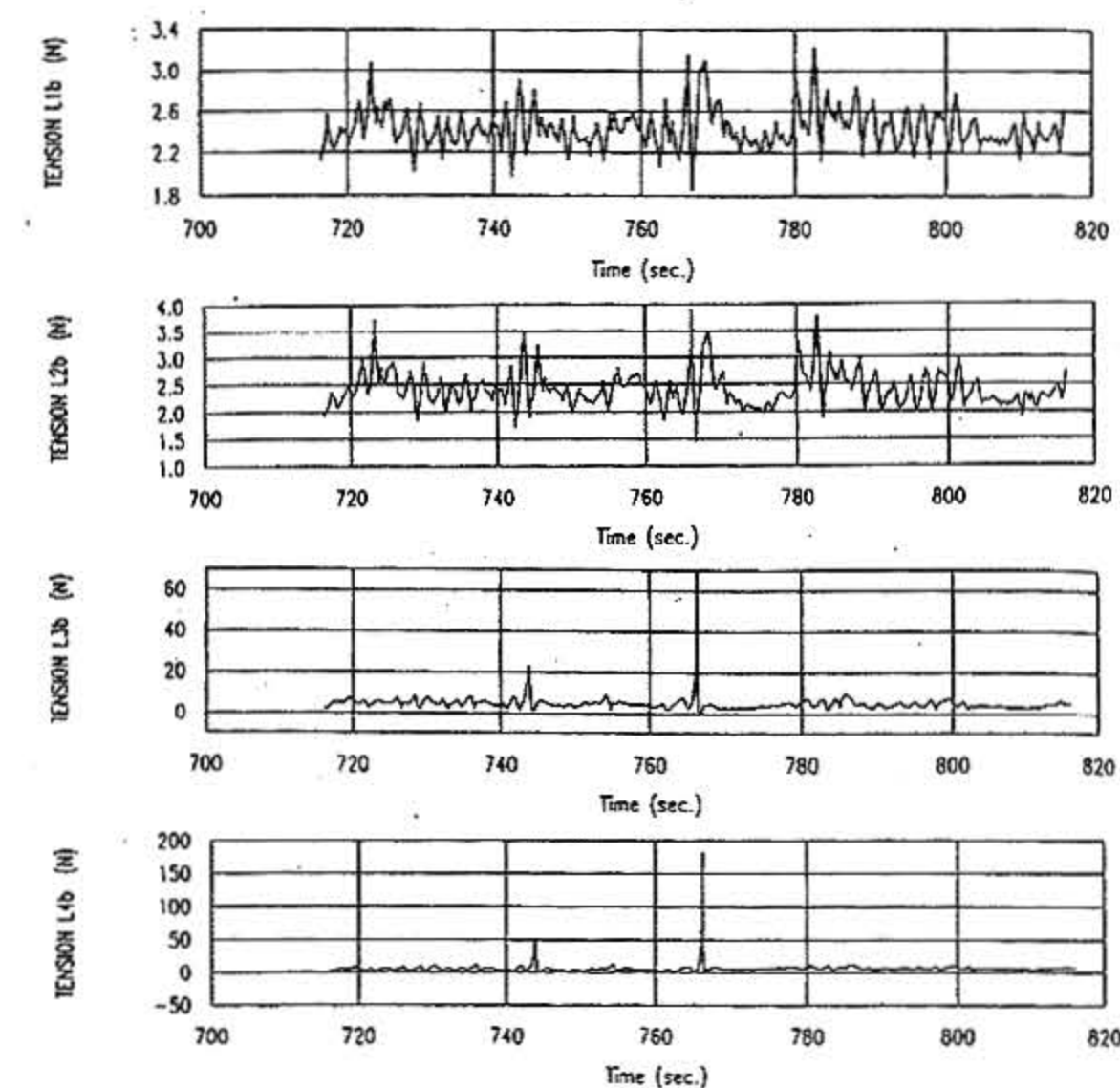


図23 係留索張力の時刻歴結果 (135°)

Fig.23 Spectra of tension of mooring lines in oblique sea condition.

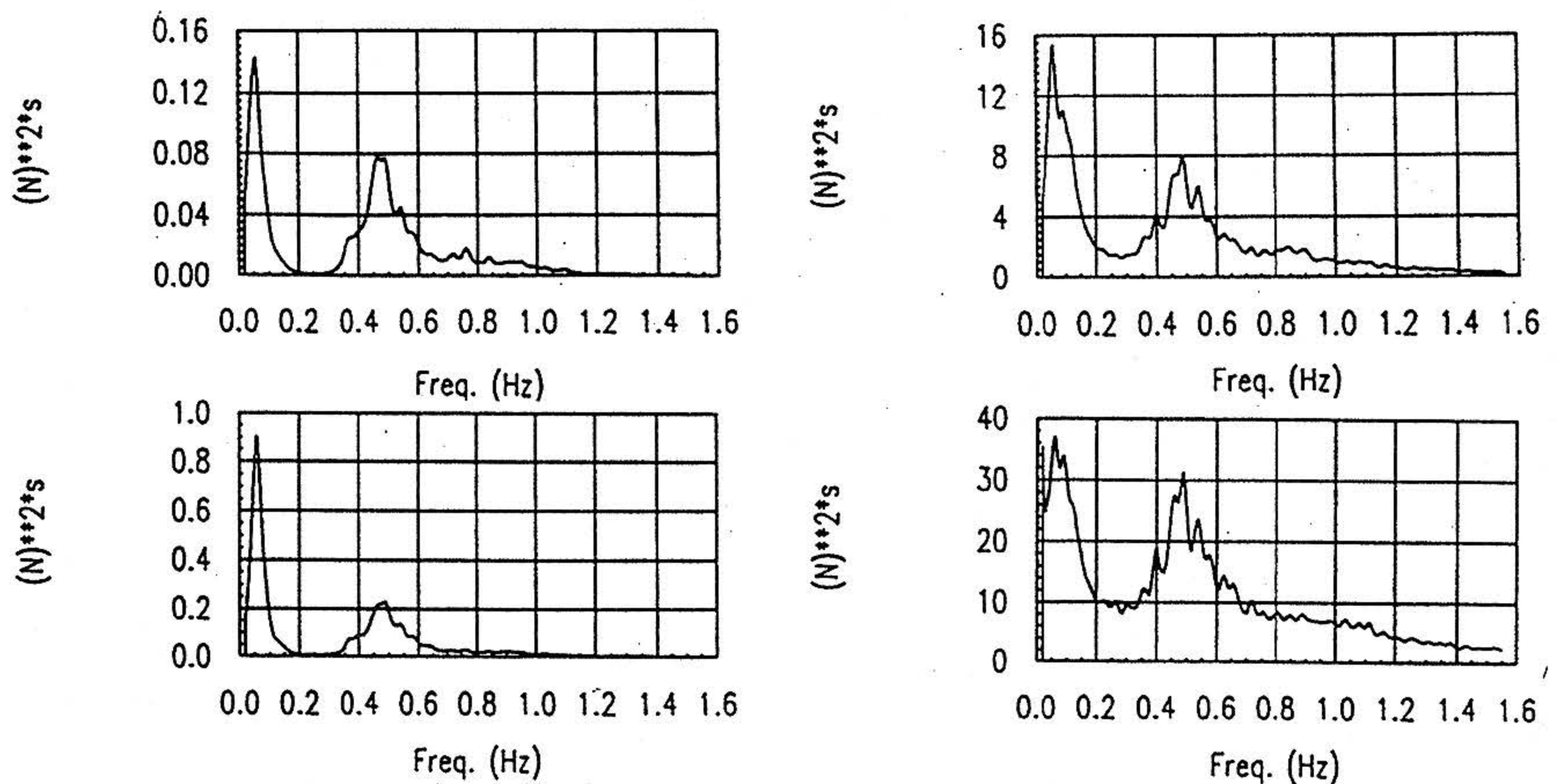


図24 係留索張力のスペクトル結果 (135°)

Fig.24 Spectra of tension of mooring lines in oblique sea condition.

表5 応答の最大値 (135°)

Table5 Maximum value of time series response in oblique sea condition.

EXP. Case	incident wave		motions (max)						tensions (max)			
	H _i (m)	H _{max} (m)	surge(m)	sway(m)	heave(m)	roll(degree)	pitch(degree)	yaw(degree)	No.1(N)	No.2(N)	No.3(N)	No.4(N)
1531 (H _i =0.13m T _p =1.4s)	0.134	0.275	0.519	0.255	0.192	21.38	12.75	37.37	3.9	6.5	28.1	86.5
532 (H _i =0.15m T _p =1.8s)	0.154	0.286	0.429	0.178	0.206	18.74	13.97	35.10	3.0	3.7	21.0	63.5
1533 (H _i =0.20m T _p =2.1s)	0.204	0.363	0.552	0.263	0.344	21.64	18.16	37.76	3.5	5.2	69.2	182.1
534 (H _i =0.20m T _p =2.5s)	0.191	0.351	0.481	0.268	0.321	15.67	11.98	29.40	3.2	4.0	25.5	79.2

このことは、表5の各応答の時刻歴結果をゼロクロス法により解析した結果からも推定でき、係留システムの設計を行う上で特に注意を払う必要があり、長周期運動の影響はもちろんのこと、各運動モードの位相差や長周期運動時の減衰力の評価が重要な設計要因となる。

さらに、今回マイティーホエールを設置する海域のように水深が浅い海域においては、係留索の懸垂部分が少ないため、長周期運動のような現象が生じると急激に張

力が増大する。そのため係留システムの安全性の面より考えると、定常外力による運動の変位量を少なくし、その後の動揺量を多く吸収するとともに、水平面内の運動モードの固有周期を短くする意味で係留索の水中重量を重くするような措置が必要になる。

また、不規則波中における波エネルギー吸収効率、消波効率については、現在解析、検討中である。

4 おわりに

以上、本論の結果をまとめると以下のような結論を得た。

- ① 運動の周波数応答特性は、三次元的に複雑な浮体形状であるマイティーホエールに関しても、波エネルギー吸収の大きくなる短周期側を除いてほぼ理論的に推定できる。
- ② 係留索張力の周波数応答特性は、係留索浮体側取付点の変位により大きく変化するとともに各運動モードの位相に強く依存する。
- ③ エネルギー吸収効率は、 $\lambda/L=2.0$ 前後が最も良いが、消波効率は三次元影響により必ずしもエネルギー吸収効率との相関が良いとはいえない。
- ④ 不規則波中運動応答特性は、surge, sway, yawの水平面内の運動モードの固有周期が長いため、波周期に相当する一時応答に比べsurge, sway, yawの長周期の大振幅運動が支配的である。
- ⑤ 不規則波中における係留索張力は、surge, heave, yawの運動が同位相で運動した時に最大張力が発生しており、係留索張力の評価には運動の位相差を考慮する必要がある。

以上これらの結論より、マイティーホエールの係留システムの詳細設計、安全性の確認の上で貴重なデータ及び知見が得られた。

今後はこれらの結果をマイティーホエールの係留システムの詳細設計に反映させ、その安全性を確認するとともに、数値シミュレーションによる検討も併せて行っていく予定である。

参考文献

- 1) 鷺尾幸久・堀田 平・宮崎武晃：ターミネーター

型波浪エネルギー利用装置に関する研究. 海洋科学技術センター試験研究報告, 20, 31-41. (1988)

- 2) 堀田 平・鷺尾幸久・宮崎武晃：沖合浮体式波力装置の多方向波浪中特性について. 海洋科学技術センター試験研究報告, 21, 69-98. (1989)
- 3) 堀田 平・鷺尾幸久・宮崎武晃：沖合浮体式波力装置FOWADの実海域中諸特性の予測について. 海洋科学技術センター試験研究報告, 23, 141-175. (1990)
- 4) 堀田 平：沖合浮体式波力装置の波浪中特性の推定法について. 海洋科学技術センター試験研究報告, 24, 41-56. (1990)
- 5) 堀田 平：多方向不規則波中における波力装置の波エネルギー吸収特性の推定法について. 第3回波浪エネルギー利用シンポジウム, 451-459. (1991)
- 6) 加藤直三・宮崎武晃：海域環境制御と沖合浮体式波力利用装置. 第3回波浪エネルギー利用シンポジウム, 91-99. (1991)
- 7) 加藤直三・宮崎武晃：沿岸域に設置された沖合浮体式波力利用装置と離岸堤まわりの波と流れに関する比較模型実験. 日本造船学会論文集, 169, 203-213. (1991)
- 8) 大澤弘敬・増田光一・小林昭男：多点係留された係留浮体の長周期動揺及び係留索張力の予測に関する研究. 海岸工学論文集, 41, 951-955. (1994)
- 9) 宮崎武晃・堀田 平・鷺尾幸久・林 秀明：振動水柱型波力発電装置の並列配置効果の研究. 海洋科学技術センター試験研究報告, 17, 87-98. (1986)

(原稿受理：1996年7月31日)