

海域実験におけるフレキシブルライザーの挙動

工藤 君明^{*1} 鶴岡 正敬^{*1} 安田 哲也^{*2}
石井 健一^{*3}

山形県鶴岡市由良沖でフレキシブルライザーの海域実験を実施中であり、この中で計測されたデータを分析して、実験海域の自然環境、フレキシブルライザーを取付けた浮体式海洋構造物の挙動、フレキシブルライザーの挙動及び相互の関連について、その特性を報告している。また、平成元年9月に実施した浮体の自由動揺試験の概要と、この時の浮体及びライザーの挙動についても合わせて報告している。

本研究の成果として、実験海域の自然環境の特性と季節変化、これに伴う浮体位置の水平変位の傾向を把握するとともに、波浪中における浮体とライザーの応答特性を明らかにすることができた。ライザーの応答に関しては、波による変動の他に潮流による渦励振現象と思われる短周期の変動が張力や曲げモーメントに発生していることがわかった。

キーワード：フレキシブルライザー、浮体式海洋構造物、海域実験、自由動揺試験、渦励振

Dynamic responses of the flexible riser system in the sea test

Kimiaki KUDO^{*4} Masanori TSURUOKA^{*4}
Tetsuya YASUDA^{*5} Kenichi ISHII^{*6}

JAMSTEC conducted a sea test of a flexible riser system off Yura port, Tsuruoka city, Yamagata prefecture.

In this paper, the measured data are analyzed and characteristics of the environmental condition at the site, the responses of the floating offshore platform and the flexible riser, and the mutual relation among the responses are reported. Besides,

*1 海洋開発研究部

*2 海洋開発研究部（現石川島播磨重工業(株)）

*3 古河電気工業(株)

*4 Marine Research and Development Department

*5 Marine R&D Department (Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.)

*6 The Furukawa Electric Co., Ltd.

free oscillation tests of the floating offshore platform were performed in September, 1989 and the responses of the floating offshore platform and the flexible riser during the tests are also reported.

As the result, the characteristics of the environment and seasonal variation, the tendency of the horizontal shift of the floating offshore platform due to the environment are discussed. The characteristics of the dynamic responses of the floating offshore platform and the flexible riser in waves are also studied and discussed.

As for the response of the flexible riser, it is found that a short period fluctuation other than that due to waves exists in the responses of the tension and bending moment, which is considered to be the vibration due to vortex shedding.

Key word: Flexible riser, Floating offshore platform, Sea Test, Free oscillation test, Vortex shedding, vibration

1 はじめに

当センターでは、山形県鶴岡市由良漁港沖に係留された浮体式海洋構造物を利用して、フレキシブルライザーの海域実験を古河電気工業(株)及びロイヤルダッチシェル社と共同研究として実施している。

本海域実験の第1期実験(昭和63年)における計測システムについては試験研究報告の第22号¹⁾にて、また第II期実験(平成元年)に使用したライザーシステムの設計手法、敷設工事については試験研究報告の第23号²⁾にて各々報告している。

本稿では第II期海域実験において計測されたデータをもとに、海域実験における自然環境、浮体の挙動、ライザーの挙動及びその相関関係について報告する。また、平成元年9月に実施された浮体の自由動揺試験における浮体とライザーの挙動についても合わせて報告する。

2 海域実験の概要

第II期海域実験は平成元年7月にフレキシブルライザーを浮体に取り付け、計測機器類の設置、調整の後、平成元年9月より計測・データ収録を開始した。現在も計測を継続中である。(図1)

以下、本海域実験の概要について述べる。

2.1 フレキシブルライザーシステム

実験に使用しているフレキシブルライザーは、

全長140m、内/外径76.2mm/134mm、設計内圧5000PSiのもので、設置形状は浅水深に対応して分散ブイ型(LAZY WAVE)としている。

本システムの詳細は試験研究報告第23号²⁾を参照されたい。

2.2 計測システム

(1) 自然環境

実験海域の波浪を計測するため、浮体の沖合約200mにウェーブライダーを設置し、これから出される無線信号を受信機で受信することにより、常時波高をモニターした。

また、浮体上には運輸省船舶技術研究所が設置した超音波式風向・風速計があり、これにより、風向・風速を常時モニターした。

さらに、浮体近傍の海中(水面下20m)には定期的に流向・流速計を投入し、一定期間にわたって流向・流速、水温、塩分を自動計測・自動データ収録³⁾(10分に1回)した後回収するという方法をとった。

(2) 浮体の挙動

浮体位置の変化とその推移を把握するため、浮体上に反射体を設置し、これを陸上実験本部より光波測距儀にて視準⁴⁾することにより、時々刻々(計測は視界のきく時間帯に2~3HRに1回の間隔で実施)の浮体の位置を追跡計測した。

また、浮体上には、ロールピッチ計、方位計、

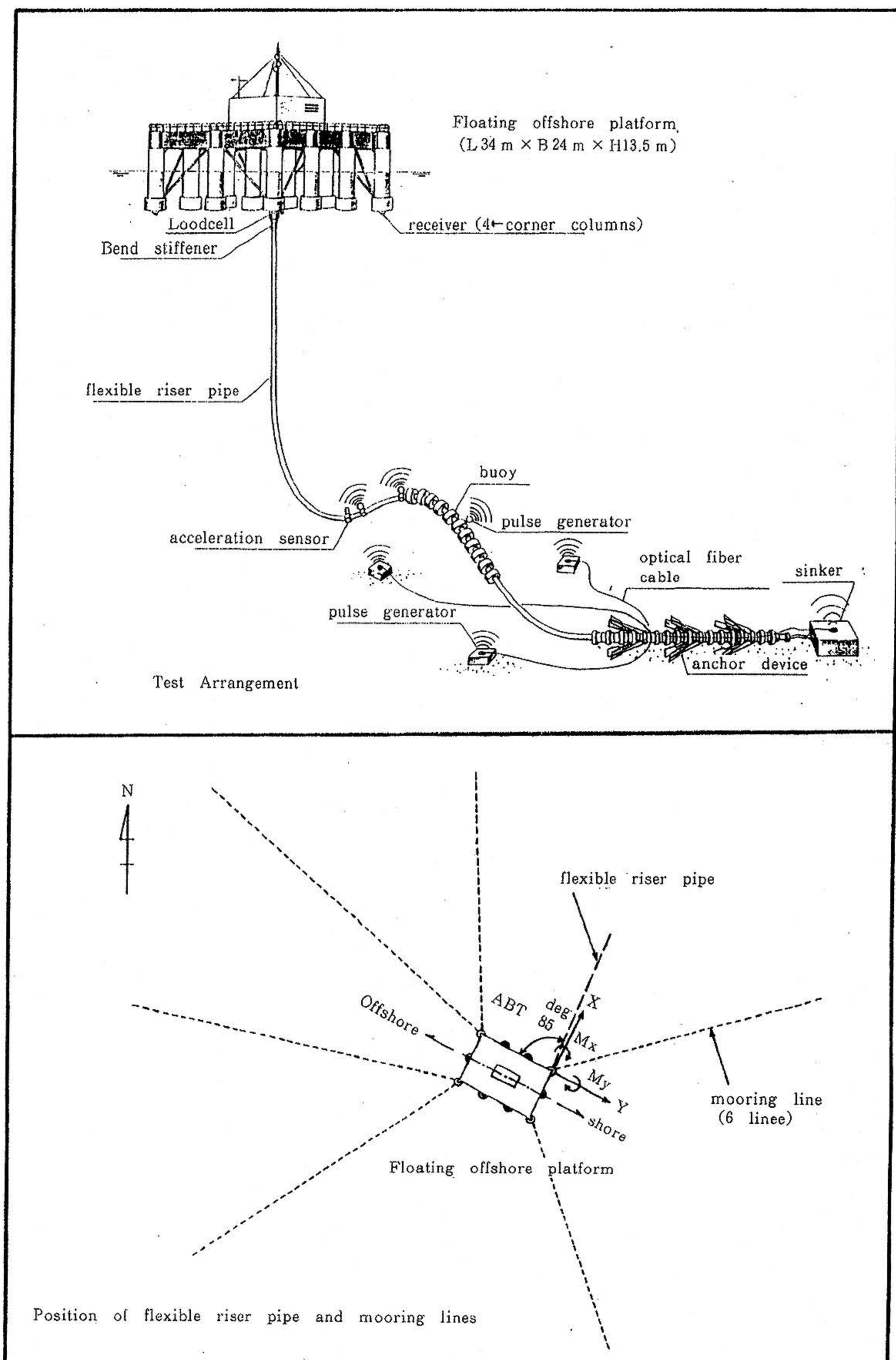


図1 フレキシブルライザーの海域実験概要図
Fig.1 Flexible riser test arrangement

加速度計を設置し、波浪中での浮体動揺を計測した。

(3) フレキシブルライザーの挙動

波浪中でのフレキシブルライザーの挙動を把握するため、ライザー形状の極小点、極大点、及びその中間に各々超音波発振器を取付け、これを浮体4隅の受信器で検知するシステム(Riser Positioning System)¹⁾により、ライザー形状の挙動を計測した。また、ライザー形状の極小点には水中加速時計を設置し、その上下動を計測した。

ライザーの内力については、ライザー上端に引張型ロードセルを取付けて、張力と曲げモーメント(2方向)を計測するとともに、内圧についても圧力センサーにより計測を行った。

2.3 データ取得・収録システム

計測されたデータを4時間毎に浮体上のパソコンにA/D変換して取り込み、一旦ハードディスクに収録した上で簡易無線装置にて陸上実験本部にデータ伝送⁵⁾し、陸上にて光ディスクに自動収録させた。

また、上記のうち、波についてはウェーブライ

ダーより直接陸上に、また浮体方位、ライザー張力、ライザー内圧については、別途テレメーターにより陸上にデータを送り、陸上実験本部にて、ペンレコーダーで常時モニターするとともに、1時間毎にA/D変換してパソコンに取り込んだ上でリアルタイムの統計解析を行い、結果をプリントアウトさせた。

3 実験海域における自然環境

計測された波、風、潮流、水温、塩分のデータをもとに、実験海域での自然環境とその特性について述べる。

3.1 気象・海象

実験海域における気象・海象計測データのうち、平成元年9月、11月、平成2年1月、3月の計測値を図2～5に示す。7月～9月中旬の夏場は全般的に穏やかな天候が続いた。

9月下旬頃から定期的(1週間～10日)に波が高くなる傾向が見られ、この傾向は11月下旬まで続いた。これは移動性の高気圧/低気圧が交互に付近を通過したことを示している。

12月に入ると、日本海特有の北からの強い季節

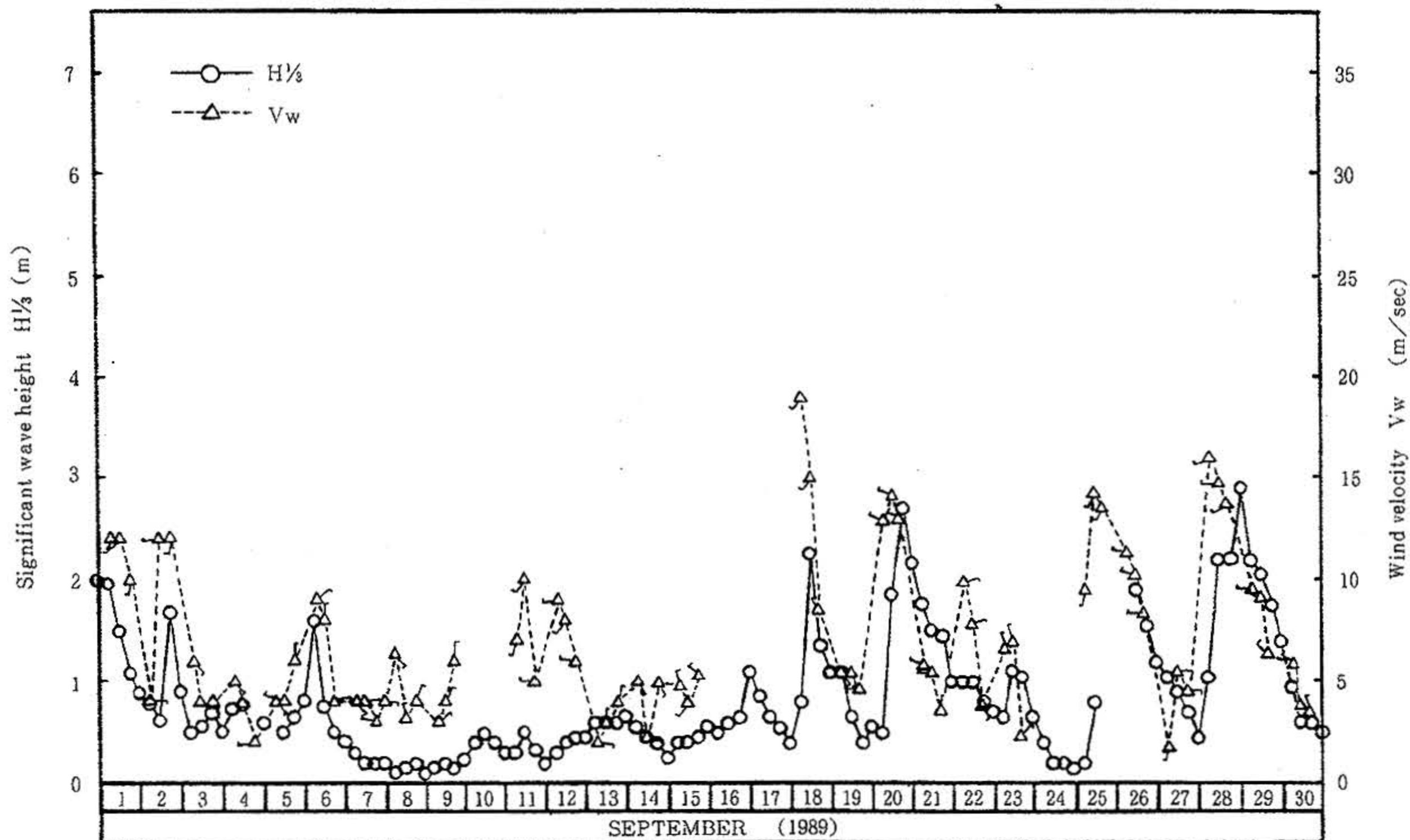


図2 実験海域における気象・海象の日変化(1989年9月)

Fig.2 Daily changes of environmental conditions at the site (September 1989)

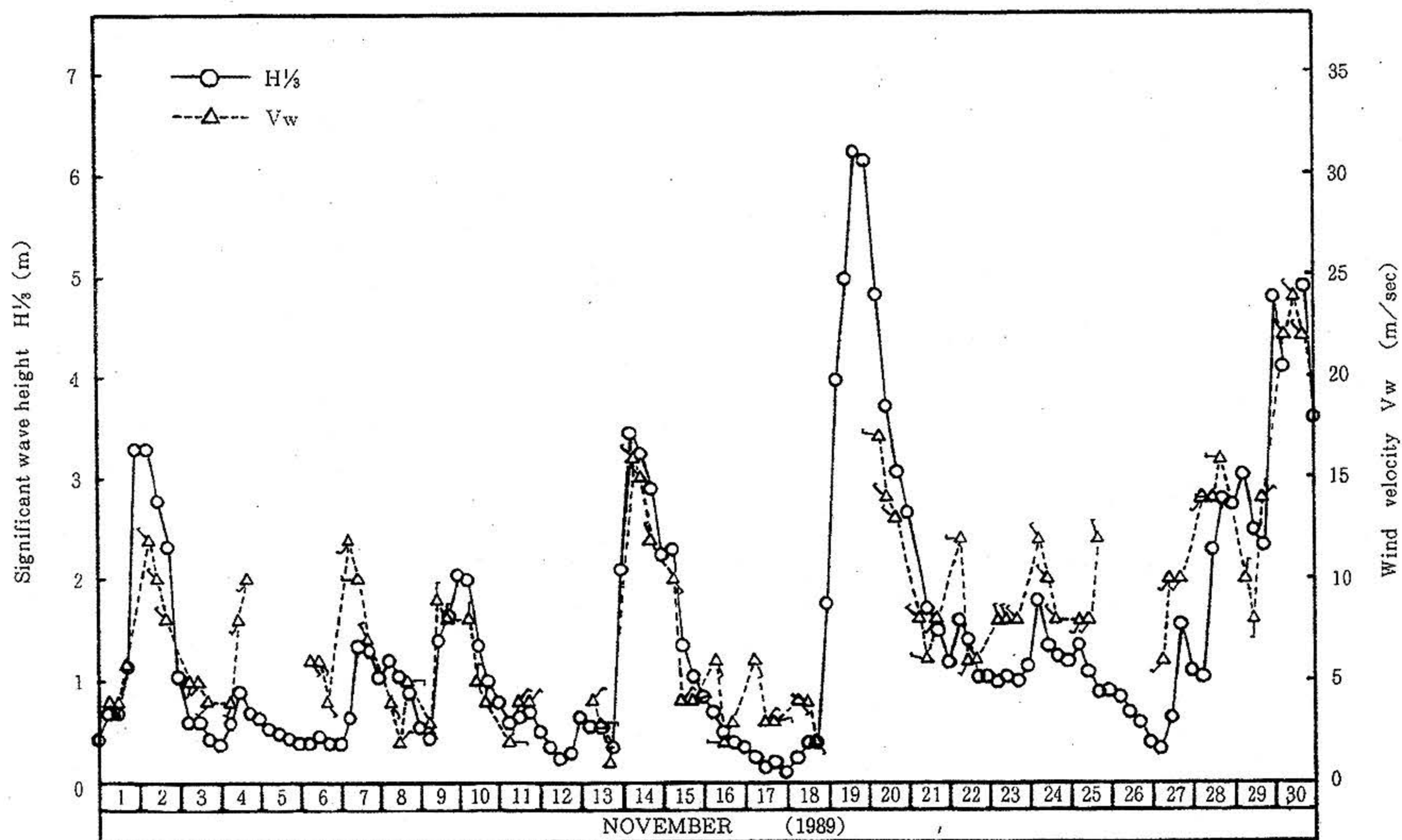


図3 実験海域における気象・海象の日変化 (1989年11月)

Fig.3 Daily changes of environmental conditions at the site (November 1989)

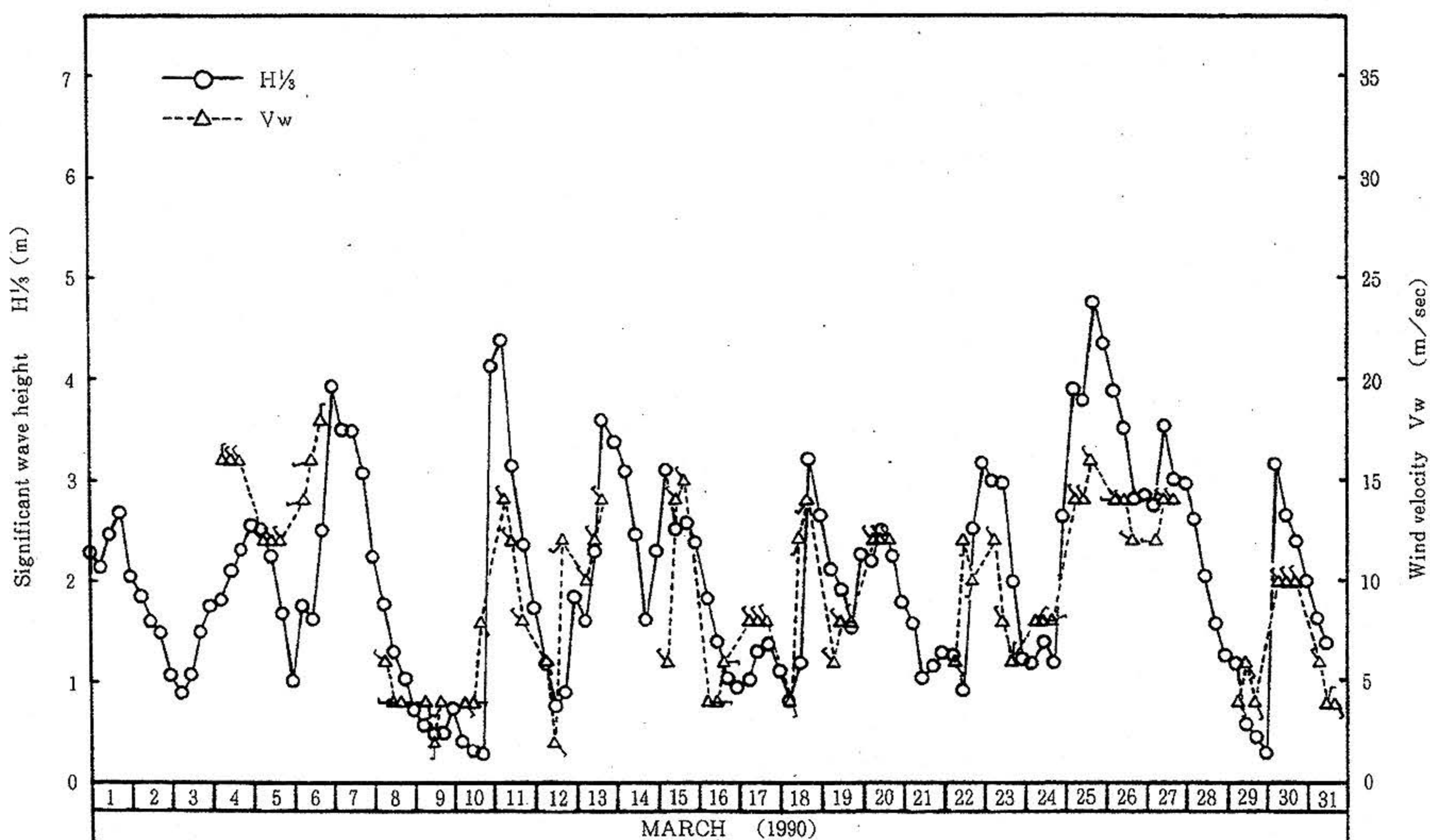


図4 実験海域における気象・海象の日変化 (1990年1月)

Fig.4 Daily changes of environmental conditions at the site (January 1990)

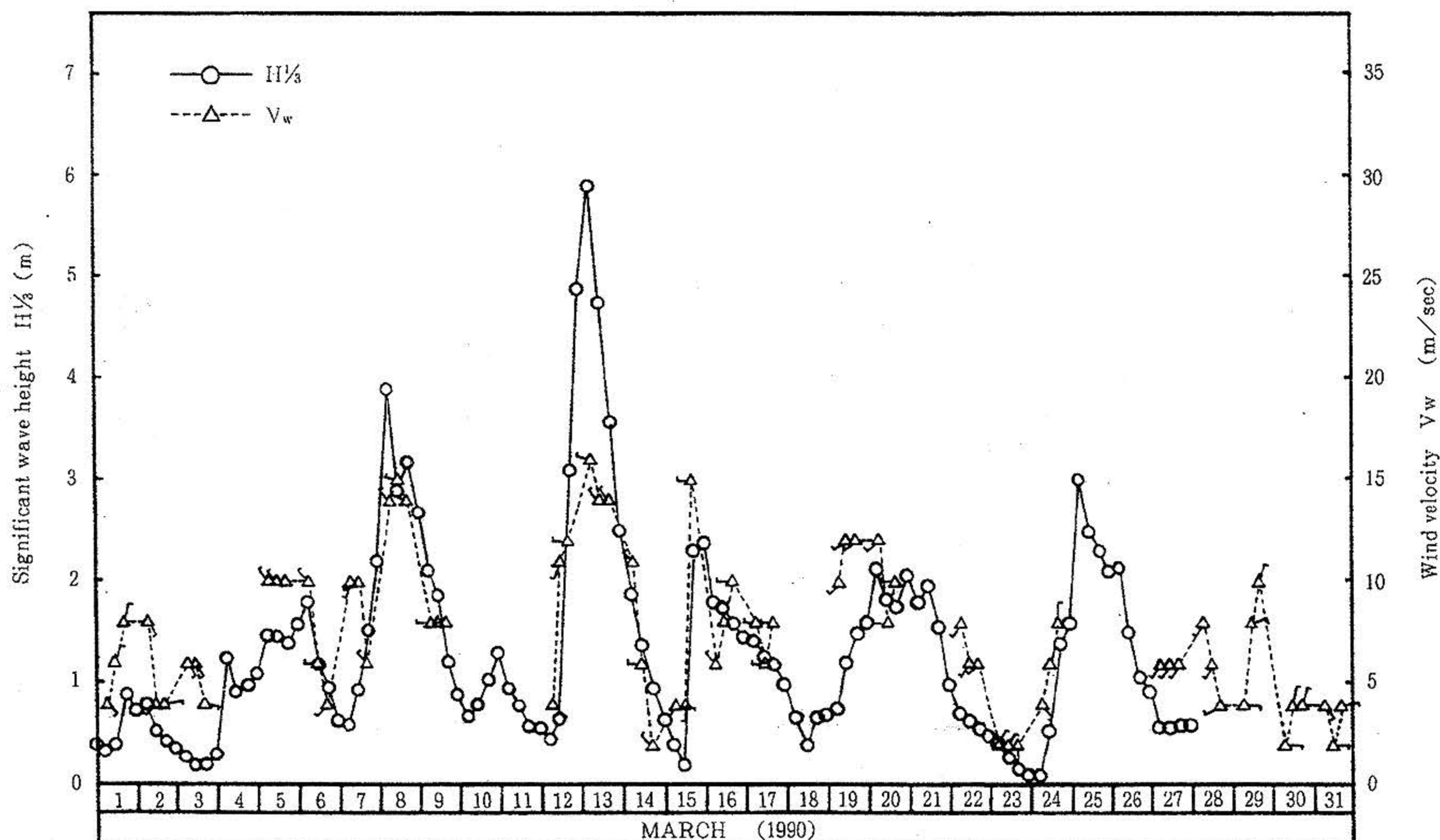


図5 実験海域における気象・海象の日変化 (1990年3月)

Fig.5 Daily changes of environmental conditions at the site (March 1990)

風により、波高の高い日が続くようになり、この傾向は1月下旬まで続いた。2月に入ってようやく波高のおさまる日が見られるようになり、3月には、波高の小さい日がたびたび見られるようになった。

3.2 潮流・水温・塩分

図6に実験海域における潮流の流向流速分布の季節変化を、また表1に水温・塩分の季節変化を示す。対馬暖流に伴って⁶⁾、潮流は年間を通して北東方向への流れが大きな割合を占め、流速は通常0～20cm/s、最大で40～50cm/sであった。水温は8～9月が23～25℃と最も高く、その後徐々に下降したが、対馬暖流の影響のためか11月頃まで20℃以上と比較的暖かった。12月からは20℃を下回るようになり、2月～3月が9～10℃と最も低くなった。

塩分は年間を通して33～34と、ほぼ一定の値を示した。

4 浮体の挙動

光波測距儀にて追跡調査した浮体の位置変化と

表1 実験海域の水温・塩分の季節変化
(水面下20m)

Table 1 Seasonal variation of sea water temperature and salinity at the site
(20 meters below water surface)

Measurement	Sea Water Temp. (°C)	Salinity
1989.7.16～7.19	19～20	33～34
1989.9.1～9.8	23～25	—
1989.10.12～10.21	21～22	33～34
1989.10.25～11.17	19～20	32～34
1989.12.14～12.20	14～16	32～34
1990.2.1～3.1	9～11	33～34
1990.3.26～3.31	9～10	33～34

その推移、季節毎の特性、又波浪中で計測した浮体動揺の特性について述べる。

4.1 浮体の位置変化

光波測距儀による浮体位置計測は、視界のきく

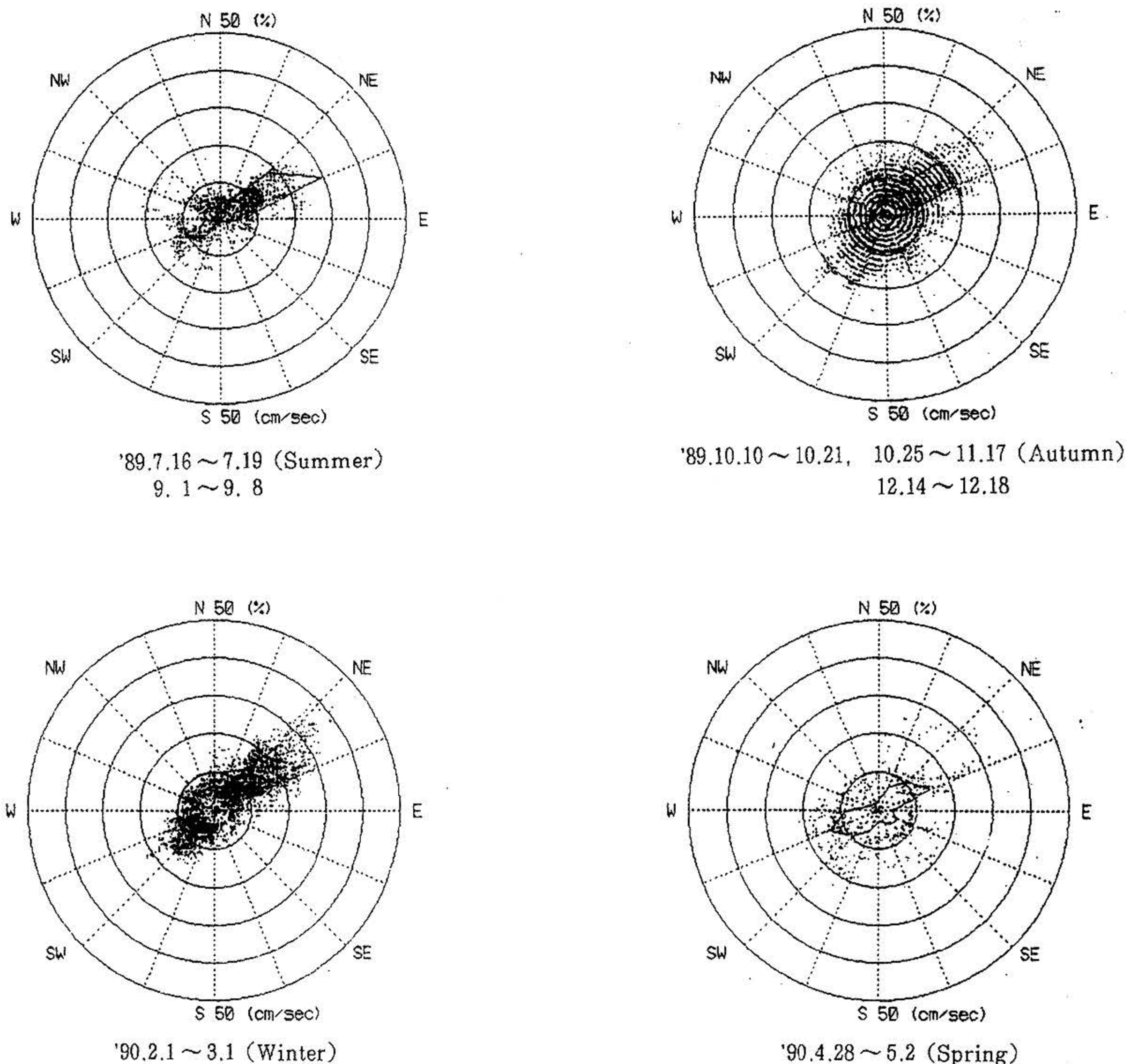


図6 実験海域の流向流速分布と季節変化

Fig.6 Distribution and seasonal variation of current direction and velocity at the site

時間帯に限って、現地駐在者により2～3HR毎に実施された。図7に平成元年10月～12月の計測例を示す。

また、浮体位置変化の航跡を季節別に整理して図8に示す。

春～夏の浮体の位置変化は南西～北東方向が支配的であり、これは潮流の向きやこの時期の風の向き（南西の風が多い）と対応している。特にこの時期、大型の低気圧や台風の接近、通過に伴って、大きな浮体位置変化が生じている。秋～冬の浮体の位置を見ると、南西～北東方向の動きに南東方向への動きが加わっている。これは、北からの季節風が強まることと対応しており、季節風の

影響と考えられる。位置変化の大きさは南西～北東方向で最大±10m程度、南東方向で最大5m程度である。南東方向への移動量が小さいのは、本浮体の船首が激浪方向（北西）へ向けられ、係留索の配置（図1参照）も船首側に4本、船尾側に2本となっていることによると考えられる。

4.2 浮体の動揺

波浪中での浮体動揺の特性を調べるため、浮体上にロールピッチ計、方位計、加速度計を設置して計測を行った。

図9に平成元年11月14日8時の計測例の時刻歴を、図10にそのスペクトルを示す。図中には同時刻の波の計測値も合わせて示した。なお、この時

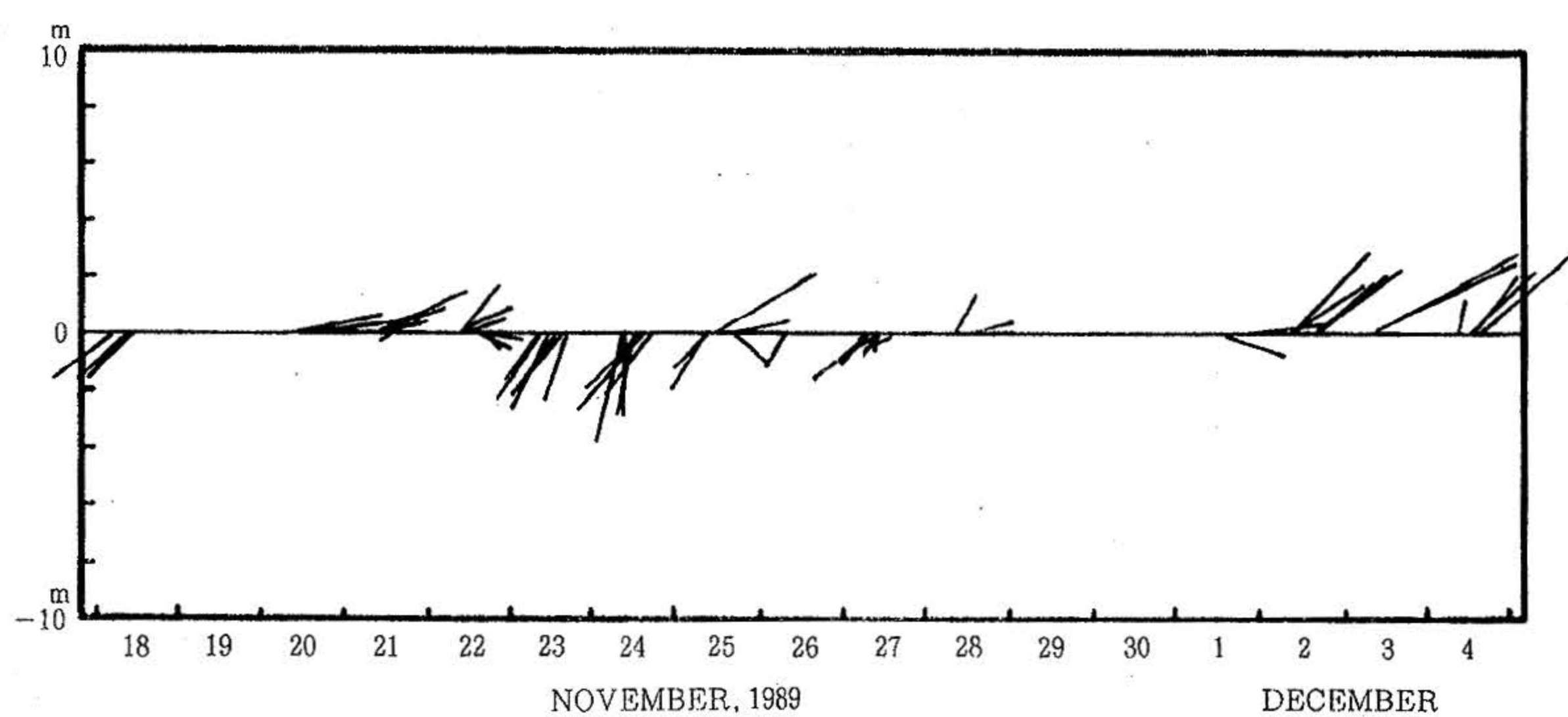
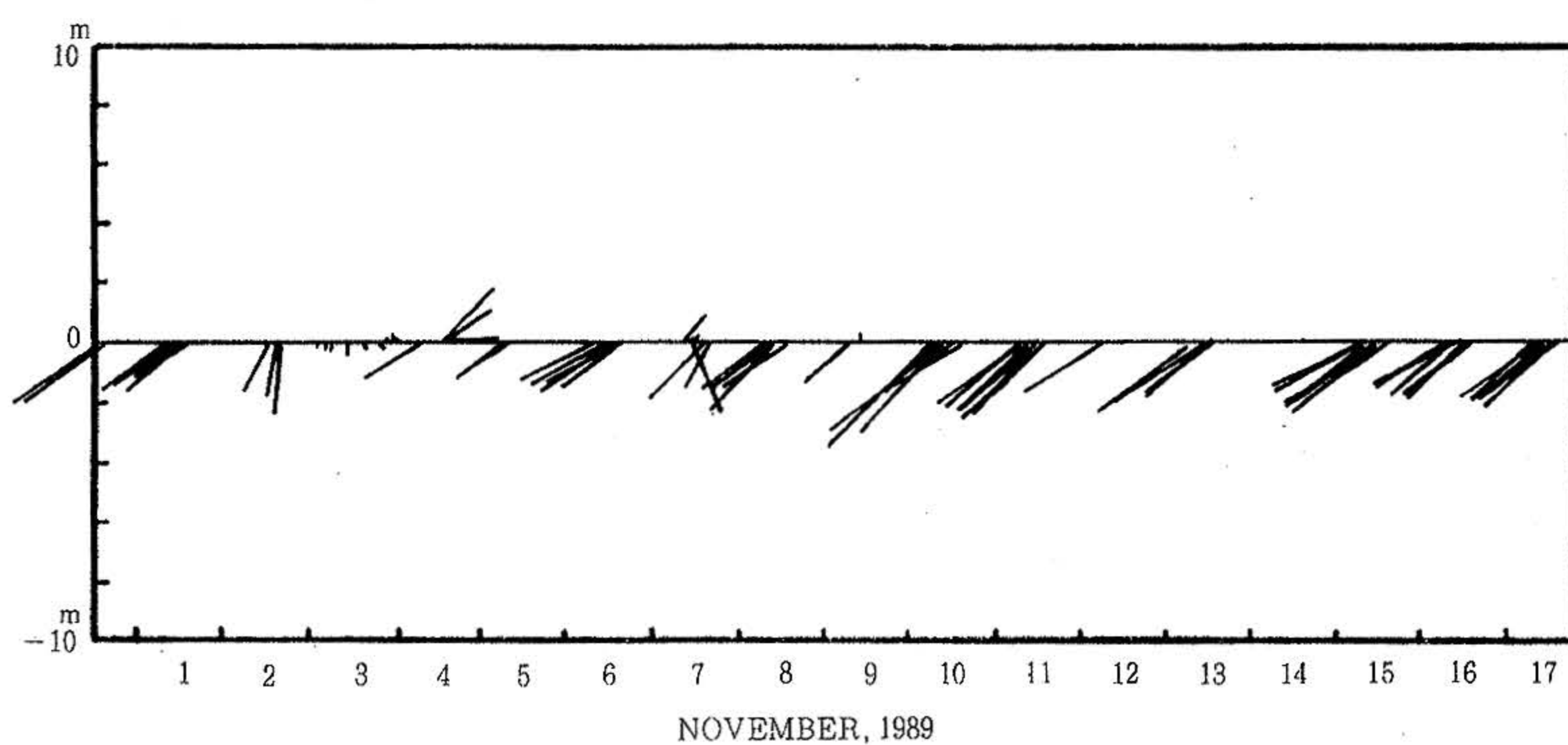
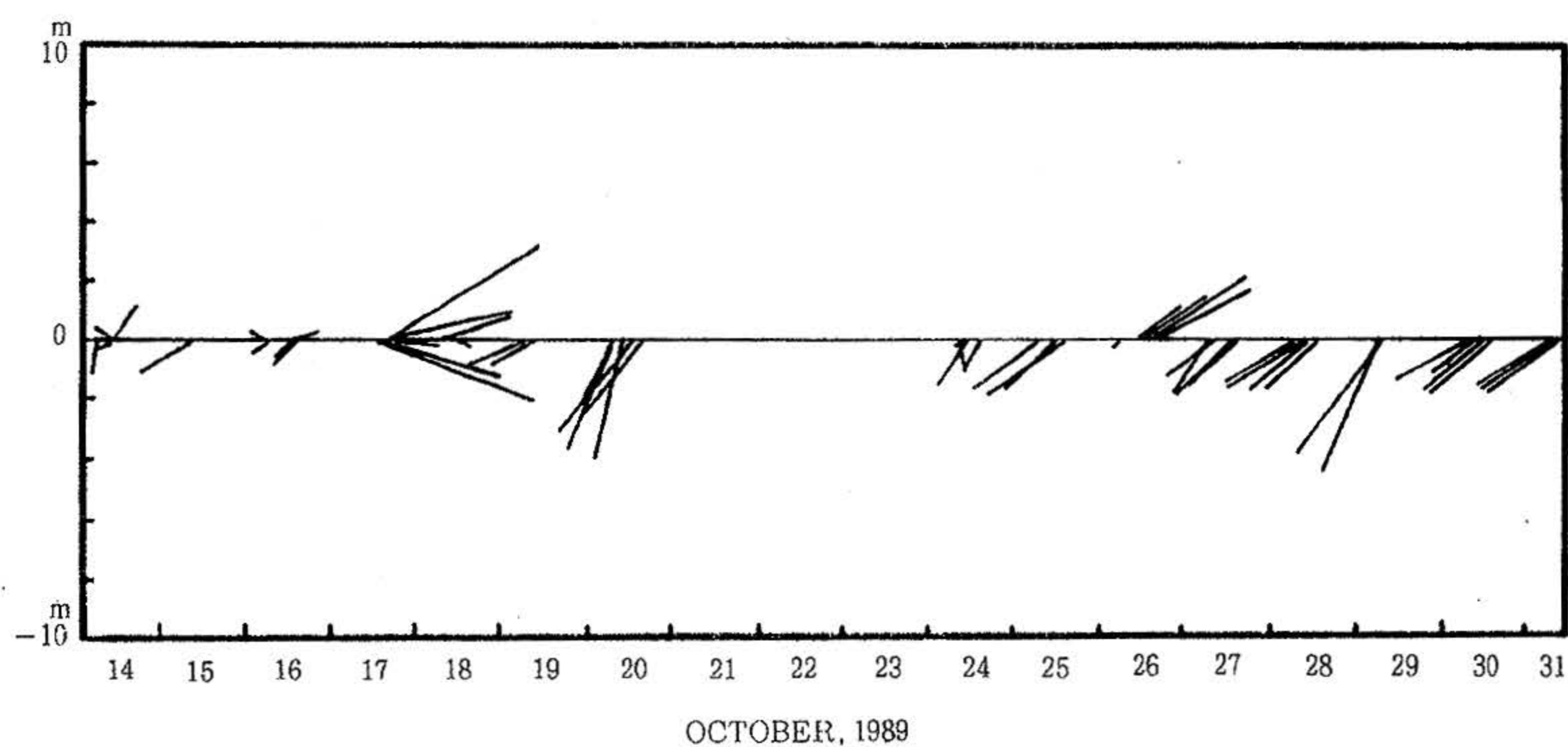
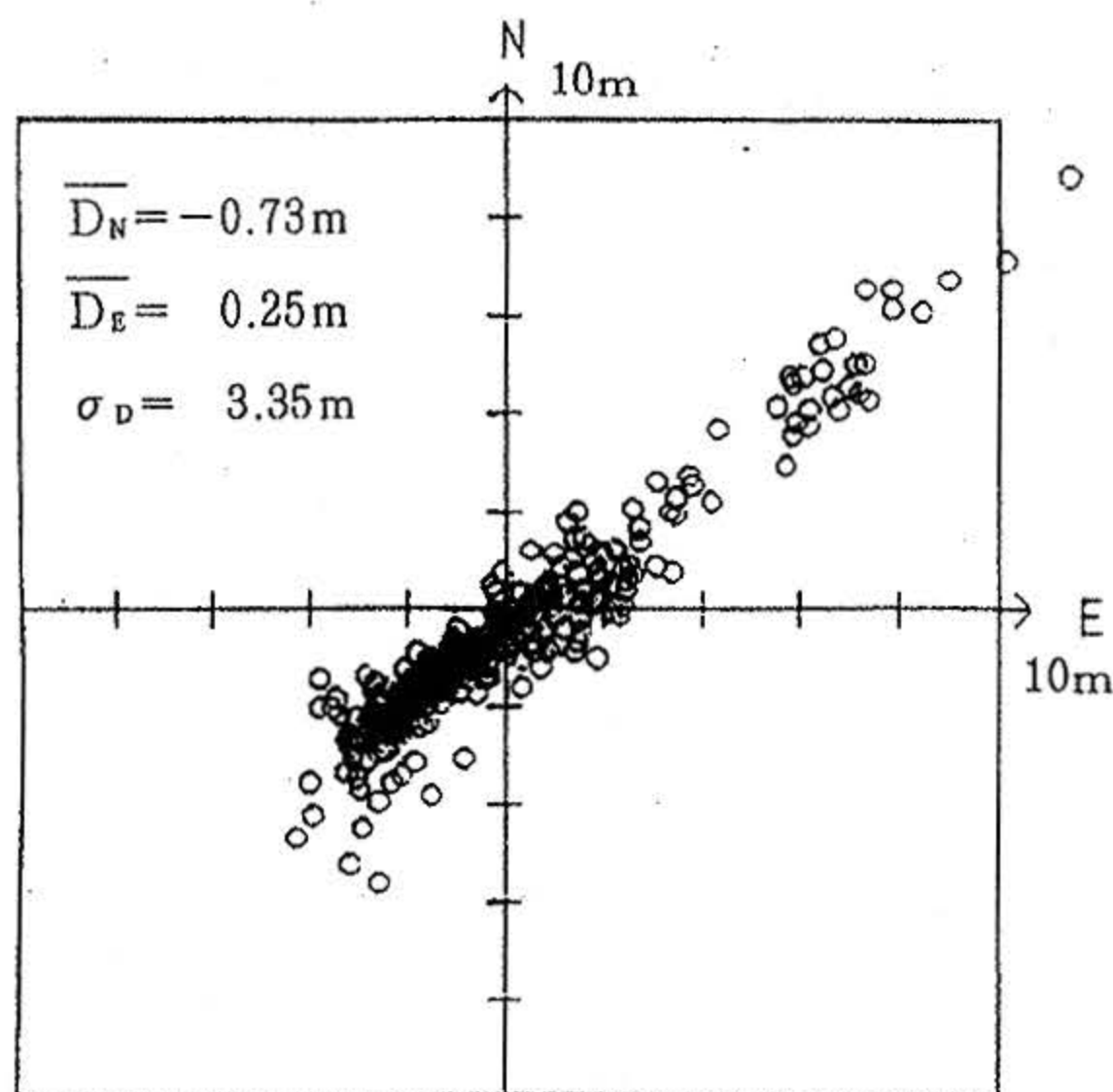
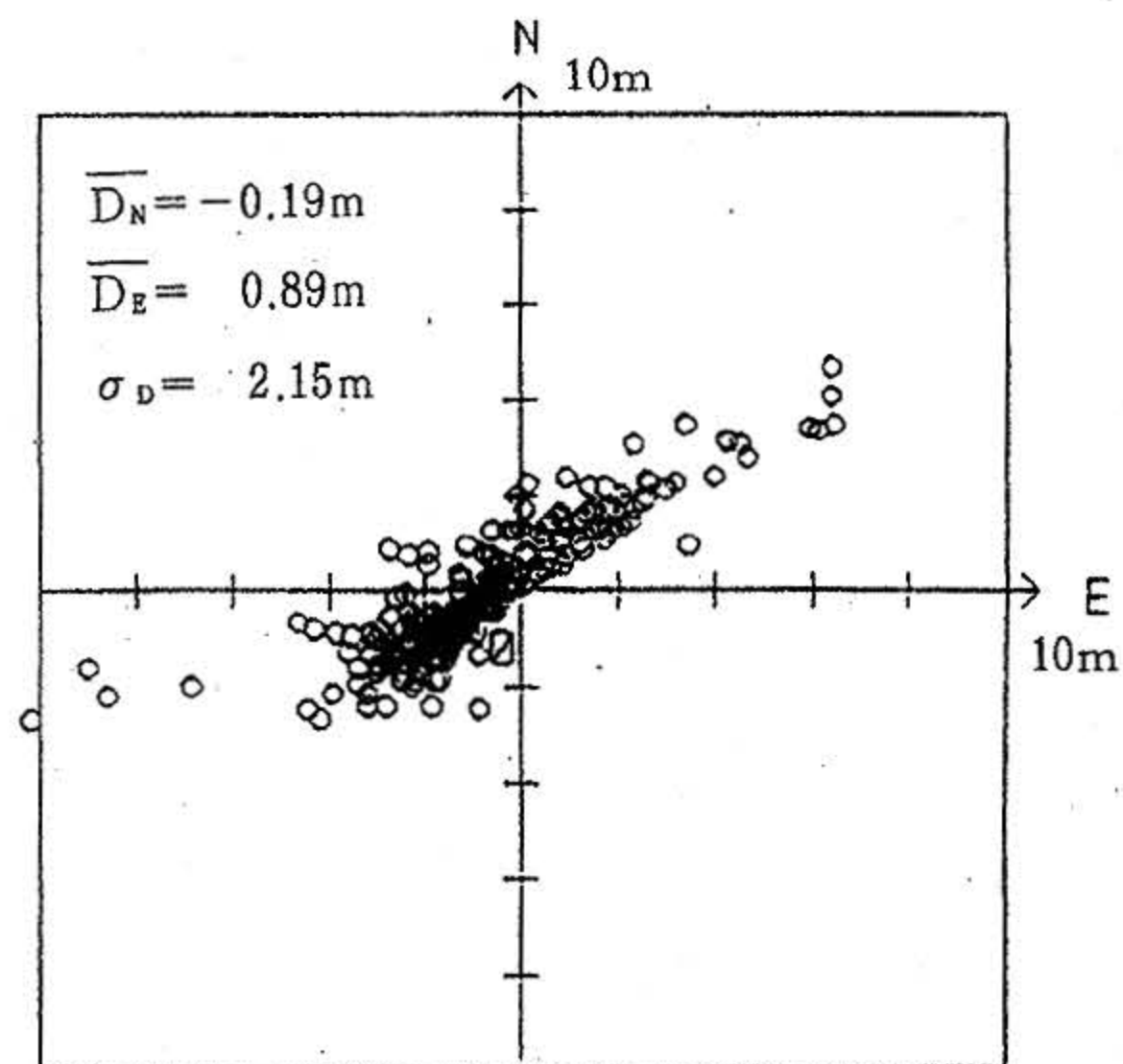


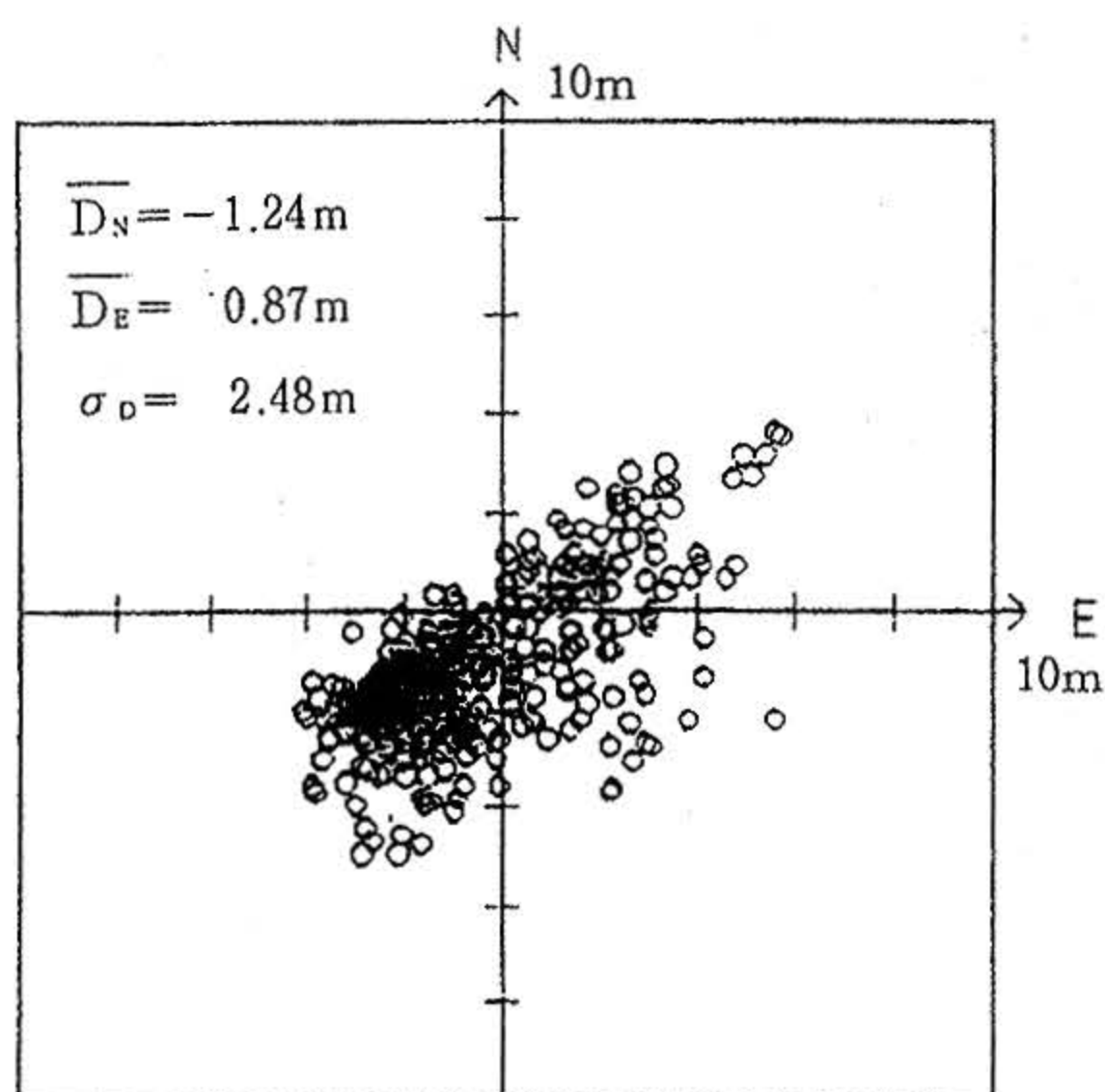
図7 浮体の位置変化計測例 (スティックプロット) 1989年10月~12月
 Fig.7 Position changes of the floating offshore platform (Stick plot)
 October ~ December, 1989



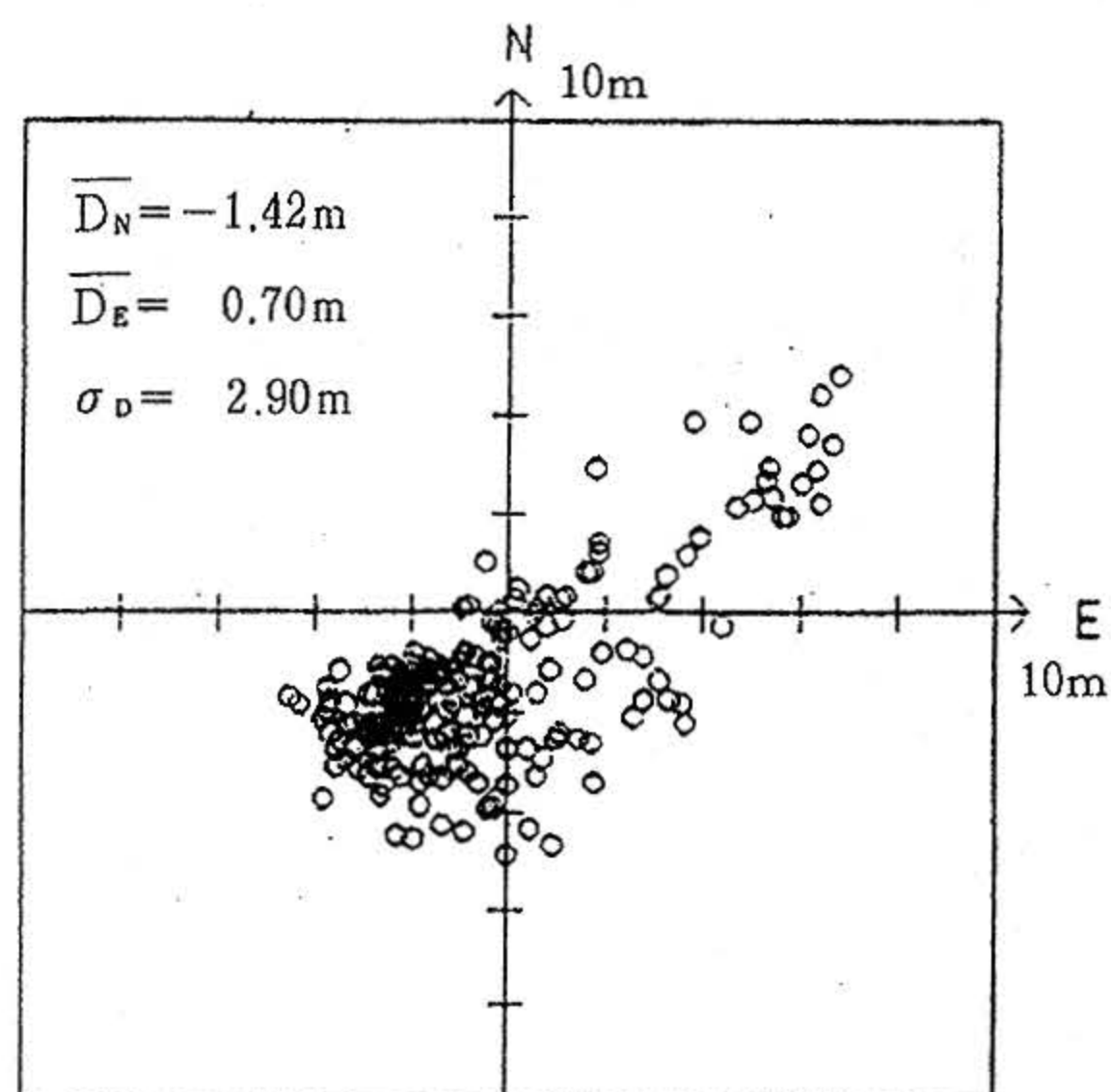
'89.3.24~5.27 (Spring)



'89.7.13~9.8 (Summer)



'89.9.9~12.30 (Autumn)



'90.1.1~2.28 (Winter)

図8 浮体位置変化航跡図 ('89年3月~'90年2月)

Fig.8 Tracking chart of the floating offshore platform
(March 1989 ~ February 1990)

の波浪は有義波高3.4m, 波周期8.2secであった。浮体の応答にはいずれも長周期の成分が見られ、特に横揺れ (ROLL), 船首揺れ (YAW) では長周期成分が支配的になっている。なお、それぞれの応答の固有周期は横揺れ17s, 縦揺れ14s, 船首揺れ73sと推定され、上記長周期成分はこの固有周期の近傍に見られる。

一方、浮体応答と波浪との相関を調べる意味で

横軸に有義波高をとり、縦軸に浮体応答の有義値 (両振幅) をとって計測値をプロットした。結果を図11及び図12に示す。

縦揺れ, 横揺れ, 上下揺れとも有義波高とよい相関が見られ、波向や波周期のバラエティーによるばらつきはさほど見られない。有義波高と各応答の関係は大略下記の通りである。(なお、上下揺れは第1期海域実験での計測値を示す。)

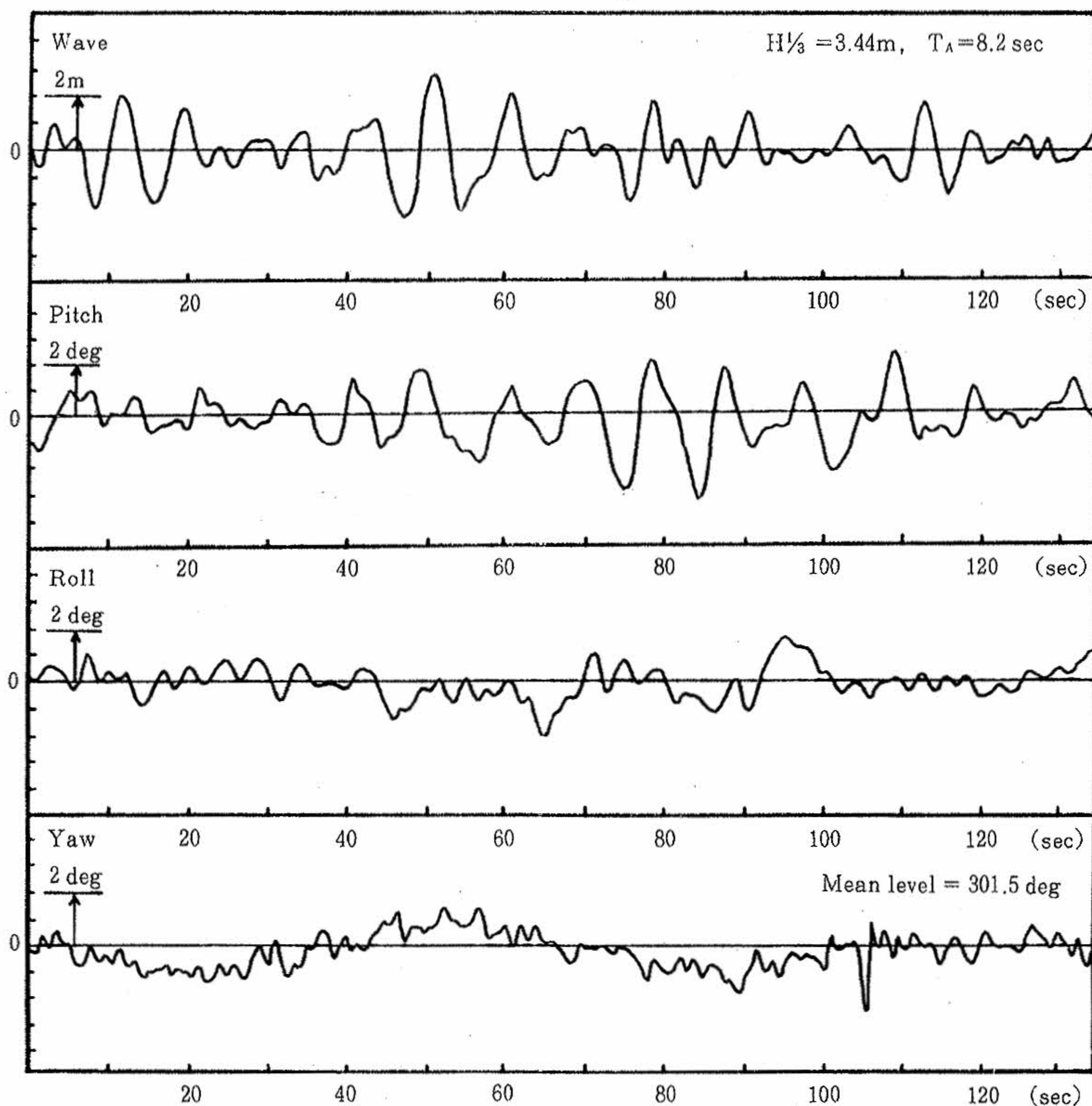


図9 浮体動揺時刻歴 1989年11月14日8時
(有義波高3.44m, 波周期8.2sec, 北西の風16m/sec)

Fig.9 Tim histories of wave and motion of the floating offshore platform
at 8:00 on November 14, 1989 (Significant wave height = 3.44m,
Wave period = 8.2sec, Wind velocity = 16m/sec from North West)

有義波高	縦揺れ	横揺れ	上下揺れ
	(両振幅有義値)		
1.0m	0.88deg	1.03deg	0.45m
2.0	1.74	1.47	1.03
3.0	2.66	1.94	1.75
4.0	3.75	2.39	2.52
5.0	5.05	2.87	3.40
6.0	6.50	3.43	4.25

上記により海象と浮体動揺の相関が把握でき、

3.1に示した気象・海象データと組み合わせること
で、浮体動揺の発現頻度分布を概算することが可
能となった。これはライザーの疲労解析を行う上
で重要である。

5 フレキシブルライザーの挙動

5.1 フレキシブルライザーの内力の日変 化

1989年9月～10月におけるフレキシブルライ

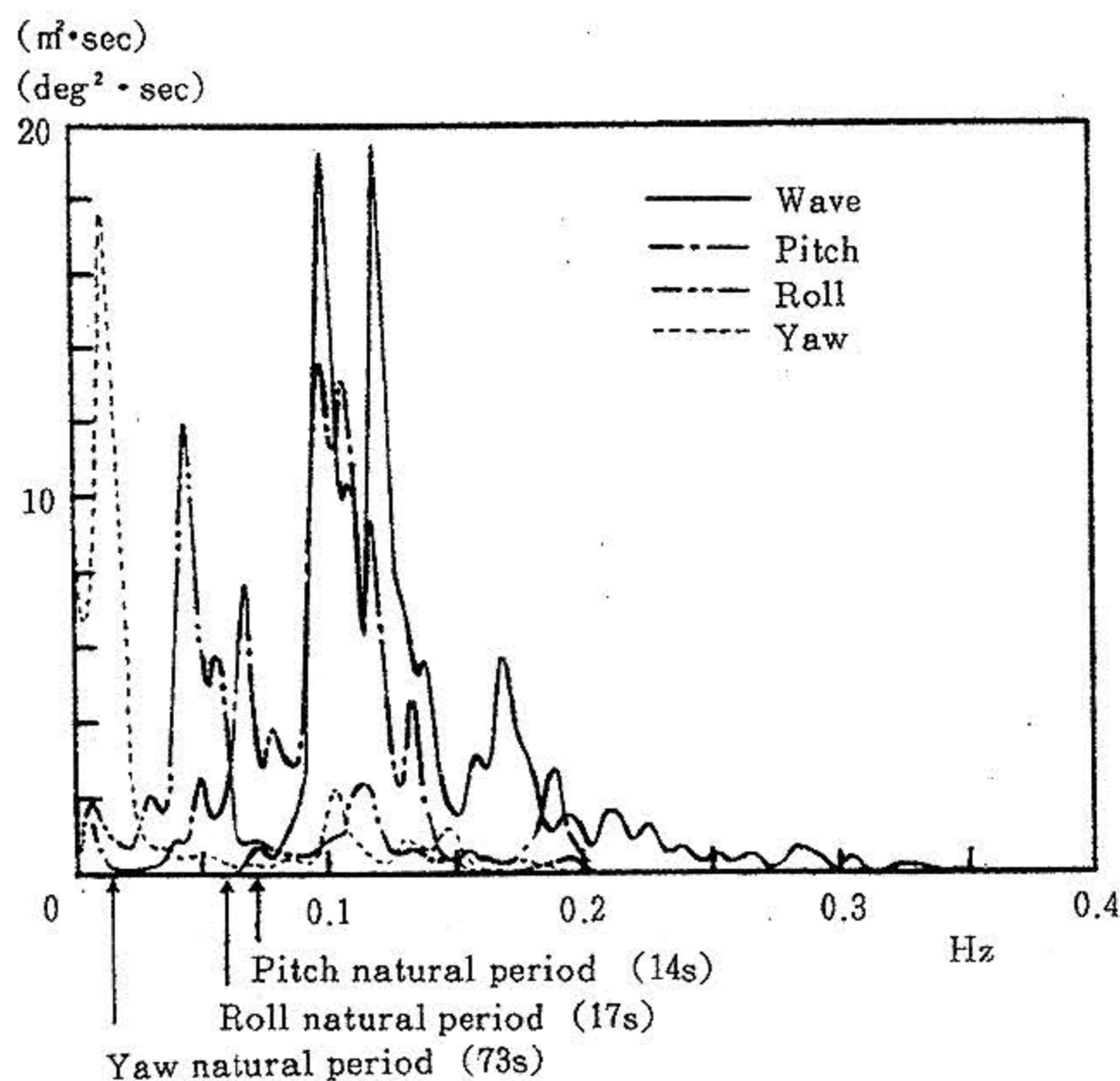


図10 浮体動揺のスペクトル

1989年11月14日 8時

Fig.10 Spectra of wave and motion of the floating offshore platform at 8:00 on November 14, 1989

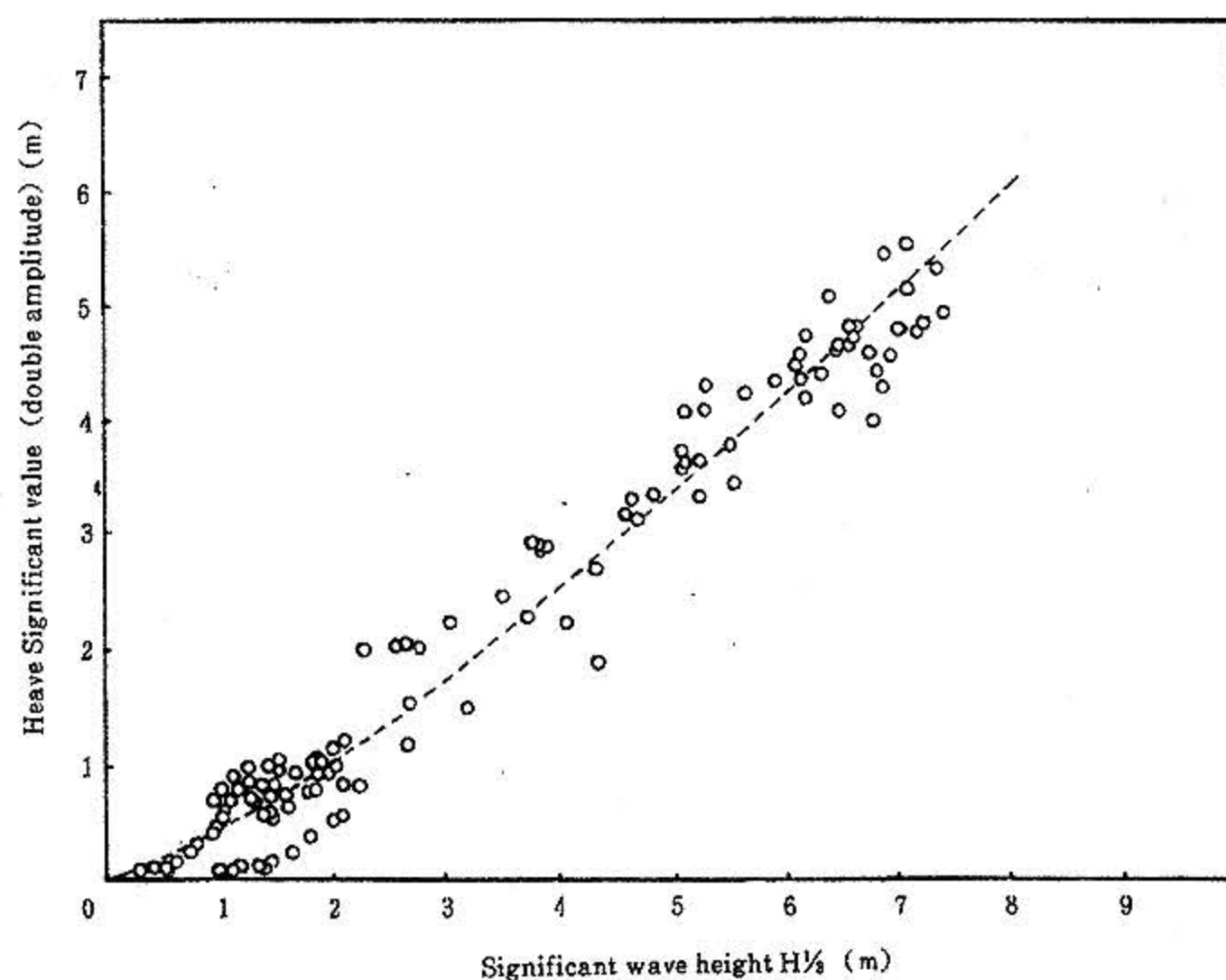


図12 海域実験における上下揺れと有義波高との相関

Fig.12 Correlation between heave motion and significant wave height at the sea test

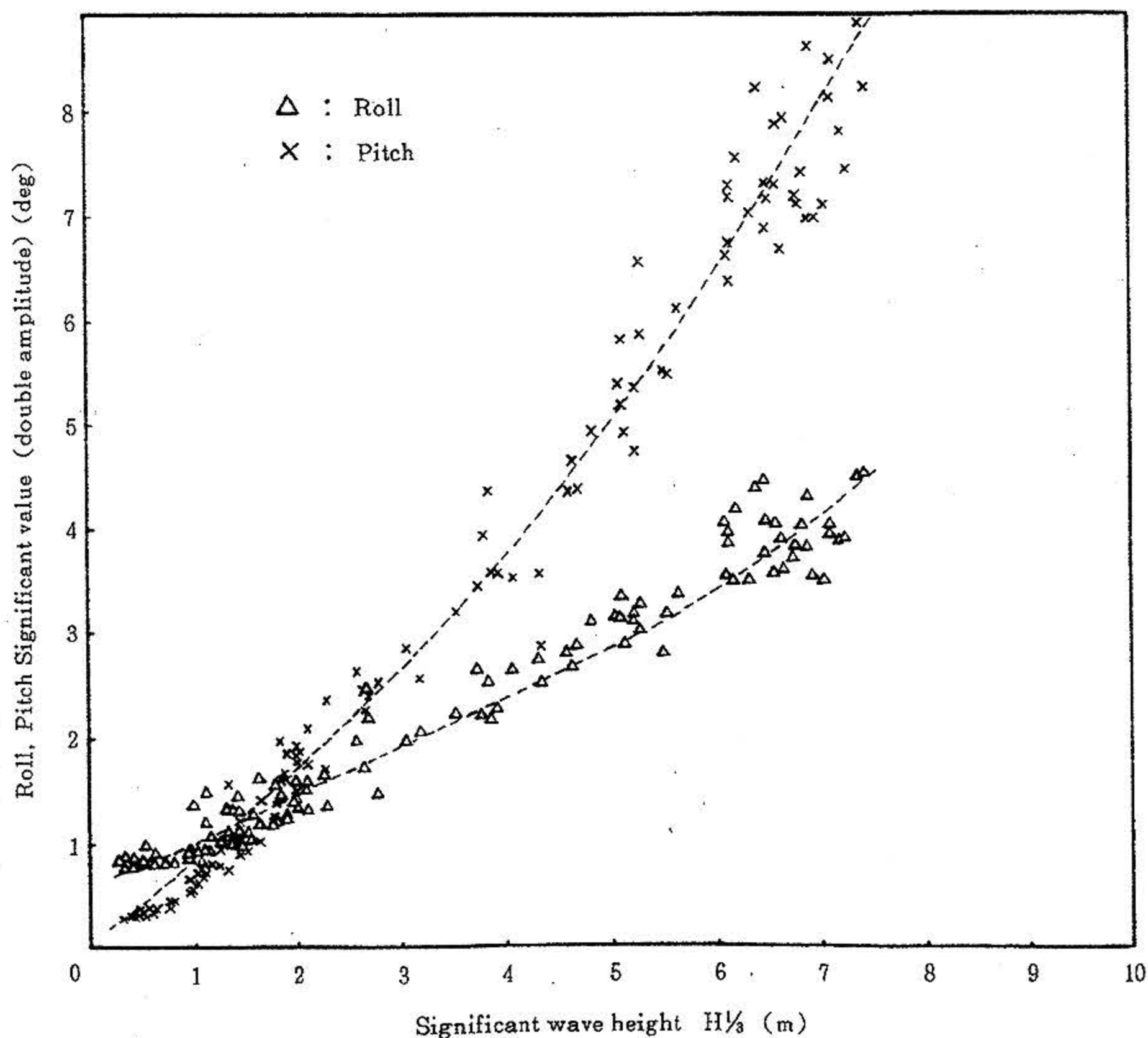


図11 海域実験における横揺れ, 縦揺れと有義波高との相関

Fig.11 Correlation between roll, pitch motions and significant wave height at the sea test

ザーの張力、曲げモーメント（2方向）の平均レベルの日変化を図13に示す。同図には浮体の船首方位の日変化についても合わせて示している。船首方位、張力、曲げモーメントとも計測期間を通してほぼ安定しており、張力Fzは1.4～1.8t、曲げモーメントMx（OUT-OF-PLANE）は0.1～0.4t、曲げモーメントMy（IN-PLANE）は0.8～1.1tと理論推定値²⁾（Fz:1.8t, Mx:0t, My:1.3t）とほぼ同等の値を与えている。

5.2 フレキシブルライザーの波浪中での挙動

フレキシブルライザーの張力、曲げモーメントの波浪中応答を図14、図15に示す。図14は1989年11月14日8時の応答時刻歴、図15は同応答のスペクトルである。同図にはライザー取付部の上・下方向加速度の応答についても合わせて示した。同時刻の有義波高は3.4m（波周期8.2sec）、風は北西から16m/sec、潮流は南西方向へ約10cm/secであった。ライザー取付部の上・下動の周期は、浮体の上下揺れの固有周期（9sec）とほぼ一致している。

これに対して張力のスペクトルを見ると、波のスペクトル（図10）に対応した変動成分の他に100secを超える長周期の変動成分、波周期よりも短い周期（6.4sec）の変動成分が含まれており、ライザー取付部の上下揺れに伴う変動成分は顕著ではない。張力の長周期変動成分については、浮体の水平方向の長周期運動（固有周期は前後揺れ約130sec、左右揺れ約140sec、船首揺れ73sec）²⁾の影響によるものと推察される。又、波周期よりも短い周期での変動成分は、波以外の要因による縦振動が生じていたことを示している。これは、潮流によりライザー後方に発生する渦がライザーに振動を励起し、これがライザーの固有振動と共振して生じる渦励振現象（Vibration due Vortex Shedding）^{8)・9)}と考えられる。ただし、短周期変動成分の変動幅は小さく、張力の絶対値に対する影響は小さい。一方、曲げモーメントを見ると、同時刻の縦揺れが横揺れに比して大きかった（図9参照）ことに对应して、Mx（OUT-OF-PLANE）がMy（IN-PLANE）より大きな変化を示している。曲げモーメントには、張力に見られたよ

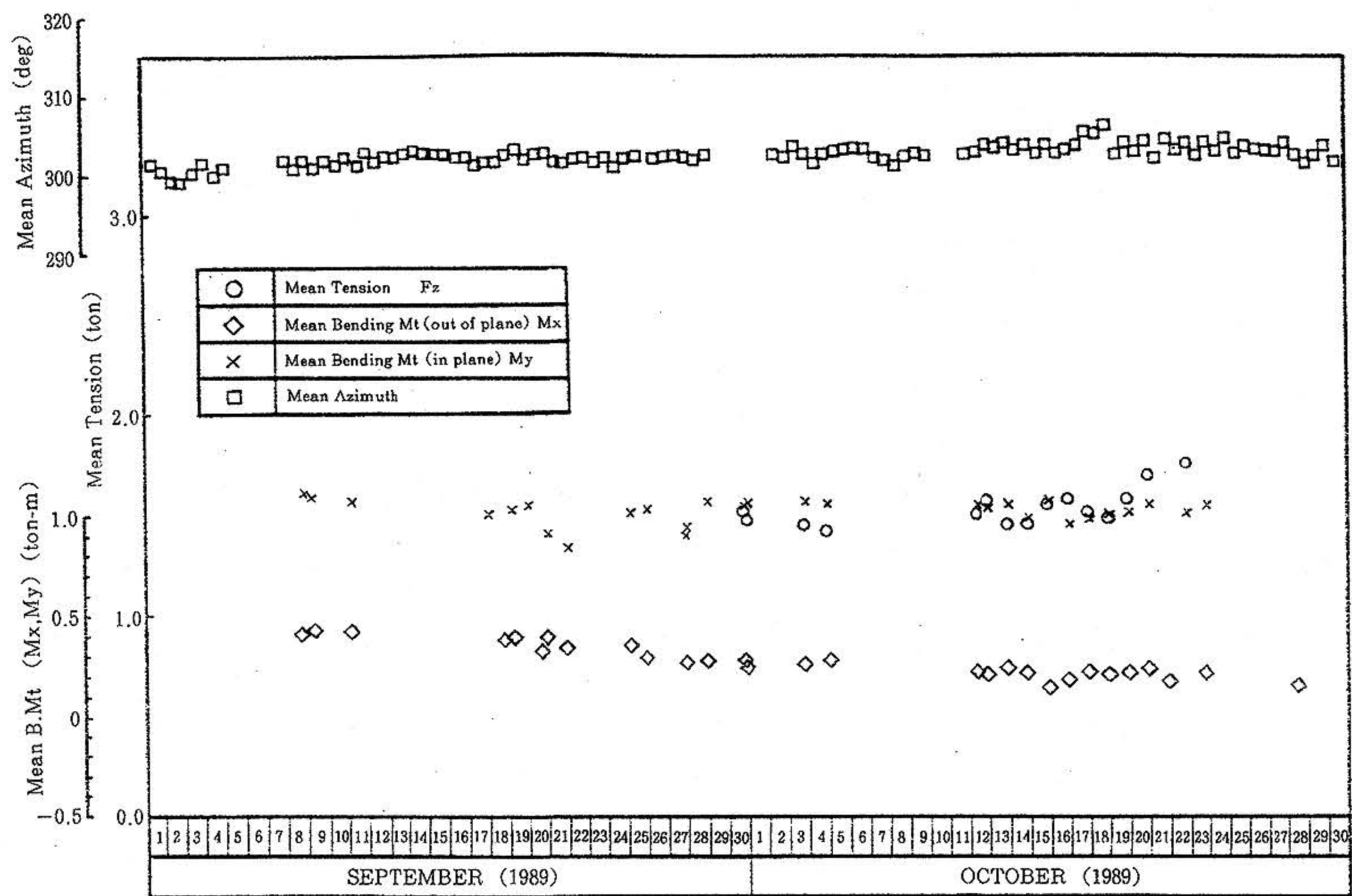


図13 フレキシブルライザー張力、曲げモーメントの日変化（1989年9月～10月）
Fig.13 Daily changes of tension and bending moments of flexible riser

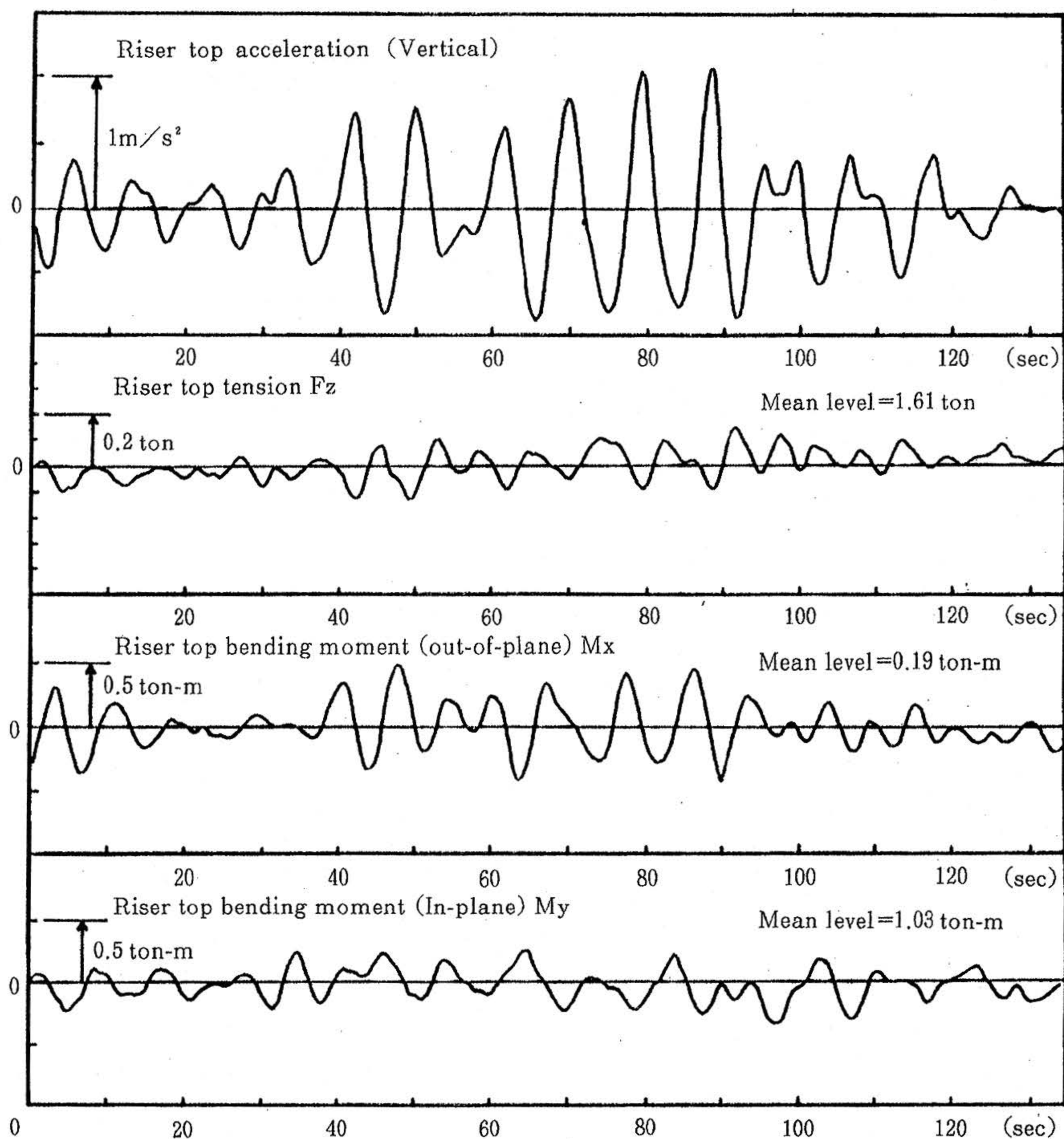


図14 ライザー応答時刻歴 1989年11月14日8時

(有義波高 3.44m, 波周期 8.2sec, 北西の風 16m/sec, 潮流: 南西方向へ 10cm/sec)

Fig.14 Time histories of riser dynamic responses at 8:00 on November 14, 1989

(Significant wave height = 3.44m, Wave period = 8.2sec, Wind velocity = 16m/sec from North West, Current velocity = 10cm/sec toward South West)

うな長周期の変動成分は顕著には見られないが、 M_x のスペクトルを見ると張力と同様、波スペクトルに対応した成分の他にこれより短い周期での変動成分 (6.4sec) が見られる。上述した渦励振

現象がより顕著に見られる例として、1989年11月2日8時の計測例の時刻歴とスペクトルを図16及び図17に示す。同時刻の有義波高は 3.1m (波周期 8.4sec), 風は北西から 12m/sec, 潮流は北

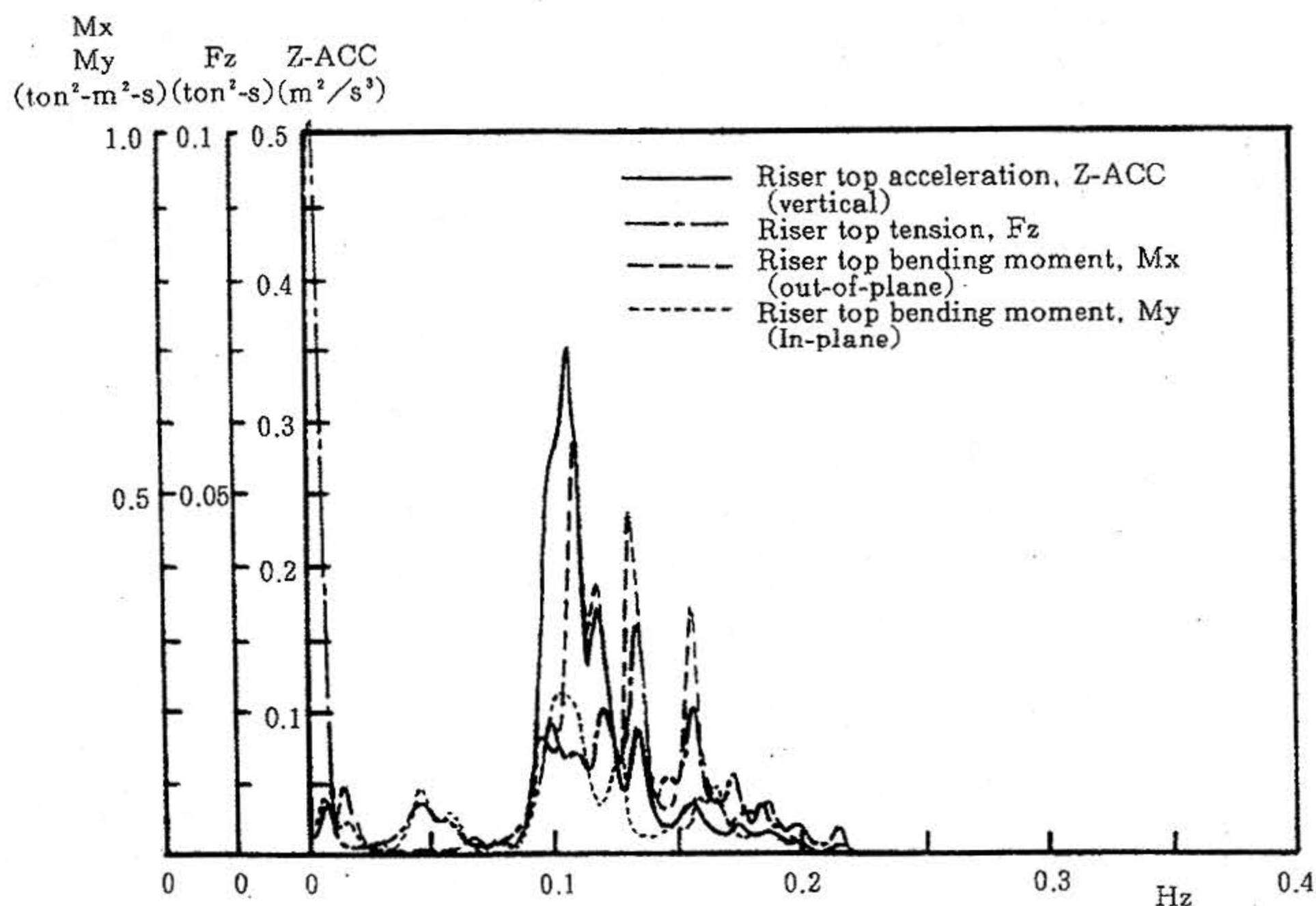


図15 ライザー応答スペクトル 1989年11月14日8時
Fig.15 Spectra of riser dynamic responses at 8:00 on November 14, 1989

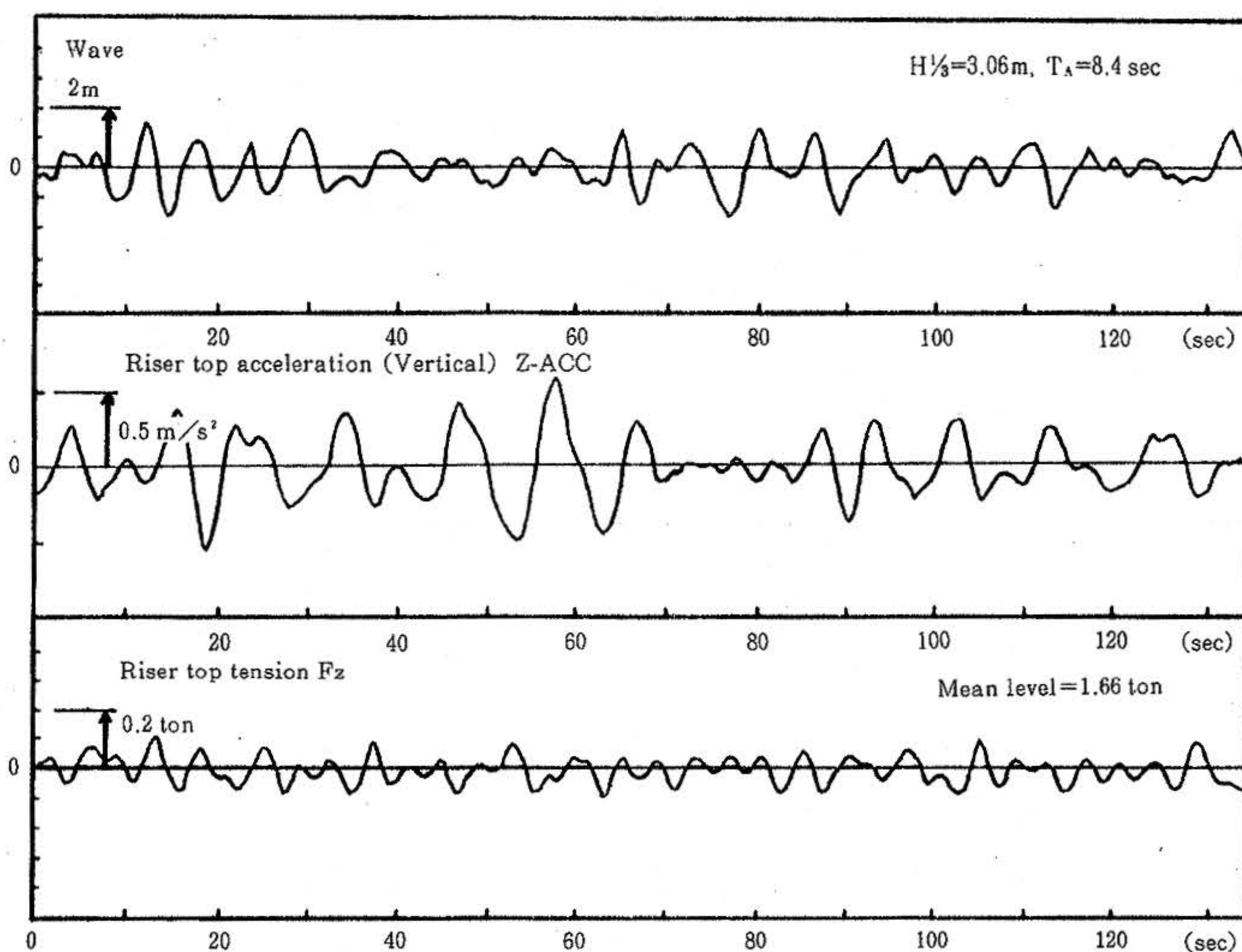


図16 ライザー応答時刻歴 1989年11月2日8時
(有義波高 3.06m, 波周期 8.4sec, 北西の風 12m/sec, 潮流: 北方向へ 10cm/sec)
Fig.16 Time histories of riser dynamic responses at 8:00 on November 2, 1989
(Significant wave height = 3.06m, Wave period = 8.4sec, Wind velocity = 12m/sec from North West, Current velocity = 10cm/sec toward North)

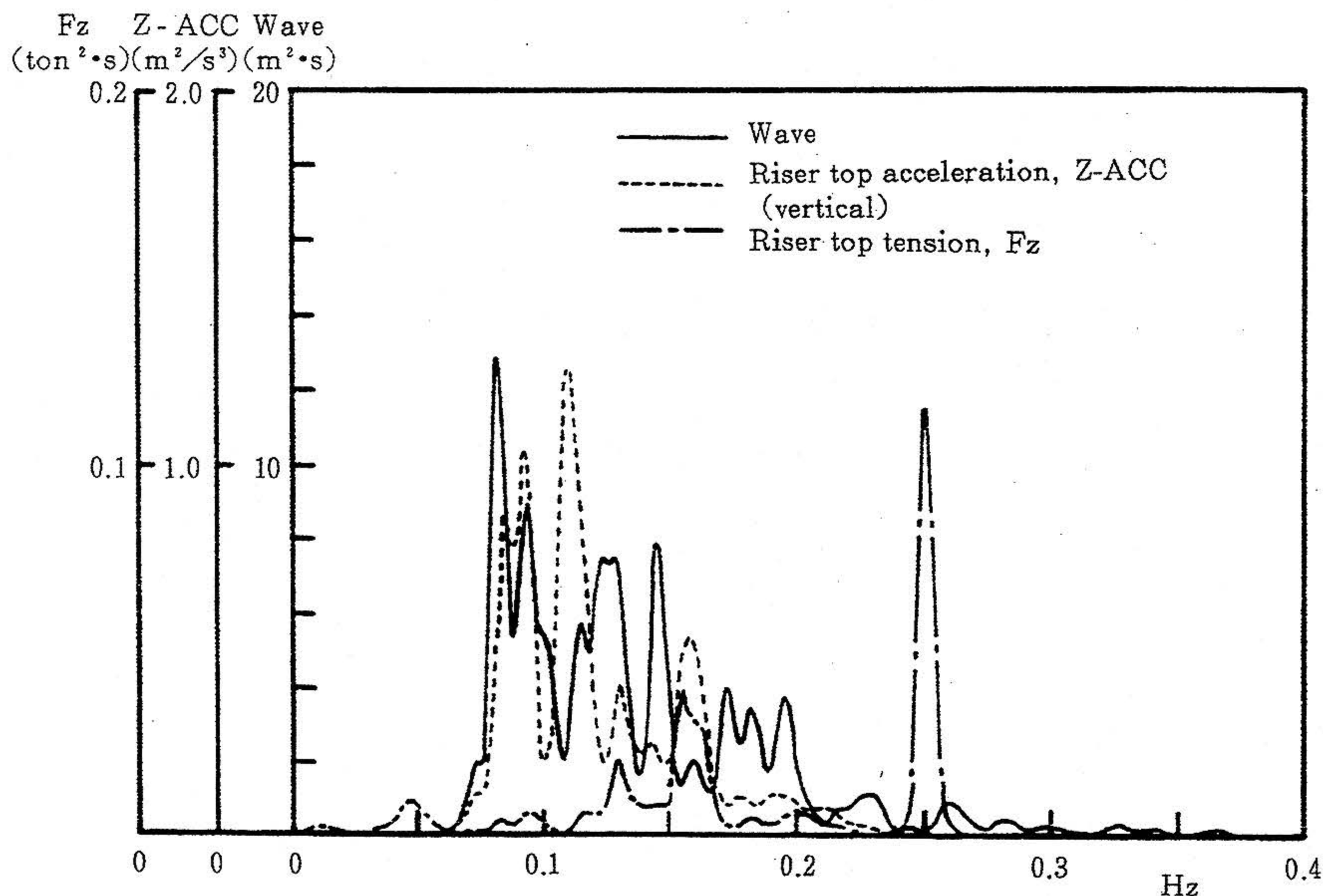


図17 ライザー応答スペクトル 1989年11月2日8時

Fig.7 Spectra of riser dynamic responses at 8:00 on November 2, 1989

方向へ約10cm/secであった。ライザー取付部の上下動は、波スペクトルに対応した変動成分と浮体の上下揺れの固有周期（9 sec）に対応した変動成分を含んでいる。これに対して張力のスペクトルを見ると、短い周期（6.4sec/4.0sec）での変動成分が顕著であり、これ以外の変動周期成分は小さい。6.4secの変動成分は図15でも見られたもの、4.0secでの変動はこれよりさらに短周期の振動が生じていたことを示し、この近傍にもライザーの固有振動域が存在することがわかる。

6 自由動揺試験

6.1 自由動揺試験の概要

1989年9月8日、浮体式海洋構造物の動揺固有周期の把握と自由動揺モードの観測を目的として自由動揺試験が実施され（写真1）、当センターと運輸省船舶技術研究所による合同観測が行われた。試験当日は海象・気象とも穏やか（有義波高約0.15m、北の風約4 m/sec）で、潮流も北西方

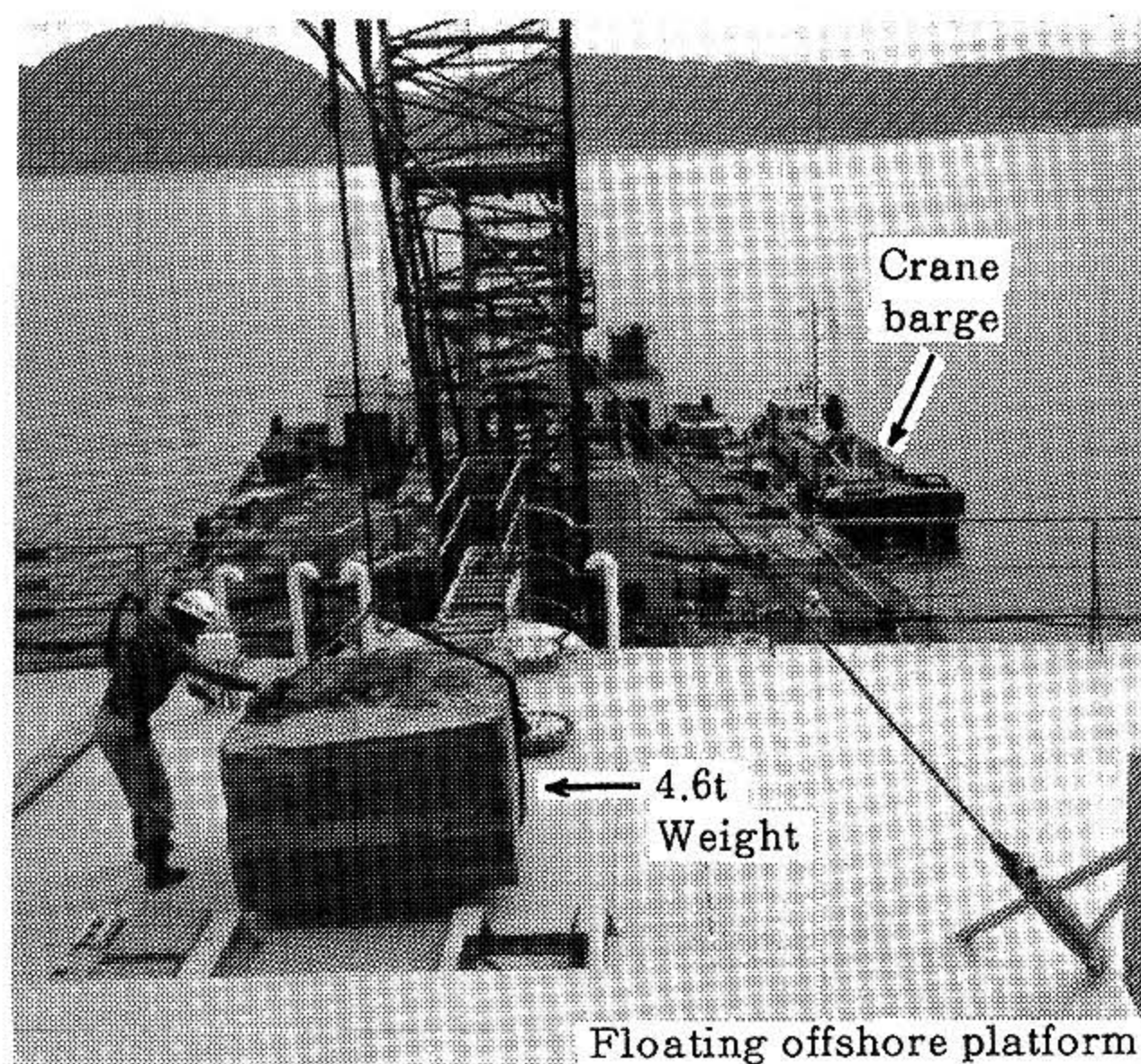


写真1 自由動揺試験実施状況
(1989年9月8日)

Photol Operation of free oscillation test
(September 8, 1989)

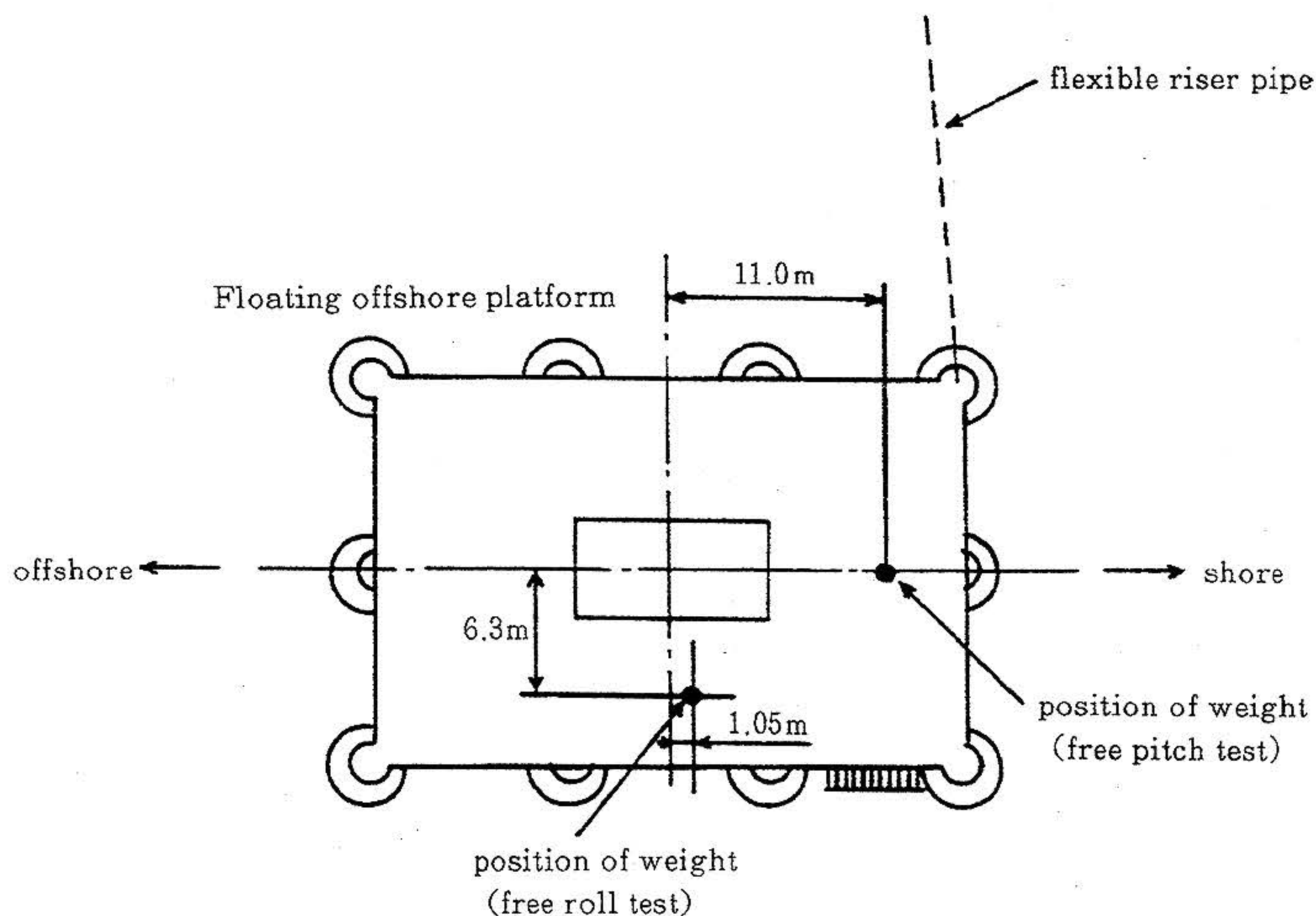


図18 自由動揺試験におけるウェイト搭載位置

Fig.18 Position of weight at free oscillation test

向へ約 5 cm/sec と小さい値であった。自由動揺のための初期変位はクレーンバージにより与えられた。先ず 4.6 t のウェイトをクレーンバージで吊り上げ、これを浮体上の所定位置（図18）に搭載した後、これを除荷することで自由縦揺れ、自由横揺れの試験を各々実施した。また、クレーンバージよりロープにて浮体を引張って後方にシフトさせた後ロープを離すことにより自由前後揺れの試験を実施した。残念ながら自由前後揺れについては、ライザーの強度上、浮体のシフト距離に制約があったため当初想定した 130 秒 程度の長周期運動はうまく得られなかったが、自由縦揺れ、自由横揺れについては各々の固有周期に対応した自由動揺モードが観測された。以下にその観測結果を示す。

6.2 自由縦揺れ（フリーピッチ）試験

自由縦揺れ試験は1989年9月8日の午前10時50分より午前11時にかけて行われた。この時の浮体及びライザーの応答時刻歴を図19に、また自由動揺状態での計測データを取り出してスペクトル解析したものを図20に示す。

クレーンバージによるウェイト搭載（10時51分

54秒）及び、ウェイト撤去（10時53分39秒）の後に各々自由動揺状態が生じている。縦揺れの自由動揺周期はその固有周期の推定値（ 14 sec ）とよく一致している。これに対して、曲げモーメント M_x (OUT-OF-PLANE) には縦揺れに対応した大きな変化が見られるが、張力 F_z 及び曲げモーメント M_y (IN-PLANE) にはこれに対応する目立った変化は生じていない。 F_z , M_y に対しての縦揺れの影響は小さいことがわかる。一方、張力の応答はほとんどが短周期（約 3 sec ）の変動成分であり、試験時にこの周期での縦振動がライザーに生じていたことを示している。この変動成分は5.2で示した変動成分（周期 6.4 sec ）の約半分の周期で生じており、この周期近傍にもライザーの振動固有周期があることが考えられる。また曲げモーメント M_x (OUT-OF-PLANE) のスペクトルを見ると、縦揺れのスペクトルに対応した成分の他に長周期の変動成分と、短周期（ 6.2 sec ）の変動成分を含んでおり、ライザー取付部上・下動の変動成分（周期 9 s ）に対応した成分は小さい。この特性は5.2で述べたライザーの波浪中挙動特性とよく一致している。

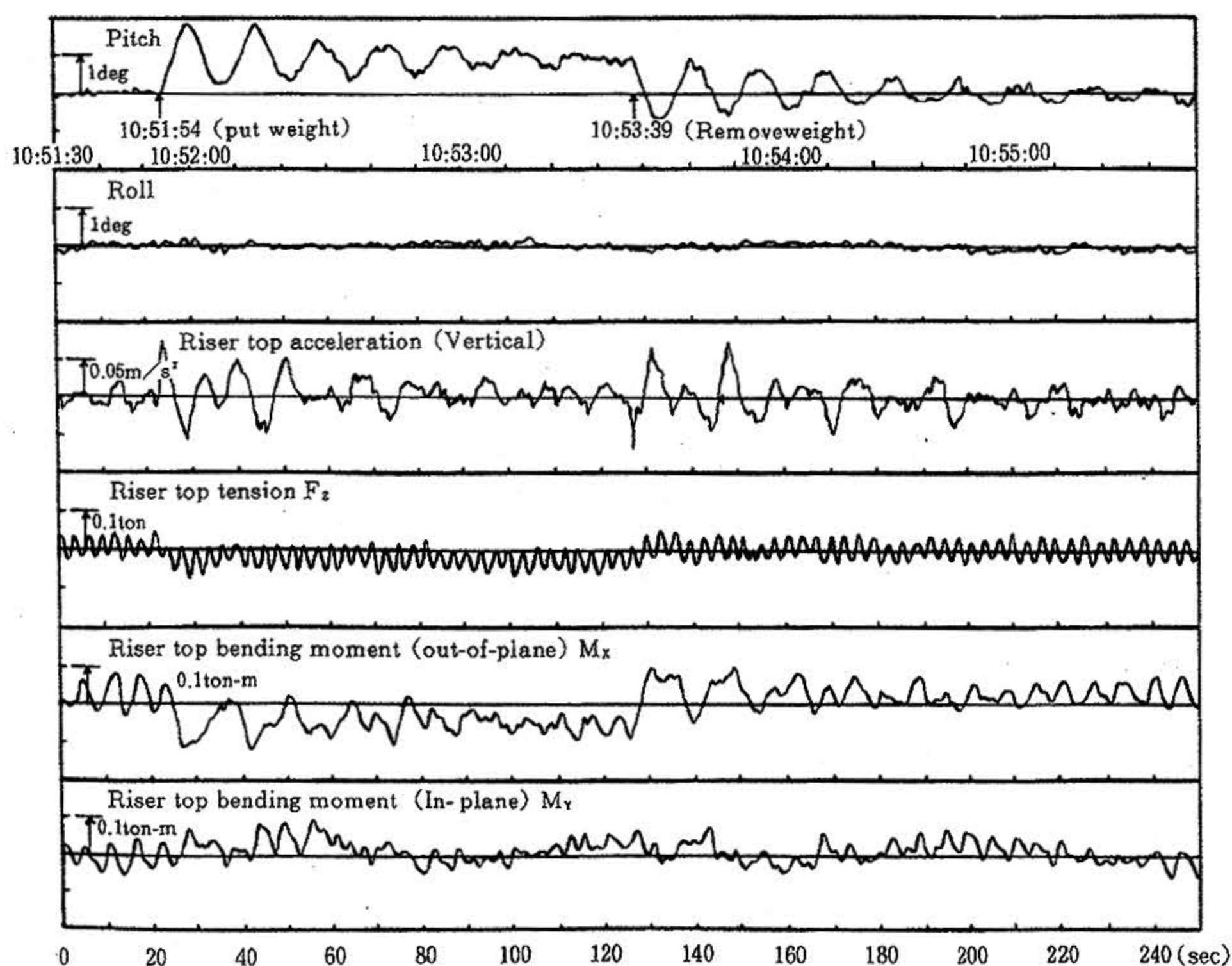


図19 フリーピッチ試験時の応答時刻歴 (有義波高0.24m, 南東の風 5 m/sec, 潮流: 北西方向へ 5 cm/sec)

Fig.19 Time histories of dynamic responses at free pitch test
(Significant wave height = 0.24m, Wind velocity = 5 m/sec from South East, Current velocity = 5 cm/sec toward North West)

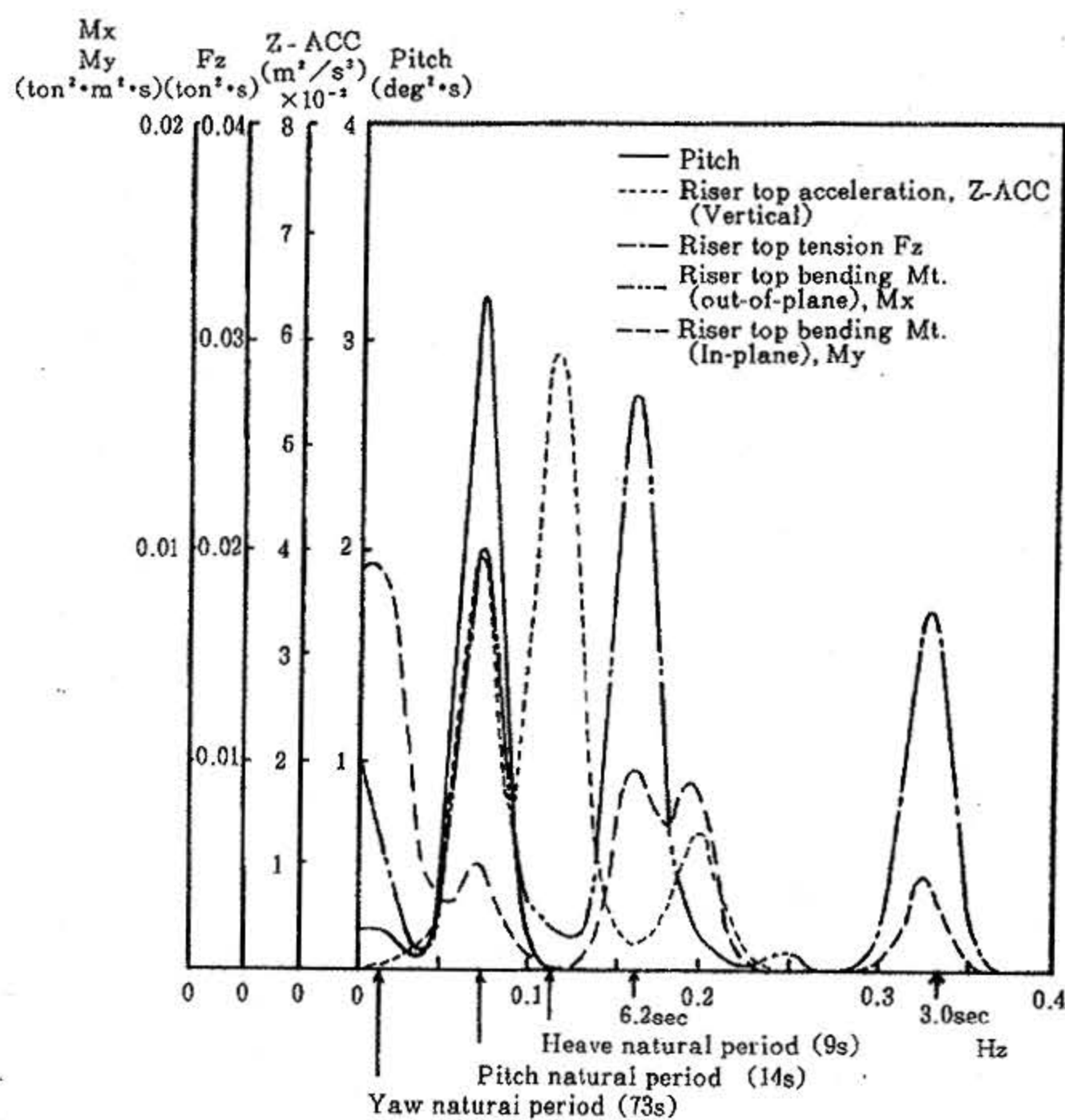


図20 フリーピッチ試験時の応答スペクトル

Fig.20 Spectra of dynamic responses at free pitch test

6.3 自由横揺れ（フリーロール）試験

自由横揺れ試験は1989年9月8日午前11時40分より11時50分にかけて行われた。この時の浮体及びライザーの応答時刻歴を図21に、また自由動揺状態での計測データを取り出してスペクトル解析したものを図22に示す。

クレーンバージによるウェイト搭載（11時40分48秒）及びウェイト撤去（11時42分37秒）の後に、各々自由動揺状態が生じている。横揺れの自由動揺周期は、その固有周期の推定値（17sec）とよく一致している。これに対して、曲げモーメント M_y (IN-PLANE) には横揺れに対応した大きな変化が見られるが、張力 F_z 及び曲げモーメント M_x (OUT-OF-PLANE) にはこれに対応する目立った変化は生じていない。 F_z , M_x に対しての

横揺れの影響は小さいことがわかる。一方、張力の応答はほとんどが周期13.2secの変動成分である。この変動成分の周期は5.2で示した変動成分（6.4sec）の約2倍、6.2で示した変動成分（約3.0sec）の4倍にあたり、この周期近傍にもライザーの振動固有周期があることが考えられる。

また、曲げモーメント M_x (OUT-OF-PLANE) の応答はほとんどが短周期（約3.3sec）の変動を示し、これに船首揺れの固有周期（73sec）に近い長周期変動が重ね合わされた応答となっている。短周期の変動成分の周期は6.2で示した張力 F_z の変動成分の周期とほぼ対応している。

7 おわりに

本稿では1989年9月より実施しているフレキシブルライザーの第Ⅱ期海域実験で得られた計測

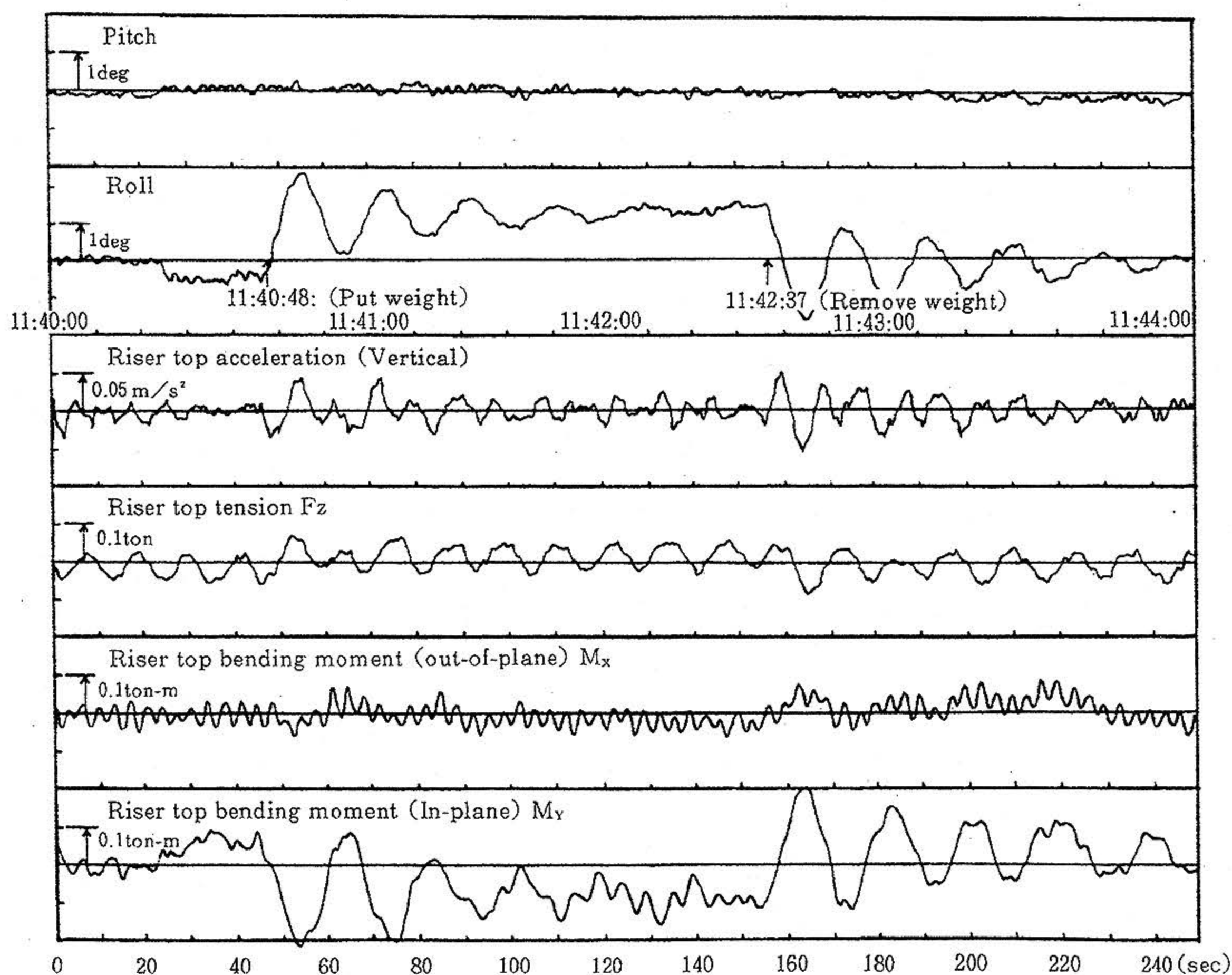


図21 フリーロール試験時の応答時刻歴（有義波高0.31m, 北の風4 m/sec, 潮流：北西方向へ5 cm/sec）

Fig.21 Time histories of dynamic responses at free roll test
(Significant wave height = 0.31m, Wind velocity = 4 m/sec
from North, Current velocity = 5 cm/sec toward North West)

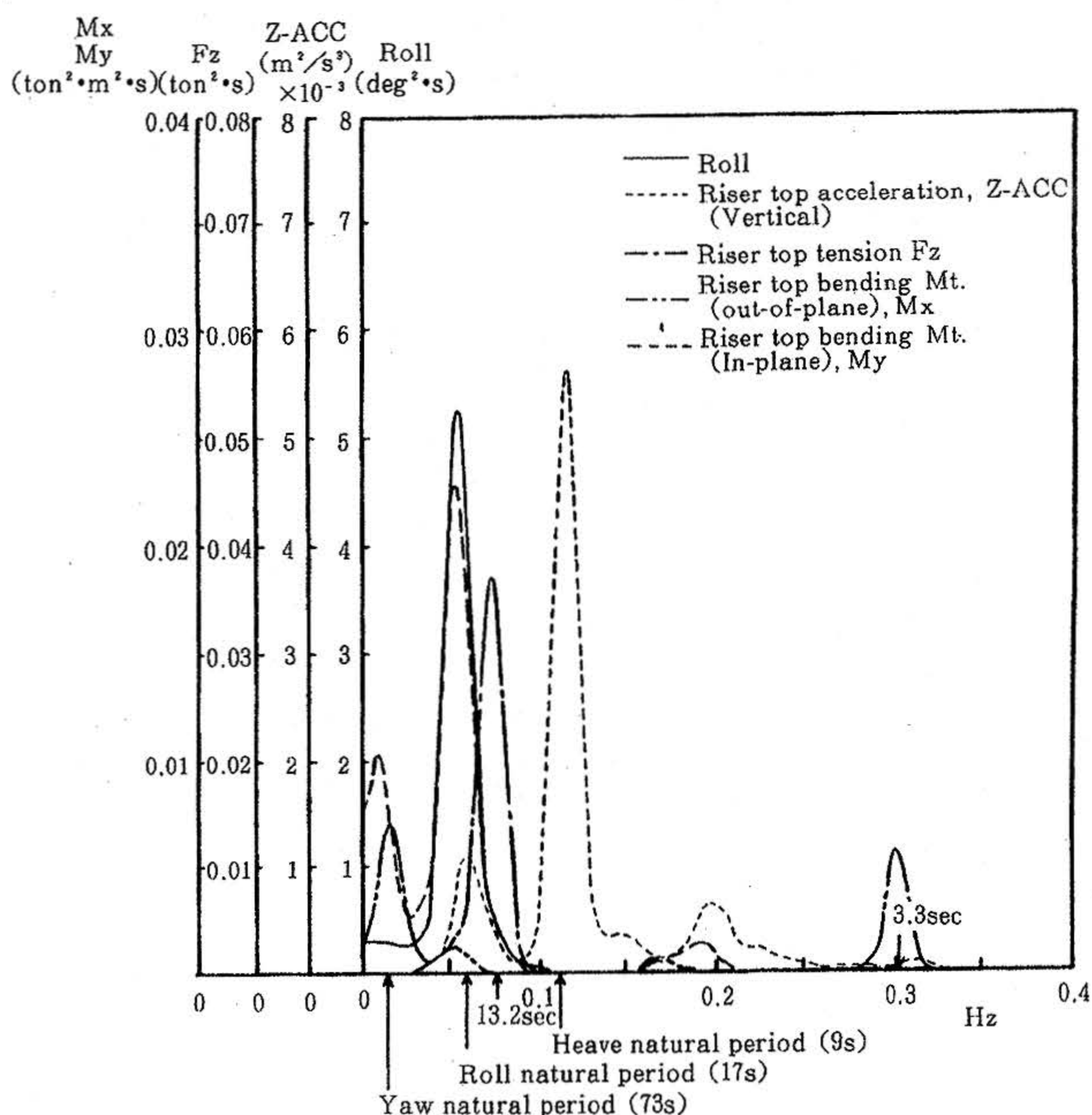


図22 フリーロール試験時の応答スペクトル

Fig. 22 Spectra of dynamic responses at free roll test

データを整理し、実験海域の自然環境、浮体の挙動、ライザーの挙動と各々の相関について、その特性を示した。

本研究により下記の成果が得られた。

- (1) 実験海域は日本海沿岸に位置し、気象・海象は日本海沿岸特有の季節変化をすることが確認できた。夏場は概ね穏やかである。春、秋には移動性の高気圧・低気圧の通過により1週間～10日の間隔で波が高くなる傾向がある。冬場は北からの季節風に伴い、波の高い日が続く。
- (2) 実験海域での潮流は、対馬暖流に伴って年間を通して北東方向への流れが卓越しており、流速は水面下20mの位置にて通常0～20cm/s、最大で40～50cm/s程度であることがわかった。
- (3) 浮体の位置は、波、風、潮流に伴って変化

するが、春～夏にかけての位置変化は南西～北東方向が支配的であり、秋～冬にかけては、これに北からの季節風による南東への動きが加わることがわかった。位置変化は南西～北東方向で最大±10m程度、南東方向へは最大5m程度であった。

- (4) 浮体の動揺（縦揺れ、横揺れ、上下揺れ）の応答振幅は波の方向や周期によらず有義波高とよい相関が見られることがわかった。
- (5) フレキシブルライザー内力（張力、曲げモーメント）の平均レベルは実験期間を通じてほぼ安定しており、その値は理論推定値ともよく対応していることが確認できた。
- (6) フレキシブルライザー張力の波浪中応答の計測例をみると、浮体の長周期水平動に伴う長周期成分（周期100sec以上）と渦励振動による縦振動によるとと思われる短周期成分

(周期6.4sec)が含まれ、ライザー取付部の上下動に対応した変動成分は逆に小さいことがわかった。この短周期成分は曲げモーメントの応答にも同様に見ることができる。

(7) 浮体の自由動揺試験により、フレキシブルライザー内力の下記の応答特性を明らかにできた。

① 浮体の縦揺れは主に曲げモーメント M_x (OUT-OF-PLANE)に影響を及ぼし、 F_z , M_y への影響は小さい。

② 同様に浮体の横揺れは主に曲げモーメント M_y (IN-PLANE)に影響を及ぼし、 F_z , M_x への影響は小さい。

③ 浮体の自由動揺の周期とは別に、ライザーの内力には各々13.2sec, 6.4sec, 3.0sec~3.3secの周期での振動が見られ、この周期近傍にライザーの振動固有周期があることが考えられる。

本海域実験は古河電気工業(株)及びロイヤルダッチシェルとの共同研究として現在も実施中であり、平成2年7月に浮体式海洋構造物が撤去されるまで計測を行っていく予定である。

最後に本研究を進めるに際して、運輸省船舶技術研究所海洋開発工学部の大川豊室長には実験海域の風向・風速データの提供等、御協力をいただきました。

また、陸上実験本部及び浮体式海洋構造物における観測作業に際しては、海洋科学技術センター海洋開発研究部の大西毅研究副主任(現在三井造船(株)勤務)、本多牧生研究員、河野健研究員、古河電気工業(株)千葉研究所の梅原満夫主任研究員、同海洋工事部の山口卓見課長、五嶋泰洋次長、その他関係者の皆様の御協力を得ました。心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 工藤君明, 岡本恒雄, 木下篤: フレキシブルライザー管の海中挙動計測システムの研究開発, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第22号 (1989)
- 2) 安田哲也, 工藤君明, 岡本恒雄, 五嶋泰洋: 海洋実験にともなうフレキシブルライザー管の設計手法, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第23号 (1990)
- 3) 鶴見精機(株): 流向・流速計MTCM-4取扱説明書
- 4) 東京光学機械(株): トプコンエレクトロニック・トータルステーション GUPPY GTS-3 取扱説明書
- 5) 工藤君明, 本多牧生, 安田哲也: 浮体式海洋構造物海域実験における簡易データ伝送システムの開発, 海洋科学技術センター試験研究報告, 第21号 (1989)
- 6) 海洋科学技術センター: 海域利用計画調査, 山形県沖海域調査報告 (1979)
- 7) Y. Takaishi, S. Ando, Y. Ohkawa, K. Yamakawa, and K. Yago: Design and Model Tests of the Proto-type Floating Platform for At-sea Experiments, Fifth International Offshore Mechanics and Arctic Engineering Symposium, Tokyo (1986)
- 8) K. Zare and T. K. Data: Vibrations of Lazy "S" Risers due to vortex Shedding under Lock-in, OTC5795 (1988)
- 9) A. Derchsen and F. Van Walree: Simulation of the Hydrodynamic Loading and Structural Response of Marine Riser, Fifth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, (1989)

(原稿受理: 1990年6月18日)