

港灣技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 232 Mar. 1976

監督測量船“うずしお”動揺試験報告

近	藤	基
藤	井 喜 一	郎
白	鳥 保	夫
東	海 林 秀	幸
石	塚 浩	次
中	島 忠	男

運輸省港灣技術研究所



港 湾 技 研 資 料 No. 232
正 誤 表

頁	欄	行	誤	正
4	左	12	100kHz 12°、200kHz 6°	100kHz 12°, 200kHz 6°
8	左	7	……わずかながら減少する……	……わずかながら減少する……
11	右	16	ってθは、……	ってθは、……
12	左	図中	図6-3 Severe Discomfort Boundaries	図6-3 Severe Discomfort Boundaries
12	右	20	……暴露時8hrの……	……暴露時間8hrの……
13	左	9	となってゆく。	となっていく。

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 試験船“うずしお”の概要	3
2.1 船 体 諸 元	3
2.2 塔 載 機 器 諸 元	4
3. 試験目的および試験条件	5
3.1 試験目的および試験方法	5
3.2 試験海域および気象条件	5
4. 試 験 結 果	6
4.1 船 遠	6
4.2 横 揺 れ	7
4.3 縦 揺 れ	8
4.4 周波数スペクトル	9
5. 動揺による測量誤差	9
5.1 音響測深機送受波器の変動	9
5.2 船位測定の誤差	10
6. 船体動揺が乗組員の作業性に与える影響	11
7. あ と が き	12
謝 辞	13
参 考 文 献	13
記 号 表	20
付 録	20

A Field Test on the Motion of Survey Ship "UZUSHIO"

Motoi KONDO *
Kiichiro FUJII **
Yasuo SHIRATORI ***
Hideyuki SHOJI ****
Koji ISHIZUKA ****
Tadao NAKAJIMA ****

Synopsis

This technical note presents on the results of the field test on the motion of the catamaran ship "UZUSHIO" which belongs to The Third Port and Harbour Construction Bureau.

By this test, the characteristics of the motion of the ship was investigated changing the speed of the ship. The error of sounding and positioning operation of the ship produced by the ship motion and the fundamental investigation of physical influence upon crew, such as motion sickness, were also examined. The results of the test were as follows.

The fluctuation of average rolling angles and average pitching angles were both around 1.0 degree and they are nearly constant at all speeds. The ship had a list with the maximum angle of 5.4 degree, caused by pitching rather than caused by rolling.

The error values of sounding and positioning produced by the ship motion were both within those of surveying machines that the ship loads. It was found by this test that the larger sounding errors were caused mainly by rolling rather than pitching of the ship, while the positioning errors were greatly influenced by pitching.

For the investigation of physical influence on crew caused by the ship motion, the vibration acceleration and frequency of the ship were measured. But the measured values of them in this test were generally so small that no physical influence on the crew seems to be produced by the ship motion.

Judging from the results described above, it can be considered that the ship "UZUSHIO" has the ability enough to work for survey operations.

-
- * Head of the Machinery Division
 - ** Chief of the Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division
 - *** Senior Research Engineer, Machinery Division
 - **** Member of the Dredger and Construction Equipment Laboratory, Machinery Division

監督測量船“うずしお”動揺試験報告

近藤 基* 藤井 喜一郎**
白鳥 保夫*** 東海林 秀幸****
石塚 浩次**** 中島 忠男****

要 旨

昭和50年2月24日～3月1日、高松港において実施した双胴型監督測量船“うずしお”の動揺試験結果について報告する。

今回の試験は船速を変えるために7種類のエンジン回転数を選び、回転数を一定とした場合における横揺れ、縦揺れの動揺特性を調べ、測深精度、船位測定精度、乗組員の船上作業性に与える影響を検討した。

その結果、平均揺れ角では横揺れ角、縦揺れ角とも約1度前後であり、横揺れ角、縦揺れ角とも船速に対しての顕著な変化は見られなかった。また最大揺れ角では、前回小倉港において実施された試験では、縦揺れ角よりも横揺れ角で最大の値を示したが、今回の試験では、横揺れ角よりも縦揺れ角において船速11.8ktで5.4度と高い値を示した。

動揺による測量誤差では横揺れによる影響が大きいが、船位測定誤差では縦揺れによる影響が大きい。今回の試験結果では、いずれもそれぞれの標準精度内にじゅうぶん納まっている。

乗組員の船上作業性に対しては、振動加速度、周波数の影響が大きい。今回の試験範囲ではほとんど問題ないと言える。また高船速域での長時間作業というような場合では、高振動加速度、長暴露時間と人間工学的にはいくぶん好ましくない条件が重なることも考えられるが、これも今回の試験範囲ではまず問題はないと考えられる。

以上の観点から判断して、“うずしお”は測量船として必要な性能を有していると思われる。

1. ま え が き

小型作業船の中で、歴史的に古く、かつ重要な役割を果たしてきたものに監督測量船がある。近年港湾工事の新しい分野として油回収、ゴミ回収などの海域整備業務が登場しつつあり、このような新しい業務をこなすために各種の小型双胴船が建造され、おのおの業務を遂行している。

しかしながら、不規則波中における小型双胴船の船体動揺と船の作業性の関係においては適切な報告がないため、当研究室では過去2回にわたり実船試験を行ない、その結果を報告している。¹⁾²⁾

今回の試験では、試験船として運輸省第三港湾建設局高松港工事事務所所属の“うずしお”を採用し、“うずしお”の測量時速度での動揺特性を調べ、動揺による測量精度への影響、船体の動揺安定性への影響、ならびに乗組員の作業性に対する影響などを検討することを目的とした。

試験内容は、前回小倉港において実施した第四港湾建設局所属の耐食軽合金製双胴型測量船“すおう”の動揺試験とほぼ同じであるが、今回は主として横揺れ、縦揺れを測定したのに対し、今回はさらに横揺れ、縦揺れの振動加速度、

ならびに差圧型波高計による波高測定をつけ加えた。

本報告は、以上の目的に沿って“うずしお”の動揺試験の結果をまとめたものである。

2. 試験船“うずしお”の概要³⁾

監督測量船“うずしお”は、第三港湾建設局管内瀬戸内海航路の開発計画にともなって、監督および測量業務に従事する目的で、おもに測量船としての性能に重点を置いて建造された木製軽構造双胴船である。最高速力は17ktであり、測深は100kHz、4素子の音響測深機により水深30mまで測深可能である。試験船のおもな諸元はつぎのとおりである。

2.1 船体諸元

寸 法	13.74m × 6.66m × 1.90m
単 胴 幅	2.20m
満載排水量	約22t
総 ト ン 数	40.31t
最大速力	17kt

* 機材部長
** 機材部 作業船研究室長
*** 機材部 主任研究官
**** 機材部 作業船研究室

旅客定員 12名
 主機関 日産UVD816 船用高速ディーゼル機関
 V型8気筒
 260PS×2基
 最高主機回転数2000rpm

(2) 船位測定装置

主 局 1
 従 局 1
 観 視 局 1
 船 舶 局 1
 機 種 Decca製HiFix
 操 作 形 式 双曲線測定方式
 最大到達距離 50~100マイル
 使用周波数 1815.552kHz
 アンテナ出力 10W
 測 定 精 度 $\pm 80\text{cm}$

2.2 搭載機器諸元

(1) 音響測深装置

測深レンジ 0~30m
 素子数 4素子
 送受信周波数 100kHz, 200kHz
 各素子任意選択
 指向角 100kHz 12°, 200kHz 6°
 測深回数 各素子とも3回/sec
 測深精度 $\pm 7\text{cm}$ (水深20mにおいて海底の凹凸を除く)
 水平保持方式 ジンバル方式

本装置では、あらかじめ陸上の定点に主局、従局を設置し、その電波を受信して専用チャート図でのライン数を読むことにより船の位置を求める。

なお、“うずしお”の一般配置図を図2-1、図2-2に示す。

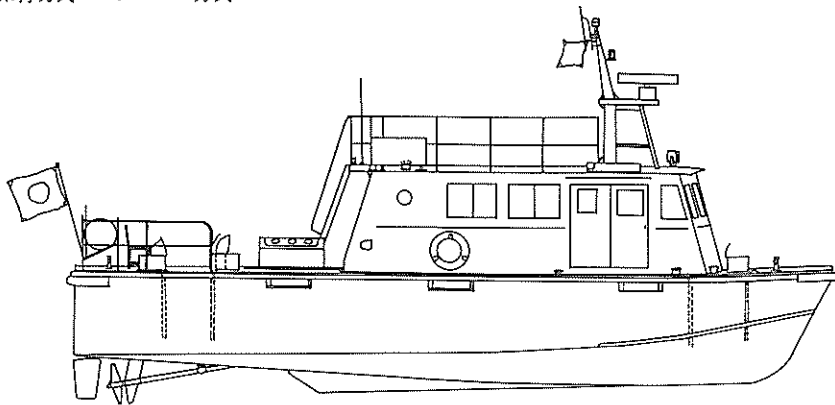


図2-1 うずしお一般配置図

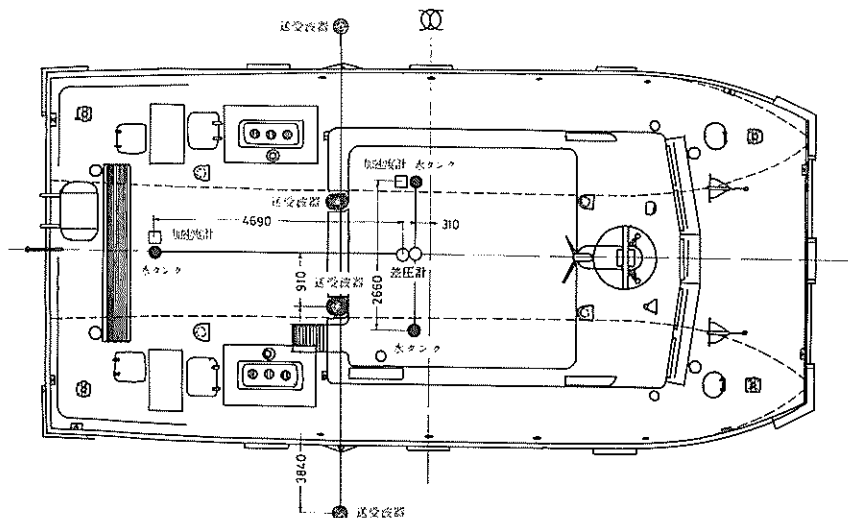


図2-2 うずしお一般配置図および測定位置

3. 試験目的および試験条件

3.1 試験目的および試験方法

本試験の目的は、波浪中を航走する双胴型測量船の船体動揺を測定し、船体動揺と船速、波浪の関係をは握すると同時に、船体動揺による測量精度、乗組員の作業性などに与える影響を検討することである。

試験はエンジン回転数600~1950rpmまでのうち船速を変えるために7種を選び、試験中は回転数を一定に保ち、おのおの往復1回ずつ行なった。

測定項目は、前回の試験と同様であるが、横揺れ角、縦揺れ角のほかに、今回は横揺れ加速度、縦揺れ加速度をつけ加えた。

なお横揺れ角、縦揺れ角の測定には差圧式傾斜計を用い、加速度の測定にはひずみゲージ型加速度計(最大2G)を用いた。また波高の測定には、現地の超音波式波高計が使用不能であったため、当研究室で考案した差圧型波高計をフロート付きの竹ざおに取り付け水中に固定して、記録された静圧から波高を算出した。それらの配置を図2-2に示す。

3.2 試験海域および気象条件

試験海域は、第三港湾建設局高松港工事務所坂出浚渫工場より約13kmの多度津港沖の海域で図3-1に示す。

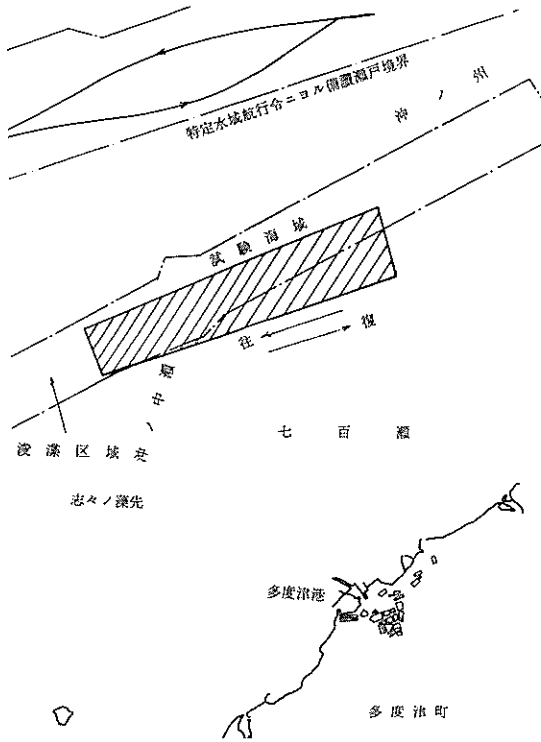


図3-1 試験海域

波浪条件は、午前、午後おのおの1回ずつ試験船からフロートに固定した波高計を写真3-1の要領で海中に投入し、波高を測定した。測定中の様子を写真3-2に示す。

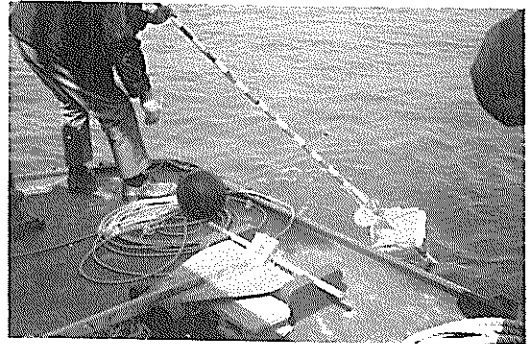


写真3-1 波高計投入状況

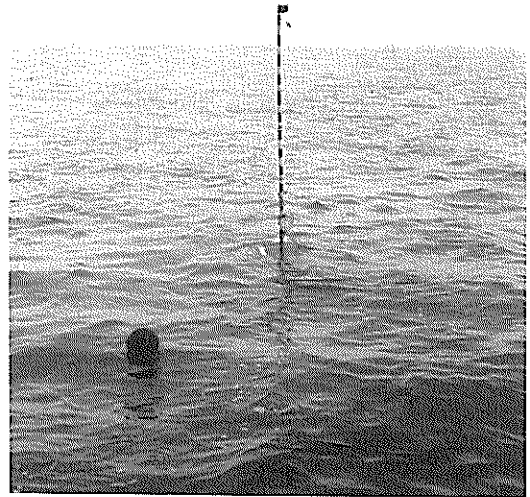


写真3-2 波高測定状況

潮流速度は、フロートを船首より海面に投下し、船尾までの通過時間をストップウォッチで測定して算出した。

なお、得られた実際のデータは潮流の影響を受けたことによりフロートが上下変動し、低周波成分を含んだものであった。そこで得られたデータを一度フーリエ変換して周波数スペクトルを求め、2月26日AMで0.08Hz、PMで0.15Hz、2月27日AMで0.05Hz、PMで0.24Hzと波形を損なわない程度までの低周波成分をカットした後、フーリエ逆変換して修正を加えた。なお、この場合、得られた同時データを調べてみると、横揺れ、縦揺れのデータには低周波成分は含まれておらず、このように波の低周波成分をカットして修正してもさしつかえないと考えられる。

図3-2から図3-9まで波高の修正前、修正後のデータを示す。これらの図から明らかのように、じゅうぶん

“修正”という目的は達せられたと思われるので、以後は修正後のデータを用いることにした。詳細については付録を参照されたい。

表3-1に試験当日の潮流速度、平均波高、平均周期を示す。

表3-1 海象条件

日	時	潮流 (kt)	平均波高 (cm)	平均周期 (sec)
2月26日	11:00	零	6.74	2.49
	13:20	1.80	6.10	2.03
2月27日	11:30	0.16	9.08	2.81
	13:00	1.70	7.44	2.66

4. 試験結果

4.1 船速

船速はエンジン回転数を一定として3分間航走し、そのとき得られたHiFixの測定データから専用チャート図にプロットし、その距離と縮尺から平均船速として算出した。

測定結果を表4-1に示す。図4-1はエンジン回転数に対して船速をプロットしたものである。

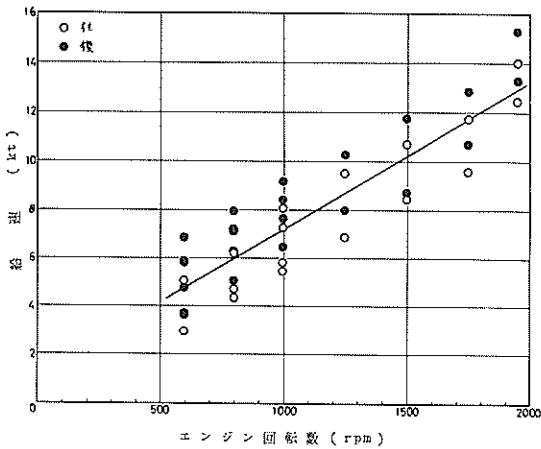


図4-1 エンジン回転数と船速の関係

表4-1 エンジン回転数と船速

日付	時間	方向	エンジン回転数	速力(kt)
2/26	午前	往	600	5.08
"	"	復	〃	4.74
"	"	往	800	6.26
"	"	復	〃	6.29
"	"	往	1000	7.28
"	"	復	〃	7.66
"	午後	往	600	3.70
"	"	復	〃	5.82
"	"	往	800	4.72
"	"	復	〃	7.13
"	"	往	1000	5.81
"	"	復	〃	8.42
2/27	午前	往	600	5.89
"	"	復	〃	3.62
"	"	往	800	7.16
"	"	復	〃	5.05
"	"	往	1000	8.08
"	"	復	〃	6.46
"	"	往	1250	9.51
"	"	復	〃	8.00
"	"	往	1500	10.71
"	"	復	〃	8.76
"	"	往	1750	11.73
"	"	復	〃	10.71
"	"	往	1950	14.03
"	"	復	〃	13.30
"	午後	往	600	2.91
"	"	復	〃	6.85
"	"	往	800	4.35
"	"	復	〃	7.93
"	"	往	1000	5.44
"	"	復	〃	9.18
"	"	往	1250	6.87
"	"	復	〃	10.30
"	"	往	1500	8.49
"	"	復	〃	11.78
"	"	往	1750	9.61
"	"	復	〃	12.83
"	"	往	1950	12.43
"	"	復	〃	15.29

エンジン回転数に対して一応正比例関係を保っているが、同一回転数に対して3~4ktのばらつきを示している。これは試験流域が瀬戸内海であり、表3-1に示したように潮流の変化が激しいことから、往復航走において潮流速度分だけエンジン定格速度に加減されるなどの影響を受けたものと考えられる。

4.2 横揺れ

各船速において、おのおの3分間の測定データにより代表的と思われる約1分間のデータを選び出して検討した。なお横揺れ角は水平面からの傾斜角を表わす。各船速における代表的と思われる横揺れの様子を図4-2より図4-15に示す。図中プラス側は左舷の上がった状態を表わす。1500rpm, 11Ktまでは横揺れの様子にあまりに大きな変化はなくビートの存在が認められる。しかし1500rpm, 11Ktを越えるところから高周波成分を含んだ波形となり、またビートも消滅していきランダムな変動になる。

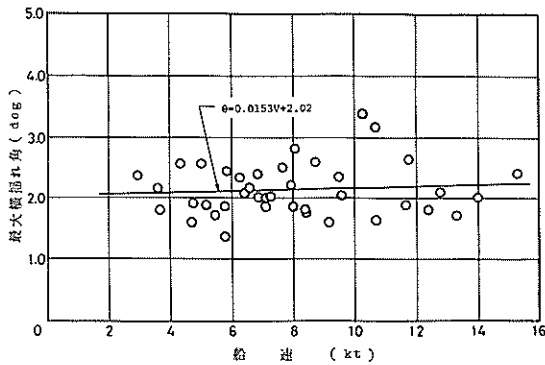


図4-16 最大横揺れ角

図4-16は最大横揺れ角を船速に対してプロットしたものである。前2回の試験では船速の増加につれて揺れ角は減少したのに比べ、今回の試験では船速とともに揺れ角はわずかながら上昇の傾向を示し、そのばらつきは前2回の試験と比べて小さく、船速に対するばらつき傾向に差異は見受けられない。また絶対値も2度前後に集中しており、一般に小さい。通常、船速の増加とともに航走抵抗が増加しまた波の見かけ周波数も高くなることから、船速は波の増加とともに揺れがたくなるといわれている⁵⁾にもかかわらず、このような結果を示したのは、試験時の波浪状況がきわめて静穏であったことに関係していると思われる。最小自乗法による直線近似をしてみると図中の実線となり、 $\theta = 0.0153V + 2.02$ の関係が得られる。

平均横揺れ角を船速に対してプロットしたものを図4-17に示す。最小自乗法による直線近似は図中の実線であり、 $\theta = -0.00942V + 0.917$ の関係が得られる。最大横揺れ角とはいくぶん異なり、船速の増加につれて減少の傾向を示し各船速に対するばらつきは小さい。しかしばらつきの傾向は最大横揺れ角の場合と同様である。最大横揺れ角が平均横揺れ角と比べ、船速に対していくぶん異なった傾向を示すことについてつぎのように考えられる。最大横揺れ角は3分間の測定データの中から1分間のデータを選んだ

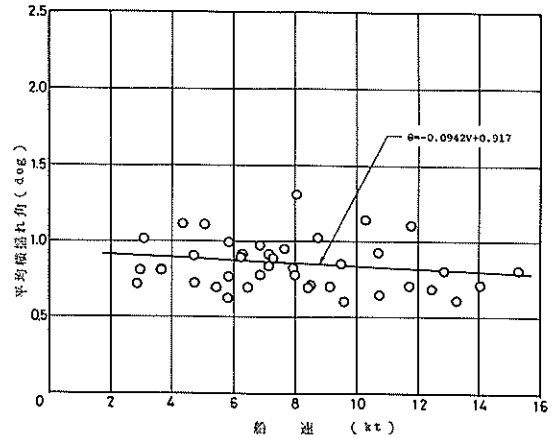


図4-17 平均横揺れ角

うちの1つの値であるのに対し、平均横揺れ角はその選ばれた1分間のデータのうちのいくつかを平均したものであることから、出現確率の重みが異なることによると考えられる。

今回の試験では最大横揺れ角、平均横揺れ角のいずれも船速に対する勾配は前回の試験と比べて小さくなっている。またばらつきにおいては前回の試験と異なり、今回の試験では最大横揺れ角、平均横揺れ角いずれも小さくなっている。

つぎに、船体の波浪による強制動揺に対する安定性を調べるため、船速に対する周波数の変化を調べた。

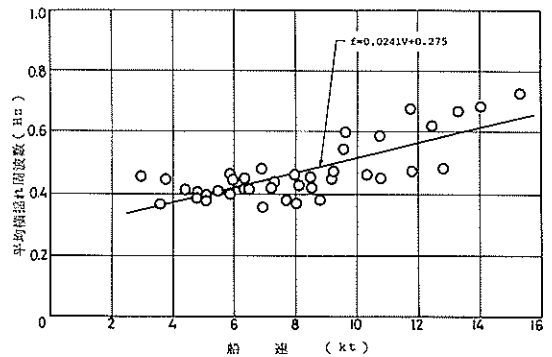


図4-18 平均横揺れ周波数

各船速ごとの横揺れ周波数を図4-18に示す。9kt付近までは船速に対しほぼ一定であるが、それ以後は船速の増加とともに周波数も増加する。一次直線で近似すれば $f = 0.0241V + 0.275$ が得られる。

船体動揺を波による強制動揺とし、角速度に比例する粘性減衰のある線型動揺と仮定すれば、船体固有周波数を境として、周波数増加に対する揺れ角の勾配はプラス側から

マイナス側に反転していくのが一般的な応答である。

したがってみかけ周波数が増加していくということは固有周波数より大の範囲では揺れがたくなることを意味し、固有周波数より小の範囲では揺れやすくなることを意味する。

今回の試験では船速の増加にともなって周波数が増加すること、ならびに平均横揺れ角がわずかながら減少することから横揺れ固有周波数を越えて試験したものと思われる。

4.3 縦揺れ

横揺れと同様1分間のデータを図4-2より図4-15までに示す。図中のプラス側は、各船速に対するトリム角より船首の上がった状態を表わす。すなわちここではトリム角の影響を考慮していない。

低速域では横揺れ周期よりも縦揺れ周期の方が小さいが徐々に船速の増加とともに横揺れの周期が小さくなり高速では逆転するようになる。図4-10以下に見られるように、縦揺れにおいては高速でも波形はくずれず高周波成分は増加しない。また最大横揺れ角、すなわちピーク値を見ると、縦揺れ角が横揺れ角よりも大きい値を示し、ビートが顕著に見かけられる場合に大きな値を示す傾向にある。

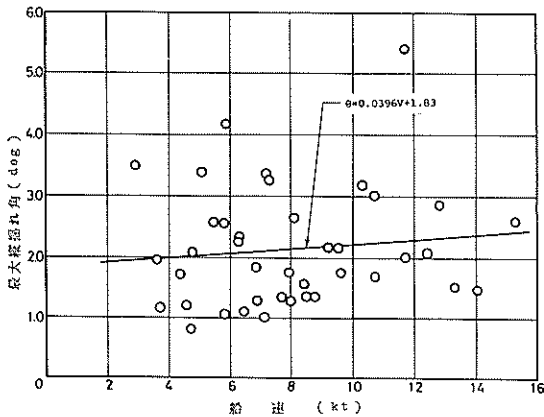


図4-19 最大縦揺れ角

最大縦揺れ角を船速に対してプロットしたものを図4-19に示す。最大横揺れ角と比べてばらつきは大きい、船速の増加に対する傾向には差異は見られない。11.8kt 1500rpmで最大5.4度を示す。ばらつきの大きいことについてはつぎのように考えられる。図4-36から図4-39までの波の周波数スペクトル、図4-22から図4-35までの動揺周波数スペクトルを見るとわかるように、波のピーク周波数と縦揺れのピーク周波数がきわめて近いことから、同調点近傍の増幅作用による影響が、縦揺れの場合には横揺れよりも顕著であったためと考えられる。最小自乗法

で直線近似をすれば、 $\theta = 0.0396V + 1.03$ となり図中の実線で表わされる。

平均縦揺れ角を船速に対してプロットしたものを図4-20に示す。最大横揺れ角とほぼ同様の傾向を示し、船速

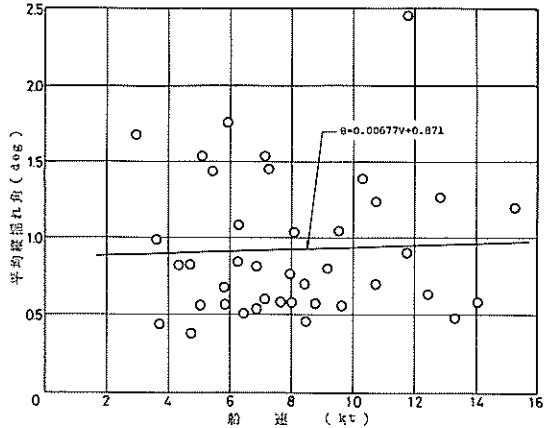


図4-20 平均縦揺れ角

に対する変化はほとんど一定と考えられる。最小自乗法による直線近似は $\theta = 0.00677V + 0.871$ となり図中の実線で表わされる。縦揺れ角は横揺れ角と比べて、船速に対するばらつきは大きいものの、船速に対するばらつきや絶対値の変化においてはいずれもほぼ一定と考えられ、両者間に顕著な差は見られない。つぎに横揺れと同様、船速の変化に対する縦揺れ安定性を調べるため、船速と周波数との関係を調べた。

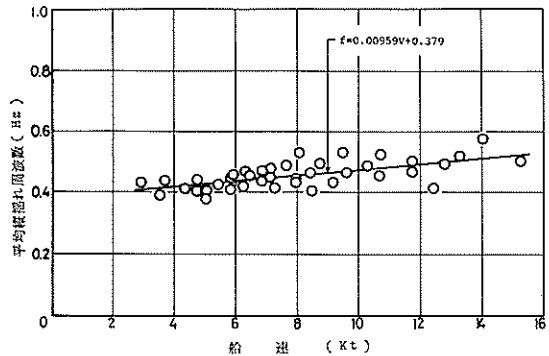


図4-21 平均縦揺れ周波数

平均縦揺れ周波数の船速に対する変化を図4-21に示す。横揺れに比べて船速に対する変化が少なく、0.4~0.6Hzとほぼ一定である。横揺れの場合と異なり9kt付近までは微増の傾向を示すが、それ以後ではばらつきは大きくなるものの次第に鈍化しほぼ一定となる。一次直線で近

似すれば $f = 0.00959V + 0.379$ となり 図中の実線で示される。

今回の試験では縦揺れ周波数の船速に対する変化がわずかながら高くなること、ならびに平均縦揺れ角の船速に対する勾配が正であることから考え、縦揺れでは固有周波数をまだ越えていない範囲で試験したと思われる。

しかしながら平均縦揺れ角の船速に対する勾配がきわめて小さいこと、ばらつきが大きいことから、まだ断定するにはふじゅうぶんとも考えられる。今後なんらかの方法により縦揺れ固有周波数の推定が必要と思われる。

4.4 周波数スペクトル

船体の波浪による強制動揺中における安定性を検討するため船体の横揺れ、縦揺れ、および波の動揺データをフーリエ変換して周波数スペクトルを求め、周波数成分を調べた。

1) 船体動揺

船体動揺の周波数スペクトルを図4-22から図4-35に示す。船速と横揺れの周波数との関係を示した図4-18を見ればわかるように、船速の増加につれて横揺れの場合は高い周波数成分がふえてくること、スペクトルを見ることによっても船速の増加につれて高い周波数成分がふえてくることでよく確認できる。また高船速域では二次ピークが現われる。一方、縦揺れの場合は船速の増加に対して周波数の変化はさほどではなく、したがってスペクトルもあまり変わらない。なお横揺れ、縦揺れいずれもピーク周波数は船速に関係なくほぼ一定である。

2) 波

波の周波数スペクトルを図4-36から図4-39に示す。ほぼ1Hzまでの低周波成分が多く、ピーク位置も0.4~0.5 Hzの間と一定である。またこのピーク位置は縦揺れの場合のピーク位置ときわめて近いことから、最大揺れ角において今回の試験が前回の試験と異なり横揺れよりも縦揺れの方が大きかったことは、縦揺れ周波数が波の同調周波数近傍であったことによる増幅作用の影響のためと考えられる。

以上船体動揺と波の周波数スペクトルから船体動揺の安定性を考えると、波のピーク周波数と縦揺れの周波数が近いということは、それだけ大きな縦揺れが生じやすいことになり、船体の安定性はそれだけ損なわれることになる。したがって波のピーク周波数と離れた周波数をとるような船速をとればよいが、図4-21を見ればわかるように縦揺れ周波数は全船速にわたってあまり変化がないことから、航走方向を変えることなどにより、

波の同調周波数近傍の縦揺れ周波数を避けるなどの対策が必要であろう。

5. 動揺による測量誤差

5.1 音響測深機送受波器の変動

音響測深機の送受波器取付位置は、船体動揺により上下面を基準面として上下変動する。“うずしお”の送受波器支持方式はジンバル方式であるため、音波は船体動揺とは無関係に鉛直方向に発射されるので取付位置の上下変動が直接測深誤差に含まれる。

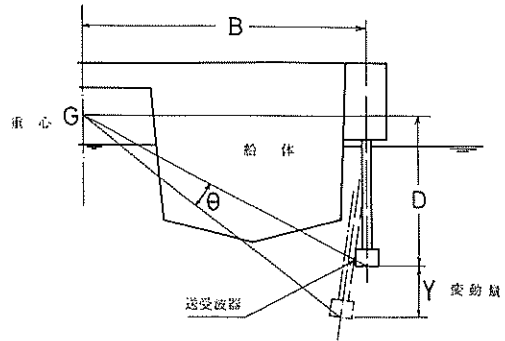


図5-1 変動量計算モデル

図5-1に示されるような変動量Hは、重心まわりの回転運動として次式で算出される。

$$Y = \pm B \sin \theta + D(1 - \cos \theta)$$

送受波器は船央より船尾側 1.60 m のところに横一直線上に4素子取り付けられている。そこで動揺の影響をもっとも受けやすい舷側の素子の変動について横揺れ、縦揺れの最大値、平均値を船速に対してプロットしたものを図5

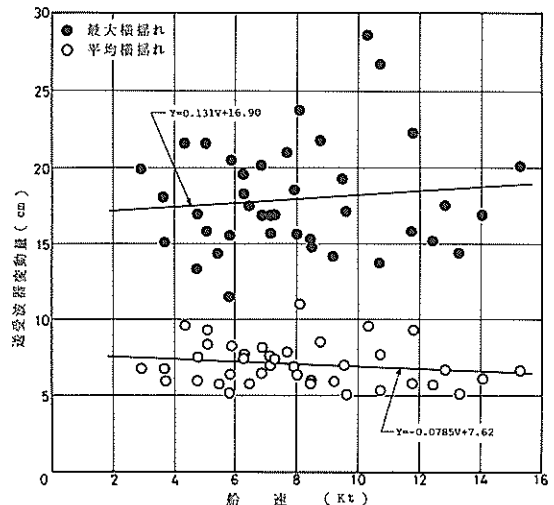


図5-2 動揺による送受波器変動量

一2、図5-3に示す。図中の実線は最小自乗法で求めた直線近似を表わす。船速に対しては、わずかに増加の傾向

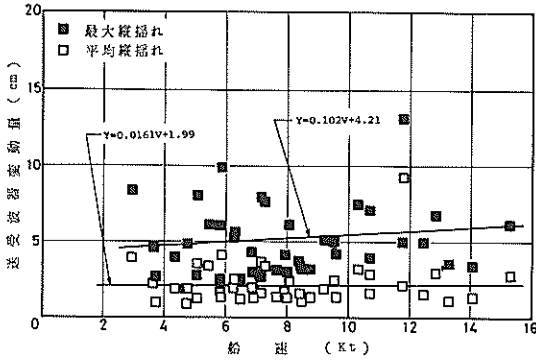


図5-3 動揺による送受波器変動量

を示している。平均横揺れについては全船速域で10cm以下である。船速10.3kt、1250rpmにおける最大横揺れ角3.40度が横揺れによる変動が最大の場合であり、28.6cmの変動を生じる。縦揺れでは図2-1、図2-2の一般配置図を見ればわかるように4素子すべて同一であり、船速11.8kt、1500rpmで13.1cmを示す以外は、全船速にわたって10cm以下である。

2-1、図2-2の一般配置図を見ればわかるように4素子すべて同一であり、12kt付近で800rpm 11.0cmを示す以外は、全船速にわたって10cm以下である。

- いま ΔX : 測深誤差
- Δx_1 : 測深機誤差
- Δx_2 : 送受波器変動量

とすれば $|\Delta X| = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$ で表わされる。したがって深度Lにおける精度(相対誤差)はそれぞれ

$$\left| \frac{\Delta X}{L} \right| = \left| \frac{\Delta x_1}{L} \right| + \left| \frac{\Delta x_2}{L} \right| \text{ で表わされる。}$$

いまこの測定の精度を機器の精度と同等までに高めるためには $\left| \frac{\Delta x_1}{L} \right| = \left| \frac{\Delta x_2}{L} \right|$ とする必要がある。すなわち $\Delta x_1 = \pm 7cm$ であるので $\Delta x_2 = \pm 7cm$ とする必要がある。しかし送受波器の変動量を示した図5-2から図5-3でわかるように、これら横揺れと縦揺れが同時に重なる場合は、これらの和となり測深機の精度(±7cm)を越えてしまう。しかしここでは一番外側の素子について考えており、船央付近の素子については、船央から送受波器までの距離の比から、たとえ最大の変動の場合でも5.49cmと19.2%に減少することになり、船央付近の素子を使えば、送受波器変動量はじゅうぶん音響測深機の測深精度の範囲内に入ると思われる。

5.2 船位測定の誤差

船体動揺によってアンテナ位置が重心のまわりに回転し、船位測定誤差が生じるのは送受波器と同様である。

その結果を図5-4、図5-5に示す。図中の実線は最小自乗法による直線近似を表わす。

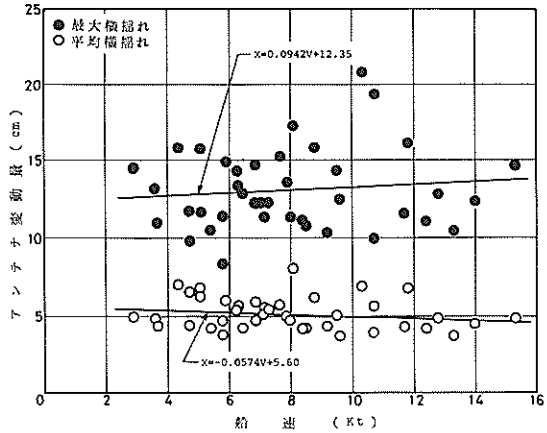


図5-4 動揺によるアンテナ変動量

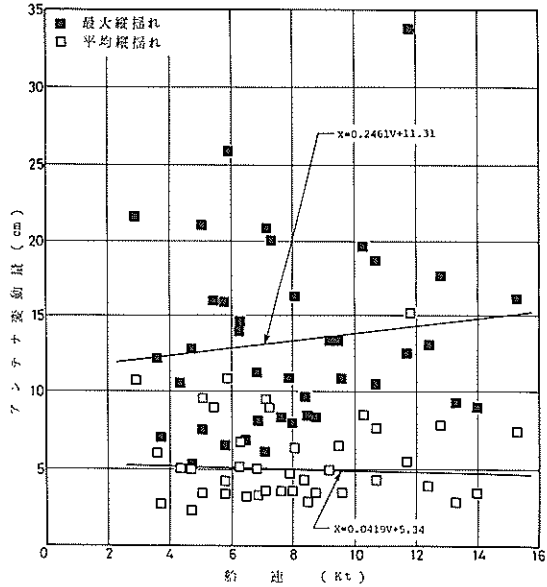


図5-5 動揺によるアンテナ変動量

一般に横揺れよりも縦揺れによる変動が大きいのは、アンテナ取付位置から重心までの距離の差が横揺れよりも縦揺れの方が大きいことによる。しかし平均揺れについては横揺れ、縦揺れいずれにおいてもほぼ10cm以下となり、船位測定機器の精度±80cmの範囲にじゅうぶん入ると思われる。

なお船位測定の見誤差は、縦揺れによる変動が大きく、縦揺れ角の最大の場合で 11.8 kt, 1500 rpm で最大 33.8 cm の誤差を生じることがある。

6. 船体動揺が乗組員の作業性に与える影響

船体に大きな影響があると乗組員はそのため大きな不快感を覚え、作業性に著しい影響をおよぼす。しかしこの感覚なるものはかなり個人差のあるものであり、不定かつ複雑な感覚を基準として決めること自体がはなはだ不明瞭になりやすい。しかし多数の統一された測定調査資料により整理すれば比較的一般性のある船体振動に対する感覚レベルが求められる。

従来の研究によれば、振動数のかかなり広い範囲において感覚レベルが同一加速度で表わされることから、少なくともその範囲では感覚に対する尺度として振動加速度をとりあげることができる。これらについての研究には石川島造船所での船体振動加速度の直接計測とそれに対する感覚調査²⁾造船協会船体構造関東地区部会による水平、垂直方向に分けての船体振動許容限界への提案³⁾などがある。

今回の試験では、このような船体振動が乗組員の船上作業性におよぼす影響を検討するため、横揺れ加速度、縦揺れ加速度を測定した。

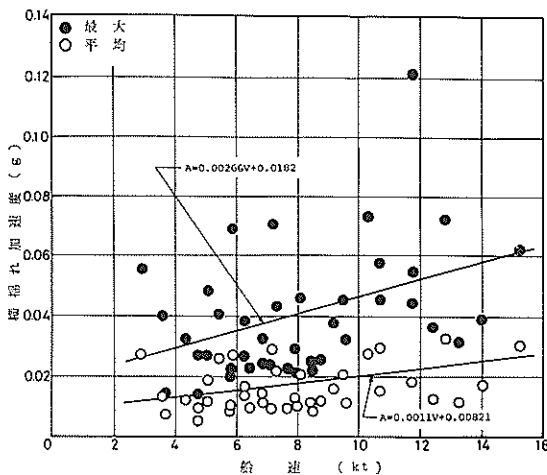


図 6-1 横揺れ加速度

横揺れ加速度を船速に対してプロットしたものを図 6-1 に示す。船速の増加とともに加速度は増加の傾向を示し、11.8 kt, 1500 rpm で最大 0.119 g の加速度を示す。図中の実線は最小自乗法で直線近似したものである。

つぎに縦揺れ加速度を船速に対してプロットしたものを図 6-2 に示す。横揺れの場合と同様、船速の増加とともに

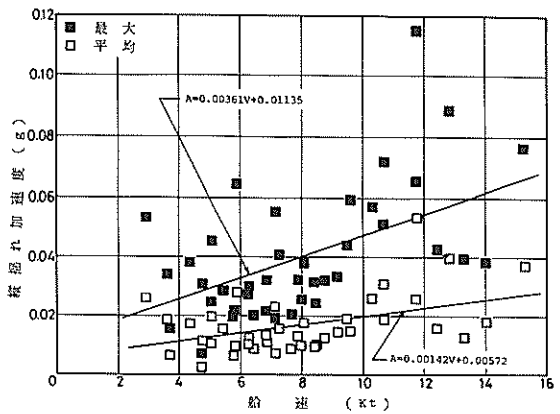


図 6-2 縦揺れ加速度

増加の傾向を示し、船速に対するばらつき、絶対値とも横揺れの場合ときわめて類似している。船速 11.8 kt で最大 0.113 g の縦揺れ加速度を示す。

これは得られたデータを調べてみると、横揺れ加速度と縦揺れ角が最大を示した時とほとんど同時であった。

さらに図 6-1 に示す横揺れ加速度、図 4-10 に示す最大縦揺れ角とも比較してみると、とくに最大縦揺れ角が大きい場合に最大横揺れ加速度、最大縦揺れ角とも大きな値を示す傾向にあるのは興味深い。

縦揺れ角が大きい場合に高い加速度を示す傾向にあることについては、つぎのように考えられる。縦揺れの場合、船中央からの測定点までの距離が長いこと、また縦揺れの場合、船速に対する周波数変化は小さいので、もしも揺れ角が $\theta = a \sin \omega t$ で表わされるとすれば、周波数はほぼ一定として加速度は $\ddot{\theta} = -a \omega^2 \sin \omega t$ で表わされる。したがって θ は、最大振幅 a 、すなわち最大揺れ角に左右されることになり、大きな縦揺れをした場合は必然的に大きな加速度を示すことになると解釈される。

つぎに今回測定された周波数を見ると、図 4-18、図 4-21 に示されるように横揺れ、縦揺れいずれも 1.0 Hz 以下である。従来行なわれてきた振動加速度と周波数に対する感覚閾の研究では周波数において 1~10 Hz と高周波領域のものが大部分であり、今回の試験結果に見られるような 1.0 Hz 以下のものは、低周波もしくは超低周波と呼ばれており、これらについての研究はきわめて少ない。

したがって今後の研究に待たなければならない点が少ないが、現在のところもっとも信頼のおけると考えられる ISO/TC 108/SC 4 (U. K./Allen-1) 23/1975 によって提唱されているところの振動感覚閾に今回の試験結果をプロットしたものが図 6-3 である。なおこの図は垂直振動加速度についてだけ述べたものであるが、三輪

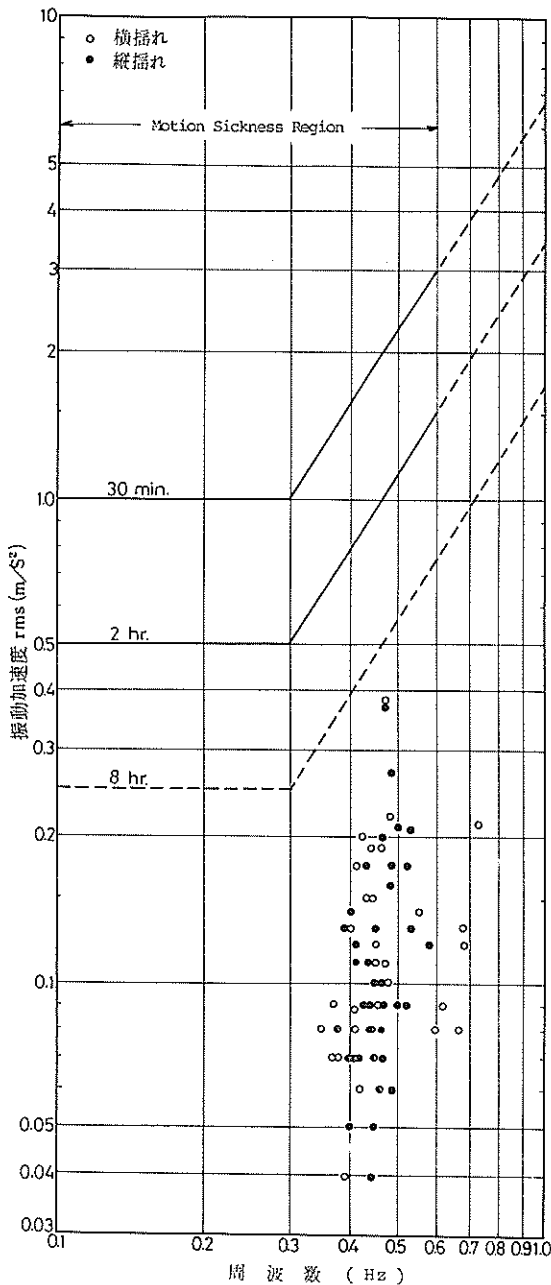


図6-3 Severe Discomfort Boundaries

らによれば⁸⁾水平加速度も垂直加速度もこのような低周波数の範囲では感覚レベルに差がないといわれており、水平加速度、垂直加速度をこのように一語に差別なくプロットしてもなんらさしつかえないと思われる。なおこの感覚関についてISOではつぎのように説明している。

図6-3において暴露時間30 min, 2hrの等感覚線が0.6~1.0Hzの間で破線となっているが、これはデータ不足

のため外挿したものである。また暴露時間8hrの等感覚線も破線となっているが、これは加速度Aと暴露時間tが $A^2 t = \text{const.}$ の関係にしたがうと考えられるところから、さらに暴露時間8hrまで仮定して求めたものである。なお暴露時間30 min, 2hr, 8hrの等感覚線はいずれもこの境界線において動揺病、もしくはそれに類似した兆候が、10%の発生率であることを意味するものである。順次加速度レベルが上がるにつれて動揺病発生率は増加していく。したがってこの境界線は90%をカバーしていることになる。またこの等感覚線は純然たる垂直加速度について示したものであり、ローリング、ピッチングなどの船体動揺に対しては25%ほど感覚レベルが下がることになる。なおこの境界線は動揺に対して素人である人に対して適用されるべきものであり、船上作業に熟練した女人の場合は感覚レベルが上昇することになる。またこのような動揺に対しては、視覚、におい、行動、食物の消化度あるいは性別、年齢などによっても種々の影響を受けることが知られているが、まだ結論づけられない点も少なくない。

さて以上の点を考慮しながら、今回の試験結果図6-3を見るといずれの測定点も仮定とはいえ暴露時8hrの等感覚線以下であることから、乗組員の船上作業性に対しては問題がないといえよう。ただし図6-1、図6-2に見られるように、船速に対する加速度は横揺れ、縦揺れとも絶対値に差異がなく、かつ船速の増加につれて増加傾向をとること、また図6-3に見られるように加速度の大なる程不快感が増すなどから、人間工学的には検討する必要がある。

とくに縦揺れの場合は、揺れ角がわずかであっても加速度としては大きくなるので、縦揺れの激しい場合は船速、方向などを変えるなどの対策が必要と思われる。

しかしながら、現状の作業は低速域(8kt以下)で実施されており、今回の試験のように平穏な海域であれば、船体動揺が乗組員の作業性に大きな影響を与えることは考えられない。

7. あとがき

以上、高松港において実施した監督測量船“うずしお”の船体動揺試験結果について述べてきた。

明確な結論を得るには、まだまだふじゅうぶんな試験点数と思われるが、今回の試験結果をまとめてみるとつぎのようである。

(1) 平均横揺れ角の大きさは船速に対してあまり変化はなく、ほぼ一定である。得られたデータはじゅうぶん直線近似できる。また直線近似に対する変動は縦揺れと比べて小さい。周波数は9kt付近までは0.4Hz前後で一定であるが、それ以後は増加の傾向が明らかである。

(2) 平均縦揺れ角、最大縦揺れ角の大きさは横揺れ動様船速に対する変化はみられないが、直線近似に対する変動は横揺れと比べて大きい。また最大揺れ角では、縦揺れの方が横揺れよりも大きい値を示し、最高11.8ktで5.4度を示すことがある。これは波と縦揺れのスペクトルピーク周波数がかなり近いことにより、同調点近傍で試験を行なった結果と考えられる。周波数は横揺れと異なり9kt付近までわずかに増加するもの、それ以後はほぼ0.5Hzと一定となってゆく。

(3) 加速度は横揺れ、縦揺れいずれも似たような傾向にあり船速とともに増加し、かつ全範囲にわたって絶対値もほぼ等しく、船速11.8ktで横揺れ、縦揺れ約0.119gの加速度を示す。なお縦揺れ角の大きいときは、大きな加速度を示す傾向にある。

(4) 音響測深機送受波器の位置変動量は、主として横揺れにより、一番外側の素子では10.3ktで最大28.6cmの変動を示すことがあるが、これは一番外側の素子の値であり、船中央付近の素子を用いれば5.49cmと19.2%に減少することから、測深機精度(±7cm)内にじゅうぶん入ると思われる。なお縦揺れでは一番外側の素子で10cm程度と、横揺れの1/2以下である。

(5) 動揺による船位測定は主として縦揺れにより11.8ktで最大33.8cmの誤差を生じることがある。しかし横揺れを含めた最大変動でも、測定精度±80cmに入っており、大部分の測定範囲では精度からみてじゅうぶんと考えられる。

(6) 乗組員の船上の作業性に対しては、今回の試験範囲ではほとんど問題はないと言える。

以上のように測深精度に与える要因としては横揺れによる影響が大きく、船位測定精度に与える要因としては縦揺れによる影響が大きい。いずれも今回の試験範囲では、精度内にじゅうぶん納まっており、問題ないと思われる。また船上の作業性に対しては加速度の影響が大きい。今回の試験範囲では問題ないと思われる。なお、この点については暴露時間をはじめ視覚、嗅覚、行動など種々の因子が複雑に影響をおよぼすと思われるが、くわしいデータがまだ存在しないことから今後検討の必要があろう。

以上、今回の試験結果から判断すると、“うずしお”は測量船として必要な性能を有していると考えられる。

(1975年12月10日受付)

謝 辞

今回の試験に対し、第三港湾建設局高松港工事事務所の関係者の方々には心よく御協力をいただき、ここに厚くお礼申し上げます。

またデータ処理にあたり、耐振構造研究室にはFFTのプログラムなどの御協力をいただき感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 麻山 和正ほか3名：監督測量船“くろしお”
動揺試験報告、
港湾技研資料№153
Mar. 1973
- 2) 藤井喜一郎ほか3名：監督測量船“すおう”
動揺試験報告、
港湾技研資料№167
Sept. 1973
- 3) 第16回港湾機械技術研究会資料
- 4) 元良 誠三：船体運動力学、共立出版、1967
- 5) 大串 雅信：理論船舶工学下巻、海文堂、1961
- 6) 造船設計部：船体振動に対する感覚とその調査、
石川島技報、14(44)、1957
- 7) 船体構造部関東地区部会：船体振動許容限界の提案、
造船会誌 №410、昭38.10
- 8) Yonekawa and Miwa: Ind. Health, 10, 63,
1972

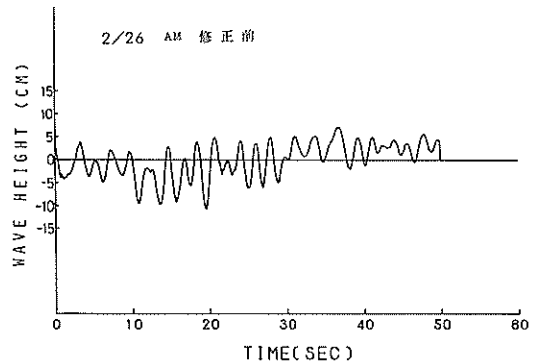


図3-2 波 高

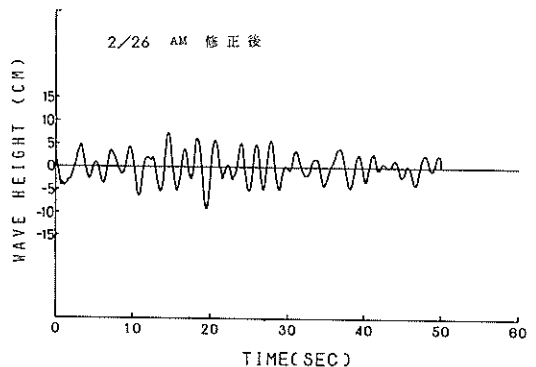


図3-3 波 高

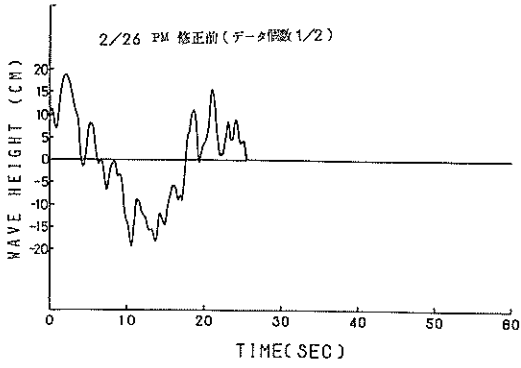


図3-4 波高

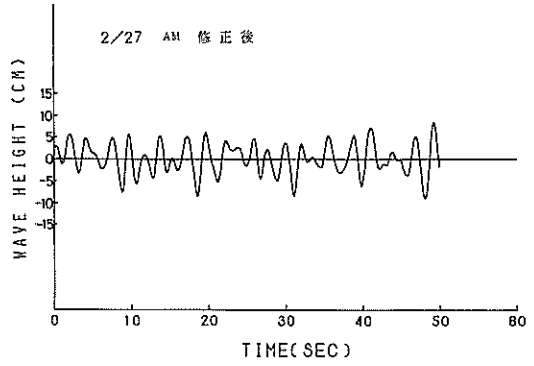


図3-7 波高

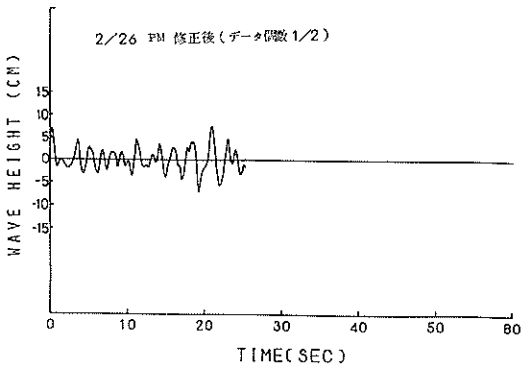


図3-5 波高

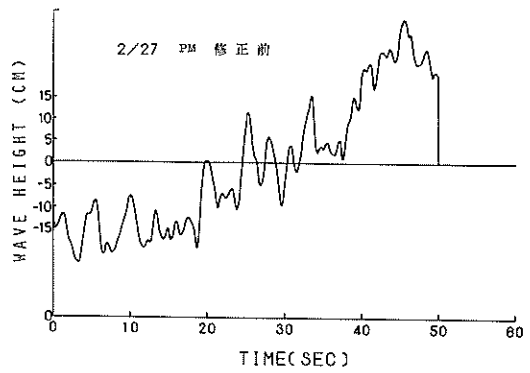


図3-8 波高

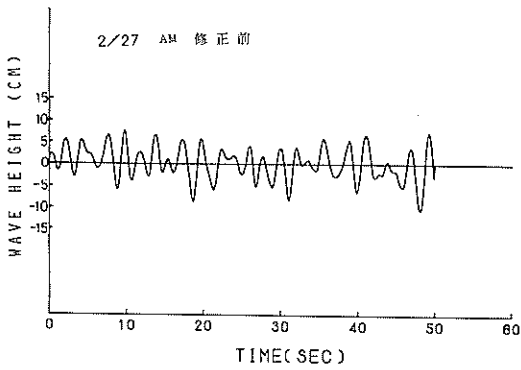


図3-6 波高

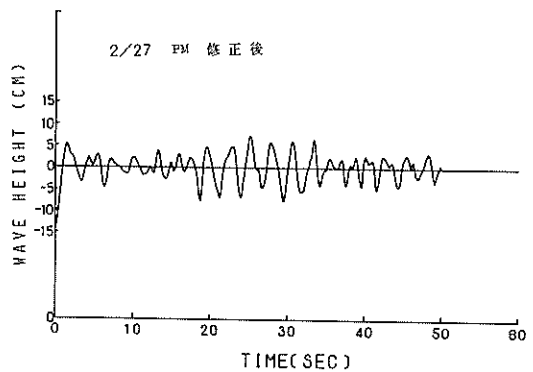


図3-9 波高

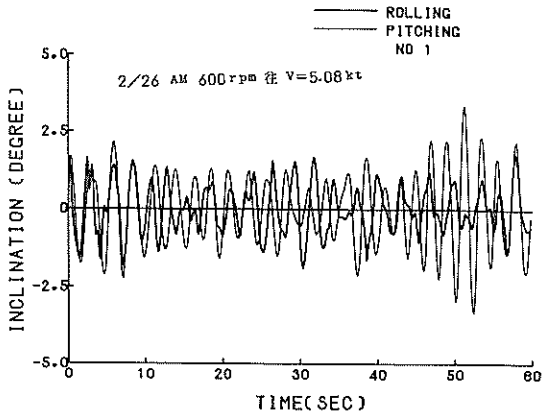


图 4 - 2 动 摇

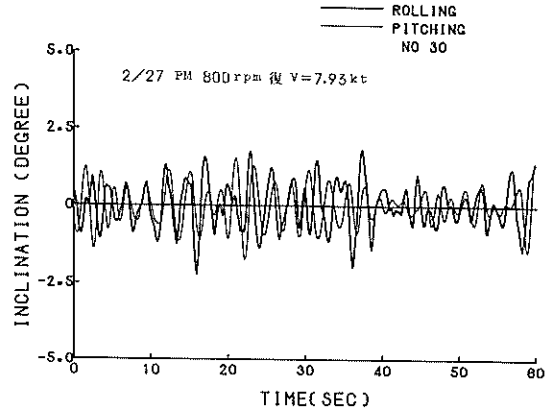


图 4 - 5 动 摇

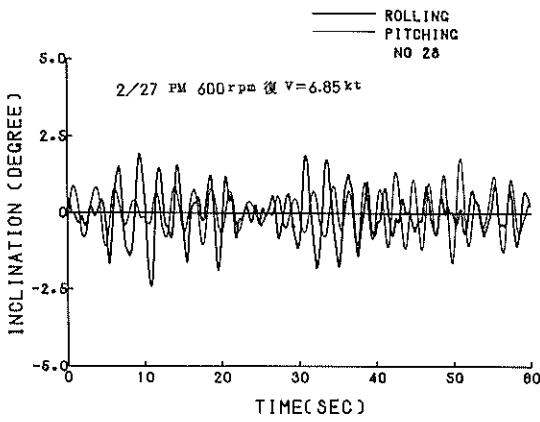


图 4 - 3 动 摇

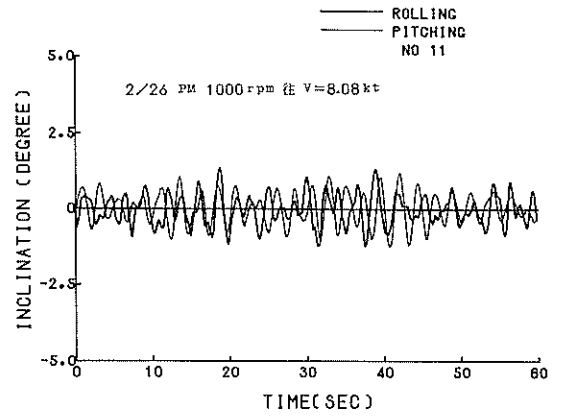


图 4 - 6 动 摇

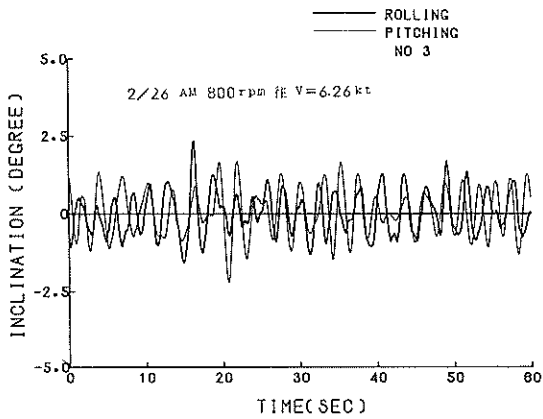


图 4 - 4 动 摇

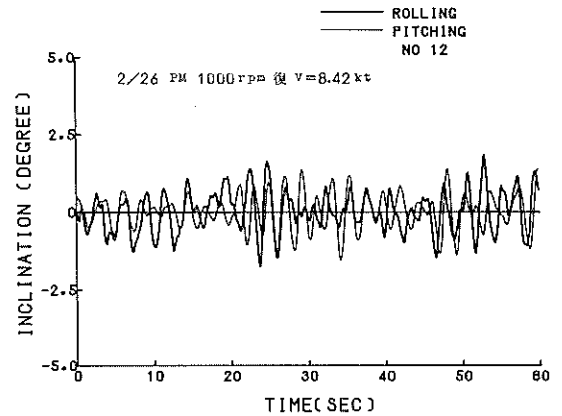


图 4 - 7 动 摇

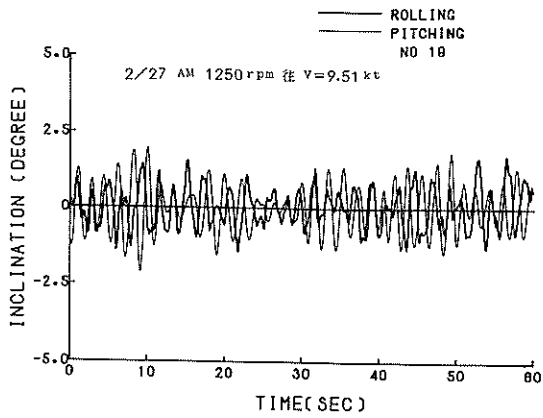


图 4-8 动 摇

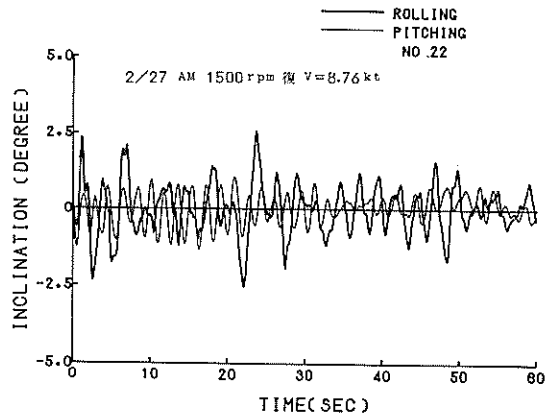


图 4-11 动 摇

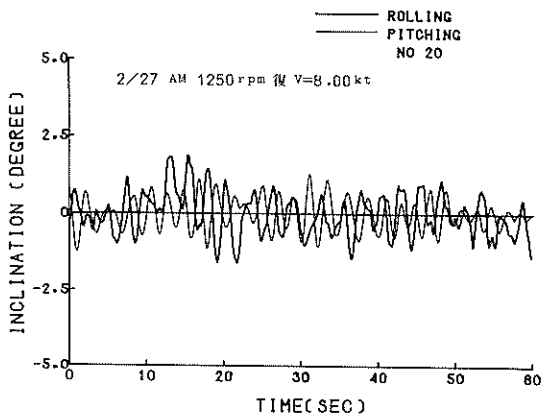


图 4-9 动 摇

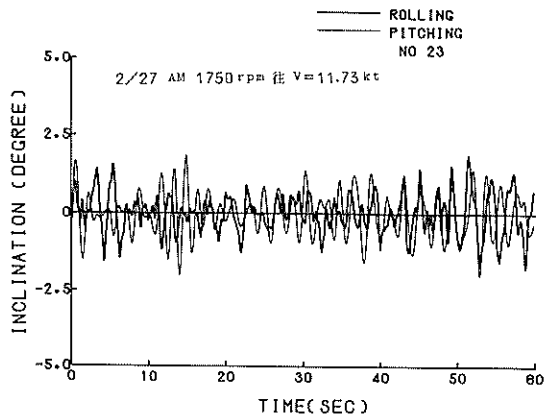


图 4-12 动 摇

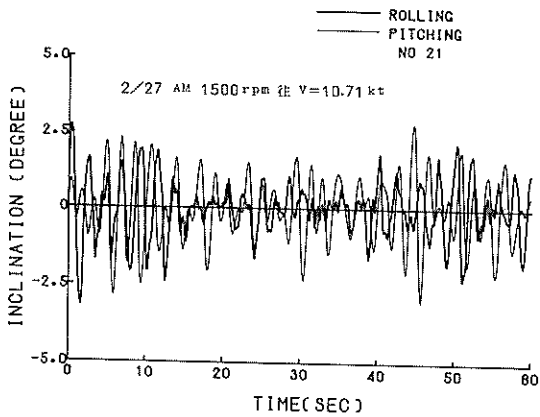


图 4-10 动 摇

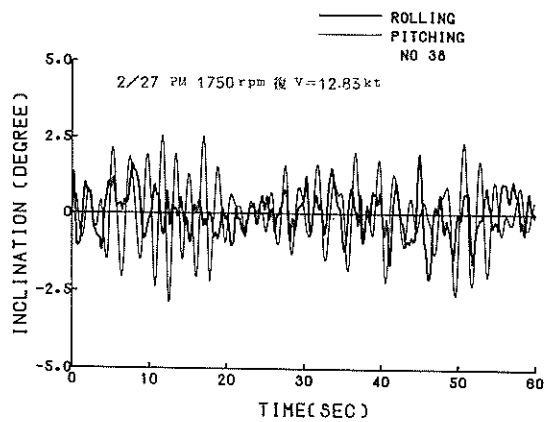


图 4-13 动 摇

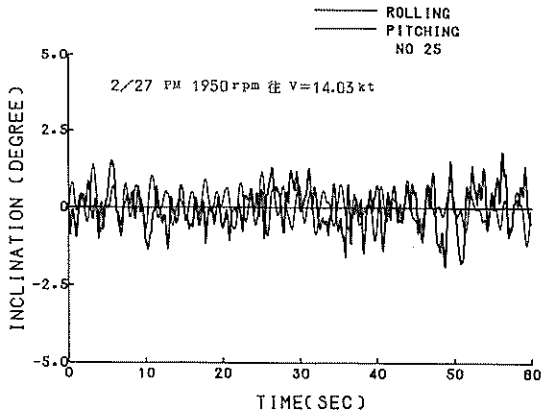


図 4-14 動 揺

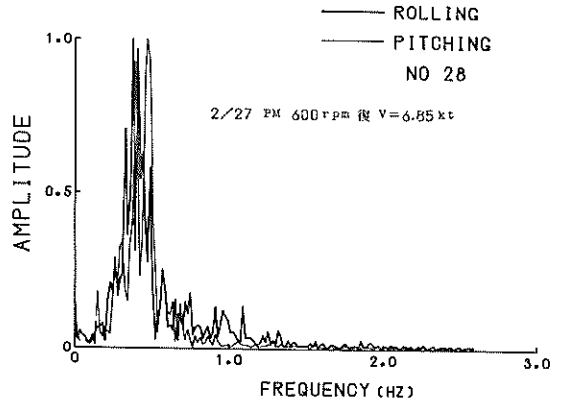


図 4-23 動揺の周波数スペクトル

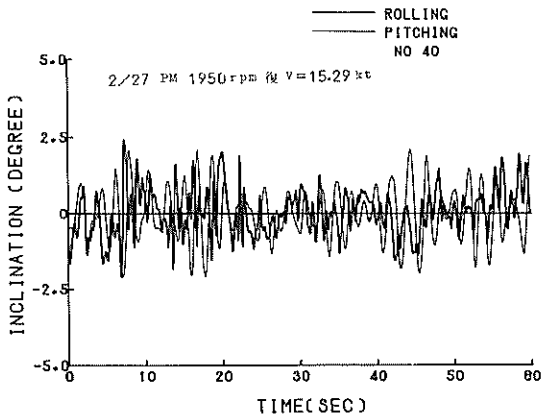


図 4-15 動 揺

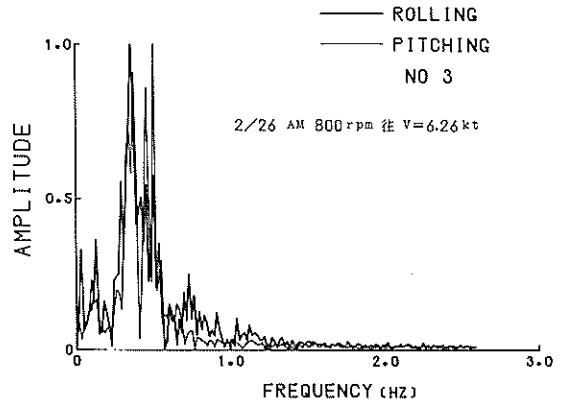


図 4-24 動揺の周波数スペクトル

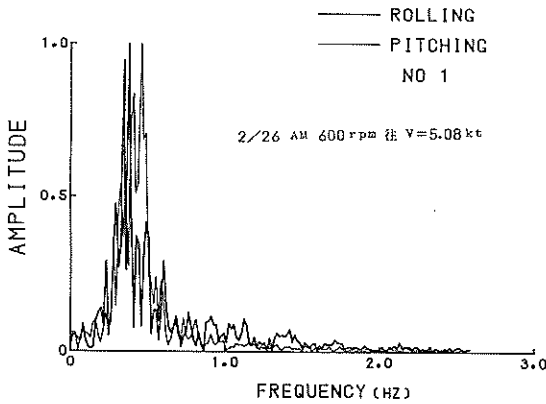


図 4-22 動揺の周波数スペクトル

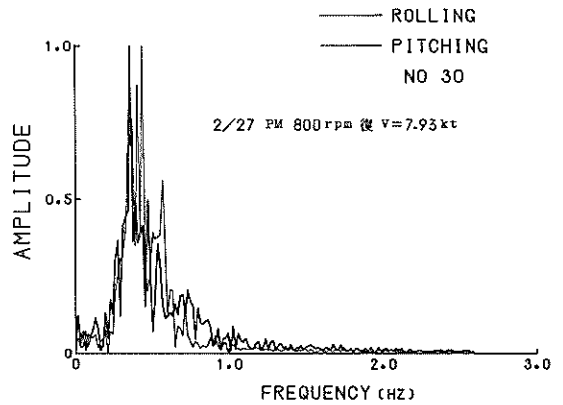


図 4-25 動揺の周波数スペクトル

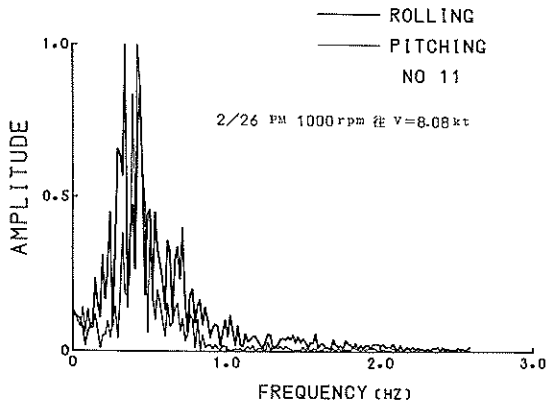


図 4-26 動揺の周波数スペクトル

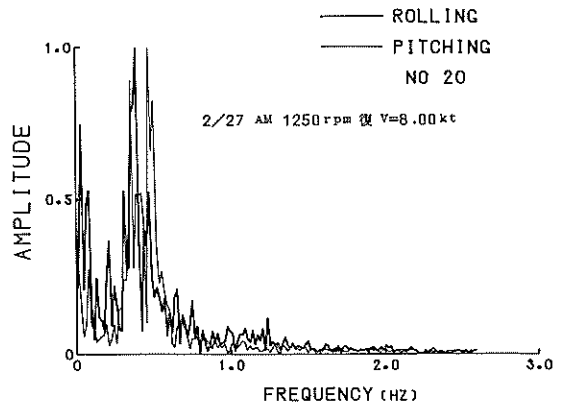


図 4-29 動揺の周波数スペクトル

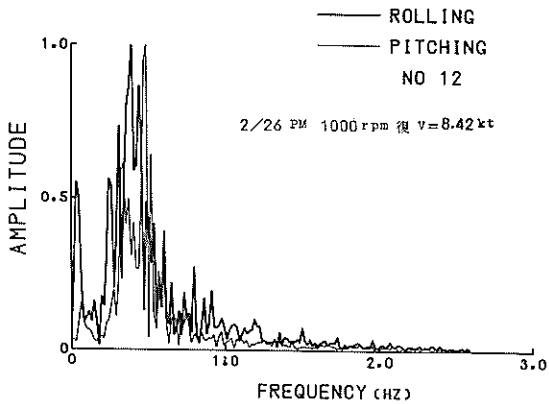


図 4-27 動揺の周波数スペクトル

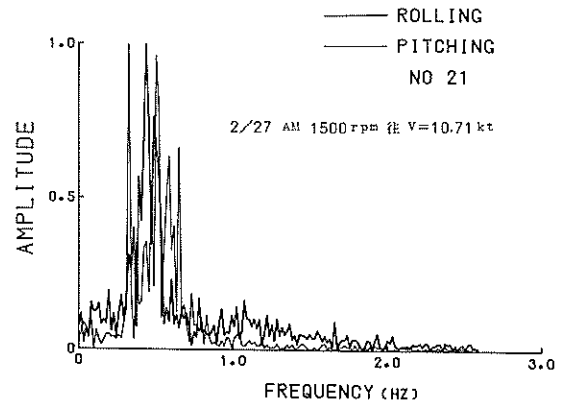


図 4-30 動揺の周波数スペクトル

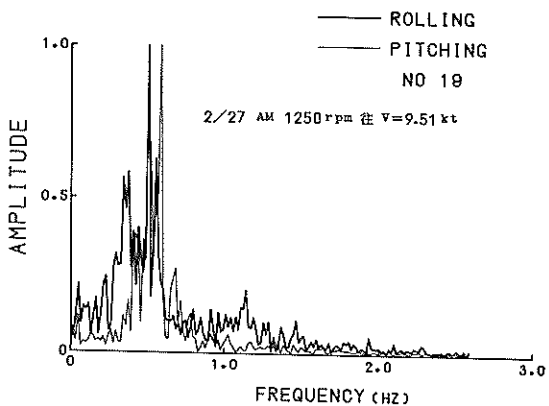


図 4-28 動揺の周波数スペクトル

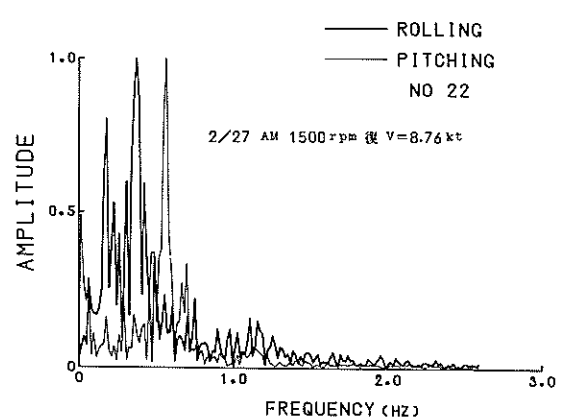


図 4-31 動揺の周波数スペクトル

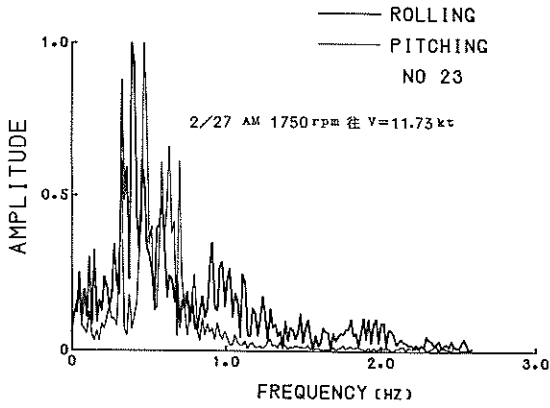


図 4-32 動揺の周波数スペクトル

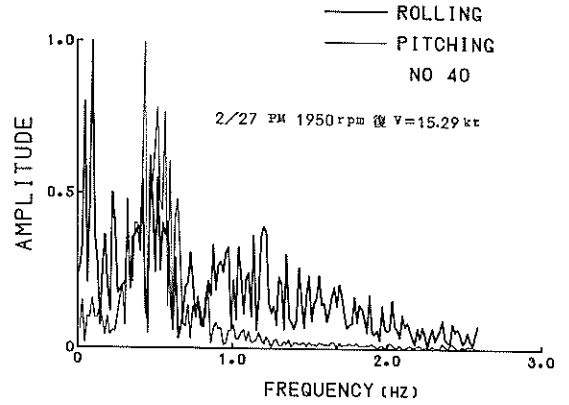


図 4-35 動揺の周波数スペクトル

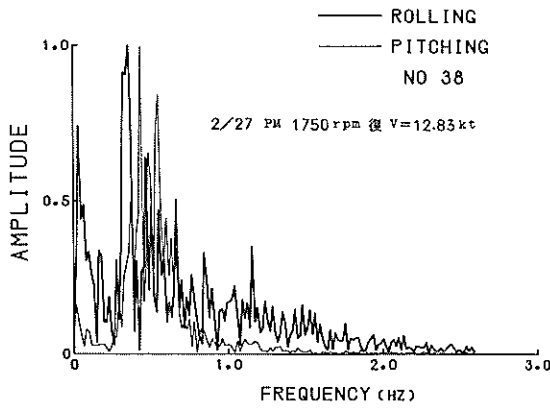


図 4-33 動揺の周波数スペクトル

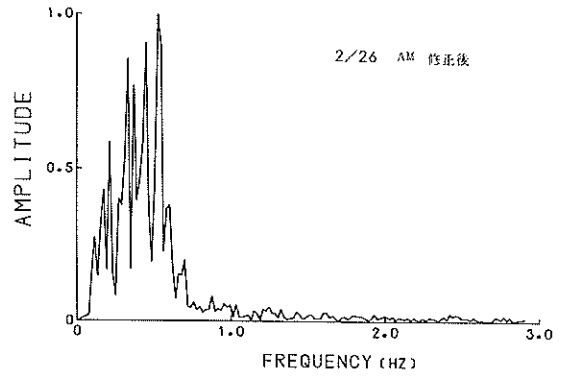


図 4-36 波の周波数スペクトル

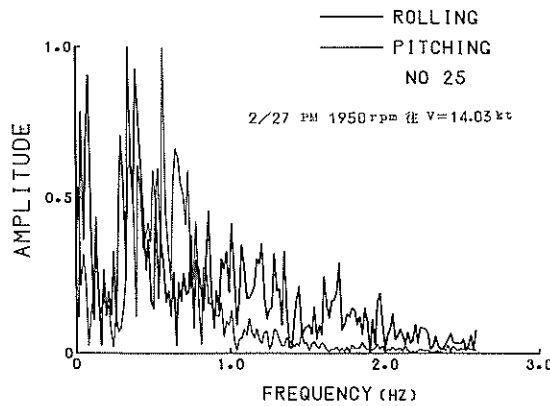


図 4-34 動揺の周波数スペクトル

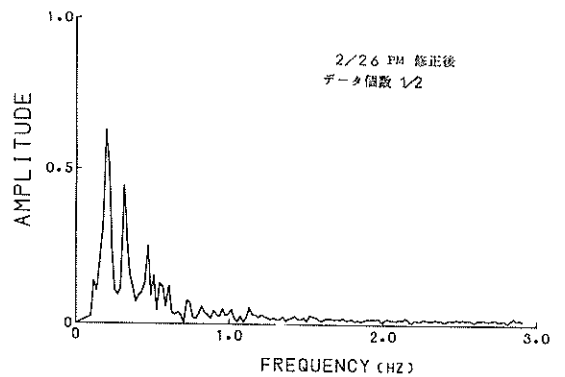


図 4-37 波の周波数スペクトル

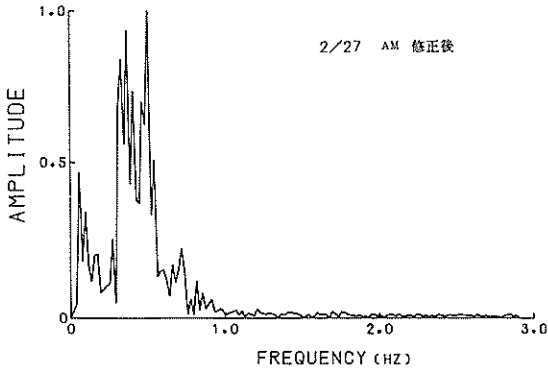


図 4-38 波の周波数スペクトル

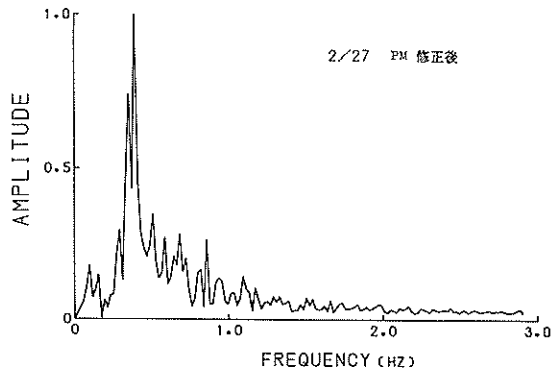


図 4-39 波の周波数スペクトル

記号表

- a : 最大振幅 (deg)
- A : 加速度 (g)
- B : 重心から一番外側の送受波器素子までの距離 (m)
- D : 一番外側の送受波器素子の重心からの深さ (m)
- f : 周波数 (Hz)
- G : 重心位置
- t : 時間 (sec)
- V : 船速 (kt)
- X : アンテナ変動量 (cm)
- Y : 送受波器変動量 (cm)
- ω : 角速度 (rad/sec)

付録 フーリエ変換によるデータの修正

実験室、特に現地実験において取得したデータ中には幾つかの誤差が含まれるのは避けられない。その除去には担当者の長年の経験から得られたいわゆるカンによって処理されているのが現状であろう。しかしながらランダムデータの場合など単に記録を眺めるだけではどのような誤差が入り込んでいるのかは見当を付けにくい。含まれる誤差としてはまず第一に測定系のドリフト（温度変化、機械的な変動による零点のドリフト）があげられる。今回我々が現地実験で経験したことは、波の測定に使用した、差圧計が潮流によって水中を上下し、それがデータ中に長周期の見掛けの波として入ってしまったことである。適当な修正方法がないため、当初困難を感じたが、沿岸波はある特徴を持った周波数スペクトルになることかから考えてこの潮流による見掛けのうねりを消去できることが可能である。それはデータをフーリエ変換し、長周期部分に現われる大きなピークを他のデータ、又は直線近似で置換して逆変換すれば修正されたデータがとまる。手続は非常に簡単でFFTプログラムを使用すれば短時間で終了する。これはFFTによるだけでなく、ハイパスフィルターを通してやるだけなので、電気的にも可能である。それでは具体的に手続きを説明する。

① フーリエ変換の定義と修正手続き

いずれの手続きにも述べられているようにフーリエ変換対の定義は次式となっている。

$$F(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \dots\dots\dots(1)$$

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\lambda) e^{j\omega t} d\lambda \dots\dots\dots(2)$$

$f(t)$ は測定で得られたデータで、 $F(\lambda)$ はそのフーリエ変換で周波数スペクトルである。

データの修正法はまず式①でフーリエ変換し、必要ない低周波部を適当な形に置換して式②で逆変換し、 $f(t)$ を求めるだけのことである。

測定データ $f(t)$ にはノイズ $f_1(t)$ が含まれており、線型の関数とすれば

$$f(t) = f_1(t) + f_2(t) \dots\dots\dots(3)$$

ここで $f_2(t)$ は本来得られるべき真の値とする。③をフーリエ変換すれば

$$F(\lambda) = F_1(\lambda) + F_2(\lambda) \dots\dots\dots(4)$$

となり、真の値のフーリエ変換値 $F_2(\lambda)$ にノイズの $F_1(\lambda)$ が重畳されていることになる。ただし、 $F_1(\lambda)$ 、 $F_2(\lambda)$ も関数形は不明である。しかし $f_1(t)$ のデータから得られる通常ある形式になっていることが多い。例え

ば波ではレーリー分布とすれば $F_1(\lambda)$ の形は推定が可能である。さらに大きな誤差が含まれていれば、 $F(\lambda)$ はかなり変形されており、その部分を見出すことは容易であろう。

ここで実例を用いて検討してみる。真のデータを $f_2(t)$ として次式のような三角関数の合成波形とする。

$$f_2(t) = \sum_{n=10}^{\infty} a_n \sin(\omega_n t) \dots\dots\dots ⑤$$

$$f_1(t) = \sum_{n=10}^{\infty} b_n \sin(\omega_n t) \dots\dots\dots ⑥$$

そのフーリエ変換は

$$F_2(\lambda) = \sum_{n=10}^{\infty} \frac{\omega_n}{\omega_n^2 + a_n^2} \dots\dots\dots ⑦$$

$$F_1(\lambda) = \sum_{n=10}^{\infty} \frac{\omega_n}{\omega_n^2 + b_n^2} \dots\dots\dots ⑧$$

$F_2(t)$ は誤差、 $F_1(f)$ はラインスペクトルとして求め、

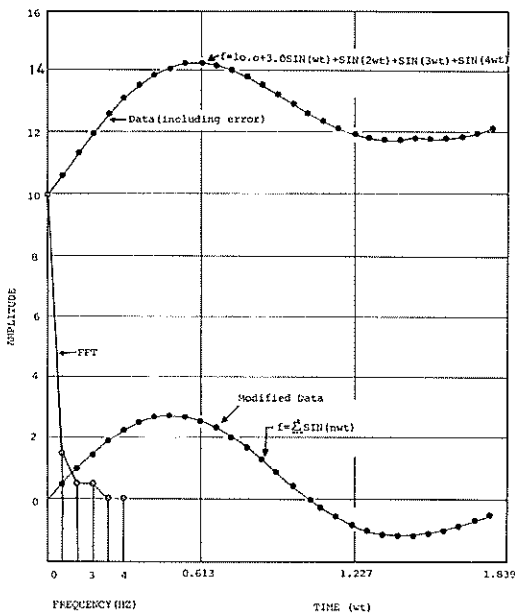
$F_1(f)$ を全て零とすれば、

$$F(\lambda) = \sum_{n=10}^{\infty} \frac{\omega_n}{\omega_n^2 + b_n^2} \dots\dots\dots ⑨$$

逆変換によって真のデータは簡単に求まる

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\lambda) e^{j\omega t} d\lambda = \sum_{n=10}^{\infty} b_n \sin(\omega_n t) \dots\dots\dots ⑩$$

式⑩が求めるべき結果でこれをFFTを用いて計算してみ



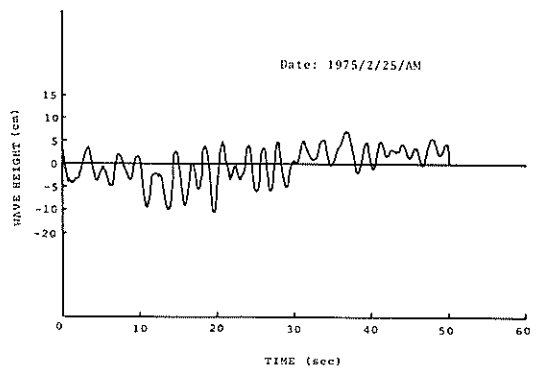
図A-1 データの修正例(三角関数)

るとその計算誤差は 10^{-5} のオーダーであり実用上じゅうぶんである。さらにデータにある定数Cが含まれていても同様に零として逆変換すると真の平均値のまわりのデータとして求められた。計算結果を図A-2に示す。

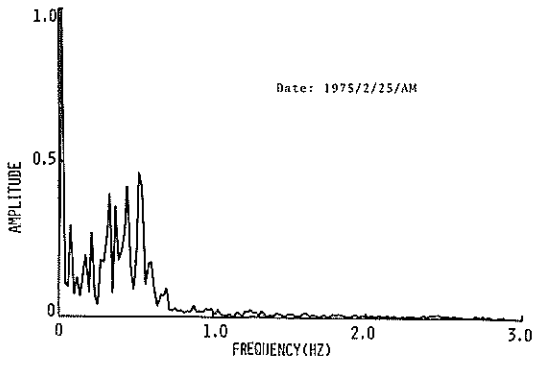
今回のデータ修正の例を図A-2に示す。変換前のデータは明らかに長周期の見掛けの波に短周期の波が重畳している。これをフーリエ変換すると図A-3のように通常では現われない長周期域に大きな成分を持っている。修正の仕方はこの長周期域をどう処理するかで、今回は図A-4のように直線近似して逆変換を試みた。この結果が図A-5である。長周期成分は取り去られ見たところもっともらしい波となっている。

チェックの方法としては全体の波数が変わっていないこと、実験中の海象条件に大きな変化がなかったかでのデータと大きな変化がないことを調べて波のデータとした。この方法にもいわゆるカンを用いざるを得ないが実験の状況、データの性質がある程度わかっていることが前提である。

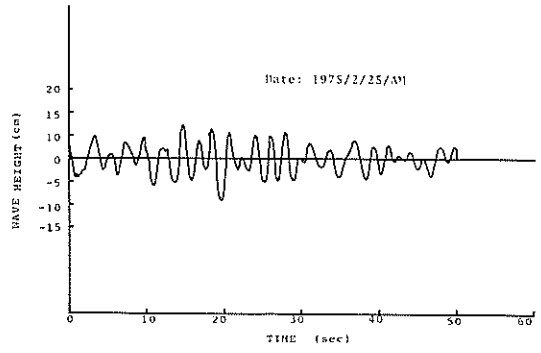
フーリエ変換の応用には、これだけでなくデータの微積分にも用いることができる。例えば加速度を二重積分して変位を求める場合、従来の方法では低周波成分の誤差により発散しやすかったのが、今回の修正方法を用いれば容易に結果を求めることも可能である。



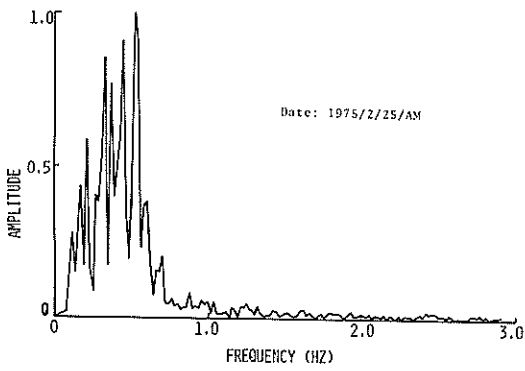
図A-2 波高(修正前)



図A-3 波高の周波数スペクトル(修正前)



図A-5 波高(修正後)



図A-4 波高の周波数スペクトル(修正後)

港湾技研資料 No. 232

1976・3

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 有限会社 ガリバー印刷

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.