



Title	バルジによる改造漁船船型の波浪中運動の基本特性
Author(s)	馬, 寧; 芳村, 康男; Yoshimura, Yasuo 他
Citation	日本造船学会論文集, 192, 219-225
Issue Date	2002
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/760
Type	journal article
File Information	BulgeSke.pdf



バルジによる改造漁船船型の波浪中運動の基本特性

正員 馬 寧* 正員 芳 村 康 男**
正員 木 村 暢 夫** 鈴木 四 郎*
正員 山 越 康 行*

Fundamental Characteristics of Motion in Waves of a Fishing Vessel with Bulges

by Ning Ma, Member Yasuo Yoshimura, Member
Nobuo Kimura, Member Shiro Suzuki
Yasuyuki Yamakoshi, Member

Summary

In order to improve the stability and to increase the working area for fishing vessel, bulges are often added on ship sides from underwater part up to upper deck. From the view point of seakeeping quality, it is important to clarify the effect of bulges on ship dynamic response as well as static stability. A fisheries research vessel "Ushio-maru" has been rebuilt (elongated and bulges fitted) recently. In this paper, we present the results of investigation into its stability improvement and study on the influence of bulge on its motion in waves by model experiments and theoretical calculations. It was shown that stability improvement is considerably achieved by fitting bulges. In addition, resonant roll motion was slightly reduced due to damping effect of bulges. It was also found that there are no significant difference in heave and pitch due to the existence of bulge. On the other hand, roll motion in beam and quartering long waves increase. Furthermore, at-sea seakeeping tests of the ship with bulges were conducted, motion characteristics in real ocean waves is described. Finally, authors point out the merits and demerits of fitting bulge to fishing vessel.

1. 緒 言

復原性改善の目的で船側バルジ(サイドの膨らみ、浮力体)による船型改造は、古くはドイツの文献¹⁾に見ることができる。1930年代海軍の艦船で復原力不足(及び防御力増大)に対処するためバルジを装着する改造²⁾・⁴⁾や、巡視船「宗谷」⁵⁾の復原性向上とともに耐氷・砕氷構造の目的からバルジ装着の例が見られる。漁船では、特に沿岸の小型漁船は総トン数・主要目の制約により重心が上昇しがちなので、復原性能を向上させるために、重心を下げる努力とともに船側バルジにより、水線

面積の増大を図り積載性及び操業時の安定性を高めることがある⁶⁾。2000年9月に北海道襟裳岬沖で起きた底曳き網漁船「第五龍寶丸」の転覆事故⁷⁾を受け、国土交通省から漁船の復原性管理強化に関する通達が出された⁸⁾。その中で操業時の重量重心の管理に加え、復原性が不足の場合は固定バラストの取付けやバルジ装着が勧告されている。

一方、バルジによる改造漁船船型の波浪中運動特性を扱った研究が極めて少なく、バルジの船体運動に与える影響は必ずしも明確でない。バルジにより喫水が浅くなり、左右揺れとの連成の影響により横揺れモーメントが大きくなることが指摘されている^{4)・17)}。また、同じ喫水と重心高さでも、一種の付加物であるバルジによる流体力変化に起因する縦運動、横揺れへの影響も予想され、それらを明らかにする事は非常に重要であると考えられる。

* 水産総合研究センター 水産工学研究所

** 北海道大学大学院 水産科学研究科

このほど北海道大学水産学部の練習船「うしお丸」は胴体延長の改造工事⁹⁾を伴い、復原性確保及び拡幅のためバルジ装着を行った。このバルジの形状については、従来の設計法¹⁰⁾とはやや異なった方法で、推進性能が悪くならないように最適な形状を設計¹¹⁾した。そのため、復原性能の要求を満たしながら推進性能を主体にその寸法と形状が検討され、耐航性能への影響は不明であった。本研究では、この延長・バルジ装着改造船型を供試船とし、バルジが波浪中運動に与える影響について、模型実験・実船実験及び理論計算による検討を行った。本論では、まず、バルジによる静復原力改善の結果について述べ、次に波浪中航走の主形態である向かい波中航走時及び横波中停船時の基本検討として、バルジのあり無しによる規則波中応答関数及び不規則波中応答のパワースペクトルの違いを論ずる。また、実船試験の結果に基づき、バルジ船型の実海域波浪による応答の特徴を述べ、運動性能の観点から見たバルジによる船型改造の優劣について述べる。

過去に小型漁船用の緊急安全装置として、膨張式バルジが開発され、船体動揺を軽減し転覆防止の効果があると報告されている¹²⁾。これに関連して追い波中をはじめ、大振幅の横揺れを検討する必要があるが、これらの耐転覆性能については別途に検討するとし本論では触れていない。また、本船のバルジ装着が操縦性能に与える影響については別途検討¹³⁾されている。なお、バルジの装着は船型の変化と総トン数の増加をもたらすが、漁船法が改正される昨今、バルジによる改造漁船船型の利得を明らかにする必要があることを強調しておきたい。

2. 改造漁船船型及び復原性検討

2.1 改造漁船船型

「うしお丸」のバルジ等による改造の詳細は、文献9)に述べられている。胴体を約6.2m延長し、造波抵抗低減のための船首バルブを装着した。船側上方にバルジを装着し復原性の向上及び作業スペースの増加を図った。胴体延長とバルジ装着により、垂線間長が約23%、型幅が20%、総トン数は128トンから179トンに約40%増加し、排水容積も約39%増となった。

Fig.1に改造後の一般配置図(Profile と Upper Deck) 正面線図を Fig.2 に図示した。また、Table 1 に改造前後の主要目対比を示した。一般配置図及び正面線図から判るが、本船のバルジは AP ~ SS8、1.5mWL から上甲板の上方まで取り付けられ、これにより喫水幅が左右に65cm ずつ拡幅された。なお、喫水は変わらず、バルジ

による排水容積の増加は約3%であった。

Table 1 Principal dimensions

	Original	Enlarged
Gross Tonnage	128	179
Loa (m)	33.15	39.47
Lpp (m)	27.5	33.74
B (moulded, m)	6.5	7.8
D (m)	3.0	3.0
d (m)	2.6	2.6
Displacement (m ³)	313.3	435.3
Initial Trim (m)	0.8	0.8
Lcb (m)	-0.591	-0.540
Speed (kt)	10.5	10.5

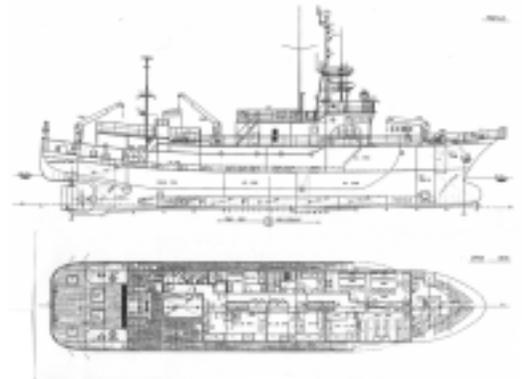


Fig.1 General Arrangement of "Ushio-maru"

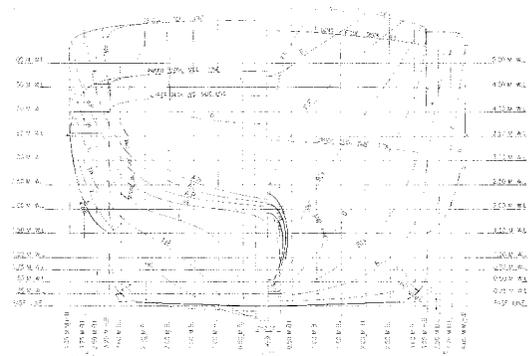


Fig.2 Body plan of "Ushio-maru" with bulges

2.2 復原性能

本船は、中央部付近に追加された船体部(上甲板より上)に新たに居住設備等が設けられたため、重心が幾分上昇し、復原性能の確保が困難になった。その解決策として一種の拡幅工事である船側バルジの装着を行い、静

復原性の改善を図った。Table 2 に原型と改造型の復原性データに關係する諸値を、輕荷、出港、漁場発及び歸港の4状態について示した。改造（バルジ装着）によりメタセンタ高さGMが原型の約2倍以上の値に確保できた。

次に、バルジによる静復原力の変化をGZカーブにより考察する。Fig.3 に出港状態の復原力曲線を示す。計算ではバルジ付き船型はTable 2 に示す喫水等の条件を使用した。バルジ無し船型については簡便のため、バルジ付きと変わらないとした。バルジを装着することにより復原てこが広範囲（傾斜角 60 度まで）にわたって増大し、最大復原力の生じる角度も小さくなり復原性能が著しく改善されていることがわかる。

Table 2 Stability data of original and rebuilt ship
((): values of original ship)

Item	Light Weight	Dept. Port	Dept. Fish. Ground	Arrival Port
df(m)	1.51 (1.90)	2.09 (2.33)	1.85 (2.17)	1.49 (2.10)
da(m)	3.34 (3.25)	3.60 (3.60)	3.63 (3.59)	3.56 (3.44)
dm(m)	2.42 (2.57)	2.84 (2.97)	2.74 (2.88)	2.52 (2.77)
(t)	342.6 (275.2)	439.5 (336.1)	419.3 (322.7)	370.3 (303.3)
KM(m)	3.61 (3.12)	3.70 (3.15)	3.68 (3.15)	3.64 (3.14)
KG(m)	2.92 (2.72)	2.56 (2.51)	2.66 (2.60)	2.84 (2.64)
GM(m)	0.69 (0.39)	1.14 (0.52)	1.00 (0.41)	0.79 (0.37)
MidG(m)	1.30 (0.97)	1.20 (0.96)	1.50 (1.07)	1.75 (0.91)
MidF(m)	0.94 (0.75)	1.91 (0.36)	1.82 (0.40)	1.42 (0.55)

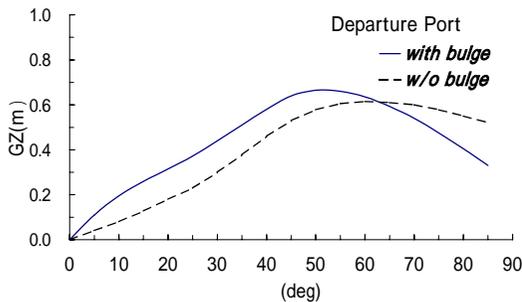


Fig.3 Righting arms at departure port condition

3 . 規則波中応答特性

3.1 運動方程式

規則波による船体運動は、運動モード間の連成を考え、次の連立方程式により表すことができる。

縦運動 (heave, pitch) :

$$\begin{bmatrix} m_0 + m_{33} & m_{35} \\ m_{53} & I_{22} + m_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{z} \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_{33} & N_{35} \\ N_{53} & N_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{33} & C_{35} \\ C_{53} & C_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Re\{F_3 e^{i\omega t}\} \\ Re\{F_5 e^{i\omega t}\} \end{bmatrix} \quad (1)$$

横運動 (sway, roll, yaw) :

$$\begin{bmatrix} m + m_{22} & m_{24} - m_0 z_G & m_{26} \\ m_{42} - m_0 z_G & I_{11} + m_{44} & m_{46} \\ m_{62} & m_{64} & I_{33} + m_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\phi} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_{22} & N_{24} & N_{26} \\ N_{42} & N_{44} & N_{46} \\ N_{62} & N_{64} & N_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & C_{26} \\ 0 & C_{44} & C_{46} \\ 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \phi \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Re\{F_2 e^{i\omega t}\} \\ Re\{F_4 e^{i\omega t}\} \\ Re\{F_6 e^{i\omega t}\} \end{bmatrix} \quad (2)$$

前後揺 (surge) :

$$(m_0 + m_{11})\ddot{x} + N_{11}\dot{x} = Re\{F_1 e^{i\omega t}\} \quad (3)$$

ここに、 $m_{11} \dots m_{66}$: 付加質量力

$N_{11} \dots N_{66}$: 造波減衰力

$C_{11} \dots C_{66}$: 復原力

$F_1 \dots F_6$: 波強制力

m_0 : 船の質量

I_{11}, I_{22}, I_{33} : roll, pitch, yaw 慣性モーメント

: 波の円周波数

z_G : 重心の z 座標

横揺れについては、後述の左右揺れ・船首揺れ等を拘束した曳航実験に対応するため、次のような 1 自由度の運動方程式により考察する。

$$(I_{11} + m_{44})\ddot{\phi} + N_{44}\dot{\phi} + W \cdot GM \cdot \phi = W \cdot GM \cdot \Theta_w \gamma e^{i\omega t} \quad (4)$$

ここに、 W : 船の排水量

Θ_w : 最大波傾斜

γ : 有効波傾斜係数

また、 N_{44} は減減係数であり、後述の自由動揺実験より得られたものを使用した。(1)と(4)はストリップ法¹⁵⁾ ¹⁶⁾で解き、バルジの影響は 2 次元断面流体力により考慮した。

3.2 模型実験

波浪中運動に関する模型実験は水産工学研究所の角水槽(長さ 60m*幅 25*水深 3.2m)にて実施した。1/17.7 のモデルを用いて、バルジありとバルジ無しで行った。模型船の状態は出港状態のみとした。

曳航装置により模型船を曳航 (Surge, Sway, Yaw

は拘束)し、フルード数 $Fn=0.297$ (航海速力 11kt 相当) にて、波 (主として規則波) との出会い角を 180deg (向波) から 0deg (追波) まで 45deg ずつ変化させながら実験を行った。なお、横波については装置の都合上船速ゼロのみとした。模型船の上下揺れ、縦揺れ、横揺れをポテンショ・メータにより、前後揺れ、左右揺れ方向の力及び船首揺れモーメントを 4 分力計により計測した。このほか船首・船尾の上下加速度、入射波などの計測を行った。Table 3 に実験時の模型船状態を示した。なお、バルジ付きとバルジ無しでは喫水を一定とし、GM は実験装置の都合上、目標値よりやや小さい値となった。

Table 3 Conditions of model experiments

	with bulge	w/o bulge
Lpp(m)	1.906	1.906
B(m)	0.458	0.367
d(m)	0.1469	0.1469
Displacement (kg)	78.7	76.8
GM(m)	0.0399	0.0158
Kyy/Lpp	0.266	0.272
Lcb(m)	-0.591	-0.540

3.3 結果及び考察

Fig.4 に向い波中航走時の Heave と Pitch の周波数応答関数振幅を示す。横軸波長船長比 (λ/L)、縦軸は運動振幅を波の振幅または相度で無次元化したものになっている。長い波長では若干の差が認められるが、全般的にバルジによる影響は無いと言って良い。また、理論計算が実験と良い相関を示している。

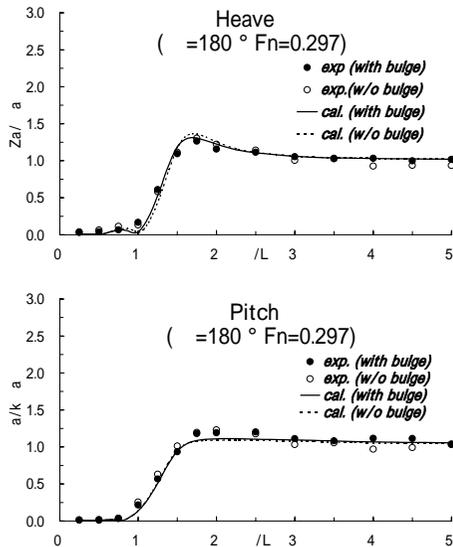


Fig.4 Heave and pitch in head waves ($Fn=0.297$)

横波中停船時の Heave と Roll を Fig.5 に示した。横波ではバルジの影響は比較的顕著に現れ、バルジにより、Heave 及び Roll の同調点付近での応答の減少が見られ、バルジによる減衰効果が他の要因を上回ったことに起因すると考えられる。また、長波長域 (Heave では λ/L が 2 以上、Roll では 1.2 以上) での応答の増大が見られ、水線面付近の付加物 (バルジ) による波力 (モーメント) の増大に起因すると考えられる。詳細については今後検討する必要がある。また、ストリップ法による計算された Heave は実験値と概ね一致し、Roll も定性的に実験値を説明していると言える。Fig.6 に Roll の自由動揺試験 ($Fn=0$) の結果および解析した減減係数 (ベルタンの減減係数、 N_{20}) を示した。Roll の固有周期はバルジにより僅かに短くなったが、復原力の変化に加え慣性モーメントもバルジの存在により増大し、結果として固有周期の変化が極僅かに留まった。また、図中示すように、バルジ船型の N 係数はバルジ無い船の 2 倍以上となり、十分な減衰効果が得られることがわかった。

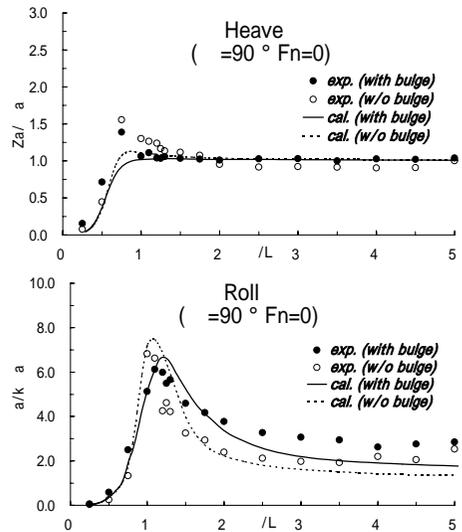


Fig.5 Heave and roll in beam waves ($Fn=0$)

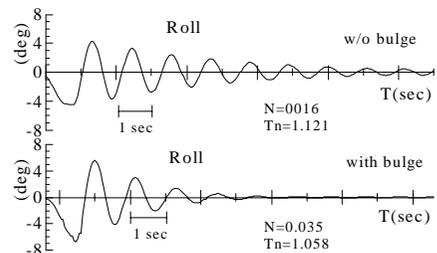


Fig.6 Roll measured from free decay tests ($Fn=0$)

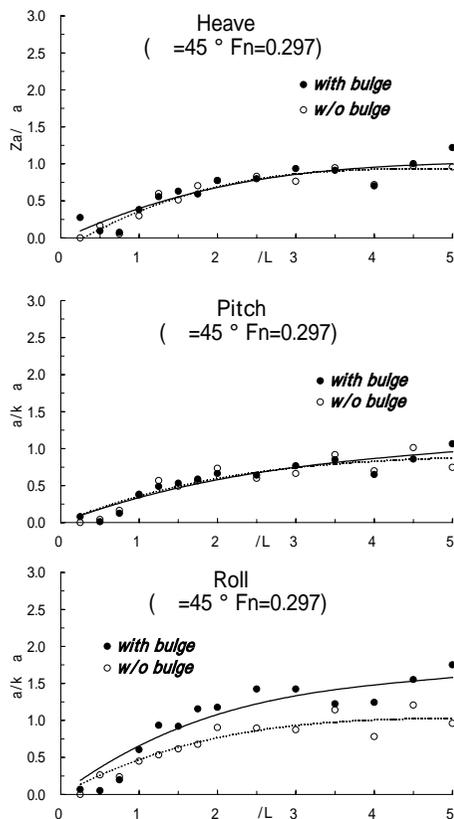


Fig.7 Measured motions in quartering waves (Fn=0.297, lines denote mean value of exp.)

Fig.7 に斜め追い波中航走時の Heave, Pitch, Roll の実験値を示す（実線と破線は実験値の mean を表す）。向い波同様に Heave, Pitch に関しては大きな差異は見られないが、Roll の振幅がバルジ付き船型の方が大きくなっている。本船はバルジが船体の後半に付いており、船体後半部の水線面が拡幅され、後方からの波の影響を受けやすくなっていると推論される。

4. 実海域試験

耐航性実船実験は海上公試の後、北海道内浦湾（通称、噴火湾）の湾口部付近、白尻港沖 8～9 海里の海域で実施した。Fig.8 に実験海域の概略図を示す。

実験当時の風速は約 14m/s で、風向きは西より（波の主方向もこれに一致）で、波は有義波高約 1.0m（目視）の風浪があった。目視によれば波はうねり成分が弱く、主に短波長の風波から構成されていた。また、短波頂の波ではあったが、方向集中度は高く長波頂波に近かった。木村ら¹⁴⁾の報告によれば、この海域の波浪（冬季）は湾口部からのうねりと北西の風による風波が合成され

た双峰型スペクトルになるようであるが、この実験（3 月末に実施）の時の波浪はそれとやや異なる特性のものになっている（後出のスペクトル参照）。なお、風向等の海象は本論に例示する実験を通じて殆ど変化することはなかった。船の状態は船首喫水 $df=1.9\text{m}$ 、船尾喫水 $da=3.5\text{m}$ で、漁場発状態（Table 2）に近いが、模型実験の状態（出港状態）と大差は無いと考える。

波の主方向に対して 45 度ずつ進路を変え、船速は Full に近い約 10kts でそれぞれ 10 分間航走した。船体運動は 6 自由度慣性測定装置により、0.05sec のサンプリングで計測した。計測項目は 3 軸の加速度、回転角並びに、DGPS による船位、進路、船速と、風速・風向である。波の計測は船首固定のマイクロ波式波高計によった。なお、波高計の出力データは、ヒープなどの船体動揺の影響は補正され、実際の水面変位になっている。



Fig.8 Location of at-sea experiments

一例として横波状態で自由漂流させた時の船体運動の時系列（計測値）を Fig.9 に示す。船首方位(yaw)が約 90deg（右舷横波）から約 50deg（右舷斜め向い波）へ変化していることが判る。それに伴い僅かであるが縦揺れ角が増大し、横揺れ角が減少していく様子がわかる。この時系列を FFT 変換して求めたパワースペクトルを Fig.10 に示した。波スペクトルの周波数構成を見ると若干低周波成分が見られるが、図中の平均周期（約 3 秒）が示すように風波成分が卓越している。横揺れのスペクトルが他の運動に比べ低周波数域でやや大きくなり、先に述べたバルジによる長波長域の応答増によるものと推論される。

同じ波の中を向い波状態で約 10kt で航走した時の縦揺れスペクトルを Fig.11、横波状態で同じ船速で航走し

た時の横揺れスペクトルを Fig.12 に示した。Fig.10 に示した波のスペクトルと比較すれば、横揺れ、縦揺れスペクトルの周波数帯域が狭まり、応答のピークが停船時 (Fig.10) に比べ低周波数域にシフトしていることがわかる。また、Fig.11 に応答スペクトルの推定結果の一例を示した。長波頂波を仮定して計測の波スペクトルを用いて線形重ね合わせ理論に基づき計算した結果である。推定計算値は実験値と一致していることから、バルジ船型の実海域波浪 (長波頂不規則波) に対する応答が実用上推定可能であることが示唆される。

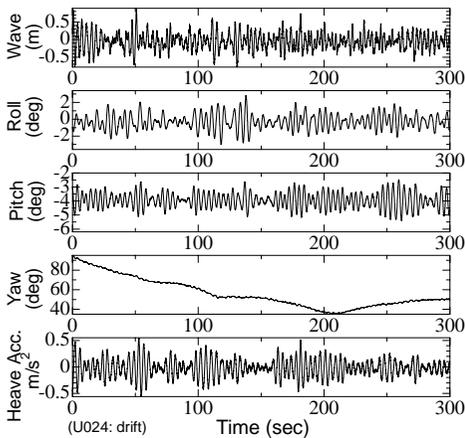


Fig.9 Measured motions (drift condition)

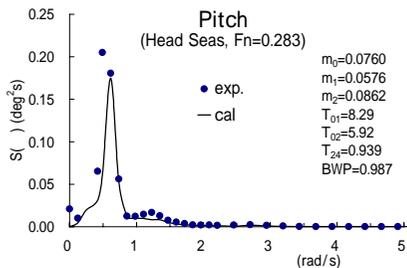


Fig.11 Measured and estimated pitch spectrum

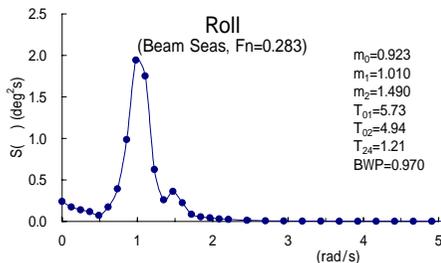


Fig.12 Measured roll spectrum in beam seas

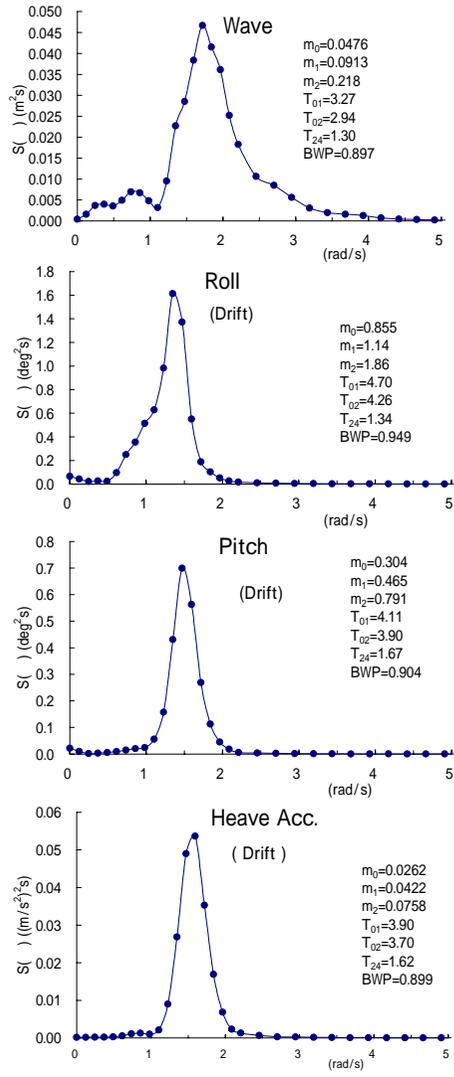


Fig.10 Measured motion spectra (drift condition)

5. 結 言

バルジを取り付けた漁船船型の波浪中運動特性について、系統的な模型実験と実船試験を行い、バルジ有無の影響を明らかにできた。また、従来の船体運動予測法の適用可能性についても検討を行った。主な結論を要約すると以下になる。

(1) 本論で扱ったバルジは、波浪中の縦運動に殆ど影響をせず、向い波と斜め追い波の中において、Heave と Pitch の応答がバルジの有無により変わらないことが認められた。

(2) バルジの付着に伴い復原力が増大し、横揺れ固有周期が変化することが予想されるが、慣性モーメントの増加がこれを相殺する形で作用し、その結果固有周期の変化量は小さかった。

(3) バルジの横揺れ減衰の効果が顕著に現れ、その結果同調横揺れの振幅が減少することが認められた。

(4) 本論で扱ったバルジは比較的小さい(船体排水量の約3%)のものであったにも拘わらず、長波長の横波及び斜め追い波中で横揺れが増大し、特にバルジが後方部よりにある本船の場合、斜め追い波中でその傾向が強くと現れた。

以上のように、本論においては、バルジによる改造漁船船型の静復原力改善及び波浪中運動への影響に関する新しい知見を得た。しかし、バルジの水線面付近の形状と横揺れモーメント・減衰係数の関係や、追い波中の不安定横揺れとのバルジの関係など、まだ検討すべき課題が残されている。今後もそれらについて研究を進め、バルジの形状・配置等の最適化につながる知見を得たいと考えている。

謝 辞

本研究の実船実験を実施するにあたり、北海道大学水産学部 木村修船長(研究当時)をはじめ「うしお丸」乗組員の方々及び北海道大学大学院水産科学研究科の学生諸君に多大な協力を頂いた。ここに感謝の意を表します。なお、本研究には文部科学省研究費補助金(13650965)の援助を受けたことを記し、関係各位に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 造船協会：側部膨出を有する船の復原性に就いて(抄録)、造船協会雑纂第43号、(1925)
- 2) 日本造船学会編：友鶴事故と復原性能、昭和造船史(第1巻)、原書房、(1977)
- 3) 森田知治：船舶復原論 基礎と応用、海文堂、(1985)
- 4) 日本造船学会編：第 部帝国海軍時代と太平洋戦争、日本造船技術百年史、1.2.1 復原性、(1997)
- 5) 日本造船学会編：第6章南極観測と宗谷、1.6.2 第一次改造工事と使用実績、昭和造船史(第2巻)、(1980)
- 6) 漁船メーカーHP、例えば、ヤマハ発動機(株)(<http://www.yamaha-motor.co.jp>)
- 7) 田口晴邦、石田茂資、渡辺 巖、沢田博史、辻本勝、山越康行、馬 寧：漁船「第五龍賣丸」転覆事故要因に関する検討、日本造船学会論文集、第190号、pp.217-225(2001)
- 8) 国土交通省海事局：底びき網漁船転覆事故の再発防止対策の運用について、別添資料：「現存沖合底びき網漁船復原性調査要領」、(2001)
- 9) 芳村康男、梶原善之：北海道大学水産学部練習船「うしお丸」延長改造の概要、海洋水産エンジニアリング2002年9月号、(印刷中)
- 10) 日本造船学会：改訂船舶工学便覧(第7版) 第12編 復原および動揺、コロナ社、pp.560-561(1973)
- 11) 川島敏彦、芳村康男、鈴木四郎、大本耕司：バルジの設計と漁船船型改造への応用、日本造船学会平成14年秋季講演会発表予定
- 12) 日本海難防止協会：漁船の海難防止に関するシステム化の実験研究、海難防止の調査研究事業報告書、(1977)
- 13) 芳村康男、馬 寧、鈴木四郎、梶原善之：バルジによる改造漁船船型の操縦性能、日本造船学会平成14年秋季講演会発表予定
- 14) 木村暢夫、甬喜本司、大越金蔵、天下井清：噴火湾におけるホタテ貝養殖漁船の操業限界に関する研究 沿岸域の実波高分布による最大横揺れ角の推定、日本航海学会論文集、第94号、pp.273-279、(1996)
- 15) 高石敬史、黒井昌明：波浪中船体運動の実用計算法、第2回耐航性に関するシンポジウム、日本造船学会、pp.109-133(1977)
- 16) 山越康行、有路実、鈴木四郎：漁船の耐航性について、1(漁船の規則波中船体縦運動解析におけるストリップ法の有効性について)、漁船研究技報、第28巻、(1975)
- 17) 渡邊恵弘：横運動における船の重心の運動と波の有効傾斜について、日本造船学会論文集、第49号、pp.61-86、(1932)