

(昭和 58 年 11 月 日本造船学会秋季講演会において講演)

船尾外輪船の諸性能について

正員 岩 井 清* 正員 有 井 俊彦*

正員 竹 中 憲 策** 正員 横 町 政 芳*

正員 引 野 正 巳*** 正員 高 井 忠 夫***

Performance of Stern Paddle Wheel Ship

by Kiyoshi Iwai, *Member*Toshihiko Arai, *Member*Kensaku Takenaka, *Member*Masayoshi Yokomachi, *Member*Masami Hikino, *Member*Tadao Takai, *Member*

Summary

This paper describes performance of passenger boat "Michigan" which was constructed for the first time in Japan as the large scale ship with stern paddle wheel.

The data introduced include:

- 1) Design data of stern paddle wheel
- 2) Resistance and self-propulsion test results
- 3) Maneuvering characteristics
- 4) Comparison between screw propeller and paddle wheel with regard to the effect of disturbing the bottom of Lake Biwa.

1 緒 言

我が国で初めての船尾外輪旅客船“ミシガン”は、昭和 57 年 4 月より、琵琶湖にて運航が開始された。

本船の基本設計に際し、最大のポイントは、浅吃水船および船尾外輪駆動の二点であった。

琵琶湖総合開発事業により、琵琶湖水位は約 2 m 低下することになり、浅吃水船の代替建造にせまられた訳であるが、遊覧船の使命として、内装および外装は、できるだけ豪華なものにしたいという、浅吃水船の基本条件である重量軽減に相反する船主要求を満たす必要性から寸法比として $L/B=4.27$, $B/d=10.64$, $C_b=0.75$ と推進性能および操縦性能の両面からみて、まことに好ましくならざるものとなり、この対策として、模型試験等により、予め十分検討を行い、所要の性能を発揮できるものとした。

また船尾外輪については、最近の実績もなく、手さぐりの状態から検討を始めねばならなかった。

まず外国の文献調査に始まり、現在ミシシッピ川で就航中の実船調査、模型試験等により、設計方法を確立し

た。

本論文では、船尾外輪船の性能関係について、紹介したい。

2 パドルホイールの性能

パドルホイールは、その推進効率を改善するため、翼を可動にした feathering wheel と、固定のままの radial wheel とに分けられる。

前者は主として船側外輪船に用いられ、後者はすべての型の外輪船に用いられた。

本船においては、radial wheel を採用したが、この型式のパドルホイールに限定して、その性能について述べる。

2.1 文献資料によるパドルホイールの性能調査

文献(1)において、船側外輪を対象として種々の要素(翼数、翼没水度、翼アスペクト比等)を変化させてシリーズ試験(単独試験)を行っている。

パドルホイールは、水の表面で作動するため、水中で作動するスクュープロペラと異なり、回転速度と前進速度に関するフルード数の影響を受ける ($N\sqrt{D}$, $V/\sqrt{D}$)。

また自航状態においては、スクュープロペラと同様に伴流の影響を受けると同時に、さらに船体の造る波の

* 日立造船(株)造船基本設計部

** 同 船舶業務部

*** 同 技術研究所

影響を大きく受ける。

したがって船体についてのフルード数 ($V/\sqrt{gL}$) によってもパドルホイールの性能は変化する。

ここでは、上記の試験データを次のようなパラメータにてまとめた。

$$C_N = \frac{N}{V_A^2} \sqrt{\frac{100 \text{ DHP}}{\rho \cdot V_A}}$$

$$C_D = D \cdot V_A / \sqrt{\frac{100 \text{ DHP}}{\rho \cdot V_A}}$$

$$C_T = \frac{N}{V_A^2} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

$$\eta_0 = 0.307 (C_T/C_N)^2$$

ここで、 V_A : 前進速度 (knot)

N : 回転数 (rpm)

D : パドルホイール直径 (feet)

ρ : 水の密度 (1.94)

T : 推力 (lb)

DHP: 伝達馬力

C_N, C_D, C_T はそれぞれスクリーブローペラの場合の無次元係数 $K_{Qn}, K_{QD'}, K_{Tn}$ に対応している。

Fig. 1 に $C_N \sim C_D$, Fig. 2 に $C_N \sim C_T$, Fig. 3 に C_N

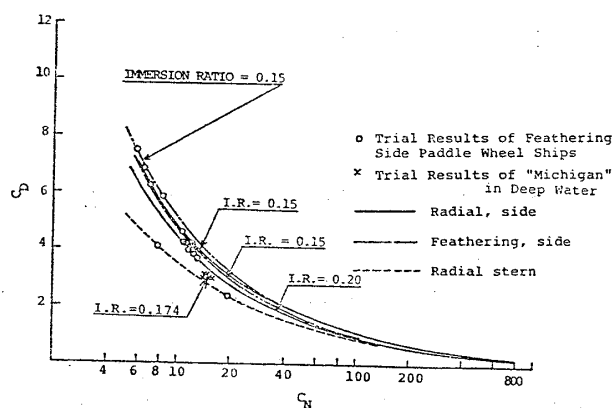


Fig. 1 C_N vs. C_D relations

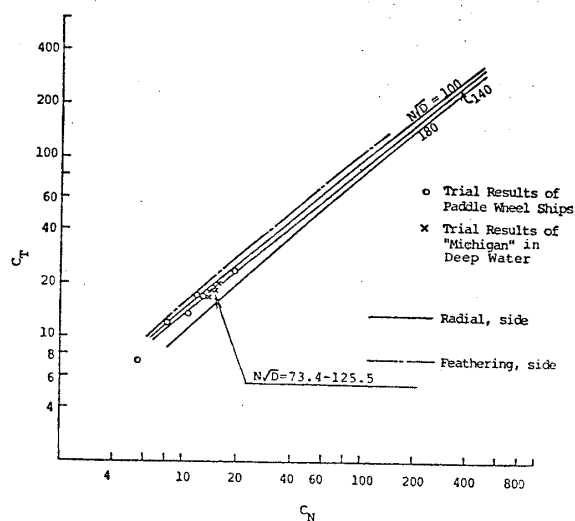


Fig. 2 C_N vs. C_T relations

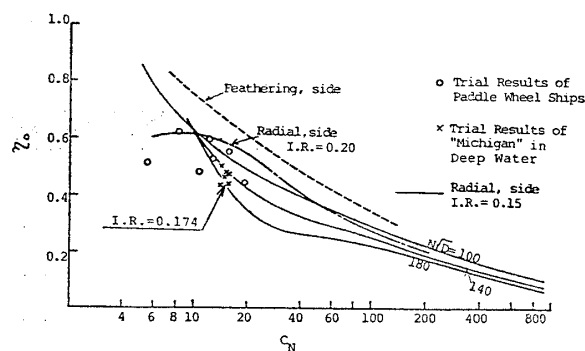


Fig. 3 C_N vs. η_0 relations

$\sim \eta_0$ の関係を示す。

同図中には外輪船の試運転結果を“ミシガン”の結果も含めプロットしている。

これらの図より次のような傾向がうかがわれる。

($C_N \sim C_D$) 船尾外輪は、船側外輪に比べて C_D が小さい。

($C_N \sim C_T$) Feathering type の方が radial type より C_T が大きい。

($C_N \sim \eta_0$) Feathering type の方が radial type より 20~30% η_0 がよい。

次に Feathering type side paddle wheel について、翼没水度、翼数および翼アスペクト比の単独効率に及ぼす影響について、それぞれ Fig. 4, Fig. 5 および Fig. 6 に示す。

(翼没水度 $\sim \eta_0$) C_N の大きな範囲、すなわちある船

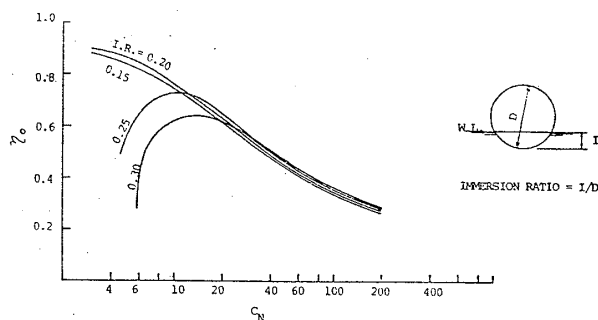


Fig. 4 Immersion ratio vs. η_0 relations

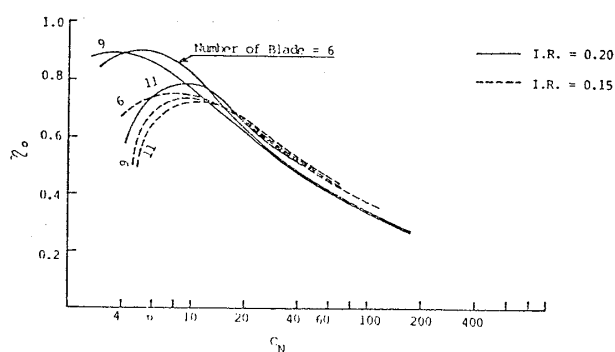


Fig. 5 Number of blades vs. η_0 relations

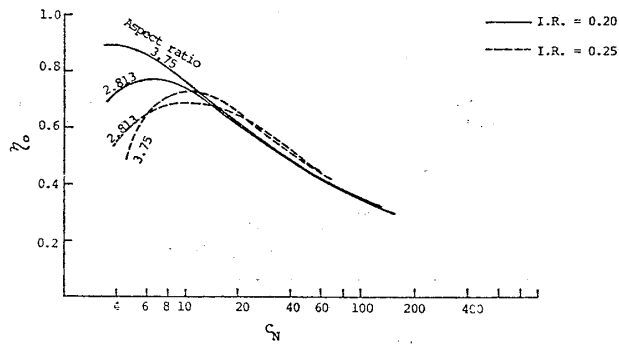


Fig. 6 Aspect ratio vs. η_0 relations

速に対して必要な馬力の大きな船 (Tug boat 等) では、没水度が大きいほど効率がよいが、必要馬力が小さくなるにしたがって翼没水度の小さい方が効率が高くなっていく。

よって C_N および $N\sqrt{D}$ の値によって最適の翼没水度が存在する。

(翼数 $\sim\eta_0$) 一般的には翼数が少ない方が効率がよいと思われるが、Fig. 5 においては C_N の値により変化している。

C_N の小さな範囲では、翼数が少ない方が効率がよいが、 C_N が大きくなると逆になる。

(翼アスペクト比 $\sim\eta_0$) 一般に翼アスペクト比が大きい方が効率はよいが、没水度が大きくなると C_N の値によって変わってくる。

2.2 水槽試験によるパドルホイールの性能調査

本船の抵抗推進性能を明らかにするため、パドルホイール単独試験、抵抗試験および自航試験を実施した。

使用模型のスケールは 1/8 であり、要目を Table 1 に示す。

(1) パドルホイール単独試験

単独試験結果を次のような無次元値を使用して Fig. 7

Table 1 Principal particulars

	SHIP	MODEL
Ipp (m)	50.00	6.25
Lwl (m)	51.50	6.4375
B (m)	11.70	1.4625
d (m)	1.10	0.1375
Cb	0.749	0.749
Displacement(t)	484	0.9454
Diameter of wheel	4.60 m	0.575 m
Breadth of wheel	5.00 m	0.605 m
Width of blade	0.50 m	0.0625 m
Breadth of blade	5.20 m	0.65 m
Number of blade	12	12
Immersion	0.80 m	0.10 m

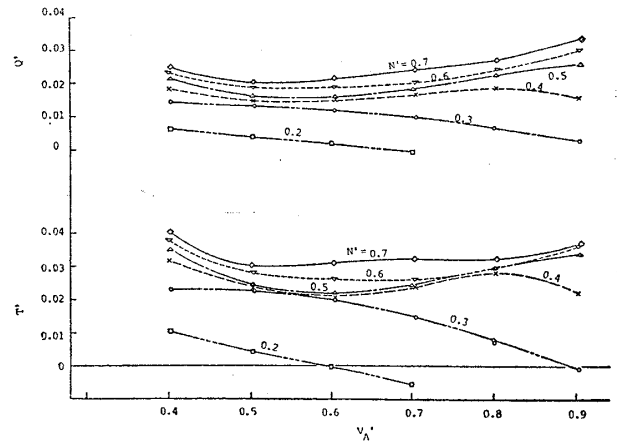


Fig. 7 Open test results (1)

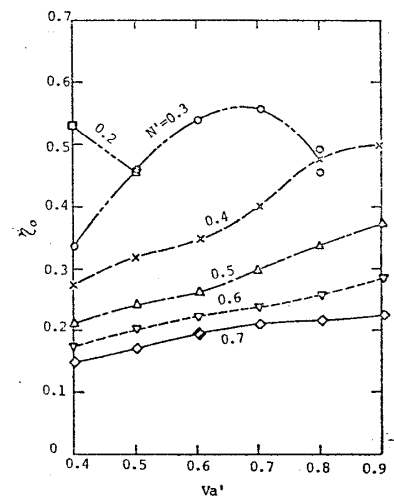


Fig. 8 Open test results (2)

および Fig. 8 に示す。

$N' = N\sqrt{D/g}$ (回転速度に関するフルード数)

$V_a' = V_a/\sqrt{D \cdot g}$ (前進速度に関するフルード数)

$T' = T/(\gamma D^2 B)$

$Q' = Q/(\gamma D^3 B)$

ここで、 N : 回転数 (rpm)

V_a : 前進速度 (m/sec)

T : スラスト (kg)

Q : トルク (kg·m)

D : パドルホイール直径 (m)

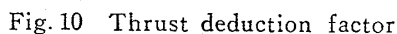
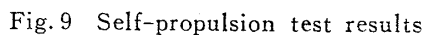
B : パドルホイール幅 (m)

γ : 水の比重 (kg/m³)

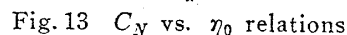
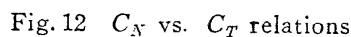
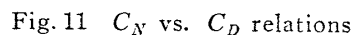
通常のスクリープロペラの場合は、十分に没水している限り、フルード数に関係なく一つの曲線で性能を表示できるが、パドルホイールの場合は、前述のように複雑に変化する。

(2) 自航試験

自航試験結果を通常のスクリープロペラ付の船と同じパラメータで無次元表示し、Fig. 9 に示す。



前節に示した Fig. 1~Fig. 3 の資料と比較すると、全体的に両者は非常によく一致していることが分かる。



“ミシガン”の船型の最大の特徴は、超浅吃水であることであり、 $B/d=10.6$ と普通の船の 3~4 倍となって

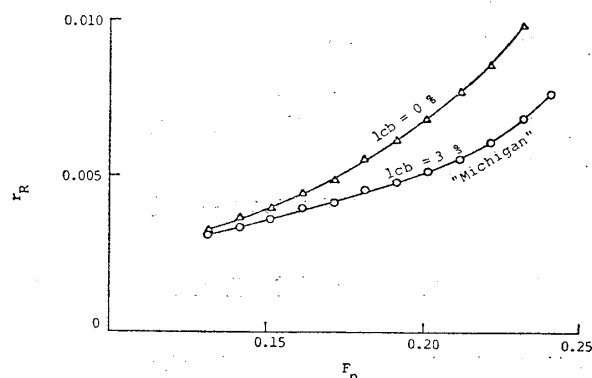


Fig. 14 Resistance test results

いる。

また本船の船尾は、フラットな船底が船尾方向へ切り上った船型 (Buttock flow 船型) となっており、従来のタンクテストデータから、その抵抗性能を推定することは非常に困難であった。

そこで l_{cb} の値を変化させた二船型についてタンクテストを実施し、予想外に良い結果を得た。

Fig. 14 に剰余抵抗係数 (r_R) を示すが、本船の抵抗性能は、通常のプロポーションを持つ船型と同程度となっていることが分かる。

Fig. 14 には $l_{cb}=0\%$ の船型のデータを併記している (実船は $l_{cb}=3.0\%$)。

本船の計画フルード数は 0.23 であり、従来の資料によれば最適 l_{cb} の値は約 0% である。

しかし Fig. 14 によれば $l_{cb}=3.0\%$ の船型の r_R が小さく、本船のような buttock flow 船尾を有する船型には、従来のデータを適用できないことを示している⁴⁾。

4 操縦性能

本船の操縦性能上の特殊性としては次のものが挙げられる。

- (i) L/B が小さく、 B/d も極端に大きいこと。
- (ii) 浅吃水故、舵のアスペクト比が小さくなること。
- (iii) 推進器としてパドルホイールを用いているため、舵を推進器後流中に配置することが困難であること。
- (iv) 遊覧船という特性から、ひんばんに出入港を行うこと。

4.1 舵面積および舵形状の決定

本船のパドルホイールは、船尾後方に張り出しているため、舵をパドルホイールの後流を受ける位置に装備することは、構造的にも難しい。

また舵面積が確保しにくく、舵のアスペクト比も必然的に小さくなり、小舵角における舵性能の低下が予想さ

れた。

種々のデータから求めた所要舵面積は、

針路安定性より 1/8.6

旋回性より 1/5.0

であり、旋回性の条件から求めると、舵面積が非常に大きくなり、配置的にも無理であった。

本船では船首・尾にサイドスラスターを設けたので、針路安定性の条件を優先し、配置上の制約も考慮して、最終的に 1/8.2 とし、Fig. 15 に示すように 3 枚舵として所要の面積を確保した。

4.2 模型操縦性試験

本船の操縦性能は前述のように極めて特殊性が高く、従来の船から推定するのが困難である。

そこで自由航走模型 (長さ 4 m) を用いて操縦性能の確認を行った。

試験の種類は旋回試験、スパイラル試験および Z 試験であり、Fig. 16, Fig. 17 に深水中での結果を示す。

Fig. 16 から分かるように、本船はかなり安定であるといえる。

浅水域で航行する場合は、浅水影響によって針路安定性が悪くなる可能性があるが、本船は深水中で十分安定であり、心配はないものと判断した。

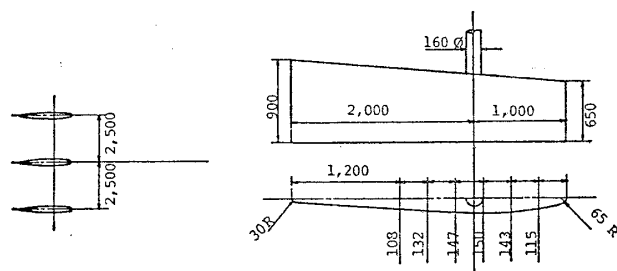


Fig. 15 Dimension and arrangement of rudder

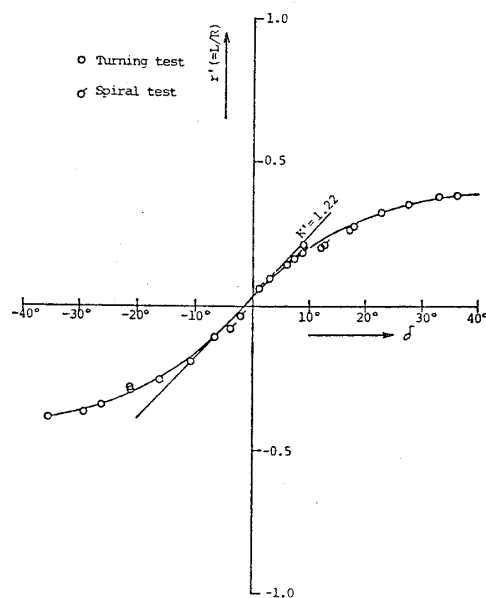


Fig. 16 Results of turning and spiral tests

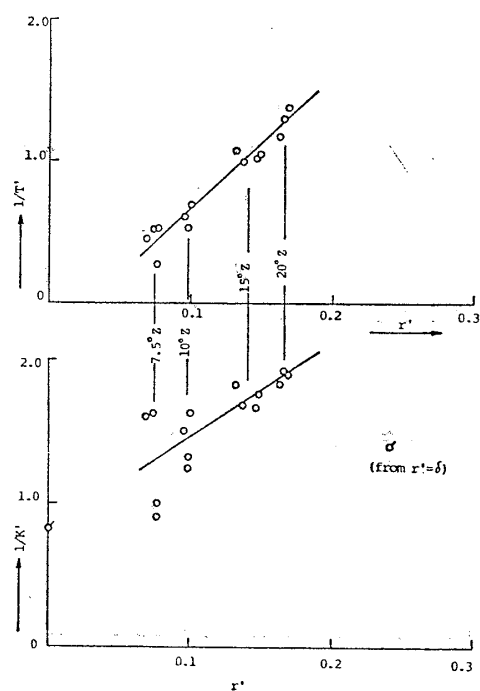


Fig. 17 Results of Z steering test

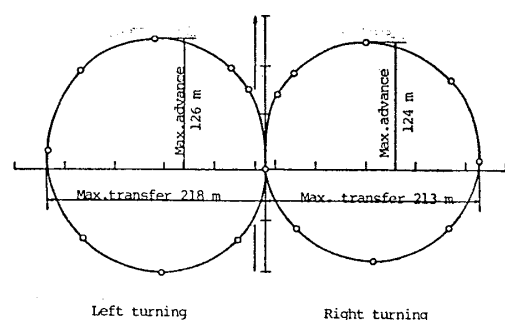


Fig. 18 Turning test of actual ship

また $10^\circ Z$ 試験の結果によると $T'=1.5$ であり、小型客船並みの追従性能を有している。

本船の舵角 35° における旋回半径は約 $2.5L$ であり、通常の船と比べて若干大きくなっている。

通常、安定な船の場合 $r'-\delta$ 特性は直線になることが多いが、本船の場合 Fig. 16 から分かるように、大舵角で r' が下がっている傾向を示している。

この原因としては、船型が非常に特殊であること、パドルホイールが旋回抵抗として作用していることなどが考えられる。

4.3 実船操縦性試験

(1) 旋回試験

Fig. 18 に 35° 転舵時の船の航跡を示す。

これによれば旋回半径は約 $2.2L$ であり、模型試験の結果と大略一致している。

また、サイドスラスタ（バウおよびスターン）を併用したときは、旋回半径が、ほぼ半減している。

(2) Z 試験

$10^\circ Z$ 試験の解析結果では、 $K'=0.61$, $T'=1.35$ であり、模型試験結果とかなりよい一致を示している（模型船では $K'=0.68$, $T'=1.50$ ）。

旋回力指数 K' は 4.1 で述べたように、通常の船と比べて小さめである。

しかし、これは、サイドスラスタを設けることにより補われている。

また追従性指数 T' は、通常の船と比べ、そんな色はない。

変針遅れ時間も 7~10 秒で、ゆきすぎ角も $2\sim3^\circ$ と小さい。なお、以上の操縦性試験は $H/d=4$ で行われたもので浅水影響はほとんど無いと思われる。

5 底質攪乱性能

本船は琵琶湖の水位低下に対処するための代替船であり、浅水域を航行する場合、推進装置によって湖底面が攪乱され、環境汚染の面での懸念が予想された。

推進装置としてパドルホイールまたはスクリュープローペラのいずれが、環境汚染の面で優位かを、回流水槽を使用して実験を行い、湖底面攪乱の度合により判断することとした。

5.1 実験方法

Table 2 にモデルの主要目、Fig. 19 に概略配置を示す。

アクリルライト板を吊下げて湖底とし、湖底面攪乱に直接起因と思われる底面への作用圧力を量的に把握するために、アクリルライト板に静圧孔を設け、傾斜マノメータに導いて圧力計測を行った。

また、絵具塗布法およびインク注入流脈法により流線観察を行った。

5.2 実験結果

(1) 流線観察

Table 2 Test condition

	SHIP	MODEL
L_{pp} (m)	50.00	2.00
B (m)	11.70	0.468
d (m)	1.10	0.044
Depth of lake	2.20 m	0.088 m
Dia. of wheel	4.60 m	0.184 m
Dia. of propeller	0.60 m	0.028 m

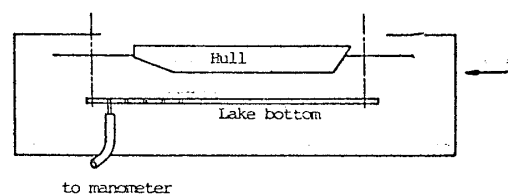


Fig. 19 Arrangement of lake bottom disturbance test

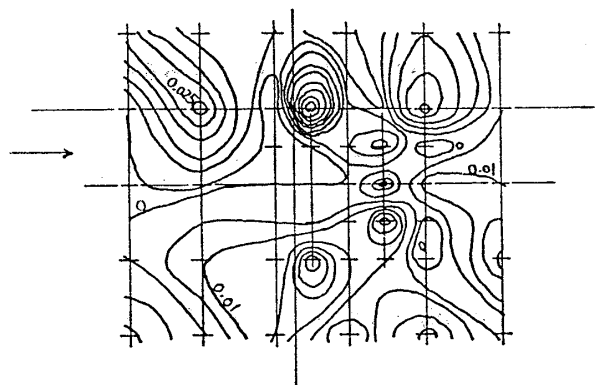


Fig. 20 Pressure distribution at lake bottom in case of screw propeller

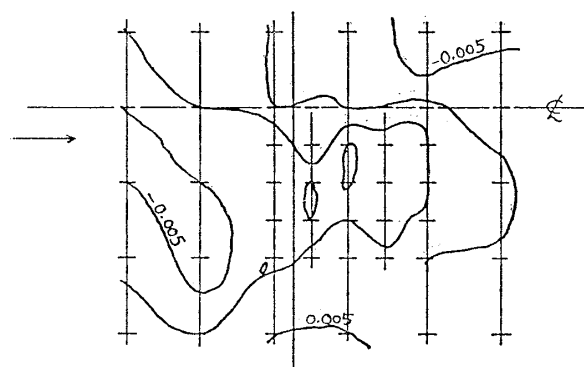


Fig. 21 Pressure distribution at lake bottom in case of paddle wheel

プロペラによる流れは、同じ推進器荷重度においても推力を発生させるための面積が小さいために、その直下では底面の絵具が激しく吸い上げられ、後方にとばされて、後流は一面濁流となった。

一方パドルホイールの場合は、推力を発生する面積が大きく回転が遅いため、パドルホイールの直下でも、ゆっくり舞い上り、底面への影響は、わずかで、後流の水面もほとんど濁らなかつた。

(2) 圧力計測

Fig. 20 にプロペラによる底面の圧力分布を、Fig. 21 にパドルによるものを示す。

プロペラによる圧力分布は、非常に変化が激しいが、パドルホイールによる底面の圧力分布は、ほとんど変化していない。

以上のように流線観察および圧力計測結果から、環境汚染面から、パドルホイールの優位性が立証された。

6 結 言

船尾外輪旅客船“ミシガン”の基本計画に際し、模型実験等により諸性能の検討を行い、所期の性能を発揮した。

(1) パドルホイールに関するデータを蒐集し、基本設計チャートを作成した。

(2) 模型実験により、本船のパドルホイールの性能を確認した。

(3) 浅吃水船に対し、buttock flow 船型を採用し、秀れた結果をえた。

(4) 三枚舵、パウ・スターンスラスタの採用により、船型比の悪条件を克服して、遊覧船として所期の操船性能を確保することができた。

(5) パドルホイールとスクリュプロペラの両者について、底質攪乱状況の模型試験を行い、琵琶湖汚染という面からパドルホイールの優位を実証した。

最後に、本船の建造にあたり、終始ご指導、ご協力いただいた琵琶湖汽船、監督諸官庁、竹中工務店、高島屋装飾部の方々に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) H. Volpich, I. C. Bridge: Paddle Wheels, TIES (1954~5).
- 2) Captain William McEntee: Model Experiments with River Towboats-stern-wheel and Tunnel Propeller Types compared, SNAME (1925).
- 3) J. E. Denton: Performance of the Paddle-wheel Steamboat New York of the Hudson River Day Line, SNAME (1906).
- 4) 渡辺四郎, 他: Buttock flow な船尾の研究, 日本造船学会論文集, 第122号 (1967).