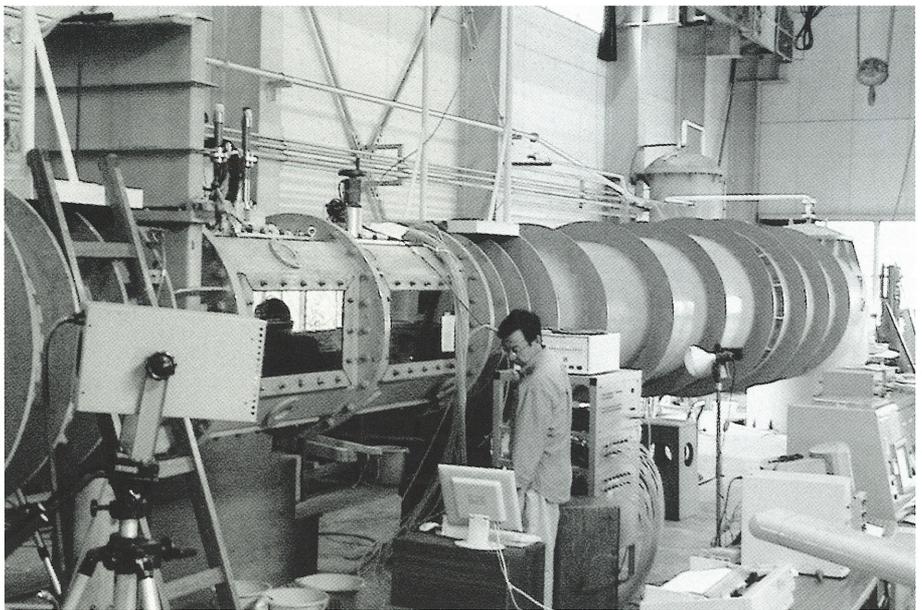


●目次●

セミサブメガフロートに働く 変動波漂流力	page 2
氷海船舶について (その2 模型試験における相似則)	page 4
姫路市消防局消防艇 「ひめじ」について	page 6
船舶の性能について (その1 油槽船)	page 8
速度ポテンシャルと 流れ関数について (その5 翼型理論 (流体から受ける力))	page 10

大型キャビテーション水槽について



(独)海上技術安全研究所所属の大型キャビテーション水槽は船舶の大型高速化、大馬力に伴うプロペラのキャビテーション現象およびこれを起因とするプロペラ汚損や船尾振動などの深刻な問題への対処を主目的に、1980年に三鷹地区に建設されました。曳航水槽試験で用いた船長7mクラスの大型模型船を水槽内に入れて、船体後方で作動する状態でのプロペラ翼面上のキャビテーション観察や変動圧力・騒音計測が可能です。欧米の軍用を主目的とする設備を除けば、世界的にも最大クラスの規模を有する設備です。この他に、直径750mmの計測胴を用いて、2次元翼などの基礎的な試験が実施でき、ワイヤメッシュスクリーンにより実船相当の船尾流場をシミュレートした流場中でのキャビテーション試験も可能です。

船舶の運航経済性向上ニーズは、コンテナ船の更なる巨大化、内航船の高速化などの形で顕在化しており、プロペラ性能向上への要求と相まって新たな課題が提起されています。前回紹介しましたように、日本造船技術センターは三鷹の海上技術安全研究所の一角において、試験業務を継続いたしますが、プロペラ関連についても、本大型キャビテーション水槽を活用して、ご要望に応える所存です。

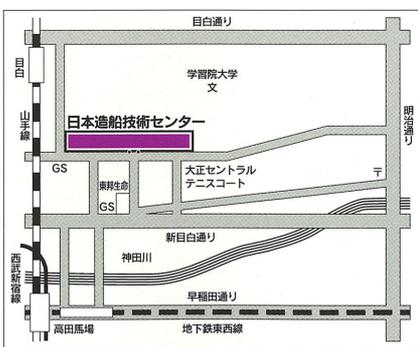
本設備の主要な寸法や機能は以下の通りです。

第一計測胴

断面 円形 750 mm
最大流速 20m/s

第二計測胴

断面 矩形 2000mm×880mm
最大流速 6m/s



財団法人 **日本造船技術センター**
〒171-0031 東京都豊島区目白1丁目3番8号
TEL 03(3971)0266 FAX 03(3971)0269

試験センター

〒181-0004 東京都三鷹市新川6-38-1
(独)海上技術安全研究所 2号館内
TEL 0422(24)3861 FAX 0422(24)3869

セミサブメガフロートに働く変動波漂流力

1. はじめに

多数の円柱要素浮体から構成される超大型浮体構造物(以下セミサブメガフロート図-1)の技術的成立性を検討する場合、波による荷重推定において、1次の波強制力のみならず2次の波漂流力の評価が重要となる。特に実海域においては、出現する波浪の不規則性を考慮した変動波漂流力を正確に見積もる必要がある。

これまで変動波漂流力の推定法にNewman・Pinkster法などが用いられてきたが、この手法をそのままセミサブメガフロートに適用すれば過大評価になると考えられる。そこで、セミサブメガフロートに対応した計算法を提案し、模型試験によりその有効性を確認する。

2. 理論計算

従来の変動波漂流力の推定において、浮体の代表的な1点における各成分波の位相を用いた差周波数波強制力として変動波漂流力が計算されている。しかし、セミサブメガフロートでは各要素浮体に入射する波の位相が異なるために、浮体大型化に伴い各要素浮体に作用する変動波漂流力が相殺し全体として小さくなることが予想される。

従来のNewman・Pinksterの方法では、浮体群全体に関する規則波中波漂流力係数 $R(\omega)$ を

$$R(\omega) = \frac{D(\omega)}{\frac{1}{2} \rho g L \zeta^2} \dots \dots \dots (2-1)$$

ここで、 $D(\omega)$: 漂流力
 ρ : 流体密度
 g : 重力加速度

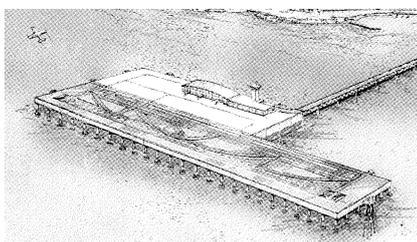


図-1 セミサブメガフロートイメージ図

L : コラム半径
 ζ : 振幅

とした時、不規則波中変動波漂流力 $F^{(2)}(t)$ は

$$F^{(2)}(t) = \rho g L \sum_i \sum_j a_i a_j R_{[(\omega_i + \omega_j)/2]} \cos\{(\omega_i - \omega_j)t + (\phi_i - \phi_j)\} \dots \dots \dots (2-2)$$

と表される。

セミサブメガフロートの場合には、ある成分波 ω_i の浮体群中心における位相が ϕ_i である時、浮体群中心から距離 x_s 離れたところにあるコラム(s)では、距離 x_s と波数 k_i との積 $k_i x_s$ だけ入射波の位相がずれている。

そこで、位相差を考慮して個々のコラムに働く変動波漂流力をすべて足すことにより、浮体群全体に働く変動波漂流力が得られる。

$$F^{(2)}(t) = \rho g L \sum_i \sum_j \sum_s a_i a_j R_s [(\omega_i + \omega_j)/2] \cos\{[(\omega_i - \omega_j)t + (\phi_i - k_i x_s)] - (\phi_j - k_j x_s)\} \dots \dots \dots (2-3)$$

このNewman・Pinksterの手法を拡張した計算方法は、近場法で個々のコラムの規則波中波漂流力係数が得られれば、従来のNewman・Pinksterの方法とほぼ同様にして変動波漂流力が計算できる。

3. 模型試験

3.1 試験模型

本研究で用いた試験模型を写真-1に、諸元を表-1に示す。縮尺比は、実機モデルの1/80を想定している。

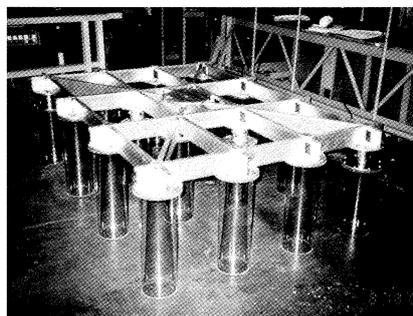


写真-1 試験模型

3.2 計測方法

上部デッキと曳航電車の間に取り付けた6分力計により、模型全体に働く6自由度の波浪外力を計測した。また、上部デッキとコラムの間に取り付けた4個の3分力計により個々のコラムに働く荷重を計測した。なお、座標系の原点は自由表面と模型中心の鉛直軸との交点とした。

3.3 実験パラメータ

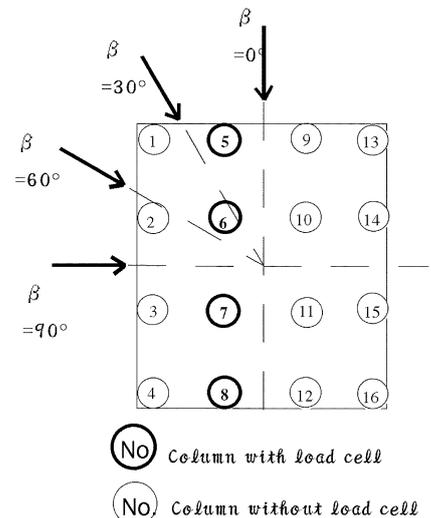
計測条件を表-2に示す。図-2に分力計の配置図を示す。

表-1 試験模型の諸元

	模型	想定実機
全長	2,000 mm	160.0 m
全幅	1,400 mm	112.0 m
全高	670 mm	53.6 m
喫水	247.5 mm	19.8 m
コラム直径	165 mm	13.2 m
コラム間隔		
・長手方向	600 mm	48.0 m
・幅方向	400 mm	32.0 m

表-2 計測条件

	模型	想定実機
有義波高	50 mm	40 m
有義波周期	0.835, 0.940 sec	7.47, 8.41 sec
波方向	$\beta = 0, 30, 60, 90^\circ$	



○ Column with load cell
 ○ Column without load cell

図-2 分力計の配置

4. 解析方法

不規則波実験で計測された時系列データの一列を図-3に示す。実験データにローパス(低域通過)フィルターによる処理を行い、波漂流力を含む周波数成分だけを通過させ、2次の変動波漂流力を導いた。図-4に、元の実験データとローパスフィルターを掛けた後の結果を比較したグラフを示す。なお、フィルターのカット周波数は0.85Hzである。グラフから微小な2次の変動波漂流力成分を抽出できたことがわかる。

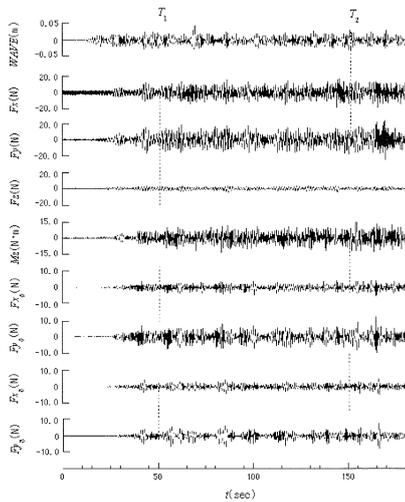


図-3 不規則波の時系列データの一列 ($H_{1/3}=5.0\text{cm}$, $T_{1/3}=0.94\text{s}$, $\beta=60^\circ$)

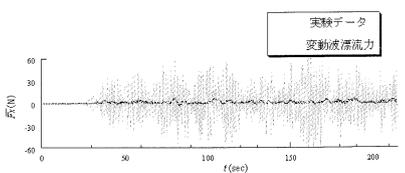


図-4 実験データと変動波漂流力の比較 ($\beta=0^\circ$, $T_{1/3}=0.835\text{s}$, $H_{1/3}=5.0\text{cm}$)

5. 試験結果及び計算値との比較

従来のNewman・Pinkster法による変動波漂流力計算値と入射波の位相差を考慮した計算値との比較を図-5に示す。最大値で比較すると、個々のコラムにおいてはほぼ同じ値を示しているが、模型全体においては約3倍の差が生じている。原因として、個々のコラム位置における入射波の位相差を考慮していないためと考えられる。次に、入射波の位相のずれを考慮した場合の計算値と実験値との比較を図-6に示す。個々のコラムだけでなく模型全体に働く変動波漂流力に関しても、最大値に近い値をとっており、今回提案した変動波漂流力の推定方法の有効性が確認できた。

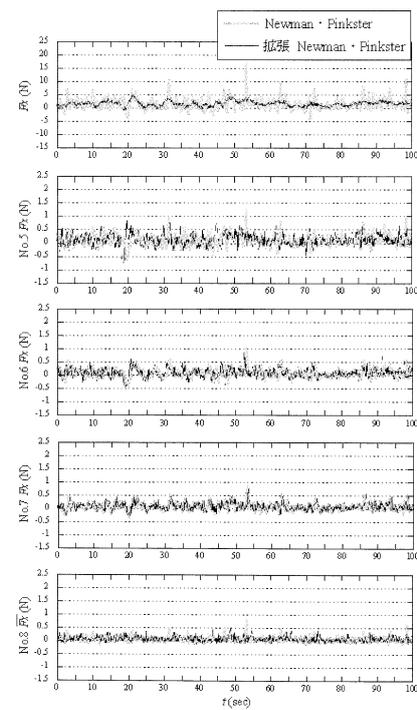


図-5 従来のNewman・Pinkster法と拡張Newman・Pinkster法の計算値 ($H_{1/3}=5.0\text{cm}$, $T_{1/3}=0.835\text{sec}$, $\beta=30^\circ$)

6 おわりに

セミサブメガフロートに働く変動波漂流力の新しい計算法を提案し、その方法の有効性について模型実験をもとに検討を行った。その結果、以下のことがわかった。

1. 不規則波中の変動波漂流力は、従来のNewman・Pinkster法では、過大評価してしまう。
2. 個々のコラム間の入射波の位相差を考慮した拡張Newman・Pinkster法を用いれば、変動波漂流力を合理的に推定できる。

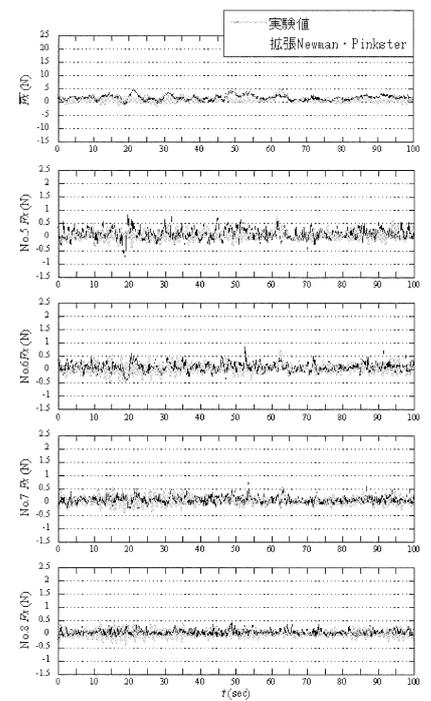
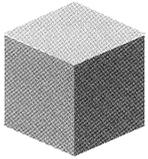


図-6 変動波漂流力の実験値と拡張Newman・Pinkster法の計算値 ($H_{1/3}=5.0\text{cm}$, $T_{1/3}=0.835\text{sec}$, $\beta=30^\circ$)



氷海船舶について(その2 模型試験における相似則)

前号では、砕氷船の歴史について紹介しましたが、本稿では、氷海域での氷況と、氷海水槽での模型氷の製氷技術、そして、模型試験時の相似則について、紹介します。

砕氷船などの航行する氷海域は、北極海やセントローレンス湾、ベーリング海、バルト海、オホーツク海などの北極側と、南極大陸周辺の海域などです。これらの海域での海氷はさまざまで、また、気象・海象によって大きく変化します。海氷はその発達過程、形態、氷の量などにより分類されています。氷の発達過程によって新成氷、ニラス、はず葉氷、板状軟氷、一年氷、さらに、一夏融けずに残っている二年氷や数年に渡って凍ったままの多年氷などの古い氷と分類されます。形態では、定着氷と流氷、陸氷に、また、氷の表面の特徴から、平坦氷と変形氷と分けられます。この変形氷には、波で割れて出来るいかだ氷をはじめ、ゆび状いかだ氷、氷脈(リッジ)、氷丘(ハンモック)などがあります。氷の量は、ある海域の中で氷の分布状態の量が、バラバラになっているか、あるいは、つまっているかを示す密接度を10分位法か8分位法で表します。冬季に海上保安庁から提供されるオホーツク海の流氷情報は密接度で提供されています。

砕氷船の砕氷抵抗を推定する手段として、氷海を模擬する氷の模型を全面に張らせた水槽、すなわち、氷海水槽での模型実験による方法があります。氷海水槽で模型の氷を作る際には、以下で述べる氷の厚さ、強度、弾性率について、実海域の海氷と相似則を満たすことが特に望まれます。氷海水槽での模型氷の作成については次のような歴史があります。1950年半ば、濃い食塩水を氷結させて、模型実験に適した低い強度の氷を製造する方法がロシアで考案されました。この氷は曲げ剛性率がかなり小さいという欠

点がありました。その後、ワックスを利用した氷も考えられましたが、1970年代になって、低濃度食塩水を使用して結氷させた後、室内温度を結氷温度より高めに設定して、曲げ剛性率と曲げ応力の比 E/σ_f をあまり減少させずに曲げ強度を下げる方法が考え出されました。また、1970年代後半には尿素を使う方法も提案されました。現在では、1985年代に提案されたエチレングリコールと脂肪酸、砂糖を使って結氷させる方法に、結氷時に霧を噴霧して氷の核を作る、結氷の後昇温するなど工夫が加えられて模型氷を作成しています。これによって、ほぼ実海氷の E/σ_f に近くで、かつ、強度の弱いものが出来るようになりました。

模型氷の説明をしました。次に、砕氷船は氷盤を砕氷して進むときの氷盤の動きを説明しましょう。船がある速度で船首が氷盤にぶつくと、氷を圧縮すると

も下に押し曲げます。船首の形によってはせん断力も働き、圧縮、曲げ、せん断で氷が破壊され、氷片となります。氷片は船首の部分で下へ押し、回転していきます。次々に船首で割れた氷片によって船底へ押しやられますが、大部分の氷片は船側に沿って浮かび上がっていきます。浮かび上がった氷片は船側の周りに浮かんだり、あるいは、周りの氷の下へ滑り込みます。(この際に、回転した氷片が水面上に垂直近く立つことがあり、氷盤の厚さを測ることが出来ます。)一部の氷片は船底に沿って船尾の方へ押し流されます。船底に沿って流れた氷片はプロペラ付近で浮き上がり、プロペラの流れの勢いで、後方へ押し流されます。船尾形状によっては、プロペラ面に吸い込まれ、回転中のプロペラで細かく砕かれます。間違えると、逆にプロペラが破損することになります。

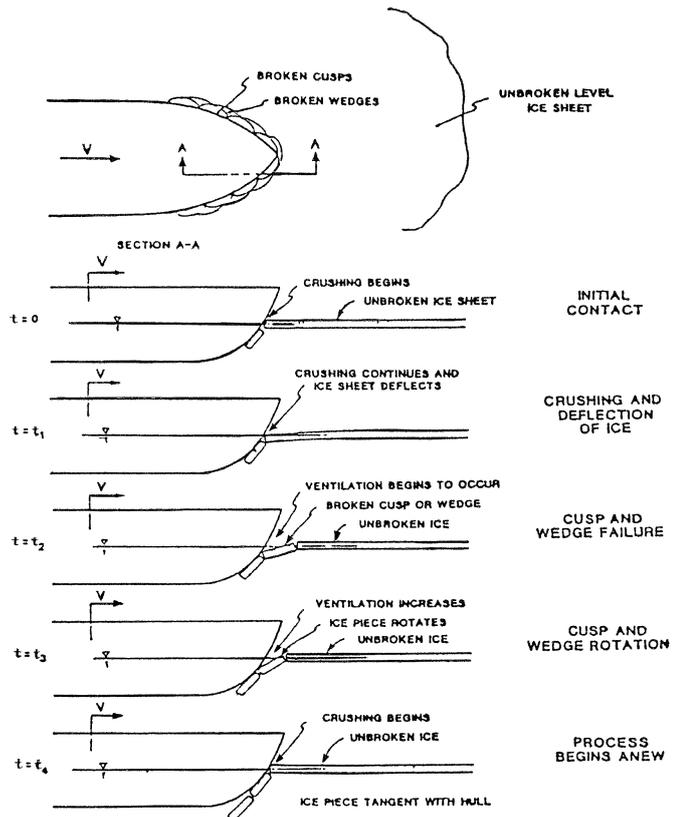


図 連続砕氷時のプロセス

以上のように、砕氷船などの周辺に生じる氷の様子は、氷板のたわみと破壊、そして砕かれた氷片の船体表面に沿った流れなどで構成されますが、これらの現象では、慣性力、重力、弾性力、応力、摩擦力、粘性力などが作用しています。これら作用する力は次のように表示できます。

- (慣性力) $F_i = \rho L^2 V^2$ (1)
- (重力) $F_g = \rho g L^3$ (2)
- (弾性力) $F_e = E \varepsilon L^2$ (3)
- (応力) $F_c = \sigma L^2$ (4)
- (粘性力) $F_v = \mu L V$ (5)
- (摩擦力) $F_f = f_i \rho g L^3$ (6)

ここに

- ρ : 氷の密度 L : 長さ
- V : 速度 g : 重力の加速度
- E : 弾性率 ε : 歪み
- σ : 応力 μ : 水の粘性係数
- f_i : 氷の船体、氷と氷等の摩擦係数

次にそれぞれの力の比を検討してみましょう。

(1) 慣性力と弾性力との比

$$F_i/F_e = \rho L^2 V^2 / E \varepsilon L^2 = \rho V^2 / E \varepsilon \text{(7)}$$

この比のうち、 $\rho V^2 / E$ をコーシー数と呼ばれます。

(2) 慣性力と応力の比

$$F_i/F_c = \rho L^2 V^2 / \sigma L^2 = \rho V^2 / \sigma \text{(8)}$$

この比は慣性応力係数と呼ばれます。

(3) 慣性力と重力の比

$$F_i/F_g = \rho L^2 V^2 / \rho g L^3 = V^2 / g L \text{(9)}$$

この無次元数の平方根 V/\sqrt{gL} は、フルード数と呼ばれます。

(4) 慣性力と粘性力の比

$$F_i/F_v = \rho L^2 V^2 / \mu L V = \rho L V / \mu = L V / \nu \text{(10)}$$

この無次元数は、レイノルズ数と呼ばれるものです。また、水の動粘性係数 ν は次の式で示されます。

$$\nu = \mu / \rho$$

さて、実船の長さ L_S と模型船の長さ L_M との縮尺を次のように表します。

$$\lambda = L_S / L_M \text{(11)}$$

実船の弾性力 F_{eS} が模型船の弾性力 F_{eM} の値を縮尺の λ^3 倍することで得られれば換算が便利になります。それを満たす条件を以下に求めていきましょう。

$$F_{eS}/F_{eM} = E_S \varepsilon_S L_S^2 / E_M \varepsilon_M L_M^2 = E_S \varepsilon_S / E_M \varepsilon_M \times \lambda^2 = \lambda^3 \text{(12)}$$

これより

$$E_S \varepsilon_S / E_M \varepsilon_M = \lambda \text{(13)}$$

が必要な条件となります。

慣性力と弾性力の比についても実船と模型船の値が等しくなる条件を考えてみましょう。

$$\rho_S V_S^2 / E_S \varepsilon_S = \rho_M V_M^2 / E_M \varepsilon_M \text{(14)}$$

これより

$$\rho_S V_S^2 / \rho_M V_M^2 = E_S \varepsilon_S / E_M \varepsilon_M \text{(15)}$$

この(15)式の右辺は(13)式の左辺と同じです。よって、

$$\rho_S V_S^2 / \rho_M V_M^2 = \lambda$$

さらに、実船と模型船での氷の密度が等しければ、すなわち、

$$\rho_S = \rho_M \text{(16)}$$

であれば、

$$V_S^2 / V_M^2 = \lambda \text{(17)}$$

よって、

$$V_S / V_M = \sqrt{\lambda} \text{(18)}$$

これは、フルード則に従って、模型船の速度を $1/\sqrt{\lambda}$ と遅くして実験を行い、その際に計測した模型船の弾性力を λ^3 倍することによって実船の弾性力が得られることとなります。

さらに慣性力と応力の比についても同じように実船と模型船の値が等しくなる条件を求めてみると、

$$\rho_S V_S^2 / \sigma_S = \rho_M V_M^2 / \sigma_M$$

よって、(16)と(17)の両式より氷の応力について次式が得られます。

$$\sigma_S / \sigma_M = \lambda \text{(19)}$$

さらに、発生する氷の歪みが等しければ、すなわち、

$$\varepsilon_S = \varepsilon_M$$

であれば、(13)式より

$$E_S / E_M = \lambda \text{(20)}$$

重力については、実船の荷重が模型船の λ^3 倍になっています。慣性力についても同じ λ^3 倍となる条件を調べてみると、

$$\rho_S L_S^2 V_S^2 / \rho_M L_M^2 V_M^2 = \lambda^3 \text{(21)}$$

よって

$$V_S^2 / V_M^2 = \lambda \times \rho_M / \rho_S$$

を得る。(16)式より、これは

$$V_S / V_M = \sqrt{\lambda} \text{(22)}$$

となり、(18)式と一致することになり、フルード則から導き出したものです。

このほか、氷と氷との間に生じる摩擦力、および、氷と船との間に生じる摩擦力について実船と模型の摩擦係数を等しく選べば、(6)式より実船の荷重は模型の荷重を λ^3 倍することによって得ることができます。

なお、流体の粘性力を相似にするには、(10)式のレイノルズ数を同一にする必要があります。しかし、実船と模型船において同時にレイノルズ数とフルード数を合わせることは不可能です。また、砕氷現象の場合には速度が遅く、よって、砕氷の際の応力に比べて流体の粘性力は小さいとみなして、流体の粘性力について無視しています。

以上より、砕氷の模型実験では、模型船の長さや模型氷の厚さ、弾性率、強度を実船の場合の値の $1/\lambda$ と小さくし、氷の摩擦係数を実船と同じにし、模型実験での速度を実船の $1/\sqrt{\lambda}$ 倍にすれば、その慣性力と重力、応力、弾性力、摩擦力に基づく現象は相似となり、計測された模型実験の荷重を λ^3 倍することで実船の荷重を換算することが出来ます。

姫路市消防局消防艇「ひめじ」について

1. はじめに

姫路港は特定重要港湾・植物防疫港に指定されている播磨地方の海の玄関口であり、兵庫県・近畿圏の物流拠点として重要な役割を担っている。三代目新消防艇「ひめじ」は、阪神大震災を教訓とした広域活動の重要性が求められるなか、迅速な消防活動及び救急救助活動に対処できるよう、同港を中心に活躍してきた二代目「ひめじ」の代船として建造され、平成15年4月に就航して活躍している。当センターは本艇の基本設計・建造監理を担当したので本艇の概要を紹介する。

2. 基本計画

本艇は以下に示すコンセプトで基本設計を行った。

- 限定沿海区域での活動を可能とする構造、設備
- 自動化、省力化、近代化
- 安全性の確保
- 居住設備の充実
- 姫路市に相応しい概観

3. 船舶の概要

(1) 工 程

起 工	平成14年7月
進 水	平成15年2月
竣 工	平成15年3月

(2) 主要目等

船 質	耐候性高張力鋼及び耐食アルミニウム合金
全 長	21.60m
全 幅	5.40m
深 さ	2.22m
総トン数	37トン
速 力	18ノット(常備状態)
最大搭載人員	
船 員	5名
その他	8名(24h未満) 15名(1.5h未満)

(3) 推進・発電装置

主機関	電子制御式高速ディーゼル機関
	連続最大出力 745kW×2基
推進器	3翼可変ピッチプロペラ×2個
発電機	45kVA×1台

(4) 消防装置

消防ポンプ	渦巻ポンプ×2基
容量×揚程	10,000ℓ/5,000ℓ/min× 100/500m
放 水 砲	5,000ℓ/min×2 3,000ℓ/min×2
集合放水口	65mm 各舷6口
大量放水口	150mm 各舷1口
伸縮放水塔	ストローク3.7m×1基 海面上高さ 13.5m

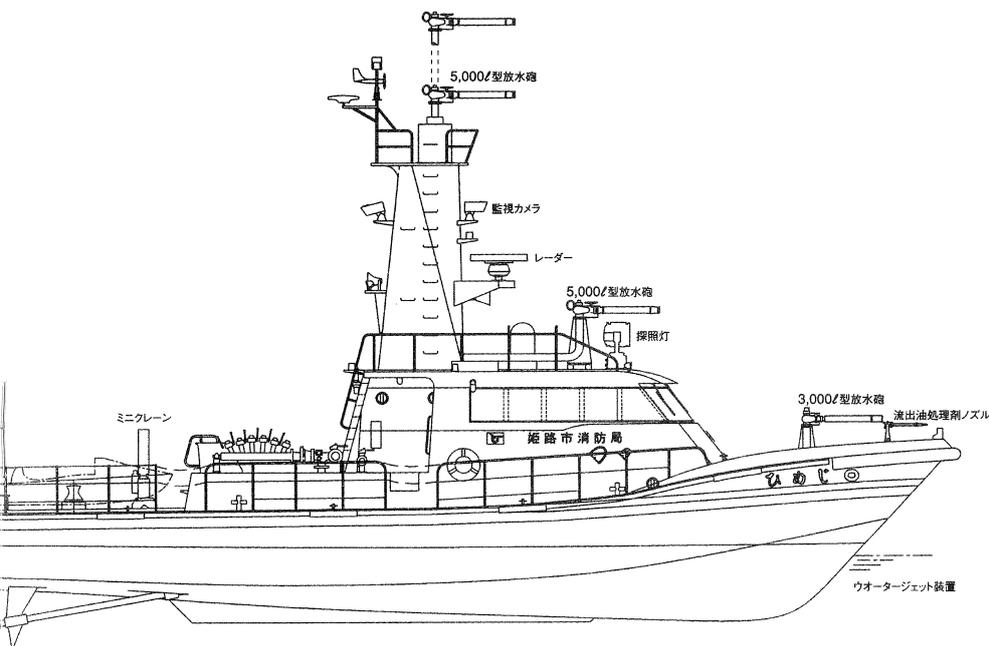
(5) 水難救助用具

自動昇降式救助ラダー	200kgf 1基
水上バイク	4人乗り、緊急仕様 1艇
その他	水中スクーター 1台 水中カメラ 1台 フーカー装置 1式

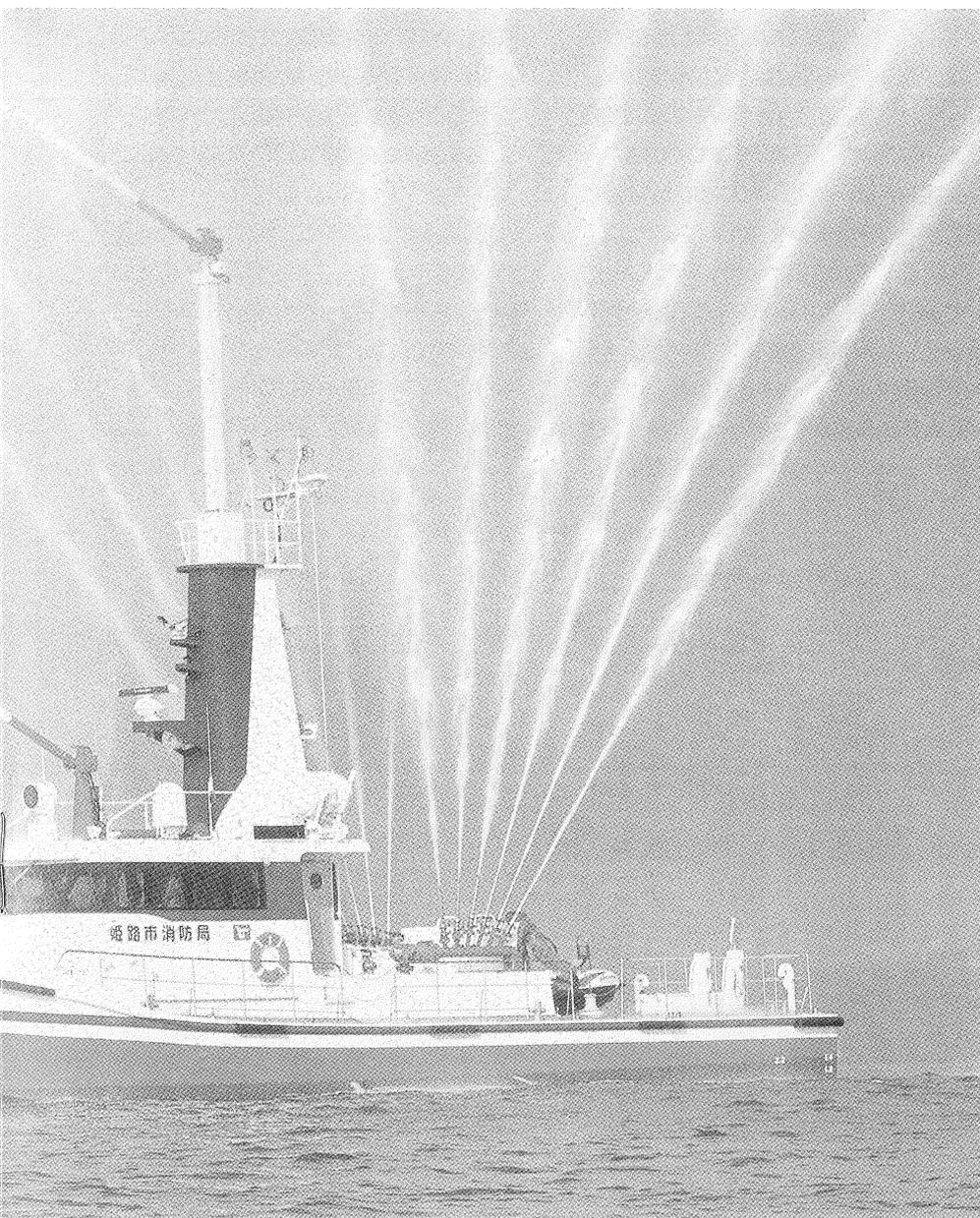
(6) 航海計器

多機能カラーレーダー	1台
GPS航法装置	1台
音響測深機	1台
ナビテックス受信機	1台
無線装置	1式





(設計初期の配置)

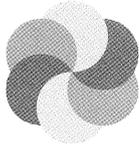


4. 特徴

- (1) 本艇は係船場所の関係から全長に制約があったうえに、多機能が要求されていたことから搭載機器類が多く、一般の消防艇に比較してLWL/ $\Delta^{1/3}$ の値を小さくせざるを得なかった。このため、計画速力18ノットを確保することが非常に厳しく、船尾フィンの装備や船体表面の平滑化などの工夫がなされている。
- (2) 本艇の航行区域は平水区域であるが、緊急時、臨時変更証の取得により他県での救助活動ができるよう船体構造及び救命設備などは全て限定沿海仕様としている。
- (3) 十分な復原性能を確保する目的で、上部構造は全て耐食アルミニウム合金製とし、放水砲をはじめとする機器類は極力軽量コンパクトな機種を採用している。
- (4) データロガー、放水制御装置及び監視カメラなどを搭載し、操舵室から機関室の状態や消防機器の作動状況が監視できるよう自動化・省力化が図られている。
- (5) 緊急仕様の4人乗り水上バイクの搭載、自動昇降式救助ラダーの設置、その他、水中スクーターやフーカー装置などを装備して迅速な水難救助活動が可能である。

5. おわりに

本艇の基本設計及び建造監理を進めるにあたり、常に積極的なご支援とご高配を賜りました姫路市消防局殿に対し厚くお礼申し上げます。また、建造にあたっては、(株)石原造船所殿をはじめとし、関係メーカー各位が高度な技術と誠意をもって努力されたことを付記します。



船舶の性能について (その1 油槽船)

1960年代から急速に油槽船の船型が大型化するとともに、貨物船もコンテナ船の出現で大型化、高速化されてきています。第1回の本稿では、油槽船に絞り、どのような油槽船が建造されてきたかを調べていこうと思います。

さて、船舶の推進性能を調べる上で必要な要素である排水量 Δ が最近の資料には余り掲載されていません。「船舶」や「船の科学」の雑誌や日本海事協会の船舶録などにはかつては記載されていましたが、最近ではこれらの雑誌が休刊になり、また、船舶録や公表される新聞の記事からも排水量が記載されなくなりました。重量と記載されていてもそれは排水量ではなく、載貨重量です。そこで、排水量が昔から最近まで記載されている資料、すなわち、日本海運集会所の日本船舶明細書から収集することにしました。なお、この資料は日本に船籍を置いているもので、便宜置籍船を含む輸出船は含まれていません。

総トン数1,000トン以上という条件で1963・1964年版から1999年版まで約5年毎の資料よりデータを収集しました。

この中から長さ150m以上の油槽船に絞り、以下に示します。

まず、油槽船の載貨重量DW(トン)と、垂線間長さLpp(メートル)と、連続最大出力M.C.O.(馬力)、航海速力Vs(ノット)を横軸に建造年をとって図-1から図-4までに示します。ここに掲載したデータの数は527隻です。

これらの図に見るように、1960年代で急速に大型化されていることがわかります。ここに示したデータの中で最も大きいのは1978年建造の載貨重量48万トンです。また、石油危機が起きた1973年からデータが多様になっています。そして、1980年以降は25万トン前後と10万トン以下のグループに分かれています。

長さも、連続最大出力もどちらも、載貨重量と同様な変化をしています。

航海速力は1950年初めは15ノット前後から、15ノットから17ノットの範囲で1980年までは推移し、それ以降は13ノットから16ノットと全体的に速度を落としています。

なお、1980年以降の船舶の隻数が減っているのは、便宜置籍船が増えて、日

本籍の油槽船が減少したことを示しています。

次に、垂線間長さ幅比Lpp/B及び方形係数Cbを図-5と6に示します。垂線間長さ幅比は1950年から徐々に小さくなっています。これは、垂線間長さが図-2に示すよう大きくなっていますが、幅が垂線間長さの変化以上に幅広くなっていることを示しています。また、方形係数は1950年初めの0.78前後から1970年代の0.80から0.85までと大きくなっています。

次に図-7に垂線間長さと航海速力による得られるフルード数Fnを示します。1950年代初めの0.18から0.20の間から1960年代には徐々にフルード数は低

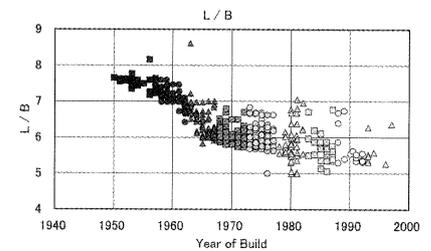


図-5 垂線間長さ幅比Lpp/B

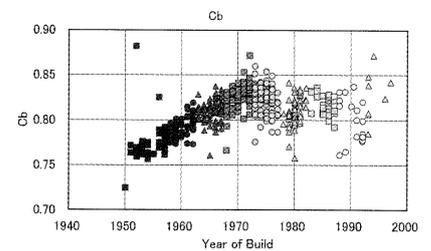


図-6 方形係数Cb

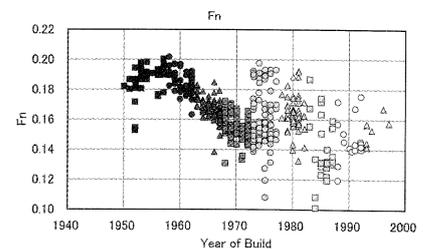


図-7 フルード数Fn

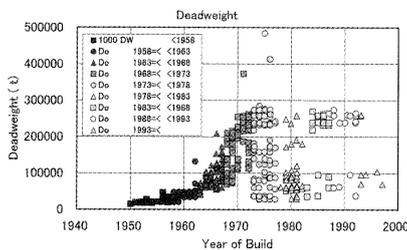


図-1 載貨重量DW(トン)

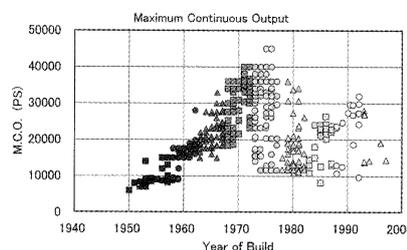


図-3 連続最大出力M.C.O.(馬力)

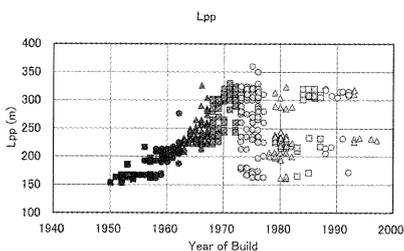


図-2 垂線間長さLpp(メートル)

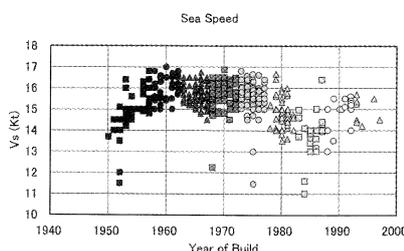


図-4 航海速力Vs(ノット)

くなり、1970年には0.14から0.17の間となっています。特に1960年代はフルード数の変化が明確です。これは航海速度は余り変わらず、垂線間長さが大きくなっているからです。油槽船を大型化は、相対速度であるフルード数を下げていることを示しています。1980年代以降は0.15を挟んでデータの中が大きくなった状態を示しており、船型の多様化を示しています。

次に、運航効率の変化について調べてみましょう。ここでは、連続最大出力MCOを載貨重量DWと航海速度Vsで割った値すなわちMCO/(DW・Vs)を考えてみました(図-8)。1960年代に徐々に小さくなり、1970年代は値が散っていますが、1980年代では1950年初めのほぼ半分になっています。1960年代は船型を大型化することによって馬力が相対的に減りました。石油危機の1973年以降データの中が広がっていますが、1980年代中頃からはさらに性能が良くなり1950年初めの1/4程度の船型が出現しています。

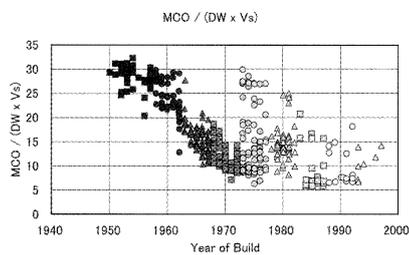


図-8 MCO/(DW・Vs)

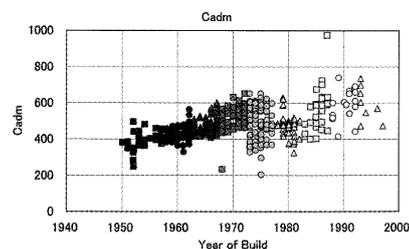


図-9 アドミラルティ係数Cadm

次にアドミラルティ係数Cadmをみてみましょう。アドミラルティ係数は次式で表すことが出来ます。

$$Cadm = (\Delta^{2/3} \times Vs^3) / N.O.$$

航海速度Vsは常用出力N.O.で波浪中航行するときの速度とし、常用出力は連続最大出力から下記の式から求めました。なお、 Δ は満載排水量です。

$$N.O. = MCO \times 0.85$$

図-9に示すように、アドミラルティ係数は1950年代の400前後から徐々に大きくなり、1970年では450から600と大きくなっています。その後やや小さくなった時期がありますが、1990年代は450から750と大きい値になっています。

図-8と9で年代とともに油槽船の性能が向上していることが分かりましたが、さらに、平水中の全抵抗係数 r_T へ大胆に解析を進めてみましょう。

$$r_T = R_T / (\rho V^2 \nabla^{2/3})$$

全抵抗係数とアドミラルティ係数との間に下記の関係が成り立ちます。

$$r_T = 5.36 \times \eta / (Cadm \times 1.15)$$

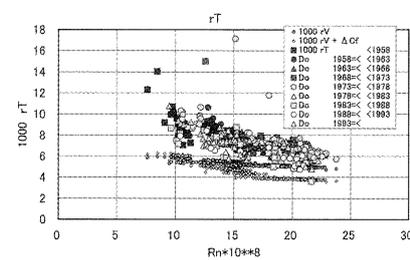


図-10 レイノルズ数と全抵抗係数 r_T

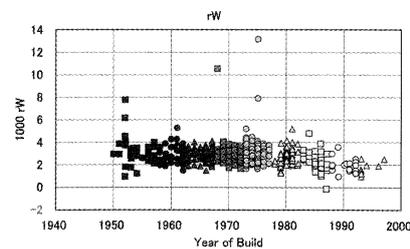


図-11 造波抵抗係数 r_W

ここに、 η は推進係数で、 ∇ は排水容積であり、波浪中のシーマージンは0.15と仮定しています。

推進係数 η を0.75と一定と仮定して求めた全抵抗係数は、ここには掲載しませんが、MCO/(DW・Vs)と傾向がよく似ています。図-10にはレイノルズ数を横軸にとった場合を示します。レイノルズ数が大きくなるにつれて全抵抗係数が小さくなっていることが示されています。

図中に、粘性抵抗係数 r_V を推定して示しました。摩擦抵抗係数 Cf_0 はシェンヘル相当平板の摩擦抵抗係数式を使い、浸水表面積SはDennyの式によって推定しました。また、形状影響係数Kを0.2の一定と仮定しております。

$$r_V = Cf_0 \times S / (2 \nabla^{2/3}) \times (1 + K)$$

さらに図中には、模型船と実船の性能の修正する相関係数である粗度影響係数 ΔCf を考慮した値を書き加えてあります。

全抵抗係数 r_T から剰余抵抗係数 r と粗度影響係数分を差し引いて、造波抵抗係数 r_W を求めてみました。

$$r_W = r_T - r_R - \Delta Cf \times S / (2 \nabla^{2/3})$$

その結果を横軸に建造年をとって図-11に示します。造波抵抗係数はある範囲の中がありますが、年を追う毎に全体的小さくなっており、特に1990年以降はさらに小さくなっています。

以上より、油槽船は、長さを長くし、幅をさらに広げて方形係数を大きくし載貨重量を増やしています。この結果、長さ幅比の減少と方形係数の増大による抵抗係数の増大と推進効率の劣化などが生じますが、長さを長くしたことから、レイノルズ数が大きくなり、よって、摩擦抵抗係数および粘性抵抗係数をより小さくするとともに、フルード数を下げ、造波抵抗係数を抑える結果が得られました。これらの要素に加えて、船型とプロペラの開発改良により抵抗の軽減と推進効率の向上により船舶の性能が向上しています。



速度ポテンシャルと流れ関数について

(その5 翼型理論(続き) 流体から受ける力)

1. 後縁からの渦と翼型周り循環

前号までに、2次元円柱周り理想流体の非回転運動の式及び等角写像を用いて翼型周りの流れへの変換式と流体から受ける力の公式(Blasiusの式)を求め、更に、2次元翼型が受ける流体力(揚力(P))を与えるKutta-Joukowskiの定理($P = \rho V \Gamma$)を求めました。ここで、 ρ は流体の密度、 V は速度、 Γ は循環です。即ち、循環(Γ)が同じであれば揚力は円柱でも翼型でも同じですが、後縁が角となる翼型では物理的考察が必要です。即ち、等角写像の式では後縁では $d\zeta/dz=0$ ですから、変換された速度は無限大になります。実際にはこんな事は起こらず、必ず有限の速度となります。以下がこの問題に関する物理的な理解です。まず、後縁では回転運動、言い換えれば後縁に沿って長い渦が発生するとします。ところで、渦は流体内に端を持つことは出来ませんから、どこかにこれと同じ強さを持つ渦があって、無限遠の点で両方の渦は繋がっていなければなりません。即ち後縁の循環を打ち消す循環がどこかに存在せねばなりません。これは翼型のまわりに発生すると考えます。後縁に発生する渦は後方に流れて行きますが、翼型の周りの渦は残ります。翼型周りに循環が出来ると岐点位置が移動しますが、この現象が次々に連続して起こり、岐点の位置は次第に後方に移動して、岐点と後縁が一致するようになります。この状態では流体は後縁を巡る事はなくなるので、速度は無限値となることはなく、後縁での渦の発生も止まり、定常状態となります。この状態での翼周り循環がKutta-Joukowskiの定理に現れる循環(Γ)で、翼型形状や迎角によって定まります。図-1参照。

翼型の写像である円上の $z=R$ の位置が翼型の後縁に対応するならば、この点が岐点となるには、 $\Gamma = 4\pi V k \sin(\alpha - \chi)$ となり



図-1

ます。 α は迎角、 χ は無揚力角、 k は z 面への写像による一様流速の変化を表します。

2. Joukowski翼型

数式が並びますが翼理論への入り口です。写像関数を $\zeta = 1/2 * (z + c^2/z)$ と与えます。

この式は $\zeta = z = r * \exp(i\theta)$ の円周上に z をとり、これと逆符号の偏角をもつ動径上に $\zeta = c^2/z = (c^2/r) \exp(-i\theta)$ をとるとき、この点と z を結ぶ直線の二等分点に $\zeta = 1$ の中心を表す式

$m = 1 * \exp(i * \delta)$ とすれば、 $\zeta = 1$ は次のような円に対応します。

$$m = 1 * \exp(i * \delta) \text{ とすれば、 } \zeta = 1 \text{ は次のような円に対応します。}$$

$$(x - 1 * \cos \delta)^2 + (y - 1 * \sin \delta)^2 = a^2$$

一方、 $\zeta = 2$ は、変換過程を省略しますが、中心(x_0, y_0)が $x_0 = c^2 * 2 \cos \delta / (a^2 - 1^2)$, $y_0 = c^2 * 2 \sin \delta / (a^2 - 1^2)$ となる円の式、 $(x - (c^2 * 2 \cos \delta) / (a^2 - 1^2))^2 + (y - (c^2 * 2 \sin \delta) / (a^2 - 1^2))^2 = c^4 / (a^2 - 1^2)$ に対応します。

z 面の原点を円の中心に置換え(Z)、後縁と実軸が交わる点の条件から循環を求めます。まず、 $z = \exp(-i * \beta) * Z + m$ と変換します。

Z 面にて、円の周りの速度関数は、

$$dw/dZ = Vz \exp(-i * \alpha) - Vz \exp(i * \alpha)$$

$/Z^2 + i * \Gamma / 4\pi Z$ ですから、

これが後縁 $Z = a$ において0ですから、

$$\Gamma = 4\pi Vz \sin \alpha \text{ となります。}$$

翼型への変換は、 $\zeta = 1/2 * (z + c^2/z)$

$$= 1/2 \exp(-i * \beta) Z + 1/2 m + \dots$$

無限遠方での速度関数より

$$(dw/d\zeta) = (dw/dZ) * (dZ/d\zeta)$$

$$= 2Vz \exp(-i * (\alpha - \beta)) \text{ が得られ、円柱周りの式に対し、 } \zeta \text{ 面の速度と迎角が}$$

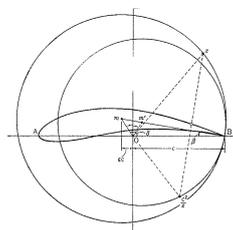


図-2

$V = 2Vz$, $\alpha = \alpha - \beta$ となり、循環 Γ は

$$4\pi a V / 2 \sin(\alpha + \beta), \text{ 揚力 } P \text{ は}$$

$$\rho V \Gamma = (\rho V^2) * 2\pi a \sin(\alpha + \beta)$$

として求められます。ここで、翼型の前、後縁、弦長、半径等が以下のように得られます。

後縁 $\zeta = (\zeta) z = c = c$

前縁 $\zeta = (\zeta) z = -c(1 + 2\varepsilon)$

$$= -c(1 + 2\varepsilon + 2\varepsilon^2) / (1 + 2\varepsilon)$$

$$\varepsilon c = -l \cos \delta$$

弦長 $C = 2c(1 + \varepsilon)^2 / (1 + 2\varepsilon)$

半径 $a = c(1 + 2\varepsilon) / \cos \beta$

揚力係数 CL は以下の式となります。

$$P = CL * (1/2) \rho V^2 * C$$

$$CL = 2\pi ((1 + 2\varepsilon) / (1 + \varepsilon)) * \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta$$

以上がKutta-Joukowski翼型の揚力係数です。簡単な翼形状に関する式を以下に示します。

$\varepsilon = 0$ の場合；

+C, -C, mを通る厚さゼロの翼型

$$CL = 2\pi \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta \quad \text{(図-3)}$$

$\beta = 0$ の場合；

肉厚を有する上下対称翼

$$CL = 2\pi(1 + 2\varepsilon) \sin \alpha / (1 + \varepsilon) \quad \text{(図-4)}$$

$\beta = 0, \alpha = 0$ の場合；

平板

$$CL = 2\pi \sin \alpha \quad \text{(図-5)}$$

一様流中の静止翼型には原点の周りにモーメントが発生します。これに関するBlasiusの式の詳細は他の教科書に譲ります。

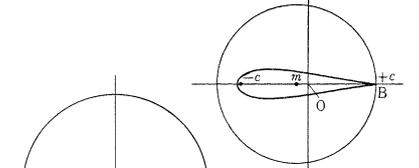


図-3

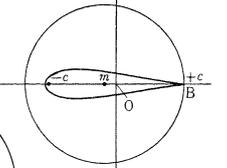


図-4

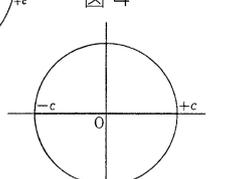


図-5

雑感 感覚について(ミクロの波とマクロの波)

私達の周りにはいろいろな自然現象が溢れており、それを視覚、聴覚、触覚によって感知しています。波を例にとると、地震や津波、風浪や船の動揺、電車の振動や騒音、ピアノ等の楽器の調べ等のように体で感じるものから、特別なセンサーによって感知される電波等多種多様です。電波等の電磁波はアンテナから発振される電場が磁場を誘起し、その磁場がまた電場を誘起する事を繰り返しながら空間に光の速度で広がり伝搬する波であると説明されていますが、電波の仲間では唯一視覚に捉えられる可視光線ですら波と感知することは出来ません。しかし、家庭電化製品の普及もあり、体感から遙かに遠いものの、電磁波現象がより身近なものになったと思います。

体感から更に遠いものに近年のハイテク機器の原理である電子等極微粒子の波動現象があります。ある時は質量を持つ粒子として、また、ある時は波として振舞うという感覚的には理解困難なミクロの現象を説明する理論(量子理論)構築は、相対性原理と並ぶ20世紀最大の成果の一つとされています。

この奇妙な性質を記述する理論は以下のように導かれると説明されています。ミクロ世界の波エネルギー(E)はアインシュタインにより $E=h\nu$ と表されます。ここで、 h はプランク定数 $6.626E-34$

ジュール・秒 ν は振動数です。波動の一般式は、波数 k 、周波数 ω 、虚数単位 i により $\exp(i(kx-\omega t))$ となることは良く知られていますが、この式を時間で微分し、 $\omega=2\pi\nu=(d/dt)$ が得られます。従って、波動エネルギーは、 $E=h\omega/2\pi=(h/2\pi)\cdot i(d/dt)$ となります。

一方、運動量(p)はド・ブロイにより、波長(λ)に反比例し、 $p=h/\lambda=h\cdot k/2\pi$ と与えられます。波動の式を今度は x で微分し、 $k=i\cdot(d/dx)$ を得て、 p と k の式に代入し、 $p=i\cdot(h/2\pi)\cdot d/dx$ 更に、 $p^2=((h/2\pi)^2)\cdot d^2/dx^2$ を得ます。

質量 m の粒子の運動量 $p=mv$ と運動エネルギー $E=mv^2/2$ とは $E=p^2/2m$ という関係がありますから、微粒子の運動量とエネルギーの式より、 $i\cdot h\cdot(d/dt)=-\cdot(h^2/2m)\cdot(d^2/dx^2)$ が得られます。なお、 $h'=h/2\pi$ とします。これだけでは、何のことやわかりませんが、 ψ を微粒子の状態を表す関数としてシュレーディンガーの方程式(ポテンシャルエネルギーがゼロの状態)が求められます。一般式は、ポテンシャル U の項を加えて以下のように表されます。 $-\cdot(h^2/2m)\cdot\nabla^2\psi+U\psi=i\cdot h\cdot d\psi/dt$
 $\nabla^2=d^2/dx^2+d^2/dy^2+d^2/dz^2$

関数 ψ は陽子の周囲を回る電子の位置を確率的に示すものとされていますが、関数 ψ を実数部分 ψ_1 と虚数部分 ψ_2 の和として、先の式に代入すると、夫々、時間の2階微分の項と距離の4階微分の項よりなる微分方程式が得られます。

$$d^2\psi_1/dt^2=-\cdot(h^2/2m)\cdot d^4\psi_1/dx^4$$
$$\psi_2\text{の式も全く同じです。}$$

ところで、梁の曲げ振動方程式は時間の2階部分の項と距離の4階微分の項からなり、 $d^2y/dt^2=-\cdot b^2\cdot d^4y/dx^4$ と表せます。

ここで、 y は曲げ変位、 $b^2=YI/\rho S$

YI は曲げ剛性率、 ρS は単位長当たり質量です。この方程式の解は、境界条件を満足させるために波数が飛び飛びの値を持つ波動関数となりますが、 ψ を y に、 $h^2/2m$ を $YI/\rho S$ に換えれば全く同じ式です。

電子と梁とは境界条件は違いますが、電子はプランク定数と同じ値の曲げ剛性を持ち、波数が飛び飛びの値を持つ波と推察されます。これが量子論の基本と思えます。

感覚では捉えられないミクロの現象を何とか身近なマクロの現象から理解できないかと考えてみました。

日常生活に深く入り込みながらも体で感じる事が出来ない現象がますます多くなっています。物理を勉強し、見えない現象を理解する努力が必要と思えます。

理事会等

□ 第133回理事会

期日 平成15年7月30日

場所 日本海運倶楽部

編集後記

イラクやその周辺のきな臭いニュースが毎日のようにテレビや新聞を賑わしています。石油、ガス資源供給の大半を依存し、海上交通の要衝でもあるこの地域の安定は我国にとって死活の問題ですが、政治・経済、歴史的な民族・宗教問題等が絡み合い、解決への道は容易ではないと考えられます。我国も安定化への国際貢献を約束しており、関係方面にて準備が進められていると思いますが、歴

史的な分岐点と後世評価される事態となる可能性も有り得ます。

造船技術センターも目白から三鷹への移転という分岐点を通過し、新しい設備での商用試験を軌道に乗せるべく設備・装備の調整や比較試験、マニュアル整備等の準備を粛々と実施しています。この分岐点が、お客様はじめ関係各位に評価されるよう職員全員頑張っております。

(K. T)

調布市について

(財)日本造船技術センターの水槽試験業務を行う試験センターがある(独)海上技術安全研究所は、三鷹市と調布市の両市にまたがっています。今回は三鷹市を紹介しましたので、今回は調布市をご紹介します。

調布市は新宿副都心から15Kmの距離にあり、東京都のほぼ中央に位置しています。市の面積は三鷹市よりやや広く、21.53Km²で、人口は208,000人余りです。また、市の木は雄大な樹形ですばらしい常緑樹の「くすのき」で、市の花は7月頃から9月まで開花する落葉樹の「さるすべり」で、市の鳥は日本全国の平地から山林に生息する留鳥の「めじろ」です。

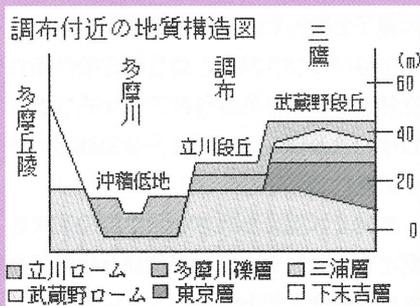
調布市は、広大な武蔵野台地の南西部にあり、最も高い武蔵野段丘面と、立川段丘面と、最も低い多摩川沖積低地面で出来

ています。海上技術安全研究所があるところは、最も高い武蔵野段丘面の上であり、少し坂を下るところに深大寺が、さらに下りたところに調布市の市役所があります。多摩川はさらに低いところと段々に下がる地形になっています。高低差は約32mあり、この高低差の大きい面と面の境は、「国分寺崖線(はけ)」と呼ばれ、深大寺などの崖下からは豊富な地下水が湧き出し、市の中央部を流れる野川などの主な水源になっています。市の水道はこの豊富な地下水です。

さて、調布市は深大寺、都立神代植物公園、「東京スタジアム」改め「味の素スタジアム」、文学では武者小路実篤記念館、そして、来年のNHKの大河ドラマの「新撰組」の近藤勇の生誕地として観光に力を入れています。三鷹市で紹介した近藤勇のお墓のある龍源寺のすぐ近くで

す。試験センターからは、神代植物公園や深大寺が歩いて15分と近く、参詣の際においしい深大寺そばを深大寺の地ビールとともにいただくのはいかがですか。10月には深大寺の門前に鬼太郎のお店も開店しました。

さて、海上技術安全研究所は上記のように三鷹と調布の両市の境にあります。経営のトップの勤務する本館がある場所が三鷹市側にあるので、住所は三鷹市となっています。同じ構内にある(独)電子航法研究所や(独)交通安全環境研究所は、独立行政法人になる前は三鷹市でしたが(船舶技術研究所の所長が責任者でした)、独立行政法人になった現在では組織のトップの勤務する建物が調布市側にあるので、住所は調布市に変更されています。



申込みの受付

試験等の申込み、問合せは各部渉外までお願いします。

〒171-0031 東京都豊島区目白1-3-8
TEL 03-3971-0266 FAX 03-3971-0269

財団法人 **日本造船技術センター(SRC)**

●役員及び総務部	03-3971-0266
●海洋技術部	03-3971-0267
●海洋技術部主幹(渉外)	03-3971-0285
●海洋技術部長代理	03-3971-0298
●海洋技術部(プロマネ)	03-3971-0297
●浮体(メガフロート)技術部	03-3971-1087
●浮体技術部(渉外)	03-3971-0610
●(目白)ファックス	03-3971-0269

●試験センター長	0422-24-3861
●試験センター技術顧問	0422-24-3863
●試験センター技術部長	0422-24-3862
●試験センター主幹(渉外)	0422-24-3864
●(三鷹)ファックス	0422-24-3869