

# 豐滿船形之形狀因子探討: 船模阻力試驗與 計算流體力學模擬比較

張鈞淳 蘇泳璉 吳承洧 林宗岳<sup>1</sup>

國立臺灣大學 能源研究中心  
國立臺灣大學 工程科學及海洋工程學系暨研究所

關鍵詞: 船模實驗、形狀因子、壓差阻力、平板阻力、計算流體力學

## 摘要

本研究旨在探討形狀因子與無因次參數雷諾數及福勞德數之關係，並且以一球艙油輪交互驗證電腦計算模擬及船模實驗兩種求解阻力之方法。在船模實驗方面，選定福勞德數0.1至0.2區間執行球艙油輪模型之阻力試驗，並使用ITTC 1957-3D平板阻力公式以及Prohaska方法推估該船之形狀因子。在計算模擬方面，本研究設定其中4個對應模型試驗的船速，利用商用計算流體力學(CFD)軟體模擬自由液面流場行為與船體所受阻力其分量。與實驗相比較，計算所得之總阻力誤差小，顯示在低速時CFD結果亦可採用實驗Prohaska方法推估形狀因子，不需再透過忽略自由液面的對疊模型模擬得到。計算結果的阻力分量顯示，形狀因子主要來自壓差阻力。在有自由液面效應下，壓差阻力與雷諾數造成的黏性壓差阻力，和福勞德數造成的波浪壓差阻力皆有密切關聯。在非常低速條件下，興波阻力消失，留下黏性壓差阻力，證實Prohaska外插方法之合理性。

## 前言

船舶性能預測是設計階段中最重要的任務之一。隨著船舶設計的進展，對預測方法的準確性要求逐漸增加。形狀因子的概念自20世紀初以來一直被討論，首先觀察到的是在極低福勞德數時，總阻力與等效平板阻力幾乎呈現固定的倍率關係，於是 Hughes 的形狀因子定義[1]於ITTC (1972年)被廣泛採納，其核心是在低速時，興波阻力在大多數船體上變得可以忽略。船體形狀因子可藉由 $C_T/C_F$ 推導。但無興波阻力的情況只在速度為零時才會發生，在應用上並不實際，因此Prohaska (1966)[2]提出從阻力測試結果外插至零船速形狀因子的方法。現今大多船模實驗皆使用由Prohaska提出的方法，假設興波阻力與 $Fr$ 為四次方關係，在大約200個模型測試的結果中， $Fr$ 在0.1和0.2之間大多數的 $C_T/C_F$ 值都擬合在一條直線上。如圖1所示在線性擬合後，直線的縱軸截距即為形狀因子。

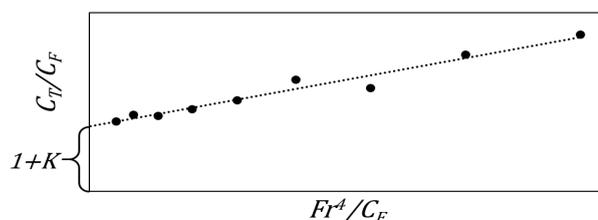


圖1 Prohaska示意圖

現今CFD (Computational Fluid Dynamics)技術在海洋工程領域的應用為研究船舶阻力提供了一個全新的視角。傳統的實驗方法通常受到成本、時間和實驗條件的限制，難以全面且準確地測定船舶在不同狀態

下的阻力特性。然而，利用CFD模擬，我們能夠模擬船舶在各種操作條件下的流體動力學行為，並獲得更具體的阻力數據，取得的各項阻力分量與自由液面的波形，得以跳脫對船波純數學的討論或勢流假設進行實際的模擬驗證。例如研究粗糙度對淺水中船舶阻力的影響[3]、分析生物附著對船舶推進特性之影響[4]、研究不同船型尺度效應及阻力分量並與外插結果相比對[5]。

而過往利用CFD預測形狀因子則是利用對疊模型，如利用對疊船模的概念，針對尺度對形狀因子的效應進行分析[6]、利用對疊模型與自由模型之阻力差值，取得興波阻力進而探討船舶興波阻力的尺度效應[7]。對疊模型其概念是將自由液面置換成為對稱性邊界，並將自由液面控制在同一水平面，意味著忽略興波阻力，模擬所得到的阻力可視為黏性阻力，與摩擦阻力比值為形狀因子。而本研究想探討在低速下是否可不用透過對疊模型直接採用自由液面模型利用Prohaska式取得形狀因子。

另外，形狀因子與無因次參數雷諾數及福勞德數之間存在複雜的交互作用。形狀因子與總阻力 $R_T$ 關係密切，而總阻力可分成壓差阻力與摩擦阻力，其中摩擦阻力為雷諾數的函數，壓差阻力又可分為黏性壓差阻力與興波壓差阻力，而這兩項分別為雷諾數及福勞德數的函數。本研究的目標是研究形狀因子與雷諾數、福勞德數之間的關係，探索其相互作用機制。

<sup>1</sup>聯絡作者 林宗岳 (tylin110@ntu.edu.tw)

## 方法

浸水面積(m<sup>2</sup>)

5.244

### 1. 阻力試驗求形狀因子

#### 1.1 實驗原理與條件

在船舶阻力試驗中最常被使用的阻力分析方法有兩個，分別為福勞德法與修斯法，以上兩種方法皆須確保實驗時的船模周邊的流場為紊流狀態，且任何位置都不允許有邊界層流離現象發生。福勞德法將阻力成份拆分為由雷諾數主導的等效平板阻力 $C_F$ 與由福勞德數主導的剩餘阻力 $C_R$ ，其阻力無因次關係式如下：

$$C_T(Fr, Re) = C_F(Re) + C_R(Fr) \quad (1)$$

而修斯法則是以福勞德法的基礎下，將剩餘阻力再拆分為黏性壓差阻力 $C_{VP}$ 與跟福勞德數有關的興波阻力 $C_W$ ，其中假設黏性壓差阻力與等效平板阻力同為雷諾數主導，因此帶入形狀因子 $(1 + K)$ 的概念，將等效平板阻力係數乘上形狀因子，作為船型所造成的黏性壓差阻力修正，也就是黏性壓差阻力值為 $K$ 乘上等效平板阻力值。在求解形狀因子方面，通常使用Prohaska Method來求得，修斯法之阻力無因次表示式如下。

$$C_T(Fr, Re) = C_W(Fr) + (1 + K) \times C_F(Re) \quad (2)$$

從修斯法的關係式來看，在興波阻力為零的情況下， $C_T/C_F$ 即可求出形狀因子，Prohaska Method以修斯法為基礎，假設興波阻力 $C_W$ 與福勞德數為多項式的關係，即 $aFr^n$ 。此時將式(2)除以等效平板阻力 $C_F$ ，並代入 $C_W = aFr^n$ ，獲得式(3)。

$$\frac{C_T(Fr, Re)}{C_F(Re)} = \frac{aFr^n}{C_F(Re)} + (1 + K) \quad (3)$$

由ITTC 2002- Recommended Procedures and Guidelines[9]，在低速區間進行阻力試驗(

$0.1 < Fr < 0.2$ )，則可假設 $C_W$ 與 $Fr^4$ 成正比( $n = 4$ )

，因此在低速區間進行船模阻力試驗求得總阻力，並利用上方關係式擬合並利用外插法求出福勞德數為零時的截距，即為形狀因子 $(1 + K)$ 。

#### 1.2 實驗方法與系統

本研究採用球艙油輪之船模執行實驗，其尺寸與水槽試驗條件如表1。

#### 水槽試驗條件

水溫(°C)	18
水密度(kg/m <sup>3</sup> )	998.6
動黏滯係數(m <sup>2</sup> /s)	$1.0541 \times 10^{-6}$

#### 1.2.1 實驗量測系統與機構

基於台大拖航水槽與拖車的基礎建設，本次阻力試驗由力學系統與電子系統共同構成。力學系統包括：R63阻力動力儀、平行固定導桿、空氣加壓馬達、力計等機構。力學系統架設邏輯圍繞在R63阻力動力儀上(以下簡稱R63)，R63由氣動夾具端與力計連接端組成，力計連接端只在試驗中等速段承受船模阻力，在拖車加減速時皆需藉由氣夾端抓住船模以承受加減速的慣性力，以避免力計損壞。氣夾則藉由空氣加壓馬達提供動力。平行固定導桿用來固定船模的橫移與橫擺，安裝在船艙與船艙而力計量測系統力學特性由其內部應變規產生電訊號至電子系統。電子系統包括：拖車控制器、訊號放大器、類比數位轉換器、資料截取器、電腦軟體等，紀錄速度、受力等電壓時序訊號。

#### 1.2.2 儀器校正

本次實驗使用的力計為Scaime 5 kgf，量測受力時力計將固定在R63的力計連接端上，此時受力由力計與R63共同承受。所以需要將力計安裝至R63上再進行校正，由標準的校正程序求得各個量測儀器輸出電壓與物理量的斜率及95%信心區間的量測值範圍，結果如圖2所示，其斜率為1.695 (V/kgf)，阻力標準差為 $6.992 \times 10^{-3}$  (V)，其95%信賴區間值為 $\pm 1.3985 \times 10^{-2}$ 。

#### 1.2.3 實驗操作流程

本次實驗依照ITTC中對於Prohaska Method 的建議，實驗船速分別為0.66、0.74、0.82、0.90、0.99、1.07、1.15、1.24、1.30 (m/s)等9個船速，對應福勞德數在0.1與0.2之間。各機構與量測設備準備完畢後，確認R63之氣夾固定船模後，即開始試驗。開動拖車後需等速度到達目標速度後即放開氣夾，量測此目標速度之阻力。在拖車開始減速之前，需用R63之氣夾重新固定船模，確認無虞後拖車開始減速直至停止，完成本次阻力試驗。每個目標速度試驗二至三次確認數據之再現性。

表1 船模尺寸與水槽試驗條件  
船模尺寸

吃水(m)	0.289
水線長(m)	4.43
船寬(m)	0.805
排水體積(m <sup>3</sup> )	0.817

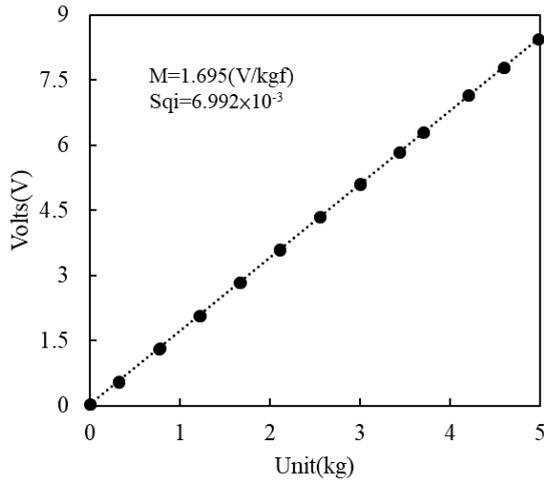


圖2 Scaime 5 kgf力計校正結果

## 2. 計算流體力學方法

### 2.1 控制方程式

本研究採用雷諾平均納維-斯托克斯方程式 (Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equation, RANS) 描述三維紊流場之行為[10]，其控制方程式為式(4)(5)：

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \right] + \dots \quad (5)$$

其中壓力項 $P$ 及速度項 $U_i$ 為時間平均值， $u'_i$ 則是速度項扣除時間平均值之變動量， $\rho$ 、 $\mu$ 則分別代表流體密度及黏滯係數。此外，式(5)最末項為雷諾應力張量 (Reynold Stress Tensor) 之微分，是考慮變動量而生的額外未知數。為了使控制方程式可解，本研究引入 SST  $k-\omega$  紊流模型 (Shear Stress Transport  $k-\omega$  Turbulence Model)，其傳輸方程式為式(6)(7)：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \mu_t \sigma_k \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \rho \beta^* f \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \mu_t \sigma_\omega \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + P_\omega - \rho \beta \quad (7)$$

其中 $\mu_t$ 表紊流黏度 (Turbulent Viscosity)、 $k$ 表紊流動能 (Turbulent Kinetic Energy)、 $\omega$ 表比紊流動能消散率 (Specific Dissipation Rate)。

### 2.2 流體體積法

本研究利用流體體積法模擬船體行進時的自由液面。該方法賦予每個網格一物理量稱作體積分率

(Volume of Fraction)，0代表網格中為水，1則代表空氣，體積分率應介於0與1之間。此外，利用體積分率即可計算每個網格代表的密度與動黏滯係數。

$$\rho = \rho_{water} \alpha + (1 - \alpha) \rho_{air} \quad (8)$$

$$\nu = \nu_{water} \alpha + (1 - \alpha) \nu_{air} \quad (9)$$

其中 $\alpha$ 滿足雷諾傳輸方程式：

$$\frac{\partial \alpha \rho_r}{\partial t} + \frac{\partial \alpha \rho_r U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (10)$$

其中 $U_i$ 為質量平均混合速度。特別地，本研究透過調整模型設定水溫達成改變雷諾數而福勞德數不變之效果以便分析形狀因子與雷諾數之關聯。不同水溫對應之密度及流體動黏滯係數列於表2。

表2 數值模擬採用之水密度及動黏滯係數

$T$ (°C)	$\rho_{water}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\nu_{water}$ (m <sup>2</sup> /s)
8	999.851	$1.385 \times 10^{-6}$
18	998.599	$1.054 \times 10^{-6}$
28	996.236	$8.355 \times 10^{-7}$

### 2.3 計算設定

#### 2.3.1 計算域、邊界條件與吃水條件

如圖3所示，將船體置於長方體之計算域中心，其船艏、船艉、左舷、右舷、船底及頂部分別對應於計算域邊界的六個平面。船艉方向對應的平面設定為靜水壓分布的壓力出口 (Pressure Outlet)，其餘五個面則是速度入流 (Velocity Inlet)，船殼表面則設為無滑移 (No-slip) 條件。此外，對於邊界條件設為速度入流的五個平面，位於自由液面切割之上半部其體積分率 $\alpha$ 設為1代表空氣，下半部則設為0代表水。

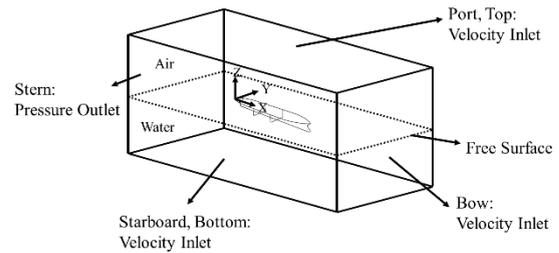


圖3 計算域與邊界條件

#### 2.3.2 網格佈置：

本研究利用STAR-CCM+內建之網格生成器於計算域切分成多面體網格，並且在船殼表面曲率較大的區域以及自由液面附近進一步細分網格以確保數值模擬之穩定性。此外，針對船殼附近邊界層流場亦透過調整厚度及層數使得船殼表面之 $y^+$ 平均落於37至79間。計算域網格如圖4所示，而總網格數約4百萬。

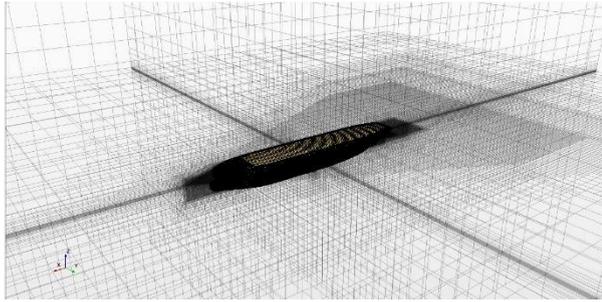


圖4 網格設置

## 2.4 船舶阻力分量係數計算

摩擦阻力之推估按ITTC-1957 3D平板阻力公式如式(11):

$$C_F = \frac{0.075}{(\log \log (Re) - 2)^2} \quad (11)$$

經數值模擬可得船殼表面之壓力分布及剪應力分布，兩者於面積積分後之阻力分別以 $p$ 、 $s$ 標示。此外，定義無因次之壓差阻力分量及摩擦阻力分量 $C_p$ 、 $C_s$ ：

$$C_p = \frac{p}{\frac{1}{2}\rho A_0 V^2} \quad (12)$$

$$C_s = \frac{s}{\frac{1}{2}\rho A_0 V^2} \quad (13)$$

其中 $A_0$ 為浸水表面積、 $V$ 為航速。

## 結果討論

### 1. 船模實驗結果

九個速度點的阻力 $R_T$ 與總阻力係數 $C_T$ 如表3所示，而阻力實驗之自由液面波形如圖5~8。

利用阻力試驗結果計算每個福勞德數0.1至0.2間各點的總阻力係數與等效平板阻力係數，與Prohaska Method外插法計算所需的值如下表4所示。 $C_T$ 、 $C_F$ 與福勞德數的關係如圖9所示，可見在極低福勞德數時(小於0.15)， $C_T$ 與 $C_F$ 幾乎成一比例關係，當福勞德數繼續增加時由於興波阻力效應增強，此比例關係便被破壞。Prohaska方法結果如圖10所示，本次實驗利用Prohaska方法所得之形狀因子為1.21。



圖5 速度0.82m/s實驗自由液面波形

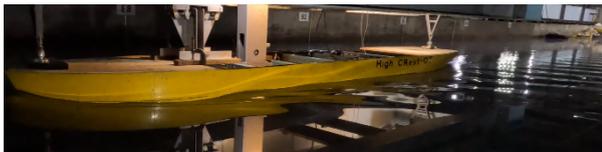


圖6 速度0.99m/s實驗自由液面波形

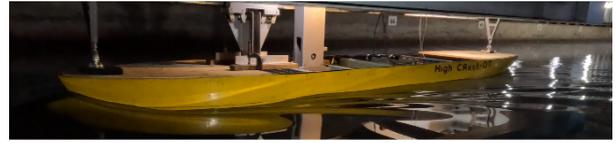


圖7 速度1.15m/s實驗自由液面波形



圖8 速度1.30m/s實驗自由液面波形

表3 阻力試驗結果表

$V$ (m/s)	$Fr$	$Re$ ( $10^6$ )	$R_T$ (kgf)	$C_T$ ( $10^{-3}$ )
0.66	0.100	2.774	0.541	4.651
0.74	0.113	3.114	0.673	4.593
0.82	0.125	3.463	0.814	4.492
0.90	0.138	3.782	0.964	4.462
0.99	0.150	4.161	1.160	4.435
1.07	0.163	4.497	0.814	4.501
1.15	0.175	4.833	1.549	4.391
1.24	0.188	5.211	1.858	4.528
1.30	0.200	5.463	2.071	4.611

表4 Prohaska 方法計算結果

$Fr$	$C_T$ ( $10^{-3}$ )	$C_F$ ( $10^{-3}$ )	$C_T/C_F$	$Fr^4/C_F$
0.100	4.651	3.799	1.224	0.026
0.113	4.593	3.715	1.237	0.043
0.125	4.492	3.640	1.234	0.067
0.138	4.461	3.579	1.247	0.100
0.150	4.435	3.515	1.262	0.144
0.163	4.501	3.464	1.299	0.201
0.175	4.391	3.418	1.285	0.274
0.188	4.529	3.371	1.343	0.367
0.200	4.611	3.342	1.380	0.479

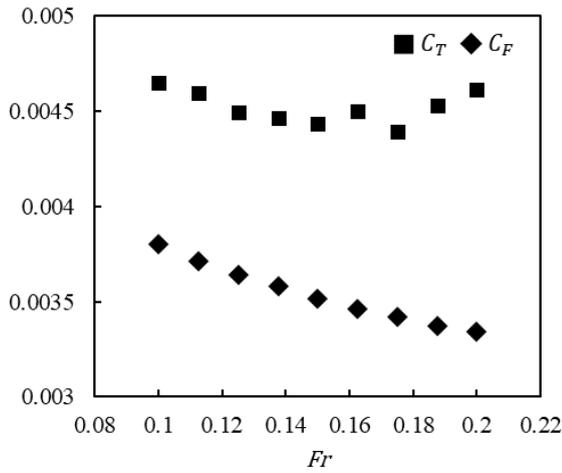


圖9  $C_T$ 、 $C_F$ 與 $Fr$ 關係

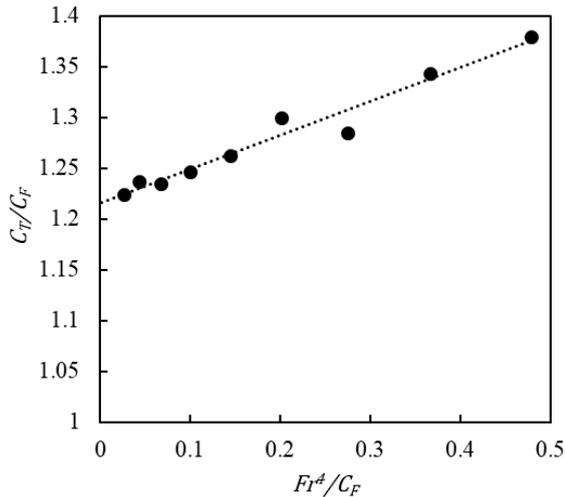


圖10 以實驗資料作Prohaska 方法

## 2. 數值模擬結果

在形狀因子的推估上，本研究未採用對疊模型去進行CFD的模擬。原因是當對疊模型與原模型間的浸水面積有差異時，直接將總阻力相減來獲得興波阻力，恐有失準確性。故阻力數值模擬直接利用自由液面模型進行計算推估形狀因子，並藉由調整水面溫度使雷諾數產生變化並觀察形狀因子之變化其波形示意圖如圖11~14，可利用CFD波型圖與實驗觀察之波作比較，而計算結果如表4。

由表5可見在所有模擬條件組合中船殼表面所受剪力 $C_S$ 與利用ITTC-57關係式計算之摩擦阻力 $C_F$ 幾乎相等，表示摩擦阻力可利用雷諾數的關係式準確評估。此外，因船舶行進產生之自由液面波形造成船殼浸水面積改變，使得當模擬航速越高時， $C_S$ 與 $C_F$ 之差距漸增。另一方面，當航速大於設計航速時興波阻力

劇增，因此船殼表面所受壓力 $C_p$ 於福勞德數0.20之數值較其他速度點明顯增加。最後，剪力 $C_S$ 貢獻約80%之總阻力 $C_T$ ，這符合豐滿船形之特徵，即摩擦阻力為主要阻力來源。

表5 不同溫度下的阻力模擬結果

$T(^{\circ}C)$	$Fr$	$C_F(10^{-3})$	$C_T(10^{-3})$	$C_p(10^{-3})$	$C_S(10^{-3})$
8	0.125	3.837	4.856	1.025	3.830
	0.150	3.703	4.710	0.936	3.774
	0.175	3.598	4.659	0.929	3.730
	0.200	3.515	4.923	1.208	3.715
18	0.125	3.640	4.584	0.893	3.691
	0.150	3.515	4.470	0.906	3.564
	0.175	3.418	4.409	0.878	3.531
	0.200	3.342	4.594	1.105	3.489
28	0.125	3.483	4.389	0.885	3.504
	0.150	3.366	4.262	0.858	3.403
	0.175	3.275	4.207	0.850	3.356
	0.200	3.204	4.400	1.066	3.335

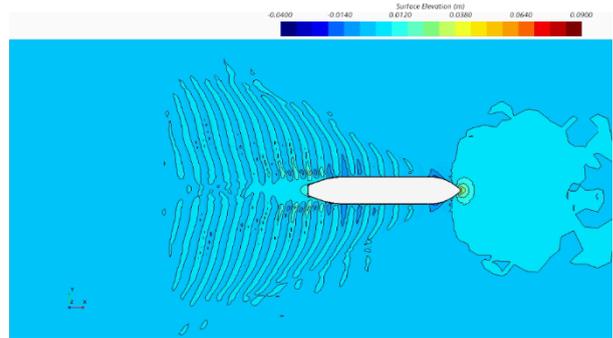


圖11 速度0.82m/s CFD自由液面波形

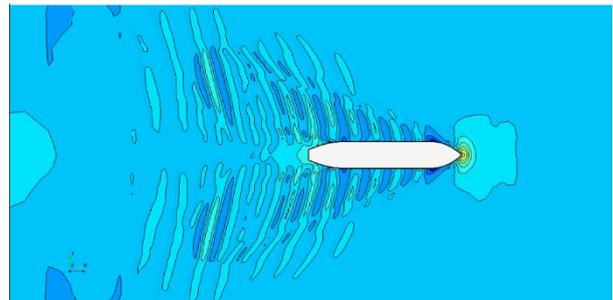


圖12 速度0.99m/s CFD自由液面波形

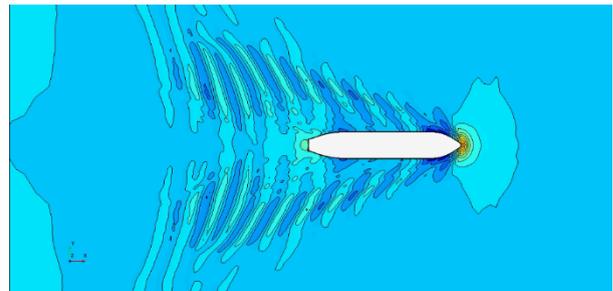


圖13 速度1.15m/s CFD自由液面波形

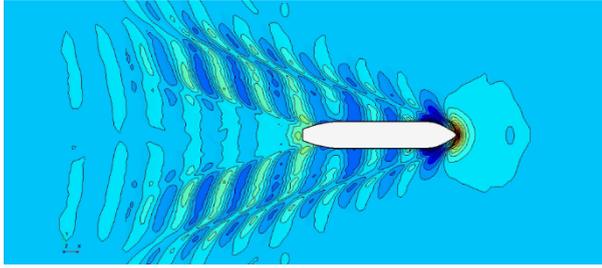


圖14 速度1.3m/s CFD自由液面波形

對形狀因子推估上來說，總阻力誤差小表示在低速時CFD模擬可忽略對疊模型直接利用結果進行推估。在形狀因子與無因次參數雷諾數及福勞德數之關係，從計算之結果來看，與兩者皆有一定的關係。從阻力分量可得知，剪力係數 $C_s$ 與等效平板阻力 $C_{Ff}$ 值幾乎相同。藉此得知形狀因子的來源主要來自於壓差阻力。而將數值模擬之結果以總阻力與摩擦阻力之比值為縱軸，福勞德數的四次方與摩擦阻力之比值為橫軸作圖如圖15，並且按Prohaska方法，藉線性趨勢線之縱軸截距求得形狀因子，其結果列於表6。由表可見，形狀因子幾乎不受水溫改變伴隨之雷諾數變化而影響。

表6 不同水溫對應之形狀因子

$T(^{\circ}C)$	計算 $(1 + K)$	實驗 $(1 + K)$
8	1.2279	-
18	1.2313	1.2156
28	1.2285	-

### 3. 實驗與CFD計算比較

將計算結果與實驗結果相互比較。我們可以藉此表7可知兩者之總阻力誤差，從表中我們可以看出在低速時CFD所估之值都略高於實驗，而在超過設計船速福勞德數0.18後，CFD估算值則低於實驗值，比較後誤差值於福勞德數0.125時較大，其他值誤差不大，驗證模擬結果的準確性和可靠性。

將形狀因子結果進行比對後，我們可從表6知道CFD之形狀因子略高於實驗值，其誤差值約為1.292%，造成誤差值的原因可能是伴隨總阻力係數之些許誤差，進而影響形狀因子。

表7 計算結果與船模實驗之總阻力係數比較

$Fr$	計算 $C_T (10^{-3})$	實驗 $C_T (10^{-3})$	誤差 (%)
0.82	4.583	4.492	2.023
0.99	4.469	4.435	0.769
1.15	4.408	4.391	0.408
1.30	4.594	4.611	-0.364

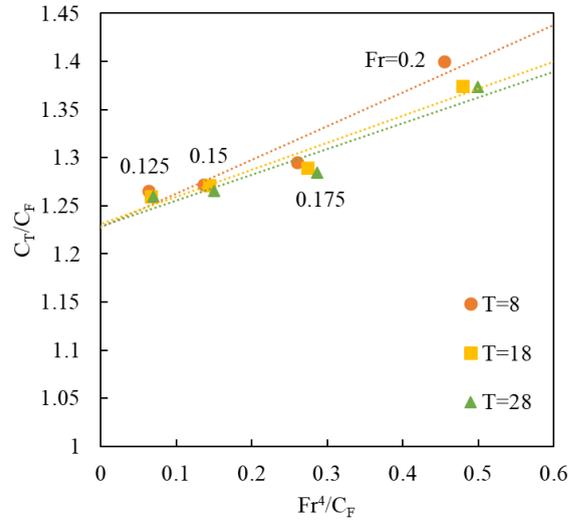


圖15 以數值模擬資料作Prohaska 方法

### 結論

本研究以一球艙油輪進行電腦計算模擬及船模實驗，設定其中4個對應模型試驗的船速利用商用計算流體力學軟體(CFD)模擬自由液面流場行為與船體所受阻力與船模實驗結果相互驗證，並推估不同船速溫度下之形狀因子。結果表明，計算與實驗結果誤差微小，表示在低速時CFD結果可採用實驗Prohaska方法推估形狀因子。計算結果的阻力分量顯示，形狀因子主要來自壓差阻力，且形狀因子幾乎不受水溫改變伴隨之雷諾數變化而影響。本研究利用CFD計算阻力分量，僅針對形狀因子主要來源進行分析，其分量與形狀因子之關係式尚未釐清，故未來研究項可以利用CFD分析深入探討黏性壓差阻力與形狀因子的關係。

### 參考文獻

1. G. Hughes Ship,1954.Friction and form resistance in turbulent flow, and a proposed formulation for use in model and ship correlation.
2. C.W. Prohaska,1966.A Simple Method for the Evaluation of the Form Factor and Low Speed Wave Resistance.
3. Soonseok Song , Momchil Terziev , Tahsin Tezdogan Yigit Kemal Demirel , Claire De Marco Muscat-Fenech , Atilla Incecik , “ Investigating roughness effects on ship resistance in shallow waters, “ Ocean Engineering, Volume 270 (2023)
4. Andrea Farkas , Soonseok Song , Nastia Degiuli , Ivana Martić , Yigit Kemal Demirel . “Impact of biofilm on the ship propulsion characteristics and the speed reduction,“ Ocean Engineering, Volume 199 (2020)
5. Ali Dogrul, Soonseok Song, Yigit Kemal Demirel, “Scale effect on ship resistance components and form factor, ” Ocean Engineering, Volume 209 (2020)
6. 黃子耀, “基於對疊船模的Wigley修正船型尺度效應及形狀因子數值模擬, ”中國造船暨輪機工程師學會, 2020年 39卷 2期

7. 林宗岳,陳信宏“探討計算流體力學中船舶興波阻力的尺度效應,”中國造船暨輪機工程師學會, 2022年 41卷 1期
8. Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson, D.A., 2011. Ship Resistance and Propulsion: Practical Estimation of Propulsive Power. Cambridge University Press, New York, USA.
9. ITTC 2002- Recommended Procedures and Guidelines. .
10. STAR-CCM+ Documentation Version 12.06, Siemens PLM software, 2017.

# INVESTIGATION OF FORM FACTOR FOR A FULL FORM SHIP : COMPARISON BETWEEN SHIP MODEL TEST AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS

*J.C. Chang\* Y.L. Su\* C.W. Wu\* T. Y. Lin\**

Energy Research Center, National Taiwan University

Department of Engineering Science and Ocean Engineering, National Taiwan University

*Keywords: Ship Model Test, Form Factor, Viscous Pressure Resistance, CFD*

## ABSTRACT

This study investigates the relation between form factor and two non-dimensional parameters, namely Reynold's number and Froude number. An oil tanker with bulbous bow is selected and the resistance is evaluated by ship model test also by computer simulation method. In terms of ship model test, the resistance test is conducted under Froude number from 0.1 to 0.2 for a scale model of oil tanker, to which ITTC 1957 model-ship correlation curve and Prohaska method are applied in order to estimate form factor. As for computation simulation, four ship speed points are set corresponding to experiment, and commercial computational fluid dynamics (CFD) software is applied to simulate behavior of free surface and resistance component. In comparison with experiment result, the error of total resistance evaluated by CFD is low, which implies that it is acceptable to estimate form factor by Prohaska method from CFD results under circumstances of low ship speed. Therefore, there is no need to develop double-body model to eliminate free surface effect. The resistance component of CFD simulation result shows that form factor originates mainly from the presence of pressure resistance. In addition, viscous pressure resistance is related to Reynold's number, while wave making pressure resistance is related to Froude number, and both of them highly affect pressure resistance. In the case of very low ship speed, wave making pressure resistance vanishes, meanwhile viscous pressure resistance left, which proves Prohaska extrapolation method is a proper way for form factor estimation.