

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫四：潛艦含帆罩之流場計算解析(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2611-E-002-008-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學工程科學及海洋工程學系暨研究所

計畫主持人：許文翰

計畫參與人員：林瑞國

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

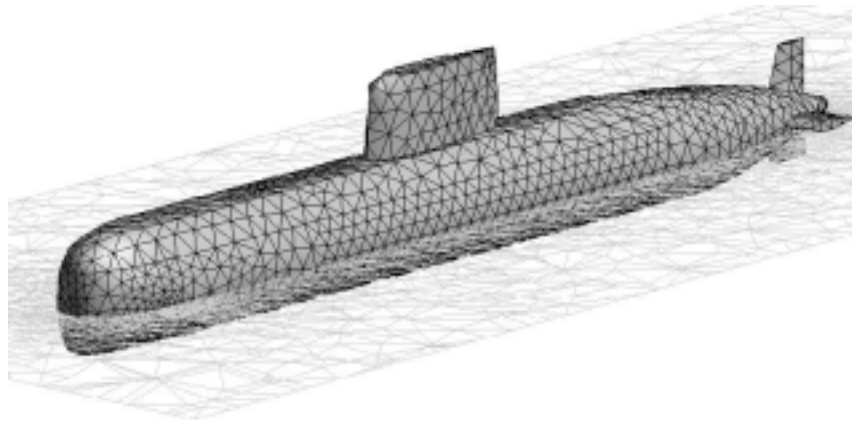
處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 6 月 10 日

潛艦關鍵性技術之基礎研究

子計畫四:潛艦含帆罩之流場計算解析 (2/3)

2003 年期末工作報告



計畫編號：NSC 92-2611-E-002-008

主持人：許文翰 教授

執行期限：92/08/01~93/07/31

研究經費：新台幣 696,700 元整

國立臺灣大學 科學計算暨心血管模擬實驗室

摘要

隨著電腦技術的進步，利用高速電腦分析以設計高性能潛艦已是不可迴避的趨勢。本研究之目的在於模擬包含帆罩、控制翼與螺槳之潛體流場。藉由計算流體力學分析因潛體運動所產生之渦漩結構及含自由液面效應之黏性流場，以期設計潛艦表面之最佳外型，從而減少艦體之阻力。分析之結果將與流場量測結果做一比較，以驗證數值平台之正確性。經由本子計畫之執行，預期可達成在不可壓縮流與質量守恆條件下得以分析含螺槳作動之潛體流場，以建立"水下潛體之數值水槽"功能。

關鍵詞：潛艦；計算流體力學；渦漩流；黏性流

一、計畫之背景及目的

為因應市場的需求，潛艦外形必須經常改變。潛艦外形直接影響潛艦行進時所承受的阻力，尤其是陡峭造型的潛艦如魚雷、驅逐艦、貨運輸及戰鬥船艦等其水中阻力較大。將潛艦外形流線化(streamlining)可降低船形阻力，然而設計所需考慮的因素還包括價格、裝載量、法規及美學等。例如貨運輸的設計便是希望能夠一次裝載更多的貨品及人數，因此其造形以方形為主，再透過局部修改(邊緣導圓角、增加導流裝置等)以減小阻力。此修改後的效果如何，必須透過對其潛艦外氣流的分析並進而計算其於潛艦表面造成的阻力及壓力分佈等 [1,2]。建立此一流場分析能力是國內造船廠的迫切需求。

隨著計算機科技的長足進步以及新船型推出時間縮短的趨勢下，利用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)之技巧求解在船外形的三維不可壓縮黏性流場及其壓力場，以期建立有用之水動力及壓力分佈之資料庫是現代化船廠設計部門所採用的方法。

本計畫在三年期間完成建立專業(custom-designed)之潛艦外流場及壓力場之 CFD 分析模型，使設計者能方便地求得在幾何複雜之潛艦外之流場及壓力分佈。

二、研究項目：

- 1) 發展一套能建立複雜潛艦外形之網格程式。
- 2) 建立有限體積方法之數值模型。
- 3) 求解潛艦外型之流場。
- 4) 建構求解潛艦水動力現象之程式集。
- 5) 建立「數值水槽」之功能並與流場觀測結果作一驗證及比較。

三、計畫之進行步驟：

- 1) 求解潛艦外型之流場。
- 2) 程式驗證。

3) 與流場觀測實驗作一驗證及比較。

四、數學模型：

為了探討潛艦外之風洞流場，本研究將採用計算流體力學之方法，求解如下之三維穩態不可壓縮之連續方程式及 Navier-Stokes 方程式：

$$\begin{aligned}\nabla \cdot (\rho \underline{u}) &= 0 \\ \nabla \cdot (\rho \underline{u} \otimes \underline{u}) - \nabla \cdot [\mu_{eff} (\nabla \underline{u} + (\nabla \underline{u})^T)] &= -\nabla p'\end{aligned}$$

上述方程式中， ρ 為水流密度， \underline{u} 表示水流之速度向量， p' 為調整壓力， μ_{eff} 為等效黏

滯係數， p' 與 μ_{eff} 之表示如下：

$$\begin{aligned}p' &= p + \frac{2}{3} \rho k \\ \mu_{eff} &= \mu + \mu_t\end{aligned}$$

μ 為流體分子黏滯係數， μ_t 為以 turbulent eddy viscosity 假說所定義的紊流黏滯係數。於基本 $k-\varepsilon$ 紊流模式中的 μ_t 為

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}$$

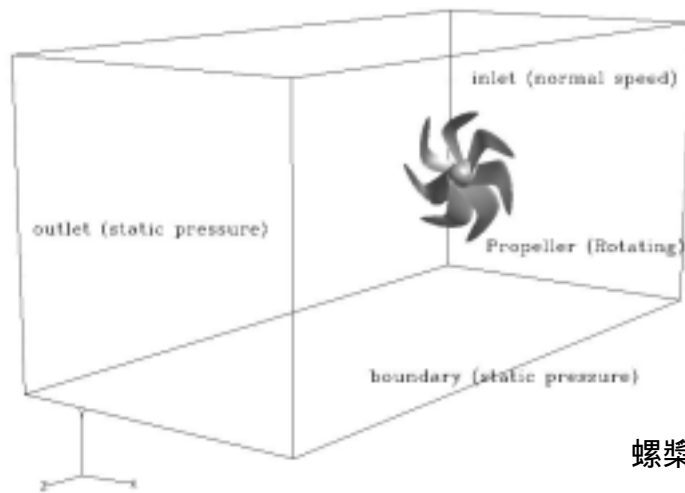
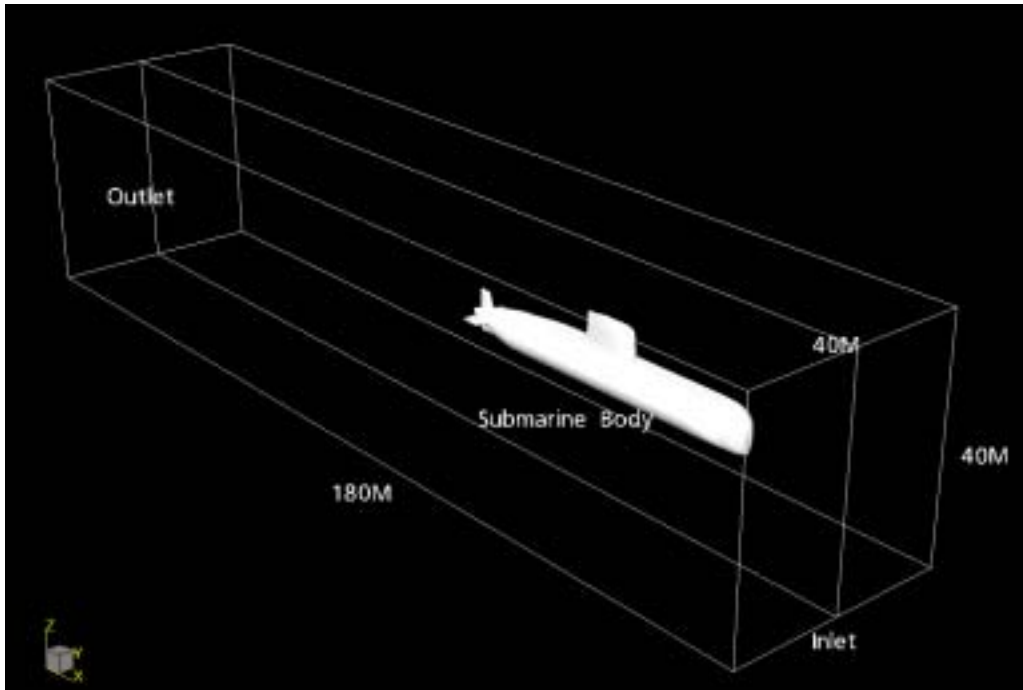
C_μ 為常數， k 為紊流動能， ε 為紊流消散率。

本研究將採用 CFX-5.5.1 程式求解，其求解方法為有限體積分法(Finite Volume Method)，將上述偏微分方程式表示成近似的代數方程式。

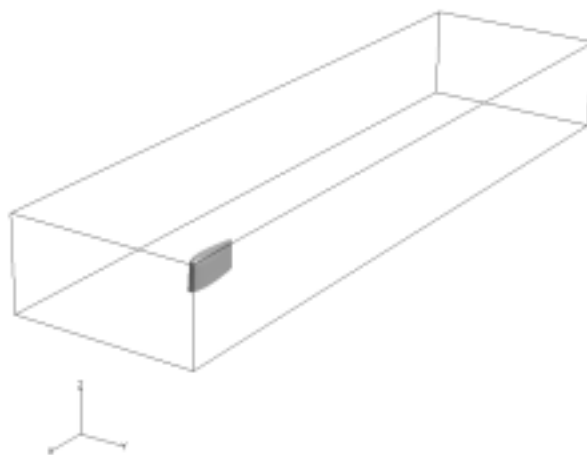
五、數值模擬分析與結果

在潛艦外形流場方面，所模擬的為 U209-1400 型潛艦外形及適當的風洞結構如(圖一)所示(計算域為 L40m-W180m-H40m)，潛艦長 60m，水流速度為 5 節(約 10.3m/sec.)。所採用之網格系統為以 CFX-5.5.1 軟體自動產生之 Tetrahedron 型態非結構化計算網格，總格點數為 686,746 個。格點分佈如圖二所示，其中於潛艦外表面，採用較為緻密的網格，以利邊界層流場之分析。

計算所得之壓力分佈分別繪製于(圖二)及(圖三)。(圖二)顯示在潛艦前緣處由於與空氣作正面的碰撞，故為壓力最大之處。當水流過潛艦之前緣時，由於潛艦不夠完美的流線造型，在潛艦外兩側與上、下方處皆形成低壓的迴流區，此為水阻力的一大來源。若能設計一更流線化的潛艦外型將可減小低壓迴流區的範圍，而得以大大地降低于行進中潛艦所受水的阻力。

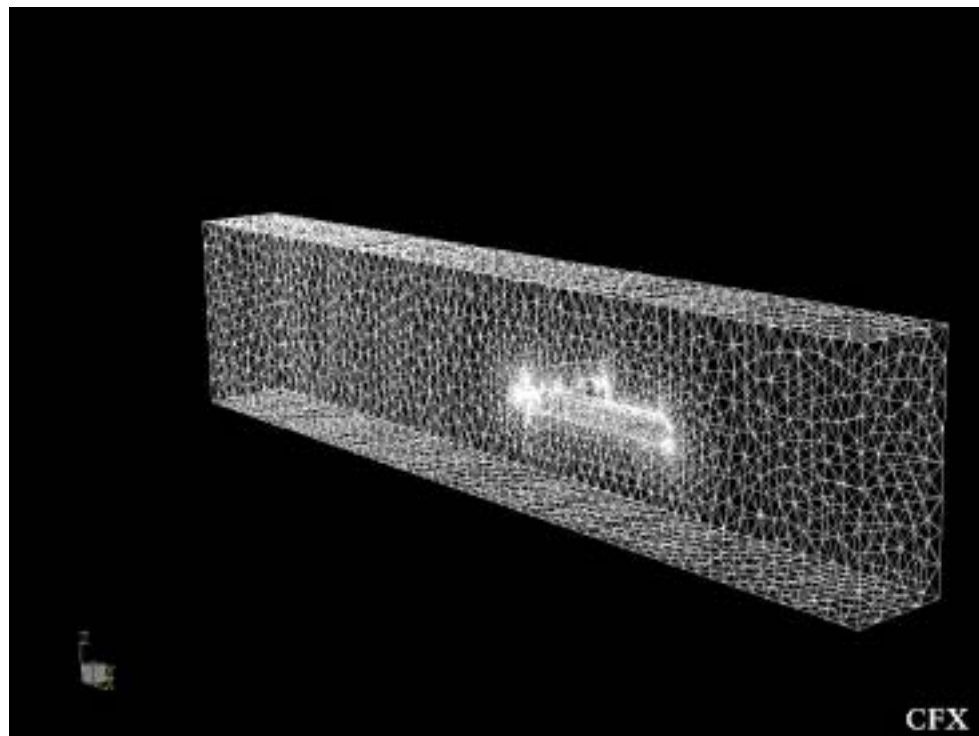
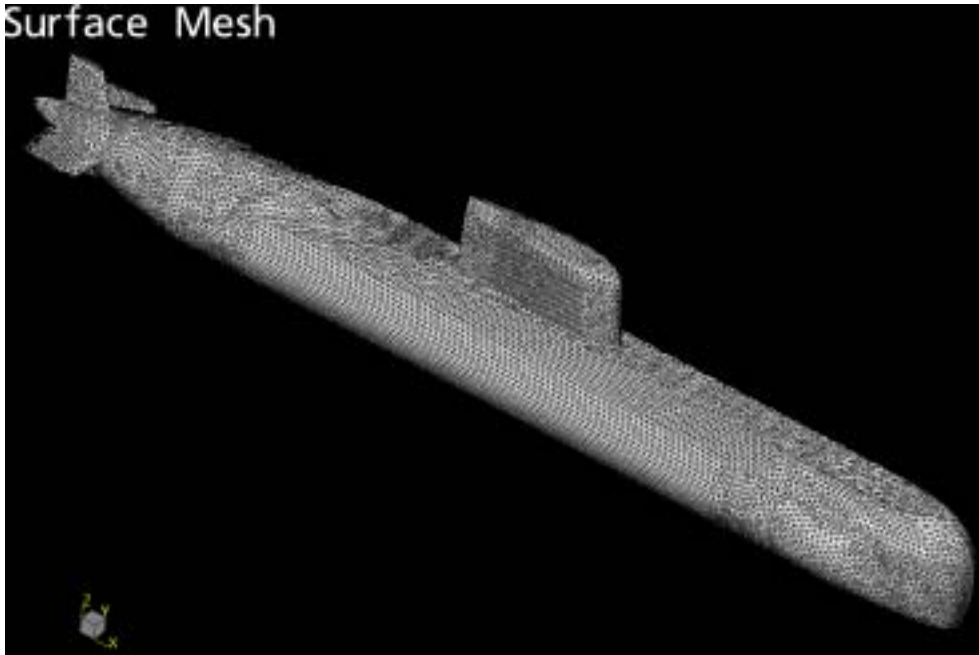


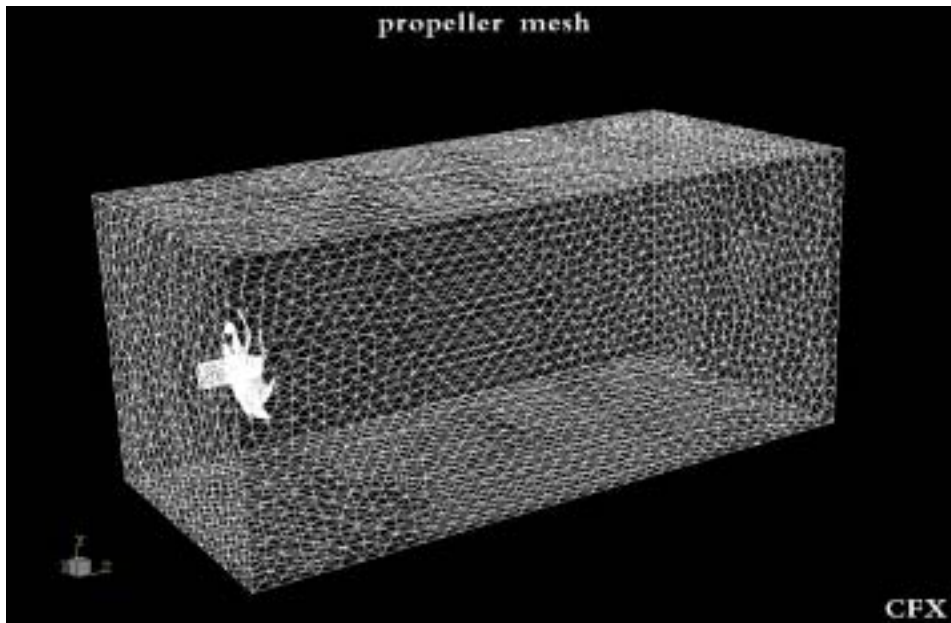
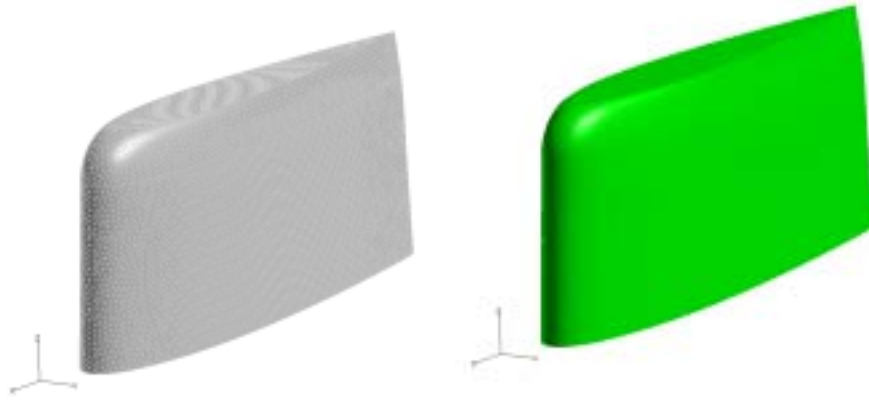
螺槳單獨試驗



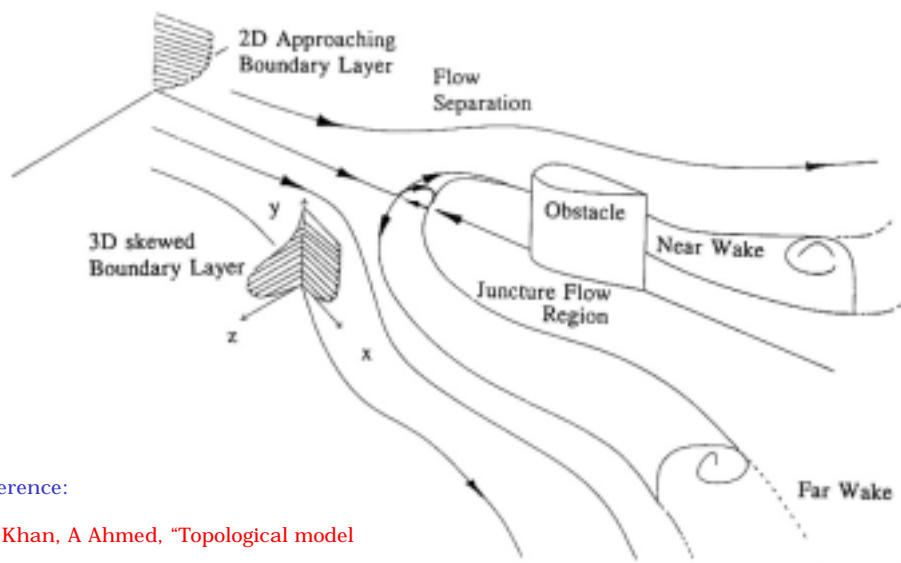
帆罩單獨試驗

Surface Mesh





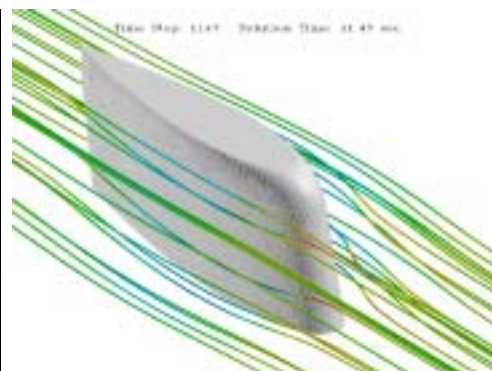
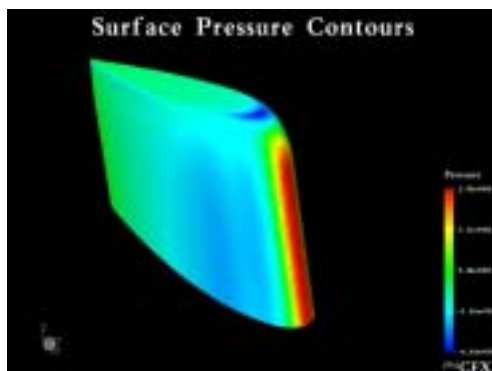
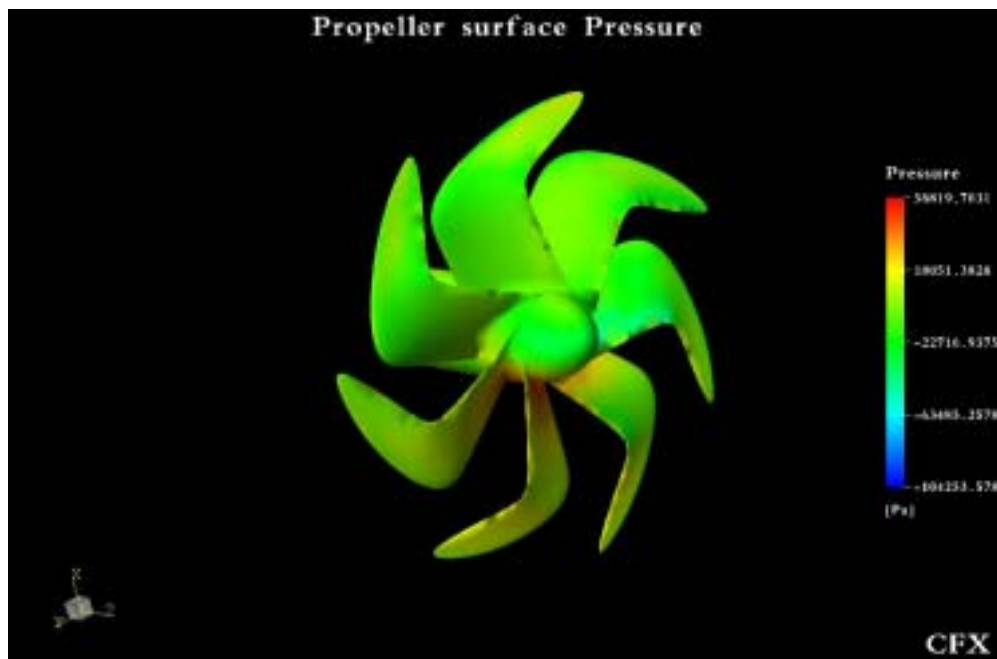
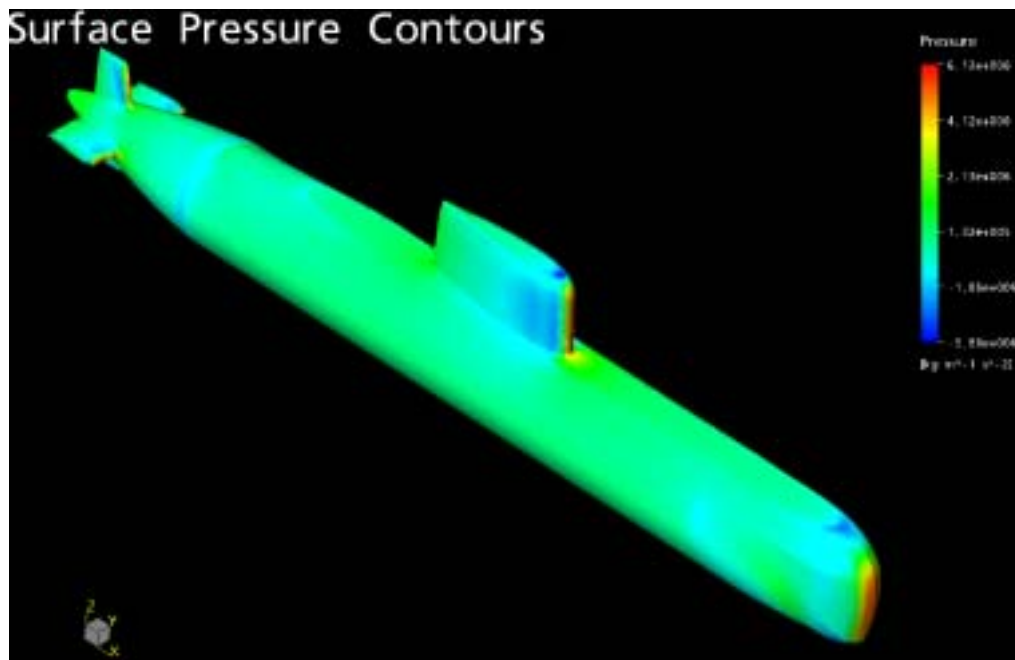
圖二：非結構化計算網格之分佈與表面之壓力分佈



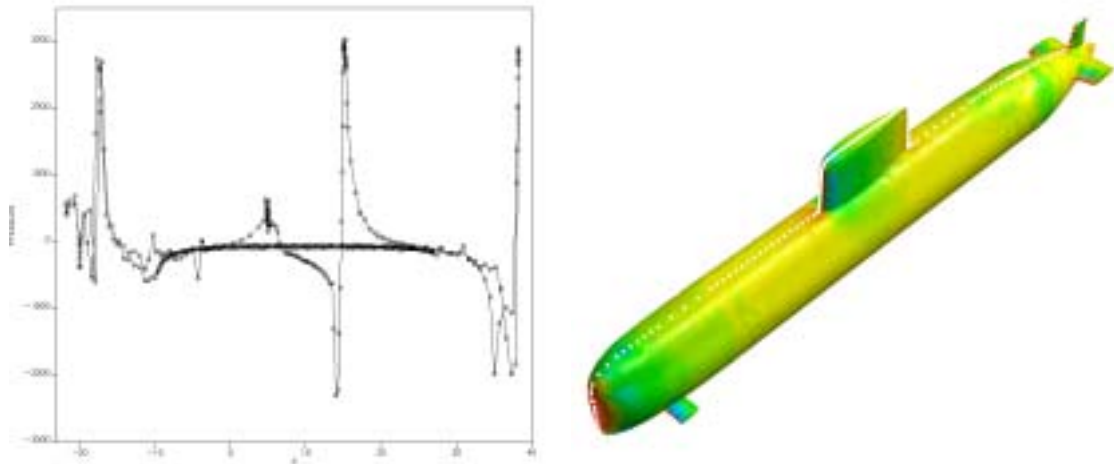
Reference:

MJ Khan, A Ahmed, "Topological model

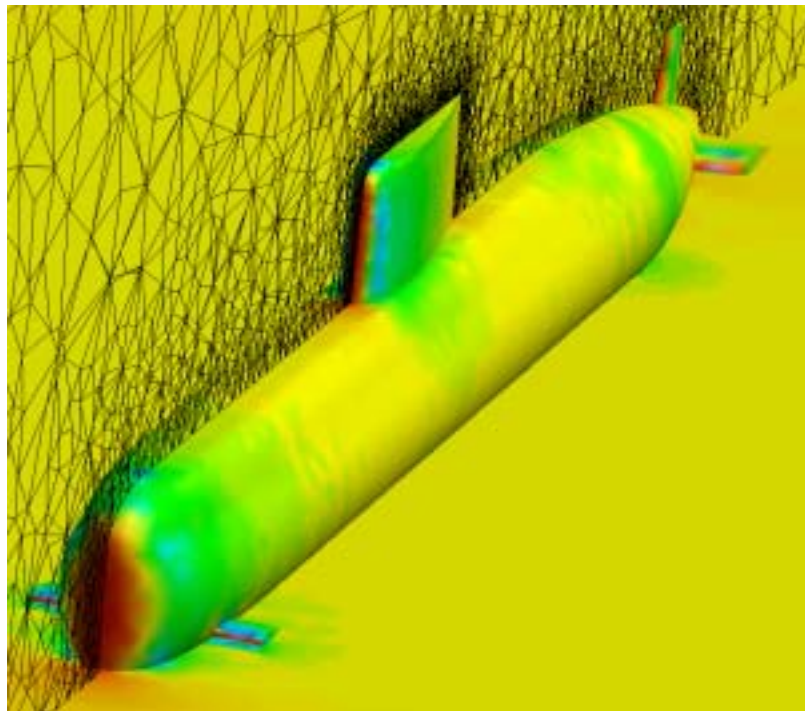
Figure: Details of flow around a surface mounted



圖三：將潛艦外中央之表面壓力分佈以曲線圖表示。

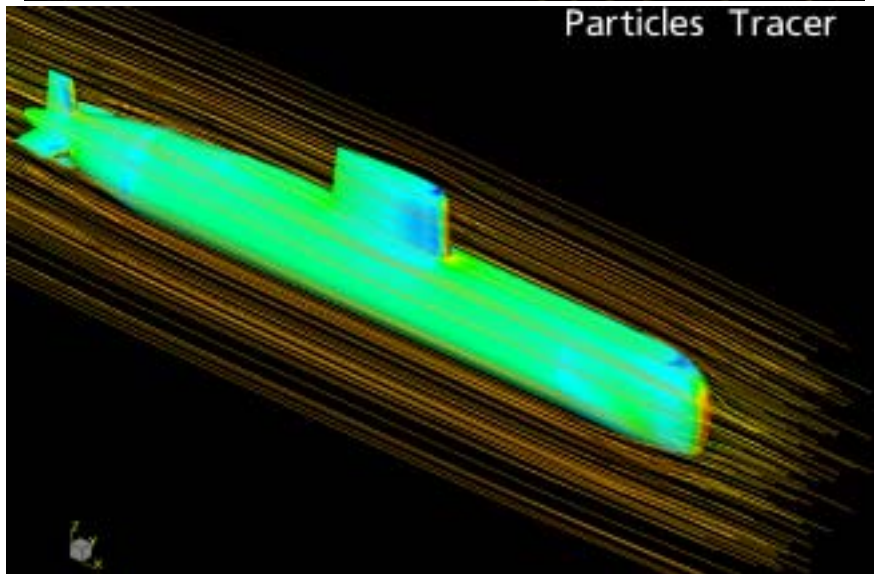
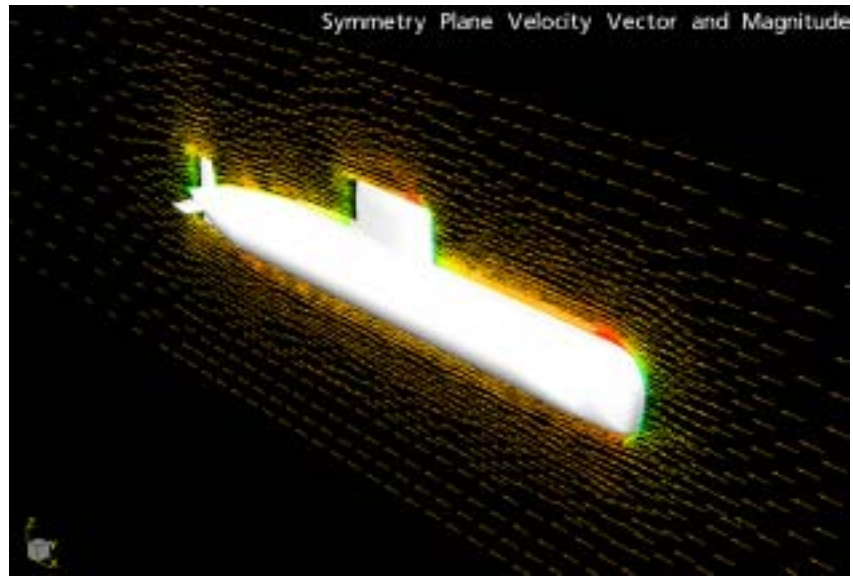
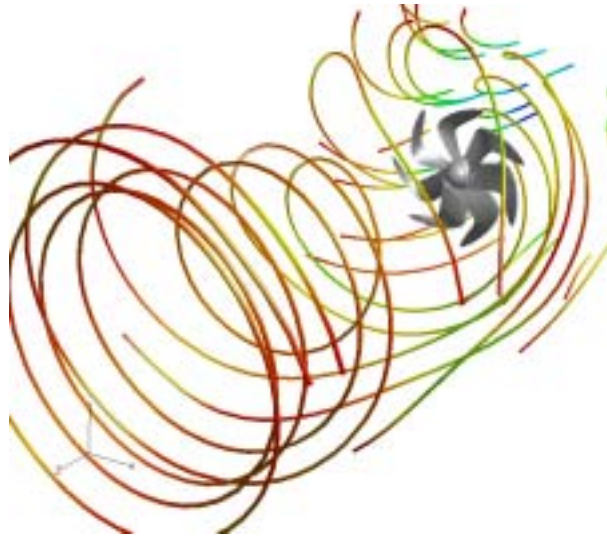


圖四：取潛艦外中央之表面作壓力分布分析



圖五：於潛艦外中央之表面壓力分布曲線

流線圖顯示在潛艦尾處亦有一迴流區的產生。潛艦尾迴流區的流場對潛艦在行進時所造成的性能影響極大，且其物理現象極為複雜，使得更進一步的了解其機制。本計算能捕捉于潛艦處複雜的渦流軌跡。此結果可作為日後改善潛艦尾外型之用。



圖四：速度剖面圖與流線

六、計畫之預期完成之工作項目及成果：

- 1) 經由本子計畫之執行,可達成在不可壓縮流與質量守恆條件下得以分析含螺槳運動之潛艦整體運動性能,並建立各種運動狀態下潛艦之特性,以其建立"水下潛體之數值水槽"功能。
- 2) 所得的結果預定可以整理成兩篇 SCI 文章,並發表于國際一流之期刊。
- 3) 參與的人員除了增加數值分析的知識外,亦可了解潛艦外流場之物理機制。此外,參與人員尚可體會計算流體力學的功能及其應用面,以增加其視野。

(A) 進度累計百分比

(B) 成果保護及推廣計畫

成果保護 - 所有之分析皆在本研究實驗室內為之,主持人亦事先告知參與的學生及工作人員不得將任何之結果移為他用。

成果推廣 - 所寫成的程式模組,本研究群可提供有系統的教育訓練,以期快速的幫助從事設計者之用。

參考文獻

- [1] Kumar Srinivasan, James Y. Jan, Richard L. Sun and Mark E. Galeason (2000), 'Rapid simulation methodology for under-hood aero/thermal management', Int. J. of Vehicle Design, vol. 23, Nos. 1/2, pp. 109-123.
- [2] Tatsuya Shimizu, Yuji Hanaoka (2000), 'Practical Aerodynamic Simulation Method Using Unstructured Grid System', J. of Society of Automotive Eng. Of Japan, Vol. 54, No. 4, pp. 65-69.
- [3] J.W.Wan and J. van der Kooi (1991), 'Influence of the position of supply and exhaust openings on comfort in a passenger vehicle', Int. J. of Vehicle Design, vol. 12, Nos. 5/6, pp. 588-597.
- [4] Taeyoung Han (1989), 'Three-dimensional Navier-Stokes Simulation for passenger compartment cooling', Int.J. of Vehicle Design, vol. 10, no.2, pp. 175-186.
- [5] G. D.Raithby, 'Equations of motion for reacting, particle-laden flow',progress report, Thermal science Ltd., 1991, Provided to EMR.
- [6] CFX-5.5.1 User's Guide, 2003.