

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

超高速螺槳設計與性能解析研究(II)

Design and Performance Analysis on Supercavitating Propeller(II)

計畫編號：NSC 87-2611-E002-040

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

執行單位：臺灣大學造船及海洋工程學系

主持人：黃正利

一、中文摘要

今年度研究重點為在空蝕水槽中建立穩定可靠的升力量測及空泡型態觀測系統，進行三組具代表性之翼型試驗解析，並與線性理論數值計算比較，建立二維翼型在非空泡與空泡流中升力與空泡型態發展之定性與定量關係，並確定二維翼進入超空泡前之不安定狀態，即回噴流為固定之頻率。同時完成升力線程式設計工作。

關鍵字：二維翼，空泡型態，升力

ABSTRACT

A cavitation flow visualization and lift measurement system are set up in cavitation tunnel. Three typical hydrofoils of 30cm in span and 18cm in chord are tested in non-cavitating, partial-cavitating and super-cavitating conditions in the cavitation tunnel of NTU-INAOE. The lifting coefficients with relations to the angle of attack and cavitation number are given. The cavitation developments relating the three typical hydro-foils are described in details.

Reentrance jet is the transitional unsteady state of the foil from partial cavitation to supercavitation. A fix frequency of 33 for the unsteady lifting force in the reentrance jet state is found from force measurements without any relationships to the angle of attack and cavitation number, even the foil shape .

Keywords: Two dimensional foil, Cavitation , Supercavitation, Lift

二、實驗緣由與目的

當船高速行駛時，空蝕實為一無法避免的現象，然而高速化必定是未來造船發展的趨勢，所以空蝕性能的研究為相當重要的課題，本文將以二維翼型的空蝕性能研究作基礎，期望將來能發展至螺槳的設計應用。

關於二維翼空蝕性能的研究，國外已有不少的研究報告發表。在理論方面根據參考文獻[2]的敘述最早是Helmholtz和Kirchhoff將空泡的外表視為一條流線的觀

念應用在跡流區，即所謂的一相流(one-phase flow)。Riabouchinsky首先建立空蝕的流場模型，將空泡的尾端視為平板。後來 Kreisel和Efros建立的空蝕模型是以回噴流(reentrant fluid jet)來模擬空泡尾端，這些為1940年代的事情。而後來的研究大都以平板在流場中擺一個攻角來模擬。一直到1950年代，Tulin首先建立以線性理論來解空泡流場的問題。此後，線性理論在解空泡流場方面被廣泛的應用，如Geurst[2], Geurst & Verbrugh[3] Geurst[4], Wade[5], Kinnas[8][9]。1992年，Kinnas [10]用源流(source)和渦流(vorticity)分佈於翼表面的方法來解超空蝕流場的問題。

但是除了線性理論的方法外，近年來，亦有用非線性的方法來解空泡流的問題。如1987年，Uhlman[6][7]就用非線性理論來計算部份空蝕與超空蝕流場的問題。1992年，C.-S.Lee, Y.-G Kim和J.-T Lee[11]用小板法(Panel Method)解超空蝕和部份空蝕的問題。

所以，空泡流的問題在理論計算方面一直持續發展中。而關於實驗部份，1958年，Parkin[1]以平板翼和圓弧翼為模型，量測不同的空蝕流場下的 C_L 、 C_d 、 C_m 等。1993年，Kinnas和Mazel[13]在MIT做了超空蝕翼型的空蝕試驗，利用雷射都普勒儀(LDV)量測超空蝕翼型周圍流場的速度分佈。1997年，Brewer和Kinnas[13]同樣的在MIT利用LDV量測部份空蝕流場周圍的速度分佈，並用動量原理(Momentum theory)求得升力和阻力係數。

二維流場的模擬相當不易，若同時要直接測量升力與阻力更難。應用動量原理必須進行速度與壓力之量測及適當的假設。在空泡流中，應用LDV量測速率有困難，同時完整可靠的量測數據相當不易獲得，因此設計空蝕型態觀測和升力量測機

構，直接量測，同時進行二維翼空蝕型態觀測和探討不同的空蝕型態對於二維翼型升力的影響等，為本文的研究重點。

四、研究方法與成果

本實驗於台大空蝕實驗室之空蝕水槽進行，為一封閉循環水洞，其主要試驗內容為空泡形態現象觀測與升力之量測。並製作三組的二維翼模型，其翼展為30公分，弦長為18公分。三組翼型翼斷面如圖1-3，翼斷面幾何座標如表1至表3。量測升力則以六向平衡儀加上三向分力儀並用，整個系統校正結果如圖4。

(1)空蝕型態解析

實驗中發現，若就空泡型態而言，可以觀察到這三個翼型都有游移空泡、薄面空泡，和全展空泡等三種空泡型態。若就空泡發生的位置而言，隨著攻角的不同，空泡發生的位置亦隨著不同，分別有出現於跡流區、上表面導緣處、下表面導緣處，和最大弦拱線的位置等。在實驗中還發現一個現象，即回噴流現象。

a.對超空蝕翼而言，當攻角於 3° 與 4° 時，超空蝕型態佳，而 5° 時，則翼表面空泡略厚，攻角小於 3° 時，則壓力面同時存在空泡。在設計上適當攻角選擇是必要的。

b.Eppler翼與NACA翼在設計攻角附近，當空蝕係數低於空蝕初始值後，可能出現翼壓力面空泡，而且該等空泡均為游泡型，在設計上應特別注意避免。

c.NACA翼在設計攻角附近產生空泡初始時，伴隨鳴音現象，而Eppler翼則無此現象，導緣形狀可能為主要關鍵。結果見圖5-10。

(2)升力量測結果與解析

升力量測方面，欲量測在不同空蝕係數下，二維翼所受到的升力，和在一大氣壓下，不同攻角時，升力係數和攻角的關

係。前者量測到的範圍由一大氣壓力下的無空蝕狀態到大約0.25個大氣壓下的超空蝕狀態。量測到的值包含無空蝕狀態、翼背部份空蝕、翼面部份空蝕、回噴流，和全展空蝕等各空蝕狀態的升力，升力量測結果發現升力會隨著空泡發展的過程而改變。並且將實驗中部份空泡狀態其升力量測的結果和GEURST[4]的線性理論作比較。

在一大氣壓力下升力係數和不同攻角的實驗結果發現，NACA翼型和EPPLER翼型其升力係數和攻角的關係都是直線，斜率分別為0.107和0.0998，若依線性理論，於一大氣壓力下，升力係數和攻角的關係為 $cl=2\pi\alpha$ ，其比值為0.1097，而實驗中NACA翼和Eppler翼所得到的比值和理論值的差距為厚度效應，亦顯示測量之準確性。

在升力係數和空蝕係數的關係方面，三組翼型的實驗結果，其升力係數、空泡長度和空蝕係數的關係和GEURST的線性理論相符合，但GEURST的線性理論適合於高攻角的狀態，因為其理論假設空泡是由翼的上表面導緣處開始成長，一直發展至全展空泡狀態，將空泡表面視為一條流線來計算而得到的結果，當翼型處於理想攻角附近或是負攻角時空泡的發展並不是由翼的上表面導緣處開始成長，所以其線性理論並無法反映出翼壓力面空泡和空泡出現在翼背的最大弦拱處的情形。量測結果見圖11-13。由圖14-21發現，回噴流作動期間空泡於導緣及尾緣間來回振動。

由以上的結果發現，回噴流、和翼壓力面空泡發展超過0.5倍翼長的情形。都會造成升力的降低。

而當空泡於翼背導緣處開始發展致超過0.5倍翼長及還未發展成回噴流狀態的期間，對升力有提升的作用。對升力而言，

應避免回噴流發生。

四、結論與建議

建立穩定二維翼之升力量測系統。

1. 實驗中發現回噴流為二維翼達到超空蝕狀態前的過渡不穩定現象。回噴流所造成之不安定力有固定的頻率，且振幅約達平均升力值的40%。
2. 當二維翼處於高攻角時，空蝕型態為薄面空泡，此薄面空泡發展至回噴流現象之前，對升力有提昇的作用。
3. Geurst的線性理論只適合空泡由上表面導緣處開始成長至全展空蝕的空蝕型態。若空泡產生的位置並非在翼型的導緣處，則此線性理論不適用。
4. 超空蝕翼型適用於高攻角，使其產生薄面空泡進而發展為全展空泡。若處於低攻角下，由於其尖銳導緣的關係易產生翼之壓力面空泡，且容易在最大弦拱處同時產生游移空泡。
5. 翼型處於理想攻角附近，若發生空泡現象則容易產生翼壓力面空泡。
6. 超空蝕翼型設計必須給予適當的攻角，以達到理想空泡發展。次空蝕翼型，以理想攻角為設計原則，但需適當的空蝕係數餘裕，或攻角餘裕之選擇，以避免翼壓力面空泡產生。
7. 空泡長度大於1.2倍弦長後，空蝕係數稍微降低，則空泡會迅速成長，因此建議以空泡長度達1.2倍弦長為超空蝕條件。
8. 由於這套實驗系統在量測阻力方面精度不夠，若能建構一套量測阻力的系統來量測阻力，相信對二維翼型空蝕的性能會有更完整的結果及結論。

參考文獻

1. Virgil E. Johnson, Jr., "The influence of depth of submersion, aspect ratio, and thickness on supercavitating hydrofoils

- operating at zero cavitation number,” Naval 2nd Hydrodynamics, 1954.
- 2.Geurst, J. A.: “Linearized theory for partially cavitated Hydrofoils,” Internal Shipbuild Progress. Vol. 6 no. 60, August 1959.
 - 3.Geurst,J. A. and Verbrugh, P. J. :“A note on camber effects of a partially cavitated hydrofoil,” Internal Shipbuild Progress. Vol.6, No.61, September 1959.
 - 4.Geurst, J. A.: “Linearized theory for fully cavitated Hydrofoils,” Internat. Shipbuild. Progress. Vol.7, no.65, Jannary 1960.
 - 5.R. B. Wade: “Linearized Theory of a Partially Cavitating Plano-Convex Hydrofoil Including the Effects of Camber and Thickness”, Journal of Ship Research, March 1967.
 - 6.James S. Uhlman, Jr: “ The Surface Singularity Method Applied to Partially Cavitating Hydrofoils ”, Journal of Ship Research, vol.31, No.2, June 1987, pp. 107-124.
 - 7.James S. Uhlman, Jr : “ The Surface Singularity or Boundary Integral Method Applied to Supercavitating Hydrofoils”. Journal of Ship Research, vol.33, no.1, March 1989, pp.16-20
 - 8.Spyros A. Kinnas: “Leading-Edge Corrections to the Linear Theory of Partially Cavitating Hydrofoils”, Journal of Ship Research, vol.35, No.1, March 1991, pp.15-27.
 - 9.Spyros A. Kinnas and Neal E. Fine: “Analysis of the Flow Around Supercavitating Hydrofoils With Midchord and Face Cavity Detachment ”. Journal of Ship Research, vol.35, No.3, Sept. 1991, pp.198-209.
 - 10.Spyros A. Kinnas :“Inversion of the source and vorticity equations for supercavitating hydrofoils”. Journal of Engineering Mathematics 26: 349-361,1992.
 - 11.C-S. Lee, Y.-G. Kim, and J.-T. Lee: “A Potential-Based Panel Method for the Analysis of a Two-Dimensional Super-or Partially-Cavitating Hydrofoil,” Journal of Ship Research, vol.36, No.2 , June 1992, pp.168-181.
 - 12.Spyros A. Kinnas and C. H. Mazel: “Numerical Versus Experimental Cavitation Tunnel,” Journal of Fluids Engineering, vol.115, December 1993, pp.760-765.
 - 13.Spyros A. Kinnas and Wesley H.Brewer: “Expriment and Viscous Flow Analysis on a Partially Cavitating Hydrofoil,” Journal of Ship Research, vol.41, No.3, Sept 1997, pp.161-171.

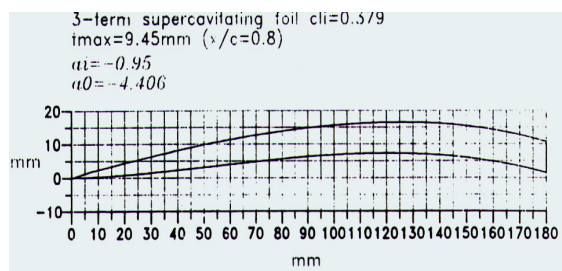


圖1 超空蝕翼之翼斷面圖

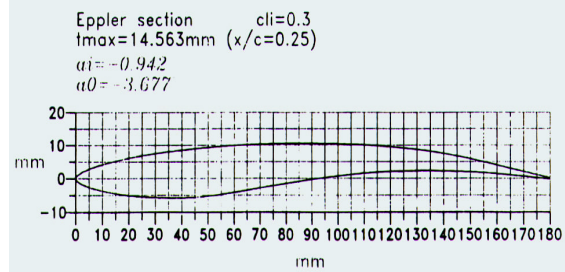


圖2 Eppler 翼之翼斷面圖

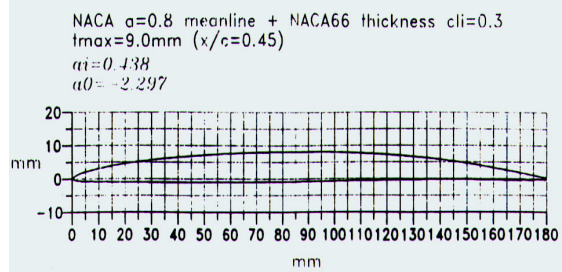


圖3 NACA 翼之翼斷面圖

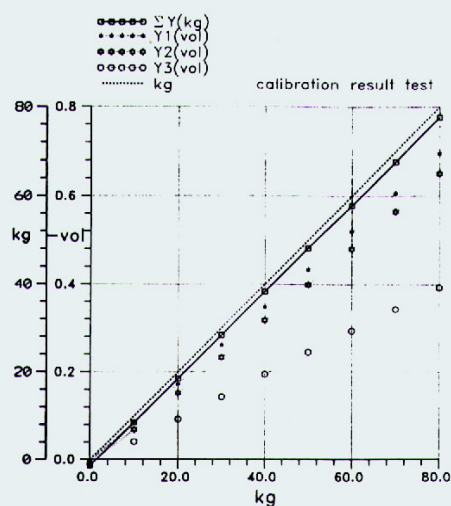


圖4 整個系統校正結果

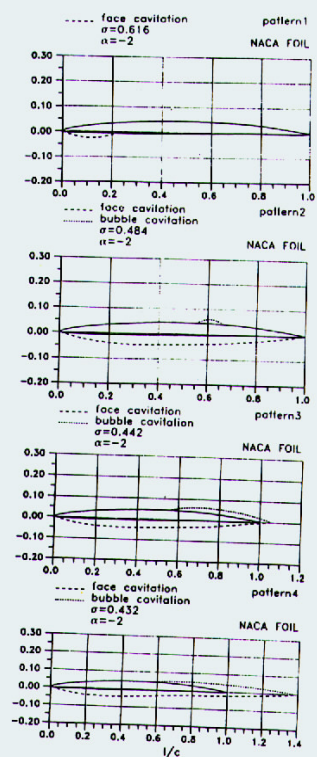


圖6 NACA 翼攻角-2 度空泡成長過程示意圖

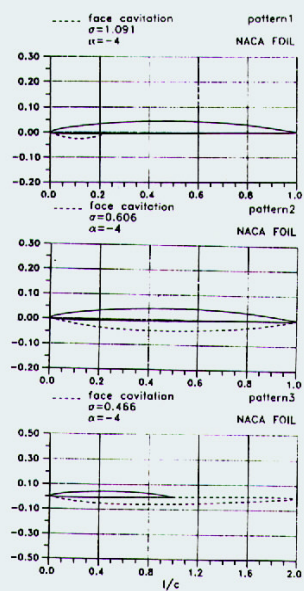


圖5 NACA 翼攻角-4 度空泡成長過程示意圖

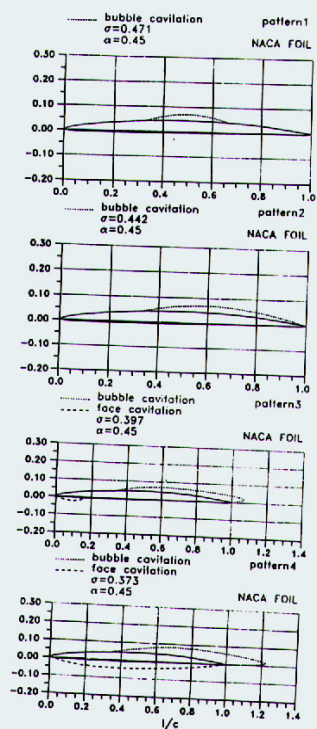


圖7 NACA 翼攻角 0.45 度空泡成長過程示意圖

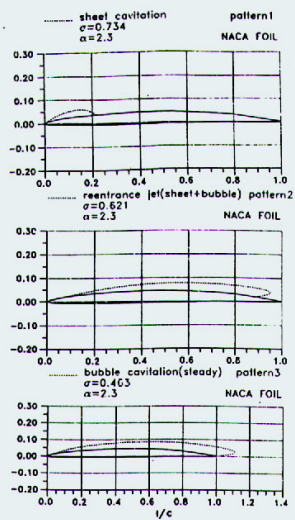


圖 8 NACA 翼攻角 2.3 度空泡成長過程示意圖

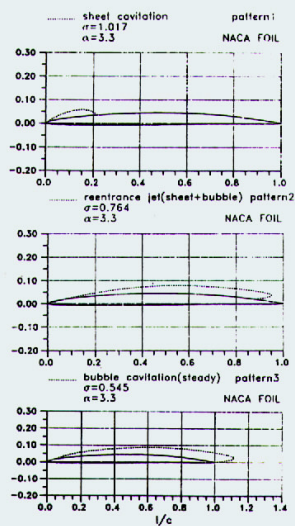


圖 9 NACA 翼攻角 3.3 度空泡成長過程示意圖

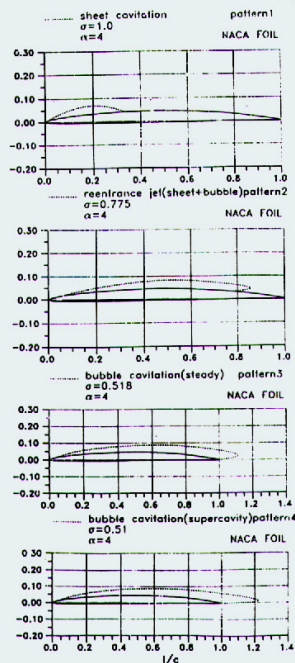


圖10 NACA 翼攻角 4 度空泡成長過程示意圖

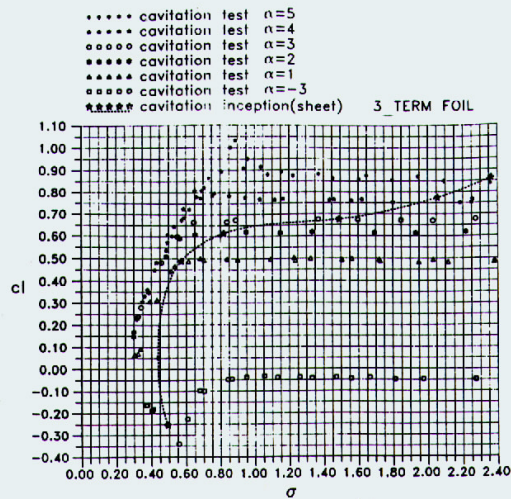


圖11 超空蝕翼 C_L 、 α 和 σ 關係之量測結果、

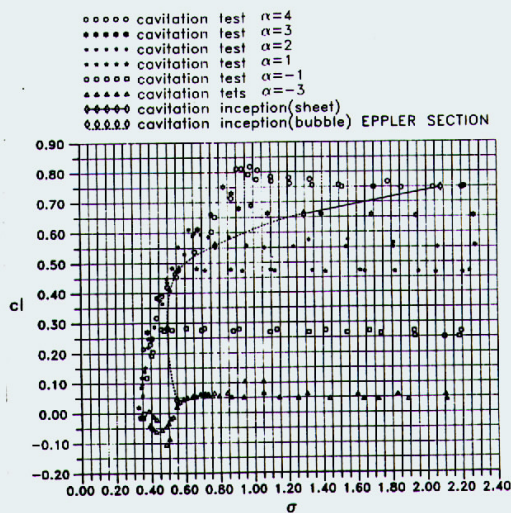


圖12 Eppler 翼 C_L 、 α 和 σ 關係之量測結果

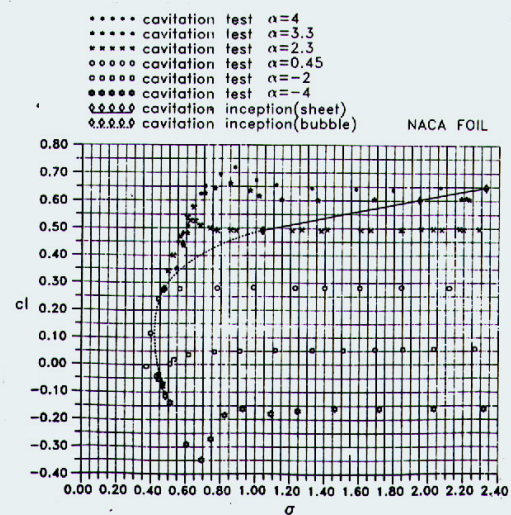


圖13 NACA 翼 C_L 、 α 和 σ 關係之量測結果

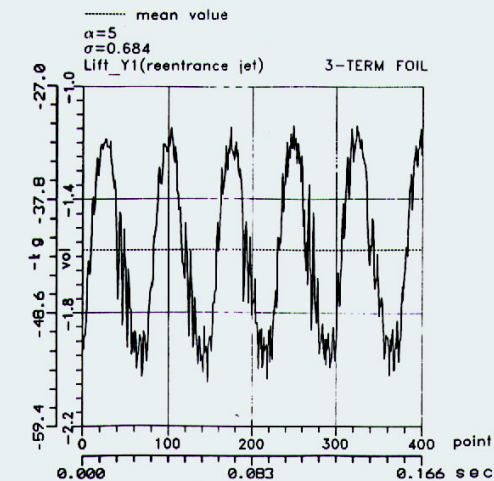


圖14 超空蝕翼攻角5度回噴流現象升力和時間之關係 $\sigma=0.684$

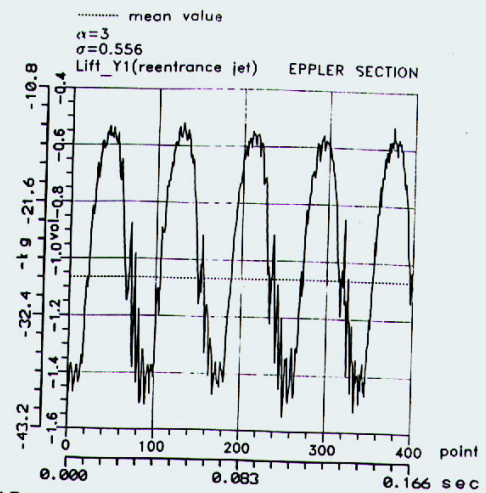


圖17 Eppler 翼攻角3度回噴流現象升力和時間之關係

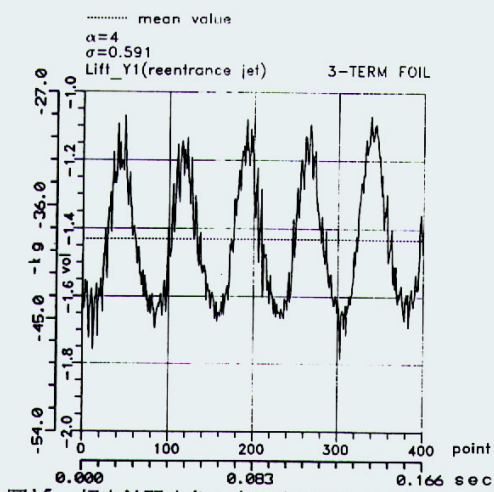


圖15 超空蝕翼攻角4度回噴流現象升力和時間之關係 $\sigma=0.591$

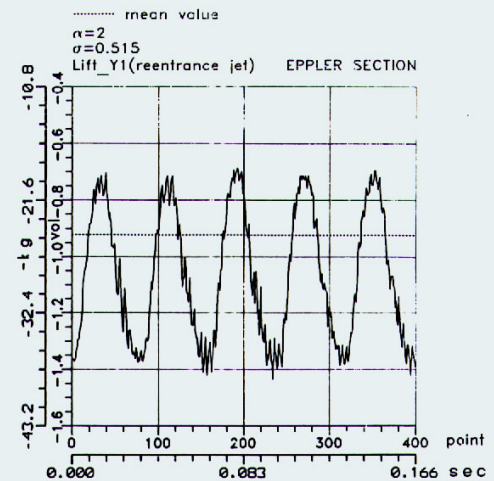


圖18 Eppler 翼攻角2度回噴流現象升力和時間之關係 $\sigma=0.515$

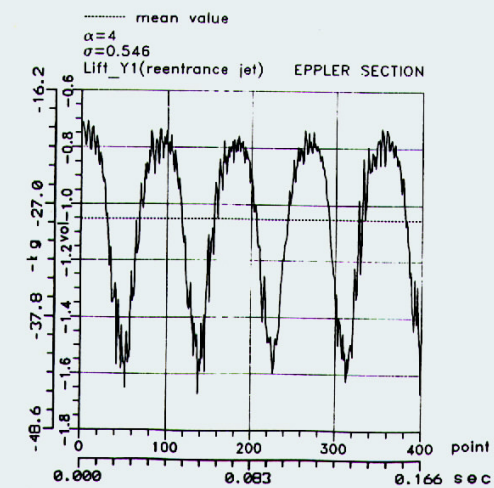


圖16 Eppler 翼攻角4度回噴流現象升力和時間之關係 $\sigma=0.546$

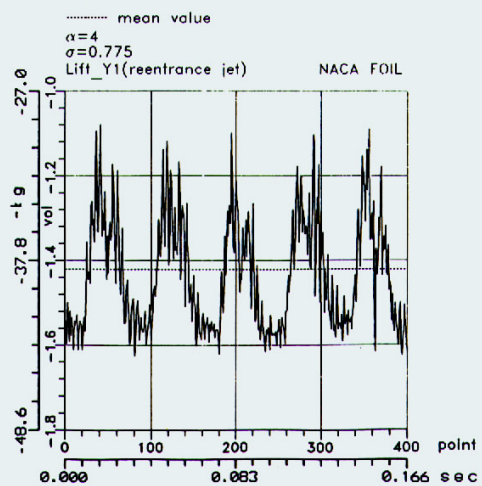


圖19 NACA 翼攻角4度回噴流現象升力和時間之關係 $\sigma=0.775$

