

# 國科會專題研究期末報告

## 除奇點理論推導及其全非線性三維浮體運動計算模型之建立-III

### A Desingularized Theory Derivation and Its Application in Fully Nonlinear Numerical Computations for the motions of 3-D Floating Bodies-III

計劃編號：NSC 91-2611-E-032-001

執行期限：全期 91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計劃主持人：李宗翰 ( zouhan@mail.tku.edu.tw ) 淡江大學機械暨機電工程學系

#### 摘要

本論文主要是利用 The DELTA Method (The Desingularized Eulerian-Lagrangian Time-domain Approach method) 為數值基礎，以簡單的直壁型浮體模擬浮體在激烈運動時所產生的波浪翻轉(wave overturn) 現象。

本文的特點為將已發展的 DELTA 方法改良其對於自由液面節、源點的佈置方式，改採用新的節、源點佈置方式，因此對於自由液面上的節點不會因為波浪的劇烈運動，而產生交錯重疊的情形，在改良自由液面的佈點方式之後，如此便可用來模擬自由液面因激烈高速運動而產生的波浪翻轉(wave overturn) 的現象。

最後本文利用 DELTA 方法所獲得之數值計算結果以及分析模擬的結果將在本文呈現以及討論。

#### 一、前言

波浪一種存在於大自然的現象，其產生的原因有諸多種，例如自然界的風、地震、人為在水中投入石頭、以及船舶航行於水中、或是其他的外力介入均可產生波浪，近年來人類於海洋開發活動日益頻繁，所以對於海洋中波浪的各種特性的研究是刻不容緩。

研究波浪的目的大致來說可以列舉出下列數點：

1. 船舶的設計
2. 航海路線的安全與規劃
3. 港口的規劃設計
4. 海洋能源的開發如：利用海洋的溫差、波浪、海流發電
5. 海上浮式結構物的設計與規劃例如：浮式鑽油平台、海中養殖場、浮式防波堤、乃至於海上機場、海上都市等.....

因此對於一個工程師而言，如何利用已

知之理論，以及對於波浪性質的了解，作為數值分析模型建立之基礎，用以模擬結構物在水中運動所造成波浪的變化以及波浪對結構物所造成的影響，這是研究的重點。

一般來講在處理物體於水面各種運動而產生的波浪問題，本論文主要是採用時間域的數值分析方法藉以模擬浮體在水面上大幅、高速或劇烈運動時產生的波浪翻轉(wave overturn) 的非線性現象，而高階流體效應隨即出現。在浮體運動過程中，因速度變化而產生相對應之較強烈全非線性 (fully nonlinear) 效應時，全非線性 (fully nonlinear) 時間域理論之發展及數值分析模型之建立則已成為研究浮體運動領域之重要方向。

在一般傳統的數值模擬分析模型裡，當處理面(線) 積分時，必須使用柯西積分方程來處理奇點 (singularities) 的問題，因而也造成程式編寫上之複雜性和因繁複計算而產生的累計錯誤。是故，為保有其計算結果之準確度，常常需要使用更精密的數值分析技巧對計算過程中可能出現之誤差予以控制及修正，然而卻也因此造成複雜性與誤差性之惡性循環。因此，本論文完全避免使用柯西積分的數值分析方法，改採用 DELTA 方法 (the Desingularized Eulerian-Lagrangian Time-domain Approach)。

#### 二、理論分析

##### 2-1、物理模型與座標系統

如圖(2.1)，本物理模型使用卡森(Cartesian)座標系統。向上為  $y$  軸，而  $x$  平面設與靜水平面相重合。 $D$  為所設之計算區域，其組成邊界面有： $S_f$  為自由液面、 $S_b$  為物體表面、 $S_h$  為區域底面、 $S$  為區域無限環繞面、 $\theta$  為浮體二側傾斜角。浮體自靜止至振盪而產生的非線性效應的初始值問題，其理論與基本方程式將在時間域中被依次推導。

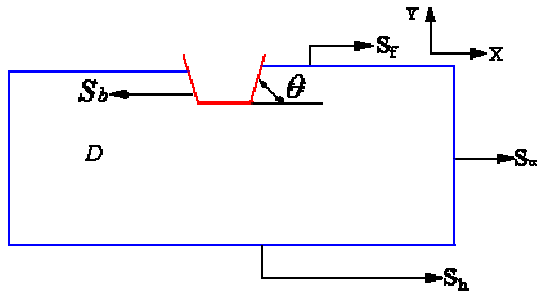


圖 2.1 物理模型定義與卡氏座標系統

## 2-2、初始條件與初始邊界條件

基本假設：

1. 流體為理想流體；為不可壓縮之非旋性流；不考慮表面張力。
2. 自由液面的邊界條件(含運動與動力)為全非線性積分方程。
3. 浮體由靜止狀態開始運動。

各初始條件為：

(1)在自由液面上：壓力等於大氣壓力  $P_{air}$  且在整個計算之過程中，其值一直均設為零；水平面為靜水平面，即

$$\phi_0 = 0 \quad (\text{on } S_f, t=0) \quad (2.1)$$

速度勢亦為零，即

$$\phi_0 = 0 \quad (\text{in } D, t=0) \quad (2.2)$$

當時間為零時，綜合上述的各初始條件後，可知方程式(2.10)中的  $\partial \phi / \partial t$  值亦為零。

(2)在物體表面上：預設位置為

$$x = x_0 \quad (\text{on } S_b, \text{ at } t = 0) \quad (2.3)$$

預設速度為

$$v = v_0 \quad (\text{on } S_b, \text{ at } t^+ = 0) \quad (2.4)$$

當速度勢為  $\phi(x, y, t)$  時，由於滿足所有假設和連續方程式，且流域中的統禦方程式為拉普拉斯(Laplace)方程式：

$$\Delta \phi = 0 \quad (\text{in } D) \quad (2.5)$$

各邊界條件為：

$$(1) \text{ 物體表面: } \frac{\partial \phi}{\partial n_b} = \vec{V}_b \cdot \vec{n}_b \quad (\text{on } S_b) \quad (2.6)$$

$$(2) \text{ 流域底面: } \frac{\partial \phi}{\partial n_h} = \vec{V}_h \cdot \vec{n}_h \quad (\text{on } S_h) \quad (2.7)$$

其中： $V_b$  和  $V_h$  是物體表面和流域底面的速度； $n$  和  $n_h$  分別為相對於此二表面的單位法向量；而  $n$  定義為由物體內部指引向外為正。

在無限水深的情況下，方程式(2.7)可被簡化為

$$\nabla \phi = 0 \quad (\text{當 } z \rightarrow -\infty) \quad (2.8)$$

由於在有限水深的情況下須要考慮到區域底部的邊界條件，因此會增加數值的計算時間，但它卻不會影響計算的困難度。當假設為一平坦的

區域底部時，只要將影響矩陣(influence matrix)中，加入另一組相對的系統就可達到要求的目的。利用這種方法將簡化了格林函數(Green's function)在有限水深下的困難度。

(3) 遠方邊界：

與無限水深相同的概念可被應用於遠方邊界條件的設定

$$\nabla \phi = 0 \quad (\text{on } S) \quad (2.9)$$

(4) 自由液面：

a.運動邊界條件:自由液面上流體分子的移動速度與自由液面的起伏速度必須相等，所以

$$\frac{D}{Dt}(\eta - Z) = 0 \quad (\text{on } S_f) \quad (2.10)$$

其中： $\eta = \eta(x, y, t)$  是自由液面的高度

b.動力邊界條件:自由液面上的壓力必須等於大氣壓力， $P_{air}$ ，因此

$$\frac{P_{air}}{\rho} = -\frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{1}{2} |\nabla \phi|^2 - g\eta \quad (\text{on } S_f) \quad (2.11)$$

當(2.10)與(2.11)合併後，即成為最常被使用的合成自由液面邊界條件。

## 2.3、浮體產生之流體力

在求得速度勢( $\phi$ )之後，利用柏努力方程式可求得浮體表面上的任意點之壓力。

$$\frac{P}{\rho} = -\frac{\partial \phi}{\partial t} - 0.5 |\nabla \phi|^2 - gy \quad (2.12)$$

從積分物體表面上的壓力可計算出受力情形

$$\vec{F} = \iint_{S_b} p \vec{n}_b ds \quad (2.13)$$

而當浮體運動在無邊界的流域時則流體力可表示為：

$$\vec{F} = -\rho \frac{d}{dt} \iint_{S_b} \phi \vec{n}_b ds \quad (2.14)$$

## 三、數值模型分析

### 3-1、尤拉-拉格朗日法

(mixed-Eulerian-Lagrangian time-stepping scheme)

在處理波浪的問題當中，普遍採用邊界積分方程的數值方法。當流體為理想流體且為非旋性流，其控制方程式為拉普拉斯方程時，此模式更可以很成功的處理二維或三維浮體大幅運動所產生的非線性自由液面之問題。Longuet-Higgins 和 Cokelet (1976)運用了尤拉-拉格朗日法(mixed-Eulerian-Lagrangian time-stepping scheme)有效的解決了全非線性表面波的問題。

此方法主要的兩個步驟：

1. 先在尤拉(Eulerian)描述方式中，解邊界值問題來獲得自由液面上的速度勢( $\phi$ )。

2. 再利用拉格朗日(Lagrangian)描述方式中，積分非線性自由液面的運動和動力邊界條件，重新將自由液面上的節點更換到新的位置。

本文中所採用的尤拉-拉格朗日技術，其自由液面上的邊界條件，在引入質點導數的觀念，其運動邊界條件(2.10)和動力邊界條件(2.11)可以寫成

$$\frac{D\bar{X}_i}{Dt} = \nabla\phi \quad (3.1)$$

$$\frac{D\phi}{Dt} = -\frac{p_w}{\rho} + \frac{1}{2}|\nabla\phi|^2 - gy_i \quad (3.2)$$

引入質點導數則

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \nabla\phi \cdot \nabla \quad (3.3)$$

且自由液面上粒子的位置向量為  $\bar{X}_i = (x_i, y_i)$

在一般線性齊次邊界值問題的求解當中，邊界積分法提供一個很有力的技術，此方法在邊界條件部分，先為一符合微分方程的基本解，然後再形成一邊界的積分方程。一般的邊界積分方程中，奇點是放置在邊界上，因此在計算奇點的積分上需花費很多時間。

在時間域的非線性化初始邊界值問題中，Cao, Schultz 和 Beck (1990)發展出 the DELTA method 且運用在浮體運動的邊界值問題上，同時也一般的邊界積分方程作比較。在 the DELTA method 中奇點將自邊界上移開且不在計算區域內，因此這不僅減少了數值積分時所耗費的計算時間外，且亦不失其精確性。

### 3-2、Desingularization 距離 - $L_d$

使用 desingularization 技巧時，與節點相對應之源點是被放置於計算區域之外的；而源點與節點之無因次距離即稱 Desingularization 除奇點距離  $L_d$ ；其表示式被設定為：

$$L_d = l_d(Dm)^\alpha \quad (3.4)$$

其中  $l_d$  為距離常數，控制源點與節點之距離。 $Dm$  為網格/板塊尺寸(mesh/panel size)在三維問題中為網格面積的平方根；在二維問題中為相鄰二節點間的距離。 $\alpha$  為收斂常數。當網格細小時，此值將決定數值運算結果的收斂性。

Cao et al. (1991a) 試驗 $\alpha$ 值( $\alpha=0, 0.5, 1$ )對於積分方程的收斂性，如圖3.7。當  $\alpha < 1$  時數值將呈三次收斂性且隨著  $\alpha$ 值的增加數值積分誤差亦隨之增加，另外為了考慮數值積分的穩定性， $\alpha$ 值必須大於零。是故本文中亦將採用這二個經驗值， $\alpha=0.5$  和  $l_d=1.0$  為最適值。

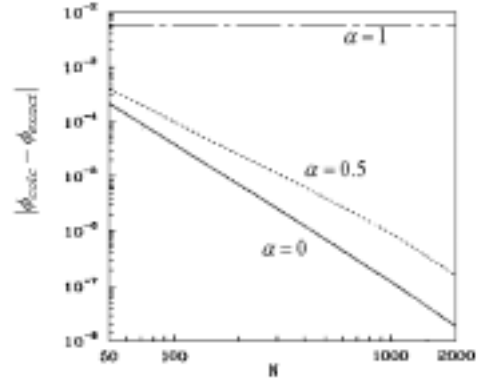


圖 3.7 數值積分的收斂性(Cao et al(1991))

## 四、數值模擬與結果計算

### 4-1、數值計算結果

根據 Grosenbaugh and Yeung (1989)所示可得，波浪由一般平緩的波一直到產生波浪翻轉(wave overturn)現象其分解過程如下圖所示：

Case1 (——) : the upstream boundary is located initially 20 units upstream.  
Case2 (-----) : the upstream boundary is placed initially 5.25 units upstream.

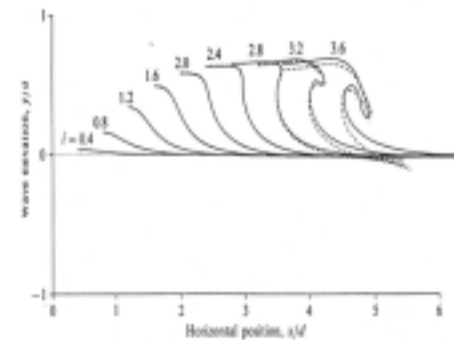


圖 4.1 Froude Number  $F_d=1.0$ ，時間  $t$  從 0 秒到 3.6 秒

本論文研究主要是利用前述之 DELTA 方法模擬計算直壁型浮體前進運動時所產生的波浪翻轉現象(wave overturn)並與 Grosenbaugh and Yeung (1989)所做的波浪翻轉現象(wave overturn)的計算結果作比較，以證明 DELTA Method 在計算波浪翻轉現象(wave overturn)之可行性。

浮體運動的主要是採取漸進式的無因次速度方程式為：

$$VEL = F_d * (1 - EXP(-0.25 * TIME)) \quad (4.1)$$

此方程式主要是以經驗公式來求得，其目的主要是為了讓浮體能以漸進式的加速方式前進，並且待浮體運動速度到達一定值之後並以此定值持續前進如圖 4.2 所示，如此便可以避免浮體在一開始就遭受到太劇烈的運動而導致所欲求之結果發散。

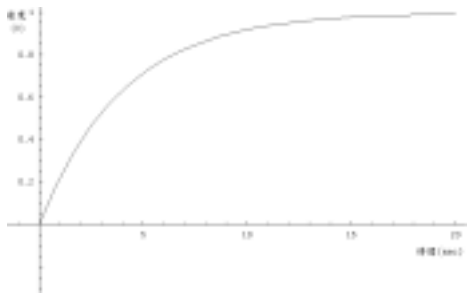


圖 4.2 浮體無因次運動速度方程式  $VEL = F_d * (1 - EXP(-0.25 * TIME))$  關係圖

由(4.1)Froude Number :  $F_d$  ; 以及經驗函數 :  $(1 - EXP(-0.25 * TIME))$  ; 決定了浮體前進速度。

在下列數值計算結果主要是以浮體最終速度  $F_d$  依序為 0.5, 0.6~1.3 計算所得到的結果, 並加入了無因次浮體運動速度與計算時間關係圖, 由此關係圖可求得任意時間之浮體運動速度為何, 如圖 4.3(a)為當浮體之最終運動速度  $F_d=0.5$ , 時間  $t=7.2$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.4 (a) 當浮體之最終運動速度  $F_d=0.6$ , 時間  $t=6.4$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.5 (a)當浮體之最終運動速度  $F_d=0.8$ , 時間  $t=5.2$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.6 (a)當浮體之最終運動速度  $F_d=1.0$ , 時間  $t=5.2$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.7 (a) 當浮體之最終運動速度  $F_d=1.2$ , 時間  $t=0.4\sim 4.2$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.8 (a)當浮體之最終運動速度  $F_d=1.1$ , 時間  $t=5.20$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.9 (a)當浮體之最終運動速度  $F_d=1.1$ , 時間  $t=4.76$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.10 (a)當浮體之最終運動速度  $F_d=1.2$ , 時間  $t=4.20$  秒時, 所對應之速度關係圖; 圖 4.11 (a) 當浮體之最終運動速度  $F_d=1.3$ , 時間  $t=3.76$  秒時, 所對應之速度關係圖。

由於本論文所計算的結果為浮體以漸進式加速的方式運動, 是故其結果表現的形式主要是根據時間的增加, 而浮體座標以及波浪的變化, 隨著時間的增加而改變其座標位置, 因此為了與 Grosenbaugh and Yeung (1989)所做之結果作比較, 為了明顯的比較出本論文所做之結果的合理性, 以及為了方便觀察, 比較本文與 Grosenbaugh and Yeung (1989)所得之結果, 因此本文所採用的方式為將浮體以及其對應之波浪變化的座標軸與 Grosenbaugh and Yeung (1989)所得之結果統一, 如圖 4.5(c)與 4.5(d); 4.8(c)與 4.8(d); 4.9(c)與 4.9(d); 4.11(c)與 4.11(d)中所示。

在圖 4.8 系列中可知在浮體最終速度  $F_d$  為 1.0 時, 根據時間與速度的關係圖 4.8(a)可得時間為 4.88 秒時, 其無因次浮體運動速度為 0.7, 並由圖 4.8(c)可得在 4.88 秒時其波浪已經開始產生波浪翻轉(wave overturn)的現象, 其結果並與圖 4.8(d) Grosenbaugh and Yeung (1989), 在同樣浮體

運動速度為 0.7 的結果相比較下, 可得其波浪翻轉(wave overturn)的波形非常接近。

由下列之結果可以得知雖然本論文所使用的浮體運動方式是採取漸進式的加速方式, 與 Grosenbaugh and Yeung (1989) 所採取等速度的運動方式的作法不太相同, 不過波浪的運動還是有其一定的規律的, 隨著  $F_d$  的數值變大以及配合上之前所套用的經驗公式, 可以得到圖 4.11(c), 在最終浮體速度  $F_d=1.3$ , 時間  $T=3.92$  秒, 無因次浮體運動速度為 0.8 時可以得到一美麗的波浪翻轉的情形。

因此由下列一整個系列的圖可得, DELTA 方法確實可以用來處理浮體在激烈運動所產生的波浪翻覆(wave overturn)現象。

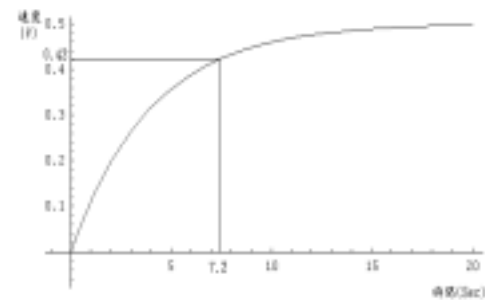


圖 4.3 (a) 浮體之最終運動速度  $F_d=0.5$ , 時間  $t=7.2$  秒時, 浮體運動速度與計算時間關係圖。

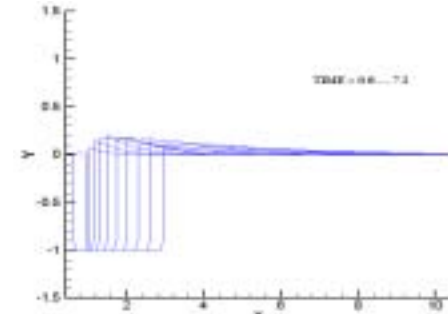


圖 4.3 (b) 浮體之最終運動速度  $F_d=0.5$ , 時間  $t$  從 0.8 到 7.2 秒時, 受水平作用力作用之波浪變化情形。

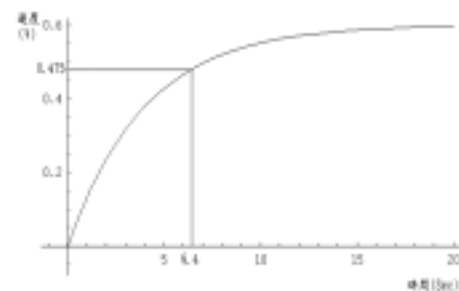


圖 4.4 (a) 浮體之最終運動速度  $F_d=0.6$ , 時間  $t=6.4$  秒時, 浮體運動速度與計算時間關係圖。

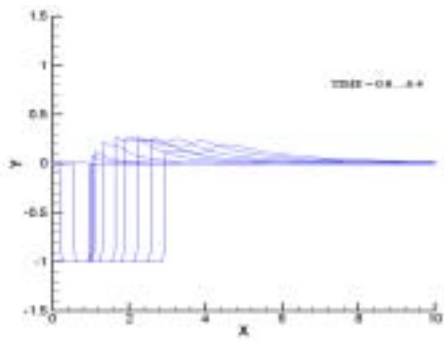


圖 4.4 (b) 浮體之最終運動速度  $F_d=0.6$ ，時間  $t$  從 0.8 到 6.4 秒時，受水平作用力作用之波浪變化情形。

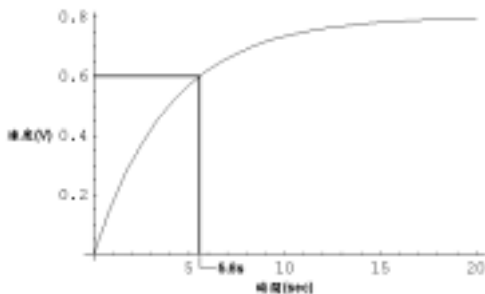


圖 4.5 (a) 浮體之最終運動速度  $F_d=0.8$ ，時間  $t=5.6$  秒時，浮體運動速度與計算時間關係圖。

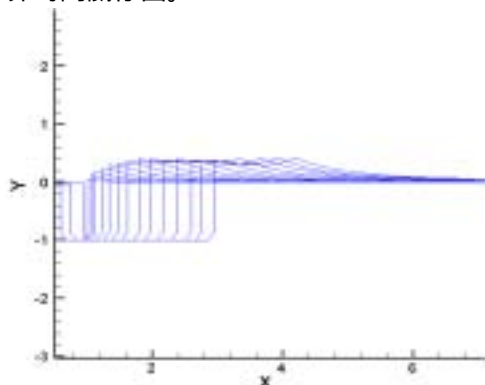


圖 4.5 (b) 浮體之最終運動速度  $F_d=0.8$ ，時間  $t$  從 0.4 到 5.60 秒時，受水平作用力作用之波浪變化情形。

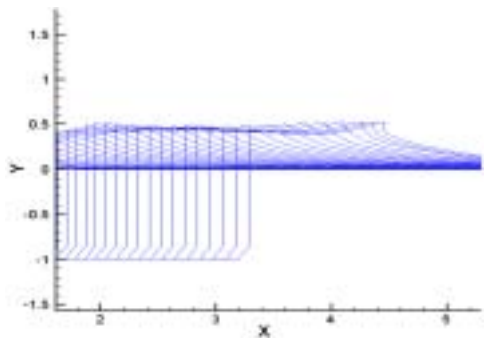


圖 4.6 (a) 浮體之最終運動速度  $F_d=1.0$ ，時間  $t$  從 0.4 到 5.20 秒時，受水平作用力作用之波浪變化情形。

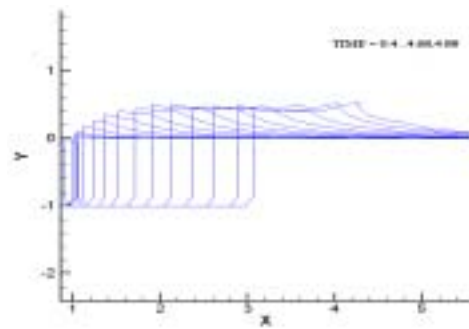


圖 4.6 (b) 陳昌隆(2002)之浮體最終運動速度  $F_d=1.0$ ，時間  $t$  從 0.4 到 4.88 秒時，受水平作用力作用之波浪變化情形。

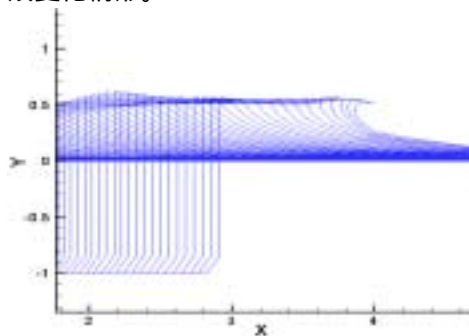


圖 4.7 (a) 浮體之最終運動速度  $F_d=1.2$ ，時間  $t$  從 0.4 到 4.20 秒時，受水平作用力作用之波浪變化情形。

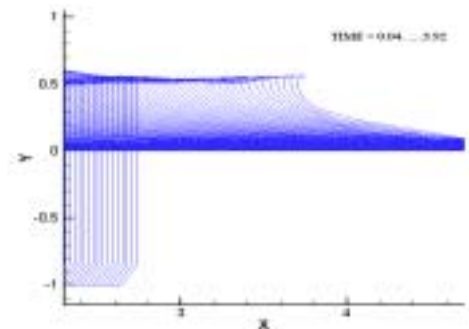


圖 4.7 (b) 浮體之最終運動速度  $F_d=1.2$ ，時間  $t$  從 0.04 到 3.92 秒時，受水平作用力作用之波浪變化情形。



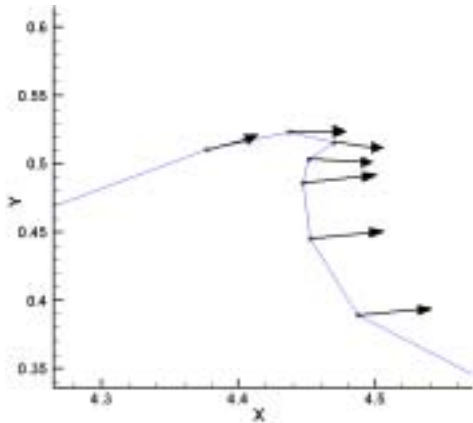


圖 4.8 浮體之最終運動速度  $F_d=1.0$ ，時間  $t$  為 5.20 秒時，無因次運動速度  $VL=0.727$ ，自由液面表面粒子受水平作用力作用所得之波浪變化情形。

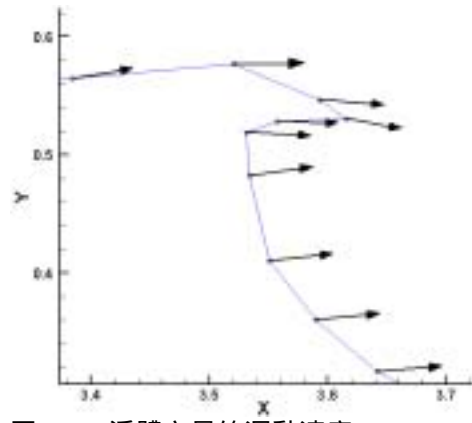


圖 4.11 浮體之最終運動速度  $F_d=1.3$ ，時間  $t$  為 3.76 秒時，無因次運動速度  $VL=0.792$ ，自由液面表面粒子受水平作用力作用所得之波浪變化情形。

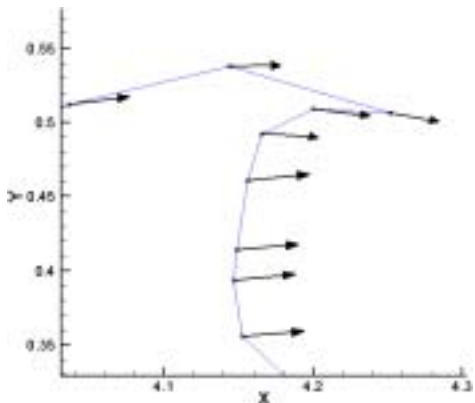


圖 4.9 浮體之最終運動速度  $F_d=1.1$ ，時間  $t$  為 4.76 秒時，無因次運動速度  $VL=0.765$ ，自由液面表面粒子受水平作用力作用所得之波浪變化情形。

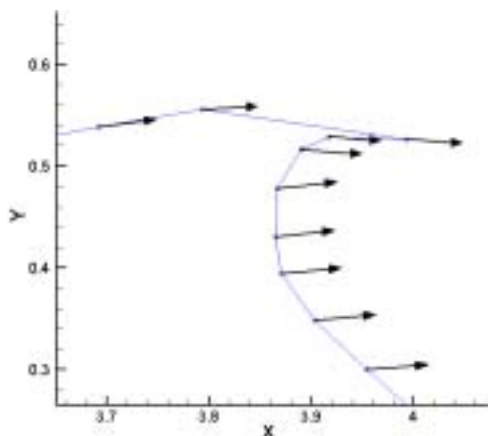


圖 4.10 浮體之最終運動速度  $F_d=1.2$ ，時間  $t$  為 4.20 秒時，無因次運動速度  $VL=0.78$ ，自由液面表面粒子受水平作用力作用所得之波浪變化情形。

## 五、結論

運用改良型除奇點技巧來求解全非線性之水面波浪翻轉問題時

，將結果與之前的研究學者比較，可以得知，The Modified DELTA Method 可視為一種不錯的數值方法；而經過改良型除奇點技巧的處理後，將遇到之奇點從計算區域移開，由於無須經過線性化處理，可以避免程式上撰寫之複雜性，以及運算時錯誤的累積，並且大大的節省了程式運算的時間，綜合以上的優點，The Modified DELTA Method 在處理這類的波浪翻覆模擬時，已經具有相當程度的合理性。

由於本論文的浮體運動是以漸進加速的方式前進，自由液面上兩相鄰節點及其相對應源點的問題，必須小心地處理，若自由液面兩相鄰節點因劇烈運動而造成交錯，將導致程式的錯亂而無法進行，則波浪翻轉的問題也將無法處理。

所以本論文的重點，就是針對自由液面的節點佈置方式做改進，除了沿用前幾位學者所使用的數值方法外，我們將源點佈置在自由液面上節點的法線向量的位置上，使其在進行波浪翻轉模擬時，不會因源點位置而導致程式發散；而且更有規則的改良自由液面上節點的佈點原則，也可順利的解決相對應源點的問題，使其在波浪翻轉時，可得到更趨前完美的波形。

傳統的數值方法在計算波浪翻轉的模擬時，為了解決奇點問題而必須加重其數值的運算量，這樣除了程式撰寫繁瑣外，更造成計算的錯誤累積；我們將自由液面上奇點作除奇點(desingularization)的處理

，將其佈置於計算區域之外，改變傳統作法中奇點直接佈滿網格上再作積分的方式，除了簡化程式的繁瑣外，在節省時間上也有絕對的優勢；將所得到的計算結果再跟 Grosenbaugh and Yeung (1989)所計算之結果比較之後，可以得到一個相當具有合理性的波形，因此，The Modified DELTA Method 可視為在處理波浪翻轉(wave overturn)的問題上，另一個可以選擇使用的數值方法。

未來展望：

進行波浪翻轉的模擬，未來可以繼續發展的部分，將分為兩部分來說明：

(1)自由液面上節點及其相對應源點的佈置：

節點及源點的位置，一直是波浪翻轉圖形完美與否

的關鍵，若能更有效解決這類問題，例如運用新一代的佈點技術，將可以完成波浪翻轉(wave overturn)直到破浪(wave breaking)前的模擬分析。

(2)破浪(wave breaking)問題波浪在進行翻轉的最後，一定會造成破浪的現象，這可由海浪拍打岸邊消波塊作為說明，如能有效分析模擬破浪的問題，則對從事岸邊工程或建築設計等相關工作，有一定的助益。

### 參考文獻

- [1] A.L. New, P. McIver, and D.H. Peregrine(1985), "Computation of overturning waves," *J. Fluid Mech.*, Vol. 150, pp.233-251, Printed in Great Britain..
- [2] Baker, G.r., D.I.Meiron and S.A. Orszag(1982), Generalized Vortex Methods for Free Surface Flow Problems, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.123, pp.477-501.
- [3] Beck, R.F. and S.J. Liapis (1987), Transition Motion of Floating Bodies at Zero Forward Speed," *Journal of Ship Research*, Vol.31, No. 3, pp.164-176.
- [4] Beck, R.F., Y.Cao and T-H. Lee (1993), "Fully Nonlinear WaterWave Computations Using the Desingularized Method," *Proceeding 6<sup>th</sup>, Internation Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, University of Iowa.
- [5] Bertram, V. (1990), "Ship Motion by Rankin Source Method," *ShipTechnology Research*, Vol.37, No.4, pp.143-152.
- [6] Cao, Y., W.W. Schultz and R.F.Beck (1990), Three-dimendional unsteady computations of nonlinear waves caused by under water disturbance, *Proceedings 18<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, MI, USA, pp.417-427.
- [7] Cao, Y., W.W.Schultz and R.F.Beck (1991a), Three-dimensional, Desingularized Boundary Integral Methods for Potential Problems, *International Journal of Num. Meth. Fluids*, Vol.12, pp.785-803.
- [8] Cao, Y., W.W. Schultz and R.F. Beck (1991b), Two-dimensional Solitary Waves Generted By a Moving Disturbance, *6<sup>th</sup> International Workshop on Water Waves and Floating Bodies*, Woodshole, Ma, USA.
- [9] Commins, W.E. (1962), " The Impulse Response Function and Ship Motions," *Schiff-technik*, Vol.9, pp.101-109.
- [10] Dommermuth, D.G. and D.K.-P.Yue (1987), " Numerical Simulations of Nolinear Axisymmetric Flows with a Free Surface,"*Journal of Fluid Mechanics*, Vol.178, pp.195-219.
- [11] Dommermuth, D.G. and D.-K.P. Yue (1988), "Study of Nonlinear Axisymmetric Body-Wave Interactions," *Proceedings 16<sup>th</sup> Symposium of Naval Hydrodynamics*, Berkeley.
- [12] Dommermuth, D.G. and D.K.P. Yue, W.N. Lin, R.J.Rapp, E.S. Chan, and W.K. MeVilleville(1988), "Deep-water plunging breakers: A comparison between potential theory and experiments," *J. Fluid Mech.*, Vol.189 ,pp.423-442.
- [13] D. Skyner (1996), "A comparison of numerical prediction and experimental measurements of the internal kinematics of a deep-waterplunging wave," *J. Fluid Mech.*, Vol.315, pp.51-64.
- [14] Finklestein, A. (1957), "The Initial Value Problem for Transient Water Waves,"*Communication on Pure and Applied Mathematics*, No.10, pp.511-522.
- [15] Faltisen, O.M. (1977), "Numerical Solution of Transient Nonlinear Free Surface Motion Outside or Inside Moving Bodies," *Preceedings 2<sup>nd</sup> Conference On Numerical Ship Hydrodynamics*, U.C. Berkeley, pp.347-357, University Extension Publications.
- [16] Ferrant, P. (1989), "Radiation d'Ondes de Gravite per les Mouvements de Grande Amplitude d'Un Corps Immerge," *Ph.D. Dissertation*, Universite de Nantes.
- [17] Grosenbaugh, M.A. and R.W. Yeung (1988), "Nonlinear Bow Flows-An Experimental and Theoretical Investigation," *Proceedings 17<sup>th</sup>Symposium on Naval Hydrodynamics*, The Hague, Netherland, pp.195-214.
- [18] Gang Chen, Christian Kharif, Stephane Zaleski, and Jie Li (1999), "Two-dimensional Navier-Stokes simulation of breaking waces," *Physics of Fluids*, Vol.11, Number 1, January 1999.
- [19] John (1953), "Two- dimension potential flows with a free boundary," *Communs Pure Appl. Maths* 6, 497-503
- [20] Jensen, G., H. Solding and Z.X. Mi (1986), "Rankine Source Methodfor Numerical Solution of the Steady Wave Resistance Problem," *Proceedings 16<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics*,University of California, Berkeley,

- pp.575-582.
- [21] Kupradze, V. (1967), "On the Approximate Solution of Problems in Mathematical Physics," *Russ. Math. Surveys*, Vol.22, pp.59-107.
- [22] Krosmeier, F.T. (1988), "The First and Second Order Transient Free Surface Wave Radiation Problems," *Ph.D. Dissertation*, Dept. of Ocean Engineering, MIT.
- [23] Longuet-Higgins M.S. and C.D. Cokelet(1976), The Deformation of Steep Surface Waves on Water: I.A Numerical Method of Computation, Proceedings of Royal Society London, A350, pp. 1-26.
- [24] Longuet-Higgins M.S (1982), "Parametric solution for breaking wave," *Journal of fluid Mechanics*, Vol.121, pp.403-424.
- [25] Lin, W.M. and D.K.-P. Yue (1984), "Nonlinear Solution for Large Motions in the Time Domain" *Proceedings 18<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, MI, PP.41-66.
- [26] Lee T-H (1992), "Nonlinear Radiation Problems for a Surface-Piercing Body," *Ph.D. Thesis*, Dept. Of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- [27] Lee T-H and Chen, C.L (1999), "任意三維浮體之全非線性波計算", *中國民國力學學會第二十三屆全國力學會議*
- [28] Lee T-H and Lin, C.A (2000), "Applications of Desingularization Techniques in Fully Nonlinear Wave Calculation for Arbitrary 2-D Floating Bodies", *中國民國力學學會第二十四屆全國力學會議*
- [29] Lee T-H and Chen, C.L (2001a), "Fully Nonlinear Wave Calculations for Non-wall-sided Floating Bodies", *第十三屆中國造船暨輪機工程研討會台北, 陽明山, 中國大飯店, 民國九十年二月*
- [30] Lee T-H and Chen, C.L. (2001b), "運用除奇點技巧對任意浮體之全非線性波計算", *中國航空太空學會學刊*, 第三十三卷第二期第 095-101 頁, 民國九十年
- [31] Lee T-H and Chen, C.L. (2001c), "Fully Nonlinear Wave Computations for Arbitrary Floating Bodies Using The DELTA Method", *The 8<sup>th</sup> (2001) International Symposium On Practical Design of Ship and Other Floating*
- [32] Martin, P.A. (1981), "On the Null-field Equations for Water-wave Radiation Problems," *Journal of fluid Mechanics*, Vol.113, pp.315-332.
- [33] Martin, Greenhow (1983), "Free-surface flows related to breaking waves," *Journal of fluid Mechanics*, Vol.134, pp.259-275.
- [34] Magee, A. and R.F. Beck (1988), "Nonlinear Motion in the Time Domain," *Proceeding 3<sup>rd</sup> Int'l Workshop on Water Waves and Floating Bodies*, Cambridge, MA : MIT Press.
- [35] M.A. Grosenbaugh and R.W. Yeung (1989), "Nonlinear free-surface flow at a two-dimensional bow," *J. Fluid Mech.*, Vol. 209, pp.57-75, Printed in Great Britain.
- [36] Newman, J.N. and C-H. Lee (1992), Sensitivity of Wave Loads to The Discretization of Bodies *Proceedings of the Intl. Conf. On the Behavior of Offshore Structures Conference (BOSS, 1992)*, London, July 1992.
- [37] New (1983), "A class of elliptical free-surface flows," *J. Fluid Mech.*, Vol. 130, pp.219-239.
- [38] Ogilvie, T.F. (1964), "Recent Progress Toward the Understanding and Prediction of Ship Motions," *Proceedings 5<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydro-dynamics*, Washington D.C., pp.3-128.
- [39] Park, J.H. and A. Troesch (1992), "Numerical Modeling of Short-Time Scale Nonlinear Water Waves Generated by Large Vertical Motions of Non-Wallsided Bodies," *Proceedings 19<sup>th</sup> Symposium*
- [40] Raven, H.C. (1992), "A Practical Nonlinear Method for Calculating Ship Wavemaking and Wave Resistance," *Proceeding 19<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics*, Soul, Korea.
- [41] Stoker, J.J. (1957), "Water Waves," New York : *Interscience Publishers*.
- [42] Vinje, T. and P. Brevig (1981), "Nonlinear Ship Motions," *Proceedings 3<sup>rd</sup> Int'l Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, Paris.
- [43] Wehausen, J.V. (1976), "Initial Value Problem for the Motion in an Undulating Sea of a Body with Fixed Equilibrium Position," *Journal of Engineering Mathematics*, Vol.1, pp.1-19.



