

國科會專題研究期末報告

含入射波時任意三維浮體之全非線性流場模擬

Simulations of Fully Nonlinear Flow Field with Incident Waves for Arbitrary 3-D Floating Bodies

計劃編號：NSC 90-2611-E-032-001

執行期限：全期 90 年 8 月 1 日至 91 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

應用 The DELTA method 之數值模型於模擬分析船舶作航行運動時所產生的波浪，並對該運動所產生的波形加以分析計算。The DELTA method 本身已將奇點佈於計算區域之外，相對於傳統做法而言，程式的複雜度減低，運算過程所需的時間亦減少。

本論文使用造波器來模擬真實海面之波浪情形，共製造了三種不同波幅的入射波，來模擬海面的波浪。本論文所使用的入射波幅是取用較大的入射波幅，目的除了模擬較大的海面波浪之外，還證明了 The DELTA Method 在處理大振幅入射波與船體周圍之情形時，是一相當穩定可靠的方法。當造波器所製造的二維波轉換為三維波之後，三維波即可被導入計算區域之中，並以此數值模型模擬船舶航行於類真實海面的情形下進行計算，最後將沿船體的波形與實驗值加以比較，比較結果顯示 The DELTA Method 的數值結果是相當良好的。

一、前言

由於台灣地狹人稠，可以隨意運用的土地面積越來越少，以焚化爐來說，若能將焚化爐建於海上平台時，便可以在海上進行燃燒的動作，做好廢氣處理之後再排至大氣中。而燃燒後所留下殘渣可以運回陸地作為有機肥料，燃燒時的熱能可以用來做火力發電，除了供給本身所需的電力之外，還可以透過海底電纜將多餘的電能傳回陸地。海上平台的設計，除了處理廢棄物之外，還能將燃燒廢棄物時所產生的能量以及殘渣加以利用，回饋陸地居民，所以若能將這些有污染物產生卻又不可或缺的廠房，興建於離岸較遠的海上平台上時，必然可以省去許多人為造成的麻煩。

但是要在海面上設置一穩定的平台，並於其

上興建廠房，就必須對該海域的流場性質，有明確的數據分析，本論文所發展的新一代除奇點技巧(The DELTA Method)，目的就是要模擬分析任意流場的性質，並縮短傳統方法在數值計算時所花的時間，提高數值模擬的效率。

The Desingularized Eulerian-Lagrangian Time-domain Approach method (the DELTA method) 是在眾多解邊界值問題的方法中的其中一種。在傳統的數值模擬分析模型中，必須使用柯西(Cauchy)積分方程來處理面積分時之奇點(singularities)問題，因而增加程式編寫上之複雜性和繁複計算所累積之 round-off 錯誤。在本論文中將採用一種可完全避免使用柯西積分的方法，即所謂除奇點方法(Desingularization Method)。

The DELTA Method 是一使用的時間域的數值模型，用來處理全非線性的數值問題，本論文應用 DELTA Method 建構一模擬真實流場並含入射波特性數值模型，針對 Series60 船型航行時，產生的海面波浪效應，加以分析。本論文利用已發展之除奇點技巧，建立一個三維全非線性時間域數值分析模型，用以模擬船舶在海中航行時，描述周圍流場的情況，並計算產生之波形、浮體所遭受之流體力及力矩等，其分析結果亦被用來與其他方法之結果作比較。

二、理論分析

2-1.物理模型

如圖(2.1)，本模型使用卡森(Cartesian)座標系統。向上為 z 軸，而 $x-y$ 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 是自由液面、 S_b 是船體表面、 S_h 是區域底面、 S_∞ 是區域無限環繞面。船體為自靜止至固定航速後，持續航行一段時間所產生的非線性效應的初始值問題。

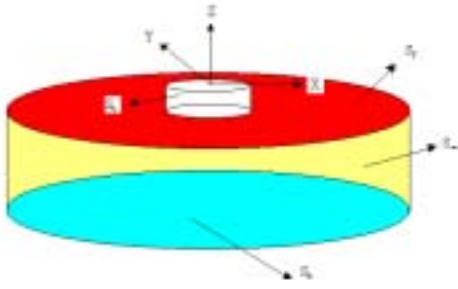


圖 2.1: 物理模型和座標系統

假設流體為無黏性、不可壓縮、流動無漩，且不考慮表面張力。基於此，流體之速度， \vec{u} ，以速度勢， ϕ ，可表示為

$$\vec{u}(\vec{X}, t) = \nabla \phi \quad (2.1)$$

其中： $\vec{X}(x, y, z)$ 是節點位置； t 是時間

2-2. 理論方程式

由於滿足所有假設和連續方程式，流域中的統禦方程式為拉普拉斯(Laplace)方程式

$$\Delta \phi = 0 \quad (in D) \quad (2.2)$$

各邊界條件為：

(1) 船體表面

$$\frac{\partial \phi}{\partial n_b} = \vec{V}_b \cdot \vec{n}_b \quad (on S_b) \quad (2.3)$$

其中 \vec{V}_b 是船體表面的速度；

\vec{n}_b 船體表面的單位法向量；

\vec{n} 定義為由船體內部指向向外為正。

(2) 遠方邊界

$$\nabla \phi \rightarrow 0 \quad (on S) \quad (2.4)$$

(3) 自由液面

a. 運動邊界條件：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial \phi}{\partial z} = 0 \quad (on S_f) \quad (2.5)$$

其中： $\eta = \eta(x, y, t)$ 是自由面的高度

b. 動力邊界條件：

$$\frac{P_{air}}{\rho} = -\frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{1}{2} |\nabla \phi|^2 - g\eta \quad (on S_f) \quad (2.6)$$

2-3. 起始條件

本論文中所討論的初始值問題，其初始條件均被設為自靜止開始後作直線航行運動。各初始條件為

(1) 在自由液面上：

壓力等於大氣壓力， P_{air} ；且在整個計算過程中，其值一直均設為零，水平面為靜水平面，

即

$$\phi_0 = 0 \quad (on S_f, t=0) \quad (2.7)$$

速度勢為零，即

$$\phi_0 = 0 \quad (in D, t=0) \quad (2.8)$$

(2) 在船體表面上：

a. 預設位置為

$$X = X_0 \quad (on S_b, at t = 0) \quad (2.9)$$

b. 預設速度為

$$V = V_0 \quad (on S_b, at t = 0^+) \quad (2.10)$$

三、數值模型分析

本論文所使用之除奇點理論即是將所有奇點移至計算區域之外。在每一時間步驟中，估算各奇點之源強度，用以計算自由液面各節點的速度並將之移至新位置，整個計算過程如此周而復始，而自由液面亦因此隨著時間的推進而起伏變化，在時間域內採用完全未經線性化之運動及動力自由液面邊界條件(fully nonlinear kinetic and dynamic free surface boundary conditions)及完全船體邊界條件(exact body boundary condition)。為了在拉格朗日座標系統中將節點移至新的位置，因此，在方程式(2.5)的等號左右各加 $\nabla \phi \cdot \nabla \eta$ 及方程式(2.6)的等號左右各加 $\nabla \phi \cdot \nabla \phi$ ，則此自由液面的運動及動力邊界條件自尤拉座標系統轉成拉格朗日座標系統，則成為

$$\frac{D\vec{X}_f}{Dt} = \nabla \phi \quad (on S_f) \quad (3.1)$$

及

$$\frac{D\phi}{Dt} = -\frac{P_{air}}{\rho} + \frac{1}{2} |\nabla \phi|^2 - gz_f \quad (on S_f) \quad (3.2)$$

其中： $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \nabla \phi \cdot \nabla$

$\vec{X}_f = (x_f, y_f, z_f)$ 為自由液面上各節點的位置

本論文所述的初始值問題，可經應用方程式(2.3)~(2.10)來定義一個邊界積分(boundary integral)方程式，求解各節點上相應奇點之源強度，進而模擬流場之現象。

3-1. 次奇點距離 - L_d

使用除奇點理論時，與節點相對應之奇點是被置放於計算區域之外的；而奇點與節點之距離即稱次奇點距離， L_d ，如圖 3.1 所示。其表示式被設定為：

$$L_d = l_d (Dm)^\alpha \quad (3.3)$$

其中： l_d 為距離常數控制奇點與節點之距離。

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，二維問題中為相臨二節點間距。

α 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.經數值分析試驗後發現，在執行除奇點化的過程中，考慮運算結果之收斂性及數值方法之穩定性時， $\alpha=0.5$ 和 $L_d=1.0$ 為最適值。本論文中亦採用這二個經驗值來決定除奇點化 (desingularization) 的距離。

3-2. 奇點佈置與網格分配

在使用配置方法 (collocation method) 將計算區域內之所有邊界分隔成為網格後，如圖 3.1 所示，此即為 DELTA Method 所使用之數值分析模型，紅色的點代表 DELTA Method 所計算的自由液面，藍色的點代表傳統柯西積分法所計算的流體表面：

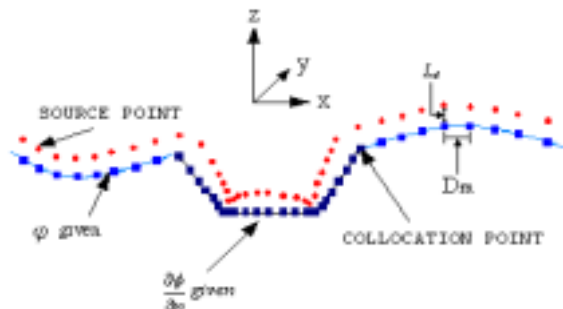


圖 3.1 數值分析模型

邊界上之節點及次奇點之分佈與配置的原則是：

- (1) 在自由液面部分，將奇點置放於 $+z$ 方向，亦即將奇點置於其相對應網格之正中上方，計算區域以外之處。
- (2) 在浮體濕表面部分，奇點被放置在沿著法線方向之浮體內部，計算區域以外之處。
- (3) 佈置之奇點和所對應網格之距離應比和其它網格之距離小。

然而，在尖銳邊緣處 (含浮體自身形狀轉角處及浮體與液面交接處) 均可能發生數值計算方面的困擾。這些困擾均可經由仔細的網格佈置來避免。

四、數值模擬與結果計算

以下將討論，Series60 船體在有入射波的情況下，當航速到達穩定時 (Panel Method 亦同)，在不同時間點所產生之波型，並在相同條件下，將結果和 Panel Method (廖培元, 1998) 進行比較。

4-1. 入射波之製造與導入計算區域

4-1-1. 入射波之製造

為了模擬真實的海平面，本論文建構了造波器的數值模型來模擬海面的波浪，造波器主要之功用就是製造一持續有波浪輸入的環境，模擬其他船隻航行或其他環境因素造成的波浪，讓計算區域更加符合真實海平面的環境狀態，進而讓計算所得的結果，相對地更加精確。

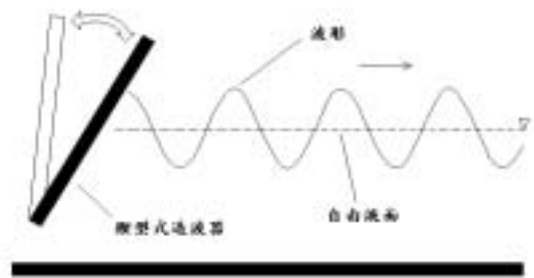


圖 4.1 楔型式造波器的形狀

本模型中採用二維造波器 (Wave Maker) 製造規則的入射波，楔型式 (Wedge) 造波器製造了振幅為 0.2，週期 (T) 皆 2.43 的入射波，當入射波的波形資料，轉換成三維入射波之後導入計算區域邊界，再分析入射波對數值計算結果的影響。圖 4.1 顯示楔型式造波器的形狀，楔型式造波器的運動模式，是依據船航行時，船緣在水面的各個傾斜角度所設計的。圖 4.2 至圖 4.5 顯示造波器振幅 0.20 時所製造的波形，時間從 $t=0\sim 80$ ，時間間隔 20 秒，所製造的波形仍然是相當合理的。

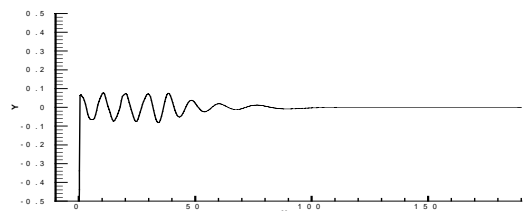


圖 4.2 楔型式造波器所製造出的波形，振幅=0.2， $t=20$

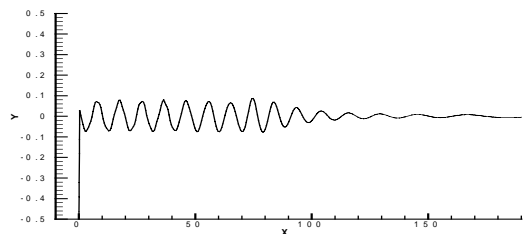


圖 4.3 楔型式造波器所製造出的波形，振幅=0.2， $t=40$

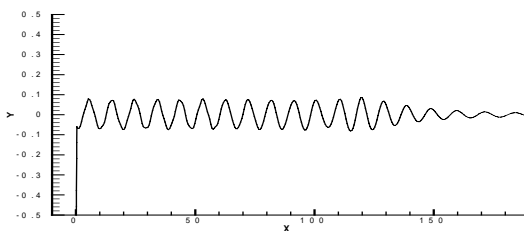


圖 4.4 楔型式造波器所製造出的波形，振幅=0.2， $t=60$

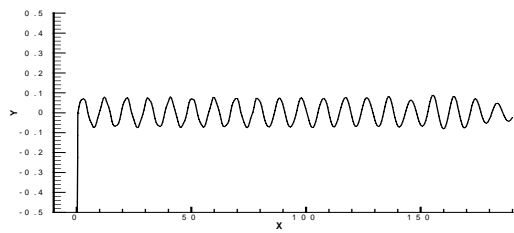


圖 4.5 楔型式造波器所製造出的波形，
振幅=0.2， $t=80$

4-1-2. 入射波導入計算區域之方法

在利用造波器造出所需的入射波資料之後，另外再建構一數值模型，將入射波導入計算區域邊界，二維入射波資料讀取完畢之後，我們將 X-Z 平面配合時間沿 Y 方向展開，轉換成 3D 的入射波，再將所有波的數據與原靜水計算區域之上游邊界接合，入射波即成功導入計算區域之內。Series60 船型中包含入射波作用下的數值模擬計算，分別計算了 $F_n = 0.25$ ，以及 0.42 這兩種航速。

4-2. Series60 船型

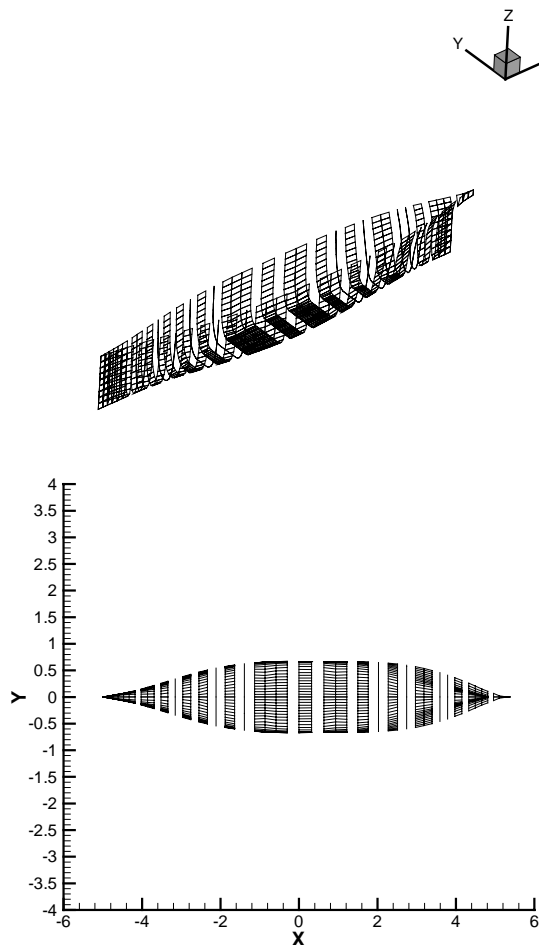


圖 4.6 Series60 船型

4-2-1 含入射波作用下

圖 4.6 為 Series60 船型圖，Series60 船型在有

入射波的情況下，從靜止到航行達到穩定航速 ($t=5$) 期間，在開始的時候入射波幅很小，沿著船身只有輕微的波產生，隨著時間變化之後，入射波幅變大，入射波之效果便越來越明顯。圖 4.7 ~ 4.8 為航速 $F_n=0.25$ ， $t=10\sim30$ 在含入射波作用下航行速度到達穩定時自由液面波型，圖 4.9 ~ 4.10 為航速 $F_n=0.42$ ， $t=10\sim30$ 在含入射波作用下航行速度到達穩定時自由液面波型，由上述的波形分析可以發現，在 Series60 船型中，船艏波會比船艉波來的低一些，隨著航速的加大，船艏波與船艉波的波幅差距會變的更為明顯。圖 4.11 為 DELTA Method 與 Panel Method(廖培元,1998)的波形比較，由圖 4.11 中可以發現，DELTA Method 和 Panel Method(廖培元,1998)在含入射波環境下，航速以及波型都達到穩定時，在船艏波以及沿著船身的波型趨勢都有相當程度的吻合，顯示 DELTA Method 在模擬 Series60 船型航行於入射波作用的水面時，結果仍然相當良好。

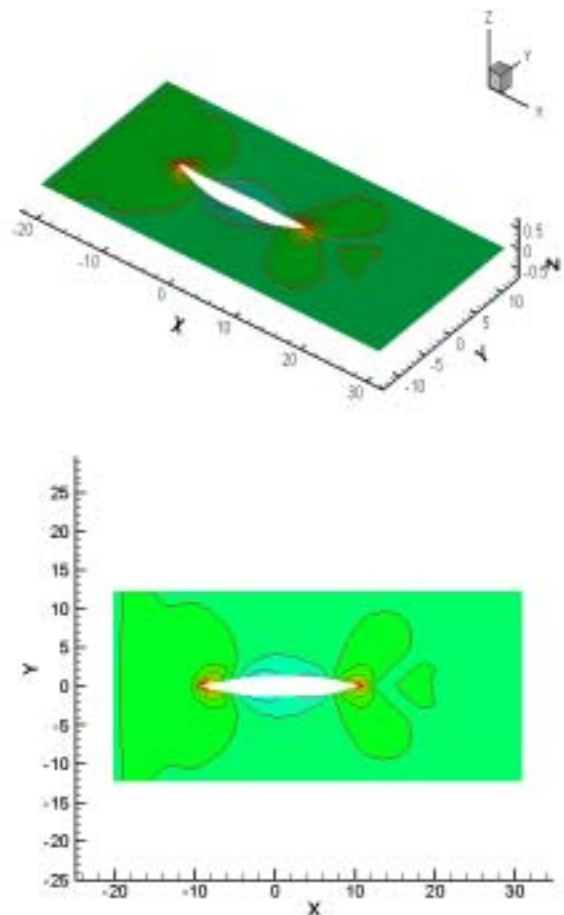


圖 4.7 含入射波航速到達穩定時自由液面形狀，
 $F_n=0.25$ ， $t=10.0$

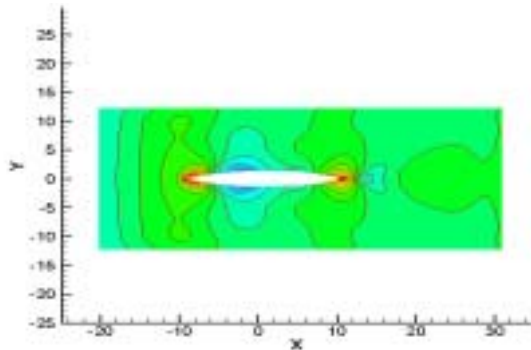
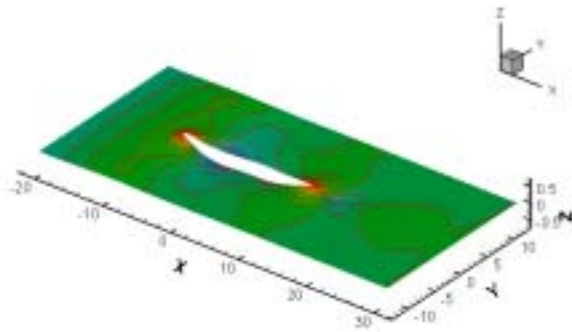


圖 4.8 含入射波航速到達穩定時自由液面形狀， $F_n=0.25$ ， $t=30.0$

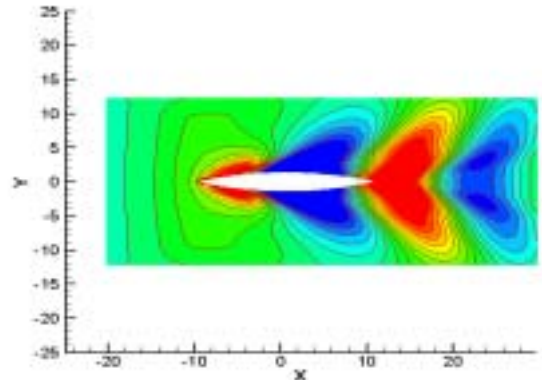
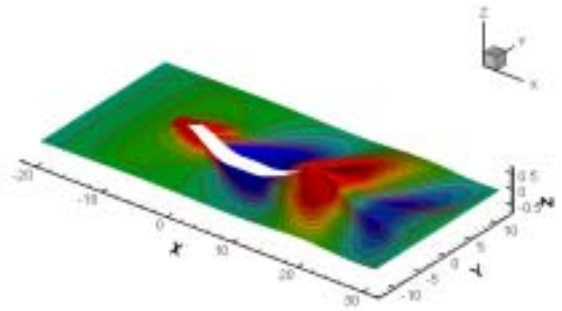


圖 4.10 含入射波航速到達穩定時自由液面形狀， $F_n=0.42$ ， $t=30.0$

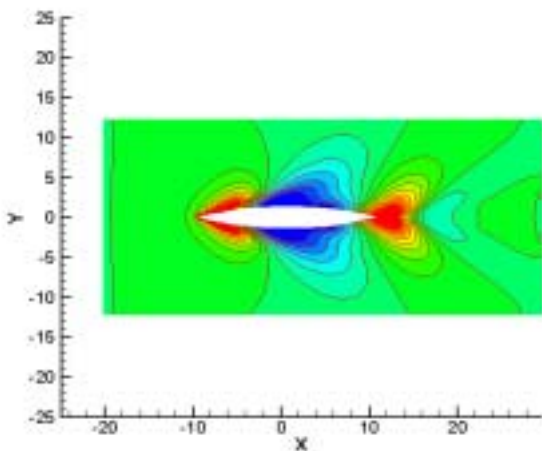
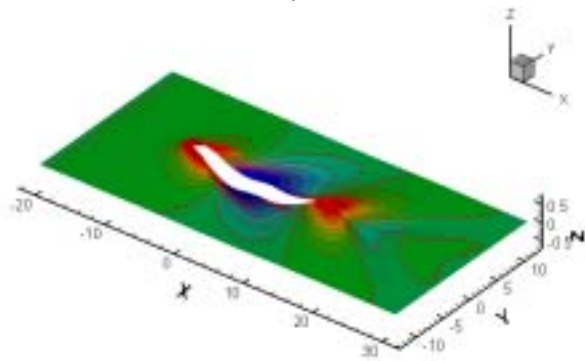


圖 4.9 含入射波航速到達穩定時自由液面形狀， $F_n=0.42$ ， $t=10.0$

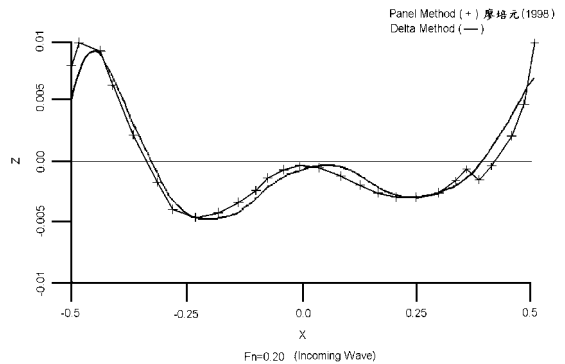


圖 4.11 DELTA Method 和 Panel Method(廖培元,1998) 的波形比較 ($F_n=0.2$)

4-3. 合成波與計算結果

本論文再另外利用合成波的方式來和數值分析的結果比較，進一步確定 DELTA Method 在模擬類真實海況的結果之合理性。當入射波的波幅很小、船的航速很低時，入射波與船體航行所產生的波均接近線性，所以相遇後所產生的合成波，應為線性相加，而含入射波狀態下的計算結果，其波形將會與合成波的波形有一致性。本論文使用造波器振幅 0.01、週期 2.43 所製造的入射波配合 Series 60，航速 $F_n=0.1$ 在水平面航行所產生的波形(如圖 4.12)作出一合成波，並與含入射波狀態下的計算結果比較(如圖 4.13)，比較結果亦顯示了合成波與含入射波狀態下的計算結果有良好的一致性，此比較結果更進一步地驗證了 The DELTA Method 的合理性。

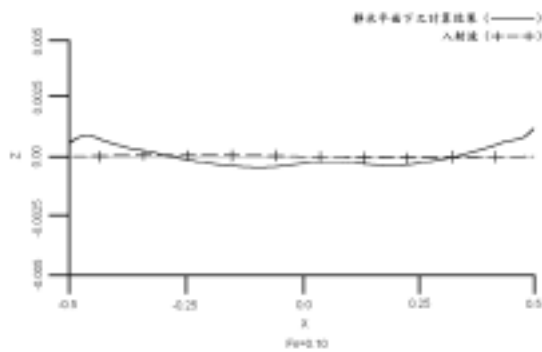


圖 4.12 造波器振幅 0.01 的入射波形與航速 $F_n=0.1$ 所產生的波形

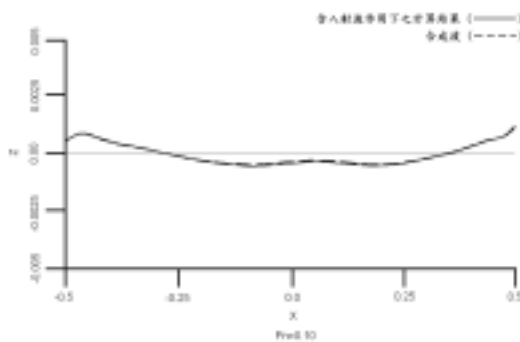


圖 4.13 含入射波狀態與合成波之波形比較

五、結論

綜合本論文的結果可以看出 DELTA Method 具有下列特點：

- (1) 在含入射波作用下，應用 DELTA Method 模擬 WSeries60 航行於較高航速($F_n=0.42$)之流場時，相互作用之後的波形顯示相當程度的合理性，所以 The DELTA Method 在模擬高航速船體航行於實際海面之流場，也是一個相當不錯的選擇。
- (2) 當入射波導入計算區域時，原本靜水平面所造成的波形，配合入射波繼續在計算區域中做運算，兩者架接在一起時，其結果亦與 Panel Method (廖培元,1998)相當吻合，因此 DELTA Method 可以視環境需要製造不同的環境條件，模擬真實海況。

雖然 DELTA Method 具有良好的穩定性，同時又可以隨著所需的環境改變數值模型的條件，對於分析流場各種性質，DELTA Method 將可能是未來數值分析模型的參考方法之一，但是目前 DELTA Method 在模擬本論文所使用之環境條件時，尚無法處理航速過大及入射波幅過大這些問題，若能針對 DELTA Method 目前遭遇到的缺點加以改善，針對波浪翻覆和破浪之後回到自由液面網格點問題，以及網格點重複時，重新加以設法處理，如此 The DELTA Method 能模擬的環境條件將更趨於完整，可以用的範圍功能將會更加地廣泛。

參考文獻

- [1] Bai, K., J. Kim and H. Lee(1992), "A Localized Finite -Element Method for Nonlinear Free-Surface Wave Problems," *Proceedings 19th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Seoul, Korea, pp.90-114.
- [2] Baker, G.R., D.I. Merion and S.A. Orszag(1982), "Generalized Vortex Methods for Free-Surface Flow Problems," *J. Fluid Mech.*, 123, pp.477-501
- [3] Beck, R.F., Y. Cao and T-H. Lee(1993), "Fully Nonlinear Water Wave Computations Using the Desingularized Method," *Proceedings 6th, International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, University of Iowa.
- [4] Bertram, V.(1990), "Ship Motion by Rankin Source Method," *Ship Technology Research*, Vol.37, No.4, pp.143-152.
- [5] Cao, Y., W. W. Schultz and R. F. Beck (1990), "Three-dimensional, unsteady computations of nonlinear waves caused by underwater disturbance," *Proceedings 18th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, MI, USA, pp.417-427.
- [6] Cao, Y., W. W. Schultz and R. F. Beck (1991a), "Three-dimensional Desingularized Boundary Integral Methods for Potential Problems," *International Journal of Num. Meth. Fluid*, Vol.12, pp.785-803.
- [7] Cao, Y., W. W. Schultz and R. F. Beck (1991b), "Two-dimensional Solitary Waves Generated By a Moving Disturbance," 6th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Woodshole, MA, USA
- [8] Cao, Y., T. Lee and R.F. Beck (1992), "Computation of Nonlinear Waves Generated by Floating Bodies," 7th International Workshop on Water Waves and Floating Bodies, Val de Reuil, France, pp.47-52.
- [9] Cao, Y.(1991), "Computations of Nonlinear Gravity Waves by a Desingularized Boundary Integral Method," Ph.D. Diss., Dept. of naval Architecture and Marine Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Usa.
- [10] Celebi M.S. and R.F. Beck(1997), "Geometric Modeling for Fully Nonlinear Ship-Wave Interactions," *Journal of Ship Research*, pp.17-25.
- [11] Cointe, R., P. Geyer, B. King, B. Molin and M. Tramoni(1990), "Nonlinear and Linear

Motion of a Rectangular Barge in a Perfect Fluid," *Proceedings 18th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, MI, pp.85-99.

- [12] Cummins, W.E. (1962), "The Impulse Response Function and Ship Motions," *Schiffstechnik*, Vol.9 pp.101-109.
- [13] Dommermuth, D.G. and D.K.-P. Yue (1987), "Numerical Simulations of Nonlinear Axisymmetric Flows with a Free Surface," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.178, pp.195-219.
- [14] Faltisen, O.M. (1977), "Numerical Solution of Transient Nonlinear Free Surface Motion Outside or Inside Moving Bodies," *Proceedings 2nd Conference On Numerical Ship Hydrodynamics*, U.C. Berkeley, pp.347-357, University Extension Publications.
- [15] Farmer, J. R. (1993), "A Finite Volume Multigrid Solution to the Three Dimensional Nonlinear Ship Wave Problems," Thesis of the Mechanical and Aerospace Engineering of Princeton University.
- [16] Finklestein, A. (1957), "The Initial Value Problem for Transient water Waves," *Communication on Pure and Applied Mathematics*, No.10, pp.511-522.
- [17] Grosenbaugh, M.A. and R. W. Yeung (1988), "Nonlinear Bow Flows-An Experimental and Theoretical Investigation," *Proceedings 17th Symposium on Naval Hydrodynamics*, The Hague, Netherland, pp.195-214.
- [18] Hino, T., "Computation of Free Surface Flow Around an Advancing Ship by the Navier-Stokes Equations", *Proceedings, Fifth International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, pp.103-117, 1989.
- [19] Jensen, G., V. Bertram and H. Soding (1989), "Ship Wave-Resistance computations," *Proceedings 5th Int'l Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, Hiroshima, Japan, pp.593-606.
- [20] Kang, C.G. and I.Y. Gong (1990), "A Numerical Solution Method for Three-Dimensional Nonlinear Free Surface Problems," *Proceedings 18th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, MI, pp.427-438.
- [21] Kim, Y.-H. and T. Lucas (1990), "Nonlinear Ship Waves," *Proceedings 18th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, Michigan, pp.439-452.
- [22] Kim, Y.-H. and T. Lucas (1992), "Nonlinear Effects on High Block Ship at Low and Moderate speed," *Proceeding 19th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Seoul, Korea, pp.43-52.
- [23] Kupradze, V. (1967), "On the Approximate Solution of Problem in Mathematical Physics," *Russ. Math. Surveys*, Vol.22, pp.59-107.
- [24] Lee, T.-H. (1992), "Nonlinear Radiation Problems for a Surface-Piercing Body," *Ph.D. Thesis*, Report No.323, Dept. of Naval Architecture and Marine Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
- [25] Lee and Chung (1999), "任意三維浮體之全非線性波計算", *中華民國力學學會第二十三屆全國力學會議*
- [26] Lee T-H and Lin, C.A (2000), "Applications of Desingularization Techniques in Fully Nonlinear Wave Calculation for Arbitrary 2-D Floating Bodies", *中華民國力學學會第二十四屆全國力學會議*
- [27] Lee T-H and Cheng, 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*
- [28] Lee T-H and Chang, 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
- [29] Lee T-H and Chang, C.L. (2001c), "Fully Nonlinear Wave Computations for Arbitrary Floating Bodies Using The DELTA Method", *The 8th (2001) International Symposium On Practical Design of Ship and Other Floating Structures Shanghai, China, September 16-21, 2001*
- [30] Lee and Chung (2001), "入射波作用下任意三維浮體之全非線性波計算", *第23屆海洋工程研討會*
- [31] Lin, W.M. (1984), "Nonlinear Motion of the Free Surface near A Moving Body," *Ph.D. Dissertation*, Dept. of Ocean Engineering, MIT.
- [32] Lin, W.M. and D.K.-P. Yue (1984), "Nonlinear Solution for Large Motions in the Time Domain," *Proceedings 18th Symposium on*

Naval Hydrodynamics, Ann Arbor, MI, PP.41-66.

- [33] Longuet-Higgins, M.S. and E.D. Cokelet (1976), "The Deformation of Steep Surface Waves on Water: I. A Numerical Method of Computation," *Proc. R. Soc. Lond.*, A350, pp.1-26
- [34] Ogilvie, T.F. (1964), "Recent Progress Toward the Understanding and Prediction of Ship Motions," *Proceedings 5th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Washington D.C., pp.2-128.
- [35] Raven, H.C. (1992), "A Practical Nonlinear Method for Calculating Ship Wavemaking and Wave Resistance," *Proceeding 19th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Seoul, Korea.
- [36] Saubestre, V. (1990), "Numerical Simulation of Transient Nonlinear Free Surface Flows with Body Interaction," *Technical Report 90-52*, Department of Mechanical and Environmental Engineering, University of California, Santa Barbara.
- [37] Schultz, W.W. and S.W. Hong (1989), "Solution of Potential Problems Using an Overdetermined Complex Boundary Integral Method," *J. Comput. Phys.*, No.84, pp.414-440.
- [38] S. Scorpio, R. Beck and F. Kormeyer (1996), "Nonlinear Water Wave Computations Using a Multipole Accelerated, Desingularized Method," *Proceedings 21th Symposium of Naval Hydrodynamics*, pp.34-43.
- [39] Stoker, J.J. (1957), "Water Waves," *New York: Interscience Publishers*.
Vinje, T. and P. Breving (1981), "Nonlinear Ship Motions," *Proceedings 3rd Int'l Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, Paris.
- [40] Von Karman, T. (1930), "Calculation of Pressure Distribution on Airship Hulls", NACA Technical Memorandum No. 574.
- [41] Vinje, T. and P. Breving (1981), "Nonlinear Ship Motions", *Proceedings 3rd Int. Conference on Numerical Ship Hydrodynamics*, Paris.
- [42] Webster, W.C. (1975), "The Flow about Arbitrary, Three-Dimensional Smooth Bodies," *J. Ship Research*, No.19, pp.206-218.
- [43] Wehausen, J.V. (1976), "Initial Value Problem
- [44] Zhou, Z. and M. Gu (1990), "A Numerical Research of Nonlinear Body Wave Interactions," *Proceedings 18th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Ann Arbor, MI, PP.103-118.
- [45] 廖培元, "波浪中船體運動之三維解", 國立成功大學造船工程研究所碩士論文, 中華民國八十七年六月