

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告  
大型肥胖船體波浪變動壓力之研究(III)  
On the Wave Pressure acting on a Full Ship in seaways(III)

計畫編號: NSC88-2611-E-002-001

執行期限: 87年8月1日至88年10月31日

主持人: 邱逢琛 台灣大學造船及海洋工程學系

### 一、中文摘要

為了建立可考慮船體大運動及水線附近波浪變動壓力之非線性，而適用於大型肥胖船體，且具工程應用上足夠精度的波浪變動壓力之實算法，並在此基礎上進而建立短期統計與長期預測之能力，本期研究內容在於利用一艘大型肥胖船(代號: VLCC26)的1:100自航船模進行規則波與不規則波中的運動與波浪變動壓力量測實驗，並以三階 Volterra 模式(Third-Order Volterra Model)進行分析，確認三階 Volterra 模式作為非線性變動波壓反應統計模式的適用性，並作為後續實船測試分析模式之基礎。

**關鍵詞:** 肥胖船、船模試驗、波浪變動壓力。

### Abstract

This sub-project is aimed to develop a practical method for calculating the ship motions and wave pressure acting on a full ship with accuracy good enough for engineering use. In this method, the problems related to the non-linearity of large amplitude motions and wave pressure acting near the load water line will be taken into account. Furthermore, base on this result the short-term statistics and long-term prediction of the ship

motions and nonlinear wave pressure can be treated.

In the 3<sup>rd</sup> year, model tests for ship motions and wave pressure acting on a full ship (noted as VLCC26) running in regular and irregular waves were conducted do confirm the effectiveness of the Third-order Volterra Modeling for nonlinear wave pressure acting near freesurface. Basing on this results, the real ship tests of wave pressure and analysis will be followed.

**Keywords:** Full Ship、Model Test、Wave Pressure。

### 二、緣由與目的

近年各國船廠及船籍協會都特別注意到大量使用高張力鋼的大型肥胖船舶如 VLCC 在水線附近的外板與縱通肋骨接合處所發生的龜裂現象，而其主要原因則被認為是船側波浪變動壓力所造成的疲勞破壞現象。也因此，國外造船相關產、學界及船籍協會皆投注了頗大的努力在疲勞強度設計法的研究上，而其關鍵之一環即在求更精確掌握波浪負荷<sup>1-4</sup>。因此針對大型肥胖船體在斜向波中的大運動及波浪變動壓力特性加以考慮，發展具有足供工程應用精度

之理論計算工具乃成為重要的課題。

在國內，中船公司及聯設中心也在近幾年對疲勞強度設計法顯示了高度的關心<sup>5-6</sup>，其中中船公司曾與本所合作，就美國海軍的船舶運動標準計算程式（SMP，原程式僅有船體運動計算部份）進行擴充使包含波浪變動壓力分布計算功能，並應用於細長的貨櫃輪計算上，確認了有效性<sup>7-8</sup>。上述的計算法對一般船艦在通常的運動狀態下已達到工程應用上足夠的精度水準，但是應用在大型肥胖如 VLCC 之類的船舶則其面臨的主要問題在於疲勞破壞問題所在意的區域恰好是在水線附近，而由於出水沒水交互變換會造成波浪變動壓力於該處並非純正弦函數可表示，亦即會有非線性現象必須加以考慮，而其對波浪變動壓力短期統計與長期預測的影響也是必須加以探討的課題。

本研究群體為了建立船舶構件疲勞破壞強度分析與設計的能力，而執行本整合型計畫。本子計畫的目標即在求充分考慮船體水線附近波浪變動壓力之非線性，以建立適用於大型肥胖船體，且具工程應用上足夠精度的波浪變動壓力之實用計算法，並在此基礎上進而建立短期統計與長期預測之能力。本期(第 III 期)研究之原訂目標應在於進行一艘大型肥胖船(代號:VLCC26)在實海域中之波浪變動壓力實船量測分析，惟因第 II 期之船模實驗研究工作有所延誤，僅完成自航船模實驗系統的建構與校正，未能及時完成船模實驗，而基於進行實船測試前有必要先完成模型

試驗分析，確認實船量測統計分析方法，乃於本期中繼續進行自航船模在規則與不規則波浪中之船體運動與波浪變動壓力之試驗分析，以確認實海域中非線性的變動波壓可以有效予以進行統計分析。

### 三、非線性變動波壓統計分析模式

對於一個實用而完整的船舶耐航性理論，至少應包括下列三項：

- (一)關於規則波中船體反應，屬決定論的理論。
- (二)在不規則波中，船體反應統計模式。
- (三)可以預測如極大、極小等統計值的理論。

本研究即在於藉由船模實驗量測非線性變動波壓，予以分析，已確認 Adegeest<sup>9</sup>所提出的三階 Volterra 模式(Third-Order Volterra Modeling)作為非線性變動波壓反應之統計模式的適用性。Adegeest 提出此三階模式時，主要是用於解析船舫波浪彎矩，將規則波中之非線性波浪彎矩解析其一階，二階，三階的頻率響應(Frequency Response)，進而確認以此三階反應模式可以描述不規則波中之船舫波浪彎矩反應並預測其統計值。

對於一個非線性反應的描述，一般使用包含記憶效應的冪級數，若取到三階則如下：

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t) + y_3(t) \quad (1)$$

$y_1(t), y_2(t), y_3(t)$  分別為一階、二階、三階反應，定義如下：

$$y_1(t) = \int h_1(t_1) \zeta(t - t_1) dt_1 \quad (2)$$

$$y_2(t) = \iint h_2(t_1, t_2) \zeta(t - t_1) \zeta(t - t_2) dt_1 dt_2 \quad (3)$$

$$y_3(t) = \iiint h_3(t_1, t_2, t_3) \zeta(t - t_1) \zeta(t - t_2) \zeta(t - t_3) dt_1 dt_2 dt_3 \quad (4)$$

以上諸式之  $h_1(t_1)$ ,  $h_2(t_1, t_2)$ ,  $h_3(t_1, t_2, t_3)$  分別為時域一階、二階及三階 Volterra 核函數，或權重函數 (weighting functions)。若以頻域表示則如下：

$$y_1(t) \equiv A \{ \text{Re} [ B_1(\omega_0 e^{i\omega_0 t}) ] \} \quad (5)$$

$$y_2(t) \equiv A^2 \{ \text{Re} [ B_2(\omega_0 e^{i\omega_0 t}) ] \}^2 \quad (6)$$

$$y_3(t) \equiv A^3 \{ \text{Re} [ B_3(\omega_0 e^{i\omega_0 t}) ] \}^3 \quad (7)$$

上式中  $A$  為入射波振幅， $\omega_0$  為遭遇頻率。另一方面，若將非線性反應  $y(t)$  以傅利葉級數表示，取到三階則如下：

$$y(t) = \text{Re}(R_0 + R_1 e^{i\omega_0 t} + R_2 e^{2i\omega_0 t} + R_3 e^{3i\omega_0 t}) \quad (8)$$

於是可知

$$B_2^2(\omega_0) = \frac{2}{A^2} R_2 \quad (9)$$

$$B_3^3(\omega_0) = \frac{4}{A^3} R_3 \quad (10)$$

$$B_1(\omega_0) = \frac{R_1}{A} - \frac{3}{4} A^2 B_3(\omega_0) |B_3(\omega_0)|^2 \quad (11)$$

於是對規則波中之非線性反應，進行傅利葉分析得之  $R_1, R_2, R_3$ ，可經由(9)~(11)式解得一至三階的反應函數  $B_1, B_2, B_3$ ，並以此進而做統計分析。

#### 四、自航船模試驗分析結果

本研究所選定的供試船是聯設設計、中船公司建造之 260,000 DWT

OIL TANKER(代號 VLCC26)。此供試船的 1:100 自航船模於實驗中之情形如 Fig.1 所示。船模的主要尺寸則示於 Table 1。

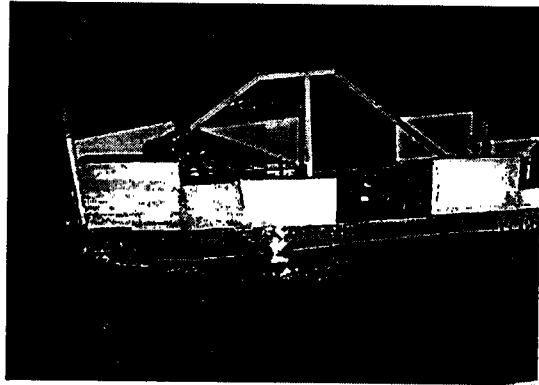


Fig.1 供試船 VLCC26 自航船模實驗

Table 1 供試船模主要尺寸

全長:	3.29 m
水線長:	3.15 m
模寬:	0.58 m
模深:	0.287 m
設計模吃水:	0.195 m
模排水量:	296.2 kg
滿載巡航速度:	0.797m/sec

自航船模實驗包含 15 次規則波中之實驗(5 種波長, 3 種波高)與 3 次不規則波中之實驗(Sea State 3、4、5)，實驗量測包括船速、起伏、縱搖、平擺、重心垂向加速度及 8 個位置的水壓。規則波中之試驗條件大致如下：

船速: 約 0.4m/s

波向: 180deg(head sea)

波長全長比: 0.7、0.8、1.0

、1.2、1.5

波高波長比: 1/80、1/60、1/40

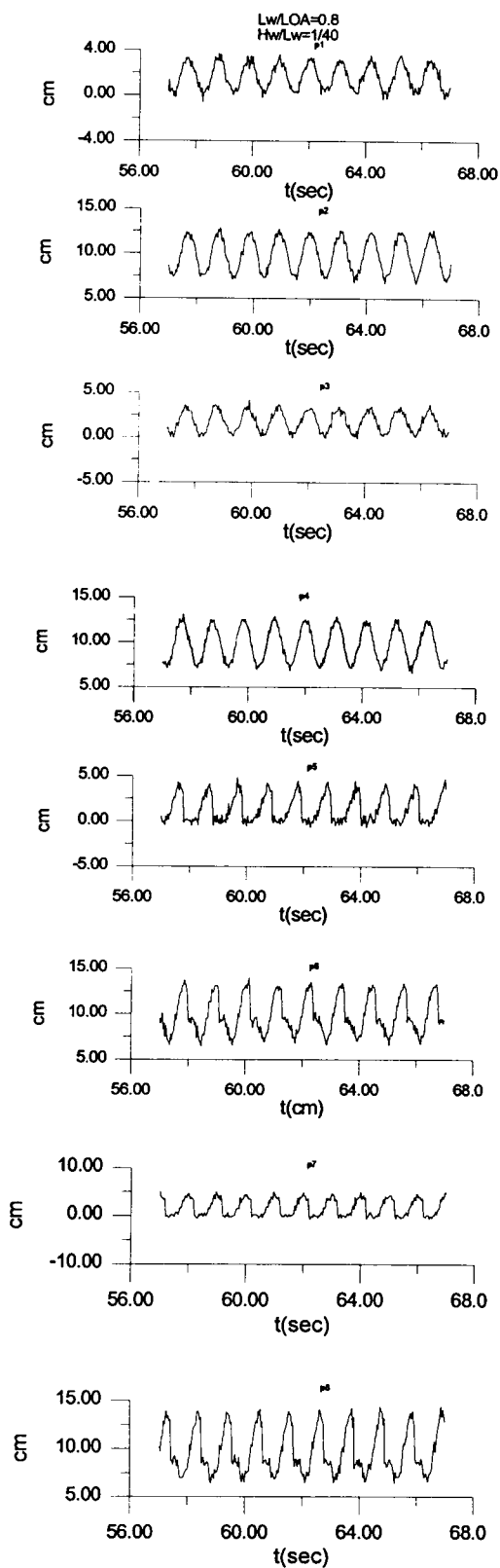


Fig.2 變動波壓量測紀錄

Fig.2 所示為波長全長比 0.8，波高波長比 1/40 時 8 個位置的變動波壓量測

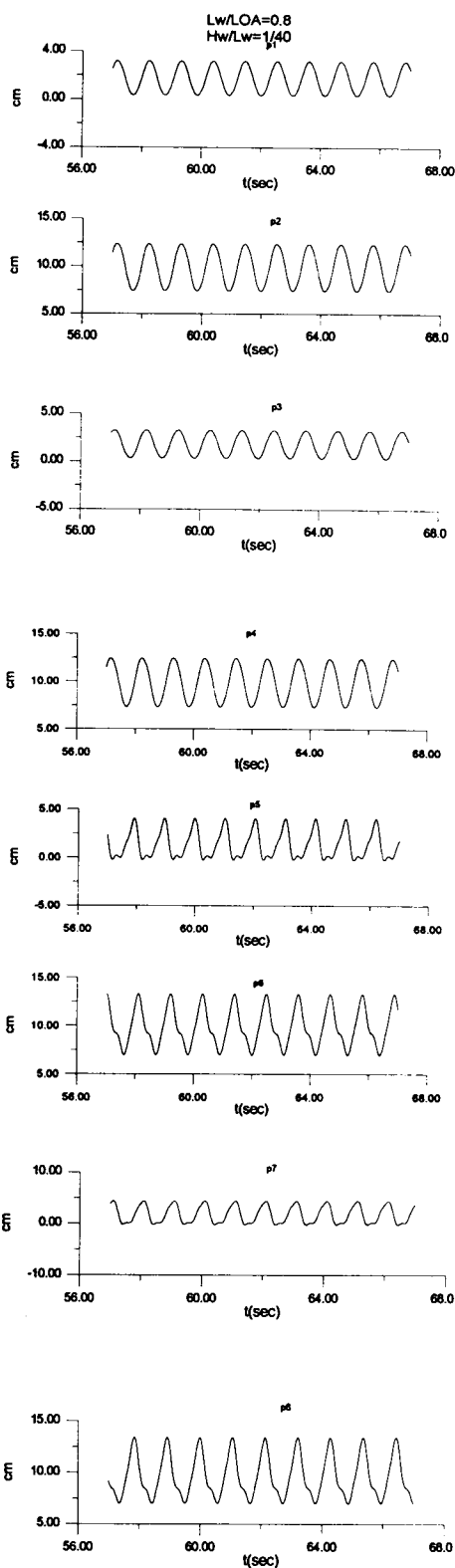


Fig.3 三階傅利葉級數近似

紀錄。而 Fig.3 所示為其以三階傅利葉級數近似所得之結果，顯示在水線附近的變動波壓 p1,p3,p5,p7 雖有較顯著的非線性，而三階傅利葉級數仍

能良好近似。

至於起伏與縱搖實驗分析結果則分別示如 Fig.4 與 Fig.5。

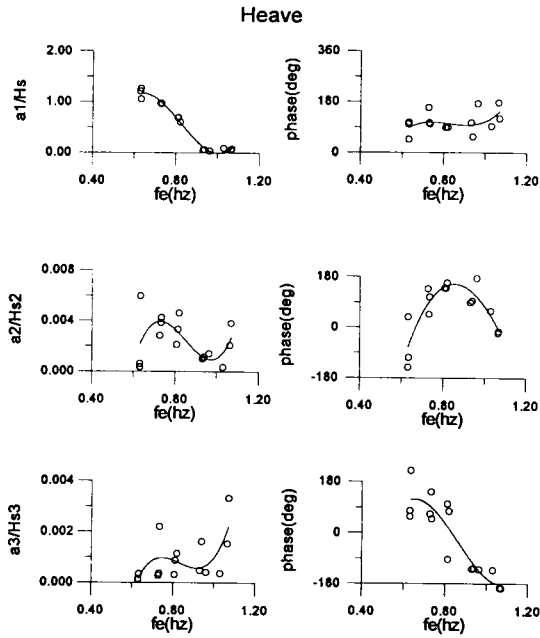


Fig.4 起伏之三階反應函數

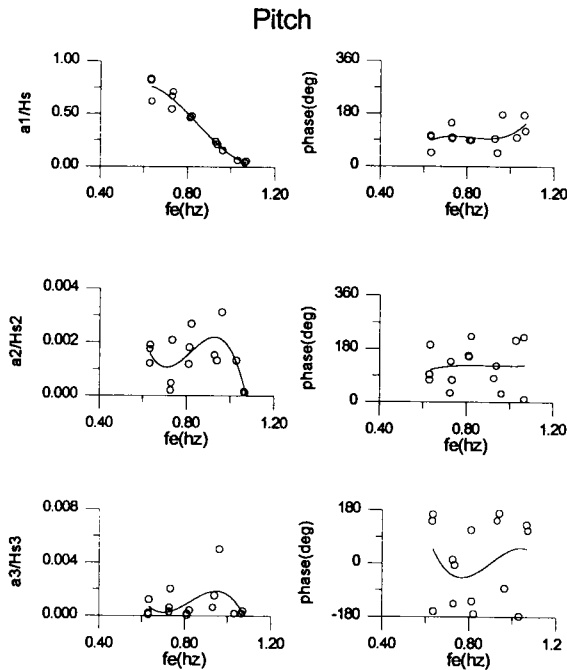


Fig.5 縱搖之三階反應函數

### 五、結論

船體非線性運動與非線性波壓之統計分析，依循 Adegeest<sup>9</sup>所採用之三

階 Volterra 模式針對自航船模於規則波與不規則波中的實驗分析，確認其適用性，並將以此應用於後續的實船測試與統計分析。

### 六、參考文獻

- 1.伊東章雄等：Hydrodynamic Pressure on a Full ship in Short Waves，日本造船學會論文集 166 號 (1989)。
- 2.戶澤秀等：Characteristics of Local Stresses and Wave pressure working on Hull Side in Seaways，日本造船學會論文集 170 號 (1991)。
- 3.士岐直二等：On the Characteristics and Long-term Prediction Procedure of Wave-induced Pressure Fluctuation on a VLCC Hull，日本造船學會論文集 176 號 (1994)。
- 4.富田康光等：Statistical Characteristics of Long Term distribution of Wave-Induced Loading and the Simulation Method For Fatigue Strength Analysis of Ship Structural Member (1st~3rd Report)，日本造船學會論文集 170、175、177 號 (1991、1994、1995)。
- 5.吳兆誠等：排水型船舶動態負荷分佈研究，八十三年度造船工程研究成果研討會論文集 (1994)。
- 6.吳兆誠等：超大型油輪之波勞強度分析，第七屆造船暨輪機工程研討會論文集 (1994)。
- 7.李雅榮等：船艦疲勞壽命預估方法之探討，八十四年度造船工程研究成果發表會論文集 (1995)。
- 8.邱逢琛等：船艦波浪負荷與壓力分布計算，八十四年度造船工程研究成果發表會論文集 (1995)。
- 9.Leon Adegeest: Third-Order Volterra Modeling of Ship Responses Based on Regular Wave Results，Proc. ONR 21<sup>st</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics, Trondheim, Norway,(1996)