

# 散裝船考慮液艙沖激下之運動與上浪分析

陳冠臻\*<sup>1</sup>

黃建樺\*

詹育禎\*

陳紀川\*

\*中國驗船中心

關鍵詞：船舶運動，液艙沖激耦合，三維小板法，頻譜分析

## 摘要

本文應用線性頻率域與三維小板法，分析散裝船於不同裝載狀況下的運動與上浪行為。範例船以北大西洋為航行海域，藉由 Pierson – Moskowitz 波譜探討船舶於該海域下的運動特性。由於船舶航行中難免會遇到較差的海況，因此有時會藉著改變壓載重量，增加航行之穩定與安全性。其中，壓載海水是最為常見的作法。然而，對於航行中的船舶來說，加裝壓艙水的過程，艙內海水的沖激作用會對船體運動造成一定的影響。本文將此壓載過程中造成船體運動特性改變的現象分為兩部分來探討。第一為計算不同裝載狀況下的情況：正常壓載、重壓載、設計吃水，了解裝載狀況對船體運動之影響。第二為探討正常壓載轉換為重壓載的過程中，不同容量的壓載水、沖激行為對船舶運動的影響。最後，船艙前側甲板與船艙側甲板處上浪的情形也於文中一併討論。

## 緒論

本文目的為了解散裝船在正常壓載與重壓載狀況下，兩者造成船舶運動特性之差異。問題分為兩部分探討，首先，觀察不同裝載狀況對船舶運動造成的影響。接著再進一步考慮正常壓載轉換至重壓載時，其液艙未裝滿的情況下，艙內液體沖激對船舶運動特性的改變。除了裝載狀況，不同的入射波也會影響船舶的運動。其中迎浪與側浪將是文中探討的重點。計算的裝載狀況共有三種：正常壓載、重壓載和設計吃水。並且重壓載時，液艙沖激所考慮液體的裝載高度，分別約為艙的 30%與 50%。

本文應用法國驗船協會(Bureau Veritas)所開發的 HydroSTAR 軟體計算船舶運動。以勢流理論、三維小板法(panel method)，以及線性頻率域的方法求解問題。由於勢流理論不考慮流體的黏性效應，故軟體利用人工修正方式來考量黏性影響，特別是橫搖阻尼，所選用的修正方法為 ITH(Ikeda Himeno)的半經驗公式[1]。

計算結果中，除了討論不同裝載狀況、液艙沖激對運動的影響外，也將結果與相關文獻 Gunther[2]做比較，發現具有相同的趨勢。此外，除了從 RAO(Response Amplitude Operator)圖表分析運動特性外，更進一步利用頻譜分析方法來評估船舶於實際海況中的反應，此反應的分析又稱為短期響應分

析(Short-Term Response Analysis)。本研究以北大西洋海域為計算範例，探討船舶航行於該區域中的反應，除了觀察不同裝載狀況、液艙沖激短期響應分析外，船艙側甲板與船艙前側甲板處的上浪特性也於文中一併討論。

## 數學模型

HydroSTAR 是一套以勢流理論為基礎的軟體，將流體視為無黏性、無旋性的流場，並利用三維小板法將計算模型進行離散。同時，也將船舶假設於小波幅理論和頻率域中求解，使問題線性化。本文除了計算船體運動外，更考慮液艙沖激對運動的影響。其船舶運動－液艙沖激之耦合的數學模型如下所示：

$$\sum_{j=1}^6 \left[ -\omega^2 (M_{kj} + A_{kj} + A'_{kj}) - i\omega (B_{kj} + B'_{kj}) + C_{kj} + C'_{kj} \right] \dot{x}_j = F_k$$

其中  $j=1,2,\dots,6$ ， $M_{kj}$  表示船體的質量， $A_{kj}$  為船體的附加質量， $B_{kj}$  為阻尼係數， $C_{kj}$  為恢復係數， $a_j$  為船體的反應振幅值， $F_k$  則是波浪外力。以上是船體運動計算所應考慮的參數。除此之外，其他係數  $A'_{kj}$ 、 $B'_{kj}$  與  $C'_{kj}$  則表示液艙沖激後對船體運動造成額外影響的係數： $A'_{kj}$  為額外的質量係數，表示液體沖激對船體產生額外的慣性影響， $B'_{kj}$  與  $C'_{kj}$  則分別表示額外的阻尼係數與恢復係數。

<sup>1</sup> 聯絡作者 陳冠臻 (kcchen@crclass.org.tw)

在求解液艙沖激對運動影響的過程中，會先忽略艙內液體對船體的影響，並將液體假設為固體，以計算船舶的流體靜力係數( $C_{kj}$ )、流體動力係數( $A_{kj}$ ,  $B_{kj}$ )，以及波浪外力。接著，再單獨計算液艙的速度場，求解艙內液體受到船體運動影響後，對船體所產生的額外慣性力、阻尼力和恢復力。最後，再將這些額外影響的參數( $A'_{kj}$ 、 $B'_{kj}$ 與 $C'_{kj}$ )代入前面所提到的運動方程中，求出船體受到液體沖激後的運動結果。詳細的耦合過程詳見Malenica[3]。

由於勢流理論無法考慮流體的黏性效應，故只能以經驗公式來對黏性進行修正。特別是橫搖阻尼係數的修正，本文採用的修正方法為 ITH 的半經驗公式。ITH 公式除了能夠修正船體的橫搖阻尼外，更考慮了附加裝置的黏性影響，如舟必龍骨(bilge keel)、船鰭(skeg)。

此外，在液艙沖激的計算中，由於計算的目的為求解液艙對船體運動的影響，故對於液體在艙內複雜且非線性的沖激行為將可以適當簡化為線性的問題[4]，於頻率域中求解。然而，由於不考慮黏性的因素，所以當液艙遇到共振頻率時，其計算結果將呈現失真的現象。故為了修正忽略黏性效應所帶來的誤差，於計算中將加入消散係數( $\varepsilon$ )，以改善共振頻率時計算失真的現象。而修正方式則是在物體的邊界條件中加入消散係數，如下式所示：

$$\frac{\partial \phi}{\partial n} = i\varepsilon k_0 \phi + v_n$$

其中  $\phi$  為速度勢， $n$  為邊界的法線方向， $v_n$  為邊界法線方向的速度， $\varepsilon$  為消散係數， $k_0$  則為波數。雖然此修正方法只有針對壁面的能量進行修正，但是在船體運動的結果來看，這樣的方法確實是可以使結果達到一定的準確度[3]。

消散係數的決定必須與實驗做進一步的比對才能得知。然而，根據文獻[3]指出，船舶運動對於艙內液體的黏性並不是特別的敏感，故文中參考文獻[4]的計算與實驗結果，將消散係數設為 0.02。

### 船型尺寸與計算參數

計算範例船為 9 萬噸載重的散裝船，裝載的基本尺寸與計算液艙條件將分別呈現於表 1 與表 2。圖 1 為計算的船型網格示意圖。圖 2 為液艙幾何(本範例船為採用一乾貨艙作為重壓載水艙)。

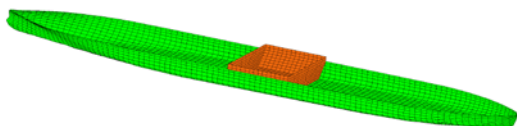


圖 1 船型小板計算示意圖(case5 液艙裝載 50%)

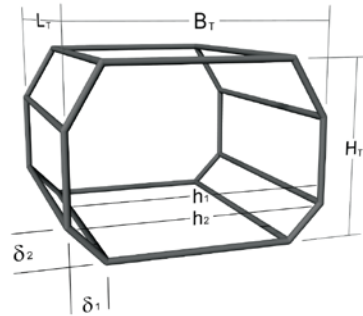


圖 2 液艙幾何示意圖[2]

表 1 不同裝載狀況之基本尺寸

Parameter	case 3 正常壓載	case 5 重壓載	case 7 設計吃水
Length (m)	235		
Breadth (m)	38		
Height (m)	20		
Draught (m)	6	8	13.5
Displacement	30840	49990	95260
KG (m)	10.630	10.074	10.764
GM <sub>L</sub> (m)	708.703	474.799	306.167
GM <sub>T</sub> (m)	17.435	9.540	5.320

表 2 液艙裝載狀況

Parameter	30% f.h.	50% f.h.
Tank length $L_T$	26.6 m	
Tank breadth $B_T$	37.6 m	
Tank height $H_T$	19.799 m	
$\delta_1$	10.28 m	
$\delta_2$	5.788 m	
Filling height $h$	6 m	10 m

### 船舶運動特性分析

運動的計算結果分為兩部份：於船速 5 節，不同載重條件對運動的影響，以及探討液艙沖激後的運動變化。運動特性皆分別在不同波浪入射角(迎浪、側浪和斜浪)來探討。其中，液艙計算的結果將與文獻做進一步比較，以證實計算的合理性。最後，更考慮真實海況對運動的影響，分析船舶於北大西洋海況的響應結果。

文中所使用的 RAO 圖為單位波幅所造成響應結果；在短期分析中，所使用的波譜為 IACS(International Association of Classification Societies) Rec. No.34[5]所建議適用於北大西洋海域的 Pierson-Moskowitz 波譜，如圖 3。而在繪出的短期分析響應結果中，結果是以 Rayleigh 分布函數來描述，並計算出其機率為 1/3 的最大平均值。最後，將此數值的兩倍做為分析的指標，稱為有義響應值( $R_s$ )。在短期分析中，所考慮海浪平均週期為參考

北大西洋的觀測值而定，共有 18 種平均週期波況的計算結果，如圖 4。

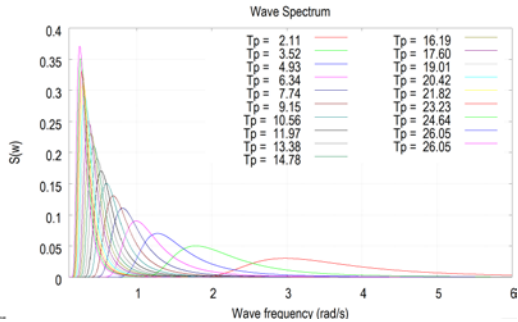


圖 3 北大西洋波譜

HS-Tp	2.11	3.52	4.93	6.34	7.74	9.15	10.56	11.97	13.38	14.78	16.19	17.60	19.01	20.42	21.82	23.23	24.64	26.05	SUM
0.50	0.0	0.0	1.3	133.7	865.6	1186.0	634.2	186.3	96.9	5.6	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3090
1.50	0.0	0.0	0.0	29.3	986.0	4976.0	7788.0	5569.7	2757.7	703.5	160.7	30.5	5.1	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	22375
2.50	0.0	0.0	0.0	2.2	197.5	2158.8	6230.0	7449.3	4604.4	2066.0	644.5	160.2	33.7	6.3	1.1	0.2	0.0	0.0	23810
3.50	0.0	0.0	0.0	0.2	34.9	695.5	3226.5	8678.9	8999.3	2838.0	1143.1	37.7	84.3	18.2	3.5	0.6	0.1	0.0	19128
4.50	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	196.0	1384.3	3288.5	3875.5	2685.5	1275.2	455.1	130.9	31.9	6.9	1.3	0.2	0.0	13289
5.50	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	51.0	498.4	1602.9	2727.7	2088.3	1126.0	463.6	150.9	41.0	9.7	2.1	0.4	0.1	8328
6.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	12.6	167.0	690.3	1287.9	1286.6	825.9	386.8	140.8	42.2	10.9	2.5	0.5	0.1	4806
7.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	52.1	270.1	594.4	703.2	524.9	276.7	111.7	36.7	10.2	2.5	0.6	0.1	2586
8.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	15.4	97.9	255.9	370.6	296.9	174.6	77.6	27.7	8.4	2.2	0.5	0.1	1309
9.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.3	33.2	101.9	159.9	152.2	99.2	48.3	18.7	6.1	1.7	0.4	0.1	626
10.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	10.7	37.9	67.5	71.7	51.5	27.3	11.4	4.0	1.2	0.3	0.1	285
11.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	3.3	13.3	26.6	31.4	24.7	14.2	6.4	2.4	0.7	0.2	0.1	124
12.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	4.4	9.9	12.8	11.0	6.8	3.3	1.3	0.4	0.1	0.0	51
13.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.4	3.5	5.0	4.6	3.1	1.6	0.7	0.2	0.1	0.0	21
14.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.2	1.8	1.8	1.3	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	8
15.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6	0.7	0.5	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	3
16.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	1
SUM	0	0	1	165	2091	9280	19922	24879	20870	12988	6245	2479	837	247	66	16	3	1	100000

The Hs and Tp values are class midpoints.

圖 4 北大西洋波浪散佈表[5]

### 1. 不同裝載狀況的運動結果

針對不同裝載狀況：正常壓載、重壓載和設計吃水，計算不同載重對船體運動的影響，並觀察波浪入射角在 180 度(迎浪)、90 度(側浪)的運動特性。而入射角定義如圖 5 所示。在 180 度入射角的結果中，可以看到船體運動對於不同裝載狀況並不會有太大的改變，如圖 6 至圖 8。然而，於 90 度的入射角時，船體的運動卻會隨著不同裝載而改變(圖 9 至圖 11)。特別是橫搖運動的共振頻率，隨著載重越重，共振點會逐漸往低頻移動。此外，從圖 10 與圖 11 可以看出橫搖運動與橫移運動的變化是相關的。

由 RAO 計算可以得知，不同裝載狀況會改變船舶運動的特性，特別是橫搖運動。因此，在不同的橫搖共振頻率中，即使給予相同的海況，造成的反應結果也可能不同。

圖 12 為不同裝載狀況下，橫搖運動短期分析結果。縱向座標為波浪入射角，橫向座標為海浪平均週期，垂向座標為橫搖角度的有義響應值。圖中顯示於入射角 90 度、波浪週期為 2.11 至 7.74 秒時，正常壓載會有較大的反應量；而其餘較大週期的海況，則是重壓載與設計吃水會有較大的反應量。由此可進一步推斷，當波高為 5 米的情況，海浪之平均週期出現在 11.97~16.19 秒之機率較大(參考圖 4)。在此週期下，以入射波 90 度為例(圖 13)，設計吃水的裝載狀況會產生最大的橫搖反應值，其次是重壓載。而在其他入射角度也多是相同的情形(參考

圖 12)。故可以得到的結論是：當船航行於 5 米波高的波況中，若本船選擇由正常壓載轉換至重壓載時，很可能會帶來更大的橫搖運動。

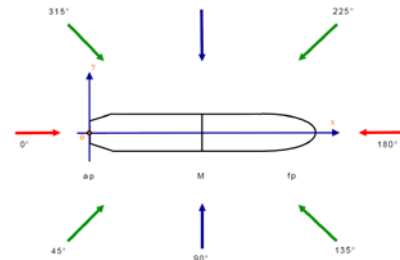


圖 5 波浪入射角定義

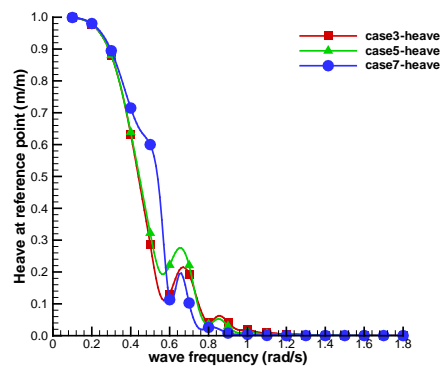


圖 6 起伏運動－180 度入射角

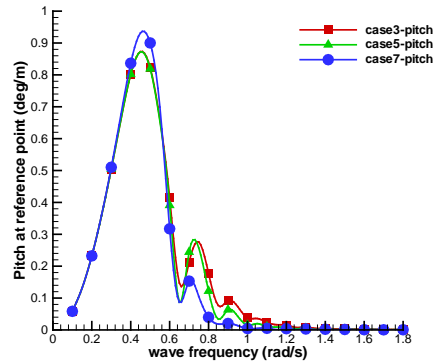


圖 7 縱搖運動－180 度入射角

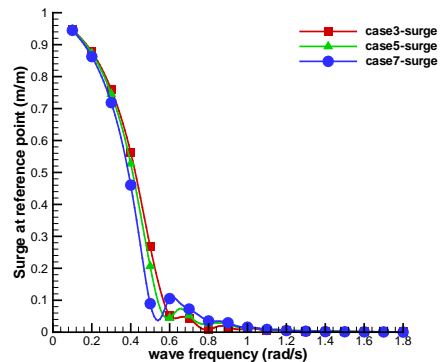


圖 8 縱移運動－180 度入射角

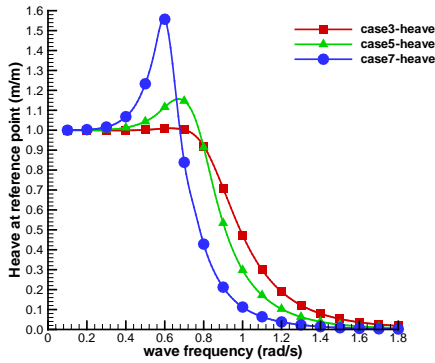


圖 9 起伏運動-90 度入射角

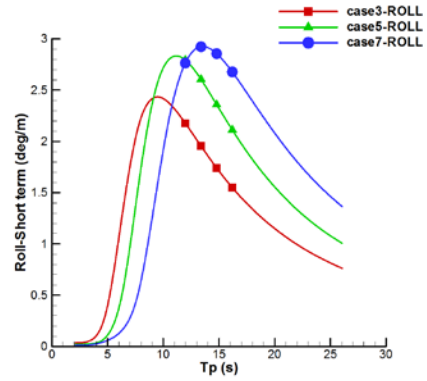


圖 13 擷取圖 12 中 90 度入射角結果

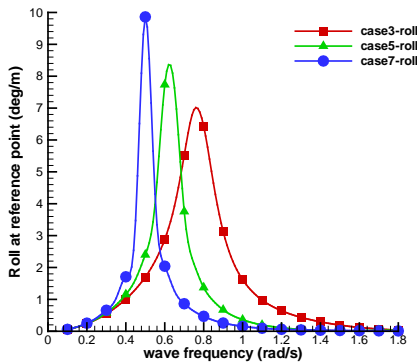


圖 10 橫搖運動-90 度入射角

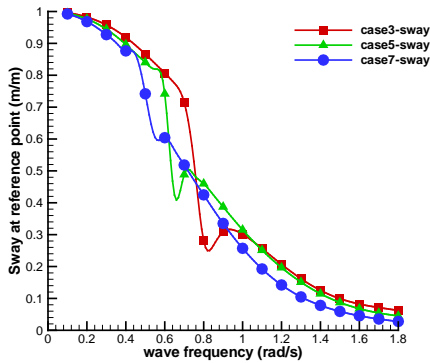


圖 11 橫移運動-90 度入射角

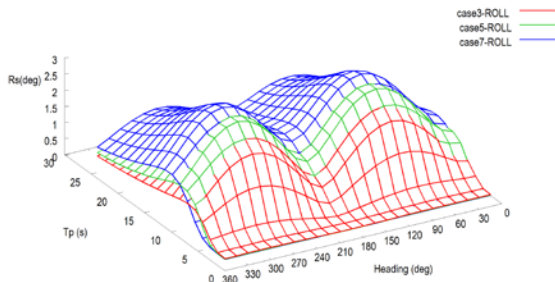


圖 12 不同裝載狀況短期分析-橫搖運動

## 2. 考慮液艙沖激效應的運動結果

由正常壓載轉為重壓載時，除了重量的改變外，在裝載過程中，液體於艙內的沖激作用將可能會改變船體的運動特性。故本節將探討重壓載(case 5)下，不同液艙裝載高度對船體運動造成的變化。計算的液艙裝載高度分別為該艙的 30%與 50%高度，並分別觀察其在入射角 180 度(迎浪)、90 度(側浪)與 120 度(斜浪)對運動造成的影響。

入射角 180 度的結果中，可以看到液艙沖激對運動的影響與液艙裝滿的結果相近(如圖 14 至圖 16)，表示液艙沖激對於在迎浪中的船體運動是不會有太大的影響。而在入射為 90 度的情況下，可以看到船體橫搖運動將產生兩個共振頻率點(如圖 18)。分別落在原來 case 5(液艙裝滿)共振頻率的左右兩側。而原本在液艙裝滿會有的共振頻率 0.62 rad/s 下，其運動反應於裝載 30%與 50%時會下降許多。此現象說明了液體於艙內的晃動可能抑制船體的運動，特別是在原來船體的共振頻率下。而這抑制的現象僅止於液體移動的相位與船體橫搖運動的相位相異時；若液體與船體橫搖的相位相同，船體仍然會產生共振的現象，此現象詳見於裝載 30%(或裝載 50%)計算中較低頻的共振點。至於在裝載 30%(或裝載 50%)的高頻共振點，則是由艙內液體與波浪共振造成的。Faltinsen [6]提出方形艙在  $i$  模態的橫向自然共振頻率公式如下：

$$\omega_{r,i} = \sqrt{g \frac{\pi i}{B_T} \tanh\left(\frac{\pi i}{B_T} h\right)}$$

並且，針對有菱形邊的液艙，公式修正為：

$$\frac{\omega_{r,i}^2}{\omega_{r,i}^2} = 1 - \frac{\frac{\delta_1}{\delta_2} \sinh^2\left(\frac{\pi \delta_2}{B_T}\right) - \frac{\delta_1}{\delta_2} \sin^2\left(\frac{\pi \delta_1}{B_T}\right)}{\pi \sinh\left(\frac{2\pi h}{B_T}\right)}$$



由上式可以預測液艙在 30% 裝載與 50% 裝載時， $i=1$  模態的自然共振頻率，如表 3 所示。將公式預測的橫向共振頻率與橫搖運動結果相比，如圖 18(圖中虛線為公式推導的自然共振頻率)，可以發現液艙的自然共振頻率與船體運動的高頻共振點相當接近。其結果都呈現船體運動的共振頻率高於液艙的自然共振頻率，而此特徵與文獻[2]計算一致。

入射角 120 度的計算結果呈現於圖 20 至圖 25 中。從 120 度的結果及 180 度、90 度結果相比，可以了解液艙沖激於起伏運動與縱搖運動並無太大影響。並且，觀察 90 度與 120 度入射角的橫搖運動結果，液艙沖激會引起兩個共振頻率點(如圖 18 與圖 21)。此外，從圖 18、圖 19 與圖 21、圖 24 又可再次看出橫搖運動與橫移運動關係是相當密切的。

由於液艙沖激對船體運動影響，仍以橫搖運動為主，故於短期分析中將只橫搖橫搖運動在海浪中的變化。圖 26 中顯示，較大的橫搖反應大多都在 case 5(液艙裝滿)的裝載下。故推測當海況週期為 7.74 秒以上時，未裝滿的液艙之橫搖運動是會較小的。故可推論，液艙沖激雖然會使兩個共振頻率產生，但是當船航行在海浪時，液艙所造成共振頻率點會使其避開波譜的主要頻率，讓橫搖幅度得以減少。此現象即是被動式減搖水艙的原理。此外，圖 27 的標誌為表示 5 米波高中，於海浪出現平均週期為 11.97~16.19 秒時，填裝 30% 的液艙會有較小的橫搖幅值。

### 上浪分析

由於前面所探討的問題均與橫搖運動關係密切，故在上浪分析將針對右舷的前側甲板(艙艙與主甲板交界處)，以及右舷位於船艙的側甲板處做探討。而在上浪分析觀察的對象中，以最大吃水的裝載狀況為探討目標。另外，液艙沖激對上浪的影響也會一併討論。

如圖 28 和圖 29 所示，縱向座標為波浪入射角，橫向座標為海浪平均週期，顏色表示相對浪高(水線面為基準)的有義響應值。顯示造成前側甲板有較高的浪高是位於波浪入射角約 105 度至 150 度之間；側甲板則是位於入射角 60 度至 105 度之間。而兩個結果均顯示，在右舷處產生最大浪高的海浪都是由船的右側進來。雖然左右舷的浪都會造成船體有相同的橫搖運動，但是從左舷進來的浪則會因為船體的關係，導致波浪消散。故於右舷前側甲板與側甲板的浪高分析中，其最大值將會落在右舷側進來的浪。

從短期分析中可以得知，單位有義波高所產生前側甲板處的最大有義浪高為 2.19 米，側甲板為 2.17 米。依此結果，有義波高 5 米時會在前側甲板(距離船底 20 米)產生有義浪高(以船底為基

準)18.975 米，在側甲板處(距離船底 20 米)產生有義浪高 18.925 米。由此可以判斷在 5 米浪高時，兩處上浪的機率很小。

圖 30 和圖 31 表示受到液艙沖激影響的上浪結果，結果顯示並無太大差異(縱向座標為入射角，橫向座標為海浪平均週期，垂向座標為相對浪高)。推估原因為，橫搖運動雖然在沖激影響能夠減少運動幅值，但是對於上浪的因素，除了橫搖運動，還需考慮起伏和縱搖的運動，以及波浪與船體運動的作用。故對於此結果，尚須更進一步的探討。

表 3 液艙的橫向自然共振頻率

液艙裝載高度	$\omega_{r,1}$ (橫向)
30%	0.662 rad/s
50%	0.774 rad/s

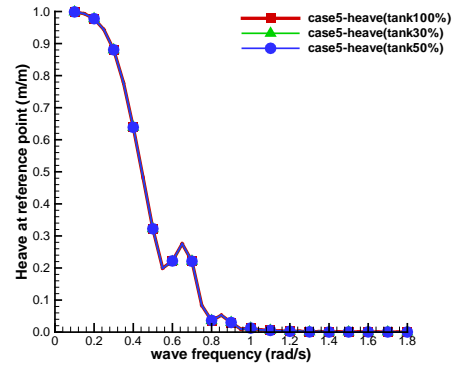


圖 14 起伏運動—180 度入射角

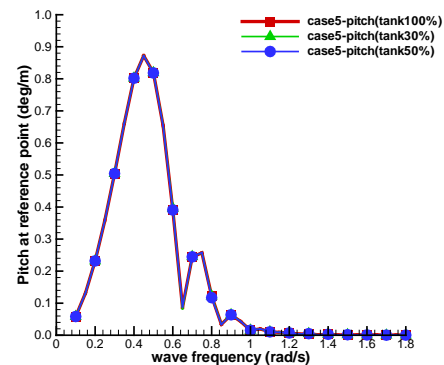


圖 15 縱搖運動—180 度入射角

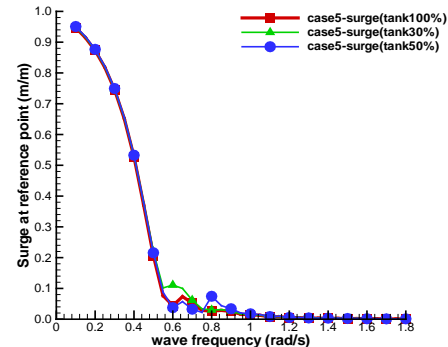


圖 16 縱移運動—180 度入射角

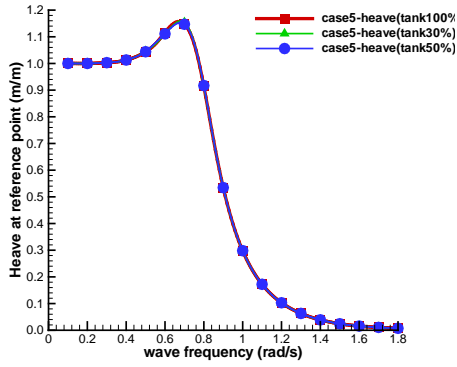


圖 17 起伏運動-90 度入射角

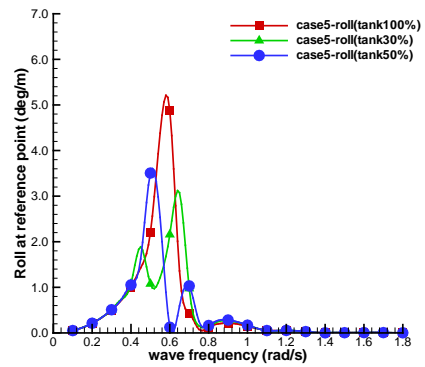


圖 21 橫搖運動-120 度入射角

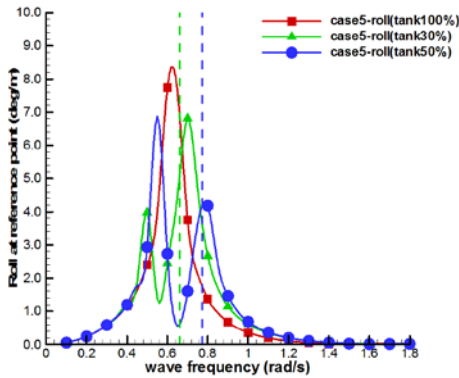


圖 18 橫搖運動-90 度入射角

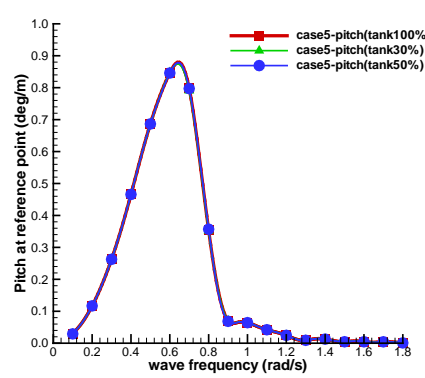


圖 22 縱搖運動-120 度入射角

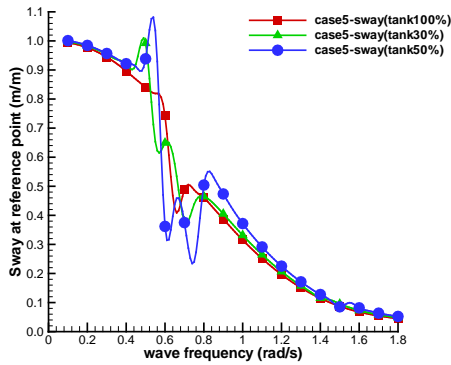


圖 19 橫移運動-90 度入射角

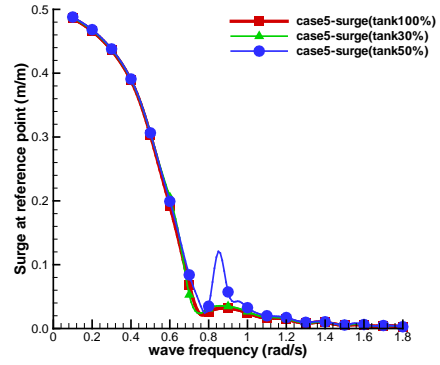


圖 23 縱移運動-120 度入射角

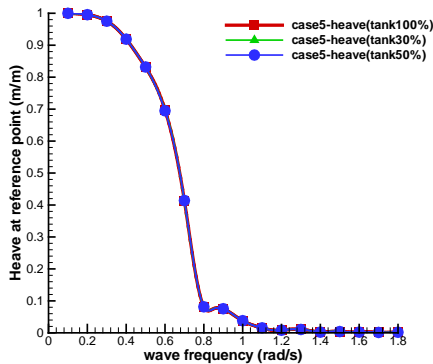


圖 20 起伏運動-120 度入射角

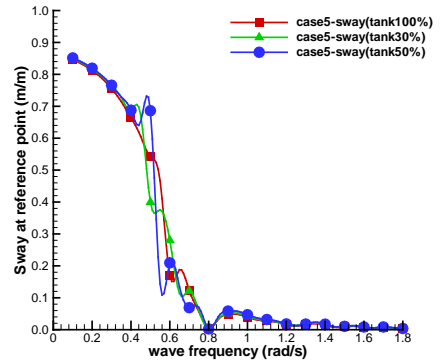


圖 24 橫移運動-120 度入射角

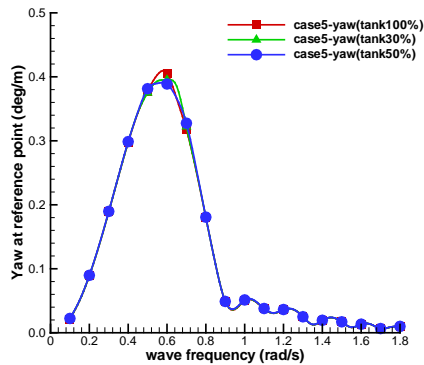


圖 25 平擺運動—120 度入射角

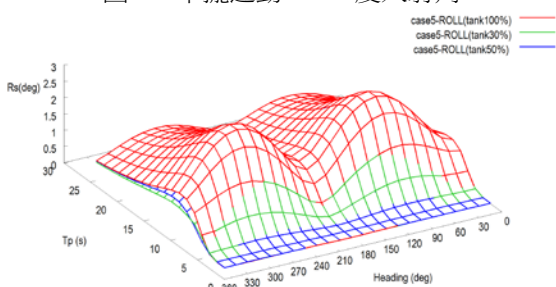


圖 26 液艙沖激短期分析—橫搖運動

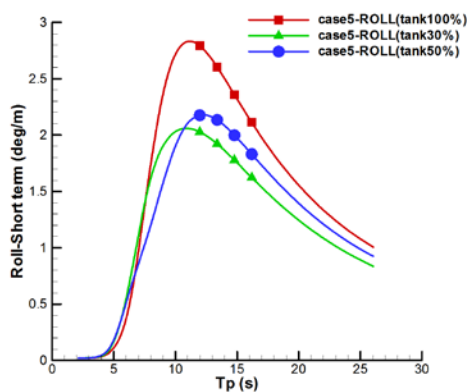


圖 27 擷取圖 25 中 90 度入射角之結果

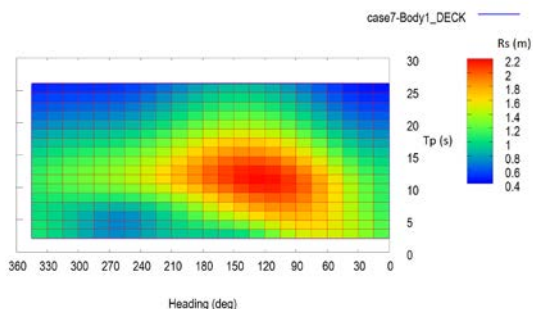


圖 28 短期分析的上浪結果—前側甲板(設計吃水)

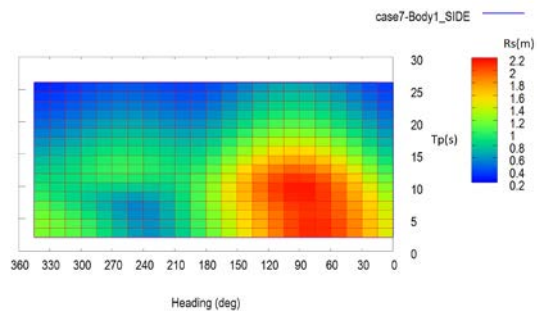


圖 29 短期分析的上浪結果—側甲板(設計吃水)

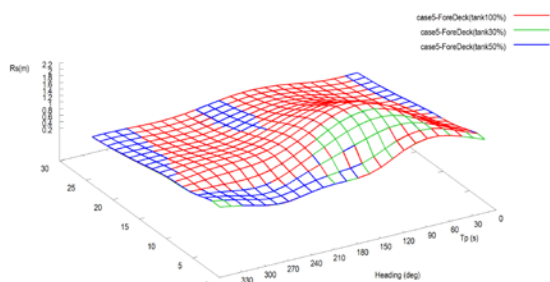


圖 30 短期分析的上浪結果—前側甲板(含液艙沖激)

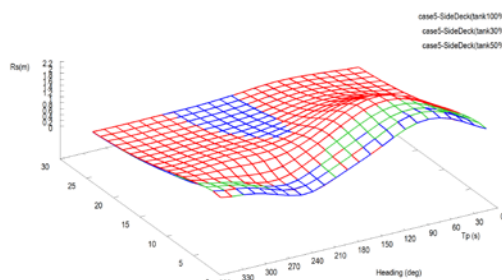


圖 31 短期分析的上浪結果—側甲板(含液艙沖激)

## 結論

本文應用 HydroSTAR 軟體計算三種不同裝載狀況：正常壓載、重壓載及設計吃水，探討不同載重條件下船舶運動特性，特別是在橫搖運動，當載重越重時，橫搖共振的頻率會隨之變低。此外，針對重壓載狀況下，本文也考慮了液艙沖激對運動的影響，分別計算兩種液艙裝載高度：30%與 50%，最後結果均顯示，有液艙沖激效應的船體，其橫搖運動的特性將會由一個共振頻率轉為兩個。而除了從 RAO 圖分析運動特性外，本文也分析了船體在北大西洋中的響應結果。從短期分析結果可得到結論如下：

1. 船體載重的改變確實可以改變船舶在海浪下的運動結果。
2. 具有液艙沖激效應的船舶，共振特性的改變，能夠避開一般波譜的主要頻率區域，使橫搖運動降低。

最後，針對前側甲板與側甲板的位置，分析船體在設計吃水裝載狀況下，海浪為 5 米時的上浪情形，初步評估顯示兩處上浪機率很小。

### 參考文獻

1. J. M. Orozco, Bureau Veritas – Paris; C. V. Raposo, Bureau Veritas – Rio de Janeiro; S. Malenica, Bureau Veritas – Paris, “A Practical Procedure for the Roll Motion of FPSO’s Including the Non Potential Damping,” Offshore Technology Conference 14234, Houston, Texas U. S. A. (2002)
2. Gunther F. Clauss, Daniel Testa, Florian Sprenger, “Coupling Effect between Tank Sloshing and Motion of A LNG Carrier,” OMAE-20077, Shanghai, China (2010)
3. Malenica S., Zalar M. and Chen X. B., “Dynamic Coupling of Seakeeping and Sloshing,” Courbevoie, France
4. Xiao-Bo Chen, “Hydrodynamics in Offshore and Naval Applications – Part I,” International Conference on Hydrodynamics, University of Western Australia, Australia (2004)
5. IACS REC 34 Standard Wave Data (2001)
6. Odd M. Faltinsen, Alexander N. Timokha, “Sloshing”, 1<sup>st</sup> edition., Cambridge University Press (2009)

## Analysis of Bulk Carrier’s Motion and Green Sea Behavior with Sloshing Effect

*K. C. Chen\* C. H. Huang\* Y. T. Jhan\* C. C. Chen\**

\*China Corporation Register of shipping

*Keywords: ship motion, seakeeping/sloshing coupling, 3D panel method, spectrum analysis*

The 3D panel method in frequency domain is applied to analyze a bulk carrier’s motion and green sea behavior in different loading conditions. The model ship is assumed to navigate in North Atlantic and analyzed its motion characteristics with Pierson – Moskowitz spectrum. Since a ship in the voyage is hard to avoid severe environment condition, the ballast weight will be sometimes changed for increasing navigational stability and safety. Among adjusting ballast operations, loading ballast water is the most common one. However, when ships are loading ballast water in the voyage, sloshing induced by sea water in tank will affect ships’ motion. This paper will discuss the phenomenon of the ship’s motion characteristics changed by ballast process and be divided into two parts: First, calculation of motions for the ship in different loading conditions, such as normal ballast, heavy ballast and design loading condition, in order to figure out the influence by loading conditions; Second, discussion for the ship motion affected by sloshing in varied filling height of tank for the process of normal ballast condition changing to heavy ballast condition. Finally, the positions of foredeck and deck side amidship are also investigated for their green sea probability.