

船舶碰撞事故降損策略：模擬與分析研究

蘇健華*¹ 陳紹榮* 陳宏鐘*

*國立高雄科技大學 造船及海洋工程系

關鍵詞：船舶撞擊、ANSYS Ls-Dyna、有限元素分析、船舶變形

摘要

現今的船舶遭遇規範，多以國際海上避碰規則公約(COLREG)為依據，該公約僅規範如何迴避對向船舶，並未提及如何降低不可迴避撞擊意外所形成的損傷。

本文旨在於探討船舶不同角度撞擊下，對被撞擊船的破損面積和能量變化。透過 Ansys Ls-Dyna 進行有限元素分析，以一艘滿載排水量十八萬噸的散貨船為受撞擊船，一艘滿載排水量六千兩百噸的假想船為撞擊船，分析不同角度和船艙樣式的結果，提供給船員一個參考的緊急應對方式，降低船舶損傷。

前言

海運一直是全球貿易的主要支柱，特別是當我們考慮到成本效益，以貨物重量和成本去比較，海運是最為划算的。根據 Hamilton 等人[1]的研究，目前有超過 80% 的全球貿易，有超過 15 兆美金是通過海運完成的。但為了將利益最大化，近年來新建的船舶尤其是，散貨船等載送物資的船舶越建越大，使得在緩慢的船速下，也能產生巨大的動能，這表示任何船舶之間的碰撞都可能導致嚴重的船體損害。此外，海上救援行動常常面臨許多困難，導致悲劇的發生。與此同時，這些事故還可能引發燃料或者化學物洩漏，對海洋生態系統造成嚴重破壞。

根據歐洲海事安全局(EMSA)[2]在 2014-2020 年間收集的數據，共有 13,000 多起海上事故，這些海上事故總共造成了 563 人喪生，在 2017 年發生 45 起死亡事故，2019 年增加到 67 起再到 2020、2021 年的 43 起和 36 起，其中船舶碰撞的相關事件佔了 64%。這些數據清楚地顯示，碰撞事故並不少見，而且事故往往造成非常嚴重影響，不僅會造成船舶和財物上的損失，還可能造成人員傷亡。EMSA [3]在 2022 年提出的另一份資料指出，這些事故大多數都是發生在大型船舶，並表明這可能是由於大型船舶的操縱較為困難，具備大型船舶操作經驗的船員不足所導致的，國際海事衛星組織(INMARSAT)[4]也針對海事安全推出的報告內容，在 2020 年海上事故數量下降後，2022 年反而有所提升，INMA-RSAT 認為這與疫情有關，在面臨 COVID-19 的疫情肆虐後，航運業發生嚴重的人才缺口問題，疫情使作業人員無法得到完整的培訓，導致船舶上缺少了擁有足夠經驗的船員，尤其在船舶逐漸大型化的現在，這問題更加凸顯出來，因此詳細的船舶操作流程

是非常重要的，可以提高海上人員面對問題有更明確的處理規範，並且本文認為不僅海上安全規範應該受到人們重視，災害發生或是將要發生的緊急應對也是非常重要的問題，因此針對船舶破壞模式進行研究。

研究方式

1. 破壞模式和研究方法

為了更好的理解和防範這些事故，本研究利用對不同的碰撞情景進行有限元素分析。通過評估內部力學的差異變化以及損壞面積的大小等去判定，希望能夠更精確地了解在不同碰撞遭遇下的傷害情形，並提供有效的防護和減損措施。

船舶上的零件和設備眾多，因此碰撞導致的變形和破壞模式也是非常複雜的，通過統計事故和實驗得出的結果，可以大致將船舶結構在碰撞後造成的破壞機制分為：1、船殼鋼板和其加強材的整體變形 2、橫向肋板和縱向樑之摺疊和擠壓 3、甲板的折疊切割和破裂 4、船底的切割和破裂 5、橫向艙壁的破裂。

通過分析損壞的結構形式，可以了解影響船舶撞擊的主要因素分別為：1、質量 2、速度 3、位置 4、角度

Hogström and Ringsberg [5]則對於碰撞損壞程度作出分類，認定影響撞擊結果的主要因素有：材料的失效應變、撞擊船艙的外型、摩擦係數、船舶速度、船舶碰撞角度

而目前對於船舶撞擊的研究可以主要分為四種方法：1、經驗公式 2、有限元素法 3、實驗法簡化法 4、簡化法。

¹ 責任作者 (F111186108@nkust.edu.tw)

1.1 經驗公式

第一個關於船舶撞擊的經驗公式，普遍認為是由 Minorsky[6]年提出的:

$$E = 47.2R_T + 32.7(M) \quad (1)$$

此公式非常簡便，使其經常在船舶撞擊的研究中受到討論。

在 Minorsky 建立經驗公式的同時觀察到結構的反作用力和厚度的平方 t^2 或厚度的其他函數成正比，且在經驗公式中主要的參照數值為船舶的破損體積，因此 Minorsky 也宣稱船舶撞擊所吸收的能量和破損體積成正比。

Woisin[7]認為 Minorsky 的經驗公式無法準確預測結構斷裂，因此在公式(1)的基礎上改良提出:

$$E = 47.2R_T + 0.5\Sigma(h \cdot t^2)(M) \quad (3)$$

h 是斷裂或變形的縱向結構件高度， t 是斷裂或變形的縱向結構件厚

1.2 有限元素法

有限元素法(Finite element methods, FEM)經常使用於各行各業的研發項目中，由於實驗設備較為昂貴，有限元素法也是目前較為常見的分析船舶碰撞方式，Ehlers[8]利用有限元素法，使用不同材料參數、船艙模型和邊界條件，去瞭解撞擊的破壞模式，Eike Lehmann[9]則使用有限元素法研究碰撞時船艙的吸能情形。

1.3 實驗

實驗的目的在於驗證理論或是與有限元素法分析出來的結果做交叉比對，過往到現在已經有需多的國家研究單位投入到船舶碰撞的實驗當中，Lehmann 和 Peschmann[10]在對船舶碰撞的實驗中總結了對結構吸收能量的詳細結果和分析，Yamada[11] 對不同球形艙內部結構設計進行實驗並總結出，撞擊發生時無論結構如何設計，球形艙皆是由前端開始的破壞。

1.4 簡化法

簡化分析方法主要是利用上邊界理論(upper-bound theorem)在對邊界條件和破壞模式等物理現象做出假設，基礎觀念為滿足能量守恆原理。簡化法通常是結合了有限元素分析、實驗研究或經驗公式推導等方式，是集合上述幾種方法的一種研究方式，設計一套通用又便於實施的分析流程，用以推算

實際的結果，因此廣泛被學者應用於各類研究分析當中。

2. 船舶的運動

Zhang[12]以 ξ 方向的接觸力以 F_ξ 表示， η 方向的接觸力以 F_η 表示，撞擊船 Ship B 以固定初速度前進，與被撞船 Ship A 夾角為 β ，船舶坐標系如圖 1 所示，而運動方程式可表示為:

$$M_a(1 + m_{ax})\dot{v}_{ax} = -F_\xi \sin\alpha - F_\eta \cos\alpha \quad (4)$$

$$M_a(1 + m_{ay})\dot{v}_{ay} = -F_\xi \cos\alpha + F_\eta \sin\alpha \quad (5)$$

M_a 是 A 船質量， M_B 是 B 船質量

\dot{v}_{ax} ， \dot{v}_{ay} 是 A 船和 B 船的加速度

m_{ax} ， m_{ay} 是作用在船上的附加質量

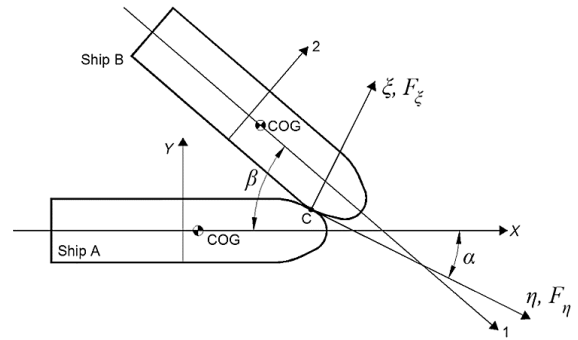


圖 1 船舶坐標系[12]

2.1 撞擊的運動方程式

船舶 A 和船舶 B 的衝擊力 F 可以表示為:

$$-M_a(1 + m_{ax})\dot{v}_{ax} = F \quad (6)$$

$$M_b(1 + m_{by})\dot{v}_{ay} = F \quad (7)$$

M_a 是 A 船質量， M_B 是 B 船質量， \dot{v}_{ax} ， \dot{v}_{ay} 是 A 船和 B 船的加速度， m_{ax} ， m_{ay} 是作用在船上的附加質量。

對於撞擊的動能方程式可表示為

$$M_a(1 + m_{ax})v_{ax} = \begin{bmatrix} M_a(1 + m_{ax}) \\ +M_b(1 + m_{b1}) \end{bmatrix} U \quad (8)$$

U 為碰撞結束時兩船的相對速度，垂直於被撞擊船的動能損失為

$$\Delta E_{kl} = \frac{1}{2} M_a (1 + m_{ax}) v_{ax}^2 - \frac{1}{2} \left[\frac{M_a (1 + m_{ax})}{M_b (1 + m_{b1})} \right] U^2 \quad (9)$$

忽略相對速度 U 後可以得到動能損失為：

$$\Delta E_{kl} = \frac{1}{2} \frac{M_a (1 + m_{ax}) M_b (1 + m_{b1})}{M_a (1 + m_{ax}) + M_b (1 + m_{b1})} \cdot v_{ax}^2 \quad (10)$$

3. 船體主要尺寸和材料參數

參考洪郁淳[13]散貨船模型，船艏艙面如圖 2 所示，使用 Autodesk Inventor 3D 建模軟體建構模型，並假設船殼板厚為 22mm，其餘板厚皆為 17mm，兩船主要尺寸如表 1 所示：

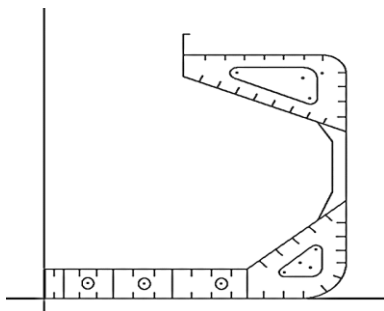


圖 2 船艏剖面圖

表 1

	被撞擊船	撞擊船
滿載排水量	175,800 ton	6,192.8 ton
船長	289 m	106.8 m
船寬	45 m	17.6 m
模深	25 m	10.1 m
設計吃水	16.5m	6.512m

3.1 船體建模

3.1.1 被撞擊船：

模型的建立模式參考 Zhang[14]制定的船體碰撞有限元素分析規劃程序，Zhang 提到在有限元素分析當中，完整的分析模型當然能最好的減少結構的

邊界效應，使分析貼近真實結果，但卻非常耗時，當船舶受到撞擊後造成平擺運動(Yawing)的彎曲對塑性變形不顯著時，可以考慮僅使用一半的船艏剖面以減少計算所需要的時間，計算的結果與全剖面的模型差異不大。

在 Sang Jin Kim[15]的研究中討論了撞擊時三個貨艙段、兩個貨艙段、一個貨艙段的差異，發現三個貨艙段最能完整體現撞擊的結果，本次分析也將採取這種模式進行計算分析，模型可見圖 3 所示。

3.1.2 撞擊船：

本文研究著重討論無球型艏的船艏外型，並針對不同參數尺寸改變船艏縱向展開角和船艏傾斜角，船艏基本數據如圖 4 所示，依照一艘現有載重噸位六千兩百噸船舶的主要尺寸，設計船舶的假想模型，本文主旨在於被撞擊船的變形情景，故本文不設計具有完整線型的船艏外型，以一三角體做為船艏，且設定其為鋼體不考慮變形情景。

在撞擊分析當中，本文假設僅有船艏會與被撞擊船發生接觸，並且將船體的其餘部分減化為一附加質量點於船舶的重心位置，也通過改變此參數使不同案例的船舶質量一致，Yeong Gook 等人[16]發表的船對船碰撞結構耐撞性分析中也有使用到此類方法，以模擬船舶的真實動能結果，此方法可以在簡化模型的情形下還可以模擬船舶原先的質量。

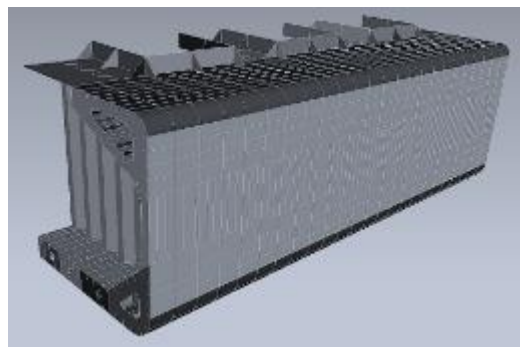


圖 3 被撞擊船圖

3.2 網格設定

網格參照 Martin Storheim[17]的研究，研究中發現 5~10 倍板材厚度的網格大小用於有限元素分析即可取得合理的分析結果，本文取 5 倍的板材厚度 110mm 用於撞擊區域的網格細化，其餘網格使用 600mm，如圖 4 所示。

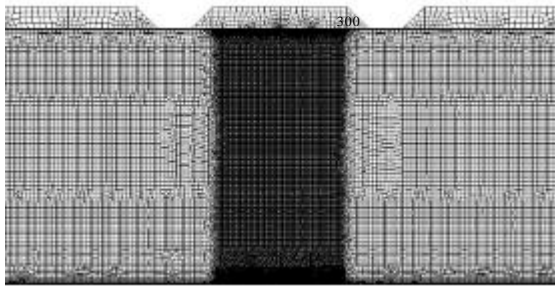


圖 4 網格細化區域

3.3 前處設定

本研究通過改變船艏傾斜角和船艏縱向展開角，進行有限元素分析，參考 Reardon 和 Sprung[18]統計的船舶資料，散貨船的船艏縱向展開角在 28~38 度之間，一般貨船約為 20 度，大型貨船船艏傾斜角在 74~76 度之間，本文整理數值後參考時下流行的劍艏型船艏後訂定船艏數值:船艏傾斜: 90、76;船艏縱向展開角: 35、20。

圖 5 為撞擊場景，撞擊位置為船中心無加強材支撐處(A 點)，兩船的高度位置依據設計吃水，間距被設定為 300mm，如圖 7 所示。

以船艏傾斜角-船艏縱向展開角為開頭，進行代號設計，90 度開始每 15 度進行一次有限元素分析，代號如表 所示:

表 2 碰撞案例代號表

	76-20	76-35	90-20	90-35
90	76-20-90	76-35-90	90-20-90	90-35-90
75	76-20-75	76-35-75	90-20-75	90-35-75
60	76-20-60	76-35-60	90-20-60	90-35-60
45	76-20-45	76-35-45	90-20-45	90-35-45

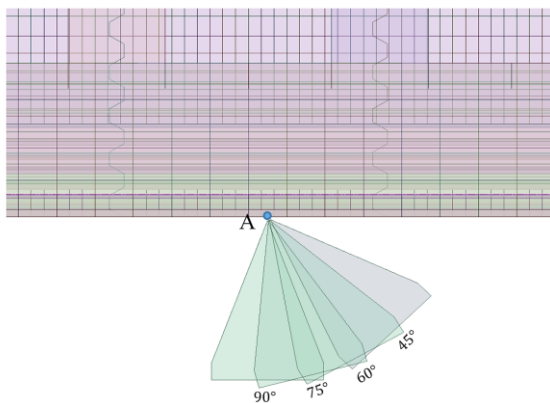


圖 5 船舶撞擊情景圖

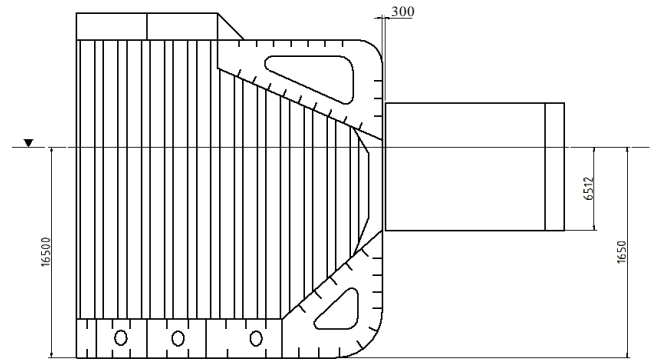


圖 6 船體水線高度

3.4 邊界條件和材料參數

撞擊速度被設計為 8 knot，殼元素採用 Belytschko-Tsay，摩擦力設定為 0.6，接觸設定採用自動面對面接觸，材料參數為動力學常見的 JohnsonCook 材料模型中的 Steel-1006 低碳鋼，其強度與中國驗船協會規定的 DH-32 近似，材料參數如表 4 所示。

表 3

名稱	代號	數值	單位
材料變量			
密度	ρ	7896.00	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$
比熱	C_s	452.00	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$
Johnson Cook Model 參數			
應變率校正		First-Order	
降伏應力	A	$3.50\text{E}+08$	Pa
硬化常數	B	$2.75\text{E}+08$	Pa
硬化指數	n	0.36	
應變速率	ϵ	0.022	
熱軟化指數	m	1.00	
熔點溫度	K	1537.90	$^{\circ}\text{C}$
應變率		1.00	sec
體積模數		$1.40\text{E}+08$	Pa
剪切模數		$8.10\text{E}+10$	Pa
塑性應變破壞			
最大塑性應變(失效應變)	ϵ_f	0.20	

4. 有限元素結果

4.1 能量變化探討

船艏傾斜角 $\varphi = 76$ ，各撞擊角度 β 的內能和滑移能變化，如圖 7、圖 8 所示。

從能量變化可發現各案例在能量達到顛峰後，下降並趨於穩定，原因為內能在達到極限值時撞擊船也達到最大深度，此刻動能停止轉換，在本案例有考量材料硬化效應的情形下，撞擊船與被撞擊船接觸的部分達到塑性硬化，且不再吸收能量，下一刻部分材料出現些微回復，材料回彈推動撞擊船往回滑動。觀察能量變化可以發現 76-20 案例在不同撞擊角度的撞擊下最終內能和滑移能差異不大，但在撞擊角 β 較小的案例中，前期能量的提升明顯快於其他案例，因為撞擊時撞擊船與被撞擊船有更大的接觸面積，從中可以了解接觸面對於能量轉換的重要性，撞擊時的 β 角越小撞擊接觸面就越大，能量轉換的速度就越快。

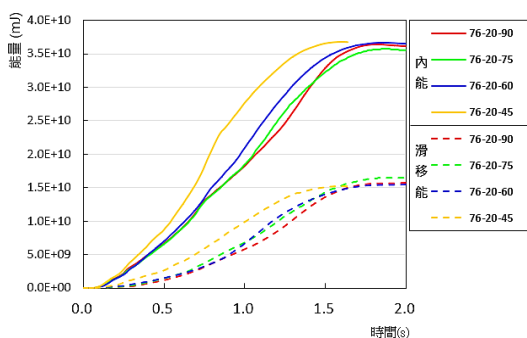


圖 7 76-20 各角度內能和滑移能變化圖

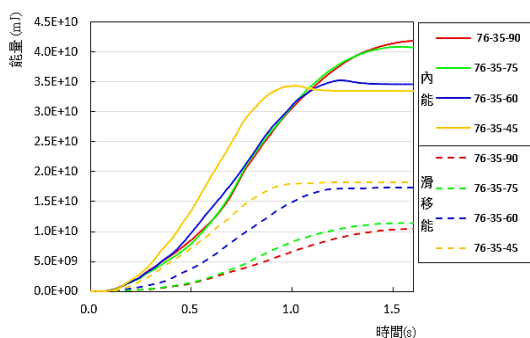


圖 8 76-35 各角度內能和滑移能變化圖

在 76-35 的案例中可以發現， β 小的案例最終內能比較小，滑移能卻大於其他案例，原因為船艏縱向展開角 $\theta = 35$ 與 $\theta = 20$ 案例相比，撞擊船側與被撞擊船夾角更小，撞擊後接觸面積更大，起始動能更快的被轉換成內能， β 角小使撞擊船對 η 向作功多於 ξ 方向的作功，導致撞擊深度淺，如圖 10 所示，撞擊

船延被撞船邊緣破壞，更多的能量被轉換成滑移能，即被磨擦力消耗掉而非轉換成內能，圖 10 中可以在各案例的接觸力-位移圖，更凸顯接觸面積的重要性， $\theta = 35$ 所產生的接觸力明顯大於 $\theta = 20$ ，也使的撞擊船更快停止。

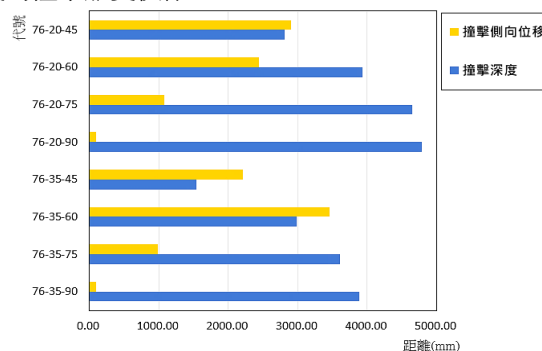


圖 9 $\varphi=76$ 撞擊深度和側向位移

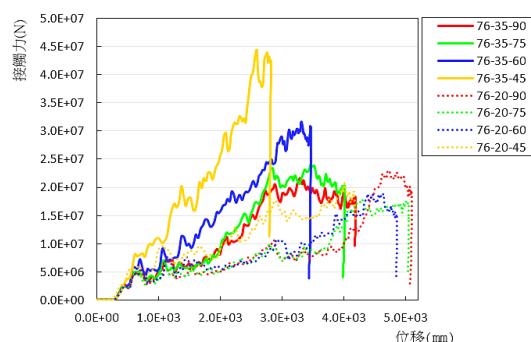


圖 10 $\varphi=76$ 接觸力-位移圖

圖 12、圖 14 可以看出船艏傾斜角 $\varphi = 90$ 起始的內能提升的非常快，原因是 $\varphi = 90$ 船艏前端的接觸面積比較大，被撞船可以更好的去吸收衝擊，更多的動能被轉變成內能，船殼更慢的出現破壞，船殼受撞擊破裂後，內能的提升速度變得趨緩。

90-35-45、90-20-45 兩案例中，船碰撞後皆發生滑動的情形，撞擊船碰撞被撞船，造成些微凹陷後，並未繼續造成破壞，撞擊船沿著法線方向脫離，圖 14、圖 15 可以看出在 $\beta = 45^\circ$ 撞擊下，撞擊船僅對被撞擊船作功一小段距離後即脫離被撞船，不再繼續作功，圖 15 也可以看出在 $\beta = 45^\circ$ 撞擊下，被撞船僅出現些微凹陷，並沒有造成太大破壞。

從能量變化可以看出，起始的能量趨勢與 φ 有直接關係，最開始的能量變化不管 θ 大小，趨勢都相當接近，直到撞擊船之船側開始與被撞船接觸才開始有差異，這裡可以了解到同質量下，初始的能量變化與船艏的 φ 角有至關重要的關係，而後續的變化與 β 和 θ 對撞擊船造成的接觸面積大小成正比。

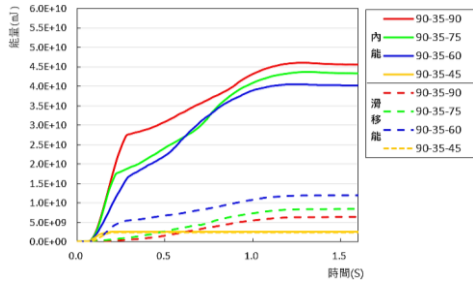


圖 11 90-35 各角度內能和滑移能變化圖

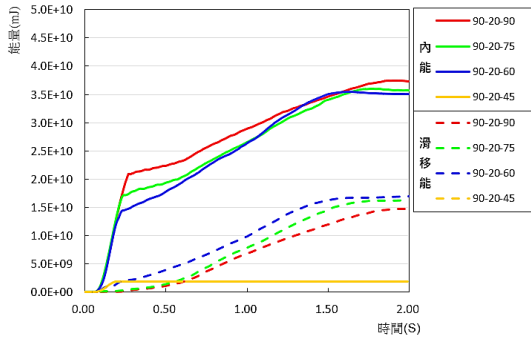


圖 12 90-20 各角度內能和滑移能變化圖

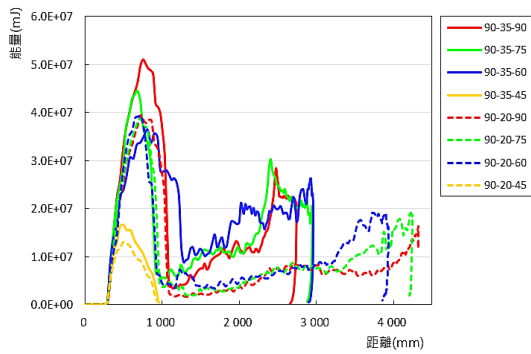


圖 13 $\phi=90$ 接觸力-位移

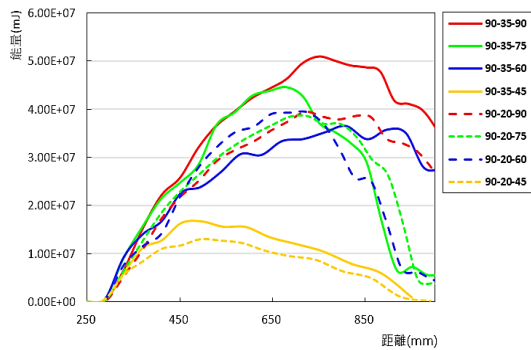


圖 14 $\phi=90$ 接觸力-位移局部放大圖

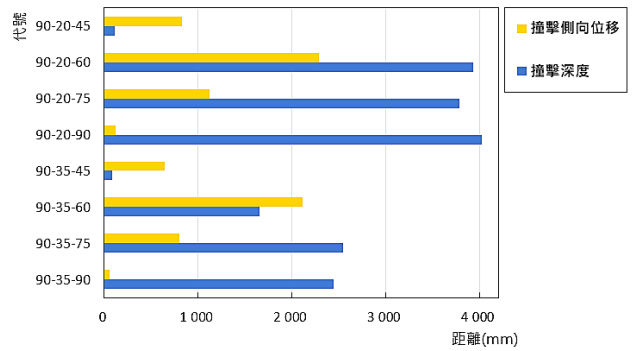


圖 15 $\phi=90$ 最大撞擊深度和側向位移

4.2 破壞範圍

本文各案例的損傷圖，如圖 17~32 所示，撞擊船不再對被撞船作功後，以被撞船船殼出現材料失效的網格最大長寬範圍，定義其為破壞面積。以船殼板厚 22mm 為標準，設定 0~22mm 做為最小和最大變形量範圍，定義受影響面積(船殼變形範圍)。

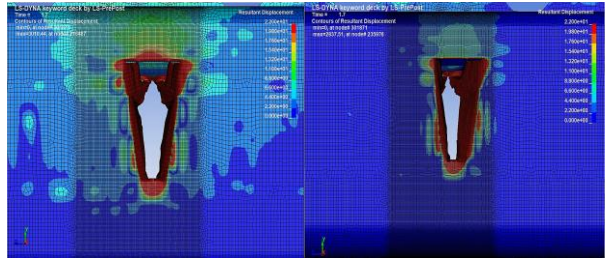


圖 16 76-35-90 損傷圖

圖 17 76-35-75 損傷圖

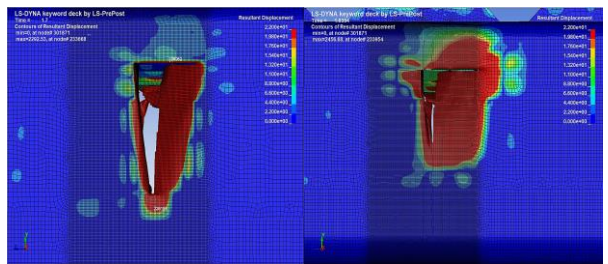


圖 18 76-35-60 損傷圖

圖 19 76-35-45 損傷圖

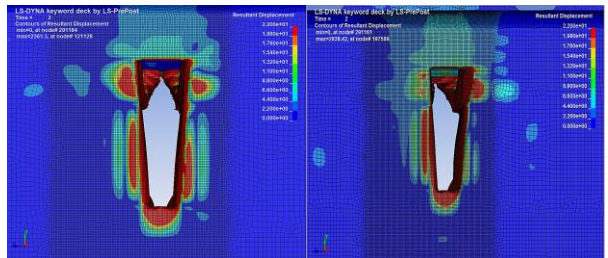


圖 20 76-20-90 損傷圖

圖 21 76-20-75 損傷圖

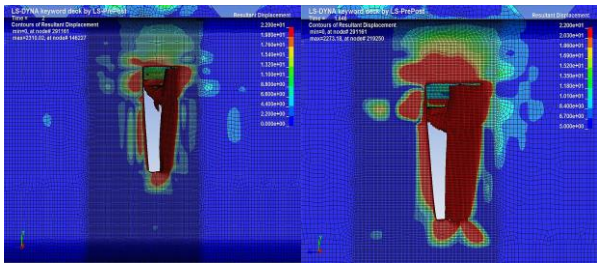


圖 22 76-20-60 損傷圖 圖 23 76-20-45 損傷圖

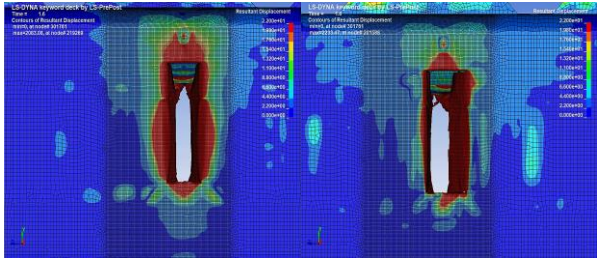


圖 24 90-35-90 損傷圖 圖 25 90-35-75 損傷圖

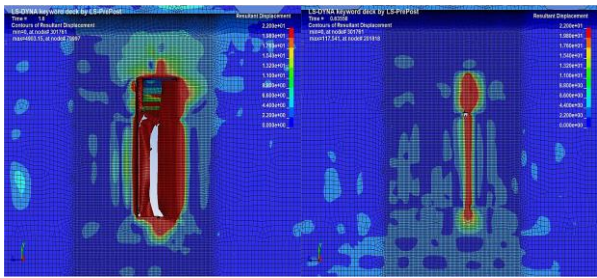


圖 26 90-35-60 損傷圖 圖 27 90-35-45 損傷圖

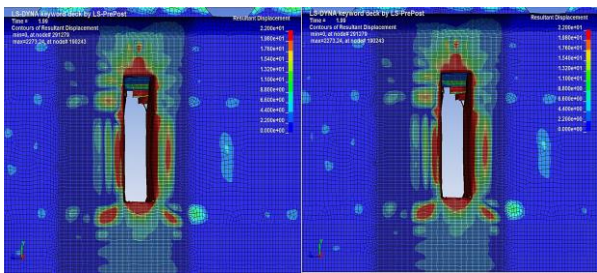


圖 28 90-20-90 損傷圖 圖 29 90-20-75 損傷圖

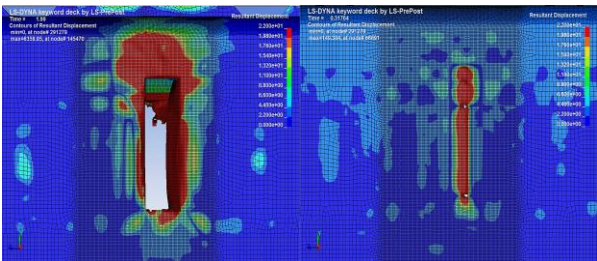


圖 30 90-20-60 損傷圖 圖 31 90-20-45 損傷圖

圖 32、圖 33，整理了各案例的破壞面積和影響面積可以看出在大多數案例不管 β 角為何被撞船之船殼的損傷面積都非常相近，但在 $\beta = 45^\circ$ 時變化卻差異非常大，在小角度的撞擊下，尖銳的船艏能造成足夠的剪切應力，穿破被撞船，使被撞船受到大面積的損傷，接觸面較大的船艏，能量被船殼大量吸收，不足以穿破船殼，接觸後往法線方向脫離。

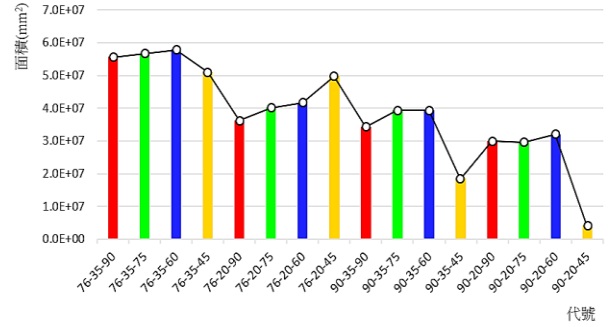


圖 32 破壞面積

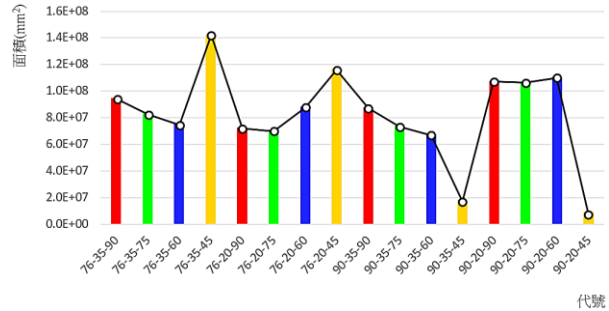


圖 33 影響面積

4.3 碰撞變形階段

透過能量變化對撞擊過程做階段分類：

第一階段：撞擊船開始移動並未發生接觸，被撞船的動能並未發生變化。

第二階段：撞擊船開始與被撞擊船接觸，撞擊船的動能開始下降，被撞船的內能開始上升，因為摩擦力的作用，滑移能開始增加，撞擊船也因摩擦力開始減速。

第三階段：被撞船船殼開始達到降伏應力，被撞船開始產生塑性變形，材料開始硬化抵抗撞擊船的接觸力。

第四階段：分為兩種可能性：一、抵抗住撞擊船的衝擊，撞擊船被彈開，往法線方向脫離被撞船。二、撞擊船衝破被撞船的船殼。這階段的進展方向取決

於，被撞船的結構設計和材料強度，是否能承受住撞擊船的破壞。

第五階段：做為上述第二點的延續，撞擊船持續對被撞船產生破壞，撞擊船的船側開始與被撞船接觸，使撞擊船的動能更快速的，轉變成被撞船的內能和滑移能。

第六階段：撞擊船速度不斷變化直至停止，此時位移達到極致，撞擊深度達到最深。

第七階段：撞擊船完全停止對被撞船破壞，撞擊船破壞的部分開始出現些微回彈，撞擊船因此被朝逆初速度的方向推離被撞船。

結論與建議

本文以顯示動力學的有限元素法試驗了 16 筆不同船艙撞擊的散貨船(單殼船)案例，並建立碰撞後的變形階段，可以看出不同案例下對於船體的破壞情形也不同，對本文船舶特性分析後可以得到以下結論：

單船殼、散貨船

本文分析模型之船舶類型，此類型船舶由於沒有壓載水艙或是雙層殼的保護，大面積的損傷對於此類船舶的傷害也更加嚴重，會直接對船舶的水密性和破損穩度造成負面影響，且散貨船所載送的貨物多為穀物礦石等，較為不會受到撞擊而受損，甚至能起到吸收衝擊的作用，反而會因為船殼的大面積破損，導致貨物外洩造成污染，在本文分析案例中 $\beta = 60、45$ 等小角度的撞擊下，船體的損傷範圍明顯較大，因此本文認為較大角度的撞擊反而對此類型船舶更加合適，對整體營運損失更小。本文針對單殼船進行有限元素分析，但有別於單殼船，雙殼船在面對撞擊時多了一層保護，一般雙殼船內外船殼間距接近於 2m，本文中 $\beta = 90、75$ 的案例皆高於此數值，因此可以知悉對於雙殼船是有威脅性的，雙殼船遭遇撞擊後的影響還待後續研究補充。

未來展望

經過本文的一系列討論，本文展示了顯示動力學的碰撞有限元素分析結果，但模擬分析中簡化的部分皆會影響到分析結果，本文提出以下幾點值得做後續的補充和研究

本文研究了撞擊模擬並做出合理的分析結果，但對於船艙的假設並未設計完整線形，且將其設定為鋼體，這樣會令撞擊位移大於實際位移，且船艙的鋼性過大，也會使應力值高於實際情形。

船艙的設計稜角分明，雖然結果變形的反應更明顯，但會使有限元素分析當中初始的局部應力不穩定，初始應力峰值有可能會過高。

船舶被撞擊後，船體的運動和水的吸能情形此次研究均不考慮，且被撞擊的固定方式為，固定兩端，此方法將會高估實際破損情形。

參考文獻

1. Hamilton, G. G., Petrovic, M., and Senauer, B. (eds.), "The Market Makers: How Retailers are Reshaping the Global Economy," Oxford University Press, Oxford, pp. 8-5, 232-233 (2011).
2. EMSA, "Annual overview of marine casualties and incidents 2022," European Maritime Safety Agency, Lisbon, Portugal, pp. 33-34 (2022).
3. EMSA, "Annual overview of marine casualties and incidents 2022," European Maritime Safety Agency, Lisbon, Portugal, pp. 14-15 (2023).
4. Tanya Blake, Paul Levey "THE FUTURE OF MARITIME SAFETY REPORT 2023," International Maritime Satellite Organization, pp. 5-7 (2023).
5. Hogström, P., & Ringsberg, J. W., "An extensive study of a ship's survivability after collision A parameter study of material characteristics, non-linear FEA and damage stability analyses," Marine Structures, Vol. 27, Issue 1, pp. 1-28 (2012),
6. Minorsky V., "An analysis of ship collisions with reference to protection of nuclear power plants," pp.1-4, Journal of Ship Research, 1959.
7. Woisin, G., "Design against collision," In : Proceedings of Int. Symp. on Advances in Marine Technology, Trondheim, Norway, vol. 2, (1979), pp. 309-336.
8. Ehlers, S., Broekhuijsen, J., Alsos, H. S., Biehl, F., & Tabri, K., "Simulating the collision response of ship side structures: A failure criteria benchmark study," International Shipbuilding Progress, volume 55, pp. 127-144 (2008)
9. Lehmann, E., & Peschmann, J., "Energy absorption by the steel structure of ships in the event of collisions," Marine Structures, vol. 15, pp. 429-441 (2002).
10. Lehmann, E., & Peschmann, J., "Energy absorption by the steel structure of ships in the event of collisions," Marine Structures, vol. 15, pp. 429-441 (2002)
11. Yamada, Y., "Bulbous Buffer Bows: A Measure to Reduce Oil Spill in Tanker Collisions," Technical University of Denmark, master's thesis (2006)
12. Zhang, S., Pedersen, P.T., and Villavicencio, R., "External dynamics of ship collisions and grounding," in Probability and Mechanics of Ship Collision and Grounding, S. Zhang, P.T. Pedersen, and R. Villavicencio, Eds., Butterworth-Heinemann, (2019)

13. 洪郁淳, "散裝貨輪適用共同結構規範之結構分析與成本估算", 國立高雄海洋科技大學海洋工程科技研究所, 碩士論文 (2009)
14. Zhang, L., Egge, E. D., & Bruhns, H., "Approval Procedure Concept for Alternative Arrangements," Germanischer Lloyd AG (2004)
15. Kim, S. J., Jung, M. S. "The Effect of Dynamic Fracture S-train on the Structural Response of Ships in Collisions" *Journal of Marine Science and Engineering* vol.10 (2022)
16. Ko, Y.G.; Kim, S.J.; Sohn, J.M.; Paik, J.K. "A practical method to determine the dynamic fracture strain for the nonlinear finite element analysis of structural crashworthiness in ship-ship collisions," *Ships and Offshore Structures*, vol. 13, pp.412-422 (2018)
17. Liu, B.; Villavicencio, R.; Zhang, S.; Guedes Soares, C. "A simple criterion to evaluate the rupture of materials in ship collision simulations," *Marine Structures*, vol. 54, pp. 92-111, 2017.
18. Reardon, P.C., and Sprung, J.L. "Validation of Minorsky's Ship Collision Model and Use of the Model to Estimate the Probability of Damaging a Radioactive Material Transportation Cask during a Ship Collision," *Proceedings of International Conference on Design and Methodologies for Collision and Grounding Protection of Ships* (1996)

Strategies for Mitigating Ship Collisions: A Simulation and Analytical Study

C. H. Su* S.R. Chen** C. H. Chen**

*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, National Kaohsiung University of Science and Technology

Keywords, ANSYS Workbench, Finite Element Method, Ship Collision

ABSTRACT

The current guidelines for maritime encounters are primarily based on the International Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, COLREGs. These regulations prescribe measures for avoiding oncoming ships but do not address the reduction of damage resulting from collisions that are unavoidable. This article aims to explore the extent of damage and variations in energy on the ship that is impacted under various angles of collision. The study focuses on a bulk carrier with a full-load displacement of 180,000 tons as the vessel being collided into, and a hypothetical ship with a full-load displacement of 6,200 tons as the colliding vessel. By conducting finite element analysis with Ansys Ls-Dyna, the analysis of outcomes across various angles and bow styles intends to provide crew members with reference emergency response strategies to minimize ship damage. The objective of this research is to offer insights into collision damage mitigation and to enhance the safety of ship operations.