

散裝貨輪安全研究(一)

散裝貨輪全損海難風險分析

陳彥宏*、張家榕**

摘要

海難案件之發生往往伴隨著重大之損失，在散裝船全損海難方面，自 1992 年 1 月到 2002 年 5 月為止，全球共發生了 109 件散裝船全損海難案件，約佔了全球全損海難案件之 12%，但在所損失之載重噸位部分卻佔了所有全損案件之 38%，位居所有船舶海難損失載重噸位第一，就單一船舶種類而言，其所造成之損失可謂相當可觀。

海難之發生原因其牽連之範圍甚為廣泛，上至海事政策、公司管理，下至船體結構、人員操作等，往往在其中某一環節發生問題時，海難事故就有發生之可能，而由過去之海難案例中可得知，絕大多數海難事故之發生，均是由於多重之風險相互影響，因而導致海難之發生。

殷鑒於散裝貨輪安全議題的重要性，本研究以國際上發生全損海難事故之散裝貨輪為主要研究對象，探討「散裝貨輪全損海難風險分析」與「散裝貨輪安全評估模式研究」等二大議題。透過文獻回顧、個案分析的方法，探討散裝貨輪因本身風險因素或航行環境所導致之海難，以確立散裝貨輪海難風險因素，並作為後續散裝貨輪安全評估模式研究之主要依據。

關鍵字：散裝貨輪、海難、風險評估

壹、前言

散裝貨輪對在全球的海洋運輸上扮演著舉足輕重的角色。根據航運期刊 Shipping Statistics and Market Review (SSMR)之統計，2002 年，世界上所航行的散裝貨輪數達 5907 艘，約佔全世界船舶數量的 15.1%，次於雜貨船、油輪，位居全球第三位，而在載重噸位而言，更佔了全球載重噸位總數之 34.6%¹，僅次於油輪，位居全球第二位。

由於散裝貨輪載運大宗散裝原物料的特殊性，裝卸貨港口的普遍偏遠、以及裝載貨物普遍沒有像油輪一般載運民眾所關心具高海洋「油」污染風險的貨品，因此，散裝貨輪的安全議題一直沒有受到應有的重視。然而，隨著船舶型態大型化與專業化的演變趨勢，卻發現近年來散裝貨輪海難事件有不斷增加的趨勢。許多船齡較高之散裝貨輪，甚至配備精良的新型散裝貨輪，經常在航行途中發生船難而沉沒。特別是有些散裝貨輪一但發生海難往往造成全船沉沒，且沉沒的速度

* 國立台灣海洋大學商船學系副教授、英國威爾斯大學海洋事務與國際運輸學博士

** 國立台灣海洋大學導航與通訊系碩士

之快，往往使得船上之船員不及反應，在連遇險信號都不及發出之際，人船就已一同消失於大洋之中。

這樣的散裝貨輪海難風險的議題，在 1990 年之前還未浮現，但在 1991 年時，卻有 22 艘散裝貨輪發生海難事故而沉沒，同時也犧牲了 186 條人命，由此也使得散裝貨輪的安全風險問題受到重視，而在 1990 年到 2000 年之間，平均每年有 14 艘散裝貨輪遭遇海難，66 條人命犧牲²；不例外的，在台灣海域近年來散裝貨輪也曾發生幾起重大之海難事故，例如「花蓮一號」案、「馬尼拉精神」案、「廣源輪」案等三個海難事故就造成了 63 條人命的喪失。

由於散裝貨輪航行營運上的風險居高不下，基於船舶航行安全上的考量，在國際海事組織的大力推動之下，近年來國際上也開始藉由加強船舶檢查與港口國管制等行動，來提昇船舶航行之安全以減低船舶發生海難之機率。

殷鑒於散裝貨輪安全議題的重要性，本研究以國際上發生全損海難事故之散裝貨輪為主要研究對象，透過文獻回顧、個案分析、風險評估、深度訪談的方法，分別探討「散裝貨輪全損海難風險分析」與「散裝貨輪安全評估模式研究」等二大議題。探討之範圍集中於散裝貨輪因本身風險因素或航行環境所導致之海難。本研究所分析散裝貨輪之風險因素，其內容主要包括船舶因素、貨物因素、人為因素、水域環境因素等，對於與他船碰撞之海難案件等類型，則不在本研究討論範圍之內。

在散裝貨輪全損海難資料來源方面，主要以國外主要海事機構如 IMO、Lloyd's 等，對國際上海難所作出之統計數據為基礎，藉此針對散裝貨輪海難進行統計分析，並透過重大散裝貨輪的海難案件分析，從中對各項風險因素與散裝貨輪之各項航行條件進行比較分析，以作為散裝貨輪海難風險因素之基礎。

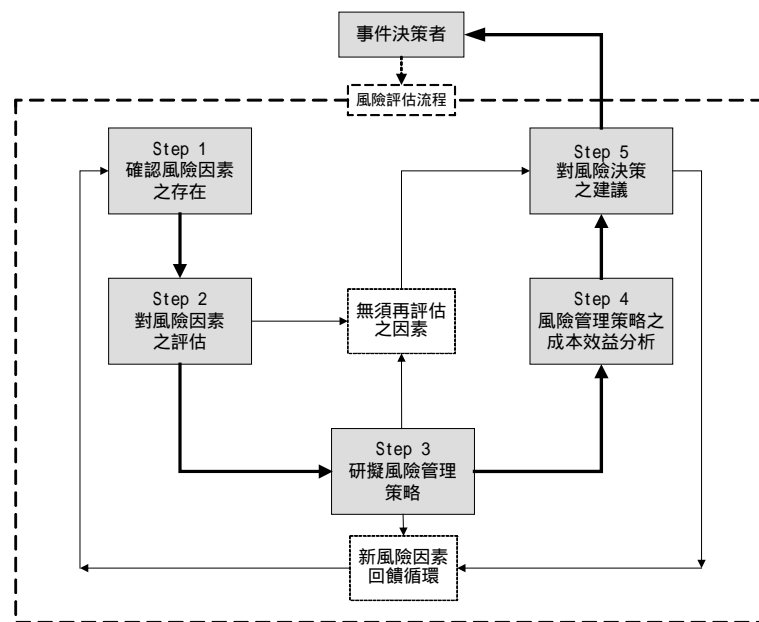


圖 1-1 FSA 評估之流程圖³

在散裝貨輪安全評估模式研究方面，則係採用國際上各海事機構於風險評估時所用 Formal Safety Assessment (FSA) 之方法，將其運用於散裝貨輪之風險評

估，透過確認風險因素、評估風險因素、研擬風險控制策略、風險控制策略之成本效益分析以及對風險決策之建議等五個步驟(如圖 1-1 所示)，並以實際發生之案例為參考之對象，經由 FSA 之評估步驟，並加以整理散裝貨輪海難之風險因素，以及配合國際海事組織等國際上之組織對於散裝貨輪海難風險之預防措施與建議，進而提出因應散裝貨輪海難風險之建議與策略，以提供我國航運界及政府相關機關之參考。

貳、全球散裝貨輪全損海難分析

2.1 全球散裝貨輪概況

據 2002 年的統計資料顯示，全球船隊之分布情形，就船舶數量上而言，雜貨船以 16,770 艘位居世界第一，在全球總艘數中佔了 42.9%，但其在全球載重噸位上卻只有 96,128 千噸，佔全球載重噸位 12%。相對於在船舶艘數上排行第二與第三之油輪與散裝貨輪而言，其船舶艘數分別為 7,311 艘與 5,907 艘，於全球船舶數量分布上分別佔了 18.7%與 15.1%，與雜貨船數量上比較，雖有一段相當之距離，但在載重噸位上之分布上，全球油輪之總載重噸位為 303,234 千噸，佔了全球載重噸位的 37.9%，位居全球第一，而散裝貨輪方面，其載重噸位也有 277,067 千噸，佔了全球載重噸位的 34.6%，於全球載重噸位之分布上名列第二，僅次於油輪。詳細的船舶種類、數量、載重噸位分布詳如表 2.1 所示：

表 2.1 全球船舶數量與載重噸位統計表⁴

	全球船舶數量	1000dwt	佔全球船舶數量百分比	佔全球載重噸位百分比
油輪(Oil tanker)	7311	303234	18.7	37.9
化學船(Chemical tanker)	1291	8489	3.3	1.1
液化氣運載船(Liquid gas tanker)	1114	18994	2.8	2.4
散裝貨輪(Bulk carrier)	5907	277067	15.1	34.6
礦/散/油運載船 ⁵ (OBO carrier)	197	14108	0.5	1.8
貨櫃船(Container ship)	2726	76131	7	9.5
雜貨船(General cargo ship)	16770	96128	42.9	12
客船(Passenger ship)	3797	5611	9.7	0.7
Total	39113	799762	100	100

(噸位在 300gt 以上之船舶)

散裝貨輪船在全球貿易上之歷史由來已久，在數十年間航運界環境的改變中，散裝貨輪一直扮演著無可取代之角色。在近十年來之散裝貨輪數量變化方面，其大致上是呈現穩定的成長情況。詳如表 2.2 所示：

表 2.2 歷年全球散裝貨輪數量與載重噸位統計表⁶

	散裝貨輪數量	佔全球總船舶數百分比	1000dwt	佔全球總船舶載重噸位百分比
1992	4685	13.6	203306	30.9
1993	4608	13.3	201493.1	30.4
1994	4590	13.1	205147.8	30.4
1995	5342	14.7	218931.1	32.1
1996	5560	15	232651	33.1
1997	5747	15.1	244622.3	33.9
1998	5903	15.3	256585	34.5
1999	5822	15.1	253444	33.8
2000	5763	14.8	255540	33.5
2001	5776	14.8	263044.8	33.8

2002	5907	15.1	277066.7	34.6
平均		14.54%		32.82%

(噸位在 300gt 以上之散裝貨輪)

2.2 全球散裝貨輪全損概況

依據 Shipping Statistics and Market Review (SSMR)之統計分類，將造成全損 (Total loss)海難之原因主要分類為：天候因素(Weather damage)、船舶進水沉沒 (Foundering)、觸礁(Strandings)、船舶碰撞(Collisions and Contact)、失火與爆炸 (Fire and explosions)、機械故障(Damage to machinery etc.)、擱淺(Groundings)、其他因素(Other casualties)等八類。

自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止，近十年來，SSMR 統計全球一共發生了 873 起船舶全損海難，損失船噸達 11,515 千載重噸，平均船齡為 23.4 年。詳如表 2.3 所示：

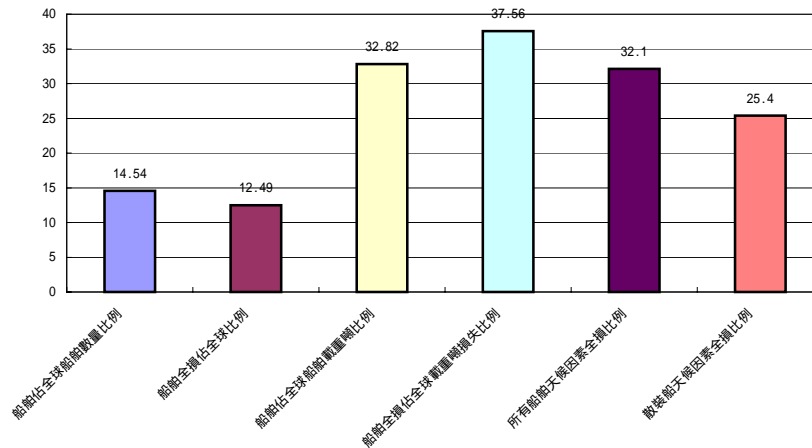
表 2.3 全球全損海難統計表^{7, 8}

風險種類		全球海難總數	佔全球海難總數百分比	散裝貨輪海難事件數量	散裝貨輪海難事件佔所有散裝貨輪海難百分比
天候因素 (Weather damage)	No	222	25.4	35	32.1
	1000dwt	3050	26.5	1663	38.4
	AV.age	21.7		20.2	
船舶進水沉沒 (Foundering)	No	57	6.5	4	3.7
	1000dwt	580	5	356	8.2
	AV.age	27.5		-	
觸礁 (Strandings)	No	57	6.5	10	9.2
	1000dwt	648	5.6	338	7.8
	AV.age	26.4		23.2	
船舶碰撞 (Collisions and Contact)	No	105	12	7	6.4
	1000dwt	851	7.4	198	4.6
	AV.age	21.1		18.6	
失火與爆炸 (Fire and explosions)	No	141	16.2	16	14.7
	1000dwt	2418	21	447	10.3
	AV.age	23		20.1	
機械故障 (Damage to machinery etc.)	No	40	4.6	7	6.4
	1000dwt	1102	9.6	197	4.6
	AV.age	24.2		20.8	
擱淺 (Groundings)	No	52	6	7	6.4
	1000dwt	748	6.5	324	7.5
	AV.age	21.5		22.1	
其他因素 (Other casualties)	No	199	22.8	23	21.1
	1000dwt	2117	18.4	805	18.6
	AV.age	23.4		22.1	
Total	No	873	100	109	100
	1000dwt	11515	100	4328	100
	AV.age	23.4		22.1	

(噸位在 500gt 以上之船舶)(自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止)

若以船舶類別分析，以數量計，過去 10 年，散裝貨輪的平均總數量佔全球之 14.54%，數量損失 109 艘，佔全球全損海難案件之 12.49%；以載重噸位計，散裝貨輪的平均總載重噸佔全球之 32.82%，載重噸全損損失 4,328 千載重噸，佔了所有全損案件之 37.56%。換言之，散裝貨輪的損失率低於平均值 2%，不過在種噸的損失卻高於平均值近 5%，顯見，散裝貨輪的損失比較偏向於較大型噸位

的船舶。又依 SSMR 統計，自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止，在 873 起船舶全損海難中，海難類別以天候因素居冠，佔全球海難總數百分比之 25.4%。但在散裝貨輪在因天候情況所造成之全損海難，卻佔所有散裝貨輪全損海難的 32.1%，顯著的高於平均值 6.75。由此不難窺出天候因素對於船舶航行安全之重要性，同時也由此數據中可得知，天候因素對於散裝貨輪來說，其可能導致造成海難之可能性較其他種類之船舶為高。(詳如圖 2-1)



參、散裝貨輪之海難案例分析

3.1 DERBYSHIRE

1980 年 9 月，Derbyshire 在颱風中幾乎是毫無痕跡的消失在太平洋南中國海，船上 44 名人員像謎一般的失蹤，確切的海難原因可能將永遠不被確知。Derbyshire 案在當時成為海運史上英國籍船的最大損失，更是 Lloyd's 所公佈之最大失蹤船。而從建造完成到發生事故沉沒僅僅不過四年時間。

Derbyshire 原名為 Liverpool Bridge，為一多用途之散裝貨輪，於 1977 年內運送許多鐵礦、煤炭、原油等。然而於 1978 年，遭遇了貿易環境上的困難，在 Stavanger 停止營運了一年多，直到 1979 年 4 月才再度啟航。剛開始是載運原油為主，後來又以載運乾貨為主，在最後 9 個月航程中專載運鐵礦及煤炭。

Derbyshire 的最後一次航程自 St.Lawrence 河的 Seven Iland 開始，載運了 158,185 噸的鐵礦，由 Geoffry Underhill 船長指揮，於 1980 年 7 月 11 日自 Quebec 港航向日本 Kawasaki，船上共有 41 名船員及兩位船員的妻子。其航程會經過好望角，在經過印度洋前就取消了 8 月 6 日至開普敦的補給。9 月 6 日船長送出訊息，預計將於五日後到達 Kawasaki，9 月 8 日船長又送出訊息表示由於天氣狀況將會延遲到港。天候狀況因颱風 Orchid 路徑的影響而變得更加惡劣。隔天又有兩訊息送出，其一於格林威治時間 0300 傳來，報告他們位於 Okinawa 東南東 230 哩，北緯 25°18'，東經 133°12' 處，另一訊息則於六小時半後傳來，說明他們因強烈之颱風將會延遲到港，依其最新估計時間為 9 月 14 日，此為 Derbyshire 所發出的最後訊息。

9 月 15 日在毫無音訊的情況下，開始展開搜尋的行動。不久之後直昇機回報

在北緯 25°30' 東經 133°34' 海面發現長達一哩的油漬，之後的搜尋於 9 月 19 日也在北緯 25°46' 東經 133°34' 海面發現油漬。根據位於 Yokohama 的 Maritime Safety Agency 之研究中心分析，於海面上之油污為 Derbyshire 所遺留，船東認為 Derbyshire 起因於惡劣之天候狀況而沉沒。推測沉沒日期為 9 月 9 日。在保險賠償確定後，海上保險協會宣佈其為一失蹤船，其船體與機具之價值為美金兩千四百萬，約合英鎊一千萬。

由此事件引發出許多問題。如此巨大、現代化、又配備精良的船怎會未發出遇險信號就在大洋中無故消失，這顯示致使船舶沉沒的原因是立即且具毀滅性的，導致船上人員根本來不及作出任何反應。過去七年來，不少於 151 艘散裝貨輪全損，其中 38 艘沉沒於海中，主要起因為惡劣天候狀況導致船舶斷裂為二、漏水、進水、船體破碎及貨物移動。而在八年多以後英國船難協會理事長在對 Derbyshire 正式調查中指出，其可能是遭受自然力之損害而導致沉沒。⁹

3.2 GOLD BOND CONVEYOR

Gold Bond Conveyor 建造於 1975 年，船齡 19 年，於 1993 年 3 月 15 日沉沒於加拿大東南方 110 哩之海域，在該次航程中載運石膏從加拿大到佛羅里達，雖然傾斜嚴重，但該船卻未發出求救信號，突然間的巨浪使該船與船上 33 名船員消失於大海之中。

重達 17,000 噸的 Gold Bond Conveyor，為具有獨特設計之散裝貨輪，其船尾有裝卸貨之艙門，裝卸貨時輸送帶由內延伸至艙門外，再將穀類或礦物等貨物置於輸送帶上運送至船上各貨艙。在該次航程中，船首之各艙門均關閉，但裝卸貨時使用輸送帶需開啟之後艙門實際上是開啟的，海水由開啟之艙門灌進艙內，而貫通整艘船之輸送帶完全沒有防水閘門之防護裝置，因此一旦海水灌入船內將會自由流入船艙各角落。

Gold Bond Conveyor 滲水長達數小時，船員卻無發現，調查員由研究中發現，船員由船橋上並不能發現船尾之艙門並未關緊，因船員只看到船首緩慢下沉進水，故可能推定問題出在船首而非船尾，而金綁搬運者號也因為一道未所緊之艙門而造成沉沒。¹⁰

3.3 FLARE

Flare，船齡 26 年，於 1998 年 1 月開往加拿大，在航程中遭遇風雨及大浪襲擊，船身傾向右舷，於 4 時 30 分海岸防衛隊接收到閃光號之求救信號，但連遇險船位都尚未確認清楚就失去聯絡，海岸防衛隊搜救直昇機循著海面上之油跡，終於找到翻覆的救生艇，25 名船員中，只有 4 人生還，尋獲 15 具屍體。

Flare 之船身從中間斷裂成兩截，船首漂流於海上，但在調查人員到達前沉沒，調查員於可獲得之線索中無法找出船體斷裂之原因，於是調查方向轉往結構上的破壞調查。由於船體在航行中會受到各種應力之影響，若海浪波長接近船身長，當船艏艉各有一浪頭支撐，則船中心處將會因船體本身之重力而凹陷，此稱為舢垂，相反的，若船中心處有浪頭支撐而船體艏艉因重力下沉，則船體將會向反方向彎曲，稱為舢拱，由於如此反覆之船體折彎將會導致船身金屬疲勞，而

折彎之應力通常在接近中心處較大，Flare 右舷甲板上主要部分之裂縫，正好接近船體中心，亦即船的一半長度。

由各項研究之證據顯示極有可能是由於金屬疲勞而導致船體斷裂，但撕裂船體之裂縫種類需再深究，若是整齊之斷裂，即所謂快速斷裂，其意味著船體如粉筆般被折斷，原因有可能是金屬疲勞，但若裂口不整齊表示船體受損而慢慢斷裂。Flare 甲板上之裂縫從艙口蓋靠左舷側延伸到右舷，其裂口幾乎是一直線，鋼片邊緣沒有皺摺或扭曲，跡象顯示其為快速斷裂。

調查員由甲板上之結冰推論壓艙水櫃並未灌滿壓艙水，如果該水櫃像其他水櫃灌滿海水，其應有足夠之殘餘熱量防止甲板結冰，但由於水櫃一部份是空的，而其他水櫃均為滿載，於是船體無法保持平衡，全船之壓艙物並非完全平均，而全船之交叉負載不對稱則可能導致扭曲效應。調查員相信船體遭海浪撞擊時必定有折彎變形，而發生海難的導火線則是半滿的水櫃，其導致船體扭曲斷裂為二。

11

3.3 EDMUND FIZGERALD

1975 年 11 月 10 日，Edmund Fitzgerald 為航行於五大湖區之散裝礦砂船，載運 26,000 噸之矽鐵礦，在航程途中遭遇五大湖有史以來最惡劣之天候，氣壓只有 28.56 度，創下五大湖之最低紀錄，也因此 Edmund Fitzgerald 難逃惡劣天候之挑戰而沉入海底。

這艘 729 呎的散裝貨輪在蘇必略湖遇難沉入海底，船上 29 名船員也一同葬身海底，當時風力時速 80 哩，浪高 25 呎，湖面只剩浮油與殘骸，整塊區域佈滿了燃油。在研究報告中，Edmund Fitzgerald 甲板上之艙門，其艙蓋以鋼鐵製成，藉由艙門夾板以固定艙蓋並與艙口間達成水密。在航行途中，艙蓋將會遭受風浪之撞擊，理論上來說，若艙門鬆脫，則所有夾板應全部受損，但在此案例中，許多艙門夾板雖掉落，但卻未受損，這顯示未受損之夾板並未緊栓在艙蓋上，也就表示艙蓋並未做到確實水密，因而遭遇風浪時無法阻止海水灌進艙內，而艙內之矽鐵礦就像海綿般大量吸水，因而導致船身傾側，最後翻覆沉入海底。¹²

3.4 EUROBULKER

在 1977 年 5 月 25 日，Eurobulker 裝載 10,370 噸之水泥，由西班牙 Alcanar 出發，預定於 6 月 18 日到達 Bandar Shahpour，航行途中，在 6 月 7 日時，曾停靠在 Djibouti，三天後其報告所在船位於北緯 16°17'，東經 54°50' 處，而在 6 月 11 日上午 8 時 40 分，收到該船之最後確認船位應位於北緯 18° 東經 58° 處，但在 6 月 12 日上午 7 時，透過雅典無線電台接收到 Eurobulker 最後發出的信息，至此之後就再也沒有消息。

其後雖曾在葉門南部與阿曼海岸區域進行廣播與空中搜索，然而對於船舶蹤跡與船上 29 名船員仍然沒有下落，據推測其可能在 6 月 12 日遭經過安曼海岸之暴風雨所淹沒，隨後 Eurobulker 被 Lloyd's 列為失蹤船舶之一。¹³

3.5 TRADE DARING

在 1994 年 11 月 11 日，發生一件巨額保險賠償的海難案件，一艘高齡 22 年，134,999 噸重，船名為 Trade Daring，塞普勒斯籍的散裝貨輪，於巴西裝載鐵礦與錳礦的過程中，船體第二貨艙進水，使得船身成 V 字型下沉至水深 25 公尺的水底。Trade Daring 預計在義大利 Taranto 卸貨，而事故發生當時，Trade Daring 在貨艙中裝載了 39,000 噸鐵礦，56,000 噸錳礦與 44,700 噸煤礦，在事故報告中，強調由於當時以每小時 16,000 噸之速度快速裝載貨物，因而導致事故的發生。其船體與機具的損失高達一千萬美金，此案件同時也成為當年散裝貨輪損失金額第二大的海難案件。¹⁴

3.6 台灣的幾起散裝貨輪海難

載重噸 6,547 的花蓮籍散裝貨輪「花蓮一號」，其於 89 年 2 月 28 日 17 時 30 分載運 5,380 噸砂石，從花蓮港出發，預計 2 月 29 日早上 7 時抵達淡水台北港，但是 2 月 29 日當天船公司發現船未進港，也一直沒能連絡上，於是正式請求國軍與海巡署等相關單位搜救。本案迄今全船 21 名失蹤船員仍未尋獲。

總噸位 5,900 的巴拿馬籍貨輪散裝貨輪「馬尼拉精神號」在 89 年 11 月 1 日，因象神颱風擱淺，一日上午 6 時許求救，晚間 11 時船隻解體沉沒。因天候因素之故，國家搜救中心在 2 日才展開陸海空救援，全船 24 名船員只有 1 名船員自行游泳上岸獲救，另 23 人失蹤。

總噸位 4,232 的貝里斯籍散裝貨輪「廣源輪」，載著三千多噸砂石於 90 年 6 月 22 日到達安平港時，因值低潮而無法進港，後來又因奇比颱風的風浪過大，在高雄港的拖船無法趕到安平港作業，廣源輪採取在港外錨泊措施，後來風浪增強船身傾斜進水後在安平外海約 1.8 哩處沉沒，船上 23 名大陸船員跳海逃生，4 名生還者。

肆、散裝貨輪全損主要風險來源

4.1 貨艙進水沉沒的風險

殷鑑於過去之散裝貨輪海難全損事故，排除船舶碰撞所造成之海難事故，其餘大部分已確認之風險均與船舶因其他因素進水而導致船舶全損有關。在 1990 年早期所發生之散裝貨輪事故案例中，有些事故之發生過程常是在一瞬間之間船舶就已在大海之中沉沒，船上之船員往往連棄船的時間都沒有，而隨著該船一同沉入大海之中。根據 IACS 之研究指出，若在船艏最前方之貨艙一但進水，在該艙之橫向艙壁極可能因貨物或水之壓力而破損，導致海水再灌進另一貨艙，如此惡性循環將導致船舶快速沉沒。(如圖 4-1 所示)



圖 4-1 船體進水示意圖¹⁵

另在 U.S. Maritime Administration(MARAD)有關散裝貨輪之研究報告指出，在中大型之散裝貨輪進水事故情況中，隨著在不同艙區之進水情況下，對於船舶之存活能力有關鍵性之影響，通常貨艙進水大略可分為下列三種方式：

1. 船體前部貨艙進水：此種船體進水情況是危險性最高的一種，其將使船體因進水而快速沉沒，一但船體前部貨艙進水，船艏將因重力之影響而使船艏沒入水中，隨著進水情況之惡化，進水艙區之水壓力快速增加，導致橫向艙壁崩壞，其他貨艙也隨後進水，如此惡性循環之結果將使船舶沒入水中，其沉沒速度之快將使船上船員沒有時間進行棄船之動作。(如圖 3-2 所示)



圖 3-2 前部貨艙進水示意圖¹⁶

2. 船體舢部貨艙進水：此種進水情況，將造成船體舢部之重力大於浮力，因此產生舢垂之情況，在此種情形下，對於未進行妥善保養維修之船舶而言，可能將導致該船發生結構上之損害，減短船舶營運之壽命。(如圖 3-3 所示)



圖 3-3 舢部貨艙進水示意圖¹⁷

3. 船體後部貨艙進水：在此種進水情形下，後部貨艙進水將會使得船艉部分之重量增加，進水情況嚴重時，將使得船艉部分沒入水中，增加機艙進水之可能性，造成船體更嚴重之進水情況。(如圖 3-4 所示)

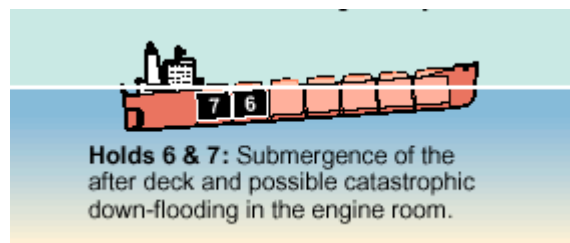


圖 3-4 後部貨艙進水示意圖¹⁸

因此就進行風險確認的過程上，針對散裝貨輪所有可能之進水情況作討論，可以略分為船體結構、貨艙艙蓋、通道與通風筒，以及貨物裝載的風險等下列四類可能造成散裝貨輪船體進水之風險因素：

4.2 船體結構的風險

在船體結構的風險上，散裝貨輪之營運上，除因船舶與其他物體碰撞外，如其他船舶、礁石等，造成船體結構上之破壞，而使得船身進水外，其他可能可能造成散裝貨輪船體結構上破壞之可能因素主要如下：

1. 船齡因素：根據 Ship Statistics and Market Review(SSMR)所統計之結果，散裝貨輪的意外事故與船齡之間有著顯著的關係，由表 4-1 所顯示之數據資料中，自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止，此期間發生海難全損之 109 艘散裝貨輪中，只有三艘船齡少於十年，且有至少九成以上發生海難之船舶船齡在十五年以上，再由表 3-8 中之統計數據中可知，發生全損海難之散裝貨輪其總平均船齡高達 22.1 年，由以上之數據資料可知，散裝貨輪發生全損海難與船舶船齡之間應有一定程度之相關。且部分船東為了節省營運成本，因此不願建造新船，因而有部分散裝貨輪船東便投機購買二手之高齡散裝貨輪來營運，此一情形在小型規模之船公司更為常見，因而更加重散裝貨輪船隊船齡老化之問題。而另一方面，在高齡散裝貨輪的保養與維修方面，船東也可能是因節省成本而抱著得過且過之心態，不願花太多的資源在船舶保養上，在船況不佳又欠缺適當保養之惡劣情形下，也因而造成高齡船舶較易發生海難之結果。

表 4-1 散裝貨輪全損海難船齡分布表¹⁹

散裝貨輪全損	0-4 年	5-9 年	10-14 年	15-19 年	20-24 年	25 年以上	總數
海難案件	2	1	8	28	38	32	109
所佔百分比	1.8	0.9	7.3	25.7	34.9	29.4	100

(自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止)

2. 船體之侵蝕船齡與船舶海難事故之所以有如此重大之關係，主要原因是因為船體腐蝕與金屬疲勞會隨著船齡的增長而日趨嚴重，部分原因是因為無可避免的日常操作所造成之耗損，或是因船貨處理不當所造成之船體損傷，再者是天氣與海浪侵襲所造成之侵蝕，而最主要的原因是由於海水對於鋼鐵船殼所造成之腐蝕。雖然在任何地方只要有水分存在都會使得鋼鐵鏽蝕，但由於海水中含有大量之鹽分，故使得航行於大洋中之船舶比起在內河航行之船舶其鏽蝕情形來得更為嚴重。對於航行於大洋上之散裝貨輪來說，除了由於持續接觸海水所造成腐蝕之外，散裝貨輪還有另外一個重要的腐蝕因素，那就是可能因所裝載之貨物特性而加速其船體侵蝕，特別是某些特別之散裝貨輪貨，其所造成之腐蝕情形更為嚴重，例如載運煤礦的散裝貨輪，由於煤礦本身可能含有硫磺，因此硫磺會與貨艙中的水分結合，經化學作用後產生硫酸，若是未做好妥善之防蝕措施，這對於船舶艙壁的腐蝕情形將更為嚴重。而在另一方面，由於散裝貨輪空船時必須利用壓艙水來保持船舶穩度，而大多數散裝貨輪都會利用某幾個固定之艙區作為壓艙之用，因此這些作為壓艙之艙位在經年累月的航行之中相較之下其腐蝕情況也就較為嚴重，而散裝貨輪之船殼厚度約 20~29mm，故若在平時未對船殼有適當之保養維護，在長期的航行之後，將會因船殼腐蝕而造成船殼厚度變薄，進而影響到船體之強度，此時只要貨物裝載不當或遭遇惡劣天候就都有可能造成海難。
3. 船體之應力與金屬疲勞：船舶在航行之中，會因為貨物裝載不當、壓艙錯誤或者是海浪之因素，因而造成船舶所受之應力改變，當船舶所受之

應力分布不均時，其將會造成船體之扭曲。船體裝載貨物之重量及其浮力，並非平均分布，意即某一局部位置之向下重力，其並不能與該處之海水浮力相等，重力與浮力之差即形成剪力²⁰，如圖 3-5 所示，該項剪力之情形在船舶各橫向艙壁處尤為嚴重，若剪力之情形嚴重時將對船體造成損害。

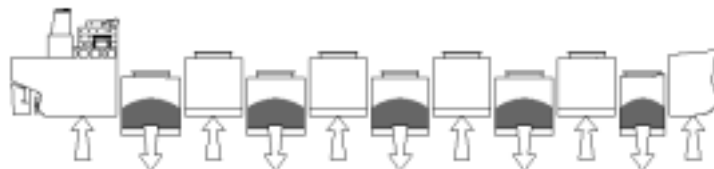


圖 3-5 船舶剪力示意圖²¹

當船舶航行於大洋之中，船體無時無刻都在接受海浪之衝擊，而當海浪之波長接近船舶長度時，或裝載貨物時將貨物集中裝載於部分貨艙時，船舶所承受之應力，將會使船舶產生所謂彎曲力矩(Bending Moment)之現象，進而使得船體產生舭拱(Hogging)與舭垂(Sagging)之效應，在產生舭拱效應時，如圖 3-6 所示，船體舭部之浮力遠超過其重力，而兩端之重力則超過其浮力，舭部之甲板承受拉應力，船底板承受壓應力，如甲板力量不夠，船體將有折斷之危險。²²

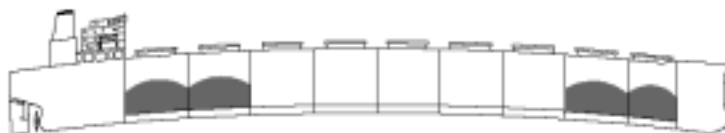


圖 3-6 船舶舭拱(Hogging)示意圖²³

而在產生舭垂效應時，其情形恰與舭拱相反，如圖 3-7 所示，船體舭部之重力遠超過其浮力，而兩端之浮力則超過其重力，舭部之甲板承受壓應力，船底板承受拉應力，如船底板力量不夠，船體也將有折斷之危險。

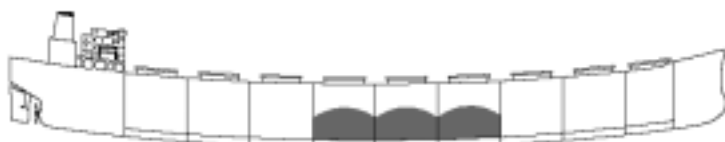


圖 3-7 船舶舭垂(Sagging)示意圖²⁴

在船舶長期營運下，上述兩效應將會使得船體不停地作反覆撓曲的動作，久而久之將會使得船舭部分產生金屬疲勞之結果，而除此之外，若當載運高密度之貨物時，為了船舶重心與穩度之考量，通常都會採取隔艙裝載之方法，而若船貨配載不均或壓艙錯誤，使得船體各艙之間所受重力不平均，此時各艙間就會有剪力產生，長久下來也會使得船體產生金屬疲勞，若此時遭遇較大之外力影響，將有可能使得船體從金屬疲勞較嚴重處斷裂因而造成海難。如在前述案例中之散裝貨輪 Flare，其就屬於此種情形，因壓艙不當造成金屬疲勞，最後導致船體斷裂而沒入海中。²⁵

4. 船體鋼材結構的風險：在船體鋼材結構的風險上，高延展性之鋼鐵在 1970 年開始被使用於造船技術上，近年來由於可以讓船壁更薄卻不失其

強度，一般而言，艙壁之厚度為 24~29mm，若使用高延展性鋼鐵，則可減低至 20mm，因此高延展性鋼材可以減少船舶重量，減低建造成本，並可以使船舶載運更多船貨，因此被廣泛使用於造船材料上。然而此一投資仍有其潛在之風險存在，由於高延展性鋼鐵和軟鋼一樣容易被腐蝕，此外由於高延展性鋼鐵較同強度之軟鋼艙壁為薄，故必較軟鋼所造艙壁更容易被腐蝕至危險之程度。另一個所存在之風險在於高延展性鋼鐵所建造之船舶有更多結構上之問題，依據在 1995 年 9 月由 Lloyd's Shipping Economist 所提出之報告顯示，高延展性鋼鐵所建造之船舶經常有扭曲之現象發生，由於高延展性鋼鐵具有彈性，因此以其為材料所建造之船舶，在大洋上航行時會隨著碎浪震動。由於增加使用高延展性鋼鐵所帶來之風險正逐漸被發覺中，許多海運學家相信，軟鋼船所存在之航行風險在船齡 20 年時開始逐漸增加，而高延展性鋼鐵船舶將會更早發現問題，由於 1980 年代所建造之船舶至今已 20 年左右，其意味著散裝貨輪之航行風險正逐漸上升，發生海難之機率將有可能到達另一個危險之高峰，必須立即採取必要之預防措施以遏阻風險之擴大。

4.3 貨艙蓋之失效的風險

在貨艙蓋之失效的風險上，以操作理由為設計特色之散裝貨輪，其通常隱含著安全上之問題，許多散裝貨輪都有極大艙門以便於裝卸，然而這些艙口實際上可能代表著船體對抗扭力時的弱點。散裝貨輪為了裝卸貨方便，通常均會有艙口加大之設計，此設計雖然利於裝卸貨，但同時也犧牲了船體之強度，而艙蓋之設計也大都採取鋼製，這些艙蓋雖然每個可能都重達數噸，但其艙蓋強度卻不與其重量成正比，所以一旦船舶遭遇超過艙蓋設計強度之風浪時，船舶就有可能遭遇危險。

另外，艙口水密與艙蓋固定也是一個相當大之問題，現在大多數散裝貨輪艙口之水密設計都是採取裝置墊圈，藉由艙蓋與墊圈之緊密結合而達成水密之效果，但墊圈經長久使用與風吹日曬等因素之影響，其可能會有變質之情形發生，使得水密之效果大打折扣，當船舶航行於惡劣天候時，船艙就有可能進水，使船舶遭遇危險。而在艙蓋固定方面，若是船員疏忽而未將艙蓋鎖扣固定，將使艙蓋喪失其應有之功能，只要有較大之風浪侵襲，就有可能使艙蓋與艙口脫離，因而造成船艙進水，如在前述案例中之 Edmund Fitzgerald，其雖遭遇惡劣天候之影響，但導致其發生海難事故之最主要原因，卻是因船員未將艙蓋妥善固定，因此貨艙蓋水密與強度發生問題，因此當遭遇惡劣天候時，無法承受所帶來之破壞力量，以至於造成海難事故之發生。

在散裝貨輪的設計方面，有些散裝貨輪因為有特殊之需要，因而有特別之船體構造設計，如上述案例中之 Gold Bond Conveyor，其為了裝卸貨方便，因而在船艙設計了一可開啟之艙口，裝貨時輸送帶由內延伸至艙門外，再將穀類或礦物等貨物置於其上，此一設計可增加裝貨時之便利性與經濟效益，但其卻成為 Gold Bond Conveyor 的沉沒原因，由於當時航行時，使用輸送帶時需開啟之後艙門實際上並未關閉，使得海水可由開啟之艙門灌進船身，更糟的是貫通整艘船之輸送帶完全沒有防水閘門的防護裝置，使得海水一旦灌入便會流向船上各個角落而無法阻止，也因此由於一道未鎖緊的艙門而造成 Gold Bond Conveyor 沉沒。

4.4 通道入口與通風管的風險

在有關通道入口與艙門方面，其情形類似於艙蓋進水之情況，但其進水之情況與後果雖然不若艙蓋進水般快速，但其一旦發生進水情況，可能要到相當嚴重之情況才會為人所發現，嚴重時將對船體結構造成損害，也對船舶航行造成影響，因此其所造成之威脅仍不能加以輕忽。

在船舶通風管結構方面，船體各艙區為通風與調節壓力之目的，均有裝設通風管之設計，但也因此一設計之結構通往船體上各個艙間，假設通風管一旦進水，海水將沿著通風管流進船體各個艙間，形成船體進水之另一種類之管道，在部分艙區嚴重進水時，其可能也將影響船舶航行之安全。

4.5 貨物裝載的風險

散裝貨輪由於其裝載特性特殊，而往往隨著貨物種類之不同，其所裝載之注意事項也不同，因此若是裝載不當往往就會造成悲劇的發生。在船貨裝載方面，由於需考慮船舶吃水與 GM 值之大小，因此貨物配艙與壓艙就顯得格外重要，尤其裝載高密度貨物時格外重要，若是貨物配艙或是壓艙不當，將有可能使船體承受額外之應力，長久下來將有可能使船體有斷裂之危險。如在 Trade Daring 案例中，其就因裝載高密度貨物時，未注意船體所承受之應力變化，加上過快之裝貨速度，因而導致船體結構之破壞，船身成 V 字型下沉至 25 公尺之水底。

伍、結論

5.1 散裝貨輪的全損風險

據 2002 年的統計資料顯示，散裝貨輪的數量居第三位，佔全球 15.1%，載重噸位則僅次於油輪，佔全球載重噸位的 34.6%。但是，依據 SSMR 之統計，自 1992 年 1 月起至 2002 年 5 月為止，散裝貨輪全損計有 109 艘，佔全球全損海難案件之 12.49%，全損載重噸損失 4,328 千載重噸，佔了所有全損案件之 37.56%。在 1990 年到 2000 年之間，平均每年有 14 艘散裝貨輪遭遇海難，66 條人命犧牲。

在海難類別上，天候因素佔全球海難總數百分比之 25.4%。但在散裝貨輪在因天候情況所造成之全損海難，卻佔所有散裝貨輪全損海難的 32.1%，顯著的高於平均值 6.75。由此不難窺出天候因素對於散裝貨輪全損之敏感性。

雖然如是，但由於散裝貨輪載運大宗散裝原物料的特殊性，裝卸貨港口的普遍偏遠、以及裝載貨物普遍沒有像油輪一般載運民眾所關心具高海洋「油」污染風險的貨品，散裝貨輪的安全議題一直沒有受到應有的重視。

5.2 貨艙進水部位與風險

造成散裝貨輪全損的主要風險來源來自於貨艙進水沉沒的風險，在中大型之散裝貨輪進水事故情況中，隨著在不同艙區之進水情況下，對於船舶之存活也有關鍵性之影響。茲歸納如下：

1. 船體前部貨艙進水：此種船體進水情況是危險性最高的一種，其將使船

體因進水而快速沉沒，一但船體前部貨艙進水，船艙將因重力之影響而使船艙沒入水中，隨著進水情況之惡化，進水艙區之水壓力快速增加，導致橫向艙壁崩壞，其他貨艙也隨後進水，如此惡性循環之結果將使船舶沒入水中，其沉沒速度之快將使船上船員沒有時間進行棄船之動作。

2. 船體艙部貨艙進水：此種進水情況，將造成船體艙部之重力大於浮力，因此產生艙垂之情況，在此種情形下，對於未進行妥善保養維修之船舶而言，可能將導致該船發生結構上之損害，減短船舶營運之壽命。
3. 船體後部貨艙進水：在此種進水情形下，後部貨艙進水將會使得船艙部分之重量增加，進水情況嚴重時，將使得船艙部分沒入水中，增加機艙進水之可能性，造成船體更嚴重之進水情況。

5.3 貨艙進水原因與風險

就進行風險確認的過程上，針對所有可能造成散裝貨輪船體進水之風險因素，區分為船體結構、貨艙艙蓋、通道與通風筒，以及貨物裝載的風險等四類。茲歸納如下：

1. 船體結構的風險：除因船舶與其他物體碰撞造成船身進水外，其他可能造成散裝貨輪船體結構上破壞之可能因素主要如下：
 - a. 船齡因素
 - b. 船體之侵蝕腐蝕
 - c. 船體之應力與金屬疲勞
 - d. 船體鋼材結構選用的風險
2. 貨艙蓋之失效的風險
3. 通道入口與通風管的風險
4. 貨物裝載的風險

5.4 風險控制的後續研究

綜觀歷年來之散裝貨輪海難案例，除因特殊因素而造成海難外，在所發生之海難案件當中，有絕大部分的因素都是由於天候不佳所引起。一艘不適航之船舶航行於大洋中，若在風平浪靜之天候下，是有可能順利完成所計劃之航程，但若不幸遭遇惡劣之天候，則天候因素將可能成為海難事故發生之重要導火線之一。也因此大自然將是船舶安全最好的檢查員，所有具有問題之散裝貨輪，將逃不過天候因素的挑戰，但在海難問題顯現的同時，不論是船員、船東、社會或自然環境都將付出重大的代價，也因此真正海難發生前，應盡可能尋找可能之預防方法，以避免發生不必要之人貨損失。

有鑒於散裝貨輪發生全損海難之高度風險，因此在後續的研究上採用國際海事組織(IMO)所認可之風險評估方法 Formal Safety Assessment (FSA)，針對散裝貨輪可能潛在海難風險進行評估，透過確認風險因素、評估風險因素、研擬風險控制策略(Risk Control Options, RCO)、風險控制策略之成本效益分析以及對風險決策之建議等五個步驟，提出因應散裝貨輪海難風險之風險控制方法(Risk Control Measures, RCM)，以提供我國航運界及政府相關機關之參考。

陸、參考文獻

- 1 ISL, Total merchant fleet-by size class and ship type as of January 1st, 2002, Shipping Statistics and Market Review, Vol.46, No.1/2, P36, 2002.
- 2 Chamber of Maritime Commerce, <http://www.cmc-ccm.com/>, October 2002.
- 3 IMO, Interim Guidelines for the Application of Formal Safety Assessment (FSA) to the IMO Rule-Making Process, 17 November 1997.
- 4 資料來源：ISL, Total merchant fleet-by size class and ship type as of January 1st, 2002, Shipping Statistics and Market Review, Vol.46, No.1/2, P36, 2002.
- 5 同前揭註 4，第 57 頁。
- 6 資料來源：ISL, Special fleets-bulk and OBO carriers-fleet development by ship type as of January 1st, 1998-2002, Shipping Statistics and Market Review, Vol.46, No.5, P27, 2002. ISL, Special fleets-bulk and OBO carriers-fleet development by ship type as of January 1st, 1993-1997, Shipping Statistics and Market Review, Vol.41, No.5, P27, 1997. ISL, Special fleets-bulk and OBO carriers-fleet development by ship type as of January 1st, 1992-1996, Shipping Statistics and Market Review, Vol.40, No.5, P27, 1996.
- 7 資料來源：ISL, Casualty returns-Reported world total losses by ship type and nature of casualty January 1992-May 2002, Shipping Statistics and Market Review, Vol.46, No.8/9, P42, 2002.
- 8 資料來源：ISL, Casualty returns-Reported world total losses by ship type and nature of casualty January 1992-May 2002, Shipping Statistics and Market Review, Vol.46, No.8/9, P42, 2002.
- 9 Mayday, Channel Discovery.
- 10 同前揭註 9。
- 11 同前揭註 9。
- 12 同前揭註 9。
- 13 LLP, Maritime Casualties 1963-1996 –second edition, 1997. p202.
- 14 同前揭註 13，P.638。
- 15 國際海事組織(IMO)網站資料，<http://www.imo.org>，2002 年 8 月。
- 16 前揭註 15。
- 17 前揭註 15。
- 18 前揭註 15。
- 19 資料來源：ISL, Casualty returns-Reported world total losses by major flags and division of age January 1992-May 2002, Shipping Statistics and Market Review, Vol.46, No.8/9, P41, 2002.
- 20 羅守平等編著，船藝，幼獅文化事業有限公司，1986 年 7 月，頁 35。
- 21 International Association of Classification Societies, Bulk Carriers : Guidance and information on bulk cargo loading and discharging to reduce the likelihood of over-stressing the hull structure, 1997,p.7
- 22 前揭註 20，頁 35。
- 23 前揭註 21，頁 7。
- 24 前揭註 21，頁 7。
- 25 IMO, Focus on IMO : IMO and the safety of bulk carriers, September 1999.

Abstract

Maritime casualties often result in tremendous losses. Between January 1992 and May 2002, there were 109 total loss maritime casualties for bulk carrier vessels worldwide. These casualties accounted for 12% of worldwide total loss casualties, however, they accounted for 38% in terms of deadweight loss, which was ranked first in deadweight loss among various types of fleet.

Maritime casualties may arise from any of the following causes, such as improper maritime policy, management and crew operations, and bad condition of ship structure, however, according to the historical cases, many casualties occurred because of the result that the above causes had interacted with each other.

Concerning the safety issues to the bulk carriers, this study focused on the total loss cases of bulk carriers and set to analysis the risk of total loss to bulk carriers and also set to employ a safety assesemt model for bulk carriers. Through a comprehensive literature review and cases study, this study investigates into the risk enbeded on bulk carriers and their environment. Based on these outcomes, the Formal Safety Assessment (FSA) could be employed to evaluate and to analyze the safety improvement measures for the bulk carrier vessels.

Key word : risk, casualty, bulk carrier