

高雄港油駁船翻覆案例之技術分析

Technical Analysis of the Capsize of Oil Barge in Kaohsiung Harbour

黃振邦* 陳彥宏**

摘要

案由 2004 年 6 月 15 日，由 435 馬力拖船「萬事通 3 號」拖帶全長 24.5 米油駁船「協進 6 號」於高雄港區內航行拖曳作業，行經第五貨櫃中心 80 至 81 號碼頭前，「協進 6 號」傾側至翻覆，所載廢油水外洩，造成部份碼頭區域和若干船舶水線帶的油污染。此案被環保署告發，及台灣國際造船股份有限公司提出損害賠償。本文就案發經過記錄、證人證辭、高雄港務局船舶海事報告書，經高雄港務局審核的駁油船建圖說等作鑑定依據，爰依造船學理、船舶穩定度原理、貨物積載學理、拖曳操作方式與實務、相關法令規則，作出分析論證本案相關的責任歸屬。

關鍵字: 拖曳作業、初定傾中心、動穩定度、自由液面效應

Abstract

This case happen on June 15, 2004, by the 435-horsepower and length over all 24.5m tug, "萬事通 no.3" towing the oil barge, "協進 No.6" in Kaohsiung harbour channel by towing navigation, "協進 No.6" was listed and finally capsized when passing 80-81 Wharf by the fifth container Centre, the contained waste oil was leaked, causing some wharfs and a number of ships' water line zone stained with oil

* 黃振邦, Chun Pong WONG, 國立高雄海洋科技大學航運技術系助理教授, 資深船長, 造船廠總經理, 國立中山大學碩士, 國立高雄師範大學博士班研究。Email: cp@jade-yachts.com

** 陳彥宏 Solomon CHEN, AFRIN, MNI, CMILT, Maritime Arbitrator, 台灣海事安全與保安研究會秘書長, 海事仲裁人, 國立高雄海洋科技大學航運技術系副教授暨海事安全研究中心主任, 英國威爾斯大學海洋事務與國際運輸學博士。Email: solomon@safetysea.org

duty. The case was denounced by EPA, and claim by CSBC for damage compensate. In this paper, base on the incident records, the witness Testimony, Kaohsiung Port Bureau maritime affair report, the oil barge building drawing approved by the Kaohsiung Port Bureau, etc., by means of ship building technical, ship stability theory, cargo stowage technical, tugging operation knowledge and practice, relevant laws & rules, for identify to make the analysis proof this case related responsibility ownership.

Key words: Tugging operation, Initial metacentre height (GM), Dynamical stability, Free surface effect.

壹、前言

海上拖帶作業一般係指承拖方用拖輪將被拖物經海路從一地拖至另一地的行爲。按使用範圍不同，可分爲港區拖帶、沿海拖航和遠洋拖航三種；按拖航的形式不同，可分爲一列式拖帶、傍拖和頂推三類。

2004年6月15日，載有約30噸廢油水的無動力油駁船「協進六號」，在小拖船「萬事通三號」的拖帶過程中翻覆、沉沒，油駁船所載的廢油水並因此污染高雄港區水域、碼頭及靠泊的船舶。油駁船所有人亦因此接受「海洋污染防治法」相關規定之處罰並支付龐大的損害賠償費用。

船舶所有人主張，無動力油駁船「協進六號」的翻覆沉沒，應係「萬事通三號」拖船船長的拖帶技術的疏忽與缺失所致。因此，船舶所有人主張，拖船船長亦應共同負擔賠償之責。

具體而言，海上拖航與海上運輸除了船舶的作用不同，權利和義務的內容有有所不同，其中，最大的差別即是，在海上拖帶情況下，承拖方只提供拖力，而不承擔對被拖物或其上所載貨物的照料之責。也因此，本案的最大爭議點即是在於被拖的無動力油駁船有沒有具適拖性(Tow-worthiness)的議題。

爲此，本研究從技術面的角度切入，探討無動力油駁船的結構、分析油駁船翻覆的主要因素、以及在油駁船有無縱向隔艙壁下產生的自由液面效應的差異與影響、拖船的拖帶方式等不同層面，對無動力油駁船的是否具適拖性進行技術性的推論與分析。期望本研究的推論發現與結果，能做爲海事事務責任釐清的一項參考依據。

貳、事故背景

2004年6月15日下午，滿進環保公司的「協進六號」油駁船由「萬事通三號」小拖船拖行，於在高雄港從事回收船舶廢油工作。拖行中，在台灣國際造船股份有限公司1船塢門前之航道，「協進六號」油駁船發生傾斜，所載廢油外洩，此時，「萬事通三號」小拖船並未立即停駛採取補救措施，仍繼續拖行至小港臨海新村漁港，嗣「協進六號」即完全翻覆，數十噸廢油不斷外漏。而所外露之油污又漂至台灣國際造船股份有限公司碼頭，造成台灣國際造船股份有限公司#1,2,3碼頭及新建之船舶N5818船(裕智輪)、N5803船(達明輪)與為他人修理之船舶R6810(榮欽輪)及汽車船(PACIFIC WINNER)水線區之油污。本案事發後，油駁船所屬滿進環保公司表示，「協進六號」總噸位一百九十噸，船上裝載油料約有三十噸，該船可能因拖帶速度太快，不慎翻覆沉沒。「萬事通三號」船長則表示，為保自身安全及避免污染港區海水，緊急將船開到附近臨海漁港，一到漁港，平臺船整艘沉沒。但無論如何，都已造成污染，滿進環保公司並接獲高雄港務局以及環保署方面的告發與以及依據「海洋污染防治法」的規定提出處罰。另因本案而蒙受損失的台灣國際造船股份有限公司也經訴訟向滿進環保公司取得損害賠償。^{1,2}

同時，據報載³，環保局發現本案「協進六號」所屬船東「滿進環保企業有限公司」是持有乙級廢棄物清除許可證，許可清除處理專案為非有害油泥、非有害有機廢液或廢溶劑、廢油，但在環保局所核發證照所核准廢油廢水船是「協進三號」，而非「協進六號」。一旦確認「協進六號」載運的是廢油料，則顯示滿進公司已違反「公民營廢棄物清除處理機構授權管理辦法」第24條「未依審查通過的申請檔內容及許可事項辦理」，同時違反「廢棄物清理法」第46條規定，「未依照許可檔內容清除處理廢棄物」。

參、拖帶爭議要點

本案爰依民法第28條(法人侵權責任)⁴：「法人對於其董事或其他有代表權之人因執行職務所加於他人之損害，與該行為人連帶負賠償之責任。」之精神，滿進環保公司自應負起應有責任。如該公司又確如報載所云以一艘未經許可的「協進六號」油駁船執行業務，則其責任比例就又更值得思考了。

¹ 臺灣高雄地方法院民事判決，裁判字號：94年訴字第1907號，裁判日期：民國96年10月31日，資料來源：司法院。

² 油駁船協進六號翻覆 化武東面臨吊照與刑責，6/17/2004，<http://epochtimes.com/gb/4/6/17/n571611.htm>, accessed on 10 July 2010.

³ 協進六號油駁船今日下午沉沒於小港臨海新村漁船渠，https://web02.mtnet.gov.tw/new/readnews.jsp?newsid=13364&tid=boardnews_auto, accessed on 10 July 2010.

⁴ 民法第28條(民國99年05月26日修正)，法源法律網，<http://db.lawbank.com.tw/FLAW/FLAWDOC01.asp?lsid=FL001351&lno=28#>, accessed on 10 July 2010.

惟本研究所關注者，係從技術面之考量分別探討拖船、被拖船以及翻覆的總體原因等三大技術性的議題。

至於另據云：被拖船上的船員可能因未具證照，未具妥善裝貨的知能，而造成被拖船之所謂不具適航性的部份，雖具法理性值得探討的議題，惟關於此議題，在本研究中暫不予考量，僅考量其裝載貨物之結果是否構成導致翻覆之因素部分，茲此宜先敘明。

3.1 翻覆的主要原因

油駁船翻覆的主要原因主要分為：(1)船舶穩度的問題；(2)液態貨物產生的自由液面效應的問題^{5,6,7,8}。

1 船舶穩定度(Stability)：船舶航行於海上，受到風浪與外力之影響而傾斜，當船體傾斜後，產生一使船體再恢復平正之力量的性能，稱為船舶穩定度或稱之船舶穩度。因為，船舶靜止於正浮位置時，船體之重心(Centre of gravity, G)與水壓力，對船體之浮力中心(Centre of buoyancy, B)，應在同一垂直線上，且成平衡狀態，當船體傾側一角度後，其排水形體改變，浮力中心移動至一新位置，而船體重心未變動，因此浮力中心與重心不在同一垂直線上，而形成一力矩，此時將產生一定傾中心，由重心至定傾中心(Transverse metacentre, M)之距離，稱為定傾高(Initial metacentre height, GM)，定傾高數值之大小，即為船體初穩定佳衡量之標準。定傾高數值大之船舶，稱高穩度船，反之為低穩度船。穩度相關名詞，分述如下：

- (1) 重心(Centre of gravity, G)：以船舶為例，即該船所有質量的集中點，物體的重力亦相當於重量經由此點與水面垂直向下作用。
- (2) 浮力中心(Centre of buoyancy, B)：船舶於水面下之體積中心，其力量與大小和船舶總重相等，但方向相反。

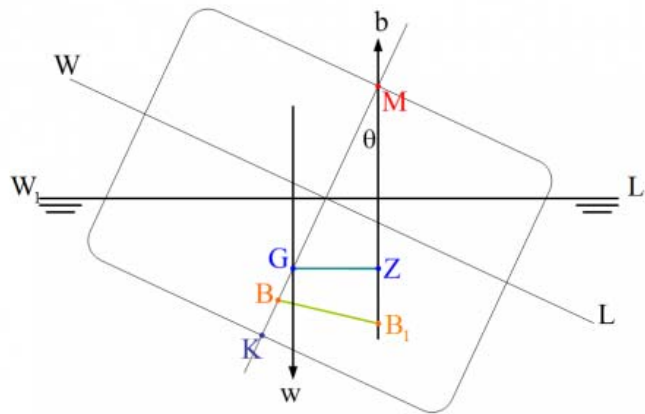
⁵ Barrass B., Derrett D.R., Ship Stability for Masters and Mates, Sixth Edition, Butterworth-Heinemann, 2006, London. <http://meda.ntou.edu.tw/martran/>

⁶ 國立台灣海洋大學-海洋教育-海洋數位典藏-海洋運輸-貨物作業基本知識, <http://meda.ntou.edu.tw/martran/>, accessed on 01 Aug 2010.

⁷ Dokkum, K., Ship knowledge : ship design, construction and operation, Enkhuizen, Netherlands : DOKMAR, 2008.

⁸ Rhodes M., Ship Stability OOW, Witherby Seamanship International, London, 2009.

- (3) 定傾中心(Transverse metacentre, M)：當船舶總重不變而船身傾斜時，其重心不變但會產生新的浮力中心，則同時通過新浮力中心與水面垂直之直線和重心與原浮力中心之直線的交點即是。
- (4) 預留浮力(Reserve buoyancy)：指船舶在水線以上密閉空間的體積。可用該體積和船舶全部體積的百分比加以表示。
- (5) 扶正力矩(Righting moment)：船受外力傾斜後，能使其恢復平正之力矩。
- (6) 扶正力臂(Righting level)：船舶受外力傾斜後，重心、新浮力中心與穩定中心連線之垂直距離。



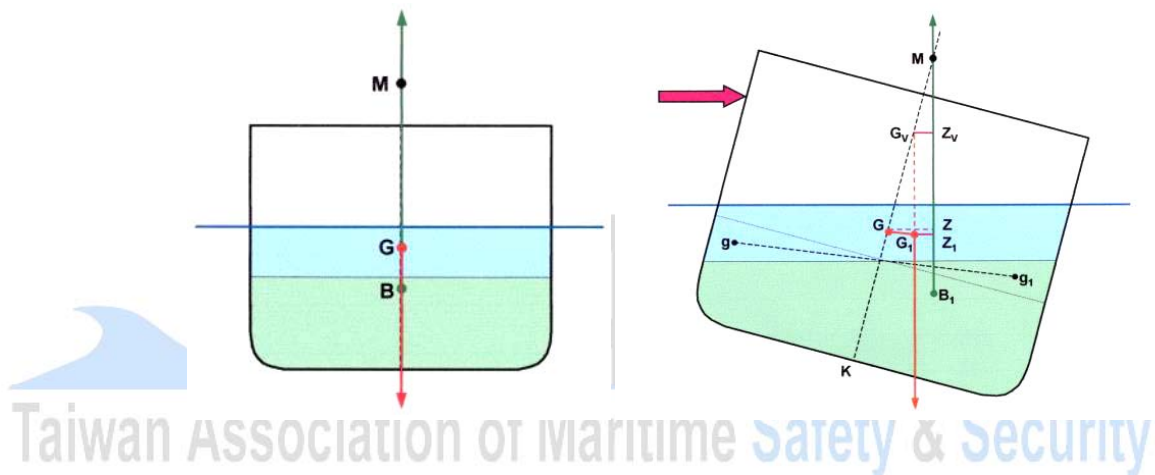
圖一、穩度名詞示意圖

說明：GM：穩心高度；KG：重心高度；KB：浮心高度；KM：橫向穩定中心；BM：穩定中心半徑(Metacentric radius)；GB：重心到浮力的距離；GZ：扶正力臂。

2 自由液面效應(Free surface effect)：當船舶艙櫃內液體或散裝貨物未能裝滿，或甲板上有流動液體或物體時，在船舶左右傾斜的過程中，其表面會自由移動向較低處以保持水準。自由液面所產生的水準運動使船舶重心位置改變、傾斜度增加、回復力臂減少，對船舶穩度之影響，輕則搖晃週期增長；重則翻覆。茲略釋如下：

- (1) 在初始正平向上的狀態，任何事看來都很平常，但是，當船舶因外力而再一次傾側而產生一小傾角，一個三角錐形的液體將轉移至低的一舷(gg1)，就像一個重物移動，而船舶的重心(G)將會平行移動相同方向(GG1)。

- (2) 在這個例子中扶正力臂將由 GZ 減少至 G_1Z_1 。扶正力臂 G_1Z_1 與 GZ 是相同的，只因爲重心(G)向上升至 G_V 。 G_V 是因油水艙的自由液面效應而使 G 垂直虛升的點。(G 是沒有實質的上升，而是液體在艙內所產生的力矩有著 GZ 值的因素，若 G 有實質的上升，但我們將稱之爲「虛升的重心(G)」)因此： GM 爲固態效應的 GM ， G_vM 爲液態效應的 GM 。
- (3) 艙內的自由液面效應之 GM 值的計算對船舶來說是相當重要的，未滿的油水艙數的增加將會嚴重的使 GZ 喪失，因此，所有未滿的油水艙的增加是必須計算的。因船舶傾側時液態的 GM 值的上升是必須要考量到因液態力矩的產生而使 GZ 值減少。當船舶回復至正平向上的狀態，船舶重心(G1)將回到原來的船舶重心(G)的位置。

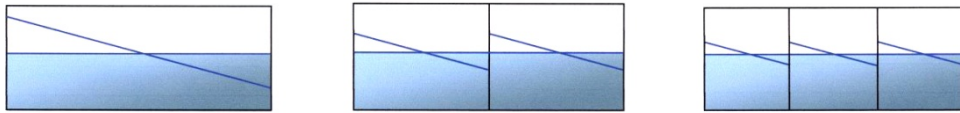


圖二、自由液面效應圖

3.2 油駁船的裝載議題

本議題首先涉及油駁船的是否具備適載性的議題以及油駁船是否有妥善裝載貨物的議題。

- 1 油駁船有無縱向隔艙設計的問題：由於船舶之橫向寬度對自由液面所能影響程度的關鍵性最大，故採用縱向隔艙法可以有效減少其產生自由液面效應的機會。因此，如油駁船船艙間有縱向隔艙壁是可以防止液體移動區間，也可以減少自由液面效應。一般而言，分隔爲兩個相等艙間後，自由液面效應將會減少至原來數值之四分之一。分隔爲三個相等艙間後，自由液面效應將會減少至原來數值之九分之一。因此，當自由液面效應產生時可以下式說明之： $\frac{1}{N^2}$ 。



圖三、縱向隔艙與自由液面效應

2 油駁船貨艙是否具水密的議題部分，牽涉是否造成當船舶傾側至一定角度時，海水泛過未水密的艙口，造成海水流入貨艙，直接造成浮力的損失以及加劇自由液面效應的力度。

3. 拖船拖帶技術議題

本案船舶拖帶的議題牽涉的主要是拖帶的連結方式是否合宜以及拖帶的技術是否有缺失的部分。

首先，拖船之分類，若單純以使用功能來加以區分，可區分如下為：(1)港勤拖船(Harbour Tugs)；(2)護航拖船(Escort Tugs)；(3)搜救拖船(Rescue And Salvage Tugs)；(4)消防拖船(Fireboats)；(5)探勘研究拖船(Research Tugs)。若以作業水域來區分，則可區分為：(1)遠洋拖船(Ocean Going Tugs)；(2)近洋拖船(Coasting Tugs)；(3)港勤拖船(Harbour Tugs)；(4)河川拖船(River Tugs)；(5)運河拖船(Canal Tugs)。

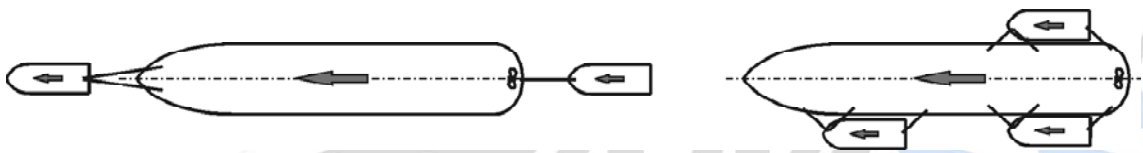
至於決定拖船拖帶能力有下列幾個要點：(1)拖船穩性(Stability of the tug)；(2)拖船的重量(Weight of the tug)；(3)拖船推進力及繫纜拖力的大小(Engine power, bollard pull)；(4)推進器型式(Type of propulsion)；(5)推進器位置及其與拖帶時施力點的關係(Location of the propeller with regard to the point of application of towing force)；(6)提供拖帶服務的作業方式(Method of rendering assistance)。

綜上，其實，不管按使用功能分抑或是作業水域分，本案的「萬事通 3 號」其實都還排不上一般專業所云之拖船的定義。勉強分類，或許可以歸類為在內河水域拖帶無動力駁船的河川拖船。至於在其拖帶能力的考量上，因其只不過是等同一艘小噸位的普通船舶，因此，首要考量者即是其提供拖帶服務的作業方式。一般而言，拖帶作業方式有以下幾種方法：

- (1) 拖頭：指用拖纜將被拖船的船首與拖船連結在一起的拖帶方法。
- (2) 拖腰：指用拖纜將被拖船的船中附近的部位與拖輪連結在一起的拖帶方法。

- (3) 拖尾：指用拖纜將被拖船尾部與拖輪連結在一起的拖帶方法。
- (4) 頂尾拖頭：指先用拖輪船首頂推被拖船的船尾至適當角度後再拖頭的一種拖帶方法。
- (5) 頂推：指拖輪用船首頂推被拖船的拖帶方法。
- (6) 傍拖：指拖輪用首纜、肩纜、尾纜、橫纜和被拖船連成一體的拖帶方法。
- (7) 吊拖(尾拖)：指被拖船通過拖纜套掛在拖輪鉤上或直接連接在拖輪絞纜機上的一種拖帶方法。

雖然可以細分為上述七類方式，但從施力的角度，可以簡分為縱向施力的拖或頂，以及橫向施力的拖帶⁹。(如下圖)



圖四、船舶拖帶方式示意圖

- (1) 縱向施力的拖帶：形式為拖船在前，被拖船舶在後，兩者相隔較大的距離，通過拖纜牽引被拖船舶。在拖纜長度大於 7 倍拖船長度的情況下，吊拖船組較綁拖船組具有更小的航行阻力。在海上拖帶時，拖纜長度不小於 200m。被拖船舶越大，拖航速度越高，拖纜應越長。天氣越壞，拖纜也應越長。吊拖能充分發揮拖船的牽引力，適用於海上長距離拖帶作業，是海上拖航的主要方式。
- (2) 縱向施力的推頂：方式是將拖船的船頭用纜索或頂推裝置繫固於駁船的船尾，推動駁船隊前進。其優點是操縱性好，船隊的阻力較吊拖小，推輪能發揮更高的推進效率，因此在內河運輸中推廣使用。頂推的方式也常用於協助巨型船舶在港內掉頭。
- (3) 橫向施力的拖帶(旁靠拖曳)：為船靠船拖帶，拖船繫綁在被拖的船艙後部的舷邊進行拖帶。其優點是船隊長度短，操縱駕駛較靈活，適合於港內和江

⁹ Hensen Henk, Tug Use in Port: A Practical Guide, 2nd Ed., 2003, The Nautical Institute, U.K.

河狹窄航道中的拖帶，以及協助駁船靠離碼頭等作業，因此在港口和錨地中也經常使用這種拖帶方式。

第一種拖帶方式需有寬廣水域與足夠迴轉空間，必須放長拖纜才不至於被俾葉流影響以減緩拖曳速度，高雄港港區礙於空間之限制，較不適宜。第二種推頂方式、第三種旁靠拖曳因與兩船結成一體，操控性應較為靈活，雖較適合狹窄水域拖曳作業，但拖船「萬事通 3 號」與被拖船「協進 6 號」間缺乏相當設備做匹配，客觀上也不能使用這種(第二種、第三種)方式拖曳。

案發當天「萬事通 3 號」船長係依過去經驗將上開第一種之拖曳方式稍作改良，以單邊拖纜繫掛於右纜栓拖曳，藉拖曳角度之調整，始拖曳力量與俾葉流同時作用於駁船，形成駁船「協進 6 號」與拖船「萬事通 3 號」平行前進合力，因此上開方式係依拖船與被拖船之性質選擇適合當前環境之拖曳方式，依海事資料顯示「萬事通 3 號」船長主要考量下列理由：

- (1) 拖曳之初被拖駁船(協進 6 號)會有歪斜現象，但拖曳若干長度後，拖船之俾葉流會將被拖船推正，被拖船之船體仍然與拖船保持平行方式前進，不被俾葉流影響，亦可縮短拖纜長度。
- (2) 「協進 6 號」船艏僅右舷有導引拖纜之牛角栓。
- (3) 「協進 6 號」有二根護管，旁靠拖曳會受擠壓外版結構容易受損。
- (4) 旁靠拖曳轉向被拖船之一邊比較容易，但不容易轉向另外一邊。
- (5) 推頂被拖船(協進 6 號)又無特殊凹槽，前進方向容易受到風浪影響。

上述「萬事通 3 號」船長採用使駁船「協進 6 號」與拖船「萬事通 3 號」平行前進合力的拖曳方法確實有專業之考量，形式上並無不妥，亦無違反港區之規定。

一般拖船港內拖帶速度的確定，乃取決於拖帶過程中維持拖帶作業期間安全航行運轉控制、拖纜是否在安全負荷範圍、相關港內限制、被拖船適航能力。依前述可見本案以後拖方式乃屬合理。而就拖纜是否在安全負荷範圍來看，拖帶速度取決於拖船剩餘推力的多少，並受到拖纜強度和被拖纜阻力的限制，而且被拖纜的阻力必須小於拖纜的安全強度；本案過程中拖纜未見有任何異狀的報告，故不受此因素影響。再從相關港內限制觀點來看，依高雄港船舶航行規定(99.7.15 修正)之第六條「船舶在高雄港港區內航行時，應以安全速度航駛…」，又第十二條「本港海氣象

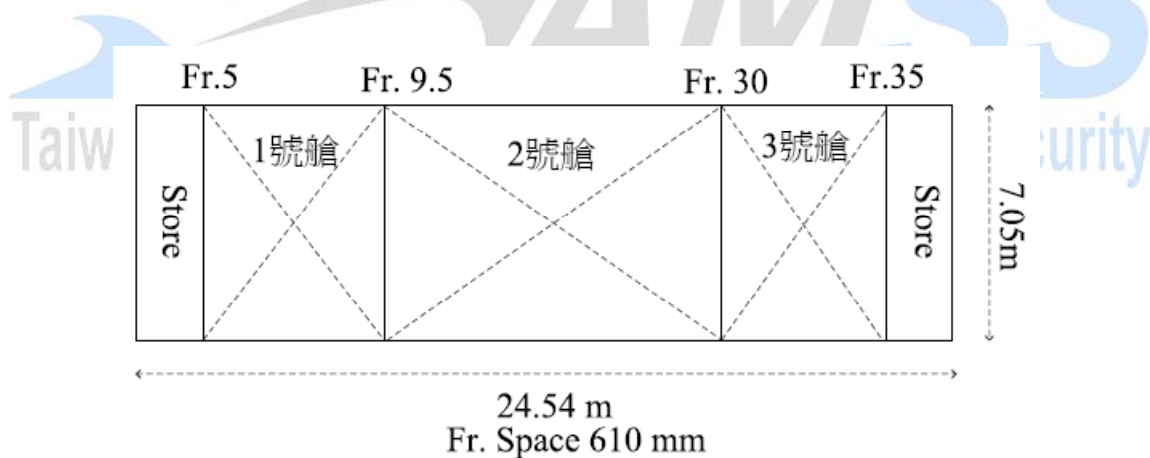
異常依下列基準執行船舶進出港管制:「...風力達七級以上時...」，相較於當事人海事報告稱風力約三級，海浪二級，航速 3.5 節，可見拖帶作業環境遠在限制條件之下。依被拖船適航能力來分析，參看高雄港務局船舶海事報告書附件二該油駁船建造圖說上，蓋有高雄港務局船舶審核合格印章，依此表示該油駁船依圖建造後，在高雄港港區內相關港內限制，如依該油駁船設計方式裝載油貨，就被拖船本身應屬適航。

肆、爭議事項分析

承上所述，拖帶方式既無不妥，故造成本案翻覆原因，主要仍繫於油駁船的扶正力矩不足以及自由液面效應所致爾。因此，宜先釐清油駁船的基本資料，茲分述如下：

4.1 油駁船基本背景

經交通部高雄港務局發文(高港技術字第 0920000539 號)附件之「施工說明書」可見「協進 6 號」本是「鋼質結構的駁船，總長 24.54M 寬度 7.05M 深度 2.4M 設計吃水 1.8M……為港內及沿岸自航式駁船，將改裝為廢油駁船」。及依同發文中附件之圖說及噸位證書得改裝後的廢油駁船資料如下：



圖五、本案廢油駁船相關尺寸圖

- (1) 全長 L.O.A. : 24.54M
- (2) 模寬 B : 7.05M
- (3) 模深 D : 2.40M

(4) 設計吃水 DRAFT : 1.80M

4.2 油駁船自由液面效應與重心變化演算¹⁰

演算本案油駁船貨載與自由液面效應下的重心變化與傾側角度：

1 滿載排水量¹¹ \approx 228 公噸

滿載排水量 = 船長 \times 模寬 \times 設計吃水 \times 方塊系數(Cb)¹² \times 海水密度

滿載排水量 = 24.54m \times 7.05m \times 1.80m \times 0.95 \times 1.025 = 303.2(公噸)

又依公證報告所述滿載噸數為 75 公噸

依公式：船舶載重量 = 滿載排水量 - 輕載排水量

故得：75 公噸 = 303.2 公噸 - 輕載排水量

輕載排水量是 \approx 228 公噸

2 輕載吃水 = 1.35M

排水量 = 船長 \times 模寬 \times 設計吃水 \times 方塊系數 \times 海水密度

故得：

228 公噸 = 24.5M \times 7.05M \times 0.95 \times 1.025 \times 輕載吃水

輕載吃水 = 1.35M

3 貨載容積計算：

貨艙長度由 5 號筋材至 35 筋材(參看上圖)

¹⁰ 郭福村等，船舶穩定度，第三章(船舶的平衡及穩定度分類)，pp.25~52，建工，高雄，2008。

¹¹ 依亞基米得公式計算

¹² 因箱形船 Cb \approx 0.95

$$= (Fr5-Fr35) \times 610\text{mm} = 30 \times 0.61\text{m} = \text{第一至三或艙全長}$$

貨載容積 = 貨艙長度 × 船寬 × 模深 × 結構造成容積空間損失

$$= 18.3\text{m} \times 7.05\text{m} \times 2.40\text{m} \times \text{結構造成容積空間損失}$$

$$= 309.6 \text{ m}^3 \times \text{結構造成容積空間損失}$$

故與噸位證書前述 305 m³ 符合。

4 裝載液體廢油水貨物：

重量預估 30 公噸：依前述如與貨主由外輪船排出應有之估算為 30 公噸(依海事報告中預估為廢油水為 25.22 公噸及或承租人所述 30 公噸及現場工人楊泰文所說的 30 公噸，差距不大；且依船上作業慣例此廢油水由商船排出，而商船上對廢油水排出因法令要求而非常仔細，通常有測量的規定及制度，均應採信 30 公噸更為可信)。由於外輪多用重油，密度較重，多含大量污水，密度更大，維修保養造成的排放也有滑油，密度較輕，平均約估算廢油水密度為 0.8t/m³。

5 浮心至定傾中心高度(BM)

裝載 30 公噸污油水吃水 = 空船重 + 污油水重

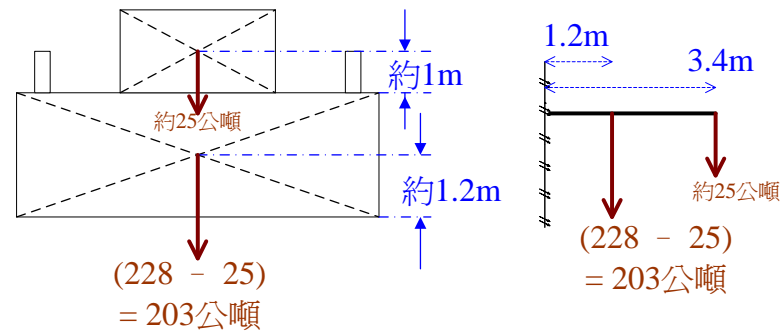
$$= 228 + 30 = 258 \text{ 公噸}$$

$$\begin{aligned} \text{裝載吃水} &= \frac{\text{排水量}}{\text{船長} \times \text{船寬} \times \text{方塊係數} \times \text{海水密度}} \\ &= \frac{258\text{KT}}{24.54\text{m} \times 7.05\text{m} \times 0.95 \times 1.025\text{KT}/(\text{M})^3} = 1.53\text{m} \end{aligned}$$

$$\text{箱形船 BM 公式} = \frac{\text{船寬}^2}{12 \times \text{吃水}} = \frac{7.05\text{M}^2}{12 \times 1.53\text{M}} = 2.70\text{M}$$

6 油駁船重心位置

依造船廠經驗估算，油駁箱形船船體結構平均，故船體重心應位於接近中心，離基線接近 1.20M(參看下圖)，而在經高雄港務局船舶建造審查的圖說附件二佈置圖所見，甲板上設有小型艙間、發電機、泵、艙蓋、管路、艙品及舷牆等雜物，約重為 25 公噸，重心應約為離主甲板平面 1M。



圖六、船舶重心位置估算圖

故依力積原理油駁船重心位置(KG)應為

$$KG = \frac{203 \text{ 公噸} \times 1.2\text{M} + 25 \text{ 公噸} \times 3.4\text{M}}{228 \text{ 公噸}} = \frac{328.6}{228} \text{M} = 1.44\text{M}$$

7 船舶初定傾中心(GM)：

依上列數據得 KM(定傾中心高)=KB(重心高)+BM(浮心至定傾中心高)

$$\text{箱形船 } KB = \frac{1}{2} \times \text{吃水} = \frac{1}{2} \times 1.53\text{M} = 0.765\text{M}$$

$$KM = KB + BM = 0.765\text{M} + 2.70\text{M} = 3.465\text{M}$$

$$GM = KM - KG = 3.465\text{M} - 1.44\text{M} = 2.025\text{M}$$

8 貨物移動造成了傾側：

因本貨物為自由流動的液體，故應加上自由液面效應修正量

$$GM \text{減少值} = \frac{\text{船艙長} \times (\text{艙寬})^3 \times \text{污油水密度}}{12 \times (\text{排水量})}$$

$$= \frac{(35 - 5) \times 0.61 \text{ M} \times (7.05\text{M})^3 \times 0.80\text{KT}/(\text{M})^3}{12 \times 258\text{KT}} = 1.657\text{M}$$

故修正GM = 2.025M - 1.657M = 0.368M

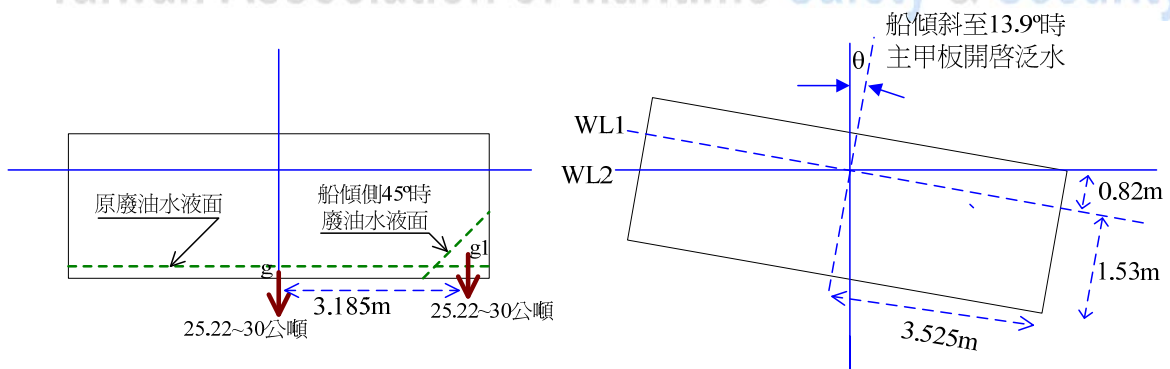
因貨物移動造成船重心的移動 GG₁

$$GG_1 = \frac{\text{貨物移動的力矩}}{\text{排水量}} = \frac{30 \text{ 公噸} \times 3.185\text{M}}{258 \text{ 公噸}} = 0.37\text{M}$$

因貨物移動造成船舶傾側角度 tanθ

$$\tan\theta = \frac{GG_1}{GM} = \frac{0.37\text{M}}{0.368\text{M}} = 1.005$$

$$\theta \approx 45.1^\circ$$



圖七、廢油水重心因傾側而產生移動 圖八、駁油船傾側 13.9°時主甲板泛水

9 海水泛上主甲板的傾側角度 (如上圖所示)

油駁船 模深 D : 2.40M

裝載吃水 = 1.53M

船舶平正時水線距主甲板高度 = 2.40M - 1.53M = 0.87M

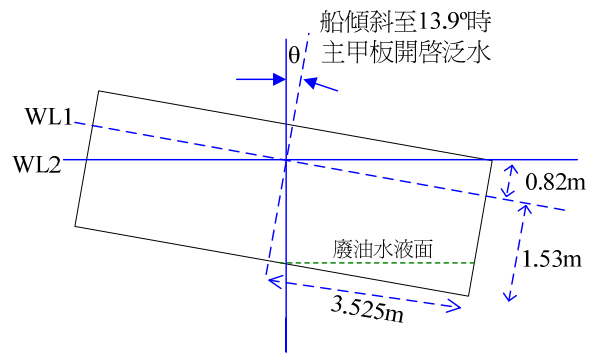
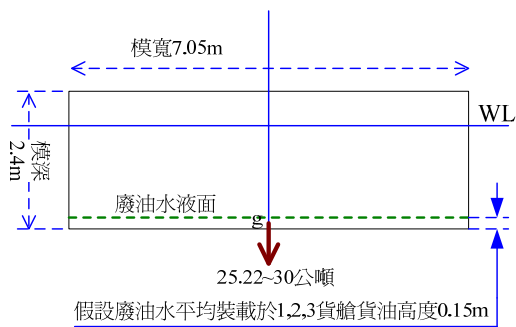
$$\tan\theta = \frac{\text{水線距主甲板高度}}{\text{二分之一船寬}} = \frac{0.87\text{M}}{3.525\text{M}} = 0.2468$$

$$\theta \approx 13.864^\circ$$

4.3 主要爭議論述

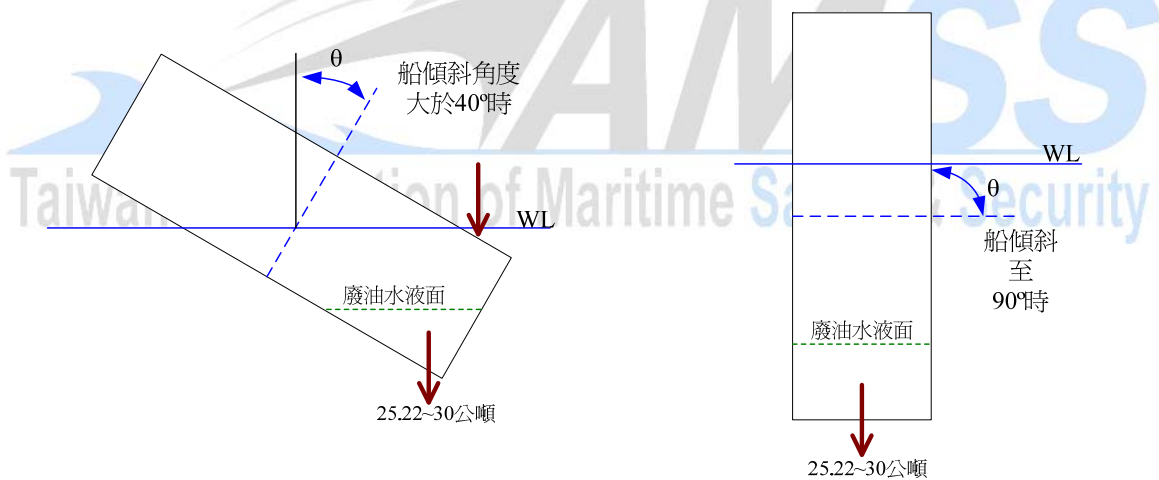
油駁船有否可能因自由液面效應作用而翻覆的爭論要點：

- 1 依協進六號油駁船之噸位及船舶體積，如裝載約 25.22 噸至 30 噸廢油是有足夠翻覆的可能。依協進六號經交通部高雄港務局發文(高港技術字第 0920000539 號)附件之「施工說明書」的圖說，包括船舫剖面圖(Midship Section)及一般佈置圖資顯示，明顯可見船舶的結構並沒有任何縱向隔艙壁(此點與「萬事通 3 號」船長之證明相同)。
- 2 又依「萬事通 3 號」船長海事筆錄每貨油艙均裝載約半艙，就依本船舶設計，適合的裝載貨油艙間為 1.2.3.艙，在各艙未滿艙裝載情況，及依海事報告中預估為廢油水為 25.22 公噸及或承租人所述 30 公噸及現場工人楊泰文所說的 30 公噸，差距不大；且依船上作業慣例此廢油水由商船排出，而商船上對廢油水排出因法令要求而非常仔細，通常有測量的規定及制度，均應採信 30 公噸更為可信。
- 3 依經交通部高雄港務局發文(高港技術字第 0920000539 號)附件之「施工說明書」的圖說所記的容積及船艙尺寸，剖面示意如下圖左。因液體貨物容易流動而不穩定，倘有裝載不當，液體貨物開始流動，便輕易可使油駁船船身傾側到下圖右之狀態。



圖九、原廢油水裝載情況 圖十、廢油水移動造成船體傾斜

- 4 依本文計算(參見前節詳細推論及計算)，當 30 公噸油水如移動至下圖左，可使油駁船船身傾側達 40° ($\approx 45.1^\circ$) 以上；而且依計算當船身傾側 13.86° ，海水已泛過主甲板面，於此傾側角度時，亦為船舶獲得最大的扶正力矩，當傾側角度超過此角度後扶正力矩便漸減，使船舶更容易傾到下圖左和下圖右之狀態。



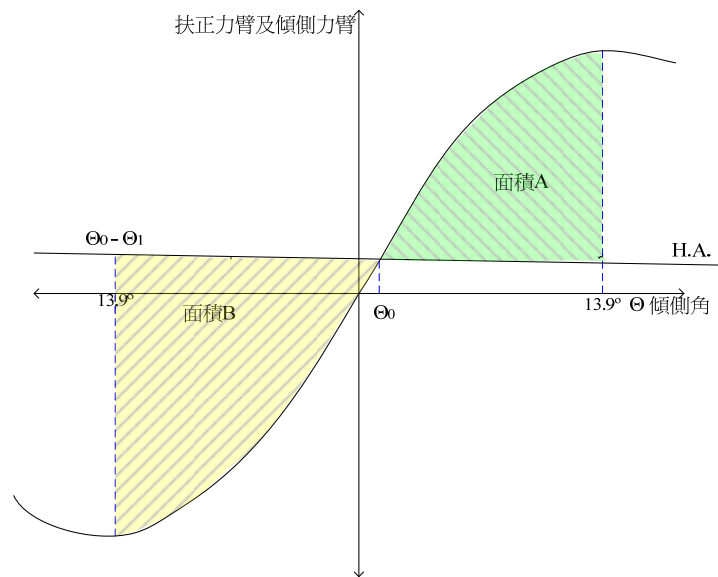
圖十一、廢油水移動造成傾斜角大於 40° 圖十二、廢油水移動造成傾斜角大於 90°

復因油駁船未具水密故，當海水已泛過主甲板面時，極可能造成海水進入油駁船貨艙，也使得貨艙污油水量增加，依同樣的計算式推演，只是更減少其穩性，換言之，更可能傾覆。

- 5 船，是一個會移動的載具；海，也是一個持續運動的的載體；而本船的貨(廢油水)更是一個會隨之運動的液體。在本案中，三者交互作用下的效果如何？茲此說明有關造成液體貨物(廢油水)移動的原因如下：

就該油駁船裝載液體貨物(廢油水)的動穩定度分析，作出近似穩定曲線圖如下圖：

13



圖十三、穩定度曲線圖

依箱形船公式：

$$\theta_1 = 109 \times k \times x_1 \times x_2 \times \sqrt{(r \times s)} = 109 \times 0.7 \times 1 \times 1 \times \sqrt{(0.676 \times 0.1)} \\ = 19.838^\circ$$

$$\theta_1 = 19.838^\circ > \text{泛水角 } 13.9^\circ$$

穩定曲線圖 A 及 B 兩面積座標最大傾側角取至泛水角。

又

圖中傾側外力力矩 $H.A. = (F_w \times z) / \text{船舶排水量}$

¹³ 陸盤安，造船原理(船舶動力學)，第三章(運動方程式)，pp.115~186，五南，台北，1997。

當時風力 3 級，故風壓力 $P = 3\text{kgf/m}^2$ ； $v = 5\text{m/s}$

側風面積 $A = \text{當時乾舷 } 0.87\text{M} \times \text{船長 } 24.54\text{M} = 21.35\text{M}^2$

故

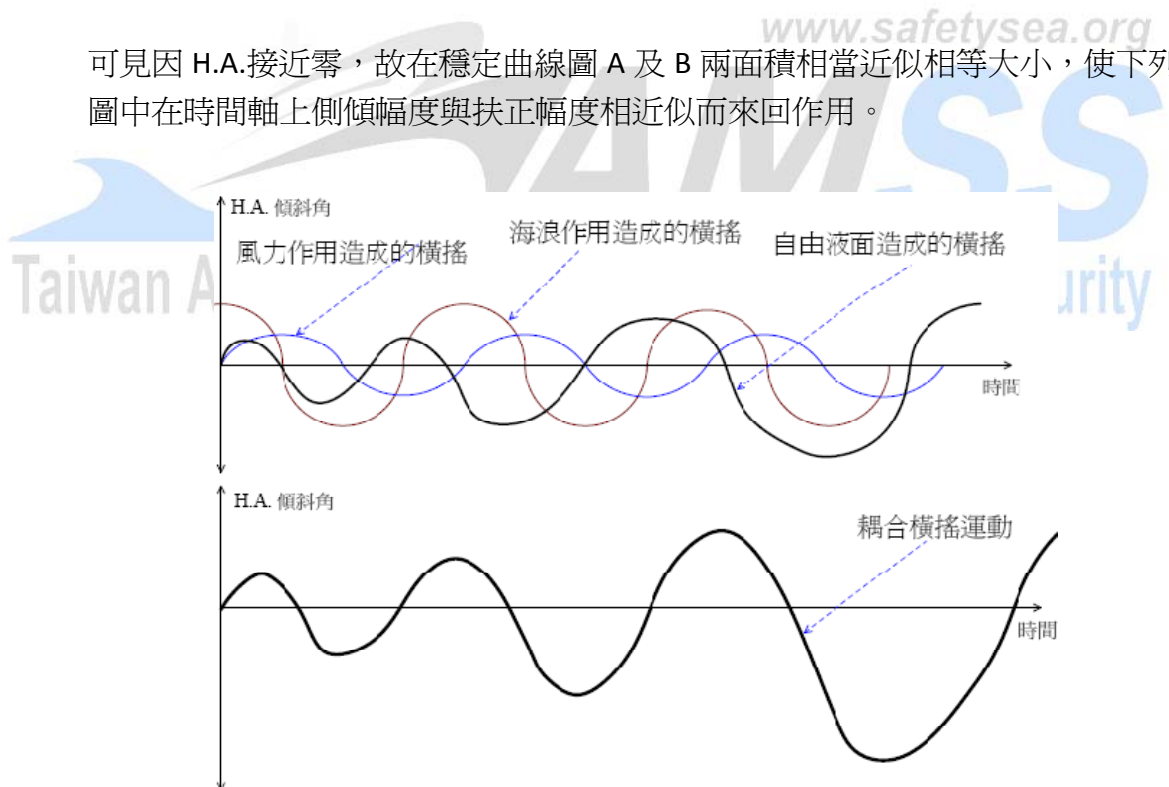
$$F_w = P \times A = 0.07362\text{MT} \times 21.35\text{M}^2 = 0.064\text{MT}$$

當時乾舷 0.87M ，水面側風壓高於水線上 0.435M ， KG 如前(7)述 1.44M

側風壓力矩中心高 $z = 2.4\text{M} - 1.44\text{M} - 0.435\text{M} = 0.525\text{M}$

$$\begin{aligned} \text{H.A.} &= (F_w \times z) / \text{船舶排水量} = (0.064\text{MT} \times 0.525\text{M}) / 258\text{MT} = 0.0001\text{M} \\ &= 0.1\text{mm} \end{aligned}$$

可見因 H.A. 接近零，故在穩定曲線圖 A 及 B 兩面積相當近似相等大小，使下列圖中在時間軸上側傾幅度與扶正幅度相近似而來回作用。



圖十四 A、(上圖) 風、波浪、自由液面各自影響下的橫搖曲線；

圖十四 B、(下圖) 風、波浪、自由液面各作用耦合成有發散趨勢的橫搖曲線

依搖擺週期公式

$$\text{週期 } T = 2 \times C \times B \times \sqrt{GM}$$

如前得數據：

B 船寬 = 7.05M，d 吃水 = 1.53M，L 船長 = 24.54M

GM'修正後 GM = 0.368M

$$C = \frac{(0.373 + 0.023 \times (B/d) - 0.043 \times (L/100))}{0.01055} = 0.468$$

代入搖擺週期公式

$$\text{週期 } T = 2 \times C \times B \times \sqrt{GM} = 2 \times 0.468 \times 7.05M \times \sqrt{0.368M} = 0.6\text{sec}$$

依船舶運動方程式¹⁴ $m\ddot{x} + C\dot{x} + kx = 0$

其中 m = 質量，C = 阻尼係數，k = 彈性係數

求解

$$\text{令 } x = e^{\mu}$$

$$\text{得 } e^{\mu}(m\lambda^2 + C\lambda + K) = 0$$

$$\text{因 } e^{\mu} \neq 0$$

$$\text{故 } m\lambda^2 + C\lambda + K = 0$$

$$\text{得 } \lambda = (C/2m) \pm \sqrt{(C/2m)^2 - (k/m)}$$

¹⁴ 陸盤安，造船原理(船舶動力學)，第三章(運動方程式)，pp.115~186，五南，台北，1997。

又臨界阻尼係數 $C_c = 2m \times \sqrt{(k/m)}$

海水為低阻尼係數 $C_c > C$ ；阻尼係數 $C/C_c < 1$

又自然頻率 $Pd = \sqrt{((k/m) - (C/2m)^2)}$

故綜合上面分析，該油駁船動穩度面積 A 與 B 相似，若有傾側力矩之產生，即使為微小的側風和側浪，有如當時的 3 級風力和 2 級海浪，亦會產生來回橫搖 (rolling) 的可能，產生如上圖曲線 a；再者，如果加上側面不同週期的海浪，產生如上圖曲線 b。前兩者的橫搖週期如果與因液體貨物因如前述沒有縱向隔艙壁而來回移動，產生發散性來回橫搖頻率如上圖曲線 c。¹⁵

又因油駁船所浮於海水之上，海水為低阻尼係數；故此在當時有側面風浪作用下，祇要油駁船橫搖週期 T 與自然頻率 Pd 偶遇相合，便會產生橫搖共振，而擺幅依發散性來回發散擴大至翻覆。

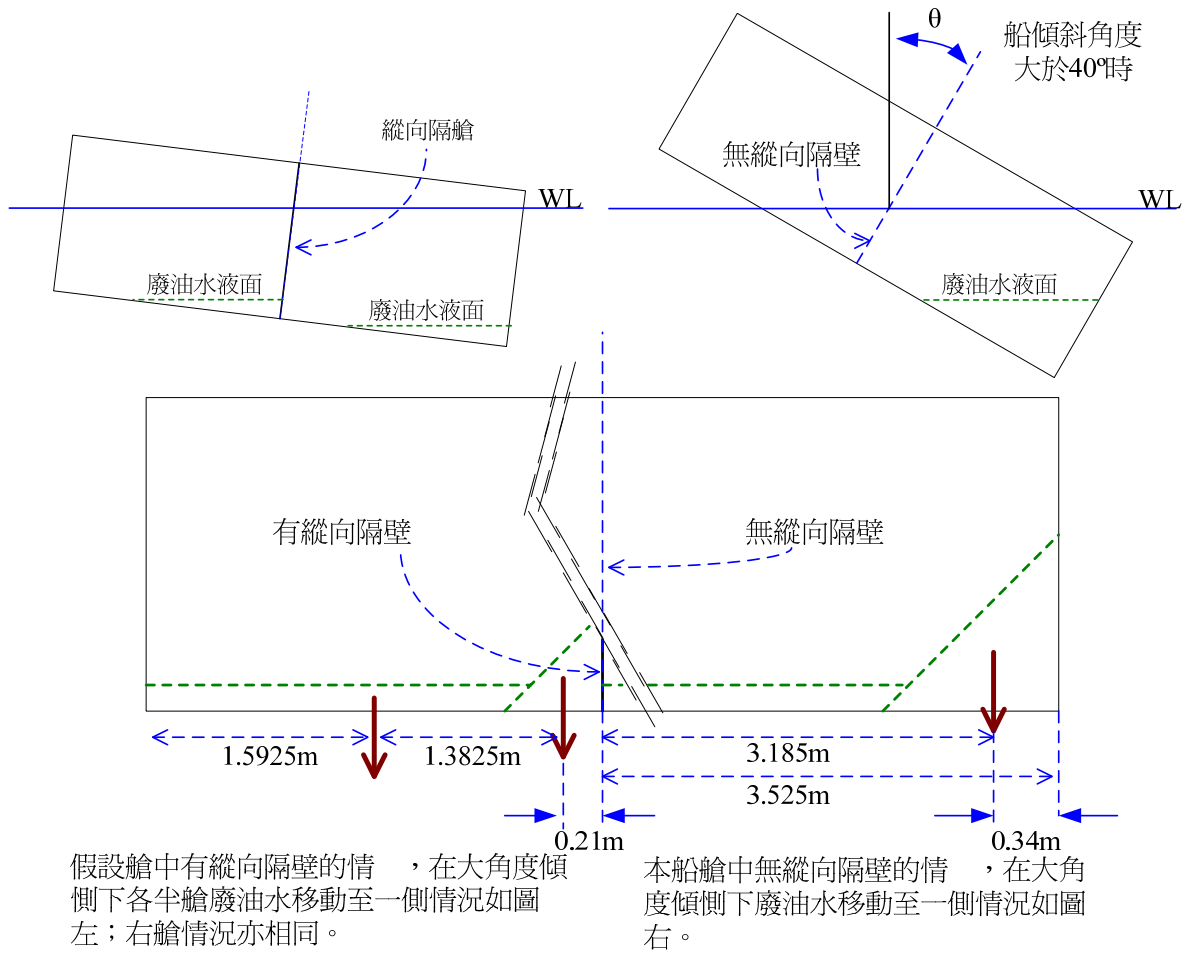
故推論該油駁船於前述風浪環境，此種裝載情況下，就算直線航行，也有做成船橫搖擴來回發散擴大至翻覆的潛在危機及發生可能。當然於本案油駁船在轉向時，受橫向海浪側力力矩作用造成油駁船傾側，裝載液體貨物(廢油水)的更大移動力矩，然而如果裝載得當，依來文顯示該油駁船「已依航政主管機關審核後准予施工建造，並經檢查合格。」意含在港內限定船速和氣候風浪情況適航無虞，當然包括在前述條件下直線或轉向方式在港區水域上航行。

- 6 另，如果假設協進六號油駁船有裝設縱向隔艙，則依前述計算式重行演算，當 30 公噸油水如移動，可使油駁船船身傾側達 $\approx 5.7^\circ$ 。未達 13.86° ，也因此，一則，油駁船可以獲得扶正力矩；二則，海水也不會泛過主甲板面。也因此，油駁船傾覆之可能性就相對的非常低。茲演算說明如下：

依學理為使減少自由液面效應之最佳效果，為於船艙線上設置縱向隔艙壁(如下圖)；故原 1. 2. 3. 貨艙將分成 1 左、1 右、2 左、2 右、3 左、3 右貨艙。經此設置後，現假使以最壞裝載情況來驗算其效益，假使將本案 25 至 30 公噸廢油水貨，平均裝載各艙，以相同液面之液體廢油水情況計算，試看其結果如何。參看下圖所示，圖右為原先沒有裝置縱向隔艙壁廢油水全數移動到一側情況，及

¹⁵ 陸盤安，造船原理(船舶動力學)，第四章(船舶在波浪中之耦合運動)，pp.187~270，五南，台北，1997。

圖左裝置有縱向隔艙壁廢油水移動至一側及縱向隔艙壁一側各為半數情況。依此最差程度情況計算程度比較如下：



圖十五、比較廢油水在有無設有縱向隔艙壁之移動情況

假設如設置縱向隔艙壁，因液體廢油水貨物數量不變，定傾中心 GM 與前節(7)之 GM 值相同：

$$GM = KM - KG = 3.465M - 1.44M = 2.025M$$

假設如設置縱向隔艙壁，其自由液面效應修正值則變化如下¹⁶：

¹⁶ 郭福村等，船舶穩定度，第 4.5 節(自由液面)，pp.79~86，建工，高雄，2008。

$$\begin{aligned} \text{GM減少值} &= \frac{\text{船長} \times \text{艙寬}^3 \times \text{污油水密度}}{12 \times \text{排水量}} \\ &= \frac{(35 - 5) \times 0.61 \text{ M} \times (7.05\text{M})^3 \times 0.80\text{KT}/(\text{M})^3}{12 \times 258\text{M}^3} = 1.657\text{M} \end{aligned}$$

$$\text{GM減少值} = \text{GM減少值} \times \left(\frac{1}{\text{縱向隔艙壁數目}^2} \right) = 1.65 \times \left(\frac{1}{2^2} \right) = 0.4125\text{M}$$

$$\text{故修正GM} = 2.025\text{M} - 0.4125\text{M} = 1.6125\text{M}$$

因貨物移動造成船重心的移動GG1值

$$\text{GG1} = \frac{\text{貨物移動的力矩}}{\text{排水量}} = \frac{15 \text{ 公噸} \times 1.3825\text{M} \times 2}{258 \text{ 公噸}} = 0.1607\text{M}$$

因貨物移動造成船舶傾側角度

$$\tan\theta = \frac{\text{GG1}}{\text{GM}} = \frac{0.1607\text{M}}{1.6125\text{M}} = 0.09966$$

$$\theta \approx 5.7^\circ$$

由此結果可見，計算液態廢油水最大移動位移，圖左裝置有縱向隔艙壁廢油水移動至一側及縱向隔艙壁一側各為半數情況將使船舶傾側角度為 5.7°；相較 1.(8) 如圖右為原先沒有裝置縱向隔艙壁廢油水全數移動到一側情況將使船舶傾側角度 45.1°小很多；當此情況發生傾側角度為 5.7°也小於泛水角度 13.9°，亦即海水仍未氾過主甲板面，仍保有相當的乾舷艙及盈餘浮力，而且動穩度方面也尚有很大的扶正能量，另亦在此正常拖帶情況下油駁船應不致有翻覆的危機。

- 7 本案有一值得提出解釋的爭議事項即是，設計吃水載重量 75 公噸的油駁船，為什麼會在僅僅裝載 25 至 30 公噸廢油水後就翻覆的議題。事實上，本油駁船全船貨客艙容積依前節計算為 305M³。如依公式裝貨容積裝載卻可容納貨物重量：

$$\text{重量} = \text{體積} \times \text{密度} = 305\text{M}^3 \times 0.8 = 244 \text{ 公噸}$$

依阿基米德原理公式，全油駁船至主甲板浸入水中所得浮力為：

$$\text{浮力} = 24.5\text{M} \times 7.05\text{M} \times 2.4\text{M} \approx 425 \text{ 公噸}$$

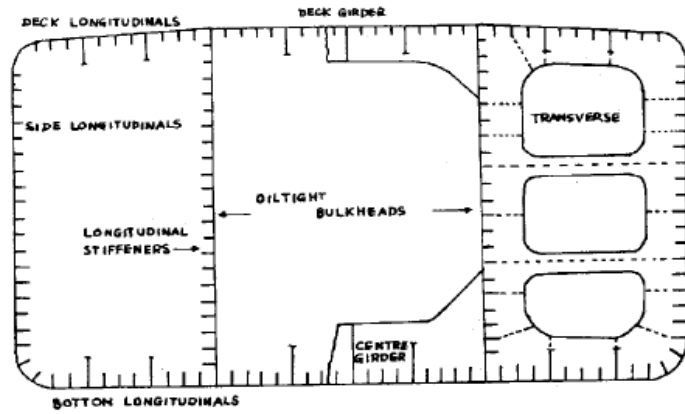
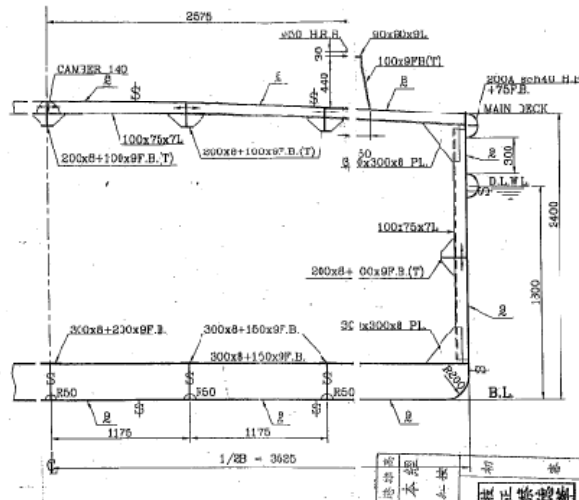
依前計算得空船重 = 228 公噸；

因此，裝貨超載至主甲板浸入水中 = $425 - 228 = 197$ 公噸。

依自由液面效應學理得知，自由液面效應主要產生不良於穩度的影響，最有正相關的因素是貨艙寬度、分散裝載貨艙數、貨艙長度(參看前節(8)中「GM減少值」的公式)；裝載廢油水貨物的多寡另非直接相關。

經交通部高雄港務局發文(高港技術字第 0920000539 號)附件之「施工說明書」可見「協進 6 號」本是「鋼質結構的駁船，總長 24.54M 寬度 7.05M 深度 2.4M 設計吃水 1.8M…… 港內及沿岸自航式駁船(一般用途為裝載固態貨物於甲板上，此等固態貨物不會產生危害穩定度的自由液面效應)，將改裝為廢油駁船(一般用途為裝載液態貨物於貨艙內，而未裝至滿艙的液態貨物會產生危害穩定度的自由液面效應)」。及依同發文中附件之圖說及噸位證書得改裝後的廢油駁船資料自船艙剖面圖(如下圖左，圖中顯示該廢油駁船之右半舷)得見，船中另沒有縱向隔艙壁的設置。相對於一般裝載液體散裝的貨輪船艙剖面圖(如下圖右，圖中顯示一般油船船艙剖面圖，含左右舷)，通常設置最少兩縱向隔艙壁，藉此減少自由液面效應的構造，改裝後的「協進 6 號」明顯欠缺此等防止自由液面效應的縱向隔艙壁構造，故在裝載時，更應防止自由液面效應的產生(液體廢油水應裝至滿艙)。¹⁷

¹⁷ 周和平，貨物裝載實務，第五章(油輪及油貨終站運務)，pp.124~151，周氏兄弟，台北，1991。



圖十六、比較「協進 6 號」與一般油船船艙剖面結構差異圖

故依本船計算廢油水裝貨實在不能完全裝滿全船各貨艙，為求防止自由液面效應的產生，故不應分裝於各艙。合理的裝載本次 25 至 30 公噸廢油水貨物，應全裝滿於其中單一艙；或先完全裝滿其中一艙，不足再裝於另一個較小的貨艙。

- 8 本案另有一爭議事項是油駁船前後禁艙有否裝載廢油對自由液面效應作用之影響的議題。參看前節節(8)中「GM減少值」的公式，可見單僅計算 1, 2, 3 貨艙(筋骨 5 至 35)，論述證明油駁船已有翻覆的危機¹⁸。

¹⁸ 郭福村等，船舶穩定度，第三章(船舶的平衡及穩定度分類)，pp.25~52，建工，高雄，2008。

$$\begin{aligned} \text{GM減少值} &= \frac{\text{艙長} \times \text{艙寬}^3 \times \text{污油水密度}}{12 \times \text{排水量}} \\ &= \frac{(35 - 5) \times 0.61 \text{ M} \times (7.05\text{M})^3 \times 0.80\text{KT}/(\text{M})^3}{12 \times 258\text{M}^3} = 1.657\text{M} \end{aligned}$$

若有案前後禁艙有裝載廢油，設廢油水仍是 25 至 30 公噸，以相同液位高裝於前後禁艙及 1,2,3 貨艙，依公式得：

$$\begin{aligned} \text{GM減少值} &= \frac{\text{全船艙長} \times \text{艙寬}^3 \times \text{污油水密度}}{12 \times \text{排水量}} \\ &= \frac{24.54 \text{ M} \times (7.05\text{M})^3 \times 0.80\text{KT}/(\text{M})^3}{12 \times 258\text{M}^3} = 2.2219\text{M} \end{aligned}$$

故修正GM = 2.025M – 2.2219M = –0.1969M

故油駁船在負 GM 情況下處於不穩定平衡，油駁船只要些微外力而產生些微傾角，因重力作用與浮力作用自然產生傾側力矩，致使油駁船翻覆。

- 9 爰依海商法第 69 條之規定：「因下列事由所發生之毀損或滅失，運送人或船舶所有人不負賠償責任」中之有關海上貨物運送人之免責事項，例如依第 16 款(船舶雖經注意仍不能發現之隱有瑕疵)之精神；在本案中，因油駁船無縱向隔艙故，致船舶自由液面效應過大造成油駁船有傾覆之危機，似乎超出「萬事通 3 號」船長之所能；另又例如依第 12 款(包裝不固) 之精神，因油駁船的未具備完全水密，造成當主甲板泛水時，使海水流入油駁船貨艙部分的問題，似乎亦超出「萬事通 3 號」船長之應注意而未注意的範圍。
- 10 另在實務上，依國際間一般採用的拖帶協議(如：BIMCO TOWCON 2008 , International Ocean Towage Agreement)，有關拖船與被拖之操作慣例，被拖方的基本義務係應「按合同約定向承拖方提交被拖物並使之適拖」，亦即被拖方應嚴格按照合同所約定的時間、地點和方式，將被拖物提交給承拖方並在起施前和起拖當時，使被拖物處於適拖狀態，並向承拖方如實說明被拖物的情況，提供有關驗船機構簽發的被拖物適合拖航的證書和有關文件^{19,20}。因此，本案

¹⁹ BIMCO TOWCON 2008 , International Ocean Towage Agreement

18. Tow-worthiness of the Tow

的油駁船的不適拖的狀況，責任上應該屬於被拖一方。因此，依此論點，被拖物的是否具適拖性，其責任在被拖方，這個精神與船員法第六十一條(檢查船舶及航海準備之義務)：「船長於船舶發航前及發航時，應依規定檢查船舶及完成航海準備。」所指者略有不同。

伍、結論

本案滿進環保公司的「協進六號」油駁船由「萬事通三號」小拖船拖行，於高雄港港區翻覆並造成油污染事件一案，經本研究鑑定分析結果臚列如下：

-
- (a) The Hirer shall exercise due diligence to ensure that the Tow shall, at the commencement of the towage, be in all respects fit to be towed from the place of departure to the place of destination.
 - (b) The Hirer undertakes that the Tow will be suitably trimmed and prepared and ready to be towed at the time when the Tug arrives at the place of departure and fitted and equipped with such shapes, signals, navigational and other lights of a type required for the towage.
 - (c) The Hirer shall supply to the Tugowner or the Tugmaster, on the arrival of the Tug at the place of departure a certificate of tow-worthiness for the Tow issued by a recognised firm of Marine Surveyors or Survey Organisation, provided always that the Tugowner shall not be under any obligation to perform the towage until in his discretion he is satisfied that the Tow is in all respects trimmed, prepared, fit and ready for towage but the Tugowner shall not unreasonably withhold his approval.
 - (d) No inspection of the Tow by the Tugowner shall constitute approval of the Tow's condition or be deemed a waiver of the foregoing undertakings given by the Hirer.

²⁰ 一般的拖帶協議(Towage Agreement)也都會有類似下面的文字：

Owner to Prepare Tow, Cargo

- (a) Owner warrants that the Tow shall be seaworthy and in all respects ready for and capable of making the specified voyage, and shall be properly and sufficiently equipped, including, among other things, proper and sufficient lights, towage shape, surge chain and bridle and towing bits. Owner shall comply with any additional requirements imposed by underwriter's surveyors. Owner agrees to indemnify and hold Tower and the Tug harmless against any loss, damage, or liability arising out of or contributed to in any way by non-seaworthiness of the Tow, or by any deficiency in or failure of its equipment.
- (b) If cargo is loaded aboard the Tow, the packaging, suitability for transport, stowage, securing, and lashing of the cargo shall be the sole responsibility of the Owner. Owner undertakes to comply fully with any and all requirements imposed by underwriters of the Tow or its cargo, or by surveyors for such underwriters, and agrees to save and hold Tower and Tug harmless from and against any claim, demand, or liability in respect of cargo. No personnel of Tower or of the Tug shall have any duty or responsibility with respect to inspection, seaworthiness or suitability of the Tow or of the cargo for the voyage. If any such person shall participate in decisions or recommendations relating to the cargo, such acts shall be as special servant of the Owner for such purposes.
- (c) Owner shall pay Tower additional compensation at the Tug's applicable daily rates of hire, or pro rata portion thereof, for any delay or deviation caused by insufficiency of packaging, stowage, securing and lashing of cargo, or non seaworthiness or failure of the Tow for which the Tower or Tug is not responsible.

1. 「協進六號」油駁船並未超載，在未裝載前也是具適航的；
2. 「萬事通三號」小拖船拖帶方式是合理合宜，拖帶亦並無超速，當時氣候風浪情況更是遠較高雄港作業規範限定良好；
3. 肇事的主因為自由液面效應所產生。而產生此自由液面效應主要為下列二個是由所致：
 - (1) 「協進六號」油駁船並未有縱向隔艙裝置，致使 30 公噸油水的自由液面效應移動造成油駁船船身傾側達 40° ($\approx 45.1^{\circ}$)以上，這個角度遠超過海水泛過主甲板面的最大角度 13.86° ，使得「協進六號」油駁船扶正力矩減少，此乃翻覆的最主要因素；
 - (2) 泛過主甲板面的海水流入未完全水密的貨艙，滲入的海水增加貨艙液體量亦再次增強自由液面效應；
 - (3) 假設「協進六號」油駁船裝置有縱向隔艙壁時，油駁船在自由液面效應下的船舶傾側角度為 5.7° ，小於泛水角度 13.9° ，亦即海水仍未泛過主甲板面，仍保有相當的乾舷艙及盈餘浮力，而且動穩度方面也尚有很大的扶正能量，另亦在此正常拖帶情況下油駁船應不致有翻覆的危機。
4. 在不討論「協進六號」油駁船船員是否具備船員證照的條件下，在有關「協進六號」油駁船的貨物裝載是否合宜方面有以下幾點發現：
 - (1) 本案僅計算 1, 2, 3 貨艙(筋骨 5 至 35)即可論述證明油駁船已有翻覆的危機，若前後禁艙有裝載廢油，油駁船將產生負 GM 值，造成不穩定平衡情況，油駁船將因任何些微外力而產生些微傾角，因重力作用與浮力作用自然產生傾側力矩，致使油駁船翻覆。
 - (2) 依本船計算廢油水裝貨實在不能完全裝滿全船各貨艙，為減少自由液面效應，合理的裝載本次 25 至 30 公噸廢油水貨物，應全裝滿於其中單一艙；或先完全裝滿其中一艙，不足再裝於另一個較小的貨艙。因此，本案在裝廢油水的程序上似乎有欠妥當，另外，貨艙未完成水密的檢查也是一項缺失。
5. 綜上，由於改建的「協進六號」未如一般液體散裝貨船上設有縱向隔艙裝置，又未能合理的裝載本次 25 至 30 公噸廢油水貨物以減少自由液面效應，因此，

本案「協進六號」油駁船在起拖前，已經不是一個「適拖」的船舶，也因此無論是「萬事通三號」或是任何其他拖船或任何其他拖船船長，似乎都不可能改變「協進六號」油駁船翻覆的命運。另按實務上，在有關拖船與被拖之操作慣例，被拖方的基本義務係應「按合同約定向承拖方提交被拖物並使之適拖」的精神，本研究分析結果推論認為「協進六號」油駁船翻覆案之責任應歸責於「協進六號」一方。

