

FSA によるバルクキャリアの安全評価について

研究統括副主幹 * 吉田 公一
海上安全研究領域 旅客安全・バリアフリー研究グループ 金湖 富士夫
財団法人 日本海事協会 有馬 俊朗
ユニバーサル造船(株) 林 和 男

1. はじめに

1980 年代にバルクキャリアの全損海難事故が頻発して多くの船員の命が失われたため、国際海事機関(International Maritime Organization: IMO)は、1974 年の海上人命安全条約(SOLAS: International Convention of Safety of Life at Sea)に新たに第 XII 章を設けてバルクキャリア安全性に関する規則を制定した(1997 年)。この SOLAS 改正に際しては、さらに検討を進めるべき課題についても決議された。

英国は、1980 年 9 月に西太平洋で沈没し海底に沈んだバルクキャリア「ダービシャー号」を写真撮影し、これを基に事故シナリオを想定して、バルクキャリアに関する規則の更なる改正を 1998 年に I M O に提案した。さらに英国は、I M O が開発した Formal Safety Assessment (FSA)の手法を使用し、国際的に共同してバルクキャリアの安全性向上策を検討することを提案した。これに対して我が国は、この共同作業への参加を申し出るとともに、我が国独自でバルクキャリアの安全性に関する F S A を実行することを表明した。

この我が国の表明を実現するために、(社)日本造船研究協会は「FSA によるバルクキャリアの安全性の検討」を推進した⁽¹⁾。筆者らはその作業に従事したので、その要約をここに紹介する。

2. FSA (Formal Safety Assessment)

IMO では規則改正のための検討手段として、次に示す 5 つのステップの手順に従って進める FSA の指針⁽²⁾をまとめた。

- ステップ 1 : 検討対象に内在する人命・環境・財産に関わるハザード(Hazard)を特定する。
ステップ 2 : 確率論等を用いた危険解析によりリスク (Risk)を評価する。
ステップ 3 : リスクを制御・減少させる為の対策 (Risk Control Option, RCO) を立案する。
ステップ 4 : 費用対効果分析を実施し対策(RCO)を

ランキングする。

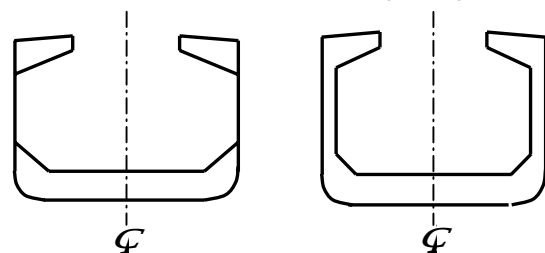
ステップ 5 : 国際条約等の規則作成への判断材料等を提供する、あるいは勧告する。

なお、ステップ 1 を実施する前に、問題の定義、検討環境条件の設定、並びに検討対象の一般化モデルの作成という作業が必要である。

3. 問題の定義と検討環境条件の設定

3.1 対象船舶

対象のバルクキャリアは、SOLAS 第 IX 章の定義にある、トップサイドタンク及びビルジホップタンクを有する貨物倉のある船舶(図 1)とした。



Single side skin Double side skin
図 1 検討対象船舶の断面図

バルクキャリアを大きさにより表 1 のように分類した。なお、Lf、GT 及び DWT は必ずしもこの数字通りに連携しないことに留意した。

表 1 バルクキャリアの大きさによる分類

	Lf (m)	GT	DWT (ton)
Mini	100-130	5K-14K	10K-23K
Small-Handy	130-150		
Handy	150-200	14K-30K	23K-55K
Panamax	200-230	30K-45K	55K-80K
Cape size (VL)	230-270	45K-	80K-
	270-		

3.2 関連規則

IACS は 1993 年に、国際海事機関 (IMO) としては 1996 年に Enhanced Survey Program (ESP) を導入した。IMO では、バルクキャリアの安全に関する規則を 1997 SOLAS 会議において SOLAS に新

XII 章として組み込んだ。また、International Safety Management Code (ISM Code)を 1998 年にバルクキャリアに対して強制適用した。IACS もバルクキャリアの安全性向上に資するために幾つかの統一規則 (Unified Requirements, UR) を導入した。この FSA では以上の規則をバルクキャリアの現状の安全要件として考慮した。

3.3 フリート数

母集団に関しては、本研究におけるばら積み貨物船の定義に合致する適当なデータが無い場合、入手可能な年次船腹データの範囲で、いくつかの仮定のもとに母集団を推定した。推定に使用したデータソースは以下の通りである。

- ・ Fleet numbers for bulk carriers 20000+ dwt. (FSA of bulk carriers, IACS, 2001)
- ・ Fearnley's "World Bulk Fleet"

3.4 事故データ

LMIS 海難データベース(2000 年 8 月版)からの情報を中心に、同データベースで定義されている 5 つの事故カテゴリー (沈没、行方不明、船体/機関損傷 (船体構造) 船体/機関損傷 (詳細不明) その他雑多事故) に属する重大事故の情報を収集・分析・整理した。これらのカテゴリーに属する個々の重大事故データを入念に調査し、本研究のリスク評価における基礎データとして適当かどうか判断した。その結果、1978 年から 2000 年 8 月までのばら積み貨物船の事故データから計 361 件の重大事故を基礎データとして抽出した。なお、衝突、火災・爆発等のばら積み貨物船特有の事故とは考えられないものについては、基礎データから除外した。

4 . ステップ 1 : ハザードの同定

事故データから以下の 4 つのカテゴリーに関する HAZID Worksheet を作成した。

- ・ 貨物倉の構造損傷
- ・ 船首部の構造損傷
- ・ 船尾部の構造損傷
- ・ 開口部からの進水

表 2 リスクマトリックス

FI	7	Frequent	Level 4(8)	Level 3(9)	Level 2(10)	Level 1(11)
6			Level 5(7)	Level 4(8)	Level 3(9)	Level 2(10)
5	Reasonably Probable		Level 6(6)	Level 5(7)	Level 4(8)	Level 3(9)
4			Level 7(5)	Level 6(6)	Level 5(7)	Level 4(8)
3	Remote		Level 8(4)	Level 7(5)	Level 6(6)	Level 5(7)
2			Level 9(3)	Level 8(4)	Level 7(5)	Level 6(6)
1	Extremely Remote		Level 10(2)	Level 9(3)	Level 8(4)	Level 7(5)
	SI	Insignificant 1	Minor 2	Major 3	Catastrophic 4	

これらのカテゴリー毎に、表 2 に示す Severity Index(S.I)及び Frequency Index(F.I)を使って、ハザードのランキング作業を実施した。

ハザードの同定及びランキング作業を実施する過程で、ステップ 2 で実施すべき事故シナリオの絞り込み及び定性的なイベントツリーを検討した。その結果、以下の 4 つの事故シナリオを抽出した。

シナリオ 1 : 以下の初期損傷と逐次浸水

- ・ 1-1 船側損傷のような船体構造損傷による浸水
- ・ 1-2 各種閉鎖装置等の甲板付き部品の損傷による船首部浸水
- ・ 1-3 貨物倉口蓋の損傷またはその締付装置の不具合による浸水

シナリオ 2 : 浸水に至らない荒天中の船体構造損傷

シナリオ 3 : 荷役作業中の船体構造損傷

シナリオ 4 : 航海中の貨物荷崩れによる事故

5 . ステップ 2 : リスク解析

事故統計の調査・分析・整理及びハザードの同定から絞り込んだ事故シナリオについて、事故事例分析に基づいて以下の 2 段階に分けて分析作業を実施し、リスクの定量化を行った。

(1)近年導入された検査強化プログラムや SOLAS XII 章等の各種対策の効果は過去の事故事例の中には含まれていないとの前提で、事故事例分析に基づく導入前のリスクレベル評価を行う。

(2)事故事例毎にこれら対策の効果を実後推定することにより、導入後のリスクレベルを推定する。

事故事例を分析した結果、1978 年から 2000 年 8 月迄に 1126 人の乗組員が死亡していることが判明した。死者数の内訳を事故シナリオ毎に分類して表 3 に示す。バルクキャリアの構造損傷及び浸水事故による死者数を問題にする場合、事故シナリオ/グループ No.1 が重要であることが分かった。

表 3 事故シナリオ別死亡者数

シナリオ	cape size	pana-max	handy	small handy	total
1 total	174	106	452	262	994
1-1	130	89	267	262	748
1-2	44	0	0	0	44
1-3	0	17	185	0	202
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	20	34	54
others	0	4	32	5	41

つぎに、事故データの調査結果を考慮して、重大事故につながる典型的な事故シーケンスやイベントの進展についてイベントツリーを構築した。さらに、全損事故の発生を表したフォルトツリーに対応して、過去の事故事例を分類整理した。これから、全損事故に至るには逐次浸水がおきるかどうか最も重要で、次いで単独の貨物倉浸水が全損に寄与していることが分かった。以上の検討結果から、リスク評価及び安全対策を検討するにあたっては、図2に示すリスクモデルに絞り込むことにした。

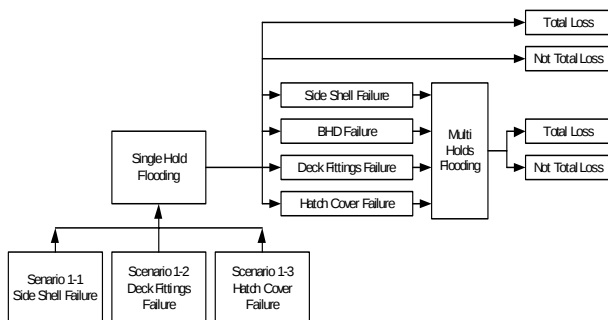


図2 貨物倉の重大進水事故のリスクモデル

導入された安全対策の代表的なものとして、ESP(Enhanced Survey Program：検査強化プログラム)や SOLAS XII 章がある。そこで、ESP が実施された 1993 年以前と以後のリスクレベルを、先に示した(1)及び(2)に拠って算出し、図3に示した。同様の解析を SOLAS XII 章の導入に関しても実施した。その結果、ESP 及び SOLAS XII 章がリスクレベルを低減したことが分かったが、そのレベルは依然として ALARP(As Low As Reasonably Practicable)す

なわち、費用対効果のある措置であれば導入すべき領域にあることも判った。そこで、ステップ3のリスク回避措置の検討に進んだ。

6. ステップ3：リスク回避措置(RCO)

ステップ3では、RCO を検討して抽出するとともに、そのリスク低減効果を定量的に求めた。各 RCO の適用によるリスク低減量は、ヒストリカルデータに対する考察と専門家判断によった。抽出した RCO 及び ESP 及び SOLAS XII 章導入後の算定したリスク低減量を表4に示す。

表4 RCO 及びそのリスク低減算定値

RCO	ESP 導入後	SOLAS XII 適用後
RCO10: SOLAS Ch.XII + UR S 21	1.40×10^{-1}	---
RCO11: RCO10 for small BCs	1.46×10^{-1}	---
RCO15: Double side skin (all C/Hs)	1.47×10^{-1} (2.27×10^{-1})	5.03×10^{-2}
RCO16: 倉内肋骨の腐食制御 (腐食代増)	8.62×10^{-2} (1.14×10^{-1})	3.07×10^{-2}
RCO51: 倉内肋骨の腐食制御 (塗装管理強化)	7.46×10^{-2} (9.84×10^{-2})	2.65×10^{-2} / 5.98×10^{-2}
RCO52: 倉内肋骨の腐食制御 (切り替え強化)	8.31×10^{-2} (1.10×10^{-1})	2.95×10^{-2} / 6.66×10^{-2}
RCO20: 就航船に対する Ch.XII	4.70×10^{-2}	---
RCO21: RCO20 for small BCs	8.43×10^{-2}	---
RCO23: 就航船に対する S21	5.92×10^{-3}	4.44×10^{-3}
RCO25A: 就航船に対する Double side skin (all C/Hs)	1.08×10^{-1} (1.81×10^{-1})	3.77×10^{-2} / 8.69×10^{-2}
RCO25B: 就航船に対する Double side skin (Nos.1&2 C/Hs)	6.00×10^{-2} (9.69×10^{-2})	2.09×10^{-2} / 4.81×10^{-2}

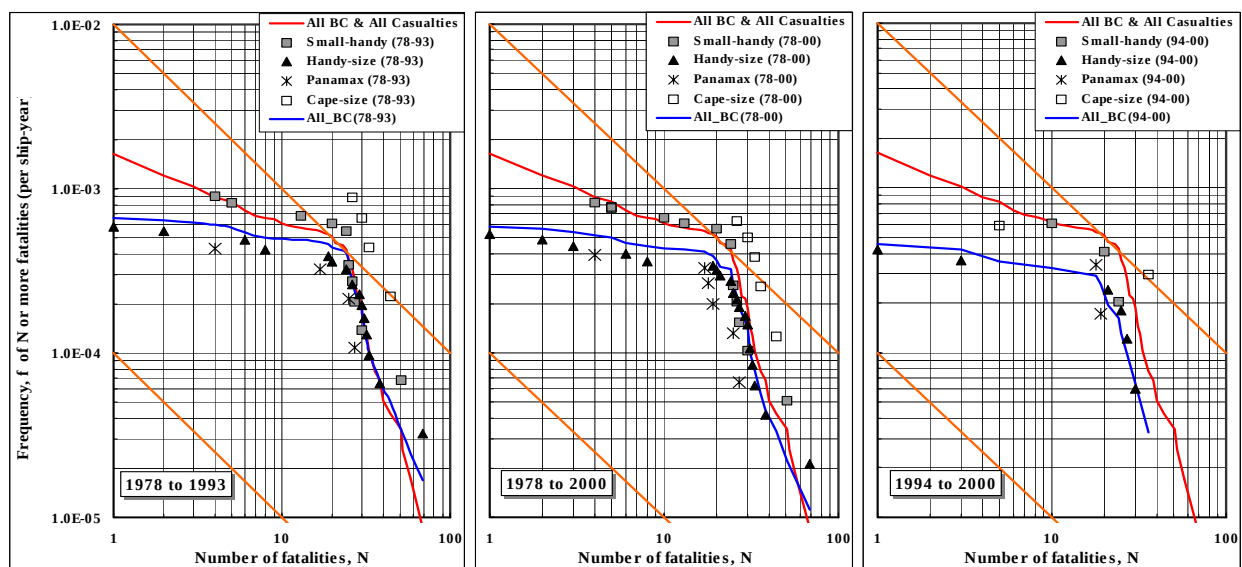


図3 リスクレベル 検査強化以前

全体

検査強化以後

7. ステップ4：費用対効果解析

FSA に従って、「死者一人を防ぐための換算総コスト」(GrossCAF 又は GCAF)及び「死者一人を防ぐための換算純コスト」(NetCAF 又は NCAF)という指標による評価 (CEA) を行った。

$GCAF = \Delta C / \Delta F$ 、 $NCAF = (\Delta C - \Delta B) / \Delta F$ ここに、

C RCO オプションの適用にかかる費用

B RCO オプションの適用による経済的利益

R RCO オプションの適用によるリスク低減量

基本的には、RCO を実現するための費用を見積り、算出したリスク低減量を用いて GCAF を計算した。また、SOLAS XII 章が既に導入され、ある程度リスクレベルが下がっていることを前提に、更に追加対策を導入することを想定し、各 RCO について費用対効果を解析し、RCO 適用の妥当性について検討した。SOLAS XII 章が適用される単船側バルクキャリアに関する分析結果を表5に示す。

なお、長さ 150m 未満のバルクキャリアは SOLAS XII 章の要件の適用が除外されているため、リスクレベルは SOLAS XII 章の発効前と変わりないとして分析した。また、二重船側のバルクキャリアに関しても別途分析した(結果は文献(1)参照)。

8. ステップ5：勧告

以上の解析の結果として導いた勧告の主なものは以下の通りである。

・バルクキャリア全体のリスクレベルは SOLAS XII 章適用後も他船種と比べて ALARP 領域の比較的高い位置にあるため、費用対効果の観点で現実的な安

全性向上対策を検討するべきである。

・150m 未満の単船側バルクキャリアは、相対的に Risk が高く、対策の必要性が大きい。進水防止を目的として、新造時：単船側構造の腐食予備厚の増加、建造後：船側構造の腐食制御の対策が勧められる。

・150m 以上の単船側バルクキャリアは、新造時：単船側構造の腐食予備厚の増加、建造後：船側構造の腐食制御浸水防止対策が有効である。二重船側の強化はこれと比べて費用対効果が悪いが、新船には適用可能であろう。

9. おわりに

この研究結果は IMO の海上安全委員会 MSC75 へ提出され、バルクキャリアの安全性向上の議論に資した。

本研究は日本造船研究協会 (RR-S702 委員会) との共同研究として実施したものである。御討論をいただいた委員会関係各位並びに助成を賜った日本財団に感謝します。

参考文献

- (1) (社)日本造船研究協会 RR-S702「設計設備に関する調査研究(バルクキャリアの安全対策に関する検討)」平成 13 年度報告書 2002 年 3 月及び平成 14 年度報告書、2003 年 3 月
- (2) IMO, MSC/Circ.1023 & MEPC/Circ.392: "Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in the IMO Rule-Making Process", 5 April 2002

表5 費用対効果分析の結果

GCAF (Million US\$)	新造船	現存船	
	新船適用 RCO	現存船適用 RCO (XII 章新船要件適用船)	現存船適用 RCO (XII 章現存船要件適用船)
1 未満	RCO16:倉内肋骨の腐食制御 (腐食代増加)(US\$ 0.7 million per averted fatality)	該当なし	該当なし
1-3	該当なし	該当なし	RCO52:倉内肋骨の腐食制御(切り替え強化)(US\$ 2.3 million per averted fatality) RCO51:倉内肋骨の腐食制御(塗装管理強化)(US\$ 2.9 million per averted fatality)
3-10	RCO52:倉内肋骨の腐食制御 (切り替え強化)(US\$ 5.4 million per averted fatality) RCO51:倉内肋骨の腐食制御 (塗装管理強化)(US\$ 6.8 million per averted fatality)	RCO52:倉内肋骨の腐食制御(切り 替え強化)(US\$ 5.4 million per averted fatality) RCO51:倉内肋骨の腐食制御(塗装 管理強化)(US\$ 6.8 million per averted fatality)	該当なし
10 以上	RCO15:二重船側化(US\$ 15.9 million per averted fatality) 該当なし	RCO25:二重船側化(US\$ 53.1 million per averted fatality) 該当なし	RCO25:二重船側化(US\$ 22.8 million per averted fatality) RCO23: S21 の遡及適用によるハッチカ バーの補強(US\$ 26.3 million per averted fatality)(Handy の値による)