

漁船「第五龍寶丸」転覆事故の要因について

運動性能部 * 田口 晴邦、石田 茂資
沢田 博史、辻本 勝
理事 渡辺 巖

1. はじめに

平成 12 年 9 月 11 日、北海道襟裳岬南西約 20 海里付近の海域で、底びき網漁船「第五龍寶丸」が転覆し、乗組員 18 名中 14 名が行方不明となる事故が発生した。この事故を受けて、運輸省海上技術安全局長（現 国土交通省海事局長）の主催により「漁船『第五龍寶丸』事故再発防止検討会」が開催されることになり、当所もこれに積極的に対応することとした。

同検討会では、まず、事故状況の情報収集及び底びき網漁業の実態調査を行い、それをもとに事故状況を検証し、転覆事故要因の分析評価を行った。次に、それらを踏まえて事故再発防止対策及び今後の課題を検討し、提言としてまとめた[1]。

これらの検討作業の内、事故状況の検証及び転覆事故要因の分析評価に関しては、当所と水産工

学研究所が中心となり実施した。ここでは、本件転覆事故の要因について検討した結果を報告する。

2. 事故の概要

事故発生当初の新聞発表、現地聞き取り調査、海難審判の傍聴等により入手した情報を整理し、事故状況をまとめると以下ようになる(図 1 参照)。

「第五龍寶丸は、第一回目の揚網時に、約 50t の漁獲物が入った漁網（コッド）を甲板上に引揚げた後、右舵一杯として全速前進をかけた。操船直後、船体は一旦右舷側に内方傾斜したが、旋回運動の発達とともに左舷側に大きく外方傾斜し、船内の搭載物やコッドが移動した。その結果、傾斜がコンパニオン開口部の海水流入角を越え、そこから船内へ浸水し、転覆した。当時の現場海域では、南南東の風 5～8m/s、うねり 1m であった。」

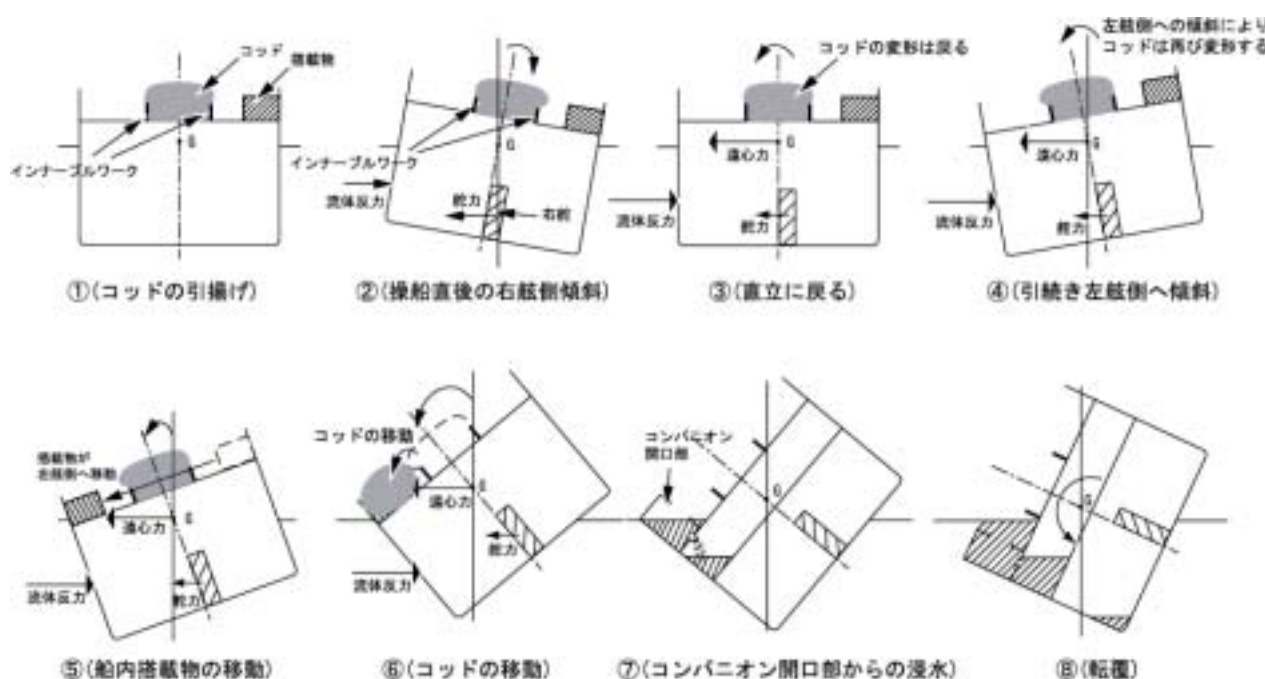


図 1 事故状況概略図

第五龍寶丸は、昭和 58 年に竣工した総トン数 160 トンの二層甲板型の船尾トロール式漁船であり、登録長 31.9m、型幅 7.40m、型深さ 4.65m であった。図 2 に本船の一般配置図を示す。ガベージシュートは、左舷側に設置されていた。

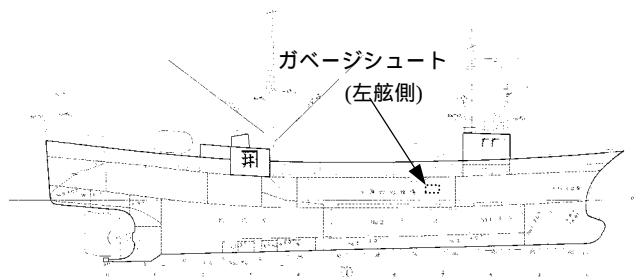


図 2 一般配置図

3．事故要因の検証

3.1 事故要因の抽出

2. に示した事故状況から、事故発生に関連する要因として以下の事項が考えられた。

多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ
急激な操船による内方・外方傾斜
袖網等コッド以外の搭載物の移動
漁獲物の入ったコッドの移動

なお、これまでの転覆事故においては、上記事項に加え、波浪による横揺れの影響及び船側開口部（ガベージシュート等）からの船内への流入水の影響が関連要因として指摘されていた。しかしながら、事故当時の気象海象状況が比較的平穏であったことや左舷側に傾斜し始めてから転覆までの経過時間が短かった（約 10 秒）ことから、これらの事項が今回の転覆事故の直接要因とはならないと考えた。

3.2 事故要因の検証

次に、上記の要因が事故の本質を表しているか確認するため、事故発生時の状況でこれらの要因に起因する復原力及び傾斜モーメントを推定し、それによって実際に転覆が発生するか事故状況の定量的検証を行った。

3.2.1 復原力及び傾斜モーメント

(1) 復原力

事故発生時の復原力の計算に必要な排水量およ

び重心位置は、海難審判裁決書で示された搭載物の重量及び位置並びに建造時の重心試験成績書及び復原性報告書に記載されている値をもとに推定した。復原力計算はトリム自由の状態で行い、燃料タンクの自由表面影響は燃料の移動に伴う重心の移動として、タンク形状を考慮して正確に算入した。

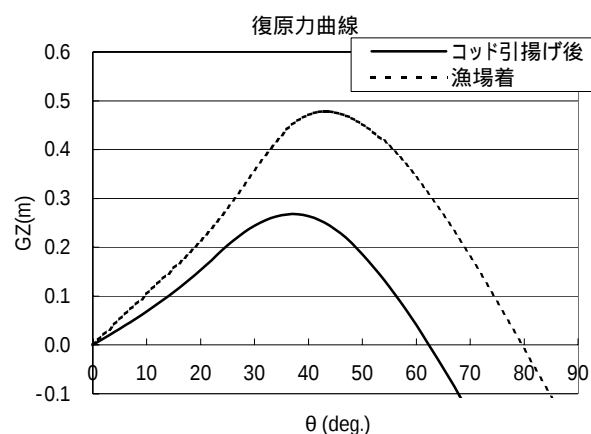


図 3 事故発生時の復原力曲線

図 3 に事故発生時の復原力曲線を示す。図中には、参考のためコッド引揚げ前（漁場着）の復原力曲線も示す。また、各状態の排水量（ W ）、重心位置（前後位置：mid-G、垂直位置：KG）、メタセンタ高さ（GM）及び喫水（船首：df、船尾：da、平均：dm）を表 1 に示す。「多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ」により、重心が高くなり、復原力が大幅に減少していたことが分かる。

表 1 事故発生時の排水量、重心位置、喫水

	コッド引揚げ後	漁場着
W (t)	474.62	424.62
mid-G (m)	-3.59	-2.71
KG (m)	3.41	3.09
GM (m)	0.33	0.61
da (m)	4.17	3.70
df (m)	1.15	1.33
dm (m)	2.66	2.52

注) mid-G は船尾方向がマイナスである。喫水は、ベースラインからの値。

(2) 傾斜モーメント

傾斜モーメントに関連する要因は、3.1に示した～の事項があった。これらの要因による傾斜モーメントの推定は、概略以下のように行った（詳細は参考文献[1]を参照）。

）操船による内方・外方傾斜モーメント

操船直後の内方傾斜モーメント $M1$ は(1)式[2]により推定した。

$$M1 = F_n \times \cos \delta \times PQ \quad (1)$$

ここで、 F_n ：舵直圧力、 δ ：舵角、 PQ ：舵直圧力の中心と主船体の流体反力作用点との垂直距離である。

また、旋回運動中の遠心力による外方傾斜モーメント $M2$ については、(2)式[2]により推定したが、事故発生時の船速及び航跡の曲率半径の値が不明であったので、海上試運転結果等から最大値を想定した。

$$M2 = m \times V_t^2 / R \times (OG + dm/2) \quad (2)$$

ここで、 m ：船の質量、 V_t ：旋回運動中の船速、 R ：航跡の曲率半径、 OG ：水面上重心高さ、 dm ：平均喫水である。

）搭載物の移動による傾斜モーメント

移動する可能性のある搭載物としては、予備網（上甲板右舷側）袖網等（上甲板中央）氷入り魚箱（漁獲物処理場右舷側）を想定した。これらの移動による傾斜モーメントは、海難審判裁決書で示された重量及び甲板上積載位置から想定した移動距離により推定した。

）コッドの移動による傾斜モーメント

事故発生時には、船上に長さ 15m のコッドが引揚げられ、その中に 50t の漁獲物が入っていたと想定された。その内、スリップウェイ上にある部分を除き、上甲板上のインナーブルワーク間に引揚げられていたコッド（重量 38t）が移動したとして傾斜モーメントを推定した。

これら傾斜モーメントの推定結果をまとめると表 2 のようになる。

表 2 事故発生時に想定される傾斜モーメント

要因	大きさ（t-m）
急激な操船	
内方傾斜	16.8
外方傾斜	35.1
船内搭載物の移動	
予備網	35.0
袖網等	11.8
氷入り魚箱	3.6
コッドの移動	76.8

また、コッド等の移動は、横傾斜がある値以上になってから発生するが、移動を始める傾斜角については、過去の調査研究がなかったため、実験を行ってその値を調べた。その結果、予備網、袖網等の漁網については約 18 度、コッドについては、水産会社からの情報も考慮して、20 度～45 度の間の値と推定した。

3.2.2 事故状況の定量的検証

（1）概要

上述した復原力を持った船に想定される傾斜モーメントが作用した場合、実際に転覆が発生するか、事故状況に沿った計算を行い検証した。なお、本件事故では転覆するまでの時間が 10 秒程度と短いことから、静的な傾斜モーメントと復原力の大小関係だけではなく、動的な影響も考慮する必要がある。そこで、船舶復原性規則のいわゆる C 係数基準の考え方に則り、転覆方向の横揺れ運動エネルギーを評価し、動復原力がこれを吸収できるか否かを調べた。

なお、計算に当たり、実際の値が不明であることなどから、値を特定することが適当でないものについては、それを変化させて計算を行った。その一つは、コッドの片寄りによる右舷側初期傾斜角（ θ_i ）であり、情報源によって値が一致しないことから、これを 2 とおりに設定した。また、遠心力による外方傾斜モーメントは、前述のとおり海上公試結果等から推定したが、事故発生時と載荷状態等がかなり異なるため、遠心力の変化を船速（ V_t ）の変化に置き換え、これを変化させた。更に、コッドが移動する傾斜角（ θ_c ）についても、

変化させて計算を行うこととした。なお、移動する搭載物としては、袖網のみを考慮した。

(2) 計算例

計算に用いた図の例を図 4 に示す。計算条件は、初期傾斜角 (θ_i) が 2 度、船速 (V_t) が 7.68kt (外方傾斜モーメント 35.1t-m に対応) コッド移動傾斜角 (θ_c) が 25 度である。図 4 の上図には、復原力曲線 (GZ1) と遠心力を除く傾斜モーメント (D_n) を示す。ここで、 ± 2 度の傾斜角で GZ1 と D_n が重なっているのは、コッドの変形等によって初期復原力がほとんど失われていたと想定したためである。この GZ1 と D_n の差、すなわち実質的な復原力曲線を下図に折れ線 (GZ2) で示す。また、下図の D_c は遠心力による傾斜モーメントを示す。下図で比較すると、実質的な復原力の最大値は外力 (遠心力による傾斜モーメント) を上回っているのが、静的なバランスからは転覆しないことが分かる。

次に、動的な面からの転覆判定であるが、右舷側に 8 度傾斜した状態 ($\theta = -8^\circ$: 初期傾斜 2 度 + 内方傾斜 6 度) から左舷側に横揺れした状態で評価した。なお、傾斜角がコンパニオン開口部からの海水流入角 (38 度) を越えた時点で転覆とみなし、動復原力の計算を打ち切っている。

図 4 下図では、ハッチングをした面積 A と C の和が転覆方向の横揺れ運動エネルギーを表し、面積 B と D の和がこの運動エネルギーを吸収する動復原力を表す。従って、(面積 B + D) / (面積 A + C) が 1 未満であれば転覆することになる。この例では、上記の面積比が 1 未満 (0.29) なので、船は転覆することになる。

(3) 計算結果

上に述べた初期傾斜角 (θ_i) 船速 (V_t) コッド移動傾斜角 (θ_c) の値を現実的な範囲で 2 とおりに変化させ、合計 8 とおりのケースについて (面積 B + D) / (面積 A + C) を評価した結果を表 3 に示す。4 ケースで転覆が発生することとなり、想定した事故要因によって第五龍寶丸が転覆し得ること、また、それら要因に起因する復原力および傾斜モーメントの推定が、ほぼ妥当であったこ

とが分かる。

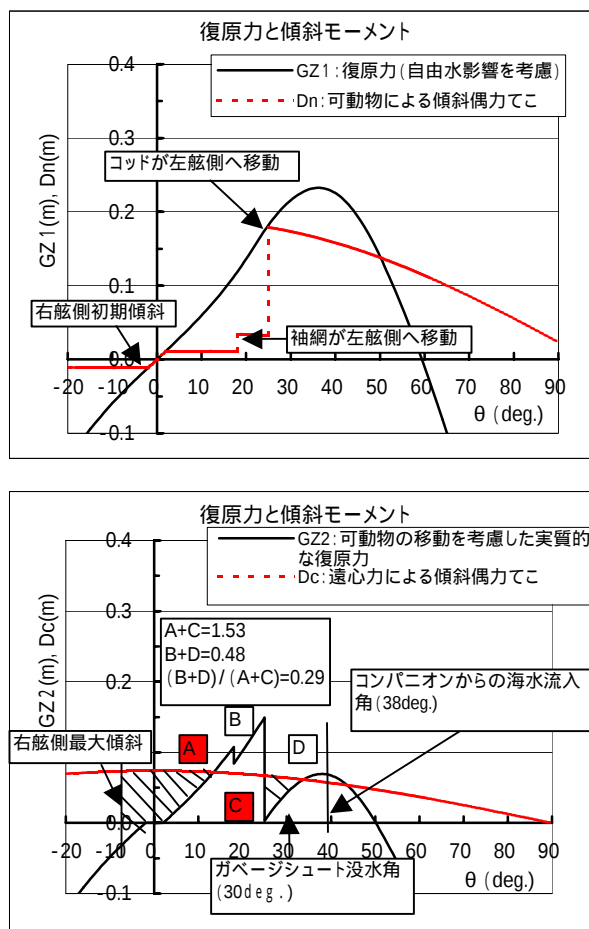


図 4 計算例 (初期傾斜角 2 度、船速 7.68kt、コッド移動傾斜角 25 度)

表 3 計算結果

ケース	θ_i (deg.)	V_t (kt)	θ_c (deg.)	計算結果
1	4	7.68	25	× (0.18)
2	4	7.68	35	× (0.90)
3	4	6.14	25	× (0.80)
4	4	6.14	35	○ (2.02)
5	2	7.68	25	× (0.29)
6	2	7.68	35	○ (1.41)
7	2	6.14	25	○ (1.08)
8	2	6.14	35	○ (2.95)

注) ○ : 非転覆、× : 転覆

() 内は傾斜方向のエネルギーと復原方向のエネルギーの比

4 . 事故要因に関する考察

前節で示したように転覆事故状況の検証を行っ

た結果、第五龍寶丸転覆事故は、

多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ
急激な操船による内方傾斜・外方傾斜
袖網等コッド以外の搭載物の移動

漁獲物の入ったコッドの移動

の4つの要因が複合して発生したと推定できることを確認したが、各要因の転覆への影響度は必ずしも同じではなく、また、同種事故の再発防止のためには、各要因について、その影響度を応じた抑制策を講ずる必要がある。

そこで、各事故要因を分析するとともに、その大きさを変化させて復原力や傾斜モーメントの比較計算を行うことで、その要因がどの程度転覆に寄与するか影響度の評価を行った。

ここでは、その中で、「多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ」、「漁獲物の入ったコッドの移動」、「操船（旋回運動）による外方傾斜」について説明する。

4.1 多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ

多量の漁獲物の入ったコッドを甲板上に引揚げれば、重心が上昇して復原力が減少する。また、副次的効果として、船体の沈下による海水流入角の減少、荷崩れ・移動した場合の傾斜モーメントの発生、遠心力による外方傾斜モーメントのレバーの増加があげられる。従って、このような重量物の引揚げは、復原力および傾斜モーメントの両面から転覆の危険性を増大させる。特に、今回の事故のように魚倉が空の状態が、最も危険であることは従来から指摘されている[3]、[4]。

図5に事故発生時の载荷状態で、コッドを引揚げ前、および30t～50tのコッドを引揚げた場合の復原力曲線を示す。また、表4には、それぞれの状態で、メタセンタ高さ（GM）、コンパニオンからの海水流入角（ θ_v ）及びその角度までのGZ曲線の面積（動復原力Dst）を示している。

表4からコッドの重量の増加により、これらの量が大幅に減少することが分かる。特に、今回の事故のような場合の復原性を示す動復原力は、初期復原力を示すGMより変化が大きく、50tのコッドを甲板上に引揚げた場合、引揚げ前の半分以下になる。従って、転覆を防止するためには、大

量の漁獲があった場合にコッドを一気に甲板上に引揚げることのないようにすることが、非常に重要であると考えられる。

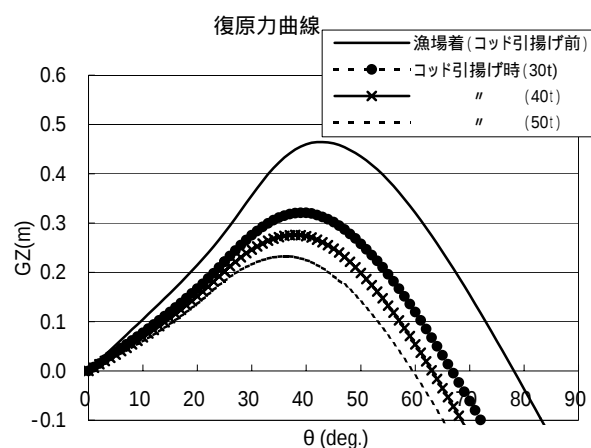


図5 復原力曲線（コッド引揚げの影響）

表4 メタセンタ高さ（GM）、コンパニオンからの海水流入角までの動復原力（Dst）及びコンパニオンからの海水流入角（ θ_v ）

	GM (m)	Dst (m・rad)	θ_v (deg.)
コッド引揚げ前 (漁場着)	0.613 (1.00)	0.211 (1.00)	46 (1.00)
コッド引揚げ時 (30t)	0.435 (0.71)	0.128 (0.61)	41 (0.89)
コッド引揚げ時 (40t)	0.384 (0.63)	0.104 (0.49)	39 (0.85)
コッド引揚げ時 (50t)	0.327 (0.53)	0.087 (0.41)	38 (0.83)

注): () 内は、コッド引揚げ前の値との比

4.2 漁獲物の入ったコッドの移動

図6に、甲板上に引揚げた50tのコッドが傾斜角25度で移動する場合の復原力曲線（×印付き実線）移動前の復原力曲線（実線）及びコッドの移動による傾斜モーメント（点線）を示す。コッドの移動を考慮した復原力は、傾斜角25度以上で移動前の復原力と傾斜モーメントの差をとって求めたものである。

コッド移動傾斜角からコンパニオン開口部の没水角までの動復原力は面積ABCDで示され、移動前に比べて面積BEFCだけ減少することが分かる。その減少量は約60%である。コッドの重量を

変化させると、40t の場合で約 35%、30t の場合で約 25%の減少となる。

このようにコッドの移動の影響はかなり大きく、またコッド重量の影響も大きい。実際には、コッド重量の増加につれてコッドの重心も高くなり、その分インナーブルワークを越えやすくなる。従って、多量の漁獲物の入ったコッドを一気に甲板上に引揚げないようにするとともに、コッドの横移動を抑制する措置をとることが、転覆防止に大きく寄与すると考えられる。

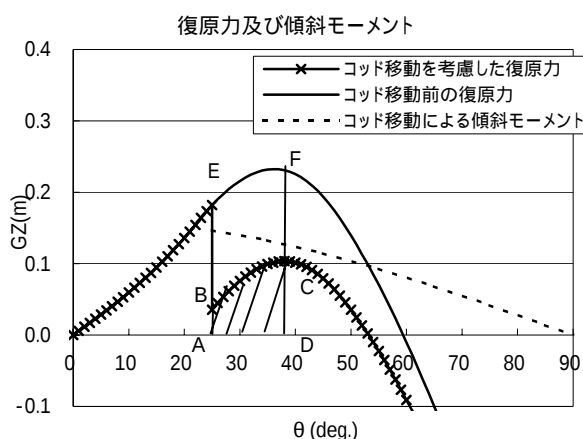


図6 コッドの移動による動復原力の減少

4.3 旋回運動による外方傾斜

図7に、50tのコッドを引揚げた状態の復原力曲線を実線で、船速7.68ktの場合の外方傾斜モーメントを点線でそれぞれ示す。コッドの移動の場合と同様に動復原力の変化を考えると、コンパニオン開口部の没水角までの動復原力は面積ABCで示され、傾斜モーメントが働く前に比べて面積OACDだけ動復原力が減少する。その減少量は約43%となり、外方傾斜モーメントにより動復原力が大きく減少することが分かる。また、面積OEAは傾斜側のエネルギーとして蓄積されるため、転覆への寄与度は動復原力の減少以上に大きくなる。

図7には、船速を6.68ktとした場合の傾斜モーメントも示している。外方傾斜モーメントは船速の自乗に比例するので、この場合のモーメントは船速7.68ktの場合に比べて約25%小さくなる。また、動復原力の減少量は約34%となる。

このように、旋回運動による外方傾斜モーメントは転覆まで持続的に働くことから、転覆に対す

る寄与度は大きい。また、船速を落とすことが転覆防止に有効であることが分かる。

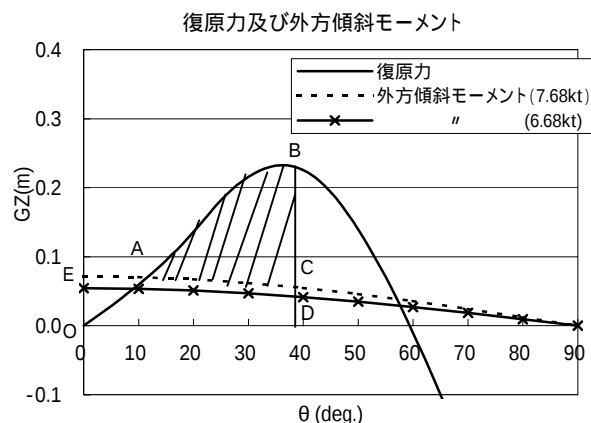


図7 外方傾斜モーメントによる動復原力の減少

5. おわりに

昨年発生した漁船「第五龍寶丸」転覆事故について検討を行い、多量の漁獲物の入ったコッドの引揚げ、急激な操船による内方傾斜・外方傾斜、袖網等コッド以外の搭載物の移動、漁獲物の入ったコッドの移動の4事項が、事故要因となったことを明らかにした。更に、各事故要因を分析し、転覆への影響度を評価した。

これらの検討結果は、事故再発防止対策に関する提言としてまとめられ[1]、現在、国土交通省海事局で、具体的な施策に反映すべく検討を行っており、当所も引続き協力を行っているところである。

最後に、本検討を進めるに際して有益なご討論を頂いた委員長の藤野正隆東京大学教授をはじめ漁船「第五龍寶丸」事故再発防止検討会及び同作業部会の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- [1] 国土交通省海事局：漁船「第五龍寶丸」事故再発防止検討会報告書、2001
- [2] 森田知治：船舶復原論 - 基礎と応用 -、海文堂、1985
- [3] 運輸省船舶局：第28 あけぼの丸事故調査検討会報告書、1982
- [4] 運輸省海上技術安全局：漁船の安全対策に関する調査報告書、1987