

被曳航中の漁船の転覆事故解析

流体性能評価系 耐航性能研究グループ

田口晴邦*, 黒田貴子, 柳裕一郎, 大田大地

内容

- 底びき網漁船A転覆事故
 - 事故発生状況
 - ・事故関連要因
 - 解析事項
 - ・事故時の復原性能の推定
 - ・事故時の曳航状態の推定
 - ・事故時の風及び波浪による横傾斜角の推定
 - ・転覆に至るメカニズムの検討
 - まとめ
 - ・事故解析結果
 - ・運輸安全委員会船舶事故調査報告書

底びき網漁船A

長さ	幅	深さ	総トン数
34.05m	5.80m	2.30m	76ton

建造時(昭和61年6月)との相違点: マスト等の改造,
活がに用水槽(1,000~1,700ℓ)の搭載



写真提供 鳥取県

出典: 運輸安全委員会船舶事故調査報告書(MA2017-11-1)

事故発生までの経緯

(運輸安全委員会船舶事故調査報告書(MA2017-11-1)より抜粋)

- ①1時54分頃 A船主機停止のため曳航を要請
- ②3時00分頃 B船(僚船)がA船付近に到着, 曳航索接続作業開始
- ③4時00分頃 B船が曳航開始(曳航速度約5~6kn, 陸岸から離れる針路), A船は主にB船の右舷側で振れまわっていた。
- ④4時30分頃 B船が針路変更(100° :通常航跡上)
- ⑤5時00分頃 B船が境港に向け針路を小刻みに変更
- ⑥5時10分頃 船体傾斜修正のため甲板上の水槽の水を抜く作業の実施を報告(A船→船主)
- ⑦5時13分頃 曳航状況問合せ(A船→B船), 1~2分後無線交信断絶
B船船橋右舷側の窓からA船は確認できなかった。
- ⑧5時15分頃 事故発生

事故発生時の気象・海象

(運輸安全委員会船舶事故調査報告書(MA2017-11-1)より抜粋)

風向: 北北東

風速: 14m/s~16m/s

波向: 北北東~西南西

有義波周期: 7.5s

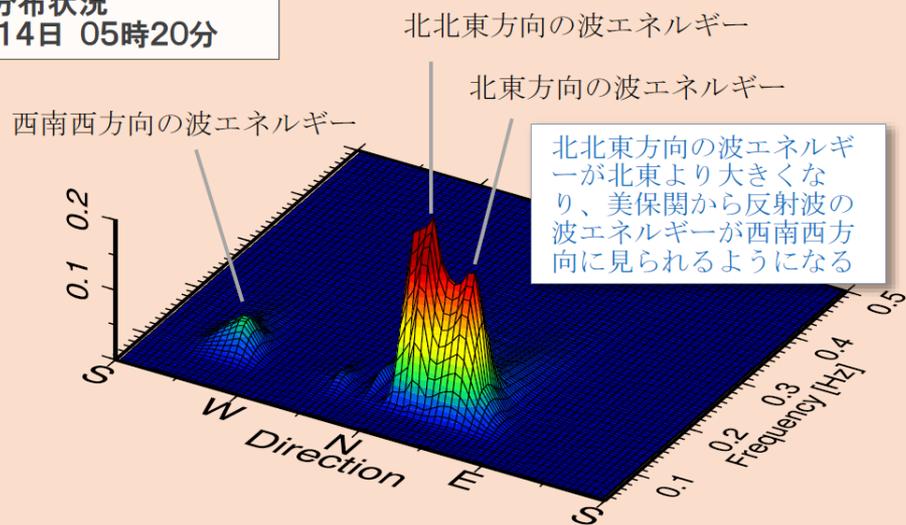
有義波高: 3.6m

波浪注意報及び強風注意報発令中

操業中止の目安:

波高4m

波向分布状況
12月14日 05時20分



事故関連要因

1. マスト等の改造, 甲板上への活がに水槽の搭載
→復原性低下
2. 荒天下の被曳航
→振れ回り・横引き発生, 索張力による傾斜
3. 事故時の風, 波浪
→風による傾斜, 波浪中の横揺れ

解析事項

1. 事故時の復原性能の推定

- ・引き揚げ調査結果に基づく事故時状態の推定
- ・マスト等の改造, 甲板上への水槽搭載の影響評価

2. 事故時の曳航状態の推定

- ・口述との対応
- ・転覆直前の被曳船の状況に関する考察

3. 事故時の風及び波浪による横傾斜角の推定

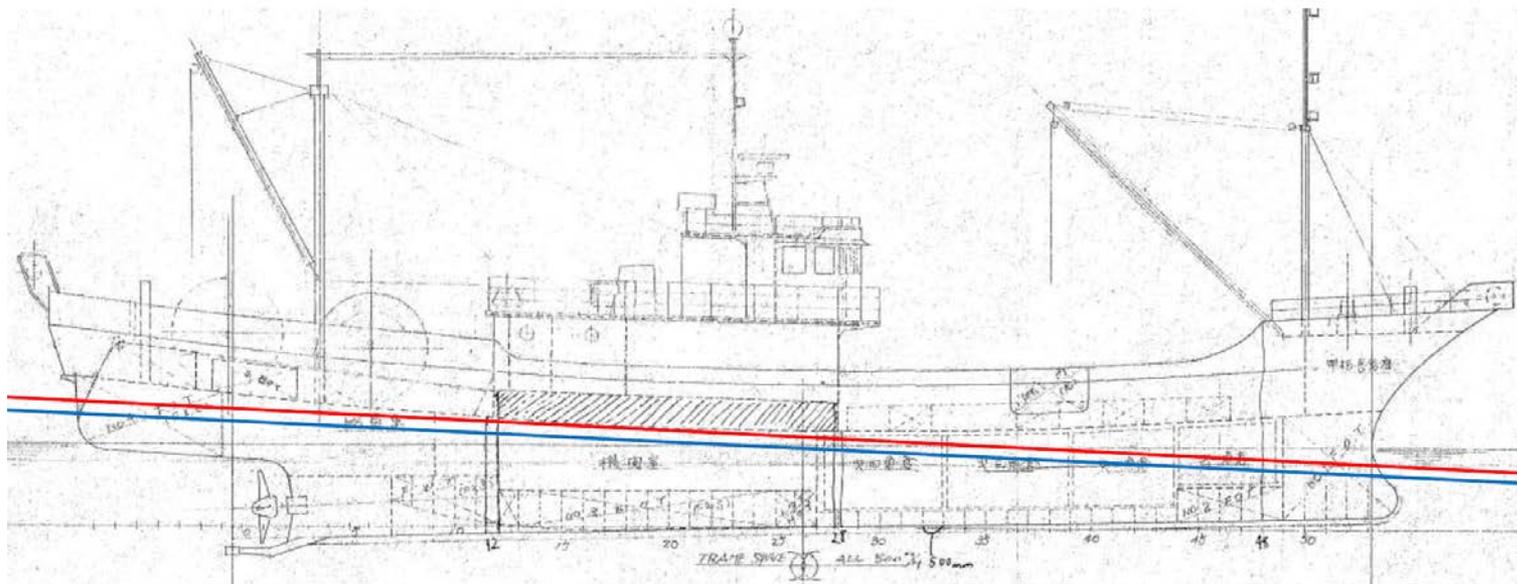
- ・現場海域の風, 波のデータと曳船のGPSデータ
(平均船速, 針路)に基づき推定

4. 転覆に至るメカニズムの検討

- ・転覆発生状況の想定
- ・エネルギーバランスの考え方による検討

事故時の復原性能の推定

A船引き揚げ調査時に計測された喫水・乾舷及び横揺れ固有周期から事故時の船体状態(重量重心)を推定し、復原性能を算定



青線:A船引き揚げ調査時の喫水線

赤線:調査結果から推定した事故時状態の喫水線

復原性能の推定結果

①事故時の重量重心

状態	W(t)	mid-G (m)	KG (m)
軽荷状態(引き揚げ調査)	208.02	2.97	2.27
軽荷状態(重量重心計算書:改造後)	153.51	1.87	2.29

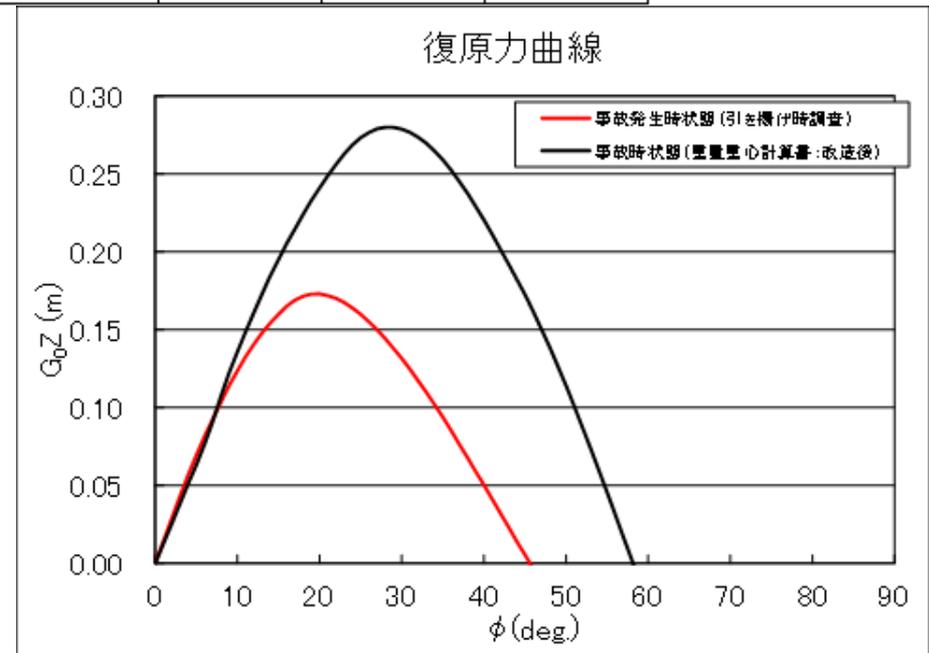
②事故時の復原性能

状態	G_0M (m)	GZ_{max} (m)	ϕ_{max} (deg.)	ϕ_w (deg.)
事故時状態(引き揚げ調査)	0.79	0.17	20	31.9
事故時状態(重量重心計算書:改造後)	0.73	0.28	29	47.2

○引き揚げ調査結果に基づいて推定した事故時状態は、建造時に比べ、大傾斜時の復原性 (GZ_{max} 等) が劣っている。

赤線: 引き揚げ調査結果から推定した軽荷状態から設定した事故時状態

黒線: マスト等の改造分を修正した建造時の軽荷状態から設定した事故時状態

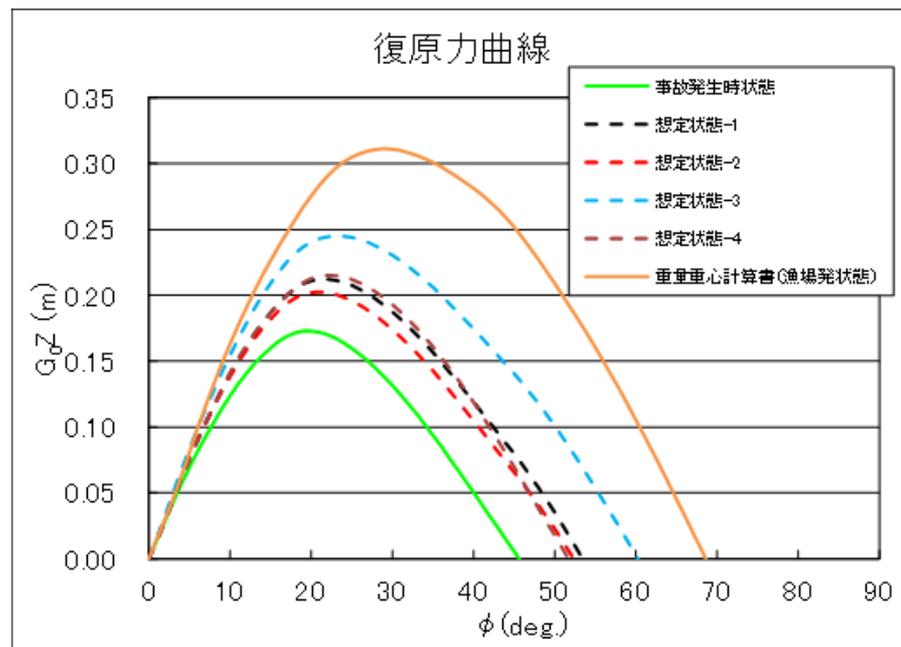


マスト等の改造，活がに水槽の搭載の影響

状態	G_0M (m)	GZ_{max} (m)	ϕ_{max} (deg.)	ϕ_w (deg.)	ϕ_B (deg.)
事故時状態(引き揚げ調査)	0.79	0.17	20	31.9	24.1
想定状態-1(改造前+水槽上甲板)	0.80	0.21	22	33.4	24.4
想定状態-2(改造後+水槽魚艙)	0.88	0.20	22	31.9	24.1
想定状態-3(改造前+水槽魚艙)	0.89	0.25	24	33.4	24.4
想定状態-4(改造後+甲板上水槽無)	0.76	0.21	23	32.8	25.9
漁場発状態(重量重心計算書)	0.87	0.31	29	42.9	26.0

○マスト等の改造，活がに水槽の上甲板上への搭載により復原性が大幅に低下

- 想定状態-1: 改造前の軽荷状態で事故発生時と同様に活がに水槽を上甲板上に搭載した状態
- 想定状態-2: 事故発生時と同じ改造後の軽荷状態で活がに水槽を魚艙に降ろした状態
- 想定状態-3: 改造前の軽荷状態で活がに水槽を魚艙に降ろした状態
- 想定状態-4: 事故発生時と同じ改造後の軽荷状態で甲板上の活がに水槽を船外に降ろした状態



事故時の曳航状態の推定

曳船(B船)・被曳船(A船)の曳航時の挙動と索張力を当
所で開発した最適曳航支援システム*を用いて計算

(計算における設定)

・事故時の気象・海象と曳航方向

時刻	4:00	4:20	4:40	5:00	5:20
有義波高 [m]	3.51	3.40	3.42	3.49	3.57
有義波周期 [s]	7.1	7.2	7.2	7.4	7.4
波向 [deg]	33.4	32.0	30.0	32.1	25.2
風速 [m/s]	11.78	11.89	11.82	11.68	11.40
風向 [deg]	25.5	25.4	25.0	25.2	27.5

時刻	4:00	4:20	4:40	5:00	5:15
曳船針路[deg]	77.9	87.1	105.0	101.4	125.9
曳航速度[kn]	5.0	5.2	5.5	5.5	6.0

・曳航力と曳航索

曳航力(曳航索張力):

約3.0~3.5tf(B船主機
回転数等から推定)

曳航索:

長さ130m, 索の伸度7.5%

*原正一他: 荒天下における航行不能船舶の漂流防止等に関する研究, 海上技術安全研究所報告, 第4巻, 第2号, pp.1-157, 2004.

曳航状態の推定結果（定常状態）

時刻	振れ回り	振れ回り角度 θ_1 [deg.]			最大索張力 [tf]	最大サグ量 [m]	被曳船横方向力最大 [tf]	被曳船索方向 θ_2 [deg]	被曳船横方向力平均 [tf]
		右舷側	左舷側	平均					
4:00	○	-42.2	0.1	-24.0	3.33	1.62	2.45	47.3	1.64
4:20	○	-40.4	0.1	-23.6	3.23	1.53	2.25	44.2	1.66
4:40	-	-25.4	-23.3	-23.6	2.99	1.84	2.28	49.8	2.28
5:00	-	-21.2	-17.6	-19.6	3.09	1.79	2.34	49.3	2.34
5:15	○	-46.2	-17.2	-29.9	3.36	1.57	2.70	46.7	2.13

○曳航開始後暫くは曳船右舷側を中心に振れ回りが発生（口述と対応）。曳船の変針とともに風，波が横から被曳船に当たるようになると被曳船は波下，風下側に流されて曳航される。索張力は約3tf。

○転覆直前の被曳船の状況

- ・転覆直前に被曳船（A船）から連絡があった時，「曳船船橋右舷側窓から被曳船を確認できなかった」という曳船（B船）漁労長の口述。
- ・転覆前には曳船は境港に向け右回頭方向に徐々に変針
→これまで風と波の影響を受けて波下，風下に流されていた被曳船が，変針時に曳船に追従できずに曳船の後ろまたは左舷側に出た可能性。

事故時の風及び波浪による横傾斜角の推定

(1) 風による横傾斜

① 現場海域の風速，風向角と曳船(B船)の平均船速，針路

時刻		風速	風向	speed	co.	相対風速	相対風向
時	分	[m/s]	[°]	[kn]	[°]	[m/s]	[°]
4	0	11.78	25.5	4.5	74.8	13.4	41.8
4	20	11.89	25.4	5.2	87.1	13.4	51.6
4	40	11.82	25.0	5.5	105.0	12.6	67.2
5	0	11.68	25.2	5.5	101.4	12.7	63.7
5	15	11.40	27.5	6.0	125.9	11.4	82.8

② 横傾斜モーメント(K_A)の推定*，横傾斜角の算定結果

時刻		C_K	K_A
時	分	(-)	(tf*m)
4	0	0.491	2.78
4	20	0.606	3.41
4	40	0.710	3.57
5	0	0.696	3.52
5	15	0.730	2.97

時刻		風による傾斜角
時	分	[deg.]
4	0	0.75
4	20	0.92
4	40	0.96
5	0	0.95
5	15	0.80

○現場海域の風による横傾斜角は、1度程度→単独では転覆要因にはならない

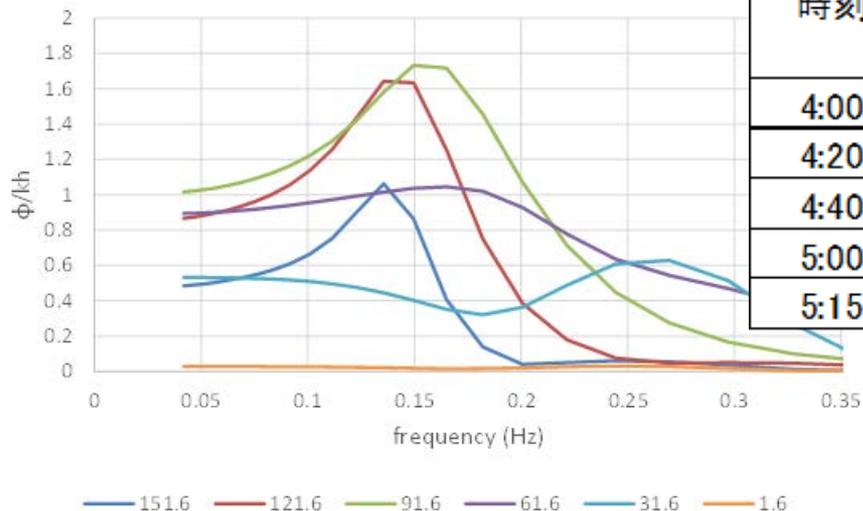
*藤原敏文他：成分分離型モデルを利用した新しい風圧力推定法，日本船舶海洋工学会論文集，第2号，pp.243-255，平成17年12月。

(2) 波浪による横揺れ

① 現場海域の波浪の代表値並びに曳船(B船)の平均船速, 針路

時刻	平均		有義波			出会い波数: 10分航行		
	speed (kn)	co.(deg.)	波高 $H_{1/3}$ (m)	周期 $T_{1/3}$ (s)	波向 θ_w (deg.)	出会い波周期 $T_{1/3_e}$ (s)	出会い角 χ (deg.)	$N_{1/3_e}$
4:00	5.0	77.9	3.51	7.1	33.4	6.1	135.5	99
4:20	5.2	87.1	3.40	7.2	32.0	6.3	124.9	95
4:40	5.5	105.0	3.42	7.2	30.0	6.8	105.0	89
5:00	5.5	101.4	3.50	7.4	32.1	6.8	110.7	88
5:15	6.0	125.9	3.57	7.4	25.2	7.8	79.3	77

② STF法による応答関数の計算, 横揺れの短期予測結果



時刻	m_0 (deg. ²)	$\sqrt{m_0}$ (deg.)	平均値 (deg.)	1/3有義値 (deg.)	1/100最大期待値 (deg.)
4:00	14.3	3.78	4.73	7.56	12.2
4:20	21.7	4.65	5.83	9.32	15.0
4:40	28.8	5.37	6.72	10.7	17.3
5:00	27.7	5.27	6.60	10.5	17.0
5:15	27.0	5.20	6.51	10.4	16.8

○4:40以降はA船にその復原性と
比較して大きな横揺れが発生

転覆に至るメカニズムの検討

○転覆発生状況の想定(事故状況及び解析結果に基づく)

- (i) 曳船(B船)に対し風下・波下側(右舷側)に流されて曳航されていたA船が, B船の変針や波浪あるいは風の変動に伴い, B船に対し風上・波上側(左舷側)に位置するようになり,
- (ii) 風及び索張力による傾斜モーメントの作用で右舷側に定傾斜した状態で, 左舷斜め後方からの波浪により横揺れをしながら被曳航中に,
- (iii) 索張力や曳航索と船首方位のなす角が変化し, それに伴い索張力による傾斜モーメントが増大した結果, 横傾斜角が復原力の最大値が生じる横傾斜角より大きなブルワーク上端没水角を超過し,
- (iv) (横傾斜角が復原力の最大値が生じる横傾斜角より大きな角度で)復原性的に不安定な状態で, ブルワークが抵抗となり復原しにくい状況となり, 引き続いて入射した波の作用で転覆した。

転覆メカニズムの検討

○検討方法

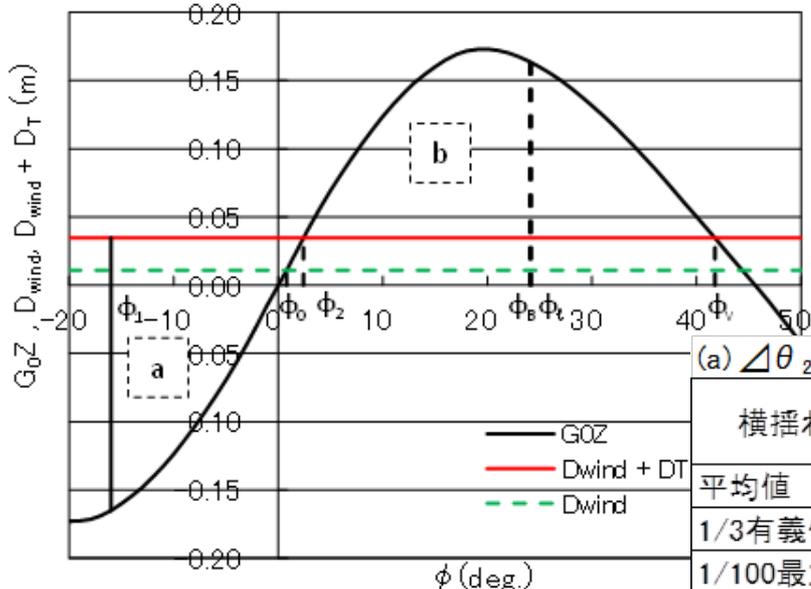
想定した転覆の発生状況について、C係数基準と同様に、風上側(左舷側)に最大限横揺れした時点で、索張力による傾斜偶力が急激に増大したとして、風下側(右舷側)への最大傾斜角等をエネルギーバランスの考え方で推定し、復原力消失角、ブルワーク上端没水角と比較

○エネルギーバランスの計算

- ・索張力曳航索と船首方位のなす角 θ_2 (横引き角) が一定値 (θ_{2_s}) から急激に増大 (増分 $\Delta\theta_2$) した状態を計算
- ・ θ_{2_s} : 0度, 15度, 30度の3ケースと $\Delta\theta_2$: 15度, 30度, 45度の3ケースの組合せ
- ・横揺れ片振幅 (ϕ_a) は平均値 (6.5度), 1/3有義値 (10.4度), 1/100最大期待値 (16.8度) の3ケース
- ・事故発生直前の索張力は3.0tfと想定

エネルギーバランス計算例($\theta_{2s}=0\text{deg.}$)

エネルギーバランス($\theta_{2s}=0\text{deg.}$, $\Delta\theta_2=30\text{deg.}$, $\phi_a=16.8\text{deg.}$:1/100最大期待値)



横引き角 θ_2 が0度から30度まで増大した場合、1/100最大期待値の横揺れが生じたとしても、動復原力と傾斜エネルギーの比 c は1.59で船は転覆しないが、右舷側への最大傾斜角 ϕ_ℓ は24.2度となり、海面がブルワーク上端を超えるまで傾斜すると判定される。

(a) $\Delta\theta_2=15\text{deg.}$

横揺れ振幅	ϕ_0 (deg.)	ϕ_1 (deg.)	ϕ_v (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	ϕ_ℓ (deg.)
平均値		-5.7		0.38		10.07	9.3
1/3有義値	0.8	-9.6	43.0	0.86	3.86	4.48	13.5
1/100最大期待値		-16.0		1.94		1.99	21.0

(b) $\Delta\theta_2=30\text{deg.}$

横揺れ振幅	ϕ_0 (deg.)	ϕ_1 (deg.)	ϕ_v (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	ϕ_ℓ (deg.)
平均値		-5.7		0.47		7.22	11.2
1/3有義値	0.8	-9.6	41.8	0.99	3.40	3.42	15.7
1/100最大期待値		-16.0		2.14		1.59	24.2

(c) $\Delta\theta_2=45\text{deg.}$

横揺れ振幅	ϕ_0 (deg.)	ϕ_1 (deg.)	ϕ_v (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	ϕ_ℓ (deg.)
平均値		-5.7		0.55		5.46	12.9
1/3有義値	0.8	-9.6	40.7	1.11	3.03	2.72	17.8
1/100最大期待値		-16.0		2.32		1.30	27.5

ϕ_v : 定常傾斜がある場合の復原力消失角

a: 傾斜方向のエネルギー

b: 動復原力

c: 動復原力と傾斜エネルギーの比 ($c=b/a$)

ϕ_ℓ : 右舷側への最大傾斜角

エネルギーバランス計算例(比較)

($\theta_{2_s}=0\text{deg.}$) (索張力作用方向: 左舷側)

(a) $\angle\theta_2=15\text{deg.}$

横揺れ振幅	ϕ_0 (deg.)	ϕ_1 (deg.)	ϕ_2 (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	ϕ_ℓ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	0.1	0.38	3.95	10.52	7.5
1/3有義値		-11.2		0.83		4.75	11.4
1/100最大期待値		-17.6		1.83		2.15	17.8

(b) $\angle\theta_2=30\text{deg.}$

横揺れ振幅	ϕ_0 (deg.)	ϕ_1 (deg.)	ϕ_2 (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	ϕ_ℓ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	0.9	0.46	3.59	7.75	9.2
1/3有義値		-11.2		0.96		3.73	13.4
1/100最大期待値		-17.6		2.04		1.76	20.4

(c) $\angle\theta_2=45\text{deg.}$

横揺れ振幅	ϕ_0 (deg.)	ϕ_1 (deg.)	ϕ_2 (deg.)	a (m-deg.)	b (m-deg.)	c (=b/a)	ϕ_ℓ (deg.)
平均値	-0.8	-7.3	1.6	0.55	3.30	6.04	10.8
1/3有義値		-11.2		1.09		3.04	15.1
1/100最大期待値		-17.6		2.22		1.49	22.8

○漁船Aの事故では風による傾斜偶力の作用方向と索張力による傾斜偶力の作用方向が一致するような曳航状態になったことが、事故発生要因の一つと考えられる。

まとめ

- 事故解析

- (1) 事故時の復原性能の推定(改造, 水槽搭載の影響)
- (2) 事故時の曳航状態の推定(口述との対応)
- (3) 事故時の風及び波浪による横傾斜角の推定(復原性能との比較, 評価)
- (4) 転覆に至るメカニズムの検討(転覆発生状況の想定, エネルギバランス計算による検討)
→事故発生状況の再現CG

- 運輸安全委員会事故調査報告書

解析結果の事故原因, 再発防止策への反映