

(昭和 32 年 5 月造船協会春季講演会に於て講演)

青函連絡船洞爺丸等の転覆事件に 関する実験的研究

正員 加藤 弘*

正員 佐藤 正彦**

正員 元良 誠三*

On the Disaster of the Ferry-Boat "Toya Maru"

By Hiroshi Kato, *Member*,
Masahiko Sato, *Member*,
and Seizo Matora, *Member*,

Abstract

Typhoon "Marie" capsized five ferry-boats including Toya Maru at Hakodate Harbour in the night of September 26, 1954. The disaster was so great that it invited a serious public attention.

In accordance with the request of the Marine Disaster Inquiry Agency, the authors conducted experiments in order to investigate its technical causes. In the experiments two specific cases of Toya Maru (passenger boat) and Tokachi Maru (freighter) were dealt with as representatives of the wrecked ferry-boats.

The main interest of this experiment was focused on the following items.

- (1) To study the mechanism and to measure the amount of water poured in through the stern opening of the wagon deck, while the ship anchoring, heaving-to or advancing in waves.
- (2) To study the effect of water stagnant on the wagon deck or flooded in the engine and boiler rooms on the stability of a ship
- (3) To study the effect of bottom contact on the stability of a ship, in case of Toya Maru.

From these investigations, a number of problems have been clarified or could be presumed with a good confidence, which may be outlined as follows.

1. Flooding on the wagon deck at the time of anchoring was caused by the dipping-up of the water due to pitching of the ship. Such flooding is the heaviest when the wave length is approximately equal to the length of the ship, and the deck would not be flooded unless the ship is in full loaded condition and the wave height is more than 5 metres.
2. It is presumed that the wave at the time of disaster was such that the length was approximately equal to the length of the ship, that is, 100 metres or thereabout, and the height was about 6 metres.
3. In case of freighters (Tokachi Maru type), there is a certain danger that, when the wave height is more than 6 metres and the wave period is about 9 seconds, the ship overturns merely due to the flooding of sea water onto the wagon deck through the stern opening. It is

原稿受付. 1月10日

* 東京大学工学部

** 日本海事協会技術研究所

considered that this is the reason why all of 4 freighters capsized and sank as they dropped anchors at the offing and stood facing with wind and waves.

On the contrary, in case of passenger ferrys (Toya Maru type), the breadth of the wagon space is so narrow that they do not result in capsize merely due to the flooding of the waves. The reason why Toya Maru did not overturned until she had drifted to the shore and then contacted the bottom would be this as well as the fact that the accomodation spaces were located at the both sides of the wagon deck, which contributed to the stability of the ship.

4. It is generally thought that, when the ship encounters with wind storm, it is the safest way that the ship stands facing with the wind and waves. However, this would aggravate the danger in case of ships having stern openings.
5. According to the statements of survivors of Tokachi Maru, GM was presumed to have been negative before capsizing due to the stagnation of water on the wagon deck and the flooding in engine and boiler rooms.
6. In case of Toya Maru there is little probability that wind and waves then would cause her capsize merely due to the flooding, just before her bottom contact, of the assumed amount of about 200 tons in engine and boiler rooms and about 300 tons on the wagon deck. The vital cause is assumed to be the loss of stability affected by the bottom contact.

1. 緒 言

昭和 29 年 9 月 26 日、早朝九州に上陸した台風 15 号は時速 100 余 km という驚異的スピードと北上するに従つて発達するという特異性を示しながら裏日本を縦断し、夜には強大な暴風となつて早くも北海道を襲い、洞爺丸初め 5 隻の連絡船を転覆させ、多数の一般船舶の海難を惹き起したことは、いまだ記憶に新らたなところである。なかでも洞爺丸は、旅客 1,198 名、乗員 133 名を乗せており、その内実に 1,172 名の死者を出すというタイタニック号以来の大惨事となつた為痛く世間の注目を浴び、その原因の究明が強く要望された。

この事件は直ちに海難審判に附され、その原因が追究されたが、著者等は同審判の第一審及び第二審に当り、これらの連絡船の復原性に関する鑑定を依頼され、理論及び実験の両面から調査を行つた。

この論文は鑑定に関連して行つた実験及び理論計算を主体とし、これに調査の結果を加えて、転覆に至る経過の科学的解釈を試みたものである。なお、法理論的な責任の所在等は本研究の目的でないから一切触れないこととする。

2. 当時の気象及び海象

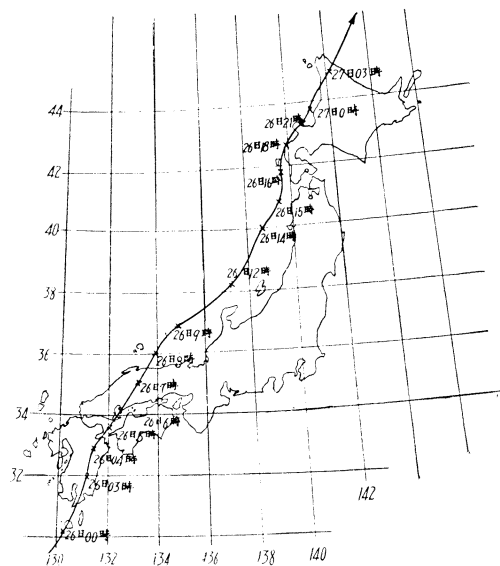
当時の気象及び海象は概略次のとおりである。¹⁾

2.1 台風の経路、中心示度、速度等

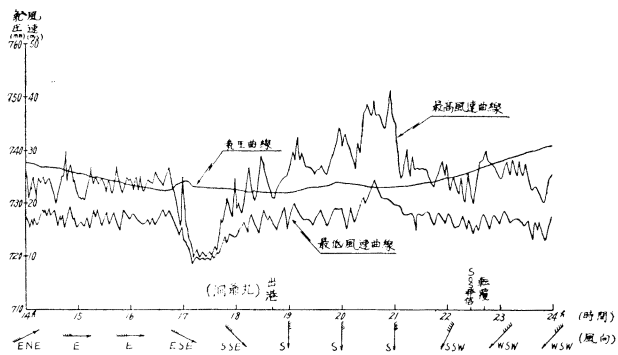
台風 15 号は昭和 29 年 9 月 26 日 2 時鹿児島湾に達し、時速 70~90 km で北東に進み、6 時には松山の西方海上を通過、中国地方を斜に横断、8 時鳥取北方で日本海に出た。この台風は九州、中国の陸上を通過したにも拘らず依然その勢力衰えず、日本海に抜けた頃には寧ろ発達して中心示度 968 mb となり、約 100 km/h の極めて早い速度で北東に進み、15 時には青森の西方海上北緯 41°、東経 138.2° に達し、更に発達して中心示度 960 mb を示すに至つた。この頃から速度は急速に低下し、40~50 km/h 程度となつて北東乃至北北東に向つて進み、18 時北海道渡島半島西方奥尻島附近を、21 時寿都西方海上を通過、27 日 3 時稚内南方 35 km の地点に上陸、宗谷地方を北東に横切つてオホーツク海に入つた。(第 1 図)

一般に台風は本州方面で陸地を横断すると弱まるのが普通であるが、台風 15 号は北海道西岸に達するまで発達を続けたこと、その進行速度は日本海に出た頃には約 100 km/h で極めて大きかつたこと及び北海道に接近した頃から速度が急速に低下し進行方向は殆んど変化せず速度だけが半分以下になつたことは、この台風の特異な

4) 函館海洋气象台調製の資料その他による。



第1図 台風第15号経路



第3図 昭和29年9月26日函館における気象概況

気圧： 函館海洋気象台の記録によれば、16時から20時頃までが低く、この間に台風の中心が通過したことを示している。(第3図)

風向風速： 洞爺丸投錨地点の東方約3kmの函館棧橋有川支所におけるライトペーン型風向風力計の記録によれば第1表の通りである。

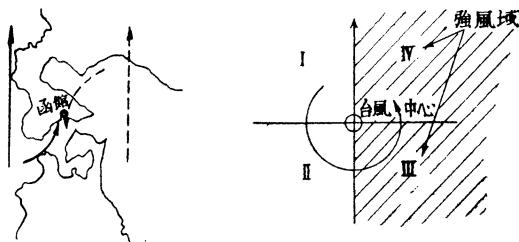
第1表

9月26日時刻	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
風向	東南東	東南東	南東	南南西	南南西	南南西	南南西	南南西	西北西	西
風速 (m/sec)	平均	13~15	13~16	7~12	18~24	25~20	20~25	25~30	20~30	20~30
	突風	20	20	28	34	42	52	45	35	35

また当時洞爺丸は、1901(防波堤外投錨時)南18.4m/s, 2125突風55m/s, 2212南南西23m/s, 2226(坐礁を報じた時)南南西23m/sと報じている。

これらはいずれも函館港における風速であるから、津軽海峡では幾分高く、平均30~35m/s、瞬間最大50~60m/s程度と推定されている。

波浪： 正確な観測値はないが、洞爺丸の乗員及び陸上の目撃者の言は波高約6mと大体一致している。目測は一般に高目の波に着目し勝ちであるから、この値は有義波高に近いものと考えられる。津軽海峡に平均風速



第2図

点である。

北半球では台風は反時計方向に渦巻いているので、第2図に示す様に台風の進行速度と旋回する風速とが助け合うⅢ、Ⅳ象限が危険である。一方函館の地形は、北は山で遮られ南は津軽海峡に開いているので、南風に対して弱い。従つて台風の中心が函館の東西何れを通るかによつて函館港の状況は一変する。ところが台風15号は15時以後西に偏向して函館の西を通過したので、函館はⅢ、Ⅳ象限に入った上に、風向は南となり津軽海峡を吹渡つて来る強風によつて生じられた風浪

がまともに函館湾に來襲する結果となつた。

もう1つ災害を大きくした原因として台風の進行速度の急変が挙げられる。即ち16時頃までは100km/h程度で北上していたのが北海道に近附くにつれ急に速度が低下、その為來襲時期の推定を狂わせたのと、中心が函館の西に停滞した為津軽海峡に南西の強風が長時間吹き、風浪の生長を促したことである。その後これは津軽海峡の東に生じた副低気圧の影響と判明した。

2.2 函館港における気圧、風向風速及び波浪

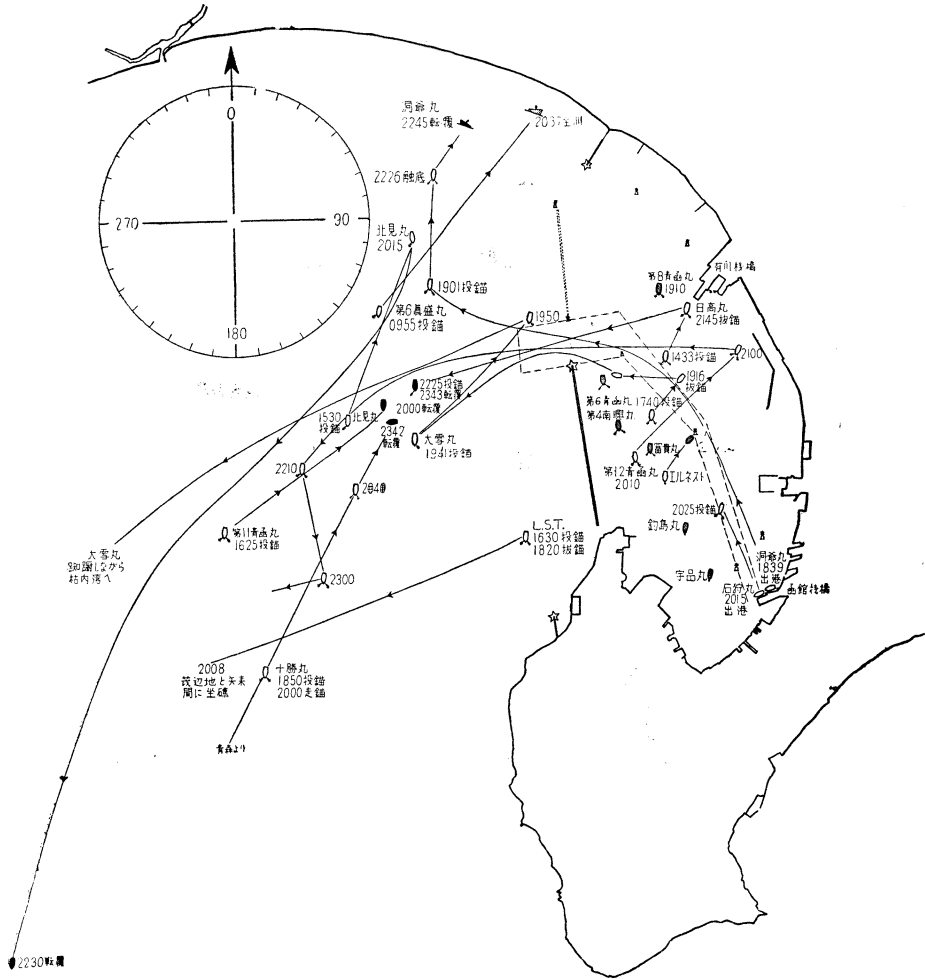
25 m/s の風が5時間吹送したとして波浪予報理論によつて計算すれば次の結果を得る。

	有義波高	波長	波周期	波傾斜
Sverdrup-Munk	5.8m	62.3m	6.3秒	16.8°
Bretschneider	5.7m	137m	9.4秒	7.5°

第一審の裁決によれば、洞爺丸投錨地点において 2200 乃至 2300 における平均波高約 6 m, 平均周期約 7 秒と推定している。

3. 当時の各船の行動と遭難経過

第4図は当時函館港内外で台風15号に遭遇した主要各船の行動を示す。



第4図 函館港における各船の行動

次に遭難各船並に難を免れた大霧丸及び第12 青函丸の経過概要を摘記する。

(1) 洞爺丸： 9月26日 18.39 旅客 1,198 人, 乗員 133 人, 郵便物 171 個, 車両 12 (ボギー車 4, 貨車 8, 重量合計約 313 t) を積載, 函館棧橋を離れ青森に向う。

18.55 頃函館港防波堤灯台通過, 風波意外に強く, 投錨用意下令, 前進を続ける。

19.01 防波堤灯台から真方位 300°, 0.85 海里に右舷投錨。錨鎖 6 節。錨効かざ左舷投錨。左 7 節右 8 節とし主機を動かして船位の保持に努める。風はほぼ南南西約 25 m/s その後風は南西に偏向しつつ勢を増す。

19.30 頃から車両甲板船尾開口から海水打込み始める。甲板部員は車両緊締具の増締め, 開口蓋閉鎖の確認,

甲板排水孔の疎通に当る。

20.00 頃から風勢特に猛烈になり徐々に走錨し始める。

20.05 頃機械室逃出口周縁から海水断続的に激しい夕立の様に侵入，漸次浸水増大。

20.15 頃缶室逃出口周縁から海水断続的に侵入。

20.25 頃石炭取出口から海水諸共石炭が缶室へ流出。

20.30 頃下部遊歩甲板左舷角窓ガラス4枚波浪の為破壊，動揺に伴って侵入した海水の一部前部3等客室（車両甲板下にある）へ断続的に侵入。

20.40 頃突風 57 m/s に達する。

20.50 頃左舷循環水ポンプ電動機浸水停止，左舷主機使用不能となる。

21.00 頃左舷への傾斜増大，トリミングポンプを操作，傾斜匡正したが，その後再び左舷へ傾斜。

21.30 頃波浪増大，車両甲板への浸水も増し，動揺に伴い流動激しく作業危険となり，作業員同甲板から退避。缶の焚火一段と困難となる。

22.00 過ぎ旅客に救命胴衣着用を命ずる。浸水増加の為復原力著しく低下，傾斜益々増大約 40° に達し，上部遊歩甲板外縁水没し同甲板下階階段口から海水奔入。

22.05 頃右舷循環水ポンプ電動機浸水停止，右舷主機使用不能となる。

22.15 頃機関部員退避。

22.26 頃函館港第三防砂堤灯柱から真方位 267°，0.8 海里，距岸約 0.5 海里，水深 12.4 m，底質砂の地点に船底を軽く底触し，その後数回繰返す。前部3等客室右舷側入口から海水が滝の様に入。

22.43 頃主発電機停止，消灯。

22.45 頃函館港防波堤灯台から真方位 337°，2500 m の地点において海岸線にほぼ平行に右舷側に転覆，転覆直前積載車両横転，左舷錨鎖切断。

旅客 1,084 人，乗員 88 人死亡又は行方不明。

(2) 十勝丸： 9月26日 14.20 乗員 76 人乗組み，貨車 35（内空車 12，重量合計約 652 t）を積載，青森港鉄道棧橋発函館に向う。

18.50 風強く着岸不能として葛登支岬灯台から真方位 62°，約 3.3 海里，水深 28 m の地点に投錨，錨鎖を右 8 節左 4 節として仮泊。

19.30 頃から両舷機を随時使用して船位保持に努める。

19.50 頃船体が右に大きく傾いた時船橋楼甲板上の排気通風筒から機械室へ海水が打込む。

20.00 頃風勢特に猛烈になり徐々に走錨し始める。缶室へ空気口，出入口等から大量に浸水始まる。石炭取出口から海水と共に石炭が缶室へ流出。

20.40 頃最初の投錨位置から北東方に約 1 海里圧流される。動揺甚だしく，横揺は右舷約 40°，左舷約 28°。

21.00 過ぎ車両甲板船尾開口から侵入した海水は，同甲板中央部にある無蓋車の床上に達する。

21.10 頃右舷傾斜を匡正の為トリミングポンプを操作したところ，風波を主として左舷船首寄りに受けていたのに却って左舷へ傾斜，その後傾斜調整の度毎に両舷に交互に 20° 近く傾斜，ビルジ排除に努めるも浸水量刻々増加。

21.50 頃トリミングポンプ操作停止後は右舷だけに傾斜，3，4，5，6 号缶中央焚口水没，焚火不能となる。

22.00 頃 2 号缶も焚火不能となる（1 号缶は休缶），全員機械室へ退避。

22.15 頃潤滑油ポンプ 2 台とも揚油能力を失う。

22.20 頃両舷主機停止。

22.40 頃機械室全員退避。

23.36 頃右舷側への傾斜急速に増大，車両甲板舷側外板上部の換気口からも海水奔入。

23.41 頃積載車両横転。

23.42 頃右舷側へ転覆，沈没位置防波堤灯台から真方位 253.5°，1,810 m，水深 20 m。

死亡及び行方不明 58 人。

(3) 日高丸： 9月26日 11.20 貨車 43（内空車 3，重量合計約 888 t）を積載，青森発函館に向う。

14.33 函館港内に到着。東風強吹の為予定の有川鉄道棧橋係留を取止め、同棧橋沖合、防波堤灯台から真方位 84°, 900 m に錨鎖両舷各 5 節で双錨泊。乗員交代。77 人。

19.30 頃機関を随時使用して守錨に努める。風力増大に伴い両舷錨鎖各 8 節とする。その後徐々に走錨し、有川棧橋に接近。船長は防波堤外へ転錨を決意。

21.15 頃揚錨に着手。

21.45 頃揚錨終了、前進全速で進航。

22.00 少し過ぎ函館港防波堤灯台通過後、にわか波浪猛烈となり船体の動揺甚だしく、船尾開口から車両甲板へ海水侵入し始める。

22.10 頃機械室及び缶室へ猛烈に浸水始まる。石炭取出口から海水と共に石炭缶室へ流出。

22.25 頃防波堤灯台から磁針方位約西 0.9 海里に右舷投錨。錨鎖約 4 節延出した際左舷船首約 50 m に船首部船底を水面上に露出して転覆している船を発見、全速後退し、両舷錨鎖各 10 節延出して係止。沈船に接近するので機関を使用して風に立てるように操船不能。その後風稍弱まったが波浪依然高く、浸水状況益々悪化。

23.00 頃船体は右舷へ約 10° 傾斜して動揺。車両甲板右舷側船尾のプルワーク絶えず海水に覆われ、同舷側上部の換気口からも海水奔入。第 1, 3, 5 号缶焚火不能となる。船長は捨錨を下命。

23.20 頃缶室全員機械室へ退避。

23.30 頃機関使用不能となる。

23.35 頃錨鎖庫で錨鎖切断成功。前進全速を発令したが主機既に使用不能。浸水増加して右舷傾斜増大。総員退避下令。

23.43 頃積載車両横転と共に転覆。沈没位置函館港防波堤灯台から真方位 264°, 1,530 m, 水深 20 m。

死亡及び行方不明 56 人。

(4) 北見丸： 9月26日 15.17 貨車 46 (重量合計約 1,047 t) を積載、乗員 76 人で函館有川棧橋を離れ、避難の目的で防波堤外へ進航。

15.30 函館港防波堤灯台から真方位 257°, 1.2 海里、水深 20 m に右舷錨を投げ錨鎖 8 節延出して停泊。

18.00 頃から風は南寄りとなり風勢益々増大。

18.40 頃機関用意発令。

19.00 頃から適宜機関を使用して船首を風波に立てるように操船。風は南から南西へ次第に偏向して愈猛烈となる。

19.30 頃機械室及び缶室に浸水始まり、排水に努めるもビルジ次第に増加。

20.00 頃から動揺とビルジの為焚火困難となる。

20.20 頃突風 48 m/s に達し錨泊危険となり、船長躊躇を決意。

20.45 頃錨鎖捲き始める。

21.00 頃ビルジ増加、焚火一層困難となり、汽圧低下。

21.15 頃錨鎖 3 節まで捲きつめ両舷機前進全速とし躊躇に移る。縦揺特に著しく、この間船尾開口から車両甲板へ海水打込む。

22.00 頃左舷傾斜増大するのでトリミングタンクで調整したところ右舷に傾き、傾斜次第に増加。第 2, 4 号缶、次いで間もなく第 1, 3, 5 号缶焚火不能となる。

22.25 頃缶室全員機械室へ退避。

22.30 頃汽圧下降して発電機停止。傾斜約 30° となり危険を感じ機関を停止して機械室全員退避。主機停止により船長は再び錨泊を決意したが、その直後傾斜急速に増大、積載車両横転し、本船は右舷側へ転覆。沈没位置葛登支岬灯台から真方位 89°, 2,900 m, 水深約 50 m。

死亡及び行方不明 70 人。

(5) 第 11 青函丸： 9月26日 13.20 乗員 90 人で旅客及び車両を積載、函館鉄道棧橋を離れ青森に向う。港外に進航するに従い風波増大。

13.53 続航を断念して穴潤岬から引返す。

14.48 再び函館鉄道棧橋に係留、旅客及び駐留軍用ボギー車 2 両を揚陸、定期就航を見合せたが、前記車両の代

りに、貨車5を加え、結局貨車45(重量合計約1,180t)を積載。

16.02 荒天避泊のため離岸、防波堤外へ進航。

16.25 函館港防波堤灯台から真方位245°,2海里,水深約22mに投錨仮泊。

20.00 頃沈没と推定。沈没位置防波堤灯台から真方位257.5°,1,785m。全乗員死亡又は行方不明の為詳細不明。

その後の調査により、本船船体は缶室のほぼ中央部において切断し、その前部は切断部を海底に突込んで倒立し、後部は更に車軸室中央部において切断し前部船体から約200m離れた所に覆没しており、結局船体は三分していることが判明した。

(6) 大雪丸：9月26日16.55 青森から函館棧橋に着岸。

17.25 離岸沖出し。

17.40 第29号錨地(防波堤灯台から真方位122°,920m)に投錨。

19.05 「港内輻輳のため港外に転錨予定」と通報。

19.16 錨地抜錨。

19.41 防波堤中央西約1海里に投錨,左舷錨9節延出したが走錨。

19.50 北防波堤へ0.2海里まで接近,5節まで錨を捲く。

20.23 最初の投錨位置附近に到り,錨を納める。

21.00 「葛登支岬灯台から真方位4°,2.8海里の地点で脚蹶中」と通報。

21.50 「操舵機室浸水の為舵不能,機関にて操船中」と通報。位置は葛登支岬灯台から真方位149°,3.2海里。

23.00 「葛登支岬灯台から真方位190°,5.3海里の地点にて脚蹶中」と通報。

27日00.10 葛登支岬灯台から真方位222°,10.2海里に投錨。

(7) 第12青函丸：24日01.00から第22号錨地(防波堤灯台から真方位146°,1,080m)に右舷4節左舷3節の双錨泊待機中のところ,9月26日16.45附近のエルネスト号が走錨して振れ廻るので危険を感じ,右舷錨鎖4.5節左舷錨鎖3.5節とする。

20.10 エルネスト号本船船首に益々接近,後進全速,走錨し始める。

20.50 「港内にて機関使用,走錨中,異状なし」と通報。

21.35 「港外に沖出し脚蹶中,警戒中,異状なし」と通報。

22.10 「防波堤灯台から真方位250°,1.5海里の地点に脚蹶,舵機機関とも異状なし」と通報。

27日05.00頃から北見丸,第11青函丸を捜索しつつ,06.30頃港内に入る。

以上の各船の遭難経過を見ると,次のことに気が付く。

(1) 洞爺丸は,かなりの浸水があつたにも拘らず,錨が効いて風波に立っている間には転覆せず,岸迄来て,横波横風を受け,かつ触底してから転覆している。

(2) 洞爺丸は,右舷に40°~45°傾いた状態で暫く静止し,その後徐々に傾斜が増して遂に横転している。また車両甲板下にある3等客室の生存者が海水が階段から滝の様に流れ込んだというのと大体時期が一致していることから,大傾斜によつて上部遊歩甲板が水につかり,大量の海水が階段口や非水密の扉,窓等から船内に奔入して遂に復原力を喪失したものと考えられる。

(3) 車両航送船(十勝丸ほか3隻)はいずれも深い所で,錨が効き,大体風波に立つた状態で転覆している。そして北見丸ではトリミングポンプを操作して左舷傾斜を修正中突然反対に右舷へ傾斜したこと及び日高丸では右舷から風波を受けていたにも拘らずなお右舷に傾いて揺れていたことから推して,これらの船はいずれも浸水の為にGMが負になつていたものと考えられる。

(4) 全部の船に共通にいえることは,積載していた貨車が倒れて転覆の原因となつたと認められる事実はなく,船が横転する途中かなり大角度傾いたとき初めて貨車が倒れていることである。殊に第11青函丸では,完全に倒になつた船の車両甲板から貨車が緊締具でぶら下つているものもあつた由である。

(5) 転覆を免かれた大雪丸及び第12青函丸では共に車両を積載していなかつたことと機関を動かして風波に向つて航走し続けていたことが他の遭難5船と異なっている。

これらの諸点に着目して研究の焦点を次ぎの3つに絞つた。

(1) 波浪中で錨泊、踟躕あるいは前進しているときに、車両甲板船尾開口から海水が打込む機構と状況及び同甲板上に滞留する水の量。

(2) 車両甲板上の海水の滞留ならびに機械室及び缶室内の浸水が復原性に及ぼす影響、すなわち各種の想定した浸水状態で横波及び横風を受ける場合に船が耐え得る限界風速。

(3) 特に洞爺丸に於て、触底が船の復原性に及ぼす影響

4. 研究の対象とした船

青函連絡船には大別して客載列車航送船と列車航送船とあり、列車航送船の一部には船楼甲板上に客室設備を設けたものがある。

遭難5船中、洞爺丸は前者に属し、十勝丸、日高丸、北見丸及び第11青函丸は後者に属する。うち第11青函丸は客室設備を有するものである。今回の研究に当つては、洞爺丸と十勝丸を代表船に選んで対象とした。

4.1 洞爺丸及び十勝丸の要目等

	洞 爺 丸	十 勝 丸		洞 爺 丸	十 勝 丸
建 造 所	三菱神戸造船所	三菱横浜造船所	航 行 区 域	沿 海	沿 海
垂 線 間 長 さ	113.20m	113.20m	型 幅	15.85m	15.85m
型 深 さ	6.80m	6.80m	喫 水 { 満 載	4.90m	5.03m
方 形 係 数	0.547	0.591	空 倉	3.78m	3.23m
総 ト ン 数	4,337	2,911	満 載 排 水 量	5,285t	5,458t
乗 組 員	163	96	載 貨 重 量	1,563t	2,415t
車 両 積 載 量 (15トン有蓋貨車)	19両	43両	旅 客 { 1 等	69 (寝台車搭載のとき91)	—
進 水 年 月 日	昭 22-3-26	昭 22-3-22	2 等	297	—
			3 等	843	—
			竣 工 年 月 日	昭 22-11-2	昭 23-3-15

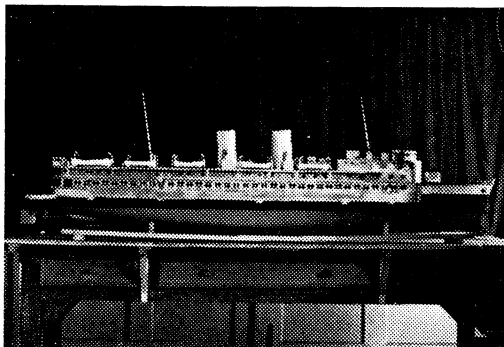
4.2 洞爺丸及び十勝丸の遭難当日の状態

海難審判理事所の認定に基づき、洞爺丸の遭難当日函館出港時の状態と十勝丸の同日青森から函館港防波堤外到着時の状態とをそれぞれ次ぎのように推定した。

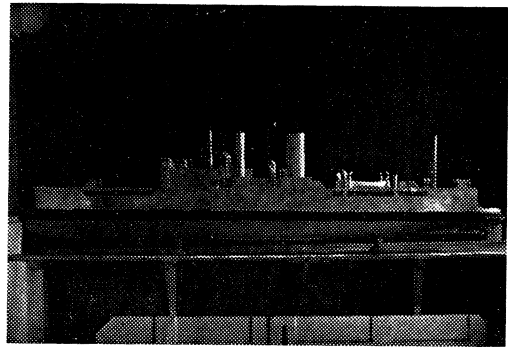
	洞 爺 丸	十 勝 丸		洞 爺 丸	十 勝 丸	
排 水 量	5,173.465t	4,974.018t	排水量(型寸法による)	5,120t	4,930t	
喫 水 {	前 部	4.556 m	K	M	7.337m	7.365m
	後 部	5.053 m	K	G	6.139m	5.237m
	平 均	4.805 m	G	M	1.198m	2.128m
	相 当	4.825 m	4.705 m	横 揺 全 周 期	12.5 秒	7.6 秒

4.3 模 型

模型は、両船とも縮率 1/56.6、垂線間長さ 2.000 m とした。本体は木製で車両甲板下には区画を設け、任意の量の水を機械室及び缶室に注入できるようにした。車両甲板上の構造物は非水密の部分が没水時に浮力を持たない様に真鍮の薄板で精密に作り、非水密の扉、窓、開口等は水が入り得る様孔を明けてある。模型の外観を第5図及び第6図に示す。

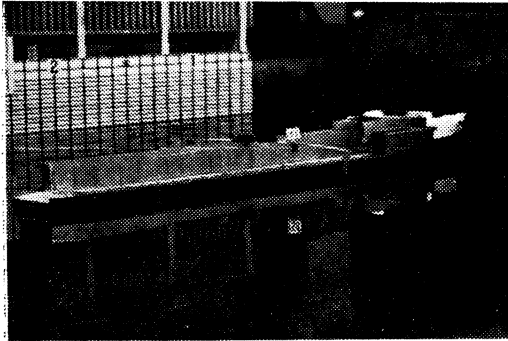


第5図 洞 爺 丸 模 型

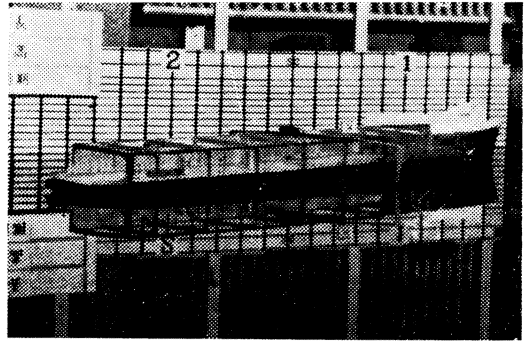


第6図 十 勝 丸 模 型

又向波のときの車両甲板船尾開口からの波の打込みを測定する際には、観測を容易にする為に、車両甲板側壁を第7図及び第8図の如くプラスチックで作った。



第7図 洞 爺 丸 模 型



第8図 十 勝 丸 模 型

5. 当 時 の 波

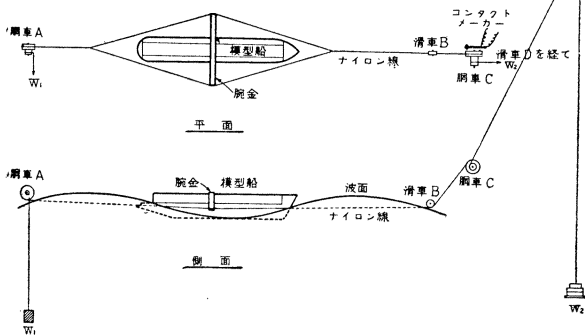
2.2 で述べた様に当時の函館港における波については充分な観測記録がないが、目撃者の言及び波浪予報理論により、当時の波は、波高6m、周期6秒乃至9秒と推定した。

6. 向波で錨泊，脚蹩或は前進する際の車両甲板船尾開口からの波の打込み

遭難各船はいずれも函館港外で錨泊していたのであるが、その間車両甲板船尾開口から波が打込み、同甲板上に滞留したことは前述の通りである。これに関連して、洞爺丸及び十勝丸の模型船を用いて、向波で錨泊，脚蹩或は前進している際の車両甲板への波の打込みの状況及びその機構並に同甲板上に滞留する水の量を実験的に検討した。

6.1 実験要領

錨泊時に対しては双錨泊の状態とした。前進時に対しては重錘法により模型船を曳航した。脚蹩時に対しては曳航用の綱を固定して波浪中に繫止した。(第9図)



第9図 波 浪 中 曳 船 要 領

と波長はほぼ船長に等しく縦揺が大きくなり滞留量最大となる。更に周期が長くなるに従って滞留量は低減する。(第10図)

波周期を9秒とすれば、波高約4m未満では波は打込まない。波高4m以上になると急に打込みが始まり、ほぼ波高に比例して滞留量は増大する。(第11図)この点は注目すべきことであつて、今迄海水の打込みが問題とならなかつたのは、この様な波に遭遇する機会がなかつた為であろう。

波周期9秒、波高6m及び8mのときは、いずれも正向波のとき滞留量最大で、波との出会角が大きくなるに従い減少し、60°以上になると波は打込まなくなる。(第12図)

(2) 脚 蹩 時

錨泊時と異なり、船首部における錨鎖による拘束がないので、縦揺が自由となる。その関係で滞留量は幾分大きい。(第13図乃至第15図船速0参照)

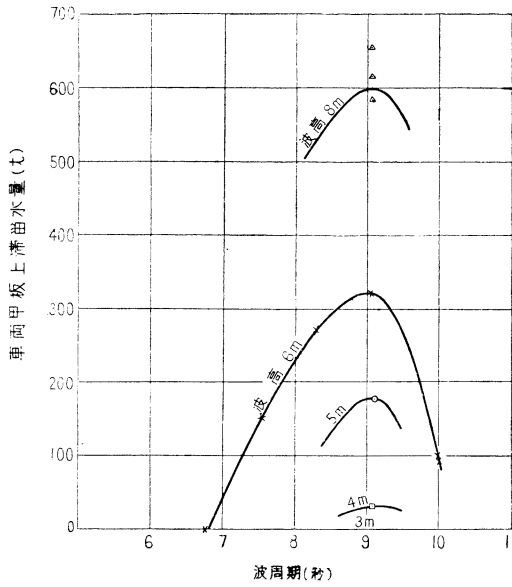
(3) 前 進 時

数回乃至十数回縦揺を反覆しているうちに、波の打込みは大体定常状態になるので、そのとき模型船の船尾を持ち上げ、車両甲板上に滞留する水をポンプで汲み出し、その量を測定した。

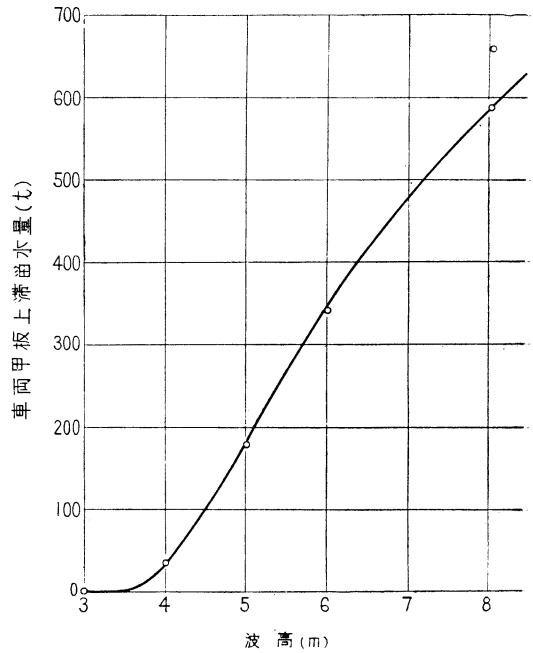
6.2 洞爺丸の場合(当日函館出港時の状態)

(1) 錨泊時(双錨泊，錨鎖各5節，投錨位置の水深20m相当)：

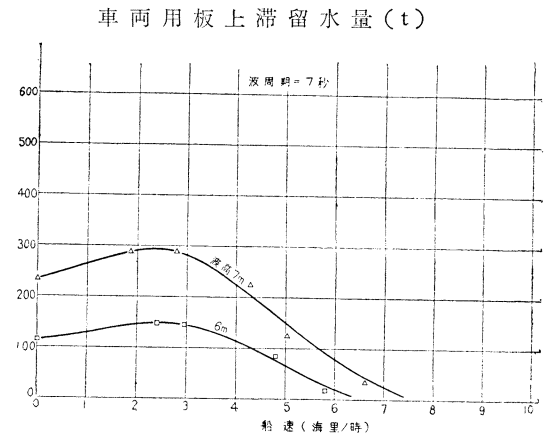
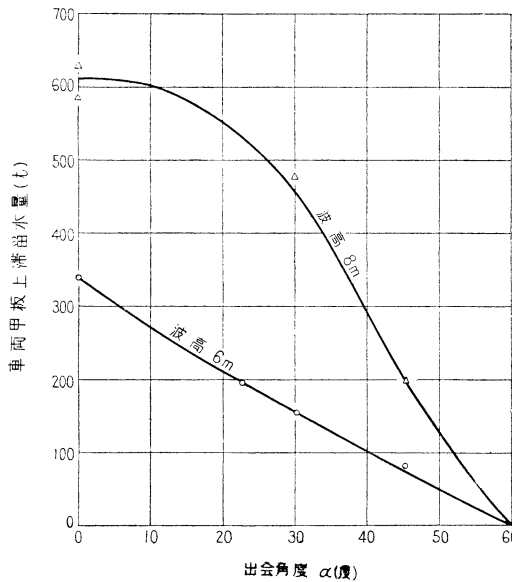
波高を6mとすれば、波周期約7秒以下では波は打込まないが、周期が長くなると次第に打込み方が激しくなつて滞留量も増し、9秒にな



第 10 図 洞爺丸 波周期と車両甲板上滞留水量 (錨泊時)



第 11 図 洞爺丸 波高と車両甲板上滞留水量 (波周期 9 秒, 錨泊時)



↑ 第 13 図 洞爺丸 船速と車両甲板上滞留水量 (1)

← 第 12 図 洞爺丸 出会角と車両甲板上滞留水量 (波周期 9 秒, 錨泊時)

波周期 6 秒のときは、波高約 7 m 未満では船速に拘らず波は全然打込まない。

波周期 7 秒, 波高 6 m 及び 7 m のときは 2.5 節, 波周期 8 秒, 波高 4 乃至 7 m のときは 4 節の附近迄は, 船速が増すと滞留量は幾分増すが, 更に船速が高くなると滞留量は急速に減少を示す。(第 13 図及び第 14 図)

波周期 9 秒, 波高 4 乃至 7 m のときは, 船速 0 (錨泊時) が滞留量最大で, 船速が増すと共に緩慢ながら減少を示す。(第 15 図)

6.3 十勝丸の場合 (当日函館港外到着時の状態)

(1) 錨泊時 (双錨泊, 錨鎖各 5 節, 投錨位置の水深約 20 m 相当)

波高 6 m のときは、波周期約 7 秒未満では波は打込まないが、7 秒を超えると次第に滞留量が増し、9 秒付近で最大となり、更に周期が長くなると減少する。波高 7 m 以上のときは、周期 9 秒前後では滞留する水のため遂に転覆に到ることが認められる。(第 16 図及び第 17 図)

波周期 9 秒とすれば、正向波のときは波高約 7 m で転覆に到るが、 30° 或は 45° の斜向波のときは波高が 7 m を超えても転覆しない。(第 17 図)

(2) 脚 躓 時

錨泊時と大差なく、同程度の波で転覆に到ることが認められる。

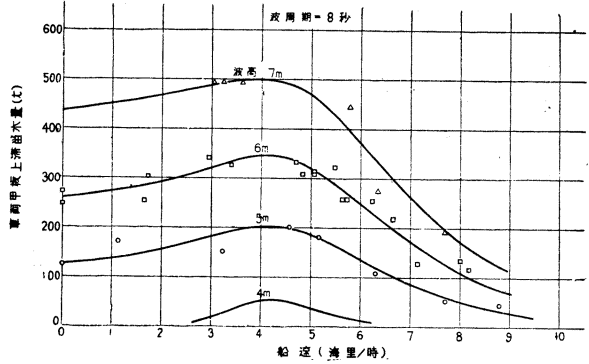
(3) 前 進 時

波周期 6 秒のときは、波高 7 m 以下では船速に拘らず全然波は打込まない。

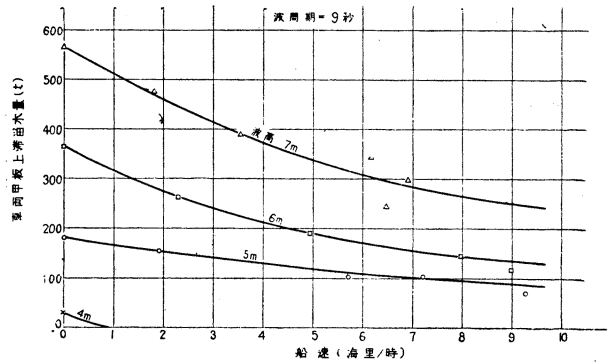
波周期 7 秒、波高 7 m のときは約 2 節に滞留量の山が現われ、更に船速が高くなると緩慢ながら減少する。(第 18 図)

波周期 8 秒のときは波高 5 m 及び 6 m では約 3.5 節に滞留量の山が現われ、波高 7 m では山は現われないがこの船速までは滞留量が徐々に減少し、更に船速が高くなると各波高とも滞留量は急速に減少を示す。(第 19 図)

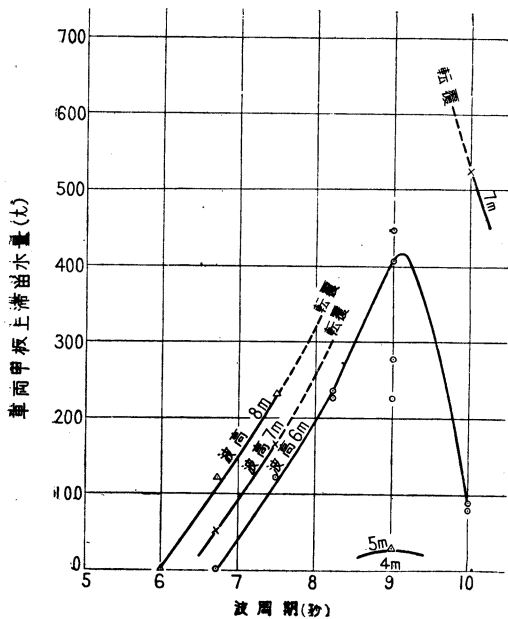
波周期 9 秒のときは、波高 5 m では船速による滞留量の変化は殆ど認められない。波高 6 m では船速の増大



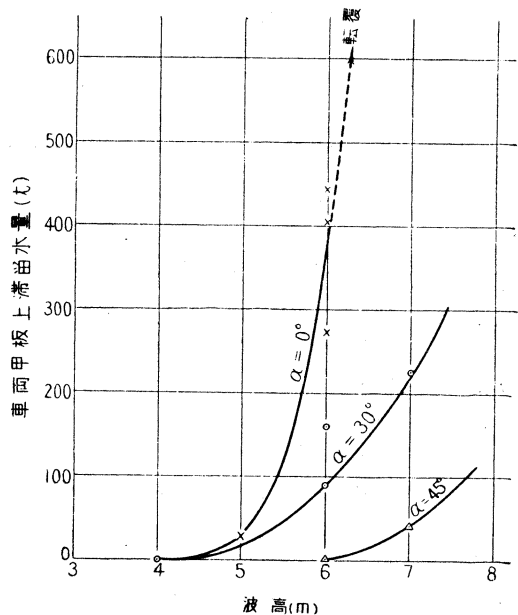
第 14 図 洞爺丸 船速と車両甲板上滞留水量 (2)



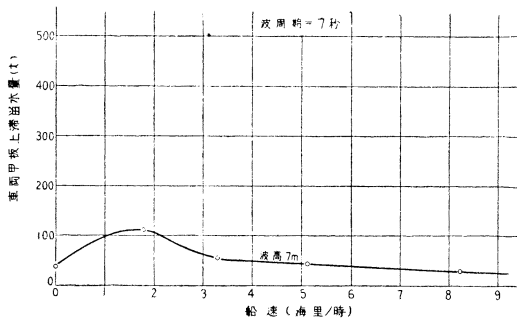
第 15 図 洞爺丸 船速と車両甲板上滞留水量 (3)



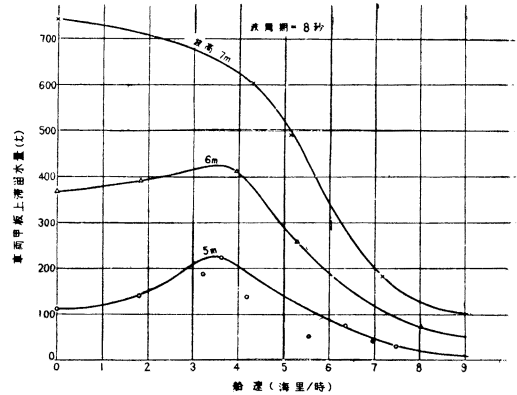
第 16 図 十勝丸 波周期と車両甲板上滞留水量 (錨泊時)



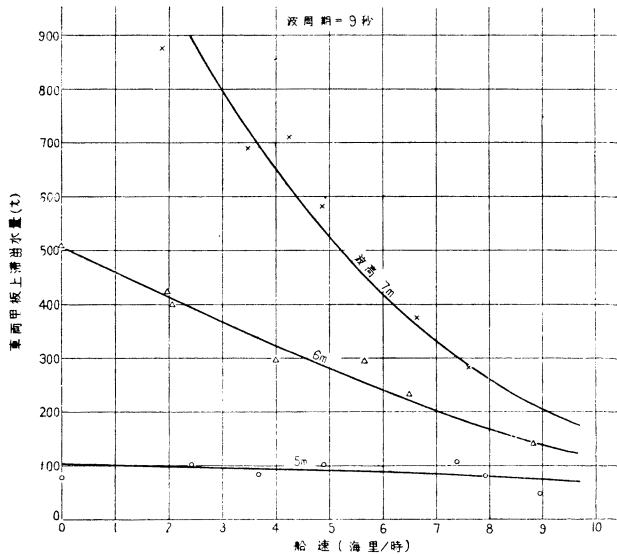
第 17 図 十勝丸 波高と車両甲板上滞留水量 (波周期 9 秒, 錨泊時)



第 18 図 十勝丸 船速と車両甲板上滞留水量 (1)



第 19 図 十勝丸 船速と車両甲板上滞留水量 (2)



第 20 図 十勝丸船速と車両甲板上滞留水量 (3)

と共にかなり急速に滞留量の減少が認められる。波高 7m では、錨泊時も転覆に到るのであるが、船速が高くなると滞留量は著しく減少し、2 節前後の船速を持てば転覆の危険を避け得られることを示している。(第 20 図)

十勝丸の様に車両航送専用船で車両甲板が船の全幅に及んでいるものは、車両甲板上に水が滞留すると自由水の影響によって大きく横傾斜すること、波周期と波高によつて滞留する水の為に転覆に到ることがあり得ることは、特に注目すべき事象である。このことは十勝丸及びその同型或は類型の 4 船が、比較的水深のある地点で、走錨はしておりまたかなり大きく振れ廻っていたにしても、大体風波に立つた状態で相繼いで転覆したと深い関係があると思われる。

7. 各想定浸水状態に対する限界風速

洞爺丸及び十勝丸に対し、それぞれ前述の遭難当日の状態を基準とし、それに車両甲板上の滞留水並に機械室及び缶室内（以下単に機関室内という）の浸水のいずれか一方又は双方を想定した状態について復原力曲線を算定し、想定した波の中で横揺しているとき転覆の怖のある風速（以下限界風速という）を求めた。

7.1 考察の要領

(1) 想定浸水状態

基準の状態に対し、洞爺丸においては、車両甲板上に浸水率 100% として 500 t, 1,000 t 及び 1,500 t 相当の水位の滞留、機関室内に浸水率 100% として 200 t, 500 t 及び 800 t 相当の水位の浸水を想定し、更にこれらに対し浸水率を 100% の外に 70% 及び 40% と仮定した組合せの状態計 121 種を想定した。

十勝丸においては、同様に、車両甲板上の滞留水位を 200 t 及び 500 t 相当、機関室内の浸水水位を 300 t 及び 800 t 相当、浸水率を 100%, 70% 及び 40% と仮定した計 54 種の状態を想定した。

(2) 復原力曲線

上記の各状態についてインテグレータ法により静復原力曲線を調製した。この計算において浮力に算入した範

囲は、上部遊歩甲板（十勝丸では船楼甲板に相当）以下で、車両搭載区域は除いた。第 21 図に洞爺丸、第 22 図に十勝丸の代表的静復原力曲線を示す。

(3) 風圧モーメント

最初 10° 隔きに横傾斜したときの船体（上部構造物、主要機装品を含む）の鉛直面に対する投影を作図して、風圧面積、風圧中心及び反力中心を求めたが、風圧モーメントは傾斜によりあまり著しい変化を示さないで、後の考察の便宜上傾斜に無関係と考えることとし、直立時のものを採用した。尚風圧モーメントの算定には次式を用いた。

風圧モーメント

$$= 0.78 \times 10^{-4} C^2 A v^2 l (t-m)^2$$

C : 風速係数 = 0.75 $\overline{OG}_1^{0.21}$

\overline{OG}_1 : 直立時の水線から風圧中心までの距離(m)

A : 直立時の風圧面積(m²)

v : 風速(m/sec)

l : 直立時の風圧中心と反力中心との距離(m)

実際の風はかなり息をついて吹く。その変動を既往の研究に基き、風速で 1.25 倍従つて風圧で 1.5625 倍と見ることとし、後の考察において、風速が一定の仮定の風と変動する風とを考えた。

(4) 波浪中横揺角

両船の模型船を用い、基準の状態及び浸水率 100% とした各想定浸水状態について波浪中横揺角を実験的に求めた。この際は車両甲板船尾開口部を閉鎖して想定量の水を滞留させて状態を調整した。

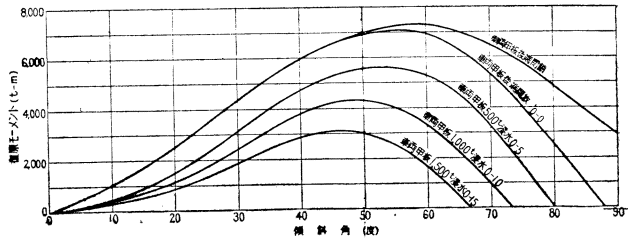
又実験は規則波によつたが、実際の海面では不規則波と見られるので、後の考察においては波の不規則性の影響を考慮することとした。同調附近の不規則波においては規則波におけるより横揺角は小さく、同調を相当外れた不規則波においては規則波におけるより横揺角は大きいことが既往の研究により明かにされている。洞爺丸の各状態における横揺周期は 12 乃至 29 秒で対象とする波の周期 6 乃至 9 秒に比し相当大きいので規則波中の横揺角の 2 倍を取つた。十勝丸の各状態における横揺周期は 7 乃至 8 秒で対象とする波の範囲で同調するから、同調波を考慮することとし、規則波中の同調横揺角の 0.7 倍を取つた。

(5) 絶対角と相対角

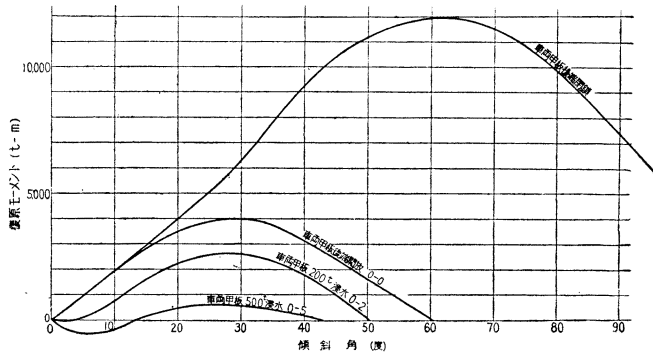
風圧を考えるに当つて風は常に水平に吹いているとしているから、波浪中で横揺している船体に働く風圧に対しては絶対横揺角を考えている。又波浪中横揺実験における横揺角も絶対角を測定している。他方波浪中の復原力においては波面に対する傾斜角即ち相対角を考えている。今これらを総合して考察するには座標系を統一する必要がある。前述のように風圧モーメントは傾斜に無関係と見ることとしたから、相対角による座標系に統一する方が便である。座標系の転換に当つては、絶対横揺と相対横揺との位相角及び最大波傾斜に対する有効波傾斜係数を導入した。

(6) 波と風による傾斜

上述の様に座標系を統一した復原力曲線及び風圧モーメント曲線並に波浪中相対横揺角を用いて、洞爺丸については波高 6 m、周期 6 秒及び 9 秒のとき、十勝丸については波高 6 m の同調波のとき、任意の一樣の風及び変動する風による傾斜角を求めた。変動する風のときは、風上側へ揺れ切つて戻ろうとするときに風速が 1.25^{*}



第 21 図 洞 爺 丸 静 復 原 力 曲 線



第 22 図 十 勝 丸 静 復 原 力 曲 線

倍になると考えた。尚参考の為静水中における一様の風による傾斜角も求めた。

(7) 限界傾斜角

斯くして求めた傾斜角がそのときの風の風圧モーメント曲線と復原力曲線の第2の交点と一致するときが一般に限界で、それより僅か風速が高ければ船は転覆する。十勝丸においては、この傾斜角を限界傾斜角とした。しかし洞爺丸の遭難経過によれば、一気に転覆したのではなくて40°程度傾くに及び起上らなくなり、次第に傾斜が増大し遂に横転した。40°程度傾斜すると丁度上部遊歩甲板縁が没水するから、同甲板通路にある下降階段口から下の区画に浸水、次第に復原力が減少し、遂に横転するに到つたと見るのが妥当と考えられる。この様な観点から洞爺丸に対しては上部遊歩甲板縁が没水する傾斜角を限界傾斜角とした。

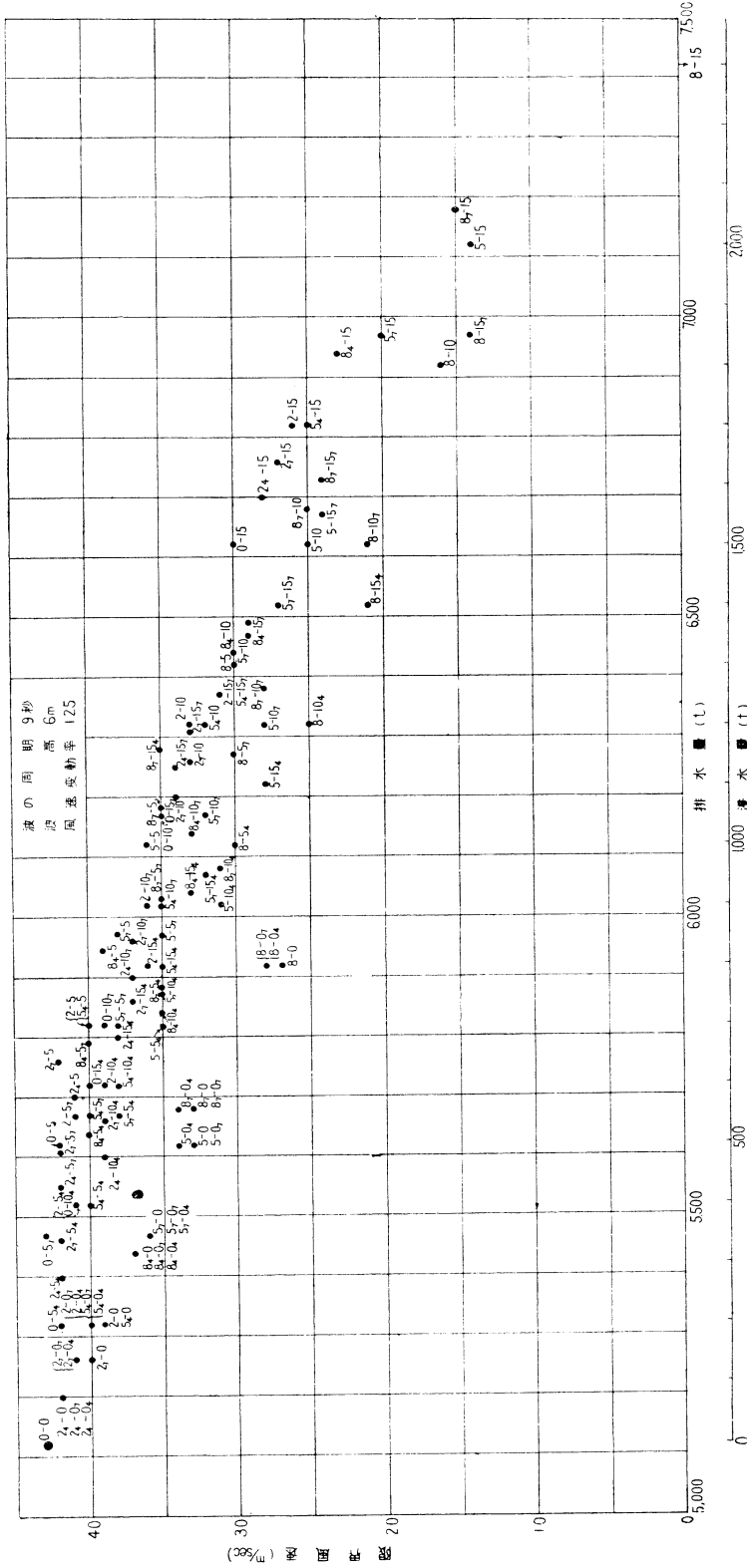
7.2 洞 爺 丸 の 場 合

上述の要領により各状態に対し限界風速を求めた。(第2表及び第23図)

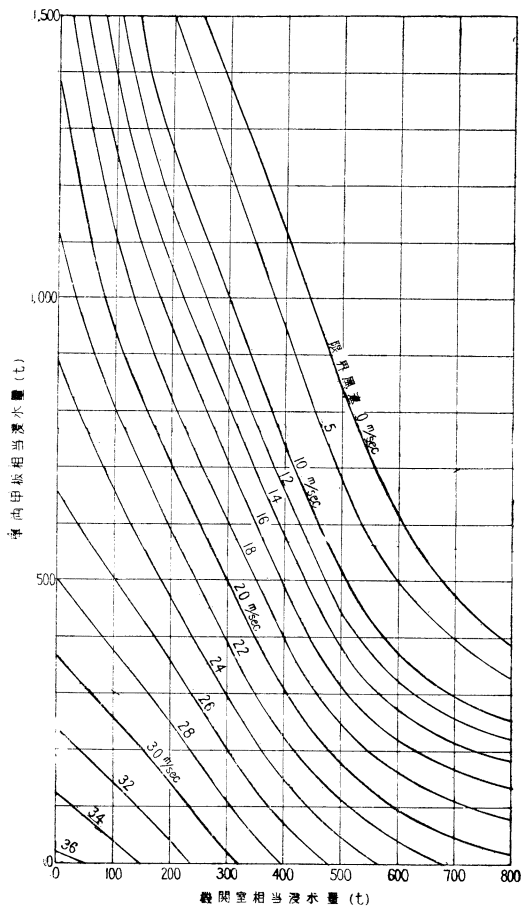
第 2 表 洞 爺 丸 復 原 性 総 括

状態	浸水量 (t)			排水量 (t)	GM (m)	GM負の場合の安定傾斜角			最大復原力			復原性 範囲 (度)	没水角 (度)			静水中 風速 (m/sec)		波浪中 限界風速 (m/sec)	
	機室	関内	車甲板			傾斜角 (度)	GZ (m)	W×GZ (t-m)	上部遊歩甲板	下部遊歩甲板	車甲板後端		Max GZ 対し	上部遊歩甲板	波の周期6秒 一様風	波の周期9秒 変動風			
0-0	0	0	0	5,120	+1.20	—	55.4	1.39	7,100	88	45.4	38.1	50.4	87	84	55	37	63	43
0-5	0	500	5,620	+0.419	—	52.8	1.00	5,640	80	43.0	35.0	38.0	79	76	42	28	63	42	
0-5 ₃	0	350	5,470	+0.571	—	55.5	1.14	6,210	84	43.8	36.5	41.1	82	79	46	31	63	43	
0-5 ₄	0	200	5,320	+0.804	—	56.6	1.26	6,675	87	44.6	37.3	44.6	85	81	50	33	63	42	
0-10	0	1,000	6,120	+0.372	—	49.6	0.71	4,320	73	40.7	33.4	29.8	70	66	35	23	54	36	
0-10 ₇	0	700	5,820	+0.518	—	52.4	0.91	5,295	81	42.2	34.9	34.5	77	73	42	28	58	39	
0-10 ₄	0	400	5,520	+0.758	—	57.1	1.17	6,450	86	43.7	36.4	40.0	84	78	48	32	60	41	
0-15	0	1,500	6,620	+0.292	—	45.8	0.48	3,150	67	38.4	31.0	22.5	62	58	29	19	45	30	
0-15 ₇	0	1,050	6,170	+0.449	—	50.0	0.73	4,480	80	40.7	33.3	29.0	72	68	38	26	52	35	
0-15 ₄	0	600	5,720	+0.696	—	54.0	1.10	5,770	90	42.8	35.5	36.2	81	76	46	31	58	40	
2-0	200	0	5,320	-0.236	5.4	56.0	1.34	7,120	82	44.4	37.2	44.6	88	83	47	33	58	38	
2-0 ₇	200	0	5,320	-0.236	4.5	57.4	1.35	7,200	85	44.5	37.3	44.6	88	83	49	33	58	40	
2-0 ₄	200	0	5,320	-0.236	4.5	58.0	1.37	7,290	87	44.6	37.3	44.6	89	83	49	33	59	40	
2 ₇ -0	140	0	5,260	+0.121	—	56.6	1.34	7,050	83	44.7	37.4	46.2	87	83	51	34	60	40	
2 ₇ -0 ₇	140	0	5,260	+0.121	—	57.0	1.37	7,160	86	44.8	37.5	46.2	88	83	51	34	60	41	
2 ₇ -0 ₄	140	0	5,260	+0.121	—	58.0	1.38	7,250	88	44.9	39.6	46.2	89	84	51	35	60	41	
2 ₄ -0	80	0	5,200	+0.544	—	55.4	1.37	7,120	84	45.0	37.8	47.8	88	83	52	35	61	42	
2 ₄ -0 ₇	80	0	5,200	+0.544	—	56.0	1.38	7,160	87	45.1	37.8	47.8	88	84	52	35	61	42	
2 ₄ -0 ₄	80	0	5,200	+0.544	—	58.0	1.39	7,210	89	45.2	37.9	47.8	88	84	53	36	62	42	
2-5	200	500	5,820	-0.864	12.7	51.8	0.94	5,460	79	42.1	34.8	34.5	78	74	35	24	60	40	
2-5 ₇	200	350	5,670	-0.763	10.4	55.0	1.09	6,150	84	42.9	35.6	37.1	82	77	40	28	60	41	
2-5 ₄	200	200	5,520	-0.609	8.2	56.5	1.22	6,760	90	43.7	36.4	40.0	86	80	45	31	60	41	
2 ₇ -5	140	500	5,760	-0.561	10.3	53.4	0.95	5,450	79	42.4	35.2	35.5	78	74	37	25	60	42	
2 ₇ -5 ₇	140	350	5,610	-0.373	7.5	55.4	1.09	6,120	84	43.2	35.9	38.3	82	78	42	29	61	42	
2 ₇ -5 ₄	140	200	5,460	-0.175	5.4	56.6	1.23	6,720	90	44.0	36.6	41.3	86	81	47	31	62	42	
2 ₄ -5	80	500	5,700	-0.175	7.0	53.2	0.97	5,530	79	42.6	35.4	36.6	79	75	39	26	62	41	
2 ₄ -5 ₇	80	350	5,550	+0.025	—	55.0	1.11	6,160	85	43.4	36.1	39.5	82	78	43	29	62	42	
2 ₄ -5 ₄	80	200	5,400	+0.238	—	56.6	1.24	6,700	>90	44.2	36.9	42.6	88	81	48	32	62	42	
2-10	200	1,000	6,320	-0.799	14.4	48.2	0.64	4,040	73	39.8	32.4	26.8	69	65	22	15	49	33	
2-10 ₇	200	700	6,020	-0.731	10.9	52.0	0.86	5,150	82	41.3	34.0	31.2	76	71	32	22	52	36	
2-10 ₄	200	400	5,720	-0.570	7.6	56.5	1.08	6,200	88	42.9	35.5	36.2	83	77	42	28	56	39	
2 ₇ -10	140	1,000	6,260	-0.523	11.2	48.5	0.65	4,100	74	40.0	32.8	27.7	69	65	27	18	49	33	
2 ₇ -10 ₇	140	700	5,960	-0.365	7.7	53.0	0.87	5,200	82	41.6	34.2	32.2	76	72	36	24	54	37	
2 ₇ -10 ₄	140	400	5,660	-0.182	5.5	56.5	1.09	6,170	89	43.1	35.7	37.4	83	78	43	29	57	39	
2 ₄ -10	80	1,000	6,200	-0.171	7.2	48.7	0.68	4,190	74	40.4	33.0	28.6	70	65	31	20	51	34	
2 ₄ -10 ₇	80	700	5,900	+0.009	—	52.5	0.88	5,220	82	41.8	34.5	33.1	77	72	39	26	55	37	
2 ₄ -10 ₄	80	400	5,600	+0.215	—	54.0	1.12	6,250	>90	43.3	36.0	38.5	83	79	45	31	59	39	
2-15	200	1,500	6,820	-0.788	15.7	47.6	0.44	2,980	66	37.4	30.0	19.5	60	54	8	5	38	26	
2-15 ₇	200	1,050	6,370	-0.728	11.7	50.0	0.69	4,375	78	39.7	32.3	26.1	72	66	27	12	46	31	
2-15 ₄	200	600	5,920	-0.582	8.6	55.0	0.98	5,800	86	41.9	34.5	32.9	81	74	37	25	52	36	
2 ₇ -15	140	1,500	6,760	-0.533	12.7	45.5	0.45	3,025	66	37.7	30.3	20.5	60	55	17	11	40	27	
2 ₇ -15 ₇	140	1,050	6,310	-0.385	9.0	50.2	0.70	4,425	78	40.0	32.6	27.0	72	67	31	21	48	33	
2 ₇ -15 ₄	140	600	5,860	-0.208	5.8	52.5	0.99	5,800	87	42.2	34.8	33.9	81	75	40	27	55	37	
2 ₄ -15	80	1,500	6,700	-0.207	8.4	46.0	0.43	2,860	67	38.0	30.6	21.4	60	55	23	15	42	28	
2 ₄ -15 ₇	80	1,050	6,250	-0.033	4.0	50.5	0.72	4,480	78	40.3	32.9	27.9	72	67	34	23	50	34	
2 ₄ -15 ₄	80	600	5,800	+0.173	—	54.7	1.00	5,800	87	42.5	35.1	34.8	81	75	43	29	56	38	
5-0	500	0	5,620	-0.130	9.7	55.8	1.24	6,950	84	43.0	35.8	38.1	88	80	38	26	48	33	
5-0 ₇	500	0	5,620	-0.130	9.0	57.0	1.24	7,100	89	43.1	35.9	38.1	89	81	38	26	48	33	
5-0 ₄	500	0	5,620	-0.130	8.8	58.5	1.30	7,280	>90	43.2	35.9	38.1	90	81	39	26	49	34	

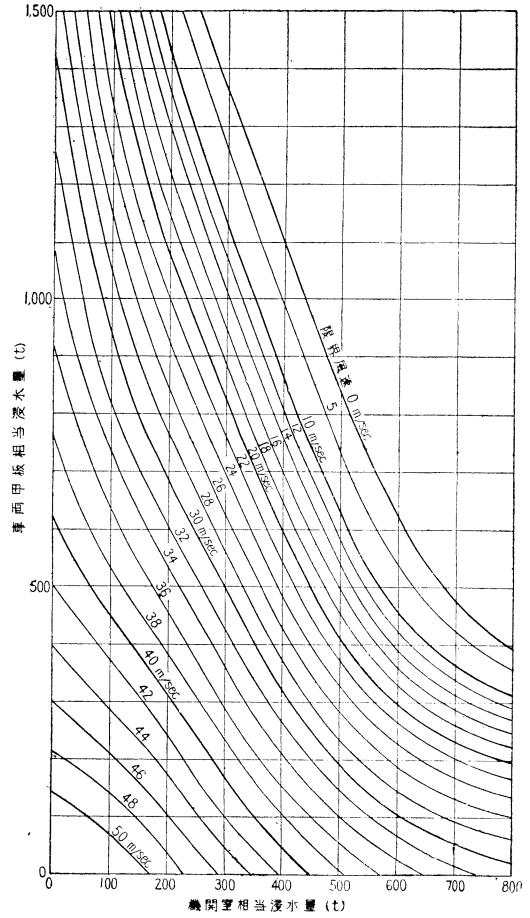
5 ₇ -0	350	0	5,470	+0.171	—	56.0	1.27	7,000	84	43.7	36.5	41.1	88	81	43	29	53	36
5 ₇ -0 ₇	350	0	5,470	+0.171	—	57.5	1.30	7,090	89	43.8	36.5	41.1	88	82	44	29	53	36
5 ₇ -0 ₄	350	0	5,470	+0.171	—	58.0	1.33	7,250	>90	43.9	36.6	41.1	89	82	44	29	54	36
5 ₄ -0	200	0	5,320	+0.570	—	56.5	1.32	7,000	84	44.4	37.2	44.6	87	82	48	32	58	39
5 ₄ -0 ₇	200	0	5,320	+0.570	—	57.0	1.34	7,150	89	44.5	37.3	44.6	88	83	49	33	59	40
5 ₄ -0 ₄	200	0	5,320	+0.570	—	58.0	1.36	7,250	>90	44.6	37.3	44.6	89	83	49	33	59	40
5-5	500	500	6,120	-0.720	18.4	52.4	0.84	5,140	79	40.7	33.4	29.8	77	70	16	11	52	36
5-5 ₇	500	350	5,970	-0.627	15.9	56.0	0.99	5,895	85	41.5	34.3	32.1	82	74	25	16	52	35
5-5 ₄	500	200	5,820	-0.454	13.5	58.5	1.14	6,640	>90	42.4	35.0	34.5	86	78	33	22	51	35
5 ₇ -5	350	500	5,970	-0.471	14.7	53.0	0.89	5,390	79	41.4	34.1	32.1	78	72	26	17	56	38
5 ₇ -5 ₇	350	350	5,820	-0.292	11.5	55.0	1.19	6,100	85	42.2	34.9	34.5	82	76	33	23	56	38
5 ₇ -5 ₄	350	200	5,670	-0.102	8.0	57.0	1.18	6,710	>90	43.1	35.7	37.2	86	79	39	27	56	38
5 ₄ -5	200	500	5,820	-0.132	9.7	53.0	1.08	5,530	79	42.1	34.8	34.5	78	74	34	23	59	40
5 ₄ -5 ₇	200	350	5,670	+0.064	—	55.0	1.09	6,160	86	42.9	35.6	37.1	73	77	40	27	59	40
5 ₄ -5 ₄	200	200	5,520	+0.271	—	56.0	1.22	6,710	>90	43.6	36.4	40.1	87	80	44	29	59	40
5-10	500	1,000	6,620	-0.665	21.2	48.6	0.55	3,640	71	38.4	30.9	22.5	66	58	—	—	37	25
5-10 ₇	500	700	6,320	-0.593	17.5	52.6	0.76	4,810	82	39.9	32.5	26.9	75	67	8	6	42	28
5-10 ₄	500	400	6,020	-0.444	13.9	57.0	1.00	6,050	89	41.5	34.1	31.3	83	75	26	17	51	31
5 ₇ -10	350	1,000	6,470	-0.435	17.9	48.0	0.59	3,810	72	39.1	31.7	24.7	67	61	0	0	43	29
5 ₇ -10 ₇	350	700	6,170	-0.280	12.8	52.8	0.82	5,035	82	40.7	33.3	29.0	76	69	25	16	47	32
5 ₇ -10 ₄	350	400	5,870	-0.106	11.9	56.5	1.05	6,120	89	42.2	34.7	33.7	84	76	34	23	51	35
5 ₄ -10	200	1,000	6,320	-0.127	10.0	48.0	0.64	4,030	73	39.8	32.4	26.9	68	64	24	16	48	32
5 ₄ -10 ₇	200	700	6,020	+0.048	—	53.0	1.01	5,100	83	41.3	34.0	31.2	77	71	33	22	52	35
5 ₄ -10 ₄	200	400	5,720	+0.249	—	57.2	1.13	6,480	90	42.9	35.5	31.2	85	77	43	27	56	38
5-15	500	1,500	7,120	-0.662	23.4	46.4	0.35	2,490	63	36.1	28.4	13.8	55	46	—	—	20	14
5-15 ₇	500	1,050	6,670	-0.596	18.6	50.9	0.60	4,010	78	38.3	30.8	21.8	69	62	—	—	35	24
5-15 ₄	500	600	6,220	-0.452	14.8	55.6	0.91	5,640	>90	40.6	33.1	28.3	80	72	21	14	42	28
5 ₇ -15	350	1,500	6,920	-0.449	19.8	46.0	0.39	2,700	64	36.7	29.2	16.9	57	50	—	—	29	20
5 ₇ -15 ₇	350	1,050	6,520	-0.301	14.0	50.4	0.64	4,180	78	39.0	31.6	24.0	70	64	17	11	40	27
5 ₇ -15 ₄	350	600	6,070	-0.130	9.4	55.0	0.93	5,650	>90	41.2	33.8	30.5	80	73	31	21	48	32
5 ₄ -15	200	1,500	6,820	-0.164	13.2	46.6	0.43	2,920	65	37.4	30.0	19.5	59	54	25	9	37	25
5 ₄ -15 ₇	200	1,050	6,370	+0.009	—	50.0	0.67	4,280	78	39.7	32.3	26.2	71	66	23	18	46	31
5 ₄ -15 ₄	200	600	5,290	+0.210	—	55.0	0.96	5,710	>90	41.9	34.5	32.9	81	74	38	25	52	35
8-0	800	0	5,290	-0.012	9.0	55.8	1.12	6,640	85	41.6	34.4	32.9	87	78	31	21	40	27
8-0 ₇	800	0	5,920	-0.012	8.0	57.5	1.18	6,980	88	41.7	34.5	32.9	89	79	32	21	41	28
8-0 ₄	800	0	5,920	-0.012	7.0	59.0	1.23	7,260	>90	41.9	34.5	32.9	91	79	32	22	42	28
8 ₇ -0	560	0	5,680	+0.250	—	55.6	1.22	6,950	85	42.8	35.5	37.0	88	80	40	26	49	33
8 ₇ -0 ₇	560	0	5,680	+0.250	—	57.8	1.25	7,090	88	42.9	35.6	37.0	89	81	40	27	49	33
8 ₇ -0 ₄	560	0	5,680	+0.250	—	59.0	1.28	7,280	>90	43.1	35.6	37.0	90	82	41	27	49	34
8 ₄ -0	320	0	5,440	+0.600	—	56.4	1.29	7,010	85	43.8	36.6	41.7	88	82	46	31	56	37
8 ₄ -0 ₇	320	0	5,440	+0.600	—	57.2	1.32	7,160	88	44.0	36.7	41.7	89	82	47	31	56	37
8 ₄ -0 ₄	320	0	5,440	+0.600	—	58.0	1.33	7,240	>90	44.0	36.7	41.7	89	83	47	31	56	37
8-5	800	500	6,420	-0.572	20.8	51.0	0.75	4,830	79	39.3	32.0	25.4	75	65	—	—	44	30
8-5 ₇	800	350	6,270	-0.468	18.2	55.7	0.90	5,670	86	40.2	32.8	27.5	81	71	10	7	44	30
8-5 ₄	800	200	6,120	-0.313	13.6	59.0	1.07	6,570	>90	41.0	33.6	29.8	87	75	27	19	44	30
8 ₇ -5	560	500	6,180	-0.271	16.6	51.5	0.83	5,150	79	40.4	33.1	28.9	77	69	17	12	51	35
8 ₇ -5 ₇	560	350	6,030	-0.199	12.8	55.5	0.98	5,880	86	41.5	33.9	31.1	82	74	28	19	51	35
8 ₇ -5 ₄	560	200	5,880	-0.018	6.0	58.1	1.13	6,670	>90	42.1	34.7	33.5	87	78	37	25	52	35
8 ₄ -5	320	500	5,940	-0.082	9.4	52.3	0.91	5,360	79	41.6	34.3	32.6	78	73	31	21	57	39
8 ₄ -5 ₇	320	350	5,790	+0.109	—	55.5	1.05	6,080	86	42.3	35.1	35.0	83	76	36	24	58	40
8 ₄ -5 ₄	320	200	5,640	+0.311	—	57.0	1.19	6,700	>90	43.2	35.8	37.7	87	80	45	31	58	40
8-10	800	1,000	6,920	-0.522	24.2	48.0	0.46	3,200	69	37.0	29.4	17.8	62	53	—	—	22	16
8-10 ₇	800	700	6,620	-0.451	20.5	52.7	0.69	4,570	82	38.6	31.1	22.6	74	63	—	—	31	21
8-10 ₄	800	400	6,320	-0.303	16.2	56.8	0.94	5,970	>90	40.1	32.7	26.8	83	72	15	11	36	25
8 ₇ -10	560	1,000	5,680	-0.341	19.8	48.3	0.53	3,560	71	38.1	30.7	21.7	65	58	—	—	36	25
8 ₇ -10 ₇	560	700	6,380	-0.188	14.5	52.6	0.76	4,820	83	39.7	32.2	26.0	75	67	16	11	41	28
8 ₇ -10 ₄	560	400	6,080	-0.020	6.0	57.3	1.00	6,090	>90	41.2	33.8	30.3	83	74	30	20	46	31
8 ₄ -10	320	1,000	6,440	-0.076	10.0	48.2	0.60	3,870	73	39.2	31.8	25.2	68	62	19	13	45	30
8 ₄ -10 ₇	320	700	6,140	+0.097	—	53.0	0.82	5,020	83	40.8	33.4	29.4	76	70	30	20	50	33
8 ₄ -10 ₄	320	400	5,840	+0.291	—	56.7	1.05	6,110	>90	42.3	34.9	34.1	83	76	39	26	53	35
8-15	800	1,500	7,420	-0.530	27.0	45.6	0.27	2,040	61	34.5	26.8	7.5	51	38	—	—	—	—
8-15 ₇	800	1,050	6,970	-0.459	21.6	50.7	0.55	3,840	78	37.0	29.4	16.9	69	55	—	—	21	14
8-15 ₄	800	600	6,520	-0.317	16.8	56.3	0.84	5,490	>90	39.2	31.8	24.0	81	68	8	5	30	21
8 ₇ -15	560	1,500	7,180	-0.360	22.2	45.6	0.34	2,420	64	35.8	28.1	12.5	55	45	—	—	22	15
8 ₇ -15 ₇	560	1,050	6,730	-0.211	16.0													



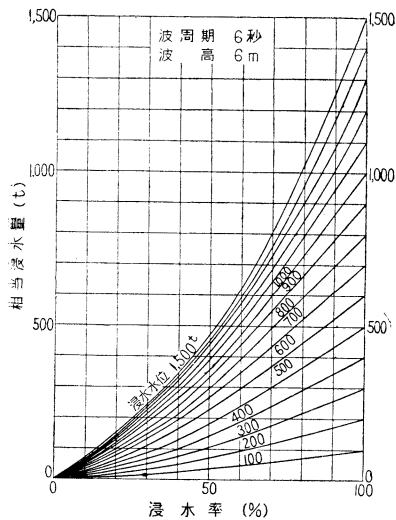
第 23 図 (2) 洞爺丸波浪中限界風速



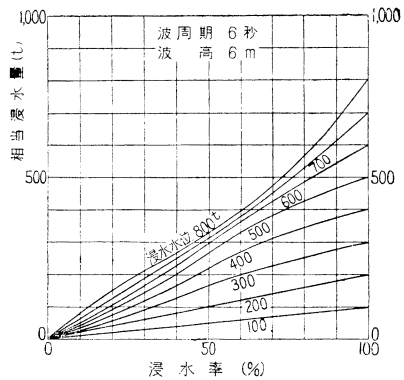
1 風速変動率 1.25



2 風速変動率 1.00

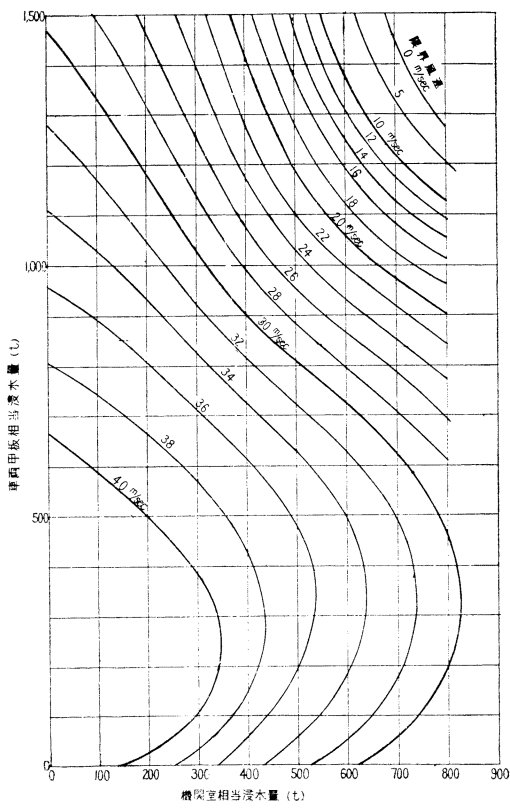


3 車両甲板相当浸水曲線

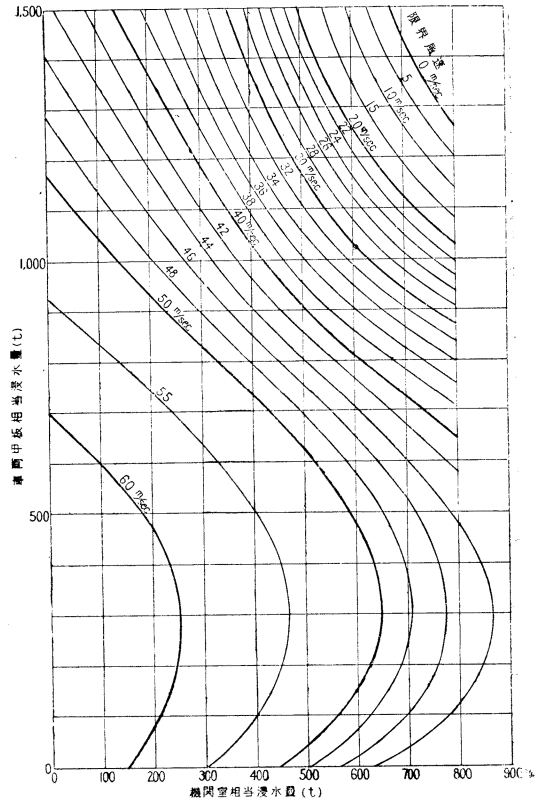


4 機関室相当浸水量曲線

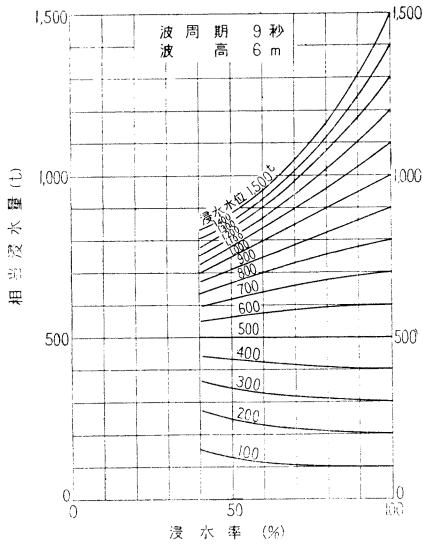
第 24 図 洞爺丸限界風速曲線 波周期 6 秒, 波高 6 m



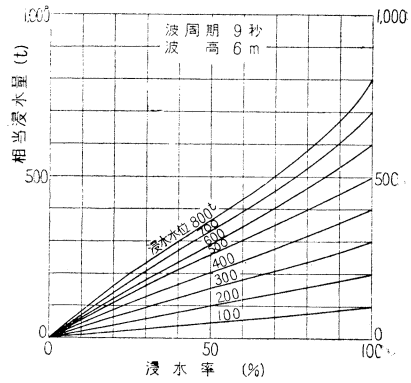
1 風速変動率 1.25



2 風速変動率 1.00



3 車両甲板相当浸水量曲線



4 機関室相当浸水量曲線

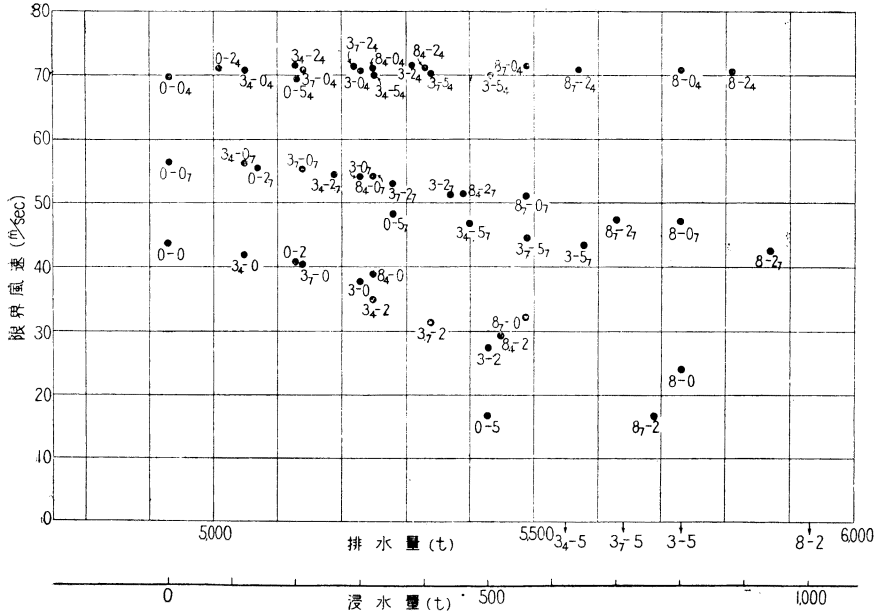
第 25 図 洞爺丸 限界風速曲線 波周期 9 秒, 波高 6 m

第3表 十勝丸復原性総括

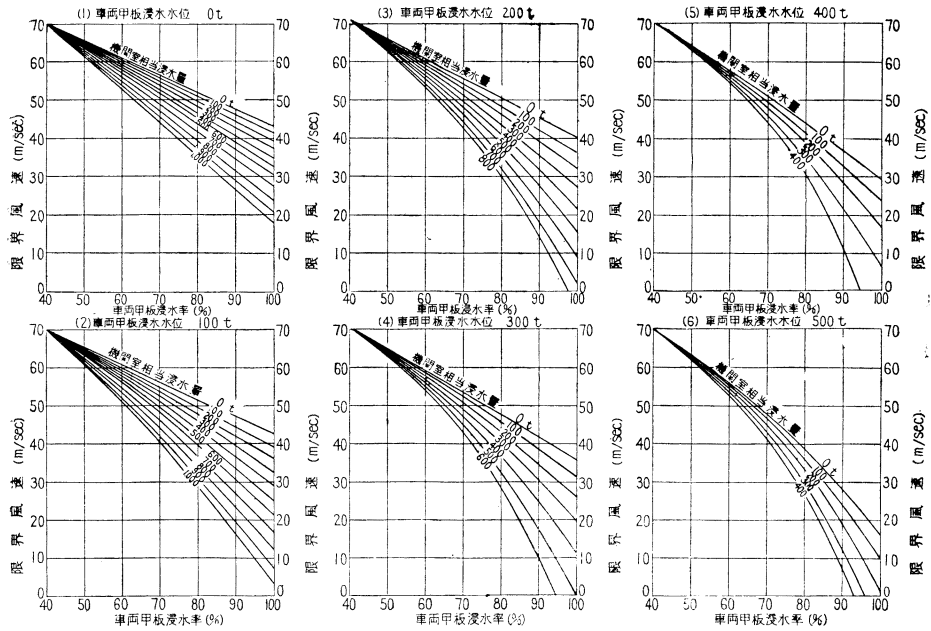
状態	浸水量(t)		排水量 (t)	GM (m)	GM負の場 合の傾斜 角(度)	最大復原力			復原性 圏 (度)	MaxGZ に対する幹 水中限界風 速 (一様の風) (m/sec)	波浪中限 界風速 (変動す る風) (m/sec)
	機 室	関 内 車 両 甲 板上				傾 斜 角 (度)	GZ (m)	W×GZ (t-m)			
0-0	0	0	4,930	+2.128	—	29.0	0.826	4,070	56.7	75	44
0-0 ₇	0	0	4,930	+2.128	—	42.5	1.095	5,400	86.5	86	56
0-0 ₄	0	0	4,930	+2.128	—	55.5	1.600	7,890	>90	104	70
0-2	0	200	5,130	-3.827	4.5	29.0	0.505	2,590	50.5	60	41
0-2 ₇	0	140	5,070	-2.110	2.0	46.0	0.901	4,570	83.3	79	55
0-2 ₄	0	80	5,010	-0.353	0.5	56.0	1.509	7,560	>90	102	71
0-5	0	500	5,430	-3.603	13.6	25.0	0.120	650	38.3	30	17
0-5 ₇	0	350	5,280	-2.019	8.0	45.0	0.648	3,430	78.9	69	48
0-5 ₄	0	200	5,130	-0.342	2.5	56.5	1.374	7,050	>90	99	69
3-0	300	0	5,230	+0.758	—	27.5	0.524	2,740	51.8	61	38
3-0 ₇	300	0	5,230	+0.758	—	44.5	0.889	4,650	87.2	81	54
3-0 ₄	300	0	5,230	+0.758	—	58.5	1.461	7,640	>90	103	71
3 ₇ -0	210	0	5,140	+1.130	—	28.7	0.612	3,145	53.1	66	40
3 ₇ -0 ₇	210	0	5,140	+1.130	—	45.0	0.953	4,900	87.1	83	55
3 ₇ -0 ₄	210	0	5,140	+1.130	—	56.0	1.507	7,750	>90	104	71
3 ₄ -0	120	0	5,050	+1.519	—	28.5	0.703	3,550	54.8	70	42
3 ₄ -0 ₇	120	0	5,050	+1.519	—	44.0	1.010	5,100	86.8	84	56
3 ₄ -0 ₄	120	0	5,050	+1.519	—	56.0	1.546	7,810	>90	104	71
3-2	300	200	5,430	-4.750	10.9	26.0	0.246	1,340	42.9	44	27
3-2 ₇	300	140	5,370	-3.141	7.8	46.5	0.715	3,840	84.2	74	51
3-2 ₄	300	80	5,310	-1.496	4.0	57.0	1.384	7,350	>90	101	71
3 ₇ -2	210	200	5,340	-4.484	9.1	26.0	0.324	1,730	45.7	49	31
3 ₇ -2 ₇	210	140	5,280	-2.845	6.0	45.0	0.771	4,070	83.6	76	53
3 ₇ -2 ₄	210	80	5,220	-1.167	4.0	57.5	1.418	7,400	>90	102	71
3 ₄ -2	120	200	5,250	-4.210	6.3	27.0	0.402	2,110	47.8	54	35
3 ₇ -2 ₇	120	140	5,190	-2.538	3.5	44.0	0.825	4,280	87.3	77	54
3 ₄ -2 ₄	120	80	5,130	-0.827	1.0	57.0	1.450	7,440	>90	102	71
3-5	300	500	5,730	-4.483	—	—	—	—	—	—	—
3-5 ₇	300	350	5,580	-3.012	14.9	49.0	0.495	2,760	78.1	63	43
3-5 ₄	300	200	5,430	-1.457	8.8	58.5	1.262	6,850	>90	99	70
3 ₇ -5	210	500	5,640	-4.229	—	—	—	—	—	—	—
3 ₇ -5 ₇	210	350	5,490	-2.726	13.0	46.0	0.532	2,920	78.5	65	44
3 ₇ -5 ₄	210	200	5,340	-1.136	6.8	57.5	1.294	6,910	>90	99	70
3 ₄ -5	120	500	5,550	-3.964	18.0	24.5	0.029	160	31.1	15	—
3 ₄ -5 ₇	120	350	5,400	-2.430	10.3	46.5	0.581	3,140	73.8	67	47
3 ₄ -5 ₄	120	200	5,250	-0.805	4.8	57.0	1.333	6,980	>90	99	70
8-0	800	0	5,730	+0.613	—	19.0	0.211	1,210	86.9	42	24
8-0 ₇	800	0	5,730	+0.613	—	47.0	0.567	3,250	88.0	69	47
8-0 ₄	800	0	5,730	+0.613	—	59.4	1.237	7,090	>90	102	71
8 ₇ -0	560	0	5,490	+0.997	—	24.0	0.364	2,000	45.0	53	32
8 ₇ -0 ₇	560	0	5,490	+0.997	—	47.0	0.719	3,950	87.8	75	51
8 ₇ -0 ₄	560	0	5,490	+0.997	—	58.0	1.348	7,400	>90	103	71
8 ₄ -0	320	0	5,250	+1.421	—	27.0	0.549	2,880	50.7	64	39
8 ₄ -0 ₇	320	0	5,250	+1.421	—	45.0	0.876	4,600	87.4	80	54
8 ₄ -0 ₄	320	0	5,250	+1.421	—	57.0	1.450	7,610	>90	103	71
8-2	800	200	5,930	-4.416	—	—	—	—	—	—	—
8-2 ₇	800	140	5,870	-2.944	9.5	48.5	0.434	2,550	83.2	61	43
8-2 ₄	800	80	5,810	-1.441	4.5	61.0	1.170	6,800	>90	100	71
8 ₇ -2	560	200	5,690	-4.262	10.0	20.5	0.123	7,000	33.0	32	17
8 ₇ -2 ₇	560	140	5,630	-2.724	5.9	46.0	0.567	3,190	83.7	68	47
8 ₇ -2 ₄	560	80	5,570	-1.153	2.0	59.0	1.264	7,040	>90	101	71
8 ₄ -2	320	200	5,450	-4.089	7.7	24.5	0.275	1,500	42.5	46	29
8 ₄ -2 ₇	320	140	5,390	-2.480	3.0	45.0	0.699	3,770	83.6	73	51
8 ₄ -2 ₄	320	80	5,330	-0.833	1.0	58.0	1.358	7,240	>90	101	71

状態記号については第2表参照

第24図及び第25図は、それらの結果から作成した限界風速計算図表で、任意の浸水水位及び浸水率に対する限界風速を与える。まず波の周期に応じ、いずれかの図の(3)及び(4)によつて浸水水位(図では浸水率100%のときの浸水量(t)で表わしてある)と浸水率により相当浸水量を求め、その相当浸水量に対し(1)及び(2)から変動する風及び一様の風に対する限界風速を求める。



第 26 図 十勝丸 波浪中 限界風速 (同調波, 波高 6 m)

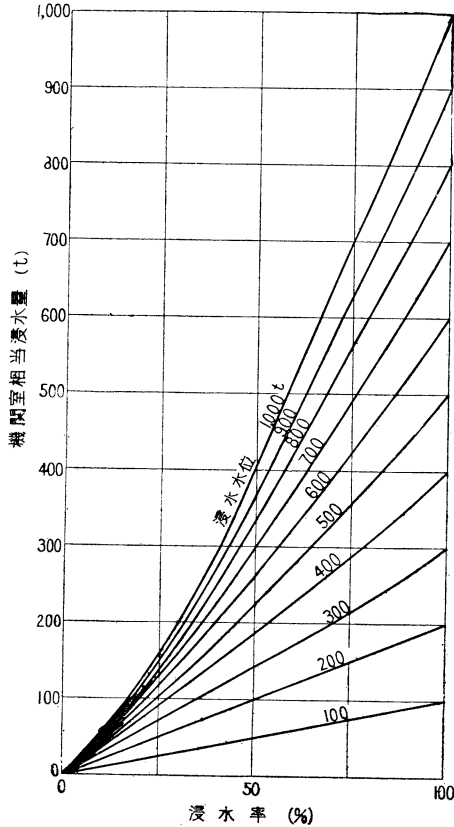


第 27 図 (1) 十勝丸 限界風速曲線 (同調波, 波高 6 m, 風速変動率 1.25)

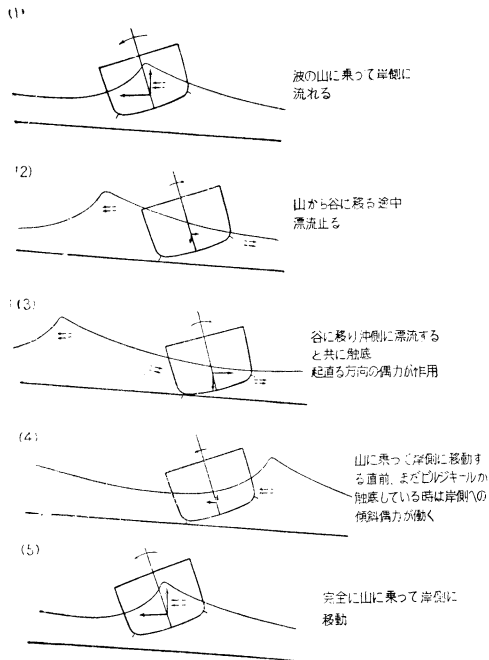
7.3 十勝丸の場合

同様の要領により各状態に対し限界風速を求めた。(第 3 表及び第 26 図)

第 27 図はそれらの結果から作成した限界風速計算図表である。(1) のうち車両甲板上滞留水位により機関室相当浸水量 ((2) から求める) と車両甲板上浸水率とから限界風速を求める。車両甲板上滞留水位が記載のものの中には挿間法による。



第 27 図 (2) 十勝丸 機関室相当浸水量曲線



第 28 図

8. 洞爺丸において触底と転覆の関係についての模型実験

洞爺丸の転覆が触底後間もなくであったことから、触底が転覆の直接原因となつたのではないかという見方が当然起つて来る。

触底と磯波の影響を調べる為に模型実験を行つた。試験水槽内に遭難地点七重浜の傾斜に合せた仮底を設け、船体が横波を受けつつ波と風によつて漂流して来て海底に触れる状況を再現して、その間の船の運動状況を 16 mm 映画に収めて解析した。

船の状態は機関室内 500 t 浸水、車両甲板上 1,000 t 滞留とし、これに 30 m/sec の一様の風が吹いているものとした。

8.1 触底地点

沖から吹寄せられて来て触底を始める地点は、波高 6 m 周期 9 秒のときは水深 8~10 m、波高 8 m 周期 9 秒のときは水深 10~12 m の所であつて、大体沈没地点の水深と一致する。約 15° 傾斜したときの喫水は 6.75 m であるから、波による船体の上下動を考えれば妥当な値であろう。

8.2 触底の反応

触底による船体の反応は、場合によつて異なり、触底は必ずしも転覆の危険を増すとはいえない。模型実験でも、或時は転覆し或時は無事に擱坐して、僅かな条件の違いで両様の結果を生じた。

(1) 海底が平滑で船体の横漂流が拘束されていない場合

この場合は一般的傾向として、船は波の谷で触底するが、波の谷では水の粒子の運動は沖の方へ向いており、しかも磯波ではその水平運動速度が大きい。従つて船は沖側へ流れながら、触底するから触底の際船は風上側へ傾斜する作用を受け寧ろ立直る傾向がある。

次の波の山が来たとき船体が充分浮上つてビルジキールが海底から離れればその磯波に乗つて浅い方へ運ばれ再び波の谷で触底して立直り、この現象を何回か反覆しているうちに浅い所に平に乗上げ安全に擱坐する公算が大である。

しかし、喫水と水深と更に船の傾斜の微妙な組合せでビルジキールが、海底に引掛つた状態で波に押されると、傾斜が増し、転覆に到る危険もある。

この組合せは極めて微妙であつて、実験の際にも 10 中 8 位は安全に擱坐し、2 位が転覆した。(第 28 図)

(2) 海底が平滑で船体の横漂流が拘束されている場合

傾向的には (1) と同様であるが、船体の横漂流が、錨鎖等で拘束されていると、船は同じ水深のところにと滞するから、上述の危険な状態に曝される機会も多くなる。

(3) 海底に凹凸がある場合

この場合には船体が波の山に乗つて岸側へ流される途中

でビルジキールが海底に触れ突きささることが考えられる。その瞬間には風と波の力はビルジキールを支点とする偶力を形成するので転覆の可能性が充分ある。しかし、船体が波の山に乗つて移動する際に海底に触れるということは、海底に隆起部があるとか急に浅くなるとかということがないと考えられないのであつて、丁度移動の途中にその様な隆起部に触れて引掛るのは、余程の偶然であろう。

9. 結 言

以上洞爺丸及び十勝丸について、投錨から転覆に到る迄の諸経過を実験によつて追跡して見た訳であるが、初めに述べた様に当時の海象について信用ある資料がない為に、どうしても仮定が入ると、波の不規則性や実船と模型の相似性の限度等を考えると、定量的な結論は下し難い。しかし、実験の結果と当時の状況とを比較して定性的に幾つかの事が明かにされ、或は相当の確信をもつて推定できるのであつて、そのうちの主要なものを挙げると次の如くである。

(1) 向波のとき車両甲板へ海水が打込むのは、縦揺により水を掬い上げるのに起因する。波長がほぼ船長に等しいとき滞留量最も大きい、満載状態では波高約 4 m 以上でないと打込まない。永年の間車両甲板船尾開口からの浸水が問題にならなかつたのは、この様な波に遭遇する機会がなかつたからであろう。

(2) 当時の波は、実験の結果と当時の各船の浸水状況とから、波長はほぼ船長に近く 100 m 内外、波高は約 6 m と推定される。

(3) 車両航送専用船では、波周期 9 秒前後で波高が 6 m を超えると、船尾開口から車両甲板に打込んだ水の影響が大きく転覆に到る怖がある。またこの型の各船は転覆前既に機械室及び缶室内の浸水と車両甲板上の滞留水の為に GM が負となつていたものと推定される。

この型が 4 隻共沖で錨泊し、風波に立つた状態の儘転覆沈没したのは、この事象と密接な関係があるものと思われる。

(4) 暴風に遭遇した場合、通常船を波、風に立てて錨泊又は蹶蕩するのが安全と考えられているが、この種の船尾に開口を有する船では寧ろ危険である。

(5) 洞爺丸は車両甲板両側に客室がある為他の 4 隻に比し復原力はよく、車両搭載区域の幅が狭いので滞留水の影響が少く、同甲板の滞留水と機械室及び缶室の浸水により復原力はかなり減少していたにも拘らず、よく風浪に耐えていたのであるが、七重浜へ吹寄せられ触底するに及び減少していた復原力に止めが刺されたものと見られる。しかも触底の影響は、転覆に加勢する公算が少いことを思うと、不幸な偶然といわねばならない。

初めに述べた様に、法理論的に責任の所在を追求するのは本論文の目的ではないが、今回の事件においては人災的要素として台風の来襲を知りながら多数の乗客を乗せた儘出港したという重大な問題がある一方、天災的要素として北海道に未だ嘗てこの様な強力な台風が来襲したことがないこと、中心が僅かに偏れて函館の東を通過すればこの様な災害は起らなかつたらうこと、副低気圧が発生して台風の速度を鈍らせた為来襲時刻の予測に誤算を生じたこと、台風の停滞により津軽海峡に長時間南西風が吹続く結果となつて風波の生長を促したこと、船尾に開口のある船は操船者の常識に反して風波に立てることが寧ろ危険であることが判つていなかったこと、触底の影響はその都度船体の傾斜を立直らせやがては安全に擱坐させる確率が多いのにこの場合は確率の少い傾斜を大きくする方向へ働いたこと等が挙げられる。これらの事情を考えると、今更ながら一つの大きな事件では、様々の極めて確率の少い人災的、天災的要素が絡まり合つて、大事に到るという感を深くする。

終に、今回の研究の内容の公表に同意を与えられた高等海難審判庁、海難審判理事所及び日本国有鉄道船舶部に感謝する。又模型実験において東京大学工学部動揺試験水槽の杉田松次君その他の諸君、諸計算の実施において日本海事協会の榎田吉郎、山口勇男両君その他の諸君の協力を得たことを記し謝意を表する。