

第2章 船舶の安全性と非損傷時復原性規則の動向

元良 誠三*・山越 康行**

目 次

2.1 ま え が き	23	2.5 1977年トレモリノス条約の解説	37
2.2 歴 史 的 背 景	24	2.6 I M O Weather Criterion 決議A.562の解説	41
2.2.1 国内規則	24	2.7 I M O で検討中の課題の概説	42
2.2.2 国際基準	24	2.7.1 漁船に対するI M O Weather Criterion	43
2.2.3 国内規則と国際基準の関連	26	2.7.2 ポンツーンの復原性	44
2.3 国内規則の解説	27	2.7.3 追波中の復原性	44
2.3.1 旅客船の復原性規則	27	2.8 復原性に関する最近の プロジェクト研究	49
2.3.2 カーフェリーの復原性規則	30	2.8.1 国内の動向	49
2.3.3 漁船の復原性規則	30	2.8.2 国外の動向	49
2.4 I M O 復原性基準 決議A.167 及び決議A.168の解説	32	2.9 あ と が き	50
2.4.1 I M O 復原性基準 決議A.167	33		
2.4.2 I M O 復原性基準 決議A.168	36		
2.5 1977年トレモリノス条約の解説	37		

2.1 まえがき

船舶の復原性の研究は、究極的には船の安全性を確保するための、国内的または国際的な復原性基準に反映されることが多い。しかしながら、あまりに学術的或いは理論的なものは、法規の形としては馴染みがたく、ある程度の簡略化が必要であり、また現場の技術者又は操船者にとって、理解し易いものでなければならないのは当然であろう。

本章では、我が国の国内法における旅客船に対する「船舶復原性規則」、「動力漁船の性能の基準」及びI M O（国際海事機関：旧IMCO国際海事協議機構）で国際条約の一環として、或いは単独の勧

* 長崎総合科学大学

** 水産工学研究所

告として制定された国際基準について解説を試みると共に、現在 I M O の S L F (Sub-committee on Stability, Load Lines and on Fishing Vessels Safety) で検討中の課題について述べたもので、2.1, 2.2, 2.6及び 2.9を元良が、その他を山越が担当した。

2.2 歴史的背景

2.2.1 国内規則

我が国の「船舶安全法」には、昭和20年代までは、復原性に関する詳細な規則はなく、国際航海に従事する船舶は、“傾斜試験を行なって復原性に関する要項を決定すること”及び“船舶にはその復原性に関する要項を資料として備えること”を義務づけられていたにすぎない(船舶安全法施行規則)。

運輸省では、旅客船に対する復原性の規則を整備する必要性を認め、昭和28年頃より学会の協力を得て復原性規則の作成の準備にかかっていたが、折りしも昭和29年9月26日に青函連絡船洞爺丸始め5隻の青函鉄道連絡船が、北海道には稀有な強力な台風の直撃を受けて、転覆、沈没し、中でも洞爺丸では、1,172名が遭難するという大海難¹⁾が発生した。また、それに続いて南海汽船の南海丸が友ガ島水道で転覆する等、旅客船の転覆事故が続いたため、運輸省の規則作成は活発に進められることになった。

すなわち東大、九大、大阪府立大、船研等学会の協力を得て、まず造船研究協会に第17部会が作られ、次いで第23部会が作られて、実船試験を含む広範囲な研究が行なわれた。その成果を基にして、まず平水区域の旅客船に対する基準案²⁾が作られ、次いで5トン未満の小型船に対する簡易復原性基準案³⁾が作成され、各々「船舶復原性規則」の一環として施行された(昭和31年公布運輸省令第76号)。次いで沿海以上の一般旅客船に対する基準案が作成され^{4) 5)}、昭和32年2月より施行された(運輸省令第76号)。この規則は故渡辺恵弘九大名誉教授^{4) 7)}加藤弘東大名誉教授^{5) 6)}の論文を基にしたもので、旅客の移動と風圧による傾斜モーメントで船がある程度以上傾かないことを規定した甲基準、波の中で横揺れをしている所に突風が吹いても、なお残有の動復原力を有することを規定した乙基準、及び海水打込みに対する耐力を持つために、一定のGZを持つことを規定した丙基準(GZ基準)から成っており、当時としては画期的なものであった。この基準案は導き出される過程を含めて、故山縣昌夫東大名誉教授によりRINAに発表され¹⁰⁾、大きな反響を呼んだ。この規則が施行されて以来、我が国では復原性の不足による旅客船の転覆事故は起こっていない。

一方水産庁では、漁船の相次ぐ遭難を防ぐため復原性基準を制定するために、識者を含む委員会を作って検討を行なったが、漁船の特殊事情として、喫水及び載荷状態が掴み難いことから旅客船と同様の復原性規則を作ることが難しいため、乾舷と横メタセンタ高さを規定した漁船載荷基準^{11) 12)}を策定し、昭和42年4月農林省告示第555号によりそれらを「動力漁船の性能の基準」の復原性要件に取り入れた。なお、横メタセンタ高さについては、更に昭和42年運輸省令第76号による改正に伴い「船舶復原性規則」に反映されている。また、乾舷の規定については、「満載喫水線規則」に取り入れられている。

2.2.2 国際基準

IMCO(政府間海事協議機構、現 I M O)では1960年頃より復原性に関する国際基準を作ることがSTAB(区画・復原性)小委員会で検討され、我が国からも新しく制定された「船舶復原規則」が提案された

が、北海の漁船はじめ小型の船の多数のデータをもとに、経験的に作られたRahola¹³⁾の復原性基準を用いることを主張する北欧諸国と、物理的・力学的な方法を主張する日本及び西ドイツその他の国で論争が行なわれ、結局 Rahola の経験則を基本とする決議 A.167 (ES IV) 及び決議 A.168 (ES IV)¹⁴⁾ が作られ、1968年に IMCO 勧告として公布された。この決議 A.167 は、準拠するデータが小型船のものであることから、その適用範囲を長さ24m 以上、100m未満に限定している。

一方漁船の安全に関する国際条約が、1977年トレモリノスで開催された漁船の安全のための国際会議で制定され、各国に批准するよう要請された。この「漁船安全条約」(「トレモリノス条約」と称される)は、その付属書類3の勧告1として、日本から提出された我が国の旅客船の復原性規則のいわゆる乙基準(C係数とも称される)に相当する、動的復原力に対する基準の骨子が具体的な係数の値を示さないまま記載されている。なお、この「トレモリノス条約」の発効要件は、15ヶ国以上に全漁船数の50%以上を保有する国が批准することとなっており、現在15ヶ国約18%が批准している。我が国は種々の理由からまだ批准していないが、世界最大の漁船保有国(約25%保有)であることから、日本の批准が条約成立の鍵を握っており、IMOからも強い要請がなされている。

さて、1977年頃から、決議 A.167の見直しの気運が STAB (SLFの前身)の中で出てきた。その主な理由は、大型船に対して復原性の規則或いは基準を持たない発展途上国が長さ 100m を超える船を決議 A.167を頼りに設計するようになり、危険な船が出はじめたからである。特に決議 A.167は物理的な現象を考えて出されたものではなく、船の水面上の形状と無関係に復原性が決められるので、上部構造物の大きな船の、軽荷に近い状態では風圧のために大きく傾く可能性が出て来たわけである。そこで特に軽荷状態 (lightly loaded condition)、及び上部構造物の大きい船の復原性に着目して決議 A.167を見直そうということになり、もっと物理的な現象を考慮した基準を作るべきであるという気運が起こり、「トレモリノス条約」の付属書類 3 勧告 1 即ち日本の国内法の乙基準が脚光を浴びることになったわけである。我が国は国内法として同種の基準を既に30年近く使っていたわけであるから、日本の提出する諸係数或いは実際の手順が当然ながら注目されることになり、また日本の国内法の原案作成時の委員の一人であったことから、筆者等がこの時以来 STAB に参加することになったわけである。

この新しい基準は、決議 A.167或いは決議 A.168を補完するものであり、また風や波の影響を物理的に取り入れることから" Weather Criteria" という名称のもとに、その後の検討が行なわれた。

1979年の第24回 STAB で Weather Criteria の叩き台として、「トレモリノス条約」の付属書類3勧告1を用いることが正式に決まり各国で各々の国の practice に基づいて、具体的な係数を提案することが要請された。この要請に基づき、1980年の第25回 STAB に、日本、ソ連、オランダ、ポーランド、イギリス、アメリカ等から試案が出されたが、結局今まで国内法として実用の経験があるという事から日本案とソ連案が検討対象として残った。このうち日本案は、国内法として旅客船に対し25年間適用されて、その間一度も転覆事故が起きていないという実績を買われ、ソ連案がかなり厳しいことも相俟って、日本案に対する支持が多かった。しかしながらソ連案は、船の横揺れ角が船型要素やビルジキールの大きさと変わるようになっていること、及び風圧係数が水面からの垂直距離の関数となっている等合理的な面もあり、小数ながら根深い支持があった。この問題を詰めるため STAB の中に、非損傷時復原

性のワーキンググループが作られ、ソ連の Rakhmanin を議長として、種々検討が行なわれた末、第27回 STAB (1982) に日本より、日本案の横揺れ角の計算式をソ連案の船型、ビルジキール等の影響を取り入れて修正するという折衷案が出され、その方法が採用された。この折衷案について、各国が各々適当な Sample ship を選んで試算を行ない、細部の修正を行なった後 第29回 SLF (1983) で勧告の原案が作成され、MSC (海上安全委員会) に上程された。ところが、イギリス等が経験不足を理由に直ちに勧告とすることに反対したため、勧告でなく MSC Circular として各国で試しに使用して見て、その結果を I M O に報告することになった。しかしながら、1年間の使用期間にさして異議も出なかった事から、第30回 SLF (1984) で勧告の原案が出され、第14回 I M O 総会 (1985) で可決されて、決議 A. 562 (14) (APPENDIX 3 にその ANNEX 部分のみを示す) としてやっと日の目を見ることとなった。決議 A. 562 は元々日本の旅客船復原性規則の乙基準に準拠しているもので、横揺れ角等に多少の修正はあるものの、大体乙基準と同等であると考えて差支えない。また、漁船に対しては長さ45m 以上の航洋漁船に対しては、決議 A. 168 と併用されることになり、長さ45m 以下の特に一層甲板船に対しては厳しすぎるという、ソ連の意見もあって、次回 SLF (1987年9月開催予定) を目途に修正が試みられつつある。なお現在、我が国では、I M O における非損傷時復原性基準の見直し作業と対応して、日本造船研究協会に貨物船を対象に、また漁船協会に漁船を対象とした各々検討部会が設けられ、情勢分析或いは対応等について検討されている¹⁴⁾・¹⁵⁾。また、I M O に於ける非損傷時復原性に関するこれまでの審議内容及び経過については、漁船の安全性に関する審議を行っていた漁船安全小委員会 (Sub-committee on Safety of Fishing Vessels : 略称 P F V、1983年 2月 STAB と統合し S L F に改称) については文献¹⁶⁾の文末に示される資料に、また最近の SLF については文献¹⁷⁾・¹⁸⁾等に報告がある。

2. 2. 3 国内規則と国際基準の関連

決議 A. 167 及び決議 A. 168 は国際条約でなく勧告であるため強制力はなく、我が国は特に旅客船については「船舶復原性規則」を施行して満足すべき実績があるので、現在のところ両勧告を国内法には取り入れていない。なお、決議 A. 167については、貨物船の設計に際し同勧告を復原性に関する参考資料とするよう運輸省が指導している (1980年 7月運輸省船舶局長通達 船査第419号)。「トレモリノス条約」については、未だ発効していないので取り入れていないが、発効すれば強制力を持つので当然国内法に取り入れることになろう。決議 A. 562については、勧告であり、また制定されたばかりで具体的な対応は出来ていないが、旅客船については我が国の「船舶復原性規則」と殆ど同じであり、早急に国内法を改正する動きはない。貨物船、漁船に対しては当面決議 A. 167 及び決議 A. 168 と同様に、設計の参考資料とする行政指導にとどまることになろう。

この他、非損傷時復原性基準に関連した I M O の規則或いは決議の中で国内規則に反映された主な例としては、S O L A S 条約第 6 章 (穀類の運送) が「穀類その他の特殊船舶運送規則」取り入れられている。また、決議 A. 534 (13) 「特殊目的船コード」については、S O L A S 条約の第 2 次改正に基づく国内法令の改正により復原性に関しても今後 船舶心得に取り入れられる予定である。なお、ポンツーンに対しては、「鋼製はしけ特殊基準(案)」として検査の参考とする構造関連基準を設けているが、復原性に関しては何等規定されていない。

2.3 国内基準の解説

2.3.1 旅客船の復原性規則（「船舶復原性規則」昭和31年12月28日公布

運輸省令第76号・昭和32年2月1日より施行）

この規則は、2.2.1 に述べた経緯により作成されたものであり、基本的な要件として、まず横波、横風を受けて、機関が故障して漂流した場合でも耐えることとし、外力の条件としては、

- i) 強風による静的な横傾斜モーメント及び旅客船の移動による横傾斜モーメント
- ii) 波及び突風による動的な横傾斜モーメント
- iii) 海水打込みによる横傾斜モーメント

の三つが考えられ、それぞれ i) に対しては、主としてGMを規制する甲基準、ii) に対しては動復原力、即ちGZ曲線の面積を規制する乙基準、iii) に対しては、GZの最大値を規制する丙基準が考えられた。これらの基準が導かれた過程を詳述すると、それだけで割当ての頁数を超えるので詳細は省き、ここではその概略を述べる。詳しくは文献⁹⁾、⁹⁾、¹⁰⁾を参照されたい。

1) 甲基準

甲基準は、船舶が標準の定常風を横方向に受けかつ旅客が横方向に移動しても安全であるためのものである。これは、標準風速として 15 m/secを、船舶の傾斜限度として乾舷（この場合、傾斜角 20 度を超える部分は乾舷とは見做さない）の 80%をとったものである。内容は、論文²⁾にあるのみで結果のみを示せば次式の通りである。

$$GM \geq (1.1Ah + \sum knb) B / 100 f \Delta \quad (1)$$

ここに、

GM = 横メタセンタ高さ (m)

A = 船舶の水線上の部分の投影側面積 (m²)

h = Aの面積中心から喫水の二等分点までの垂直距離 (m)

n = 旅客搭載場所毎の旅客定員

b = 旅客搭載場所毎の旅客の移動可能な平均幅 (m)

B = 船舶の幅 (m)

f = 乾舷 (m) 但し、B/5.5 より大となるときは、B/5.5 の値とする。

Δ = 排水量 (ton)

k = 旅客搭載場所毎に次式で算定した値 : k = 0.134(7 - n/d)

d = 旅客搭載場所毎の床面積 (m²)

(1)式の右辺の第一項は風圧による横傾斜モーメントに相当する部分でそのモーメントを

$$Mw = 0.76 \times 10^{-4} V^2 A h \quad (2)$$

と表わし (Vは風速、m/sec) (2)式に於いて風速を 15m/secとして、導かれたものである。また、hは風圧中心と水圧中心の垂直距離で、風圧中心は側面積の中心、水圧中心は水面下喫水の1/2 と仮定している。(1)式の第二項は旅客の片寄りによる横傾斜モーメントに基づく部分で、旅客は最初の甲板面積当りの密度から、最高 7人/m²まで片寄ることを仮定したものである。

2) 乙基準

乙基準は、船が標準の定常風を受けかつこの標準の定常風によって生じた波で横揺れしている場合に船が最も風上に傾いた時、突風を受けても安全であることを要求したものである。定常風の標準風速は、近海上で 26m/sec、沿海で 19m/sec、限定沿海で 15 m/secを取り、突風による風圧の増加は定常風の 50% とし、また横揺れ角は不規則波を考えて同調横揺れ角の 70%とした。

乙基準をFig. 2.1 に示す。図において定常風による傾斜偶力を D_w とすると、この偶力により船は θ_s だけ風下側に定傾斜をする。船はこの定傾斜 θ_s を中心として θ_o の振巾で横揺れをし、最も風上側に傾いた時に、突風によって偶力が $1.5D_w$ となったとすると、船は風下に揺れるに従って、突風による仕事をされて、面積 $G'FK'$ (a) に相当する運動エネルギーを K' 点で持つ。この運動のエネルギーが残存の動復原力 $K'AC$ (面積 b) で吸収されなければ船は転覆する。従って、安全要件は

$$C = b / a \geq 1 \tag{3}$$

が要求される。これが乙基準の要件である。なお復原力曲線は、海水流入角 θ_f で打ち切るから、 θ_f より先の面積は b に算入されない。

(1) D_w の計算法 : D_w は、次式で求められる。

$$D_w = K_1 A h / \Delta \tag{4}$$

ここに A 、 h 及び Δ は、前記のとうりであり、 K_1 は、船舶の分類に応じて次の値をとる。

近海以上 : 0.0514 沿海 : 0.0274 限定沿海 : 0.0171

なお、この値は(4)式中 $K_1 = 0.76 \times 10^{-4} V^2$ とし、風速 V を各々の海域に応じて 26m/sec, 19m/sec, 15 m/secとして求められる。

(2) θ_o の計算法 : θ_o は、次式で求められる。

$$\theta_o = \sqrt{138.5 r \delta / N} \text{ (度)} \tag{5}$$

ここに、 r は、有効波傾斜係数で次の値とする。

$$r = 0.73 + 0.60 \text{ OG} / d \tag{6}$$

OG = 船舶の重心の喫水からの垂直距離 (m) d = 喫水 (m)

δ は、波の粗度で次の値とする。但し、0.100 より大となるとき及び 0.035 より小となる時は、それぞれ 0.100 及び 0.035 にとどめる。

$$\delta = K_2 - K_3 T_s \quad 0.100 \geq \delta \geq 0.035 \tag{7}$$

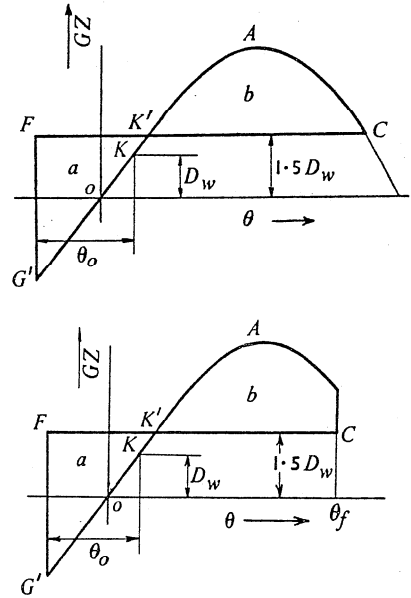


Fig.2.1 Schematic relation between rolling angle, wind heeling moment lever, and residual dynamical stability [2]

$T_s =$ 船舶の横揺れ周期 (sec)	$K_2 = 0.151$	$K_3 = 0.0072$: 近海以上
	0.153	0.0100	: 沿海
	0.155	0.0130	: 限定沿海

(5)式の横揺れ角は、Bertin の減減係数 N を用いた同調横揺れ振巾に、不規則波であることを考慮して 0.7 を掛けて

$$\theta_o = 0.7 \sqrt{180 \gamma \theta_w / 2N} \quad (8)$$

と表し、波傾斜 $\theta_{W(deg)} = \pi \delta$ として係数を整理したものである。また、Bertin の減減係数は、当然ビルジキールの寸法や船型で変わるが、乙基準では簡単のため船型に拘らず $N = 0.02$ としている。波の岨度 δ の式は、Sverdrup-Munk の波の予報理論¹⁰⁾ で用いられている岨度 (H/λ) と波齢 ($\beta = U/C$, $U =$ 風速, $C =$ 波速) のグラフを Fig.2.2 のようにベースを波周期に変換し、船の周期と同調する波の岨度のグラフとした上で直線化したものである。乙基準の厳しさを決定するため Fig.2.3 のように多くの船の $C = b/a$ を風速

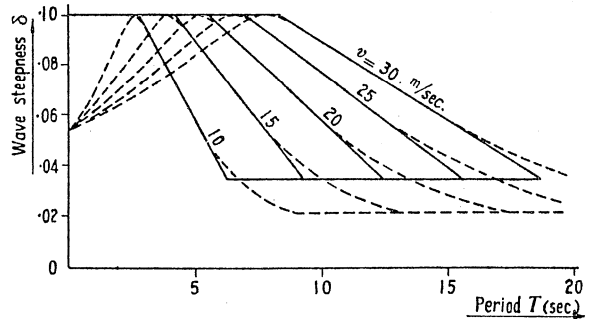


Fig.2.2 Relation between period of roll and steepness of waves which may cause resonant rolling. [2]

ベースに計算してプロットし、転覆した船及び復原性について評判の悪い船の実績を考慮して、 $C=1$ に対する限界風速を求めた結果が前出のように近海以上 26m/sec、沿海 19m/sec、限定沿海 15m/sec となったわけである。

3) 丙基準

丙基準は、海水打込み等がある場合に、GZの最大値がある程度ないと動復原力 (GZ曲線の面積) がいくら大きくても耐力がないという考え方から GZ_{max} の値を規制するため設けられたものである。

この限界値を求めるため多くの

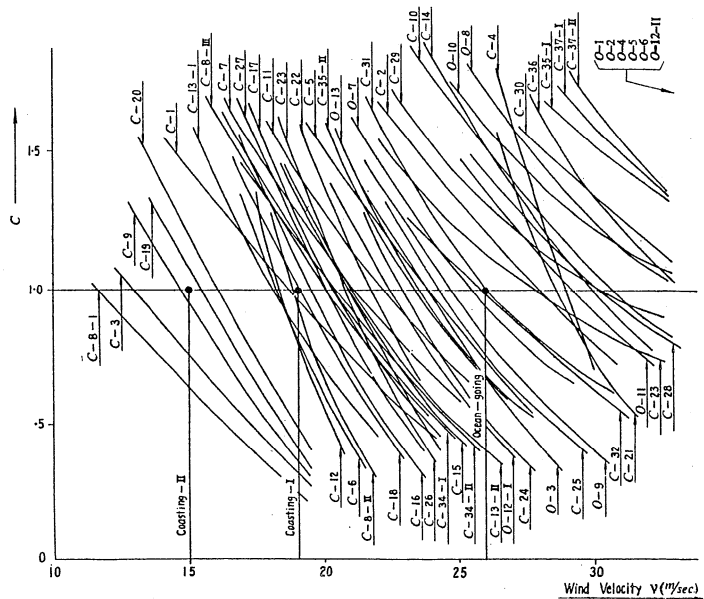


Fig.2.3 Relation between wind velocity and the $C=b/a$ factor for various sample ships [2]

船の GZ_{MAX} を船巾ベースに Fig. 2.4 の如くプロットし、実績より次の基準が定められた。

$$GZ_m \geq 0.0215 B \quad (m)$$

$$GZ_m \geq 0.275 \quad (m)$$

以上が旅客船に対する復原性規則の概要であり、昭和32年に制定施行されて以来、我が国における旅客船の転覆事故は起きていない。なお適用に当たっては GM を横軸に、喫水を縦軸にとり、各々甲、乙、丙基準により要求される GM 値を曲線

(i)(ii)(iii) で表わし、それにその船の種々の状態での実際の GM を喫水に対してプロットして (Fig. 2.5 参照) 合否の判定をすると共に、船長に供与することになっている。

2. 3. 2 カーフェリーの復原性基準

カーフェリーの普及に鑑み、運輸省ではカーフェリーに対する復原性の規則を昭和48年に通達で公布した (昭和48年7月10日付船査第327号:カーフェリーの安全対策の強化について)。その趣旨は、カーフェリーの場合危険物の一種である自動車を満載し、且つスケジュールを守るため、普通の旅客船より多少無理な運行をすることもありうる事を考慮して一般の旅客船より厳しい基準とし、例えば外力条件を1ランク上げる等の措置が取られている。またカーフェリーに多く用いられる減揺フィンや減揺タンクは、復原性保護上有利に働くことが予想されるが、一応安全側をとって、その効果は考慮したいことになっている。

2. 3. 3 漁船の復原性基準

漁船の復原性規則としては、総トン数20トン以上の漁船に対し「船舶復原性規則」第4章の2にGM基準と操業時の横傾斜基準の要件が規定されている。なお、これらの規定は「満載喫水線規則」第4章の

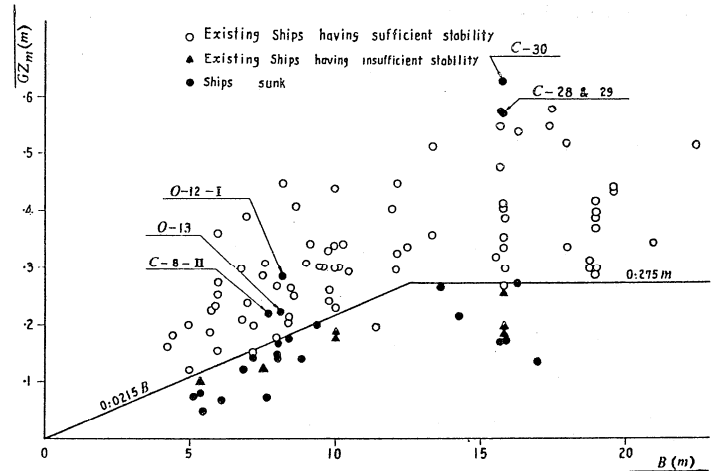


Fig.2.4 Maximum GZ value for sample ships plotted on basis of ships breadth B [2]

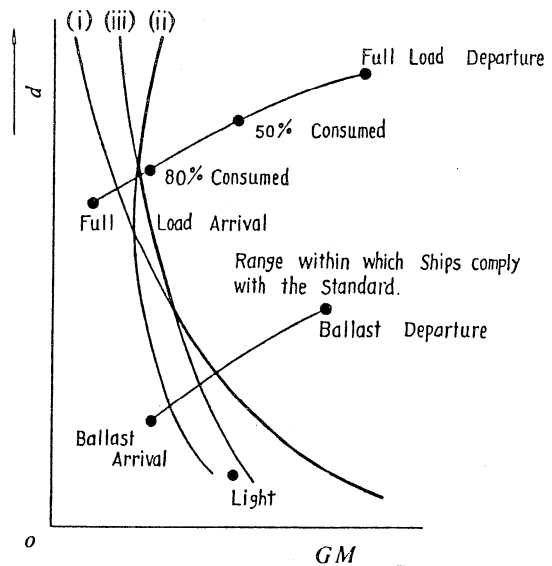


Fig.2.5 Relation between stability criteria (i)(ii)(iii) and actual conditions of a sample ship shown in GM-d diagram [2]

乾舷の規定と合わせ適用されている。漁船に対しては、この他に漁船法に関連し漁船建造の許可基準として定められた「動力漁船の性能の基準」（昭和57年7月6日付農林水産省告示第1091号の制定により昭和39年2月22日付農林省告示第199号の同基準が廃止された）の3別表6に復原性の要件が定められている。また、総トン数20トン未満の小型漁船に対しては、「小型漁船安全規則」（昭和49年8月30日付農林・運輸省令第1号）第12章に復原性の規定が見られるが具体的基準はない。その他、総トン数3トン以上20トン未満の漁船に対しては、指導基準として策定された「小型漁船安全基準」（昭和47年3月水産庁）の中に復原性要件がみられ²⁰⁾、²¹⁾、昭和53年小型さけ、ます漁船の転覆事故に鑑み「減トン工事を施工する漁船に対する臨時検査及び指導徹底について」（運輸省船舶局長通達 船査第409号）として出された通達の中で本要件が引用されている。なお、漁船の復原性に関しては、文献²²⁾に解説がある。以下、「動力漁船の性能の基準」に定められている復原性基準について概説する。

漁船の復原性基準は次の三要件から成る。

- * 乾舷の基準
- * 横メタセンタ高さ（GM）の基準
- * 復原てこに関する基準

1) 乾舷の基準

細かい修正規定等は割愛し、乾舷（F）は次式による。

$$F \geq D_f / 15 + 0.20 \quad (m) \quad D_f < 6 \quad (m) \quad (9)$$

$$F \geq D_f / 10 \quad (m) \quad D_f \geq 6 \quad (m) \quad (10)$$

但し、 D_f は乾舷甲板までの船舶の深さ（m）

2) GMの基準

GMと次に示す復原てこに関する基準は、風圧側面積の著しく大きな（以下側面積大と略す）漁船等とその他の漁船に区分され、前者は外力として風の影響を考慮している。なお、側面積大の判定には具体的判定式が示されているがここでは省略する。GMの基準は次の通りである。

$$GM \geq 0.35 \quad (m) \quad (\text{側面積大の漁船}) \quad (11)$$

$$GM \geq B / 25 + \alpha \quad B / D_f - \beta \quad (m) \quad L < 40 \quad (m) \text{ かつ } B < 7 \quad (m) \quad (12)$$

$$GM \geq (B - 7) / 12 + 0.40 \quad (m) \quad L \geq 40 \quad (m) \text{ かつ } B \geq 7 \quad (m) \quad (13)$$

(12)式中の係数 α は鋼船及びFRP船に対しては0.54、木船に対しては0.28、係数 β は F/D の値に従って数表で与えられる。なお、(12)及び(13)式は、当時の漁船の実態調査資料と旅客船の乙基準を風速18 m/secとして試算した結果を解析し導かれている。すなわち、同式は風速18 m/secに相当する乙基準に合格するために必要なGMの近似式である¹²⁾。

3) 復原てこに関する基準

復原てこに関する基準は、側面積大の漁船等に対しては、

- i) 旅客船の乙基準と全く同じ基準を満足すること。ただし、限界傾斜角は55度または海水流入角のいずれか小さい角度としている。
- ii) 操業中の横傾斜基準を満足すること。

その他の漁船に対しては、

- i) 限界傾斜角（12 度または舷端没入角のうち小さな角度）における復原てこが、漁具等の操作により生ずる傾斜偶力てこ以上であること。

と規定され、漁船特有の漁具外力の影響に対する配慮が伺える。なお、側面積大の漁船の要件 i) は、旅客船の乙基準と同一であるが、次の点が異なる。

- (a) 旅客の代わりに漁具外力による横傾斜モーメントを考える。
- (b) 操業中の横揺れ角は、乙基準で限定沿海に適用される諸係数を用いて算出される値の 70 % とする。
- (c) 操業中の定常風による横傾斜モーメントの算出には、乙基準の限定沿海の係数を採用する。
- (d) 風下側への傾斜角が 17 度または $\tan \theta = (1+2F)/B$ で求まる角度のいずれか小さい角度とする。

このように、操業中の復原性基準は、風速 15 m/sec 相当の横波、横風中のまき網漁船等 舷側で漁撈作業を行なう漁船を想定した要件と考えられる。なお、本件に関する詳しい解説は文献²³⁾にある。

以上復原性に関連する主な国内規則の適用状況をまとめ Table 2.1 に示す。

Table 2.1 Application of Japanese Stability Rules to Various Vessels

長さ又はG/T 船種	12 m	24 m	
	(5 G/T)	(20 G/T)	(500 G/T)
旅客船	[小型船舶安全規則] [船舶復原性規則、施行規則] 人の運送に用い供する傾斜試験及び動揺試験の実施甲基準、乙基準、丙基準、復原性資料の供与 物の運送に用い供する傾斜試験及び動揺試験の実施乙基準、復原性資料の供与 定の際にチェック		
貨物船 (国際航海)	[船舶復原性規則、施行規則] (判定基準はない) 傾斜試験及び動揺試験の実施、復原性資料の供与		
近海・沿海貨物船 (非国際航海)	[船舶復原性規則、施行規則] (判定基準はない) 傾斜試験及び動揺試験の実施、復原性資料の供与		
漁船	[小型漁船安全規則] [船舶復原性規則、満載喫水線規則、施行規則] 検査機関が十分に認める復原性を有していること (判定基準はない) 傾斜試験及び動揺試験の実施、復原性資料の供与		

2.4 IMO復原性基準 決議A.167 及び 決議A.168 の解説

昭和43年(1986年)11月26日~28日に開催されたIMO(当時の略称IMCO)の第4回臨時総会で決議された決議A.167及び決議A.168は、その適用対象船舶が異なるものの復原性に関する具体的基準勧告や構成はほぼ同じ様相を呈している。両者の勧告内容の構成比較をAPPENDIX 1に示す。決議A.168すなわち漁船の非損傷時復原性に関する勧告の構成を見ると決議A.167に比べきめ細かい配慮がなされている。これは、漁船が他の貨物船等一般の船舶に比べそれを建造する造船所の技術、規模が世界的に見ても各種各様であり復原性に対する認識が必ずしも同じレベルにないことによる配慮とも受け取れる。

さて、両勧告とも細部については各国各様の意見はあったもののIMOの場で国際的に合意されたし

かも規制のための具体的数値が明示された最初の復原性基準と考えられる。以後、昭和60年（1985）6月に開催された第14回総会に於ける決議 A. 562(14)に至る約17年間IMO復原性基準と言えばこれら両基準を指していた。なお、決議 A. 562は決議 A. 167を補完する勧告との位置付けであるので、現在もなお、決議 A. 167また決議 A. 168もIMO復原性基準として活きている。したがって、現在進行中のIMOにおける復原性基準の見直し作業の動向を把握する上からも、また今後我が国が研究成果にもとづく新しい復原性基準をIMOに提案するに際してもこれら古典的とも言える両基準の内容を一応理解しておくことはあながち無駄ではないと思われる。さて、具体的復原性基準を規定した付属書第5項に示される両基準の特徴を一言でいえば、船型及びその重心位置から定まる復原力曲線の形状を規定した基準であり、例えば風、波等の外力の影響は基準に陽に現われない。このように、決議 A. 167及び決議 A. 168の復原力に関する各要求値は、それまでの主に北大西洋を航行した船舶の統計値に基づく限界値から決定されていることからいわゆる経験則と称されている。

2.4.1 IMO復原性基準 決議A. 167

以下、勧告の要点について述べる。なお、ここで用いた原文の和訳箇所は主に文献²³⁾、²⁴⁾、²⁵⁾等を参照し、解説については文献²³⁾を引用した部分が多い。

本基準の適用範囲は、同勧告成立当時「長さ100 m未満の甲板を有する新造の航洋(sea-going)旅客船及び貨物船(ただし、漁船及び甲板積木材運搬船を除く)」と規定された。なお、漁船に対しては決議 A. 168に、また甲板積木材運搬船に対しては、1971年10月、決議 A. 167の改正として採択された決議 A. 206(VII)に勧告がある。この節では、決議 A. 206の改正内容を含む決議 A. 167について解説する。

さて、復原性に関する具体的基準を勧告した付属書第5項の構成を次に示す。なお、<>内の数字は勧告や条約の項番を示す。

- i) 旅客船及び貨物船に対する復原性基準 <5. 1>
- ii) 甲板積み木材運搬船に対する復原性基準 <5. 2>
- iii) 旅客船に対する追加基準 <5. 3>
- iv) 注意事項 <5. 4~5. 7>

1) 旅客船及び貨物船の復原性基準

本件の主要基準は次に示す四要件で構成されている。

- i) 復原力曲線(GZ曲線)の面積基準 <5. 1>
GZ曲線と横軸で囲まれた指定傾斜角までの面積がある指標以上である三要件が課せられている。
 - (a) 直立状態から傾斜角30度までの面積 $A(30^\circ)$ について、 $A(30^\circ) \geq 0.05 \text{ m-rad}$ であること。
 - (b) 直立状態から40度までの面積 $A(40^\circ)$ 、あるいは海水流入角 θ_f までの面積 $A(\theta_f)$ について、 $\theta_f \geq 40^\circ$ のとき $A(40^\circ) \geq 0.09 \text{ m-rad}$ 、 $\theta_f < 40^\circ$ のとき $A(\theta_f) \geq 0.09 \text{ m-rad}$ であること。
 - (c) 30度から40度までの面積 $A_{30}(40^\circ)$ 、あるいは30度から海水流入角 θ_f までの面積 $A_{30}(\theta_f)$ について、 $\theta_f \geq 40^\circ$ のとき $A_{30}(40^\circ) \geq 0.03 \text{ m-rad}$ 、 $\theta_f < 40^\circ$ のとき $A_{30}(\theta_f) > 0.03 \text{ m-rad}$ であること。

これらの要件の概要をFig. 2.6 (a)～(c)に示す。

ii) GZ曲線の形状に関する基準

30度またはそれより大きい傾斜角で、復原てこGZが少なくとも0.2 mあること。

iii) 最大復原てこが生ずる角度の基準

復原てこGZが最大値に達する傾斜角は30度を超えることが望ましく、25度未満であってはならない。(ii), iii) Fig. 2.6 (d)参照

iv) メタセンタ高さの基準

メタセンタ高さGM₀は、0.15 m以上あること。

以上の四要件の中で最も厳しい要件が復原性要求値の最小値となる。

2) 甲板積み木材運搬船の復原性基準

本要件は、決議 A. 206による改正に基づき勧告基準<5.2>として導入され、<5.2>の前文に示される木材の積み付け条件を満たせば、1)で述べた要件に代わりに次の三要件が甲板積み木材運搬船に対し適用される。

(a) 直立状態から傾斜角40度までの面積A(40°)

或いは海水流入角度θ_fまでの面積について

θ_f ≥ 40° のとき A(40°) ≥ 0.09 m-rad,

θ_f < 40° のとき A(θ_f) ≥ 0.09 m-rad

であること (Fig. 2.7 参照)。

(b) 復原てこGZの最大値は少なくとも0.25 m

以上なければならない。

(c) 航海中は常に、自由水影響をさし引いたGM。 Fig. 2.7 Criterion for Ships Carrying Timber Deck Cargoes [40]

が正でなければならない。

ただし、甲板積み貨物による吸水、および／

または、暴露表面の着氷を考慮することが適当な場合は、さらにこれによる修正を行なった後のGM₀が正でなければならない。加えて、出港状態でこの横メタセンタ高さは0.10 m以上でなければならない。

この勧告基準は、甲板積みの木材の浮力が復原力として有効に働くことを考慮したものと考えられ、旅客船及び貨物船の要件1)に比べ若干緩和されている。ただし、その積み付け条件は、幅方向に対し船幅の96%以上、長さ方向に対しては船楼間全長に渡るなどの規定があるほか、'66 L L条約 (1966年国際満載喫水線条約； 1968年8月15日発効) 及び 1973年の決議 A. 287 (VIII) 「甲板積み木材運搬船に

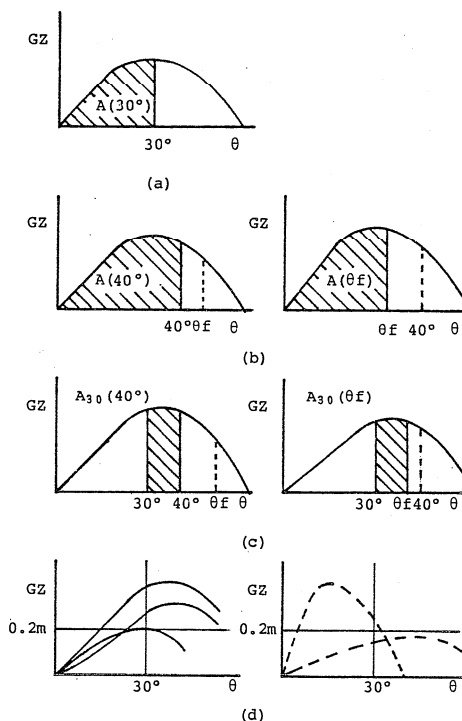


Fig.2.6 Schematic Diagram Illustrating Criteria in Res.A.167 [23]

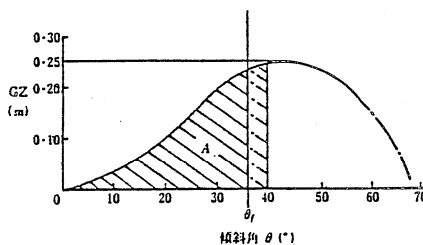


Fig.2.7 Criterion for Ships Carrying Timber Deck Cargoes [40]

関する安全実施基準」(Code of Safe Practice for ships Carrying Timber Deck Cargoes)にラッシング等の細則が規定されている。

また、復原力計算に際し甲板積み木材貨物が占める容積の25%の浸水率(permeability)を有するものと仮定してその浮力に算入できることになっている(決議 A.206 付録 I)。本要件に関し第29回 SLF でポーランドが具体的計算方法が明確でないと問題提起し、第30回 SLF で各国の国内運用などを含め審議の結果甲板積み貨物の有効高さの算入は、浸水率を0.25とすることと同等と解釈すべきではないとの結論に到っている。

3) 旅客船に対する追加基準 <5.3>

旅客船に対しては、1)で述べた要件の他に次の二要件が追加されている。

(a) 旅客が片舷へ集中して移動するときの横傾斜角は10度を超えてはならない。

(b) 旋回による傾斜モーメントを次式で計算し、これによる傾斜角が10度を超えてはならない。

$$M_R = 0.02 \cdot V_0^2 / L \cdot \Delta \cdot (KG - d / 2) \quad (14)$$

ただし、 M_R : 旋回によるモーメント (m-t) Δ : 排水量 (t)

V_0 : 航海速力 (m/sec) d : 平均喫水 (m)

L : 水線上の船の長さ (m) KG : キール上重心高さ (m)

(a)は旅客の移動に基づく横傾斜を制限した基準であり、我が国の「船舶復原性規則」にも旅客移動効果が第4章 第14条の傾斜偶力にてこの算出式の中に配慮されている。なお、決議 A.167では旅客の体重を75kg/人と仮定し(同決議付録 II 2.(8))、横傾斜モーメントなどは最悪の状態を想定し計算することを要求し、その場合4人/m²を超えて旅客が集中することは考慮しなくてもよいとされているものの具体的計算方法は、明示されていない。このように決議 A.168が旅客の移動のみに着目しているのに対し我が国の「船舶復原性規則」では旅客の移動の他に風速15m/secに相当の定常風による横傾斜モーメントを含むこと、また、旅客移動モーメントは7人/m²及び旅客の体重60Kgを想定して導かれた²⁾具体的計算式を明示している点が異なる。

(b)は定常旋回時の横傾斜モーメントによる横傾斜を制限した基準で我が国の国内規則には同種の基準は見当たらない。ただし、小型漁船に対する復原性基準案²⁰⁾の縦波基準の指標として定常旋回時の横傾斜モーメントが導入されている。なお、(14)式中の係数の算出根拠は明らかでないが、定常旋回時の横傾斜モーメントを

$$M_R = \Delta / g \cdot V^2 / R \cdot (KG - d / 2) \quad (15)$$

とし、 $R = 2 \cdot L$ 及び旋回中の船速を $V = 0.65 V_0$ と仮定した場合の値にほぼ相当する。

4) その他

決議 A.167 の第5項では以上の具体的数値あるいは式が明示された基準のほか

(a) 海水流入角(θ_f)の定義 <5.1 脚注>

(b) 基準が最小値であること。 <5.4>

(c) 風圧側面積の大きい船舶への横風、上部構造物への着水、甲板上の滞留水、横揺れ特性、追波等復原性に悪影響を及ぼす要因に対する主官庁の配慮の必要性。 <5.6>

(d) ばら積貨物船に対して、ばら積貨物に関する安全実施基準 (Code of Safe Practice for Bulk Cargoes) 及び 1960年 SOLAS 条約第 V I 章との関連。 < 5. 7 >

等が勧告されている。

また、付属書 第6項では傾斜試験により軽荷状態の排水量及び重心位置を決定すること、第7項では船長に供与すべき復原性資料について勧告している。

この他、付録として次の事項が勧告されている。

- (a) 復原力計算に対する注意事項、特にタンク内の自由水による横メタセンタ高さ及び復原力曲線の修正に必要な自由表面モーメントの具体的算出式。 < 付録 I >
- (b) 船主が特に載荷状態を指定しない場合の復原性を検討すべき標準載荷状態の指定。 < 付録 II >
- (c) < 付録 III > (略)

2. 4. 2 I M O 復原性基準 決議 A. 1 6 8

本件の適用範囲は、新造の甲板を有する航洋漁船と規定され、長さに関する特別の制限は設けられていない。復原性に関する具体的数値が明示された基準を勧告した第 5 項は、横メタセンタ高さ $G M_0$ の高さが 0.35 m 以上であること (決議 A. 168 5. 1. (d)) 以外は決議 A. 167 の勧告基準 5. 1 項と全く同じである。

APPENDIX 1 に示したように、付属書に示されるその他の勧告は、ほぼ決議 A. 167 と同じ内容である。以下付録部分の勧告に関する主要事項について述べる。

- (a) 付録 I : 復原力曲線の計算に対する注意事項に関する勧告で決議 A. 167 とほぼ同じ構成内容である。
- (b) 付録 II : 検討すべき載荷状態では、漁船にとって復原性基準を満足する上で最も厳しい状態といわれている貯蔵物、燃料等消費物を 10% 残し、しかも魚獲量が 20% の載荷状態を検討対象として勧告している。
- (c) 付録 III : この着氷に関する最小要求値の勧告は漁船に対する特有の要求で決議 A. 167 には本要件は無く、着氷区域まで出漁する漁船に対する特別の配慮と考えられる。着氷に関する要件を定めてない国々に対する勧告の形式をとり、冬季航行区域 (winter seasonal zone) を航行する漁船についてその着氷量を指定している。この件については次節で述べる。
- (d) 付録 IV : 決議 A. 167 付録 III と同様に横慣動半径の値を目安とした横メタセンタ高さ $G M_0$ の推定法について述べている。
- (e) 付録 V : 漁獲物の荷崩れ防止のための魚艙内の取り外し式仕切り板について部材の断面係数及び板厚等の最小値について勧告している。(決議 A. 268 (VIII) で改正あり)
- (f) 付録 VI : 打込み海水を放出するための放水口面積に対する具体的計算式を勧告している。すなわち、片舷の最小放水口面積を A とすると

$$A = 0.7 + 0.035 \cdot l \quad (\text{m}^2) \quad l \leq 20 \quad (\text{m}) \quad (16)$$

$$A = 0.07 \cdot l \quad (\text{m}^2) \quad l > 20 \quad (\text{m}) \quad (17)$$

ただし、 l はウエルを形成するブルワークの長さで $0.7 \cdot L$ を超える必要はない。

を基本式にブルワークの平均高さによる修正量が別に定められているがここで²⁷⁾は省略する。(決議 A. 208 (VII)で改正あり)。

(g) 付録 VII 及び VIII : 説明略(決議 A. 208及び決議 A. 269 (VIII)で改正あり)

2. 5 1977年トレモリノス条約の解説

「トレモリノス条約」に関しては、英和対訳が刊行されている²⁷⁾ので、以下同条約の条文等の和訳に関してはそれを引用する。本条約の全体構成(復原性関連規則については細則の表題を含む)をAPPENDIX 2 に示す。以下同条約の復原性関連事項について概説する。

1) 適用範囲: 第I章第1規則の適用範囲には、漁船に対する復原性基準に関する決議 A. 168 が長さに対する適用範囲の明示がないために対し、同条約では「自己の漁獲物を加工する船舶を含む長さ24メートル以上の新造漁船」と明示されている。

2) 復原性基準: 具体的数値を含む復原性基準は第III章復原性及び関連する耐航性、第28規則に示されている。その内容は、<(1)(d)>で規定される「初期メタセンタ高さ GM は、一層甲板船においては350ミリメートル以上であること。全通船楼船または長さ70メートル以上の船舶においては、メタセンタ高さを減ずることを主官庁は認めて差し支えないが、最低150ミリメートル以上とすること。」の後段を除き第28規則<(1)(a)~(d)>とIMO決議 A. 168 の<5.1(a)~(d)>と全く同じ内容である。この他第III章は第40規則までであるが、この中には具体的数値あるいは計算方式を示した規定はない。

このように、「トレモリノス条約」の時点でも結果的にはIMO決議 A. 168 のいわゆる経験則に源を発する復原性基準が採用された。しかしながら、第28規則<(1)>では「ただし、主官庁が操業実績からこれ以外の基準の正当性を認める場合は、これによらないことができる。」とただし書きが付されたこと、また第31規則激しい風及び横揺れの条文に見られるようにIMO決議 A. 168 以来のいわゆる経験的な復原性基準からより合理的な基準づくりへの流れを感じさせる規則が第III章の規則並びにその規則を具体化するための方法について勧告した添付書類3にあり注目される(APPENDIX 2 参照)。

3) 第31規則及び添付書類3の勧告1

第31規則「激しい風及び横揺れ」の条文では気象海象条件等を考慮した復原性を要求しているものの、具体的な計算方法はこの条文には明示されず添付書類3の勧告1「激しい風及び関連して起こる海況のもとでの横揺れの影響の計算方法に関するガイダンス」に示されている。このガイダンスに示された計算方法は2.2.2で述べた如く我が国の「船舶復原性規則」のいわゆる乙基準に基づく日本の提案がその基礎となっている(具体的内容は、2.3.1参照)。ただし、この規則では風速の水面上高さ方向の変化を考慮している点が異なる。

さて、実際の計算に必要な諸要素の中で風による横傾斜モーメント算出方式は、

$$M_w = \frac{1}{2} \rho C_D K^2 \sum_{n=1}^N (V_n^2 A_n Z_n) \quad (18)$$

ここで、

M_{w1} : 定常風による横傾斜モーメント

M_{w2} : 突風又は激しい風による横傾斜モーメント

ρ : 空気密度

C_D : 適当な無次元抵抗係数

K : 風速係数

$K = 1$ 定常風に対して

$K > 1$ 突風に対して

V_n : 側面積 A_n の図心における風速

A_n : 要素 n の投影側面積

Z_n : A_n の図心と反力の仮想作用点との間の風力での長さ

n : 整数

N : 水平方向に分割した面積要素の数

θ_0 : 定常風的作用による横傾斜角

θ_1 : θ_0 付近で横揺れしている場合の横揺れ角

θ_2 : 没水角 (θ_f)、又は主官庁の規定する角度

で示され、側面積全体に均一な風速が作用するとして計算する ($n = 1$) か、側面積を水平方向の要素に分割して、それぞれの海面からの高さに比例した風速増加影響を取り入れた計算をするか自由度がある。また、 $A_n, K, Z_n, \theta_0, \theta_1$ 等の値は主官庁にまかされている。我が国の「船舶復原性規則」では $n = 1$ として、各々の数値は 2.3.1 で示した値或いは公式を用いている。

4) 第32規則及び添付書類3の勧告 2

第32規則「甲板打込み水」の条文では、甲板上への打込み海水の滞留による影響を考慮した復原性を要求している。その具体的取り扱いに関しては添付書類 3 の勧告 2 「甲板打込み水の影響の計算方法に関するガイダンス」に考え方が示されている。以下、ガイダンスに示された方法を紹介する。この考え方は、文献²⁸⁾にもみられ C_{wod} 示数と呼ばれている。

Fig. 2.8 に示すように、甲板上への打込み海水による横傾斜モーメントの仕事量 (面積 "a") と復原モーメントによる仕事量を (面積 "b") 比較し、基準としては、

$$C_{wod} = \text{面積 } b / \text{面積 } a \geq 1 \quad (19)$$

であることが復原性要件である。面積 b を決定するに必要な限界角は、海水流入角 θ_f 又は40度のいずれか小さい角度との指定がある。また、甲板上の滞留水横傾斜モーメント M_{wod} は、ブルワーク上端の最低点までの滞留水を考え、その点が浸水する角度まで横傾斜した状態を仮定して

$$M_{wod} = K \cdot M_w \quad (20)$$

ただし、

M_w : 甲板上の滞留水による静的横傾斜モーメント

K : 係数

で求める。ここで、 M_{wod} を静的に取り扱う場合には $K = 1.0$ とし準静的な取り扱いとしては船舶の横揺れ周期

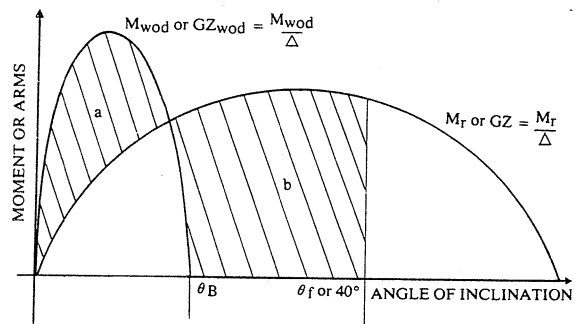


Fig. 2.8 Schematic Diagram Illustrating Regulation 32 of Torremolinos International Convention (Water on Deck) [27]

甲板室の配置及び形状の影響による滞留水の動的効果を考慮してKを決定するとしているが、具体的値或いは計算方式は示されていない。ただし、舷端没水角を θ_D としブルワーク上端没水角を θ_B とした時、

$$10^\circ \leq \theta_D < 15^\circ \text{ 又は } 20^\circ \leq \theta_B < 25^\circ \text{ では } K > 1.0 \quad (21)$$

$$\theta_D \geq 20^\circ \text{ 又は } \theta_B \geq 30^\circ \text{ では } K < 1.0 \quad (22)$$

を採用して良いとの表現がある。また、甲板上に滞留水があれば、静的に考えてもトリム排水量は滞留水のない状態と比べ変化することとなるが、 M_w の計算ではその影響を無視すると仮定している。なお、放水口からの滞留水の放出も無視するとしていることから、突然甲板上に多量の海水打込みがあった場合の短時間の現象を静的に取り扱った考え方と解釈される。

本件に関しては、当時海水打込みによる転覆機構の解明も未研究の段階で規則に取り入れるには時期尚早との意見もあった（文献²⁷⁾の巻末の解説など）。しかしながら、数ヶ国がその危険性を指摘しその計算方法のガイダンスが示された。このように、漁船の復原性基準に対する考え方の中に海水打込みによる影響を考慮すべきであるという考え方は注目に値する。このような事から、漁船の復原性基準を考える上で海水打込みのメカニズム、滞留水の動的影響を含めた今後の研究が期待されている。

5) 第34規則及び添付書類3の勧告3

第34規則は、「着氷」に関する規則で、着氷の発生のおそれのある海域で操業する漁船は復原性計算上次の着氷量の余裕を見込まねばならないことを規定している。

- i) 暴露甲板及び通路上 30 kg/m²
- ii) 水線上の船舶の側面積（両側） 7.5 kg/m²
- iii) その他（略）

また、添付書類3の勧告3「着氷に関するガイダンス」として着氷の起こり得る海域の指定及び着氷量の修正に関する規定が示されている。

これら数値は決議 A.168 の付録 IIIと同じである。ただし決議 A.168 では着氷量は前記値以上との表現をとっている。なお、着氷海域の指定は「トレモリノス条約」の規定の方がきめ細かいこと、また特定海域での着氷量が大きいこと等が異なる。

我が国の水産庁海洋漁業部長名の通達 48-206（昭和48年12月17日）「漁船建造等の許可申請にあたり注意すべき事項及び図書作成について」には、第2図書作成要領の4.計画、重量重心計算書の(1)-イiii)項に着氷区域航行の有無の記入に関し着氷区域が指定され、(2)・ホで船体着氷量の計算式が示されている。それによれば

$$* \text{ 船体着氷量} = L \times D / 10 \quad (\text{ton}) \quad (23)$$

L : 船の長さ (m) B : 船の幅 (m)

$$* \text{ 船体着氷の基線上の重心位置} = D \times 1.5 \quad (\text{m}) \quad (24)$$

D : 船の深さ (m)

ただし二層甲板船では $D \times 1.1$ (m)

である。我が国にはこの他に巡視艇建造に当たり、海上保安庁で決めた「海上保安庁所属船舶の復原性

基準」の中に着氷規定が見られる。なお、蛇足ではあるが、海上保安庁のこの基準には 2.3.1 で述べたと同様の復原性要件があり、全体的に厳しい数値を採用しているようだ。

これらソ連規則を含め 4 隻の船舶について各々の規則に従って着氷量及び重心位置を求め比較した一例を Fig. 2.9 に

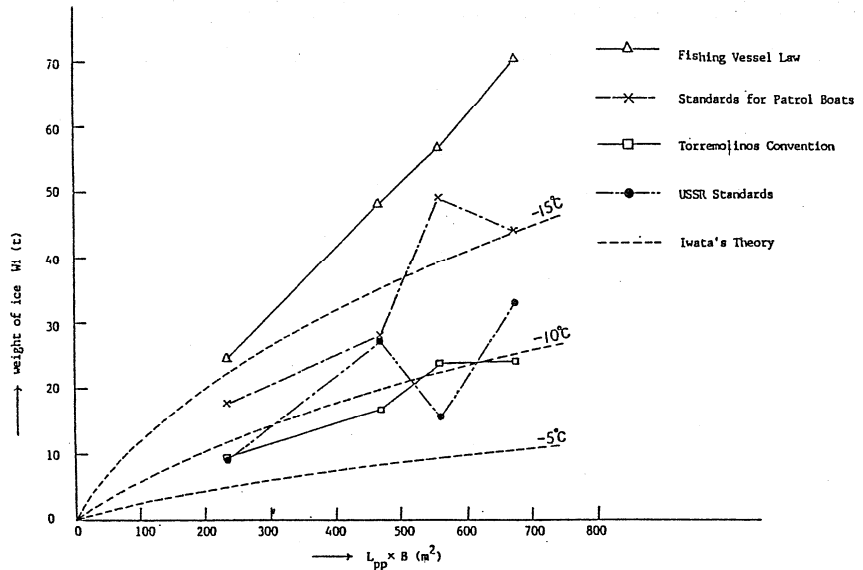


Fig. 2.9 Ice Accretion Calculated by Various Criteria [I2]

示す¹²⁾。この結果から判断する限り我が国の、いわゆる水産庁基準が最も厳しい基準となっている。なお、I M Oでは海洋構造物の着氷に関する論議が高まっている。

6) その他

甲板上への海水打込みを防止する目的として考えられた二つの規則がある。これらは、第38規則「船首高さ」及び添付書類 3の勧告 5「船首高さの計算方法に関するガイダンス」並びに第VI章「船員の保護」第108規則「ブルワーク、レール及びガード」及び添付書類 3の勧告 9「最深操業水線からブルワーク上端の最低点又は作業甲板の舷端までの最小距離の計算方法に関するガイダンス」である。両ガイダンス中には、具体的計算方法が記載されており、前者は有義波高 11.75 mの極端に厳しい海況を想定した場合の計算式であり、気象海象のはっきりしている海域に出漁する漁船に対してはその値を変更できると記述されているがその計算式の背景は定かでない。後者は、標記の垂直距離は、中程度の横波中 (moderate beam seas) で漁撈作業する場合の甲板上への海水打込み確率を考慮し、その値を各船毎に決定し、その確率は 5%以下とすると規定している。国内規則が存在しない場合のガイダンスとして最小垂直距離の具体的算出法が第(2)項に示されているが第30回 S L Fでポーランドが当時の解析に不備が発見されたとして、本ガイダンス第(2)項の改正案を提出し¹³⁾この項は現在、1985年6月に決定された M S C / circ. 408 の ANNEX に改正されている。それによれば、有義波高 2.9 m 及び 1.4 m の横波を受け作業中の漁船の甲板上への海水打込み確率を 5%とした計算結果の回帰分析に基づき標記最小垂直距離が各々の有義波高毎に導かれている。なおその導入方法は文献¹⁴⁾に詳しい。

打込み海水を放出する放水口面積に関し、第II章 第25規則には決議 A. 168の付録 VIと形式が異なるものの「トレモリノス条約」の適用が 24 m 以上の漁船であることを考えれば、内容は全く同じ基準が採用されている。

2.6 IMO Weather Criterion 決議A. 562(14)の解説

この決議は、2.2 で述べたような経緯で1985年11月にIMO 勧告として出されたもので、客船及び貨物船に対しては、長さを24m以上の船について適用されることになっており、長さ100m未満の船については決議 A.167と併用されること、また長さ100m以上の船については、管海官庁が適当と認める基準と組み合わせて用いられることになっている。また漁船については、長さ45m以上の航行区域無制限の船についてのみ適用されることになっている。この勧告の具体的内容は、APPENDIX 3に示す決議 A.562に示す通りで、以後これについて解説を試みる

1) Scope : 適用範囲、条件等が述べられている。

2) Recommended criterion : 基本的な考え方は、日本の旅客船の復原性規則と全く同じである。即ち、

(i) 船は定常的な風圧モーメントレバー $l w_1$ を受け、その結果、船は定常的 θ_0 だけ傾く。

(ii) その角度を中心に θ_1 の振幅で揺れる (APPENDIX 3参照)。この時 θ_0 は極端に大きくなってはならないことが脚註に出ており、ここに日本の甲基準の考え方が折り込んである。

(iii) 船が風上側一杯に傾いた時、突風が吹いて、風圧モーメントレバーが $l w_2$ ($l w_2 = 1.5 l w_1$)になり、船は復原モーメントと同時に、突風のモーメントで風下側に傾く。

(iv) この状態で面積 b (海水流入角 θf で切つてある) で表わされる予備動的復原力の方が、ポテンシャルエネルギーに相当する面積 a より大きければ、船は転覆しない。従って

$$b \geq a \quad (25)$$

が安全要件となる。ここで、風圧モーメントレバーは、

$$l w_1 = p A Z / \Delta \quad (m) \quad (26)$$

で与えられ、これは日本の甲基準と同じであるが、乙基準では Z (基準では h)として水面下喫水の1/2から風圧側面積中心までの距離を採用しているのに対し、ソ連案 (ソ連国内法)¹⁵⁾では水面より風圧側面積中心までとしている。また風圧係数 p は乙基準では風速26m/secに対応するものとして、一定値を採用しているのに対し、ソ連案では水面からの距離に応じて風圧係数が変わっており、この点で種々討議が行なわれ、ソ連案の支持も多かった。しかしながら、ある基準の一部を部分的に手直しすると、基準のバランスが崩れるので好ましくないという、日本側の主張に Rakhmanin 議長も終始理解を示して結局日本案のままに落ち着いた。

次に横揺れ角であるが、日本案とソ連案では大きな違いがあった。日本の乙基準は、区別する為に J という記号をつけると

$$\theta_{1J} = 83.2 \sqrt{r \cdot s} \quad (27)$$

で表される。これは(4)式で $r=r$, $\delta=s$, $N=0.02$ と置いたもので船型やビルジキールの寸法に拘らず横揺れ周期と重心高さだけで決まる。一方ソ連案は横揺れ角は

$$\theta_{1s} = k \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot Y \quad (28)$$

で与えている。このうち k 、 x_1 及び x_2 は各々ビルジキール寸法、 B/d 及び C_B の関数で各々APPENDIX 3に示す数表で与えられる。

Y は、 GM/B の関数でTable 2.2のように与えられている。

Table 2.2 Values of Y (USSR Rule)

G ₀ M/B	0.04以下	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13以上
Y	24.0	25.0	27.0	29.0	30.7	32.0	33.4	34.4	35.5	36.0

Yは、本質的には横揺れ周期の関数であり、(27)式の $\sqrt{r \cdot s}$ の部分に対応して、それに減衰を表すk、 x_1 、 x_2 が掛かっていると考えられる。実際(27)式のsをG₀M/Bの関数と考えて、G₀M/Bベースに(27)式の値をプロットして見ると、Yときわめて似た曲線となることがわかる。そこで、ソ連の手法を用いて減衰に船型要素とビルジキール寸法の影響を入れ、 $\theta_{1\sigma}$ の平均値と θ_{1s} の平均値がほぼ等しくなるようなマッチング係数をC'とすれば、横揺れ角を(29)式のように表すことが出来る。

$$\theta_1 = \theta_{1\sigma} \cdot k \cdot x_1 \cdot x_2 / C' \quad (29)$$

マッチング係数として、日本から提出した Sample Ship の試算結果からその平均値を求めると C' = 0.76となり、その値が採用された。従って横揺れ角は(27)及び(29)式から

$$\theta_1 = k \cdot x_1 \cdot x_2 / 0.76 \cdot \theta_{1\sigma} = 109 \cdot k \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot \sqrt{r \cdot s} \quad (30)$$

という決議 A.562の Annex の横揺れの式が導かれる。なお波の岨度 S は、日本の乙基準では横揺れ周期の折線関係として与えられている(7)式参照)が、決議 A.562 では折線部分の不具合を無くするため横揺れ周期のなだらかな関数として表で与えることとした。(APPENDIX 3 Table 4参照)

以上、IMOの復原性に関連する主要な決議の適用範囲の概要を Table 2.3に示す。

Table 2.3 Application of IMO Stability Criteria to Various Vessels

ship Length Type	24m	30m	45m	100m
Passenger & Cargoes	Res. A. 167			
	Res. A. 562 + other appropriate stab. criteria			
Fishing Vessels	Res. A. 168			
	Torremolinos			
	Res. A. 562 + Do			
	Res. 207			

2.7 IMOで現在検討中の課題の概説

IMOのSLFの議題の一つ船舶の非損傷時復原性に関連した現在審議中の項目を最近のドキュメントから原文のまま次に示す。{ }内は、審議完了予定年を示す。

- * review of IMO criteria (resolutions A.167 (ES. IV) and A.168 (ES. IV)) including harmonization of agreed weather criterion with those for different types of ships; {1988}
- * improved criteria taking into account the effect of following, quartering and breaking

seas, external forces and other factors affecting stability as well as systematic model tests; {continuous}

* stability of pontoons - evaluation of experience to set a single standard : {1988}

* collection and analysis of intact stability casualty records : {continuous}

* information for the master on intact stability : {1987}

これ等の項目からわかるように、最近の SLFにおける復原性基準の審議は、決議 A.167及び決議 A.168 に代表されるいわゆる経験則に基づく復原性基準を物理現象を基礎とした合理的な考え方に基づいて見直し改良する或いは新たに得られた知見に基づき新しい復原性基準を作成するという方向に動きつつある。以下、現在SLFで審議中の各項目毎にその内容と問題点について概説する。

2.7.1 漁船に対する IMO Weather Criterion

2.2 で述べた如く長さ24 m 以上の旅客船及び貨物船を対象に、外力として風による影響を直接基準に取り入れたいいわゆる Weather Criterion が決議 A.562 として既に勧告され、その内容は 2.6 で述べた。その適用範囲には、長さ45 m 以上の航行区域が無制限 (unlimited service) の漁船が含まれる。しかしながら同基準を各国の漁船に適用した試算結果から、長さ24 m以上 45 m未満の小型漁船、特に一層甲板漁船に対しては、無事故運航の実績に照らし同基準は厳しすぎるとの意見を踏まえ、その範囲の漁船に対する Weather Criterion については、1988年を審議完了年として現在最終案とりまとめ作業が進行中である。すなわち、漁船に対する IMO Weather Criterion は、漁船にとって外力として風の影響を考慮した復原性基準の導入が必要か否かの基本的論議を終え、決議 A.562で示された具体案のどの部分を改善すれば漁船に適用可能かの段階にある。本年6月に開催された第31回 SLF では決議 A.562の基準値算出に必要な諸係数の中でどの部分が漁船に対して不合理かの洗い出し作業と並行し、ドラフト案が作成された¹⁶⁾。

ドラフト案と決議 A.562を比較すると、風による横傾斜モーメントの算出式に2.5 で述べた(18)式が導入され、水面上風圧側面積中心までの距離に応じた風速を使用し前記の点を改良しようとしている。なお水面上の距離 (h_n) に応じた風速の算出式はソ連提案¹⁷⁾の次式で示す対数法則が提案されている。

$$V_n = 26 \times (0.124 \log h_n + 0.722) \quad (\text{m/sec}) \quad (31)$$

このように船体に働く風圧を算定するために水面上の風速勾配の考え方を導入したものには、ソ連の船舶の復原性に関する国内規則¹⁵⁾ (数表形式で与えられる) の他、決議 A.363 「Code of Safety for Dynamically Supported Craft」の風圧による横傾斜モーメントの項にも数表形式で示されている (ソ連国内規則の制限区域 I の値が導入され、ビューフォートスケール 7 沿岸 100 哩以内適用との注意書がある)。この他、風圧による横傾斜モーメントを算出するためのレバーには、風圧による反作用点から風圧側面積中心までの距離をとるか、水面下の側面積中心あるいは近似的に吃水の1/2 の点から風圧側面積中心までの距離をとるかも検討事項の一つに数えられている。なお、ソ連の国内規則では、この値としては水面上風圧側面積中心までの距離を採用し、我が国の「船舶復原性規則」では後者の値を採用している。なお、本件に関しては第32回 SFL (1982年9月 開催予定) に於いてこれ等検討事項の審議を完了しMSC (海上安全委員会) へ上程されることとなろう。

2. 7. 2 ポンツーンの復原性

ポンツーンに対する復原性基準は各国の意見が調整出来ないまま、それまでに提出された各国の国内基準を併記し、MSC Circular として各国に回章されていた¹⁸⁾。西ドイツがそれら各国の基準を同一のポンツーンに適用した比較結果に基づき統一基準案を第31回 SLFに提出した¹⁹⁾。その統一基準案は、

(i) 面積要件:

$$A(\theta_{GZm}) \geq 0.08 \quad \text{m-rad} \quad \theta_{GZm} > \theta_f \quad (32)$$

$$A(\theta_f) \geq 0.08 \quad \text{m-rad} \quad \theta_{GZm} < \theta_f \quad (33)$$

ただし、 θ_{GZm} : GZが最大となる角度

θ_f : 海水流入角

(ii) 復原力範囲要件:

復原力が正である範囲が30度以上であること。

が具体的数値が示された要件であり、ポンツーンの貨物に対する風の影響については主官庁に付加的な要件が任されている。

これら復原性要件の導入背景或いはどのような物理現象を想定して導かれたかは定かでないが、ポンツーンを近似的に箱船とし、その復原力計算結果と実績値の比較からそれらの数値が定められたものと想像される。また、(i)は決議 A.167の面積要件 $A(30^\circ) \geq 0.055 \text{m-rad}$ 或いは $A(40^\circ) \geq 0.09 \text{m-rad}$ と酷似し、ポンツーンの normally unmanned の定義から考えると乗組員の安全も考えた決議 A.167と同等の復原性要件となっている点は理解し難い。なお、これまでの試算例をみる限り、復原力範囲の要件が大型ポンツーンにとって厳しいようだ。本件も審議完了年が1988年と設定されており、第32回 SLF で結論が出される公算が大きい。

2. 7. 3 追波中の復原性

船舶の追波中の危険性は古くから言われており、その時代の理論或いは実験研究に基づく成果が北欧諸国を中心にこれまで幾度となく I M O に提出されている。特に、漁船の復原性について審議していた漁船安全小委員会 (Sub-committee on Safety of Fishing Vessels : 略称 P F V, 1983年2月 STAB と統合し S L F に改称) では、追波中のいわゆる Pure loss of stability に関連した議論が盛んであったようだ。(文献¹⁴⁾の研究資料 No. 155RのP.85-88に追い波中の復原性に関する I M O 提出ドキュメント一欄がある)

さて、第26回 S T A B で東ドイツ・ポーランド共同提案として提出された「追波中の非損傷時復原性に関する計算方法のガイダンス」¹¹⁰⁾を契機に再度船舶の追い波中の復原性基準が各国の注目を集めることとなった。S L F の審議の過程で船舶の追波中の復原性に関する危険な現象として

- * Pure loss of stability
- * Parametric oscillation
- * Broarching-to

をまず取り上げることが合意され、外力として風の影響を取り入れた I M O Weather Criterion の審議が峠を越した現在、これらの影響を考慮した復原性基準づくりが非損傷時復原性の中心課題となりつ

つある。現在（第31回 SLF）までに、追波中のそれら現象の影響を取り入れた次に示す二つの復原性基準案が I M O に提案されている。

- ** 東ドイツ・ポーランド共同提案
- ** 西ドイツ提案¹⁴⁾

なお、この他にイギリスが自国の研究成果に基づく具体的提案を I M O に提出する用意があるとの動きを示す資料が提出されている¹⁴⁵⁾。このうち、東ドイツ・ポーランド共同提案は前記カテゴリーの中の pure loss stability の現象を考慮したものであるのに対し、西ドイツの説明によれば西ドイツ提案は、追波中の前記すべてのカテゴリーの影響を含む提案とされている。

1) 東ドイツ・ポーランド共同提案

東ドイツ・ポーランドは、両国の国内規則の付加要件として航行区域が無制限の小型及び中型漁船（small and medium-sized ships）を対象に勧告されていると見られる「追波中の船舶の非損傷時復原性の計算方法に関するガイダンス」を決議 A.167 の改良案として提案した¹⁴⁰⁾。その復原性要件としては決議 A.562 と同様の考え方

の Weather Criterion（ただし横揺れの影響を無視）の他に復原性の限界値として損傷時復原性要件を導入している。また不規則波中の追波状態で波頂が船体中央に位置する場合の pure loss of stability の計算には、0. Grim の有効波の概念²⁹⁾を導入し、不規則波を波長が船の長さと同じ規則波に置き換えた取り扱いをしている（Fig. 2.10 参照）。

資料¹⁴⁰⁾の解説によれば、ガイダンスに示される計算方法の考え方及び仮定の概要は次の通りである。

- i) 2次元・定常不規則波中を追波を受け計画速力で航行する。
- ii) 気象・海象は、北太平洋のビューフォート 8 を想定する。

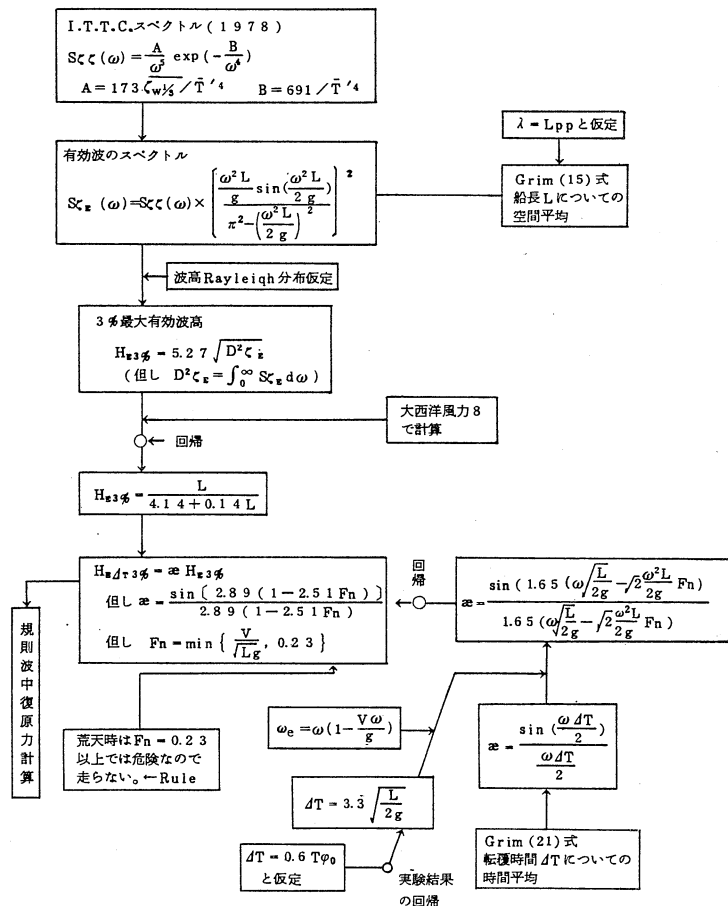


Fig.2.10 Procedure to determine a Stability Criterion in Following Waves Proposed by GDR & Poland [14]

- iii) 長波頂不規則波は、0. Grimの有効波で置き換える。
- iv) 有効波は、正弦波とし波長は船の長さと同しく波頂が船の中央部に位置し、波高は 0. Grim の方法で与える。
- v) 2次元不規則波のスペクトルは、ITTC スペクトルとし、波高は有効波の 3%超過確率の計算から求める。
- vi) 転覆に要する時間 (ΔT) を $\Delta T \sim 0.6 \cdot T\phi_0$ とする。ただし $T\phi_0$ は横揺れ固有周期とする。これら同提案の詳細及び問題点等については、文献¹⁴⁾ (No. 135R, 155R) に詳しい報告がある。

ガイダンスに示される具体的計算方法及び復原性基準は次のとおりである。

- (1) 不規則追波中の復原力曲線は次の仮定に基づき計算する。
 - (a) 船速及び船の運動の影響は無視し、船は波を乱さない (いわゆるフルート・クリロフの仮定) またスミス影響は無視する。
 - (b) 横傾斜に伴う浮力と重力のバランスを考慮する (いわゆるトリムフリー計算)。
 - (c) 転覆に要する時間 (ΔT) の平均有効波 ($H_E \cdot \Delta T$) は

$$H_E \cdot \Delta T = \kappa \cdot H_E \quad (34)$$

$$\text{ただし } \kappa = \sin 2.89 \cdot (1 - 2.51 \cdot F_n) / 2.89 \cdot (1 - 2.51 \cdot F_n) \quad (35)$$

$$F_n = \min (V / \sqrt{g L} ; 0.23) \quad (36)$$

$$H_E = L / (4.14 + 0.14L) \quad (37)$$

で与えられる。

(2) 復原性基準

- (a) Weather Criterion : 斜め後方45度方向から吹く風の定常傾斜モーメントだけを考慮し、海水流入角あるいは復原力消失角のどちらか小さい角度までの追波中の復原モーメントによる動的復原力が、風圧力による定常傾斜モーメントによる動的転覆力より大きいか等しい。
- (b) 復原艇曲線の限界値 : 次の要件を満足する。

$$GM_0 \geq 0 \quad (38)$$

$$GZ_{MAX} > 0.08 \text{ m} \quad (GZ_{max} : GZの最大値) \quad (39)$$

$$\theta_v > 30^\circ \quad (\theta_v : \text{復原力消失角}) \quad (40)$$

これは損傷時復原性要件と全く同じ要件である。

以上、東ドイツ・ポーランド共同提案に表われる具体的数値の導入過程については文献²⁹⁾・³⁰⁾が参考になる。このように同提案の基本的部分は、0. Grimの有効波の概念を巧みに利用し、不規則波を規則波に置き換える等全体的に合理的な考え方により導かれている。しかしながら各算出式の簡易化のために使用したデータ・ベースが不明確であること、復原性基準に損傷時復原性要件を導入していることなど今後、その細部について検討の余地がある。

2) 西ドイツ提案

(b) 西ドイツは、IMO決議 A. 167の適用範囲が長さ100 m未満と勧告され、長さ100 m以上の船舶に適用出来ないことから長さ100 m以上の大型船舶の建造にあたり国内規則整備の観点から、それら大

型船舶に適用可能な復原性基準の作成のための研究に取り組み、その成果を I M O ドキュメントとして提出した。西ドイツ提案の骨子は、4隻のコンテナ船型を対象とした追波あるいは斜め追波不規則波中の転覆模型実験結果と実験状態に相当する静水中の復原性曲線の比較から、追波中の復原性劣化の度合いを示す船型要素を組み合わせた指数 "C" (form factor) を導き、復原性基準としては決議 A.167 に示される復原性要件並びにその研究により新たに加えられた要件に "C" を乗じた値があるレベル以上であることとされている^{111), 112)}。

具体的復原性基準は次の通りである。

i) form factor "C" の算定

$$C = TD' / B^2 \cdot \sqrt{T/KG} \cdot C_B / C_w \cdot \sqrt{100/L} \quad (41)$$

D' : \odot をはさむ L/4 間のハッチ部分の浮力も考慮した有効長さ

T : 吃水 C_B : ブロック係数

KG : 重心高さ C_w : 水線面積係数

L : LLC'66による長さ (L ≥ 100 m)

$$\sqrt{T/KG} = 1.0 \quad (T \geq KG)$$

ii) 復原性要件

$$\begin{array}{ll} C \cdot GZ_{30} \geq 0.040 \text{ m} & C \cdot (E_{40} - E_{30}) \geq 0.007 \text{ m-rad} \\ C \cdot E_{30} \geq 0.012 \text{ m-rad} & C \cdot GZ_{\max} \geq 0.05 \text{ m} \\ C \cdot E_{40} \geq 0.020 \text{ m-rad} & C \cdot E_0 \geq 0.035 \text{ m-rad} \end{array} \quad (42)$$

ただし、

GZ₃₀ : 傾斜角 30度のGZ値 (E₄₀-E₃₀) : 傾斜角 30度と 40度間の面積

E₃₀ : " までの面積 GZ_{max} : GZ の最大値

E₄₀ : " " E₀ : GZ 曲線全面積

以上が西ドイツ提案の概要である。なお、C・GZ_{max} 及び E₀ は今回の研究で新しく加えられた要件であり、他の要件は決議 A.167の要件に C=0.2 を乗じた値にほぼ相当する。したがって、C=0.2 であれば新たに加わった要件を除けば決議 A.167の要件と一致する。このように、西ドイツ提案は form factor "C" の決定法 (例えば各要素の積の形式をとることなど) コンテナ船型という限られたデータ、ベースに基づく提案、経験則といわれる決議 A.167に準拠している点など多くの疑問点を含んでいる。しかしながら、form factor "C" には、追波中の復原性の劣化度を代表し得る船型要素が含まれていること、模型実験では、追波中の pure loss of stability, parametric oscillation 及び broaching-to などの危険な現象も観測され、一応それらが間接的に基準に取り込まれていること更に基準自体が極めてシンプルかつ実用的であることなどが各国に評価されている。したがって、追波中の復原性基準を国際的に取りまとめていくに当たって、まず西ドイツ提案がそのたたき台となることは間違いないと思われる。なお、西ドイツ提案の詳細については、文献³¹⁾が参考となる。また、西ドイツからはこの他に復原性に対する基本的取り組み方法に関する提案¹¹³⁾もあり興味深い。

3) その他

その他、これまで SLF で取り上げられたり、また今後取り上げられると予想される復原性に関連する事項は次の通りである。

i) Breaking wave中での復原性

第28回 SLF でノルウェーが自国沿岸で発生した小型漁船の breaking wave中での海難事故を教訓に小型漁船の復原性を強化した経緯と、国内基準に復原力範囲を80度以上要求する要件を加えたことなどが報告されている¹⁴⁾。

ii) 追波中の復原性

第31回 SLF でイギリスが復原性に関するプロジェクト研究の成果の一部として、追波中復原性基準を含む二つの考え方を紹介している¹⁵⁾。その一つStrathclyde 大学の方法³⁶⁾ (Fig. 2.11参照) については第5章に詳しい。

他の一つは、制御工学で制御系の安定・非安定を論ずる際に用いられる Lyapunov の方法を船舶の復原性判定に導入したものである。

iii) 漁具外力の影響

漁具外力の復原性に及ぼす影響については、PFV で古くから論議されて来たところであり最近では二つの提案がIMOに提出されている。その一つは、ビーム・トロウを他はサイド・トロウを対象として根がかり等が原因で突然発生する漁具外力の影響を考慮した提案である^{16)、17)}。漁具外力の復原性に及ぼす影響は、漁船の復原性基準を改良する上で重要な検討事項であるとの認識では各国とも一致しているものの、これらの例のようにその操作方法或いは使用漁具の種類によって考え方が異なること等から、その取り扱いを含め今後の検討課題の一つである。なお、これまでにIMOに提出された漁具外力関連のドキュメント一覧が資料¹⁸⁾として出されている。

iv) 海水打込み

海水打込みの影響を考慮した復原性基準は、2.5 で述べた「トレモリノス条約」の添付書類 3の勧告 2 に示される他は、現在のところIMOに提出された具体的提案はない。しかしながら、小型漁船等小型船舶にとっては、他の諸現象(激しい横波・横風中の現象、追波・斜め追波現象等)と複合して発生する甲板上への海水打込みによる復原性への影響は無視出来ないことから、今後追波中の復原性或いは船舶にとって復原性上最も厳しい条件は何かといった論議のなかで注目されることになる。

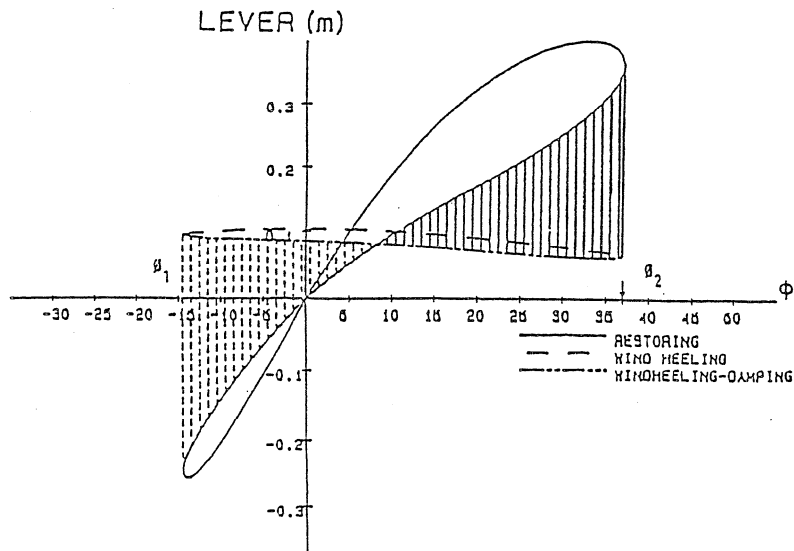


Fig.2.11 Stability Criterion in Following Waves proposed by Strathclyde University (Butterfly Diagram) [36]

2. 8 復原性基準に関する最近のプロジェクト研究

2.8.1 国内の動向

最近、我が国において主に小型漁船や小型船舶を対象として復原性基準に関連した調査研究を実施し、基準案が作成された代表的な例として次の二つがある。

- * 小型漁船の復原性能に関する調査研究
- * 小型漁船の復原性基準等に関する調査研究

この他にも、小型船舶を対象として日本小型船舶検査機構で実施された復原性関連の調査研究がある。

1) 小型漁船の復原性能に関する調査研究

Table 2.1 に示したように、20GT 以下の小型漁船に対しては、具体的な復原性基準がないことなどから昭和54年 5月運輸省内に「小型漁船等復原性検討会」が設けられ小型漁船の復原性基準の検討が開始された。なお、同検討会の方針を受けて具体的作業は日本造船研究協会に設置された第17基準研究部会「小型漁船の復原性に関する調査研究」（通称 RR-17）が担当した。同調査研究は昭和54年度から昭和58年度の 5ケ年に渡り、最終年度に小型漁船に対する復原性基準案が取りまとめられた²⁰⁾。ここではその概要について述べることにし、その具体的内容については同報告書²⁰⁾及びその解説³²⁾を参照されたい。同基準案の特徴は次のとおりである。

- i) 「船舶復原性規則」に定められているいわゆる乙基準の考え方を小型漁船にも導入し、風速は 15m/sec 相当を想定する（横波基準）。
- ii) 縦波基準（追波基準）を導入する。

i) に関しては、小型漁船をブルワーク型及び甲板型の 2つのカテゴリーに分類し、ブルワーク型漁船（従業制限、放水口面積、及びブルワーク高さの三要件をすべて満たす漁船）に対しては、11個の計測可能な船型パラメータにより横波基準を簡易に判定する簡易復原性基準案を提案している。ii) に関しては、小型漁船が大型漁船に比べ高速で運航されている状況から、波長と船長が等しい波と並進することを想定し、追波航走時の復原力減少を考慮した復原性判定基準を導入している。その要件は「縦波中（波長＝船の長さ、波高＝ $0.1 \cdot L$ 、波の山が船体中央部にある時）において、有効ブルワークが水没する角度での復原てこが、定常旋回中の傾斜偶力をこを指標とした値以上であること」とされている。

2) 小型船舶の復原性基準に関する調査研究

昭和58年に日本小型検査機構にて標記調査研究委員会が設けられ、「小型船舶安全規則」第12章復原性、第102条に定められている最大搭載人員の規定について見直し作業を実施し、改正案を取りまとめている³³⁾。また、この研究と並行して小型船舶の不沈性能に関する調査研究も行なわれた³⁴⁾。

2.8.2 国外の動向

諸外国では、自国の船舶復原性基準として I M O の復原性基準すなわち決議 A.168 或いは決議 A.167 を採用している国々が多いと聞く。最近 I M O の復原性基準に合格した船舶の転覆海難事故を契機に、事故原因究明や復原性基準の見直し作業を目的として国家的なプロジェクト研究が実施された例として次の二つがある。

- * ノルウェー（SIS-プロジェクトなど）

* イギリス (SAFESHIP プロジェクト)

この他に、新たな復原性基準の必要性から研究された例に、2.7.3で述べた西ドイツの例がある。なお、カナダが長さ10メートルから20メートルの小型漁船を対象とした復原性基準に関連した研究を実施していることがIMOに報告されているが、その詳細は現在のところ不明である。

1) ノルウェーのプロジェクト研究

ノルウェーは、1976年の“Helland-Hansen”の転覆海難事故を契機として1978年から1980年にかけて主に小型漁船を対象に、breaking wave に代表される激しい波浪環境下での激しい応答現象のメカニズムの解明を中心とした研究³⁵⁾ (“ship in Rough Seas” :通称 SIS-project) を実施し、その成果に基づき小型漁船に対する新たな復原性基準を作成した。その具体例が、2.7.3で述べたようにIMOドキュメントに見られる復原力消失角が 80° 以上の要件等であると推測される。

2) イギリスのプロジェクト研究

イギリスは、1976年から1986年にかけて自国内の大学・研究所を中心として dynamic な影響を取り入れた船舶の復原性に関する大型プロジェクト研究を実施した³⁷⁾。そのプロジェクトの研究テーマは、波・風等の外力環境の調査分析、Risk Assessment 及び数学モデル等の理論を主体とした研究並びに模型実験を主体とした研究等広範囲に渡っている。その成果の一部が第31回SLF に提出されている¹¹⁵⁾。なお、イギリスは 1986年6月に開催された、RINA主催の「The Safeship Project:Ship stability and Safety」と題する国際会議に本プロジェクト研究の成果を発表している³⁸⁾。

このように、ヨーロッパの主要国の復原性基準に関する研究は、IMO決議 A.167に代表されるいわゆる経験的な基準の改良を目指し、物理現象を重視し、その dynamic な影響及び転覆に到る確率等を含めた合理的な基準作りへと着実に展開し始めている。

2.9 あとがき

船舶の非損傷時復原性に関する国内規則と国際基準の概要と動向について述べたが、端的に言うところまでは、約30年前に我が国で制定された「船舶復原性規則」の乙基準の考え方、即ち横揺れと突風との組み合わせによる異常な大傾斜に対する耐力を簡略化した力学モデルで判定しようとする考え方が支配的であり、今回IMOで新たに採用された決議 A.562(14)による勧告もこの手法を出していない。本来、法的な規則又は基準は単純明快でなくてはならず、また設計や操船に携る人々に理解出来るものでなくてはならないため、どうしても保守的になり、従って学問の進歩より常に数歩遅れたものになるのはやむを得ないが、いずれこのモデルによる判定のやり方も、不規則な波と不規則な風の下での非線型横揺れの異常値ということで、統計的な手法が取り入れられるものと考えられる。我が国に於いても、不規則な波及び不規則な風をスペクトルとして取り扱った計算法の例がある³⁹⁾。なお、本年9月ポーランドのGdanskで第3回の「船舶等の復原性に関する国際会議」(Stability '86)が開催される事が決定されており、非損傷時復原性に関する研究の動向も注目されている。

最近IMOでは横波中の復原性より、むしろ追波中の復原性の方が問題であるという指摘が、ポーランド、東ドイツから相次いで出され、特に西ドイツはコンテナ船等大型の高速船に追波中の危険性があ

るとして、早急な国際標準の制定を主張しており、I M O の SLF も今後の最重要課題として作業を進めつつある。

これらの動きを見ると、船舶の安全を確保するために、いずれコンピュータ・シミュレーション等を用いた、より高度の研究に基づく復原性基準作りへと発展して行くものと考えられる。

最後に、本章を取りまとめるに際し関連文献の調査及び内容の説明等について御協力いただいた運輸省海上技術安全局並びに水産庁漁船課の関係各位に深く感謝致します。また、原稿のワープロ化に全面的なご尽力をいただいた水産工学研究所 佐藤なみ子技官に深謝致します。

(参 考 文 献)

- 1) 加藤 弘, 佐藤正彦, 元良誠三: 青函連絡船洞爺丸等の転覆事故に関する実験的研究、船論 vol.101, 1957.8
- 2) M. Sato, Y. Yamanouchi, S. Matora and M. Uchida: A Proposed Standard of Stability for Passenger Ships (Part I. Smooth Water Area)、船論 Vol.95, 1954.8
- 3) M. Sato, Y. Yamanouchi, S. Matora and M. Uchida: A Proposed Standard of Stability for Passenger Ships (Part II. Small Crafts)、船論 Vol.96, 1955
- 4) 渡辺恵弘: 船舶の復原性より見たる安全指数、船論 Vol.79, 1948.12
- 5) 加藤 弘: 小型航洋船の復原性能について、船論 Vol.83, 1951
- 6) 加藤 弘: 船の安全性の簡易判定法、船論 Vol.99, 1956.7
- 7) 渡辺恵弘, 山上直人, 井上正祐, 真鍋大覚: The Stability Standard of Sea Going Ships、船論 Vol.97, 1955.8
- 8) 水品政雄, 内田 守: 船舶検査における旅客船の復原性基準について、船論 vol.98, 1956.2
- 9) Y. Watanabe, H. Kato, S. Inoue, M. Sato and etc.: Proposed Standard of Stability of Passenger Ships (Part III Coastal and Ocean Going Ships)、船論 Vol.99, 1956.7
- 10) M. Yamagata: Standard of Stability adopted in Japan, RINA Vol.101, 1959
- 11) 漁船載荷基準設定報告書: 水産庁生産部漁船課, 1966.3
- 12) 工藤荘一, 梶山良雄: 漁船載荷基準設定について、漁船 Vol.143, 1966
- 13) J. Rahola: The Judging of the Stability of Ships in the Determination of the Minimum Amount of Stability, 1939
- 14) 第24基準研究部会: I M O 新復原性基準に関する調査研究報告書、日本造船研究協会、研究資料 No.114R (1982.3), No.125R (1983.3), No.135R (1984.3), No.145R (1985.3), No.155R (1986.3)
- 15) 復原性専門部会: 漁船安全条約発効対策事業報告書、漁船協会、(1984)、(1985)
- 16) 山越康行: 復原性に関する I M O の動向と研究の現状、漁船 Vol.248, 1983.12

- 17) 山越康行：I M O 第 29 回復原性及び満載喫水線並びに漁船の安全に関する小委員会に出席して、漁船 Vol. 251, 1984. 6
- 18) 山越康行：I M O 第 30 回 同上、漁船 Vol. 257, 1985. 6
- 19) H. U. Sverdrup and W. H. Munk : Wind, Sea and Swell, Theory of Relations for Forecasting, Hydrographic Office Publication No. 601, 1947
- 20) 小型漁船安全基準：水産庁、1972
- 21) 土屋 孟、有路 実、山越康行：小型漁船の横復原性と乾舷について、漁研報 Vol. 27, 1974. 3
- 22) 土屋 孟：漁船の復原性について、第 2 回耐航性シンポジウム、1977
- 23) 森田知治：船舶復原論 - 基礎と応用 -, 海文堂, 1985
- 24) 運輸省船舶局検査測度課監修：1981年海上人命安全条約関係決議集 (英和対話), 海文堂, 1982
- 25) 運輸省船舶局監修、日本海事検定協会編：特殊貨物船舶運送関係規則集, 海文堂, 1982
- 26) 第17基準研究部会：小型漁船の復原性に関する調査研究報告書, 日本造船研究協会, 研究資料, No. 91R(1980. 3), No. 99R(1981. 3), No. 108R(1982. 3), No. 120R(1983. 3), No. 132R(1984. 3)
- 27) 1977年の漁船の安全のためのトレモリノス条約英和対訳, 漁船協会, 1982. 10
- 28) 土屋 孟：漁船の復原性能の理論的解析法について, 漁研報 Vol. 25, (1971. 3)
- 29) O. Grim : Beitrag zu dem Problem der Sicherheit des Schiffes im Seegang, Schiff und Hafen ,Haft 6, (1961)
- 30) G. Helas : Intact Stability of Ships in Following Waves, STABILITY'82, (1982)
- 31) P. Blume and H. G. Hattendorff : an Investigation on Intact Stability of Fast Cargo Liners STABILITY'82, (1982)
- 32) 山越康行：小型漁船の復原性基準の動向、漁船 Vol. 260, (1985. 12)
- 33) 小型漁船のブルワーク形状及び放水口の復原性に及ぼす影響に関する調査研究報告書, 日本小型船舶検査機構, (1985. 3)
- 34) 小型船舶の不沈性能に関する調査研究報告書、日本小型船舶検査機構, (1985. 3)
- 35) E. A. Dahle and T. Nedrelid : Stability Criteria for Vessels operations in a seaway, STABILITY'82, (1982)
- 36) Workshop on Stability , Germanischer Lloyd, (1984)
- 37) H. Bird and A. Morral : Ship Stability - a Research Stratgy, STABILITY'82, (1982)
- 38) The Safeship Project ; Ship Stability and Safety, RINA, (1986. 6)
- 39) 山内保文：船舶復原性基準についての一考察、未公表
- 40) 関西造船協会編：造船設計便覧 (第3版)、海文堂

(I M O 関 連 資 料)

- I1) Resolutions -4th Extraordinary & 6th Assembly sessions, IMO
- I2) SLF 29/6 : Standard and Practices on Icing, Japan, 1983.11
- I3) SLF 29/11 : Amendments to the Recommendation Concerning the Minimum Height of the Protecting Freeboard, Poland, 1983.11
- I4) SLF 30/13 : The Background of the Amendments to the Recommendation concerning the Minimum Height of the Protecting Freeboard, Poland, 1984.9
- I5) STAB/77 : Weather Criteria , USSR, 1979.9
- I6) SLF 31/WP.5 : Report of Ad Hoc Working Group, 1986.6
- I7) SLF 31/4 : Application of Weather Criterion to fishing vessels of less than 45 metres in length, USSR, 1986.2
- I8) MSC/Circ.348 : Interim guidelines on intact stability requirements for pontoons , 1983.6
- I9) SLF 31/4/3 : Stability of pontoons, FRG, 1986.3
- I10) STAB XXVI/4/7 : Improvement of Stability requirements of Resolution A.167(ES. IV), GDR and Poland, 1981.3
- I11) SLF 30/4 : FRG, 1984.10
- I12) SLF/34 : Report on Stability and Safety against Capsizing of Modern Ship Design, FRG, 1984.9
- I13) SLF/35 : Thoughts concerning Stability Criteria, 1984.9
- I14) SLF 29/4 : Stability in Breaking Waves, Norway, 1983.4
- I15) SLF 31/INF.3 : Intact ship stability research, FRG and UK, 1986.4
- I16) SLF/3 : External Forces Caused by Fishing Gear, Netherland, 1982.11 (H. Vermeer and J. A. Korteweg : Safety of Beam Trawlers with a "Fastening" Net, STABILITY'82, 1982)
- I17) SLF/11 : Suggestions for Evaluation of Stability of Fishing Vessels Operating with Fishing Gear Outboard, USSR, 1983.1
- I18) SLF/36 : External Forces caused by Fishing Gear, Secretariat, 1984.10

APPENDIX 1 Comparison of the Subjects Contained
in Res.A.167 and Res.A.168

Res. A. 1 6 7 (E S I V)	Res. A. 1 6 8 (E S I V)
長さ100メートル未満の旅客船及び貨物船 の非損傷時復原性に関する勧告	漁船の非損傷時復原性に関する勧告
序 文 付 属 書 1. 範囲 2. 転覆防止のための一般的注意事項 3. 復原力曲線の計算 (→付録Iと関連) 4. 基準の適合性の評価 (→付録IIと関連) 5. 勧告基準 6. 傾斜試験 7. 復原性資料	同 左 同 左 1. 同 左 2. " " 3. " " 4. " " 5. " " 6. " " 7. " "
(付 録 I) * 復原力曲線の計算 一般事項 考慮すべき甲板上構造物、甲板室等 タンク内の自由水影響	(付 録 I) 同 左 " " " " " "
(付 録 II) * 検討すべき標準満載状態 1. 載荷状態 (1) 旅客船 (2) 貨物船 2. 計算する載荷状態に対する仮定	(付 録 II) 同 左 1. 載荷状態 区分けなし " " 2. 同 左
無 し	(付 録 III) * 漁船の着水の最低要求値に関する勧告
(付 録 III) * 動揺試験による復原性の概略決定に 関する主官庁への覚書き (長さ70メートル以下の船舶) 付 録 * 動揺試験による復原性の概略決定に 関する、船長へのガイダンス様式の 提案 序 文 試験方法 初期復原力の決定	(付 録 IV) 同 左 (長さ70メートル以下の漁船) 同 左 " " " " " "
	(付 録 V) * 取りはづし式魚艙仕切り板に関する勧告
	(付 録 VI) * 漁船の放水口に関する勧告
	(付 録 VII) * 漁船の外部ハッチコーミング及び戸しきい に関する勧告
	(付 録 VIII) * 漁船員のための注意事項

APPENDIX 2 Torremolinos International Convention
for the Safety of Fishing Vessels

1977年の漁船の安全に関する国際会議の最終議定書

添付書類 1 1977年の漁船の安全のためのトレモリノス国際条約

条 文

付属書 漁船の構造及び設備のための規則

第 I 章 一般規定 (第 1 規則 - 第 11 規則)

第 II 章 構造、水密の完全性及び設備 (第 12 規則 - 第 26 規則)

[第 25 規則：放水口]

第 III 章 復原性及び関連する耐抗性 (第 27 規則 - 第 40 規則)

第 28 規則 復原性基準 添付書類 3

第 31 " 激しい風及び横揺れ 勧告 1 と関連

第 32 " 甲板打ち込み水 " 2 "

第 34 " 着 氷 " 3 "

第 36 " 復原性資料 " 4 "

第 38 " 船 首 高 さ " 5 "

第 39 " 最大許容操業吃水 " 9 "

第 IV 章 機関及び電気設備並びに定期的に無人となる機関区域 (第 41 規則 - 第 62 規則)

第 V 章 防火、火災探知、消火及び消防 (第 63 規則 - 第 105 規則)

第 VI 章 船員の保護 (第 106 規則 - 第 109 規則)

[第 108 規則、ブルワーク、レール及びガード (勧告 9 と関連)]

第 VII 章 救命設備 (第 110 規則 - 第 124 規則)

第 VIII 章 非常措置、招集及び訓練 (第 125 規則 - 第 127 規則)

第 IX 章 無線電信及び無線電話 (第 128 規則 - 第 146 規則)

第 X 章 航海設備 (第 147 規則 - 第 154 規則)

付録 1 証 書

付録 2 救命設備の仕様

添付書類 2 - サバイバル・クラフト及び救助艇の機装品要約表

添付書類 3 - 会議による勧告

勧告 1 : 激しい風及び関連して起こる海況のもとでの横揺れの影響の計算方法に関するガイダンス

勧告 2 : 甲板打ち込み水の影響の計算方法に関するガイダンス

勧告 3 : 着氷に関するガイダンス

勧告 4 : 復原性資料に関するガイダンス

資料 5 : 船首高さの計算の方法に関するガイダンス

資料 6 : 区画及び損傷時復原性計算に関するガイダンス

勧告 7・8 (略)

勧告 9 : 最深操業水線からブルワーク上端の最低点、又は作業甲板の舷端までの最小距離の計算方法に関するガイダンス

勧告 10.11.12 (略)

添付書類 4 - 会議による決議

決議 1 : 新型式設計の漁船の要件に関する勧告

決議 2 : 漁船に対する復原性規定の将来の改善に関する勧告

決議 3 ~ 8 (略)

決議 9 : 漁船に関する統計資料の校合調整に関する勧告

決議 10 : 長さ 24 メートル未満の漁船のための安全基準の開発に関する勧告

決議 11 : (略)

添付書類 5 - 条約への参加と政府間海時協議機関 (IMCO) の事務局長による被寄託業務の実施に関する会議の了解事項

ANNEX

RECOMMENDATION ON A SEVERE WIND AND ROLLING CRITERION
(WEATHER CRITERION) FOR THE INTACT STABILITY OF
PASSENGER AND CARGO SHIPS OF 24 METRES IN
LENGTH AND OVER

(recommended also for fishing vessels of 45 m
in length and over in unrestricted service)

1 Scope

1.1 The criterion given hereunder is recommended for new decked seagoing passenger and cargo ships of 24 m in length and over and applies to all loading conditions.

1.2 This criterion supplements the stability criteria of the Recommendation on Intact Stability for Passenger and Cargo Ships under 100 m in Length in resolution A.167(ES.IV) as amended by resolution A.206(VII). The more stringent criteria of resolution A.167(ES.IV) and the weather criterion of the present Recommendation should govern the minimum requirements for passenger or cargo ships under 100 m in length.

1.3 The minimum stability of passenger and cargo ships of 100 m in length and over should comply with the weather criterion of the present Recommendation in addition to other appropriate stability criteria to the satisfaction of the Administration.

1.4 Administrations are invited to adopt, in conjunction with other appropriate criteria, the weather criterion of the present Recommendation unless satisfied that experience justifies departures therefrom.

2 Recommended criterion

2.1 The ability of a ship to withstand the combined effects of beam wind and rolling should be demonstrated for each standard condition of loading, with reference to the figure, as follows:

- .1 The ship is subjected to a steady wind pressure acting perpendicular to the ship's centreline which results in a steady wind heeling lever (ℓw_1).
- .2 From the resultant angle of equilibrium (θ_0), the ship is assumed to roll owing to wave action to an angle of roll (θ_1) to windward. Attention should be paid to the effect of steady wind so that excessive resultant angles of heel are avoided.*
- .3 The ship is then subjected to a gust wind pressure which results in a gust wind heeling lever (ℓw_2).
- .4 Under these circumstances, area "b" should be equal to or greater than area "a".
- .5 Free surface effects should be accounted for in the standard conditions of loading, e.g. according to appendix 1 to resolution A.167(ES.IV).

* The angle of heel under action of steady wind (θ_0) should be limited to a certain angle to the satisfaction of the Administration. As a guide, 16° or 80% of the angle of deck edge immersion, whichever is less, is suggested.

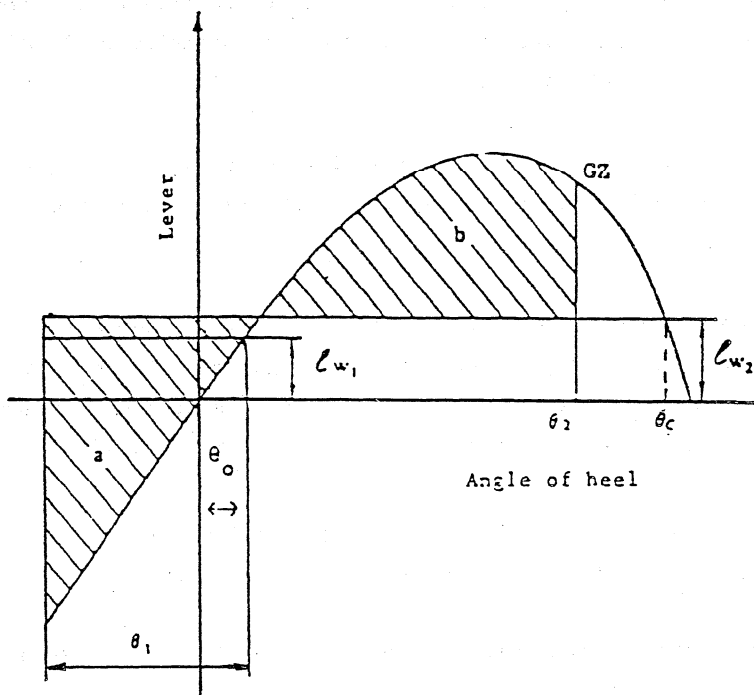


Figure - Severe wind and rolling

The angles in the above figure are defined as follows:

θ_0 = angle of heel under action of steady wind (see 2.1.2 and footnote)

θ_1 = angle of roll to windward due to wave action

θ_2 = angle of downflooding (θ_f) or 50° or θ_c whichever is less,

where:

θ_f = angle of heel at which openings in the hull, superstructures or deckhouses which cannot be closed weathertight immerse. In applying this criterion, small openings through which progressive flooding cannot take place need not be considered as open.

θ_c = angle of second intercept between wind heeling lever l_{w2} and GZ curves.

2.2 The wind heeling levers ℓw_1 and ℓw_2 referred to in 2.1.1 and 2.1.3 are constant values at all angles of inclination and should be calculated as follows:

$$\ell w_1 = \frac{P \cdot A \cdot Z}{\Delta} \text{ (m) and}$$

$$\ell w_2 = 1.5 \ell w_1 \text{ (m)}$$

where: $P = 0.0514 \text{ (t/m}^2\text{)}^*$

A = projected lateral area of the portion of the ship and deck cargo above the waterline (m^2)

Z = vertical distance from the centre of A to the centre of the underwater lateral area or approximately to a point at one half the draught (m)

Δ = displacement (t).

2.3 The angle of roll (θ_1)** referred to in 2.1.2 should be calculated as follows:

$$\theta_1 = 109k \cdot X_1 \cdot X_2 \sqrt{r \cdot s} \text{ (degrees)}$$

where: X_1 = factor as shown in table 1

X_2 = factor as shown in table 2

k = factor as follows:

k = 1.0 for round-bilged ship having no bilge or bar keels;

k = 0.7 for a ship having sharp bilges;

k = as shown in table 3 for a ship having bilge keels, a bar keel or both

$r = 0.73 \pm 0.6 \text{ OG/d}$

with: OG = distance between the centre of gravity and the waterline (m) (+ if centre of gravity is above the waterline, - if it is below)

d = mean moulded draught of the ship (m)

s = factor as shown in table 4.

* The value of P used for ships in restricted service may be reduced subject to the approval of the Administration.

** The angle of roll for ships provided with antirolling devices should be determined without taking into account the operation of these devices.

Table 1

Values of factor X_1

B/d	X_1
≤ 2.4	1.0
2.5	0.98
2.6	0.96
2.7	0.95
2.8	0.93
2.9	0.91
3.0	0.90
3.1	0.88
3.2	0.86
3.3	0.84
3.4	0.82
≥ 3.5	0.80

Table 2

Values of factor X_2

C_B	X_2
≤ 0.45	0.75
0.50	0.82
0.55	0.89
0.60	0.95
0.65	0.97
≥ 0.70	1.0

Table 3

Values of factor k

$\frac{A_k \cdot 100}{L \cdot B}$	k
0	1.0
1.0	0.98
1.5	0.95
2.0	0.88
2.5	0.79
3.0	0.74
3.5	0.72
≥ 4.0	0.70

Table 4

Values of factor s

T	s
≤ 6	0.100
7	0.098
8	0.093
12	0.065
14	0.053
16	0.044
18	0.038
≥ 20	0.035

(Intermediate values in tables 1-4 should be obtained by linear interpolation.)

$$\text{Rolling period } T = \frac{2 C_B B}{\sqrt{GM}} \quad (\text{seconds})$$

$$\text{where: } C = 0.373 + 0.023 (B/d) - 0.043 (L/100).$$

The symbols in the above tables and formula for the rolling period are defined as follows:

L = waterline length of the ship (m)

B = moulded breadth of the ship (m)

d = mean moulded draught of the ship (m)

C_B = block coefficient

A_k = total overall area of bilge keels, or area of the lateral projection of the bar keel, or sum of these areas (m^2)

GM = metacentric height corrected for free surface effect (m).