

復原性基準における風速の設定経緯

正会員 田口晴邦*

Background of the Wind Velocities Adopted in the Japanese Stability Standard
by Harukuni Taguchi, Member

Key Words: Stability Standard, Standard Wind Velocity, Criterion for Dynamical Stability

1. はじめに

復原性基準の一つである所謂 C 係数基準（乙基準）では、船舶が標準の定常風を横方向から受け、かつ、その定常風により生じた横波によって横揺れし、風上に最も傾斜した際に突風を受けた状況¹⁾で傾斜方向のエネルギーと動復原力の比較を行って安全性を確認している。

C 係数基準で想定されている定常風の標準風速は、遠洋・近海区域では 26m/s、沿海区域では 19m/s、瀬戸内海及び限定沿海区域では 15m/s と規定されている¹⁾ことはよく知られている。一方、標準風速の設定方法については、その概要が論文^{2)~6)}として公表されているが、詳細については不明確なところがあった。

そこで、今後の検討の参考のため、当所に保管されていた、船舶復原性規則制定のための検討を行った際の資料^{7), 8)}を調査し、標準風速が設定された手順等を確認したので、その結果を報告する。

2. 海洋風の観測データの調査⁷⁾

海洋風の観測データを調査するために、周囲の地理的特性等を考慮して四季を通じて海洋風が最もよく観測されると考えられる測候所（枕崎、鹿児島、大分、脊振山、福岡、室戸岬、浜田、深浦、江差、寿都他 19 か所）が選定され、主に昭和 20 年～29 年までの 10 年間分（台風に関しては昭和 2 年～昭和 28 年までの 27 年間分）の風速（主に風圧計による換算値）の観測記録が収集された。

次に、この風速データから海洋を吹き渡った吹送定常風（付録）の平均風速、風速変動率及び低気圧、台風の暴風中心の最大瞬間風速等が読み取られ、平均風速と風速変動率の関係を示すグラフ等に整理された。そして、これらを取りまとめて、C 係数基準における外力としての風を検討する際の基礎資料とされた。

なお、気象観測船等により船上で観測されたデータは、船体動揺の影響等から真の風速を求めることが困難であると考えられ、資料⁷⁾では調査されていない。

海洋風の観測データの調査結果の一例として、Fig. 1 に低気圧及び前線通過後の吹送風の平均風速と最大風速のデータの整理結果を示す。

3. 海洋風の観測データから設定された標準風⁷⁾

海洋風の観測データの調査結果を基に、船舶が安全に航行するために考慮すべき標準風が設定された。設定手

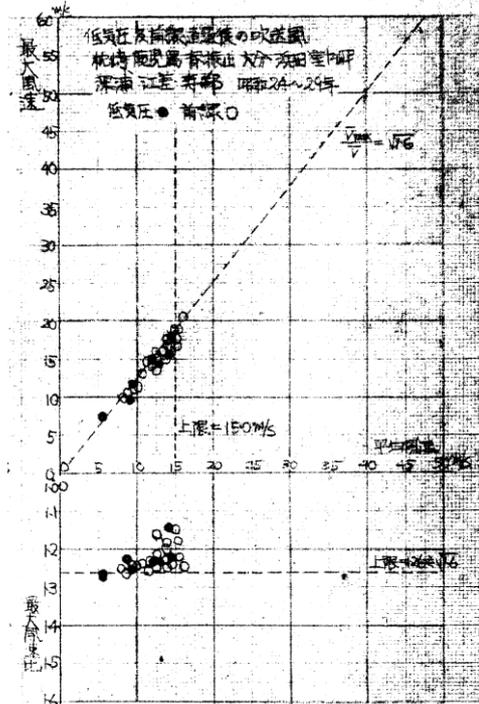


Fig. 1 Average and maximum velocities of trailing steady winds observed after lows and fronts had passed⁷⁾.

Table 1 Characteristics of ocean winds related to safety of ships.

Cause of Wind	Trailing Steady Wind		Max. Wind Velocity at Center
	Average Velocity	Gustiness	
Barometric gradient	10m/s	1.18	
Front	15m/s	1.25	
Low	15m/s	1.25	32m/s
Typhoon	20m/s	1.41	50m/s

順としては、①船舶の安全性に関連する海洋風の特徴の把握、②船舶の航行形態から遭遇する最も危険な状況の想定、③船舶が安全に航行するために考慮すべき標準風の設定となっている。

3.1 船舶の安全性に関連する海洋風の特徴

海洋風の観測データ内、船舶の安全性に関連するものとしては、波の発達を促す吹送定常風（外力としては波と風を考慮）と台風の中心などの暴風（外力としては風のみを考慮）が重要であると考えられた。吹送定常風の平均風速及び変動率、暴風の最大瞬間風速について、通常観測されるデータの上限值を成因別にまとめた結果 Table 1 のようになった。低気圧は通常前線を伴うので、

* 国立研究開発法人 海上技術安全研究所

吹送風については、両者は共通の値をとっている。

3.2 適用する船舶の分類及び遭遇する最悪の風の状況

中央气象台（当時、現在の気象庁）が前線の接近や暴風圏に関する注意報をそれぞれ、風速 15m/s、20m/s を目安に出すことに注目して、船舶を、①「沿海の船舶」（注意報発令時に、港内にいる場合は出港を中止し、航路上にいる場合は荒天に遭遇する前に目的港あるいは最寄りの避難港へ安全に入港できる船舶）、②「近海遠洋の船舶」（注意報を洋上で受信して、針路を変更してこれを避けるか、あるいは適切な操船により遭遇する荒天に耐えることのできる船舶）に分類した。

従って、「沿海の船舶」は低気圧の中心及びそれに伴う前線との遭遇、「近海遠洋の船舶」は台風中心及びその後の吹送風との遭遇が、最悪の状況として予想された。そこで、遭遇する最悪の風の状況として、Table 2 に示すように、①「沿海の船舶」は風速 32m/s の低気圧中心の暴風とそれに続く 15m/s の吹送風、②「近海遠洋の船舶」は中心風速 50m/s の台風と 20m/s の吹送風が考慮されることとなった。

Table 2 The worst wind conditions expected to be encountered.

Ship Type	Trailing Steady Wind		Max. Wind Velocity at Center
	Average Velocity	Gustiness	
Coasting	15m/s	1.25	32m/s
Ocean-going	20m/s	1.41	50m/s

3.3 観測データを基に設定された標準風

船舶が安全に航行するためには、Table 2 に示した風に耐える必要があると考えられた。なお、沿海域では、地形の影響を受ける陸上風も考慮する必要があるが、同じ平均風速の海上風と陸上風の最大風速比を比較すると、最大風速比（陸上風）／最大風速比（海上風）=1.05～1.20（平均 1.13）となった。そこで、沿海における吹送定常風の変動率を 1.41（ $\div 1.25 \times 1.13$ ）として、陸上風の影響も加味することとされた。その結果、船舶が安全に航行するために考慮すべき標準風は、Table 3 のように設定された。

なお、定常風が吹くような状況では波も十分発達していると考えられるので、外力としては風及び波を考慮する必要があるが、暴風の中心では、波が発達していないので、外力としては風のみを考慮すれば十分であるとされた。

Table 3 Standard wind characteristics, which should be considered for safety of ships.

Ship Type	Trailing Steady Wind		Max. Wind Velocity at Center
	Average Velocity	Gustiness	
Coasting	15m/s	1.41	32m/s
Ocean-going	20m/s	1.41	50m/s

4. C 係数基準における標準風速の設定⁸⁾

復原性能を判定する手法としては、現行規則の C 係数基準と同じもの（船舶が標準の定常風を横方向から受け、かつ、横波によって横揺れし、風上に最も傾斜した際に突風を受けた状況で傾斜エネルギーと動復原力の比較を行

なう）が既に提案されており、資料 8）では具体的な外力の大きさの設定法等が検討された。

4.1 C 係数基準に関する基本的な検討方針

(1) 船舶の分類

第 3 章に示したように船舶の運航形態及び海洋風の観測データから、船舶が安全に航行するために考慮すべき標準風としては、「近海遠洋の船舶」（以下、遠洋・近海船と言う。）に関しては台風を、「沿海の船舶」（以下、沿海船と言う。）に関しては低気圧風を考慮することが適当と考えられた。しかしながら、沿海船に関しては、瀬戸内海を航行する船や沿海区域を短時間航行する船については、一般の沿海船とは別に取り扱うことが適当とされた。そこで、資料 8）では、①遠洋・近海船、②沿海船 I（一般の沿海船）、③沿海船 II（瀬戸内海を航行する船や短時間航行の沿海船）に分類して、外力の大きさの設定が行われた。

(2) 考慮する外力

復原性に影響を及ぼす外力としては、①風、②波、③操舵、④船内重量物の移動、⑤海水打ちこみ等が考えられた。しかしながら、これらの影響を全て基準に直接算入することは不可能であると判断され、復原性基準には風及び波の影響のみ直接算入し、その他の外力の影響は安全指数（C 係数の値）に含めることとされた。

(3) 安全指数の設定

C 係数基準においては、C 係数が 1 以上の場合は、想定している状況で理論的に転覆に対して安全であることを保証するものであるが、(2)に示したように基準に算入することのできない要素があるので、C 係数の基準値は 1 以上に設定する必要があるとも考えられた。そこで、転覆した実船及び安全に航行している実船を対象に試算を実施して、基準となるべき C 係数の値を設定することとされた。

4.2 復原性能を判定する際の風波の標準の考え方

海洋風の観測結果から最悪の状況では、遠洋・近海船は台風、沿海船は低気圧に遭遇する可能性があることを考慮し、①標準風速（遠洋・近海船は 20m/s、沿海船は 15m/s）の定常風を受けながら、この標準風によって生じた規則波に同調横揺れしている際に、突風（変動率 1.41）が作用した状況、及び、②波の影響は無視できるとして、標準風速（遠洋・近海船は 50m/s、沿海船は 32m/s）の暴風を受ける状況について、復原性能を判定することが考えられた。このような状況を模式的に示したのが Fig. 2 であり、横軸は暴風中心からの距離と考えられる。①の状況は BB' を、②の状況は AA' を示している。

資料 8）では、AA' 及び BB' の 2 種類の状況で復原性能を判定する代わりに、基準としての簡便性等を考慮して、AA' と BB' の中間的な PP' の状況で復原性能を判定することとされた。つまり、BB' の状況と同様に風及び波の影響は考慮するが、BB' の状況より、定常風の標準風速はより速く、横揺れ角は同調時より小さく設定することとされた。また、風速の変動率についても見直すこととされた。

なお、横揺れ角についての検討については詳細を省くが、不規則波中での横揺れの統計的性質を考慮して、PP' における横揺れ角は、同調横揺れ角の 0.7 倍と設定された。

4.3 標準風速、風速変動率に関する検討

風速の観測値に幅があることから、Fig. 2 の PP' で示される状況での定常風の標準風速を一義的に決めること

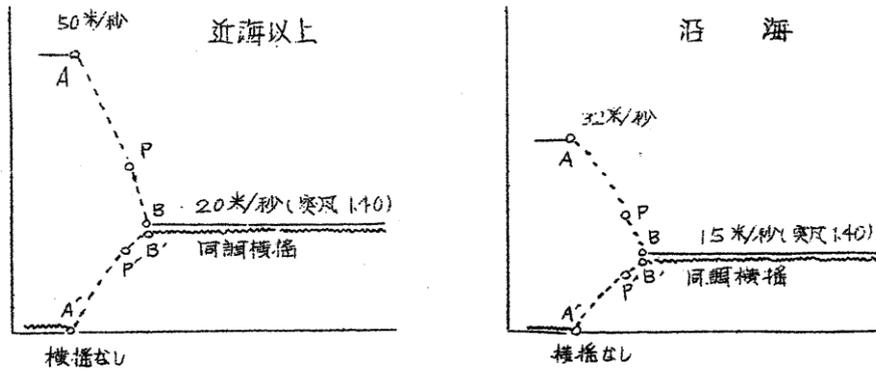


Fig. 2 Illustrated situations where ship stability is judged⁸⁾.

は困難と考えられ、実船の試算結果から安全指数を設定する際に同時に検討することとされた。

また、観測結果から風速変動率は平均風速の 1.4 倍程度と考えられるが、船が最も風上側に傾斜した瞬間に、この突風により風圧が定常風による風圧の 2 倍となり、以後同じ強さで継続すると想定するのは、過重であると考えられた。つまり、風速は段階的 (step 関数的) に変動しないこと及び突風により船が加速されている間は水圧中心が定常風を受ける時の水圧中心より上方になることを考慮して、突風による傾斜偶力を緩和する必要があるとされた。そこで、風速変動や加速運動時の水圧中心について調査が行われた結果、突風による傾斜偶力は定常風の場合の 1.5 倍とされた。

4.4 標準風速の設定

転覆事故を起こした船も含めて 50 隻 57 状態の実船について、標準風速を 15m/s, 20m/s, 25m/s, 30m/s として C 係数が計算された。計算結果を Fig. 3 に示す (資料 8) に添付された図面は不鮮明であるので、Fig. 3 は文献 4) に記載された同様の図を転載した)。横軸に標準風速、縦軸に C 係数がとられている。

Fig. 3 から、転覆した船と安全に航行している船の計算結果を比較するなどして、安全指数としての C 係数の基準値を 1 として、標準風速を遠洋・近海船は 26m/s, 沿海船 I は 19m/s, 沿海船 II は 15m/s と設定された (Table 4)。

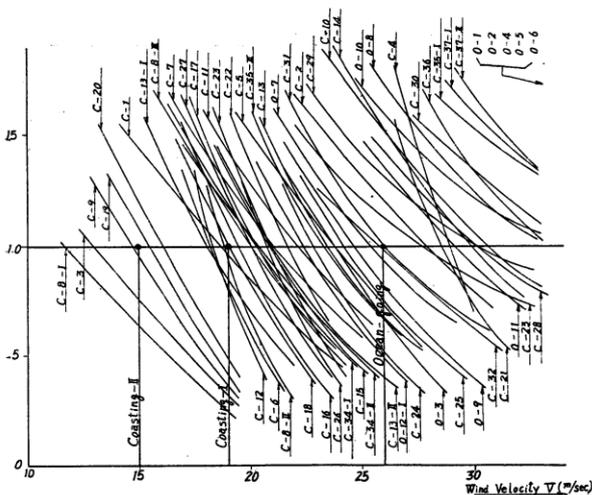


Fig. 3 Calculation results of the dynamical stability to heeling energy ratio for sample ships at various steady wind velocities⁴⁾.

なお、この標準風速は、計算結果から得られる限界値より余裕を持たせて設定された。

ここで、計算対象となった転覆事故を起こした船の事故状況が明確でなかったことから、C 係数基準に算入された風及び波による外力以外の要素が、転覆に影響を及ぼしていることも考えられた。その為、設定した C 係数の基準値及び標準風速は、基準に直接算入しなかった外力の影響に対する余裕 (安全率) を間接的に考慮した値となっていると考えられた。ただし、海水打ちこみによる影響等は、甲板上の配置、乾舷の大小等、船型によって異なると考えられたので、上述の経緯で設定された一律の安全率では妥当ではないとして、船の幅を基にした復原てこの最大値の基準 (丙基準) が別途設定されることとなった。

Table 4 The standard steady wind velocities and the critical values for dynamical stability to heeling energy ratio determined by calculation results of sample ships.

Ship Type	Standard Steady Wind Velocity	Critical Value for Dynamical Stability to Heeling Energy Ratio
Coasting-I	19m/s	1.0
Coasting -II	25m/s	1.0
Ocean-Going	26m/s	1.0

4.5 まとめ

資料 8) では、船舶の復原性能を Fig. 2 の PP' で示す状況 (AA' の状況及び BB' の状況における風については、観測データを基に設定されている) で C 係数により判定することとして、まず、風及び波による外力の大きさの設定法が検討された。その結果、突風による傾斜偶力 (海洋風の観測データに加え、風速の時間変化及び加速運動中の水圧中心の調査結果から、定常風の 1.5 倍と設定) 等は設定されたが、定常風の標準風速に関しては、C 係数には直接算入されていない外力 (船内重量物の移動等) の影響も考慮して、転覆に対する安全指数としての C 係数の基準値と同時に検討されることとなった。そこで、転覆した船及び安全に航行している船の 50 隻 57 状態の実船データを使用して、標準風速をパラメータとして C 係数の計算が行われた。その結果、C 係数の基準値を 1

として、定常風の標準風速は、遠洋・近海船は26m/s、沿海船Ⅰは19m/s、沿海船Ⅱは15m/sと設定されることとなった。

なお、C係数の基準値は1と設定されたので、標準風速は、基準に直接算入しなかった外力に対する余裕（安全率）を考慮したものとみなされる。

5. おわりに

船舶復原性規則制定のための検討を行った際の資料を調査した結果、海洋風の観測データを基に、船舶の運航形態を考慮して遭遇する最悪の状況について検討を加えた上で、標準風速をパラメータとした実船のC係数計算を実施し、その計算結果から標準風速が設定された手順が明確になった。

また、C係数基準に規定された標準風速には、基準に直接算入しなかった外力に対する安全率が考慮されていることや、復原てこの最大値に関する基準の設定理由も明らかになった。

参考文献

- 1) 元良誠三, 山越康行: 第2章 船舶の安全性と非損傷時復原性規則の動向, 運動性能研究委員会第3回シンポジウムテキスト, (社)日本造船学会, 1986, pp.23-60.
- 2) Y. Watanabe *et.al.*: Report of the Ocean Wind about Japan on the Naval Architectural Point of View, Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.97, 1955, pp.37-42.
- 3) Y. Watanabe *et.al.*: The Stability Standard of Sea-going Ships, Journal of the Society of Naval Architects of Japan Vol.97, 1955, pp.171-181.
- 4) Y. Watanabe *et.al.*: A Proposed Standard of Stability for Passenger Ships (Part III: Ocean-going and Coasting Ships), Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol.99, 1956, pp.29-46.
- 5) Y. Watanabe *et.al.*: A Proposed Standard of Stability for Passenger Ships -Ocean-going and Coasting Ships-, International Shipbuilding Progress, Vol.4, No.32, 1957, pp.204-217.
- 6) M. Yamagata: Standard of Stability Adopted in Japan, Quarterly Transactions of the Institute of Naval Architects, Vol.101, No.4, 1959, pp.417-443.
- 7) 船舶安全法関係法令改正準備室: 復原性班第4集 航洋船の復原安定性基準, 1954.
- 8) 船舶安全法関係法令改正準備室: 復原性班第5集 旅客船復原性能基準 沿海以上の船舶, 1955.

付録 吹送定常風の定義

資料7)等で使用されている「吹送定常風」の意味を明確にするため、文献2)で示された洞爺丸台風時に函館海洋气象台で観測されたデータをFig. A1に示す。横軸に時刻がとられているが、破線で囲んだ、台風通過後の9時から18時にかけて、平均風速、最大風速、最小風速ともほぼ一定となっており、資料7)等ではこれを「吹送定常風」と表記している。また、文献4)等では”trailing steady wind”と表現されている。

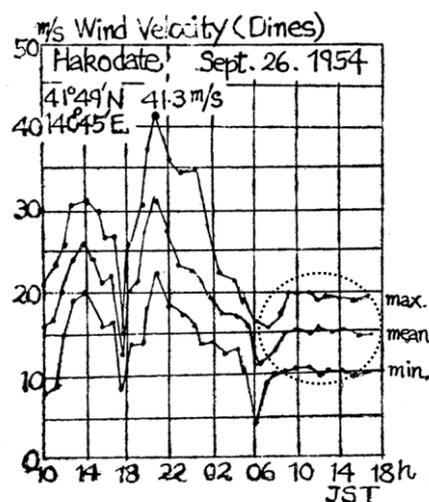


Fig. A1 A sample record of trailing steady wind⁴⁾.