穂高山丸の航走中の船体応力頻度について

正員 秋 田 好 雄*

正員 石 山 一 郎*

Statistical Measurement of Ship Stress on MS Hodakasan-Maru

By Yoshio Akita, *Member*Ichiro Ishiyama, *Member*

Abstract

The statistical measurements of midship stress on MS Hodakasan-Maru in the winter North Atlantic and Pacific Oceans were performed.

The distribution pattern and the expected values were examined.

緒 言

最近の船体応力，運動の統計的研究，ならびに海洋学者による海洋学の進歩は目覚ましいものがある。

我国においてもすでに数回の実船実験を行い，航走中の船体応力，水圧，運動等を測定したが，長期間にわたる船体応力頻度の実測はいまだ行われていない。

筆者等は船用応力頻度計の試作を数年来行つてきたがこれを完成し，昭和 32 年冬期の 4 ヶ月間，三井船舶，三井造船の協力を得て穂高山丸に運研式頻度計を設置し冬期北太平洋，大西洋における上甲板中央部の応力頻度実測を行つた。

本論文はこの応力頻度の分布型，異常応力値や，風速等の関係について，考察を行つたものである。

実験船要目および航路

穂高山丸の要目は， $L \times B \times D \times d = 145.08 \text{ M} \times 19.6 \text{ M} \times 12.5 \text{ M} \times 8.5 \text{ M}$ 排水量，16.730 T である。航路，期日は第 1 表に示す。

第 1 表 穂高山丸航路および期日

横浜～サンフランシスコ	サンフランシスコ ～ノーホーク	ノーホーク～ハンブルグ	ハンブルグ ～ハンブトロンローズ	ノーホーク ～サンフランシスコ	サンフランシスコ～神戸
32-12-7～12-17	32-12-19～33-1-5	33-1-8～1-24	33-1-26～2-10	33-2-13～3-4	33-3-7～3-21

応力頻度計の計数方式について

この頻度計は零からの引張応力，および圧縮応力が第 1 図に示すように帯域を通過する回数を計数し，帯域は正，負 6 個，零 1 個計 13 個設けている。これらの帯域通過回数から応力頻度を求めるには，つぎに示す計算を必要とする。

各リレーの示す帯域通過数をそれぞれ $N_0 \cdots N_{12}$ とする。ただし N_0 は 0 帯域， N_{12} は応力最大値の帯域通過数とする，同様に応力の極大値の帯域における回数，すなわち応力頻度数を $M_0 \cdots M_{12}$ とする。いま応力が正の極小値や負の極大値を持たない普通によく見られる場合には，応力の極大値の各帯域における数は，最大値を示す帯域では，応力頻度数は

$$M_i = N_i$$

N_i より低い応力帯域では応力頻度数は

$$M_{12} = N_{12} - 2N_{11} + 2N_{10} - 2N_9 + \cdots + (-1)^{i-12} 2N_i$$

第 1 図 頻度計の計数方式図

原稿受付 昭和 34 年 1 月 1 日

* 運輸技術研究所船舶構造部

で求まる。

応力に正の極小値や負の極大値が表われる場合は実際にまれであるが、この場合は Longuet-Higgins⁽¹⁾ のいう広帯域スペクトルの場合で、このときには上記の M_0 はある帯域中の応力の正の極大値と正の極小値の差を与えることになる。

Longuet-Higgins は energy-spectrum が広帯域の場合、その理論分布曲線は正規分布であり、energy-spectrum が狭帯域になると Rayleigh 分布に近づくことを示した。また彼の理論によると正の極大値と正の極小値との頻度の差は帯域の広さに関係なく Rayleigh 分布になる。このことから本計測による応力頻度は Jasper⁽²⁾ などの計測としている応力の Hog. Sag 変化の全振幅をとる頻度と同じ傾向を示すことが明らかである。

応力頻度記録の解析

穂高山丸では全期間にわたり24時間おきに、応力頻度数、気象、海象を記録した。これらの記録の1例としてハンブルグ～ハンブトローズ航路間の応力頻度記録を第2表に示す。応力頻度が Rayleigh 分布をすることは、

第2表 ハンブルグ～ハンブトローズ航路、海象一応力頻度記録

ハンブルグ～ハンブトローズ												昭和33-1-31~2-10	
測定日	1-31	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10	一航路	全航路
速力 KNOTS	19.0	16.8	17.2	18.0	18.1	16.4	10.5	12.0	16.3	9.5	15.0		
風向 対 船	120°	300°	280°	300°	315°	320°	340°	30°	310°	45°	60°		
風向 絶対	40°	160°	130°	120°	200°	220°	290°	300°	185°	285°	300°		
風速 級	1	3	4	3	3	5	5-6	6	7	8	5		
速 絶対%	1	4	7	5	4	12-14	11	12	14	18	10		
波 階級	1	2	3-4	2	1	5	5	5	5	6	5		
波 対 船	→	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘		
うねり 階級	1	6	3	2	2	6	6	6	6	6-7	3		
うねり 対 船	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘		
応力	6.6-5.4												
	5.4-4.2						8	4		3		15	16
力	4.2-3.0					2	6.8	17	5	2.6	3	123	164
	3.0-1.8	4	108			47	417	287	51	313	98	1325	2354
頻	1.8-0.6	1592	7979	21	57	5372	6658	2929	1204	5407	1378	45037	60209
	0.6-0.6	153	6949	3750	2603	139	1104	14920	4042	2200	5842	13500	48718
度	0.6-1.8	1443	354	6721	4810	5560	824	10106	7803	2420	10436	62138	148469
度	1.8-3.0						44	70	12	7	27	162	3394
度	3.0-4.2												3
度	4.2-5.4												

海面状態が一定のおよそ十分程度の極めて短期間の応力頻度分布に適応され、長期の頻度分布はこれらの Superpose されたものと考えられる。Jasper はその報告で長期の応力頻度分布は対数正規分布 (Log-normal distribution) にしたがうことを示した。すなわち、 x を変量、 x_σ を $\log x$ の標準偏差 u を $\log x$ の平均値とすれば確率密度 $p(x)$ は対数正規分布の場合、次式で表わされる。

$$p(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log x - u)^2}{2\sigma^2}}$$

観測結果が対数正規分布で表わされることは、応力頻度累積値による対数正規確率図をもちいて第2図、第3図に示される。これはハンブルグ～ハンブトローズ航路間の嵐に遭遇した1日間の観測結果で、対数正規分布に良く適合することがわかる。また一般に荒天時ほど曲線は右に移動することが判る。観測値から、母集団の標準偏差を推定しその信頼限界の検定を行つた。いま N を標本数、 p を確率密度 P を累積確率密度とすれば母集団の標準偏差 f は次式で与えられる。

$$f = \frac{1}{p} \sqrt{\frac{P(1-P)}{N}}$$

± 1.65 f で観測値の 90% 信頼区間を第3表のように推定し、これを第2図に破線で示した。すなわち 10% の危険率で観測値の母集団は、この区間内に包含されることを意味するが、観測値はいずれもこの信頼限界内に包含され、対数正規分布にしたがうことが明らかとなつた。

第2図 波浪による、24 時間での応力頻度累積確率曲線

第3図 波浪による応力累積確率曲線の変化

第3表 信頼限界検定結果
航路ハンブルグ～ハンブトローズ 昭和 33-2-7

平均値	2.20 kg/mm ²	標準偏差 σ	0.1630	N	8157
Stress $\bar{x}$ kg/mm ²	(1-P)	p	$\sqrt{P(1-P)/N/p}$	$\bar{x}$ Upper kg/mm ²	$\bar{x}$ Lower kg/mm ²
5.10	0.0007	0.9993	0.02025	5.51	4.72
3.94	0.0059	0.9941	0.00686	4.04	3.84
3.03	0.0370	0.9630	0.00391	3.08	2.99
2.33	0.1400	0.8600	0.00271	2.35	2.31
1.79	0.3600	0.6400	0.00226	1.81	1.77

異常応力値の推定

今回の航路においては風力階級7～8の嵐に遭遇したが、応力累積値よりもとめた推定異常応力値を第4表に示す。同表によると航路別影響としては北太平洋西航，同東航，北大平洋東航の順で異常応力も減少している。次に全航路間の累計頻度数は263,327回またこの間の実航行日数は69日，よつて1日の算術平均頻度数は約4000回となる。この値は冬期1航海の平均頻度数で，いま20年間の冬期航行を考えると全航路累積値からの，500万回に1回の確率の異常応力値は約8.5 kg/mm²となる。これらの集計は船体の許容応力を論ずる場合の重要な基礎的数値となる。

第4表 ハンブルグ～ハンブトローズ航路，応力頻度記録

航路 確率 N	横浜～サンフランシスコ		1-ホーク～ハンブルグ					ハンブルグ～ハンブトローズ					全航路			
	32-12-15	1-航路	33-1-15	1-16	1-18	1-航路	33-2-6	2-7	2-8	2-9	1-航路					
	7010	42478	20067	22444	4227	76244	16510	18423	13207	10387	124100	263327				
6 $\frac{1}{10}$	-4.2	+3.3	-4.2	-4.6	+3.0	-3.8	-3.2	-4.2	+2.7	-5.5	-4.9	-4.3	-4.6	+3.7	-4.8	-4.5
1 $\frac{1}{10}$	-5.2	+3.7	-5.0	-6.0	+3.6	-4.8	-3.7	-5.4	+3.2	-7.0	-5.3	-5.2	-6.2	+4.4	-6.0	-5.6
1 $\frac{1}{10}$	-6.2	+4.1	-5.8	-7.6	+4.2	-5.8	-4.4	-6.8	+3.6	-8.6	-7.4	-6.3	-8.1	+5.1	-7.6	-6.6
1 $\frac{1}{10}$	-7.2	+4.5	-6.8	-9.1	+4.6	-6.8	-4.8	-8.2	+4.1	-10.3	-8.8	-7.3	-10.0	+5.7	-9.2	-7.8
1 $\frac{1}{10}$	-8.4	+4.8	-7.7	-11.0	+5.2	-7.8	-5.4	-9.7	+4.5	-12.0	-10.2	-8.4	-12.0	+6.3	-11.0	-8.8
2日平均 応力階級	7.5		6	6	4			5-6	6	6.5	7.5					
1日平均 応力階級	2.0		13.5	13.5	7			12.5	11.5	13	16

第4図 穂高山丸頻度曲線とJasperの結果との比較

ここで応力についての他の計算値や，統計値と比較することは興味深い。今回の一冬期の航海による最大応力は第4表から内挿して，7.0 kg/mm²となる。また波高 $L/20$ の波にのつたときの田代氏の方法⁽³⁾による標準計算で，波浪による曲げ応力は7.0 kg/mm²となり，たまたま一致を示す。また Neumann の示した海洋波の Rayleigh 型の短期分布において，先に我々が計算した応力⁽⁴⁾は同論文で風速 50 knot で $C_w=0.702$ ， $k_1=0.525$ ， $k_2=0.9$ ， $k_3=0.6$ として求めると，5000回に1回の異常値が7.0 kg/mm²となる。5000回は略1日の平均変動数と一致している。

第4図は Jasper により得られた累積分布曲線に，穂高山丸全航路結果を挿入したものである。

異常応力値と海象との関係

波浪は風の方向，速度，吹送時間，吹送面積により変化する。Pierson, Neumann, James⁽⁵⁾の波の新

第5図 風速と異常応力との関係

第6図 異常値応力と風速、船速、風向との関係

いい予報法では種々の風速に対し風浪が充分発達するための、最小吹走距離、及び時間を与えている。これによると風速 32 Knot (16 m/sec) の場合約 27 時間以上を必要とする。いま 10,000 回に 1 回の異常応力値と、24 時間平均風速との関係を図示してみると完全に random な図が得られる。しかし第5図に示すように風浪の成長時間を考慮した 48 時間の平均風速（前日からの）をとり同様の関係を図示するとかなりのまとまりが見られる。同図では風速に対し上限の応力値が見いだされ、風速 12 m/sec の場合約 7 kg/mm² の異常応力を生ずることを示している。第6図に 10,000 回に 1 回の異常応力値と船速、風速、風向の関係を示す。なお使用された運研式応力頻度計の変換部を写真1計数部を写真2に示す。

写真 1. 応力頻度計の変換部

写真 2. 応力頻度計の計数部

結 言

穂高山丸の冬期北太平洋、北大西洋の応力頻度記録を求め、その分布は対数正規分布をすることを確めた。また一冬期航路の異常応力（26 万回）は 7.0 kg/mm² であり、これは標準計算の L/20 の波による応力と一致し、また短期分布の風速 50 Knot のときの 5000 回に 1 回の異常値に一致している。なほ 20 年間の推定最大値は 8.5 kg/mm² 程度であつた。航路別では北大西洋西航、同東航、北太平洋東航の順に応力が小さいことが判つた。これらは船体の許容応力の推定に重要な資料を与えるものと思ふされる。

本実験に種々御援助を頂いた三井船舶、三井造船設計部および直接計測された小杉隆祥、宮本洋一、末長一志の三氏、および計算資料について海事協会田代研究員に厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) M. S. Longuet-Higgins, The statistical distribution of the maxima of a random function
 - (2) N. H. Jasper, Statistical Distribution Patterns of Ocean Waves and of Wave-induced Ship Stress and Motions with Engineering Applications. Trans SNAME 1956
 - (3) 田代新吉, 船の静的縦曲げモーメントについて, 造船協会論文集 102 号
 - (4) 秋田好雄, 海洋波のなかの船体曲げモーメント, 造船協会論文集 102 号
 - (5) W. J. Pierson, G. Neumann, W. James, Observing and Forecasting Ocean Waves, 1955
-