

練習船による船体応答監視システムの計測結果について (その2)

海上安全研究領域 構造安全性研究グループ *岡 修二
航海訓練所 上田 英夫

1. まえがき

船舶の海難事故の原因調査の援助装置として、VDR(Voyage Data Recorder)の搭載が義務づけられた。VDR が搭載されることにより、今までは研究目的で実船試験を行い、船体運動、船体応力等を計測してきたことが、今後は船舶の履歴情報として、その利用が可能となる。個々の船舶が遭遇した海象とその時の応力履歴を保存することにより、より質の高い安全性の評価が可能となることは言うまでもない。VDR そのものは最終記録媒体としての機能に厳しい制限があるが、扱う情報をリアルタイムに利用するとすれば、船体応力監視装置であり、操船支援装置となり得る。その応力履歴を蓄積することにより疲労被害度等を解析することが可能となる。著者等は平成9年に竣工した航海訓練所練習船「青雲丸」に船体応力監視装置を搭載し、実船のデータを蓄積してきた。前報²⁾において波高計の精度に関する報告をした。本報告は全体強度に関するものである。

2. 青雲丸の船体応力監視システムの概要

著者等は青雲丸の建造時より各種センサーを船体各部に設置し、それらの信号を一箇所に集め、計測用ラックの中に、パソコン、動歪みアンプ、無停電電源等を装備して、自動計測および画面表示、記録ができるシステムを構築してきた。計測した項目は船体運動計測として6点(ピッチ、ロール、船体各部の加速度4点)、縦曲げ応力1点、バルクヘッドの剪断応力1点、波浪応力2点、局部応力6点、および波浪観測用波高計3台による計測を行った。計測システムとしては、1台のパソコンに自動計測用ソフトを搭載し、一定時間の計測、待ち状態、計測、待ち状態、の繰り返しが可能システムとした。

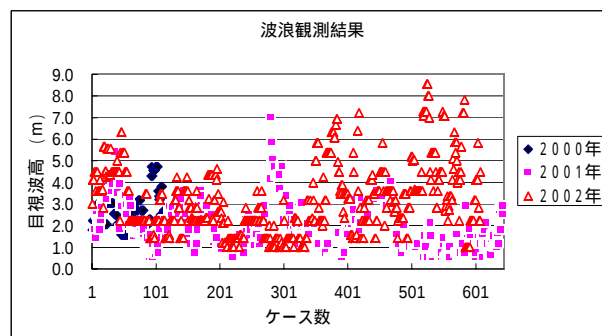
記録媒体はMOとした。計測は20分間、待ち時間10分間でサンプリング周波数は20Hzとした。MOへの記録は待ち状態の時に行っている。記録容量節約のため、バイナリーデータで保存した。

3. 波浪観測

乗員により毎正時(1時間毎)に海象の目視観測を行い野帳に記録した。観測内容は風浪の高さ、周期、うねりの高さ、周期および方向、波との出会い角、スタビライザー使用の有無を観測記録した。この観測は年間を通じて行いたい、乗員の負担を考慮して、遠洋航海中のみの計測にとどめた。

3.1 波浪観測の結果

波浪観測は2000年には延べ126時間、2001年には延べ644時間、2002年には延べ608時間の観測を行った。図__1に波浪観測の結果を示す。観測された最大波高としては、2000年は、4.7m、2001年、6.9m、2002年には8.5mが記録された。過去3年間の遠洋航海では2002年が最も厳しい航海であったことがうかがえる。

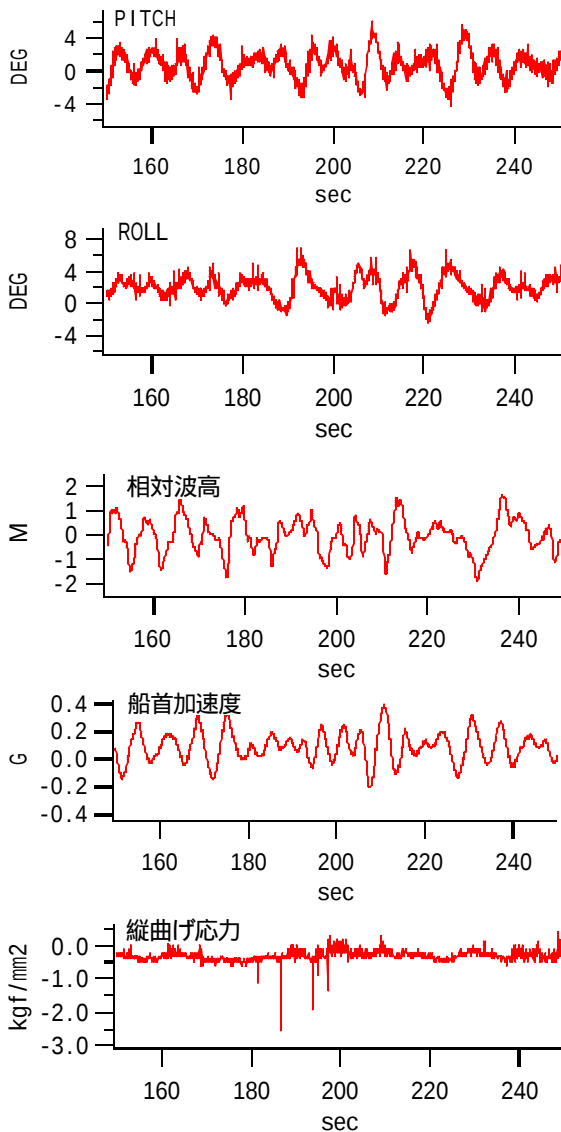


図__1 波浪観測結果

3.2 船体応答計測(応力計測)の結果

図__2に航海中の時系列計測データの一例を示す。図は2000年8月12日の計測波形で、海象は風浪2.5m 周期4秒、うねりの波高3.5m 周期

9秒が船の後方よりとうねり波高 1.5m 周期 4 秒が右斜め前方から受けていたもので、2 方向からのうねりを観測した。図は上から縦揺れ、横揺れ、相対波高、船首部加速度、船体中央部の縦曲げ応力を示す。横軸は時間軸で単位は秒で示す。縦揺れと船首部加速度はかなりの相関がみられる。縦曲げ応力はあまり変動しないが時々衝撃的に大きな値が計測されている。



図__2 航行中の時系列データの一例

4．縦曲げモーメントの短期予測

4．1 計算方法

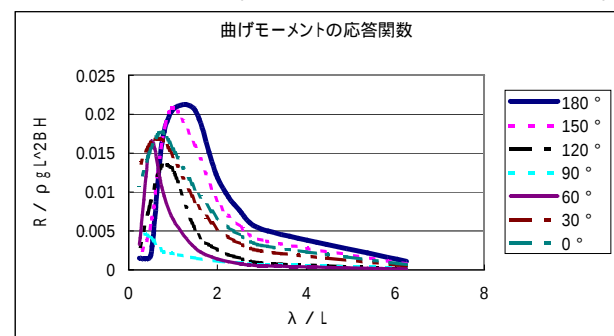
短期の波浪海面における船体応答を予測する場合については線形重ね合わせの理論を応用したエネルギースペクトル法¹⁾が用いられる。船

体応答の不規則な時間的変動量の確率分布はほぼ正規分布で表され、これらの極大値の確率分布は Rayleigh 分布で近似できる。この前提のもとに短期波浪海面における船体応答を統計的に予測する。手順としては規則波中の船体応答関数をストリップ法を用いて求める。それに短期海象スペクトルをかけ合わせて長波頂不規則波中を一定航路で航行したときの船体応答を求めた。さらに長期波浪発現頻度分布を用いて不規則波中で船体応答がある一定値を越える確率(超過確率)を求めた。波スペクトルは I S S C _1964 で提案された Modified Pierson-Moskowitz 型のスペクトルを用いた。式では $[f(\omega)]^2 / H^2 = 0.11 \omega_1^{-1} (\omega / \omega_1)^{-5} \exp[-0.44 (\omega / \omega_1)^{-4}]$ となる。

ただし $\omega_1 = 2\pi / T$

4．2 青雲丸の応答関数の計算結果

ストリップ法により求められた規則波中の縦曲げモーメントの応答関数を図__3 に示す。正面向かい波(180°)～追い波(0°)まで 30° 毎の結果を示す。フルード数は 0.312 とした。



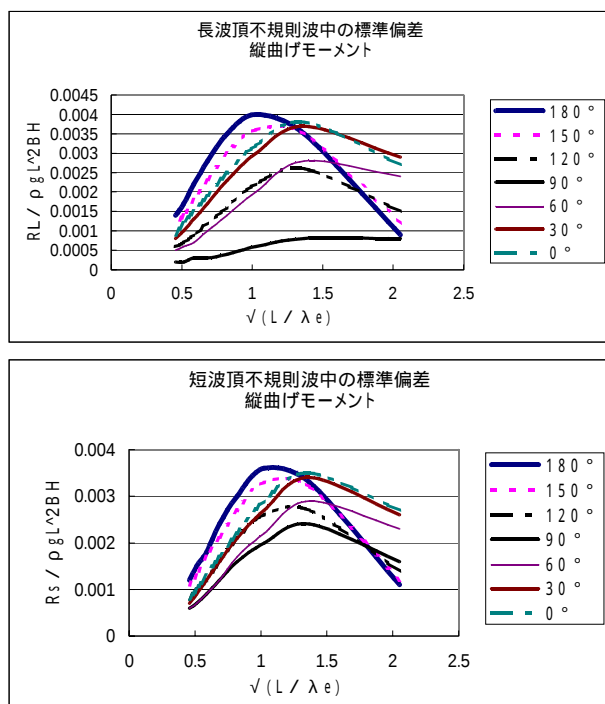
図__3 縦曲げモーメントの応答関数

4．3 不規則波中の標準偏差

規則波中の船体応答関数と波浪海面の波スペクトルを用いて、不規則波中の船体応答のエネルギースペクトル計算を行い、縦曲げモーメントの標準偏差を求めた。なお波スペクトルの方向性分布については、簡単に波の平均進行方向に対して $(-\pi/2)$ より $(\pi/2)$ の範囲で $\cos^2 \chi$ 分布しているものと仮定した。

図__4 に長波頂不規則波中の曲げモーメントの標準偏差を示す。出合い角をパラメータにした結果を示す。下は短波頂不規則波中の標準偏差を示す。このように標準偏差が求めれば、船体

応答の極大値等はその確率分布から推定できる。



図_4 縦曲げモーメントの標準偏差

表_1 沿海の波浪発現頻度

		Wave Period (sec)					Some over	
		5	7	9	11	13	all Periods	
Wave height (m)	0.75	87.432	11.612	0.000	0.000	0.000	0.000	99.044
	1.75	185.109	41.667	4.098	3.415	0.000	0.000	234.290
	2.75	129.098	114.754	8.197	0.000	0.000	0.000	252.049
	3.75	77.869	96.311	15.710	0.000	0.000	0.000	189.891
	4.75	44.399	56.694	5.464	0.000	0.000	0.000	106.557
	5.75	21.175	25.956	11.612	0.000	0.000	0.000	58.743
	6.75	4.781	19.126	2.732	0.000	0.000	0.000	26.639
	7.75	2.732	8.880	2.049	0.000	0.000	0.000	13.661
	8.75	0.000	12.295	2.732	0.000	0.000	0.000	15.027
	9.75	0.683	1.366	2.049	0.000	0.000	0.000	4.098
Some over all Height		553.279	388.661	54.645	3.415	0.000	0.000	1000.000

表_2 遠洋航海中の波浪発現頻度

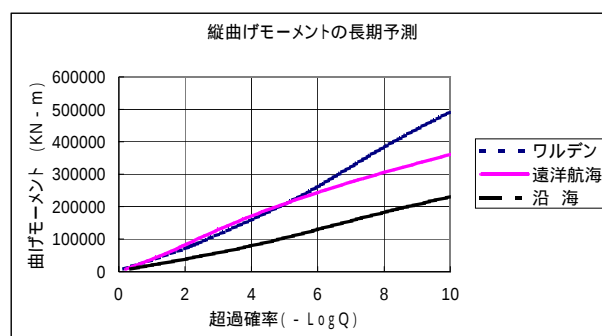
		Wave Period (sec)					Sum over	
		5	7	9	11	13	all Periods	
Wave Height (m)	0.75	96.54	88.89	24.79	2.44	0.44	0.1	213.2
	1.75	208.98	217.01	95.05	10.92	1.64	0.05	533.65
	2.75	13.27	108.16	73.22	7.9	1.23	0.04	203.82
	3.75	0.01	16.79	19.63	3.42	0.4	0.02	40.27
	4.75	0.01	1.25	2.71	2.67	0.15	0.02	6.81
	5.75		0.03	0.42	1.02	0.11		1.58
	6.75			0.14	0.26	0.11		0.51
	7.75			0.01	0.04	0.04		0.09
	8.75				0.01	0.03		0.04
	9.75					0.02		0.02
Sum over All Heights		318.810	432.130	215.970	28.680	4.180	0.230	1000.000

5. 青雲丸の縦曲げモーメントの推定

大洋の波浪に関する長期資料は代表的なものでは Walden 等の資料がある。北大西洋の長期波浪資料である。沿海の波浪発現頻度³⁾を表_1に示す。これと今回の遠洋航海時(3年間)の目視観測による波浪観測データをもとに長期予測を行った。遠洋航海時の波浪発現頻度を作成しまとめたものが表_2である。沿海での長

期予測は日本の沿海を航海している時の予測である。また遠洋航海中の発現頻度は常に遠洋航海をしているわけではないが、沿海での航海と比較するために作成した。Walden はあくまで参考となるが、仮に青雲丸が北大西洋航路の定期船であると仮定した場合である。

青雲丸の一生(20年)のうちに受ける最大縦曲げモーメントは、青雲丸が遭遇する海象(有義波高、平均波周期)と航行状態(波との出合い角、船速)との組み合わせを考慮して推定される。海象、波との出合い角、不規則波中の船体応答は確率的な現象であるので、青雲丸の一生にわたる荷重の確率分布をもとめ、生涯の間の再現期間に相当する確率に対応する応答の値を最大値とする。図_5は青雲丸の縦曲げモーメントの予測値を示す。遠洋航海で得られた波浪データで長期予測した結果と、沿海、Walden の資料を使った時の値を参考に示す。ここでは極値理論に基づく予測(推定)を20年間の変動回数に相当する 10^8 回においてみると、縦曲げモーメントは306000(KN-m)となる。これはあくまでも青雲丸が過去3年間の遠洋航海時の海象に今後も遭遇しつづけたとされる前提がつくものであるが、沿海のみを航海しているより厳しいことが分かる。明らかに北大西洋の方が厳しい環境になっていることが分かる。



図_5 青雲丸、縦曲げモーメントの長期予測

6. まとめ

乗員による波浪目視観測結果より青雲丸の縦曲げモーメントの長期予測を行った。青雲丸は練習船であり、一定の航路はなく、航海海域もいろいろではあるが、遭遇海象の平均的頻度をまとめた資料を蓄積すれば、長期予測が可能とな

る。

青雲丸の船体応答監視装置は単に自動計測が可能なシステムに過ぎないが、応力状態の表示等、リアルタイム性を活かせば、十分に操船支援装置となるものである。具体的には荒天時に激しいスラミング等を起こしているような状況下で、縦曲げ応力をモニターしていてそのレベルを落としたい時、変針または速度を落とすかの判断をするような際、レベルが表示されていればその情報を基に判断できる。またその時記録されたデータは事後の解析により安全性評価に生かされる。安全性解析に必要な全項目が整っており、質の高いデータとなるものである。

青雲丸の建造から数年経過しているが、各種センサーおよび付帯装置は故障することなく充分機能した。この稼働実績も充分評価に値する。

参考文献

- 1) 福田淳一：船体応答の統計的予測、日本造船学会耐航性に関するシンポジウム、昭和44年7月
- 2) 岡 修二：練習船による船体応答監視システムの計測結果について、第1回海技研研究発表会、平成13年6月
- 3) 北太平洋の波と風(1974～1988)、運輸省船舶技術研究所、平成4年5月
- 4) 中村卓司他：小型貨物船の荷重と構造応答について、第69回船舶技術研究所研究発表会講演集、平成9年6月
- 5) 片山瑞穂：IMO議決VDRについて、日本造船学会誌862号、2001年7月

謝辞

本研究は航海訓練所との共同研究で「高精度船体強度評価技術の開発」の一環として実施されたもので、関係者に感謝の意を表します。とくに乗員の協力に対して厚く御礼申し上げます。

「高精度船体強度評価のセンサー配置図」

