向波中におけるパラメトリック横揺れの模型実験

海上安全研究領域 *田口 晴邦、石田 茂資 沢田 博史、南 真紀子

1.はじめに

国際海事機関(IMO)において非損傷時復原性 コード(IS Code)の改正が検討されているが、そ の背景の一つに、米国の C11 級ポストパナマック スコンテナ船が、1998 年 10 月に北太平洋上にお いて向波中で大振幅のパラメトリック横揺れを起 こし、その結果多数のコンテナを流出した事故が あげられている。

パラメトリック横揺れは、波と船体との相対位 置によって復原力が変化することで発生する現象 であり、これまで、転覆との関連から、主に追波 中について調査研究が行なわれてきた。一方、向 波中のパラメトリック横揺れは、最近注目される ようになった現象であり、公表された調査研究事 例が少なく(例えば、1)~3))、その発生状況 等について明確になっていないのが現状である。

向波中のパラメトリック横揺れに対する適切な 安全対策を検討するためには、船型、運航状態、 波浪条件とパラメトリック横揺れの発生限界、発 生後の最大横揺角等との関連を把握する必要があ るのは言うまでもない。

そこで、昨年度及び今年度、当所の 80m 角水槽 において、向波中のパラメトリック横揺れの発生 状況(現象及び発生限界)の把握を主な目的とし て、ポストパナマックスコンテナ船模型を用いた 波浪中自由航走実験を行った。ここでは、規則波 中実験の概要を報告する。

2.実験概要

実験は、波長、波高を種々変えた規則波中で、 オートパイロット装置等を用いて模型船をプロペ ラ回転数及び波との出会角が一定となるように自 由航走させて行なった。 2.1 供試模型

使用した模型船は、6600TEU 型ポストパナマックスコンテナ船の 1/76.7 縮尺模型である。

模型船の正面線図を図 - 1 に、主要目を表 - 1 に示す。また、実験を行なった状態での復原力曲 線を図 - 2 に実船スケールで示す。



図-1 正面線図(上甲板まで)

表 - 1 主要目 実船 模型船 283.8 3.7 Lpp(m) B(m) 42.8 0.558 24.4 0.318 D(m) 0.183 d(m) 14 106,970 0.237 $V(m^3)$ 0.629 Cb 0.629 GM(m) 1.06 0.014

30.26

3.46

T (sec.)



2.2 計測項目

計測項目は、船体運動、相対水位、船首部左右 加速度、並びに、船速及び航跡である。船体運動 は、光ファイバージャイロと加速度計を組み合わ せた慣性計測装置により6自由度の計測を行なっ た。相対水位は、容量式波高計を用いてStem、S.S. 5(weather side)及びA.E.の3か所で計測した。 船首部左右加速度は、S.S. 8位置の上甲板直下に 設置した加速度計で計測を行なった。また、船速 及び航跡の計測には、水中超音波を利用した位置 指示器を使用した。

2.3 計測パラメータ

今回の実験では、パラメトリック横揺れの発生 限界を把握するため、波長()、波高(Hw)、 船速(Vm)、出会角()を計測パラメータとし た他、横揺れ減衰力の影響を調べるため、ビルジ キールを取り外した状態でも計測を行なった。

計測を行なった波長、波高の組み合わせを表 - 2 に示す。波長は、船長で無次元化した波長船長比 (/L)で示している。 印は、ビルジキールを 取り外した状態でも計測を行なった波である。波 高 11cm は実船スケールで 8.4m に、波高 20cm は 実船スケールでは 15.3m に相当する。

出会角の設定は、向波 135 度から 180 度まで 15 度間隔とした。また、パラメトリック横揺れは出 会周期(T_e)と横揺れ固有周期(T)の比 T_e/T が 1/2 付近で発生しやすいので、船速は、そのよ うな出会周期に近くなる設定を中心に、発生限界 も明確になるよう、波長、出会角に応じてプロペ ラ回転数を適宜変化させて設定した。

	Hw				
/L	5cm	8cm	11cm	15cm	20cm
0.9					
1.0					
1.2					
1.4					
1.6					
1.8					
2.0					
2.2					
2.4					
ビルジキール付きの状態のみ計測					
:ビルジキールなしの状態でも計測					

表 - 2 計測条件

3.実験結果

今回の実験では、ビルジキール付きの状態で計 286 航走、ビルジキールを取り外した状態で計47 航走の計測を行なった。以下、特記しない限り、 ビルジキール付きの状態での実験結果である。

3.1 計測例

今回の実験で計測された、典型的なパラメトリック横揺れ発生時の船体運動と船首部左右加速度の時系列を図 - 3 に示す。上から、横揺れ()、縦揺れ()及び船首部左右揺れ加速度(*ŋ*)の計測波形である。また、計測された出会周期と横揺れ固有周期の比(T_e/T)は約 0.48 である。

出会い周期で変動している縦揺れのデータと比 較することで、横揺れ周期が出会周期の2倍とな るパラメトリック横揺れが計測開始時から発生し ていることが分かる。また、横揺れは計測開始か ら約6秒後にほぼ定常になっており、定常状態で は横揺れの大きさは片振幅で約19度に達してい る。なお、重力加速度成分も含めた S.S.8 におけ る上甲板直下の左右加速度は、定常状態では片振 幅で約0.29Gとなっている。



Vm=0.48m/s (Fn=0.08))

3.2 パラメトリック横揺れの発生範囲

図4に、波高Hw=11cmでのパラメトリック横 揺れの発生状況を出会角 =180°(上図)と =150°(下図)について示す。横軸に船速(Vm)、 縦軸に出会周期と横揺れ固有周期の比(Te/T)を とっている。発生状況は、波長毎に船速と出会周 期横揺れ固有周期比の関係を示す線上に表示され ているが、 印はパラメトリック横揺れが発生し 定常状態に達した状態、 印は発生しているが発 達中で定常状態に達していない状態及び発生して いるかどうか判断がつかなかった状態、×印は発 生しなかった状態を示している。

図 - 4 から、 パラメトリック横揺れは、出会 い周期と横揺れ固有周期の比(T_e/T)が 0.5 付近 を中心に、T_e/T=0.4~0.6 程度の比較的広い範囲 で発生していること、 /L=1.8 以上の長波長で は、パラメトリック横揺れが発生する出会周期の 範囲(船速範囲)が狭くなること、 同じ波長の



図 - 4 パラメトリック横揺れの発生状況 (Hw=11cm)

結果を比較した場合、パラメトリック横揺れは、 斜め向波状態(=150°)に比べて、正面向波状 態(=180°)の方が発生しやすい(発生する出 会周期範囲が広い)ことが分かる。

3.3 パラメトリック横揺れの振幅

波高 Hw=11cm、出会角 =180°での、パラメト リック横揺れ中の横揺れ振幅を図 - 5 に示す。横 軸に出会周期と横揺れ固有周期の比、縦軸に定常 状態の peak to peak の横揺れ両振幅の平均値を波 傾斜の2倍で無次元化した値(_s/kHw、k:波数) をとっており、結果は波長をパラメータとして示 している。

図 - 5 から、 パラメトリック横揺れの振幅は、 出会周期によって大きく変化すること、 同じ波 長で比較すると、T_e/T が 0.5 付近で横揺れ振幅が 最も大きくなること、 同じ T_e/T に対応する横 揺れ振幅の無次元値は、 /L=1.0~1.8 の波長では ほとんど同じであるが、それより波長が長くなる につれ (/L=2.0~2.2)、横揺れ振幅の無次元値 は小さくなることが分かる。



図 - 5 パラメトリック横揺れ中の横揺れ振幅 (Hw=11cm、 =180°)

3.4 パラメトリック横揺れの振幅への波高 影響

表 - 2 に示したとおり、波長船長比 /L=1.2 及 び /L=1.6 の波では波高を 3~4 種類変えて計測 を行なった。図 - 6 に、出会い角 =180°で、 /L=1.2 の場合に T_e/T が 0.44 となった状態、 /L=1.6 の場合に T_e/T が 0.47 となった状態で計測 されたパラメトリック横揺れの振幅を示す。横軸 に波高を、縦軸に peak to peak の横揺れ両振幅の 無次元値をとっており、 印は /L=1.2 でビルジ キール付きの状態、 印は /L=1.2 でビルジキー ルなしの状態、×印は /L=1.6 でビルジキール付 きの計測結果を示している。

今回計測したいずれの状態とも、波高が 11cm 以上より大きくなっても、横揺れ振幅は増大しな かった。そのため、図 - 6 に示すように、パラメ トリック横揺れの振幅の無次元値は、波高が大き くなるに従って、小さくなる傾向が見られる。

パラメトリック横揺れ振幅への波高影響を調べ ることは、波高が大きくなっていった場合にパラ メトリック横揺れが転覆につながるかどうか推定 するために重要であり、そのためには、出会い周 期や出会い角が異なった場合など、更なる計測例 の蓄積が必要と考えられる。



図 - 6 パラメトリック横揺れ中の横揺れ振幅 への波高影響(=180°: /L=1.2、 T_e/T =0.44 及び /L=1.6、T_e/T =0.47)

4.まとめ

向波中のパラメトリック横揺れの発生状況を把 握することを主目的に、80m角水槽において、規 則波中でポストパナマックスコンテナ船模型を用 いた自由航走実験を行った。その結果、以下のこ とが明らかになった。

(1)パラメトリック横揺れは、波長、船速及び 出会角で決まる出会周期と横揺れ固有周期 の比が 1/2 となる状態を中心に、比較的広 範囲の出会周期で発生する。

- (2)同じ波長の波では、パラメトリック横揺れ は、斜め向波状態に比べて、正面向波状態 の方が発生しやすい(発生する出会周期範 囲が広い)。
- (3)パラメトリック横揺れの振幅は、出会周期 によって大きく変化し、同じ波長で比較す ると、出会周期と横揺れ固有周期の比が 1/2 付近で最も大きくなる。
- (4)波高が大きくなるに従って、パラメトリッ ク横揺れ振幅の波傾斜に対する無次元値は 小さくなる傾向が見られる。

今後、今年度実施した、長波頂不規則波中での 模型実験結果と合わせて、運航状態、波浪条件と パラメトリック横揺れの発生限界、発生後の最大 横揺角との関連を明確化するとともに、縦揺れ、 上下揺れ及び横揺れの3自由度の運動モデルを用 いた数値シミュレーションによる検討を行なう予 定である。

本実験の一部は、科学研究費補助金(課題番号: 基盤研究 B(2) 15360465、代表者:大阪大学梅田直 哉助教授)により実施し、また、一部は、(社)日 本造船研究協会 RR-S202 復原性分科会(日本財団 助成事業、平成 15 年度)との共同研究として実施 したことを付記し、関係各位に厚く御礼申し上げ ます。

参考文献

- Dallinga, R.P. et al. (1998) "Excessive Rolling of Cruise Ships in Head and Following Waves", Proceedings of RINA International Conference on Ship Motions & Manoeuvrability, London.
- France, W.L. et al. (2003) "An Investigation of Head-Sea Parametric Rolling and Its Influence on Container Lashing Systems", Marine Technology, 40(1).
- 3) Bulian, G. et al. (2003) "On the Nonlinear Modeling of Parametric Rolling in regular and Irregular Waves", Proceedings of the 8th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, Madrid.