

船尾式 트롤船의 海洋波中 動搖特性에 관한 研究

강 일 권* · 윤 점 동** · 조 효 제**

A Study on the Characteristics of Motion Response of Stern Trawlers in Seas

Il-Kweon, Kang · Jeom-Dong, Yoon** · Hyo-Jae, Jo***

〈 목 차 〉

Abstract

1. 서 론

2. 선체운동의 이론

2.1 좌표계

2.2 운동방정식

2.3 불규칙파중에서의 응답스펙트럼

3. 실험 방법

4. 결과 및 고찰

4.1 실선실험에 의한 응답특성

4.2 실선실험과 이론계산에 의한 응답특성의 비교

5. 결 론

참고문헌

Abstract

It is very important to investigate the hull response of a fishing vessel in waves to ensure the safe navigation and fishing operation in rough seas by preserving excellent seakeeping qualities.

For this purpose, we measured pitching and rolling responses of three fishing vessels in seas using real sea experimental measuring system and analyzed the data by statistical and spectral analyzing method. We compared the measured results with theoretical results to give the validity of measuring system and experimental results.

From the result we know that a good agreement between the experimental and theoretical results are shown except following seas. But there are little difference between both results in the other direction too, which are caused by the effects of short crested waves of real seas.

* 경상대학교 해양산업연구소

** 한국해양대학교 교수

1. 서 론

대양을 항행하는 선박은 파도, 바람 및 조류 등의 외력을 받게 되며 이에 따라 6자유도 운동을 하게 된다. 근래 들어 이른바 strip^{1,2,3,4)}법에 기초한 선체운동의 이론이 정립되면서 내항성에 관한 연구가 활발하게 진행되어 그 성과가 선박설계 및 운항의 안전면에 많이 응용되고 있다. 그러나 이제까지 내항성의 연구는 주로 대형 상선을 중심으로 이루어져 왔고, 상대적으로 파랑의 영향을 많이 받는 소형 어선에 대한 것은 아직도 매우 부족한 실정이다.

어선은 선형과 운항 조건면에서 상선과는 다르다. 즉 어선은 황천 중에도 조업을 하는 일이 많으며, 조업 중 급변하는 천후에 신속히 안전대책을 강구해야 하는 경우도 자주 있다. 따라서 어선은 상선의 통상적인 항행성능에 부가하여 조업 수행에 따라 일어나는 복잡한 운동성능과 황천에 대한 충분한 감항능력도 함께 보유해야 할 것으로 생각된다.

어선 해난사고의 대부분은 바람과 파도가 중요한 원인으로 되고 있지만, 현실적으로 볼 때 조선자가 어로작업에 더 큰 비중을 두고 어선의 안전성 혹은 내항성을 무시한 무리한 항행 내지 조선이 그 원인이 되는 경우가 많다. 이러한 것은 어선이 해양의 파랑, 바람, 조류 등의 환경 아래서 조업 혹은 항행하는데 필요한 성능, 즉 어선의 내항성 파악에 소홀한 것이 그 원인의 하나로 볼 수 있다. 따라서 운항 또는 조업 중의 안전을 위하여 어선의 내항성은 다양한 조건하에서 정확하게 평가해야 할 필요가 있다.

이상과 같은 관점으로 본 연구에서는 어선 중에서도 대체적으로 크기가 크고, 척수도 많은 선미식 트롤선을 대상으로 크기가 서로 다른 3척의 어선에 대하여 항주 중 선체응답 측정실험을 실시하고

이론적인 해석과 실선실험 결과를 비교하여 strip 이론의 어선에의 유용성 여부를 검증하고 어선의 크기 변화가 응답특성에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고자 한다.

2. 선체운동의 이론

2.1 좌표계⁵⁾

좌표계는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 공간고정의 좌표계 $O-X_1 Y_1 Z_1$ 를 취한다. 이 좌표계는 우수계로서 연직하방을 Z_1 축의 양의 방향으로 한다. 여기서 또 다른 공간고정좌표계 $O-XYZ$ 를 취한다.

파는 X_1 축의 음의 방향으로부터 양의 방향으로, 선박은 파의 진행 방향에 대하여 χ 의 각도를 이루는 OX 방향으로 일정 속도 V 로 진행하는 것으로 하며, 그 평균위치에서 미소진폭의 동요를 하고 있는 것으로 한다. 그리고 선체고정좌표계 $o-xyz$ 를 도입하여 o 는 정수면과 선체중앙을 지나는 연직선과의 교점에 두며 선체의 중심을 G 로 하고, G 의 수선면상의 투영점을 G_0 로 한다.

2.2 운동방정식

선체운동의 이론적인 계산은 현재 파랑 중의 선체의 내항성능을 해석할 때 널리 사용하고 있는 OSM(ordinary strip method)을 사용하며 이때 6자유도의 선체운동방정식은 다음과 같다⁵⁾.

1) 상하동요와 종동요의 연성운동방정식

$$\begin{aligned} A_{11} \dot{\zeta} + A_{12} \dot{\zeta} + A_{13} \zeta + A_{14} \dot{\theta} + A_{15} \dot{\theta} + A_{16} \theta &= F_{\zeta} \\ A_{21} \dot{\zeta} + A_{22} \dot{\zeta} + A_{23} \zeta + A_{24} \dot{\theta} + A_{25} \dot{\theta} + A_{26} \theta &= M_{\theta} \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

2) 좌우요, 선수요, 횡동요의 연성운동방정식

$$\begin{aligned} a_{11} \ddot{\eta} + a_{12} \ddot{\eta} + a_{13} \eta + a_{14} \ddot{\psi} + a_{15} \dot{\psi} + a_{16} \psi + a_{17} \ddot{\phi} + a_{18} \dot{\phi} + a_{19} \phi &= F_{\eta} \\ a_{21} \ddot{\eta} + a_{22} \ddot{\eta} + a_{23} \eta + a_{24} \ddot{\psi} + a_{25} \dot{\psi} + a_{26} \psi + a_{27} \ddot{\phi} + a_{28} \dot{\phi} + a_{29} \phi &= M_{\psi} \\ a_{31} \ddot{\eta} + a_{32} \ddot{\eta} + a_{33} \eta + a_{34} \ddot{\psi} + a_{35} \dot{\psi} + a_{36} \psi + a_{37} \ddot{\phi} + a_{38} \dot{\phi} + a_{39} \phi &= M_{\phi} \end{aligned} \dots\dots\dots (2)$$

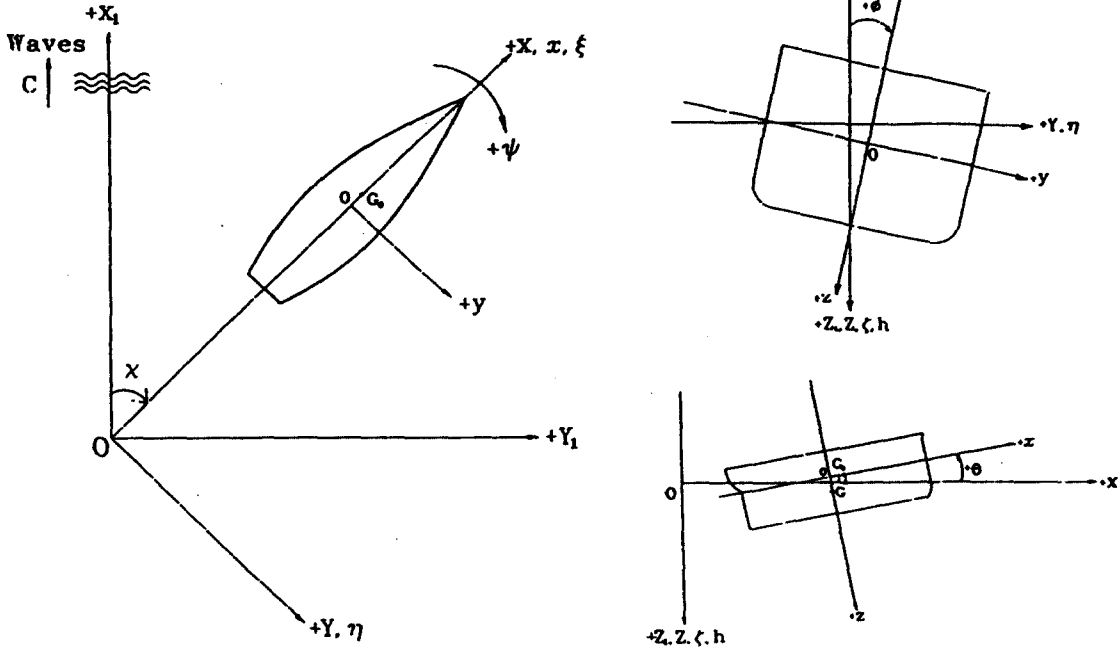


Fig. 1 Coordinate system

3) 전후요의 운동방정식

$$A_{31} \ddot{\xi} + A_{32} \dot{\xi} + A_{33} \xi = F_{\xi} \dots\dots\dots (3)$$

2.3 불규칙파중의 응답스펙트럼

횡동요응답(rolling response)에 관한 에너지스펙트럼을 $S_{\phi}(\omega_e)$ 라 하면, 만남파스펙트럼과 횡동요의 응답스펙트럼 사이에는 다음의 식이 성립한다⁶⁾.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot |H(\omega_e)|^2 \dots\dots\dots (4)$$

여기서, $S_{\zeta}(\omega_e)$ 는 만남파스펙트럼, $H(\omega_e)$ 는 횡요응답의 만남주파수에 대한 전달함수를 나타낸다. 식(4)를 횡요진폭(ϕ_a)과 파진폭(ζ_a)을 이용하여 고쳐 쓰면 다음과 같다.

$$S_{\phi}(\omega_e) = S_{\zeta}(\omega_e) \cdot \left(\frac{\phi_a}{\zeta_a}\right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

따라서 특정해역의 해상상태가 주어지면 그 해상상태를 나타내는 표준스펙트럼과 strip방법으로부터 계산한 전달함수를 적용함으로써, 특정해역에서의 횡요응답의 에너지스펙트럼을 구할 수 있고, 이로부터 여러 가지 운동의 통계치를 추정할 수 있다. 이것은 또한 중동요응답(pitching response)에도 그대로 적용된다.

3. 실험 방법

실선실험은 실습선으로 사용되고 있는 3척의 선박, 즉 Pusan-404(GT160), Kaya(GT1737), Saebada(GT2275)(이하 차례로 A, B, C선이라 한다)를 사용

하여 행하였으며 항해 중 종동요와 횡동요의 계측에는 참고문헌[7]의 TCM1 module를 사용하였으며, 이 계측기를 초기 선체평형상태를 잘 파악할 수 있도록 저자가 특수하게 제작한 수평안정대 위에 설치하고, 선체 중심 G점에서 상방 각각 2.0m(A선), 1.9m(B선), 1.7m(C선)에 두고 계측하였다.

각 선박의 파와의 만남각에 대한 각 항목의 측정 시간은 10분간씩, sampling 간격은 A선과 B선은 0.5sec, C선은 0.25sec로 취하고, AMP와 A/D convert를 이용하여 PC에 실시간 기록하였다.

각 선박의 제원 및 실험 해역, body plan, 실험시 해상상태, 동요기록 등은 참고문헌[8]에 나타난 것과 같다.

그리고 실험시의 각 선박의 속력은 통상의 항해 속력으로 하였으며 파랑관측은 목측으로 행하였고, 이론계산으로 역추정하여 목측에 의한 관측치의 오차를 최소화하도록 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 실선실험에 의한 응답특성

여기에 사용된 자료는 참고문헌[8]의 Table2의 실험번호 S-08(A선), S-14(B선), S-18(C선)에서 얻어진 종동요와 횡동요의 진폭으로써 비교적 해상상태가 비슷한 것이다. 그리고 파의 만남각이 선수 미선에 대칭적인 방향일 때 선박의 동요의 주기, 진폭 및 감쇠상황 등은 대개 비슷한 경향을 나타내므로7) 여기서는 한쪽의 방향, 즉 선수에서부터 45도 간격으로 선미까지 5방향에 대해서만 고찰하도록 하며, 실험에서 얻어진 응답스펙트럼은 Bartlett의 삼각윈도우를 사용하여 평활화하였다.

Fig.2는 실선실험에서 얻어진 각 선박의 파의 만남각에 따른 종동요의 응답스펙트럼을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 본 실험을 수행한 해상상태에서는 종동요 응답의 크기가 항파에서 가장 크고 다음으로 선수사파이며, 추파쪽으로 갈수록 대체로 작아지는 경향을 나타낸다. 또한 스펙트럼 형상으로부터 에너지가 분포가 넓은 주파수에 걸쳐 나타나는 광대역(wide band)스펙트럼에

가까운 것을 알 수 있다. 이는 크기가 다른 세 척의 선박에 있어서 스펙트럼의 전체 면적은 다르지만, 그 경향은 비슷하게 나타나는 것을 보여주고 있다.

Fig.3은 Fig.2와 같은 조건에서 얻어진 각 선박의 횡동요 응답의 스펙트럼이다. 이 그림에 나타낸 바와 같이 세 선박 모두 응답의 크기는 횡파에서 가장 크고, 다음으로 추사파에서 었다. 대역폭은 종동요의 응답에 비해 비교적 좁고, 파의 만남각의 변화에 따른 전체 에너지나, 스펙트럼의 peak를 나타내는 주기는 두드러진 차이가 나타나지 않음을 알 수 있다. 본 실험을 수행한 해상상태에서는 선박의 크기가 작아짐에 따라 응답의 크기가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

이상의 고찰은 특정해역을 대상으로 한 결과로서 보다 일반적인 경향을 파악하기 위해서는 더욱 더 많은 실험을 수행할 필요가 있을 것으로 보이며, 이들 실선실험 결과로부터 얻어지는 각 응답의 스펙트럼은 이론적인 해석과 함께 서로 비교·검토되어야 할 것으로 생각된다.

4.2 실선실험과 이론계산에 따른 응답특성의 비교

1) A선의 응답특성

Fig.4는 A선의 종동요의 이론계산에 의한 응답스펙트럼과 실선실험에 의한 응답스펙트럼을 각각 파의 만남각에 따라 비교한 것이다. 이론계산에 사용한 유의파고와 평균파주기는 실선실험에서 행한 관측으로부터 역 추정하여 각각 2.5m, 3.8sec로 하였다.

이들 그림에서는 항파나 선수사파에서는 이론치가 실험치 보다 다소 크게 추정되지만 응답스펙트럼의 peak가 나타나는 주기는 거의 일치하는 것을 알 수 있다. 횡파에서는 이론에 의해 추정되는 응답은 거의 무시할 수 있을 정도로 작지만, 실험치에서는 상당량의 응답이 나타남을 알 수 있다. 추사파와 추파에서는 이론에 의한 응답스펙트럼은 뚜렷하게 협대역(narrow band)을 보여 주고 있으나 실험치에서는 응답의 peak는 현격하게 낮아지면서 주파수 범위를 넓게 가져가고 있다.

이상의 결과로부터 종동요 응답의 경우 파를 선

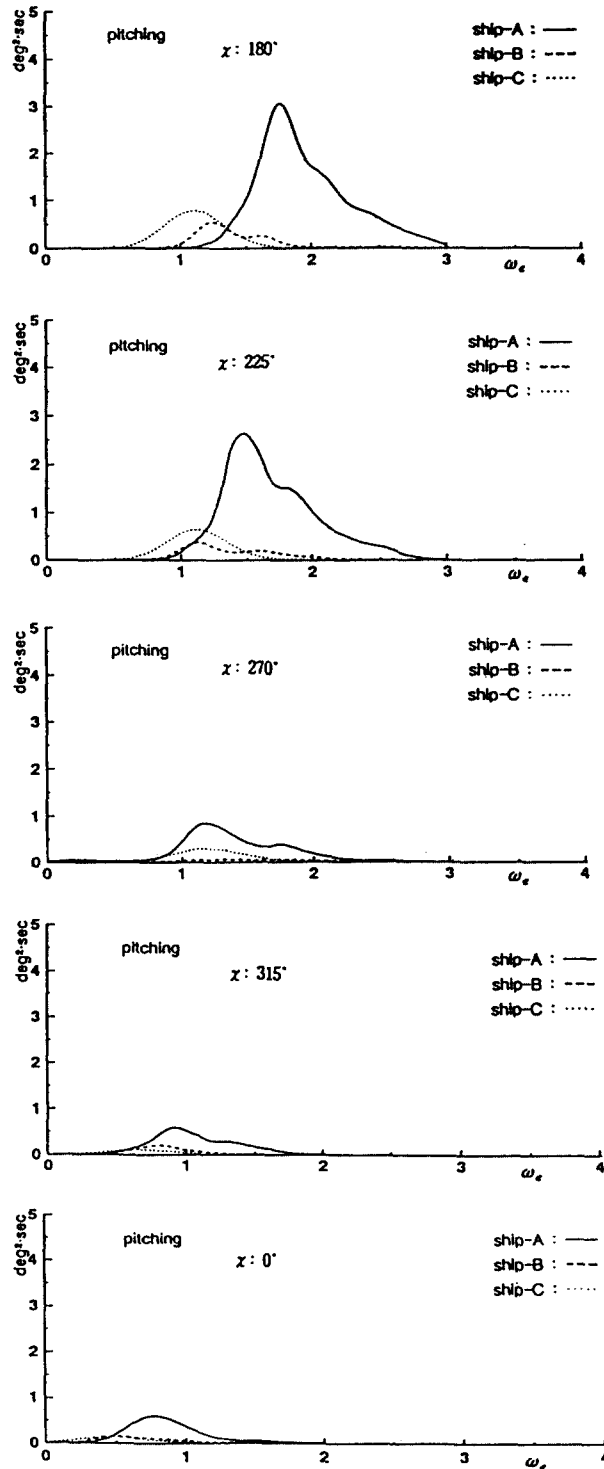


Fig. 2 Spectra of pitching motion according to encounter angle for each vessel

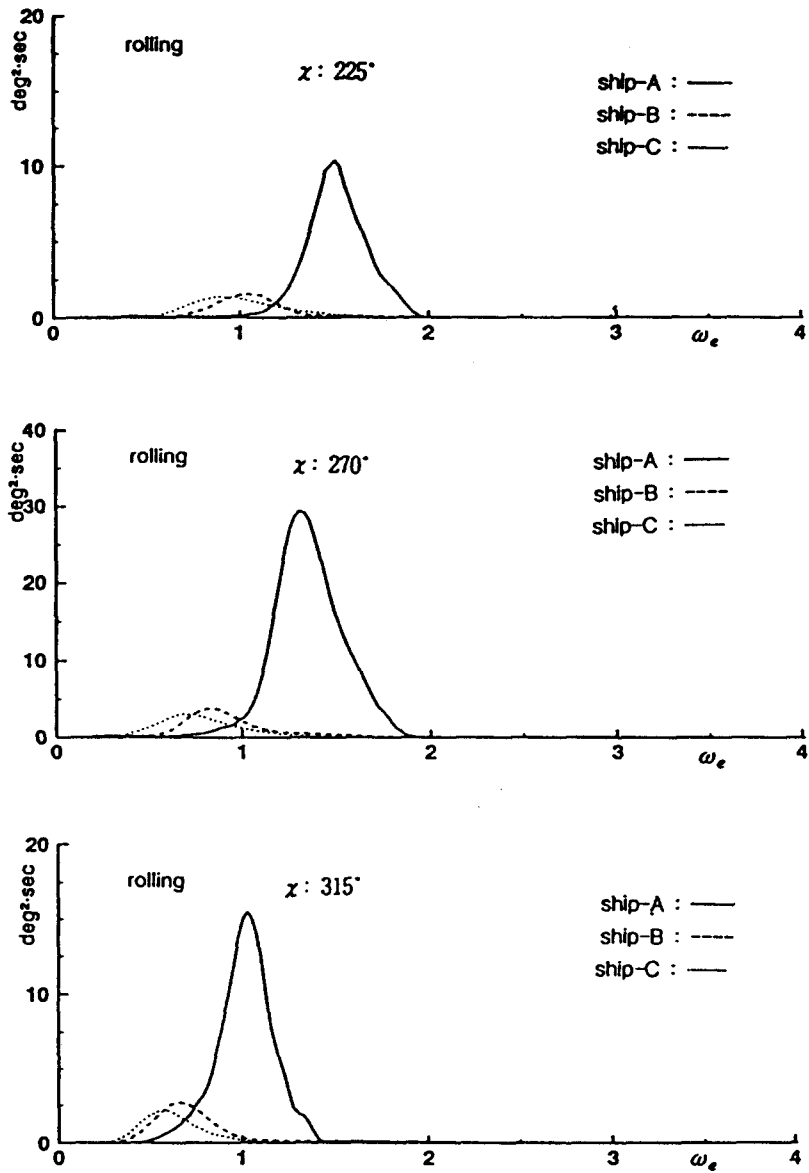


Fig. 3 Spectra of rolling motion according to encounter angle for each vessel

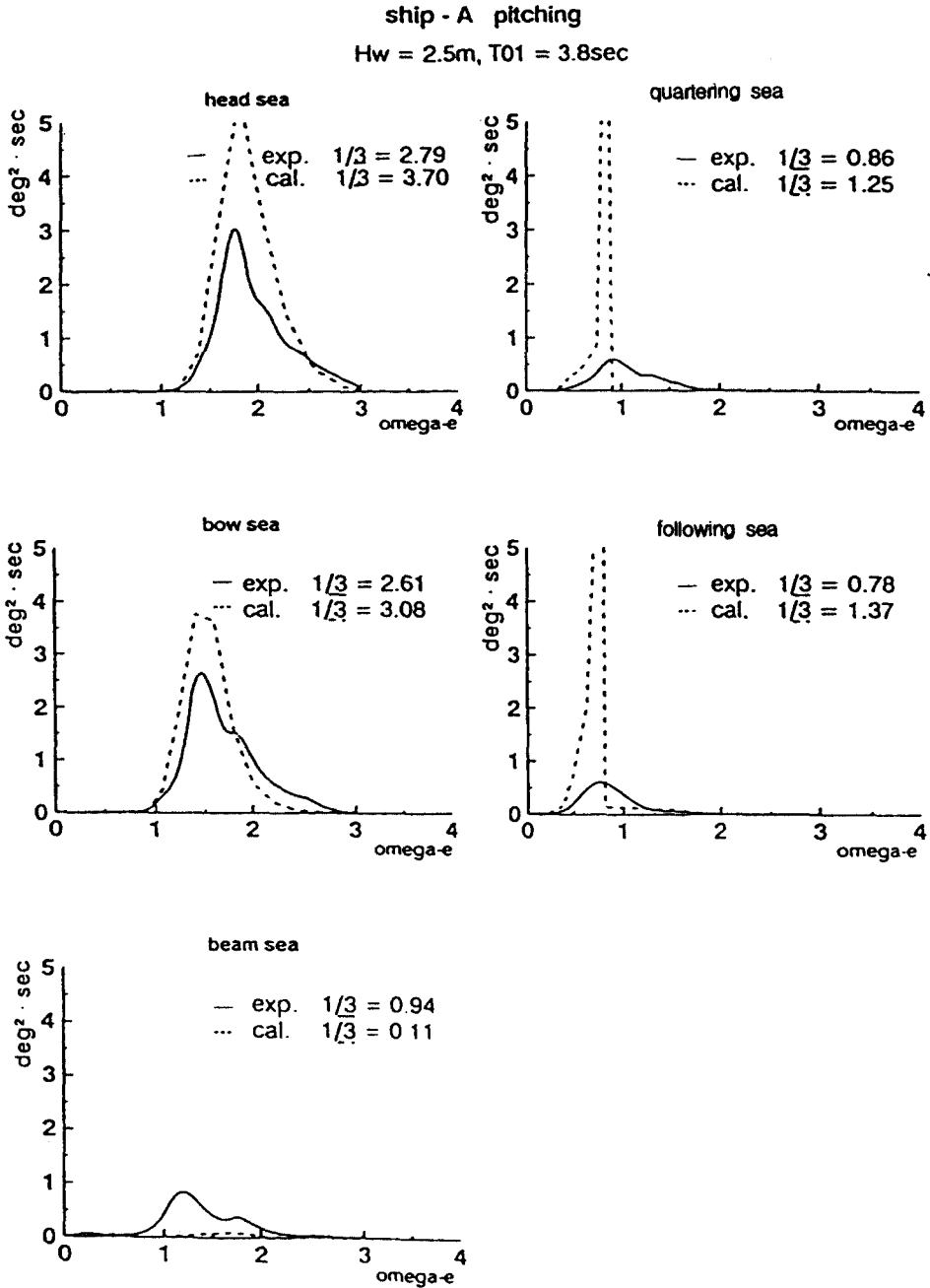


Fig. 4 The comparison of response spectra of pitching by experiment and calculation in ship-A

수미에 가까이 받을수록 이론치가 실험치에 비해 크고, 정형에서 받을 때에는 오히려 실험치가 이론치보다 큰 경향을 보이고 있다. 이것은 실험상의 파가 다방향파인데 그 원인이 있는 것으로 생각되고, 또한 각 항목의 실험 중 파와의 만남각을 오차 없이 일정하게 유지하기 어렵기 때문에 약간의 오차가 수반되는 것에 기인하는 것으로 생각된다.

Fig.5는 A선의 횡동요의 이론계산에 의한 응답스펙트럼과 실선실험에 의한 응답스펙트럼을 파와의 만남각에 따라 비교한 것이다. 항파와 추파의 경우에는 이론계산에 의한 응답이 zero가 되기 때문에 여기서는 생략하였다. 선수사파와 횡파에서는 이론치와 실험치가 비교적 잘 일치하고 있지만 횡파의 경우 peak부근에서 이론치가 다소 크게 나타나고 있다. 추사파의 경우에는 중요한 경우와 마찬가지로 응답스펙트럼의 이론치가 뚜렷한 협대역으로 나타나지만 실험치에서는 peak치가 현저히 작아지는 대신 넓은 주파수 범위에 걸쳐 응답이 나타난다.

실선실험에 의한 종동요와 횡동요의 응답을 비교해 보면 종동요의 경우에는 파와의 만남각이 선수 쪽에서 선미쪽으로 갈수록 응답이 작아지며, 횡동요의 경우에는 선수쪽에서 응답이 작고, 정형과 정형 후방에서 커진다는 것을 알 수 있다.

2) B선의 응답특성

Fig.6은 B선의 종동요의 이론계산에 의한 응답스펙트럼과 실선실험에 의한 응답스펙트럼을 각각 파의 만남각에 따라 비교한 것이다. 이론계산에 사용한 유의파고와 평균파주기는 A선과 같은 방법으로 각각 2.0m, 5.0sec로 선정하였다.

이 그림에 의하면 A선과 비교하여 전체 에너지는 작지만 이론치와 실험치는 비교적 잘 일치하고 있다. 다만 추파와 추사파의 경우 이론치가 협대역으로 나타나는 경향이 더욱 두드러지며, 횡파에 있어서도 실험치가 이론치보다 큰 경향을 보이고 있는 것은 A선과 마찬가지로 실험역의 다방향성 및

만남각의 오차에 기인하는 것으로 보인다.

Fig.7은 B선의 횡동요의 이론계산에 의한 응답스펙트럼과 실선실험에 의한 응답스펙트럼을 파와의 만남각에 따라 비교한 것이다. 여기서도 중요한 경우와 마찬가지로 A선과 비교하여 전체 에너지는 작지만 이론치와 실험치는 비교적 잘 일치하고 있다.

3) C선의 응답특성

Fig.8은 C선의 종동요의 이론계산에 의한 응답스펙트럼과 실선실험에 의한 응답스펙트럼을 각각 파의 만남각에 따라 비교한 것이다. 이론계산에 사용한 유의파고와 평균파주기는 각각 2.5m, 6.0sec로 하였다. C선의 경우 크기에 있어서 유사한 B선과 정성적 및 정량적으로 대개 비슷하게 나타난다. 횡파를 받게 될 때 이론계산에 의한 응답이 A선이나 B선에 비해 다소 크게 나타나지만, 실험치가 이론치보다 크게 나타나는 것은 같은 경향을 보이고 있다.

Fig.9는 C선의 횡동요의 이론계산에 의한 응답스펙트럼과 실선실험에 의한 응답스펙트럼을 파와의 만남각에 따라 비교한 것이다. 횡동요의 경우에도 B선과 정성적 및 정량적으로 대개 비슷하게 나타나지만, 추사파의 경우에는 응답의 peak주기에서 이론치와 실험치 사이에 다소 차이를 보이고 있다. 이는 실험역 실험시 만남각의 오차에 기인하는 것으로 추정된다.

이상의 실선실험과 이론계산에 의한 결과 선박의 크기와는 관계없이, 종동요는 파를 받는 각도가 선수쪽에서 선미쪽으로 이동함에 따라 대체적으로 응답이 작아지며, 횡동요의 경우에는 정형 후방에서 파를 받는 경우에 오히려 응답이 커지는 것을 알 수 있다. 그리고, 실선실험 결과와 이론추정치의 응답의 크기와 peak의 주기를 비교하여 본 결과 일부의 경우를 제외하고는 대체로 양자는 양호하게 일치하고 있는 것으로 생각할 수 있다. 따라서, 어선의 크기 및 선형이 바뀌더라도 strip법을 적용한 이론계산으로부터 임의 해역에 있어서의 어선의 응답 특성을 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

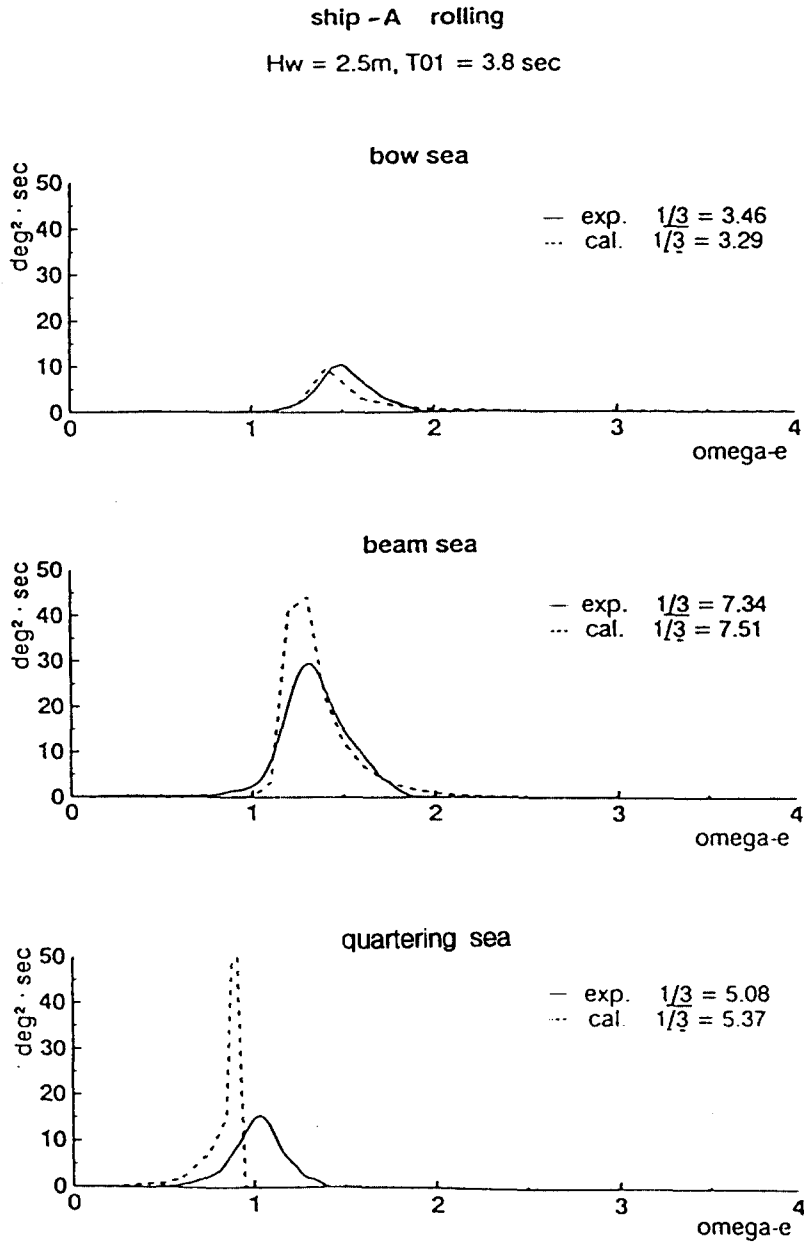


Fig. 5 The comparison of response spectra of rolling by experiment and calculation in ship-A

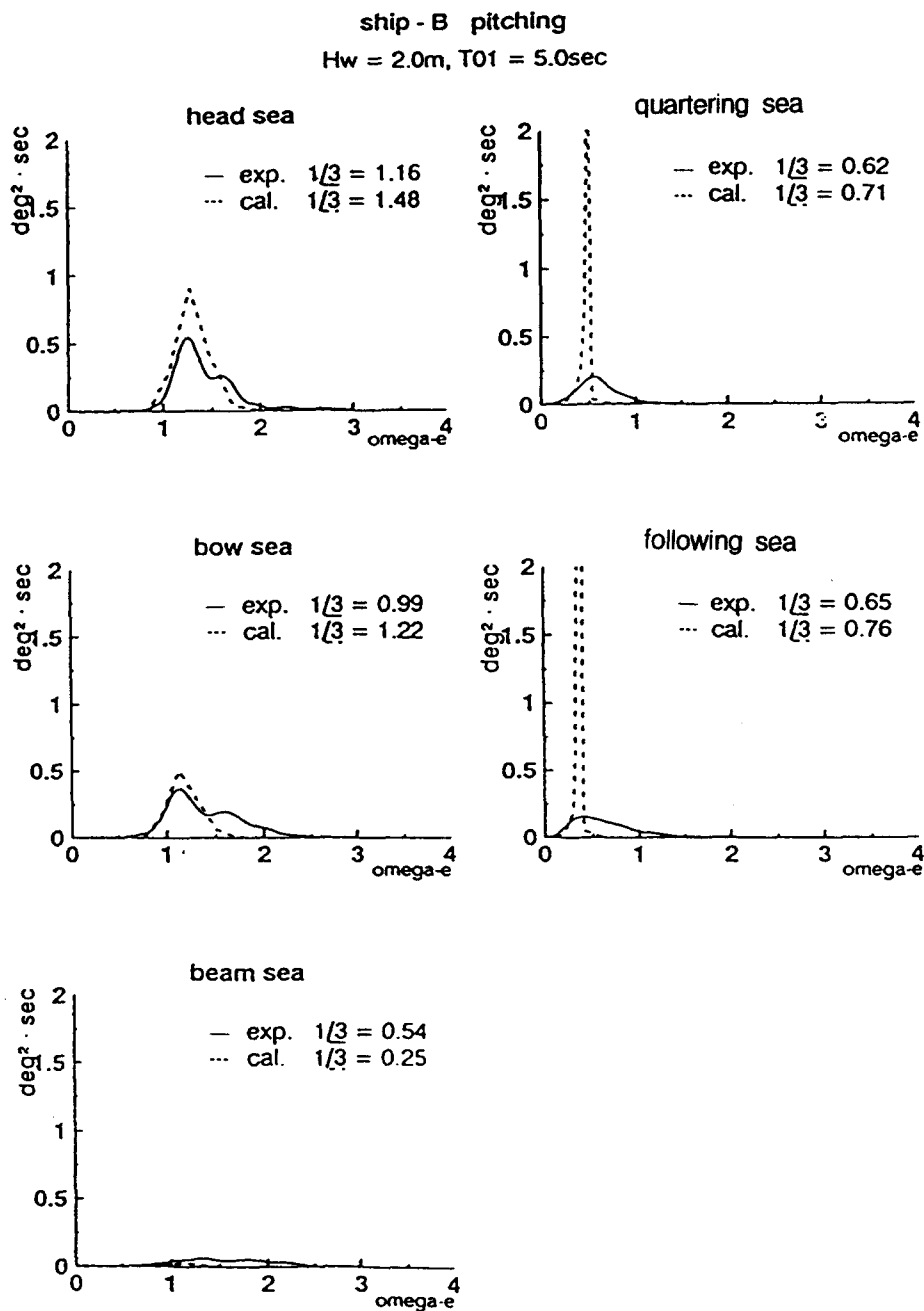


Fig. 6 The comparison of response spectra of pitching by experiment and calculation in ship-B

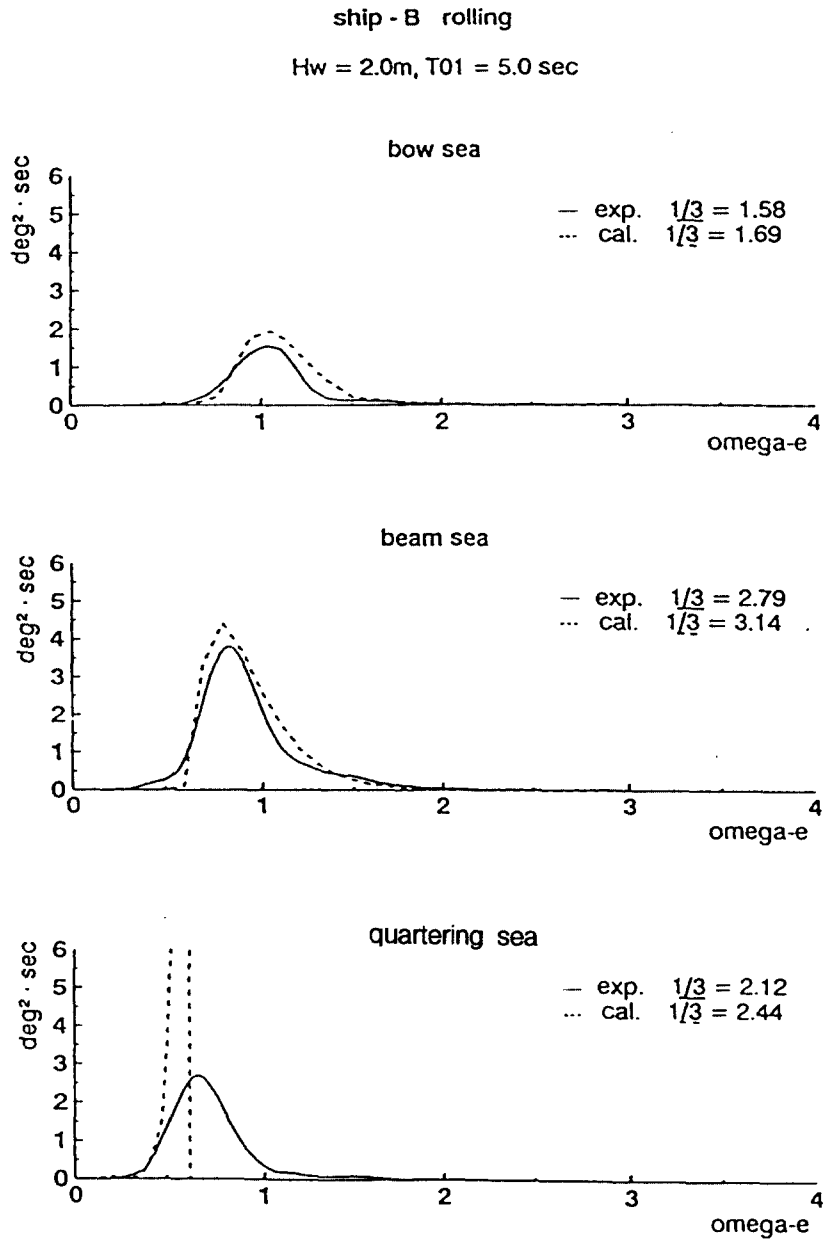


Fig. 7 The comparison of response spectra of rolling by experiment and calculation in ship-B

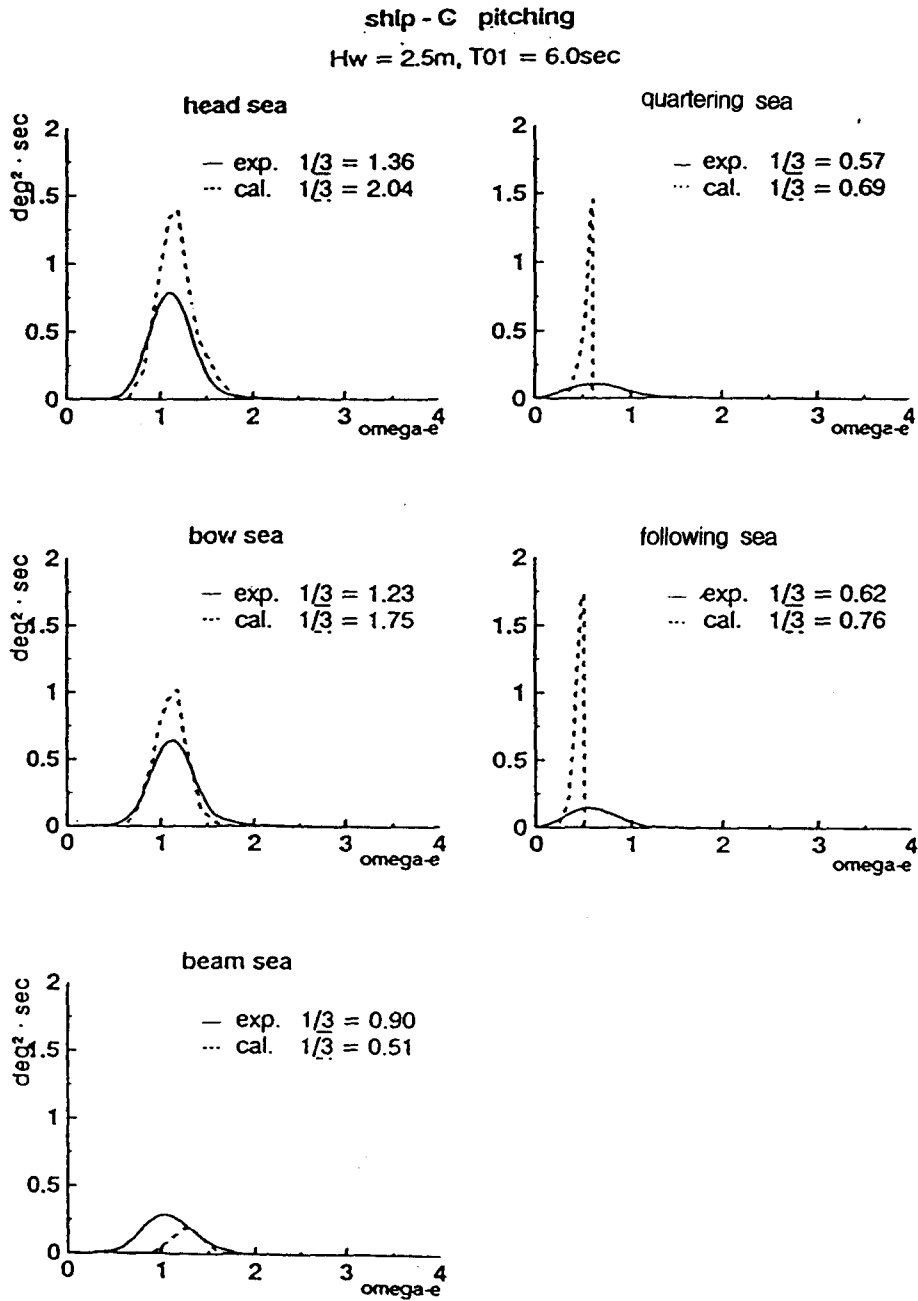


Fig. 8 The comparison of response spectra of pitching by experiment and calculation in ship-C

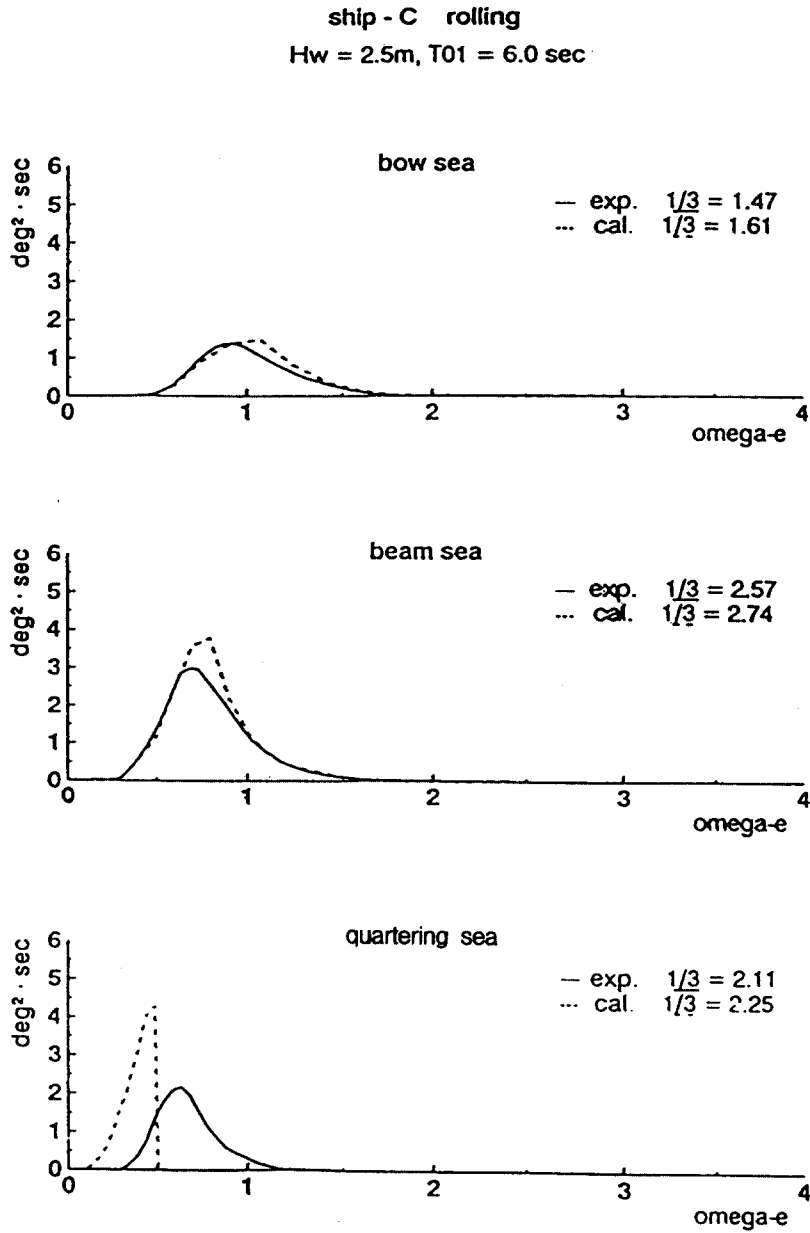


Fig. 9 The comparison of response spectra of rolling by experiment and calculation in ship-C

5. 결 론

불규칙 해역에 있어서 선미식 트롤선의 운동응답의 특성을 파악하기 위하여 3척의 실선 운동을 계측하고 이것을 통계적 방법과 이론적인 방법을 이용하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실선실험에서 종동요의 응답이 가장 큰 상대침로는 선박 크기에 관계없이 횡파, 선수사파의 순서였으며, 횡파, 추사파와 추파에서는 응답이 상대적으로 작으며, 횡동요의 응답이 가장 큰 상대침로는 횡파이고, 그 다음으로 추사파였으며, 선수사파에서는 대체로 동요가 작게 나타난다.
응답스펙트럼의 형상으로 볼 때 종동요의 응답은 대역폭이 넓으며 복수의 peak가 나타나는 경향이 있고, 횡동요의 응답은 종동요에 비해 대역폭이 좁게 나타난다.
- 2) 실선실험과 이론계산에 따른 종동요와 횡동요 응답의 크기와 peak주기를 비교해 본 결과, 일부의 경우를 제외하고는 대체로 양자는 양호하게 일치하고 있는 것으로 생각할 수 있어 이론추정치로부터 어선의 응답특성을 평가할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] 田才福造, 高木又男: “規則波中の應答理論および計算法 ‘耐航性に関するシンポジウム (第1回)”, 日本造船學會, 1969.
- [2] 高石敬史, 黒井昌明: “波浪中船體運動の實用計算法 ‘耐航性に関するシンポジウム(第2回)”, 日本造船學會, 109-133, 1977.
- [3] KORVIN-KROUKOVSKY, B. V., “Theory of Seakeeping”, SNAME, New York, 1961.
- [4] 渡邊惠弘, “船の上下動及び縦搖の理論について”, 九州大學工學集報, 31卷 1號, 1958.
- [5] 福田淳一ほか: 波浪中の船體運動と船體表面に働らく變動水壓及び横強度に関する理論計算, 船論 129, 1971.
- [6] Bhattacharyya, R. “Dynamics of Marine Vehicles”, p.129, 1978.
- [7] 姜日權·尹点東: 實船試驗에 의한 小型漁船의 動搖特性, 韓國航海學會誌, 第19號, pp.1-8, 1995.
- [8] 姜日權·尹点東·趙孝濟: 漁船의 크기변화에 따른 實船 應答特性에 관한 考察, 韓國 航海學會誌, 第20號, pp.31-42, 1996.
- [9] Price, W.G., Bishop, R. E. D., “Probabilistic Theory of Ship Dynamics”, JOHN WILEY & SONS, 1974.