

파랑이 선체주위의 유동장에 미치는 영향

임 용범^{*}, 이 승희^{*}

인하대학교 선박해양공학과

On the Effects of Incoming Waves on Flow Fields around a Ship

Yong-Bum Lim^{*}, Seung-Hee Lee^{*}

^{*}Dept. of Naval Arch. & Ocean Eng., Inha University

Abstract

Numerical computations are carried out to analyze characteristics of flow fields around an Wigley hull form which is advacing in the incoming waves. Navier-Stokes equations are solved by a finite difference method and a MAC method is used for coupling of pressure and velocity fields, and O-H grid topology is used.

요 약

파랑중을 항주하는 Wigley 선형주위의 점성유동장을 수치적으로 해석하였다. Navier-Stokes 방정식을 유한차분법을 이용하여 차분화하고 압력과 속도의 연성은 MAC방법으로 처리하였다. 격자계로는 O-H형 격자계를 사용하였으며 정수중에서 항주하는 결과를 다른 실험결과 및 계산결과와 비교하여 계산정도를 검증하였으며, 파랑이 선체주위의 유동장에 미치는 영향에 관하여 고찰하였다.

1. 서 론

선체주위의 점성유동장은 자유수면효과를 무시하더라도 비선형성이 매우 강하여 해석하기가 어려우며, 자유수면이 포함되어 있을 경우에는 자유수면의 형상은 비선형 경계조건에 의해 되므로 유동해석은 수치적으로나 물리적으로 더욱 복잡하게 된다.

이러한 문제들을 해결하기 위하여 많은 연구들이 선행되어왔다. Hino[3]는 Wigley선형과 Series 60 $C_b=0.6$ 주위의 자유수면을 포함한 점성유동장을 해석하였으며, Jeong[10]은 자유수면을 관통하는 날개단면 주위의 유동장을 해석하여 물체주위의 쇄파형상을 해석하려 하였다. 그러나 이러한 연구들은 선박이 실제로 운항할 때 선체주위의 유동장에 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 해양파의 영향을 고려하지 못하고 있으며 아직까지 해양파를 포함한 자유수면 위를 항주하는 선박주위의 유동장과 이에 따른 선박사이의 상관관계에 관한 연구는 관한 연구는 큰 진전을 보이지 못한 상태로 보인다.

본논문에서는 유한차분법(FDM)을 이용하여 정수 또는 파랑이 존재하는 자유수면위를 항주하는 선박 주위의 점성유동장 및 파형에 관하여 수치해석을 수행하였다.

계산조건으로는 $Rn=10^5$, $Fn=0.25$ 인 상태에서 항주하는 Wigley선형주위의 유동장을 해석하였으며 파랑의 형태는 Stokes 2차파형으로 가정하였다.

2. 문제의 정식화

2.1 지배방정식

유체를 3차원비정상, 비압축성이라 가정하여 지배방정식으로는 3차원 Navier-Stokes방정식

[식. 1]과 연속방정식[식. 2]을 사용하였다.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{Re} \nabla^2 u_i \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (i=1,2,3) \quad (2)$$

2.2 수치해석방법

유한차분법을 사용하여 Navier-Stokes 방정식을 차분하였다. 시간에 관해서는 전진차분법을, 공간에 관한 대류항은 2차정도의 상류차분을, 확산항은 4차정도의 중심차분을 이용하여 차분하였다. 또한 계산의 시간과 수렴도를 높이기 위하여 ADI 방식을 이용하였다.

2.3 수치격자계

선체주위의 유동장 계산에 사용된 수치격자계의 형상으로는 Fig.1과 같은 O-H형을 택하였으며 계산영역은 Fig.2에 도시하였다. 또한 정규격자계(Non-staggered Grid System)을 채택하여 속도점과 압력점이 동일한 격자점에 있도록 하였다. 계산에 사용된 격자의 수는 ξ, η, ζ 방향으로 각각 $75 \times 21 \times 21$ 이며 최소 격자간격은 각각 0.0090, 0.0008, 0.0012로 하였다.

2.3. 경계조건

2.3.1 자유수면조건

자유수면에서 점성과 표면장력을 무시한 상태에서 운동학적 조건[식. 3]과 동력학적 조건[식. 4]을 만족하도록 하였다. 다음 시간 단계에서의 자유수면의 위치는 운동학적 조건으로부터 구해지며, 새로 결정되어진 자유수면 형상에 적합하도록 매시간 단계마다 격자를 재생성했다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = W - U \frac{\partial h}{\partial x} - V \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3)$$

$$P_{Free Surface} = \frac{h_{Free Surface}}{Fn^2} \quad (4)$$

h : 자유표면의 높이

2.3.2 기타 경계조건

기타 경계조건들은 표 1에 자세히 서술하였다.

3. 계산결과 및 고찰

3.1 계산조직의 검증

선체주위의 3차원 유동장을 해석하기 전에 먼저 본 계산조직의 검증을 위한 계산을 수행하였다. 검증의 항목으로는 Stokes의 2차파형이 수치적으로 제대로 생성이 되는지를 확인하였으며 이때 생성된 파형에 의한 무한평판 주위의 유동 변화를 구하여 다른 계산과 비교, 검증하였다.

생성된 파형을 Fig.3, Fig.4에 보이고 있으며 Stokes 2차파형이 상당히 정확하게 생성됨을 보여주고 있다.

Fig.5는 생성된 Stokes 2차파형에 의한 무한히 긴 평판주위 유동장의 변화를 Choi[9]에 의한 계산결과와 비교, 검증한 것이다. 적은 격자수를 사용하였음에도 불구하고 Choi[8]의 계산결과와 정성적으로나 정량적으로 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2 3차원선체주위의 유동장 해석

이와 같은 결과를 토대로 정수 또는 파랑중을 항주하는 Wigley 선형주위의 유동장을 수치적으로 해석하였다. 수치 계산 대상은 파랑이 없는 정수중을 항주하는 선형주위의 유동장(이하 Case 1이라 지칭)과 Wave Steepness가 0.02(이하 Case 2라 지칭), 0.03(이하 Case 3이라 지칭)인 경우를 택하였다. 자세한 계산조건은 표.2에 제시하였다.

Fig.6은 Case 1에대한 결과로서 선측에서의 파고를 실험결과와 비교한 것이다. 계산과 실험결과가 정성적, 정량적으로 잘 일치하고 있으나 선미에서의 파고가 실험결과보다 낮은 이유는 수치계산에서의 Reynolds 수가 실험에서의 Reynolds 수보다 낮은 층류의 계산이므로 선미에서의 압력회복이 충분히 이루어지지 않았음에 기인한다고 할 수 있다.

Fig.7은 Case 2와 Case 3에대한 선체표면에서의 파고를 보이고 있으며 Stokes 2차파형에 의한 파고를 제외한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 선미부분을 제외하면 파정은 전체적으로 Case 1의 결과와 정성적으로 거의 비슷함을 알 수 있으나 파랑이 선체주위의 압력장에 영향을 주고 있음을 알 수 있으며 따라서 잉여저항에도 영향을 미침을 알 수 있다.

Fig.8은 Case 1에서의 압력장과 Case 2, Case 3에서의 압력에서 파형에 의한 압력 부분을 제외한 압력장을 도시한 것이다. Fig.7에서의 결과와 마찬가지로 선미부분에서의 압력이 정수중일때와 파랑중일 때 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig.9는 선체주요단면에서의 u 속도성분의 등속도선을 각각의 Case에 대하여 도시한 것이다. 파랑에 의해 선체주위의 유동장이 변화됨을 볼 수 있으며 특히 선미부분에서의 Wake의 변화는 추진성능에도 많은 영향을 줄 것임을 예측할 수 있다.

Fig.10은 각각의 Case에서의 자유표면의 형상을 3차원적으로 도시한 것이다.

4. 결 론

(1) 유한차분법을 이용하여 파랑이 있는 상태에서의 선체주위의 유동장을 해석하기 위한 수치 계산조직을 개발하였다

(2) 파랑이 없는 상태에서의 파형과 파랑이 있는 경우의 유동장이 특히 선미부분에서 상당히 큰 차이를 보여주고 있음을 확인할 수 있었으며 이것으로 선박의 추진성능에도 영향을 줄 수 있음을 예측할 수 있었다.

(3) 파랑이 있는 경우와 없는 경우의 선체 표면 압력분포는 많은 차이가 있음을 알 수가 있었으며 이에 따라 선박의 저항특성에도 영향이 있을 것임을 예측할 수 있었다.

(4) 실제 해양파를 표현하기 위해서는 격자의 간격이 상당히 조밀해야하나 이를 보완하려면 상당히 많은 격자점을 사용하여야 하므로 보다 효율적인 계산법의 도입이 필요할 것이다.

(5) 본 연구는 층류유동에 대한 계산이므로 난류모형을 도입하여 보다 실제에 가까운 유동장을 해석할 수 있도록 개선할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] Hino, T., "Computation of Free Surface Flow Around an Advancing Ship by the Navier-Stokes Equations", 5th ICNSH, Hiroshima, Japan 1989.

[2] Kang, K.J., Park, Y.J. and Cho, K.J., "Study on the Differencing Scheme For Convection Terms of the 2-Dimensional Navier-Stokes Equation", Proc., SNAK Spring Meeting 1991.

[3] Kang, K.J., "Numerical Simulations of the Flows around Ships in a Generalized Coordinates System", Ph.D. Thesis, Inha Univ., Kores, 1991

[4] Lee, S.-H. & Kang K.J., "A Numerical Computation of the Flow Field Around a Series 60(Cb=0.8)", Proceedings, Korea-Japan Joint Workshop on Hydrodynamics in Ship Design, 1991

[5] Thompson, J.f., Warsi, Z.U.A and Mastin, C.W., "Numerical Grid Generation", North-Holland, 1985

[6] Ed., Larsson, L., Patel, V.C. & Dyne, G., "Ship Viscous Flow", Proc. 1990 SSPA-CTH-IIHR Workshop, FLOWTECH LAB, Sweden, 1991

[7] Kwag, S.H., Mori, K. & Shin, M., "Numerical Computation of 3-D Free-Surface Flows by N-S Solver and Detection of Sub-breaking", JSNA, Vol. 166, 1989

[8] Uh-Cheul Jeong, Yasuaki Doi & Kazu-hiro Mori, "Numerical Investigation on the Turbulent and Vortical Flows beneath the Free Surface around Struts", ONR, 1996

[9] Jung-Eun Choi, "Role of Free-Surface Boundary Condition and Nonlinearities in Wave/Boundary-Layer and Wake Interaction", Univ. of Iowa, 1993

표. 1 Various Boundary Condition of Computational Fields

계산 조건	
측면 및 바닥 경계조건	Dirichret
유입경계조건	Dirichret
중앙면경계조건	Symetric Condition
유출경계조건	Damping Zone

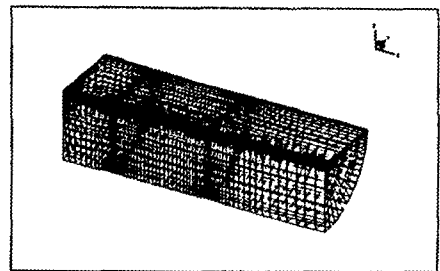


Fig. 1 Grid System

표. 2 Computational Condition

계산조건	CASE 1	CASE2	CASE3
Amplitude	0.0	0.02	0.03
파장	10		
Fn	0.25		
Rn	1.0×10^5		
격자개의 수	75 * 21 * 21		
총계산시간	7.0 (무차원시간 : L 기준)		

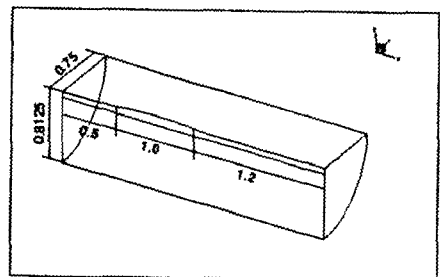
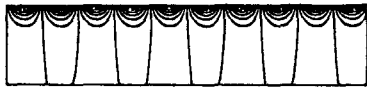


Fig. 2 Phisical Domain



WAVE HEIGHT (AMP=0.02)

Fig. 3 Generation of Stokes 2nd Waves



W CONTOURS



PRESSURE CONTOURS

Fig. 4 Various Contours of Stokes 2nd Waves

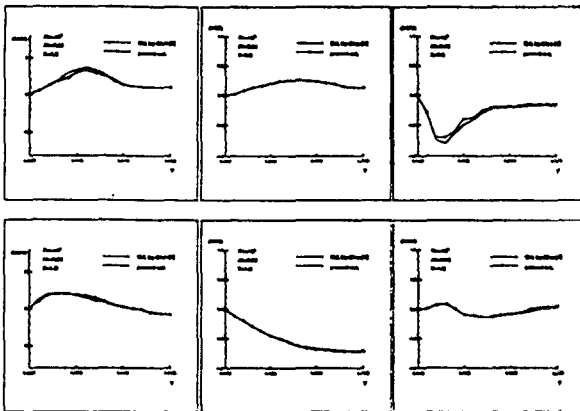


Fig. 5 Comparison of Free-Surface & Wave Interaction with Choi's Calculation

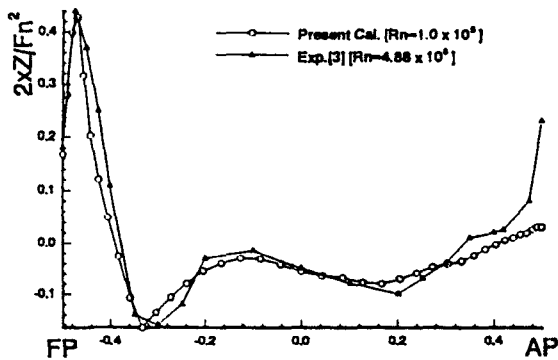


Fig. 6 Wave Profile of Case 1

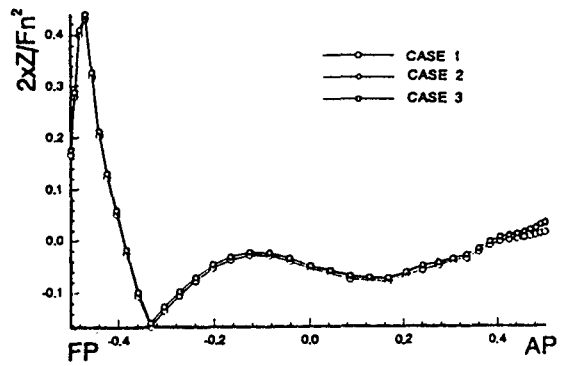


Fig. 7 Wave Profile of Case 2, 3

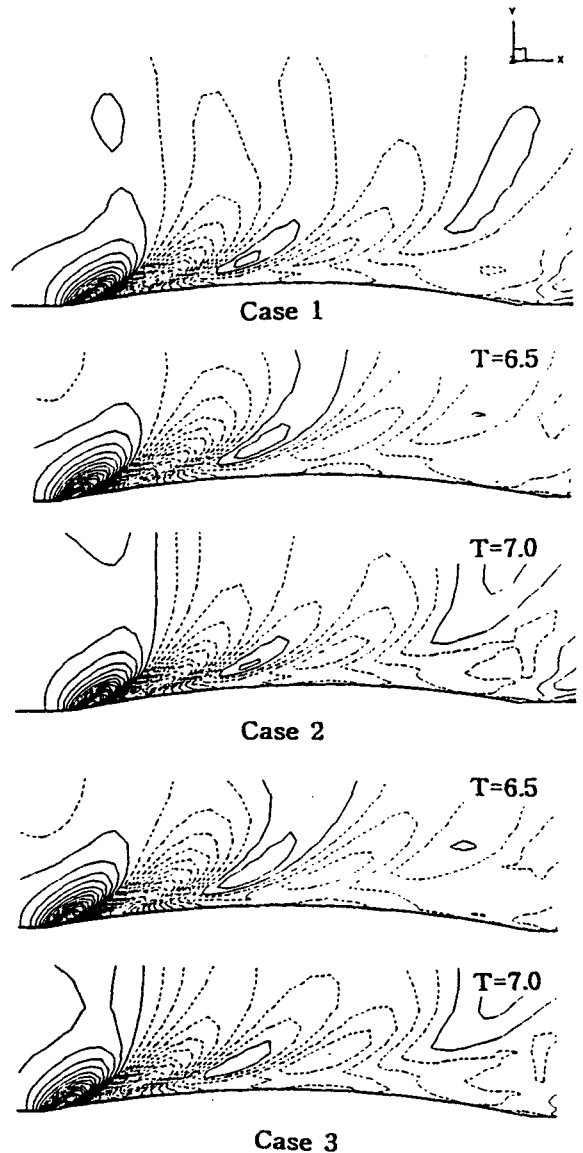


Fig. 8 Pressure Contours at Free-Surface (Interval=0.01, Negative pressure=dot)

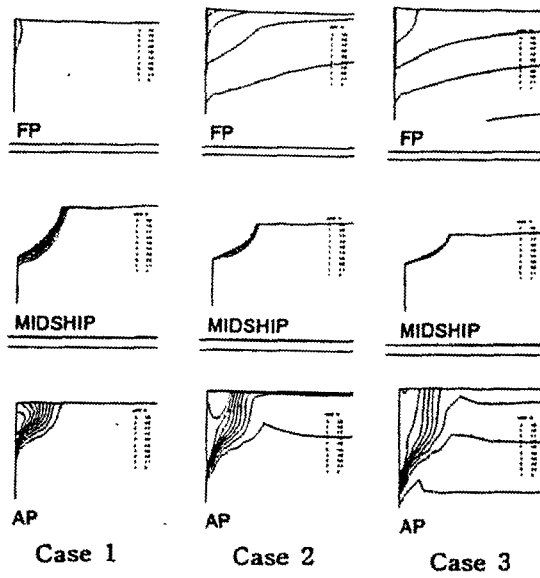


Fig. 9 U-Velocity Contours at Various Cross Sections

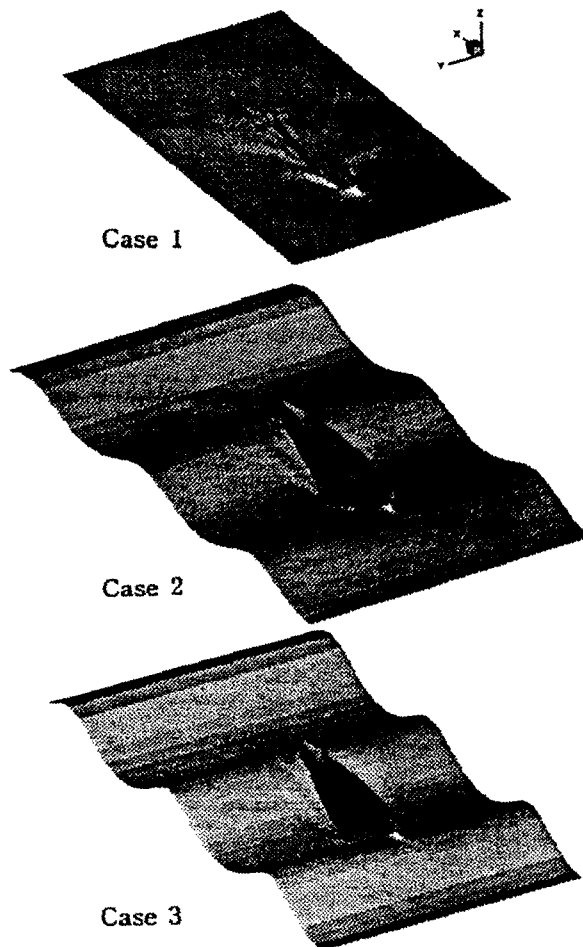


Fig. 10 Perspective Views of Free-Surface Elevation