
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 34 卷 第 2 號 1997 年 5 月
 Journal of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 34, No. 2, May 1997

Rankine 소오스 패널법을 이용한 소수선면 쌍동선의 조파저항계산

전호환*, 이명휘**, 주영렬**, 장학수**

Calculation of the Wave Resistance of SWATH Ships using Rankine Source Panel Methods

by

H. H. Chun*, M. H. Lee**, Y. R. Joo** and H. S. Jang**

요 약

본 논문에서는 Rankine Source 분포법에 의해 SWATH선의 조파저항 계산을 시도하였다. 자유 표면조건은 이중모형근사형(Dawson형)의 자유표면조건과 free stream에 의한 근사형(Kelvin형)을 사용하고, 각각의 경우에 유한 차분법이 아닌 해석적인 방법을 사용하여 수치해석을 하였다. 위 두 가지 패널방법에 의한 수치계산결과, 얇은배 이론과 수정 세장체이론에 의한 계산결과 및 시험 값과의 비교를 통해서 각 방법의 특성을 논하였다. 저항시험은 단독형 스트러트와 탠덤(tandem) 스트러트 SWATH선에 대해서 하였으며, 두 선체간의 거리변화에 따른 결과도 포함시켰다. 개발된 프로그램의 검증을 위해서 Wigley 단독선형 및 쌍동선형에 대해서 계산을 수행하여 발표된 시험 결과와 비교하였다. Wigley 단독선형, 쌍동선형 및 SWATH 선형에 대해서 계산한 조파저항 값과 시험값, 관측한 파형과 계산한 파형을 비교하였다.

Abstract

This paper is concerned with the calculation of the wave resistance for SWATH ships based on a low order Rankine source panel method. Two types of free surface boundary conditions, Dawson type (double model approximation) and Kelvin type (free stream approximation) are used. For the free surface boundary calculation, an analytic differentiation is employed instead of implementing a finite difference scheme. Then, the radiation condition is

발 표 : 1995년도 대한조선학회 추계연구발표회('95. 11. 9)

접수일자 : 1996년 2월 3일, 재접수일자 : 1997년 4월 9일

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과 (기계기술연구소)

** 정회원, 삼성중공업(주)

satisfied by, so called, the panel shift method. The numerical results using the above two methods are compared with those using the thin ship/modified slender body approximation and also with the experimental results. The SWATH models considered are a single strut SWATH and a twin strut SWATH together with the variations of two demihull separation distance. In order to prove the validity of the program developed, the numerical calculations for a Wigley mono hull and Wigley twin hulls are compared with the available, experimental results

1. 서 론

일반 단동선과는 달리 소수선면 쌍동선(SWA-TH ship)은 잠수동체 및 스트러트를 구성요소로 하는 쌍동선으로서, 따라서 유체동력학적 성능이 이들 구성 요소의 형상 및 상대위치에 아주 민감하다. 그 중에서도 저항 성능은 더욱 민감하여 여러 요소 변화에 따른 저항 성능 변화에 대한 연구를 시험적으로 모두 포함하기는 시간과 경제적인 측면에서 불리한 점을 가지고 있다. 따라서 초기설계 단계에서는 확립된 이론을 사용하여 우수한 컴퓨터 프로그램으로 체계적인 연구를 하여 최적 절충(near optimum) 선형들을 몇가지 찾아내어 모델 시험으로 이를 확인하는 것이 바람직하다.

소수선면 쌍동선은 수면 하에서 여러 구성부를 가지고 있기 때문에 파의 상호간섭효과가 복잡하여 동유체력의 계산이 다소 어려울 때가 있다. 하지만 구성부의 세장비가 아주 작기 때문에 선형화된 얇은배 이론(thin ship theory)과 세장체 이론(slender body approximation) 혹은 수정세장체 이론을 사용한 조파저항 계산결과가 시험결과와 잘 일치되는 것으로 알려져 있다. 위의 이론들은 비원형(non-circular)의 단면형상을 가지는 잠수동체에 대해서는 근사적인 해석법을 사용하기 때문에 패널법에 의한 엄밀한 해석법의 개발 필요성이 대두되고 있다. 지금까지 패널법을 이용하여 SWATH의 조파저항 계산결과가 발표되고 있으나 시험결과와 다소 맞지 않는 결과를 보여주고 있다.

SWATH선에 대한 조파저항 계산은 크게 두

가지로 분류될 수 있다. 하나는 얇은배 이론과 세장체이론을 같이 사용하는 것이고 다른 하나는 패널 방법을 사용하는 것이다. 전자의 경우로서 스트러트에 얇은배 이론과 잠수동체에 세장체이론을 사용하여 Chapman[1]이 1972년에 최초로 SWATH선형의 조파저항 계산 결과를 발표하였다. 그 후 Lin and Day[2]가 1974년에 같은 이론을 적용하고 스트러트의 캠버(camber)영향을 고려하였으며 Salvesen et al[3]이 1985년에 최적 SWATH선형 도출 기법을 발표하였다. Boo[4]는 1986년에 타원형 잠수동체로의 확장을 시도하였으며 Chun [5]은 1988년에 잠수동체에 수정된 세장체이론을 도입하여 비원형 잠수동체를 가진 SWATH 선형으로 확장하여 시험결과와 비교하였다. Bai et al [6]은 1988년에 doublet 분포로 횡유동을 고려하였으나 SWATH선의 두 선체에 의한 횡유동(cross flow) 영향은 무시할 수 있다고 보고하였다. 최근 1994년, Min et al[7]은 잠수동체에 대한 적분을 보다 엄밀하게 계산할 수 있는 기법을 발표하였다.

한편 패널법을 사용한 조파저항계산은 1988년 Betram et al[8]이 Rankine 소오스 분포로 이중(double)모형 자유표면 경계조건을 사용하여 계산을 시도하였다. 또한 1988년 Baar et al[9]과 Kang et al[10], 1989년 Kim et al[11]에 의해서 Havelock source분포에 의해 조파저항을 계산하였다.

본 논문에서는 Rankine 소오스 분포로 이중모형 자유수면 조건과 Kelvin형 자유수면 조건을 사용하여 SWATH선의 조파저항 계산을 시도하였으며 유한 차분법을 사용하지 않고 해석적인 방법으로 계산을 수행하였다. 방사조건은 Jensen[13]이

제시한 패널이동(panel shift)방법에 의해 만족되도록 하였다. 패널이동방법이란 자유표면의 첫번째 패널들의 소오스 강도를 0으로두어 소오스의 상류에서는 파가 생기지 않고 하류로만 파가 전파되어 자동적으로 방사조건을 만족시키는 것이다. 즉 소오스를 분포한 패널이 자유표면의 첫 제어점(control point)으로부터 첫 패널길이의 1/2만큼 뒤로 이동하게되는 것이다. 위 두가지 패널방법에 의한 계산결과를 Wigley 단독 및 쌍동선형에 적용하여 시험결과와 비교하고, SWATH선에는 위 두가지 방법과 얇은배 이론과 수정세장체 이론에 의한 계산결과를 시험결과와 비교하여 각 방법의 특성을 논의하였다. 또한 파형해석을 통하여 파의 간섭효과를 규명하도록 노력하였다.

2. 경계치 문제의 정식화

2.1 기본가정 및 경계조건

좌표계는 물체 위에 고정되어 있는 우수 직교 좌표계를 택하였다. 좌표계의 중심을 선체의 중앙에 잡고 선미방향을 양의 X축 방향, Z=0를 정지수면으로 잡고 연직상방을 양의 Z축으로 설정하였다.

비점성, 비압축성, 비회전성의 유체장속을 유입 유동속도 U_∞ 로 진행하는 선체 주위의 정상 유동해석을 수행하기 위하여 표면장력, 물보라(spray) 및 쇄파(wave breaking)의 영향을 무시하였다. 따라서 유체의 유동을 나타내는 전속도 포텐셜 ϕ 는 다음과 같다.

$$\phi = \Phi + \varphi \quad (1)$$

여기서 Φ 는 basic flow로써 이중모형(double body)해 혹은 free stream의 포텐셜 Ux 로 둘 수 있다. 또한 φ 는 섭동(perturbed) 포텐셜이다. 전체 속도 포텐셜 ϕ 는 전 유체영역에서 연속방정식이 성립하므로 지배방정식은 Laplace방정식으로 된다.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (2)$$

위 방정식을 만족하는 경계조건은 다음과 같다.

(1) 자유표면 경계조건

- Kinematic 자유표면 경계조건

$$\nabla \phi \cdot \nabla \zeta - \phi_z = 0 \quad \text{on } z = \zeta \quad (3)$$

- Dynamic 자유표면 경계조건

$$\zeta = \frac{1}{2g} [U_\infty^2 - (\nabla \phi)^2] \quad (4)$$

- 위 식 (3)과 (4)를 결합하면 아래의 결합한 자유표면 경계조건을 얻는다.

$$\frac{1}{2} \nabla \phi \cdot \nabla (\nabla \phi)^2 + g\phi_z = 0 \quad \text{on } z = \zeta \quad (5)$$

(2) 물체표면에서의 경계조건

$$\vec{n} \cdot \nabla \phi = 0 \quad \text{on body surface} \quad (6)$$

여기서, \vec{n} 은 물체표면에서 유체영역으로 향하는 단위 법선벡터이다.

(3) 무한수심 조건

$$\phi_z = 0 \quad \text{on } z = -\infty \quad (7)$$

(4) 방사조건 : 하류(downstream)로만 파 전달

2.2 선형화된 자유표면 경계조건

위 식 (5)는 비선형 방정식이며 또한 파형 ζ 역시 모르는 상태이기 때문에 식(5)를 만족하는 엄밀한 해를 구하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 선형화하는 작업이 필요한데, 여기서는 이중모형해에 의한 선형화와 free stream(U_∞)에 대한 선형화를 시도하였다.

(1) 이중모형(Dawson형)

식(5)를 $z=0$ 에서 적용하고 식(1)에서 $\Phi \gg \varphi$ 라 가정하여 Φ 에 대해서 선형화하면,

$$\frac{1}{2} \nabla \phi \cdot \nabla [(\nabla \phi)^2 + 2\nabla \phi \cdot \nabla \varphi] +$$

$$\frac{1}{2} \nabla \varphi \cdot \nabla (\nabla \phi)^2 + g(\phi + \varphi)_z = 0$$

on $z=0$ (8)

또한 식 (4)로 부터 파고 ζ 는 다음과 같이 구한다.

$$\zeta = \frac{1}{2g} [U_\infty^2 - [(\nabla \phi)^2 + 2\nabla \phi \cdot \nabla \varphi + (\nabla \varphi)^2]]$$

on $z=0$ (9)

여기서 $(\nabla \varphi)^2$ 항을 무시하면 다음 식으로 된다.

$$\zeta = \frac{1}{2g} [U_\infty^2 - [(\nabla \phi)^2 + 2\nabla \phi \cdot \nabla \varphi]]$$

on $z=0$ (10)

(2) Kelvin형

식(8)에서 $\phi = U_\infty x$ 로 하면 Kelvin형의 자유 표면 조건이 된다.

$$\phi_{xx} + K_o \phi_z = 0 \quad \text{on } z=0 \quad (11)$$

여기서 $K_o = \frac{g}{U_\infty^2}$ 는 파수(wave number)이다.

또, 식 (9)로 부터

$$\zeta = -\frac{1}{g} [U_\infty \varphi_x + (\nabla \varphi)^2] \quad \text{on } z=0 \quad (12)$$

여기서 $(\nabla \varphi)^2$ 항을 무시하면 다음 식으로 된다.

$$\zeta = -\frac{U_\infty}{g} \varphi_x \quad \text{on } z=0 \quad (13)$$

2.3 조파저항 계산

베르누이 방정식으로 부터 압력계수는 다음식에 의해 구한다.

$$C_p = \frac{p}{0.5\rho U_\infty^2} = 1 - \frac{1}{U_\infty^2} (\nabla \phi)^2$$

$$= 1 - \frac{1}{U_\infty^2} [(\nabla \phi)^2 + (\nabla \varphi)^2 + 2\nabla \phi \cdot \nabla \varphi] \quad (14)$$

여기서 $(\nabla \varphi)^2$ 항을 무시하면

$$C_p = 1 - \frac{1}{U_\infty^2} [(\nabla \phi)^2 + 2\nabla \phi \cdot \nabla \varphi] \quad (15)$$

또, $\phi = U_\infty x$ 를 사용하면

$$C_p = 1 - \frac{1}{U_\infty^2} [U_\infty^2 + 2U_\infty \varphi_x + (\nabla \varphi)^2] \quad (16)$$

여기서 $(\nabla \varphi)^2$ 항을 무시하면

$$C_p = 1 - \frac{1}{U_\infty^2} [U_\infty^2 + 2U_\infty \varphi_x] \quad (17)$$

로 된다. 조파저항계수는 압력 계수 C_p 로 부터 다음과 같이 구해진다.

$$C_x = -\frac{\int C_p n_x ds}{S} \quad (18)$$

여기서 S 는 선체 침수 표면적이고 n_x 는 단위 법선 벡터의 x 성분이다.

3. 수치계산 결과 및 토론

개발된 프로그램의 검증을 위해서 발표된 계산 결과와 시험자료가 많이 있는 Wigley 선형에 대해서 계산을 수행해 보았다. Fig.1과 Fig.2는 패널 수 변화에 따른(Table 1 참조) 조파저항계수 값의 변화를 보여주고 있으며 패널수가 증가함에 따라 C_w 값이 수렴함을 알 수 있다. 그림에서 보여주는 계산 값의 자유표면 영역은 선체길이의 반으로 무차원화 했을 때 선수미 방향으로 -1.5에서 2.0까지, 횡방향으로는 0.72까지로 하였다. 자유표면에서의 패널 배치는 종방향과 횡방향에 대해 등간격으로 분할하여 직각격자형이 되도록 하였다. 등간격을 사용하지 않고 선체주위에서는 많이 분할하는 것으로 계산하여 보았으나 값의 차이는 거의

없었다. 또한 자유표면의 영역을 더 확장하여도 C_w 값의 변화는 거의 없음을 알 수 있었다.

Fig.1과 Fig.2는 각각 이중모형과 Kelvin형의 자유표면조건을 사용한 결과인데 알려진 바와 같이 이중모형으로 계산한 C_w 값이 Kelvin형으로 계산한 C_w 의 값보다 큼을 알 수 있다. Fig.3과 Fig.4는 이중모형과 Kelvin형 각각에 대해서 2.3절에서 언급한 비선형항을 포함한 압력식을 사용하여 계산된 C_w 의 값을 보여주고 있는데 예상대로 모두 일치된 값을 주고 있음을 알 수 있다.

Fig.5 - Fig.7은 Wigley 쌍동선형의 경우에 대해서 계산한 결과이며 두 선체 사이의 거리(b)와 선체길이(L)의 비, 즉 $b/L = 0.3, 0.4, \text{ 및 } 0.5$ 인 경우이다. 시험결과는 Insel et al[12]에 의해서 발표된 파형 분석에 의한 값이다. 각각의 경우에 대해서 이중모형과 Kelvin형에 대해서 계산하였으며 또한 압력계산의 비선형항을 포함시킨 결과를 동시에 도시하였다. 앞에서 설명한 Wigley 단독선형에서와 같이 두 압력식을 사용한 결과가 비슷하였으며 또한 이중모형에 의해서 계산한 C_w 의 값이 Kelvin형에 의해 계산한 값보다 큼을 알 수 있다. 그러나 고속으로 갈수록 두 값이 서로 비슷해짐을 알 수 있다. Fig.8은 계산에 수행된 Wigley 쌍동선형의 패널배치를 보여준다. Fig.5 - Fig.7로부터 b/L 이 증가할수록 측정된 C_w 의 값이 다소 감소함을 알 수 있고 이는 계산결과에서도 같은 경향을 보여주고 있다. 따라서 본 논문에서 개발된 프로그램의 계산결과가 타당함을 알 수 있다.

SWATH 선형에 대한 계산은 단독 스트러트를 가지는 SWATH 선과 2개의 스트러트(tandem strut)를 가지는 SWATH 선에 대해서 계산을 수행하였다. SWATH선의 제원은 Table 2에 보였으며 하나의 홀수로 고정하고, 두 선체간의 거리를 변화시켰다. 두 SWATH선에 대한 자세한 제원과 시험결과는 참고문헌 [5]에 실려있다. Fig. 9와 Fig. 10은 단독 스트러트형인 SWATH3와 탠덤 스트러트형인 SWATH1의 패널 배치를 보여주고 있다.

Fig.11과 Fig.12는 SWATH1-C1과 SWATH3-C3에 대해서 계산한 C_w 값과 측정된 잉여저항계

수(C_r)를 보여주고 있으며, 계산한 값에는 압력계산의 비선형항을 포함한 경우도 도시하였다. 그림에서 보여주듯이 두 SWATH 선형 모두 선형항만을 고려하여 계산한 경우 앞에서 보여준 Wigley 선형과는 달리, Kelvin형에 의해 계산한 값이 이중모형에 의해 계산한 값보다 전속도 영역에서 큰 값을 주고 있다. 그러나 비선형항을 포함할 경우 Kelvin형과 이중모형에 의해 계산한 C_w 값이 모두 비슷함을 알 수 있다. 이러한 현상은 Fig.13과 Fig.14에 보인바와 같이 탠덤 스트러트 SWATH 선형에서도 나타남을 알 수 있다.

비선형항을 포함하여 계산한 C_w 값과 얇은배 이론과 수정 세장체 이론을 사용한 Chun의 방법 [5] (이하 Chun의 방법으로 표기)에 의해 계산한 C_w 값을 4가지 선형에 대해서 각각 Fig.15 - Fig.18에 보였다. C_w 값의 큰 peak 값을 주는 $Fn = 0.3$ 부근을 제외하고는 3가지 방법에 의해 계산한 값이 거의 비슷함을 알 수 있다.

Fig.19부터 Fig.22까지는 Chun의 방법에 의해 4가지 SWATH 선형에 대해 계산된 C_w 값과 측정된 C_r 값을 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 Chun의 방법은 각 구성부의 총 조파저항에 기여하는 양을 알 수 있기 때문에 SWATH선의 선형변화에 따른 저항변화를 쉽게 파악할 수 있다. 예로서 $Fn = 0.3$ 부근의 큰 peak 값은 파 간섭효과에 의해 나타나며, Fig.21 및 Fig.22에서 보여주는 탠덤 스트러트의 $Fn = 0.3$ 에서 큰 peak 값은 단독 스트러트에 비해서 보다 더 불리한 간섭효과에 의해 기인된 것임을 알 수 있다. 이러한 파 간섭효과는 파형 분석에 의해 더욱더 자세하게 이해할 수 있다고 본다.

Fig.23은 $Fn = 0.326$ 에서 SWATH1-C2의 Kelvin형에 의해 계산한 파형을 그린 것으로써 같은 속도에서 사진으로 보는 파형(Fig. 24)과 비슷함을 알 수 있다. Fig.25와 Fig.26은 단독 스트러트 형인 SWATH3-C3와 탠덤 스트러트 형인 SWATH1-C8에 대한 4가지 속도에서 파형의 변화를 보여주고 있다. 두 선체간의 거리는 두 선형 모두 동일하다(Table 2 참조). 두 가지 다른 SWATH 선형에 대한 파형의 차이점을 쉽게 이해

할 수 있으며, 앞에서 언급한 $F_n = 0.326$ 에서 탠덤 스트러트의 큰 C_w 값은 두 선체와 4개의 스트러트 사이의 상호 간섭으로 생긴 중앙부에서 큰 파형 생성으로 기인됨을 알 수 있다.

Fig.27과 Fig.28은 SWATH3와 SWATH1이 하나의 선체가 전진할 때의 파형을 보여주고 있는데 Fig.25 및 Fig.26과 비교해보면 두 선체 사이의 파 간섭이 존재하지 않음을 알 수 있다. 또한 mono-hull인 경우 Kelvin 파 시스템이 뚜렷하게 생성됨을 알 수 있으나, 쌍동선으로 항주할 경우는 그렇지 않음을 알 수 있다.

4. 결론

1. 3가지 방법에 의한 조파저항 계산결과가 비슷하여 Rankine 소스 분포에 의한 조파저항 계산법을 확립하였고, 이중모형 자유표면 경계조건을 사용할 경우 선형화된 압력식과 비선형 포텐셜을 포함한 압력식을 사용하여 계산한 조파저항값의 차이가 거의 없었다.

2. Kelvin형 자유표면 조건을 사용할 경우 두 가지 다른 압력식에 의해 계산한 조파저항 값이 다소 차이가 있었으며, 비선형 속도 포텐셜을 포함한 압력식을 사용하여 계산한 조파저항값이 이중모형 자유표면 경계조건을 사용하여 계산한 조파저항값과 비슷하였다. 또한, 이들은 얇은배 이론과 수정세장체 이론을 사용하여 계산한 값과 비슷하였다.

3. Wigley 단독선형과 Wigley 쌍동선의 경우 위의 결과와는 달리 두압력 식을 사용하여 계산한 조파저항 값의 차이가 거의 없으며 이중모형에 의해 계산한 조파저항 값이 Kelvin형에 의해 계산한 조파저항 값보다 다소 큰 값을 보였다.

4. 본 연구결과에 따르면 원형단면의 잠수동체를 가지는 SWATH선의 경우 계산시간이 많이 소요되는 패널법의 사용없이 얇은배 이론과 수정세장체 이론을 사용하는 것이 많은 장점을 가지고

있다. 큰 장점은 계산시간의 단축과 각 구성부의 조파저항 기여도를 파악할 수 있어서 설계에 쉽게 적용할 수 있다는 것이다.

5. 따라서 비원형(non-circular) SWATH선에 대한 패널법의 검증이 필요하다고 본다.

참 고 문 헌

- [1] Chapman R.B., "Hydrodynamic Darg of Semi-Submerged Ships", Trans of the SNAME, Journal of Basic Engineering, Vol. 94, Dec., 1972
- [2] Lin W.C. and Day W.G. Jr., "The Still Water Resistance and Propulsion Characteristics of Small-Waterplane Area Twin-Hulled(SWATH) Ships, AIAA/SNAME Advanced Marine Vehicles Conference, AIAA Paper No. 74-325, California, Feb. 1974
- [3] Salvesen N., von Kerczek C.H., et al., "Hydro-Numeric Design of SWATH Ships", Trans. of SNAME, Vol. 93, 1985
- [4] Boo S.Y., "Numerical Computation of Wave Resistance for SWATH Ship in Calm Water", 서울대학교 조선공학과 석사학위 논문, 1986
- [5] Chun H.H., " Theoretical and Experimental Studies on the Resistance of SWATH Ships", Ph. D Thesis, The University of Glasgow, U.K., 1988
- [6] Bai K.J., et al, "The Cross Flow Effect on the Force and Moment Acting on a SWATH Ship", Proc. of 17th Symposium on Naval Hydrodynamics, 1988
- [7] Min K.S. and Chun H.H., "Design of a High Speed 300 Passenger SWATH Ship(Part I)", Proc. of 5th Int. Marine Design Conference, Delft, Netherlands, 1994
- [8] Bertram V. and Jensen G., "A Practical Method for Wave Resisance Prediction for SWATH Ships", Proc. of Int. Conference on High Performance Vehicles, Shanghai, China, 1988
- [9] Baar J.J.M. and Prince W.G., "Developments in the Calculation of the Wavemaking Resistance of Ships", Proc. R. Soc. Lond. A416, 1988

[10] Kang K.J. and Park Y.J., "Development of the Resistance and Propulsive Coefficients Calculation Program for a SWATH Ship", 과학기술처 연구보고서 UCE403 - 1276.D, 1988

[11] Kim S.E. and Kim B.K., "Numerical Calculation of Neumann-Kelvin Problem for a SWATH Ship", 1989 발표지 미상

[12] Insel M. et al., "An Investigation into the Resistance Componets of High Speed Displacement Catamarans", Trans. of RINA, Vol. 134, 1992

[13] Jenson G., Mi Z.X. and Soding H., " Rankine Source Methods for Numerical Soutions of the Steady Wave Resistance Problem", Proc. of 16th Symposium on Naval Hydrodynamics, Berkely, USA, 1986

Table 1 Panel number of Wigley hull and free surface(half plane only)

	Hull	Free Surface	Total
WP1	32×6	50×8	592
WP2	32×6	56×8	640
WP3	32×6	56×12	672
WP4	40×6	75×8	840

Table 2 Dimension of SWATH ship (unit. m) Body Length : 1.50m

condition	SWATHB (single strut)		SWATHI (tandem strut)		
	C1	C3	C2	C5	C8
draft	0.1784	0.1784	0.1784	0.1784	0.1784
Spacing	0.575	0.715	0.427	0.575	0.715

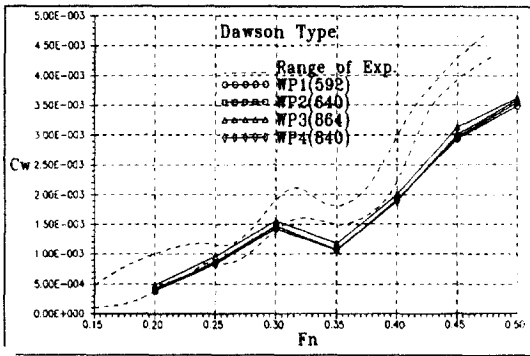


Fig. 1 Cw variations of Wigley monohull with panel number

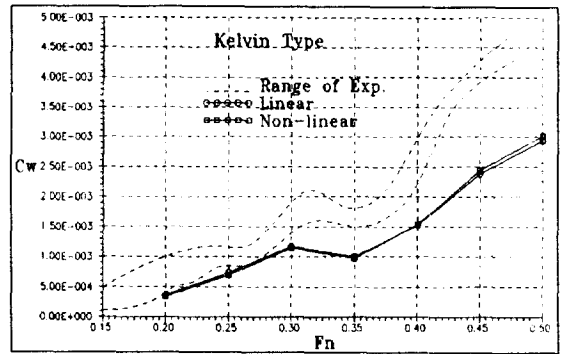


Fig. 4 Comparison of Cw calculated by two different pressure formulae for Wigley monohull

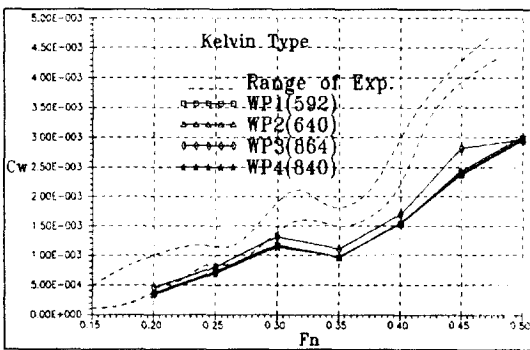


Fig. 2 Cw variations of Wigley monohull with panel number

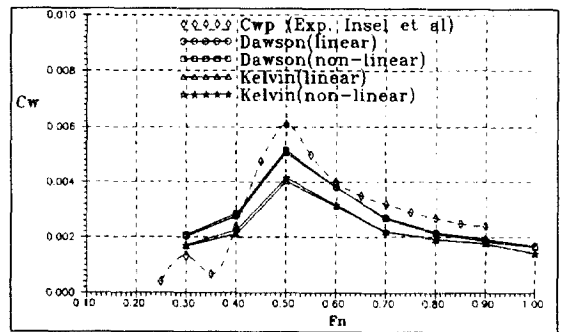


Fig. 5 Comparison of Cw calculated by various methods for Wigley catamaran ($b/L = 0.3$)

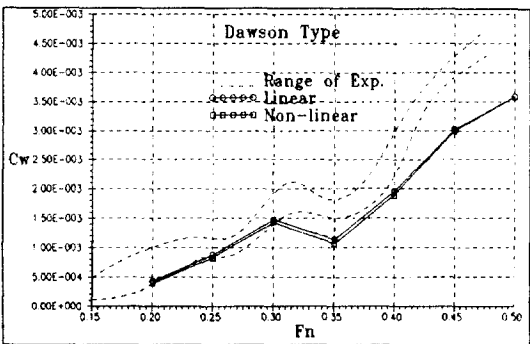


Fig. 3 Comparison of Cw calculated by two different pressure formulae for Wigley monohull

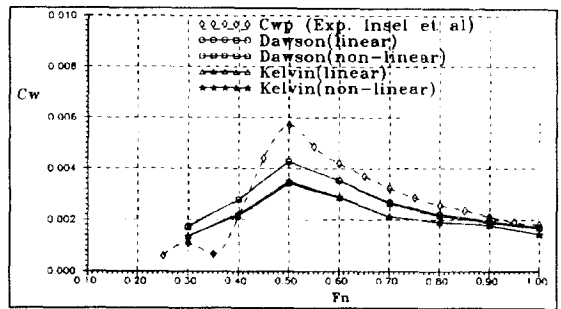


Fig. 6 Comparison of Cw calculated by various methods for Wigley catamaran ($b/L = 0.4$)

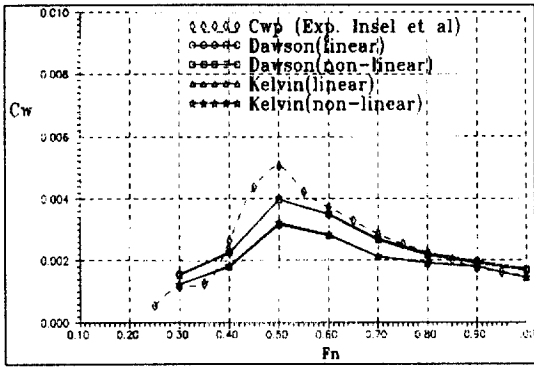


Fig.7 Comparison of C_w calculated by various methods for Wigley catamaran ($b/L = 0.5$)

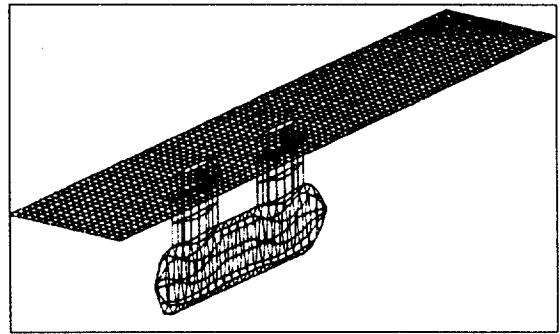


Fig.10 Panel arrangement for SWATH1

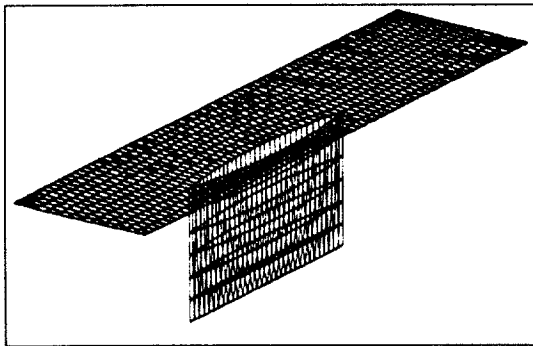


Fig.8 Panel arrangement for Wigley catamaran

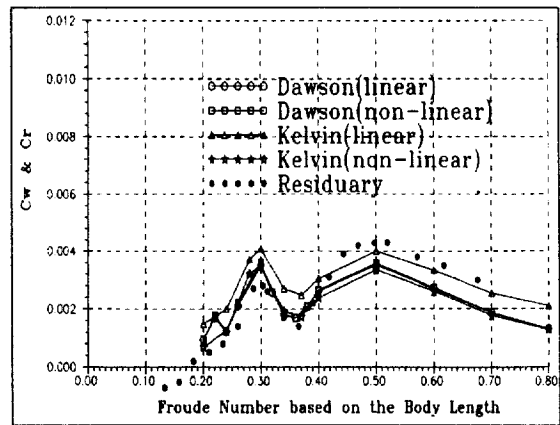


Fig.11 Comparison of C_w for SWATH3-Ci

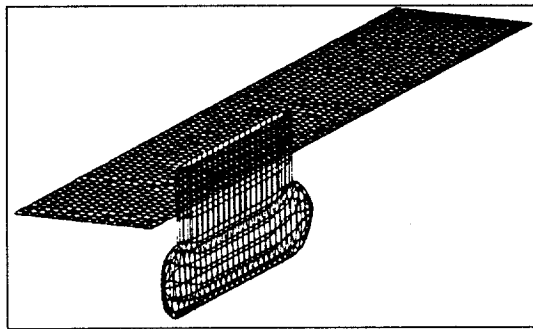


Fig.9 Panel arrangement for SWATH3

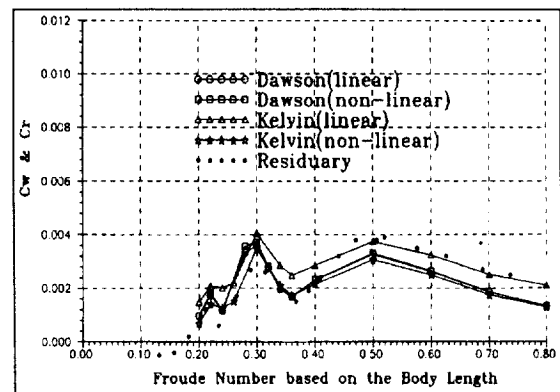


Fig.12 Comparison of C_w for SWATH3-C3

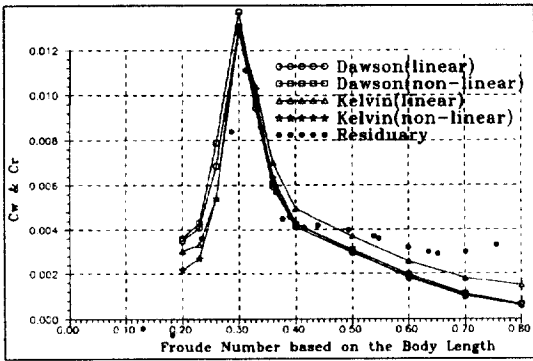


Fig. 13 Comparison of C_w for SWATH1-C5

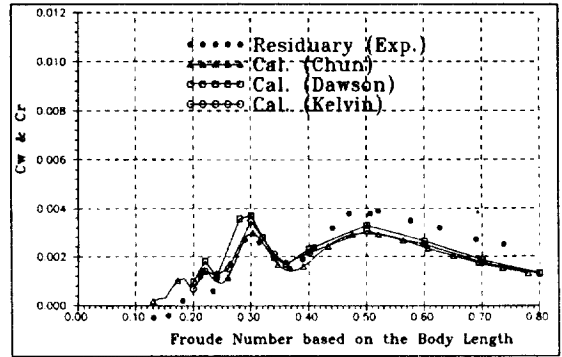


Fig. 16 Comparison of C_w for SWATH3-C3

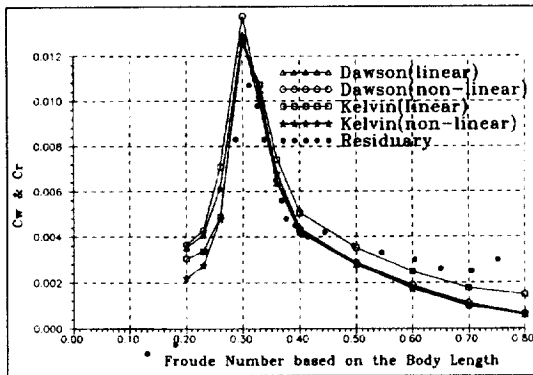


Fig. 14 Comparison of C_w for SWATH1-C8

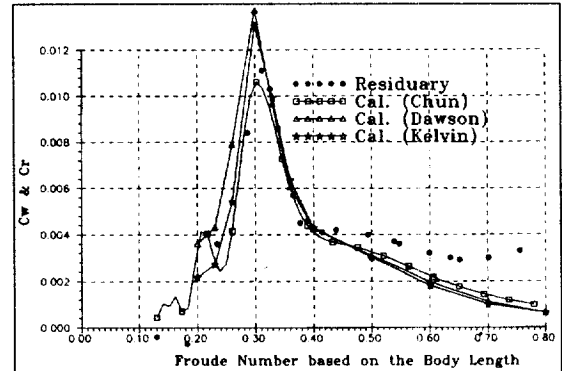


Fig. 17 Comparison of C_w for SWATH1-C5

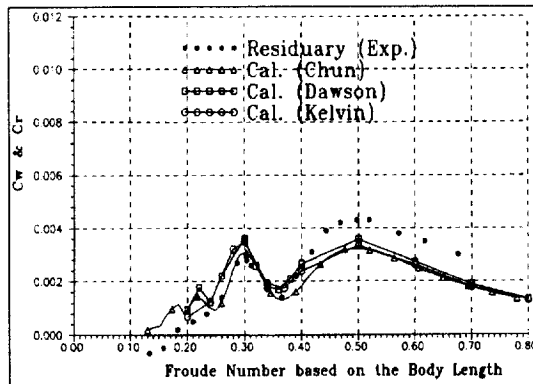


Fig. 15 Comparison of C_w for SWATH3-C1

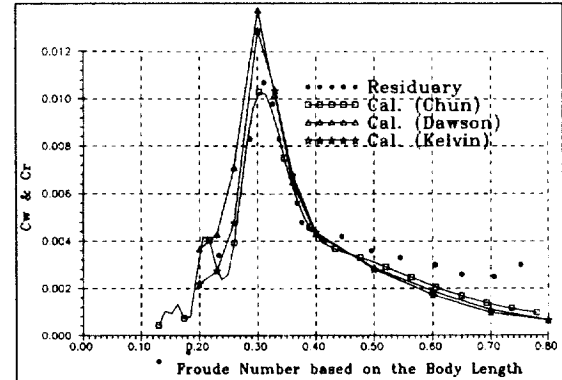


Fig. 18 Comparison of C_w for SWATH1-C8

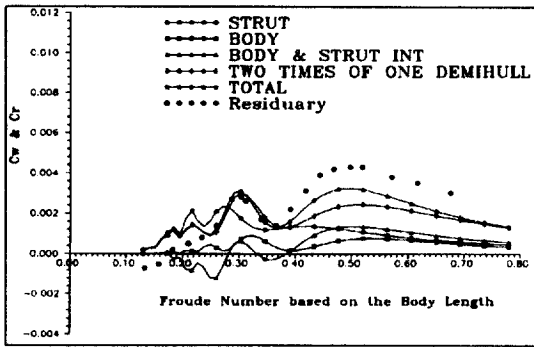


Fig.19 Total C_w together with each component contribution for SWATH3-C1

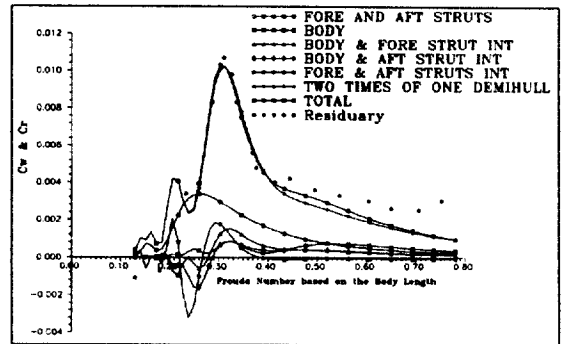


Fig.22 Total C_w together with each component contribution for SWATH1-C8

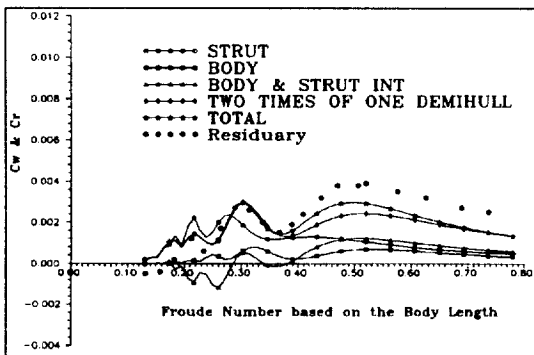


Fig.20 Total C_w together with each component contribution for SWATH3-C3



Fig.23 Wave pattern calculated at $Fn=0.326$ for SWATH1-C2

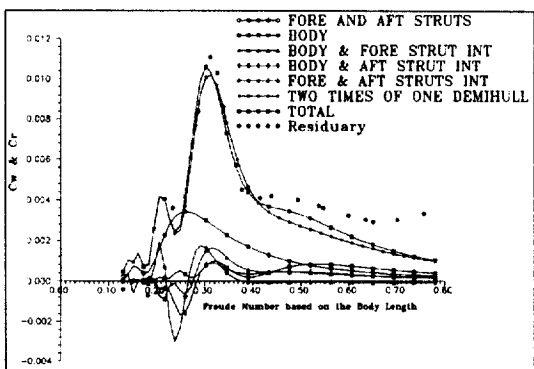


Fig.21 Total C_w together with each component contribution for SWATH1-C5

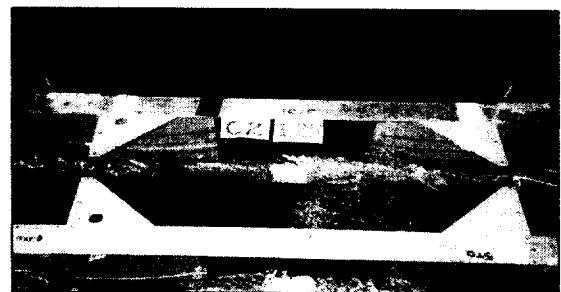
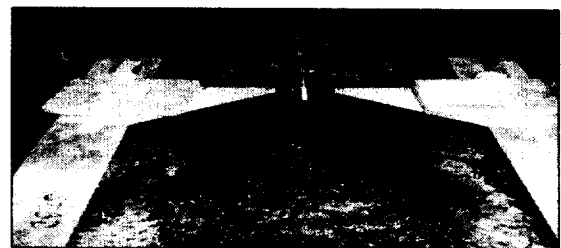


Fig.24 Wave pattern photo for SWATH1-C2 at $Fn=0.326$

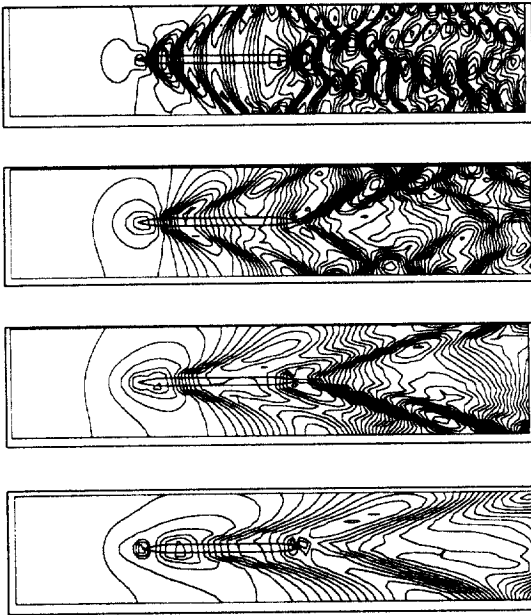


Fig.25 Wave pattern calculated for SWATH3-C3 ($F_n=0.2, 0.326, 0.5, 0.756$ from above)

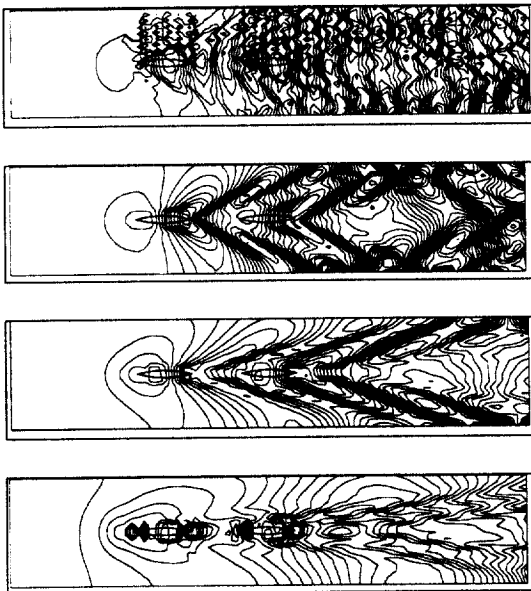


Fig.26 Wave pattern calculated for SWATH1-C8 ($F_n=0.2, 0.326, 0.5, 0.756$ from above)

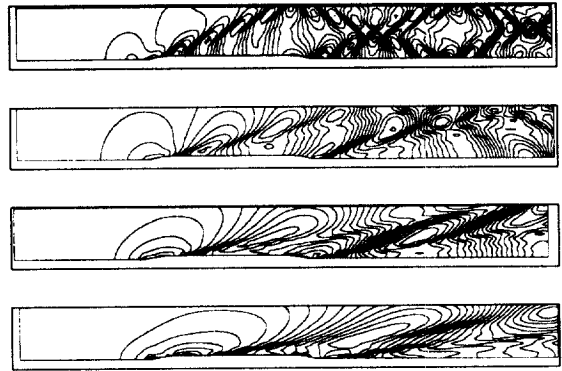


Fig.27 Wave pattern calculated for SWATH3-C3 ($F_n=0.2, 0.326, 0.5, 0.756$ from above)

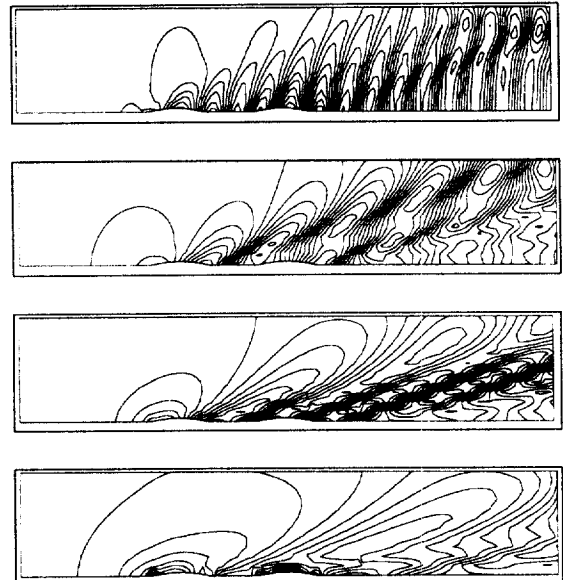


Fig.28 Wave pattern calculated for SWATH1-C8 ($F_n=0.2, 0.326, 0.5, 0.756$ from above)