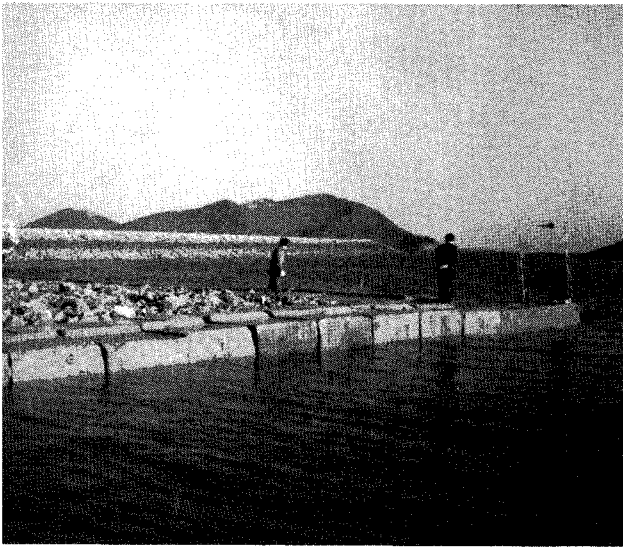


海岸構造物 주변에서의

波浪에 의한 沿岸流數値解析

劉 東 勳 <美國리버플大學校 土木工學科 助教授>



I. 서 론

파랑은 연안에 접근하여 쇠파되는 곳에서나 해안 구조물 주변에서 큰 에너지차를 보이며, 이때 발생하는 에너지차 또는 잉여응력(剩餘應力)의 공간변화에 의하여 연안류(沿岸流)를 생성한다.

이렇게 하여 생성된 연안류는 즉시 해저면마찰력(海底面摩擦力)과 난류확산 등으로 조정되며, 또한 해수면의 승강(昇降)으로 재조정된다.

따라서 파랑에 의한 연안류를 올바로 수치해석하기 위하여는 파랑과 해류에 관한 수치(數值)모델 뿐만 아니라 파랑(波浪)과 연안류의 합성에 의한 마찰력과 쇠파(碎波)에 의한 연안류의 혼합작용에 대한 정확한 해석이 뒷받침되어야 한다.

본고는 반사파의 영향이 심한 지역에서의 파랑분포를 해석하기 위한 파랑수치 모델을 소개하며, 이 밖에 마찰 및 확산 등을 고려하기 위한 계수치(係數值), 그리고 잉여응력(剩餘應力) 및 수면차(水面差) 등에 관한 항을 포함한 연안류 주모델에 관하여 기술한다.

II. 파랑모델

파랑은 연안에 접근하면서, 굴절(屈折), 회절(廻折), 천수(淺水) 및 반사(反射)되며 또한 마찰 등으

로 인하여 에너지가 감소된다.

컴퓨터 기술이 미흡했던 과거에는 이러한 제한상을 분리하여 해석한 후 종합하는 과정을 거쳤으나 이제는 모든 현상을 동시에 종합적으로 해석할 수 있게 되었다.

모든 유체역학(流體力學)의 기본적인 연속방정식과 운동량방정식을 수직적분하여 얻어진 식을 이용하여 파랑변이를 해석하는데 연안류와의 합성을 고려하기 위하여 좌표변환하였다(1). 지수부호를 이용하여 고정좌표에서의 지배식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \left(1 + \frac{K_i U_i}{\sigma_0}\right) \frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial x_i} (n R_i) + F_{Ri} R_i = 0 \dots\dots(1)$$

$$\frac{\partial R_i}{\partial t} + \left(1 + \frac{K_i U_i}{\sigma_0}\right) C^2 \frac{\partial \zeta}{\partial x_i} = 0 \dots\dots(2)$$

여기서, $\zeta = n/\sigma_0$, n 은 파랑의 해수위, σ_0 는 이동좌표에서의 파랑주파수, K 는 파랑수, U 는 연안류의 유속(流速), C 는 파속(波速), n 은 군속도(群速度)의 파속에 대한 비, $R = n/K$, F_{Ri} 은 R 에 관련된 파랑의 마찰계수, $i=1, 2$. 상기식(上記式)에서 둘째항 중 괄호안에 있는 항은 파랑변이에 있어 연안류와의 합성효과를 나타낸 것이다.

상기 수직적분식(水深積分式)을 Leap-frog 또는 ADI와 같은 유한차분법으로 풀면 시시각각으로 변하는 파랑의 해수위와 수직적분유속을 얻는데, 일반적인 파랑특성치(波浪特性值)를 얻기 위하여는 각계수를 일주기당평균(一週期當平均)하여 값을 구한다. 마찰계수 F_{Ri} 은 연안류와 합성을 고려하여 산정하였으며(1), σ_0 은 다음의 Doppler관계식으로 부터 구하여진다.

$$\sigma = \sigma_0 + K_i U_i \dots\dots(3)$$

σ 는 고정좌표에서의 파랑주파수이다.

III. 연안류모델

연안류의 직접적인 발생원은 파랑운동에 의한 잉여응력의 공간변화율이며, 확산 및 마찰력 등이 매우 복잡한 양상을 띄고 작용한다. 따라서 조류와 같은 일방향 흐름모델에 이러한 제한상을 적절히 해석할 수 있는 부수모델이 필요한데, 그 기본식은 다

음과 같다(2).

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (du_i) = 0 \dots\dots(4)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho d} \frac{\partial S_{ij}}{\partial x_j} + g \frac{\partial \mu}{\partial x_i} + \frac{1}{d} F_{ui} U_i = \frac{\partial}{\partial x_j} \nu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \dots\dots(5)$$

여기서 μ 는 평균해수위, d 는 총수심, g 는 중력가속도, F_{ui} 는 U 에 관련된 해류의 마찰계수, ν 는 난류 확산계수, ρ 는 해심의 밀도, S_{ij} 는 잉여응력이며 본 파랑모델에 쓰인 계수를 이용하여 다음과 같이 얻어진다(2).

$$S_{ij} = \rho g \{ n K^2 \langle R_i R_j \rangle + (n - \frac{1}{2}) \sigma_0^2 \langle \zeta^2 \rangle \delta_{ij} \} \dots\dots(6)$$

여기서 $\langle \rangle$ 는 일파랑주기평균(一波浪週期平均)을 나타내는 약호이며, $i=j$ 일 때 $\delta_{ij}=1$, $i \neq j$ 일 때 $\delta_{ij}=0$ 이다.

연안류의 마찰계수 F_{ui} 도 파랑과의 합성을 고려하여 산정하였으며(2), 확산계수 ν 의 산정을 위하여는 난류(亂流)에너지보존식을 이용하여 난류에너지 자체의 이동을 고려하였다(3).

상기식은 양해법(陽解法)의 하나인 ADE 방법으로 수치해석하였으며, 모든 초기치(初期值)는 동결(凍結)되었다고 보았다. 본 연안류모델은 파랑모델을 일주기(一週期)동안 작동한 후 매 주기마다 작동하는데, 두 흐름장 간의 간섭효과를 대등한 비중으로 고려하기 위하여 똑같이 일파랑주기(一波浪週期)동안 계산하도록 하였다.

IV. 비교고찰

본 모델을 방파제 배후지에서의 연안류에 대하여 적용하여 보았다. 적용된 예는 수리실험에서 정밀히 관측되어 정량(定量), 정성적(定性的)으로 잘 규명된 경우이다(4). 계산격자(計算格子)간격을 $\Delta x = 185mm$, $\Delta y = 207.5mm$ 로 잡아 전 계산영역을 41×34 개의 격자망(格子網)으로 구성하였고(〈도 1〉 참조), 계산시간 간격을 확산조건식에 따라 0.005초로 선택하였다. 바닥거칠음 높이는 거칠은 콘크리트면을 고려하여 1mm를 사용하였다.

<도 1>에 제시한 바와같이 방파제 정면으로 파랑을 발생시켰으며 방파제 전면부에서의 반사파 영향을 무시할 수 있도록 방파제 끝단에서 연직으로 도류제를 설치하였다.

그러나 방파제 배후지에서는 여전히 반사파의 영향이 상당하여 실험결과 그 지역에 높은 파고를 보였다(4cm 이상의 파고 분포).

반사파를 무시하였을 때는 2cm 이하의 파고분포를 보였는데(3), 본고 식(1)과 (2)로 대표되는 파랑모델은 반사파의 영향뿐 아니라 해류와의 합성영향을 적절히 해석할 수 있어 실험결과와 매우 근접한 계산결과를 보여준다(<도 2(a)와 (b)>에서 특히 방파제 배후지에서의 파고분포를 주의).

정상류(正常流) 상태의 연안류 해(解)를 얻기 위하여 매 5초마다 계산된 연안류분포를 살펴보았다(2). 이 결과들에서 40초에서의 결과와 45초에서의 결과가 비슷함을 알 수 있었으며, <도 3>에서 제시된 연안류에 관한 계산결과는 계산시간 50초에서 얻은 것이다.

계산된 연안류 분포는 정량, 정성적(定成的)으로 실험관측결과와 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

계산된 주 소용돌이의 중심점이 관측된 위치와 잘 일치하고 있으며, 방파제 배후지 왼쪽 구석에 보이는 작은 소용돌이 현상도 잘 재현하여 주고 있다. 연안류의 최강유속도 51cm/s 정도로서 두 결과는 매우 일치됨을 보여준다.

V. 결 론

파랑(波浪)의 외해경계조건(外海境界條件)과 지형도 및 해저면의 상태 등이 주어지면, 본 모델조합은 여러 상황에 대하여 파랑에 의한 연안류의 분포 및 양상을 예측하여 줄 것이다.

모델의 검증을 위하여 본고에 채택된 예는 실험으로 연구되었던 경우인데, 파고(波高) 및 연안류분포(沿岸流分布)의 계산결과가 실험관측결과와 대체적으로 잘 일치됨을 알 수 있었다.

VI. 참고문헌

- 1). Yoo, D., Hedges, T. S. and O'Connor, B. A., 1988, Numerical modelling of reflective waves on Slowly-varying currents, Proc. Int. Symp. on "Water Modelling and Measurement 2", IAHR-BHRA, Herrogate, England.
- 2). Yoo, D. and O'Connor, B. A., 1988, Numerical modelling of wave-induced currents in a breakwater situation, submitted to Coastal Engineering.
- 3). Yoo, D. and O'Connor, B. A., 1988, Turbulence transport modelling of wave-induced currents, Proc. Int. Symp. on Computer Modelling in Ocean Eng., IAHR-UNESCO, Venice, Italy, (in Press).
- 4). Gourlay, M. R., 1974, Wave set-up and wave generated currents in the lee of a breakwater or headland, Proc. 14th Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, pp. 1976-1995.

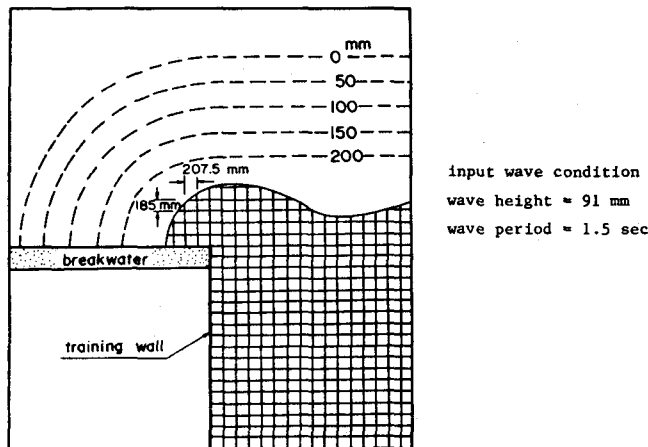
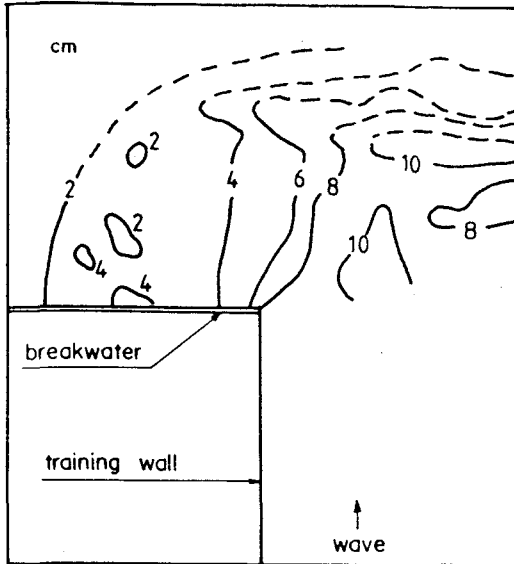
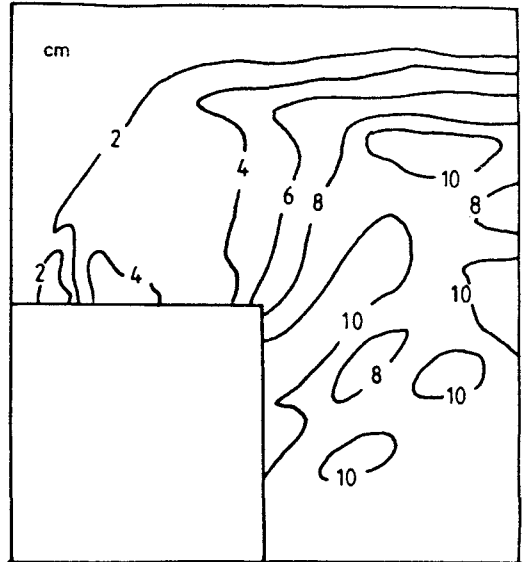


Fig. 1. Finite difference grid system of Gourlay's wave tank.

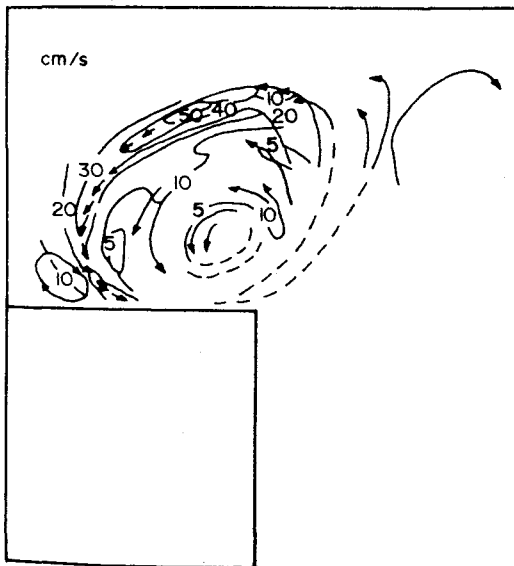


(a) experiment

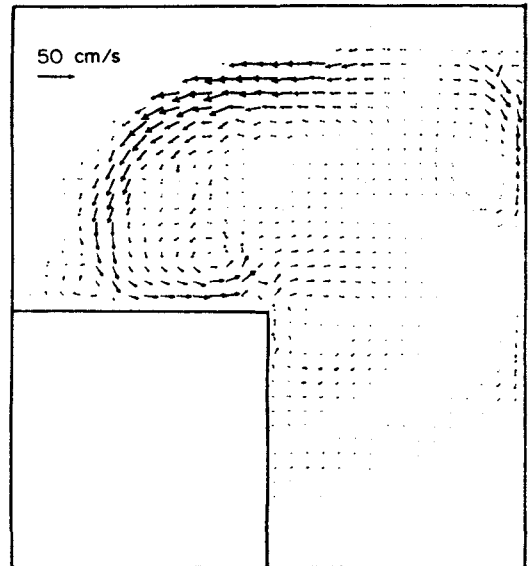


(b) present model

Fig.2. Comparison of computed wave heights with Gourlay's laboratory data.



(a) experiment



(b) present model

Fig.3. Comparison of wave-induced currents from the present model with Gourlay's laboratory data.