

可變格子體系에 의한 沿岸構造物 周邊의 波浪變形模型

Numerical Wave Deformation Model in Variable Grid System around the Coastal Structures

李 東 洙*

1. 서론

쇄파역이 포함된 연안해역에 구조물등이 설치될 경우, 심해에서 발달하여 진행해온 파랑은 구조물 주변에서 반사 및 회절에 기인하여 지배적으로 변형하여 주변해역의 파랑장이 변화하게 되며, 특히 쇄파대에 위치한 구조물 주변에서는 복잡한 파랑변형 양상을 나타내게 된다. 따라서 연안 구조물 설계시나 해양환경 변화의 예측시 주요 외력으로 작용하는 파랑변형을 보다 정확하게 예측하기 위해서는 이러한 파랑변형의 제반요건을 고려한 수치실험모형의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 Nishimura(1983)등의 쌍곡형 방정식 형태의 비정상 환경사 방정식과 Watanabe와 Maruyama(1986)의 식을 근간으로 하여 수치실험모형을 개발하였으며, 격자간격을 작게해야할 필요가 있는 쇄파대 내에서나 반사 구조물 주변에서의 보다 정확한 해석 및 계산의 효율성을 고려하여 격자간격을 임의로 결정하여 사용할 수 있도록 가변격자체계로 개발하였다. 모형의 타당성 검토를 위하여 반사율 실험 및 원형 천퇴 주변의 파랑변형을 계산하여 기존의 수조실험치와 비교하였으며, 쇄파변형 및 구조물 주변에서의 파랑변형도 검토하였다. 기존자료와의 검토결과 본 모형의 타당성을 확인할 수 있었으며, 이를 항만이 설치되어 있는 실제해역에 적용해 보았다.

2. 기본방정식 및 해석방법

연속방정식과 운동방정식으로부터 연직분포 함수를 고려하여 직접 연직방향 적분함으로써 Nishimura(1983)등은 다음과 같은 쌍곡형 방정식을 유도하였다.

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t^2} = \frac{1}{n} \nabla \cdot (nC^2 \nabla \zeta) = 0 \quad 1)$$

* (주)韓國海洋科學技術 (Korea Ocean Science and Engineering Corp., 175-9, Huam-Dong, Yongsan-Gu, Seoul 140-190, Korea)

1)식을 수면변위와 선유량에 관한 1계 선형 연립방정식으로 나타내면 다음과 같아진다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C^2 \nabla \zeta = 0 \quad 2)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = \frac{1}{n} \nabla \cdot (nQ) = 0$$

한편 伊藤·谷本(1972)의 식을 기초로하여 천수변형에 대한 보다 엄밀한 표현을 위해 수심변화의 영향을 고려하여 渡邊·丸山(1984)는 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{C^2}{n} \nabla (n\zeta) = 0 \quad 3)$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \cdot Q = 0$$

본 수치모형에서는 식 2)와 식 3)을 기본방정식으로 사용하였으며, 쇄파대 내에서의 에너지 감쇠효과를 고려하기 위하여 Izumiya 등(1984)의 에너지 방정식을 약간 수정하여 사용하였다. 쇄파대 내에서는 3)식의 운동방정식에 에너지 감쇠항을 부가한 다음식을 이용한다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{C^2}{n} \nabla (n\zeta) + f_d Q = 0 \quad 4)$$

여기서 Izumiya 등의 에너지 방정식을 수정하여 도입하면 다음과 같다.

$$f_d = \sqrt{2} C_f \sqrt{E} \frac{1}{\rho^{1/2} h^{3/2}} + \beta_0 \left(\frac{E}{\rho g h^2} - M_{*s}^2 \right)^{1/2} \cdot \frac{\sqrt{E}}{\rho^{1/2} h^{3/2}} \quad 5)$$

5)식의 우변 첫째항은 저면마찰에 의한 에너지 감쇠를 나타내며 두번째항은 쇄파에 의한 에너지 감쇠를 표현하고 있다.

식 2)와 4)를 유한차분 양해법으로 차분화하여 Staggered mesh 상에서 가변격자체계로 수치계산을 하며, 특히 임의 반사율에 위한 구조물 주변등에서의 불규칙한 파랑장을 고려하여 선유량(Q)의 시간보간에는 spline법을 이용하여 해석의 정확도를 높이고자 하였다.

3. 수치실험 및 계산결과

격자간격에 따른 계산오차의 정도를 알아보기 위하여 저면경사가 1/50, 파형경사(ka)가

0.028로 주어진 경우에 대하여 본 모형으로 실험을 수행하여 쇄파대 근처의 이론치와 비교하였다. Fig. 1은 격자간격에 따른 상대오차를 나타낸 것으로 격자간격이 작아질수록 오차의 정도는 작아지나 격자간격(DX/L_0)이 1/50보다 작아질 경우 오차는 다시 증가하는 경향을 보이고 있다. 실험결과 쇄파대와 같이 불규칙한 파동장에서 계산격자에 따른 오차의 범위를 2% 이내로 유지하기 위한 최적 격자간격은 $(1/20 \sim 1/50)L_0$ 로 구성되어야 함을 알 수 있다. 모형의 타당성 검토를 위해 Table 1과 같은 실험을하여 기존자료와 비교, 검증하였다.

Table 1. Experiment condition and input data

Wave Condition	Circular shoal	Retangular basin	Breaking	Structure	
	Ito and Tanimoto	Reflection	Watanabe	Watanabe	Isobe
H_0	1.0 cm	2 m	2.0 cm	2.0 cm	9.1 cm
T	0.51095 sec	10.0 sec	1.2 sec	1.2 sec	0.83sec
θ_0	0°	0°	28.3°	0°	18°

Fig. 2는 伊藤(1972)등의 실험수조로써 본 모형의 계산결과를 단면별로 나타낸 것은 Fig. 3이다. 단면별 실험치와의 비교에서 비교적 잘 일치함을 알 수 있다. Fig. 4는 수심이 12m로 일정하며 길이가 310m인 모형 수조상에서 반사율 0.0, 1.0을 주어 입사점과 수조끝점에서 시간에 따른 수면변위를 나타낸 것으로 반사율의 변화에 대한 수면변위의 변동을 잘 나타내주고 있다. Table 1의 조건으로 계산한 결과를 실험자료등과 비교하여 Fig. 5 ~ Fig. 9에 나타냈으며, Fig. 7은 쇄파대를 포함하고 있는 해역에 이안제가 배치되어 있을 경우에 대한 실험결과 및 계산결과로 가변격자체계에 의한 계산치를 나타냈다. Fig. 10은 항만이 배치된 실제해역에 본 모형을 사용하여 $H_0=1.0m$, $T=12.0sec$, $\theta_1=N45^\circ E$ 의 파랑조건으로 계산한 결과로써 파향도, 등치선도, 3차원 파랑전파도를 나타낸 것이다. 계산결과는 비교적 타당한 것으로 생각된다.

4. 결론

쇄파대 주변이나 구조물 주변에서의 불규칙한 파랑장을 계산하기 위해서는 계산격자간격

이 작아져야 되는 바 간단한 계산에 의한 결과로는 입사파장의 $1/20 \sim 1/50$ 로 구성할 때 계산 오차를 줄일 수 있었으며, Izumiya 등의 에너지 방정식에 의해 쇄파대 내에서의 파고 감쇠를 정량적으로 계산할 수 있었다. 기존의 수조실험결과와의 비교에서 본 모형의 타당성을 확인할 수 있었으며, 가변격자 체계하에서의 수치모형실험은 격자간격의 최적치를 이용함으로써 계산시간의 단축 및 계산의 정확성을 향상시킬 수 있었다.

참고문헌

- Akira Watanabe and Kohki Maruyama, 1986. Numerical modeling of nearshore wave field under combined refraction, diffraction and breaking, Coastal Engineering in Japan, Vol. 29, 19-39.
- Berkhoff, J.C.W., 1972. Computation of combined refraction-diffraction, Proc. 13th Coastal Eng. Conf. : 471-490.
- Copeland, G.J.M., 1985. A practical alternative to the mild slope equation, Coastal Eng., No. 9 : 125-149.
- Isobe, M., 1986. A parabolic refraction-diffraction equation in the ray-front coordinate system, Proc. 20th Int. Conf. Coastal Eng. : 306-317.
- Nishimura, H., K. Maruyama and H. Hiraguchi, 1983. Wave analysis by direct numerical integration, Proc. 30th Japanese Conf. on Coastal Eng. : 123-127.
- Takashi Izumiya and Kiyoshi Horikawa, 1984. Wave energy equation applicable in and outside the surf zone, Coastal Eng. in Japan, Vol. 27 : 119-137
- 伊藤喜行, 谷本勝利, 1972. 波向線交叉領域での波の屈折 数値波動解析法の應用(2)-, 第 19回 海講論文集, 325-329.
- 渡邊晃, 丸山康樹, 1984. 屈折, 回折, 碎波減衰を含む波浪場の數値解法, 第 31回 海講論文集, 103-107.

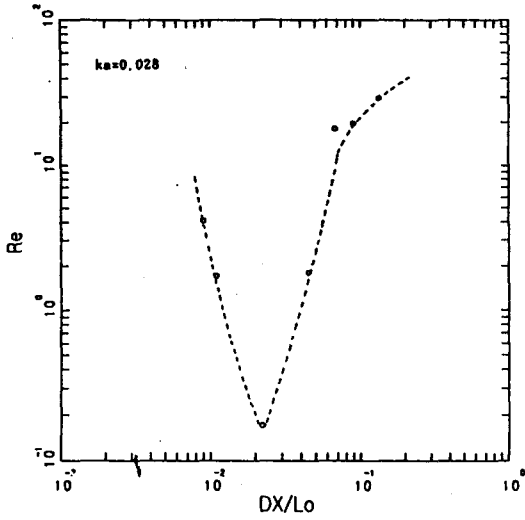


Fig. 1. Relative error to the grid space for $ka=0.028$.

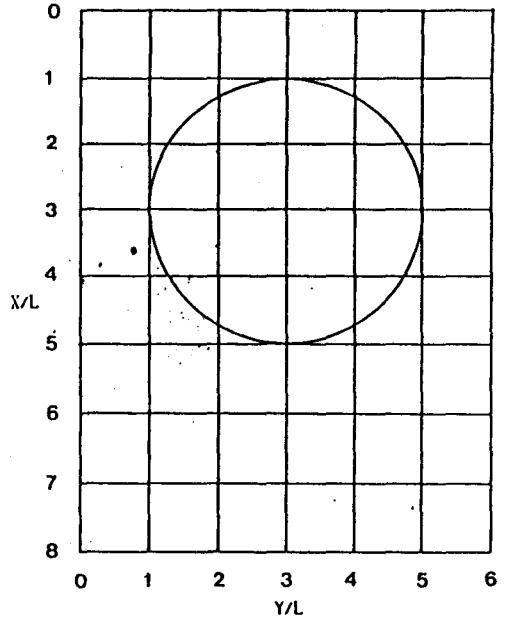


Fig. 2. Configuration and computational domain for circular shoal.

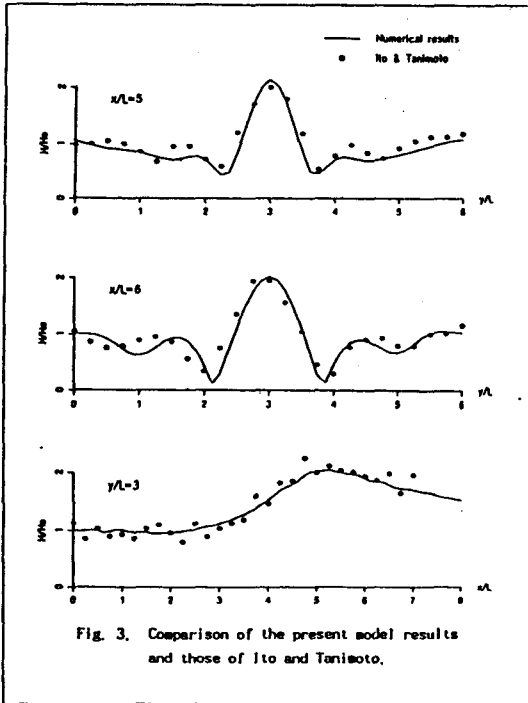


Fig. 3. Comparison of the present model results and those of Ito and Tanimoto.

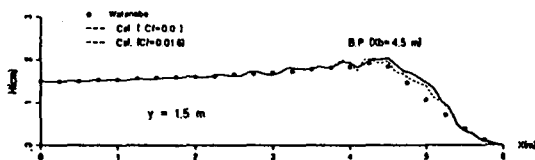


Fig. 5. Calculation result with energy dissipation near surf zone. \circ : Watanabe's result(1986), $-$: present model.

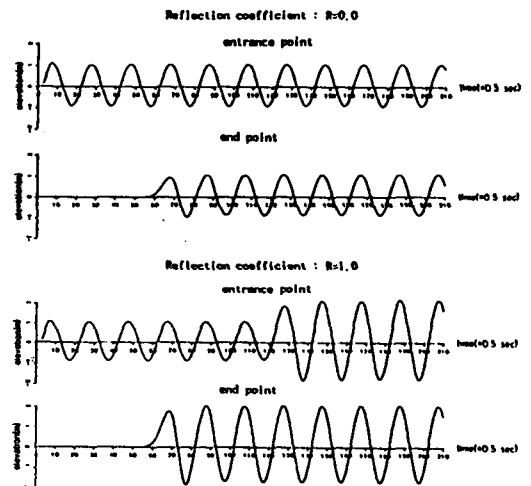


Fig. 4. Results of reflection test for rectangular basin.

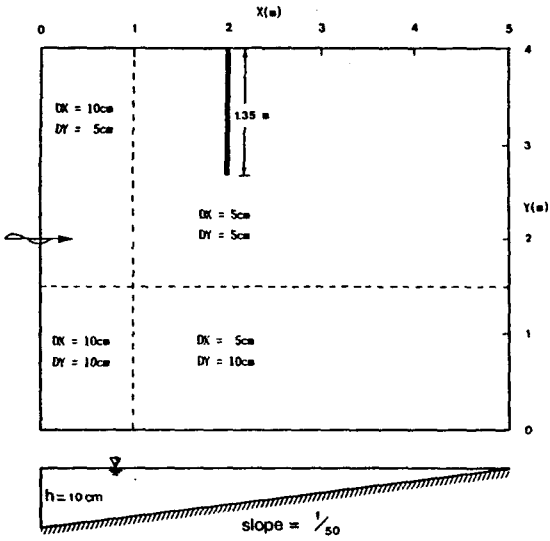


Fig. 6. Experimental basin with detached breakwater of Watanabe et al. (1985).

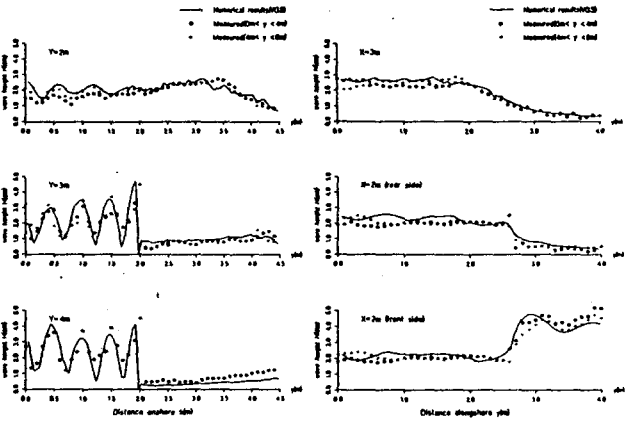


Fig. 7. Present model results using the variable grid system.

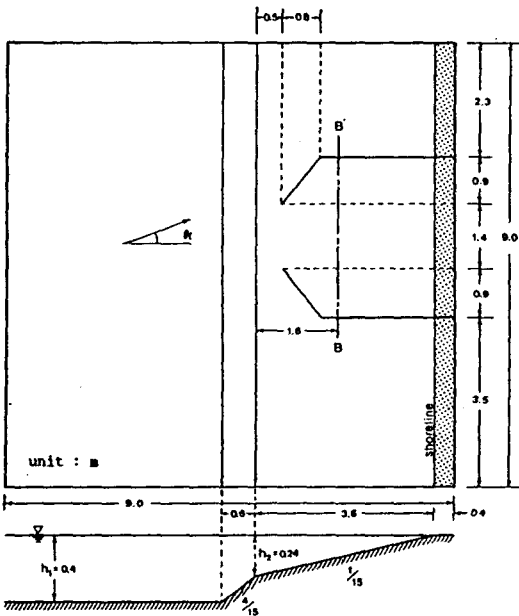


Fig. 8. Basin configuration for experiments of Isobe (1986).

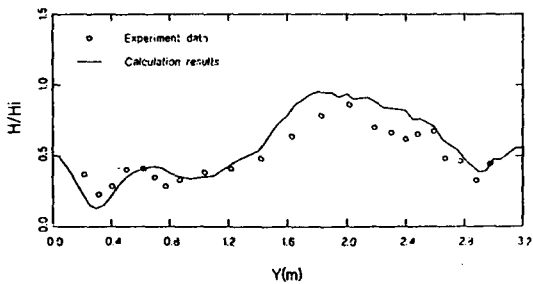


Fig. 9. Wave height on transect B-B'. • : Lab. data. — : present model.

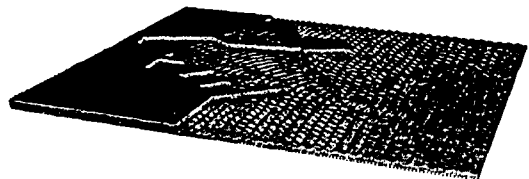
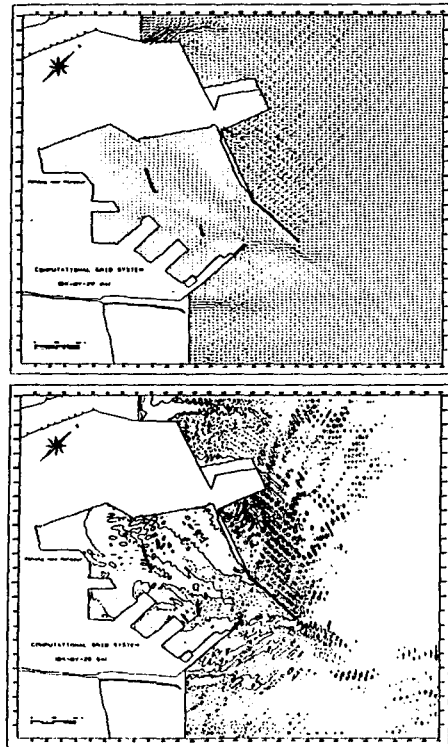


Fig. 10. Numerical experiment results near the harbour in the field sea situation ($H_i=1.0m$, $T=12.0sec$, $\theta_1=N45^\circ E$).