

방파제 주위에서의 비선형 산란 현상에 대한 연구 on the Study of Nonlinear Scattering Phenomena around the Breakwaters

조일형, 김강환

1. 서론

항만과 방파제와 같은 해양시설물은 해양의 자연환경에서 사용하는 구조물이므로 당연히 설치해역의 평상시의 자연환경 하중을 받으면서 기능유지가 가능하여야 하며, 또한 극한 자연환경 하중에도 견딜 것이 요구된다. 해양시설물 설계시에 고려해야할 자연환경조건으로는 바람, 파랑, 조류, 해류, 지진, 해저지반 등이다. 특히 파랑은 해양시설물을 설계하는데 필요한 주요 환경요소중의 하나로 구조물의 가장 큰 동역학적인 영향을 준다. 따라서 이에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러나 파랑과 구조물간의 상호작용에 대한 연구는 선형이론에 국한되어 있으며 비선형을 고려한 연구는 최근에 몇몇 선진국들에 의하여 시도 되고 있다.

본 연구에서는 포텐셜이론이라는 가정하에서 방파제에 의한 산란문제에 대한 선형해를 고유함수 전개기법을 사용하여 구한다. 한편 방파제에 의한 비선형 산란효과를 살펴보기 위하여 천수역 비선형 방정식인 Boussinesq 방정식을 유한요소법을 적용하여 수치계산을 하였다. 두가지 방법을 통하여 얻은 계산결과를 비교하여 비선형 효과인 유체가 물체의 표면을 따라 올라가는 Run-up 현상과 특정한 비선형 특성인 Mach 반사를 규명하였다.

한국기계연구원 선박·해양공학센터 해역제어실
(Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering)

2. 본 론

입사파의 파장에 비하여 수심이 작다는 장파이론에 근거하여 비선형성과 분산성이 균형을 이루면서 진행되는 파를 표현하는 Boussinesq 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \zeta_t + \nabla \cdot [(1 + \zeta) \nabla \phi] &= 0, \\ \phi_t + 1/2 (\nabla \phi)^2 + \zeta - 1/3 \nabla^2 \phi &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 ζ 는 자유표면식을 나타내며 ϕ 는 속도포텐셜을 뜻한다. 위식에서 비선형성을 무시하고 유동은 시간에 따라 주파수 ω 를 갖고 조화운동을 한다고 가정하면 식(1)은 잘 알려진 Helmholtz 방정식으로 변한다.

$$\nabla^2 \eta + k^2 \eta = 0, \quad (\zeta = \eta \exp(i\omega t)) \quad (2)$$

여기서 k 는 파수를 나타내며 주파수 ω 와는 선형분산식으로부터 관계가 주어진다. 경계조건으로는 무한원방에서의 방사조건, 벽과 방파제에서 물체경계 조건식을 사용하였다.

$$\omega^2 = gk^2 h \quad (3)$$

본 연구에서는 선형해의 결과는 식(2)로 주어진 기본방정식을 고유함수 전개법을 이용하여 풀었다. 한편 비선형 효과를 보기 위하여 비선형 방정식인 식(1)를 유한요소법을 사용하여 수치계산을 수행하였다.

3. 계산결과 및 고찰

수치계산의 예로 수로에 입사파에 수직인 위치에 방파제가 놓여있는 모델을 채택하였다. 모든 길이는 수심으로 무차원 시켰으며 시간은 $(h/g)^{1/2}$ 로 무차원 시켰다. 계산 영역의 길이는 100이며, 폭은 10으로 잡았다. 격자의 크기는 0.5이다. 계산영역의 왼쪽끝에 주기 T 를 갖고 동요하는 압력면이 있으며 이로인해 파가 발생한다. 한편 계산영역의 오른쪽 경계에 선형 방사조건을 적용하였다. 방파제는 y 축과 평행하게 $x=0$ 에 위치하며 방파제의 길이는 5이다. 자세한 수치계산 모델은 Fig.1에 도시하였다.

Fig.2는 주기가 10이며, 진폭이 0.1인 압력면이 $x=-50$ 에서 작용할 때, $x=-25$ 위치(a)에서의 파형의 변화를 시간에 따라 그렸다. 이 지점에서의 파형이 방파제안으로 들어오는 입사파의 파형을 의미한다. 그림에서 점선은 선형결과를 나타내며 실선은 비선형효과를 고려한 계산결과이다. 비선형결과가 선형결과에 비하여 정량적으로 약간 크다. 또한 파정은 상승하며 파저는 줄어드는 대표적인 비선형 현상을 볼 수 있다. $t=40$ 부터 $t=80$ 까지 대체로 정상상태를 유지하다가 $t=90$ 부터 파고가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이는 방파제로부터 반사된 파가 조파장치에 영향을 주는것으로 사료된다.

Fig.3은 방파제에 의한 산란효과를 살펴보기 위하여 방파제 끝단(b)에서의 파형의 변화를 시간에 따라 그렸다. 여기서 실선은 비선형항을 고려한 계산 결과를 나타내며, 점선은 선형결과이다. $x=-25$ 의 결과에 비하여 파형이 찌그러지는 비선형 효과를 볼 수 있다.

Fig.4와 5는 방파제 앞면($x=0, y=2.5$)과 방파제 뒷면($x^*=0, y=2.5$)에서의 시간변화에 따른 파형의 변화를 보여주고 있다. 방파제 앞면(c)에서의 파는 방파제에 의한 반사효과로 입사파에 비하여 파고가 2배 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 방파제 뒷면(d)에서의 파형은 방파제에 의한 차단효과로 파고가 상당히 줄어들며 파형의 찌그러지는 비선형 효과를 볼 수 있다. 또한 선형 결과와 정량적인 값의 차이를 보여주고 있다.

Fig.6과 7은 $t=10T$ 에서의 위치에 따른 파형의 변화를 xy 평면위에 도시하였다. 그림에서 실선은 양의 값을 갖는 파형을 나타내며, 점선은 음의 값을 갖는 파형을 의미한다. 선형해의 결과와 비선형효과를 고려한 결과를 살펴보면 대체로 비슷하나 파형의 변화가 선형일 때가 더욱 완만하다는 사실을 알 수 있다.

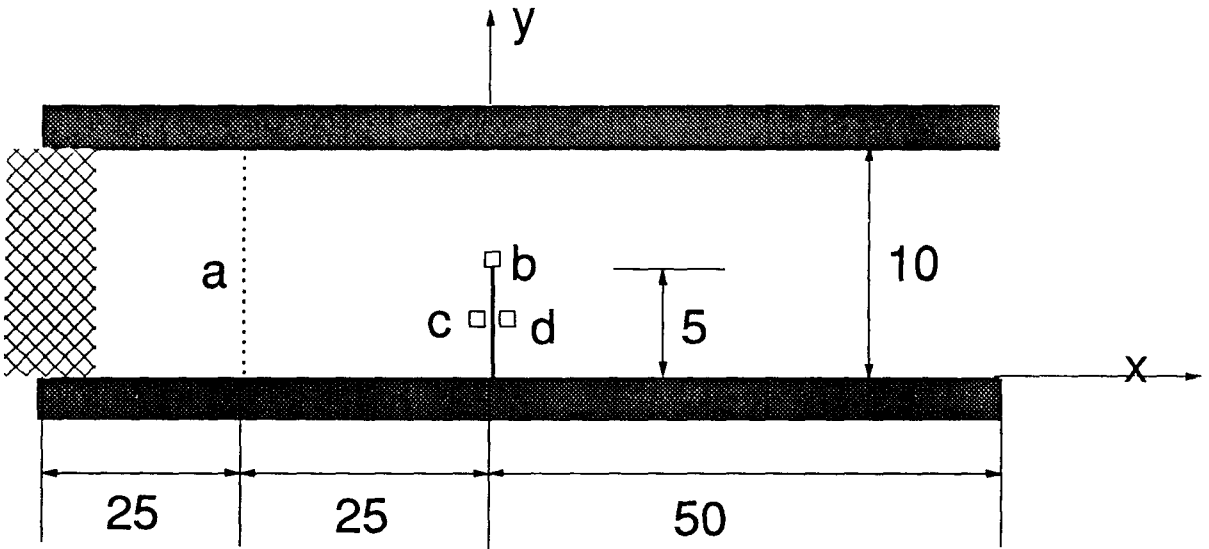


Fig.1 Definition Sketch of the Diffraction in Shallow Water by the Breakwaters

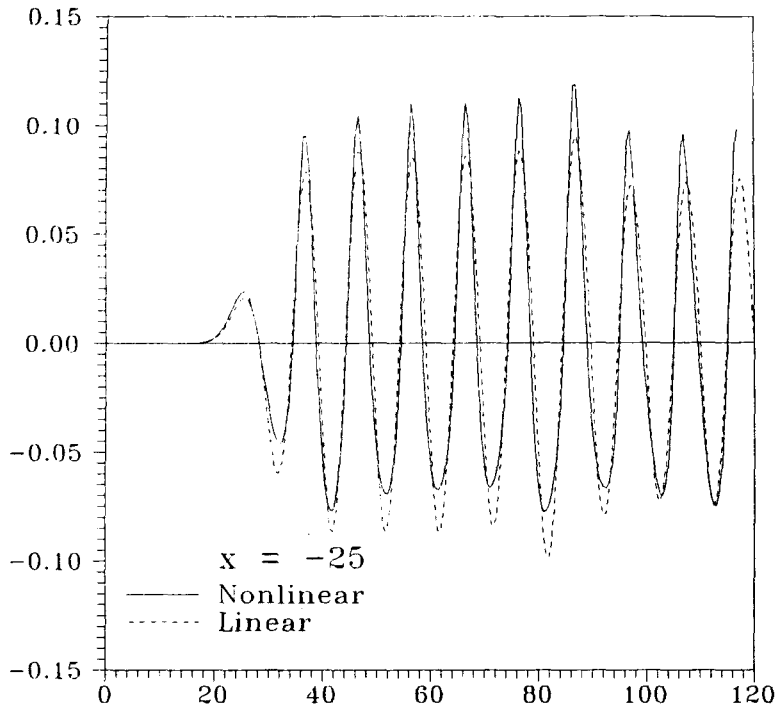


Fig.2 Wave Deformation as Function of Time at Station (a)

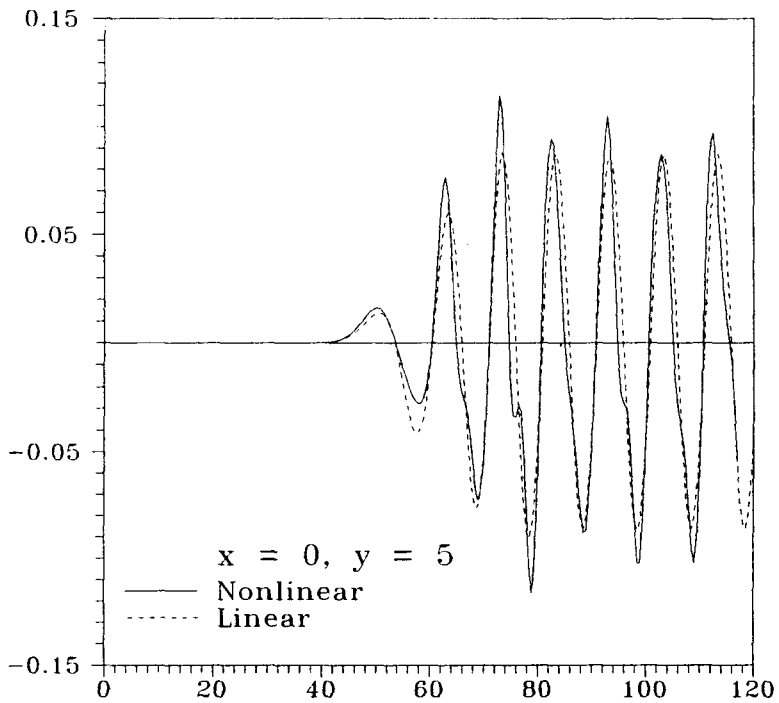


Fig.3 Wave Deformation as Function of Time at Station (b)

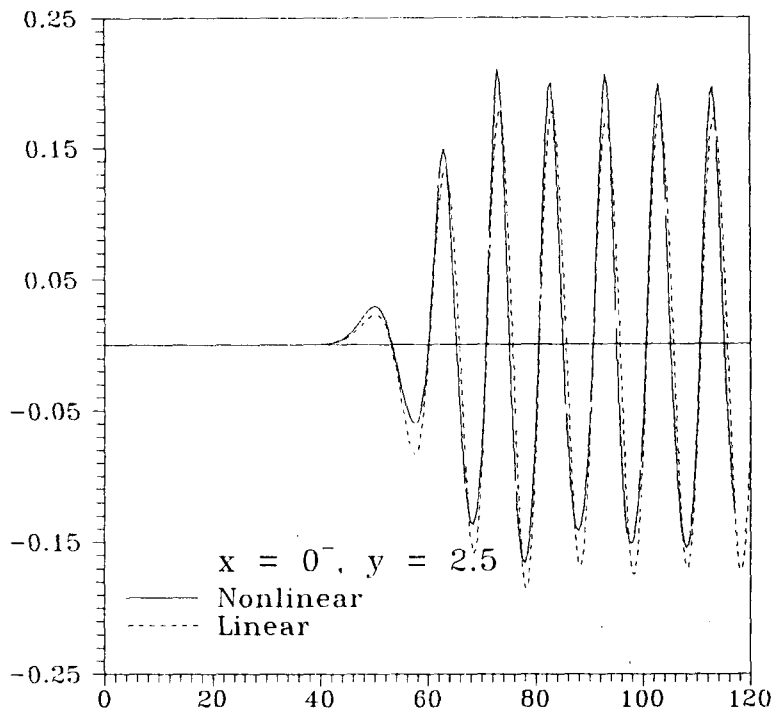


Fig.4 Wave Deformation as Function of Time at Station (c)

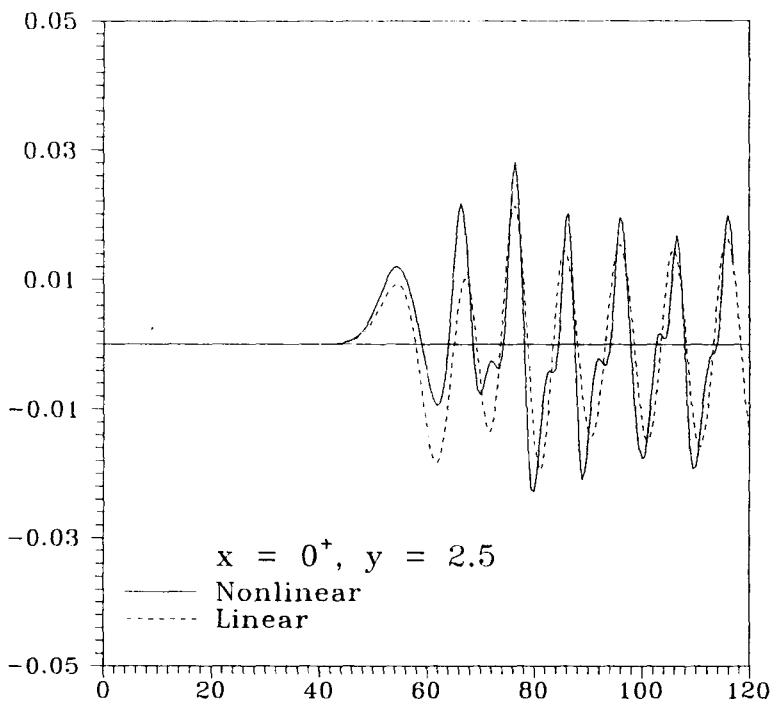


Fig.5 Wave Deformation as Function of Time at Station (d)

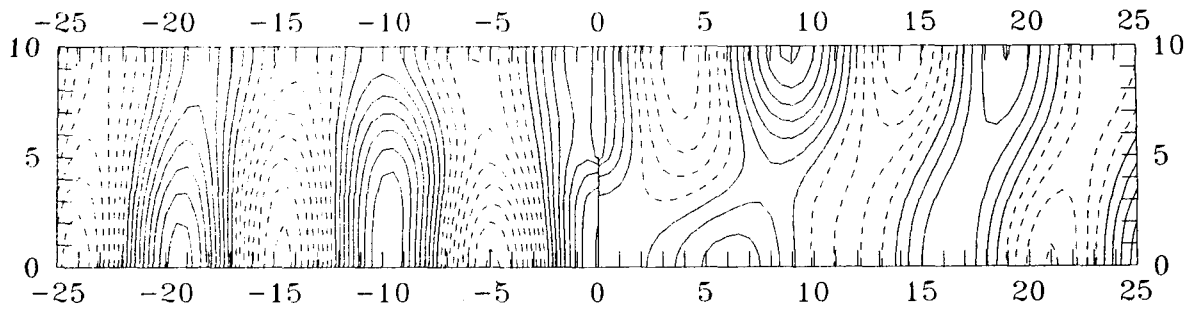


Fig.6 Contour Plots of Wave Deformation at $t=10T$ (linear)

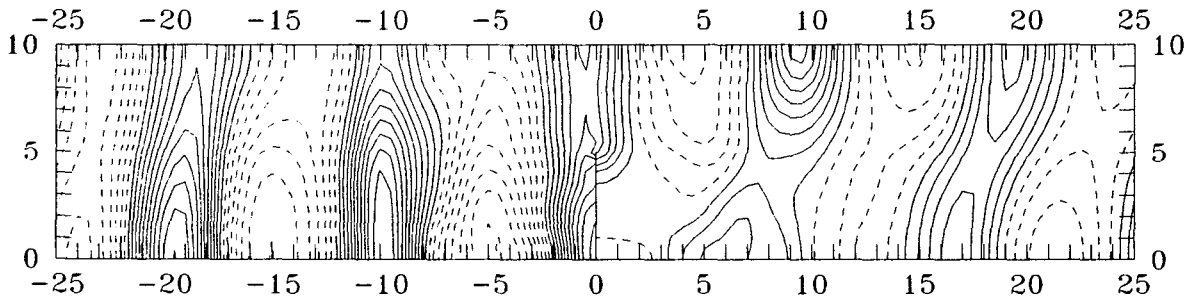


Fig.7 Contour Plots of Wave Deformation at $t=10T$ (nonlinear)