

境界要素法에 의한 透過潛堤의 解析技法

金 南 亨* 滝 川 清** 崔 漢 圭***

Permeable Breakwaters Analysis by Using Boundary Element Method

Nam Hyeong Kim, Takikawa Kiyoshi, Han Kuv Choi

ABSTRACT

In this paper the numerical method for the study of wave reflection from and transmission through submerged permeable breakwaters using the boundary element method is developed. The numerical analysis technique is based on the wave pressure function instead of velocity potential because it is difficult to define the velocity potential in the each region arising the energy dissipation. Also, the non-linear energy dissipation within the submerged porous structure is simulated by introducing the linear dissipation coefficient and the tag mass coefficient equivalent to the non-linear energy dissipation. For the validity of this analysis technique, the numerical results obtained by the present boundary element method are compared with those obtained by the other computation method. Good agreements are obtained and so the validity of the present numerical analysis technique is proved.

Key Words : Permeable Breakwaters, Energy Dissipation, Boundary Element Method Wave Pressure Function, Resistance Coefficient, Open Boundary Treatment

1. 序 論

해안에 내습해오는 파도를 목적에 따라서 제어하는 일은 海岸工學 또는 防災工學의 분야에 주어진 중요한 과제이다.

임의의 해저지형을 갖는 해역에 임의의 형태의 透過潛堤가 설치되어져 있을 경우 유체운동은 구조물의 형태, 구성재료에 따라서 유체의 저항을 받고 에너지 분산을 일으키는 운동으로 된다.

이런 에너지분산(유체저항)은 일반적으로 비선형이지만 이것을 속도에 비례하는 것으로 가정하여 등가의 선형저항계수를 도입하여 속도포텐셜이 존재하는 경계치문제로 된다.

이 속도포텐셜 X 을 미지량으로 한 종래의 해석방

* 熊本大學大學院

** 熊本大學工學部土木環境工學科 助教授

*** 江原大學校工科大學土木工學科 教授

법에서는 각 영역사이에 X가 불연속함수이기 때문에 각 영역경계면마다 유체운동의 연속조건을 만족시키는 필요성이 생기고, 불균질한 영역이 혼합하는 문제에 대해서는 그 처리가 복잡하게 된다. 따라서 본 연구에서는 파압이 전영역을 통해서 연속적인것에 주목하여 이것을 미지량으로한 경계요소법의 수치해석기법을 기술한것이다.

II. 理論 解析

그림 1에 표시한 세분화된 투과성 영역내에서의 유체운동을 생각하자.

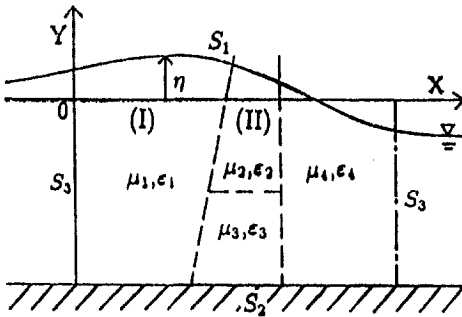


Fig. 1 Analytical region

유체는 비압축, 비점성, 비회전으로 가정하고 속도포텐셜 $X(x, y, t)$ 을 갖는 2차원 미소진폭운동을 하고 線型解析을 행한다.

좌표는 정수면을 원점으로 잡고 수평으로 x축, 연직상방으로 y축을 잡는다.

x축으로 부터 수면까지의 수면변동량 $\eta(x, t)$ 을 잡는다.

경계 S_1 은 자유수면, 경계 S_2 는 해저압반 또는 구조물등에 의한 불투과 경계면이고, 경계 S_3 는 해석상 설치한 가상경계를 의미하고, 이 경계의 내외에서는 유체의 운동은 연속조건을 만족하지 않으면 안된다.

유체 운동의 평균유속 X 및 Y방향 성분을 각각 U와 V로하고 압력을 P, 유체밀도를 ρ 로 한다.

에너지 분산을 가지는 유체운동의 연속식 및 운동방정식은 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{\epsilon} \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P}{\rho} \right) - F_x,$$

$$\frac{1}{\epsilon} \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{P}{\rho} + g \cdot y \right) - F_y, \quad (2)$$

여기서 ϵ 은 공극율이다. F_x 과 F_y 는 유체 운동에 대한 에너지분산(혹은 유체저항)의 X 및 Y방향의 성분을 의미한다.

이 에너지 분산항은 Reynolds수가 상당히 작은 경우를 빼고 일반적으로비선형이고 또 유체가 가속도운동을 행하는경우 附加質量力으로서 유체 저항이 작용한다. 여기서는 비선형인 에너지 분산항을 等價인 선형분산계수 μ 및 부가질량계수 C_m 을 사용하여 다음식으로 표시한다.

$$F_x = \mu \cdot u + (1 - \epsilon) \cdot C_m \cdot \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial u}{\partial t},$$

$$F_y = \mu \cdot v + (1 - \epsilon) \cdot C_m \cdot \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (3)$$

윗 식을 식 (2)에 대입하고, 가속도의 항을 무시하면 운동방정식은 선형화 되어지고 다음식을 얻는다.

$$\frac{1}{V} \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho} \right) - \mu \cdot u,$$

$$\frac{1}{V} \frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{p}{\rho} + g \cdot y \right) - \mu \cdot v \quad (4)$$

여기서 $\frac{1}{V} = \frac{1}{\epsilon} (1 + C_m \cdot (1 - \epsilon))$ 이다.

이것으로부터 유체 운동은 속도포텐셜 $X(x, y, t)$ 의 존재를 가정할수가 있다. 또 각영역의 경계면에서는 유체 운동의 연속조건(Mass-flux 및 Energy-flux)을 만족할 필요가 있다.

$$\text{mass-flux}; \frac{\partial \phi}{\partial n} = \frac{\partial \phi_0}{\partial n}$$

(ϕ_0 : 해석영역 외부의 속도포텐셜)

$$\text{energy-flux}; \left(\frac{P}{\rho g} + y \right) = -\frac{1}{gV} \frac{\partial \phi}{\partial t} + \mu \phi V \equiv H$$

(5)

식(5)에 나타낸 것과 같이 파압성분 H가 해석의 영역을 통해서 연속인것에 주목하여 이것을 미지량으로 해석한다.

지금, 입사파의 주파수 σ 에 의한 유체 운동의 주기성을 고려하여

$$H(x, y; t) = H(x, y) e^{i\sigma t} \quad (6)$$

로 하면, 식(5)로부터

$$\phi = -\beta \cdot H, \quad \beta = \frac{g \cdot V}{(i \cdot \sigma + \mu \cdot V)} \quad (7)$$

가 얻어진다. 이것을 이용하여 각 조건식은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\text{전체영역} \quad ; \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\beta \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\beta \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0 \quad (8)$$

$$\text{자유수면} \quad ; \quad i\sigma H|_{y=0} = -\beta \frac{\partial H}{\partial y} \Big|_{y=0} \quad (9)$$

$$\text{경계 } S_2 \quad ; \quad \beta \frac{\partial H}{\partial n} = 0 \quad (10)$$

$$\text{경계 } S_3 \quad ; \quad \beta \frac{\partial H}{\partial n} = \beta \frac{\partial H_0}{\partial n}, \quad \left(H_0 = -\frac{1}{\beta} \phi_0 \right) \quad (11)$$

유체중에 설치한 경계 S_3 는 가상의 경계이다. 이와같은 가상경계의 처리방법에 관해서는 微小振幅波의 운동의 경우에 관해서는 여러종류의 방법이 제안되어져 있지만 여기에서는 입사 및 통과경계 S_3 에서의 속도 포텐셜을 다음과 같이 처리하는 것으로 한다.

$$\begin{aligned} \text{입사위치} \quad ; \quad -\beta \frac{\partial H_0}{\partial n} &= \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \\ &= -ik(e^{-ikx} - A_r e^{ikx}) \frac{\cosh k(h+y)}{\cosh k \cdot h} \\ \text{통과위치} \quad ; \quad -\beta \frac{\partial H_0}{\partial n} &= \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \\ &= -ik A_t e^{-ikx} \frac{\cosh k(h+y)}{\cosh k \cdot h} \end{aligned} \quad (12)$$

여기서 $i = \sqrt{-1}$, K 는 입사 및 통과위치에서의 파수($k=2\pi/L$; L 은 파장)을 나타낸다.

A_r 과 A_t 는 각각 반사파와 통과파를 나타내는 미지의 복소수 정수이다.

파압함수 및 반사율 통과율을 未定係數로 두고 경계조건식(8)-(11)에 Green 공식을 적용하여 一次要素를 사용하여 분산화하면 다음과 같이 풀어야 할 연립 방정식이 얻어진다.

$$\begin{aligned} &\beta \alpha_p \cdot H_p + \sum_{S_1} (\beta A - i\sigma B) \cdot H_p \\ &+ \sum_{S_3-inp} (ACe^{ikx} + ikBCe^{ikx}) \cdot A_r \\ &+ \sum_{S_2} \beta A \cdot H_p \\ &+ \sum_{S_3-out} (ACe^{-ikx} + ikBCe^{-ikx}) \cdot A_t \\ &= \sum_{S_3-inp} (ACe^{-ikx} + ikBCe^{-ikx}) \end{aligned} \quad (13)$$

$$A = (A_p^2, j-1 + A_p^1, j),$$

$$B = (B_p^2, j-1 + B_p^1, j),$$

$$C = \frac{\cosh k(h+y_p)}{\cosh k \cdot h}$$

여기서 p 와 j 는 경계상의 절점을 나타낸다. S_3-inp ; S_3-out 각각 입사 및 통과 위치를 나타낸다.

위의 식 (13)으로부터 未定量 H , A_r , A_t 가 동시에 결정되고 반사율 $Kr = |A_r|$, 통과율 $Kt = |A_t|$ 도 간단하게 구할수 있다.

본 계산에서는 투과층의 C_m 은 항상 0으로 했다. 계산의 대상으로 하는 潛提모델은 그림 2에 나타낸 것과 같이 透過潛提를 선정하였다.

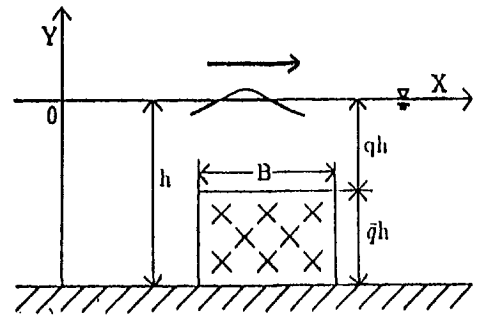


Fig. 2 Sketch of permeable breakwater model

III. 計算 結果 및 考察

그림 3은 해석방법의 검증을 위하여 계산한 예로서 그림 2에 있는 潛提를 不透過潛提로 한 경우의 반사율을 표시한 것이다. 그림중에 실선은 井島 (Ijima)氏등이 領域分割法에 의한 것이고 이것과 같이 반사율 $|At|$ 가 입사파에 의해 변화하는 것이 계산되어지고 본해석이 유효인 것이 검증 되었다.

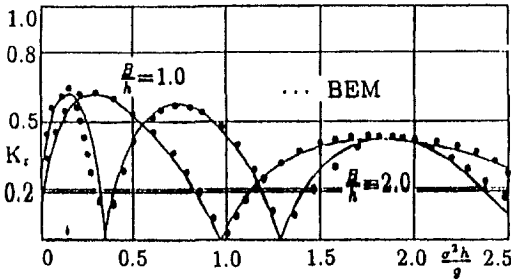


Fig. 3 Reflection coefficient of impermeable breakwater($q=0.2$)

그림 4는 그림 2에 나타난 潛提를 透過性潛提로 한 경우 반사율 K_r 및 통과율 K_t 를 저항계수 $\mu=0$, 공극율 $\epsilon=0.5, 0.1, 0.05$ 로 했을 때 계산한 것이고, 이것은 유체저항이 없고 공극율만을 고려한 가상의 투과층이고 그림으로부터 알 수 있듯이 ϵ 을 작게 하면 그림중에 실선으로 표시한 不透過潛提(그림 3)의 경우에 근접하는 것을 알 수 있다.

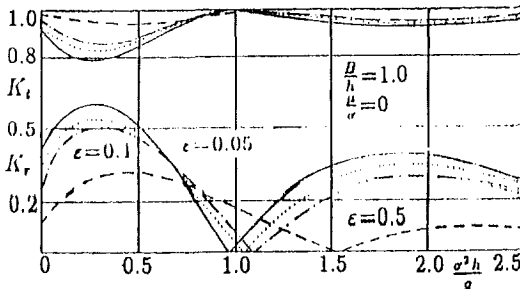


Fig. 4 Transmission and reflection coefficients with the change of porosity($q=0.2$)

또, 이때 $K_t^2 + K_r^2 = 1.0$ 이고, 더욱이 $\epsilon=1.0$ 의 유체만으로 했을 때 당연히 $K_r=0, K_t=1.0$ 으로 되는 결과가 얻어져 본 계산방법의 妥當性을 확인할 수 있다.

要素의 분할은 潛提위에 수심방향으로 $N=4$ 수평방향으로 $N=20$ 분할하고 더욱이 潛提양측에는 수심방향으로 $N=10$ 및 수평방향으로 $N=40$ 분할 했으며 총 절점수는 228이다.

IV. 結 論

본 연구에서는 波壓이 유체와 투과층 전영역을 통해서 연속함수로 표현된 경계치문제에 대해서 境界要素法解析의 적용성을 나타냈다.

이들의 적용계산으로서 본 해석방법의 타당성의 검증과 실용성을 나타냄과 같이 투과성구조물을 포함하는 해역에 대한 2차원 波動場에서의 消波의 예측을 행할 수가 있을 것이다.

V. 參考文獻

- (1) 井島 武士, 佐々木 富雄 : 潛提效果에 關する 理論的研究, 第18回 海岸工學講演會論文集, pp. 141-147, 1971.
- (2) 瀧川 清, 金 南亨 : 有限振幅波動解析における有限要素法と境界法について, 第3回 計算力學シンポジウム報文集, pp.213-220, 1989.