

투과성 구조물이 위치한 직립케이슨 및 유공케이슨의 반사율 검토

Investigation of reflection coefficient for vertical caisson and slit caisson with porous structure

이성재*, 유제선**, 조용식***

Sung-Jae Lee, Jeseon Yoo, Yong-Sik Cho

요 지

본 연구에서는 전면에 투과성 구조물이 위치한 직립케이슨 및 유공케이슨에 대해 수치모의를 실시하여 케이슨의 형태 및 투과성 구조물의 존재유무에 따른 반사율의 감소효과에 대하여 알아보았다. 수치모의에 사용된 모델은 비압축성 점성유체에 대한 복잡한 자유수면 변위의 표현이 가능한 VOF법을 적용하여 Navier-Stokes 방정식을 보다 정확하게 해석하는 CADMAS-SURF(수치파동수로)를 사용하였다. 상기 구조물에 규칙파를 입사하여 반사율을 산정한 결과 주기에 따라 차이가 있지만, 직립케이슨만이 존재하는 경우에 비해 직립케이슨 전면에 투과성 구조물이 위치한 경우 대략 5%정도의 반사율 감소효과를 얻을 수 있었고 유공케이슨만이 존재하는 경우에 비해 유공케이슨과 투과성 구조물이 조합 된 경우에는 20%이상의 감소효과를 얻을 수 있었다. 따라서, 방파제 전면에 위치한 구조물에 대한 반사파의 피해 감소 및 항만 내부 정온도를 고려한 안벽의 시공이 요구되어 질 경우에 투과성 구조물은 직립케이슨과의 조합보다는 반사율을 상대적으로 크게 감소시킬 수 있는 유공케이슨과의 조합이 적절함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 직립케이슨, 유공케이슨, 투과성구조물, Navier-Stokes 방정식, VOF(Volume of Fluid), CADMAS-SURF(수치파동수로)

1. 서 론

방파제의 역할은 부두시설 내에서 선박이 안전하게 계류하고 하역 작업에 문제가 없는 항내정온도를 만족시켜줄 수 있도록 외해에서 침입하는 파랑을 막아주는 것이다. 방파제는 크게 사석경사제, 직립제, 혼성제 등으로 나뉘는데 수심, 파의 특성, 재료의 위치 등에 따라 적합한 방식을 적용해야한다. 여기서 직립제에 속하는 직립케이슨은 입사파 에너지의 대부분을 반사시켜 파의 항내유입 차단효과 및 월파 감소효과가 우수하여 방파제로 사용하기에는 적합하지만 부두 및 항내의 정온 확보 측면에서는 효율적이지 못하며 직립케이슨 전면에 원유부이나 구조물이 있다면 반사파에 의한 구조물의 영향도 고려하여야한다. 이에 본 연구에서는 직립케이슨과 유공케이슨만이 존재하는 경우와 각 구조물 전면에 투과성 구조물이 위치한 경우에 대하여 수치모의를 실시하여 케이슨의 형태와 투과성 구조물의 존재유무에 따른 반사율의 감소효과에 대하여 비교 및 분석하였다. 수치모의에 사용된 모델은 비압축성 점성유체에 대한 복잡한 자유수면 변위의 표현이 가능한

* 정회원 · 한양대학교 토목공학과 석사과정 · E-mail : leesj98@hanyang.ac.kr

** 한양대학교 토목공학과 박사 후 연구원 · E-mail : jaeson.yoo@hotmail.com

*** 교신저자 · 정회원 · 한양대학교 토목공학과 교수 · E-mail : ysc59@hanyang.ac.kr

VOF법을 적용하여 Navier-Stokes 방정식을 보다 정확하게 해석하는 CADMAS-SURF(수치과동수로)를 사용하였다.

2. 수치모델의 이론적 배경

본 연구에서 사용한 수치모델의 지배방정식은 해저사면 및 투과성소파구조물 등과 같은 복잡한 형상을 취급할 수 있도록 2차원비압축성 점성유체를 대상으로 하는 연속방정식 및 Navier-Stokes 방정식을 porous모델에 근거하여 확장한 식 (1)~(3)을 사용하였다.

- 연속방정식

$$\frac{\partial \gamma_x u}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w}{\partial z} = S_\rho \quad (1)$$

- 운동방정식

$$\lambda_v \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_z u u}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z w u}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right\} - D_x u + S_u - R_x \quad (2)$$

$$\lambda_v \frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial \lambda_z u w}{\partial x} + \frac{\partial \lambda_z w w}{\partial z} = -\frac{\gamma_v}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \gamma_x v_e \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \gamma_z v_e \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right\} - D_z w + S_w - R_z - \gamma_v g \quad (3)$$

여기서, t 는 시간, x, z 는 수평·연직좌표, u, w 는 유속의 수평·연직성분, ρ 는 밀도, p 는 압력, v_e 는 분자동점성계수와 와동점성계수의 합, g 는 중력가속도, γ_v 는 공극률, γ_x, γ_z 는 수평·연직방향의 면적투과율, S_ρ, S_u, S_w 는 조파소스를 위한 소스항, $\lambda_v, \lambda_x, \lambda_z$ 는 구조물로부터 받는 관성력의 효과, D_x, D_z 는 에너지 감쇠대를 위한 계수, R_x, R_z 는 다공질체로부터의 저항력을 나타낸다.

자유표면 해석모델로는 복잡한 표면형상의 해석이 가능한 VOF(Volume of Fluid)법을 사용하였고 porous모델에 기초하는 VOF함수 F 의 이류방정식은 식 (4)와 같다.

$$\gamma_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial \gamma_x u F}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_z w F}{\partial z} = S_F \quad (4)$$

여기서, S_F 는 조파소스를 위한 소스항이다.

3. 수치모의 및 결과

3.1 수치모의대상 제원 및 입력조건

본 연구에서는 유공케이슨, 직립케이슨과 투과성 구조물을 포함한 수치과동수조의 단면을 그림 1과같이 구성하였다. 수치모의는 직립케이슨, 유공케이슨, 직립벽과 투과성 구조물의 조합, 유공케이슨과 투과성 구조물의 조합의 4가지 경우에 대하여 실행하였고, 조파소스를 이용하여 내부조

파 방식으로 규칙파를 입사하였으며 주기는 1.2초에서 2.0초까지 0.2초 간격으로 주었고 파고는 6cm로 하였다. 투과성 구조물의 계수로는 공극률은 0.5, 관성력계수는 1.5, 저항계수는 0.9로 설정하여 구현하였으며, 무반사 경계의 실현을 위해 좌측 끝에는 입사파장의 두배($2L$)길이의 감쇠대를 설치하고 그 끝단에는 개경계(open boundary)조건을 주었으며, 파고계는 4개를 설치하여 자유수면변위를 측정하였고 반사율은 Lin and Huang(2004)의 4점법을 통하여 산정하였다.

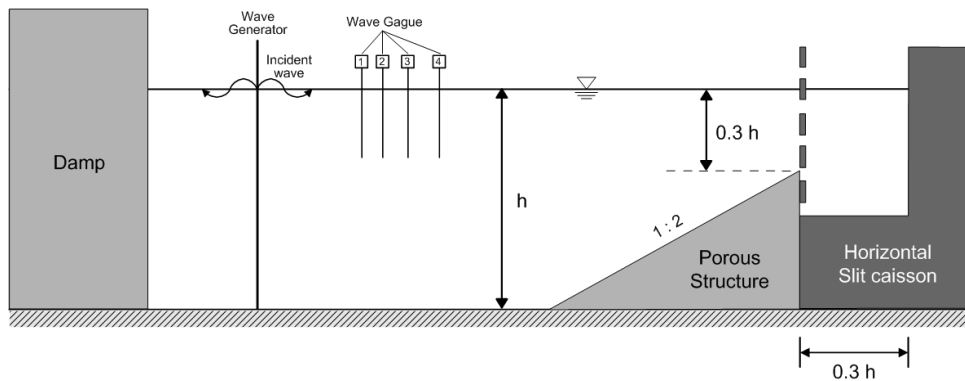
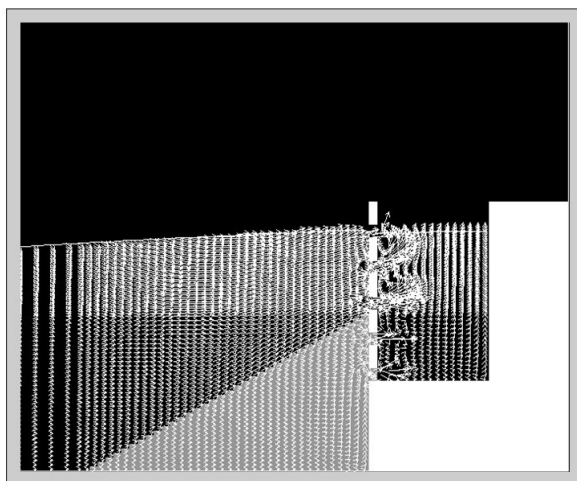


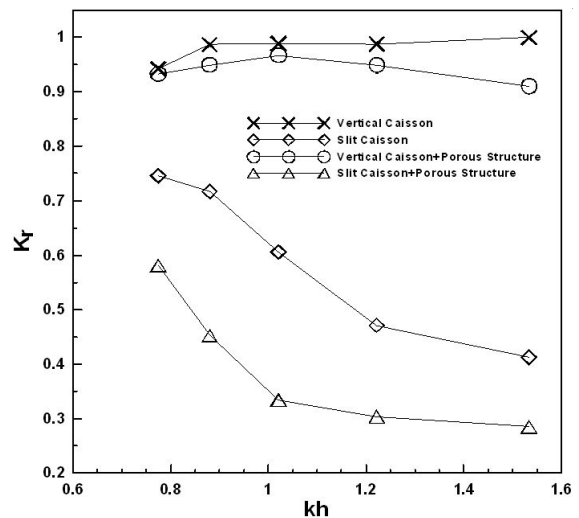
그림 1. 유공케이슨과 투과성 구조물을 포함한 수치파동수조 단면도

3.2 수치모의 결과

반사율의 산정 결과(그림 2.(右)) 직립케이슨만이 존재하는 경우보다 직립케이슨과 투과성 구조물 조합의 경우 주기에 따라 다르지만 약 5%정도 반사율이 감소되는 것을 알 수 있었고, 유공케이슨만이 존재하는 경우에 비하여 유공케이슨과 투과성 구조물 조합의 경우에 주기에 따라 다르지만 약 20%정도의 반사율 감소효과를 가져오는 것을 알 수 있었다. 또한 유공케이슨의 경우 내부 폭을 고정시킨 상황에서 주기가 작아지면 에너지 소산이 커지면서 반사율이 급격히 줄어드는 현상도 발견할 수 있었다.



(左)



(右)

그림 2. 시계열 프로그램에서의 유속벡터도(左) 및 구조물에 따른 반사율의 비교(右)

4. 결 론

본 연구에서 직립케이슨과 유공케이슨의 전면에 투과성 구조물을 위치하여 수치모의를 한 결과 직립케이슨 전면에 투과성 구조물을 위치시킨 경우에는 약 5%정도로 반사율이 미세하게 감소되는 반면 유공케이슨 전면에 투과성 구조물을 위치시킨 경우에는 약 20%정도의 큰 반사율 감소효과를 가져오는 것을 알 수 있었다. 따라서 투과성 구조물은 유공케이슨 전면에 위치하는 경우 직립케이슨과의 조합에 비하여 보다 큰 반사율 감소효과를 가져오기에 유공케이슨과의 조합이 상대적으로 실용적임을 알 수 있었다. 차후 유공케이슨의 슬릿 간격, 내부의 폭 변화, 다양한 주기의 적용 및 다양한 투과성 구조물의 형태 등에 따른 반사율의 변화에 대한 모의를 통하여 위 결론에 대한 보완의 필요성이 있다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부 해양수산연구개발사업(지진해일에 의한 동해 연안항 및 무역항 설계해면 산출)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 수치파동수로 연구회(2003). CADMAS-SURF 사용자 매뉴얼
2. 윤성범, 이종인, 남두현, 김선형(2006). 유공벽의 두께를 고려한 파의 에너지손실계수, 한국해양안·해양공학회지 제18권 제4호, pp. 321-328.
3. Chen, H.B., Tsai, C.P., Chiu, J.R.(2006). Wave reflection from vertical breakwater with porous structure, Ocean Engineering, 33, pp. 1,705-1,717.
4. LIN, C.Y., HUANG, C.J.(2004). Decomposition of incident and reflected higher harmonic waves using four wave gauges, Coastal Engineering, 51, pp. 395-406.