

수면에 고정된 부유식구조물 설치에 의한 사석경사제에서의 처오름높이 분석

Wave runup heights on rubble-mound breakwaters by fixed-type floating breakwaters

한세종*, 윤재선**, 조용식***

Se Jong Han, Jaeseon Yoon, Yong-Sik Cho

요 지

최근에 태풍 매미 등 이상 기후로 인한 기상이변이 빈번히 발생함에 따라 그에 대한 대처방안을 모색하기 위해 2005년 해양수산부에서는 지역 및 해역별 특성을 분석하여 종전 설계기준을 강화하였다. 하지만, 기존에 설계된 항만 구조물의 마루높이 및 피복재 중량 등이 새로 개정된 설계기준에 미치지 못하는 등 안전성에 대한 문제가 발생하고 있으며, 이러한 문제점을 개선하기 위해 기존 방파제를 보강하는 여러 방식이 제안되고 있다. 그 중 부유식방파제는 해수의 소동을 방해하지 않는 친환경적인 구조물으로써, 연약지반에 시공이 가능하고 시공 시 오타이 적게 발생하여 시공이 편하다는 장점을 가지고 있다. 또한 구조물의 해체 및 보강시 건설폐기물을 발생시키지 않는 친환경적인 구조물이기 때문에 새로운 방식의 대체 외곽항만구조물로 관심을 받고 있다.

이에, 본 연구에서는 사석경사제 전면에 부유식구조물을 설치하여 방파제 보강하는 방안을 제시하고자, 부유식구조물을 통과한 파랑이 사석경사제와 만나 발생하는 처오름높이를 분석하였다. 본 수치모의에서는 유체의 점성 및 난류특성을 포함하고 있는 Navier-Stokes 방정식을 그대로 해석하는 2차원 수치파동수조(CADMAS-SURF)를 이용하여 수치모의를 수행하였다. 부유식구조물은 불투수성구조물로 수면에 고정시키는 방식을 적용하여 사석경사제의 전면에 설치하였으며, 고정된 부유식구조물의 흡수심을 변화시켜 사석경사제에서의 처오름높이를 산정하였다.

핵심용어 : 처오름, 부유식구조물, 수치 파동수조(CADMAS-SURF), 사석경사제

1. 서 론

연안에 설치되는 방파제는 심해로부터 전파되어오는 파랑의 외력에 저항하는 가장 중요한 해안구조물이다. 심해에서 발생한 파는 연안에 설치된 항만구조물과 만나면서 처오름, 월파, 반사 및 회절 등과 같은 여러 물리적 현상을 발생시킨다. 이중 파랑의 처오름은 호안이나 방파제 및 제방 등의 높이를 산정하는데 매우 중요한 설계 조건으로 구조물의 배후에 시설물을 보호하고, 범람에 의한 피해를 최소화하기 위해 반드시 고려되어야 하는 사항이다.

최근에 태풍 매미 등 이상 기후로 인한 기상이변이 빈번히 발생함에 따라 그에 대한 대처방안을 모색하고, 지역 및 해역별 특성을 잘 분석해서 기존 설계기준을 강화한 항만 및 어항설계 기준(해양수산부, 2005)을 적용함에 따라 기존에 설계된 항만 구조물의 안전성이 문제시 되고 있다. 이를 보강하기 위한 방법으로 피복재 중량의 증설, 수중방파제 설치(Cho, 2011) 및 인공리프 설치(Mase *et al*, 2004)등과 같은 방안이

* 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 석사과정 · E-mail : sihan19@hanyang.ac.kr

** 정회원 · 한양대학교 공과대학 건설환경공학과 박사과정 · E-mail : yjs77@hanyang.ac.kr

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

제시되고 있으나, 높은 시공비용과 수중에 구조물 설치로 인한 해수순환을 막는 문제점을 발생시켜 환경오염문제를 발생시킨다.

본 연구는 투과성 구조물로서 해수의 흐름을 방해하지 않고 연약지반에 시공이 가능한 부유식 구조물을 이용하여, 수면에 고정된 부유식구조물을 통과한 파랑이 사석경사제에 입사하면서 발생하는 처오름높이를 분석하여 부유식구조물을 이용하여 처오름높이를 제어하는 방식의 방파제 보강방안을 제시한다.

2. 수치모형실험

2.1 2차원 수치파동수조(CADMAS-SURF)

투과성 구조물인 부유식구조물에 의한 사석경사제에서의 처오름을 측정하기 위해 유체의 점성 및 난류특성을 포함하고 있는 Navier-Stokes 방정식을 그대로 해석이 가능한 일본에서 개발된 2차원 수치파동수조(CADIT, 2001)를 이용하여 해석하였다.

수치파동수조(CADMAS-SURF)의 기초방정식은 2차원 비압축성 점성유체를 대상으로 한 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식에 공극 매체에서의 투과성 개념을 반영한 운동방정식으로 한다.

$$\frac{\partial(\gamma u)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z w)}{\partial z} = p \quad (1)$$

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

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

여기서, 식(1)은 연속방정식, 식(2)와 (3)은 운동방정식을 나타내고, 각 항별로 t 는 시간, x , z 는 수평, 연직 좌표, u , w 는 유속의 수평 및 연직 성분, ρ 는 밀도, p 는 압력, V_e 는 동점성계수와 와점성계수의 합, g 는 중력가속도, γ_v 는 공극률, γ_x , γ_z 는 수평 및 연직방향의 면적 투과율이다. D_x , D_z 는 에너지 감쇄대를 위한 계수, S_p , S_u , S_w 는 조파소스항, R_x , R_z 는 투과층(Porous media)에서의 저항력이다. 와점성 계수 ν_t 는 $k-\epsilon$ 모델에 의하여 결정된 난류운동에너지 k 와 난류에너지 소멸을 ϵ 값을 이용하여 결정한다.

수치파동수조는 자유표면해석을 위해 VOF법을 적용한다. VOF법은 복잡한 자유수면에도 적용이 가능한 범용성이 높은 모델로서 계산 격자내의 유체 체적의 점유율을 표시하는 VOF 함수 F 에 대한 이류방정식은 식(5)로 주어진다.

$$\lambda_v \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial(\gamma_x u F)}{\partial x} + \frac{\partial(\gamma_z w F)}{\partial z} = S \quad (5)$$

여기서, S_F 는 조파소스에 대한 항이다. 수면변위는 식(4)에 주어진 VOF함수에서 F 에 대한 이

송방정식을 계산하여 적용한다.

2.2. 수치모형실험

본 연구는 CADMAS-SURF를 이용하여 부유식구조물의 설치에 따른 사석경사제에서의 처오름높이를 측정하였다. 수치파동수조의 총연장은 30m, 수심은 0.6m이고 처오름을 측정하기 위한 사석경사제의 전후면 경사는 1:1.5로 구성하고, 구조물의 체재 공극률은 40%으로 구성하였다. 수치모형실험에 적용한 모든파는 규칙파를 적용하여 주기는 0.4초의 간격으로 1.8~3.0초, 파고는 2cm간격으로 6~12cm로 수행하였다. 수로의 반사의 영향을 최소화 하기위하여 수치수조의 양단에 소파장치를 두었으며, 부유식구조물의 흡수심에 변화에 의한 처오름높이를 측정하기 위하여 수면상에 고정식구조물로 설치하였다. 이 때 구조물의 흡수심은 0.15m, 0.20m, 0.25m로 변화시켜 사석경사제에서의 처오름높이의 변화를 비교하였다.

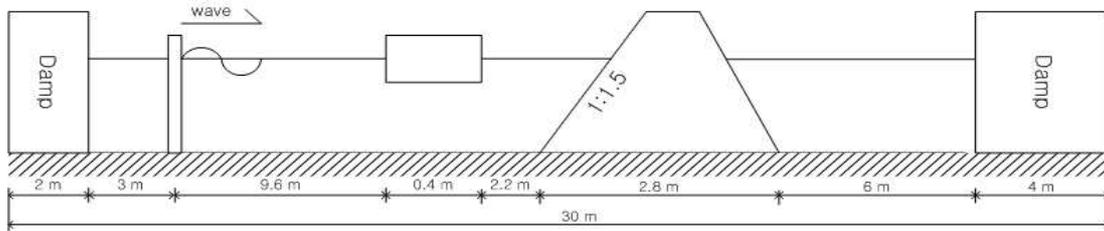
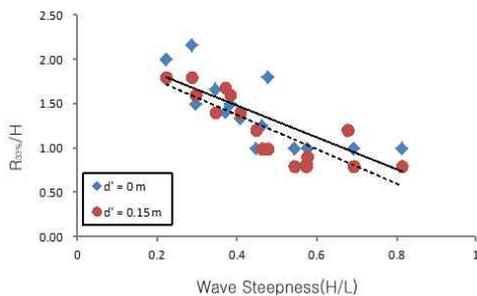


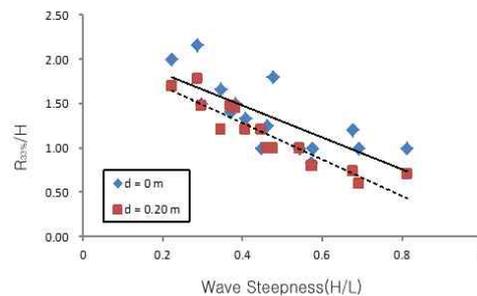
그림 1. 수치파동수조 적용 개략도

3. 수치해석결과

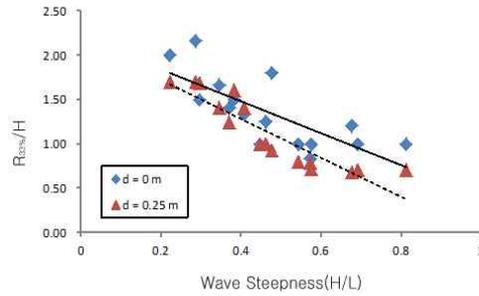
부유식구조물의 설치와 구조물의 흡수심에 따라 사석경사제에 발생하는 처오름높이를 비교하기 위하여 파형경사 (L)에 따른 사석경사제에서의 처오름높이(Ru)를 분석하였다. 처오름높이는 설계에 적용하는 상위2%($Ru_{2\%}$)에 해당하는 값을 분석하였으며, 상대처오름높이는 파고(H)에 대한 처오름높이의 비($Ru_{2\%}/H$)로 무차원화 하였다. 그림 2는 파형경사의 변화에 따른 상대처오름높이를 비교한 결과이다. 부유식구조물이 처오름에 미치는 영향을 비교하기 위하여 구조물 미설치시($d'=0m$)와 구조물이 설치시($d'=0.15\sim 0.25m$)를 흡수심별로 비교하였다. 부유식구조물 설치시 구조물의 흡수심이 증가할수록 상대처오름높이가 감소하였으나, 파형경사가 작아질수록 부유식구조물의 설치에 따른 상대처오름감소 효과는 작게 나타났다.



(a) $d'=0.15m$



(b) $d'=0.20m$



(c) $d'=0.25m$

그림 2. 홀수변화에 따른 사석경사제의 처오름높이 비교

4. 맺음말

부유식구조물의 설치에 따른 사석경사제에서의 처오름 감소효과를 확인하고자 사석경사제 전면 부유식구조물의 설치와 홀수심을 변화시켜 발생하는 처오름높이를 비교하였다. 부유식구조물의 설치가 사석경사제에서의 처오름높이를 감소시키는 것을 확인하였고, 홀수심이 증가할수록 처오름높이 감소효과는 커지는 것을 확인하였다. 이는 추후에 부유식구조물을 이용하여 방파제보강이 가능할 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지원 첨단항만건설기술개발사업(과제명: 항만권역 태풍 및 지진해일 재해대응체계 구축)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 해양수산부 (2005). 항만 및 어항설계 기준
2. CDIT (2001). Research and development of numerical wave channel, Coastal Development of Institute of Technology, CDIT Library, No. 12.
3. Cho, Y.-S. (2011). Effects of an Impermeable submerged structure on a rubble mound breakwater. *Journal of Coastal Research*, Vol. 27, pp. 378-383.
4. Mase, H., Miyahira, A. and Hedges, T.S. (2004). Random wave runup on seawalls near shorelines with and without artificial reefs, *Coastal Engineering Journal*, Vol. 46, pp. 247-268.