

구조물 주변의 파동장 - 세굴 간 양방향 수치해석기법에 관한 고찰 On Two Way Analysis Method between Wave Field and Scouring around Coastal Structure.

허동수¹, 전호성²

Dong-Soo Hur¹ and Ho-Sung Jeon²

1. 서 론

최근 해안 및 항만에서는 외해에서 들어오는 입사파랑을 제어하여 배후지역의 기능 유지 및 자연재해를 예방하기 위한 구조물로서 방파제, 잠제, 돌제 등이 건설될 뿐만 아니라 경제성 및 원활한 교통수송을 위해 다양한 해상교량들이 설치되고 있는 실정이다. 이처럼 외해 및 연안에 설치되는 구조물은 구조물에 작용하는 파랑과 조류 및 연안류 등의 작용에 의하여 해양으로부터 끊임없는 자연재해에 항상 노출되어 있으며 그중 구조물 주위의 지반에서 일어나는 세굴현상은 해상에 설치된 구조물의 기초 지지력을 감소시켜 구조물의 붕괴를 유발하기도 한다. 이러한 교량의 교각 및 교대와 해안구조물의 전면과 배후에 대한 세굴의 영향은 많은 학자들의 관심이 되어 왔으며, 이로 인해 해안구조물의 설계수법이 계속 발전되어 온 것은 당연한 결과이다.

해안구조물 주변의 세굴에 관한 과거의 연구로는 1997년 Fredsøe and sumer는 사석마운드 방파제의 등근 제두부 부근의 세굴 및 직립 방파제 제두부의 세굴에 대한 검토를 수행하였고, 최근 Ryu and Sohn(1999)는 2차원 단면실험으로 기초부의 세굴 및 피복석의 안정성의 한계에 대하여 보고하기도 하였다. 이외에도 제두부 주위 및 곡선부 호안 주위의 세굴특성과 안정성에 관한 연구도 많이 진행되어 있는 상태이지만 현재까지는 그 대부분이 자료수집에 한계가 있는 수리모형실험으로 연구가 진행되어 왔기 때문에, 세굴현상의 발생기구에 대한 정확한 규명은 아직 부족한 것으로 판단된다. 또한 비

교적 구조물 주변 세굴 발생기구의 물리적 현상을 잘 뒷받침할 수 있는 수치모형실험에 관한 연구는 최근에 들어서 시작되고 있으며 아직까지 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 해안구조물 주변의 해저지반 내 모래입자의 침식과 퇴적작용을 해석하기 위한 방법으로 해저지반의 움직임에 대해서는 요소간의 힘의 전달이 작용 및 반작용의 법칙을 따르는 것을 조건으로 하고 개개의 요소가 운동방정식을 만족하여 운동방정식에 따라 병진 및 회전의 변위를 시간차분식으로 바꾸어 시시각각으로 반복하는 개별요소법(DEM)을 적용하며, 해저지반 요소에 외력 조건으로 작용하는 파동장(유속장)의 시계열 해석에는 2차원 수치파동수조, LES-WASS-2D(허와 최, 2008)를 이용하였다.

본 연구에서는 전술한 두 가지 수치해석기법을 조합하여 새로운 양방향 연성해석수법을 개발하였으며, 이러한 양방향 연성해석수법은 먼저 2차원 유동장해석법(LES-WASS-2D)을 이용하여 유체력을 계산한 후, 이 유체력을 해저지반으로 초기배열된 개개의 요소에 적용하여 요소의 이동변위를 구하고, 이동된 요소의 위치를 추적하여 그 위치를 다시 유동장해석법에 적용시켜 새로운 유체력을 구하는 방식으로 일정시간 동안에 반복하여 수행된다.

2. 연성해석수법

2.1 DEM의 개요

개별 요소법은 Cundall and strack(1979)에 의하여

¹ 경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 부교수

² 발표자: 경상대학교 해양과학대학 해양토목공학과 박사과정

제안되었으며 요소의 집합체에 동역학적 거동을 수치적으로 해석하는 수법으로 요소간의 힘의 전달이 작용, 반작용의 법칙에 따르는 것을 조건으로 하고 요소간의 상호작용은 탄성스프링과 점성 Dash pot에 의해 표현하고 있다.

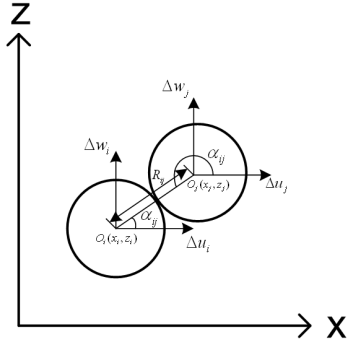


Fig. 1. Coordinates of two dimensional elements

Fig. 1은 개별요소법의 원리를 2차원 좌표계로 나타낸 것으로 요소 i (반경: r_i)와 요소 j (반경: r_j)간의 접촉조건은 식(1)과 같다.

$$r_i + r_j \geq \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (1)$$

개개의 요소가 만족해야 할 운동방정식은 병진 및 회전에 대해 각각 식(2)-(4)와 같으며, 여기서 m 은 요소의 질량을 \dot{u} 와 \dot{w} 는 요소 i 의 수평 및 연직유속성분을 $\dot{\omega}$ 는 각속도를 I 는 요소 i 의 체적을 ρ_s 는 요소의 밀도를 m 및 I 은 요소 i 의 부가질량 및 부가 관성 모멘트를 나타낸다. 또한, $\sum [F_x]_{ij}$ 와 $\sum [F_z]_{ij}$ 는 요소 i 에 작용하는 힘(접촉력)의 총합으로서 수평 및 연직성분을 $\sum [M]_{ij}$ 는 모멘트의 총합을 나타낸다.

$$(m + m')\dot{u} = \sum_j [F_x]_{ij} + [f_x] \quad (2)$$

$$(m + m')\dot{w} = \sum_j [F_z]_{ij} + [f_z] + V(\rho_s - \rho_w)g \quad (3)$$

$$(I + I')\dot{\omega} = \sum_j [M]_{ij} \quad (4)$$

요소에 작용하는 수평 및 연직 성분의 파력은 식 (5), (6)을 이용하여 산정되며, 여기서 C_D 는 항력계수, C_M 은 관성력 계수, D 는 요소의 직경, ρ 는 물의 밀도, u 와 w 는 각각 x 방향과 z 방향의 수립자속도를 의미한다.

$$f_x = \frac{1}{8} C_D \rho \pi D^2 u \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_M \rho \pi D^3 \dot{u} \quad (5)$$

$$f_z = \frac{1}{8} C_D \rho \pi D^2 w \sqrt{u^2 + w^2} + \frac{1}{6} C_M \rho \pi D^3 \dot{w} \quad (6)$$

2.2 LES-WASS-2D의 개요

본 연구의 외력조건인 유속장의 시계열 해석에 이용되는 LES-WASS-2D는 허와 최(2008)에 의해 개발된 2차원수치해석수법으로서 무반사조파를 위한 조파소스(조파원천)항이 포함된 연속방정식과 Porous Media의 적용을 위하여 투과성내의 유체저항으로서 관성저항(Sakakiyama and kajima, 1992), 난류저항(Ergun, 1952; van Gent, 1995) 및 층류저항(van Gent, 1995; Liu and Masliyah, 1999)을 도입한 수정된 Navier-Stokes 운동방정식과 자유표면을 추적하기 위한 VOF함수인 이류방정식으로 구성되어 있다. 또한 난류모델로서 Sub-grid scale 모델을 이용한 LES모델을 도입하고 있다.

2.3 양방향 연성해석수법

본 연구에서 사용된 양방향 연성해석수법은 해저지반을 대상으로 한 유동장 해석으로 2차원 유동장해석법(LES-WASS-2D)을 이용하여 해안구조물이 설치될 경우 구조물 전면 및 배후의 해저지반에 작용하는 유체력을 계산한 후, 이 유체력을 개별요소법(DEM)에 의해 배열된 해저지반 요소에 적용하여 해저지반 요소의 이동변위를 구하고, 이동된 요소의 위치를 다시 유동장 해석법에 적용시켜 새로운 유체력을 구하는 방법으로서 각각의 시간스텝마다 해저지반 요소의 이동변위에 대한 검토를 수행하였다.

3. 계산결과

3.1 수치파동수조 및 제원

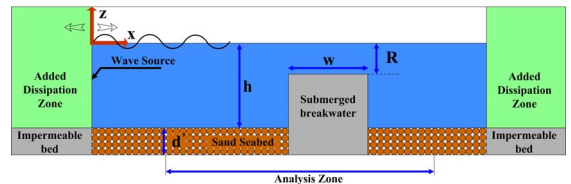


Fig. 2. Definition sketch of numerical wave tank

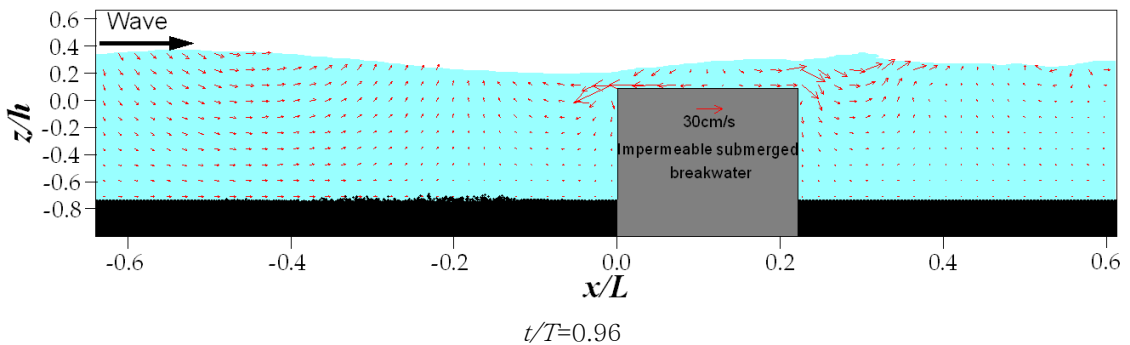
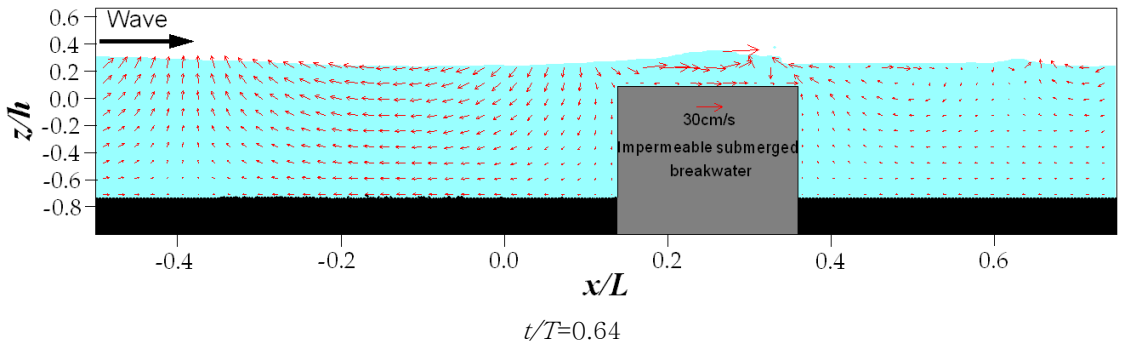
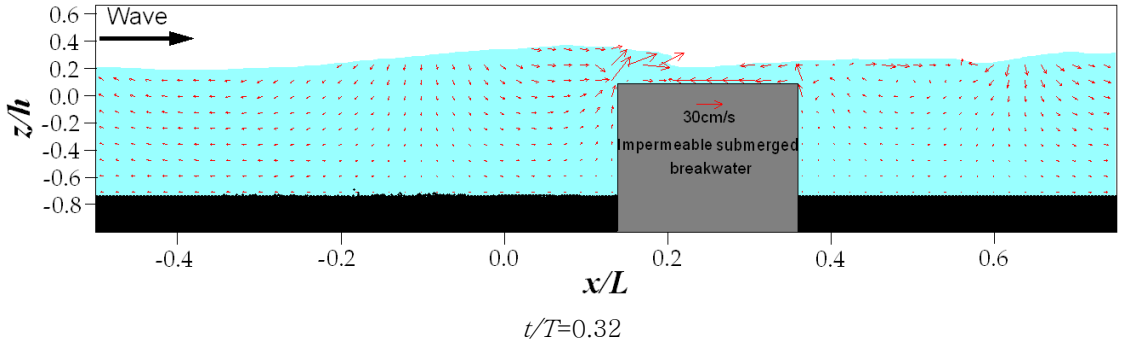
유체력에 의한 수중 구조물의 이동변위에 대한 검토를 하기 위해 Fig.2와 같은 수치파동수조를 이용하였으며, 파의 재반사를 방지하기 위해 조파소스와 부가감쇠영역을 설치하였다.

대상구조물로서 불투과성 구형 잠제 구조물을 이용하였으며, 천단수심(R)과 마루폭(M)은 각각 5cm 와 40cm , 수심(h)는 30cm , 저질높이(d')는 8cm 로 일정하게 하였다. 계산 대상영역은 가로 225cm , 세로 50cm , 구조물에 사용된 요소의 입경은 0.25cm , 요소의 밀도는 1.81g/cm^3 으로 계산을 수행하였다.

입사조건 및 수조형상에 대한 자세한 사항은 Table 1 에 나타낸다.

Table 1. Set-up conditions of numerical simulation

구 분	단일입경저질
계산간격(s)	1.0×10^{-3}
계산대상영역(cm)	$x=225, z=50$
격자크기(cm)	$\Delta x=0.5, \Delta z=0.5$
요소의 입경(cm)	$d=0.25$
요소의 밀도(g/cm^3)	$\rho=1.81$



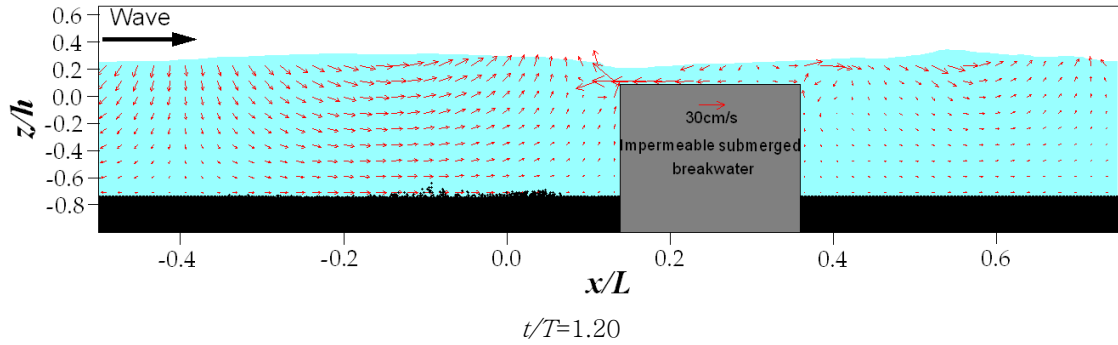


Fig. 3. Numerical results for scouring around an impermeable submerged breakwater

참고문헌

3.2 수치계산결과

Fig. 3은 개별요소법(DEM)과 2차원 유동장 해석법인(LES-WASS-2D)의 연성해석기법을 사용하여 주기 1.2sec 파고 4cm일 경우에 불투과성 구형 잠제 설치시의 해저지반 요소의 거동에 대하여 나타내고 있으며, 무차원 시간 $t/T=0.32 \sim t/T=1.2$ 일 때의 수치해석 결과를 나타낸다. 지면관계상 다양한 해석시간에 대한 그림을 전부 나타낼 수는 없지만 검토결과 작용하는 유체력에 따라 불투과성 구형 잠제 전면 해저지반의 요소가 이동하여 세굴현상이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 모래지반 위에 해안구조물이 설치될 경우 구조물 주변의 세굴에 관해 검토하기 위하여 해저지반의 움직임에 대해서는 DEM(개별요소법)을, 파동장에 대해서는 2차원 수치파동수조인 LES-WASS-2D(허와 최, 2008)를 이용하는 양방향 연성해석수법을 개발해 정성적으로 고찰하였다, 먼저 이 두 가지 수치모델을 결합하여 양방향 해석이 가능한 새로운 수치모델의 기초를 수립하였으며, 나아가 해안구조물 주변의 세굴에 관한 발생기구의 규명을 위해서는 본 연구에서 제안한 양방향 연성해석수법을 이용한 수치모델 결과의 검증과 모델의 고정도화를 위하여 활발한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

- Cundall, P.A. and Strack O.D.L. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Geotechnique*, 29(1), 47-65.
- Sakakiyama, T. and Kajima, R. (1992). Numerical simulation of nonlinear wave interacting with permeable breakwater. *Proc. of 23rd int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, Venice* : 1517-1530.
- Liu, S. and Jacob, H.M. (1999). Non-linear flows porous media. *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 86 : 229-252.
- Ergun, S. (1952). Fluid flow through packed columns. *Chemical Eng.*, 48 (2) : 89-94.
- J. Fredsøe and B.M. Sumer. (1997). Scour at the round head of a rubble-mound breakwater. *Coastal Eng.*, 29 : 231-262.
- B.M. Sumer and J. Fredsoe. (1997). Scour at the head of a vertical-wall breakwater. *Coastal Eng.*, 29 : 201-230.
- Ryu, C.R. and B.K. Sohn. 1999. Stability criteria of rubble mound structures under the irregular sea conditions. In *Proceedings of the international conference coastal structures 99, ASCE*, pp.223~230.