

지진해일의 처오름특성에 미치는 바닥마찰의 영향에 관하여 On Effects of Bottom Friction on Run-up Characteristics of Tsunami

허동수¹, 구남현², 이우동³

Dong Soo Hur¹, Nam Hean Goo² and Woo Dong Lee³

1. 서 론

2004년에 이어 올해도 인도네시아에서 지진이 발생하면서 쓰나미 경보가 발령되었지만 곧바로 경보가 해제되는 일이 발생하였다. 이렇게 쓰나미는 해저 산사태, 해저 화산 폭발, 해저지진과 같이 해저 지각의 급격한 변동이 발생하면 이로 인해 해수면의 변동이 초래되고 이 변동은 장파의 형태로 전파되어 연안이나, 포구에 큰 물기둥을 이루며 도달하게 되는데 이를 쓰나미 혹은 지진해일이라고 한다. 특히 지진해일이 전파되어 수심이 얇은 해안가에 도달 하게 되면 속도가 느려지고 진폭이 커지게 되므로 연안에서는 엄청난 재산피해와 인명피해를 초래할 수 있다.

더욱이 지진해일은 폭풍해일과는 달리 언제 발생할지 모르는 자연재해 현상이다.

이러한 자연재해 현상에 대해 조금이나마 피해를 줄이고자 국내외적으로 지진해일에 대한 연구는 다방면으로 많이 이루어지고 있다.

그 중에서 처오름에 대한 연구는 해안가에 건설되는 주요시설물이나 해안구조물을 설계하는데 중요한 지표가 된다. 이러한 지진해일의 처오름에 대한 연구로서 Zelt(1991)는 boussinegg방정식을 이용하여 바닥마찰 저항과 쇄파항까지 고려하여 처오름 높이를 계산하였으며, Hall and Watts(1953)는 고립파를 이용하여 처오름 높이에 관한 수리모형실험을 수행하였으며 다양한 경사 및 조건에 대해 실험을 수행함으로써 상대적으로 정확도가 매우 높은 것으로 평가되어 지금까지

수치해석결과의 검증자료로 많이 이용되고 있다. 한편 국내에서도 쓰나미에 대한 연구활동이 최근에 들어 활발하게 이루어지고 있는 가운데 조용식과 윤성범(2001)은 지진해일의 전파와 처오름에 대한 연구를 수행하여 지진해일의 전파와 해석의 정확도를 높였으며 또한 Cho et al.(2004)은 사면격자를 이용하여 근해 지진해일의 처오름 높이에 대한 검토를 수행하였다. 하지만, 전술한 대부분의 연구들은 수심적분 방정식을 이용하여 지진해일의 전파 및 처오름에 대하여 논의하였으며, 처오름 높이에 밀접한 관계가 있는 바닥마찰의 영향을 직접 고려할 수 있는 강비선형 3차원 수치해석기법에 의한 처오름 검토는 아직 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 강비선형의 3차원 수치해석기법인 LES-WASS-3D(허동수와 이우동, 2007)를 이용하여 지진해일 발생 시 해안에서의 처오름 높이를 검토함과 동시에 바닥 마찰(바닥경계조건)의 영향이 연안에서의 처오름 특성에 미치는 영향을 파악하여 실험결과와 이론적인 결과를 비교한다.

2. 수치해석이론

2.1 기초방정식

본 연구에 이용되는 LES-WASS-3D(허동수와 이우동, 2007)는 파·구조물·해저지반/해빈의 상호간섭을 직접 해석할 수 있는 3차원 수치해석기법으로서 무반사조파를 위한 조파소스항이 포함된 연속방정식과 투과성구조물내의 유체저항항을 도입한 수정된 Navier-Stokes 운동방정식 및 자유표면을 추정하기

1 경상대학교 해양토목공학과 부교수

2 경상대학교 해양토목공학과 석사과정

3 일본 나고야대학교 토목공학과 박사과정

위한 VOF함수(Hirt and Nichols, 1981)의 이류방정식으로 구성된 강비선형의 3차원 수치해석기법이다. 격자크기보다 작은 난류의 재현을 위해 SGS모델로서 Smagorinsky sub-grid model(Smagorinsky, 1963)를 이용하는 3차원 LES기법을 도입하였으며, 투과성구조물의 특성(입경, 공극, 형상 등)에 따른 유체저항의 특성을 재현하기 위하여 관성저항(Sakakiyama and Kajima, 1992), 난류저항(Ergun, 1952; van Gent, 1995) 및 층류저항(van Gent, 1995; Liu and Masliyah, 1999)을 적용하였다.

또한, 고립파의 조파를 위하여 Fenton(1972)에 의한 3차 근사식을 이용하여 고립파를 조파하였다.

2.2 수치해석기법의 검증

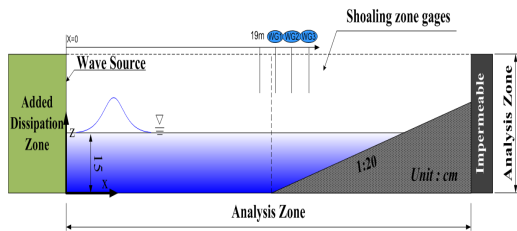


Fig.1. Definition sketch of numerical wave tank based on Liu et al.'s experimental one (2006)

본 연구에서는 경사면의 바닥마찰에 고립파의 파랑변형에 관한 타당성 및 유효성을 확인하기 위하여 Fig. 1과 같은 Liu et al.(2006)의 수리모형실험에 근거한 수치파동수조를 설치하였다. 파의 재반사를 방지하기 위해 외해측에는 조파소스 및 부가감쇠영역을 설치하였으며, 해석영역에는 수심(h) 15cm의 해역에 1:20의 비탈면 경사를 가진 불투과경사면을 설치하였다. 또한 불투과경사면에 대한 경계 처리는 계단식이 아니라 허동수 등(2008)이 제안한 경사면처리기법을 적용하였다.

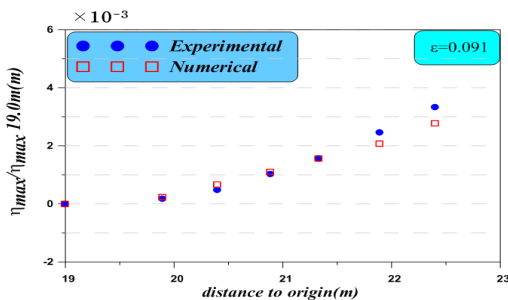


Fig. 2. Comparison between measured(Liu et al., 2006) and calculated maximum free surface elevation

Fig. 2 는 천구역(shaoling zone)에서의 최대수위(η_{max})를 나타낸 것으로 $x=19m$ 지점의 최대수위($\eta_{max(19)}$)를 기준으로 하였으며, ●는 Liu et al(2006)의 실험치를 □는 본 연구에서의 계산치를 나타내고 있다. Fig. 2로부터 본 연구의 계산치가 천구역에서의 고립파의 η_{max} 를 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 천구역에 설치된 파고계(Fig. 1의 WG1, WG2, WG3)에서의 시간과형을 나타낸 것으로 파란색 동그라미는 Liu et al.(2006)의 실험치를 빨간색 네모는 본 연구의 계산치를 나타낸다. Fig. 3으로부터 본 연구의 계산치가 Liu et al.(2006)의 실험치를 비교적 잘 재현하고 있음을 확인할 수 있으며 파고가 높아짐에 따라 비선형성도 함께 발달하는 것을 알 수 있다.

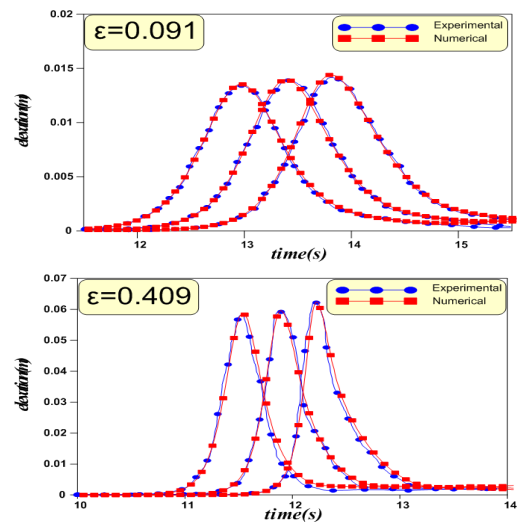


Fig. 3. Comparison between measured(Liu et al., 2006) and calculated free surface elevation.(at WG1, WG2 and WG3 in Fig. 1)

이상에 근거하여 비탈면경사가 1:20의 불투과경사면일 경우 허동수 등(2008)이 제안한 불투과경사면 처리기법을 LES-WASS-3D(허동수와 이우동, 2007)에 적용함으로써 경사면을 따른 고립파의 전파를 고 정도로 재현할 수 있는 것으로 판단된다.

3. 수치계산결과

본 연구에서는 지진해일 발생 시 연안에서의 처오름 특성을 파악하기 위하여 불투과 해빈을 설치한 후, 바닥마찰을 고려하기 위하여 불투과 해빈 상에 한 층의 투과층을 고려하여 공극률을 조절 하면서 바닥의 마찰을 고려하였다.

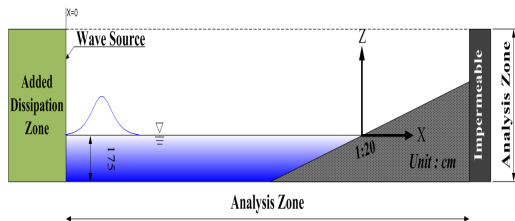


Fig. 4. Definition sketch of numerical wave basin based on Chang et al.'s experimental one (2008)

연안에서 고립파의 처오름 높이(run-up) 특성을 파악하기 위하여 Fig.4와 같은 Chang et al.(2008)의 수리모형실험에 근거하여 수치파동수조를 설치하였다. 수심을 1.75m로 고정하고 1:20의 불투과경사면을 연안측에 설치하였으며 고립파의 입사파고를 달리 하여 처오름 높이에 대한 수치계산을 수행하였다.

Table. 1 은 Chang et al.(2008)의 수리모형실험에 사용된 입사조건을 나타내고 있으며 파고(H/h_0)의 범위는 0.054-0.235, 처오름 높이(R)는 정선에서 수평으로 이동한 거리를 이용하여 산정하였다.

Table 1. Solitary wave conditions and run up heights in Chang et al.'s experiments(2008)

CA SE	H/h_0	$h_0(m)$	$\cot\Phi$	$R(m)$
1	0.054			0.350
2	0.094			0.555
3	0.164	1.75	20	0.700
4	0.220			0.805
5	0.235			0.860

3.1 파고에 따른 처오름 높이의 비교

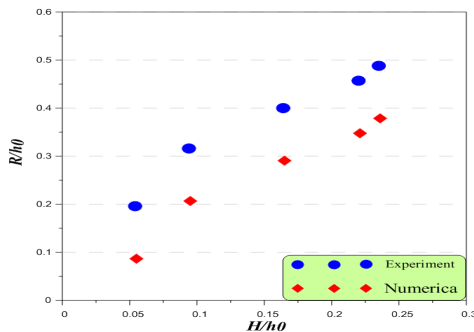


Fig. 5. Comparison of maximum run-up heights of solitary waves climbing up a 1:20 beach slope

Fig. 5는 1:20인 경사면을 전파하는 고립파의 파고에 따른 처오름 높이를 나타내고 있으며, ●은 Chang et

al.(2008)실험치를 나타내며 ◆은 본연구의 계산 결과를 나타낸 것이다. 본 연구에 의한 계산치가 실험치보다 과소평가하는 경향을 보이고 있으나, 파고의 증가에 따른 처오름 높이의 상승 경향은 동일한 것을 확인할 수 있다. 그리고 계산치가 실험치보다 과소평가하는 경향에 대해서는 사면 경계조건(바닥마찰)의 적절한 적용에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.2 사면 경계조건에 따른 처오름 높이의 비교

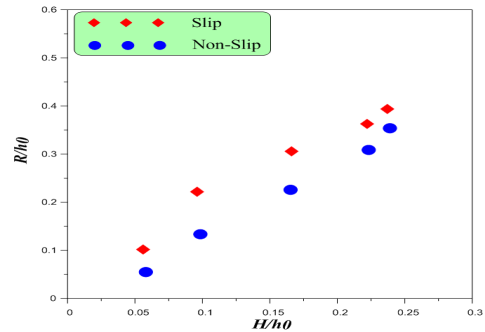


Fig. 6. Comparison of the maximum run-up heights of solitary waves climbing up a 1:20 beach slope in cases of slip/non-slip boundary condition

Fig. 6은 사면의 경계조건을 달리하여 계산한 결과를 나타내고 있으며, ◆은 slip 조건, ●는 Non-slip조건을 나타내고 있다. 그림으로부터 slip조건이 Non-slip의 경우에 비해 보다 처오름 높이가 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

3.3 사면 종류에 따른 처오름 높이의 비교

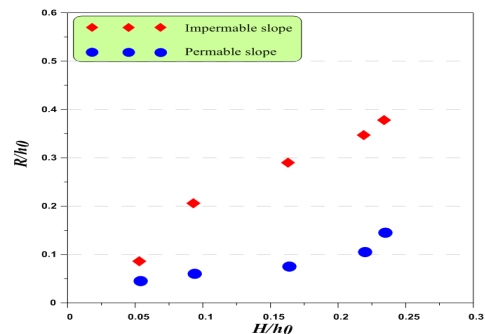


Fig. 7. Comparison of the maximum run-up heights of solitary waves climbing up a 1:20 beach in cases of permeable/impermeable slope

Fig. 7은 불투과/투과 사면을 전파하는 고립파

의 초오름 높이를 특성을 비교하기 위하여 수치계산을 수행한 결과를 나타내고 있으며, ◆은 불투과, ●은 투과해빈으로 구성하였다. 그림으로부터 알 수 있듯이 불투과해빈에 비해 투과해빈의 경우에 초오름 높이가 상당히 감소한다는 것을 알 수 있다. 이는 투과일 경우 사면을 타고 올라가면서 고립파의 에너지가 많이 소실됨으로써 에너지 손실이 적은 불투과의 경우에 비해 초오름 높이가 낮게 나타나는 것으로서 설명할 수 있다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 지진해일 발생시 바닥마찰이 연안에서의 초오름 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 강비선형의 3차원 수치해석기법인 LESS WASS 3D(허동수와 이우동, 2007)를 이용하였으며 바닥마찰(조도계수)을 고려하기 위하여 불투과층 사면 위에 한 층의 투과층을 설치한 후 공극률의 조정을 통하여 바닥의 마찰(조도)을 고려하였다. 또한, 불투과/투과 사면 및 사면 경계조건의 변화에 따른 초오름 높이도 검토하였으며, 사면경계조건이 수치계산을 통한 초오름 높이를 결정하는 데 중요한 요소로 작용한다는 것을 확인할 수 있었다.

마지막으로 본 연구에 의한 계산치가 실험치보다 과소평가하는 경향을 보이고 있는 것에 대해서는 사면 경계조건(바닥마찰)의 적절한 적용에 대한 검토가 필요할 것으로 판단되며 계속 검토해나갈 예정이다

참고문헌

허동수, 이우동, 배기성. (2008). 사각격자체계 수치모델에서의 경사면 처리기법에 관하여. 대한토목학회논문집, 28(5B), 591-594.
 허동수, 이우동. (2007). 잠재 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원적 특성, PART I - 해빈이 없는 경우. 대한토목학회논문집, 27(6B), 509-519.
 조용식, 서승원(2001). "이동경계를 이용한 지진해일의 최대범람구역 추산." 한국해양해양공학회지, 제 13권, 제 2호, pp. 100-108.

조용식, 윤성범(2001). "지진해일의 전파와 초오름에 관한 수치해석." 한국수자원학회논문집, 제 34권, 제 2호, pp. 169-176.
 Chang, Y.-H., Hwang, K.-S, and Hwang, H.-H.,(2009). "Large-scale laboratory measurements of solitary wave inundation on a 1:20 slope." Coastal Engineering, Vol. 56. Issue 12. pp. 1022-1034.
 Liu, P.L-F., Simarro.G., Vandever .J., and Orfila,A.(2006). "Experimental and numerical investigation of viscous effects on solitar wave propagation in a wave tank." Coastal Eng.
 Cho, Y.-S., Park, K.-Y. and Lin, T.-H., (2004). "Run-up heights of nearshore tsunami based on quadtree grid system." Ocean Engineering, Vol. 31, pp. 1093-1190.
 .Sakakiyama, T. and Kajima, R. (2002). Numerical simulation of nonlinear wave interacting with permeable breakwater. Proc. of 23rd Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, Venice., pp. 1517-1530.
 van Gent, M.R.A. (1995) wave interaction with permeable coastal structures, ph.D. Thesis, Delft University The Netherlands.
 Liu, P.L-F. and Cho, Y.-S.(1994)."Integral equation model for wave propagation with bottom frictions." Journal of Waterway. Port, Coastal and Ocean Eng, ASCE, Vol.120, No. 6, pp. 594-608.
 Zelt, J. A. (1991). "The run-up of nonbreaking and breaking solitary waves." Coastal Engineering, Vol. 15, pp. 205-246.
 Fenton, J. (1972) A ninth-order solution for the solitary wave: Part2, J. Fluid Mwch., Vol . 53, pp. 257-271.
 Smagorinsky, J. (1963) General circulation experiments with the primitive equation. Mon. Watch. Rev., 91(3)., pp. 99-164.
 Ergun, S. (1952) Fluid flow through packed columns. Chemical Eng., 48(2)., pp. 89-94.
 Hall, J. V., and Watts, J. W. (1953). "Laboratory investigation of the vertical rise of solitary wave on impermable slopes." Technical Memorandum 33, Beach Erosion Board, US Army of Crops of Engineers, USA.