

해안경사에 따른 지진해일 초오름 높이의 변화 Run-up Heights of Nearshore Tsunamis for Different Slopes of Islands

김병진¹, 조용식²
Byung-Jin Kim¹, and Yong-Sik Cho²

1. 서 론

강력한 해저지진에 의해 생성된 지진해일은 선형장파의 속도로 심해를 지나 수심이 상대적으로 작은 해안선 근처에 도달한다. 일반적으로 지진해일이 해안선 근처에 도달하면 천수효과에 의해 파장은 감소하며 파고는 급격히 증가하기 때문에 해안선 근처에서 대규모 범람을 일으켜 많은 인명 및 재산피해를 초래할 수 있다.

최근 수년간 태평양 연안에서는 많은 인명피해와 재산피해를 초래한 대규모 지진해일이 빈번하게 발생하고 있다. 특히, 1996년 2월 17일 인도네시아 이리안 자야주의 Biak섬에서 106 km 정도 떨어진 태평양에서 발생한 리히터 규모 8.2의 강력한 해저지진에 의해 발생한 지진해일로 인해 인도네시아에서는 50 여명 이상의 인명피해와 엄청난 재산피해가 발생했음은 물론, 우리나라의 남해안, 일본 및 태평양의 여러 섬과 연안국가에서도 지진해일 주의보가 발령되기도 하였다(한국일보, 1996).

우리나라의 연안에는 제주도를 비롯한 많은 섬들과 항만시설들이 위치하고 있을 뿐만 아니라 이미 건설되었거나 현재 건설중인 모든 원자력발전소가 위치하고 있어 지진해일 엄습시 섬, 항만시설 및 원자력발전소에 미칠 영향을 연구하는 것은 예상치 못한 지진해일에 대비한 재해예방 측면에서 매우 중요하다.

최근의 여러 지진해일 중에서 1992년 인도네시아와 1993년 일본에서 발생한 지진해일은 일반적인 상식과는 매우 다르게 진원지부근에 위치한 Babi섬과

Okushiri섬의 배후 지역(shadow zone)에 포함된 지점에서 매우 높은 초오름높이가 관측되었다. 1992년 인도네시아 Flores섬 지진해일의 경우, Babi섬의 대부분의 지역에서 관측된 최대 초오름높이는 4 ~ 5m에 불과했으나, 일부 지역에서는 절벽붕괴로 인해 발생한 최대 초오름높이가 26m에 이르렀다(Okal, 1993). 또한, 1993년 동해에서 발생한 Hokaido 지진해일에 의해 발생한 Okushiri섬의 최대 초오름높이는 30m에 이르렀는데 관측된 장소는 지진해일의 진행방향과 반대편에 있던 배후 지역에 속한 곳이었다. 특히, Babi섬과 Okushiri섬은 각각 원형 및 타원형에 가까운 형태를 갖는 섬이다.

인도네시아 Babi섬과 일본 Okushiri섬의 배후 지역에서 관측된 매우 높은 초오름높이에 관한 원인을 규명하기 위해 미국 육군 공병단 해안공학연구소(Coastal Engineering Research Center)에서 대규모 수리모형실험을 수행하였다. 수리모형실험은 Fig. 1에 도시된 것과 같이 너비 30m, 길이 25m의 콘크리트 수조에서 수행되었으며, 수조의 중앙에 사면경사(S)가 1V:4H인 원형섬이 위치하고 있으며, 입사파로는 고풍파가 이용되었다.

본 연구에서는 해안선 근처에서 지진해일의 초오름에 국한시켜 해안경사에 따른 지진해일 초오름높이의 변화를 조사한다. 먼저, 수치모형의 정확성을 검증하기 위해 이미 연구된 사면경사가 1V:4H인 원형섬 주위에서의 최대 초오름높이와 수리모형실험에서 관측한 자료를 비교한다. 아울러 사면경사가 각각 1V:3H, 1V:5H인 원형섬에서의 최대 초오름높이를 비

¹ 한양대학교 토목공학과 석사과정(Department of Civil Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea)

² 한양대학교 토목공학과 조교수(Department of Civil Engineering, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea)

교한다.

2. 수치모의

본 연구에서는 해안경사의 변화에 따른 초오름높이의 변화를 중점적으로 조사한다. 지진해일 연구에서 가장 중요한 정보가 섬주위에서의 최대 초오름높이이므로 본 연구도 이에 초점을 맞춘다.

수치계산에서는 입사파의 파봉선 길이(λ)에 대한 바닥지름의 비(D)로 정의된 비율(λ/D)이 사용되었다. 즉, $\lambda/D=3.810$ 이다. Fig. 1은 해안공학연구소에서 사용되었던 수리실험장치를 간단히 도시한 것이다. 조파기(DSWG, directional spectral wave generator)는 각각 독립적으로 작동이 가능한 60개의 소형 조파기로 구성되어 있다. Fig. 1에서 조파기는 x 축을 따라 설치되었다.

본 연구에서 사용한 수치모형은 식 (1) - (3)으로 주어지는 비선형 천수방정식(nonlinear shallow-water equations)을 유한차분법으로 해석한 것으로, 비선형항은 풍상(upwind)기법으로, 나머지 항들은 leap-frog 기법으로 차분화하였다(Cho and Liu, 1999).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \tau_x H = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \tau_y H = 0 \quad (3)$$

식 (1)-(3)에서 $P=u(h+\zeta)$ 와 $Q=v(h+\zeta)$ 는 각각 x 와 y 방향에서의 체적유입요소이며, u 와 v 는 각각 x 와 y 방향에서의 평균수심유속을 나타낸다. 그리고, $H=h+\zeta$ 는 총수심이며, τ_x 와 τ_y 는 바닥마찰항을 나타낸다.

식 (1)-(3)에 관한 차분기법은 Liu 등(1995)과 Cho and Liu(1999)를 참조할 수 있다.

3. 토 론

본 연구에서는 여러 해안경사에 따른 초오름높이를 조사하였다.

Fig. 2에서는 본 연구에서 사용된 수치모형의 정확도를 검증하기 위해 $\varepsilon(=A/h)=0.1$, $\lambda/D=3.810$ 일때, 해안경사가 1V:4H인 원형섬 주위에서의 고립파의 최대 초오름높이를 계산한 후, 이를 수리모형실

험에서 측정한 자료와 비교하여 도시하였다. 그림에서 R 은 초오름높이를 나타내며, ε 는 A/h 로 정의된 상대적인 파의 높이이고, β 는 섬의 앞면 중앙으로부터 반시계방향으로 측정된 각도로서, $\beta=0$ 과 $\beta=\pi$ 는 각각 섬의 앞면과 섬의 뒷면, 즉 입사파가 진입하는 방향의 중앙과 배후 지역의 중앙을 의미한다.

Fig. 3에서는 여러 해안경사에서의 초오름높이가 비교되었다. 수치계산에서 섬의 바닥지름은 7.2m로 일정하고, 섬 주위의 수심은 0.32m로 일정하게 유지되며, 입사파의 높이는 0.032m이다. 해안경사가 각각 1V:3H, 1V:4H, 1V:5H일때 모두 전체적으로 섬의 전면($\beta=0$)에서 초오름높이가 최대가 되었다가 β 가 증가함에 따라 선형적으로 감소하나 섬의 뒷면, 특히 $\beta=\pi$ 에서 매우 급격히 상승한다. 섬의 뒷면, 즉 $\beta=\pi$ 에서의 최대 초오름높이는 $\beta=7\pi/8$ 에서의 최대 초오름높이의 거의 두 배에 이르는데 이는 원형섬 주위에 간헐 서로 마주 보고 진행하던 파랑이 $\beta=\pi$ 에서 충돌하여 초오름높이를 형성하기 때문이다. 아울러, 2차원 경사면의 경우와 유사하게 해안경사가 증가함에 따라 최대 초오름높이는 감소함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 비선형 천수방정식을 유한차분법으로 해석하여 원형섬 뒷면에서의 특이하게 큰 초오름높이를 여러 해안경사에 대해 조사하였다. 원형섬 주위의 최대 초오름높이는 입사파의 파봉선 길이와 해안경사에 영향을 받는다. 특히 섬의 뒷면에서의 초오름높이는 반대방향에서 접근해오는 파에 의해 더 커질 수 있다.

본 연구에서 이용된 수치기법은 발생 가능성이 있는 지진해일의 엄습에 대하여 다양한 해안경사를 갖는 원형섬에서의 최대 초오름높이를 예측하는데 사용될 수 있을 뿐만 아니라 구해진 초오름높이를 이용하여 범람지도를 작성하는 데에도 적용할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 연구과제(No. 1999-2-311-005-3)에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 조용식, 1998. 해안선에서의 지진해일 치오름높이의 증폭, 대한토목학회논문집, 제18권, 제2-1호, pp.41-46.
- 한국일보, 1996. 1996년 2월 18일, 제14845호.
- Cho, Y.-S. and Jin, S.-B., 2000. Run-up Height of Nearshore Tsunamis for Different Slopes and Shapes of Islands, *Proceedings of the 4th International Conference on Hydrodynamics*, Yokohama, Japan, pp.599-604.
- Cho, Y.-S. and Liu, P.L.-F., 1999. Crest length effects in nearshore tsunami run-up around islands, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 104, pp. 7907-7913.
- Liu, P.L.-F., Cho, Y.-S., Briggs, M.J., Synolakis, C.E. and Kanoglu, U., 1995. Run-up of solitary wave on a circular island, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 302, pp. 259-285.
- Okal, E.A., 1993. Predicting large tsunamis, *Nature*, Vol. 361, pp. 686-687.

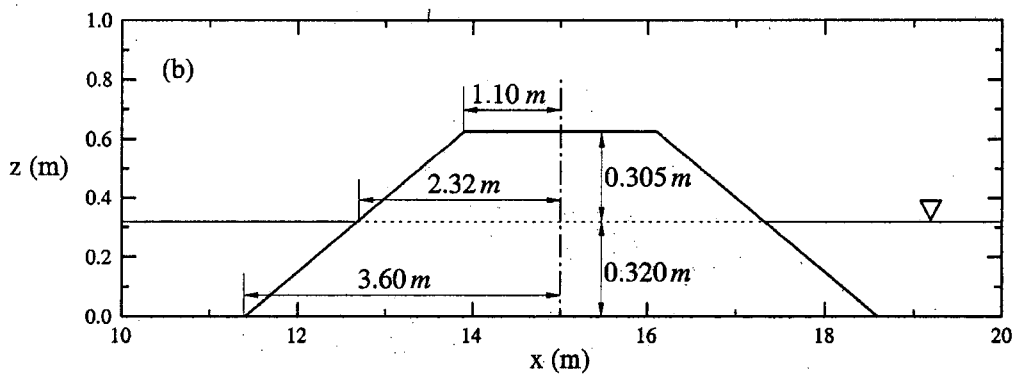
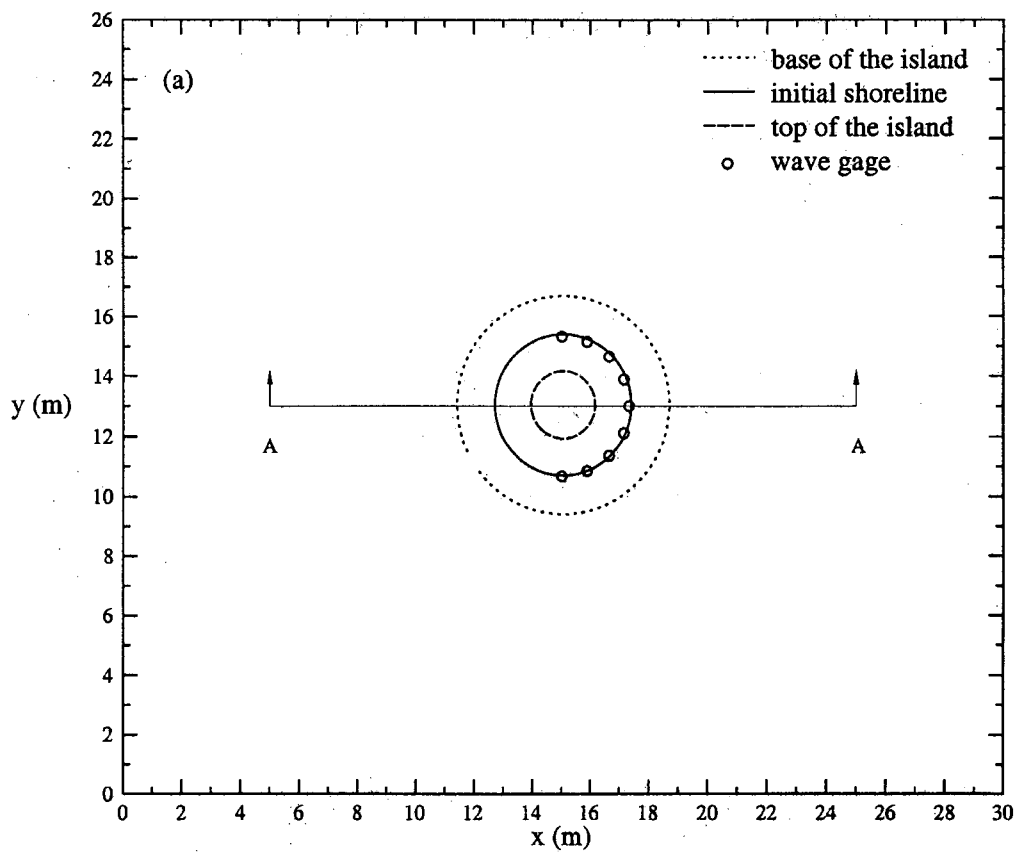


Fig. 1. The plan view of the circular island and the wave tank: (a) the basin, the wave gage and the island. (b) cross section A-A view of the island

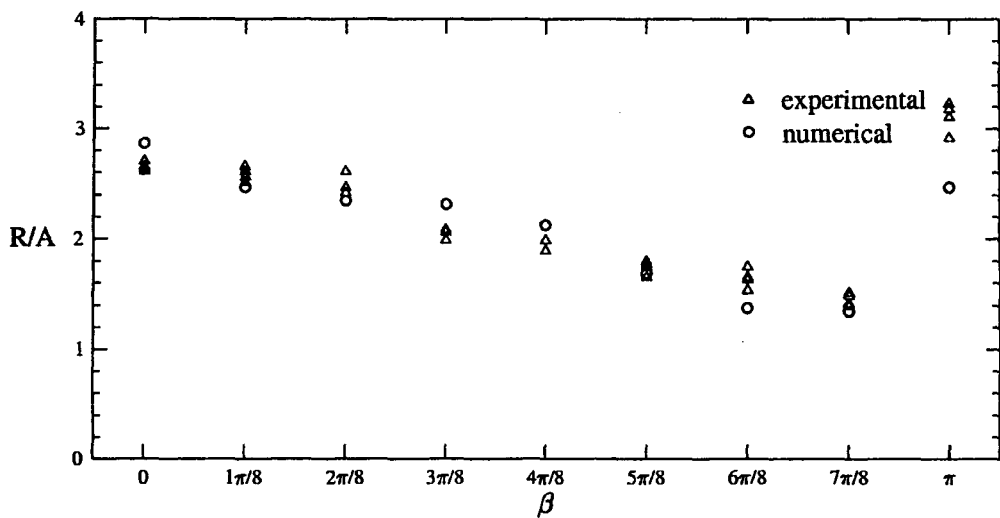


Fig. 2. Comparison of the normalized maximum run-up heights around the circular island ($\epsilon = 0.1$ $S=1:4$) for $\lambda/D = 3.810$: $\triangle\triangle\triangle$ - laboratory measurements ; $\circ\circ\circ$ - numerical results

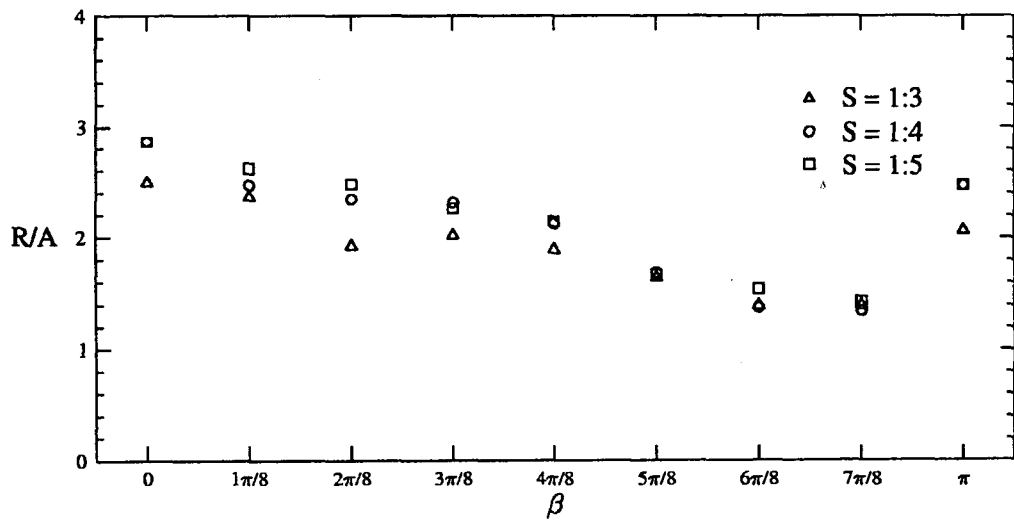


Fig. 3. Comparison of the normalized run-up heights ($\epsilon = 0.1$) for $\lambda/D = 3.810$: $\triangle\triangle\triangle$ - slope 1:3 ; $\circ\circ\circ$ - slope 1:4 ; $\square\square\square$ - slope 1:5