

섬의 형상과 입사파 폭에 따른 초오름 높이의 변화

Variation of Run-up Height for Shapes of Islands and Transverse Lengths of Incident Waves

안영창* / 조용식**

1. 서 론

지진해일(tsunami)은 조합된 일본어로 해저지진으로 인해 발생한 파랑이 항만내로 진입하여 공명현상에 의해 큰 진폭의 파랑이 형성되는 것을 의미한다. 지진해일은 고대부터 일본과 지중해 연안에서 관측된 것으로 기록되었으며, 최근기록으로는 여러 지진해일 중 엄청난 위력을 갖는 몇 개의 지진해일이 1990년대에 태평양 연안에서 발생하였다.

1992년 Indonesia와 1998년 Papua New Guinea에서 발생한 지진해일이 그 중 하나이며 인명피해만도 1000명 이상이나 된다. 또한, 1992년 Indonesia 지진해일과 1993년 동해에서 발생한 Hokkaido 지진해일은 진원지 부근에 위치한 Babi섬과 Okushiri섬의 배후 지역(shadow zone)에서 높은 초오름이 발생하는 특이 현상까지 나타냈다(Cho와 Liu, 1999). 두 섬에서의 지진해일의 거동은 그 특이 현상으로 인해 학자들의 관심을 끌었으며 그 원인을 규명하기 위해 일본과 미국에서 대규모 수리모형실험을 실시하였다.

본 연구에서는 실제 Babi섬의 형상이 원형의 섬이고 Okushiri섬의 형상이 타원형이므로 원형 섬의 실험 값을 본 모형의 수치 값과 비교하여 본 모형을 검증하고 이를 타원형 섬에 적용하여 원형 섬과 비교한다. 특히, 섬의 해저지름과 입사파 폭을 조절하여 여러 경우의 비율에 대한 초오름 높이의 변화를 중점적으로 조사한다.

이 논문은 입사파 폭과 섬 형상에 따른 초오름 높이의 변화를 예측하여 지진해일의 위험으로부터 인명 및 재산피해를 최소화하기 위한 측면에서 연구되었다.

2. 지배방정식

본 연구에서 사용한 수치모형의 지배방정식으로는 비선형 천수방정식을 사용한다. 일반적으로, 지진해일이 대양을 가로질러 연안으로 접근하면 파장은 짧아지고 파고가 증가할 뿐만 아니라 Coriolis 효과와 분산의 중요성이 감소하고 비선형성의 중요성은 매우 커지므로 해안선 부근에서의 지진해일의 거동은 비선형 천수방정식을 사용하는 것이 바람직하다.

다음은 바닥 마찰항을 고려하지 않은 비선형 천수방정식으로, Liu 등(1995)에 따르면 수치모형에 의해 계산된 최대 초오름 높이는 수리실험에 의한 관측자료와 비교한 결과 바닥마찰저항은 큰 역할을 하지 않는 것으로 밝혀져 본 연구에서는 바닥 마찰저항은 고려하지 않았다.

* 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

** 한양대학교 공과대학 토목공학과 부교수

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

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

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

지배방정식 (1)-(3)에서 P 와 Q 는 각각 x 축과 y 축 방향의 체적 흐름율, 즉 $P = uH$ 와 $Q = vH$ 를 나타내며, ζ 는 자유수면변위이다.

3. 원형 섬에 적용

Indonesia의 Babi섬 배후지역에서 관측된 매우 높은 처오름 높이에 관한 원인을 규명하기 위해 미국 공병단 산하 해안공학 연구소(Coastal Engineering Research Center)에서 대규모 수리 모형실험이 수행되었다. 해안공학연구소의 수리실험에서 사용된 수조는 가로 30m, 세로 25m의 콘크리트 구조이며 수조의 중앙에 높이 0.625m, 해저 지름 7.2m, 경사 1V:4H의 원형 섬이 위치한다. 입사파는 파고 (A)가 0.032m 인 고립파이며, 비선형성의 크기를 나타내는 수심 (h)에 대한 입사파의 파고의 비, 즉 $\epsilon = (A/h)$ 은 0.1이다.

Fig. 1은 해안공학연구소에서 사용되었던 수리실험장치를 간단히 도시한 것이다. 그림에는 나타나지 않지만 x 축을 따라 조파기가 설치되어 있다.

Fig. 2는 $\epsilon (= A/h)$ 이 0.1인 입사파의 파봉선 길이(λ)와 섬의 해저지름(D)과의 비율 (λ/D)에 따른 최대 처오름높이(R)를 실험 값과 비교한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 본 모형과 실험 값은 잘 일치함을 볼 수 있으며, 파봉선의 길이가 늘어남에 따라 섬의 배후지역에서 높은 처오름이 발생함을 확인 할 수 있다. 여기서, β 는 입사파 방향에서 섬 둘레를 반시계 방향으로 측정한 각도로 Fig. 2에서 x 방향의 1에서 8은 각각 $\pi/8$ 에서 π 까지를 나타낸다.

4. 타원형 섬에 적용

본 절에서는 섬 형상에 의한 최대 처오름 높이를 조사하기 위해 두 개의 타원형 섬이 선택되었다. 타원형 섬은 정사각형 섬이나 다른 형태의 섬보다는 실제의 형상에 근사하므로, 지진해일 발생시 우리나라의 제주도나 Okushiri 섬과 같은 타원형 섬에서의 처오름의 영향을 파악할 수 있다.

Fig. 3은 섬 형상에 따른 섬 주위에서의 처오름 높이를 비교한 것이다. 섬 형상에 의한 지진해일의 영향은 입사파 폭과 같은 물리적 요소를 이용하여 조사하였다. 그 결과 입사파의 파봉선 길이(λ)와 바닥지름(D)의 비가 0.444인 경우는 입사파의 폭과 바닥지름의 비가 너무 작아 상대적으로 긴 입사파 폭에 비해 처오름 높이의 변화가 다소 단조롭다. 반면, $\lambda/D=0.889$ 보다 큰 경우에는 입사파의 폭이 늘어남에 따라 섬 형상에 따른 처오름의 양상이 뚜렷하게 나타난다. 결과적으로, 전반적인 처오름 높이는 Elliptic A의 형태가 다른 섬의 형상 보다 섬 주위에서 더 높은 처오름 높이를 보인다. 이는 Table 1에 도시한 것처럼 Elliptic A의 x 방향 지름이 4.64m, y 방향 지름이 3.9m로 x 방향 지름이 y 방향 보다 상대적으로 더 긴 타원의 형태이고, 섬의 형상에 따른 측면의 곡률 또한 다른 섬의 형상보다 완만하기 때문에 $\beta=0$ 에서 $\beta=\pi/2$ 까지는 즉, 그림 3에서 x 축의 첨자인 0에서 4까지는 입사되는 고립파가 섬에 부딪히는 면적이 더 넓어 생기는 현상이다. 이와는 반대로 $\beta=\pi/2$ 에서 $\beta=\pi$ 는 섬의 형상에 따른 후면의

더 급하기 때문에 다른 형상의 섬 보다 처오름 높이가 더 작았다. 참고로, 본 모형에 사용된 섬의 형상은 원형 섬과 비교하기 위해 섬 형상만 제외하고 나머지는 CERC의 수리모형실험과 동일하게 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 비선형 천수방정식을 이용하여 섬 형상과 입사파 폭에 따른 지진해일의 처오름 높이를 원형 섬의 경우와 비교하였다. 각 형상에 따른 섬 주위의 최대 처오름 높이는 섬 주위의 해저지형에 간헐 파랑에 의해 발생하며, 특히, 섬의 배후지역에서는 섬 주위를 따라 서로 반대 방향으로 진행하는 파랑의 충돌로 매우 큰 처오름 높이를 발생한다는 사실을 확인 할 수 있었다. 이러한 현상으로 인해 발생하는 섬의 배후지역의 처오름 높이는 섬의 형상과 입사파의 폭에 따라 다르며, 파봉선의 길이가 점차 커질수록 최대 처오름 높이 또한, 크게 발생함을 알 수 있었다.

아울러, 지진해일에 의한 피해는 상대적으로 작은 섬이 큰 섬에 비해 그 피해가 크고, 섬의 형상에 의한 지진해일의 범람 피해도 x 방향지름이 y 방향지름에 비해 긴 타원형 형상이 다른 섬의 형상 보다 섬 전면부에서 지진해일로 인한 피해가 훨씬 더 크다는 사실을 알 수 있었다. 본 연구에 사용된 수치모형은 원형과 타원형 형상의 섬에 대한 최대 처오름 높이를 예견할 수 있으며, 범람도 작성에 이용될 수 있다. 그러나, 실질적인 수치결과를 위해서는 세부적이고 정확한 지형에 대한 정보가 요구되어진다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구의 연구과제 (과제번호: R01-1999-00314)에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 조용식, 1998. 해안선에서의 지진해일 처오름높이의 증폭, 대한토목학회논문집, 제18권, 제 2-1호, pp. 41-46.
- 조용식, 윤태훈, 1996. 경사지형에서의 이동경계조건, 대한토목학회논문집, 제16권, 제2-1호, pp. 73-81.
- 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, No. C4, pp. 7907-7913.
- Liu, P.L.-F. and Cho, Yong-Sik, 1994. An integral equation model for wave propagation with bottom frictions, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 120, No.6, pp. 594-608.
- 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.

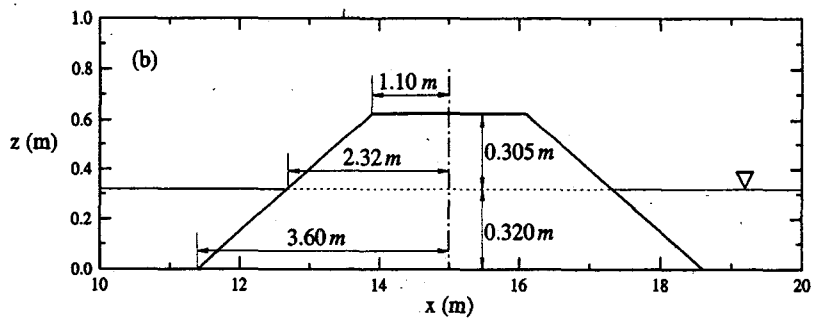
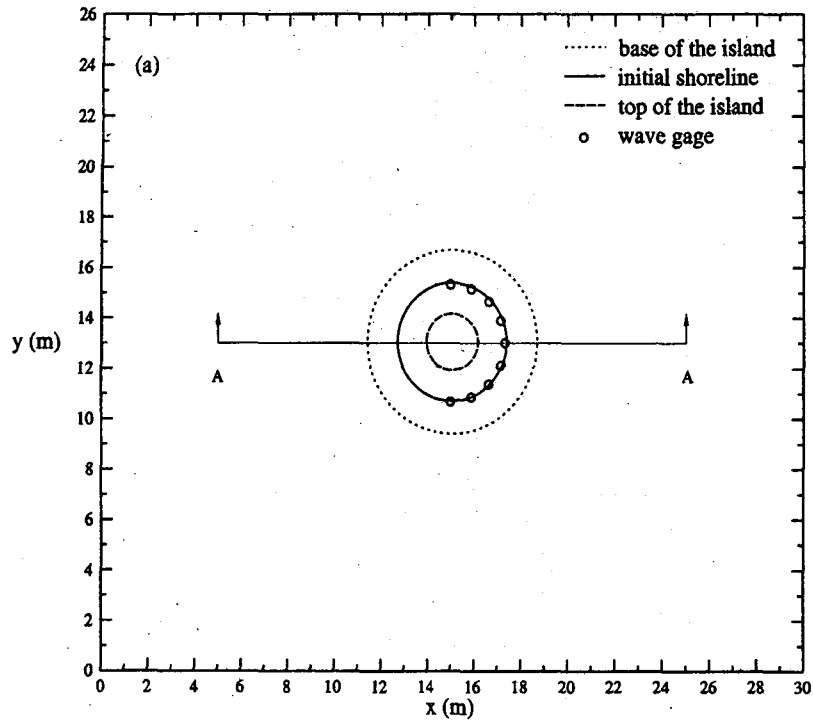


Fig. 1. 수리모형실험 장치: (a) Wave Tank, (b) 원형섬의 단면도

Table 1. Shoreline diameters of different types of islands

Island Type	x-diameter (m)	y-diameter (m)	x-diameter/y-diameter
Circular	4.64	4.64	1.00
Elliptic A	4.64	3.90	1.19
Elliptic B	3.90	4.64	0.84

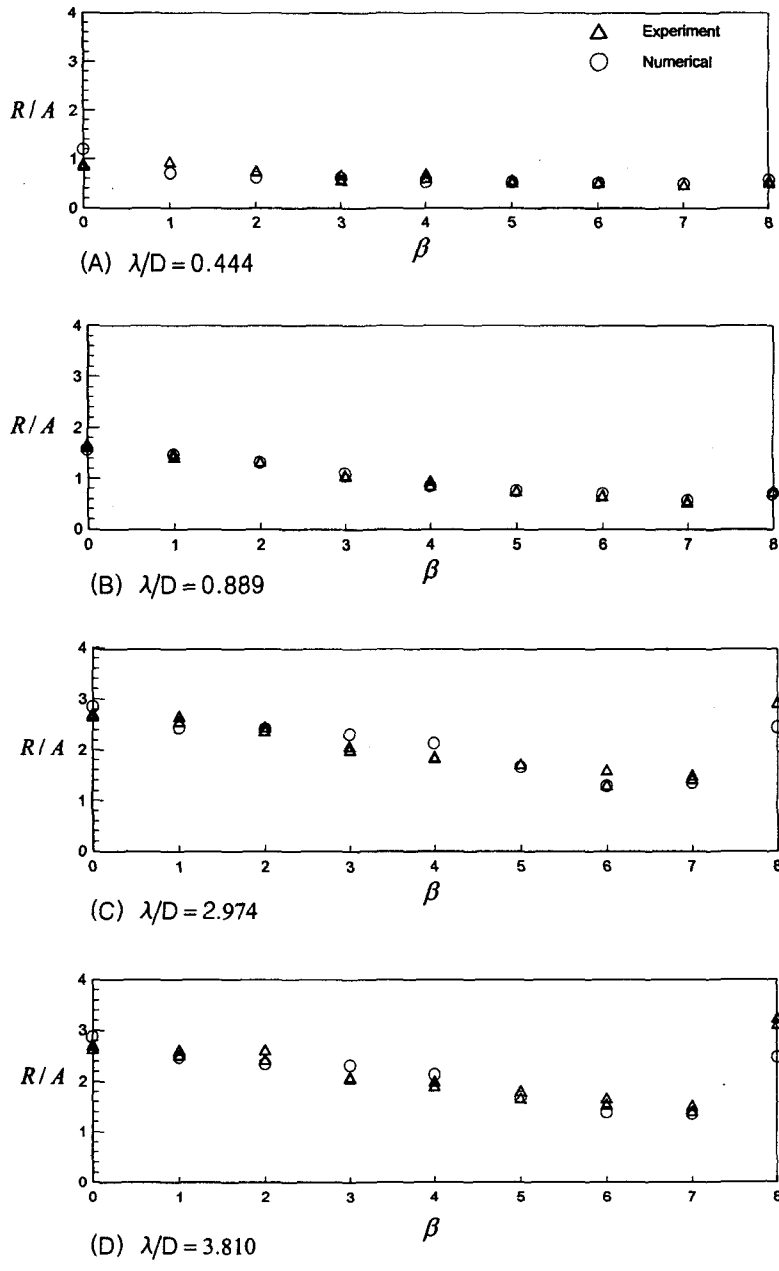


Fig. 2. 원형섬 주위에서의 고립파의 최대 처오름높이 ($\epsilon=0.1$)

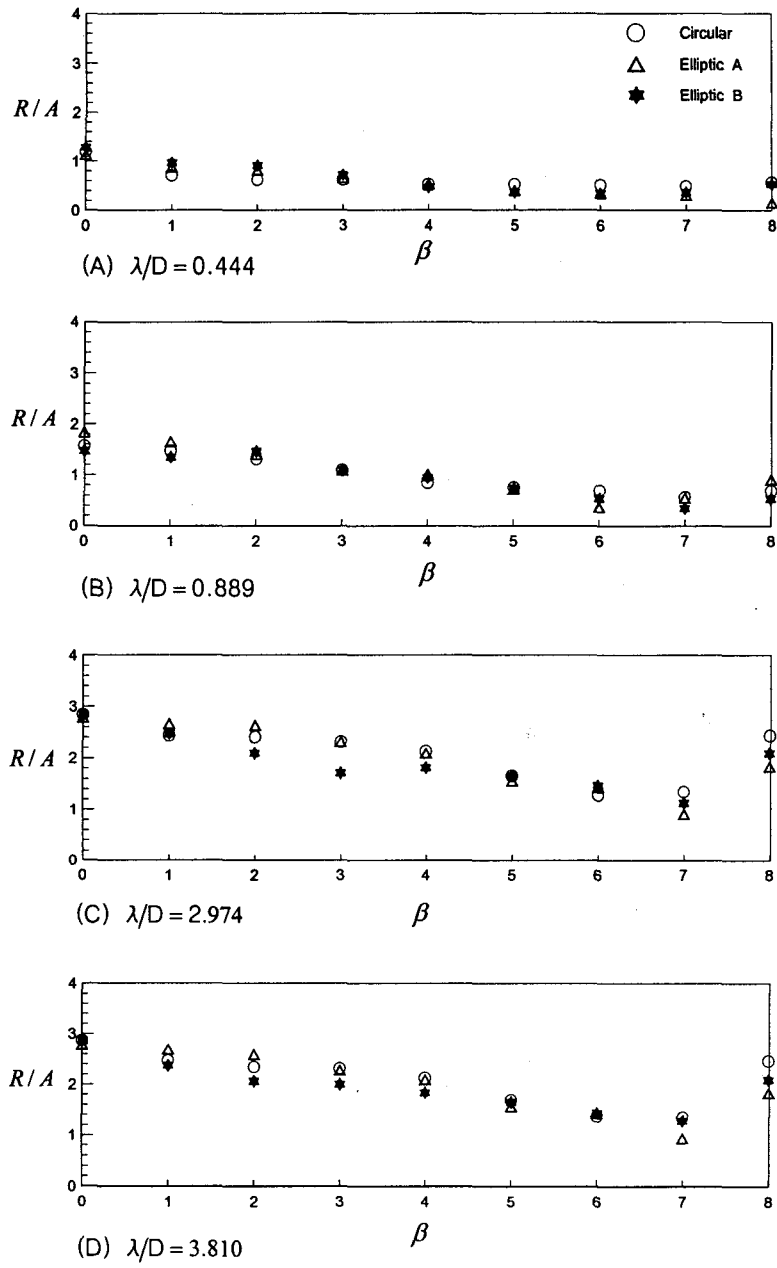


Fig. 3. 섬 형상에 따른 섬 주위에서의 처오름 높이 비교 ($\varepsilon=0.1$)