韓國海岸·海洋工學發表論文集 (2002)
第13券, pp. 198-201

매개변수에 따른 지진해일의 처오름높이 변화
Varation of Tsunami Run-up Heights with Parameter

안영창[1] · 인태훈[1] · 조용식[2]
Young-Chang Ahn[1] · Tae-Hoon Lin[1] · Yong -Sik Cho[2]

1. 서 론

근래에 들어 세계적으로 지진 발생의 빈도가 급증하여, 여러나라에서 지진에 의한 피해가 다수 보도되고 있다. 이는 그만큼 단층의 운동이 활발히 이루어지고 있음을 의미하고, 이에 따라 지진해일의 발생빈도 역시 증가하고 있어 지진해일의 연구에 대한 필요성과 그 위험성에 대한 관심도가 세계적으로 높아지고있다.

최근, 수년간 태평양 연안에서는 많은 인명피해와 재산피해를 초래한 대규모 지진해일이 빈번히 발생한다. 그 중, 1996년 인도네시아 Irian Jaya 지진해일은 Biak섬으로부터 약 106km 떨어진 태평양에서 발생한 Richter 규모 7.7의 강력한 해저지진에 의해 야기된 것으로 인도네시아에서는 161명의 인명과 많은 재산피해를 초래하였다. 또한, 우리나라 남해안을 비롯한 일본 및 태평양의 여러 섬과 연안국가까지 지진해일 주의보가 발령되기도 하였다(한국일보, 1996). 더욱이, 한반도 남해는 섬의 수도 많아 전국 섬의 60% 이상이 남해안에 몰려있다. 따라서, 1996년 인도네시아 Irian Jaya 지진해일과 같은 지진해일이 발생하였을때 섬과 섬 사이의 상호간섭으로 인한 예기치 않은 지진해일 피해가 우려될 수도 있으므로 이에 따른 섬들 사이에서 발생하는 처오름높이는 중요하다.

지진해일에 관한 연구로는 1992년 인도네시아와 1993년 일본에서 발생한 지진해일에 관한 것이 있으며, 이 때 발생한 지진해일은 일반적인 상식과는 매우 다르게 진원지 부근에 위치한 Babi섬과 Okushiri섬의 배후지역(shadow zone)에서 처오름높이가 매우 높게 관측되었다 (Liu등, 1995). 이와 같은 매우 높은 처오름높이에 관한 원인을 규명하기 위해 미국 공병단 산하 해안공학연구소에서 대규모 수리실험을 실시하였다. Liu 등(1995)과 Cho와 Liu (1999)는 이러한 실험치를 수치해와 서로 비교함으로써 그 원인을 규명하였다. 그러나 위의 실험에 따른 물리적 규명은 원형 섬 한 개에 따른 것이므로 두 개의 섬이 위치해 있을 때 섬과 섬 사이에서의 상호간섭으로 인한 지진해일 처오름 변화는 알 수 없다.

본 연구에서는 두 개의 원형 섬 사이의 처오름 변화를 입사파 폭과 같은 매개변수를 이용하여 연구하였다.

2. 수치모형실험

본 연구에서는 수조의 영역을 제외한 섬에 대한 제원은 Cho와 Liu(1999)가 사용했던 제원을 그대로 선택하였다. 또한, 두 섬 사이에서의 입사파 폭에 따른 처오름높이를 계산하기 위하여 x=28m, y=20m를 기준으로 좌우로 6m에 섬의 중심점이 위치한다. 수조의 길이는 가로 40m, 세로 56m의 수조를 그 대상 영역으로 하였고, 수조의 수심(h)은 0.32m, 입사파는 파고(A)가 0.032m인 고립파를 사용하였다.

참고로, 입사파의 폭은 x=28m를 기준으로 좌우로 대칭이 되게 들어온다. 각 섬에 대한 제원은 Tible 1에 도시하였다. 그리고 Fig. 1은 수치실험에 이용된 수조와 두 개의 원형 섬의 평면도와 측면도를 나타낸 것이다.

[1] 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정
[2] 한양대학교 공과대학 토목공학과 부교수

Table 1. 섬의 제원

구 분	해저지름	경 사	섬의 중심
A	7.2m	1V:4H	22.0m
B	7.2m	1V:4H	34.0m

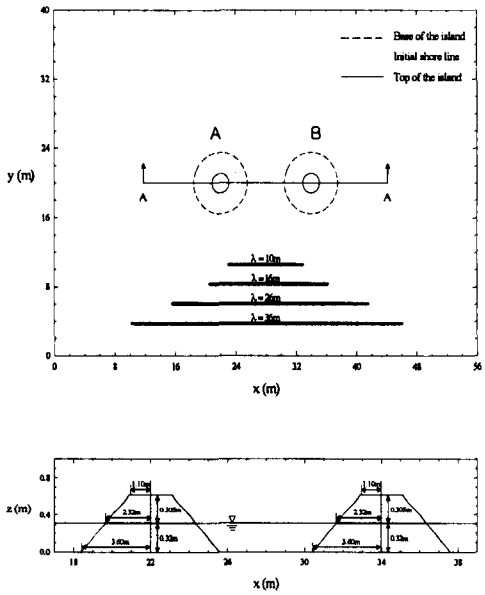

Fig. 1. 수치실험에 이용된 수조와 두 개의 원형섬의 평면도와 측면도.

3. 지배방정식

본 모형의 지배방정식으로는 비선형 천수방정식을 사용한다. 지진해일이 대양을 가로질러 연안으로 접근하면 파장은 짧아지고, 파고가 증가할 뿐만 아니라 Coriolis 효과와 분산의 중요성이 감소하기 때문에 비선형성이 매우 중요한 요인으로 작용한다.

식 (1)-(3)은 비선형 천수방정식에서 마찰항을 생략한 것이다. Liu 등(1995)에 따르면 수치모형에 의해 계산된 최대 처오름높이를 수리실험에 의한 관측자료와 비교한 결과 바닥마찰저항은 큰 역할을 하지 않는 것으로 밝혀져 본 연구에서는 바닥 마찰저항은 고려하지 않았다.

지배방정식 (1)-(3)에서, ζ 는 자유수면변위, H는 전체수심 즉, $H = h + \zeta$ 이며 h는 정수면에서의 수심을 나타낸다. P, Q는 각각 x 축과 y 축 방향의 체적흐름율, 즉 $P = uH$ 와 $Q = vH$ 를 나타낸다.

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

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

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

4. 수치해석 결과

본 연구의 이해를 돕기 위해 먼저, 고립파가 두 개의 원형 섬을 향해 진행함에 따른 섬 주위에서의 수면 변화를 Fig. 2에 도시하였다. Fig. 2는 비선형성 ($\varepsilon = A/h$, A는 파고)을 나타내는 ε 이 0.1이고, 파봉선의 길이 λ 가 36m일 때 섬 주위의 자유수면변위를 순간촬영(snapshot)의 형태로 나타낸 것이다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 두 개의 섬 사이로 들어오는 입사파는 서로 대칭이 됨을 알 수 있다.

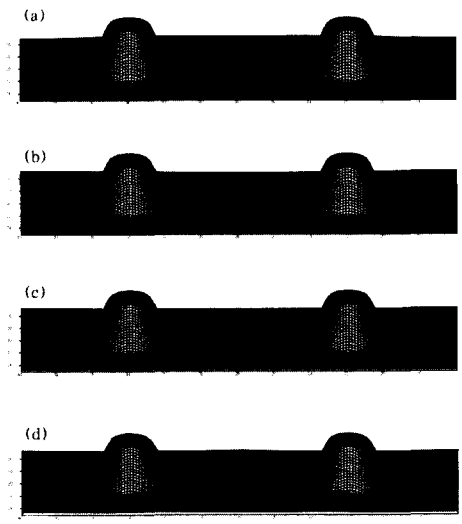

Fig. 2. 순간촬영(snapshot)한 자유수면변위 (a) t=14 (b) t=16 (c) t=18 (d)t=20 (sec).

Fig. 3 은 원형 섬 주위에서의 입사파 폭에 따른 지진해일의 처오름높이를 나타낸 것이다. Fig. 3 에서 보면 첨자 inside 와 outside 는 Fig. 1 에서 보는 바와 같이 x=28m, y=20m 를 기준으로 섬과 입사파의 폭이 서로 대칭이기 때문에 두 섬이 마주보고 있는 섬의 안쪽과 바깥쪽의 물리적 양상이 서로 같다. 따라서, 두 개의 섬 중 A 를 선택하여 입사파가 들어오는 방향에서 반시계 방향을 inside, 시계 방향을 outside 로 각

각 정하고 β를 따라 π/8 씩 돌아가며 처오름높이를 측정하였다.

여기서, R은 처오름 높이, β는 입사파 방향에서 섬 둘레를 시계 방향과 반시계 방향으로 측정한 각도를 나타낸다. Fig. 3 에서 x 방향의 1 ~8 은 각각 inside일 경우는 π/8 ~ π 를 outside일 경우는 15π/8 ~ π 를 의미한다.

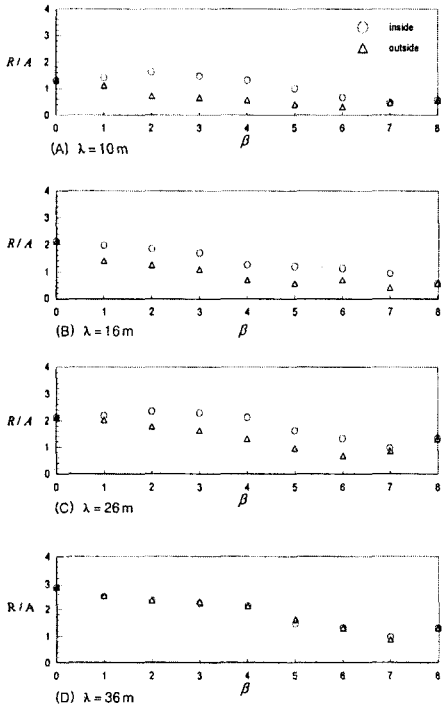

Fig. 3. 원형 섬 주위에서의 최대 처오름 높이.

Fig. 3 에서 처오름높이의 변화를 보면 파봉선의 길이가 적을수록 A를 기준으로 섬의 안쪽(in- side)이 바깥쪽(outside)보다 전반적인 처오름이 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 또한, 파봉선의 길이가 길어질수록 즉, λ = 36m 가 되면 섬의 안쪽(inside)과 바깥쪽(outside)에서의 처오름높이가 서로 같아짐을 알 수 있다. 이는 입사파가 x=28m를 기준으로 서로 대칭이 되게 들어오기 때문에 파봉선의 길이가 가장 적은 λ = 10m 일 때는 실질적으로 들어오는 입사파는 A를 기준으로 오른쪽으로 더 긴 파봉선이 들어 오는 역할을 하며, 이와는 반대로 섬의 바깥쪽(outside)은 섬의 안쪽보다 상대적으로 짧은 파봉선이 들어오는 역할을 한다. 따라서, 섬의 안쪽이 바깥쪽보다 처오름높이가 큰 이유는 두 섬 사이에 갇힌 파가 보유한 에너지가 두 섬의 상호간섭으로 증가하기 때문에 발생하는 현상이다.

파봉선의 길이가 가장 큰 λ = 36m 일 때는 두 섬 사이로 들어오는 파봉선의 길이가 두 섬 사이의 거리에 영향을 받으므로 파가 들어오는 것이 한정되는 반면, 바깥쪽으로 들어오는 입사파의 파봉선 길이는 두 섬 사이의 거리에 영향을 받지 않으므로 파봉선의 길이가 길어지면 처오름높이가 더 커지며 나중에는 안쪽과 바깥쪽에서의 처오름 높이가 같아짐을 볼 수 있다.

특히, 파봉선의 길이가 커질수록 처오름 높이가 크게 발생하는 것으로 보아 지진해일에 의한 피해는 해상에 존재하는 섬 중 상대적으로 작은 섬이 큰 섬에 비해 클 수 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 비선형 천수방정식을 유한 차분법으로 해석하여 두 개의 원형 섬 주위에서의 지진해일의 처오름 변화를 연구하였다.

일정한 거리를 두고 있는 두 섬 사이로 들어오는 파봉선의 길이는 그 길이가 적을수록 섬과 섬이 서로 마주보는 안쪽측면에서 처오름높이가 높았고, 그 반대인 바깥쪽측면에서는 처오름높이가 낮음을 확인할 수 있다. 또한, 파봉선의 길이가 늘어남에 따라 두 섬이 마주보고 있는 안쪽 측면과 바깥쪽 측면에서는 처오름높이가 서로 같아짐을 확인할 수 있다. 따라서, 지진해일의 범람피해는 섬과 섬이 서로 마주보는 안쪽 측면이 반대편 측면보다 그 피해가 클 것으로 예상되며, 지진해일 엄습이 예상되는 두 개의 원형 섬이나 원형구조물에서는 그에 따른 지진해일 방재대책을 수립해야 할 것이다.

본 모형은 지진해일에 의한 피해를 모의할 수 있을 뿐만 아니라 범람도 작성 에도 적용할 수 있다. 그러나, 실질적인 수치결과를 위해서는 세부적이고 정확한 지형에 대한 정보가 요구된다.

감사의 글

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

참고문헌

한국일보 1996. 1996년 2월 18일, 14845호.

조용식, 1998. 해안선에서의 지진해일 처오름 높이의 증폭, 대한토목학회논문집, 18(2-1) : pp. 41-46.

조용식, 윤태훈, 1996. 경사지형에서의 이동경계조건, 대한토목학회논문집, 16(2-1), 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, Y-S, 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.