

사다리꼴형상의 수중방파제에 의한 규칙파의 반사특성 실험 Experimental Study on Resonant Reflection of Regular Waves due to Submerged Breakwaters with Trapezoidal Type

김영택¹ · 조지훈¹ · 이종인¹ · 조용식²

Young-Taek Kim¹, Ji-Hoon Cho¹, Jong-In Lee¹, and Yong-Sik Cho²

1. 서 론

외해에서 전파되어온 파랑은 상대적으로 수심이 얇은 천해로 이동하면서 바닥지형의 영향으로 회절, 굴절, 반사, 천수 및 쇄파 등과 같은 다양한 현상을 경험한다. 본 연구에서는 바닥지형의 변화에 따른 파랑의 반사에 대해 검토하였다.

특히, 바닥지형에 수중방파제와 같은 인공구조물을 건설하여 파랑을 제어하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 수중방파제를 다열로 배치할 경우, 파랑의 특정 주기에 대해 뚜렷한 반사특성이 나타나므로 연안역의 침식방지, 경제적인 항만구조물의 설계 등에 활용될 수 있다. 이러한 수중방파제의 반사특성은 수치모형실험 및 수리모형실험을 통해 해석할 수 있다.

본 연구에서는 여러 형태의 수중방파제 형상 중 사다리꼴 형상에 따른 파랑의 반사특성을 수치 및 수리모형실험을 통해 고찰하였다. 수치해석은 Cho와 Lee 등(2000)의 고유함수전개법(eigenfunction expansion method)을 이용하였으며, 해석결과를 수리실험결과와 비교하였다.

2. 수치해석

수치해석은 Cho와 Lee(2000) 고유함수전개법으로 수행하였다. 비압축성 및 비회전흐름을 가정한 유체의 거동은 Laplace 방정식에 의해 지배되며,

파랑 진행방향의 수직방향 성분은 일정하다고 가정한다.

Cho와 Lee(2000)의 연구에 따라 오른쪽으로 진행하는 진행파와 소멸파를 포함하는 속도포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_m^r = [A_m^r e^{+i\lambda_m x} \cosh k_m(h_m + z) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{m,n}^r e^{+\lambda_{m,n} x} \cos K_{m,n}(h_m + z)] e^{i(k_y y - \omega t)} \quad (1)$$

그리고 왼쪽으로 진행하는 진행파와 소멸파의 속도포텐셜은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Phi_m^l = [A_m^l e^{-i\lambda_m x} \cosh k_m(h_m + z) + \sum_{n=1}^{\infty} B_{m,n}^l e^{-\lambda_{m,n} x} \cos K_{m,n}(h_m + z)] e^{i(k_y y - \omega t)} \quad (2)$$

속도포텐셜 식(1)과 (2)에서 r 과 l 은 각각 오른쪽과 왼쪽방향을 의미하며 A_m^r , $B_{m,n}^r$, A_m^l 과 $B_{m,n}^l$ 는 복소수로서 진행파와 소멸파의 파고를 나타낸다. m 과 n 는 각각 서로 다른 수심을 갖는 영역과 소멸파수를 나타낸다. k_m 와 $K_{m,n}$ 는 모두 실수이며 분산방정식으로부터 계산된다.

$$\omega^2 = gk_m \tanh k_m h_m, \quad \omega^2 = -gK_{m,n} \tan K_{m,n} h_m \quad (3)$$

식(1)과 식(2)를 해석하기 위하여 2개의 접합조건이 적용된다. 연속된 두 단면에서 흐름율은 연속임을 나타내는 접합조건은 식(4)와 같다.

¹ 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 (Water Resources and Environmental Research Division, Korea Institute of Construction Technology, Goyang, 411-712, Korea)

² 한양대학교 토목공학과 (Civil Engineering Department, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea)

$$\frac{\partial \Phi_i}{\partial x} = \frac{\partial \Phi_{i+1}}{\partial x}, x = x_i, \max(-h_i, -h_{i+1}) \leq z \leq 0 \quad (4)$$

그리고 연속된 두 단면에서 수면에서의 압력은 일정하다는 접합조건은 식(5)와 같다

$$\Phi_i = \Phi_{i+1}, x = x_i, \max(-h_i, -h_{i+1}) \leq z \leq 0 \quad (5)$$

속도포텐셜 식(1)과 식(2) 및 접합조건식 (4)와 (5)를 고유함수의 직교성을 이용하여 반사율과 통과율을 계산한다.

3. 수리모형실험

본 연구에서는 단면 수리모형실험을 통하여 얻은 결과를 고유함수전개법에 의한 수치모형실험 결과와 비교하였다. 단면 수리모형실험은 한국건설기술연구원에서 수행되었으며, 수로의 제원은 Fig. 1과 같다. 수로의 길이는 56m, 폭은 1m, 높이는 2m이며, 구동방식은 전기서보피스톤식이다.



Fig. 1. Schematic Sketch of Wave Flume.

본 연구에서는 Cho 등 (2001)의 결과에서 알 수 있듯이 여러 형태의 수중방파제 형상 중 수중방파제로서 반사율이 가장 크며, 시공성도 있는 사다리꼴 형상에 대한 실험을 수행하였다. 그리고 수중방파제를 불투과성 방파제와 투과성 방파제로 제작하여 각각의 반사특성에 대하여 검토하였다.

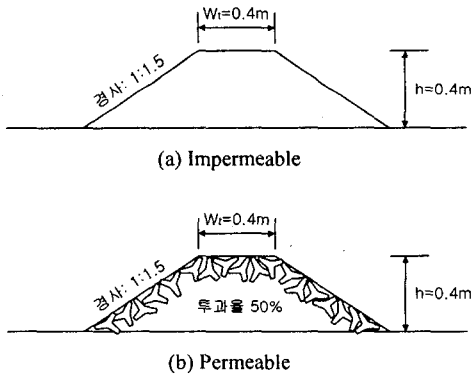


Fig. 2. Trapezoidal Typed Submerged Breakwater.

불투과성 수중방파제는 목재로 제작하였으며, 투과성 수중방파제는 제체를 T.T.P로 제작하여 난직으로 설치하였으며, 투과성 방파제의 공극율은 약 50% 정도이다. 수리실험시 사다리꼴 수중방파제는 1열(m=1), 2열(m=2), 3열(m=3)인 경우에 대해 수행하였으며, 배치간격은 2m를 적용하였다. 따라서, 다열의 수중방파제의 경우, 사다리꼴형상 방파제 중심간의 간격은 3.6m이다.

사다리꼴 수중방파제의 높이는 0.4m이며, 사면의 경사는 1:1.5로서 바닥폭은 1.6m이고, 실험수심은 0.8m로 설정하였다. 모든 실험은 수중방파제의 높이가 수심의 50%에 해당하는 조건에서 수행하였다. 그리고 실험과는 규칙파를 이용하였으며, 입사파고는 4cm와 8cm를 적용하였다. 실험에서 조파시간은 5분이며, 입반사 분리기법을 이용하여 입사파를 설정하였다. 그리고 수리실험시 반사율은 Goda와 Suzuki(1976)의 2점법을 사용하여 계산하였다.

4. 결 과

Fig. 3 ~ Fig. 5는 불투과성 수중방파제의 반사특성에 대해 수치해석결과와 수리실험결과를 비교도시한 것으로 각각 m=1, m=2, m=3인 경우이다. 전반적으로 실험결과와 수치해석결과가 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. m=1인 경우, 최대 반사율은 0.26 정도이며, m=2와 m=3인 경우의 최대 반사율은 각각 0.49와 0.66으로 나타났다

Fig. 6과 Fig. 7은 m=2와 m=3인 경우의 투과성 방파제에 대한 반사특성을 도시한 것이다. 투과성 방파제에 대한 결과는 불투과성 조건에서의 수치해석결과와 수리모형실험결과가 동시에 도시되어 있다. 투과성 수중방파제의 최대반사율은 m=2인 경우 0.3 정도이며, m=3인 경우는 0.54 정도이다.

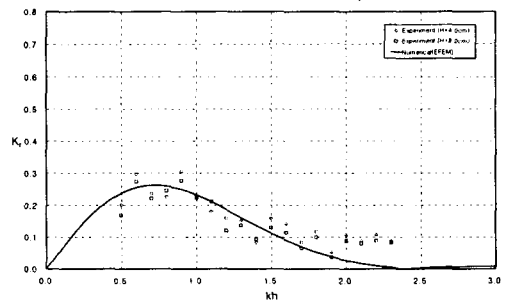


Fig. 3. Reflection Coefficients for Impermeable Trapezoidal Typed Submerged Breakwater(m=1).

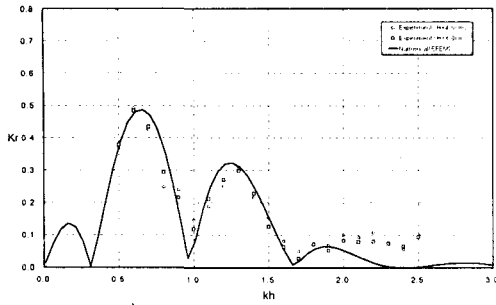


Fig. 4. Reflection Coefficients for Impermeable Trapezoidal Typed Submerged Breakwater(m=2).

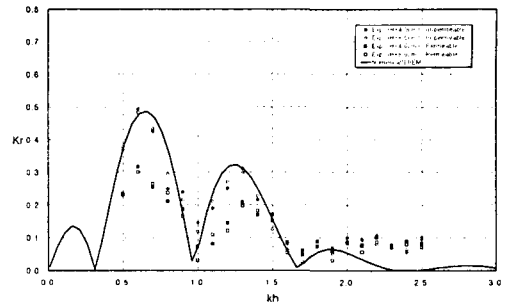


Fig. 6. Reflection Coefficients for Permeable Trapezoidal Typed Submerged Breakwater(m=2).

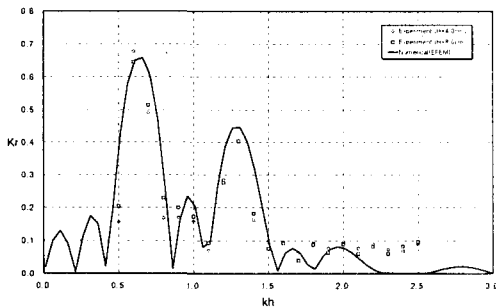


Fig. 5. Reflection Coefficients for Impermeable Trapezoidal Typed Submerged Breakwater(m=3).

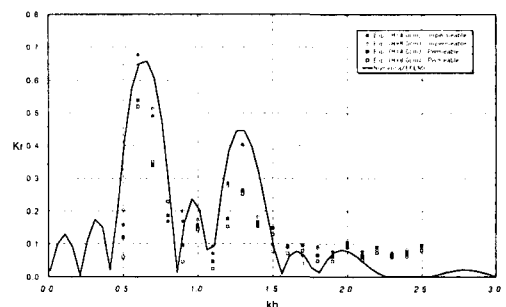


Fig. 7. Reflection Coefficients for Permeable Trapezoidal Typed Submerged Breakwater(m=3).

수리모형실험을 통해 불투과성 수중방파제와 투과성 수중방파제의 반사율을 비교할 경우, 상대수심(kh)에 따른 반사율의 증가와 감소 같은 분포상태는 비슷하게 나타났다. 그러나 대체적으로 투과성 수중방파제의 반사율이 불투과성 수중방파제의 반사율에 비하여 작게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 투과성매질에 의한 파랑의 에너지 감소로 인하여 반사파가 작아지기 때문인 것으로 판단된다.

5. 결 론

사다리꼴 형태의 수중방파제를 투과성과 불투과성으로 제작하여 각각의 반사특성을 검토하였다. 수리모형실험결과는 고유함수전개법에 의한 수치해석결과와 비교되었으며, 불투과성에 대한 수리모형실험결과는 수치모형실험결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 투과성과 불투과성 수중방파제의 반사율을 비교할 경우, 투과성 수중방파제의 반사율이 불투과성 수중방파제에 비하여 작게 측정되었다. 이는 투과성매질에 의한 파에너지의 감소 때문인 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실(한양대학교 해안공학연구실)의 연구비로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Cho, Y.-S. and Lee, C., 2000. Resonant reflection of waves over sinusoidally varying topographies, *J. of Coastal Research*, Vol. 16, No. 3, pp. 870-876.
- Cho, Y.-S., Yoon, S.B., Lee, J.I., and Yoon, T.H., 2001. A concept of beach protection with submerged breakwaters, *J. of Coastal Research*, Vol. 34, pp.671-678.
- Goda, Y. and Suzuki, Y., 1976. Estimation of incident and reflected waves in random wave experiments, *Proc. 15th Int Conf. Coastal Eng.*, Hawaii, pp.828-845.