

투과성 잠제의 폭 변화에 따른 파랑감쇠 효과에 관하여

허동수* · 최동석** · 배기성*

*국립경상대학교 해양과학대학 토목환경공학부

**국립경상대학교 대학원 해양토목공학과

On wave damping effect due to the crest width variation of a permeable submerged breakwater

DONG-SOO HUR* , DONG-SEOK CHOI**, KI-SEONG BAE*

*Division of Ocean Civil and Environmental Engineering, College of Marine Science, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

**Department of Ocean Civil Engineering, Graduate school, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea

KEY WORDS: wave damping, submerged breakwater, crest width,

ABSTRACT: To examine the effect of shape and crest width variation of a permeable submerged breakwater on the wave energy dissipation, Two-Dimensional numerical model with Large Eddy Simulation, which is able to simulate directly WAve-Structure-Seabed interaction (hereafter, LES-WASS-2D) has been newly developed. A good agreement has been obtained by the comparison between the existing experimental results and LES-WASS-2D model's results for the permeable submerged breakwater. Moreover, based on the LES-WASS-2D model, the wave energy dissipation due to a permeable submerged breakwater are discussed for regular and irregular waves with relation to its crest width and shape.

1. 서 론

최근 해안침식제어 등 연안방재의 목적으로 천단이 정수면 아래에 위치하고 있어 경관 상 유리한 면을 가진 수중방파제의 건설이 각지에서 계획되고 있으며 일부는 시공되어 있다. 이러한 수중방파제의 주요한 기능은 천단 상에서 고파랑을 강제 쇄파시켜 파의 에너지를 감쇠시키는 것이지만, 이것 이외에도 수중방파제의 투수성 및 천단에서의 마찰효과를 통해 에너지의 감쇠를 유발한다. 이로 인해 수중방파제의 소파효과에 관해서는 지금까지 수많은 실험(예를 들어, Losada et al, 1997; Kramer et al, 2005; Hur et al., 2003)을 통해 다양한 각도의 검토가 수행되어 왔으며, 최근에는 수치해석을 통하여 그 기능을 명백히 하기 위한 연구(예를 들어, Johnson, 2005; Johnson et al, 2005; 조, 2004; 허 등, 2005)가 증가하고 있다. 하지만, 수중방파제의 형상 및 폭의 변화에 따른 파랑감쇠특성에 대한 연구는 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 먼저 파·투과성구조물의 상호간섭을 직접 해석할 수 있는 새로운 수치해석수법을 도입하여, 기존의 수치모형실험과 비교·검증한다. 또한 규칙파 및 불규칙파를 입사파로 하여 수중방파제의 형상 및 폭의 변화에 의한 파랑감쇠특성에 대하여 논의한다.

2. 수치해석이론

본 연구에서는 파동장과 투과성잠제에 대해 직접 적용할 수 있는 연속방정식과 수정된 Navier-stokes 운동방정식을 적용하였으며, 투과성매체 내부의 저항으로서 관성저항, 층류저항 및 난류저항을 운동방정식에 적용하였다. 그리고 자유표면을 모의하기 위한 VOF함수의 이류방정식을 적용하였고, 난류모델로서 LES (Large Eddy Simulation) 기법 중 대표적인 Smagorinsky sub-grid model (Smagorinsky, 1963)을 이용하였다. 지면의 제약상 본 연구에서 이용된 수치해석기법의 세부사항은 허동수와 최동석(2006)을 참조하기 바란다.

3. 수치모델의 검증 및 해석결과

3.1 수치해석수법의 검증

수치해석수법의 검증을 위해 이용된 수치파동수조는 Fig. 1에 나타내고 있는 것과 같은 Losada et al.(1997)에 의한 실험수조를 참조하였다. 또한, 수치파동수조의 양단에는 부가감쇠영역을 두어 반사파의 영향이 없게 하였으며, 검증을 위해 이용된 입사파 조건 및 수조의 제원은 Table 1에 나타내었다.

3.2 수치해석수법의 검증결과

Fig. 2와 Fig. 3은 본 수치해석수법에 의한 수위변동과 Losada et al.(1997)에 의한 실험결과의 비교를 나타내고 있다.

허동수: 경상남도 통영시 인평동 445번지
055-640-3150 dshur@nongae.gsnu.ac.kr

며, 각각 공극률(n)이 0.620(coarse permeable structure)와 0.521(fine permeable structure)의 경우를 나타낸다. 또한, Fig. 2와 Fig. 3의 (a)와 (b)는 잠제전면과 잠제 상에서, (c)와 (d)는 잠제 배후에서의 수면변위의 비교를 나타내며, (●)은 Losada et al.(1997)의 실험치를, 빨간색 실선(—)이 본 연구의 계산치

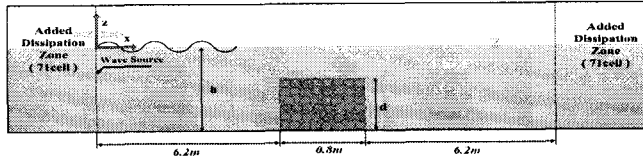


Fig. 1 Schematic diagram of numerical wave tank for verification

Table 1 Numerical setup conditions used for verification

Case No.		Case 1	Case 2
porosity	n	0.620	0.521
mean grain size(cm)	D	3.00	2.09
water depth(cm)	h	47.5	47.5
incident wave height(cm)	H_i	4.29	4.29
incident wave period(sec)	T_i	1.8	1.8
crest height(cm)	d	38	38

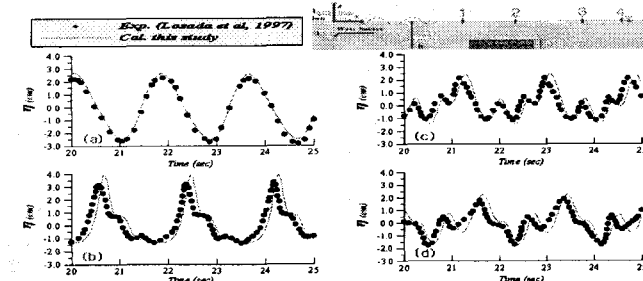


Fig. 2 Comparisons of water surface elevation for Case 1.

- (a) Gauge No. 1 ; (b) Gauge No. 2 ;
(c) Gauge No. 3 ; (d) Gauge No. 4.

를 각각 나타내고 있다. 각 수면변위의 위상은 1번 gauge에서의 실험결과와 계산결과의 위상을 일치시킨 시점에서의 위상을 나타내었다. Fig. 2로부터 계산결과는 실험치에 비해 파랑이 잠제 상을 전파함에 따라서 약간의 위상차를 보이기는 하지만, 잠제 상에서의 비선형성 및 잠제 배후에서의 파봉분열 현상 등을 상당히 높은 정도로 재현하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 3의 fine permeable structure의 경우에도 Fig. 2와 거의 동일한 경향을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다.

이상으로 본 연구에서 이용한 수치해석수법의 타당성과 유효성이 검증되었다고 판단되며, 이 후 검증된 수치해석수법을 이용하여 잠제의 폭 변화에 의한 파랑감쇠효과에 대해서 논의한다.

4. 수치해석결과

4.1 수치파동수조

투과성 잠제의 폭 변화에 따른 파랑감쇠 효과에 관하여 검

토하기 위해 Fig. 4의 사다리꼴 투과성잠제와 Fig. 5의 구형 투과성 잠제를 이용하였으며, 각각의 잠제의 천단 폭 W 를

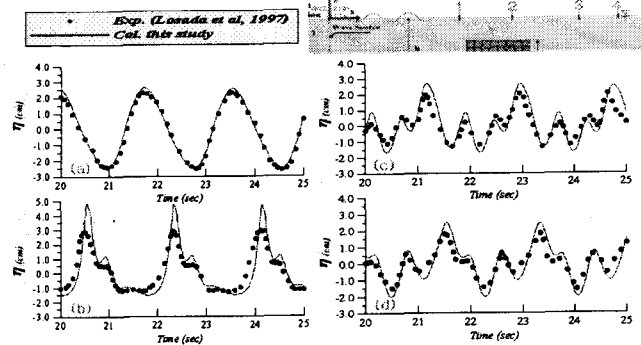


Fig. 3 Comparisons of water surface elevation for Case 2.

- (a) Gauge No. 1 ; (b) Gauge No. 2 ;
(c) Gauge No. 3 ; (d) Gauge No. 4.

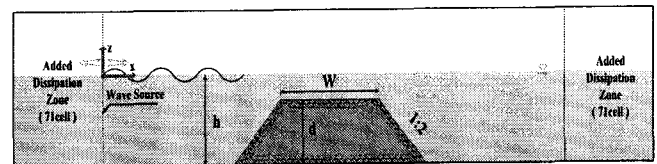


Fig. 4. Definition sketch of numerical wave tank for trapezoidal breakwater

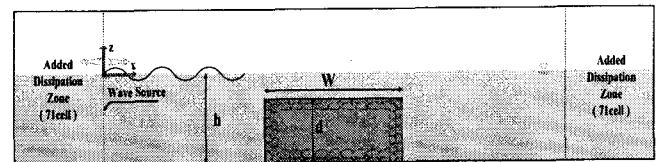


Fig. 5 Definition sketch of numerical wave tank for rectangular breakwater

Table 2 Numerical simulation cases

Case No.		Case 1	Case 2	Case 3
crest width (cm)	W	104 (0.75L)	70 (0.5L)	36 (0.25L)
porosity	n	0.4	0.4	0.4
mean grain size(cm)	D	3	3	3
water depth(cm)	h	30	30	30
incident wave height(cm)	H_i	6	6	6
incident wave period(sec)	T_i	1.0	1.0	1.0
crest height(cm)	d	22	22	22

0.75L, 0.5L, 0.25L로 변화시켜서 수치시뮬레이션을 실시하였다. 수치해석에 이용된 제원은 Table 2에 자세히 나타내었다.

4.2 천단 폭 변화에 따른 파랑 감쇠

천단 폭 변화에 의한 파랑감쇠 효과를 나타낸 것이 Fig. 6과 Fig. 7이며, 각각 사다리꼴 잠제와 구형 잠제에 의한 결과를 나타내고 있다.

각 그림의 횡축은 잠제전면을 기준으로 하여 입사파장으로 무차원화 하였고, 종축은 각 지점의 파고를 입사파고로 무차

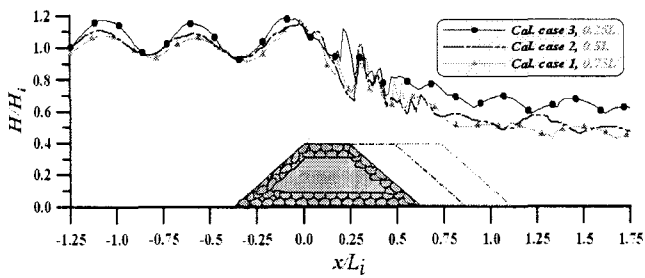


Fig. 6 Spatial distribution of dimensionless due to trapezoidal breakwater

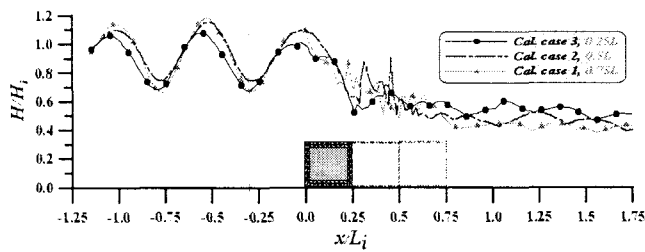


Fig. 7 Spatial distribution of dimensionless due to rectangular breakwater

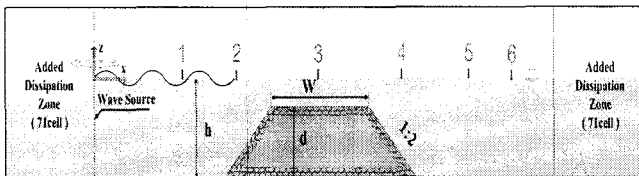


Fig. 8 Positions of wave gauges installed for harmonic analysis in case of trapezoidal breakwater

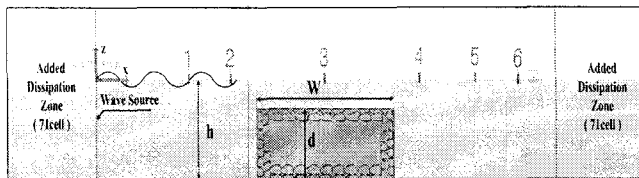


Fig. 9 Positions of wave gauges installed for harmonic analysis in case of rectangular breakwater

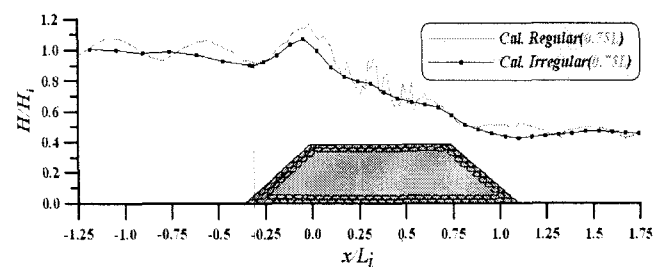
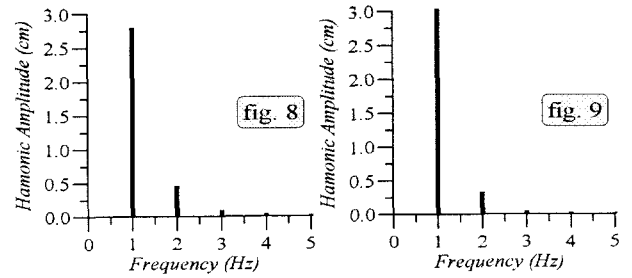
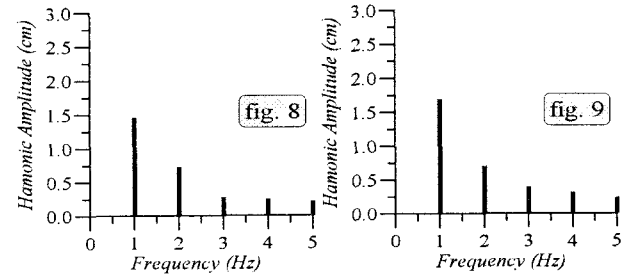


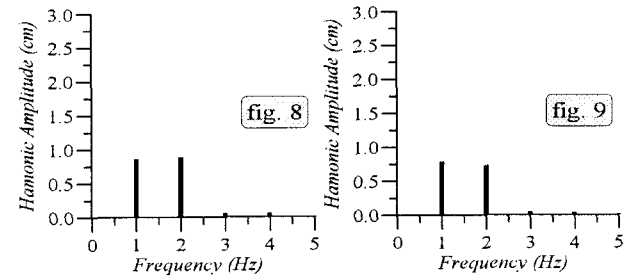
Fig. 11 Comparison of dimensionless wave heights between regular and irregular waves for trapezoidal breakwater



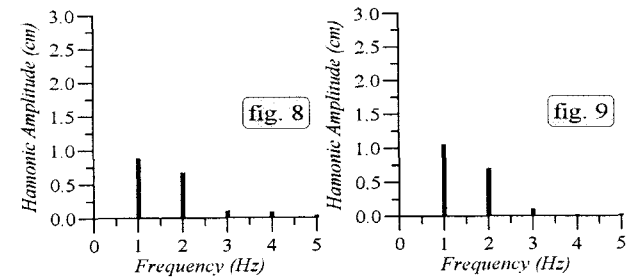
gauge position ②



gauge position ③



gauge position ④



(a) gauge position ⑤ (b)

Fig. 10 Comparisons of harmonic amplitudes around breakwaters. (a) Trapezoidal ; (b) Rectangular.

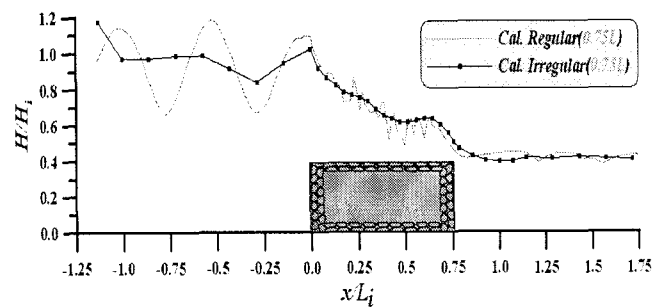


Fig. 12 Comparison of dimensionless wave heights between regular and irregular waves for rectangular breakwater

원화 하여 나타내었다. 또한, 그림 중의 ▲, — 및 ●는 각각 $W=0.75L$, $0.5L$ 및 $0.25L$ 의 경우를 나타내고 있다.

Fig. 6과 Fig. 7에서 알 수 있는 것과 같이 천단 폭의 변화에 따라 파랑감쇠 효과는 많은 차이를 보이고 있으며, 천단 폭이 길어질수록 입사 파랑이 잠제 배후에서 크게 감소한다. 이것은 천단 폭이 길어질수록 파랑이 잠제 내부를 통과함으로써 받는 유체저항(관성저항 및 항력저항)과 잠제 천단표면에서의 마찰 저항이 많이 작용함으로 인한 결과로 판단된다.

또한, 잠제의 형상에 따른 파랑감쇠 효과를 비교하면, 잠제 전면에서는 구형의 경우가 반사파의 영향으로 높은 중복파의 형성을 나타내고 있으나, 잠제 배후에서는 큰 차이를 확인할 수 없었다.

4.3 잠제 형상에 따른 파랑 감쇠

전절에서 잠제 형상에 따른 파랑감쇠 효과의 차이를 명확히 확인할 수 없었기 때문에 이 절에서는 진폭 스펙트럼을 이용해서 검토한다.

Fig. 10은 잠제의 형상에 따른 파랑감쇠 효과를 검토하기 위해, 천단폭을 $0.75L$ 로 고정하여 계산한 결과를 나타낸 것으로, 형상에 따른 잠제 주변에서의 진폭스펙트럼을 비교한 그림이다. 또한, 비교 위치는 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내고 있는 것과 같이 2번은 잠제 전면, 3번은 잠제 상, 4번과 5번은 잠제 배후에 위치하고 있다(사다리꼴 잠제의 경우, 2번과 4번은 각각 잠제 전면과 배후 사면 상을 나타낸다). Fig. 10으로부터 2번과 3번 위치에서의 진폭을 살펴보면, 사다리꼴의 경우가 구형의 경우에 비해 1차파는 작고 2차파가 커져 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 잠제 상을 전파함에 따라 약간의 변화를 보이면서 잠제 배후에서는 사다리꼴의 경우가 구형의 경우보다 1차파와 2차파 모두 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

4.4 잠제에 의한 규칙파와 불규칙파의 파랑 감쇠

잠제 상을 전파하는 규칙파의 파랑감쇠와 불규칙파의 파랑감쇠를 비교하기 위해 천단 폭이 $0.75L$ 인 사다리꼴 투과성잠제와 구형 투과성잠제에 대해 수치해석을 실시하였다. 여기서 불규칙파의 해석은 규칙파 해석시의 수조를 동일하게 사용하였고, 규칙파의 입사파고 및 주기와 동일한 유의파고와 유의주기를 이용하였다. 여기서 불규칙파의 스펙트럼은 Bretschneider - Mitsuyasu의 스펙트럼을 이용하였으며, 50개 성분파의 조합으로 구성하였다. 해석결과를 Fig. 11과 Fig. 12에 나타낸다.

Fig. 11에서 횡축은 잠제천단 전면을 기준으로 하여 입사파장으로 무차원화 하였고, 종축은 앞에서와 각 지점에서의 파고를 입사파고로 무차원화 하여 나타내었다. 또한, 빨간색 실선(—)과 ●은 각각 규칙파와 불규칙파에 대한 계산결과이다. 잠제 배후($x/L=1.0$ 부근)에서 불규칙파가 규칙파에 비해 미약하지만 파랑 감쇠가 더 발생하는 것을 볼 수 있다. 이것은 불규칙파의 경우, 잠제의 투과성 및 잠제 천단의 마찰로 인해 고주파 성분의 감쇠효과가 커진 것이 주원인이라고 판단되지만, 그다지 큰 변화는 확인할 수 없었다. 그 이후 파가

진행함에 따라 불규칙파와 규칙파의결과는 거의 동일한 값을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 투과성 잠제의 천단 폭 변화에 따른 파랑감쇠 효과에 대해 검토하기 위해 수치모델을 제안하여 검증한 후 2가지 형상의 잠제에 대해서 수치모의를 수행하였다. 먼저 천단 폭의 변화에 대한 결과를 보면, 천단폭이 길수록 파랑감쇠 효과는 증가하였으며 이러한 경향은 사다리꼴 및 구형 잠제에서 거의 동일하게 확인할 수 있었다.

또한, 잠제 형상에 따른 파랑감쇠 효과에 대해 진폭스펙트럼을 이용하여 살펴 본 결과, 잠제전면과 잠제 상에서 사다리꼴의 경우가 구형의 경우에 비해 1차파는 작고 2차파가 커져 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 잠제 상을 전파함에 따라 약간의 변화를 보이면서 잠제 배후에서는 사다리꼴의 경우가 구형의 경우보다 1차파와 2차파 모두 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

또한, 잠제를 통과하는 규칙파와 불규칙파에 대한 파랑감쇠에 대해서는 큰 변화를 보이지 않았으며, 불규칙파의 경우 장주기측의 파랑에 비해 단주기측의 파랑소산이 현저하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- 조원철 (2004). "폭 변화에 따른 잠제의 파랑 차단 성능", 한국해양안전공학회지, 제16권 4호, pp 206-212
- 허동수, 김창훈, 이광호, 김도삼 (2005). "파 · 구조물 · 지반의 비선형 동적응답해석을 위한 직접수치해석기법의 개발", 한국해양안전공학회지, 1017-7116, 제17권2호, pp.86-97
- 허동수, 최동석. (2006). "해저투수층상의 파랑감쇠에 대한 수치모델의 적용성", 대한토목학회 정기학술대회 발표논문집, CD1, pp 557-560
- Hur, D.-S., Kawashima, N., Iwata, K. (2003). "Experimental study of the breaking limit of multi-directional random waves passing over an impermeable submerged breakwater", Coastal Eng. 30, pp 1923-1940
- Johnson, H.K., Karambas, T.V., Avgeris, I., Zanuttigh, B., Gonzalez-Marco, D., Caceres, I. (2005). "Modelling of waves and currents around submerged breakwaters", Coastal Eng. 52, pp 949-969
- Johnson, H.K. (2006). "Wave modelling in the vicinity of submerged breakwater", Coastal Eng. 53, pp 39-48
- Kramer, M., Zanuttigh, B., Von der Meer, J.W., Vidal, C., Gironella, F.X. (2005). "Laboratory experiments on low-crested breakwaters", Coastal Eng. 52, pp 867-885
- Losada, I.J., Losada, M.A., Martin, F.L. (1997). "Harmonic generation past a submerged porous step", Coastal Eng. 31, pp 281-304.