

소파호안의 형상이 월파량에 미치는 영향

허동수* · 최동석** · 최선호***
*경상대학교 토목환경공학부 해양산업연구소
**경상대학교 토목환경공학부
***창신대학 토목과

Effect of the Shape of Absorbing Revetment on Wave Overtopping Rate

DONG-SOO HUR*, DONG-SEOK CHOI** AND SUN-HO CHOI***

*Institute of marine industry, Department of Civil and Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea
**Department of Civil and Environmental Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea
***Department of Civil Engineering, Changshin College, Masan, Korea

KEY WORDS: Two-dimensional numerical model 2차원 수치모델, Shape of absorbing revetment 소파호안 형상, Irregular waves 불규칙파, Wave overtopping 월파, Porosity 공극률, Mean grain size 평균입경

ABSTRACT: The present study numerically investigates the effect of the shape of absorbing revetment on wave overtopping rate under regular and irregular incident waves. At first, the numerical model developed by Hur and Choi(2008), which considers the flow through a porous medium with inertial, laminar and turbulent resistance terms, directly simulates Wave-Structure-Sandy seabed interaction and can determine the eddy viscosity with LES turbulent model in 2-Dimensional wave field (LES-WASS-2D), is validated when compared to experimental data. Numerical simulations are then performed to examine the effect of the shape of absorbing revetment and incident wave conditions on wave overtopping rate. The numerical result shows that the wave overtopping rate decreases with the slope gradient of absorbing revetment under both regular and irregular waves. In addition, the effects of mean grain size and porosity of absorbing revetment, incident wave period and crest height on wave overtopping rate are discussed.

1. 서 론

태풍 내습시 수위상승을 동반한 고파랑의 작용으로, 호안 월파유량이 증가함에 따라 호안배후지의 막대한 피해를 정확하게 예측하는 것이 재해 예방측면에서 무엇보다도 중요하다(허동수와 김인철, 2006). 이와 같은 수위상승을 동반한 고파랑인 폭풍해일고의 추정(허동수 등, 2006(a); 허동수 등, 2006(b))을 통하여 호안의 마루높이를 설계하게 된다면 그 호안구조물은 거대해지고 비경제적이게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 해안구조물의 월파량 예측에 대한 많은 수치모형 실험이 수행되었으며(손병규 등, 2005), 이로부터 얻어진 경험식을 호안설계시의 월파량산정에 이용하는 경우가 많다. Goda and Kishira(1976)는 완경사호안의 월파량에 대한 수치모형 실험을 수행하여 다양한 조건에 대한 월파량 도표를 제안하였으며 Shankar and Jayaratne(2003)는 경사호안에 대한 월파량과 처오름에 미치는 입사파고와 주기의 결합효과를 설명함에 있어서 파경경사(Wave steepness)가 중요한 지표가 된다는 것을 나타내었다. 또한, 유용욱 등(2007)은 직립구조물에 의한 권파와 이로 인해 발생하는 처오름과 월파 유속장을 PIV기법으로 측정하여 월파의 유속분포에 대한 경험식을 제시하였다.

한편, 최근에는 수치해석을 이용한 월파량산정의 타당성 및 적용성이 수치모형실험과의 비교를 통해 검토되고 있다(Sakakiyama and Imai, 1996; Wijayaratra et al., 2000; Hosada et al., 2007). 또한, Qie et al.(2008)은 월파의 확률적 평가를 수행하기 위해 3가지 월파추정 모델을 이용하였다. 이상과 같은 월파에 대한 대부분의 수치적 연구들이 2차원적으로 수행되어 왔지만, 최근에는 3차원적으로도 월파에 대한 수치시물레이션이 수행되고 있다(허동수와 김인철, 2006).

그러나, 실험역과 유사한 불규칙파의 군파특성에 따른 월파량과 소파호안의 전면에 설치되는 다양한 소파제형상(비탈면 경사, 공극률, 입경)이 월파량에 미치는 영향도 시급히 검토되어야 할 논의 대상이나, 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 먼저 허동수와 최동석(2008)에 의해 개발된 2차원 수치해석기법 LES-WASS-2D를 이용하여 기존의 수치모형 실험치와 비교·검증한 후, 검증된 모델을 이용한 수치시물레이션을 실시하여 소파호안의 형상에 따른 규칙 및 불규칙파의 월파특성 및 불규칙파의 군파특성이 월파량에 미치는 영향에 대해 검토하였다.

2. 수치해석이론

2.1 기초방정식

본 연구에서의 수치해석기법은 무반사 조파를 위한 조파소

교신저자 허동수: 경남 통영시 인평동 445
055-640-3152 dshur@gsnu.ac.kr

스항이 포함된 연속방정식과 수정된 Navier-Stokes 운동방정식을 적용하였고, 투수성매체 내부의 저항으로서 관성, 층류 및 난류저항항이 포함되어 있는 2차원 수치모델 LES-WASS-2D(허동수와 최동석, 2008)를 이용하였다. 또한, 자유표면을 모의하기 위한 VOF함수(Hirt and Nichols, 1981)와 계산격자의 크기보다 작은 와류를 고려하기 위한 LES기법을 적용하였으며, LES기법에는 Smagorinsky sub-grid model (Smagorinsky, 1963)을 이용하였다. 기초방정식의 자세한 내용은 허동수와 최동석(2008)를 참조하기 바란다.

2.2 불규칙파의 조파

본 연구에서 적용하는 수치파동수로에서의 조파는 Brorsen and Larsen(1987)이 제안한 식 (1)의 조파소스강도를 이용한다. 식 (1)에서 t 는 조파를 시작한 시각으로부터의 경과시간, $T_{1/3}$ 은 입사파의 유의주기이다. U_i 는 각 성분파에 대한 수평 유속성분으로 미소진폭파 이론에 의한 유속을 사용하였으며, 갑작스러운 조파로 계산이 불안정해지는 것을 방지하기 위해 $t/T_{1/3} = 3$ 이 될 때까지는 서서히 조파소스의 강도를 증가하는 것으로 하였다.

$$S = \begin{cases} -2t/T_{1/3} \sum_{i=1}^N U_i \left(\sum_{i=1}^N \eta_i + h \right) / (\eta_s + h) & : t/T_{1/3} \leq 3 \\ 2 \sum_{i=1}^N U_i \left(\sum_{i=1}^N \eta_i + h \right) / (\eta_s + h) & : t/T_{1/3} > 3 \end{cases} \quad (1)$$

불규칙파를 수치모의하기 위한 스펙트럼으로는 널리 사용되고 있는 식 (2)의 Bretschneider-Mitsuyasu(Mitsuyasu, 1970)의 스펙트럼을 적용하였다.

$$S(f) = 0.257 H_{1/3}^2 T_{1/3}^4 f^{-5} \exp[-1.03 (T_{1/3} f)^{-4}] \quad (2)$$

여기서, $S(f)$ 는 파랑에너지 밀도, f 는 주파수, $H_{1/3}$ 은 유의파고를 나타낸다. 불규칙파를 모의하기 위한 주파수 f 의 선택 방법에는 주파수 스펙트럼을 등구간으로 분할하는 방법이나 각각의 성분파의 진폭이 거의 같도록 하는 등에너지로 분할하는 방법 등이 이용된다. 본 연구에서는 Bretschneider-Mitsuyasu의 스펙트럼에 대해 등에너지로 스펙트럼을 분할할 수 있는 Goda(1977)에 의해 제안된 다음의 식 (3)을 이용하여 주파수를 선택하였다.

$$f_i = \frac{1.007}{T_{1/3}} \{ \ln [2N / (2i - 1)] \}^{-1/4}, i = 1, N \quad (3)$$

여기서, N 은 성분파의 수를 나타낸다. 또한, 위상각은 $[0, 2\pi]$ 의 범위의 일양난수(Uniform random numbers)를 이용하였다.

이 때, 어떠한 일양난수를 이용하는가에 따라 생성되는 불규칙파의 시계열도 변화하므로 시계열의 변화에 따른 영향을

검토하기 위하여 세 종류의 일양난수에 의한 불규칙파의 파형을 검토하였다. Fig. 1은 세 종류의 일양난수에 의해 생성되어 조파된 불규칙파의 시계열을 나타내고 있다. 그럼으로부터 알 수 있듯이 동일한 주기와 파고를 가지는 성분파들에 의해 생성된 불규칙파일지라도 위상각에 이용되는 일양난수의 차이로 인해 생성된 불규칙파의 시계열, 즉 군파특성이 달라지는 것을 확인할 수 있다.

여기서, N 은 성분파의 수를 나타낸다. 또한, 위상각은 $[0, 2\pi]$ 의 범위의 일양난수(Uniform random numbers)를 이용하였다.

이 때, 어떠한 일양난수를 이용하는가에 따라 생성되는 불규칙파의 시계열도 변화하므로 시계열의 변화에 따른 영향을 검토하기 위하여 세 종류의 일양난수에 의한 불규칙파의 파형을 검토하였다. Fig. 1은 세 종류의 일양난수에 의해 생성되어 조파된 불규칙파의 시계열을 나타내고 있다. 그럼으로부터 알 수 있듯이 동일한 주기와 파고를 가지는 성분파들에 의해 생성된 불규칙파일지라도 위상각에 이용되는 일양난수의 차이로 인해 생성된 불규칙파의 시계열, 즉 군파특성이 달라지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 2는 앞에서 설명한 Fig. 1의 일양난수 Case에 따른 불규칙파의 월파량을 나타내고 있으며, 일양난수의 변화에 따라 월파량의 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 일양난수의 Case에 따라 월파가 가능한 파고의 출현횟수, 즉 군파특성과 월파량의 관계에 따른 결과라 판단되며, 이에 대한 구체적인 검토가 필요하나 현 단계에서는 어려움이 있으므로 금후의 과제로 남겨두고 여기서는 생략하기로 한다.

본 연구에서는 세 경우 중 Case 1에 이용된 일양난수를 적용하여 수치시뮬레이션을 수행하였다.

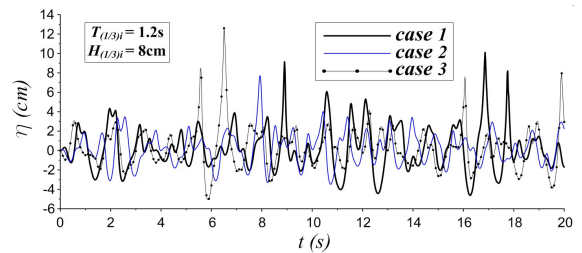


Fig. 1. Water surface profiles of irregular waves generated by different uniform random numbers

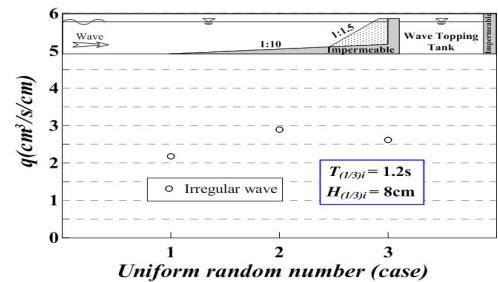


Fig. 2. Wave overtopping rates of irregular waves generated by different uniform random numbers

3. 수치해석수법의 검증

본 연구에서 제안하는 수치계산수법의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 3에 나타난 Sakakiyama and Imai(1996)의 실험수조를 참조하여 수치파동수조를 구성하였다. 또한, 수치파동수조의 좌측에는 경계로부터의 반사파를 없애기 위해 부가감쇠영역을 두었으며, 검증을 위한 입사파 조건 및 수조의 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Numerical setup conditions used for verification

Condition	Symbol	Value
Incident wave period(sec)	T_i	1.2, 1.4, 1.6
Incident wave height(cm)	H_i	8.0, 10.0, 12.0
Water depth(cm)	h	30.0
Mean grain size(cm)	D	3.53
Porosity	n	0.5
Free board(cm)	R	5.0

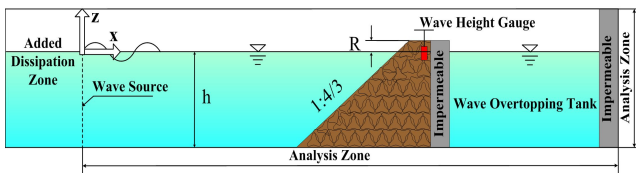


Fig. 3. Schematic diagram of numerical wave channel for verification

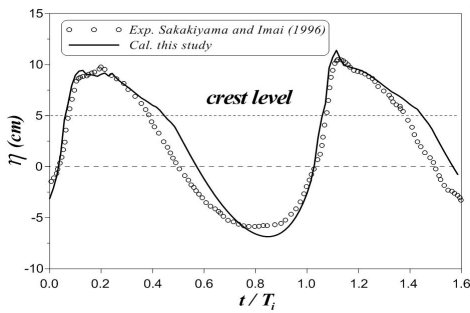


Fig. 4. Comparison between measured and calculated water surface elevations

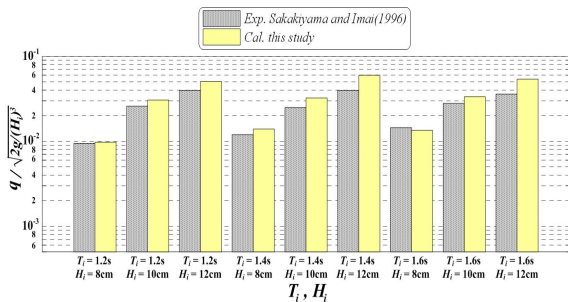


Fig. 5. Comparison between measured and calculated wave overtopping rates

Fig. 4는 본 수치해석수법에 의한 수위변동과 Sakakiyama and Imai(1996)에 의한 실험결과를 나타내고 있으며, (○)는 Sakakiyama and Imai(1996)의 실험치, (—)은 본 연구의 계산치를 각각 나타내고 있다. Fig. 4로부터 계산결과는 실험치에 비해 파곡이 약간 뽀족한 값을 나타내고 있지만, 전체적으로 실험파형을 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있다. 또한, Fig. 5는 월파량에 대한 실험치와 계산치의 비교를 나타내고 있으며, 그림으로부터 입사파고가 커질수록 계산치가 실험치를 약간 과대평가하는 경향이 있으나 전반적으로 실험치를 잘 재현하는 것을 알 수 있다.

이상으로 본 연구에서 이용한 수치모델의 타당성과 유효성이 검증되었다고 판단되며, 이 모델을 이용한 수치시뮬레이션을 통하여 소파호안의 형상이 월파량에 미치는 영향에 대해 논의하기로 한다.

4. 수치계산결과 및 고찰

4.1 수치파동수조 및 입사파조건

투수성소파호안의 형상이 월파량에 미치는 영향에 대해 논의하기 위해 Fig. 6의 수치파동수조를 이용하여 수치시뮬레이션을 수행하였다. 수치해석에 이용된 제원은 Table 2에 자세히 나타내었고, 해저 불투수 비탈면경사는 1:10으로 하였다. 또한, 규칙파는 조파개시 후 정상상태가 된 이후 3주기에 대해, 불규칙파는 100초의 월파량에 대해 시간 평균 월파유량을 산정하였다.

4.2 불규칙파의 군파특성에 따른 월파량

불규칙파의 월파량은 월파가 발생할 수 있는 파고의 출현 횟수와 연속적으로 월파가 가능한 군파의 출현에 따라 차이가 발생한다. 이를 검토하기 위해 Fig. 7과 Fig. 8을 나타내었으며, Fig. 7은 수면변위(a) 및 월파량(b)의 시간변화(86sec ~ 96sec)를, Fig. 8은 평균수위와 평균류의 공간분포를 각각 나

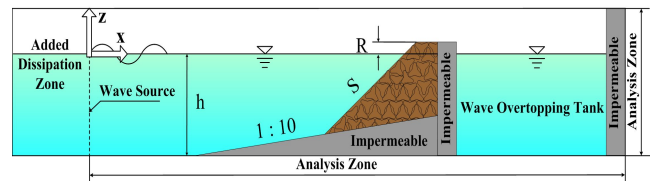


Fig. 6. Definition sketch of numerical wave channel used in this study

Table 2 Conditions of incident wave and wave tank

Condition	Symbol	Value
Incident wave period(sec)	T_i	1.0, 1.2, 1.4
Incident wave height(cm)	H_i	6.0, 8.0, 10.0,
Water depth(cm)	h	30.0
Slope	S	1:1, 1:1.5, 1:2, 1:3
Mean grain size(cm)	D	2.5, 3.5, 4.5
Porosity	n	0.4, 0.5, 0.6
Free board(cm)	R	3.0, 4.0, 5.0

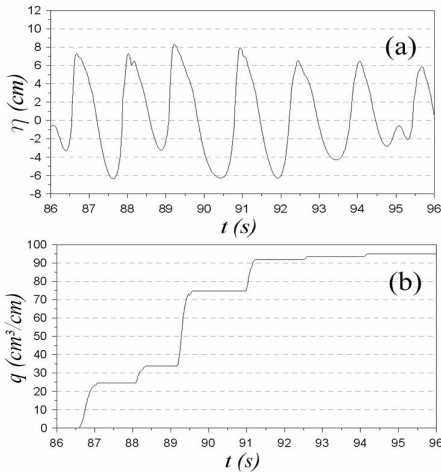


Fig. 7. Distribution of water surface profile(a) and wave overtopping rate(b)

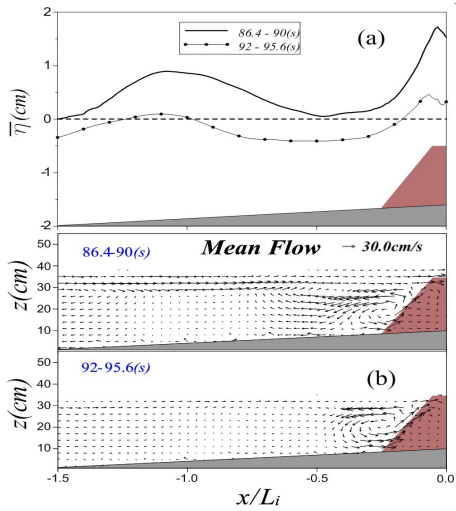


Fig. 8. Distribution of wave setup(a) and mean flow(b)

타내고 있다. Fig. 7(a)로부터 92sec 이전에는 파고가 큰 준파가, 92sec 이후에는 파고가 작은 준파가 나타나며, 이에 따라 Fig. 7(b)에서의 월파량도 92sec 이전에는 증가량이 크고 92sec 이후에는 증가량이 작은 것을 확인할 수 있다.

이를 좀 더 자세히 검토해 보기 위해 Fig. 8(a)의 평균수위를 확인하면, 파고가 큰 준파의 시간대에서 소파제 상에서의 평균수위가 파고가 작을 때보다 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 Fig. 8(b)의 평균류를 확인하면, 파고가 큰 준파의 시간대에서 발생하는 순환류의 크기는 파고가 작은 준파가 발생하는 시간대의 순환류보다 작게 나타난다. 이것은 월파가 발생할 때에는 월파로 인해 파랑에너지가 호안 배후로 전달되지만, 월파가 발생하지 않을 때에는 비록 파고의 크기가 작더라도 파랑에너지가 호안 배후로 전달되지 않아 순환류가 크게 나타나는 것으로 판단된다.

4.3 입사파주기 변화에 따른 월파량

입사파주기 변화에 따른 규칙파와 불규칙파의 월파량을 나

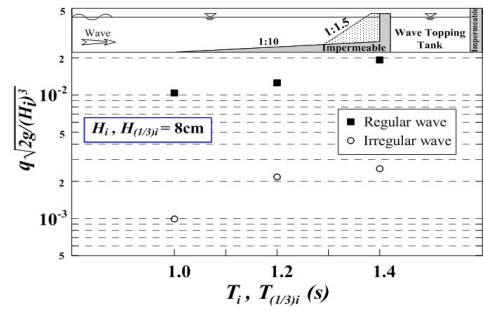


Fig. 9. Wave overtopping rates due to change of incident wave period

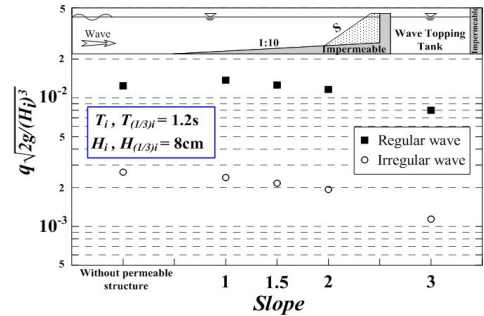


Fig. 10. Wave overtopping rates due to change of the slope gradient of a permeable structure

타내고 있는 것이 Fig. 9이며, 입사파주기는 1.0sec, 1.2sec 및 1.4sec를 적용하였다. 여기서 불규칙파의 유의주기는 규칙파의 경우와 같게 하였으며, 평균입경, 공극률, 및 비탈면경사는 각각 3.5cm, 0.5, 및 1:1.5인 경우이다. 그림으로부터 허동수와 김인철(2006)에 의해 밝혀져 있는 비와 같이, 입사파주기가 커질수록(파형경사가 작을수록, Ursell수가 커질수록) 규칙파와 불규칙파 모두에서 월파량이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

또한, 불규칙파의 경우보다 규칙파에서의 월파량이 많은 것을 알 수 있는데, 이러한 월파량의 차이는 R(정수면과 호안천단과의 거리)과 입사파고의 비에 의해 변화하지만 본 연구에서는 전반적으로 R/H의 값이 작은 경우, 즉 월파가 활발하게 발생하는 경우를 대상으로 하고 있으므로 규칙파의 경우 진행되는 파가 구조물배후로 계속해서 월파하는데 반해, 불규칙파의 경우에는 진행되는 모든 파에 대해 월파가 발생하는 것이 아니라 월파가 가능한 높은 파고에 의해서만 월파가 발생하기 때문에 규칙파에서의 월파량이 불규칙파보다 크게 나타나고 있다. 하지만, R/H의 값이 커지는 경우 이와 반대의 현상도 충분히 발생할 것으로 판단되므로 금후 이에 대한 세밀한 검토가 필요하다.

4.4 투수성소파제의 비탈면경사 변화에 따른 월파량

Fig. 10은 투수성소파제의 비탈면경사 변화에 따른 월파량을 나타내고 있으며, (■)은 규칙파, (○)는 불규칙파의 경우이다. 또한, 횡축은 비탈면경사를, 종축은 단위시간당 월파량을

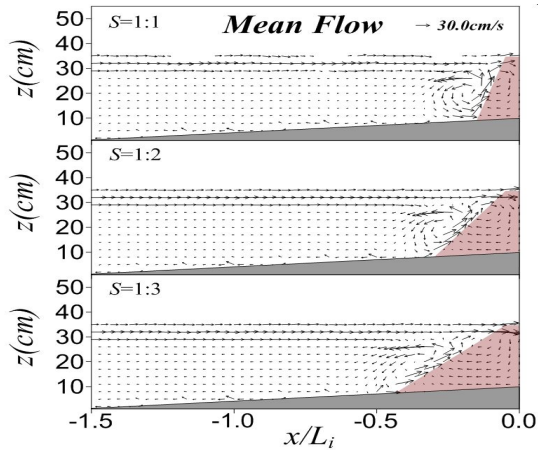


Fig. 11. Mean flow due to change of the slope gradient of a permeable structure in case of regular wave

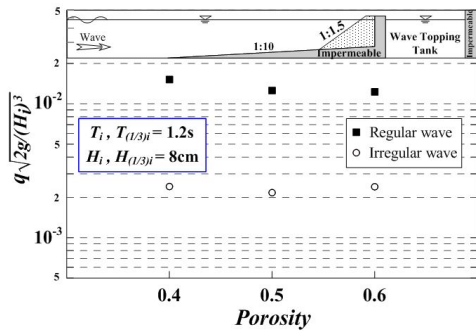


Fig. 12. Wave overtopping rates due to change of the porosity of a permeable structure

나타내었고, 투수성소파제의 제원은 평균입경이 3.5cm, 공극률이 0.5인 경우이다. 규칙파와 불규칙파 모두 투수성소파제가 존재하는 경우에서 비탈면경사가 완만해질수록 전반적으로 월파량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 투수성소파제의 비탈면경사가 완만해질수록 파랑이 투수성구조물을 통과하는 거리(면적)가 증가함에 따라 저항을 크게 받기 때문에 파랑에너지의 감소로 인해 월파량이 작아지는 것으로 판단된다. 이러한 경향은 Fig. 11에 나타내고 있는 소파제의 비탈면경사에 따른 평균류를 보면 자세히 알 수 있다. 그림에서 소파제의 비탈면경사가 완만해질수록 소파제 상에서의 월파방향의 유속이 작아지며, 소파제를 통한 에너지 감소로 인해 전면에서 순환류의 크기가 작아지는 것을 확인할 수 있다.

또한, 투수성소파제가 존재하지 않는 경우에서 규칙파의 월파량은 투수성소파제의 비탈면경사가 1:1인 경우보다 작게 나타난다. 이것은 단언할 수는 없지만, 비탈면경사가 1:1인 소파제의 경우 파랑에너지 감소에 의한 월파량의 감소분보다 소파제의 표면경사를 타고 넘어가는 월파량의 증가분이 더욱 많아짐에 따른 결과로 판단된다.

4.5 투수성소파제의 공극률 변화에 따른 월파량

Fig. 12는 투수성소파제의 공극률이 0.4, 0.5 및 0.6인 경우,

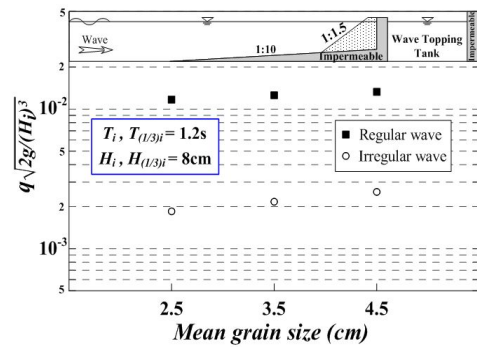


Fig. 13. Wave overtopping rates due to change of the mean grain size of a permeable structure

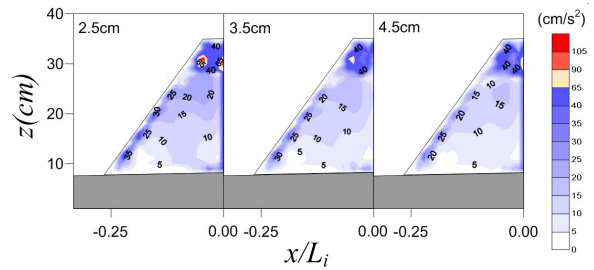


Fig. 14. Mean turbulent resistance due to change of the mean grain size of a permeable structure in case of regular wave

규칙파와 불규칙파의 월파량을 나타내고 있으며, 횡축은 공극률을, 종축은 단위시간당 월파량을 나타내었다. 또한, 투수성소파제의 평균입경은 3.5cm, 비탈면경사는 1:1.5인 경우이다. 그림에서와 같이 규칙파 및 불규칙파의 경우 모두에서 공극률의 변화에 따른 월파량의 차이가 작은 것을 확인할 수 있으며, 그림으로 나타내지는 않았으나 비탈면경사별로 공극률 변화에 따른 월파량을 검토해 본 결과 마찬가지로 공극률 변화에 따른 월파량의 변화에 일정한 규칙을 발견할 수 없었다.

Ting et al.(2004)은 투수성중구조물의 제원 및 공극률(0.421~0.912)이 진행파에 미치는 영향에 대해서 검토하였으며, 이 중 천단수심이 가장 얇은 경우에 대해서 상대수심이 커지면 공극률이 0.75보다 작을 경우에는 투수성중구조물에 의한 에너지 감쇠는 거의 일정하다는 것을 보고하였다. 본 연구에서와 같이 불투수성호안 전면 소파제가 설치되어 있는 경우와는 다른 조건에서의 결과이지만, 일정한 폭의 공극률 범위에서는 투수성구조물 내부에서의 파랑에너지 감쇠가 큰 변화를 가지지 않는다는 것을 나타내는 결과로 생각되며 이에 대한 세밀한 검토를 위하여 향후 수리실험 및 수치실험을 통하여 많은 자료가 축적되어야 할 것으로 판단된다.

4.6 투수성소파제의 평균입경 변화에 따른 월파량

Fig. 13은 투수성소파제의 평균입경 변화에 따른 규칙파와 불규칙파의 월파량을 나타내며, 평균입경이 2.5cm, 3.5cm 및 4.5cm인 경우이다. 또한, 투수성소파제의 공극률은 0.5, 비탈면경사는 1:1.5인 경우이다. 그림에서와 같이 규칙파와 불규칙파 모두 평균입경이 증가할수록 월파량이 증가하는 것을 확

인할 수 있다. 이것은 공극률이 일정하고 평균입경 만이 증가한 결과로, 평균입경이 증가하면 그 만큼 투수성구조물에 의한 항력저항의 영향을 적게 받음으로 인해 평균입경이 작은 경우에 비해 파랑에너지의 감소가 작아지므로 월파량이 증가하는 것으로 판단된다. 이러한 항력저항의 영향을 확인해 보기 위해 항력저항 중 영향이 큰 난류저항을 평균입경에 따라 나타낸 것이 Fig. 14이다. 그림에서와 같이 난류저항의 크기가 평균입경이 작아질수록 증가하는 것을 확인할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 소파호안의 형상이 월파량에 미치는 영향에 대해 검토하기 위해 투수성구조물에 의한 유체저항(관성저항, 층류저항 및 난류저항)을 고려하고 LES 난류모델이 도입된 수치모델을 이용하여 기존의 수리모형실험과 비교, 검토를 수행하였다. 그 결과 본 연구에서의 수치해석결과가 수리모형 실험치를 잘 재현하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

검증된 수치해석기법을 이용하여 불규칙파의 군파특성이 월파량에 미치는 영향 및 소파호안의 형상이 월파량에 미치는 영향에 대해 수치모의를 수행하여 얻어진 중요한 사항을 본 논문의 결론으로 하여 아래에 기술한다.

(1) 불규칙파의 월파는 월파가 가능한 군파의 출현 횟수가 많고 월파파고가 높을수록 월파량이 증가하며, 불규칙파의 시계열(군파특성)과 월파량과의 관계에 대하여 구체적인 검토가 필요한 것을 확인하였다.

(2) 투수성소파제의 비탈면경사 변화에 따른 월파량을 검토한 결과, 불규칙파에서는 소파제의 비탈면경사가 완만해질수록 월파량이 감소하였다. 규칙파도 같은 경향을 나타냈지만 투수성소파제가 존재하지 않을 경우에서의 월파량이 비탈면경사가 1:1인 경우보다 작게 나타났다.

(3) 투수성소파제의 평균입경이 증가할수록 규칙파와 불규칙파 모두 월파량이 증가하며, 공극률에 따른 월파량의 변화에 대해서는 큰 차이를 발견할 수 없었다. 또한, 입사파주기가 커질수록 월파량이 증가하는 일반적인 현상도 본 연구에서 확인되었다.

참 고 문 헌

손병규, 김홍진, 안희준 (2005). "경사식 방파제의 형상에 따른 월파량 및 반사율 실험 연구", 한국해양공학회지, 제19권, 제2호, pp 34-39.

유용욱, 이종인, 김영택 (2007). "쇄파에 의한 처오름과 월파유속", 한국해양해양공학학회논문집, 제19권, 제6호, pp 606-613.

허동수, 염경선, 김지민, 김도삼, 배기성 (2006(a)). "부산연안에서 폭풍해일고의 추정", 한국해양공학회지, 제20권, 제3호, pp 37-45.

허동수, 염경선, 김지민, 김도삼, 배기성 (2006(b)). "경남연안의 지역특성에 따른 폭풍해일고의 변동", 한국해양공학회지, 제20권, 제3호, pp 45-53.

허동수, 김인철 (2006). "해역구조물을 통한 월파의 3차원 수

치계산기법의 개발", 한국해양해양공학학회논문집, 제18권, 제4호, pp 383-389.

- 허동수, 최동석 (2008). "투과성잡제의 비탈면경사가 주변 파동장에 미치는 영향", 대한토목학회논문집, 제28권, 제2B호, pp 249-259.
- Brorsen, M. and Larsen, J. (1987). "Source Generation of Nonlinear Gravity Waves with the Boundary Integral Equation Method", Coastal Eng. Vol 11, pp 93-113.
- Goda, Y. and Kishira, Y. (1976). "Experiments on Irregular Wave Overtopping Characteristics of Low Crest Types", Technical Note of PARI, 242, 28P.
- Goda, Y. (1977). "Numerical Experiments on Statistical Variability of Ocean Waves", Rept, Port and Harbour Res. Int., Vol 16, No 2, pp 3-26.
- Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981). "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries", Journal of Computational Physics, Vol 39, pp 201-255.
- Hosada, K., Miyamae, S., Seki, K. and Mizuguchi, M. (2007). "Effect of 2nd-order Wave Overtopping by Sinusoidal Waves Generated in Shallow Water", Proc. Japanese Conf. Coastal Eng., JSCE, Vol 54, pp 736-740.
- Mitsuyasu, H. (1970). "On the Growth of Spectrum of Wind-generated Waves(2)-Spectral Shape of Wind Waves at Finite Fetch", Proc. Japanese Conf. Coastal Eng., JSCE, pp 1-7.
- Qie, L., Choi, B.H. and Xie, S.L. (2008). "Probabilistic Assessment of Wave Overtopping of Seawall at Busan, Korea", Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Eng., Vol 20, No 2, pp 176-183.
- Sakakiyama, T. and Imai, S. (1996). "Numerical Simulation of Overtopping on the Wave Absorbing Revetment", Proc. Japanese Conf. Coastal Eng., JSCE, Vol 43, pp 696-700.
- Shankar, N.J. and Jayaratne, M.P.R. (2003). "Wave Run-up and Overtopping on Smooth and Rough Slopes Coastal Structure", Ocean Eng., Vol 30, pp 221-238.
- Smagorinsky, J. (1963). "General Circulation Experiments with the Primitive Equation", Mon. Weath. Rev., Vol 91, No 3, pp 99-164.
- Ting, C.L., Lin, M.C. and Cheng, C.Y. (2004). "Porosity Effects on Non-breaking Surface Waves over Permeable Submerged Breakwaters", Coastal Eng., Vol 50, pp 213-224.
- Wijayarathna, N., Okayasu, A. and Noma, T. (2000). "Numerical Simulation of Overtopping Rate on Stepped Seawall", Proc. Coastal Eng., JSCE, Vol 47, pp 711-715.

2008년 7월 18일 원고 접수

2008년 11월 20일 최종 수정본 채택