

잠제 주변의 3차원 흐름특성에 미치는 경사입사파의 영향에 관하여 On the Effects of Oblique Incident Wave on 3-D Flow around the Permeable Submerged Breakwaters

허동수¹, 이우동²

Dong Soo Hur¹ and Woo Dong Lee²

1. 서 론

우리가 접하고 있는 연안역으로 유입되는 파는 해저경사에 의한 굴절의 영향으로 거의 해안선에 법선 방향으로 입사한다. 하지만, 해저경사에 영향을 적게 받는 영역의 파는 해안선에 대해 일정한 방향각을 가지고 진행하게 된다. 따라서 호안, 제방 등과 같이 해안선에 인접한 해안구조물에 대해 해석할 경우 법선 방향에 대한 고찰만으로도 고정도의 해석이 가능할 것으로 판단되나, 잠제와 같이 연안에서 일정한 이안 거리를 유지함으로써 최적의 기능을 수행하는 구조물인 경우 입사파의 방향성에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 이러한 경사입사로 인한 잠제 주변의 저질이동기구는 더욱 복잡한 양상을 띠게 될 것이다.(宇多高明ら, 1988).

지금까지 경사입사파의 영향에 의한 잠제 주변의 수리특성을 해석하려는 연구로서 국내에서는 김 등(2000)과 김 (2001)이 경계요소법을 이용하여 경사입사파에 대한 반사 및 전달율에 관한 연구들을 수행하였다. 국외의 연구로서는 Kramer et al.(2005)에 의한 경사입사파에 의한 잠제 주변의 수리학적 특성에 대하여 3차원수리모형실험을 실시하여 고찰하였고 Zanuttigh and Lamberti(2006)는 2차원평면모델(MIKE 21)을 이용하여 Kramer et al.(2005)의 수리모형실험을 수치적으로 분석하여 검토하였다. 한편, 저자들은 3차원 수치해석기법, LES-WASS-3D를 개발함(허와 이, 2007)과 동시에 이를 이용하여 잠제 주변의 3차원적인 수리특

성에 대해 검토하여 잠제의 단부를 중심으로 특유의 순환류가 발생함과 동시에 주변해역에 3차원적인 흐름장이 존재하고, 이와 같은 흐름 특성은 잠제 주변의 평균수위차이에 의해 발생하는 흐름과 입사파의 상호작용에 의해 발생한다는 것을 보고하였다(허와 이, 2007; 허와 이, 2008a). 하지만, 이러한 저자들의 이전 연구 역시 잠제에 대해 직각 입사하는 경우의 파만을 대상으로 하여 검토하였으며, 경사입사파로 인하여 더욱 복잡해 질 것으로 예상되는 잠제 주변의 3차원적인 흐름특성을 파악하기에는 아직 미진한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 수리모형실험치(Ma, 2004; Kramer, 2005)와의 비교·검토를 통해 타당성과 유효성이 검증된 LES-WASS-3D(허와 이, 2007)를 이용하여 이미 검토되어 있는 직각입사파에 대한 잠제 주변의 흐름특성(허와 이, 2007; 허와 이, 2008a)에 대한 식견을 바탕으로 경사입사파에 대한 주변의 3차원적인 흐름특성에 대해 논의하는 것을 목적으로 한다.

2. 수치해석기법

본 연구에서는 경사입사파에 따른 잠제 주변의 흐름특성을 파악하기 위하여, 기존의 수리모형실험의 결과와의 비교·검토를 통하여 타당성을 확인한 3차원 수치해석기법(LES-WASS-3D; 허와 이, 2007)을 이용하였다.

LES-WASS-3D는 파·구조물·해빈/해저지반의

1 발표자: 국립경상대학교 해양토목환경 공학부 부교수

2 국립경상대학교 해양토목공학과 석사과정

상호작용의 영향을 직접 고려할 수 있는 수치해석수법으로서, 격자크기 보다 작은 난류구조에 대해서는 sub-grid scale 모델을 이용하는 Large Eddy Simulation 기법(Sub-Grid Scale model; Smagorinsky, 1963)을 도입하였으며 투수성 지반/구조물내의 유체저항으로서 관성저항(Sakakiyama and Kajima, 1992), 난류저항(Ergun, 1952; van Gent, 1995) 및 층류저항(van Gent, 1995; Liu and Masliyah, 1999)을 고려할 수 있도록 개발된 장비선형의 3차원 수치해석기법이다.

또한, 유한차분법(FDM-Finite Difference Method)의 적용에 따른 직각격자체계에서의 계단식 경사면처리를 보완하기 위하여 허 등(2008b)이 제안한 경사면처리기법을 적용하였다.

3. 해석결과

3.1 수치파동수조 및 입사조건

본 연구에서는 경사입사파에 따른 잠제 주변의 흐름특성을 파악하기 위하여 Fig. 1과 같은 3차원 수치파동수조를 이용하였고, 파의 제반사를 방지하기 위해 파랑의 입사경계에 조파소스(조파원천)를 설치하고 그 offshore측에 부가감쇠영역을 설치하는 무반사 조파시스템을 이용하였으며, 해석영역에는 바닥경사 1:100의 불투과 해저지반을 기초로 하여 1:2의 경사를 가진 2기의 잠제를 설치하였다. 잠제는 피복부분과 core부분으로 나누어 구성하였고, 피복석의 평균입경은 4cm, core의 평균입경은 1cm로 하였으며, 해빈은 모래로 고려하여 0.002cm로 구성하였다.

Table 1. Test conditions used in this study.

CA SE	Inclination(°)			H_i (cm)	T_i (sec)
	Wave	Breakwater	Beach		
1			90		
2			80		
3		90	70		
4	90		60		
5		80	80		
6		70	70	6	1.5
7		60	60		
8	80				
9	70	90	90		
10	60				

또한, 경사입사파에 대해서는 파를 직각입사하고 구조물을 회전시킨 경우와 구조물을 그대로 두고 파를 경사 입사시키는 2가지의 경우를 고려하였다.

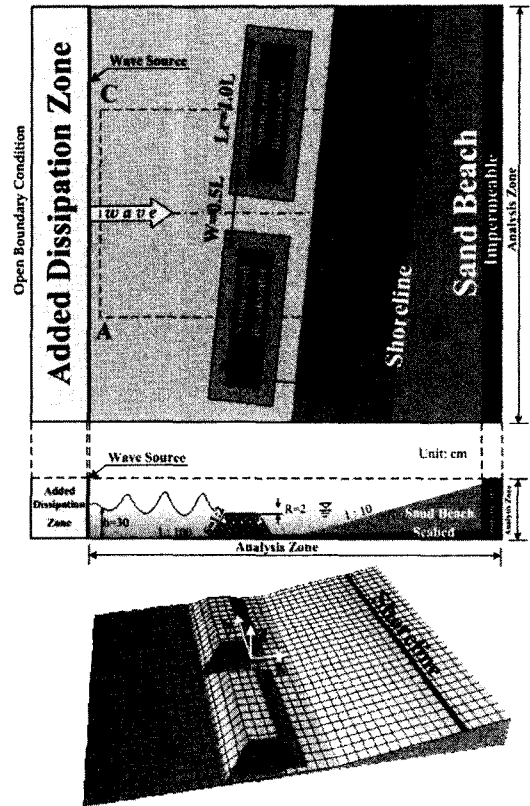


Fig. 1. Definition sketch of 3-D numerical wave basin.

이용된 수치해석조건에 대한 상세한 사항을 Table 1에 나타내었으며, 입사파 조건($H_i=6cm$, $T_i=1.5sec$)과 이안거리(개구부 중심을 기준; $Y/L_i=1.5$), 개구율($W/L_r=0.5$), 천단폭($B/L_i=0.5$), 제장($L_r/L_i=1.0$), 천단수심($R/H_i=0.33$)을 고정하고, 경사입사파에 따른 잠제 주변의 파고분포를 검토한 후, 이와 관련하여 잠제 주변에서의 3차원적인 흐름특성에 대해 고찰하였다.

3.2 잠제 주변의 파고분포

Fig. 2는 직각입사파에 대해 잠제 및 해빈을 회전시킨 경우, 구조물의 회전각에 따른 잠제 주변의 파고분포를 입사파고($H_i=6cm$)에 대해 무차원하여 나타내고 있으며, 잠제 중심 간의 범위에 해당하는 사각형 A-B-C-D 내부(Fig. 1 참조)의 공간과

고분포를 나타내고 있다. 그림중의 붉은색은 입사 파고보다 높은 파고를 파란색은 입사파고보다 낮은 파고를 의미하고, 사각형 점선은 잠제의 저면을 실선은 잠제의 천단을 나타내며, 또한 일점쇄선은 해빈이 시작되는 저면을 의미한다. (a)는 잠제 및 해빈에 90°로 입사할 경우(CASE1)를 (b)는 80°로 입사할 경우(CASE5), (c)는 70°로 입사할 경우(CASE6)를 각각 나타내고 있다.

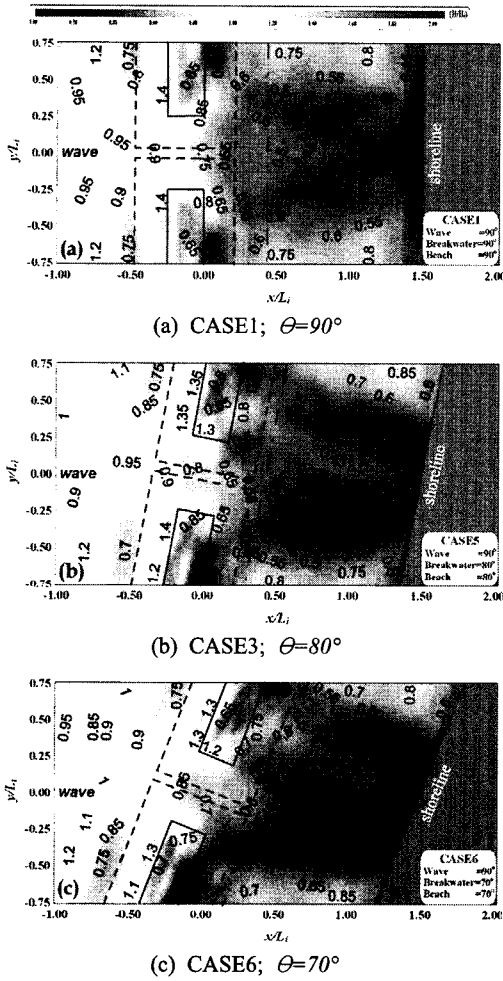


Fig. 2. Spatial distributions of non-dimensional wave heights due to variation of incident wave direction

Fig. 2로부터 offshore측에서는 경사입사파의 입사각이 90°일 경우 잠제 전면에서 발생하는 부분 중복파의 파봉선이 잠제와 평행하다가 입사각이 작아질수록 약간의 경사를 가지면서 형성되는 것을 확인할 수 있으며, onshore측에서는 입사각이

작아질수록 해빈에 의한 유체저항의 증가로 인한 파랑에너지 감소로 인하여 전반적으로 파고가 하강하는 경향을 나타내고 있다.

또한, 잠제배후에서 개구부를 통한 굴절 및 회절의 영향으로 발생하는 파의 중첩현상은 90°로 입사하는 (a)의 CASE1의 경우에는 대칭적으로 나타나고 있지만, 경사 입사하는 (b)의 CASE5와 (c)의 CASE6의 경우에는 비대칭적인 파고분포를 나타내고 있으며, 이와 같은 현상은 경사각이 작아질수록 두드러지게 나타난다. 이는 경사각이 작아질수록 입사경계와 2기의 잠제와의 거리가 각각 달라짐으로서 각각의 잠제에 의해 굴절 및 회절의 영향을 받는 파랑의 위상차가 발생하기 때문으로 판단된다.

3.3 잠제 주변의 흐름특성

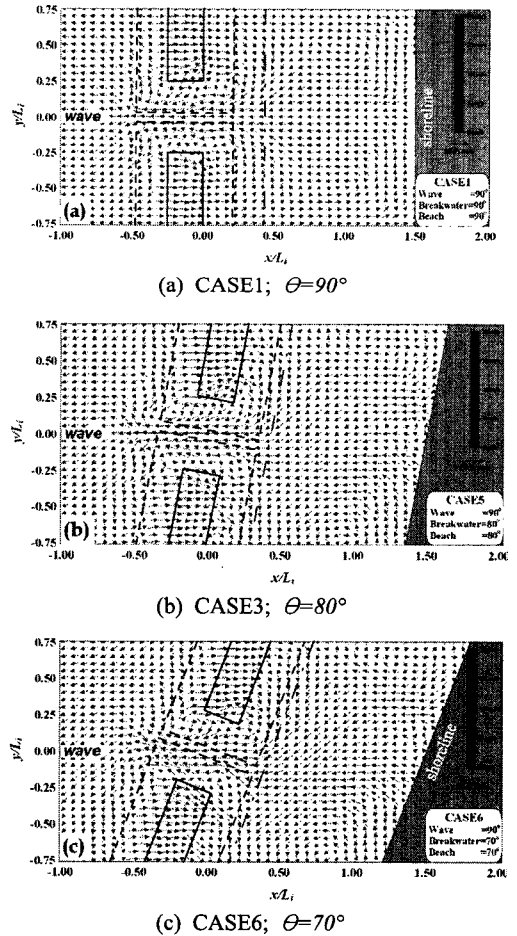


Fig. 3. Spatial distributions of mean flow due to variation of incident wave direction

Fig. 3은 x-y평면상의 각 연직위치의 수평유속 성분(u, v)을 3주기 동안 평균한 평균유속을 수심(연직)방향으로 적분한 평균유속분포도이며, 잠제 중심 간의 범위에 해당하는 사각형 A-B-C-D 내부(Fig. 1 참조)의 평균류 분포를 나타내고 있다. (a)는 잠제 및 해빈에 90°로 입사할 경우(CASE1)를 (b)는 80°로 입사할 경우(CASE5), (c)는 70°로 입사할 경우(CASE6)를 각각 나타내고 있다.

Fig. 3 (a)로부터 파가 잠제 및 해빈에 90°로 입사할 경우(CASE1) 잠제단부를 중심으로 평균수위 차이에 의한 흐름과 진행과의 상호작용에 의해 순환류가 발생함(허와 이, 2007; 허와 이, 2008a)을 확인할 수 있다. 이에 대해 직각입사파가 아닌 경사입사파일 경우 평균수위 및 진행과의 상호작용이 상이하게 나타남으로 잠제 주변의 3차원적인 흐름이 더욱더 복잡해지는 것을 확인할 수 있으나, 지면관계상 경사입사파에 대한 잠제 주변의 3차원적인 흐름특성을 논의하기에는 충분치 않으므로 상세한 내용에 대해서는 학술대회에서 발표하기로 한다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 경사입사파에 따른 잠제 주변의 3차원 흐름특성을 파악하기 위하여, 파·구조물·해빈/해저지반의 상호작용을 직접 고려할 수 있도록 개발된 강비선형 3차원 수치모델(LES-WASS-3D; 허와 이, 2007)을 이용하였다.

시뮬레이션 결과에 의하면, offshore측에서는 경사입사파의 입사각이 90°일 경우 잠제 전면에서 발생하는 부분중복파의 파봉선이 잠제와 평행하다가 입사각이 작아질수록 약간의 경사를 가지면서 형성되는 것을 확인할 수 있으며, onshore측에서는 입사각이 작아질수록 전반적으로 파고가 하강하였다. 또한, 잠제 주변의 3차원적인 흐름은 경사입사로 인하여 더욱더 복잡해지는 것을 확인할 수 있었으며, 이에 대한 구체적인 검토가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

김도삼, 정성호, 이봉재, 김민철(2000) 경사입사파 랑중의 수중다열방파제에 의한 Bragg 반사. 대한토목학회논문집, 제20권, 제5B호, pp. 737-745.

- 김도삼(2001) 2열투과성잠제에 의한 경사입사파랑의 반사율과 전단율에 관한 연구. 대한토목학회 논문집, 제21권, 제3B호, pp. 249-258.
- 허동수, 이우동(2007) 잠제 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원 특성; PART I-해빈이 없을 경우. 대한토목학회논문집, 제27권, 제6B호, pp. 689-701.
- 허동수, 이우동(2008a) 잠제 주변의 파고분포 및 흐름의 3차원 특성; PART II-해빈이 있을 경우. 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권, 제1B호, pp. 115-123.
- 허동수, 이우동, 배기성(2008b) 사각격자체계 수치 모델에서의 경사면 처리기법에 관하여. 대한토목학회논문집, 대한토목학회(in press).
- Ergun, S. (1952) Fluid flow through packed columns. Chem Eng., Vol. 48, No. 2, pp. 89-94.
- Kramer, M., Zanuttigh, B., van der Meer, J.W., Vidal, C. and Gironella, F.X. (2005) Laboratory experiments on low-crested breakwaters. Coast. Eng., Vol. 52, pp. 867-885.
- Liu, S. and Masliyah, J.H. (1999) Non-linear flows in porous media. J. Non-Newtonian Fluid Mech., Vol. 86, No. 1, pp. 229-252.
- Ma, H.H. (2004) Study on wave field and sediment transport structure in permeable slope beach.
- Sakakiyama, T. and Kajima, R. (1992) Numerical simulation of nonlinear wave interacting with permeable breakwater. Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng., ASCE, pp. 1517-1530.
- Smagorinsky, J. (1963) General circulation experiments with the primitive equation. Mon. Weath. Rev. Vol. 91, No. 3, pp. 99-164.
- van Gent, M.R.A. (1995) Wave interaction with permeable coastal structures. Ph.D. Thesis, Delft University The Netherlands.
- Zanuttigh, B. and Lamberti, A. (2006) Experimental Analysis and Numerical Simulations of Waves and Current Flows Around Low-Crested Rubble-Mound Structures. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, Vol.132, No.1, pp.10-27.
- 宇多高明, 小俣篤, 横山揚. (1988) 人工リクの機能と設計法. 建設省土木研究所, 河川部海岸研究室, 土木研究所資料, 第2696号.