

잠제구조물과 유한진폭파와의 비선형간섭에 관한 연구

윤덕영* · 허동수** · 김도삼*** · 강주복****

1. 서론

최근 경제활동의 확충 및 국민소득의 증가에 따라 해안역에 있어서 자연환경의 보존, Water-Front 및 Resort개발의 중요성이 보다 강조되고 있다. 그러나, 기존의 방파제 등과 같은 해안·항만구조물은 해저에서부터 수면위로 건설되어 해수유동을 차단하므로 해안환경측면에서 그 기능을 충분히 발휘할 수 없기 때문에, 근년에 파랑제어라는 원래의 목적에 부합될 뿐만 아니라, 해안환경 및 생태계측면에서도 우수한 기능을 갖는 잠제에 대한 연구를 활발히 수행하여 오고 있다. 그러나, 일반적으로 잠제구조물은 일열로 설치하여 파랑제어를 기하는 경우는 천단상의 수심을 알게 하여 천단상의 강제쇄파로 인한 에너지 손실, 혹은 잠제의 천단을 광폭으로 하여 구조물과 파와의 마찰효과 등을 이용하여 소파효과를 기대하게 된다. 그러나, 천단을 광폭으로 하는 경우나 천단상의 수심을 알게하는 것은 소요재료량의 증가로 건설비가 막대하게 소요되는 단점을 가진다.

따라서, 본 연구에서는 건설비의 절감을 기할 수 있도록 일열사다리꼴잠제보다 적거나 동일한 재료량으로 구성되는 이열사다리꼴잠제를 상정하여, 이열사다리꼴잠제의 천단폭과 전후잠제간의 간격의 변화에 따른 선형파랑제어기능을 검토하고, 이를 기초로 하여 일열 및 이열사다리꼴잠제에 의한 비선형파랑변형의 특성을 명확히 함을 본 연구의 목적으로 한다.

비선형파랑변형을 경계치문제로 해석하는 경우에는 그의 해석법으로서 비정상해석법(시간영역 해석법)과 정상해석법(주파수영역해석법)으로 대별할 수 있지만, 비정상해석법(Isaacson, 1982; Isaacson and Cheung, 1990)은 불규칙파를 해석할 수 있는 장점을 가지는 반면에 계산시간이 중대하고 파랑의 비선형성에 관한 물리적인 현상을 정확히 파악할 수 없는 단점이 지적되어 있으므로, 본 연구에서는 계산시간이 상대적으로 짧고 구조물과 파와의 간섭현상을 물리적으로 보다 정확히 평가할 수 있는 정상해석법(吉田 등, 1989 ; 吉田 등, 1991)을 채용하는 것으로 한다.

선형파랑변형에 있어서는 수리실험 및 수치모델로 이열잠제에 의한 파고전달율의 변화특성을 일열의 경우와 대비하여 규명하고, 또한 각각의 경우에 대한 비선형파랑변형의 발생특성을 수리실험 및 수치모델로 잠제상부영역과 전달파영역에서 이열사다리꼴잠제간격과 폭의 변화에 따른 비선형수면변동의 시간과형을 중심으로 그의 변화특성을 검토한다.

* 부산대학교 대학원 토목공학과 박사과정
** 부산대학교 대학원 토목공학과 석사과정
*** 한국해양대학교 해양토목공학과 조교수
**** 부산대학교 토목공학과 교수

2. 이론해석법의 검증

2.1 실험조건과 방법

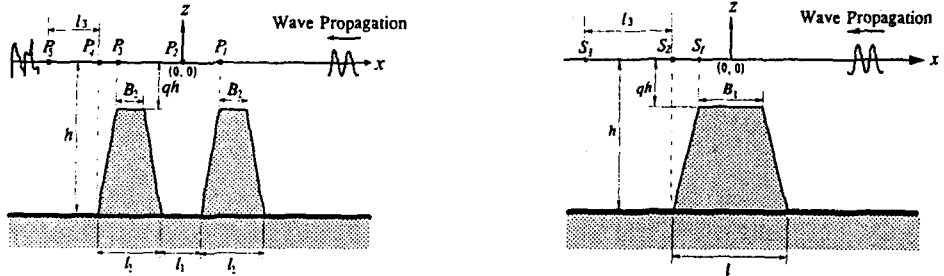
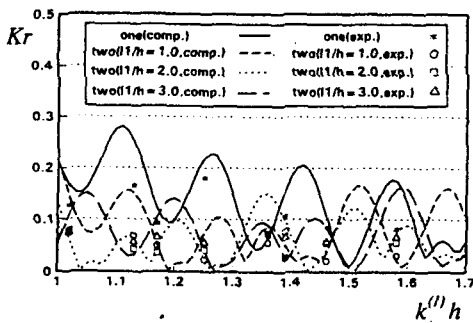


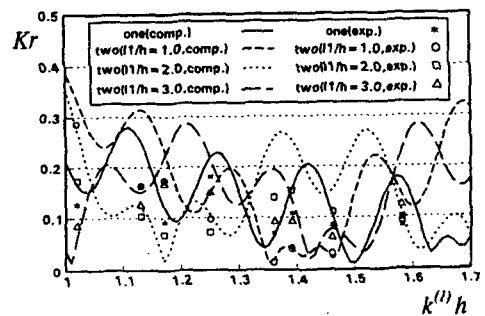
Fig. 1. Definition Sketch of the Submerged Trapezoidal Type Breakwater with One Row (Points S_1, S_2, S_3 indicate the measuring positions.) and Two Rows. (Points P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 indicate the measuring positions.)

길이 11m, 폭 0.4m, 높이 0.45m인 조파수로를 사용하여 수심을 0.3m로 일정하게 두고 수로중앙에 불투과사다리꼴이열잠제와 불투과사다리꼴이열잠제를 설치하여, 수면변동은 용량식과고계로 선형반사율과 전달율을 측정하였고, 비선형과랑변형은 Fig. 1와 같이 A.D변환기를 사용하여 일열잠제인 경우는 3지점과 이열잠제인 경우는 5지점에서 수면변동을 측정하였다.

2.2 일열 및 이열사다리꼴잠제의 선형전달율 및 반사율 비교

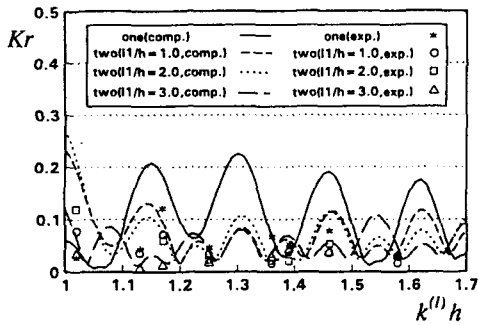


(a) ($q=0.2, B_2/h=0.53, \ell_2/h=3.73$)

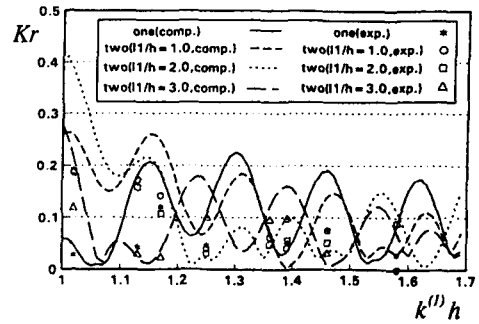


(b) ($q=0.2, B_1/h=0.33, \ell_2/h=3.53$)

Fig. 2. Reflection Ratio between Submerged Breakwater with One and Two Rows. ($q=0.2, B_1/h=2.67, \ell/h=5.87$)



(a) ($q=0.3, B_2/h=0.63, \ell_2/h=3.43$)



(b) ($q=0.3, B_2/h=0.43, \ell_2/h=3.23$)

Fig. 3. Reflection Ratio Difference between Submerged Breakwater with One and Two Rows. ($q=0.3, B_1/h=2.67, \ell/h=5.47$)

Fig. 2 및 Fig. 3는 불투과일열 및 이열사다리꼴잠제에 의한 입사파의 반사율의 수치해석결과와 실험결과를 비교한 예를 나타낸다. 이 때 이열사다리꼴잠제는 일열의 경우와 동일한 잠수심 및 비탈면의 경사를 가지며, $k^{(1)}h$ 의 변화에 따라 일열사다리꼴잠제와 동일재료량과 그보다 작은 재료량을 갖는 이열사다리꼴잠제의 천단폭 ($q=0.2$ 일때 $B_2/h=0.53, 0.43, 0.33$, $q=0.3$ 일때 $B_2/h=0.63, 0.53, 0.43$, B_2 : 천단폭) 및 간격 ($\ell_1/h=1.0, 2.0, 3.0$, ℓ_1 : 이열사다리꼴잠제사의 저면간격, h : 수심)을 변화시켰다.

잠수심이 $q=0.3$ 일 때 일열사다리꼴잠제의 반사율 및 전달율은 이론치와 실험치가 대략 일치하는 경향을 나타낸다. 또한 이열사다리꼴잠제에서의 반사율 및 전달율은 $kh < 1.1$ 인 범위를 제외하고 대체로 실험치와 이론치가 일치한다. 여기에서 그림으로 나타내지는 않았지만, 이열사다리꼴잠제의 전달율은 $kh < 1.1$ 에서 잠제사이의 간격이 커질수록 실험치와 이론치는 차이는 적어진다.

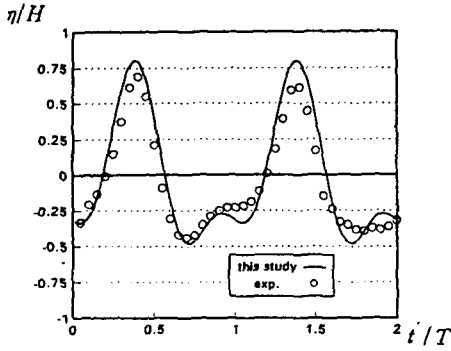
이열잠제의 반사율 및 전달율은 $kh < 1.1$ 에서 전체적으로 일열사다리꼴잠제의 경우보다 이열사다리꼴잠제의 경우가 반사율은 크고 전달율이 작으므로 효과적인 파랑제어기능을 가진다는 것을 알 수 있으며 천단폭이 넓어질수록 잠제사이의 간격이 넓어질수록 점점 장주기측으로 이동한다는 것을 알 수 있다.

실험에 의하면 잠제상에서 비선형파의 발생을 확인할 수 있었다. 이 비선형파로 인하여 이론치와 실험치의 차이가 커진다고 할 수 있다. 잠제에 의한 비선형파의 발생은 물수평면에 의한 파의 변형(井島 등, 1989)에서 언급하였듯이 구조물상면에서 대단히 크게 발달하는 고차성분파(주로 2배주파수 성분)로 인한 것이다. 이와 같은 비선형파 때문에 잠제상면에서 파의 분열이 발생하여 잠제 후면의 전달파에 큰 영향을 미친다는 것을 본 실험으로부터 알 수 있었다. 비선형파는 주로 전달파에 큰 영향을 미치지만 잠제 전면 끝부분의 수심이 변화하는 곳으로부터의 비선형파의 반사로 인하여 반사파에도 영향을 미친다.

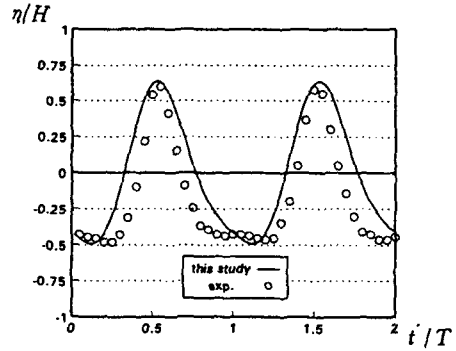
잠수심이 $q=0.2$ 로 높아지면 $q=0.3$ 보다 전체적으로 반사율이 커지고 전달율이 작아지는 경향을 보인다. 이것은 에너지가 정수면 근처에 집중되어 있으므로, 잠제천단고가 높아지면 파에너지의 전달역이 작아지므로 이러한 경향을 나타낸다. 그리고, 이열잠제인 경우 반사율은 이론치와 실험치는 비교적 잘 일치하나, 후방잠제 후면의 전달측에서는 쇄파로 인하여 이론치가 실험치보다

과대하게 나타난다.

2.3 불투과 일열 및 이열사다리꼴잠제의 비선형파랑변형

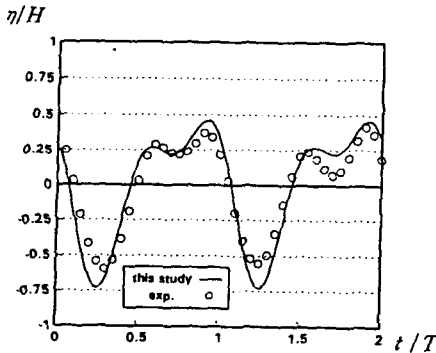


(a) Water Surface Profile on Point S_1 .
($q=0.3, B_1/h=2.67, \ell/h=5.47$)

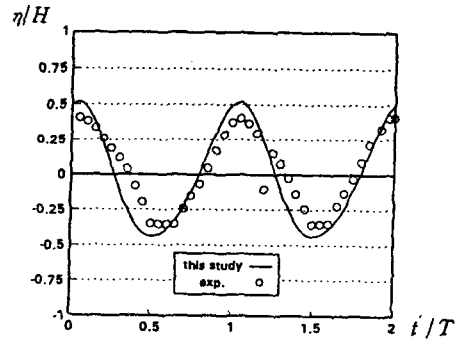


(b) Water Surface Profile on Point P_3 .
($q=0.3, B_2/h=0.53, \ell_2/h=3.33, \ell_1/h=1.0$)

Fig. 4. Time Variation of Water Surface.



(a) Water Surface Profile on Point S_2 .
($q=0.3, B_1/h=2.67, \ell/h=5.47$)



(b) Water Surface Profile on Point P_4 .
($q=0.3, B_2/h=0.43, \ell_2/h=3.23, \ell_1/h=2.0$)

Fig. 5. Time Variation of Water Surface.

Fig. 4 및 Fig. 5는 주기 0.96sec, 입사파고 2cm를 일열잠제와 일열의 경우와 동일한 잠수심 및 비탈면경사를 가지는 이열잠제에 일열사다리꼴잠제와 동일재료량과 그보다 작은 재료량을 갖는 이열사다리꼴잠제의 천단폭($q=0.3$ 일때 $B_2/h=0.63, 0.53, 0.43$) 및 이열사다리꼴잠제의 간격($\ell_1/h=1.0, 2.0, 3.0$)으로 변화시킬때의 대표적인 측정지점의 수면파형을 나타낸 그림이다.

여기에서 그림으로 나타내지 않았지만, Fig. 1의 이열잠제의 측정지점 P_1 에서는 전체적으로 비선형성분이 없고 수치모델과 실험치가 일치하는 경향을 나타내며, Fig. 1의 이열잠제의 측정지점 P_2 의 실험치는 이열잠제의 간격이 좁아질수록 비선형성분이 크며, 천단폭의 변화에 따른 차이는

미소하다.

Fig. 1의 일열잠제의 천단끝 측정지점인 S_1 과 이열잠제의 후방잠제 천단끝 측정지점 P_3 에서는 일열잠제가 이열잠제보다 상대적으로 큰 비선형성분 및 진폭을 가지는데 이것은 일열잠제인 경우 전달파가 이열잠제의 경우보다 크고 잠제의 천단폭이 넓기 때문이다. 이열잠제인 경우는 일열잠제보다 수치모델과 실험치가 일치하지 않는 경향을 나타내며 간격 $\ell_1/h=2.0$ (입사파의 파장의 0.5)일 때 다른 간격 $\ell_1/h=1.0$, $\ell_1/h=3.0$ 때보다 작은 비선형성분을 가진다.

Fig. 1의 일열잠제의 경사끝 측정지점인 S_2 과 이열잠제의 후방잠제 경사끝 측정지점 P_4 에서는 수심의 급격한 증가에 따라 전체적으로 S_1, P_3 보다 큰 비선형성분이 발생하지만 진폭은 S_1, P_3 보다 작아지며, 이때 일열잠제인 경우가 이열잠제보다 큰 비선형성분 및 진폭을 나타낸다.

이열잠제인 경우 간격 $\ell_1/h=2.0$ (입사파의 파장의 0.5)일 때 다른 간격 $\ell_1/h=1.0$, $\ell_1/h=3.0$ 때보다 작은 비선형성분을 가진다.

Fig. 1의 일열잠제의 전달측 측정지점 S_3 과 이열잠제의 후방잠제 전달측 측정지점 P_5 에서는 이열잠제간격 $\ell_1/h=2.0$ (입사파의 파장의 0.5)일 때 다른 간격 $\ell_1/h=1.0$, $\ell_1/h=3.0$ 때보다 비선형성분이 적은 경향을 가지며, 진폭의 크기도 S_2, P_4 보다는 커지나 S_1, P_3 보다는 작은 경향을 나타낸다. 이지점에서 일열잠제인 경우가 이열잠제보다 큰 비선형성분 및 진폭을 나타낸다

3. 결론

일열사다리꼴잠제보다 적거나 동일한 재료로 구성된 이열사다리꼴잠제에 대해 천단폭과 잠제사이의 간격을 변화시켜 일열 및 이열사다리꼴잠제에 의한 선형파랑변형차이와 비선형파랑변형의 발달 및 변화특성과 크기등에 파형의 시간분포를 중심으로 검토하였다.

본 연구에 의해 얻어진 중요한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 이열사다리꼴잠제는 일열사다리꼴잠제보다 장파에 대한 파랑제어효과가 매우 크고, 이러한 경향은 잠수심이 얕을수록 이열잠제의 간격이 넓을수록 그리고 이열잠제폭이 넓을수록 현저히 나타나고 보다 장주기측으로 이동하는 것을 알 수 있다.
- (2) 동일한 입사파 및 주기에 대해 이열사다리꼴잠제의 비선형성분과 진폭은 후방잠제천단상 및 배후에서 일열사다리꼴잠제보다 상대적으로 작다. 후방잠제천단상 및 배후에서 진폭의 크기는 후방잠제천단상이 가장 크고, 후방잠제경사면끝에서 작다. 이열잠제인 경우 입사파의 반파장의 간격을 가질 때 다른 간격 때보다 비선형성분이 적은 경향을 가진다.
- (3) 제어하려는 파의 주기에 따라 일열사다리꼴잠제의 소요재료량보다 적은 재료량의 이열사다리꼴잠제에 있어서 잠수심과 잠제사이의 간격을 적절히 조절하면 전달측에서 일열사다리꼴잠제보다 정온한 해역을 가질 수 있다.
- (4) 비선형파랑의 성분이 매우 크게 증대되는 경우에 정도 높은 예측을 위해서는 보다 고정도의 해석이 요구된다.

참고문헌

1. 윤덕영·허동수·김도삼·강주복(1995). "장주기파의 효율적인 제어를 위한 이열잠제의 최적간격." 한국항만학회지, 제9권, 제2호, pp. 51-64.
2. 吉田明德·村上啓介·小島治幸·鶴本良博(1989). "グリーン公式による有限振幅波の定常境界値問題解析法." 海岸工学論文集, 第36卷, pp.469-473.
3. 吉田明德·小島治幸·鶴本良博(1991). "ポテンシャル接続法(選点解法)によるストークス波と構造物の非線形波動境界値問題解析法." 土木學會論文集, No.434 / II-16, pp.57-66.
4. 小島治幸·吉田明德·井島武士(1991). "没水水平版と波との非線形干渉に関する研究." 海岸工学論文集, 第38卷, pp.556-560.