

연안해역에서의 수변식생에 의한 파랑변형에 관한 수치해석

이성대

한라대학교 공과대학 토목공학과

Numerical Analysis for Wave Propagation with Vegetated Coastal Area

SEONG-DAE LEE

Dept. of Civil Engineering, College of Engineering, Halla University, Gangwondo, Korea

KEY WORDS: Wave Propagation 파랑변형, Numerical Analysis 수치해석, Coastal Vegetation 연안식생, Unsteady Mild Slope Equation 비정상완경사방정식, Wave Attenuation 파고감쇠

ABSTRACT: Recently, it has been widely recognized that coastal vegetations may have great value in supporting fisheries, protecting from wave attack, stabilizing the sea bed and maintaining good scenery. Hydrodynamic factors play a major role in the functions of water quality and ecosystems. However, the studies on physical and numerical process of wave propagation are few and far behind compared to those on the hydrodynamic roles of coastal vegetations. In general, Vegetation flourishing along the coastal areas attenuates the incident waves, through momentum exchange between stagnated water mass in the vegetated area and rapid mass in the un-vegetated area. This study develops a numerical model for describing the wave attenuation rate in the complex topography with the vegetation area. Based on the numerical results, the physical properties of the wave attenuation are examined under various wave, geometric and vegetation conditions. Through the comparisons of these results, the effects of the vegetation properties, wave properties and model parameters such as the momentum exchange coefficient have been clarified.

1. 서 론

최근들어 자연과 직접 접촉할 수 있는 하천이나 호소 및 해안과 같은 수변공간(water front)의 환경적 가치가 증가되고 있으며 특히 수변은 시민들이 경관이나 여가를 즐기는 공간으로 많이 이용되고 있다. 그리고 연안 해역 등의 수변은 철새나 야생동물의 서식처로서도 기대되고 있다. 특히, 연안에서의 식생은 경관이나 생태계 보전에 큰 가치를 가지고 있으며, 외해에서 침입하는 파랑으로부터 배후의 해안을 적절히 보호하는 기능도 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 하천이나 연안 해역에 존재하는 식생은 이들 수역에서의 흐름을 억제할 뿐 아니라 특히 홍수나 태풍내습 시 수위상승의 한 요인이 되어 재해방지의 측면에서 제거하는 경우도 있으며, 최근에는 대규모 매립과 같은 해안 개발계획 등에 의해 연안식생이 급격히 감소하고 있는 실정이다. 하지만 수변식생이 가지고 있는 친환경적 문제에 대한 긍정적 평가가 이루어지면서 연안 식생의 보존에 대한 움직임이 점차 활발해지고 있다(최정권,1999). 식생의 영향을 해안 수리학적 관점에서 살펴보면 연안식생은 파랑의 침입을 감소하면서 배후에 정온수역을 형성하고, 표사의 침식을 억제하는 기능을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 그리고 퇴적된 표사

및 토사에 해초나 갈대 등의 식생이 활착·생장하게 되면 이를 통해 연안 해역에서의 식생영역이 점차 확대되어 가게 된다. 한편 외해로부터 상대적으로 큰 파랑이 내습하는 경우에는 식생에 작용하는 파력에 의해 식생이 넘어지거나, 뿌리 주위의 토양이 유출되어 생육이 어렵게 되기도 한다. 이같이 파랑과 연안식생은 상호 간섭하면서 식생영역이 결정되는 것으로 알려져 있다. 따라서 연안정비 및 연안에서의 환경대책을 수립하는 경우 수변식생이 수역에 미치는 환경 생태학적 측면뿐만 아니라 해안 수리학적 관점에서의 연구가 필요하다.

지금까지 하천이나 연안해역과 같은 수변공간은 환경과 경관의 측면 보다는 방재 및 치수라는 개념이 우선시 되어 왔다. 이것은 폭풍이나 태풍이 발생하는 경우 폭풍해일과 고파랑의 율파에 의한 해안 범람류의 신속한 해수배제와 하천에서의 홍수량을 원활히 배제하는 것이 시민들의 안전에 중요한 과제가 되어 왔기 때문이었다. 고도 경제성장시대에 급격히 이루어진 임해역의 개발은 해안범람을 야기하고 있으며 이에 따른 방재계획 그리고 해안매립에 의한 해초 및 연안 식생류의 급격한 감소가 관심의 대상이 되고 있다. 최근 연안역과 인간이 공존할 수 있는 수변공간의 창조를 위해 연안해역이 가지고 있는 공간이 최대한 보전되도록 하는 친환경적 자연형 연안개발이 새로운 과제가 되고 있는 실정이다. 이같은 관점에서 연안해역 주위에 생식하고 있는 수생생물의 생육과 이들을 위한 생식장을 확보한다고 하는 것은 연안 생태계 복원의 열쇠가 되는 것이다. 이를 위해서 해

저자 이성대 연락처: 강원도 원주시 흥업면 흥업리산 66
033-760-1264 sdlee@hit.halla.ac.kr

안역이나 하구역 등과 같은 수변공간을 어떻게 개선하는 것이 올바른 것인가를 파악하여야 하며 이와 더불어 연안해역의 수변식생이 가지고 있는 특성에 대한 검토가 필수적이다. 수변식생이 존재하는 연안해역은 그 자체로도 연안생태계의 보전 뿐만 아니라 해안선 등을 보호하는 역할도 하고 있다.

이같은 관점에서 인공해초나 연안식생에 의한 파랑변형에 관한 연구나 연안 구조물 전면에서의 세굴대책을 위한 식생의 효과에 대해 다양한 실험적 연구가 행해져 오고 있다 (Broome et al, 1992; Sugahara and Irie, 1992; Sugahara and Nagai, 1994; Lovas and Torum, 2001). 그리고 연안식생에 의한 파랑저동에 관한 수학적 및 수치적 연구는 최근 Mendez et al(1999), Asano et al (2003, 2004), Mendez and Losada(2004) 등에 의해 연구되고 있으나, 국내에서는 우리나라 연안 해역에 생식하고 있는 식생의 물리과정에 관한 조사나 연구는 미흡한 상태이다. 특히 식생에 의한 파랑변형 해석에 관한 연구성과는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 식생이 있는 연안해역에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 감쇠효과를 검토하고 그 특성을 확인하는 것이다. 파랑의 전파과정은 수심 등과 같은 지형이나 자연조건 등에 의해 복잡하게 변화하며 특히 식생이 존재하는 연안역에서의 파랑의 거동을 파악하는 것은 친자연형 수변공간을 창조하는데 필수적이다. 식생이 존재하는 연안 해역에서의 파랑 전파특성을 파악하기 위해서는 식생의 저항과 저면마찰계수를 고려하여야 한다. 그러나 식생의 저항을 고려하는 경우에 여러 가지 파라메타를 파악하여야 한다. 식생의 저항은 식생의 밀도, 직경 등에 따라 변화하므로 이에 관한 정식화가 필요하다. 일반적으로 파랑전파 특성은 수치적 방법을 통해 해석되며 특히 원주형의 식생이 존재하는 경우 이에 따른 파랑전파 및 식생의 조건 및 지형변화 등과 같은 다양한 파라메타가 파랑의 거동특성에 복합적으로 영향을 미치게 될 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 식생이 존재하는 해역에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 특성을 정식화하여 수치해석을 통해 검토하는 것이다. 이를 위해 먼저 식생의 밀도와 수역의 단면 형상, 입사파에 따른 파랑 특성을 검토하며, 식생의 항력저항과 비식생부와 식생부의 수평확산이 파랑전파에 미치는 영향을 해석하였다.

본 수치해석의 타당성을 확인하기 위하여 일정한 수심을 가진 수역에 선형 입사파가 침입하는 것으로 가정하였으며 수역의 중앙부와 측안에 각각 식생이 존재하는 경우를 대상으로 하였다. 연안식생에 의한 파랑전파 특성을 고려하는 경우에는 식생의 형태나 생태적 특징에 따라 변화하지만 본 연구에서는 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도가 식생 수역내에서는 일정하게 분포한다고 가정하였다.

2. 수치해석

2.1 지배방정식

최근 파랑의 전파특성을 파악하기 위한 방법으로서 수치해석이 활발하며, 파랑의 전파를 나타내는 지배방정식에 따른 수

치계산 기법도 다양화하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 연안해역에 입사하는 파랑의 전파과정을 해석하기 위하여 다음과 같은 연속방정식과 운동방정식을 고려하였다.

연속식은 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{n} \frac{\partial (nM)}{\partial x} + \frac{1}{n} \frac{\partial (nN)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

여기서 M, N은 각각 (x, y)방향의 선유량을 나타내며, $n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right]$ 이다.

그리고 운동방정식은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{du}{dt} &= fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{dv}{dt} &= -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \\ \frac{dw}{dt} &= -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 f는 편향력 계수이며 본 연구에서는 미소하여 무시하였다. 또한, (x,y,z)는 좌표축으로 (x,y)는 평면용, z는 자유수면상의 연직상방을 그리고 (u,v,w)는 (x,y,z)방향의 유속성분, p는 압력, A_h 는 수평확산계수, A_v 는 연직방향 와동점성계수를 각각 나타낸다.

연직가속도는 중력가속도에 비해 무시할 수 있다고 가정하면 z방향 압력분포는 정수압분포가 된다. 또 해면이 평균해면상 η 위치에 있는 경우, 해면에서의 대기압을 $p_0=0$ 라 두면 압력은 다음과 같이 된다.

$$p = \rho g(\eta - z) \quad (3)$$

식 (3)을 고려하고 식 (2)를 선형화하여 정리하면 운동방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \\ \frac{\partial v}{\partial t} &= -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의 우변 제3항은 식생영역의 저면전단응력과 식생이 없는 영역의 저면전단응력으로 나누어, 수심방향으로 적분하면 (5)식과 같이 되며 연속방정식 (1)식과 함께 본 연구의 지배방정식인 비정상완경사 방정식이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + c^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} &= -\frac{\tau_x}{\rho} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial t} + c^2 \frac{\partial \eta}{\partial y} &= -\frac{\tau_y}{\rho} + A_h \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 c 는 파속이며, 식 (5)의 우변 제1항의 τ_x , τ_y 는 다음 식 (6)의 저면마찰력(우변 제1항)과 식생군락에 의한 유체저항(우변제2항)의 합이라고 가정하였다.

$$\begin{aligned} \tau_x &= \frac{f_o}{2} |QM/h^2 + \frac{f_v}{2} |QM/h^2 \\ \tau_y &= \frac{f_o}{2} |QN/h^2 + \frac{f_v}{2} |QN/h^2 \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, $Q = \sqrt{M^2 + N^2}$ 이며, 그리고 식생에 의한 항력계수 f_v 는 차원적으로 같다고 하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{f_v}{2} |u|u| = \frac{C_D}{2} \int_{-h}^0 N d_0 dz |u| \quad (7)$$

여기서 C_D 는 식생의 항력계수($C_D=1.0\sim 2.0$), N 은 식생밀도(단위면적당 식생수), d_0 는 식생의 직경이다. 그리고 수치계산 시 식생이 존재하는 영역내의 저유속부와 식생이 없는 영역의 고속부의 운동량 교환은 유속경사에 비례하는 확산항으로 나타내었다.

2.2 수치해석

기본방정식을 이산화하여 근사해를 구하는 유한차분법은 대상이 되는 문제와 안정성 등에 의해 여러가지 방법이 사용되고 있다. 본 연구에서는 기본방정식인 식 (1)과 식 (5)을 다음과 같이 유한차분화하여 수치해석하였다.

연속방정식 식 (1)의 차분식은 다음의 식(8)과 같다.

$$\eta_{i,j}^{k+1} = \eta_{i,j}^k - \frac{\Delta t}{\Delta x} (M_{i+1,j}^{k+1} - M_{i,j}^{k+1}) - \frac{\Delta t}{\Delta y} (N_{i,j+1}^{k+1} - N_{i,j}^{k+1}) \quad (8)$$

그리고 운동방정식 식 (5)의 차분식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} M_{i+1,j}^{k+1} &= M_{i+1,j}^k - c^2 \frac{\Delta t}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^k - \eta_{i,j}^k) - \Delta t \frac{\tau_x}{\rho} + \\ &A_h \left\{ \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (M_{i+1,j}^{k+1} - 2M_{i,j}^{k+1} + M_{i-1,j}^{k+1}) + \right. \\ &\left. \frac{\Delta t}{\Delta y^2} (M_{i,j+1}^{k+1} - 2M_{i,j}^{k+1} + M_{i,j-1}^{k+1}) \right\} \\ N_{i,j+1}^{k+1} &= N_{i,j+1}^k - c^2 \frac{\Delta t}{\Delta y} (\eta_{i,j+1}^k - \eta_{i,j}^k) - \Delta t \frac{\tau_y}{\rho} + \end{aligned} \quad (9)$$

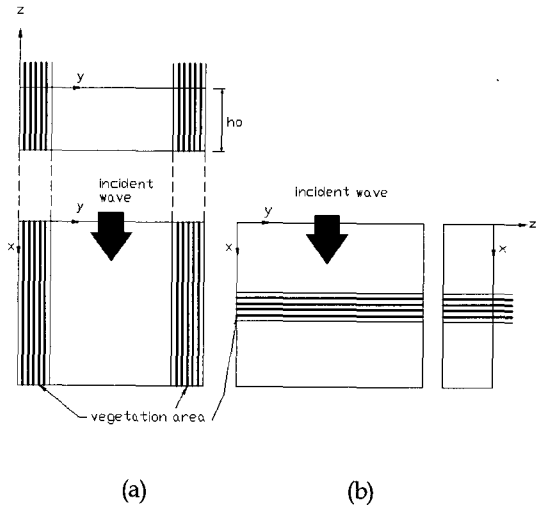


Fig. 1 Definition sketch for model test (a) vegetation along both sides, (b) vegetation across area

$$\begin{aligned} &A_h \left\{ \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (N_{i+1,j}^{k+1} - 2N_{i,j}^{k+1} + N_{i-1,j}^{k+1}) + \right. \\ &\left. \frac{\Delta t}{\Delta y^2} (N_{i,j+1}^{k+1} - 2N_{i,j}^{k+1} + N_{i,j-1}^{k+1}) \right\} \end{aligned} \quad (10)$$

그리고 대상 영역의 상류경계에서는 무반사경계조건을 Leap-Frog법으로 적용한 Hino and Nakaza(1988)의 방법을 사용하였다.

3. 계산결과 및 검토

본 수치계산의 타당성을 확인하기 위하여 Fig. 1에 도시한 바와 같이 일정한 수심을 가진 수역의 중앙부 또는 측안에 각각 식생이 존재하는 경우를 대상으로 하였다. 연안식생에 의한 파랑전파 특성을 고려하는 경우에는 식생의 형태나 생태적 특징에 따라 변화하지만 본 연구에서는 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도 N 가 수역 내에서 일정하게 분포한다고 가정하였다.

입지의 대상해역 및 식생조건에 대해 유한차분식, 식 (8)~식 (10)을 적용하여 수치해석을 수행하였으며 본 연구에서는 해역의 길이 $x=160m$, 폭 $y=80m$ 인 수역을 대상으로 하였다. 계산조건으로서 수심 $h=1.0m$ 인 일정 단면의 해역 상에 주기 $T=5.0sec$, 입사파고 $H_0=40cm$ 의 파랑이 입사한다는 조건을 기본으로 하여 파랑의 변형을 검토하였다. 그리고 이때 저면마찰계수는 $f_o=0.01$, 수평확산계수는 $A_h=0.05 m^2/s$, 식생의 항력계수 $C_D=2.0$, 식생의 직경 $d_0=2cm$, 식생밀도는 $N=20개/m^2$ 를 기본으로 하여 수치계산을 수행하였다.

그리고 격자의 크기는 $\Delta x = \Delta y = 1.0m$, $\Delta t=0.025s$ 로 하였으며 정수상태에서 정상상태에 도달하는 10주기동안 계산을 수행한 후의 결과를 사용하였다.

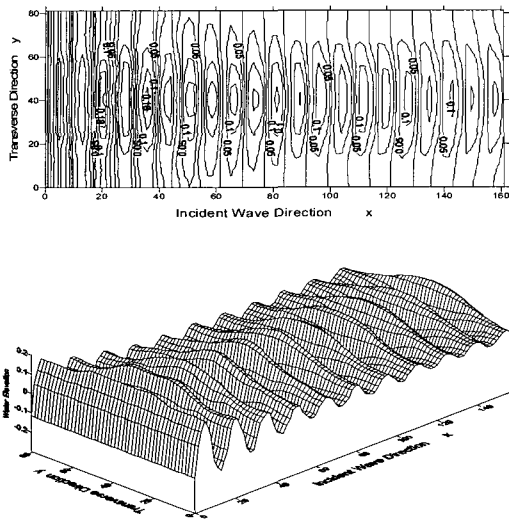


Fig. 2 Wave propagating in a vegetation fringed channel.

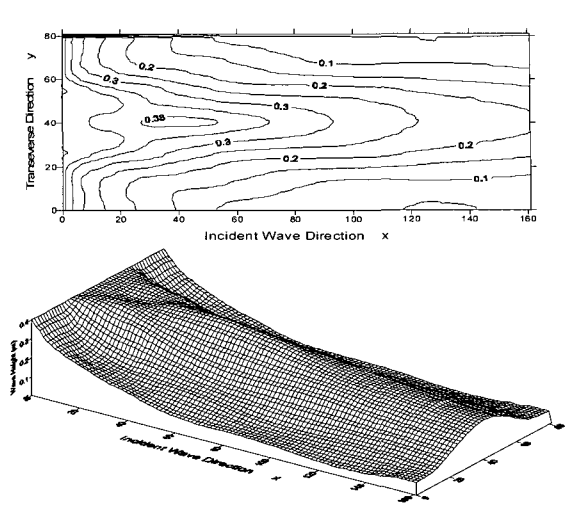


Fig. 3 Wave Height distribution in a vegetation fringed channel.

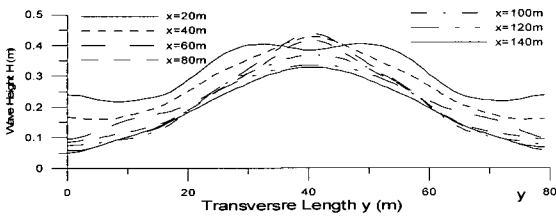


Fig. 4 Lateral wave height distribution in a vegetation fringed channel

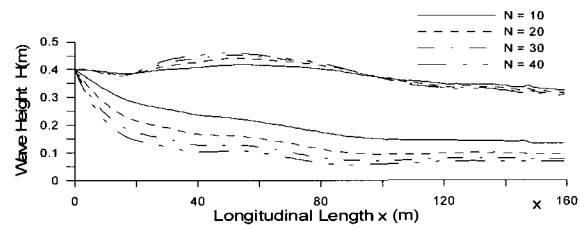


Fig. 7 Effects of vegetation density on wave attenuation

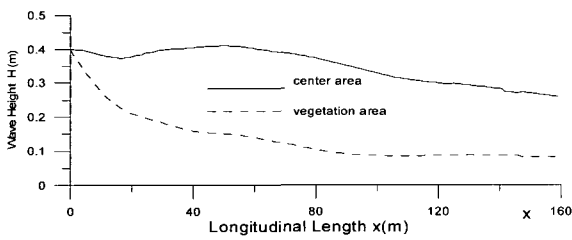


Fig. 5 Longitudinal wave height distribution in a vegetation fringed channel

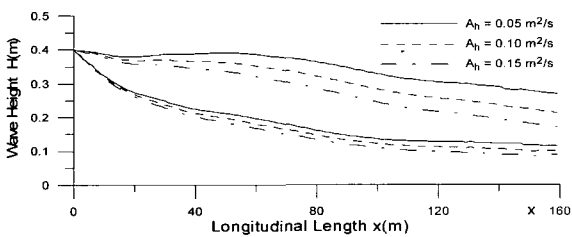


Fig. 6 Effects of horizontal diffusion coefficient on wave attenuation

3.1 수역 측안에 식생이 있는 경우

본 수치모형의 해석을 위해 먼저 수역의 양측안에 식생이 존재하는 경우에 대해 파랑의 변형을 수치해석하였다.

Fig. 2는 수역 내를 전파하는 파랑의 수면변위도를 도시하였으며 그림에서 알 수 있듯이 식생이 존재하는 측안역에서는 파랑의 감쇠가 급격히 이루어지고 있으며 식생이 존재하지 않는 중앙수역에서는 완만히 감소하는 경향을 보여주고 있다. Fig. 3에서는 수역내에서의 파고분포도를 나타내었는바 그림에서 보듯이 측안에서의 식생영향에 의해 파고감쇠효과가 뚜렷히 나타나고 있으며 중앙부에서는 입사파가 수역내로 침입하는 초기에 다소 감소하는 양상을 보이다가 $x=40m$ 지점에서 파고의 크기가 약간 증가하여 최고치를 나타낸 후 수역을 지나면서 점차 완만히 감소하는 특성을 보여주고 있다. 그리고 Fig. 4는 수로내를 입사하는 파랑의 진행방향 위치, $x=20m$ 부터 $140m$ 까지 $20m$ 간격에 따른 파고 감쇠 분포의 변화를 횡단방향($y=0\sim 80m$)으로 도시하였다. 파랑이 진행함에 따라 파고가 점차 감소하고 있으며 특히 식생영역내에서는 파고감쇠가 급격히 이루어지다가 $x=60m$ 위치를 지나면서 점차 완만해지는 경향을 보이고 있다. 그리고 수로의 중앙부에서는 $x=40m$ 위치에서 파고가 증가하지만 마찰계수의 효과 등에 의해 점차 파

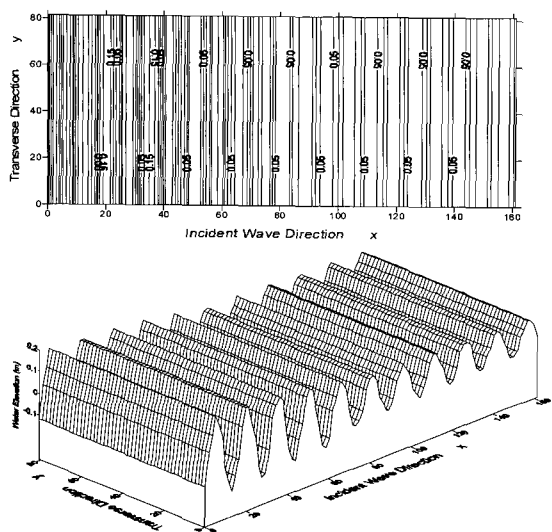


Fig. 8 Wave propagating in a vegetation across channel

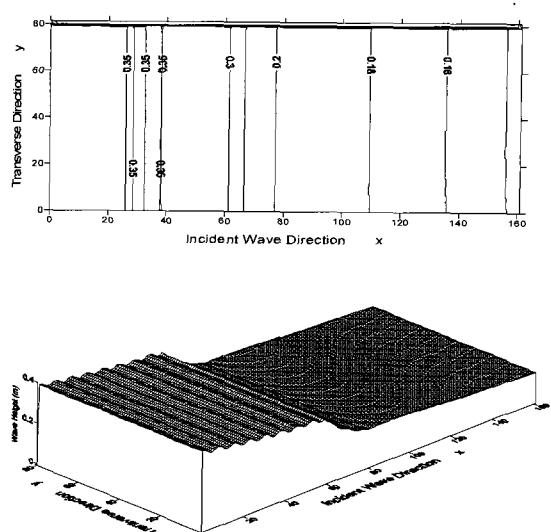


Fig. 9 Wave distribution in a vegetation across channel

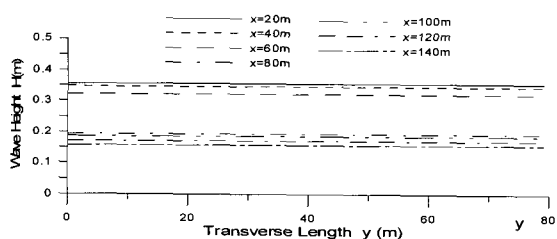


Fig. 10 Lateral wave height distribution in a vegetation across channel

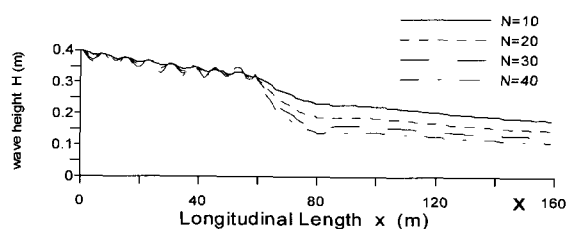


Fig. 11 Effects of vegetation density on wave attenuation in a vegetation across channel

고가 감소하는 있다.

Fig. 5는 수역에 입사하는 파랑의 진행방향에 따른 파고 감쇠 분포의 변화를 식생영역의 중앙부($y=10m$)와 수로중앙부($y=40m$)에 대해 각각 도시하였다. 파랑이 입사하여 $x=20m$ 위치에 이르면 전체적으로 파고가 감쇠한다. 수로중앙부($y=40m$)에서는 수로내 파랑침입 직후에 파고가 약간 감소한 후 다소 증가하는 경향을 보여 주고 있는 바 이는 식생영역에서 배제된 운동량이 수로 중앙부로 수송된 원인이라고 판단된다. 그리고 그 이후에는 전체적으로 완만한 파고감쇠특성을 보이고 있다. 식생영역 중앙부($y=10m$)에서는 $x=40m$ 까지 파고가 급격히 감소하고 있으며 $x=60m$ 위치에서부터 파고의 감쇠변화가 거의 나타나지 않고 있는 특성을 보여주고 있다. 이같은 경향은 식생에 의한 마찰저항효과의 영향이라 판단된다.

Fig. 6에는 수평방향 운동량확산계수 A_h 의 변동에 따른 파랑변동 특성을 파악하기 위하여 $A_h=0.05, 0.10, 0.15 m^2/s$ 로 각각 변화하는 경우 수역내 파고 감쇠특성을 파랑의 진행방향에 따른 파고변화도로 나타내었다. 파고감쇠곡선은 Fig. 5와 같이 식생중앙부($y=10m$ 지점)와 수로중앙부($y=40m$ 지점)에 대해 각각 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적인 파고분포특성은 Fig. 5와 거의 동일한 경향을 보여주고 있으며 측안의 식생내부 영역 ($y=10m$)에서는 수평방향 운동량확산계수의 변화

에 따른 파고감쇠의 영향은 거의 나타나지 않고 있으며, 수역의 중앙부($y=40m$)에서는 A_h 의 변화에 따른 영향은 식생영역($y=10m$)에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이것으로부터 운동량 확산계수 A_h 가 크게 되면 수평방향으로의 운동량 이동이 증가하게 되며 이에 따라 측방향으로의 에너지가 분산하여 파랑의 감쇠효과가 증대하게 됨을 알 수 있다.

Fig. 7에서는 식생의 밀도 N 이 10, 20, 30 및 40 개/ m^2 로 변화하는 경우에 x 방향에 따른 파고의 감쇠효과를 도시하였다. 파고감쇠곡선은 식생영역($y=10m$)과 식생이 존재하지 않는 수역($y=40m$)에 대해 도시하였다. 식생밀도 N 이 증가함에 따라 측안의 식생영역 내에서는 파고감쇠의 효과가 크게 나타나고 있으며 특히 식생밀도가 증가함에 따라 식생역 내에서의 파고감쇠 경향이 상대적으로 크게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 그리고 식생이 존재하지 않는 중앙부에서는 $x=40m$ 부근에 이를 때까지는 파고가 완만히 증가하고 있으며 이같은 경향은 식생밀도 N 이 증가함에 따라 비례하여 증가하고 있음을 보여 주고 있다.

3.2 수역 중앙부에 식생이 있는 경우

본 수치모형의 타당성을 검토하기 위하여 Fig. 1에 도시한

바와 같이 수역의 중앙부($x=60\sim 80m$)에 일정밀도의 식생 $N=20개/m^2$ 이 존재하는 경우에 대해 적용하였다.

Fig 8에서는 수역 내를 전파하는 파랑의 수면변위도를 도시하였으며 그림에서 보듯이 수역의 중앙부에 위치한 식생영역($x=60\sim 80m$) 구간을 지나면서 파랑의 진폭이 감소하여 나타나고 있다. 그리고 Fig.9에서는 수역내에서의 파고분포도를 나타내었다. 파고분포도에서 보듯이 수로 중앙부에 위치한 식생영역에 의해 식생이 위치하고 있는 $x=60\sim 80m$ 를 지나면서 파랑의 감쇠효과가 급격히 나타나고 있음을 보여주고 있다. 식생영역 전면부에서는 수역의 중앙부에 위치하고 있는 식생에 의해 미소하나마 반사파의 효과가 나타나고 있음을 보여주고 있으며 $x=80m$ 이후의 수역에서는 식생역을 통과한 전달파의 특성을 보여주고 있다.

그리고 Fig. 10 에서는 수역을 입사하는 파랑의 진행방향(x 방향) 위치에 따른 파고 감쇠 분포의 변화를 횡단방향으로 도시하였다. 그림에서 보듯이 x 방향으로 파랑이 진행해 감에 따라 위치에 따른 파고의 감쇠효과가 점차 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히 식생이 존재하는 $x=60\sim 80m$ 를 지나가는 동안 급격한 파고감쇠가 나타나며 $x=80m$ 위치 이후에는 거의 파고의 변동이 없는 정상상태로 나타나고 있어, 연안식생의 존재에 의한 파랑의 저감효과를 수치해석을 통해 재현할 수 있었다.

Fig. 11에서는 측안 식생의 경우와 동일하게 수로의 중앙부에 식생밀도 N 이 10, 20, 30 및 40 개/ m^2 로 변화하는 경우에 x 방향에 따른 파고의 감쇠효과를 나타내었다. $x=60\sim 80m$ 에 식생이 위치하고 있는 경우 수역의 중앙부 ($y=40m$)에서의 파고분포도를 도시하였다. 그림에서 알 수 있듯이 식생밀도 N 이 증가함에 따라 식생역 후면부($x=80m$ 이후 수역)에서 파고감쇠의 효과가 크게 나타나고 있으며 특히 식생역내에서 파고감쇠의 경향이 증가하고 있음을 보여주고 있다. 즉 $N=10개/m^2 \sim 40개/m^2$ 인 경우에 전달파고가 각각 0.11 ~ 0.18로 나타나 식생밀도에 따른 파고변화를 확인할 수 있었다. 그리고 식생밀도가 증가함에 따라 식생역의 전면부에서 식생에 의한 반사특성은 아주 미소하나마 증가하고 있는 특성을 보이고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 식생이 존재하는 연안해역에 파랑이 전파하는 경우 파랑의 감쇠효과를 검토하고 해안 수리학적 특성을 확인하기 위해 파랑의 전파 특성을 정식화하고 이를 수치모형화하였다. 일반적으로 연안에 식생이 존재하는 경우에 파랑의 전파 특성을 해석하기 위해서는 식생에 의한 저항과 비식생부와 식생부와의 수평방향 운동량확산의 영향에 대한 검토가 필요하며 따라서 본 논문에서는 이들의 영향을 고려하였다.

본 수치모형의 타당성을 검토하기 위하여 일정한 수심을 가진 해역에 파랑이 입사하는 경우 수역의 중앙부와 측안에 각각 식생이 임의로 존재하는 경우를 대상으로 하였다.

본 수치해석의 결과 식생이 존재하는 경우 파랑의 저감효과

를 대체로 잘 재현하였으며, 특히 측안이나 수로 중앙부의 식생 밀도가 변화함에 따른 파랑 전파 특성을 잘 나타내고 있다. 그리고 측안에 식생이 존재하는 경우 수평방향 운동량 확산의 변화에 의해 수평방향으로의 운동량 이동이 증가하게 되며 이에 따라 측방향으로의 에너지가 분산하여 파랑의 감쇠효과가 증대하게 됨을 예측할 수 있었다.

본 연구결과에의 검증에 위해서는 해석적 연구나 수리실험을 통한 검토가 필요하며 이에 관해서는 계속적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 2004년도 한라대학교의 교비지원에 의하여 일본 鹿兒島大學 해양토목공학과 Asano교수 연구실에서 수행된 연구의 일부이며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 최정권 (1999). "해안습지의 복원과 선례", 한국수자원학회지, 제32권, 제5호, pp 124-133.
- Asano, T. Matsumoto, R. and Kikuchi, S. (2003). "Wave Deformation Vegetation Fringed Channels", Proc. of Coastal Engineering, JSCE, pp 56-60.
- Broome, S. Rogers, S.M. and Senaca, E.D. (1992) "Shoreline Erosion Control using Marsh Vegetation and Low-cost Structures", Sea Grant Pub. of US Envir. Protection Agency and Univ. North Caroline, pp 20.
- Lovas, S.M. and Torum, A. (2001). "Effect of the Kelp Laminaria Hyperborea upon Sand Dune Erosion and Ater Particle Velocities", Coastal Engineering, Vol 44, pp 37-63.
- Mendez, E.J. Losada, I.J. and Losada, M.A. (1999). "Hydrodynamics Induced by Wind Waves in a Vegetation Field", J. Geophysical Research, Vol 104, No C8, pp 18383-18396.
- Mendez, F.J. and Losada, I.J. (2004). "An Empirical Model to Estimate the Propagation of Random Breaking and Nonbreaking Waves over Vegetation Fields", Coastal Engineering, Vol 51, pp 103-118.
- Sugahara, K. and Irie, I. (1990). "Experiments on the Effects of Artificial Seaweed on the Sand Movement". Tech. Note of PHRI, pp 48.
- Sugahara, K. and Nagai, T. (1994). "Hydraulic Model Experiment on the Artificial Seaweed against Scouring and Beach Erosion". Tech. Note of PHRI, pp 39.

2005년 11월 10일 원고 접수

2006년 2월 17일 최종 수정본 채택