

연안식생에 의한 표사이동 특성에 관한 수치해석

이성대
한라대학교 공과대학 토목공학과

Numerical Analysis for Wave Propagation and Sediment Transport with Coastal Vegetation

SEONG-DAE LEE

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

KEY WORDS: Wave propagation 파랑전파, Sediment transport 표사이동, Bathymetric change 해저지형변동, Coastal vegetation 연안식생, Wave attenuation 파랑감쇠, Numerical model 수치모형

ABSTRACT: The environmental value of coastal vegetation has been widely recognized. Coastal vegetation such as reed forests and seaweed performs several useful functions, including maintaining water quality, supporting fish (and, thus, fisheries), protecting beaches and land from wave attack, stabilizing sea beds and providing scenic value. However, studies on the physical and numerical process of wave propagation, sediment transport and bathymetric change are few and far between compared to those on the hydrodynamic roles of coastal vegetation. 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 and sediment transport in a wave channel in a vegetation area. By comparing these results, the effects of vegetation properties, wave properties and model parameters are clarified.

1. 서 론

최근 하천이나 연안해역에서 수변공간의 가치가 점차 증대되고 있으며 특히 갈대나 해조류와 같은 연안 식생군락은 물고기나 야생동물의 서식처를 제공하거나 수질의 정화작용과 철새들의 도래지의 기능을 가지는 것으로 알려지게 되면서 관심의 대상이 되고 있다. 또한 하구부나 간사지에서의 연안식생은 이와 같은 연안환경이나 생태계 측면 뿐 만 아니라 경관 및 시민들의 여가공간의 제공과 같은 사회적 측면에서 관심도가 증가하고 있다.

그러나 연안해역의 개발과 더불어 수변공간을 형성하고 있는 연안식생이 급격히 감소되고 있으며 특히 연안 구조물이 시민의 안전을 위한 방재 대책 위주로 이루어짐에 따라 수변공간의 변화가 심각한 실정이다. 이러한 측면에서 연안해역에서의 수변공간을 새롭게 복원하는 노력이 요구되고 있으며 더불어 새로운 수변공간의 창조가 요구되고 있는 실정이다. 이를 위해 수변공간은 다양한 생물이 서식하는 환경으로 보전되어야 하며 이같은 관점에서 연안해역에 존재하고 있는 수변식생에 관한 검토는 필수적이라 할 수 있을 것이다.

최근 자연과 인간이 공존할 수 있는 수변공간에 관한 다양한 연구가 이루어지고 있으며 연안해역이 가지고 있는 공간

을 최대한 보전하도록 하는 친환경적 자연형 연안역의 개발에 대한 관심이 증가되고 있는 추세이다. 이를 위해서 수변공간을 어떻게 개선하고 복원하는 것이 올바른 것인가를 파악하여야 하며 더불어 수변식생이 가지고 있는 특성에 대한 다양한 연구 및 검토가 이루어져야 한다.

해안수리학적 측면에서 연안식생은 외해에서 입사하는 파랑을 감쇄시키는 작용을 하고 있으며 이에 관해서는 Kobayashi et al.(1993), Mendez and Losada(2004)의 해석적 연구가 있으며, 연안식생이 수면위로 돌출한 수목이나 갈대와 같은 식생군락에 의한 파랑의 전파특성에 관해서는 Asano et al.(2005), 이성대(2006)의 수치적 연구가 보고되고 있다. 그러나 연안식생에 의한 파랑 전파특성에 관해서는 이의 해안수리학적 복잡성 때문에 이론적 및 수치적 접근은 국내외적으로 그다지 활발한 편은 아니다. 연안식생은 파랑의 감쇄뿐만 아니라 하천유사나 연안표사의 퇴적에도 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며 이에 관해서는 플라스틱 등과 같은 다양한 재료의 인공식생이나 해조류를 사용하여 식생 군락장 주위의 흐름이나 저질수송 기구를 실험적 연구를 통해 해석을 시도하고 있는 실정이다(Asano, 2006). 그리고 해안 및 항만 구조물 전면에서의 세굴대책의 방법으로 인공식생을 통한 실험적 연구(Broome et al., 1992; Sugahara and Nagai, 1994)가 있으며, 특히 2004년 동남아시아에서 발생한 쓰나미의 재해가 맹그로브 군락지(Mangrove forests)에서 최소화되었다는 조사에 따라 연안방재를 위한 해안림의 가치가 재인식되고 있다(Selvam, 2005). 그러나, 우리나라 연안 해역에 생식하

교신저자 이성대: 강원도 원주시 흥업면 한라대1길 32

033-760-1264 sdlee@halla.ac.kr

고 있는 식생의 물리과정에 관한 조사·연구와 연안식생에 의한 파랑 및 표사제어의 특성과 해석에 관한 연구는 아직 전무한 실정이다.

본 연구에서는 양측 호안에 식생이 있는 하구역이나 하구수로에 파랑이 전파하는 경우를 대상으로 이에 따른 해안수리학적 현상을 검토하였으며, 우리나라 대부분의 자연상태 하구에는 갈대나 해조류 및 수목 등이 식생군락으로 양측안에 널리 분포되어 있는 점을 감안하여 이같이 양측호안에 식생이 있는 수로에 파랑이 전파하는 경우, 파랑의 감쇠효과에 대하여 검토하고 식생에 의한 연안해역에서의 표사의 이동기구와 해저지형변동의 특성에 대해 수치적으로 해석하였다.

하구역에서의 식생군락은 해역의 염분농도와 파랑과 흐름 등과 같은 자연환경 조건의 변화에 의해 식생의 종류나 생태적인 특성 등이 변화하지만 본 연구에서는 단위면적 당 식생수를 나타내는 식생의 밀도 N 이 대상해역에 균일하게 분포한다고 가정하였으며, 식생의 형상은 수목이나 갈대와 같은 식생을 모형화하여 강체의 원주형상으로 가정하였다. 이같은 원주형의 식생이 존재하는 경우 입사파의 조건 및 식생 특성 등과 같은 다양한 파라메타가 파랑의 거동특성과 해저질의 이동 특성에 복합적으로 영향을 미치게 될 것으로 판단되어, 먼저 식생의 밀도와 식생의 범위, 입사파에 따른 식생의 항력저항과 바닥마찰 그리고 식생부와 비식생부사이의 수평방향 확산을 고려하여 파랑 전파과정을 수치해석하였다. 그리고 이에 따른 표사의 이동특성과 해저 지형변동에 대해서는 Bailard(1981)와 Watanabe et al.(1986)의 모형을 적용하여 연안식생에 의한 표사제어기구의 가능성을 검토하였다.

2. 수치해석

2.1 지배방정식

모델은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 일정한 수심 h 를 갖는 하구부에 입사파랑이 침입하는 것으로 가정하였으며, 하구수로의 양측에 식생이 존재하는 경우를 대상으로 하였다. 파랑의 입사 방향을 x 축, 측면에서 하구수로의 횡단방향을 y 축 그리고 정수면상에서 연직상 방향을 z 축으로 좌표계를 설정하였으며, 수로의 양측에 균일한 반무한 식생대가 존재한다고 가정하였다.

수로의 양측에 존재하는 식생에 의한 해안수리학적 특성을 해석하는 경우에는 복잡한 지형조건이나 식생의 조건에 따른 파랑 에너지의 감쇠나 해저질의 이동 특성을 고려하여야 하며 특히 하류에서 상류로 갈수록 염분농도의 변화에 따른 식생의 형태나 생태적 특징의 변화가 나타나지만 본 연구에서는 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도 N 이 식생이 존재하는 구역 내에서는 일정하게 분포한다고 가정하였다. 그리고 식생이 존재하는 측안구역과 수로 중앙역에서의 운동량 교환은 속도경사에 비례하는 확산항으로 나타내었다.

연안식생군락에 전파되는 파랑거동을 지배하는 기초방정식은 다음과 같은 연속방정식과 운동방정식으로 나타낼 수 있다.

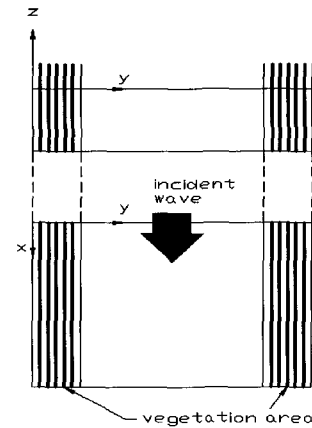


Fig. 1 Definition sketch for model test

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

$$\frac{du}{dt} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\frac{dv}{dt} = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (3)$$

여기서 η 는 자유수면변위, M, N 은 각각 x, y 방향의 선유량을 나타내며, $n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right]$, f 는 편향력 계수이다. 또한, x, y, z 는 좌표축으로 x, y 는 평면을, z 는 자유수면상의 연직상방향을 그리고 u, v, w 는 x, y, z 방향의 각 유속 성분, p 는 압력, A_h 는 수평방향 확산계수, A_v 는 연직방향 와동점성계수를 나타낸다.

연직방향 와동점성항은 식생영역의 저면전단응력과 식생이 없는 영역의 저면전단응력으로 나누어, 수심방향으로 적분하면 다음과 같은 비정상완경사 방정식이 된다.

$$\frac{\partial M}{\partial t} + c^2 \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{\tau_x}{\rho} + A_h \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

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

여기서 c 는 파속이며, 식 (4), (5)의 우변 제1항의 τ_x, τ_y 는 저면마찰력과 식생군락에 의한 유체저항항의 합이라고 가정하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_x = \frac{f_o}{2} |QM/h^2 + \frac{f_v}{2} |QM/h^2 \quad (6)$$

$$\tau_y = \frac{f_o}{2} |QN/h^2 + \frac{f_v}{2} |QN/h^2 \quad (7)$$

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

$$\frac{f_v}{2} u|u| = \frac{C_D}{2} \int_{-h}^0 N d_0 dz u|u| \quad (8)$$

여기서 C_D 는 식생의 항력계수, N 은 식생밀도(단위면적당 식생수), A_v 는 하나의 식생당 흐름에 대한 투영면적, d_0 는 식생의 직경이다.

파동장의 수치해석 결과로부터 해저 변동을 위한 표사량에 관한 해석이 가능하다. 파랑과 흐름이 공존하는 해역에서의 표사량 해석은 Bagnold(1956)의 에너지 모형을 적용한 Bailard(1981)모형과 소류사와 소류사를 분리하여 정식화하는 Flux모형 등이 사용되고 있으나 본 연구에서는 현지관측을 통한 파랑, 저질입경 및 지형변화의 적용성이 보다 단순한 Bailard(1981)의 모형을 사용하였다.

본 모형에서는 전표사량을 소류사 i_b 와 부유사 i_s 의 합으로 나타내었으며 이들은 다음과 같이 해저면에서의 물입자속도 \vec{u}_c 로 각각 나타내었다.

$$\langle \vec{i}_b \rangle = \rho c_f \frac{\epsilon_b}{\tan \phi} \left[\langle |\vec{u}_c^2| \vec{u}_c \rangle - \frac{\tan \beta}{\tan \phi} \langle |\vec{u}_c^3| \vec{i} \rangle \right] \quad (9)$$

$$\langle \vec{i}_s \rangle = \rho c_f \frac{\epsilon_s}{W} \left[\langle |\vec{u}_c^3| \vec{u}_c \rangle - \frac{\epsilon_s}{W} \tan \beta \langle |\vec{u}_c^5| \vec{i} \rangle \right] \quad (10)$$

여기서 $\langle \rangle$ 는 1주기 파랑의 평균을 의미하며 ϵ_b , ϵ_s 는 표사량 계수, $\tan \beta$ 는 해저경사, ϕ 는 저질입자의 내부마찰각, W 는 저질입자의 침강속도, ρ 는 물의 밀도, c_f 는 해저마찰계수이다.

(9)식과 (10)식으로부터 전표사량 $\vec{i} = \vec{i}_b + \vec{i}_s$ 가 구해지면 지형변화는 저질이동의 영향을 고려한 다음과 같은 식을 통해 얻을 수 있다(Watanabe et al., 1986).

$$\frac{dz_b}{dt} = -\frac{1}{\rho g(1-\lambda)} \times \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(i_x - \epsilon |i_x| \frac{\partial z_b}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(i_y - \epsilon |i_y| \frac{\partial z_b}{\partial y} \right) \right\} \quad (11)$$

여기서 z_b 는 저면바닥 높이, λ 는 저질입자의 공극율, 그리고 ϵ 은 정수를 나타낸다.

2.2 수치해석

수치계산은 비정상 완경사방정식으로 나타난 연속방정식, 식 (1)과 운동방정식인 식 (5)를 유한차분식으로 나타내어 해석하였으며 공간차분에는 수위 η 와 선유량 M , N 을 엇갈림격자로 그리고 시간차분에는 Leap-Frog법을 사용하였다.

대상 영역의 상류경계에서는 무반사경계조건을 적용하였다.

3. 수치해석 결과 및 검토

연안해역에서는 식생이나 해조류의 종류와 분포가 다양하게 나타나고 있으며 이에 따른 해안수리학적 영향 또한 복잡하게 나타나고 있으나, 본 연구에서는 외해에서 파랑이 침입하는 하구부를 대상으로 양측안에 식생이 존재하는 경우를 대상으로 파랑의 전파특성과 식생대에 의한 표사이동과 해저지형변동 특성에 대한 수치계산을 통해 해석하였다. 그리고 수치모형의 타당성을 확인하기 위하여 Fig. 1에 나타난 바와 같이 일정한 수심을 가진 수역에 파랑이 침입하는 것으로 가정하였다. 그리고 단위면적당 식생수를 나타내는 식생밀도 N 이 식생이 존재하는 수역 내에서는 일정하게 분포한다고 가정하였다.

본 연구에서는 수로의 길이 $X=160\text{m}$, 폭 $Y=80\text{m}$ 인 수역을 대상으로 하였으며 측안의 식생은 양측에 20m 씩 분포하고

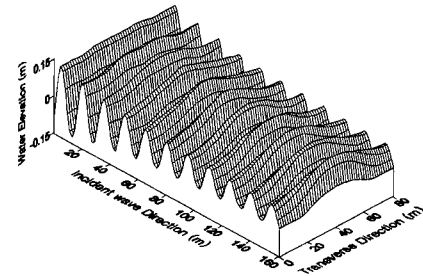
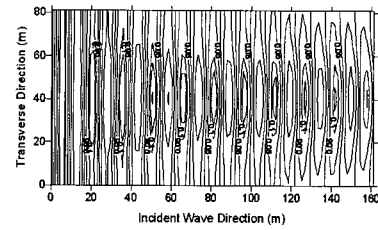


Fig. 2 Wave propagating in a vegetation fringed channel

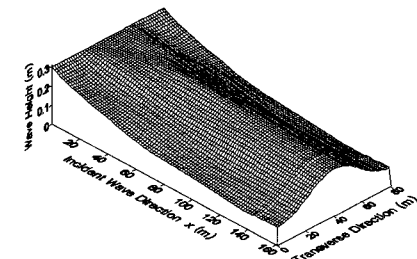
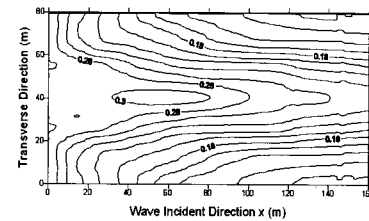


Fig. 3 Wave height distribution in a vegetation fringed channel

있는 것으로 가정하였다. 계산조건으로서 수심 $h=1.0\text{m}$ 의 일정 단면 해역 상에 주기 $T=5.0\text{sec}$, 입사파고 $H_0=30\text{cm}$ 의 파랑이 입사하는 조건을 기본으로 하여 각각의 변수가 변하는 경우에 대해 파랑 및 해저바닥의 변동 특성을 검토하였다. 그리고 저질입경에 대해서는 $d=0.2\text{mm}$, 저면마찰계수는 $f_0=0.01$, 수평확산계수는 $A_h=0.05\text{ m}^2/\text{s}$, 식생의 직경 $d_0=0.5\text{cm}$, 식생밀도는 $N=40\text{개}/\text{m}^2$ 를 기본으로 하여 수치계산을 수행하였으며, 격자의 크기는 $\Delta x = \Delta y = 1.0\text{m}$, $\Delta t=0.025\text{s}$ 로 하였으며 정수상태에서 정상상태에 도달하는 충분한 시간동안 계산을 수행한 후의 결과를 사용하였다.

Fig. 2는 전체 수로폭 80m에서 양측안에 각각 20m 폭의 식생역이 균일하게 분포해 있는 경우의 파랑전파도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 양측안에 존재하는 식생의 영향에 의해 파랑이 전파하는 동안 파랑의 감쇠가 나타나고 있으나 식생이 존재하지 않는 중앙수로 부에는 다소 완만히 감소하는 경향을 보여주고 있다.

Fig. 3에서는 대상 수로내의 파고 분포도를 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 식생이 존재하고 있는 측안에서 파고감쇠효과가 뚜렷히 나타나고 있으나 식생이 존재하지 않는 수로 중앙부에서는 입사파가 수역내로 침입하는 초기에 다소 감소하는 양상을 보이다가 $x=40\text{m}$ 에서 60m 지점 부근에서 파고가 약간 증가하여 최대파고를 나타낸 후 수역을 지나가면서 점차 완만히 감소하는 특성을 보여주고 있다.

Fig. 4는 수역으로 입사하는 파랑의 진행방향(x 방향) 위치에 따른 파고 감쇠 분포의 변화를 식생영역의 중앙부($y=10\text{m}$)와 수로중앙부($y=40\text{m}$)에 대해 나타낸 것이다. 파랑이 입사하여 $x=20\text{m}$ 위치에 이르면 전체적으로 파고가 감쇠하며 수로중앙부($y=40\text{m}$)에서는 수로내 파고 침입 직후에 파고가 약간 감소한후 다소 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 이것은 식생영역에서 배제된 운동량이 수로 중앙부로 수송된 원인이라고 판단된다. 그리고 그 이후에는 전체적으로 완만한 파고감쇠특성을 보이고 있다. 식생영역에서는 $x=40\text{m}$ 까지 파고가 급격히 감소하고 있으며 $x=60\text{m}$ 위치에서부터 파고의 감쇠변화가 거의 나타나지 않고 있는 특성을 보여주고 있다. 이같은 경향은 식생에 의한 마찰저항효과의 영향에 기인하는 것으로 판단된다.

Fig. 5는 양측안에 식생이 존재하는 경우에 대한 파동장의 해석결과와 Bailard(1981)모형을 적용한 전표사량 해석결과를 Watanabe et al.(1986)이 제안한 지형변동모형을 적용하여 식생에 따른 해저지형변동 특성을 해석한 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 식생역($y=10\text{m}$)과 식생이 존재하지 않는 중앙부($y=40\text{m}$)의 해저지형변동의 수치계산결과를 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 식생이 존재하는 수역에서는 파랑의 감쇠와 물입자 속도의 영향으로 인해 파랑 침입후 40m 까지의 범위에서는 해저지형의 변동이 미소하게 나타나고 있으나 이 범위를 지나면서 지형변동에 미치는 영향은 거의 나타나지 않고 있다. 한편 수로의 중앙부($y=40\text{m}$)에서는 파랑 진행 방향의

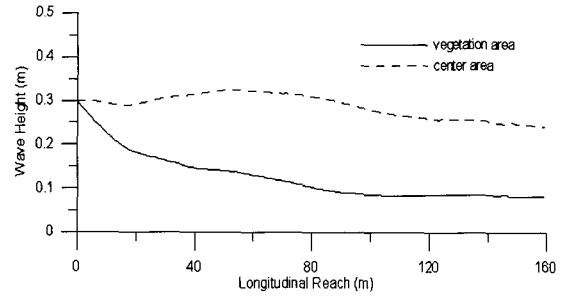


Fig. 4 Longitudinal wave height distribution in a vegetation fringed channel

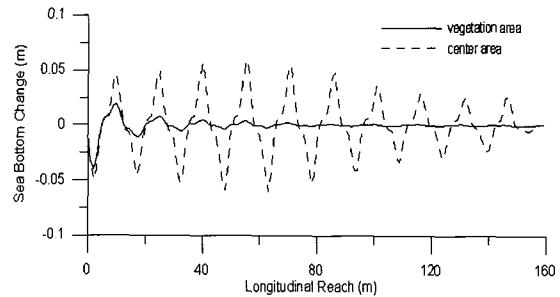


Fig. 5 Sea bottom change in a vegetation fringed channel

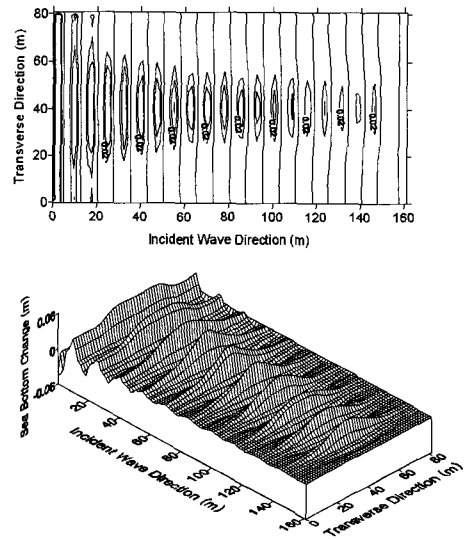


Fig. 6 Longitudinal sea bottom change in a vegetation fringed channel.

해저지형 변동을 나타낸 Fig. 5에서 알 수 있듯이 사런 (Ripples)이 연속적으로 발생하고 있다.

그리고 전체적인 해저지형변동 특성을 나타내고 있는 Fig. 6에서 알 수 있듯이 양측에 존재하고 있는 식생 영향이 파랑전파와 함께 점차 확대되어 파랑에 의한 해저지형의 변동 범위가 점차 축소되어 가고 있음을 알 수 있다.

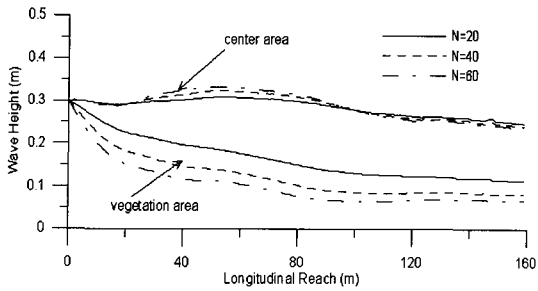


Fig. 7 Longitudinal wave height distributions with variations of vegetation density N

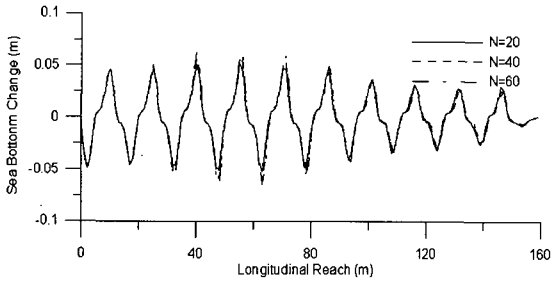


Fig. 8 Longitudinal sea bottom change in center region with variations of vegetation density N

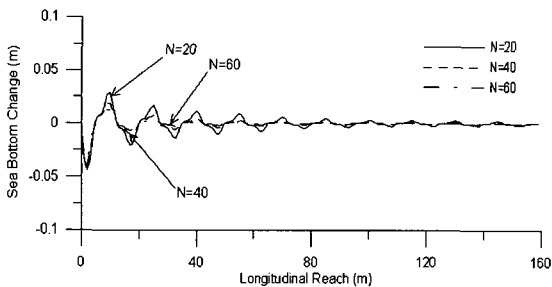


Fig. 9 Longitudinal sea bottom change in vegetation region with variations of vegetation density N

식생밀도의 변화에 따른 파고 및 해저지형변화 특성을 검토하기 위하여 식생밀도 $N=20, 40$ 및 $60\text{개}/\text{m}^2$ 로 변화하는 경우에 대해 수치해석을 수행하였으며 파랑의 진행방향 (x 방향)에 따른 파고변화도는 Fig. 7에 나타내었으며, 파고변화는 Fig. 5와 같이 식생중앙부($y=10\text{m}$ 지점)와 수로중앙부($y=40\text{m}$ 지점)에 대해 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 전체적인 파고분포특성은 Fig. 4와 유사한 경향을 나타내고 있으며 식생밀도 N 이 증가함에 따라 측안의 식생영역 내에서는 파고감쇠의 효과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 식생이 존재하지 않는 중앙부에서는 $x=40\text{m}\sim 80\text{m}$ 부근에서는 파고가 완만히 증가하고 있으며 이같은 경향은 식생밀도 N 이 증가함에 따라 비례하여 증가하고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 8과 Fig. 9는 식생밀도 N 의 변화에 따른 해저지형변동의 결과를 식생이 존재하지 않는 중앙부와 식생역에 대하여

나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 식생이 존재하는 경우 해저지형의 변동이 상대적으로 작게 나타나며 중앙부에서는 사련이 연속적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 그리고 식생밀도 N 의 증가와 더불어 중앙부에서는 N 이 작을수록 미소하지만 사련의 크기가 상대적으로 크게 예측되고 있으며 측안의 식생역에서는 식생밀도 N 이 작을수록 사련의 변동이 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이같은 경향은 식생밀도의 증가에 따라 측안 식생역에서의 파랑감쇠에 의해 토사의 수송이 약해지며, 수로 중앙부에서는 상대적으로 파랑이 증가함으로서 이같은 영향에 의해 사련의 크기가 증대된 것으로 판단되었다. 그리고 측안 식생대의 폭을 측안에서부터 $W=20\text{m}$ 를 기본으로 검토하였으나 식생대 폭의 변화 $W=5\text{m}, 10\text{m}, 15\text{m}$ 및 20m 에 따른 대상영역에서의 파랑전파 과정과 이에 따른 해저지형변화 특성에 대해 검토하였다.

Fig. 10은 식생대 폭의 변화에 따른 파고변화를 파랑의 진행방향에 따라 나타낸 것이다. 파고의 변화는 식생부와 식생이 없는 수로의 중앙부에 대해 나타내었으며 그림에서 알 수 있듯이 식생역의 내부에서는 파고의 감쇠가 식생역의 초기위치에서부터 나타나기 시작하여 완만하게 감소하고 있으며 수로 중앙부에서는 식생대폭 W 의 범위에 따라 x 방향에 따른 파고의 변화가 서로 상이하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 즉, 식생대폭이 상대적으로 협소한 경우($W=5\text{m}$), 수로로 내습한 파랑이 초기에는 감소하고 $x=80\text{m}$ 경과한 후부터 서서히 증가하는 특성을 보이고 있으나 식생대의 폭이 점차 증가할수록 입사파가 내습하는 초기위치에서 파고가 증가하다가 서서히 감소하는 경향을 보여주고 있다.

그리고 Fig. 11과 Fig. 12는 식생의 폭 W 의 변화에 따른 해저지형변동의 수치계산결과를 수로 중앙부와 식생역에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 식생이 존재하는 측안에서는 입사파가 내습하고 있는 초기위치에서 약간의 사련이 나타나고 있으며 전체적으로 해저지형의 변동은 거의 보이지 않고 있는 반면 수로의 중앙부에서는 사련이 계속적으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 식생대폭 W 가 증가할수록 식생역내에서는 지형의 변동이 미소하지만 점차적으로 안정하게 나타나고 있으며 수로의 중앙부에서는 사련이 다소 크게 나타나고 있다. 이같은 경향은 측안에서의 식생대 폭이 증가함에 따라 식생의 영향이 파랑감쇠는 물론 유속의 저감에 따른 토사의 수송에 영향을 미치게 됨을 알 수 있었다.

또한 Fig. 13~Fig. 15는 입사파주기를 $T=3\text{sec}, 5\text{sec}, 7\text{sec}$ 로 변화시킨 경우에 대한 파랑전파 과정과 해저지형변화 특성을 나타낸 것이다.

Fig. 13에는 수로에 입사하는 파랑의 주기 T 에 따른 식생역과 중앙부의 파고변화를 나타내었다. 파고의 변화는 그림에서 알 수 있듯이 식생역의 내부에서는 파고의 감쇠 특성이 주기의 변화에 따라 큰 차이가 없이 파랑의 진행과 더불어 완만히 감소하는 것으로 예측이 되었으며, 수로 중앙부에서는 x 방향에 따른 파고의 변화가 대체로 유사하게 나타나고 있으며 입사파 주기 T 가 증가함에 따라 최대파고의 발생위치가 점차 후면부에서 전면부측으로 나아오는 경향을 보이고 있다.

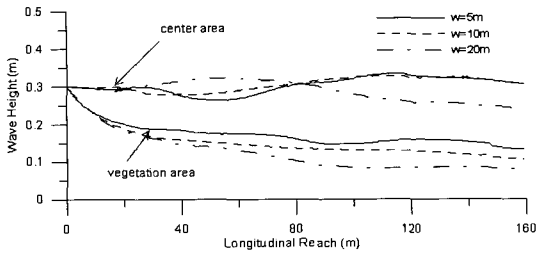


Fig. 10 Longitudinal wave height distributions with variations of vegetation width W

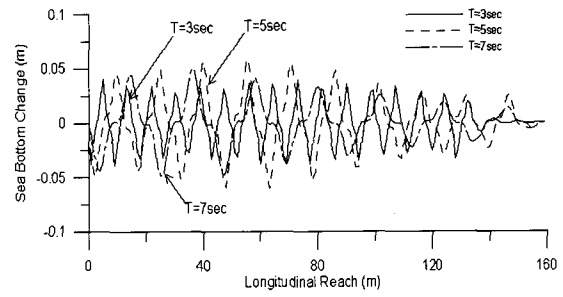


Fig. 14 Longitudinal sea bottom change in center region with variations of wave period T

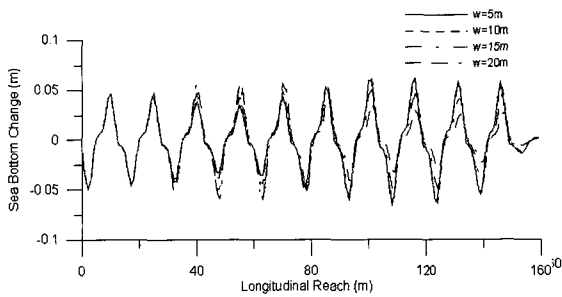


Fig. 11 Longitudinal sea bottom change in center region with variations of vegetation width W

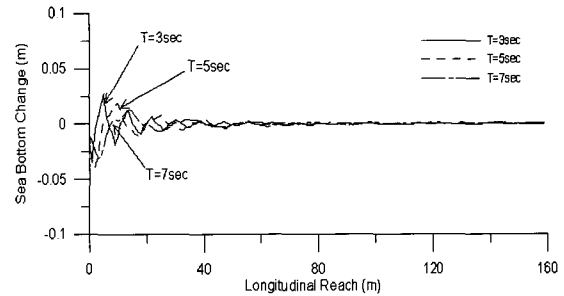


Fig. 15 Longitudinal sea bottom change in vegetation region with variations of wave period T

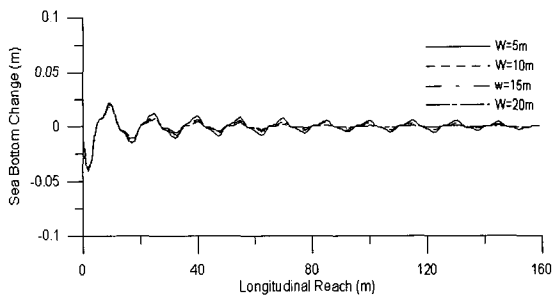


Fig. 12 Longitudinal sea bottom change in vegetation region with variations of vegetation width W

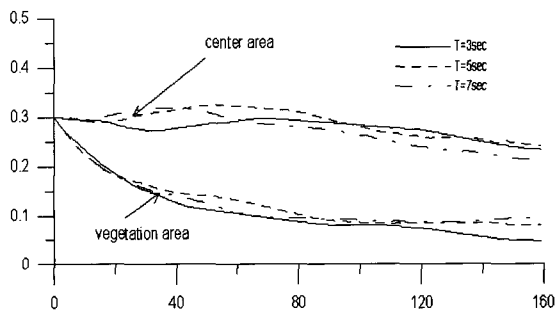


Fig. 13 Longitudinal wave height distributions with variations of wave period T

Fig. 14와 Fig. 15는 입사파의 주기 T 에 따른 해저지형변동의 수치계산결과를 수로의 중앙부와 식생역에 대하여 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 수로 중앙부에서는 사런이 연속적으로 나타나고 있으며 식생역내에서는 초기에 소규모의 사런이 나타나고 있으나 점차적으로 소멸되어 해저지형의 변동이 거의 나타나지 않는 안정적인 특성을 나타내고 있다. 그리고 주기 T 가 증가함에 따라 사런의 주기는 증가하고 있으나 사런의 진폭이나 크기는 다소 복잡하게 나타나고 있는데, 이같은 이유는 입사파 주기에 다른 저면 소류력과 관계와 식생군락에 의한 항력저항이 가지고 있는 파괴감쇠효과가 주기에 따라 달라지기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 입사파 주기와 지형변동과의 관계는 이같은 여러 가지 인자에 의해 결정되는 것으로 판단되며 이에 관해서는 수리실험을 통해 검토되어야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 양측 호안에 식생이 존재하고 있는 하구역이나 수로에 파랑이 전파하는 경우 연안식생에 의한 파랑의 감쇠효과를 검토하고 이들 식생에 의한 표사의 이동기구 및 해저지형변동 특성을 수치적으로 해석하였다. 연안식생에 의한 파랑전파와 해저질 이동 특성을 해석하는 경우에는 식생의 형태나 생태적 특징에 따라 변화하지만 본 연구에서는 식생밀도가 식생 수역내에서는 균일하게 분포하는 것으로 가정하였다.

식생밀도와 식생대의 폭 및 입사파 주기가 각각 변화하는 경우, 이에 따른 파랑의 전파과정 및 해저지형변화에 대해 검토한 결과 식생이 존재하는 경우 식생역과 식생이 존재하지 않는 중앙부 수로에 대해 파랑의 저감효과를 대체로 잘 재현하였으며, 특히 양측안의 식생밀도 및 식생의 폭이 변화함에 따른 파랑의 감소효과를 나타내었다. 그리고 해저지형 변동을 수치해석한 결과 중앙부 수로내의 사련의 발생을 잘 예측하였고 식생역내의 사련크기의 감소를 얻을 수 있었으며 이를 통해 식생역의 해저지형 변동의 저감효과 및 저질의 안정성을 수치적으로 확인하였다.

본 연구결과에의 검증에 위해서는 수리실험을 통한 검토가 필요하며 실제 해역 적용을 통한 수치모형의 확장성이 요구되며 이에 관해서는 지속적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 일본 가고시마대학 해양토목공학과와 Asano교수 연구실에서 수행된 연구의 일부이며 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 이성대 (2006). "연안해역에서의 수변식생에 의한 파랑변형에 관한 수치해석", 한국해양공학회지, 제20권, 제1호, pp 63-68.
- Asano, T. (2006). "Wave Attenuation and Sediment Deposition due to Coastal Vegetations", J. of Global Environment Engineering, Vol 11, pp 29-44.
- Asano, T., Matsumoto, R. and Kikuchi, S. (2005). "Wave Deformation in Vegetation Fringed Channels", Proc. the 29 th International Conference Coastal Engineering, Vol 1,

pp 218-229.

- Bagnold, R.A. (1956). "The Flow of Cohesionless Grains in Fluids", Proc. Roy. Soc. Series A, 964, Vol 249, pp 235-297.
- Bailard, J.A. (1981). "An Energetics Total Load Sediment transport Model for a Plane Sloping Beach", J. Geophysical Research, Vol 86, No C11, pp 10938-10954.
- 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, 20p.
- Kobayashi, N., Raichle, A.W. and Asano, T.(1993). "Wave Attenuation by Vegetation", J. Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, ASCE, Vol 119, No 1, pp 30-48.
- 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.
- Selvam, V. (2005). Impact Assessment for Mangrove Shelterbelt Plantations by Tsunami for Tamil Nadu Forestry Project, Japan Bank for International Project.
- Sugahara, K. and Nagai, T. (1994). "Hydraulic Model Experiment on the Artificial Seaweed against Scouring and Beach Erosion", Tech. Note of PHRI.
- Watanabe, A., Maruyama, M., Shimizu, T. and Sakakiyama, T. (1986). "Numerical Prediction Model of Three-Dimensional Beach Deformation around a Structure", Coastal Eng. in Japan, JSCE, Vol 29, pp 19-39.

2007년 6월 4일 원고 접수

2007년 10월 8일 최종 수정본 채택