

해안단애의 형성에 관한 수치모의

A Numerical Simulation on the Formation of Coastal Cliff

김남형* · 강현우** · 신문섭*** · 西 隆一郎****
Kim, Nam-Hyeong · Kang, Hyeon-U · Shin, Moon-Seup · Nishi, Ryuichiro

Abstract

A numerical simulation has been performed on the generation of the coastal cliff which lies as the distinct boundary between the beach and the hinterland. As a result of storm surge, it is known that the steeper the initial beach slope, the larger the generation of the coastal cliff. The rise of water level added the mean water level accelerates the generation of the coastal cliff. In addition, the longshore distribution of the incident wave height is one factor that bring about the generation of the non-uniform coastal cliff in longshore direction. Therefore this study will be able to use for expecting the formation and erosion of coastal cliff in sand beach.

Keywords : Coastal cliff, Numerical simulation, Beach erosion, Storm surge, Wave height distribution

요 지

해빈과 배후지 사이에 일직선으로 놓여 있는 해안단애의 형성에 관해 수치모의를 수행하였다. 폭풍해일이 내습하는 경우 해빈경사가 급하면 급할수록 더 큰 해안단애를 형성한다는 것을 알았다. 평균수위의 상승이 또한 해안단애 형성을 가속화시킨다. 게다가 입사파고의 연안방향의 분포는 연안방향의 일정하지 않은 해안단애 형성을 가져오는 하나의 요인이겠다. 그러므로 본 연구는 사빈에 있는 해안단애의 형성과 침식을 예측하는데 이용할 수 있겠다.

주요어 : 해안단애, 수치모의, 해안침식, 폭풍해일, 파고분포

* 정회원 · 제주대학교 해양과학대 지구환경시스템공학부 부교수
** 제주대학교 대학원 토목해양공학과 석사과정
*** 정회원 · 군산대학교 공과대학 토목환경공학부 교수
**** Assoc. Prof., Dept. of Ocean Civil Eng., Kagoshima Univ., Kagoshima 890, Japan

1. 서론

사구(砂丘)는 해양과 육지와의 경계로서 여러 가지 역할을 가지고 있다. 이것은 단지 파랑작용으로부터 육지를 보전하고 있을 뿐만 아니라, 사구의 해안림에 의한 비염·비사의 제어작용, 대형 태풍 등에 의한 해변침식시의 저질(低質) 공급원으로서 기능, 지구온난화에 따른 해면상승에 따른 완충영역으로서의 역할, 혹은 캠프장 등을 포함한 친수공간으로서의 기능 등을 가지고 있으므로 적절한 관리가 요망된다.

사빈해안(沙濱海岸)에 침식성의 폭풍이 작용하는 경우에, 해안단애(海岸斷崖)로 불리는 침식지형인 해변지형이 출현하는 일이 있다. 지금까지는 해변(海濱)의 침식과정에 관해서는 많은 정보가 얻어져 있지만, 침식과정 중에 발생하는 해안단애의 형성과정에 관해서는 그다지 알려져 있지 않은 것 같다. 해안단애가 일단 형성되면 정선부근에 반사적인 구조물이 존재하는 것이고, 침식에 뒤이어 해변의 회복과정에서 나쁜 효과를 가질지도 모른다. 나아가 침식과정에 있어서도 해안단애의 기초를 파랑이 세굴하면, 해안단애가 사면붕괴를 일으키기 쉽게되어 단애의 후퇴속도를 빠르게 할 가능성이 있다. 해안단애의 형성에 의해 정선(汀線)이나 사구가 후퇴되는 것은, 그 배후역에 분포하는 주택 등 재산상의 피해를 가져올 뿐만 아니라, 사구를 이용하는 생물의 서식장소나 산란장소를 잃어버리는 일도 있다.

해안단애 형성과 침식에 관한 실험과 수치모의가 활발하게 연구되고 있다. 해안에는 해안단애와 외견상 닮은 지형으로서 해식에(海蝕崖, sea cliff)가 있다. 이 해식에의 침식거동에 관해서는 堀川와 砂村(1967, 1968, 1969, 1970, 1972)는 항공사진과 실험을 통하여 분명히 했다. 이와 같은 해식에의 경우, 일반적으로 암석으로 구성되어 있기 때문에 파랑에 대한 저항력은 사빈해안 보다도 상당히 크다고 생각하여 취급하는 시간스케일도 장기간에 걸쳐 있지만, 사빈해안의 경우에는 구성재료가 주로 모래이기 때문에, 파랑작용에 대한 지형변화의 시간스케일도 단기간이고, 오히려 침식에 뒤이어 퇴적과정이 일어나는 등의 차이가 있다고 생각할 수 있다. 그러면, 사빈해안의 침식, 특히 사구의 침식에는 폭풍해일 등의 수위상승을 동반하는 경우를 대상으로 하여 현지관측이나 수리실험이 행해지고 있다. ven de Graff(1977)는 폭풍해일에 의해 피해를 입은 현지측량 데이터에 근거하여 침식단면형을 정의하고 있고, 또 Vellinga(1982, 1983, 1986)는 실내실험결과 등

에 근거하여 폭풍, 해일에 의해 형성된 해변의 평형단면형상을 정의하고, 그 단면을 컴퓨터를 이용하여 계산할 수 있도록 했다. 게다가 Sargent와 Brikemeier(1985)은 이 모델을 미국 동부해안과 멕시코만의 해안단면에 적용하고 있다. 또한, Huges와 Chiu(1981)은 사구침식에 관한 실내실험을 행했다. 시간에 의존한 사구침식의 모델은 Kriebel과 Dean(1984, 1985), Kriebel(1990), Larson과 Kraus(1989, 1990)에 의해 개발되었지만, Kriebel모델은 Dean(1977)의 평형해빈 단면형상의 개념에 근거하고 있기 때문에 연안사주가 재현되지 않으며, 기본적으로는 수위변동이 지형변화의 주된 요인이며, 이에 대한 해결이 문제점으로 남아있다.

이와 같이 해안단애나 사구의 침식에 관해서는 어느 정도의 식견(識見)에 근거한 수치모의가 가능한 상태에 도달하고 있다고 말할 수 있지만, 해안단애의 형성거동에 관해서는 지금부터 연구가 필요하다고 생각된다. 따라서, 해안보전·이용상 문제로 되는 해안단애의 형성이나, 침식거동에 관해 식견을 깊게 하는 것은 공학적으로 중요한 문제로 생각할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 이들의 문제에 대해서 주로 수치모의를 통하여 고찰하기로 한다.

2. 사빈침식모델

사빈의 해안은 기본적으로 침식과정에서 형성되는 지형이기 때문에, 태풍이나 계절풍 혹은 허리케인 등의 폭풍이 사빈해빈에 내습할 때에 발생한다. 그러나, 이 현상을 명확히 하기 위해서는 폭풍이 해안단애에 내습할 때에 해변측량이나 파랑의 현지관측은 곤란하므로, 제1단계로서 수치모의에 의해 사빈침식 형성의 상태를 조사하기로 했다. 수치모의에 관해서는 Vellinga모델은 시간적으로 해변지형변화를 추적할 수 없고, 연안사주의 재현도 할 수 없고, 예측시간이 한정되는 등 결점이 있다. 또한 Kriebel모델은 시간적으로 사구와 해변의 변화를 계산할 수 있지만, 사구를 재현할 수 없다. 입사파랑에 제한이 있는 등을 고려하면, Larson과 Kraus(1989)에 의해 제안된 SBEACH모델이 적합하므로, 해안단애의 형성과 침식계산에 SBEACH모델을 이용했다.

2차원 SBEACH모델의 계산 순서는 통상의 해변변형모델과 동일하게, (1)파랑변형의 계산, (2)안충표사량(岸沖漂砂量, cross-shore transport rate)의 계산, (3)저질의 연속식에 의한 지형변화계산 등 크게 3개의 서브모델로 구성되어 있다. 수치모의 계산 흐름도를 그림 1에 나타낸다.

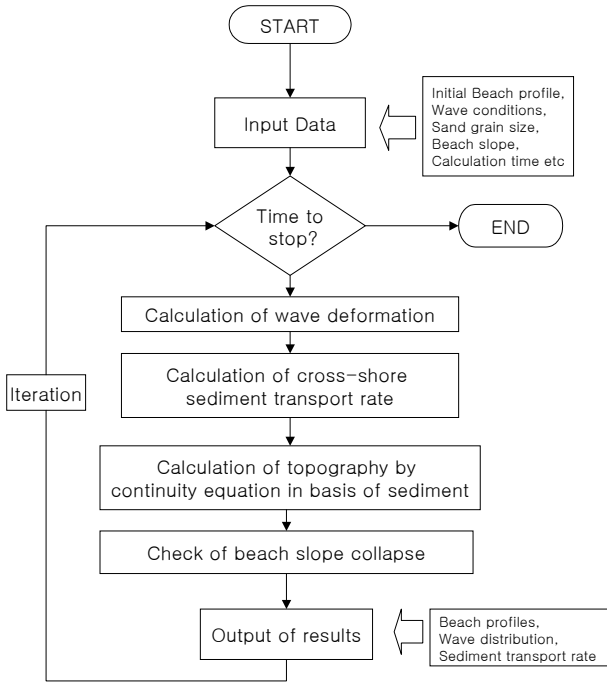


그림 1. 수치모의 계산 흐름도

파랑변형의 계산에는 Dally(1980), Dally 등(1985)의 유사식(流砂式)을 이용하며, 표사량에 관해서는 파랑의 변형에 근거하는 사빈단면을 4개의 표사대로 나누고, 기본적으로 쇄파대 내에서는 에너지일산에 근거하여 안층표사량을 구하고 있다. 또, 저질의 연속식은 2개의 시간레벨의 표사량에 근거한 것을 이용하고 있다.

2.1 파랑의 변형계산

파랑변형의 기초식은 다음과 같고, 좌표계는 그림 2와 같다.

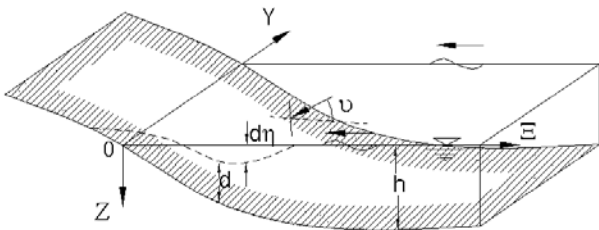


그림 2. 파랑변형계산에 이용되는 좌표계

$$\frac{\partial}{\partial x}(F \cdot \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(F \cdot \sin \theta) = \frac{\kappa}{d}(F - F_s) \quad (1)$$

여기서, F 는 파랑의 에너지 플럭스, 다음의 식(2)로 주어지는 F_s 는 안정한 파랑의 에너지 플럭스, κ 는 파랑의 감쇄계수, d 는 전 수심, θ 는 파랑의 입사각이다. F_s 는 다음 식으로 구해진다.

$$F_s = E_s \cdot C_g = \frac{1}{8} \rho g H_s^2 \sqrt{gh} = \frac{1}{8} \rho g (\Gamma h)^2 \sqrt{gh} \quad (2)$$

여기서, E_s 는 파랑의 에너지 밀도 ($N \cdot m/m^2$), C_g 는 파랑의 군속도 (m/s), ρ 는 해수의 밀도 (kg/m^3), g 는 중력가속도 (m/s^2), H_s 는 파고 (m), h 는 수심 (m), Γ 는 안정상태에 있는 파고와 국소수심의 비이다. 게다가, 평균수면 변동량은 다음 식으로 구한다.

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -\rho g d \frac{dn}{dx} \quad (3)$$

여기서, S_{xx} 는 라디에이션 응력 (N/m), n 는 평균수면 변동 (m)이다.

식(3)의 평균수면 변동량의 계산은, Dally 등(1985)이 반복계산 없이 직접 해를 구하는 방법을 제시하고 있고, 본 논문에서도 이것을 이용했다. 또 사빈해안에 내습하는 파랑은 사빈에 직각으로 입사하는 파랑만을 대상으로 했기 때문에 식(1)에서 $\theta = 0$ 을 이용했다.

2.2 안층표사량의 계산

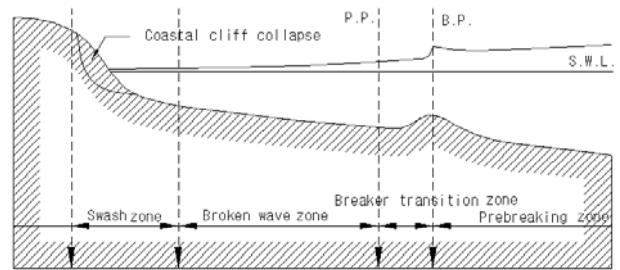


그림 3. 표사량의 계산에 이용되는 영역구분도

표사량을 계산하기 전에 파랑의 변형에 근거하여, 그림 3에서 나타낸 것과 같이 해변단면을 4개의 표사대역(I)

전쇄파대(Prebearing zone), (II)쇄파천이대(Breaker transition zone), (III)쇄파대(Broken wave zone), (IV)소상대(Swash zone))으로 구분했다(Larson 등, 1988). 쇠파천이대의 길이에 관해서는 경험적으로 쇠파파고의 3배를, 소상한계에 관해서는 Surf similarity parameter의 함수인 다음 식을 채용했다.

$$\frac{Z_r}{H_o} = 1.47 \left(\frac{\tan \beta}{\sqrt{H_o/L_o}} \right)^{0.79} \quad (4)$$

여기서, Z_r 은 소상고, $\tan \beta$ 는 쇠파점 먼바다 쪽의 해저경사, H_o/L_o 는 심해파의 파형경사이다.

영역(I)의 전쇄파대에서 안층표사량 q 는 다음과 같이 구해진다.

$$q = q_b e^{-\lambda(x-x_b)} \quad (5)$$

여기서, q_b 는 쇠파점에서의 표사량, λ 는 표사량의 공간감쇄계수, x_b 는 쇠파점 위치이다.

영역(II)의 쇠파천이대에서 안층표사량 q 는 다음 식이 이용된다.

$$q = q_p e^{-\lambda_2(x-x_p)} \quad (6)$$

여기서, 아래첨자 p 는 파랑의 돌입점에서의 양을 나타내며, 표사량의 공간감쇄계수 λ_2 의 값은 영역(I)에서 이용한 표사량의 감쇄계수 λ 의 0.2~0.5배의 값을 이용한다.

영역(III)의 쇠파대에서 안층표사량 q 는 Dean(1977)에 의해 제안된 에너지 플럭스형의 표사량식에 경사(傾斜)향을 첨가한 다음 식을 이용하여 구한다.

$$\left. \begin{aligned} q &= K \left(D - D_{eq} + \frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \text{ for } D > \left(D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \\ q &= 0 \text{ for } D \leq \left(D_{eq} - \frac{\varepsilon}{K} \frac{\partial h}{\partial x} \right) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

여기서, K 는 표사량계수, ε 은 국소해저경사에 의존하는 표사량계수, D 와 D_{eq} 는 Moore(1982)에 의해 각각 다음과 같이 정의된다.

$$D = \frac{1}{h} \frac{\partial F}{\partial x}, \quad D_{eq} = \frac{5}{24} \rho g^{3/2} \gamma^2 A^{3/2} \quad (8)$$

여기서, A 는 형상파라미터 ($m^{1/3}$), γ 는 쇠파지표 ($= H_b/h_b$)이다.

영역(IV)의 소상대에서의 안층표사량 q 는 쇠파대 내측에서 소상점까지 직선적으로 감소한다고 가정하면, 소상대에서는 일정하게 지형변화가 일어난다. 소상대의 표사량식은 다음의 식을 이용하여 구한다.

$$q = q_z \left(\frac{x-x_r}{x_z-x_r} \right)^n \quad (9)$$

여기서, q_z 는 정선에서의 표사량, x_r 은 소상점의 위치, x_z 는 소상대의 단애쪽 끝을 나타내며, n 은 미정계수이다. 미정계수 n 을 1보다 큰 값을 취하면 단애 형성이 쉽다고 하는 淺野와 松岡(1996)의 계산결과로부터 $n=1.5$ 로 했다. 또 소상대에서, 격자간의 저면경사가 한계안식각이 28° 를 넘으면 붕괴가 시작하고, 붕괴후 안식각이 18° 가 되면 사면이 안정된다 라는 사면붕괴효과를 가정하고 있다.

위에 설명한 표사량식으로는 순수한 안층표사량만 구해지기 때문에, 표사방향에 관해 고려해야한다. 이 표사의 방향은 대형수로실험에 근거한 Kraus 등(1991)에 의해 다음과 같이 구해졌다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{H_o}{L_o} &> M \left(\frac{H_o}{wT} \right)^3, & \text{ 침식형} \\ \frac{H_o}{L_o} &< M \left(\frac{H_o}{wT} \right)^3, & \text{ 퇴적형} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

여기서, $M=0.0007$ 이고, w 는 저질입자의 침강속도 (m/sec), T 는 파랑의 주기 (sec)이다.

2.3 저질의 연속식의 계산

지형변화를 구하는 데는, 안충표사량의 변화량을 계산하면 된다. 이때 이용하는 저질의 연속식은 다음 식으로 나타낸다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q}{\partial x} \quad (11)$$

구체적으로, 지형변화의 계산을 연속식을 이용하여 행하는 경우에는 계산의 안정성을 높이기 위하여, Δt 만큼 떨어진 2개의 시간레벨에 있어서 안충표사량을 이용하여, 다음과 같은 형태로 표사량을 구한다.

$$\frac{h_i^{k+1} - h_i^k}{\Delta t} = \frac{1}{2} \left(\frac{q_{i+1}^{k+1} - q_i^{k+1}}{\Delta x} + \frac{q_{i+1}^k - q_i^k}{\Delta x} \right) \quad (12)$$

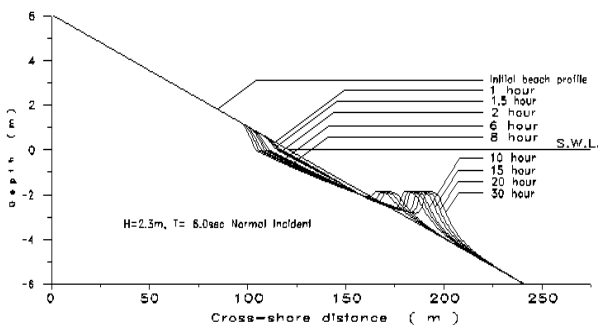
여기서, 윗첨자 k 는 시간레벨을, 아래첨자 i 는 격자번호를 나타낸다.

3. 수치모의결과와 고찰

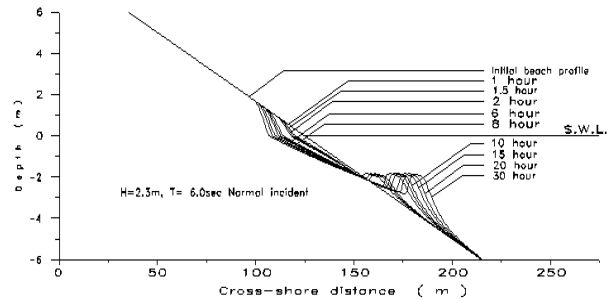
사빈 형성요인으로서 몇 가지 생각할 수 있지만, 여기서는 해변경사의 영향, 단기적인 수위 상승의 영향, 입사파의 연안분포의 영향에 대해서 고찰한다.

3.1 일정한 경사해빈에서의 지형변화

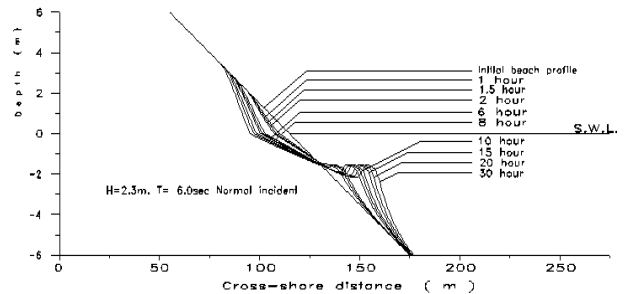
먼저, 침식에 대한 사구전면의 해변경사의 효과를 조사하기 위하여, 1/10, 1/15, 1/20의 일정한 경사에 파고 2.3m, 주기 6초의 파를 30시간 작용시킨 경우의 계산결과를 그림 4(a),(b),(c)에 각각 나타낸다.



(a) Beach slope = 1/20



(b) Beach slope = 1/15



(c) Beach slope = 1/10

그림 4. 해변경사 1/20, 1/15, 1/10에 있어서 해안단애의 형성 예

그림 4(a)의 1/20경사 해빈모델에 관해 고찰해 보면, 파를 작용시키고 나서 1시간 뒤에 먼바다 방향으로 165.5m부근에 연안사주가 형성됨과 동시에 정선부근이 조금 침식되고 있는 것을 알 수 있다. 연안사주는 시간이 경과함에 따라 서서히 먼바다 방향으로 이동하며, 사주의 높이가 높아지고 있다. 이 연안사주의 성장에 따라 정선부근의 침식이 증대하며, 파랑작용 6시간 후에는 정선부근에 해안단애에 가까운 침식지형이 형성되어 있고, 10시간 후에는 사면의 안식각에 가까운 경사의 해안단애가 형성되고 있다. 30시간 후에는 높이 1.23m정도의 해안단애가 소상대 선단에 형성되어 있는 것을 알 수 있으며, 먼바다 방향으로 192.5m에 연안사주가 형성되어 있는 것을 알 수 있다. 10시간, 20시간, 30시간의 해안단애를 보면, 같은 사면 경사의 단면이 단지 해안 쪽으로 평행이동하고 있듯이 보이지만, 실제로는 그사이에, 6시간부터 10시간의 단면변화에서 볼 수 있듯이, 계산 중 어떤 시간에 순간적으로 사면의 안식각이 한계안식각을 넘는 경우, 해안단애에서 사면 붕괴를 일으키고, 어떤 안정한 사면으로 안정되어 가

는 수치모의가 행해지고 있다. 이 때 소상대 상부에 있는 해안단애에서 다량의 토사가 소상대 안으로 공급된다. 더욱이 파랑의 작용이 지속되면 해안단애의 발달로 이어져 다음의 사면붕괴를 일으키는 현상을 만들고 있다. 이와 같은 침식거동은 대형조파수로실험에서 얻어진 결과와도 일치하고 있다(清水와 丸山, 1987). 그림 4의 계산에 이용한 기준수면은 수위상승을 고려하지 않은 정수면(S.W.L.)을 사용하였다.

그림 4(b)의 1/15경사를 가진 사빈에 동일 조건의 파랑이 입사한 경우에, 연안사주의 형성과 평행하여 정선부근이 침식되어 서서히 해안단애의 형성이 시작되며, 파랑작용 30시간 후에는 정선부근은 더욱더 침식이 진행되며, 사빈에는 1.74m 정도의 단차를 가진 해안단애가 형성되고 있다. 보다 해빈 경사가 가파른 1/10경사의 해빈단면에서는 파랑작용 1시간 후에는 이미 완전한 해안단애가 형성되어 있고, 파랑작용 30시간 후에는 높이 3.38m의 해안단애로 성장하고 있다(그림 4(c)). 위의 계산결과로부터 알 수 있듯이, 해빈경사가 급할수록 같은 파랑조건에 대해서도 침식량이 커져서 해안단애의 형성이 빠르고, 해안단애의 높이도 높아지며, 정선의 후퇴속도도 빠른 것을 알 수 있다. 또 연안사주의 발생위치가 보다 먼바다 쪽으로 이동하는 것도 알 수 있다. 바꾸어 말하면, 해빈경사가 급할수록 정선으로부터 상부의 전변에서 다량의 저질이 쇄파대 내로 공급된다고 말할 수 있다.

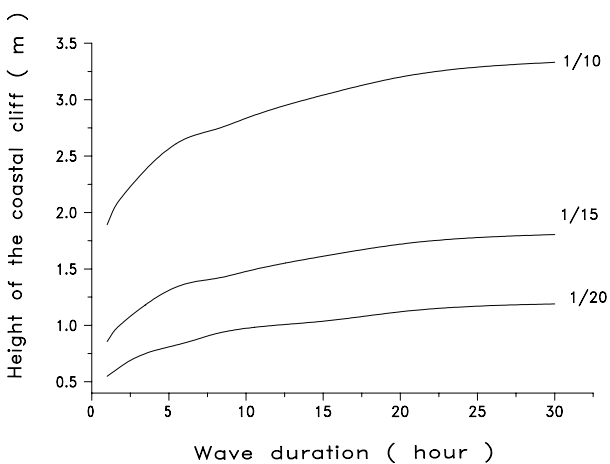


그림 5. 해빈경사 1/20, 1/15, 1/10에 있어서 해안단애 높이의 변화

그림 5에 해안단애의 성장의 상태를 알아보기 위해, 횡

축에 시간, 종축에 해안단애의 높이를 각각 나타냈다. 이것으로부터 1/15, 1/20경사의 해빈과 비교하면, 1/10경사의 해빈에서는 시간과 함께 조금씩 해안단애 높이의 증가속도가 감소하는 경향이 있다. 이것은 해안단애가 붕괴할 때에 해안단애의 높이가 높을수록 다량의 저질을 해안단애의 기초로부터 전변으로 공급하기 때문에, 결과적으로 퇴적한 토사에 의해 침식을 늦추게 하는 것과 입사파랑에 대한 평형단면형상이 쇄파대의 지형에 가까워지기 때문에, 쇄파대 내에서 요구되는 표사량이 감소하고, 그 결과 해안단애 부근의 침식량이 감소하기 때문으로 사료된다. 정선 후퇴속도와 유사한 거동을 나타내는 해안단애 정부(頂部)의 후퇴속도를 그림 6에 나타낸다. 그림 6으로부터 해안단애 정부의 후퇴속도는 파랑작용 초기의 쪽이 빠르며, 작용시간의 경과와 함께 천천히 느려지고 있는 것을 알 수 있다.

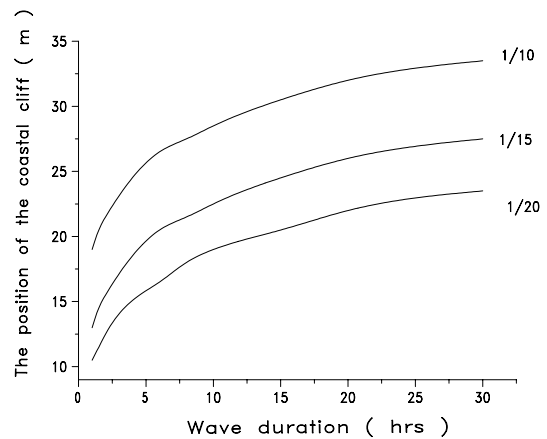
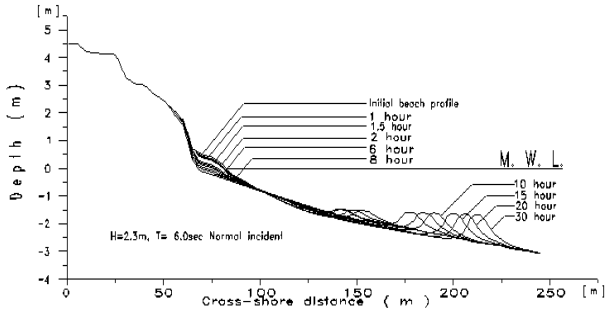


그림 6. 해빈경사 1/20, 1/15, 1/10에 있어서 해안단애 정부(頂部)의 후퇴 속도

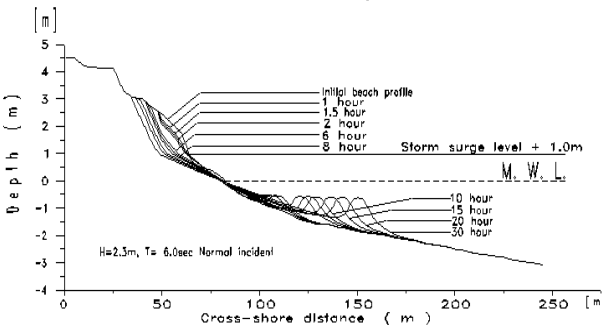
3.2 사구-해빈 단면에서의 지형변화

앞의 설명에서는 해안단애의 형성에 대한 일정한 해빈의 경사에 관한 영향에 대해 고찰했다. 이와 같이 단순하고 일정한 경사를 가진 해빈은 적으며, 자연의 해빈단면은 좀더 복잡하다. 여기서는 실제의 사구-해빈 단면을 가진 해안에 파고 2.3m, 주기 6초의 입사파랑이 30시간 작용시킨 경우에 대하여 수치계산을 수행하였다. 단 여기서는 태풍이나 계절풍 혹은 허리케인 등에 의한 평균수위 상승이 없는 경우와 평균 수위의 상승이 1.0m, 2.0m 있는 경우를 상정했다. 계산시간 동안에는 수위가 일정한 평균정수면(M.W.L.)을 사용하였다. 또 현지에 적용할 경우에는, 조

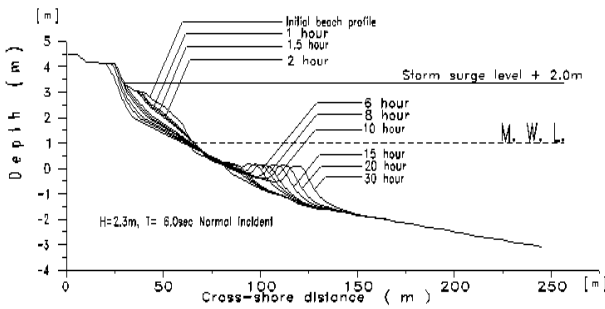
위변동이나 해일 등의 수위기록을 단지 수심에 더하여 계산하면 된다. 계산결과를 그림 7(a),(b),(c)에 나타낸다.



(a) Without storm surge



(b) With storm surge +1.0m



(c) With storm surge +2.0m

그림 7. 수위상승을 동반하는 해안단애의 형성에

그림 7(a)는 평균수위의 상승이 없는 경우로 입사파랑의 쇄파에 의해 연안사주가 형성되며, 연안사주가 서서히 먼바다 방향으로 이동하고 있다. 정선부근에도 약간의 침식을 볼 수 있지만, 파랑작용 30시간 후에는 더 이상 해안단애 형성을 거의 볼 수 없다. 그런데, 그림 7(b)의 평균수위의 상승이 1m인 경우에는, 연안사주의 형성과 함께 해

안단애가 형성되어 소단의 침식도 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 그림 7(c)의 평균수위의 상승이 2.0m인 경우는, 소단이 완전하게 침식된 후, 사구의 침식이 시작되어 파랑에 의한 침식량도 그림 7(a),(b)에 비해 크게되어 있다. 이들의 결과로부터, 해일 등과 같이 평균수위의 상승을 동반하는 침식성의 파랑이 사빈에 내습하면, 소단을 포함하여 사구의 침식이 조장되는 것을 알 수 있다. 이것은 통상 사구-해빈 단면에서는 결과적으로 수위상승이 클수록 사면 경사가 급하게 되어 침식이 쉽게 되며, 해안단애의 형성이 조장되는 것으로 사료된다. 또, 평균수위 상승량이 클 때에는 사구로부터 공급되는 저질이 연안사주의 형성을 조장하고, 그 결과 해빈에 작용하는 파랑 에너지를 감소시키는 작용을 하기 때문에, 충분한 높이의 폭과 넓은 사구를 보전하는 것은 해안관리상 중요한 것으로 사료된다.

3.3 연안방향으로 높이가 다른 지형변화

해안단애는 연안방향으로 높이가 단면형상이 일정한 경우와, 연안방향으로 원호모양의 해안단애 해안이 출현하고, 그 중앙부에서는 해안단애의 높이가 높고, 양단부(兩端部)에서는 해안단애의 형성이 없는 해안단면을 나타내는 경우도 있다. 여기서는, 이와 같은 해안단애에 대해서 연안방향에 파랑분포가 존재하기 때문에, 이와 같은 지형이 출현한 것이 아닌가 하고 생각하여 수치실험을 하였다. 먼저, 계산에 있어서는 계산의 편의성을 고려하여 파고분포가 연안방향으로 존재한다고 가정하여, 그림 8에 나타내는 파고분포를 가정한다. 그림 8의 파고분포는 계산의 편의성을 고려하여 계산에 이용하는 입사파고를 다음과 같이 가정하여, 해안단애의 연안방향으로 파고분포를 계산하였다.

$$H(x) = H_1 + H_2 \sin^2\left(\frac{2\pi}{400} x\right) \quad (13)$$

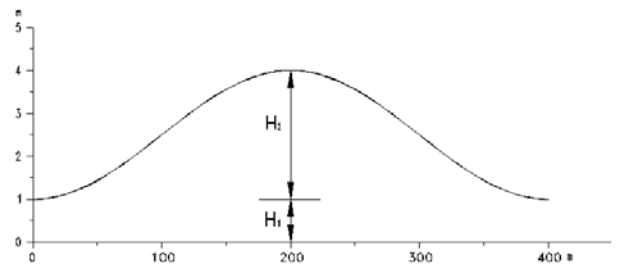


그림 8. 계산에 이용한 연안방향의 입사파고 분포도

계산에는 1/16의 일정한 경사의 해빈을 이용했다. 그림 9에 파랑작용 20시간 후의 해빈지형과 해안단애의 단면을 나타냈다. 입사파고에 따라 정선의 위치가 굴곡하고 있는 것을 알 수 있다. 해안단애 정부의 연안방향분포의 쪽이 정선의 연안방향분포에 비해 그 굴곡의 정도가 크다. 이와 같이 그림 8에 나타내는 파고분포를 가진 파랑이 입사하는 경우에는, 입사파랑이 큰 중앙부근에서 침식량이 크고 해안단애의 높이가 높으며, 입사파고가 작은 양단부근에서는 침식량이 적어 해안단애의 높이도 작은 것이 수치실험에 의해 확인되었다. 또 해안단애의 크기와 대비하여, 정선과 해안단애의 정부 라인과 함께 연안방향으로 원호모양의 분포를 가진 것을 알 수 있었다.

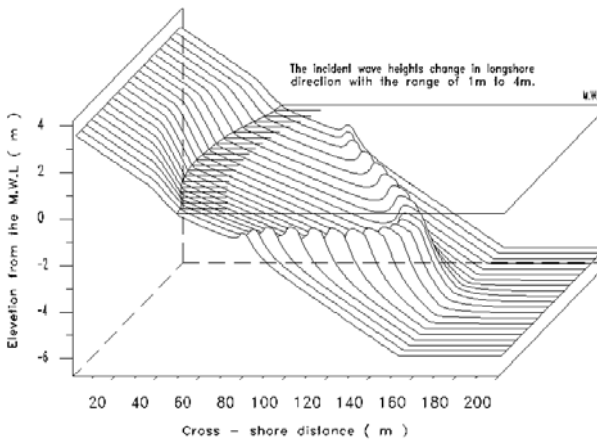


그림 9. 연안방향으로 다른 입사파고 분포를 가진 해안단애의 형성에

4. 요약 및 결론

사빈의 침식에 관해 수치모의를 통하여, 사구전면에 존재하는 일정한 경사의 해빈에서는 해빈경사가 급할수록 정선 근방의 침식이 크고, 침식과정에서 형성되는 해안단애의 높이도 높게되는 것을 알았다. 또 사구-해빈단면에 평균수위의 상승을 동반하는 높은 파랑을 작용시킨 경우, 파랑 높이가 높을수록 소단이나 사구의 침식 규모가 큰 것을 알았다. 이와 같은 결과는, 대형조파수로에서 얻어진 사구 침식의 결과와도 일치한다(清水와 丸山, 1987). 또, 연안방향으로 형성되는 원호모양의 분포를 가진 해안단애는, 연안방향으로 입사파랑 분포의 차이가 원호모양의 해안단애를 형성하는 하나의 원인으로 사료된다.

본 수치실험에서는 해안단애의 침식과정에서 일어날 수 있는 노치(notch)의 형성, 사구와 해변저질의 저질입자의 상이, 사구면의 다짐효과, 식생에 의한 피복효과, 비사에 의한 침식부의 회복, 해일에 기인하는 흐름효과 등은 본 수치모의에 포함시키지 않았지만, 앞으로 수치모의의 정도를 높이기 위해서는, 위에 열거한 요인들을 포함하고, 또 현지 관측 등에 근거한 수치모의의 개량이 향후 연구과제이겠다.

감사의 글

본 논문은 2000년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

(접수일자 : 2002. 3. 27)

참 고 문 헌

1. 김남형역(1996), 표사와 해안침식. 청문각.
2. 김남형 · 신문섭역(1999), 해안환경공학. 원기술.
3. 堀川清司 · 砂村継夫(1967), 航空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究. 第14回海岸工学講演會講演集, pp. 315~324.
4. 堀川清司 · 砂村継夫(1968), 海蝕崖の侵食に關する實驗的研究. 第15回海岸工学講演會講演集, pp. 149~157.
5. 堀川清司 · 砂村継夫(1969), 千葉眞屏風ヶ浦の海岸侵食について- 航空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究-第2報-. 第16回海岸工学講演會講演集, pp. 137~145.
6. 堀川清司 · 砂村継夫(1970), 千葉眞屏風ヶ浦の海岸侵食について(2) - 航空寫眞による海蝕崖の後退に關する研究-第3報-. 第17回海岸工学講演會論文集, pp. 289~296.

7. 堀川清司・砂村継夫(1972), 千葉眞屏風ヶ浦の海岸侵食について(3) - 航空写真による海蝕崖の後退に関する研究-第4報-. 第19回海岸工学講演會論文集, pp. 13~17.
8. 浅野敏之・松岡昌夫(1996), 浜崖の形成過程に着目した2次元海浜變形に関する研究. 海岸工学論文集, 第43巻 pp. 486~490.
9. 清水隆夫・丸山康樹(1987), 岸沖海浜變形豫測モデルと實規模 データによる適用性の検討. 第34回海岸工学講演會論文集, pp. 286~290.
10. Dally, W. R.(1980). A numerical model for beach profile evolution, M. S. thesis, University of Delaware, Newark, DE.
11. Dally, W. R., Dean R. G. and Darlymple, R. A.(1984), A model for breaker decay on beaches. Proceeding of the 19th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 82~98.
12. Dean R. G.(1977), Equilibrium beach profiles. U. S. Atlantic and Gulf Coasts, Ocean Engineering Report No. 12, Dept of Civil Engineering University of Delaware, Newark, Delaware.
13. Goda, Y.(1985), Random seas and design of maritime structures. Tokyo, University of Tokyo Press.
14. Hughes, S. A. and Chiu, T. Y.(1981), Beach and dune erosion during severe storms. Dept. of Coastal and Oceanographic Engineering, University of Florida, Gainesville, Florida.
15. Kriebel, D. L. and Dean, R. G.(1984), Beach and dune response to severe storms. Proceeding of the 19th Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 1584~1599.
16. Kriebel, D. L. and Dean, R. G.(1985), Numerical simulation of time-dependent Beach and dune erosion. Coastal engineering, Vol. 9, pp. 221~245.
17. Kriebel, D. L.(1990), Advances in numerical modeling of dune erosion. Proceeding of the 22nd Coastal Engineering Conference, ASCE, pp. 2304~2317.
18. Kraus, N. C., Larson, M., and Kriebel, D. L.(1991), Engineering of beach erosion and accretion predictors. Coastal Sediments 91, pp. 572~587.
19. Larson, M. and Kraus, N. C.(1989), SBEACH : Numerical model for simulating storm induced beach change. Report 1. Empirical foundation and model development. Technical Report CERC-89-9.
20. Larson, M. and Kraus, N. C.(1990), Numerical model for simulating storm induced beach change. Report 2. Numerical foundation and model test. Technical report CERC-89-9.
21. Larson, M., Kraus, N. C. and Sunamura, T.(1988), Beach profile change: morphology, Transport rate and numerical simulation. Proceeding of the 21st Coastal Engineering Conference, ASCE., pp. 1295~1309
22. Moore, B. D.(1982), Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height. M. S. thesis, University of Delaware, Newark, DE.
23. Sargent, F. E. and Brikemeier, W. A.(1985), Application of the dutch method for estimating storm-induced dune erosion. Instruction Report CERE-85-2, pp. 1~22.
24. van de Graaff, J.(1977), Dune erosion during a storm surge, Coastal Engineering. Vol. 1, pp. 99~134.
25. Vellinga, P.(1982), Beach and dune erosion during a storm surge, Coastal Engineering. Vol. 6, pp. 361~389.
26. Vellinga, P.(1983), Predictive computational model for beach and dune erosion during storm surge. Proceedings coastal Structures 83, Washington DC, pp. 806-819.
27. Vellinga, P.(1986), Beach and dune erosion during a storm surges. Delft Hydraulics Communication No. 372.