

이안 구조물 건설에 따른 해안선의 변화와 수치계산

신 승 호*

Shoreline Changes due to the Construction of Offshore Structure and its Numerical Calculation

S. H. Shin

Key Words : 해안선 변화모델(Shoreline change model), 쇄파고(Breaking height), 수송파라메타 (Transport parameter), 3차원 이동상실험(3-dimensional movable bed experiment), 이안 구조물(Offshore structure)

Abstract

A numerical model for practical use based on the 1-line theory is presented to simulate shoreline changes due to construction of offshore structures.

The shoreline change model calculates the longshore sediment transport rate using breaking waves. Before the shoreline change model execution, a wave model, adopting the modified Boussinesq equation including the breaking parameters and bottom friction term, was used to provide the longshore distribution of the breaking waves. The contents of present model are outlined first. Then to examine the characteristics of this model, the effects of the parameters contained in this model are clarified through the calculations of shoreline changes for simple cases.

Finally, as the guides for practical application of this model, several comments are made on the parameters used in the model, such as transport parameter, average beach slope, breaking height variation alongshore, depth of closure, etc. with the presentation of typical examples of 3-dimensional movable bed experimental results for application of this model. Here, beach change behind the offshore structures is represented by the movement of the shoreline position. Analysis gives that the transport parameters should be taken as site specific parameters in terms of time scale for the shoreline change and adjusted to achieve the best agreement between the calculated and the observed near the structures.

* 정회원, 큐슈대학대학원 공학연구원 연안역환경학강좌 연구원

1. 서 론

해상 구조물, 외해 인공섬 등이 건설되면, 그 배후의 해빈에서는 입사된 파랑의 변형으로 인하여 해안선 등의 해빈 형상에 막대한 영향을 미칠 수 있으며, 또한 구조물의 해안선으로부터의 이안거리에 의해서도 해빈 변형의 경향이 변화될 수 있다. 공항 등 내륙부에 광활한 용지의 확보가 어려운 시설을 매립 등에 의한 외해 구조물로 대처하고자 하는 요청이 고조되고 있는 최근, 해상 구조물의 이안거리에 따른 해빈 변형의 경향을 파악하고, 현상을 정확히 예측하는 것은 배후에 존재하는 해빈의 보전과 시공후의 양빈 계획 등을 수립하는데 있어서도 중요한 요소이다.

본 연구에서는 해상 구조물 건설에 따른 배후의 해안선 변화에 주목하여 수치 계산을 통한 해빈 변형을 예측함에 있어서, 해안선 변화 예측 모델의 각 항이 가지는 물리적인 의미 및 계산상의 특성을 분석하고, 수치해석 결과와 평면수조에서의 이동상 실험으로부터 얻어진 해안선 변화량과의 비교 분석을 통하여 모델의 적용성 그에 따른 주의할 점 등에 대한 고찰을 행한다.

2. 해안선 변화 모델에 의한 수치계산

2.1 해안선 변화 모델

해안선 변화 모델은 연안 방향으로 y 축, 연안에 수직인 방향으로 x 축을 취하고 해안선 위치를 $x_s(y)$ 로 한다(Fig. 1).

이 모델은 1개의 선($x_s(y)$)으로 해안선을 나타내며 이의 변화로 해빈 변형을 대표시키는 것으로부터 1-line 모델로도 불리고 있다.

2.2 기초 방정식

Fig. 1에 나타낸 바와 같이 해안선을 Δy 간격의

cell로 분할하고, 각 cell에 있어서 각 시간 간격 Δt 동안의 토사 변화량 Δv 를 생각한다. 이때, 해저 경사면은 수심 D_s 까지 해저 경사가 변하지 않고 평행 이동한 것으로 가정하며, 해안선의 이동량을 Δx_s 로 한다.

각 cell의 토사량 변화율 $\Delta v/\Delta t = D_s \Delta x \Delta y / \Delta t$ 는 각 단면으로부터의 토사 유입, 유출량으로 정해지며, 해안선의 위치 x_s 와 토사 이동량과의 관계식은 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{\partial x_s}{\partial t} + \frac{1}{D_s} \left(\frac{\partial Q}{\partial y} - q \right) = 0 \tag{1}$$

여기서, x_s : 해안선의 이동량 (m), Q : 공극을 포함한 연안 표사량 (m^3/s), D_s : 표사대 끝단 수심 (m), q : 외해방향 토사 이동량 ($m^3/s/m$)이며, 외해방향 토사 이동량 q 는 다음 식으로 나타낸다.

$$q = q_s + q_0 \tag{2}$$

q_s 는 외해방향의 단면으로부터 각 section에 유입 혹은 역으로 유출하는 단위폭당 토사량으로, 유

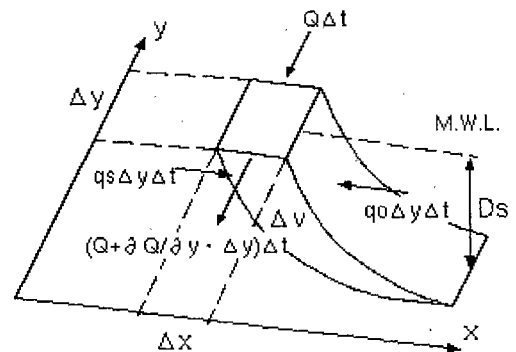


Fig. 1 Definition sketch of variables and coordinate system

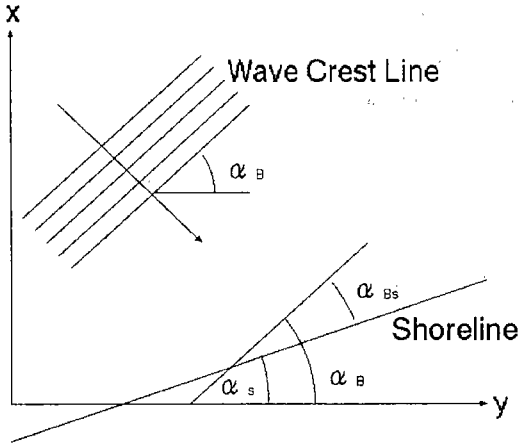


Fig. 2 Defintion of α_B ,

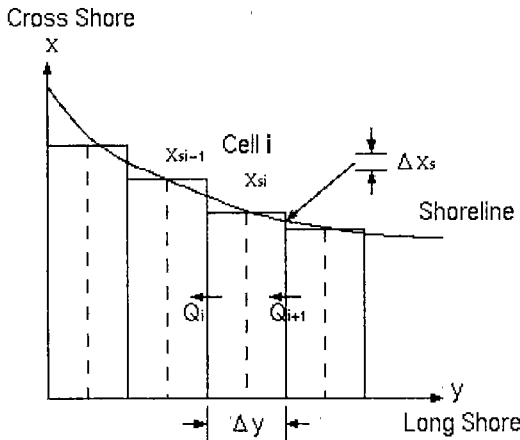


Fig. 3 Representation of shoreline for 1-line numerical model

입량을 (+)로 정의한다. 구체적으로는 하천 공급 토사량 혹은 해안으로부터의 인위적인 토사의 채집 등을 나타낸다. q_0 는 외해측 단면으로부터 유출하는 토사 이동량으로, 파동 운동에 기인하는 외해방향 표사량 등이 이에 상당한다.

연안방향 표사량 Q 은 식 (3)에 제시한 小笹·Brampton의 표사량 산정식(小笹, Brampton, 1979)로 산정하였으며, 이는 일본 이바라키현 오오아라이항의 해안선 변화 재현계산(Kraus 등, 1981) 등에

이용되어 유효성이 확인되어있다.

$$I = (EC_g)_B \cdot \left(K_1 \sin \alpha_B \cos \alpha_B - \frac{K_2}{\tan \beta} \cos \alpha_B \frac{\partial H_B}{\partial y} \right) \quad (3)$$

본 연구에서는 식 (3)에 있어서의 파고를 유의파고 $H_{1/3}$ 로 변형한 이하의 식을 이용한다(Kraus 등, 1981).

$$Q = (H^2 C_g)_B \left(\bar{K}_1 \sin 2\alpha_B - \bar{K}_2 \cos \alpha_B \frac{\partial H_B}{\partial y} \right) \quad (4)$$

여기서, H_B : 쇄파파고(m), C_{gB} : 군속도(m/s), α_B : 쇄파시의 파봉선이 해안선과 이루는 각이며, 아래첨자 B는 쇄파점에서의 제원임을 의미한다.

단,

$$I = (\rho_s - \rho) g (1 - \lambda_v) Q$$

$$\bar{K}_1 = \frac{K_1}{16 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - \lambda_v) 1.416^{5/2}}$$

$$\bar{K}_2 = \frac{K_2}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) (1 - \lambda_v) \tan \beta \cdot 1.416^{5/2}}$$

이며, K_1, K_2 : 무차원 계수, ρ_s : 모래의 밀도 (kg/m^3), ρ : 해수의 밀도 (kg/m^3), λ_v : 모래의 공급율, $\tan \beta$: 해저 경사를 나타내고, 계수 1.416^{5/2}은 파고 통계량을 Rayleigh분포로 가정하여 제곱평균파고를 유의파고로 환산할 경우 생기는 값이다 (Longuet-Higgins, 1952).

식 (4)의 α_B 는 쇄파시의 파봉선이 y축과 이루는 각과 해안선 x_s 가 y축과 이루는 각과의 차를 의미하며 Fig. 2의 정의와 함께 다음과 같이 산정된다.

$$a_B = a_B - a_s = a_B - \frac{\partial x_s}{\partial y}$$

a_B : 쇄파시의 파봉선이 y 축과 이루는 각,

a_s : 해안선 x_s 가 y 축과 이루는 각

한편, 식 (1)의 D_s 는 표사대 끝단 수심으로, 연안 표사가 활발한 범위의 외해측 수심을 의미하며, 소위 말하는 모래 이동의 초기 이동한계 수심과는 다르다. 대략의 값은 평균 쇄파수심보다 약간 깊은 수심에 위치하는 경우가 많으나, 이를 큰 값으로 취하면 K_1 을 크게 설정하게 되어 계산이 불안정하게 되는 경우가 발생하게 되어 D_s 의 선정방법은 계산 결과에 커다란 영향을 미치므로 주의를 요한다. 이의 선정 방법에 대해서는 여러가지 제안이 있으나, 본 계산에서는 다음과 같이 계산한다(Hallermeier, 1983).

$$D_s \approx D_{SH} = \frac{2.9H_0}{\sqrt{\frac{\rho_s}{\rho} - 1}} - \frac{110H_0^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)gT^2} \quad (5)$$

여기서, D_{SH} : 연안표사가 활발한 범위의 외해측 한계수심 (m), T : 파의 주기 (s), g : 중력가속도 (m/s^2), L_0 : 외해파의 파장 (m), H_0 : 외해파고 (m)이다.

2.3 차분방정식

지금까지 서술한 계산식에 따라 실제의 수치계산을 행한다. 해안선 변화의 방정식에서는 몇 가지의 해석해도 제안되어있지만, 공학적인 응용면에서는 식 (1)을 수치적으로 해석하는 기법이 중요하며, 이에 의해 실제에 존재하는 해저 지형 및 파랑 변형 등을 고려한 계산 결과를 얻을 수 있다.

방정식의 차분화에 있어서는 식 (1)의 변수 x_s , q 및 Q 의 계산점을 Fig. 3에 제시한 바와 같은

staggered mesh상에서 정의하여, i 번째의 cell에 대응하는 해안선 및 외해방향의 계산점 x_{si} , q 와 연안표사량 Q 의 계산점을 상호 $\Delta y/2$ 만큼 옮겨 정의한다.

i 번째의 cell에서 시간 $t + \Delta t$ 에 대응하는 해안선 위치 $x_{si}^{t+\Delta t}$ 는 식 (1)에 의해 일반적으로 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$x_{si}^{t+\Delta t} = x_{si}^t + \Delta t \left\{ \lambda \left(\frac{\partial x_s}{\partial t} \right)_i^t + (1-\lambda) \left(\frac{\partial x_s}{\partial t} \right)_i^{t+\Delta t} \right\} \quad (6)$$

여기서, λ 는 가중 계수로서 $0 \leq \lambda \leq 1$ 이며, 식 우변의 시간미분항은 식을 차분화함에 따라 다음과 같이 된다.

$$\left(\frac{\partial x_s}{\partial t} \right)_i^t = -\frac{1}{D_s} \left(\frac{Q_{i+1}^t - Q_i^t}{\Delta y} - q_i^t \right) \quad (7)$$

$$\left(\frac{\partial x_s}{\partial t} \right)_i^{t+\Delta t} = -\frac{1}{D_s} \left(\frac{Q_{i+1}^{t+\Delta t} - Q_i^{t+\Delta t}}{\Delta y} - q_i^{t+\Delta t} \right) \quad (8)$$

1) 양해법

계산에는 비교적 연산시간이 짧은 양해법을 사용하였다. 해안선 위치 x_{si} 의 시간 적분표시인 식 (6)에 있어서 $\lambda = 1/2$ 하면, 같은 식에 식 (7)을 대입하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$x_{si}^{t+\Delta t} = x_{si}^t + \frac{\Delta t}{D_s \Delta y} (Q_i^t - Q_{i+1}^t + \Delta y q_i^t) \quad (9)$$

이 방법에서는 시간 $t + \Delta t$ 의 해안선 위치 $x_{si}^{t+\Delta t}$ 가 시간 t 에서의 값만을 이용하여 계산되므로 양해법이라 하며, 1회의 계산 step에 필요로 하는 시간이 짧고, 경계조건 등의 제약조건을 설정하기에 용이하다.

2) 경계조건

경계에서의 해안선은 계산 영역내의 해안선과 같은 시간 변화를 한다. 즉 양측을 자유경계로 다룰 경우는 다음과 같은 경계조건을 설정한다. 단, 식 중의 첨자 b 는 경계에서의 section 번호를 의미한다.

$$Q_b = 2Q_{b=1} - Q_{b=2} \text{ (복호동순)}$$

외해방향의 토사 이동이 없다고 가정하면,

$$x_{sb}^{t+\Delta t} - x_{sb}^t = x_{sb=1}^{t+\Delta t} - x_{sb=1}^t \text{ (복호동순)}$$

이는 계산 영역내의 표사량으로부터 1차 외삽으로 경계 표사량을 추정하는 방법에 해당한다. 원리상으로는 2차 혹은 그 이상의 고차 외삽도 가능하지만, 어떠한 외삽을 선택할 것인가는 계산 영역내의 해안선 변화 특성에 의존한다. 하천 공급사에 의해 해안선이 삼각 형상으로 전진하는 경우를 예로 든 계산에서는 2차 이상의 고차 외삽보다 1차 외삽을 적용한 것이 좋은 결과를 내고 있다(丸山, 鹿島, 1981).

본 연구의 실험과 같이 양측 경계를 표사량이 존재하지 않는 고정 경계로 다루는 경우는 Q_b, x_{sb} 모두 0로 한다.

3) 안정조건

양해법에서는 Δt 를 필요 이상으로 작게 설정한다고 해서 계산 정도가 반드시 향상되는 것은 아니다. 따라서, 계산의 안정성을 유지할 수 있는 최대의 값으로 설정하는 것이 바람직하다. 또한, 주어진 파랑과 계산조건에 대해 시간적인 차분 간격 Δt 가 어느 한계를 넘으면 계산치가 진동하여 불안정하게 되는 경우도 발생된다.

안정조건은 실제 계산에서 시행착오를 반복하여 안정성을 유지할 수 있는 최대의 시간 간격 Δt 를 결정하는 경우가 대부분이지만 특정 조건하에서는 안정조건을 근사적으로 구할 수 있다.

쇄파각 α_B 및 해안선과 y 축이 이루는 각 α_s 가 충분히 작고, 식 (4)에 제시한 표사량 산정식에서의 H_B, C_{gB} 및 $\partial H_B / \partial y$ 의 변수가 y 방향으로 일정하다고 가정하면, 식 (1)의 Q 에 식 (4)를 대입한 방정식은 다음과 같이 간단히 표기된다.

$$\frac{\partial x_s}{\partial t} = e \frac{\partial^2 x_s}{\partial y^2} \tag{10}$$

단, $e = e_1 + e_2$, $e_1 = 2(H^2 C_g)_B \frac{\widehat{K}_1}{D_s}$,

$$e_2 = (H^2 C_g)_B \frac{\widehat{K}_2}{D_s} \frac{\partial H_B}{\partial y} \sin \alpha_B$$

이는 x_s 에 관한 확산 방정식이며 수치 계산상의 안정조건을 간단히 구할 수 있다. 실제, e 는 연안방향으로 변화하므로 안정도 parameter R_s 는 근사적으로 다음과 같이 된다.

$$R_s = \frac{\Delta t (e_{\max})}{(\Delta y)^2} \leq \frac{1}{2} \tag{11}$$

여기서, (e_{\max}) 는 특정 시각에 있어서 연안방향으로 변화하는 e 의 최대치이다. 이러한 안정도 parameter R_s 는 양해법으로 허용가능한 시간 간격 Δt 의 최대치를 추정하는데 유효하다.

2.4 파랑장의 계산

해안선 변화 모델의 계산에 있어서는, 쇄파점에서 의 파고 및 파향의 연안 방향 분포가 필요하다. 파랑장의 계산 모델은 비선형분산파동방정식으로 심해역까지 적용범위가 확장된 Madsen et al.(1992)의 수정 Boussinesq 방정식에 쇄파에 의한 운동량 혼합 항 및 저면 마찰항을 부가하여 천해역에서의 쇄파현상을 고려하도록 수정한 모델을 이용하였으며, 이는 본 연구의 실험과 동일조건(단, 고정상 실험)하에 실

시한 실험(이와 신, 1999)과 계산을 통한 검증(申 등, 1999, 2000)에서 파랑 변형의 제 특성이 정도 높게 계산됨을 확인하고 있다.

한편, 비정상(非定常) 과정으로 평면 파랑장을 구하는 본 계산에서 있어서 쇄파 위치의 판정은 수립자의 속도와 파속의 비로 결정하였으며, 片山·佐藤(1993)은 이 비가 0.6~0.7이 되는 곳에서 쇄파가 일어난음을 밝히고 있다. 쇄파점에서의 파향은, 수면변동의 2차 모멘트로부터 좌표축을 회전했을 때 좌표축상의 제곱평균파수가 최대, 즉 파봉이 가장 밀집하게 나열된 방향을 찾아 파향으로 정하였다.

3. 이동상 실험

3.1 준평형단면

일반적으로 사빈은 외해방향으로 일정한 경사를 가지며 깊어지는 것이 아니며, 해당 해안에 내습하는 파랑의 특성이 시간적으로 변화하는 실제의 해안에서의 해빈의 종단 형상은 입사파의 조건에 대응하는 평형단면형상을 나타내는 쪽으로 점차 변화한다고 할 수 있다. 이동상 실험에 있어서 수조에 저질을 투입하고자 할 때, 이러한 평형단면을 인위적으로 만들기는 용이하지 않으므로 우선 일정한 경사 단면이 되도록 수조에 저질을 투입한다. 그러나, 일정 경사의 단면 형상에 갑작스레 구조물을 설치하여서는 추후 구조물에 의한 해빈 변형을 측정하여도 그 변형이 해빈의 단면 형상이 평형 단면으로 귀착하는 과정의 변형인가 혹은 구조물 설치의 영향에 따른 해빈변형인가를 구별하기는 극히 곤란하다.

따라서, 일정시간, 구조물을 설치하지 않은 상태에서 파를 작용시켜 의사적인 평형 단면을 만들고 이러한 초기 단면을 준평형 단면이라 부른다. 이후 구조물을 설치하여 해빈 변형을 측정하면 구조물의 영향에 의한 지형변화를 추출하기가 쉬워진다.

준평형 단면을 만들기 위한 파의 작용시간을 얻기 위해 단면 2차원 수조로 예비실험을 실시하였다. 실험은 길이 28m, 폭 0.8m, 높이 0.5m의 2차원 조파수

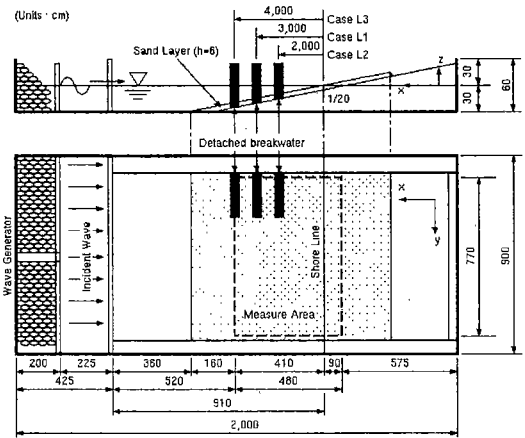


Fig. 4 Sketch of the wave flume and experimental setup

Table 1 Offshore distance for each case of physical experiment

case	L1	L2	L3	L4
distance from shoreline (m)	3.0	2.0	4.0	5.5

로에서 행하였다. 수로의 끝단에는 1/20의 일정 고정 사면을 설치하고, 그 위에 두께 6cm의 모래층 ($d_{50} = 0.16\text{mm}$)을 피복하였다. 외해측의 수심은 30cm로, 파고 5cm, 주기 1.0s의 파를 작용시켰다. 이 실험 결과에 의해 저질의 이동한계 수심이 약 25cm임을 알았으며, 또한 장시간 파를 작용시켜 단면 형상을 추적한 결과, 규칙파에 의한 sand wave가 출현하며 지형이 거의 안정되어 전형적인 자연해빈의 형상이 형성되는 시간이 조파후 4시간이 경과한 시각임을 알았다.

이러한 예비실험 결과를 토대로 중형 평면 수조에서의 실험(이하 본 실험이라 칭함)에서는 평면 수조에 구조물을 설치하기전의 일정 경사 사면에 4시간 파를 작용시킨 단면을 준평형 단면으로 선정하였다.

3.2 3차원 이동상 실험(본 실험)

실험에는 Fig. 4와 같은 중형 평면 수조를, 지형 측정에는 접촉식 사면계를 이용하였다.

사면계를 이용한 지형의 측정은, 사면계를 stepping motor와 조합하여 x방향으로 이동하며 측정할 수 있도록 한 독자적인 측정기구와 그의 제어 프로그램을 작성하고, 반자동으로 측정을 실시할 수 있도록 고려했다. y방향으로는 100mm 간격으로 합계 77점, x방향으로는 y방향의 각 측선당 0.25mm간격으로 1721점에 해당하는 측정점을 가진다.

파랑 조건은 수심 30cm의 입사경계에서 파고 5cm, 주기 1.0s 의 규칙파로 하고 구조물의 이안거리별로 각각 실험하였다. Table 1은 이안거리별 구조물의 제원이다. 이러한 조건하에서의 외해 구조물의 건설에 따른 배후에서의 해빈변형에 관한 상세는 신과 이(2000)에서 검토되어 배후의 지형변화에 해빈류가 크게 작용함을 밝혔다. 본 연구에서는 해안선에 주목하여 이의 변화와 해안선 수치모델을 이용하여 예측하고자 할 경우에 있어서의 모델의 특성과 문제점에 대하여 검토하였다.

4. 계산 결과와 표사량 산정식에 대한 고찰

식 (4)의 연안 표사량 산정식에 있어서 계수의 값은 연안표사의 이동대 폭(D_s)와 일체가 되어 동일 파랑 조건하에서 해빈 변형의 속도를 지배하는 요인이 된다. 따라서, 과거의 해안선 변화 추산에서 재현성이 확보될 수 있도록 시행착오로 결정하게 되는 계수이다. Kraus et al(1984)는 지형에 관한 경시적인 데이터가 풍부한 일본 오오아라이 해안을 대상으로 해안선 모델을 검증하였으며, K_1 , K_2 는 다수의 검증 계산에 의해 각각 0.1 정도로 정하였으나, 실내 실험을 대상으로 이안제에 의한 해안선 변화의 계산

에는 각각 0.4, 0.2를 선정함으로써 실험결과에 양호한 일치를 얻음을 보였다(Kraus, 1983). 본 계산에서는 우선 식(5)의 연안표사 이동대 폭(D_s) 산정은 입사경계에 있어서의 파의 제원을 이용하였으며, 이안제 배후에 있어서의 실상사주의 크기에 주목하여 계수를 조정한 결과 $K_1=0.4$, $K_2=0.52$ 로 하였다.

Fig.5~7에는 해저 경사 1/20의 초기 사면에 파를 작용시킨 case L1의 각 표사량(Q_s , 등)의 계산 결과를

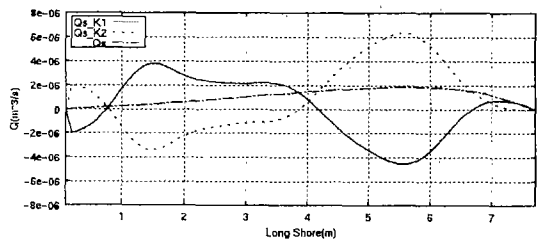


Fig. 5 Calculated longshore sediment transport rate($K_1 = 0.4$, $K_2 = 0.52$, 10min)

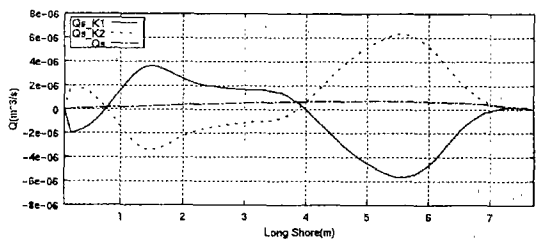


Fig. 6 Calculated longshore sediment transport rate($K_1 = 0.4$, $K_2 = 0.52$, 30min)

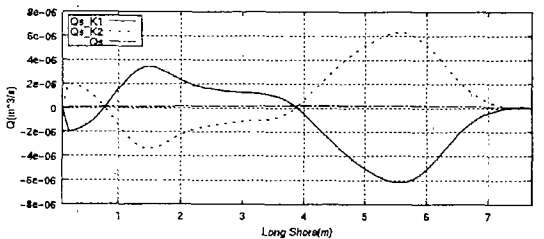


Fig. 7 Calculated longshore sediment transport rate($K_1 = 0.4$, $K_2 = 0.52$, 60min)

나타내었다. 이는 계산 개시로부터 해안선 변화가 거의 없이 안정된 시간까지, 각각 10분, 30분, 60분의 시간 step에서의 계산치이다.

Q_{sk1} 은 식 (4) 괄호속 제1항에 의한 계산치로서, 주로 쇄파점에서 파향과 무차원 계수 K_1 의 효과를, Q_{sk2} 는 식 (4) 괄호속 제2항에 의한 계산치이며 쇄파파고의 경사 $\partial H_b/\partial y$ 와 무차원 계수 K_2 의 효과를 나타낸다.

Q_s 는 식 (4)의 계산치이다. 계산이 진행됨에 따라 Q_{sk1} 의 값과 Q_{sk2} 의 값이 균형을 이루어 결과적으로 Q_s 는 0(zero)에 접근하고 해안선 형상이 계산상 안정되어감(전체 표사량이 0로 됨)을 알 수 있다.

Q_{sk1} 는 계산상 쇄파점에 있어서 파향의 기여도를 나타내며, 해안선의 변동에 의해 해안선 각도와 쇄파점에서 파향과의 차이 α_B 도 변동하여, 파향에 의한 효과는 서서히 작아지고 있음을 알 수 있다. 물리적으로는 쇄파점에서 파랑 에너지 플럭스의 연안 방향 성분과 표사의 수중 중량을 관련지은 것이며 연안류의 효과를 표현하고 있다고 사료된다.

Q_{sk2} 는 이안 구조물 배후의 나타나는 순환류에 의해 발생하는 표사를, 이안 구조물에 의한 회절과 차폐의 효과에 의한 쇄파파고 분포로 표현하려고 한 것이다.

계산 결과에 주목해보면, 변형의 초기 단계인 60분에 이미 해안선이 안정되어 있음을 관찰할 수 있다. 이의 이유는 다음과 같이 설명할 수 있다.

본래 이와 같은 해빈 변형의 계산에서는 어느 정도 지형변화를 계산한 후, 변화된 지형에 있어서의 파랑 데이터를 재차 계산하고 그 값을 이용하여 다시 해빈 변형을 계산한다고 하는 수순을 반복하여 최종적인 안정 지형을 구하게 되지만, 본 계산에서는 계산의 사정상, 초기 지형에 있어서의 파랑 데이터만을 사용하여 표사량을 계산하고 있으므로 해안선이 더 이상 변동하기 어렵게 된 것이다. 바꾸어 말하

면, 해안선 형상이 안정된 시점은, 지형 데이터와 파랑 데이터를 갱신해야할 시점이라고도 할 수 있다.

Fig. 8에 3시간 파를 작용시킨 후, Fig.9에 쇄파점에 있어서 파고분포 항을 고려하지 않은 경우($K_2 = 0.0$)의 같은 시간에 있어서의 해안선 이동량의 계산 결과를 나타내었다.

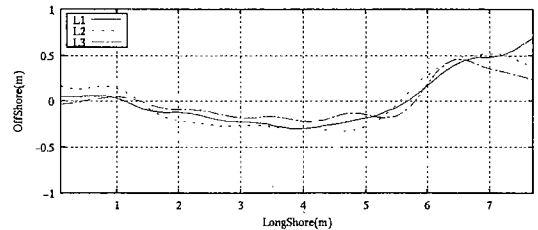


Fig. 8 Comparison of calculated shoreline response for each case ($K_1 = 0.4, K_2 = 0.52$)

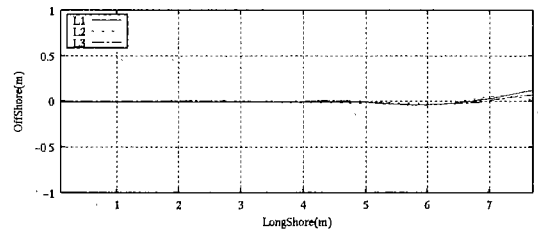


Fig. 9 Comparison of calculated shoreline response for each case ($K_1 = 0.4, K_2 = 0.0$)

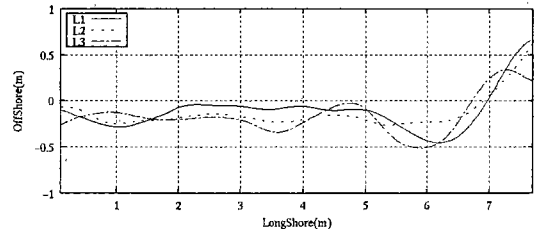


Fig. 10 Comparison of shoreline response for each case (experimental result)

Fig. 8를 보면, 식 (4)의 계산에서는 구조물의 이안거리가 커짐에 따라, 국소적인 침식, 퇴적량이 감소하고, 그의 영향은 광범위로 확장되는 경향을 보이고 있다. 이는 구조물의 이안거리가 커짐에 따라 파의 회절 영역도 광범위하게 되어 그 영향 범위가 연안 방향으로 확대되어가기 때문으로 여겨진다. 따라서, 식 (4)에 있어서의 $\partial H_b/\partial y$ 항의 효과로 인해 표사량의 계산 결과가 나타난 것이 된다.

Fig. 9에서는 해안선의 변동량이 전체적으로 작은 경향을 띠고 있어, Fig.8과의 비교에 의해 이안 구조물 배후의 해안선 변동에는 $\partial H_b/\partial y$ 의 효과가 크게 작용함을 알 수 있다. 또한, 이 계산에서는 구조물 배후의 해안선 형상에 의해 돌출된 부분의 정점이 측면 경계 가까이 나타나지만, $K_2=0.52$ 로 한 계산 결과와 실험 결과(Fig.10)에서는 경계로부터 다소 떨어진 지점에 정점이 존재함을 알 수 있다. 이러한 결과로부터도 식 (4)의 제 2항이 구조물 배후의 해안선 변화 계산에 결정적인 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig.10에는 계산과 동일한 조건에서 실시된 이동상 실험에 의해 얻어진 해안선 변동량으로서 이안 구조물 설치 후 60분간 파를 작용한 결과이다.

실험에서는, 일정 경사의 사면이 아니라 어느 정도 파를 작용시킨 준평형상태의 지형에 이안 구조물을 설치한 것으로서, 계산과는 지형 변화에 대한 초기 조건이 다르므로 일관된 비교는 할 수 없지만, 식 (4)에 의한 계산치와 실험에서의 해안선 변동에서는 침식 위치에 차가 존재하여 실험에서 나타난 이안제 구조물 첨단 배후의 국부적인 침식이 재현되지 못하고 있음을 알 수 있다. 이는 이안 구조물 배후에서 발생하는 순환류를, 계산에서는 쇄파점에서의 파향과 파고의 공간적인 경사만으로 표현하고 있다는 것에 원인이 있다고 여겨진다. 즉, 신과 이(2000)에서 밝힌 바와 같이 이안 구조물이 설치된 배후의 해역에서는 대규모의 반시계 방향의 해빈류가 존재(Fig. 10에 있어서 연안방향 6m, 외해방향 0.5m지점에 순환의 중심이 형성)하며, 이로 인하여 해안선 변화 뿐

만 아니라, 배후 영역에서 외해측에서의 침식이 존재하며, 그 결과 연안방향 6m부근의 국소적인 해안선 침식이 현저하게 나타나고 있으나, 이러한 파의 차폐에 따른 해빈 순환류에 의한 지형 변화의 효과를 식(4)에서 K_2 를 포함한 항에서의 공간적인 파고 분포로만 표현하고자 하는 것에서 국부적인 침식을 재현해 내지 못하였다고 여겨진다.

5. 결론

小笹·Brampton의 표사량 산정식을 이용한 해안선 변화 모델을 구축하고 그 특성을 파악하기 위해, 간단한 모델 지형을 선정하여 이안 구조물의 이안거리별 계산을 통해 검토하였으며, 추가로, 평면 수조에서 실시한 이동상 실험 결과와 본 모델의 계산 결과를 비교 검토하였다.

그 결과, 표사량 산정식에 있어서의 제 계수 K_1 , K_2 는 각각 연안류 및 반류(순환류) 효과와 그의 강도가 표현되고 있으며, 특히, K_2 를 포함한 제 2항이 구조물 배후의 해빈 순환류로 인한 해안선 변화에 결정적으로 기여하고 있음을 명백히 하였다. 또한 이들 각각의 계수를 포함한 항의 기여도에 대한 시간적 변화를 분석하여 해안선 변화 모델 적용시의 지형 및 파랑의 갱신 계산 시점 등을 검토하였다. 모델의 검정은 이동상 실험 결과와의 비교를 통하여 행하여졌으며, 전형적인 이안 구조물 배후의 해빈 변형의 예측 결과는 재현되었으나 국소적인 침식 재현까지는 달하지 못하였다. 이것은 해빈 순환류에 의한 지형 변화의 효과가 연안표사량 산정식 중의 K_2 를 포함한 항에서의 공간적인 파고 분포로만 표현한 것에 기인하고 있다고 사료된다. 따라서, 이의 개선을 위해서는 해빈 순환류의 효과를 직접적으로 표현할 수 있는 형태로의 개선이 필요하다고 본다.

참고문헌

- 1) 신승호, 이종우(2000) : 외해구조물 건설에 따른 해빈 변형에 관한 실험적 연구, 한국해양·해안공학회지, 12(2), pp96-107.
- 2) 이종우, 신승호(1999) : 친해역 비선형분산과랑 모델의 평가를 위한 수리실험연구, 한국해양·해안공학회지, 11(4), pp189-196.
- 3) 小笹博昭, A.H. Brampton(1979) : 護岸のある海浜のてい線變化數値解析, 港灣技術研究所報告, 第18卷, 第4號, pp.77-103.
- 4) Kraus, N.C., 針貝聰一, 久保田進(1981): 大洗海岸における汀線變化シミュレーション-防波堤背後の碎波と汀線變化-, 第20回海岸工學講演會論文集, 土木學會, pp. 295-299.
- 5) 丸山康樹, 鹿島遼一(1981): 海岸變形豫測における1-lineモデル計算手法の改良, 第36回年次學術講演會講演概要集, 第2部, 土木學會, pp.835-836.
- 6) 田中則男, 瀨岡和夫(1982): 汀線變化豫測モデルの開発と現地への適用, 港灣技研資料, No.436, pp.1-40.
- 7) 申承鎬, 高畑榮治, 入江功, 吉田明德, 1999b. Boussinesqモデルを用いた沖合の構造物による波浪・海浜流の數値計算の適用性, 海岸工學論文集, 46, 土木學會, pp. 206-210.
- 8) 申承鎬, 入江功(2000): 非線形分散波動理論を用いた波浪・海浜流の計算法とその適用性, 九州大學工學集報, 73卷, 4號, pp. 319-327.
- 9) 片山裕之, 佐藤慎司(1993): Boussinesq方程式を用いた不規則波の淺水・碎破變形の計算法, 海岸工學論文集, 40, 土木學會, pp. 16-20.
- 10) Hallermeier, R.J.(1983) : Sand transport limits in coastal structure design, Proc. Coastal Structures '83, ASCE, pp. 703-716.
- 11) Kraus, N.C.(1983) : Applications of a shoreline prediction model, Proc. Coastal Structures, '83, ASCE, pp. 632-645.
- 12) Kraus, N.C., H. Hanson and S. Harikai(1984) : Shoreline change at Oarai Beach-Past, present and future, Proc. 19th Coastal Eng. Conf., ASCE.
- 13) Madsen, P.A. and O.R. Sørensen(1992) : A new form of the Boussinesq equations with improved linear dispersion characteristics Part 2, *Coastal Engrg.*, 18, pp. 183-204.