

複斷面 航路를 利用한 航路埋沒 低減工法 Reduction Method of Shoaling of Navigation Channel Using Composite Channel Slope

배기성* · 김규한** · 백승화***

Ki Seong Bae*, Kyu Han Kim** and Seung Wha Baek***

要 旨 : 비정상 이송확산 방정식의 고정도 수치계산법을 이용, 표사이동의 비평형성을 고려하는 항로매몰 예측법을 개발하고, 2차원 이동상 모형실험으로부터 얻어지는 항로매몰형상과 매몰량을 비교 검토함으로써 예측법의 적용성을 확인하였다. 아울러 이 예측법을 현지 scale의 model 항로에 적용, 매몰형상 및 매몰량을 예측함과 더불어 항로경사부에 있어서 복단면을 설치하여 항로내에서의 매몰량을 최소화하는 항로매몰 저감공법에 대하여 검토하였다. 그 결과, 항로경사부에 설치되는 복단면의 형상에 있어서, 복단면의 폭은 비평형상태의 표사이동이 평형상태로 회복됨에 요구되는 최소의 유효거리로서, 복단면의 깊이는 항로주변의 수심과의 비로서 결정되는 것을 알 수 있었다. 그러나 항로경사면에 설치되는 복단면의 폭과 깊이는, 역시 항로주변의 파랑과 흐름 그리고 저질입경 등과 같은 자연조건요인들에 의하여 크게 좌우되는 점을 감안할 때, 항로매몰저감을 목적으로 하는 복단면의 설치계획 및 시공에 앞서 세밀한 현지관측조사와 많은 자료수집 및 분석이 요구된다.

Abstract □ A large part of shoaling of navigation channel surrounded by fine sand is caused by suspended sediment in non-equilibrium state. We develop a numerical model for predicting shoaling of navigation channel where concentration of suspended sediment in such state is accurately simulated. In this study, effects of channel geometry on the shoaling of the channel are investigated numerically. A composite slope of navigation channel is also proposed to reduce non-equilibrium property of suspended sediment. It is found that the composite slope can effectively reduce non-equilibrium property of suspended sediment and the amount of sediment deposited in the main channel.

1. 서 론

항로매몰은 궁극적으로 항만의 기능을 저하시킬 뿐만 아니라 심지어 항만으로서의 기능을 상실하게 하는 극한상황까지 초래함에 따라 사회적인 측면은 물론 항만유지관리상에 있어서 막대한 투자가 요구되는 경제적인 측면에까지 커다란 문제가 된다. 따라서 항만유지관리계획의 일환으로서 항로매몰량을 예측하는 수법을 확립하여 항상 항로의 계획수심을 유지관리할 수 있는 항로매몰 방지대책을 수립해야 할 필요가 있다.

항로매몰의 주요기구로서는, 항로를 횡단하는 표사이동의 비평형성(표사량 Flux의 공간적 감쇠)를 거론할 수 있다. 주변해역의 저질이 입경이 비교적 작은 모래로서 구성되어 있는 항로에 있어서 동일방향으로 진행되는 파랑과 흐름(조류, 해빈류 등)이 항로를 직각으로 횡단하는 경우, 항로경사면과 같은 수심급변부에서는 수심의 증감 및 저부전단력의 증감으로 인하여 표사이동의 비평형성이 크게 나타난다. 이러한 비평형성의 표사이동으로 인하여 항로상류부의 경사부에서는 항로내로 유입한 표사의 침강으로 퇴적현상 즉 항로매몰이 발생하게 되며, 한편 항로하류

*경상대학교 해양토목공학과 (Department of Ocean Civil Engineering, Gyeong-Sang National University, Tong Yeong, Korea)

**관동대학교 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Kwan-Dong University, Kangrung, Korea)

***시립인천 전문대학 토목공학과 (Department of Civil Engineering, Inchon City Junior College)

부의 경사부분에서는 침식현상이 나타나게 된다. 최근 항로매몰의 방지대책으로서, 항만외곽시설(잠제, 방파제, 방사제 등)의 배치를 이용하여 표사이동방향 및 표사량을 제어하는 공법 또는 항로어깨부에 잠제를 설치하여 항내로 진입하는 표사를 제어함으로써 항로매몰을 방지하는 공법등이 보고되고 있으나 유지준설을 병용해야 하는 문제점을 안고 있다. 특히 후자의 경우에 있어서는 잠제를 설치한 항로어깨부가 퇴적사로 포화되는 경우, 퇴적사에 대한 준설작업이 요구되며, 준설작업시 잠제와 같은 구조물의 존재로 인하여 작업의 난이성이 초래되는 문제점을 안고 있어 실용화에 이르지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 구조물을 이용하지 않는 매몰방지 대책으로서 항로경사면에 복단면을 설치하는 공법을 제안한다. 이 공법은 항로경사부에 계단식의 복단면을 설치함으로써 단면형상에 따른 수심변화와 표사이동의 비평형성을 완화시킴으로써 항로내에서의 매몰저감효과를 기대하는 것이다. 또한 이 방법은, 우선 구조물이 없는 까닭에 준설이 용이하며 준설작업시에도 항로의 교통에 지장을 주지않는 이점이 있다.

중래부터 부유표사 이동의 비평형성을 고려한 항로매몰의 수치예측법이 몇가지 제안되어 있으나 비평형상태의 부유표사 농도분포에 대해서는 근사적으로 취급하고 있는 실정이다. Bijker(1985)는 부유표사의 부상, 이류, 침강과정을 무시하고 있으며 菫木 등(1985)은 단면평균농도를 이용하여 부유표사의 침강 Flux를 산정하기 때문에 침강 Flux를 과소평가할 가능성이 있다. 그리고 Rijn(1986)은 표사이동에 있어서 수평방향의 확산을 무시하고 있으며, 入江 등(1985)은 연직방향을 여러층으로 분리한 후, 최하층의 단면평균농도를 침강 Flux의 기준점농도로서 채용하고 있는 까닭에 많은 실험상수가 요구되는 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 비정상 이송확산 방정식의 고정도 수치계산법을 이용하여 부유표사의 비평형성을 고려할 수 있도록 개발한 항로매몰 예측법의 적용가능성에 대하여 2차원 이동상 모형실험을 통하여 검증한다. 그리고 현지의 model 항로를 상정, 현지에서 발생하는 매몰현상을 재현하기 위하여 각종의 수리조건을 적용하여 수치계산에 의한 항로매몰현상을 예측한다. 예측결과에서 매몰량이 가장 크게 나타나는 model 항로를 검토대상으로 선정, 각종의 복단면형상을 적

용하여 항로매몰 제어효과에 대한 비교검토와 더불어 항로매몰량이 최소로 되는 복단면 형상의 결정법에 대하여 검토한다.

2. 부유표사의 비평형성을 고려한 항로매몰예측법의 적용성

2.1 항로매몰예측법의 개요

항로매몰에 관한 수치계산법은, 이미 저자들에 의하여 개발되어 있는 모델로서 부유표사의 비평형성에 기인하는 지형변화의 예측모델을 이용하였다. 부유표사에 의한 지형변형은 저질의 부상 Flux P , 침강 Flux Q 그리고 저질의 간극을 λ 를 이용, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-\lambda}(Q-P) \quad (1)$$

따라서 부유표사에 의한 지형변화는 저질의 부상·침강 Flux에 지배되고 있으며, 부상·침강 Flux의 불균형으로 인하여 부유표사농도의 비평형성이 나타나는 영역(수심급변부, 구조물주변 등)에서는 지형변화가 발생하게 된다. 이러한 부유표사의 비정상성과 비평형성에 대해서는 식 (2)의 비정상 이송확산 방정식에 기반을 둔 고정도 수치계산법을 이용하여 해석할 수 있다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_s \frac{\partial c}{\partial x} - \omega_f \frac{\partial c}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + K_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (2)$$

여기서 c 는 부유표사농도, U_s 는 부유표사의 수송속도, ω_f 는 부유표사의 침강속도, K_x 및 K_z 는 각각 연직 및 수평방향의 부유표사의 확산계수이다.

수치계산은 차분법을 이용하였으며, 이송방정식은 6점법, 확산방정식은 5점법을 이용하여 차분화한 후, 연산자 분리방법(split operator approach)에 의해 계산하였다. 부유표사의 수송속도는 유체속도와 동일하게, 유속의 연직분포는 대수법칙을 가정하여 단면평균유속으로부터 산정하였다. 단면평균유속은 연속방정식 그리고 흐름의 영향을 고려한 radiation stress 항을 포함하는 운동방정식을 2-step Lax-Wendroff법으로 차분화하여 산정하였다.

한편 소류표사는 부유표사와는 달리 부상높이가 높지않기 때문에 소류표사의 비평형성이 지형변화에

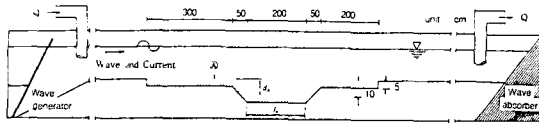


Fig. 1. A schematic of testing equipment.

미치는 영향은 그다지 크지 않다고 판단된다. 더욱이 소류표사의 비평형성이 어느 정도의 공간 scale에서 나타나는가 하는 점을 포함하여 거의 밝혀진 바가 없는 것이 현실적이다. 따라서 소류표사량 Flux는 Sawaragi(1995)에 의해 제안되어 있는 다음식을 이용하여 산정하였다.

$$Q_b = 47\sigma n d_{50}^2 (S - S_c)^{1.5} U / U_b \quad (6)$$

$$S = \rho U_{cr}^2 / ((\rho_s - \rho) g d_{50}) \quad (7)$$

$$S_c = \rho U_{cr}^2 / ((\rho_s - \tau) g d_{50}) \quad (8)$$

여기서, U_{cr} 는 岩垣(1987)의 식에 의한 저질의 이동한계마찰속도이다.

2.2 항로매몰에 관한 이동상 모형실험 및 방법

이동상 모형실험은 Fig. 1에 나타난 2차원 조파수조를 이용하여 수조중앙부에 폭 l_e , 수심 d_e 를 갖는 모형항로를 설치한 후, 동일방향으로 진행되는 파랑과 흐름이 항로를 직각으로 횡단하는 경우를 상정하여 매물현상을 재현하였다. 모형항로의 상류측에는 평형상태의 부유표사 농도분포를 나타내기 위하여 3 m 구간의 이동상을 설치하였으며, 실험과정에서 발생하는 이동상구간에서의 침식현상을 방지하기 위하여 이동상의 상류단에서 계속적으로 실험사를 공급하였다.

이동상 모형실험에서 사용한 실험파는 규칙파로서 주기와 파고는 1.5 sec, 7 cm이며, 흐름은 단면평균유속이 19.4 cm/sec와 18.8 cm/sec의 2종류를 사용하였다. 항로형상에 있어서 항로경사는 1/5로 일정하게, 항로폭과 항로수심은 200 cm와 10 cm 그리고 200 cm와 16 cm의 2종류를 대상으로 하였다.

부유표사 농도의 측정은 종래부터 실험실 뿐만 아니라 현지관측에 있어서도 높은 실효성을 갖고 있는 Syphon식 채수방법을 이용, 사련의 crest 위에서 연직방향으로 8지점에서 동시측정(측정지점간의 간격은 1 cm, 측정정도는 약 30 ppm)하였다. 평형상태의 부

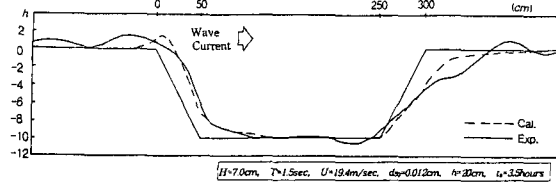


Fig. 2(a). Applicability of a method for prediction of navigation channel shoaling.

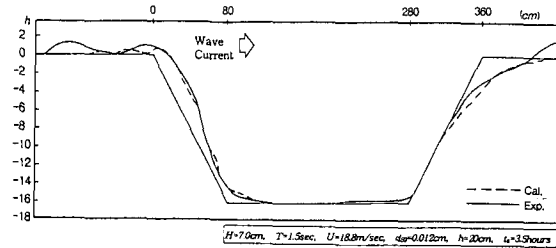


Fig. 2(b). Applicability of a method for prediction of navigation channel shoaling.

유표사 농도분포는 항로 입구부로부터 약 60 cm의 상류지점 A에서 측정하였으며, 지형변화의 측정은 조파개시시간으로부터 약 3.5시간 후, 저항식 사면계를 이용하여 측정하였다. 실험에 사용한 모래는 중앙입경이 0.012 cm이며 침강속도는 1.16 cm/sec이었다.

2.3 예측법에 의한 항로매몰의 재현성

항로 주변에서 나타나는 비평형상태의 부유표사 농도분포는 저자들에 의하여 확인된 바와 같이 본 연구의 수치해석법으로서 예측이 가능하다. Fig. 2(a), (b)는 항로폭, 항로수심 및 단면평균유속이 각각 $l_e=200 \text{ cm}^4$, $d_e=10 \text{ cm}$, $U=19.4 \text{ cm/sec}$ 그리고 $l_e=200 \text{ cm}$, $d_e=16 \text{ cm}$, $U=18.4 \text{ cm/sec}$ 의 case로서 2 case 공히 조파시간 $t_s=3.5 \text{ hour}$ 후의 항로단면형상에 대한 실험결과와 계산결과와의 비교를 나타낸 것이다. 실험결과와 계산결과를 비교해 볼 때, 정성적인 면과 정량적인 면에서 거의 일치하고 있음을 알 수 있으며, 항로매물현상의 예측에 있어서 본 연구의 예측법의 적용가능성을 확인할 수 있다.

Fig. 2(a), (b)에서 알 수 있듯이 표사이동의 비평형성은 항로내에 있어서 하류쪽으로는 그다지 영향을 미치지 못하며, 매물현상은 항로어깨로부터 항로내 약 50 cm 정도 거리까지의 범위, 주로 표사이동의

비평형성이 강한 항로경사면에서 나타나고 있다. 그리고 항로내의 하류측($x > 50$ cm)에 있어서는 표사이동의 비평형성이 소멸됨과 더불어 표사이동이 새로운 평형상태에 도달되었기 때문에 매물현상이 일어나지 않는 것으로 판단된다.

따라서 상기조건의 이동상 모형실험에서 나타난 결과에서는 주로 항로경사면에서만 매물현상이 나타났으며, 보다 강한 표사이동의 비평형성과 그러한 비평형성이 항로내의 하류쪽까지 영향을 미칠 수 있는 수리조건으로서의 실험적 검토가 요구되었으나, 조파기의 성능과 실험장치의 한계성 등으로 인하여 검토할 수 없었다.

3. 현지 Scale의 Model 항로에 있어서 항로매물에 미치는 요인

3.1 Model 항로의 형상과 상황설정

항로의 model 설정에 있어서는, 조류와 파랑의 영향을 동시에 받고 있는 중규모 항만에 위치하는 항외항로를 대상으로 하여 1만톤급의 표준선형을 갖는 화물선용 항로의 매물에 대하여 검토한다. 1만톤급 화물선의 표준선장, 선폭 및 만재흘수는 각각 144 m, 23.4 m, 8.2 m이다. 이러한 선박의 운항을 위한 항로의 제원으로서 항로수심($h + d_e$)은 만재흘수보다 약 1.0 m ~ 2.5 m 정도의 여유수심을 갖도록, 그리고 항로폭(l_e)은 통상적으로 표준선장의 1배 ~ 1.5배 정도의 길이로서 결정되고 있다.

따라서 본 연구에서는 항로수심 10 m, 항로폭 150 m의 항로를 표준형으로 하며, Table 1에 나타낸 바과 같이 항로 접근 부분의 수심(h)과 항로폭(l_e)을 변화시킨 4 case 그리고 저질입경(d_{50})를 변화시킨 1 case, 합계 5 case의 model 항로를 대상으로 하여, 동일방향으로 진행되는 파랑과 흐름이 항로를 직각으로 횡

단하는 경우의 항로매물현상에 대하여 검토하였다. 파랑조건으로는 파고 1 m, 주기 0.6 sec로, 흐름조건은 조류를 상정하여 단면 평균유속을 0.4 m/sec로 결정하였다.

Table 1에 나타낸 5 case는, 대부분의 영역에 있어서 $U/U_b > 1.0$ (U : 단면평균유속, U_b : 파랑에 의한 저부의 물입자 속도진폭)으로서 파랑에 의한 중단표사량 보다도 평균류에 의한 표사수송량이 탁월한 경우이며, 이러한 5 case에 대하여 본 연구의 예측법을 적용, 항로 매물량을 산정하였다.

3.2 항로매물에 미치는 항로제원의 영향

Fig. 3(a)~(e)는 Table 1에 나타낸 5 case에 있어서 조파시간 $t_s = 4$ 시간 동안에 일어난 수심변화량(Δh)를 나타낸 것이다. Fig. 3(a)~(e)의 하단에는 항로의 단면형상을 나타냈으며 ΔA 는 항로내에서 일어난 수심변화량을 이용하여 산정한 항로 단위길이당의 연간 매물량($m^3/m/year$)이다.

(1) 항로폭의 영향

항로폭(l_e)을 150 m, 130 m로 계산한 결과를 Fig. 3(a), (b)에 나타냈다. Fig. 3(a), (b)에서 알 수 있듯이 항로폭이외의 조건이 동일하며 표사이동의 비평형성이 하류측의 항로경사면까지 영향을 미치지 못하는 경우, 항로폭을 다소 길게 확장하여도 항로매물현상에 미치는 영향은 거의 없다. 이것은 항로 접근 부분 및 항로내 하류측에서의 표사이동이 이미 평형상태에 도달한 때문이며, 이러한 경우에 있어서는 항로폭의 길이와 관련하는 표사량 Flux의 변화는 일어나지 않는다. 따라서 항로매물량은 항로 접근 부분의 표사량 Flux와 항로내 저면의 표사량 Flux와의 차이에 의하여 결정되는 것을 알 수 있다.

(2) 저질입경의 영향

Fig. 3(a), (c)는 항로형상, 파랑 그리고 흐름조건이

Table 1. Establishment of shape and situation for modeled navigation channel

CASE	H(m)	T(m/sec)	d_{50} (cm)	l_e (m)	$h + d_e$ (m)	ΔA ($m^3/m/year$)	
a	1.0	6.0	0.4	0.01	140	6+4	20.8
b					130		20.7
c				0.03	150	0.6	
d				0.01		5+5	50.2
e						7+3	12.8

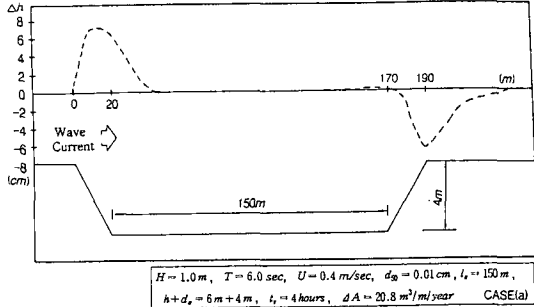


Fig. 3(a). Amount of shoaling occurred in the situ scaled model of navigation channel.

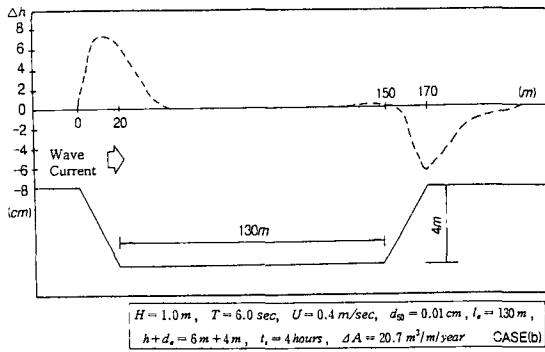


Fig. 3(b). Amount of shoaling occurred in the situ scaled model of navigation channel.

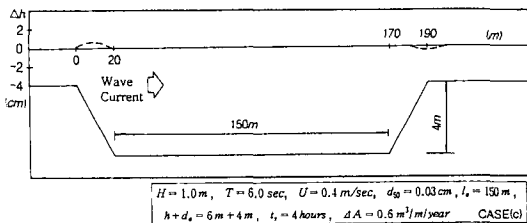


Fig. 3(c). Amount of shoaling occurred in the situ scaled model of navigation channel.

동일한 경우에 있어서 저질입경의 조건($d_{50}=0.01\text{ cm}$, 0.03 cm)을 달리 한 2 case의 계산결과를 나타낸 것이다. 결과를 비교해 볼 때, 저질입경이 0.03 cm 의 case에서는 매물량이 극단적으로 적게 나타난다. 이것은 입경이 0.01 cm 인 저질입자의 침강속도(ω)가 0.9 cm/sec 인 반면에 0.03 cm 의 저질입자는 약 4 cm/sec 의 침강속도로서 0.01 cm 입자의 약 4배이며, 저질입경이 0.03 cm 의 case에 있어서 항로 접근 부분에서의 U_{cw}/ω_f 는 약 1.0 이며, 항로내에서는 0.7 보다 작기 때

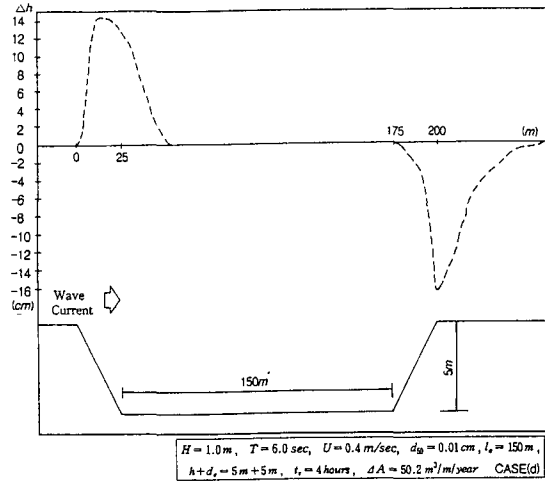


Fig. 3(d). Amount of shoaling occurred in the situ scaled model of navigation channel.

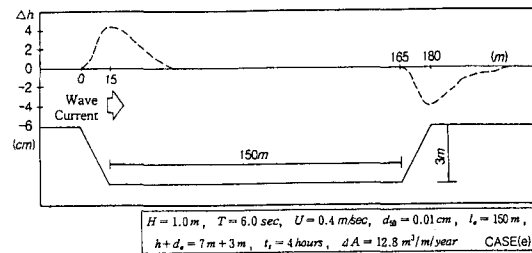


Fig. 3(e). Amount of shoaling occurred in the situ scaled model of navigation channel.

문에 항로전역에 걸쳐서 현저한 저질의 부상이 발생하지 않기 때문이다. 따라서 저질입경이 크고, 내습파랑의 크기가 작기 때문에 저질의 부상이 일어나지 않는 해역에 건설된 항로에서는 항로매몰의 발생위험도가 낮다. 그러나 저질입경이 0.03 cm 의 해안에 있어서도 $U_{cw}/\omega_f > 1.0$ 이 되는 큰 파랑이 내습하는 경우에는 Fig. 3(a)에 나타나는 0.01 cm 의 case와 같은 매몰현상이 발생할 가능성을 배제할 수 없다.

(3) 항로 주변수심의 영향

Fig. 3(d), (e)는 수심(h)이 5 m , 7 m 인 해저에 10 m 의 항로수심($h+d_c$)을 갖는 항로를 건설하는 경우에 있어서 발생하는 수심변화를 나타낸 것이다. 이 2 case의 계산결과와 Fig. 3(a)에서 나타낸 수심(h)이 6 m 인 해저에 건설된, 항로수심($h+d_c$)이 10 m 인 항로에서 일어난 매몰현상을 비교해 보면, 항로 주변의

수심(h)이 증가함에 따라 매몰량이 감소하는 것을 알 수 있다. 즉 Fig. 3(a)에 나타낸 $h/(h+d_c)=6/10$ 의 case에서 일어난 매몰량은 Fig. 3(d)의 $h/(h+d_c)=1/2$ 의 case에서 일어난 매몰량의 약 50%이며, Fig. 3(c)의 $h/(h+d_c)=7/10$ 의 case에서 나타난 매몰량은 Fig. 3(d)의 약 25%로 나타났다.

이상과 같이 5 case에서 나타난 항로매몰현상은 대부분 항로상류측의 항로경사면에서 발생하고 있다. 이것은 저질입경이 크고 또 침강속도가 크기 때문에 항로주변에 있어서의 저질의 부상높이는 대체로 낮고, 또 부상된 저질이 항내로의 진입과 동시에 이송되지 못하고 곧 침강하게 됨으로서 표사량 Flux가 거의 항로경사면에서 감소되기 때문이다.

따라서 본 연구에서 실험대상으로 하는 흐름의 유속에서는, 항로저면의 전구간에서 균등하게 퇴적되는 매몰현상은 볼 수 없었으며, 그러한 매몰현상은 저질입경이 매우 작은 경우(침강속도가 작은 경우) 혹은 상대적으로 파랑과 유속이 매우 큰 경우가 아니면 나타나지 않는다고 판단된다. 그리고 매몰량이 크게 되는 것은 항로내측으로 진입하는 표사량 Flux가 크고 게다가 항로를 횡단하는 동안에 표사량 Flux가 크게 감소하는 즉 표사이동의 비평형성이 매우 강한 경우에 나타나는 것을 알 수 있다.

4. 항로의 복단면화에 따른 매몰저감효과

4.1 항로의 복단면화

앞절에서 언급한 바와 같이 항로주변의 저질입경이 작고, 게다가 높은 파고를 갖는 파랑과 흐름이 존재하는 경우에는 항상 항로매몰이 발생할 가능성이 있다. 특히 매몰량이 크게 나타나는 것은 항로내측으로 진입하는 표사량 Flux가 크고, 또 항로를 횡단하는 동안에 표사량 Flux가 크게 감소하는 즉 표사이동의 비평형성이 강하게 나타나는 경우이다. 종래부터 이러한 항로매몰의 저감방법으로서 항로주변에 방파제 혹은 잠제 등의 대규모 구조물을 설치하여 표사이동의 외력인 파랑과 흐름을 제어함으로써 항로내측으로 진입하는 표사량 Flux를 제어하는 공법이 이용되어 왔다.

본 연구에서는, 항로의 단면형상에 착안하여 항로 내에 있어서 표사량 Flux를 제어하는(표사이동의 비평형성을 완화시키는) 방법에 대하여 고찰한다. 이것

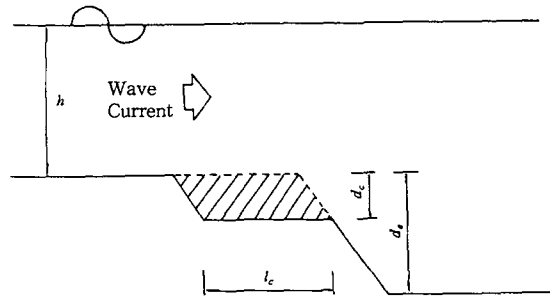


Fig. 4. Composite navigation channel.

은 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 항로경사면을 복단면화하여 수심이 h 에서 $h+d_c$ 로 급변하는 것을 변경, 항로경사면의 중간부분에 완충구간을 설치함으로써 수심이 h 에서 $h+d_c$ 로, 다시 $h+d_c$ 에서 $h+d_c$ 로 변화토록 하여 항로내측으로 진입한 표사량 Flux가 복단면상에서 감소되도록, 즉 표사이동의 비평형성을 완화시키므로써 매몰량을 저감시키는 방법이다.

표사이동의 비평형성이 항로내에서 어느 정도의 범위까지 영향을 미칠 것인가 하는 점에 있어서는, 당연히 저질입경, 평균류의 유속, 내습 파랑의 특성 그리고 항로형상 등에 크게 의존하고 있음은 쉽게 인식할 수 있다. 따라서 복단면의 형상에 있어서도 이러한 요인들의 영향을 받고 있는 점을 감안하여 상황에 부응하는 복단면을 설정할 필요가 있다.

이하에서는, 2종류의 model 항로에 있어서 복단면을 설치한 경우의 매몰저감효과에 대하여 검토한 후, 복단면 형상의 결정법에 대하여 검토한다.

4.2 Model 항로의 상황설정과 복단면형상

Model 항로는 연간 매몰량이 많았던 case (a)와 case (d)의 2종류의 항로를 대상으로 하여 동일한 상황을 설정하였다. 또 case (a)의 model항로에 대해서는 표사이동의 비평형성의 범위에 대하여 영향을 미친다고 생각하는 흐름의 유속을 변화시켜 단면평균유속 $U=0.6$ m/sec의 경우에 대해서도 검토하였다. 복단면의 형상에 있어서는 복단면의 폭을 15 m, 30 m, 45 m, 60 m, 90 m의 5종류로, 복단면의 깊이를 1 m, 2 m, 3 m의 3종류로 변화시켜 계산하였다.

4.3 복단면화에 따른 매몰저감 효과와 복단면 형상의 결정법

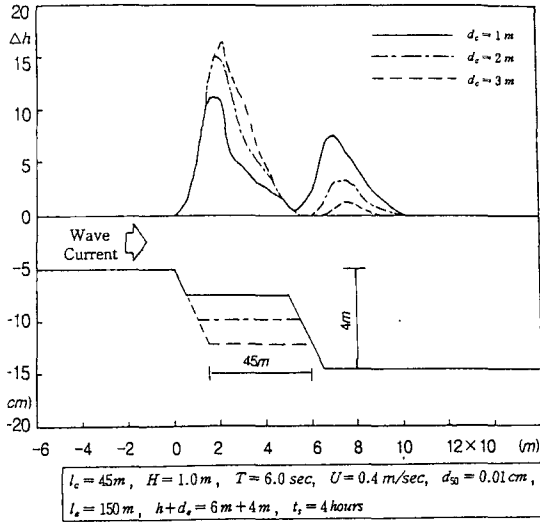


Fig. 5. Amount of change in water depth around the navigation channel with composite channel slope.

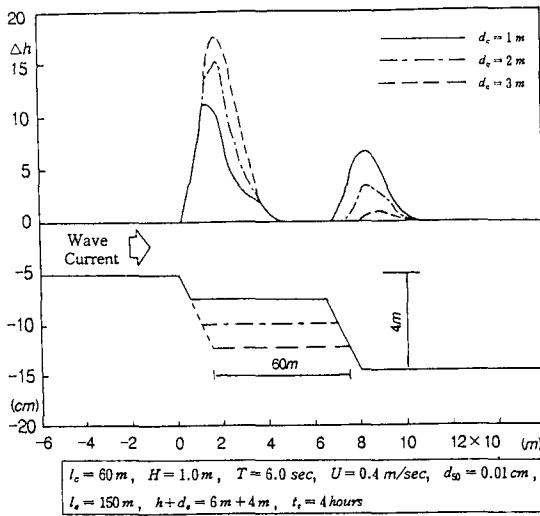


Fig. 6. Amount of change in water depth around the navigation channel with composite channel slope.

Fig. 5, 6은 case (a)와 같은 model 항로에 대하여 복단면의 폭을 45m와 60m, 복단면의 깊이를 1m, 2m, 3m로 설정, 4시간 후에 나타난 항로주변의 수심변화량을 나타낸 것이다. Fig. 5, 6에서 알 수 있듯이 복단면의 깊이가 깊어질수록 항로내에서 퇴적하는 매물량은 적어진다. 이것은 전술한 바와 같이 표사이동이 평형상태에 도달함에 필요한 유하거리와 같은 거리의 항로폭을 갖는 복단면에서는 수심이 깊어질수록 항로내의 수심과 복단면의 수심과의 차이가 작

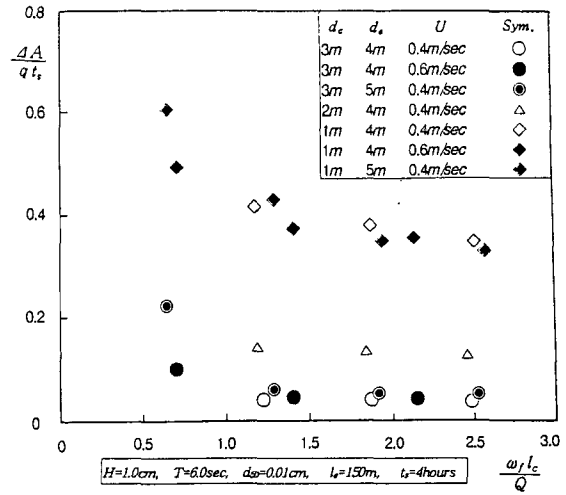


Fig. 7. Effect of shoaling reduction due to composite navigation channel.

아지므로서 표사이동의 비평형성이 약해지기 때문이다.

한편 복단면의 폭에 있어서, 복단면의 깊이가 1m인 경우에는 폭이 긴 형상에서 매물량이 다소 저감되지만, 복단면의 깊이가 깊은 경우에는 복단면의 폭이 길어도 매물량은 거의 변하지 않는다. 이것은 복단면상에서 나타나는 비평형상태의 표사이동이 평형상태에 도달하기 까지에 요구되는 유하거리가 복단면의 깊이와 더불어 달라지므로 깊이가 1m이며 항로폭이 45m의 경우와 같이 표사이동이 평형상태에 도달하지 못한 채 비평형상태로서 항로내측으로 이송되기 때문이다. 복단면의 깊이가 깊은 경우에는 복단면구간 내에서 표사이동이 평형상태에 도달하고 있으므로 복단면의 폭이 45m 이상이 되면, 폭에 관계없이 복단면의 깊이가 같은 항로에서는 매물량이 거의 변하지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 가장 경제적으로 최대의 매물저감효과를 기대하여 복단면을 설계하는 경우, 복단면의 폭에 대해서는 복단면구간내에서 표사이동이 평형상태에 도달할 때까지에 요구되는 최소유하거리로서 결정된다.

마지막으로, 복단면형상의 결정에 있어서 참고자료를 Fig. 7에 나타냈다. Fig. 7은 항로를 복단면화한 전 case에 대해서 복단면폭의 무차원량(횡축)과 항로내에서 퇴적한 매물량의 무차원량(종축)과의 상관관계를 나타낸 것이다. Q는 유량, ΔA는 항로내에서 매물량,

q 는 복단면의 상류측으로부터 유입하는 표사량 Flux, t_s 는 경과시간(4시간)을 나타낸다. Fig. 7에서의 기호는 복단면의 깊이가 각각 1 m, 2 m, 3 m인 경우의 산정 결과를 나타낸 것으로, D, \diamond , \triangle 는 case (a)의 조건, \bullet , \diamond 는 case (d)의 조건의 결과이다. 그리고 \bullet , \blacklozenge 는 case (a)에서 흐름조건만을 달리하여 단면평균유속이 0.6 m/sec 인 경우를 나타낸 것이다.

흐름조건이나 항로의 깊이에 따른 각각의 case에서 복단면의 폭이 길어질 수록 매몰량은 작게 되어 거의 일정치에 접근한다. 이때의 복단면의 폭은, 표사이동이 평형상태에 도달하기 까지에 요구되는 최소유하거리로서 결정되며, $\omega_r \cdot l_c / Q = 0.12$ 이상으로 폭을 길게 하여도 그다지 매몰량은 작아지지 않음을 알 수 있었다. 또 복단면의 깊이에 있어서는 깊어질 수록 항로내에서의 표사이동의 비평형성이 약하게 되므로 매몰량도 감소되지만 복단면의 수심 d_c 가 항로수심 d_c 의 1/2 보다 얕은 편과 1/2 보다 깊은 편을 비교해 볼 때, 복단면의 깊이에 따른 매몰량의 저감율이 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 비정상 이송확산 방정식의 고정도 수치계산법을 이용한 항로매몰 예측법의 적용성을 검토함과 동시에 항로단면의 형상을 복단면화하여 매몰저감효과를 기대하는 항로매몰 저감공법을 제시하고 검증해 보았다.

항로매몰의 재현성에 관한 2차원 이동상 실험에서 나타난 항로매몰의 형상에서는 대부분 항로상류측의 경사면에서 매몰 현상이 나타났으며, 그 매몰량은 부유표사의 비평형성에 크게 좌우되는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 예측법을 적용할 경우 이러한 매몰현상과 매몰량이 비교적 정도높게 예측될 수 있음이 확인되었다. 그리고 현지 항로의 매몰저감공법으로서 복단면공법을 이용하는 경우, 복단면의 설치로 인하여 항로내에서는 표사이동의 비평형성이 약해지며 더불어 매몰량도 감소되는 것을 알 수 있었다.

항로매몰량을 최소화하기 위한 복단면형상의 결정법에 있어서, 복단면의 폭은 복단면 구간내에서 표

사이동이 평형상태에 도달함에 필요한 최소유하거리로서 결정된다. 그리고 이러한 최소유하거리는 복단면 주변의 파랑과 흐름 그리고 저질입경 등의 자연조건에 의해서 결정되며, 또한 복단면의 깊이에 의해서도 크게 좌우된다는 것을 알 수 있다. 복단면의 깊이에 있어서는 깊을수록 항로내에 있어서 표사이동의 비평형성이 약화되며, 더불어 매몰량도 감소됨을 알 수 있었다.

문제점으로는 복단면형상의 결정으로서, 복단면의 폭과 깊이가 현지의 자연조건(파랑의 주기와 파고, 조류의 속도, 수심, 저질입경 등), 특히 표사량 Flux의 감쇠특성 즉 부유표사 이동의 비평형성등에 크게 좌우된다는 점이다.

謝 辭

본 연구는 1993년 교육부 학술진흥재단의 지방대학육성 연구비조성의 지원에 의하여 수행되었기에 재단에 감사의 뜻을 전한다.

참고문헌

- 金圭漢, 出口一郎, 배기성, 1991. 파랑과 흐름이 공존하는 영역에서의 평형 및 비평형 부유사이동특성, 한국해양·해양공학학회지, 3(4), pp. 209-216.
- 榎木 亨, 李宗燮, 出口一郎, 1985. 河口周邊の海浜流及び地形變形モデルに関する研究, 第 32回 海岸工学講演會論文集, pp. 411-415.
- Bijker, E.W., 1980. Sedimentation in channels and trenches, *Proc. 17th Conf. on Coastal Eng.* pp. 1708-1718.
- Van Rijn, L.C., 1986. Sedimentation of dredged channels by current and waves, *Jour., Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.* 112(5), pp. 541-559.
- 入江 功·栗山善昭, 1985. 低質の移流・沈降過程を入れた航路・港内埋没の豫測, 港研報告, 24(2), pp. 157-204.
- 裴基成, 1992. 航路埋没の機構とその豫測手法に関する基礎的研究, 日本大阪大學 博士學位 論文.
- Sawaragi, 1995. *Coastal engineering-Waves: wave-structure interactions*. Developments in Geotechnical Engineering, 78, Elsevier.
- 出口一郎, 1987. 波による低質の浮遊, 第23回水工学に関する夏期研修講義集, B-9.
- 榎木 亨, 出口一郎, 小野正順, 裴基成, 1991. 浮遊漂砂の非平衡性に着目した航路埋没の數値 計算法について, 海洋開發論文集, 7, pp. 295-300.