

소규모 항만의 퇴사기구에 관한 연구

A Study of Siltation in a Small Harbor

윤성진* / 김규한**

Yoon, Seong Jin / Kim, Kyu Han

Abstract

Since a small harbor is often located near surf zone areas which have great influences of sediment transport, there is a great possibility that the sediment will be deposited inside of the harbor. The sediment transport occurring around the harbor entrance can't be explained by the wind wave and wave induced current. In this study, it was investigated the mechanism of the entrainment of sediment into a small harbor with permeable breakwater using hydraulic experiments in 3D wave basin. It is found out that the significant sediment entrainment produced when the mode of oscillation in the harbor became the 1st mode. In the case where the incident wave period was shorter than the period that caused higher mode oscillation in harbor, only a little amount of sediment entrainment took place. The vortex shedding from the top of secondary breakwater played very important roll in the entrainment of sediment into the harbor. It is also found that the small jetty attached at the top of secondary breakwater could effectively prevent the entrainment of sediment into the harbor.

keywords : Sediment transport, Permeable breakwater, Mode of oscillation, Vortex shedding, Secondary breakwater

요 지

소규모 항만은 주로 쇄파대 근방에 건설되는 경우가 많기 때문에 표사이동에 의한 퇴적영향에 의해 항내매물이 발생될 가능성이 크다. 본 연구에서는 평면수조를 이용한 수리모형실험을 통해, 투과형방파제를 적절히 설치할 경우에 있어서의 소규모 항만의 항입구부 및 항내로의 표사이동에 대한 메카니즘을 파악하고자 하였다. 우선, 항내의 진동이 1차 모드일 때 표사이동이 증가되는 것을 실험적으로 확인하였다. 또한, 입사파의 주기가 단주기일 경우에는 항내의 진동이 고차 모드가 되고, 항내측으로의 표사이동은 감소되는 경향을 나타내었다. 부(副)방파제 선단에서 발생되는 와류가 항내로의 표사이동의 주된 원인인 것을 확인할 수 있었고, 부방파제 선단 외측에 소돌제를 설치함으로써 와류를 감소시켜 항내로의 표사이동을 억제하는 효과가 있는 것을 확인하였다.

핵심용어 : 표사이동, 투과형방파제, 진동모드, 와류, 부방파제

* 관동대학교 첨단해양공간개발연구센터 선임연구원

Senior Researcher, Research Center for Marine Environment Development & Technology, Kwandong University, Gangwon, 210-701, Korea
(e-mail: yoonsj@kd.ac.kr)

** 관동대학교 공과대학 토목공학과 교수

Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Kwandong University, Gangwon, 210-701, Korea
(e-mail: kkhkim@kd.ac.kr)

1. 서론

천해역의 장주기파는 해안항만공학상의 각종 문제와 관련되어 있다. 예를 들어, 계류선박의 장주기동요, 계류선의 절단, 하역작업의 중단을 발생시키는 등의 피해를 들 수 있다. 또한, 항로 또는 박지가 매몰되어 항로 수심의 확보가 불가능하거나 선박의 안전과 원활한 항행에 방해가 되는 문제도 발생하고 있다. 특히, 중소규모항만은 고파랑시에 쇄파대내에 위치하게 되어 표사이동이 극심해지고, 항내에 퇴적이 발생할 가능성도 높아진다. 이러한 항입구부에서의 표사이동은 풍파, 해빈류 등으로는 설명할 수 없는 부분이 있으며, 그 중 한가지 원인으로서는, 장주기유속변동에 기인한 방파제 선단에서 형성되는 와류에 의해 저질이 부유되고, 수립자궤도진폭이 긴 장주기파에 의해서 항내로 수송·침강되는 메카니즘을 들 수 있다(Matsumoto et al., 1993).

항입구부에서 항내로 저질이 수송되어 발생하는 항내퇴적 문제는 입사파랑과 항만·항입구부의 형상에 의해서 결정되는 항만주변의 유체운동이 크게 관여되고 있다. 본 연구에서는 이러한 항내퇴적을 제어하는 방법으로서, 투과형방파제를 이용하여 항내진동을 변화시키는 방법과 항입구부 형상을 변경하여 방파제 선단에서 발생하는 와류를 제어하는 두 가지 방법의 유효성에 대하여 실험적으로 검토하였다.

2. 실험의 개요

본 연구에서는 항만모형을 이용한 수리모형실험을 통하여 장주기파가 내습할 경우, 방파제 선단에서 와류가 형성되고, 이에 의해서 발생하는 장주기유속성분에 기인한 항내로의 표사이동과 퇴적 메카니즘 및 그 제어 방법에 대하여 실험적으로 검토하였다.

2.1 실험장치

Fig. 1에 나타난 바와 같이 13m×10m의 평면수조에 항만모형을 배치하였다. 파의 입사각은 20° 이고, 방파제 전면부근부터 항만측으로 1/10 경사이며, 경사부분 위에 항만모형을 배치하였다. 수심은 심해측에서는 35cm, 항입구부에서 20cm이며, 반사파를 저감시키기 위하여 방파제 전면에 소파블록을 설치하였다. Fig. 2에는 항만모형과 계측기기의 배치를 나타내었으며, 항만모형은 현지의 1/50 스케일을 상정하고 있다. 항만의 양측면에는 투과형방파제를 배치하였으며 투과부의 유무 및 항입구부의 형상을 변경하는 방법을 이용하여, 부방파제 선단에서 발생하는 와류에 의해 부유되는 표사이동의

영향을 검토하는 실험을 수행하였다. 파고측정은 용량식파고계를 이용하여, 항외에 3점, 항입구부에 1점, 항내에 3점을, 유속측정에는 2성분의 전자유속계를 이용하여 항입구에 1점, 항내에 1점을 측정하였다.

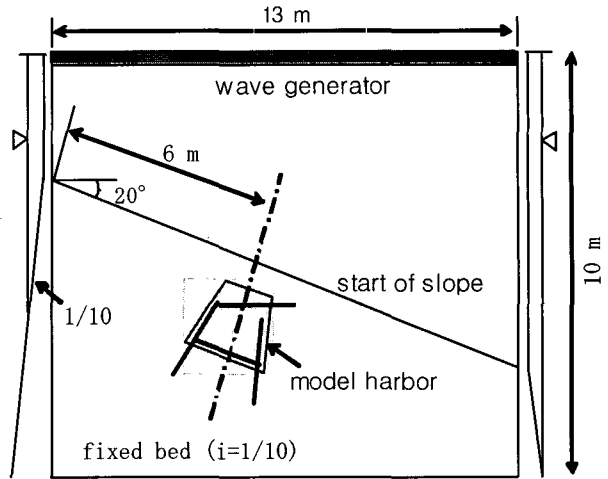


Fig. 1. Experimental setup

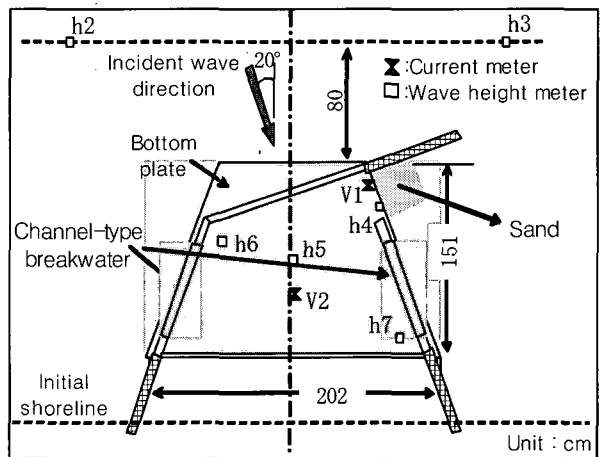


Fig. 2. Model harbor

Fig. 3에는 투과형방파제의 모형을 나타내었으며, 한 개의 방파제 모형은 4개의 블록으로 구성된다. 투과부의 높이는 1cm간격으로 1~5cm까지 조정할 수 있도록 하였으며, 투과부를 열면 투과제가 되고 투과부를 닫으면 불투과제가 되도록 제작하였다(Morita et al., 2002).

2.2 실험의 조건과 순서

실험에 앞서, Lee (1971)의 이론을 이용하여 항내의 파고분포에 대한 개략적인 계산을 수행하였다. 그 결과, 항내진동 모드는 입사파의 주기 3.5sec 이상은 0~1차 모드, 3.0초 이하는 2차 이상의 고차 모드가 되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 실험파는 항내진동 모드가 퇴적에 미치는 영향을 알아보기 위하여 주기 1.5~5.0초의

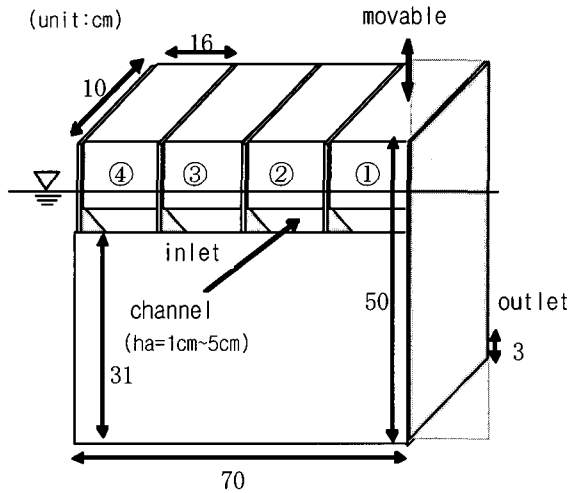


Fig. 3. Model of the breakwater block

범위로 설정하였다. 또한, 통상은 단주기파에 의한 저질의 부상과 장주기파에 의해 항내로 수송되는 메카니즘도 고려하여, 주기 0.8초의 단주기파와 주기 2.0~5.0초의 파를 중첩시킨 2성분파(진폭비는 1)에 의한 실험(Deguchi et al., 1994)도 수행하였다.

항입구부의 배치형상은 Fig. 4에 나타내는 바와 같이 4가지 형상에 대하여 검토하였다. 즉, Type-1은 기본형상, Type-2는 Type-1에 와류를 저감시키는 방지대책으로서 부방파제에 돌체(20cm)를 설치, Type-3은 기본형상에서 주방파제를 40cm 연장한 경우, Type-4는 Type-3의 형상에 돌체(20cm)를 설치하였다. 또한, 항내 진동 모드의 변화를 검토하기 위하여, 투과부를 설치한 경우와 미설치한 경우(투과제와 불투과제)로 나누어 실험을 수행하였다.

실험의 순서는 다음과 같다. ①항입구부에 표준사($d_{50}=0.1\text{mm}$)를 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 항입구부에 1cm두께로 피복한다. ②평면수조가 정온해진 후 조파

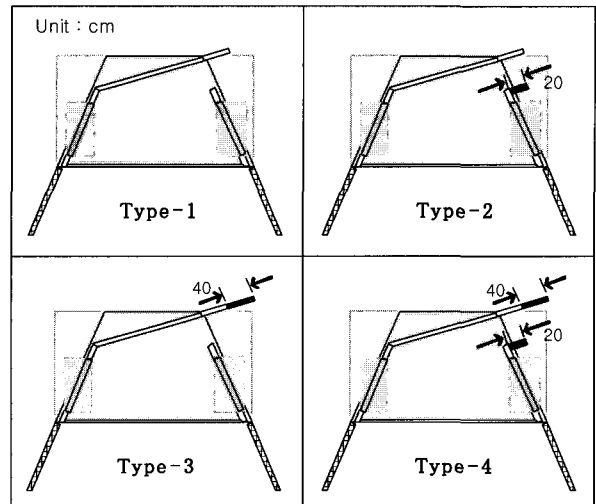


Fig. 4. Types of the model harbor

를 시작하고, 항내 및 항만 주변의 파고와 유속을 측정한다. ③조파시작 10분 후에 조파를 정지하고 저질의 이동상황을 촬영하고, 기준선으로부터 항내로 유입된 모래를 채취한다.

조파시간은 모든 케이스에 대하여 10분으로 하였으며, 실험에서 채취한 모래의 중량은 노건조시킨 중량을 이용하였다. 또한, 항입구부 주변의 유황에 대해서는 추적자(tracer)를 투입하고 추적자의 움직임을 비디오로 촬영하여 영상해석하는 방법을 이용하였다.

3. 실험결과

3.1 파고측정 결과

Fig. 5에 항입구부(h4)의 파고결과를 나타내었다. 횡축은 파의 주기, 종축은 입사파고로 무차원화한 파고비이며, Type-2와 Type-3의 경우는 2성분파의 결과도 추가적으로 나타내었다. 파고의 변화를 보면, 주방파제

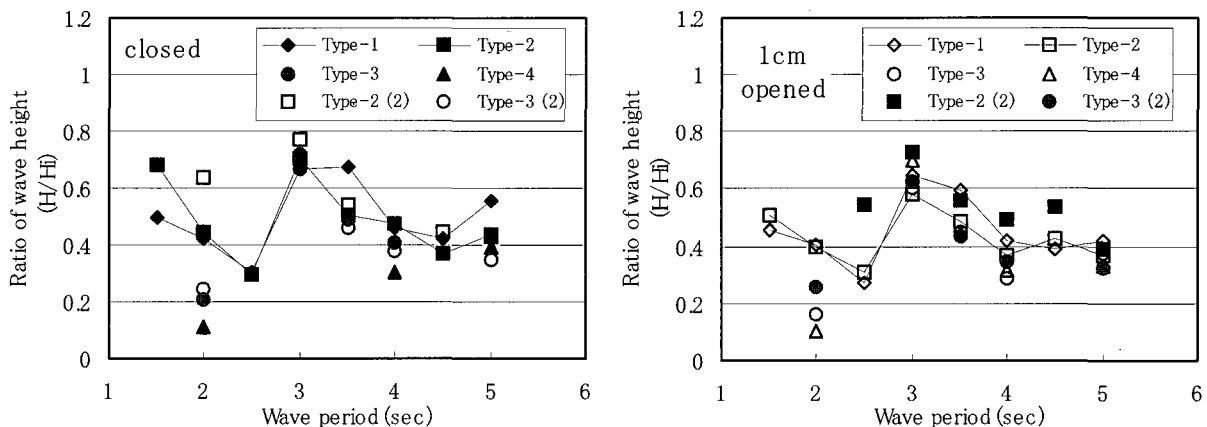


Fig. 5. Results of wave height

를 연장한 경우인 Type-3과 Type-4는 Type-1과 Type-2에 비하여 주기 2.0초 부근에서 작아진다. 이것으로부터 주방과제를 연장함으로써 단주기파에서는 효과가 있는 것을 알 수 있다. 또한, 투과부의 유무(투과제와 불투과제)에 의한 파고변화는 미소한 것으로 판단된다.

Fig. 6에는 방과제 전체를 불투과제로 하였을 경우 ($h_a=0$)와, 투과부의 높이를 1~3cm($h_a=1 \sim h_a=3$)로 변화시켜서 방과제의 일부를 투과제로 하였을 경우의 항내의 파고변화를 나타낸다. 횡축은 투과부의 높이(h_a , unit=cm), 종축은 파고비이며, 예상되는 바와 같이 투과부의 개구율이 증가될수록 항내의 파고변화도 비례적으로 증가되는 경향을 나타내었다.

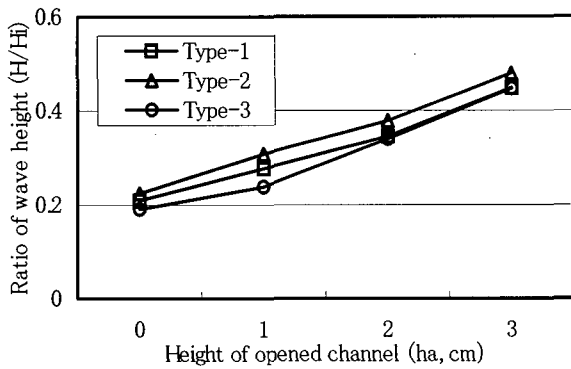
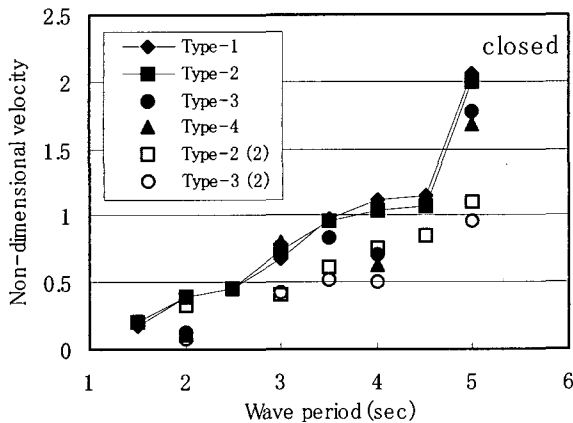


Fig. 6. Results of wave height

3.2 유속측정 결과

Fig. 7은 항입구부에서의 유속진폭을 나타낸 것이다. 횡축은 파의 주기, 종축은 항입구부에서 측정된 유속과 형의 진폭의 평균치를 나타내며, 이 값은 항입구부에서 측정된 파고에 의해서 계산된 수립자속도로 무차원화한



값이다. Type-2(2)와 Type-3(2)의 경우는 2성분파의 결과를 나타낸다.

결과를 보면, 주기 2.0초 및 4.0초 부근에서 주방과제의 길이에 의한 유속진폭의 변화는 보이지만, 주방과제의 길이가 동일하면 부방과제의 소돌제 설치 및 투과부 설치에 의한 유속의 변화는 거의 보이지 않았다.

Fig. 8에는 파의 주기가 3.5초인 경우에, 투과부의 개구율 증가에 따른 항입구부에서의 유속진폭을 나타내었다. 유속의 방향은 정(+)의 경우가 항내로의 유입방향, 부(-)의 경우가 항외로의 유출방향을 나타내며, 횡축은 투과부의 높이(h_a , unit=cm), 종축은 무차원화한 유속과 형의 평균치이다.

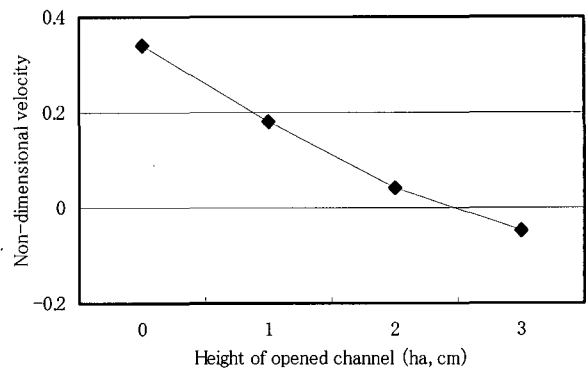


Fig. 8. Results of velocity

불투과제($h_a=0$)일 경우의 유속이 가장 크고, 항내로 유입되는 방향이었다. 투과제($h_a=1 \sim 3$)일 경우, 투과부의 개구율이 증가함에 따라 유속은 감소하였다. 3cm의 경우 유속은 항내로부터 항외로 유출하는 방향을 나타내고 있다. 이것은 투과부로부터 유입된 유량에 의해 항만의 내측과 항입구부와 수위차가 발생하고, 이에 의해 평균류의 방향이 변화된다고 생각한다.

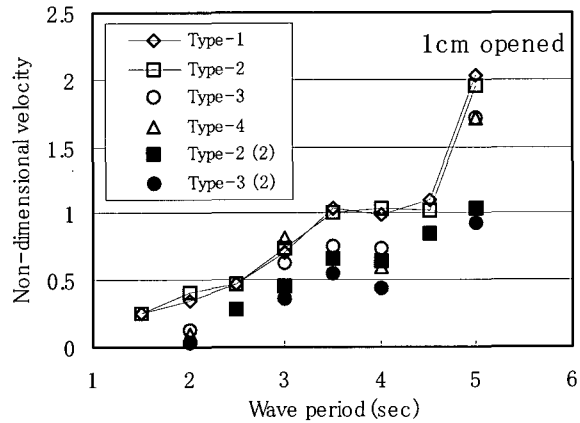


Fig. 7. Results of velocity amplitude

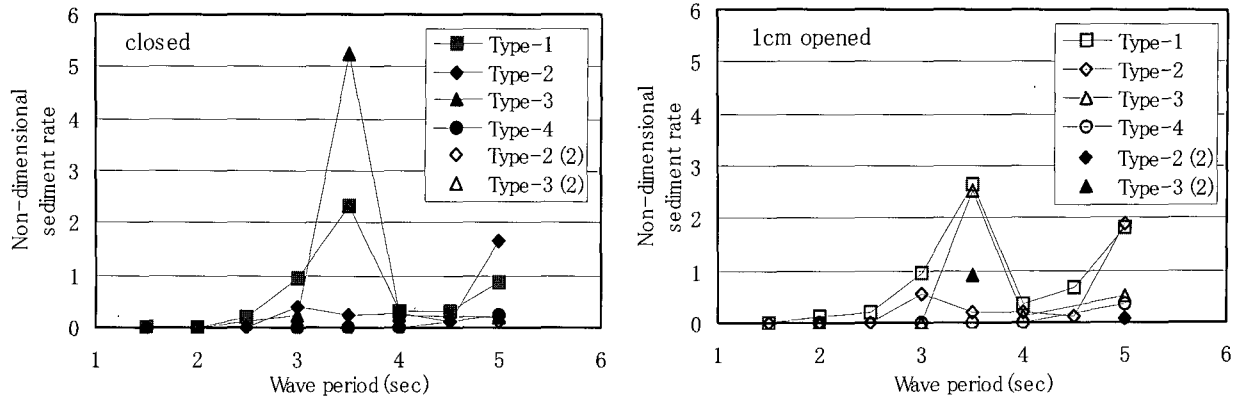


Fig. 9. Variation of sediment rate

3.3 유입표사량

Fig. 9에는 각각의 항만형상에 대하여 투과부 설치여부에 따른 무차원 유입표사량과 입사파의 주기와와의 상관관계를 나타내었다. 횡축은 입사파의 주기, 종축은 항내로 유입된 모래의 노건조중량을 표사량으로 변환하여 무차원화한 값이며 Eq. (1)과 같이 나타내었다. Type-2와 Type-3의 경우는 2성분파의 결과도 추가적으로 나타내었다.

$$Q = \frac{Q}{(\rho_s \times g) \cdot (u_s \times \Delta t \times \Delta A)} \quad (1)$$

여기서, Q : 유입된 모래의 노건조중량(g), ρ_s : 모래의 단위중량, g : 중력가속도, u_s : 항입구부에서 측정된 파고를 이용하여 계산한 수립자속도, Δt : 조파시간, ΔA : 항입구부의 단면적이다.

Type-1 및 Type-3의 경우는 입사파의 주기가 3.5초일 경우에 극대치를 취한다. 이 경우의 비디오 화상 해석 결과에 의하면 부방파제의 선단부근에서 큰 와류가 형성되었다. 또한, 항외 및 항입구부에서 부유된 저질이 항내로 수송되어, 침강·퇴적되는 경향을 확인하였다. 주방파제를 연장한 경우는 회절효과에 의해 와류가 조장되어 더욱 대량의 저질이 항내에 퇴적되는 결과를 보였다. Type-3의 주기 3.5초의 경우, 투과부의 높이 $h_a=1\text{cm}$ 로 한 경우에 항내표사량이 1/2 정도로 저감된 것을 알 수 있다. 주기 3.5초 이외의 케이스에서는 투과부 유무에 의한 현저한 효과는 보이지 않는다. 소돌제를 설치한 케이스인 Type-2 및 Type-4의 경우, 소돌제 설치에 의한 와류의 저감효과가 큰 것을 알 수 있다.

3.4 항입구부에서의 유향

유향은 항입구부 주변을 측정하였다. 항내퇴적에 미치는 소돌제 설치의 영향과 주기 3.5초일 경우에 선택적으로 발생한 유입표사량 저감효과의 원인을 명확히 하기 위하여 수행하였다.

유향측정은 표사이동의 원인이 된다고 판단되는 와류의 패턴을 알아보려고 하였으며, 대표적인 추적자의 움직임으로서 나타내었다. 각 그림의 우측상단에 있는 파형은 항입구부에서 측정된 유속파형을 나타내고 항외로부터 항내방향을 정(+)으로 하였으며 추적자의 움직임의 시점(○)과 종점(●)의 위치를 나타내었다. 또한, 그림중의 유속값은 추적자 움직임의 시점으로부터 종점까지의 평균유속을 나타낸다.

Fig. 10은, Type-3의 유향을 나타낸다. 추적자의 화상결과로부터 파의 주기가 길어짐에 따라서 추적자의 이동범위도 넓어지고, 항입구부 주변의 표사이동도 극심해지는 것을 확인하였다. 또한, 주기가 3.5초일 때의 흐름패턴이 다른 주기의 패턴과 비교하여 명확히 다른 것도 확인하였다. 즉, 주기가 3.5초일 경우에는 항입구부에서의 수립자운동의 위상이 항내로부터 항외로 향할 때 부방파제의 외측에서 큰 와류가 형성되어 수립자운동의 위상이 반대가 되었을 때 그 와류에 의해 표사가 항내로 수송된다. 다른 주기의 경우에는 부방파제의 외측에서 형성되는 와류가 작거나(주기 3.0초 이하), 와류가 형성되어도 위상이 반대가 되기 때문에 흐름이 항내까지 수송되지 않는다(주기 4.0초 이상). 이와 같은 경향은 Fig. 11에 나타내는 Type-1의 경우에서도 마찬가지로 지이다. 이 결과로부터, 본 연구에서 사용한 항만모형의 경우는; 주기 3.5초일 때에 특수한 흐름이 발생되어 다량의 표사이동의 원인이 된다고 생각한다.

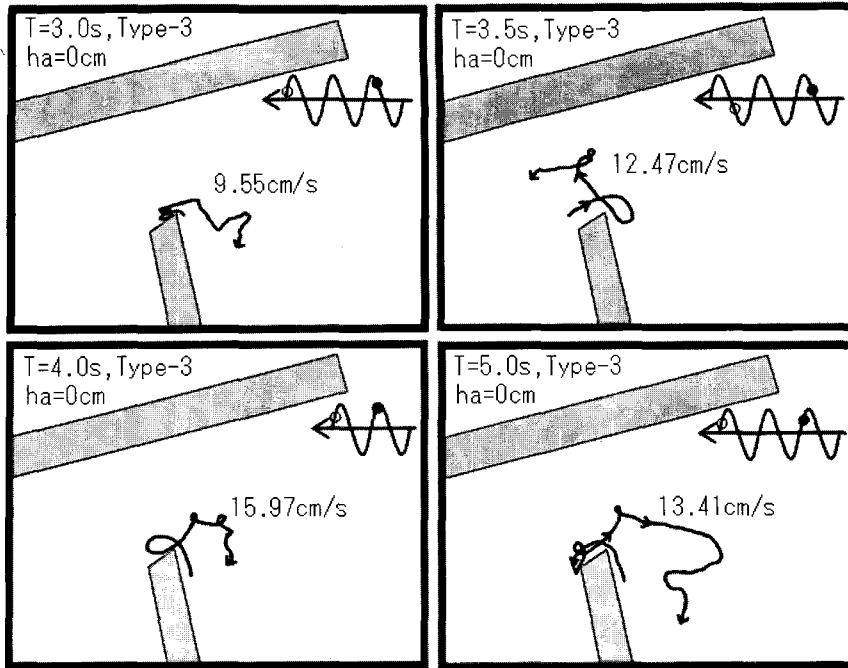


Fig. 10. Flow pattern by tracer (Type-3, T=3.0~5.0sec)

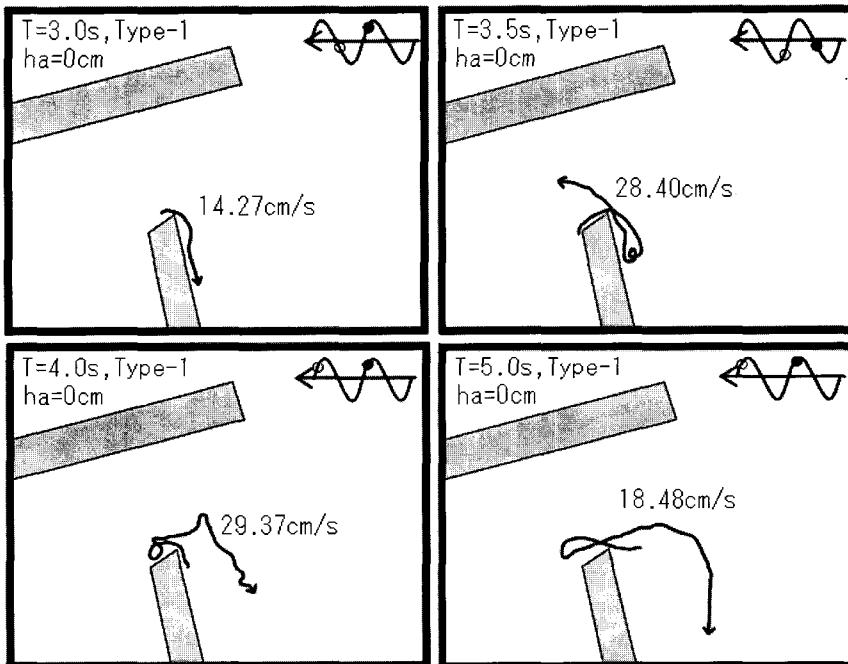


Fig. 11. Flow pattern by tracer (Type-1, T=3.0~5.0sec)

Fig. 12는 Type-2의 유향을 나타낸다.

Type-2는 소돌제를 설치한 경우이며 우측상단의 유속과형중에 상단의 파형이 항내측, 하단의 파형이 항외측의 추적자움직임을 나타낸다. Type-2에서는, 부방파제의 외측에 설치된 소돌제에 의해서 항입구부를 경계로 내측과 외측의 흐름이 나뉘어져 있는 것을 알 수 있다. Type-2 및 Type-4의 경우 소돌제 설치에 의해 부

방파제 외측에 형성되는 와류를 저지함으로서 유입표사량을 감소시키는 결과를 확인할 수 있었으며, 이와 같은 방법에 의해 와류의 항내로의 수송을 저지함으로써 항내퇴적을 저감시킬 수 있다고 생각한다.

Fig. 13은, 투과부의 설치유무에 의한 변화를 알아보기 위하여, Type-3 및 Type-1의 주기 3.5초에 있어서의 투과제를 설치한 경우의 유향을 나타내었다. Fig. 10

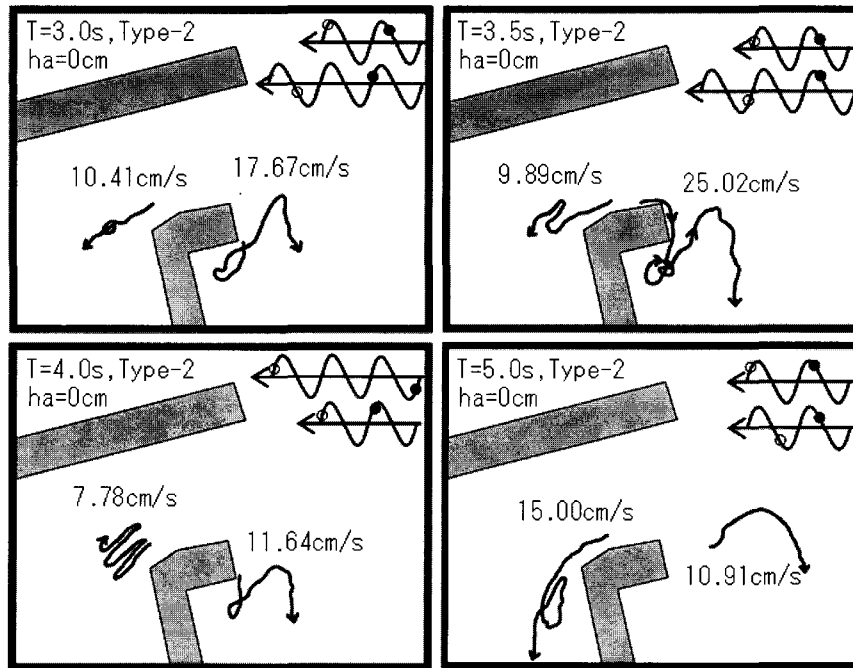


Fig. 12. Flow pattern by tracer (Type-2, T=3.0~5.0sec)

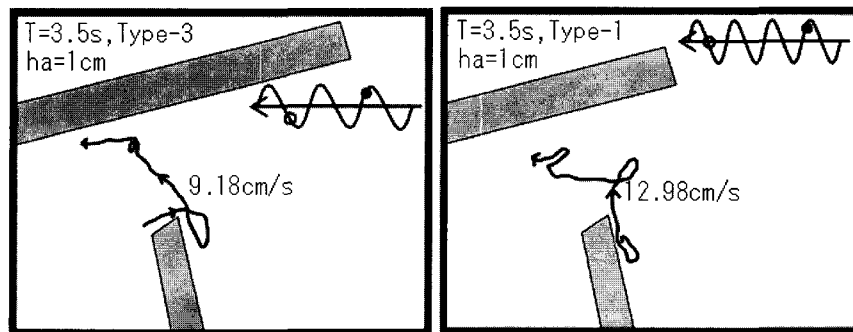


Fig. 13. Flow pattern by tracer (Type-3 & Type-1, T=3.5sec)

및 Fig. 11에 나타내는 불투과제로 한 경우의 유황과 비교해보면, 항외에 형성되는 와류에 의해 항내로 수송되는데 필요한 시간은, 투과제로 하는 경우에 길어지는 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서 이용한 항만형상에서는 특정한 입사파 주기 3.5초의 경우에 부방파제 선단에서 형성되는 와류와 항입구부의 수립자운동에 의해 다량의 저질이 항내로 이동되는 것을 확인하였다. 이것은 부방파제 선단의 형상을 변형시켜 표사이동의 직접적인 원인이 되는 와류를 억제하는 방법과, 항만의 방파제의 일부구간에 해수소통구를 설치하는 방법에 의해 항내로의 유입표사량을 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다.

그러나, 투과형방파제를 이용한 항만에서 항내퇴적량이 감소하는 원인에 대해서는 구체적인 근거를 제시하지 못하였으므로 향후 이 점에 관한 구체적인 검토와 이론적 근거를 제시하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구의 일부는 RIC 사업의 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- Deguchi, I., Sawaragi, T., and Ishikawa, H. (1994). "The Shoaling Transformation of Long-period Wave which is restrained by 2 component wave and the Analysis by Boussinesq Equation," *Proc. Japan Coastal Eng.*, Vol. 41, pp. 66-70.

Lee, J. J. (1971). "Wave-induced oscillations in harbours of arbitrary geometry," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 45, pp. 375-394.

Matsumoto, A., Matsuoka, M., Nakayama, A., Yamamoto, J., Nadaoka, K., and Yagi, H. (1993). "The trial of the long-term continuation observation for a burial mechanism elucidation in a small harbor," *Proc. Japan Coastal Eng.*, Vol. 40,

pp. 491-495.

Morita, S., Yoon, S., and Deguchi, I. (2002). "Study on Ability of Breakwater with Channel to Exchange Water using Wave," *Proc. of Civil Engineering in the Ocean*, Vol. 18, pp. 521-526.

(논문번호:05-126/접수:2005.09.20/심사완료:2006.04.26)