

◎ 論 文

# 연안역 구조물 주위에서의 해빈류의 수치해석에 관한 연구

민병형\* · 이상화\* · 김인철\*\*

(1991년 5월 15일 접수)

## A Study on the Numerical Model of Wave Induced Current around Nearshore Structure

Byung-Hyung Min , Sang-Hwa Lee and In-Chul Kim

**Key Words :** Wave Induced Current(해빈류), Radiation Stress(라디에이션 응력), Driving Force(기류력), Finite Difference Method(유한 차분법), Convective Term(이송항)

### Abstract

This study is to predict accurately the wave induced current accuring by the radiation stress which acts as the driving force around Nearshore structure.

For the wave induced current, the depth integrated and time averaged governing equation of an unsteady nonlinear form is derived from the continuity and momentum equation of an incompressible fluid. Numerical solutions are obtained by a finite difference method for the governing equation.

In the vicinity of a structure, computed flow patterns show good agreement with the hydraulic experimental data. The numerical results obtained by neglecting the convective term show a large change of alongshore and offshore current.

### 1. 서 론

일반적으로 해양에서의 흐름을 크게 나누면 외해쪽에서 거의 일정하게 흐르고 있는 해류, 조석현상에 의해 야기되는 조석류 및 천해지역, 특히

그 중에서도 쇄파대 및 그 부근에서 파랑에 의해 발생하는 해빈류 등이다. 위의 여러가지 흐름 중에서 해빈류는 해빈의 제 현상 특히 해저물질의 이동과 그에 따른 해저 지형의 변화에 밀접한 관계가 있으며 연안지역에서의 수질오염 및 확산문제 등과도 관계가 있다. 이러한 해빈류는 보통 4

\* 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 동아대학교 공과대학 토목공학과 강사

개의 부분으로 분리하여 각각 이름을 붙일 수 있는데 파의 질량수송, 해안선과 평행하게 흐르는 연안류, 바닷쪽으로 향해서 흐르는 이안류 및 쇄파대의 바닷쪽 경계부근에 버섯구름모양의 이안류 등이며 이들을 통틀어 해빈류라 하며 이들의 순환을 해빈류 순환이라고 한다.

연안류에 관한 연구는 연안 표사량을 산정하는데 이 흐름이 중요하다라는 인식하에 일찍부터 연구되어 왔다. Putnam<sup>16)</sup> 등은 파가 해안에 대하여 경사지게 입사하는 경우에 한해서 해안선방향의 운동량 보존법칙에 기초를 두고 평균 연안유속을 처음으로 정량적으로 평가하였다.

이안류에 관한 연구는 Shepard와 Inman<sup>18)</sup>는 현장 관측에 의하여 이안류의 위치와 공간적인 폭은 해안선에 따른 쇄파과도의 변화에 의해 결정된다고 결론을 내렸고, Arthur<sup>3)</sup>는 이안류 생성에 이송가속도의 이론적인 중요성과 이안류에서의 속도 포텐셜은 흐름함수(stream function)에 따라 보존된다고 제안하였다.

한편 해빈류에 관한 이론적인 취급은 Longuet-Higgins와 Stewart<sup>11)</sup>가 라디에이션응력(radiation stress)에 대한 개념의 제안후에 특히 쇄파대내에서의 여러 현상에 대한 연구가 급진전되었으며 Sonu<sup>19)</sup>는 대규모 현지관측을 실시하여 해빈류에 대한 정량적인 평가를 시도하였다. 파고가 비균일한 파랑장에서는 라디에이션응력의 불균형이 평균수위의 변동, 더우기 해수유동에 직접적인 원인으로 된다. 평행 등심선 해빈에 파가 직각입사하여 천수변형이 발생하고 있는 경우는 평균수면의 상승 또는 하강만이 발생하고 정상적인 흐름이 생기지 않는다. 파고가 비스듬히 입사하는 경우에는 파랑장에 연안성분 반향이 나타나 연안류를 발생시킨다. 그리고 지형, 입사파 또는 평균수위가 연안방향으로 일정하지 않는 경우에는 이안류를 포함한 복잡한 흐름의 장이 발생한다.

이러한 해빈류를 발생하기 위하여 Noda<sup>14)</sup> 등은 파랑변형모형을 파향선법을 사용하여 구하였고, 해빈류모형은 수평확산항과 이송가속도항을 제외시키고 정상상태로 감소시킨 흐름함수 형태의 지배방정식을 가지고 파랑-흐름의 상호간섭을 고려하여 유한차분법으로 수치해석하였다. Birkemeir

와 Dalrymple<sup>4)</sup>은 흐름의 계산시 앞의 방법과는 달리 흐름함수를 사용하지 않고 평균유속으로 표현된 식으로 파랑-흐름의 상호간섭을 고려하여 유한차분법으로 계산하였고, Ebersole과 Darymple<sup>8)</sup>, Da Silva Lima<sup>7)</sup>는 흐름 계산시 비선형항인 이송가속도항과 수평확산항을 포함시키고, 비정상(time dependent)형태의 지배방정식으로 파랑-흐름의 상호간섭을 고려하여 유한차분화하여 계산하였으며, Nishimura<sup>13)</sup>, Copeland<sup>6)</sup>는 파랑장 계산시 구조물로 인한 반사파 성분을 고려하여 비선형이 포함된 비정상형태의 흐름의 지배방정식으로 유한차분법중의 하나인 양해법(explicit scheme)으로 계산하였다.

본 논문에서 파의 계산은 굴절, 회절 및 반사까지도 고려할 수 있는 Maruyama와 Kajima<sup>12)</sup>의 쌍곡선형 환경사방정식을 사용하였으며 해빈류의 기류적인 라디에이션응력을 구할 때, 파랑변형모형의 해인 선류량과 수면변위가 조화함수형태입에 착안하여 라디에이션응력식의 미지수인 선유량 진폭, 수면변위 진폭 그리고 위상각을 Fourier해석에 의하여 계산하였다. 해빈류 계산은 비정상, 비선형형태의 기본방정식을 앞서 언급한 방법과는 달리 유한차분법 중에서 음해법의 하나인 ADI(alternating direction implicit)법으로 수치해석하여 구조물 배후에서의 흐름의 형태를 구한 후 Nishimura의 수리실험 결과와 비교 검토하였으며 그리고 중복파랑장에서 발생하는 해빈류의 계산시 기본방정식의 비선형항인 이송항(convective term)의 중요성을 검토하였다.

## 2. 기본방정식

어느 수역의 해수의 운동을 해석하기 위하여 직교좌표계( $X, Z$ )를 설정한다. 단,  $X$ 축은 정수면 내에,  $Z$ 축은 연직상향으로 취한다. 이 수역 내에서 파와 흐름이 공존하는 경우를 생각한다. 여기에서 말하는 흐름이란, 연직방향으로는 거의 일정하고 동시에 수평유속 성분  $U_x$ 는 시간적으로 일정하거나 또는 극히 완만하게 변화하는 이른바 평균류이다. 이것에 대해서 파동에 수반하는 수립자 속도

(U, W)는 한 주기 시간평균하면 소멸하는 성질의 것이다. 즉, 이같은 평균치를 표현하면 (U, W)=0이다.

한편, 정수면으로부터 켄 순간적인 수면의 상승량을  $\xi$ 로 하면  $\bar{\xi} = \eta \neq 0$ 이고,  $\eta$ 가 평균수면의 상승, 하강에 의한 평균수면의 변동에 상당한다. 비압축성 유체에 대한 운동방정식과 연속방정식을 저면으로부터 수면까지 적분하고, 한 주기 시간평균을 취하면 평균류에 대한 운동방정식과 연속방정식을 다음과 같이 텐서(tenser)의 형태로 나타낼 수 있다.<sup>6)</sup>

$$\frac{\partial}{\partial t} [(h+\eta)U_j] + \frac{\partial}{\partial x_i} [(h+\eta)U_i U_j] + g(h+\eta) \left[ \frac{\partial \eta}{\partial x_j} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial S_{ij}}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} (K_{ij}(h+\eta)) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] + \frac{1}{\rho} \tau_{ij} = 0 \quad i, j=1, 2 \dots \dots \dots (2.1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} [U_i(h+\eta)] = 0 \quad i=1, 2 \dots \dots \dots (2.2)$$

여기서,  $U_i$ 는 평균류의 속도성분( $i=1, 2 : U_1=U, U_2=V$ ),  $X_i$ 는 수평좌표계( $i=1, 2 : X_1=X, X_2=Y$ ),  $h$ 는 수심,  $g$ 는 중력 가속도, 그리고  $\rho$ 는 유체의 밀도이다.

식(2.1)의 물리적 의미를 살펴보면 제4항은 파동에 수반하는 제 물리량의 평균조작에 의해 소멸되지 않는 부분을 라디에이션응력의 각 요소의 경사라고 하는 형태로 일괄 표시한 것으로 이들의 평균가속도(제 1, 2항) 및 평균수위의 경사(제3항)를 일으킨다. 최후의 제2항은 이렇게 해서 생긴 흐름에 대항해서 작용하는 저항력이다. 제5항은 난류에 의한 운동량의 수평확산의 효과를 나타내고 마지막 항은 전단응력에 대응하는 항으로 그 주요부분은 저면마찰력이다.

2.1 기류력

운동방정식중의 라디에이션응력  $S_{ij}$ 는 파동성의 교란에 관한 제반항 중 한 주기 시간 평균후에도

잔존하는 평균 해수운동의 원인으로 되는 부분을 취해 정리한 것이고 그 내용은 다음과 같다.

$$S_{ij} = \int_{-h}^{\xi} \rho U_i U_j dz + \delta_{ij} \left[ \int_{-h}^{\xi} p dz - \frac{\rho g}{2} (h+\eta)^2 \right] \quad i, j=1, 2 \dots \dots \dots (2.3)$$

여기서,  $p$ 는 압력,  $\delta_{ij}$ 는 Kronecker Delta의 기호로  $i=j$ 의 경우에는 1이고,  $i \neq j$  경우에는 0이다. 그리고  $\int$  줄은 한 주기 시간평균을 의미한다.

단일 진행파에 대해서는

$$S_{ij} = \frac{E}{2} \left\{ \frac{k_i k_j}{k^2} \frac{C_g}{C} + \delta_{ij} \left( \frac{2C_g}{C} - 1 \right) \right\} \quad i, j=1, 2 \dots \dots \dots (2.4)$$

여기서,  $E$ 는 파랑에너지 밀도,  $C$ 는 파속,  $C_g$ 는 군속도,  $k_1=k \cos \theta, k_2=k \sin \theta$  그리고  $k$ 는 파수이고,  $\theta$ 는 파향이다.

해빈류 계산에 앞서, 중복 파랑장에서 흐름의 기류력인 라디에이션 응력분포를 알기 위하여 파의 계산을 굴절, 회절 및 반사까지도 고려할 수 있는 쌍곡선형 환경사방정식에 기반해 해석을 행하면  $S_{ij}$ 에 대한 표현은 파에 수반하는 선유량성분  $Q_i$ 가 수면변위  $\xi$ 와 다른 위상각을 갖는 파랑장을 얻을 수 있다.

$$\xi = \hat{\xi} \sin(\sigma t + \epsilon_\xi) \dots \dots \dots (2.5a)$$

$$Q_i = \hat{Q}_i \sin(\sigma t + \epsilon_i) \dots \dots \dots (2.5b)$$

여기서,  $\sigma$ 는 파의 각 주파수,  $\epsilon_i, \epsilon_\xi (i=1, 2 : \epsilon_1 = \epsilon_x, \epsilon_2 = \epsilon_y)$ 는 위상각이고,  $\hat{\xi}, \hat{Q}_i (i=1, 2 : Q_1 = Q_x, Q_2 = Q_y)$ 는 진폭을 나타낸다. 이 경우의 라디에이션응력의 계산식으로서 Watanabe와 Shiozaki<sup>20)</sup>가 제안한 식을 각 방향별 성분으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{1}{\rho g} S_{xx} = \frac{\hat{Q}}{4C^2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) + \frac{\hat{\xi}}{4} \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \Gamma$$

$$\frac{1}{\rho g} S_{yy} = \frac{\hat{Q}}{4C^2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) + \frac{\hat{\xi}}{4} \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \Gamma$$

$$\frac{1}{\rho g} S_{xy} = \frac{1}{\rho g} S_{yx} = \frac{\hat{Q} \hat{Q}}{4C^2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \cos(\epsilon_x - \epsilon_y)$$

여기서,

$$\Gamma = \frac{1}{8\sigma} \left[ \frac{\partial}{\partial x} \{ \hat{\xi} \hat{Q}_x \sin(\epsilon_x - \epsilon_x) \} + \frac{\partial}{\partial y} \{ \hat{\xi} \hat{Q}_y \sin(\epsilon_x - \epsilon_x) \} \right]$$

이다.

2.2 수평확산

레이놀드응력  $T_{ij}$ 는 와동확산계수  $K_{ij}$ 를 이용해 통상 다음처럼 모형화될 수 있다.

$$T_{ij} = \rho K_{ij}(h + \eta) \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \quad i, j = 1, 2 \dots \dots (2.7)$$

확산계수  $K_{ij}$ 에 대해서는 여러논의가 진행되고 있지만 특별한 정설은 없다. 예를 들면, Longuet-Higgins<sup>10)</sup>는 식(2.8)을 사용하고 있다.

$$K_{ij} = \epsilon = N\ell \sqrt{g(h + \eta)} \dots \dots \dots (2.8)$$

$\ell$ 은 수평와정을 대표하는 길이로서 이안거리를 나타내고  $N$ 은 무차원 정수로 0.016이하의 값을 취하는 것으로 되어 있다. 수평, 연직 양 방향의 대표길이를 포함하는 합리적인 표기로 일단은 생각되지만, 하여간에 이들은 정성적인 추론에 기반해 얻어지고 있으며 그렇게 엄밀한 것은 아니다. 식(2.8)에서 이안거리가 정의하기 어려운 경우에는,  $\ell$ 로서 수심을 평균 해저경사로 나눈 것을 사용하는 등 임시방편적인 조치를 취해도 지장이 없을 것이라고 생각된다. 쇄파대 외에서는  $K_{ij}=0$ 로 한 계산은 과거의 예도 있지만 이것은 약간 타당치 못하다. 특히 구조물이 존재하면 수심이 비교적 큰 영역에서도 비균일한 파랑장이 생긴다. 이러한 수역에서는 저면마찰의 효과가 작기 때문에 적어도 쇄파선 근방에서와 동등정도의 확산효과를 상정하고 과대한 흐름의 발생을 억제할 필요가 있다.

2.3 저면마찰

저면에서의 수립자운동을 정확히 표현하는 파동 이론이 확립되어 있지 않으므로 파와 흐름의 어느 한편이 탁월한 조건에서 사용되어지는 저항법칙을 이용하여 저면마찰에 대한 일반적인 식을 다음과

같이 나타낼 수 있다.

$$\tau^B_j = \rho C_f (U_j + u^B_j) \sqrt{(U_j + u^B_j)^2} \dots \dots \dots (2.9)$$

$i, j = 1, 2$

여기서,  $C_f$ 는 저면 마찰계수이고,  $u^B_j$ 는 저면에서의 파랑에 의한 수립자속도이다.

한편, Sawaragi<sup>17)</sup>등은 미소진폭파 이론에 근거를 두고 저면에서의 연안류는 그 평균 유속성분의 반 정도 기여한다고 하는 실측결과를 이용하여 저면 마찰을 다음과 같이 표현하였다.

$$\tau^B_j = \rho C_f F_b^2 \quad j = 1, 2 \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\text{여기서, } F_b = \frac{1}{2} \hat{u}_{\max}^2 + \frac{2}{\pi} u_{\max}(U \cos \theta + V \sin \theta) + (U^2 + V^2)/4$$

$\hat{u}_{\max} = \pi H / [T \sinh k(h + \eta)]$ 는 파에 의한 저면에서의 최대 수립자속도이고,  $H(=2\hat{\eta})$ 는 파고이다.

3. 수치계산법

기본방정식을 이산화하고 수치적분하면 평균류와 평균수위의 변동상황 혹은 평형치가 구해질 수 있다. 이러한 해빈류를 수치적으로 해석하는 방법은 크게 정상해석법과 비정상해석법으로 분류할 수 있다. 정상해석법은 정상해에 직접 접근하는 방법으로서 기본방정식중의 시간미분항을 제거한 식을 사용하여 주어진 초기조건으로 부터 잔치를 보정하는 방법으로 수치계산을 행하는 방법이다.

비정상해석법은 적당한 초기상태의 수역에 라디에이션응력이 작용하는 경우의 흐름변화를 비정상 과정으로 해석하는 것이며 흐름의 평형상태에 도달할 때까지 계산을 반복하는 방법이다. 즉 기본방정식으로 유도된 평균류에 대한 연속방정식과 운동방정식을 사용하여 어느 시점에 있어서의 평균류와 평균수위의 평면분포로부터 다음 시간단계에서의 값을 계산하고 평균류의 변화가 생기지 않을 때까지 계산을 반복하는 방법이다.

비정상해석의 수치계산방법으로는 양적해법(explicit scheme), 음적해법(implicit scheme) 및 양적, 음적해법의 중간상태인 ADI법으로 나눌 수 있다.

양적해법은 수치해의 수렴성과 안전성에 문제가 있고 음적해법은 모든 계산점에 대하여 동시에 해석하기 때문에 수렴성 및 안전성은 크게 향상시킬 수 있으나 행렬 연산시 과대한 계산시간을 필요로 하는 반면, ADI법은 한 방향의 격자점상에 늘어선 전 계산점에 있어서 보정을 동시에 행하고, 이것을 새로 중형으로 반복계산하는 것에 의해 보정의 광역화를 기도하는 수법이므로 음적해석 보다는 간편한 행렬식이 나타날 뿐만 아니라 안전성에는 음적 해법의 특징을 부분적으로 지니고 있으므로 본 논문의 계산에서는 비정상해석법중에서 ADI법의 일종인 Leendertse법을 사용하기로 한다.

기본 방정식을 차별화하기 위하여 Fig. 1과 같이 계산영역 전체를 정방격자의 미소영역으로 분할하고 각 격자점에서 수심  $h$ , 평균수위  $\eta$ , 라디에이션 응력  $S_{ij}$ 의 값을 정의한다. 또한 평균유속  $U$ 와  $V$ 는 Staggered 격자간격의 절반만큼 떨어진 점에서 정의한다.

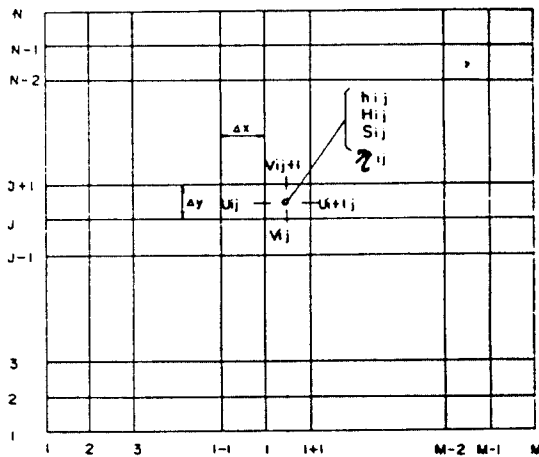


Fig. 1 Discretization of Variables

X방향의 차분간격  $\Delta x$ , y방향의 차분간격  $\Delta y$ 를 똑같이 취하여  $\Delta x = \Delta y = \Delta s$ 로 하고 시간차분간격  $\Delta t$ 를 반으로 나누어서 전반의 시간단계  $k\Delta t$ 로부터  $(k+1/2)\Delta t$ 에서는  $U$ 와  $\eta$ 에 대해 음적방법,  $V$ 에 대해 양적방법을 사용한다.

후반의 시간단계  $(k+1/2)\Delta t$ 에서  $(k+1)\Delta t$ 에서는  $V$ 와  $\eta$ 에 대하여 음적방법을  $U$ 에 대해서는 양

적방법을 사용하여 차별화한다.

### 3.1 초기조건 및 경계조건

계산의 초기조건으로는 대상전역에 정수상태를 가정하고 평균수위 및 평균유속의 값을 영(zero)으로 초기화하였다.

경계조건은 심해경계, 구조물경계, 측방경계, 해안선경계 등이 있는데 심해 경계조건은 계산영역의 외해에서는 평균유속 또는 평균수위의 값이 0이라는 조건을 사용한다. 구조물 경계조건은 경계에 수직한 방향의 유속성분 및 유속성분의 경사를 0으로 하는 조건이 부여하면 된다. 측방경계는 계산영역 측단을 구조물 등에 취하는 것이 가능하면 구조물 경계조건을 사용하고 흐름이 존재하는 개경계선에서는 계산영역을 가능한한 확장하고, 경계좌우에서 수위 및 유속은 같은 값을 갖는다는 Neumann 경계조건을 사용한다. 해안선경계로서 우선 생각할 수 있는 것은 실질수심이 0으로 되는 점을 연결해 경계로 하고, 거기서의 유속을 0으로 하는 것이다. 그러나 이 경우 평균수위의 상승때문에 해안선 위치가 사전에 확정될 수 없고, 계산의 과정에서 이것을 수정하는 작업이 요구된다. 또 수심이 0이라는 상태는 흐름의 계산에서 정도상의 문제가 있기 때문에 일정한 정수심에 대응하는 등심선 위치에 직립벽을 가정하고, 등심선을 따라 구조물 경계조건을 사용하여 계산한다.

### 3.2 차분계산의 안정조건

계산의 안정성에 대한  $\Delta t$ 의 선택기준은 기본방정식이 비선형 방정식이므로 정확한 안정성 평가 기준이 없다. 따라서 Ebersole과 Darymple<sup>8)</sup>은 Courant 안정조건을 적용한 다음과 같은 기준을 제안하였다.

$$\Delta t \leq \frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}}{C_{\max}} \dots\dots\dots (3.1)$$

또한 Nishimura는

$$\frac{\Delta s}{\Delta t} \geq \{ |U_j| + \sqrt{g(h+\eta)} \}_{\max} \dots (3.2)$$

의 기준을 제안하고 있다. 보통 흐름장에서는

$|U| \ll \sqrt{g(h+\eta)}$  이므로 위의 두 식은 같은 내용의 식임을 알 수 있으므로 실제 계산에서는 정해진  $\Delta s$ 에 따라 식(3.1)에서  $\Delta t$ 의 최대값을 구하여 사용한다.

#### 4. 모형의 적용 및 검토

##### 4.1 이안제에 대한 적용

기본방정식으로부터 유도된 차분방정식을 사용하여 모형의 타당성을 검토하기 위해 Fig. 2와 같이 해저경사는 1/50의 평행등수심을 갖는 지형이고 대안거리 3.0cm, 수심 6.0cm의 위치에 길이 2.67m에 이안제가 해안선과 평행하게 설치된 모형이다. 실험조건은 입사파에 대해 심해파 파고 2.0cm, 주기 1.2sec의 규칙파가 직각으로 입사하는 조건이다. 경계조건은 실험모형형태의 대칭선에 따라 해안선의 직각방향으로 이안제의 중심을 자르는 선을 따라 구조물 경계조건을 설정하고, 다른편 측방경계는 개경계조건으로 경계주위에서 경계에 직각방향의 유속성분 또는 수위의 변화가 0이라는 개경계조건을 사용한다. 입사경계는 심해 경계조건, 해안선 경계는 0.4cm인 등심선을 연결한 선을

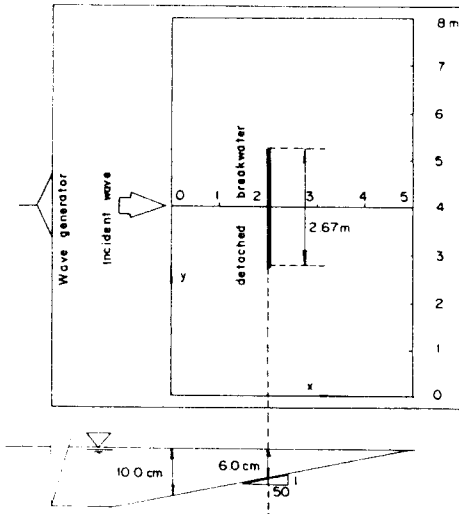


Fig. 2 Experimental Set-up and Coordinates(Wanatabe and Maruyama, 1985)

따라 직립벽을 가정하고 구조물 경계조건을 사용하였다.

격자간격은 평균류의 공간변동의 크기가 크기 때문에 계산 소요시간을 절약하기 위하여 10cm로 정하였고, 시간간격  $\Delta t=0.02$ 으로 하고 수렴조건은 한 주기전의 U, V,  $\eta$ 의 계산치와의 차이가 0.001이내로 들면 수렴하도록 하였다.

##### 4.2 모형의 검토

이안제가 설치된 파랑장에 쌍곡성형 완경사방정식을 이용하여 구한 라디에이션응력성분은 Fig. 3, Fig. 4, Fig. 5와 같고, 이것을 기류력으로 하여 수

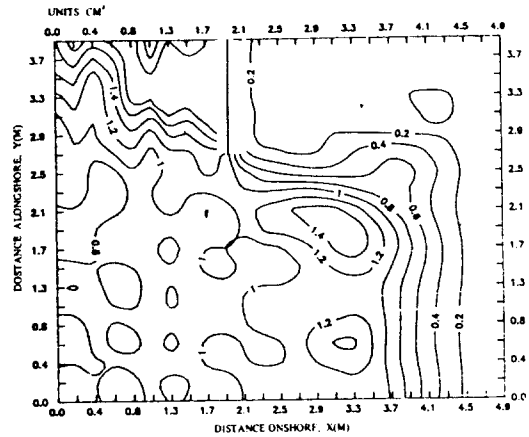


Fig. 3 Distribution of Radiation Stress Component for  $S_{xx}/\rho g$

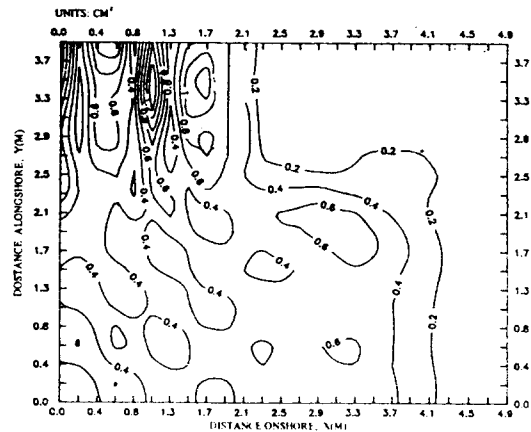


Fig. 4 Distribution of Radiation Stress Component for  $S_{yy}/\rho g$

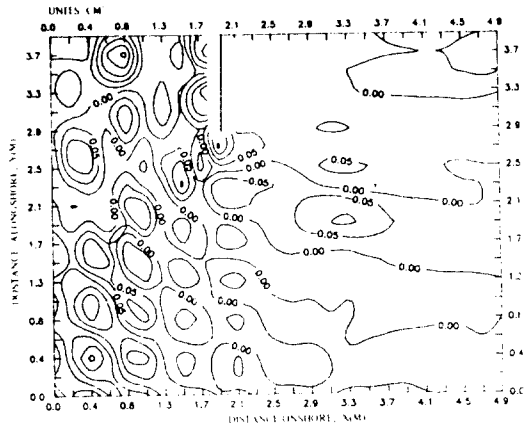


Fig. 5 Distribution of Radiation Stress Component for  $S_{xy}/\rho g$

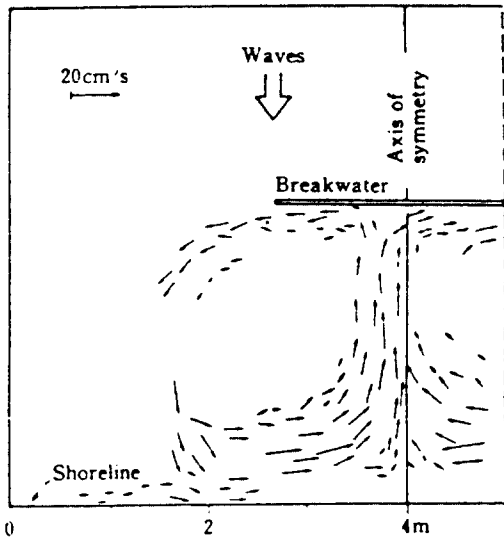


Fig. 6 Observed Circulation behind a Detached Breakwater(Nishimura, 1985)

치계산된 결과를 검증하기 위해 기 발표된 문헌의 수치실험결과는 Fig. 6이다.

해빈류모형의 기본방정식은 이송항이 포함된 비선형방정식이고, 이러한 비선형성은 종종 수치계산시 호트러짐의 증폭, 전파의 원인으로 한다. 이러한 과대한 흐름을 막기 위하여 레이놀즈응력항과 저면마찰항에 있는 무차원정수N과 저면마찰계수  $C_f$ 의 값을 N은 0.016이하,  $C_f$ 는 0.01-0.02 범위

에서 여러번 수정하여 수리모형 실험치에 가장 적합한 마찰계수  $C_f$ 와 N의 값을 정한다. 여기서 가장 적합한 값은  $N=0.01$ ,  $C_f=0.01$ 이다.

흐름의 유속성분과 평균수위의 시간적 변화는 이안제 전면에 있는 지점에서는 1800단계에서 수렴하였으나, 이안제 배후에 있는 지점에서는 2700 단계에서 수렴하였다. 이는 이안제 배후에서는 라디에이션응력의 국소적 변동량이 큰 때문이다. 그리고 라디에이션응력의 경사가 흐름의 기류력으로 작용하기 때문에 전 영역의 흐름형태를 나타내는 Fig. 7에서도 이안제 배후에서 유속이 크게 나타난다. Fig. 7과 수리모형 실험치인 Fig. 6을 비교해보면 전반적으로 흐름의 형태와 크기 그리고 위치는 좋은 일치성을 보여주나 이안제로 향한 유속분포에 상이함을 보여준다. 이러한 차이점은 레이놀즈응력항과 저면마찰항을 근사적인 이론식으로 취급하였기 때문이라 생각된다.

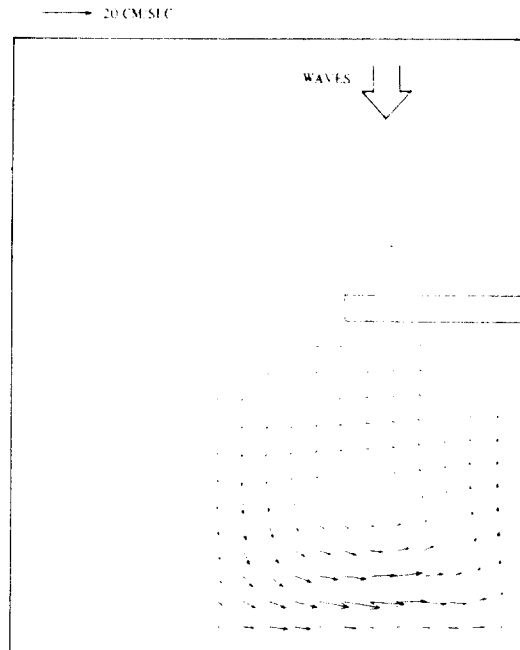


Fig. 7 Computed Circulation behind a Detached Breakwater

기본방정식 중의 이송가속도항을 제거시켜 계산한 결과치 Fig. 8과 Fig. 7을 비교할 때 이송항을

무시하면 유속크기가 크게 나타날 뿐만 아니라 이안류와 연안류의 형태도 크게 변하고 있으므로 해빈류 계산시 비선형항인 이송항을 포함시킨 평균류의 운동방정식으로 수치적분하여야 한다.

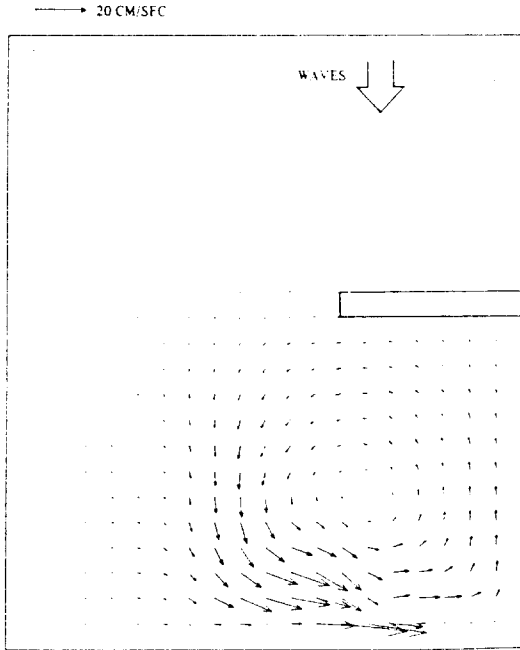


Fig. 8 Computed Circulation behind a Detached Breakwater(Ignoring Convective Term)

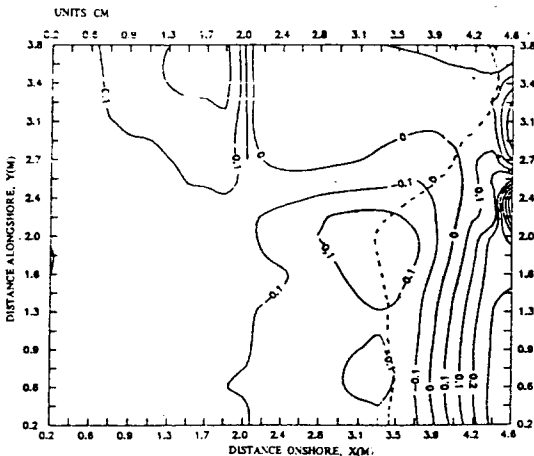


Fig. 9 Computed Elevation of Mean Water Level behind a Detached Breakwater

Fig. 9는 계산상의 평균수위 분포를 표시하는데 쇄파선(점선으로 표시)의 외측에서는 평균수위의 하강이 링러나고 쇄파선으로부터 해안선까지는 평균수위의 상승이 일어나며 이안제 배후의 평균수위 상승은 다소 작게 나타난다.

## 5. 결 론

이안제가 있는 파랑장에선 굴절, 회절 및 반사도 고려할 수 있는 Maruyama와 Kajima의 쌍곡선형 환경사방정식을 수치해석하여 라디에이션응력을 구한 다음, 파고, 파향, 평균류에 대한 연속방정식과 운동방정식을 수치적분한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1) 실제 수치계산에서 구한 선유량과 수면변위는 조화함수가 아닌 수치오차가 포함되어진 이산화된 값으로 나타남으로 이것을 그대로 이용하여 진폭 및 위상각을 구하지 않고 Fourier해석에 의하여 진폭 및 위상각을 구하면 계산오차가 평균화되므로 보다 정확한 라디에이션응력을 구할 수 있다.

2) 해빈류 계산시 해안선 경계 부근에서 수치해의 불안정성이 발생하므로 이는 라디에이션 응력항 평가의 부정확성에 기인하는 것으로 흐름의 계산 차체보다도 기류력을 제공하는 파랑변형 계산시 파의 비선형효과를 고려하지 않는 결과이다.

3) 이송항을 무시하여 계산하면 이안류와 연안류의 크기와 형태에 큰변화가 있으므로 해빈류 계산시에는 반드시 이송항을 포함시켜야 한다.

4) 구조물이 있는 흐름장에도 평균수위의 변화를 쇄파대 외에서는 하강이 일어나는 반면, 상승은 해안선 부근에서 일어난다.

## 참고문헌

- 1) 김인철, "연안역 구조물 주위에서의 파랑과 해빈류의 수치모형에 관한 연구", 서울대학교, 공학박사 학위논문, 1990
- 2) 해양연구소, "해안구조물 적정설계조건 결정



- 기법의 체계화 연구(II)", 한국과학기술원, BSPG00064-195-2, pp. 143-173, 1988.
- 3) Arthur R. S., "A Note on the Dynamics of Rip Currents", J. Geophys. Res., Vol. 67, No. 7, pp. 2777-2779, 1962
  - 4) Birkemeir, W. A. and R. A. Dalrymple, "Numerical models for the Prediction of Wave Setup and Nearshore Circulation", Ocean Eng. Rep. No. 3, Univ. Dalaware, Dept. of Civ. Eng., 1976
  - 5) Copeland, G. J. M., "A Practical Alternative to the Mild Slope Wave Equation", Coastal Eng., Vol. 9, pp. 125-149, 1985a
  - 6) Copeland, G. J. M., "Numerical Model for the Propagation of Short Gravity Waves and the Resulting Circulation around Nearshore Structures", Ph. D. Thesis, Univ. of Liverpool, 1985b
  - 7) Da Sila Lima, S. S. L., "Wave-Induced Nearshore Currents", Ph. D. Thesis, Univ. of Liverpool, 1981
  - 8) Ebersole, B. A., and R. A. Dalrymple, "Numerical Modelling of Nearshore Circulation", Proc. 17th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 2710-2722, 1980
  - 9) Leendertse, J. J., "Aspects of a Computational Model for Long-Period Water Wave Propagation", RM-5295-PR, The Rand Corporation, 1967
  - 10) Longuet-Higgins, M. S., "Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves", J. of Geophy. Res., Vol. 75, pp. 6790-6801, 1970
  - 11) Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart, "Radiation Stresses in Water Waves, a Physical Discussion with Application", Deep Sea Res., Vol. 11, 1964
  - 12) Maruyama, K. and R. Kajima, Two Dimensional Wave Calculation Method Based on Unsteady Mild Slope Equation, Rep. Electric Central Res. Inst. No. 384041(in Japanese), 1985
  - 13) Nishimura H., "Numerical Simulation of the Nearshore Circulation", Proc. 29th Japanese Conf. on Coastal Eng. JSCE, Vol. 28, 1985
  - 14) Noda, E. K., C. J. Sonu, V. C. Rupert and J. I. Collins, "Nearshore Circulations under Sea Breeze Conditions and Wave-Current Interaction in the Surf Zone", Rep. No. TC-149-4, Terta Tech. Inc., Pasadena, Calif., 1974
  - 15) Phillips, O. M., "The Dynamic of the Upper Ocean", Camb. Univ. Press, 1967
  - 16) Putnam, J. A., W. H. Munk and M. A. Traylor, "The prdiction of longshore currents", Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 30 No. 3, 1949
  - 17) Sawaragi, T., J. S. Lee and I. Deguchi, "A Study on the Wave Induced Current and the Change of Topography around Estuary", Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, pp. 411-415(in Japanese), 1984
  - 18) Shepard, F. P. and D. L. Inman, "Nearshore Circulation Related to Bottom Topography and Wave Refraction", Trans. Am. Geophys. Union, Vol. 31, No. 4, pp. 555-565, 1950
  - 19) Sonu, C. J., "Field Observation of Nearshore Circulation and Meandering Currents", J. of Geophy. Res., Vol. 77, No. 18, pp. 3232-3247, 1972
  - 20) Watanabe, A and M. Shiozaki, "On the Waves and Nearshore Currents around a Structure", Proc. 29th Japanese Conf. on Coastal Eng., JSCE, pp. 110-114(in Japanese), 1982