

# 해빈류장의 수치 시뮬레이션

- 이안 구조물 건설에의 적용 -

## Numerical Simulation of Nearshore Current Field

- Application to structure of offshore breakwater construction -

박 종 화\* (충북대) · 이 순 혁 (충북대)

Park, Jong Hwa · Lee, soon hyuk

### Abstract

This research conducted concerning measures for the influence reduction to an investigation in the structure of offshore breakwater maintenance, an evaluation, a reexamination of the forecast, and a peripheral sediment transport environment. Furthermore, it aimed at the establishment of the beach transformation forecast method based on a hydraulic model study and a numeric simulation. A good result was obtained from a hydraulic model experiment and a numeric simulation as part of the basic research. And a qualitative evaluation of the flow field around the structure became possible since a numeric simulation examined flow field characteristics.

### I. 서론

천해 연안역 부근의 흐름에서 표사이동에 특히 영향을 주는 흐름으로 해빈류가 있다. 이 해빈류는 쇄파에 따른 파고 감쇠에 의해 radiation stress 경사가 외력이 되어 만들어지는 흐름이다. 이 해빈류는 연안역의 표사 및 부유사를 이동시키는 기인으로 해안 구조물의 설계 및 천해 연안역 부근의 흐름특성등에 관한 해안공학 문제에 대해 해빈류의 흐름특성을 고려하는 것은 매우 중요하다. 연안역에 해안 구조물을 건설할 때 주변해역 환경의 변화를 예측하기 위해서는 현지 조사에 의해 실태를 파악하는 일 뿐 아니라 대상해역의 파랑 및 흐름장을 정량적으로 평가할 필요가 있다. 이상의 배경으로부터 이안식 구조물 정비에 있어서의 조사, 평가, 예측의 재검토 및 주변의 표사 환경에의 영향 경감을 위한 대책에 관한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 수치 시뮬레이션에 바탕을 둔 해빈 변형 예측법 확립에 최종적인 목표를 설정하고, 이에 관한 기초 연구의 일환으로 수행한 수치시뮬레이션 결과를 보고한다.

### II. 이론적 해석

#### 1. 해빈류의 방정식

3차원 비일정 파장의 연속방정식 및 운동방정식을 연직방향 저면에서 수면까지 적분하여 시간평균 조사를 수행하면 평균류에 관한 수평 2차원 방정식이 얻어진다. 즉, 수평면내에 직교 좌표계( $x, y$ )를 취하여 해저경사에 있어서의 미소항 및 수면의 전단응력항을 무시하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\frac{\partial \bar{\eta}}{\partial t} + \frac{\partial U(h + \bar{\eta})}{\partial x} + \frac{\partial V(h + \bar{\eta})}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + R_x - M_x + F_x + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + R_y - M_y + F_y + g \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

여기서,  $U, V$ 는 평균 유속의  $x, y$ 방향 성분,  $\bar{\eta}$ 는 정수면으로부터 측정된 평균수위의 상승량,  $h$ 는 정수면으로부터의 수심,  $g$ 는 중력가속도,  $t$ 는 시간이다.  $R$ 은 radiation stress항,  $F$ 는 저면 마찰항,  $M$ 은 수평확산항, 첨자  $x, y$ 는 각각의 방향성분을 나타낸다.

### (1) radiation stress항

비일정 파동장에서는 radiation stress 경사에 비례하는 평균적인 외력이 해수에 작용하여 이것이 평균수위의 경사와 해빈류를 일으킨다. 위 식에서  $R_x, R_y$ 항은 각각 다음과 같다.

$$R_x = \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (4)$$

$$R_y = \frac{1}{\rho(h + \bar{\eta})} \left( \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (5)$$

여기서,  $\rho$ 는 해수의 밀도,  $S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$ 는 파의 radiation stress이다.

본 연구에서는 시간적인 수면변동으로부터 radiation stress를 구하는 것으로 했다. radiation stress를 파동유속으로 나타내어, 다수의 계산 과정을 거치면 다음 식이 얻어진다.

$$S_{xx} = \rho \int_{-h}^0 \overline{u^2} dz + S_0 = \frac{\rho g \bar{\eta}}{k^2} \left( \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} \right)^2 + S_0 \quad (6)$$

$$S_{yy} = \rho \int_{-h}^0 \overline{v^2} dz + S_0 = \frac{\rho g \bar{\eta}}{k^2} \left( \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} \right)^2 + S_0 \quad (7)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \rho \int_{-h}^0 \overline{uv} dz = \frac{\rho g \bar{\eta}}{k^2} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} \quad (8)$$

$$S_0 = \frac{1}{2} \rho g \bar{\eta}^2 - \rho \int_{-h}^0 \overline{w^2} dz = \rho g (\bar{n} - 1/2) \bar{\eta}^2 \quad (9)$$

여기서,  $u, v, w$ 는 파동유속의  $x, y, z$ 성분,  $\eta$ 는 수면변동,  $\bar{\quad}$ 는 시간평균,  $k$ 는 대표 파의 파수,  $h$ 는 정수면으로부터 측정된 수심,  $\bar{\eta}$ 는 복소수면 변동의 실수부,  $\bar{n}$ 는 대표 파의 군속도와 파속의 비이다.

### (2) 저면 마찰항

정상류에 있어서 저면 마찰력의 표시 식을 그대로 이용하면, 파도와 흐름의 공존장에 있어서의 평균치와 수면변동을 고려한 마찰력에 관한 산정식은 다음과 같이 나타난다.

$$F_x = \frac{C_f}{h + \bar{\eta}} (U + u_b) \sqrt{(U + u_b)^2 + (V + v_b)^2} = \frac{C_f}{h + \bar{\eta}} U \sqrt{U^2 + \overline{u_b^2} + V^2 + \overline{v_b^2}} \quad (10)$$

$$F_x = \frac{C_f}{h+\eta} \overline{(V+v_b)\sqrt{(U+u_b)^2+(V+v_b)^2}} = \frac{C_f}{h+\eta} W \sqrt{U^2 + \overline{u_b^2} + V^2 + \overline{v_b^2}} \quad (11)$$

여기서,  $C_f$ 는 마찰계수(통상 0.01정도)이며,  $\bar{\quad}$ 는 시간평균을 나타낸다.

$u_b, v_b$ 는 파랑에 따른 저면 근방의 물입자 속도  $x, y$ 방향 성분(저면 파랑 유속)으로 radiation stress와 같이 수면변동으로부터 다음 식이 구해진다.

$$u_b = \frac{\bar{\omega}}{k} \frac{1}{\sinh kh} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial x} \quad (12)$$

$$v_b = \frac{\bar{\omega}}{k} \frac{1}{\sinh kh} \frac{\partial \bar{\eta}}{\partial y} \quad (13)$$

여기서,  $\bar{\omega}$ 는 대표 파의 각주파수,  $\bar{k}$ 는 대표 파의 파수이다.

### (3) 수평 확산항

해수 흐름에 포함되어 있는 난류성분의 등방성 및 이에 기인하여 생기는 전단력이 평균유속 경사에 따라 기술된다고 하는 점성의 analogy를 가정하면 수평 확산항은 다음과 같이 나타내진다.

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial U}{\partial y} \right) \quad (14)$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon \frac{\partial V}{\partial y} \right) \quad (15)$$

여기서,  $\epsilon$ 은 와동점성계수이다.

구조물 배후의 비교적 빠른 순환류를 재현하기 위해 이안거리와 수심이 같아도 구조물 배후의 회절영역에서는 입사파 통과 영역보다도 와동점성계수  $\epsilon$ 의 값을 적게 해야할 필요가 있다.

$$\epsilon = Nl \sqrt{g(h+\eta)} \quad (16)$$

$$\epsilon = Nl \sqrt{gh} H_{1/3}(0.4h) \quad (17)$$

여기서,  $l$ 은 수평거리이며, 정선에서 계산 격자점까지의 거리이다. 또한,  $N$ 은 무차원 정수이며,  $0 < N < 0.016$ 의 값을 취한다. 본 연구에서는  $N=0.01$ 을 사용했다.

## 2. 모형실험 및 수치 시뮬레이션

### (1) 모형실험과 수치 시뮬레이션의 대비

이안식 구조물에 따라서 해빈변형이 어떻게 일어나는가를 정량적으로 밝히기 위한 것이 본 연구의 목적중의 하나이다. 그러기 위해서는 이동상 모형에 의해 검증할 필요가 있으나, 유체 현상의 상사성은 명확하지만, 이에 대응하는 표사의 상사성에 대해서는 명확하지 않다. 따라서 축척 1/100 정도의 모형실험에서는 사실상 이동상은 의미를 잃게 된다. 여기서, 모래는 파와 흐름에 의해 이동되므로 파·흐름장을 상세하게 검토해 이 결과를 살려 모래 이동을 검토했다. 또한 작용하는 외력으로 통상 거친 파랑을 채용하여 단기적인 지형변화를 생각해 계산을 했다. 이는 구조물 배후에 퇴적되는 모래가 거친 파랑조건 아래서 flash될 것인지 여부를 검토하는 것도 매우 중요한 사항이기 때문이다.

서해안의 경우 겨울철에는 WNW방향의 거친 파랑이 일기 때문에 이에 관해 검토를 했다.

## (2) 수치 시뮬레이션

수치 시뮬레이션은 다음과 같이 3단계로 나누어 생각했다.

### a. 파랑변형<sup>1)</sup>

파랑변형의 계산은 비정상 환경사 파동방정식을 사용하여 파·흐름의 간섭을 고려하여 계산을 했다. 쇄파에 대해서는 Watanabe등<sup>1)</sup>의 쇄파 감쇠를 사용하여 계산을 했다.

계산영역, mash폭, time step, 경계조건은 다음과 같다 (그림 1).

- 계산 영역 : 연안 방향 1.4km, 먼 바다 방향 1.0km
- mash 폭 : DX=DY=5m
- time step : DT=0.3sec
- 경계 조건 :
  - 조파 경계: 파고는 실험에서 각 조파점에서의 파고를 산출한 값을 채용하고, 파의 방향은  $-6^\circ$ , 평균적인 파고는 약 3.4m를, 경계는 무반사 조파 경계로 했다.
  - 주기는 9.0sec로, 조파 수심은 평균으로 약 9m를 사용했다.
  - 측방 경계: 양측 모두 투과 경계로 하며, 특성곡선법을 사용했다.
  - 정선 경계: 투과 경계로 했으며 특성곡선법을 사용했다.
  - 구조물: 임의 반사 경계로 했으며 특성곡선법을 사용했다.

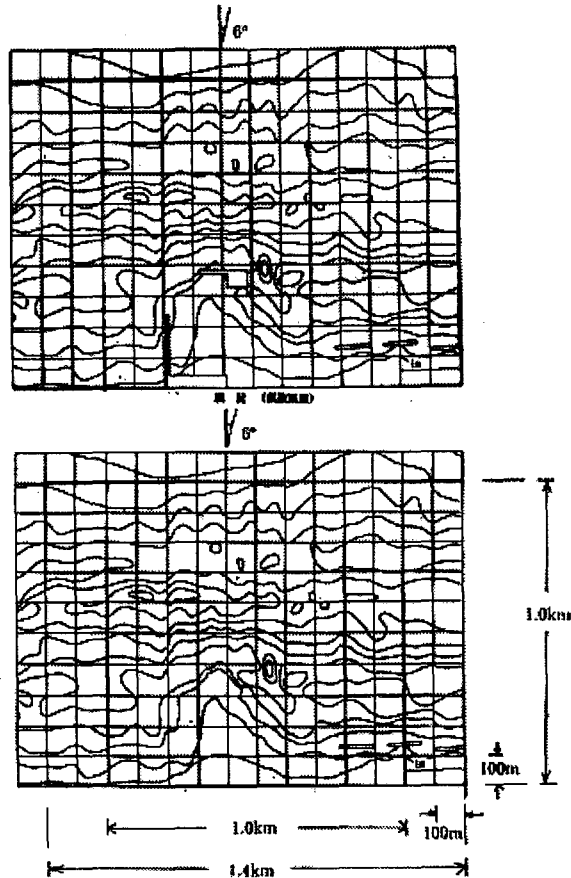


그림 1 파랑변형과 해빈류 계산의 계산영역

### b. 해빈류 계산<sup>2)</sup>

해빈류 계산에는 radiation stress, 평균수위, 흐름의 연속방정식을 사용했다.

계산 수행에 있어 계산영역, mash폭, time step, 경계조건은 다음과 같다 (그림 1).

- 계산 영역 : 연안 방향 1.0km, 먼 바다 방향 1.0km (계산 영역이 파의 변화 계산과 다른 것은 계산 영역을 파의 변화 계산에서 회절영역을 제외시키기 위함이다)
- mash 폭 : DX=DY=10m
- time step : DT=0.1sec
- 경계 조건 :
  - 먼 바다쪽 수위를 0으로 했다.
  - 측방경계에서의 투과 조건으로 유속 경사, 수위 경사를 0으로 했다.

c. 표사 이동 : 소류사 모델에 의한 지형 변화 모델, 부유사에 관한 모델을 고려해 계산한다.

### 3. 파랑변형 계산과 해빈류 계산과의 관계

먼저, 흐름이 없는 상태에서 파랑변형을 계산해 이 계산에서 얻어진 데이터를 사용해 해빈류 계산을 행한다. 계산된 흐름, 평균수위를 사용하여 파랑변형 계산을 하여 다시 해빈류의 계산을 한다. 이 과정을 파의 분포, 흐름, 평균수위가 평형상태가 될 때까지 반복 수행한다.

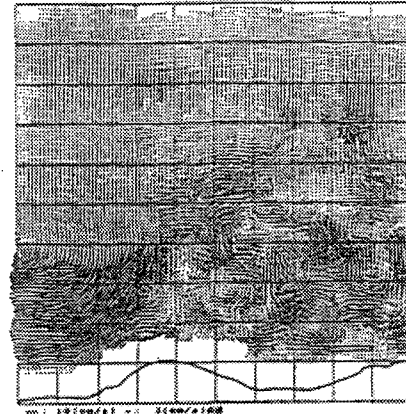


그림 2 해안형상 조건에서의 유황도(모형)

### 4. 해빈류장의 계산결과와 실험결과의 비교

전 단계의 과정을 통해 얻어진 파의 분포, 흐름, 평균수위를 이용하여 해안 형상(원지형)의 조건에서 파향을 WNW, 파고를 2.82cm(실제 2.82m), 주기 0.90sec(실제 9.0sec)의 조건에서의 유황분포를 표시하면 그림 2와 같다. 해안 형상의 조건 즉, 구조물이 설치되지 않은 상태에 대한 계산 결과는 그림 3과 같다.

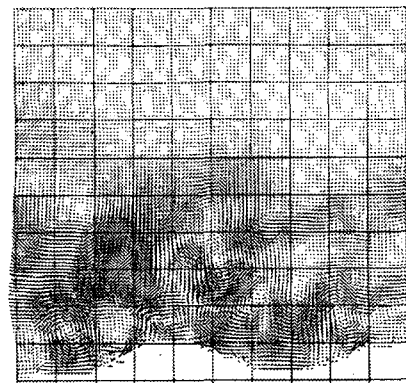


그림 3 해안 형상의 유황도 (수치계산)

해안원형의 조건에 구조물을 위치시킨 다음 다방향 불규칙파의 장을 외력 조건으로 구조물 주변의 해빈류장에 관한 모형 실험 결과는 그림 4와 같다. 또한, 본 연구에서는 해빈류의 계산에  $C_f=0.01$ , 와동점성계수  $\epsilon$ 을 구하기 위해 무차원 정수  $N=0.01$ 을 채용 했다. 이와 같은 경계조건을 주어 얻어진 해빈류의 계산 결과는 그림 5에 나타낸 것과 같다. 계산 결과 구조물을 설치함으로써 연안방향의 흐름이 탁월해져

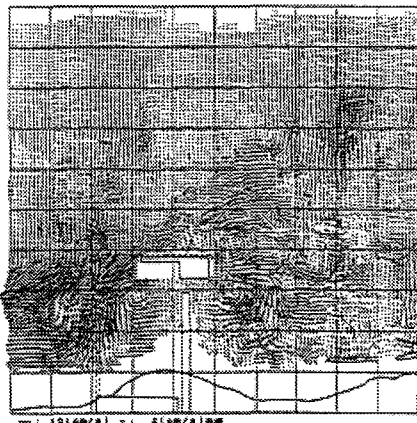


그림 4 구조물 설치 (모형 실험 결과)

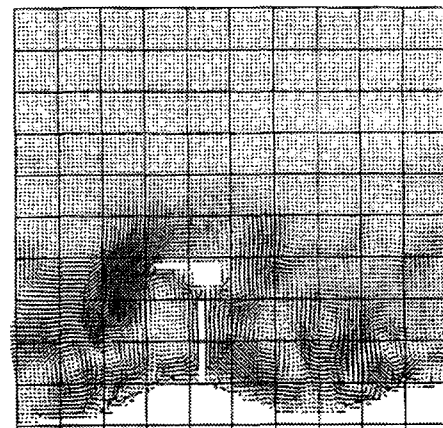


그림 5 구조물 설치 (수치계산 결과)

구조물 배후의 연안 부근에서 순환류가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 연안방향의 흐름에 의해 운반된 토사가 구조물 배후의 해안 근방의 순환류에 의해 흐름이 약해지기 때문에 구조물 배후에 퇴적되는 것을 알 수 있다.

### III. 결 론

본 연구에서는 구조물 주변의 해빈류장에 대한 수치 시뮬레이션에 관해 검토를 했다. 이 때 파랑장의 계산결과를 이용해 해빈류장의 계산을 한 결과 다음과 같은 사항이 파악되었다.

- ① 전역의 파고 분포, 유속도로부터 이안 구조물 건설에 따른 유속분포의 변화를 정성적으로 나타낼 수 있었다.
- ② 구조물 주변에 있어서도 일부 수정한 해빈류 계산 프로그램의 적응성이 높은 것으로 판명되었다.
- ③ 파고별, 파향별의 유황결과로부터 이안 구조물 주변의 흐름장의 평가가 가능했다. 또한, 이것으로 일련의 구조물 설치에 따른 해빈 변형 평가 자료로 이용될 수 있다는 것이 판명되었다.

최근에는 해빈류의 모형실험도 대형 시설을 사용하여 실시하고 있으므로 수치계산과의 비교정리를 함으로써 해빈 문제도 보다 진전되어 가고 있다.

앞으로의 과제로는 다변하는 현지조건에 관한 고려, wave set-up, 구조물의 반사문제 및 수심이 깊은 해곡 주변 흐름의 연구가 필요할 것이다.

### 참 고 문 헌

- 1) 日本土木學會 海岸工學委員會 研究現況レビュー小委員會:海岸波動【波・構造物・地盤の相互作用の解釋法】人工島式發電所背後波浪場・海浜流場に關する實驗的研究, pp.51-57, 1994
- 2) 本間 仁監修/堀川清司編:海岸環境工學 海岸過程の理論・觀測・豫測方法、東京大學出版局, pp.249-271, 1985
- 3) J.M.Smith, M.Larson, N.Kraus: Longshore Current on a Barred Beach: Field Measurements and Calculation, JGR, Vol.98, No. C12, pp.22717-22731, 1993
- 4) 池野正明 외 4인:人工島式發電所背後の波浪場・海浜流場に關する實驗的研究, 日本海岸工學論文集, 第40卷, pp.621-625, 1993