

얕은 수역의 흐름마당수값모의에 대한 연구

황영민, 리철청

항만과 부두건설, 양식적지선정 및 인공어초조성, 배의 안전항해 등을 비롯한 연안과 령해의 종합적개발과 리용에서 나서는 여러가지 해양학적문제를 원만히 풀기 위하여서는 제기되는 연안수역의 흐름마당특성을 정확히 해석해야 한다.

론문에서는 연안수역의 흐름마당특성을 해석하기 위한 수값계산모형을 제기하고 그 적용가능성을 론의하였다.

1. 연안수역의 흐름마당특성해석을 위한 기본방정식

련속방정식[2]

$$\frac{\partial(h+\eta)}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0$$

운동방정식

$$\begin{cases} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_x}{\partial y} + \frac{1}{2} g \frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial q_x}{\partial y} + f q_y - \tau_{bx} + \tau_{wx} + \tau_{Sx} \\ \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial u q_y}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} + \frac{1}{2} g \frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} D_x \frac{\partial q_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} D_y \frac{\partial q_y}{\partial y} - f q_x - \tau_{by} + \tau_{wy} + \tau_{Sy} \end{cases} \quad (*)$$

여기서 h , η 는 해도기준면으로부터의 물깊이, 물높이(m), t 는 시간, q_x , q_y 는 x , y 축에 평행인 단위너비당 흐름량(m^3/s), u , v 는 x , y 축방향 흐름속도(m/s), g 는 중력가속도(m/s^2), D_x , D_y 는 x , y 방향의 막흐름확산결수(m^2/s), f 는 코리올리파라메터(rad/s), τ_{bx} , τ_{by} 는 x , y 축에 평행인 바닥마찰응력($kg/(m^2 \cdot s^2)$), τ_{wx} , τ_{wy} 는 x , y 축에 평행인 표면바람접선응력($kg/(m^2 \cdot s^2)$), τ_{Sx} , τ_{Sy} 는 x , y 축에 평행인 파도마찰응력($kg/(m^2 \cdot s^2)$)이다.

식 (*)에서 속도성분들과 바닥마찰응력[1]은 다음과 같다.

$$u = \frac{q_x}{h+\eta}, \quad v = \frac{q_y}{h+\eta}, \quad \tau_{bx} = C_b u |U|, \quad \tau_{by} = C_b v |U|$$

여기서 U 는 총흐름속도이며 C_b 는 실험적으로 주어지는 바닥마찰결수로서 다음과 같다.

$$|U| = \sqrt{u^2 + v^2}, \quad C_b = g / C^2,$$

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}$$

또한 바람접선응력은 다음과 같다.

$$\tau_{wx} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} W^2 \sin(\theta), \quad \tau_{wy} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} W^2 \cos(\theta)$$

여기서 C_d 는 바람끈기결수, ρ_a 는 공기밀도, ρ_w 는 물의 밀도, W 는 바람속도, θ 는 x 축과

바람방향사이의 각이다.

파도응력은 복사응력에 의하여 표시된다.

$$\tau_{Sx} = -\frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right), \quad \tau_{Sy} = -\frac{1}{\rho_w} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right)$$

여기서 S_{xx}, S_{xy}, S_{yy} 는 파도에 의한 복사응력이다.

2. 수값계산모형과 모의실험

계차법을 적용하여 기본방정식들에 대한 수값계산모형을 작성하였다.

x축방향운동방정식의 수값계산식

$$\begin{aligned} & \Delta q_{x_{i,j}} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} / \Delta t + (F_{x_{(i+1)/2,j}}^k - F_{x_{(i-1)/2,j}}^k) \Delta y_{i,j} + (G_{y_{i,j+1}}^k - G_{y_{i,j-1}}^k) \Delta x_{i,j} + \\ & + [(h_{i,j} + \eta_{i,j}^k)^2 - (h_{i-1,j} + \eta_{i-1,j}^k)^2] g \Delta y_{i,j} / 2 = \\ & = [D_{x_{i+1/2,j}}^k (q_{x_{i+1,j}}^k - q_{x_{i,j}}^k) / \Delta x_{i,j} - D_{x_{i-1/2,j}}^k (q_{x_{i,j}}^k - q_{x_{i-1,j}}^k) / \Delta x_{i-1,j}] \Delta y_{i,j} + \\ & + f(q_{y_{i,j}}^k + q_{y_{i-1,j-1}}^k + q_{y_{i,j+1}}^k + q_{y_{i-1,j+1}}^k) \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} / 4 - \\ & - (C_b)_{i,j}^k u_{i,j}^k |U_{i,j}^k| \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} + \tau_{wx_{i,j}}^k \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} + (\tau_{Sx})_{i,j}^k \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} \end{aligned}$$

y축방향운동방정식의 수값계산식

$$\begin{aligned} & \Delta q_{y_{i,j}} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} / \Delta t + (F_{y_{i,j+1/2}}^k - F_{y_{i,j-1/2}}^k) \Delta x_{i,j} + (G_{x_{i+1,j}}^k - G_{x_{i,j}}^k) \Delta y_{i,j} + \\ & + [(h_{i,j} + \eta_{i,j}^k)^2 - (h_{i,j+1} + \eta_{i,j+1}^k)^2] g \Delta x_{i,j} / 2 = \\ & = [D_{y_{i,j+1/2}}^k (q_{y_{i,j+1}}^k - q_{y_{i,j}}^k) / \Delta y_{i,j} - D_{y_{i,j-1/2}}^k (q_{y_{i,j}}^k - q_{y_{i,j-1}}^k) / \Delta y_{i,j-1}] \Delta x_{i,j} + \\ & + f(q_{x_{i,j}}^k + q_{x_{i+1,j}}^k + q_{x_{i,j-1}}^k + q_{x_{i+1,j-1}}^k) \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} / 4 - \\ & - (C_b)_{i,j}^k v_{i,j}^k |V_{i,j}^k| \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} + \tau_{wy_{i,j}}^k \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} + (\tau_{Sy})_{i,j}^{k+1} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} \end{aligned}$$

연속방정식의 수값계산모형

$$\Delta \eta_{i,j} \Delta x_{i,j} \Delta y_{i,j} / \Delta t + (q_{x_{i,j}}^{k+1} - q_{x_{i+1,j}}^{k+1}) \Delta y_{i,j} + (q_{y_{i,j}}^{k+1} - q_{y_{i,j+1}}^{k+1}) \Delta x_{i,j} = 0$$

여기서 $\Delta \eta_{i,j} = \eta_{i,j}^{k+1} - \eta_{i,j}^k$ 이다.

안정성조건은 다음과 같다.

$$\xi \approx u \frac{\Delta t}{\Delta s}, \quad \Delta t \rightarrow \text{최대}$$

장주기파인 경우 $u = \sqrt{gh}$ 로 취급된다.

수값계산모형의 안정성평가를 위하여 두가지 경우에 대한 수값실험을 진행하였다.

우선 방파제를 가상하여 300m×800m의 계산구역을 설정하고 방파제의 안쪽과 바깥쪽에서의 연안흐름체계에 대한 수값모의를 진행하였다.

이류항들을 무시한 경우와 이류항들을 고려한 경우에 대한 연안흐름수값모의결과는 후자인 경우에 흐름마당체계가 복잡해지고 회리구역들이 생긴다는것을 보여준다.

다음 수값계산에서 이동경계처리에 대한 모의결과를 분석하였다.

계산구역을 50m×50m의 400개 그물로 분할하고 중심에 얕은 수역으로 둘러싸인 가상

적인 구역을 설정하고 수값실험을 진행하였다.

전반수역의 물깊이는 2m, 얕은 수역은 0.3m로 가정하고 물높이경계조건으로서 진폭이 1m이고 주기가 12h인 시누스파를 주었다.

모의를 시작한 후의 43~49h동안 물높이흐름계산모의결과는 그림 1, 2와 같다.

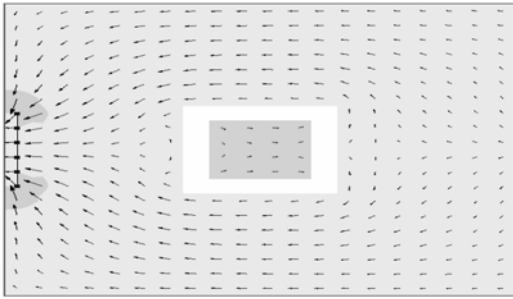


그림 1. 물높이와 흐름마당(43h후)

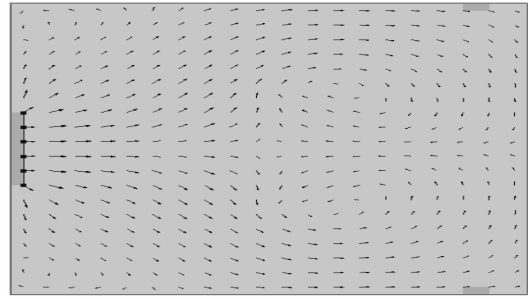


그림 2. 물높이와 흐름마당(49h후)

그림 1, 2에서 보는바와 같이 모의에서 연안수역은 43h후에는 간조상태를 나타내고 49h후에는 만조상태를 나타낸다. 즉 모의결과는 얕은 연안수역에서의 해양학적현상들을 정확히 나타내므로 현실에 적용할수 있다는것을 알수 있다.

맺 는 말

연안흐름수값해석모형을 적용하면 연안수역의 흐름마당에 대한 해석을 과학적으로 진행할수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 최호정 등; 해양수치계산, 김일성종합대학출판사, 87~93, 주체99(2010).
- [2] E. A. Martinsen et al.; Coast. Eng., 11, 603, 2013.

주체106(2017)년 2월 5일 원고접수

Numerical Simulation of Shallow Water Current in Coastal Area

Hwang Yong Min, Ri Chol Chong

We considered a numerical calculation model for correctly analyzing the near-shore wave-induced current under given waves and relief.

Key words: coastal area, numerical calculation model