

저면경사에 의한 Bouss-2D 모형의 마찰계수 적용

† 하창식 · 김탁겸* · 김종훈** · 유하상***

*,**,***,† (주)세일종합기술공사

요약 : 원해역에서 내습되는 파랑변형 및 근해역에서 그 응답은 국내 항만의 확장 및 보수를 위한 설계단계에서 정밀한 검토가 필수적이다. 항만의 설계검토는 비용 및 시간상 제약으로 평면 파랑모형을 통해 파악하고 있으며, 실제해상의 파랑형태와 유사한 불규칙파랑의 해석이 요구되고 있다. 파랑변형에 영향을 미치는 저면형상 및 마찰은 검토 대상해역의 해안선이나 근해의 순환적 패턴에 있어 중요한 요인이 된다. 다방향 불규칙파 모형에서 저면마찰은 사용자 지정의 상수로 적용되며, 적절한 적용으로 파랑의 특성을 재현할 필요가 있다. 본 연구에서는 불규칙파랑 모형을 대상으로 저면마찰 상수 변화에 따른 기준수리실험과의 특성을 고찰하고 다방향 불규칙파의 정온도 해석시 저면마찰적용에 대한 기초자료를 제공하고자 한다.

핵심용어 : 파랑변형, 불규칙파모형, 저면마찰, 반응특성

목 차

1. 서론
2. 수치실험
3. 결론



서론

연구의 배경

- 원해역에서 내습하는 파랑변형 및 근해역에서의 응답은 항만사용 측면에서 중요하며, 해상 파랑상태와 유사한 불규칙파랑의 해석이 요구됨.
- 파랑변형 실험시, 저면 마찰은 해안선이나 근해 순환적 패턴에 있어 중요한 요인
- 부시네스크 모형에서 저면마찰의 적용은 저면마찰의 상수값으로 사용됨에 의해 계약적 값일 적용됨.
- 불규칙파를 모사하는 모형(Bouss-2d)의 저면마찰 계수의 적용검토가 필요.

연구내용

Bouss-2D의 저면마찰은 순환적 모멘텀 방정식에 저면 마찰 항을 추가하여 그 특성상 사용자의 조항에 의해 차이를 보이고 있는 실험값.

- 기존 수리모형실험과의 비교를 통한 모형의 적용성 확인
- 불규칙 파를 대상으로 저면마찰 상수 및 실험조건에 따른 변화특성을 고찰



서론

파랑장 변형 실험에 사용되는 모형의 종류

▶ 환경사 방정식

Mild slope eq. Type	방정식 개발	모형	모형 개발	특징	전 수	경 위	반 해	마	불
타원형 (Elliptic Type)	Borthoff(1972) Demirel and Panchang(1986)	CGWME	미국군공연대(1986)	-경상해 다방향 MSE -유량요소	●	●	●	○	○
쌍곡선형 (Hyperbolic Type)	Nishimura(1989)	TDMSE	미국군공연대	-시간의존 쌍곡형 MSE	●	●	●	○	○
포물선형 (Parabolic Type)	Radder(1979)	REFDF	Kirby et al.(1984)	-경상해 포물형 MSE	●	●	○	○	△

○:기반형에서 적용 가능, ●:유동형에서 일면적 적용 가능, ...:외용상 적용 가능, ×:적용불가능, □:적용가능하나 고려되지 않았음

▶ 기타 방정식

eq. Type	방정식 개발	모형	모형 개발	특징	전 수	경 위	반 해	마	불
spectral wave action balance equation	Karlsson(1989)	SWAN	앨프리드공대	-phase-averaged wave model	●	●	△	△	○
Boussinesq Eq.	Nwogu(1993)	BOUSS2D	미국군공연대	-phase-resolving wave model	●	●	●	○	○
non-hydrostatic wave-flow model		SWASH	앨프리드공대	-phase-resolving wave model	●	●	●	○	○

○:기반형에서 적용 가능, ●:유동형에서 일면적 적용 가능, ...:외용상 적용 가능, ×:적용불가능, □:적용가능하나 고려되지 않았음

- 전수, 경위, 반해, 마, 불
- 해역을 모사할시 구역화모형은 정량적 상수 적용가능성과 달리 난류모형을 도입

모형의 적용

BOUSS-2D MODEL(Nwogu and Demirel, 2001)

비선형 Boussinesq 방정식을 기반으로 하는 시간영역 다방향 불규칙파랑 모형

- Weakly Nonlinear Boussinesq Eq. - Nwogu(1993)

※ 파고의 크기에 따라야 동해역 또는 동해역 적용가능

연속방정식 $u_x + v_y - u_y = 0$

$$u_{xx} + \sigma v_{yy} + (u_x - v_y)u_x + \sigma_0 v_{yy} + (v - u_x)u_x + (v - u_x)v_y = 0$$

$$u_y = \int_{-h}^{\eta} u_{xx} dx = (h+\eta)u_x + h \left[\frac{c_0 + h}{2} \right] v (u_x - v_y) + (v - u_x)v_y + h \left[\frac{(c_0 + h)^2 - h^2}{6} \right] v (v - u_x)$$

- Fully Nonlinear Boussinesq Eq. - Nwogu and Demirel(2001)

※ 파고의 크기에 크기가 있을 필요성 있음

※ 수리모형을 실험값과 비교하여 적용가능성 확인

$$u_{xx} + \sigma v_{yy} + (u_x - v_y)u_x + \sigma_0 v_{yy} + (v - u_x)u_x + (h+\eta)v_y + (v - u_x)v_y = 0$$

$$u_y = (h+\eta) \left[u_x + \frac{(c_0 + h) - \frac{h+\eta}{2}}{2} \right] v (u_x - v_y) + (v - u_x)v_y + h \left[\frac{(c_0 + h)^2 - (h+\eta)^2}{6} \right] v (v - u_x)$$

† 교신저자 : 정희원 hacs0917@naver.com

* taggyum@naver.com

** nulbokim@hanmail.net

*** coolwave70@gamil.com

모형의 적용

BOUSS-2D MODEL 에서 쇄파 및 저면마찰

❖ 쇄파에 의한 에너지 소산은 운동량 방정식에 원천항을 추가하여 반영됨.

$$F_{\text{breaking}} = -\frac{1}{h+\eta} \nabla [\nu_t (h+\eta) \nabla \cdot \mathbf{u}_\alpha]$$

$$\nu_t = \sqrt{k} l_t \text{ 난류와정성계수} \quad C_D = 0.02$$

$$k = \text{난류운동에너지} \quad \sigma = 0.2$$

$$l_t = \text{난류의 길이규모}$$

• 난류운동에너지의 생성, 이송 확산 및 소산을 평가하는 방정식

$$k_t = -\mathbf{u}_w \cdot \nabla k + \sigma \nabla \cdot (\nu_t k) + B - \frac{l_t^3}{\sqrt{C_D}} \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right]_{z=\eta} - C_D \frac{k^{3/2}}{l_t}$$

$$B = \begin{cases} 0 & |u_w| < C \\ 1 & |u_w| \geq C \end{cases} \quad C(t) = -\eta_t / \nu \eta_f$$

모형의 적용

BOUSS-2D MODEL 에서 쇄파 및 저면마찰

❖ 저면마찰에 의한 에너지 소산은 운동량 방정식에 원천항을 추가하여 반영됨.

$$F_{\text{friction}} = -\frac{1}{h+\eta} f_w \mathbf{u}_\alpha |u_\alpha| \quad \frac{C(s/m^{1/2})}{f}$$

10	0.1
15	0.044
30	0.011
60	0.0027

$$f_w = \text{저면마찰계수}$$

$$f_w = R/C_f^2$$

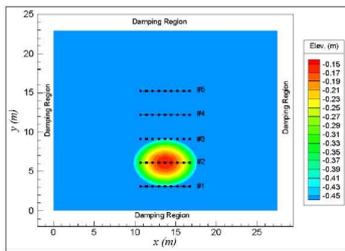
❖ 부시네스크 방정식을 기반으로 하는 모형의 마찰적용 제한

- ❖ Bouss-2d
 - Bottom friction factor with default value of 30
 - Should be kept 20~1000

- ❖ Coulwave
 - 10 = rough-beach limit (Mader,1990)
 - 20~160 = typical for river channels

수치실험

1. 타원형 천해의 불규칙 파랑 변형 실험



Vincent & Briggs (1989)

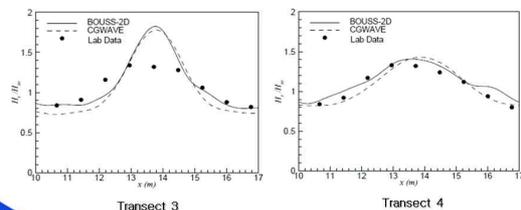
- TMA 스펙트럼
- 수심 = 0.4572~0.1524m
- 파고 = 0.0775m
- 주기 = 1.3s
- 영역 = 31.5 x 27 m

실험 수심 및 구역도

출처 : BOUSS2D USER MANUAL

수치실험

1. 타원형 천해의 불규칙 파랑 변형 실험



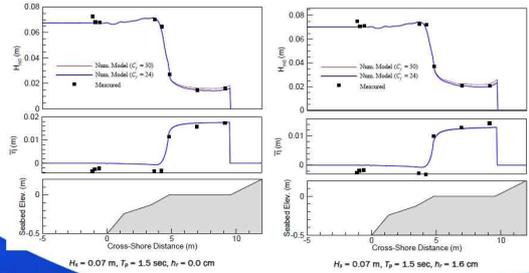
Transect 3

Transect 4

출처 : BOUSS2D USER MANUAL

수치실험

2. 마찰 및 실험조건에 따른 수리실험과 Bouss-2d



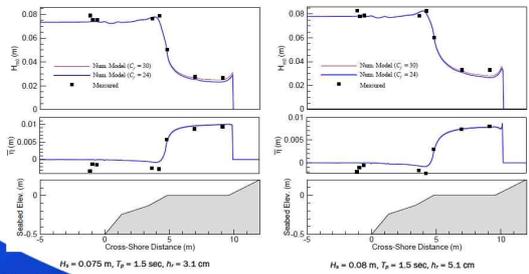
$H_0 = 0.07 \text{ m}, T_0 = 1.5 \text{ sec}, h = 0.0 \text{ cm}$

$H_0 = 0.07 \text{ m}, T_0 = 1.5 \text{ sec}, h = 1.6 \text{ cm}$

출처 : Boussnessq Modeling of Wave Propagation and Runup over Fringing Coral Reefs, Model Evaluation Report

수치실험

2. 마찰 및 실험조건에 따른 수리실험과 Bouss-2d



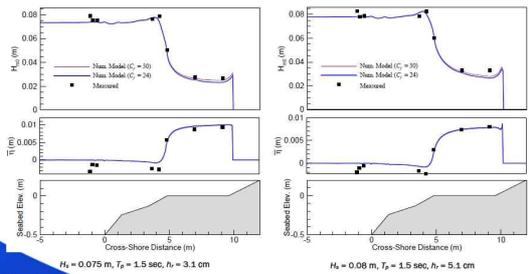
$H_0 = 0.075 \text{ m}, T_0 = 1.5 \text{ sec}, h = 3.1 \text{ cm}$

$H_0 = 0.08 \text{ m}, T_0 = 1.5 \text{ sec}, h = 5.1 \text{ cm}$

출처 : Boussnessq Modeling of Wave Propagation and Runup over Fringing Coral Reefs, Model Evaluation Report

수치실험

2. 마찰 및 실험조건에 따른 수리실험과 Bouss-2d



$H_0 = 0.075 \text{ m}, T_0 = 1.5 \text{ sec}, h = 3.1 \text{ cm}$

$H_0 = 0.08 \text{ m}, T_0 = 1.5 \text{ sec}, h = 5.1 \text{ cm}$

출처 : Boussnessq Modeling of Wave Propagation and Runup over Fringing Coral Reefs, Model Evaluation Report

결론

복잡한 해양환경 조건을 고려하는 불규칙파 모형의 저면마찰 특성을 파악하기 위해 기존연구결과 및 저면 마찰계수 조절에 따른 양상을 검토

- ❖ 타원형 천해의 불규칙 파랑 변형 실험
 - 단면 3,4에 대한 파고 변화는 단면4에서 일치
- ❖ 마찰 및 실험조건에 따른 수리실험과 Bouss-2d
 - 수리실험에 대한 마찰계수 및 실험조건에 따른 결과
 - 쇄파대 이후 지형에서 저면마찰계수에 따른 양상이 차이 나타남

제한

- ✓ Bouss-2D의 마찰계수에 따른 2차원 파랑장 변형시 대안역으로 영향은 미치는 파랑이 상이함에 추가적인 검토가 필요함
- ✓ 향후 쇄파대가 발달한 지형의 정온도 해석시 저면마찰의 적용에 대한 기초자료로 활용 기대