

방조제 최종체절 구간에서의 유속 예측

윤태훈*, 윤성범*, 이홍제**, 신원태**

1. 서 론

간척공사의 성공여부를 결정짓는 최종체절시, 투하사석의 크기결정에 필수적인 자료인 개방구간에서의 유속을 예측하기 위해, 내외수위차법, 수치모형실험 및 수리모형실험등이 이용된다. 대부분의 간척공사가 조석간만의 차가 심하고 경사가 완만하여 조간대가 넓게 발달한 지역에서 이루어지므로, 해안선의 이동이 개방구간에서의 유속에 상당한 영향을 미칠 것으로 예상된다. 본 연구에서는 종래에 주로 사용되어 오던 내외수위차법과 이동 경계를 고려한 수치모형에 의한 결과와 수리실험에 의한 결과를 비교·분석하여 각 예측 방법의 현장 적용성에 대해 고찰한다.

2. 내외수위차법

내외수위차법은 체절구간의 내외수위차에 의한 유입·유출량과 만내부 저류량 사이의 질량보존식인 저류량방정식을 이용하여 간략하게 외부수위변화에 따른 내부수위변화와 체절구간에서의 유속변화만을 예측하는 기법이다.

체절구간에서의 유속 V 는 제방의 단면폭(두께)이 작은 경우 사다리꼴 단면의 수중 weir로 보고 수리실험에 의한 Homma공식을 이용하며, 체절구간의 내외수위차(h) 및 수심($H-h$)에 따라 불완전월류(그림 1)와 완전월류(그림 2)로 구분하여 결정된다. 즉

불완전 월류시 ($h < \frac{H}{3}$ 일때)

$$V = C\sqrt{2gh}$$

$$Q = (H-h)BC\sqrt{2gh}$$

* 한양대학교 토목공학과

** 국립건설시험소 수공과

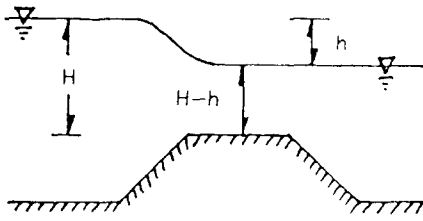


그림 1 사다리꼴 weir의 불완전 월류

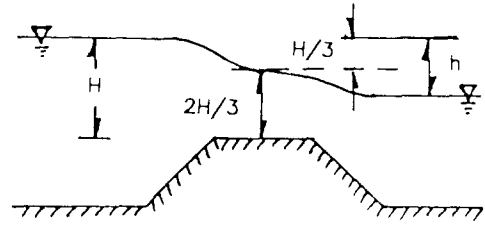


그림 2 사다리꼴 weir의 완전 월류

완전 월류시 ($h > \frac{H}{3}$ 일때)

$$v = C\sqrt{2g\frac{H}{3}}$$

$$Q = \frac{2}{3}HBC\sqrt{2g\frac{H}{3}}$$

여기서, v 는 유속 (m/sec), Q 는 유량(m^3/sec), H 는 weir의 상류측 수심(m), h 는 내외수위차, B 는 체절구간의 개방폭(m), C 는 유속계수로 0.9를 사용하였다.

만내 수표면적을 $S(m^2)$, 만내 수위를 $y(m)$ 라 할 때 다음의 저류방정식을 4차 Runge-Kutta방법으로 해를 구한다.

$$\frac{dy}{dt} = \frac{Q}{S}$$

이 식의 만내부 수위 y 와 수표면적 S 와의 관계는 후술되는 수리실험의 수심측량자료로부터 구하였다.

3. 수치모형

수치모형의 지배방정식으로 2차원 보존형 천수방정식을 이용하였으며, 수치기법으로는 Imamura & Shuto(1988)의 유한차분모형을 변형하여 사용하였다. 이 기법의 주된 특징은 이송항에 대해서는 1차 정도의 풍상차분(upwind scheme)을 적용한다. 바닥마찰항은 Manning의 조도계수를 사용하고, 이동경계를 계단형상으로 처리한 Iwasaki & Mano(1979)방식을 따른다.

수치모형의 검증은 Goto & Shuto(1983), Imamura & Shuto(1988)등에 소개되어 있으므로 여기서는 새로운 이동경계기법의 검증에 국한한다.

그림 3에 보인 바와 같은 포물형 용기안에 볼록한 모양의 초기수면변화를 주었을 경우, 2차원 비선형 천수방정식의 정확해와 수치해를 비교하였다. 그림 4는 초기수면형으로부터 반주기까지의 수면형변화를 매 1/8 주기마다 정확해와 비교한 결과로써, 초기의 볼록한凸형의 수면이 시간에 따라 凹형의 수면으로 중심부가 하강하고 해안선이 중심부로부터 멀어지는 양상을 보여주며, 정확해와 매우 흡사하다. 그림 5는 시간에 따른 해안선의 위치변화를 나타낸 것으로, 해안선 상승시 약간의 위상차와 수위상승폭차를 보이나 전반적으로 정확해와 매우 근접함을 보이며, 그림 4에서 보는 바와 같이 오차가 수심이 매우 작은 해안선 부근의 1~2격자에 국한되는 것으로 볼 때, 전반적인 물의 거동에는 영향이 미미할 것으로 판단된다. 그림 6은 시간에 따른 수표면의 변화양상을 시간적으로 표현한 것이다. 이러한 결과로부터 수치모형의 이동경계조건 및 수치기법의 정확성을 짐작할 수 있다.

4. 수리실험

전술한 내외수위차법과 수치모형의 검증을 위한 계측자료 획득을 목적으로 그림 7과 같이 수조를 제작하였다. 수조의 제원은 대략 20m×20m이며 수조의 한쪽변 ($x=0$)을 따라 수위조절용 weir를 설치하여, 진폭 3cm, 주기 약 450초의 조석을 발생할 수 있도록 하였으며, 수심은 방조제 외부에서 30~40cm, 방조제 내부에서 30cm~(-)5cm 정도로 조석작용에 의한 조간대가 나타나도록 하였다. 수위는 A~E의 5개 지점에서 연속기록되고, 유속은 1과 2점에서 1방향 유속을, 3점에서 2방향 유속을 매 56초 마다 2주기 동안 측정하였다. 방조제 중간부에 평균수심이 7cm인 개방구간을 설치하고, 개방폭을 2.5m에서 0.7m까지 5가지 경우에 대해 실험하였다.

5. 각 방법의 비교분석

내외수위차법 및 수치모형의 정확성과 현장에의 적용성을 검토하기 위해 개방폭 0.7m의 경우에 대해 수리실험의 관측자료와 비교 분석하였다.

이 경우 개방부의 통수단면적과 만내 평균수표면적의 비가 1/3,000으로, 내외수위의 위상차는 만조시 54초, 간조시 84초로 개방폭이 큰 경우에 비해 현저히 증가하였으며 만내 평균해수면이 상승되었다.

그림 8은 만내 수위의 시간변화를 비교한 바, 내외수위차법(간략법:simple)에 의한 결과가 관측치와 잘 맞는 것을 볼 수 있으며, 수치모형은 침두치에 있어서 약간 작은 값을 준다. 내수위 진폭은 1.63cm로 외수위 진폭 3cm에 비해 현저히 감소하였다.

그림 9에서 내외수위차법에 의한 창조시 최대 유입유속이 관측치보다 약간 크게 나타난 반면, 수치모형에 의한 값은 약간 작게 나타났다. 낙조시 유출유속은 내외수위차법이 관측치와 아주 흡사하고, 수치모형은 관측치보다 전반적으로 작은 값을 준다. 특히 내외수위차법에 의한 유출유속은 침투부근에서 포물형분포를 보이지 않고 직선분포를 보이는데, 이는 불완전 월류에서 완전 월류로 흐름상태가 바뀐 영향으로 사료되며 관측치에서도 이러한 경향을 볼 수 있다. 3가지 방법 모두 낙조시 최대유속이 창조시보다 1.2배 정도 큰 값을 준다.

개방폭이 넓은 다른 3가지 경우에 대해서도 3가지 방법을 비교한 결과, 여기에 보인 것보다 훨씬 더 근접하는 결과를 보였다.

6. 결 론

이상의 비교 분석으로부터 내외수위차법 및 수치모형 모두 만내 수위변화와 개방구간의 유속예측에 상당히 정확한 결과를 줄 수 있음을 알았으며, 외부 조석의 파장에 비해 만의 규모가 현저히 작은 경우, 계산시간이 훨씬 적고, 정확성도 있는 내외수위차법의 사용이 권장되나, 규모가 커지고 체절구간 주변의 복잡한 흐름양상을 필요로 하는 경우에는 수치모형의 이용이 필수적이다.

또한 이동경계의 영향은 내외수위차법에서는 만내 수위에 따른 수표면적계산시 쉽게 반영되며, 수치모형에서는 현실적인 예측을 위해 필수적으로 고려되어야 함을 알 수 있었다.

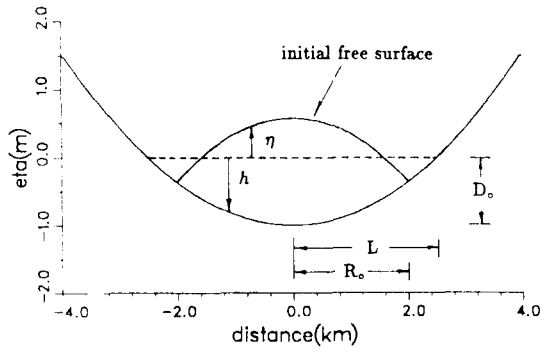


그림 3 이동경계 검증을 위한 포물형 용기의 단면도(Thacker, 1981)

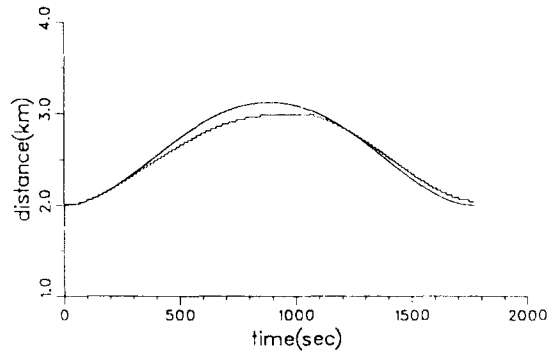
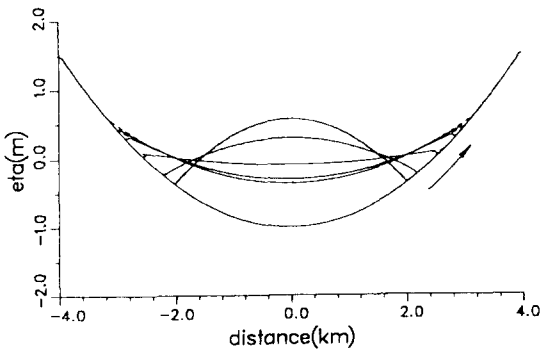


그림 4 $t/T=0, 1/8, 2/8, 3/8, 4/8$ 에서의 자유수면; 그림 5 용기중심으로부터 해안선까지의 거리;
 — 수치해, ... 정확해(Thacker, 1981)

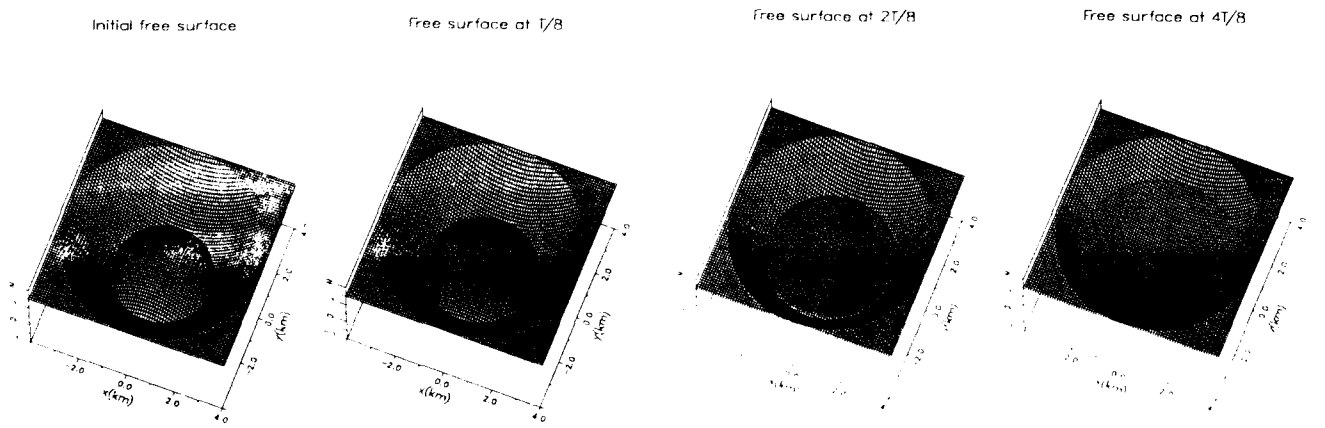


그림 6 시간에 따른 수면형의 변화

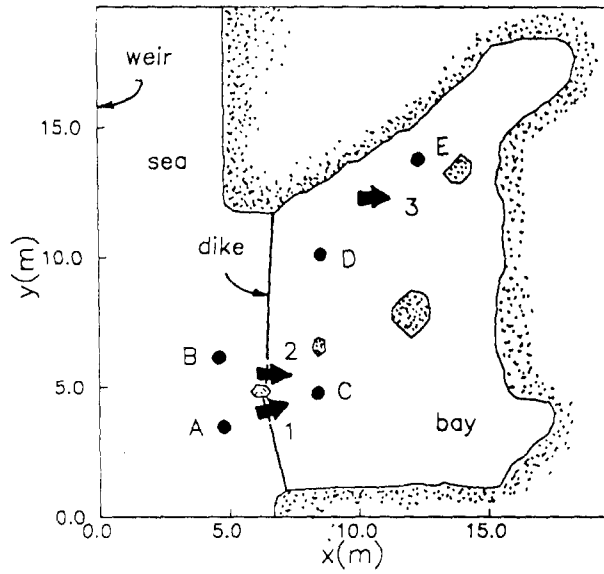


그림 7 실험수조 및 관측점 위치도(수위●, 유속⇒)

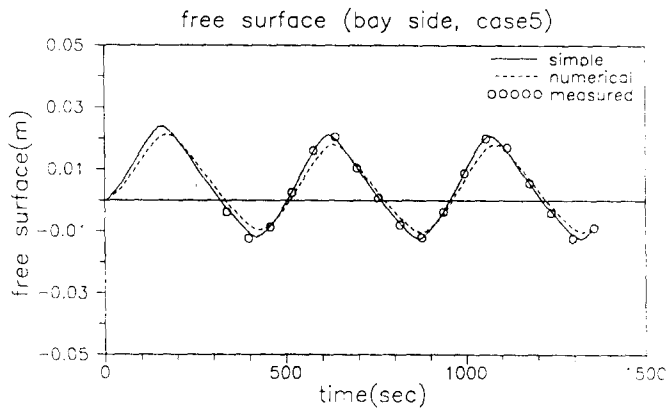


그림 8 수위관측점 C에서의 내수위 비교(경우 5)

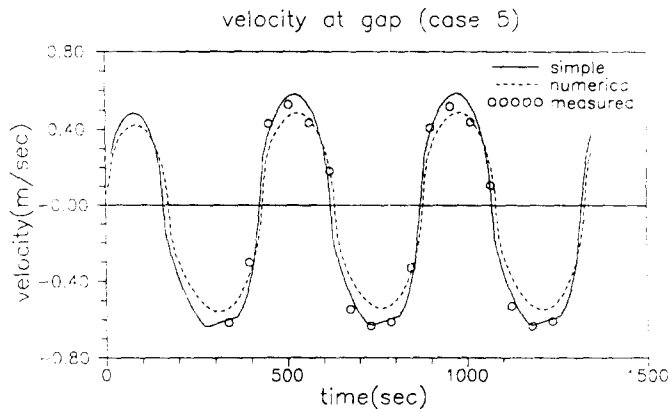


그림 9 유속관측점 2에서의 유속 비교(경우 5)