

하천 제방 침투 흐름의 비정상 모델링 Unsteady Modeling for River Bank Infiltration Flow

이 남 주, 김 혜 림, 류 권 규*, 양 문 용*
경성대학교, 동의대학교*

Nam-Joo Lee, Hyelim Kim, Kwonkyu Yu*,
Moonyong Yang*
Kyungsoong University, Donggeui University*

요약

이 연구는 일본식 배수공이 설치된 제방의 침투 흐름을 비정상 상태로 SEEP/W 모형을 사용하여 해석하고 모형의 적용성을 평가하기 위해 수행하였다. 수치모형의 적용성 평가를 위해 비정상 상태로 제방 침투에 대한 수리모형실험을 수행하였다. 제방 재료는 경상북도 구미시에 위치한 해평천의 제방 건설 현장의 재료를 사용하였고 일본식배수공은 굵은 골재와 부직포를 사용하여 실험실에 제방 축소 모형을 수조 내부에 제작하였다. 모형제방은 제방축조 방법과 유사하게 다짐을 하기 위해 흙을 쌓으면서 0.20 m 높이마다 다짐을 실시하였다. 다짐방법은 고무망치를 이용한 층다짐을 하였다. 제방 제외지에 0.55 cm/min의 속도로 수위를 증가하여 15분 간격으로 각 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m 수위에 따른 비정상 상태의 위압계 측정을 수행하였다. SEEP/W 모형의 매개변수는 투수계수와 입도분포도, 불포화 함수특성곡선(값을 산정하기 어려움)이 있으며, 각 매개변수에 대한 민감도 분석을 수행하였다. SEEP/W 모형의 모의 결과는 수리모형실험 결과와 비교적 잘 일치함을 알 수 있었다.

I. 서론

우리나라의 제방에 대한 안정성 평가는 정상상태의 해석법인 Mononobe 경험식의 흐름류 계산에 따른 침윤선을 이용하고 있지만, 정상상태의 침투해석이 비정상상태의 침투해석보다 2~3배 크게 산정되며[2], 홍수의 기간이 외국과 달리 짧은 우리나라에서는 정상상태보다는 비정상상태의 침투해석이 경제적이며 합리적이다[1].

이 연구에서는 배수공을 가지는 제방에 수위를 달리하여 해석을 실시하였으며, 수위 변화에 따른 침윤선 변화를 실험하였다. 제방 축조 현장에서 구한 제방재료를 사용하여 실험실에 제방축조모형을 제작하고 수위를 변화에 따른 비정상 상태의 침투수위를 측정하였다. 그리고 SEEP/W모형을 이용한 비정상상태의 침투해석을 통해 수리실험결과와 비교를 수행하였다.

II. SEEP/W 모형의 개요

GEO-STUDIO에 포함되어 있는 SEEP/W 모형은 연직 이차원 정상류 침투해석 모형으로 사력댐이나 제방의 단면을 통한 침투를 계산하도록 설계된 2차원 유한요소 흐름모형이다. 비정상상태의 모의 가능하며 결과 값을 이용해 사면안정해석 프로그램인 SLOPE/W와 연동이 가능하다. SEEP/W 모형의 지배 방정식은 (1)과 식 (2)로 구성된다.

$$\nabla \cdot (K \cdot \nabla h) = 0 \quad (1)$$

또는

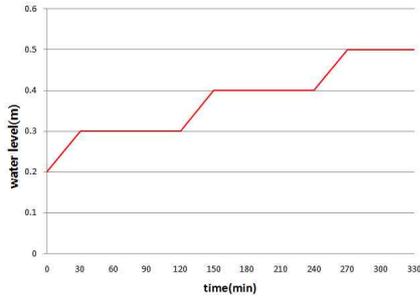
$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} + K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} + K_{yx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (2)$$

여기서 h는 총 수위(위치수두와 압력수두의 합), K는 투수계수이다.

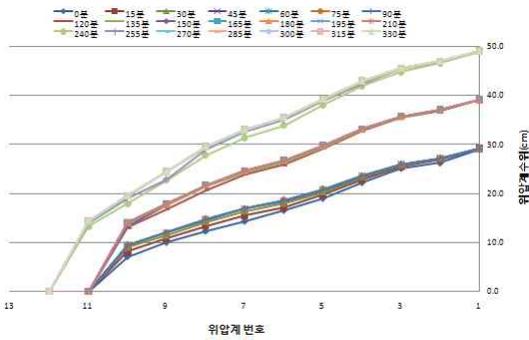
III. 제방 침투 수리모형실험

제방모형은 14.5 m × 0.6 m × 1.6 m의 수조 내부에 제작하였다. 제방 사면의 경사는 1:2, 제방 저면의 길이는 2.6 m, 제방의 높이는 0.55 m로 하고, 제방 상부의 길이는 0.40 m로 제작하였다. 일본식배수공은 굵은 골재와 부직포를 사용하였고 0.3 m × 0.6 m × 0.05 m로 설치하였다. 들밀도실험에 의한 제방모형의 건조단위중량과 다짐도는 각각 2.033g/cm³, 98%로 측정되었다.

침투 실험은 정상상태 침투해석을 위해 시간에 따라 수위를 그림 1과 같이 변화시켰다. 그림 2는 수리모형 실험 결과이다. 초기수위는 조건수위보다 10 cm 낮추었으며 15분 간격으로 피에조미터를 측정하고 결과 위압계별 수두는 제외지 사면부터 증가하기 시작하며 제내지 사면으로 확장됨을 알 수 있으며, 시간이 지날수록 수두의 상승속도가 둔화되는 일반적인 경향이 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 75분 경과부터는 피에조미터의 수두가 안정되어 정상상태에 도달했고 일본식배수공 내에 침윤선이 위치했다.



▶▶ 그림 1. 제외지 수위변화

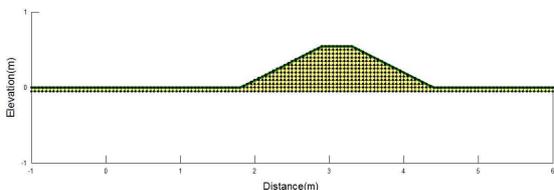


▶▶ 그림 2. 수리모형실험 결과

IV. 제방침투 수치모델링

1. 수치모형 적용

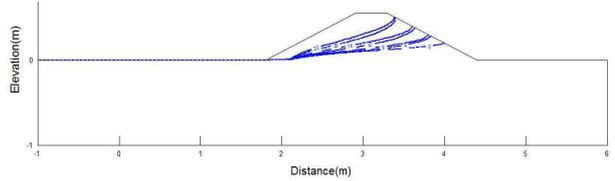
수치격자는 Structured Quad형 격자와 Structured Mixed형 격자를 사용하였고, 크기는 5 cm × 5 cm이다. 수치해석에 사용한 유한요소의 개수는 492개이며, 격자점의 수는 623개이다(그림 3 참조). 제방의 투수계수는 0.0086 cm/sec, 배수공의 투수계수는 0.86 cm/sec으로 하였다. 초기지하수위는 제외지의 수위가 20cm일 때 침윤선을 이용하였다. 모의시간은 수리모형 실험과 동일하게 330분을 모의하였으며 결과는 15분 간격으로 출력하였다.



▶▶ 그림 3. 격자 구성

2. 수치모형 결과

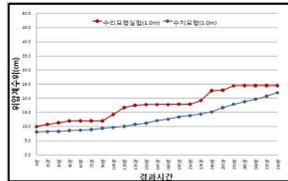
그림 4는 수치모의 결과를 나타낸 것으로 초기지하수위부터 1시간간격으로 변화를 나타낸 것이다. 제외지측부터 수위가 상승하며 배수공에 도달하면 급격히 수위가 낮아지는 것을 알 수 있다.



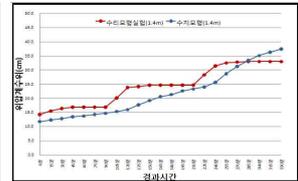
▶▶ 그림 4. 시간별 침윤선의 변화

3. 결과비교

수치해석의 결과를 제내지측 1.0 m와 1.4 m지점에서 침윤선 변화를 비교하였다. 시간이 지남에 따라 조금씩 상승하는 것을 볼 수 있었다. 하지만 수치모형을 이용한 수치해석은 수위 변화에 큰 영향이 없이 선형적인 상승세를 보였으나 수리모형실험을 이용한 수치해석은 수위의 상승에 큰 영향을 받은 것을 확인 할 수 있다. 그림 5와 6은 각각 제내지측에서 1.0m, 1.4m 지점의 침윤선 변화를 나타낸 것이다.



▶▶ 그림 5. 시간별 침윤선(1.0m)



▶▶ 그림 6. 시간별 침윤선(1.4m)

V. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 제방에 대한 비정상상태의 침투수리모형실험과 이에 대한 수치모의를 수행하였다. 제방의 침투 수리모형실험은 많은 비용과 노력이 소요되므로, 실제 현상을 적절히 반영할 수 있는 수치모의는 수리모형 실험 수행에 따른 비용의 절감에 기여할 수 있다. 정도 높은 수치모의 결과를 위해 정확한 매개변수 추정과 검보정 꼭 필요하겠다.

■ 감사의 글 ■

이 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

■ 참고 문헌 ■

- [1] 전세진 “하천제방의 비정상침투해석을 위한 무차원 홍수파형의 해석기법 연구”, 공학박사학위논문, 2010.
- [2] 임동균, 여홍구, 김규호, 강준구 “제방 침투 수치해석 모형의 적합성 분석”, 한국수자원학회논문집, 제39권 제3호, pp. 241-252, 2006.