

필 댐에 관한 지진하중-간극수압의 상호작용 평가를 위한 기초연구

An Basic Estimation for the Mutual action of Sesimic load-Pore Pressure about Fill dam

정의중· 백성철** · 남열우*** · 이섬범**** · 박인준***** · 김홍택*****

Jeung, Eu-Jung · Baek, Sung-Chu Nam, Yel-Woo · Lee, Seom-Beom
Park, Inn-Joon · Kim, Hong-Taek

Abstract

In case of having no consideration for pore pressure, we may underestimate earthquakes in seismic analysis of fill dam. because we can not consider hydrodynamic pressures induced by earthquakes. Nevertheless, there are few actual results on hydrodynamic pressures variation due to the principal variables of seismic analysis of fill dam. So, in this study we study earthquake-pore pressure interaction performing divers variable analysis, as considering Sesimic load-Pore Pressure.

key words: hydrodynamic pressures, Earthquake, Fill-dam, Interaction, Pore-pressure,

필 댐의 내진해석은 간극수압을 고려하지 않을 경우에는 지진에 의한 동수압을 고려할 수 없기 때문에 지진력을 과소평가할 수 있다. 그러나 현재까지도 필 댐의 내진해석에서 주요 변수에 따른 동수압의 변화는 연구 실적이 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 지진하중과 간극수압을 모두 고려하는 경우에 대해 다양한 변수 분석을 수행하여 지진과 간극수압의 상호작용을 알아보았다.

1. 서론

근래 우리나라를 포함하여 전 세계적으로 발생하는 지진으로 인하여 연약지반이나 매립지반을 포함하는 항만 구조물은 큰 지반중폭 및 액상화 발생 가능성으로 인하여 정밀한 동해석이 필요하다. 지진 시에는 수평 방향의 관성력이 작용하는데, 이와 같은 힘에 의해 댐 안에 인장응력이 생길 가능성이 있으며, 인장저항력이 작은 흙 구조물로서는 균열과 활탈의 위험도 크다. 질이 다른 재료로 구성되어 있는 경우, 지진 시에는 이질 재료의 접합면에서 지진파의 반사, 굴절들이 생겨 국부적으로 큰 응력이 발생하기 쉬우며, 균열의 발생 원인이 된다.

제방이나 댐과 같이 경사진 지반의 지진에 대한 안정성을 검토하기 위해서는 대 부분이 수치해석 기법을 이용하게 되나 이러한 평가는 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 이러한 해석과정에서 댐 체체의 투수계수의 변화가 간극수압-진동하중 연계해석에 어떠한 영향을 미치는 가를 살펴보았다.

* 홍익대학교 토목공학과 석사과정
** 홍익대학교 토목공학과 박사과정
*** 신성ENG 김리부 본부장
**** 대우건설 부장
***** 한서대학교 토목공학과 교수
***** 홍익대학교 토목공학과 교수

2. 해석개요 및 절차

포화된 지반에 지진과 같은 급속한 하중이 가해지면 지반은 비배수 거동을 하게 되며, 이 때 변위 및 응력은 과잉간극수압에 의해 많은 영향을 받게 된다. 따라서 실제와 유사하게 수치해석을 모사하기 위해서는 간극수압-지반 상호작용을 고려하는 완전연계해석(Fully Coupled Analysis)을 수행하여 과잉간극수압 증가와 변형을 검토하여야 한다.

본 연구에서는 저수지 모드에 대하여 범용 유한차분해석 프로그램인 FLAC 2D Ver 3.3을 이용하여 완전연계해석을 수행함으로써, 평가대상 필 댐에 대해 동적해석을 수행하였다. 또한 댐 체체의 투수계수 비의 변화가 간극수압과 변위에 미치는 영향을 살펴보았다.

2.1 해석조건

해석 영역은 <그림1>과 같이, 일반적인 필댐의 표준단면도를 이용하였고, 범용 유한차분 지반해석 프로그램인 FLAC 2D(Ver 3.3)를 이용하였다. 보다 실제와 같은 필 댐의 거동을 모사하기 위하여 내측의 수위는 최고수위에서 최저수위 까지 저하되는 것으로 모델링 하였으며, 성토재 및 중앙코어재의 투수계수에 따른 전반적인 거동을 알아보기 위하여 지반의 투수계수를 변화하는 조건으로 수치해석을 수행하였다.

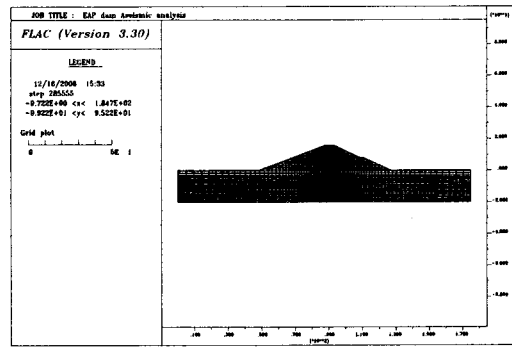


그림 1 해석에 적용된 격자요소망

본 연구 수치해석시 적용된 지반의 투수계수 조건은 <표1>과 같다.

<표1> 투수계수 조건

구 분	투수계수						
Core재	4.0×10^{-9}						
성토재	4.0×10^{-9}	4.0×10^{-8}	4.0×10^{-7}	4.0×10^{-6}	4.0×10^{-5}	4.0×10^{-4}	4.0×10^{-3}
체체의 투수계수비	1	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6

2.2 해석절차

본 연구의 내진해석은 편의상 1000년 주기 붕괴방지수준인 내진 1등급으로 가정하였으며, 입력 지진파는 장단주기 특성을 모두 반영하여 생성한 인공지진파로 결정하였다. 간극수압이력은 체체 상류사면 하부지반 2곳에서 파악하였으며, 변위는 댐 체체의 최 상부로 결정하였다.

원지반 응력특성을 그대로 반영하기 위하여 원지반 초기화, 흐름경계 적용후 정상침투(Steady-State Flow) 해석에 의하여 Phreatic Line 및 간극수압 분포를 결정하였다. 진동하중 재하 후 간극수압-진동하중 완전상호 연계해석(Fully Coupled Analysis)을 수행하였으며, 침투해석시 저수지 하류사면 아래 지표면의 간극수압은 없으므로 경계조건을 “간극수압=0”으로 고정시킨 후 정상침투해석을 수행하였다. 또한 댐 체체의 투수계수를 변화시키며 동적시간동안 간극수압의 최대값과 x방향의 최대변위를 살펴보았다.

2.3 해석결과

필 댐의 코어재 투수계수는 고정시키고, 성토재의 투수계수를 변화시켜가며 투수계수 비(k_f/k_c)를 $10^1, 10^2, 10^3, 10^4, 10^5$ 및 10^6 으로 변화시켜 가면서 변위와 간극수압의 변위를 관찰하였다. 대표적인 필 댐의 간극수압 분포도와 변위분포도는 그림 2와 같으며, 성토재의 투수계수 변화에 따른 간극수압 및 수평변위의 변화는 그림 3~그림 6과 같다.

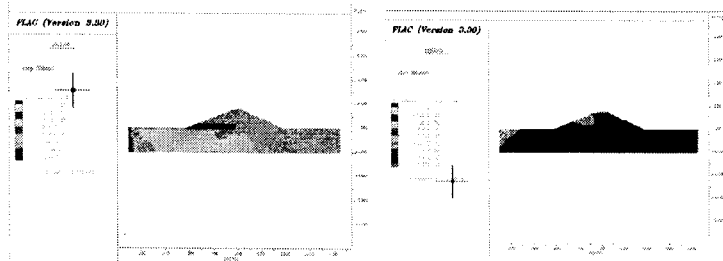


그림 2 동적시간에 따른 간극수압과 x방향 변위의 변화

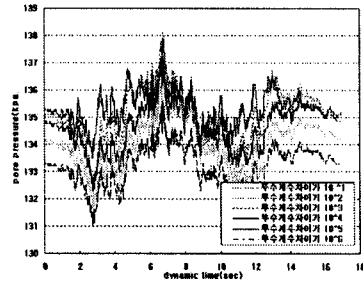


그림 3 지진에 따른 간극수압

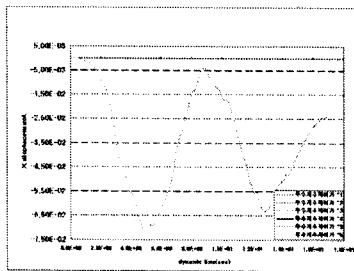


그림 4 지진에 따른 수평변위

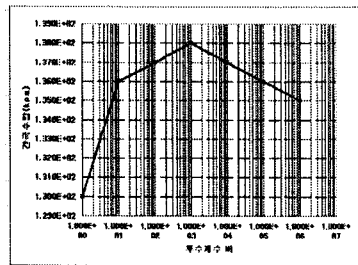


그림 5 투수계수에 따른 간극수압

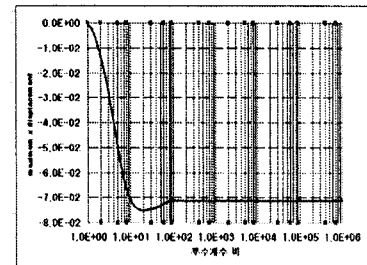


그림 6 투수계수에 따른 수평변위

그림 3의 내용을 살펴보면, 투수계수의 변화는 간극수압의 최대값만 변화시킬 뿐, 주기에는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며, 그림 4와 같이, x방향의 변위 그래프의 변곡점 들은 간극수압의 변곡점이 발생하는 시간보다 조금씩 늦게 발생함을 알 수 있다. 이는 지진에 의한 동수압이 간극수압과 댐 체체의 변위에 영향을 미치는데 있어서 위상차를 두고 작용하지만 그 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

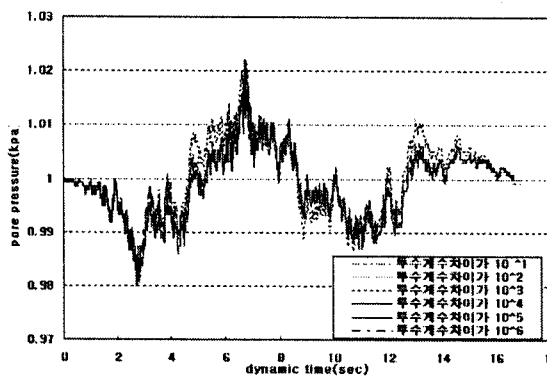


그림 7 동적시간에 따른 간극수압의 정규화

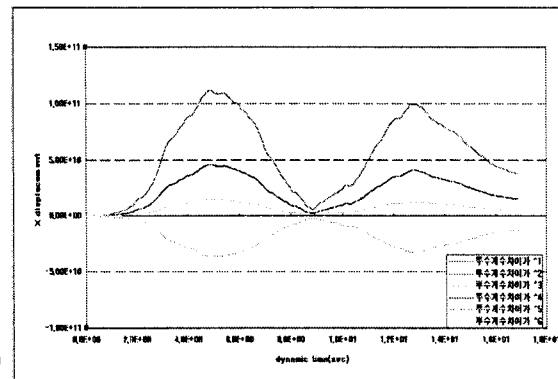


그림 8 동적시간에 따른 수평변위의 정규화

그림 5와 그림 6에는 성토재료의 변화에 따른 투수계수와 수평변위의 결과를 나타내었는데, 그림 5의 내

용을 살펴보면, 지진에 의하여 발생하는 간극수압은 투수계수가 일정한 비를 갖을 때 최대가 되는 것으로 평가되었으며, 지진에 의해 발생하는 유발변위에는 영향을 주지 못하는 것으로 평가되었다. 이 결과를 토대로 유추하면, 성토재와 코어재의 투수계수를 어느 정도 조정한다면 지진에 의해 발생하는 간극수압을 최소화 시킬 수 있을 것으로 판단된다.

해석결과 중 간극수압과 변위의 최소값을 기준으로 각각의 해석 결과 케이스를 정규화시킨 그래프는 그림 7 및 그림 8에 나타내었다. 그림 7과 8의 내용을 살펴보면, 지진에 의하여 발생하는 과잉간극수압은 전반적으로 일정한 분포형태를 보이는 것으로 나타났으나, 그 크기는 조금씩 차이를 보이는 것으로 평가되었다. 또한, 지진에 의하여 발생하는 수평변위도 과잉간극수압의 결과와 동일하게 나타나는 것으로 평가되었다. 이것으로 미루어 보아 내진해석에 적용되는 지진과 과잉간극수압과 수평변위의 주기적인 특성에 직접적인 영향을 주는 것으로 추정된다.

3. 결론 및 제언

본 연구에서는 제방이나 댐과 같이 경사진 지반의 지진에 대한 안정성을 검토하기 위해서 댐 체체의 투수계수의 변화가 간극수압-진동하중 연계해석에 어떠한 영향을 미치는 가를 살펴보았다. 본 연구를 통해 얻어진 주요 내용을 요약 및 정리하면 다음과 같다.

- (1) 투수계수의 변화는 간극수압의 최대값만 변화시킬 뿐, 주기에는 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났으며, x방향의 변위 그래프는 약간의 위상차를 두고 작용하지만, 그 영향은 크지 않음이 평가되었다.
- (2) 지진에 의하여 발생하는 간극수압은 투수계수가 일정한 비를 갖을 때 최대가 되는 것으로 평가되었으며, 지진에 의해 발생하는 유발변위에는 영향을 주지 못하는 것으로 평가되었다. 이 결과를 토대로 유추하면, 성토재와 코어재의 투수계수를 어느 정도 조정한다면 지진에 의해 발생하는 간극수압을 최소화 시킬 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 필 댐의 내진해석에 있어서, 변수가 너무 많기 때문에 지반의 투수계수 변화만 가지고는 지진-간극수압의 상호작용을 규명하기가 어렵기 때문에 이에 대한 상세하고도 다양한 분석이 추가적으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 박인준, 김승욱, 장용희, 김현태, 유찬호(2006), "국내 저수지 댐의 내진 성능 평가" 한국지반환경공학회 논문집 제 7권, 제 6호 pp 89-100.
2. 한국지반공학학회(1997) "진동 및 내진설계", 구미서관
3. 한국지반공학학회 지반진동위원회(2001) "지반공학분야에서의 내진설계"
4. 해양수산부(1999) "항만 및 어항시설의 내진설계표준서"
5. Finn, W. D. L., Martin, G. R., and Lee, K. W.(1977) "An effective stress model for liquefaction." J. Geotech., Div. ASCE, 103(6), pp. 517-533
6. 신윤섭, 박인준, 최재순, 김수일(1999), "국내 발생 지진규모를 고려한 액상화 저항강도 산정" 한국 지반공학회논문집 제 15권, 제 6호 pp 307-316.