



동적원심모형실험에 의한 재개발 저수지의 동적 거동특성

Seismic Behavior of Deterioration Reservoir Embankment Using Dynamic Centrifugal Model Tests

박성용* · 장석현** · 임현택** · 김정면** · 김용성***,†

Park, Sung-Yong · Chang, Suk-Hyun · Lim, Hyun-Taek · Kim, Jung-Meyon · Kim, Yong-Seong

Abstract

Recently, lots of damages have been lost because large magnitude earthquakes were occurred in the world. It has been increased the number of earthquakes in Korea. It needs improvement required for the repair of deteriorated reservoirs, reinforcement and raised reservoir coping with climate change and earthquake.

This study aims to investigate the seismic behavior of deterioration reservoir levee using dynamic centrifugal model test. Therefore, two case tests in centrifugal field of 60 g, the result has provided the influence on the acceleration response, displacement, settlement and the pore water pressure of the reservoir with earthquakes.

From the results larger displacement and acceleration response at the front side of reservoir embankment with poor-fabricated core in seismic condition may degrade overall stability. Reasonable reinforcement method of the raised reservoir embankment is required for ensuring long-term stability on earthquake.

Keywords: Deteriorated reservoirs; dynamic centrifugal model test; earthquakes; seismic behavior

I. 서론

우리나라 저수지의 대부분은 1970년 이전에 건설되어 노후화로 인한 내구성 저하로 인한 안정성 문제점을 내포하고 있다(Kim et al., 2011; Lee et al., 2014). 최근 들어 지구온난화 등 기상이변에 따라 세계적으로 국지성 집중호우 등의 발생으로 노후 저수지의 붕괴위험이 증가되고 있으며, 붕괴에 따른 직접적인 피해 뿐만 아니라 2차적 사회재난의 위험성에 직면해 있는 실정이다(Choo et al., 2011).

또한, 전세계적으로 발생빈도가 급증하고 있는 비교적 큰 규모의 지진으로 인한 심각한 피해사례들이 발생하게 되면서 지반구조물의 동적메카니즘에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 2016년 4월에 발생한 일본 구마모토 지진과 에콰도르 지진은 각각 1100명과 2500명 이상의 인명피해 및 사회기반

시설의 심각한 피해를 야기한 바 있으며, 우리나라에서도 지난 몇 해동안 지진의 발생횟수가 급증하고 있는 추세이다.

특히 노후저수지의 경우에는 지진발생시 제체의 급격한 변위 및 변형이 발생하게 되어 저수지의 붕괴 및 하류지역에 큰 인명 및 재산피해를 야기할 수 있으나, 국내 저수지의 대부분은 1970년대 이전에 축조되어 내진설계기준의 부재로 인해 내진성능이 부족할 수 있다.

따라서, 노후저수지의 보수, 보강 및 증고를 통한 기후변화 대처를 위한 기능성향상이 필요하며(Lee et al., 2015), 더불어 지진발생에 따른 내진성능의 개량이 필요한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 코어가 불량한 저수지와 수직형 제체덧쌓기가 진행된 실제 저수지 현장을 대상으로 60 g의 원심 가속도를 고려한 동적원심모형실험을 수행하고, 지진응답가속도, 변위 및 간극수압 등의 동적거동을 고찰하고자 한다.

* National Disaster Management Institute, Ministry of Public Safety and Security

** Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

*** Department of Regional Infrastructure Engineering, Kangwon National University

† Corresponding author

Tel.: +82-33-250-6463 Fax: +82-33-251-6463

E-mail: yskim2@kangwon.ac.kr

Received: May 23, 2016

Revised: May 24, 2016

Accepted: May 25, 2016

II. 원심모형실험

1. 원심모형실험의 개요

원심모형실험은 축소된 모형을 고속으로 회전시켜 실제 중력보다 매우 큰 가속도를 인위적으로 적용함으로써 현장의 실 응력상태를 구현할 수 있고, 설계와 시공 사이에 발생할 수 있는 지반거동의 차이를 극복함과 동시에 여러

가지 변수를 고려하여 신뢰성 있는 현장의 응력상태를 재현할 수 있는 장점이 있다 (Fig. 1 참조). 특히 수치해석이나 실제 구조물의 거동에서는 구현이 불가능한 극한상태의 파괴 특성까지도 눈으로 직접 확인할 수 있으므로, 지반 구조물의 복잡한 거동 메커니즘을 직접적으로 규명하기에 적합한 수단이다. 또한 진동대를 이용하여 원심모형시험을 수행할 경우 원심모형시험 중에 사용자가 원하는 크기와 형태의 지진을 자유로이 모사할 수 있으므로, 이는 불확실성이 많은 동적거동 특성을 합리적으로 파악할 수 있다.

원심모형실험을 수행하기 위해서는 대상으로 하는 구조물의 축소모형을 제작해야 한다. 축소모형의 설계에는 실험의 목적과 방법에 맞추어 상사법칙을 적용하여야 한다. 실제 구조물의 크기를 1/N으로 축소한 모형이 현장 조건과 동일한 응력상태를 유지하기 위해서는 N g의 원심가속도가 필요하게 되나, 이들의 상관관계를 N으로만 정의할 수 없으므로 상사법칙은 여러 형태를 가지게 된다 (Schofield, 1980).

일반적으로 상사법칙은 실제 구조물에 사용된 재료는 동일한 물리적, 공학적 특성을 나타내며, 모형실험을 위한 재료는 실제 재료와 동일한 물리적, 공학적 특성을 나타낸다는 가정하에 성립되어 진다 (Im et al., 2005). 원심모형실험을 위한 상사법칙을 Table 1에 나타내었다.

2. 원심모형실험기

본 연구에서 사용한 원심모형시험기 (한국과학기술원 소재, Fig. 2 참조)는 Beam 형태, 회전반경 5 m, 최대 용량

240 g-tons의 규모를 갖는다. 최대 2,400 kg의 지반모형을 적재한 상태에서 100 g의 원심가속도까지 구동이 가능하며, 1,300 kg 적재하중에서 130 g의 최대 원심가속도를 구현할 수 있다.

원심모형실험에서 사용되는 물과 공기압, 유압 등을 제공하기 위한 Fluid Rotary Joint, 장비 내부의 컴퓨터 등을 통신으로 연결하여 정보를 전송하기 위한 1 Gbps 급의 Fiber Optic Rotary Joint가 설치되어 있다. 실험에 따른 신호 획득을 위한 신호계측장치 (Data Acquisition System)는 회전팔 중앙 상부에 설치되어 있으며, National Instruments의 PXI 시스템으로 구성되어 있다. 기본적으로 스트레인게이지, LVDT, 가속도계와 같은 계측기 유형에 따른 설치 및 계측이 가능하도록 구성되어 있다 (Kim et al., 2013; Yoon, 2014).

본 연구에서는 동적실험을 위해 전기제어-유압식 (Electro

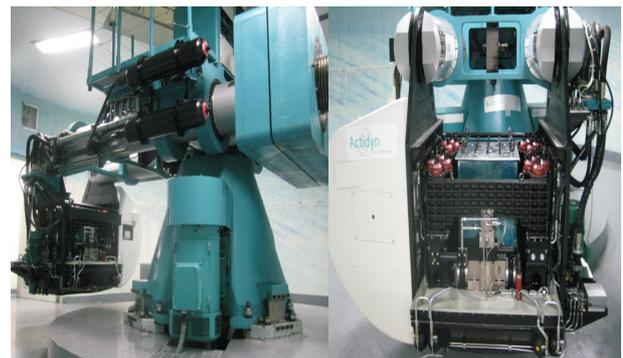


Fig. 2 Geotechnical centrifuge at KAIST

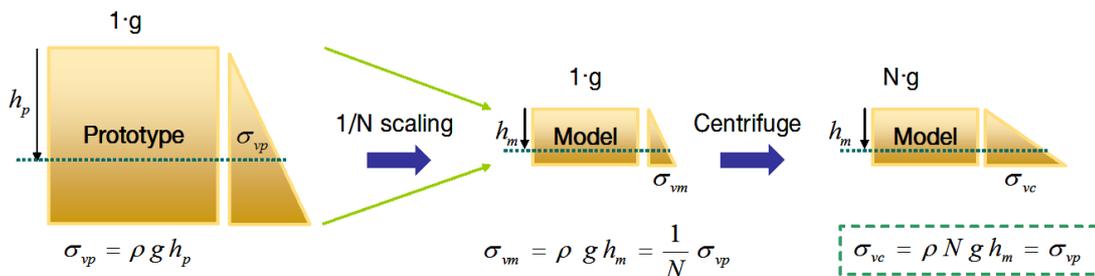


Fig. 1 Normal stress between prototype and model

Table 1 Similarity rules for centrifugal model tests

Parameter	Model	Prototype	Parameter	Model	Prototype
Acceleration	n	1	Particle strength	1	1
Model length	$1/n$	1	Time (dynamic)	$1/n$	1
Time (seepage)	$1/n^2$	1	Force	$1/n^2$	1
Unit weight	n	1	Displacement	$1/n$	1

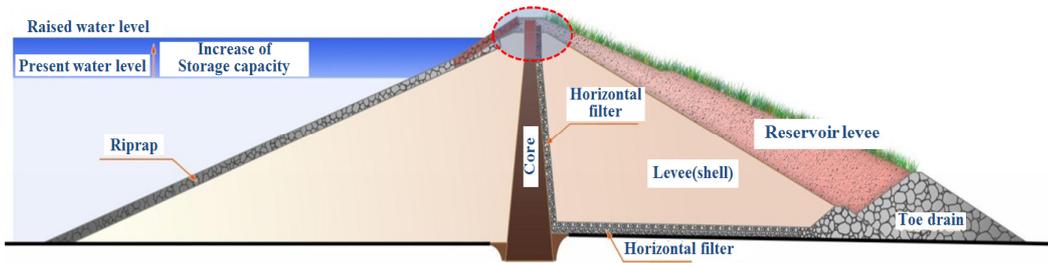


Fig. 4 Example of raised reservoir

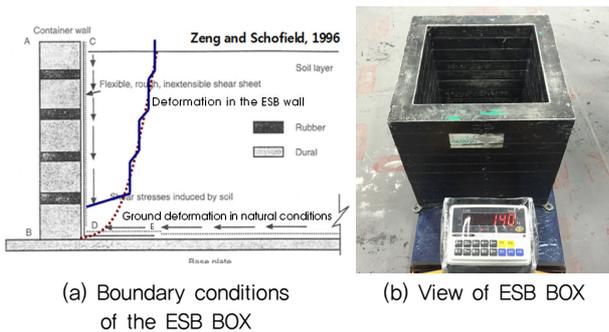


Fig. 3 Schematic figure of ESB BOX

hydraulic servo type)의 진동대를 사용하였으며, 이는 원심모형시험기에 설치되어 원심모형시험 중 복합 지진운동의 재현을 가능하게 한다 (Kim et al., 2013). 전기제어-유압식 진동대는 진동시 원심모형시험기 본체에 작용할 수 있는 외력을 상쇄하기 위하여, 모델 중량에 상응하는 질량체를 반력에 의해 진동 하중의 반대 방향으로 움직이게 함으로써, 진동대 내부의 동적 균형을 맞추고, 진동대 Basket 외부로 전달되는 진동을 상쇄할 수 있도록 제작되었으며, 이로 인해, 높은 수준의 지진 하중을 신뢰성 있게 발현하는 것이 가능하고, 더불어 원심모형시험기도 보호할 수 있는 성능을 보유하고 있다 (Lee et al., 2013).

동적실험의 경우에는 등가전단보 (ESB) 박스를 이용하여 경계조건을 구성하게 된다. ESB 박스는 10개의 알루미늄 프레임 층으로 구성되어 있고, 각각의 프레임을 볼 베어링과 지반의 강성과 유사한 고무로 연결하여 지진 시 모델 박스에서 지반의 동적 거동과 유사한 거동을 보이도록 하였다 (Kim et al., 2013). ESB 모델 박스의 개념과 모습을 Fig. 3에 나타내었다.

3. 저수지 단면 및 계층위치 결정

본 연구의 진행을 위한 동적원심모형실험의 조건은 노후 저수지 단면 (Case 1) 및 수직형 체체덧쌓기식 증고단면 (Case 2)에 대한 2가지 조건으로 구성하였다. Case 1의 단면은 제방

고 4.8 m와 상류측 1:2.7, 하류측 1:2.4의 구배를 가지고 있는, 한반도 중부지역에 소재하는 실제 저수지 단면을 근거로 선정하였다. Case 2의 단면은 Case 1의 체체를 수직형 체체덧쌓기 방식 (Fig. 4 참조)으로 증고한 것으로, 제방고는 5.5 m이며 EL. 4.25 m를 기준으로 상류측 상부는 1:1.0의 구배를 나타내고 있다.

해당 저수지는 정밀안전진단결과 D등급 재해위험저수지로 지정되었다. D등급 재해위험저수지는 저수지에 진전된 노후화 또는 결함이 있는 상태로 조속히 보수 및 보강을 통해 기능회복이 가능한 상태를 의미한다. Case 1은 정밀안전진단결과 및 지반조사결과에 근거하여 코어가 불량한 노후저수지를 단면으로 선정하였으며 이를 원심모형실험에서 모사하기 위하여 사력준과 동일한 재료로 40 cm 두께의 투수층을 계획하였다. Case 2는 불량한 코어를 그라우팅으로 보강하고, 체체덧쌓기 형식으로 증고를 실시한 단면을 구성하였다 (Fig. 5 참조).

저수지는 사력준 (Shell)과 코어존 (Core)으로 구성되어 있으며, 각각의 물리·역학적 특성값을 Table 2에 나타내었다. Case 1에서 불량한 코어를 모사한 투수층은 사력준 재료를 사용하였으며, Case 2에서 증고에 사용한 재료는 기존의 단면을 구성한 재료와 동일한 것으로 사용하였다.

본 연구에서는 동적원심모형실험을 통해 동적하중 부가에 따른 저수지의 각 위치별 침하거동, 간극수압의 변화, 가속도 응답을 고찰하고자 하였으며, 각각의 계층기 설치위치는 Fig. 5에 나타내었다.

4. 저수지 모형의 제작

체체 모형은 저수지 단면, ESB 박스의 크기 등을 고려하여 60 g의 원심가속도를 선정, 1/60 축척으로 설정하였고, 코어 존은 90%의 점토와 10%의 벤토나이트를 혼합하여 지수성을 높일 수 있도록 제작하였다.

저수지 모형의 축조를 위해, Case 1은 4층, Case 2는 5층으로 분할하여 다짐에 의한 시공을 실시하였다. 저수지 모형 축조시 발생할 수 있는 변형 및 붕괴를 방지하기 위하여 목형을 제작하여 이용하였으며, 각 층별로 코어존 축조 후 사력준을

축조하는 순서로 모형을 제작하였다. 다짐시 층별로 소요되는 재료 및 물량을 계산하여 다짐을 실시함으로써 균일한 모형을 제작할 수 있도록 하였다.

저수지 모형 제작과정 및 제작완료된 모형의 형상은 Fig. 6 과 같다.

5. 실험방법

동적원심모형실험은 저수지 모형 축조, 60 g 원심장에서 수위상승 및 안정화, 60 g 원심가속도상에서의 지진가속도 부가에 따른 모니터링 등 총 3 단계로 진행하였다. 수위상승은 제어실에서 솔레노이드 밸브를 원격제어하여 60 g 원심재하 중에 홍수위까지 물을 공급하였다.

입력지진파는 Tokachi-oki (1968) 지진발생시 조사된 대표적 장주기파인 Hachinohe파와 Miyagi-ken-oki (1978) 지진 발생시 조사된 대표적 단주기파인 Ofunato파를 사용하였으

며 (Fig. 7 참조), 지진발생방향은 저수지 축의 직각방향인 상하류 방향으로 하였다. 지진파별 가진속도는 Case에 따라 Table 3과 같이 순차적으로 상승시키면서 실험을 진행하였다.

획득데이터는 기반암 가속도 기준으로 1초 (4096 sampling) 간의 계측데이터를 각각 정리하였으며, 계측시 발생하는 전기적 노이즈 제거를 위해서 Prototype 15 Hz (Model 900 Hz)를 기준으로 모든 계측데이터에 Lowpass filter를 적용하였다.

III. 동적원심모형실험 결과

1. 지진응답가속도

가. Hachinohe 파

Fig. 8은 Hachinohe 파에 대해서 기반암 가속도 대비 위치별 최대 응답가속도를 나타내고 있다. 응답가속도 측정

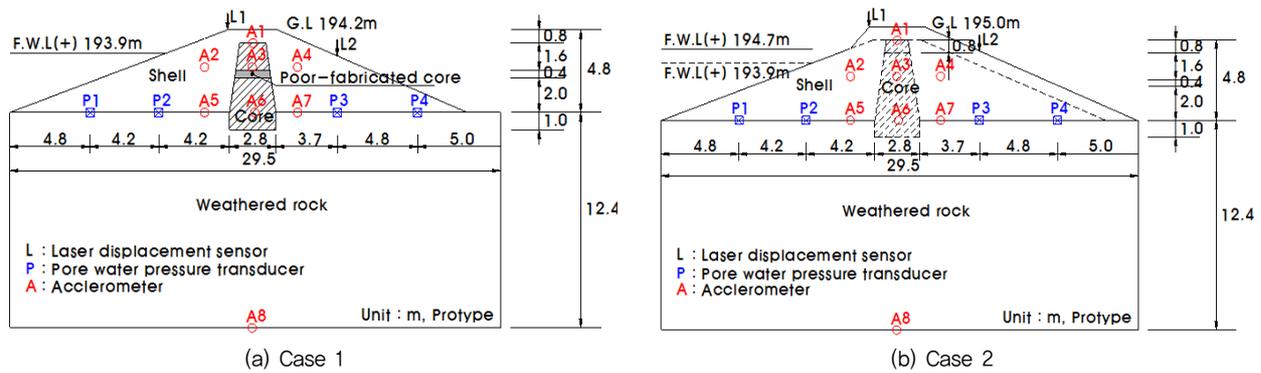
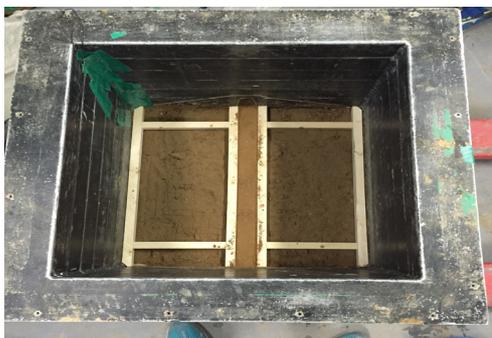


Fig. 5 Model configuration and points of the measuring instruments

Table 2 Material properties of shell and core

Material	Wn (%)	ρt (g/cm ³)	E (kPa)	ν	c (kPa)	ϕ (deg)	k (cm/sec)	USCS
Core	20,00	1,691	30,000	0,30	0	35,0	2,96E-7	SC
Shell	16,14	1,964	15,000	0,35	10	27,4	1,35E-3	SW



(a) Model reservoir production process



(b) Model reservoir constructed

Fig. 6 Construction of the model (Case 1)

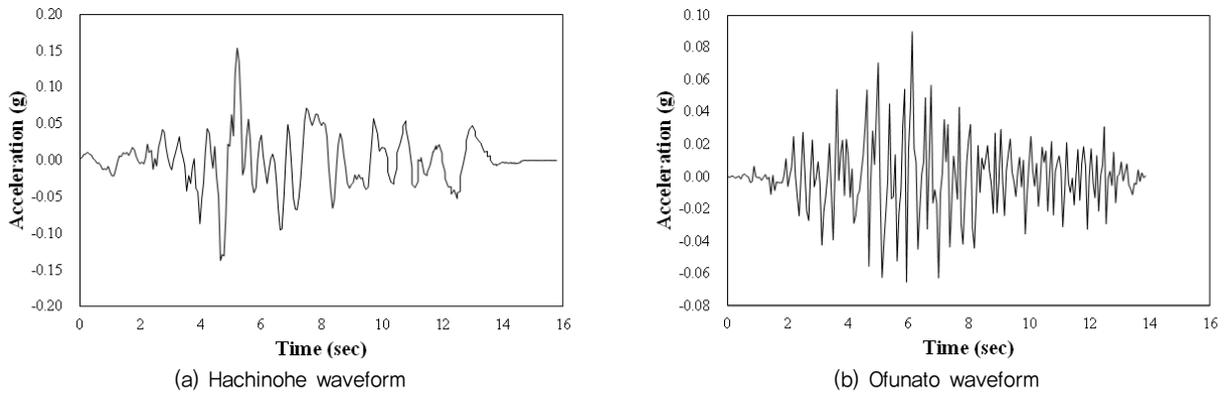


Fig. 7 Time history of seismic waveforms

Table 3 Maximum acceleration response of seismic waveform

STEP	Case 1		Case 2	
	Hachinohe wave	Ofunato wave	Hachinohe wave	Ofunato wave
1	0,022274	0,008812	0,018009	0,010137
2	0,03057	0,016664	0,031388	0,017804
3	0,042118	0,032327	0,043579	0,027523
4	0,060247	0,059453	0,053383	0,044641
5	0,077244	0,101331	0,077482	0,084125
6	0,119753	0,142773	0,123882	0,115446
7	0,178251	0,196645	0,173189	0,186817
8	0,224008	0,245709	0,192786	0,187866
9	0,265861	0,28338	0,250883	0,214229
10	0,284654	0,317831	0,291664	0,245689
11	-	0,361092	-	0,275239
12	-	0,40408	-	0,330392

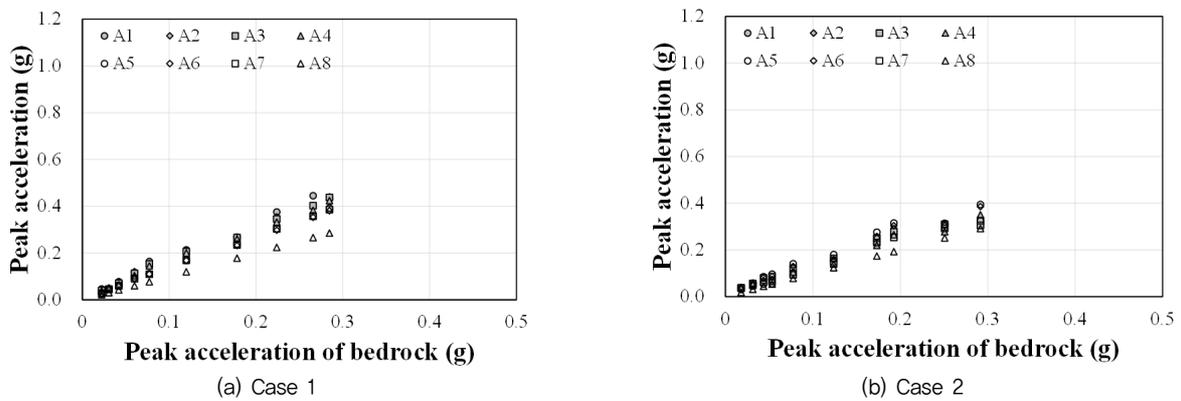


Fig. 8 Peak acceleration of measuring points of Hachinohe wave

결과, Case 1의 경우, A1의 응답가속도 값은 A0에 비해 1.50~2.12배, A6에 비해 1.03~1.72배로 나타났으며, Case 2의 경우, A1의 응답가속도 값은 A8에 비해 1.01~1.65배,

A6에 비해 0.63~1.03배로 나타나, 모든 Case에서 작용되는 지진가속도에 비해 저수지에 큰 지진력이 가해진 것으로 나타났다.

기반암 가속도의 증가에 따라 선형탄성체내에서의 가속도증폭 경향을 보이며, 상부로 가면서 더 크게 증폭되어 A1, A2에서 최대값을 나타내고 있다. 모든 Case에서 높이의 증가와 최대가속도의 증가경향이 거의 일정한 증폭비를 나타내고 있으며, 지진파에 따른 가속도가 큰 차이가 없는데, 이는 가속도계가 지중에 매설되어 가속도의 증가경향이 크지 않은 것으로 판단된다.

획득된 가속도의 크기가 Case 1이 Case 2보다 전체적으로 크게 나타났는데, 이는 불량한 코어를 통해 수위상승시 하류측의 포화도가 증가함에 따라 제체내부에 연화현상이 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

나. Ofunato 파

Fig. 9는 Ofunato 파에 대해서 기반암 가속도 대비 위치별 최대 응답가속도를 나타내고 있다. 응답가속도 측정결과, Case 1의 경우, A1은 A0에 비해 2.81배, A6에 비해 1.74배로 나타났으며, Case 2의 경우, A1은 A8에 비해 1.01~1.70배, A6에 비해 0.65~1.02배로 나타나, 모든 Case

에서 작용되는 지진가속도에 비해 저수지에 큰 지진력이 가해진 것으로 나타났다.

Hachinohe 파는 높이의 증가와 최대가속도의 증가경향이 거의 일정한 증폭비를 나타내고 있는 것에 비해, Ofunato 파는 Case 1에서 최대기반암가속도 0.25 g 이상의 강한 지진이 입력되었을 때에 A6으로부터 높이가 증가할수록 가속도의 증폭비가 급증하는 것으로 나타났다.

이는 불량한 코어를 통해 수위상승시 하류측의 포화도가 증가함에 따라 제체내부에 연화현상이 발생했기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Case 2에서 가속도의 증폭비가 일정하게 나타난 이유는 제체중고시 불량한 코어를 그라우팅으로 보강하면서 하류측으로의 침투가 억제됨에 기인한 것으로 판단된다.

2. 변위 및 침하량

가. Hachinohe 파

Fig. 10은 Hachinohe 파에 대해서 기반암 가속도 대비

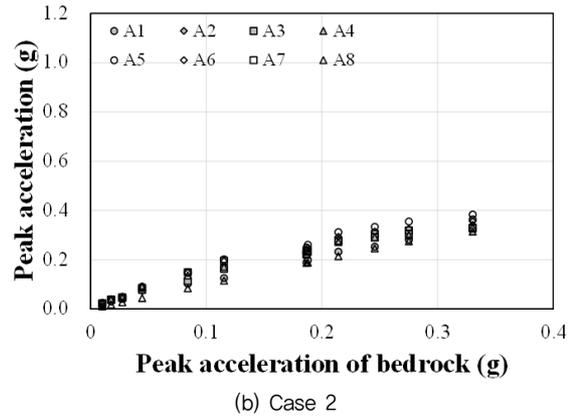
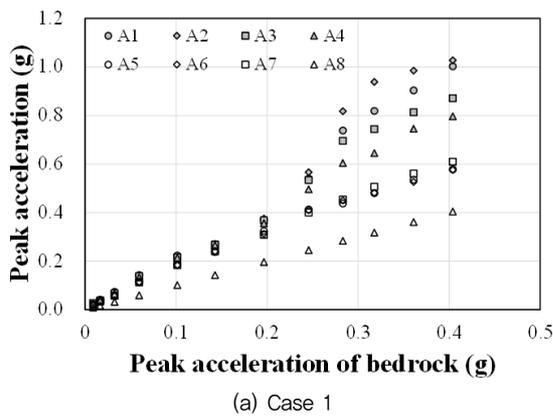


Fig. 9 Peak acceleration of measuring points of Ofunato wave

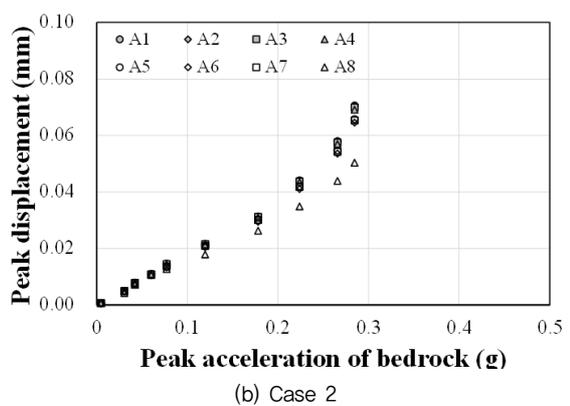
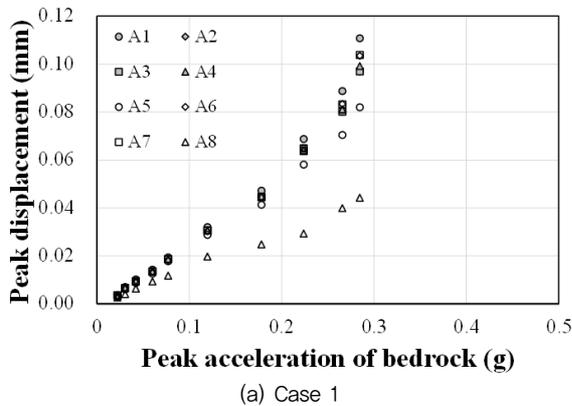


Fig. 10 Peak displacement of measuring points of Hachinohe wave

위치별 최대 변위를 나타내고 있다. 변위 시간이력은 가속도 신호를 적분하여 도출하였으며, 기반암 가속도의 증가에 따라 최대 변위가 함께 증가하고 있다. A1에서 최대 변위를 나타내고 있으며, A5, A6 및 A7에 비해서 높이가 증가할수록 최대 변위값이 비례적으로 증가하였다. 위치에 따른 최대수평변위 측정결과, A1의 경우, Case 1에서 0.111 mm, Case 2에서 0.071 mm로 나타났다. 모든 Case에서 높이에 따른 변위의 증폭비가 상당히 크게 나타났으며, 저수지 저부쪽으로 갈수록 지진파에 따른 변위의 증폭비는 일정한 경향을 보이고 있다.

획득된 변위의 크기가 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 저수지 단면의 높이가 낮기 때문에 가속도의 증폭이 뚜렷이 나타나지 않았고, 이에 따라 변위의 증가 역시 크게 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 11은 모든 가진 기록에 대해서 기반암 가속도 대비 위치별 가진시 침하량을 도시한 그래프이다. 위치에 따른 침하량 측정결과, Case 1의 경우 L1에서 13.33 mm, L2에서 14.67 mm의 침하가, Case 2의 경우 L1에서 4.71 mm,

L2에서 1.45 mm의 침하가 발생하였다. Case 1에서 L1은 침하가, L2에서는 융기가 발생하는 것으로 나타났으며, Case 2에서는 입력가속도의 증가에 따라서 침하량이 증가하는 것으로 나타났다.

각각의 Case에서 발생한 수평변위 및 침하량은 지진서 허용변위량 기준인 300 mm에 비해 비교적 작은 값으로 확인되어, 지진시 구조물은 안정한 것으로 판단되나, Case 2에 비해 Case 1에서의 침하량은 L1의 경우 약 3배, L2의 경우 약 10배 이상의 크기로 발생하고 있다. 이는 지진 응답가속도와 마찬가지로 Case 1에서는 불량한 코어를 통해 수위상승시 하류측으로의 침투 및 포화도의 증가에 따라 제체의 강도 및 강성감소현상이 발생했기 때문인 것으로 판단되며, Case 2에서 불량한 코어를 그라우팅으로 보강하면서 하류측으로의 침투가 억제됨에 기인한 것으로 판단된다.

나. Ofunato 파

Fig. 12는 Ofunato 파에 대해서 기반암 가속도 대비 위

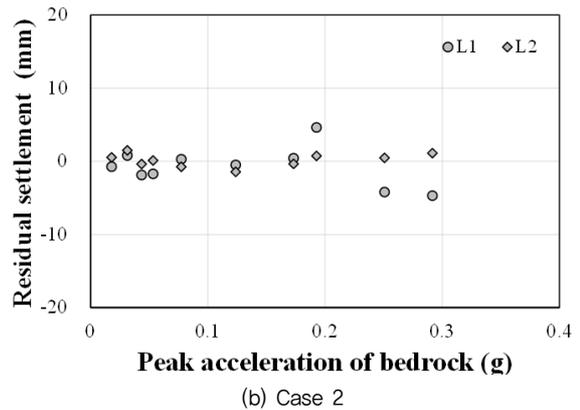
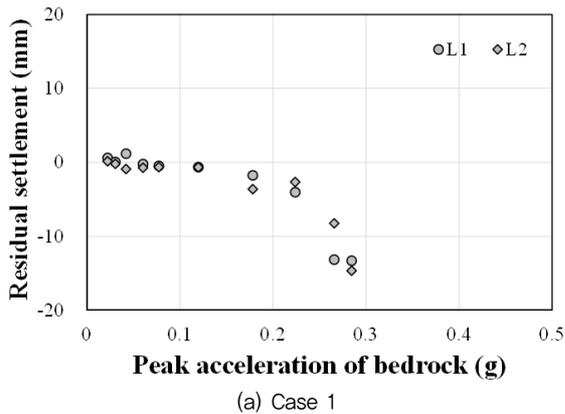


Fig. 11 Peak residual settlement of measuring points of Hachinohe wave

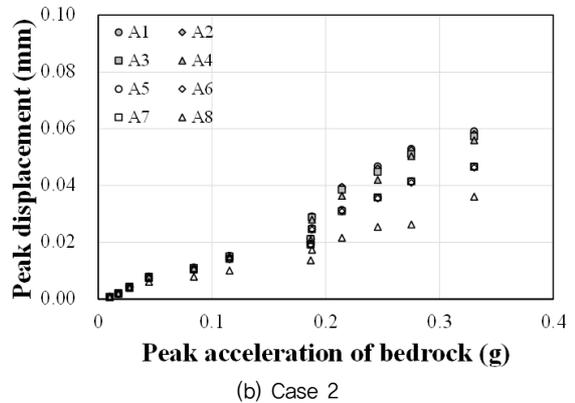
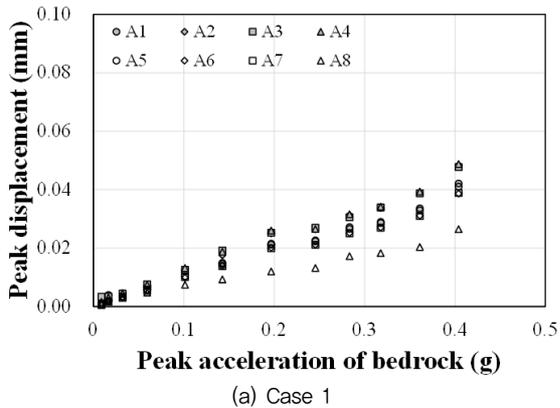


Fig. 12 Peak displacement of measuring points of Ofunato wave

치별 최대 변위를 나타내고 있다. A1에서 최대변위를 나타내고 있으며, A5, A6 및 A7에 비해서 높이가 증가할수록 최대 변위값이 비례적으로 증가하였다. 위치에 따른 최대 수평변위 측정결과, A1의 경우, Case 1에서 0.059 mm, Case 2에서 0.042 mm로 나타났다. 모든 Case에서 높이에 따른 변위의 증폭비가 일정한 경향을 보이고 있다.

Fig. 13은 모든 가진 기록에 대해서 기반암 가속도 대비 위치별 가진시 침하량을 도시한 그래프이다. 위치에 따른 침하량 측정결과, Case 1의 경우 L1에서 12.49 mm, L2에서 10.43 mm의 침하가, Case 2의 경우 L1에서 6.65 mm, L2에서 3.93 mm의 침하가 발생하였다.

Case 1에서 L1은 침하와 용기가 복합적으로 발생하고 있으며, L2에서는 입력지진파의 증가에 따라 침하량이 미소하게 증가하는 것으로 나타났다. Case 2에서는 입력가속도의 증가에 따라서 침하량이 증가하는 것으로 나타났다. Case 2에 비해 Case 1에서의 침하량은 L1의 경우 약 2배, L2의 경우 약 2.5배 이상의 크기로 발생하고 있다.

Hachinohe 파와 마찬가지로 Case 2에서 침하량의 감소가 뚜렷하게 나타나는데 이는 불량한 코어의 보수·보강을 통해 하류측으로의 침투가 억제되었기 때문인 것으로 판단된다.

3. 간극수압

가. Hachinohe 파

Fig. 14는 Hachinohe 파에 대해서 기반암 가속도 대비 위치별 간극수압을 나타낸다. 위치에 따른 간극수압 측정결과, Case 1의 경우 P1에서 25.90~27.31 kPa, P2에서 28.11~30.87 kPa, P3에서 26.51~27.64 kPa, P4에서 13.04~20.75 kPa의 간극수압이 측정되었으며, Case 2의 경우 P1에서 31.26~36.26 kPa, P2에서 40.15~41.01 kPa, P3에서 10.34~17.60 kPa, P4에서 4.26~9.33 kPa의 간극수압이 측정되었다.

모든 Case에서 상류측은 간극수압이 수위상승에 따른 일

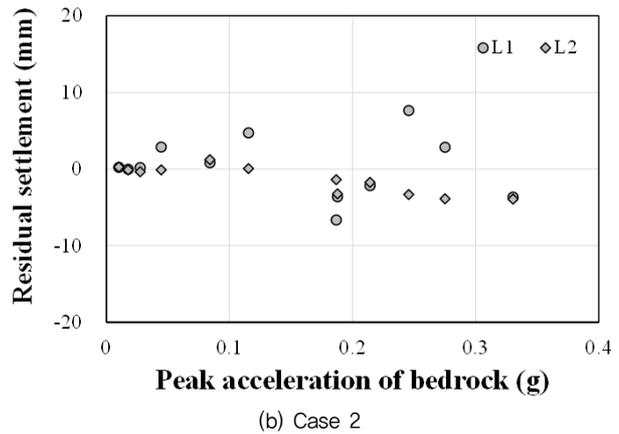
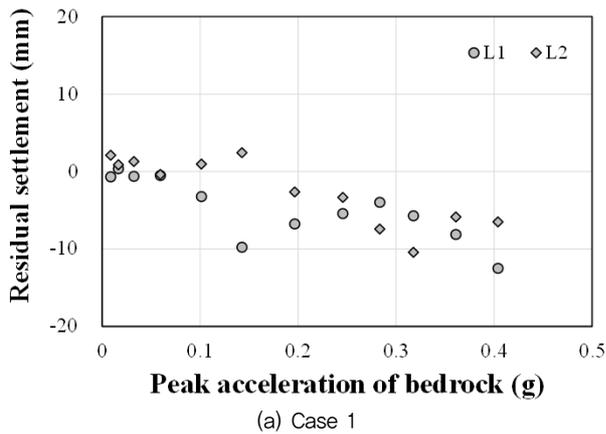


Fig. 13 Peak residual settlement of measuring points of Ofunato wave

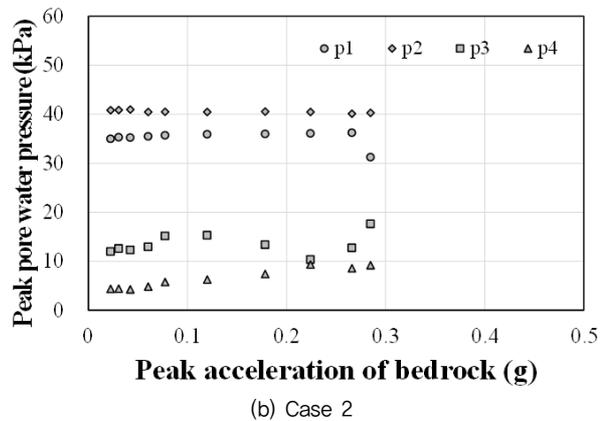
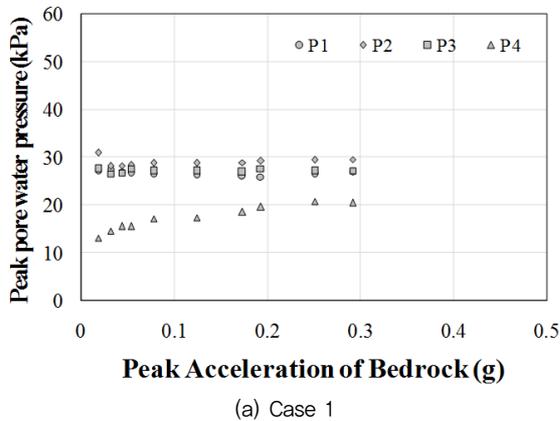


Fig. 14 Peak acceleration of measuring points of Hachinohe wave

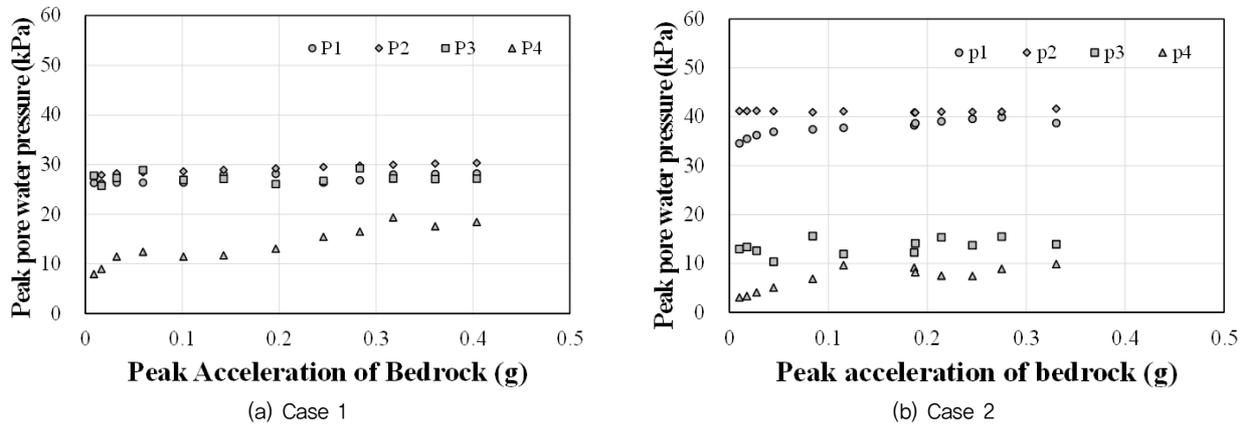


Fig. 15 Peak acceleration of measuring points of Ofunato wave

반적인 저수지의 간극수압형상과 유사하게 나타났으나, Case 1에서 하류측 간극수압은 일반적인 간극수압 형상에 비해 크게 나타났으며, 특히 P3의 경우는 P1, P2의 값과 비슷할 정도로 크게 나타났는데. 이는 코어가 불량한 노후저수지를 모사한 Case 1의 단면특성에 따라 불량한 코어를 통한 하류측의 침투수압 및 포화도 상승에 기인한 것으로 판단된다. Case 2의 경우 모든 계측위치에서 간극수압이 수위상승에 따른 일반적인 저수지의 간극수압형상과 유사하게 나타났으며, 하류측의 간극수압이 크게 나타나는 Case 1과는 다르게 상류측에 비해 작게 나타났다. 이는 그라우팅을 이용한 코어보강을 통해 하류측으로의 침투가 억제되었기 때문인 것으로 판단된다.

나. Ofunato 파

Fig. 15는 Ofunato 파에 대해서 기반암 가속도 대비 위치별 간극수압을 나타낸다. 위치에 따른 간극수압 측정결과, Case 1의 경우 P1에서 26.14~28.19 kPa, P2에서 27.56~30.34 kPa, P3에서 25.72~29.22 kPa, P4에서 7.96~19.35 kPa의 간극수압이 측정되었으며, Case 2의 경우 P1에서 31.26~36.26 kPa, P2에서 40.15~41.01 kPa, P3에서 10.34~17.60 kPa, P4에서 4.26~9.33 kPa의 간극수압이 측정되었다. 간극수압의 분포특성은 Hachinohe 파와 유사한 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구는 코어가 불량한 저수지와 수직형 제체덧쌓기가 진행된 실제 저수지 현장을 대상으로 동적원심모형실험을 수행하고, 지진응답가속도, 변위 및 간극수압 등의 동적거동을

비교분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 지진응답가속도, 발생 변위 측정결과, 기반암 가속도의 증가에 따라 모든 지진응답가속도와 변위가 함께 증가하였으며 코어가 불량한 노후저수지를 모사한 Case 1이 Case 2보다 전체적으로 큰 값을 나타내고 있어, 위치별 응답가속도와 발생변위의 거동에는 부가되는 동적하중이 큰 요인으로 작용하나, 제체의 상태도 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.
2. 코어가 불량한 노후저수지의 경우, 동적하중 부가시 하류측의 간극수압이 상당히 상승하였다. 이는 평상시 불량한 코어를 통한 하류측으로의 침투에 따른 제체내 간극수압 및 포화도의 증가와 이에 따른 제체의 연화현상 가속화에 기인한 것으로 판단된다. 이에 반해 재개발저수지의 경우 하류측의 간극수압이 안정적으로 계측되어, 코어의 보강을 위한 적절한 대책공법으로 차수그라우팅이 효과적인 보강효과를 나타내는 것으로 판단된다.
3. 노후저수지의 재개발시에는 기후변화와 지진발생에 따른 기능을 향상시켜야 하고, 이를 위해 노후저수지의 보수·보강을 위한 적절한 대책공법 선정 및 현장에 적합한 증고형식 선정, 유지관리를 위한 배수시설 및 사면보호공법 등이 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 정부(국민안전처)의 재원으로 재난안전기술개발사업단의 지원을 받아 수행된 연구임 (MPSS-기반-2013-106)

REFERENCES

1. Choo, Y., S. H. Lee, M. K. Kim, and D. S. Kim, 2011. A Study on the Criteria for the Earthquake Safety Evaluation of Fill Dams. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea* 15(6): 19-31 (in Korean).
2. Im, E. S., M. W. Seo, I. S. Ha, and W. G. Kim, 2005. Simulation of Earth-fill Dam Behavior Subjected to Water Level Variation Using Geotechnical Centrifuge. *Journal of the Korean Society of Civil Engineers* 25(2C): 95-102.
3. Kim, D. S., N. R. Kim, Y. W. Choo, and G. C. Cho, 2013. A newly developed state-of-the-art geotechnical centrifuge in Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering* 7(1): 77-84.
4. Kim, D. S., S. H. Lee, and Y. W. Choo, 2013. Self-balanced Earthquake Simulator on Centrifuge and Dynamic Performance Verification. *KSCE Journal of Civil Engineering* 17(4): 651-661.
5. Kim, Y. I., K. S. Yeon, K. S. Kim, J. W. Jeong, and Y. S. Kim, 2011. An experimental study of reservoir failure phenomena according to transitional zone : spillway scour during overflow. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 53(2) (2011): 27-33 (in Korean).
6. Lee, C. W., Y. S. Maeng, and Y. S. Kim, 2014. Studies on Behavior Characteristics of Raised Reservoir Levee Using Centrifugal Model Test. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation* 14(3): 151-161 (in Korean).
7. Lee, C. W., S. Y. Park, H. M. Oh, and Y. S. Kim, 2015. Numerical simulation seepage and seismic behaviors of poorly compacted raised reservoir levee. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(4): 85-99 (in Korean).
8. Lee, S. H., Y. W. Choo, and D. S. Kim, 2013. Performance of an Equivalent Shear Beam (ESB) Model Container for Dynamic Geotechnical Centrifuge Tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 44: 102-114.
9. Schofield, A. N., 1980. Cambridge geotechnical centrifuge operation. *Geotechnique* 20(3): 227-268.
10. Yoon, Y. S., 2014. Stability evaluation of a tide embankment using centrifugal model tests. Ph.D. dissertation, Kangwon National University (in Korean).