

진동대 실험을 이용한 개착식터널의 동적 거동특성에 관한 연구

A Study on the Dynamic Behaviour of Cut-and-Cover Tunnel by Shaking Table Test

정 형 식 ^{*1}	Chung, Hyung-Sik	조 병 완 ^{*2}	Jo, Byung-Wan
이 영 남 ^{*3}	Lee, Young-Nam	이 두 화 ^{*4}	Lee, Du-Hwa
이 용 준 ^{*5}	Lee, Yong-Jun		

Abstract

This research is aimed at investigating the dynamic response of cut-and-cover tunnel to seismic waves. We carried out shaking table test which is used a 1/40-scale(the width of prototype tunnel is about 14.2m, the height is about 8.5m) model for this research, and we analyzed the effect of depth of tunnel and slope of the ground in relation to the dynamic responses of tunnel. As a result of the test, the stress and acceleration along the tunnel decreased accordingly to the depth of increment, and this phenomenon is caused by the increase of the confining effect of ground. Also, the dynamic responses of tunnel showed a tendency to rise according as ground declined gently. In comparison the result of shaking table test with that of structural analysis on ordinary condition, we conclude that seismic waves do not affect cut-and-cover tunnel when the depth of tunnel is over the diameter of tunnel.

요 지

지진동으로 인한 개착식터널의 동적 거동특성을 파악하기 위해 Prototype터널 폭이 약 14.2m, 높이가 약 8.5m를 1/40Scale로 축소제작한 모형체의 진동대 실험을 수행하였으며 본 실험에서는 터널의 토피고 및 원지반의 경사각에 따른 영향을 분석하였으며 이를 동적수치해석결과와 비교 분석하였다. 진동대 실험결과 터널의 토피고가 증가할수록 터널에 발생하는 응력 및 가속도는 감소하는 것으로 나타났으며 이는 터널의 설치심도가 증가할수록 주변지반의 구속효과가 증가하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 원지반의 경사가 완만할수록 터널에 발생하는 응답치는 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 지진동으로 인한 주변지반의 구속효과가 원지반의 영향 보다는 되메움토사의 영향을 지배적으로 받기 때문인 것으로 판단된다. 또한 진동대실험결과 및 상시조건의 구조해석결과와 비교하면 터널의 토피고가 터널직경의 1배(1D)이상 확보되는 조건일 경우, 지진동이 터널에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다.

Keywords : A seismic design, Cut-and-cover tunnel, Shaking table test

*1 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

*2 한양대학교 토목공학과 교수 (Professor, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

*3 정회원, 현대건설 기술연구소 소장 (Member, Chief, Hyundai Institute of Construction Technology)

*4 정회원, 삼보기술단 대표이사, 한양대학교 토목공학과 박사과정 (Member, President, Sambo Engrg. Co., LTD)

*5 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate student, Dept. of Civil Engrg., Hanyang Univ.)

1. 서론

현재 국내외적으로 지진의 발생횟수 뿐만 아니라 지진의 강도 역시 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 이러한 지진발생 현황으로 인해 국내의 구조물 내진설계기준이 한층 강화되고 있는 현실이나 국내의 내진설계기준은 지상구조물위주로 제시되어 있어 개착식 터널과 같은 천층에 시공되는 지중구조물의 내진설계에 대한 기준은 거의 정립되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 천층에 시공되는 개착식터널의 지진시 거동특성을 분석하고자 한다. 이를 위한 방법으로는 수치해석적 분석이 있는데 이는 이론에 근거한 분석기법으로 이론적 한계로 인해 실제 지진시 거동과는 어느정도 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서 지진시 구조물의 거동특성을 보다 정확히 파악하기 위해서는 실제 지진시 구조물의 거동을 계측치를 통하여 분석하는 것이 가장 적당할 것으로 판단된다. 그러나 우리나라의 지진발생 현황으로는 불가능하기 때문에 본 연구에서는 개착식 터널을 일정 크기로 축소 모델링한 실험체를 이용한 진동대 실험을 통해 지진시 개착식터널의 거동을 분석하고자 한다. 그러나 이러한 진동대 실험 역시 모델 실험체 제작시 사용되는 *Similitude Rule*의 정밀도에 따라 많은 오차를 포함하고 있기 때문에 실험에서 얻어진 결과치가 정확하다고는 볼 수 없다. 따라서 본 연구에서는 진동대 실험결과와 정량적 분석 보다는 지진으로 인한 지중구조물의 거동 경향에 대한 분석을 주목적으로 하고자 한다. 또한 지진하중을 고려하지 않은 조건에서의 구조해석과 진동대실험 결과를 비교 분석하여 지진동이 지배적인 영향을 미치는 토피고조건을 분석하고자 한다.

2. 연구내용 및 방법

개착식 터널의 지진시 거동특성을 분석하기 위해 본 연구에서는 1/40Scale로 축소 제작된 실험체를 이용하여 터널의 상부 토피고별, 원지반의 굴착경사별, 입력가속도별, 입력 주파수별로 진동대 실험을 수행하였으며 진동실험의 신뢰성을 확인하기 위해 진동대 실험과 동일한 조건으로 수치해석을 수행하여 여기서 얻어진 구조물의 응답치와 실험에 의한 응답치를 비교하였다. 또한 지진동이 개착식터널에 지배적인 영향을 미치는

표 1. 진동대 실험 항목

터널의 토피고	원지반 경사	입력가속도	입력주파수	비고
0D	1:0.0	0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g	12Hz, 16Hz	
	1:0.6			
	1:1.2			
0.5D	1:0.0	0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g	12Hz, 16Hz	
	1:0.6			
	1:1.2			
1D	1:0.0	0.1g, 0.2g, 0.3g, 0.4g	12Hz, 16Hz	
	1:0.6			
	1:1.2			

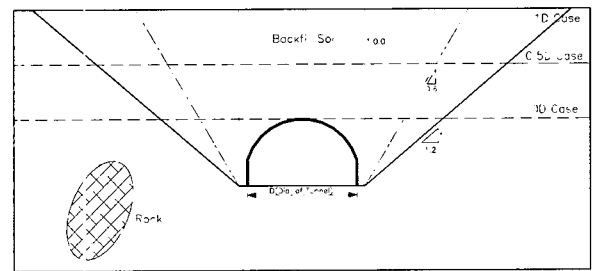


그림 1. 진동대 실험 개요도

조건에 대한 분석을 위해 지진하중을 고려하지 않은 조건 즉, 일반적으로 상시시 개착식터널의 설계를 목적으로 하는 해석방법과 동일한 조건으로 구조해석을 수행하여 실험에 의한 값과 구조해석에 의한 값을 비교분석하였다.

본 연구에서 수행된 진동대 실험항목은 표 1 및 그림 1과 같다.

3. 진동대 실험 계획

3.1 실험장치

3.1.1 진동대 제원

본 연구에서 사용된 진동시험대는 크기가 2m×2m, 최대 시험하중은 5ton, 최대 가속도는 1.0g, 최대 주파수는 50Hz로 2축방향으로 진동을 가할수 있는 진동시험대를 사용하였다. 또한 본 실험에서는 터널의 횡방향에 대한 지진하중 작용시 터널의 동적거동 특성을 분석하기 위하여 터널의 횡단방향에 대한 입력지진동을 이용하여 실험하였다. 본 실험에서 사용된 진동대의 상세한 제원은 다음의 그림 2와 같다.

구 분	사 양
Dimension	2m×2m
Max. Specimen Weight	5ton
Table Mass	2.5ton
Control Mode	Biaxial Horizontally
Max. Stroke	+/-75mm
Max. Velocity	50cm/sec
Max. Acceleration	1.0g
Frequency Range	DC-50Hz

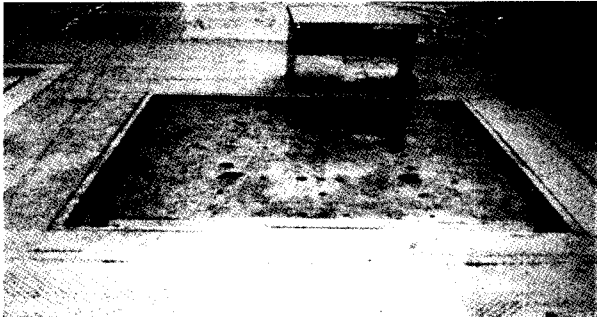


그림 2. 진동 시험대 제원

3.1.2 모델 실험체 설계

진동대 실험에서 사용된 개착식터널의 모형 실험체는 2차선 도로터널을 1/40($\lambda=40$)의 Scale로 축소 제작한 실험체를 사용하였다. 즉, Prototype터널의 폭이 약 14.2m, 높이가 약 8.5m이며 이를 1/40scale로 제작한 터널모형의 폭이 약 0.33m, 높이가 약 0.2m인 규격으로 터널모형체를 제작하여 실험에 사용하였다. 또한 실험체의 제원은 다음의 그림에서와 같이 폭 1.75m, 높이 0.7m, 길이 1.22m이며 원지반의 경사각에 따른 터널의 영향을 분석하기 위하여 원지반 경사가 1:0.0, 1:0.6, 1:1.2의 블록을 별도로 제작하여 각각의 경사각별 진동 실험을 수행하였다. 실험체의 전면과 후면에는 20mm두께의 투명 아크릴 판을 설치하여 토사유실을 방지토록 제작하였으며 총 14개의 철봉을 이용하여 아크릴판과 실험체를 고정시켰다. 터널과 아크릴판의 마찰저항을 최소화하기 위해 터널의 단부에 윤활제를 바른 스폰지를 설치하였다. 또한 본래 산악지형에서 개착식터널이 설치되는 원지반 조건은 매우 양질의 암반조건으로 구성되는 것이 일반적이므로 이러한 조건에서 지진동이 발생할 경우 지진동으로 인한 절대변위는 발생하지만 상대변위의 발생은 매우 미미하므로 본 실험에서도 실험체의 절대변위만 발생시킬수 있도록 원지반에 대한 실험체를 제작하였다.

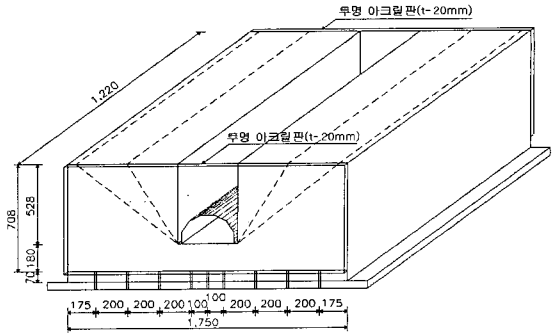


그림 3. 진동대 실험에 사용된 실험체

진동대 실험에서 사용된 터널의 제원은 Prototype을 1/40Scale로 축소제작한 터널을 사용하였다. 그러나 원래의 개착식 터널재료는 콘크리트이므로 이를 Prototype과 동일한 재료로 터널의 모형을 제작할 경우, 터널단면의 두께가 매우 적어 제작상의 어려운 점이 있다. 따라서 본 실험에서는 알루미늄 합금을 터널모형 재료로 이용하였으며 알루미늄은 콘크리트의 강성과는 차이가 있으므로 이러한 강성에 대한 보정을 위해 Iai's Similitude Rule($\lambda^5=40^5$)을 이용하여 터널의 단면두께를 결정하였다. 이러한 방법에 의해 알루미늄 터널의 두께를 0.8mm로 제작하였다.(그림 3 참조)

3.1.3 계측기의 설치계획

본 실험에서는 지진동으로 인한 터널의 영향을 분석하기 위해 터널 외측면에 총 3개의 가속도계를 터널 천단부, 어깨부, 측벽부에 설치하였으며 지진동으로 인해 터널에 발생하는 응력을 파악하기 위해 총 8개의 Strain Gage를 터널 천단부에 1개, 어깨부에 6개, 측벽부에 1개씩 설치하였다. 본 실험에서 사용된 Strain Gage는 일본 Tokyo Sokki Kenkyujo의 전기식 소성계이기를 사용하였다.

본 실험에서 설치된 계측기는 다음의 그림 4와 같다.

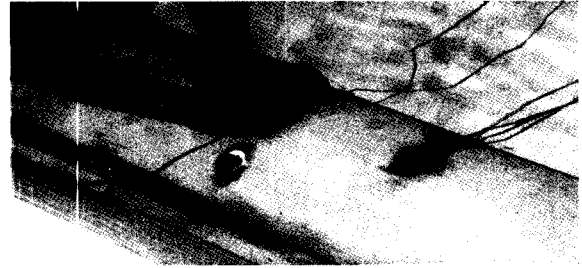
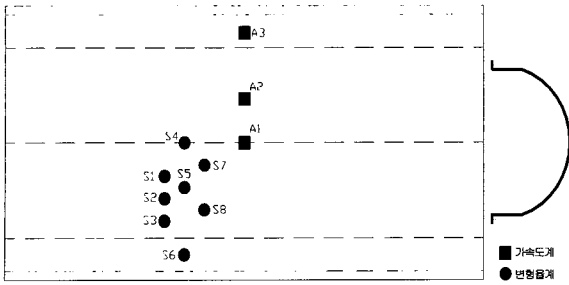
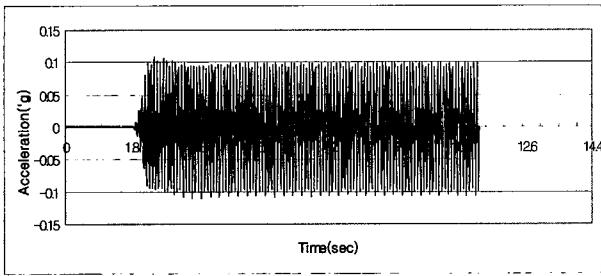
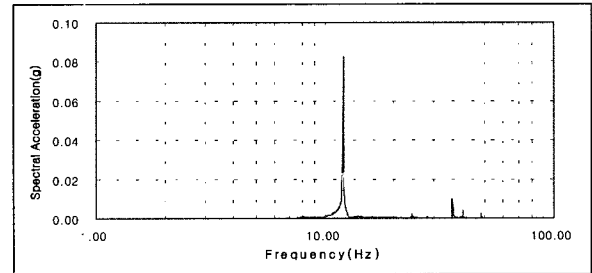


그림 4. 계측기 설치도



(a) 시간이력곡선



(b) FFT분석에 의한 진동파의 특성

그림 5. 지진동의 파형(0.1g, 12Hz)

3.2 실험방법

3.2.1 실험절차

상기와 같은 제원으로 제작된 모델 실험체를 이용한 진동대 실험절차는 터널 모형체 및 계측기를 설치한 후, 계측기의 이상유무를 미리 검증한 다음 실험에 사용된 모래인 주문진 표준사를 일정한 높이에서 강사하여 되메움 토사를 포설하였다. 이렇게 포설된 토사는 상대밀도가 느슨한 상태이므로 이를 일정한 다짐도의 되메움 상태로 조성하기 위해 0.3g, 12Hz의 가진조건으로 3분간 진동을 가하였다. 이러한 방법에 의해 조성된 되메움 토사의 밀도를 측정할 결과, 토사의 건조단위 중량이 약 1.6t/m³ 정도의 다짐상태로 조성된 것으로 확인되었다. 이러한 방법에 의해 되메움토사를 조성한 후에 입력주파수를 일정한 값으로 출력될 수 있도록 고정시켜 놓은 상태로 입력가속도를 0.1g에서 부터 0.4g까지 0.1g간격으로 매단계 마다 5초간 가진하였다. 그 후 주파수를 한 단계씩 올려 동일한 방법으로 진동실험을 수행하였다. 이상과 같은 방법으로 하나의 Case가 종료가 되면 다시 되메움 토사의 높이를 한단계 올려 실험을 수행하였으며 매단계 마다 실험을 수행하기 전에 되메움토사를 완전히 교란시킨 상태에서 0.3g, 12Hz의 가진조건으로 밀도가 일정하게 유지되도록 재조성하였다.

3.2.2 진동대 실험에 사용된 진동파형

진동대 실험시 사용되는 입력파는 실측된 지진파 또는 인공지진파를 이용하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다. 그러나 본 실험에서 사용된 Scale Factor가 1/40이므로 지진파를 Similitude Rule로 변환시켜 실험에 이용하는 것은 매우 곤란할 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 내진설계기준에 적합한 인공지진파의 특성을 반영한 Sine Wave를 이용하여 진동대 실험을 수행하였다. 즉 국내 내진설계기준에 의하면 지반조건이 보통암, 지진구역 I지역인 1등급구조물에 대한 인공합성지진파의 탁월주파수가 약 2.2Hz정도이고 지진지속시간이 약 24sec로 산정되므로 이를 Similitude Rule에 의한 Sine Wave로 작성할 경우, Sine Wave의 주파수($\lambda^{-0.5} = 40^{-0.5}$)는 약 14Hz이고 지진동 지속시간이 약 5sec로 변환된다. 따라서 본 연구에서도 이러한 파형의 특성을 반영한 Sine Wave를 이용하여 실험을 수행하였다. 그러나 입력가속도는 본 실험이 1g조건에 의한 진동대 실험이므로 별도의 Scale조정은 필요없으나 본 연구에서는 가속도 변화에 따른 개착식터널의 거동을 분석하기 위해 0.1g에서 0.4g까지 0.1g씩 증가하며 진동대 실험을 수행하였다.

이러한 방법으로 생성된 입력 지진동에 의해 진동대에서 출력된 대표적 파형은 그림 5와 같다.

4. 실험결과 분석

4.1 실험결과의 검증

본 연구에서 수행된 진동대 실험결과의 신뢰성을 확인하기 위하여 진동대 실험에서 사용된 실험체와 동일한 조건을 동적 수치해석 모델에 적용하여 실험에 의한 결과와 동적 수치해석결과를 비교분석하였다. 이를 위하여 선정된 실험모델은 진동대에서 측정된 출력가속도 파형을 활용하였으며 0.2g 및 16Hz의 Sine Wave 조건을 이용하여 터널상부의 토피고가 터널직경의 1배(1D)인 경우에 대해 수치해석을 수행하였다. 본 연구에서 사용된 수치해석용 Program은 AFIMEX로 동적해석에 사용되는 Main Solver는 FLUSH(1975, U.C Berkeley)이다.

이상과 같은 조건에 의한 수치해석 결과와 진동대 실험결과를 비교한 결과, 터널에 발생하는 최대응력은 주로 터널의 어깨부에서 발생하는 것으로 나타났으며 이는 해석결과와 실험결과가 거의 유사한 위치에서 최대응력이 발생하는 것으로 나타났다. 또한 원지반의 경사가 커질수록 터널에 발생하는 응력 역시 증가하는 경향을 보이고 있으며 이는 터널 주변의 되메움토사가 차지하는 면적이 커질수록 원지반의 영향 보다는 되메움토사의 영향을 주로 받기 때문 인 것으로 판단된다. 수치해석에 의해 발생된 터널의 최대응력과 진동대 실험에서 얻어진 터널의 최대응력을 서로 비교한 결과는 다음의 그림 6과 같다.

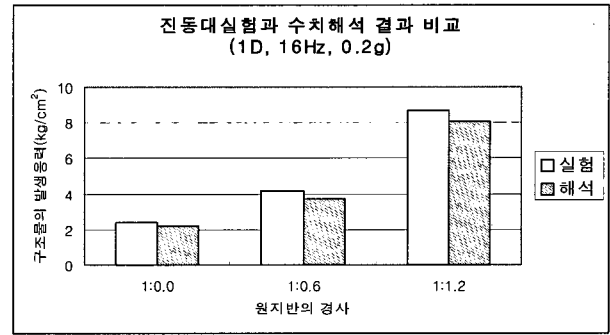
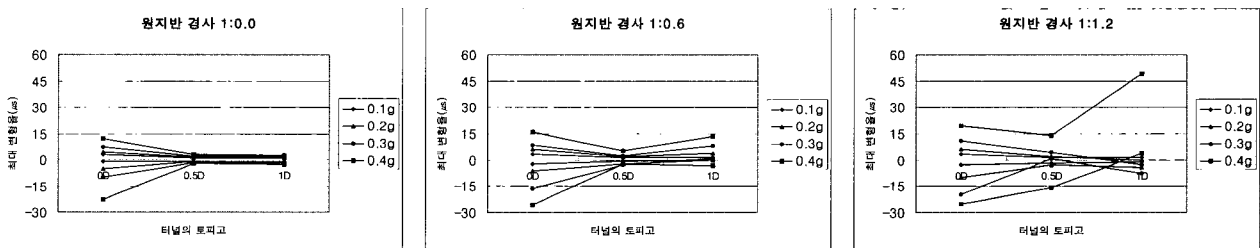


그림 6. 실험 및 해석결과 비교

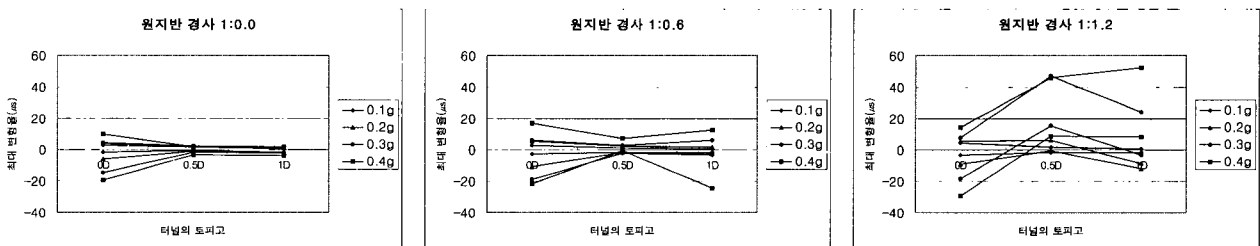
상기의 그림 6에서 알수 있듯이 동일한 조건에서의 두가지 방법에 의한 결과를 비교한 결과, 대체로 실험에서 얻어진 결과가 해석에 의한 결과 보다 약 7~12%정도 크게 나타났으며 이러한 결과는 지반-구조물의 모델링이 실험에서의 조건과 해석에서의 조건이 다르기 때문인 것으로 판단된다. 즉 실험에서는 지반과 구조물의 미끄러짐(Slippage)현상이 발생하는 반면, 해석상에서는 이러한 조건을 모사할 수가 없으므로 두 방법에 의한 결과차이가 어느정도 있는 것으로 판단된다.

4.2 개착식터널의 토피고별 분석

터널의 상부 토피고가 터널천단부까지 토사로 되메웠을 경우(0D), 터널직경의 0.5배까지 되메움 토사를 포설하였을 경우(0.5D), 터널직경의 1배까지 되메움 토사



(a) 입력주파수가 12Hz일 경우



(b) 입력주파수가 16Hz일 경우

그림 7. 터널에 발생된 최대 변형을

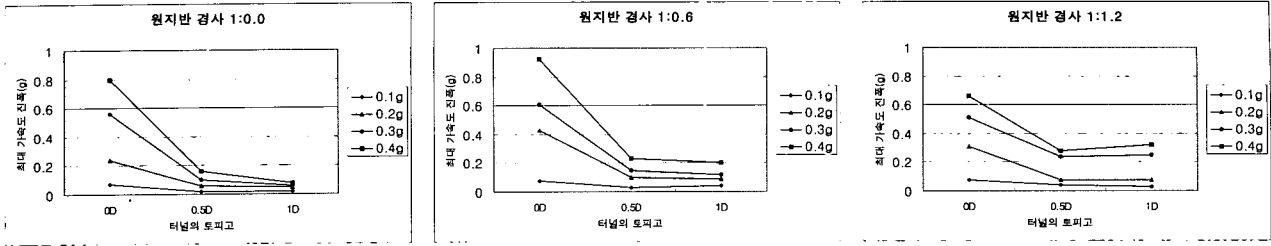
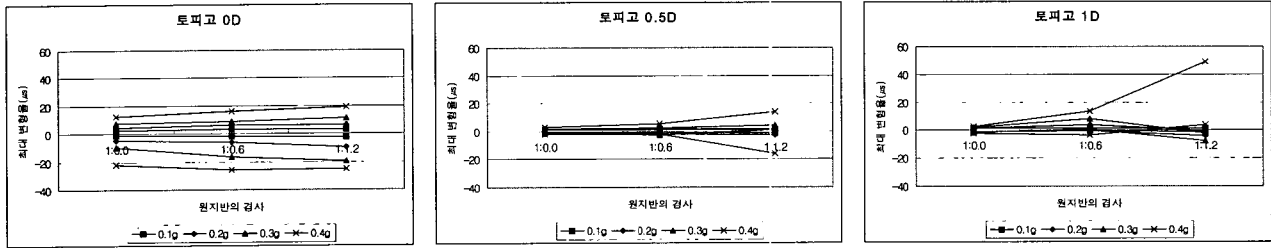
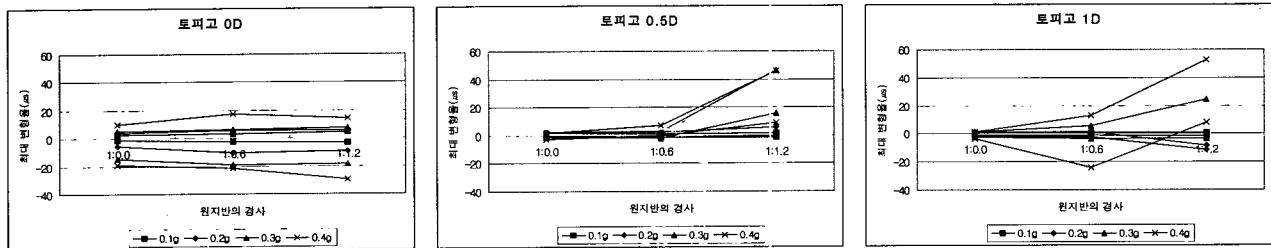


그림 8. 터널 토피고별 터널의 응답가속도의 진폭 변화(16Hz, A2(어깨부))



(a) 입력주파수가 12Hz일 경우



(b) 입력주파수가 16Hz일 경우

그림 9. 터널에 발생된 최대 변형률

를 포설하였을 경우(1D)에 대해 입력 가속도 및 주파수를 변화시키며 진동대 실험을 수행한 결과, 터널에 발생하는 최대 변형률은 터널의 어깨부에서 주로 발생하는 것으로 나타났으며 터널의 설치심도가 깊어질수록 즉, 터널 상부의 토피고가 증가할수록 터널에 발생하는 변형률은 감소하는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향은 지진동이 발생되었을 경우, 지진동으로 인해 발생한 구조물의 진동이 주변지반의 구속응력으로 인한 감쇠효과가 토피고가 낮을 때 보다 크게 발휘되기 때문인 것으로 판단된다.

또한 이러한 결과를 뒷받침하는 실험결과로 터널의 가속도를 측정된 결과, 그림 8에서 알 수 있듯이 터널의 토피고가 증가할수록 터널에 발생된 응답가속도 역시 감소하는 경향을 보이고 있다.

그러나 진동대 실험의 입력가속도가 0.3g 이상인 경우, 원지반의 경사가 1:0.6과 1:1.2에서 토피고가 증가할수록 변형률도 증가하는 경향을 보이고 있는데 이러한 결과는 터널의 거동이 탄성거동을 초과한 소성거동으로

인한 영향이거나 또는 터널의 공진(Resonance)으로 인한 현상일 것으로 판단되며 이에 대한 확실한 이유는 추가 실험 및 분석에 의해 규명되어야 할 것으로 판단된다.

따라서 이와 같은 가속도 조건외의 나머지 조건에서는 터널의 설치심도가 증가할수록 지진동으로 인해 터널에 미치는 영향은 감소한다는 것을 진동대 실험에 의해 증명한 결과라 할 수 있다.

4.3 원지반 경사별 분석

본 절에서는 상기와 같은 실험자료를 이용하여 원지반의 사면 경사별로 터널에 발생하는 응답특성을 분석하였고 이에 대한 결과는 그림 9에서와 같이 원지반의 경사가 완만해 질수록 터널에 발생하는 최대 변형률은 증가하는 것으로 나타났다.

또한 터널에 부착된 가속도계에서 측정된 터널의 응답가속도 역시 원지반의 경사가 완만할수록 응답가속도 역시 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 원지

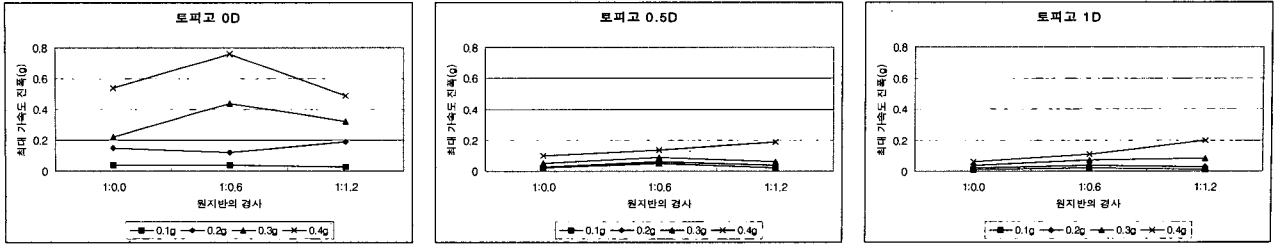


그림 10. 원지반 경사별 터널의 응답가속도의 진폭 변화(16Hz, A2(어깨부))

반의 경사가 급한 경우 즉, 1:0.0일 경우에는 지진동으로 인한 터널의 응답특성이 되메움토사에 의한 영향 보다는 원지반의 강성에 의한 영향이 지배적인 반면, 원지반의 경사가 완만할 수록 터널에 발생하는 응답특성은 원지반의 영향 보다는 되메움토사의 강성에 의한 영향이 지배적인 것으로 판단된다.

4.4 진동대 실험결과를 이용한 토피고별 민감도 분석

본 절에서는 진동대실험에서 얻어진 결과를 Scale Factor를 고려하여 실물크기의 개착식 터널에 발생할 것으로 예상되는 응력을 산정하였으며 여기서 얻어진 터널의 최대응력과 상시조건에 대한 구조해석결과와 비교 분석하여 지진동이 개착식터널에 지배적인 영향을 미칠 수 있는 조건에 대해 분석하였다.

상시조건에 대한 구조해석시 사용된 되메움토사의 단위중량은 1.6tf/m³으로 이는 진동대 실험시 측정된 값을 이용하였으며 내부마찰각은 30°로 가정하여 SAP90을 이용한 구조해석을 수행하였다. 또한 구조물의 단면 성능은 다음의 표 2와 같다.

이상과 같은 조건에 의한 구조해석 결과, 터널에 발생하는 최대응력은 터널 토피고가 0D일 경우, 약 16kgf/cm²의 휨압축응력과 31kg/cm²의 휨인장응력이 발생되며 터널의 토피고가 0.5D일 경우, 약 49kgf/cm²의 휨압축응력과 101kg/cm²의 휨인장응력이 발생되고 터널의 토피고가 1D일 경우, 약 118kgf/cm²의 휨압축응력과 205kg/cm²의 휨인장응력이 발생하는 것으로 계산되었다. 따라서 이러한 결과를 진동대 실험에서 얻어진 최대변형률에 Scale Factor를 고려한 Prototype의 부재 발생응력($\sigma_p =$

표 2. 개착식터널의 단면성능(Prototype)

설계기준강도 (kgf/cm ²)	단면두께 (m)	단위중량 (tf/m ³)	단면2차모멘트 (m ⁴ /m)	비 고
240	0.6	2.5	0.018	콘크리트

$\sigma_{m, \lambda(40)}$)과 비교하면 다음의 그림 11과 같다.

그림 11에서 알 수 있듯이 지진가속도가 0.1g일 경우는 터널직경에 0.5배 이상의 토피고에 대해서 상시조건에 비해 응력이 크게 나타났으며 지진가속도가 0.2g일 경우는 터널직경에 1배일 경우에 대해서 상시조건에 비해 응력이 크게 나타났다. 따라서 이러한 결과로부터

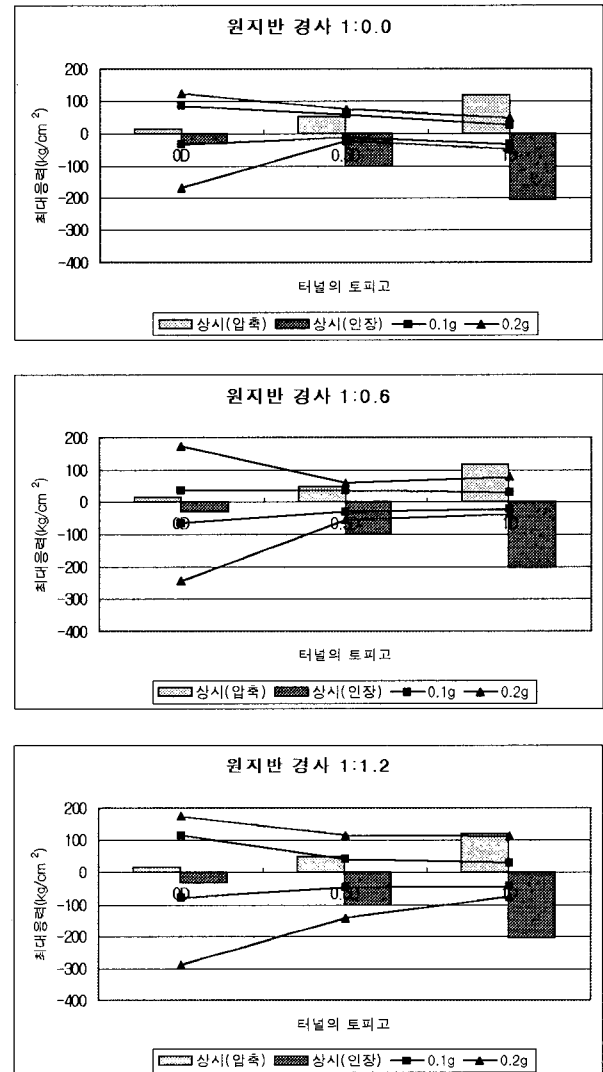


그림 11. 진동대 실험결과 및 상시조건 구조해석 결과 비교

개착식터널의 토피고가 터널직경의 1배이상 확보되었을 경우에 대해서는 지진동에 의한 영향이 그다지 크지 않을 것으로 판단된다.

그러나 이러한 결론은 진동대 실험시 측정된 값만에 의해 추정된 값으로 실제 개착식터널의 되메움작업시에는 진동대 실험에서 측정된 토사의 밀도 보다 더 큰 다짐상태를 유지할것으로 예상된다. 따라서 진동대 실험결과에 의하면 지진동으로 인한 개착식터널의 지배적인 영향을 미칠 것으로 예상되는 토피고는 터널직경의 약 1배이하인 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 지진동 발생시 개착식터널의 동적거동 특성을 파악하기 위해 1/40Scale 의 실험체를 이용한 진동대 실험을 수행하였으며 이에 대한 결과를 요약 정리하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 수행된 진동대실험 결과의 신뢰성을 확인하기 위해 진동대 모델과 동일한 조건으로 동적수치해석을 수행한 결과 진동대 실험에서 얻어진 응답치가 10%내외의 큰 값을 나타냈으며 이는 실험 및 동적 수치해석의 결과가 유사한 경향을 보이고 있는것으로 나타났다.
- (2) 터널의 토피고별 진동대실험에서 얻어진 변형율을 분석한 결과, 터널의 설치심도 즉, 터널의 토피고가 증가할수록 터널에 발생하는 변형율은 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다.
- (3) 또한 진동대 실험시 측정된 터널의 응답가속도를 터널 토피고별로 분석한 결과에서도 터널의 토피고가 증가할수록 터널의 응답가속도가 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 지진동으로 인해 발생된 구조물의 진동이 터널의 토피고가 증가할수록 주변지반의 구속응력 증가로 인한 감쇠효과가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.
- (4) 진동대실험에서 얻어진 터널의 응답치를 이용하여 원지반의 경사각에 따른 영향을 분석 한 결과, 원지

반의 경사가 완만할수록 터널에 발생하는 응답치가 증가하는 경향을 나타냈다. 이러한 경향은 지진동 발생시 원지반의 경사가 완만할수록 원지반 강성에 의한 진동특성 보다 되메움토사의 강성에 의한 효과가 지배적이기 때문인 것으로 판단된다.

- (5) 이상과 같은 실험결과를 이용하여 Scale Factor를 이용한 Prototype의 구조물에서 발생될 것으로 예상되는 응력을 추정한 결과와 상시조건에서의 실제 개착식터널 설계시 사용되는 구조해석기법에 의한 결과와 비교하면 지진가속도가 0.1g일 경우, 토피고가 0.5D이하, 0.2g일 경우 1D이하의 토피고조건에서는 상시하중에 의한 영향 보다는 지진동으로 인한 영향을 지배적으로 받는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 삼보기술단, 현대건설 연구소, 한양대학교의 공동연구로 수행된 과제로서, 연구지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 박영호(2001), "1-g 진동대시험을 이용한 액상화 발생후 과잉간극수압 소산 모델링 및 액상화 대책공법 연구", 박사학위 논문, 서울대학교.
2. 정형식, 이용준, 이규필(2001), "지진으로 인한 개착식터널의 동적거동 특성에 관한 연구", 대한토목학회 논문집, 제21권, 제3-C호, pp.187~195.
3. Bobby O. Hardin and Vincent P. Drnevich(1972), "Shear Modulus and Damping in Soils : Design Equations and Curves", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div, ASCE, Vol.98, No.SM7, pp.667~692.
4. C.M. St. John, T.F. Zahrah(1985), "Aseismic Design of Underground Structures", National Science Foundation, Grant No.CEE-8310631.
5. I.M. Idriss and Bolton Seed(1968), "Seismic Response of Horizontal Soil Layers", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div, ASCE, Vol.94, No.SM4, pp.1003~1031.
6. Philip James Meymand(1998), "Shaking Table Scale Model Tests of Nonlinear Soil-Pile-Superstructure Interaction In Soft Clay" Ph.D. Dissertation, University of California, Berkeley.
7. Steven L. Kramer.(1996), "Geotechnical Earthquake Engineering" PRENTICE HALL, pp.308~347.

(접수일자 2001. 9. 13, 심사완료일 2001. 12. 16)