

공간적으로 변이하는 지진파에 의한 터널의 변형 비교

Comparison of Tunnel's Deformation by Spatially Variable Ground Motion

곽동엽* · 안재광** · 박두희***

Kwak, Dongyeop · Ahn, Jae-Kwang · Park, Duhee

Abstract

The safety of a tunnel under seismic motion is most often evaluated by ovaling deformation of tunnel. This paper research about tunnel's longitudinal deformation. Because of spatial variation of seismic ground motion, the longitudinal structures like tunnel are likely to experience relative displacements along longitudinal direction. The spatially variable ground motion can be estimated by coherency function obtained empirically, and can be considered from different arrival times of ground motion. As a result of estimating tunnel's relative displacements at maximum curvature of tunnel, the displacements and curvatures estimated by coherency function affect the tunnel's safety more than different arrival times. However, if tunnel's displacements by coherency function superpose on displacements by different arrival times, the relative displacements and curvatures of tunnel will be more severe. Therefore, to estimate accurately tunnel's deformation in longitudinal direction has to consider both coherency and wave passage effects.

key words : Spatially variable ground motion, Tunnel, Wavefront, Coherency, Wave passage

1. 서 론

일반적으로 터널에 대한 지진 안전성의 평가는 터널의 진단변형에 의한 응답으로써 평가된다. 터널의 진단 변형은 지진파의 수직성분에 의해 생기는 변형으로 터널의 진행방향에 대한 변형은 고려하지 못한다. 터널과 같이 종방향 길이가 긴 구조물의 경우 구조물의 각 지점에 따라 지진파가 공간적으로 변이하게 된다. 이는 동일시간에서 터널의 각 지점마다 각각 다른 횡방향 변위를 일으킨다. 즉 터널에 평행한 방향으로 지반운동이 일어난다고 볼 수 있다. 따라서 정확한 터널의 안전성 평가를 위해서는 터널의 진단변형과 지진파의 공간적 변이성에 의해 생기는 터널의 진행방향 변형을 모두 고려하여야 한다(한정우, 2008). 본 연구에서는 경험적 간섭함수로 만들어지는 지진파에 의한 터널의 길이방향 변형만이 아닌 전파경로효과에 의해 만들어진 지진파에 의한 변형을 고려하기 위하여 경험적 간섭함수, 전파경로효과에 의해 만들어진 지진파 변이성에 의한 터널의 변형을 비교하였고, 단순 이론식과의 비교를 통해 각 경우의 변위정도를 비교하였다.

2. 공간적으로 변이하는 지진파

2.1 경험적 간섭함수

한 지역의 조밀하게 설치된 계측소로부터 다양한 이격거리에 대한 지진파 특성의 변이정도를 측정하여, 진동수와 이격거리에 대한 공간적 변이성을 정의하는 경험적 간섭함수들이 제안되었다. 간섭함수는 공간적으로

* 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: duckkwak@hanyang.ac.kr

** 비회원 · 한양대학교 토목공학과 · 석사과정 · E-mail: jjang909@hanyang.ac.kr

*** 정회원 · 한양대학교 토목공학과 · 전임강사 · E-mail: dpark@hanyang.ac.kr

변이하는 지진파의 특성을 주파수와 이격거리별로 정량화한 것이다. 본 연구에서는 그림 1에서와 같은 3가지 경험적 간섭함수(Abrahamson, 1992; Harichandran and Vanmarcke, 1986; Luco and Wong, 1986)를 사용하여 지진파를 생성하여 터널의 길이방향 변형을 측정하였다. 그림 1은 간섭함수가 주파수와 거리의 함수로써 주파수가 클수록, 거리가 멀수록 상호 간섭성은 매우 크게 작아짐을 보여주고 있다.

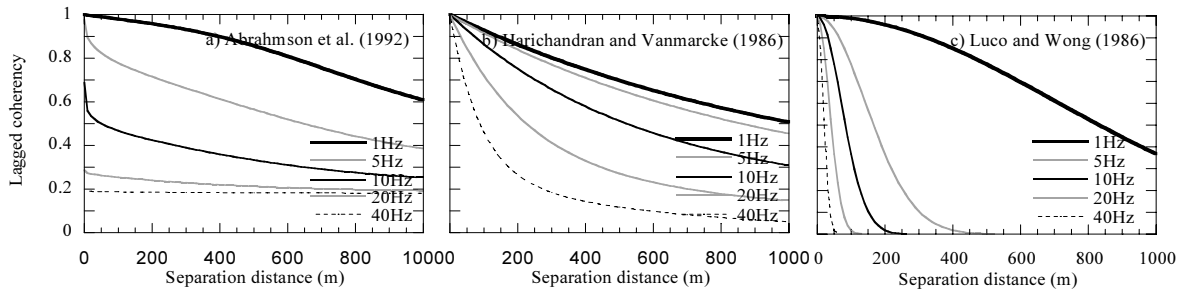


그림 1. 3가지 경험적 간섭함수의 거리에 따른 지연간섭성

2.2 전파경로효과

지진파의 전파경로가 지표면에 대해 기울어져 있을 경우, 각 지역에 도달하는 지진파는 같은 지진파라 할 지라도 거리에 따라 시간지연이 생기기 때문에 동일한 시간에서 각각 다른 가속도를 가지게 된다. 예로써 그림 2와 같은 지역에서 지진파의 입사각과 지반의 전단파 속도를 알고 있다면 파면과 각 지역 간의 거리를 구할 수 있으므로 각 지역의 지진파 도달 시간차이를 구할 수 있다. 이 시간차이에 의해 동일한 시간에서 터널의 길이방향으로 상대변위가 발생한다.

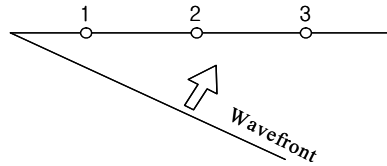


그림 2. 전파경로효과

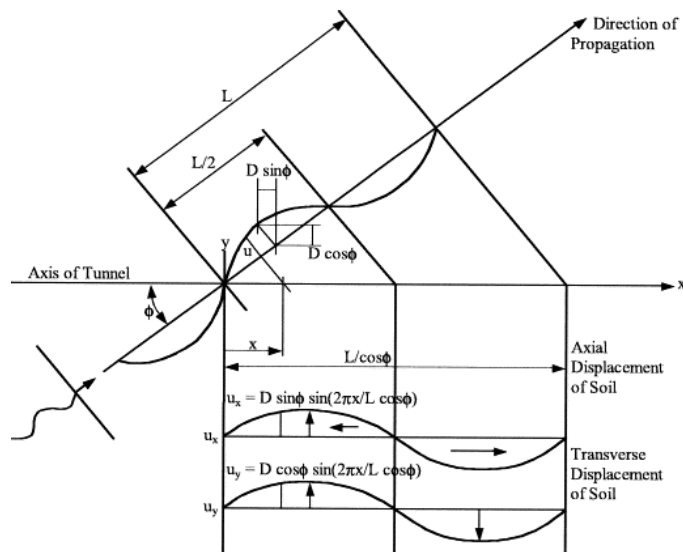


그림 3. 단순조화파에 의한 터널의 변위(after Wang, 1993)

2.3 단순조화파에 의한 변형

터널의 축방향으로 ϕ 각도의 입사각을 가진 단순조화파에 의한 터널의 변형은 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 위의 경험적 간섭함수와 전파경로효과에 의한 지진파의 공간적 변이성은 시간에 의존적이지만 그림 3은 시간에 대한 고려는 해주지 못한다. 해석에 사용될 지진의 최대 변위를 단순 조화파의 최대변위에, 지진파의 푸리에 스펙트럼에서 최대변위를 가지는 주파수의 역수를 단순 조화파의 주기에 대입하였다.

3. 터널의 변형 비교

3.1 입력변수

해석에 사용된 입력변수는 표 1과 같다. 지진파는 1995년 일본 고베시 인근 효고현에서 일어난 kobe지진파를 사용하였다. Abrahamson(1992)의 간섭함수와 시간지연에 의한 지진파의 변위 곡선은 0m, 100m, 900m, 1000m에서 그림 4와 같다. 그림 4에서 터널의 각 구간별 동일한 시간에서의 상대변위를 파악할 수 있다.

표 1. 입력변수 및 입력값

입력 변수	입력값
지진파의 터널 길이방향 이격거리(m)	0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000
지반의 전단파속도(m/s)	252
kobe지진 대표주파수(변위)(Hz)	0.23
kobe지진 최고변위(mm)	205.408
입사각(°)	10, 30, 50

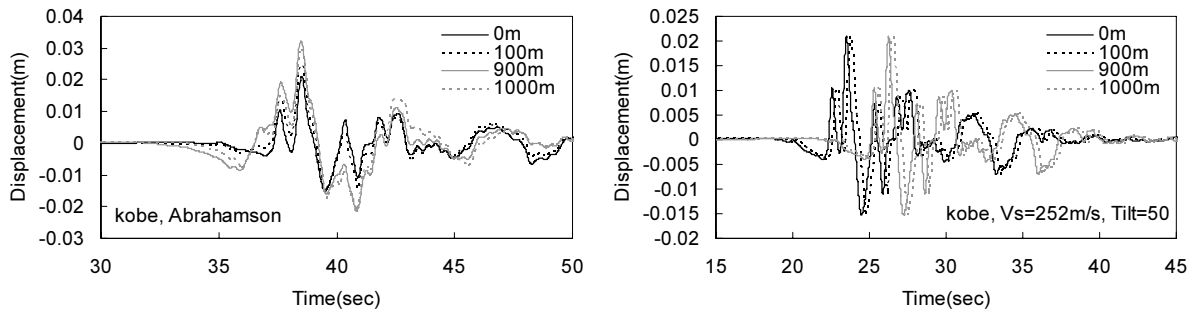


그림 4. 터널의 각 구간별 간섭함수와 시간지연에 따른 지진파 변위의 변형

3.2 해석결과 비교

그림 5와 같이 단순조화파에 의한 터널의 변형과 전파경로효과에 의한 터널의 변형을 각각 다른 지진파의 입사각에서 비교하였다. 전파경로효과에 의한 변형은 모든 시간, 모든 구간에서 터널의 곡률이 가장 작을 때

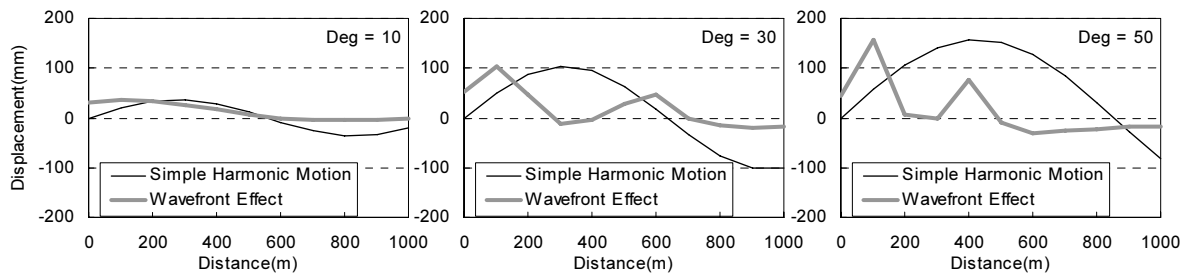


그림 5. 터널의 단순조화파 변형과 전파경로효과에 의한 변형 비교

의 시간에 대한 터널의 변위를 나타내었다. 그림 5에서 보듯이 단순조화파 변위의 최솟값과 kobe지진의 진파 경로효과에 의한 터널 길이방향 변위의 최솟값이 각 각도에서 비슷하게 나타난다. 이는 kobe지진의 변위가 최고일 시 터널에 가장 작은 곡률이 발생함을 나타낸다. 지진파의 입사각도가 커질수록 터널의 상대변위가 커짐을 볼 수 있는데 이는 입사각도가 커질수록 더 큰 지진파의 도달시간차가 생기기 때문이다. 그림 6는 진파 경로효과에 의한 터널의 변형과 경험적 간섭함수로 생성된 각 구간의 지진파에 의한 터널의 변형을 나타낸다. 본 논문에서 사용한 경험적 간섭함수는 거리의 함수이기 때문에 지진파의 입사각에 따라 그 값이 변하지 않는다. 그림 6에서 보듯이 모든 경우에 경험적 간섭함수에 의한 터널의 변형이 시간지연에 따른 지진파에 의한 터널의 변형보다 크게 나타나고 있다.

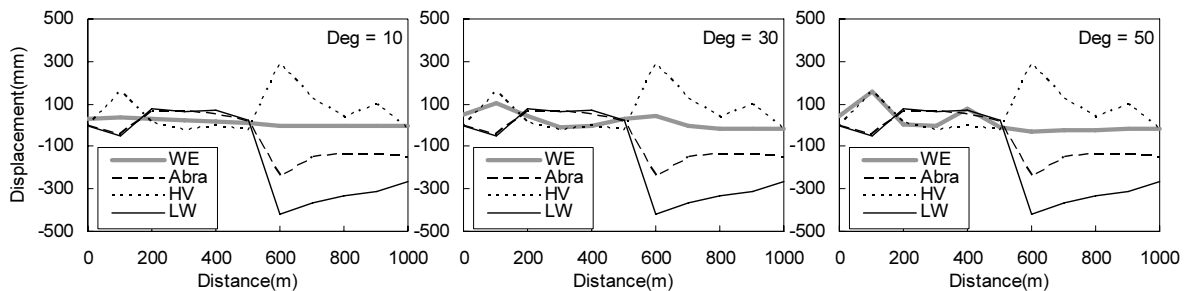


그림 6. 진파경로효과와 각 경험적 간섭함수에 의한 터널의 변형 비교

4. 결론

지진파의 공간적 변이성에 의한 터널의 변형을 파악하기 위하여 경험적 간섭함수에 의한 지진파의 변형과 파면의 기울어진 정도에 따른 지진파의 시간지연에 의한 지진파의 변형을 터널의 길이방향 각 지점에 대입하여 터널의 상대변위를 측정하였다. 그 결과 경험적 간섭함수에 의한 변형이 터널의 변형에 더 큰 기여를 하지만 간섭함수와 시간지연효과의 중첩에 의해 더 큰 변위 또한 더 작은 곡률을 나타낼 수 있기 때문에 시간지연에 의한 터널의 변형 또한 터널의 안전성을 판단하는데 무시해서는 안 될 것이다. 향후 간섭함수와 시간지연효과를 중첩시킨 터널의 상대변위와 곡률을 측정하여 3차원 유한요소해석을 수행함으로써 터널 라이닝의 응력과 모멘트를 측정하여 터널의 전단변형과 비교, 터널 라이닝 설계에 중요한 인자가 무엇인지 분석하는 것이 필요하다.

참고문헌

1. 한정우, 2008, 공간적으로 변이하는 지진파가 터널에 미치는 영향 규명
2. Abrahamson, N.A., 1992. Generation of spatially incoherent strong motion time histories. Proceedings, Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. II, pp. 845-850.
3. Harichandran, R.S., Vanmarcke, E.H., 1986. Stochastic variation of earthquake ground motion in space and time. Journal of Engineering Mechanics 112(2), 154-174.
4. Kramer, 1996S. Kramer Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, USA (1996).
5. Luco, J.E., Wong, H.L., 1986. Response of a rigid foundation to a spatially random ground motion. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 14, 891-908.
6. Wang, 1993J.-N. Wang Seismic Design of Tunnels: A State-of-the-Art Approach, Monograph, monograph 7, Parsons, Brinckerhoff, Quade and Douglas Inc, New York (1993).