

비선형 해석을 이용한 Horseshoe 터널의 내진 성능 평가

Seismic Performance Evaluation of Horseshoe Tunnel Using Non-linear Analysis

김정현¹⁾ · 박두희²⁾

Kim, Jung-Hyun · Park, Duhee

지하구조물은 도로터널, 철도터널, 지하주차장, 매설관 그리고 저장공간 등의 목적으로 사용되고 있는 인프라의 중요 구조물이다. 터널 구조물의 내진 설계는 지상 구조물보다 주목을 덜 받았으며, 대부분의 내진 설계는 내진 효과를 고려하지 않고 설계 및 시공되었다. 그러나 지하 터널도 강한 지진으로 인해 심각하게 손상될 수 있다는 것을 보여주었다. 현대 도시 지역에서 터널이 중요한 역할을 하는 점을 감안하면 지하터널의 내진성능에 대한 정확하고 적절한 평가가 불가피하다.

이전 연구에서는 터널의 내진 성능을 평가하기 위해 특정 장소와 터널 구간을 선정하였다. 그러나 주변 지반 상태가 터널의 반응에 상당한 영향을 줄 수 있으므로 광범위한 지반조건에 대한 파괴 메커니즘을 정의할 필요가 있다. 터널의 지진 시 거동은 지반과 터널의 강성비에 따라 크게 달라진다고 여러 연구들에서 보고되어 있다(Hashash et al., 2001). 하지만 현재 강성비를 고려하여 손상정도를 나타낼 수 있는 손상지수는 개발되지 않은 상황이다. 따라서 본 연구에서는 강성비에 따른 터널의 손상정도를 나타낼 수 있는 새로운 손상지수를 제안하였다. 사용된 해석 프로그램은 철근 콘크리트 라이닝의 비선형 거동을 잘 모사할 수 있는 Opensees이며, 응답변위법을 사용하였다(Liu et al., 2013).

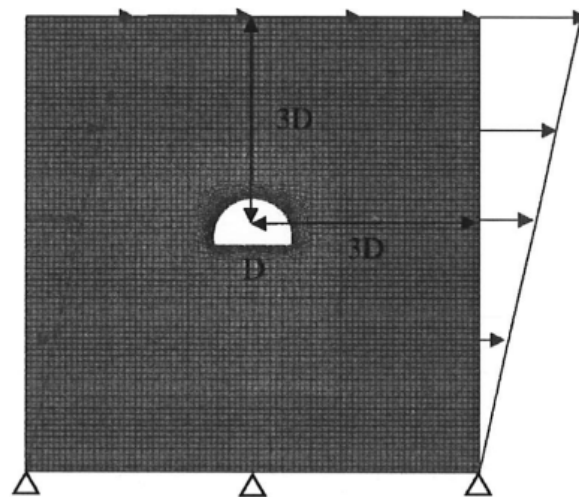


Fig. 1. Numerical model

1) 한양대학교 건설환경공학과 석사과정(kjh3813@hanyang.ac.kr)

2) 한양대학교 건설환경공학과 교수(dpark@hanyang.ac.kr)

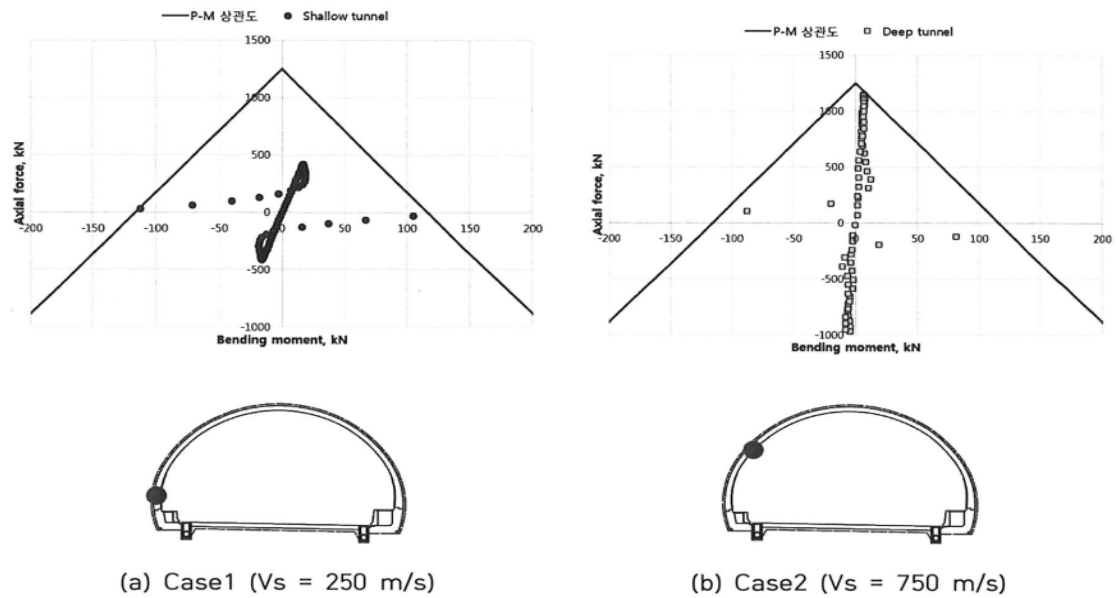


Fig. 2. Response Characteristics by correlation P-M and Case

Table 1. Damage states and Damage index

Case	Damage state	Definition of the damage	Material strain	Damage index ($M/M_y, N/T$)
Soft ground ($V_s = 250\text{m/s}$)	None	No damage	-	$DI < 0.8$
	Minor	Tension crack	$\epsilon_{concrete} > 0.00017$	$0.8 \leq DI < 1.4$
	Moderate	Element yield	$\epsilon_{concrete} > 0.001$ $\epsilon_{steel} > 0.002$	$1.4 \leq DI < 1.8$
	Extensive	Element collapse	$\epsilon_{concrete} > 0.0033$ $\epsilon_{steel} > 0.02$	$1.8 \leq DI$
Stiff ground ($V_s = 750\text{m/s}$)	None	No damage	-	$DI < 0.8$
	Minor	Tension crack	$\epsilon_{concrete} > 0.00017$	$0.8 \leq DI < 0.9$
	Moderate	Element yield	$\epsilon_{concrete} > 0.002$	$0.9 \leq DI < 1.0$
	Extensive	Element collapse	$\epsilon_{concrete} > 0.02$	$1.0 \leq DI$

해석 결과, 얇은 터널은 모멘트로 인해 왼쪽 아래쪽에 손상이 발생하며, 깊은 터널에서는 축력에 의해서 왼쪽 어깨 부분 손상이 발생한 것을 알 수 있다. 따라서 제안한 손상지수를 사용하여 국내 터널의 지진 시 손상을 효과적으로 나타낼 수 있다.

참고문헌

- Hashash, Y. M., Hook, J. J., Schmidt, B., John, I. and Yao, C. (2001), "Seismic design and analysis of underground structures", Tunnelling and underground space technology.
- Liu, H., He, M.-h., Luan, Y.-q., Guo, J. and Liu, L.-1. (2013), "A Modified constitutive model for FRP confined concrete in circular sections and its implementation with OpenSees programming", Journal of University SCIENCE A, Vol. 14, No. 12, pp. 856~866.