

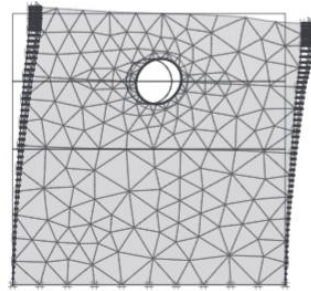


연구배경

- 지하구조물은 도로터널, 철도터널, 지하 주차장, 매설관 그리고 저장공간 등의 목적으로 사용되고 있는 인프라의 중요 구조물이다
- 하지만 터널 구조물의 내진 설계는 지상 구조물보다 주목을 덜 받았으며, 대부분의 내진 설계는 내진 효과를 고려하지 않고 설계 및 시공되었다
- 현대 도시 지역에서 터널이 중요한 역할을 하는 점을 감안하면 지하터널의 내진성능에 대한 정확하고 적절한 평가가 불가피하다

연구개요

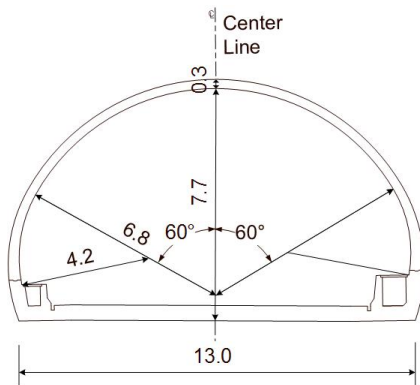
- 지진 발생시 굴착된 터널 구조물의 손상을 평가하기 위해 Pseudo-static 해석을 실시
- 지진 시 터널 단면의 손상 메커니즘 분석을 위해 비선형 모델링이 가능한 Opensees 소프트웨어 사용
- 다양한 지반조건에서의 터널의 손상파악 및 손상상태 분류
- 새로운 Damage Index 제시



[Pseudo-static analysis]

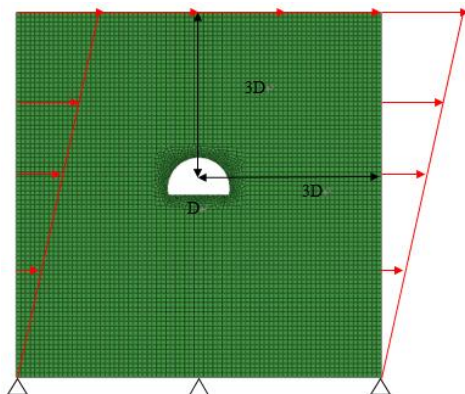
수치해석

- 해석 단면
- 본 연구에서 해석을 수행한 표준단면은 마제형 터널로
- 터널의 구성은 콘크리트, 철근으로 이루어져 있음
- 터널의 폭은 13m, 높이는 8m로 이루어져 있음



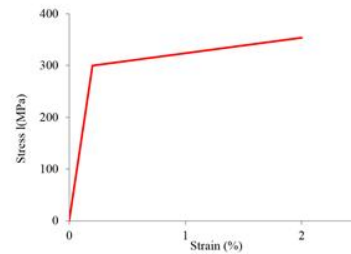
[Horseshoe Typical Section]

- 수치해석 모델
- 대상 터널의 도면 정보를 통한 해석 단면의 모델링을 수행
- 모델의 총 해석 영역은 3D로 선정, 이 중 터널에 해당하는 해석 영역은 폭 13m, 높이는 8m로 모델링
- Fiber 요소 사용 가능한 Force-Based Beam-Column Element로 터널 모델링
- 지반은 Elastic Isotropic material을 사용할 수 있는 Quad Element를 적용
- 하부 경계는 양단 고정하였으며, 측면경계는 y축 고정을 하여 단순전단상태를 모사

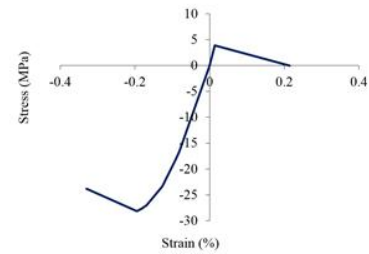


[해석 모델 구성도]

- 라이닝의 지진거동을 예측하기 위해 콘크리트와 철근의 비선형성을 고려함
- 콘크리트의 인장 크랙을 모사하기 위하여 Concrete02 material을 사용
- 철근은 Steel01 material을 사용



(a) 철근

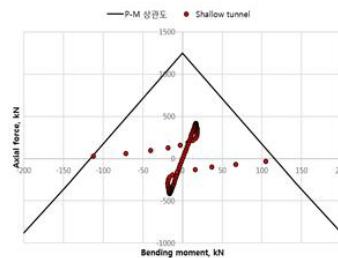


(b) 콘크리트

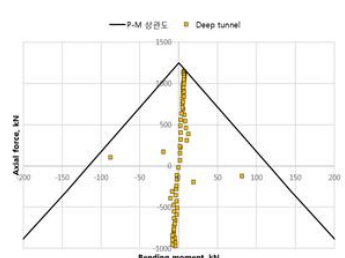
[해석에 사용된 재료 물성치]

해석결과

- 해석 단면에서 발생한 모멘트와 축력의 최대값을 산출
- 얕은 터널은 모멘트로 인해 왼쪽 아래쪽에 손상이 발생하며, 깊은 터널에서는 축력에 의해 왼쪽 어깨 부분 손상이 발생
- 터널의 손상 특성을 반영하여 터널의 손상상태를 Minor, Moderate, Extensive 3가지 상태로 분류



(a) Case1 (Vs = 250 m/s)



(b) Case2 (Vs = 750 m/s)

[P-M 상관도와 Case별 응답 특성]

Case	손상상태	손상정의	철근, 콘크리트 변형률	손상지수 (M/My, N/Nt)
Soft ground (Vs = 250m/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 (Vs = 750m/s)	None	No damage	-	DI < 0.8
	Minor	Tension crack	$\epsilon_{concrete} > 0.00017$	$0.8 \leq DI < 0.9$
	Moderate	Element yield	$\epsilon_{steel} > 0.002$	$0.9 \leq DI < 1.0$
	Extensive	Element collapse	$\epsilon_{steel} > 0.02$	$1.0 \leq DI$

[제한된 손상상태와 손상지수]

분석결과

- Horseshoe 터널의 표준도 해석 결과 Vs에 따라 손상상태 위치가 다르게 발생하는 것을 확인
- 비선형 해석 통해 손상 시 발생하는 응답 특성을 규명 후, 설계 및 취약도 평가에 적용 가능하도록 정량화함
- 제한된 손상지수를 사용하여 국내 터널의 지진 시 손상을 효과적으로 나타낼 수 있다고 판단됨