

제 8 장 터널안정성 해석

8.1 해석일반

8.1.1 안정성 해석 목적

- (1) 터널건설에 따른 주변 지반의 거동과 주변 시설물에 미치는 영향 및 지보재를 포함한 터널구조물의 안정성을 사전에 검토하기 위함이다.
- (2) 해석 결과의 분석과 적용에 있어서는 단순히 해석 결과에만 의존하는 설계가 되지 않도록 주의하여야 한다.

8.1.2 터널 안정성 해석시 고려사항

- (1) 해석영역은 터널굴착에 따른 영향을 충분히 파악할 수 있는 범위로 설정하여야 한다.
- (2) 해석모델은 단계별 굴착의 영향이 포함되도록 하되 경계요소, 무한요소 등의 탄성경계 조건을 부여하는 경우를 제외하고는 터널 좌·우는 터널굴착폭의 3배 이상, 하부는 터널높이의 2배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 한다.
- (3) 상부토피가 매우 큰 경우에는 상부 지반 조건의 영향이 포함될 수 있는 별도의 모델을 적용할 수 있다.
- (4) 해석 시 사용하는 지반특성치들은 해당 지반의 시험 결과를 토대로 추정된 값을 사용하여야 한다.
- (5) 공사의 규모 또는 현장 여건상 시험 결과를 얻을 수 없는 경우에는 경험이 풍부한 기술자의 판단에 의하여 유사지반의 특성치를 제한적으로 준용할 수 있다.
- (6) 해석 시에는 지형 및 지반 조건, 지하수 조건, 터널의 형상 및 위치, 시공방법 및 터널주변 지반의 지보특성을 고려하여야 한다.
- (7) 해석기법은 2차원 해석이나 3차원 해석을 채택할 수 있다.
- (8) 2차원 해석을 실시할 경우에는 3차원적 실제 지반거동을 고려하여야 한다.

8.1.3 해석프로그램

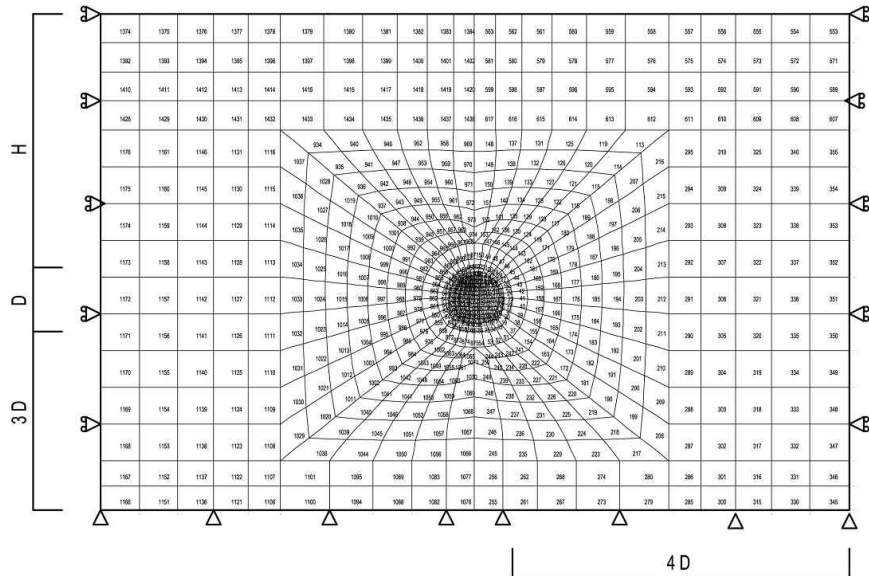
(1) 수치해석 기법

- ① 터널 해석에 일반적으로 적용되고 있는 기법이다.
- ② 크게 연속체 모델, 불연속체 모델 등 두 가지로 나주어진다
- ③ 유한요소법(finite element method), 유한차분법(finite difference method), 경계요소법(boundary element method), 개별요소법(distinct element method) 등이 여기에 속한다

(2) 해석프로그램의 사용

- ① 해석 프로그램은 국내외에서 사용된 실적이 있어 그 객관성이 입증되었거나 공인기관에 의하여 터널 거동 해석에 적합하다고 인정된 프로그램을 사용한다.
- ② 굴착 단계에 따른 지반 및 지보재의 변형 및 응력의 변화를 계산하여 터널 설계에 반영할 수 있는 프로그램을 사용해야 한다.

- ③ 해석모델은 터널 굴착 영향권을 포함하되 일반적으로 터널 측방으로 4.0D 이상, 터널 하부로 3.0D 이상을 영향권으로 하여 지표면까지를 경계로 모델링한다.



<그림 8.1.1> FEM 해석을 위한 Model의 예

8.2 터널 안정성 해석

8.2.1 해석절차

- (1) 해석은 사전조사, 모형화, 수학적 계산, 결과 출력 및 종합평가 순으로 진행하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 해석 순서
 - ① 사전조사 : 지반 및 지하수위 조사, 터널설계단면, 시공단계, 굴착공법, 표준지보패턴 등의 자료수집.
 - ② 모형화 : 지반과 지보재의 특성, 해석영역, 크기 및 순서, 경계 조건, 구성모델 등의 결정
 - ③ 수학적 계산 수행
 - ④ 결과 출력 : 지반 및 지보재의 변위, 응력, 및 변형률 등의 수치 또는 분포도, 소성영역 등의 출력
 - ⑤ 종합평가 : 터널의 내공변위 및 지보재의 부재력에 근거한 터널안정성 평가 및 주변 구조물의 거동 평가

8.2.2 해석입력자료

- (1) 해석에 필요한 입력자료는 지반특성치, 지반의 초기응력, 지하수위, 지보재특성치, 사용되는 보조공법재의 특성치 등이다.

- (2) 지반특성치는 터널거동을 나타낼 수 있어야 한다.
- (3) 지반의 초기응력은 터널거동에 큰 영향을 미치므로 현장에서 측정한 값, 경험식 또는 추정식으로부터 산정하여야 한다.
- (4) 보조공법 중 지반보강을 목적으로 주입한 경우에는 보강된 지반특성치가 필요하다.
- (5) 기계적 보강을 실시한 경우에는 각각의 재료를 지보재로 보고, 지보재의 특성치를 입력하거나, 보강지반으로 환산하여 보강된 지반특성치를 사용하여야 한다.

8.2.3 하중

- (1) 해석에 사용되는 하중의 종류
 - ① 지반의 초기응력과 지하수위에 의한 수압
 - ② 필요 시 관련 외부하중을 고려할 수 있다.
- (2) 하중 선정 시 고려사항
 - ① 원지반의 초기응력은 지반의 단위중량, 터널심도, 측압계수 등을 고려하여 결정하여야 한다.
 - ② 수압은 지하수위를 고려하여 결정하여야 한다.
 - ③ 비배수형 터널의 경우에는 지하수위를 고정하여 정수압으로 한다.
 - ④ 배수형 터널의 경우에는 지하수위의 변화를 고려하여 수압을 정하여야 한다.
 - ⑤ 터널 상부에 구조물이나 도로 및 철도의 교통하중이 작용하는 경우에는 외부하중으로 고려하여야 한다.
 - ⑥ 지형 및 지반 조건 등의 이유로 터널에 편압이 작용할 우려가 있는 경우에는 편압의 영향을 고려하여야 한다.
 - ⑦ 갱구부에 대하여는 지역적 특성, 터널 상부의 지층두께, 지형, 지반 조건 등에 따라 지진의 영향이 예상되는 경우에는 이의 영향을 설계에 반영하여야 한다.
 - ⑧ 장기간에 걸쳐 시간 의존적인 지반의 크리프(creep)현상이 예상되는 경우에는 크리프하중을 고려하여야 하며, 일시적인 지보인 경우에는 이를 고려하지 않아도 된다.

8.2.4 해석방법

- (1) 수치해석적 방법, 이론해를 이용하는 방법, 경험적 방법 등이 있으므로 필요에 따라 적절한 방법을 선택하여 사용하여야 한다.
- (2) 수치해석적 방법을 이용할 경우
 - ① 공학적으로 공인되어 널리 사용되고 있는 방법이다.
 - ② 대상 지반 및 설계 조건들을 적절히 모사할 수 있다.
 - ③ 지반의 거동을 적절히 해석할 수 있는 기능을 보유한 해석 프로그램을 이용하여야 한다.
- (3) 이론해를 이용하는 방법
 - ① 계산이 간편하여 시간을 절약할 수 있다.
 - ② 한정된 가정 조건하에서만 해석이 가능한 단점이 있다.
 - ③ 수치해석, 계측 결과 등의 설계, 시공사례의 분석을 통하여 유사한 결과를 보일 경우에 한하여 사용하는 것을 원칙으로 한다.

8.2.5 해석 결과의 평가

- (1) 해석 결과는 다음과 같은 적절한 평가를 거쳐 설계에 반영하여야 한다.
 - ① 터널의 안정성 평가
 - ② 유사터널의 계측 결과와 검증 평가
 - ③ 인접 구조물과 상호 영향 평가
- (2) 터널은 굴착 단계별로 터널주변의 지반 및 지보재에 대한 응력, 변위, 발생 소성영역 등을 검토하여 구조적인 안정성을 평가하여야 한다.
- (3) 해석 결과는 유사터널의 응력 및 내공변위, 지표침하, 지중변위 등의 계측 결과와 비교·검증하여 평가하여야 한다.
- (4) 터널굴착의 영향범위 내에 위치한 인접 구조물에 대하여는 영향 정도와 상호 안전성을 평가하여야 한다.

8.3 터널의 내진해석¹⁾

8.3.1 기본방향

- (1) 굴착하여 시공하는 터널은 터널구조물 전체가 견고한 지반에 둘러싸여 있어 지진에 대한 영향을 적게 받는다.
- (2) 비개착 터널에 대해서는 내진설계를 수행하지 않는 것을 원칙으로 한다.

8.3.2 내진설계 대상 구조물

- (1) 개착하여 시공하는 개착부
- (2) 토피가 작고 지반이 연약하거나 편토압이 발생하는 갱구부
- (3) 단층대 등 활동성 지각운동이 예상되는 터널부

8.3.3 내진해석방법

- (1) 터널에 대한 내진설계 방법은 응답변위법을 우선으로 하고 필요에 따라 동적해석법을 수행한다.
- (2) 터널은 내공부를 포함한 단위체적중량이 주변지반의 단위체적중량에 비교하여 일반적으로 가벼우므로 주변지반에 발생하는 변위, 변형 등이 중요하게 되어 응답변위법을 적용한다.
- (3) 다만 구조물 형상 및 지형·지질의 급변화로 지진시 지반의 거동이 복잡한 경우는 구조물 및 주변지반을 모델링하여 해석하는 동적해석법을 적용한다.
- (4) 내진해석을 위한 지반운동은 지형 및 지반조건과 공간적 변화특성(터널의 길이방향과 횡방향의 지반운동 영향)을 고려해야 한다.
- (5) 내진검토를 위하여 필요한 경우 동적지반정수 산정을 위하여 설계목적에 부합되도록 실내시험이나 물리검층 등을 시행하도록 한다.

1) 터널내 내진설계 적용방안 수립, 설계처-3023, 2006.11.22