

제 106회 토질 및 기초 기술사 기출문제 해설

1교시

문제 1. 순하중(Net Pressure)의 개념과 이를 이용한 침하량 산정법

1. 정 의

얕은기초를 설계하기 위하여는 총 지지력 (Gross bearing capacity) 개념과 순지지력 개념에 의한 지지력을 평가하게 되며 이때 순하중에 의한 지지력 개념이라 함은 부력기초에 해당되며 침하량을 평가시 순하중에 의한 침하량을 평가하게 된다.

2. 부력기초에서의 지지력 및 침하량

① 부력(보상)기초는 순지지력 개념으로 지지력을 검토함

② 따라서 굴착후 가해지는 순하중($P_{net} = P - \gamma_2 \cdot D_f$)은 안전율을 고려한 순 지지력 보다 커서는 안된다.

$$\frac{Q_{net}}{F_s} = \frac{Q_{ult} - \gamma_2 \cdot D_f}{F_s} > P_{net}$$

③ 침하량의 산정은 순하중에 의해 발생하는 침하량을 검토함.

$$S_i = q \cdot B \frac{1-\mu^2}{E_s} \cdot I_s$$

여기서, q : 기초에 작용하는 순하중 B : 기초의 최소폭
 E_s : 지반의 평균 변형계수 μ : poisson 비
 I_s : 침하에 의한 영향계수 (기초폭과 길이에 대한 함수)

3. 적용 방법

① 순 하 중 : $q_{net} = q - q' = q - \gamma_2 \cdot D_f$

② 순 지지력 : $q_{u(net)} = q_{ult} - \gamma_2 \cdot D_f$

③ 순 허용지지력

$$q_{a(net)} = \frac{q_{u(net)}}{F_s}$$

④ 관계 : $q_{a(net)} > q_{net}$

4. 평 가

① 총 지지력은 총하중에 대한 검토이며 근입깊이가 비교적 작은 기초에 적용 (독립기초, 연속기초)

② 순 지지력은 순하중에 대한 검토이며 근입깊이가 비교적 큰 기초에 적용

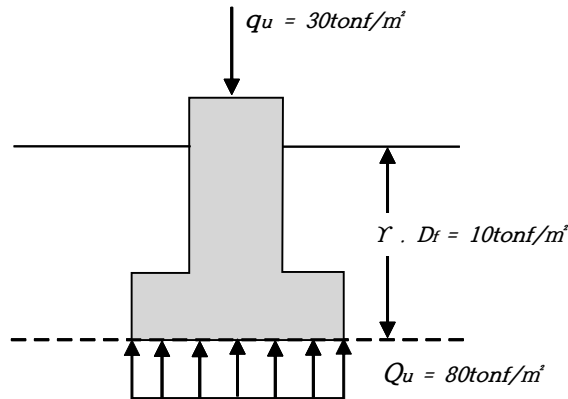
③ 총 지지력이든 순지지력이든 하중에 대한 침하는 허용범위내내이어야 한다.

④ 허용지지력 산정시 안전율

- ① 총지지력, 순지지력에서의 안전율 : $F_s = 3 \sim 4$
- ② 전단파괴에 대한 안전율 : $F_s = 2 \sim 3$

⑤ 지지력 검토시 침하량은 사질토에서 기초폭 B의 5 ~ 25%, 점성토에서 폭 B의 3 ~ 15% 정도로 발생량이 대단히 크므로 총지지력이든 순지지력이든 침하는 기초폭에 영향이 크므로 안전율을 고려한 허용침하도 만족해야 한다.

5. 계산(예)



① 총 하중, 총 지지력

- ① 총 하중 : $q = 30\text{tonf}/\text{m}^2$
- ② 총 지지력 $q_{ult} = \alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q = 80\text{tonf}/\text{m}^2$
- ③ 총 허용지지력

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{F_s} = \frac{80}{3} = 26.6\text{tonf}/\text{m}^2$$

- ④ 관계 : $q_{all} < q \rightarrow$ 불안전

② 순 하중, 순 지지력

- ① 순 하중 : $q_{net} = q - q' = q - \gamma_2 \cdot D_f = 30 - 10 = 20\text{tonf}/\text{m}^2$
- ② 순 지지력 : $q_{u(net)} = q_{ult} - \gamma_2 \cdot D_f = 80 - 10 = 70\text{tonf}/\text{m}^2$
- ③ 순 허용지지력

$$q_{a(net)} = \frac{q_{u(net)}}{F_s} = \frac{70}{3} = 23.3\text{tonf}/\text{m}^2$$

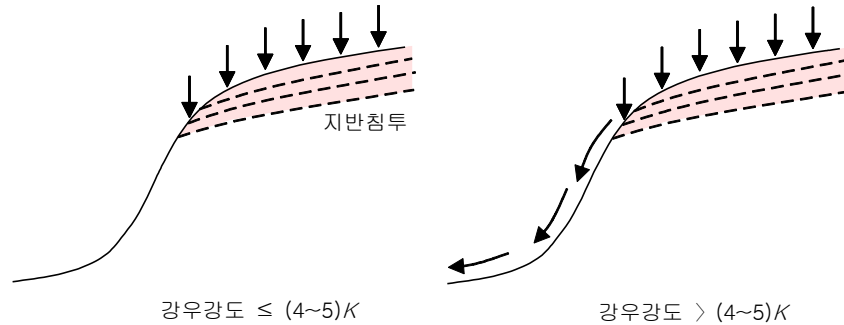
- ④ 관계 : $q_{a(net)} > q_{net} \rightarrow$ 안전

문제 2. 습윤대(Wetting band)법에 의한 지하수위 산정방법

1. 강우에 따른 지반변화 = 습윤대의 변화

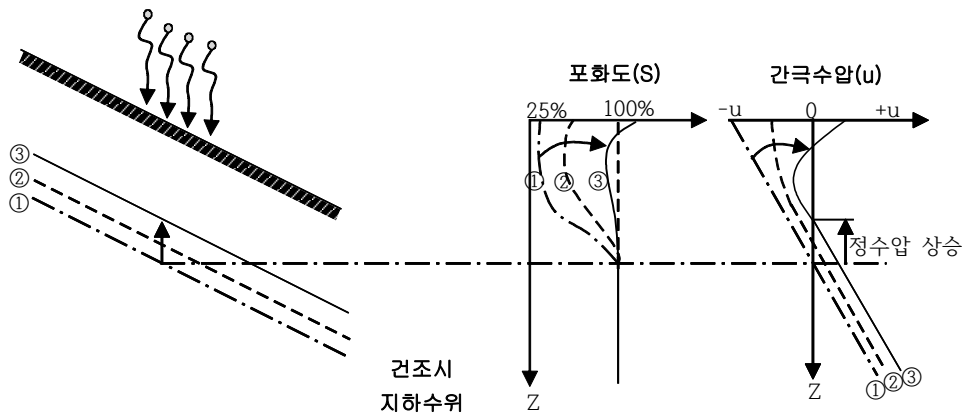
① 침윤전선은 강우에 의해 지표부로 부터 젖어들어가는 선을 말하며 침윤전선내의 흙의 포화도는 깊이별로 다르다

제 강우강도가 크다 하더라도 지표로 침투되는 수량은 일정한계를 가지며 나머지는 유출된다.
(일반적으로 지반의 포화시 투수계수의 4~5배 이상의 강우강도는 지표로 유출됨)



2. 강우에 따른 지하수위의 영향

① 그림과 같이 초기강우시에는 침윤전선이 아래로 이동하며 강우가 지속되거나 강우가 멈춘 경우라도 시간이 경과되면 사면의 먼거리 부터 지하수가 사면쪽으로 이동하여 지하수위가 상승함.



제 초기상태

침윤전선의 형성으로 흙의 단위중량이 증가되어 사면의 안정성은 저하되나 붕괴를 일으킬 정도의 결정적 이유는 되지 않는다.

③ 강우가 지속시

우전 (-)간극수압 → 강우지속(습윤대 확장) → (+)간극수압 → 유효응력 감소 → 사면안전을 저하

③ 투수성에 따른 영향

강우조건 사면조건	집중호우 100mm/hr	장기호우 1mm × 100hr	비 고
사질토 K=10 ⁻³ cm/sec	파괴	비파괴	총강우량 동일 조건임
점성토 K=10 ⁻⁵ cm/sec	비파괴	파괴	

3. 습윤대(Wetting Band)법에 의한 지하수위 결정

① 습윤대 두께 고려 → 침투깊이(zw) 산정 : Lumb(1975년)

$$Z_w = \frac{K \cdot t}{n(S_f - S_o)}$$

여기서, Z_w : 포화심도

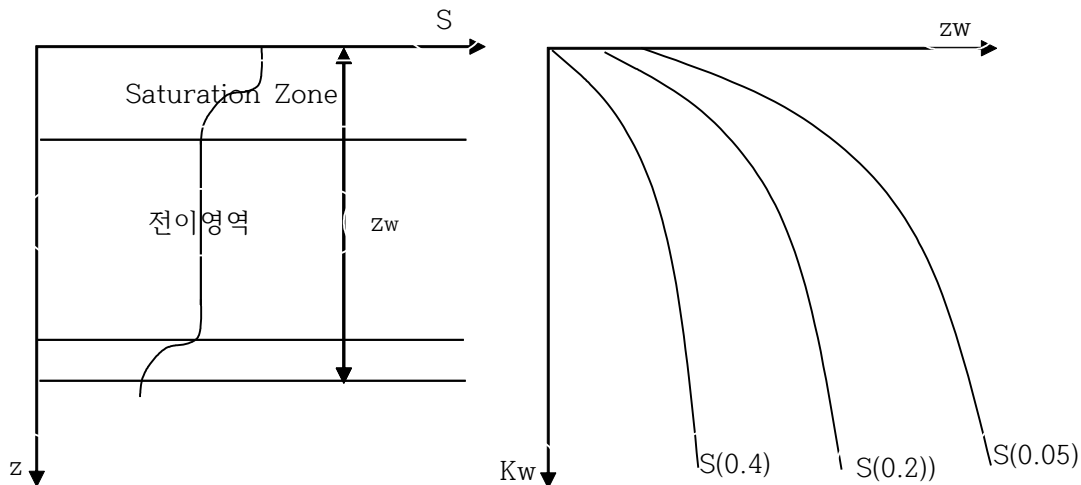
n : 공극율

S_o : 초기포화도

K_w : 포화투수계수

S_f : 최종포화도

t : 강우 지속시간



② 합리적인 불포화토의 사면안정해석

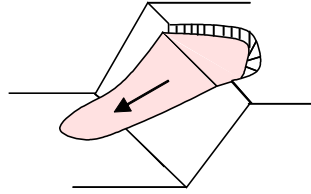
- ① 흡수분 특성곡선 이용
- ② 침투해석을 통한 K_w 산정
- ③ 지하수위 변화 및 이에 따른 간극수압 추정
- ④ 사면안정해석 수행

문제 3. 암반사면에서의 평면파괴 및 썩기파괴 발생조건

1. 암반사면에서의 파괴 발생 발생조건

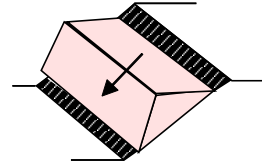
① 원형파괴

- ① 풍화가 심해 강도가 매우 약한 암반인 경우
- ② 불연속면이 불규칙적으로 매우 발달된 경우
- ③ 마찰원법이나 절편법에 의한 사면안정해석 시행



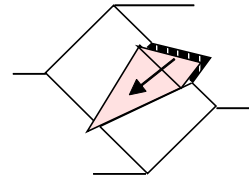
② 평면파괴

- ① 절취면과 불연속면의 경사방향이 같음
- ② 불연속면이 한방향으로 발달된 경우
- ③ 불연속면과 절취면의 주향차가 $\pm 20^\circ$ 이내인 경우
- ④ 절취경사 > 불연속면 경사 > 전단저항각



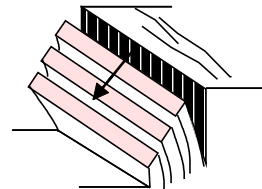
③ 썩기파괴

- ① 불연속면이 교차하여 발달된 경우
- ② 교선이 daylight할때
- ③ 절취경사 > 교선경사 > 전단저항각



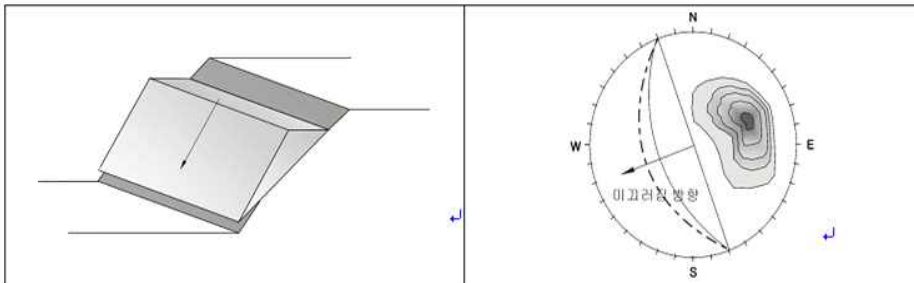
④ 전도파괴

- ① 절취면 경사와 불연속면 경사방향이 반대
- ② 불연속면과 절취면의 주향차가 $\pm 20^\circ$ 이내인 경우



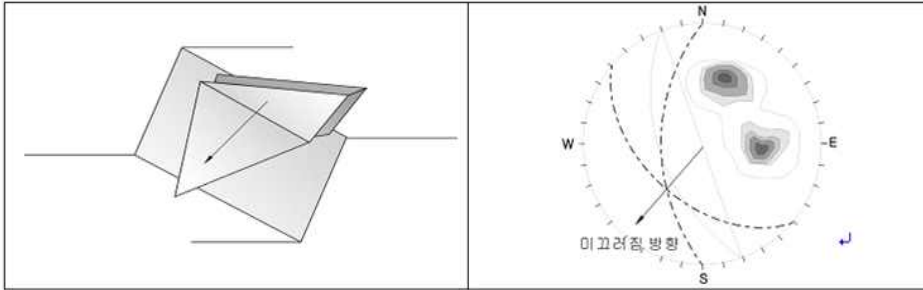
2. 평사투영해석에 의한 파괴형태 추정

① 평면파괴 : 주로 절리가 한쪽방향으로 발달된 암반에서 발생



- ① 절리와 깎기면의 경사방향이 거의 같다.
- ② 절리와 깎기면의 주향이 비슷하다($\pm 20^\circ$ 이내).
- ③ 깎기면의 경사 > 절리 면의 경사 > 절리면 마찰각
- ④ 붕괴되는 암괴의 양쪽 측면이 절단되어서 암괴가 무너지는데 측면의 영향이 없어야 한다.

② **삐기파괴** : 절리면이 2개의 방향으로 발달한 경우 발생



- ① 절리면의 교선과 깎기면의 방향이 같다.
- ② 깎기면의 경사 > 두 절리면 교선의 경사 > 절리면 마찰각
- ③ 평사투영의 양상은 깎기면 반대쪽에 두 군데의 극점 집중현상이 나타남.

3. 유의사항

① **특정불연속면에 대한 고려 필요(중요도 표시 미흡)**

평사투영망에서는 불연속면의 발달방향만 일률적으로 각각 한 점을 표시하기 때문에 실제로 더 위험한 불연속면을 파악 할 수가 없다. 예를 들면, 연속성이 긴 불연속면은 연속성이 짧은 절리보다도 더 위험하고, 불연속면의 틈새에 충전물질이 두껍게 끼어 있거나, 지하수가 흐르면 더 위험하게 고려하여야 하나 이러한 중요도의 차이점을 고려하지 못하는 한계성이 있다.

② **위험지역내의 극점표시 해석시 주의**

평면파괴와 전도파괴 위험지역에 극점들이 동시에 모두 찍힌 경우를 가정해 볼 때는 절리방향성 이외의 그 밖의 요소에 의한 사면안정성 영향을 충분히 종합적으로 고려하여서 실제 현장에 맞는 올바른 사면안정성 판단을 하여야 한다. 예를 들면 암괴가 판상이면 실제로는 평면파괴가 우세하고 입상이면 전도파괴가 우세하다는 것을 나타내는 것으로 해석할 수 있도록, 극점자체의 방향성 만으로의 해석에 얽매이지 않아야 한다. 절리의 방향성에 의한 평사투영법은 암반사면 안정성을 개략적(정략적)으로, 신속히 판단하는 하나의 방법이지 완벽한 수단은 아니기 때문이다.

③ **현장상황에 따른 지역구분이 필요하다.**

④ **Tilt 시험, Profile 시험을 병행한다.**

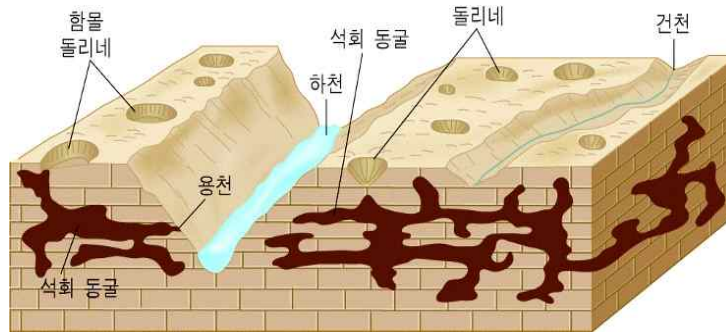
⑤ **불연속면의 연장성을 고려한다.**

설계자가 현장의 지반상태에 대한 충분한 감각 없이 현장기술자가 측정만 한 절리의 방향자료만을 넘겨받아서 평사투영망에 컴퓨터 프로그램 등으로 단순히 극점으로 도식하여 안정성 분석을 수행하면 현장 상태를 오판하여서 불합리하거나 위험한 설계를 하기가 쉽다.

문제 4. 카르스트(Karst) 공동과 화산암 공동

1. 카르스트 공동

방해석이 대기중의 이산화 탄소와 빗물에 의해 용해되면서 형성 : 카르스트지형 → 돌리네



2. 화산암이란

대분류	중분류	소분류
① 지하의 마그마가 분출되면 화산암, 지하에 남게 되면 심성암으로 구분 ② 조암광물은 석영, 운모, 장석이며 ③ 석영은 모래로, 운모와 장석은 화학적 풍화에 의해 점토로 된다.	화산암 (분출된 마그마)	안산암 ① 풍화에 강하며 ② 투수성이 작고 ③ 풍화후 점토가 된다.
		현무암 ① 석영이 주성분 ② 다공성이고 조직이 치밀하다.
		유문암 ① 화강암의 광물성분과 유사 ② 조직은 전혀 다르며 풍화에 강하고 투수성이 작다
	심성암 (마그마가 지표면 아래 서서히 냉각된것)	화강암 ① 우리나라에서 제일 흔하고 ② 이것이 풍화되면 화강풍화토가 되며 ③ 토목공사에서 사면절취시 절리가 많고 물에 약하여 사면활동에 의한 피해가 가장 많은 암이다.
		섬록암, 반력암(화강암과 유사)

3. 화산암 공동이란

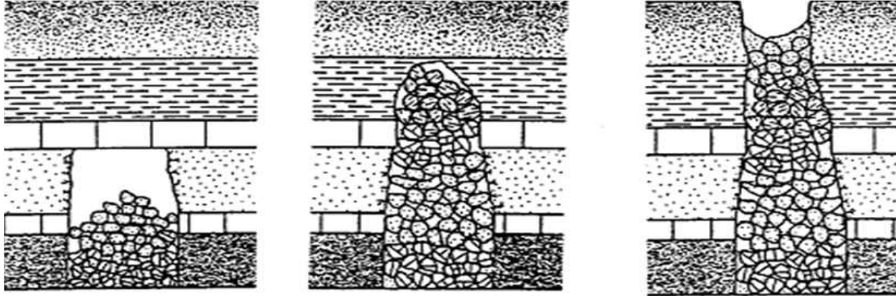
① 위 도표와 같이 지하의 마그마가 분출되어 형성되어 암으로 변한것을 화산암이라 하며 제 주로 안산암, 현무암, 유문암으로 구별되며 제주도에서 쉽게 식별되는 동굴의 형태이기도 하다.

4. 지반의 파괴형태 및 문제점

① Trough형 침하

- ① 鑛柱(Pillar)의 파괴
- ② 광주의 관입파괴
- ③ 천정의 파괴

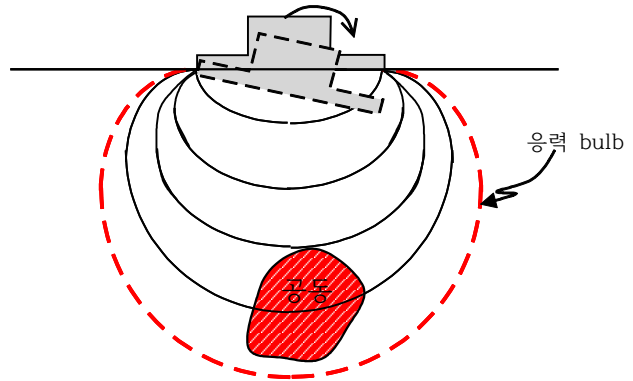
② 함몰형 침하



- ① 공동의 심도가 90m이내에서 발생
- ② 천정부 파괴 후, 상부로 붕괴 진행, 점진적으로 지표로 연결
- ③ 함몰형 침하는 좁은지역에 국한되며 큰 수직변위가 발생

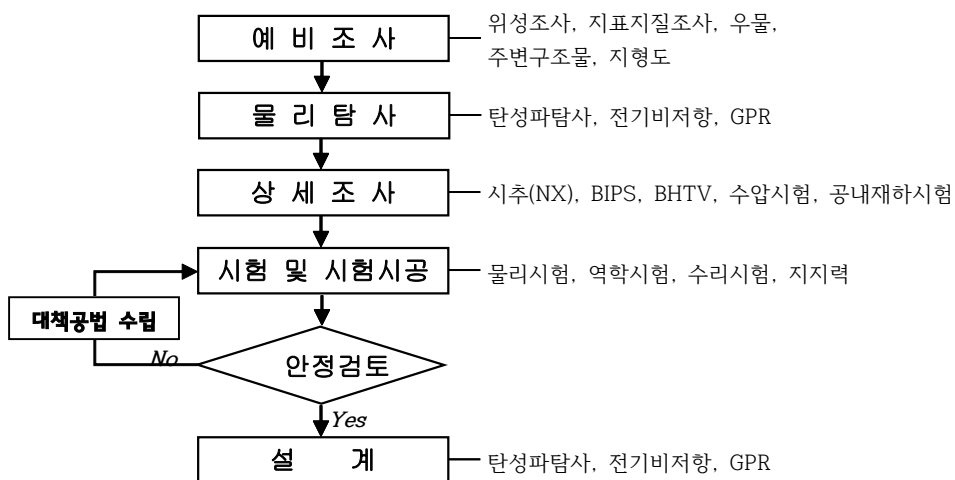
③ 문제점

- ① 기초지반
: 지지력 부족, 침하, 활동
- ④ 도심지의 경우 각종 안전사고 발생



4. 대책

① 지반조사 및 설계 절차 준수



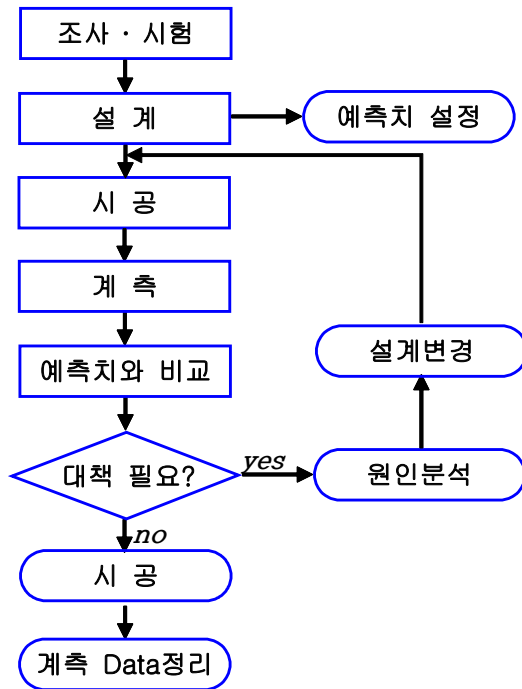
② 도심지의 경우 이상징후 발견시 주민신고체계 구축

③ 지하시설물 정보시스템 구축 : 지반지도 구축 → 침하가능지역으로 지정, 관리

④ 지반조사 DB구축 → 통합처리/분석을 위한 전문 연구기관 운용

문제 5. 터널계측기의 설치시기와 측정빈도

1. 터널 계측 절차



2. 계측항목별 설치 시기

터널굴착에 따른 지반 및 지보재의 거동을 충분히 파악할 수 있도록 인버트굴착 및 라이닝타설 시기를 감안하여 사전에 설치하도록 계획하여야 함

① 일상관리 계측(A계측) : 일상계측 → 시공의 타당성 측면

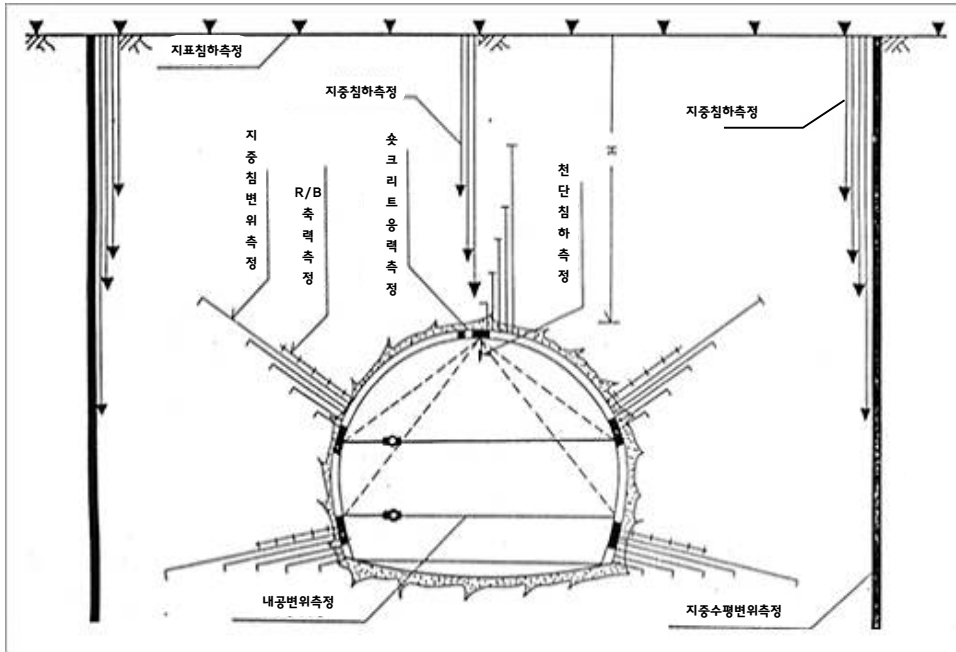
- ① Face Mapping(갱내관찰조사)
- ② 내공변위 측정
- ③ 천단침하측정
- ④ 지표침하측정
- ⑤ Rock Bolt 인발시험

② 대표계측(B계측) : 정밀계측 → 설계타당성 확인측면

- ① Shotcrete 응력측정
- ② Rock Bolt 축력측정
- ③ 지중침하측정
- ④ 지중변위측정
- ⑤ 지중 수평변위측정(필요시)

3. 계측기 설치위치 및 빈도

① 계측기 설치위치



② 계측빈도

- ① A 계측 : 20 ~ 40m 간격 ② B 계측 : 200~ 500m간격
- ③ 단, 시설의 중요도에 따라 간격과 빈도 조정

4. 주의 사항

- ① 설치는 막장에 근접하여 1단면에 계측기를 중첩하여 배치
예 : 내공변위, 천단침하, 지표침하, 숏크리트응력, 지중침하계
- ② 초기측정치가 대단히 중요하며 변위 수렴시 까지 측정
- ③ 종합적으로 분석
- ④ 변위가 장기간 관찰요구시 : 유지관리 예측

문제 6. 로터리 보링(Rotary boring)과 퍼커션 보링(Percussion boring)

1. 개요

- ① 시추조사는 건설공사의 대상이 되는 지반의 물적, 역학적 특성을 파악하기 위하여 시행하는 원위치 시험으로
 제 교란이 최소화 된 시료를 응력 영향 범위까지 조사하는 것이 매우 중요하다.

2. Boring의 목적

- ① 지하수 파악
- ② 시료채취
- ③ 토성시험

3. Boring의 종류

종 류	방 법	적 용
Percussion 보링	<ul style="list-style-type: none"> • 공내에 해머를 이용하여 지반을 충격, 파쇄하여 원형의 공간형성 	<ul style="list-style-type: none"> • 암반의 지하수 조사 • 석유조사, Pile boring • 시료채취용으로는 부적당
Rotary 보링	<ul style="list-style-type: none"> • Rod선단에 부착된 bit를 고속회전 하여 토사와 암을 절삭하여 공간 형성 	<ul style="list-style-type: none"> • 시료채취에 적당 • 규격 : HX, AX, BX, NX
Auger 보링	<ul style="list-style-type: none"> • Core barrel : Single, Double, Triple tube core barrel • 현장에서 간단히 할수 있고 흐트러진 시료를 채취할 수 있다. • 심도는 6~7m이고 최대 심도는 10m정도이다. 	

4. 평 가

- ① 현장 조사 1회가 실내시험 100회 정도의 가치를 가지므로 현장시험이 중요함.
 ※ 실내시험은 교란으로 인해 정확한 현장응력체계의 재현이 곤란함.
- ② Boring시 심도 : 계획고 하부까지 조사 시행
 원칙적으로 지중응력 영향 범위로 구형의 경우 짧은 변의 2배 이상이며 대상형의 경우는 짧은 변의 4배깊이 까지로 한다.
- ③ Core 회수율 향상방법
 - ① 시추공경의 현실화 : BX → NX Size 추천
 - ② core barrel 선정 :
 연경암 ⇨ Double tube core barre
 풍화암/파쇄대 ⇨ Triple tube core barrel
- ④ 탄성파에 의한 조사결과와 비교 : 의심 가는 곳 은 시추를 통한 추가조사 시행

문제 7. 단순전단시험(Simple Shear Test)

1. 개요

- ① 흙의 Shear strength와 전단변형을 구하는 시험으로 순수전단에 가깝게 개량한 시험으로
- ① 일반 삼축압축시험의 경우 그림 "1"과 같이 등분포하중이 반무한 평면에 작용시 임의 요소에 작용하는 지중 응력에서 수평방향의 응력은 $\sigma_2 = \sigma_3$ 이므로 타당한 시험이나
- ② 그림 "2"와 같이 응력이 회전이 하는 경우에는 $\sigma_2 \neq \sigma_3$ 이 되므로 중간 주응력이 고려 된 현장응력 체계 재현이 가능한 전단강도 시험의 필요성이 대두된다.

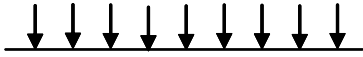


그림 1

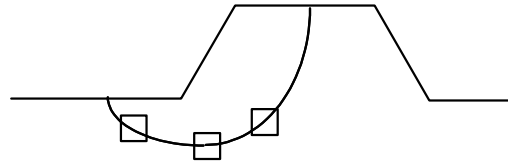


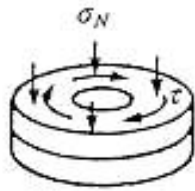
그림 2

2. 일반 삼축압축 시험의 제한사항

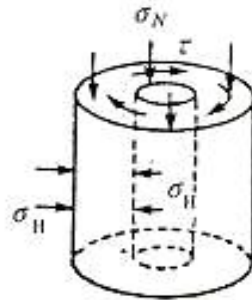
- ① 주응력의 방향이 한정된 즉, 중간주응력의 반영이 안됨.
- ② 원통형으로 축방향 대칭조건으로 구속됨.
- ③ 주응력의 방향의 회전효과 재현 불가, 응력분포의 불균등

3. 비틀림 전단시험=단순전단시험 방법 및 종류

- ① 원주상 또는 원환상(圓環狀)의 공시체 상하면에 회전력에 의한 전단력을 가하여 직접전단을 하는 시험 (그림 참조). 큰 전단변형을 직접 얻을 수 있으며, 점토의 잔류강도를 구하기 위한 시험으로 이용된다.



비틀림 1면전단시험



비틀림 단순전단시험

- ② 주로 전단 변형율을 구하는데 이용되며, 고정시료 직경유지 방법에 따라
 - ① NGI형 (강선 보강 고무막)
 - ② SGI형 (가는 구속링 뭉치)
 - ③ Roscoe-Cambridge형 (강관)으로 구분된다.

4. 비틀림 전단시험의 특징

- ① 비틀림일면전단시험에 의하면 사면활동 등의 안정해석에 필요한 대단히 큰 전단변형을 받을 때 궁극적인 전단강도, 즉 잔류강도를 구할 수 있다.

- ② 비틀림전단시험은 공시체의 제작이 어렵고 반지름방향의 변형과 응력분포가 일정하지 않지만 일면전단시험, 단순전단시험에서 문제가 되는 공시체의 로킹 (Rocking)문제가 거의 발생하지 않는다.
- ③ 또한 전단방향에 따라 응력분포가 일정하다는 장점이 있으므로 일반적인 최대 강도를 구하는 시험으로도 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있다.
- ④ 전단시 시료에 주 응력의 회전을 줄수있어 현장응력체계 고려한 시험가능
- ⑤ 입방체 삼축압축시험과 같이 흙의 응력 - 변위거동, 응력경로를 보다 정확히 파악 할 수 있는 시험으로 보다 많은 연구로 현장에 폭넓은 적용이 필요함.

문제 8. 카이저 효과(Kaiser effect)

1. 개요

- ① 터널설계를 위한 안정해석의 목적은 터널건설에 따른 주변지반의 거동과 주변시설물에 미치는 영향 및 지보재의 안정성을 사전에 검토하는데 있다.
- ② 여기서, 터널 굴착시의 변형은 굴착부 주위의 초기 지반응력에 의하여 발생하므로 터널굴착에 따른 응력-변형거동을 파악하기 위해서 매우 중요한 요인이 된다.
- ③ 초기지반응력(Initial Ground Stress)은 지반내부의 터널과 같은 공동을 형성하기 이전에 작용하고 있던 응력이며 1차지압(Primary Ground Stress)이라고도 한다.
- ④ 이와같은 초기지반응력을 파악하기 위해서는 여러가지 방법을 동원하고 있으나 여기서는 가장 신속하고 간단한 방법인 카이저 효과를 이용한 미소음에 의한 방법을 위주로 서술하고자 한다.

2. 카이저 효과란

- ① 재료의 변형과 연관되어 금속재료에 인장시험을 하면 재료내 구성입자의 미끄러짐에 의하여 미소 파괴음이 발생하다고 1950년 Kaizer는 발표하였다.
- ② Kaiser 효과는 금속뿐만 아니라 암석, 콘크리트등 에서도 동일하며 물체가 탄성영역에서 변형되었을 경우에는 Kaiser 효과가 나타나며 이는 암반이 많은 받아왔던 응력을 기억하고 미소 파괴음을 내는 것으로 평가될 수 있다.

3. 카이저 효과외의 초기지압 측정방법

① 응력 해방법(Stress Relief Method)

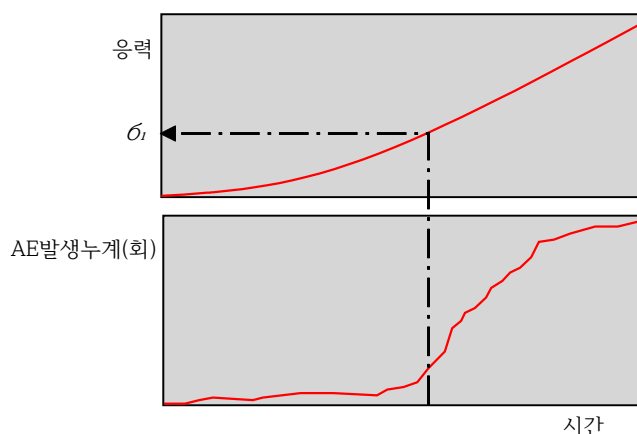
천공 변형률계 부착 Overcoring $\Delta\epsilon$ 측정 천공시 Core로 부터 탄성 계수(그림에서 BC기울기), 포야송비산출 탄성이론의 해석적 방법에 의한 초기 지압 산출

② 수압파쇄법

③ 응력 보상법

4. 카이저 효과를 이용한 AE법(Acoustic Emission)

- ① 암석이 응력을 받으면 미소파괴가 발생하며 이때 파괴음이 발생하게 된다.
- ② 이러한 현상을 이용하여 암석이 응력이 증가함에 따라 갑자기 AE발생량이 급증하게 되는데 이때의 미소파괴음(초음파)과 응력과의 상관관계를 이용하여 초기지압을 추정하게 된다.
- ③ AE법은 암반이 받았던 최대응력을 초기지압으로 추정하나 신뢰성이 떨어지므로 다른 시험과 비교하여 초기지압을 결정하여야 한다.



8. 평 가(초기지압비 적용)

- ① 설계시 수압과쇄, AE, DRA로 산정할 수 있고 시공시 응력해방, 응력회복방법을 추가할 수 있음
- ② 초기지압은 반드시 시험한 값을 적용해야하고 대표성과 신뢰성 향상을 위해 3~5회 시험해야 함
- ③ 최근 터널해석에 많이 사용되는 3차원 3D해석에서 터널굴착에 따른 응력과 변위의 해석을 위해서는 경계조건을 입력해야 하는데 이때 초기지압이 정확히 입력되어야 해석결과의 신뢰성이 좋아진다.
- ④ 터널의 보강방법 결정
 - ① Rock Bolt 길이 / 간격 ② Shotcrete 두께 ③ 강지보 유무
- 수 터널의 노선계획 결정
- ⑥ 지하공간 배치계획 등

참고 DRA(Deforation Rate Analysis) : 변형률차

1) 원리

- ① Kaiser효과를 이용한 응력 추정법
- ② 시료를 가압한 후 다시 감압하면 (비탄성)영구변형률이 발생함을 관찰 할 수 있는데, 이 때의 영구변형률은 가압/감압시 응력의 크기에 따라 변화함
- ③ 응력이 작은 값에서 시작하여 점점 증가할수록 가압/감압 1회당 영구 변형량이 증가하다가 암석이 과거에 받던 응력 수준을 넘어서면 영구변형량이 다시 작아지는 현상이 나타나며, 이 영구 변형량이 변하는 점의 압력이 초기지압임

2) 방법

- ① 암석시료에 같은 하중을 단계적으로 가함
- ② 영구 변형량을 측정하여 변형량이 작아지는 지점을 선정하여
- ③ 그 때의 하중을 초기지압으로 함

3) 특징

- ① AE와 같음
- ② 암석시료의 초기응력에 대한 기억이 없어지기 전에 시험해야하는 시간적인 제약조건이 있음

문제 9. 활동성 단층(Capabil fault)

1. 정의

활동성단층이란 휴화산과 같이 살아 있는 단층을 칭한다.

2. 정량적 판정기준 (지질학적 근거)

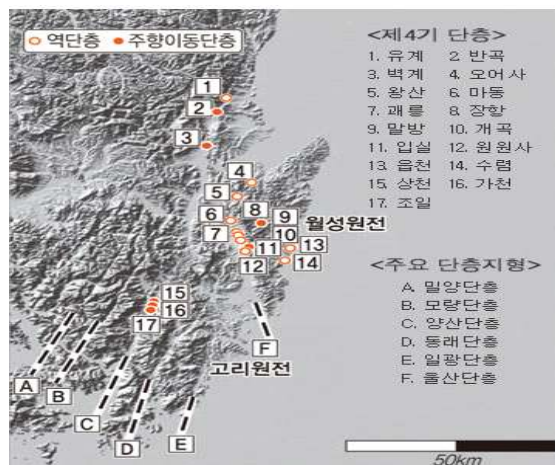
백80만년전 ~ 2백 50만년전 이후에 1회이상 활동한 단층

3. 조사방법

- ① Inclinometer의 설치 : 장시간 관찰
- ② 지진계의 설치 : 미진이라도 발생빈도, 시간 규모등 상대비교
- ③ 층적층의 지각변동여부
- ④ 하상구배의 급변
수 기타

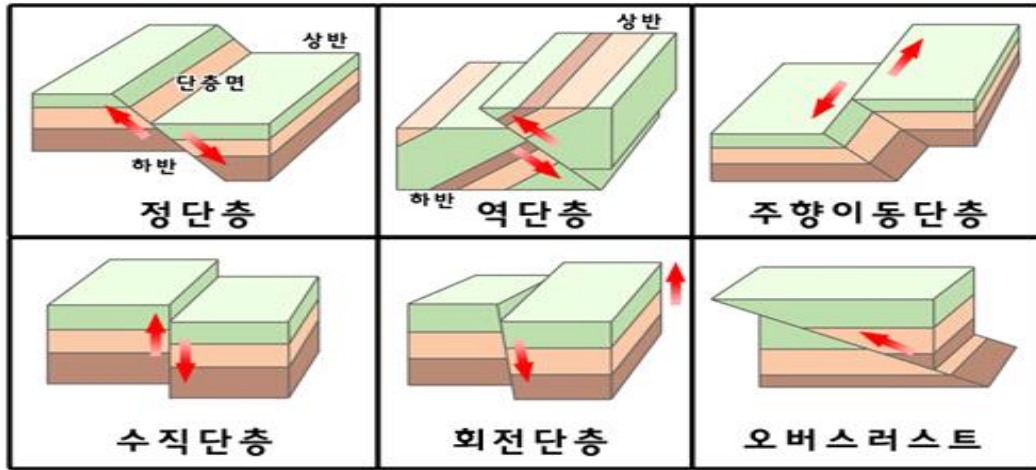
4. 활성단층의 생성원인과 특징

- ① 생성원인 : 외부의 힘을 받은 지각이 두 개의 조각으로 끊어져 작게는 몇 밀리미터(mm)에서 크게는 몇 킬로미터(km)까지 이동한 지질구조.
- ② 특 징
 - ① 절리에 비해 연장성이 크다.
 - ② 단층을 따라서 풍화파쇄가 심하며 투수층을 형성함.
 - ③ 단층면을 따라 다음과 같은 면을 구성하고 있다.
 - ㉠ 단층경면(slikenside) : 단층면이 전단마찰에 의해 연마되어 매우 평탄하고 매끄러운 면
 - ㉡ 단층조선(또는 찰흔, slikenline, striation) : 전단방향으로 굽힘에 의해 생기는 선이나 홈 자국으로 단층운동의 방향 추정
 - ㉢ 단층각력(fault breccia) : 마찰 전 초기 단층면에서 단층운동에 의해 파쇄와 마모가 일어나면서 단층면에서 다양한 크기의 암편들이 분리된 것
 - ㉣ 단층점토(fault clay) : 미세립질(<0.1mm) 점토층이 단층 내 충전 된 것으로 단층의 전단강도를 약화
 - ④ 화성암, 퇴적암도 있으나 특히 변성암에 많이 분포함.
 - ⑤ 지진발생이 많았던 지형에 분포함 : 양산단층(수평단층)



4. 단층의 종류

양쪽에서 잡아당기는 장력, 양쪽에서 미는 횡압력과 중력 등의 힘으로 지층은 끊어진다. 이때 끊어진 지층이 움직였다면 단층이라 하고 움직이지 않았다면 절리(節理, joint)라 한다.



5. 단층으로 인한 영향

① 대규모 암반파괴로 인한 구조물 손상



Chi-Chi 지진(1999, M7.3, 대만)

활성단층대 위에 건설된 댐체가 붕괴
지표면 전단파괴 잠재성이 있는 활
성단층에 극히 인접해서 또는 그 단층
위에 댐을 건설하지 않아야 한다.



교각 휨파괴



교각 전단파괴

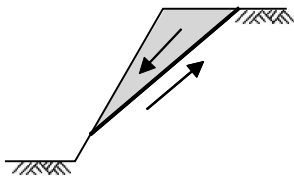


건물 파괴

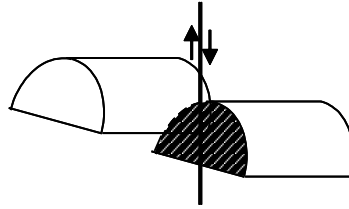


상수관 파손

㉞ 사면 및 터널



사면붕괴



터널붕괴

6. 단층과 절리의 차이점

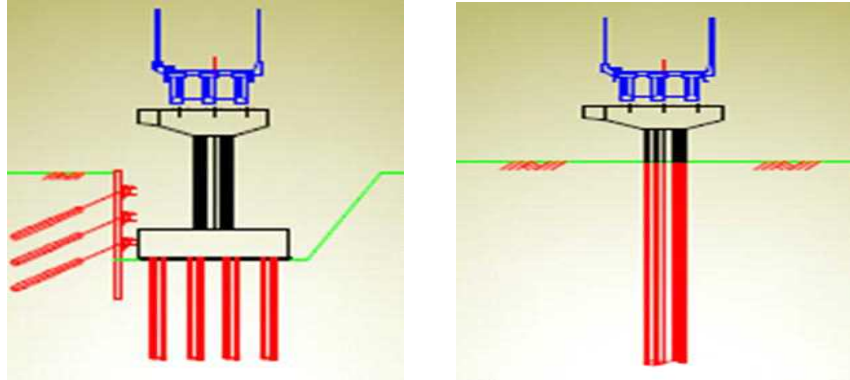
구 분	단 층	절 리
성 인	지각의 상대적 변위	암석자체의 응력변화
연속성	길다	거의 없음
암 종	주로 변성암	모든암
특 징	단층경면 단층조선 단층각력 단층점토	절리에서 부터 풍화
건설공사	치명적	단층보다는 경미함

문제 10. 단일 현장타설말뚝 기초

(Single colume drilled pier foundation)

1. 개요

단일 현장타설 말뚝은 상부하중을 하나의 말뚝이 지지하는 형식으로 깊은기초의 일종이다.



일반말뚝 적용과 단일 현장타설 말뚝 비교

2. 타 깊은기초 대비 장점

- 변 가시설 및 터파기 공종이 삭제
- 전 공종의 단순화
- 일 시공성 증대
- 행 경제적 시공

3. 단일 현장말뚝의 시공법

- ① BENOTO 공법
- ② RCD공법
- ③ Earth Drill공법

4. 지지력 산정방법

추정에 의한 방법	현장시험에 의한 방법	재하시험에 의한 방법
① 선단 지지력에 의한 방법	공내 재하 시험	정 재하, 동 재하시험
② 암과 콘크리트의 부착에 의한 방법		

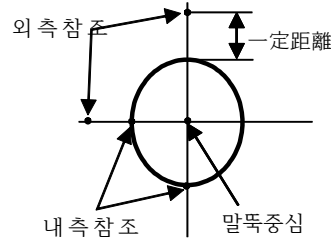
5. 시공시 예상 문제점 및 극복방안

- ① 예상 문제점
 - ① 말뚝길이 증대로 인한 시공성 저하
 - ② 연암 및 풍화암 근입
 - ③ 지하수에 따른 공벽붕괴
- ② 극복방안
 - ① 말뚝시공능력 증대 → Oscillator 용량 증대
 - ② 굴진속도 향상 → 풍화암 이상 RCD굴착
 - ③ 공벽붕괴 방지 → 공내수위 유지

6. 시공시 주의사항

1] 장비이동 및 설치

- ① 작업장은 균일하게 정지해 놓는다.
- ② 지중 매설물에 대해서는 이설 또는 방호 조치
- ③ 기계를 수평으로 하여 말뚝중심에 설치한다.
- ④ 작업중 기계가 기울어져 말뚝이 경사지거나 편심을 받을 우려가 있거나 CASING TUBE 인발시 인발 반력에 따른 설치지반의 지내력이 부족할 경우에는 **복공판 등으로 보강**한다.
- ⑤ 정확한 말뚝중심과 굴착 중심을 일치시키기 위하여 미리 지상에 중심점을 기준으로 CASING TUBE와 외주를 그려놓고 그림과 같은 참조말뚝을 설치하여 굴착 작업시 편심의 유무를 확인한다.



참조말뚝의 배치

2] 굴착시 주의사항

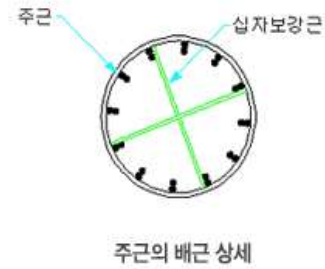
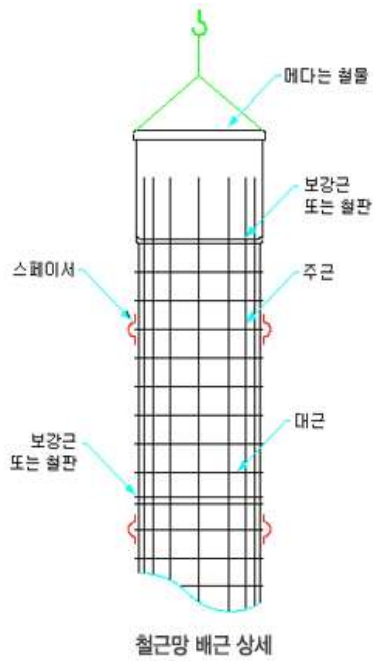
- ① 지하수위 이하의 사층 또는 자갈층을 굴착할 경우에는 공내수위를 유지하여야 한다.
- ② 구조물에 근접해서 시공할 경우에는 PILE 주변 지반이 연약해지는 것을 방지하기 위해 굴착기가 CASING TUBE 선단보다 앞서는 것을 가능한 피해야 한다.
- ③ 굴착중 지중으로 부터 천연가스 분출에 충분히 주의 해야 한다.
- ④ 말뚝 선단지반의 연약화(굴착에 의한 지반응력의 해방과 굴착기의 충격 보링현상)
굴착중 공내수위 유지와 단단한 지층을 굴착할 경우 HAMMER GAB 및 CHISEL의 낙하고를 줄여 시공하고 필요시에는 BASE GROUTING을 실시하여 말뚝선단 지반을 보강할 수 있다.
- ⑤ 말뚝주변지반의 연약화
 - ㉠ 주원인 : CASHING SHOE의 외경과 CASHING TUBE외경과의 차이에 의한 공극과 CASHING 압입 보다는 굴착이 선행 → 공벽붕괴에 따른 공극, 굴착기 충격 및 진동, 느슨한 모래 지반에서 굴착시 간극 수압의 상승에 의한 유효응력 감소
 - ㉡ 대책
: CASHING을 굴착보다 선행시키며 굴착 중 충격 및 진동을 최소화하는 방법 외는 없다.
- ⑥ 지지층의 확인 및 근입
 - ㉠ 굴착기로부터 배출되는 토사를 확인
 - ㉡ 굴착깊이 및 굴착속도를 참고하여 굴착토사와 지반조사자료를 비교
 - ㉢ 관입깊이는 가능한 1.0m 이상 견고한 지반속에 관입시켜야 한다.

3] SLIME 제거

- ① 침전물은 상부구조물의 치명적인 침하가 발생하므로 어떤 방법으로든지 SLIME은 제거되어야 함.
- ② SLIME을 미제거후 콘크리트를 타설하게 되면, 말뚝의 지지력이 떨어지고 때로는 철근망을 밀어올리는 등의 폐해가 발생하게 된다.
- ③ SLIME 처리방법은 굴착완료후 철망을 삽입하기 전에 처리하는 1차 처리와 콘크리트 타설직전에 하는 2차처리로 구분된다.

4] 철근망 공상방지 : Benoto 공법에 한함.

: 철근망 하부에 보강근 또는 철판을 부착하여 철근망이 뜨는 것을 방지한다.



5 콘크리트 타설

- ① 트레미관에 의한 수중 콘크리트 타설
- ② 배합설계에 따른 품질 확보 (재료분리 방지와 유동성을 고려 필요시 혼화재 첨가)
- ③ 콘크리트 타설은 완료시까지 연속타설 되어 하며 트레미관이 콘크리트 속에 2.0m이상 묻혀 있도록 해야 한다.
- ④ 계산상 콘크리트 타설량과 실제 콘크리트 타설량을 비교하여 변화가 없는지 체크한다.

7. 평 가

변 암반에 대한 지지력을 산출하기 위해서는 NX 시추공에서의 Double core barrel 로 시료 채취가 양호해야 됨.(불연속면 파악, RQD 에 의한 지지력 표 이용가능)

전 공내 재하 시험 실시 요망됨.

일 일축압축강도 시험 실시하며 시료 성형이 어려운 경우 점하중 시험 실시함.

행 근입깊이는 최소1m로 하며 1D 가 바람직함.

5 연암은 300t/m² , 경암 700t/m² 정도의 허용 지지력으로 판단됨

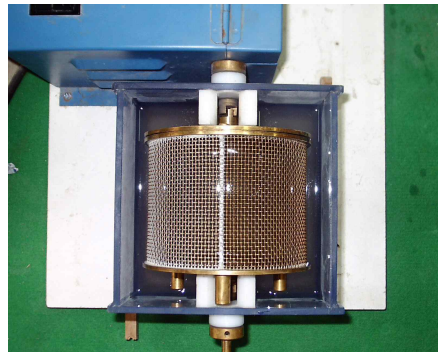
6 현장타설 말뚝 자체의 강도가 가장 중요함.

문제 11. 셰일(Shale)의 슬레이킹(Slaking) 현상

1. 정 의 : 건습반복에 따라 세편화 되는 현상

셰일의 Slaking은 wetting과 drying이 반복됨에 따라 암석의 표면부터 얇게 벗겨져 나가는 현상을 말한다. 특히 풍화가 상당히 진행된 암석의 경우에는 반복되는 Wetting/drying에 대해 취약하다. Slaking durability을 평가하기 위한 실험 중 간단한 것으로는 비커의 물에 암석시편을 담가 두고 변화를 관찰하는 방법이 있다.

2. 시험방법



▣ Slaking의 정량적인 방법

암석이 물과 접촉하며 일정한 충격을 받을 때 입도 이하의 입자로 분해되는 질량비로 나타냄 (국제암반공학회 : ISRM)

시험순서

- ① 50g의 암석 10개를 넣고 길이 100mm / 직경 140mm, 2mm 표준망체로 이루어진 Test drum에 넣고 110°C로 노건조시킴
- ② 수조에 넣고 200RPM/ 10분(20RPM/분)속도로 10분간 회전시킴
- ③ 시료를 오븐에서 105 °C 온도에서 노건조 시킴
- ④ ②를 2회이상 반복시험

$$\text{耐 Slaking 지수} = \frac{\text{시험후 시료중량}}{\text{시험전 시료중량}} \times 100\%$$

3. Slaking에 의한 내구성 평가

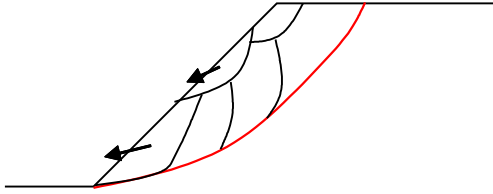
Slaking 지수	80% 이상	50~80%	50%이하
내구성 평가	우수함	보통	불량

4. Slaking에 취약한 암석

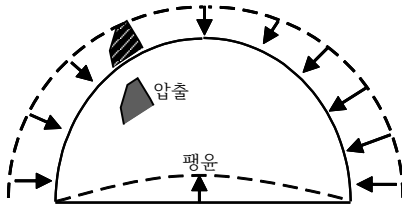
- ① 이암
- ② 셰일
- ③ 편암
- ④ 사문암
- ⑤ 녹니암

5. 지반에 미치는 영향

① 사면 : 표면탈락 → 산사태



② 터널 : 터널굴착시 암반돌출로 지압증가 → 붕괴



6. 평가

- ① 본 시험법은 사면안정에 있어 정성적 평가사항으로 2mm체 값으로 세편화율이 크다고 하여 사면안정에 절대적으로 문제가 되는 것은 아니다.
- ② 따라서 암의 주향, 경사등 종합적으로 판단하여 사면안정을 고려하여야 하며 한계평형해석, 평사투영 등을 병행한 사면안정검토가 되어야 할 것이다.

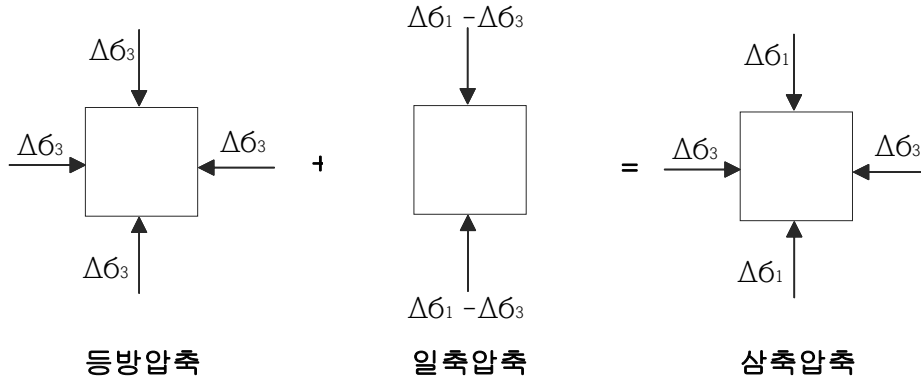
문제 12. Skempton의 간극수압계수 A, B

1. 정 의

① 간극수압계수란 전 응력의 증가량에 대한 간극수압의 변화량의 비 즉, $\Delta u/\Delta\sigma$ 를 말 함

② 삼축 압축시험에서의 응력상태

압밀 비 배수 등방압밀시 간극수압 + 일축압축시 축하중 증가량에 대한 간극수압 증가량 = 삼축 압축시 압밀 비 배수시 축차응력 증가량에 대한 간극수압 증가량



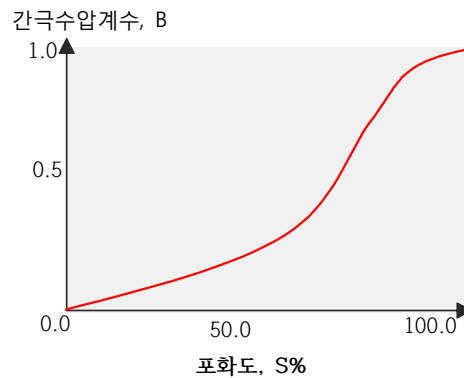
2. 간극수압계수의 산정

① B 계수

① B 계수란 등방압축시 구속응력의 증가량에 대한 간극수압 변화량의 비임.

$$B = \Delta u / \Delta\sigma_3$$

② 만일 흙이 완전 포화되고 물의 체적변화가 없다면 B=1이며 간극수압증가량과 $\Delta\sigma_3$ 는 동일하다.



포화도와 간극수압계수 B와의 관계도

② D 계수

D 계수란 일축압축시험시 축하중의 증가량에 대한 간극수압의 변화량 비 임.

$$D = \frac{\Delta u}{\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3}$$

③ A 계수 : 축차응력 증가량에 대한 간극수압 변화량의 비

- ① 삼축압축 시험에서의 응력상태에서 보듯이 삼축압축 때의 하중 상태는 등방압축과 1축 압축을 합친 것 이므로

$$\Delta u = B \cdot \Delta \sigma_3 + D (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad \text{여기서, } A = D/B \text{ 로 치환하면}$$

$$\Delta u = B [\Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$$

여기서, A : 삼축압축 시의 간극수압계수

- ② 포화된 경우 $B = 1$ 이고 위 식은 $\Delta u = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$ 이 되고 삼축압축시험에서 구속압을 더 이상 증가하지 않고 축하중만 증가 시켰다면 $\Delta \sigma_3 = 0$ 이고

$$A = \frac{\Delta u - \Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3} = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_1} \text{ 가 되므로}$$

축차응력과 간극수압을 측정하면 A를 구할 수 있으며 이것은 재하면적이 제한된 구형, 선형의 하중이 지표면에 가해질 경우 상승된 과잉 간극수압을 구할 수 있는 중요한 계수가 된다.

- ③ 간극수압계수 A는 응력이력이나 체적변화에 따라 부의 값으로부터 1이상의 값 까지 넓게 변화한다.

- ㉠ 예민한 점토 : $A = 1.5 \sim 2.5$
- ㉡ 정규압밀점토 : $A = 0.7 \sim 1.3$
- ㉢ 약간 과압밀점토 : $A = 0.3 \sim 0.7$
- ㉣ 심한 과압밀점토 : $A = -0.5 \sim 0.3$

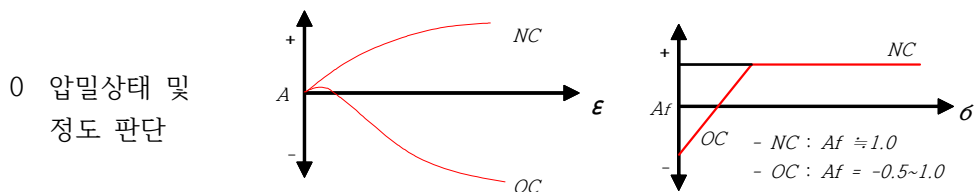
3. 간극수압계수의 활용

① 과잉 간극수압의 산출

$$\Delta u = B [\Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$$

제 전단강도 증가율의 산정

$$\frac{C_u}{P} = \frac{s \sin \Phi' [K_o + A_f (1 - K_o)]}{1 + (2A_f - 1) s \sin \Phi'} \quad A_f = 1 \rightarrow \frac{s \sin \Phi'}{1 + s \sin \Phi'}$$



1 포화도 판단 / 배압상태 확인 (간극수압계수 B)

배압으로 흙을 포화 → 간극수압계수 $B = 1$ 일 때 완전포화

실무적으로는 포화도 $S = 95\%$ 를 포화로 간주하며 이때 $B = 0.95$ 가 된다.

문제 13. 흐름저항(Well Resistance) 영향인자

1. 개요

연직배수공법 중 대표적 공법인 샌드 드레인(sand drain)공법에 대한 기본 이론은 Terzaghi의 압밀이론을 기본으로 해서 Barron(1948)에 의해 발전되었다.

② Barron(1948)에 의한 압밀 방정식은 간극수가 연직방향 및 수평방향으로 흐를 경우의 압밀방정식이지만 일반적으로 연직배수재는 점토층의 두께에 비해 상당히 작은 간격으로 타설되기 때문에 연직방향의 흐름은 무시하고 수평방향의 흐름만을 고려하여 압밀해석을 수행하였으나 배수재의 투수성이 반무한적이며, 배수재의 설치에 따른 점토층의 지반교란에 대한 영향을 무시한 것으로 실제로는 드레인재의 설치과정에서 점토층이 교란되며 이로 인해 흐름 및 점토의 강도를 변화 시킴으로 인해 Barron의 압밀방정식은 압밀도를 과대평가하는 경향이 있다.

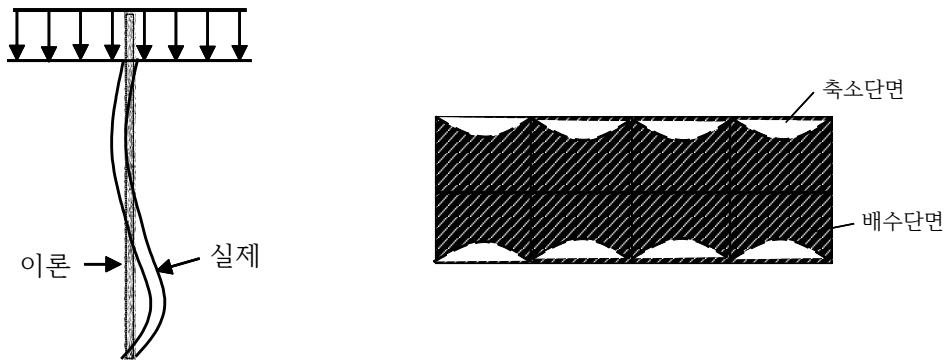
③ 이와 같은 문제점을 감안하여 Hansbo(1979)는 배수재 설치에 따른 스미어존(smear zone) 효과 및 통수단면에 대한 웰저항(well resistance)을 고려한 수평방향 압밀도 식을 발표하였다.

2. Well Resistance

① 연직배수재의 방사선 방향 즉, 수평방향만의 투수를 고려하고 연직방향의 투수계수는 압밀과정에서 일정하다고 가정하나

② 실제로는 다음과 같은 이유로 연직방향 투수계수 저하로 압밀이 지연되는 현상을 말한다.

- ① 축압 ② 절곡 ③ Clogging(작은 입자에 의해 막힘)



3. Smear 영향과 Well Resistance에 영향을 주는 요인

① 제안자에 따른 Well 저항 및 Smear Effect 고려여부

영향 요인	제안자			
	Barron (1948)	Hansbo (1981)	Yoshikuni (1979)	Onoue (1988)
Smear Effect	미고려	고려	미고려	고려
Well Resistance	미고려	고려	고려	고려

제 대표적 제안식을 통한 Well 저항 요인(Hansbo 의 式)

① Well 저항 및 Smear Effect 를 모두 고려한 압밀도 사용

$$U_h = 1 - \exp(-8T_h / \mu_{sw})$$

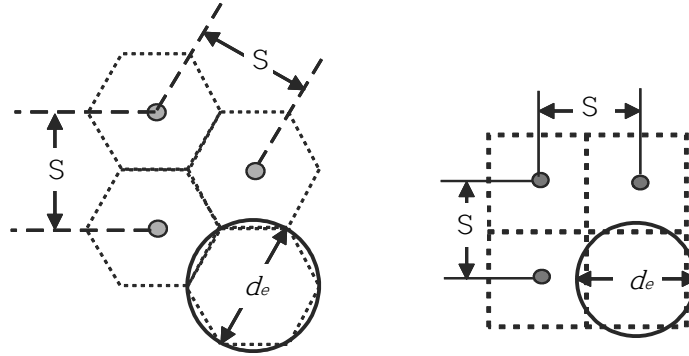
여기서, U_h : 수평방향 평균 압밀도 μ_{sw} : 타설간격, Well 저항 및 Smear Effect 을 고려한 계수

μ_{sw} = 타설간격 영향 + *Smear Effect* + *Well* 저항 영향

$$\mu_{sw} = \left(\ln \frac{d_e}{d_w} - 0.75 \right) + \left(\frac{K_h}{K_s} - 1 \right) \ln \frac{d_s}{d_w} + \left(\pi Z(L - Z) \frac{K_h}{q_w} \right)$$

여기서, d_e : 영향원 직경(등가유효직경)

- 정 삼각형 배열 : $1.05S$ - 정 사각형 배열 : $1.13S$



d_w : 배수재의 직경

K_h : 연약층의 수평방향 투수계수

K_s : *Smear Zone* 의 투수계수

d_s : *Smear Zone* 의 직경 두께

Z : 드레인의 배수거리

L : 드레인의 길이

q_w : 배수재의 통수능력

② *Well resistance* 영향요인 제안

- ① 배수재의 투수계수, 단면, 길이에 따라 영향을 받음
- ② 원지반의 수평방향 투수계수에 따라 영향을 받음
- ③ 배수재의 투수계수가 원지반의 투수계수보다 1000배 이하이면 *Well resistance*을 고려하여야 한다.

4. 평 가

① *Well resistance* 고려 : 배수재의 투수계수가 원지반의 투수계수보다 1000배 이하인 경우

② *Well resistance* 이 *Smear Effect* 영향보다 큼에 유의

- ① 압밀과정 : 찢김, 절곡, 축압에 의한 통수단면 축소, 시간경과시 *Clogging*
- ② 심도가 증가할수록 *Well resistance* 증가

③ 교란의 최소화 대책

- ① 단면이 작은 것 사용 : *Sand drain* → *Pack drain*
- ② 타입장비 : 교란이 최소화 되는 장비선택

④ 통수능시험 실시 (*Well resistance* 고려) → 적정 q_w 적용

⑤ *Sand Mat* 재료 : 적정 투수계수 확보

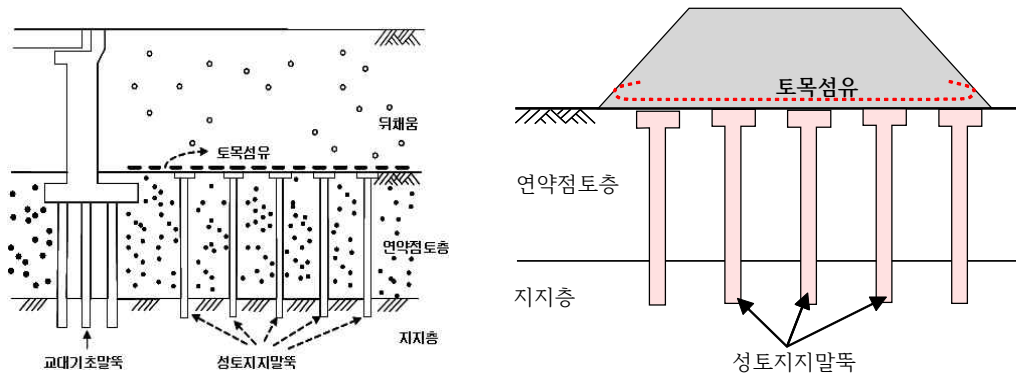
2교시

문제 1. 무보강 성토지지말뚝과 보강된 성토지지말뚝의 특성 및 하중전달 메커니즘에 대하여 설명하시오

1. 개요

성토지지말뚝 공법은 말뚝위 성토지반의 아칭현상을 이용하여 성토하중을 말뚝을 통해 지지층에 직접전달시킴으로써 연약지반의 침하 및 측방유동을 적극적으로 억제시키는 공법이다.

- ② 즉, 그림에서 보는 바와 같이 연약지반의 교대배면이나 성토구간에 말뚝을 설치후 말뚝두부를 철근등으로 연결하고 필요시 토목섬유를 덮어 성토하중을 지지하게 된다.

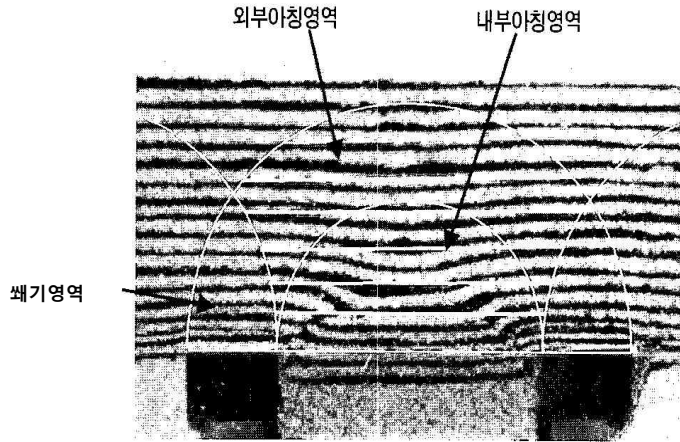


3. 성토지지 말뚝의 기능

- ① 측방유동에 저항 → 저면기초지반 강화
- ② 연약지반상 성토하중을 지반아칭현상을 통해 경감
- ③ 성토지지 말뚝두부에 설치되는 캡의 시공방법에 다음과 같이 구분됨
 - ① Pile Slab 공법
 - ② 말뚝 Cap Beam 방법
 - ③ 단독캡(Isolated Pile Cap)공법

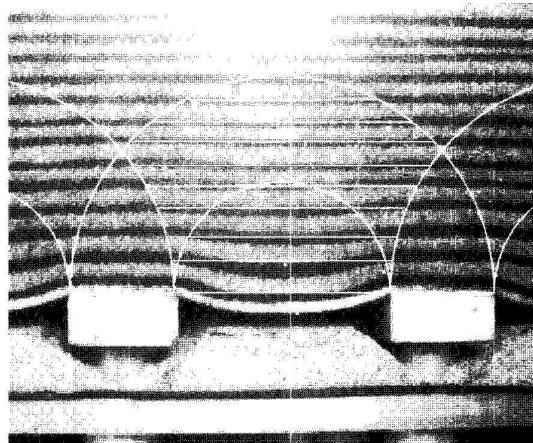
3. 무보강과 보강 성토지지말뚝의 특성 비교

- ① 무보강 성토지지 말뚝의 침하특성
 - ① 전체적으로 성토지반내에 소성영역이 발달됨
 - ② 특히 내부아치 영역에서는 침하에 따른 소성영역이 크게 나타남
 - ③ 단, 말뚝캡 상부에서는 지반의 움직임이 거의 없는 썩기영역이 존재하는데 이 썩기영역의 정점은 두 개의 외부아치가 서로 교차하는 점으로부터 관측된다.
 - ④ 즉, 이 영역은 단독캡 좌우의 지반아칭에 의한 영향을 동시에 받으므로 지반변형이 발생되지 않고 썩기모양으로 남아있는 것으로 판단할 수 있다.



① 토목섬유 보강 성토지지 말뚝의 침하특성

- ① 토목섬유를 보강한 성토체의 변형은 그림에서 보듯이 원지반이 성토체를 지지하지 않더라도 성토지지 말뚝시스템이 성토체를 안정적으로 지탱해 주고 있음을 알 수 있다.
- ② 이때 토목섬유 처짐은 말뚝캡 중앙지점에서 최대가 되며 캡부분으로 갈수록 말뚝으로 인해 침하가 억제되고 있음을 알수있다.
- ③ 토목섬유의 역할
 - ㉠ 압밀침하 억제 : 성토하중에 대하여 인장력으로 지탱
 - ㉡ 사면활동 억제 : 연약지반 압밀침하 저감결과
 - ㉢ 말뚝설치 간격 넓힘 : 아칭현상을 증대시킴.



4. 하중전달 메카니즘

① 2차원 지반아칭

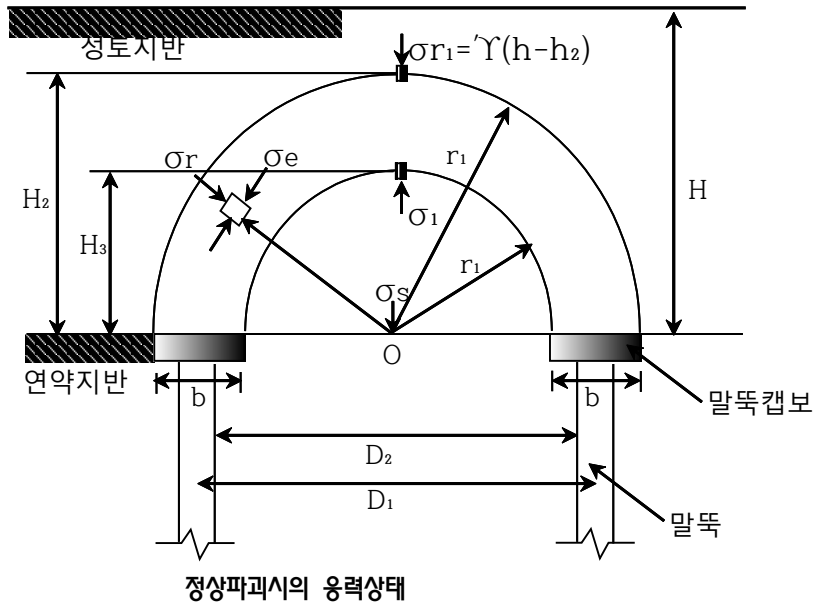
- ① 그림과 같은 해석모델에서 반원통내 한 요소의 응력상태는 극좌표로 정리된 평형방정식을 이용한다.
- ② 아치천정부의 응력은 수직응력만을 고려한다.
- ③ 원통내 응력은 모두 동일하다고 가정하면 $\tau_{\theta} = 0$ 으로 간주할 수 있다.
- ④ 위와 같은 가정으로 다음과 같은 평형방정식이 성립한다.

$$Pv_1(t/m) = \gamma D_1 H - \sigma_s D_2$$

여기서, D_1 : 말뚝캡보의 중심간격
 D_2 : 말뚝캡보의 순간격

- ⑤ 성토전체 중량에 대한 성토지지말뚝의 하중분담을 나타내는 지표로서 효율을 표시하면 정상파괴시의 성토지지말뚝 효율을 Ef_1 이라 하고 성토하중에 대한 성토지지말뚝이 부담하는 하중의 백분율로 표시하면 다음식과 같다.

$$Ef_1 = \frac{P_{v1}(t/m)}{\gamma D_1 H} \times 100(\%)$$



5. 공법의 특징

① 장 점

- ① 압밀침하 완전 억제, 성토사면 활동 억제
- ② 측방유동억제, 타 개량공법 비교 공사기간 단축(압밀소요기간 불필요)

② 단 점

- ① Cap 사이로 성토제 빠짐 우려(토목섬유 미포설시)
: 성토체로 말뚝의 관입파괴 우려

6. 평 가

- ① 국내 적용을 위한 설계기준 정립이 필요함.
- ② 토목섬유 포설시 인장강도 고려
- ③ 국내적용사례 : 강릉 - 동해간 고속도로

문제 2. Kulhawy가 제시한 표준관입시험과 정적 콘관입시험의 측정오차에 영향을 미치는 요소에 대하여 설명하시오

※ 강사도 kulhawy교수는 미국 코넬대학교수인 것으로 파악하고 있습니다. 그가 위문제와 관련하여 무슨 주장을 하였는지 모릅니다. 이럴때 이렇게 기술하여도 0점처리는 하지 않습니다. 도저히 모르는 문제를 만났을때 이렇게 기술하라는 의미입니다. 추후 지반공학회에 문의하여 알아보도록 하겠습니다.

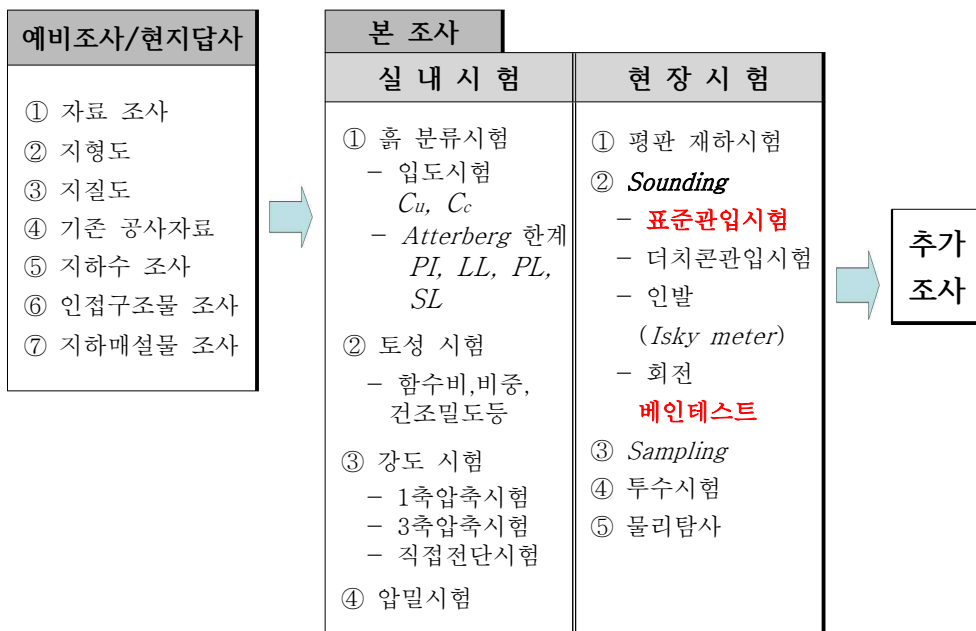
1. 개요

- ① 토질조사는 건설공사의 계획, 설계, 시공에 필요한 지층구성, 원 위치의 역학적 특성, 물리적, 화학적 성질 등 지반관련 정보를 파악하는 행위로서
- ② 구조물의 종류와 형식, 입지조건과 공사의 규모, 목적, 경제성 등을 고려하여 조사방법과 범위를 합리적으로 결정하여야 한다.
- ③ 토질조사의 방법중 표준관입시험과 정적 콘관입시험의 측정오차에 영향을 미치는 요소에 대하여 기술하고자 한다.

2. 토질조사의 목적

- ① 흙의 성질 및 성층구조 파악
- ② 시료채취(불교란, 교란) 채취 및 판별
- ③ 지지층 확인 : N, D_r
- ④ 강도정수 파악 : c, ϕ
- ⑤ 인접 구조물 영향 : 침하, 변위
- ⑥ 배수조건(일면, 양면), 투수계수, Piping, 근입깊이등

3. 토질조사의 절차(방법)



4. 표준관입시험에서의 측정오차에 영향을 미치는 요인

① N값 보정의 원칙

- ① 해머의 타격에너지효율(에너지비) 보정은 반드시 포함
- ② 국내에서 검증되지 않은 항목에 대해서는 보정유보
- ③ 적용대상 설계법, 경험식에 따라 보정의 필요성을 사전판단
※ 적용설계법에 따라 이미 N값의 보정효과가 포함된 경우가 있음

② 관계식

$$N'_{60} = N \cdot C_n \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$$

여기서, N'_{60} : 해머효율 60%로 보정한 N치 N : 시험 N치
 C_n : 유효응력 보정 η_1 : 해머효율 보정
 η_2 : Rod길이 보정 η_3 : 샘플러 종류보정
 η_4 : 시추공경 보정

③ N값에 영향을 미치는 요인 고려

- ① 가장 큰 영향요인인 해머의 타격 에너지는 반드시 보정
- ② 시추공 바닥면 상태 : 슬라임 처리 확인
- ③ 시추공경 100mm이내가 적당 → 공경이 커질수록 N값 상승
- ④ 시추공내 지하수위 : 주변수위보다 낮으면 N값 상승
- ④ 슈의 상태 : 낡은 슈를 사용하거나 손상된 샘플러 사용시 자갈이 박히어 N값 증가
- ⑤ 룯드 : 규정이상의 무거운 룯드를 사용하면 타격에너지가 룯드에 흡수되어 N값이 증가한다.
- ⑥ 라이너 : 국내의 경우 라이너를 거의 사용하지 않으며 N값이 감소한다.
- ⑦ 관입지반의 배수조건에 따라 N값에 차이 발생
- ⑧ 상재압력에 따라 N값 차이 발생

5. 정적콘관입시험에서의 측정오차에 영향을 미치는 요인

- ① 콘의 선단각도 : 각도가 크면 q_c 값 크게 평가
- ② 콘 단면적 : 단면적이 크면 q_c 값 크게 평가
- ③ 관입속도 : 기준(2cm/sec)이상시 q_c 값 크게 평가

6. 평 가

- ① 현장 조사 1회가 실내시험 100회 정도의 가치를 가지므로 현장시험이 중요함.

※ 실내시험은 교란으로 인해 정확한 현장응력체계의 재현이 곤란함.

- ② Boring시 심도 : 계획고 하부까지 조사 시행

원칙적으로 지중응력 영향 범위로 구형의 경우 짧은 변의 2배 이상이며 대상형의 경우는 짧은 변의 4배길이 까지로 한다.

③ Core 회수율 향상방법

① 시추공경의 현실화 : BX NX Size 추천

② core barrel 선정

연경암 ⇨ Double tube core barrel

풍화암/파쇄대 ⇨ Triple tube core barrel

④ 탄성파에 의한 조사결과와 비교 : 의심 가는 곳 은 시추를 통한 추가조사 시행

문제 3. 암반의 시간의존적 거동

1. 정 의

시간경과에 따라 암반의 공학적 성질(전단강도-투수성- 압축성)에 변화가 발생하는 것을 말함. 물질의 변형과 유동의 성질로는 탄성, 점탄성, 점성으로 나누어진다.

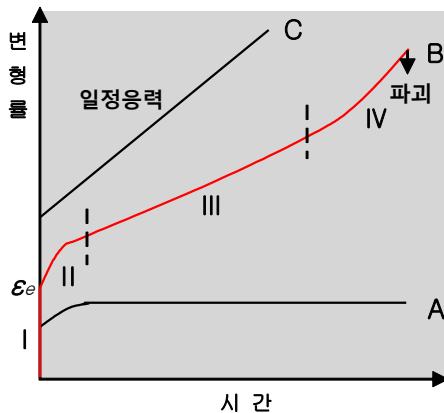
시간과 결부되어 취성영역에서 일정 응력에 대하여 변형률이 시간의 경과와 함께 증가한다는 유동적 거동을 취하는 Creep 현상을 발생시킨다. 암석의 Creep 현상은 spring과 dashpot의 조합에 의한 Rheologic 모델에 의하여 설명이 가능하며, 이는 암석이 시간에 대해서 점탄성적으로 거동한다는 것을 뜻하고 있다.

2. 종 류

- ① Creep
- ② Weathered
- ③ Swelling
- ④ Slaking

4. Creep

- ① Creep 시험 : 응력을 일정하게 하고 변형률의 시간변화를 조사
- ② 단 계 : 아래그림 B곡선 - Creep 곡선



A곡선 : 응력이 작고 변형률의 시간변화가 거의 나타나지 않는 곡선
 C곡선 : 연성이 증가하고 정상크리프만 이 탁월한 경우

구 분	내 용
I 단계	하중을 가할 때 순간적으로 발생하는 변형률 ϵ_e (Instantaneous strain)이라고 한다. 이 순간변형률에는 탄성 변형률 외에도 비탄성 변형률이 포함되어 있다.
II단계	변형률은 시간에 따라 증가하나 변형률속도는 감소해 가며 천이크리프 (Transient creep) 또는 1차 Creep(Primary creep)라고 한다.
III단계	변형률속도가 일정하게 되는 구간으로 정상크리프(Steady state creep) 또는 2차 Creep(Secondary creep)라고 한다.
IV단계	변형률 속도가 가속화되고 파괴에 이르는 단계로 가속 크리프(Accelerating creep) 또는 3차 Creep(Tertiary creep)라고 한다.

② 영 향 : 이암, 세일, 편암, 사문암, 녹니암에 Creep 현상이 현저히 나타남

※ 대형 사면파괴 현상 발생

4. Weathered

① 종류

- ① 물리적 Weathered : 건조, 습도, 온도, 바람
- ② 화학적 Weathered : 이온, 지하수, 산성비
- ③ 용해 : 가용성 물질

② 단계

- ① 초기 : 물리적 우세 ② 후기 : 화학적 우세

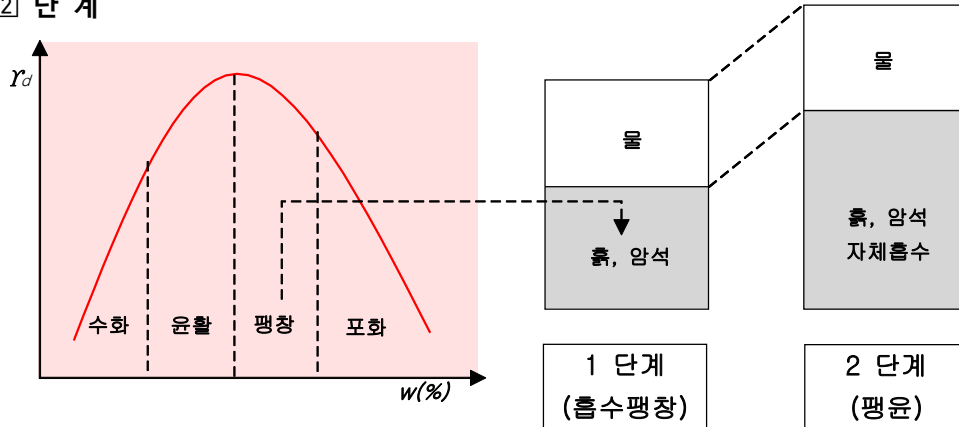
③ 영향

- ① 사면안전을 저하 ② 지지력 저하

5. Swelling

① 정의 : 함수비 변화 → 체적증가

② 단계



- ① 1단계 : 지반(흙 또는 암석)에 물을 흡수시키면 간극을 채우는 단계
- ② 2단계 : 입자 또는 광물자체가 물을 흡수하여 팽창하는 2단계로 구분되어 진행된다.
이때 2단계에서의 체적팽창으로 인한 압력을 **팽윤압**이라 한다.

③ 구조물에 미치는 영향과 대책

공종	영향	대책
터널	터널굴착시 굴착면 낙반, 지보공에 큰 압력발생	지반보강, <i>Invert Lining</i>
기초	기초 <i>Slab</i> 용기, 균열 발생	<i>Ground Anchor, Footing 증대</i>

6. Slaking

- ① 정 의 : 풍화 → 고결력 상실 → 세편화
- ② 단 계 : 초기(표면박리) → 후기(전체 안전율 저하)
- ③ 영향
 - ① 사면 : 안전율 저하
 - ② 터널 : 이완영역 증가

문제 4. 암반거동을 분석하기 위한 암반의 공학적 분류방법(RMR, Q분류, 리퍼빌리티(Rippability)분류)에 대하여 설명하시오

1. 개요

암반의 분류(Rock Classification)는 암반의 불연속면의 특성, 강도, 지하수 등을 고려하여 분류하며 암반을 분류하는 이유는 터널의 지보설계를 위한 설계 및 시공의 지표로 사용하기 위함이며 주로 유사거동 특성을 갖는 암반의 종류별로 Group하여 분류한다.

2. RMR(Rock Mass Rating) : Bieniawski(1973)

① 남아프리카 공화국 Bieniawski(1973)가 현장 시추 및 경험을 바탕으로 5가지 인자를 이용하여 암반의 상태를 5가지 등급으로 평가함.

② 1979년 수정보완하여 발표하였으며 이후 여러 연구자에 의해 보완되어 사용중임.

③ 분류 인자

① 기본인자(5가지) : 총합 100점

- ㉠ 시료(무결함 암)의 강도(15점) ㉡ RQD(20점)
- ㉢ 절리면 간격(20점) ㉣ 절리면 상대(30점)
- ㉤ 지하수 상태(15점)

② 보정 : 절리면의 방위(방향)

절리면의 주향·경사		매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량
평 점	터널	0	-2	-5	-10	-12
	기초	0	-2	-7	-15	-25
	사면	0	-5	-25	-50	-60

④ 평정에 따른 암반의 등급과 공학적 성질(1989년)

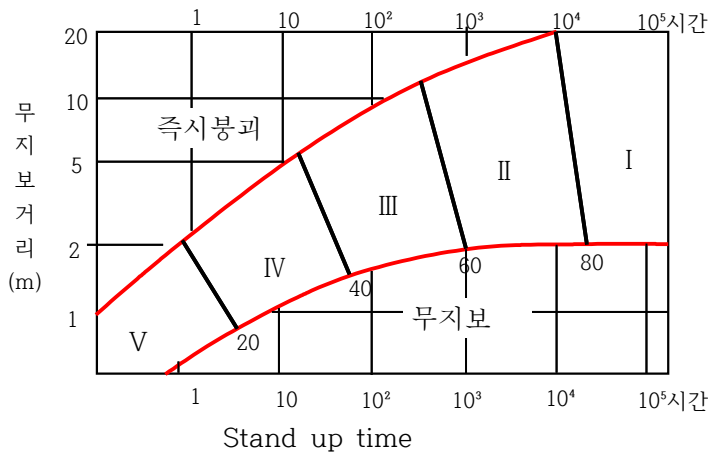
RMR 평점		81 100	61 80	41 60	21 40	20 이하
암반등급		I	II	III	IV	V
암반상태		매우 우수	우수	양호	불량	매우 불량
암 반 등급의 의 미	평균 무지보폭 및 자립시간	15 m Span 20년	10 m Span 1년	5 m Span 1주일	2.5 m Span 10시간	1 m Span 30분
	암반 점착력 (t/m ²)	> 40	30 40	20 30	10 20	< 10
	암반 내부마찰각	> 45°	35 45°	25 35°	15 25°	< 15°

⑤ 특징

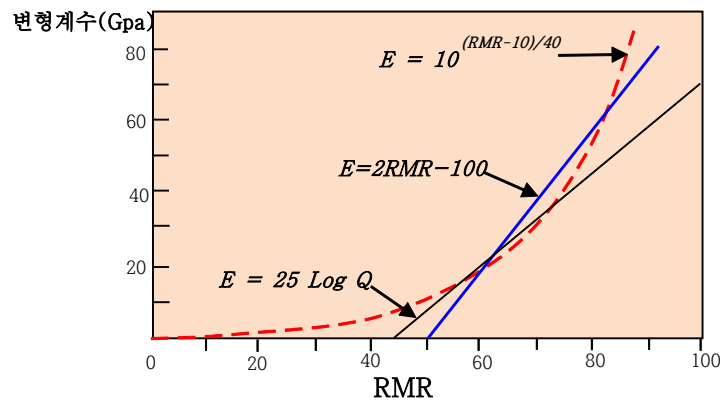
장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> ① 터널시공시 암반의 두께가 얇고 절리가 발달한 연암~경암의 경우 보편화된 분류법 ② 불연속면의 방향성에 주안 (터널굴진방향과 연계) ③ 개인적 오차가 적음 	<ul style="list-style-type: none"> ① 팽창성 암반(이암, 세일, 편마암, 사문암, 녹니암) 적용곤란 ② 현장응력체계 불고려 (Q-System은 고려) ③ 보강범위 개략적 (Q-System은 구체적임)

6 결과 이용

① 무지보 유지시간 판단 (Bieniawski 1973)



③ 암반의 변형계수 추정 : 터널입구 사면설계 및 기초암반에 유용



RMR과 Q 값을 이용한 원위치 변형계수

상기 그림 3개식 중 $E = 10^{(RMR-10)/40}$ 식의 상관성이 가장 우수함

④ 지보하중(Support Load) 계산

$$P(\text{tonf/m}^2) = \frac{(100-RMR)}{100} \times \gamma \cdot B = \gamma \cdot h_t \quad h_t = \left(\frac{100-RMR}{100}\right)B$$

여기서, γ : 단위중량 B : 터널폭(m) h_t : 암반하중의 높이(m)

⑤ 설계시 지보패턴 결정, 시공시 지보패턴 확인 및 변경

: 록볼트와 숏크리트의 강제지보 량 판정

⑥ 암반의 전단강도 정수 추정

$$C = 0.5RMR, \quad \phi = 0.5RMR + 5^\circ$$

3. Q 분류 (Rock mass quality-System : NGI 기준)

1 개요

Q-system은 1974년 노르웨이 지반공학 연구소의 Barton 등에 의해 스칸디나비아의 약 200개 터널에 대한 거동특성을 6개의 요소로 정량화하여 암반분류를 하는 방법으로 세부적 터널지보 설계가 가능한 공학적 분류 시스템이다.

② 암반분류 : 암반의 암질을 정량화한 수치로 표현

- ① Q-시스템은 6개의 변수들을 3개의 그룹으로 나누어서 계산
- ② 계산된 Q값의 범위는 0.001~1000이다 : 암반분류는 9등급으로 분류

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

여기서, J_n : 절리군의 종류수 J_r : 절리면 거칠기 계수
 J_a : 절리면의 풍화도(변질)계수 J_w : 지하수관련 계수(출수관련)
 SRF : 응력저감 계수

- ③ 위 식에서 제 1항은 암반의 전체적인 구조 즉, 블록크기의 상대적 표현임.
- ④ 제 2항은 블럭간(절리)의 전단강도와 관련되는 지수이다.
- ⑤ 제 3항의 J_w 는 수압에 관련된 지수이며, SRF는 점토광물을 포함한 전단대(shear zone) 암반의 이완하중(loosening load), 견고한 암반의 암반응력, 견고하지 못한 소성 암반의 압착 및 팽창하중을 평가하는 지수이며 '총응력' 지수로 간주된다. J_w / SRF 는 “활동성 응력” (active stress) 을 의미한다.

③ 특징

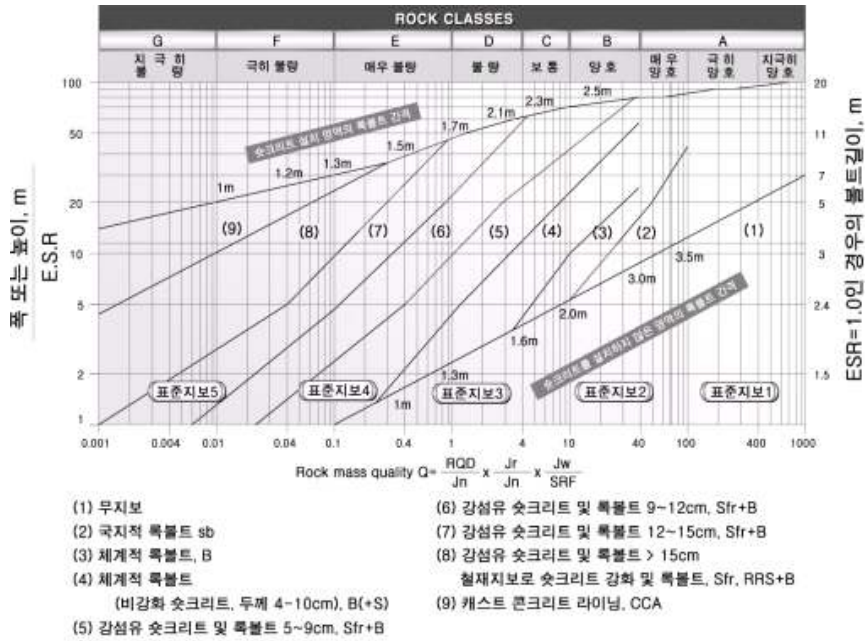
- ① 장 점
 - ㉠ 팽창성 암반에 적용이 우수
 - ㉡ 암반의 전단강도에 보다 주안점을 두었으며 현장응력도 고려하고 있다.
 - ㉢ 암반분류가 보다 세밀하며 구체적인 보강방법이 제시됨
- ② 단 점
 - ㉠ 절리의 방향성은 고려안함 : Barton(1974)은 터널공사시 J_n, J_r, J_a 등의 요소가 절리의 방향보다 암반의 전단강도나 변형에 더 중요한 것으로 간주하였고 그 이유는 절리의 방향에 대한 평가가 어렵고 평가하더라도 보편성을 가지지 못한 것으로 판단함.
 - ㉡ 일반적으로 Q 분류는 RMR 분류보다는 제한적으로 사용되는 경향이 있다.
 - ㉢ 조사될 6요소들은 터널설계의 주변 지질조사시 암석의 노출이 양호한 경우이거나 굴착중 터널 갱구부에서의 막장관찰시에만 비교적 정확하게 조사될 수 있는 항목들이므로 일반적인 시추조사(수cm직경의 코아사용)만으로는 6요소를 신뢰성 있게 판단하기 곤란한 단점이 있다. 그러므로 터널설계시 Q분류방법의 적용이 어려운 경우가 많다.
 - ㉣ Q값 산정을 위한 6요소들은 너무 정밀하고 복잡하여 조사하는 데 많은 지식과 경험이 필요하므로 숙련도에 따라서 오차가 크고, 또한 6요소를 곱하거나 나누어서 Q값을 산출하므로 더욱 오차가 커지는 경향이 있다.

④ 결과 이용

- ① 암반등급별 지보패턴
 터널의 유효크기(Equivalent Dimension)결정 Q값에 의한 터널 지보량 산정

$$\text{유효크기(m)} = \frac{\text{굴착폭 또는 높이 중 큰 값}}{ESR}$$

여기서, ESR (Excavation Support Ratio) : 굴착 지보비 (터널사용 목적에 따른 수치)



② 무지보 굴진장(Span)

$$\text{무지보 최대스팬(m)} = 2(ESR)^{0.4}$$

여기서, *ESR* (Excavation Support Ratio) : 굴착 지보비
(굴착지보비는 시행착오적으로 계산하며 터널사용 목적과 안전성과 관계한 수치로서 안전율의 역수개념임)

굴착용도	ESR	굴착용도	ESR
A. 일시적으로 유지되는 터널	2 ~ 5	D. 지하발전소, 지하터널 지하 방공호	0.9~1.1
B. 영구적 터널, 지하수로	1.6~2.0	E. 지하 원자력 발전소, 지하 정류장, 지하 경기장	0.5~0.8
C. 지하저장소, 소형터널	1.2~1.3		

③ 영구 지보압력

$$P(\text{kgf/cm}^2) = \frac{2}{J_r} Q^{-1/3}$$

④ Rock Bolt 길이

측벽부 : $2 + 0.5H/ESR$ 천정부 : $2 + 0.1B/ESR$
여기서, *H* : 높이(m) *B* : 폭(m)

⑤ 암반 변형계수

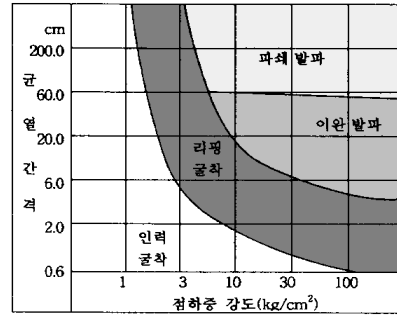
$$E = 10 \quad Q^{1/3} \text{ (GPa)} = 100,000 \quad Q^{1/3} \text{ (kgf/cm}^2)$$

Q 분류에서의 암반등급

구분	I	II	III	IV	V
Q 값	> 40	10~40	4~10	1~4	< 1
분류	매우우수	우수	양호0	불량	매우불량

3. 굴착 난이도(리퍼빌리티)에 의한 분류

암반에서의 굴착 난이도는 암석 코어 강도 외에 암석의 종류, 암석의 조직 및 경도 풍화상태와 절리 발달 정도에 따라 다르게 된다. 특히 절리의 연속성과 간격에 따라 암석종류별 암반 강도의 변화 폭이 커지게 되어 굴착난이도에 의한 암반 분류에서는 암석 코어 강도와 절리 상태가 동시에 고려되어 분류되어야 한다.



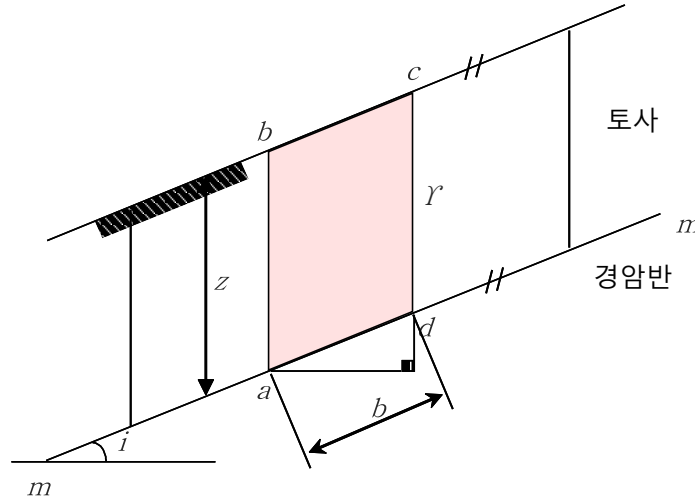
굴착난이도 결정을 위한 암반분류(Franklin, 1971)

4. RMR 과 Q 분류 비교

구 분	RMR	Q
분류인자	일축압축강도, RQD , 불연속면의 간격 불연속면의 상태, 지하수상태	RQD, 불연속면의 거칠기, 지하수 상태 불연속면의 수, 불연속면의 풍화도, 응력저감계수
점 수	0~ 100	0.001~ 1,000
주 안 점	불연속면의 간격, 방향, 상태등 Q분류에서 고려하는 작용응력 미고려	J_n , J_r , J_a 등의 요소가 절리의 방향 보다 암반의 전단강도나 변형에 더 중 요한 것으로 간주 현장응력 고려
보강방법	개 락 적	구 체 적
분류특성	분류간단, 개인오차 적음	6가지 조사자료(육안관찰) 분류복잡, 개인오차 많음
적 용 성	연암이상, 소단면	모든지반, 소 ~ 대단면 유동성, 팽창성 암반과 같은 취약지반
상 관 성	<i>Bieniawski</i> (1976) $RMR = 9 \ln Q + 44$	

문제 5. 그림과 같이 지하수가 없고 토사하부에 경암반으로 구성된 무한사면 (Infinite element)이 있다. 토체(Soil mass)가 토사와 경암반의 가상 파괴면 $m-m$ 을 따라서 활동한다고 가정한다.

- (1) 토체의 요소(Element) 'abcd'에 작용하는 힘의 벡터 작용도를 그리시오
- (2) 토사의 전단강도가 $c=0$ 점착력이 없는 경우와 $c \neq 0$ 점착력이 있는 경우로 구분하여 활동파괴 가능성을 분석하고 설명하시오

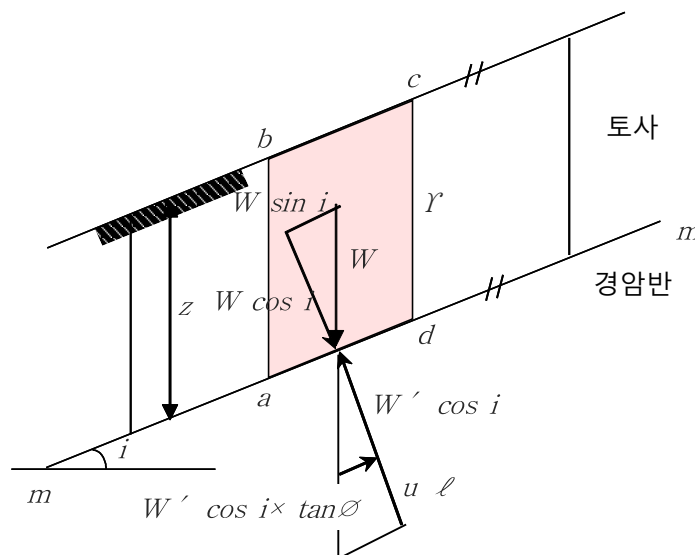


1. 무한사면의 정의

- ① 활동토괴의 두께가 전체활동길이의 1/10정도로써 얇은 천층사면의 활동임.
- ② 국내 절토사면의 대부분의 지질조건상 화강풍화토로 구성되어 있으며 빈번히 발생하는 사면활동 유형임.

2. 토체의 요소(Element) 'abcd'에 작용하는 힘의 벡터 작용도

- ① 흙덩어리의 무게 = 전응력 = $W = \gamma \cdot z$
- ② 활동하려는 힘 = 활동력 = $\tau = \text{흙덩어리의 연직방향 전응력} \times \sin i = W \cdot \sin i$
- ③ 저항력 = $S = [(\text{흙덩어리의 유효수직응력} \times \cos i) - \text{간극수압}] \times \tan \phi$
 $= (W \cdot \cos i - u \ell) \times \tan \phi$



3. 토체내 점착력 유무에 따른 활동파괴 가능성(안정검토)

① 안정검토 기본식 유도

① 안전율 식중 힘의 평형방정식으로 부터 : 활동면의 이동방향에 대해 착안

$$\text{안전율} = \frac{\text{활동에 저항하려는 힘}}{\text{활동을 일으키려는 힘}} = \frac{C' + (W \cdot \cos\beta - u \cdot \ell) \tan\phi'}{W \cdot \sin\beta}$$

② 단위 면적당 하중으로 단위통일

㉠ $W = r \cdot z$

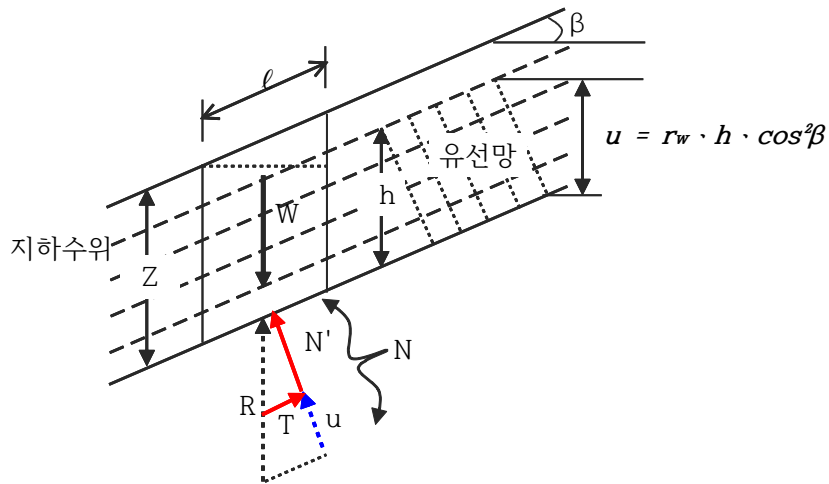
㉡ $\ell \cdot \cos\beta = 1$ 로 가정하면 $\Leftrightarrow \ell = 1/\cos\beta$

③ 그러면

$$\text{안전율} = \frac{C'/\cos\beta + (r \cdot z \cdot \cos\beta - u/\cos\beta) \tan\phi'}{r \cdot z \cdot \sin\beta}$$

④ 여기에 $\cos\beta$ 를 분모와 분자에 곱해주면

$$\text{안전율} = \frac{C' + (r \cdot z \cdot \cos^2\beta - u) \tan\phi'}{r \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta}$$



② 사질지반이고 지하수위가 파괴면 아래에 있는 경우

① $c = 0, u = 0$ 이므로

$$\text{안전율} = \frac{r \cdot z \cdot \cos^2\beta \tan\phi'}{r \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta} = \frac{\cos\beta \cdot \tan\phi'}{\sin\beta}$$

$$\therefore F_s = \tan\phi' / \tan\beta$$

② 위 식에서 사질지반의 경우에는 사면경사(β)보다 흙의 내부 마찰각이 커야 안전

③ 지하수위가 지표면과 일치하는 경우 : 간극수압 $u = \gamma_w \cdot z \cdot \cos^2\beta$

① 일반적인 흙($c \neq 0$)

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{C' + (r_{sat} \cdot z \cdot \cos^2\beta - u)\tan\theta'}{r_{sat} \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta} \\
 &= \frac{C' + (r_{sat} \cdot z - r_w \cdot z)\cos^2\beta \cdot \tan\theta'}{r_{sat} \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta} \\
 &= \frac{C'}{r_{sat} \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta} + \frac{r_{sub} \cdot \cos\beta \cdot \tan\theta'}{r_{sat} \cdot \sin\beta} \\
 &= \frac{C'}{r_{sat} \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta} + \frac{r_{sub} \cdot \tan\theta'}{r_{sat} \cdot \tan\beta}
 \end{aligned}$$

② 사질토의 경우 : $c' = 0$ 이므로

$$F_s = \frac{r_{sub} \cdot \tan\theta'}{r_{sat} \cdot \tan\beta}$$

※ $r_{sub}/r_{sat} \approx 1/2$ 이므로 지하수위가 파괴면 아래에 있는 경우에 비하여 절반정도 안전율이 저하된다.

4. 발생 조건

① 모래지반 : $\phi < \alpha \rightarrow$ 내부마찰각 < 활동면 경사각

② 활동면조건

- ① 암반과 토사층 경계
- ② 붕적토와 풍화대 경계
- ③ 상. 하부부층 강도차 큰 경우

5. 평가

① $C=0$, 지하수위가 없으면 $\theta' > \beta$ 이여야 안정

② $C=0$, 지하수위 지표면에 있으면 지하수위 없는 조건보다 안전율 1/2정도로 감소

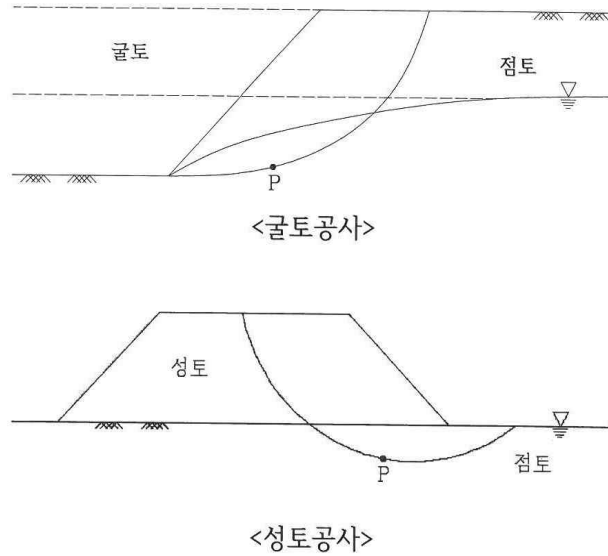
③ 위험한 순서

수평흐름시 > 수위 지표위 > 수위 지표와 동일 > 수위가 없거나 수중상태 ① 강우강도와 산사태(무한사면 활동) 발생규모 관계

④ 강우강도와 지하수위, 지반상태를 고려한 종합적인 사면안정해석이 필요함.

⑤ 무한사면의 경우 지하수위가 지표면과 일치할때와 활동면이하에 지하수위가 위치 할 때와는 안전율이 약 2배이상 차이가 나므로 무한사면의 붕괴를 방지하기 위해서는 우수의 침투방지와 배제를 위한 대책공법의 선정이 무엇보다 중요하다.

문제 6. 포화점토지반에 그림과 같이 굴토공사와 성토공사를 급속하게 시행한다. 시공단계별 시산경과에 따라서 굴토공사와 성토공사가 그림 P점의 점토지반 거동에 미치는 영향을 각각 분석하고 그 거동을 분석하기 위해 삼축압축시험결과를 활용하는 방법을 설명하시오



1. 개요

① 성토시

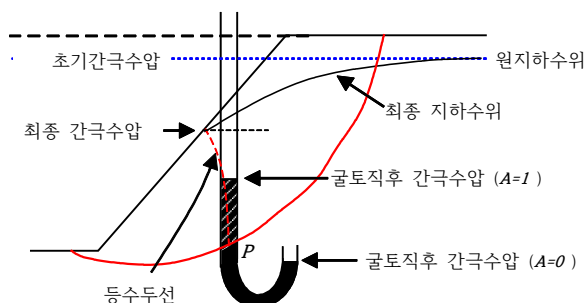
- ① 성토하중의 증가와 더불어 간극수압이 증가하게 되므로 유효응력이 급감하여 안전율은 최소가 되나 장기적으로 과잉간극수압이 소산됨에 따라 유효응력, 전단강도, 안전율은 증가된다.

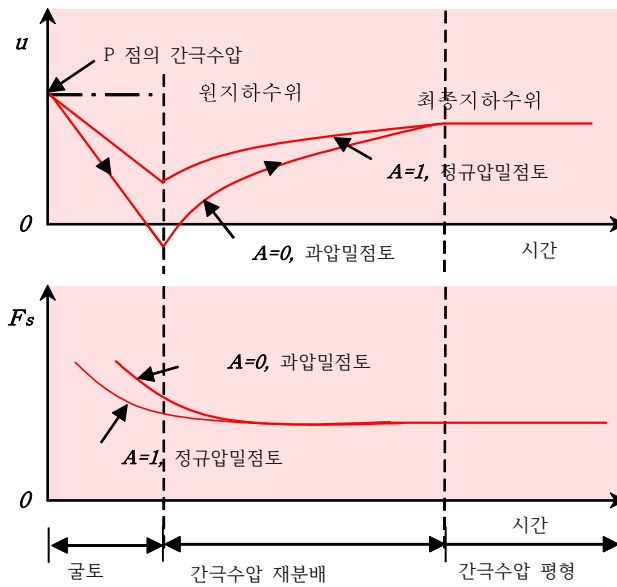
② 절토시

- ① 사면을 절취하는 동안에는 절취사면이 중력방향으로 활동하려는 전단응력이 증가되어 안전율은 감소한다.
- ② 한편 절취도중 간극수압은 전응력의 감소로 급격히 감소하게 되므로 안전율은 서서히 감소하나
- ③ 절취이후에는 전단응력은 일정한 반면 정상침투가 발생하므로 간극수압이 절취직후보다 상승하며 정수압상태가 되므로 절취도중보다 유효응력의 감소로 인한 안전율은 급격히 저하된다.
- ④ 과압밀비가 심한 과압밀 점토를 굴착하게 되면 굴착중 팽창으로 인해 흙의 간극수압이 발생하므로 정규압밀점토보다 안전율은 높게 된다.

2. 절성토 공사로 인한 P점의 안전율 변화

① 절토사면





점토지반을 굴착할때 시간에 따른 안전율의 변화

① 사면절취를 하게 되면 중력작용으로 사면활동을 일으키려는 전단응력이 증대된다.

② 이때 간극수압의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta u = B[\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$$

③ 점토가 완전히 포화되었다면 $B=1$ 이 되고 다음의 식으로 변환된다.

$$\Delta u = \frac{1}{2} (\Delta \sigma_1 + \Delta \sigma_3) + (A - \frac{1}{2}) (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$$

④ 사면절취를 하게 되면 $\Delta \sigma_1$, $\Delta \sigma_3$ 가 계속 감소(-)되므로 Δu 는 계속 (-)값이 커지게 된다.

⑤ 절취가 종료되면 정상침투로 인해 간극수압은 상승하게 되나 원래의 지하수위에서의 간극수압으로 회복되지는 않는다.

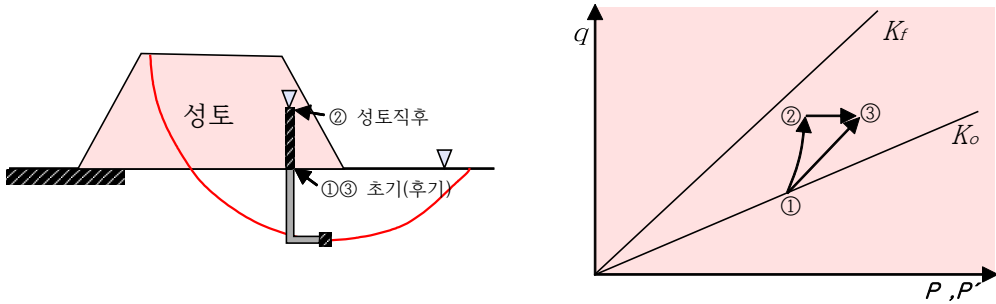
⑥ 만일 A값이 1/2이하이면 2항도 陰이 되므로 전체 Δu 는 $A > 1/2$ 보다 더 큰 (-)의 값을 가진다.

⑦ 따라서 절취전후 사면 안전율은 다음과 같이 변화한다.

구 분	절 취 중	절 취 후
전단응력	증가	일정
간극수압	감소	증가
정상침투	없음	진행
배수상태	비 배수	진행
전단강도	$\phi = 0$	유효응력 감소로 전단강도 감소
사면안전율	약간 감소	매우감소

② 성토사면

초기 성토하중 ΔP 에 따라 과잉간극수압 상승 \rightarrow 비배수 강도 일정 \rightarrow 과잉간극수압 상승 \rightarrow 성토직후 사면 안전을 최소 \rightarrow 과잉간극수압 소산 \rightarrow 전단강도 증가 \rightarrow 안전을 상승



3. 시간에 따른 안전을 변화

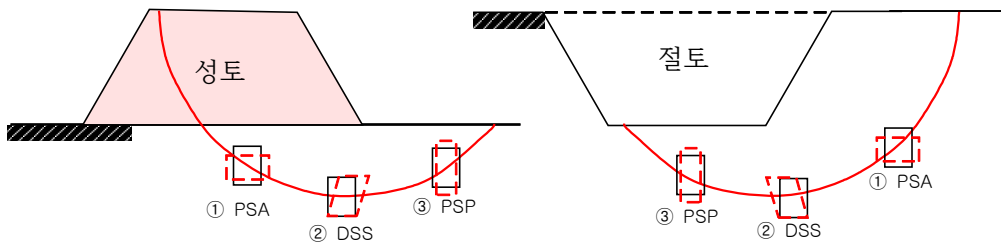
구 분	성 토	절 토
전단응력		
간극수압		
전단강도		
안 전 을		

4. 삼축압축시험결과를 활용하는 방법

구 분	성 토		절 토	
강도정수	$c_{cu}, \phi = 0$	c', ϕ'	$\phi = 0$	c', ϕ'
해 석 법	전응력해석 $\phi = 0$ 해석	유효응력 해석	전응력해석 $\phi = 0$ 해석	유효응력 해석
시 험 법	UU	CU, \overline{CU}	UU	CU, \overline{CU}

5. 현장응력조건을 고려한 시험방법 제안

① 응력 조건별 시험



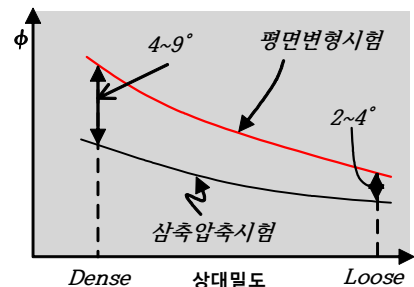
구 분	①PSA (Plane strain active) 평면변형 주동상태	②DSS (Direct simple shear) 단순전단상태	③PSP (Plane strain passive) 평면변형 수동상태
응력조건			
시 험			
평면변형 주동 또는 수동조건 전단시험 : 직육면체의 공시체 양쪽 끝단을 강성 Plate로 고정 → 변형 억제			

② 평면변형 조건시험과 3축 압축시험 결과 비교

평면변형시험은 2방향의 변형만 허용하므로 구속조건의 차이에 의해서 평면변형 시험에 의한 강도정수가 삼축압축시험에 의한 값에 비해 더 크게 측정된다.

③ 타 당 성

성토, 절토, 옹벽등 선형 구조물의 경우, 축에 직각방향으로 변위와 파괴가 발생되므로 이러한 현장응력체계상 조건을 만족한 시험적용이 필요함.



3교시

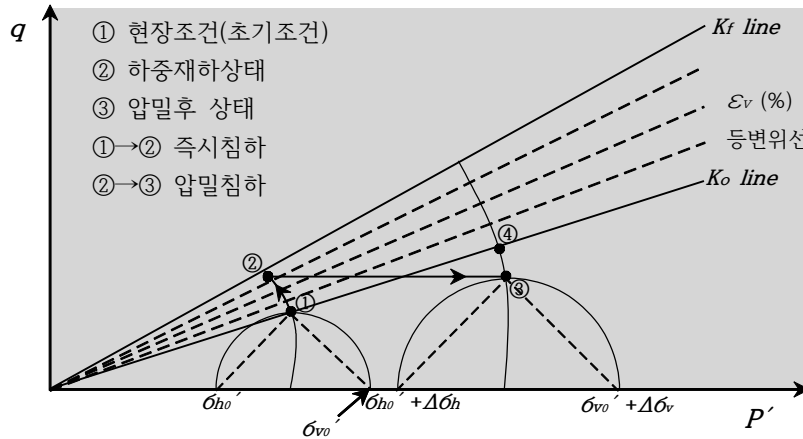
문제 1. 점토층에서 즉시침하뿐만 아니라 압밀침하량을 동시에 평가할 수 있는 3차원 Lambe법에 대하여 다음사항을 설명하시오

- (1) 응력경로 작성법
- (2) 침하량 산정법 및 문제점

1. 개요

- ① 횡방향 변형 허용 여부에 따라 1차원 압밀과 3차원 압밀침하로 구별됨
- ② 침하량 산정
 - ① 1차원 압밀 : Terzaghi 측방변위 구속
 - ② 3차원 압밀
 - ① Skempton - Bjerrum : Terzaghi 압밀이론에 3차원 압밀 보정
 - ② Lambe의 응력경로 : 변위(ϵ_v)고려 3차원 해석
- ③ 여기서는 Lambe의 응력경로 작성방법과 이를 통한 침하량 산정 및 문제점에 대하여 기술하고자 한다.

2. Lambe의 응력경로 작성법



침하량 산정을 위한 응력경로(Lambe, 1964)

- ① 위 그림과 같이 여러개의 압밀비배수 삼축압축시험을 실시하여 p', q 응력좌표상에 K_f line 과 K_o line, 유효응력경로를 작도한다.
- ② 하중 단계별 연직 변형율(ϵ_v)이 같은 직선(등변위선)을 p', q 응력좌표상에 원점을 통과하게 작도한다.
- ③ 대략 압축층의 중앙깊이에서의 초기유효응력 σ_{vo}' 와 $\sigma_{ho}' = K_o\sigma_{vo}'$ 그리고 하중증가로 인한 $\Delta\sigma_v$ 와 $\Delta\sigma_h$ 를 산정한다.
- ④ 초기유효응력에 해당하는 K_o 선상의 점 ①을 선정하고 유효응력경로의 기하학적 유사성을 이용하여 점 ①을 통과하는 비배수 유효응력경로 ① →②를 추정 작도한다.

수 점 ②의 결정은 $\Delta\sigma_v$ 와 $\Delta\sigma_h$ 에 의한 축차응력의 증분 $\Delta q = (\Delta\sigma_v - \Delta\sigma_h)/2$ 를 ①점에 더하여 유효응력 경로상에 표시한다.

속 점 ①과 ②의 연직변형률 값의 차이가 즉시침하에 해당하는 연직변형률 $\Delta\varepsilon_e$ 가 된다.

⑦ 점 ②에서 방치시 압밀이 진행되며 압밀이 종료되면 $\Delta\sigma_v$ 와 $\Delta\sigma_h$ 는 유효응력으로 전환되며 P', q' 값은 다음과 같다.

$$P' = \frac{1}{2} [(\sigma_{vo}' + \Delta\sigma_v) + (\sigma_{ho}' + \Delta\sigma_h)]$$

$$q' = \frac{1}{2} [(\sigma_{vo}' + \Delta\sigma_v) - (\sigma_{ho}' + \Delta\sigma_h)]$$

⑧ 윗 식에 해당하는 점 ③을 찾고 유효응력경로의 유사성을 이용하여 점 ③을 통과하는 경로를 작도 하여 K_0 선과 교차하는 교점 ④를 결정한다.

3. 압밀침하량 산정

① 압밀침하량 산정의 기본요건

- ① 정규압밀점성토에 대한 비배수 조건하 유효응력경로는 기하학적으로 유사하다.
- ② 동일한 연직변형률(ε_v)를 연결하면 대략 원점을 지나는 직선이 된다.
- ③ 그림과 같이 정규압밀 점성토에 대한 응력경로 좌표상 유효응력경로에 따른 체적변형률은 모두 동일 하며 다만, 연직변형률만 다르다.
- ④ 압밀침하량 산정을 위한 변형율비 즉, $\varepsilon_v / \varepsilon_{vol}$ 의 결정은 등방 탄성론을 적용한다.

② 침하량 산정법

① 이론적 측면

응력경로법은 다양한 심도별 하중조건하의 시험을 통해 응력경로를 구해야 하나 현실적으로 어려움이 많으므로 간편법에 의해 재하면적 중심선 하부에 있는 대상지반의 시료를 이용한 시험을 통하여 압밀침하량을 결정한다.

② 침하량 산정

- ㉠ ② ③은 등방압밀에 해당되며 이 과정에서 발생하는 체적변형률 $\Delta\varepsilon_{vol}$ 은 ① ④의 응력 경로를 따라 거동하는 압밀시험을 통해 구한다.
- ㉡ ② ③의 압밀시 발생한 체적변형률 $\Delta\varepsilon_{vol}$ 에 대한 연직변형률 $\Delta\varepsilon_v$ 의 관계인 변형도비는 다음 식과 같다.

$$\frac{\Delta\varepsilon_v}{\Delta\varepsilon_{vol}} = \frac{1 + K_0 - 2K_0 \Delta K'}{(1 - K_0)(1 + 2\Delta K')}$$

여기서, K_0 : 정지토압계수 $\Delta K'$: 유효응력 증가비

등방탄성이론에 의하면 $\Delta K' = K_0$ 이면

$$\Delta\varepsilon_v = \frac{1}{3}\Delta\varepsilon_{vol}$$

㉔ 전체압밀침하량 S_c 는 연직변형률 $\Delta\varepsilon_v$ 에 점토층의 전체두께, H 를 곱하여 산정된다.

$$S_c = \Delta\varepsilon_v H$$

㉕ 전체침하량

$$S = (\Delta\varepsilon_e + \Delta\varepsilon_v)H$$

4. 압밀침하량 산정의 문제점

- ① 이론적으로 타당성이 있으나 시험을 위한 시간과 비용이 많이 소요된다.
- ② 삼축압축시험에 사용한 시료가 압밀층 전 두께를 대표할 수 있는냐에 대한 신뢰성 문제가 있음
- ③ 삼축전단 중에 재현할 수 있는 것은 축대칭 문제에서 대칭축상의 흙요소의 거동에 한정된다.
- ④ 지반의 국부파괴와 그것에 계속되는 응력의 재분배가 발생하는 경우 공시체가 파괴되므로 연직변형률을 구하기 위한 시험자체가 무의미 해짐

문제 2. 모래의 전단강도에 영향을 미치는 인자에 대하여 설명하시오

1. 개요

흙의 전단 강도란 임의지점 흙 요소가 축차응력에 의해 파괴될때 단위면적당 흙의 저항치로서 coulomb은 다음과 같이 표현

제 전단강도란 응력과 관계없는 성분인 점착력(C)와 응력과 관계있는 성분(τ)의 합

$$\tau = c' + (\sigma - u)\tan\phi'$$

0 위 식에서 보듯이 점성토는 투수성이 낮고 사질토는 투수성이 크므로 같은 힘을 주더라도 배수가 원활한 사질토의 유효응력의 증가가 크므로 강도증가가 크고 빠르다.

여기서는 모래의 전단강도에 영향을 미치는 인자에 대하여 기술하고자 한다.

2. 사질토와 점성토의 전단특성을 규정짓는 인자

점 성 토	사 질 토	비 고
<ul style="list-style-type: none"> - 예민비 - Thixotropy현상 - Leaching(용탈)현상 - Heaving 현상 - 동상(Frost heave)현상 - 부주면 마찰력(NF) - 압밀침하 	<ul style="list-style-type: none"> - 액상화 - 상대밀도 - Dilatancy - Quick sand - Boiling, piping 	<ul style="list-style-type: none"> • 연약지반의 판단에 이용 • NF : 말뚝의 재하시험시기 결정시 고려

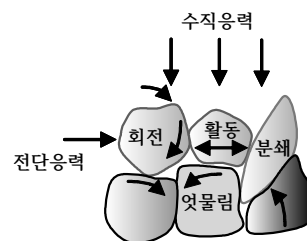
3. 모래의 전단저항 원리

① 마찰저항 : 회전마찰, 활동에 의한 마찰

② Interlocking : 엇물림

① 느슨할때 : 활동

② 조밀할때 : 회전, 엇물림

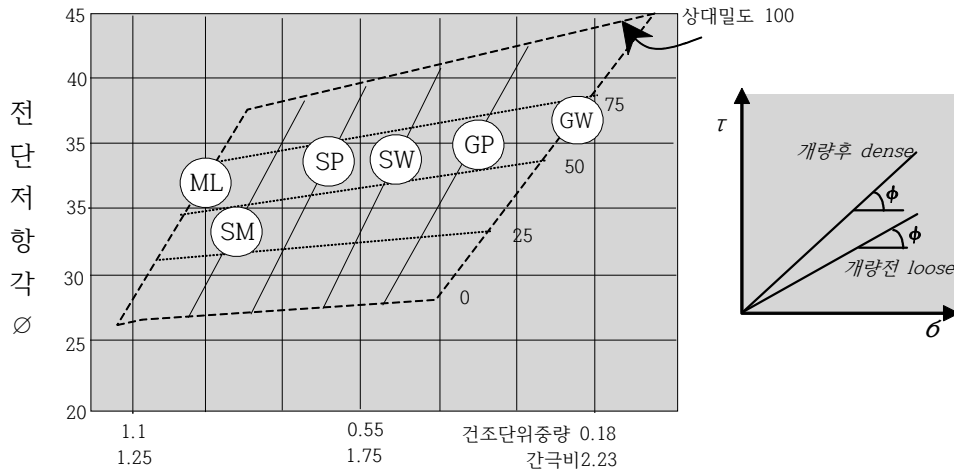


③ 중력거동

④ 전단강도 : $\tau = \sigma \tan \phi$ → 유효수직응력에 크게 좌우됨

4. 모래의 전단강도에 영향을 미치는 요인

① 상대밀도 : 상대밀도가 클수록 간극비가 적을수록 전단저항각은 커진다.



② 입자의 크기

- ① 간극비가 일정한 조건하에서는 입자의 크기는 별로 영향을 끼치지 않음
- ② 그 이유는 입자의 크기가 큰 경우 Interlocking에 의한 효과가 증가할 수 있으나 덩어리가 큰 경우 접촉부에서 부서지면서 미끌어지므로 상호 효과가 상쇄되어 내부 마찰각은 비슷해짐

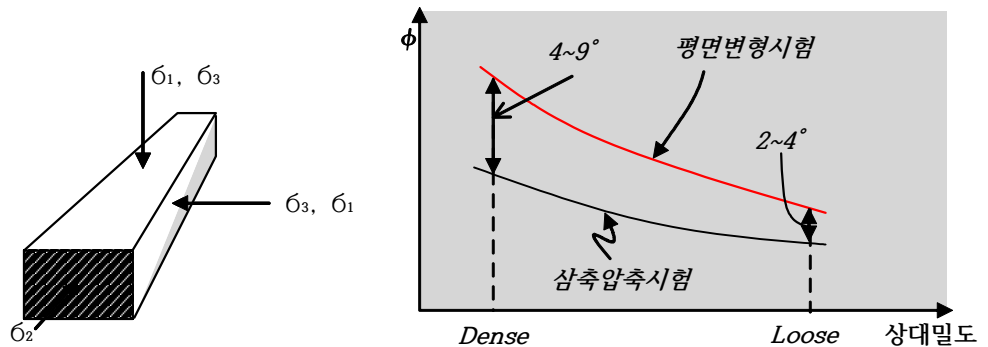
③ 입도와 입형

- ① 입도가 양호하면 φ값 증가 → 상대밀도 및 τ 값 증가
- ② 입형이 모난 경우가 둥근경우에 비해 φ값 증가 → τ 값 증가

⑤ 물의 영향 : 투수계수가 커 과잉간극수압이 발생치 않으므로 전응력 ≒ 유효응력 단, 지진시 제외

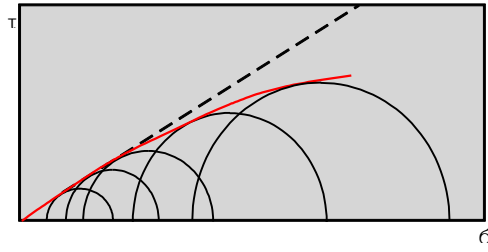
⑥ 중간 주응력

- ① 중간 주응력을 고려하여 평면변형전단시험으로 시험한 φ값은 구속조건의 차이로 인해 표준 삼축압축시험으로 구한 φ값보다 큼
- ② 평면변형조건인 용벽, 줄기초계산에 전단시험값은 1.1φ로 사용함.



⑦ 구속압력

모래를 가지고 구속압력을 증대시키면서 삼축압축시험을 했다면 Mohr원을 그림과 같이 그려진다. 즉, Mohr원에 접하는 포락선은 구속압력이 작을 때 예는 직선이지만 이것이 증가하면 아래로 처진다. 따라서 구속압력이 커지면 전단저항각은 일정하게 되지 않는다.



6

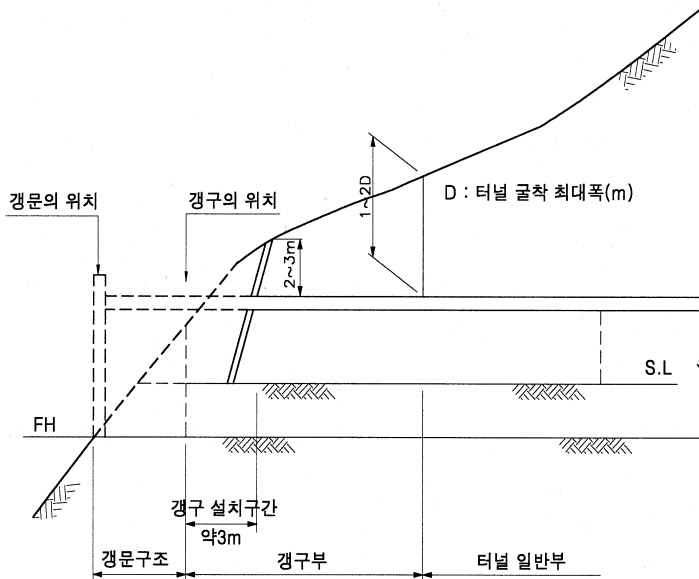
5. 점토와 모래의 전단시 거동 특성

구분	모래(Dense & Loose 특성)	점토(NC & OC 특성)
수직응력 - 간극비	<p>LS : 응력에 따라 감소 DS : 응력에 따라 점차증가</p>	<p>NC : 응력에 따라 감소 OC : Pc이전까지 e값 작음</p>
수직응력 - (비배수) 전단강도	<p>Dense ϕ^d Loose ϕ^L</p>	<p>OC : NC보다 Pc이전 큼 NC : 원점통과</p>
수직응력 - 간극수압 계수	<p>$A = 0$</p>	<p>NC OC - NC : $A_f \approx 1.0$ OC : $A_f = -0.5 \sim 1.0$</p>
변형률 - 전단강도		
변형률 - 체적변화	<p>Dense D : 압축후 팽창 Loose L : 압축</p>	<p>OC : 압축후 팽창 NC : 압축</p>
변형률 - 간극수압 계수	<p>$A = 0$ $\Delta u = 0$</p>	<p>CU CD시험(A=0)</p>

문제 3. 지반조사 결과 풍화대에 핵석(Core Stone)이 다량 출현하였다. 이러한 핵석층에 터널 갱구부를 설계하고자 한다. 가장 합리적인 조사방법 및 강도특성 평가방법에 대하여 설명하시오

1. 개요

- ① 터널의 일반부는 주로 지반조건, 지질 구조, 지하수 등 원지반 내부의 조건에 따라 그 거동이 지배되는데 반해, 갱구부의 터널 거동은 지형, 기상 등의 외적 조건에 의해서도 지배된다. 따라서, 갱구부는 터널의 일반부와는 달리 특별한 구조와 시공법이 필요한 곳이다.
- ② 핵석이란 암반이 풍화되면서 암반의 불연속면의 틈새를 따라서 열수변질 작용 및 열수광화작용을 받아 암석들이 토층 사이에 끼여져 있는 형태를 나타내는 암석을 말한다.
- ③ 이와같이 핵석이 혼재되어 있는 풍화층의 지반강도정수 파악하는 것은 균질하지 않은 상태이므로 상당히 어려운 문제이나 합리적인 강도정수산정을 통한 터널 갱구부의 사면안정해석을 시행하여 갱구부의 안정성을 확보하도록 노력해야 할 것이다.



2. 터널 갱구부 풍화대 핵석사면 지반조사 및 강도특성 평가

- ① 정밀 지표지질 조사
 - ① 불연속면의 측정 : 주향 경사 → 평사투영해석(DIPS)
 - ② 현장강도 측정 : 핵석의 강도는 사면의 강도에 역할을 거의 못하므로 슈미트 해머 사용시 핵석 주변 암석의 강도를 측정하여 RMR판정의 근거로 삼는다
- ② 지반강도정수 산정
 - ① 암석 절리면 전단시험, 토사 전단시험결과 얻어진 점착력과 마찰각 추정
 - ② RMR → 수치해석
 - ③ GSI를 이용한 점착력 및 내부마찰각을 수치해석 결과와 비교
- ③ 가장 합리적인 지반조사 방안
 - ① 핵석의 체적(%)변화에 따라 모형시료 제작을 통한 시험
 - ② 즉, 일축압축, 삼축압축 → 일축압축강도, 탄성계수, 점착력, 마찰각 추정

3. 핵석사면 갱구부 굴진시 문제점 및 대책

① 문제점 : 변위, 침하, 균열

② 대책

① 일반사항

일반적으로 절토사면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 안정해석이 이루어지고 있으나, 암반 사면의 경우 불연속면의 조건에 따라 사면의 안정성 여부가 결정된다. 따라서 암반구간과 토사 및 풍화암 구간, 핵석사면을 구분하여 사면안정검토를 실시함에 유의하여야 한다.

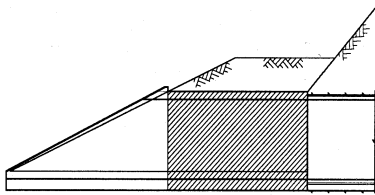
② 지반조사 (시추, 물리탐사, 지표지질조사) → 사면안정해석

③ 대책

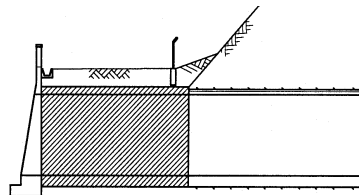
① 구배완화 : 경관훼손, 환경문제 검토

② 갱문구조 : 시공

③ Soil Nailling, Rock bolt

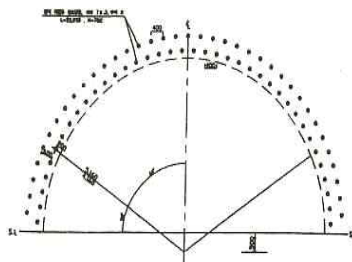
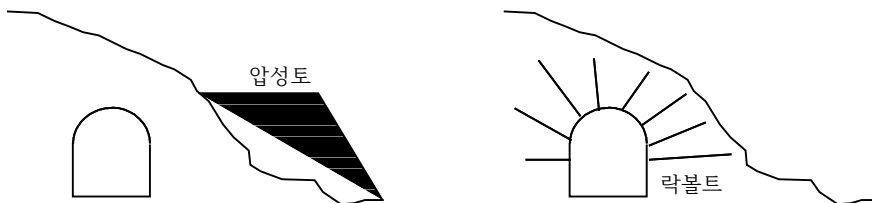


돌출형 갱문



면벽형 갱문

④ , 강관다단그라우팅 보강



강관다단그라우팅

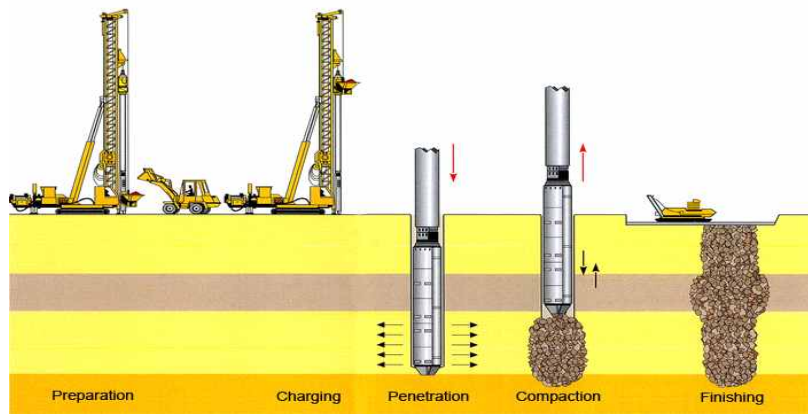
문제 4. 연약지반처리시 쇄석을 이용한 Stone column공법에 대하여 다음을 설명하시오

(1) Stone colome의 지지력(단 단일말뚝 조건)

(2) Stone colome의 복합지반의 압밀침하

1. 개요

- ① Stone Colum 공법 연약한 지반에 천공을 시행한 후 높은 다짐에너지를 이용하여 쇄석을 다짐으로써, 원지반의 전단강도 및 지지력을 높이는 공법으로 말뚝기초와 직접기초의 중간적인 개념이다.
- ② 기존의 연직배수공법은 Sand Drain, Sand Compaction Pile공법은 모래를 사용하나 Stone Colum 공법은 모래대신 자연자갈이나 쇄석 또는 슬래그 등을 사용하기 때문에 경제적이며 복합지반효과를 극대화 함으로써 원 지반의 지지력의 증가와 액상화 방지, 침하량을 감소시킨다.



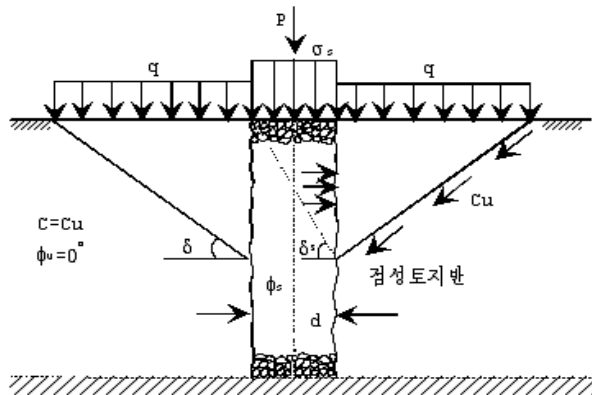
2. Stone Colum 지지력 (원리)

① 지지력 증진

: 스톤 칼럼의 극한지지력(σ_s) : 3차원 수동토압이론을 적용

$$\sigma_s = c_u \left(\frac{q}{c_u} + \frac{2}{\sin 2\delta} \right) \left(1 + \frac{\tan \delta_s}{\tan \delta} \right) \tan^2 \delta_s$$

여기서, σ_s : 스톤칼럼 초기 극한 지지력 q : 상재하중
 c_u : 원지반 비배수 전단강도 δ : 원지반 전단파괴면의 각
 δ_s : 스톤칼럼 전단파괴면의 각



스톤칼럼 지지력 개념도(Brauns 1978)

3. Stone Columne의 복합지반 압밀침하

① 평형이론에 의한 방법(압축지수에 의한 방법)

㉠ 응력분담비 $n = \sigma_s / \sigma_c$

㉡ $\sigma_c = \mu_c \sigma$

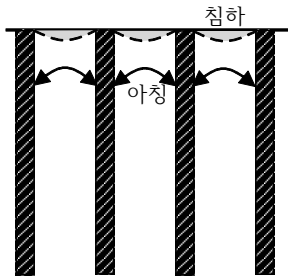
㉢ $S_t = \left(\frac{C_c}{1 + e_o} \right) H \log \left(\frac{P_o + \sigma_s}{P_o} \right)$

㉣ $\frac{S_t}{S} = \frac{\log \left(\frac{P_o + \mu_c \sigma}{P_o} \right)}{\log \left(\frac{P_o + \sigma}{P_o} \right)}$

여기서 P_o 가 매우 크고 상대적으로 σ 가 작으면

㉤ $\beta = \frac{S_t}{S} = \mu_c \quad \therefore S_t = S \mu_c$

※ 침하저감 : 아칭에 의한 침하저감



$S = \mu_c \cdot S_c$

여기서, S : 스톤칼럼 시공후 발생침하량

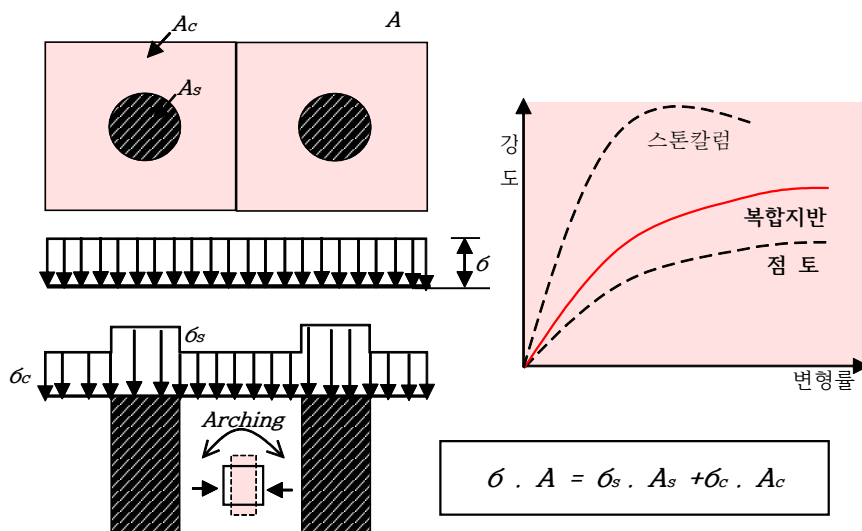
μ_c : 응력저감계수

S_c : 스톤칼럼 무시한 계산 침하

제 유한요소 해석, 자

4. 지지력 및 압밀침하저감을 제외한 기타 기능

㉠ 복합지반 지지력 : 지반보강 효과



㉡ 배수효과 : 지진등으로 발생한 과잉간극수압 신속 배수 가능

① 배수재 선택시 고려사항

㉠ (배수재의 투수계수 > 200 주변지반의 투수계수) : 동수경사발생 조건

㉡ 배수재의 입도크기는 막힘을 방지할 수 있을 만큼 작아야 한다.

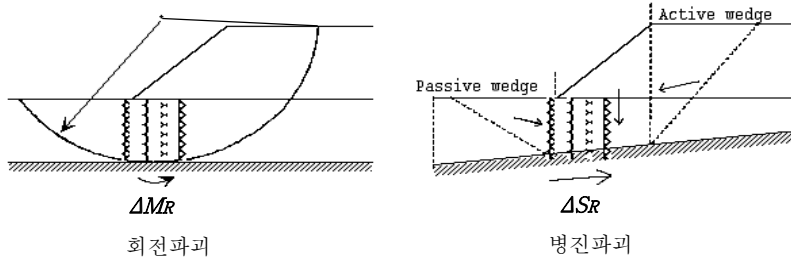
$$20D_{s15} < D_{G15} < 9D_{s85}$$

여기서, D_s : 주변흙의 유효입경
 D_G : 쇄석의 유효입경

- ② 쇄석의 최대 골재치수 : 설계직경 또는 토질특성, 연경도 고려 결정
 원칙적으로 VCP : 25mm 이하, VCCP : 40mm 이하를 사용하여야 한다.

3 사면안정

- ① 회전파괴(Rotation Failure)와 병진파괴(Translation Failure)로 나누어서 계산
- ② 사면 파괴 형상에 따라 스톤 칼럼은 추가적인 저항력과 모멘트를 부여한다.

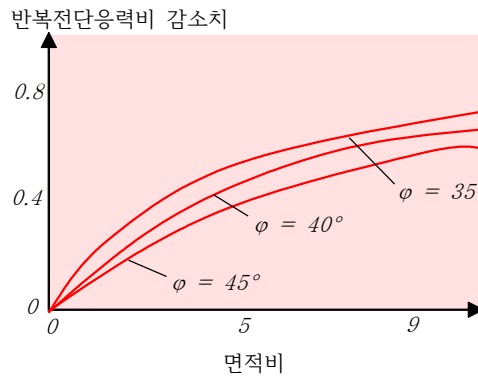


4 액상화 예방

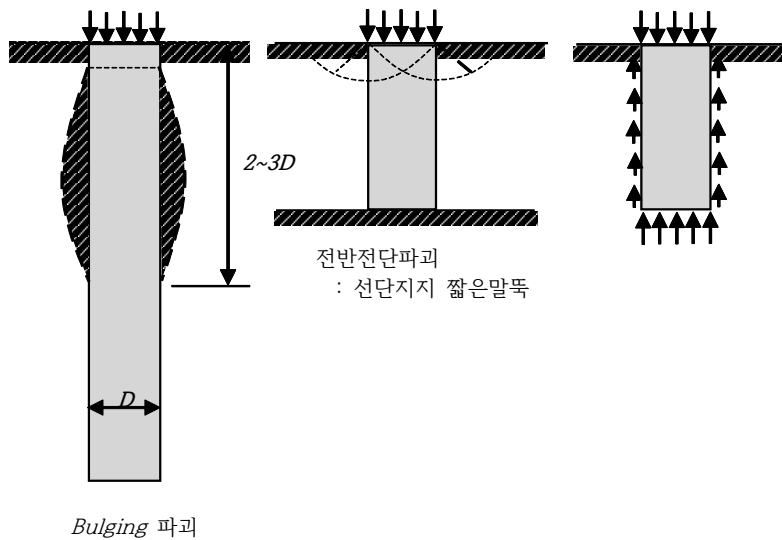
: 쇄석치환에 의한 면적비와 쇄석 마찰각에 따라 전단응력비 감소로 액상화에 대한 안전을 향상

$$F_s = \frac{R}{L}$$

여기서,
 R : 지반내 반복 전단강도비
 L : 지반에 작용하는 등가전단응력비 (반복전단응력비)



5. 쇄석기둥의 파괴형태



- 1 말뚝길이가 말뚝직경의 2~3배 이상 되는 길이가 긴 쇄석기둥의 경우는 팽창파괴(bulging failure)가 일어난다.

- ② 쇄석기둥의 선단이 단단한 지지층에 지지된 길이가 짧은 기둥은 지표면 부근에서 전단파괴(shear failure)가 일어난다.
- ③ 쇄석기둥의 선단이 연약층 내에 있고 짧은 경우는 관입파괴(punching failure)가 일어난다.

6. 평 가

- ① 자연골재 부족에 대한 대체공법으로 경제적인 공법으로 평가됨.
- ② 외국의 경우 시공사례와 설계경험이 풍부하나, 우리 나라의 경우 공법의 설계 기준도 없으며, 스톤 칼럼의 개량효과가 원 지반의 특성에 따라 많은 영향을 받음에도 불구하고 이에 대한 명확한 규정이 없기 때문에 실무에서의 활용 및 적용성이 거의 없는 실정이다.
- ③ 따라서 다양한 시공실적과 설계경험을 축적해야 할 필요성이 절실하며
- ④ 개량효과 검증을 위한 연구와 시험이 필요함.

문제 5. 암석의 취성파괴(Brittle Failure)와 연성파괴(Ductile Failure)를 응력 - 변형률 관계로 부터 설명하시오

1. 개요

- ① 지하암반은 초기지중응력을 받게되며 지중에 새로운 구조물이 축조되면 응력의 변화가 생기게 된다.
- ② 이때 암석은 구속응력의 조건에 따라 취성파괴 또는 연성파괴현상을 보이게 된다.

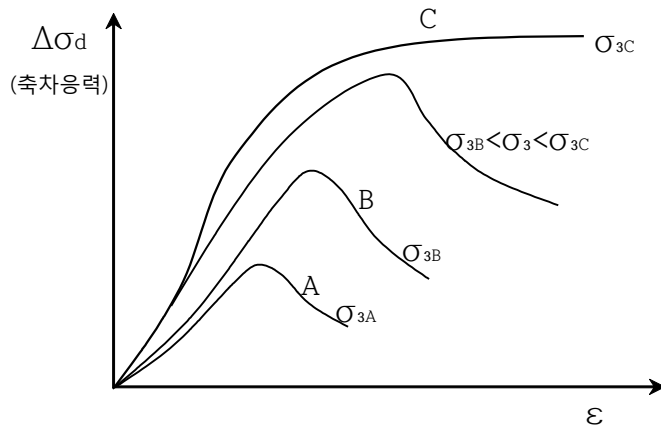
2. 구속응력의 영향에 따른 응력 - 변형률 특성

① 취성파괴 거동

- ① 삼축압축시험에서 $\sigma_3 = 0$ 인 경우가 일축압축강도인 것처럼 구속압력이 작은 작은 경우는 콘크리트와 같은 취성파괴가 암반에서도 발생한다.
- ② 즉, 암석은 완전히 쪼개지어 급격하게 응력이 감소하게 된다.

② 연성파괴 거동

- ① 취성파괴와 반대로 구속압력 를 크게 가하고 축차응력으로 시편을 파괴시키는 경우 가 크면 클 수록 연성(ductile)경향을 보인다.
- ② 즉, 파괴후에도 상당한 잔류강도를 갖게 된다.

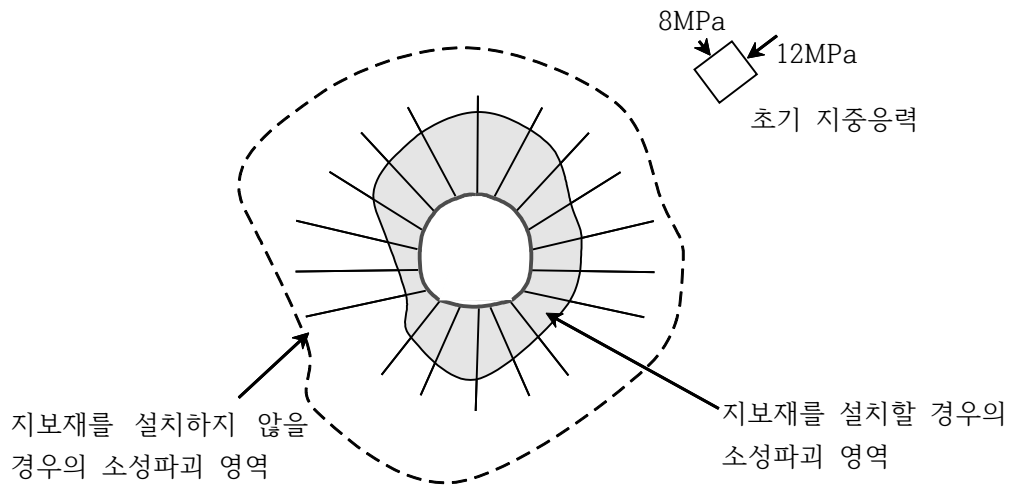


3. 취성파괴 방지를 위한 터널의 보강

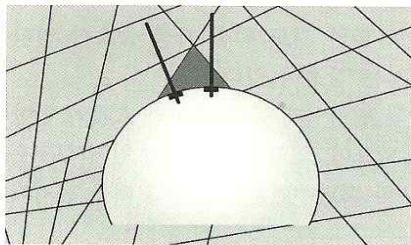
① 터널의 보조공법

천단안정	막장안정	지 수	배 수
Fore poling	막장면 슛크리트	LW	선진수발공
Root pile	막장면 록볼트	SGR	선진보링공
Pipe Roof	주입공법	우레탄	웰포인트
Soil Nailing	가 인버트	압기	딤웰
강관다단 Grouting	지지코아	동결	
주입공법		지중연속벽	
: JSP, SIG, LW			

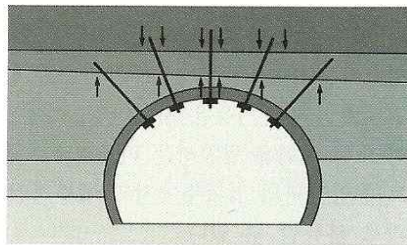
② 연성파괴 거동을 통한 잔류강도 확보



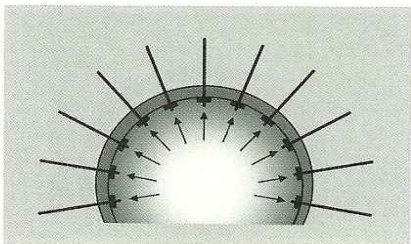
- ① 만일 터널에 아무런 지보재도 설치하지 않는다면 암반의 소성영역이 확대되어 불안하게 된다.
- ② 그림과 같이 록볼트로 지보재를 보강하게 되면 터널 내부로 부터 내압효과가 발휘되어 강도가 증가하고 소성파괴 구역이 대폭 감소하게 된다.
- ③ 볼트의 길이는 영향을 받지 않는 구역까지 길게 설치하되 매다는 효과를 가질때 까지 최소한의 길이는 확보되어야 한다.



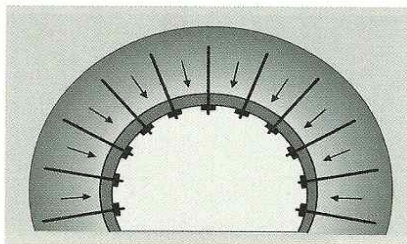
(a) 통합효과



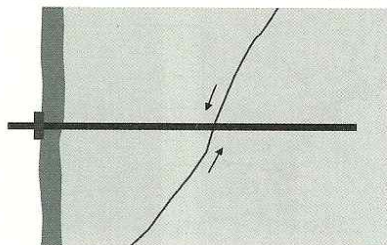
(b) 보형성효과



(c) 내압작용효과



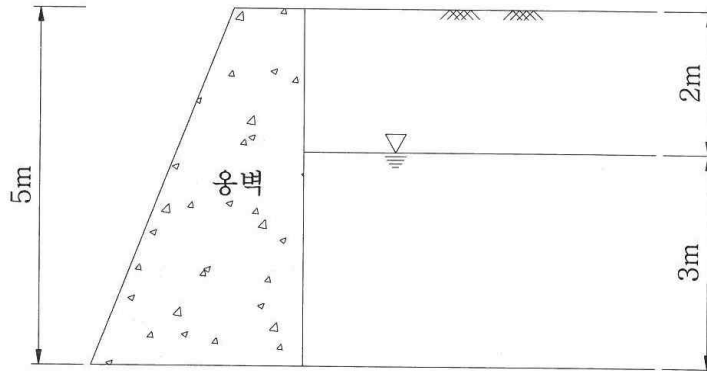
(d) 아치형성효과



(e) 지반보강효과

문제 6. 그림과 같이 모래로 뒤채움 한 높이 5.0m인 옹벽의 지표면 하부 2.0m에 지하수위가 위치한다.(뒤채움 모래의 강도정수는 $\phi=\phi'=30^\circ$, $c=c'=0$ 이다. 지하수위 상부 흙의 단위중량 $\gamma_t = 15\text{KN/m}^3$ 이고 지하수위 하부 포화단위중량 $\gamma_{\text{sat}} = 20\text{KN/m}^3$ 이다)

- (1) 옹벽배면에 작용하는 주동토압, 수압과 그 합력을 Rankine 토압이론을 이용하여 계산하고 지하수위가 없는 경우를 가정하여 합력의 크기를 비교하시오
- (2) 옹벽 설계에서 지하수를 고려하는 방법을 설명하시오
- (3) 뒤채움 흙의 종류별로 지하수 처리대책을 설명하시오



1. Rankine의 토압론

① 기본 가정

- ① 흙은 비 압축성 = 균질 = 등방
- ② 파괴면은 2차원적인 평면임
- ③ 지표면(배면)은 무한히 넓게 존재한다.
- ④ 3 형의 토압이며 토압은 지표면과 평행하게 작용한다.
- ⑤ 벽 마찰각은 무시함(흙 입자간의 마찰력에 의해서만 평행유지)
- ⑥ 지표면에 작용하는 하중은 등분포하중이다. (선하중, 대상하중, 집중하중 등 은 Boussnisq의 지중응력 계산법 등으로 별도 해석한다)

② 주동토압의 정의

벽체가 횡방향의 압력으로 회전하거나 움직여 뒷 채움 흙이 팽창되면서 파괴가 될 때를 주동상태라 하며 주동상태 때의 토압을 주동토압이라고 한다.

② 주동토압계수 : 주동상태 때의 연직응력에 대한 수평토압의 비로서 다음과 같음.

$$K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

여기서, ϕ : 전단저항각

③ 토압의 크기

① 단위 주동토압

= 임의깊이 에서의 주동토압

$$p_a = \gamma \cdot z \cdot K_a - 2c \sqrt{K_a} \quad (\text{t/m}^2)$$

② 전 주동토압

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a - 2cH \sqrt{K_a} \quad (\text{t/m})$$

※ 전 주동토압의 크기 : 단위 주동토압을 밑변으로 한 삼각형의 면적과 같음

2. 지하수위 존재시 옹벽배변에 작용하는 주동토압, 수압과 지하수위가 없는 경우 비교

① 지하수가 있는 경우의 토압분포

① 개요

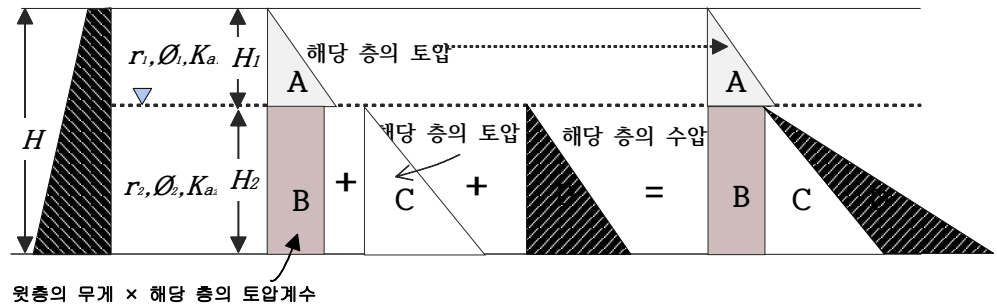
지하수위가 있는 경우의 토압도 이질층의 경우와 마찬가지로 방법으로 수압을 추가로 고려하여 적용하면 된다.

② 해석 절차

㉠ 최상층의 흙은 보통 토압의 계산과 같이 한다.

㉡ 그 아래층의 흙은 윗 층 흙의 무게를 상재하중으로 간주하여 토압을 구한다.

㉢ 여기에 지하수에 의한 간극수압은 등방이므로 토압계수와 관계없는 수압을 적용한다.



지하수위가 있을 때의 토압분포도

③ 토압의 크기

㉠ 토압계수 $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{30^\circ}{2} \right) = 0.33$

㉡ 지하수위 윗 층 흙의 토압 (A)

$$P_{a1} = \frac{1}{2} \cdot K_{a1} \cdot \gamma_1 \cdot H_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.33 \cdot 15 \cdot 2^2 = 9.9 \text{ KN/m}$$

㉢ 지하수위 위 흙의 무게에 의한 아래 층 흙의 토압(B)

$$P_{a2} = K_{a2} \cdot \gamma_1 \cdot H_1 \cdot H_2 = 0.33 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 3 = 29.7 \text{ KN/m}$$

㉣ 지하수위 아래층 흙에 의한 토압(C)

$$P_{a3} = \frac{1}{2} \cdot K_{a2} \cdot \gamma_{sub} \cdot H_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.33 \cdot 5 \cdot 3^2 = 7.425 \text{ KN/m}$$

※ 수압을 별도로 고려하므로 수중단위중량 즉, 유효응력에 의한 횡 방향 토압 적용

㉤ 지하수위에 의한 수압 (D)

$$u = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2 = 45 \text{ KN/m}$$

$$\therefore \text{전체 주동토압 } P_a = \text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D}$$

$$= P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + u = 9.9 + 29.7 + 7.425 + 45$$

$$= 92.024 \text{ KN/m}$$

② 지하수위가 없는 경우의 토압분포

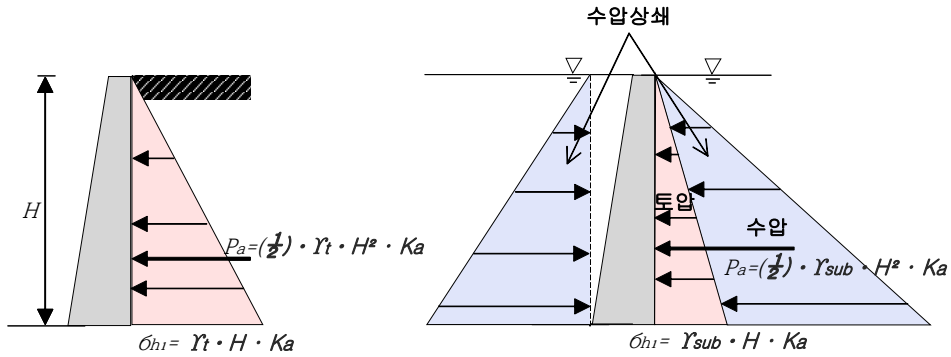
$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_1 \cdot H^2 = \frac{1}{2} \cdot 0.33 \cdot 15 \cdot 5^2 = 61.875 \text{ KN/m}$$

③ 토압비교 : 지하수위 고려 토압 92.024 KN/m > 지하수위 배제 토압 61.815 KN/m

3. 지하수위를 고려한 옹벽의 설계

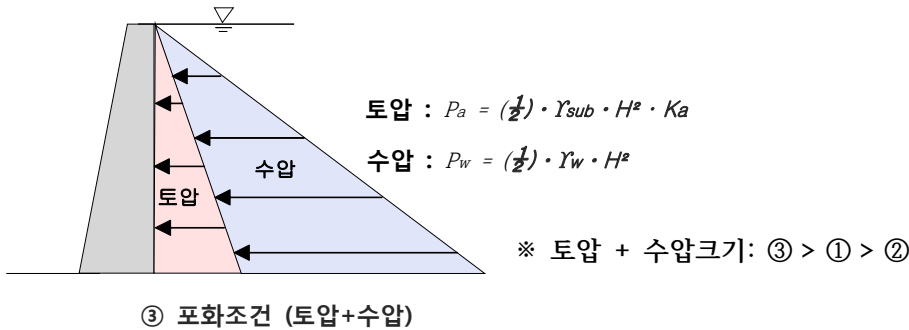
① 벽체에 작용하는 압력은 수압과 토압의 합력이 작용되므로 최대한 수압을 줄일 수 있도록 배수대책을 강구하여야 한다.

② 수위 조건별 토압분포



① 건조 조건

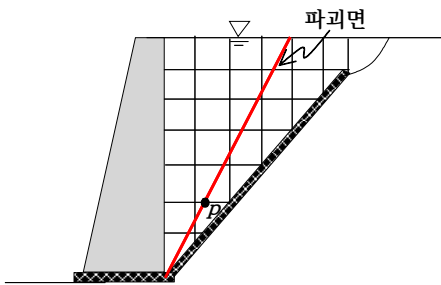
② 수중조건



③ 포화조건 (토압+수압)

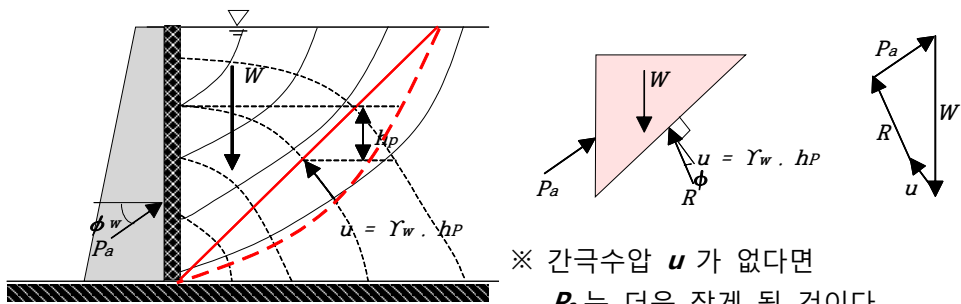
③ 배수처리 설계 비교

① 경사 배수



- ① P 점의 수두계산(H_p)
 - 전수두 $H_t = (2/6)H$
 - 위치수두 $H_e = (2/6)H$
 - 압력수두 $H_p = H_t - H_e = 0$
- ② 수압 = $\gamma_w \cdot H_p = 0$
- ② 토압 = $P_a = (\frac{1}{2}) \cdot \gamma_{sat} \cdot H^2 \cdot K_a$

② 연직 배수



④ 설계시 고려사항

- ① 옹벽배면의 수위조건에 따라 옹벽은 토압이외에 수압이 추가로 발생하므로 원활 한 배수가 되도록 설계하므로써 옹벽의 안정성을 증가시켜야 할 것이다.
- ② 배수방법으로 연직배수와 경사배수가 있으며 이중 경사배수가 매우 효과적으로 간극수압의 발생 없이 배수기능을 발휘하나 실제 시공을 하기에는 매우 곤란한 면이 있음.

4. 뒷채움 흙의 종류별 지하수 처리대책

① 뒤채움 흙이 조립토일 경우

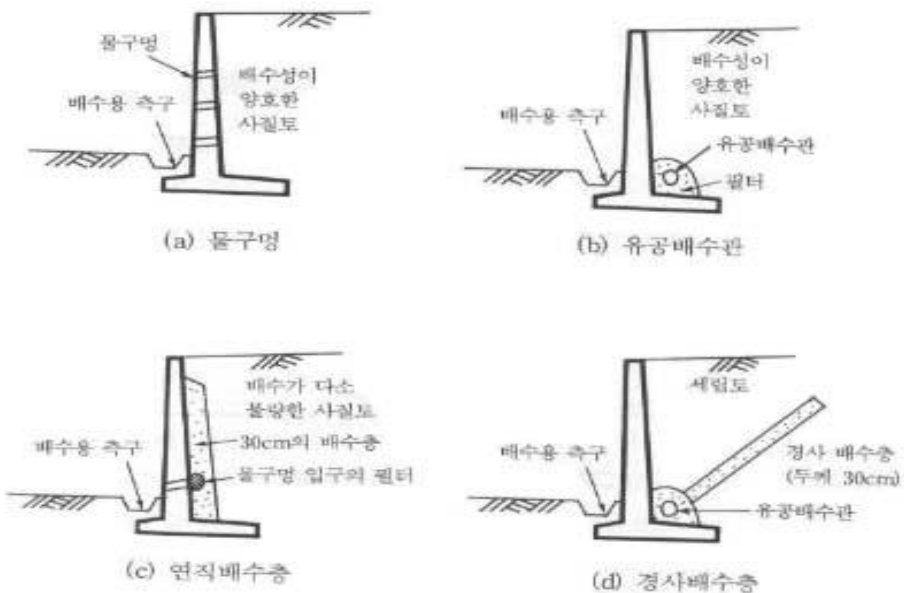
- ① 직경 6~10cm의 경질 염화 비닐관이나 기타내료로 형성된 물구멍(Weep hole)을 용이학 배수할 수 있는 높이에서 배수공의 면적을 합하여 2~4m²에 한 개씩 설치
- ② 부벽식 옹벽에서는 부벽사이에 한 구간마다 1개 이상 물구멍을 설치
- ③ 옹벽 뒷면의 물구멍 주변에는 필터역할을 할 수 있는 자갈 또는 쇄석을 채워서 토사가 물구멍을 막는 일이 없도록 한다.

② 뒤채움 흙이 세립토를 함유한 경우

- ① 배수시설과 함께 옹벽배면에 필터재를 그림 (C)와 같이 설치한다.

③ 뒤채움 흙이 세립토인 경우

- ① 필터역할을 할 수 있는 자갈 또는 쇄석의 배수층을 30cm 두께로 옹벽 뒤의 전면을 따라 설치하거나 경사지게 설치한다 (그림 c, d)
- ② 이때 뒤채움 흙에 대한 필터층으로서의 조건이 만족될 수 있도록 필터재 조성시 입도분포에 유의한다.
- ③ 만약 흙이 팽창성 점토질인 경우 침투수가 흙의 팽창을 유발 할 수 있으므로 원칙적으로 이러한 흙은 뒤채움재로서 좋지 않으나 만약 부득이 사용할 경우 이중의 블랭킷 배수시설(Blanket Drain)을 설치한다



4 교시

문제 1. 말뚝의 수평재하 시험방법 및 결과적용시 유의사항에 대하여 설명하시오

1. 개 요

외말뚝의 횡방향 허용지지력은 수평방향 재하시험을 실시하여 결정하는 것이 가장 바람직하며, 실제 구조물의 하중조건과 다른 경우에 그 결과를 적합한 방법으로 해석한다.

제 말뚝의 수평재하 시험을 실시할 수 없는 경우에는 지반반력법과 탄성해석법이 사용된다.

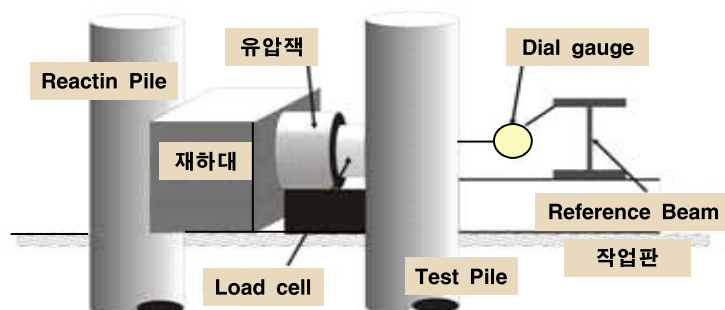
2. 수평력에 저항하는 말뚝의 조건

- ① 휨 강도 : 휨 응력보다 커야함.
- ② 말뚝두부 변위 : 허용변위 이내

3. 말뚝기초 수평방향 안정성 검토 방법

구 분		검 토 방 법
현장 수평재하시험		<ul style="list-style-type: none"> 실제규모의 실 재하 하중을 가하여 하중-변위 관계로 해석
해석적 검토	지지력	<ul style="list-style-type: none"> 말뚝에 작용하는 본당 최대수평력에 대한 지반의 반력과 말뚝의 강성을 평형조건으로 놓고 해석
	변 위	<ul style="list-style-type: none"> 기초저면으로 부터 $1/\beta$심도까지의 수평지반반력계수를 적용하여 말뚝두부에 작용하는 하중에 의한 탄성변위 산정
		<ul style="list-style-type: none"> 각 층의 응력-변형특성을 고려한 p-y 곡선을 작성하여 말뚝두부에 작용하는 하중에 의한 탄소성 변위 산정

4. 수평재하 시험 방법



- ① 말뚝의 수평재하시험은 시험말뚝 부근에 사하중 또는 중장비를 동원, 이를 반력으로 하여 유압 Jack 으로 하중을 가하거나

제 기 시공된 말뚝을 반력말뚝으로 동시에 시험하는 방법 등이 있다

5. 수평재하시험결과 적용시 유의사항

① 재하시험결과와 허용지지력 산정

- ① 근입길이가 긴 말뚝에서는 재하시험에 의해 지반이 소규모적인 파괴현상이 점진적으로 발생할 뿐이며, 전면적인 파괴가 일어나지 않는다. 그러므로 하중-말뚝머리변위 곡선은 항복하중이나 극하하중을 구하기 위한 것이 아니고 말뚝머리 변위량을 제한하기 위하여 사용한다.
- ② 재하시험에서 재하하중이 매우 클 경우 하중-말뚝머리변위 곡선에서 파괴하중을 추정할 수 있을 때가 있다. 이것은 말뚝의 꺾어짐 즉, 휨 파괴를 나타내는 때이다. 이러경우 휨응력 검토대신에 횡방향 허용지지력이 파괴하중의 1/3을 넘지 않는다는 조건으로 사용한다.
- ③ 재하시험에 있어서 파괴하중을 얻지 못할 때에는 최대시험하중을 파괴하중으로 보고 휨응력을 검토 한다.
- ④ 짧은 말뚝의 횡방향허용지지력을 구하기 위해서는 말뚝머리 변위와 휨응력검토외에도 전도에 대한 고려가 필요하다. 즉, 허용하중은 전도하중의 1/3을 넘어서는 안된다. 전도하중이 얻어지지 않을 때는 최대시험하중을 전도하중으로 본다

② 말뚝의 거동에 영향을 주는 요소 : 시험말뚝과 실제 말뚝조건이 일치하여야 한다.

- ① 말뚝의 강성
 - ② 말뚝폭
 - ③ 하중작용 높이
 - ④ 말뚝머리 고정조건
 - ⑤ 지반조건
 - ⑥ 하중의 성질
 - ⑦ 변단면 유무
- 0 국내의 경우 수평재하시험은 물론 허용수평지지력을 결정하는 기준이 명확하게 명시된 시방서는 없으나 말뚝의 수평허용지지력은 다음 두 가지 점을 만족하여야 한다.
- ① 말뚝에 발생하는 휨응력이 말뚝재료의 허용휨응력을 넘어서는 안 된다.
 - ② 말뚝머리의 변위량(휨방향 변위량)이 상부구조에서 정해지는 허용변위량을 넘어서는 안 된다.
- 1 결론적으로 수평재하시험의 허용수평지지력은 압축재하시험에서 처럼 항복하중이나 극하중까지를 구하지 않으며 말뚝 자유두부조건에서 시험을 시행하므로 고정두부조건으로 시공되는 경우에는 허용수평력은 수정 후 사용하여야 한다.

문제 2. 주변지형 및 민원 등의 영향으로 접근이 곤란한 계곡부에 계획한 터널의 경우 저토피 구간이 발생할 수 있는데 이에 대한 터널보강방법에 대하여 설명하시오

1. 개요

- ① 일반적으로 터널 갱구부, 터널 상단 토피 미확보구간(계곡부의 저토피 또는 상단부 노출구간), 터널 상부지층이 매우 불량하여 NATM굴착이 어려운 구간 및 편토압 작용 구간은 불가피하게 개착터널로 계획하게 된다.
- ② 이와 같은 보강구간은 보강곡법을 적용하여 NATM으로 계획할 수 있지만 실제 현장지반조건이 해석조건과 상이할 수 있고 시공시 예상치 못한 문제 발생에 따른 공바시 증가와 공기지연을 우려하여 국내에서는 설계 또는 시공경험이 풍부하지 못한 것이 현 실태이다.
- ② 터널굴착시 지반의 불균형, 조사 및 시험의 한계성 등 설계시 예상거동과 현저한 차이로 인해 터널 천단침하, 내공변위, 지표침하, 터널붕괴등이 발생할 수 있으므로 지상보강방안과 지표침하에 대한 원인과 대책을 기술하고자 한다.

2. 설계 및 시공시 고려사항

① 낮은 심도

- ① 높은수준의 터널안정 요구
- ② 공사중 발파로 인한 진동저감대책 강구
- ③ 운영중 열차진동
- ④ 장래 도시개발 근접시공

② 불량지반

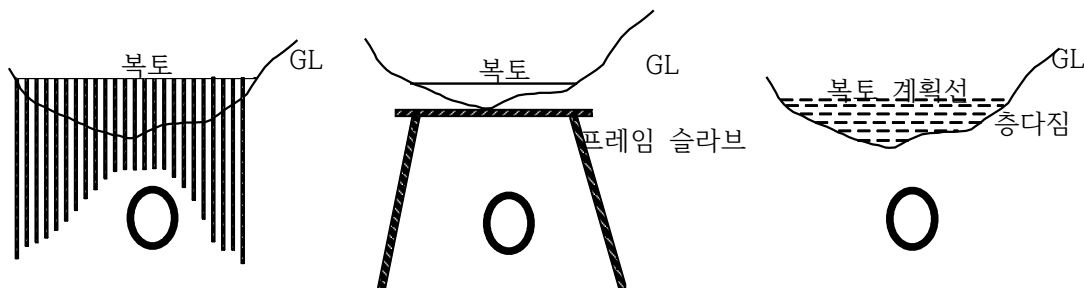
- ① 지하수위 저하로 인한 지표침하
- ② 굴착중 막장붕괴, 천단침하에 따른 침하검토

3. 지표침하의 원인

- ① 지하수 배제 : 유효응력의 증가로 인한 압밀침하 발생
- ② 막장자립성 불량
- ③ 소성영역의 증대
- ④ 지지력 부족

4. 대책

① 저토피 구간 지상 보강방안



① 복토 + 고압분사 방안

불량지층을 별도로 제거하지 않고 보강이 가능
그라우팅 보강이 균질하지 않을 경우 아칭효과를 발휘하지 못할 수 있음

② 프레임 슬라브

터널단면 고려시 슬라브 두께가 커져 비경제적임
슬라브 하부 불량토에 대한 별도 보강이 필요함
지형이 불규칙하여 시공성 저하

③ Soil Cement 복토

흙과 시멘트의 혼합과 층다짐 관리가 어려워 균일한 품질확보의 어려움이 예상됨
저토피 구간애 불량토 제거(층다짐 시공)에 한계가 있음

② 지하수에 대한 대책 : 약액주입공법

③ 막장자립성 불량 + 소성영역의 증대 방지

- ① 강관다단 그라우팅 ② 링컷, 분할굴착공법
- ③ Forepoling 공법 ④ Pipe Roof
- ⑤ 수발공 ⑥ 막장면 슛크리트
- ⑦ 1회굴진장 최소화(1m이내) ⑧ 천장부 차수 및 그라우팅

④ 지지력 부족에 대한 대책

- ① 상반측벽하부에 Elephant Foot를 설치
- ② 상반측벽에 앵커를 설치후 인장력 적용
- ③ 상반측벽하부에 지지말뚝 개념의 보강 그라우팅
- ④ 가인버트로 조기 링 폐합



갱내 보강의 종합적 대책

- ① 지지코아 ② 천단부 : 강관다단 그라우팅 ③ Forepoling ④ 확대기초
- ⑤ 양카 ⑥ 막장부 : GRP ⑦ 하반부 : 그라우팅 ⑧ 가인버트
- ⑨ 강섬유보강 슛크리트 ⑩ H-Beam 강지보 ⑪ 철근콘크리트 라이닝

문제 3. 압밀계수의 정의, 실내시험에서 압밀계수 결정방법 및 적용방법에 대하여 설명하시오

1. 정 의

압밀계수란 배수거리와 시간의 함수로써, 압밀진행의 속도개념으로 다음과 같이 표시한다.

$$C_v = \frac{T_v \cdot D^2}{t} \quad C_v = \frac{K}{\gamma_w \cdot m_v} = \frac{1+e_0}{a_v} \cdot \frac{K}{\gamma_w} \quad \text{단위 : cm sec}$$

㉔ 압밀계수에 대한 다른 표현

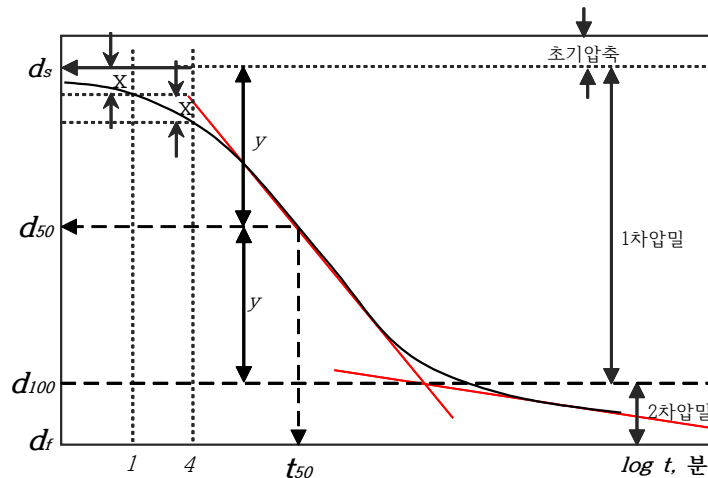
- ① 체적변화에 대한 속도 기울기
- ② 간극비에 대한 변화 속도
- ③ 간극수압의 소산을

※ Terzaghi압밀이론은 압밀 전 과정동안 압밀계수는 일정한 것으로 가정하고 있다.

2. 실내시험에서 압밀계수를 결정하는 방법

㉑ 압밀시험

① Log t 법(Logarithm of time fitting method) - Casagrande & Fadum

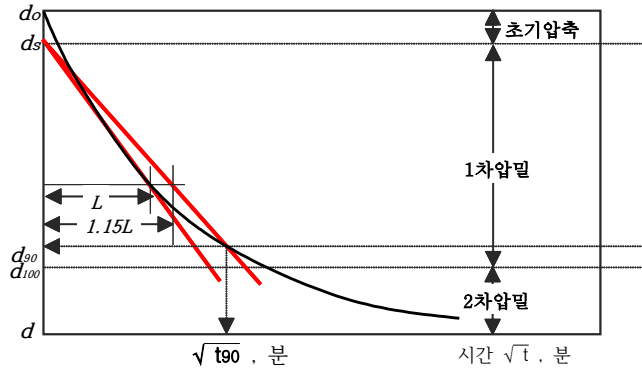


log t 법에 의한 시간-침하곡선

- ㉑ 가로축이 \log 스케일이므로 초기 0시간에 대한 최초의 침하량을 기록할 수 없으므로
- ㉒ 초기시간에 대한 압축량을 정하기 위해서는 보통 1분 정도의 시간을 기준으로 4 배정도 즉, 4 분에 해당하는 압축량의 차이만큼 기준한 압축량의 위로 점을 찍어서 수정 영점 ds 로 한다.
- ㉓ 시간-침하곡선에서 직선과 점근선과의 교점이 압밀도 100%인 ds_{100} 이고 ds 와 ds_{100} 사이의 거리의 반이 ds_{50} 이므로 이 값에 대응하는 t_{50} 과 압밀도 50%에 해당하는 시간계수 T_v 는 0.197 이므로 이들을 통해 압밀계수를 산출하면 다음과 같다.

$$C_v = \frac{T_{50} \cdot H^2}{t_{50}} = \frac{0.197H^2}{t_{50}}$$

② \sqrt{t} 법(Square root of time fitting method) - Taylor



- ㉠ 시간-침하곡선의 직선부분을 연장하여 세로축과 만나는 점을 ds 로 한다.
- ㉡ 접선 기울기의 $1/1.15$ 배 되는 직선을 ds 로 부터 긋는다.
- ㉢ 새로 그은 직선과 시간-침하곡선이 만나는 교점을 d_{90} 이라고 하며 압밀도 90% 에 해당하는 $\sqrt{t_{90}}$ 이며 이때 시간계수는 0.848 이므로 압밀계수를 산출하면 다음과 같다.

$$C_v = \frac{T_{90} \cdot H^2}{t_{90}} = \frac{0.848H^2}{t_{90}}$$

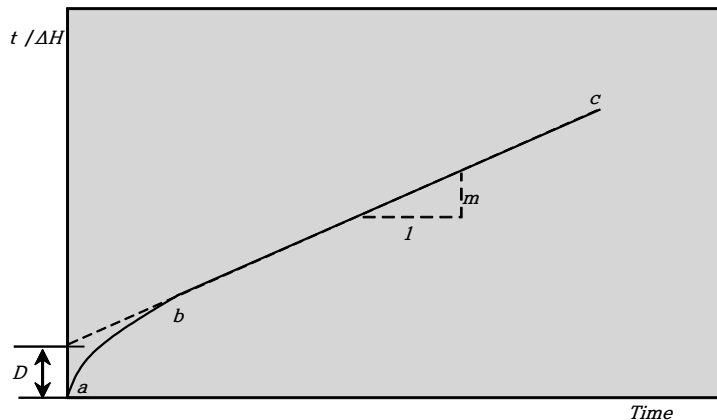
㉣ 투수시험과 압밀시험

$$K = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w \text{ 에서 } C_v = \frac{K}{\gamma_w \cdot m_v} = \frac{1+e_0}{a_v} \frac{K}{\gamma_w}$$

• 쌍곡선법(실내시험) : Rectangular Hyperbola Method

- ① 압밀시험 결과로부터 시료의 변형(ΔH)와 시간(t)를 구하여 그래프를 작도한다.
- ② 직선구간 bc 를 식별하여 점 d 까지 선을 그어 D 의 크기를 구한다.
- ③ 선 bc 의 경사도 m 을 결정한다.
- ④ C_v 는 다음식으로 산정한다.

$$C_v = 0.3 \frac{m \cdot H_{dr}^2}{D} \quad \text{여기서, } H_{dr}^2 : \text{압밀동안의 평균 최장 배수거리}$$



쌍곡선 방법을 통한 C_v 산정

쌍곡선법은 사용하기 매우 간단하며 보통 $U = 60\% \sim 90\%$ 에 잘 맞는다.

④ 콘 관입시험 이용 : 수평방향 압밀계수

$$C_h = \frac{T_h \cdot R^2}{t}$$

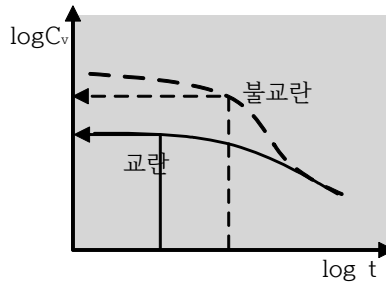
여기서, R : Piezocone 반경 T_h : 압밀도 50%일 때의 시간계수

⑤ 기타 : Dilatometer Test, Roew-cell 압밀시험

3. 실내시험으로 인한 압밀계수의 신뢰성 문제

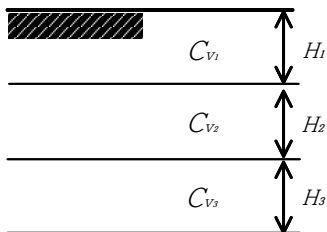
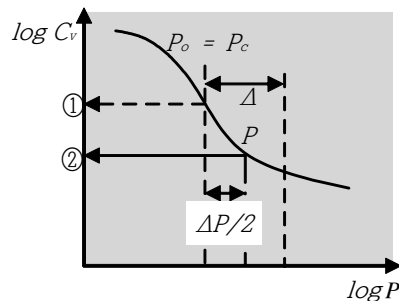
실내시험 압밀계수가 현장에서의 실제 압밀계수보다 작게 평가되는 이유는 다음과 같다.

- ① 채취시 시료의 교란으로 인해 실내시험 C_v 값 작게 평가 → 압밀시간이 큰 것으로 평가
- ② 층상지반의 경우 수평방향 투수계수가 실내시험보다 실제로 큼.
- ③ Sand seam 등 지반내 대표성의 문제



4. 대책

- ① $\log t$ 와 \sqrt{t} 에서 얻은 압밀계수의 평균 값을 사용
- ② P_c 값 이상 하중에서의 C_v 값 사용-지반 공학회
- ③ $P_o + \Delta P/2$ 의 C_v 값 사용
- ④ 지층별 평균 압밀계수 사용



$$H' = H_1 \sqrt{\frac{C_v}{C_{v1}}} + H_2 \sqrt{\frac{C_v}{C_{v2}}} + \dots + H_n \sqrt{\frac{C_v}{C_{vn}}}$$

여기서, H' : 압밀층 환산두께 C_v : 평균 압밀계수

5. 적용

① 압밀침하 소요시간 산정

$$t = \frac{T_v \cdot D^2}{C_v}$$

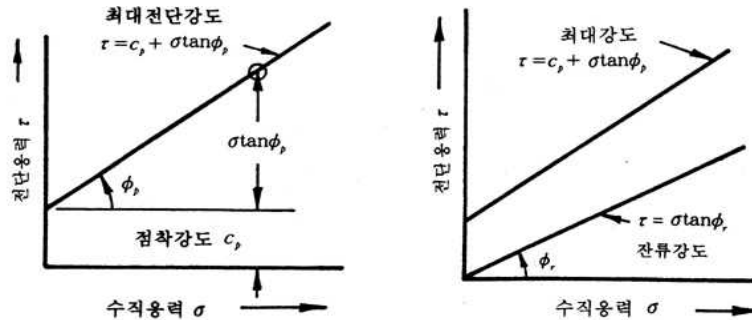
② 투수계수 산출 : $K = C_v \cdot m_v \cdot \gamma_w$

③ 다층지반 환산두께 산정

문제 4. 불연속면의 전단거동 특성모델중 Patton의 Bilinear모델과 Barton의 비선형모델의 평가방법 및 적용방법에 대하여 설명하시오

1. 불연속면의 전단강도 기본개념

① 서로 다른 수직응력에서 수행한 시험들로부터 얻은 최대전단강도(peak shear strength)값들을 구한다.



최대전단강도와 잔류전단강도

② 위 곡선은 대략 직선이며, 그 기울기는 최대 마찰각 ϕ_p 와 같고, 전단응력축상의 절편 c_p 는 결합 물질의 점착강도와 같으므로 다음과 같다.

$$\tau = c_p + \sigma \tan \phi_p$$

③ 수직응력에 대하여 잔류전단강도는 다음과 같다.

$$\tau = \sigma \tan \phi_r$$

④ 이 식은 결합물질이 점착강도를 모두 잃어버렸음을 보여준다. 잔류마찰각 ϕ_r 은 보통 최대마찰각 ϕ_p 보다는 작다.

2. Patton 식(1966)의 평가방법 및 적용성

① Patton은 규칙적인 틈니형태의 돌출부를 가지는 인공시편을 직접전단시험을 통해 이중선형 파괴포락선을 나타내는 전단모델을 제시함.

② 평가방법 : 2개의 직선식으로 표현(전이응력 기준)

① 낮은 수직응력의 경우 ($\sigma \leq \sigma_t$)

점착력이 없이 절리면의 돌출부를 타넘는 미끄러짐에 지배

$$\tau = \sigma_n \tan (\phi_b + i)$$

여기서, ϕ_b : 기본마찰각 i : 틈니의 경사각

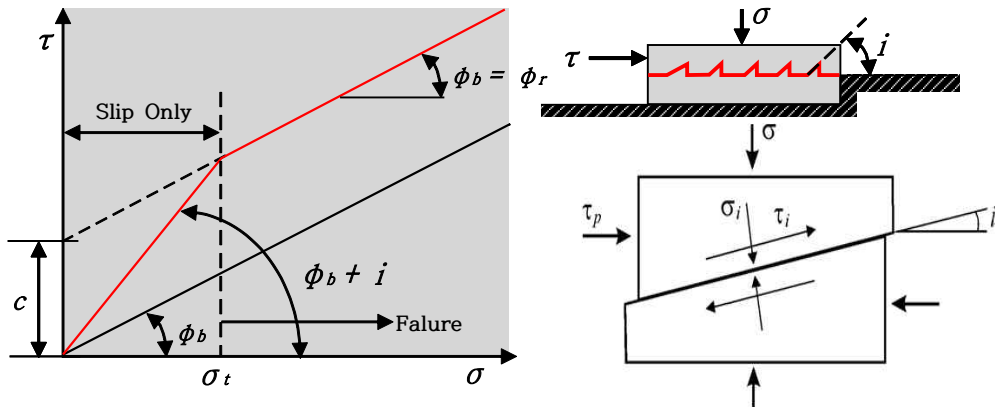
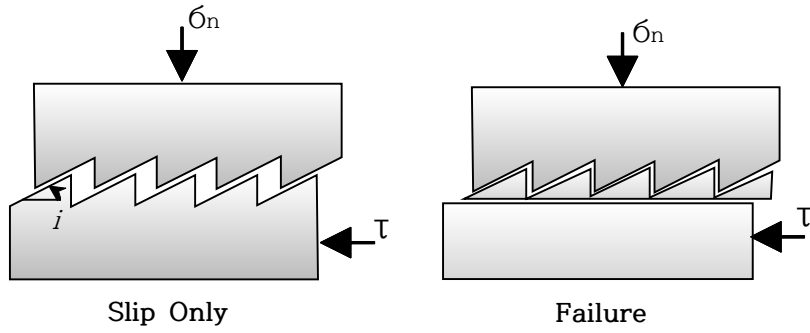
② 높은 수직응력하 ($\sigma > \sigma_t$)

돌출부가 전단파괴 되어 더 이상 전단저항에 기여하지 못함

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi_r \quad \text{여기서, } \phi_r: \text{암석 절리의 잔류마찰각}$$

③ σ_t 는 두 식의 경계를 나타내는 전이응력으로서

$$\sigma_t = \frac{c}{\tan (\phi_b + i) - \tan \phi_r}$$



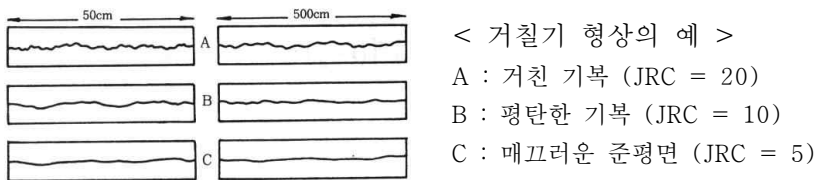
Patton의 이중선형 모델

③ 적용성

- ① 낮은 응력상태에서만 적용함.
- ② 불연속면의 재질에 대한 고려가 없음
- ③ 모암의 강도에 대한 고려가 없음
- ④ 톱니(Asperiti)형의 형태가 고른 불연속면에 대해서만 이론적으로 타당함.
- ⑤ speriti효과가 전이응력을 기점으로 사라진다는 것을 불합리한 가정이며, 실제로 이러한 전이는 점진적으로 발생하는 것이 보통이다.

3. Barton 식(1973)의 평가방법 및 적용성

- ① Patton(1966)의 모델은 실제 발생하는 불연속면간의 전단파괴 거동은 비선형 거동이므로 실제와 차이가 있으므로 실제에 부합된 비선형 거동에 유사한 경험 식 제안(인공적으로 만든 불연속면(톱니모양)에 대한 직접전단시험)



② Barton식의 평가

Patton의 식 $\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i)$ 에서 i 값이 일정하나 Barton 은 σ_n , 거칠기, 압축강도, 전단 저항각을 고려한 것으로 합리적임.

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\phi_b + JRC \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

여기서, τ : 전단강도 σ_n : 유효수직응력
 ϕ_b : 기본 마찰각(Basic Friction Angle)

톱(다이아몬드 절삭기)으로 자른 매끈한 평면에 대한 전단저항각으로 경사시험을 통해 미끄러 질때의 각이 기본 마찰각이 된다.

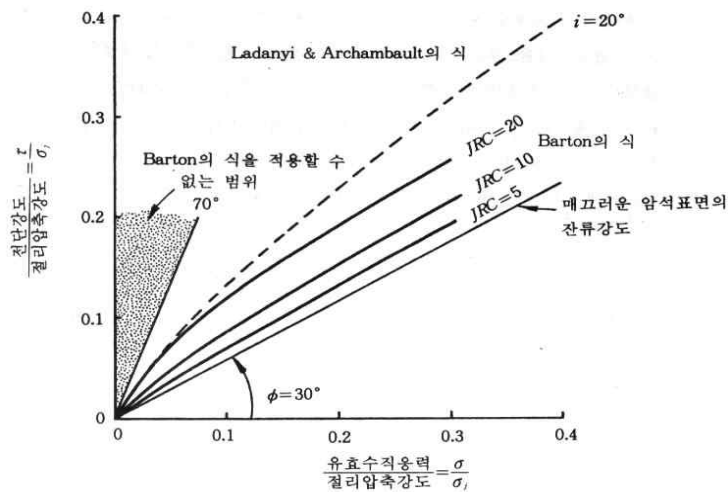
(불연속면이 풍화가 된 경우, 충전물이 존재하는 경우에는 기본 마찰각 대신 잔류 마찰각 적용 즉, 충전물의 물성에 지배)

암석에 따른 기본마찰각(ϕ_b)

암 종	현무암	역암	화강암	석회암	사암	세일	점판암
기본 마찰각	31~38	35	29~35	33~40	25~35	27	25~30

JRC : 불연속면의 거칠기 계수, 10등급으로 구분
(Joint Wall Roughness Coefficient)

JCS : 불연속면의 압축강도(Joint Compression Strength)
원칙적으로 코어를 채취하여 시험하여야 하나 실무적으로 어려우므로 점하중시험, 슈미트해머 시험을 통하여 구함.



③ Barton식의 적용성

- ① 바톤의 식은 수직응력의 증가에 따라 기울기(i)가 감소하는 비선형 형태를 보임.
- ② σ_j/JCS 가 0에 가까워짐에 따라 Log성분이 무한대로 발산하므로 유효마찰각의 최대치를 70°로 제한함.
- ③ 절리면의 거칠기, 재료자체의 마찰각, 수직응력, 절리면의 압축강도를 모두 고려한 것으로 현재 가장 널리 사용되는 이론임.

문제 5. 제방설계시 파이핑 정의, 발생원인 및 안정검토방법에 대하여 설명하시오

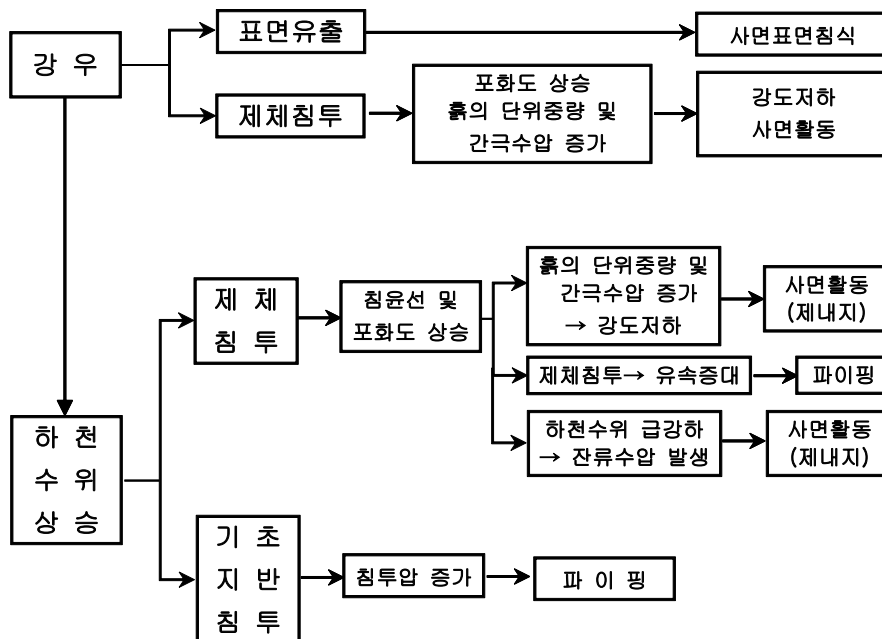
1. 제방에서의 파이핑의 정의

제방에서의 파이핑이란 제체내에서의 파이핑과 제체하부 기초지반을 포함한 파이핑으로 대별할 수 있다.

- 제 위 두가지 유형 모두 유로에 길이에 대한 전수두차가 커져 동수경사가 한계동수경사를 초월하여 발생하는 것으로
- 0 파이핑은 제체 하류면에서 발생하여 제체 상류면을 향하여 후진성 세굴 형태로 점진적으로 진행하며 결국, 유로가 짧아진 상태로서 전수두의 손실은 거의 없으나 유로의 급감으로 인해 동수경사가 급격히 커짐을 의미하므로 이에 대한 대책을 강구한 제방설계가 이루어 져야 한다.

2. 제방에서의 파이핑 발생원인

구분	제체	기초
생 원 인	부족	접촉불량 (제체와 기초)
	제 수압파쇄(부등침하)	제 투수층 존재
	0 다짐불량	0 파쇄대 존재
	1 Filter 설계 불량	1 Grouting 불량
	질 재료불량	질 누수 및 세굴
	토 제체균열	토 기초처리 불량
	구멍	



3. 안정검토 방법

① 한계 동수경사에 의한 방법

파이핑 현상을 일으키는 한계 동수경사는 아래식으로 계산한다. 이때, 파이핑에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 i_c 는 0.5~0.8로 본다. 침투류 해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수경사의 1/2이하가 되도록 해야한다.

① 전응력 $\sigma = h \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_{sat}$

② 간극수압 = 정수압 + 침투압 = $(h \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_w) + \Delta h \cdot \gamma_w$

여기서, Δh 는 유선망, 간극수압계로 구할 수 있으며 보통 침투압이 발생하는 범위인 근입깊이의 절반거리에 해당하는 널말뚝 저부의 평균 손실수두와 같은 것으로 가정한 것임.

③ 유효응력 = 전응력 - 간극수압 = $h \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_{sat} - (h \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_w) + \Delta h \cdot \gamma_w$
 $= z \cdot \gamma_{sub} - \Delta h \cdot \gamma_w$

④ 분사현상이 발생하기 위한 조건

유효응력 = 0 $\Rightarrow z \cdot \gamma_{sub} - \Delta h \cdot \gamma_w = 0 \Rightarrow z \cdot \gamma_{sub} = \Delta h \cdot \gamma_w$

⑤ 한계 동수경사

$$i_{cr} = \frac{\Delta h}{z} = \frac{\gamma_{sub}}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1+e}$$

⑥ 파이핑 대한 안전율

$$F_s = \frac{i_{cr}}{i} \geq 2$$

② 한계유속에 의한 방법

동수경사가 커지면 유속이 빨라지는데 파이핑이 발생하는 경계의 유속을 한계유속이라 한다

① 한계유속

㉠ $V_c = 5 \times 10^{-2} \times k^{\frac{1}{2}} \text{ (m/sec)}$

㉡ 입자의 지름과 한계유속 : 도표를 이용(Justin 방법)

입자의 지름(mm)	한계유속(cm/sec)
5.0	22.86
1.0	10.22
0.01	1.02

② 현재의 유속 : 동수경사를 구한다 \rightarrow 유출속도 \rightarrow 간극률을 고려한 침투속도

$$V = \sqrt{\frac{W' \cdot g}{A \cdot \gamma_w}}$$

여기서, V : 침투유속(m/sec)

W' : 토립자 수중중량(KN)

A : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적(m²)

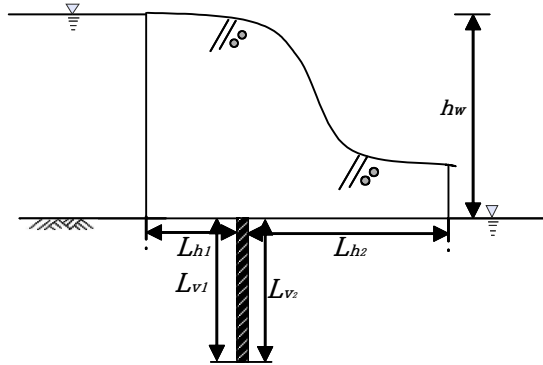
γ_w : 물의 단위체적중량(KN/m³)

g : 중력가속도(m/sec²)

③ 판정 : 현재의 유속과 한계유속을 비교하여 파이프링 판단

※ 실무에서는 유선망, 침투해석 프로그램을 이용하여 유속을 구함

③ Creep 比 法



$$C = \frac{\frac{\sum L_h}{3} + \sum L_v}{h_w}$$

※ C_r 값이 클수록 안전함

윗식에서 가장 짧은 유선이 45°보다 가파르다면 연직으로 간주하고 45°보다 완만하다면 수평거리로 간주하여 유선의 최소거리로 계산한다.

4. 평 가

① 댐, 하천제방의 제체 안정성

- ① 누수위치, 누수량 : 허용 누수량 이내 이어야 함.
- ② 간극수압 상승으로 인한 전단강도 감소
: 정상 침투시 하류측, 수위 급강하시 하류측 가장 위험
- ③ Piping 발생검토 : Creep 비, 한계유속, SEEP/W 해석

② 계측에 의한 역해석 시행

: 간극수압계, 지중경사계, 지하수위계, 전기비저항 탐사

문제 6. 경사지반상에 진동하중이 작용하는 기초를 설계하고자 한다. 단 지반조건은 GL.0.0M~−10.0M는 느슨한 사질토층, GL.−10.0M~−25M는 연약점토층, 이하 연암층으로 이루어져 있다. 다음 사항에 대하여 설명하시오

- (1) 조사항목 및 기초공법 선정방법
- (2) 설계 및 시공시 유의사항

1. 경사지반상 진동기초 설계시 조사항목

① 기계관련 자료 : 정하중 및 동하중의 크기, 방향, 위치, 작동 진동수 등

② 지반관련 자료 : 스프링 계수 및 감쇠계수를 산정할 수 있는 자료

① 실내시험

구분	시험법	이용	구분	시험법	이용
물리적 시험	입도시험	D_{10}, C_u, C_g	정역학적 시험	전단시험	c, ϕ, P, q
	비중시험	G_s, S, e		투수시험	K, i
	함수비	w		압밀시험	P_c, C_v, C_c, m_v
	밀도측정	γ_d		1축압축	q_u, S_t
	상대밀도	D_r		3축압축	C_{cu}, C_u, C_d $\phi_{cu}, \phi_u, \phi_d$
	Consistency	LL, PL, SL, PI, SI	동역학적 시험	초음파 시험	E, G, v
화학적 시험	PH	PH		공진주 시험	E, G, v, D
	염분농도	Leaching		반복삼축시험	E, G, D
				반복단순전단	E, G, D
				반복비틀림전단	E, G, D

② 현장시험

구분	시험법	이용	구분	시험법	이용
재 시험	PBT	$P-S, K, \epsilon, E$	시 채 료 취	불교란	전단, 압밀, 역학, 투수, 입도, 비중, <i>Atterberg</i>
	PMT			교란	
Sounding	SPT	N	동 시 적험	탄성파시험	E, G, v, D
	CPT	q_c		PS 검증	
	DCPT		지 구 층성	Boring	NX, BX, RQD, TCR
	FVT	BIPS			

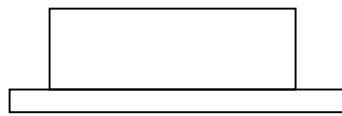
2. 진동기초 공법 선정방법

① 기초형식 선정시 고려사항

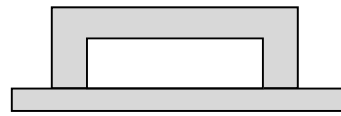
- ① 구조물의 특성
- ② 기계의 정하중과 동하중 특성
- ③ 지층의 구성상태
- ④ 지지층의 깊이

② 기계기초의 형식

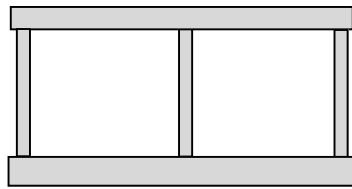
- ① 왕복형 및 충격형 기계 : 블록형 기초
블록형의 경우 기초 구조체의 큰 질량으로 인해 비교적 작은 고유진동수를 갖게 된다.
- ② 동적해석결과 상대적으로 큰 고유진동수가 요구 되는 경우 : 상자 또는 케이슨 형
- ③ 일반적으로 터빈 - 제너레이터 등 고속 회전형 기계 적용 : 복합뼈대형
- ④ 경량기계 : 매트형 기초



블록형



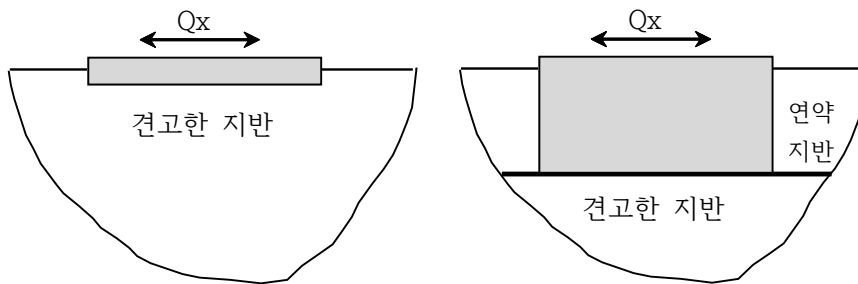
상자 또는 케이슨형



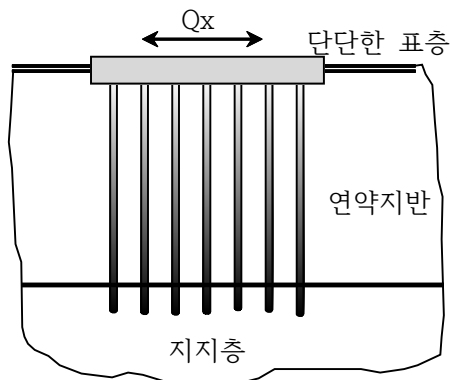
뼈대형

기계기초 형식

③ 기계기초의 분류



직접기초

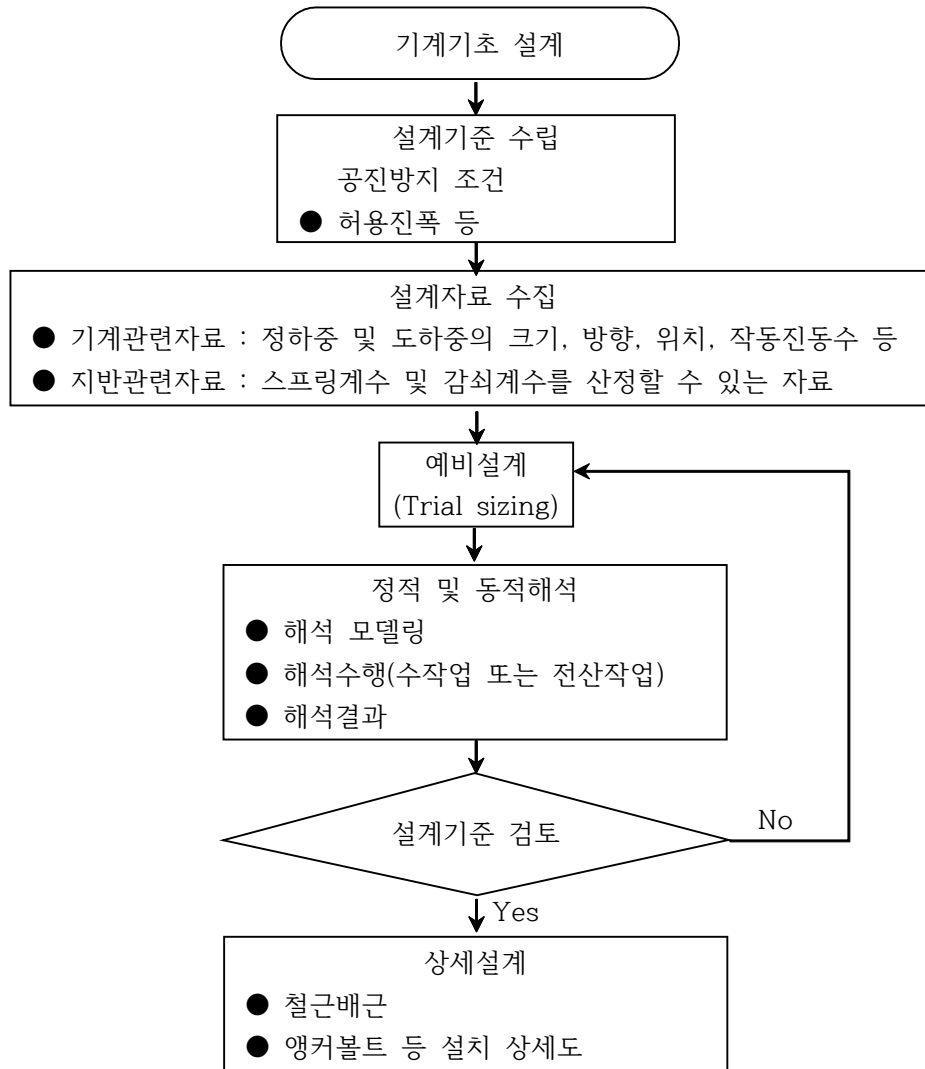


말뚝기초

- ① 하분지반조건이 양호하면 얇은기초 형식이 채택되고, 연약지반층이 두꺼우면 말뚝등 깊은 기초 형식이 채택된다.
- ② 기초형식은 주로 등하중보다 정하중에 의하여 결정된다.

3. 설계 및 시공시 유의사항

① 기계기초 설계절차



- ② 진동기계 기초는 우선 정하중에 대하여 안정하여야 한다.
진동기계 기초의 지반반력은 정하중에 대한 허용지지력의 80%이내로 한다.
- ③ 부등침하를 방지하기 위하여 모든 정하중의 무게중심을 통과하는 연직선은 기초 바닥면의 중심과 일치하거나 편심이 기초 평면치수의 5% 이내로 한다.
- ④ 진동기계 기초는 기계진동으로 발생할 수 있는 공진의 영향이 최소화 하도록 설계한다. 공진상태를 파악하기 위해서는 기계 - 기초 - 지반계의 고유 진동수를 결정한다 .
- ⑦ 기계기초의 진동해석
 - ① 기초지반에 상응하는 강성계수와 감쇠계수를 사용하여 진동해석을 실시하며, 해석결과 기계 작동 중 진폭은 허용기준치 이내로 한다.

- ② 진동형태가 독립적이지 못하고 다른 진동형태에 영향을 받아 합성 진동을 하는 경우 상호 영향을 고려하여 진동해석을 실시한다.
- ③ 기초의 근입깊이가 증가함에 따라 강성계수 및 감쇠계수가 증가하므로 근입깊이를 고려하여 보정된 강성계수 및 감쇠계수를 사용하여 진동해석을 실시한다.
- ④ 기계기초를 지지하는 지반이 불량한 경우 지반을 보강하거나 말뚝기초를 사용할 수 있다. 말뚝기초 설계는 말뚝-지반 체계의 고유 진동수를 평가하여 수행한다.

㉔ 허용진폭

- ① 허용진폭은 일반적으로 변위를 기준으로 하나 속도 또는 가속도를 적용할 수 있다.

㉕ 동적 지지력 및 침하

- ① 진동기계기초의 침하는 기초의 일반적인 허용침하기준과 기계제작사의 허용침하기준 이하가 되도록 설계한다.
- ② 심각한 진동조건에 대해서는 지반의 허용지지력을 정하중에 대한 허용지지력의 1/2로 감소하여 적용한다.
- ③ 느슨한 조립토는 진동에 의해 침하가 발생하므로 진동기계를 지지하기 위해서는 다짐을 하거나 또는 다른 방법에 의해 보강한다.