

제 109회 토질 및 기초 기술사 기출문제 해설

1교시

문제 1. 수정동결지수

1. 정 의

수정동결지수(frost index)는 동결관입 깊이를 산정하기 위한 대표적 척도로서, 대기온도의 강도와 지속기간의 누가영향(cumulative effect)으로 표시된다.

2. 수정동결지수의 산정

① 일 평균 기온의 누계를 매일 측정하여 적산기온의 최대치와 최소치의 차이를 θ 라고 하면 θ 에 해당 기간을 곱하면 동결지수가 된다.

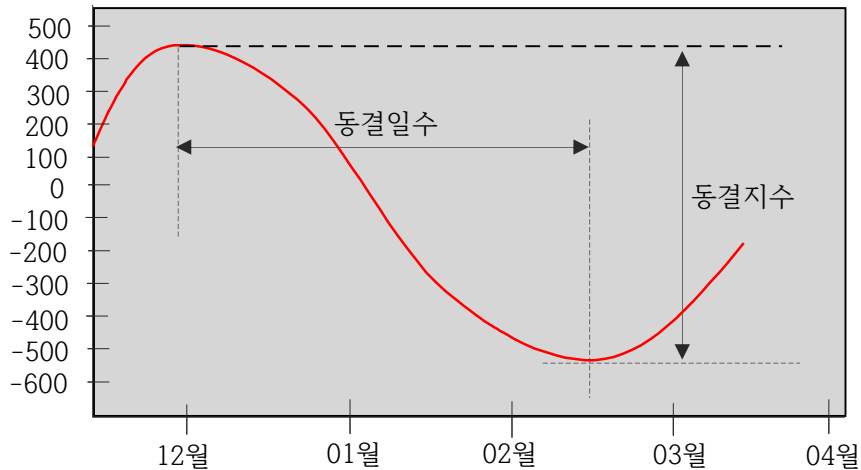
$$F = \sum(\theta \times t) \quad \text{단위 : } ^\circ\text{C} \cdot \text{day}$$

여기서, θ : 0°C 이하의 온도 t : 지속시간

② 수정동결지수

$$\text{수정동결지수 (} ^\circ\text{C} \cdot \text{day)} = F \pm 0.5 \times \text{동결기간} \times \frac{\text{표고차(m)}}{100}$$

일평균 기온의 누계
($^\circ\text{C} \cdot \text{day}$)



※ 동결지수의 결정은 대상 지역의 인근 측후소에서 관측한 30년간의 기상자료에서 추위가 가장 심하였던 3년간의 평균동결지수로 정한다. 만일 30년간의 기상자료가 없으면 최근 10년간의 최대동결지수를 실제 동결지수로 정함.

3. 동결심도 결정

지표면에서 동결선(지중온도가 0°C 가 되는 점을 이은선)까지의 깊이로 일본의 데레다 공식을 많이 이용한다.

$$Z = C \cdot \sqrt{F}$$

여기서, Z : 동결심도(cm) F : 동결지수(°C.day)
C : 햇빛이 쬐이는 조건, 토질, 배수조건 등을 고려하여 3~5의 값

4. 동상 방지대책

- ① 동결심도에 해당되는 토층을 조립토로 치환한다.
- ② 모관현상이 안 생기는 조립토로 차단층을 설치한다.
- ③ 지표면 위로 단열재로 덮는다.(석탄재, 코크스, 기타)
※ 지표에 가까운 부분에 전열재료를 매설하는 방법
- ④ 지표의 흠을 안정처리 : 시멘트, 석회, 역청제, 화학적 약품처리(CaCl_2 , NaCl , MgCl_2)
- ⑤ 지하수위 저하 : 배수구설치

문제 2. 벽개(Cleavage)

1. 정 의

결합력이 약한 방향이나 특정한 면을 따라 광물이 일정한 방향으로 쉽게 쪼개지는 성질이나 그 모양새로 광물을 감정하는 기준이 된다. 쪼개진 면을 벽개면이라 한다. 벽개는 얇은 판처럼 쪼개지는 저면벽개, 상자와 같은 모양의 육면체벽개, 피라미드 두 개를 붙여 놓은 듯한 팔면체벽개, 기울어진 상자 같은 능면체벽개와 여러 개의 작은 기둥으로 나타나는 주면체벽개가 있다.

2. 변성암의 성인

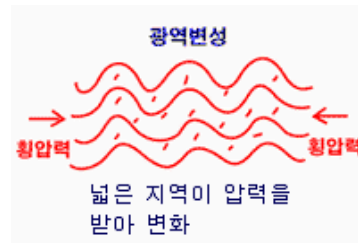
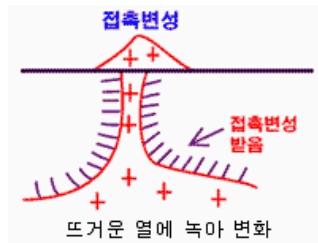
① 성인

① 접촉변성암(Contact metamorphism)

마그마의 열을 받아 국부적(200m~2km)으로 조직이 변하여 형성되며 광역변성 작용과는 달리 압력 보다는 주로 온도에 의한 영향만으로 암석에 영향을 미치므로 암석에 현저한 변형을 유발시키지는 않는다.

② 광역변성작용(Regional metamorphism)

지각의 압력과 온도에 의해서, 넓은 지역에 걸쳐 기존의 암석이 재결정되어 생성됨

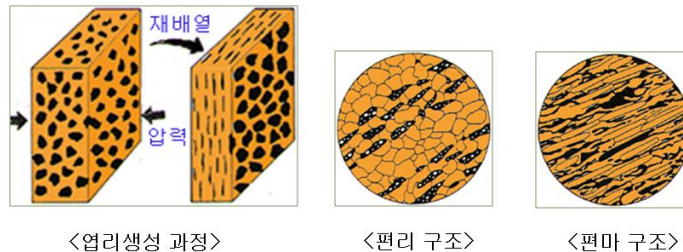


3. 벽개가 관찰되는 광역변성암의 특징

① 암 종 : 세립질 → 조립질 (점판암 → 천매암 → 편암 → 편마암)

② 엽리(foliation) : 변형작용의 결과로 암석내의 새로운 면구를 형성하는 것으로 서로 다른 방법으로 형성된 모든 면구조를 총칭하기도 함.

변성정도에 따라 벽개 → 편리 → 편마구조(변성정도 증가)로 분류



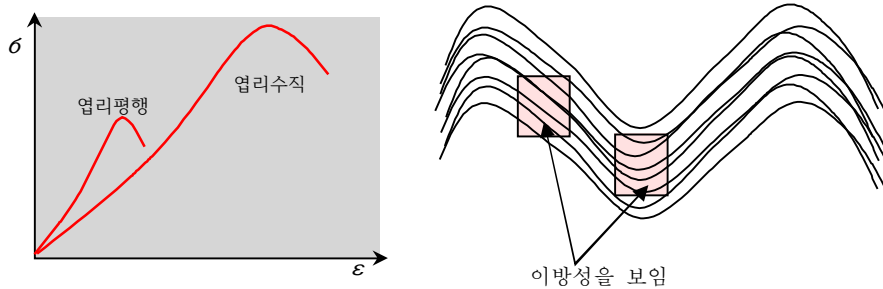
③ 벽개(Cleavage)

- ① 지층의 습곡이나 변형으로 형성되며 습곡과 같은 구조와 연관된다.
- ② 일반적으로 점판암이나 세일에서 관찰되며 방향은 층리와는 무관하다.
- ③ 광물은 벽개가 존재함으로써 이방성의 특징을 가짐

벽 개	발달형태		벽 개 방향수	예
탁 상			1	흑운모, 백운모
주 상			2	각섬석, 휘석
육면체상			3	암염, 방연석

④ 강도 및 변형 특징 : 엽리에 따라 이방성을 보임

- ① 엽리와 평행한 방향으로 하중을 가하면 강도는 떨어지나 변형계수가 크며
- ② 엽리와 수직한 방향으로 하중을 가하면 강도는 높아지나 변형계수는 작아짐



- ㉠ 엽리를 따라 풍화정도가 심할수록 이방성 영향이 커짐
- ㉡ 단층, 습곡의 발달이 심하며 암반사면 붕괴의 대부분을 차지하는 암석임.

문제 3. Quick Clay

1. Leaching

① 정 의

해성점토와 같이 염분등 이온을 함유한 지반이 용기되어 지표에 노출 후 강우 등으로 염기(이온)을 상실하여 결합력을 잃고 연약화 되는 현상을 말한다.

② 발생 원인

- ① 염분상실로 인한 점토입자의 결합력(인력) 상실(담수, 강우)
- ② 면모구조가 이산구조(점토의 이중층두께가 두꺼워짐)로 바뀜

④ Leaching 적용 토

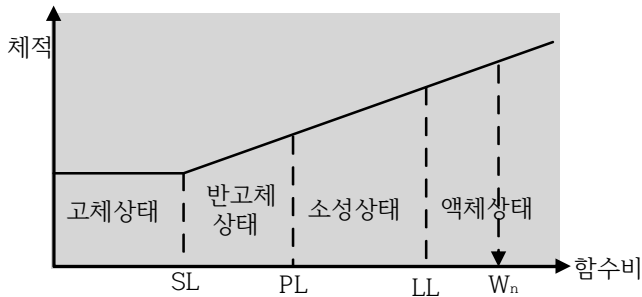
- ① 해성 퇴적토
- ② 준설토
- ③ 염기성 흙

※ 약액주입공법을 적용한 경우 지중에 지하수에 의한 Silica성분이 빠져나가는 현상을 Leaching이라함.

2. Quick clay

① 정 의

- ① 스칸디나비아, 캐나다 북부지역에서 관찰되며 본래 해저에서 퇴적된 점토가 용기된 후 담수로 인한 용탈현상으로 인해 함수비 변화와 교란에 의해 전단강도의 변화가 큰 흙
- ② 자연지반 함수비가 액성한계를 초과하는 흙



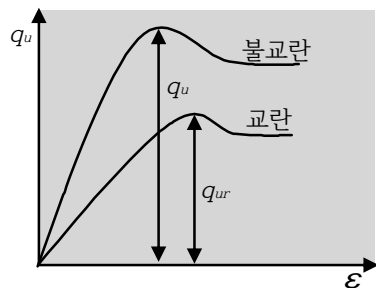
$$LI = \frac{W_n - PL}{PI} > 1$$

인 흙

② 판 정

① $S_t = \frac{q_u}{q_{ur}} > 8 \rightarrow \text{Quick clay}$

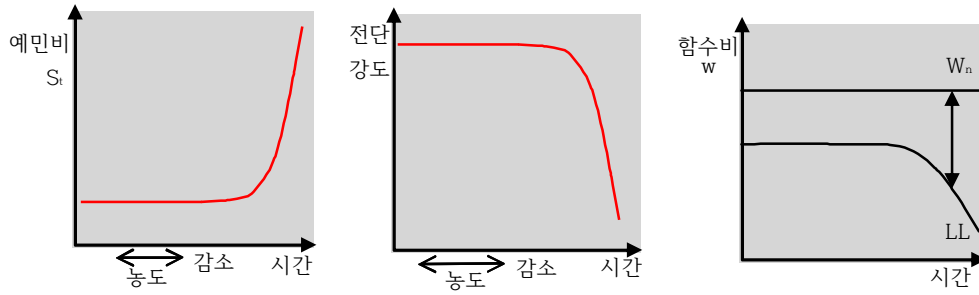
② $S_t = \frac{q_u}{q_{ur}} > 64 \rightarrow \text{Extra Quick clay}$



3 시 험

- ① 일축압축시험
- ② Aterberg 한계시험
- ③ Vane 시험

3. Leaching의 특징



문제 4. 제체수위 강하에 따른 간극수압비(Pore Pressure Ratio) \bar{B}

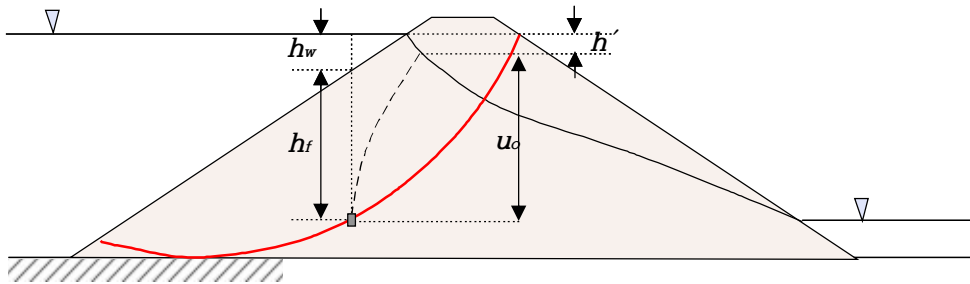
1. 정 의

- ① 균질한 흙댐에서 수위강하시 사면활동에 대한 안전률을 결정하기 위해서는 활동 면에 발생하는 전단강도를 산출하기 위해 유효응력 해석을 하게 된다.
- ② 대규모 흙댐에서 계산의 정도를 높이기 위해 유선망에 의한 간극수압의 결정이 합리적이거나 실용적인 견지에서 간극수압비를 활용한 간극수압의 결정방법으로 Bishop(1954)에 의해 제안된 다음의 방법으로 정의 됨

$$\bar{B} = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_i}$$

- 여기서, B : 간극수압비 (Pore pressure ratio)
 Δu : 수위 강하에 따른 간극수압의 변화량
 $\Delta \sigma_i$: 수위강하로 인한 전응력의 변화량

2. 간극수압비를 활용한 간극수압 결정



- ① 수위 강하전 활동면 임의 지점 간극수압 : $u_0 = \gamma_w (h_f + h_w - h')$
- ② 수위 강하후 활동면 임의 지점 간극수압 : $u = u_0 + \Delta u$
- ③ 여기서 간극수압비는 다음의 식으로 표현함

$$\bar{B} = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_i}$$

- 여기서, B : 간극수압비 (Pore pressure ratio)
 Δu : 수위 강하에 따른 간극수압의 변화량
 $\Delta \sigma_i$: 수위강하로 인한 전응력의 변화량(감소량)

- ④ $\Delta \sigma_i = -\gamma_w \cdot h_w \rightarrow \Delta u = B \cdot \Delta \sigma_i = -B \cdot \gamma_w \cdot h_w$ 이므로
 $u = u_0 + \Delta u = \gamma_w (h_f + h_w - h') - B \cdot \gamma_w \cdot h_w = \gamma_w (h_f + h_w (1 - B) - h')$
 ※ 위 식에서 수위강하후 간극수압은 간극수압비 B 에 의존함을 알 수 있다.

- ⑤ Bishop은 $B = 1$ 로 가정하고 $h' = 0$ 놓고 잔류간극수압을 구하여도 공학적으로 크게 문제가 되지 않으며 사면안전률에 있어서 간극수압의 산정이 정해보다 약간 크므로 안전측이고 실제와도 부합되므로 다음과 같이 계산된 u 를 사용한다.

$$u = \gamma_w \cdot h_f$$

3. 제체수위 강하시 사면안정 해석

① 유효응력해석 : 간극수압 측정 가능시

① 가상활동면을 따르는 간극수압

→ 유선망에 의한 방법, 실용적 방법 ($u = \gamma_w \cdot h_f$)

② 강도정수 : C', ϕ'

단위중량 → 침윤선 위 γ_t , 침윤선 아래 γ_{sat}

② 전응력 해석 : 간극수압 측정 곤란시

간극수압 미 고려, 강도정수 C_{cu}, ϕ_{cu} 사용

③ 간극수압의 측정 : 유선망에 의한 방법, 간극수압계 측정

문제 5. Köler의 근사해법

1. 개요

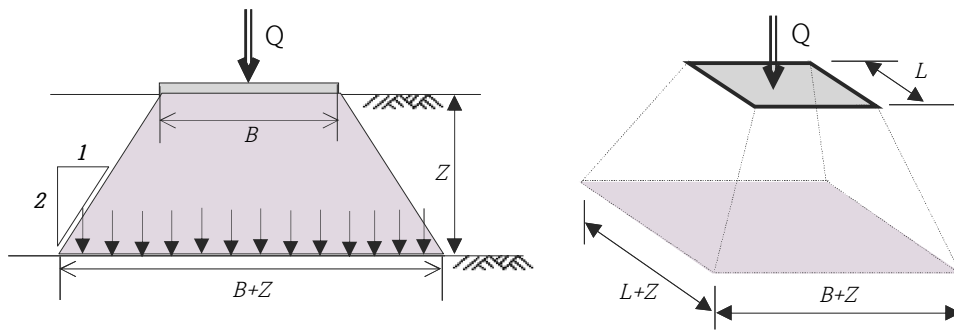
지표면에 하중에 대한 지중 임의요소에 대한 응력의 변화에 대한 이론은 탄성론에서 유도된 결과를 주로 이용하며 이는 흙이 등방성(Isotropic)이며 탄성(Elastic)이라고 가정한 이론이므로 실제 흙과 다른 가정이지만 실제 이론상 결과가 실제와 크게 어긋나지 않는다.

여기서는 지중응력의 산정법중 Köler의 근사해법을 기술하고자 한다.

2. 지중응력 산정의 간편법 (2:1분포법, Kögler 간편법, $\tan\theta = 1/2$ 법)

㉑ 2:1 분포법

지표면에 가해지는 하중의 단면은 구하고자 하는 지중에서는 더 넓게 분산되어 단위 면적당 하중이 감소할 것이라는 원리에 의해 지중으로 2:1기울기로 지중응력이 분포된다고 가정함.



지중응력을 계산하는 간편법

① 사각형 등분포 하중 연직응력 증가량 ($\Delta\sigma_v$)

$$\Delta\sigma_v = \frac{Q}{(B+Z)(L+Z)} = \frac{q_s \cdot B \cdot L}{(B+Z)(L+Z)}$$

② 대상하중(띠 하중) : $q_s \cdot B \cdot 1 = \Delta\sigma_v \cdot (B+Z)$

$$\therefore \Delta\sigma_v = \frac{q_s \cdot B}{(B+Z)}$$

㉒ 케글러(Kögler)의 근사해법

그림과 같이 연직하중이 연직면과 α 의 각도로 직선적으로 균일하게 분포된다고 가정하여 계산하는 방법으로 다음식으로 구한다.

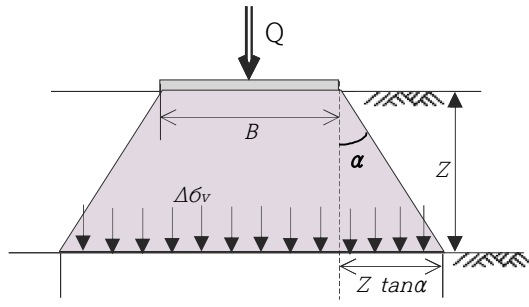
$$\text{사각형 등분포 하중} \quad \Delta\sigma_v = \frac{q_s \cdot B \cdot L}{(B+2Z \tan\alpha)(L+2Z \tan\alpha)}$$

$$\text{대상 등분포 하중} \quad \Delta\sigma_v = \frac{q_s \cdot B}{B+2Z \tan\alpha}$$

여기서, 지중응력의 분포각 α

보스톤 코드(Boston Code)법 : 30°

점성토지반은 45° , 모래지반에서는 30° 로 정함.



문제 6. 평균압밀도

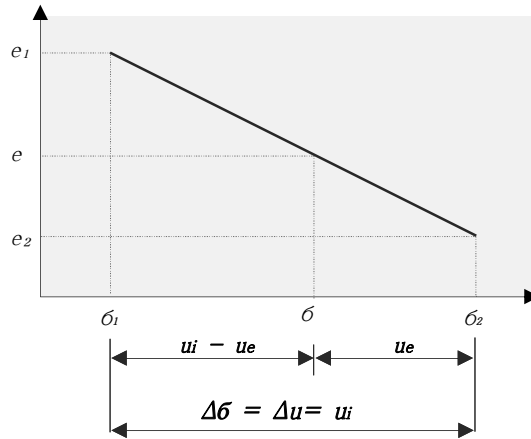
1. 압밀도(Degree of consolidation : U)

① 정의

지반내의 어느 깊이에서 요소에 대한 임의시간 t 경과 후 간극수압의 소산, 압밀의 진행정도를 백분율로 표시한 것.

② 과잉 간극수압의 소산정도 \Rightarrow 압밀도 산정

- ① 테르자기의 모델에서 언급한 바와 같이 포화점도에 가해진 하중은 재하초기에는 물이 다 받지만 압밀이 완료되면 과잉간극수압이 소산되므로 흙이 전부 받게 된다.
- ② 따라서 다음과 같이 표시 할 수 있게 된다.



$$U_z = \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} = \frac{\sigma - \sigma_1}{\sigma_2 - \sigma_1} = \frac{u_i - u_e}{u_i}$$

2. 평균 압밀도(Average degree of consolidation : \bar{U})

- ① 앞에서 구한 압밀도는 깊이별 압밀도로서 압밀의 대상이 되는 전체 토층의 압밀도가 아니므로 전체적인 침하량을 구하기 위해서는 평균압밀도가 필요하게 된다.

② 구하는 방법

- ① 적분방정식을 통한 평균압밀도 산정

$$\bar{U} = 1 - \frac{\int_0^{2H} u_e dz}{\int_0^{2H} u_i dz}$$

윗 식을 ②의 ④항식에 대입하면 다음과 같다.

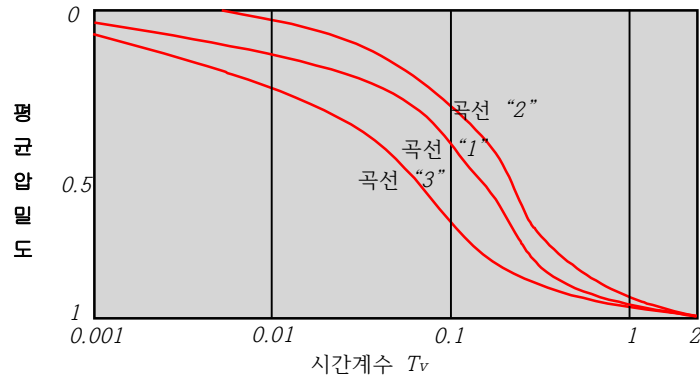
$$\bar{U} = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v}$$

- ② Terzaghi 시간계수를 통한 평균압밀도 근사식 (역산으로 구함)

$$0 < \bar{U} \leq 60\% : T_v = \frac{\pi}{4} \left(\frac{U}{100} \right)^2$$

$$60 < \bar{U} < 100\% : T_v = 1.781 - 0.933 \text{ Log } [100 - U(\%)]$$

③ 평균 압밀도 - 시간계수 곡선으로 부터 추정



※ 위 곡선 "1"은 다음식과 같다
$$\bar{U} = 1 - \sum_{m=0}^{m=\infty} \frac{2}{M^2} e^{-M^2 T_v}$$

④ 최종 침하량으로 부터 구하고자 하는 침하량의 비

$$\bar{U} = S_{ct} / S_c$$

여기서, U : 평균 압밀도 S_{ct} : t 시간에서의 침하량
 S_c : 최종침하량

⑤ 등시곡선으로 부터 평균압밀도 추정

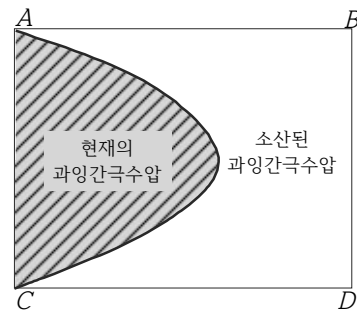
등시곡선이란 시간에 따라 변화되는 과잉간극수압의 크기를 깊이별로 나타낸 선으로서 같은 시간에 따른 깊이별 과잉간극수압의 크기를 연결한 선으로서 배수거리에 따라 다음과 같이 표시할 수 있다.

㉠ 압밀도

$$u_e = u_i - u_i \cdot U_z$$

$$= u_i \cdot (1 - U_z)$$

여기서, $U_z = 1 - u_e / u_i$



양면배수조건의 아이소크론

㉡ 등시곡선의 면적으로 구하면

$$\bar{U} = \text{소산된 과잉간극수압 면적} \div \text{전체면적}(ABCD \text{ 면적})$$

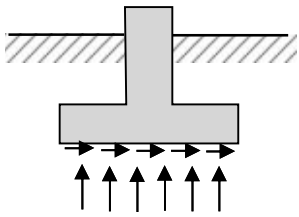
문제 7. 기초형식에 따른 지지메카니즘

1. 개요

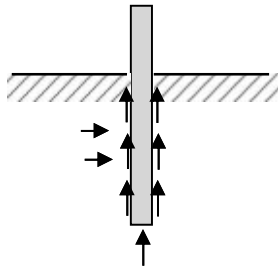
- ① 지지력이란 지반에 하중이 작용하면 소성영역이 확대되어 주응력이 회전하면서 전단파괴가 발생 할 때의 하중을 의미한다.
- ② 기초의 지지력은 기초의 형식에 따라 발생 메카니즘을 달리하며 달라지게 된다.

2. 기초형식에 따른 지지 Mechanism(원리, 개념)

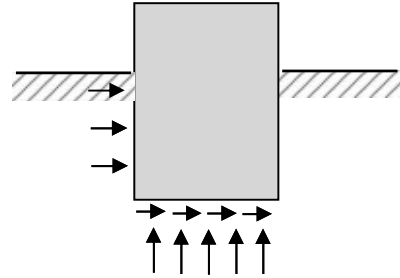
① 직접기초



② 말뚝기초



③ 케이슨 기초



구 분	직접기초	말뚝기초	케이슨 기초
수평지지	×	○	○
마찰지지	×	○	×
전단지지	○	×	○
연직지지	○	○	○

- 측면마찰 고려 기초 : 타입식 말뚝
- 측면마찰 무시 기초 : 직접기초, 케이슨 기초, 매입말뚝공법

문제 8. 유선망

1. 정의

- ① 유선망은 유선(Flow line)과 등수두선(Equipotential line)으로 이루어진 곡선군이다.
- ② 유선은 물이 지반내로 침투하는 경로의 경계이다.
- ③ 등수두선은 전 수두의 높이가 같은 위치를 연결한 선임.

2. 유선망의 특징

- ① 각 유로의 침투유량은 같다.
- ② 인접한 등수두선간의 수두차는 모두 같다.
- ③ 유선과 등수두선은 직교한다.
- ④ 유선망으로 되는 사각형은 이론상 정사각형이므로 유선망의 폭과 길이는 같다.
즉, 유선망의 각 사각형은 한 원에 접한다. (내접원을 형성한다)
- ⑤ 침투속도와 동수경사는 유선망 폭에 반비례한다($V = K \cdot i = k \cdot \Delta h / L$)

3. 유선망 작도의 기본원리

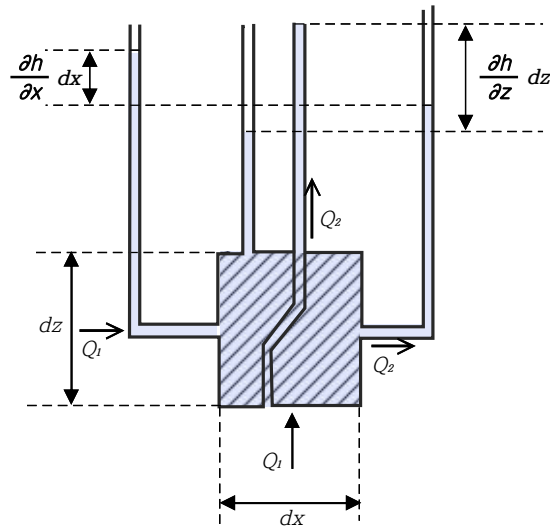
① 기본가정

- ① Darcy의 법칙은 정당하다.
- ② 흙은 등방이고 균질하다.
- ③ 흙은 포화되어 있고 모관현상은 무시한다.
- ④ 흙의 골격은 비압축성이고 물이 흐르는 동안 압축이나 팽창은 일어나지 않는다.

② 등방성의 경우 2차원 흐름에 대한 Laplace 방정식

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

비 압축성의 多孔性媒體에 있어서 X방향의 동수경사의 변화와 Z방향의 동수경사의 변화의 합이 0이라는 것을 의미하며 어디까지나 등방이고 균질 이라고 가정한 경우에 유선망을 이루는 유선과 등수두선은 서로 직교한다는 이론의 배경이 된다.



한 요소에서의 물의 흐름

4. 유선망을 구하는 방법

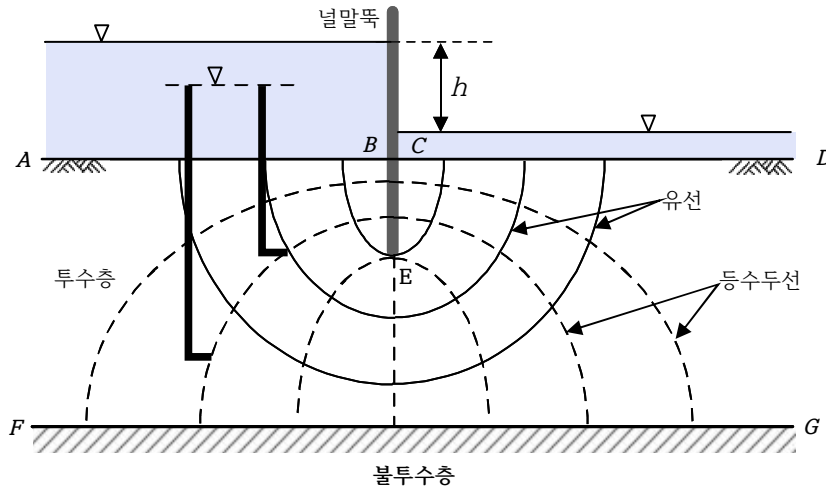
① 종류

- ① 도해법 : 비교적 정확, 시행착오적 시행
- ② 모형시험 : 토질이 균질한 경우(모형토조) ③ 해석적 방법 : Laplace 방정식
- ④ 수치해석 : Laplace 방정식을 이용한 컴퓨터 해석
- ⑤ 전기적 방법 : 전압(수두), 전도성(투수성), 전류(유속)의 원리 이용

② 도 해 법 : 경계조건을 정하여 유선망을 작도

① 경계조건

- ㉠ 선분 AB는 이선을 따라 전수두가 동일하므로 등수두선이다.
- ㉡ 선분 CD역시 전수두가 동일하므로 등수두선이다.
- ㉢ 널말뚝을 따라 상류면에서 흐르는 BEC는 하나의 유선이다.
- ㉣ FG가 암반선 즉, 불투수층이라면 상당히 먼 거리로 부터 흘러들어온 하나의 유선이다.



널말뚝 밑의 2차원 흐름

② 그리는 방법

- ㉠ 유선 2개 결정. ㉡ 등수두선 2개 결정.
- ㉢ 유선 2개로 부터 적당간격으로 지반내 유선 작도
- ㉣ 작도된 유선과 등수두선 2개로 부터 지반내 등수두선 적당 분할 작도
- ㉤ 유선과 등수두선으로 그려진 4각형은 정방형이 되도록 수정함.

5. 유선망의 활용

① 손실수두(Δh) : 전수두차에 대한 등수두선 간격수 만큼 손실되어 감

② 등수구배 $i : \frac{\Delta h}{L}$

③ 침투수력 ($J = i \cdot \gamma_w \cdot V$)

④ 파이핑 유무

⑤ 침투수량

$$Q = k \cdot H \cdot \frac{N_f}{N_d}$$

⑥ 간극수압 추정 : 전수두, 위치수두, 압력수두로 부터 산정

문제 9. JCS(Joint Compressive Strength)

1. 불연속면의 전단강도 개념

- ① 불연속면이란 “0” 또는 아주작은 인장강도를 갖는 모든 역학적인 불연속면을 일컬으며 불연속면의 전단강도란 불연속면을 가로질러 가해지는 수직응력에 대한 전단변위를 일으키기 위해 필요한 응력을 말한다.
- ② 이러한 전단강도는 불연속면의 마찰성분이 주된 요소로서 불연속면 사이의 충전물, 연속성, 면장도, 틈새크기에 의해 영향을 받는다.

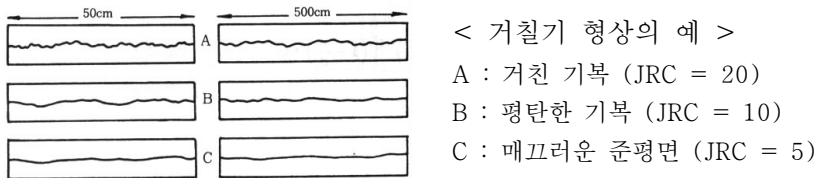
2. 불연속면의 전단강도 식

- ① Patton의 이중선형 강도식
- ② Barton의 전단강도식
- ③ Mohr-Coulomb 식
- ④ Jaeger 모델/ Ladanyi and Archambault 모델

3. JCS(Joint Compressive Strength)를 활용한 불연속면의 전단강도

① Barton 식(1973)

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



- ② Patton의 식 $\tau = \sigma_n \tan(\phi_b + i)$ 에서 i 값이 일정하나 Barton은 σ_n , 거칠기, 압축강도, 전단저항각을 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.

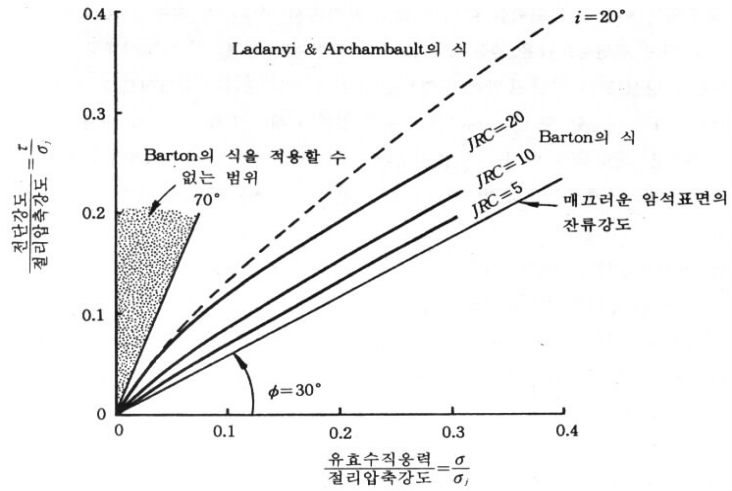
(불연속면이 풍화가 된 경우, 충전물이 존재하는 경우에는 기본 마찰각 대신 잔류 마찰각 적용 즉, 충전물의 물성에 지배)

※ 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.



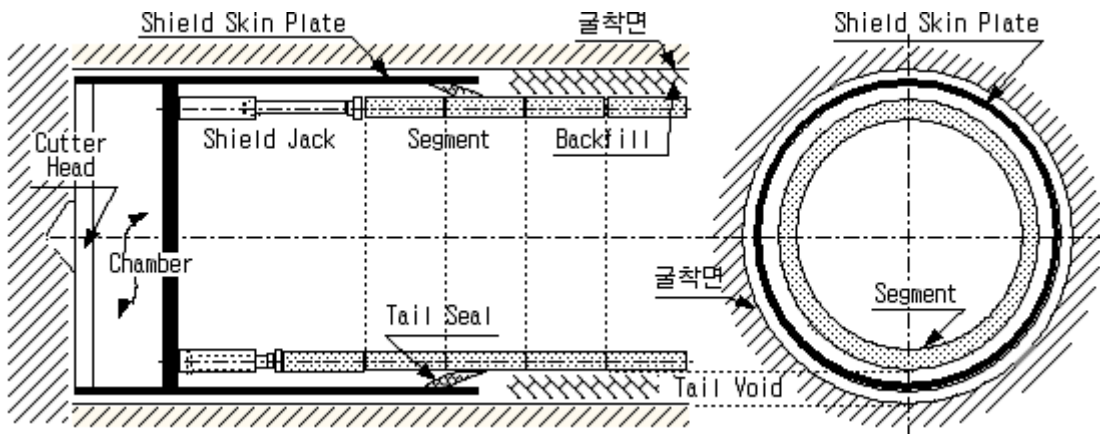
문제 10. 쉴드 TBM터널의 Tail Void

1. 개요

쉴드 TBM 터널 공사현장에서는 쉴드 TBM 굴진시 필연적으로 세그먼트와 배면지반사이의 공극(Tail Void)이 발생하게 된다. 이런경우 토사와 지하수의 유실 및 이에 따른 지반침하 방지를 위해 공극을 충전해야 한다.

2. 테일보이드(tail void)란

세그먼트로 형성된 링의 외경과 쉴드기 외판의 바깥 직경 사이의 원통형의 공극을 말한다.



3. 테일보이드(tail void)의 특징

① Shield기계의 원활한 추진을 위해 지나치게 굴착경을 다소 크게 Over Cutting을 한 경우

→ 굴착되는 원지반의 자립시간이 짧은 경우 지반침하 유발

① 완전포화된 점토지반의 경우 굴착과 동시에 과잉간극수압 발생

② 과잉간극수압의 소산으로 인한 압밀침하발생

② GAP 파라미터에 의한 침하예측

$$GAP = G_p + u_3d + w$$

여기서, G_p : Physical gap으로 쉴드기계의 외경과 세그먼트라이닝사이의 틈

$G_p = 2\Delta + \delta$, Δ : 쉴드 Tail Piece의 두께, δ : 세그먼트라이닝의 거치에 필요한 틈

u_3d : 터널막장 전면에서 발생하는 지반의 탄소성 변형으로 인하여 발생하는 천정부 침하

w : 시공오차로 인한 천정부 변위

③ 쉴드TBM의 외경결정

$$D = D_o + 2(x + t)$$

여기서, D : 쉴드TBM 지름

D_o : 세그먼트 링의 외경

x : 테일 클리어런스

t : 테일 스킨 플레이트 두께

① TBM의 외경은 외판(Skin Plate)의 외경을 말하며, 세그먼트 외경, 테일 클리어런스 (Tail Clearance) 및 테일 스킨 플레이트(Tail Skin Plate) 두께를 고려하여야 한다.

② 테일 클리어런스(Tail Clearance)는 곡선시공에 필요한 최소여유, 세그먼트 조립시 여유 등을 고려하여 결정되는데 20~40mm의 실적이 가장 많다. 테일 클리어런스와 테일 스킨 플레이트 (Tail Skin Plate) 두께의 합이 테일 보이드(Tail Void)이므로 테일 클리어런스의 크기를 지나치게 크지 않게 할 필요가 있다.

문제 10. 부등침하에 따른 각변위(Angular Distortion)

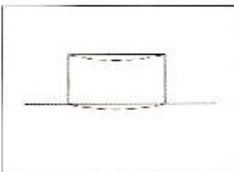
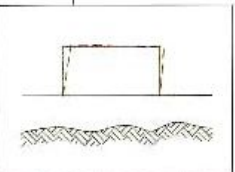
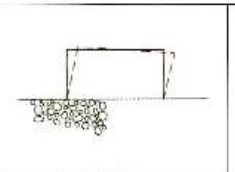
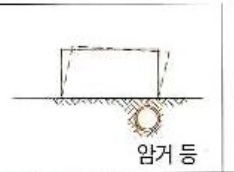
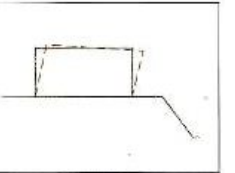
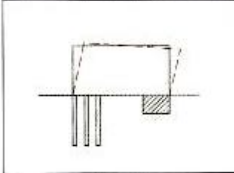

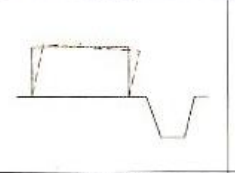
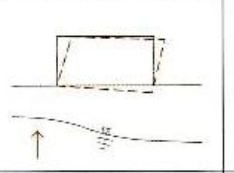
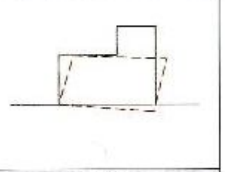
1. 개요

- ① 구조물에 부등침하나 처짐이 발생하였을 경우 그 변위량을 측정하는 방법은 크게 2가지로 분류할 수 있다.
- ② 첫째, 침하에 의해 구조물이 수직방향으로 꺼졌을 경우 그 침하량을 측정하는 수직변위 조사가 있다. 수직변위 조사는 구조물 부위별 침하량을 측정하기 위한 방법으로 구조물의 바닥, 천정, 벽체 등의 부위에 측점을 설정하여 측정한다.
- ③ 둘째, 지반의 부등침하나 슬라이딩 등에 의해 구조물이 기울었을 경우 그 기울기를 측정하는 수평변위조사가 있다. 수평변위조사는 구조물 외벽 모서리나 기둥, 벽체와 같은 수직부재의 기울기를 측정하는 방식이다.
- ④ 구조물의 침하로 말미암아 그것이 파괴에 이르지 않더라도 구조물의 기능 또는 외관이 문제될수 있다.
- ⑤ 실제 구조물에 있어서 허용침하량을 얼마로 정하느냐 하는 것은 구조물의 기능과 구조물의 종류에 따라 달라질수 있다

2. 기초침하의 원인

- ① 구조물 하중에 의한 지반의 압축 : 지반의 탄소성 변형
- ② 지하수위 강하에 의한 자중 증가
- ③ 점성토 지반의 건조수축
- ④ 압밀침하
- ⑤ 함수비 증가에 의한 지지력의 약화
- ⑥ 지반의 전단파괴
- ⑦ 지중공간(지하공간, 매설관)의 함몰
- ⑧ 동상후의 연화작용

3. 부등침하의 원인

				
연약지반	연약층의 두께 차이	이질 지반	지하 매설물 암거 등	경사지반
				
다른 기초	기초 제원의 현저한 차	인근 터파기	지하수위 변동	증축

4. 부등침하에 대한 대책

- ① 신축이음 설치
- ② 구조물의 강성 증대
- ③ 구조물의 형상과 중량을 침하에 유리하도록 중량 배분
- ④ 구조물의 경량화
- ⑤ 말뚝, 피어 케이슨을 지지 가능한 지반까지 피게 설치

- ⑥ 연약지반의 개량
- ⑦ 모든 기초의 침하량을 동일하게 조정
- ⑧ 기초를 크게하여 접지압을 감소

4. 부등침하에 대한 각변위의 한계(Bjerrum 1963)

각변위	허용범위 및 구조물
1/100	- 정정구조물 및 옹벽의 위험한계
1/150	- 정정구조물 및 옹벽의 안전한계 - 오픈된 강재골조, 철근콘크리트 골조, 강재 저장탱크, 높은 강성구조물의 전도에 대한 위험한계
1/250	- 오픈된 강재골조, 철근콘크리트 골조, 강재 저장탱크, 높은 강성구조물의 전도에 대한 안전한계 - 골조건물의 패널벽체와 교대의 전도에 대한 위험한계 - 높은 건물의 기울음이 눈으로 확인되는 상태
1/300	- 고공크레인의 문제발생한계
1/500	- 골조건물의 패널벽체와 교대의 전도에 대한 안전한계 - 하중을 받는 무근 콘크리트 벽체의 중앙부 처짐에 대한 위험한계
1/750	- 침하에 민감한 기계의 문제발생한계
1/1000	- 하중을 받는 무근콘크리트 벽체의 중앙처짐에 대한 안전한계 - 하중을 받는 무근콘크리트 벽체의 단부처짐에 대한 위험한계
1/2000	- 하중을 받는 무근콘크리트 벽체의 단부처짐에 대한 안전한계

문제 12. 점토의 건조작용(Desiccation)

1. 개요

- 지표면의 점토(Soft Clay)는 수분의 증발로 모세관(Capillary)현상이 일어나서 흙 속의 간극수압을 Negative Value로 감소시켜 유효응력(Effect Stress)을 증가시키고 간극비를 감소시킨다.
- 그 결과로 지표면의 점토가 굳어지고 Drying Crust가 형성되는 현상
- 지하수위 이하의 지반은 여전히 연약한 상태에 있음에 유의하여야 한다.

2. 특성

- 점토지반의 지하수위가 어떤 원인에 의해 하강된 경우
: 컨시덴시의 변화(액체 → 고체) → 강도가 증가

- 모관 포텐셜에 의한 유효응력의 변화

- ① 완전히 포화된 흙의 모관 포텐셜

$$\phi = -\gamma_w \cdot h_c$$

- ② 부분적으로 포화된 흙의 모관 포텐셜

$$\phi = -\frac{S}{100} \gamma_w \cdot h_c$$

여기서, S : 포화도

- 모관 포텐셜에 영향을 미치는 요소

- ① 함수비, 입경, 간극비가 작을수록 저 포텐셜임
- ② 온도가 낮을수록 표면장력이 증가하므로 저 포텐셜임
- ③ 염류가 클수록 저 포텐셜임
- ④ 불포화도의 경우 고 포텐셜에서 저 포텐셜로 흐름이 발생한다.

3. Drying crust에 깊이에 영향을 주는 요인

- 기상조건
- 지하수위 조건
- 흙의 투수계수
- 조경으로 인한 함수비의 감소정도

4. 평가

- 점토의 건조작용이 발생한다 하더라도 지하수위 이하의 지반은 여전히 연약한 상태에 있음에 유의하여야 한다.
- 점토의 건조작용의 효과를 최대한 활용하여 준설매립지반의 표층처리 공법을 시행하는 방법이 PTM공법이다.
- Desiccation**의 결과로 형성되는 Crack의 간격은 Crack깊이의 10배 정도이며 Crack의 형성으로 투수계수가 증가된다.

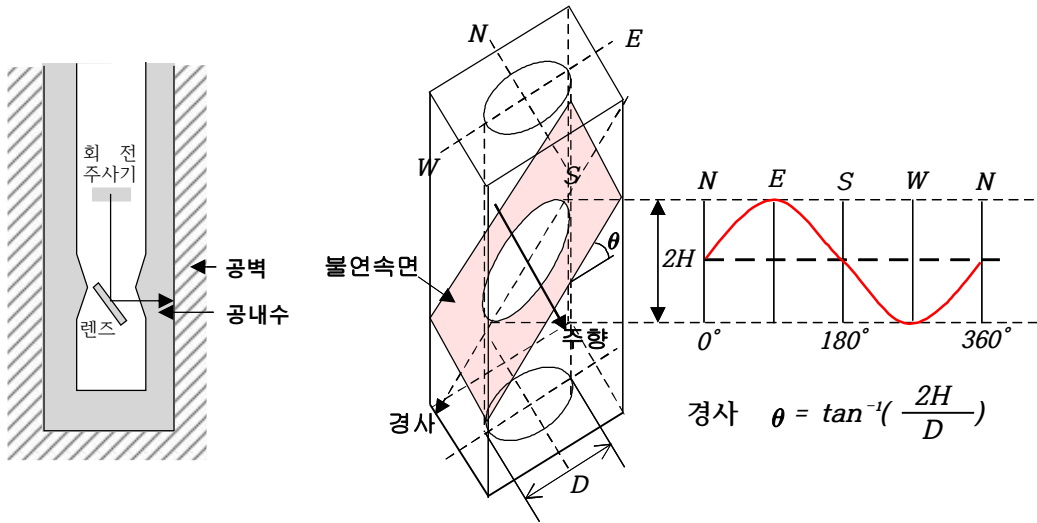
문제 13.

Televviewer와 BIPS(Borehole Image Processing System)의 차이점

1. 개요

- ① 시추공 내부를 시각적으로 확인하기 위하여 시추공벽을 고해상도를 촬영하여 시추공내부의 불연속면의 특성을 파악하는 것을 “공내영상촬영” 또는 “공내검층”이라 하며 촬영시 초음파, 빛을 이용한다.
- ② 초음파를 이용하는 것을 *BHTV (Borehole Televviewer)*라 하고 빛(광원)을 이용하는 것을 *BIPS* 라 한다.
- ③ 두 방법 모두 주로 불연속면에 대한 정보를 얻는다는 공통점이 있다.

2. 측정 방법



BHTV 및 BIPS 원리

BHTV 개념도

① BHTV : 공벽에 초음파를 주사하여 반사된 반사파의 진폭과 주시이미지 분석

- ① 진폭 이미지 : 불연속면의 특성 + 암석의 강도
- ② 주시 이미지 : 데이터의 교정 + 공경검층

② BIPS : 불연속면의 특성, 공극율등 육안관찰, Core 불필요

3. 시추공 촬영결과 비교

구 분	초음파 촬영법(BHTV)	광원촬영법(BIPS)
원 리	360° 초음파 주사 : 반사되는 초음파의 주시와 진폭	광원이용 : 공벽에 반사이미지 스캐닝
공 내 수	반드시 必要 탁도와 관계없음	무관(없을때가 해상도 좋음) 공내수가 탁할시 해상도 떨어짐
케 이 싱	없어야 됨	투명한 경우 가능 함몰우려시 투명한 PVC케이싱 사용
결과자료	불연속면의 주향 및 경사	좌 동
추가자료	암반강도 공경검층(고분해능) 자료의 데이터 베이스	암층 + 충전물질 육안 확인 암맥, Bedding plane 구분 Core image scanning

4. 결 과 이 용

① 방향성 : 주향(Strike)과 경사(dip)

- ① 주 절리군 파악 ② 절리밀도 ③ 평사투영 활용 ④ 파괴가능성

② 풍화도와 강도

- ① 색상 → 풍화도 ② 암석 상대강도(BHTV)

③ 파쇄대 충전물 : 파쇄대 방향, 분포, 폭, 충전물 여부

④ 폐광, 공동위치 : 위치, 규모

⑤ 터널의 이완영역

⑥ 그라우팅 효과 : 동다짐등 개량확인

⑦ 현장타설 말뚝등 건전도 확보

⑧ 암반분류시 보완자료(RMR, Q분류)

5. 적 용 성

① 암반사면

② 암반지반 터파기

③ 유류 비축기지 배치계획

④ 폐광, 공동지역 조사

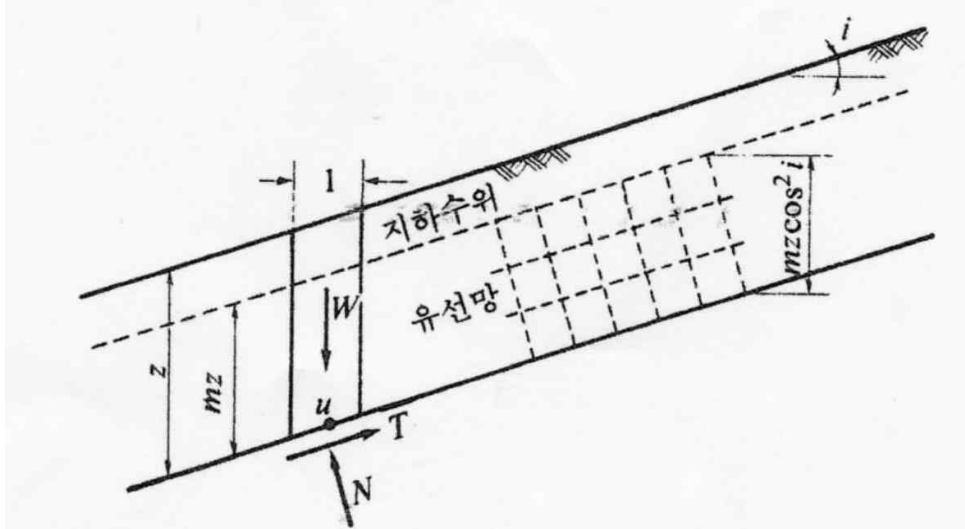
⑤ RQD의 검증

⑥ 각종 건설공사의 품질관리 및 검사

2교시

문제 1. 무한사면의 활동에 대하여 설명하고, 아래 그림에서 지하수위가 지표면에 위치하고 사면에 침투가 일어나는 경우를 고려하여 안전율을 구하시오.

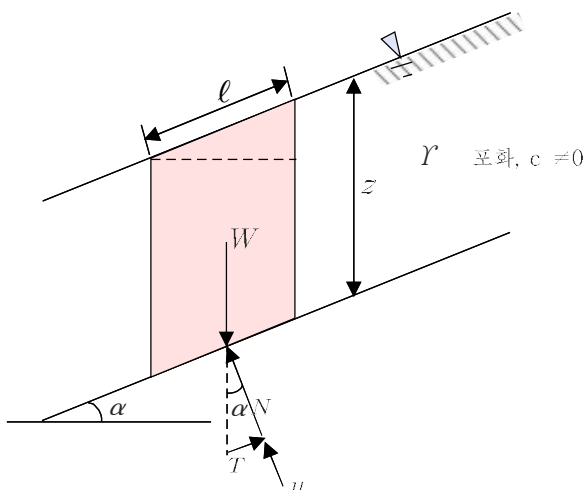
(단, $i = 30^\circ$, $z = 2.5m$, $c' = 15kN/m^2$, $\phi' = 25^\circ$, $\gamma_{sat} = 18kN/m^3$)



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. 해석방법



$$W = \gamma \cdot Z$$

$$l \cdot \cos \alpha = lm$$

$$A = l \times lm = l / \cos \alpha$$

$$N = W \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

$$\sigma = N/A \quad \tau = T/A$$

$$F_s = \frac{C' + (\sigma - u) \tan \phi'}{\tau} \text{ 에서}$$

$$\sigma = W \cdot \cos^2 \alpha = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \alpha \quad u = \gamma_w \cdot z \cdot \cos^2 \alpha \quad \tau = \gamma \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$F_s = \frac{C'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{(\gamma_{sat} \cdot z - \gamma_w \cdot z) \cos^2 \alpha \cdot \tan \phi'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}$$

① 지하수위가 활동면 아래 & $C = 0$ 인 모래지반인 경우

$$F_s = \frac{\gamma \cdot z \cdot \cos^2 \alpha \cdot \tan \phi'}{\gamma \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{\cos \alpha \cdot \tan \phi'}{\sin \alpha} = \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha}$$

② 지하수위가 지표포화 & $C = 0$ 인 모래지반인 경우

$$F_s = \frac{\gamma_{sub} \cdot z \cdot \cos^2 \alpha \cdot \tan \phi'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} = \frac{\gamma_{sub} \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi'}{\gamma_{sat} \cdot \sin \alpha} = \frac{\gamma_{sub} \cdot \tan \phi'}{\gamma_{sat} \cdot \tan \alpha}$$

일반적으로 $\gamma_{sat} : \gamma_{sub} = 2 : 1$ 이므로

$$F_s = \frac{1}{2} \times \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha}$$

3. 지하수위가 지표면에 위치하고 사면에 침투가 일어나는 경우 안전율

① $F_s = \frac{C' + (\sigma - u) \tan \phi'}{\tau}$ 에서

$$\sigma = W \cdot \cos^2 \alpha = \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \alpha \quad u = \gamma_w \cdot z \cdot \cos^2 \alpha \quad \tau = \gamma \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$F_s = \frac{C'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha} + \frac{(\gamma_{sat} \cdot z - \gamma_w \cdot z) \cos^2 \alpha \cdot \tan \phi'}{\gamma_{sat} \cdot z \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha}$$

② 위 공식에서

$\alpha = 30^\circ$, $z = 2.5m$, $c' = 15kN/m^2$, $\phi' = 25^\circ$, $\gamma_{sat} = 18kN/m^3$ 이므로

$$F_s = \frac{15}{18 \times 2.5 \times \sin 30 \cdot \cos 30} + \frac{(18 \times 2.5 - 1 \times 2.5) \cos^2 30 \cdot \tan 25}{18 \times 2.5 \times \sin 30 \cdot \cos 30}$$

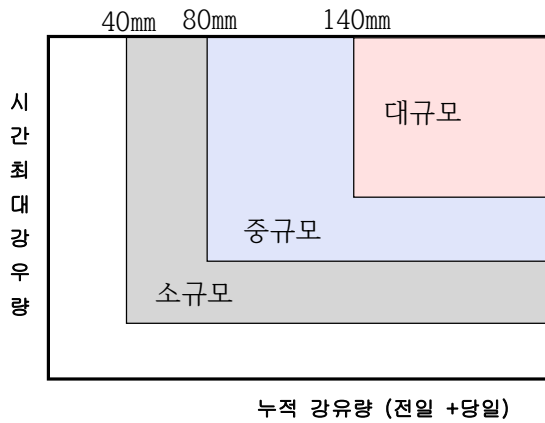
$$F_s = \frac{15}{18 \times 2.5 \times \sin 30 \cdot \cos 30} + \frac{(18 \times 2.5 - 1 \times 2.5) \cos^2 30 \cdot \tan 25}{18 \times 2.5 \times \sin 30 \cdot \cos 30}$$

$$\therefore F_s = \frac{15}{18 \times 2.5 \times \sin 30 \cdot \cos 30} + \frac{(18 \times 2.5 - 1 \times 2.5) \cos^2 30 \cdot \tan 25}{18 \times 2.5 \times \sin 30 \cdot \cos 30}$$

$$F_s = 1.53$$

4. 평 가

① 강우강도와 산사태(무한사면 활동) 발생규모 관계



② 투수성이 양호한 토사사면의 경우 집중호우시 파괴가능성이 크며

③ 투수성이 낮은 점성토지반의 사면의 경우 장기적인 강우 지속시 파괴 가능성이 크므로

④ 강우강도와 지하수위, 지반상태를 고려한 종합적인 사면안정해석이 필요함.

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

문제 2. 기초구조물 부등침하(Differential Settlement)의 원인과 대책에 대하여 설명 하시오

1. 개요

- ① 일반적으로 지반의 압축에 의하여 발생하는 구조물 또는 구조물 일부의 연직변위를 침하라고 하며, 구조물의 모든 부분의 침하가 같으면 균등침하라고 한다. 균등침하가 발생되면 구조물에는 균열이 생기지 않고 다만 연직위치만 달라진다. 반면에 구조물의 위치에 따라 침하의 크기가 다른 부등침하가 일어나면 구조물에 균열이 발생하거나 기울어져 구조물의 기능과 안전에 영향을 미친다.
- ② 기초의 접지압이 기준지지력을 초과하거나 기준지지력표를 적용할 수 없는 지반에서는 침하량을 계산해서 안전을 확인하여야 한다. 일반적으로 흙 지반에 설치한 기초는 침하량을 계산하는 것이 좋다.

2. 기초구조물 침하의 형태

- ① 균등침하 : 균질한 지반위의 강성 기초침하 형태
- ② 전도침하 : 균질한 지반위에 편심하중이 작용하는 구조물(송전탑, 목욕탕굴뚝)
- ③ 부등침하 : 균질한 지반위의 연성기초의 침하 형태

3. 지반침하의 종류

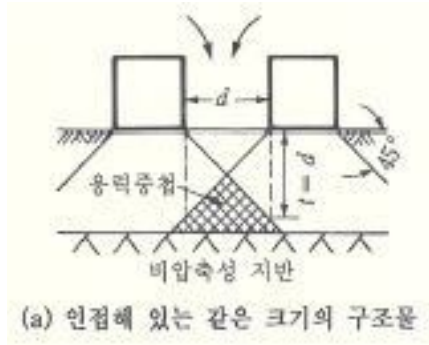
- ① 탄성침하
사질토 및 포화도가 90% 이하인 세립토, 하중재하와 동시에 발생하는 초기침하량, 대부분이 공사기간중에 발생. 탄성론에 의하여 계산되고 있으나, 실제 이 침하량은 탄성적이 아님
- ② 압밀침하 : 간극으로부터의 물의 점진적 배수에 의한 침하
- ③ 2차 압밀침하 : 입자구조의 압축변형 및 부식에 의한 침하

4. 기초지반 부등침하의 원인

- ① 연약지반
- ② 연약층의 두께차이
- ③ 이질지반
- ④ 지하매설물
- ⑤ 경사지반
- ⑥ 다른 기초
- ⑦ 기초 제원의 현저한 차
- ⑧ 인근 터파기
- ⑨ 지하수위 변동/증축

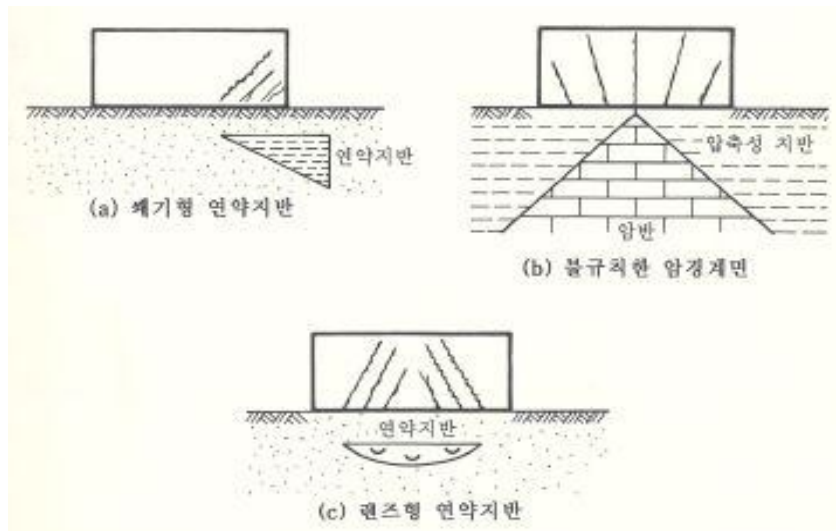
5. 인접구조물의 영향

- ① 기존의 구조물에 인접하여 새로운 구조물을 신축할 때에는 구조물 상호간의 영향을 고려하여야 한다. 같은 규모의 건물이 서로 인접한 경우에는 건물사이의 지반은 응력이 중첩되어 침하가 커져서 구조물은 서로 근접하는 방향으로 기울어 진다(a)
- ② 또한 기존의 큰 구조물에 인접하여 작은 구조물을 신축하면 경계부분에서는 작은 구조물의 하부지반이 이미 큰 구조물의 영향을 받아 압축이 일어난 상태이므로 침하가 적게 일어나서 구조물의 간격이 벌어 진다(b)
- ③ 반대로 기존의 작은 구조물에 접하여 큰 구조물을 신축하면 기존 구조물 하부의 지반이 큰 신축구조물의 영향을 받아 추가로 침하가 일어난다. 이때는 그림 (c)와 같이 기존의 작은 구조물이 손상될 수 있다.



6. 불규칙 지반의 침하

구조물의 하부지반이 균질하지 않고 불규칙한 층상구조를 나타낼 때에는 특수한 층상구조로 인한 부등침하가 발생할 수 있다. 따라서 사전에 철저한 지반조사를 통하여 이러한 경우를 확인하고 대비책을 세워야 한다. 아래그림은 가장 대표적인 경우로 압축성이 큰 연약지반이 썸기형 또는 렌즈형으로 분포되어 있거나 압축성이 큰 지반의 두께가 불규칙한 경우를 나타낸다.



7. 기초지반 부등침하의 대책

- ① 연약지반 개량
- ② 마찰말뚝 지정 이용
- ③ 지하수위 변동 방지
- ④ 동일 지반시 통합 기초
- ⑤ 경질지반 지지

⑥ 평면의 길이단축

⑦ 건축물의 균등 중량

⑧ Under Pinning보강

⑨ 건축물의 경량화

⑩지하실설치 ⑪이질 지반시 복합기초 시공 ⑫상부 구조물 강성 증대

8. 결 론

- ① 얇은기초를 설계할 때에는 그 이론적 배경과 고려해야 될 사항들을 면밀히 검토하여 현장 상황에 가장 적합한 방법을 선택하여야 하며, 널리 알려진 방법이라 하여 무비판적으로 적용해서는 안된다. 즉, 상부구조물-기초-지반의 상대적인 거동을 파악하고 있어야 적합한 기초를 설계할 수가 있다.
- ② 특히, 기초와 지반의 상호거동은 기초-지반의 상대적인 거동에 의해 크게 좌우되므로 얇은기초 설계시 가장 먼저 고려해야 할 사항이며, 기초-지반의 상대적인 강성에 따라 상부 구조물의 하중이 지반에 다른 형태로 전달되기 때문에 상부구조물 하중에 의해 지반이 압축되어 발생하는 기초 침하 양상을 정확히 파악하여 상부구조물이 손상되지 않도록 해야한다.
- ③ 일반적으로 얇은기초의 설계를 대수롭지 않게 생각하고 가볍게 설계하는 경향이 뚜렷하나, 그 이론적 배경과 지반의 복잡한 거동현상을 알고나면 결코 쉬운 일이 아님을 알 수 있다.
- ④ 따라서 보다 많은 연구를 통하여 지반의 거동을 확실하게 파악해야 할 것이며 실무자들은 이와 같은 상황을 알고 신중하게 설계해야 할 것이다.

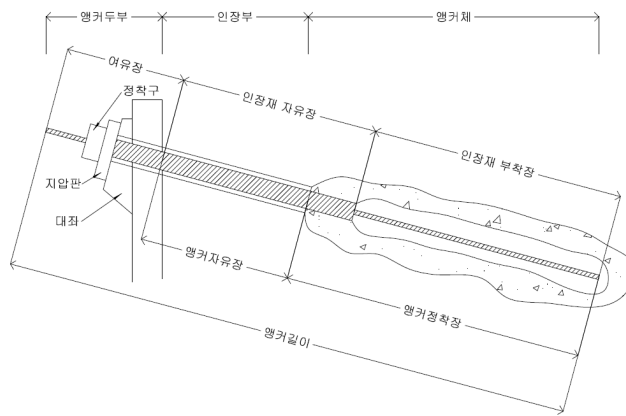
문제 3. 지반에 설치된 Earth Anchor의 파괴 메카니즘(Failure Mechanism)에 대하여 설명하십시오.

1. 개요

- ① 지중에 매설된 인장재 선단에 시멘트 페이스트나 시멘트 몰탈을 주입하여 앵커체를 만들고 그것을 인장재와 앵커두부로 연결된 것을 앵커라 하며 앵커의 인장재에 가해지는 힘은 앵커체를 통해 지중에 전달된다.
- ② 앵커가 제 기능을 발휘하기 위해서는 인장재(PS강선)인장력, 앵커체와 인장재의 부착력, 앵커체와 지반의 마찰에 대한 안정성을 확보함으로써 벽체 변위와 활동이 억제되어야 한다.

2. 앵커의 구성요소

- ① 앵커두부: 토류벽에 작용하는 토압을 인장재를 통해 인장력으로 전달시키기 위한 부재
- ② 인장재 : 인장력을 앵커체에 전달시키기 위한 강선
- ③ 앵커체 : 인장력을 지반에 전달시키기 위한 저항체



3. 앵커의 파괴 메카니즘

① 앵커 인장재 파단

- ① 분담되는 앵커력에 대해 인장재의 인장강도가 부족할 경우 인장파괴 됨.
- ② 따라서, 인장강도를 고려한 강선의 본수가 만족되어야 함.

설계축력

$$T = \frac{P \cdot a}{\cos \alpha}$$

여기서, P : 작용토압
 a : 앵커 수평간격
 α : 앵커 경사각

강선본수

$$n_l = \frac{T}{T_a}$$

여기서, T : 앵커축력
 T_a : 강선분당 허용인장력
 ※ T_a : $T_u \times 0.65$, $T_y \times 0.8$ 중 작은값 채택

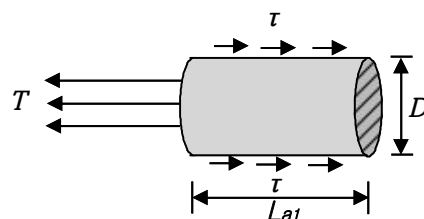
② 정착길이(L_a)부족에 의한 파단

① 앵커체와 지반마찰력 방법 (L_{a1})

$$L_{a1} = \frac{T \cdot F_s}{\pi \cdot D \cdot \tau}$$

여기서,

F_s : 안전률 D : 앵커의 직경
 τ : 흙과 그라우트재의 마찰력(현장인발시험으로 구할 수 있으며 보통 경험치를 적용함)



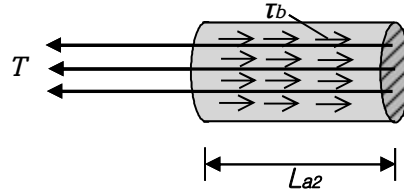
② 앵커체와 강선의 부착력 방법 (L_{a2})

$$L_{a2} = \frac{T}{\pi \cdot d \cdot n \cdot \tau_b}$$

여기서, d : 인장재의 직경

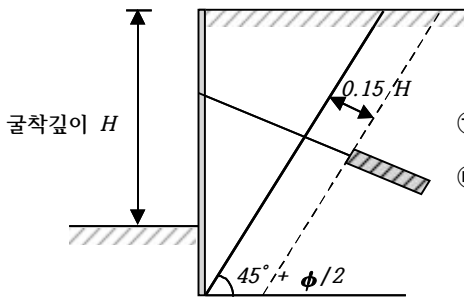
n : 인장재 본수

τ_b : 강선과 앵커체 허용 부착응력 ($\tau_b = 0.64\sqrt{\sigma_{ck}}$)



③ 정착길이 결정 : L_{a1} 과 L_{a2} 중 큰 값 적용, 토사층의 경우 최소 4.5m 이상

③ 자유길이 부족에 의한 파단

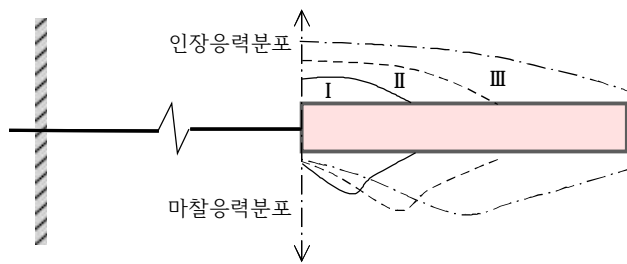


㉠ 자유장의 최대길이는 규정되어있지 않음

㉡ $L_f = H \cdot \sin(45^\circ - \phi/2) + 0.15H$
 이며 자유장 길이가 3m이하인 경우
 최소길이는 3m이상이어야 한다.

④ 진행성 파괴(Progressive Failue)

① 지표면에 가까운 앵커체로 부터 인장력을 부담하고 인장력이 마찰력을 초과시 앵커 선단부로 인장력의 분포가 이동함.



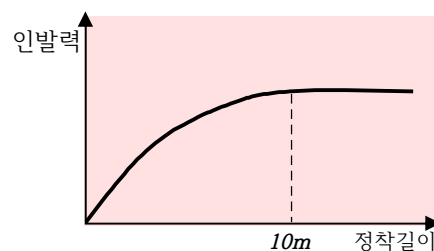
② 설계시 → 동시파괴 개념으로 앵커정착길이 전체에 유효한 마찰력이 작용하는 것으로 가정

③ 실제 → 변위가 발생되면서 진행성 파괴가 발생함.

⑤ 정착제 길이 제한 : 10m 이내

① 정착길이 10m까지는 인발력의 증가가 확연하나 10m를 초과하게 되면 인발력의 증가가 미미함

② 정착길이 증가로 인발력 부족시 → 지압형/압축형 앵커 사용, 앵커본수 증가



4. 평 가

- ① 그라운드 앵커의 파괴 메카니즘 개념중 가장 중요한 파괴인자는 정착길이 부족에 의한 인발파괴가 주를 이룬다.
- ② 따라서 시공전, 중, 후 그라운드 앵커의 인발시험, 인장시험, 확인시험을 통한 주변 저항력에 대한 평가가 반드시 이루어져 함.
- ③ 토류벽 벽체와 두부와의 체결시공 또한 주의를 기울여야 할 것이다.
- ④ Load Cell 등 계측기 설치를 통한 앵커 축력을 측정하여 국부적인 집중하중에 대하여도 계측관리중 관심을 기울여야 할 것이다.
- ⑤ 취약지역, 대표단면에 대한 계측기 설치 및 위험지역에 대한 집중적인 계측관리 시행
- ⑥ 유지관리
 - ① 영구앵커의 경우 강선의 부식을 방지하기 위한 방식대책 강구, 특히 해수에 의한 지하수 영향을 받는 곳에는 앵커체와 인장재의 방식에 각별한 주의를 요한다.
 - ② 영구앵커 구조물의 경우 변위의 발생에 대하여 지속적인 측정을 시행하고 변위 발생시 재긴장, 앵커 증설, 긴장력 완화등 조치를 취하여야 한다.
 - ③ 앵커두부가 손상을 받지 않도록 보호캡, 보호 콘크리트등 대책을 강구하여야 하며 재 긴장을 위해 보호 캡이 유효하다.

문제 4. 교대의 측방유동 영향요인 및 대책공법에 대하여 설명하시오.

1. 개요

연약지반위에 성토하중보다 연약지반의 임의지점에서의 비배수 전단강도가 작게 되면 전단파괴가 발생하면서 수평방향으로 활동하게 되는 현상을 측방유동이라고 함.

2. 교대에서의 측방유동 영향요인

측방유동은 지반의 압밀과 전단이 복합적으로 어우러진 거동에 의한 현상으로서, 다음과 같은 여러 가지 요인에 따라 발생크기 및 분포형태가 달라진다.

- ① 지반의 강도, 지층구성 및 연약층의 두께
- ② 지반의 응력이력
- ③ 교대배면의 성토재료의 높이, 단위중량
- ④ 교대의 형식 및 치수
- ⑤ 교대 기초의 형식 및 강성

이러한 요인들 중에서 특히 지반강도 및 연약층의 두께가 성토하중의 크기와 함께 측방유동의 발생에 영향을 크게 미치게 된다.

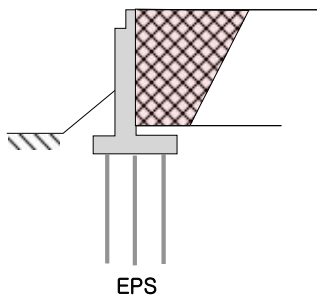
3. 측방유동의 원인 및 문제점

원 인	문 제 점
① 편재하중 과다	① 신축이음부 폐합, 벌어짐
② 사면활동	② 교좌장치 파손
③ 연약지반 지지력 부족	③ 낙교
④ 과도한 침하	④ 단차
⑤ 과도한 지반경사	⑤ 말뚝에 모멘트 작용

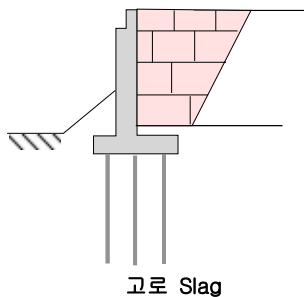
4. 대책 공법

① 편재하중 경감

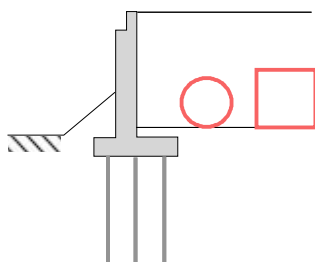
① EPS



② 고로 Slag 뒷채움공법



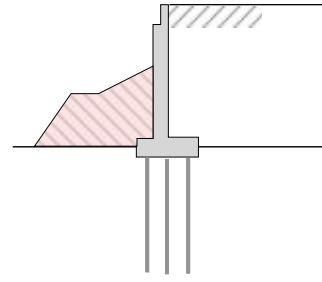
③ Box, 강판



④ 소형교대, AC공법

⑤ 압 성 토

- ㉠ 교대전면에 압성토를 실시하여 교대의 측방토압에 대처하도록 하는 공법이다.
- ㉡ 측방토압이 비교적 작은 경우 유효한 공법으로 측방토압이 클 경우에는 위험할수도 있다.
- ㉢ 경제적이며 공사기간이 짧고 부지의 여유가 있는 경우 채택가능한 공법이다.



구 분	주의사항
EPS	<ul style="list-style-type: none"> • 성토하중과 교통하중을 고려한 적정강도의 EPS설계가 중요 → 제 강도 미달 제품 사용시 과도한 침하 발생.
BOX	<ul style="list-style-type: none"> • BOX의 부등침하에 대한 고려가 필요함. • 다짐작업이 불충분할수 있음. • 내진성이 부족함. • 지하수위가 높을 경우 부력에 대한 검토가 필요함.
Pipe	<ul style="list-style-type: none"> • 교대배면의 전압이 불충분할수 있음. • Pipe자체가 작업중 변형될수 있음. • 지반에 작용하는 하중이 불균질할수 있음.

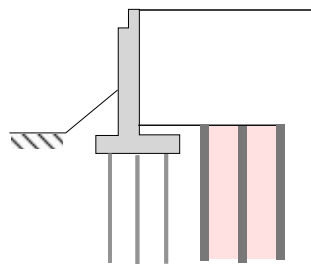
② 지 반 개 량

① 주 입 공 법

- ㉠ 연약지반속에 주입재를 주입하거나 혼합하여 지반을 고결, 경화시켜 지반을 강화
- ㉡ 주입재는 시멘트 주입재가 가장 신뢰성이 있으며 경제적이고 시공성이 우수 함.
- ㉢ 지반개량후 지반개량에 대한 불확실성, 주입효과의 판정방법, 주입재의 내구성에 대한 신뢰성 확인곤란 등 근본적인 문제가 내포된 공법으로 공법선정에 있어 주의를 기울여야 한다.

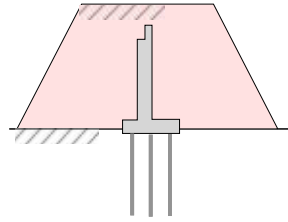
② SCP

- ㉠ 측방유동에 대한 확실한 공법으로
- ㉡ 연약지반중에 진동, 충격하중을 이용 모래를 강제 압입하여 지반내에 다짐 모래말뚝을 형성하여 지반을 개량함.
- ㉢ 해성점토층의 경우 지반교란이 심하여 강도 저하현상이 크고 강도회복시간도 상당히 늦으므로 공정관리에 이를 반영하여야 한다.
- ㉣ 시공시 소음과 진동에 대한 영향을 고려하여야 한다.



③ Preloading 공법

- ㉠ 교대설치위치에 미리 성토하중을 가하여 잔류침하를 방지하고 압밀을 통한 지반 강도를 도모하는 공법임
- ㉡ 연약층 상부지반의 모래층이 두꺼울 경우 지중응력이 미치는 범위가 미미하므로 부적절한 공법임.
- ㉢ 성토후 방치기간이 최소 6개월 정도로서 공사기간을 고려하여 채택하여야 한다.
- ㉣ 경제성 측면에서 매우 유리한 공법이다.
- ㉤ Preloading에 따른 용지확보가 가능하여야 한다.

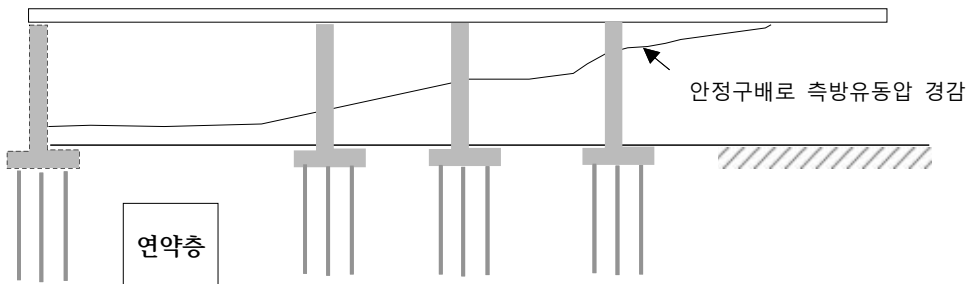


⑤ 기 타

- ㉠ 치 환 (강제치환, 굴착치환, 폭파치환)
- ㉡ 탈수 (VD)

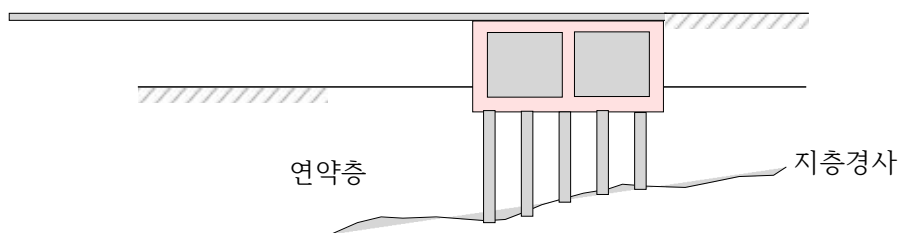
③ 교대형식 변경

- ① 교대의 종방향 연장: 측방유동이 발생하지 않도록 안정구배로 토공처리
※ 교량연장이 길어짐 / 효과가 확실함.



② BOX형 교대형식 (하중경감)

교대배면 하부지반이 경사져 있는 경우 부등침하에 유의



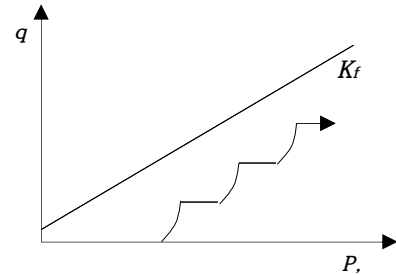
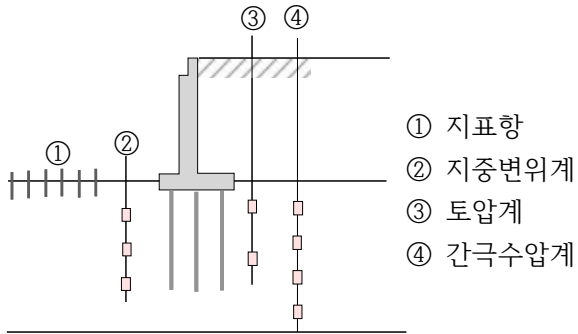
④ 기초형식 변경 : 강성 큰 기초형식 선정

- ① RCD기초
- ② Benoto기초
- ③ Earth Drill 기초

5. 평 가

① 교대를 시공후 성토하지 말고 지반상태를 확인 후 지반개량여부 검토 후 교대시공 순으로 검토

② 계측관리와 완속시공 유지관리측면에서 영구계측에 의한 지속적인 계측관리 방안 모색



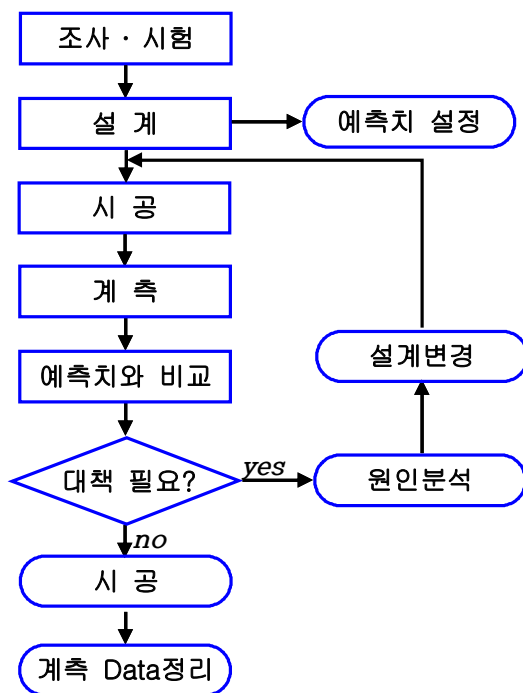
- ① Δu 고려 한계성토고 결정
- ② 연약층 전단파괴방지
- ③ 수동파일 거동분석

문제 5. 암반 비탈면의 붕괴형태에 따른 계측기 배치에 대하여 설명하시오

1. 개요

- ① 암반사면은 그 공학적 성질이 불균질한 경우가 많으므로 사면 규모가 커지면 사전조사에서 그 성상을 충분히 파악하기가 어렵다.
- ② 이와같은 암반사면의 거동 예측과 실제 거동의 갭을 메꾸는 것이 정보화 시공이다. 정보화 시공은 설계시의 지반거동과 관련된 예측치를 시공 중 계측하여 비교하고 분석과정을 통해 시공중 안정성을 확인하고 위험하다고 판단되는 경우 적절한 보강대책을 강구하기 위한 일련의 행위와 판단과정을 말한다.
- ③ 또한, 설계시 미 반영된 현장상황에 대한 설계변경상황 발생시 합리적인 설계변경의 근거로 활용되며 채택된 공법에 대한 안정관리의 수단이 됨.

2. 정보화 시공 흐름도(절차)

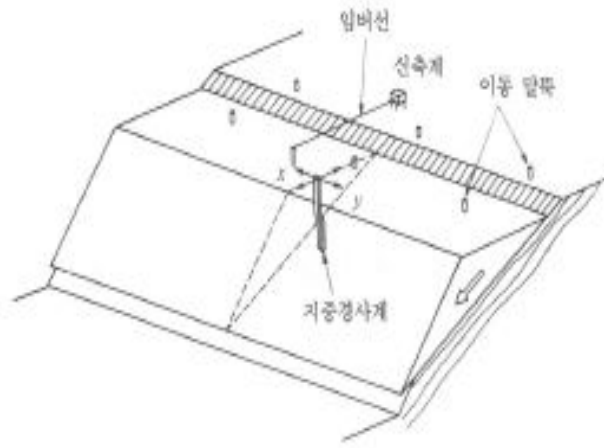


3. 계측기 설치 장소

- ① 원위치 시험등에 의해서 지반조건이 충분히 파악된 곳
- ② 중요 구조물이 인접하여 있는 곳
- ③ 교통량이 많은 곳
- ④ 지하수의 분포가 다량이고 수위의 상승, 하강이 빈번한 곳
- ⑤ 가능한 공사에 의해 계측기의 훼손이 적은 곳

4. 암반비탈면의 붕괴형태에 따른 계측기 배치

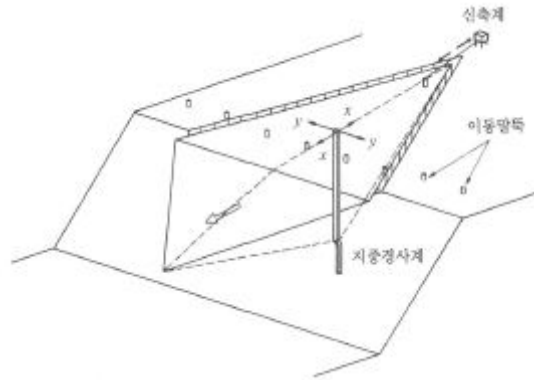
- ① 평면활동 파괴우려시
 - ① 이동량, 이동속도를 검측하기 위해 활동블록의 거의 중앙부근에서 머리부 균열을 걸쳐서 이동방향에 따라 지표면 신축계를 설치한다.
 - ② 활동면의 위치를 파악하기 위해 지중경사계 혹은 지중변위계를 설치한다.
 - ③ 간단한 변위의 측정수단으로 이동말뚝을 이용한 측량을 시행한다.



평면활동 붕괴에 대한 계측기기의 배치에

② 뺨기파괴 우려시

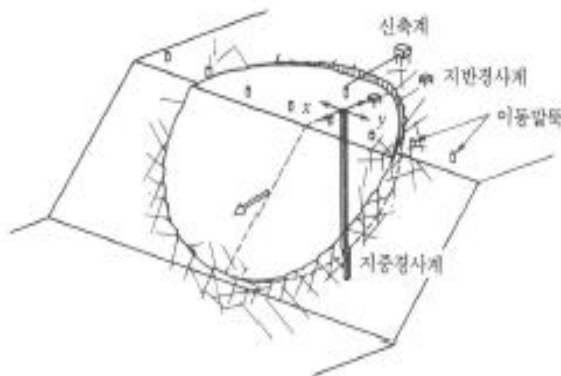
계측기기의 기본배치는 평면활동 붕괴와 유사하나 이동말뚝의 설치는 계측 주축선(종단축선)에 대해서 직각의 횡단방향으로 일렬로 늘어놓아 이동현장의 추이를 파악하기 쉽게 배치한다.



뺨기활동 붕괴에 대한 계측기기의 배치에

③ 원호활동 붕괴 우려시

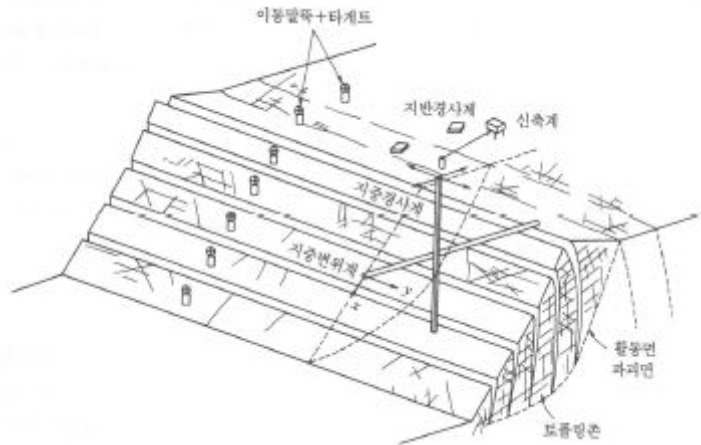
계측기기의 기본배치는 평면활동 붕괴와 유사하나 원호활동 붕괴의 경우 머리부는 지표면의 활동의 진행에 따라 회전운동이 생기기 때문에 이 회전변위(=경사변동량)를 계측하는 지반 경사계를 이동 압고 머리부와 부동점이 적어도 수개소에 배치하여 계측하는 것이 필요하다. 지중경사계와 같은 다른 계측기기도 종합적 검토를 통한 붕괴여부를 판정하는 것도 중요하다.



원호활동 붕괴에 있어서 계측기기의 배치에

④ 토폴링 붕괴

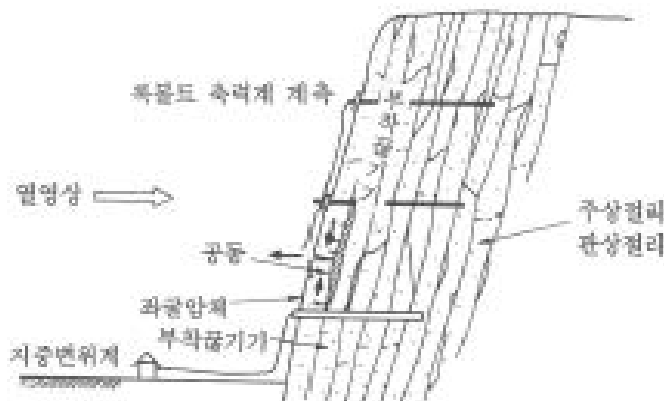
- ① 토폴링에 의한 머리부 변위량을 신축계로 계측한다.
- ② 머리부 경사 변동량을 지반경사계로 계측한다.
- ③ 토폴링 존 전체의 활동붕괴의 체크를 위해 지중경사계를 측선상에서 예정하는 활동면 아래까지 삽입하여 계측한다.
- ④ 토폴링에 의한 암반사면의 수평방향 변위량을 지중변위계로 계측한다.
- ⑤ 사면에 말뚝을 타설하여 이것에 타게트를 설치하여 반대측에서 광파측량을 실시하는 방법도 고려되고 있다.



토폴링 붕괴에 대한 계측기기의 배치에

⑤ 버클링 붕괴

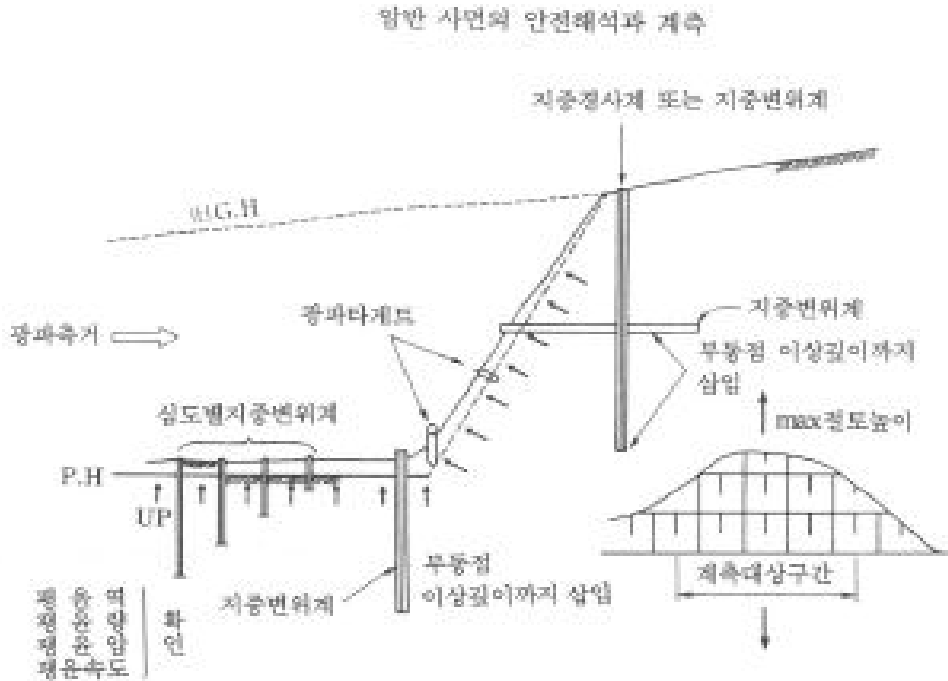
- ① 열적외선 영상법에 의한 진행성 박리의 변상정도 검측
- ② 수평방향 변위를 검측하기 위한 지중 수평변위계 설치
- ③ 파괴에 대한 위험이 예측되는 경우 선 지보후 이를 계측(축력, 변형)하는 방법도 고려
- ④ 주상절리가 발달된 경우에는 AE법 시행



버클링 붕괴에 대한 계측기기의 배치에

⑤ 응력해방에 의한 확산 파괴 우려서

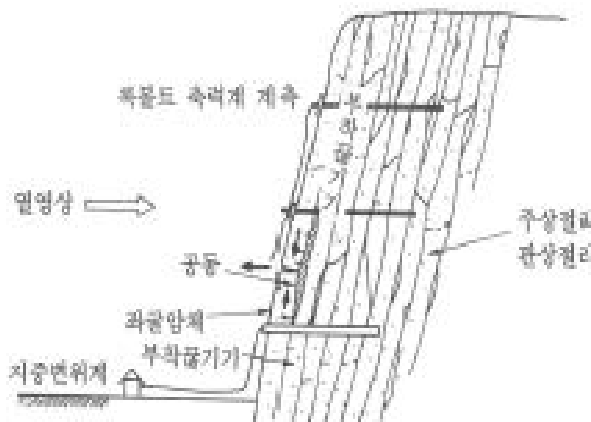
- ① 응력해방에 의한 리바운드량 계측을 위해 절취높이의 최대 부위에서 좌우로 수개소 계측
- ② 지중변위계를 부동점이상 깊이까지 삽입여 계측
- ③ 사면의 수평방향 변위 계측을 위해 사면에 수평방향으로 지중변위계 설치



응력해방 현상에 의한 계측기기의 배치

⑥ 붕락현상

- ① 록볼트 축력계, 슛크리트는 변위계에 의한 계측을 시행한다.
- ② 이외 낙석예방을 위한 낙석 감지기를 설치한다.
- ③ 사면 머리부의 변위량을 신축계에 따라 계측한다.



붕락현상에 의한 계측기기의 배치

5. 계측기간

- ① 계측의 목적, 사면 붕괴나 산사태 등의 위험상황, 붕괴형태, 계측기기의 특성, 계측기 배치조건, 현지조건(특히 보전대상 구조물) 등을 고려
- ② 단기간의 계측결과만으로 변동이 없는 것으로 결정짓기가 어려우므로 보통 1년 간의 계속 관찰이 요구된다.

6. 계측빈도

- ① 계측빈도를 일률적으로 정함은 부적절하며
- ② 암반사면의 변동상황에 따라 계측빈도를 축차적으로 좁혀나가는 것이 바람직함.
- ③ 현장상황을 기본으로 전문가의 의견을 들어서 계측간격을 적당히 결정하는 것이 좋다.

계측항목	측정시기	측정빈도	비 고
지하수위계 (Water level meter)	설치후 공사진행중 공사완료후	1회 / 일(1일간) 2회 / 주 2회 / 주	초기치 선정 우천 1일후 3일간 연속측정
하중계 (Load cell)	설치후 공사진행중 공사완료후	3회 / 일(2일간) 2회 / 주 2회 / 주	초기치 선정 다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정
변형율계 (Strain gauge)	설치후 공사진행중 공사완료후	3회 / 일 3회 / 주 2회 / 주	초기치 선정 다음단 설치시 추가측정 다음단 해체시 추가측정
지중경사계 (Inclinometer)	Grouting 완료후 4일 공사진행중 공사완료후	1회 / 일(3일간) 2회 / 주 2회 / 주	초기치 선정
벽면경사계 (Tiltmeter)	설치후 1일 경과 공사진행중 공사완료후	1회 / 일(3일간) 2회 / 주 2회 / 주	초기치 선정
지표침하판 (Surface settlement plate)	설치후 1일 경과 공사진행중 공사완료후	1회 / 일(3일간) 2회 / 주 2회 / 주	초기치 선정

7. 평 가

- ① 계측결과의 해석
 - ① 계측치와 지표면의 변상과의 정합성 검토
 - ② 변위량 검토
 - ③ 붕괴현태의 예측, 붕괴시기의 예측
 - ④ 관리기준치의 설정
- ② 계측결과의 이용
 - ① 붕괴우려가 있는 암괴나 암반사면에 대한 시공중지, 통행금지, 대피시행
 - ② 시공중 결과 → 역해석

문제 6. 쉴드(Shield) TBM 설계시 고려사항에 대하여 설명하시오

1. 개요

- ① 쉴드 TBM공법은 쉴드라 불리는 강철 외피로 지반을 지지하고 굴착면에서 이수나 이토에 의해 지반의 토압과 수압에 대응하여 막장의 안정을 도모하면서 안전하게 굴착을 수행한다.
또한 세그먼트라고 하는 라이닝 부재를 강철 외피내에서 조립하여 지반을 지지하고, 세그먼트로부터 반력을 얻으면서 쉴드 TBM잭으로 쉴드 TBM을 추진하여 터널을 시공하는 공법이다.
- ② 세그먼트의 설계는 터널 횡단방향과 종단방향으로 구분한다.
- ③ 통상 세그먼트 단면은 횡단방향에 대한 설계로 결정되며, 지진과 지반침하 영향 등 필요에 따라 종단방향 검토를 수행하는 것이 일반적이다.

2. TBM기계화 시공의 종류

- ① Open TBM
- ② 싱글 쉴드TBM
- ③ 토압식 쉴드TBM
- ④ 이수식 쉴드 TBM
- ⑤ 컨버터블 쉴드 TBM
- ⑥ 더블 쉴드 TBM

3. 쉴드(Shield) TBM 설계시 고려사항

① 조사

- ① 입지조건 조사 : 토지이용 상황 및 권리관계, 장래계획, 교통상황, 용지확보 용이성, 하천, 호수, 바다등 상황, 공사용 전력 및 급배수 시설
- ② 지장물 조사
- ③ 지형 및 지반조사 : 예비조사, 본조사, 추가조사
- ④ 환경보전을 위한 조사 : 소음 및 진동, 지반변형, 지하수, 그라우팅에 의한 지하수 영향, 토양오염, 기타
- ⑤ 관계기관 협의 및 장래계획

② 계획시 고려사항

- ① 터널의 내공단면
- ② 터널의 선형
- ③ 토피
- ④ 라이닝, 쉴드 TBM형식, 공사계획 및 환경보전계획

③ 설계조건 설정

- ① 내공단면, 선형 : 터널의 용도, 근접구조물, 토피조건을 고려한 평면 및 종단선형을 고려
- ② 세그먼트의 종류, 분할수 : 터널의 형상, 하중조건 고려 →콘크리트계, 강제, 덕타일, 합성형 세그먼트
- ③ 하중산정 : 토압, 수압, 자중, 지반반력 등 영구하중, 지진, 시공시 하중
- ④ 단면력 산정
 - ㉠ 세그먼트 링을 휨강성 일체 링으로 보는 방법
 - ㉡ 세그먼트 링을 다힌지계링으로 보는 방법
 - ㉢ 세그먼트 링을 회전 스프링으로 보는 방법
 - ㉣ 세그먼트 링을 회전 스프링으로 가정하고 구속효과를 선단 스프링으로 평가

④ 설계시 검토사항

① TBM 장비의 선정

TBM 적용구간의 지반조건, 굴진속도, 단면형상 및 크기, 시공연장, 터널의 선형, 사용목적, 시공성, 작업장 용지와 굴착버력처리방법 등을 고려하여 안전하고 경제적인 시공이 가능한 종류 및 형식을 선정하여야 함

터널 굴진면에 지하구조물 또는 기초말뚝 등의 지하장애물이 있는 경우에는 장애물의 제거나 변위발생등을 고려하여 종합적으로 검토하여야 함

② 커터헤드 설계

③ TBM 조립장 / 발진기지 및 도달기지

④ 버력처리 및 운반시스템 / 지보 및 변형 여유량

⑤ 배수 및 방수/ 인버트/ 보조공법

⑥ 가시설/작업자 통로/방재, 조명 및 환기/ 수전설비 등 각종설비

⑦ 부대시설 규모 및 소요공간

⑧ 세그먼트 설계 : 허용응력 설계법, 한계상태 설계법

⑨ 구조세목 설계 : 조인트는 내하중성, 내구성, 지수성, 시공성 고려 결정

⑤ 특수하중에 대한 설계

: 지진영향, 급곡선 형향, 지반침하영향, 근접구조물에 대한 영향

⑥ 시공시 조건

⑦ 유지관리

4. 평 가

① 쉴드 TBM 형식 결정시 고려사항은 굴진면 지지방식(고수압), 버력처리 용이성, 커터 마모성이며, 이수식 쉴드 TBM이 토압식 쉴드 TBM보다 고수압에 대한 대응성이 우수하고 이수처리설비에 의한 연속적인 버력처리가 용이하며 챔버내의 이수에 의해 커터 소모가 적은 것이 일반적이다.

② TBM 터널은 조사결과를 기초로 하여 사용목적의 적합성, 안전성, 경제성, 시공성이 확보되도록 설계하여야 하며, 지보재는 기계굴착의 장점을 최대한으로 활용할 수 있도록 설계하여야 함

③ 시공 중 관찰과 계측결과로부터 실제 지반조건이 설계 시의 예측 지반조건과 상이할 경우 설계변경을 통하여 조정하여야 한다.

3교시

문제 1. 탄소성이론을 바탕으로 한 지반해석 프로그램이 실무에 사용되고 있다. 지반재료의 구성모델에서 소성이론을 구성하는 기본요소에 대하여 설명하시오.

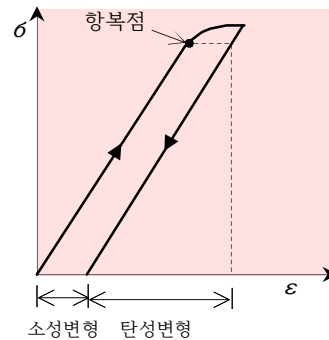
1. 개요

- ① 지반재료는 일반적으로 거동 초기의 작은 변형을 단계에서 부터 소성변형이 시작된다.
- ② 따라서 지반거동의 모델링은 “탄성변형 → 항복(소성변형 시작) → 응력경화(및 변형연화)→ 잔류상태로 이어지는 탄성거동과 소성거동을 포괄하여 정의 할수 있다.

2. 지반재료의 소성거동

① 정의

- ① 응력이 항복점을 초과하면 탄성은 사라지고 영구변형이 남게 되는데 이를 소성이라함.
- ② 항복점 이전은 탄성성질을 지니고 영역을 탄성영역, 항복점 이후의 변형영역을 소성영역이라 함.

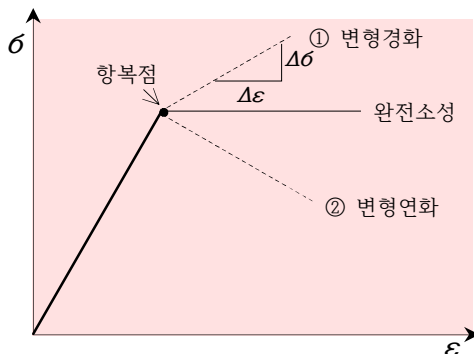


② 소성흐름 법칙

- ① 소성흐름이란 응력 - 변형을 관계에서 항복점 이후(소성영역)에서 응력의 변화가 없어도 변형의 증가가 크게 일어나는 현상으로
- ② 변형을 대신 변형률 증분으로 나타내며 지반해석시 탄소성 해석 Model의 기본이론 개념임
- ③ 기본적 3가지 가정
 - ㉠ 주변형률 증분방향과 주응력방향 일치해야함
 - ㉡ 체적변화는 없어야 함. (소성이므로 당연)
 - ㉢ 변형률 증분은 응력증분과 비례관계임 (선형이고 기울기를 말함)

④ 소성거동 해석

소성영역의 해석을 위해서는 탄성과 소성의 경계가 되는 파괴기준(항복점)을 정하고 항복점 이후의 변형 - 응력 관계를 묘사하기 위한 소성흐름법칙을 입력해야 함.



- ① 변형경화 : $\Delta\sigma / \Delta\epsilon > 0$
- ② 변형연화 : $\Delta\sigma / \Delta\epsilon < 0$

변형경화(Strain hardening), 변형연화(Strain softning)

⑤ 변형경화와 변형연화

- ㉠ 변형경화 : $\Delta\sigma / \Delta\varepsilon > 0$ → 항복점 이후 계속적인 변형이 되려면 더 많은 응력이 수반되어야 하므로 예를 들어 강섬유 보강 shotcrete로 보강한 경우 취성파괴가 아닌 연성파괴로 유도하여 변형연화에 의한 터널의 붕괴를 방지할수 있다.
- ㉡ 변형연화 : $\Delta\sigma / \Delta\varepsilon < 0$ → 소성변형이 증가함에 따라 응력이 감소하는 것을 뜻하며 대부분의 지반이 여기에 해당되며 특히 진행성 파괴에 의한 잔류강도 해석시 변형연화에 의한 모델을 활용한 지반해석이 요구된다.

3. 소성이론을 구성하는 기본요소(건국대 신종호 지반역공학 p332)

- ① 재료의 소성거동(항복)이 시작되는 응력상태의 규정 → 항복함수(Yield Function)
- ② 항복 후에도 소성변형률 증가에 따라 항복응력이 증가되는 현상
→ 변형을 경화법칙(Strain Hardening Law)
- ③ 소성변형률의 방향과 크기등 진행 메카니즘 → 소성흐름 법칙(Flow Rule)
- ④ 최대응력 이후 누적 소성변형률의 증가에 따라 항복응력이 감소되는 현상
→ 변형률 연화법칙(Strain Softning Law)
- ⑤ 파괴상태의 규정 → 파괴규준, 파괴 변형률

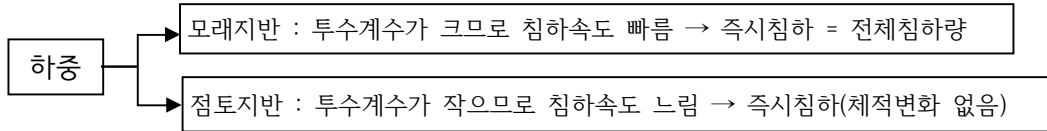
4. 지반에서의 적용

- ① 첫째, 탄소성해석시 지반은 항복점까지는 탄성거동하나 항복점 이후 소성거동하므로 소성흐름 법칙을 적용해야 하므로 지반의 상태를 확인하여 응력에 따른 변형률의 패턴을 정할 필요가 있다.
- ② 둘째, 항복점 이후 거동특성을 추정할 필요가 있는 경우 매우 유용함.
- ③ 셋째, 탄소성 Model(소성흐름)에서 대표적인 것은 Camclay model임

문제 2. 사질토 지반의 탄성침하량을 산정하는 방법에 대하여 설명하시오

1. 개요

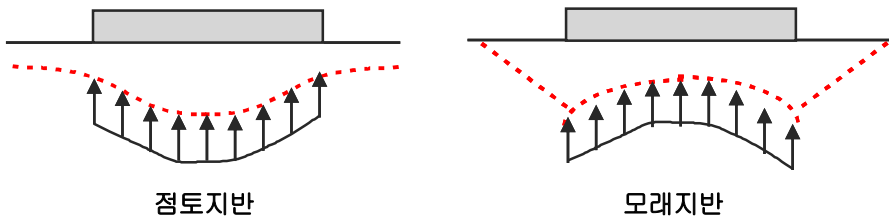
- ① 즉시침하는 외부하중이 가해지자마자 토립자의 재배열로 인한 전단변형으로 발생하는 침하이다.
- ② 지반의 종류별 즉시침하 양상



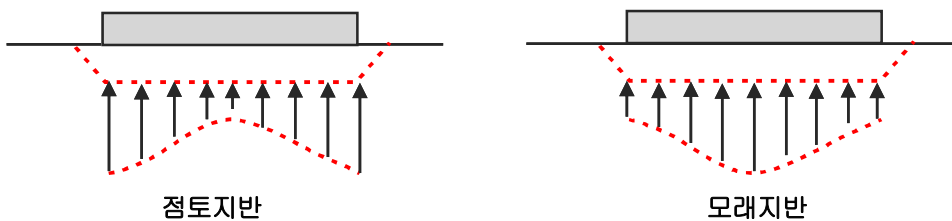
2. 탄성론에 근거한 탄성침하량의 산정

① 접지압과 침하

① 연성기초



② 강성기초



② 이론식 (Harr 1966)

단위면적당 순하중 q 를 받고 있는 얇은 기초의 탄성침하량은 다음과 같다.

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

- 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)

※ 변형계수를 구하는 방법

- ① 실내시험 : 일축압축시험 삼축압축시험 공진주시험 반복삼축압축시험
- ② 현장시험 : 공내재하시험 평판재하시험 표준관입시험 공내검층시험

3. 사질토 지반의 탄성침하량의 산정

① Schmertmann & Hartman (1978) 제안식

사질토의 즉시침하는 반 경험적인 변형을 영향계수를 이용하여 각 층의 침하량을 합침으로써 전체 침하량을 계산하는 방법을 제안함.

$$S_i = C_1 C_2 \Delta P \sum \frac{I_z}{E_s} \cdot \Delta z$$

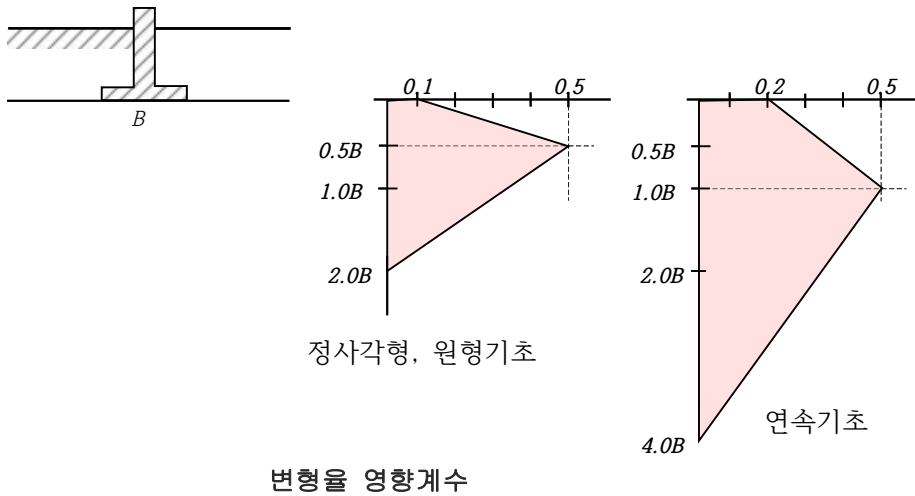
여기서, C_1 : 근입깊이 보정 보정계수 = $1 - 0.5(P_o/\Delta P \geq 0.5)$

P_o : 기초면의 초기수직응력

ΔP : 기초저면 수직응력 증가분(순하중)

C_2 : Creep 에 대한 보정계수 = $1 + 0.2 \log(\text{년수}/0.1)$

I_z : 변형을 영향계수 Δz : 각 토층의 두께



* 깊이에 대한 변형률 영향계수

구 분	Z	I_z	구 분	Z	I_z
정사각형 원형	0	0.1	연속기초 (L/B > 10)	0	0.2
	0.5B	0.5		B	0.5
	2B	0		4B	0
	기초폭의 2배"까지 영향			기초폭의 4배까지 영향	

② 표준관입시험에 의한 방법

$$S_i = 0.4 \frac{P_o}{N} H \text{Log} \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

여기서, P_o : 유효토피하중, N : 모래층의 평균 N값 H : 모래층 두께

ΔP : 지반재하하중

③ Dutch Cone 관입시험에 의한 방법

$$S_i = 1.53 \frac{P_o}{qc} H \text{Log} \left(\frac{P_o + \Delta P}{P_o} \right)$$

4 평판재하시험에 의한 방법 (테르자기 - 팩)

구 분	지 지 력	즉 시 침 하 량
사 질 토	$q_u (기초) = q_u (재하) \cdot \frac{B (기초)}{B (재하)}$	$S_{(기초)} = S_{(재하)} \left[\frac{2B (기초)}{B (기초) + B (재하)} \right]^2$

4. 사질토 지반에서 재하폭이 침하에 미치는 영향

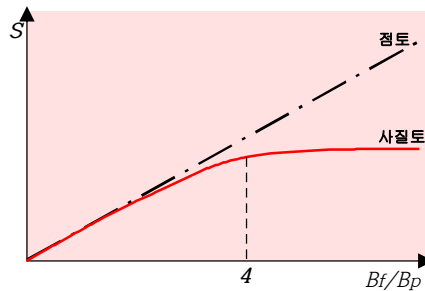
- 1 사질토 지반의 즉시침하량 공식에서 보듯이 기초폭이 커지면 침하량이 증가함.
- 2 Schmertmann & Hartman (1978) 제안식에서 기초형태에 따라 침하영향심도가 달라짐

구 분	Z	I _z	구 분	Z	I _z
정사각형 원 형	0	0.1	연속기초 (L/B > 10)	0	0.2
	0.5B	0.5		B	0.5
	2B	0		4B	0
	기초폭의 2배"까지 영향			기초폭의 4배까지 영향	

즉, 기초폭이 커지면 지중응력이 미치는 범위가 깊어지므로 침하하는 압축층 두께가 증가함.

- 3 평판재하시험에서 사질토의 경우 기초폭 증가에 따라 침하량은 직선비례로 증가하지는 않지만 개략 재하폭이 증가하면 침하량은 증가함.

※ 그 이유는 깊이가 증가하면 구속응력의 증가로 탄성계수가 증가하므로 침하량은 감소하기 때문임.



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

- 4 따라서 즉시침하량의 정확도를 높이기 위하여 변형계수의 평가가 적절하게 이루어져야 함.

문제 3. 선행압밀하중(Pre-consolidation Pressure)에 대하여 설명하시오

1. 정 의

압밀곡선은 과거에 받았던 압력을 다시 받을 때 에 곡선의 경사가 완만하나 그 이상의 하중을 받게 되면 경사가 갑자기 가파르게 된다.

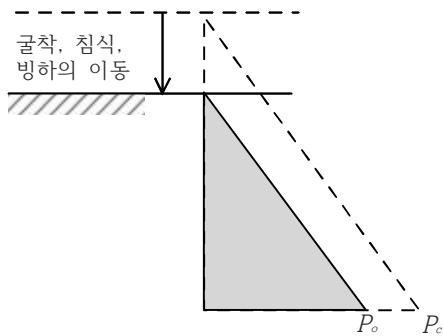
이와 같은 압밀곡선의 변화는 흙의 응력경력에 의한 것이며 경사변화의 경계가 되는 압력 즉, 지반중에 과거에 받았던 최대의 하중을 선행압밀하중이라 한다.

※ 압밀곡선에서 압밀압력의 증가에 따라 탄성에서 소성으로 항복되는 한계압력임.

2. 과압밀 발생원인 = 선행압밀하중의 발생원인

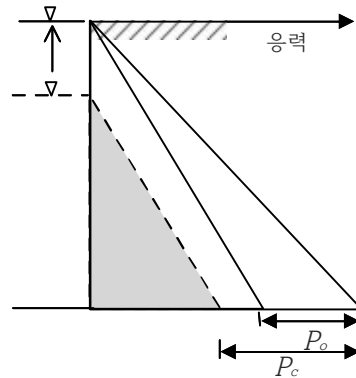
① 전응력의 변화

- ① 토피하중의 제거(굴착)
- ② 구조물의 제거
- ③ 빙하의 이동



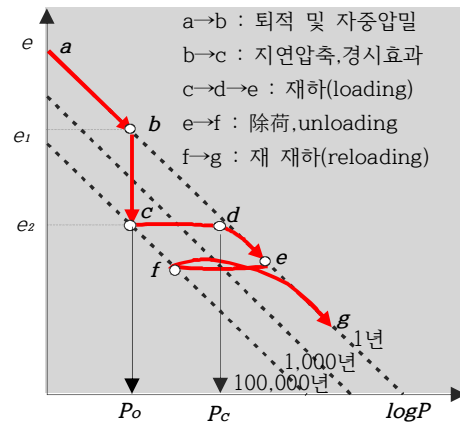
② 간극수압의 변화

- ① 피압 ② 지하수위 저하
- ③ 건조에 의한 증발산
- ④ 식물에 의한 증발산



③ 환경변화 및 기타원인

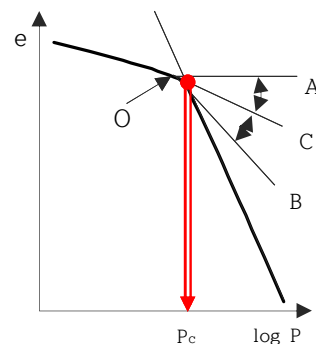
- ① 2차압밀
- ② 화학적 원인에 의한 지반변화 등



3. 선행압밀하중 결정법

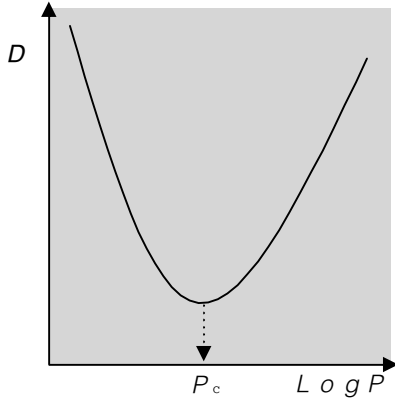
① Cassagrand 법

- ① 압밀시험에서 작도된 $\log P - e$ 곡선 에서 최대 곡률 반경인 점 O 를 정한다.
- ② 점 O 에서 수평선 A 를 긋는다.
- ③ 점 O 에서 접선 B 를 긋는다.
- ④ 선분 A 와 B 로 부터 이등분선 C 를 긋는다.
- ⑤ 처녀압밀곡선의 연장선을 그린다.
- ⑥ 교점에서 수선을 내려 $\log P$ 축과 만나는 교점이 선행압밀하중 P_c 이다.



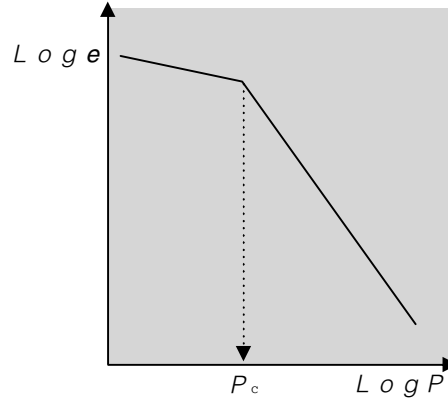
② Janbu 방법

- ① $D = \epsilon / \Delta P$
- ② 그림에서 P_c 구함.



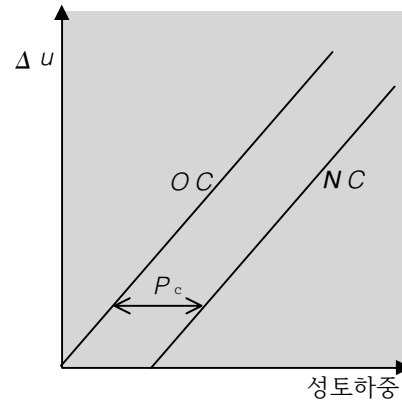
③ Jose 방법

- ① 양대수 용지에서 실측곡선 그림
- ② 절곡점을 구하여 P_c 구함.



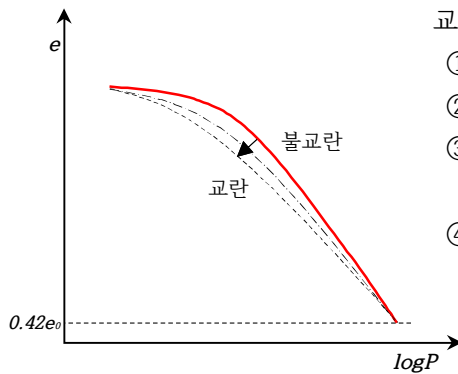
④ Morin 방법

- ① 성토하중에 의한 Δu 작성
- ② OC가 NC보다 Δu 만큼 작게 발생한다는 개념



4. e - log P 곡선에서 선행압밀하중의 수정

- ① 시료교란으로 인한 영향



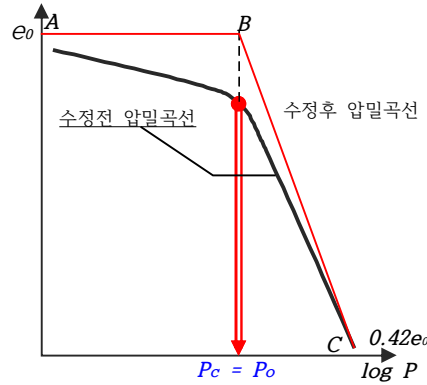
교란이 큰 경우

- ① e-logP 곡선이 좌측으로 그려짐
- ② 과압밀구간은 기울기 증가
- ③ 정규압밀구간은 기울기 완만
→ 압축지수가 작아짐
- ④ 선행압밀하중이 작게 구해짐

시료교란에 따른 e-logP 곡선의 영향

② $e - \log P$ 곡선의 수정 (Schmertmann 방법, 1953)

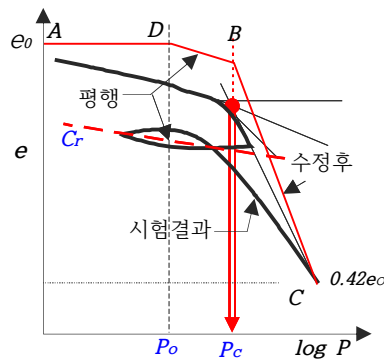
㉠ 정규 압밀 점토의 경우



- 초기의 유효응력 P_0 에 해당하는 초기 간극비 e_0 를 구하고 수평선을 긋는다.
- 선행압밀하중에서 수직선을 그어 만나는 교점 B 를 구한다.
- 실험실과 현장의 압밀곡선은 경험상 $0.42e_0$ 점에서 일치되므로 점 C 를 정함.
- 점 B 와 C 를 직선으로 연결하면 현장상태의 처녀압밀곡선이 된다.

㉡ 과압밀점토의 경우

- 초기 간극비 e_0 를 구하고 수평선을 긋는다.
- 유효상재하중 P_0 와 만나는 점 D 를 구하고
- Casagrande 방법으로 선행압밀하중 P_c 를 구하여 수직선을 긋는다.
- 점 D 로 부터 재압축 시험한 기울기인 C_r 과 같은 기울기로 평행하게 그어서 만나는 점 B 와의 교점을 구한다.
- $0.42e_0$ 되는 점 C 와 B 를 직선으로 연결하면 DBC 는 현장상태의 처녀압밀 곡선이 된다.



5. 결과의 이용

㉠ 선행압밀 하중에 따라 현재 지반에 가해지는 하중에 따른 침하량 결정

① 정규압밀 점토의 침하량

$$\therefore \Delta H = S = \frac{C_c}{1+e_0} H \log \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$$

② 과 압밀 점토의 침하량

㉠ $P_o + \Delta p \leq P_c$

$$S = \frac{C_r}{1+e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}$$

㉡ $P_o + \Delta p > P_c$

$$S = \frac{C_r}{1+e_o} H \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o + \Delta P}{P_c}$$

㉢ 강도증가율 : 선행압밀하중 이상 하중 재하시 강도증진

① 기본 공식 : $C = C_o + \alpha \Delta P U$ 에서 선행압밀하중 이하로 재하시 강도증진 없음

② 선행압밀하중 이상 재하시 : $P_o + \Delta P > P_c \rightarrow \Delta P = P_o + \Delta P - P_c$

문제 4. 최근 국내강우특성이 아열대성 기후로 변화하고 있고 국지성 집중호우가 빈번해짐에 따라 산악지형이 많은 우리나라에서 발생되고 있는 토석류에 대하여 설명하시오.

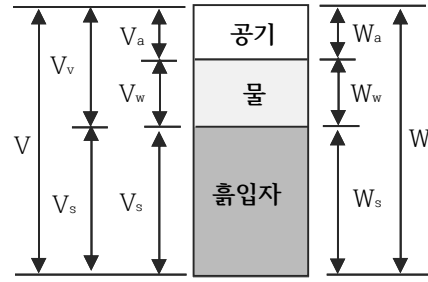
자료실에 별도의 파일로 첨부하였습니다. 참고하여 주시길 바랍니다.

문제 5. 포화토와 불포화토의 전단특성에 대하여 설명하시오

1. 불 포화토란

- ① 포화도란 흙의 간극중에 물로 채워진 비율을 말하며 불포화토란 간극속에 물이 완전히 채워지지 않고 공기가 존재하는 흙을 말한다.

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100(\%)$$



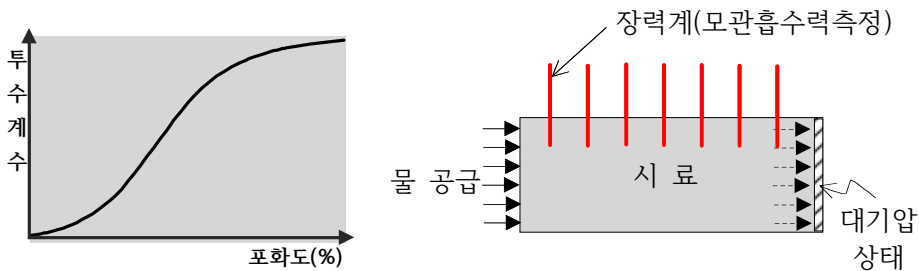
흙의 상상

- ① 포화도의 범위는 0에서 100%이며
- ② 지하수위이하에 존재하는 흙은 포화도가 100%임 $\Rightarrow V_w=V_v, V_a = 0$
- ③ 포화토의 $S=100\%$ 이며 완전건토는 $S=0\%$ 이고 불포화토의 $S = 0\sim 100\%$ 사이에 있게 되며 실용적으로 $S=95\%$ 이상을 포화토로 간주함.

- ② 실제로 국내의 대부분 토질은 불포화토로서 공기의 존재로 인해 토성이 변화하므로 이에 대한 특성이 고려되어야 한다.

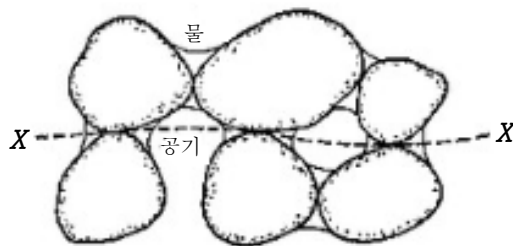
2. 포화도와 투수계수

- ① 흙이 포화되지 않았다면 기포의 존재로 인해 물의 흐름을 방해하기 때문에 포화도가 높을수록 투수계수는 커진다.
- ② 불포화토의 투수계수는 함수특성곡선을 이용하거나 IPM(Instantaneous profile method) 이용함.
- ③ 한쪽에서는 물을 공급하고 반대편에서는 대기압 상태로 유지하면서 각 측정위치마다 모관흡수력, 함수비 측정후 투수계수 간접추정



3. 불포화토의 Suction과 유효응력

- ① 불포화토는 간극내에 공기가 존재하므로 간극압은 공기압을 추가해야 한다.



불포화토에 작용하는 간극수압과 공기압

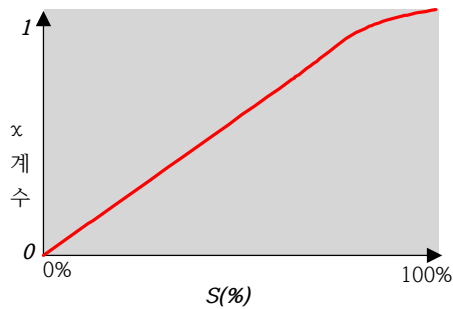
① 전 연직응력은 그림과 같이 흙과 물과 공기로 전달되는 압력이므로

$$\begin{aligned} \sigma_v &= \sigma_v' + u_w(A_w/A) + u_a(1-A_w/A) \\ &= \sigma_v' + x \cdot u_w + u_a(1-x) \\ \therefore \sigma_v' &= (\sigma_v - u_a) - x(u_a - u_w) \end{aligned}$$

여기서, $x = A_w/A$ A : 전체단면적 A_w : 수압이 작용하는 면적

② 여기서, u_a 는 간극 공기압으로 실제 계기상의 공기압은 대기압상태와 동일하다고 하면 '0'이 되므로

$$\sigma_v = \sigma_v' + x \cdot u_w$$

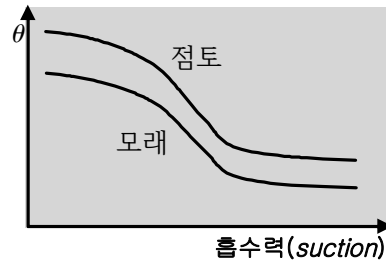


포화도와 x 와의 관계(Bishop 1960)

③ 건조한 흙은 포화도가 '0'이므로 $x=0$ 이되어 $\sigma_v = \sigma_v'$ 이 된다.

※ 전응력과 유효응력이 동일하다.

② 함수특성 곡선 = 흙 수분 특성 곡선
(Soil water characteristic curve)
흙 수분 특성 곡선이란 체적함수량(θ)
와 부(負)의 간극수압과의 관계곡선을 말하
며 이 곡선으로 부터 불포화도가 포화도에
비해 θ 의 간극수압이 증가함을 알수 있다.



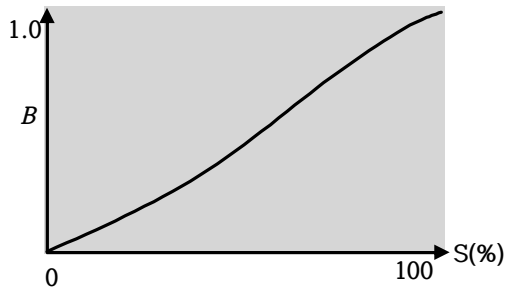
$$\text{체적함수량}(\theta) = n \cdot s = \frac{V_v}{V} \times \frac{V_w}{V_v} = \frac{V_w}{V} \quad \text{여기서, } \theta : \text{체적함수량} \quad n : \text{간극률} \\ S : \text{포화도}$$

③ 공학적 성질

- ① 포화도 감소 \Rightarrow 불포화 \Rightarrow 모관현상 \Rightarrow 유효응력 증가
- ② 사면붕괴 메카니즘

강우 \Rightarrow (불포화 \Rightarrow 포화) \Rightarrow θ 간극수압 상실 \Rightarrow 유효응력 저하 \Rightarrow 사면활동 발생

4. 포화도와 간극수압계수



① 간극수압계수(B)

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma_3}$$

완전 건조시 $B = 0$

불 포화시 $B = 0 \sim 1$

포화시 $B = 1$

② 실용적으로 $S = 95\%$ 이상이면 포화로 간주 이때 $B = 0.9$ 정도임.

③ B 계수는 삼축압축시험에서 시료의 포화정도를 판단하는데 적용

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

⑤ 즉, 불포화되면 $B < 1$ 되어 Δu 가 작아짐.

5. 전단강도

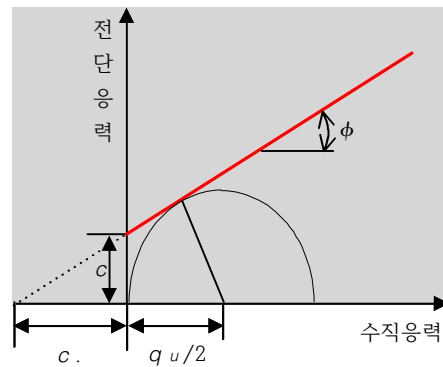
① 일축압축 강도

$$\sin \phi = \frac{q_u/2}{c + q_u/2}$$

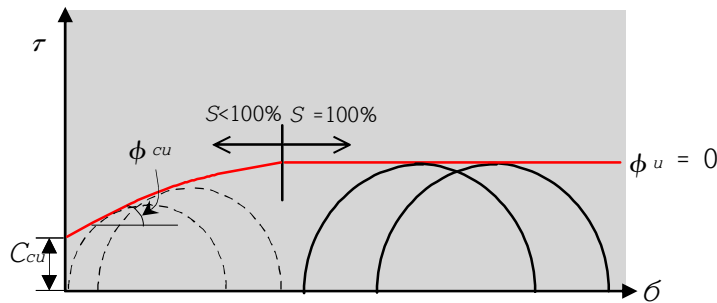
$$c = \frac{q_u}{2 \cdot \tan(45^\circ + \phi/2)}$$

① 포화토 ($\phi = 0$) : $c = q_u/2$

② 불포화토 ($\phi > 0$) : $c < q_u/2$



② 삼축압축시험(구속압력 : 포화토와 불포화토의 강도정수 적용 차이)



불포화토의 UU시험에서의 Mohr 포락선

- ① 시험을 행하는 과정에서 현장의 포화상태가 시료채취과정과 운반과정에서 느슨하게 즉, 불포화 상태로 변하게 된 것을 UU - test하는 경우
- ② 처음에 압력을 가할때는 압밀이 발생하므로 유효응력의 변화가 생기므로 구속압의 증가에 따라 전단강도의 증가가 발생되나
- ③ 결국 완전포화상태에 이르면 토질에 관계없이 $\phi = 0$ 의 거동을 보이게 됨

④ 전단강도

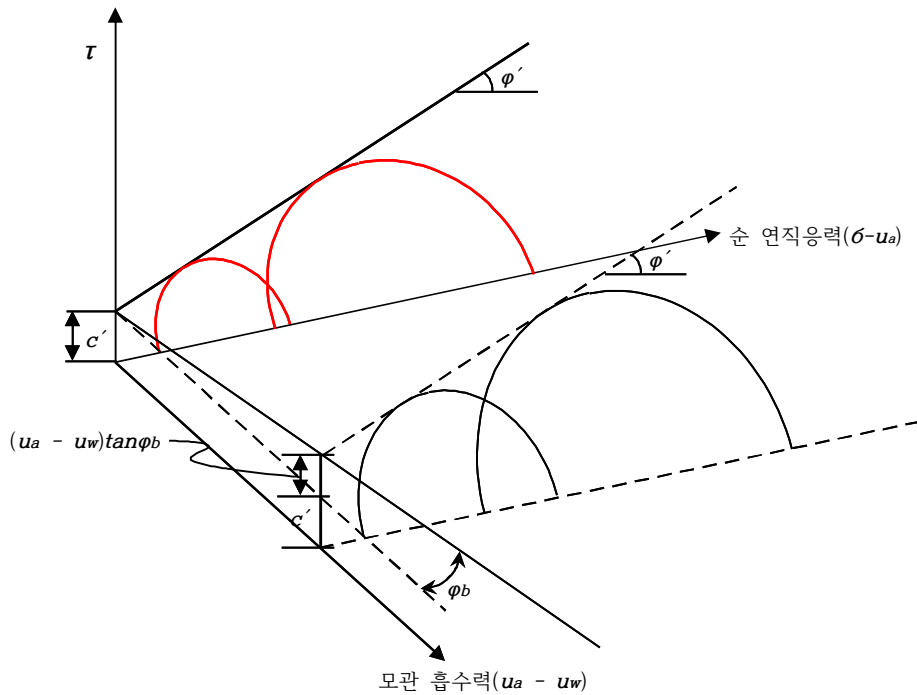
$$\text{- 포화토 : } \tau = S_u \quad \text{- 불포화토 : } \tau = C_{cu} + \sigma \tan \phi_{cu}$$

③ 불포화토 전단강도

- ① 불포화토의 전단강도는 유효점착력 C' , 순 수직응력 $\sigma - u_a$, 모관흡수력 $u_a - u_w$ 의 3가지 상태로 표현됨
- ② 즉, 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$\tau = c' + (\sigma - u_a) \tan \Phi' + (u_a - u_w) \tan \Phi_b$$

여기서, c' : 포화토의 점착력 $\sigma - u_a$: 순 연직응력
 Φ' : 포화토의 내부마찰각
 $u_a - u_w$: 모관 흡수력
 Φ_b : 모관흡수력에 따른 겉보기 점착력의 기울기(흡수마찰각)



확장된 Mohr-Coulomb 파괴규준

6. 평 가

① 이론과 실제

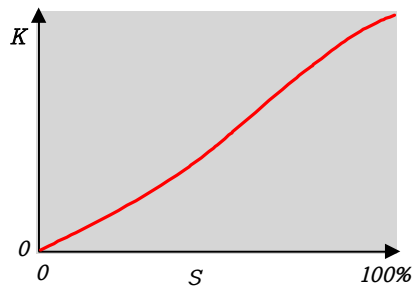
설계시 : 포화토 개념 설계 ⇒ 실제 현장 : 불포화 토

② 포화도 감소 ⇒ 불포화 ⇒ 모관현상 ⇒ 유효응력 증가

③ 사면붕괴 메카니즘

강우 ⇒ (불포화 ⇒ 포화) ⇒ 負 간극수압 상실 ⇒ 유효응력 저하 ⇒ 사면활동 발생

④ 불포화 ⇒ 공기저항 ⇒ 투수계수저하



④ 적용

- ① 사면 안정해석
- ② 제체 침투해석
- ③ 지반해석시 負의 간극수압 고려한 유효응력 해석
- ④ 지반개량후 효과 분석시 활용

문제 6. Mohr-Coulomb 파괴 포락선을 이용하여 Rankine 주동토압을 유도 하시오

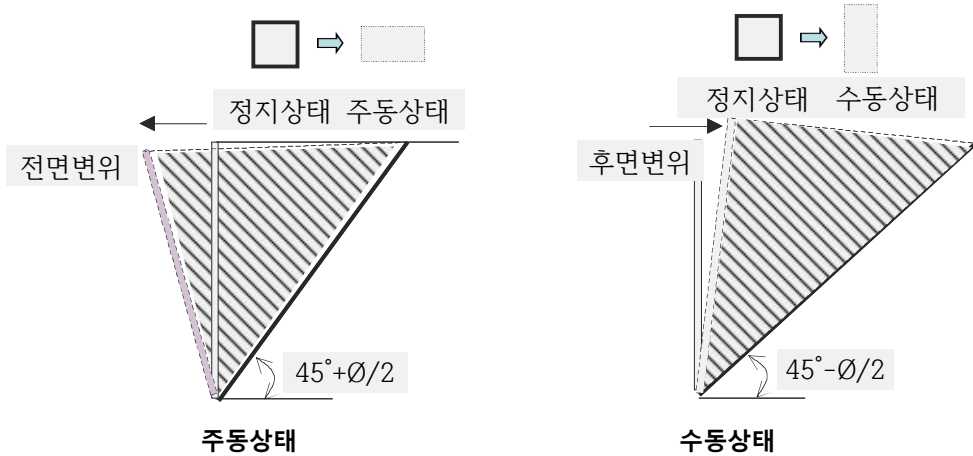
1. Rankine의 토압론

① 기본 가정

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

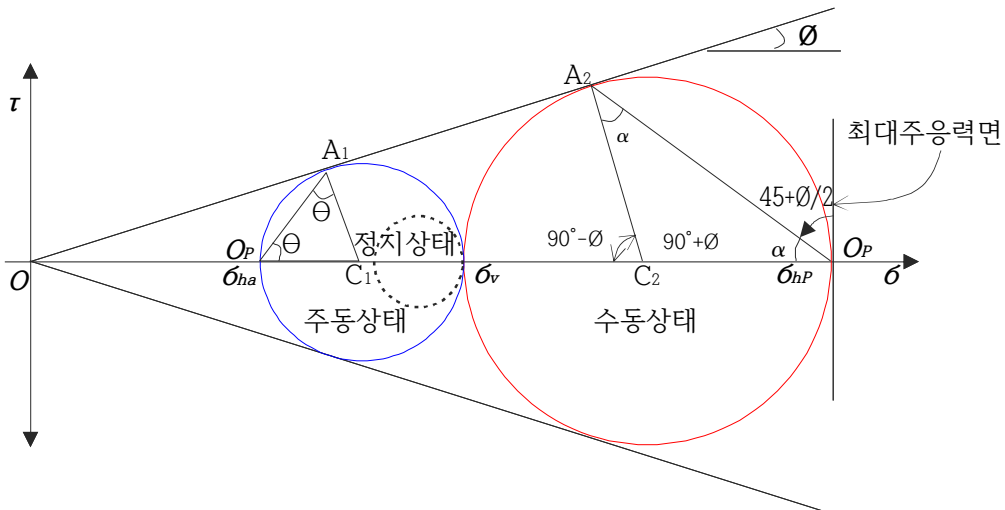
② 이론적 근거

벽체 변위(팽창 및 압축)에 따라 파괴면 내의 흙 요소는 소성 파괴 되며 이로 인해 토압이 발생된다는 이론임



※ 주동토압의 크기는 과대하게 평가되며 수동토압의 크기는 과소하게 평가되므로 전체적으로 실제안전율에 비해 과소하게 평가된다.

2. Mohr-Coulomb 파괴 포락선을 이용하여 Rankine 주동토압



① 주동/수동 상태의 파괴각

- ① 정지상태로 부터 응력이 앞으로 넘어지면 수직응력은 일정하나 수평응력은 감소 즉, 팽창되어 *Mohr-coulomb*의 파괴포락선에 접하게 된다.
- ② 파괴각은 최대 주응력면으로 부터 파괴면까지 반 시계방향각이므로 주동상태의 경우에는 그림에서 처럼 θ 가 파괴각이 될 것이다.
- ③ 그러면 θ 를 구하기 위해 $\angle OC_1A_1 = 180^\circ - 90^\circ - \theta = 90^\circ - \theta$ 이며 $2\theta + \angle OC_1A_1 = 180^\circ$ 이므로 $2\theta = 180^\circ - (90^\circ - \theta) = 90^\circ + \theta \quad \therefore \theta = 45^\circ + \theta/2$
- ④ 수동상태의 경우 $\angle OC_2A_2 = 180^\circ - 90^\circ - \theta = 90^\circ - \theta$ 이며 $\angle A_2 C_2 \sigma_{hp}$ 는 $90^\circ + \theta$ 가 됨
여기서 $\triangle A_2 C_2 \sigma_{hp}$ 는 이등변 삼각형이므로 $2\alpha = 180^\circ - (90^\circ + \theta)$ 가 된다.
 $\therefore \alpha = 45^\circ - \theta/2$ 가 되며
그림과 같이 최대 주응력면은 수직면이므로 파괴각은 최대 주응력면으로부터 반시계 방향으로 파괴된다.

② 토압계수(Coefficient of active earth pressure)산출

주동 토압계수
(Coefficient of active earth pressure)

$$\textcircled{1} \sin \theta = \frac{C_1 A_1}{O C_1} = \frac{\frac{1}{2} (\sigma_v - \sigma_{ha})}{\frac{1}{2} (\sigma_v + \sigma_{ha})}$$

② σ_v 로 나누어 주면

③ $1 - \sin \theta = K_a (1 + \sin \theta)$

$$\therefore K_a = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \tan^2(45^\circ - \theta/2)$$

수동 토압계수
(Coefficient of Passive earth pressure)

$$\textcircled{1} \sin \theta = \frac{C_2 A_2}{O C_2} = \frac{\frac{1}{2} (\sigma_{hp} - \sigma_v)}{\frac{1}{2} (\sigma_v + \sigma_{hp})}$$

② σ_v 로 나누어 주면

③ $1 + \sin \theta = K_p (1 - \sin \theta)$

$$\therefore K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \tan^2(45^\circ + \theta/2)$$

3. Rankine, Coulomb 토압비교

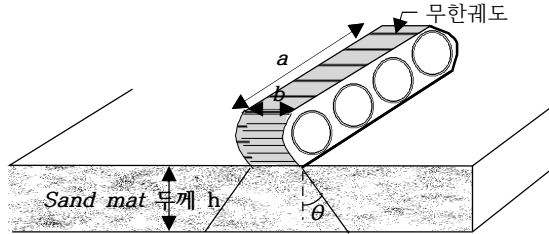
구 분	Rankine (1800년대)	Coulomb (1700년대)
이론근거	파괴면내의 흙은 소성파괴되어 Mohr-coulomb파괴이론 적용	파괴면 내의 흙은 강소성체 거동을 하고 벽마찰각이 존재함
벽 마찰각	미 고려	고려
토압의 작용방향	지표면과 평행	지표면과 무관하며 벽마찰각만큼 상향 또는 하향으로 작용
설 계 적 용	중력식	×
	역T형	외적안정
		내적안정(벽체계산)

- ① 응력 배면이 수직이고 뒤채움 흙의 경사가 수평이며 벽 마찰을 무시하면 결과적으로 Rankine의 토압과 Coulomb의 토압은 같게 된다.
- ② 응력 배면이 수직이고 뒤채움 흙의 경사와 벽 마찰각이 일치한다면 Rankine의 토압과 Coulomb의 토압은 같게 된다.

3교시

문제 1. 비배수전단강도가 15.0kPa인 연약지반에 PBD 타설을 하고자 한다. 장비의 주행성확보를 위한 Sand Mat 두께를 구하시오.

(단, PBD장비 총중량 600kN, 한쪽의 무한궤도에 작용하는 접지압을 이용하여 검토하며 Sand Mat두께는 10cm단위로 증가시켜 산정한다.)

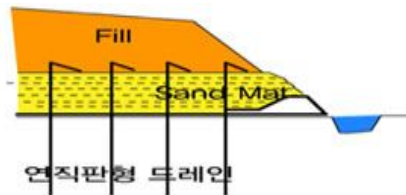


장비본체중량	Leader 중량	Casing 중량	Vibro Hammer 중량
400kN	150kN	25kN	25kN
궤도 길이(a)	궤도 폭(b)	기준안전율	하중분산각
4.8M	0.8M	1.50	30.0°

1. Sand Mat 공법

① 정의

아래 그림과 같이 연약지반 위에 50~100cm두께의 모래층을 깔고 연약층의 간극수 배제시킴으로써 지반강도를 발현 시킴



② 기능

- ① 장비 주행성 확보
- ② 개량대상 지반 배수기능
- ③ 성토층 내로 수위상승 억제

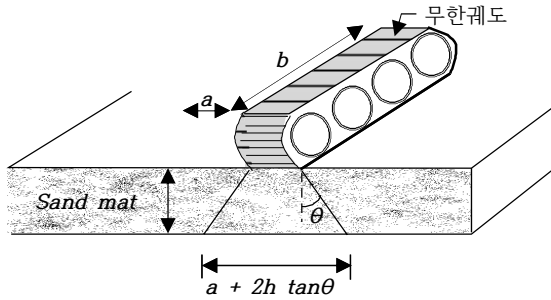
③ Sand Mat 두께 설계

① 장비 주행성 확보를 위한 두께 결정

㉠ 경험적 두께 결정 : 접지압과 연약층 표면의 콘지수에 따라 경험적 결정

항 목		모래층 두께(cm)	비고
i 사용토공 기계종의 최대접지압(kgf/cm²)	0.7이하	50	i ii 중에서 현장조건 고려 결정 : 보통 50~100cm 적용
	0.7~1.0	50~80	
	1.0~1.5	80~120	
	1.5~2.5	120~150	
	2.5이상	150이상	
ii 연약층 표층의 콘지수(kgf/cm²)	0.5이하	150이상	
	0.5~0.75	120~150	
	0.75~1.0	80~120	
	1.0~2.0	50~80	
	2.0이상	50	

㉠ 토목섬유 미포설시 두께



$$F_s = q / q_d \geq 1.5$$

$$q = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f$$

$$q_d = q_b + q_m$$

여기서, q : 원지반 지지력(tonf/m²) q_d : 상재하중(tonf/m²)
 C : 원지반 점착력(tonf/m²) q_b : 성토하중
 N_c : 지지력 계수(Terzaghi, $N_c = 5.7$)
 γ_t : 모래의 단위중량 D_f : Sand Mat 의 두께
 q_m : 장비하중

$$q_m = \frac{W(1+i)}{(a + 2h \tan\theta)(b + 2h \tan\theta)}$$

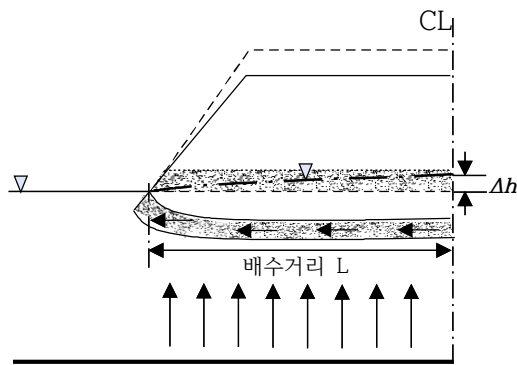
W : 장비하중(ton) i : 충격계수(0.2)
 θ : 하중분산각 (2:1 분포 = 26.6°)

㉡ 토목섬유 포설시 두께

$$h = a \left(\frac{P \cdot F_s}{5.3c + (2 T \sin\theta/a)} - 1 \right)$$

② 배수기능 확보

㉠ 두께 충분조건 검토 : 압력수두 < Sand Mat 두께



$$Q = L \cdot S = K \cdot i \cdot A = K \cdot \frac{\Delta h}{L} \cdot h \cdot l$$

$$\Delta h = \frac{L^2 \cdot S}{K \cdot h}$$

여기서, Q : 침하에 의한 배수량(cm³) L : 배수거리(집수정 간격 / 2)

S : 평균 침하속도(cm/일) K : Sand Mat 내 투수계수
 Δh : 압력수두(Sand Mat 내 수위)
 h : Sand Mat 두께

2. 토목섬유 미포설시 Sand Mat 두께 산정

① 관련공식

- ① $F_s = q / q_d \geq 1.5$
- ② $q = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f$
- ③ $q_d = q_b + q_m$

$$q_m = \frac{W(1+i)}{(a + 2 h \tan\theta)(b + 2 h \tan\theta)}$$

② 두께 50cm로 가정

- ① $q = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f = 1.5 \cdot 5.7 + 1.8 \cdot 0.5 = 9.45 \text{tonf/m}^2$
- ② $q_d = q_b + q_m$
 $q_b = 0$

$$q_m = \frac{W(1+i)}{(a + 2 h \tan\theta)(b + 2 h \tan\theta)} = \frac{30(1+0.2)}{(0.8+2*0.5\tan30)(4.8 + 2*0.5\tan30)} = 4.86 \text{tonf/m}^2$$

- ③ $q_d = 4.86 \text{tonf/m}^2$
- ④ $F_s = q / q_d = 9.45 / 4.86 = 1.94 \geq 1.5 \rightarrow$ 과설계

③ 두께 40cm로 가정

- ① $q = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f = 1.5 \cdot 5.7 + 1.8 \cdot 0.4 = 9.27 \text{tonf/m}^2$
- ② $q_d = q_b + q_m$
 $q_b = 0$

$$q_m = \frac{W(1+i)}{(a + 2 h \tan\theta)(b + 2 h \tan\theta)} = \frac{30(1+0.2)}{(0.8+2*0.4\tan30)(4.8 + 2*0.4\tan30)} = 5.42 \text{tonf/m}^2$$

- ③ $q_d = 5.42 \text{tonf/m}^2$
- ④ $F_s = q / q_d = 9.27 / 5.42 = 1.7 \geq 1.5 \rightarrow$ 과설계

④ 두께 30cm로 가정

- ① $q = C \cdot N_c + \gamma_t \cdot D_f = 1.5 \cdot 5.7 + 1.8 \cdot 0.3 = 9.09 \text{tonf/m}^2$
- ② $q_d = q_b + q_m$
 $q_b = 0$

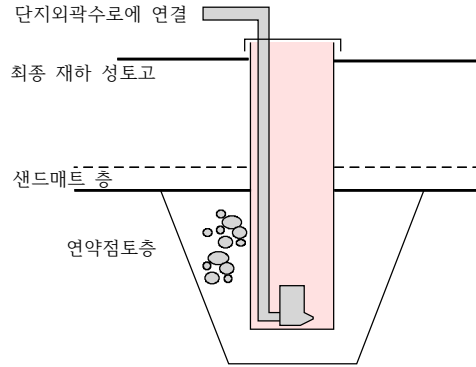
$$q_m = \frac{W(1+i)}{(a + 2 h \tan\theta)(b + 2 h \tan\theta)} = \frac{30(1+0.2)}{(0.8+2*0.3\tan30)(4.8 + 2*0.3\tan30)} = 6.1 \text{tonf/m}^2$$

- ③ $q_d = 6.1 \text{tonf/m}^2$
- ④ $F_s = q / q_d = 9.09 / 6.1 = 1.49 \leq 1.5 \rightarrow$ 과소설계

※ 적절한 SAND MAT의 두께는 35cm로 정한다.

3. 설계시 유의사항

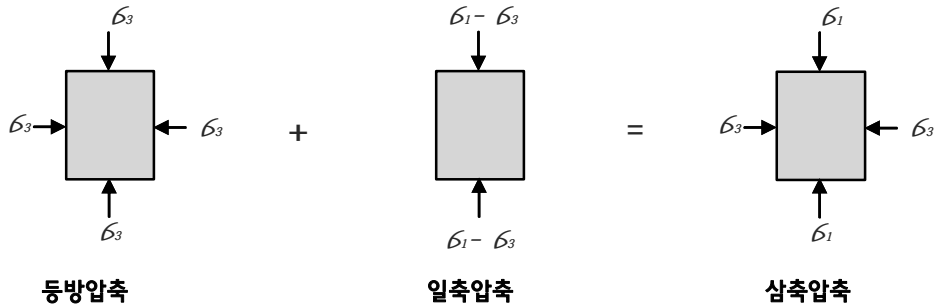
- ① 원지반의 전단강도와 접지압, *Sand Mat* 배수성 고려 *Sand Mat* 두께 결정
- ② *Sand Mat* 의 두께가 과도할 시 토목섬유 포설 고려 (균등침하, 하중균등분포)
- ③ 적정 입도와 투수계수 선정
- ④ *Sand Mat* 의 배수거리가 너무 길어 *Sand Mat* 내 압력수두가 큰 경우
 - ① *Sand Mat* 내 수평 배수관 적용 (유공관) : 격자형 배치 검토
 - ② 압밀에 따른 배수관 기능저하 → 집수정 및 배수펌프 사용



문제 2. 삼축압축시험 결과를 활용하여 최적의 강도정수를 결정하는 방법에 대하여 설명

1. 개요

- ① 삼축압축 시험은 현장의 응력상태와 배수조건을 최대한 재현한 시험으로 전단강도를 얻기 위한 시험 중 가장 신뢰성이 확보되는 시험이다.
- ② 임의지점 시료를 채취하여 시험기에 넣고 구속압력(σ_3)을 일정하게 가한다음 축차응력을 추가하여 시료를 파괴시키며 이때의 응력상태를 Mohr원에 대입하여 강도정수를 구하는 시험이다.



2. 최적의 강도정수를 결정하는 방법

① 배수조건에 따른 구분

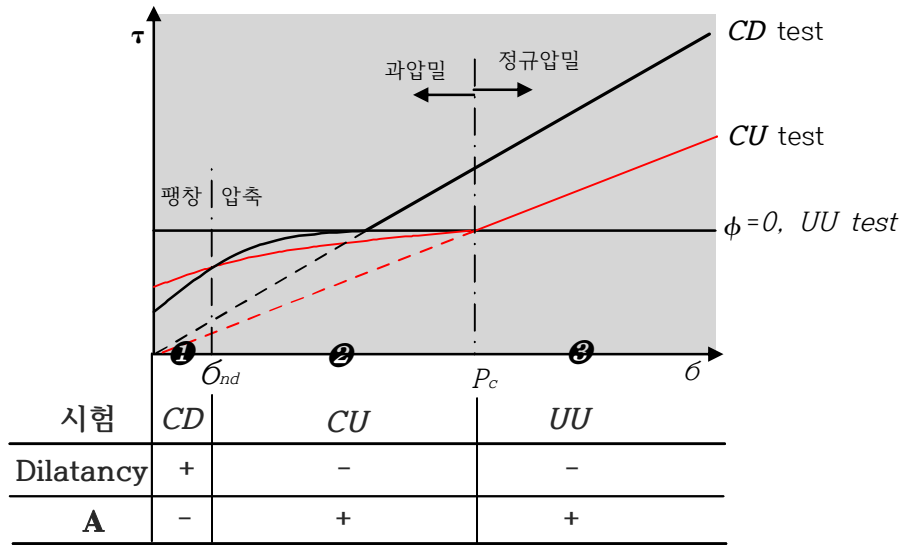
구분	압밀단계	전단시	적용
비 압밀 비 배수시험 : UU test (Unconsolidation Undrain test)	비 배수	비 배수	<ul style="list-style-type: none"> •점토지반에 급속성토 (성토직후 사면안정) •절토중 사면안정 •단계성토 직후 •UU조건 기초 지지력(점토지반)
압밀 비 배수시험 : CU test, \overline{CU} test (consolidation Undrain test) - 등방 : CIU, \overline{CIU} - 비등방 : CAU, \overline{CAU}	배수	비 배수	<ul style="list-style-type: none"> •압밀된 지반에 단계성토 직후 •수위 급강하 •자연사면 위 성토
압밀 배수시험 : CD test (consolidation drain test)	배수	배수	<ul style="list-style-type: none"> •완속 성토 •장기 사면해석 •과 압밀 점토지반 사면해석 •정상 침투 •모래지반 안정해석

② 구속압력 선정방법에 따른 구분

- ① 전응력 시험 : 전응력으로 토피하중을 가감 (UU, CU)
- ② 유효응력 시험 : CU시험, CAU시험, CD시험

③ 선행압밀하중 크기에 따른 시험의 적용

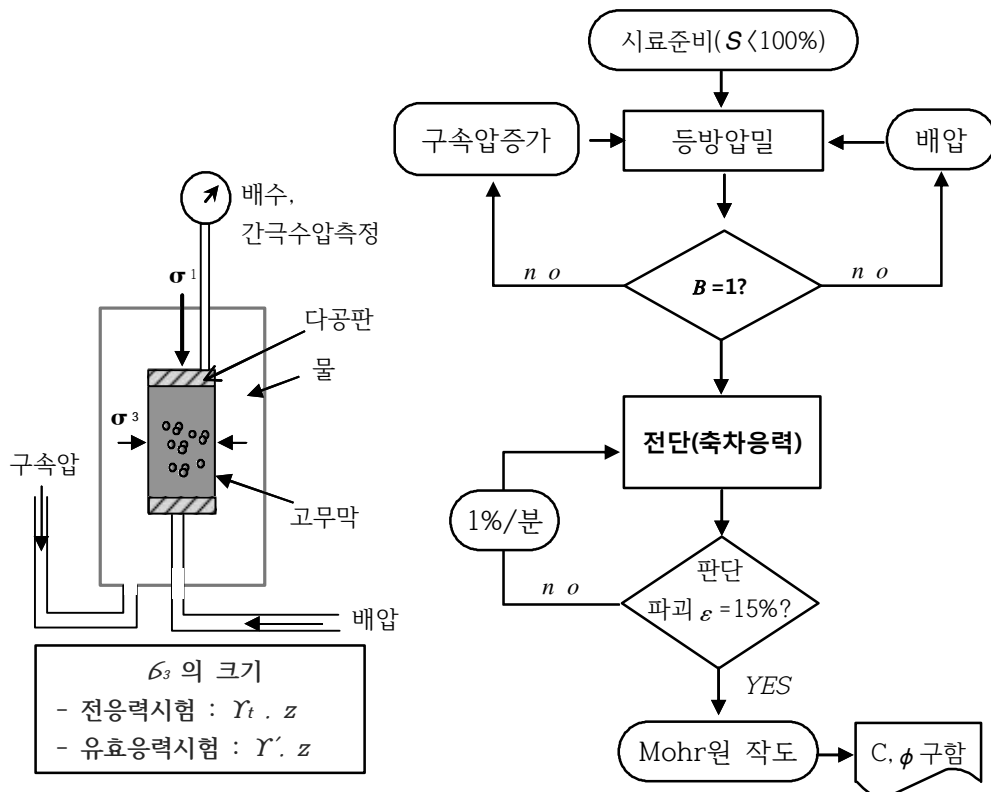
① 시험의 적용



② 강도정수와 해석법 적용

구분	① : $0 \sim \sigma_{nd}$	② : $\sigma_{nd} \sim P_c$	③ : P_c 이상
시험법	CD	CU	UU
강도정수	C_d, ϕ_d	C_{cu}, ϕ_{cu}	$\phi = 0, \tau = S_u$
해석법	유효응력	유효응력	전응력 해석
Dilatancy	+	-	-
간극수압 계수	-	+	+

3. 시험절차와 방법



4. 결과의 이용

- ① C와 ϕ 를 이용 → 토압, 기초의 지지력, 사면안정해석 적용
- ② 강도 증가율 추정 : $\alpha = C_u / P'_{o} \rightarrow \Delta C = \alpha \cdot \Delta P \cdot U$
- ③ 간극수압계수 : 간극수압 계산에 사용

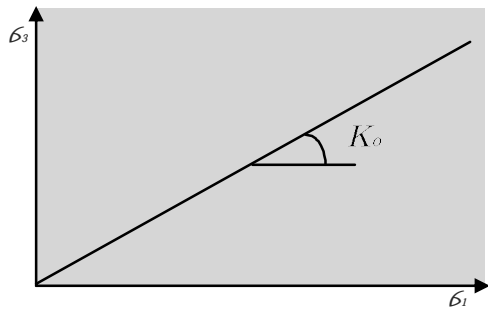
$$\Delta U = B[\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]$$

- ④ 변형계수를 추정 : 최대압축응력의 1/2되는 곳의 응력과 변형율의 비, 즉 기울기임

$$E_s = \frac{q_u}{\epsilon_{50}} = \frac{q_u}{2\epsilon_{50}}$$

단위 : kg/cm²

- ⑤ 정지토압 계수 산정 ($K_o = \sigma_3 / \sigma_1$)



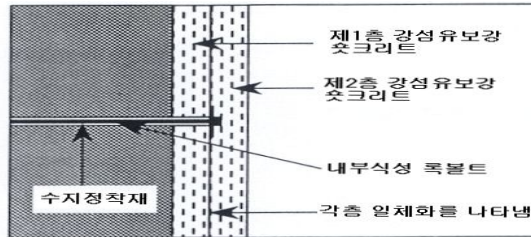
- ⑥ 정규압밀과 과압밀 상태 구분

구분		정규압밀 점토	과압밀 점토	비고
물리적 특성	액성지수	LI ≒ 1.0	LI ≒ 0	
	간극수압계수	A _v ≒ 1.0	1.0이하	\overline{CU} 시험
	정지토압계수	$K_o = 0.4 \sim 0.6$	$K_o = 0.5 \sim 1.0$	
	체적변화	압축	팽창	CD시험
	간극수압변화	증가	감소	\overline{CU} 시험
공학적 특성	전단강도	작다	크다	
	투수성	작다	작다	
	압축성	크다	작다	
	밀도	작다	크다	
	변형	크다	작다	

문제 3. 싱글셸(Single Shell)터널공법 설계시 고려사항에 대하여 설명하시오

1. 개요

대표적인 싱글셸공법인 NMT(New Norwegian Method Of Tunnelling)에서는 고품질의 슛크리트와 록볼트를 터널의 영구지보재로 취급하여 지보재와 지반을 일체화 시킴으로써 상호간에 전단력이 전달될 수 있는 구조로 되어 있다. 즉, 2차 콘크리트 라이닝을 생략한 공법이다.



싱글 셸의 지보구조 모식도

즉, 터널의 시공설비, 시공성 및 경제성을 향상시킨 시공법이다. 하지만 1차지보재가 영구지보로서 역할을 수행해야 하므로 1차지보의 품질을 고품질화 하여 2차지보의 역할까지 수행할 수 있도록 하는 것이 관건인 시공법이다.

최근 국제터널협회(ITS)에서는 예전부터 NATM, NMT, SPLT 등의 여러 가지 이름으로 사용해 오던 모든 발파굴착터널 공법명을 통일하여 Conventional Tunneling Method로 부르기로 하였으며, TBM 및 Shield 등의 기계굴착공법 및 파 대응되는 개념으로 사용하기로 하였다. 따라서 각국은 Conventional Tunneling Method에 대한 통일된 기술을 만들기 위한 설계 및 시공 표준화작업이 진행 중에 있다.

2. 국외의 싱글셸공법

NMT, 싱글셸 NATM(일본과 독일), 일본의 NTL(New Tunnel Lining)

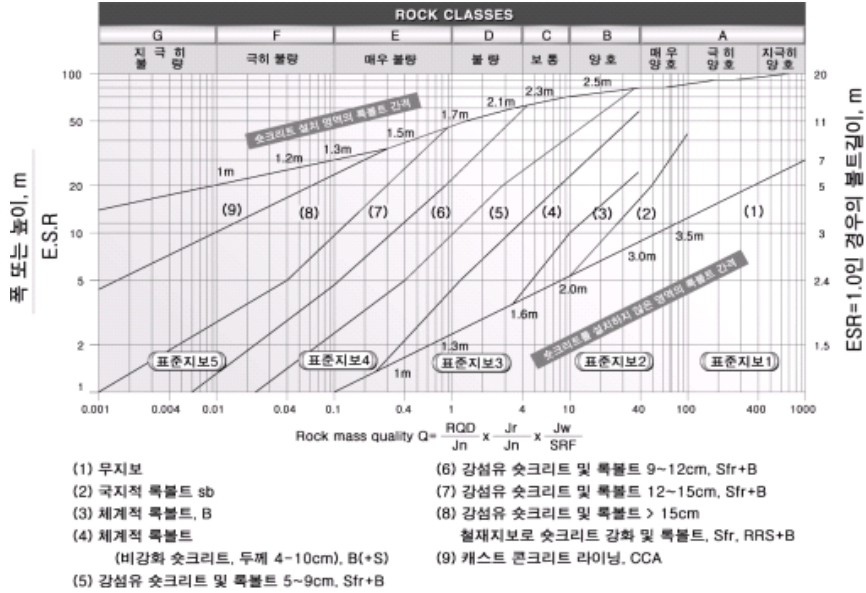
3. 싱글셸(Single Shell)터널의 특징

장 점	<ol style="list-style-type: none"> Shotcrete와 Rockbolt를 지보재를 개선하여 주변암반 지보능력의 극대화 프리캐스트 라이닝 적용으로 시공속도 빠름 여굴을 채울 필요 없어 경제적이고 장공발파 적용 가능 Silica fume 및 Alkali-free 급결제 사용으로 슛크리트 리바운드 개선, 내구성 및 강도증진, 인체에도 무해함
단 점	<ol style="list-style-type: none"> 공정이 복잡하다. 주로 양호한 암반에 적용 가능 시공경험이 풍부한 전문기능공 필요하다. 국내 시공 실적이 적고 외국기술 및 장비도입 불가피 정확한 지질조사가 필요하다. 발파로 인한 진동 및 소음으로 민원 발생 소지가 있다.

4. 싱글셸(Single Shell)터널의 설계시 고려사항

① 터널설계 FLOW

- ① 지반의 분류 : Q분류
- ② 지보패턴 설계

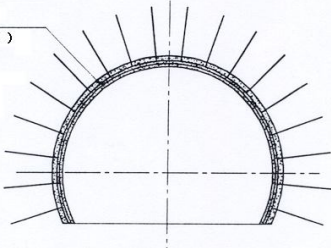
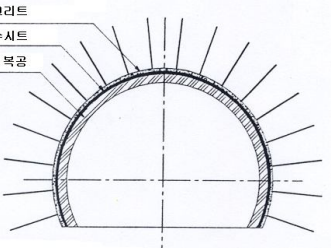


- ③ 수치모형화 : 개별요소법(UDEC) → 안정성 검토

② 터널설계시 고려사항

- ① 지반조사
 - ㉠ 상세한 지반조사와 막장전방의 지반상태 예측(탄성과 속도 측정, 선진보링등)
 - ㉡ 지반 설계정수 결정
- ② 굴착방법 : 장공발파기법, 여굴최소화 기법 적용
- ③ 지반분류 및 지보패턴 : Q시스템(국내 적용성 검토)
- ④ 지보재 설계
 - ㉠ 고강도, 고내구성 슛크리트 적용(개발 필요)
 - ㉡ 알칼리프리계 급결재 적용
 - ㉢ 내 부식성, 고성능 록볼트적용(정착력, 인장력의 향상)
- ⑤ 프리캐스트 콘크리트 라이닝
 - ㉠ PCL설계기준의 정립요
 - ㉡ 방 배수시스템의 설계기법 확립
 - ㉢ PCL 운반, 조립용 양중기의 적용
 - ㉣ PCL 고정용 앵커볼트의 개발 요
- ⑥ 배수상세 : NMT는 Single Shell 구조로서 별도의 배수층을 두지 않으므로 지하수를 원활히 배수시킬수 있는 배수상세는 반드시 필요

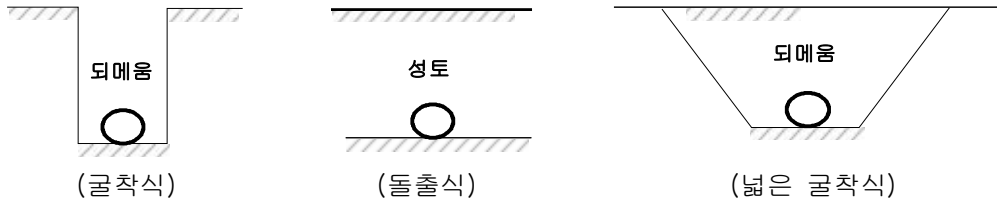
5. NATM과 싱글셸(Single Shell)터널 비교

구분	NMT	NATM	
모식도	 <p>췁크리트 등 (2~3층 구성)</p>	 <p>췁크리트 방수시트 2차 복공</p>	
개발국가	노르웨이	오스트리아	
암반분류	Q-SYSTEM 적용	RMR 분류법 적용	
적용지반	주로 양호한 지반에 적용	비교적 불량한 암반에도 적용가능	
설계개념	Q시스템에 의하여 암반분류를 하고 보강 방법을 미리 결정하는 확정설계개념	시공중 지반조건 및 계측 결과에 따라 지보패턴변경을 항시 시행하는 예비설계개념	
굴착공정	굴착→버력처리→1차지보설치→PC판널설치	굴착→버력처리→1차지보설치→2차지보설치	
지보재	췁크리트	고강도 강섬유보강 췁크리트 ($f_{ck}=235\sim300\text{kgf/cm}^2$)	일반 및 강섬유보강 췁크리트 ($f_{ck}=210\text{kgf/cm}^2$)
	록볼트	부식방지 2중관 록볼트 (CT-Bolt : SD40, M22)	일반 록볼트 (SD35, D25)
	라이닝	Precast Concrete 판널 (T=15cm) ⇒ 내장재	현장타설 콘크리트 라이닝 (T=30, 40cm)
지보역할	록볼트와 췁크리트가 영구지보 역할	록볼트, 췁크리트 및 콘크리트 라이닝이 영구지보 역할	
방배수	별도의 방.배수를 고려않음	췁크리트와 콘크리트 라이닝 사이에 방수막을 설치하여 지하수를 유도배수	

문제 4. 지하 매설관에 작용하는 토압에 대하여 설명하시오

1. 관 매설 형태

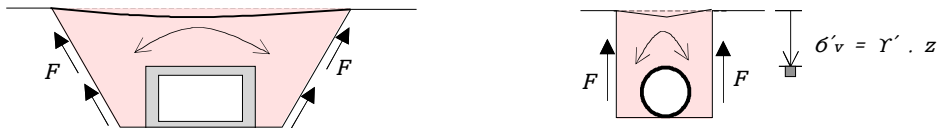
지하매설관의 설치방법은 굴착식(Ditch type), 돌출식(Projection type), 넓은 굴착식(Wide Ditch type)등이 있으며 매설관 설치방법에 따라 관에 작용하는 토압이 다르게 된다.



2. 관 매설에 따른 Arching 현상

① 굴착식의 경우

① 변위와 토압



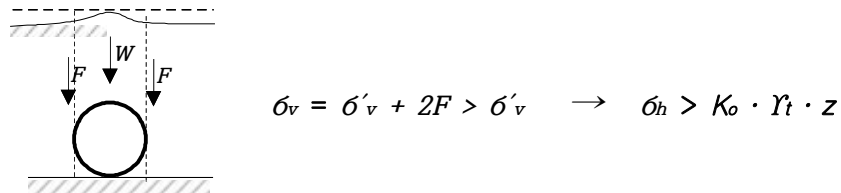
② 평가

- ㉠ 굴착폭이 클 경우에는 돌출식과 굴착폭이 좁은경우의 중간단계로 평가할 수 있으며, 터파기 구배에 따라 다르게 되고 구배가 어느 한도이상으로 완만하게 되면 돌출식과 같이 되메움 하중보다 큰 토압이 관로에 작용하게 됨.
- ㉡ 굴착폭이 좁을 경우에는 원지반의 굴착면과 되메우기 토사사이에 *Stress transfer (Arching)*가 생겨 토압이 감소한다.

$$\sigma_v = \sigma'_v - 2F < \sigma'_v \rightarrow \sigma_h < K_o \cdot \gamma_t \cdot z$$

② 돌출식의 경우

- ① 굴착식과 반대로 되메움 토사하중(W)에 부 마찰력(F)가 작용하여 관에 토압이 추가로 작용하게 됨.
- ② 이는 관재질에 따라 다르나 관주변 지반의 침하가 상대적으로 관로 위보다 크게 되어 발생한 부찰력의 발생에 기인된다.



3. 도표에 의한 매설관 연직토압 산출 방법

① 굴착식의 경우

① 강성관의 토압

$$W = Cd \cdot \gamma \cdot B^2$$

여기서, W : 연직토압 γ : 단위체적중량 B : 굴착폭

$$Cd \text{ 계수} = \frac{1}{2 \cdot \mu \cdot Ka} \left[1 - \exp \left(\frac{-2 \cdot \mu \cdot Ka \cdot H}{B} \right) \right]$$

굴착식에서 작용하는 연직토압은 C_d 계수에 비례하나 C_d 값은 깊이에 따라 비례하지 않고 $H/B > 10$ 이면 증가가 거의 없이 일정한 값에 수렴하므로 굴착깊이가 깊어지면 연직토압의 증가도 없음을 알수 있다.

② 연성관

$$W = C_d \cdot \gamma \cdot B_c \cdot B_d$$

② 돌출식의 경우

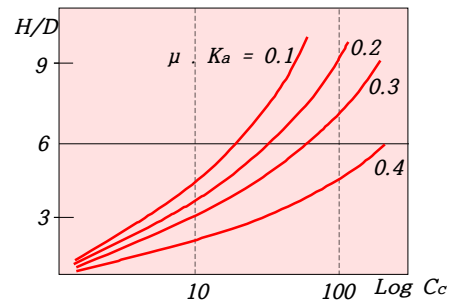
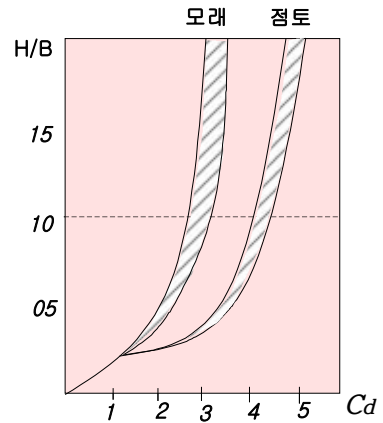
$$W = C_c \cdot \gamma \cdot D^2$$

여기서, W : 연직토압

γ : 단위체적중량 D : 관의 직경

$$C_c \text{ 계수} = \frac{1}{2 \cdot \mu \cdot K_a} \exp \left\{ \left(\frac{2 \cdot \mu \cdot K_a \cdot H}{D} \right) - 1 \right\}$$

돌출식에 작용하는 연직토압은 굴착식과 달리 깊이의 증가에 따라 연직토압은 계속 증가추세를 보임.



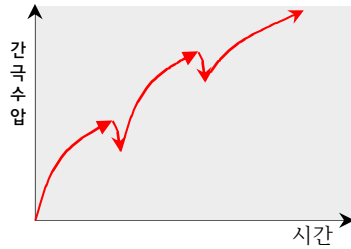
4. 평가

- ① 수직 터파기에 비해 넓은 굴착에 의한 되메우기시 연직토압이 더 크게 작용하며 관의 외압강도를 검토하여 관 등급과 재질을 검토하여야 한다.
- ② 굴착식의 경우에 관 토피고의 증가에 민감하지 않으나 돌출식의 경우에는 관토피 증가에 따른 연직토압의 증가가 비례하므로 유의하여 설계 및 시공에 반영하여야 한다.

문제 5. 지진발생시 상대밀도에 따른 모래지반의 거동특성에 대하여 설명하시오.

1. 정 의

- ① 느슨하고 포화된 사질지반에 반복된 진동이나 충격을 주면 비배수 조건이 되면서 과잉간극수압이 발생 될 수 있음.
- ② 이와 같은 반복진동은 (-) *Dilatancy* 성향으로 (+)과잉간극수압이 누적되어 유효응력의 감소로 이어지며 지반은 전단강도를 상실하고 마치 액체처럼 변하는 현상을 말한다.



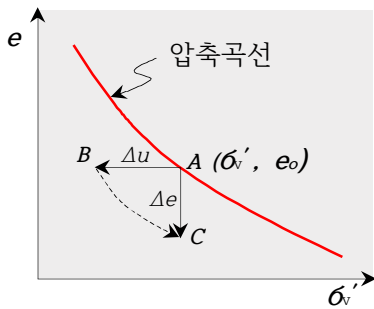
$$S = c' + (\sigma - u) \tan \phi'$$

$$\Rightarrow c = 0, \sigma = u$$

$$\Rightarrow S = 0$$

2. 액상화 발생 Mechanism

- ① 액상화시 간극비와 유효응력

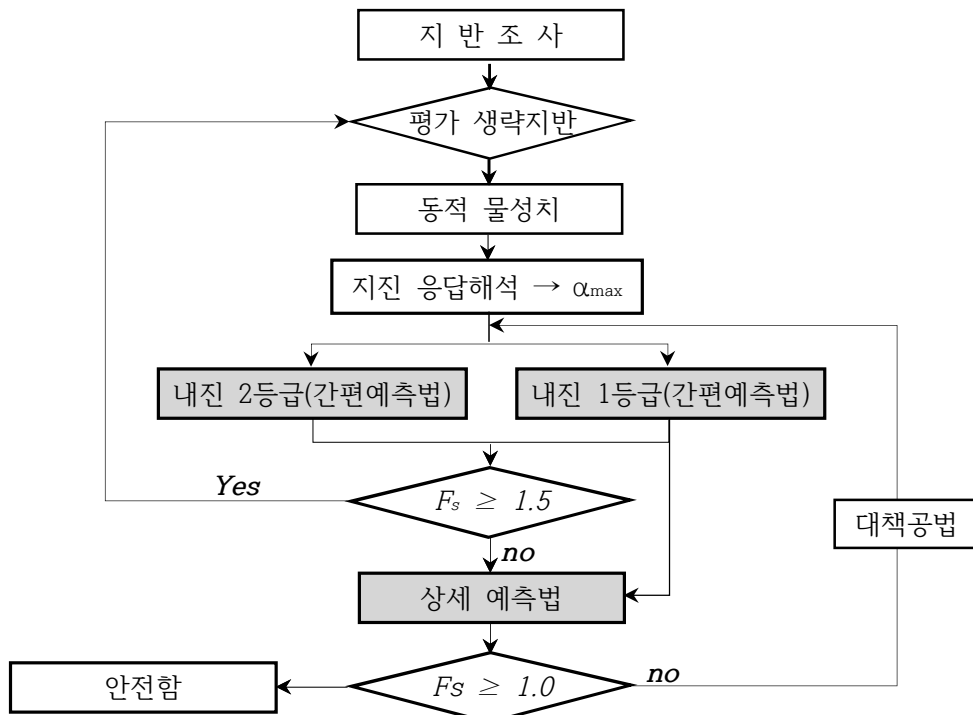


$$B : (\sigma'_v - \Delta u, e) \quad C : (\sigma'_v, e - \Delta e)$$

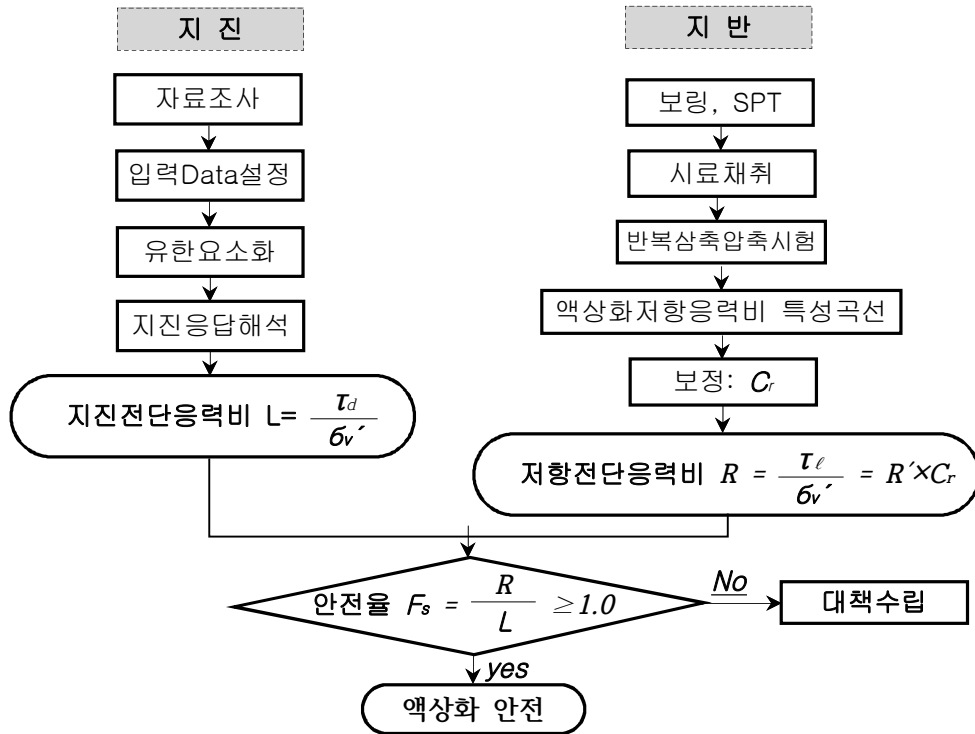
- ① 액상화 : $A \Rightarrow B$ 거동
- ② 액상화 후 입자 재 배열 : $A \rightarrow B \rightarrow C$
- ③ 동적 지반개량 : $A \rightarrow C$

3. 액상화 평가방법

- ① 액상화 평가 순서



㉒ 상세 예측법



① 지진 전단응력비

$$L = \frac{\tau_d}{\sigma_v'} = 0.65 \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$$

여기서, α_{max} : 평가대상지반의 지층별 지반최대가속도(지진응답해석)

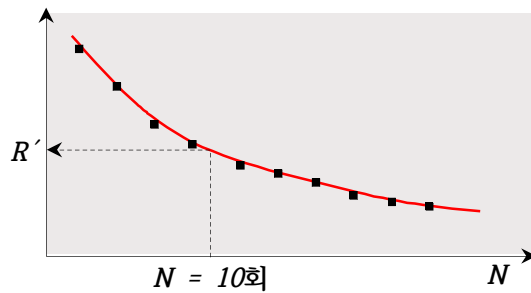
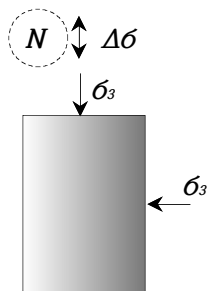
g : 중력 가속도 σ_v : 평가대상 깊이까지의 지반에 대한 총 상재압

σ_v' : 평가대상 깊이까지의 지반에 대한 유효 상재압

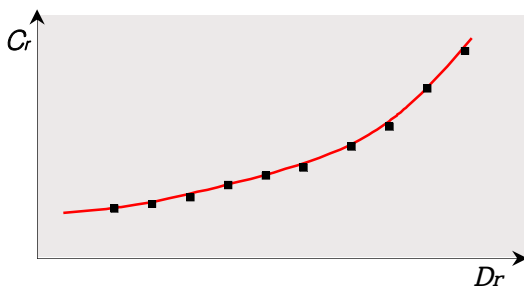
② 실내 액상화 시험

③ 액상화 저항응력비 특성 곡선 → 지반 저항전단 응력비 (R') 측정

㉑ N 에 따른 경험적 R' 적용 ㉒ 반복 3축압축시험 → N 치 측정 : $M = 6.5$ 일 때 10회 적용



④ 강도비 보정계수(G_r)



4. 상대밀도에 따른 모래지반의 거동(이론 토질역학 이송 예문사 382p)

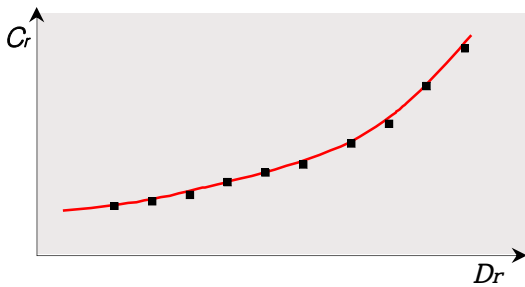
① 지반 저항전단 응력비 (R) = 반복전단응력비(CSR)

② 상대밀도에 따른 액상화 강도비 보정계수(C_r)의 적용

$$\text{저항전단응력비 } R = \frac{\tau_\ell}{\sigma_v'} = R' \times C_r = C_r \left[\frac{\sigma_d}{2\sigma_3} \right] \frac{D_{r2}}{D_{r1}}$$

여기서, D_{r2} : 실내상대밀도
 D_{r1} : 현장상대밀도

③ 반복삼축시험에서 상대밀도에 따른 C_r 의 변화



④ 액상화 유발 전단응력 응력비

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v'} = 0.65 \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$$

⑤ 액상화 유발 전단응력(τ_d) = 액상화 저항 전단응력(τ_ℓ) → 액상화 발생

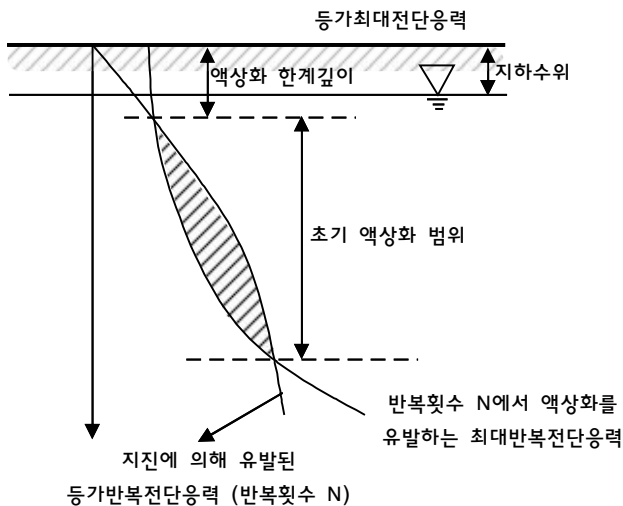
$$0.65 \frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \sigma_v = C_r \sigma_v' \left[\frac{\sigma_d}{2\sigma_3} \right] \frac{D_{r2}}{D_{r1}}$$

① 현장의 액상화 한계깊이 결정

㉠ 일반적으로 지하수위가 0~3M : 6.1M

㉡ 지하수위가 3이상 : 9.1M

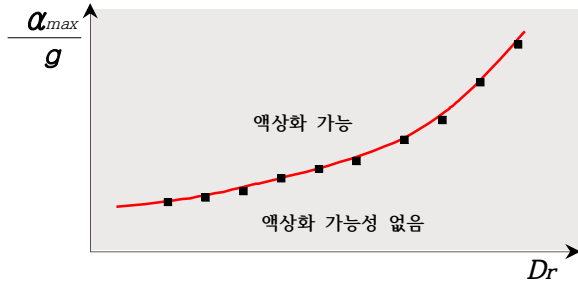
㉢ 한계깊이에서의 총 수직응력과 유효수직응력 결정 : σ_v, σ_v'



② 앞 ②의 관계식으로 부터 현장 모래지반의 상대밀도에 따른 보정계수(C_r)의 결정

결론적으로 $\frac{\alpha_{max}}{g}$ 와 D_r 의 관계를 얻을수 있게 된다.

⑥ 아래와 같은 관계그래프로 부터 현장의 조건이 기준선 위에 있으면 액상화 가능하며 아래에 있게 되면 액상화 발생 가능성은 없게 됨을 알 수 있다.



5. 원리별 대책공법

원 리	대 책	고 려 사 항
간극수압 감소	Gravel Drain	• 액상화시 상부구조물 지지역할 + 간극수압 감소
밀도 개 량	Vibro Flotation, SCP, 전기충격, 동다짐	• 밀도증가 → 한계간극비 이하로 상대밀도 유지
입도 개 량	치환, 동치환, 주입공법	• 치환의 경우 치환깊이 제한 • 치환깊이 깊은경우 → VF, SCP, 동다짐
배 수	Deep Well, Well Point	• 포화도 저하원리 • 인근지하수위 저하로 인한 침하 발생 검토
전단변형 억제	Sheet Pile, Slurry Wall	

7. 평 가

① 액상화시 지반거동에 대한 정량적인 판단이 어려운 사항이므로 액상화 발생가능 지반에 대한 사전 대책이 강구함이 무엇보다 중요함.

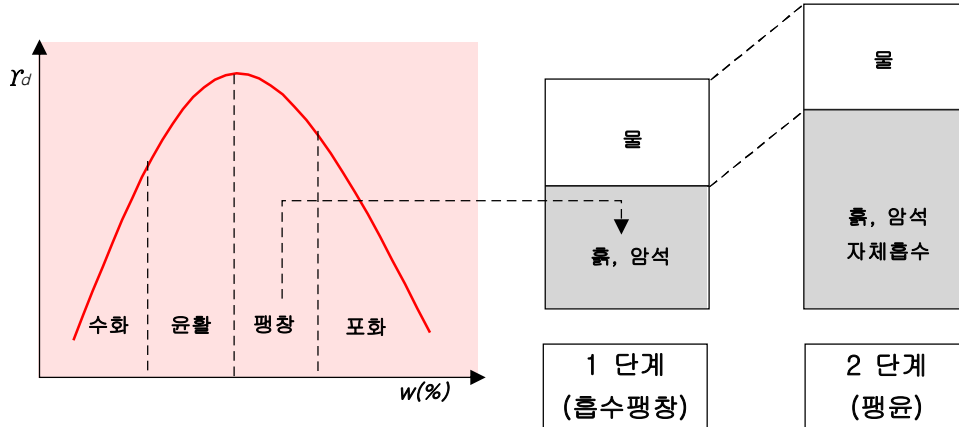
② 액상화에 대한 대책은 한가지 방법보다는 대책가능한 공법을 조합하여 판단함이 바람직하며 SCP, Gravel Drain, 주입공법등이 주요한 방법으로 판단됨

문제 6. 팽창성 흙의 특성과 팽창가능성 판단방법을 설명하시오.

1. 개요

① 지반(흙 또는 암석)에 물을 흡수시키면 간극을 채우는 1단계와 입자 또는 광물자체가 물을 흡수하여 팽창하는 2단계로 구분되어 진행된다.

② 이때 2단계에서의 체적팽창으로 인한 압력을 팽윤압이라 한다.



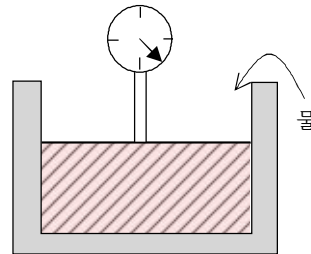
2. 팽창 가능성 판단방법

① 비 구속 팽윤실험

- ① 압밀시험기에 넣은후 물 첨가
- ② 팽창이 종료될 때 까지 팽창량 측정

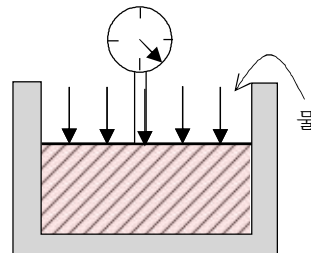
$$\text{팽윤률} = \frac{\Delta H}{H} \times 100\%$$

ΔH : 팽윤량 H : 원시료 높이

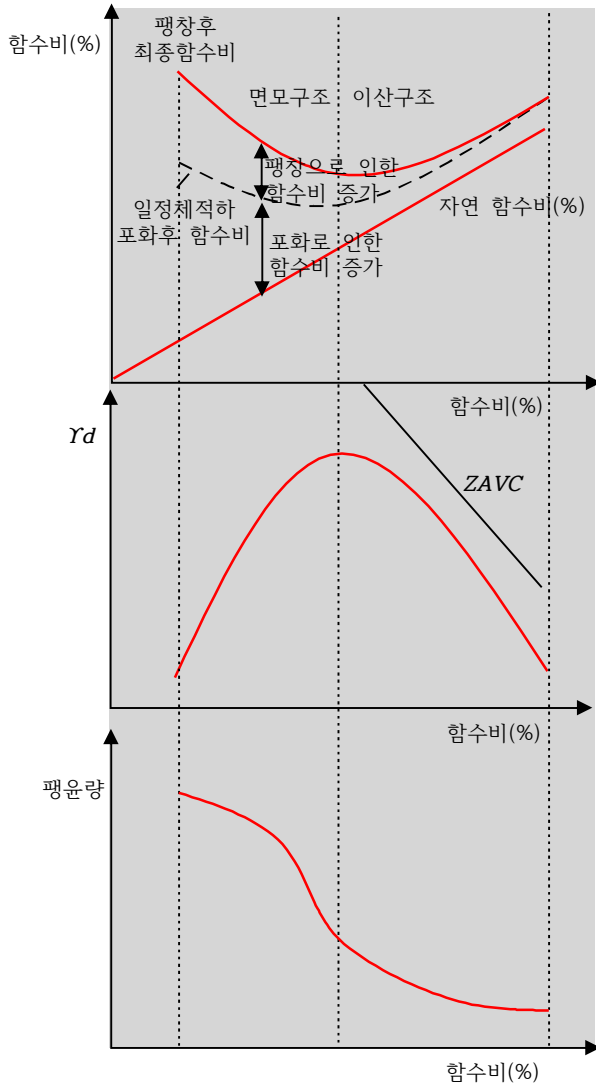


② 팽창압 시험

- ① 하중(유효하중 + 구조물하중)을 작용시키고 물첨가
- ② 팽창이 방지되도록 압력을 추가
- ③ 팽창이 종료되면 ①의 하중에 도달될 때까지 압력해제
- ④ 팽창량, 팽창압 측정



3. 함수비에 따른 팽윤량과 밀도



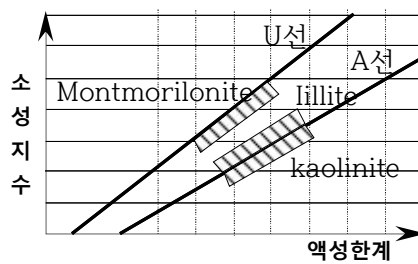
※ 팽윤량은 면모구조에서 팽윤이 제일 크고 이산구조에서 적음

4. 팽윤심한 지반

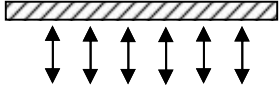
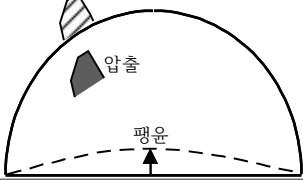
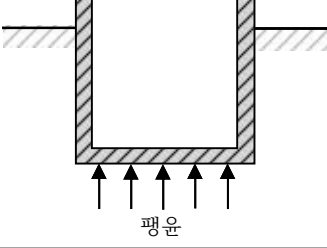
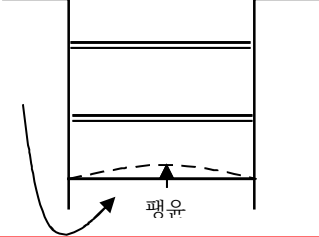
① 흙

Kaolinite → *illite* → *Montmorillonite*
순으로 심함

② 암 : 이암, 세일, 편암, 사문암, 녹니암
등 점토광물을 함유한 암반



5. 구조물에 미치는 영향과 대책

공 종	영 향	대 책	
포 장	계절 및 강우에 따라 수축과 팽창 → 포장면 침하, 균열, 파손		차단층, 안정처리, 지하수 배제 조치
터 널	터널굴착시 굴착면 낙반, 지보공에 큰 압력발생		지반보강, <i>Invert Lining</i>
기 초	기초 Slab 용기, 균열 발생		<i>Groud Anchor</i> , <i>Footing</i> 증대
토류벽	기초굴착시 팽윤으로 인한 용기 발전		근입깊이 증가, 지하수위 저하, 지반보강