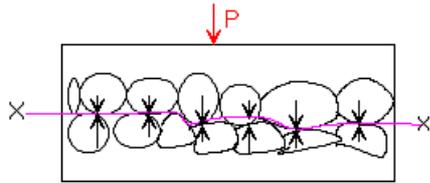


제 6 장 유효응력의 원리, 모세관현상 및 흙의 동결

6.1 서론

흙-흙입자(알갱이)- 비압축성으로 가정(변형 발생 ×). 압축력과 전단력 발생
 물-비압축성(전단력 ×). 압축력만 전달
 공기-압축성이 매우 크다.

6.2 포화토의 유효응력



※ 유효응력의 원리
 ~ 유효응력만이 흙의 변형과 전단에 관계된다.

-연직방향의 힘 평형 조건

(x-x 단면에서)

$P = F_{1v} + F_{2v} + \dots + F_{nv} + U$ 여기서 F는 흙입자사이에 발생하는 힘, U는 간극수압력

$$U = u(A - (a_1 + a_2 + \dots + a_n))$$

↳ 간극수압

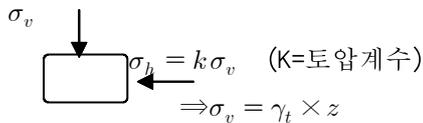
↳ 흙입자들의 접촉면적

$$F_v = \sum_{i=1}^n F_{vi} \Rightarrow P = F_v + U; \text{ 연직방향의 힘평형 조건}$$

$$\frac{P}{A} = \frac{F_v}{A} + \frac{U}{A} \Rightarrow \sigma_v = \sigma_v' + u \quad (\text{전응력} = \text{유효응력} + \text{간극수압})$$

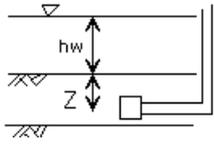
6.3 전응력, 유효응력, 간극수압

6.3.1 연직방향의 전응력

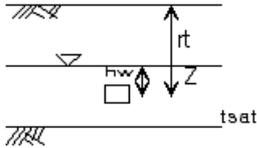


$$\Rightarrow \sigma_v = \gamma_{t1} \cdot h_1 + \gamma_{t2} \cdot h_2 + \gamma_{t3} \cdot h_3$$

$$= \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot z_i$$



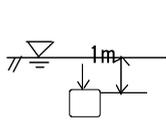
$$\begin{aligned} \sigma_v &= \gamma_w \cdot h_w + \gamma_{sat} \cdot z \\ \rightarrow \sigma_v' &= \sigma_v - u \\ u &= \gamma_w (h_w + z) \\ \therefore \sigma_v' &= \gamma_w \cdot h_w + \gamma_{sat} \cdot z - \gamma_w (h_w + z) \\ &= (\gamma_{sat} - \gamma_w) \cdot z = \gamma' \cdot z \end{aligned}$$



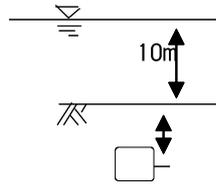
$$\begin{aligned} \sigma_v' &= \sigma_v - u \\ \sigma_v &= \gamma_t (z - h_w) + \gamma_{sat} \cdot h_w, \quad u = \gamma_w \cdot h_w \\ &= \gamma_t (z - h_w) + \gamma' \cdot h_w \end{aligned}$$

6.4 유효응력의 물리적 의미

① 두 흙의 유효응력이 동일하면 공학적 성질(변형, 강도)이 동일하다.



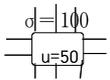
$$\sigma_v' = \sigma_v - u$$



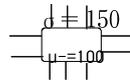
$$\sigma_v' = \sigma_v - u$$

② 체적변화 없으면 유효응력은 동일하다.

흡입자의 위치, 변화, 변형등이 일정.



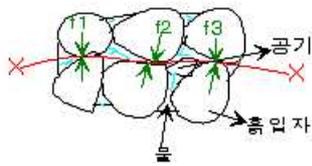
$$\sigma_v' = \sigma_v - u = 100 - 50 = 50$$



$$\sigma_v' = \sigma_v - u = 150 - 100 = 50$$

③ 전응력은 일정하고 간극수압이 증가하면 흙체적 팽창
간극수압이 감소하면 흙체적 감소

6.5 불토화토의 유효응력



연직방향의 힘평형조건에서 (x-x 단면에서)

$$P = Fv + Uw + Ua \quad \text{---(1)}$$

(작용수직력 = 흡입자 접촉면적에서의 연직방향의 합력 + 간극수압력 + 공기압력)

$$Uw = u \cdot Aw \quad (\text{간극속의 물이 접하는 수직면적})$$

$$Ua = ua(A - Aw)$$

① ÷ A

$$\frac{P}{A} = \frac{Fv}{A} + \frac{uAw}{A} + \frac{ua(A - Aw)}{A}$$

→ $\sigma_v = \sigma_v' + u\chi + ua(1 - \chi)$ 여기서 $\chi = \frac{Aw}{A}$, Aw는 물접촉면적, A는 전체면적

$$\therefore \sigma_v = \sigma_v' + u\chi \quad (\text{계기공기압 } ua=0)$$

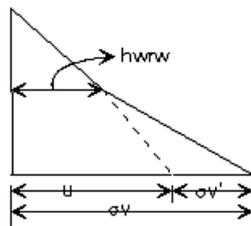
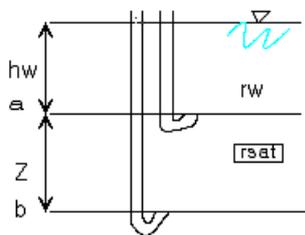
if) $S=0 \rightarrow Aw=0 \rightarrow \chi=0$

$S=1 \rightarrow Aw=A \rightarrow \chi=1$

6.6 침투가 발생할 때의 유효응력

6.6.1 침투수압(Seepage Pressure)

a) 정수압 경우 (물 흐름×)

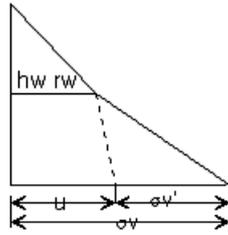
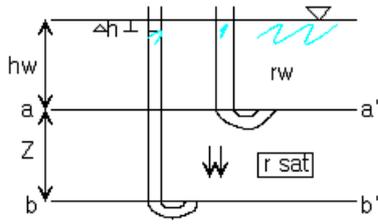


$$u = \gamma_w(h_w + z)$$

$$\sigma_v = \gamma_w \cdot h_w + \gamma_{sat} \cdot z$$

$$\therefore \sigma_v' = \gamma' z \quad \text{여기서 } \gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

b) 물이 아래로 흐르는 경우

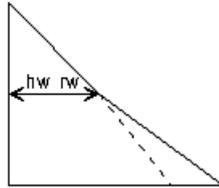
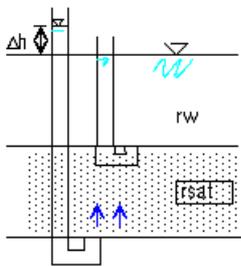


$$u = (h_w + z - \Delta h)\gamma_w$$

$$\sigma_v = \gamma_w + \gamma_{sat} \cdot z$$

$$\therefore \sigma_v' = \gamma' z + \gamma_w \Delta h$$

c) 물이 위로 흐르는 경우



$$u = (h_w + z + \Delta h)\gamma_w$$

$$\sigma_v = h_w \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_{sat}$$

$$\therefore \sigma_v' = \gamma' z - \gamma_w \Delta h$$

· Seepage pressure(침투수압)

$p_j = \Delta h \cdot \gamma_w$ (물의 흐름방향으로 작용, 중력방향 $\rightarrow (+)$)

-단위체적당 침투수력 $j = \frac{p_j \times 1 \times 1}{V} = \frac{\Delta h \gamma_w}{Z \times 1 \times 1} = i \cdot \gamma_w$, 여기서 작용면적 $A=1 \times 1$

6.6.2 분사현상 (Quicksand)

-물이 위로 흐른다면

$$\sigma_v' = \gamma' z - \gamma_w \Delta h$$

if $\sigma_v' = 0 \rightarrow$ 흙이 위로 솟구치는 현상 발생

$$\sigma_v' = \gamma' z - \gamma_w \Delta h = 0 \Rightarrow i_{cr} = \frac{\Delta h}{z} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{Gs - 1}{1 + e}$$

i_{cr} (한계동수경사) ~ 분사현상이 일어나지 않을 조건

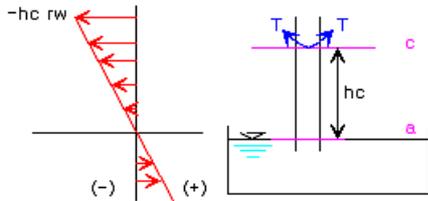
$$i = \frac{\Delta h}{Z} < i_{cri} = \frac{Gs - 1}{1 + e}$$

예) 모래인 경우 한계동수경사 값

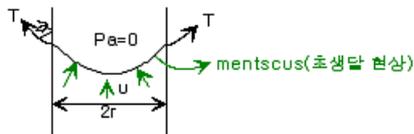
$$\gamma_{sat} \approx 2.0 \text{ t/m}^3 \rightarrow i_{cri} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} = \frac{2-1}{1} \approx 1$$

6.7 모세관 현상

6.7.1 모세관현상의 원리



~표면 장력(T)에 의하여 물이 상승하는 현상



-연직 방향의 평형조건에서

$$T \cos \alpha \cdot \pi d + \frac{\pi d^2}{4} \cdot u = 0$$

$$u = -\frac{4T \cdot \cos \alpha}{d} \quad (1)$$

$$\cos \alpha = 1 \text{ 이라면 } \rightarrow u = -\frac{4T}{d}$$

-모세관내의 물기둥에 대하여 연직방향의 힘 평형조건 ($\sum F_v = 0$)

$W = \pi d \cdot T \cdot \cos \alpha$ 여기서 W는 물기둥 무게, T는 표면장력

$$W = \frac{\pi d^2}{4} \times \gamma_w \times hc$$

$$\frac{\pi d^2}{4} \times \gamma_w \times hc = \pi d T \cos \alpha$$

$$h_c (\text{모세관상승고}) = \frac{4 \cdot T \cos \alpha}{\gamma_w \cdot d} \quad (2)$$

if) $\alpha = 0 \rightarrow T = 73 \text{ dyne/cm} = 73 \times 10^{-8} \text{ KN/cm}$

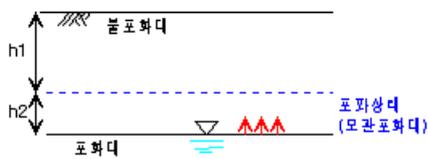
$$\gamma_w = 9.81 \text{ Kn/cm}^3 = 9.81 \times 10^{-6} \text{ KN/cm}^3 (20^\circ\text{C})$$

$$\rightarrow h_c = \frac{0.3}{d} (\text{cm})$$

(1)과 (2)를 비교하면

$$h_c = -\frac{u}{\gamma_w} \rightarrow u = -\gamma_w h_c$$

6.7.2 자연지반의 모세관현상



$$u = -\gamma_w \cdot h_c \quad \text{여기서 } h_c = \text{모관상승고}$$

$$\text{따라서 지하수면에서는 } \sigma_v = \gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2, u = 0$$

$$\sigma_v' = \sigma_v - u = \gamma_t h_1 + \gamma_{sat} h_2$$

6.7.3 표면장력의 영향

○ 결빙 접착력(apparent cohesion)

~모래가 적절한 함수비를 가지고 있을 때 발생하는 일시적인 접착력

○ 건조 점토(desiccated clay)

~수분의 증발에 의한 모관작용으로 (-)간극수압이 발생되므로 유효응력 증가 때문에 과압밀되어 강도가 증가된 점토

6.8 흙의 동결

○ 동상과 융해

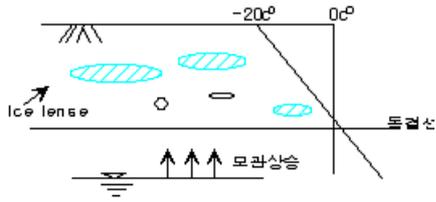
동상 (frost heave)

~땅이 얼어서 지표면이 융기되는 현상

-원인: ① 물이 얼면 9%체적 팽창 발생(간극률이 50%인 물이 얼면 $9\% \times 0.5 = 4.5\%$ 체적팽창)

② 아이스렌즈 발생 기인

-아이스 렌즈(Ice lense)



큰 간극의 물이 먼저 언후 인접한 간극 속의 물을 끌어들이려 큰 결정을 이룸.

융해(Thawing)

~봄철에 언 흙이 녹을 때 과도한 함수비로 인하여 지반의 지지력이 약화되는 현상(강도가 떨어짐)

-원인:①융해수가 배수되지 않고 저류될 때

- ②지표수 침입
- ③지하수위의 상승

- 동상이 일어나는 조건

- ①0°C 이하의 온도가 오랫동안 지속
- ②동상을 받기 쉬운 흙(실트질)이 존재해야 함
- ③아이스렌즈를 형성할 수 있도록 물의 공급이 충분해야 함

- 동상에 대한 대책

- ①구조물 기초를 동결선 아래에 설치(동결선 ≒0.5~1m)
- ②동상을 받기 쉬운 흙을 암질의 사질토로 치환한다.
- ③지하수위를 저하시킨다.