

บทที่ 9 การท Rud ตัวของดิน



บรรยายโดย : อ.พลช ตั้งฐานทรัพย์

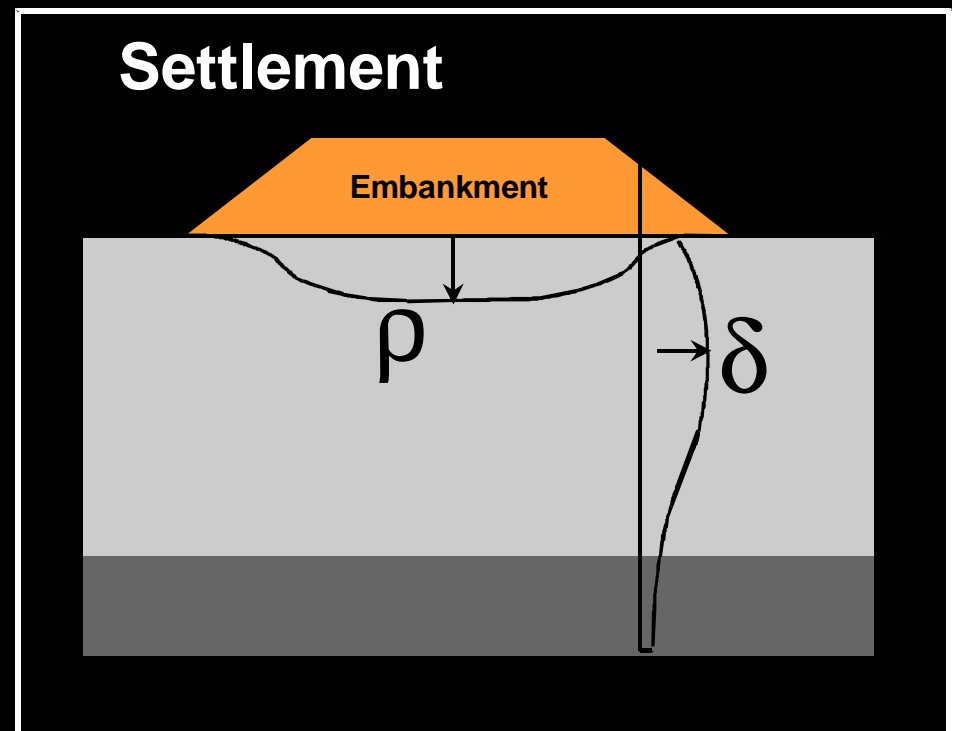
การทรุดตัวของดิน

n สิ่งที่ต้องวิเคราะห์

- n ขนาดของการทรุดตัว, S_t
- n อัตราเร็วในการทรุดตัว (Rate of Settlement)

n ประเด็นที่ศึกษา

- n Effective Stress
- n Stress-Strain in Consolidation
- n 1-D Consolidation Test (Oedometer)
- n การวิเคราะห์ผล และสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการทรุดตัว
- n Consolidation Theory

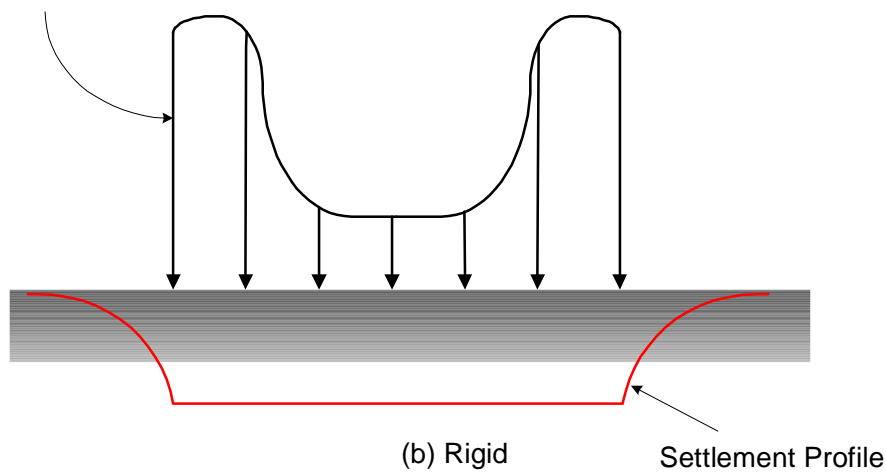
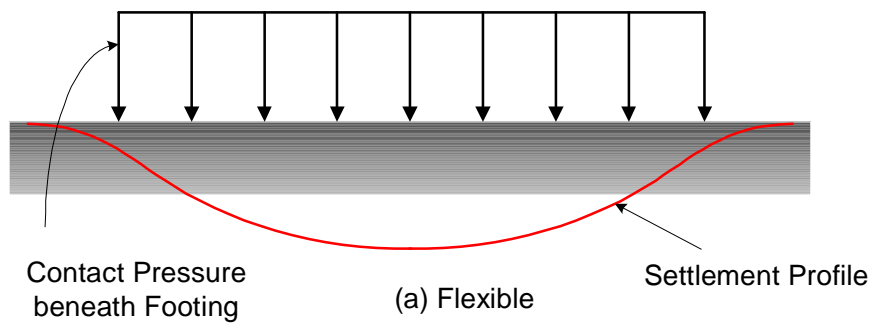


ชนิดของการทรุดตัว

- n การทรุดตัวที่เกิดขึ้นในทันที (**Immediate Settlement, S_i**) -> เกิดขึ้นทันที
เมื่อน้ำหนักกดทับ เป็นไปตามคุณสมบัติอีลาสติก (**Elastic**) ของดิน
- n การทรุดตัวหลัก (**Primary Consolidation Settlement, S_c**) -> อนุภาคดิน
ถูก DS_z กระทำ ทำให้ S' ในดินเปลี่ยน ดินจึงเกิดการยุบอัดตัว
- n การทรุดตัวรอง (**Secondary Consolidation, S_s**) -> เกิดจากการจัดเรียงตัว
ใหม่ของอนุภาคของดิน การล้า (**Creep**)

$$S_{total} = S_i + S_c + S_s$$

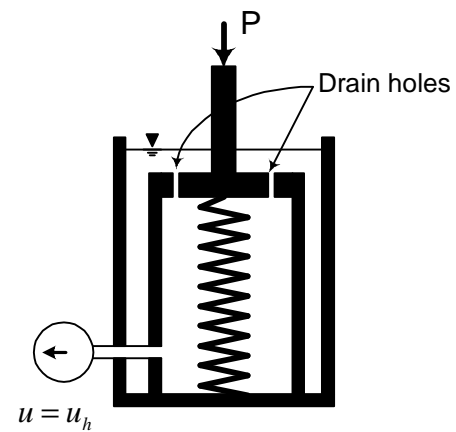
Immediate Settlement, S_i



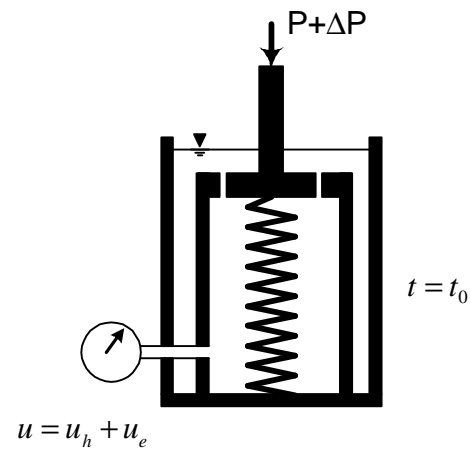
n พื้นฐานมาจากทฤษฎีอีลาสติก

$$S_i = q_0 B \frac{1-n^2}{E_s} I_p$$

Consolidation Settlement, s_c

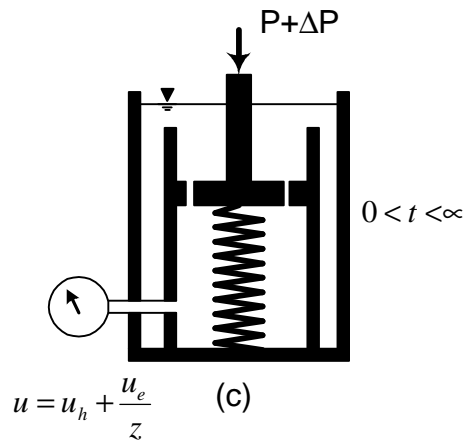


(a)

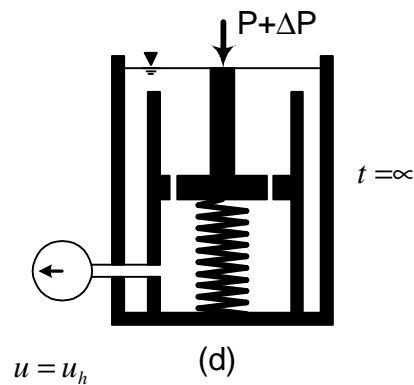


(b)

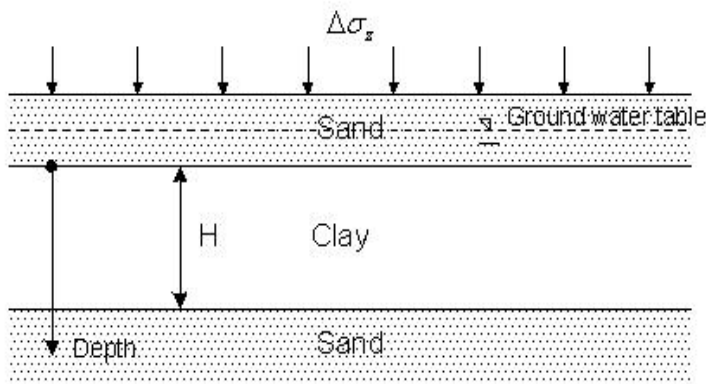
n แบบจำลองสปริง



(c)

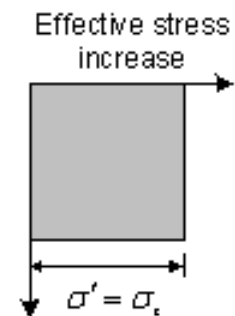
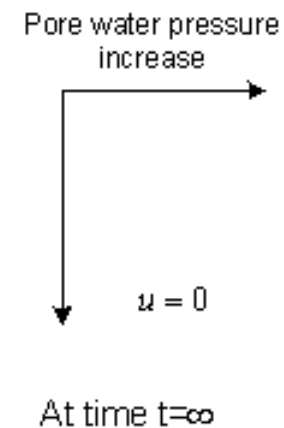
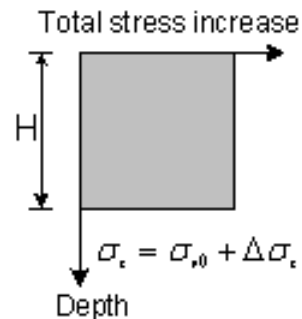
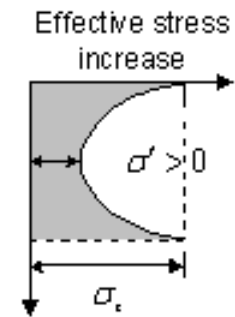
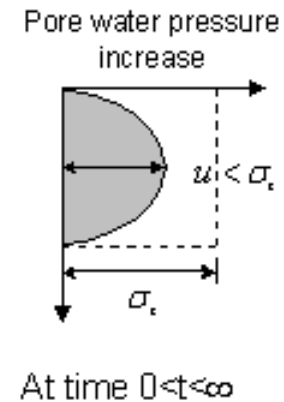
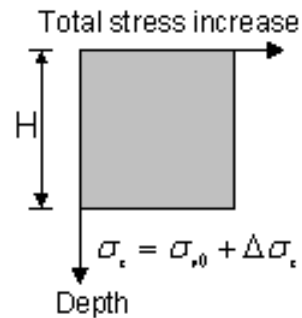
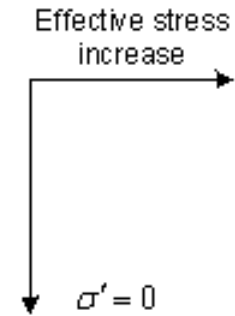
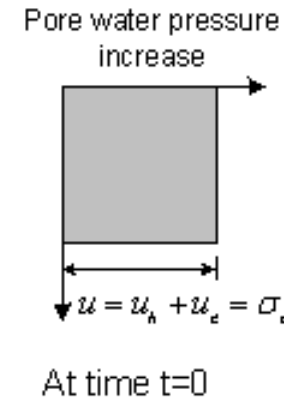
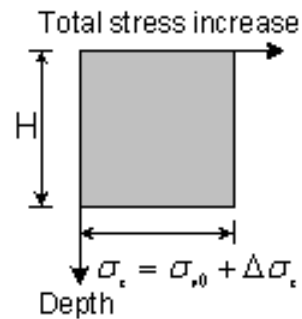


(d)



n ภาวะที่เกิดขึ้นในสนาม

$$s' = s_z - u$$



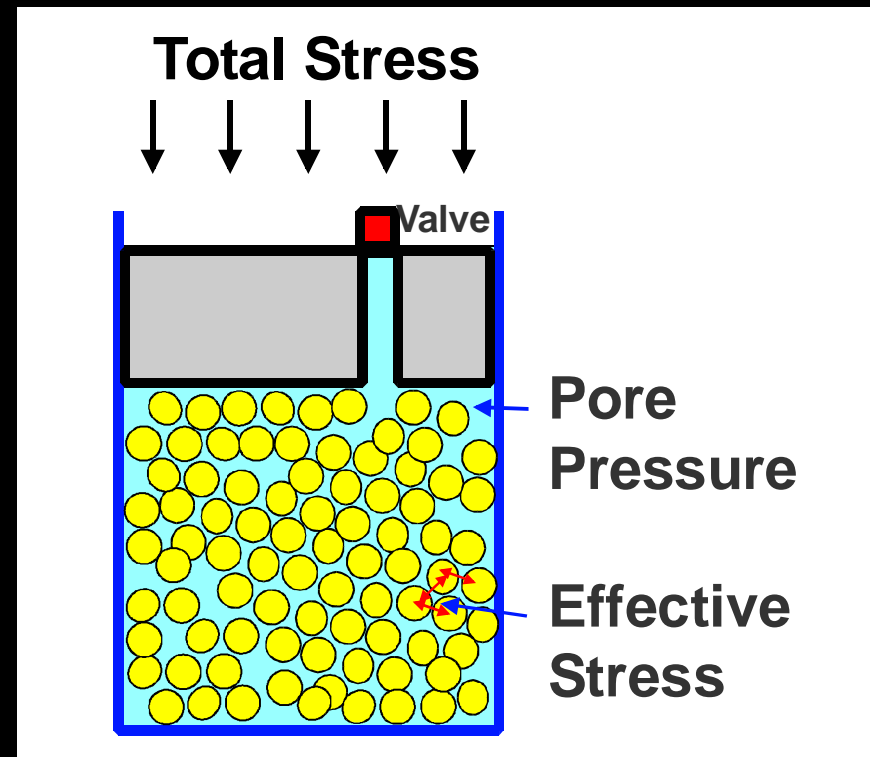
At time t=∞

หน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress, S')

n Effective Stress = Total Stress - Pore Pressure

$$n S' = S - u$$

n Strain = f (Effective Stress)

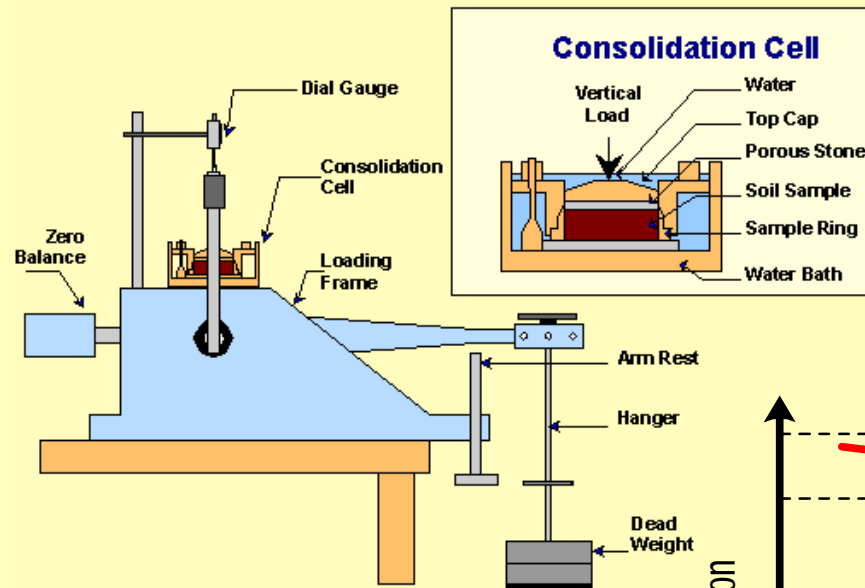


1-D Consolidation Test

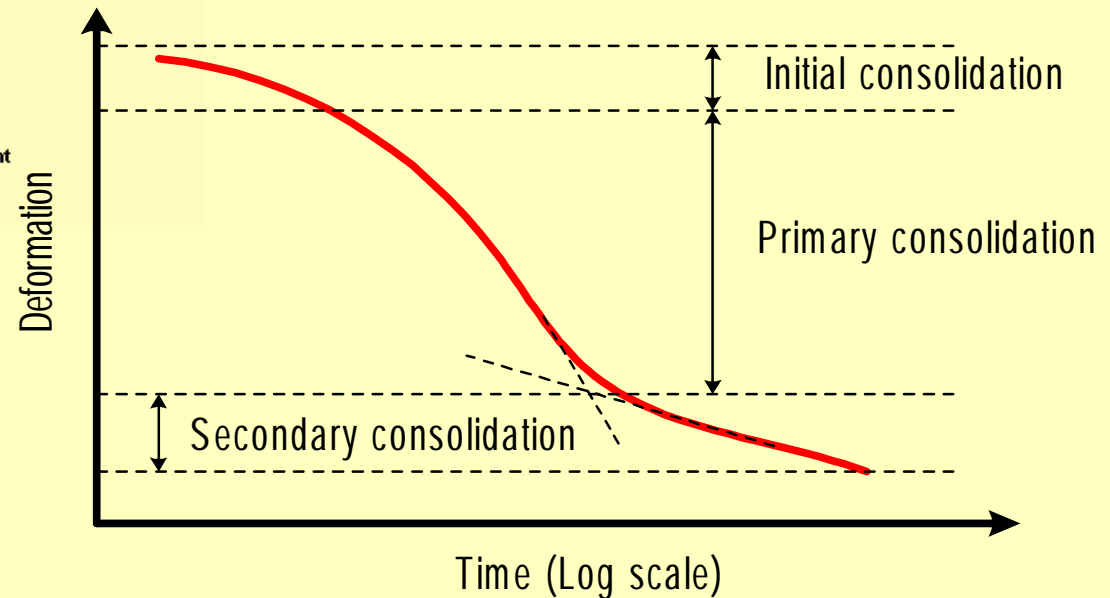
สิ่งที่ได้จากการทดสอบ

- n กราฟ Stress-Strain: ช่วง Elastic (RR) and Plastic (CR) ranges
- n Preconsolidation Pressure, S'_p หรือ S'_{vm}
- n Overconsolidation Ratio (OCR)
- n Coefficient of Consolidation, c_v
- n Coefficient of Permeability, $k_v = c_v m_v g_w$

การทดสอบแบบ Oedometer (Consolidation)

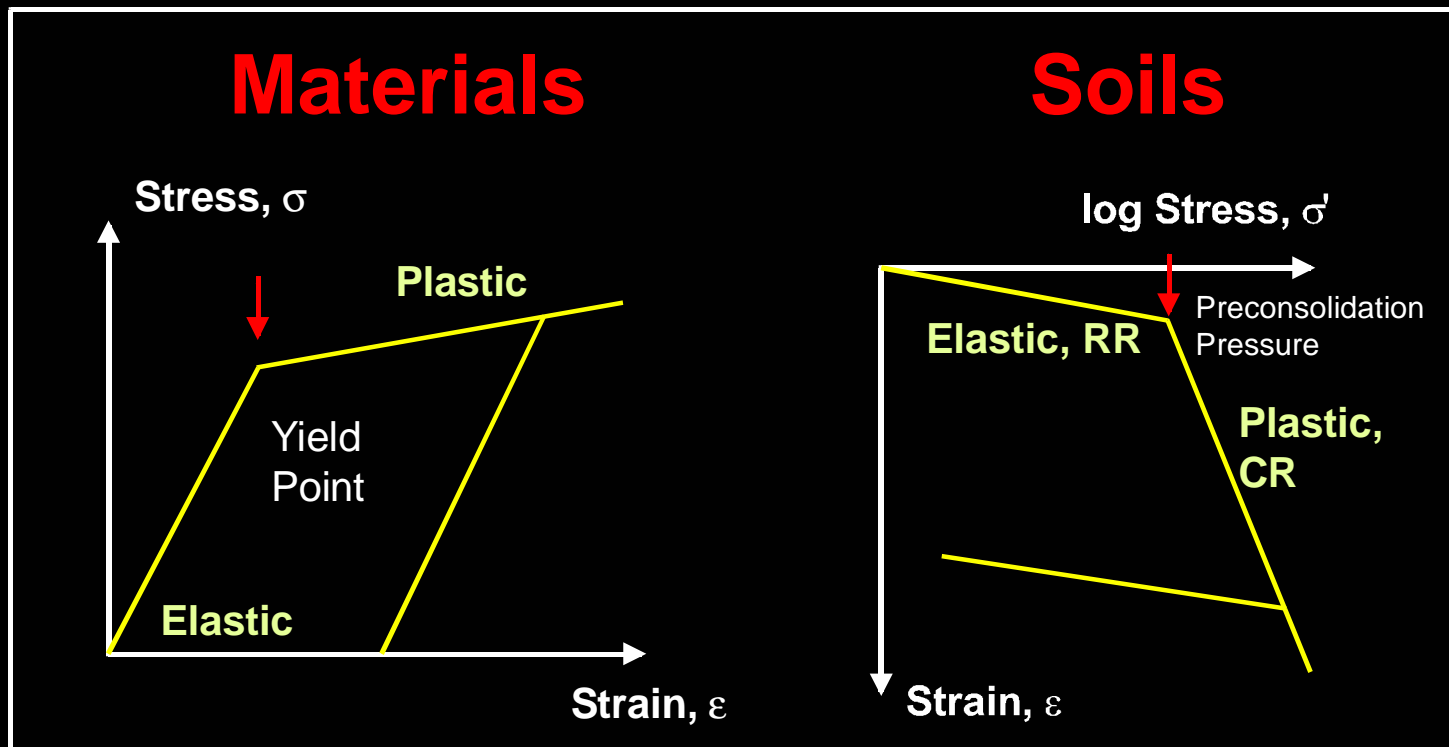


ขั้นตอนการยุบอัดตัวกายนํ้า

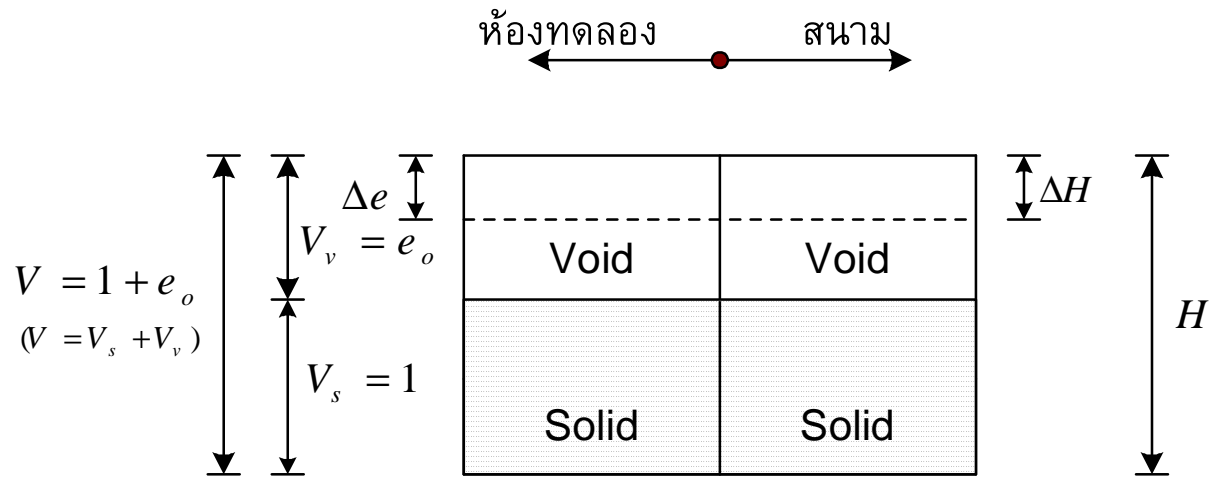


Stress-Strain in Consolidation

- n Stress-Strain = From Stress to Strain to Settlement
- n Soils: Non-linear
- n Overconsolidation: Elastic - OC, Plastic - NC



การคำนวณขนาดการทรุดตัว, S_c



จากรูป

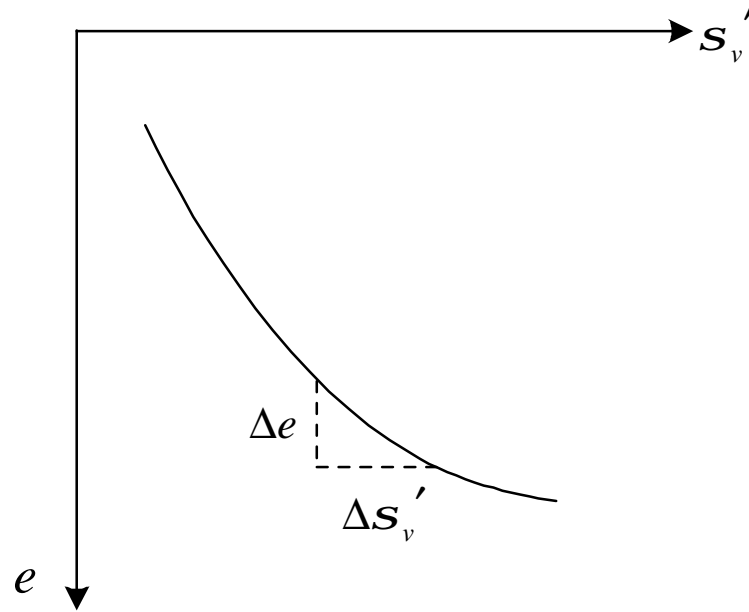
$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{V}$$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$



$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

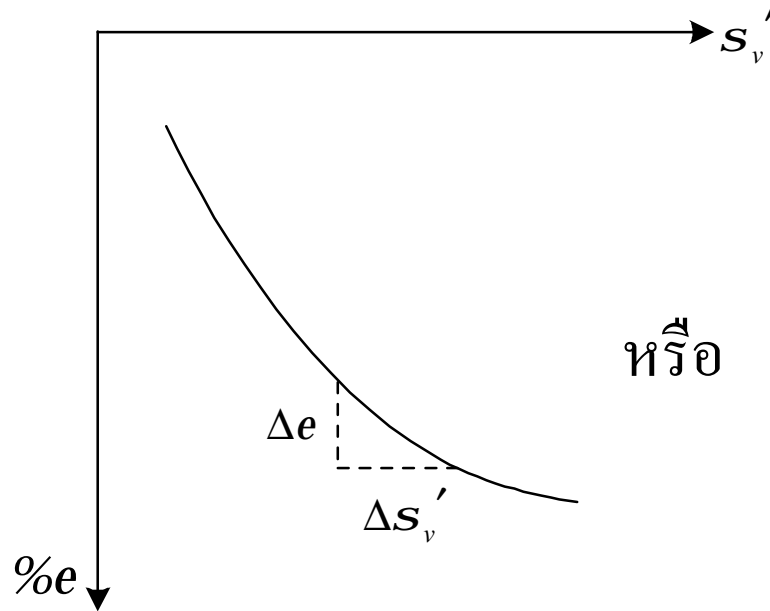
สัมประสิทธิ์การอัดตัว Coefficient of Compressibility, a_v



$$\text{Slope} = a_v = \frac{\Delta e}{\Delta s'_v}$$

กราฟ Void Ratio-Effective Stress ($e - s'_v$)

Coefficient of Volume Compressibility, m_v

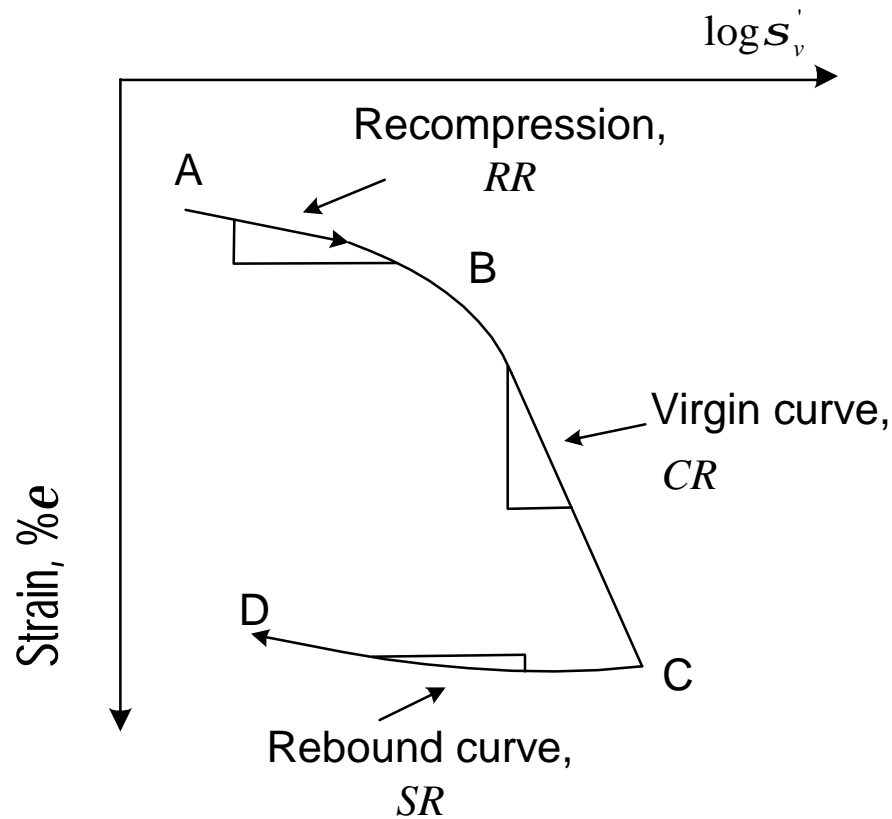


$$\text{Slope} = m_v = \frac{\Delta e}{\Delta s'_v}$$

$$m_v = \frac{\Delta e}{\Delta s'_v (1 + e_0)} = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

กราฟ Strain-Effective Stress ($e - s'_v$)

กราฟ Stress-Strain



$$Slope = \frac{\Delta e}{\Delta \log S'_v}$$

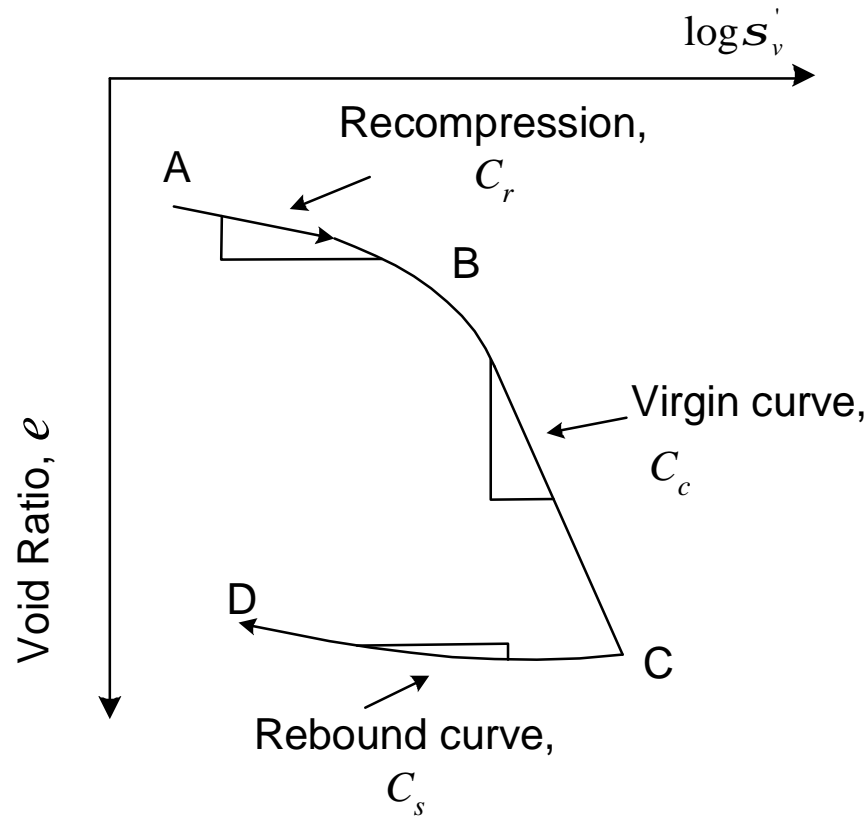
RR = Slope of Recompression curve

CR = Slope of Virgin curve

SR = Slope of Swelling curve

กราฟ Strain-Log Effective Stress ($e - \log S'_v$)

กราฟ Stress-Strain



$$Slope = \frac{\Delta e}{\Delta \log s'_v}$$

$$C_r = RR(1 + e_0)$$

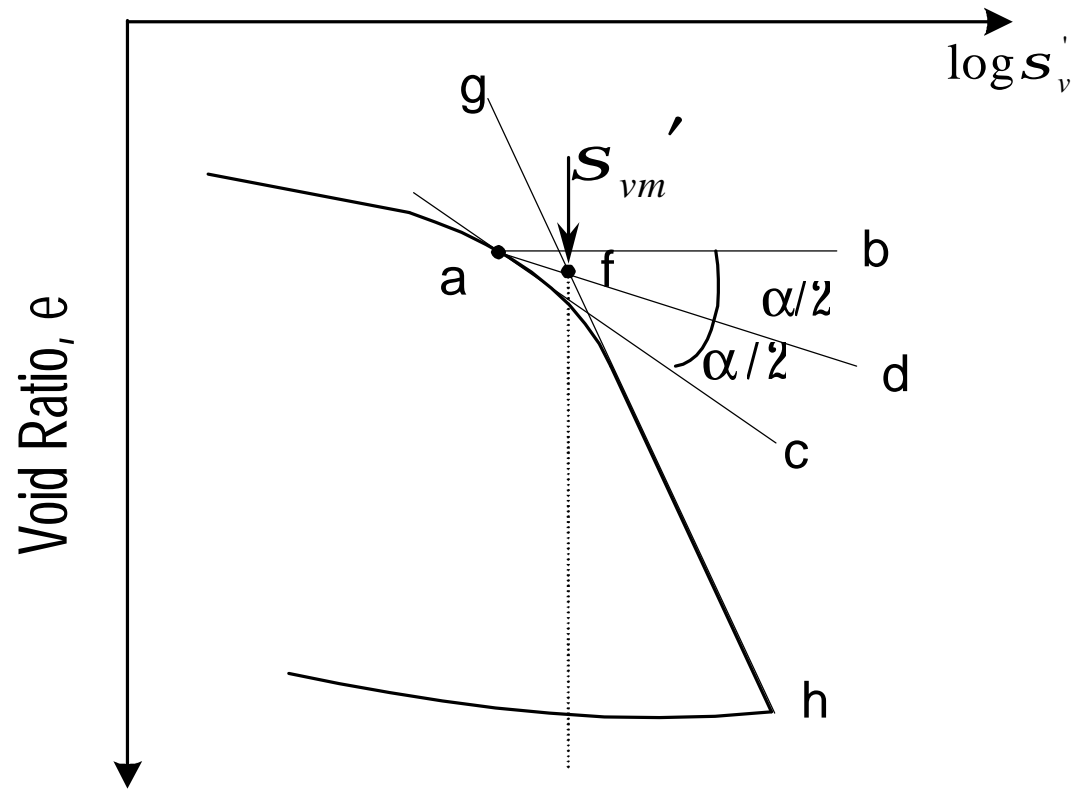
$$C_c = CR(1 + e_0)$$

$$C_s = SR(1 + e_0)$$

โดยที่ $e_0 = \text{Initial Void Ratio}$

กราฟ Void Ratio-Log Effective Stress ($e - \log s'_v$)

การหาค่า Preconsolidation Pressure, s'_{vm}



Casagrande Method

ประวัติการบรรทุกกดทับของดิน (Stress History)

อัตราส่วนอัดตัวเกิน (Overconsolidation Ratio), $OCR = \frac{s'_{vm}}{s'_{v0}}$

n Overconsolidated Soil: OC

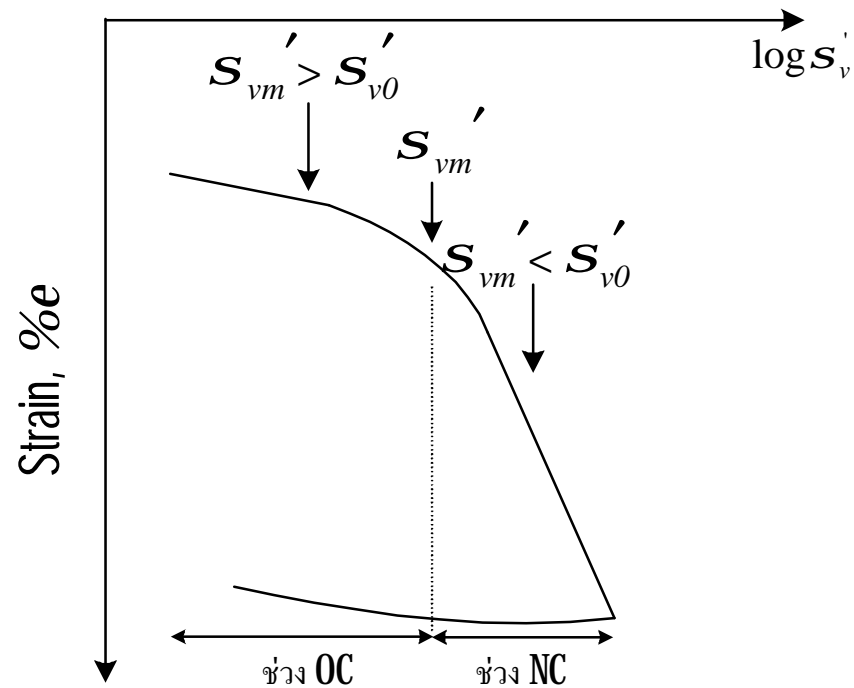
-> $s'_{vm} > s'_{v0}$, (OCR > 1)

n Normally Consolidated Soil: NC

-> $s'_{vm} = s'_{v0}$, (OCR = 1)

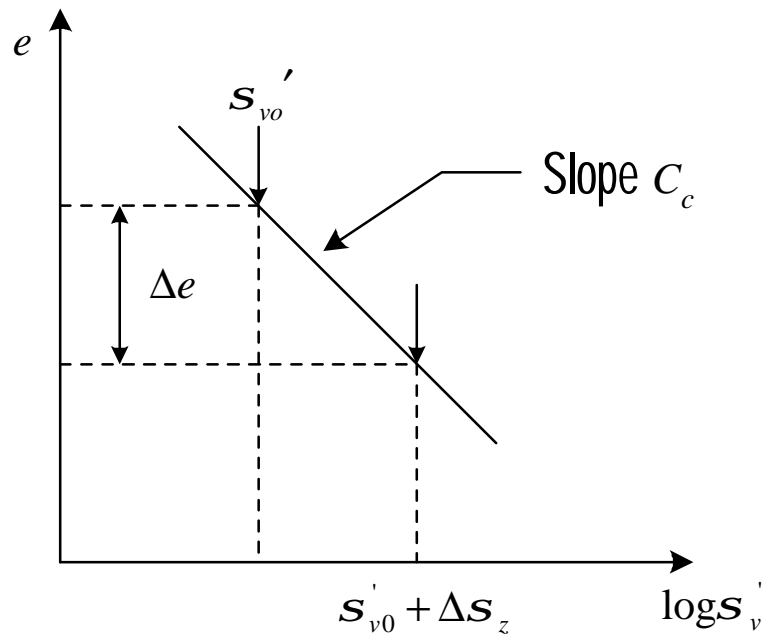
n Underconsolidated Soil :

-> $s'_{vm} < s'_{v0}$, (OCR < 1)



การคำนวณขนาดการทรุดตัว, S_c

Normally Consolidated (NC, $s'_{vm} \leq s'_{v0}$)

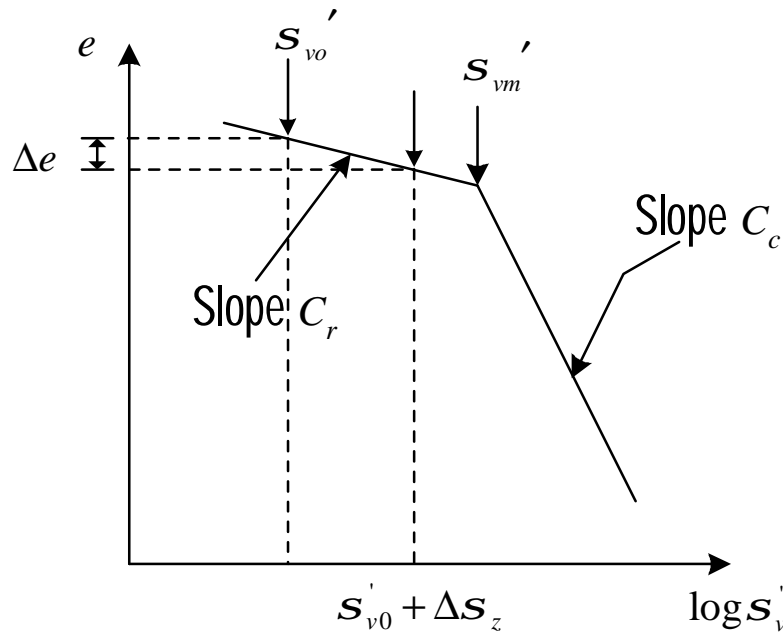


$$\Delta e = C_c \log \frac{s'_{v0} + \Delta s_z}{s'_{v0}}$$

$$S_c = \Delta H = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{s'_{v0} + \Delta s_z}{s'_{v0}}$$

การคำนวณขนาดการทรุดตัว, S_c

Overconsolidated (OC), Case I $s'_{v0} + \Delta s_z < s'_{vm}$

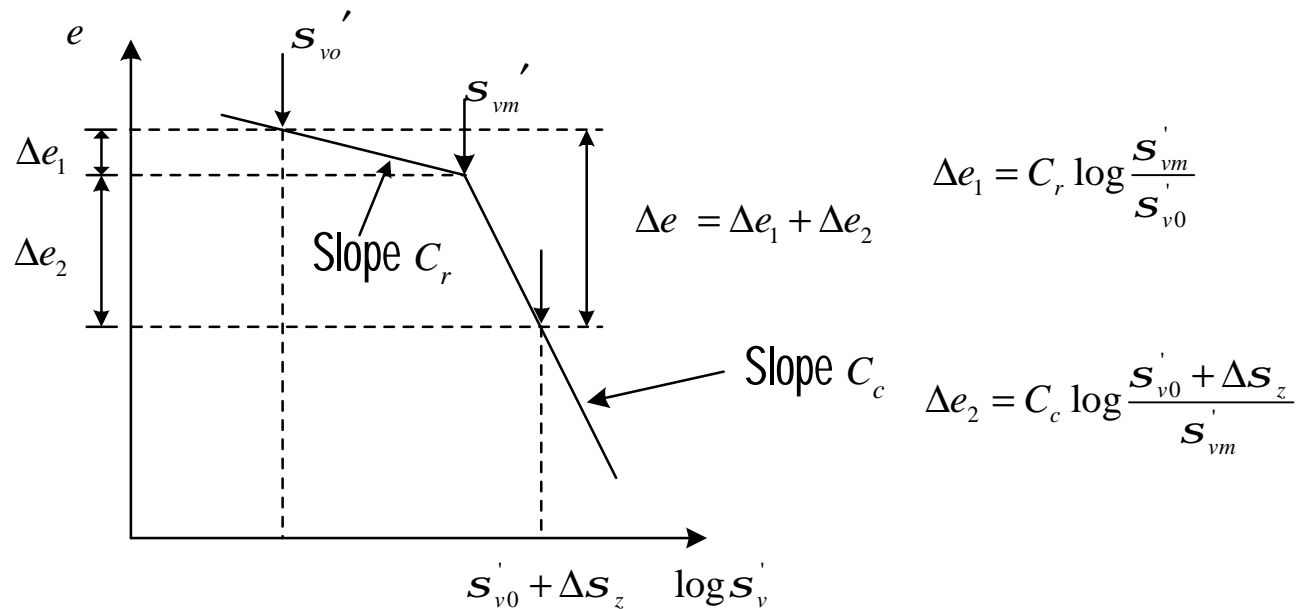


$$\Delta e = C_r \log \frac{s'_{v0} + \Delta s_z}{s'_{v0}}$$

$$S_c = \Delta H = \frac{C_r H}{1 + e_0} \log \frac{s'_{v0} + \Delta s_z}{s'_{v0}}$$

การคำนวณขนาดการทรุดตัว, S_c

Overconsolidated (OC), Case II $s'_{v0} < s'_{vm} < s'_{v0} + \Delta s_z$



$$S_c = \Delta H = \frac{C_r H}{1 + e_0} \log \frac{s'_{vm}}{s'_{v0}} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{s'_{v0} + \Delta s_z}{s'_{vm}}$$

อัตราเร็วในการทรุดตัว (Rate of Settlement)



1-D Consolidation Theory

n ทฤษฎี 1-D

n เกิดความคั่งน้ำส่วนเกิน, u

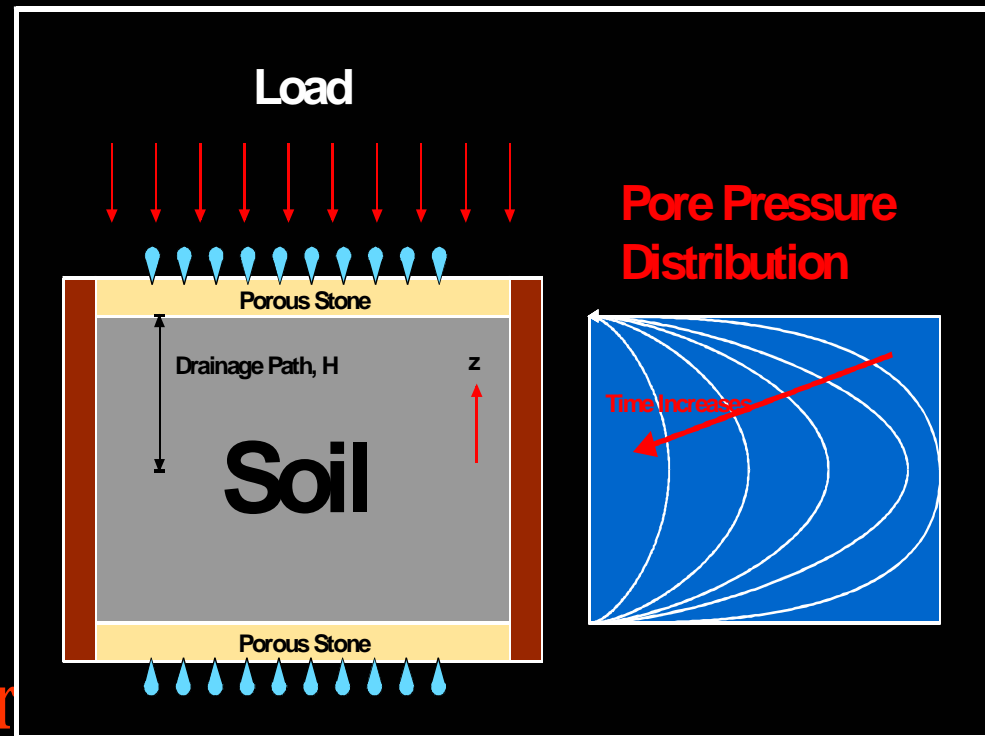
$$n \quad u = f(z, t)$$

n c_v = Coefficient of Consolidation

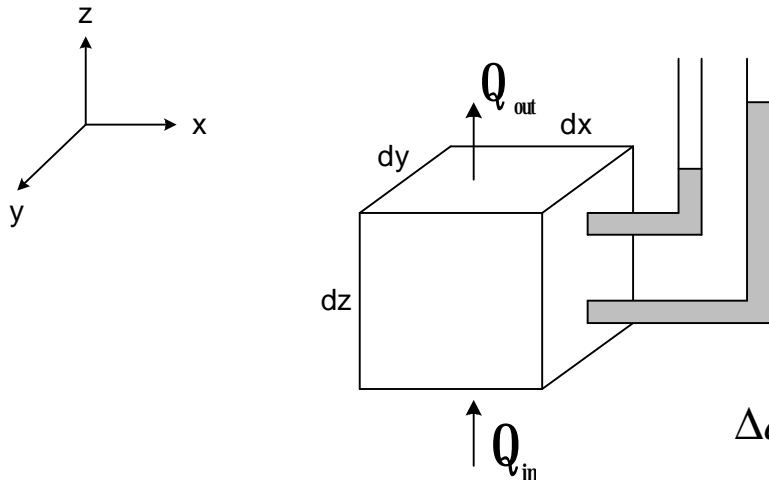
n Degree of Consolidation, U

$$n \quad U = f(c_v, t, H) \text{ หรือ}$$

$$n \quad U = f(T_v) \text{ เมื่อ } T_v = \text{Time Factor}$$



Rate of Settlement



จากกฎของดาร์ซี

$$\Delta q = q_{out} - q_{in} = \left(\frac{k}{g_w} \right) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) dx \cdot dy \cdot dz$$

ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา

$$\Delta q = \frac{\partial V_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t} \left[\frac{e}{1+e} \right] dx \cdot dy \cdot dz = \left[\frac{1}{1+e} \right] \frac{\partial e}{\partial t} dx \cdot dy \cdot dz$$

ดังนั้น $\left(\frac{k}{g_w} \right) \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] = \left[\frac{1}{1+e} \right] \frac{\partial e}{\partial t}$, จาก $\partial e = a_v \partial u$

จะได้ $\left\{ \left(\frac{k}{g_w} \right) \frac{(1+e)}{a_v} \right\} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial u}{\partial t}$

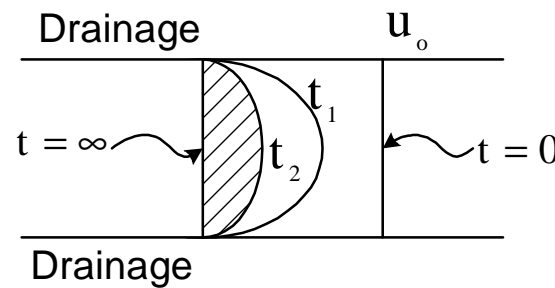
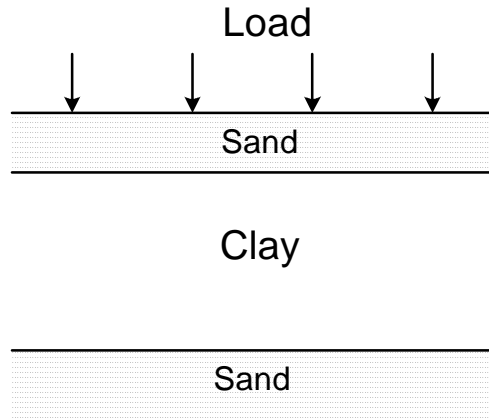


ดังนั้น

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

เมื่อ $c_v = \frac{k}{g_w} \left(\frac{1+e}{a_v} \right) = \frac{k}{g_w m_v}$

Rate of Settlement



Boundary conditions,

$$z = 0, u = 0$$

$$z = 2H, u = 0$$

$$t = 0, u = u_0$$

จะได้อะไร $u = \sum_{m=0}^{m=a} \left[\frac{2u_0}{M} \sin\left(\frac{Mz}{H_d}\right) \right] e^{-M^2 T_v}$, เมื่อ $T_v = \frac{c_v t}{H_d^2}$

Degree of consolidation ณ เวลา t

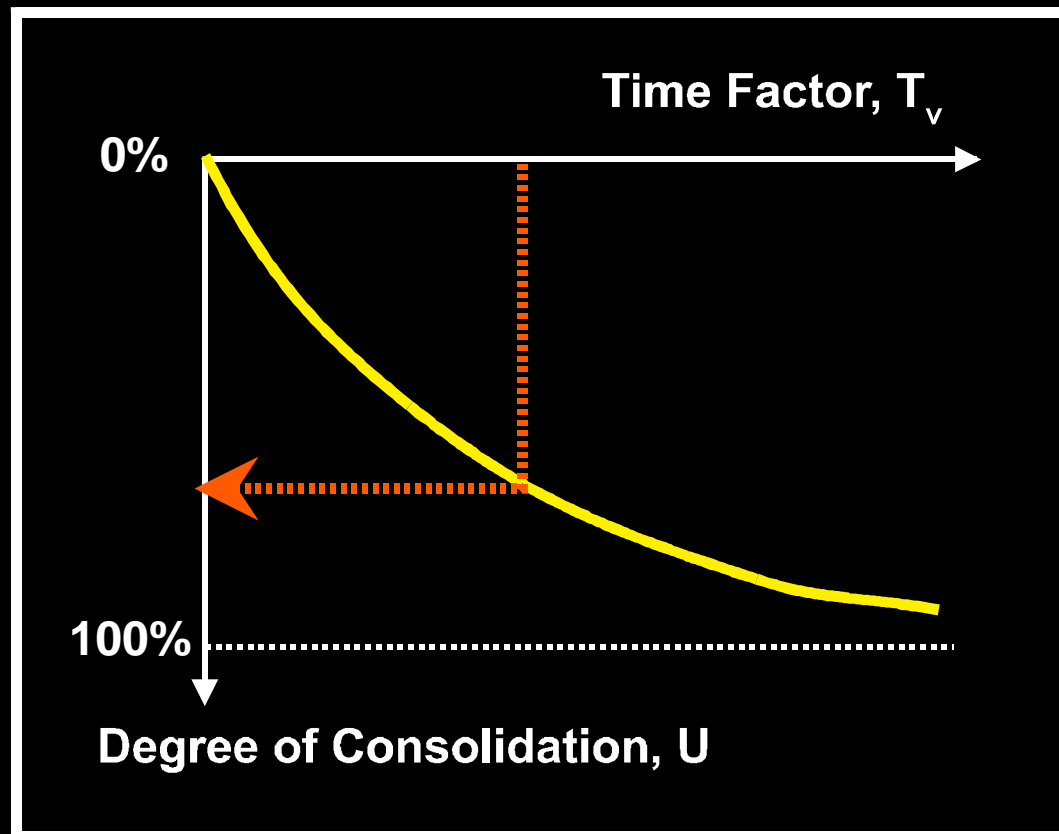
$$U_z = \frac{u_0 - u_z}{u_0} = 1 - \frac{u_z}{u_0}$$

Average degree of consolidation

$$U = \frac{d_t}{d} = \frac{1 - \left(\frac{1}{H_d} \right) \int_0^{H_d} u_z dz}{u_0}$$

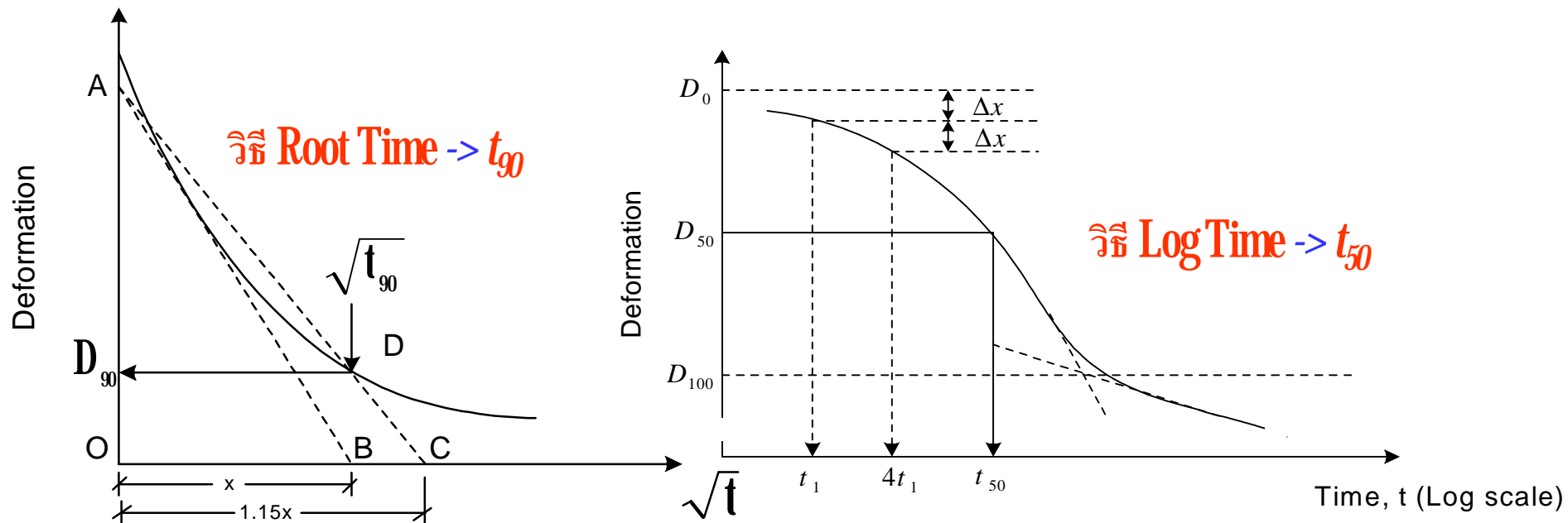
1-D Consolidation Theory

- n $U = f(T_v)$ – Solution
 - n where $T_v = c_v t / H^2$
 - n $U=50\%$, $T_v=0.197$
 - n $U=90\%$, $T_v=0.848$
- n Giving Degree of Consolidation (U) or Rate of Settlement ($U \times S_t$)

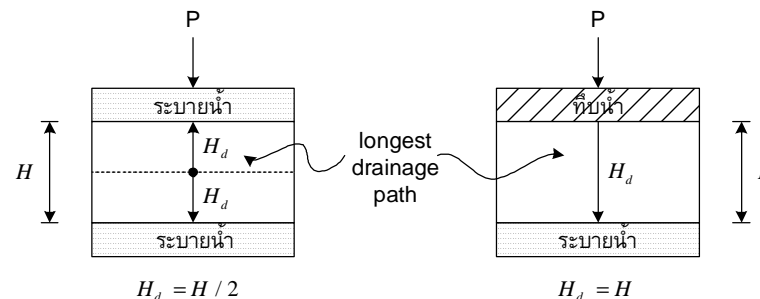


การหาค่า Coefficient of Consolidation, c_v

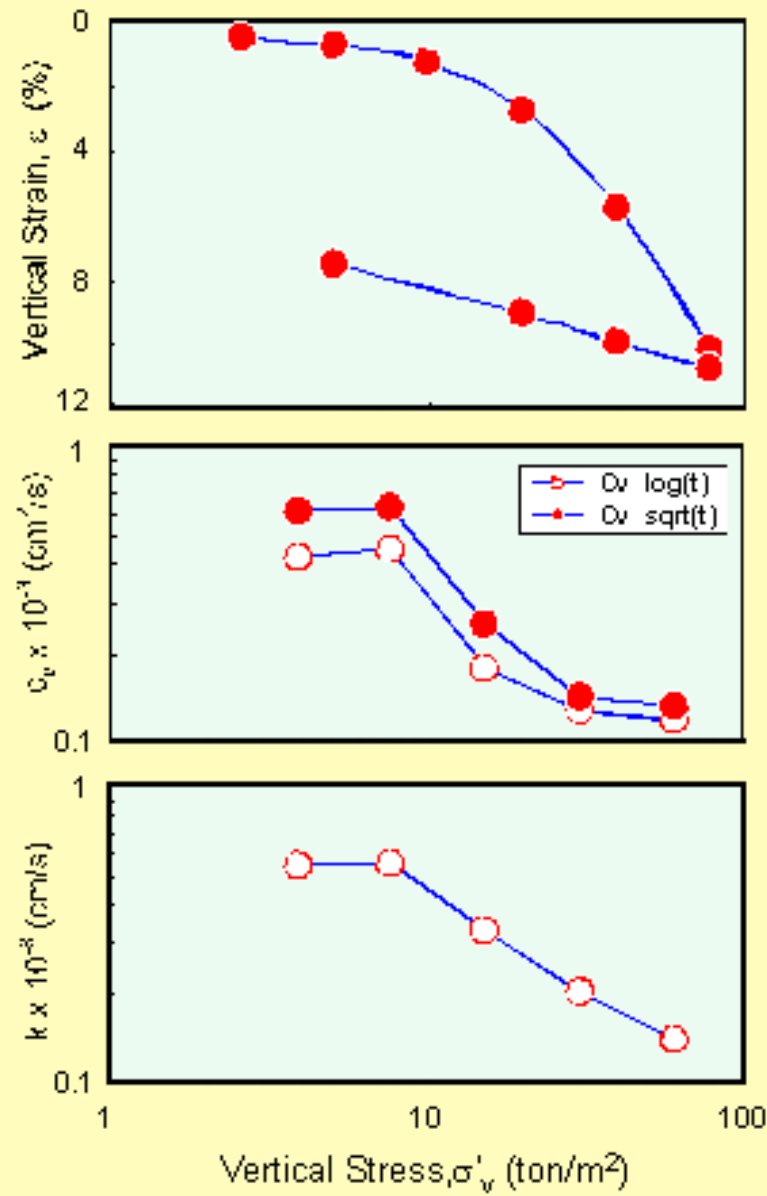
Plot Root Time and Log Time -> หาค่า t_{90} and t_{50}



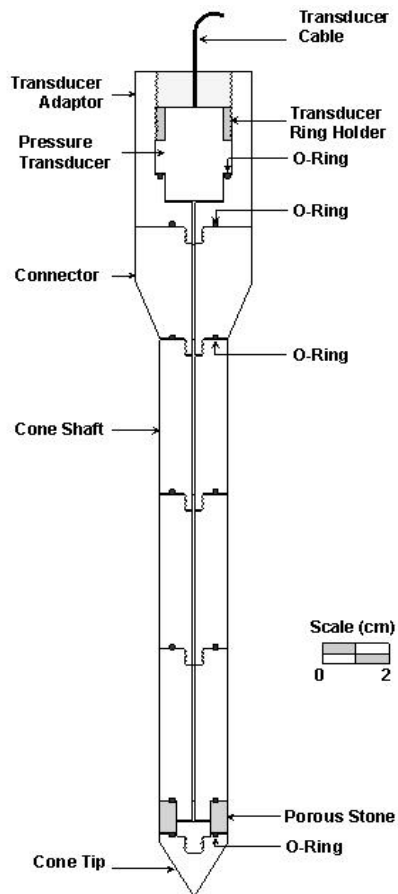
$$c_v = \frac{T_v H_d^2}{t}$$



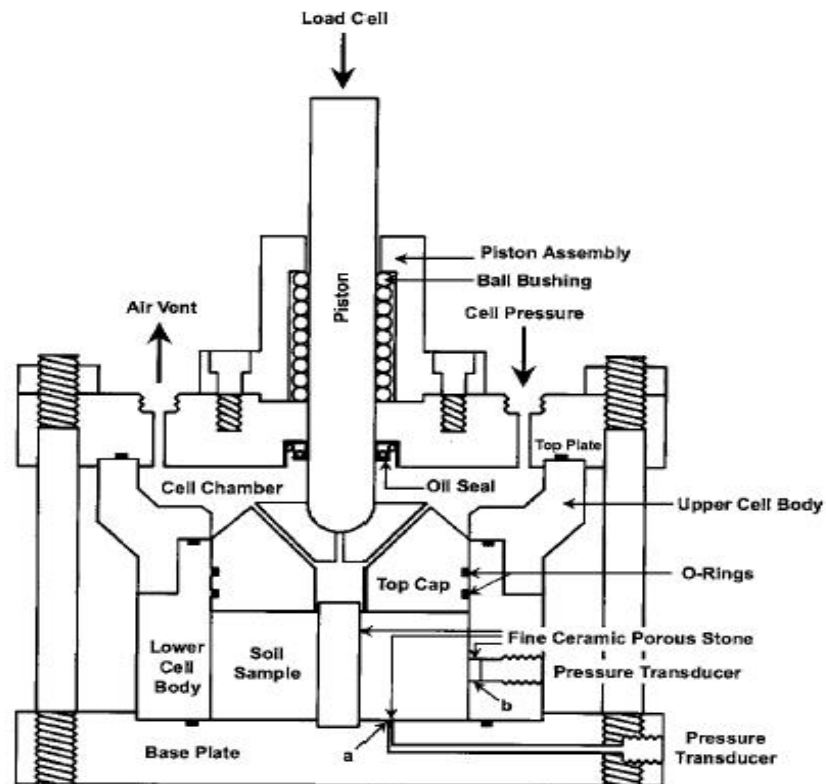
Consolidation Test Results



Horizontal Coefficient of Consolidation, c_h



เครื่องมือทดสอบ Piezoprobe
(Seah. et al, 2004)



เครื่องมือทดสอบ CRS-R
(Seah. et al, 2004)