




การวิเคราะห์การไหลซึม

วัตถุประสงค์ทางตรง

- การปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านในดินหรือหินที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางวิศวกรรม
- การหาแรงดันน้ำที่ทำให้เกิดแรงดันลอยตัว การเกิดทรายดูด
- การหาความเร็วของการไหลซึมที่ทำให้เกิดการพัดพาวัสดุ และการกัดเซาะ

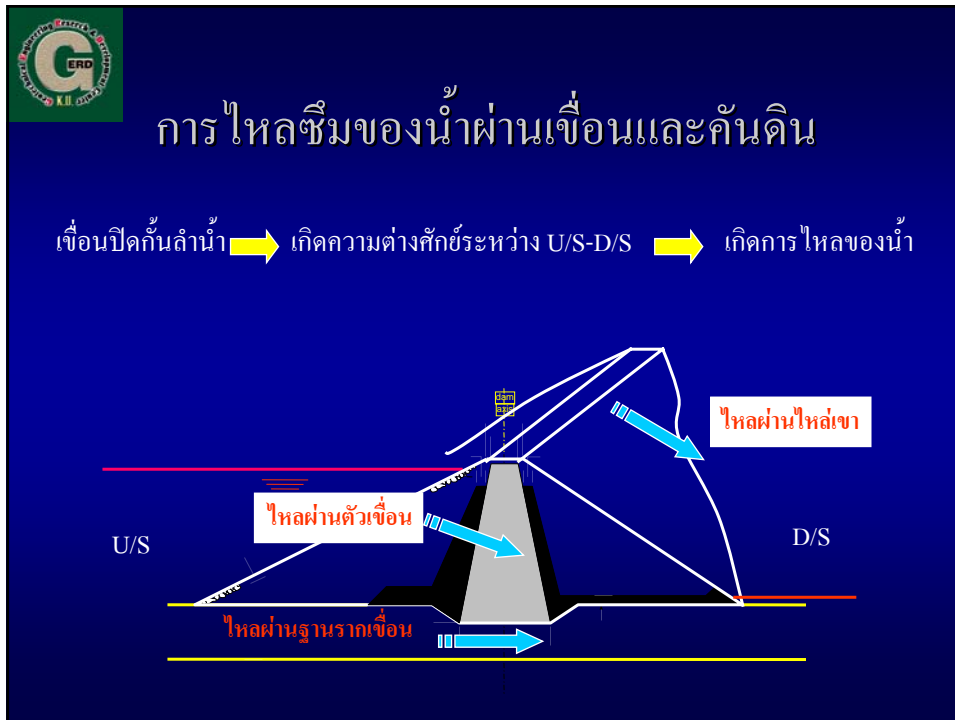
วัตถุประสงค์ทางอ้อม


- การลดความแข็งแรงของมวลดิน
- การพัดพาของเสียทำให้เกิดมลพิษในดิน
- การสูบน้ำเกินสมดุลทำให้เกิดการทรุดตัว



ลักษณะงานที่ต้องมีการวิเคราะห์การไหลซึม

- งานเขื่อนและคันดิน
- งานกำแพงกันดินและทางน้ำล้น
- งานคลองส่งน้ำและระบายน้ำ
- งานทำเทียบเรือ งานถมทะเล และอุ้ต่อเรือ
- งานขุดเปิดฐานราก ขุดแนววางท่อส่งน้ำ
- งานฝังกลบขยะและของเสียปนเปื้อน
- งานลาดดินตัดและลาดดินธรรมชาติ
- อื่น ๆ





ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการไหลซึมของน้ำผ่านเขื่อน

การกัดเซาะและการพัดพาวัสดุ (Seepage Erosion)


- ลาดเขื่อน
- ฐานรากเขื่อน
- ข้างท่อดูด
- ภายในตัวเขื่อน
- ฐานยัน
- ใต้ทางระบายน้ำล้น

การรั่วซึมมากทำให้สูญเสียน้ำเก็บกัก (Excessive Leakage)

ผ่านตัวเขื่อนและบริเวณข้างเคียง
ผ่านขอบและกันอ่างเก็บน้ำ

ความดันสูงในบริเวณต่างๆ มีผลต่อเนื่องถึงการเคลื่อนพัง

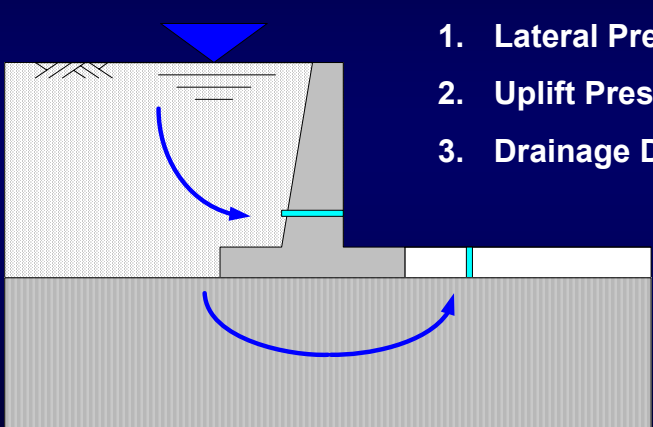
ลาดเขื่อน
ลาดดินธรรมชาติบริเวณขอบอ่างเก็บน้ำ

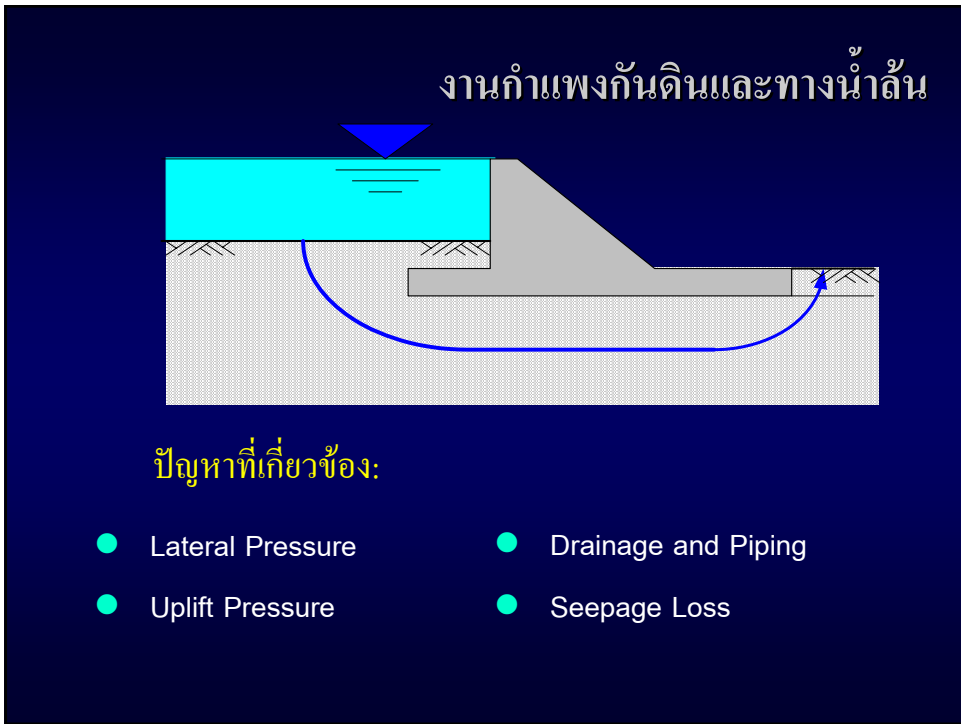


งานกำแพงกันดินและทางน้ำล้น

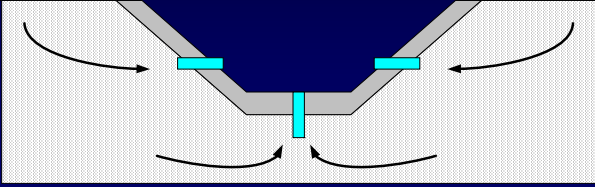
ปัญหาที่เกี่ยวข้อง:

1. Lateral Pressure
2. Uplift Pressure
3. Drainage Design





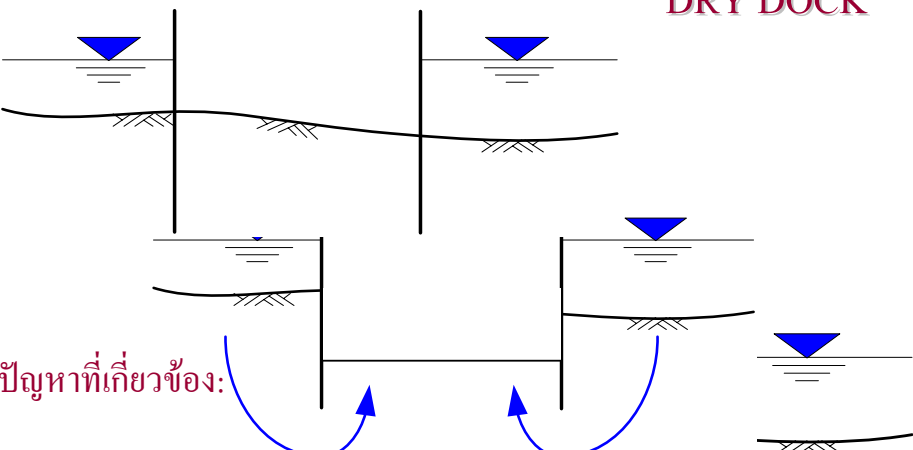
งานคลองส่งน้ำและระบายน้ำ



ปัญหาที่เกี่ยวข้อง:

- Lateral Pressure
- Seepage Loss
- Uplift Pressure
- Internal Erosion

DRY DOCK

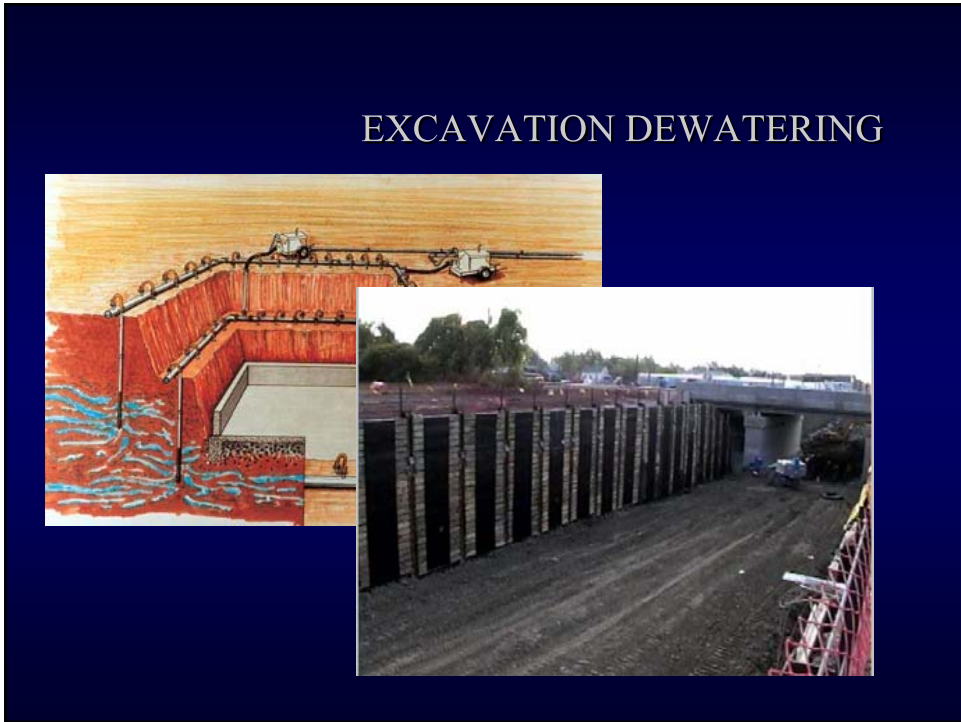



ปัญหาที่เกี่ยวข้อง:

- Lateral Pressure
- Uplift Pressure
- Dewatering

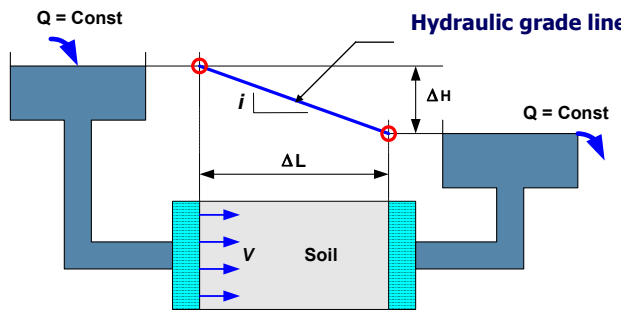
DRY DOCK







สมการการไหลซึม โดย Darcy's Law



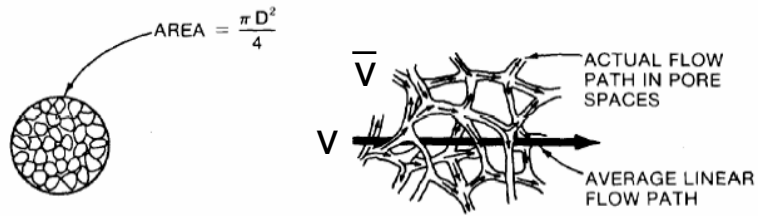
Discharge velocity, $V = k \cdot i = k \cdot (\Delta H / \Delta L) = k \cdot (dh/dl)$

Seepage flow, $Q = V \cdot A = k \cdot i \cdot A$

เมื่อ k = soil permeability (cm./sec.) i = hydraulic gradient

ΔH = head loss, ΔL = seepage length, A = Seepage area

Seepage Velocity V.S. Approach Velocity



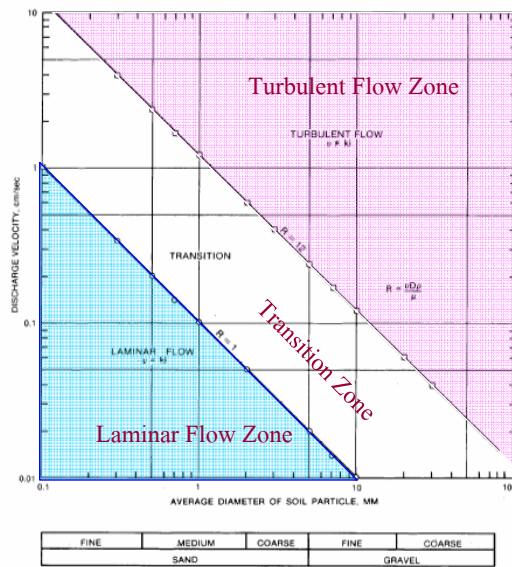
Seepage Velocity or Actual Velocity

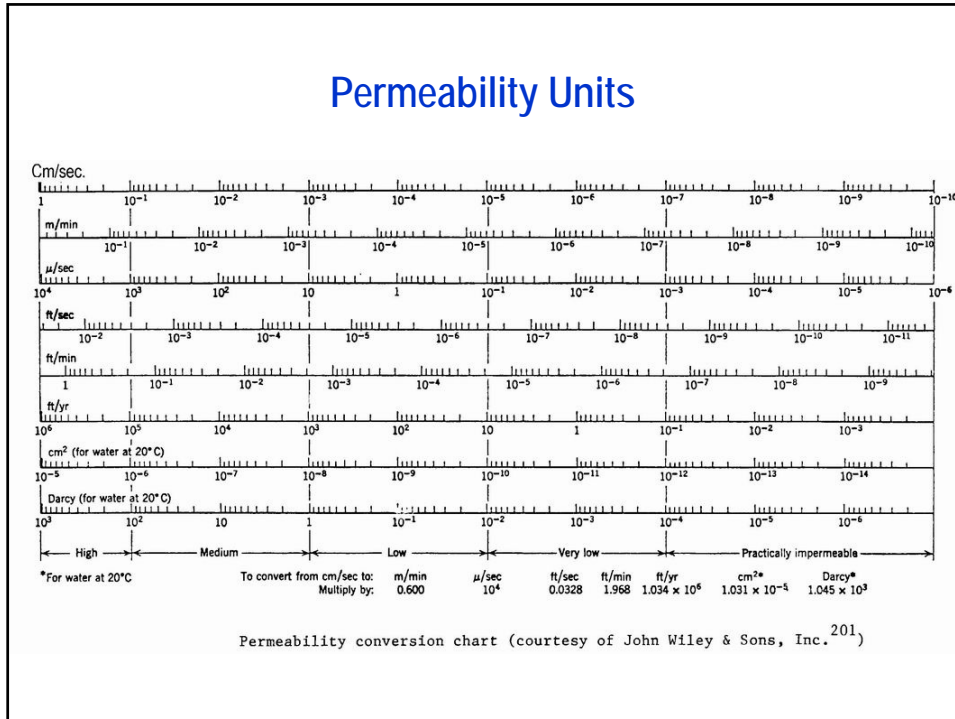
$$\bar{v} = \frac{V}{n}$$

V = Approach Velocity or Discharge Velocity

n = Soil porosity = V_v / V_T

Laminar V.S. Turbulent Flows





ช่วงของค่าความซึมน้ำในดิน

ช่วงค่า k (cm./sec.)	ลักษณะความซึมน้ำ
$> 10^{-1}$	สูง
$10^{-1} - 10^{-3}$	ปานกลาง
$10^{-3} - 10^{-5}$	ต่ำ
$10^{-5} - 10^{-7}$	ต่ำมาก
$< 10^{-7}$	ทึบน้ำ



ค่าความซึมน้ำ

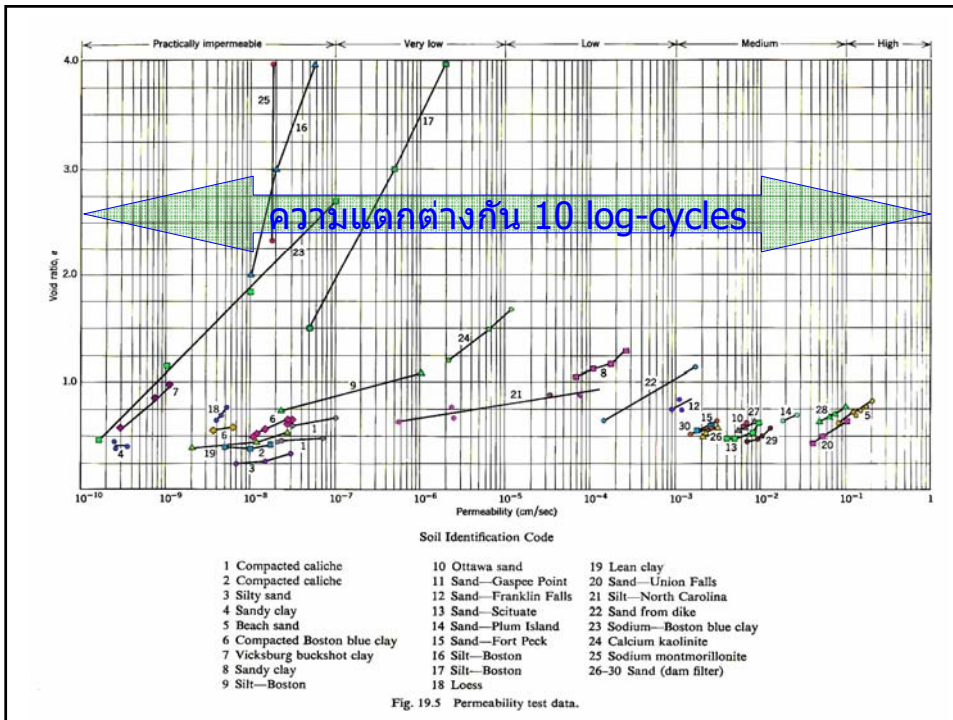
Soil permeability เป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่ควบคุมการไหลซึมของน้ำผ่านดินและหิน แสดงถึงความสามารถที่มวลดินยอมให้น้ำไหลผ่านได้ช้าหรือเร็วเพียงใด โดยทั่วไปอยู่ในหน่วย cm/sec. และขึ้นอยู่กับปัจจัยดังต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความซึมน้ำของดิน

1. การกระจายขนาดของเม็ดดิน
2. ลักษณะของเม็ดดิน
3. อัตราส่วนช่องว่าง
4. ระดับความอิ่มตัว
5. ธรรมชาติของน้ำ

} **ดินเม็ดหยาบ**

} **ดินเม็ดละเอียด**



TYPICAL PERMEABILITY FOR VARIOUS MATERIALS

	Particle-size range						Permeability coefficient, k		
	Inches		Millimeters		Effective size		ft./year	ft./month	cm./sec.
	D _{max}	D _{min}	D _{max}	D _{min}	D ₂₀ , in	D ₂₀ , mm			
TURBULENT FLOW									
Derrick stone	120	36			48		100x10 ⁶	100x10 ⁵	100
One-man stone	12	4			6		30x10 ⁶	30x10 ⁵	30
Clean, fine to coarse gravel	3	1/4	80	10	1/2		10x10 ⁶	10x10 ⁵	10
Fine, uniform gravel	3/8	1/16	8	1.5	1/8		5x10 ⁶	5x10 ⁵	5
Very coarse, clean, uniform sand	1/8	1/32	3	0.8	1/16		3x10 ⁶	3x10 ⁵	3
LAMINAR FLOW									
Uniform, coarse sand	1/8	1/64	2	0.5	0.6		0.4x10 ⁶	0.4x10 ⁵	0.4
Uniform, medium sand			0.5	0.25	0.3		0.1x10 ⁶	0.1x10 ⁵	0.1
Clean, well-graded sand and gravel			10	0.05	0.1		0.01x10 ⁶	0.01x10 ⁵	0.01
Uniform, fine sand			0.25	0.05	0.06		4000	400	40x10 ⁻⁴
Well-graded, silty sand and gravel			5	0.01	0.02		400	40	4x10 ⁻⁴
Silty sand			2	0.005	0.01		100	10	1x10 ⁻⁴
Uniform silt			0.05	0.005	0.006		50	5	0.5x10 ⁻⁴
Sandy clay			1.00	0.001	0.002		5	0.5	0.05x10 ⁻⁴
Silty clay			0.05	0.001	0.0015		1	0.1	0.01x10 ⁻⁴
Clay(30 to 50% clay sizes)			0.05	0.0005	0.0008		0.1	0.01	0.001x10 ⁻⁴
Colloidal clay(-2µ < 50%)			0.01	10 A	40 A		0.001	0.0001	1x10 ⁻⁹

From Hough (1957)

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(e \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + S \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

Laplace's Equation สำหรับ 3-D ของกรณีการไหลทั่วไป

ความเร็วของการไหล
= $v_x + \frac{c \cdot \partial v_x}{c \cdot \partial x} \cdot dX$

ความเร็วของการไหล
= v_x

เมื่อ $k_x, k_y, k_z =$ Permeability

$h =$ Hydraulic Head

$e =$ Void Ratio

$S =$ Degree of Saturation

สมการพื้นฐานการไหลของน้ำผ่านดิน

กรณีที่ 1 ดินอิ่มตัวและปริมาตรดินคงที่ (Saturated Steady State Flow)

$S = 100\% = \text{Constant}$ และ $e = \text{Constant}$ ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(e \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + S \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

สำหรับ 3-D

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

สำหรับ 2-D

กรณีที่ 2 ดินอิ่มตัวแต่ปริมาตรดินเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Consolidation Flow)

$S = 100\% = \text{Constant}$ และ $e = \text{ลดลงตามเวลา}$

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(e \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + S \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(S \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

สำหรับ 3-D

$$k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(S \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

สำหรับ 1-D

กรณีที่ 3 ดินไม่อิ่มตัวแต่ปริมาตรคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (Unsaturated Flow)

S = เปลี่ยนแปลง และ e = คงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(e \cdot \frac{\partial S}{\partial t} + S \cdot \frac{\partial e}{\partial t} \right)$$

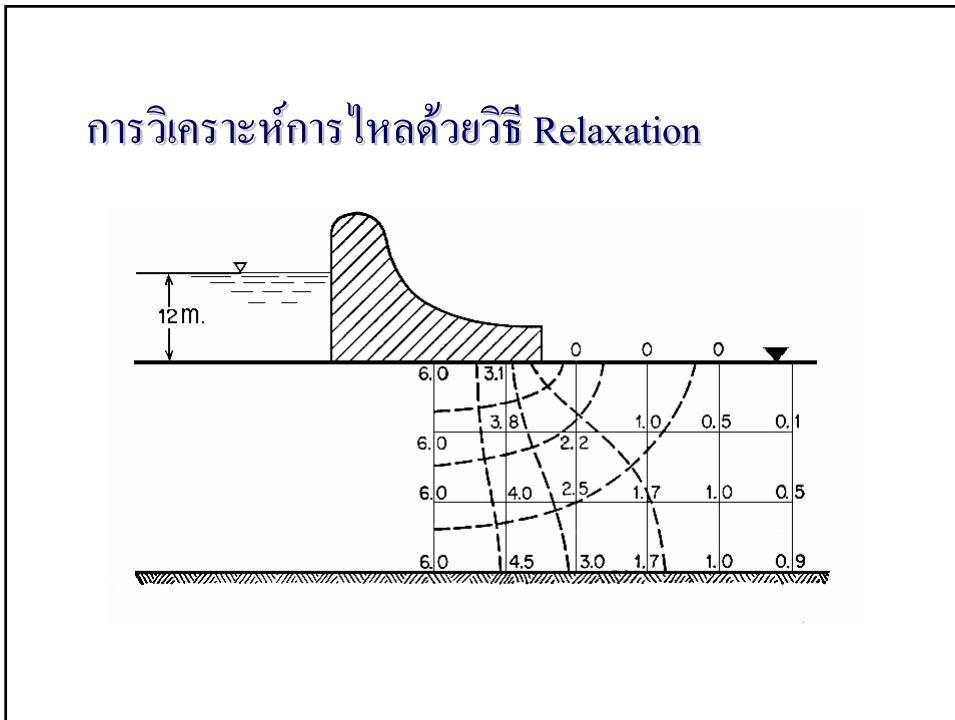
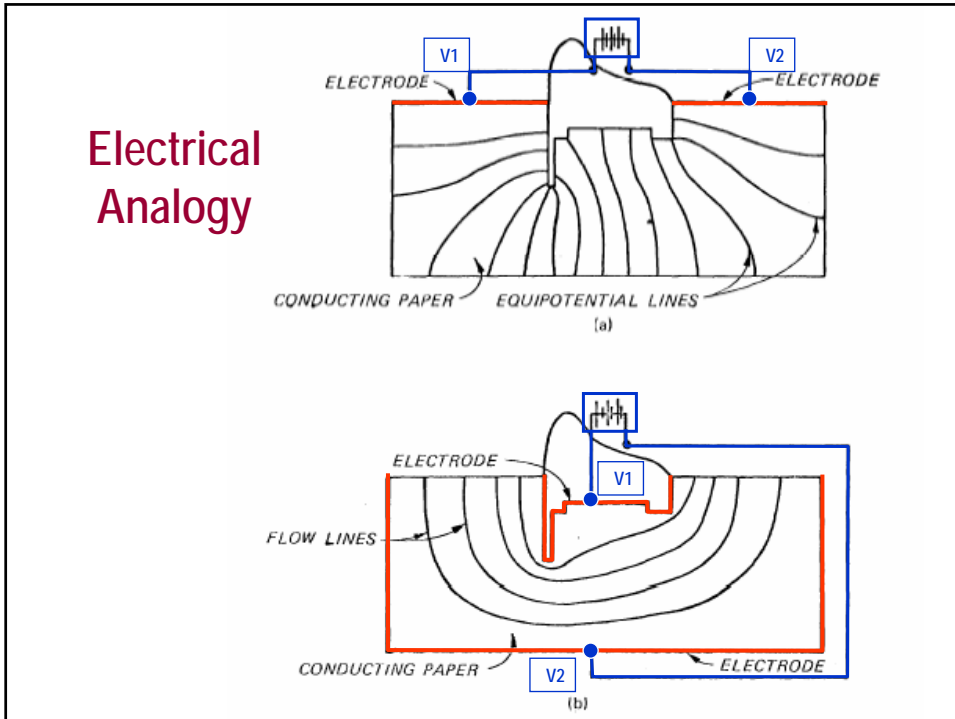
$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + k_z \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(e \cdot \frac{\partial S}{\partial t} \right) \quad \text{สำหรับ 3-D}$$

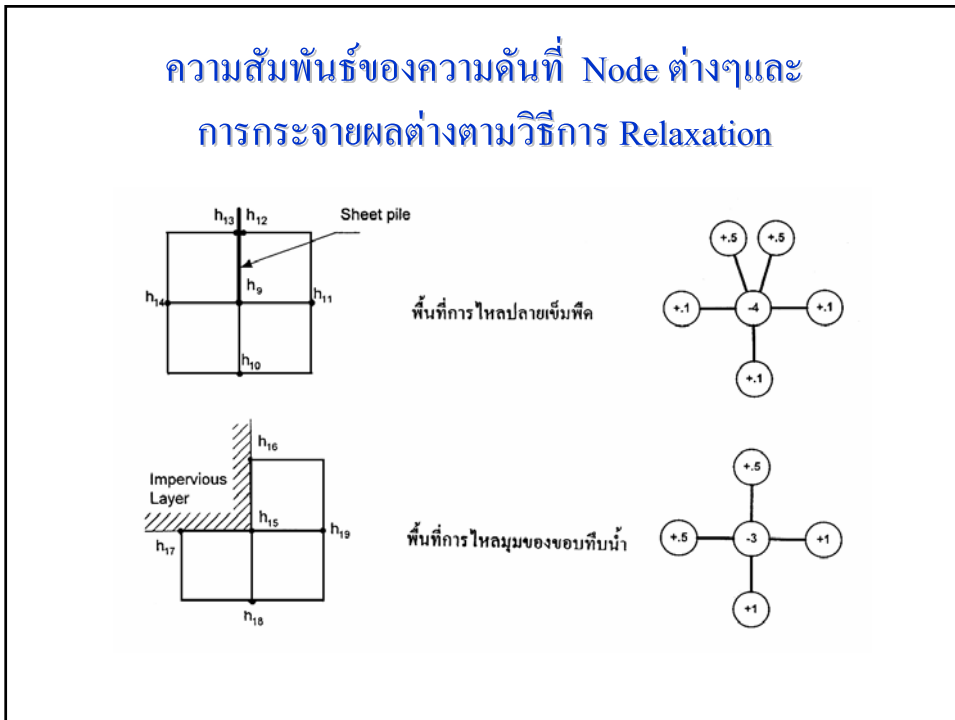
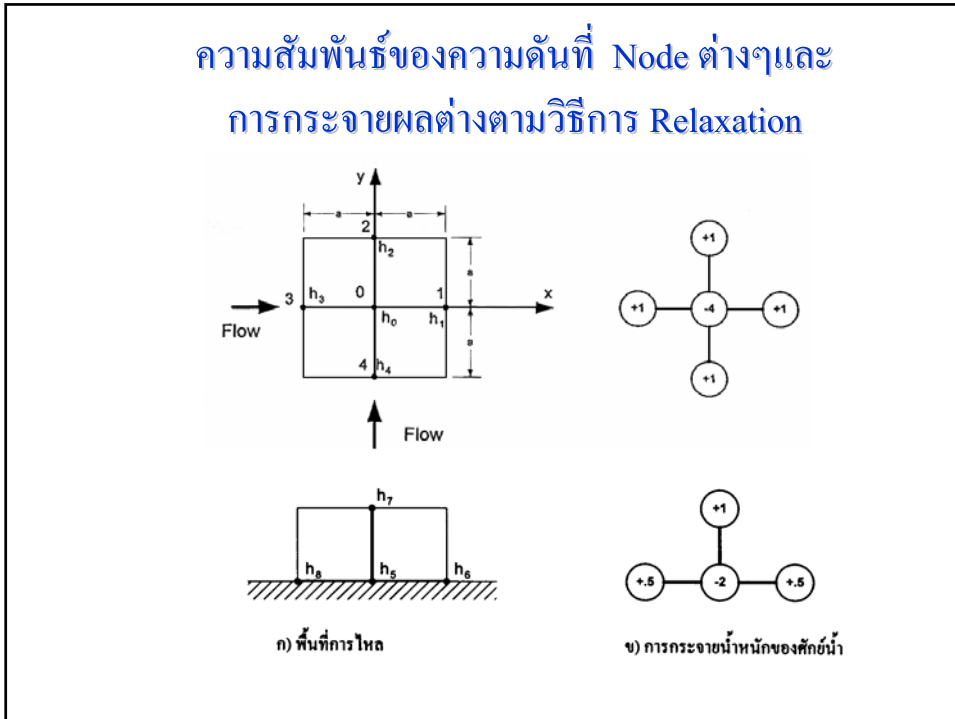
$$k_x \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_y \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{1}{1+e_0} \left(e \cdot \frac{\partial S}{\partial t} \right) \quad \text{สำหรับ 2-D}$$

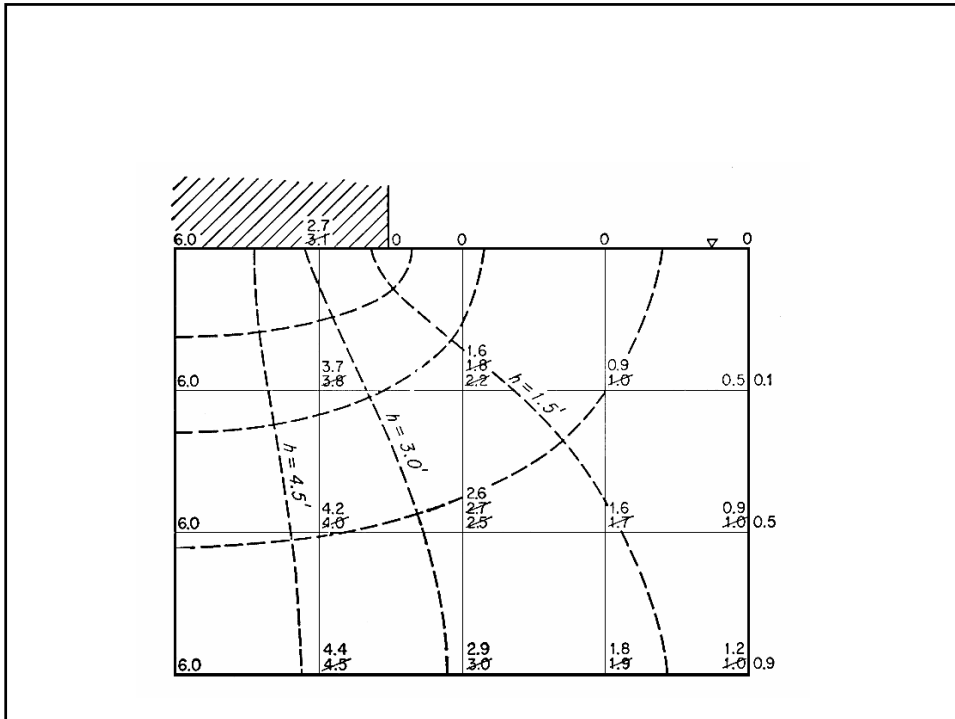



การหาคำตอบของวิเคราะห์ที่ไหลซึม

1. **Mathematical Solution หรือ Exact Solution** ➡ ไม่ค่อยได้ใช้จริง
2. **Flownet Sketch** ➡ ยังใช้เป็นวิธีมาตรฐานในกรณีปัญหาที่ไม่ยุ่งยาก
3. **Numerical Solution** ➡ เหมาะสำหรับปัญหาที่ยุ่งยากและเริ่มนิยมมากขึ้น
4. **Physical Flow Model** ➡ ใช้ในการแสดงให้เห็นเป็นตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ
5. **Electrical Analogy** ➡ ไม่ค่อยได้ใช้จริง



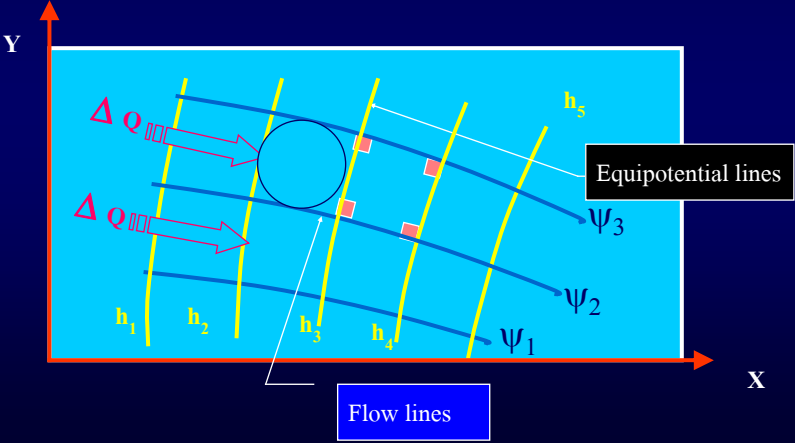






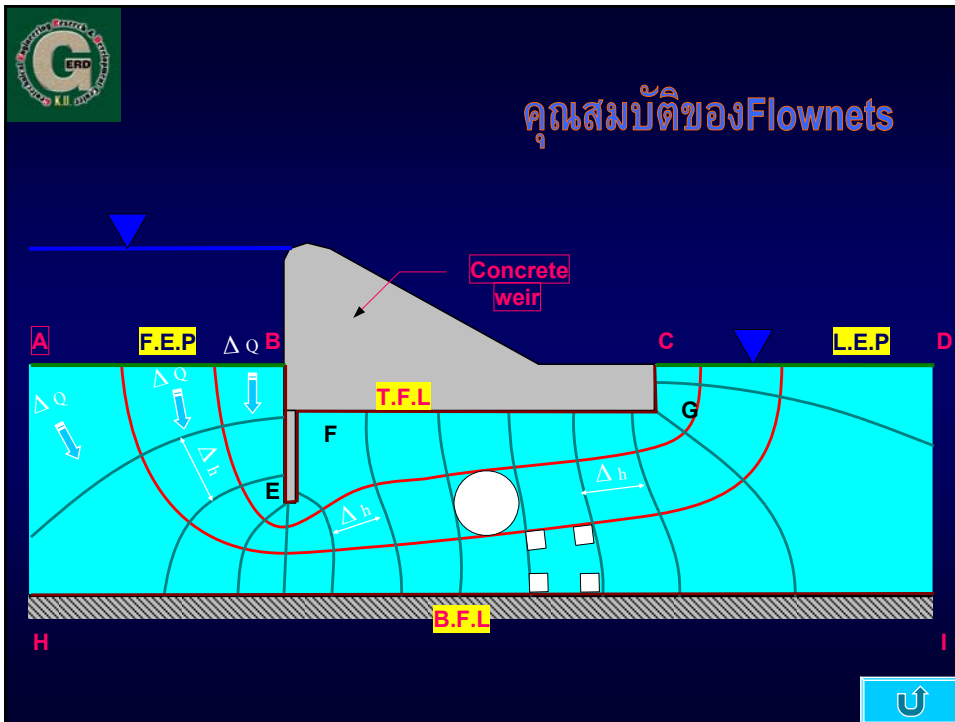
Hydraulic Heads และ Flownets

หากนำค่าตอบมาเขียนเป็นเส้นที่ Hydraulic Head เท่ากันจะได้ “Equipotential Lines”
 และชุดของเส้นที่ตั้งฉากกับ Equipotential Lines จะเป็น “Flow lines” แสดง
 ทิศทางการไหลของน้ำ

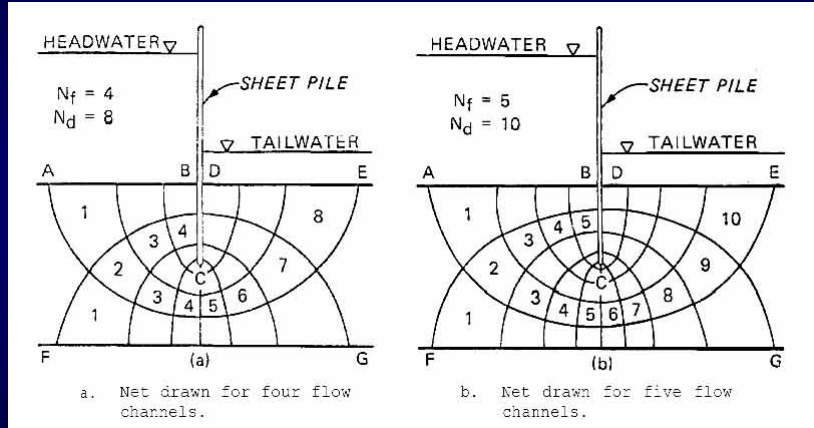


คุณสมบัติของ Flownets

1. Flow lines และ Equipotential lines ต้องตัดกันเป็นมุมฉาก ①
2. รูปสี่เหลี่ยมในFlownets จะต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสฐานโค้ง ①
3. ในชุดของเส้น Flow lines หรือ Equipotential lines จะต้องไม่ตัดกัน ①
4. บนเส้น Equipotential lines หนึ่งจะมีค่าศักย์น้ำรวมที่เท่ากัน ①
5. การเปลี่ยนแปลงศักย์น้ำระหว่างเส้น Equipotential lines ที่ชิดกัน ต้องเท่ากันเรียกว่า “Equipotential Space” ①
6. ปริมาณน้ำที่ไหลระหว่างเส้น Flow lines ที่ชิดกันต้องเท่ากันเรียกว่า “Flow channel” ①




คุณสมบัติของ Flownets ที่จำนวน Flow Channels ต่างกัน



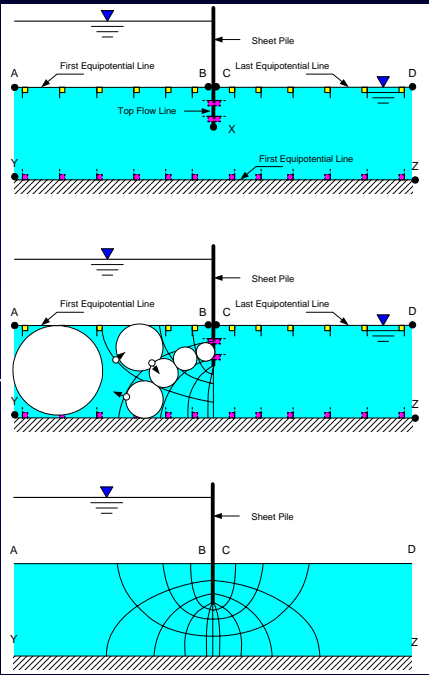

วิธีการเขียน Flownets โดยทั่วไป

- เขียนพื้นที่การไหลซึมโดยใช้มาตรฐานที่เหมาะสมลงบนกระดาษไขเขียนแบบ
- ระบุเส้นขอบเขตการไหล ได้แก่ Top Flow Line, Bottom Flow Line, First Equipotential Line และ Last Equipotential Line ให้ถูกต้อง
- ร่างเส้น Flow lines ที่อยู่ระหว่าง T.F.L. และ B.F.L. ประมาณ 3-5 เส้น
- ร่างเส้น Equipotential lines ที่อยู่ระหว่าง F.E.L. และ L.E.L. ให้เกิดเป็นสี่เหลี่ยมจตุรัสฐานโค้งตามคุณสมบัติของ Flownets
- พิจารณาทั้งหมดว่าบริเวณใดที่ยังไม่เป็นไปตามคุณสมบัติของ Flownets ให้แก้ไข
- เมื่อถูกต้องแล้วให้เพิ่มเติมจำนวน Flow line และ Equipotential line ตามต้องการ
- พลิกกลับกระดาษไขแล้ววงเส้นหนักหรือใช้ปากกาลอกตามเส้นที่สมบูรณ์แล้ว

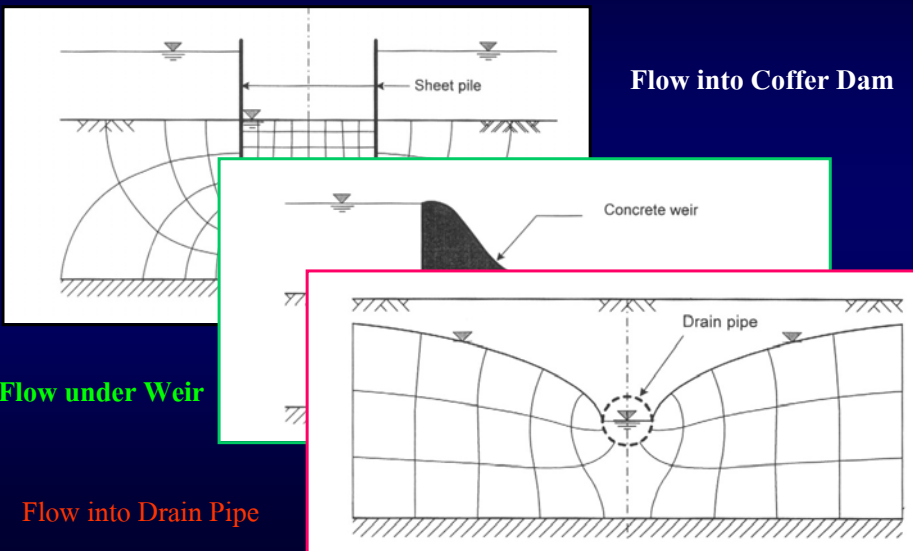


ขั้นตอนการเขียน Flownets

1. สร้าง Boundary Lines
2. สร้าง Flow lines และ Equipotential lines เริ่มต้น
3. แก้ไขให้เข้าคุณสมบัติของ Flownets

ตัวอย่างการเขียน Flownets



Flow into Cofferdam

Flow under Weir

Flow into Drain Pipe

การวิเคราะห์การไหลซึมจากผลของ Flownets

- จำนวนปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่าน (Quantity of Flow)
 - Q
- จำนวนแรงดันลอยตัวและแรงดันน้ำในทิศทางต่างๆ (Seepage Pressure)
 - h_p, u, p
- จำนวนความเร็วในการไหลซึมผ่าน (Seepage Velocity)
 - v
- จำนวนโอกาสในการเกิด Boiling
 - i (hydraulic gradient), F.S (Boiling)

ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่าน

Seepage Quantity (Q)

1. คาดการณ์ปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านหรือรั่วซึม

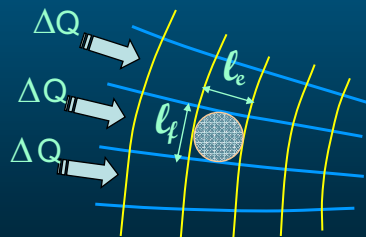
- การรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำผ่านตัวเขื่อนหรือฝาย
- การรั่วซึมจากบ่อฝังกลบขยะ
- การรั่วซึมเข้าในบ่อก่อสร้าง

From Darcy's law

$$v = ki$$

2. การออกแบบระบบระบายน้ำ

or $Q = kiA$

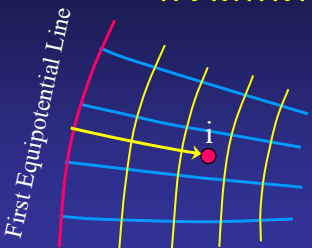


$$\Delta Q = k \cdot \frac{\Delta h}{l_e} \cdot l_f \quad \text{---(1)}$$

Summation of all flow channels

$$Q = \sum(\Delta Q) = k \cdot \frac{N_f}{N_e} \cdot h \quad \text{---(2)}$$

ความดันน้ำในพื้นที่การไหล



เมื่อมีการไหลของน้ำเข้ามาในพื้นที่การไหลน้ำที่จุดใด ๆ i ย่อมสูญเสียศักย์รวม (Total Head, h_t) ของน้ำไปตามระยะทาง โดยสัมพันธ์กับจำนวน Equipotential Space ไปถึงจุดนั้น

$$h_{ti} = h_{t0} - n_{ei} \cdot \Delta h \quad \dots\dots(3)$$

เมื่อ

- h_{ti} = Total Head ที่จุด i ใดๆ
- h_{t0} = Total Head ที่จุดเริ่มต้นของการไหลหรือที่ First Equipotential Line
- n_{ei} = จำนวน Equipotential Spaces จากจุดเริ่มการไหลจนถึงจุด i
- Δh = การสูญเสียศักย์น้ำในช่วงหนึ่ง Equipotential Space

ความดันน้ำในพื้นที่การไหล

จากความสัมพันธ์ระหว่างศักย์น้ำรวม (h_t), ศักย์ระดับน้ำ (h_e), ศักย์ความดันน้ำ (h_p)

$$h_t = h_e + h_p \quad \dots\dots(4)$$

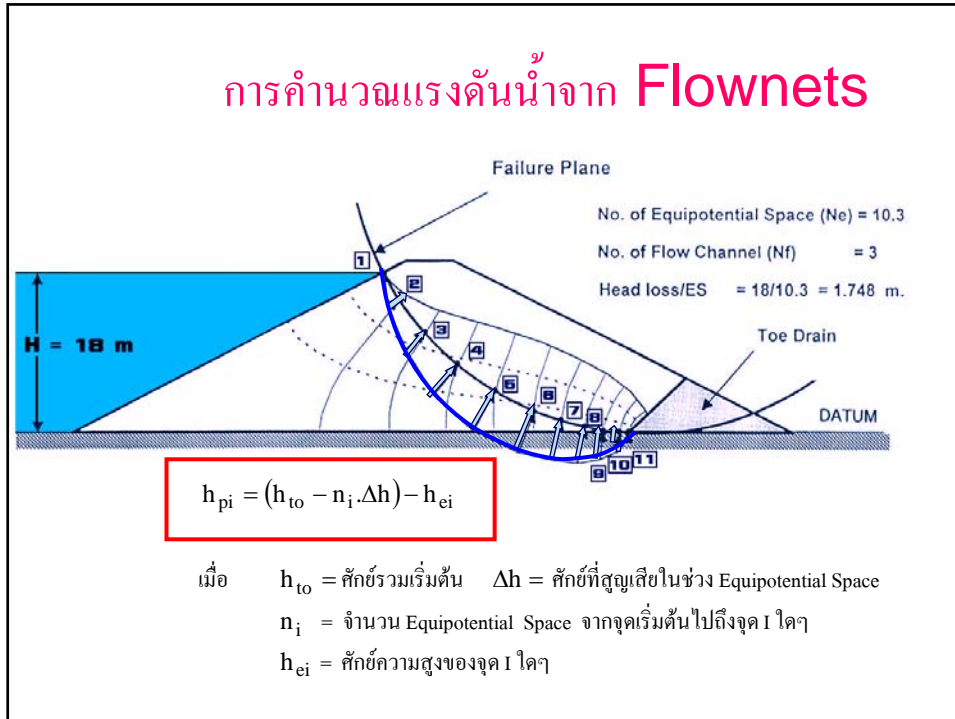
ดังนั้นศักย์ความดันน้ำ $h_p = h_t - h_e$

เมื่อต้องการหาศักย์ความดันน้ำ (h_p) ณ ที่จุดใด i

$$h_{pi} = h_{ti} - h_{ei}$$

และจากสมการที่ (3)

$$h_{pi} = (h_{t0} - n_{ei} \cdot \Delta h) - h_{ei} \quad \dots\dots\dots(5)$$



การคำนวณความดันน้ำจาก Flownets

จุดที่	h_{T0} (เมตร)	n_i (ช่อง)	$n_i \cdot \Delta h$ (เมตร)	h_{ei} (เมตร)	h_{pi} (เมตร)	u_i (ตัน/ตร.ม.)
1	18.0	0.0	0.0	18.0	0.0	0.0
2	18.0	1.0	1.7	15.0	1.3	1.3
3	18.0	2.0	3.5	11.0	3.5	3.5
4	18.0	3.0	5.2	7.5	5.3	5.3
5	18.0	4.0	7.0	4.5	6.5	6.5
6	18.0	5.0	8.7	2.3	7.0	7.0
7	18.0	6.0	10.5	1.0	6.5	6.5
8	18.0	7.0	12.2	0.5	5.3	5.3
9	18.0	8.0	14.0	0.2	3.8	3.8
10	18.0	9.0	15.7	0.1	2.2	2.2
11	18.0	10.0	17.5	0.0	0.5	0.5

ความเร็วของการไหลซึม (v) และ Hydraulic Gradient (i)

บนพื้นที่การไหล ที่จุดใดๆ (i) hydraulic gradient (i_j) จะเท่ากับ

$$i_i = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad \text{---(6)}$$

$$i_{ix} = \frac{\Delta h}{\Delta l_x}$$

$$i_{iy} = \frac{\Delta h}{\Delta l_y}$$

ความเร็วในการไหลซึม (v) จาก Darcy's law

$$v_i = ki_i \quad \text{และ} \quad v_{ix} = ki_{ix} \quad v_{iy} = ki_{iy} \quad \text{---(7)}$$

การเกิดทรายเดือดหรือการพัดพา (Sand Boiling or piping)

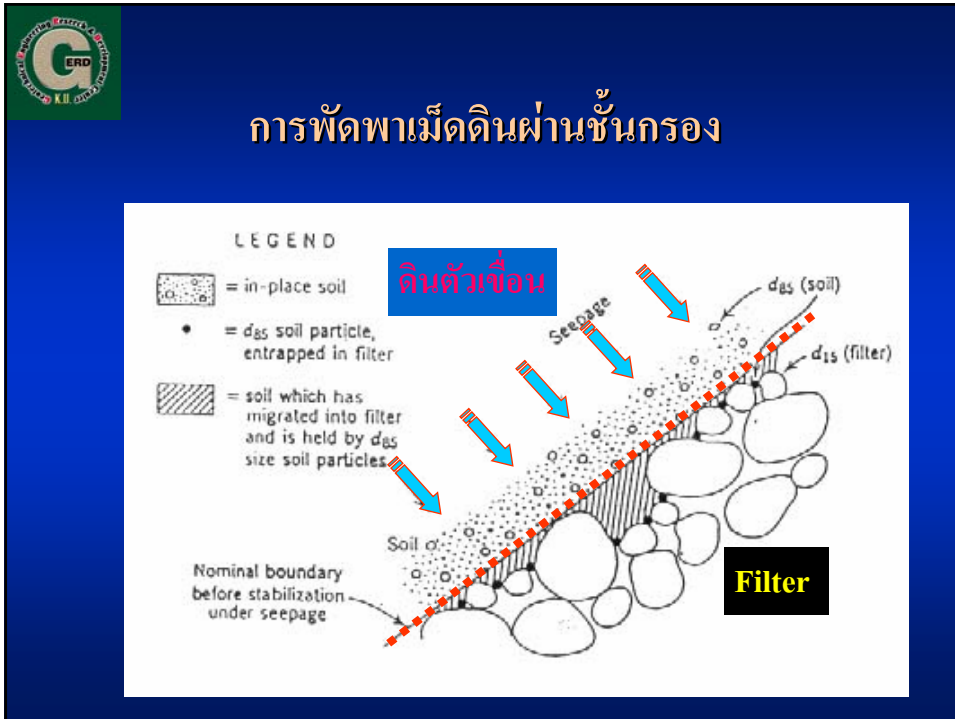
$$F.S. (boiling) = \frac{W_b}{U}$$

If boiling occurring

$$= \frac{\gamma_b \cdot A \cdot H}{\gamma_w \cdot h_{wa} \cdot A} = 1.0 \quad \text{---(6)}$$

Then

$$\frac{\gamma_b \cdot H}{\gamma_w \cdot h_{wa}} = 1 \Rightarrow \frac{h_{wa}}{H} = \frac{\gamma_b}{\gamma_w} \Rightarrow i_e = \frac{\gamma_b}{\gamma_w} \cong 1.0$$



Filter Design Criteria by US. Corp. of Engineers

ก. เพื่อให้เกิดการระบายน้ำที่ดี $D_{15F}/D_{15S} > 5$

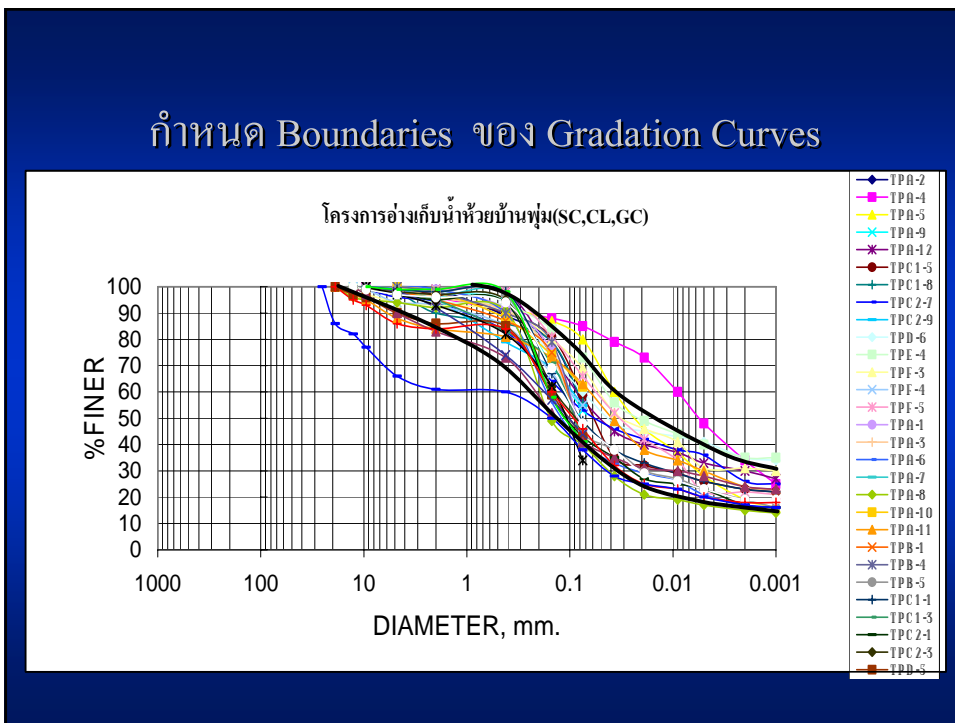
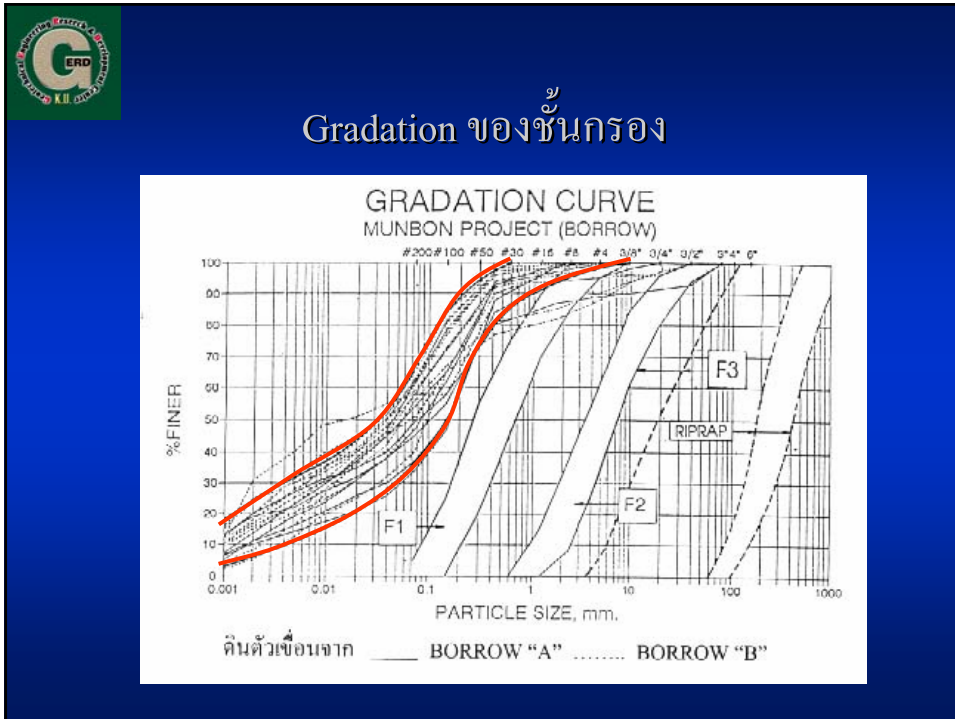
ข. เพื่อไม่ให้เกิดการพัดพาของดินตัวเชื่อม $D_{15F}/D_{85S} < 5$

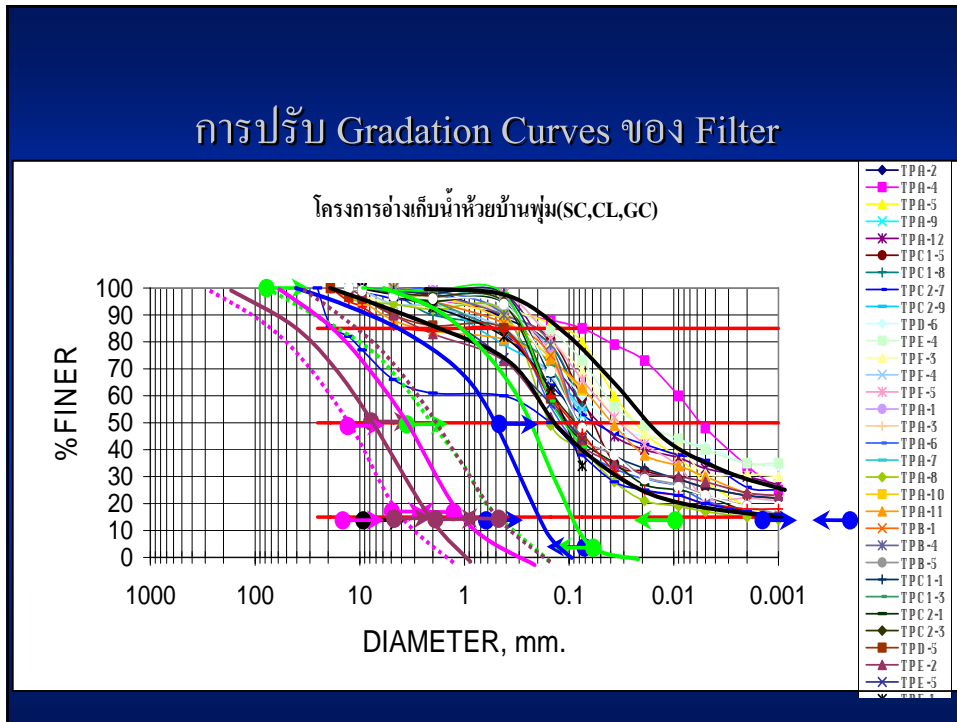
$D_{50F}/D_{50S} < 25$

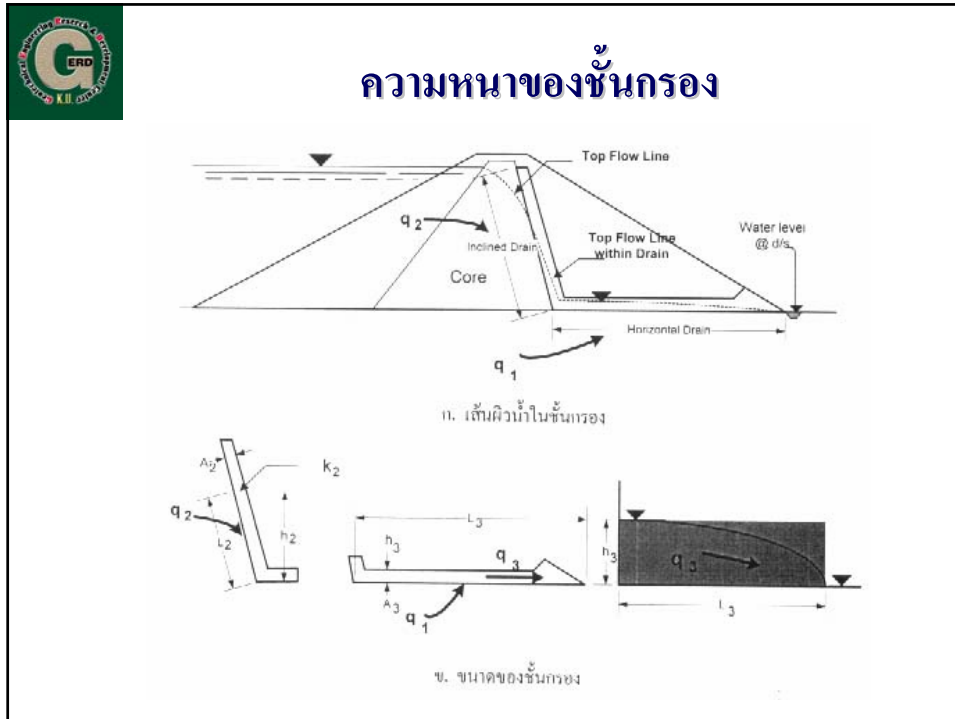
$D_{15F}/D_{15S} < 20$

ค. เพื่อไม่ให้เกิดการแยกตัวของชั้นกรอง
ขนาดใหญ่ที่สุดของชั้นกรอง ต้องไม่เกิน 75 มม.

ง. เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินเม็ดเล็กของชั้นกรอง
ปริมาณของขนาดที่เล็กกว่าตะแกรง # 200 จะต้องไม่เกิน ร้อยละ 5







การคำนวณความหนาของชั้นกรอง

ความหนาของ Chimney Drain

$$A_2 = \frac{q_2}{k_2}$$

เมื่อ q_2 = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้า Chimney Drain

และ k_2 = permeability ของชั้นกรอง

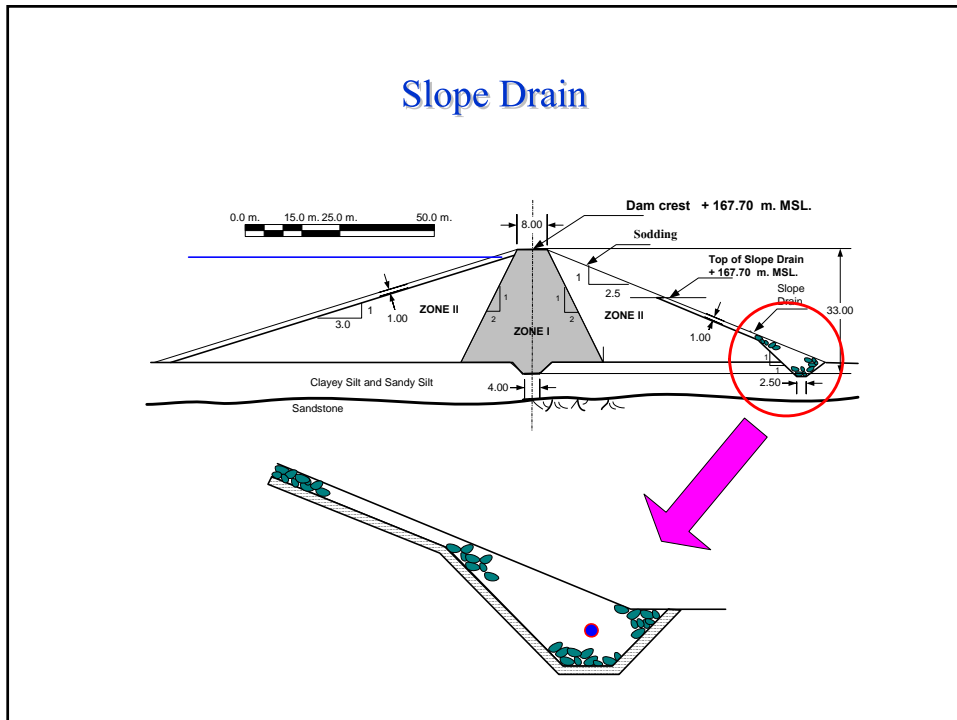
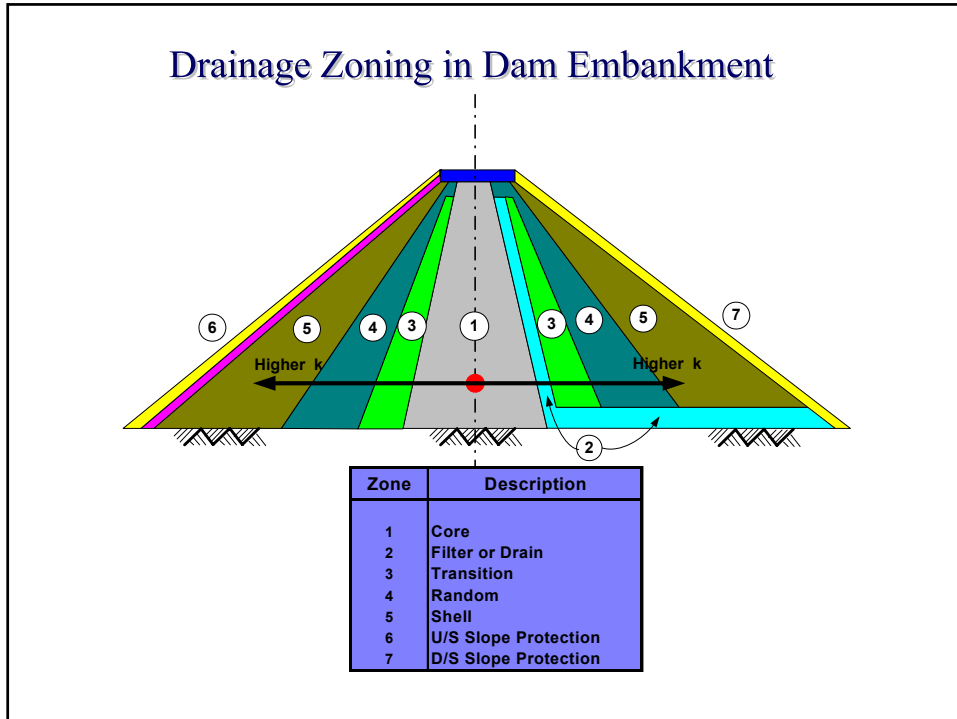
ความหนาของ Horizontal Drain

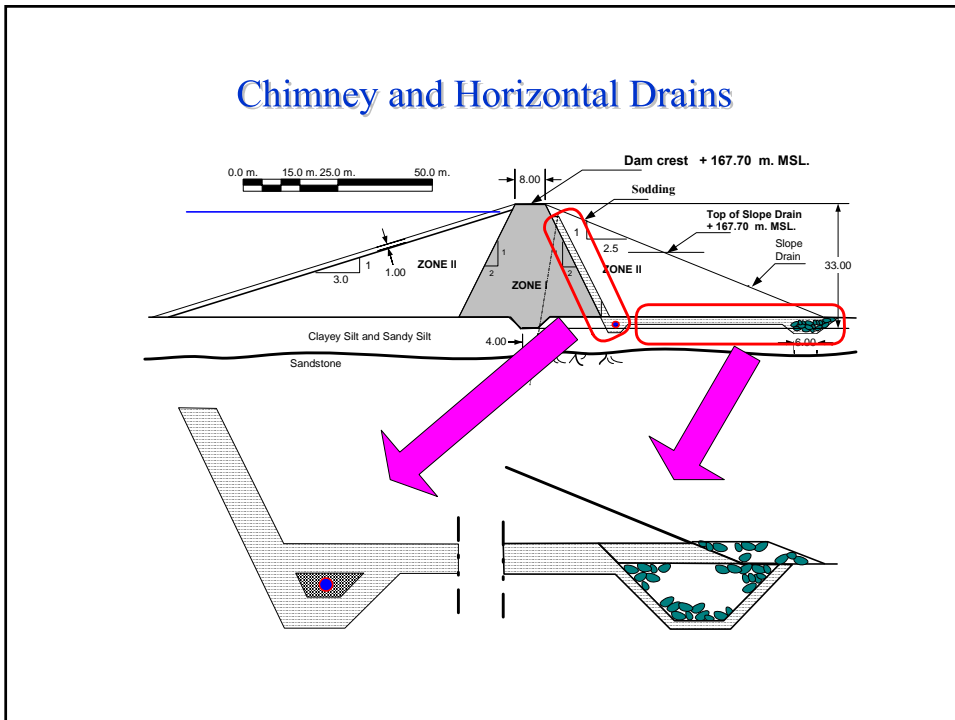
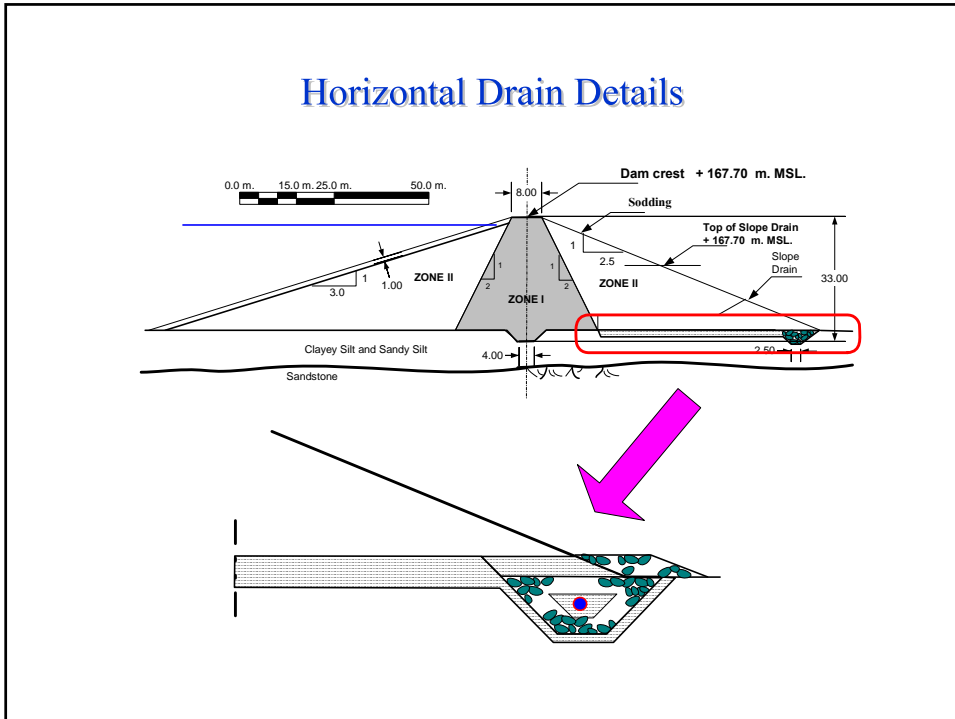
$$A_3 = \sqrt{\frac{(q_1 + q_2)}{k_3}} \cdot L_3$$

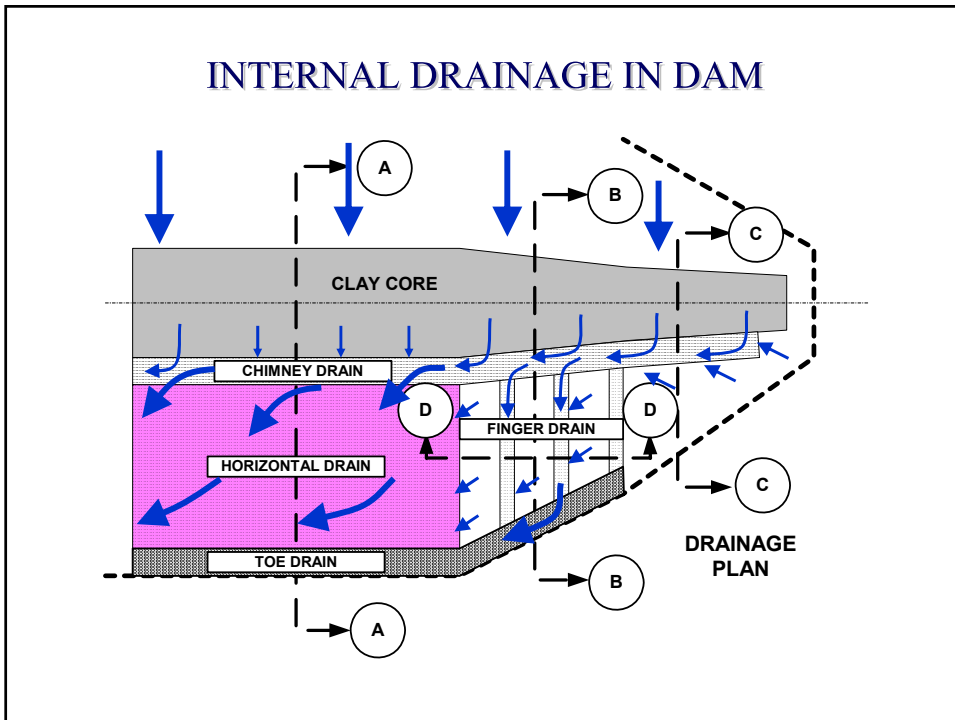
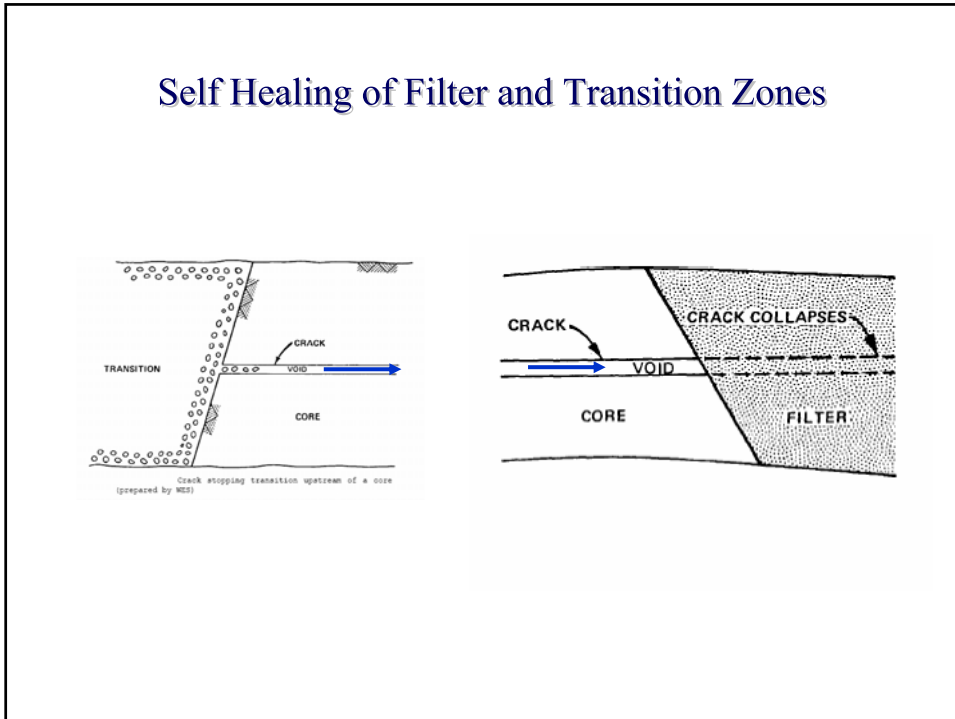
เมื่อ q_1 = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้า Horizontal Drain

k_3 = permeability ของชั้นกรอง

L_3 = ความยาวของชั้น Horizontal Drain









การวิเคราะห์การไหลซึมโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การวิเคราะห์การไหลซึมของน้ำผ่านกรณีที่สลับซับซ้อนและมีหลายกรณีที่ต้องทำการศึกษาในปัจจุบันใช้วิธี Finite Element Method

1. โดยการแบ่งพื้นที่การไหลซึมออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ
2. ระบุเงื่อนไขการไหลและความดันน้ำที่ขอบเขตการไหลในส่วนต่างๆให้ถูกต้อง
3. สร้าง Matrix จากสมการพื้นฐานของการไหลซึม
4. Invert Matrix เพื่อให้ได้คำตอบที่ต้องการ



สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนการวิเคราะห์

- ต้องมีความเข้าใจถึงพื้นฐานของทฤษฎีการไหลของน้ำในดิน
- ต้องตรวจสอบความเชื่อถือได้ของข้อมูลที่จะนำไปใช้ในโปรแกรม
- ต้องสามารถกำหนดขอบเขตของการไหลให้ถูกต้องสอดคล้องกับความเป็นจริง
- ต้องมีสามัญสำนึกในการคาดการณ์ของคำตอบที่น่าจะเป็นไปได้
- ต้องทราบข้อจำกัดในบางกรณีที่โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ได้

FEM

เงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

แบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

- Fixed Head Boundary
- Flow Boundary

รูปแบบการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

รูปแบบที่ 1

รูปแบบที่ 2

รูปแบบที่ 3

————— = NO FLOW BOUNDARY ($\frac{\partial \phi}{\partial Z} = 0, \frac{\partial \phi}{\partial X} = 0$)

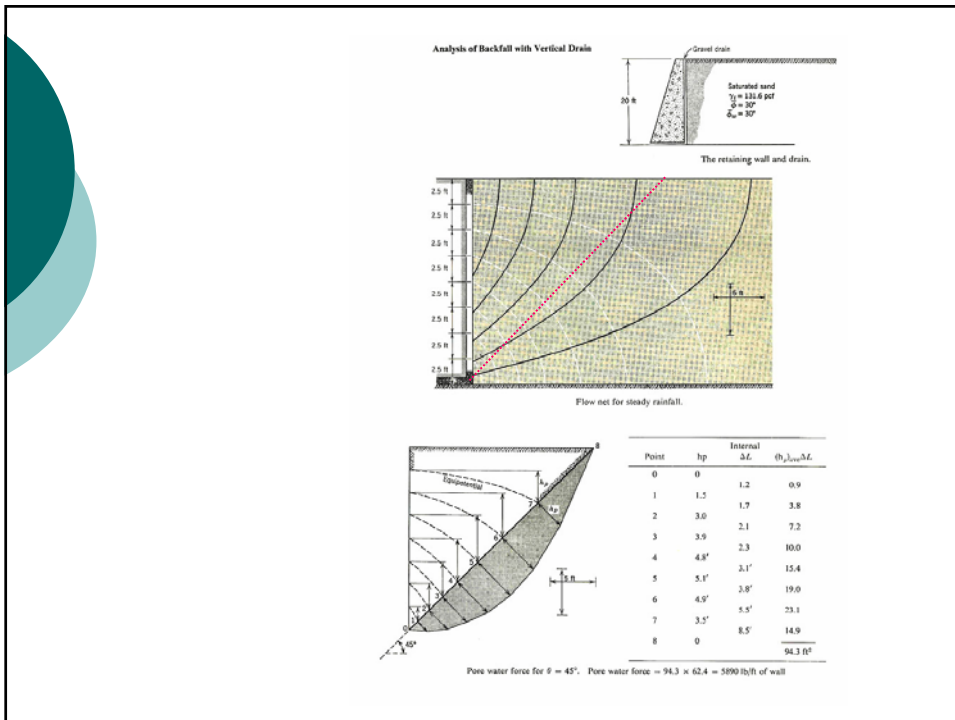
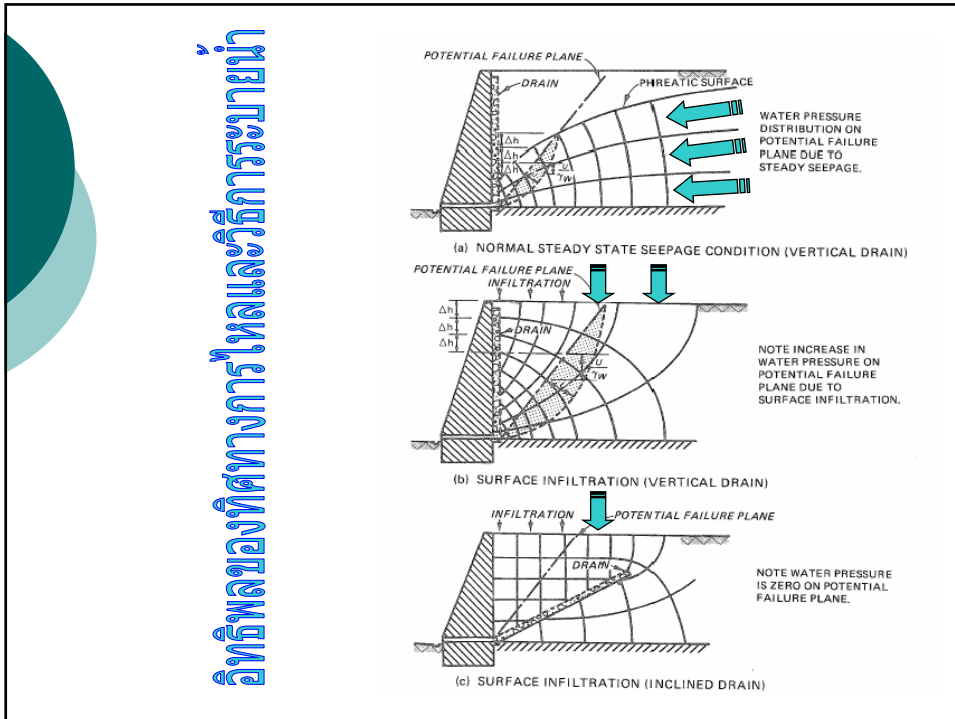
Case Study

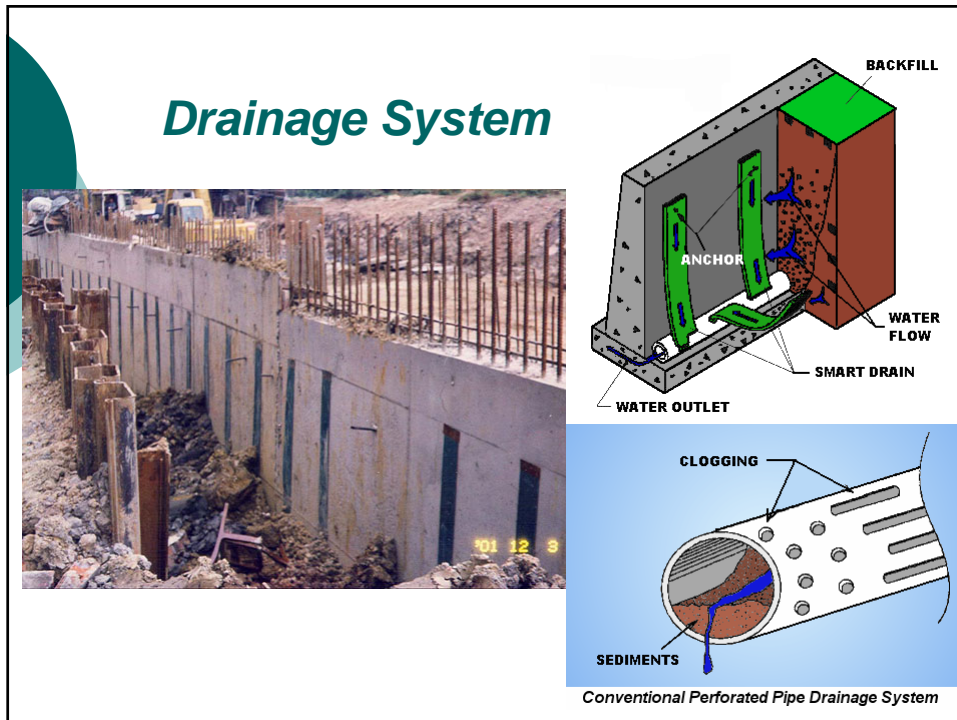
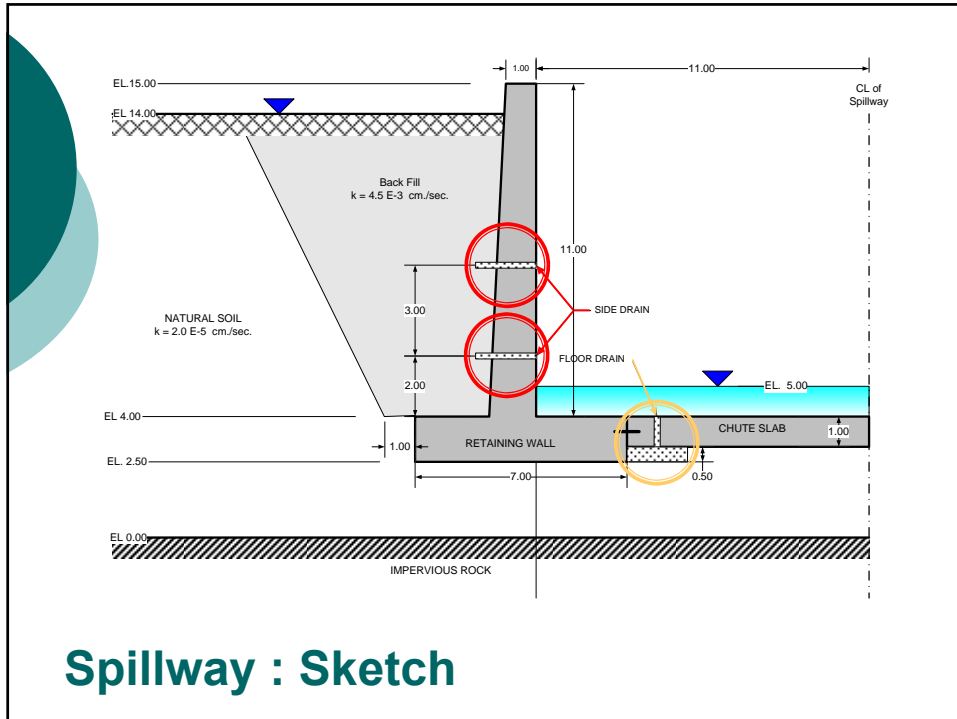
- Retaining Structure Spillway
- Sheetpile
- Cut Slope
- Water Shaft
- Relief Well
- Concrete Gravity Dam
- Instruments for Flow Measurement

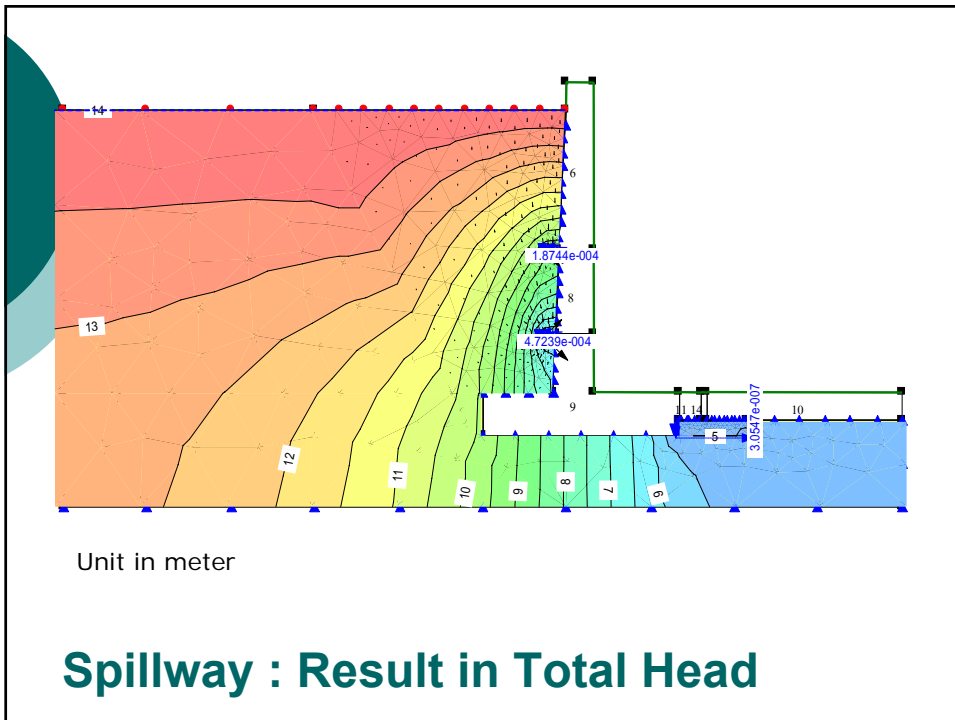
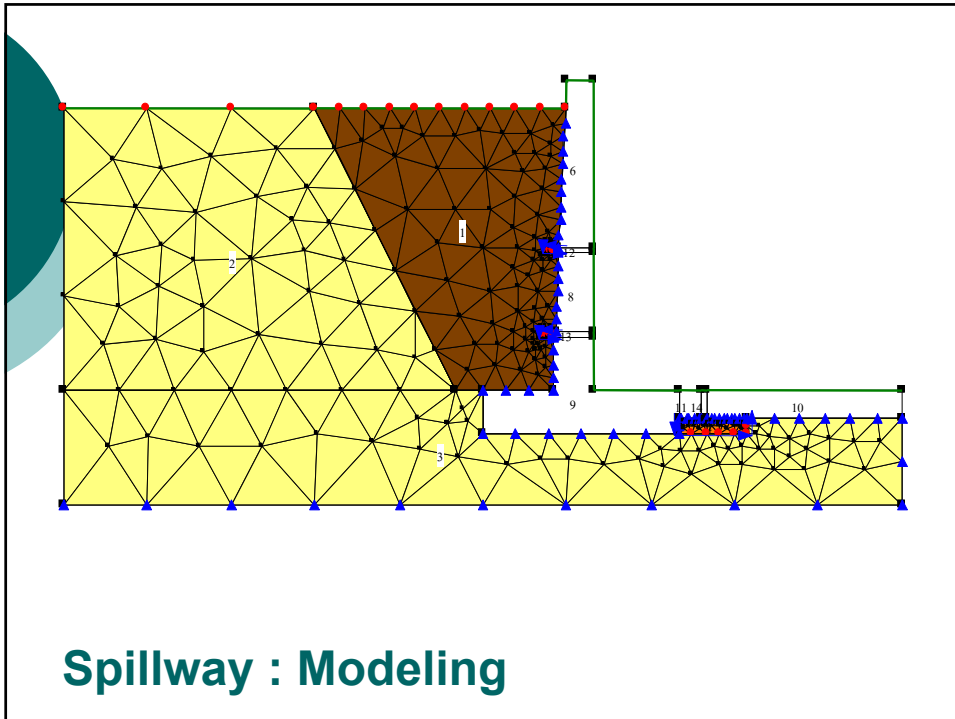
Retaining Structure

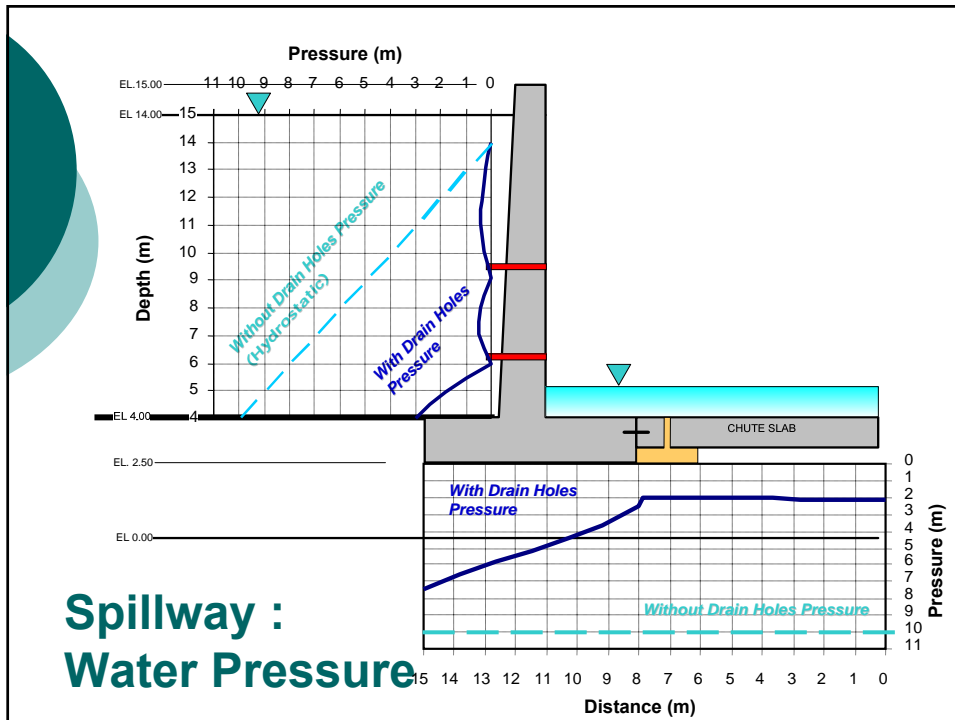
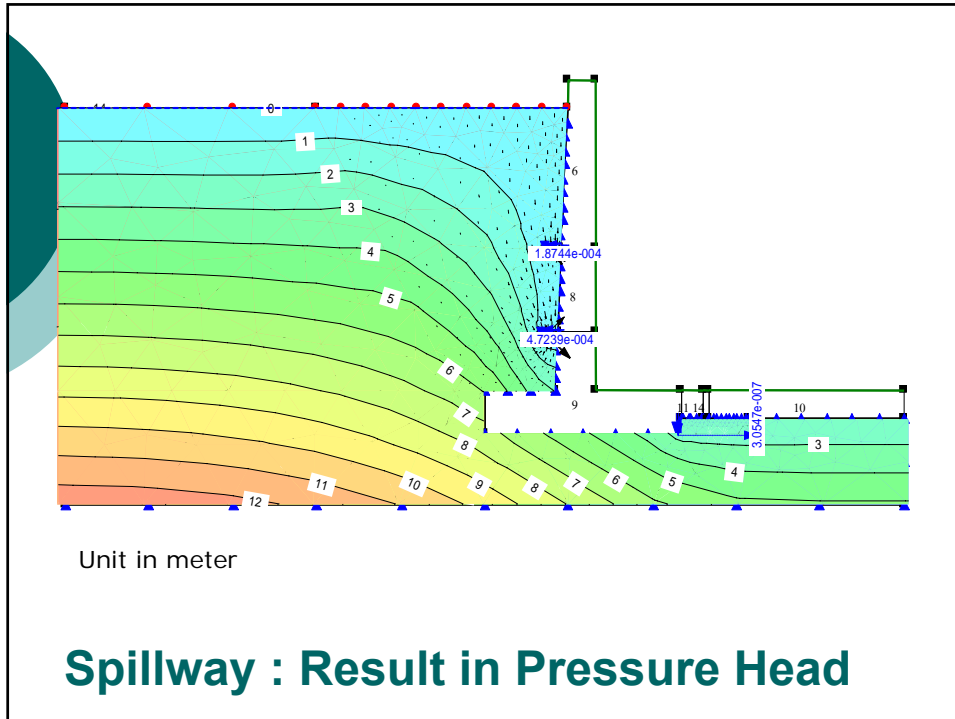
- Design Criteria
 - Lateral Pressure and Sliding
 - Earth Pressure
 - Pore Pressure
 - Bearing Capacity
 - Stability
 - Overall Stability

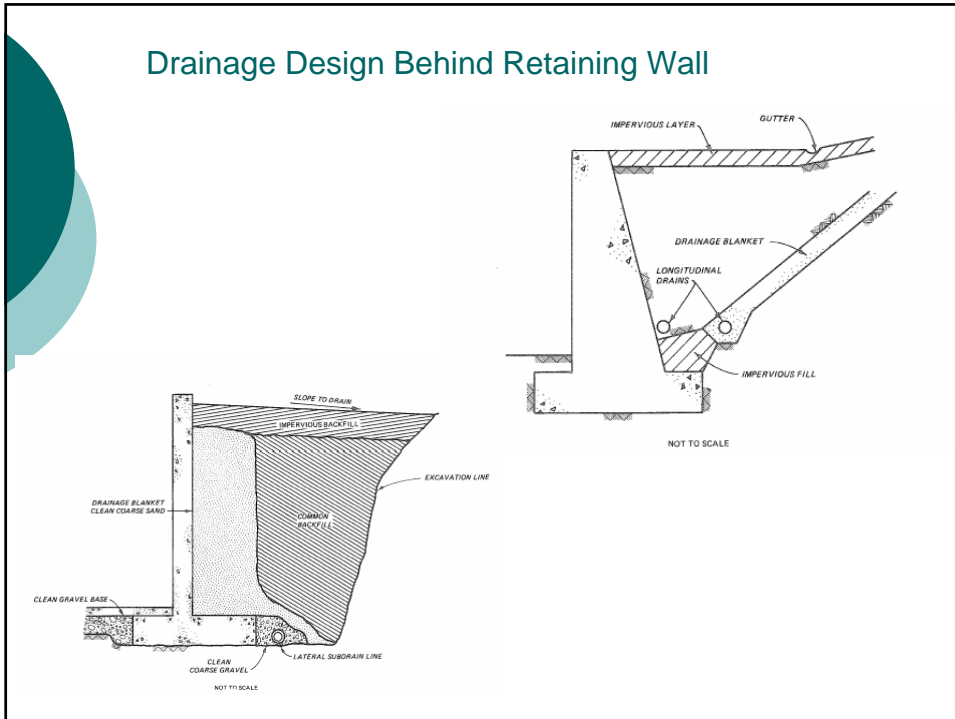
อิทธิพลของทิศทางการไหลและวิธีการระบายน้ำ





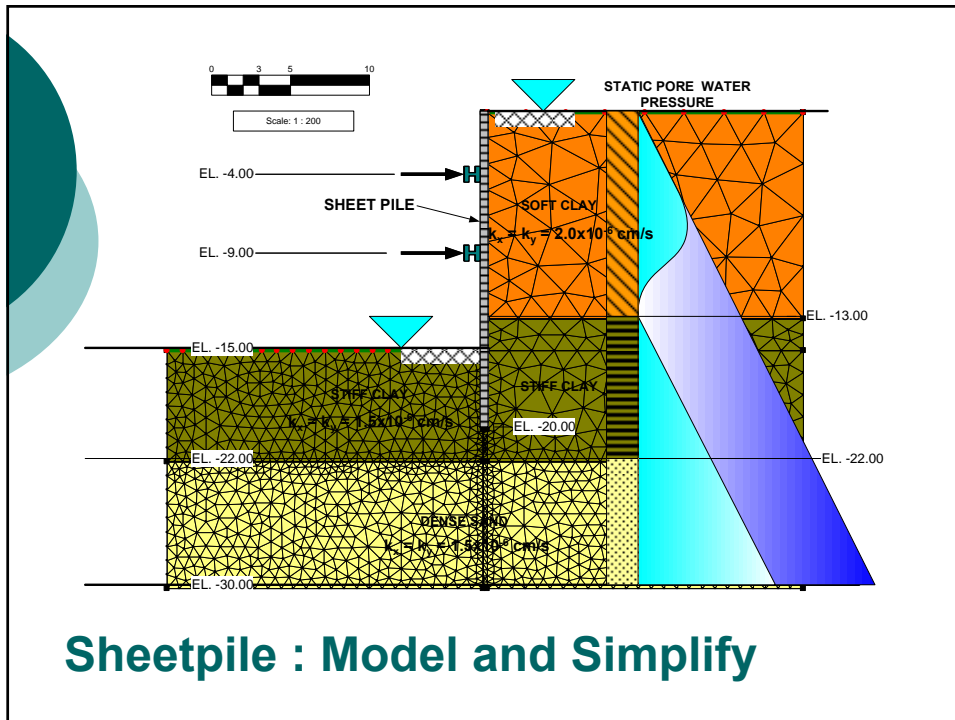
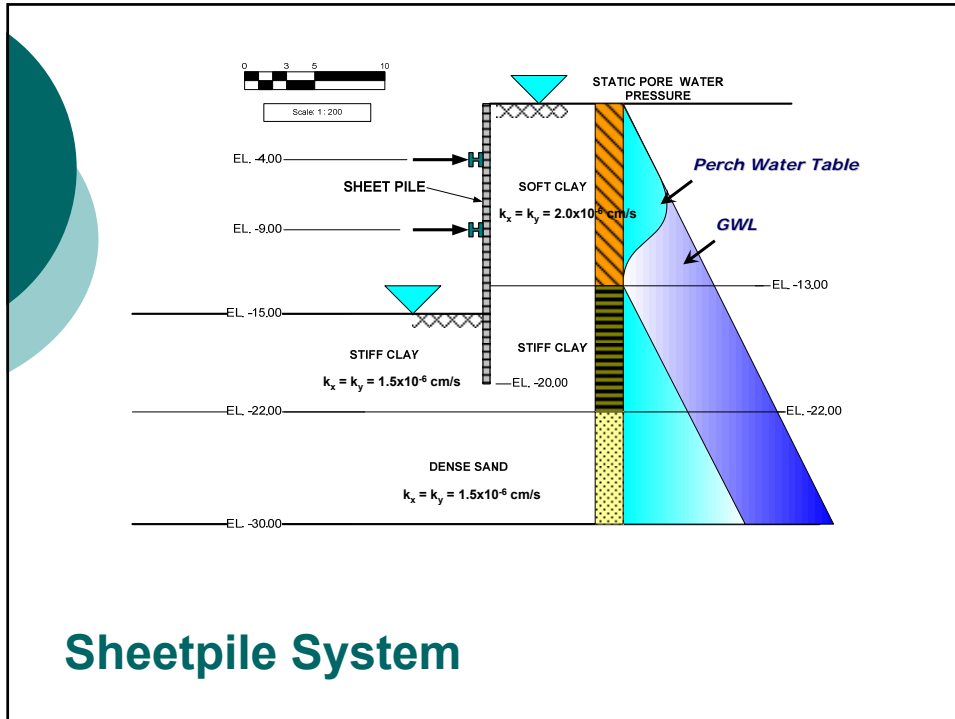






Sheetpile

- Loading
 - Overburden
 - Lateral Earth Pressure
 - Groundwater Pressure
 - General Hydrostatic Pressure
 - Groundwater Drawdown



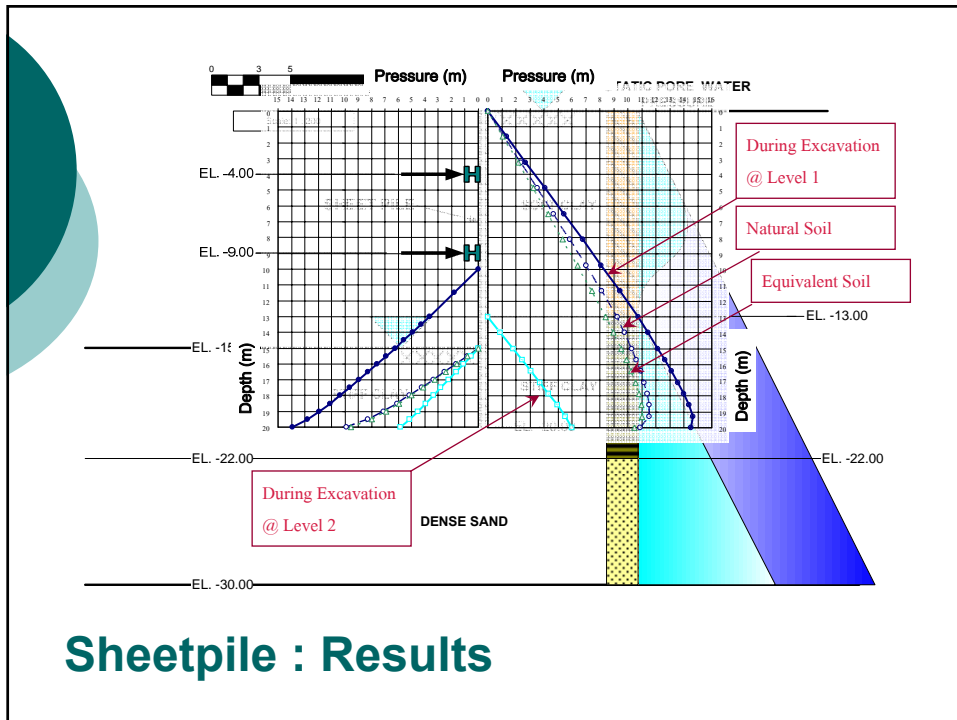
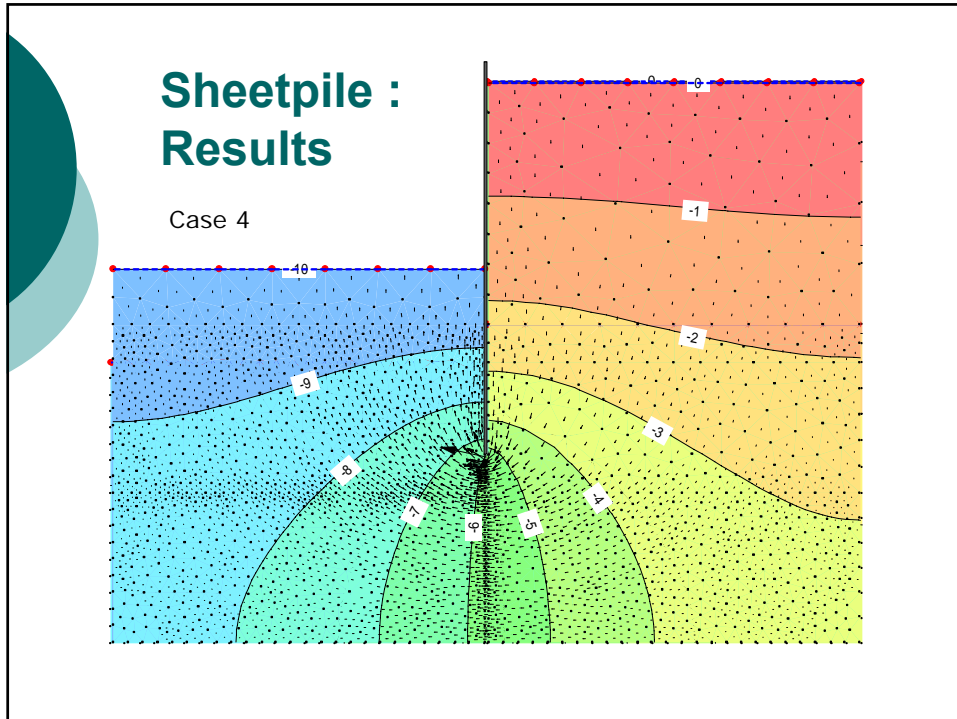
Sheetpile : Cases

- Case 1 Equivalent Permeability
- Case 2 Natural Soil
- Case 3 Ground Water Drawdown
- Case 4 During Excavation @Level 2

Sheetpile : Simplified Equivalent Permeability

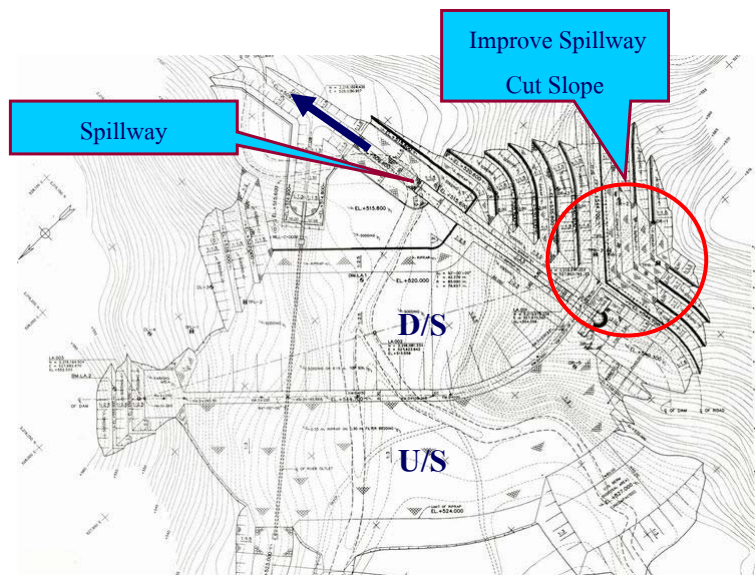
- $k_{xe} = \frac{\Sigma kH}{\Sigma H}$

- $k_{ye} = \frac{\Sigma H}{\Sigma H/k}$



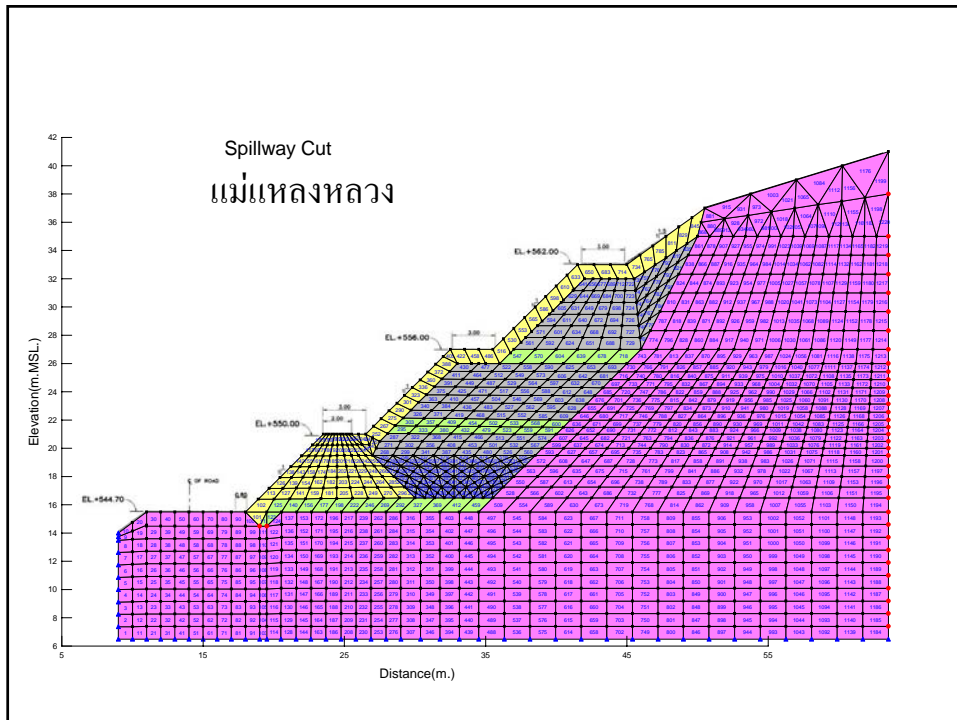
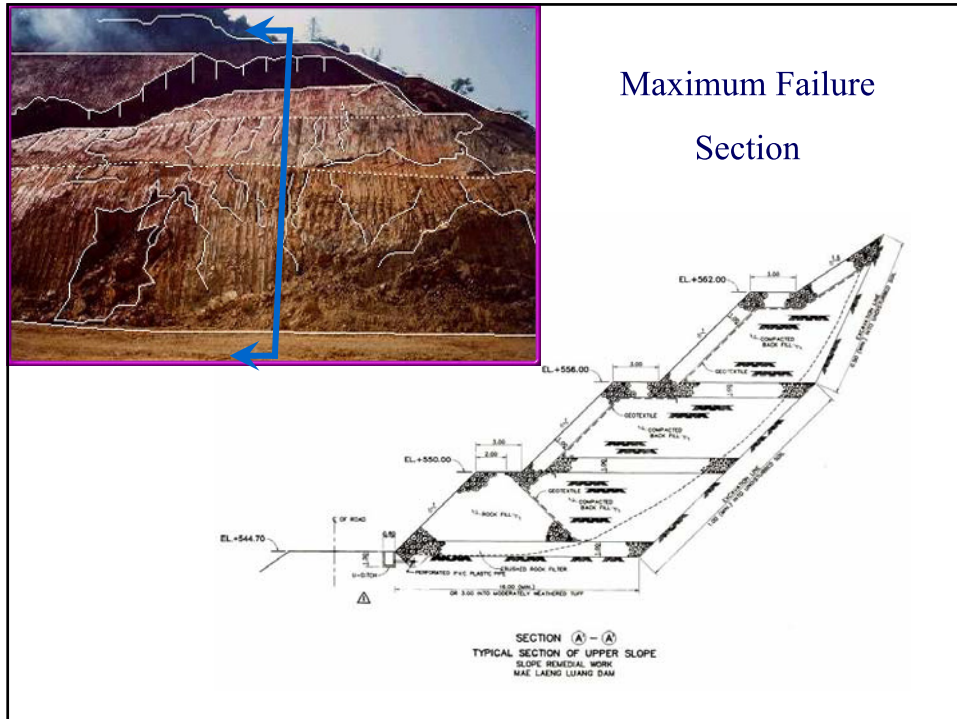
Sheetpile and Braced Cut

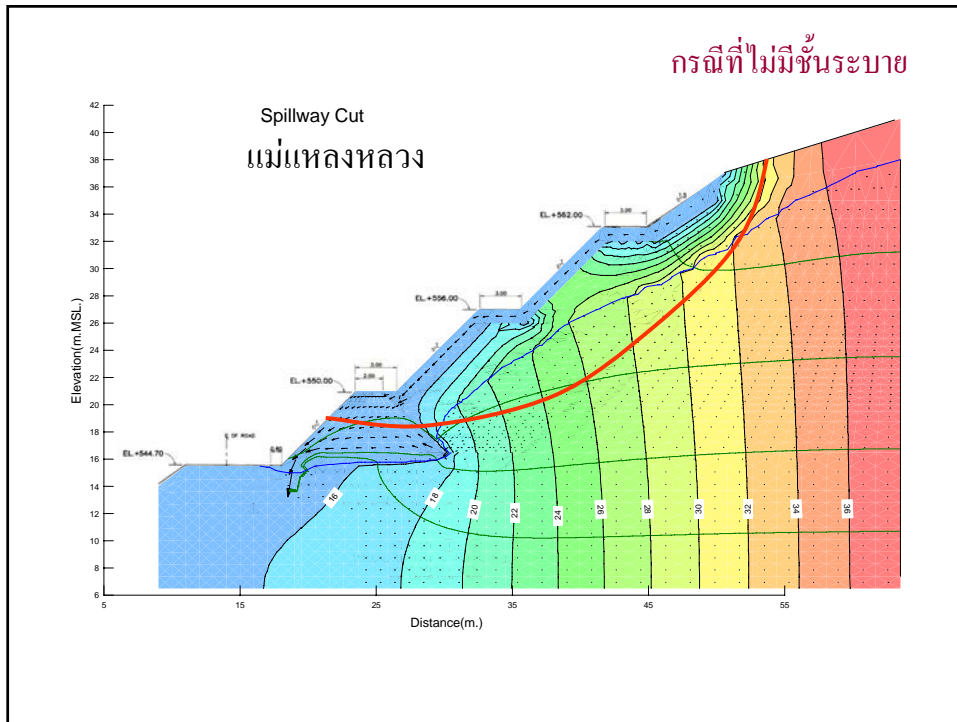
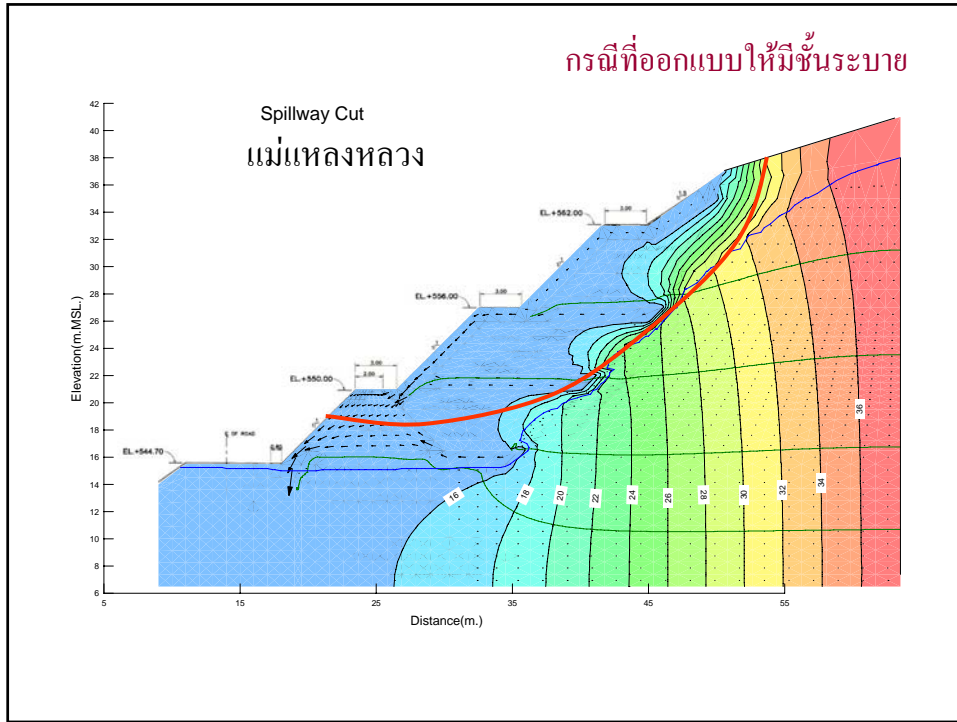
Case	Water Pressure Force (kg/m)		
	Left	Right	Diff
1	21	126	105
2	22	136	114
3	14	22	8
4	64	162	98

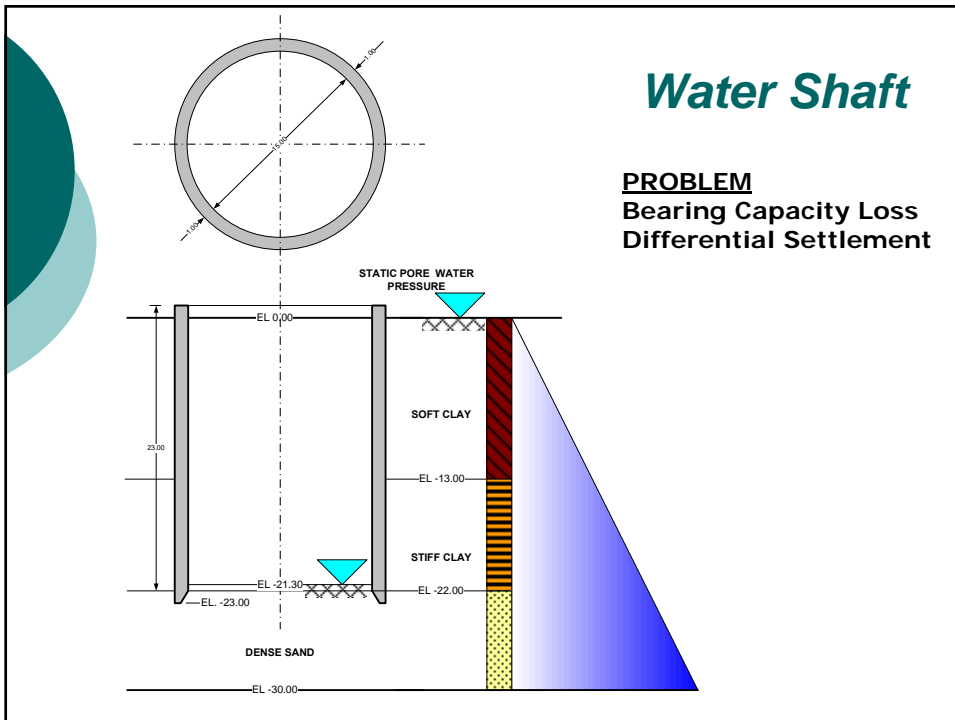


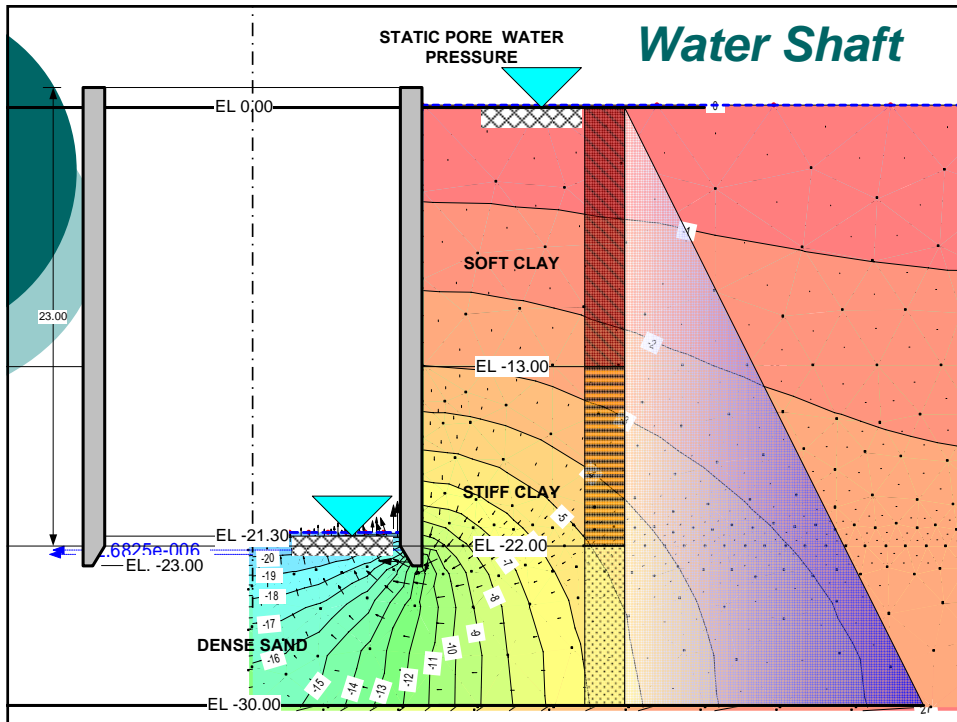
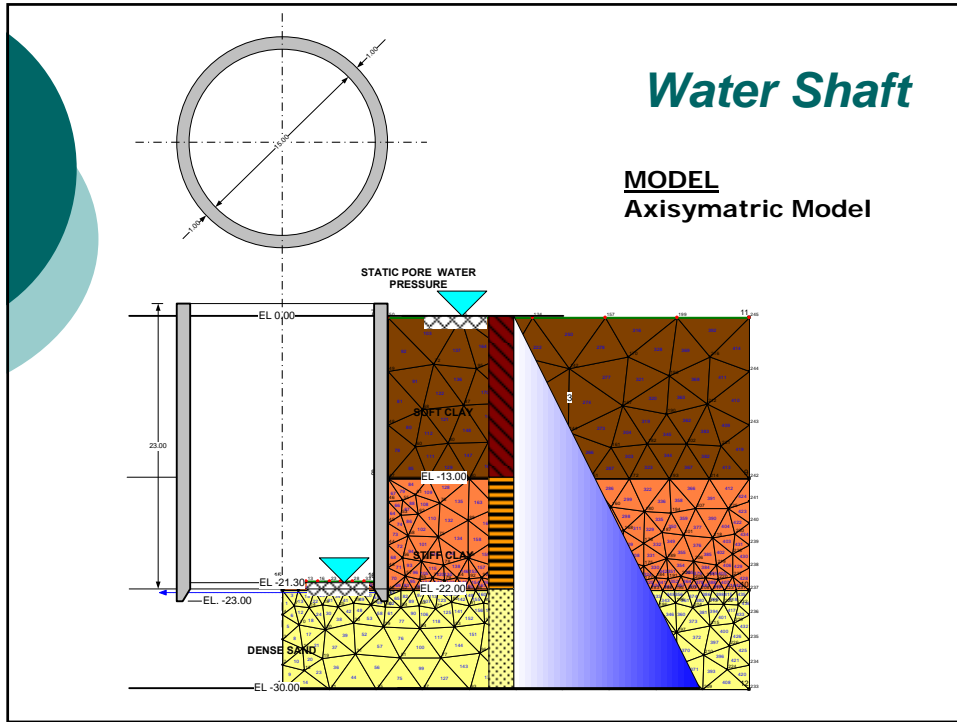
Spillway Cut Slope

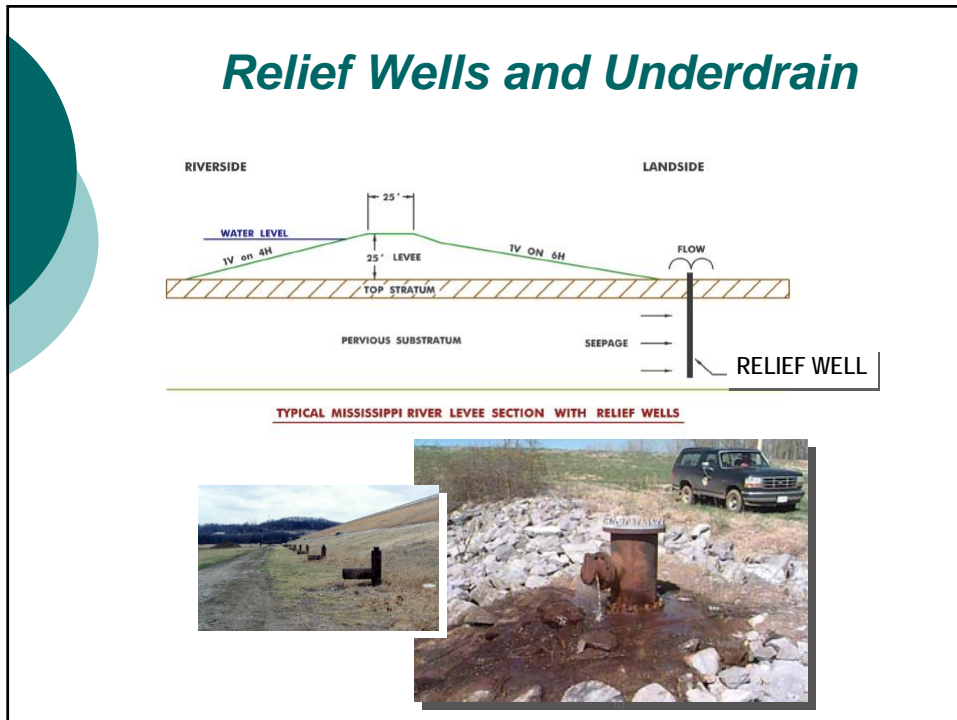
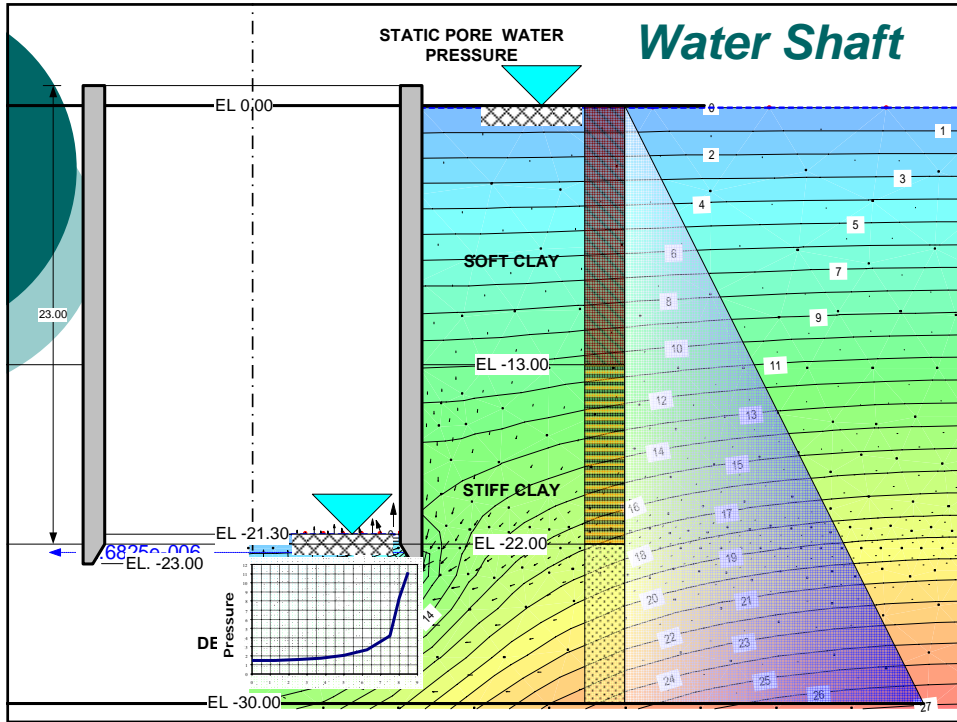
Plan View

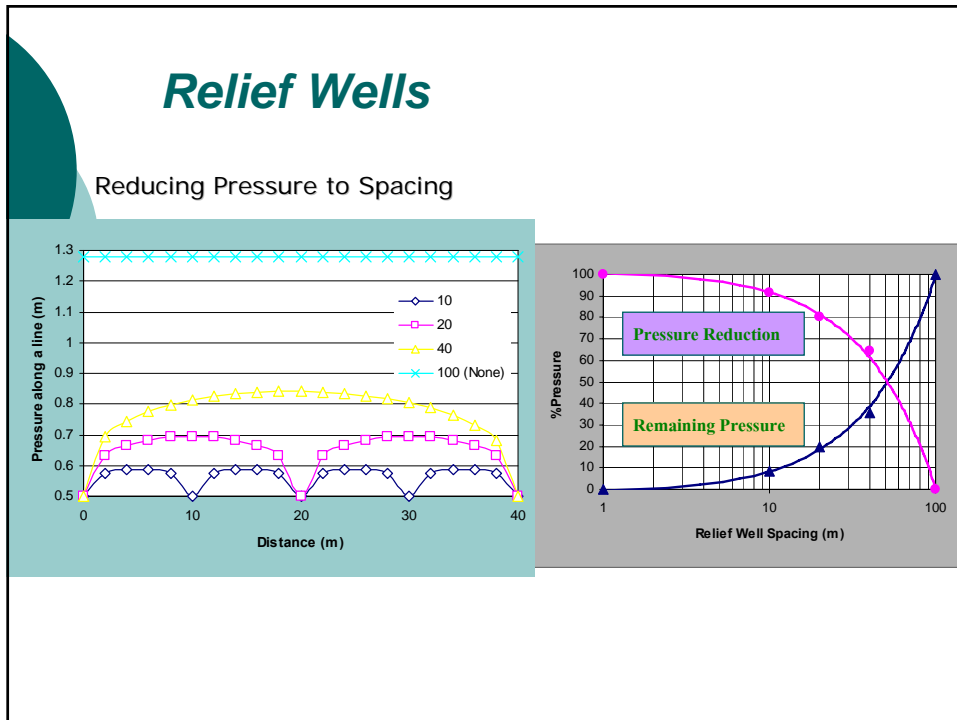
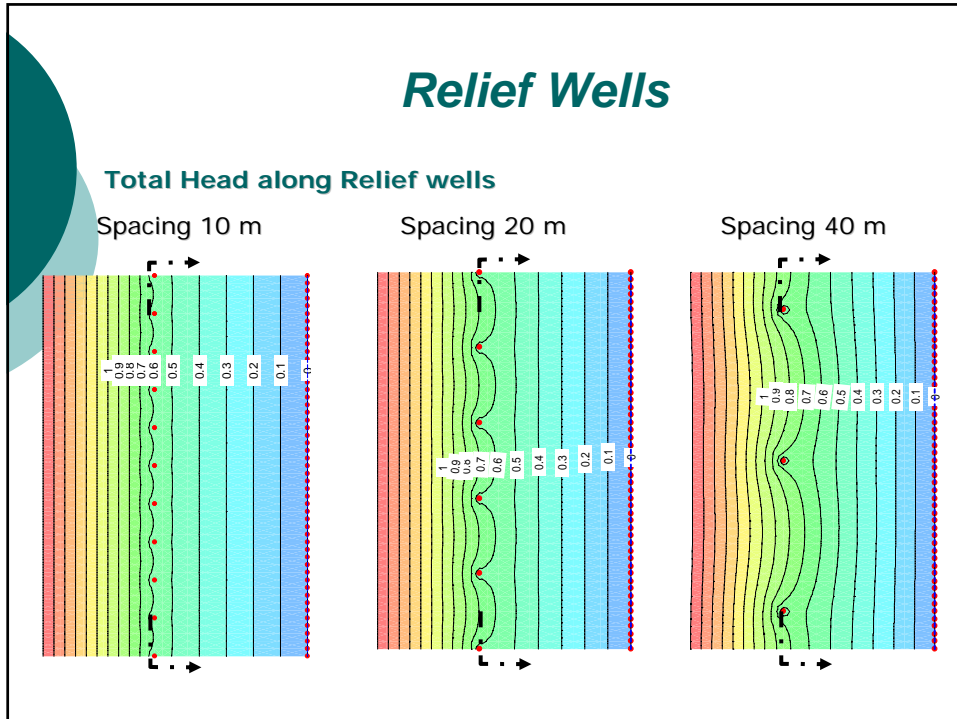


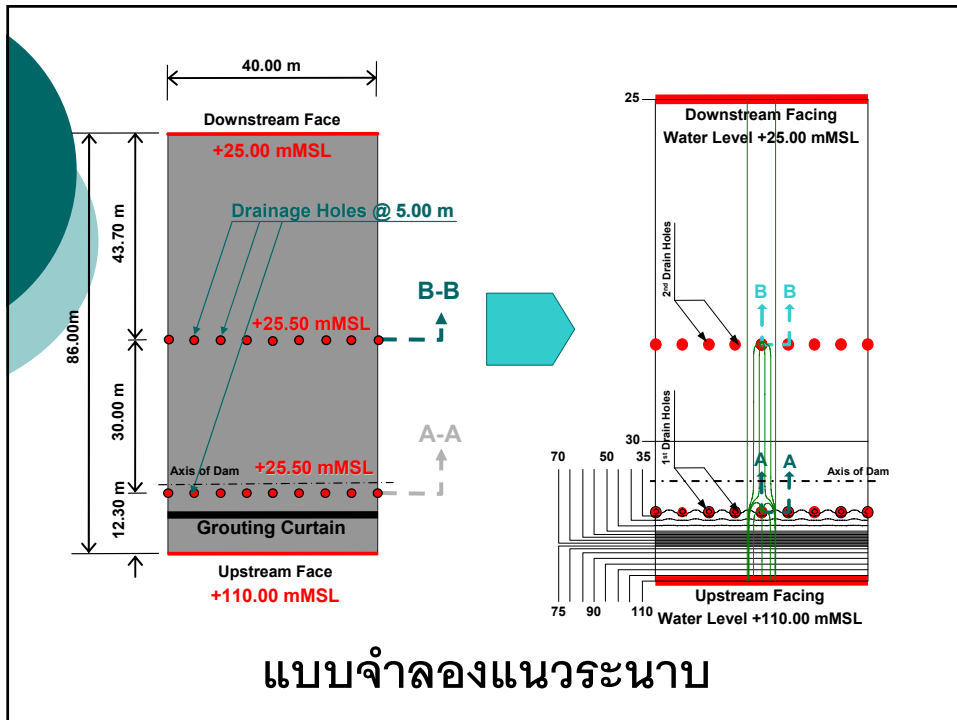
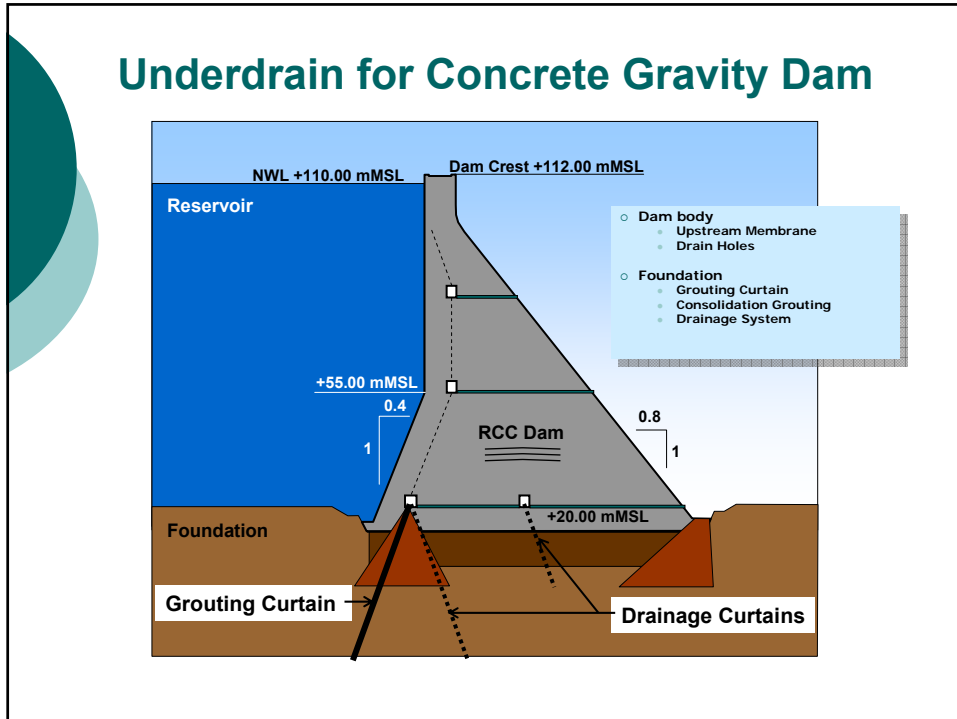


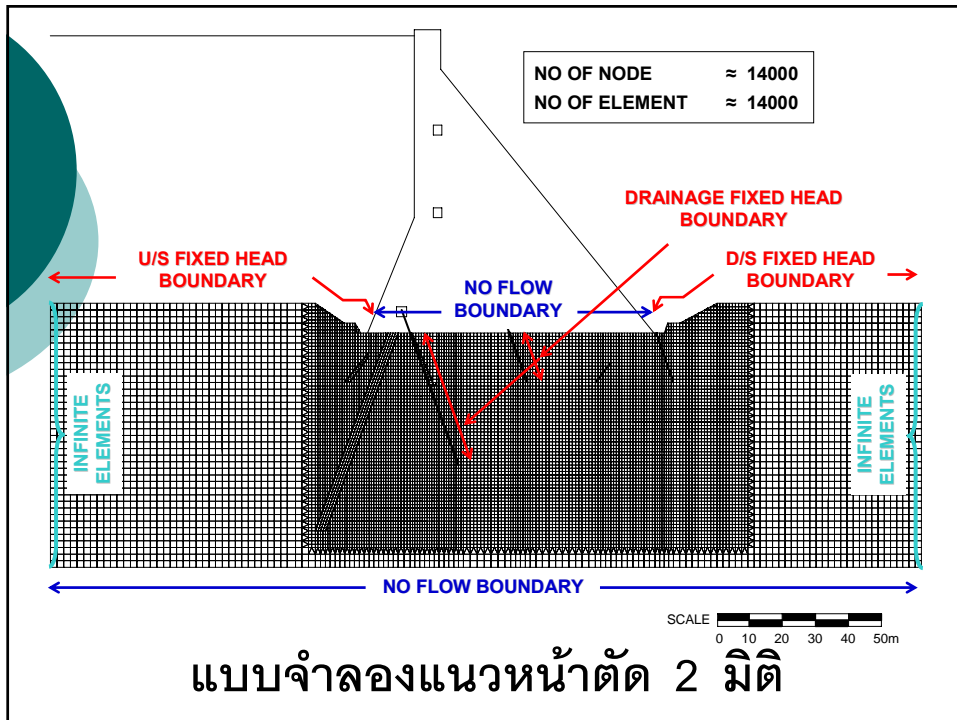
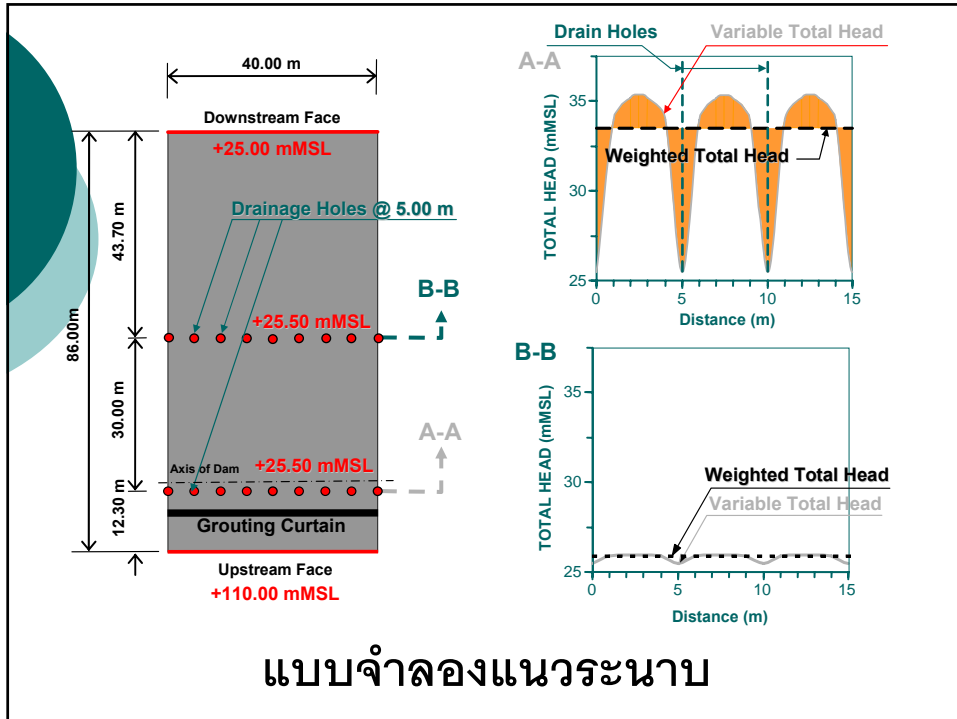


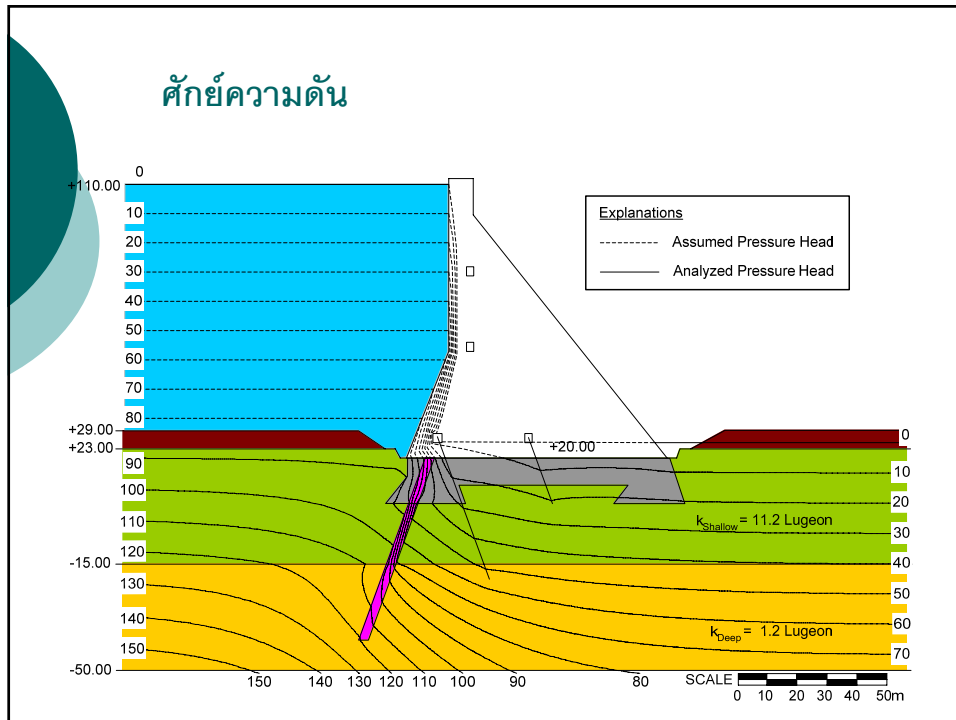
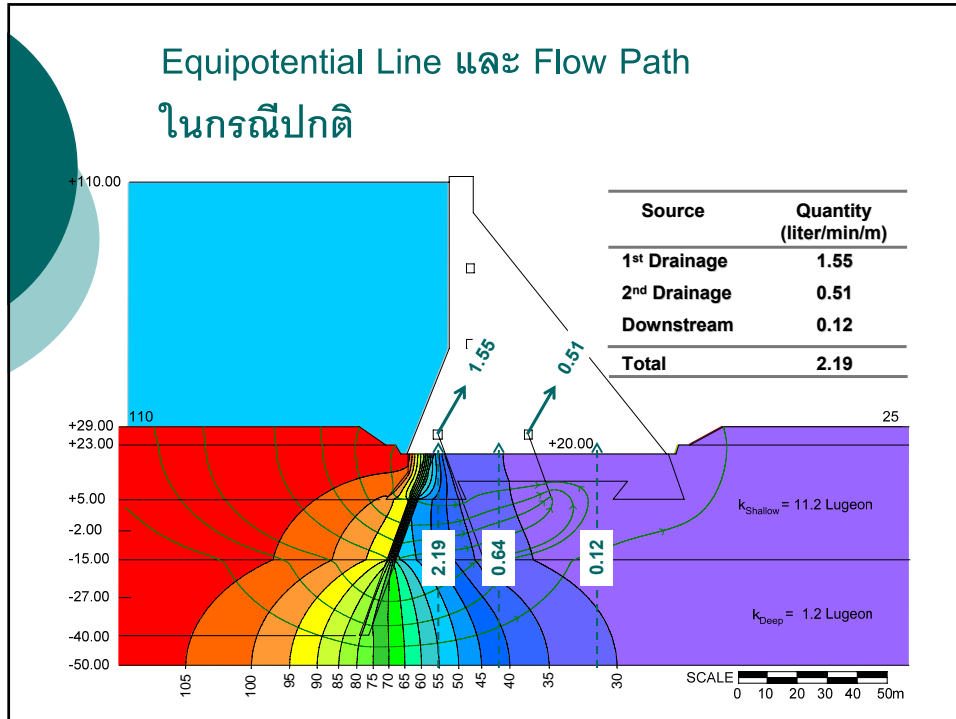


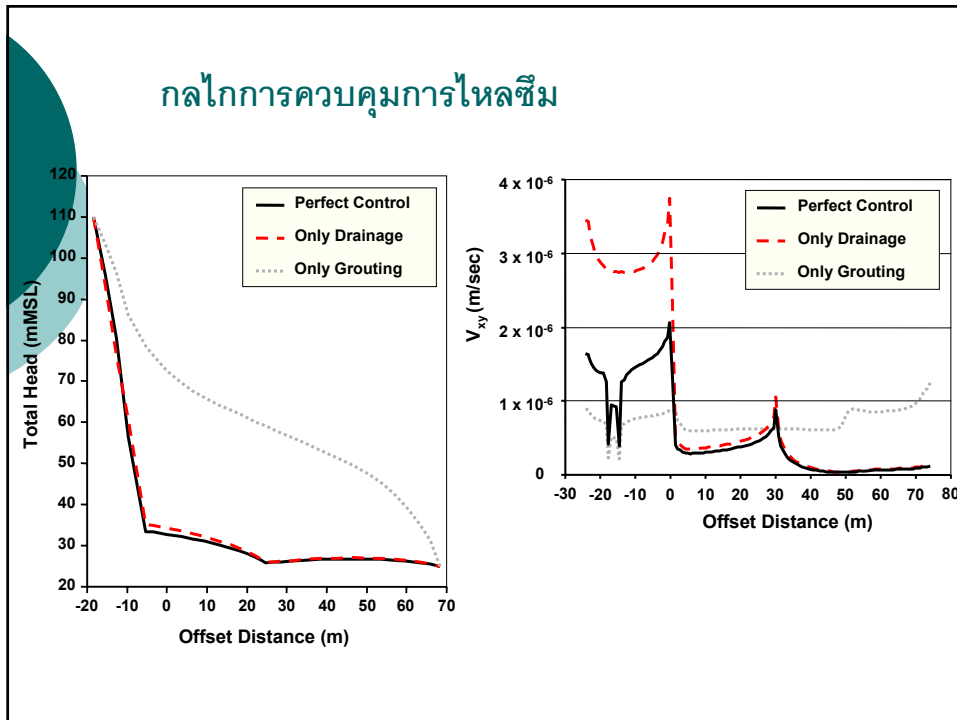
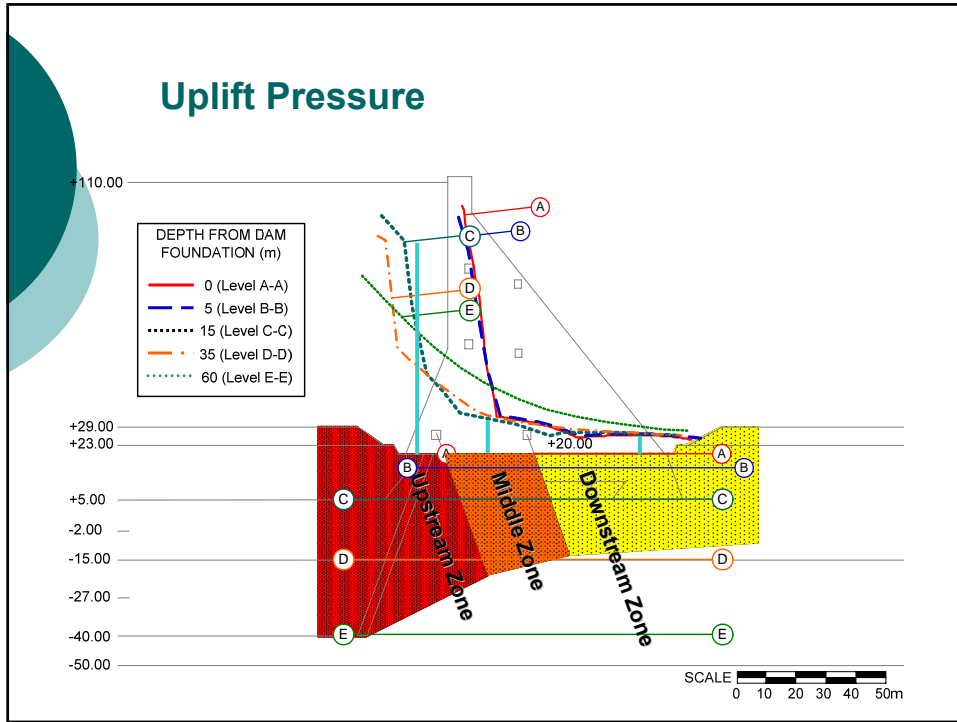


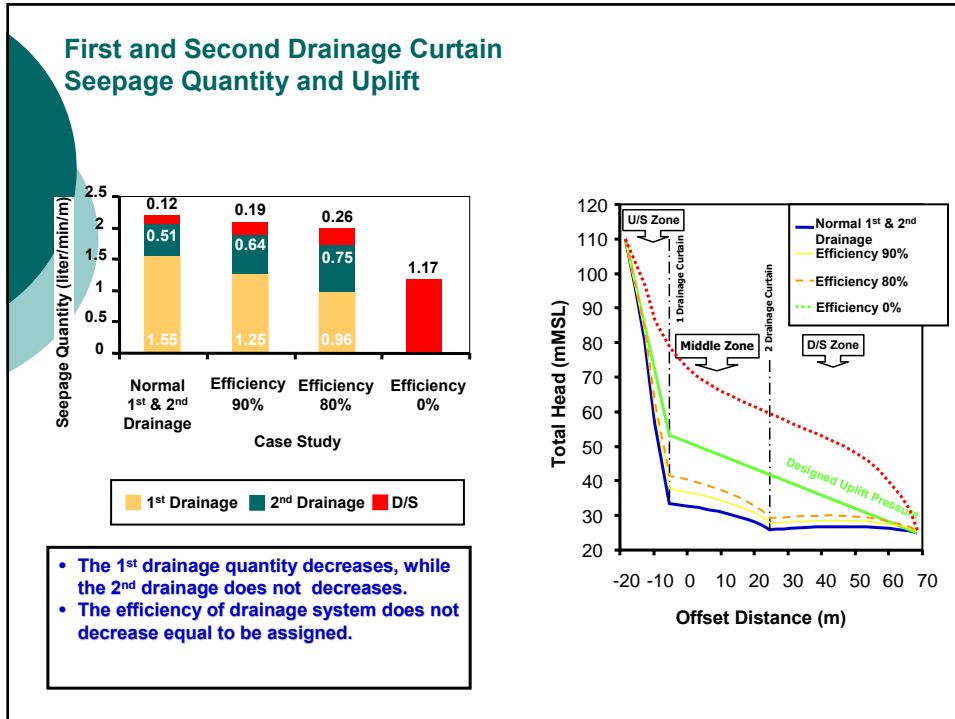












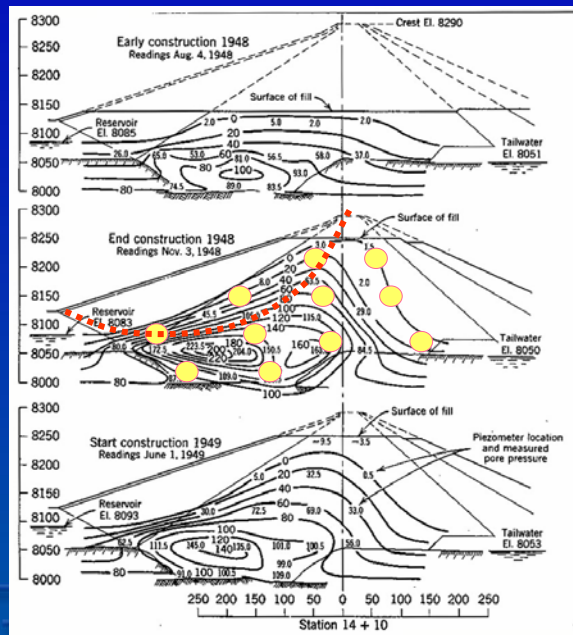
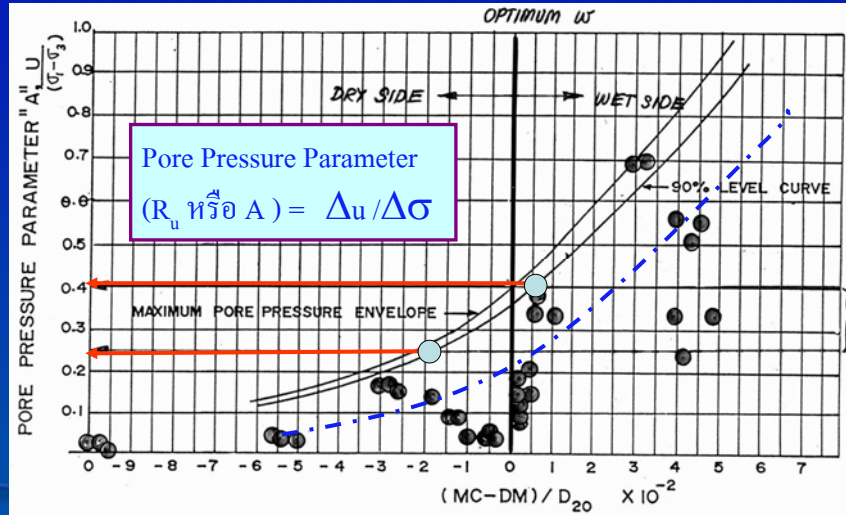
INSTRUMENTS FOR SEEPAGE MEASUREMENT

พฤติกรรมของเขื่อนที่เกี่ยวข้อง

1. ช่วงระหว่างการก่อสร้าง
2. ช่วงระหว่างการเก็บน้ำและใช้งาน

GERD

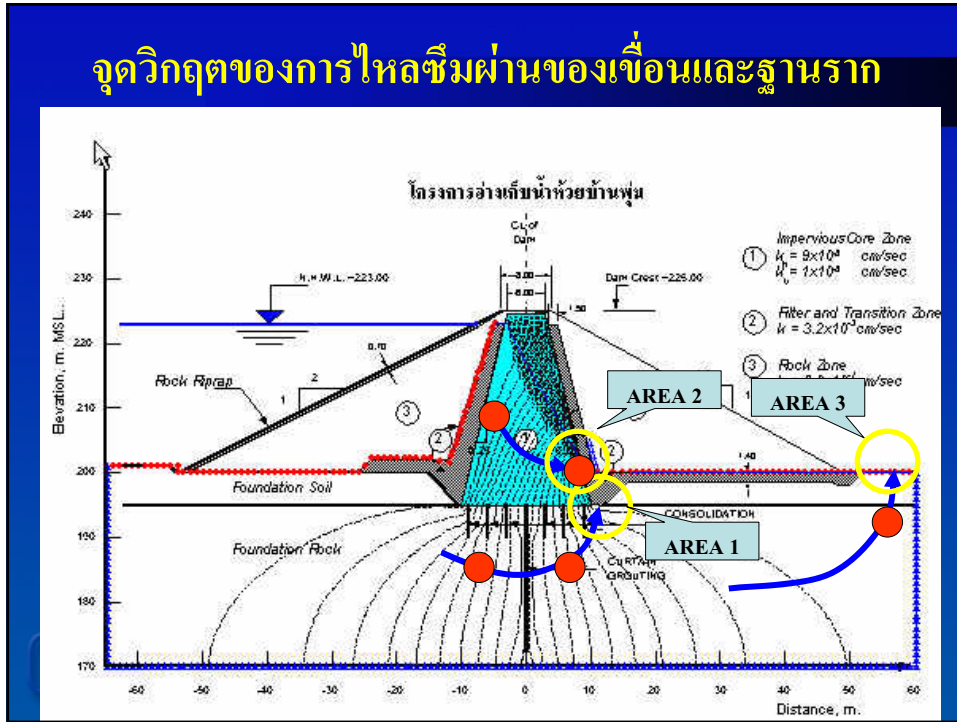
ความดันน้ำที่เกิดจากการบดอัดดินตัวเขื่อน



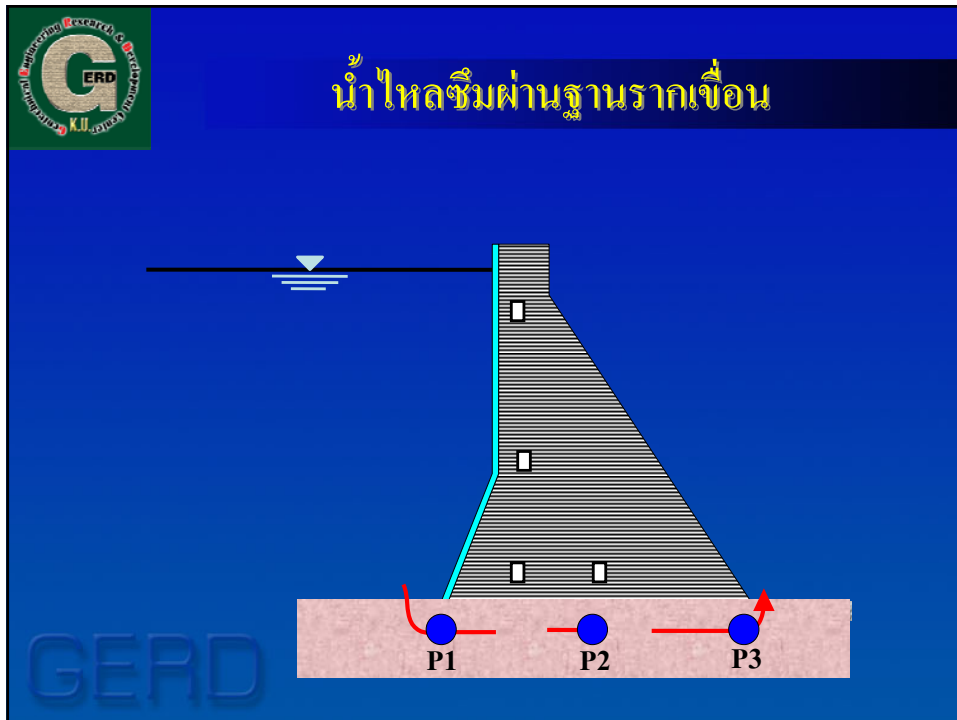
ตัวอย่างความดัน
น้ำในเขื่อนระหว่าง
การก่อสร้าง

- Piezometers
- - - - - Possible Failure Plan

จุดวิกฤตของการไหลซึมผ่านของเขื่อนและฐานราก




น้ำไหลซึมผ่านฐานรากเขื่อน





การรั่วซึมและกัดเซาะ



1. เครื่องมือวัดแรงดันน้ำและการไหลซึม

1. พิโซมิเตอร์ (Piezometers) หรือ มาตรวัดความดันน้ำ
2. บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Wells)
3. มาตรวัดปริมาณน้ำซึมผ่าน (Seepage Flowmeters)

พฤติกรรมที่เกี่ยวข้อง

- ความเร็วของการซึม
- การทรุดตัวคายน้ำ
- การกัดเซาะและพังทลาย
- การระบายน้ำ
- แรงดันลอยตัว
- ความแข็งแรงของมวลดิน



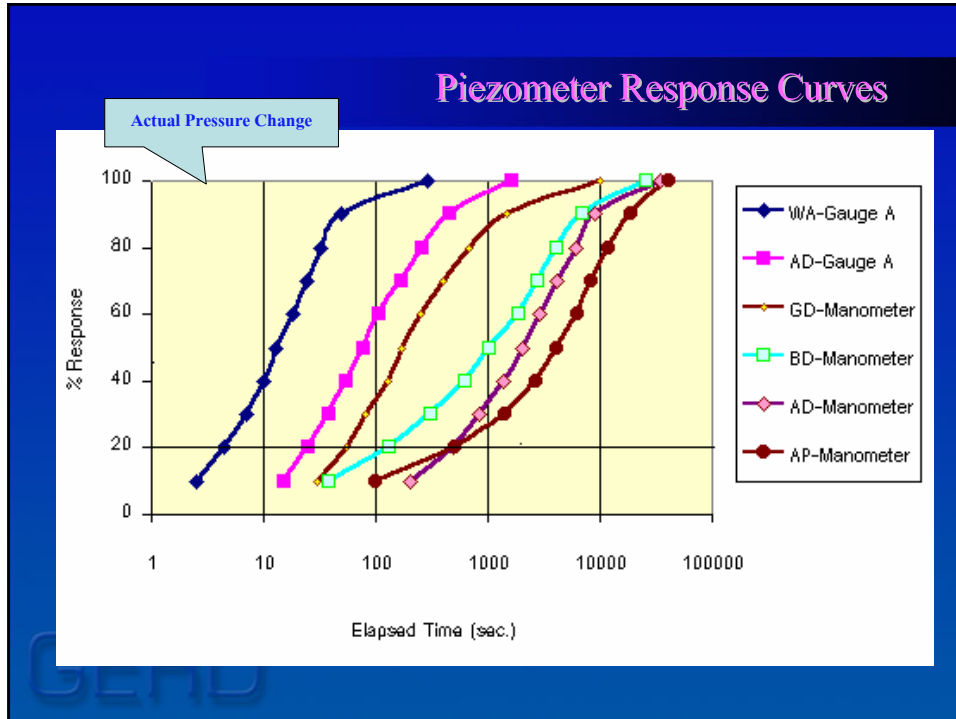
ความไวของพิโซมิเตอร์

The diagram shows a piezometer well with a vertical tube. At the top, a red arrow points upwards, labeled $P = 0$ (@ $T=0$). Below it, another red arrow points upwards, labeled $P = \Delta P$ (@ $T = \infty$). At the bottom of the tube, a green arrow points downwards, labeled ΔP (@ $T=0$). A box in the middle contains the equation $T \propto \frac{V}{F}$.

เมื่อเกิดความดันเปลี่ยนแปลงขึ้นที่หัวพิโซมิเตอร์ (ΔP) ในทันที ระบบการอ่านของพิโซมิเตอร์ยังไม่สามารถตอบสนองได้เท่ากับความดันที่เกิดขึ้นได้รวดเร็ว เนื่องจากต้องการเวลาให้น้ำไหลเข้าในระบบได้เพียงพอที่จะอ่านค่าได้ เรียกว่า “Time Lag (T)” หากพิโซมิเตอร์มีความไวสูงก็จะอ่านค่าได้รวดเร็ว

ความไวขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ

- 1) **Volume Factor (V)** คือปริมาณน้ำที่ต้องการให้ไหลเข้าไปในระบบการวัดของพิโซมิเตอร์เพื่อให้อ่านค่าได้เพิ่มขึ้น 1 หน่วยความดัน
- 2) **Shape Factor (F)** คือพื้นที่ผิวในการรับน้ำที่ไหลเข้า



- ### ชนิดของพิโซมิเตอร์
- **Hydraulic Piezometers** ใช้^{น้ำ}เป็นสื่อในการวัดค่าโดยการวัดจากระดับน้ำหรือความดันน้ำ
 - Open system
 - Closed system
 - **Pneumatic Piezometers** ใช้แรงดันอากาศหรือก๊าซเป็นสื่อในการวัดโดยการเพิ่มแรงดันอากาศให้เท่ากับแรงดันน้ำ
 - **Electrical Piezometers** ใช้แรงดันไฟฟ้าหรือความสั่นสะเทือนของเส้นลวดขึงตึงเป็นสื่อในการวัดค่าความดันน้ำ
 - Strain gage system
 - Vibrating wire system

The diagram illustrates the Bishop Piezometer and two other piezometer designs. The Bishop Piezometer is a vertical assembly with a 2.5" diameter top section and a 2.0" diameter bottom section. It features a High Air Entry Ceramic seal, Brass components, and a Rubber tip. Leads are attached to the top. The twin tube hydraulic piezometer with local readout consists of two plastic tubes, valves, a pressure gage, grout, a bentonite seal, a porous tip, and sand. The open standpipe piezometer features a standpipe, grout, bentonite seal, porous tip, and sand.

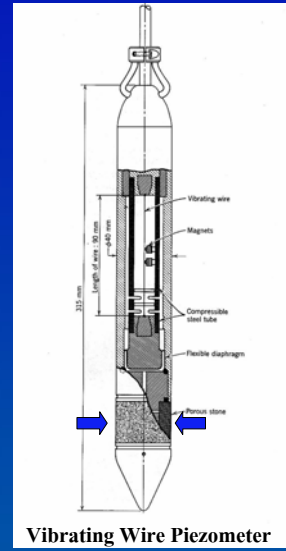
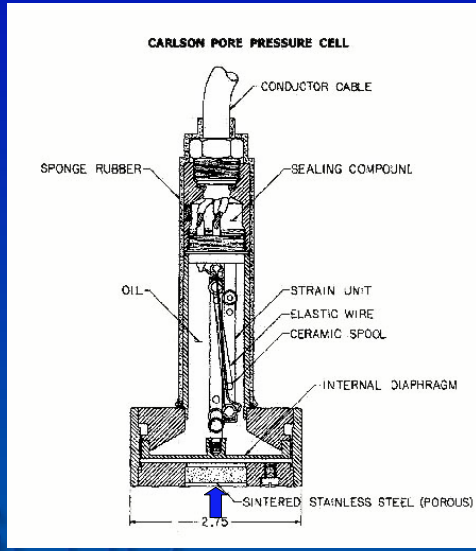
Bishop Piezometer

Hydraulic Piezometers

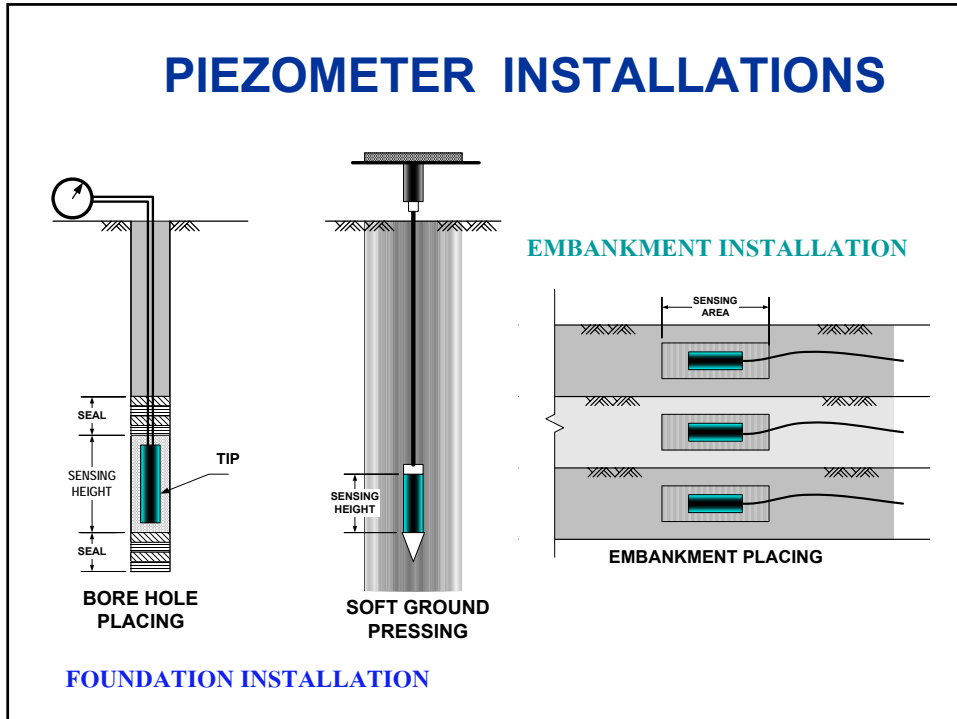
The diagram shows a pneumatic piezometer with a sand bag (10 cm long, 4.5 cm dia) containing a ceramic disc with an intake surface. The piezometer body includes an air entry lead, seal, nylon, metal sheet, diaphragm check valve, and a porous ceramic tip. Dimensions are provided: 4.8 cm for the main body height, 4.0 cm for the diameter, and 5.1 cm, 3.0 cm, and 2.5 cm for the upper section heights. The inlet lead diameter is 3.85 cm.

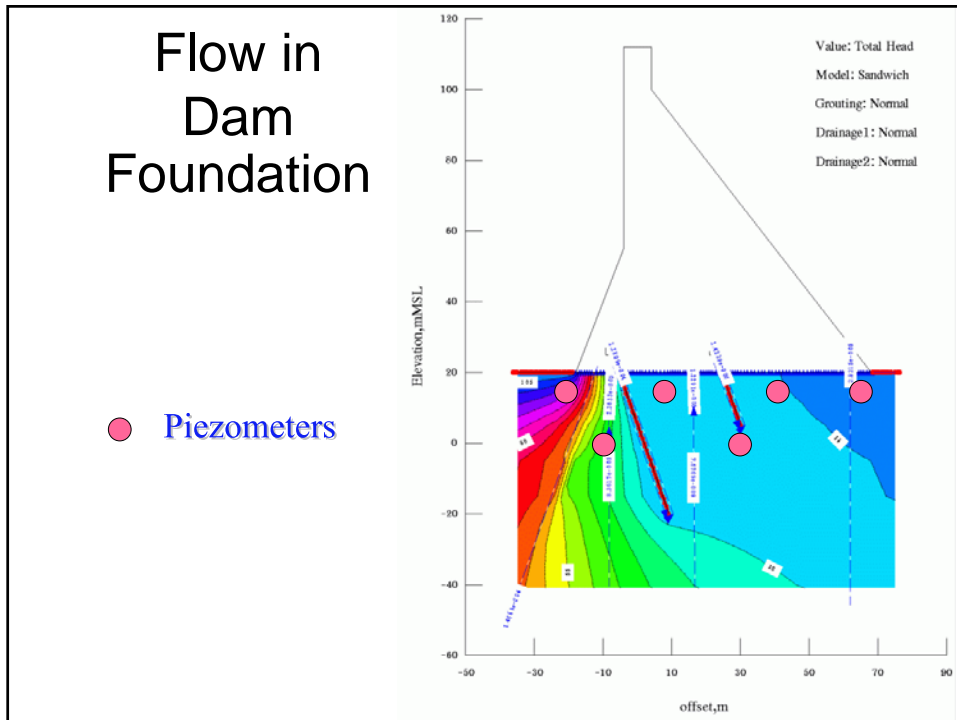
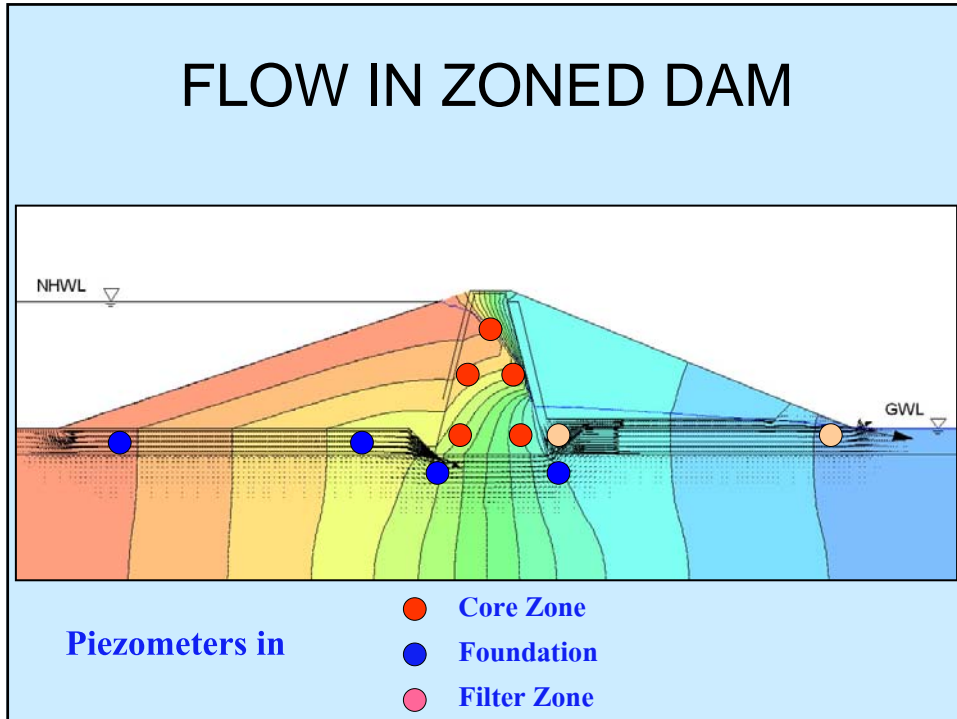
Pneumatic Piezometers

Electrical Piezometers



Bishop Piezometer and hole forming tool





Observation well



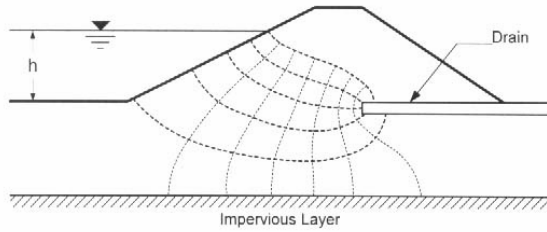
เครื่องมือวัดปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อน

น้ำที่ไหลซึมผ่านเขื่อนและฐานรากแสดงถึงการรั่วซึมที่เกิดขึ้น จึงต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ทั้งปริมาณ ด้ ความขุ่น และสารละลายที่มากับน้ำ

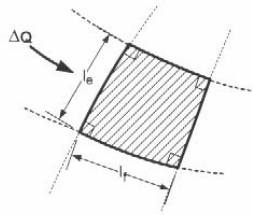
เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณน้ำจากเขื่อนเรียกว่า

- Seepage Flowmeter หรือ
- V-Notch Weir

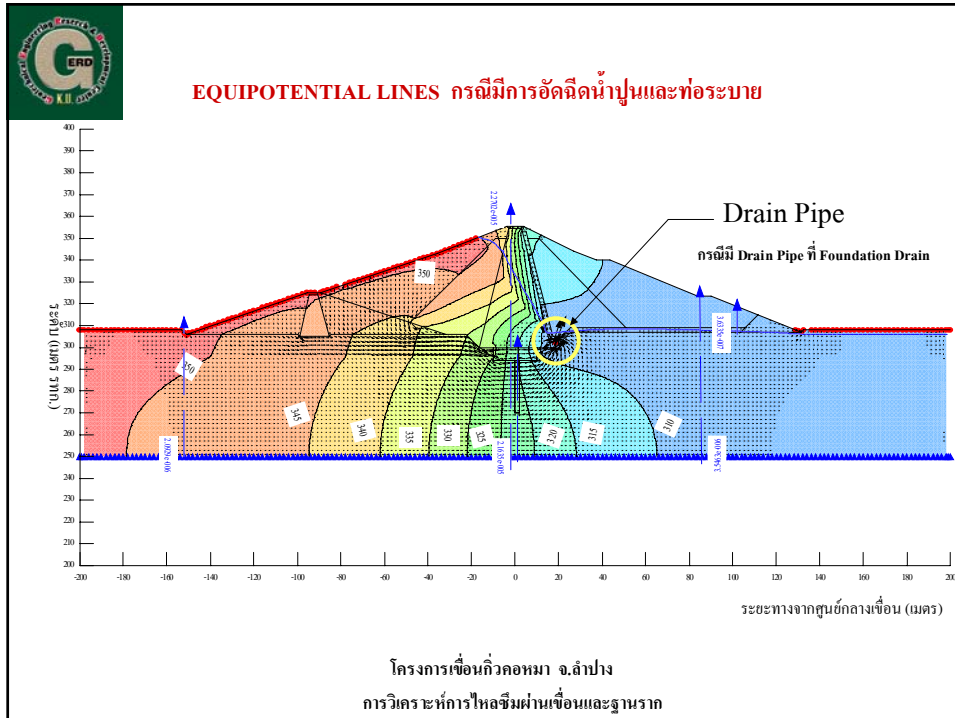
การตรวจวัดปริมาณที่ไหลซึมผ่านตัวเขื่อนและฐานราก



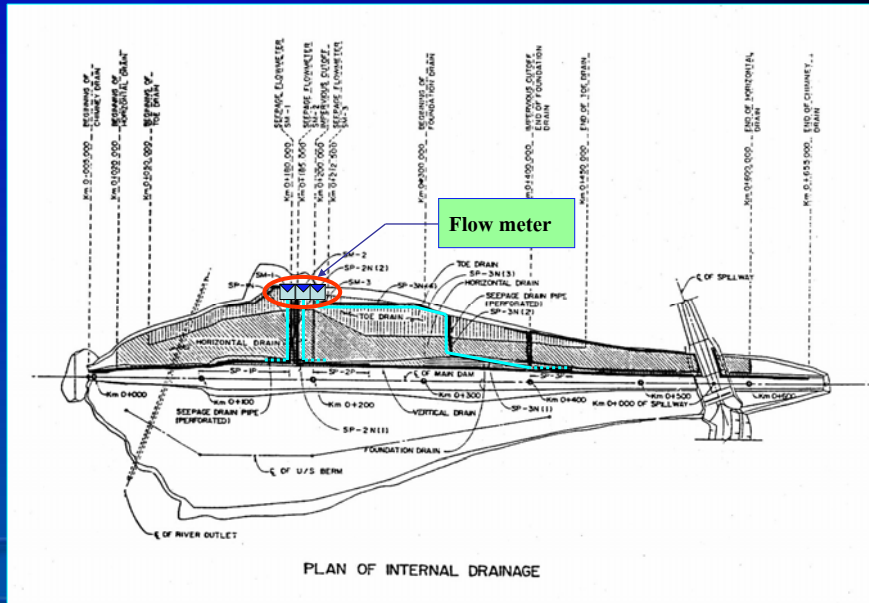
$$Q = k \cdot h \cdot \frac{N_f}{N_e}$$



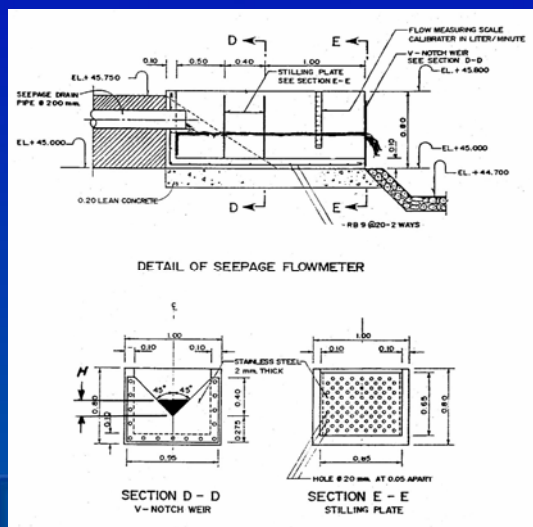
- เมื่อ k = Permeability ของดินตัวเขื่อน
- $N_f = 5$ h = ความต่างศักย์ระหว่างที่น้ำและที่ขังน้ำ
- $N_e = 7$ $\Delta h = h/N_e$
- N_f = จำนวน Flow Channel
- N_e = จำนวน Equipotential Space



ผังของการวางท่อรับน้ำจากฐานรากเขื่อน



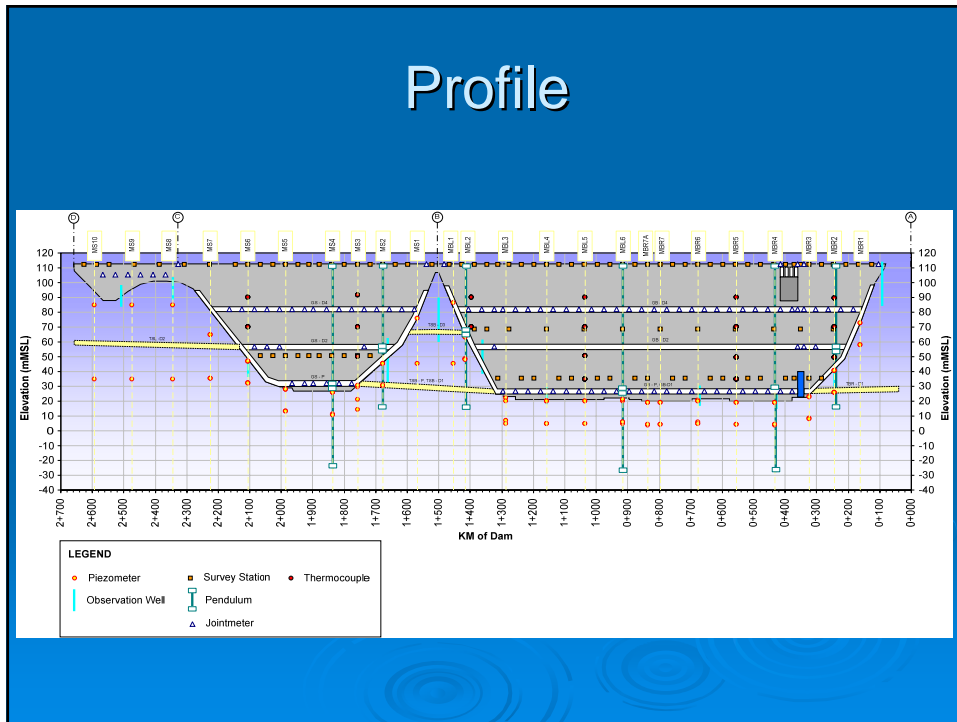
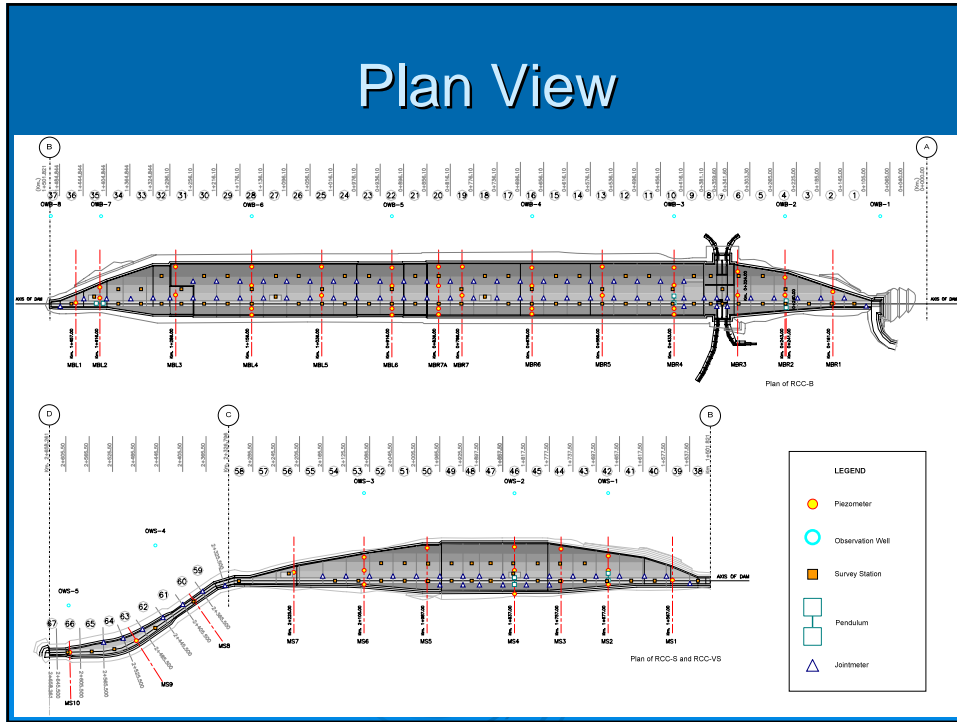
Seepage Flowmeter (V-Notch Weir)

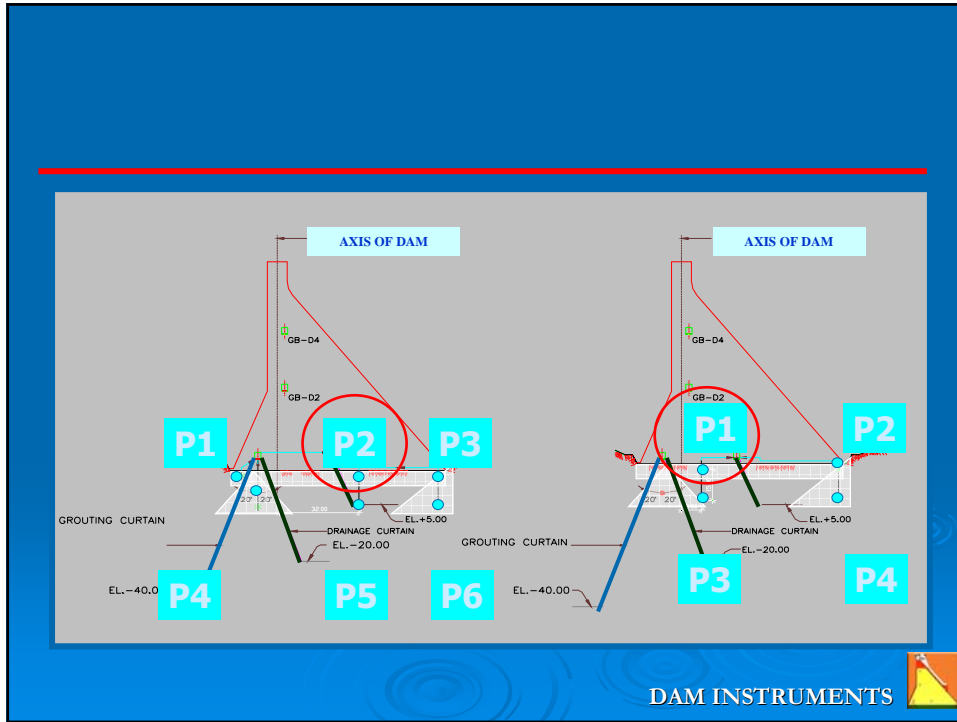




ตัวอย่างการติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมของ เขื่อนคลองท่าด่าน

เครื่องมือวัด	จำนวนการติดตั้ง	
	RCC Dam	Saddle Dam
<ul style="list-style-type: none"> ➢ กลุ่มเครื่องมือวัดความดันน้ำ <ul style="list-style-type: none"> • Piezometer • Observation Well 	106 13	18 6
<ul style="list-style-type: none"> ➢ กลุ่มเครื่องมือวัดการเคลื่อนตัว <ul style="list-style-type: none"> • Pendulum (Inverted and Direct) • Jointmeter • Level Survey Station (Level and Position) • Permanent Benchmark • Inclinator • Surface Monument 	12 100 200 7 - -	- - - 8 2 19
<ul style="list-style-type: none"> ➢ กลุ่มเครื่องมือวัดอุณหภูมิ <ul style="list-style-type: none"> • Thermocouple 	139	-





การติดตั้ง Piezometer



DAM INSTRUMENTS

