Soil Mechanics Laboratory

Lab 8: Permeability Test

การทดสอบความซึมได้ของน้ำในดิน

- มาตรฐานการทดสอบ
- ทฤษฎีการทดสอบ
- การแปลผลการทดสอบ
- การนำไปใช้งาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชูศักดิ์ คีรีรัตน์

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

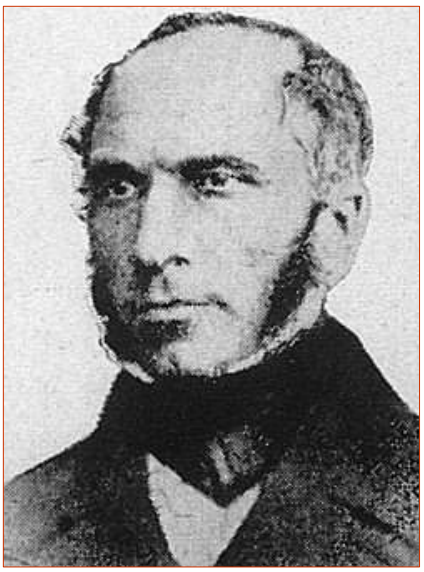
Civil Engineering

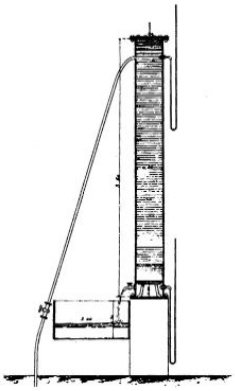
Wang Klai Kangwong

Asst.Prof.Chusak Kererat

มาตรฐานการทดสอบทางวิศวกรรมปฐพี

ASTM D 2434-68	Permeability of Granular Soils (Constant Head).
ASTM D 5084-90	Measurement Hydraulic Conductivity of Saturated Porous Materials Using a Flexible Wall Permeameter.





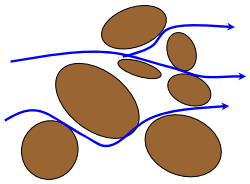
Born	June 10, 1803 Dijon
Died	January 3, 1858
Nationality	French
Fields	hydraulics.

Henry Philibert Gaspard Darcy

Asst.Prof.Chusak Kererat

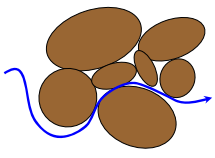
ทฤษฎีการทดสอบ

ความซึมได้ของน้ำ คือ ความสามารถที่มวลดินยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้ ถ้ามวลดินยอมให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย หมายถึงความซึมได้ของน้ำสูง เรียกว่า “Pervious Soil” และถ้ามวลดินไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านหรือซึมผ่านได้ยาก เรียกว่า “Impervious Soil”



ดินหลวม

น้ำไหลผ่านง่าย
สัมประสิทธิ์ความซึมได้สูง



ดินแน่น

น้ำไหลผ่านยาก
สัมประสิทธิ์ความซึมได้ต่ำ

ทฤษฎีการทดสอบ

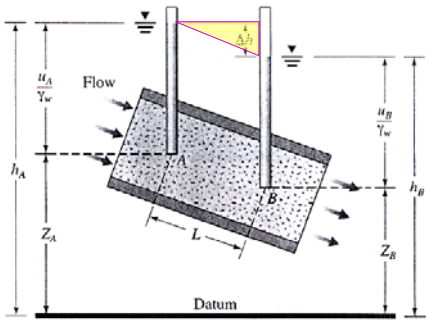
กฎของดาร์ซี่ : ดาร์ซี่ได้ทดสอบการไหลของน้ำแบบราบเรียบผ่านทราย ได้แสดงสมการไว้ ดังนี้

ความเร็วของการไหล

$$v = ki$$

ปริมาณอัตราการไหล

$$q = vA = kiA$$



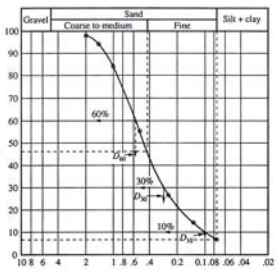
เมื่อ i คือ ความลาดชันทางชลศาสตร์

k คือ สัมประสิทธิ์ความซึมได้

ทฤษฎีการทดสอบ

อิทธิพลที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของน้ำผ่านดิน

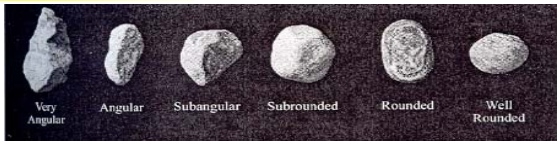
- การกระจายตัวของเม็ดดิน



Hazen (1892) ได้เสนอว่าสำหรับดินกรวดและทราย ค่าความซึมน้ำสัมพันธ์กับขนาดดิน ดังนี้

$$k = 100(D_{10})^2 \quad \text{ซม./วินาที}$$

- รูปร่างและผิวของเม็ดดิน



ทฤษฎีการทดสอบ

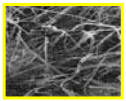
- องค์ประกอบแร่ธาตุในมวลดิน

Quartz

Feldspar

Gypsum

Kaolinite


Illite

Montmorillonite

แร่ธาตุในดินเหนียวมีผลต่อการไหลซึมผ่าน แต่จะมีผลกระทบน้อยกับดินพวกกรวดและทราย

- อัตราส่วนช่องว่างในดิน

Kozeny-Carman (Kozeny, 1927 and Carman, 1939) ได้เสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างความซึมได้กับอัตราส่วนช่องว่าง ดังนี้

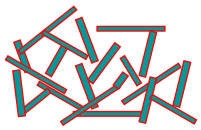
$$k = \frac{\rho_w g}{C\eta_w S^2} \cdot \frac{e^3}{1+e}$$

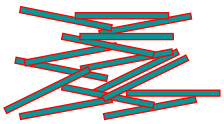
ทฤษฎีการทดสอบ

- ระดับความอิ่มตัว

ดินที่ไม่อิ่มตัวจะมีช่องว่างอากาศกั้นช่องว่าง ทำให้น้ำไหลไม่สะดวก ดังนั้นในการทดสอบจึงต้องใช้ตัวอย่างที่อิ่มตัว

- โครงสร้างของมวลดิน


โครงสร้างแบบระเกะระกะ


โครงสร้างแบบเป็นระเบียบ

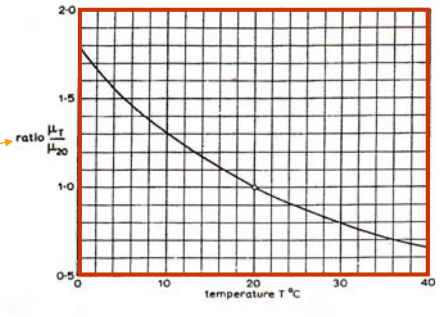
ดินที่ช่องว่างมีการเรียงตัวกันเป็นระเบียบเป็นแถวเป็นแนวตามทิศทางการไหลของน้ำ น้ำจะไหลได้สะดวกกว่าในช่องว่างของดินที่มีรูปร่างและการจัดเรียงตัวแบบระเกะระกะ ไม่ต่อเนื่อง

ทฤษฎีการทดสอบ

• คุณสมบัติของของเหลวในช่องว่าง

ความหนืดของน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงความหนืดลดลง น้ำสามารถไหลได้ง่ายขึ้น สำหรับการทดลองทั่วไปใช้อุณหภูมิที่ 20 °C เป็นมาตรฐาน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการซึมได้ที่อุณหภูมิต่าง ๆกับความซึมน้ำที่อุณหภูมิที่ 20 °C เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$k_{20} = k_T \frac{\mu_T}{\mu_{20}}$$



การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

การทดสอบความซึมได้ของน้ำในมวลดิน

• การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

- ✧ การทดสอบแบบความดันคงที่ (Constant Head)
- ✧ การทดสอบแบบความดันเปลี่ยน (Variable Head or Falling Head)
- ✧ การทดสอบแรงอัดแบบสามแกน (Flexible Wall Test)
- ✧ การทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

• การทดสอบในสนาม

- ✧ การสูบน้ำออกจากบ่อทดสอบ (Well Pumping Test)
- ✧ การสูบน้ำเข้าในหลุมเจาะแบบปลายเปิด (Open Borehole Test)

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

• แบบความดันคงที่ (Constant Head)

ชั่งน้ำหนักดิน

ใส่ดินเป็นชั้น ๆ

ใส่ดินจนได้ระดับ

ประกอบ
ชุดเครื่องมือ

ประกอบกรวยใส่น้ำ
กับชุดเครื่องมือ

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, k (cm/s)	การซึมผ่าน
กรวด	$>10^{-1}$	สูง
ทรายหยาบ	10^{-1} - 10^{-3}	ปานกลาง
ทรายละเอียด, ทรายปนโคลน	10^{-3} - 10^{-5}	ต่ำ
โคลน,ดินตะกอน	10^{-5} - 10^{-7}	ต่ำมาก
ดินเหนียว	$<10^{-7}$	ทึบน้ำ

ความผิดพลาดที่พบ : ดินอิ่มตัวไม่สมบูรณ์
อุปกรณ์ทดสอบรั่ว

คำนวณความซึมได้

$$k_T = \frac{Ql}{Aht}$$

$$k_{20} = k_T\left(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}\right)$$

ทดสอบแบบ
ความดันคงที่

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

• แบบความดันเปลี่ยน (Variable Head)

ชั่งน้ำหนักดิน

ใส่ดินเป็นชั้น ๆ

ใส่ดินจนได้ระดับ

ประกอบ
ชุดเครื่องมือ

ทดสอบแบบ
ความดันเปลี่ยน

ชนิดของดิน	สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน, k (cm/s)	การซึมผ่าน
กรวด	$>10^{-1}$	สูง
ทรายหยาบ	10^{-1} - 10^{-3}	ปานกลาง
ทรายละเอียด, ทรายปนโคลน	10^{-3} - 10^{-5}	ต่ำ
โคลน,ดินตะกอน	10^{-5} - 10^{-7}	ต่ำมาก
ดินเหนียว	$<10^{-7}$	ทึบน้ำ

ความผิดพลาดที่พบ : ดินอิ่มตัวไม่สมบูรณ์
อุปกรณ์ทดสอบรั่ว

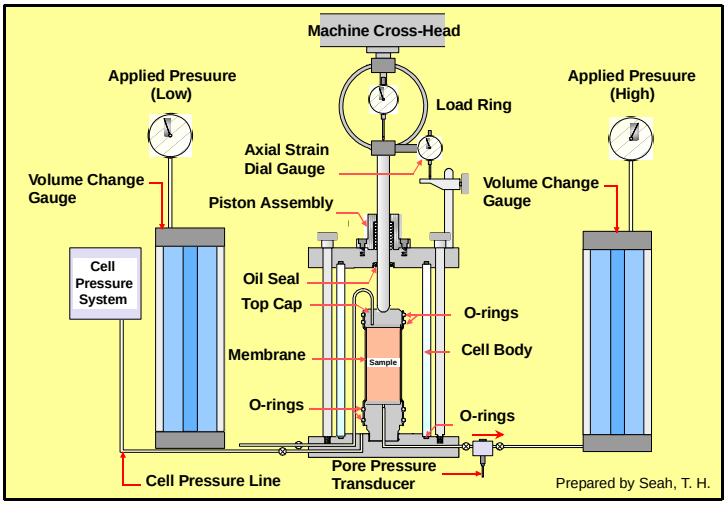
คำนวณความซึมได้

$$k_T = 2.3\frac{al}{At}\log\frac{h_0}{h_1}$$

$$k_{20} = k_T\left(\frac{\mu_T}{\mu_{20}}\right)$$

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

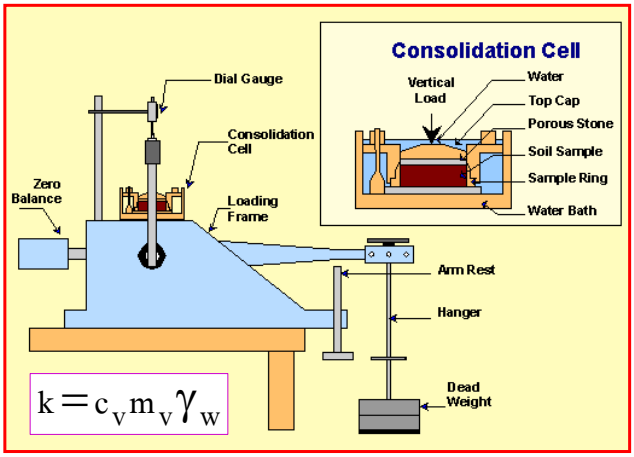
- แรงอัดสามแกน (Flexible Wall Test)



$$k = \frac{Q.L}{t.H.A}$$

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

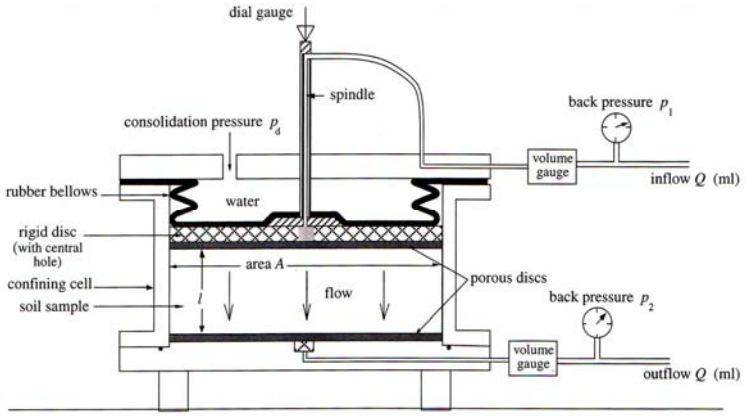
- การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)
  - ✧ Oedometer Test



$$k = c_v m_v \gamma_w$$

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

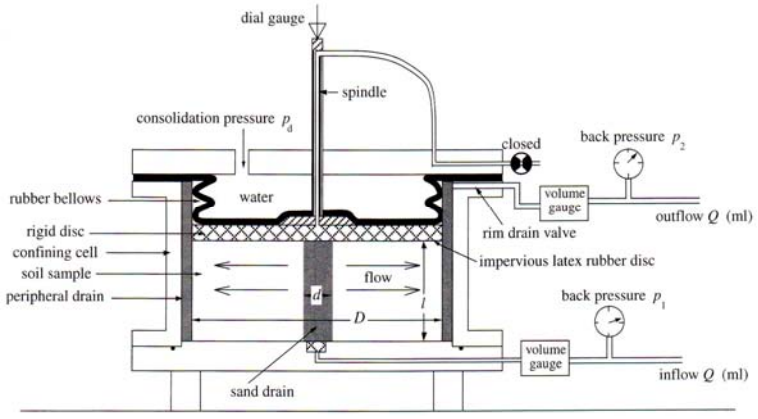
✧ CRS Test (Vertical Permeability)



$$k_V = \frac{q}{Ai} = \frac{q.l.\gamma_w}{A(p_1 - p_2)} R_T$$

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

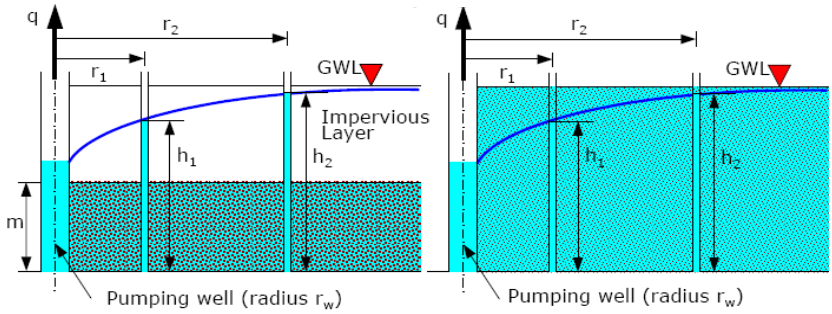
✧ CRS Test (Horizontal Permeability)



$$k_H = \frac{q.\gamma_w}{2\pi.l(p_1 - p_2)} \ln\left(\frac{D}{d}\right) R_T$$

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

- การสูบน้ำออกจากบ่อทดสอบ (Well Pumping Test)



บ่อทดสอบในชั้นน้ำแบบจำกัดขอบเขต (Confined Layer)

$$k = \frac{2.3q \log(r_2 / r_1)}{2\pi m(h_2 - h_1)}$$

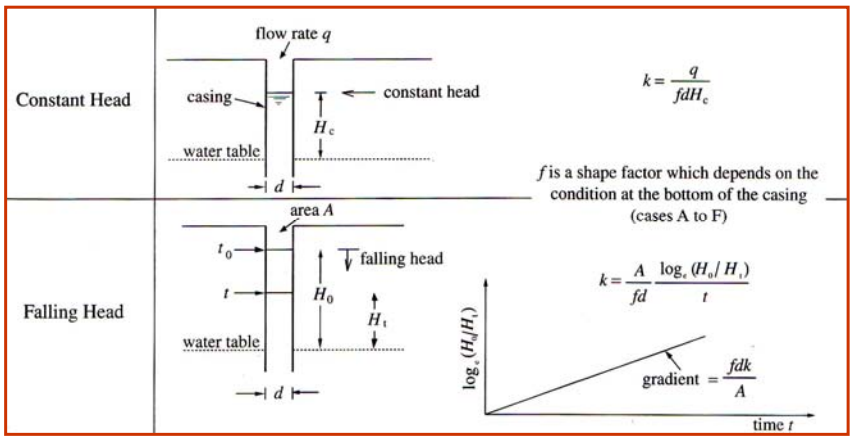
บ่อทดสอบในชั้นน้ำแบบไม่จำกัดขอบเขต (Unconfined Layer)

$$k = \frac{2.3q \log(r_2 / r_1)}{\pi(h_2^2 - h_1^2)}$$

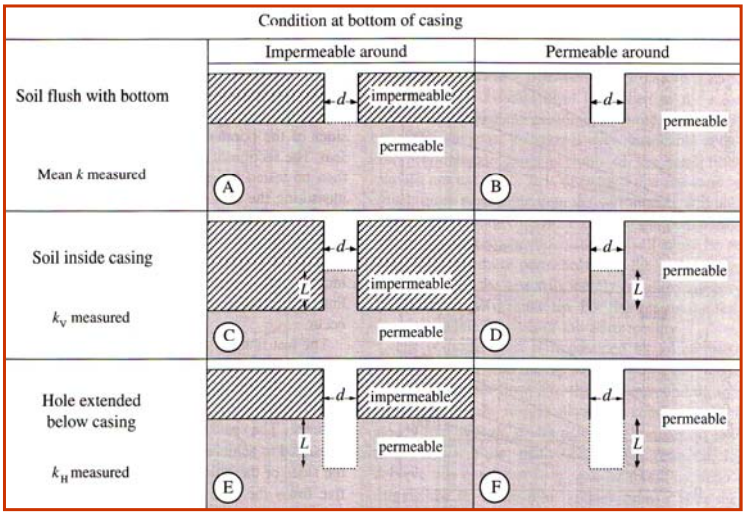
Asst.Prof.Chusak Kererat

การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน

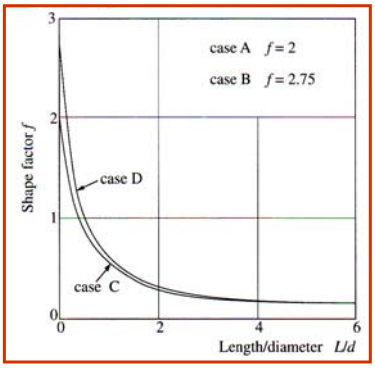
- การสูบน้ำเข้าในหลุมเจาะแบบปลายเปิด (Open Borehole Test)

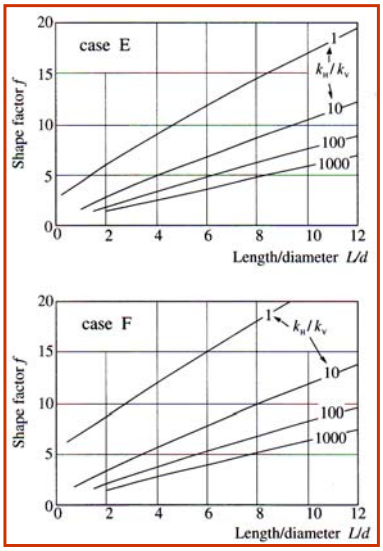


การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน



การแปลผลการทดสอบหาความซึมได้ของน้ำในดิน





Shape Factor (f)

สำหรับกรณี A, B, C, D, E และ F

การนำไปใช้งาน

วิธีทดสอบหาค่าความซึมได้ของน้ำที่เหมาะสม

ลักษณะดิน	ช่วงค่าความซึมน้ำ ซ.ม. / วินาที	วิธีที่ควรใช้
ดินเหนียวคงสภาพ	10^{-5} - 10^{-9}	Variable head Consolidometer
ดินทราย	10^{-1} - 10^{-4}	Constant head
ดินลูกรังบดอัด	10^{-3} - 10^{-8}	Constant head โดยใช้ความดันเข้าช่วย
ดินเหนียวบดอัด	10^{-4} - 10^{-9}	Constant head หรือ Consolidometer

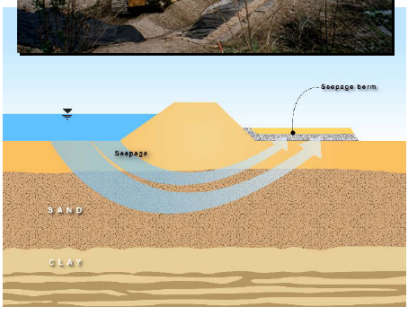
ค่าความซึมได้ของน้ำในดินเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของดิน ในงานต่าง ๆ ดังนี้

- การรั่วซึมของน้ำที่เก็บกักโดยการปิดกั้นของเขื่อนดิน
- ความมั่นคงของลาดเขื่อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อน
- อัตราการทรุดตัวของชั้นดินที่เกิดจากน้ำหนักสิ่งก่อสร้าง
- ความมั่นคงและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อที่ขุดเพื่อก่อสร้างฐานราก
- ปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้จากการเจาะน้ำบาดาล

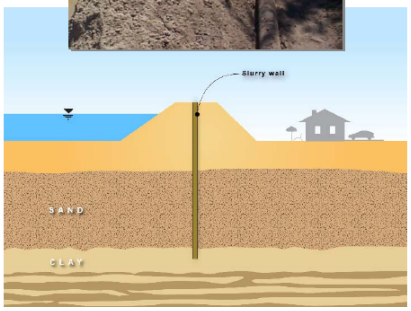
Asst.Prof.Chusak Kererat

การนำไปใช้งาน

Seepage Berm



Slurry Wall



การนำไปใช้งาน

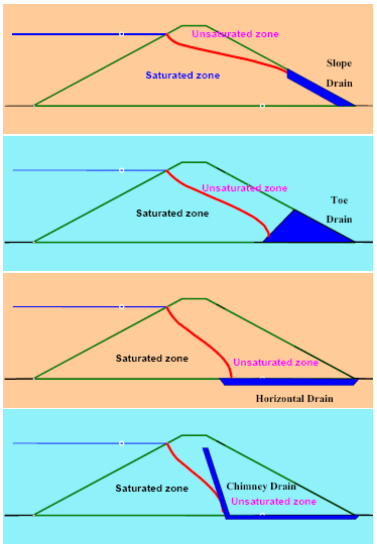
การจัดชั้นกรองในเขื่อนดินเนื้อเดียว

1. Slope Drain

2. Toe Drain

3. Horizontal Drain

4. Chimney Drain



การนำไปใช้งาน

การหาคำตอบของไหลซึมด้วยวิธีการต่าง ๆ

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

ดูวีดีโอแสดงขั้นตอนการทดสอบ และการกรอกข้อมูล