บทที่ 5

Soil Summary

5.1 เนื้อหาโดยย่อ

5.1.1 Introduction

ในการออกแบบฐานรากของโครงสร้างแบบต่างๆไม่ว่าจะเป็น อาคาร, สะพาน และ เขื่อน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในเรื่องตดังต่อไปนี้ a) การถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างลงสู่ฐานราก b) มาตรฐานของการก่อสร้างอาคารในแต่ละพื้นที่ c) พฤติกรรมและการเปลี่ยนแปลงความเค้นในดินที่รองรับฐานราก และ d) การพิจารณาเกี่ยวกับเงื่อนไขทางธรณีวิทยาของดิน สำหรับ Foundation engineer แล้วนั้น ปัจจัยสองข้อสุดท้ายเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงเป็นพิเศษ โดย Foundation engineer คือผู้ที่มีความชาญฉลาดในการรวมเอาความรู้ทางด้าน ปฐพีกลศาสตร์(soil mechanics) , ธรณีวิศวกรรม(engineering geology) และประสบการณ์การทำงานเข้าไว้ด้วยกัน

เมื่อได้ฐานรากที่เหมาะสมแล้ว วิศวกรจะทำการพิจารณาเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกและเงื่อนไขของ subsoil รวมไปถึงค่าการทรุดตัวที่ยอมรับได้ (tolerable settlement) โดยทั่วไปแล้วฐานรากของอาคารและสะพานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ 1) shallow foundations และ 2) deep foundations ซึ่ง shallow foundations นั้นประกอบด้วย Spread footing, wall footing และ mat foundations โดย shallow foundations นั้นมีระยะฝังเท่ากับหรือน้อยกว่า 3 – 4 เท่าของความกว้างของฐานราก ส่วน deep foundations นั้น จะแบ่งเป็น Pile foundations และ drilled shaft ซึ่ง deep foundations จะนำมาใช้ต่อเมื่อ top layers มี load – bearing capacity ค่อนข้างต่ำและเมื่อได้พิจารณาแล้วว่าหากสร้าง shallow foundations ไปแล้วนั้นจะทำให้โครงสร้างเสียหายและเกิดภาวะไร้เสถียรภาพ

โดยในบทนี้จะกล่าวทบทวนเกี่ยวกับพื้นฐานทางคุณสมบัติของดิน เช่น grain – size distribution, plasticity, soil classification, effective stress, consolidation และ shear strength parameters ซึ่งเนื้อหาเหล่านี้จะเป็นความรู้เบื้องเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากต่อไป

5.1.2 Grain – Size Distribution

ดินจะถูกจำแนกออกเป็นดินพวกเม็ดหยาบ เช่น หิน กรวด ทราย และดินพวกเม็ดละเอียด เช่น ตะกอนทราย ดินเหนียว วัสดุแขวนลอย เป็นต้น สำหรับดินพวกเม็ดหยาบ จะหาขนาดได้ด้วยวิธีร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดต่างๆกัน ส่วนดินพวกเม็ดละเอียด หาขนาดได้ด้วยวิธีวัดอัตราการตกตะกอนในน้ำ

การจำแนกประเภทของดินตามขนาดของเม็ดดินนี้ มีอยู่หลายมาตรฐาน แล้วแต่แต่ละสถาบันจะกำหนดขึ้นมา ซึ่งมีการแบ่งตามขนาดของเม็ดดินแต่ละประเภทแตกต่างกันออกไป

การหาขนาดของเม็ดดิน

การหาขนาดของเม็ดดิน ทำได้ 2 วิธี คือ

1. โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis หรือ Mechanical analysis)

วิธีนี้เหมาะสำหรับดินพวกเม็ดทราย เช่น กรวด ทราย เป็นต้น ทำได้โดยการนำดินที่ต้องการหาขนาดใส่ลงไปในตะแกรงมาตรฐาน แล้วเขย่า ตะแกรงที่ใช้ร่อนมีหลายขนาด จัดเป็นชั้นๆ ให้ขนาดใหญ่สุดอยู่ข้างบนและขนาดเล็กสุดอยู่ข้างล่าง ขนาดเล็กที่สุดเป็นตะแกรงเบอร์ 200 ซึ่งมีขนาดรูตะแกรงเท่ากับ 0.075 มม. เมื่อร่อนและนำมาชั่งแล้วก็จะคำนวณหาส่วนที่ค้างหรือผ่านตะแกรงขนาดต่างๆเป็นเปอร์เซ็นต์กับน้ำหนักทั้งหมดได้ดังต่อไปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักของดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักของดินทั้งหมด}} \times 100$$

เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม = ผลบวกสะสมของเปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงที่ใหญ่กว่า

เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (% Passing หรือ %Finer หรือ %Smaller)

= 100 – เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม

2. โดยใช้วิธีตกตะกอน (Hydrometer analysis)

วิธีนี้เหมาะสำหรับดินพวกเม็ดละเอียด ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.075 มม. ลงไป เช่น ตะกอนทราย ดินเหนียว เป็นต้น ทำได้โดยนำดินที่ต้องการหาขนาดมาละลายน้ำแล้วใส่ลงไปในหลอดแก้ว ให้เม็ดดิน (ตะกอน) กระจัดกระจายและแขวนลอยอยู่ในน้ำ แล้วใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดอัตราการตกตะกอน หรือ วัดความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินที่ละลายแขวนลอยอยู่ในน้ำที่มีความลึก h ในช่วงเวลาต่างๆ โดยอาศัยกฎของสโตค (Stoke's Law) ที่ว่า ความเร็วของการตกตะกอนขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเม็ดดิน กล่าวคือ ดินเม็ดใหญ่จะตกตะกอน(จม)เร็วกว่าดินเม็ดเล็ก ดังนั้นเมื่อทราบความเร็วของการตกตะกอน ก็สามารถคำนวณหาขนาดของตะกอน (เม็ดดิน) ได้จากสมการต่อไปนี้

$$D = \sqrt{\frac{18\eta}{(G_S - 1)\gamma_w}} \sqrt{\frac{L}{t}}$$

where D = diameter of the soil particle

G_s = specific gravity of soil solids

η = viscosity of water

γ_w = unit weight of water

L = effective length

t = time

5.1.3 Size Limits for Soils

มีหลายๆองค์กรด้วยกันที่พยายามพัฒนาและปรับปรุง size limits สำหรับ *gravel, sand, silt,* และ *clay* โดยใช้พื้นฐานของ grain size ที่ปรากฏในดิน ตารางที่ 5.1.1 แสดง size limits ที่แนะนำโดย American Association of State Highway Transportation Officials (AASHTO) และ the Unified Soil Classification systems (Corps of Engineers, Department of the Army, and Bureau of Reclamation)

ตารางที่ 5.1.1 Soil – Separate Size Limits

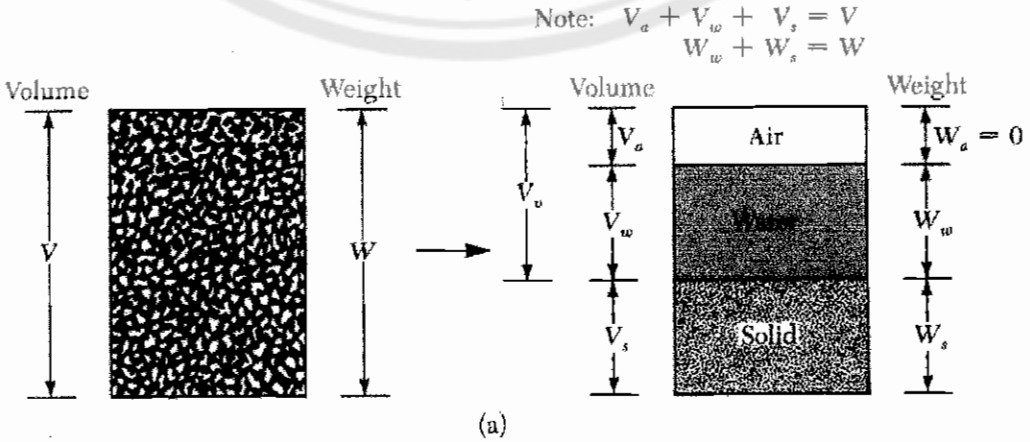
Classification system	Grain size (mm)
Unified	Gravel: 75 mm to 4.75 mm Sand: 4.75 mm to 0.075 mm Silt and clay (fines): <0.075 mm
AASHTO	Gravel: 75 mm to 2 mm Sand: 2 mm to 0.05 mm Silt: 0.05 mm to 0.002 mm Clay: <0.002 mm

5.1.4 Weight – Volume Relationships

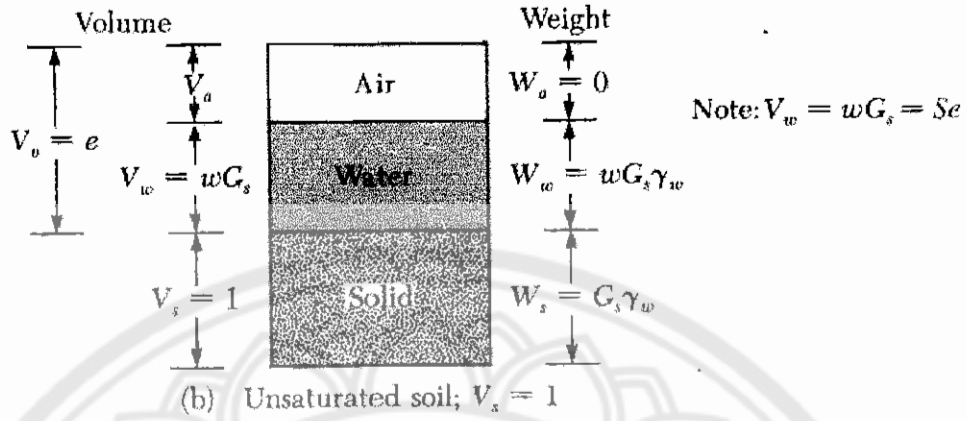
ดินประกอบด้วยเนื้อดินหรือเม็ดดินและช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งในช่องว่างจะเต็มไปด้วยน้ำหรืออากาศ หรือมีทั้งน้ำและอากาศปนกัน อาจกล่าวได้ว่าดินประกอบด้วย

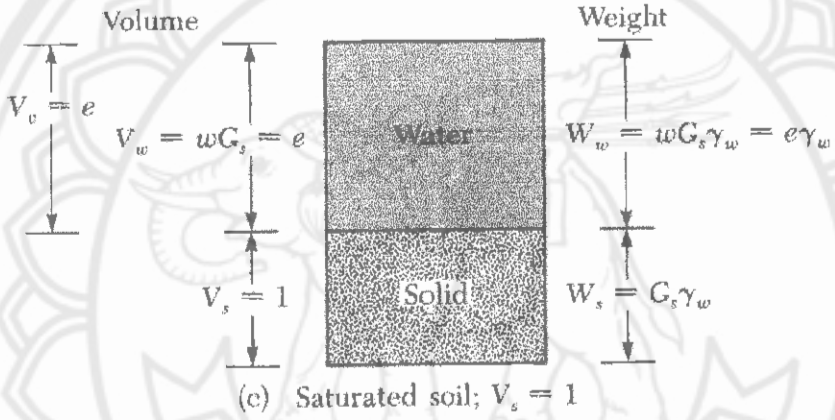
1. ของแข็ง (Solid) คือ เนื้อดินหรือเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นแร่ธาตุต่างๆ
2. ของเหลว (Water) ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน โดยปกติจะเป็นน้ำ
3. อากาศหรือก๊าซ (Air or Gas) ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมนั้น จำเป็นออย่างยิ่งที่จะต้องรู้สัดส่วนโดยมวลหรือปริมาตรของส่วนประกอบต่างๆของดิน จึงได้มีการใช้แบบจำลองส่วนประกอบของดิน 3 ส่วน (Soil Phase Diagram) มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างมวล (mass) และปริมาตร (volume) ของเนื้อดิน (solid) น้ำ (water) และอากาศ (air) ที่ประกอบเป็นเนื้อดิน (soil)



(a)





รูปที่ 5.1.1 Weight – Volume Relationships

จากรูปที่ 5.1.1 ทำให้เราสามารถวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆของดินได้ โดยสรุปเป็นความสัมพันธ์ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของน้ำหนัก (Weight relationship)

1.1 ปริมาณน้ำในดิน (water or Moisture Content)

$$W = \frac{w_w}{w_s} \times 100$$

โดยทั่วไป ปริมาณความชื้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100 %

2. **ความสัมพันธ์ของปริมาตร** (Volumetric relationship)

2.1 **อัตราส่วนช่องว่าง**(Void ratio),e

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

โดยทั่วไปแล้ว อัตราส่วนช่องว่างในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นก้อนขนาดใหญ่ (bulky – shaped) จะมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนช่องว่างในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นแผ่นหรือเกล็ดเล็กๆ (flaky – shaped)

2.2 ความพรุน (porosity), η

$$\eta = \frac{V_v}{V_v + V_s} = \frac{e}{1+e}$$

โดยทั่วไปแล้ว ความพรุนในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นก้อนขนาดใหญ่ (bulky – shaped) จะมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนช่องว่างในดินที่มีเนื้อดินแบบเป็นแผ่นหรือเกล็ดเล็กๆ(flaky – shaped)

2.3 ระดับความอิ่มตัว (Degree of Saturation), S

$$S = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

ระดับความอิ่มตัวจะมีค่าตั้งแต่ 0 – 100 % โดยที่

S = 0 % เมื่อดินที่พิจารณาเป็นดินที่อบแห้ง (Oven – dry soil)

S = 100 % เมื่อดินที่พิจารณาเป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated soil)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับปริมาตร (Weight – volume relationship)

3.1 ความหนาแน่น (Density), ρ

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{M_w + M_s}{V_A + V_w + V_s}$$

แบ่งตามสภาวะความชื้นของดินได้ 3 แบบคือ

3.1.1 Dry density, ρ_{dry} **คือ ความหนาแน่นที่** % w = 0

3.1.2 Wet or Moist density, ρ_{wet} **คือ ความหนาแน่นที่** % w = w

3.1.3 Saturated density, ρ_{sat} **คือ ความหนาแน่นที่** % $V_w = V_v$

3.2 หน่วยน้ำหนัก (Unit weight),γ

$$\gamma = \rho g$$

แบ่งตามสภาวะความชื้นของดินได้ 3 แบบคือ

3.2.1 Dry Unit weight,γ_{dry}

$$\gamma_{dry} = \frac{W_s}{V_T}$$

3.2.2 Wet or Moisture Bulk Dry Unit weight, γ_T

$$\gamma_T = \frac{W_s + W_w}{V_T} = \frac{W_s(1 + W_w / W_s)}{V_T} = \frac{W_s(1 + w)}{V_T}$$

3.2.3 Saturated Unit weight, γ_{sat}

$$\gamma_T = \frac{W_s + W_w}{V_T} = \frac{W_s(1 + W_w / W_s)}{V_T} = \frac{W_s(1 + w)}{V_T}$$

3.3 ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Solid Particles),G_s

$$G_s = \frac{W_s}{V_s \gamma_w} = \frac{M_s}{V_s \rho_w}$$

ตารางที่ 5.1.2 Specific Gravity of Some Soils

Type of Soil	G_s
Quartz sand	2.64–2.66
Silt	2.67–2.73
Clay	2.70–2.9
Chalk	2.60–2.75
Loess	2.65–2.73
Peat	1.30–1.9

ตารางที่ 5.1.3 Typical Void Ratio, Moisture Content, and Dry Unit Weight for Some Soil

Type of soil	Void ratio *e*	Natural moisture content in saturated condition (%)	Dry unit weight, γ_d (kN/m³)	Dry unit weight, γ_d (lb/ft³)
Loose uniform sand	0.8	30	14.5	92
Dense uniform sand	0.45	16	18	115
Loose angular-grained silty sand	0.65	25	16	102
Dense angular-grained silty sand	0.4	15	19	120
Stiff clay	0.6	21	17	108
Soft clay	0.9–1.4	30–50	11.5–14.5	73–92
Loess	0.9	25	13.5	86
Soft organic clay	2.5–3.2	90–120	6–8	38–51
Glacial till	0.3	10	21	134

5.1.5 Relative Density

สำหรับดินจำพวก *granular soils* การบดอัดดินในสนามจะกำหนดเป็นค่า *relative density* ซึ่งหาได้ดังนี้

$$D_r(\%) = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \times 100$$

where e_{max} = void ratio of the soil in the loosest state

e_{min} = void ratio in the densest state

e = *in situ* void ratio

โดยค่า e_{max} สามารถหาได้จากห้องปฏิบัติการ

นอกจากนี้ สามารถหาค่า *relative density* จากผ่านทาง dry unit weight ได้ดังนี้

$$D_r(\%) = \left\{ \frac{\gamma_d - \gamma_{d(min)}}{\gamma_{d(max)} - \gamma_{d(min)}} \right\} \frac{\gamma_{d(min)}}{\gamma_d} \times 100$$

where γ_d = *in situ* dry unit weight

$\gamma_{d(max)}$ = dry unit weight in the *densest* state; that is, when the void ratio is e_{min}

$\gamma_{d(min)}$ = dry unit weight in the *loosest* state; that is, when the void ratio is e_{max}

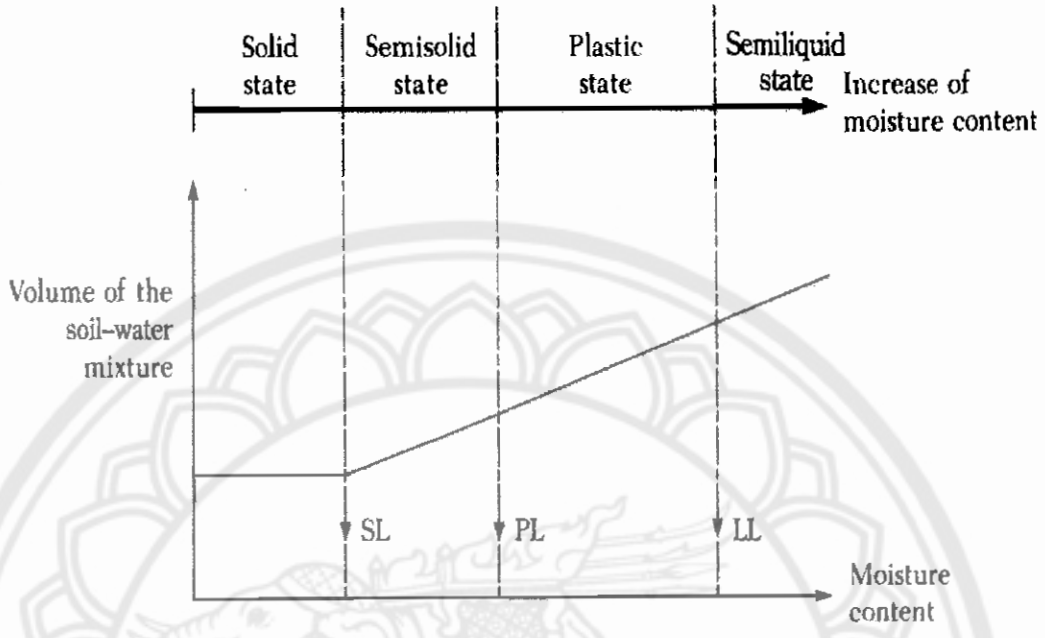
ตารางที่ 5.1.4 Denseness of a Granular Soil

Relative density, D_r(%)	Description
0–20	Very loose
20–40	Loose
40–60	Medium
60–80	Dense
80–100	Very dense

5.1.6 Atterberg Limits

ดินพวกเม็ดละเอียดโดยเฉพาะดินเหนียว จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตามจำนวนน้ำที่มีอยู่ในดิน และจำนวนน้ำในดินจะมีความสำคัญต่อสถานภาพของดิน เพราะจะทำให้ดินอยู่ในสภาพต่างๆกัน เช่น ดินอาจมีสถานภาพเป็นของเหลว (Liquid state) เมื่อมีน้ำมากจนกระทั่งเนื้อดินมีลักษณะคล้ายของเหลวข้น ไม่สามารถทรงรูปอยู่ได้ และเมื่อปริมาณน้ำลดลงดินก็จะมีสภาพเป็นพลาสติก (Plastic state) มีลักษณะเหนียวสามารถปั้นเป็นรูปต่างๆได้ง่ายโดยไม่แตกร้าว และเมื่อปริมาณน้ำลดลงอีก ดินก็จะมีสถานภาพเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง (Semi – solid state) เปราะ ปั้นเป็นรูปต่างๆได้ยาก มักมีรอยแตกร้าว จนในที่สุดอาจมีสถานภาพเป็นของแข็ง (Solid state) เมื่อมีปริมาณน้ำน้อยมากหรือไม่มีเลย ปริมาณน้ำที่เป็นจุดแบ่งสถานภาพต่างๆของดินนี้เรียกว่า *Atterberg's Limits* ได้แก่

1. Liquid Limit (LL) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากของเหลวเป็นพลาสติกหรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถไหลไปได้ด้วยน้ำหนักของดินเอง
2. Plastic Limit(PL) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นวัสดุกึ่งของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถถูกคลึงเป็นเส้นกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. (1/8 นิ้ว) ได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว
3. Shrinnkage Limit(SL) คือ ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากวัสดุกึ่งของแข็งเป็นของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำมากที่สุดซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียน้ำอีกต่อไปก็ไม่ทำให้ดินหดตัวหรือลดปริมาตรลง



รูปที่ 5.1.2 Definition of Atterberg limits

ตารางที่ 5.1.5 Typical Liquid and Plastic Limits for Some Clay Minerals and Soils

Description	Liquid limit	Plastic limit
Kaolinite	35–100	25–35
Illite	50–100	30–60
Montmorillonite	100–800	50–100
Boston Blue clay	40	20
Chicago clay	60	20
Louisiana clay	75	25
London clay	66	27
Cambridge clay	39	21
Montana clay	52	18
Mississippi gumbo	95	32
Loessial soils in north and northwest China	25–35	15–20

5.1.7 Soil Classification

AASHTO

การจำแนกดินในระบบนี้เหมาะสำหรับนำไปใช้ในงานก่อสร้างชั้นทาง รองพื้นทาง และชั้นดินเดิมของงานก่อสร้างถนน โดยแบ่งดินออกเป็นทั้งสิ้น 8 กลุ่มใหญ่ๆ ดินกลุ่ม A-1 คือดินที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด กลุ่ม A-1 A-2 และ A-3 ประกอบด้วยดินเม็ดหยาบโดยส่วนใหญ่ คือน้อยกว่า 35% ของปริมาณดินทั้งหมดมีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนกลุ่ม A-4 A-5 A-6 A-7 มีปริมาณเม็ดดินขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 35% กลุ่ม A-8 คือดินที่มีสารอินทรีย์ปนอยู่เป็นปริมาณมาก กลุ่มดินที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่เป็นส่วนใหญ่ (A-4 A-5 A-6 A-7) จะมีการระบุด้วยดัชนีกลุ่ม โดยมีสมการ คือ

$$GI = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10)$$

เมื่อ F = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

LL = พิกัดความเหลว

PI = ดัชนีพลาสติกซิตี้

ดัชนีกลุ่มนี้ต้องระบุเป็นจำนวนเต็มเสมอ หากได้ค่าติดลบให้แสดงเป็นศูนย์ ตัวเลขนี้ระบุคุณสมบัติว่ายิ่งตัวเลขน้อยเท่าไหร่ แสดงว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างมากเท่านั้น สำหรับดินกลุ่ม A-2-6 และ A-2-7 ซึ่งเป็นดินที่ส่วนใหญ่มีขนาดเม็ดหยาบแต่จะมีส่วนเม็ดละเอียดปนอยู่จึงให้ใช้เป็นดัชนีกลุ่มแบ่งย่อยแทน โดยมีสมการ คือ

$$GI = 0.01(F-15)(PI-10)$$

ตารางที่ 5.1.6 การจำแนกดินตามระบบ AASHTO

การจำแนกทั่วไป	ดินเม็ดหยาบ (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าหรือเท่ากับ 35 %)						
กลุ่ม	A-1			A-2			
	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Sieve Analysis เปอร์เซ็นต์ผ่าน							
#10	50 max.						
#40	30 max.	50 max.	51 min.				
#200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.
ลักษณะดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40							
LL.				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
PI.	6 max.		NP.*	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
ชนิดของดิน	หินผุ กรวด และดินทราย		ทรายเม็ดละเอียด	กรวด และดินเหนียวที่มีดินตะกอนหรือดินเนียวปน			
ความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน	คุณภาพดี ถึง ยอดเยี่ยม						

* NP. = Non Plastic

การจำแนกทั่วไป	ดินเม็ดละเอียด (ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 35 %)				
กลุ่ม				A-7	
	A-4	A-5	A-6	A-7-5*	A-7-6*
Sieve Analysis เปอร์เซ็นต์ผ่าน					
#10					
#40					
#200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
ลักษณะดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40					
LL.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	41 min.
PI.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	11 min.
ชนิดของดิน	ดินตะกอน			ดินเหนียว	
ความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน	คุณภาพแย่ ถึง ปานกลาง				

* A-7-5 เมื่อ PI. น้อยกว่าหรือเท่ากับ LL.- 30

A-7-6 เมื่อ PI. มากกว่า LL.- 30

USCS

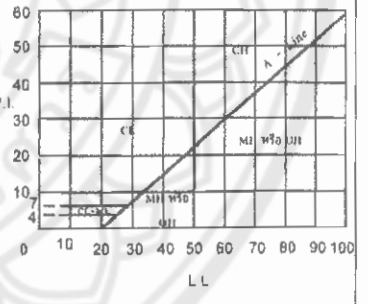
แบ่งดินออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ดินเม็ดหยาบ ดินเม็ดละเอียด และดินที่มีสารอินทรีย์มาก

- ดินเม็ดหยาบ คือ ดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่า 50% ได้แก่ ดินทราย ใช้สัญลักษณ์เป็น s สำหรับดินซึ่งโดยส่วนใหญ่ขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์4 และกรวด ใช้สัญลักษณ์เป็น G สำหรับดินซึ่งโดยส่วนใหญ่ขนาดโตกว่าตะแกรงเบอร์4 การแยกกลุ่มในรายละเอียดขึ้นกับลักษณะขนาดคละกันของดิน และปริมาณเม็ดดินละเอียดที่ปนอยู่ ได้แก่ลักษณะดินมีขนาดคละกันดี สัญลักษณ์เป็น W ลักษณะดินมีขนาดคละกันไม่ดี สัญลักษณ์เป็น P ถ้ามีดินเหนียวปนอยู่มากก็ให้สัญลักษณ์เป็น C ถ้ามีดินตะกอนปนอยู่มากก็ให้สัญลักษณ์เป็น M เช่น GW หมายถึง กรวดที่มีขนาดดินคละกันด้วยดี SC หมายถึง ดินทรายที่มีดินเหนียวปนอยู่ เป็นต้น

- ดินเม็ดละเอียด คือ ดินที่ค่างบนตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่า 50% ได้แก่ ดินเหนียว สัญลักษณ์เป็น C ดินตะกอนสัญลักษณ์เป็น M และดินเม็ดละเอียดที่มีสารอินทรีย์ กลุ่มของดินเม็ดละเอียดแยกตามลักษณะของความเหนียวโดยใช้ค่าดัชนีความเหนียว และพิกัดความเหลว ดินที่อยู่เหนือเส้นเอ ในแผนภูมิพลาสติกซิตี้ คือดินเหนียว สัญลักษณ์เป็น C ส่วนดินที่อยู่ใต้เส้นเอ คือดินตะกอน สัญลักษณ์เป็น M การจำแนกออกเป็นกลุ่มย่อยจะอาศัยค่าพิกัดความเหลว คือ สำหรับดินที่มีพิกัดความเหลวมากกว่า 50% จะมีสัญลักษณ์เป็น H และดินที่มีพิกัดความเหลวน้อยกว่า 50% สัญลักษณ์เป็น L

- ดินที่สารอินทรีย์มาก จะมีสีค่อนข้างดำ กลิ่นที่รุนแรงจากสารอินทรีย์ และตรวจสอบคุณสมบัติจากการทดสอบทางเคมีเพื่อยืนยันสัญลักษณ์เป็น PT

ตารางที่ 5.1.7 การจำแนกดินตามระบบเอกภาพ (USCS)

กลุ่มหลัก			สัญลักษณ์	ชื่อทั่วไป	เงื่อนไขการจำแนก		
ดินเม็ดหยาบ มากกว่า 50% ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200	กรวด มากกว่า 50% ของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4	กรวดสะอาด	GW	กรวดนีขนาดคละกันดี	ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 < 5% - GW GP SW SP ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ระหว่าง 5% - 12% - สัญลักษณ์ร่วม เช่น GW-GC ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 > 12% - GM GC SM SC	$C_u = D_{60} / D_{10} > 4$ $C_u = D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10}) = 1\text{-}3$	
			GP	กรวดมีขนาดคละกันไม่ดี		ไม่เข้าเงื่อนไขของขนาดคละกันดี	
		กรวดปนดิน	GM	กรวดที่มีดินตะกอนปน		อยู่ใต้ A-Line (ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200)	ถ้าอยู่ในโซนระบายสี - สัญลักษณ์ร่วม
			GC	กรวดที่มีดินเหนียวปน		อยู่เหนือ A-Line (ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200)	
	ทราย มากกว่า 50% ของส่วนที่เป็นเม็ดหยาบเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4	ทรายสะอาด	SW	ทรายนีขนาดคละกันดี		$C_u = D_{60} / D_{10} > 6$ $C_u = D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10}) = 1\text{-}3$	
			SP	ทรายมีขนาดคละกันไม่ดี		ไม่เข้าเงื่อนไขของขนาดคละกันดี	
		ทรายปนดิน	SM	ทรายที่มีดินตะกอนปน		อยู่ใต้ A-Line (ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200)	ถ้าอยู่ในโซนระบายสี - สัญลักษณ์ร่วม
			SC	ทรายที่มีดินเหนียวปน		อยู่เหนือ A-Line (ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200)	
ดินเม็ดละเอียด มากกว่าหรือเท่ากับ 50% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	พลาสติกน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50%		ML	ดินตะกอน หินฝุ่น หรือดินทรายละเอียดที่มีดินเหนียวหรือดินตะกอนปน		
			CL	ดินเหนียวที่มีความเหนียวต่ำ ดินเหนียวปนทราย ปนกรวด หรือปนดินตะกอน			
			OL	ดินตะกอนอินทรีย์ หรือดินเหนียวปนดินตะกอนอินทรีย์ที่มีความเหนียวต่ำ			
	พลาสติกมากกว่า 50%		MH	ดินตะกอน หรือดินทรายละเอียดปนไมก้า			
			CH	ดินเหนียวที่มีความเหนียวสูง			
			OH	ดินเหนียวอินทรีย์ที่มีความเหนียวปานกลางถึงสูง			
			PT	Peat หรือ Muck หรือ ดินอินทรีย์สูง	แยกโดยใช้สี กลิ่น และการตรวจสอบ		

ป TA
775
ส๙๑๑๑
2544

สำนักหอสมุด
30 มิ.ย. 2547
4740331

5.1.8 Hydraulic Conductivity of Soil

ดินประกอบด้วยส่วนของเม็ดดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่ต่อเนื่องกัน การไหลของน้ำผ่านดินเกิดขึ้นได้เมื่อมีพลังงานต่างกันระหว่างจุดสองจุดในดิน โดยจะไหลจากจุดที่มีพลังงานสูงกว่าไปยังจุดที่มีพลังงานต่ำกว่า พลังงานในทางวิศวกรรมมักแสดงในรูปของความสูงหรือเฮด โดยอาศัยสมการของเบอร์นูลลี จะพบว่า

$$h = P/\gamma_w + v^2/2g + Z$$
$$= h_p + h_v + Z$$

เมื่อ h = เฮดรวม

h_p = P/γ_w = เฮดความดัน

h_v = $v^2/2g$ = เฮดความเร็ว

Z = เฮดระดับ

P = ความดันน้ำในดิน

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำ

v = อัตราเร็วในการไหลของน้ำในดิน

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

การไหลของน้ำผ่านดินนั้นมีลักษณะที่เรียกว่าการไหลแบบลามินาร์ คือ ไหลด้วยอัตราเร็วที่ต่ำมาก และค่อนข้างคงที่ เทอมของอัตราเร็วนั้นจึงมีค่าน้อยมากจนไม่ต้องนำมาคำนึงถึงได้ ดังสมการ

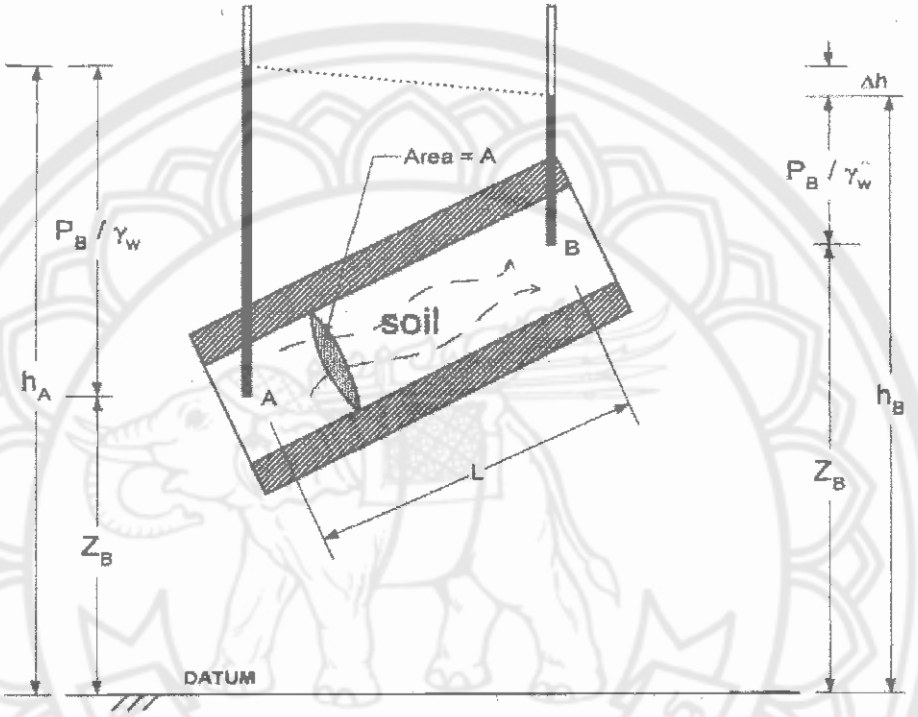
$$h = P/\gamma_w + Z$$

จากรูปที่ 5.1.3 ดินที่จุด A มีเฮดหรือพลังงานสูงกว่าที่จุด B จึงเกิดการไหลของน้ำผ่านดินจากจุด A ไปยังจุด B โดยที่มีความชันทางชลศาสตร์ คือ

$$i = \Delta h/L$$

เมื่อ Δh = ผลต่างของเฮดระหว่างสองจุด

L = ช่วงความยาวที่น้ำไหลผ่านดินระหว่างสองจุด

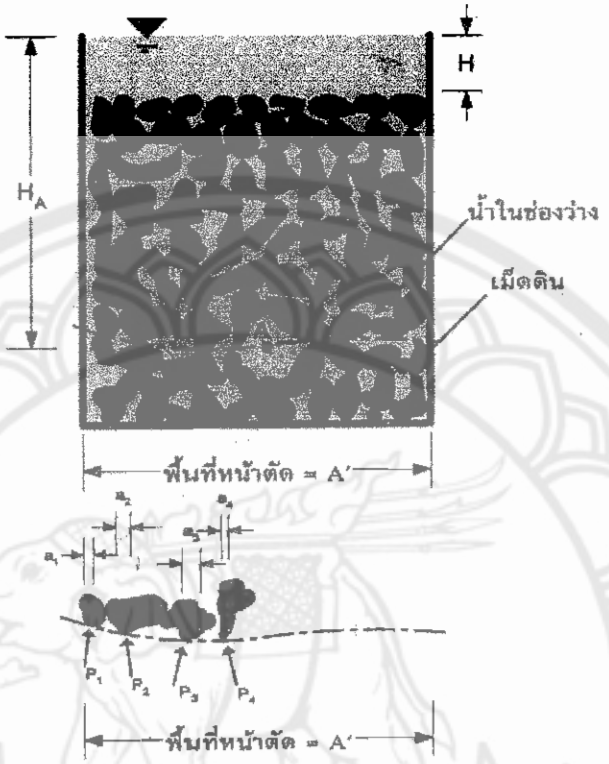


รูปที่ 5.1.3 การไหลของน้ำผ่านดิน และเฮดต่างๆ

5.1.9 Effective Stress

ดินประกอบด้วยส่วนของเม็ดดิน ช่องว่างระหว่างเม็ดดิน น้ำที่อยู่ระหว่างช่องว่าง และอากาศ (ในกรณีที่ดินไม่อิ่มน้ำ) การแก้ปัญหาทางปฐพี เช่น การยุบตัวของดิน กำลังรับน้ำหนักของฐานราก เสถียรภาพของทางลาดของคันดิน และการรับแรงด้านข้างของโครงสร้างกันดิน ฯลฯ ต้องอาศัยความเข้าใจในเรื่องหน่วยแรงประสิทธิผลเป็นพื้นฐาน

หน่วยแรงในดินอิ่มน้ำ



รูปที่ 5.1.4 การพิจารณามวลดินอิ่มน้ำในกรณีที่ทุกจุดในดินมีเฮดเท่ากัน

ดินอิ่มน้ำที่แสดงในรูปที่ 5.1.4 โดยทุกๆจุดมีเฮดเท่ากัน น้ำในดินอยู่นิ่งไม่มีการไหลขึ้นหรือไหลลง จากรูปที่ 5.1.4 จะพบว่าหน่วยแรงที่จุด A มีค่าเท่ากับ

$$\sigma = H\gamma_w + (H_A - H)\gamma_{sat}$$

เมื่อ σ = หน่วยแรงรวมที่จุด A

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

γ_{sat} = หน่วยน้ำหนักของดินในสภาวะอิ่มน้ำ

หน่วยแรงที่คำนวณได้จากสมการนี้ เรียกว่าหน่วยแรงรวม (Total Stress) โดยมีส่วนประกอบมาจากสองส่วน คือ

- **หน่วยแรงที่เกิดจากความดันน้ำในช่องว่างที่มีอยู่โดยต่อเนื่องในช่องว่าง มีขนาดเท่ากันในทุกทิศทาง เรียกว่าหน่วยแรงดันน้ำ หรือความดันน้ำในโพรง** (Pore Water Pressure)
- **หน่วยแรงที่เกิดจากแรงระหว่างจุดสัมผัสของเม็ดดิน** (Intergmular Force) **หรือหน่วยแรง** ประสิทธิผล (Effective Stress) โดยหน่วยแรงประสิทธิผลหาได้จากผลรวมของส่วนประกอบในแนวดิ่งของแรงระหว่างจุดสัมผัสระหว่างเม็ดดิน ต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ของมวลดิน ดังนั้น

$$\sigma' = [P_{1(v)} + P_{2(v)} + P_{3(v)} + P_{4(v)} + \ldots + P_{n(v)}]/A'$$

เมื่อ σ' = หน่วยแรงประสิทธิผลที่จุด A

A' = พื้นที่หน้าตัดของมวลดิน

$P_{1(v)} + P_{2(v)} + P_{3(v)} + P_{4(v)} + \ldots + P_{n(v)}$ = ส่วนประกอบของแรงในแนวดิ่งระหว่างจุดสัมผัสระหว่างเม็ดดิน

ถ้า a_s คือ พื้นที่หน้าตัด ณ จุดสัมผัสระหว่างเม็ดดิน นั่นคือ $a_s = a_1+a_2+a_3+a_4+\ldots+a_n$ ดังนั้น พื้นที่หน้าตัดของส่วนที่เป็นน้ำจะเท่ากับ $A'-a_s$

$$\sigma = \sigma' + u(A'-a_s)/A' = \sigma'+u(1-a'_s)$$

เมื่อ $u = H_A\gamma_w$ = หน่วยแรงดันน้ำที่จุด A

$a'_s = a_s/A'$

โดยปกติค่า a'_s มีค่าน้อยมากและสามารถตัดทิ้งได้ในทางปฏิบัติ สมการจึงเป็น

$$\sigma = \sigma' + u$$

เมื่อ σ = **หน่วยแรงรวม**

U = **หน่วยแรงดันน้ำ**

σ' = **หน่วยแรงประสิทธิผล**

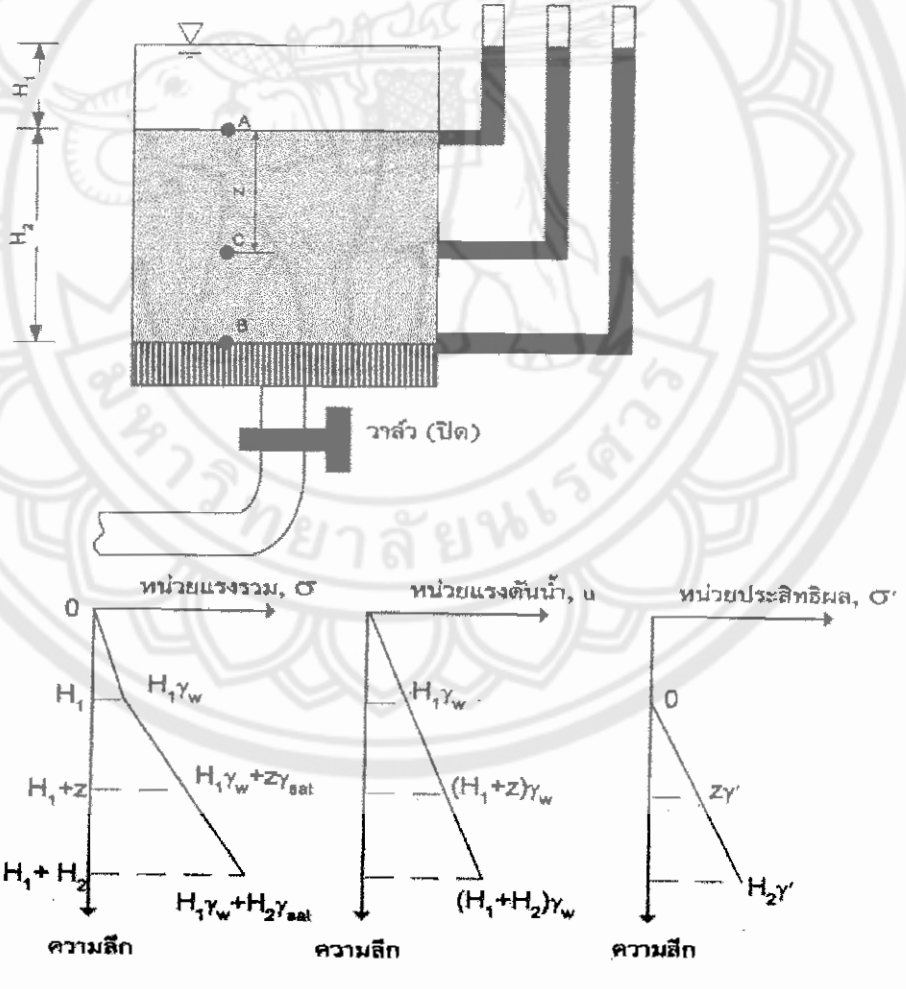
ในทางปฏิบัติหน่วยแรงประสิทธิผลจะไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่จะหาได้จากหน่วยแรงรวม และหน่วยแรงดันน้ำในมวลดิน ดังนั้นหน่วยแรงประสิทธิผลที่จุด A ในรูปที่ 5.1.4 จึงมีค่าเป็น

$$\sigma' = [H\gamma_w + (H_A - H)\gamma_{sat}] - H_A\gamma_w$$

$$= (H_A - H)(\gamma_{sat} - \gamma_w)$$

$$= (H_A - H)\gamma'$$

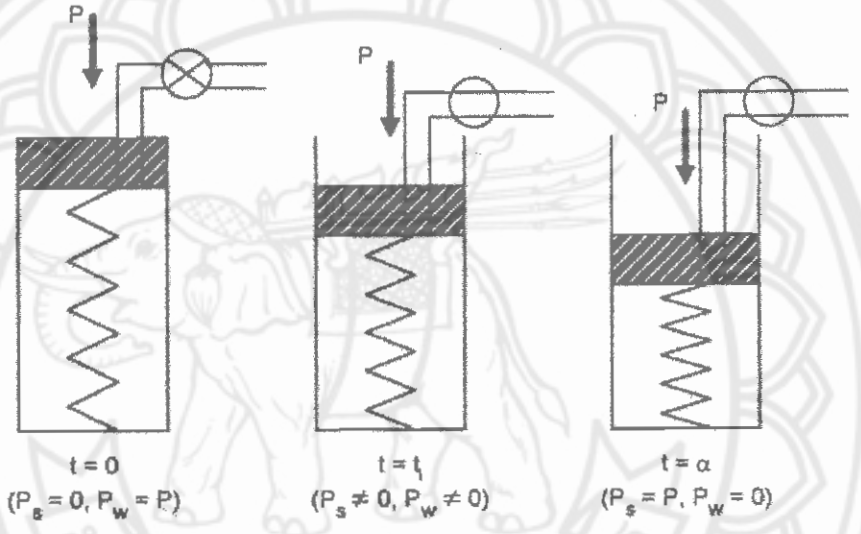
เมื่อ γ' = หน่วยน้ำหนักพยุงของดิน



รูปที่ 5.1.5 แสดงการคำนวณหาหน่วยแรงรวม หน่วยแรงดันน้ำ หน่วยแรงประสิทธิผลในดินแปรตามความลึกของชั้นดิน

5.1.10 Consolidation

การอธิบายพฤติกรรมของการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ จะใช้แบบจำลองของสปริงและลูกสูบ แบบจำลองประกอบไปด้วย ถังซึ่งบรรจุน้ำ โดยมีสปริง ลูกสูบ และลิ้นหรือวาล์วสำหรับปิดหรือเปิด ดังแสดงในรูปที่ 5.1.6 โดยสปริงจะเปรียบเสมือนเม็ดดิน วาล์วเปรียบเสมือนความซึมน้ำได้ของดิน

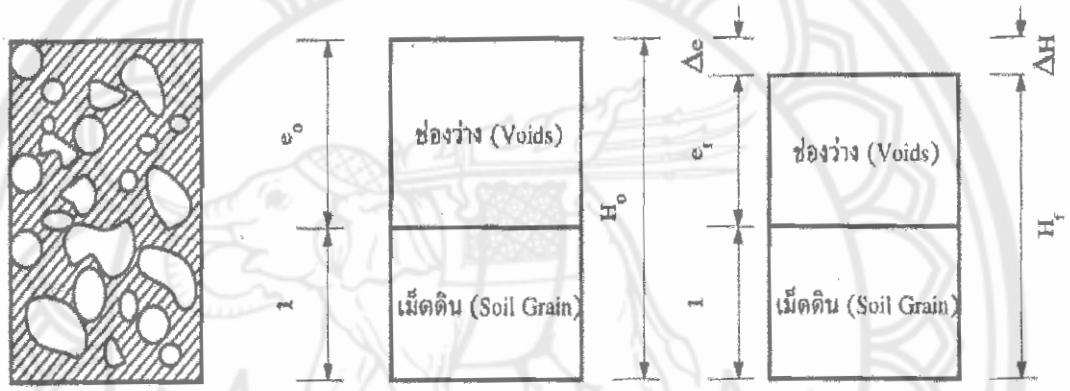


รูปที่ 5.1.6 แบบจำลองการเกิดการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำ

- ในช่วงเริ่มต้น (t=0) เมื่อมีน้ำหนักมากระทำต่อกระบอกลูกสูบ ในขณะที่วาล์วยังคงปิดอยู่ แรงดันน้ำภายในกระบอกสูบจะเพิ่มขึ้น เพื่อต้านน้ำหนักที่กดลงมา ขณะนี้แรงในสปริงจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากไม่มีการยุบตัวของสปริง ในขณะที่แรงดันน้ำจะมีค่าเท่ากับแรงที่มากด
- เมื่อเวลาผ่านไป ($t = t_1$) เมื่อวาล์วเปิด น้ำจะค่อยๆไหลออกจากกระบอก จึงทำให้สปริงยุบตัวลงมา แรงดันน้ำลดลง นั่นคือแรงภายนอกที่กดจะถูกต้านทานโดยแรงจากสปริงบวกกับแรงดันน้ำ
- เมื่อเวลาผ่านไปนานมากๆ ($t = \infty$) สปริงยุบตัวลงมามากที่สุด แรงดันน้ำที่เพิ่มขึ้นมาจากตอนเริ่มต้นลดลงจนเป็นศูนย์ในตอนนี้ ขณะนี้แรงภายนอกถูกต้านทานโดยสปริงทั้งหมด

การรับแรงของสปริงเปรียบได้กับการรับแรงของเม็ดดิน และการยุบตัวของสปริงเปรียบเสมือนการยุบตัวของดินเนื่องจากการเกิดขบวนการอัดตัวคายน้ำ จะเห็นได้ว่าการเกิดขบวนการนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับคุณสมบัติความซึมน้ำได้ของดิน และเนื่องจากดินเหนียวมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ต่ำ ดังนั้นการเกิดการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำในดินเหนียวจะเกิดช้ามาก

การคำนวณหาปริมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำทำโดยการใช้ไดอาแกรมดังแสดงในรูปที่ 5.1.7 โดยในรูปแสดงความสัมพันธ์ของเทอมต่างๆที่จำเป็นที่จะต้องใช้ในการคำนวณ โดยสมมุติให้ปริมาตรของส่วนที่เป็นเม็ดดินเท่ากับหนึ่งหน่วย



รูปที่ 5.1.7 ไดอาแกรมสำหรับการคำนวณการทรุดตัว

เนื่องจากส่วนที่เป็นเม็ดดินไม่มีการยุบตัว และเกิดการยุบตัวหนึ่งมิติในแนวดิ่งเท่านั้น โดยพิจารณาให้ความเครียดในแนวด้านข้าง มีค่าเป็นศูนย์ ปัญหาในทางวิศวกรรมปฐพีภายใต้สมมุติฐานที่ความเครียดในแนวด้านข้างเป็นศูนย์ ได้แก่ กรณีน้ำหนักแผ่กระทำต่อดินมีความกว้างมากกว่าความหนาของชั้นดินที่ทรุดตัวมากๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.1.8 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของดินจึงมีค่าเท่ากับการเปลี่ยนแปลงความหนา ต่อ หนึ่งหน่วยความหนาหรือความเครียดของดิน ดังนั้น จะได้ว่า

$$\varepsilon = \Delta H/H_0 = \Delta e/(1+e_0)$$

$$\text{การทรุดตัว} = s = \Delta H = H_0\Delta e/(1+e_0)$$

เมื่อ H_o = ความสูงของดินตอนเริ่มต้น

H_f = ความสูงของดินตอนสิ้นสุดการทรุดตัว

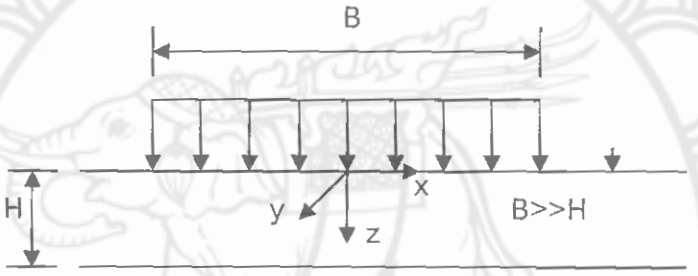
e_o = อัตราส่วนโพรงตอนเริ่มต้น

e_f = อัตราส่วนโพรงตอนสิ้นสุดการทรุดตัว

Δe = ผลต่างของอัตราส่วนโพรง = $e_o - e_f$

ΔH = ผลต่างของความสูงของดิน = $H_f - H_o$

สมการนี้เป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณการทรุดตัวของดิน โดยต้องจำไว้เสมอว่าอยู่ภายใต้สมมุติฐานที่ว่าความเครียดในแนวด้านข้างเป็นศูนย์



รูปที่ 5.1.8 ลักษณะปัญหาที่สามารถพิจารณาเพียงความเครียดหนึ่งมิติ

5.1.11 Calculation of Primary Consolidation Settlement

จากหัวข้อที่ 5.1.10 เราสามารถคำนวณปริมาณการทรุดตัวแบบอัดตัวคายน้ำได้เมื่อทราบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนช่องว่างโดยอาศัยค่าพารามิเตอร์การทรุดตัวที่หาได้จากการทดลองการยุบตัวของดินทางเดียว

พิจารณาดินเหนียวอิ่มตัวที่มีความหนา H ดังรูปที่ 5.1.9 น้ำหนักกระทำต่อดินทำให้หน่วยแรงในชิ้นส่วนเล็กๆของดินเพิ่มขึ้นเท่ากับ $\Delta\sigma_v$ ซึ่งจะเท่ากับ $\Delta\sigma_v'$ (ที่เวลา = ∞)

$$ds = \Delta e/(1+e_o)dz$$

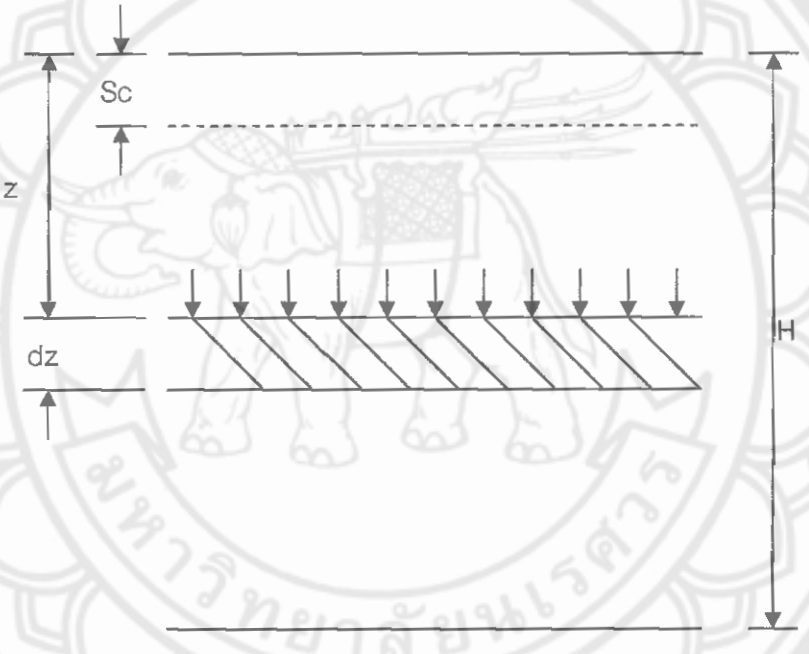
$$s = \int_0^H \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{vi} z_i, H = \sum_{i=1}^{n} z_i$$

เมื่อ s = ปริมาณการทรุดตัวจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ

ε_{vi} = ความเครียดในแนวดิ่งของชั้นดินแต่ละชั้น

z_i = ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น

H = ความหนาทั้งหมดของชั้นดินที่ทรุดตัว



รูปที่ 5.1.9 รูปตัดแสดงการทรุดตัวของชั้นดิน

คำนวณจากสัมประสิทธิ์การยุบตัว หรือสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

$$s = \int_0^H \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{vi} Z_i$$

จากสมการ

นั่น คือ

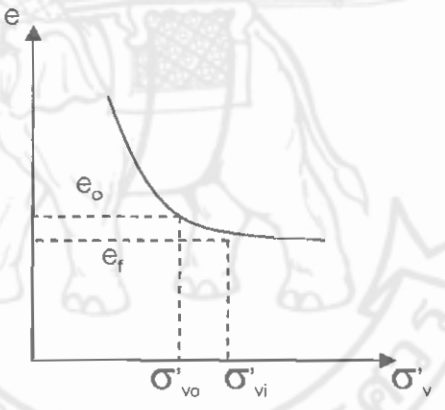
$$s = \int_0^H m_v \Delta \sigma'_v \, dz = \sum_{i=1}^{n} m_{vi} \Delta \sigma'_{vi} z_i$$

เมื่อ s = ปริมาณการทรุดของชั้นดินจากขบวนการอัดตัวคายน้ำ

m_{vi} = สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของชั้นดินแต่ละชั้น

$\Delta\sigma'_{vi}$ = การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงกดทับของชั้นดินแต่ละชั้น

z_i = ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น



รูปที่ 5.1.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนโพรงกับหน่วยน้ำหนักกดทับ

เนื่องจากว่า อัตราส่วนโพรงและหน่วยน้ำหนักกดทับมักจะไม่สัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 5.1.10 ในกรณีที่ชั้นดินมีความหนามาก อาจจำเป็นต้องแบ่งชั้นดิน เพื่อให้ได้ค่า$\Delta\sigma'_v$ไม่มาก จึงจะได้ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโพรงกับหน่วยน้ำหนักกดทับใกล้เคียงกับเส้นตรง

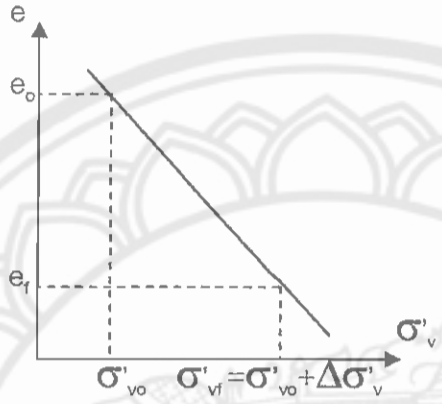
คำนวณจากดัชนีการอัดตัว ดัชนีการอัดตัวซ้ำ หรือ อัตราส่วนการอัดตัว อัตราส่วนการอัดตัวซ้ำ

จากสมการ

$$s = \int_0^H \varepsilon_v dz = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_{vi} z_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta e_i}{1 + e_0} z_i$$

ดังนั้น ปริมาณการทรุดตัวจากขบวนการอัดตัวคายน้ำได้ของชั้นดินแต่ละชั้น หาได้เป็นกรณีดังนี้ คือ

- ดินเหนียวสภาพอัดแน่นปรกติ

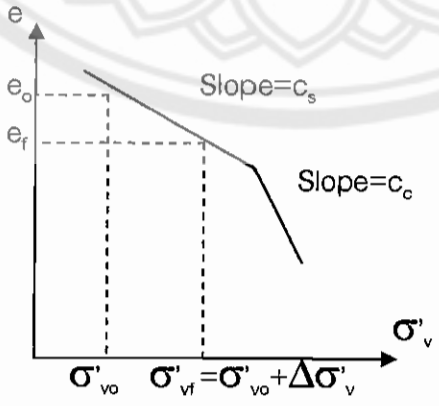


$$s_i = c_{ci}\frac{z_i}{1+e_{oi}}\log\frac{\sigma'_{voi}+\Delta\sigma'_{vi}}{\sigma'_{voi}}$$

$$= CR_i z_i \log\frac{\sigma'_{voi}+\Delta\sigma'_{vi}}{\sigma'_{voi}}$$

- ดินเหนียวสภาพอัดแน่นเกินปรกติ

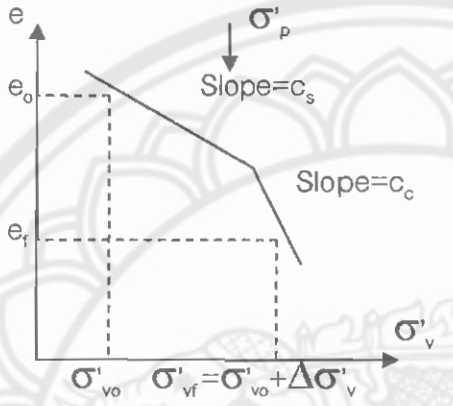
กรณี $\sigma'p$ มากกว่าหรือเท่ากับ $\sigma'f$



$$s_i = c_{ri}\frac{z_i}{1+e_{oi}}\log\frac{\sigma'_{voi}+\Delta\sigma'_{vi}}{\sigma'_{voi}}$$

$$= RR_i z_i \log \frac{\sigma'_{voi} + \Delta\sigma'_{vi}}{\sigma'_{voi}}$$

กรณี σ'_p น้อยกว่า σ'_f



$$S_i = c_{ri} \frac{z_i}{1+e_{oi}} \log \frac{\sigma'_{voi} + \Delta\sigma'_{vi}}{\sigma'_{voi}}$$

$$= RR_i z_i \log \frac{\sigma'_{pi}}{\sigma'_{voi}} + CR_i Z_i \log \frac{\sigma'_{voi} + \Delta\sigma'_{vi}}{\sigma'_{pi}}$$

เมื่อ C_{ci} = ดัชนีการอัดตัวของชั้นดินแต่ละชั้น

C_{ri} = ดัชนีการอัดตัวซ้ำของชั้นดินแต่ละชั้น

CR = อัตราส่วนการอัดตัวของชั้นดินแต่ละชั้น

RR = อัตราส่วนการอัดตัวซ้ำของชั้นดินแต่ละชั้น

σ'_{voi} = หน่วยแรงกดทับของชั้นดินแต่ละชั้น

$\Delta\sigma'_{vi}$ = การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงกดทับ

σ'_{pi} = หน่วยแรงกดทับสูงสุดในอดีตของชั้นดินแต่ละชั้น

e_{oi} = อัตราส่วนโพรงของชั้นดินแต่ละชั้น

z_i = ความหนาของชั้นดินแต่ละชั้น

ดร. สุรชัตร (2540) ได้ให้คำแนะนำในการแบ่งชั้นดินอย่างคร่าวๆในการคำนวณหาปริมาณการทรุดตัว โดยยึดหลักว่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณการทรุดตัวต้องไม่แตกต่างกันมากในชั้นนั้นๆ

พารามิเตอร์ได้แก่ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงปริมาตร ดัชนีการอิ่มตัว ดัชนีการอัดตัวช้า ฯลฯ ค่าหน่วยแรงที่เพิ่มขึ้น ต้องไม่ต่างกันภายในชั้นดิน

5.1.12 Shear Strength

กำลังเฉือนของดิน หมายถึง กำลังต้านทานต่อการเฉือนสูงสุดที่ดินจะสามารถรับได้โดยไม่วิบัติ หรือพังทลาย หลักการของเรื่องกำลังเฉือนของดินเป็นหลักการสำคัญที่ต้องศึกษา เพื่อใช้ในการหาความสามารถของดินต่อการต้านทานน้ำหนักที่มากระทำในรูปแบบต่างๆ และเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมปฐพี เช่นการออกแบบฐานราก

โดยทั่วไปกำลังเฉือนของดินมักเกิดจาก3รูปแบบดังนี้

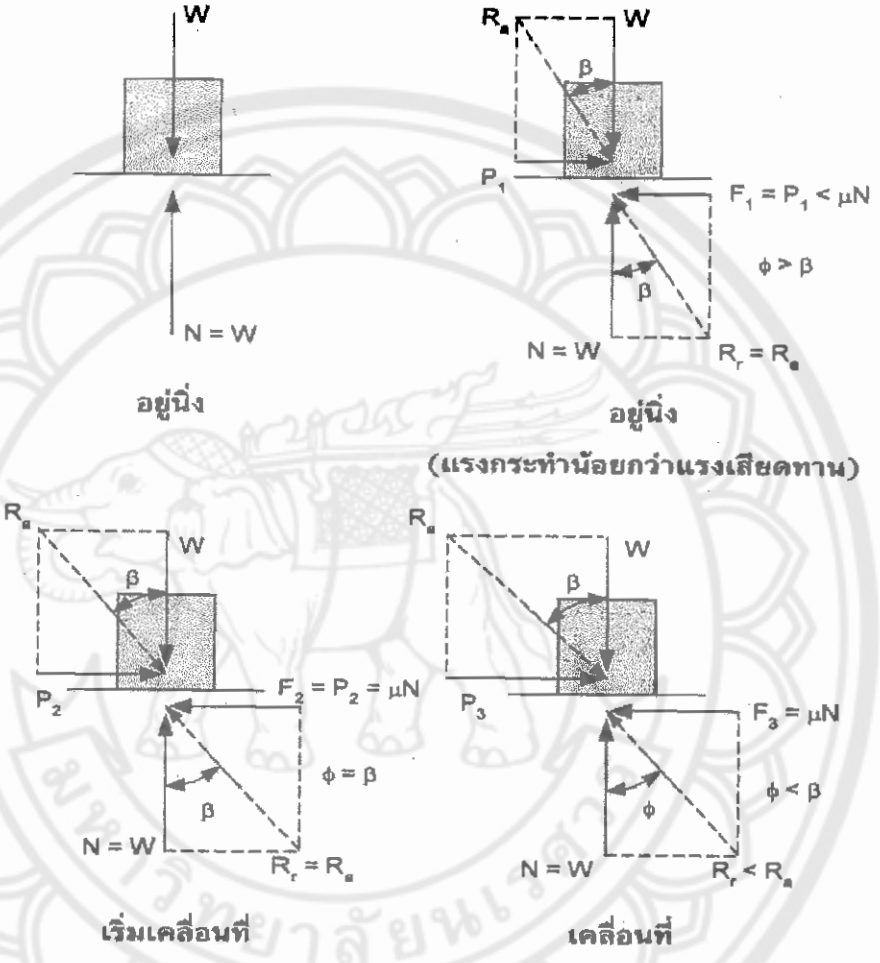
1. แรงที่เกิดจากการขัดกันระหว่างเม็ดดิน
2. แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวเม็ดดินซึ่งมีค่าแปรผันตามหน่วยแรงตั้งฉากระหว่างเม็ดดิน
3. แรงเชื่อมแน่นระหว่างพื้นผิวเม็ดดินซึ่งส่วนใหญ่เป็นแรงจากประจุไฟฟ้าโดยแรงชนิดนี้จะมีค่าแปรผันตามปริมาณพื้นที่ผิว

แรงเสียดทาน

ให้พิจารณารูปที่ 5.1.11 โดยอาศัยกฎของนิวตัน แรงปฏิกิริยาตั้งฉากย่อมมีค่าเท่ากับน้ำหนักของกล่องแต่มีทิศตรงกันข้ามกัน รูปแรกแสดงให้เห็นว่าเมื่อไม่มีแรงผลักกระทำต่อกล่อง แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวจะเพิ่มขึ้นตามแรงผลักที่กระทำต่อกล่องโดยสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรง คือแรงเสียดทานเท่ากับแรงผลักกล่อง เพื่อให้กล่องยังคงอยู่ในสภาวะสมดุล ดังแสดงในรูปที่สอง จนกระทั่งเมื่อแรงผลักมีค่าเท่ากับ μN หรือ $N\tan\phi$ ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของแรงเสียดทาน เมื่อ μ เรียกว่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และ ϕ เรียกว่ามุมเสียดทาน ดังแสดงในรูปที่สาม กล่อง**จึงเริ่มจะเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่งเนื่องจากแรงลัพธ์ที่กระทำไม่เท่ากับศูนย์ตามกฎของนิวตัน โดยปรกติค่า สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับลักษณะของพื้นผิว ความหยาบและชนิดของวัสดุ**

กำลังเฉือนของดินบางส่วนก็มีรากฐานมาจากหลักการข้างต้น เพียงแต่พฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในดินค่อนข้างมีความซับซ้อนกว่า โดยแรงเสียดทานอาจเกิดได้จากทั้งการเลื่อนไถล หรือการ

หมุน การขัดกันระหว่างเม็ดดิน และแรงเชื่อมแน่น ก็มีผลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นเม็ดดิน



รูปที่ 5.1.11 แรงเสียดทานระหว่างพื้นผิว

5.1.13 Unconfined Compression Test

รูปที่ 5.1.12 เครื่องมือการทดสอบการกดอัดแกนเดียว

การทดสอบวิธีนี้เป็นรูปแบบพิเศษของการทดสอบแบบแรงอัดสามแกน วิธีการทดสอบนี้จะให้ความดันรอบด้าน เท่ากับศูนย์ การทดสอบจึงกระทำได้เฉพาะกับดินเหนียวเท่านั้น สำหรับดินทรายไม่สามารถทำได้

การทดสอบนี้ซึ่งความดันรอบด้านเป็นศูนย์ นั้นหมายความว่าหน่วยแรงหลักน้อยที่สุด จะมีค่าเป็นศูนย์ ส่วนหน่วยแรงหลักมากที่สุด มีค่าเท่ากับหน่วยแรงตามแนวแกน หรือกำลังกดแบบแรงอัดแกนเดียว

$$\sigma_1 = P/A = q_u$$

เมื่อ P = แรงตามแนวแกน

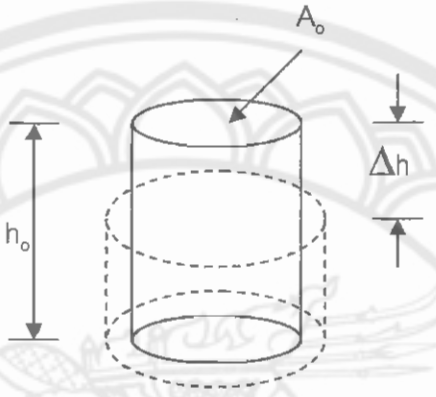
A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดิน

q_u = กำลังกดแบบแรงอัดแกนเดียว

พื้นที่หน้าตัดของดินสามารถคำนวณหาได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่าปริมาตรของตัวอย่างดินมีค่าคงที่เสมอ นั่นคือ

$$A_0 h_0 = A(h_0 - \Delta h)$$

$$A = A_0 h_0/(h_0 - \Delta h) = A_0/(1-\varepsilon_a) \approx A_0(1+\varepsilon_a)$$



รูปที่ 5.1.13 ตัวอย่างดินในการทดสอบการกดอัดแกนเดียว

พิจารณาสมการ

$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2(45+\phi/2)+2c\tan(45+\phi/2)$$

เมื่อ $\sigma_3 = 0$

$$\sigma_1 = 2c\tan(45+\phi/2)$$

จะเห็นว่าสำหรับดินที่มีทั้งมุมเสียดทานภายใน และหน่วยแรงเชื่อมแน่น จะไม่สามารถหาเส้นขอบเขตการวิบัติได้แน่นอน เพราะในสมการติดค่าตัวแปร 2 ค่าคือ c และ ϕ การทดสอบนี้จึงเหมาะสมที่จะทดสอบกับดินเหนียวที่อิ่มน้ำเท่านั้น