หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและทบทวนงานในอดีต

ดินในความหมายเชิงวิศวกรรมหมายถึงมวลรวมของแร่ธาตุต่างๆที่ไม่ยึดแน่น(Uncemented) และส่วนที่เป็นอินทรีย์สารซึ่งรวมกันอยู่ในรูปของอนุภาคของแข็ง (Solid particles) รวมกับส่วนที่เป็นน้ำและอากาศซึ่งแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของแข็ง(DAS, 1994) ในด้านวิศวกรรมโดยเฉพาะทางวิศวกรรมโยธา ดินได้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในหลายๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นงานถนนหรืองานชลประทาน เช่นงานเขื่อน เป็นต้น รวมทั้งยังใช้สำหรับรองรับองค์อาคารต่างๆด้วย ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องศึกษาคุณสมบัติต่างๆไม่ว่าจะเป็น กำลังรับแรงของดิน, การกระจายของเม็ดดิน, ลักษณะและขนาดเม็ดดิน, คุณสมบัติด้านการระบายน้ำ, คุณสมบัติด้านการยุบอัดตัว เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในด้านการออกแบบและตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

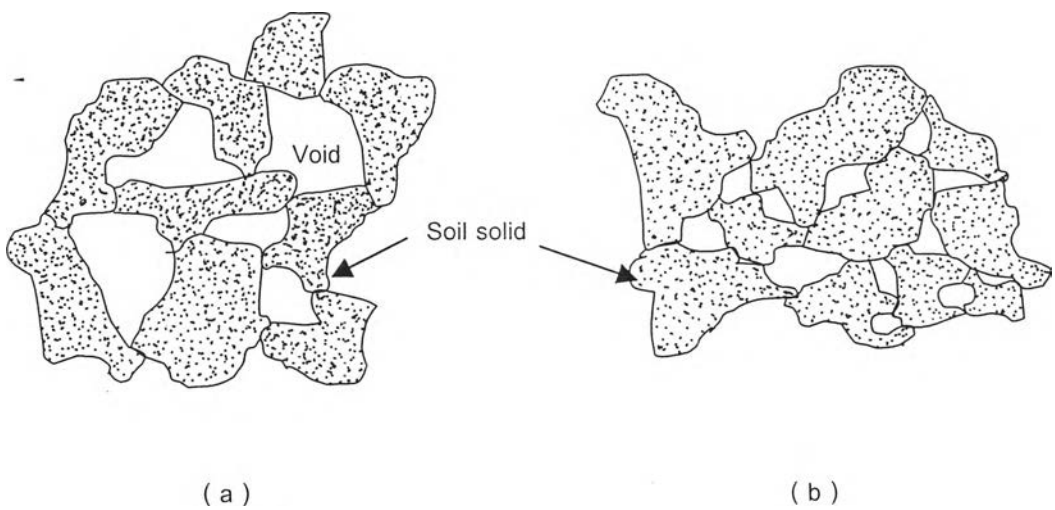
2.1 โครงสร้างของดิน (Soil Structure)

ในธรรมชาติทั่วไปของดิน โครงสร้างของดินจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ อนุภาคเม็ดดิน(Soil solid), น้ำและอากาศ ในส่วนที่เป็นอนุภาคเม็ดดินจะมีการจัดเรียงตัวของโครงสร้างดินได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของเม็ดดินเอง, ขนาดของเม็ดดินและองค์ประกอบของแร่ธาตุต่างๆในเม็ดดินนั้นรวมทั้งน้ำในดินด้วย โครงสร้างของดินที่แตกต่างกันจะทำให้คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินแตกต่างกันด้วย ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางด้านการรับน้ำหนัก, การระบายน้ำหรือการยุบอัดตัวก็ตาม

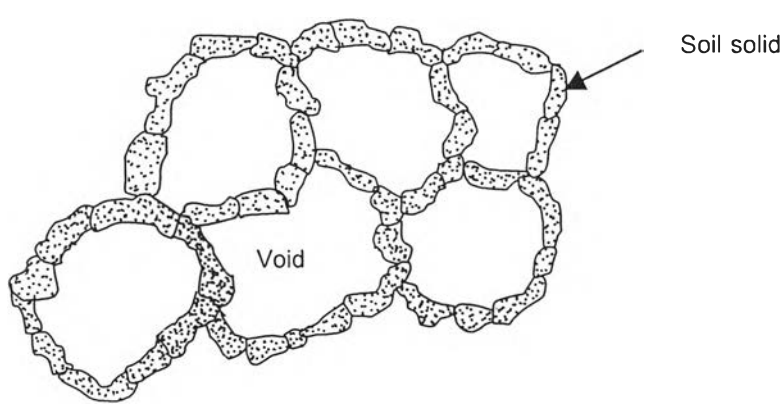
2.1.1 โครงสร้างของดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesionless Soil)

ในดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวภายในหรือ Cohesionless Soil เช่นกรวดทรายต่างๆ ซึ่งมีลักษณะอนุภาคเป็นก้อนมีเหลี่ยมมุมหรือกลมมนนั้น (รูปที่ 2.8) สามารถที่จะจัดเรียงอนุภาคได้ 2 แบบคือ Single-grained และ Honeycombed ดังรูปที่ 2.1aและรูปที่2.1bโครงสร้างแบบ Single-grained นั้น

อนุภาคของเม็ดดินจะอยู่ในสภาวะที่มีเสถียรภาพ แต่ละอนุภาคจะสัมผัสกับอนุภาคที่อยู่โดยรอบ และความหนาแน่นของมวลดินจะขึ้นกับขนาด, ลักษณะและการกระจายของอนุภาคเม็ดดินเป็นหลัก ส่วนโครงสร้างแบบ Honeycombed นี้จะพบเมื่ออนุภาคของเม็ดดินเป็นพวกทรายละเอียดหรือทรายแป้ง โครงสร้างแบบนี้อนุภาคเม็ดดินจะจัดตัวเป็นเส้นโค้งดังรูปที่2.2 เป็นผลทำให้เกิดช่องว่างขนาดใหญ่มาก ดังนั้นเมื่อมวลดินรับน้ำหนักมากๆจนโครงสร้างดินรับไม่ไหวก็จะทำให้เกิดการทรุดตัวขนาดใหญ่ด้วย โครงสร้างในลักษณะนี้ก่อให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพของมวลดิน



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างแบบ Single-grained: (a)แบบหลวม (b)แบบแน่น



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างแบบ Honeycombed

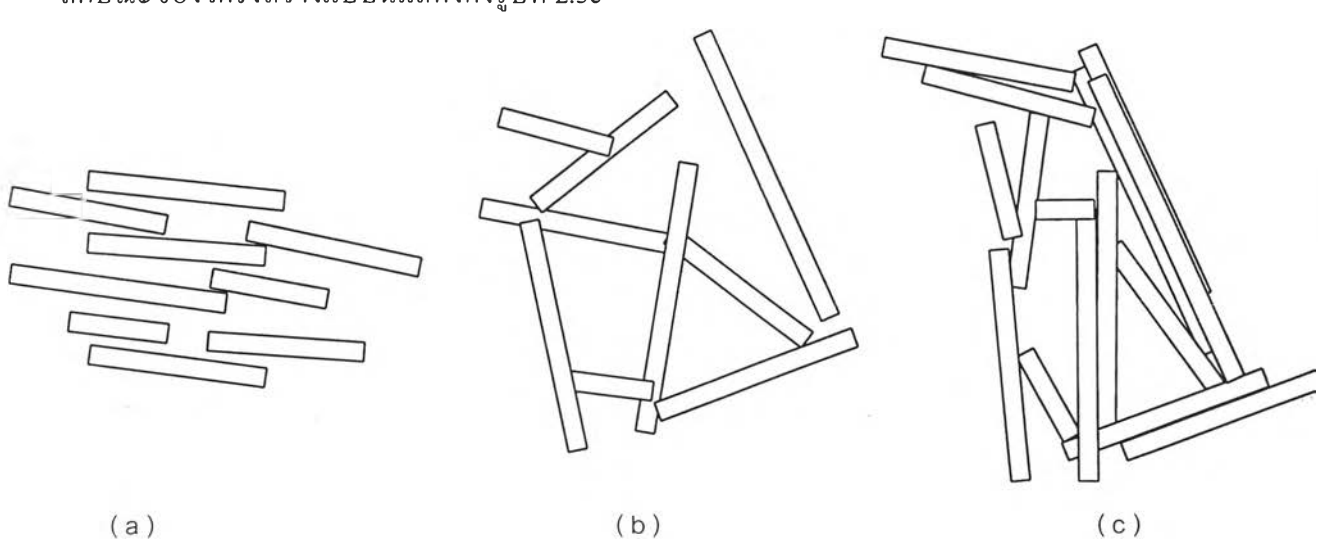
2.1.2 โครงสร้างของดินที่มีแรงยึดเหนี่ยว (Cohesive Soil)

สำหรับดินที่มีแรงยึดเหนี่ยวภายใน(Cohesive Soil) โครงสร้างของดินจะขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงตัวของอนุภาคของเม็ดดินซึ่งจัดได้ 3 แบบคือ

-แบบ Dispersion การจัดเรียงตัวของโครงสร้างลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคของเม็ดดินอยู่ห่างกันมาก ซึ่งจะทำให้แรงระหว่างอนุภาคของเม็ดดินเป็นแรงดึงดูด(Van der Waal's forces) น้อยกว่าแรงผลัก อนุภาคจึงจัดเรียงตัวแบบกระจัดกระจายและมีแนวโน้มที่อนุภาคจะวางตัวขนานกันเมื่อตกตะกอนโดยอิสระดังรูปที่ 2.3a

-แบบ Non-salt flocculation ลักษณะการจัดเรียงตัวแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของเม็ดดินเริ่มเข้ามาชิดกันมากขึ้นและอาจทำให้เกิดการชนกันระหว่างปลายกับผิวของอนุภาค 2 อนุภาค ทำให้เกิดการดึงดูดซึ่งกันและกันขึ้น และเมื่อเกิดลักษณะนี้มากขึ้นๆ อนุภาคเหล่านี้ก็จะตกตะกอนเป็นแบบ Non-salt flocculation ดังรูปที่ 2.3b

-แบบ Salt flocculation โครงสร้างลักษณะนี้จะคล้ายกับ แบบ Non-salt flocculation แต่จะแตกต่างกันตรงที่อนุภาคของดินจะมีแนวโน้มที่จะเรียงตัวขนานกันและชิดกันมากกว่าที่จะเรียงตัวแบบ Flocculent ทั่วไป เนื่องจาก ประจุจากเกลือจะมีผลไปลดแรงผลักระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน ลักษณะของโครงสร้างแบบนี้แสดงดังรูปที่ 2.3c



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะโครงสร้างของดิน (a) Dispersion, (b) Non-salt flocculent และ (c) Salt flocculent (ดัดแปลงจาก Lambe, 1958)

อนุภาคดินเหนียวที่ตกตะกอนในน้ำทั่วไปจะมีโครงสร้างก้ำกึ่งระหว่างแบบ Dispersion และ Flocculent แต่ถ้าอนุภาคดินเหนียวตกตะกอนในน้ำทะเลซึ่งมีประจุมาก แนวโน้มของโครงสร้างของดินนี้จะมีลักษณะที่เป็น Flocculent มากจะมีช่องว่าง(Void)มากทำให้มวลดินมีน้ำหนักเบา

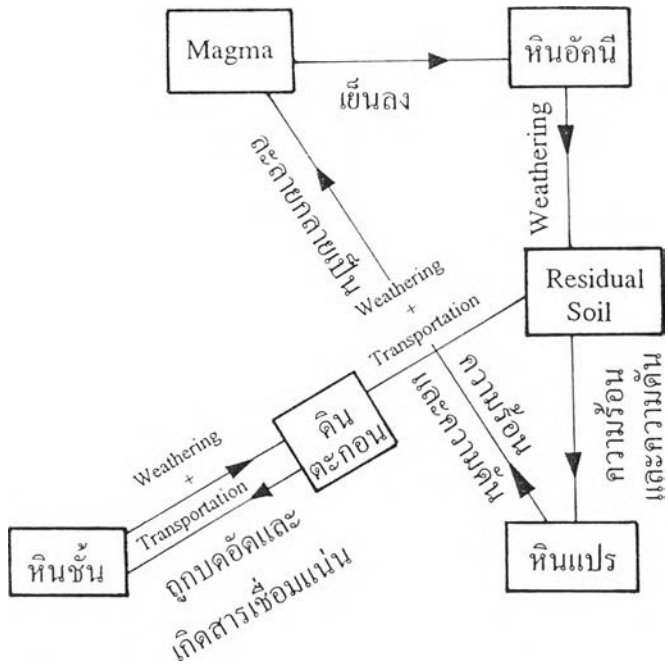
2.2 ลักษณะของชั้นดินกรุงเทพฯ

ดินส่วนใหญ่จะหมายถึงเม็ดดิน ซึ่งเม็ดดินนี้จะเกิดจากการผุกร่อนและการย่อยสลายของหิน ตามขบวนการ Weathering ซึ่งเป็นได้ทั้ง Mechanical Disintegrationและ Chemical Deterioration เพราะเหตุนี้เองเม็ดดินจึงประกอบไปด้วยแร่ธาตุและสารเคมีต่างๆกันดังแสดงในรูปที่2.4 ซึ่งแสดงถึงขั้นตอนการกำเนิดของดินและหินที่เป็นวัฏจักรกลับไปกลับมา ดินที่มีลักษณะการกำเนิดที่แตกต่างกัน ก็จะมีลักษณะและองค์ประกอบที่ต่างกันด้วย โดยทั่วไปมักจะแบ่งดินตามลักษณะการกำเนิดของดินดังนี้

1.Residual Soil หมายถึงดินที่เกิดจากการย่อยสลายของหินกลายเป็นดินแล้วยังอยู่ที่เดิม ไม่ได้เคลื่อนย้ายไปที่ใด ดินที่เกิดลักษณะนี้มักเป็นดินที่ไม่มีความสม่ำเสมอและไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-Uniform and Non-Homogeneous Soil)

2.Transported Soil หรือดินตะกอนหมายถึงดินที่เกิดจากการย่อยสลายของหินกลายเป็นดินแล้วถูกเคลื่อนย้ายไปยังที่อื่น โดยวิธีต่างๆทางธรรมชาติเช่น แรงโน้มถ่วง(Gravity Force), แรงลม (Wind), แรงน้ำและการเคลื่อนตัวธารน้ำแข็ง(Glacial) ดินในลักษณะนี้จะมีความสม่ำเสมอของเนื้อดินมากกว่า Residual Soil แต่ความสม่ำเสมอนี้จะถูกแบ่งเป็นชั้นๆตามกลไกการตกตะกอนที่มีความแตกต่างกัน

ดินกรุงเทพฯจะมีลักษณะการกำเนิดของชั้นดินเป็นแบบ Transported Soil โดยแยกย่อยเป็นดินตะกอนชนิดดินตะกอนชายฝั่ง (Marine Deposit) ซึ่งเป็นดินทรายเม็ดหยาบที่มีความสม่ำเสมอหรือดินเม็ดละเอียดที่มีอินทรีย์สารปะปน, อัดแน่นพอสมควรและมีความไว (Sensitive) และดินตะกอนปากแม่น้ำ (Alluvial Deposit) ซึ่งส่วนมากจะเป็นดินเม็ดละเอียดหรือดินเหนียวอ่อน ที่มีการทรุดตัวได้สูง



รูปที่ 2.4 วัฏจักรทางธรณีวิทยา(สุรฉัตร, 2540)

ลักษณะของชั้นดินกรุงเทพฯโดยทั่วไปจะมีลักษณะแยกเป็นชั้นๆค่อนข้างชัดเจน สลับกันไปมาระหว่างชั้นดินเหนียวอ่อน, ชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทราย จากการศึกษาในอดีต ได้มีผู้ศึกษาลักษณะของชั้นดินกรุงเทพฯ แล้วแสดงเป็นภาพตัดของชั้นดินในลักษณะต่างๆ เช่น รูปที่2.5 แสดงลักษณะของสภาพชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯโดยทั่วไป จากระดับตั้งแต่ผิวดินลงไปถึงที่ระดับความลึก 50 เมตรจากผิวดิน และรูปที่2.6 และรูปที่2.7 จะแสดงรูปตัดของชั้นดินกรุงเทพฯและบริเวณใกล้เคียงจากทิศเหนือไปทิศใต้และจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก เราสามารถให้รายละเอียดของชั้นดินแต่ละชั้นตามความลึกได้ดังนี้ คือ

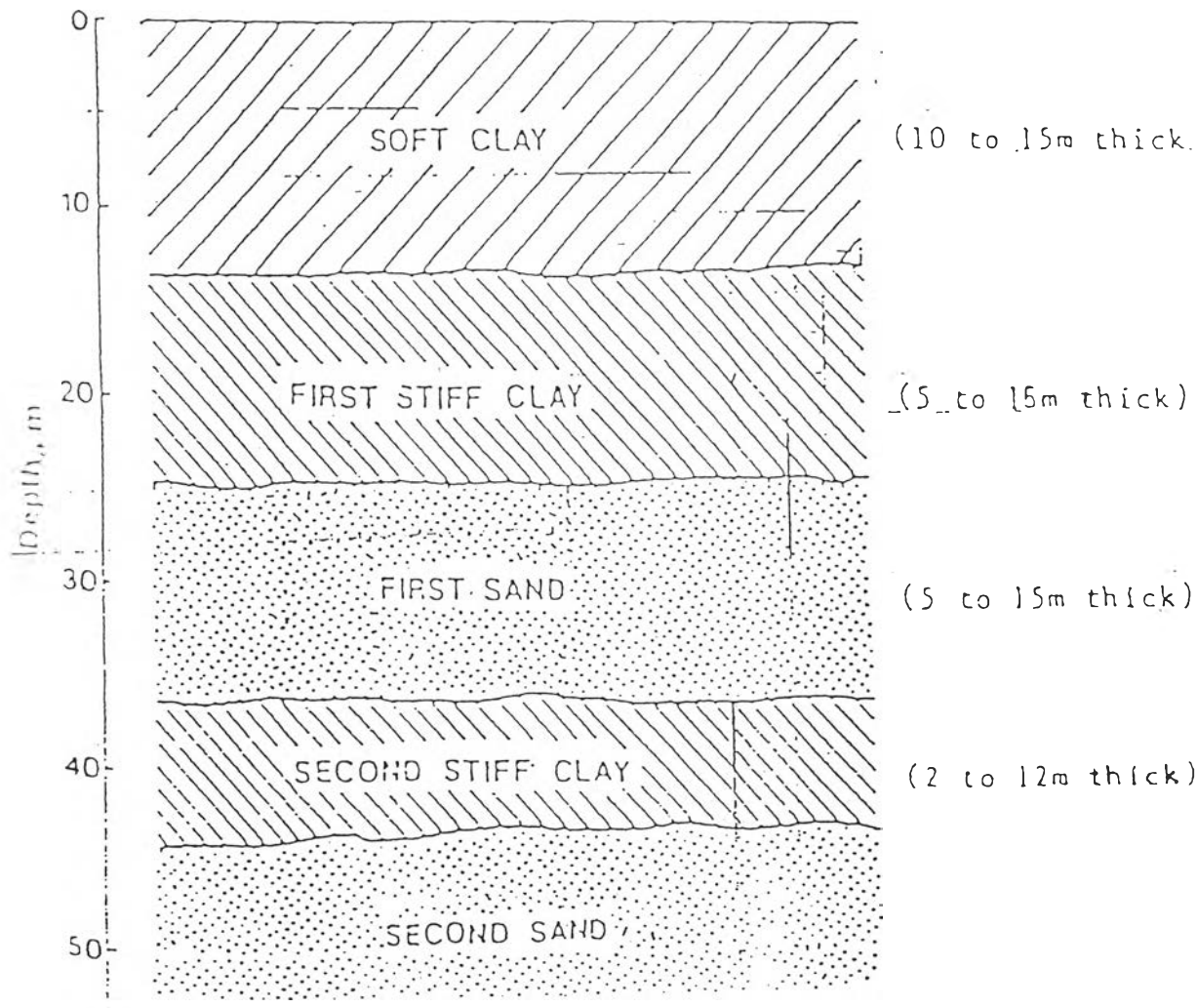
1) จากผิวดินลงไป 3-5 เมตรแรกจะมีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนที่มีความแข็งปานกลาง เรียกว่า Weathered Bangkok Clay มักเป็นดินตะกอนประเภท Terrestrial Deposit ที่อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัว เกิดจากขบวนการ Chemical Weathering และผลของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดิน มีกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำประมาณ 3 ถึง 5 ตันต่อตารางเมตร

2) ถัดจากชั้น Weathered Bangkok Clay ลงไปจนถึงความลึก 14-20 เมตรจากผิวดินจะเป็นดินเหนียวอ่อนมากถึงดินเหนียวแข็งปานกลางมีสีเทาเข้มหรือเทาปนเขียวแล้วแต่สภาพของชั้นดินตามบริเวณนั้น และอาจมีเศษเปลือกหอยปนบ้าง ซึ่งคาดว่าจะเป็น Marine clay มีค่าความไว (Sensitivity) มากจนถึงปานกลางตั้งแต่ 8 ถึง 10 เมื่อใช้การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบเวนทดสอบในสนาม แต่เมื่อความลึกมากขึ้นค่าความไวจะมีแนวโน้มลดลง ดินเหนียวในชั้นนี้จะมีลักษณะเป็นดินที่อยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ (Normally Consolidated – Slightly Over Consolidated) บริเวณที่เป็นดินเหนียวอ่อนมากจะมีค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 ตันต่อตารางเมตรเมื่อทดสอบด้วย Unconfined Compression Test

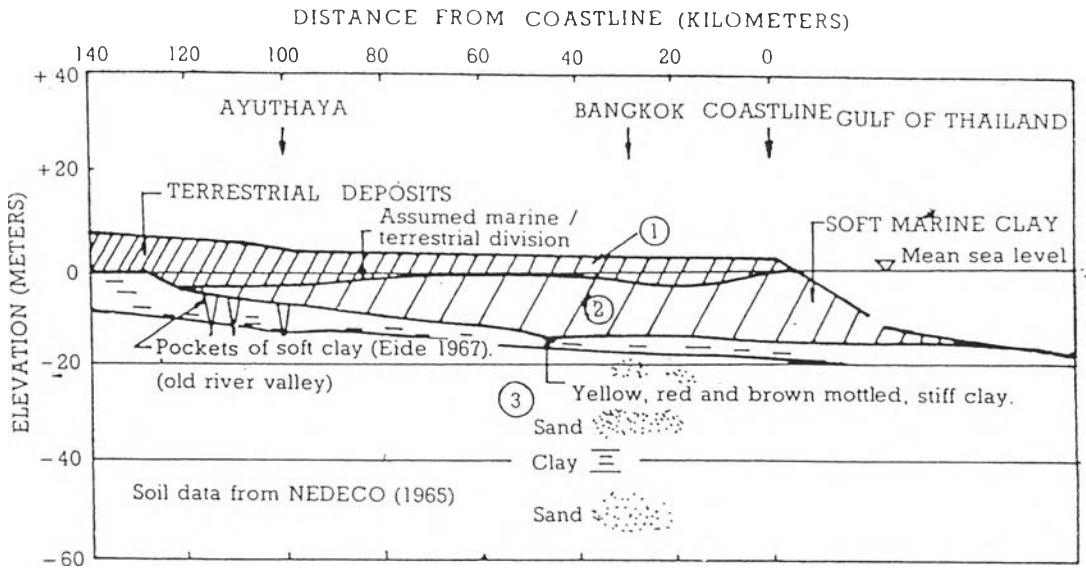
3) ที่ความลึกระหว่าง 14 ถึง 20 เมตรลงไปชั้นดินจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก (First stiff clay) ดินเหนียวชั้นนี้จะมีสีเทาน้ำตาลและมีทรายละเอียดและทรายแป้งปนอยู่เล็กน้อย เมื่อทดสอบด้วย Unconfined Compression Test จะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำมากกว่า 10 ตันต่อตารางเมตร

4) ชั้นทรายชั้นแรก (First sand layer) จะมีลักษณะเป็นดินทรายปนทรายแป้งมีความหนาของชั้นดินประมาณ 5 ถึง 15 เมตร อยู่ที่ความลึกประมาณ 20 ถึง 30 เมตรจากผิวดินลงไป มักใช้เป็นชั้นที่รองรับเสาเข็มในงานฐานรากทั่วไป

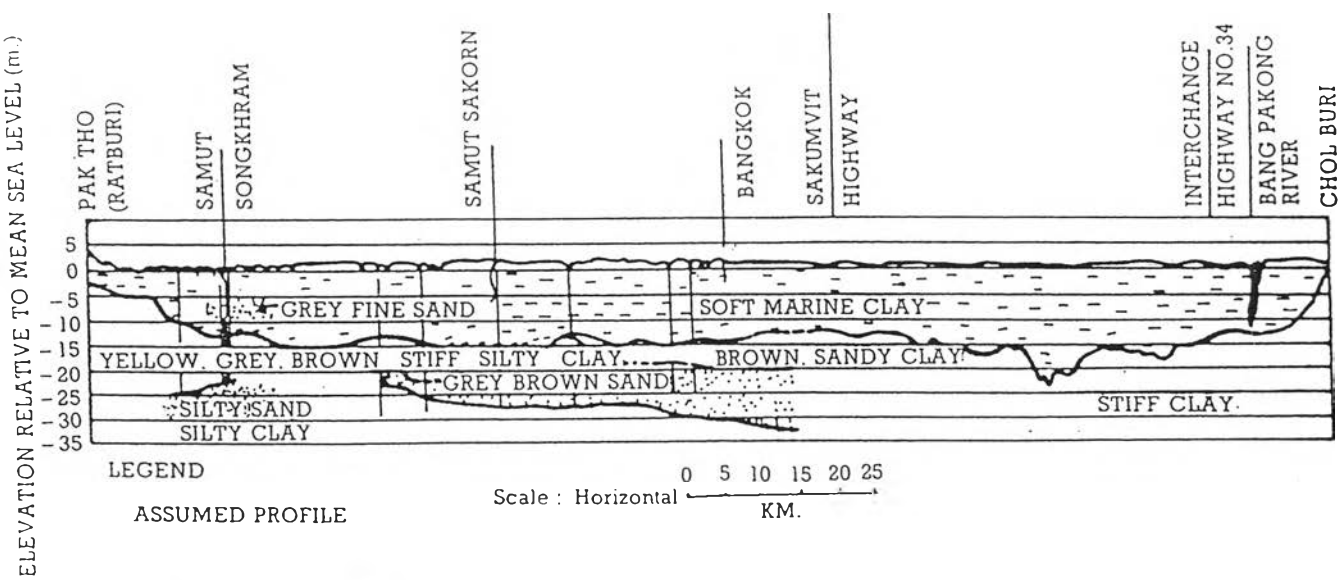
ตั้งแต่ชั้นทรายชั้นแรกลงไป ชั้นดินจะสลับกันเป็นชั้นๆระหว่างชั้นทรายและกรวดกับชั้นของดินเหนียวแข็ง จนถึงชั้นหินดานที่เชื่อว่ามีความลึกกว่า 1,500 เมตรลงไป(ว.ส.ท. 2520) ตารางที่2.1 และ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯที่เคยมีผู้ศึกษามาในอดีต



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของชั้นดินบริเวณกรุงเทพมหานครโดยทั่วไป (Kerdsuwan, 1984)



รูปที่ 2.6 รูปตัดแสดงชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯ จากทิศเหนือไปทิศใต้ (ว.ส.ท. 2520)



รูปที่ 2.7 รูปตัดแสดงชั้นดินบริเวณใกล้เคียงกรุงเทพฯจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก (ว.ส.ท. 2520)

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินกรุงเทพฯตามความลึก (Tonygate, 1978)

Soil Type	Depth (m)	Wn %	LL %	PL %	PI %	LI	t t/m	e	G
Weathered Clay	0-20	35-70	35-55		23-30	0.7-1.0	1.6-1.8	1.3-1.4	2.6-2.7
Soft Clay	1-16.	65-90	65-90	30-40	40-63	0.6-0.9	1.5-1.7	1.5-2.6	2.7
Stiff Clay	Oct-25	24-34	40-75	20-28	18-50	0.1-0.2	1.9-2.0	0.65-0.95	2.7-2.8
First Sand	14-38	17-25					1.8-2.1	0.7	2.7
Hard Clay	24-43	30-35	55-69	18-25	31-44	0.1-0.3	1.8-2.0	0.8-0.95	2.7
Second Sand	30-58	20					1.8-2.6	0.75	2.7
Hard Clay	51-67	22-26	48-70	23-25	25-46	0.1	2.04	0.65-0.72	2.74
Sand	67-85	16							2.69
Hard Clay	79-96	19-20	56-57	22-26	32-34	0.1	2.0-2.1	0.55-0.61	2.7-2.6

ตารางที่ 2.2 แสดงคุณสมบัติทางวิศวกรรมเบื้องต้นของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ (Tsai, 1982)

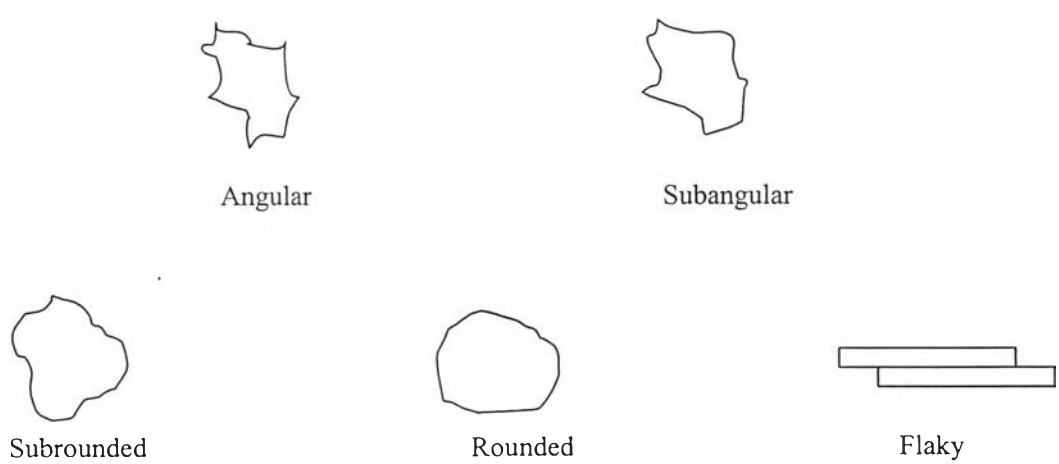
คุณสมบัติ	หน่วย	AIT	หนองงูเห่า	ปทุมวัน	ป้อ. ลฯ
Wn *	%	72-85	100-125	56-85	85-92
Wn **	%	85-70	125-65	65-48	82-62
LL	%	79-95	80-122	56-72	75-110
PL	%	30-34	25-52	28-33	26-40
PI	%	45-63	59-80	34-39	46-70
LI *	-	0.84-0.91	1.05-1.10	0.77-0.78	0.85-0.89
LI **	-	0.91-0.76	1.10-0.92	0.78-0.68	0.88-0.61
e_o	-	2.06±0.32	2.99±0.51	1.88±0.38	2.19±0.38
C_c	-	1.11±0.21	1.42±0.49	0.78±0.20	0.87±0.13
C_c	-	0.17±0.04	0.20±0.07	0.14±0.07	0.17±0.06
P_c *	t/m^2	22.6-8.2	4.5-3.5	18.1-10.1	-
P_c **	t/m^2	8.2-10.0	3.5-11.8	10.1-15.3	2.34 11.0
C_v	$10^{-4} cm^2/sec$	1.64±0.59	1.47±0.50	1.86±0.44	2.04±1.05

2.3 หลักการพื้นฐานของกำลังรับแรงเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดินเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากในงานวิศวกรรมฐานรากเพื่อที่จะสามารถออกแบบและแก้ปัญหาทางวิศวกรรมต่างๆเช่น การหาความสามารถด้านการรับน้ำหนักของฐานรากตื้นและเสาเข็ม, เสถียรภาพของลาดชันในงานเขื่อนและเนินดินหรือการวิเคราะห์แรงดันดินด้านข้างที่กระทำต่อกำแพงกันดิน เป็นต้น Skemptonและ Bishop (1954)ได้ให้นิยามของกำลังรับแรงเฉือนของดินว่าคือหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่กระทำต่อดินนั้นแล้วดินนั้นยังสามารถคงอยู่ได้ Hvorslev (1960)กล่าวว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินนั้นหมายถึงหน่วยแรงเฉือนบนระนาบวิบัติในขณะที่ดินนั้นกำลังวิบัติ ในปี1960เช่นกัน Lambeได้อธิบายว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเม็ดละเอียด(Fine grained soil)นั้นประกอบด้วยส่วนต่างๆ3ส่วนคือ

1) แรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) เป็นส่วนประกอบหนึ่งของกำลังรับแรงเฉือนซึ่งเกิดจากการที่อนุภาค 2 อนุภาคที่ถูกยึดติดกันด้วยแรงระหว่างอนุภาค แรงนี้ไม่เกี่ยวกับแรงภายนอกใดๆ แต่ขึ้นกับขนาดของอนุภาค, ลักษณะการยึดเกาะและปริมาณน้ำรอบๆอนุภาคนั้น

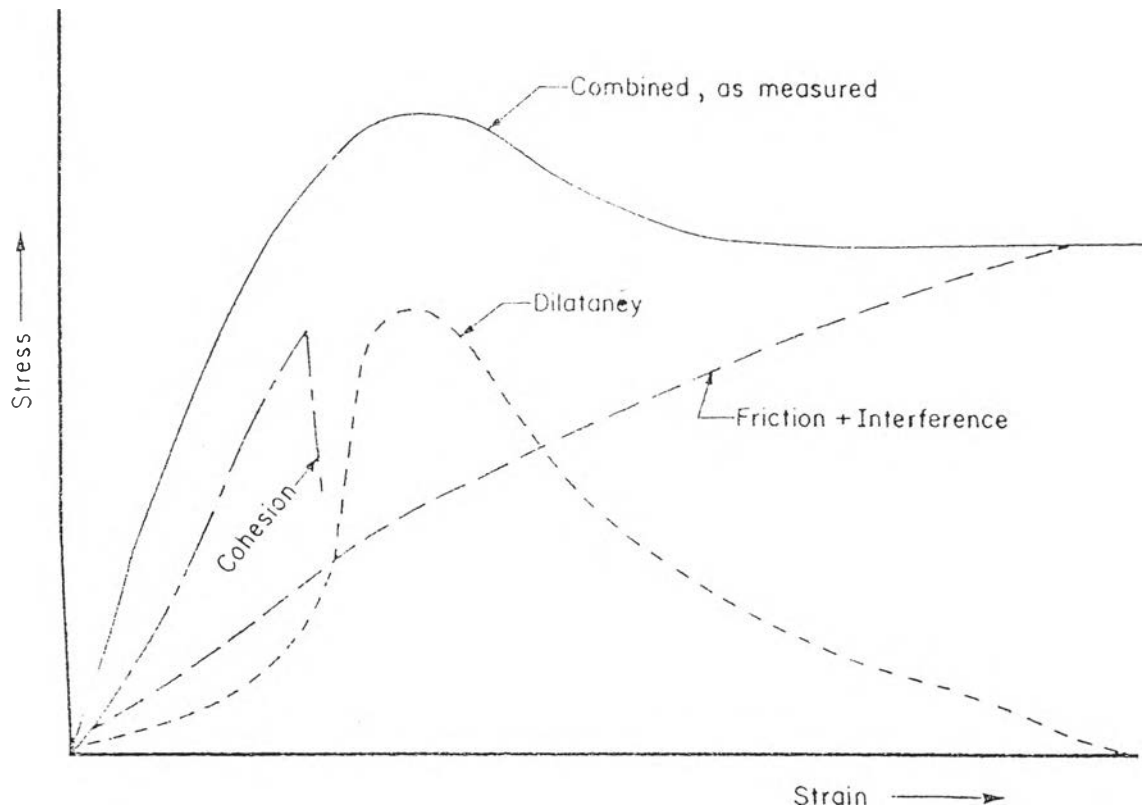
2) แรงเสียดทาน (Friction) คือส่วนที่เกิดจากแรงเสียดทานที่ผิวของอนุภาคหนึ่งกับอนุภาคหนึ่ง เมื่อมีแรงภายนอกมาพยายามให้เกิดการเคลื่อนที่ของอนุภาคเหล่านั้น แรงเสียดทานนี้จะขึ้นกับลักษณะของอนุภาคของเม็ดดินซึ่งมีลักษณะต่างๆดังรูปที่2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะรูปร่างต่างๆของอนุภาคของเม็ดดิน

3) Dilatancy เป็นลักษณะทางกายภาพของอนุภาคของเม็ดดิน ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น, ปริมาตรของมวลดินมีแนวโน้มที่จะขยายตัวเป็นผลทำให้เกิดแรงดันภายในช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นลบ (Negative pore pressure)

การเกิดของทั้ง 3 ส่วนประกอบนี้แสดงไว้ดังรูปที่2.9



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบของกำลังรับแรงเฉือน (After Lambe, 1960)

คูลอมป์(1776) ได้เสนอนิยามเกี่ยวกับกำลังรับแรงเฉือนของดินตามกฎของคูลอมป์ว่า กำลังรับแรงเฉือนของดินประกอบด้วย 2 ส่วนคือ แรงเสียดทานและแรงยึดเหนี่ยวโดยให้ความสัมพันธ์ในรูปสมการได้ดังนี้

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ

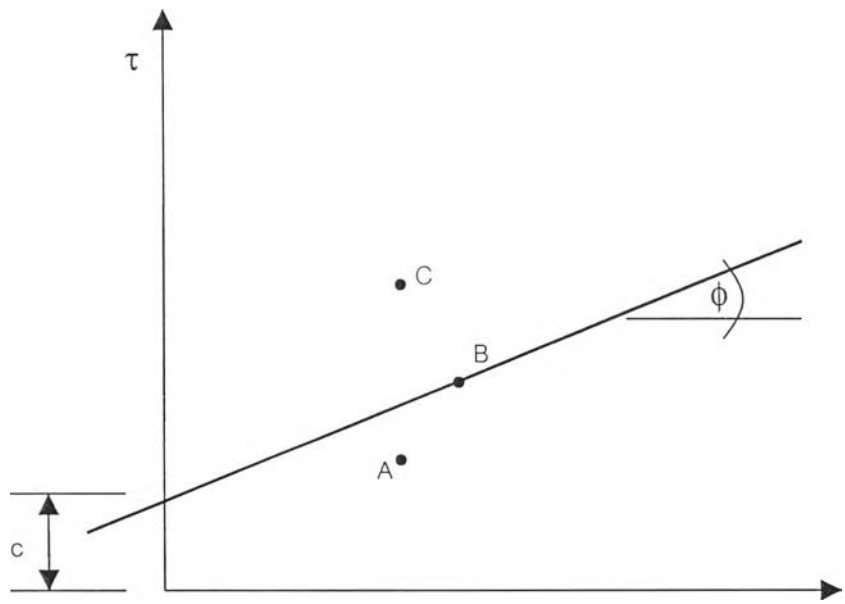
τ = กำลังรับแรงเฉือนของดินที่ดินนั้นสามารถรับได้

c = แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดิน

σ = แรงดันภายนอกที่กระทำต่อมวลดินและตั้งฉากกับ shear plane

ϕ = มุมเสียดทานภายใน (Internal friction angle)

ความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นสมการเส้นตรงที่สามารถแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่2.10



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ตามกฎของคูลอมป์

เนื่องจาก c และ ϕ เป็นคุณสมบัติของดินเอง ดังนั้นกำลังรับแรงเฉือนของดินจะขึ้นกับแรงภายนอกที่กระทำต่อมวลดิน กำลังรับแรงเฉือนของดิน, τ ในสมการที่2.1 หมายถึงกำลังรับแรงเฉือนสูงสุดที่ดินจะสามารถรับได้ในระนาบใดๆ จากรูปที่2.10 จะบอกได้ว่าเมื่อมวลดินถูกกระทำด้วยแรงภายนอก แล้วเกิดแรงเฉือนขึ้นเช่นจุด A จะแสดงว่าดินนั้นยังสามารถรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัย แต่ถ้าแรงเฉือนเพิ่มขึ้นจนถึงจุด B ซึ่งเท่ากับความสามารถในการรับแรงเฉือนของดินพอดี คือดินจะเกิด Failure พอดี จุด C ซึ่งอยู่เหนือเส้นกราฟนั้น จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้จริง เพราะดินจะเสียหายก่อนที่แรงเฉือนจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นเราสามารถเรียกความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนของดินของคูลอมป์นี้ได้ว่า Failure envelope หรือ Limiting stress.

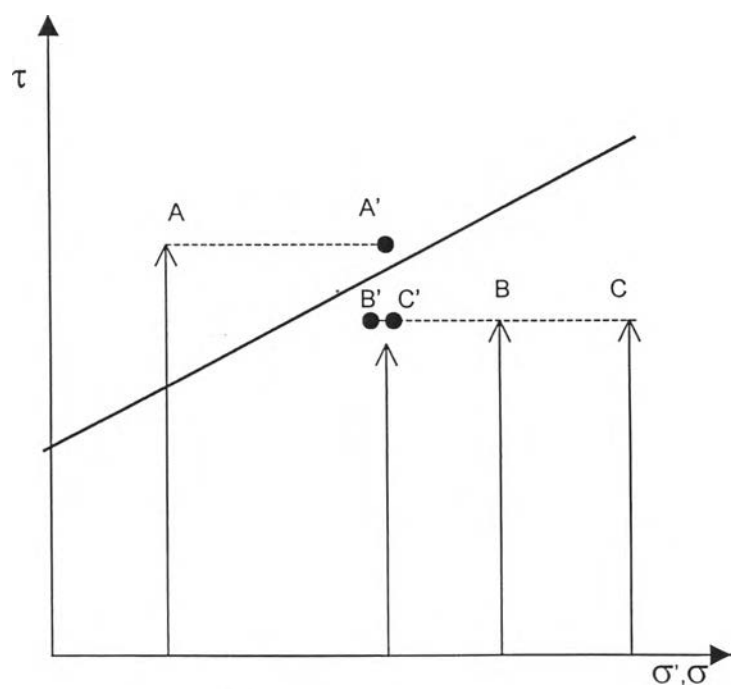
2.4 วิธีการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนของดิน

กำลังรับแรงเฉือนของดินถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ออกแบบงานด้านปฐพีกลศาสตร์ เช่นเดียวกับกำลังรับแรงดึงและแรงอัดของเหล็กและคอนกรีต ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน จึงต้องมีวิธีการทดสอบเพื่อหาว่าดินนั้นสามารถรับแรงเฉือนได้มากที่สุดเท่าใด ดินแต่ละชนิดเก็บจากแต่ละสถานที่ จะมีความสามารถรับแรงเฉือนมากที่สุดไม่เท่ากัน ในอดีตได้มีวิธีการทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนของดินหลายวิธี ซึ่งสามารถแยกได้ตามวิธีการทดสอบและชนิดของเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

2.4.1 ชนิดการทดสอบ

ชนิดของการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนนี้ สามารถแบ่งตามประเภทของหน่วยแรงและวิธีการให้แรงภายนอกได้คร่าวๆดังนี้

1.Unconsolidated-undrained test เป็นการทดสอบ โดยก่อนที่จะใส่แรงภายนอกให้แก่ตัวอย่างดินนั้น จะทำการคืนหน่วยแรงเบื้องต้นให้แก่ตัวอย่างดินโดยที่หน่วยแรงที่คืนให้เป็นหน่วยแรงรวม(Total stress) ในขณะที่คืนหน่วยแรงรวมจะไม่อนุญาติให้มีการระบายน้ำออกจากตัวอย่างดิน ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective stress) ของตัวอย่างดิน ดังนั้นการใส่หน่วยแรงภายนอกจึงต้องทำโดยไม่มีการระบายน้ำเช่นกัน การทดสอบในลักษณะนี้ถึงแม้จะสามารถกำหนดหน่วยแรงรวมเบื้องต้นต่างๆกันได้ก็ตาม ในทางทฤษฎีแล้วหน่วยแรงประ



รูปที่ 2.11 Conceptual of UU test

สิทธิผลของตัวอย่างดินจะไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นในทางทฤษฎี กำลังรับแรงเฉือนของแต่ละตัวอย่างจึงไม่ควรมีความแตกต่างกัน ซึ่งหลักการดังกล่าวนำไปสู่หลักการของ $\phi = 0$ (Total stress concept) ดังแสดงในรูปที่2.11 การทดสอบ UU ที่ง่ายที่สุดได้แก่การทดสอบที่เรียกว่า Unconfined Compression test

2.Consolidated-undrained and drained test เป็นการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างดินโดยจะมีการคืนหน่วยแรงเริ่มต้นในรูปของหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective stress) แก่ตัวอย่างดินก่อนทำการทดสอบ ถือได้ว่าเป็นการทดสอบที่สามารถให้การประมาณค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินได้ใกล้เคียงที่สุด การทดสอบในลักษณะนี้สามารถกระทำได้ทั้งในกรณีระบายน้ำ (Drained) และไม่ระบายน้ำ(Undrained)ซึ่งค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้นั้นสามารถนำไปใช้ได้ตามความเหมาะสม

จะเห็นได้ว่าการทดสอบโดยใช้เครื่องมือแต่ละชนิดนั้นสามารถเลือกประเภทของการทดสอบได้ตามแต่ละสภาพของเครื่องมือว่าจะเอื้ออำนวยให้มากน้อยเพียงใด

2.4.2 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน แบ่งตามการควบคุมการทดสอบได้ดังนี้ คือ

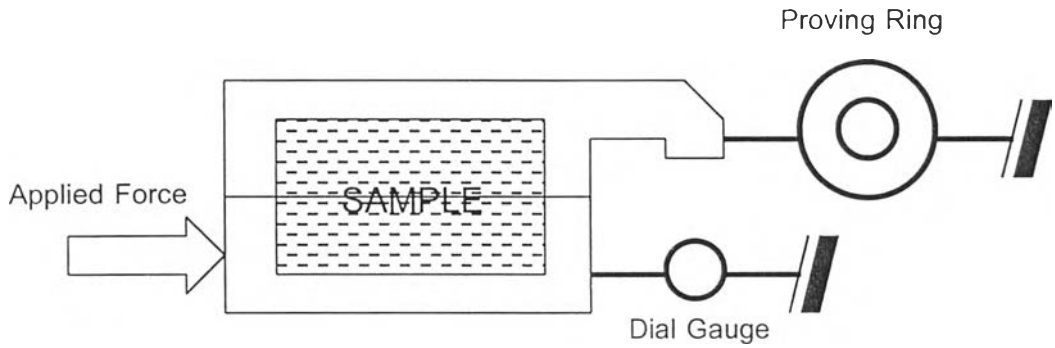
1.Stress control คือการทดสอบโดยการเพิ่มแรงที่กระทำต่อดินตัวอย่างในอัตราที่คงที่ แต่เนื่องจากความยากลำบากในการทดสอบที่ต้องค่อยๆเพิ่มแรงเฉือนที่ใช้และการทดสอบต้องใช้เวลานาน การทดสอบวิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยมในทางปฏิบัติ

2.Strain control คือการทดสอบโดยการกำหนดความเร็วในการเฉือนดินตัวอย่างพร้อมๆกับการวัดแรงต้านที่เกิดขึ้นด้วยวงแหวนวัดแรง (Proving ring) ทดสอบจนกระทั่งดินตัวอย่างเกิดการวิบัติ การควบคุมอัตราเร็วในการเฉือนดินตัวอย่างนี้สามารถควบคุมด้วยมือหมุนหรือระบบเฟืองเกียร์ที่ใช้ระบบไฟฟ้าซึ่งขั้นตอนการทดสอบแบบนี้สามารถควบคุมได้ง่ายกว่า

2.4.3 วิธีการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน แบ่งตามเครื่องมือที่ใช้ทดสอบได้ ดังนี้

1.Direct Shear Test การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงหรือที่เรียกว่า Direct Shear Test ได้เริ่มนำมาใช้โดยCoulombในปี1776 ด้วยหลักการง่ายๆ และผลการทดสอบก็สามารถนำไปใช้ในงานวิศวกรรมปฐพีได้เช่น การวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดชันของงานดิน,งานเสาเข็ม

เป็นต้น การทดสอบกระทำโดยนำตัวอย่างดินบรรจุลงในกล่องใส่ตัวอย่าง(Box Sample) กล่องใส่ตัวอย่างนี้จะสามารถแยกออกจากกันได้ดังรูปที่2.12 เป็นชิ้นส่วนบนและชิ้นส่วนล่าง



รูปที่ 2.12 แสดงลักษณะ Shear box ของ Direct shear test

ลักษณะของกล่องใส่ตัวอย่างนี้อาจจะมีได้2 ลักษณะคือ แบบที่เป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส และแบบที่เป็นวงกลมซึ่งก็จะมีขนาดต่างๆกัน ตั้งแต่ขนาด 6 เซนติเมตร x 6 เซนติเมตร จนถึง 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตรสำหรับกล่องใส่ตัวอย่างที่เป็นสี่เหลี่ยมจตุรัส และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 63.5 มิลลิเมตรขึ้นไปสำหรับกล่องใส่ตัวอย่างที่เป็นวงกลม จากรูปเมื่อเราออกแรงเลื่อนชิ้นส่วนล่าง โดยยึดชิ้นส่วนบนเอาไว้กับวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ชิ้นส่วนบนนี้จะอยู่นิ่งขณะที่ชิ้นส่วนล่างเคลื่อนที่โดยจะมีเครื่องมือวัดระยะ(Dial Gauge) ติดอยู่ด้วยเพื่อให้ทราบระยะที่ชิ้นส่วนล่างเคลื่อนไป การทดสอบ Direct shear test นี้ ตัวอย่างดินจะถูกบังคับให้วิบัติตามระนาบที่กำหนด(แนวราบ) โดยปกติจะกำหนดที่ประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของตัวอย่าง ในขณะที่ลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นจริงนั้น จะไม่เกิดการวิบัติในระนาบใดระนาบหนึ่งระนาบเดียวเช่นระนาบในแนวนอนดังที่มักกระทำกันในการทดสอบชนิดนี้ การทดสอบนี้โดยส่วนใหญ่จะทดสอบแบบ Strain Control ซึ่ง Gilboy(1936)เป็นผู้คิดค้นและพัฒนาวิธีทดสอบแบบนี้ขึ้น ข้อดีของวิธีนี้คือเราสามารถที่จะศึกษาพฤติกรรมของดินหลังจากที่ดินวิบัติไปแล้วได้ด้วย

ประโยชน์ของวิธีการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงโดยทั่วไปคือสามารถทำการทดสอบได้กับดินประเภทไม่มีแรงยึดเหนี่ยว(Cohesionless soil)ได้ดี เนื่องจากสามารถที่จะเตรียมตัวอย่างได้ง่ายกว่าการทดสอบ Triaxial test แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดสอบนี้ มีปัญหาในเรื่องการควบคุมการระบายน้ำ ซึ่งผลการทดสอบที่ได้จะเปลี่ยนไปถ้าหากเงื่อนไขการระบายน้ำเปลี่ยนไป, Terzaghi(1936). ดังนั้นในอดีตการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนโดยตรงนี้จึงได้มีการศึกษาวิธีการควบคุมการระบายน้ำด้วย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี1952 Taylorได้ใช้เครื่องมือทดสอบที่สามารถควบคุมปริมาตรของตัวอย่างให้คงที่ได้ขณะทดสอบ และพบว่าค่าแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ(Undrained Strength)ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบ Undrained Triaxial Test โดยการทดสอบนี้ใช้เพื่อหา Total และ Effective Strength Parameter ได้ทั้งของดินและดินเหนียว เช่นเดียวกัน O'Neill (1962), ได้ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบระหว่าง Drained direct shear test กับ Triaxial test.

Kenney(1967) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบ Direct shear test กับ Ring shear test บน Sensitive clays พบว่าผลที่ได้คล้ายคลึงกันเมื่อเปรียบเทียบใน Failure criteria เดียวกัน

Bjerrum(1966) ใช้ Direct simple shear ทดสอบและชี้ว่าค่า Strength ของ Constant volume direct shear ของ Undisturbed sample จะให้ค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จาก Triaxial test สำหรับตัวอย่างที่สามารถเปรียบเทียบกันได้

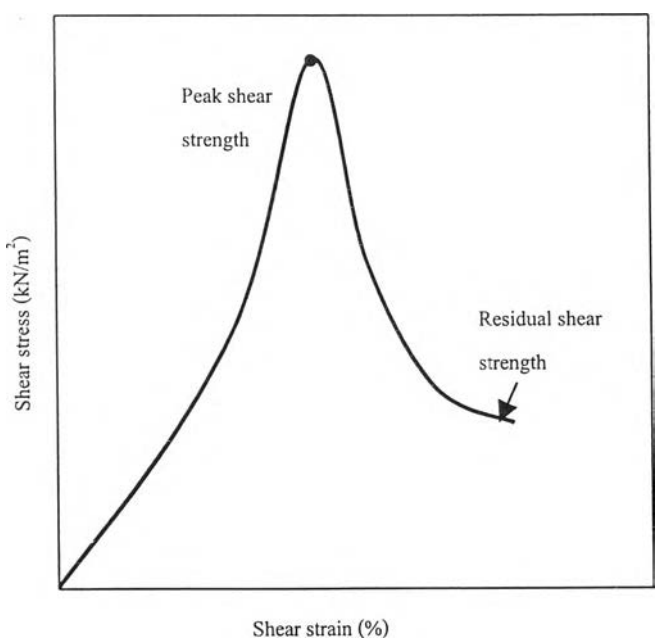
นอกจากนี้แล้วการขาดข้อมูลของ Complimentary shear และ Normal stresses ทำให้ข้อมูลของหน่วยแรงไม่สมบูรณ์ ไม่สามารถประมาณการหมุนของ Principal stress ได้ และไม่สามารถกำหนดสภาพของหน่วยแรง(Stress state) ของตัวอย่างดินที่สมบูรณ์ได้ ได้มีความพยายามที่จะแก้ไขปัญหาเหล่านี้เช่น การใช้สมมติฐานของ Co-axially โดย Jewell(1971) หรือการติดตั้ง load cell ที่ผนังด้านข้างของ Shear box เป็นต้น

สำหรับในประเทศไทยก็ได้มีการใช้เครื่องมือนี้ในการทดสอบกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯเช่นในการศึกษาของWang-En Shiou(1974) ได้กล่าวว่าการพัฒนาเครื่องมือนี้มีขึ้นเพื่อหาแนวทางใหม่ๆในการศึกษา Stress-Strain และ Shear Strengthของดินเหนียวอ่อน และได้ใช้เครื่องมือนี้ในการทดสอบกับดินเหนียวที่ได้จากหนองงูเห่าเพื่อเปรียบเทียบหาผลกระทบของแอนไอโซทรอปีแต่ปรากฏว่าได้ผลไม่แน่ชัดสำหรับ Weathered clay ผลที่ได้บอกเพียงว่ากำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างที่หน่วยแรงเฉือนกระทำในระนาบที่ขนานกับระนาบราบจะสูงกว่ากำลังรับแรงเฉือนที่ได้จากตัวอย่างที่หน่วยแรงเฉือนกระทำตั้งฉากกับระนาบราบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และกลับกันเมื่อตัวอย่างดินเป็น Soft clay (ที่ความลึกมากขึ้น)

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบระบายน้ำในดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำสามารถกระทำได้เช่นกันโดยการใช้อัตราความเร็วในการเฉือนที่ค่อนข้างช้า และจำเป็นต้องใส่น้ำให้หล่อเลี้ยงตัวอย่างเพื่อป้องกันตัวอย่างแห้ง เนื่องจากต้องใช้เวลาในการทดสอบนาน อัตรา

ความเร็วในการเฉือนที่ใช้ต้องแน่ใจว่าไม่ทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินขึ้นภายในดินตัวอย่าง สำหรับตัวอย่างดินที่เป็นทรายนั้น ไม่ค่อยมีปัญหาเนื่องจากสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของทรายค่อนข้างสูง น้ำสามารถระบายออกได้อย่างรวดเร็ว ค่า Friction angle ที่ได้จากการทดสอบในตัวอย่างที่อิ่มตัวด้วยน้ำจะเหมือนกับตัวอย่างทรายแห้ง แต่สำหรับดินเหนียว ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านมีค่าต่ำมาก จึงต้องใช้เวลานานพอสมควรในการระบายน้ำออกจากดินตัวอย่างเพื่อไม่ให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินขึ้น อัตราเร็วในการเฉือนจึงต้องช้ามากๆ รูปที่2.13 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบระบายน้ำในดินเหนียวที่อัดแน่นเกินตัว

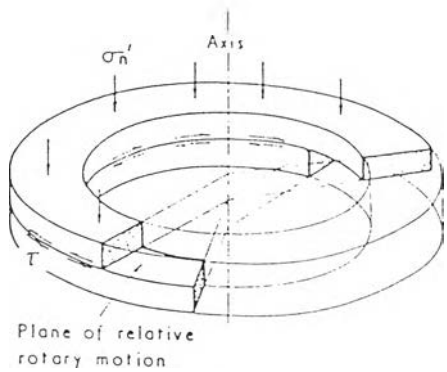
จะเห็นได้ว่า โดยทั่วไปกำลังรับแรงเฉือนจะค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด(Peak shear strength) ในตัวอย่างที่ค่อนข้างแข็ง(Stiff clay) หน่วยแรงเฉือนจะตกลงมาและจะมีค่าคงที่อยู่ที่ค่าหน่วยแรงเฉือนค่าหนึ่ง ซึ่งเรียกว่าResidual shear strength ดังแสดงที่ 2.13 ในดินเหนียวอ่อนนั้น ความแตกต่างระหว่างค่า Peak และค่า Residual strength อาจจะมีความแตกต่างกันไม่มากนัก



รูปที่ 2.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงแบบระบายน้ำในดินเหนียวที่อัดแน่นเกินตัว

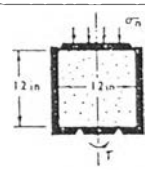
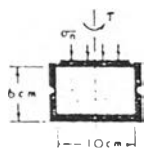
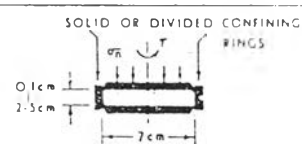
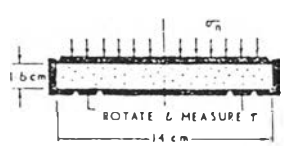
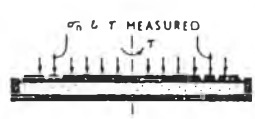
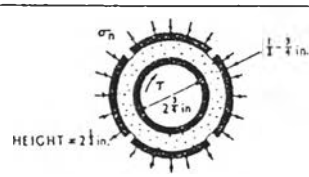
2.Ring shear test หรือการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบวงแหวน ถูกนำมาใช้ในจุดประสงค์เพื่อลดข้อผิดพลาดเดิมของเครื่องมือDirect shear test การทดสอบRing shear test นั้นตัวอย่างดินจะมีหน้าตัดรับแรงเฉือนคงที่ตลอดการทดสอบ และข้อดีอีกประการหนึ่งของเครื่องมือ

นี้คือสามารถที่จะเฉือนตัวอย่างได้โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องระยะการเฉือน (Shear displacement) ดังนั้นจุดประสงค์หลักของเครื่องมือนี้คือใช้ทดสอบเพื่อหากำลังรับแรงเฉือนคงค้าง(Residual strength)ของดินเหนียว เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์หาเสถียรภาพของงานดินที่เกิดการพังทลาย (Failure) ใหม่ หรืองาน Slope ที่เคยเกิด Failure มาแล้วในอดีตได้ รูปที่ 2.14 แสดงแบบจำลองของตัวอย่างดินที่ทดสอบโดยเครื่องมือชนิดนี้

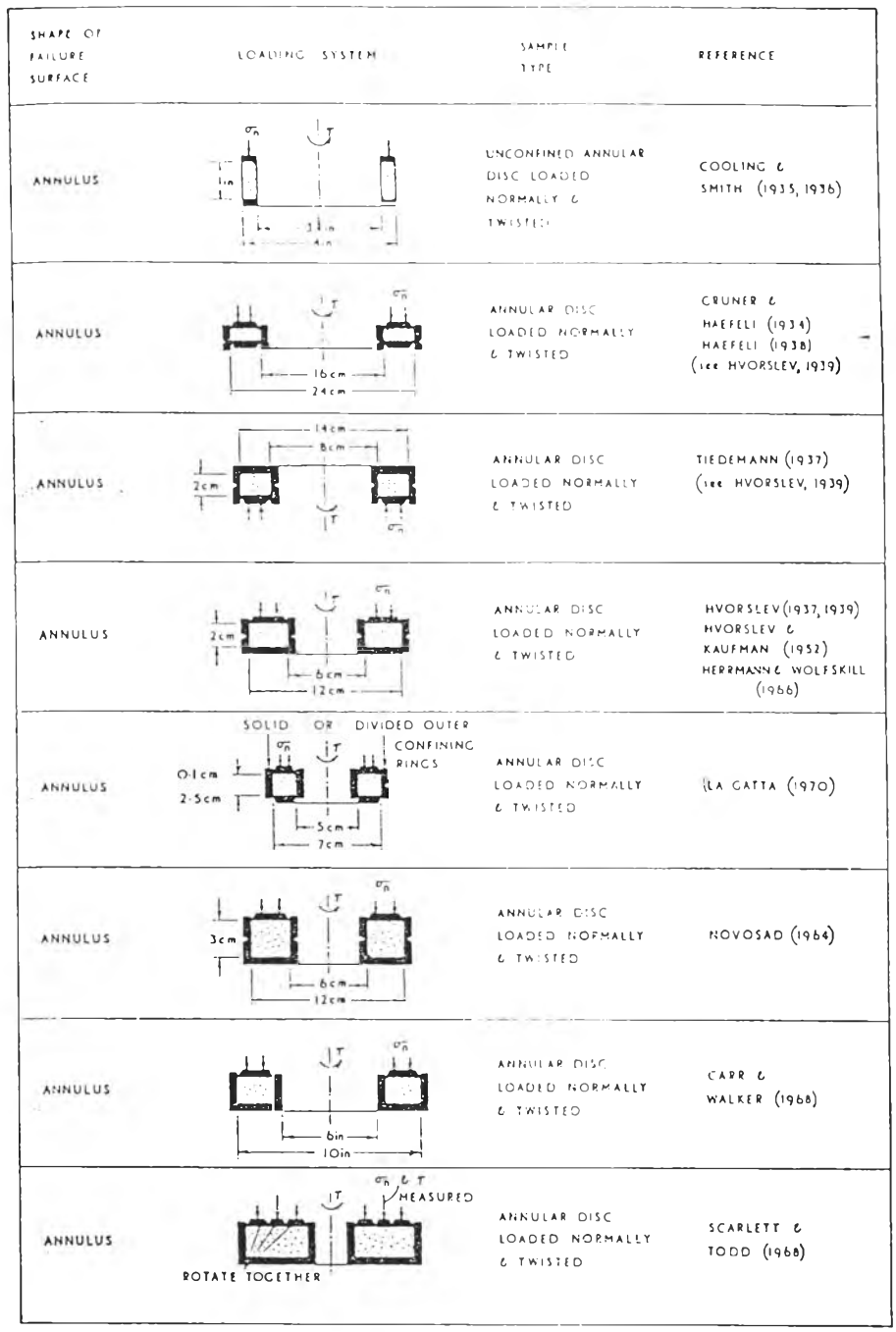


รูปที่ 2.14 แบบจำลองของตัวอย่างดินที่ทดสอบโดยเครื่องมือทดสอบแรงเฉือนแบบวงแหวน

เครื่องมือทดสอบ Ring shear test ถูกพัฒนามานานแล้วในอดีต ดังรูปลักษณะการทำงานในรูปแบบต่างๆในรูปที่ 2.15 และรูปที่ 2.16 หลักการโดยทั่วไปของการทดสอบแบบ Ring shearได้แก่ ตัวอย่างดินจะถูก Confined อยู่ในแม่แบบรูปทรงกระบอกกลวงโดยที่แม่แบบ(Mold) นั้น สามารถเป็นได้ทั้งแม่แบบแข็ง(Solid Mold)หรือแม่แบบอ่อน(Soft Mold หรือFlexible Mold) ในการทดสอบนี้ได้ใช้แม่แบบแข็งเป็นอุปกรณ์ทดสอบซึ่งทำให้สามารถควบคุมพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินให้คงที่อยู่ได้ หน่วยแรงตั้งฉากจะถูกกระทำลงบนผิวบนของตัวอย่างดินก่อนที่ตัวอย่างดินจะถูกเฉือนโดยใช้แรงบิด รูปที่2.17แสดงการกระจายของหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อตัวอย่างดินในลักษณะต่างๆสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบวงแหวนและในรูปที่2.18จะแสดงผลกระทบของการสมมติการกระจายหน่วยแรงตั้งฉากในแบบต่างๆที่มีต่อค่ามุมต้านทานแรงเฉือน, ϕ' ซึ่งคำนวณจากแรงบิด(Torque)และน้ำหนักตั้งฉาก(Normal load)

SHAPE OF FAILURE SURFACE	LOADING SYSTEM	SAMPLE TYPE	REFERENCE
CIRCLE		SOLID CYLINDER LOADED NORMALLY, LOWER PLATEN TWISTED	A.S.C.E. (1917)
CIRCLE		SOLID CYLINDER LOADED NORMALLY & TWISTED	STRECK (1928) FRANZIUS ET AL (1929) (see HVORSLEV, 1939)
CIRCLE		SOLID CYLINDER LOADED NORMALLY & TWISTED	LANGER (1938) (see HVORSLEV, 1939)
CIRCLE		SOLID DISC LOADED NORMALLY & TWISTED	SEMBENELLI & RAMIREZ (1968) LA GATTA 1970
ANNULUS *		SOLID DISC LOADED NORMALLY, ANNULUS TWISTED	TIEDEMANN (1937) (see HVORSLEV, 1939)
CIRCLE		SOLID DISC LOADED NORMALLY & TWISTED	GHANI (1966)
CYLINDER		HOLLOW CYLINDER LOADED RADIALLY & TWISTED	CASAGRANDE & U.S. ENGINEER OFFICE, BOSTON, MASS. (see HVORSLEV, 1939)

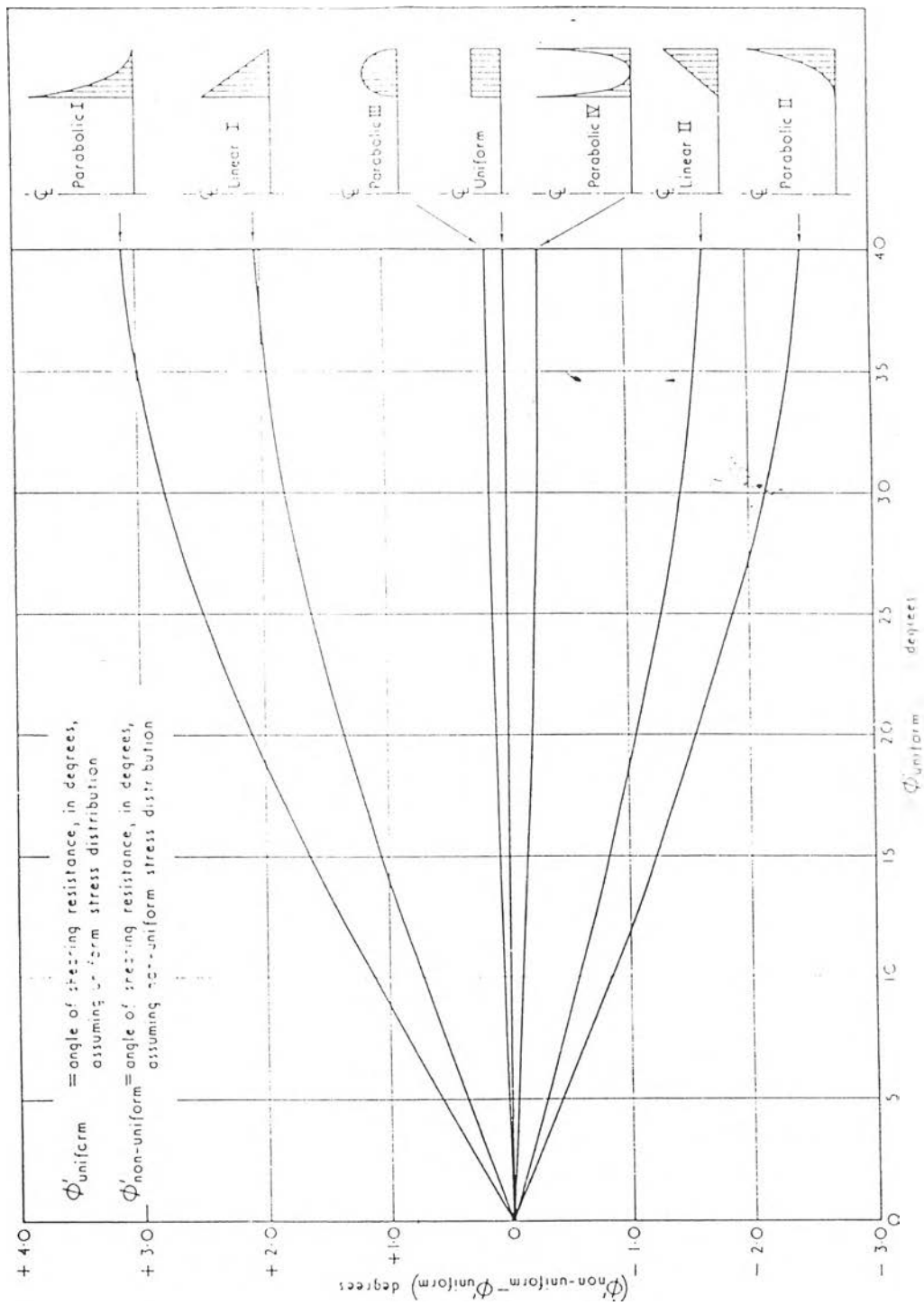
รูปที่ 2.15 หลักการทำงานของเครื่องมือ Torsion และ Ring shear : ชนิด solid cylinder, disc หรือ hollow cylinder (Bishop, 1971)



รูปที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่องมือ Torsion และ Ring shear : ชนิด Annular disc (Bishop, 1971)

Normal stress distribution	σ_n'	$\frac{P_{non\text{-}uniform}}{P_{uniform}}$	$\tan\phi'$	$\tan\phi'$ for $r_1 = 2{\cdot}0in$, $r_2 = 3{\cdot}0in$	$\frac{\tan\phi'_{non\text{-}uniform}}{\tan\phi'_{uniform}}$
Uniform	P	1·0	$\frac{3M}{2W} \cdot \frac{(r_1 + r_2)}{(r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2)}$	$0{\cdot}395\,\frac{M}{W}$	1·000
Linear I	$\frac{P(r_2 - r)}{(r_2 - r_1)}$	2·14	$\frac{2M}{W} \cdot \frac{(r_1 + 2r_2)}{(r_1^2 + 2r_1 r_2 + 3r_2^2)}$	$0{\cdot}424\,\frac{M}{W}$	1·075
Linear II	$\frac{P(r - r_1)}{(r_2 - r_1)}$	1·87	$\frac{2M}{W} \cdot \frac{(2r_1 + r_2)}{(3r_1^2 + 2r_1 r_2 + r_2^2)}$	$0{\cdot}372\,\frac{M}{W}$	0·943
Parabolic I	$\frac{P(r_2 - r)^2}{(r_2 - r_1)^2}$	3·33	$\frac{5M}{2W} \cdot \frac{(r_1 + 3r_2)}{(r_1^2 + 3r_1 r_2 + 6r_2^2)}$	$0{\cdot}441\,\frac{M}{W}$	1·116
Parabolic II	$\frac{P(r_1 - r)^2}{(r_2 - r_1)^2}$	2·73	$\frac{5M}{2W} \cdot \frac{(r_1 + 3r_2)}{(6r_1^2 + 3r_1 r_2 + r_2^2)}$	$0{\cdot}362\,\frac{M}{W}$	0·916
Parabolic III	$\frac{4P(r - r_1)(r_2 - r)}{(r_2 - r_1)^2}$	1·50	$\frac{5M}{W} \cdot \frac{(r_1 + r_2)}{(3r_1^2 + 4r_1 r_2 + 3r_2^2)}$	$0{\cdot}397\,\frac{M}{W}$	1·006
Parabolic IV	$\frac{P(2r - r_1 - r_2)^2}{(r_2 - r_1)^2}$	3·00	$\frac{5M}{2W} \cdot \frac{(r_2 + r_1)}{(2r_2^2 + r_1 r_2 + 2r_1^2)}$	$0{\cdot}391\,\frac{M}{W}$	0·990

รูปที่ 2.17 กระจายหน่วยแรงเฉือนในลักษณะต่างๆที่กระทำต่อตัวอย่างดินในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนแบบวงแหวน(Bishop, 1971)



รูปที่ 2.18 ผลกระทบของการสมมติการกระจายหน่วยแรงเฉือนในแบบต่างๆที่มีต่อค่ามุมต้านทานแรงเฉือน, ϕ' ซึ่งคำนวณจากแรงบิด(Torque)และน้ำหนักตั้งฉาก(Normal load) (Bishop, 1971)

2.5 Disturbance ของดินตัวอย่างที่เกิดจากอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

การรบกวนดินตัวอย่างมีผลต่อสภาพดินที่นำมาทดสอบมาก เนื่องจากการรบกวนจะทำให้โครงสร้างภายในของดินและปริมาณความชื้นของดินเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อผลการทดสอบมาก ทำให้ผลการทดสอบคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ การรบกวนดินตัวอย่างเกิดได้จากหลายสาเหตุเช่น วิธีการเก็บตัวอย่าง, อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง, การเตรียมตัวอย่างก่อนทดสอบหรือแม้กระทั่งขณะขนส่งดินตัวอย่างก็ตาม สิ่งที่กำหนดในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบให้ได้ผลตามที่ต้องการได้แก่ ชนิดดิน(ดินทรายหรือดินเหนียว), วิธีการทดสอบและผลการทดสอบที่ต้องการ เป็นต้น

การรบกวนดินตัวอย่างที่เกิดจากอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างจะขึ้นอยู่กับหลายๆสาเหตุเช่น ขนาดของแรงที่ใช้กดในขณะเก็บดินตัวอย่าง, อัตราเร็วในการกดและขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้เก็บเอง ในการเก็บตัวอย่างเมื่อใช้แรงกดและอัตราเร็วในการกดที่เหมาะสม(เร็วและคงที่)แล้ว เราสามารถใช้ค่า Area ratio, Ar ในการชี้ว่าตัวอย่างดินที่เก็บมานั้นถูกรบกวนมากน้อยเพียงใด ค่า Area ratio จะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Area ratio, Ar} = \frac{(D_e^2 - D_i^2)}{D_i^2} \quad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ

D_e คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

D_i คือ เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของกระบอกเก็บตัวอย่างดิน

หากค่า Area ratio นี้มีค่าไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์จะถือว่าดินตัวอย่างนั้นถูกรบกวนเพียงเล็กน้อยสามารถยอมรับว่าเป็นตัวอย่างแบบUndisturbed sampleได้ ค่า Area ratio สามารถใช้ได้กับดินทุกๆชนิด โดยทั่วไปในการเก็บดินตัวอย่างไม่ว่าจะมีขั้นตอนวิธีการที่ระมัดระวังเท่าใดก็ย่อมต้องมีการรบกวนดินตัวอย่างไม่มากก็น้อยเนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันดินโดยรอบดินตัวอย่างเมื่อเก็บดินตัวอย่างขึ้นมา, มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดิน, มีแรงเสียดทานระหว่างกระบอกเก็บตัวอย่างที่ทำให้ตัวอย่างถูกกดลง, มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของดินตัวอย่างเนื่องมาจากสภาพอากาศ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ไม่สามารถที่จะควบคุมได้

2.6 หน่วยแรงประสิทธิผล

หน่วยแรงประสิทธิผล(Effective stress) เป็นตัวแปรที่สำคัญที่ควบคุมพฤติกรรมด้านการรับน้ำหนักของดิน, Jergenson และ Casagrande (1934) เช่นเดียวกับ Terzaghi(1925,1936) ได้ให้นิยามเกี่ยวกับหน่วยแรงประสิทธิผลนี้ว่าเป็นตัวแปรที่กำหนดพฤติกรรมการเคลื่อนตัวและการพิบัติของดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ และให้มีค่าเท่ากับหน่วยแรงรวม(Total stress) ลบด้วยความดันน้ำในโพรงดิน (Pore water pressure)

$$\sigma' = \sigma - u \quad \text{.....(2.3)}$$

เมื่อ σ' = หน่วยแรงประสิทธิผล (effective stress)

σ = หน่วยแรงรวม (total stress)

u = ความดันน้ำในโพรงดิน (pore water pressure)

2.7 ผลกระทบของแอนไอโซทรอปีต่อกำลังรับแรงของดิน

การตกตะกอนของดินเหนียวโดยทั่วไปในธรรมชาติมักจะเป็นผลทำให้ดินเหนียวนั้นมีพฤติกรรมที่เป็นแอนไอโซทรอปี แอนไอโซทรอปีอาจเกิดได้จากทั้งลักษณะทิศทางของการกระทำของแรงภายนอกที่กระทำมาในทิศทางที่แตกต่างกันและจากลักษณะภายในมวลดินเหนียวเอง หรืออาจเกิดจากทั้งสองลักษณะประกอบกัน เช่นดินในธรรมชาติโดยทั่วไปซึ่งมีหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบต่างจากหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง โดยสัดส่วนของหน่วยแรงทั้งสองจะอยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ของแรงดันดินในขณะอยู่นิ่ง(Coefficient of earth pressure at rest, Ko)

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีผู้ทำการศึกษาผลกระทบนี้มากมาย เช่น

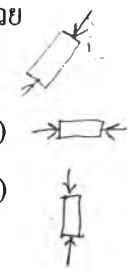
Casagrande and Carrillo(1944) ได้เสนอความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในทิศทางต่างๆไว้ดังนี้

$$Su_{(i)} = Su_{(H)} + [Su_{(V)} - Su_{(H)}] \sin^2 I \quad \text{.....(2.4)}$$

เมื่อ $Su_{(i)}$ = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเมื่อ i คือทิศทางของหน่วยแรงหลักที่วัดจากแนวราบ

$Su_{(H)}$ = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในแนวราบ(i = 0 องศา)

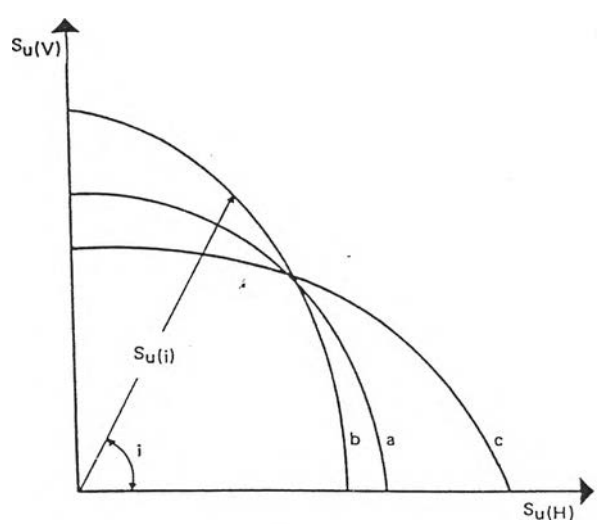
$Su_{(V)}$ = กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในแนวดิ่ง(i = 90 องศา)



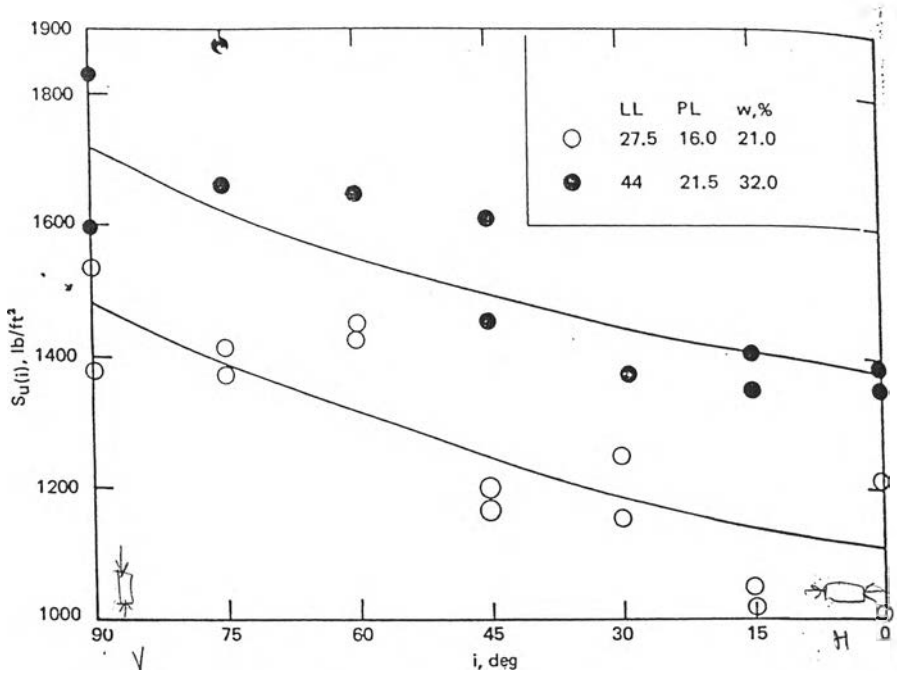
ในกรณีที่ดินเป็นไอโซทรอปิก ค่า $Su_{(i)}$ จะเท่ากับ $Su_{(H)}$ และเท่ากับ $Su_{(V)}$ ดังรูปที่2.19 จะแสดงกราฟเชิงขั้วตามสมการที่2.4 และเรียกอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในแนวดิ่งต่อของกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในแนวราบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของแอนไอโซทรอปี(Coefficient of anisotropy, K)

$$K = \frac{S_{u(V)}}{S_{u(H)}} \quad \text{.....(2.5)}$$

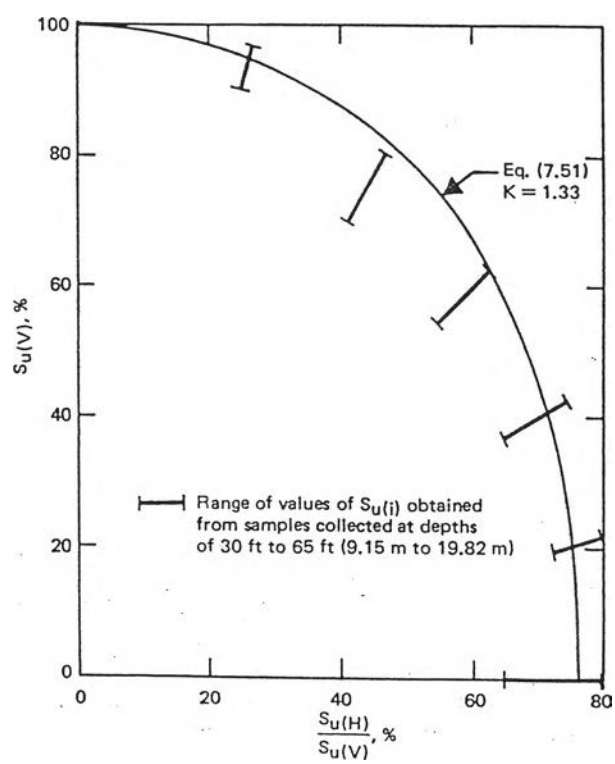
ในดินที่ตกตะกอนโดยทั่วไปค่า K นี้จะแปรผันอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.75 ถึง 2.0 และสำหรับดินเหนียวที่ถูกอัดแน่นเกินตัวค่า K จะมีค่าน้อยกว่า 1 รูปที่2.20และ 2.21 แสดงผลการทดกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าทิศทางที่เปลี่ยนแปลงไปของแรงที่กระทำต่อมวลดินจะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ต่างกันด้วย



รูปที่ 2.19 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำในทิศทางต่างๆของดินเหนียวตามสมการที่ 2.4



รูปที่ 2.20 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดของ Welland clay, Ontario(K.Y. Lo,1965)



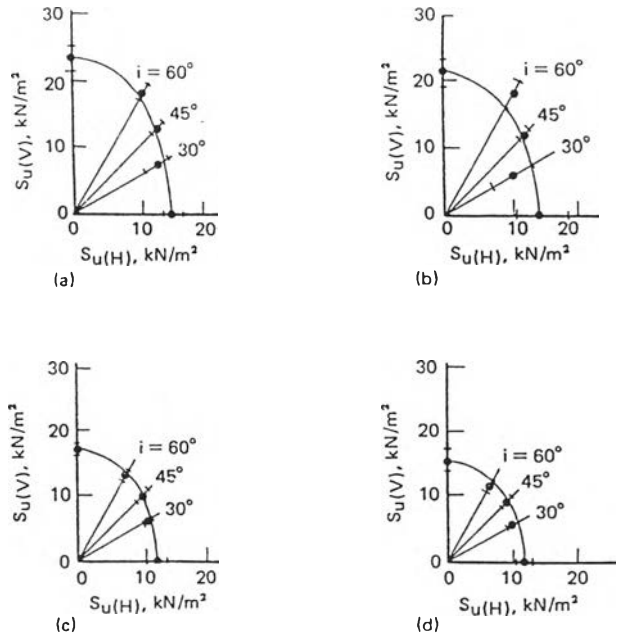
รูปที่ 2.21 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดของ Welland clay, Ontario แสดงในรูปกราฟเชิงขั้ว(K.Y. Lo,1965)

ในปี1949, Hansen and Gibson ได้ศึกษาดินเหนียวในธรรมชาติโดยให้มีการอัดตัวคายน้ำในทิศทางต่างๆและพบว่า กำลังรับแรงของดินเหนียวไม่ขึ้นกับ Consolidation pressure เพียงอย่างเดียว แต่ยังจะขึ้นกับทิศทางของระนาบวิบัติที่เกิดขึ้นด้วย

สำหรับดินเหนียวกรุงเทพฯ ได้มีการศึกษาผลกระทบของแอนไอโซทรอปีไว้เช่นเดียวกัน เช่นPamcharoen(1972)ได้ศึกษาผลกระทบของแอนไอโซทรอปีต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินกรุงเทพฯโดยใช้การทดสอบ Consolidated isotropically triaxial testและสรุปว่าพฤติกรรมด้านกำลังรับน้ำหนักของดินจะขึ้นกับสภาพของหน่วยแรงที่กระทำต่อดินก่อนการเก็บมาทดสอบ ดินเหนียวกรุงเทพฯที่เก็บมาจากบริเวณรังสิตที่ระดับความลึกตั้งแต่ 3 ถึง 8.5 เมตร ถูกทดสอบโดยใช้ Direct shear test ผลการทดสอบปรากฏว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำสูงสุดและต่ำสุดเกิดเมื่อระนาบรับแรงเฉือนทำมุมตามแนวดิ่งและแนวราบตามลำดับ, Sangariyavanich(1973) และสำหรับดินเดียวกันนี้ Qureshi(1973) ได้สรุปไว้ว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของตัวอย่างดินที่ถูก trim ในทิศทางต่างๆกันจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากอัตราส่วนระหว่างความเปลี่ยนแปลงของความดันโพรงต่อความเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงตามแนวแกนของแต่ละตัวอย่างต่างกัน Wang, En-Shiou(1974)ได้ทดสอบดินเหนียวหนองงูเห่าโดยใช้ Direct shear test เช่นเดียวกัน ผลการทดสอบชี้ว่าในดินเหนียวที่อยู่บริเวณ Weather zone(0-2 เมตร) นั้นมีความแตกต่างของกำลังรับแรงเฉือนในระนาบต่างๆน้อยกว่าดินเหนียวอ่อนที่อยู่ลึกลงไป(5-13 เมตร)

ในปี1975 Richardson et.al. ได้ใช้เครื่องมือวัดแรงเฉือน field vane shear ทดสอบกับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯซึ่งจัดว่าเป็น marine deposit เพื่อหากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำผลการทดสอบแสดงผลกระทบของแอนไอโซทรอปีต่อแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำอย่างชัดเจนและได้สรุปว่ากำลังรับแรงเฉือนในระนาบต่างๆสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ดังสมการที่2.6 ผลการทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.22

$$Su_{(i)} = \frac{S_{u(H)}S_{u(V)}}{\sqrt{S^2_{u(H)} \sin^2 i + S^2_{u(V)} \cos^2 i}} \quad \text{.....(2.6)}$$



รูปที่ 2.22 ผลการทดสอบVane shear ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯในแต่ละระนาบ ที่ความลึกต่างๆ กัน (a)ความลึก 1 ม. (b)ความลึก 2 ม. (c)ความลึก 3 ม.และ(d)ความลึก 4 ม. (Richardson, 1975)

2.8 Residual strength ของดินที่มีแรงยึดเหนี่ยว

เมื่อดินรับแรงจนถึงจุดที่ไม่สามารถรับได้ต่อไปแล้ว ดินนั้นจะเกิดการวิบัติและกำลังรับแรงเฉือนของดินนั้นจะลดลงจนคงที่ที่ค่าๆหนึ่งดังรูปที่2.13 Skempton(1964) เรียกการลดลงของกำลังรับแรงเฉือนเมื่อการเสียรูปมีมากขึ้นนี้ว่า Residual strength เช่นเดียวกับ Das(1985)ได้เรียกกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวที่ความเครียดสูงๆว่า Residual shear strength หรือ Ultimate shear strength และยังกล่าวอีกว่า Residual strength ของดินใดๆจะไม่ขึ้นกับการรับแรงในอดีตของดินนั้น ดังนั้นผลกระทบของแอนไอโซทรอปีต่อResidual strength จึงน่าจะมีค่าน้อย

2.9 กำลังรับแรงเฉือนของดินกรุงเทพฯ

เนื่องจากสภาพของชั้นดินกรุงเทพฯมีความผันแปรมาก ลักษณะของดินจะแตกต่างกันไปตามความลึกและแม้ที่ความลึกเดียวกันแต่หากต่างสถานที่แล้ว ก็อาจมีลักษณะของดินที่แตกต่างกัน

จะเสี่ยงในการนำพารามิเตอร์มาใช้โดยมีการสำรวจที่ไม่พอเพียง ในอดีตได้มีการสำรวจ, การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนกับค่าที่วัดได้ในสนามและการทดสอบในห้องปฏิบัติการต่างๆ แต่จะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์บางตัวจะแสดงช่วงของค่าค่อนข้างกว้าง เช่นเดียวกับกำลังรับแรงเฉือนของดินกรุงเทพฯก็สามารถที่จะหาได้จากหลายๆวิธีการทดสอบ เช่นการให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N จากการทดสอบการทะลุทะลวงมาตรฐานกับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ,Su ของดินเหนียวแข็งชั้นแรกของกรุงเทพฯโดยวีรนันท์(2526)