ผลกระทบของความไม่สมนัยต่อพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ

Effect of Anisotropy to Shear Strength Behavior of Soft Bangkok Clay

วีรยา ฉิมอ้อย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

บทคัดย่อ

การออกแบบคันดินจำเป็นต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพของดินในบริเวณก่อสร้างซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการรับแรงเฉือนของดิน ในการก่อสร้างคันดินถมทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักตามผิวการวิบัติของคันดินถมโดยเปลี่ยนจากแนวดิ่งไปสู่แนวราบ ส่งผลให้พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินเปลี่ยนไป และนอกจากนี้กำลังรับแรงเฉือนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกประการที่สำคัญคือ ประวัติของหน่วยแรงในรูปของค่า Overconsolidated Ratio (OCR) งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของความไม่สมนัยและประวัติของหน่วยแรงที่มีผลต่อพฤติกรรมและกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยใช้การทดสอบแรงอัดสามแกนด้วยวิธี (K_O-Consolidated Undrained Triaxial Test, $\overline{CK_OUC}$) จากผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักที่มากระทำต่อตัวอย่างดินทำให้พฤติกรรมและกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวเปลี่ยนไป โดยกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของตัวอย่างแนวตั้งมีค่ามากที่สุดและตัวอย่างแนวเอียงมีค่าน้อยที่สุด ส่วนประวัติของหน่วยแรงมีผลให้กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำเพิ่มขึ้นตามค่า OCR ส่วนพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติมีค่าลดลงเมื่อค่า OCR เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ความไม่สมนัย ดินเหนียวอ่อน คันดินถม กำลังรับแรงเฉือน

Abstract

In the designs of earth embankment, it is necessary to determine the stability of the subsoil which depends on the shear strength of soil. For the earth embankment, the directions of the principle stresses have changed along the failure surface by changing from vertical direction to horizontal direction. Therefore the behavior of the shear strength of soil is changed by the rotation of the principle stress. Moreover the stress

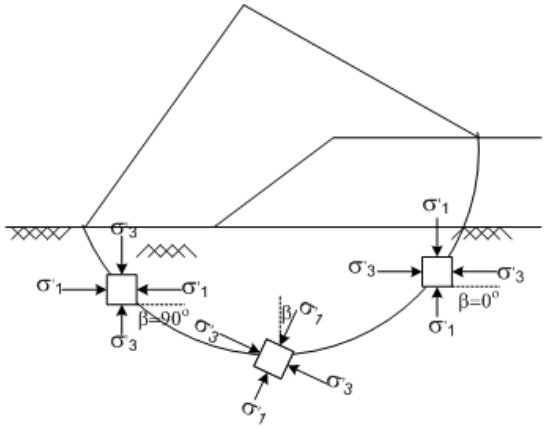
history in terms of overconsolidation ratio (OCR) also affects the behavior of shear strength of soil. The purposes of this study are to study about the anisotropy behavior of Soft Bangkok Clay by changing the principle stress directions and to study the effect of stress history to shear strength behavior of Soft Bangkok Clay by varying the OCR by using the K_O-Consolidationed Undrained Triaxial Test ($\overline{CK_OUC}$). The results show that the rotation of the principle stress affects behavior of the shear strength of soil. The undrained shear strength of sample in vertical direction is maximum and its sample in incline direction is minimum. For effect of stress history, it can be concluded that stress history affects to shear strength of clay by increasing the shear strength of soil but decreasing the pore pressure parameter A.

Keywords : anisotropic, soft clay, embankment, shear strength

1. บทนำ

งานออกแบบทางวิศวกรรมปฐพีในปัจจุบันมีความซับซ้อนและรับน้ำหนักมากขึ้น ผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ของดินเพื่อให้การออกแบบมีความปลอดภัยทั้งระหว่างการก่อสร้างและการใช้งาน กำลังรับแรงเฉือนเป็นคุณสมบัติของดินที่มีความสำคัญในการออกแบบคันดินถม (Embankment) โดยใช้ในการพิจารณาถึงเสถียรภาพของคันดิน ซึ่งลักษณะการวิบัติของคันดินถมส่วนมากมีลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลม (Circular Arc) โดยดินในธรรมชาติก่อนมีหน่วยแรงภายนอกมากระทำหน่วยแรงหลักสูงสุด (major principal stress, σ'_1) จะอยู่ในแนวดิ่งและหน่วยแรงหลักต่ำสุด (minor principal stress, σ'_3) จะอยู่ในแนวราบ แต่การก่อสร้างคันดินถมทำให้เกิดการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักตามพื้นผิวการวิบัติ (Failure Surface) ของคันดินถมดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเปลี่ยนจากแนวดิ่งไปสู่แนวราบ ซึ่งส่งผลให้พฤติ-กรรมการรับแรงเฉือนของดินเปลี่ยนไป โดยงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ดินที่เตรียมขึ้นในห้องทดลอง (reconstituted soil) [1-3] ส่วนการทดสอบจากดินตามธรรมชาติยังมีค่อนข้างน้อย เนื่องจากการเก็บตัวอย่างแบบไม่ถูกรบกวน (undisturbed sample) สำหรับการทดสอบทำได้ยาก ซึ่งคุณสมบัติของดินที่เตรียมขึ้นในห้องทดลองกับดินตามธรรมชาติแตกต่างกัน คุณสมบัติของดินตามธรรมชาติมีความไม่สมนัย (anisotropic) เนื่องจากกระบวนการตกตะกอนทับถม โดยแสดงในรูปของค่า K_0 (Coefficient of lateral earth pressure at rest condition, $\frac{\sigma'_h}{\sigma'_v}$) สำหรับดินเหนียวอัดแน่นปกติ (Normally consolidated clay) มีค่า K_0 น้อยกว่า 1 สำหรับดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ มีค่า K_0 อยู่ระหว่าง 0.6 – 0.7 [4,5] นอกจากนี้กำลังรับแรงเฉือนยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอีกประการที่สำคัญคือประวัติของหน่วยแรงในรูปของค่า Overconsolidated Ratio (OCR) ซึ่งดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯที่ระดับความลึก 1.5 เมตร ถึง 7.5 เมตร เป็นดินเหนียวที่อยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัวมีค่า OCR ระหว่าง 1.2 ถึง 2.7 ขึ้นอยู่กับอายุของดินเหนียว [4,5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงผลกระทบของการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักและอิทธิพลจากประวัติของหน่วยแรง

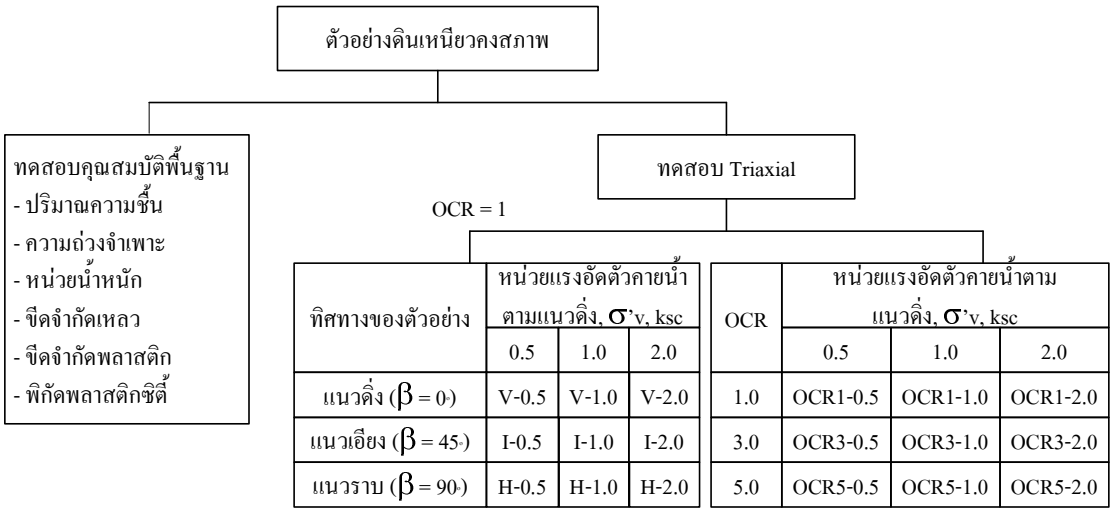
ที่มีต่อพฤติกรรมและกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ



รูปที่ 1 การเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักภายใต้ดินถม

2. วิธีการวิจัย

ตัวอย่างดินที่ใช้ในงานวิจัย ได้จากการเก็บตัวอย่างดิน ณ บริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ที่ระดับความลึก 3.0 เมตร ถึง 7.5 เมตร จำนวนสามหลุมเจาะ โดยเก็บตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพมาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติกำลังรับแรงเฉือนโดยใช้การทดสอบแรงอัดสามแกนวิธี K_O-Consolidated Undrained Triaxial Compression Test with Pore Pressure Measurement ($\overline{CK_oUC}$) ตามมาตรฐาน JGS 0525-2000 ซึ่งการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานได้แก่ ความชื้นในดินตามธรรมชาติ (%w), ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (G_s), หน่วยน้ำหนักรวม (γ_t), ขีดจำกัดเหลว (LL), ขีดจำกัดพลาสติก (PL) เพื่อสามารถจำแนกประเภทของดินและบอกถึงลักษณะพื้นฐานบางประการ นอกจากนี้ตัวอย่างดินเหนียวคงสภาพอีกส่วนได้นำมาตัดแต่งให้ได้ขนาดความสูง 10 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร เพื่อนำไปทดสอบแรงอัดสามแกนซึ่งการทดสอบแรงอัดสามแกนแบ่งออกเป็นสองชุดคือ ชุดแรกใช้ตัวอย่างแนวดิ่ง ($\beta=0^\circ$) ตัวอย่างแนวเอียง ($\beta=45^\circ$) และตัวอย่างแนวราบ ($\beta=90^\circ$) โดย β คือ มุมระหว่างแนวแกนของตัวอย่างกับแนวดิ่ง เพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงเฉือนโดยในกระบวนการอัดตัวคายน้ำกระทำภายใต้สภาวะไม่สมนัย กำหนดให้ค่า K_0 เท่ากับ 0.7 โดยใช้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำแนวดิ่ง (σ'_v) เท่ากับ 0.5 ksc 1.0 ksc และ 2.0 ksc ตามลำดับ เพื่อให้ตัวอย่างดินเหนียวอยู่ในสภาพอัดแน่นปกติ (OCR=1) ซึ่งการทดสอบแรงอัดสามแกนในแต่ละกรณีทำการทดสอบทั้งหมดสามตัวอย่าง สำหรับการทดสอบแรงอัดสามแกนชุดที่สองใช้ตัวอย่างแนวดิ่งทั้งหมด กำหนดให้ตัวอย่างดินเหนียวอยู่ในสภาพอัดแน่นเกินตัวที่ค่า OCR เท่ากับ 1, 3 และ 5 ตามลำดับ โดยในขณะทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ตัวอย่างจะอยู่ภายใต้สภาวะไม่สมนัย โดยใช้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำแนวดิ่งเท่ากับ 0.5 ksc 1.0 ksc และ 2.0 ksc ตามลำดับ ทั้งนี้ในระหว่างทดสอบซึ่งตัวอย่างชุดที่สองนี้จะศึกษาถึงผลของประวัติของหน่วยแรงที่มีต่อพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินเหนียว ซึ่งการทดสอบแรงอัดสามแกนในชุดที่สองทำการทดสอบทั้งหมดสองตัวอย่าง แผนการทดสอบแสดงในรูปที่ 2



ทิศทางของตัวอย่าง	หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำตามแนวดิ่ง, σ'v, ksc		
	0.5	1.0	2.0
แนวดิ่ง (β = 0°)	V-0.5	V-1.0	V-2.0
แนวเอียง (β = 45°)	I-0.5	I-1.0	I-2.0
แนวราบ (β = 90°)	H-0.5	H-1.0	H-2.0

OCR	หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำตามแนวดิ่ง, σ'v, ksc		
	0.5	1.0	2.0
1.0	OCR1-0.5	OCR1-1.0	OCR1-2.0
3.0	OCR3-0.5	OCR3-1.0	OCR3-2.0
5.0	OCR5-0.5	OCR5-1.0	OCR5-2.0

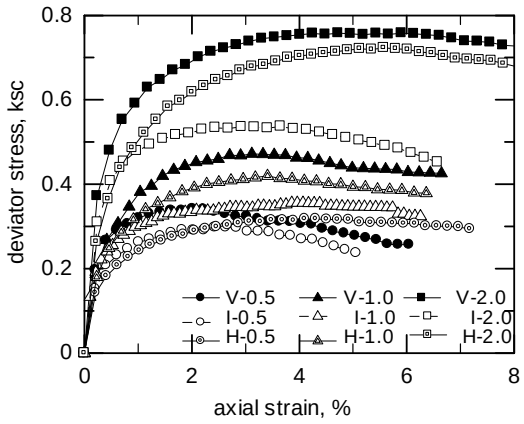
รูปที่ 2 แผนภูมิการทดสอบตัวอย่าง

3. ผลการวิจัย

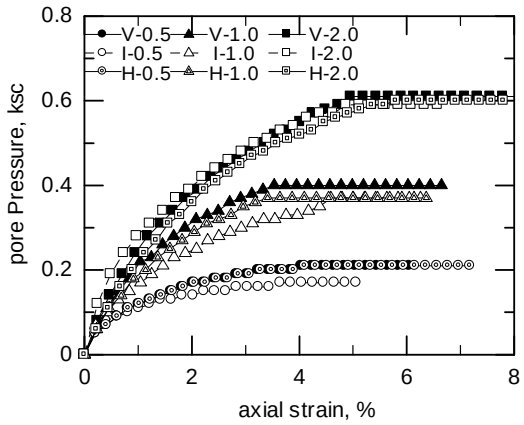
จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพบว่า ดินเหนียวตัวอย่างเป็นดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (High plasticity Clay, CH) มีปริมาณความชื้นในธรรมชาติอยู่ระหว่าง 87.22% ถึง 98.32% ขีดจำกัดเหลวมีค่าระหว่าง 93.00% ถึง 101.90% ขีดจำกัดพลาสติกมีค่าระหว่าง 28.10% ถึง 33.47% และดัชนีพลาสติกมีค่าระหว่าง 61.53% ถึง 69.00% แสดงว่าดินเหนียวอยู่ในสภาพค่อนข้างเหลวเพราะปริมาณความชื้นในธรรมชาติมีค่าใกล้เคียงกับขีดจำกัดเหลว หน่วยน้ำหนักรวมมีค่าระหว่าง 1.44 ถึง 1.55 t/m^3 ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติโดยทั่วไปของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ [6]

3.1 ผลการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลัก

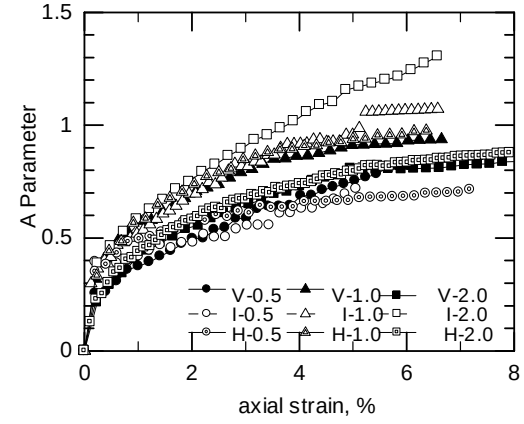
ผลการทดสอบแรงอัดสามแกนของตัวอย่างทั้งในแนวดิ่ง (V) ตัวอย่างในแนวราบ (H) และตัวอย่างในแนวเอียง (I) ดังแสดงในรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 5 พบว่าการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักมีผลต่อกำลังรับแรง (deviator stress) เห็นได้จาก ตัวอย่างแนวตั้งมีค่ากำลังรับแรงมากที่สุด และตัวอย่างแนวเอียงมีค่ากำลังรับแรงน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีสาเหตุมาจากหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นระหว่างรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวตั้งมีค่ามากที่สุดและตัวอย่างแนวเอียงมีค่าน้อยที่สุด ในทุกระดับของหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ โดยความต่างของกำลังรับแรงมีค่ามากขึ้นเมื่อหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำมีค่าสูงขึ้น ซึ่งแสดงว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained shear strength) มีคุณสมบัติความไม่สมนัยคือ เมื่อหน่วยแรงหลักที่มากระทำมีทิศทางเปลี่ยนไปกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวก็มีค่าเปลี่ยนไปด้วย [6,7] ในทางกลับกันแรงดันน้ำในโพรง (pore pressure) ที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติความสมนัย ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าความดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้นระหว่างรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวตั้ง ตัวอย่างแนวเอียงและตัวอย่างแนวราบมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนและความเครียดตามแนวแกน

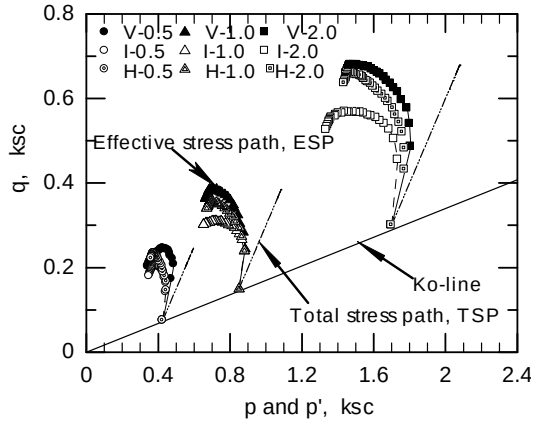


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำและความเครียดตามแนวแกน



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ A กับความเครียดตามแนวแกน

รูปที่ 6 แสดงทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลของตัวอย่างทั้ง 3 ทิศทางที่หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ 0.5, 1.0 และ 2.0 ksc ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างทั้งหมดแสดงพฤติกรรมเป็นดินเหนียวอัดแน่นปกติ โดยตัวอย่างแนวดิ่งจะมีค่ากำลังรับแรงประสิทธิผลสูงที่สุด และตัวอย่างแนวเอียงมีค่ากำลังรับแรงประสิทธิผลต่ำที่สุดซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าทิศทางของหน่วยแรงหลักมีผลกระทบต่อพฤติกรรมรับแรงของดิน โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ [6] พบว่าอิทธิพลของความไม่สมนัยมีผลต่อกำลังรับแรงของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเมื่อเทียบกับกำลังรับแรงในแนวดิ่ง โดยกำลังรับแรงในแนวเอียง 30° กับแนวดิ่งให้ค่ากำลังรับแรงต่ำที่สุด



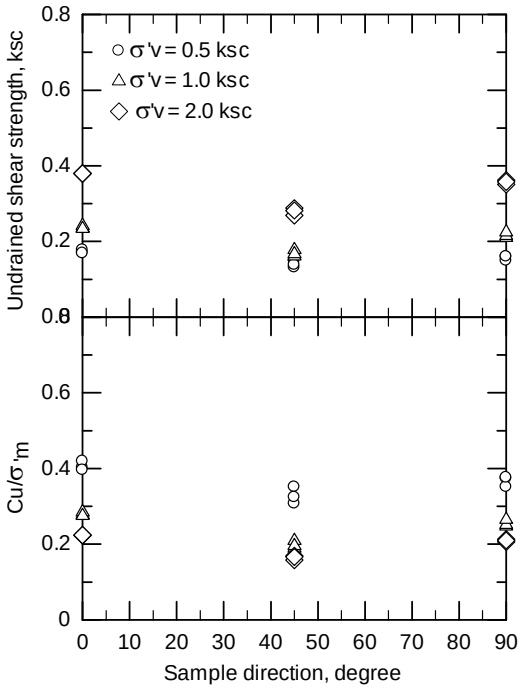
รูปที่ 6 ทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผล

รูปที่ 7 แสดงกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (C_u)ของตัวอย่างแนวดิ่ง แนวเอียง และแนวราบที่ใช้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ 0.5 1.0 และ 2.0 ksc ของทั้ง 3 ชุดการทดสอบ และอัตราส่วนค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำกับค่าหน่วยแรงอัดตัวเฉลี่ย $\left(\sigma'_m = \frac{\sigma'_v + \sigma'_h}{2}\right)$ เพื่อลดอิทธิพลของหน่วย

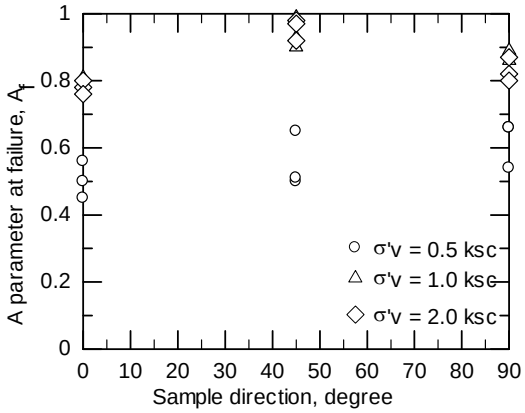
แรงอัดตัว ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของตัวอย่างมีคุณสมบัติความไม่สมนัย โดยมีค่ากำลังรับแรงเฉือนมากที่สุดในตัวอย่างแนวดิ่ง และมีค่ากำลังรับแรงเฉือนน้อยที่สุดในตัวอย่างแนวเอียง โดยอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวเอียงอยู่ในช่วง 71% ถึง 88% ของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวดิ่ง สำหรับอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวราบอยู่ในช่วง 83% ถึง 95% ของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวดิ่ง เนื่องจากความไม่สมนัยของพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติ (A_f) ซึ่งตัวอย่างแนวดิ่งมีค่าน้อยที่สุดและตัวอย่างแนวเอียงมีค่ามากที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยที่ค่าพารามิเตอร์ A ที่จุดวิบัติจากการทดสอบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.45 ถึง 0.99 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ [6,8] ซึ่งจะเห็นได้ว่าพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติมีคุณสมบัติความไม่สมนัย ตารางที่ 1 แสดงค่าเชื่อมแน่นและมุมเสียดทานภายในในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล ซึ่งจะเห็นได้ว่าทิศทางของตัวอย่างมีผลกระทบกับมุมเสียดทานภายในประสิทธิผลมากกว่าค่าเชื่อมแน่นประสิทธิผล [9]

ตารางที่ 1 ค่าเชื่อมแน่นและมุมเสียดทานภายในของตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ทิศทาง, β	Strength parameter	
		c', ksc	ϕ', degree
V-1	0	0.08	24.22
V-2	0	0.08	24.70
V-3	0	0.09	23.60
I-1	45	0.08	21.55
I-2	45	0.07	20.30
I-3	45	0.07	20.81
H-1	90	0.10	22.92
H-2	90	0.07	24.37
H-3	90	0.09	22.78



รูปที่ 7 กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำและ $\frac{C_u}{\sigma'_m}$ กับทิศทางของตัวอย่าง

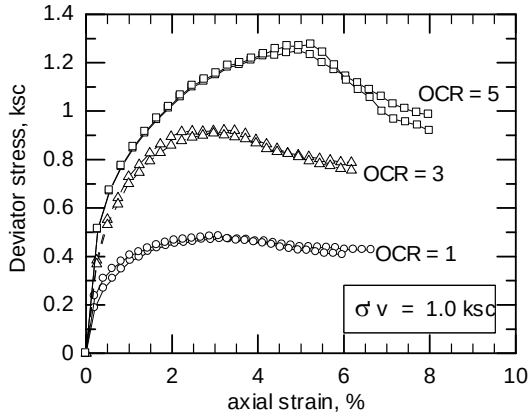


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ A ที่จุดวิบัติกับทิศทางของตัวอย่าง

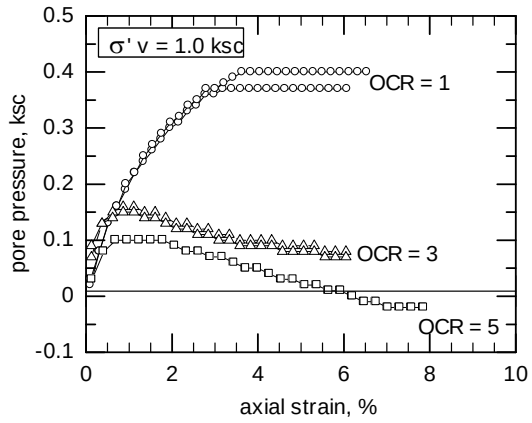
3.2 อิทธิพลจากประวัติของหน่วยแรง

พฤติกรรมของรับแรงของตัวอย่างดินเหนียวอัดแน่นปกติ (OCR = 1) และดินเหนียวอัดแน่นเกินตัว (OCR = 3 และ OCR = 5) ที่ใช้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำแนวดิ่งเท่ากับ 1.0 ksc ทั้ง 2 ชุดแสดงในรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวจะมีค่ากำลังรับแรงสูงกว่าตัวอย่างดินเหนียวอัดแน่นปกติ [10-11] ซึ่งมีสาเหตุมาจากโครงสร้างของดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมีความแข็งแรงมากกว่าดินเหนียวอัดแน่นปกติ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงของดินเหนียวอัดแน่นปกติมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อถึงจุดวิบัติแล้วค่ากำลังรับแรงมีค่าคงที่ ในขณะที่กำลังรับแรงของดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมีลักษณะค่าสูงสุด (peak) หลังจากนั้นค่ากำลังรับแรงจะลดลง พฤติกรรมนี้จะแสดงชัดเจนขึ้นเมื่อค่า OCR มีค่ามากขึ้น

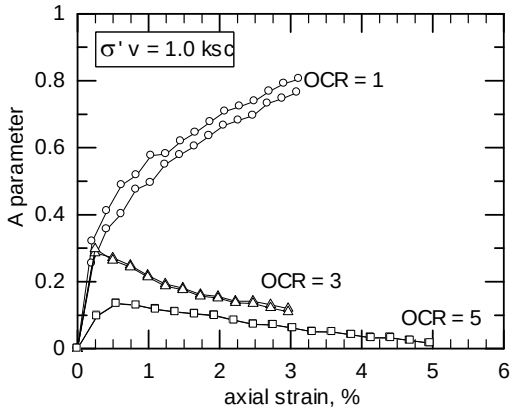
สำหรับแรงดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้นของตัวอย่างดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกหลังจากนั้นจะมีค่าลดลงดังแสดงในรูปที่ 10 เพราะระหว่างรับแรงโครงสร้างของดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวเกิดการขยายตัวมีปริมาตรเพิ่มขึ้นทำให้ความดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง แต่ตัวอย่างดินเหนียวอัดแน่นปกติปริมาตรของตัวอย่างดินลดลงอย่างต่อเนื่องระหว่างรับแรงเฉือนทำให้แรงดันน้ำในโพรงที่เกิดขึ้นมีค่าเพิ่มขึ้น รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ความดันน้ำ A กับความ เครียดตามแนวแกน ซึ่งเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับความดันน้ำในโพรง สำหรับตัวอย่างที่ใช้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ 0.5 ksc และ 2.0 ksc ให้ผลการทดสอบที่มีลักษณะเหมือนกัน รูปที่ 12 แสดงทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผลของตัวอย่าง จากพฤติกรรมของกำลังรับแรงและแรงดันน้ำในโพรงจะเห็นได้ว่าหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นระหว่างรับแรงเฉือนของดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สำหรับดินเหนียวอัดแน่นปกติหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง



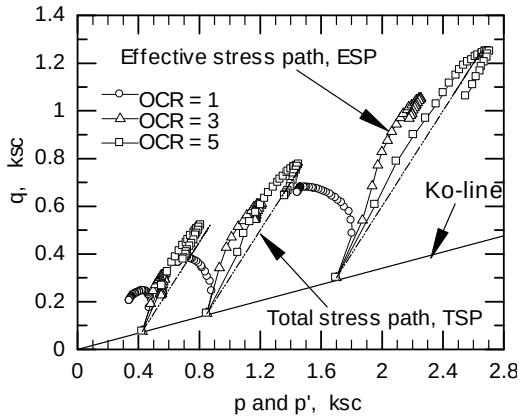
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดตามแนวแกน



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำและความเครียดตามแนวแกน

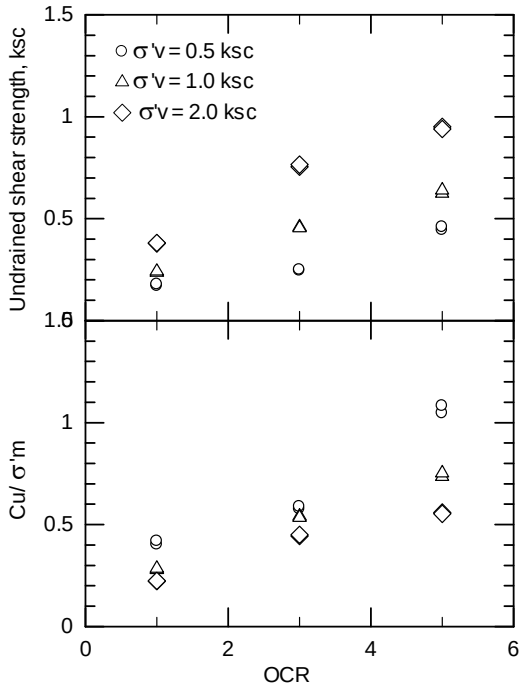


รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ A กับความเครียดตามแนวแกน

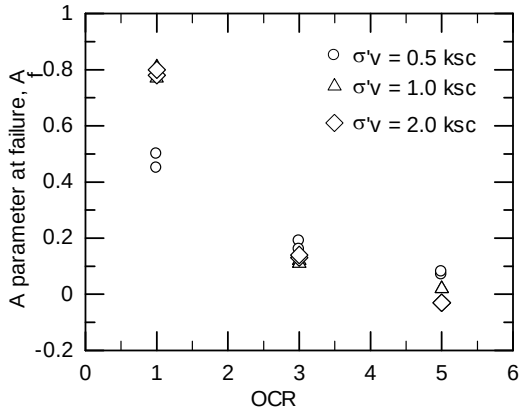


รูปที่ 12 ทางเดินของหน่วยแรงรวมและหน่วยแรงประสิทธิผล

รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำและอัตราส่วนของค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำกับหน่วยแรงกดอัดเฉลี่ย $\frac{C_u}{\sigma'_m}$ กับค่า OCR ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่า OCR ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากดินที่มีค่า OCR มากขึ้นจะมีความแข็งแรงมากขึ้น สำหรับค่าพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติ (A_f) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.14 ถึง -0.03 สำหรับดินอัดแน่นเกินตัว (OCR = 3, 5) โดยค่า A_f มีค่าลดลงตามค่า OCR ที่เพิ่มขึ้น [12] ส่วนดินอัดแน่นปกติ มีค่าพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติระหว่าง 0.5 – 0.8 [13]



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงเฉือนไม่ระบายน้ำและ $\frac{C_u}{\sigma'_m}$ กับค่า OCR



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ A ที่จุดวิบัติกับค่า OCR

4. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักและอิทธิพลจากประวัติของหน่วยแรงที่มีต่อพฤติ- กรรมและกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนทิศทางของหน่วยแรงหลักที่มากระทำต่อตัวอย่างดินทำให้พฤติกรรมและกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวขึ้นอยู่กับระนาบหน้าตัดของตัวอย่างดิน สาเหตุที่ทำให้พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของดินเหนียวเปลี่ยนไปเกิดจากคุณสมบัติความไม่สมนัยของดินเหนียวซึ่งเกิดจาก ความไม่สมนัยของพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติ และความไม่สมนัยของพารามิเตอร์กำลังรับแรงเฉือนในรูปหน่วยแรงประสิทธิผล

2. อัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวเอียงอยู่ในช่วง 71% ถึง 88% ของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวดิ่ง สำหรับอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวราบอยู่ในช่วง 83% ถึง 95% ของกำลังรับแรงเฉือนของตัวอย่างแนวดิ่ง

3. อิทธิพลจากประวัติของหน่วยแรงมีผลต่อพฤติกรรมและกำลังรับแรงเฉือนดังนี้ กำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมีค่ามากกว่าดินเหนียวอัดแน่นปกติ และพารามิเตอร์ความดันน้ำ A ที่จุดวิบัติของดินเหนียวอัดแน่นเกินตัวมีค่าน้อยกว่าดินเหนียวอัดแน่นปกติ

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Stipho, A.S., Effect of Stress Rotation on the Strength and Deformation of Laboratory Prepared Clay samples, J. King Saud Univ., Vol. 1, pp. 67-82, 1989.

[2] Zdravjivic, L. and Jardine, R.J., The Effect on Anisotropy of Rotating the Principal Stress Axes During Consolidation, Geotechnique, Vol. 51, pp. 69-83, 2001.

[3] Lin, H. and Penumadu, D., Experiment Investigation on Principal stress Rotation in Kaolin Clay, J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 131, No. 5, pp. 633-642, 2005.

[4] Shibuya, S., Geotechnical Engineering Report on Properties of Bangkok clay, Geotechnical engineering report, pp. 1-28, 1997.

[5] สุรฉัตร สัมพันธารักษ์ วิศวกรรมปฐพี, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพ ฯ, 333 น. 2540

[6] อาคม แสวงการ พฤติกรรมการรับแรงเฉือนและแอนไอโซโทรปี้ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542

[7] Jardine, R.J., Zdravkovic, L. and Porovic, E., Anisotropic Consolidation, Including Principal Stress Axis Rotation: Experiments, Results and Practical Implications, Proc. 14th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng, Hamburg 4, pp. 2165-2168, 1997.

[8] เรืองเดช ศตวิริยะ แอนไอโซโทรปี้ของกำลังรับแรงเฉือนแบบอันเดรนของดินอ่อนกรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525

[9] Kurukulasuriya, L.C., Oda, M. and Kazama, H., Anisotropic of Undrained Shear Strength

of an Over-Consolidated soil by Triaxial and Plane Strain Tests, Soil and Foundations, Vol. 39, No. 1, pp. 21-29, 1999.

[10] Varadarajan, A. and Yudhbir, Undrained Behavior of Overconsolidated Saturated Clays during Shear, Soils and Foundations, Vol. 14, No. 4, pp. 2-11, 1974.

[11] Koutsoftas, D.C., Undrained Shear Strength Behavior of a Marine Clay, Laboratory Shear Strength of Soil, pp. 254-276, 1981.

[12] Seah, A.H. and Lai, K.C., Strength and Deformation Behavior of Soft Bangkok Clay, Geotechnical Testing Journal, Vol. 26, No.4, pp. 1-11, 2003.

[13] Watabe, Y., Tsuchida, T. and Adachi, K., Undrained Shear Strength of Pleistocene Clay in Osaka Bay, J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 128, No. 3, pp. 216-226, 2002.