

กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนบดอัดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทราย

ธนากร นาเชียงใต้¹ และ วีรยา ฉิมอ้อย²

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต คลองหลวง ปทุมธานี 12121

รับเมื่อ 25 กรกฎาคม 2546 ตอรับเมื่อ 4 ธันวาคม 2546

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณทรายที่ใช้ผสมเพิ่มในดินเหนียวอ่อนที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือน ซึ่งปริมาณทรายที่ใช้ผสมตั้งแต่ 0%, 20%, 40% และ 60% โดยน้ำหนัก โดยทดสอบกับตัวอย่างดินบดอัดแบบ Static compression ตามการบดอัดแบบมาตรฐาน ที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นเหมาะสมที่สุด แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยการทดสอบแบบแรงอัดสามแกน (triaxial test) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี double suction เพื่อช่วยให้ตัวอย่างทดสอบอิ่มตัวด้วยน้ำหลังจากนั้นทำการอัดตัวคายน้ำที่ความดัน 15, 45, 60 และ 90 psi ก่อนที่จะทดสอบการรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น มีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นและทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณทราย ดินผสมบดอัดจะมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดสูงขึ้นและมีความชื้นเหมาะสมสุดลดลง โดยที่ปริมาณทรายมากกว่า 40% มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมแรงดันน้ำส่วนเกินอย่างมาก โดยดินผสมแสดงพฤติกรรม dilatation ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากผลของการบดอัด มีผลทำให้กำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวผสมทรายตั้งแต่ 40% ขึ้นไปมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับดินเหนียวบดอัด 100%

¹ นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

Undrained Shear Strength of Compacted Soft Clay Stabilized with Sand

Thanakon Nachientai¹ and Weeraya Chim-oye²

Thammasat University (Rangsit Campus), Klong Laung, Pathumthani 12121

Received 25 July 2003 ; accepted 4 December 2003

Abstract

The propose of this research is to study the effect of sand in stabilizing of compacted clay. The amount of sand was varied from 0-60% by weight. The tested specimens were compacted by static standard compression method to attain the maximum dry density and optimum water content. Double suction method was adopted to increase the degree of saturation of specimens. The soil specimens were subsequently consolidated to confining pressures of 15, 45, 60 and 90 psi. prior to shearing under undrained condition.

From the test results, it was found that with the increase in amount of sand resulted in the increase in shear strength and the decrease in excess pore water pressure. When the amount of sand became more than 40% remarkably influences on the excess pore water pressure characteristic of tested samples were observed. The specimens showed dilatation behavior and as a consequence sample with sand content higher than 40% exhibited much higher undrained shear strength than that of the 100% clay specimen.

¹ Graduate Student, Department of Civil Engineering.

² Assistant Professor, Department of Civil Engineering.

1. บทนำ

พื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นเขตพื้นที่ที่เกิดจากการตกตะกอนทับถมของลุ่มน้ำเจ้าพระยา ทำให้พื้นที่บริเวณนี้เป็นชั้นดินเหนียวที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางด้านไม่ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงเฉือน (shear strength) ที่มีค่าต่ำ ทำให้เกิดปัญหาในการก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพดินให้มีกำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น ถึงแม้ว่าวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนจะมีหลายวิธี แต่วิธีการที่ง่ายและใช้กันแพร่หลาย คือ การบดอัดดินโดยใส่สารผสมเพิ่ม ซึ่งดินเหนียวที่ได้รับการบดอัดที่จุดความชื้นเหมาะสมสุด (optimum water content) ที่ทำให้ดินบดอัดมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) จะมีกำลังรับแรงเฉือนใกล้เคียงจุดสูงสุดด้วย [1] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางด้านกำลังรับแรงเฉือน และพฤติกรรมทางด้านแรงดันน้ำ (pore pressure) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ บดอัดโดยใช้ทรายเป็นสารผสมเพิ่ม (เนื่องจากทรายเป็นวัสดุที่หาได้ง่าย สะดวก และประหยัด) โดยการทดสอบแรงอัดสามแกน (triaxial test) แบบ Consolidated Isotropic Undrained Test ที่จุดความชื้นเหมาะสมสุด และศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณของทรายที่ผสมเพิ่ม ตั้งแต่ 0%, 20%, 40% และ 60% โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนผสมทรายบดอัด

2. วิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ

ดินเหนียวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดินเหนียวกรุงเทพฯ ที่เก็บจากบริเวณที่มีความลึกประมาณ 5-7 เมตร บริเวณถนนพหลโยธิน เยื้องสถานีวิทยุโทรทัศน์กองทัพบกช่อง 5 โดยเก็บตัวอย่างแบบ disturbed sample โดยดินเหนียวที่ได้มีความชื้นธรรมชาติ 66 - 82% ค่าขีดจำกัดเหลว 72-90% ค่าขีดจำกัดพลาสติก 26-30% ค่า liquidity index 46-60% และมีความถ่วงจำเพาะ 2.78

ดินทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นทรายจากกำแพงแสน มีขนาดคละอยู่ระหว่าง 0.08 - 1.0 มิลลิเมตร ค่า D_{10} = 0.15 มิลลิเมตร ค่า D_{50} = 0.4 มิลลิเมตร ค่า C_u = 3 และค่า C_c = 1.02

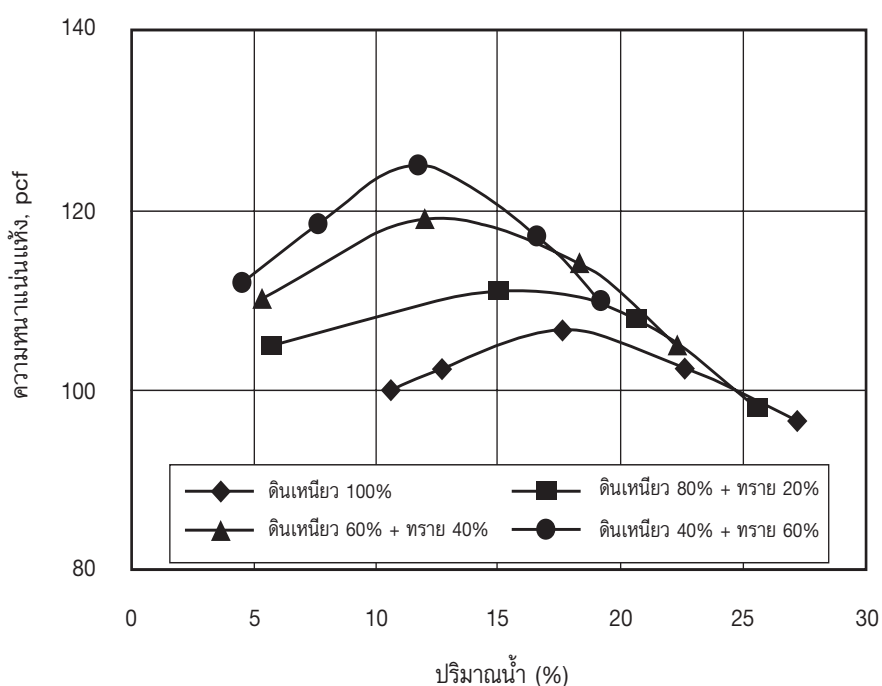
2.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างดินเหนียวทำโดยการตากแห้งแล้วนำมาป่นให้มีขนาดเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร (ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40) แล้วผสมน้ำตามความชื้นต่างๆ ให้เข้ากันอย่างดี นำมาบดอัดใส่ใน mold ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.50 เซนติเมตร สูง 7.00 เซนติเมตร โดยใช้วิธีบดอัดแบบ static compression เพื่อให้ได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นเหมาะสมสุด (ตามที่ได้จากการบดอัดที่ใช้พลังงานมาตรฐานของ Standard Proctor) ในกรณีตัวอย่างดินเหนียวผสมทรายก็นำทรายมาผสมตามเปอร์เซ็นต์ทรายต่างๆ กันคือ 20%, 40% และ 60% แล้วทำการบดอัดดินตามขั้นตอนเดิม รูปที่ 1 แสดงผลการทดสอบการบดอัดดินของดินเหนียว และดินเหนียวผสมทรายที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นและความชื้นเหมาะสมมีค่าลดลง เมื่อได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นเหมาะสมของดินเหนียวบดอัดและดินเหนียวผสมทรายแต่ละประเภท (ตารางที่ 1) แล้วก็นำไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างบดอัดเพื่อใช้ในการทดสอบกำลัง

รับแรงเฉือนโดยวิธี Isotropic Consolidated Triaxial Compression Test ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี double suction ในการช่วยทำให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated) และใช้ความดันในการอัดตัวคายน้ำสี่ระดับ คือ 15, 45, 60 และ 90 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หลังจากนั้นทดสอบการรับแรงเฉือนที่อัตรา 0.7% strain ต่อชั่วโมง รายละเอียดการทดสอบสามารถหาได้จาก [2]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นเหมาะสมสุดของดินผสมแต่ละชนิด

ชนิดของดิน	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต)	ความชื้นเหมาะสมสุด
ดินเหนียว 100%	106.5	17.6%
ดินเหนียว 80% + ทราย 20%	111.5	16.0%
ดินเหนียว 60% + ทราย 40%	119.0	12.0%
ดินเหนียว 40% + ทราย 60%	125.0	11.0%

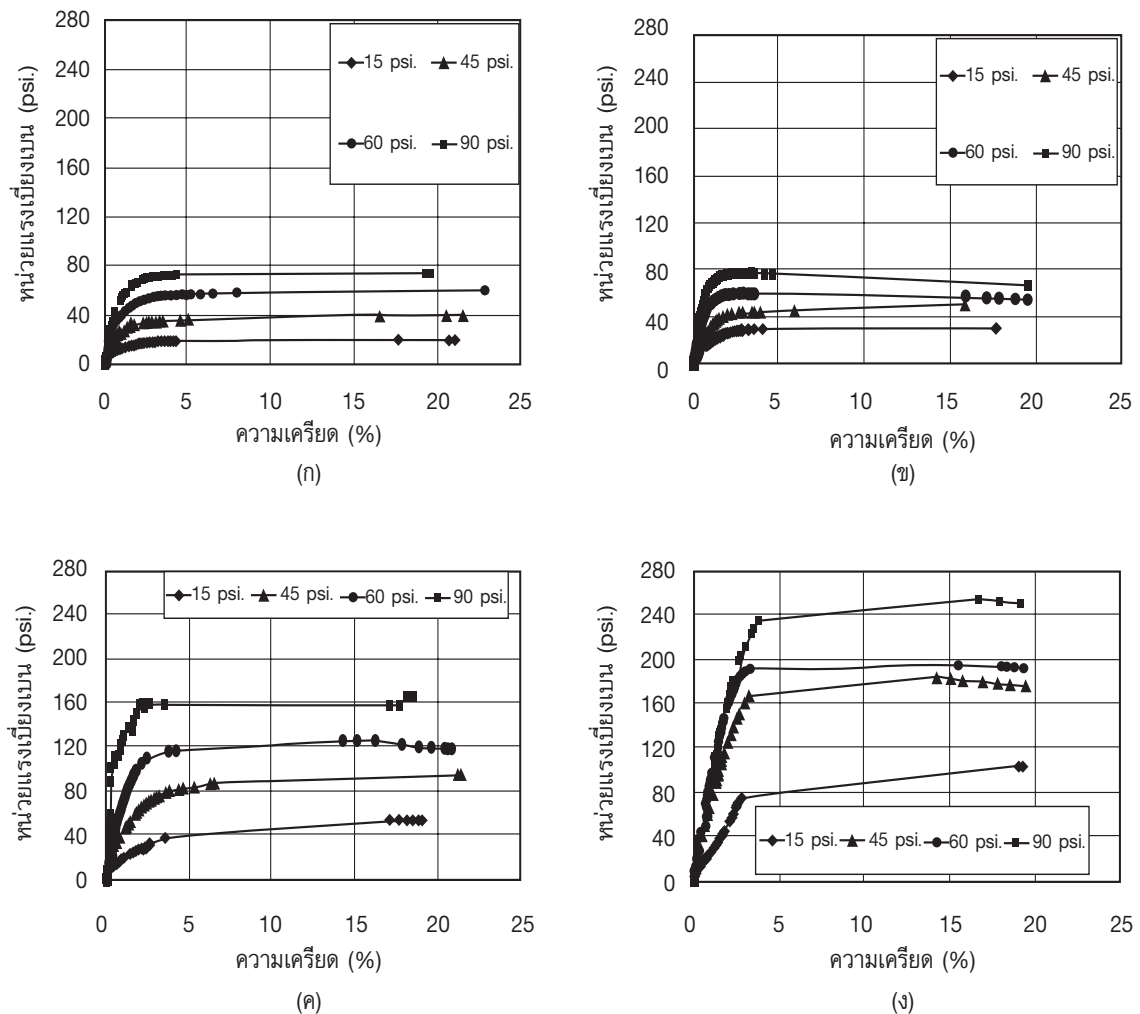


รูปที่ 1 ผลการบดอัดของดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวผสมทรายที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ กัน

3. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

3.1 ผลกระทบของปริมาณทรายที่มีพฤติกรรมมารับแรง

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเบี่ยงเบน (deviator stress) และความเครียด (strain) ของดินเหนียว 100% ดินเหนียวผสมทราย 20% ดินเหนียวผสมทราย 40% และดินเหนียวผสมทราย 60% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณทรายที่ผสมมากขึ้นทำให้ดินมีกำลังรับแรงเฉือนมากขึ้น และที่ปริมาณทรายตั้งแต่ 40% ขึ้นไปตัวอย่างดินผสมทรายส่วนใหญ่แสดงพฤติกรรมแบบ strain hardening หลังจากผ่านจุด yield point ไปแล้ว โดยมีการขยายตัวขึ้นเมื่อได้รับแรงกดเพิ่มขึ้น (dilation) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของทรายที่ถูกบดอัดแน่น [3]



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเบี่ยงเบนและความเครียด

(ก) ดินเหนียว 100%

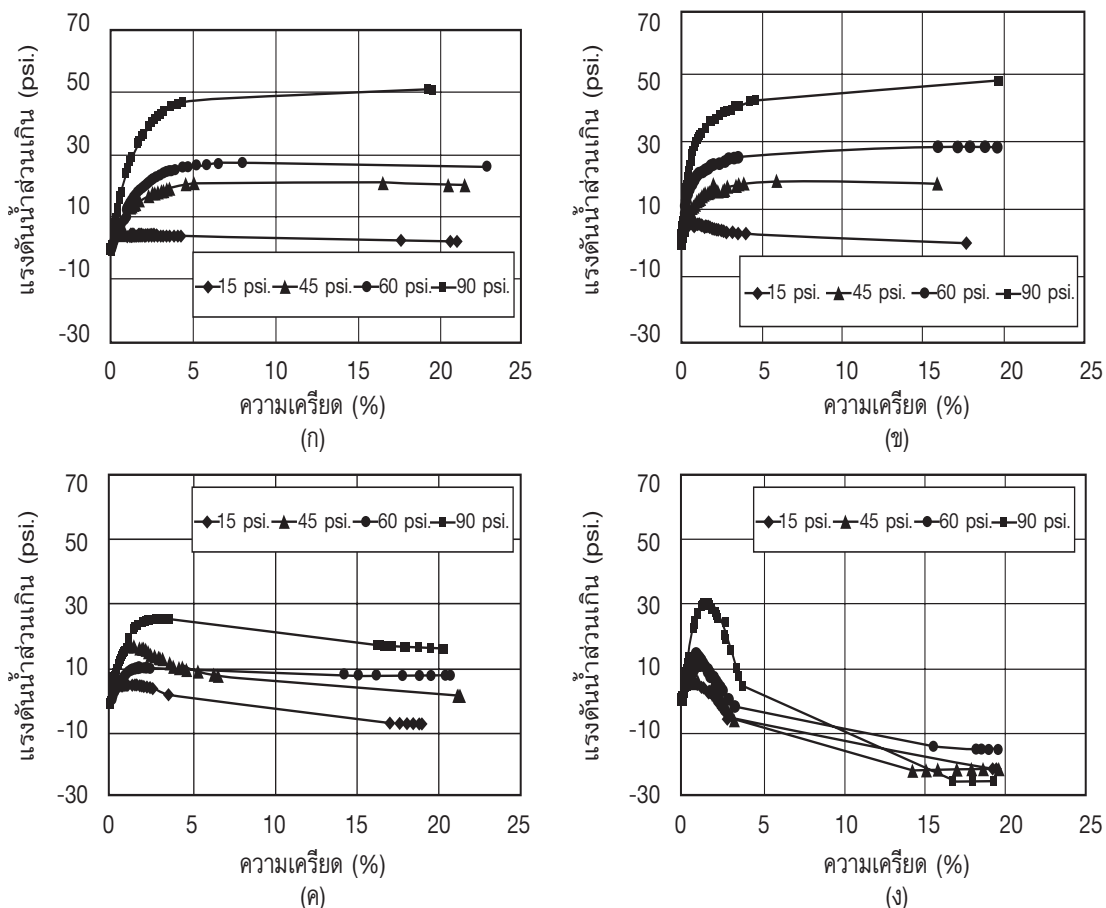
(ข) ดินเหนียวผสมทราย 20%

(ค) ดินเหนียวผสมทราย 40%

(ง) ดินเหนียวผสมทราย 60%

3.2 ผลกระทบของปริมาณทรายที่มีต่อพฤติกรรมแรงดันน้ำส่วนเกิน

รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน และความเครียดของดินเหนียว 100% ดินเหนียวผสมทราย 20% ดินเหนียวผสมทราย 40% และดินเหนียวผสมทราย 60% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันน้ำส่วนเกินมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก (มีค่าเป็นบวก) (ความเครียดไม่เกิน 5%) หลังจากนั้นพฤติกรรมของแรงดันน้ำส่วนเกินจะขึ้นอยู่กับปริมาณทรายที่ผสม ในกรณีของดินเหนียว 100% ดินเหนียวผสมทราย 20% ดินเหนียวผสมทราย 40% แรงดันน้ำส่วนเกินจะมีค่าคงที่หรือมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นจนวิบัติ โดยพฤติกรรมของแรงดันน้ำส่วนเกินจะไม่แสดงจุดสูงสุดชัดเจน ซึ่งเป็นพฤติกรรมของดินเหนียวอัดอ้อมตัวที่มีคุณสมบัติค่อนข้างเป็น ductile material ในขณะที่และดินเหนียวผสมทราย 60% แรงดันน้ำส่วนเกินจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่งมีค่าเป็นลบเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้นโดยแสดงจุดสูงสุดที่ชัดเจน ซึ่งเป็นพฤติกรรมแบบทรายอัดแน่นเมื่อได้รับแรงกดจากการทดสอบแบบไม่ระบายน้ำเพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่ง ดินจะขยายตัวขึ้นและน้ำจะเคลื่อนที่กลับเข้าไปในมวลดินในขณะที่โครงสร้างดินขยายตัวนั้น ทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินลดลงจนมีค่าติดลบ [4] รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกิน (excess pore pressure) และปริมาณทรายในดินผสมจะเห็นได้ว่าปริมาณทรายที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินลดลง



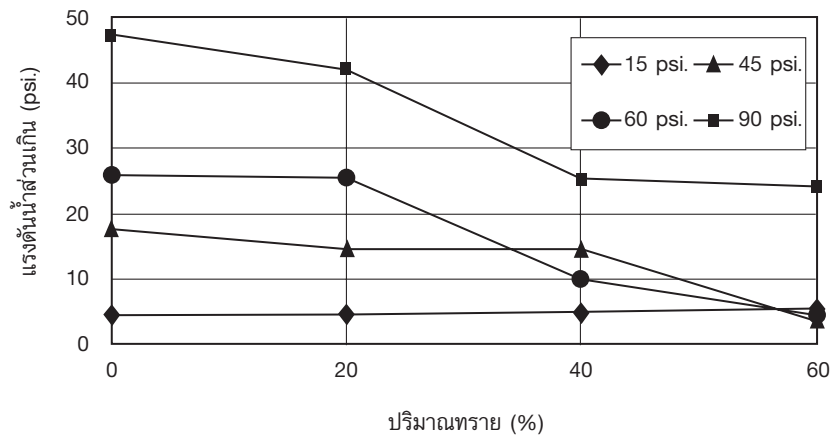
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินและความเครียด

(ก) ดินเหนียว 100%

(ข) ดินเหนียวผสมทราย 20%

(ค) ดินเหนียวผสมทราย 40%

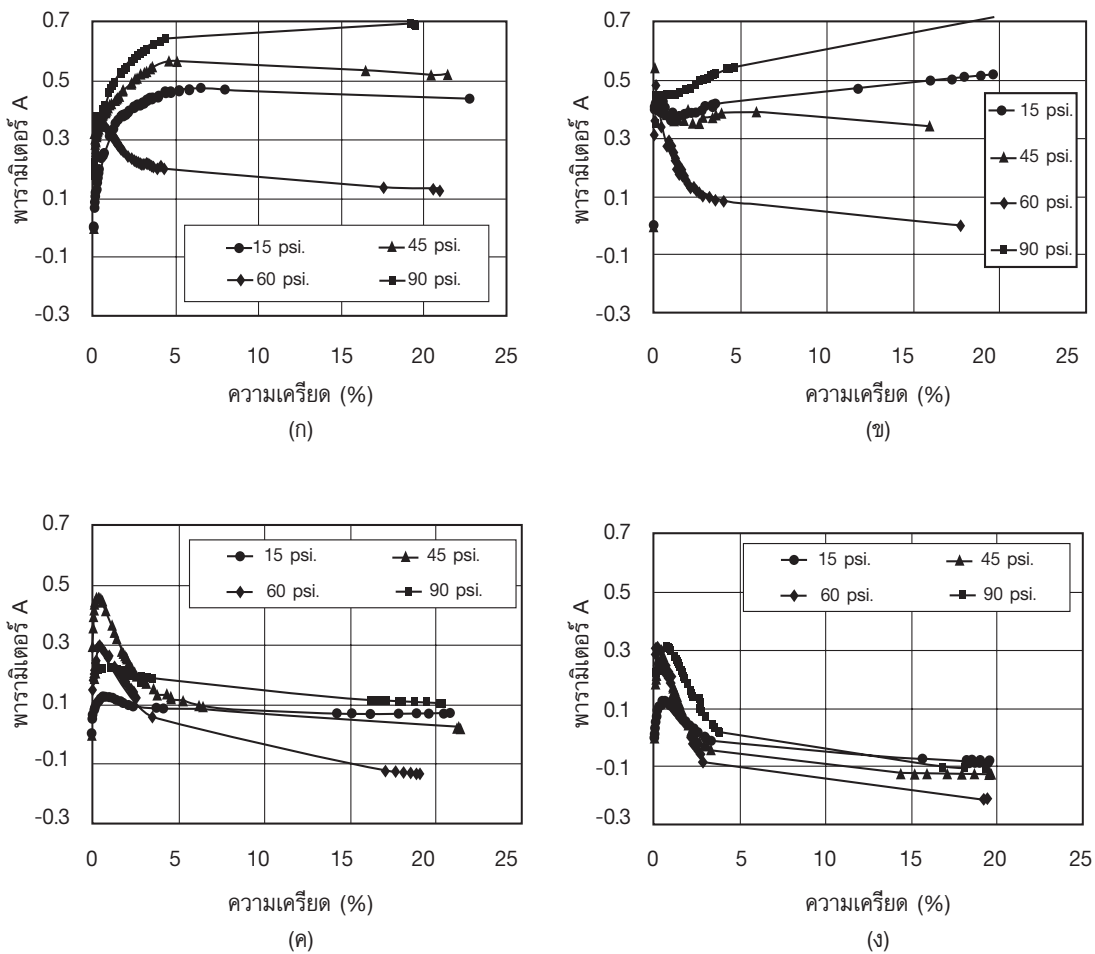
(ง) ดินเหนียวผสมทราย 60%



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนแรงดันน้ำส่วนเกินต่อหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำ และปริมาณทรายในดินผสม

3.3 ผลกระทบของปริมาณทรายที่มีต่อค่าพารามิเตอร์ A

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ A (Skempton A parameter) กับความเครียดตามแนวแกนที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างดินเหนียว 100% ดินเหนียวผสมทราย 20% ดินเหนียวผสมทราย 40% และดินเหนียวผสมทราย 60% ที่หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำต่างๆ กัน จะเห็นได้ว่าในกรณีของดินเหนียว 100% และดินเหนียวผสมทราย 20% ค่าพารามิเตอร์ A จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 5% แรกของความเครียด หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ เมื่อหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 45 psi. ซึ่งเป็นพฤติกรรมของ normally consolidated clay แต่ในทางกลับกันที่หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำมีค่าน้อย (15 psi) ค่าพารามิเตอร์ A จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากผ่านจุดสูงสุดไปแล้ว ซึ่งเป็นพฤติกรรมของ overconsolidated clay เนื่องจากดินได้รับการบดอัด และเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อปริมาณทรายที่ผสมมีมากขึ้น ไม่ว่าจะใช้หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำเท่าใด ตัวอย่างดินจะมีพฤติกรรมแบบ overconsolidated clay แต่การเพิ่มหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำจะทำให้ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ A มีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวขึ้น (dilatancy) ของดินทรายแน่นเนื่องจากหน่วยแรงอัดตัวคายน้ำทำให้ดินแน่นขึ้น



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ A กับความเครียดตามแนวแกน

(ก) ดินเหนียว 100%

(ข) ดินเหนียวผสมทราย 20%

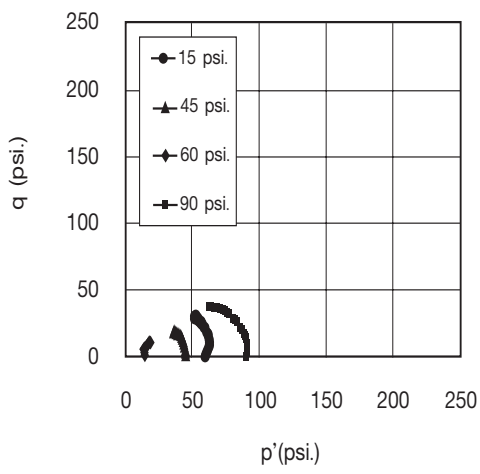
(ค) ดินเหนียวผสมทราย 40%

(ง) ดินเหนียวผสมทราย 60%

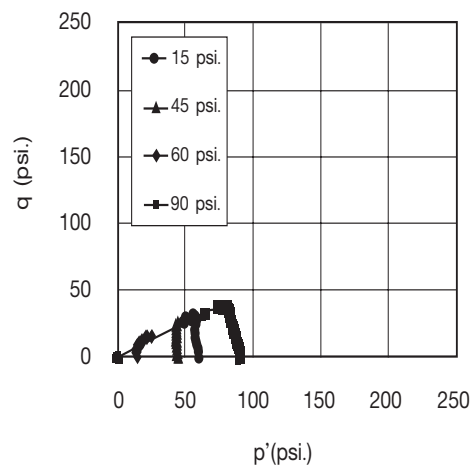
3.4 ผลกระทบของปริมาณทรายต่อทางเดินของหน่วยแรง

จากที่ได้กล่าวมาแล้ว พฤติกรรมของดินเหนียว 100% และดินเหนียวผสมทราย 20% มีพฤติกรรมเป็น normally consolidated clay นั้น จะเห็นได้ชัดเจนจากทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผล ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และ 6 (ข) ยกเว้นในกรณีที่หน่วยแรงอัดตัวคายน้ำมีค่าต่ำ (15 psi.) ตัวอย่างดินล้วนแสดงพฤติกรรมเป็น slightly overconsolidated clay เนื่องจากดินได้รับการบดอัดมาก่อน สำหรับตัวอย่างดินเหนียวผสมทรายก็จะแสดงพฤติกรรมเป็น overconsolidated clay หรือพฤติกรรมของดินทรายแน่นที่ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 6 (ค) และ 6 (ง)

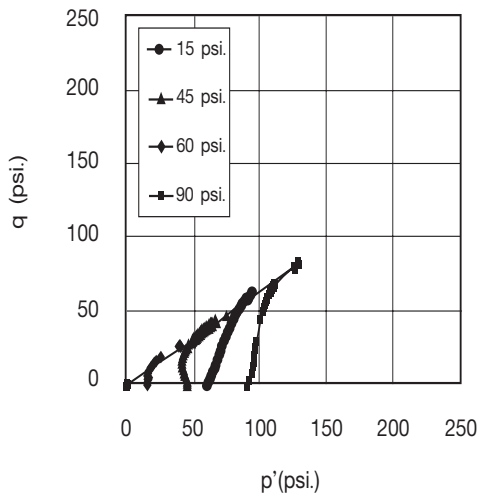
จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยการผสมทราย ดังแสดงในตารางที่ 2 โดยปริมาณทรายที่ผสมเพิ่มที่ 40% เป็นต้นไปจะทำให้ดินผสมมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งค่า q และค่ามุม α เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีดินเหนียว 100%



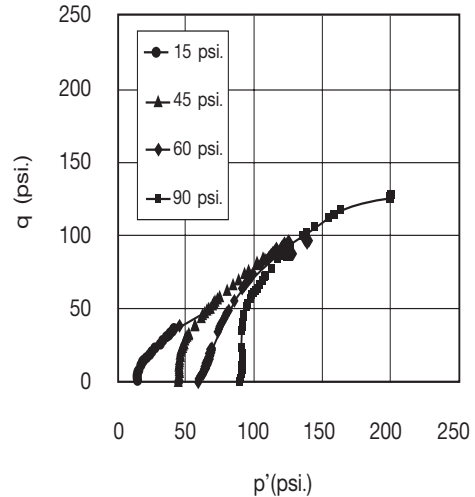
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6 เส้นทางเดินของหน่วยแรงประสิทธิผลกับความเครียด

(ก) ดินเหนียว 100%

(ข) ดินเหนียวผสมทราย 20%

(ค) ดินเหนียวผสมทราย 40%

(ง) ดินเหนียวผสมทราย 60%

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (q) และค่ามุมแอลฟา เมื่อปริมาณทรายเพิ่มขึ้น

ชนิดดิน	ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด (q), psi.	ค่ามุมแอลฟา, องศา
ดินเหนียว 100%	0.94	27.0
ผสมทราย 20 %	2.25	28.8
ผสมทราย 40 %	6.17	31.1
ผสมทราย 60 %	8.78	33.9

4. สรุปการวิจัย

ผลงานวิจัยนี้ได้แสดงผลของปริมาณทราย (ที่ใช้ผสมกับดินเหนียวอ่อน) ที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือน โดยทำการทดสอบดินผสมบดอัดที่ตำแหน่งความหนาแน่นแห้งสูงสุด และความชื้นที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเติมทรายเข้าไปในดินเหนียวจะทำให้แรงดันน้ำส่วนเกินมีค่าลดลง ทำให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินผสมทรายมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณทรายที่ใช้ผสมเพิ่ม
2. ในตัวอย่างดินเหนียวผสมทราย พฤติกรรมของแรงดันน้ำส่วนเกินเมื่อได้รับแรงกดจะแสดงพฤติกรรมของ overconsolidated clay หรือ ทรายอัดแน่น โดยการเกิด dilation
3. ในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณทรายที่เหมาะสมในการใช้ปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ควรใช้ตั้งแต่ 40% ขึ้นไป

5. ข้อเสนอแนะ

1. จากการวิจัยนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่า การผสมทรายเข้าไปในดินเหนียว 40% เป็นปริมาณต่ำสุดที่จะทำให้ดินผสมเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมหลังการบดอัดไปอย่างชัดเจน การผสมทรายในปริมาณต่ำกว่านี้ เช่น 30% หรือ 35% อาจเป็นจุดที่ทำให้ดินเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมก็ได้
2. เนื่องจากการควบคุมการบดอัดในสนามเพื่อให้ได้จุดที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นเหมาะสมที่สุดทำได้ยาก จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของความชื้นที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนและแรงดันน้ำ โดยที่การทดสอบที่จุดความชื้นทางด้านแห้ง และทางด้านเปียกของการบดอัด

6. เอกสารอ้างอิง

1. University of Colorado, 1960, *Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soil*, American Society of Civil Engineering.

2. ธนากร นาเชียงใหม่, 2541, “พฤติกรรมของแรงดันน้ำในดินอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยทราย”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

3. Lambe, T.W., 1958, “The Engineering Behaviour of Compacted Clays”, *ASCE, Proceeding Paper 1655*.

4. Seed, H.B. and Chan, C.K., 1957, “Undrained Strength Characteristics of Compacted Clay”, *ASCE, Proceeding Paper 2293*.