

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ จะเป็นผลการทดสอบของดินเหนียวกรุงเทพฯ และดินเหนียวใกล้เคียงกรุงเทพฯ เพื่อหาค่าโมดูลัสแบบเฉือน(Equivalent Shear Modulus) โดยใช้วิธีการทดสอบหาค่ากำลังอัดแบบสามแกน(Conventional Triaxial Test) ที่ติดตั้งแผ่น Bender Element และทำการทดสอบในสภาพ CIU (Consolidate Isotropic Undrained Test) ซึ่งตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบมีอยู่ด้วยกัน 2 บริเวณ คือ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและบริเวณทางเข้าสนามบินสุวรรณภูมิ โดยทำการเก็บตัวอย่างดินด้วยวิธีหลุมเจาะล้าง(Wash Boring) และใช้กระบอกบาง(Shelby Tube) การทดสอบจะกระทำเหมือนการทดสอบหาค่ากำลังอัดแบบสามแกนทั่วไป นั่นคือ เมื่อติดตั้งตัวอย่างดินเข้ากับเครื่องทดสอบแล้วก็จะทำให้ตัวอย่างดินอิ่มตัวด้วยน้ำ(Saturation) หลังจากนั้นจะทำการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) ด้วยหน่วยแรงประสิทธิผลที่เท่ากันทุกทิศทางรอบตัวอย่างดิน(Isotropic) และเมื่อกระบวนการอัดตัวคายน้ำสิ้นสุดลงจึงทำการทดสอบหาค่ากำลังอัดภายใต้เงื่อนไขอัตราความเครียดคงที่(Strain Rate Control)

ในการทดสอบหาค่าโมดูลัสแบบเฉือนของดินเหนียวกรุงเทพฯ ก่อนหน้านี้ Ashford et al,1997 ได้ทำการหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนด้วยวิธี Down Hole Test ในสนาม พิพัฒนา ทองฉิม,1998 ได้ทำการหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนด้วยเครื่องมือทดสอบ Cyclic Triaxial Test และธีรินทร์ อมรวิทยารักษ์,2000 ได้ทำการหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนด้วย Bender Element ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวพบว่าค่าโมดูลัสแรงเฉือนด้วยวิธี Down Hole Test ของ Ashford et al,1997 มีค่าสูงใกล้เคียงกับวิธีการทดสอบด้วย Bender Element ของธีรินทร์ อมรวิทยารักษ์,2000 ซึ่งมีค่ามากกว่าการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบ Cyclic Triaxial Test ของพิพัฒนา ทองฉิม,1998

สำหรับการศึกษาและทดลองในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงผลกระทบบที่มีต่อค่าโมดูลัสแรงเฉือน โดยพิจารณาถึงผลของ หน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure), ค่าแรงดันในอดีตสูงสุด(Maximum Past Pressure), คุณสมบัติทางกายภาพ(Basic Properties) และศึกษาพฤติกรรมของโมดูลัสแรงเฉือนในระหว่างการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงเฉือน(Shearing) ซึ่งจะทำการศึกษากับตัวอย่างดินทั้ง 2 แหล่ง

4.2 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ

ตัวอย่างดินทั้งที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและทางเข้าสนามบินสุวรรณภูมิ ที่ระดับความลึก 9.00-10.00 ม. ได้ทำการทดสอบทางกายภาพและทางวิศวกรรมเบื้องต้นซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.1 ซึ่งสามารถสรุปลักษณะของตัวอย่างดินได้พอสังเขปดังต่อไปนี้

4.2.1 คุณสมบัติของตัวอย่างดินจากบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างดินมีลักษณะเนื้อดินที่ละเอียดมีสีดำและพบว่ามีเปลือกหอยปนอยู่บ้าง เมื่อจำแนกประเภทของดินพบว่าเป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง(Medium Clay) ซึ่งมีค่า Plastic Index(PI) ประมาณ 40% ความชื้นของตัวอย่างดินตามธรรมชาติ(Natural Water Content) ประมาณ 50-60% หน่วยน้ำหนักเปียก(Total Unit Weight, γ_t) ประมาณ 1.59-1.68 t/m³ และมีค่า Liquidity Index ประมาณ 0.6

4.2.2 คุณสมบัติของตัวอย่างดินจากบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

ตัวอย่างดินมีลักษณะเนื้อดินที่ละเอียดมีสีเทาและมีเปลือกหอยปนอยู่มาก เมื่อจำแนกประเภทของดินพบว่าเป็นดินเหนียวแข็งปานกลาง(Medium Clay) ซึ่งมีค่า Plastic Index(PI) ประมาณ 60% ความชื้นของตัวอย่างดินตามธรรมชาติ(Natural Water Content) ประมาณ 100% หน่วยน้ำหนักเปียก(Total Unit Weight, γ_t) ประมาณ 1.41-1.47 t/m³ และมีค่า Liquidity Index มากกว่า 1.0

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบ

สถานที่เก็บตัวอย่างดิน	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CU)	สนามบินนานาชาติสุวรรณภูมิ
ระดับความลึก (m)	9.00-10.00	9.00-9.50
ปริมาณความชื้น, w (%)	50-60	100
ขีดเหลว, LL (%)	60.42	80.9
ขีดพลาสติก, PL (%)	19.93	24.45
ดัชนีพลาสติกซีดี, PI (%)	40.49	56.45
หน่วยน้ำหนักรวม, γ_t (t/m^3)	1.59-1.68	1.41-1.47
ความถ่วงจำเพาะ, G_s	2.85	2.68
กำลังรับแรงเฉือนของดิน, S_u (t/m^2)	2.31	1.47
แรงดันในอดีตสูงสุด, σ'_p (t/m^2)	12	6

4.3 ผลการทดสอบตัวอย่างดินจากบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับตัวอย่างดินจากบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-10.00 ม. มีค่า Plasticity Index(PI) เท่ากับ 40.49 % ทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) ด้วยเครื่องทดสอบแบบแรงอัดสามแกน(Triaxial Test) ที่ติดตั้งแผ่น Bender Element นั้น แบ่งการทดสอบเป็น 2 ช่วง คือ

- การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนเมื่อกระบวนการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สิ้นสุดลงแต่ละสภาวะ
- การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing)

ซึ่งแต่ละช่วงการทดสอบ ได้ทำการเตรียมตัวอย่างดินให้อยู่ใน 2 ลักษณะ คือ สภาพดินอัดแน่นปกติ(Normally Consolidated Clay, NC Clay) และดินอัดแน่นเกินตัว(Overconsolidated Clay, OC Clay) โดยมีผลการทดสอบดังนี้

4.3.1 การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนเมื่อกระบวนการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สิ้นสุดลงแต่ละสถานะ

สำหรับผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) ที่กระทำต่อตัวอย่างดิน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผลมีค่ามาก ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ $G = \rho V^2$ ในผลการทดสอบพบว่าความหนาแน่นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นและค่าความเร็วของคลื่นความเค้นที่วัดได้ก็เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามหน่วยแรงประสิทธิผลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสแรงเฉือนกับหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ จะได้ดังนี้

- ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-10.00 ม. มีค่า $\sigma'_{v0} = 62.13$ kPa และมีค่า $G_0 = 12.01$ MPa

จากผลการทดสอบพบว่าค่าความเร็วของคลื่นความเค้นของตัวอย่างดิน

เป็นดังนี้

- ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-10.00 ม. ความเร็วของคลื่นความเค้นเท่ากับ 85.21 m/s ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนได้ประมาณ
- ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-10.00 ม. มีค่า $G_0 = 11.97$ MPa

4.3.1.1 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นปกติ(NC Clay)

แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 กราฟที่ได้มีลักษณะของแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน คือ เมื่อหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และมีทิศทางการเพิ่มขึ้นสู่เข้าสู่จุดเดียวกัน

4.3.1.2 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay)

โดยทำการเตรียมตัวอย่างดินให้อยู่ในสภาพดังกล่าวด้วยวิธี Stress History And Normallized Soil Engineering Properties(SHANSEP) พบว่า เมื่อทำการลดหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) หรือ Unload ทำให้

ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) สูงกว่าการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลและสังเกตได้ว่า ขณะลดหน่วยแรงประสิทธิผลทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือนมีแนวโน้มขนานกันกับขณะเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

4.3.2 การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing)

ในการทดสอบหาลำดับรับแรงเฉือน(Shearing) ของตัวอย่างดินที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้นจะกระทำเมื่อทำการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สิ้นสุดลงแล้ว ในขณะที่ทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ก็จะทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้น(Shear Wave Velocity) ไปพร้อมๆ กัน

ในการทดสอบหาลำดับรับแรงเฉือน(Shearing) ในเครื่องทดสอบแบบแรงอัดสามแกน(Triaxial Test) เมื่อทำการกดตัวอย่างในแนวแกนจะเกิดแรงดันน้ำส่วนเกิน(Excess Pore Water Pressure) ขึ้นในตัวอย่างดิน ส่งผลให้เมื่อมองพฤติกรรมของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในรูปของหน่วยแรงหลัก(Principal Stress) กับ หน่วยแรงรอง(Deviatoric Stress) หรือในรูปของ $p'-q$ Diagram หน่วยแรงที่เกิดขึ้นในตัวอย่างจะมีทั้งหน่วยแรงหลักและหน่วยแรงรอง ซึ่งความหมายของหน่วยแรงหลักก็คือ Mean Effective Stress ที่เกิดขึ้นในตัวอย่าง โดยขณะทดสอบกำลังรับแรงเฉือนทำให้หน่วยแรงรองมีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งต่างจากการทดสอบขณะกระบวนการอัดตัวคายน้ำสิ้นสุดลงแต่ละสถานะทำให้หน่วยแรงรองมีค่ามากกว่าศูนย์

4.3.2.1 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นปกติ(NC Clay)

ค่าโมดูลัสแรงเฉือนที่ได้มีค่าลดลงในลักษณะเป็นรูปโค้งคว่ำ โดยเมื่อเริ่มทดสอบค่าโมดูลัสแรงเฉือนจะมีค่าสูงขึ้น คือ มีค่ามากกว่าขณะการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) และจะมีค่าลดลงเท่ากับขณะการอัดตัวคายน้ำ เมื่อประมาณ 1-3% Strain จนมีค่าลดลงต่ำกว่าขณะการอัดตัวคายน้ำ เมื่อตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ(Failure) และจะลดลงอย่างมากหลังจากตัวอย่างดินเกิดการวิบัติแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing) ของดินนั้น ทำให้หน่วยแรงรอง(Deviatoric Stress) มีค่ามากกว่าศูนย์ แต่ก็มีผลกับ

ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) น้อยมากจนสามารถละผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรองไปได้

4.3.2.2 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay)

เนื่องจากขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay) มีการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรอง(Deviatoric Stress) น้อยมาก ดังนั้นจึงทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือนที่ได้มีค่าลดลงในลักษณะเป็นรูปโค้งหงาย โดยมีแนวโน้มการลดลงเข้าสู่เส้นอ้างอิงขณะการอัดตัวคายน้ำ Isotropic Line แสดงดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

สามารถสรุปได้ว่าผลของการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing) ของดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay) มีผลทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) มีการเปลี่ยนแปลงลดลง จึงไม่สามารถละผลอันเนื่องมาจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนได้

4.4 ผลการทดสอบตัวอย่างดินจากบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ

สำหรับตัวอย่างดินจากบริเวณสนามบินสุวรรณภูมิ โดยใช้ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-9.50 ม. มีค่า Plasticity Index(PI) เท่ากับ 56.45 % ทำการทดสอบหาค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) ด้วยเครื่องทดสอบแบบแรงอัดสามแกน(Triaxial Test) ที่ติดตั้งแผ่น Bender Element นั้น แบ่งการทดสอบเป็น 2 ช่วง คือ

- การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนเมื่อกระบวนการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สิ้นสุดลงแต่ละสภาวะ
- การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing)

ซึ่งแต่ละช่วงการทดสอบ ได้ทำการเตรียมตัวอย่างดินให้อยู่ใน 2 ลักษณะ คือ สภาพดินอัดแน่นปกติ(Normally Consolidated Clay, NC Clay) และดินอัดแน่นเกินตัว(Overconsolidated Clay, OC Clay) โดยมีผลการทดสอบดังนี้

4.4.1 การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนเมื่อกระบวนการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สิ้นสุดลงแต่ละสภาวะ

เมื่อทำการทดสอบตัวอย่างดินที่สนามบินสุวรรณภูมิ พบว่าผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) คือ เมื่อเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลเหมือนกับตัวอย่างดินที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผลมีค่ามาก และเมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสแรงเฉือนกับหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ จะได้ดังนี้

- ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-9.50 ม. มีค่า $\sigma_{v_0}' = 42.46$ kPa และมีค่า $G_0 = 4.26$ MPa

จากผลการทดสอบพบว่าค่าความเร็วของคลื่นความเค้นของตัวอย่างดินเป็นดังนี้

- ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-9.50 ม. ความเร็วของคลื่นความเค้น เท่ากับ 53.8 m/s ซึ่งสามารถนำมาคำนวณหาค่าโมดูลัสแรงเฉือนได้ประมาณ
- ตัวอย่างดินที่ระดับความลึก 9.00-9.50 ม. มีค่า $G_0 = 4.24$ MPa

4.4.1.1 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นปกติ(NC Clay)

แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7 กราฟที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกัน(Consistency) คือ กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) ก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

4.4.1.2 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay)

โดยทำการเตรียมตัวอย่างดินให้อยู่ในสภาพดังกล่าวด้วยวิธี Stress History And Normallized Soil Engineering Properties(SHANSEP) พบว่า เมื่อทำการลดหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) หรือ Unload ทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) สูงกว่าการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล และสังเกตได้ว่า ขณะลดหน่วยแรงประสิทธิผลทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือนมีแนวโน้ม

ขนานกันกับขณะเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล โดยเฉพาะเมื่อตัวอย่างดินมีค่า Over Consolidation Ratio, OCR มากกว่า 2 แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

4.4.2 การหาค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) ขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing)

ในการทดสอบหาลังรับแรงเฉือน(Shearing) ของตัวอย่างดินที่สนามบินสุวรรณภูมิ ก็ทำการทดสอบเหมือนกับตัวอย่างดินที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คือ จะกระทำเมื่อทำการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) สิ้นสุดลงแล้ว ในขณะที่ทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ก็จะทำการวัดค่าความเร็วของคลื่นความเค้น(Shear Wave Velocity) ไปพร้อมๆ กัน

4.4.2.1 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นปกติ(NC Clay)

ค่าโมดูลัสแรงเฉือนที่ได้มีค่าลดลงในลักษณะเป็นรูปโค้งคว่ำ โดยเมื่อเริ่มทดสอบค่าโมดูลัสแรงเฉือนจะมีค่าสูงขึ้น คือ มีค่ามากกว่าขณะการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) และจะมีค่าลดลงเท่ากับขณะการอัดตัวคายน้ำ เมื่อประมาณ 3-5 % Strain จนมีค่าลดลงต่ำกว่าขณะการอัดตัวคายน้ำ เมื่อตัวอย่างดินเกิดการวิบัติ(Failure) และจะลดลงอย่างมากหลังจากตัวอย่างดินเกิดการวิบัติแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing) ของดินนั้น ทำให้หน่วยแรงรอง(Deviatoric Stress) มีค่ามากกว่าศูนย์ แต่ก็มีผลกับค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) น้อยมากจนสามารถละผลกระทบอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรองไปได้

4.4.2.2 สำหรับการทดสอบกับดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay)

เนื่องจากขณะทำการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay) มีการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงรอง(Deviatoric Stress) น้อยมาก ดังนั้นจึงทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือนที่ได้มีค่าลดลงในลักษณะเป็นรูปโค้งหงาย โดยมีแนวโน้มการลดลงเข้าสู่เส้นอ้างอิงขณะการอัดตัวคายน้ำ Isotropic Line แสดงดังรูปที่ 4.8 และ 4.9

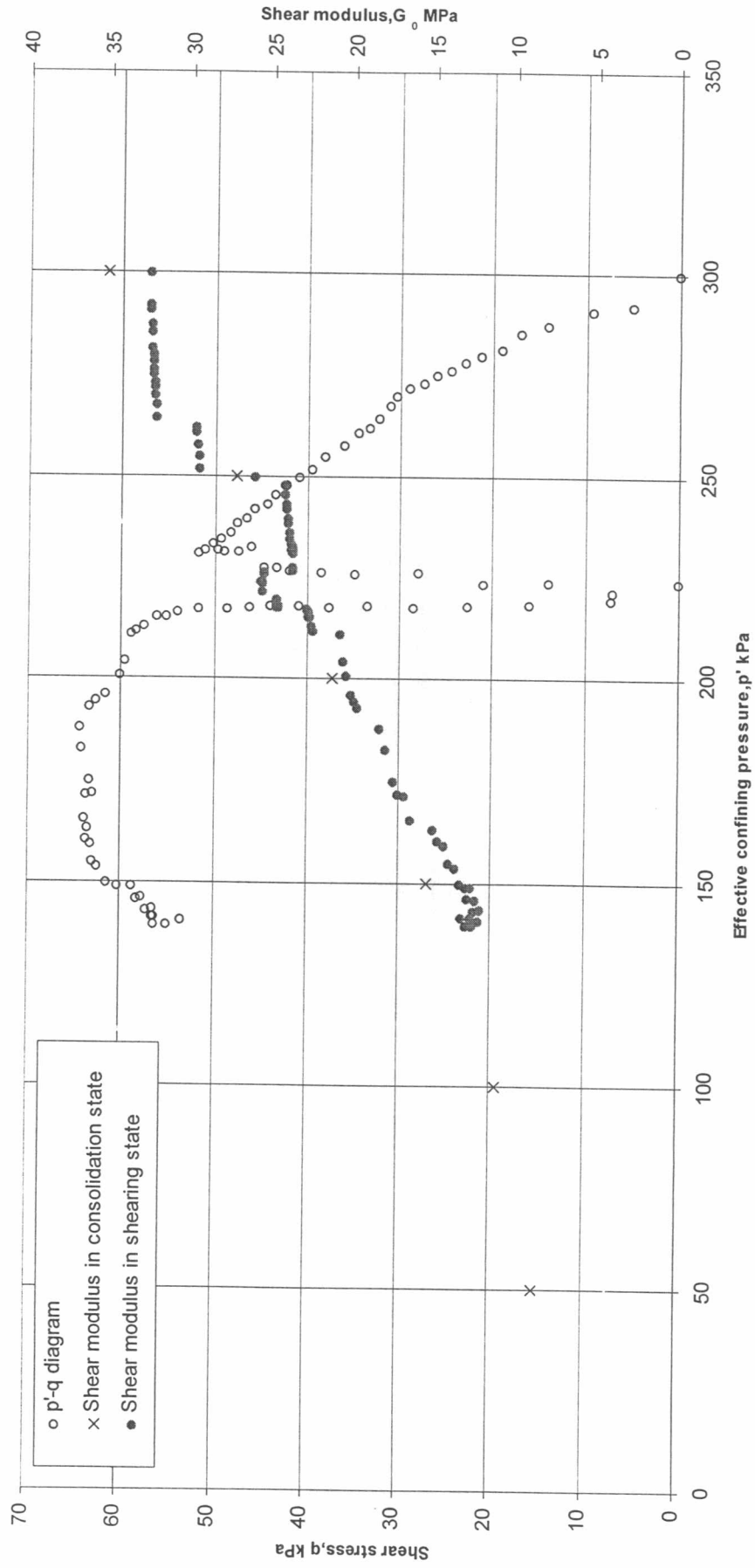
สามารถสรุปได้ว่าผลของการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน(Shearing) ของดินอัดแน่นเกินตัว(OC Clay) มีผลทำให้ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) มีการเปลี่ยนแปลงลดลง จึงไม่สามารถละผลอันเนื่องมาจากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนได้เช่นเดียวกับการทดสอบกับตัวอย่างดินที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของค่าโมดูลัสแรงเฉือนระหว่างการเพิ่ม-ลดแรงกระทำ>Loading-Unloading) ขณะกระบวนการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation)

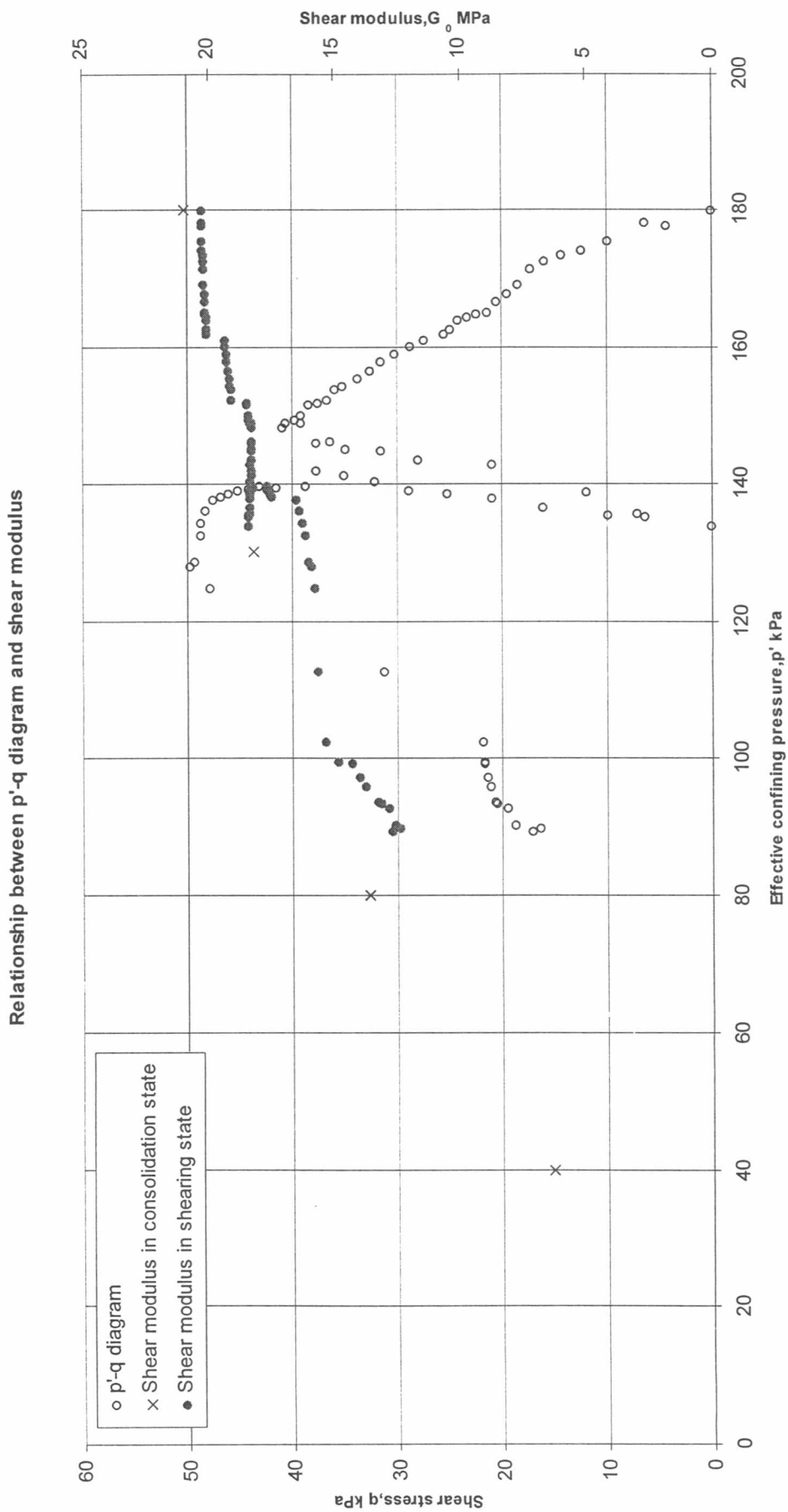
การทดสอบในขั้นตอนนี้เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) เมื่อมีการเพิ่ม-ลดแรงกระทำ โดยทดสอบเฉพาะในกระบวนการอัดตัวคายน้ำ(Consolidation) กับตัวอย่างดินจากสนามบินสุวรรณภูมิที่ระดับความลึก 9.00-9.50 เมตร

จากการทดสอบพบว่า ค่าโมดูลัสแรงเฉือน(Shear Modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อหน่วยแรงประสิทธิผล(Effective Confining Pressure) มีค่าสูงขึ้น จากนั้นเมื่อทำการลดหน่วยแรงประสิทธิผล ค่าโมดูลัสแรงเฉือนก็มีค่าลดลงแต่ยังคงมีค่ามากกว่าขณะการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล และเมื่อทำการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลอีกครั้ง ปรากฏว่า ค่าโมดูลัสแรงเฉือนก็มีค่าเพิ่มขึ้นอีกแต่ค่าโมดูลัสที่เพิ่มขึ้นมีค่าอยู่ระหว่างขณะการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลและขณะการลดหน่วยแรงประสิทธิผล แสดงดังรูปที่ 4.11 จากกราฟสังเกตได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่าโมดูลัสแรงเฉือนทั้งขณะการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลและขณะการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผลซ้ำมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นเข้าสู่ค่าโมดูลัสแรงเฉือนค่าเดียวกัน และเมื่อทำการลดหน่วยแรงประสิทธิผลอีกครั้ง พบว่า ค่าโมดูลัสแรงเฉือนก็จะมีค่าลดลงด้วย โดยมีแนวโน้มการลดลงขนานกับขณะการเพิ่มหน่วยแรงประสิทธิผล

Relationship between p'-q diagram and shear modulus

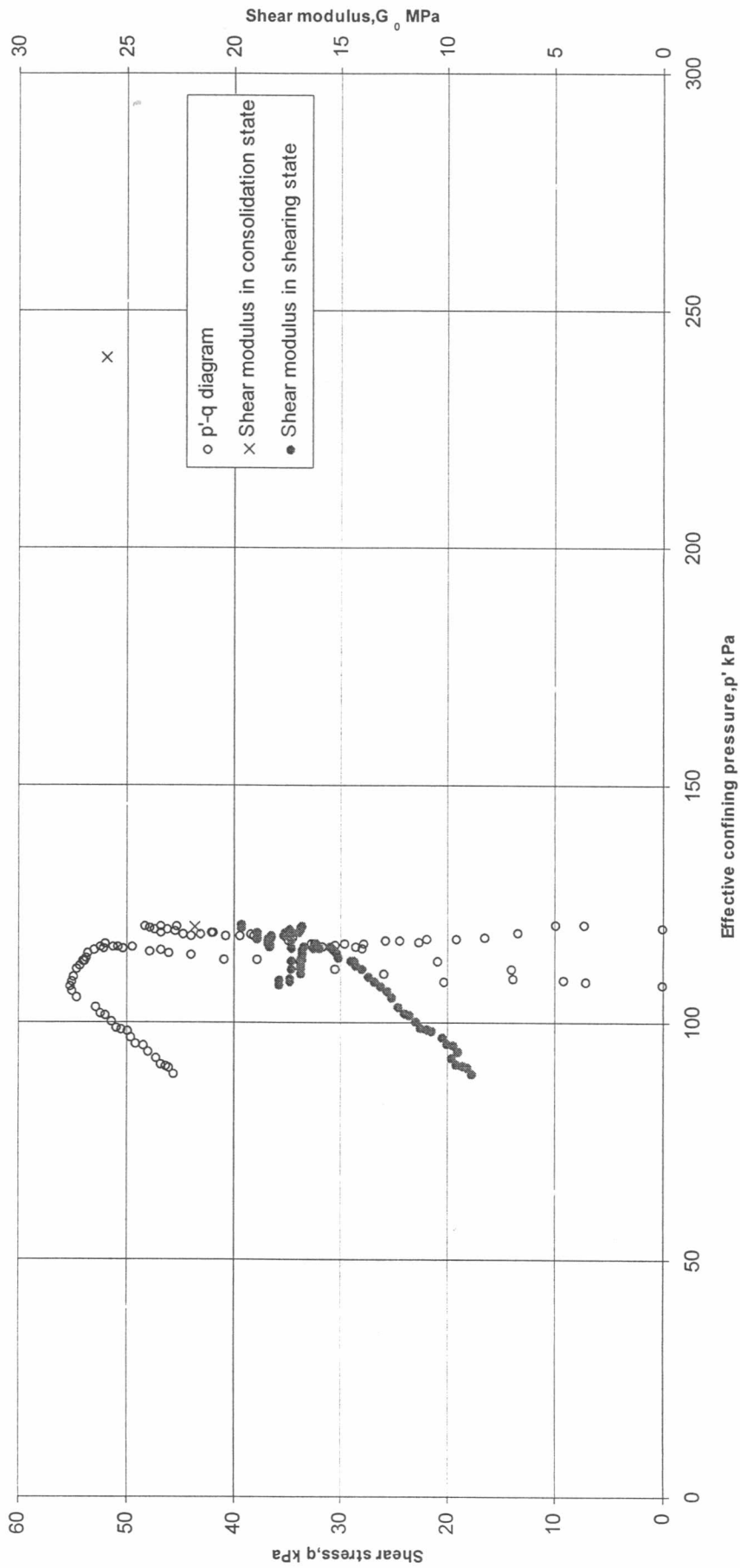


รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น NC Clay ($\sigma'_c = 300$ kPa) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



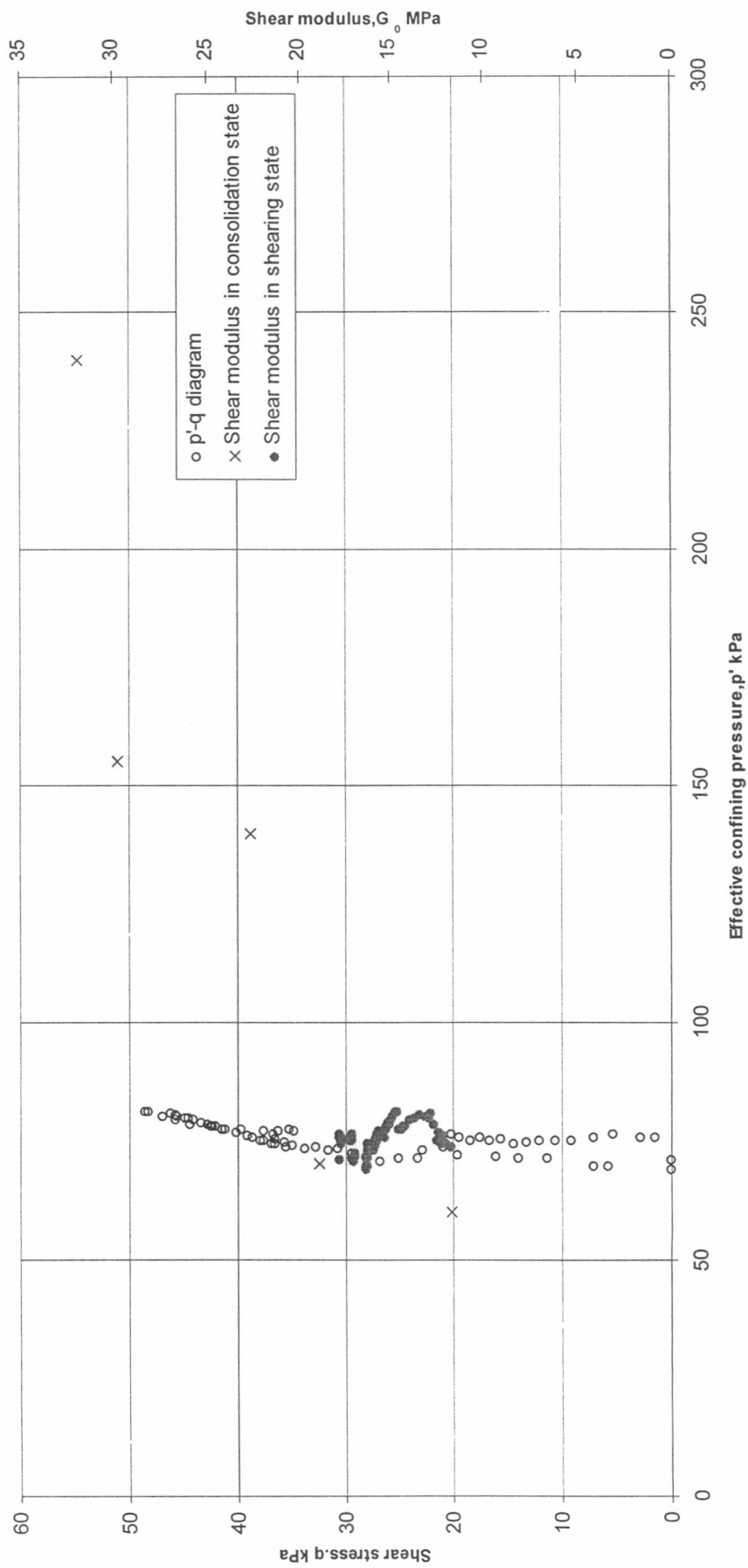
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น NC Clay ($\sigma'_c = 180$ kPa) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Relationship between p'-q diagram and shear modulus



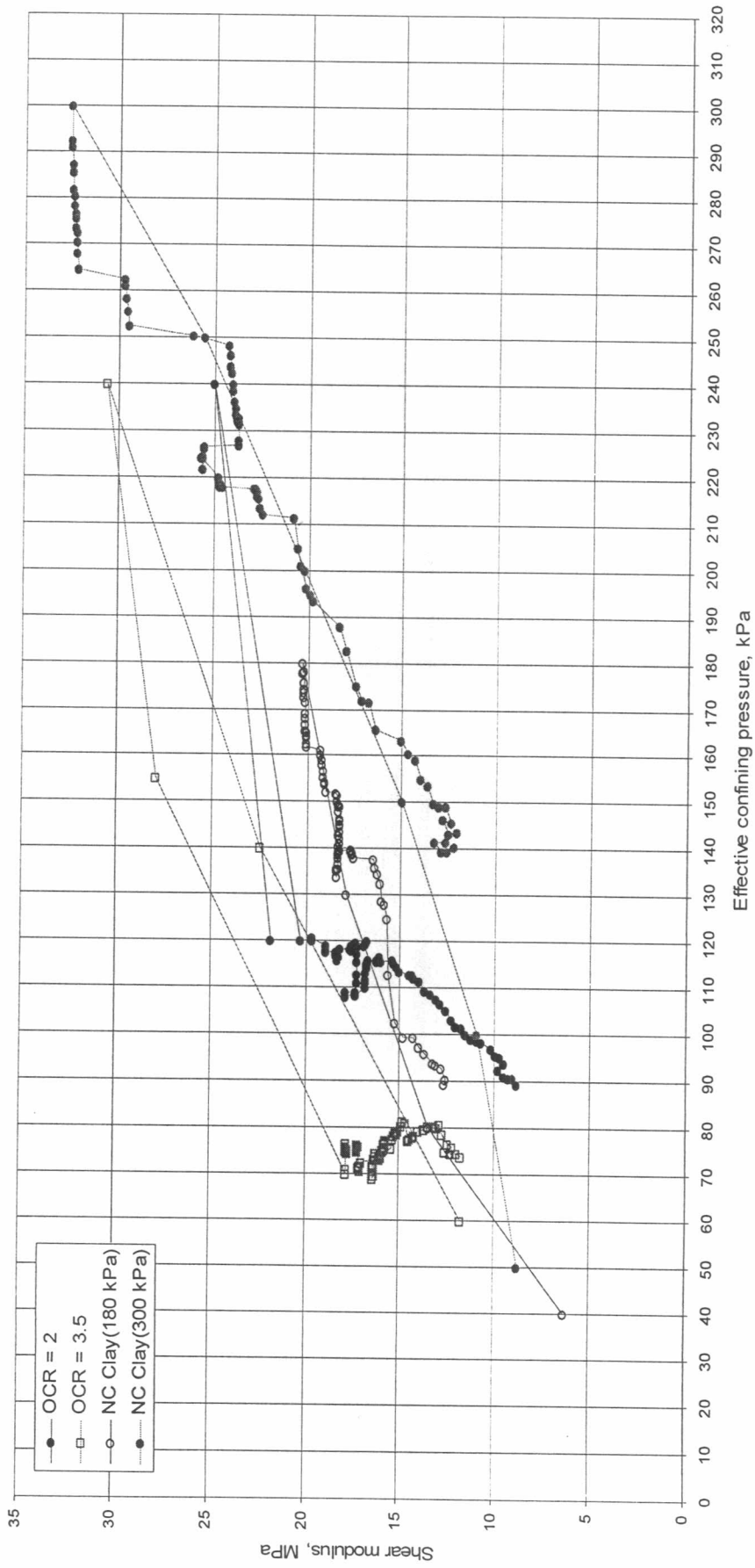
รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น OC Clay(OCR = 2) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Relationship between p'-q diagram and shear modulus



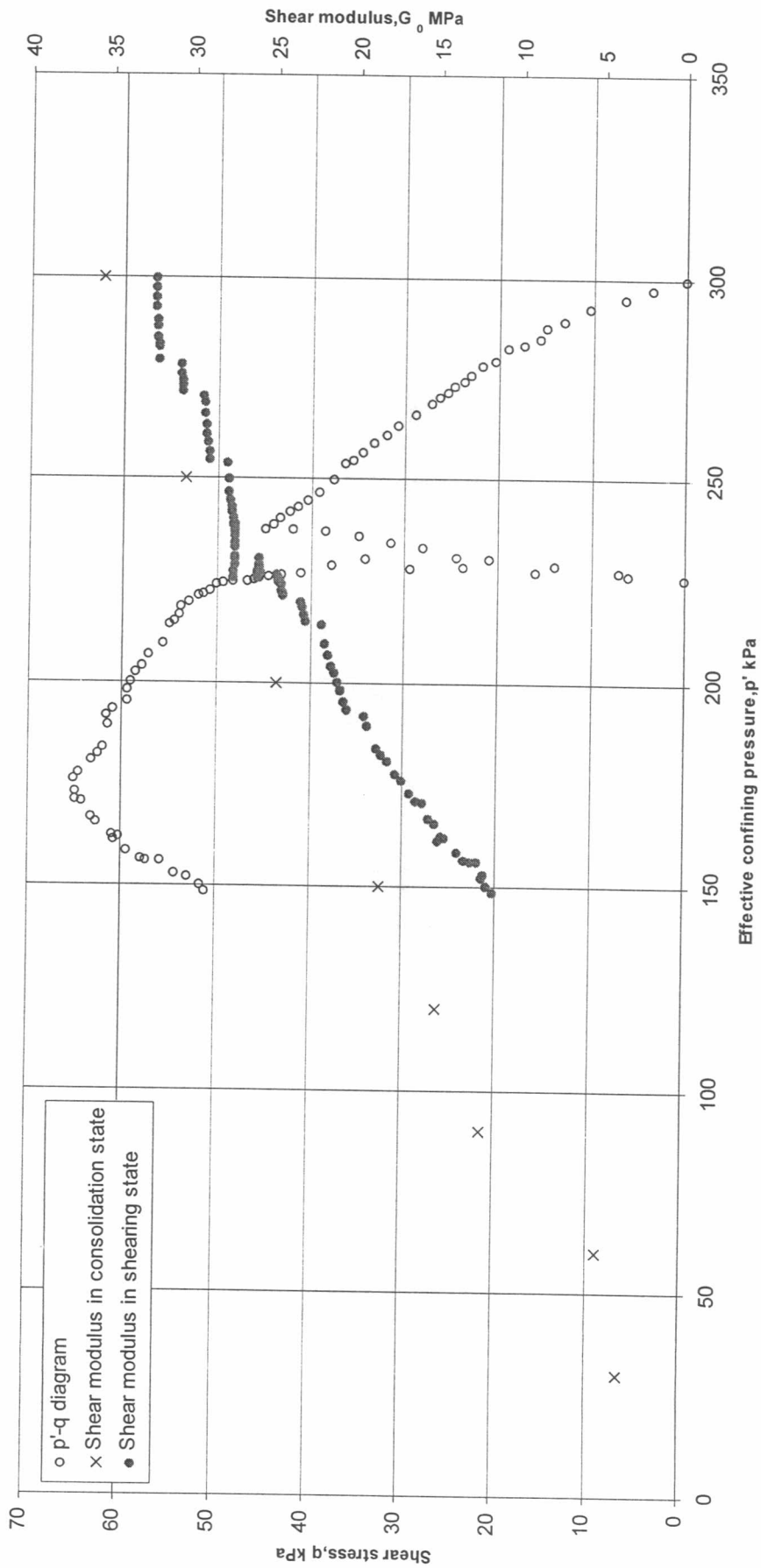
รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น OC Clay (OCR = 3.5) จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Shear modulus vs effective confining pressure



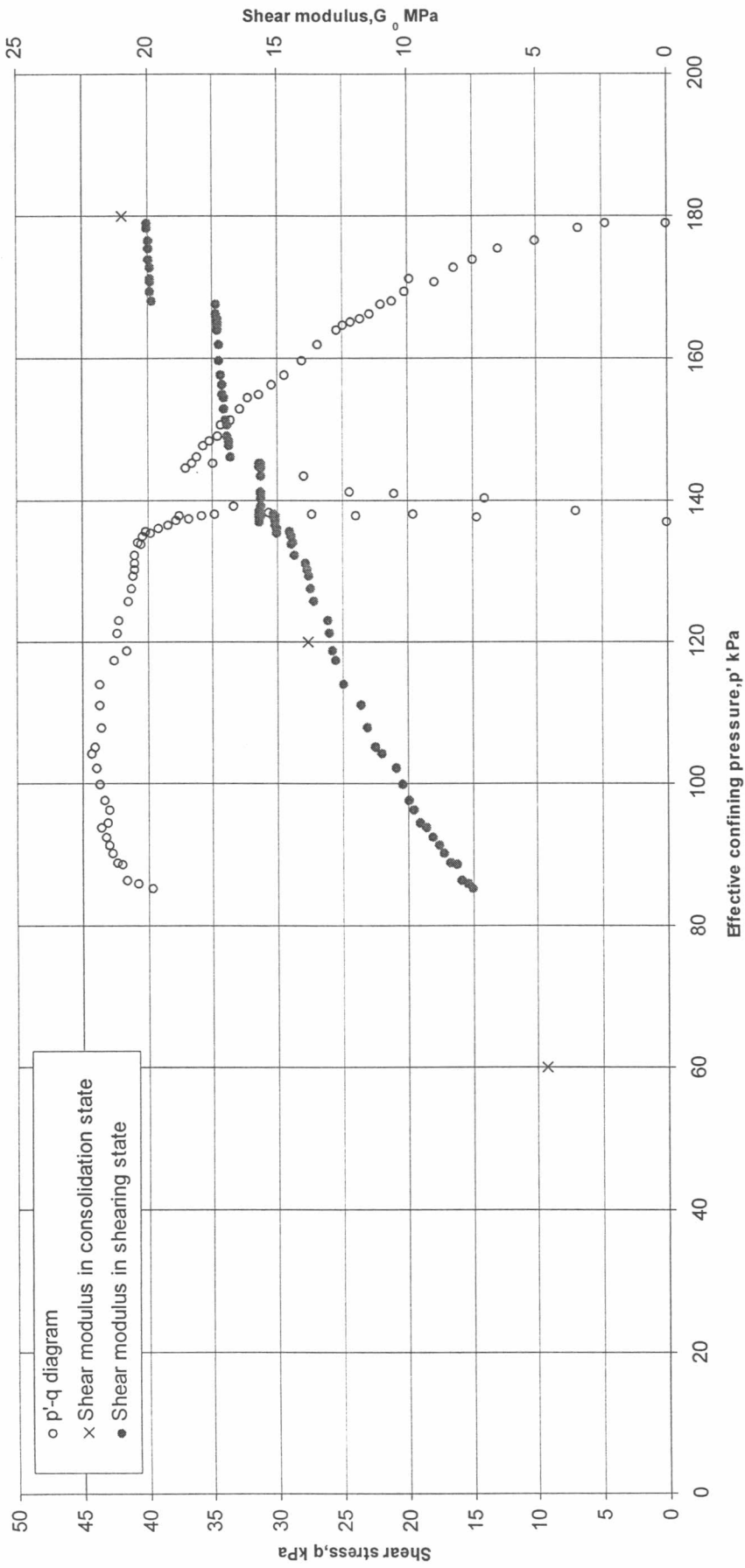
รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบด้วยดิ่งดินจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Relationship between p'-q diagram and shear modulus



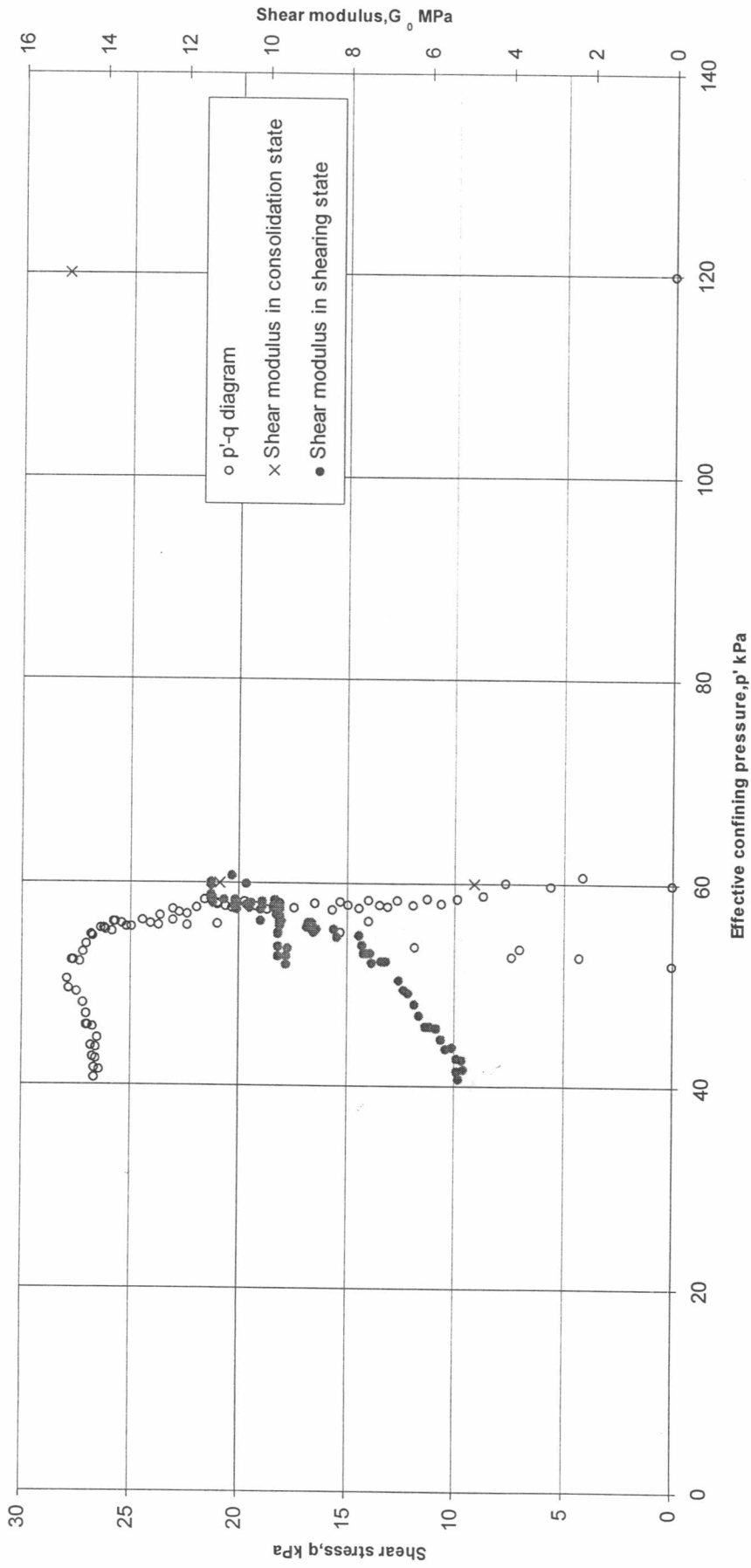
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น NC Clay ($\sigma'_c = 300$ kPa) จากสนามบึงสุวรรณภูมิ

Relationship between p'-q diagram and shear modulus



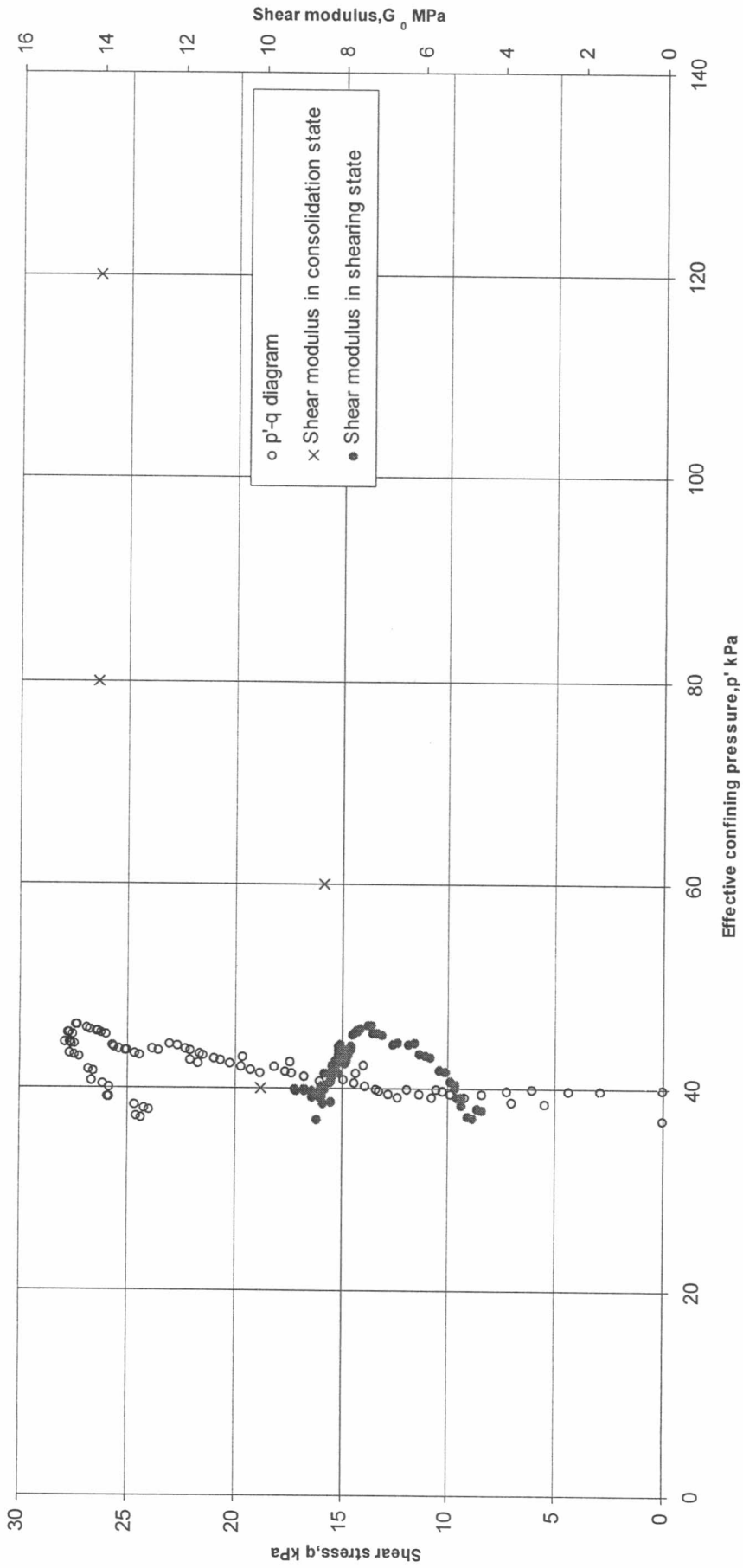
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น NC Clay ($\sigma'_c = 180$ kPa) จากสนามบึงสุวรรณภูมิ

Relationship between p'-q diagram and shear modulus



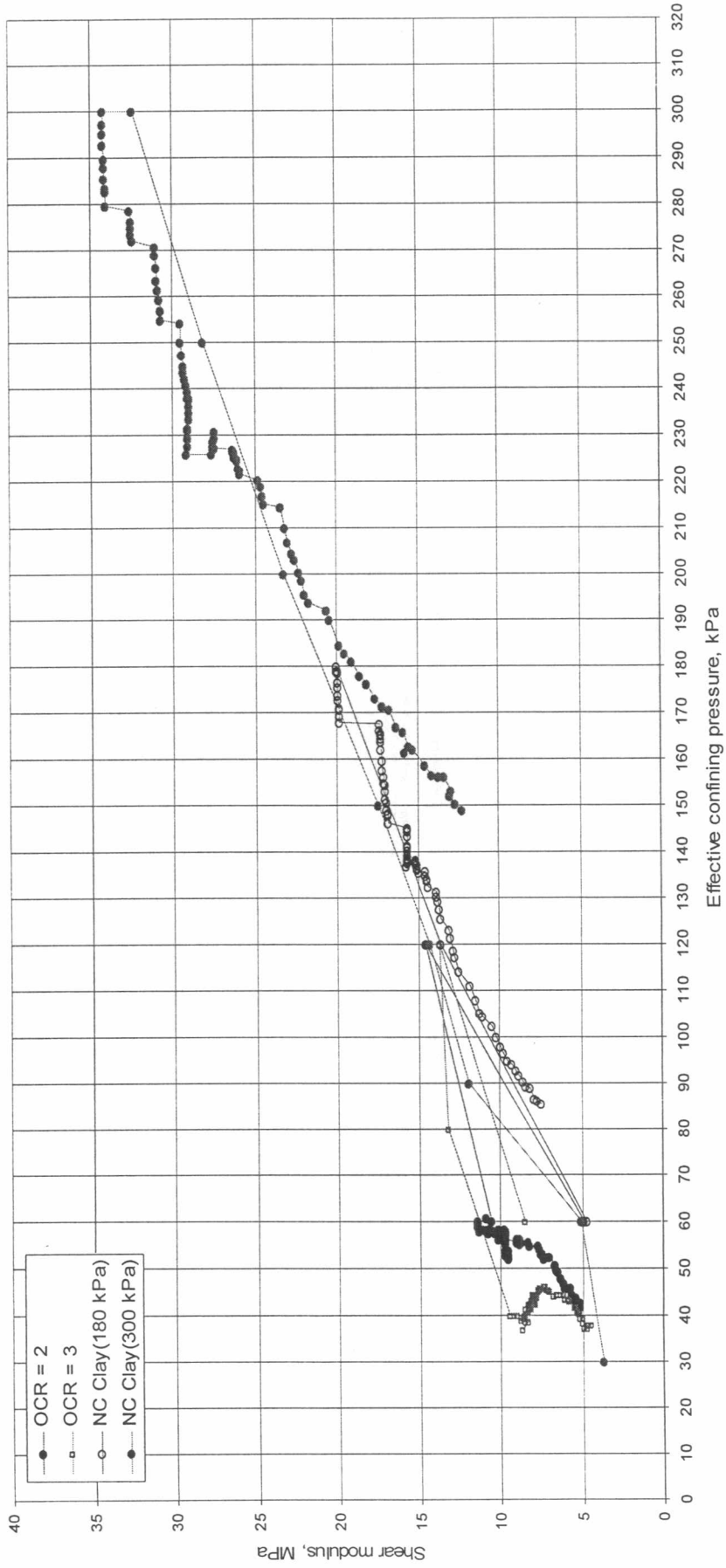
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น OC Clay (OCR = 2) จากสนามบิโนสุวรรณภูมิ

Relationship between p'-q diagram and shear modulus



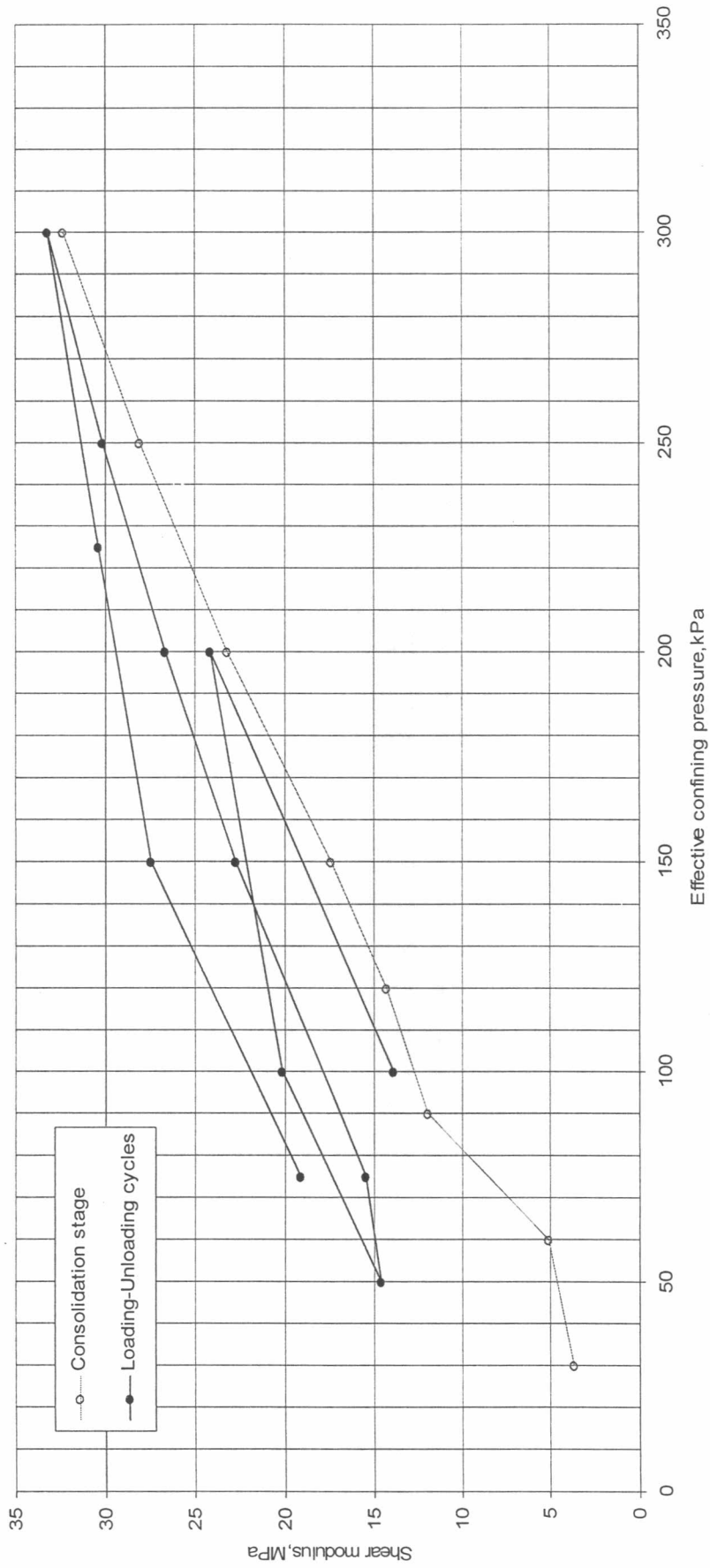
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินที่เป็น OC Clay(OCR = 3) จากสนามบ้นสุวรรณภูมิ

Shear modulus vs effective confining pressure



รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบตัวอย่างดินจากสนามบึงสุวรรณภูมิ

Shear modulus vs effective confining pressure



รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสระหว่างกาเพิ่ม-ลดแรงกระทำ