

บทที่ 5

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรง

5.1 วัตถุประสงค์

เนื้อหาในบทนี้อธิบายขั้นตอน วิธีการ และข้อปฏิบัติในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนโดยตรงระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและตัวอย่างเกลือหิน ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ รอยแตกแบบเรียบ (Saw-cut surface) และรอยแตกแบบขรุขระ (Tension-induced fracture) โดยขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทั้งหมดได้กล่าวไว้แล้วอย่างละเอียดในบทที่ 3

5.2 อุปกรณ์ทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของรอยแตกแบบสามแฉก

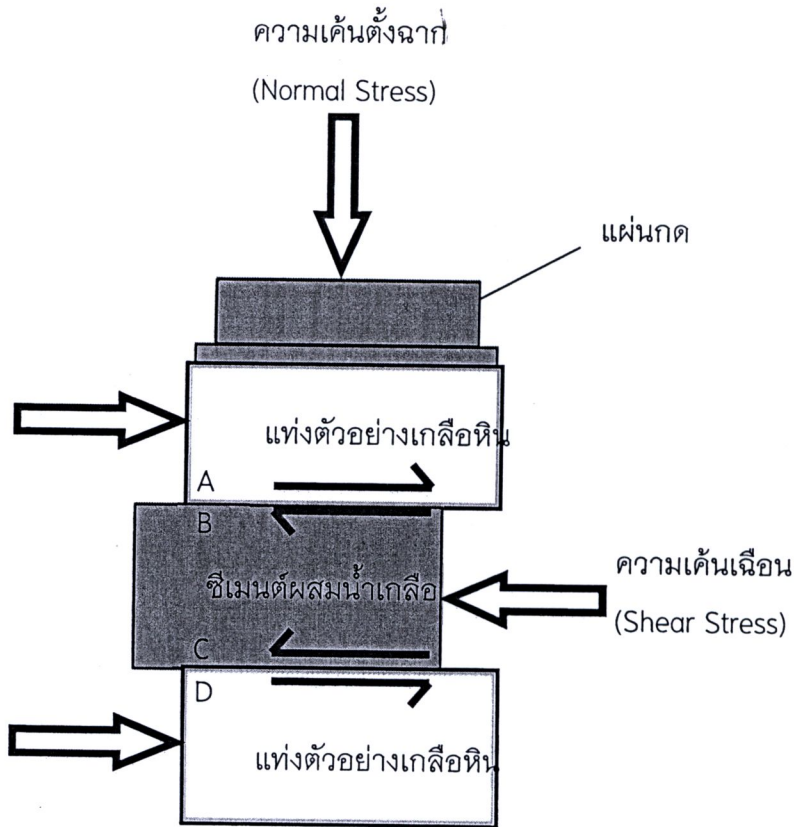
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของส่วนผสมระหว่างผิวรอยแตกของเกลือหินและแท่งตัวอย่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

1) วงแหวนสำหรับยึดจับตัวอย่างทดสอบมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร สำหรับยึดตัวอย่างแท่งซีเมนต์ชั้นกลางตามแบบภาพตัดขวางดังรูปที่ 5.1 โดยมีระนาบการเฉือนเกิดขึ้น 2 ระนาบ คือ ระนาบด้านบน (ระนาบ A-B) และระนาบด้านล่าง (ระนาบ C-D) รูปที่ 5.2 แสดงการติดตั้งตัวอย่างลงในเครื่องทดสอบ

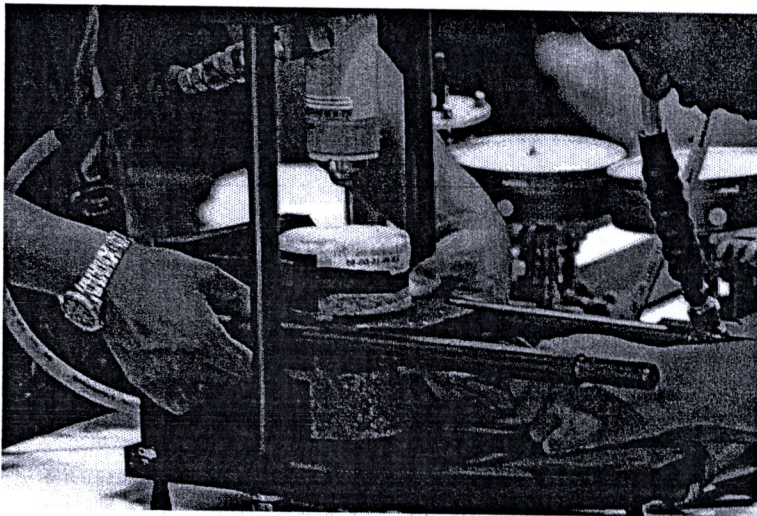
2) ชุดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบกำลังรับแรงเฉือน ประกอบด้วยชุดให้แรงเฉือน ซึ่งมีเสาค้ำยันพร้อมกับแม่แรงไฮดรอลิกในแนวตั้งยึดติดอยู่กับคานด้านบนและฐานล่าง ที่ด้านบนของตัวอย่างจะมีแผ่นกดที่ใช้สำหรับส่งผ่านความเค้นตั้งฉาก (Normal Stress) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ไปยังตัวอย่างเกลือหินที่ต้องการทดสอบ โดยมีแม่แรงไฮดรอลิกในแนวระนาบซึ่งยึดกับเสาค้ำยัน ฐานรองด้านหน้า และฐานรองด้านหลังเพื่อให้แรงในแนวตั้งฉากและแรงเฉือนกับตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ โดยวงแหวนกลางจะถูกเฉือนด้วยแม่แรงไฮดรอลิกในแนวระนาบ รูปที่ 5.3 แสดงอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งเครื่องมือพร้อมทำการทดสอบ

5.3 การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของรอยแตกแบบสามแฉก

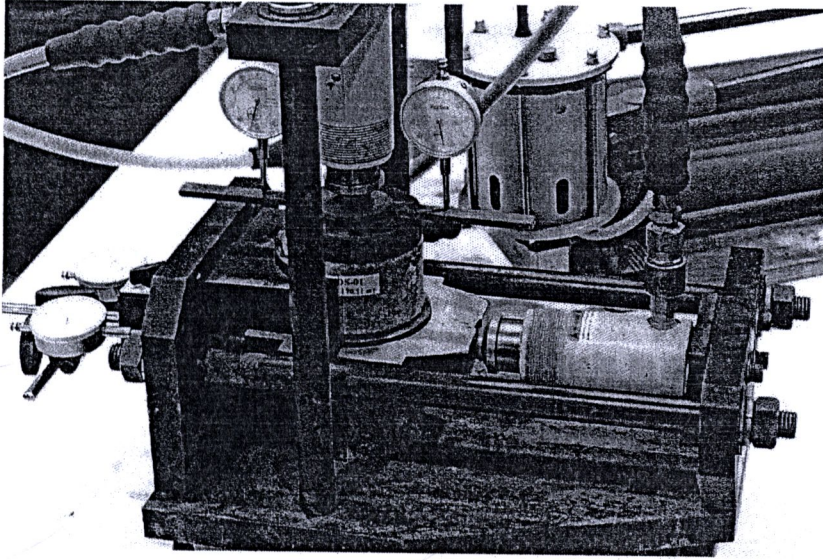
การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของรอยแตก มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุด (Peak shear strength) และค่าความเค้นเฉือนคงค้าง (Residual shear strength) ระหว่างผิวรอยแตกของเกลือหินและแท่งตัวอย่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือ การทดสอบนี้ใช้ตัวอย่างรอยแตก 2 ลักษณะ คือ รอยแตกแบบเรียบ และรอยแตกแบบขรุขระ จากการกดให้แตกด้วยเครื่อง SBEL PLT-75 โดยให้แรงที่กดมีลักษณะเป็นแนวยาว (Line load) ตามแนวที่ต้องการสร้างผิวรอยแตก จนกระทั่งตัวอย่างเกลือหินแตกออกจากกัน



รูปที่ 5.1 ภาพตัดขวางของแท่งตัวอย่างในการส่งผ่านความเค้นดัดฉากลงบนตัวอย่างที่ต้องการทดสอบ ซึ่งวงแหวนกลางจะถูกเฉือนด้วยความเค้นเฉือน โดยมีระนาบการเฉือนเกิดขึ้น 2 ระนาบ คือ ระนาบด้านบน (ระนาบ A-B) และระนาบด้านล่าง (ระนาบ C-D)



รูปที่ 5.2 แสดงขั้นตอนการติดตั้งแท่งหินตัวอย่างลงในเครื่องทดสอบกำลังเฉือน



รูปที่ 5.3 อุปกรณ์ที่ทำการติดตั้งเครื่องมือพร้อมทำการทดสอบ

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนเพื่อหาค่าความเค้นเฉือนสูงสุดและค่าความเค้นเฉือนคงค้างจะทำการทดสอบเพื่อหาลำดับรับแรงเฉือนสูงสุดของผิวรอยแตกเรียบที่มีแรงกดตั้งฉากกับระนาบรับแรงเฉือนผันแปรอยู่ระหว่าง 0.45 MPa ถึง 11.1 MPa การทดสอบจะกระทำที่อุณหภูมิปกติ และปฏิบัติตามข้อกำหนดมาตรฐานสากล ASTM D5607 และข้อเสนอแนะของ ISRM (Brown, 1981)

การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนเพื่อหาค่ากำลังเฉือนสูงสุดระหว่างผิวรอยแตกของเกลือหินและแท่งตัวอย่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือมีขั้นตอนดังนี้

- 1) ประกอบชุดอุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วนข้างต้นเข้าด้วยกันพร้อมติดตั้งตัวอย่างที่ต้องการทดสอบเข้ากับชุดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบกำลังเฉือนดังรูปที่ 5.3
- 2) ติดตั้งมาตรวัดการเคลื่อนตัวในแนวตั้งด้านบนของกระบอกเพื่อวัดระยะการยุบตัวและติดตั้งในแนวระนาบเพื่อวัดระยะการเคลื่อนตัวตามแนวแรงเฉือน
- 3) ให้ความเค้นตั้งฉากด้วยแม่แรงไฮดรอลิกกระทำในแนวตั้งฉากกับตัวอย่าง โดยผันแปรความเค้นตั้งฉากที่ 0.45, 0.51, 0.57, 0.64, 0.70, 0.76, 0.89 และ 1.02 MPa ในแต่ละตัวอย่าง ทำการจดบันทึกค่าการเคลื่อนตัวและรักษาความเค้นตั้งฉากให้คงที่
- 4) ให้ความเค้นเฉือนด้วยแม่แรงไฮดรอลิกในแนวระนาบ ทำการอ่านค่าการเคลื่อนตัวในแนวระนาบและจดบันทึกค่าไปพร้อมกันอย่างต่อเนื่องจนถึงจุดที่เกิดความเค้นเฉือนสูงสุด (Peak shear strength) บันทึกค่าเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความเค้นยึดติด (Cohesion) และค่ามุมเสียดทานภายใน (Friction angle) จากนั้นให้ความเค้นเฉือนอย่างต่อเนื่องเพื่อหาความต้านแรงเฉือนคงเหลือ (Residual Shear Strength) ซึ่งแรงเฉือนสูงสุดจะเกิดขึ้นทันทีหลังมีการเคลื่อนตัวของรอยแตก เมื่อความต้านแรงเฉือนมีแนวโน้มลดลงแล้วจึงหยุดทำการทดสอบ การทดสอบนี้ตัวอย่างหินแต่ละชุดจะทำการทดสอบเพียงเที่ยวเดียวเท่านั้นเนื่องจากผิวรอยแตกของตัวอย่างหินจะแตกออกหลังจากการทดสอบ

กำลังรับแรงเฉือนสูงสุดและกำลังรับแรงเฉือนคงค้างสามารถคำนวณได้จากค่าแรงเฉือนสูงสุดหรือค่าแรงเฉือนคงค้างหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของผิวสัมผัสดังนี้

$$\tau_p = F_p/2A \quad (5.1)$$

$$\tau_R = F_R/2A \quad (5.2)$$

โดยที่ τ_p คือความเค้นเฉือนสูงสุด F_p คือแรงเฉือนสูงสุดที่กระทำกับผิวรอยแตก A คือพื้นที่หน้าตัดรับแรงเฉือนของตัวอย่างหิน τ_R คือความเค้นเฉือนคงค้าง และ F_R คือแรงเฉือนคงค้างกระทำกับผิวรอยแตกหลังจากผิวรอยแตกรับแรงเฉือนสูงสุดตามกฎหมายแรงเสียดทานของ Coulomb ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังสมการ

$$\tau = \sigma_n \tan \phi_p + c_p \quad (5.3)$$

และ $\tau = \sigma_n \tan \phi_R \quad (5.4)$



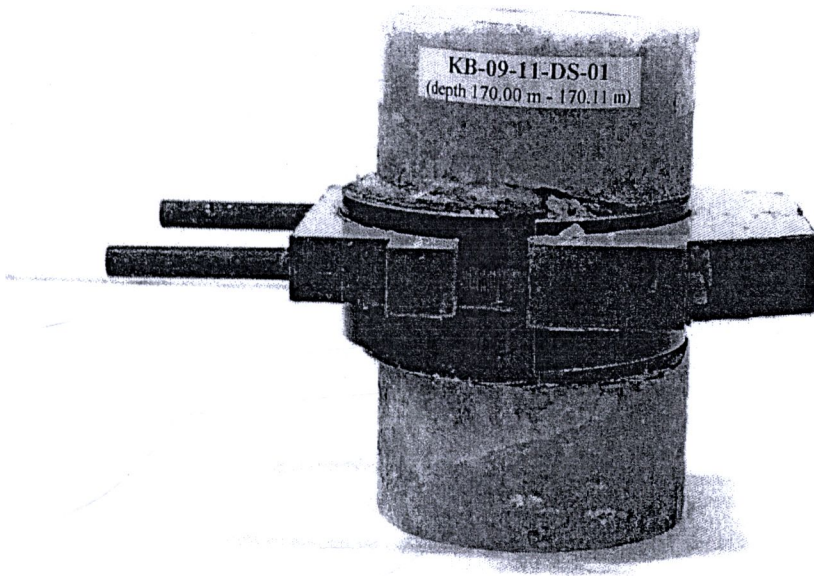
โดยที่ c_p คือแรงยึดติดสูงสุดยอด (Peak cohesion) ϕ_p คือมุมเสียดทานสำหรับความเค้นเฉือนสูงสุดยอด (Peak friction angle) และ ϕ_R คือมุมเสียดทานสำหรับความเค้นเฉือนคงเหลือ (Residual friction angle)

ผลการทดสอบระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวเรียบแสดงไว้ในตารางที่ 5.1 ซึ่งให้ผลทดสอบค่าความเค้นเฉือนสูงสุดเท่ากับ 1.46, 1.59, 1.82, 1.78, 2.23, 2.55, 2.61 และ 2.87 MPa ตามลำดับตามการแปรผันของค่าความเค้นตั้งฉากในการทดสอบแต่ละตัวอย่าง และมีค่าความเค้นเฉือนคงค้างเท่ากับ 0.89, 1.02, 1.21, 1.27, 1.40, 1.53, 1.85 และ 1.91 ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างเกลือหินอีกชุดที่ถูกจัดเตรียมแบบไม่มีแรงยึดติดกันระหว่างผิวสัมผัสของเกลือหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือให้ค่าความเค้นเฉือนคงค้างเท่ากับ 0.16, 0.32, 0.57, 0.89, 1.08, 1.27 และ 1.59 ตามลำดับ รูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 แสดงตัวอย่างหินหลังการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลือหินผิวเรียบและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือ รูปที่ 5.6 แสดงตัวอย่างหลังการทดสอบแบบผิวขรุขระ โดยผลการทดสอบในลักษณะนี้ได้แสดงโดยละเอียดในตารางที่ 5.2 ถึงตารางที่ 5.5

รูปที่ 5.7 ถึงรูปที่ 5.12 แสดงผลความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของการเคลื่อนตัวตามแนวแรงเฉือนระหว่างเกลือหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือ และความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นตั้งฉากของตัวอย่างแบบผิวเรียบ แบบผิวเรียบไม่ยึดติด และแบบผิวขรุขระ ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวยเรียบ

Specimen No.	Depth (m)	Cement Age (days)	Normal Load (MPa)	Peak Shear Strength (MPa)	Residual Shear Strength (MPa)
KB-09-11-DS-01	170.00-170.11	7	0.45	1.46	0.89
KB-09-12-DS-02	168.70-168.81		0.51	1.59	1.02
KB-09-13-DS-03	168.00-168.11		0.57	1.82	1.21
KB-09-14-DS-04	169.70-169.81		0.64	1.78	1.27
KB-09-19-DS-09	176.00-176.11		0.70	2.23	1.40
KB-09-20-DS-10	176.21-176.31		0.76	2.55	1.53
KB-09-21-DS-11	177.00-177.11		0.89	2.61	1.85
KB-09-22-DS-12	177.15-177.25		1.02	2.87	1.91
KB-09-22-DS-13	178.40-178.51	7 (unbonding surface)	0.19	–	0.16
KB-09-22-DS-14	178.00-178.11		0.32	–	0.32
KB-09-22-DS-15	179.00-179.11		0.48	–	0.57
KB-09-22-DS-16	173.00-173.11		0.64	–	0.89
KB-09-22-DS-17	173.40-173.51		0.80	–	1.08
KB-09-22-DS-18	173.60-173.61		0.96	–	1.27
KB-09-22-DS-19	173.70-173.71		1.11	–	1.59



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างหินหลังการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลียวหินและซีเมนต์
ผสมน้ำเกลือบแบบผิวเรียบ



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างหินหลังการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลียวหินและซีเมนต์
ผสมน้ำเกลือบแบบผิวเรียบ



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างหินหลังการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลียวหินและซีเมนต์
ผสมน้ำเกลือบแบบขรุขระ

ตารางที่ 5.2 สรุปผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวยุขระ

Specimen No.	Depth (m)	Cement Age (days)	Normal Load (MPa)	Peak Shear Strength (MPa)	Residual Shear Strength (MPa)
KB-09-15-DS-05	172.40-172.51	7	0.45	1.66	0.89
KB-09-16-DS-06	173.00-173.11		0.57	1.91	1.21
KB-09-17-DS-07	174.00-174.11		0.70	2.23	1.4
KB-09-18-DS-08	175.00-175.11		0.89	2.87	1.85

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวยเรียบ

Specimen No.							
KB-09-11-DS-01		KB-09-12-DS-02		KB-09-13-DS-03		KB-09-14-DS-04	
Normal Load = 0.45 MPa		Normal Load = 0.51 MPa		Normal Load = 0.57 MPa		Normal Load = 0.64 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
0.00	0.0	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.50	1.27	1.5	0.13	0.10	0.10	0.10
0.25	0.60	1.59	1.7	0.19	0.20	0.11	0.20
0.29	0.70	1.72	1.9	0.22	0.30	0.13	0.30
0.32	0.80	1.27	2.1	0.25	0.40	0.14	0.40
0.41	0.90	1.21	2.3	0.32	0.50	0.16	0.50
0.54	1.00	1.02	2.5	0.35	0.60	0.18	0.60
0.83	1.40	1.02	2.7	0.41	0.70	0.20	0.70
0.89	1.50	1.02	2.9	0.48	0.80	0.24	0.80
0.96	1.60	1.02	3.3	0.67	0.90	0.27	0.90

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวเรียบ (ต่อ)

Specimen No.							
KB-09-11-DS-01		KB-09-12-DS-02		KB-09-13-DS-03		KB-09-14-DS-04	
Normal Load = 0.45 MPa		Normal Load = 0.51 MPa		Normal Load = 0.57 MPa		Normal Load = 0.64 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
1.02	1.70	1.02	3.7	0.92	1.00	0.40	1.00
1.08	1.80	1.02	4.5	1.08	1.10	0.57	1.10
1.11	1.90			1.21	1.20	1.08	1.60
1.11	2.00			1.40	1.30	1.62	2.00
1.15	2.10			1.46	1.40	1.78	2.20
1.21	2.20			1.50	1.50	1.40	2.40
1.27	2.30			1.53	1.60	1.34	2.60
1.34	2.40			1.62	1.70	1.27	2.90
1.46	2.50			1.66	1.80	1.27	3.40
1.46	2.60			1.69	1.90	1.27	3.90
1.34	2.70			1.72	2.00	1.27	4.40
1.21	2.80			1.74	2.10		
1.02	2.90			1.75	2.20		
1.02	3.00			1.78	2.30		
0.96	3.10			1.82	2.40		
0.89	3.20			1.82	2.50		
0.89	3.30			1.82	2.60		
0.89	3.40			1.59	2.70		
0.89	3.50			1.46	2.80		
0.89	3.60			1.27	2.90		
0.89	3.70			1.21	3.00		

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวเรียบ (ต่อ)

Specimen No.							
KB-09-11-DS-01		KB-09-12-DS-02		KB-09-13-DS-03		KB-09-14-DS-04	
Normal Load = 0.45 MPa		Normal Load = 0.51 MPa		Normal Load = 0.57 MPa		Normal Load = 0.64 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
				1.21	3.10		
				1.21	3.20		
				1.21	3.30		
				1.21	3.40		
				1.21	3.50		
				1.21	3.80		
				1.21	4.20		
0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.05	0.11	0.10	0.13	0.10	0.13	0.10
0.13	0.10	0.16	0.20	0.22	0.15	0.14	0.20
0.13	0.15	0.25	0.30	0.32	0.20	0.18	0.30
0.13	0.20	0.45	0.40	0.45	0.25	0.23	0.40
0.16	0.25	0.57	0.50	0.64	0.30	0.30	0.50
0.16	0.30	0.76	0.60	0.76	0.35	0.43	0.60
0.19	0.35	0.96	0.70	0.96	0.40	0.76	0.70
0.25	0.50	1.34	0.80	1.05	0.45	1.02	0.80
0.35	0.55	1.85	0.90	1.15	0.50	1.08	0.90
0.54	0.60	2.04	1.00	1.27	0.55	1.46	1.00
0.76	0.70	2.36	1.10	1.37	0.60	1.85	1.10
1.15	0.80	2.55	1.20	1.53	0.65	2.10	1.20
1.53	0.90	1.91	1.30	1.56	0.70	2.48	1.30

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวเรียบ (ต่อ)

Specimen No.							
KB-09-11-DS-01		KB-09-12-DS-02		KB-09-13-DS-03		KB-09-14-DS-04	
Normal Load = 0.45 MPa		Normal Load = 0.51 MPa		Normal Load = 0.57 MPa		Normal Load = 0.64 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
1.75	1.00	1.59	2.00	1.59	0.75	2.68	1.40
2.04	1.20	1.53	2.40	1.66	0.80	2.87	1.50
2.17	1.6	1.53	2.80	1.72	0.85	2.42	1.80
2.20	1.7	1.53	3.00	1.78	0.90	2.29	2.00
2.23	1.8	1.53	3.50	1.85	0.95	2.04	2.20
2.23	1.9	1.53	4.00	2.10	1.00	1.97	2.50
2.23	2.0	1.53	4.50	2.20	1.05	1.91	3.50
2.23	2.1			2.29	1.10	1.91	4.00
2.23	2.2			2.45	1.15	1.91	4.50
2.04	2.3			2.55	1.50	1.91	5.00
1.97	2.4			2.61	2.20	1.91	6.00
1.97	2.5			1.91	3.20		
1.85	2.6			1.85	3.70		
1.40	3.1			1.85	4.20		
1.40	3.6			1.85	4.70		
1.40	4.1			1.85	5.20		
1.40	4.6			1.85	5.70		
1.40	5.1			1.85	6.20		

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินเรียบแบบไม่ยึดติด

Specimen No.							
KB-09-22-DS-13		KB-09-22-DS-14		KB-09-22-DS-15		KB-09-22-DS-16	
Normal Load = 0.19 MPa		Normal Load = 0.32 MPa		Normal Load = 0.48 MPa		Normal Load = 0.64 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	0.33	0.06	0.04	0.06	0.01	0.06	0.10
0.13	0.56	0.10	0.06	0.13	0.04	0.13	0.14
0.16	1.01	0.13	0.07	0.19	0.08	0.19	0.16
0.16	1.27	0.19	0.13	0.25	0.11	0.25	0.18
0.16	1.53	0.22	0.18	0.32	0.13	0.32	0.21
0.16	1.81	0.32	0.51	0.38	0.15	0.38	0.24
0.16	2.08	0.32	0.67	0.45	0.18	0.45	0.28
0.16	2.36	0.32	0.93	0.51	0.38	0.51	0.30
0.16	2.63	0.32	1.19	0.57	0.59	0.57	0.32
0.16	2.91	0.32	1.41	0.57	1.04	0.64	0.35
0.16	3.18	0.32	1.63	0.57	1.51	0.76	0.40
		0.32	1.85	0.57	1.78	0.89	0.72
		0.32	2.07	0.57	2.18	0.89	0.74
		0.32	2.29	0.57	2.54	0.89	0.75
		0.32	2.51	0.57	2.91	0.89	1.18
		0.32	2.73	0.57	3.28	0.89	1.51
				0.57	3.65	0.89	2.27
				0.57	4.01	0.89	3.03
						0.89	3.79

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินเรียบแบบไม่ยึดติด
(ต่อ)

Specimen No.					
KB-09-22-DS-17		KB-09-22-DS-18		KB-09-22-DS-19	
Normal Load = 0.80 MPa		Normal Load = 0.96 MPa		Normal Load = 1.11 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	0.00	0.06	0.09	0.06	0.01
0.13	0.03	0.13	0.13	0.13	0.07
0.19	0.07	0.19	0.14	0.19	0.10
0.25	0.11	0.25	0.16	0.25	0.13
0.32	0.13	0.32	0.18	0.32	0.15
0.38	0.16	0.38	0.19	0.38	0.16
0.45	0.19	0.45	0.21	0.45	0.18
0.51	0.20	0.51	0.22	0.51	0.20
0.57	0.23	0.57	0.23	0.57	0.21
0.64	0.25	0.64	0.24	0.64	0.23
0.70	0.28	0.70	0.25	0.70	0.25
0.76	0.32	0.76	0.27	0.76	0.26
0.83	0.42	0.83	0.28	0.83	0.27
0.89	0.57	0.89	0.30	0.89	0.28
0.96	0.74	0.96	0.31	0.96	0.30
1.02	0.99	1.02	0.33	1.02	0.32
1.08	1.80	1.08	0.35	1.08	0.36
1.08	2.12	1.15	0.37	1.40	0.95
1.08	2.42	1.21	0.40	1.46	1.58
1.08	2.84	1.27	0.72	1.53	2.39

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินเรียบแบบไม่ยึดติด (ต่อ)

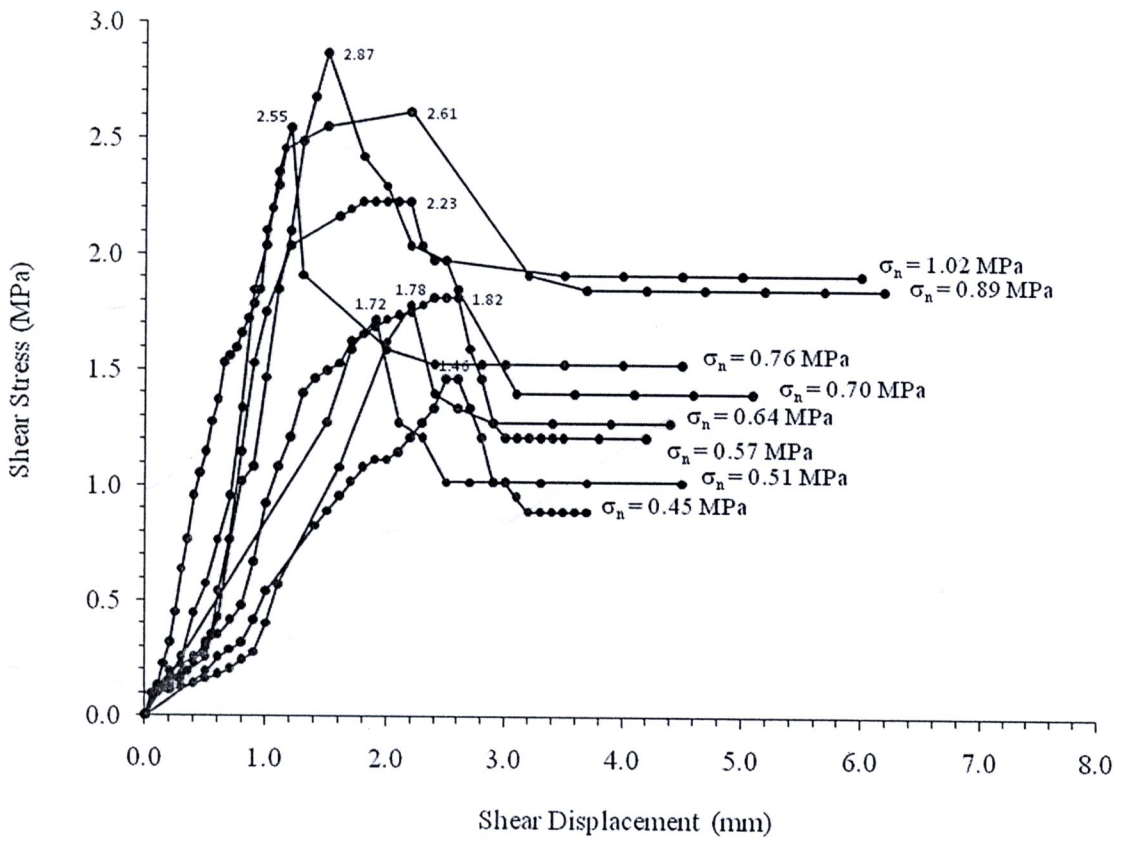
Specimen No.					
KB-09-22-DS-17		KB-09-22-DS-18		KB-09-22-DS-19	
Normal Load = 0.80 MPa		Normal Load = 0.96 MPa		Normal Load = 1.11 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
1.08	3.26	1.27	0.89	1.59	2.86
1.08	3.68	1.27	1.37	1.59	3.23
1.08	4.10	1.27	1.99	1.59	3.85
1.08	4.52	1.27	2.61	1.59	4.60
1.08	4.94	1.27	3.23	1.59	5.50
		1.27	3.85		
		1.27	4.47		

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวยุขระ

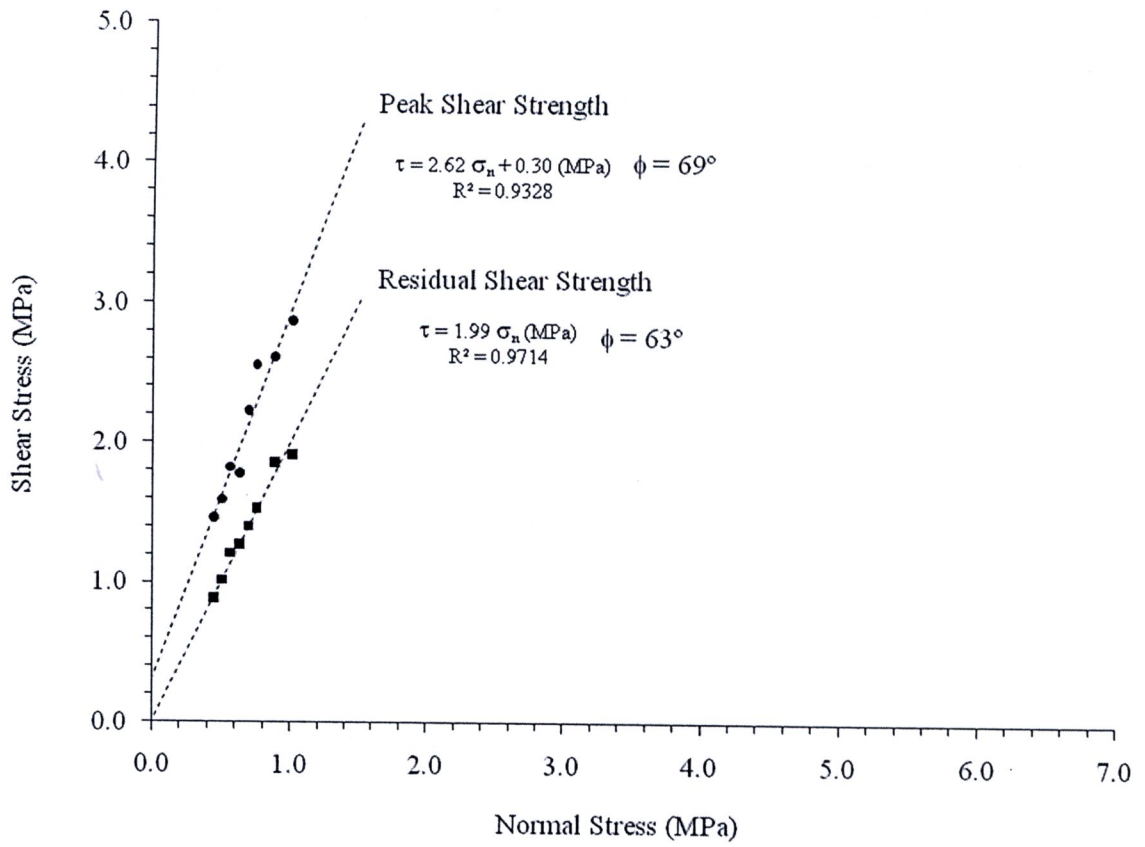
Specimen No.							
KB-09-15-DS-05		KB-09-16-DS-06		KB-09-17-DS-07		KB-09-18-DS-08	
Normal Load = 0.45 MPa		Normal Load = 0.57 MPa		Normal Load = 0.70 MPa		Normal Load = 0.89 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.10	0.13	0.10	0.10	0.10	0.13	0.10
0.25	0.20	0.19	0.20	0.13	0.20	0.22	0.15
0.29	0.30	0.22	0.30	0.13	0.30	0.32	0.20
0.32	0.40	0.25	0.40	0.13	0.40	0.45	0.25
0.41	0.50	0.32	0.50	0.16	0.50	0.64	0.30
0.54	0.60	0.35	0.60	0.16	0.60	0.76	0.35
0.83	0.70	0.41	0.70	0.19	0.70	0.96	0.40
1.02	0.80	0.48	0.80	0.25	0.80	1.05	0.45
1.05	0.90	0.67	0.90	0.35	0.90	1.15	0.50
1.11	1.00	0.92	1.00	0.54	1.00	1.27	0.55
1.15	1.10	1.02	1.10	0.76	1.10	1.37	0.60
1.21	1.20	1.15	1.20	1.15	1.20	1.53	0.65
1.27	1.30	1.27	1.30	1.53	1.30	1.56	0.70
1.40	1.40	1.46	1.40	1.75	1.40	1.59	0.75
1.46	1.50	1.59	1.50	2.04	1.50	1.66	0.80
1.66	1.60	1.78	1.60	2.17	1.60	1.72	0.85
1.21	1.70	1.85	1.70	2.20	1.70	1.78	0.90
1.08	1.80	1.91	1.80	2.23	1.80	1.85	0.95
1.02	1.90	1.59	1.90	2.10	1.90	2.10	1.00
1.02	2.00	1.46	2.00	1.97	2.00	2.20	1.05

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างซีเมนต์ผสมน้ำเกลือและเกลือหินผิวขรุขระ (ต่อ)

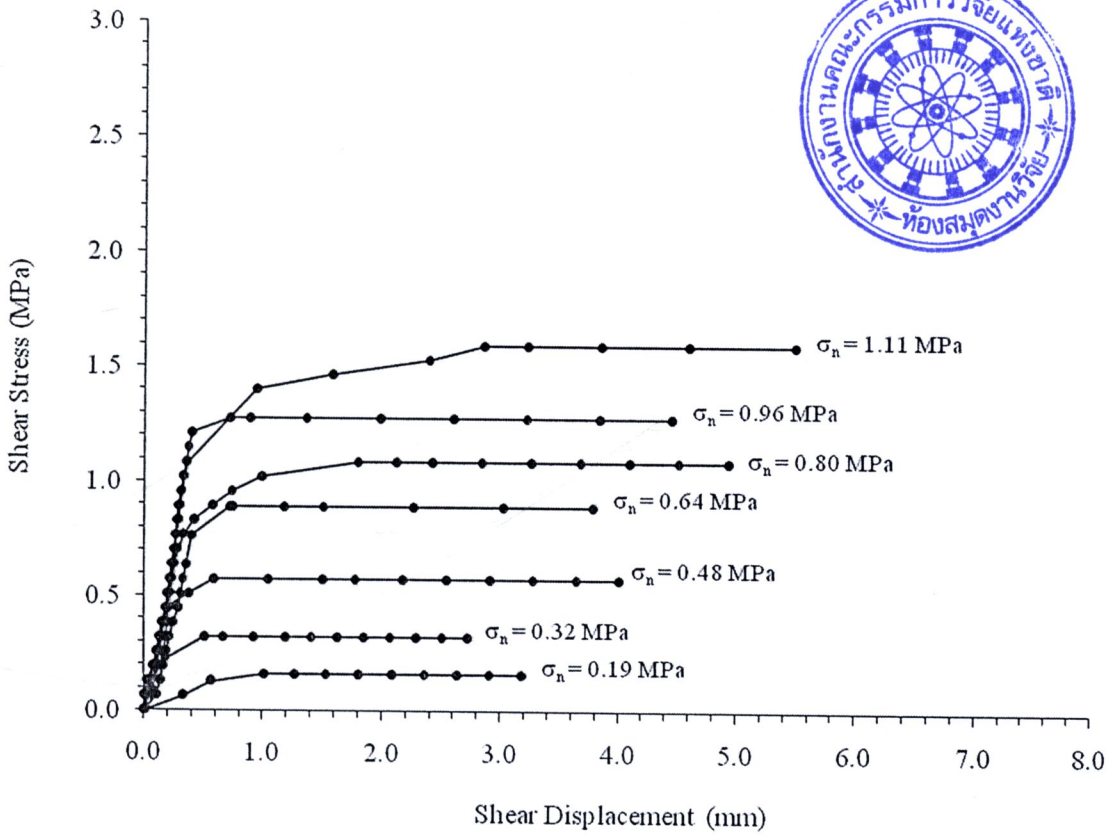
Specimen No.							
KB-09-15-DS-05		KB-09-16-DS-06		KB-09-17-DS-07		KB-09-18-DS-08	
Normal Load = 0.45 MPa		Normal Load = 0.57 MPa		Normal Load = 0.70 MPa		Normal Load = 0.89 MPa	
Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)	Shear Stress (MPa)	Shear Displacement (mm)
0.96	2.20	1.27	2.10	1.91	2.10	2.29	1.10
0.89	2.40	1.31	2.20	1.78	2.20	2.48	1.15
0.89	2.60	1.21	2.60	1.66	2.30	2.61	1.20
0.89	2.80	1.21	3.00	1.72	2.40	2.74	1.40
0.89	3.00	1.21	3.50	1.59	2.50	2.80	1.60
0.89	3.20	1.21	4.00	1.46	2.60	2.87	1.80
0.89	3.40	1.21	4.50	1.40	3.10	2.55	2.00
				1.40	3.60	2.23	2.40
				1.40	4.10	2.10	2.60
				1.40	4.60	1.97	2.80
				1.40	5.10	1.85	3.00
						1.85	3.40
						1.91	3.80
						1.85	4.20
						1.85	4.60
						1.85	5.00



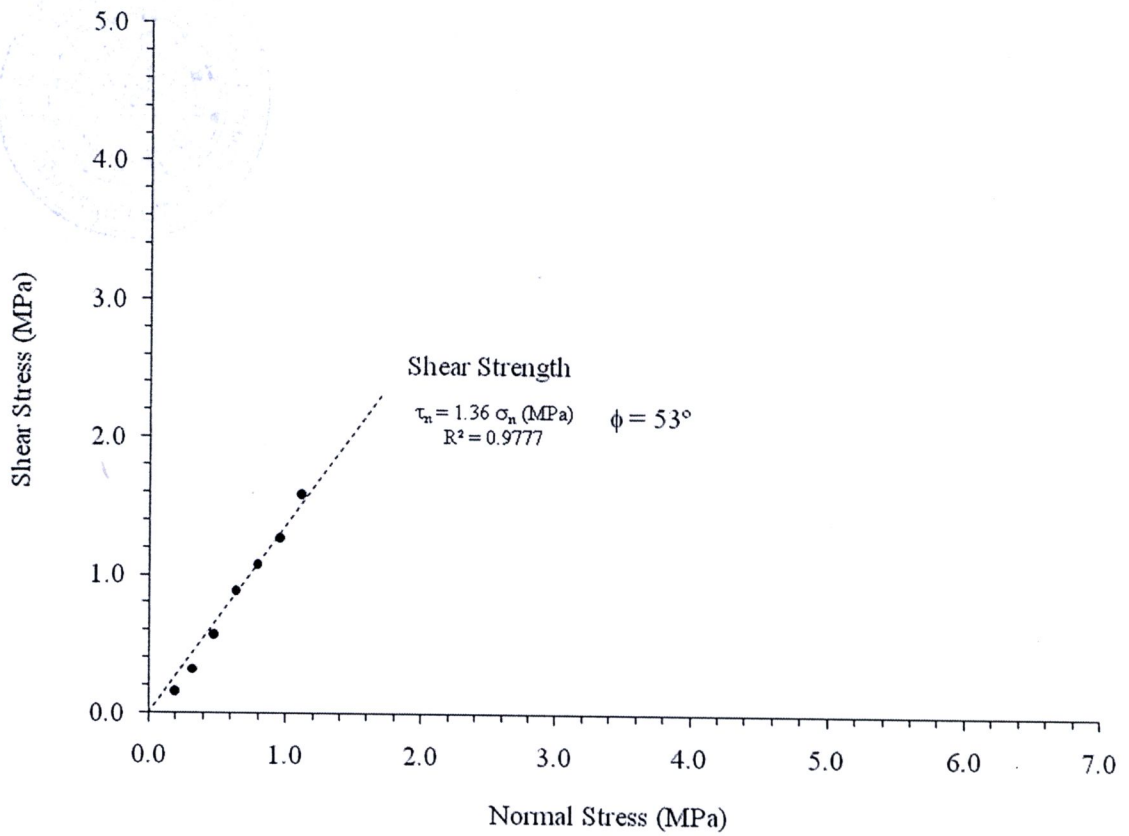
รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลียวหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลียวแบบผิวเรียบ โดยความเค้นเฉือนแสดงในฟังก์ชันของการเคลื่อนตัว



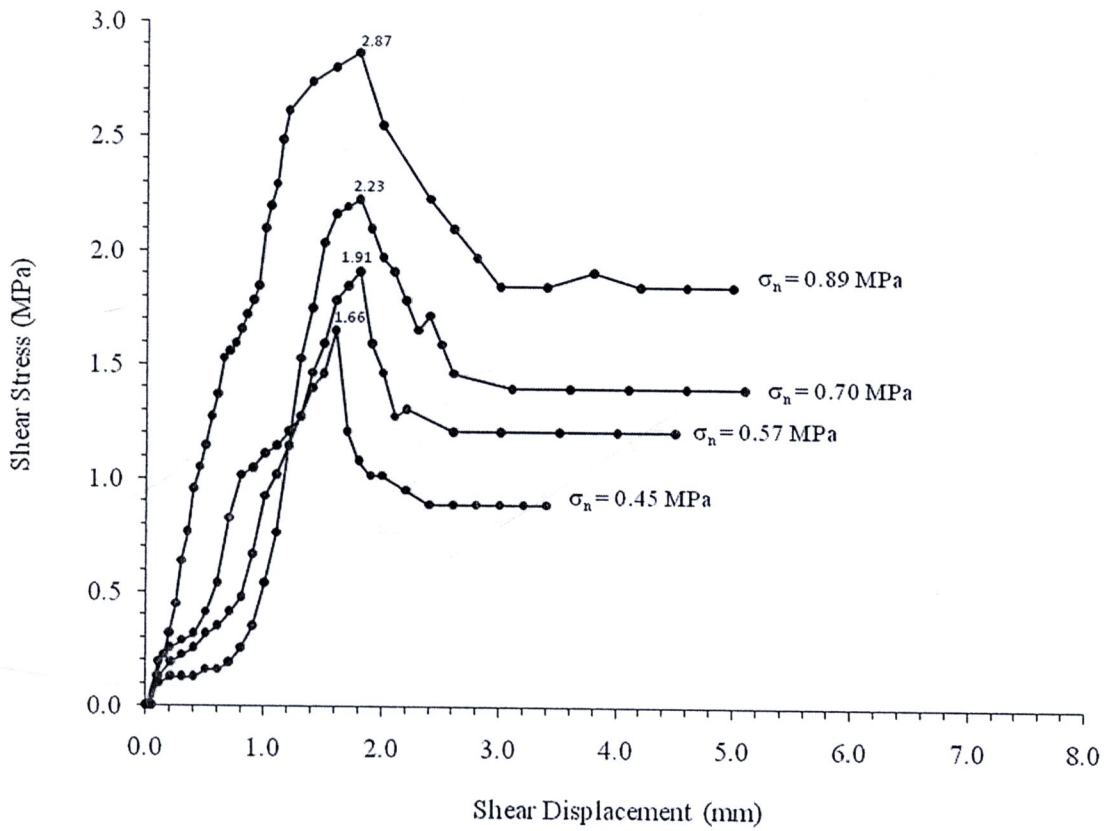
รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นตั้งฉาก จากการทดสอบ กำลังรับแรงเฉือนของเกลียวหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือบแบบผิวเรียบ



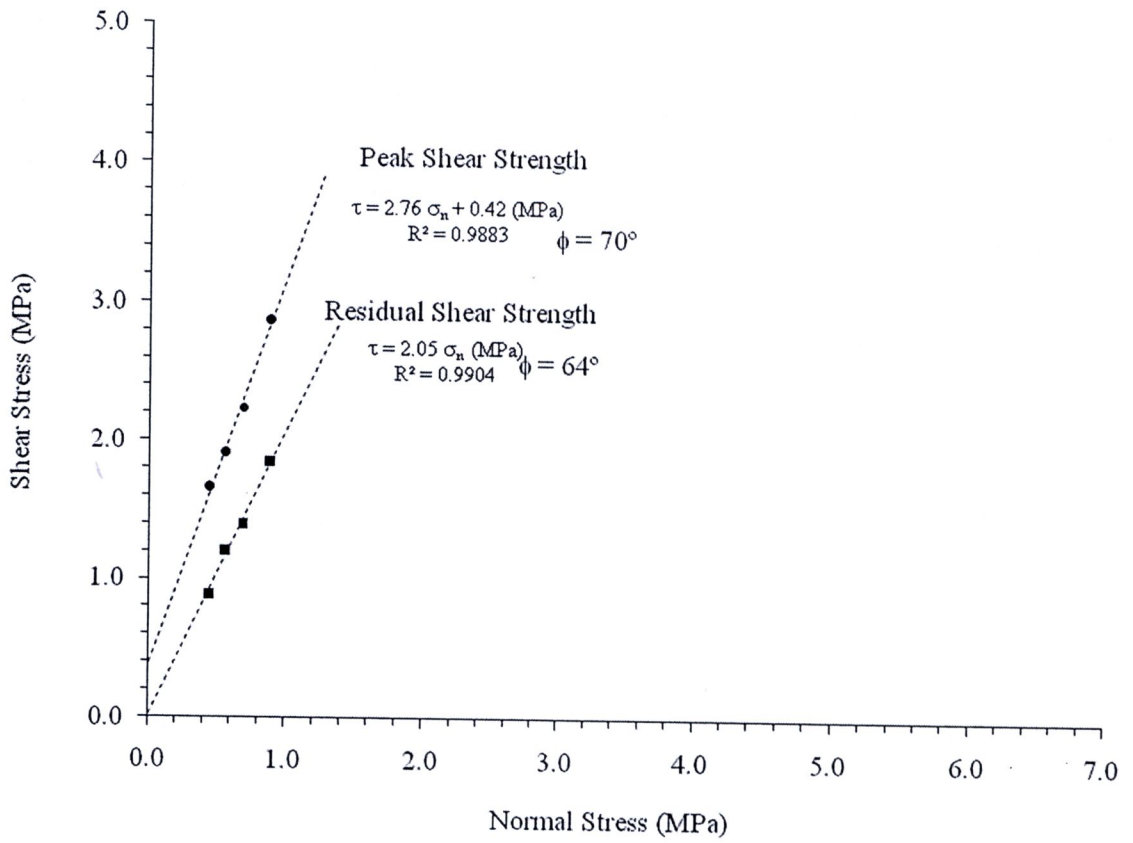
รูปที่ 5.9 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลือบหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือบแบบผิวเรียบ (ไม่ยึดติด) โดยความเค้นเฉือนแสดงในฟังก์ชันของการเคลื่อนตัว



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นตั้งฉาก จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของเกลือหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือแบบผิวเรียบ (ไม่ยึดติด)



รูปที่ 5.11 ผลการทดสอบแรงเฉือนระหว่างเกลียวหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือบแบบขรุขระ โดยความเค้นเฉือนแสดงในฟังก์ชันของการเคลื่อนตัว



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนในฟังก์ชันของความเค้นตั้งฉาก จากการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของเกลือหินและซีเมนต์ผสมน้ำเกลือแบบขรุขระ