บทที่ 4

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบ

ในบทนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ มาศึกษากำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนจากผลของแรงอัดด้านข้างที่กระทำตั้งฉากกับหน้าตัด (แรงโอบรัดด้านข้าง) และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต โดยข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนำมาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ของหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อสลักคอนกรีตล้วน และค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของชิ้นตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 โดยแกนราบแสดงการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ในแนวดิ่งของชิ้นตัวอย่าง ซึ่งสามารถหาได้โดยลบค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่บน และ ล่างของชิ้นตัวอย่างตัวผู้ด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นตัวอย่างตัวเมีย และ แกนดิ่งแทนค่าหน่วยแรงเฉือนที่กระทำต่อตัวอย่างหารด้วยรากที่สองของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ค่าหน่วยแรงเฉือนที่กระทำกับตัวอย่างสามารถหาได้จากน้ำหนักกระทำในแนวดิ่งที่ได้จากการทดสอบหารด้วยพื้นที่ฐานของสลักคอนกรีตล้วน

รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 แสดงกำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนเปรียบเทียบกับวิธีของ Bakhoum และวิธีของ Rotating Smeared Crack Band Model

4.1 พฤติกรรมการรับแรงเฉือนของชิ้นตัวอย่าง

4.1.1 ตัวอย่างในกลุ่มที่รอยต่อเรียบไม่มีสลักคอนกรีตล้วน

นำผลทดสอบมาคำนวณได้ค่าแรงเฉือนและการเลื่อนไถลในแนวดิ่งของชิ้นตัวอย่าง แล้วนำไปเขียนรูปแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองได้ดังรูปที่ 3.10 โดยแกนดิ่งแสดงค่าน้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง ซึ่งก็คือแรงเฉือนที่กระทำกับรอยต่อส่วนแกนราบแสดงการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง หรือการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่าง เมื่อพิจารณารูปที่ 3.10 จะเห็นว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงเฉือน และการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างในแนวดิ่ง มีค่าเกือบเป็นเส้นตรงจนถึงจุดที่รอยต่อเกิดการขยับตัว หลังจากจุดนี้ค่าความชันของกราฟแสดงความสัมพันธ์จะเริ่มลดลง การเลื่อนไถลเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ และสุดท้ายตัวอย่างมีการเลื่อนไถลอย่างไม่จำกัดที่แรง

เฉือนสูงสุดคงที่ ซึ่งพฤติกรรมนี้สามารถอธิบายได้โดย เมื่อพิจารณาผิวของวัสดุเกือบทุกชนิดในสเกลที่เล็กมากๆ จะพบว่าพื้นผิวของวัสดุจะมีความหยาบ ถึงแม้ว่าจะเป็นผิวมันเมื่อมองด้วยตาเปล่า ดังนั้นวัสดุ 2 ชิ้นจะสัมผัสกันที่จุดสูงสุดของพื้นผิวที่หยาบเหล่านี้ ซึ่งสามารถนำมาอธิบายพฤติกรรมของการทดสอบ โดยเมื่อมีน้ำหนักกระทำในแนวดิ่ง, แรงเฉือนที่กระทำนี้ จะถูกส่งผ่านจากชิ้นตัวอย่างหนึ่งไปยังอีกชิ้นตัวอย่างหนึ่ง ผ่านพื้นที่สัมผัสเล็กๆ ของผิวที่หยาบนี้ ซึ่งในชิ้นตัวอย่างความหยาบของผิวประกอบขึ้นด้วย ซิเมนต์เพสท์ (Cement Paste) เมื่อทำการบรรทุกน้ำหนักในแนวดิ่งซิเมนต์เพสท์เหล่านี้จะเริ่มเสียรูป และเนื่องจากพฤติกรรมการเสียรูปร่างของซิเมนต์เพสนี้เป็นเส้นตรง (Neville และคณะ, (13)) จึงทำให้พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของชิ้นตัวอย่างในช่วงเริ่มต้นนี้มีค่าเกือบเป็นเส้นตรงด้วย และเมื่อทำการเพิ่มแรงเฉือนที่กระทำจนถึงกำลังประลัยของซิเมนต์เพสท์ที่จุดสัมผัส ค่าความชันของกราฟจะเริ่มเบี่ยงเบนออกจากแนวตรงจนกระทั่งซิเมนต์เพสที่จุดสัมผัสทั้งหมดถูกเฉือนขาด ผิวรอยต่อของชิ้นตัวอย่างจะเลื่อนไถลสัมพัทธ์ออกจากกัน ซึ่งแสดงโดยค่าความชันของกราฟที่เป็นศูนย์ คือเป็นเส้นตรงในแนวนอน

จากผลการทดสอบสามารถหาความสัมพันธ์ของกำลังการรับแรงเฉือนสูงสุดของรอยต่อในรูปของแรงโอบรัดด้านข้าง โดยกำลังการรับแรงเฉือนสูงสุดหาได้จากน้ำหนักสูงสุดที่รอยต่อเกิดการเลื่อนไถล หารด้วยพื้นที่รอยต่อของแรงเฉือนได้จาก

$$\tau = \mu\sigma_p$$

โดย

τ คือ กำลังการรับแรงเฉือน

μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทาน

σ_p คือ หน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานดังแสดงตารางที่ 4.1 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.80, 0.77, 0.68 สำหรับแรงโอบรัดเท่ากับ 6.77 กก./ซม.^{2}, 13.54 กก./ซม.^{2} และ 27.08 กก./ซม.^{2} ตามลำดับ โดยมีค่าลดลงเมื่อค่าแรงโอบรัดด้านข้างมีค่าสูงขึ้น อธิบายได้โดยการที่ความหยาบที่ผิวสัมผัสบางส่วนซึ่งประกอบจากซิเมนต์เพสท์ ได้เกิดการพังทะลายด้วยแรงอัดที่ระดับแรงโอบรัดที่สูงขึ้น

ค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานที่เสนอโดย ACI มีค่าเท่ากับ 0.6 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบให้ค่าที่อนุรักษ์ อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากผลของวิธีการดำเนินการทดสอบแล้ว ความหยาบของผิวรอยต่อและลักษณะการเตรียมผิวรอยต่อ อาทิเช่น วัสดุของไม้แบบ และการใช้น้ำยาทาแบบ เป็นสิ่งที่ควรพิจารณาในการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ของความเสียดทานในการใช้งาน

4.1.2.ตัวอย่างในกลุ่มที่มีสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน

4.1.2.1.ตัวอย่างในกลุ่มกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 428 กก./ซม.^{2}

ก. ตัวอย่างในชุด K1A

นำผลทดสอบมาคำนวณได้ค่าหน่วยแรงเฉือนและการลื่นไถลของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือนและความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง ดังรูปที่.4.1 จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 70 - 80 % ของน้ำหนักสูงสุดจึงเกิดการตกลงของกราฟ ซึ่งแสดงถึงน้ำหนักบรรทุกที่ลดลงพร้อมกับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีต ซึ่งมีจุดเริ่มต้นที่มุมล่างของสลักคอนกรีต และมีทิศทางวิ่งขึ้นสู่ส่วนบนของสลักคอนกรีต ดังแสดงที่รูป 3.8 จากเริ่มต้นถึงจุดนี้ น้ำหนักกระทำในแนวดิ่งจะถูกต้าน โดยแรงเสียดทานของพื้นที่ส่วนที่อยู่นอกสลักคอนกรีตล้วน และโดยแรงแบกทานที่ผิวล่างของสลักคอนกรีตล้วน ขณะที่เกิดรอยร้าวขึ้นที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วนชิ้นตัวอย่างเกิดการแยกตัวของพื้นที่ที่บริเวณรอยต่อส่วนล่างของสลักคอนกรีต (ซึ่งสังเกตได้จากค่าการเคลื่อนตัวในแนวราบของชิ้นตัวอย่างที่บันทึกได้ และการเพิ่มขึ้นเล็กน้อยของค่าที่อ่านได้จาก Load cell ของ ปั๊มไฮดรอลิค ซึ่งเป็นอุปกรณ์ส่งผ่านแรงกระทำด้านข้าง) ภายหลังที่เกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตขึ้นแล้ว ค่าแรงเสียดทานในพื้นที่ส่วนล่างของสลักคอนกรีตล้วนมีค่าลดลงมาก เนื่องจากการแยกตัวออกจากกันของพื้นที่ส่วนนี้ เป็นผลให้ค่าสติฟเนสของตัวอย่างลดลง สังเกตได้จากความชันของกราฟส่วนที่อยู่หลังการแตกร้าวมีค่าลดลง เมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักกระทำขึ้นอีกเรื่อยๆ ตัวอย่างจะเริ่มเกิดการแตกร้าวทแยงขึ้นตลอดหน้าตัดฐาน ซึ่งเป็นหน้าตัดที่รับแรงเฉือนของสลักคอนกรีตล้วน หลังจากนั้นรอยต่อเหล่านี้เชื่อมต่อกันอย่างรวดเร็วในแนวดิ่ง และเกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือนโดยตัวอย่างเกิดการเลื่อนไถลสูงมากและทันทีทันใด โดยไม่สามารถวัดค่าการเคลื่อนตัวหลังจากจุดนี้ได้ และภายหลังการวิบัติรอยร้าว

เริ่มต้นที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วนได้ปิดลง ในการทดสอบครั้งนี้ค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่บันทึกได้จากการทดสอบควรประกอบด้วย ค่าความต้านทานจากแรงเสียดทานตลอดผิวรอยต่อที่อยู่ภายนอกของสลักแรงเฉือนคอนกรีต และ ความต้านทานแรงเฉือนขาดของสลักคอนกรีตล้วน ดังนั้นค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนที่ได้จากการทดสอบ สามารถหาได้จากค่าน้ำหนักบรรทุกดิ่งสูงสุดลบด้วย ค่าแรงเสียดทานของพื้นที่ที่อยู่นอกฐานของสลักแรงเฉือนคอนกรีตนั้น หารด้วยพื้นที่ฐานของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน ซึ่งจะทำให้ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนที่ได้เป็นค่าขอบเขตจำกัดล่าง (Lower limit) สำหรับการทดสอบสำหรับค่าแรงเสียดทานสามารถหาได้จากการทดสอบแบบรอยต่อเรียบ ดังแสดงรูปที่ 3.1 โดยมีลักษณะรูปร่างและลักษณะการทดสอบเช่นเดียวกับการทดสอบรอยต่อแบบสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน แต่ปราศจากสลักแรงเฉือนตัวอย่าง และวิธีการคำนวณสามารถดูได้จากภาคผนวก ข. โดยแรงเฉือนสูงสุดที่วัดได้ของชิ้นตัวอย่าง และหักลบแรงเสียดทานของพื้นที่ที่อยู่นอกสลักแรงเฉือนแล้วมีค่าเท่ากับ 91.15 ก.ก./ซม.^{2} , 89.23 ก.ก./ซม.^{2} และ 82.61 ก.ก./ซม.^{2}

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 67.1 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.74, 0.75 และ 0.81 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.095 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก. และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 78.77 ก.ก./ซม^2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.86, 0.88 และ 0.95 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 42.8 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.47, 0.48 และ 0.52 ของค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุด เนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

ข. <u>ตัวอย่างในชุด K1B</u>

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้หน่วยแรงเฉือน และการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือน และความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสูงสุด จึงเกิดการตกลงของกราฟที่แสดงแรงเฉือนพร้อมๆ กับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตจำนวน 1 รอยโดยพฤติกรรมที่สังเกตได้คล้ายคลึงกับตัวอย่างในชุดหน่วยแรงอัดเท่ากับ 6.77 ก.ก./ซม.^{2} แต่อย่างไรก็ตามการ

ลดลงของน้ำหนักบรรทุกดิ่งเนื่องจากการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วน จะน้อยกว่าในชุดที่หน่วยแรงอัด 6.77 ก.ก./ซม.^{2} หน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่หักลบแรงเสียดทานแล้วของชิ้นตัวอย่างคือ 102.88 ก.ก./ซม.^{2}, 77.51 ก.ก./ซม.^{2}, 84.95 ก.ก./ซม.^{2} และ 92.37 ก.ก/ซม.^{2} สำหรับตัวอย่างที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 85.08 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.83, 1.10, 1.00 และ 0.92 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.095 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก. และตารางที่ 4.6. ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 92.6 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.90,1.19 ,1.09 และ 1.00 เท่าของค่าจากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 42.8 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.42, 0.55, 0.50 และ 0.46 ของค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

ค. ตัวอย่างในชุด K1C

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้หน่วยแรงเฉือน และการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือน และความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสูงสุดจึงเกิดการตกลงเล็กน้อยของค่าแรงเฉือนพร้อมๆ กับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วน โดยตัวอย่างมีค่าสติฟเนสสูงกว่าตัวอย่างในกลุ่มหน่วยแรงอัดเท่ากับ 6.77 กก./ซม.^{2} และ 13.54 กก./ซม.^{2} ที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุด ตัวอย่างจะเกิดรอยร้าวทแยงตลอดหน้าตัดฐานของสลักคอนกรีตล้วน จากนั้นน้ำหนักบรรทุกจะลดลงอย่างรวดเร็วพร้อมๆ กับรอยร้าวทแยงเหล่านี้เชื่อมต่อเข้าด้วยกันในแนวดิ่ง เกิดการวิบัติด้วยการเฉือนทำให้ชิ้นตัวอย่างแยกออกจากกัน หน่วยแรงเฉือนที่หักลบแรงเสียดทานแล้วของชิ้นตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 99.71, 91.90 กก./ซม.^{2} สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 111.56 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.12 และ 1.21 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.095 กก./ซม^2.(CEB - FIP Code) ราย

ละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก. และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย BAKHOUM มีค่าเท่ากับ 120.2 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.21 และ 1.31 เท่าของค่าจากการทดสอบส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 42.8 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.43 และ 0.47 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

4.1.2.2.ตัวอย่างในกลุ่มกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 473 กก./ซม.^{2}

ก. ตัวอย่างในชุด K2A

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้ค่าหน่วยแรงเฉือน และการเลื่อนไถลในแนวดิ่งของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือนได้ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนถึงประมาณ 80 - 86 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแรงเฉือนบรรทุกสูงสุดจึงเกิดการตกลงของกราฟที่แสดงแรงเฉือนพร้อมๆกับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีต โดยมีจุดเริ่มต้นที่มุมล่างของสลักคอนกรีตเอียง ทำมุม กับแนวรอยต่อ จากนั้นจึงเริ่มมีทิศทางขนาน กับรอยต่อ จนถึงจุดนี้น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อรอยต่อ จะถูกต้านทานโดยแรงเสียดทานของพื้นที่ส่วนที่อยู่บนและล่างของสลักคอนกรีตล้วน เมื่อเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วนแล้ว ค่าแรงเสียดทานในพื้นที่ส่วนล่างของสลักคอนกรีตล้วนมีค่าลดลงมาก เนื่องจากการแยกตัวออกจากกันของพื้นที่ส่วนนี้ เป็นผลให้สติฟเนสของตัวอย่างมีค่าลดลง และน้ำหนักกระทำเกือบทั้งหมดจะถูกส่งผ่านโดยแรงแบกทานที่ผิวล่างของสลักคอนกรีต สังเกตุได้จากความชันของกราฟส่วนที่อยู่ภายหลังการแตกร้าว มีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักกระทำขึ้นอีกจนถึงจุดหนึ่ง ตัวอย่างจะเริ่มเกิดรอยร้าวทแยงขึ้นตลอดหน้าตัดฐาน ซึ่งเป็นหน้าตัดที่ต้านทานแรงเฉือนที่กระทำ เนื่องจากหน่วยแรงดัดที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต จากนั้นตัวอย่างจะเกิดการวิบัติจากการพังทลายของคอนกรีตส่วนที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าวนั้น โดยค่าหน่วยแรงเฉือนสุงสุดที่หักลบแรงเสียดทานแล้วมีค่าเท่ากับ 85.86 กก./ซม.^{2} และ 80.07 กก./ซม.^{2} สำหรับตัวอย่างที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 70.93 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.83 และ 0.89 เท่าของค่าที่ได้

จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.10 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 82.1 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.96, และ 1.03 เท่าของค่าจากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 47.3 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.55 และ 0.59 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

ข. <u>ตัวอย่างในกลุ่ม K2B</u>

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้หน่วยแรงเฉือนและการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่าง จากแรงเฉือนได้ความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่ 4.2 ค่าแรงเฉือนหาได้จากน้ำหนักกระทำในแนวดิ่งหารด้วยพื้นที่ฐานของสลักคอนกรีตล้วน และค่าการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างหาได้จากค่าเฉลี่ยของชิ้นตัวอย่างบนและล่างที่อ่านได้ลบด้วยค่าการเคลื่อนที่ของชิ้นตัวอย่างตัวเมียที่อ่านได้ จะเห็นว่าค่าของแรงเฉือนมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จนถึงประมาณ 85 - 90 เปอร์เซ็นต์ จึงเกิดการตกลงเล็กน้อยของค่าแรงเฉือนที่อ่านได้พร้อมกับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วนจำนวน 1 รอย จากนั้นเมื่อทำการเพิ่มแรงเฉือนกระทำกับรอยต่อตัวอย่างจะเกิดรอยร้าวทแยงขึ้นตลอดหน้าตัดฐานของสลักคอนกรีตล้วน เนื่องจากหน่วยแรงดึงสัพธ์จากผลของน้ำหนักกระทำและแรงอัดด้านข้างมีค่ามากกว่าหน่วยแรงดึงสูงสุดของคอนกรีต จากนั้นตัวอย่างจะเกิดการวิบัติจากการพังทลายของคอนกรีต (Cruching) ส่วนที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าวทแยงเป็นผลให้ตัวอย่างเกิดการเฉือนขาดออกจากกันในทันทีทันใด แสดงให้เห็นถึงความเปราะของคอนกรีตในด้านการเฉือน โดยค่าหน่วยแรงเฉือนที่หักลบแรงเสียดทานแล้วมีค่าเท่ากับ 98.64 กก./ซม.^{2}, 88.44 กก./ซม.^{2} และ 94.75 กก./ซม.^{2} สำหรับตัวอย่าง ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 89.73 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.91, 1.01 และ 0.95 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.10 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 95.92 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.97, 1.08 และ 1.01 เท่าของค่าจากการทดสอบส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 47.3

กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.48 , 0.53 และ 0.50 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ ซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุด เนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

ค. ตัวอย่างในชุด K2C

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้ค่าหน่วยแรงเฉือนจากน้ำหนักกระทำในแนวดิ่งหารด้วยพื้นที่ของสลักคอนกรีตล้วนและค่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ในแนวดิ่งของพื้นที่ของชิ้นตัวอย่างตัวผู้ จากค่าเฉลี่ยของค่าการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งบนและล่างลบด้วยค่าการเคลื่อนที่ของชิ้นตัวอย่างตัวเมียจากการที่ชิ้นตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งเมื่อทำการอัดแรงด้านข้างได้ความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนกระทำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆพร้อมกับตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งที่เพิ่มขึ้นจนถึงประมาณ 90 - 95 เปอร์เซ็นต์ของแรงเฉือนสูงสุด จึงเกิดการตกลงของกราฟที่แสดงแรงเฉือนเล็กน้อยพร้อมๆกับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วน อย่างไรก็ตามการตกลงของกราฟมีเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับตัวอย่างในชุด K2A เนื่องจากผลของแรงโอบรัดด้านข้างที่สูงขึ้น เมื่อทำการเพิ่มค่าแรงเฉือนกระทำเพิ่มขึ้นอีกจนถึงจุดที่หน่วยแรงดึงลัพธ์มีค่าสูงกว่ากำลังการรับแรงดึงของคอนกรีต ตัวอย่างจึงเกิดรอยร้าวทแยงตลอดหน้าตัดฐานของสลักคอนกรีตล้วน ซึ่งเป็นหน้าตัดที่ส่งถ่ายแรงเฉือนจากนั้นตัวอย่างจะเกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน เมื่อคอนกรีตที่อยู่ระหว่างรอยร้าวทแยงเหล่านี้ มีแรงอัดกระทำสูงกว่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตส่วนที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าวเหล่านี้ รอยร้าวทแยงเหล่านี้จะเชื่อมต่อกันในแนวดิ่งทำให้สลักคอนกรีตขาดออกจากชิ้นตัวอย่างตัวผู้ ค่าหน่วยแรงเฉือนที่หักลบแรงเสียดทานแล้วมีค่าเท่ากับ 105.97 กก./ซม.^{2}, 104.91 กก./ซม.^{2} และ 98.60 กก./ซม.^{2} สำหรับตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 117.66 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.11, 1.12 และ 1.19 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.10 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 123.54 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.17, 1.18 และ 1.25 เท่าของค่าจากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่า

กับ 47.3 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.45, 0.45 และ 0.48 ของค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

4.1.2.3 ตัวอย่างในกลุ่มกำลังอัดของคอนกรีตเท่ากับ 541 กก./ซม.^{2}

ก. ตัวอย่างในชุด K3A

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้หน่วยแรงเฉือนและการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือน และความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่ 4.3. จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 80 เปอร์เซนต์ของน้ำหนักสูงสุด เกิดการตกลงของกราฟที่แสดงน้ำหนักบรรทุกพร้อมๆกับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีต ซึ่งมีจุดเริ่มที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วน และมีทิศทางวิ่งขึ้นสู่ส่วนบนของสลักคอนกรีต ดังแสดงที่รูป.4.2 จากเริ่มต้นทำการทดสอบจนถึงจุดนี้ น้ำหนักกระทำในแนวดิ่งจะถูกต้านทานโดยแรงเสียดทานของพื้นที่ส่วนที่อยู่ภายนอกสลักคอนกรีตล้วน และโดยแรงแบกทานที่ส่วนล่างของสลักคอนกรีตล้วนเมื่อทำการเพิ่มน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตัวอย่างจะเกิดรอยแตกร้าวทแยงขึ้นตลอดหน้าตัดฐานของสลักคอนกรีตล้วน ซึ่งทำให้เกิดการประพฤติตัวของส่วนที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าวเสมือนเป็นส่วนรับแรงอัด(Compression strut)และตัวอย่างเกิดการวิบัติ โดยที่รอยร้าวทแยงเหล่านี้เชื่อมเข้าด้วยกันในแนวดิ่ง เนื่องจากการวิบัติของพื้นที่ส่วนที่อยู่ระหว่างรอยแตกร้าว โดยหน่วยแรงเฉือนที่หักลบแรงเสียดทานแล้วมีค่าเท่ากับ 91.08 ก.ก./ซม.^{2} , 94.87 ก.ก./ซม.^{2} และ 98.08 ก.ก/ซม^2 สำหรับตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 76.51 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.84, 0.81 และ 0.78 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.11 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 86.84 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.95,0.92 และ 0.89 เท่าของค่าจากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 54.1 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.59, 0.57 และ 0.55 ของค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุดเนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

ข. ตัวอย่างในชุด K3B

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้หน่วยแรงเฉือน และการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือน และความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 80 - 90 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสูงสุดจึงเกิดการตกลงของกราฟที่แสดงน้ำหนักบรรทุกพร้อมๆกับการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักแรงเฉือนจำนวน 1 รอย โดยพฤติกรรมที่สังเกตได้คล้ายคลึงกับตัวอย่างในชุด K3A แต่อย่างไรก็ตามการลดลงของน้ำหนักบรรทุกดิ่งเนื่องจากการเกิดรอยร้าวที่มุมล่างของสลักคอนกรีตล้วนจะน้อยกว่าในชุด K3A หน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่หักลบแรงเสียดทานของชิ้นตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 95.81 ก.ก./ซม.^{2}, 108.61 ก.ก./ซม.^{2} ,และ 99.83 ก.ก/ซม.^{2} สำหรับตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 96.8 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.01, 0.89 และ 0.97 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.11 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 100.65 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.05, 0.93 และ 1.01 เท่าของค่าจากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 54.1 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.56, 0.50 และ 0.54 ของค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุด เนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

ค. ตัวอย่างในชุด K3C

นำผลการทดสอบมาคำนวณได้หน่วยแรงเฉือนและการเลื่อนไถลของชิ้นตัวอย่างจากแรงเฉือน และความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองดังรูปที่. 4.3 จะเห็นว่าน้ำหนักกระทำเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงประมาณ 82 - 97 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกสูงสุด จึงเกิดการตกลงของกราฟที่แสดงน้ำหนักบรรทุก โดยพฤติกรรมที่สังเกตได้คล้ายกับตัวอย่างในชุด K3A แต่อย่างไรก็ตามตัวอย่างมีค่าสติฟเนสที่สูงกว่าในชุด K3A และการตกลงของกราฟที่แสดงน้ำหนักบรรทุกจะมีค่าน้อยกว่าค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่วัดได้ของชิ้นตัวอย่างที่หักลบแรงเสียดทานแล้วมีค่าเท่ากับ

106.71 ก.ก./ซม.^{2}, 108.56 ก.ก./ซม.^{2} และ 120.15 ก.ก/ซม.^{2} สำหรับตัวอย่าง 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.5 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model มีค่าเท่ากับ 126.72 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.19, 1.17 และ 1.05 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ โดยค่าพลังงานแตกร้าวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.11 กก./ซม.(CEB - FIP Code) รายละเอียดการคำนวณดูได้จากภาคผนวก ก และตารางที่ 4.6 ค่าแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จากสูตรที่เสนอโดย Bakhoum มีค่าเท่ากับ 128.28 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.20, 1.18 และ 1.07 เท่าของค่าจากการทดสอบ ส่วนค่าแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย CEB - FIP Code มีค่าเท่ากับ 54.1 กก./ซม.^{2} ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.51, 0.50 และ 0.45 ของค่าที่ได้จากการทดสอบซึ่งให้ค่าที่ต่ำที่สุด เนื่องจากไม่ได้พิจารณาผลของแรงโอบรัดด้านข้าง

4.2 <u>ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีต และ กำลังรับแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน</u>

4.2.1 <u>ตัวอย่างในกลุ่มแรงโอบรัดเท่ากับ 6.77 กก./ซม.^{2}</u>

จากตารางที่ 4.7 ค่าแรงเฉือนประลัยเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 87 กก/ซม.^{2}, 82.97 กก/ซม.^{2} และ 94.68 กก/ซม.^{2} สำหรับระดับของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 428 กก/ซม.^{2}, 473 กก/ซม.^{2} และ 541 กก/ซม.^{2} ตามลำดับ จากผลทดสอบค่าแรงเฉือนที่ได้ระหว่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 428 กก/ซม.^{2} และ 473 กก/ซม.^{2} มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าของหน่วยแรงเฉือนของตัวอย่างกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 541 กก/ซม.^{2} ซึ่งมีค่าสูงกว่าตัวอย่างที่มีกำลังอัดเท่ากับ 428 กก/ซม.^{2} และ 473 กก/ซม.^{2} ประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ และ 14 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4.2.2 <u>ตัวอย่างในกลุ่มหน่วยแรงโอบรัดเท่ากับ 13.54 กก./ซม.^{2}</u>

จากตารางที่ 4.8 ค่าแรงเฉือนประลัยเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 89.43 กก/ซม.^{2}, 93.94 กก/ซม.^{2} และ 101.42 กก/ซม.^{2} สำหรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 428

กก/ซม.^{2}, 473 กก/ซม.^{2} และ 541 กก/ซม.^{2} ตามลำดับ จากผลการทดสอบค่าแรงเฉือนที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 5 - 12 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าของรากที่ 2 ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเพิ่มขึ้นประมาณ 5 - 12 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าการเพิ่มของกำลังเฉือนประลัยจากการทดสอบที่สูงขึ้นให้ค่าสอดคล้องกับอัตราส่วนของรากที่ 2 ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่สูงขึ้น

4.2.3. ตัวอย่างในกลุ่มหน่วยแรงโอบรัดเท่ากับ 27.08 กก./ซม.^{2}

จากตารางที่ 4.9 ค่าแรงเฉือนประลัยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 95.81 กก/ซม.^{2}, 103.16 กก/ซม.^{2} และ 111.81 กก/ซม.^{2} สำหรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตเท่ากับ 428 กก/ซม.^{2}, 473 กก/ซม.^{2} และ 541 กก/ซม.^{2} โดยค่าของกำลังรับแรงเฉือนมีค่าสูงขึ้นประมาณ 7 - 16 เปอร์เซ็นต์ เมื่อค่าของรากที่ 2 ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น 5 - 12 เปอร์เซ็นต์

จากรูปที่ 4.7 การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีผลให้กำลังการรับแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนมีค่าสูงขึ้นโดยสัมพันธ์กับรากที่ 2 ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ซึ่งผลที่ได้นี้สอดคล้องกับที่เสนอโดยมาตราฐาน ACI ซึ่งกำหนดกำลังการรับแรงเฉือนของคอนกรีตล้วนในรูปของแรงดึงทแยงในคอนกรีต ซึ่งแปรผันตามค่ารากที่ 2 ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงโอบรัดด้านข้าง และ กำลังการรับแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน

4.3.1 ตัวอย่างในกลุ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 428 กก/ซม.^{2}

จากผลการทดสอบตารางที่ 3.3 และตารางที่ 4.2 ตัวอย่างมีกำลังรับแรงเฉือนประลัยจากการทดสอบเท่ากับ 87.36 กก/ซม.^{2}, 95.53 กก/ซม.^{2} และ 111.87 กก/ซม.^{2} สำหรับแรงโอบรัดด้านข้าง ที่กระทำที่จุดศูนย์กลางของสลักคอนกรีตล้วนเท่ากับ 6.77 กก/ซม.^{2}, 13.54 กก/ซม.^{2} และ 27.08 กก/ซม.^{2} ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าเมื่อทำการเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดสูงขึ้นค่าของแรงเฉือนประลัยจะมีค่าสูงขึ้น และ มีค่าประมาณ 1.2 และ 0.9 เท่าของค่าแรงโอบรัดด้านข้างที่เพิ่มขึ้น

4.3.2 ตัวอย่างในกลุ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 473 กก/ซม.^{2}

จากผลการทดสอบตารางที่ 3.3 และตารางที่ 4.3 ตัวอย่างมีกำลังรับแรงเฉือนประลัยจากการทดสอบเท่ากับ 82.96 กก/ซม.^{2}, 94.05 กก/ซม.^{2} และ 103.40 กก/ซม.^{2} สำหรับแรงโอบรัดด้านข้างที่กระทำที่จุดศูนย์กลางของสลักคอนกรีตล้วนเท่ากับ 6.77 กก/ซม.^{2}, 13.54 กก/ซม.^{2} และ 27.08 กก/ซม.^{2} ตามลำดับ โดยกำลังการรับแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1.64 เท่าและ 1 เท่าของค่าแรงหน่วยโอบรัดด้านข้างที่เพิ่มขึ้น

4.3.3 ตัวอย่างในกลุ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 541 กก/ซม.^{2}

จากผลการทดสอบตารางที่ 3.3 และตารางที่ 4.4 ตัวอย่างมีกำลังรับแรงเฉือนประลัยจากการทดสอบเท่ากับ 94.67 กก/ซม.^{2}, 101.52 กก/ซม.^{2} และ 112.01 กก/ซม.^{2} สำหรับแรงโอบรัดด้านข้าง ที่กระทำที่จุดศูนย์กลางของสลักคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 6.77 กก/ซม.^{2}, 13.54 กก/ซม.^{2} และ 27.08 กก/ซม.^{2} ตามลำดับ ซึ่งกำลังการรับแรงเฉือนประลัยมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 1.01 ถึง 0.85 เท่าของค่าหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.8 เมื่อทำการเพิ่มหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง กับชิ้นตัวอย่างสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนจะมีผลให้ค่าแรงเฉือนประลัยที่ได้จากการทดสอบมีค่าสูงขึ้น และผลในการเพิ่มกำลังของสลักแรงเฉือนโดยหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง จะมีประสิทธิ์ภาพกว่าผลของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ซึ่งมีความสัมพันธ์ในรูปของรากที่ 2. รูปที่ 4.9. อธิบายลักษณะของแรงกระทำในชิ้นส่วนของคอนกรีตที่อยู่ในแนวหน้าตัดฐานของสลักคอนกรีต ด้วยวงกลมของมอห์ร จะเห็นว่าภายใต้ผลร่วมของหน่วยแรงกระทำในแนวดิ่ง หน่วยแรงเฉือน และหน่วยแรงโอบรัดด้านข้าง จะก่อให้เกิดหน่วยแรงดึงสูงสุดในระนาบหนึ่งซึ่งหน่วยแรงดึงจะทำมุมเท่ากับ θ กับแนวแกน x และเมื่อหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต ตัวอย่างจะเกิดรอยร้าวเอียงทำมุมเท่ากับ $90 - \theta$ องศากับแนวแกน x ตารางที่ 4.10 แสดงค่ามุมของรอยร้าวที่ระดับแรงโอบรัดต่างๆ

4.4 กำลังรับแรงเฉือนจากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model

ในการคำนวณหาค่าแรงเฉือนประลัยโดยวิธี Rotating Smeared Crack Band Model ที่เสนอโดย Kaneko มีตัวแปรสองค่าที่จะต้องทำการวิเคราะห์ คือ ค่าความกว้างของพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมโดยรอยร้าวทแยงในแนวตั้งฉากกับแนวรับแรงเฉือน h. ซึ่งได้จากการทดสอบ และค่าพลังงานแห่งการแตกร้าว G_f ซึ่ง Kaneko แนะนำให้ใช้ค่าพลังงานแห่งการแตกร้าวตามที่เสนอโดย CEB - FIP Code ในกรณีของค่าความกว้างของรอยร้าวทแยง Kaneko แนะนำให้ใช้ค่าความกว้างของรอยร้าวทแยงในแนวตั้งฉากกับแนวรับแรงเฉือนเท่ากับ 10 มม. ซึ่งได้จากการสังเกตุจากการทดสอบของ Bakhoum ในการทดสอบครั้งนี้ การวัดค่าของความกว้างของรอยร้าวทแยงให้ได้ถูกต้องค่อนข้างจะกระทำได้ยากเนื่องจากตัวอย่างเกิดการพังทลายอย่างรวดเร็วหลังจากเกิดรอยแตกร้าวทแยงขึ้น ทำให้ไม่สามารถวัดค่าของความกว้างของรอยร้าวทแยงให้ได้ถูกต้อง ตลอดจนขนาดความยาวของรอยร้าวทแยงที่เกิดขึ้นมีค่าต่างกัน อย่างไรก็ตาม Kaneko ได้แสดงให้เห็นถึงค่าผิดพลาดของการคำนวณค่าแรงเฉือนประลัยมีค่าไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ ในกรณีที่ค่าของความกว้างของรอยร้าวทแยงมีค่าแตกต่างกัน 5 มม. .ในการทดสอบนี้ค่าความกว้างของรอยร้าวทแยง ที่สังเกตุได้มีค่าอยู่ระหว่าง 10 - 15 มม. และจากผลการคำนวณในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุด ในกรณีที่ค่าความกว้างของรอยร้าวทแยงเท่ากับ 15 มม. มีค่าแตกต่างจากกรณีค่าความกว้างของรอยร้าวทแยงมีค่าเท่ากับ 10 มม. อยู่ระหว่าง 0 - 6 เปอร์เซ็นต์

จากตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบ และ หน่วยแรงเฉือนประลัยโดยวิธี Rotating Smeared Crack Band Model. โดยค่าที่ได้จากวิธี Rotating Smeared Crack Band Model. จะมีค่าประมาณ 0.74 - 0.87 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบที่ระดับแรงโอบรัดด้านข้างเท่ากับ 6.77 กก./ซม.^{2} ในขณะที่เมื่อหน่วยแรงโอบรัดมีค่าสูงขึ้นคือ 13.54 กก./ซม.^{2} และ 27.08 กก./ซม.^{2} ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้ จะมีค่าใกล้เคียงผลการทดสอบมากขึ้น โดยที่ค่าหน่วยแรงโอบรัดมีค่าเท่ากับ 13.54 กก./ซม.^{2} ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากับ 0.90 ของค่าที่จะได้จากการทดสอบ และค่าหน่วยแรงโอบรัดเท่ากับ 27.08 กก./ซม.^{2} ค่าหน่วยแรงเฉือนประลัยที่คำนวณได้จะมีค่าเท่ากับ 1.04 - 1.05 ของค่าที่ได้จากการทดสอบ

4.5 กำลังการรับแรงเฉือนประลัยที่เสนอโดย Bakhoum

สูตรกำลังการรับแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนคอนกรีตที่เสนอโดย Bakhoum เป็นสูตรที่เสนอแนะจากการทำการทดสอบสลักแรงเฉือนคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตคงที่เท่ากับ 499 กก./ซม.^{2} และหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างแปรผันเท่ากับ 7.04 และ 21.10 กก./ซม.^{2} จากตารางที่ 4.5 กำลังรับแรงเฉือนจากวิธีของ Bakhoum ให้ค่าที่สอดคล้องและอนุรักษ์เมื่อค่าหน่วยแรงโอบรัดด้านข้างมีค่าเท่ากับ 6.77 กก./ซม.^{2}, 13.54 กก./ซม.^{2} โดยมีค่าผิดพลาดอยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในกรณีที่หน่วยแรงโอบรัดด้านข้างมีค่าเท่ากับ 27.08 กก./ซม.^{2} ค่ากำลังรับแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนที่เสนอโดย Bakhoum นี้จะให้ค่าสูงเกินไปโดยมีค่าเท่ากับ 1.25 เท่า, 1.19 เท่า และ 1.15 เท่าของค่าที่ได้จากการทดสอบ

4.6 สูตรกำลังการรับแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน

จากผลการทดสอบกำลังของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนมีค่าสูงขึ้นตามค่ากำลังอัดประลัยของคอนกรีตและแรงโอบรัดด้านข้างที่สูงขึ้น ตารางที่ 4.5 นำค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรหลักคือ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตและแรงโอบรัดด้านข้างที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ มาหาความสัมพันธ์เพื่อทำนายกำลังแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วนที่มีแรงโอบรัดระหว่าง 6.77 กก/ซม ^{2,} ถึง 27.08 กก/ซม ^{2} ด้วยวิธีสมการถดถอยแบบเส้นตรง (Linear Regression Theory) โดยใช้หลักการของ Least square technique ได้ความสัมพันธ์ที่เสนอในงานวิจัยนี้ ดังแสดงโดยมีค่าความแปรปรวนเท่ากับ 0.08 ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.28

$$\tau = 3.87\sqrt{fc'} + 0.70\,\sigma_p$$

โดย

τ = หน่วยแรงเฉือนประลัยของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน

fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

σ_p = หน่วยแรงอัดที่กระทำที่จุดศูนย์กลางของสลักคอนกรีตล้วน (หน่วยแรงโอบรัด)

ค่าของ σ_p ในงานวิจัยนี้กำหนดโดยค่าของแรงโอบรัด หรือแรงอัดที่กระทำตั้งฉากกับหน้าตัดที่จุดศูนย์กลางของสลักคอนกรีตล้วน หารด้วยพื้นที่ฐานของสลักคอนกรีตล้วน

4.7 ค่ากำลังแรงเฉือนประลัยของสลักคอนกรีตโดย CEB-FIP.

การคำนวณกำลังการรับแรงเฉือนประลัยของรอยต่อแบบที่มีสลักแรงเฉือนคอนกรีตที่เสนอโดย CEB - FIP Code , ค่าการต้านทานแรงเฉือนประลัยที่รอยต่อจะประกอบด้วยค่าแรงเสียดทานที่รอยต่อ ซึ่งอธิบายได้โดยทฤษฎีแรงเฉือน - เสียดทาน (Shear friction theory) และ กำลังการต้านทานแรงเฉือนในส่วนของสลักแรงเฉือนคอนกรีต ซึ่งกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1 fc' เมื่อพิจารณาเฉพาะส่วนกำลังต้านทานแรงเฉือนในส่วนของสลักแรงเฉือนคอนกรีตที่เสนอโดย CEB - FIP Code โดยทำการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในงานวิจัยนี้ พบว่าค่ากำลังการรับแรงเฉือนของสลักแรงเฉือนคอนกรีตล้วน ในกรณีที่ไม่มีเหล็กเสริมวิ่งผ่านหน้าตัดของสลักแรงเฉือนนี้ ให้ค่าที่อนุรักษ์โดยมีค่าประมาณ 40 - 50 เปอร์เซ็นต์ ของที่ได้จากการทดสอบสำหรับค่าการเปรียบเทียบสามารถดูได้จากตารางที่ 4.5