

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ผลการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรง และการสร้างแบบจำลอง Strut and Tie ของคานคอนกรีตอัดแรง โดยมีรายละเอียดดังนี้

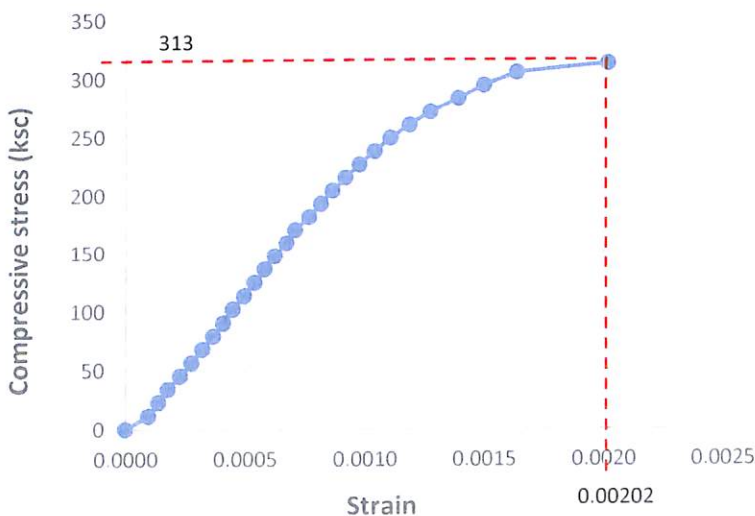
4.1 ผลการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรง

ผลการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรง จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกจะเป็นผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ และ ส่วนที่สองเป็นผลการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงจำนวน 5 ชิ้น โดยมีรายละเอียดดังนี้ ส่วนผลการทดสอบวัสดุและผลการทดสอบคานคอนกรีตทั้งหมดดังแสดงในภาคผนวก

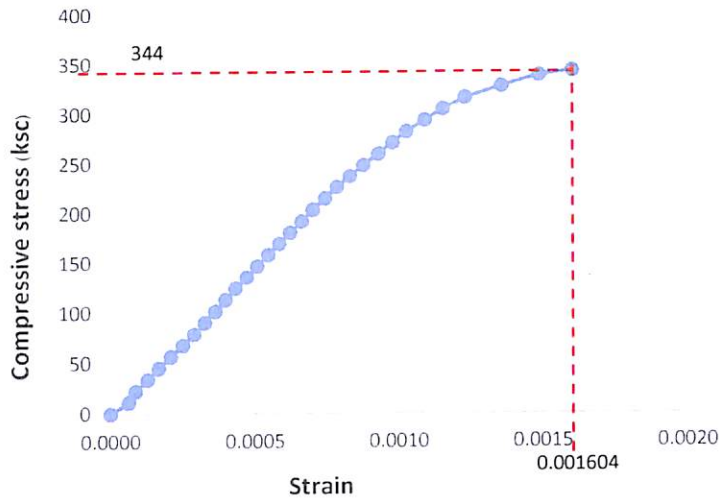
4.1.1 ผลทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

4.1.1.1 แท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน

งานวิจัยนี้ได้ทำการเทคอนกรีตคานทดสอบจำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 หล่อคานทดสอบ 2 ชิ้น ได้แก่ คานควบคุมที่ไม่มีช่องเปิด และคานที่มีช่องเปิดอย่างละ 1 ชิ้น ส่วนครั้งที่ 2 จะหล่อคานทดสอบที่มีช่องเปิดจำนวน 2 ชิ้น และในแต่ละครั้งจะมีการเก็บตัวอย่างลูกปูนเป็นทรงกระบอกมาตรฐาน ASTM มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. เก็บตัวอย่างครั้งละ 9 ก้อน โดย 3 ก้อนชุดแรกจะใช้ในการการหาค่าลึงอัดที่ต้องการในขณะอัดแรง 3 ก้อนชุดที่สองจะใช้หาค่าลึงอัดที่ต้องการเพื่อหยุดการบ่มคอนกรีต และ 3 ก้อนชุดสุดท้ายใช้หาค่าลึงอัดที่ 28 วัน ซึ่งความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดอัดของลูกปูนที่อายุ 28 วัน ของการหล่อคานทดสอบครั้งที่ 1 และ 2 ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดอัดของลูกปูนที่อายุ 28 วัน ของการหล่อคานครั้งที่ 1

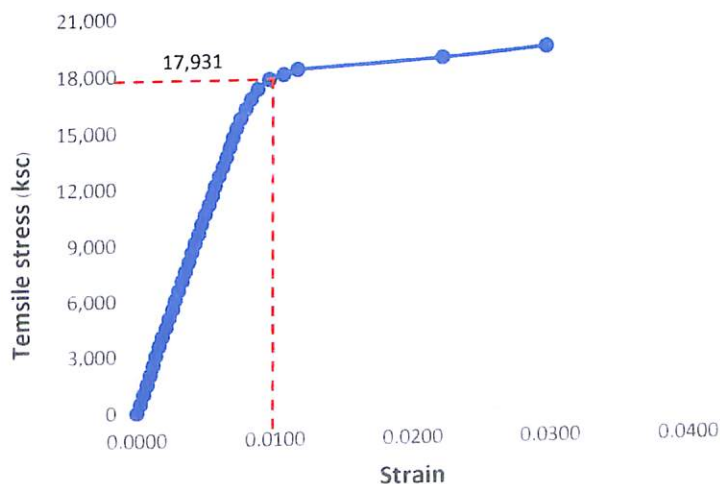


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดอัดของลูกปูนที่อายุ 28 วัน ของการหล่อคานครั้งที่ 2

จากภาพที่ 4.1 และ 4.2 จะเห็นได้ว่าการทดสอบกำลังอัดของลูกปูนตัวอย่างจนกระทั่งวิบัติมีค่ากำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วันเท่ากับ 313 ksc และ 344 ksc ตามลำดับ ส่วนค่าความเครียดอัดขณะวิบัติเท่ากับ 0.00202 และ 0.001604 ตามลำดับ

4.1.1.2 เหล็กเสริมอัดแรง

การทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรงที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กเสริมอัดแรงชนิด 7-wire strand (Low Relaxation) เกรด 1860 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12.7 มม. มีความยาวท่อนละ 1 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง และผลการทดสอบสามารถแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดดึงได้ดังภาพที่ 4.3

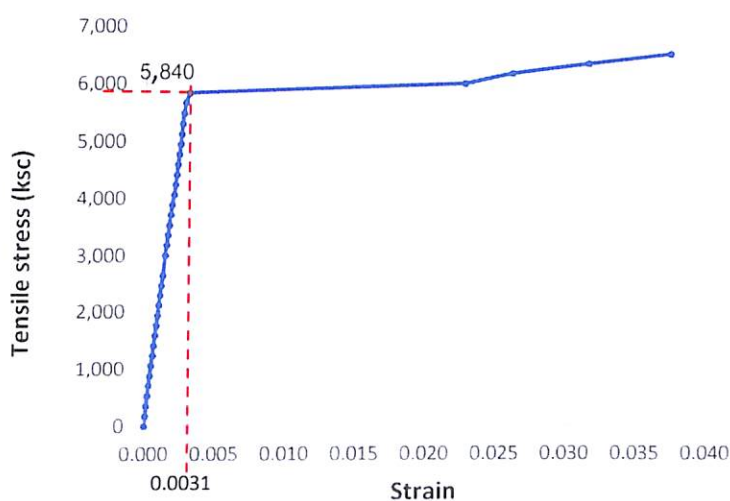


ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดดึงของเหล็กเสริมอัดแรง

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมอัดแรงดังแสดงในภาพที่ 4.3 ค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากมีค่าเท่ากับ 17,931 กก/ซม² (วิธี 1% หน่วยการยืดตัว ตามมาตรฐาน ASTM) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 2,078,955 กก/ซม² ค่าหน่วยแรงดึงที่จุดประลัยมีค่าเท่ากับ 19,552 กก/ซม²

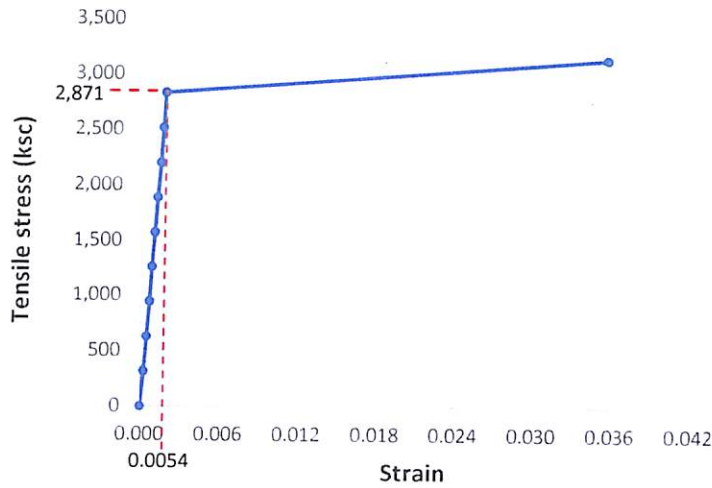
4.1.1.3 เหล็กเสริมไม่อัดแรง

การทดสอบคุณสมบัติของเหล็กเสริมไม่อัดแรงสำหรับงานวิจัยนี้คือ เหล็กเสริมตามขนาด DB12 (SD40) และเหล็กเสริมตามขนาด RB9 (SR24) มีความยาวท่อนละ 1 เมตร จำนวนอย่างละ 3 ตัวอย่าง ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดดึงของเหล็กเสริมไม่อัดแรงทั้งสองชนิดแสดงในภาพที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดดึงของเหล็กเสริมไม่อัดแรง DB 12 (SD40)

จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมไม่อัดแรง DB12 ดังภาพที่ 4.4 ค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากมีค่าเท่ากับ 5,840 กก/ซม² ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 1,872,580 กก/ซม² หน่วยการยืดตัวจุดครากเท่ากับ 0.0031



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดดึงของเหล็กเสริมไม่อัดแรง RB9 (SR24)

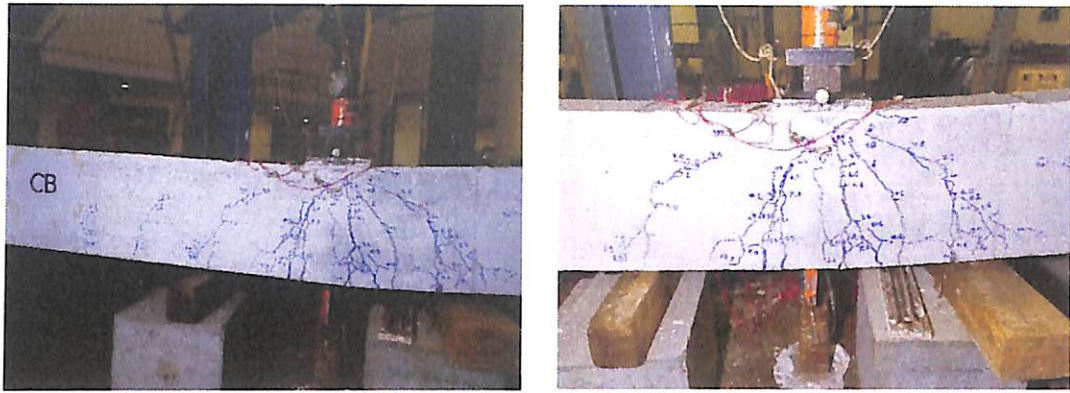
จากผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงของเหล็กเสริมไม่อัดแรง RB9 ดังภาพที่ 4.5 ค่าหน่วยแรงดึงที่จุดครากมีค่าเท่ากับ 2,871 กก/ซม² ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 1,807,602 กก/ซม² หน่วยการยืดตัวที่จุดครากเท่ากับ 0.0054

4.1.2 ผลทดสอบคานตัวอย่าง

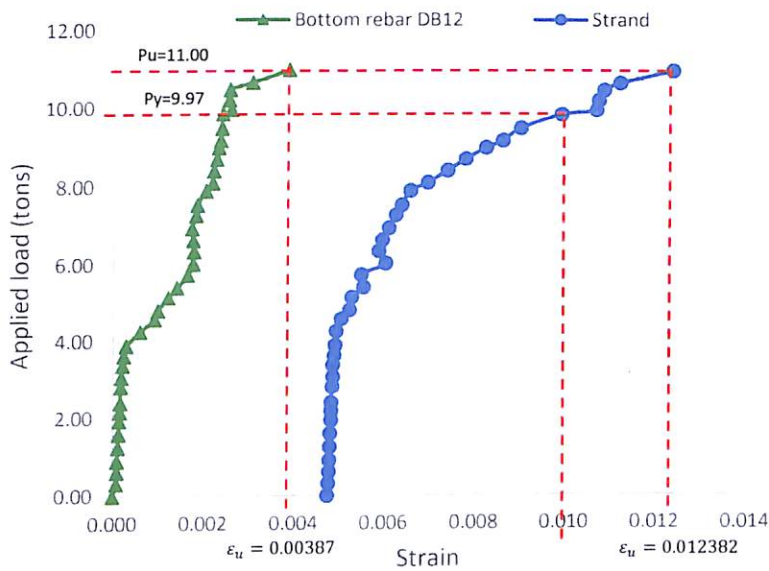
ผลการทดสอบจะมีทั้งหมด 5 ชิ้น ได้แก่ คานควบคุมไม่มีช่องเปิด (CB) , คานมีช่องเปิดไม่เสริมกำลัง (BO) , คานมีช่องเปิดไม่เสริมกำลัง (BO-1) , คานมีช่องเปิดที่ซ่อมแซมและเสริมกำลังด้วย CFRP (RBO-1) และ คานมีช่องเปิดและเสริมกำลังด้วย CFRP (SBO) โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.2.1 คานควบคุมไม่มีช่องเปิด (CB)

จากการทดสอบพบว่าเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่าเท่ากับ 4.20 ตัน ทำให้เกิด First Crack ที่ผิวด้านล่างกลางคาน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นเรื่อยๆ รอยร้าวใหม่จะแพร่กระจายจากกลางคานไปยังด้านข้างและรอยร้าวสูงขึ้นจากท้องคานไปยังตำแหน่งจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ ลักษณะรอยร้าวในช่วงกลางคานจะมีลักษณะเกือบตั้งฉากกับแนวระนาบตามยาวคานและจะเริ่มเอียงทำมุมลดลงเมื่อตำแหน่งรอยร้าวขยับเข้าใกล้จุดรองรับทั้ง 2 ข้าง รอยร้าวเพิ่มขนาดมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 11 ตัน รูปแบบการวิบัติของคานเป็นแบบดัด (Flexural Failure) แสดงในภาพที่ 4.6

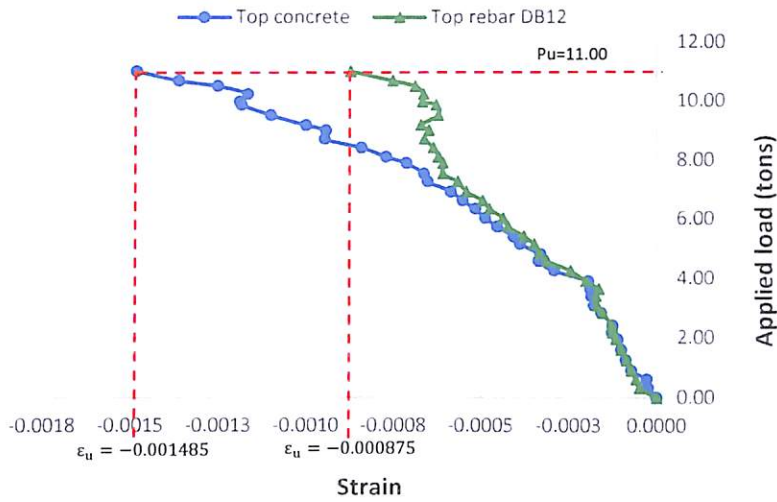


ภาพที่ 4.6 รูปแบบการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นในคาน CB



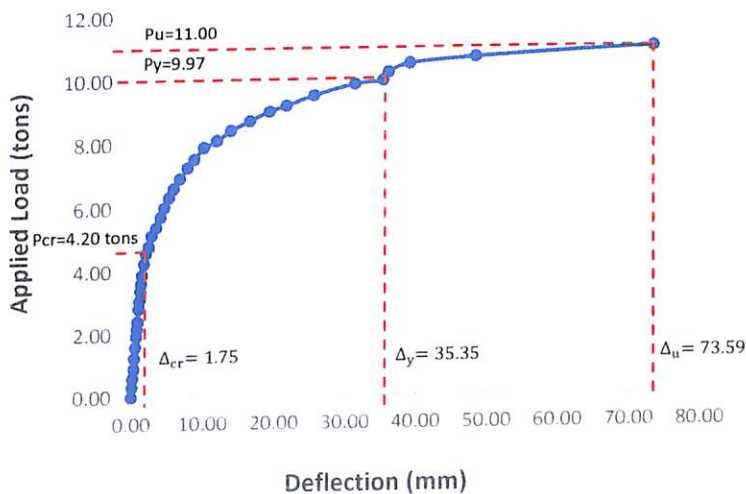
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงของคาน CB

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงดังแสดงในภาพที่ 4.7 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.00 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งสองมีค่าการยึดตัวที่น้อยมากและมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันมาก และเริ่มเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งหลังจากคานเกิด First Crack ที่น้ำหนักบรรทุก 4.20 ตัน และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ค่า Strain ในเหล็กเสริมรับแรงดึงเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงสถานะที่จุดครากซึ่งพิจารณาจาก Strain ในเหล็กเสริมอัดแรงเท่ากับ 0.01 ณ ขณะนี้น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9.97 ตัน หลังจากจากนั้นจะเกิดการยึดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึงเพิ่มขึ้นอย่างมากจนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 11 ตัน ค่า Strain ที่เกิดขึ้นของเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมไม่อัดแรงมีค่าเท่ากับ 0.012382 และ 0.00387 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบน คาน CB

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนของคานดังแสดงในภาพที่ 4.8 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.00 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าการหดตัวที่น้อยและเป็นสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันที่ใกล้เคียงกัน หลังจากคานรับน้ำหนักบรรทุกจนเกิด First Crack ค่าการหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จนกระทั่งที่สภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 11 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัด มีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000875 และค่า Strain คอนกรีตผิวบนคานมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.001485

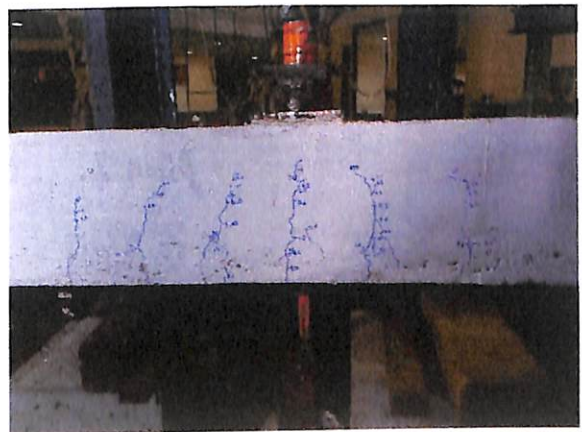
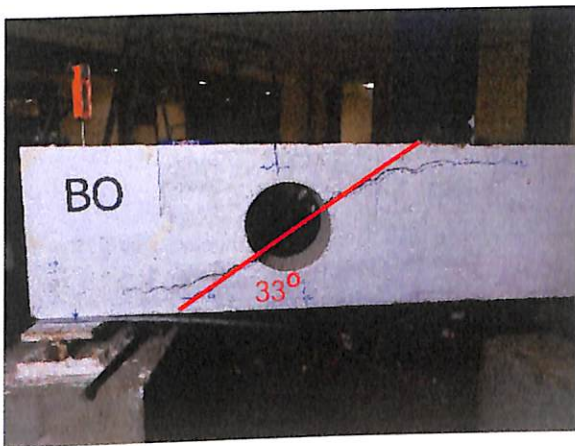


ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการ โกงตัวในคาน CB

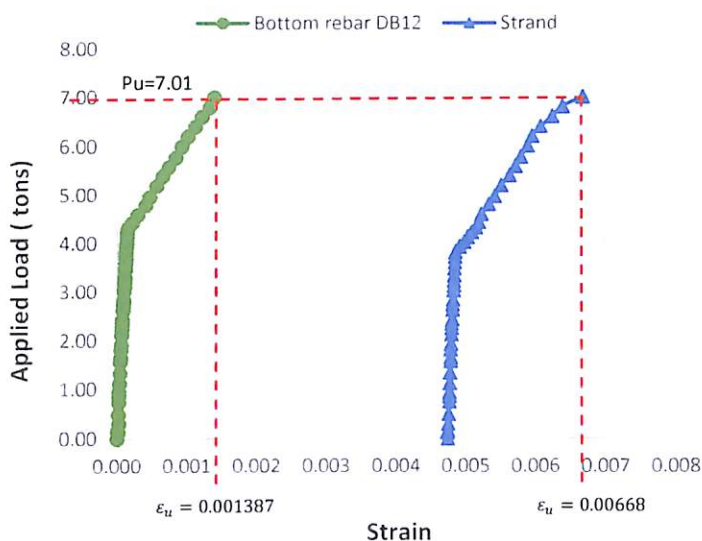
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวดังภาพที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าช่วงที่คานรับน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.10 ตัน คานจะเกิดการโก่งตัวน้อยมากโดยมีสัดส่วนเป็นเส้นตรงที่มีความชันมากเนื่องจากคานยังมีความแข็งและไม่เกิดรอยร้าวขณะรับน้ำหนักบรรทุก ที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 4.20 ตัน คานเกิด First Crack มีการโก่งตัวเท่ากับ 1.75 มม. และที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 4.20-9.97 ตันคานจะเกิดการโก่งโดยมีสัดส่วนเป็นเส้นโค้ง ที่สภาวะจุดครากคานรับน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9.97 ตัน และเกิดการโก่งเท่ากับ 35.35 มม. เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆ สักได้ว่าคานมีความสามารถในการต้านทานการโก่งตัวที่ลดลงและเกิดการโก่งตัวที่มากอย่างเห็นได้ชัด ในช่วงนี้คานจะมีพฤติกรรมแบบเหนียวจนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 11 ตันและมีการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 73.59 มม. ค่าความเหนียวของคาน CB ที่เทียบจากอัตราส่วน Δ_u/Δ_y มีค่าเท่ากับ 2.08

4.1.2.2 คานมีช่องเปิด และไม่เสริมกำลัง (BO)

จากการทดสอบพบว่าที่น้ำหนักบรรทุกมีค่าเท่ากับ 4.40 ตัน ทำให้เกิด First Crack ที่ตำแหน่งด้านล่างกลางคาน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นไปเรื่อยๆ รอยร้าวใหม่จะแพร่กระจายจากกลางคานไปยังด้านข้างและรอยร้าวจะยาวขึ้นจากท้องคานไปยังจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ ลักษณะรอยร้าวในช่วงกลางคานจะมีลักษณะเกือบตั้งฉากกับระนาบตามยาวคานและจะเริ่มเอียงทำมุมลดลงเมื่อตำแหน่งรอยร้าวขยับเข้าใกล้จุดรองรับทั้ง 2 ข้าง รอยร้าวเพิ่มขนาดมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งคานวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 7.01 ตัน รูปแบบการวิบัติเป็นแบบเฉือน (Shear Failure) มีลักษณะที่เปราะและเกิดขึ้นแบบทันที ตำแหน่งรอยร้าวนั้นวิ่งผ่านแนวศูนย์กลางของช่องเปิด เอียงทำมุม 33 องศา กับแนวราบ ดังแสดงในภาพที่ 4.10

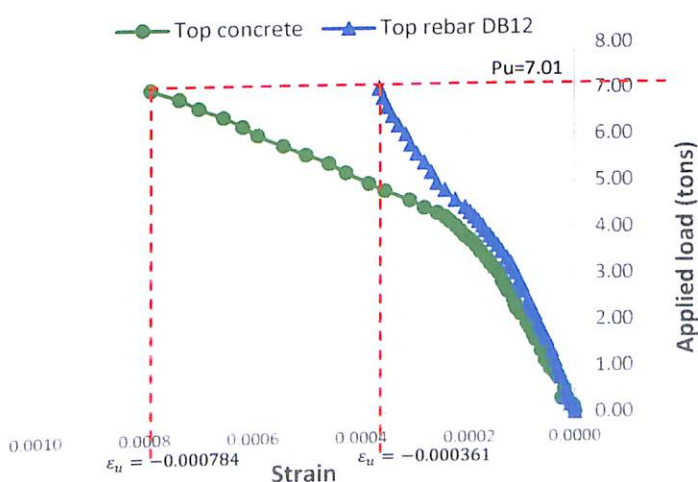


ภาพที่ 4.10 รูปแบบการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นในคาน BO



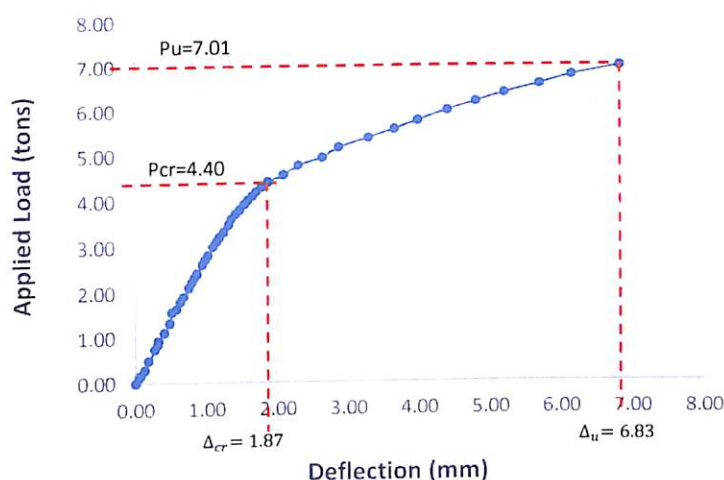
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงของคาน BO

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงดังภาพที่ 4.11 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.3 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าการยืดตัวที่น้อยมากและมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันมาก แต่หลังจากที่คานเกิด First Crack ที่น้ำหนักบรรทุก 4.40 ตัน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกค่า Strain ในเหล็กเสริมรับแรงดึงเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงจากช่วงแรก จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 7.01 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมไม่อัดแรงมีค่าเท่ากับ 0.00668 และ 0.001387 ตามลำดับ โดยที่ค่า Strain ของเหล็กเสริมทั้งสองยังไม่ถึงจุดคราก



ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคาน BO

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบน คานดังภาพที่ 4.12 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.30 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าการหดตัวที่น้อยและมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรง หลังจากที่คานรับน้ำหนักบรรทุกจนเกิด First Crack และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเรื่อยๆ ค่าการหดตัวของเหล็กเสริมไม่อัดแรงมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่ไม่ มาก แต่การหดตัวของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนและมีสัดส่วนเป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงจาก ช่วงแรก จนกระทั่งที่สภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 7.01 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัด มีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000361 และค่า Strain คอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000784

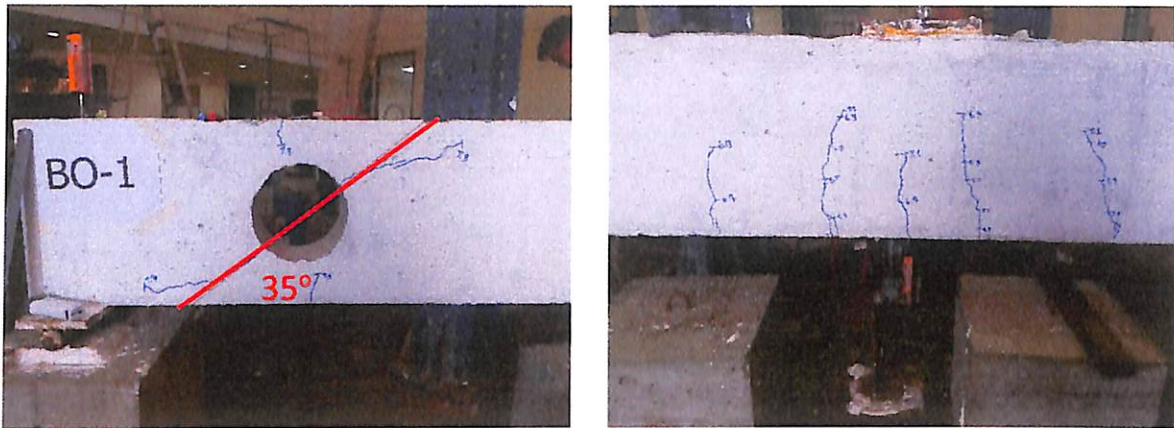


ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวในคาน BO

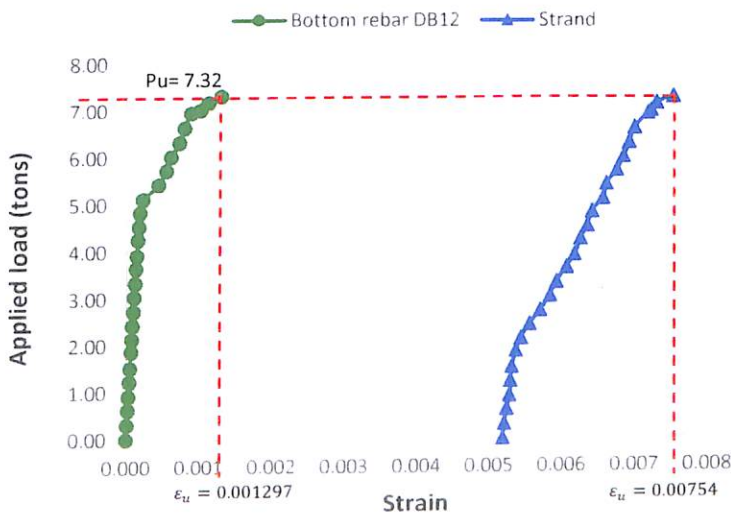
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวในคาน BO ดังภาพที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าช่วงที่ คานรับน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.20 ตัน คานจะเกิดการโก่งตัวน้อยโดยมีสัดส่วนเป็นเส้นตรงเนื่องจาก คานยังมีความแข็งแรงและยังไม่เกิดรอยร้าวขณะรับน้ำหนักบรรทุก ขณะที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 4.40 ตัน คาน เกิด First Crack และมีการโก่งตัวเท่ากับ 1.87 มม. และที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 4.40-7.00 ตัน คานจะเกิด การโก่งเพิ่มขึ้นมากโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงกว่าช่วงแรก จนกระทั่งคานเกิดการ วิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 7.01 ตันและมีการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 6.83 มม.

4.1.2.3 คานมีช่องเปิด และไม่เสริมกำลัง (BO-1)

จากการทดสอบพบว่าน้ำหนักบรรทุกมีค่าเท่ากับ 4.8 ตัน ทำให้เกิด First Crack ที่ตำแหน่งด้านล่างกลางคาน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นไปเรื่อย ๆ รอยร้าวใหม่จะแพร่กระจายจากกลางคานไปยังด้านข้าง และรอยร้าวจะสูงขึ้นจากท้องคานไปยังจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ ลักษณะรอยร้าวในช่วงกลางคานจะมีลักษณะเกือบตั้งฉากกับระนาบตามยาวของคานและจะเริ่มเอียงทำมุมลดลงเมื่อตำแหน่งรอยร้าวขยับเข้าใกล้จุดรองรับทั้ง 2 ข้าง รอยร้าวเพิ่มขนาดมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งคานวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 7.32 ตัน รูปแบบการวิบัติแบบเฉือน (Shear Failure) มีลักษณะที่เปราะและเกิดขึ้นแบบทันที ตำแหน่งรอยร้าวนั้นวิ่งผ่านแนวศูนย์กลางของช่องเปิด เอียงทำมุม 35 องศา กับแนวราบ ดังภาพที่ 4.14

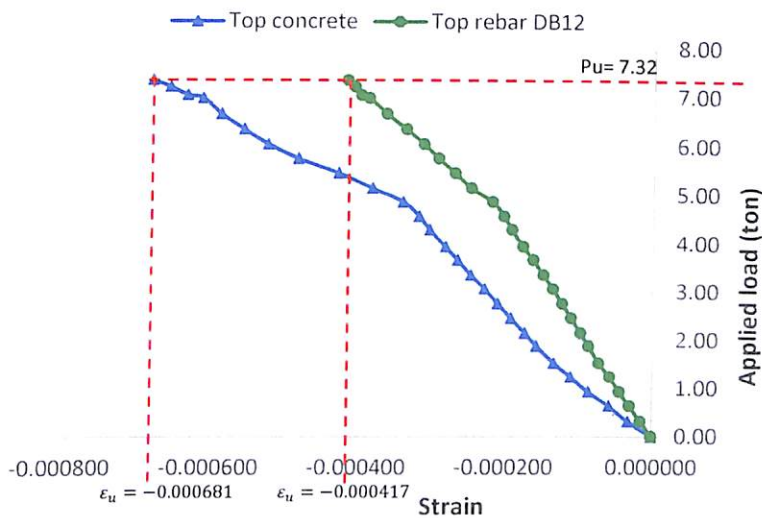


ภาพที่ 4.14 รูปแบบการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นของคาน BO-1



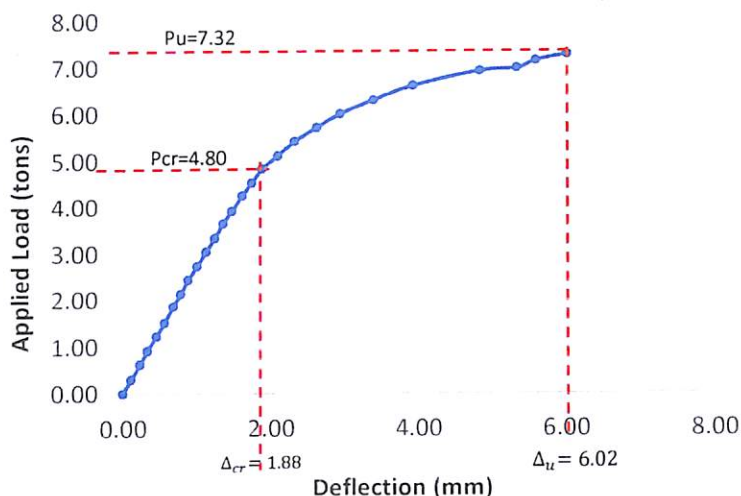
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงของคาน BO-1

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงดังแสดงในภาพที่ 4.15 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.70 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรงมีค่าการยึดตัวที่น้อยมากและมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันมากต่างกับเหล็กเสริมอัดแรงมีค่าการยึดตัวที่มาก แต่หลังจากที่คานเกิด First Crack ที่น้ำหนักบรรทุก 4.80 ตัน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุก ค่า Strain ในเหล็กเสริมไม่อัดแรงมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงจากช่วงแรก ส่วนในเหล็กเสริมอัดแรงมี Strain ค่าเพิ่มขึ้นด้วย สัดส่วนคงที่อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งที่คานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 7.32 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงและเหล็กเสริมไม่อัดแรงมีค่าเท่ากับ 0.00754 และ 0.001297 ตามลำดับ โดยที่ค่า Strain ของเหล็กเสริมทั้งสองยังไม่ถึงจุดคราก



ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคาน BO-1

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนของคานแสดงในภาพที่ 4.16 จะพบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.70 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรงและคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าการหดตัวที่เพิ่มขึ้นและเป็นสัดส่วนที่เป็นเส้นตรง หลังจากที่ได้รับน้ำหนักบรรทุกจนเกิด First Crack และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเรื่อยๆ ค่าการหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราที่ลดลง จนกระทั่งที่สภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 7.32 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัด มีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000417 และค่า Strain ที่คอนกรีตผิวบนคานมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000681

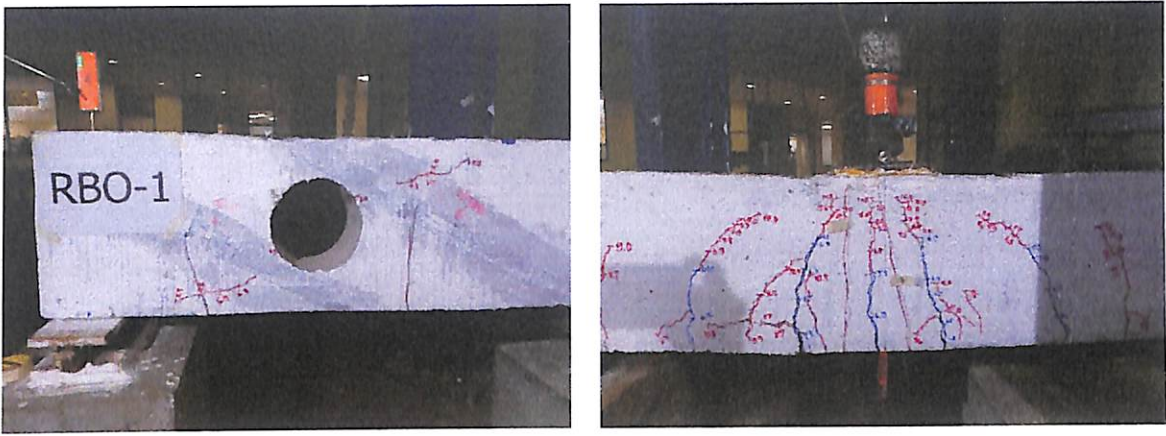


ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวในคาน BO-1

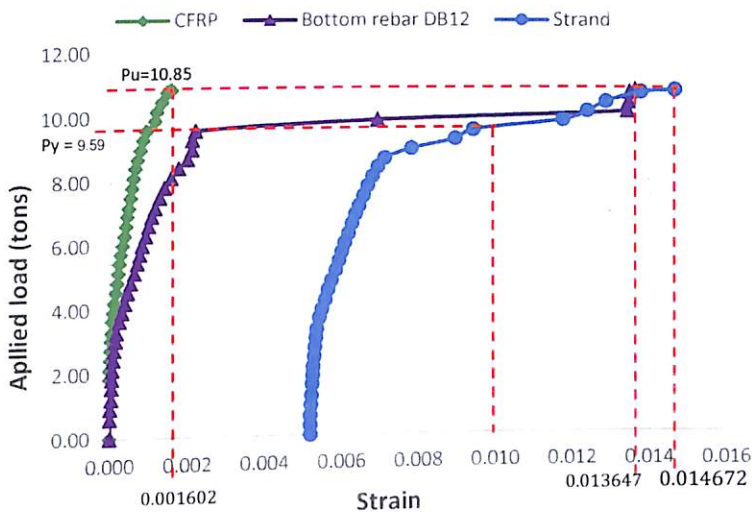
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวในคาน BO-1 แสดงในภาพที่ 4.17 จะเห็นว่าช่วงที่คานรับน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0–4.70 ตัน คานจะเกิดการโก่งตัวน้อยโดยมีสัดส่วนเป็นเส้นตรง เนื่องจากคานยังมีความแข็งและยังไม่เกิดรอยร้าวขณะรับน้ำหนักบรรทุก ขณะที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 4.80 ตัน คานเกิด First Crack และมีการโก่งตัวเท่ากับ 1.88 มม. และที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 4.90–7.20 ตัน คานจะเกิดการโก่งเพิ่มขึ้นมาก จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 7.32 ตันและมีการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 6.02 มม.

4.1.2.4 คานซ่อมรอยร้าวและเสริมกำลังด้วย CFRP (RBO-1)

จากการทดสอบพบว่าคานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เท่ากับ 5.45 ตัน โดยที่ไม่เกิดรอยร้าวเลย หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นรอยร้าวเริ่มปรากฏที่บริเวณตำแหน่งรอยร้าวเดิม และรอยร้าวใหม่เริ่มปรากฏบริเวณกลางคานที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 6.90 ตัน รอยร้าวจะแพร่กระจายไปยังตำแหน่งจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ รอยร้าวเริ่มเอียงทำมุมลดลงเมื่อตำแหน่งรอยร้าวขยับเข้าใกล้จุดรองรับทั้ง 2 ข้าง ส่วนรอยร้าวเดิมที่ซ่อมบริเวณช่องเปิดเริ่มสังเกตเห็นที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 6.00 ตัน จนกระทั่งคานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุดเท่ากับ 10.85 ตัน รูปแบบการวิบัติของคานเป็นแบบดัด (Flexural Failure) แสดงในภาพที่ 4.18

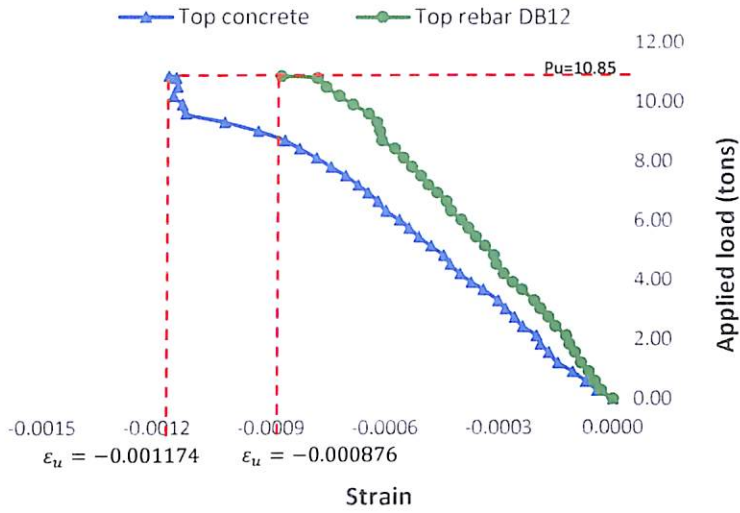


ภาพที่ 4.18 รูปแบบการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นของคาน RBO-1



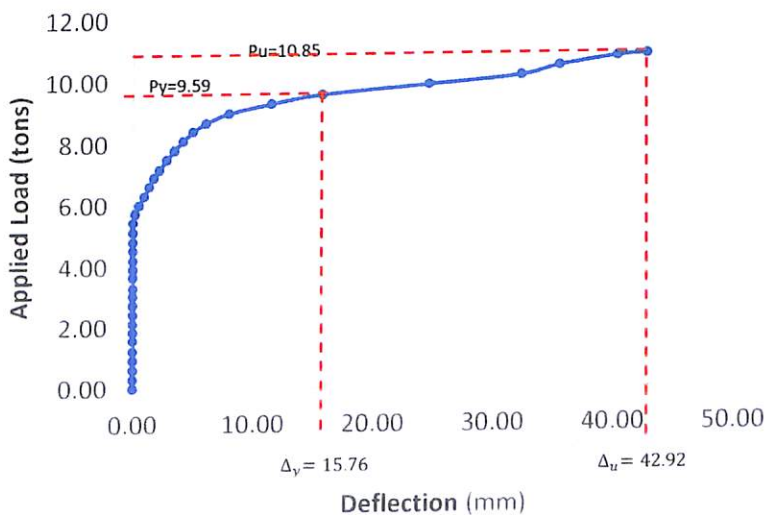
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP ของคาน RBO-1

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP ได้ดังภาพที่ 4.19 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0 - 4.00 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP มีค่าการยืดตัวที่น้อยมาก จากนั้นในช่วง 4.10 - 8.00 ตัน ค่าการยืดของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP มีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงจากช่วงแรกและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสภาวะที่จุดครากซึ่งพิจารณาจาก Strain ในเหล็กเสริมอัดแรงเท่ากับ 0.01 ณ ขณะที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9.59 ตัน หลังจากนั้นค่าการยืดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าเพิ่มอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ ส่วนใน CFRP นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งที่สภาวะน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ค่าการ Strain ของเหล็กเสริมอัดแรง , เหล็กเสริมไม่อัดแรงและ CFRP มีค่าเท่ากับ 0.014672 , 0.013647 และ 0.001602 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนของคาน RBO-1

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานดังภาพที่ 4.20 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-8.00 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าการหดตัวที่เพิ่มขึ้นและเป็นสัดส่วนที่เป็นเส้นตรง และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเรื่อยๆ ค่าการหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งที่สภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกทุกสูงสุดค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000876 และคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.001174

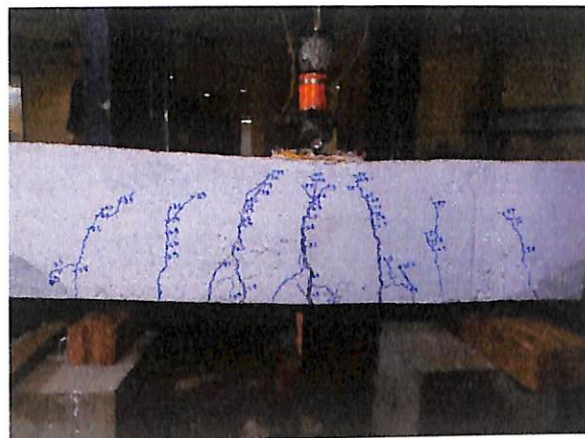


ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกทุกกับค่าการโก่งตัวในคาน RBO-1

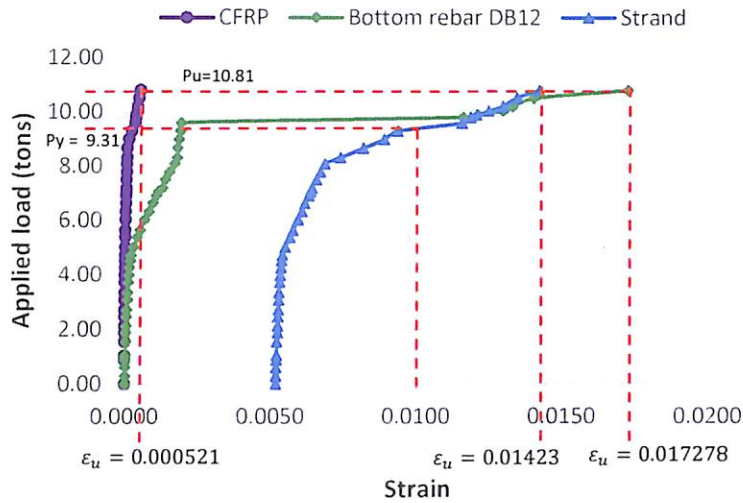
ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวในคาน RBO-1 แสดงในภาพที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าช่วงที่คานรับน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0–5.45 ตัน คานไม่เกิดการโก่งตัวเลยเนื่องจากคานมีความแข็งแรงจากผลของการซ่อมรอยร้าวด้วย Epoxy หลังจากนั้นในช่วงน้ำหนักบรรทุก 5.50–8.42 ตันคานเริ่มเกิดการโก่งตัวเพิ่มขึ้นมีสัดส่วนเป็นเส้นตรง ที่สภาวะจุดครากคานรับน้ำหนักบรรทุกได้เท่ากับ 9.59 ตัน และเกิดการโก่งเท่ากับ 15.76 มม. และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นเรื่อยๆสังเกตได้ว่าคานมีความสามารถในการต้านการโก่งตัวที่ลดลงและเกิดการโก่งตัวที่มากอย่างเห็นได้ชัดในช่วงนี้คานจะมีพฤติกรรมแบบเหนียว จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 10.85 ตันและมีการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 42.92 มม. ค่าความเหนียวของคาน RBO-1 ที่เทียบจากอัตราส่วน Δ_u/Δ_y มีค่าเท่ากับ 2.72

4.1.2.5 คานมีช่องเปิดและเสริมกำลังด้วย CFRP (SBO)

จากการทดสอบพบว่าน้ำหนักบรรทุกมีค่าเท่ากับ 4.60 ตัน ทำให้เกิด First Crack ที่ตำแหน่งด้านล่างกลางคาน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้นเรื่อยๆ รอยร้าวใหม่จะแพร่กระจายจากกลางคานไปยังด้านข้าง และรอยร้าวจะค่อยๆแพร่กระจายสูงขึ้นจากท้องคานไปยังตำแหน่งจุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำ ลักษณะรอยร้าวในช่วงกลางคานจะมีลักษณะเกือบตั้งฉากกับแนวระนาบตามยาวของคานและจะเริ่มเอียงทำมุมลดลงเมื่อตำแหน่งรอยร้าวขยับเข้าใกล้จุดรองรับทั้ง 2 ข้าง รอยร้าวเพิ่มขนาดมากขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งคานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้สูงสุดเท่ากับ 10.81 ตัน รูปแบบการวิบัติของคานเป็นแบบดัด (Flexural Failure) ดังแสดงในภาพที่ 4.22

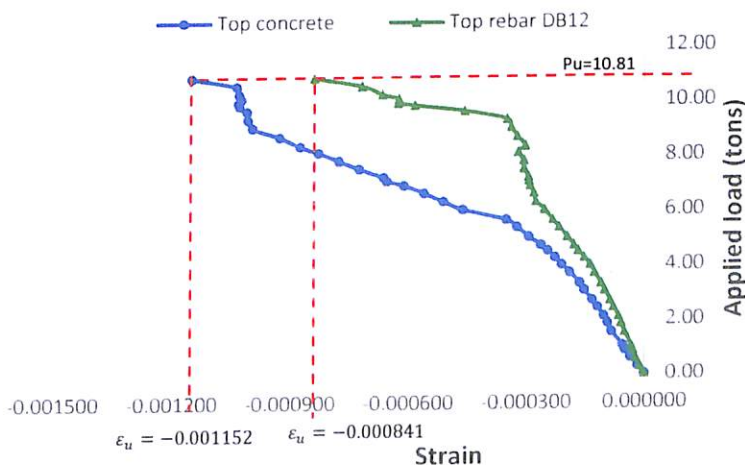


ภาพที่ 4.22 รูปแบบการวิบัติและรอยร้าวที่เกิดขึ้นของคาน SBO



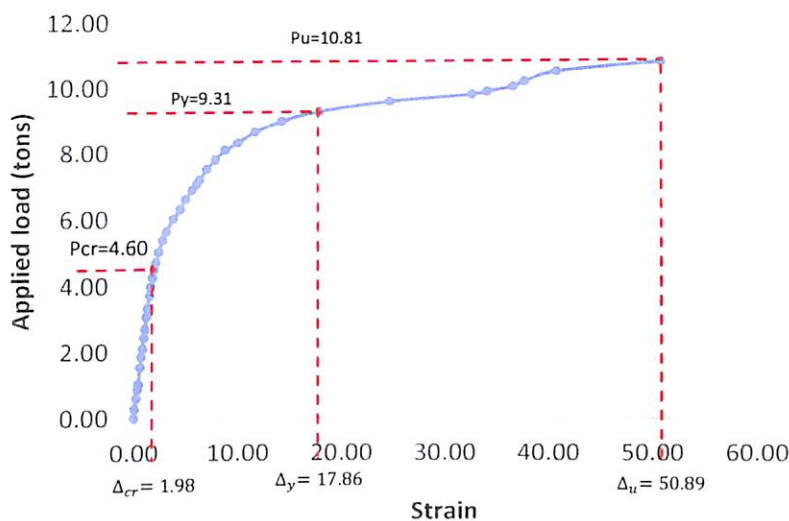
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP ของคาน SBO

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP ดังภาพที่ 4.23 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.50 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP มีค่าการยึดตัวที่น้อยมาก จากนั้นในช่วง 4.60 – 8.00 ตันค่าการยึดของเหล็กเสริมรับแรงดึงและ CFRP มีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีสัดส่วนที่เป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงจากช่วงแรกจนถึงที่สภาวะจุดครากซึ่งพิจารณาจาก Strain ในเหล็กเสริมอัดแรงเท่ากับ 0.01 ณ ขณะน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9.31 ตัน หลังจากจากนั้นค่าการยึดตัวของเหล็กเสริมรับแรงดึงมีค่าเพิ่มอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกที่กระทำ ส่วน CFRP นั้นมีค่าการยึดตัวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จนกระทั่งที่สภาวะน้ำหนักบรรทุกสูงสุด ค่าการ Strain ของเหล็กเสริมอัดแรง , เหล็กเสริมไม่อัดแรงและ CFRP มีค่าเท่ากับ 0.014230 , 0.017278 และ 0.000521 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนของคาน SBO

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกที่กระทำกับค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานแสดงในภาพที่ 4.24 พบว่าที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0 - 4.50 ตัน ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตมีค่าการหดตัวที่เพิ่มขึ้นและเป็นสัดส่วนที่เป็นเส้นตรง เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกเรื่อยๆ ค่าการหดตัวของเหล็กเสริมรับแรงอัดและคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งที่สภาวะการรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.000841 และที่คอนกรีตผิวบนคานมีค่าการหดตัวเท่ากับ -0.001152



ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของคาน SBO

ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการโก่งตัวของคาน SBO แสดงในภาพที่ 4.25 พบว่าช่วงที่คานรับน้ำหนักบรรทุกระหว่าง 0-4.50 ตัน คานจะเกิดการโก่งตัวน้อยมากโดยมีสัดส่วนเป็นเส้นตรง เนื่องจากคานยังมีความแข็งและยังไม่เกิดรอยร้าวขณะรับน้ำหนักบรรทุก ขณะที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 4.60 ตัน คานเกิด First Crack และมีการโก่งตัวเท่ากับ 1.98 มม. และที่น้ำหนักบรรทุกระหว่าง 4.70-7.80 ตัน คานจะเกิดการโก่งเพิ่มขึ้นมากโดยมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงที่มีความชันลดลงกว่าช่วงแรก จากนั้นการโก่งตัวของคานจะมีเพิ่มขึ้นในสัดส่วนแบบเส้นโค้ง ที่สภาวะจุดครากน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 9.31 ตัน จะมีค่าการโก่งตัวเท่ากับ 17.86 มม. หลังจากนั้นความสามารถในการรับน้ำหนักของคานลดลงและมีการโก่งของคานเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงนี้คานจะมีพฤติกรรมแบบเหนียว จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติที่น้ำหนักบรรทุกสูงสุดเท่ากับ 10.81 ตัน และมีค่าการโก่งตัวสูงสุดเท่ากับ 50.89 มม. ค่าความเหนียวของคาน SBO ที่เทียบจากอัตราส่วน Δ_u/Δ_y มีค่าเท่ากับ 2.85

จากการทดสอบสามารถสรุปผลทั้งหมดที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดสอบของคานตัวอย่าง

Specimen	P_{Cr} (tons)	P_y (tons)	P_u (tons)	Δ_y (cm)	Δ_u (cm)	$\frac{\Delta_u}{\Delta_y}$	Failure Mode	Inclined Crack Degree of Shear Failure Plane
CB	4.2	9.97	11	35.35	73.59	2.08	Flexural failure	-
BO	4.4	-	7.01	-	6.83	-	Shear failure	33°
BO-1	4.8	-	7.32	-	6.02	-	Shear failure	35°
RBO-1	-	9.59	10.85	15.76	42.92	2.72	Flexural failure	-
SBO	4.6	9.31	10.81	17.86	50.89	2.85	Flexural failure	-

หมายเหตุ: P_{Cr} คือน้ำหนักบรรทุกที่ทำให้เกิด First Crack , P_y คือน้ำหนักบรรทุกที่จุดคราก , P_u คือน้ำหนักบรรทุกขณะวิบัติ , Δ_y คือการโก่งตัวที่จุดคราก , Δ_u คือการโก่งตัวขณะวิบัติ , Δ_u/Δ_y คือค่าความเหนียว

4.2 การสร้างแบบจำลอง Strut and Tie ของคานคอนกรีตอัดแรง

การจำลองรูปแบบโมเดลของคานคอนกรีตอัดแรงโดยใช้ Strut and Tie ที่สอดคล้องกับผลการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 คานควบคุมไม่มีช่องเปิด (CB)

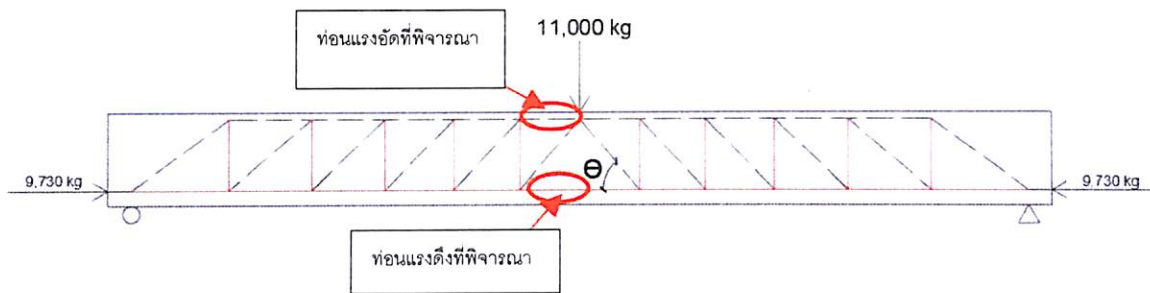
การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie สำหรับคาน CB พิจารณาเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบคือค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกับเหล็กเสริมไม่อัดแรงรับแรงดึงที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานและค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับคอนกรีตที่ผิวบนคาน รวมทั้งลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ

ผลการทดสอบค่า Strain Gage ที่วัดได้จากเหล็กเสริมอัดแรง เหล็กเสริมไม่อัดแรงและที่ผิวบนคอนกรีตคานสามารถหาค่าแรงในท่อนดึง (Tie)และท่อนอัด (Strut) ขณะวิบัติโดยมีรายละเอียดดังนี้

- แรงดึงในท่อน Tie ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.012382 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 18,044 kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรง (DB12) ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.00387 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 13,221 kg
 - ผลรวมแรงดึงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 31,265 kg
- แรงอัดในท่อน Strut แนวนอนตำแหน่งบนกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเท่ากับ 0.001485 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ $0.85 \times 293 \times 18 \times (2.91 \times 2) = 26,090$ kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.000875 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ 3,842 kg

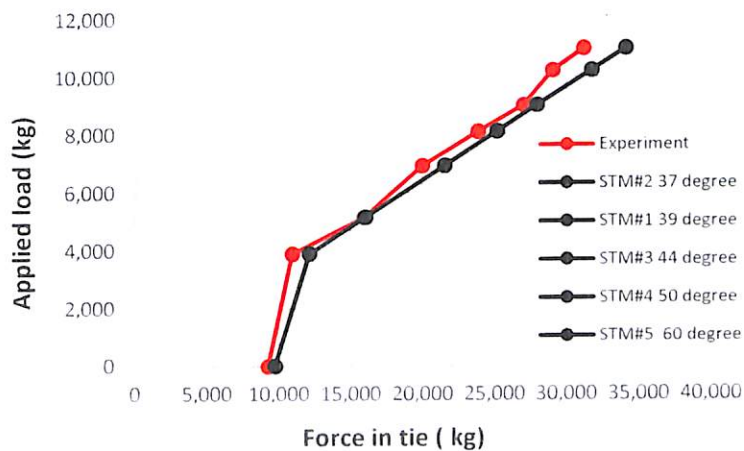
➤ ผลรวมแรงอัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานด้านบนจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 29,932 kg

การใช้ Strut and Tie เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงลักษณะการถ่ายแรงภายในคาน CB สามารถสร้างแบบจำลองได้หลายแบบตามค่ามุมภายใน (θ) ที่แตกต่างกันเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมและให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณากึ่งกลางคานเทียบกับผลการทดสอบโดยมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แสดงในภาพที่ 4.26

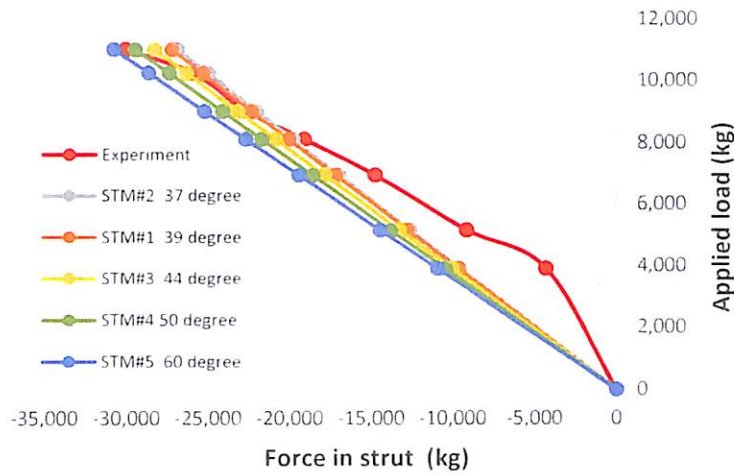


ภาพที่ 4.26 Strut and Tie Model รูปแบบทั่วไปของคาน CB

จากแบบจำลองทั่วไปเมื่อมุมภายในที่ต่างกันจะมีผลให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณามีค่าที่ต่างกัน สามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ระหว่างผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie ของคาน CB แสดงในภาพที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

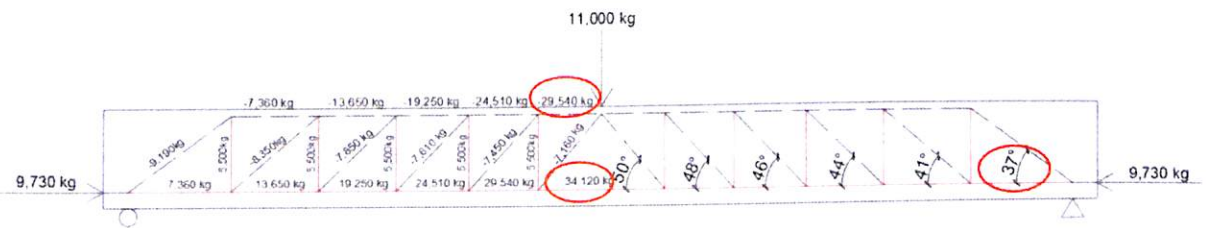


ภาพที่ 4.27 เปรียบเทียบแรงในท่อนดึงจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน CB



ภาพที่ 4.28 เปรียบเทียบแรงในท่อนอัดจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน CB

จากภาพที่ 4.27 สามารถอธิบายได้ว่ามุมภายในของท่อนอัด ณ ตำแหน่งกลางคานที่พิจารณาหากมีค่าที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อแรงในท่อนดึงที่ได้จาก Strut and Tie ซึ่งแรงในท่อนดึงจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ติดตั้งซึ่งทุกแบบจำลองมีตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงตำแหน่งเดียวกันจึงทำให้แรงในท่อนดึงมีค่าเท่ากัน เท่ากับ 34,120 kg และจากภาพที่ 4.28 พบว่าค่ามุมภายในจะมีผลต่อแรงในท่อนอัดที่ได้จาก Strut and Tie จะเห็นได้ว่าที่มุมภายในเท่ากับ 50 องศา จะให้ค่าแรงในท่อนอัดใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 29,540 kg สามารถแสดงแบบจำลอง Strut and Tie Model ของคาน CB ดังแสดงในภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 Strut and Tie Model ของคาน CB ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ

จากการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie ข้างต้นสามารถสรุปวิธีการสร้างแบบจำลองสำหรับคานคอนกรีตที่ไม่มีช่องเปิดได้ดังนี้ แบบจำลองเป็นแบบ Howe Truss ที่มีมุมช่วงกึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ 50 องศา ซึ่งให้ค่าแรงในท่อนอัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบและค่ามุมจะค่อยๆลดลงตามลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้นเมื่อขยับเข้าใกล้จุดรองรับทั้ง 2 ข้าง

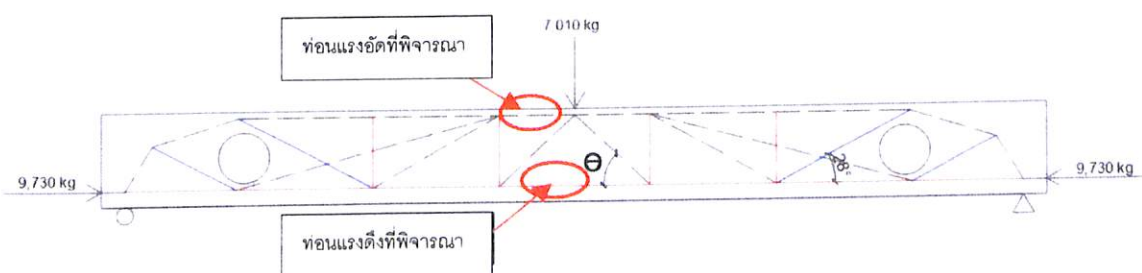
4.2.2 คานมีช่องเปิด และไม่เสริมกำลัง (BO)

การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie สำหรับคาน BO พิจารณาเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ คือ ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกับเหล็กเสริมไม่อัดแรงรับแรงดึงที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานและค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับคอนกรีตที่ผิวบนคาน รวมทั้งมุมของรอยร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวิบัติแบบเนือบริเวณช่องเปิดซึ่งเอียงทำมุม 33 องศาแสดงในรูป 4.10

ผลการทดสอบค่า Strain Gage ที่วัดได้จากเหล็กเสริมอัดแรง เหล็กเสริมไม่อัดแรงและที่ผิวบนคอนกรีตคานสามารถหาค่าแรงในท่อนดึง (Tie)และท่อนอัด (Strut)ขณะวิบัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

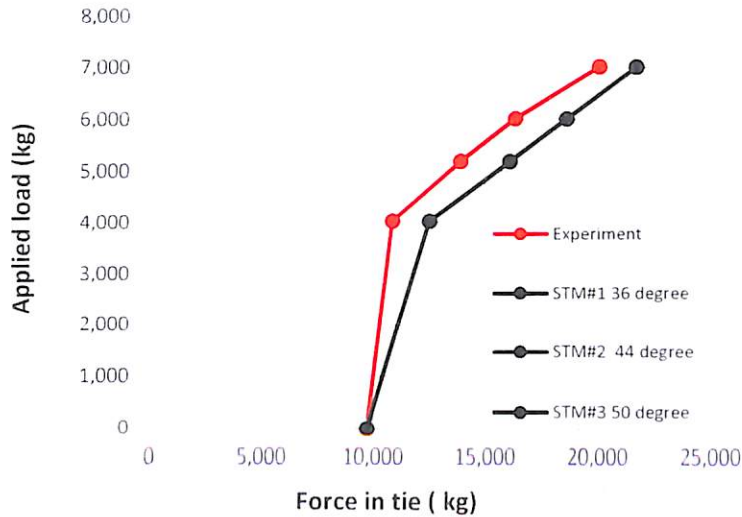
- แรงดึงในท่อน Tie ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.00668 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 13,868 kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรงกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.001387 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 6,554 kg
 - ผลรวมแรงดึงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 20,422 kg
- แรงอัดในท่อน Strut แนวนอนตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเท่ากับ 0.000784 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ $0.85 \times 186 \times 18 \times (2.91 \times 2) = 16,563$ kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดที่กึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.000361 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ 1,650 kg
 - ผลรวมแรงอัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 18,213 kg

การใช้ Strut and Tie เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงลักษณะการถ่ายแรงภายในคาน BO สามารถสร้างแบบจำลองได้หลายแบบตามค่ามุมภายใน (θ) ที่แตกต่างกันเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมและให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณากึ่งกลางคานเทียบกับผลการทดสอบโดยมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แสดงในภาพที่ 4.30

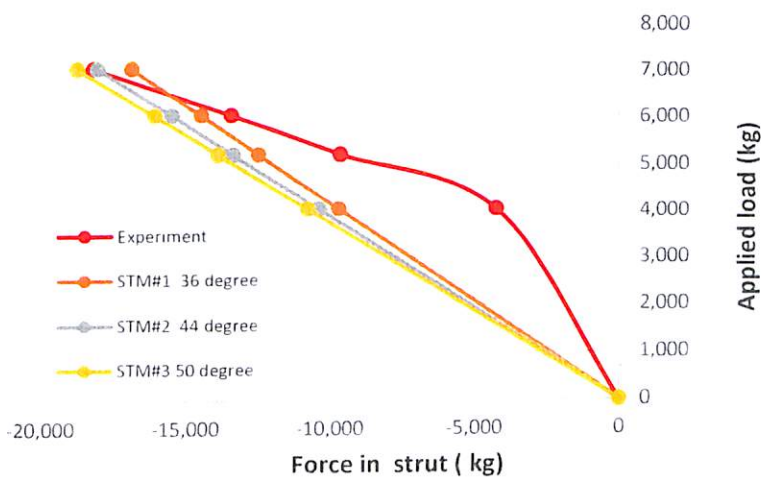


ภาพที่ 4.30 Strut and Tie Model รูปแบบทั่วไปของคาน BO

จากแบบจำลองทั่วไปเมื่อมุมภายในที่ต่างกันจะมีผลให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณามีค่าที่ต่างกัน สามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ระหว่างผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน BO แสดงในภาพที่ 4.31 และ 4.32 ตามลำดับ



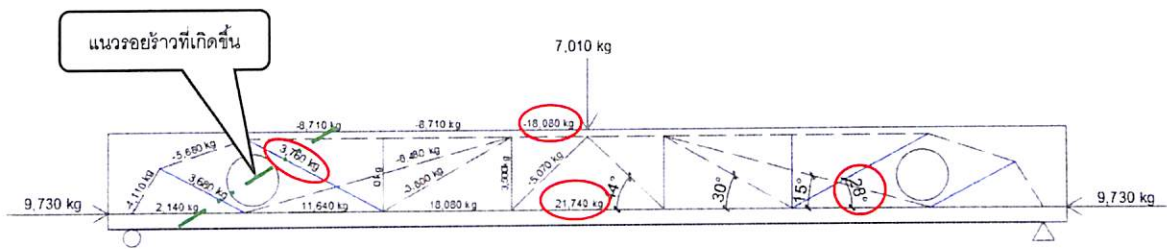
ภาพที่ 4.31 เปรียบเทียบแรงในท่อนดึงจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน BO



ภาพที่ 4.32 เปรียบเทียบแรงในท่อนอัดจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน BO

จากภาพที่ 4.31 สามารถอธิบายได้ว่ามุมภายในของท่อนอัด ณ ตำแหน่งกลางคานที่พิจารณาหากมีค่าที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อแรงในท่อนดึงที่ได้จาก Strut and Tie ซึ่งแรงในท่อนดึงจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ติดตั้งซึ่งทุกแบบจำลองมีตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงตำแหน่งเดียวกันจึงทำให้

ค่าแรงในท่อนดึงมีค่าเท่ากัน เท่ากับ 21,740 kg และจากภาพที่ 4.32 พบว่าค่ามุมภายในจะมีผลต่อแรงในท่อนอัดที่ได้จาก Strut and Tie เห็นได้ว่าที่มุมภายในเท่ากับ 44 องศา จะให้ค่าแรงในท่อนอัดใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 18,080 kg และตรวจสอบแรงดึงด้านทานเนื่องจากคอนกรีตในตำแหน่งท่อนดึงแนวทแยงที่ทำมุม 28 องศา ($0.10 \times 313 \times 18 \times 3.14 \times 2 = 3,538$ kg) พบว่ามีค่าแรงดึงใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Strut and Tie โดยมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 6.27 % ทำให้เกิดรอยร้าวตัดผ่านท่อนดึงแนวทแยงนั้น ใกล้เคียงกับผลการทดสอบ ดังนั้นจึงสามารถแสดงแบบจำลอง Strut and Tie Model ของคาน BO ดังภาพที่ 4.33



ภาพที่ 4.33 Strut and Tie Model ของคาน BO ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ

จากการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie ข้างต้นสามารถสรุปวิธีการสร้างรูปแบบจำลองสำหรับคานคอนกรีตที่มีช่องเปิดได้ดังนี้ แบบจำลองเป็นแบบผสมระหว่าง Howe Truss และ Fan Truss ที่มีมุมของท่อนอัดช่วงกึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ 44 องศา ซึ่งให้ค่าแรงอัดในท่อน Strut มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบและมุมจะลดลงเมื่อขยับเข้าใกล้จุดรองรับ และจะถ่ายแรงแบบ Fan ไปที่ท่อนดึงแนวทแยงบริเวณช่องเปิดเพื่อให้การถ่ายแรงผ่านช่องเปิดขนาดใหญ่ไปยังตำแหน่งฐานรองรับเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และท่อนดึงแนวทแยงเอียงทำมุม 28 องศา ซึ่งทำมุมเกือบตั้งฉากกับแนวรอยร้าวที่วิบัติเนื่องจาก Shear Failure

4.2.3 คานมีช่องเปิด และไม่เสริมกำลัง (BO-1)

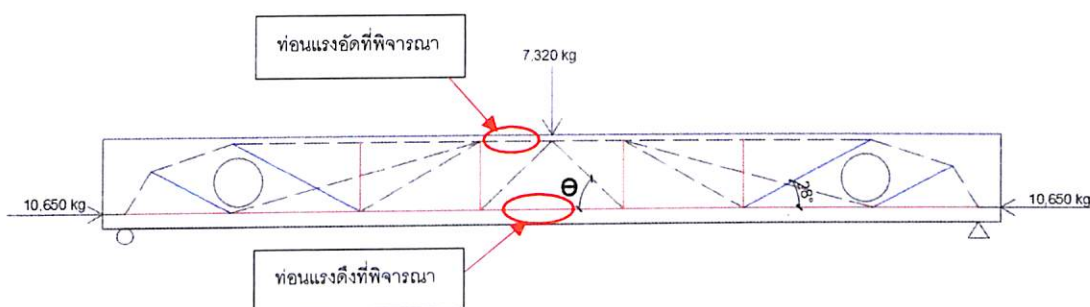
การสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie สำหรับคาน BO-1 พิจารณาเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ คือ ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกับเหล็กเสริมไม่อัดแรงที่รับแรงดึงที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานและค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับคอนกรีตที่ผิวบนคาน รวมทั้งมุมของรอยร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวิบัติแบบเฉือนบริเวณช่องเปิดซึ่งเอียงทำมุม 35 องศา ดังภาพที่ 4.14

ผลการทดสอบค่า Strain Gage ที่วัดได้จากเหล็กเสริมอัดแรง เหล็กเสริมไม่อัดแรงและคอนกรีตที่ผิวบนคานสามารถหาค่าแรงในท่อนดึง (Tie) และท่อนอัด (Strut) ขณะวิบัติโดยมีรายละเอียดดังนี้

- แรงดึงในท่อน Tie ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ

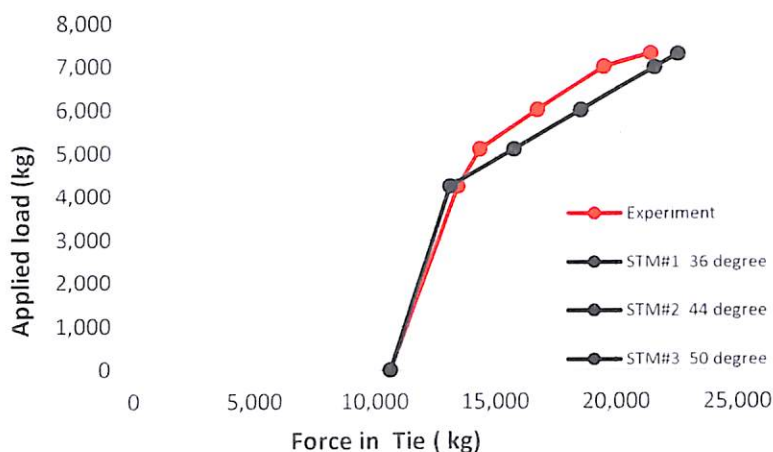
- ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.00754 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 15,467 kg
- ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรงกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.001297 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 5,876 kg
- ผลรวมแรงดึงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 21,343 kg
- แรงอัดในท่อน Strut แนวอนต้ำแหน่งบนกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเท่ากับ 0.000681 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ $0.85 \times 200 \times 18 \times (2.69 \times 2) = 16,463$ kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดที่กึ่งกลางคานจากการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.000417 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ 2,147 kg
 - ผลรวมแรงอัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางบนคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 18,610 kg

การใช้ Strut and Tie เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงลักษณะการถ่ายแรงภายในคาน BO-1 สามารถสร้างแบบจำลองได้หลายแบบตามค่ามุมภายใน (θ) ที่แตกต่างกันเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมและให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณากึ่งกลางคานเทียบกับผลการทดสอบโดยมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แสดงในภาพที่ 4.34



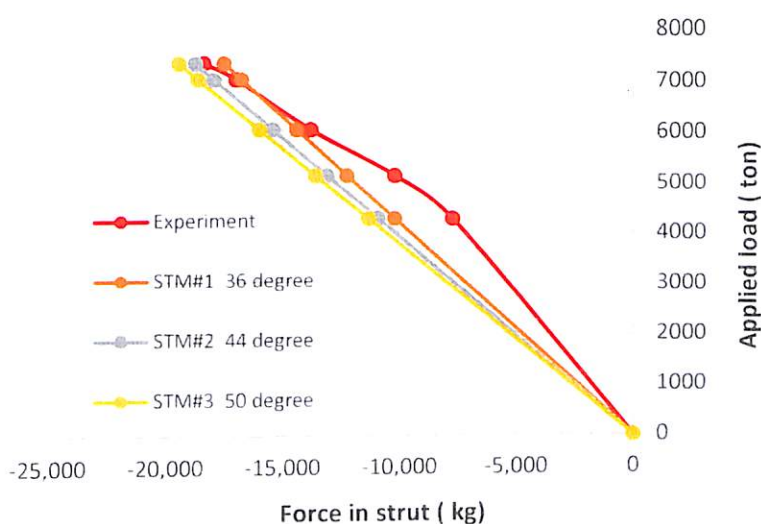
ภาพที่ 4.34 Strut and Tie Model รูปแบบทั่วไปของคาน BO-1

จากแบบจำลองทั่วไปเมื่อมุมภายในที่ต่างกันจะมีผลให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณามีค่าที่ต่างกัน สามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ระหว่างผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน BO-1 แสดงในภาพที่ 4.35 และ 4.36 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.35 เปรียบเทียบแรงในท่อนดึงจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน

BO-1

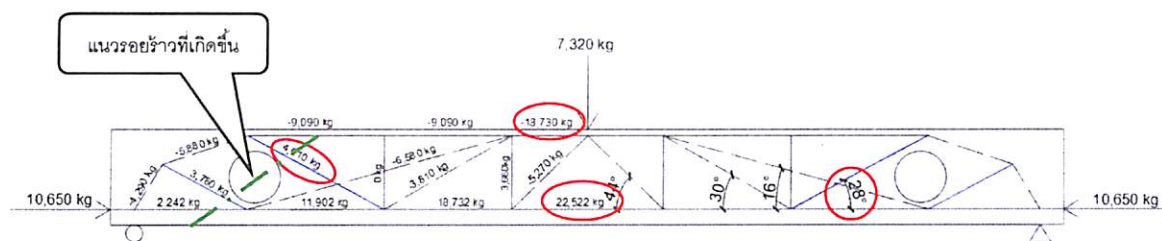


ภาพที่ 4.36 เปรียบเทียบแรงในท่อนอัดจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน

BO-1

จากภาพที่ 4.35 สามารถอธิบายได้ว่ามุมภายในของท่อนอัด ณ ตำแหน่งกลางคานที่พิจารณาหากมีค่าที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อแรงในท่อนดึงที่ได้จาก Strut and Tie ซึ่งแรงในท่อนดึงจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ติดตั้งซึ่งทุกแบบจำลองมีตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงตำแหน่งเดียวกันจึงทำให้ค่าแรงในท่อนดึงมีค่าเท่ากัน เท่ากับ 22,520 kg และจากภาพที่ 4.36 พบว่าค่ามุมภายในจะมีผลต่อแรงในท่อนอัดที่ได้จาก Strut and Tie จะเห็นได้ว่าที่มุมภายในเท่ากับ 44 องศา จะให้ค่าแรงในท่อนอัดใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 18,730 kg และตรวจสอบแรงดึงด้านทานเนื่องจากคอนกรีตในตำแหน่งท่อนดึงแนวทแยงทำมุม 28 องศา ($0.10 \times 344 \times 18 \times 3.14 \times 2 = 3,888$ kg) พบว่ามีค่าแรงดึงใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Strut and Tie โดยมีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.14 % พบว่ามีค่าแรงดึงใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก

Strut and Tie ทำให้เกิดรอยร้าวตัดผ่านท่อนดึงแนวทแยงนั้นใกล้เคียงกับผลการทดสอบ ดังนั้นจึงสามารถแสดงแบบจำลอง Strut and Tie Model ของคาน BO-1 ดังแสดงในภาพที่ 4.37 ซึ่งจะเป็แบบจำลองที่ใช้ในการเสริมกำลังภายนอกด้วย CFRP ให้กับคาน RBO-1 และ SBO ในลำดับต่อไป



ภาพที่ 4.37 Strut and Tie Model ของคาน BO-1 ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ

จากการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie ข้างต้นสามารถสรุปวิธีการสร้างรูปแบบจำลองสำหรับคานคอนกรีตที่มีช่องเปิดได้ดังนี้ แบบจำลองเป็นแบบผสมระหว่าง Howe Truss และ Fan Truss ที่มีมุมของท่อนอัดช่วงกึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ 44 องศา ซึ่งให้ค่าแรงอัดในท่อน Strut มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบและมุมจะลดลงเมื่อขยับเข้าใกล้จุดรองรับ และจะถ่ายแรงแบบ Fan ไปที่ท่อนดึงแนวทแยงบริเวณช่องเปิดเพื่อให้การถ่ายแรงผ่านช่องเปิดขนาดใหญ่ไปยังตำแหน่งฐานรองรับเป็นไปอย่างต่อเนื่องและท่อนดึงแนวทแยงเอียงทำมุม 28 องศา ซึ่งทำมุมเกือบตั้งฉากกับแนวรอยร้าวที่วิบัติเนื่องจาก Shear Failure

4.2.4 คานซ่อมรอยร้าวและเสริมกำลังด้วย CFRP (RBO-1)

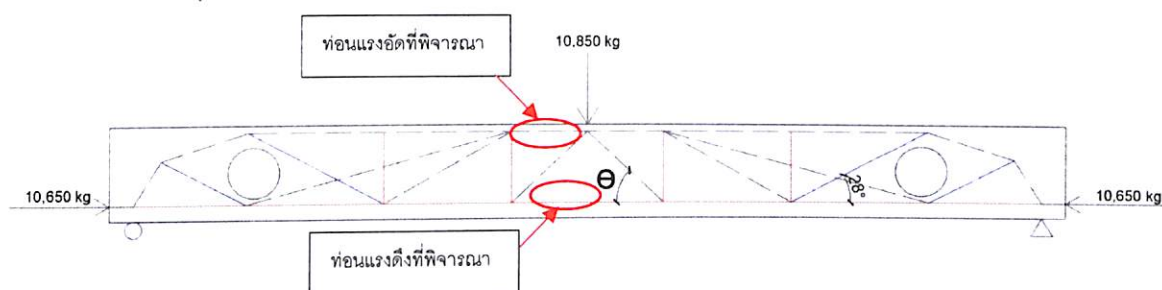
แบบจำลองของคาน RBO-1 เป็นแบบจำลองที่ได้จากคาน BO-1 มุมของการเสริมกำลังด้วย CFRP คือมุม 28 องศาซึ่งเป็นมุมของท่อนแรงดึงแนวทแยงที่ขาดขวางแนวรอยร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวิบัติแบบเฉือนบริเวณช่องเปิดของคาน BO-1 และพิจารณาแรงในท่อนดึงและท่อนอัดที่ตำแหน่งกลางคานเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ คือ ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกับเหล็กเสริมไม่อัดแรงที่รับแรงดึงตำแหน่งกึ่งกลางคานและค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับคอนกรีตที่ผิวบนคาน รวมทั้งลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ

ผลการทดสอบค่า Strain Gage ที่วัดได้จากเหล็กเสริมอัดแรง เหล็กเสริมไม่อัดแรงและที่ผิวบนคอนกรีตคานสามารถหาค่าแรงในท่อนดึง (Tie) และท่อนอัด (Strut) ขณะวิบัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- แรงดึงในท่อน Tie ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.014672 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 18,163 kg

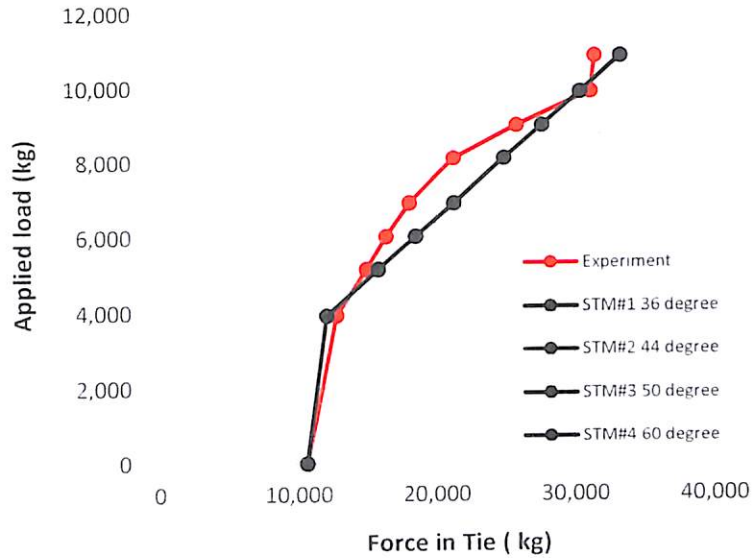
- ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรงตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.013647 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 13,401 kg
- ผลรวมแรงดึงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 31,564 kg
- แรงอัดในท่อน Strut แนวอนตำแหน่งบนกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเท่ากับ 0.001174 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ $0.85 \times 308 \times 18 \times (2.69 \times 2) = 25,352$ kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.000876 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ 3,842 kg
 - ผลรวมแรงอัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานด้านบนจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 29,194 kg

การใช้ Strut and Tie เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงลักษณะการถ่ายแรงภายในคาน RBO-1 สามารถสร้างแบบจำลองได้หลายแบบตามค่ามุมภายใน (θ) ที่แตกต่างกันเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมและให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา กึ่งกลางคานเทียบกับผลการทดสอบโดยมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แสดงในภาพที่ 4.38

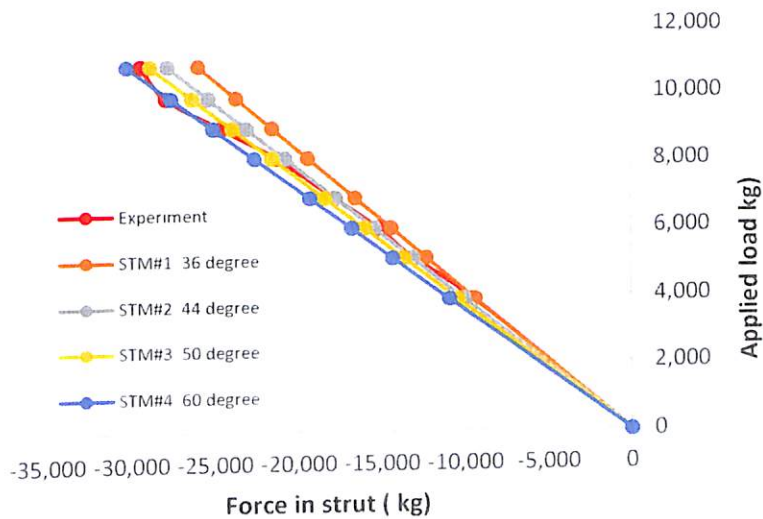


ภาพที่ 4.38 Strut and Tie Model รูปแบบทั่วไปของคาน RBO-1

จากแบบจำลองทั่วไปเมื่อมุมภายในที่ต่างกันจะมีผลให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณามีค่าที่ต่างกัน สามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ระหว่างผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน RBO-1 แสดงในภาพที่ 4.39 และ 4.40 ตามลำดับ



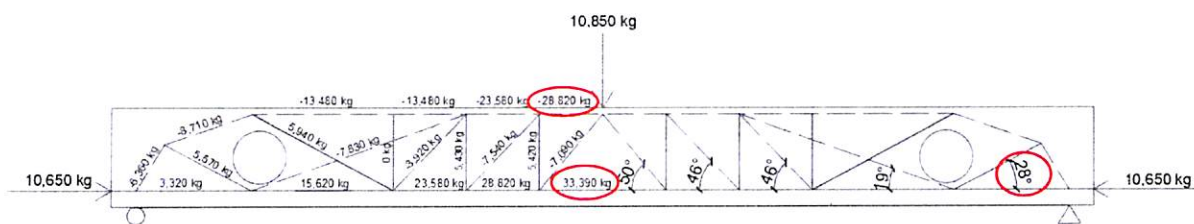
ภาพที่ 4.39 เปรียบเทียบแรงในท่อนดึงจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน RBO-1



ภาพที่ 4.40 เปรียบเทียบแรงในท่อนอัดจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน RBO-1

จากภาพที่ 4.39 สามารถอธิบายได้ว่ามุมภายในของท่อนอัด ณ ตำแหน่งกลางคานที่พิจารณาหากมีค่าที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อแรงในท่อนดึงที่ได้จาก Strut and Tie ซึ่งแรงในท่อนดึงจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ติดตั้งซึ่งทุกแบบจำลองมีตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงตำแหน่งเดียวกันจึงทำให้ค่าแรงในท่อนดึงมีค่าเท่ากัน เท่ากับ 33,390 kg และจากภาพที่ 4.40 พบว่าค่ามุมภายในจะมีผลต่อแรงในท่อน

อัดที่ได้จาก Strut and Tie จะเห็นได้ว่าที่มุมภายในเท่ากับ 50 องศา จะให้ค่าแรงในท่อนอัดใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดสอบมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 28,820 kg ดังนั้นจึงสามารถแสดงแบบจำลอง Strut and Tie ของคาน RBO-1 ดังแสดงในภาพที่ 4.41



ภาพที่ 4.41 Strut and Tie Model ของคาน RBO-1 ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ

จากการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie ข้างต้นสามารถสรุปวิธีการสร้างรูปแบบจำลองสำหรับคานซ่อมรอยร้าวและเสริมกำลังด้วย CFRP ได้ดังนี้ แบบจำลองเป็นแบบผสมระหว่าง Howe Truss และ Fan Truss ที่มีมุมของท่อนอัดช่วงกึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ 50 องศา ซึ่งให้ค่าแรงอัดในท่อน Strut มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบและมุมจะลดลงเมื่อขยับเข้าใกล้จุดรองรับ และจะถ่ายแรงแบบ Fan ไปที่ท่อนดึงแนวทแยงบริเวณช่องเปิดเพื่อให้การถ่ายแรงผ่านช่องเปิดขนาดใหญ่ไปยังตำแหน่งฐานรองรับเป็นไปอย่างต่อเนื่อง

4.2.5 คานมีช่องเปิดและเสริมกำลังด้วย CFRP (SBO)

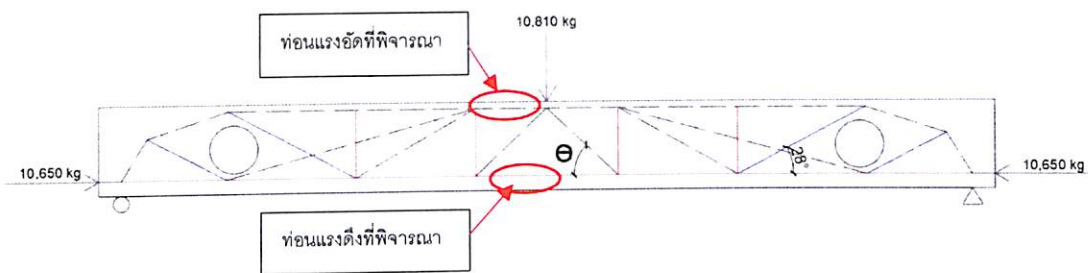
แบบจำลองของคาน SBO เป็นแบบจำลองที่ได้จากคาน BO-1 มุมของการเสริมกำลังด้วย CFRP คือมุม 28 องศาซึ่งเป็นมุมของท่อนดึงแนวทแยงพาดขวางแนวรอยร้าวที่เกิดขึ้นเนื่องจากการวิบัติแบบเฉือนบริเวณช่องเปิดของคาน BO-1 และพิจารณาแรงในท่อนดึงและท่อนอัดที่ตำแหน่งกลางคานเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ คือค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงกับเหล็กเสริมไม่อัดแรงที่รับแรงดึงตำแหน่งกึ่งกลางคานและค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดกับคอนกรีตที่ผิวบนคาน รวมทั้งลักษณะรอยร้าวที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ

ผลการทดสอบค่า Strain Gage ที่วัดได้จากเหล็กเสริมอัดแรง เหล็กเสริมไม่อัดแรงและคอนกรีตที่ผิวบนคาน สามารถหาค่าแรงในท่อนดึง (Tie) และท่อนอัด (Strut) ขณะวิบัติ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- แรงดึงในท่อน Tie ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมอัดแรงตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.01423 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 18,143 kg
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมไม่อัดแรงตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.017278 สามารถแปลงเป็นแรงดึงเท่ากับ 13,515 kg
 - ผลรวมแรงดึงที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 31,658 kg

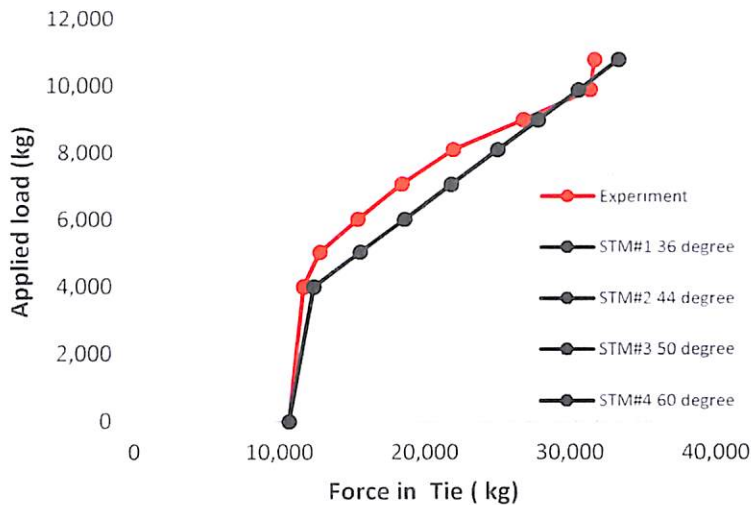
- แรงอัดในท่อน Strut แนวนอนตำแหน่งบนกึ่งกลางคานจากผลการทดสอบขณะวิบัติ
 - ค่า Strain ของคอนกรีตที่ผิวบนคานมีค่าเท่ากับ 0.001152 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ $0.85 \times 305 \times 18 \times (2.69 \times 2) = 25,106 \text{ kg}$
 - ค่า Strain ของเหล็กเสริมรับแรงอัดจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 0.000841 สามารถแปลงเป็นแรงอัดเท่ากับ 3,819 kg
 - ผลรวมแรงอัดที่ตำแหน่งกึ่งกลางคานด้านบนจากผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 28,925 kg

การใช้ Strut and Tie เพื่อสร้างแบบจำลองแสดงลักษณะการถ่ายแรงภายในคาน SBO สามารถสร้างแบบจำลองได้หลายแบบตามค่ามุมภายใน (θ) ที่แตกต่างกันเพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมและให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณากึ่งกลางคานเทียบกับผลการทดสอบโดยมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด แสดงภาพที่ 4.42

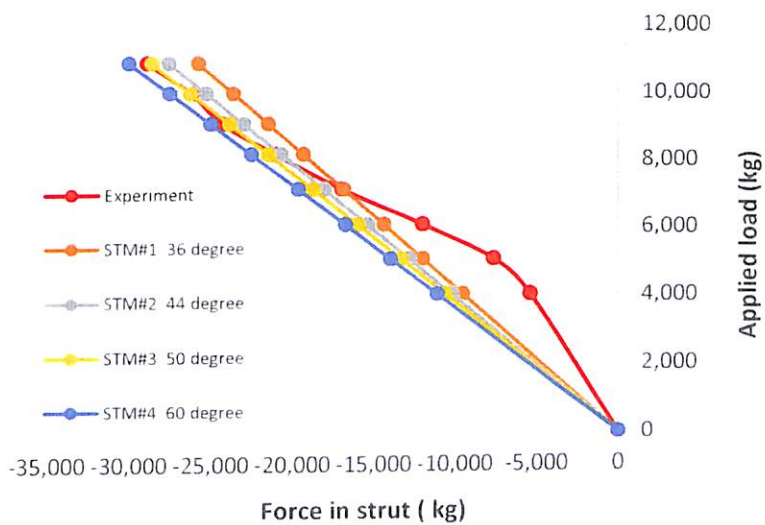


ภาพที่ 4.42 Strut and Tie Model รูปแบบทั่วไปของคาน SBO

จากแบบจำลองทั่วไปเมื่อมุมภายในที่ต่างกันจะมีผลให้ค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณามีค่าที่ต่างกัน สามารถแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงในท่อนดึงและท่อนอัด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ระหว่างผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน SBO แสดงในภาพที่ 4.43 และ 4.44 ตามลำดับ



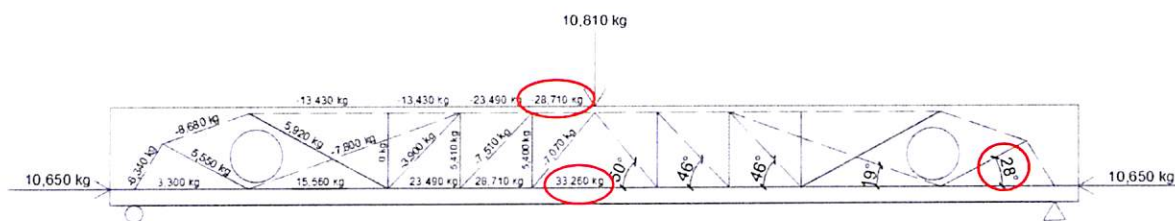
ภาพที่ 4.43 เปรียบเทียบแรงในท่อนดึงจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน SBO



ภาพที่ 4.44 เปรียบเทียบแรงในท่อนอัดจากผลทดสอบกับการใช้ Strut and Tie มุมภายในต่างกันของคาน SBO

จากภาพที่ 4.43 สามารถอธิบายได้ว่ามุมภายในของท่อนอัด ณ ตำแหน่งกลางคานที่พิจารณาหากมีค่าที่ต่างกันจะไม่มีผลต่อแรงในท่อนดึงที่ได้จาก Strut and Tie ซึ่งแรงในท่อนดึงจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงที่ติดตั้งซึ่งทุกแบบจำลองมีตำแหน่งของเหล็กเสริมรับแรงดึงตำแหน่งเดียวกันจึงทำให้ค่าแรงในท่อนดึงมีค่าเท่ากัน เท่ากับ 33,260 kg และจากรูปที่ 4.44 พบว่าค่ามุมภายในจะมีผลต่อแรงในท่อนอัดที่ได้จาก Strut and Tie จะเห็นได้ว่าที่มุมภายในเท่ากับ 50 องศา จะให้ค่าแรงในท่อนอัดใกล้เคียงกับผลที่

ได้จากการทดสอบมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 28,710 kg ดังนั้นจึงสามารถแสดงแบบจำลอง Strut and Tie ของคาน SBO ดังแสดงในภาพที่ 4.45



ภาพที่ 4.45 Strut and Tie Model ของคาน SBO ที่ใกล้เคียงกับการทดสอบ

จากการสร้างแบบจำลองด้วยวิธี Strut and Tie ข้างต้นสามารถสรุปวิธีการสร้างรูปแบบจำลองสำหรับคานมีช่องเปิดและเสริมกำลังด้วย CFRP ได้ดังนี้ แบบจำลองเป็นแบบผสมระหว่าง Howe Truss และ Fan Truss ที่มีมุมของท่อนอัดช่วงกึ่งกลางคานมีค่าเท่ากับ 50 องศา ซึ่งให้ค่าแรงอัดในท่อน strut มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดสอบและมุมจะลดลงเมื่อขยับเข้าใกล้จุดรองรับ และจะถ่ายแรงแบบ Fan ไปที่ท่อนดึงแนวทแยงบริเวณช่องเปิดเพื่อให้การถ่ายแรงผ่านช่องเปิดขนาดใหญ่ไปยังตำแหน่งฐานรองรับเป็นไปอย่างต่อเนื่อง