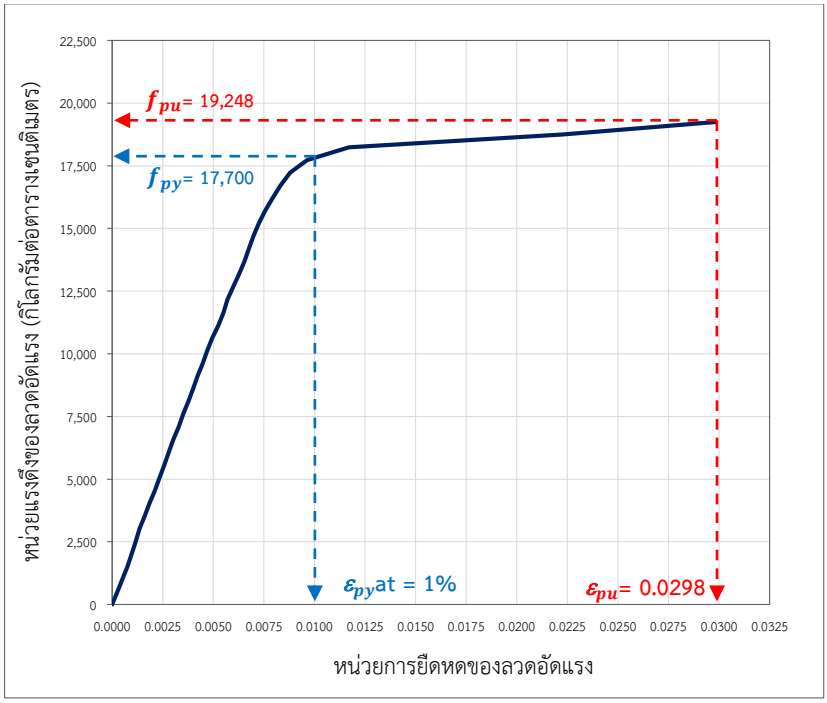
บทที่ 4
ผลการทดสอบ

เนื้อหาบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ รวมถึงผลการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงที่ไม่มีช่องเปิดและมีช่องเปิด เพื่อนำข้อมูลจากการทดสอบมาวิเคราะห์เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบจำลอง Strut and tie โดยให้มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกับผลการทดสอบต่อไป ซึ่งข้อมูลการทดสอบดังกล่าวมีรายละเอียด ดังนี้

4.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน

4.1.1 ผลการทดสอบลวดอัดแรง

จากผลการทดสอบจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึง (Stress) กับหน่วยการยืดหด (Strain) ของลวดอัดแรง 7-wire strand Dia.12.7 mm. Grade 1860 ดังแสดงในรูปที่ 4.1.1

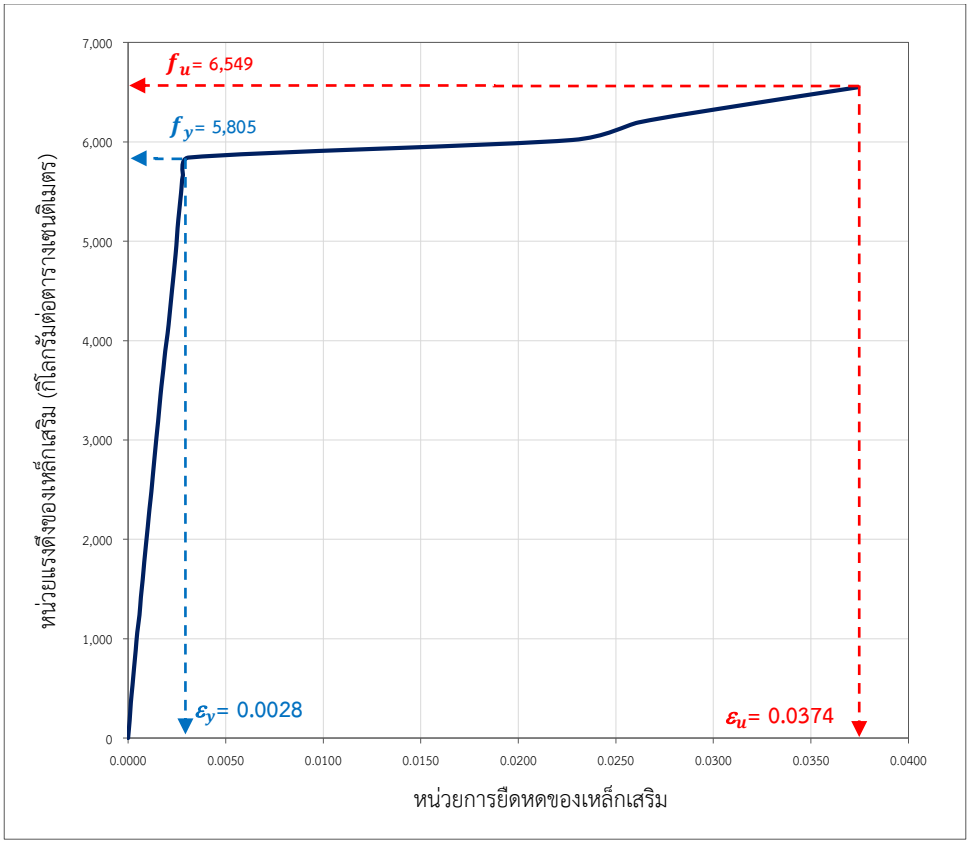


รูปที่ 4.1.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดหดของลวดอัดแรง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ที่ตำแหน่งหน่วยการยืดหด 1% ลวดอัดแรงมีความคราก(Yield Strength) เท่ากับ 17,700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และจุดที่รับกำลังสูงสุด (Ultimate Strength) ลวดอัดแรงมีกำลังรับแรงดึง เท่ากับ 19,248 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งมีหน่วยการยืดหดเท่ากับ 0.0298

4.1.2 ผลการทดสอบเหล็กเสริม DB12 mm.

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึง (Stress) กับหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริม DB12 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4.1.2

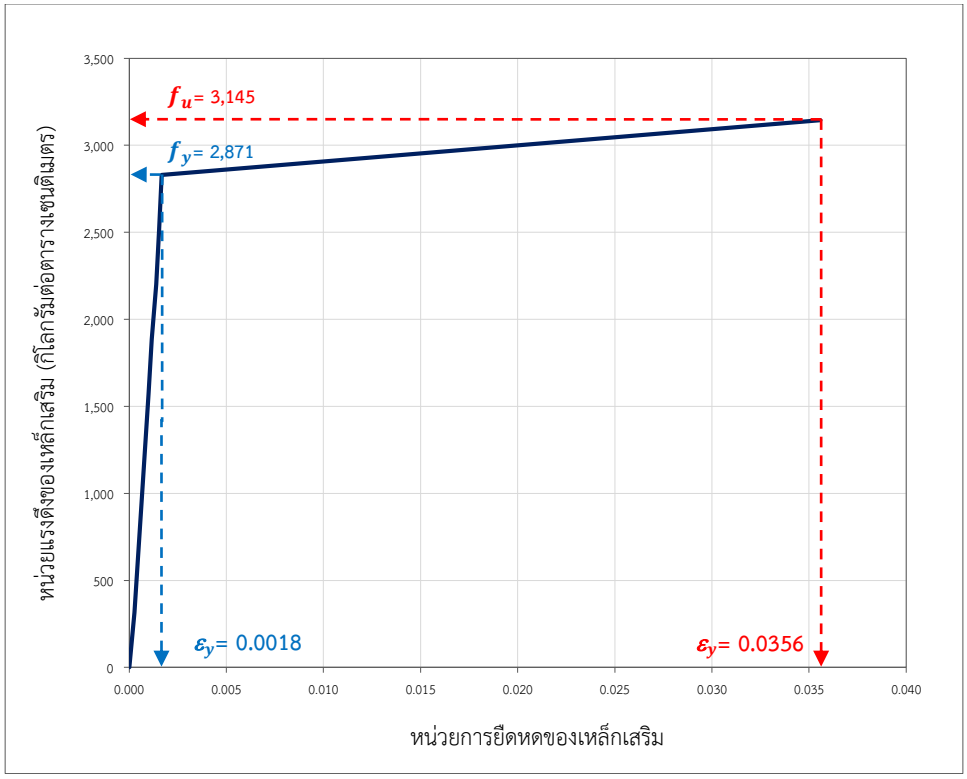


รูปที่ 4.1.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดหดของเหล็กเสริม DB12 mm.

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เหล็กเสริม DB12 mm.มีความคราก(Yield Strength) เท่ากับ 5,805 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีหน่วยการยืดหดเท่ากับ 0.0028 และจุดที่รับกำลังสูงสุด (Ultimate Strength) เหล็กเสริมมีกำลังรับแรงดึง เท่ากับ 6,549 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีหน่วยการยืดหด เท่ากับ 0.0374

4.1.3 ผลการทดสอบเหล็กเสริม RB9 mm.

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึง (Stress) กับหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริม RB9 mm. ดังแสดงในรูปที่ 4.1.3

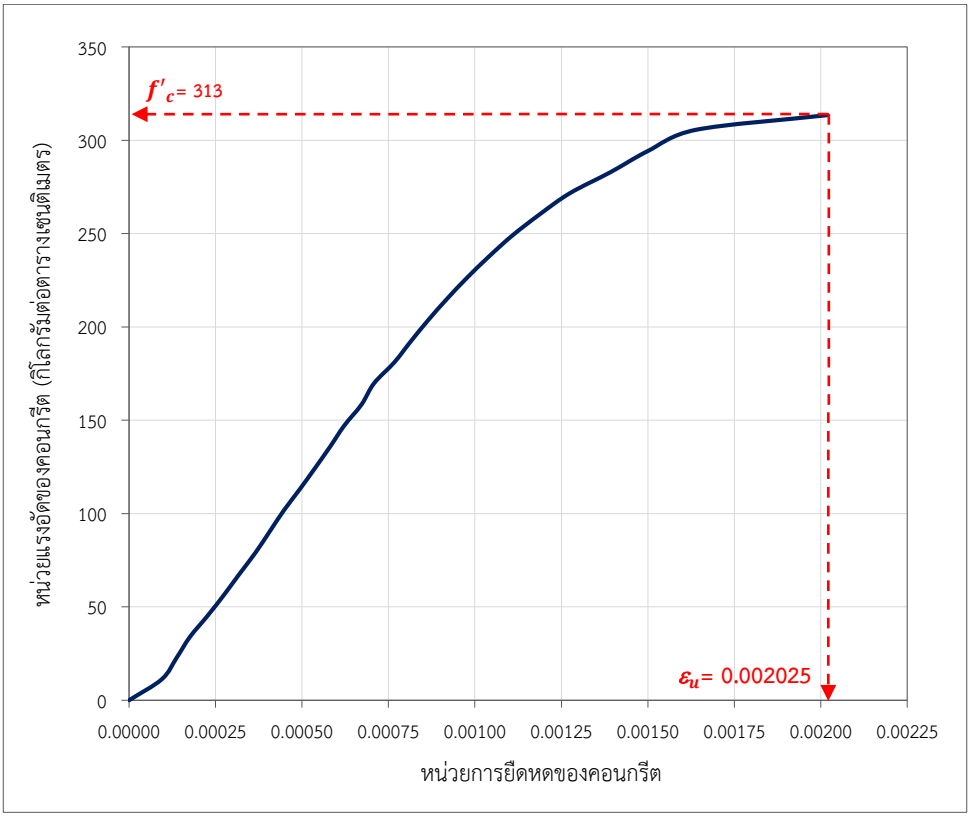


รูปที่ 4.1.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับหน่วยการยืดหดของเหล็กเสริม RB9 mm.

จากกราฟจะเห็นได้ว่า เหล็กเสริม DB9 mm. มีความคราก ของวัสดุ (Yield Stress) เท่ากับ 2,871 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีหน่วยการยืดหดเท่ากับ 0.0018 และจุดที่รับกำลังสูงสุด (Ultimate Strength) เหล็กเสริมมีกำลังรับแรงดึง เท่ากับ 3,145 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีหน่วยการยืดหด เท่ากับ 0.0356

4.1.4 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

จากผลการทดสอบ Compression Test ลูกปูนรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15x30 เซนติเมตร จำนวน 3 ลูก ที่อายุ 28 วัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด (Stress) กับหน่วยการยืดหด (Strain) ของคอนกรีต ดังแสดงในรูปที่ 4.1.4



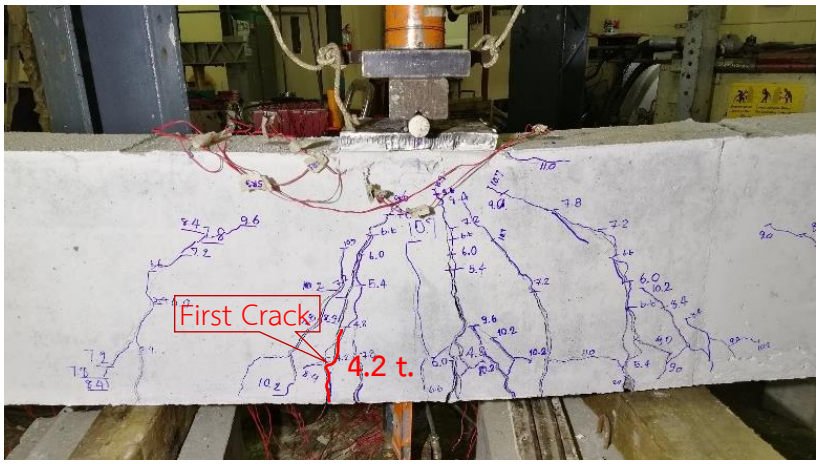
รูปที่ 4.1.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการยืดหดของคอนกรีต

จากกราฟจะเห็นได้ว่า คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดสูงสุด (Ultimate Strength) เท่ากับ 313 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยมีหน่วยการยืดหด เท่ากับ 0.002025

4.2 การทดสอบคาน

4.2.1 คานคอนกรีตอัดแรงที่ไม่มีช่องเปิด

จากการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงแบบไม่มีช่องเปิดด้วยวิธี Center Point Loading พบว่า ในการทดสอบคานขณะที่คานรับน้ำหนักที่กระทำ 4.2 ตัน คานเกิดรอยร้าวเริ่มแรก (First Crack) ที่บริเวณกึ่งกลางคานด้านล่างโดยเมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำไปเรื่อย ๆ จะเกิดรอยร้าวขยายมากขึ้นและแพร่กระจายไปตามตำแหน่งต่าง ๆ ของคาน ดังแสดงในรูปที่ 4.2.1 และเมื่อทดสอบไปเรื่อย ๆ พบว่าคานดังกล่าวเกิดการวิบัติขณะที่รับน้ำหนักกระทำ 11.0 ตัน โดยรูปแบบการวิบัติของคานดังกล่าวเป็นแบบ Flexure Failure ดังแสดงในรูปที่ 4.2.2 สามารถวัดค่าการโก่งตัวที่จุดครากและสูงสุดเท่ากับ 32.3 มิลลิเมตร และ 73.59 มิลลิเมตร ตามลำดับ



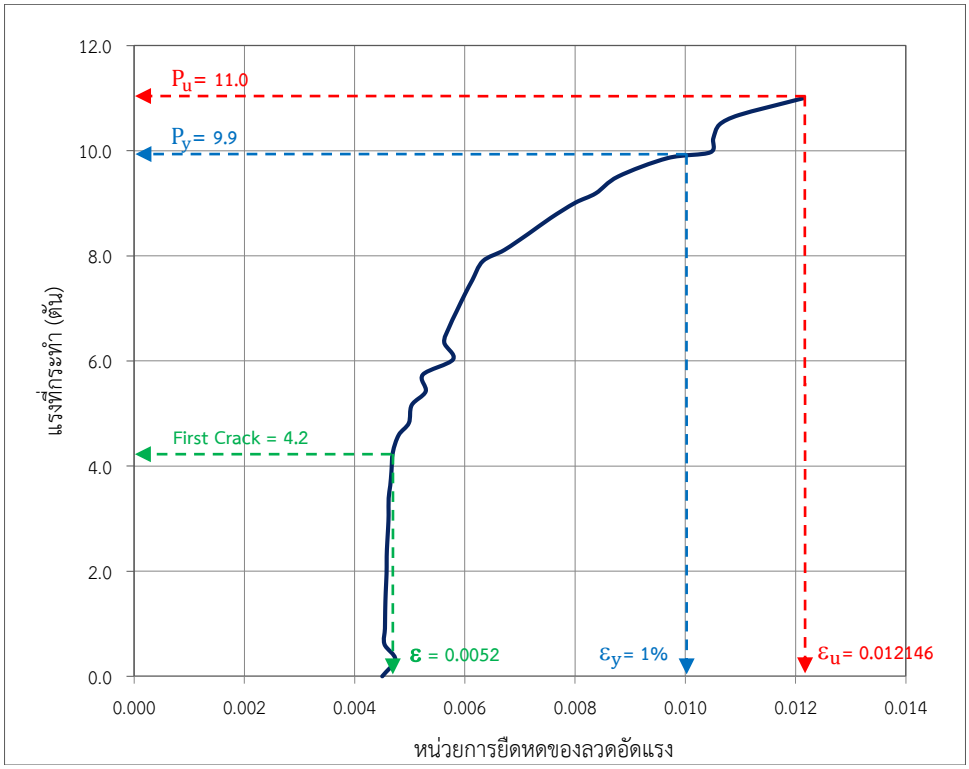
รูปที่ 4.2.1 การเกิด First Crack ที่น้ำหนักกระทำกับคาน

รูปที่ 4.2.2 เกิดการวิบัติโดยรูปแบบการวิบัติแบบ Flexure Failure

ซึ่งภายหลังจากการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงที่ไม่มีช่องเปิด สามารถนำข้อมูลของ Strain Gauge ที่ติดตั้งบริเวณต่าง ๆ ตามหัวข้อ 3.1.1 มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมคานคอนกรีตอัดแรงที่ไม่มีช่องเปิดในขณะที่รับแรงกระทำ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของวัสดุในคาน และความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับค่าการโก่งตัวของคานได้ดังนี้

1. พฤติกรรมของลวดอัดแรง

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของลวดอัดแรง ดังแสดงในรูปที่ 4.2.3

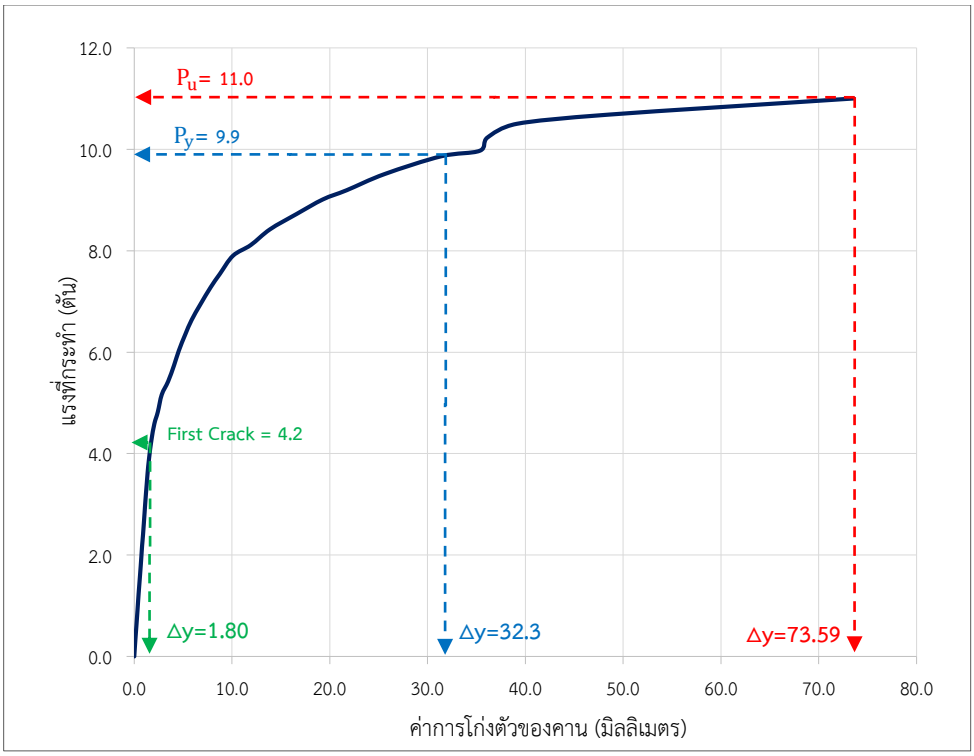


รูปที่ 4.2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของลวดอัดแรง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของลวดอัดแรง เท่ากับ 0.0052 โดยตำแหน่งที่ลวดอัดแรงมีความคราก ของวัสดุ (Yield Strength) เท่ากับ 1 % (0.01) พบว่าแรงที่กระทำกับคาน เท่ากับ 9.9 ตัน และเมื่อกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของลวดอัดแรงเท่ากับ 0.012146

2. พฤติกรรมการโก่งตัวของคาน

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับค่าการโก่งตัวของคานคอนกรีตอัดแรงที่ไม่มีช่องเปิด ดังแสดงในรูปที่ 4.2.4

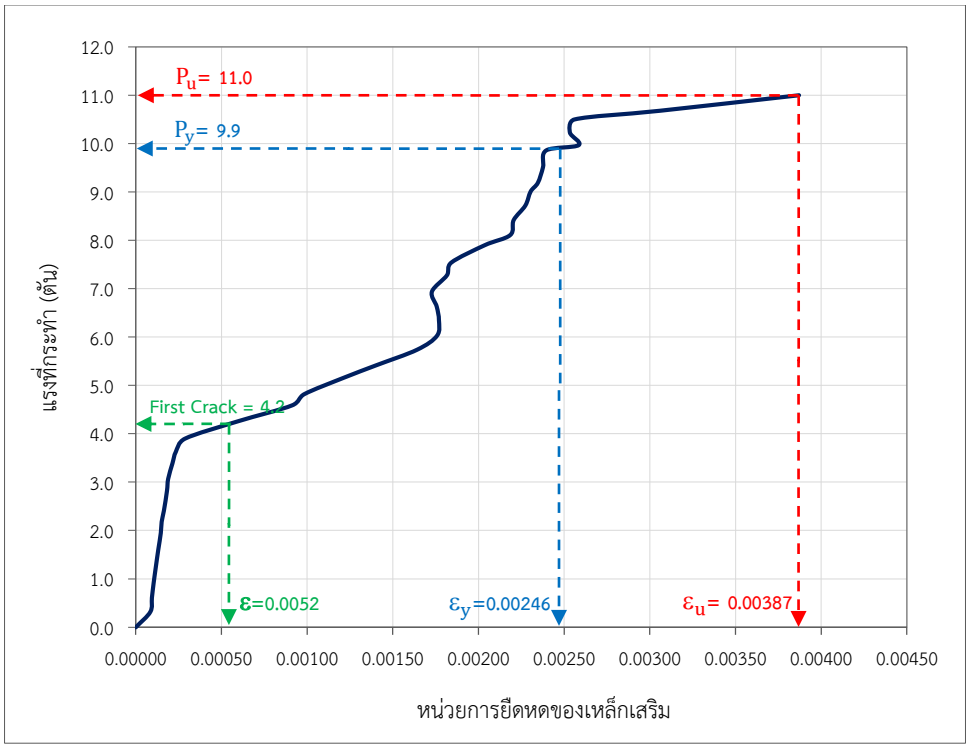


รูปที่ 4.2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับค่าการโก่งตัวของคานคอนกรีตอัดแรงที่ไม่มีช่องเปิด

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack คานจะมีการโก่งตัวเท่ากับ 1.80 มิลลิเมตร โดยเมื่อลวดอัดแรงเกิดความคราก ที่แรงกระทำ 9.9 ตัน (Strain 0.01) คานจะมีการโก่งตัวเท่ากับ 32.3 มิลลิเมตร และเมื่อคานเกิดการวิบัติสามารถวัดการโก่งตัวได้เท่ากับ 73.59 มิลลิเมตร

3. พฤติกรรมของเหล็กเสริมรับแรงดึง

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของเหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 mm. (เหล็กล่าง) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.5

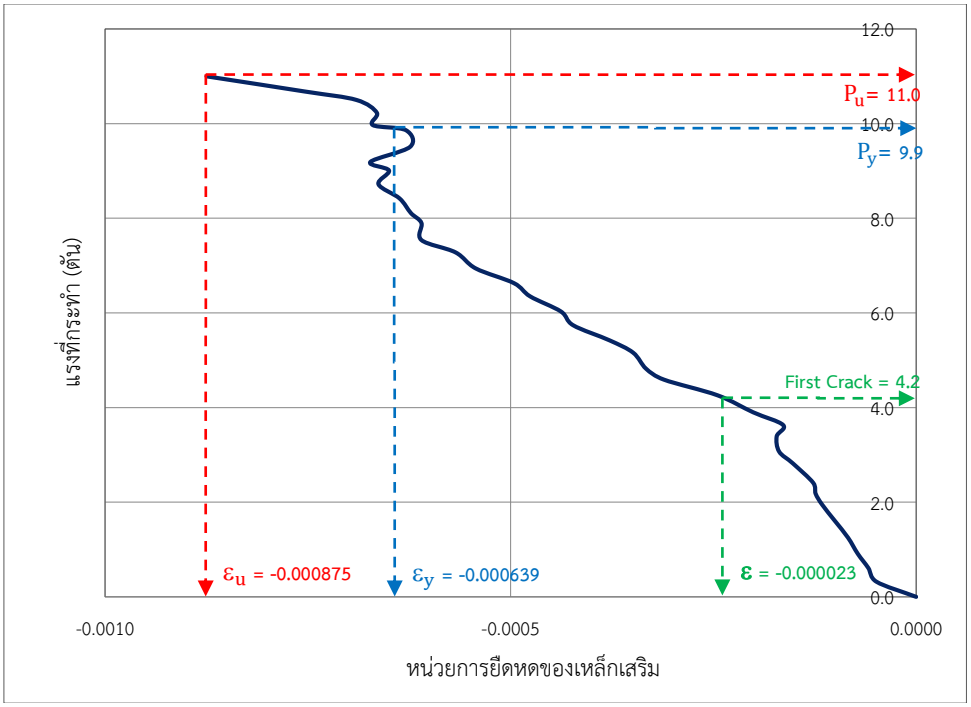


รูปที่ 4.2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของเหล็กเสริมรับแรงดึง (เหล็กล่าง)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงดึง เท่ากับ 0.0052 โดยเมื่อลวดอัดแรงเกิดความคราก ที่แรงกระทำ 9.9 ตัน (Strain 0.01) สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ 0.00246 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ 0.00387

4. พฤติกรรมของเหล็กเสริมรับแรงอัด

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงอัด DB12 mm. (เหล็กบน) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.6

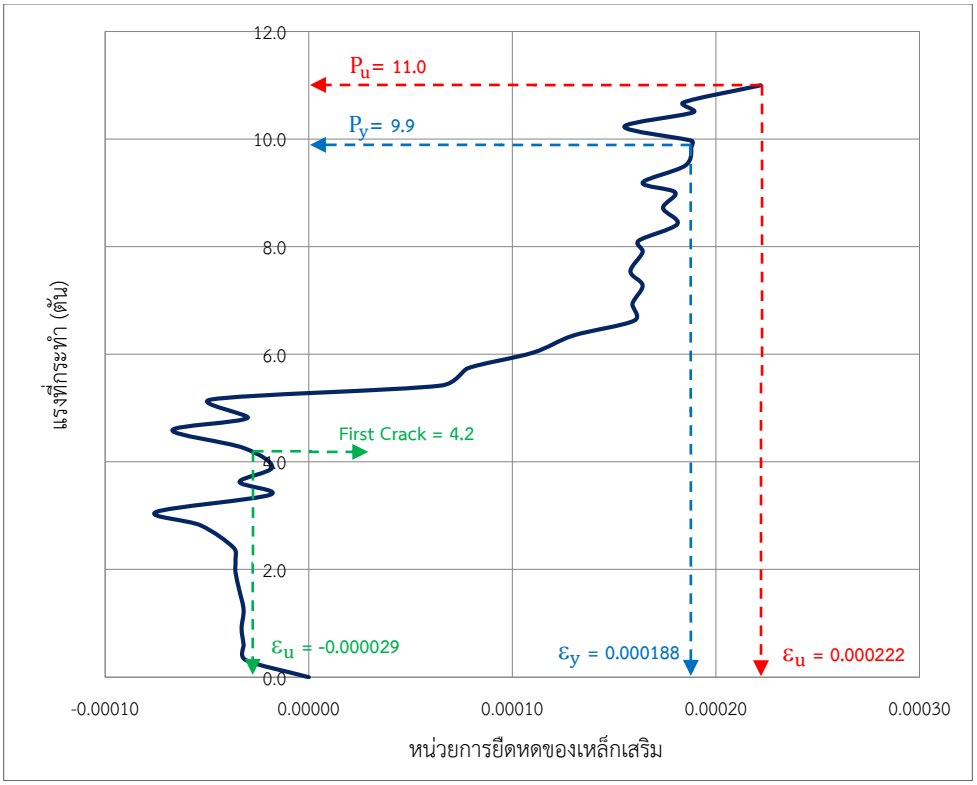


รูปที่ 4.2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงอัด (เหล็กบน)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงอัด เท่ากับ -0.000023 โดยเมื่อลวดอัดแรงเกิดความคราก ที่แรงกระทำ 9.9 ตัน (Strain 0.01) สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงอัด เท่ากับ -0.000639 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงอัด เท่ากับ -0.000875

5. พฤติกรรมของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน RB9 mm. (เหล็กปลอก) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.7

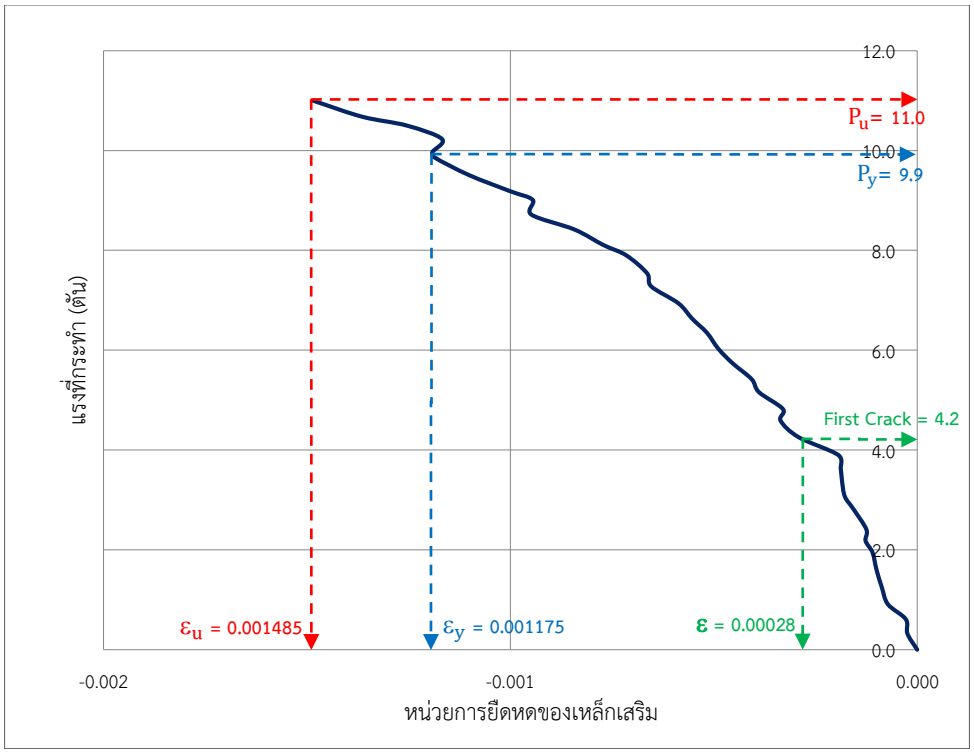


รูปที่ 4.2.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน เท่ากับ -0.000029 โดยเมื่อลวดอัดแรงเกิดความคราก ที่แรงกระทำ 9.9 ตัน (Strain 0.01) สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน เท่ากับ 0.000188 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน เท่ากับ 0.000222

6. พฤติกรรมของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน ดังแสดงในรูปที่ 4.2.8

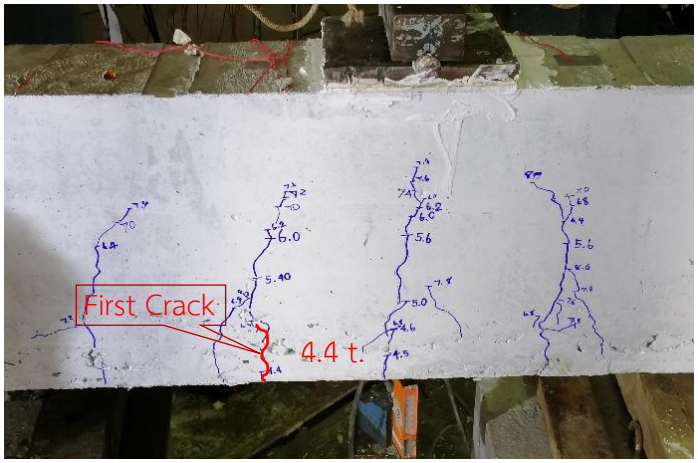


รูปที่ 4.2.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดที่ผิวบนของคาน

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน เท่ากับ 0.00028 โดยเมื่อลวดอัดแรงเกิดความคราก ที่แรงกระทำ 9.9 ตัน (Strain 0.01) สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน เท่ากับ 0.001175 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน เท่ากับ 0.001485

4.2.2 คานคอนกรีตอัดแรงที่มีช่องเปิด

จากการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงที่มีช่องเปิด ด้วยวิธี Center Point Loading พบว่า ในการทดสอบคานขณะที่คานรับน้ำหนักที่กระทำ 4.4 ตัน เกิดรอยร้าวเริ่มแรก (First Crack) บริเวณกึ่งกลางคานด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 4.2.9 โดยเมื่อเพิ่มน้ำหนักไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติ พบว่า คานดังกล่าวจะเกิดการวิบัติบริเวณตำแหน่งช่องเปิดขณะที่รับน้ำหนักกระทำ 7.01 ตัน ซึ่งมีรอยร้าวจากแรงเฉือน ดังแสดงในรูปที่ 4.2.10 โดยรูปแบบการวิบัติของคานดังกล่าวเป็นแบบ Shear Failure และสามารถวัดค่าการโก่งตัวที่จุดสูงสุดเท่ากับ 6.83 มิลลิเมตร



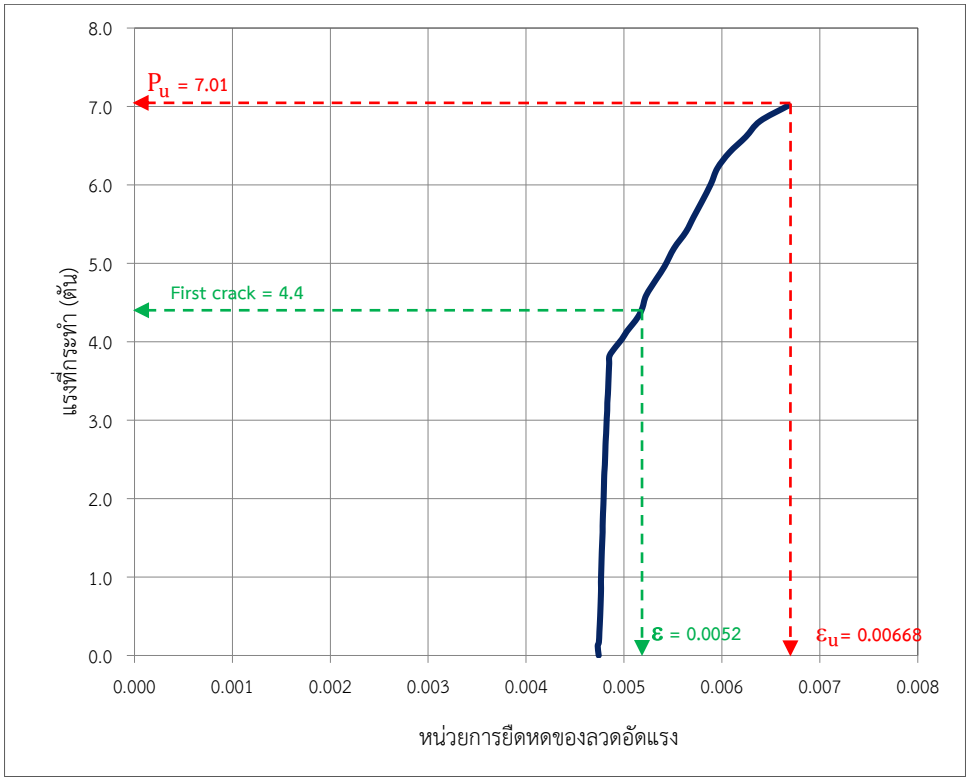
รูปที่ 4.2.9 การเกิด First Crack ที่น้ำหนักกระทำกับคาน

รูปที่ 4.2.10 เกิดการวิบัติโดยรูปแบบการวิบัติแบบ Flexure Failure

ซึ่งภายหลังจากการทดสอบคานคอนกรีตอัดแรงที่มีช่องเปิด สามารถนำข้อมูลของ Strain Gauge ที่ติดตั้งบริเวณต่าง ๆ ตามหัวข้อ 3.1.1 มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมคานคอนกรีตอัดแรงที่มีช่องเปิดในขณะที่รับแรงกระทำ เช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของวัสดุในคาน และความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับค่าการโก่งตัวของคานได้ดังนี้

1. พฤติกรรมของลวดอัดแรง

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของลวดอัดแรง ดังแสดงในรูปที่ 4.2.11

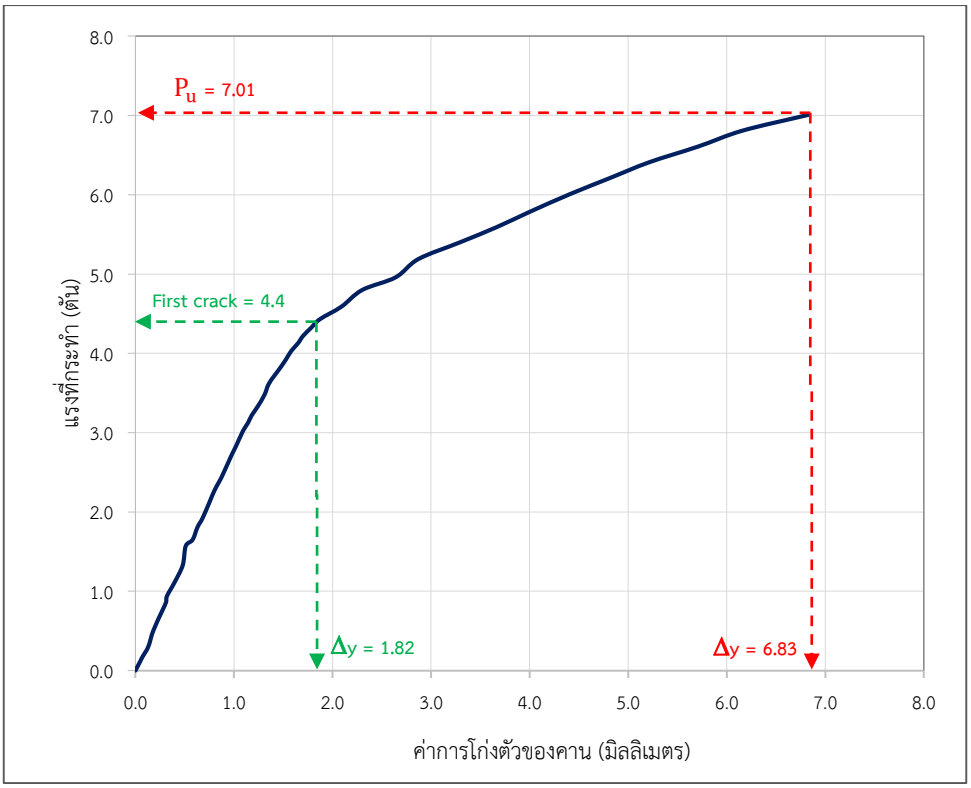


รูปที่ 4.2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดของลวดอัดแรง

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของลวดอัดแรงเท่ากับ 0.0052 และเมื่อกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของลวดอัดแรง เท่ากับ 0.00668

2. พฤติกรรมการโก่งตัวของคาน

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับค่าการโก่งตัวของคานคอนกรีตอัดแรงที่มีช่องเปิด ดังแสดงในรูปที่ 4.2.12

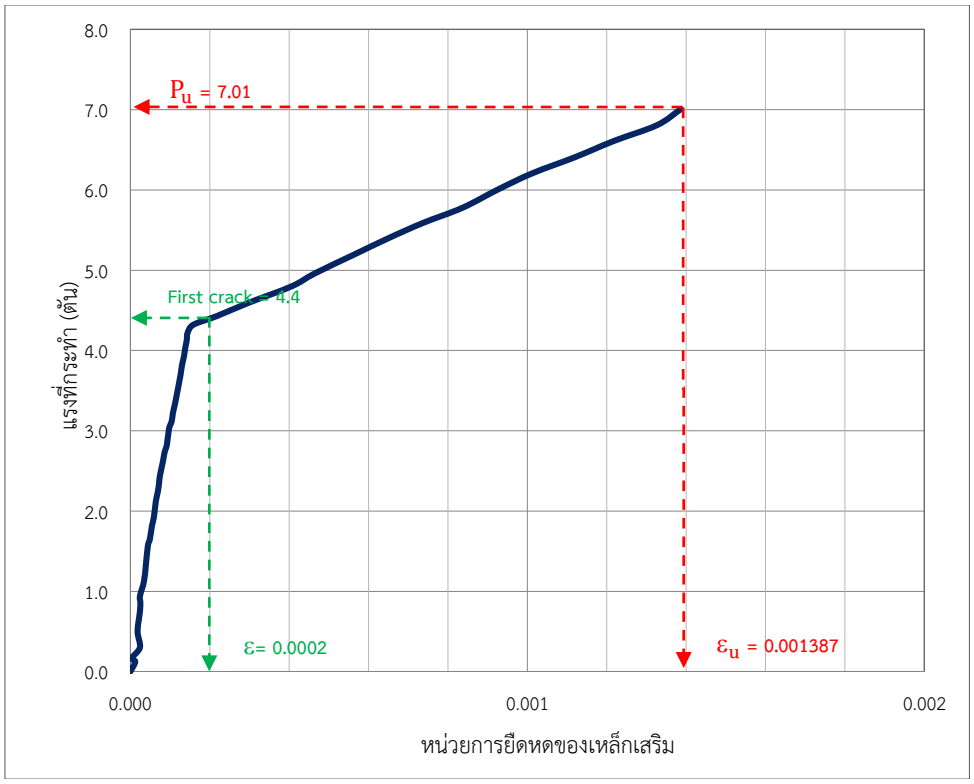


รูปที่ 4.2.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับค่าการโก่งตัวของคานคอนกรีตอัดแรงที่มีช่องเปิด

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack คานจะมีการโก่งตัวเท่ากับ 1.82 มิลลิเมตร และเมื่อคานเกิดการวิบัติสามารถวัดการโก่งตัวได้เท่ากับ 6.83 มิลลิเมตร

3. พฤติกรรมของเหล็กเสริมรับแรงดึง

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงดึง DB12 mm. (เหล็กล่าง) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.13

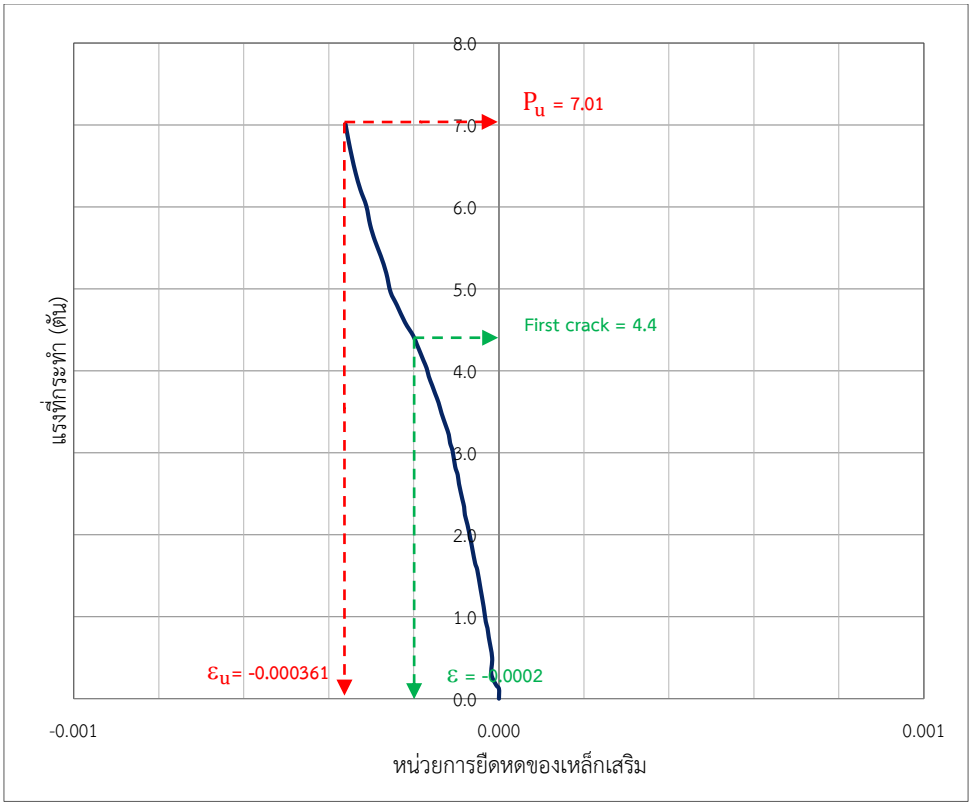


รูปที่ 4.2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงดึง (เหล็กล่าง)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงดึง เท่ากับ 0.0002 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ 0.001387

4. พฤติกรรมของเหล็กเสริมรับแรงอัด

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงอัด DB12 mm. (เหล็กบน) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.14

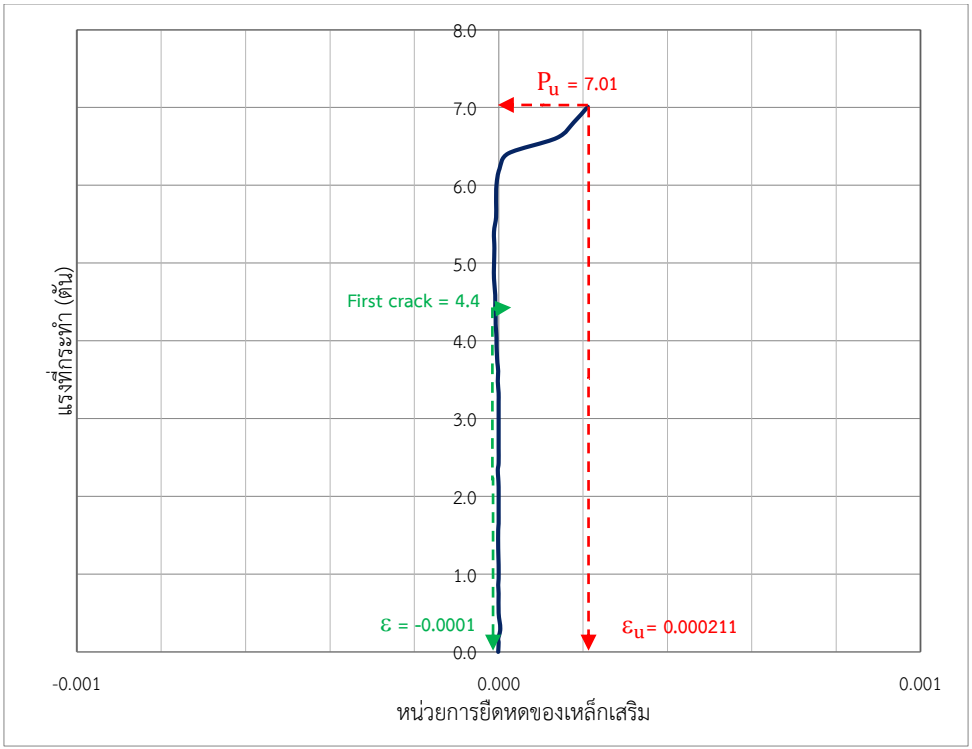


รูปที่ 4.2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงอัด (เหล็กบน)

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงอัด เท่ากับ -0.0002 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กเสริมรับแรงอัด เท่ากับ -0.000361

5. พฤติกรรมของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน RB9 mm. (เหล็กปลอก) ดังแสดงในรูปที่ 4.2.15

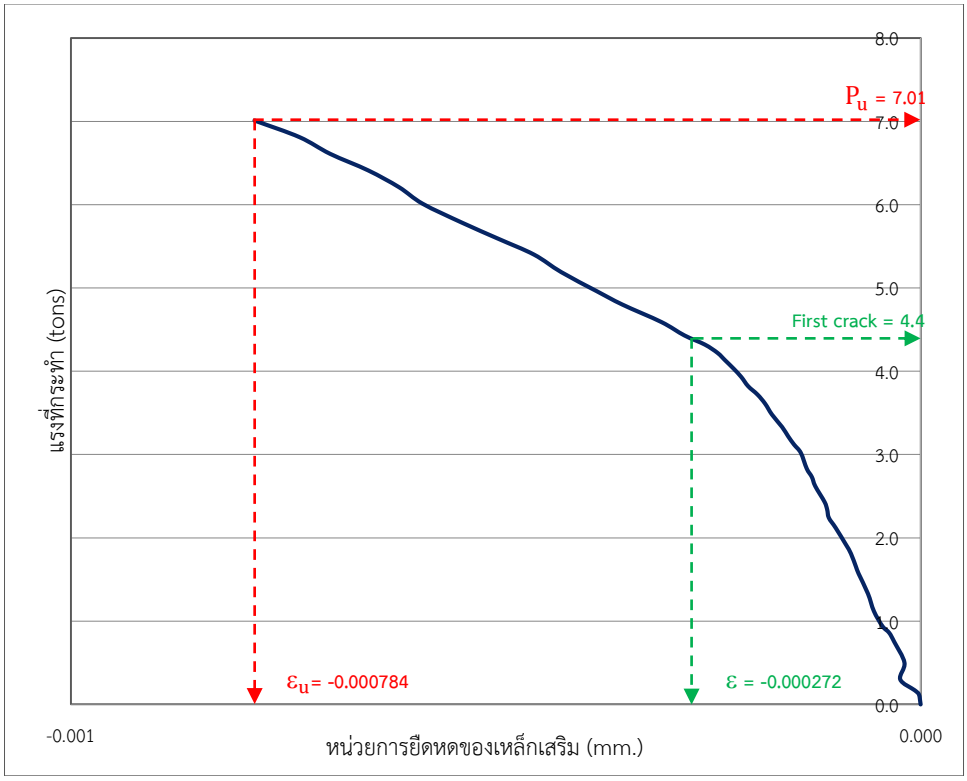


รูปที่ 4.2.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน เท่ากับ -0.0001 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของเหล็กปลอกรับแรงเฉือน เท่ากับ 0.000211

6. พฤติกรรมของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน

จากผลการทดสอบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหด ของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน ดังแสดงในรูปที่ 4.2.16



รูปที่ 4.2.16 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำกับหน่วยการยืดหดที่ผิวบนของคาน

จากกราฟจะเห็นได้ว่า ขณะที่คานเกิด First Crack สามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน เท่ากับ -0.000272 จนกระทั่งคานเกิดการวิบัติสามารถวัดหน่วยการยืดหด (Strain) ของคอนกรีตที่ผิวบนของคาน เท่ากับ -0.000784