

การศึกษารูปแบบรอยแตกร้าวในคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน :

กรณีศึกษาคานมีกำลังอัดคอนกรีตแตกต่างกัน

จิรวัดน์ วิมตติสุขวิริยา

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ผู้นิพนธ์ประสานงานบทความ อีเมล: jirawat.wm@bru.ac.th

รับเมื่อ 16 พฤศจิกายน 2563 แก้ไขเมื่อ 2 ธันวาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 20 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

การวิบัติแบบเฉือนที่พบเห็นในคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีสาเหตุจากคอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงได้น้อย โดยกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทำคานเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของกำลังอัดคอนกรีตที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนและรูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้นภายใต้แรงเฉือน จากผลการศึกษาคานตัวอย่างพบว่า คานตัวอย่าง A ที่สร้างจากคอนกรีตกำลังอัด $f_c' = 153$ กก./ตร.ซม. สามารถต้านทานแรงเฉือนได้น้อยที่สุด โดยคานจะเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดใหญ่ก่อนการวิบัติ คานตัวอย่าง B ซึ่งสร้างจากคอนกรีตที่มีกำลังอัด $f_c' = 212$ กก./ตร.ซม. สามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} ได้มากกว่าคาน A ประมาณร้อยละ 14.29 คานตัวอย่าง B วิบัติแบบเฉือนอัดโดยคอนกรีตส่วนบนของคานเกิดการแตกร้าวมากและบางส่วนหลุดออก สำหรับคานตัวอย่าง C ซึ่งสร้างจากคอนกรีตที่มีกำลังอัด $f_c' = 266$ กก./ตร.ซม. สามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} ได้มากกว่าคาน A ประมาณร้อยละ 28.57 โดยคานตัวอย่าง C วิบัติแบบเฉือนแนวทแยงโดยคอนกรีตส่วนบนของคานไม่ถูกอัดจนแตกแสดงว่าคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้ ทั้งนี้รอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดเล็กและขนาดใหญ่ของคานตัวอย่างสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อน้ำหนักกด P มากกว่าร้อยละ 59 และร้อยละ 84 ของน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} ตามลำดับ

คำสำคัญ: คานคอนกรีตเสริมเหล็ก รอยแตกร้าว แรงเฉือน

A STUDY OF CRACKS PATTERNS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS UNDER SHEAR FORCE : A CASE STUDY OF DIFFERENT CONCRETE STRENGTH OF BEAMS

Cheellawad Vimuttasoongviriya

Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

Corresponding author. E-mail: jirawat.wm@bru.ac.th

Received: November 16, 2020; **Revised:** December 2, 2020; **Accepted:** December 20, 2020

Abstract

The shear failure seen in reinforced concrete beams was caused by low tensile strength concrete. The compressive strength of the concrete, used to make beams, is a factor affecting the shear strength. Therefore, this research is to study the effect of concrete compressive strength on shear strength and crack patterns that occur under shear stress. From the sample beam results, it was found that Sample beam A, constructed of compressive strength concrete $f_c' = 153$ kg/sq.cm, has the least shear resistance. The sample beam will form large diagonal cracks before failure. Sample beam B, constructed of compressive strength concrete $f_c' = 212$ kg/sq.cm, can hold approximately 14.29% more than P_{max} of sample beam A. Sample beam B was failure by shear compression, the top of the beam form large cracks and partially falling off. For the sample beam C, which is constructed of compressive strength concrete $f_c' = 266$ kg/sq.cm, the P_{max} is 28.57% more than sample beam A. Sample beam C was failure by diagonal tension and the concrete on the top is not compressed until it cracks, indicating that the concrete can resist compression. The small diagonal cracks are visible when the load P is greater than 59% of the P_{max} and the large diagonal cracks are visible when the load P is greater than 84% of the P_{max} .

Keywords: Reinforced concrete beams, Crack patterns, Shear force.

1. บทนำ

องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กมักเกิดปัญหาขึ้นเมื่อก่อสร้างอย่างรู้เท่าไม่ถึงการณ์หรือใช้วัสดุก่อสร้างคุณภาพต่ำกว่าข้อกำหนด องค์อาคารด้อยคุณภาพมักเกิดการเสียรูปมากกว่าปกติจนส่งผลทำให้เกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ขึ้นหรืออาจเกิดการวิบัติได้โดยง่าย สำหรับคานคอนกรีตเสริมเหล็กเมื่อรับน้ำหนักบรรทุกมักเกิดแรงกระทำหลัก คือ โมเมนต์ดัด โมเมนต์บิดและแรงเฉือน [1-7] การวิบัติแบบเฉือนเนื่องจากหน่วยแรงดึงทแยง (Diagonal Tensile Stress) ที่พบเห็นในคานคอนกรีตเสริมเหล็กมีสาเหตุจากคอนกรีตมีกำลังรับแรงดึงได้น้อย ในการแก้ปัญหาจึงนิยมใช้เหล็กปลอกหรือเหล็กค่อมมาช่วยรับแรงดึงทแยงที่คอนกรีตไม่สามารถต้านทานไว้ได้ [8] อนึ่งกำลังรับแรงเฉือน (Shear Strength) ขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดจากกลไกต้านทานแรงเฉือน 3 อย่าง คือ การต้านทานแรงเฉือนเนื่องจากเหล็กเสริม (Dowel Action) การต้านทานแรงเฉือนบริเวณรอยแตกร้าวโดยอาศัยการยึดเกาะของมวลรวม (Aggregate Interlocking) และการต้านทานแรงเฉือนของพื้นที่หน้าตัดภายใต้หน่วยแรงอัดที่ยังไม่แตกร้าว (Untracked Portion) [9] จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่ากำลังของคอนกรีตที่ใช้ทำคานเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับแรงเฉือน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของกำลังอัดคอนกรีตที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนและรูปแบบการแตกร้าวที่เกิดขึ้นภายใต้แรงเฉือนโดยวิธีพินิจ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาลักษณะการแตกร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้อิทธิพลของแรงเฉือน
- 2.2 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้อิทธิพลของแรงเฉือน

3. วิธีดำเนินการวิจัยและขอบเขตการวิจัย

การศึกษารอยแตกร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือนของงานวิจัยนี้มีขอบเขตการวิจัย คือ คานตัวอย่างทดสอบมีการเสริมเหล็กแกนและเหล็กปลอกเหมือนกันทุกคานแต่ใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนผสมแตกต่างกัน คอนกรีตที่ใช้ทำคานใช้วัสดุมวลรวมในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ และการศึกษารอยแตกร้าวจะอาศัยวิธีพินิจ สำหรับวิธีการดำเนินการวิจัยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 3.1 ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติวัสดุผสมคอนกรีตและเหล็กเสริมซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1
- ตารางที่ 1** คุณสมบัติวัสดุผสมคอนกรีตและเหล็กเสริม

วัสดุ	คุณสมบัติ			
คุณสมบัติวัสดุผสมคอนกรีต	ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	ทรายแม่น้ำท่าทราย อ.สตึก จ.บุรีรัมย์	หินย่อยขนาด 3/4 นิ้ว	น้ำประปา มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
	ความถ่วงจำเพาะ 3.15	ความถ่วงจำเพาะ 2.63	ความถ่วงจำเพาะ 2.78	
		โมดูลัสความละเอียด 2.47	โมดูลัสความละเอียด 7.02	

ตารางที่ 1 (ต่อ)

วัสดุ	คุณสมบัติ
คุณสมบัติเหล็กแกน DB 16 มม.	เหล็กข้ออ้อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ชั้นคุณภาพ SD-40 กำลังดึงคราก 5,254 กก./ตร.ซม. กำลังดึงประลัย 6,678 กก./ตร.ซม. โมดูลัสยืดหยุ่น 2.04×10^6 กก./ตร.ซม. ความยืดร้อยละ 23.53
คุณสมบัติเหล็กปลอก RB 9 มม.	เหล็กเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มม. ชั้นคุณภาพ SR-24 กำลังดึงคราก 3,453 กก./ตร.ซม. กำลังดึงประลัย 4,641 กก./ตร.ซม. โมดูลัสยืดหยุ่น 2.04×10^6 กก./ตร.ซม. ความยืดร้อยละ 43.15

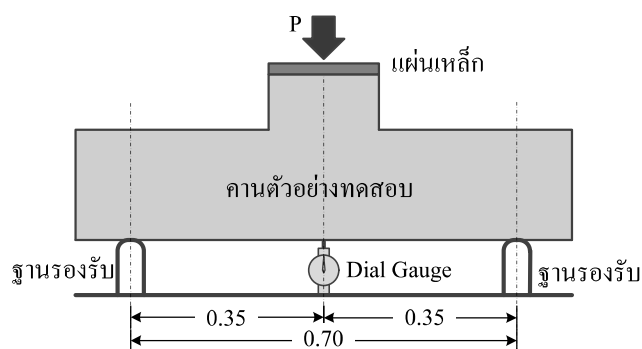
3.2 เลือกใช้คอนกรีตจำนวน 3 อัตราส่วนผสมซึ่งมีกำลังอัดแตกต่างกันเพื่อใช้สร้างคานตัวอย่าง และทดสอบกำลังอัดแท่งคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ที่อายุ 28 วัน

3.3 คานตัวอย่างทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้าง 0.20 ม. สูง 0.20 ม. ยาว 0.90 ม. ที่บริเวณช่วงกลางคานมีตอขนาด 0.20x0.20 ม. สูง 0.10 ม. อยู่ด้านบนเพื่อใช้รับน้ำหนักกด P ทั้งนี้เหล็กแกนด้านล่างรับแรงดึงใช้เหล็กข้ออ้อย DB 16 มม. จำนวน 2 เส้น และเหล็กแกนด้านบนรับแรงอัดใช้เหล็กข้ออ้อย DB 16 มม. จำนวน 2 เส้น เหล็กปลอกใช้เหล็กเส้นกลม RB 9 มม. ระยะเรียง 0.05 ม. โดยคานทดสอบมีจำนวน 3 ตัวอย่าง คือ คาน A ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน $f'_c = 153$ กก./ตร.ซม. คาน B ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน $f'_c = 212$ กก./ตร.ซม. และคาน C ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน $f'_c = 266$ กก./ตร.ซม. รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัญลักษณ์และขนาดคานตัวอย่างทดสอบ

สัญลักษณ์	กำลังอัดคอนกรีต และน้ำหนักคาน	ขนาดคานและการเสริมเหล็ก
A	$f'_c = 153$ กก./ตร.ซม. น้ำหนัก 102.065 กก.	
B	$f'_c = 212$ กก./ตร.ซม. น้ำหนัก 102.875 กก.	
C	$f'_c = 266$ กก./ตร.ซม. น้ำหนัก 104.080 กก.	

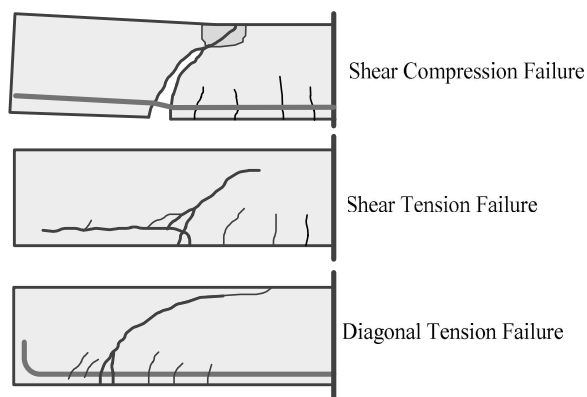
3.4 การทดสอบคานตัวอย่างจะให้น้ำหนักกด P กระทำที่กึ่งกลางช่วงคานบนแผ่นเหล็กที่วางบนตอที่ยื่นจากด้านบนคาน ฐานรองรับวางห่างกัน 0.70 ม. ที่บริเวณกึ่งกลางคานติดตั้งไดอัลเกจ (Dial Gauge) เพื่อวัดระยะการแอ่นตัวของตัวอย่างทดสอบ ภาพการทดสอบคานตัวอย่างแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.5 ศึกษารอยแตกร้าวของคานตัวอย่างทดสอบด้วยวิธีพินิจ (Visual Inspection) [10-11] เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการตรวจสอบความเสียหายของตัวอย่างทดสอบด้วยตาพร้อมอุปกรณ์ช่วยที่ไม่ซับซ้อน เช่น แวนขยาย แถบวัดขนาด หรือไม้บรรทัด เป็นต้น

3.6 การพิจารณาการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กเนื่องจากแรงเฉือนมี 3 รูปแบบหลัก คือ การวิบัติเฉือนอัด (Shear Compression Failure) การวิบัติเฉือนดึง (Shear Tension Failure) และการวิบัติเฉือนแนวทแยง (Diagonal Tension Failure) ดังแสดงในภาพที่ 2

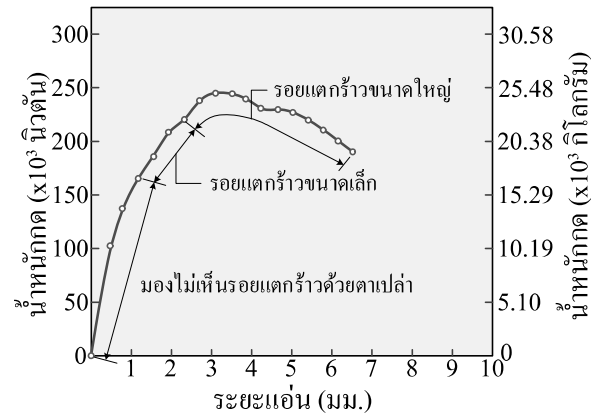


ภาพที่ 2 รูปแบบการวิบัติของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือน [9]

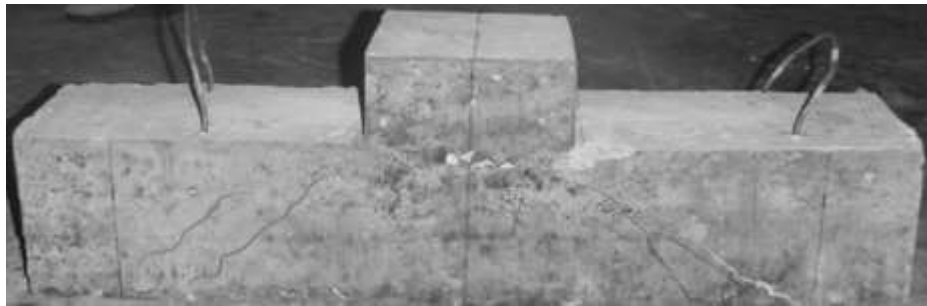
4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบคานตัวอย่าง A พบว่า คานสามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด $P_{max} = 245,000$ นิวตัน หรือ 24,975 กก. ที่ระยะแอนตัวกึ่งกลางคาน 3.95 มม. คาน A วิบัติแบบเฉือนอัดโดยคอนกรีตส่วนบนของคานเกิดการแตกร้าวมากและบางส่วนหลุดออกแสดงว่าคอนกรีตไม่สามารถรับแรงอัดได้จึงถูกอัดจนแตก เมื่อ น้ำหนักกด P น้อยกว่า 163,000 นิวตัน หรือ 16,616 กก. จะไม่สามารถมองเห็นรอยแตกร้าวได้ด้วยตาเปล่า

เมื่อน้ำหนักกด P อยู่ระหว่าง 163,000 นิวตัน หรือ 16,616 กก. และ 221,000 นิวตัน หรือ 22,528 กก. สามารถมองเห็นรอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดเล็กเกิดบริเวณช่วงกลางคานทั้งสองด้าน และเมื่อน้ำหนักกด P มากกว่า 221,000 นิวตัน หรือ 22,528 กก. สามารถมองเห็นรอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดใหญ่เกิดขึ้นและขยายตัวเป็นแนวยาวจากด้านล่างสู่ด้านบนกระทั่งคานวิบัติ ทั้งนี้คาน A เกิดการวิบัติจากรอยแตกร้าวแนวทแยงโดยไม่เกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดบริเวณใต้ท้องคาน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคาน A และการวิบัติของคาน A ภายใต้แรงเฉือนแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



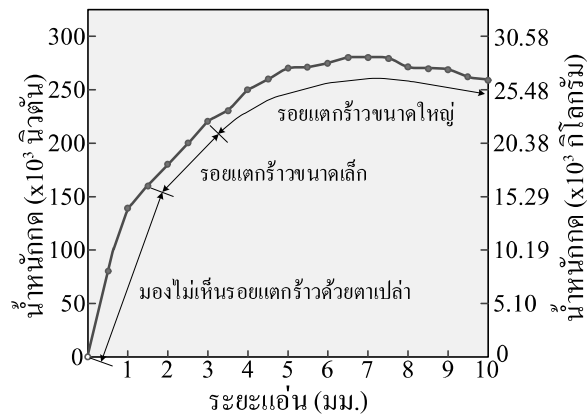
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคาน A



ภาพที่ 4 การวิบัติของคาน A ภายใต้แรงเฉือน

ผลการทดสอบคานตัวอย่าง B พบว่า คานสามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด $P_{max} = 280,000$ นิวตัน หรือ 28,542 กก. ที่ระยะแอนตัวกึ่งกลางคาน 7.0 มม. คาน B วิบัติแบบเฉือนอัดโดยคอนกรีตส่วนบนของคานเกิดการแตกร้าวมากและบางส่วนหลุดออก เมื่อน้ำหนักกด P น้อยกว่า 165,000 นิวตัน หรือ 16,820 กก. จะไม่สามารถมองเห็นรอยแตกร้าวได้ด้วยตาเปล่า เมื่อน้ำหนักกด P อยู่ระหว่าง 165,000 นิวตัน หรือ 16,820 กก. และ 224,000 นิวตัน หรือ 22,834 กก. สามารถมองเห็นรอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดเล็กเกิดบริเวณช่วงกลางคานทั้งสองด้าน เมื่อน้ำหนักกด P มากกว่า 224,000 นิวตัน หรือ 22,834 กก. เกิดรอยแตกร้าวแนวทแยง

ขนาดใหญ่ขึ้นและขยายตัวเป็นแนวยาว เมื่อน้ำหนักกด P มากกว่า 250,000 นิวตัน หรือ 25,484 กก. รอยแตกกว้างใต้ท้องคานเนื่องจากโมเมนต์ดัดเห็นเด่นชัดขึ้นซึ่งรอยแตกกว้างนี้จะเกิดขึ้นเมื่อคานเสียรูปไปมาก ทั้งนี้ คาน B วิกฤติที่เกิดจากรอยแตกกว้างแนวทแยงขนาดใหญ่จนคอนกรีตบริเวณผิวหน้าบางส่วนเกิดหลุดออกจากคานเพียงด้านเดียว สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคาน B และลักษณะการวิกฤติของคาน B ภายใต้แรงเฉือนแสดงในภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



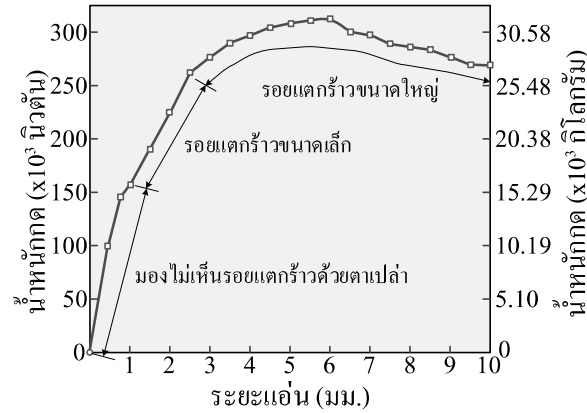
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคาน B



ภาพที่ 6 การวิกฤติของคาน B ภายใต้แรงเฉือน

ผลการทดสอบคานตัวอย่าง C พบว่า คานสามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด $P_{max} = 315,000$ นิวตัน หรือ 32,110 กก. ที่ระยะแอนตัวกึ่งกลางคาน 6.0 มม. คาน C วิกฤติแบบเฉือนแนวทแยงโดยคอนกรีตส่วนบนของคานไม่ถูกอัดจนแตกแสดงว่าคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้ เมื่อน้ำหนักกด P น้อยกว่า 159,000 นิวตัน หรือ 16,208 กก. จะไม่สามารถมองเห็นรอยแตกกว้างได้ด้วยตาเปล่า เมื่อน้ำหนักกด P อยู่ระหว่าง 163,000 นิวตัน หรือ 16,616 กก. และ 262,000 นิวตัน หรือ 26,707 กก. สามารถมองเห็นรอยแตกกว้างแนวทแยงขนาดเล็กเกิดบริเวณช่วงกลางคาน เมื่อน้ำหนักกด P มากกว่า 262,000 นิวตัน หรือ 26,707 กก. สามารถมองเห็นรอยแตกกว้างแนวทแยงขนาดใหญ่ขยายตัวเป็นแนวยาว เมื่อน้ำหนักกด P มากกว่า 270,000 นิวตัน หรือ 27,523

กก. รอยแตกร้าวใต้ท้องคานเนื่องจากโมเมนต์ดัดเห็นเด่นชัดขึ้น ทั้งนี้คาน C วิบัติจากรอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดใหญ่เพียงด้านเดียว สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคาน C และการวิบัติของคาน C ภายใต้แรงเฉือนแสดงในภาพที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

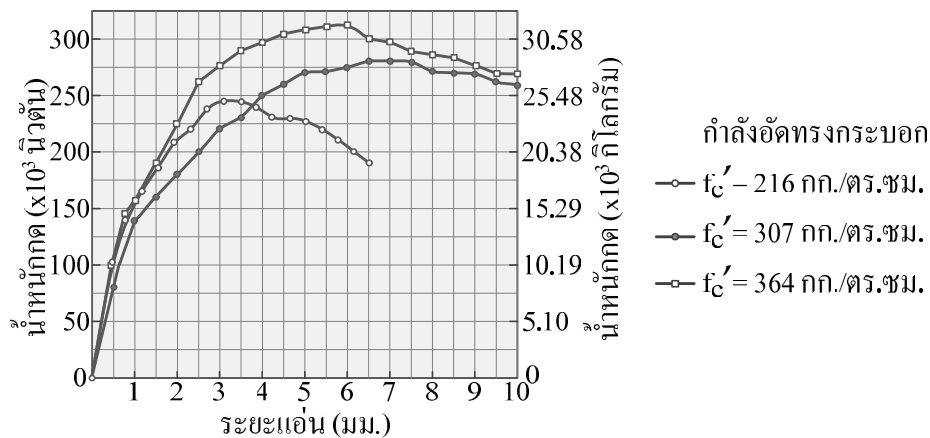


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคาน C



ภาพที่ 8 การวิบัติของคาน C ภายใต้แรงเฉือน

เมื่อเปรียบเทียบการรอยแตกร้าวและความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคานตัวอย่างทั้ง 3 พบว่า รอยแตกร้าวแนวทแยงขนาดเล็กเนื่องจากแรงเฉือนของคานตัวอย่างทั้ง 3 จะเริ่มมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อน้ำหนักกด P เฉลี่ยประมาณร้อยละ 59 ของน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} หรือ $P = 0.59P_{max}$ และรอยแตกร้าวแนวทแยงที่สามารถเห็นชัดเจนด้วยตาเปล่าเมื่อน้ำหนักกด P เฉลี่ยประมาณร้อยละ 84 ของน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} หรือ $P = 0.84P_{max}$ นอกจากนี้ยังพบอีกว่าถ้าคอนกรีตมีกำลังอัด f'_c ต่ำจะทำให้คานเกิดการวิบัติอย่างรวดเร็วหลังจากที่คอนกรีตบริเวณด้านบนของคานจะถูกกดอัดจนแตก ส่วนคานที่ทำจากคอนกรีตกำลังสูงจะสามารถต้านทานแรงเฉือนได้ดีขึ้น สำหรับภาพการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนของคานตัวอย่างทั้ง 3 แสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบผลการทดสอบคาน A คาน B และคาน C

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการรุกรานของน้ำในคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือนในกรณีที่มีกำลังอัดคอนกรีตแตกต่างกันสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 คานตัวอย่าง A ซึ่งสร้างขึ้นจากคอนกรีตกำลังอัดต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับคาน B และคาน C พบว่า คานเกิดการวิบัติอย่างรวดเร็วหลังจากที่คอนกรีตบริเวณด้านบนของคานถูกกดอัดจนแตก โดยคานจะเกิดรอยแตกกว้างแนวทแยงขนาดใหญ่ก่อนการวิบัติ

5.2 คานตัวอย่าง B ซึ่งสร้างจากคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่าคานตัวอย่าง A พบว่า คาน B สามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} ได้มากกว่าคาน A ประมาณร้อยละ 14.29 และมีระยะแอนตัวกึ่งกลางคานมากกว่าคาน A ด้วยเช่นกัน อนึ่งคาน B วิบัติแบบเฉือนอัดโดยคอนกรีตส่วนบนของคานเกิดการแตกร้าวมากและบางส่วนหลุดออก

5.3 คานตัวอย่าง C ซึ่งสร้างจากคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่าคานตัวอย่าง A และ B พบว่า คาน C สามารถรับน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} ได้มากกว่าคาน A ประมาณร้อยละ 28.57 และมีระยะแอนตัวกึ่งกลางคานมากกว่าคาน A ด้วยเช่นกัน อนึ่งคาน B วิบัติแบบเฉือนแนวทแยงโดยคอนกรีตส่วนบนของคานไม่ถูกอัดจนแตกแสดงว่าคอนกรีตสามารถรับแรงอัดได้

5.4 เมื่อเปรียบเทียบการรุกรานและความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดและระยะแอนพบว่า รอยแตกกว้างขนาดเล็กของคานทั้ง 3 สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าเมื่อน้ำหนักกด P มากกว่าร้อยละ 59 ของน้ำหนักกดสูงสุด P_{max} และรอยแตกกว้างที่สามารถเห็นชัดเจนด้วยตาเปล่าเมื่อน้ำหนักกด P มากกว่าร้อยละ 84 ของน้ำหนักกดสูงสุด P_{max}

6. ข้อเสนอแนะ

- 6.1 ควรทำการศึกษาคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือนกรณีที่ใช้ระยะเรียงเหล็กปลอกแตกต่างกัน
- 6.2 ควรทำการศึกษาคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงเฉือนกรณีที่มีระยะช่วงคานยาวมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรรณ คำสือ และสิทธิชัย แสงอาทิตย์. (2548). พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปแบบอัดแรงบางส่วนภายใต้แรงกระทำตามขวาง. ชลบุรี : การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 10. STR58-63.
- [2] ชยานนท์ ทรราชวิทยุ. (2546). การศึกษาการแอ่นตัวเนื่องจากแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยกระบวนการวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์. รายงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] ธนชิต ตียากม และนัฐพล ศรีนวล. (2554). พฤติกรรมตัวรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กผสมรูปตัวที่กับแผ่นพื้นสำเร็จรูปแบบเรียบ. รายงานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] บุญชัย ผึ้งไผ่งาม. (2544). การแอ่นตัวมากของคานที่มีความยาวส่วนโค้งแปรเปลี่ยนได้ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบเอียงที่เปลี่ยนแปลงทิศทางตามการเสีรูปของคาน. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [5] ภาคิน ลอยเจริญ และเกรียงศักดิ์ แก้วกุลชัย. (2552). พฤติกรรมรอยต่อแบบเปียกของคานคอนกรีตเสริมเหล็กสำเร็จรูปภายใต้การดัด. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [6] สุรัช จริตควร. (2551). กำลังเฉือนของคานคอนกรีตคุณภาพสูงรูปที่. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] สุชัย แซ่ฉิ้น, ฉันทดา พรรณเชษฐ์ และเมธี บุญพิเชฐวงศ์. (2554). กลไกการต้านทานแรงเฉือนในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมเหล็กปลอกแบบโครงข้อหมุน. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- [8] Amorn Pimanmas. (2007). Behavior and Failure Mode of Reinforced Concrete Members Damaged by Pre-Cracking. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29(4) : pp. 1039-1048.
- [9] Martin-Perez B. and Pantazopoulou S.J. (2001). Effect of Bond, Aggregate Interlock and Dowel Action on the Shear Strength Degradation of Reinforced Concrete. Engineering Structures. 23 : pp. 214-227.
- [10] เรืองเดช ไทยเรือง. (2559). การศึกษารอยแตกร้าวของคอนกรีตโครงสร้างสะพานน้ำขนาดใหญ่ด้วยวิธีฟินิจ. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [11] กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2551). มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย มยผ. 1501-51 ถึง มยผ. 1507-51. กรุงเทพฯ. กรมโยธาธิการและผังเมือง.