บทที่ 2

การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ

การวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของกำลังอัดของคอนกรีต (f'_c) และอิทธิพลของอัตราส่วนการเสริมเหล็กปลอก (Web Reinforcement Ratio, r) ที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก

2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบเป็นคานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 15x30 เซนติเมตร ยาวทั้งหมด 230 เซนติเมตร ช่วงคานยาว 210 เซนติเมตร มีความลึกประสิทธิผล (d) เท่ากับ 23 เซนติเมตร ในการหาค่าปริมาณการเสริมเหล็กตามยาว และเพื่อให้คานทดสอบชุดที่ไม่เสริมเหล็กปลอกวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน จึงเสริมด้วยเหล็กเส้นในแนวยาวขนาด 25 มิลลิเมตร จำนวน 4 เส้น ดังรูปที่ 2.1 ทำให้ปริมาณเหล็กเสริมตามยาว (ρ) มีค่าคงที่เท่ากับ 5.69% ตัวอย่างทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ

ชุดแรกไม่มีเหล็กปลอกจำนวน 4 คาน

ชุดที่สองเป็นชุดที่เสริมเหล็กปลอก โดยใช้เหล็กปลอกขนาด 6 มิลลิเมตร มีระยะเรียงเท่ากับ 5.75 (d/4), 11.50 (d/2), 17.25 (3d/4) และ 23.00 (d) เซนติเมตร ตามลำดับ

รายละเอียดการเสริมเหล็กแสดงในตารางที่ 2.1 ในงานวิจัยนี้จึงมีคานตัวอย่างทดสอบทั้งสิ้น 8 คาน

2.2 วัสดุ

2.2.1 เหล็กเสริม

ก. เหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึง เหล็กเสริมตามยาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กข้ออ้อยผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 24-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม SD-40 ซึ่งกำหนดให้กำลังคลากมีค่าไม่น้อยกว่า 4,000 กก/ซม^2 กำลังรับแรงดึงประลัยมีค่าไม่น้อยกว่า 5,700 กก/ซม^2 และค่ายืดตัวในช่วง 20 เซนติเมตรไม่น้อยกว่า 18 % เหล็กเสริมตามยาวรับแรง

ดึงเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80[51] โดยสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยมีกำลังคลาก 4,205.8 กก/ซม^2 กำลังรับแรงดึงประลัย 6,040.3 กก/ซม^2. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 1.98×10^6 กก/ซม^2. และค่าการยืดตัวในระยะ 20 เซนติเมตร 18.25 % กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดแสดงในรูปที่ 2.2

ข. <u>เหล็กปลอก</u> เหล็กปลอกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเหล็กเส้นกลมผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 20-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม SR-24 ซึ่งกำหนดให้กำลังคลากมีค่าไม่น้อยกว่า 2,400 กก/ซม^2. กำลังรับแรงดึงประลัยมีค่าไม่น้อยกว่า 3,900 กก/ซม^2. และค่ายืดตัวในช่วง 20 เซนติเมตรไม่น้อยกว่า 21 % เหล็กปลอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยมีกำลังคลาก 2,821.2 กก/ซม^2. กำลังรับแรงดึงประลัย 4,458.3 กก/ซม^2. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 2.00×10^6 กก/ซม^2. และค่าการยืดตัวในระยะ 20 เซนติเมตร 22.50 % กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

ค. <u>เหล็กเสริมตามยาวรับแรงอัด</u> เหล็กเสริมตามยาวรับแรงอัดที่ใช้ในงานวิจัยนี้จุดประสงค์เป็นเพียงเพื่อการจัดเหล็กปลอกให้อยู่กับที่ในขบวนการเตรียมตัวอย่าง เป็นเหล็กเส้นกลมผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 20-2527 กระทรวงอุตสาหกรรม SR-24 ซึ่งกำหนดให้กำลังคลากมีค่าไม่น้อยกว่า 2,400 กก/ซม^2. กำลังรับแรงดึงประลัยมีค่าไม่น้อยกว่า 3,900 กก/ซม^2. และค่ายืดตัวในช่วง 20 เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า 21 % เหล็กเสริมตามยาวรับแรงอัดเป็นเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ทำการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM A370-80 โดยสุ่มตัวอย่างมาทดสอบ 3 เส้น ผลการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 โดยมีกำลังคลาก 3,656.5 กก/ซม^2. กำลังรับแรงดึงประลัย 5,363.0 กก/ซม^2. ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น 2.05×10^6 กก/ซม^2. และค่าการยืดตัวในระยะ 20 เซนติเมตร 21.5 % กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและความเครียดแสดงในรูปที่ 2.2

2.2.2 คอนกรีตกำลังสูงมาก

คอนกรีตกำลังสูงมากต่างจากคอนกรีตในงานก่อสร้างโดยทั่ว ๆ ไป เพราะจำเป็นต้องลดสัดส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ให้น้อยลง ซึ่งจะทำให้คอนกรีตแห้งสามารถทำงานได้ยาก ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณการไหลลื่นของคอนกรีต จึงใส่สารผสมเพิ่มเข้าไปช่วยให้สามารถเทเข้าแบบได้และสามารถควบคุมคุณภาพให้สม่ำเสมอได้ หินและทรายควรทำความสะอาดให้ปราศจากสิ่งเจือปนและพยายามควบคุมสัดส่วนผสมตลอดจนขั้นตอนการผสมให้ถูกต้องแม่นยำ

ก. หิน

หินที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหินปูนจากโรงโม่จังหวัดราชบุรีนำมาร่อนคัดเลือกเฉพาะส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 1/2 นิ้วเท่านั้น จากนั้นทำการแยกด้วยตะแกรงร่อนวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C136-80 [51] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 พบว่าปริมาณคละเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C33-80 [51] และมีค่าโมดูลัสความละเอียด 6.45

ข. ทราย

ทรายที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เมื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณคละและโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C136-80 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 พบว่าปริมาณคละเป็นไปตามข้อกำหนดของ ASTM C33-80 และมีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.5

ค. ซีเมนต์

ซีเมนต์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ชนิดที่ 3 ตราช้างเอราวัณ อันเป็นซีเมนต์ชนิดแข็งตัวเร็วและให้กำลังสูงเมื่ออายุยังน้อยซึ่งซีเมนต์ชนิดนี้ผลิตตามมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 15-2514/2517 กระทรวงอุตสาหกรรม

011967

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง. สารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่มเป็นสิ่งที่ใส่เพิ่มเข้าไปในคอนกรีต เป็น Super-plasticizer ประเภท Water Reducing , High Range and Retarding Admixtures แบบ G ตามมาตรฐาน ASTM C494-80[51] โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความไหลลื่นและให้ความสะดวกในการเท รวมทั้งทำให้สามารถลดจำนวนน้ำที่ใช้ในการเทคอนกรีตได้ สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นของเหลวสีน้ำตาลใส ซึ่งเป็นสารสังเคราะห์มาจากน้ำตาล โดยมีสารหลักคือ เกลือโซเดียมของ Unsaturated Carboxylic Acid กับ Hydroxy Alkyl Ester ของCarboxylic Acid จำนวนสารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้ไม่ได้เป็นไปตามคำแนะนำของผู้ผลิต แต่จะได้จากการทดลองผสมจนได้จำนวนที่เหมาะสมและได้กำลังคอนกรีตสูงตามต้องการ

จ. สัดส่วนการผสมคอนกรีตกำลังสูงมาก

ในงานวิจัยนี้ สัดส่วนการผสมได้จากการทดลองผสมโดยใช้แนวทางการผสมตามนายมานิต ศิวกุล[32] โดยใช้อัตราส่วนทรายต่อมวลรวมทั้งหมดโดยน้ำหนัก 38 % แล้วทำการแปรผันปริมาณซีเมนต์ โดยเริ่มจากใช้ซีเมนต์ 70 % ของน้ำหนักทราย แล้วค่อย ๆ เพิ่มปริมาณซีเมนต์ไปครั้งละ 5 % จนถึง 90 % โดยคงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ไว้ 0.3

จากการทดสอบพบว่า ปริมาณซีเมนต์ 75 % โดยน้ำหนักทรายจะให้ค่ากำลังอัดสูงสุดและเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์กำลังอัดยิ่งลดลง จึงเลือกใช้ปริมาณซีเมนต์ที่ 75 % ของน้ำหนักทราย ดังนั้นสัดส่วนซีเมนต์:ทราย:หิน จึงเป็น 1:1.333:2.175 จากนั้นจึงแปรผันปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ โดยใช้ค่า 0.3, 0.28 และ 0.27 โดยรักษาอัตราส่วนสารเคมีผสมเพิ่มในการเพิ่มความไหลลื่นของคอนกรีต 0.6 % โดยน้ำหนักซีเมนต์ จากการทดสอบปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.27 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด จากนั้นทำการแปรผันปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม โดยแปรจาก 0.6, 1.0, 1.1 และ 1.2 % เพื่อให้ได้ความไหลลื่นที่เหมาะสมและได้กำลังอัดตามต้องการ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้ปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม 1.0 % โดยน้ำหนักซีเมนต์ จะให้ค่ากำลังอัดสูงสุดและมีความไหลลื่นสามารถเทลงแบบได้เหมาะสม ผลการทดสอบทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 2.3 และอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตกำลังสูงมากขนาด 700 กก/ซม^2. สรุปไว้ในตารางที่ 2.4

2.2.3 แบบหล่อตัวอย่างทดสอบ

แบบหล่อตัวอย่างรูปทรงกระบอกในการหาค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึง เป็นแบบเหล็กทรงกระบอกผ่าครึ่ง ยึดติดแน่นกับฐานรองเหล็ก

แบบหล่อตัวอย่างคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นแบบหล่อไม้หนา 3/4 นิ้ว ทำการยึดโครงด้วยไม้ขนาด 1 1/4" x 3" โดยยึดทุกระยะ 45 เซนติเมตร ทั้งหมด 5 ช่วง เพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวและบิดงอในขณะที่เทและจี้คอนกรีตด้วยเครื่องเขย่าของแบบหล่อ แบบหล่อสามารถเปิดออกทางด้านข้างได้ทั้ง 2 ด้าน โดยคลายน็อตที่ฐานยึดโครงให้หลวม แบบหล่อจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.5

2.3 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การเตรียมเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงเริ่มโดยตัดเหล็กออกเป็นท่อนตามความยาวที่ต้องการ ตัดให้เป็นรูปตัวยูแล้วจึงติดเกจวัดความเครียดชนิดไฟฟ้า ที่บริเวณกึ่งกลางความยาวของเหล็ก เริ่มด้วยการขัดบริเวณที่จะติดเกจให้เรียบปราศจากรอยขรุขระและสนิม จากนั้นทำความสะอาดบริเวณดังกล่าวให้ปราศจากคราบน้ำมัน ความสกปรก รวมทั้งประจุไฟฟ้าด้วยน้ำยาเฉพาะ กาวที่ใช้เป็นแบบแห้งเร็วมาก เกจที่ใช้เป็นชนิดไฟฟ้าที่มีทับหลังเป็นแผ่น Polyimide Film ความต้านทาน 120 โอห์ม เกจแฟคเตอร์ (G.F.) = 2.04 โดยจะติดเฉพาะที่เหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงเส้นบนเพียงเส้นเดียว หลังจากติดเกจเรียบร้อยแล้วจึงทำการต่อสายไฟฟ้าโยงออกมาให้ปลายอยู่นอกไม้แบบ เกจที่ใช้ติดจะทำการหุ้มด้วยสารกันความชื้นเพื่อป้องกันความเสียหายระหว่างการหล่อและการบ่มคอนกรีต

การเตรียมเหล็กปลอกรับแรงเฉือนนั้นหลังจากนำเหล็กปลอกไปดัดให้ได้ตามขนาดรูปร่างที่ต้องการแล้ว จึงนำไปติดเกจชนิดไฟฟ้าโดยวิธีเดียวกับเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึง ที่บริเวณกึ่งกลางความสูงของเหล็กปลอก ตำแหน่งที่ติดแสดงไว้ในรูปที่ 2.6

การหล่อตัวอย่างทดสอบทำโดยนำโครงเหล็กที่ทำการผูกเรียบร้อยแล้วมาเข้าแบบก่อนการหล่อคอนกรีต ในการหล่อครั้งหนึ่งจะทำการหล่อคาน 1 ตัว คอนกรีตแท่งทรงกระบอก 6 แท่ง ใช้คอนกรีตประมาณ 0.135 $ม^3$. ผสมด้วยโม่ซึ่งหมุนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดความจุ 0.167 $ม^3$. ในการหล่อแต่ละครั้งจะผสมเพียงครั้งเดียวเพื่อให้เนื้อคอนกรีตมีความสม่ำเสมอ

โดยทำการผสมแห้งวัสดุมวลรวมให้เข้ากันดีเสียก่อน จากนั้นเติมน้ำลงไป 2 ใน 3 ของปริมาณที่ใช้ คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วจึงเติมน้ำส่วนที่เหลือซึ่งผสมสารเคมีผสมเพิ่มลงไป คลุกเคล้าให้เนื้อคอนกรีตเข้ากันอย่างสม่ำเสมอ จึงถ่ายใส่กะบะแล้วจึงตักลงแบบ โดยจะตักใส่ในแบบหล่อคานและแบบหล่อแท่งคอนกรีตไปพร้อม ๆ กัน ทำการจี้คอนกรีตทั้งในและนอกแบบเพื่อให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น

การบ่มคอนกรีตจะทำหลังจากหล่อตัวอย่างทดสอบเสร็จเรียบร้อยโดยการคลุมผิวหน้าของตัวอย่างและแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกด้วยกระสอบเปียกและทิ้งไว้ 1 คืน แล้วจึงถอดแบบ จากนั้นตัวอย่างชุด BO-5, BO-7, BO-28 และ BO-56 จะแช่อยู่ในน้ำเป็นเวลา 5, 7, 28 และ 56 วันตามลำดับ จึงนำขึ้นมาบ่มในอากาศจนกระทั่งทดสอบ ส่วนตัวอย่างชุด BW-D, BW-3D4, BW-D2 และ BW-D4 จะบ่มเหมือนตัวอย่างชุด BO-56

2.4 การเตรียมเพื่อการทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบหลังจากเอาตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้ว จะทาสีขาวที่ผิวเพื่อช่วยให้เห็นรอยแตกร้าวได้ชัดเจน พร้อมทั้งตีตารางเพื่อให้ง่ายในการวาดรอยแตกร้าวโดยทำการแบ่งออกเป็นช่องละ 10x10 ซม. จากนั้นจะทำการติดเกจชนิดไฟฟ้าที่กึ่งกลางคานด้านบนด้วยวิธีการเดียวกับการติดในเหล็กเสริม แต่ช่องว่างโพรงอากาศที่ผิวต้องทำให้เรียบด้วยการอัดกาว Epoxy เข้าไปเติมให้เต็มเสียก่อน โดยเกจที่ใช้เป็นชนิดที่ทับหลังเป็นกระดาษ ความต้านทาน 120 โอห์ม เกจแฟคเตอร์ (G.F) = 2.02 และยังทำการติดตั้งเกจชนิดเชิงกล (Mechanical Strain Gage) ที่ผิวของตัวอย่างคานในช่วงแรงเฉือน (Shear Span) และที่ตำแหน่งเหล็กเสริมตามยาวเส้นล่าง โดยมีค่า Gage Length 20 ซม. ตำแหน่งการติดเกจแสดงไว้ในรูปที่ 2.7

ลักษณะของน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ทดสอบเป็นแบบ Third Point Loading โดยส่งผ่านแรงจากเครื่องกดน้ำหนักไฮโดรลิกซ์ Amsler ขนาด MAX. 500 ตันผ่านคานเหล็กค่ำน้ำหนักที่กระทำจะอ่านจาก Load Cell เพื่อความละเอียดในการอ่านค่าน้ำหนัก โดยมีความละเอียด 0.05 % ของกำลังรับน้ำหนักสูงสุด Dial Gage ที่ใช้ในการอ่านค่าระยะโก่ง มี

ความละเอียด 0.01 มม. ติดตั้งที่กึ่งกลางคาน 2 ตัวและที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้งสองข้างจุดละ 1 ตัว ชุดเครื่องมือทดสอบแสดงรูปที่ 2.8 และ 2.9

ภายหลังจากการติดตั้งเครื่องมือทดสอบดังกล่าวข้างต้นเรียบร้อยก็จะทำการต่อสายไฟที่ติดกับเกจชนิดไฟฟ้าเข้ากับเครื่องอ่านค่าความเครียด (Strain Indicator) โดยต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับ Dummy Gage แบบ Half Bridge เพื่อขจัดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

2.5 ขั้นตอนการทดสอบ

ภายหลังจากการติดตั้งชุดเครื่องมือทดสอบเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 2.9 พร้อมกับต่อวงจรในการอ่านค่าความเครียดกับเครื่องอ่านค่าความเครียดเรียบร้อยดังรูปที่ 2.10 แล้วก็จะเริ่มใส่น้ำหนักบรรทุกเข้าไป โดยอ่านจาก Load Cell โดยน้ำหนักบรรทุกจะเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งตันและหยุดเพื่อบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ที่น้ำหนักขณะนั้นกระทำ เพิ่มขนาดน้ำหนักจนกระทั่งคานคอนกรีตเสริมเหล็กถึงจุดวิบัติ ข้อมูลที่ทำการบันทึกระหว่างการทดสอบคือ ระยะการโก่งของคาน ความเครียดของคอนกรีตที่ผิวคอนกรีตรับแรงอัดและในช่วงแรงเฉือน ความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงและเหล็กปลอก รวมทั้งบันทึกลักษณะของรอยแตกร้าวที่ผิวคอนกรีตรวมเวลาทั้งสิ้นในการทดสอบประมาณ 1-2 ชม.

ในการวิจัยนี้ น้ำหนัก ณ จุดแตกร้าวแนวทแยง (Diagonal Cracking) คือน้ำหนักขณะที่รอยแตกร้าวแนวทแยงวิกฤติ (Critical Diagonal Crack) เริ่มเบนทำมุม 45^{0} กับแกนราบของคานและร้าวผ่านกึ่งกลางความลึกของหน้าตัดคาน

2.6 ผลการทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบคานตัวอย่าง ค่ากำลังอัดประลัย ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นและค่ากำลังดึงแยกตัวของแท่งคอนกรีตควบคู่กับตัวอย่างทดสอบได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C39-72 , C469-65 และ C496-71[51] ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและความเครียดของแท่งทรงกระบอกควบคุมจะแสดงในรูปที่ 2.11 และ 2.12 โดยรายละเอียดของคานตัวอย่างสรุปรวมไว้ในตารางที่ 2.6

2.6.1 คานชุดที่ไม่เสริมเหล็กปลอก

คาน BO-5 เมื่อเพิ่มน้ำหนักกระทำต่อคาน รอยแตกร้าวเนื่องจากแรงดัดที่เห็นด้วยตาเปล่าจะเกิดขึ้นในช่วงแรงดัด (Flexural Span) ที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 5 ตัน จากนั้น คอนกรีตบริเวณผิวล่างรับแรงดึงจะเกิดรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงดัดเพิ่มจำนวนมากขึ้น และจะกระจายเข้าสู่ช่วงแรงเฉือน (Shear Span) และขยายความยาวของรอยแตกร้าวไปในทิศทางที่มุ่งสู่กึ่งกลางความลึกคาน ต่อจากนั้นรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงดัดจะเริ่มเบี่ยงเบนจากแนวดิ่งทำมุมกับแกนราบของคาน โดยมีทิศทางพุ่งเข้าสู่จุดที่น้ำหนักกระทำ และเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 19 ตัน รอยแตกร้าวในแนวทแยงก็ผ่านกึ่งกลางความลึกคาน โดยปลายของรอยแตกร้าวจะอยู่ที่ระยะ 1 ใน 3 ความลึกคานจากผิวบนกับแนวเหล็กเสริมตามยาว และน้ำหนักจะตกลงเล็กน้อย ต่อมาเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกกระทำเข้าไปอีกรอยแตกร้าวแนวทแยงจะชัดเจนขึ้นพร้อมกับขยายความยาวออกไปตามแนวเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงมากขึ้น คานถึงจุดวิบัติที่น้ำหนักประลัย 20.73 ตัน

จากความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวในรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่าระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าใกล้เคียงกัน ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวที่จุดกึ่งกลางคานจะเป็นแบบเส้นตรง จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประมาณ 4 ตัน กราฟจะเบี่ยงเบนออกไปจากแนวเดิมโดยจะทำมุมกับแกนราบน้อยลง แต่ยังคงเป็นเส้นตรงจนกระทั่งก่อนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 18 ตัน ระยะการโก่งตัว 0.43 ซม. และจากนั้นจะเบี่ยงเบนไปมาก โดยที่น้ำหนักเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ความเครียดที่ผิวบนของคอนกรีตกึ่งกลางคานมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงกับน้ำหนักที่สอดคล้องกับความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและระยะการโก่งตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ความเครียดอัดก่อนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานจะมีค่าเท่ากับ 0.00085 ส่วนความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึงที่กึ่งกลางคานจะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อยระหว่างเหล็กเสริมชั้นบนและชั้นล่าง ในขณะที่ก่อนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความเครียดของเหล็กเสริมมีค่า 0.00110 และ 0.00140 สำหรับเหล็กเสริมชั้นบนและชั้นล่าง ตามลำดับ

ความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือนนั้น ตอนช่วงน้ำหนักน้อย ๆ จะไม่แสดงให้เห็นรูปร่างที่แน่ชัด แต่เมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ความเครียดที่ผิวคอนกรีตในแนวดิ่งจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ขณะที่เกิดรอยแตกร้าวในแนวทแยงด้วยกำลังดึงแยกตัวสอดคล้องกับความเครียดที่ผิวในทิศทางทำมุม 45^{0} กับแกนราบ ที่ตำแหน่ง M1, M2, M3 และ M5 ที่น้ำหนัก 14.9, 16.8, 10.6 และ 17.2 ตันตามลำดับ

<u>คาน BO-7</u> จากการทดสอบคาน BO-7 จะพบว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักที่กระทำต่อคาน รอยแตกร้าวเนื่องจากแรงดัดที่เห็นได้ด้วยตาเปล่าจะเกิดขึ้นที่น้ำหนักประมาณ 3 ตัน และรอยแตกร้าวแนวทแยงจะผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 18.78 ตัน โดยปลายของรอยแตกร้าวจะอยู่ใต้จุดที่น้ำหนักกระทำและที่ระดับแนวเหล็กเสริมตามยาว และคานจะวิบัติเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 22.76 ตันโดยคอนกรีตบริเวณจุดที่น้ำหนักกระทำเกิดการกระเทาะกระเด็นออกมา ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวได้แสดงในรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าใกล้เคียงกัน ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคานจะเบี่ยงเบนจากแนวเส้นตรงเดิมเมื่อน้ำหนักประมาณ 5 ตัน แต่ยังเป็นเส้นตรงจนก่อนเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 18 ตัน ระยะการโก่งตัว 0.42 ซม.

ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดที่ผิวคอนกรีตบริเวณกึ่งกลางคานและความเครียดที่เหล็กเสริมตามยาว ได้แสดงในรูปที่ 2.19 โดยความสัมพันธ์ของความเครียดที่ผิวคอนกรีตบริเวณกึ่งกลางคานจะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักประมาณ 5 ตัน กราฟจะเบี่ยงเบนออกโดยยังมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงจนกระทั่งก่อนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคาน เมื่อความเครียดที่ผิวรับแรงอัดมีค่า 0.00103 ความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวบริเวณกึ่งกลางคานจะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับน้ำหนักบรรทุกและมีลักษณะเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน ก่อนคานเกิดรอยแตกร้าวในแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกมีความเครียด 0.00106 และ 0.00150 สำหรับเหล็กเสริมชั้นบนและชั้นล่างตามลำดับ

ความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือน เมื่อน้ำหนักบรรทุกยังน้อยความเครียดจะแปรปรวนไม่แน่นอนจนเมื่อน้ำหนักเพิ่มขึ้นการเปลี่ยนแปลงความเครียดในช่วงแรงเฉือนนั้นจะปรากฏชัดเจนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.20 โดยน้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับความเครียด

ที่ผิวคอนกรีตขณะที่ถึงกำลังดึงแยกตัวในแนวทแยง 45^0 ที่ตำแหน่ง M2, M3, M4, M5 และ M6 จะมีค่า 18.0, 14.0, 14.8, 15.0 และ 17.0 ตันตามลำดับ

คาน BO-28 เมื่อน้ำหนักประมาณ 6 ตัน รอยแตกร้าวในแนวดึงจากแรงดัดจะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า และรอยแตกร้าวแนวทแยงจะผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 22 ตัน โดยรอยแตกร้าวแนวทแยงจะยาวตลอดจากจุดที่น้ำหนักกระทำถึงระดับเหล็กเสริมตามยาว เมื่อถึงจุดวิบัติรอยแตกร้าวแนวทแยงจะปริออกมากขึ้นที่น้ำหนัก 23.16 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าใกล้เคียงกันและความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและระยะการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานจะเบี่ยงเบนจากแนวเส้นตรงเดิมเมื่อน้ำหนักประมาณ 4 ตัน และจะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักประมาณ 21 ตันก่อนเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.45 ซม.

ความเครียดที่ผิวคอนกรีตบริเวณกึ่งกลางคานและความเครียดที่เหล็กเสริมตามยาวกึ่งกลางคานจะมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับน้ำหนักบรรทุกจนถึงประมาณ 5 ตัน โดยความสัมพันธ์ของความเครียดที่ผิวรับแรงอัดที่เบี่ยงเบนไปจะยังคงเป็นเส้นตรงจนกระทั่งก่อนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางคานมีความเครียด 0.00125 ส่วนความเครียดที่เหล็กเสริมตามยาวจะเบี่ยงเบนออกไปอย่างมาก จนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางคานที่ความเครียด 0.00154 และ 0.00120 สำหรับเหล็กเสริมตามยาวเส้นบนและเส้นล่างตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.22

สำหรับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือน ณ จุดที่คอนกรีตในแนวทำมุม 45^0 กับแกนราบถึงกำลังดึงแยกตัวสอดคล้องกับน้ำหนัก 21 ตัน ที่ตำแหน่ง M5 ดังรูปที่ 2.23

คาน BO-56 รอยแตกร้าวในแนวดึงจากแรงดัดในช่วงแรงดัดจะสังเกตเห็นได้ที่น้ำหนักประมาณ 3 ตัน และรอยแตกร้าวแนวทแยงจะผ่านกึ่งกลางความลึกคาน มีปลายรอยแตกร้าวอยู่ที่ระดับเหล็กเสริมตามยาวและใต้จุดที่น้ำหนักกระทำที่น้ำหนัก 22 ตัน คานจะถึงจุดวิบัติเมื่อคอนกรีตบริเวณใต้จุดที่น้ำหนักกระทำแตกกระเด็นออกมาที่น้ำหนัก 25.72 ตัน จากรูปที่ 2.24 จะเห็นได้ว่าระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าใกล้

เคียงกัน ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและระยะการโก่งตัวที่กึ่งกลางคานจะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักบรรทุกประมาณ 6 ตัน แล้วจึงเริ่มเบี่ยงเบนออกไป แต่ยังคงมีรูปแบบเป็นเส้นตรงอยู่จนเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.44 ซม.

จากรูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของผิวคอนกรีตกึ่งกลางคานจะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักประมาณ 4 ตัน กราฟจะเบี่ยงเบนออกและยังคงมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงเส้นตรงจนกระทั่งรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่ความเครียด 0.00116 และความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวจะเบี่ยงเบนไปอย่างมากภายหลังความสัมพันธ์แบบเป็นเส้นตรง จนกระทั่งคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่ความเครียด 0.00132 และ 0.00158 ของเหล็กเสริมตามยาวเส้นบนและเส้นล่างตามลำดับ

จากรูปที่ 2.26 น้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับความเครียดที่ผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือน ณ จุดกำลังดึงแยกตัวในแนวทำมุม 45^{0} กับแกนราบที่ตำแหน่ง M2, M5 และ M6 เท่ากับ 18.9, 14.4 และ 17.4 ตัน ตามลำดับ

2.6.2 <u>คานชุดที่เสริมเหล็กปลอก</u>

<u>คาน BW-D</u> รอยแตกร้าวในแนวดึงเนื่องจากแรงดัดจะปรากฏให้เห็นที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 5 ตันในช่วงแรงดัด รอยแตกร้าวจะขยายความยาวสู่กึ่งกลางความลึกคานและจะขยายจำนวนออกไปในช่วงแรงเฉือน จนกระทั่งรอยแตกร้าวในแนวดึงเบี่ยงเบนทำมุมกับแกนราบโดยมีทิศทางพุ่งเข้าสู่จุดที่น้ำหนักกระทำ รอยแตกร้าวแนวทแยงจะผ่านกึ่งกลางความลึกคานโดยมีปลายอยู่ใกล้จุดที่น้ำหนักกระทำถึงระดับเหล็กเสริมตามยาวที่น้ำหนัก 18 ตัน น้ำหนักจะตกลงเล็กน้อย และคานจะวิบัติเมื่อคอนกรีตบริเวณจุดที่น้ำหนักกระทำแตกร่อนออกเป็นชิ้น ๆ ที่น้ำหนัก 20.03 ตัน จากความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวในรูปที่ 2.27 จะพบว่า ระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าผิดพลาดเล็กน้อย น้ำหนัก ณ จุดที่กราฟเส้นตรงช่วงแรกเริ่มเบี่ยงเบนประมาณ 5 ตัน แต่ยังคงเป็นเส้นตรงจนก่อนรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 17 ตัน ระยะ

การโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.39 ซม. และจากนั้นจะเบี่ยงเบนออกไปอย่างมากในขณะที่น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของคอนกรีตผิวบนกึ่งกลางคานและความเครียดที่เหล็กเสริมตามยาว จะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักประมาณ 4 ตัน โดยสำหรับความเครียดของคอนกรีตผิวบนกึ่งกลางคาน กราฟจะเริ่มเบี่ยงเบนออกไป แต่ยังคงมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงเส้นตรงจนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่ความเครียด 0.00099 และความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวที่กึ่งกลางคานจะเบี่ยงเบนไปอย่างมากจนคานเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่ความเครียด 0.00131 และ 0.00152 ของเหล็กเสริมตามยาวเส้นบนและเส้นล่างตามลำดับ ดังรูปที่ 2.28

ความเครียดของผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือน ในช่วงน้ำหนักบรรทุกเริ่มต้นความเครียดจะมีลักษณะไม่แน่นอนจนภายหลังจึงจะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.29 น้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับความเครียดที่ผิวคอนกรีต ณ จุดกำลังดึงแยกตัวในแนวทำมุม 45^{0} กับแกนราบที่ตำแหน่ง M4, M5 และ M6 เท่ากับ 17.2, 17.0 และ 17.0 ตัน ตามลำดับ และความเครียดของเหล็กปลอกในช่วงน้ำหนักบรรทุกต้น ๆ ความเครียดจะแปรปรวนเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 2.30 โดยความเครียดของเหล็กปลอก S1, S2, S3 และ S4 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่น้ำหนัก 17.0, 16.5, 18.0 และ 18.0 ตัน ตามลำดับ โดยเหล็กปลอก S1 สามารถอ่านค่าความเครียดได้เลยความเครียดคลากต่อไปได้ ส่วนเหล็กปลอก S2, S3 และ S4 เกจชนิดไฟฟ้าที่ใช้เสียหายในทันทีภายหลังการเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคาน ซึ่งแสดงว่าเหล็กปลอกทั้ง 4 เส้นยืดจนเลยความเครียดคลาก

<u>คาน BW-3D4</u> รอยแตกร้าวในแนวดิ่งเนื่องจากแรงดัดจะเห็นได้ที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 6 ตัน ภายหลังรอยแตกร้าวในแนวดิ่งจะเบี่ยงเบนมีทิศทางทำมุมกับแกนราบและจะผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 23 ตัน รอยแตกร้าวแนวทแยงจะเกิดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยค่อย ๆ ขยายความยาวออกไปสู่จุดที่น้ำหนักกระทำและสู่ระดับเหล็กเสริมตามยาว จนกระทั่งคานวิบัติโดยการแตกร่อนที่จุดที่น้ำหนักกระทำที่น้ำหนักบรรทุก 34 ตัน ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวในรูปที่ 2.31 จะเห็นว่าระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุด

รองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าใกล้เคียงกัน น้ำหนักบรรทุก ณ จุดที่กราฟเส้นตรงช่วงแรกเริ่มเบี่ยงเบนประมาณ 5 ตัน และจากจุดที่เริ่มเบี่ยงเบนครั้งแรกกราฟจะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประมาณ 21 ตันที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.38 ซม. กราฟจะเบี่ยงเบนออกอีกครั้งโดยจะมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงจนกระทั่งคานถึงจุดวิบัติที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.97 ซม.

จากรูปที่ 2.32 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของคอนกรีตผิวบนกึ่งกลางคานจะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักบรรทุกประมาณ 4 ตัน กราฟจะเริ่มเบี่ยงเบนออกและยังมีความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประมาณ 20 ตันที่ความเครียด 0.00097 จากนั้นก็จะแสดงความสัมพันธ์เป็นแบบไม่เป็นเส้นตรงจนคานถึงจุดวิบัติที่ความเครียด 0.00202 และความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวที่กึ่งกลางคานจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกในช่วงต้นเป็นเส้นตรงเช่นกัน และจะเพิ่มความเครียดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนคานถึงจุดวิบัติที่ความเครียด 0.00220 ของเหล็กเสริมตามยาวเส้นบน ส่วนเส้นล่างไม่ได้ทำการวัดข้อมูลภายหลังน้ำหนัก 26 ตัน

ความเครียดของผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือน เช่นเดียวกันในช่วงน้ำหนักบรรทุกเริ่มแรกความเครียดแปรปรวน จนภายหลังจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.33 ซึ่งคาน BW-3D4 นี้ ทำการวัดข้อมูลโดยเกจชนิดกลแค่น้ำหนักบรรทุก 26 ตันเท่านั้น โดยน้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับความเครียดที่ผิวคอนกรีต ณ จุดกำลังดึงแยกตัวในแนวทำมุม 45^{0} กับแกนราบที่ตำแหน่ง M1, M2, M3, M5 และ M6 เท่ากับ 22.4, 21.2, 21.7, 24.6 และ 24.8 ตันตามลำดับ และความเครียดของเหล็กปลอกในช่วงแรงเฉือน ในช่วงแรก ๆ ของน้ำหนักบรรทุกความเครียดก็จะแปรปรวนเช่นเดียวกันจนภายหลังจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.34 โดยความเครียดของเหล็กปลอก S1, S2, S4, S5 และ S6 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่น้ำหนักบรรทุก 23.9, 23.6, 23.4, 23.1 และ 21.9 ตันตามลำดับ ส่วนเหล็กปลอก S3 ไม่แสดงจุดเปลี่ยนความเครียดที่รวดเร็วอย่างชัดเจน และความเครียดของเหล็กปลอก S1, S2, S4 และ S6 ที่จุดวิบัติความเครียดมีค่าเกินความเครียดคลาก

<u>คาน BW-D2</u> เมื่อน้ำหนักประมาณ 4 ตัน รอยแตกร้าวในแนวดิ่งเนื่องจากแรงดัดจะสามารถสังเกตเห็นได้ หลังจากนั้นรอยแตกร้าวในแนวดิ่งที่เพิ่มมากขึ้นจะเบี่ยงเบนทำ

มุมกับแกนราบและผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 23 ตัน เมื่อน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นรอยแตกร้าวแนวทแยงจะขยายทั้งจำนวนและความยาวมากขึ้น จนกระทั่งขยายถึงจุดที่น้ำหนักกระทำและระดับเหล็กเสริมตามยาว โดยคานจะวิบัติเมื่อเกิดการแตกร่อนของคอนกรีตใต้จุดที่น้ำหนักกระทำที่น้ำหนักบรรทุก 37 ตัน ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวในรูปที่ 2.35 จะเห็นว่าระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้างมีค่าใกล้เคียงกัน น้ำหนัก ณ จุดที่กราฟเส้นตรงช่วงแรกเริ่มเบี่ยงเบนโดยทำมุมกับแกนราบน้อยลงประมาณ 5 ตัน และจากจุดที่เริ่มเบี่ยงเบนครั้งแรกกราฟจะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประมาณ 23 ตัน ที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.54 ซม. จากนั้นจะเบี่ยงเบนอีกครั้ง โดยมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงจนกระทั่งคานถึงจุดวิบัติที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 1.20 ซม.

จากรูปที่ 2.36 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของคอนกรีตผิวบนกึ่งกลางคานจะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักประมาณ 3 ตัน กราฟจะเริ่มเบี่ยงเบนออก แต่ยังมีความสัมพันธ์ในลักษณะเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประมาณ 21 ตันที่ความเครียด 0.00113 จากนั้นจะแสดงความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงจนคานถึงจุดวิบัติที่ความเครียด 0.00228 และความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวที่กึ่งกลางคานจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักบรรทุกในช่วงต้นเป็นเส้นตรงเช่นกัน และจะเพิ่มความเครียดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งเกจชนิดไฟฟ้าที่ติดกับเหล็กเสริมตามยาวเส้นบนชำรุดที่น้ำหนัก 33 ตัน ความเครียด 0.00257 ส่วนความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวเส้นล่างจะหยุดก่อนการวิบัติเล็กน้อยที่น้ำหนัก 36 ตัน ความเครียด 0.00343

ความเครียดของผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือนเช่นเดียวกับในช่วงน้ำหนักบรรทุกเริ่มแรกความเครียดจะขึ้น ๆ ลง ๆ เล็กน้อย จนภายหลังจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.37 โดยน้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับความเครียดที่ผิวคอนกรีต ณ จุดกำลังดึงแยกตัว ในแนวทำมุม 45^{0} กับแกนราบที่ตำแหน่ง M1, M2, M3, M4, M5 และ M6 เท่ากับ 17.3, 17.3, 22.1, 25.0, 21.7 และ 21.0 ตันตามลำดับ และความเครียดของเหล็กปลอกในช่วงแรงเฉือน ในช่วงแรก ๆ ของน้ำหนักบรรทุกความเครียดก็จะขึ้น ๆ ลง ๆ เช่นเดียวกัน จนภายหลังจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.38 โดยความเครียดของเหล็กปลอก S1, S2, S3, S4, S5 และ S6 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่น้ำหนัก 25.6, 21.5, 31.9, 23.7, 24.2 และ 21.3 ตันตามลำดับ โดยความเครียดของเหล็กปลอก S2, S3,

S4 และ S6 ที่จุดวิบัติความเครียดเกินความเครียดคลาก

<u>คาน BW-D4</u> เมื่อน้ำหนักประมาณ 5 ตัน จะปรากฏรอยแตกร้าวในแนวดิ่งเนื่องจากโมเมนต์ดัดในช่วงแรงดัด หลังจากนั้นรอยแตกร้าวในแนวดิ่งที่เพิ่มมากขึ้นจะเบี่ยงเบนทำมุมกับแกนราบ โดยจะเป็นรอยแตกร้าวแนวทแยงที่ผ่านกึ่งกลางความลึกคานที่น้ำหนัก 24 ตัน รอยแตกร้าวแนวทแยงจะขยายจำนวนและความยาวมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยมีทิศทางสู่จุดที่น้ำหนักกระทำและระดับเหล็กเสริมตามยาว แต่สำหรับคาน BW-D4 ปลายของรอยแตกร้าวแนวทแยงยังขยายไปไม่ถึงจุดที่น้ำหนักกระทำ คานก็ถึงจุดวิบัติเสียก่อนเนื่องจากการแตกละเอียดของคอนกรีตผิวบนกึ่งกลางคานในช่วงแรงดัดเสียก่อน โดยเหล็กเสริมตามยาวรับแรงอัดถูกแรงอัดจนเส้นรูปที่น้ำหนักบรรทุก 41 ตัน

ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการโก่งตัวในรูปที่ 2.39 จะเห็นว่าระยะการโก่งตัวที่ระยะ 45 ซม. จากจุดรองรับทั้ง 2 ข้าง มีค่าใกล้เคียงกัน น้ำหนัก ณ จุดที่กราฟเส้นตรงช่วงแรกเริ่มเบี่ยงเบนประมาณ 4 ตัน และจากจุดที่กราฟเริ่มเบี่ยงเบนครั้งแรกกราฟจะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุก 22 ตันและจะเริ่มเบี่ยงเบนออกไปอีกเล็กน้อย แต่ความสัมพันธ์จะยังคงเป็นเส้นตรงจนถึงน้ำหนักบรรทุก 35 ตัน ที่ระยะโก่งตัวกึ่งกลางคาน 0.84 ซม. จากนั้นกราฟจะเบี่ยงเบนโดยมีความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงจนกระทั่งคานถึงจุดวิบัติที่ระยะการโก่งตัวกึ่งกลางคาน 1.12 ซม.

จากรูปที่ 2.40 ความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดของคอนกรีตผิวบนกึ่งกลางคานจะเป็นเส้นตรงจนน้ำหนักประมาณ 5 ตัน กราฟจะเริ่มเบี่ยงเบนออก แต่ยังคงมีความสัมพันธ์ในลักษณะของเส้นตรงจนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกประมาณ 28 ตันที่ความเครียด 0.00151 จากนั้นจะแสดงความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรงจนคานถึงจุดวิบัติที่ความเครียด 0.00286 และความเครียดของเหล็กเสริมตามยาวที่กึ่งกลางคานจะมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักในช่วงต้นเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน และจะเพิ่มความเครียดขึ้นไปเรื่อย ๆ จนคานถึงจุดวิบัติที่ความเครียด 0.00371 และ 0.00307 สำหรับเหล็กเสริมตามยาวเส้นบนและเส้นล่างตามลำดับ

ความเครียดของผิวคอนกรีตในช่วงแรงเฉือน ในช่วงน้ำหนักบรรทุกเริ่มแรกความเครียดจะขึ้น ๆ ลง ๆ เล็กน้อย จนภายหลังจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.41 โดยน้ำหนักบรรทุกที่สอดคล้องกับความเครียดที่ผิวคอนกรีต ณ จุดกำลังดึงแยกตัวในแนวทำมุม 45^{0} กับแนวราบที่ตำแหน่ง M1, M2, M3, M4, M5 และ M6 เท่ากับ 22.6, 23.3, 22.1, 29.1, 28.7 และ 23.0 ตันตามลำดับและความเครียดของเหล็กปลอกในช่วงแรงเฉือนในช่วงแรกของน้ำหนักบรรทุก ความเครียดก็จะขึ้น ๆ ลง ๆ เช่นเดียวกัน จนภายหลังจะเพิ่มขึ้นทุกช่วงน้ำหนัก ดังรูปที่ 2.42 โดยความเครียดของเหล็กปลอก S1, S2, S4 จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่น้ำหนักบรรทุก 20.3, 20.0 และ 25.7 ตันตามลำดับ โดยความเครียดของเหล็กปลอก S2 และ S4 ณ จุดวิบัติความเครียดจะเกินความเครียดคลากของเหล็กปลอก

2.6.3 ลักษณะการแตกร้าวและการวิบัติ

ชนิดของการวิบัติที่สังเกตได้ในการทดสอบนี้มี 3 ชนิดที่แตกต่างกันคือ การวิบัติจากแรงดึงในแนวทแยง (Diagonal Tension) ซึ่งเป็นชนิดที่เกิดขึ้นในคาน BO-5, BO-7, BO-28 และ BO-56 ซึ่งไม่เสริมเหล็กปลอก คานดังกล่าวจะวิบัติภายหลังการเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงวิกฤติเพียงเล็กน้อย การวิบัติเกิดจากรอยแตกร้าวที่แยกออกของคอนกรีตบริเวณรับแรงอัดใกล้จุดที่น้ำหนักบรรทุกกระทำพร้อมกับการแยกออกในแนวดึงของคอนกรีตตลอดความยาวเหล็กเสริมตามยาวจนถึงบริเวณจุดรองรับ การวิบัติจะเกิดขึ้นในทันที โดยรอยแตกร้าวแนวทแยงวิกฤติจะเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 89 % ของน้ำหนักประลัย ถึงแม้ว่าคานจะสามารถต้านทานน้ำหนักได้เพิ่มขึ้นบางส่วนแต่การวิบัติเป็นไปอย่างรวดเร็วเนื่องจากไม่สามารถต้านทานการเคลื่อนที่ในแนวดึง ณ จุดแตกร้าวได้ ในคานชุดที่เสริมเหล็กปลอก คาน BW-D(r = 0.160 %) ซึ่งเสริมเหล็กปลอกน้อยที่สุดก็จะวิบัติจากแรงดึงในแนวทแยงเช่นกัน โดยรอยแตกร้าวแนวทแยงวิกฤติจะเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกประมาณ 90 % ของน้ำหนักประลัย สำหรับการวิบัติจากแรงเฉือน-อัด (Shear Compression) ซึ่งเป็นชนิดที่เกิดขึ้นในคาน BW-3D4, BW-D2 ในคานชุดที่เสริมเหล็กปลอก การวิบัติเกิดขึ้นที่น้ำหนักบรรทุกมากกว่าน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกโดยรอยแตกร้าวแนวทแยงผ่านกึ่งกลางความลึกคานสำหรับคาน BW-3D4 (r = 0.214 %) และคาน BW-D2 (r = 0.322 %) จะปรากฏที่น้ำหนักประมาณ 68 และ 62 % ของน้ำหนักบรรทุกประลัยตามลำดับ โดยการวิบัติจะไม่ทำให้เกิดการขยายตัวของรอยแตกร้าวจากแรงดัดในช่วงแรงดัด ลักษณะการวิบัติจะเกิดโดยการปริแตกของคอนกรีตบริเวณจุดที่

น้ำหนักกระทำ โดยปราศจากการแยกออกของชิ้นคอนกรีต เหนือรอยแตกร้าวแนวทแยงและเหนือเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึง ส่วนคาน BW-D4 (r = 0.645 %) ภายหลังจากเกิดรอยแตกร้าวแนวทแยงแล้ว รอยแตกร้าวในแนวดิ่งในช่วงแรงดัดก็จะขยายตัวไปพร้อมกับการขยายความยาวของรอยแตกร้าวแนวทแยง โดยรอยแตกร้าวในแนวดิ่งสามารถขยายตัวได้เร็วกว่า คานจึงวิบัติด้วยแรงดัด (Flexural) โดยคอนกรีตในช่วงแรงดัดกึ่งกลางคานถูกอัดจนปริแตกออกเป็นชิ้นย่อย ๆ ลักษณะรอยแตกร้าวของคานทดสอบแสดงในรูปที่ 2.51 และ 2.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย