บทที่ 4

การทดสอบคานคอนกรีตอัดแรง

การทดสอบพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตอัดแรง ซึ่งทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก ในบทนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดของคานที่ใช้ในการทดสอบ การเตรียมการทดสอบ และพฤติกรรมของคานระหว่างการทดสอบ รวมทั้งปัญหาที่พบและการแก้ไข

คานคอนกรีตอัดแรงทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมาก

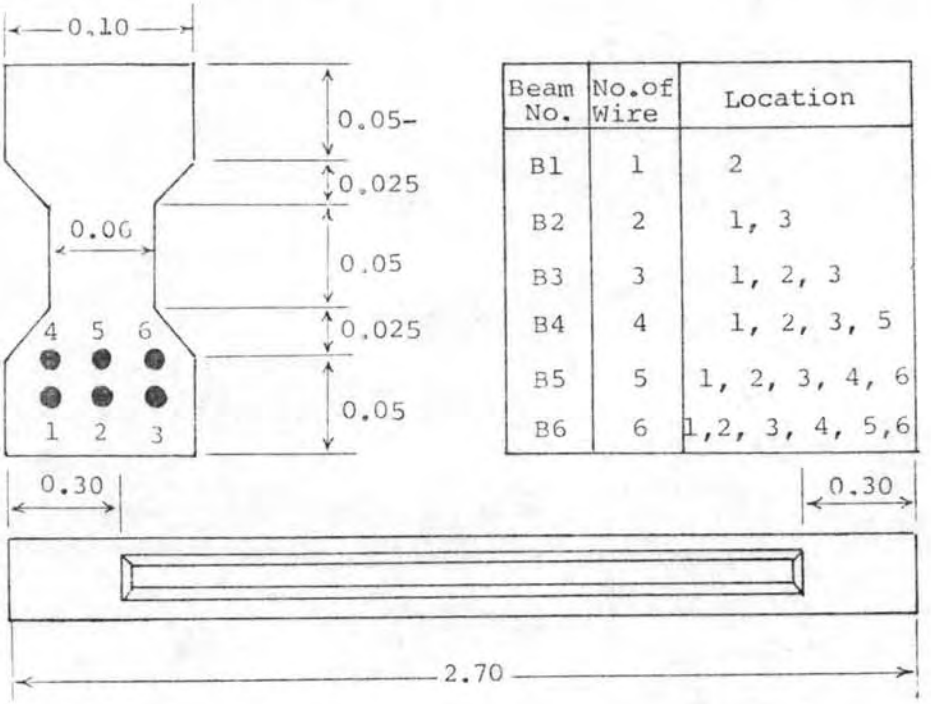
ก. ขนาดความยาวและรูปร่างหน้าตัด

ในการทดสอบพฤติกรรมการดัดของคานคอนกรีตอัดแรงซึ่งทำด้วยคอนกรีตกำลังสูงมากนี้ ได้เตรียมคานไว้เพื่อทดสอบทั้งหมด 6 ตัวอย่างมีหน้าตัดเป็นคานรูปตัว I มีขนาดความกว้างปีกคาน 10 ม. ตัวคานกว้าง 6 ซม. และมีความลึก 20 ซม. ความยาวคาน 2.70 ม. ปลายคานทั้ง 2 หัวมีลักษณะเป็นคอนกรีตตัวรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าด้านละ 25 ซม. เพื่อช่วยในการรับแรงอัดที่ปลาย (End Bearing)

คานที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 6 ตัวอย่างนี้เป็นคานแบบอัดแรงก่อนมีขนาดหน้าตัดและความยาวเท่ากันทั้งหมด ต่างกันเฉพาะปริมาณลวดอัดแรงและแรงอัดเท่านั้น รูปตามยาวและหน้าตัดของคานตัวอย่างในการทดสอบแสดงไว้ในรูปที่ 15

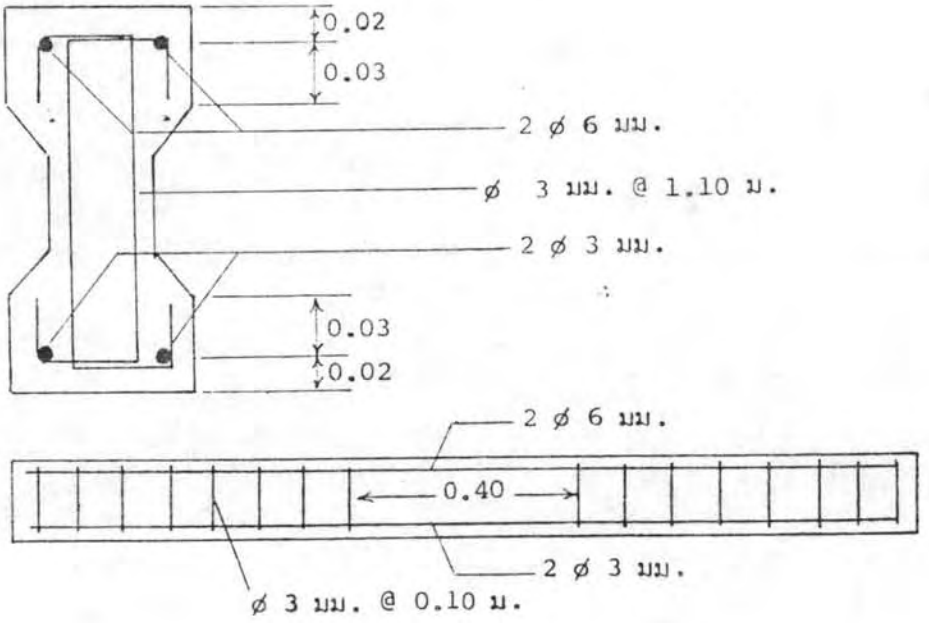
ข. เหล็กเสริมและลวดอัดแรง

ลวดอัดแรงที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มม. และปริมาณลวดที่ใช้แตกต่างกันไปตั้งแต่ 1-6 เส้น โดยจัดตำแหน่งลวดอัดแรงไว้ดังรูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของลวดอัดแรงได้มาจากการทดลองตัวอย่างทั้งหมด 5 เส้น หาค่าเฉลี่ยของโมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นได้ 2.04×10^6 กก./ซม.^{2} หน่วยแรงเฉลี่ยที่จุดคลาก 16300 กก./ซม.^{2}



Beam No.	No.of Wire	Location
B1	1	2
B2	2	1, 3
B3	3	1, 2, 3
B4	4	1, 2, 3, 5
B5	5	1, 2, 3, 4, 6
B6	6	1,2, 3, 4, 5,6

รูปที่ 15 แสดงรูปร่างหน้าตัด ลักษณะคานและการวัดลวดอัดแรง



รูปที่ 16 แสดงการจัดเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กปลอก

ค่าหน่วยแรงเฉลี่ยที่จุดประลัย 21800 กก./ซม.^{2} และมีการยืดตัวสูงสุดเท่ากับ 5.6 %

เหล็กปลอกที่ใช้เป็นลวดตะปูตาม ม.อ.ก. 113-2517 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มม. หน่วยแรงดึงสูงสุด 7900 กก./ซม.^{2} จำนวนปลอกที่ใช้คำนวณให้มากเกินพอเพื่อป้องกันการวิบัติจากแรงเฉือนได้อย่างเด็ดขาด ทั้งนี้เพื่อให้สามารถทดสอบพฤติกรรมการดัดได้อย่างแท้จริง

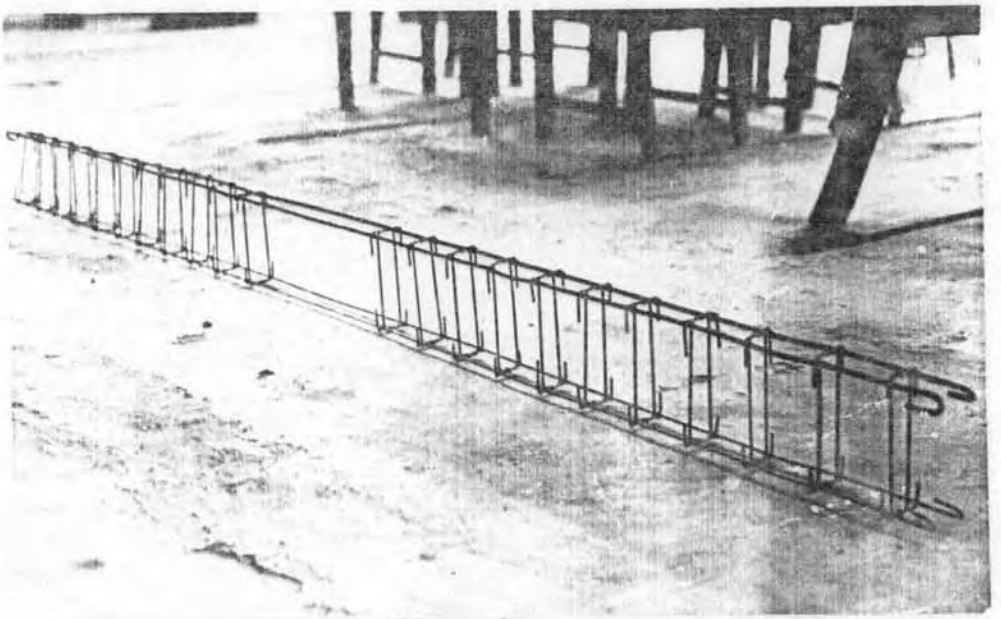
การยึดปลอกบริเวณปีกบนของคานใช้เหล็กกลมผิวเรียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. 2 เส้น ซึ่งเป็นไปตาม ม.อ.ก. 20-2515 มีกำลังที่จุดคลาก 2520 กก./ซม.^{2} ค่าหน่วยแรงเฉลี่ยที่จุดประลัย 4230 กก./ซม.^{2} และมีการยืดตัวสูงสุด 21.8 % ในการผูกยึดเข้าด้วยกันจะใช้ลวดผูกเหล็กผูกยึดทุกจุดที่เหล็กตามยาวกับเหล็กปลอกและบริเวณบนสุดและล่างสุดของเหล็กปลอกซึ่งเป็นรูปตัว C ซ้อนกัน ดูรูปที่ 16 และ 17

<u>การเตรียมแบบหล่อคาน</u>

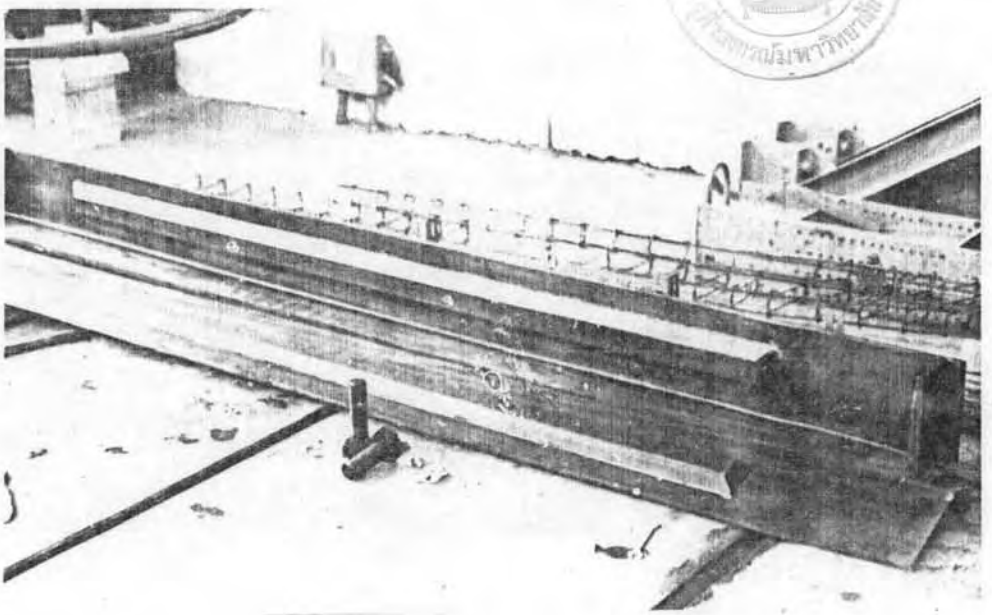
แบบหล่อคานตัวอย่างทำขึ้นด้วยไม้ เพื่อให้ใช้งานได้หลายครั้ง ได้ออกแบบให้พื้นล่างของแบบยึดติดกับฐานรองรับ ส่วนแบบข้างคานซึ่งประกอบด้วยไม้แบบเรียบประกับไม้อีกชิ้นหนึ่งที่มีลักษณะลาดเอียงเพื่อให้คานมีลักษณะเป็นรูปตัว I ถอดออกได้ทั้ง 2 ข้างดังแสดงในรูปที่ 18 และแบบปิดหัวท้ายคานซึ่งเจาะรูเอาไว้ร้อยลวดอัดแรงก็แยกออกเป็นชิ้นส่วนต่างหากเช่นกัน ในการประกอบเข้าด้วยกันมีค้ำยันด้านข้างอย่างแข็งแรง รวมทั้งไม้จับปากแบบทุกระยะ 20 ซม. เพื่อป้องกันการบิดงอในระหว่างการเทคอนกรีตซึ่งค่อนข้างจะแห้งและเหนียวข้นมาก และจะต้องมีการเขย่าแบบให้คอนกรีตไหลลงแบบหล่อรุนแรงกว่าการเทคอนกรีตธรรมดามาก

<u>การดึงลวดอัดแรง</u>

การดึงลวดอัดแรงใช้แบบวิธีดึงก่อน (Pre-Tensioning) อาศัยอุปกรณ์ซึ่งใช้ในห้องทดลองคอนกรีต ประกอบด้วยแท่นดึงลวดอัดแรงหัวท้ายและเครื่องดึงลวดอัดแรงไฮโดรลิคที่ควบคุมแรงดึงได้อย่างละเอียด ใช้จำปายึดลวดขนาด 7 มม. แบบ Split Cone Wedge ซึ่งมีลักษณะตัว Taper Conical Pin แยกออกได้เป็น 3 ส่วน



รูปที่ 17 แสดงโครงเหล็กเสริมของคาน



รูปที่ 18 แสดงแบบหล่อคานคอนกรีตอัดแรง

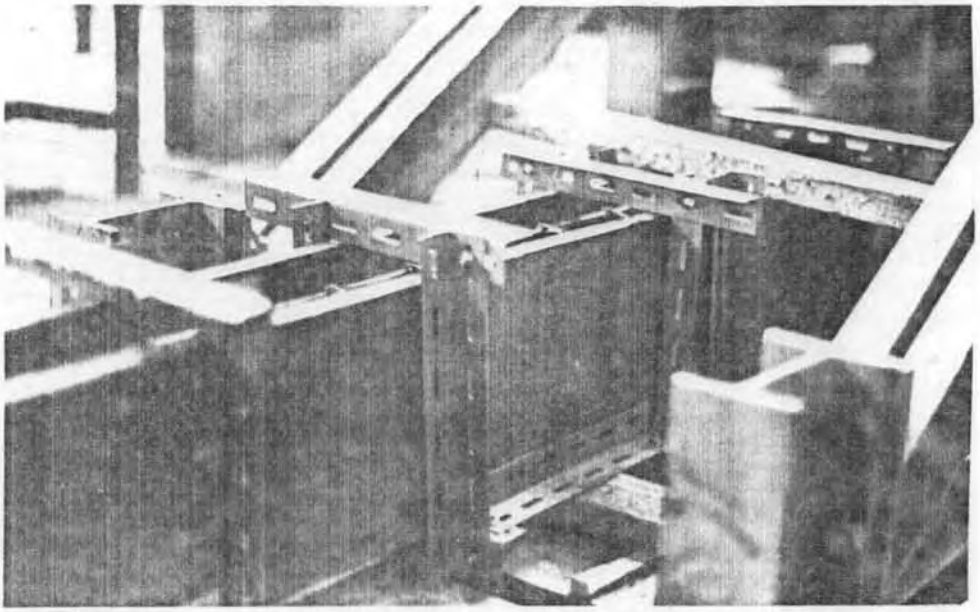
แรงดึงที่ใช้เป็นไปตามข้อกำหนดของ ACI[36] คือให้หน่วยแรงในลวดไม่เกิน $0.70\ f_{pu}$ หรือค่าแรงดึงรวมในลวดแต่ละเส้นเท่ากับ 4.5 ตัน ในการดึงลวดได้ติด Electric Strain gauge ไว้อ่านค่าเพื่อการตรวจสอบด้วย ค่าความเครียดที่วัดจะต้องสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดจากการทดสอบลวดอัดแรงซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดการดึงลวด เพราะให้ความละเอียดมากกว่าเครื่องดึงซึ่งแสดงค่าแรงดึงที่เกิดขึ้น ค่าความเครียดที่วัดได้บันทึกไว้เพื่อคำนวณหาค่าแรงอัดประสิทธิผล (Effective prestressing force) ต่อไป

การหล่อคานและการเก็บตัวอย่าง

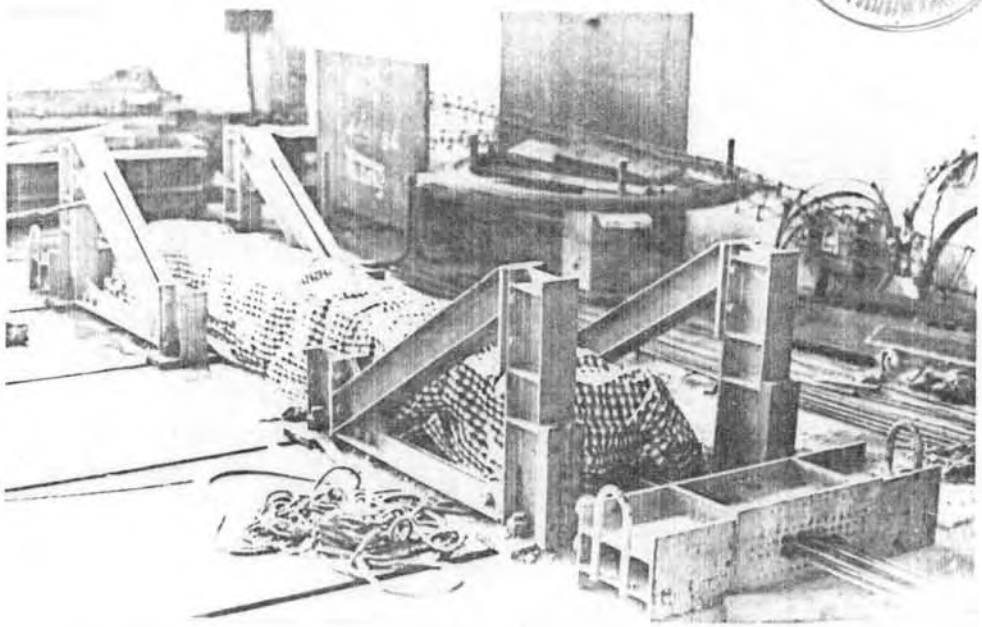
อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการหล่อคานคอนกรีตอัดแรงเป็นไปตามตารางที่ 8 ปริมาณคอนกรีตที่ผสมใน 1 โม่เพียงพอที่จะใช้ในการหล่อคานและเก็บตัวอย่างทั้งหมด 15 แท่ง จึงสะดวกในการควบคุมคุณภาพของคอนกรีต หินและทรายที่ใช้ในการผสมถูกนำไปหาปริมาณความชื้น (Moisture Content) เพื่อคำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องใช้ในการผสมให้ถูกต้อง การผสมทำตามลำดับขั้นตอนที่ศึกษาจากการทดลองผสมและควบคุมระยะเวลาผสมด้วยนาฬิกาจับเวลา การเทลงแบบหล่อคานใช้เครื่องเขย่าคอนกรีต 3 เครื่อง เพื่อช่วยการกระจายเนื้อคอนกรีตป้องกันไม่ให้เกิดโพรงโดยเก็บตัวอย่างไปพร้อม ๆ กัน หลังจากเทแล้วประมาณ 15 นาที คอนกรีตจะแข็งตัวทิ้งไว้ประมาณ 3 ชม. แล้วจึงฉีดน้ำให้แบบหล่อคานเปียกชุ่มและหุ้มทับด้วยผ้ากระสอบชุบน้ำโดยรอบแล้วคลุมด้วยแผ่นพลาสติคเพื่อป้องกันความชื้นระเหยออก ส่วนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกก็ทำการบ่มด้วยกรรมวิธีเดียวกัน จนกระทั่งอายุครบ 3 วัน จะตัดลวดอัดแรง นำคานและแท่งคอนกรีตไปบ่มไว้ด้วยกันในอ่างน้ำจนอายุครบ 28 วันซึ่งเป็นกำหนดทดสอบคาน แท่งคอนกรีตตัวอย่างซึ่งหล่อพร้อมคาน 15 แท่งไว้ใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของคอนกรีตโดยแบ่งออกทำการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 9 ส่วนผลการทดสอบคุณสมบัติทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 10

การทดสอบคาน

การทดสอบพฤติกรรมการดัดของคานกระทำโดยอาศัยแท่นกดน้ำหนักไฮโดรลิค โดยใช้



รูปที่ 19 แสดงการรัดแบบหล่อคานเสริมความแข็งแรง



รูปที่ 20 แสดงการบ่มคานในระยะแรกโดยแผ่นพลาสติค

ตารางที่ 8 แสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีตในการหล่อคานตัวอย่าง

อัตราส่วนผสมในคอนกรีต ลบ.ม.				
ซีเมนต์ (กก.)	ทราย (กก.)	หิน (กก.)	น้ำ (กก.)	สารผสมคอนกรีต Napthlene Base (ลิตร)
550	920	1500	375	10

ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดการทดสอบแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

จำนวนแท่งคอนกรีตตัวอย่าง	อายุ (วัน)	รายละเอียดการทดสอบ
3	3	ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดกำลังอัดของคอนกรีต
3	7	ทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีต
6	28	ทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดกำลังอัดของคอนกรีต
3	28	Splitting Tensile Strength

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลผลการทดลองแท่งคอนกรีตทรงกระบอกซึ่งหล่อพร้อมคานที่ทำการทดสอบ

ตัวอย่างที่	อายุ 3วัน		7 วัน	28 วัน		
	กำลังอัดของคอนกรีต กก./ซม.^{2}.	E_c x 10^5 กก/ซม.^{2}	กำลังอัดของคอนกรีต กก./ซม.^{2}.	กำลังรับแรงดึง กก./ซม.^{2}.	กำลังอัดของคอนกรีต กก./ซม.^{2}.	E_c x 10^5 กก./ซม.^{2}.
B1	395	1.80	729	64.8	892	4.15
B2	327	1.50	536	51.2	688	3.20
B3	427	2.00	904	75.7	1096	5.10
B4	352	1.64	713	70.7	854	4.68
B5	454	2.11	887	60.8	1006	5.08
B6	361	1.68	694	53.5	819	3.81

Min Capacity เท่ากับ 20 ตัน ประกอบด้วยแท่นสำหรับทดสอบคานขนาดความยาวสูงสุด 3.00 ม. ฐานรองรับคานแบบ Simply support การทดสอบกดน้ำหนักแบบ 2 จุด (Two Points Loading) โดยกดน้ำหนักบรรทุกลงบน I-Beam ซึ่งมีขนาด 150x75x9.5 มม. ยาว 0.90 ม. ระยะระหว่างจุดกดน้ำหนักเท่ากับ 0.50 ม. จุดกดน้ำหนักปรับมุมตามความโค้งของคานได้เพื่อให้ระยะห่างระหว่างจุดกดน้ำหนักคงที่อยู่เสมอขณะทำการทดสอบ ตามรูปที่ 21 และ 22 แสดงรายละเอียดของการจัดอุปกรณ์การทดสอบ แท่นกดน้ำหนักไฮโดรลิคและการติดตั้งคานก่อนการทดสอบ

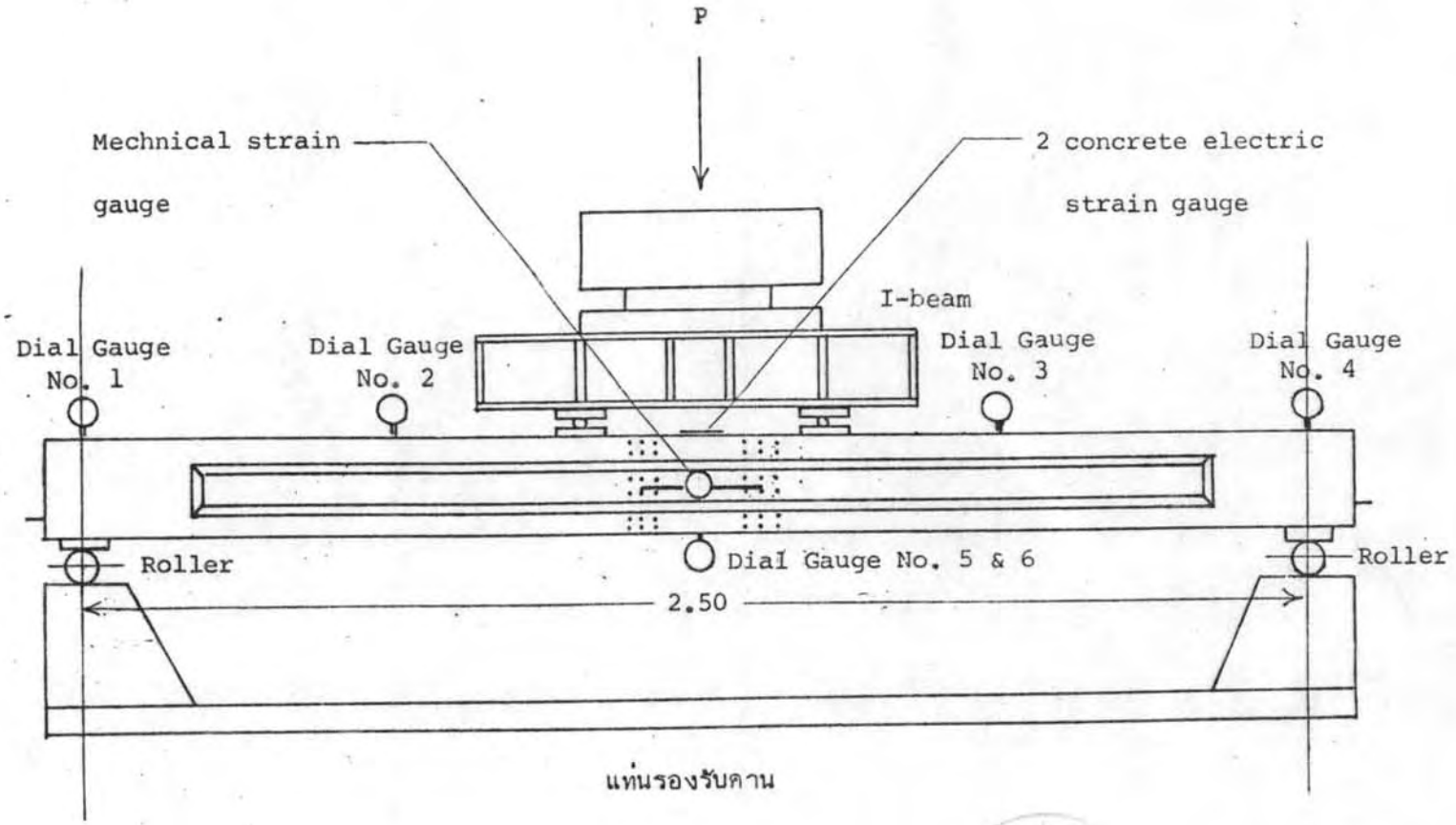
<u>การวัดค่าความเครียด</u>

การวัดค่าความเครียดในการทดสอบพฤติกรรมการดัดของคานแบ่งออกเป็น

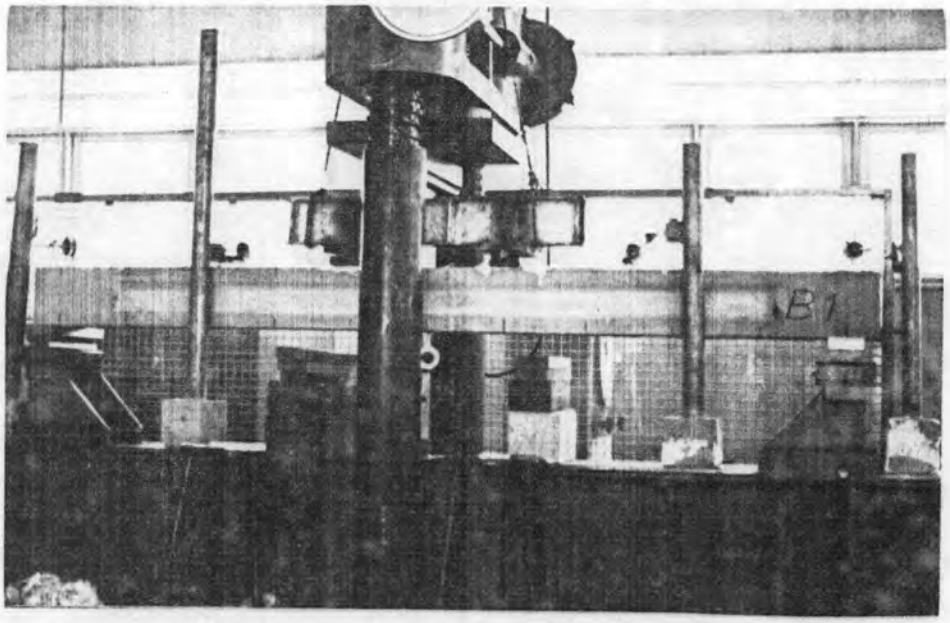
ก. <u>การวัดค่าความเครียดของคอนกรีต</u>

การวัดค่าความเครียดของคอนกรีตกระทำโดยวัดค่าความเครียดที่ผิวบนสุดของคานเพื่อหาความเครียดอัดสูงสุด โดยติด Electric Strain Gauge ขนาดความยาว 12 ซม. ไว้ที่กึ่งกลางจำนวน 2 ตัว และเพื่อหาการกระจายความเครียดของคานตลอดความลึกหน้าตัดจึงใช้ Mechanical Strain Gauge ขนาดความยาว 20 ซม. วัดค่าความเครียดในเนื้อคอนกรีตที่ข้างคานตามแนวกึ่งกลางดังแสดงในรูปที่ 21 โดยวัดค่าความเครียดที่ระดับต่าง ๆ กันจากผิวบนจนถึงผิวล่างของคาน ในแต่ละระดับติดหมุดไว้วัดค่า 3 ชุด เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่มีความละเอียดยิ่งขึ้น

การวัดค่าความเครียดด้วยวิธีนี้มีปัญหาเมื่อคานเริ่มแตกร้าว ถ้ารอยร้าวที่เกิดขึ้นผ่านระหว่างจุดวัดจะทำให้การวัดความเครียดของคอนกรีตที่รับแรงดึงผิดพลาดไป จึงเหลือเฉพาะค่าที่วัดเหนือรอยร้าวที่สามารถเขียนการกระจายความเครียดได้เพียงบางส่วนเท่านั้น จึงไม่อาจพิจารณาค่าความเครียดที่แตกต่างกันของลวดอัดแรงและคอนกรีตที่ระดับเดียวกันได้ อย่างไรก็ดี การวิเคราะห์ข้อมูลต้องอาศัยสมมุติฐานที่ว่าเส้นลวดอัดแรงและคอนกรีตมีการยึดกันอย่างสมบูรณ์ โดยมีความเครียดของทั้งสองวัสดุที่ระดับเดียวกันเท่ากัน

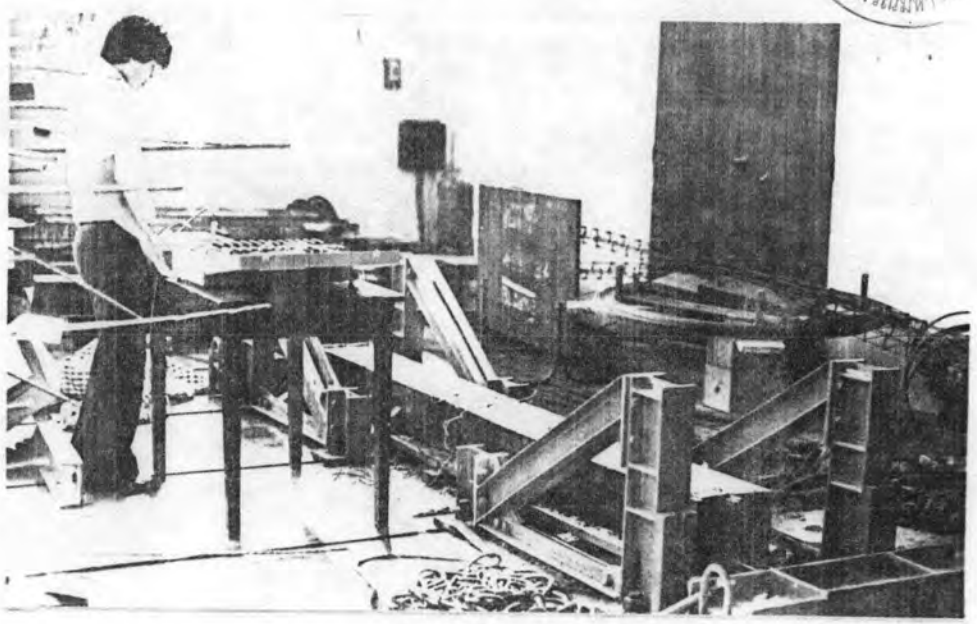


รูปที่ 21 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบคาน



รูปที่ 22 แสดงคานตัวอย่างขณะทำการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 23 แสดงการวัดค่าความเครียดก่อนการดัดลวดอัดแรง

ข. การวัดค่าความเครียดของเส้นลวดอัดแรง

การวัดค่าความเครียดของเส้นลวดอัดแรงกระทำโดยอาศัย Electric Stain Gauge 2 ตัวขนาดตามยาว 2 มม. โดยติดไว้ที่แนวจุดกึ่งกลางคาน ด้านบนและด้านล่างของลวดอัดแรงทุกเส้น หลังจากนั้นแล้วจึงหุ้มทับด้วย Silicone เพื่อป้องกันความเสียหายจากความชื้นในคอนกรีตเหลว การวัดค่าความเครียดของเส้นลวดอัดแรงจะเริ่มตั้งแต่การดึงลวด ตัดลวด ระหว่างการทดสอบ จนถึงจุดวิบัติของคาน

ในระหว่างการเทคอนกรีตเกิดความเสียหายแก่เกจวัดความเครียดบ้างเหมือนกัน ทั้งนี้เพราะคอนกรีตค่อนข้างจะแห้งจึงต้องใช้การจี้คอนกรีตมากกว่าธรรมดา อย่างไรก็ดีจำนวนที่ชำรุดเสียหายมีบ้างแต่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อการวัดค่าความเครียดระหว่างการทดสอบแต่อย่างใด ในการทดสอบใช้ต่อวงจร Electric Strain Gauge เป็นแบบ Half Bridge โดยมีเกจชดเชย (Compensation) เพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนในการวัดอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ด้วย

การวัดค่าการโก่งตัว

การวัดค่าการโก่งตัวของคานในระหว่างการทดสอบอาศัย Dial Indicator ซึ่งวัดได้ละเอียดถึง 0.01 มม. จำนวน 6 ตัว โดยติดไว้บริเวณจุดรองรับคานด้านละ 1 ตัว เพื่อวัดการทรุดตัวของฐานรอง ติดไว้ที่ระยะ 1/4 ของความยาวคาน 2 ตัวและติดที่กึ่งกลางคานอีก 2 ตัว ดังรูปที่ 21 บันทึกค่าตั้งแต่คานเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกจนถึงจุดวิบัติ ค่าที่ได้จากการบันทึกนำมา Plot ลงในกระดาษกราฟเขียนเส้นแสดงการแอ่นตัวของคาน

การแสดงออกของคานระหว่างการทดสอบ

คานที่ทดสอบทั้งหมด 6 ตัวอย่างโดยมีสัดส่วนกำลังอัดแรงเป็นตัวแปร มีการแสดงออกที่สังเกตุในระหว่างการทดสอบได้หลายอย่าง เช่น การโก่งตัว ความเครียด และการแตกร้าว ซึ่ง

สามารถแจกแจงรายละเอียดสำหรับคานแต่ละตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

คาน B1 ตามที่แสดงในรูปที่ 24 ซึ่งมีสัดส่วนเหล็กเสริมต่ำสุด เมื่อเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกจะเริ่มโก่งตัวลงและความเครียดในคอนกรีตบริเวณผิวบนก็จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ส่วนลวดอัดแรงยังคงมีกำลังอัดคงที่ จนกระทั่งปรากฏรอยร้าวรอยแรกเมื่อมีน้ำหนักบรรทุก 1800 กก. ซึ่งรอยร้าวรอยแรกจะเริ่มที่บริเวณกึ่งกลางคานพอดีและมีความยาวประมาณ 7 ซม. จากผิวล่างและตั้งฉากกับแนวคาน เมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นอีก อัตราการโก่งตัวและความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับอัตราการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกและจำนวนรอยร้าวจะปรากฏเพิ่มมากขึ้นเป็น 5 จุดระหว่างจุดกดน้ำหนักบรรทุก โดยรอยร้าวรอยแรกจะมีความยาวถึงใต้ปีกคานบนเมื่อน้ำหนักบรรทุกเพิ่มมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวเพียง 4 % จากนั้นรอยร้าวบางเส้นจะแยกออกเป็น 2 ทาง (forked cracks) ลาดเอียงทำมุมกับแนวดิ่งเล็กน้อย เมื่อคานรับน้ำหนักบรรทุกถึง 3000 กก. การโก่งตัวและความเครียดจะเพิ่มขึ้นรวดเร็วมากในขณะที่น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น และสิ้นสุดลงเมื่อลวดอัดแรงของคานขาดออกจากกันที่น้ำหนักบรรทุก 3100 กก.

คาน B2 ดูรูปที่ 25 มีสัดส่วนเหล็กเสริมมากกว่าคาน B1 มีการแสดงออกคล้ายกันแต่รอยร้าวรอยแรกจะปรากฏเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก 2100 กก. คาน B2 มีรอยร้าวโตกว่าเล็กน้อยและจำนวนรอยแตกร้าวบริเวณกึ่งกลางคาน ปรากฏให้เห็นมากกว่า นับดูพบว่ามีถึง 8 จุด และเมื่อเพิ่มน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวประมาณ 14 % รอยแตกร้าวที่จุดกึ่งกลางก็จะถึงใต้ปีกคานบนและค่อย ๆ แยกออกเป็น 2 ทาง เมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 2700 กก. ซึ่งในตอนนี้จะปรากฏรอยแตกเพิ่มขึ้นนอกช่วงดัด (Flexural Span) บ้าง จนกระทั่งน้ำหนักบรรทุกถึง 5700 กก. การโก่งตัวและความเครียดของคานจะเพิ่มขึ้นรวดเร็วมาก และสิ้นสุดลงเมื่อลวดอัดแรงทั้ง 2 เส้นขาดออกจากกันที่น้ำหนักบรรทุก 6050 กก.

คาน B3 ดูรูปที่ 26 ซึ่งมีลวดอัดแรง 3ø7 มม. เมื่อเริ่มรับน้ำหนักบรรทุกการโก่งตัวและความเครียดจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ รอยร้าวเริ่มแรกปรากฏให้เห็นด้วยตาเปล่าเมื่อน้ำหนักบรรทุก 2400 กก. หลังจากนั้น การโก่งและความเครียดจะเพิ่มในอัตราที่สูงขึ้นในช่วงแรกแต่ค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 30 รอยแตกร้าวจะค่อย ๆ ยาวขึ้นและถึงกึ่งกลางของ

หน้าตัด เมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวประมาณ 65 % หลังจากนั้น รอยร้าวจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นและปรากฏนอกช่วงตัดบ้างเล็กน้อย หลังจากน้ำหนักบรรทุกถึง 6400 กก. รอยร้าวในช่วงตัดจะหยุดอยู่ใต้ปีกบนของคาน ส่วนรอยร้าวนอกช่วงตัดจะเพิ่มจำนวนมากขึ้นและยาวขึ้น ในช่วงนี้ การโก่งและความเครียดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยที่น้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย คานจะเกิดการวิบัติอย่างรุนแรง โดยคอนกรีตส่วนรับแรงอัดที่กึ่งกลางจะระเบิดออกเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 7200 กก.

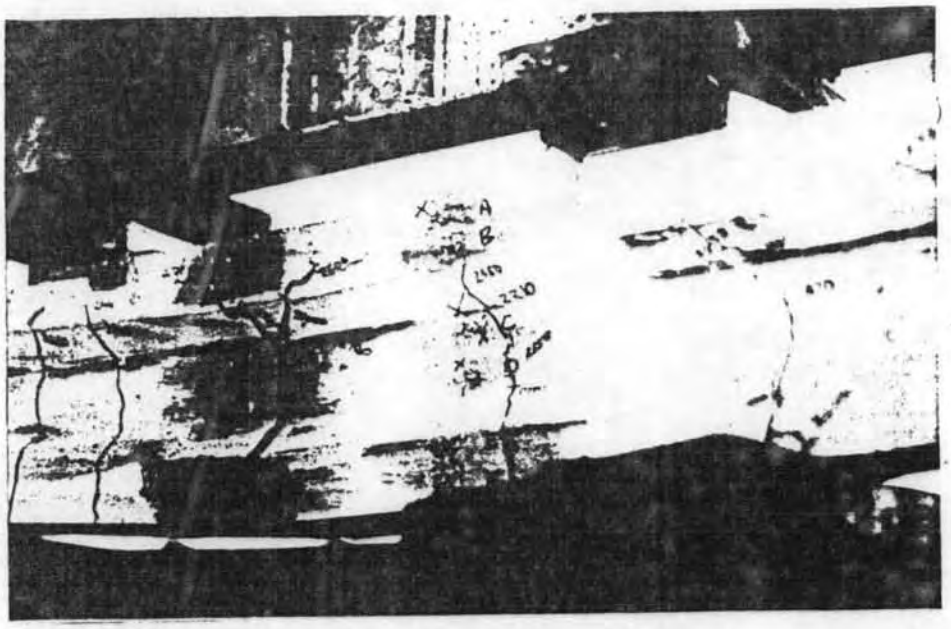
คาน B4 ใช้ลวดอัดแรง 4ø7 มม. มีการแสดงออกคล้ายกับคาน B3 โดยจะเกิดรอยร้าวรอยแรกขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 2600 กก. หลังจากนั้นรอยร้าวจะเพิ่มจำนวนและความยาวขึ้นในช่วงตัด โดยรอยร้าวจะมีความยาวถึงกลางหน้าตัดคานเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวประมาณ 70 % หลังจากนั้น รอยร้าวจะเริ่มเกิดขึ้นนอกช่วงตัด เมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 7200 กก.รอยร้าวในช่วงตัดจะหยุดอยู่ใต้ปีกบนของคาน หลังจากนั้น รอยร้าวนอกช่วงตัดจะเพิ่มขึ้นและยาวขึ้นขณะที่การโก่งและความเครียดเพิ่มอย่างรวดเร็วจนถึงจุดวิบัติเมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่า 8250 กก. โดยการวิบัติมีลักษณะเช่นเดียวกับคาน B3 คือมีการระเบิดอย่างรุนแรงบริเวณผิวบนของปีกคาน ดังแสดงในรูปที่ 27

คาน B5 มีอัตราส่วนเหล็กอัดแรง 0.28 เมื่อรับน้ำหนักบรรทุกได้ 3600 กก. จะเกิดรอยร้าวรอยแรกขึ้น จากนั้น อัตราการโก่งตัวและการเพิ่มความเครียดจะสูงขึ้นแต่ค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับคาน B3 และ B4 แต่จะมีลักษณะที่ชันกว่า รอยร้าวส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงตัด แต่ความยาวของรอยร้าวจะเพิ่มขึ้นช้า โดยรอยร้าวจะแยกถึงกึ่งกลางหน้าตัดคานเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวประมาณ 1.3 เท่า จากนั้น รอยร้าวนอกช่วงตัดคานจะเพิ่มขึ้นขณะที่รอยร้าวในช่วงตัดจะหยุดอยู่เพียงกึ่งกลางหน้าตัด ดังรูปที่ 28 ในช่วงนี้ อัตราการโก่งและความเครียดจะเพิ่มขึ้นแต่ยังค่อนข้างคงที่ จุดวิบัติของคานจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและการวิบัติจะรุนแรงมาก โดยคอนกรีตช่วงกลางคานจะระเบิดออกและคานจะพับลงอย่างรวดเร็วที่น้ำหนักบรรทุก 9250 กก.

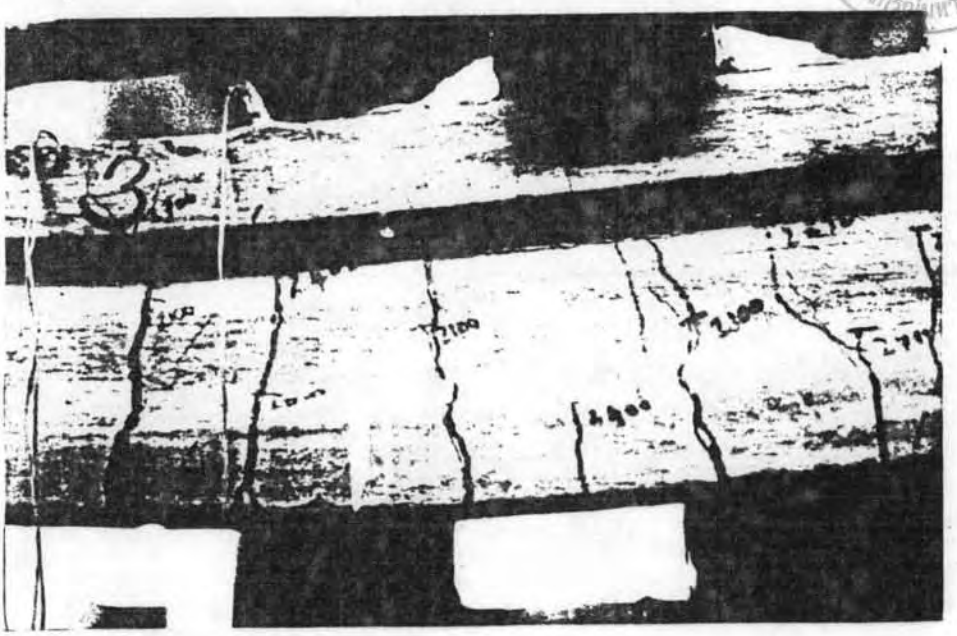
คาน B6 เป็นคานที่มีปริมาณลวดอัดแรงสูงสุด มีอัตราส่วนลวดอัดแรง 0.39 จะเกิดการแตกร้าวเริ่มแรกเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึง 4400 กก. หลังจากนั้น การแสดงออกจะเป็นไปในลักษณะใกล้เคียงกับคาน B5 โดยรอยแตกจะแยกถึงกึ่งกลางหน้าตัดคานเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงกว่าน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวประมาณ 1 เท่า ดูรูปที่ 29 และสิ้นสุดพฤติกรรมในช่วงกลางเมื่อน้ำหนักบรรทุกถึงประมาณ 10000 กก. หลังจากนั้น การวิบัติจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 10550 กก. ดังมีลักษณะการแตกร้าวโดยระเบิดและกระจายออก เช่น คาน B5

พิจารณารูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการโก่งตัวต่อการโก่งตัวที่จุดประลัยกับน้ำหนักบรรทุกต่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของคานทั้ง 6 ตัว จะเห็นได้ว่า การโก่งตัวของคานต่อการโก่งตัวที่จุดประลัยจะขึ้นอยู่กับปริมาณลวดอัดแรง โดยที่จุดแตกร้าวคาน B1 จะมีการโก่งตัวคิดเป็น 3.5 % ในขณะที่คาน B6 จะมีการโก่งตัวคิดเป็น 25.8 % ของการโก่งตัวที่จุดประลัย ที่จุดคลากก็เช่นเดียวกับคาน B1 จะมีการโก่งตัวคิดเป็น 50 % ในขณะที่คาน B4 จะมีการโก่งตัวคิดเป็น 78.5 % ของการโก่งตัวที่จุดประลัย กำลังอัดของคอนกรีตก็มีผลต่อการโก่งตัวของคานเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากจากคาน B6 ซึ่งแทนที่จะมีการโก่งตัวคิดเทียบเป็นเปอร์เซนต์ของการโก่งตัวที่จุดประลัยสูงกว่าคาน B4 แต่กลับมีค่าต่ำกว่าเนื่องจากกำลังอัดของคาน B6 มีค่าต่ำกว่าคาน B4

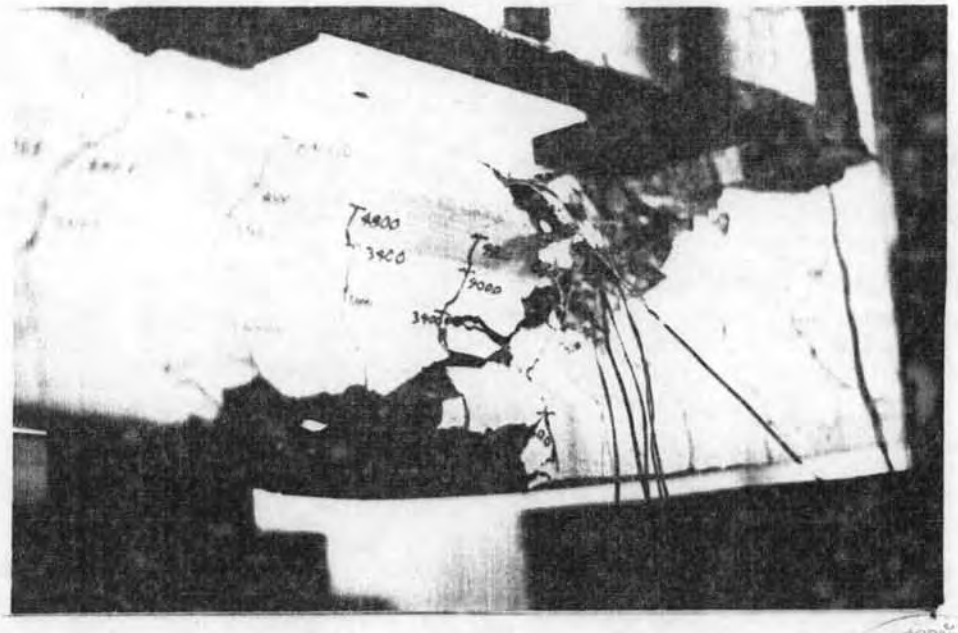
เมื่อพิจารณาน้ำหนักบรรทุกต่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดของคานจะเห็นได้อย่างชัดเจนที่จุดแตกร้าวว่าอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวต่อน้ำหนักบรรทุกที่จุดประลัยจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณลวดอัดแรงเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าประมาณ 0.60 ในคาน B1 และมีค่าเพียง 0.30 ในคาน B4 แต่สำหรับคาน B5 และ B6 ซึ่งมีปริมาณลวดอัดแรงสูงกว่าคาน B4 นั้น ค่าจะกลับเพิ่มขึ้นเป็น 0.44 และ 0.43 ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากปริมาณแรงอัดที่สูงนั้นจะไปเพิ่มช่วงอีลาสติคของคานให้มากยิ่งขึ้นทำให้คานมีค่าความเหนียวลดลง ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในบทต่อไป



รูปที่ 24 แสดงการแตกร้าวและลักษณะการวิบัติของคาน B1

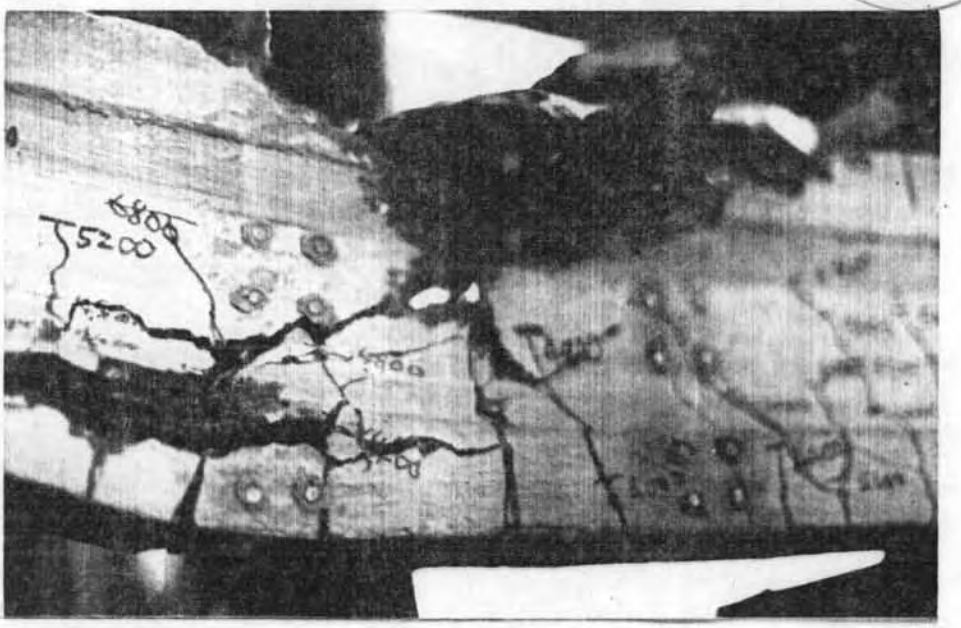


รูปที่ 25 แสดงการแตกร้าวและลักษณะการวิบัติของคาน B_2

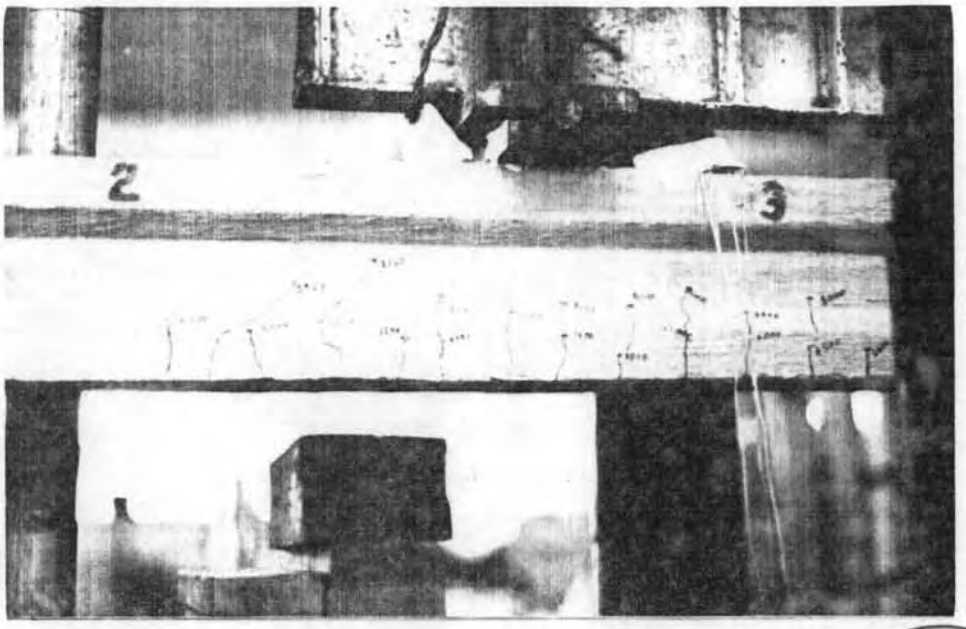


รูปที่ 26 แสดงรอยแตกร้าวและลักษณะการวิบัติของคาน B3

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

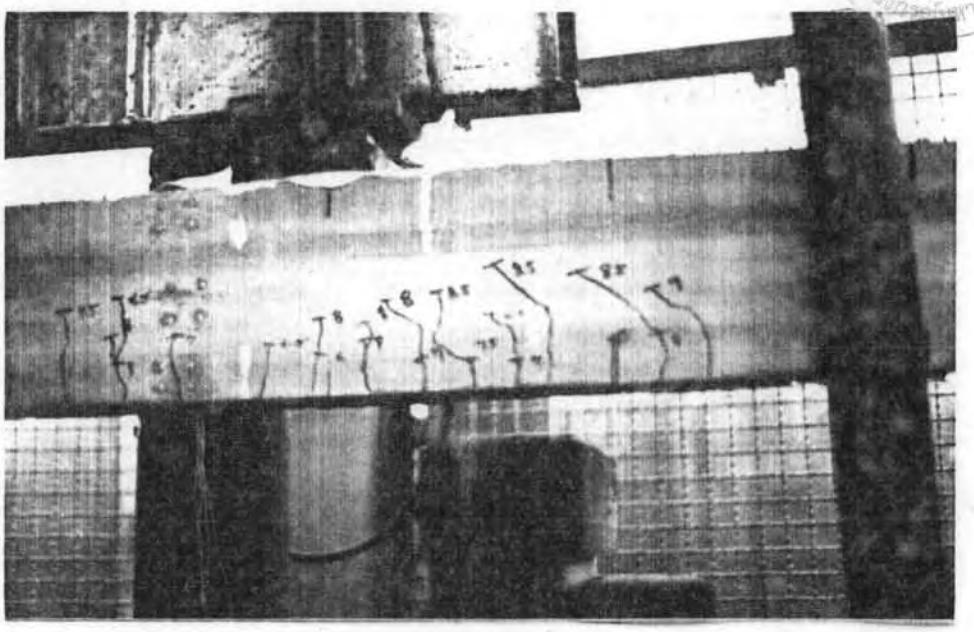


รูปที่ 27 แสดงรอยแตกร้าวและลักษณะการวิบัติของคาน B4

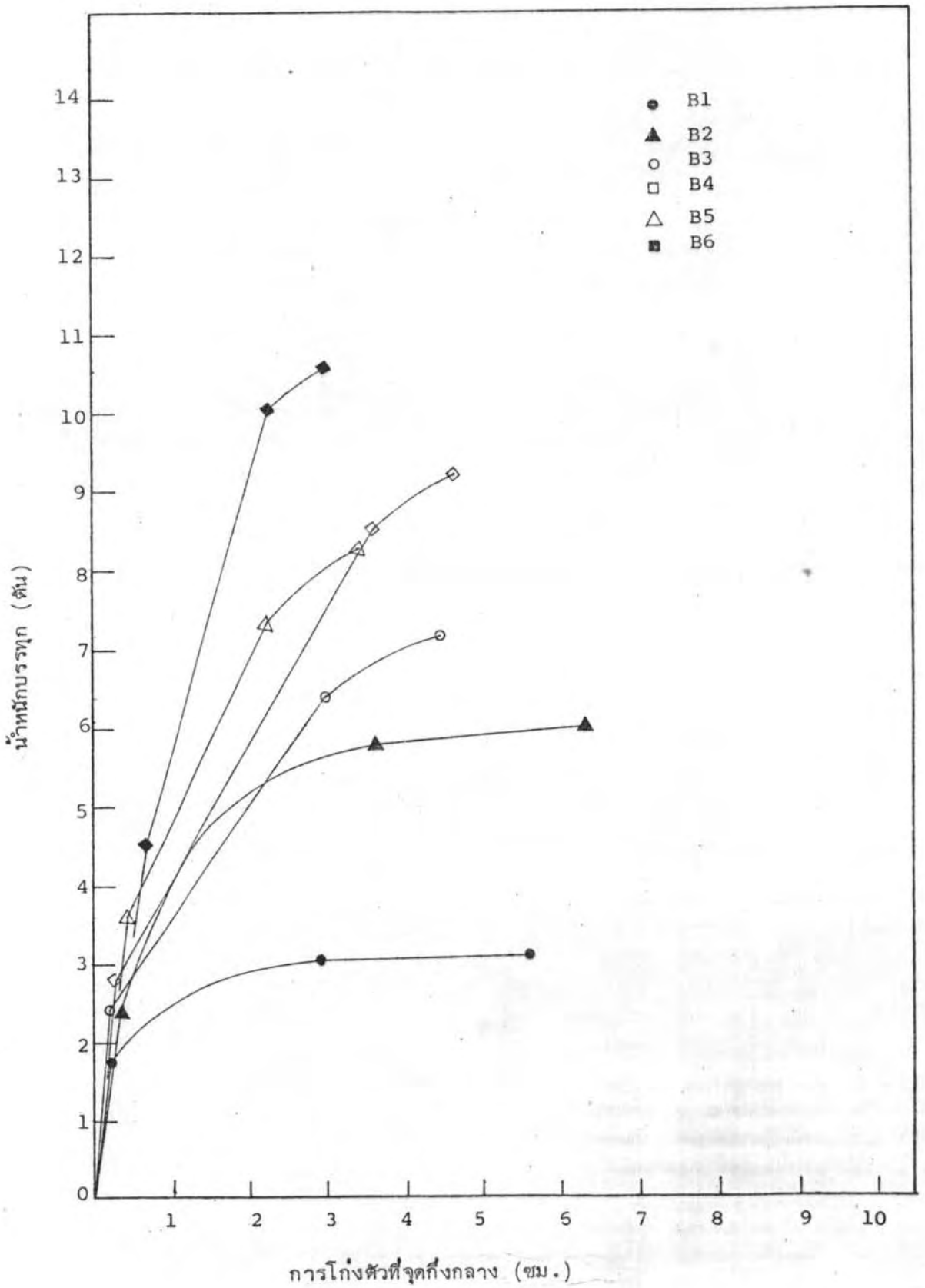


รูปที่ 28 แสดงรอยแตกร้าวก่อนการวิบัติของคาน B5

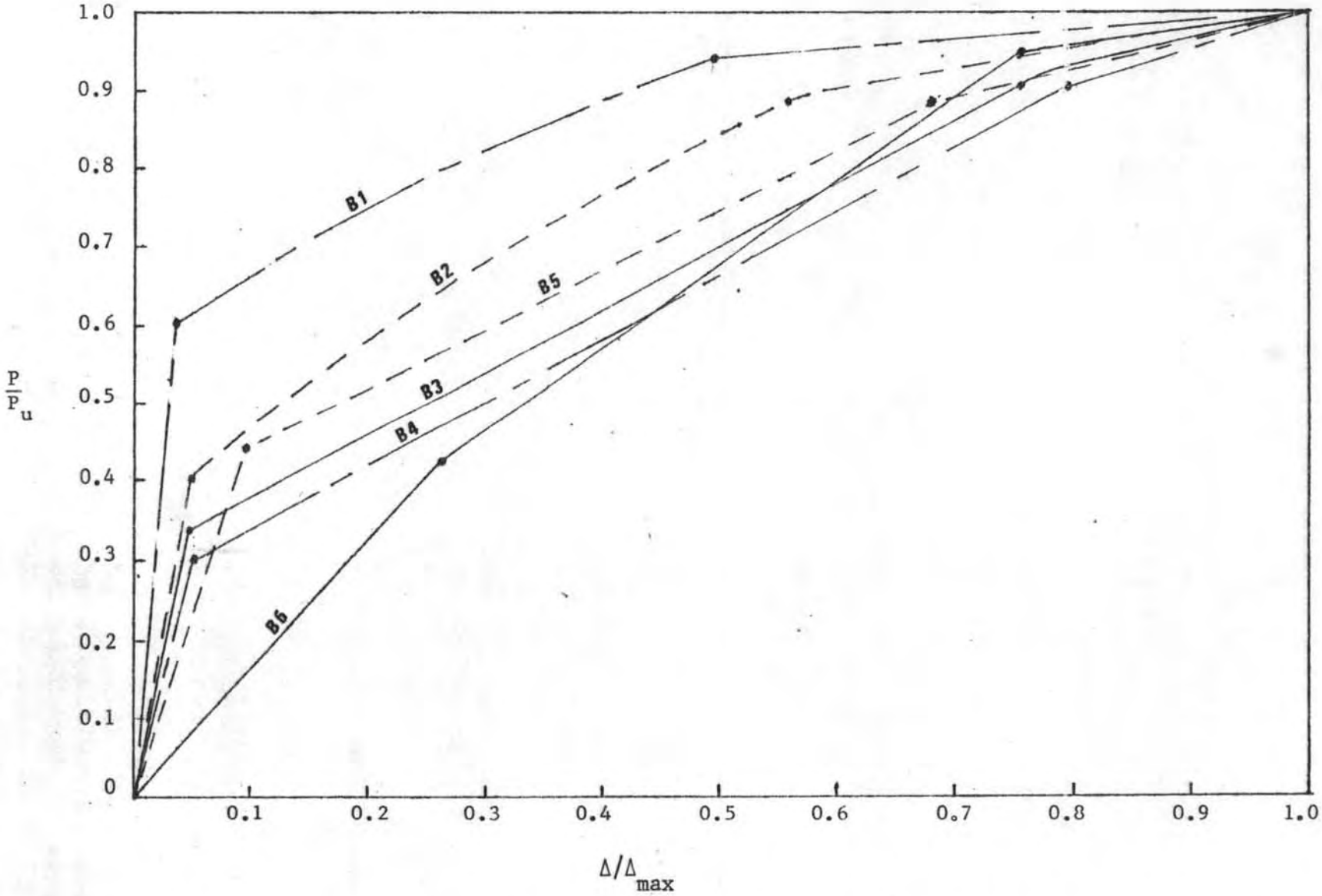
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 29 แสดงรอยแตกร้าวก่อนการวิบัติของคาน B6



รูปที่ 30 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งตัวกับน้ำหนักบรรทุกของคานตัวอย่าง



รูปที่ 31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการโก่งตัวต่อการโก่งตัวสูงสุดต่อน้ำหนักบรรทุกต่อน้ำหนักบรรทุกที่จุดประลัย