หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การทดลองการรับน้ำหนักของคานคอนกรีตอัดแรงแบบคานเชิงประกอบ

เนื่องจากไม่มีข้อมูลการทดลองคานคอนกรีตอัดแรงแบบคานเชิงประกอบที่มีลักษณะการแตกร้าวเนื่องจากแรงดัด-เฉือนจากแหล่งอื่น จึงได้ทำการทดลองคานประเภทนี้ขึ้น โดยพยายามให้เกิดลักษณะการแตกร้าวเนื่องจากแรงดัด-เฉือนในคานดังกล่าวดังต่อไปนี้คือ

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 เครื่องมือสำหรับหาคุณสมบัติของวัสดุ

1) เครื่องทดสอบวัสดุ Amsler ขนาด 20 ตัน ใช้ดึงเหล็กเพื่อหากำลังดึงของเหล็กเสริมอัดแรง

2) เครื่องทดสอบวัสดุ Amsler ขนาด 100 ตัน ใช้กดแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก เพื่อหากำลังอัดประลัย

3) ตะแกรงร่อนใช้ร่อนหาส่วนคละของทรายตั้งแต่เบอร์ 4-200

4) ตาชั่ง ใช้ชั่งน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ทราย หิน น้ำและแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

4.1.2 เครื่องมือสำหรับดึงเหล็กเสริมอัดแรง

1) เครื่องดึงเหล็ก Single wire stressing jack ยี่ห้อ Pual ของเยอรมัน มีกำลังดึงได้สูงสุด 6 ตัน พร้อมอุปกรณ์จับลวด (grip) และแท่นดึง

2) Dynamometer ทำจากแท่งอะลูมิเนียมให้เป็นรูปทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2.2 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.8 ซม. ยาว 5.2 ซม. ติดเกจวัดความเครียดแบบ full bridge ที่ผิวด้านนอกทั้งสี่ด้านซึ่งอยู่ตรงข้ามกัน และได้ปรับเทียบกับเครื่อง Amsler 20 ตัน ใช้วัดความเครียดของเหล็กเสริมอัดแรงอย่างละเอียด

ในขณะดึง

3) ไม้บรรทัด 15 ซม. ใช้วัดการยืดตัวของเหล็กเสริมอัดแรงขณะดึง

4.1.3 เครื่องมือสำหรับทดลองการรับน้ำหนักของคาน

1) Jack ขนาด 60,000 ปอนด์ของบริษัท Soiltest ซึ่งปรับเทียบกับเครื่อง Amsler ขนาด 200 ตัน ใช้กดน้ำหนักลงบนคานต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

2) เกจวัดระยะโก่ง (Mechanical dial gage) พร้อมขายึดแม่เหล็กใช้วัดระยะโก่งของคาน

3) เกจวัดความเครียด (Electrical Strain gages) แบบ KC-30-A1-11 มีระยะเกจ 30 มม. ความต้านทาน 120.0 ±0.3 โอห์ม เกจแฟคเตอร์ 2.07 ± 1% และแบบ KFC-30-C1-11 ซึ่งมีระยะเกจ 30 มม. ความต้านทาน 120 + 0.3 โอห์ม เกจแฟคเตอร์ 2.11 ± 1% ของบริษัท Kyowa Electronic Instrument ใช้วัดความเครียดของเหล็กเสริมแรงดึงสูง และคอนกรีตที่เกิดขึ้นในคานที่ใช้ทดลอง

4) กาว PC-12 ใช้ติดเกจวัดความเครียดกับเหล็กหรือคอนกรีต, ขี้ผึ้ง ใช้สำหรับเคลือบเกจวัดความเครียดกันความชื้นของบริษัท Kyowa Electronic Instrument และกัมกรีตใช้เคลือบเกจวัดความเครียดเพื่อป้องกันเกจวัดความเครียดจากการเทและกระทุ้งคอนกรีต

5) เครื่องอ่านความเครียดสถิต (Static Strain Indicator Type SM-60D) และเครื่อง Switching & Balancing Box Model SS-R ของบริษัท Kyowa Electronic Instruments ใช้อ่านความเครียดที่ได้จาก Dynamometer และเกจวัดความเครียด

6) สายไฟฟ้า ใช้ต่อเกจวัดความเครียดเข้ากับเครื่อง Strain Indicator และ Balancing Box

7) โครงเหล็กที่ใช้ถ่ายน้ำหนักจาก Jack, คานที่ใช้กดน้ำหนักและฐานรองรับ

8) ไม้บรรทัดเหล็กยาว 15 ซม., 50 ซม. และเทปเหล็กยาว 3.00 เมตร ใช้วัดขนาดของคานช่วงกดน้ำหนักและการโก่งของคาน ฯลฯ

4.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 เหล็กเสริมอัดแรง ใช้เหล็กเสริมอัดแรงของบริษัทเหล็กสยามประเภท Stress relieved เส้นเดี่ยวทั้งชนิดผิวเรียบและผิวเป็นปล้อง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มม. มีกำลังดึงประลัย 16,500 กก./ซม.^{2} มีโมดูลัสยืดหยุ่น 2.02 x 10^6 กก./ซม.^{2}

4.2.2 เหล็กเสริมธรรมดา ใช้เหล็กเส้นกลมผิวเรียบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ส่วนปลายงอขอตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1001-16 ระยะเรียงทุก ๆ ระยะ 20 ซม.

4.2.3 ปูนซีเมนต์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 3 (ตราช้างเอราวัณ)

4.2.4 ทราย ใช้ทรายหยาบมีโมดูลัสความละเอียด 2.7

4.2.5 หิน ใช้หินเบอร์ 1 ขนาดใหญ่สุด 3/4"

4.2.6 น้ำ ใช้น้ำประปา

4.2.7 ไม้แบบและค้ำยัน

4.3 การสร้างคานที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 การสร้างแบบ แบบทำจากไม้อัดหนา 10 มม. และใช้ไม้ยางเป็นคร่าวและค้ำยัน สำหรับรูปหน้าตัดอัดแรงสร้างเป็นรูป I สูงประมาณ 30 ซม. กว้างประมาณ 15 ซม. มือกคานตั้งแต่ 7 ซม. ถึง 10 ซม. ยาวประมาณ 335 ซม. สำหรับปีกใช้ขนาดกว้าง 30 ซม. หรือ 60 ซม. หนาประมาณ 5 ซม.

4.3.2 การดึงเหล็กเสริมอัดแรง ก่อนดึงเหล็กได้ติดเกจวัดความเครียดไว้ที่กลางเหล็กเสริมแรงดึงสูงซึ่งจะเป็นตำแหน่งกลางคาน เหล็กเสริมแรงดึงสูงถูกดึงอย่างช้า ๆ เป็นสองขั้นตอน ตอนแรกดึงประมาณ 1/3 ของที่ต้องการและตอนต่อไปดึงอีก 2/3 ของที่ต้องการ มีการตรวจสอบแรงดึงโดยเกจวัดความเครียดที่เหล็กเสริมแรงดึงสูง และ Dynamometer เปอร์เซนต์ของการดึงตั้งแต่ 0.42 - 0.57 ของกำลังประลัย

4.3.3 การผสมคอนกรีต การหลอและการบม ส่วนผสมได้ถูกคำนวณและทำการทดลองผสมจริงก่อนนำมาใช้ กำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับตัวคานตั้งแต่ 299-464 กก./ซม.^{2} และปีกคานตั้งแต่ 213 - 377 กก./ซม.^{2} การผสมทำ 2 ครั้งคือครั้งแรกปริมาณ

2/3 ของความลึกของคาน กรั้งต่อมาอีก 1/3 ของความลึกของคาน คุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตของคานทุก ๆ ตัวตามที่ปรากฏในตารางที่ 4.1 หลังจากเทและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว เริ่มทำการบ่มโดยใช้กระสอบคลุมและรดน้ำติดต่อกันจนกระทั่งกำลังของคอนกรีตสูงพอประมาณ 1-2 วันหลังจากเทคอนกรีตจึงแกะแบบและตัดลวด ได้ทำการวัดการโก่งตัวของคานหลังจากตัดลวด หลังจากนั้นจึงตั้งแบบปีกคานและเทคอนกรีตด้านบน ทำการถอดแบบเมื่อปีกคานมีกำลังแข็งแรงพอ (การตรวจสอบใช้เครื่องยิงคอนกรีต Concrete Hammer ช่วย) หลังจากนั้นทำการบ่มอีกประมาณ 4-7 วัน จึงพร้อมที่จะทำการทดลอง

4.3.4 การติดเกจวัดความเครียด

การติดเกจวัดความเครียดกับเหล็ก ก่อนติดใช้กระดาษทรายขัดผิวในตำแหน่งที่จะติดให้เรียบและเช็ดให้สะอาด หลังจากนั้นติดเกจวัดความเครียดด้วยกาว PC-12 แล้วใช้แผ่นพลาสติกปิดทับกดด้วยน้ำหนักประมาณ 0.5 กก./ซม.^{2} ประมาณ 2-3 ชั่วโมง จึงบัดกรีสายไฟฟ้าเข้ากับเกจวัดความเครียดแล้วใช้ขี้ผึ้งทาเคลือบเกจเพื่อกันความชื้น เสร็จแล้วจึงเคลือบด้วยกัมกรีตอีกครั้งหนึ่ง รอจนกระทั่ง 24 ชั่วโมงจึงใช้ทดลอง

การติดเกจวัดความเครียดกับคอนกรีต ก่อนติดใช้เครื่องขัดไฟฟ้าและกระดาษทรายขัดผิวให้เรียบและเช็ดให้สะอาด ทำผิวให้แห้งโดยใช้เครื่องเป่าผม แล้วจึงติดเกจวัดความเครียดด้วยกาว PC-12 แล้วใช้แผ่นพลาสติกปิดทับและใช้แผ่นเหล็กกดทับด้วยน้ำหนักประมาณ 0.5 กก./ซม.^{2} หลังจากติดประมาณ 2-3 ชั่วโมงจึงบัดกรีสายไฟฟ้าเข้ากับเกจวัดความเครียด แล้วจึงใช้ขี้ผึ้งเคลือบเพื่อกันความชื้นอีกครั้งหนึ่ง ตำแหน่งในการติดนั้นติดที่ด้านบนสุดในแนวแกนของคานห่างจากบริเวณจุดน้ำหนักกระทำประมาณ 7.5 ซม. บริเวณอื่นติดทุก ๆ ระยะ 15-30 ซม. นอกจากนั้นได้ติดไว้ที่กึ่งกลางคานด้านท้องคานและหลังคานเพื่อใช้วัดความเครียดในขณะตัดลวด

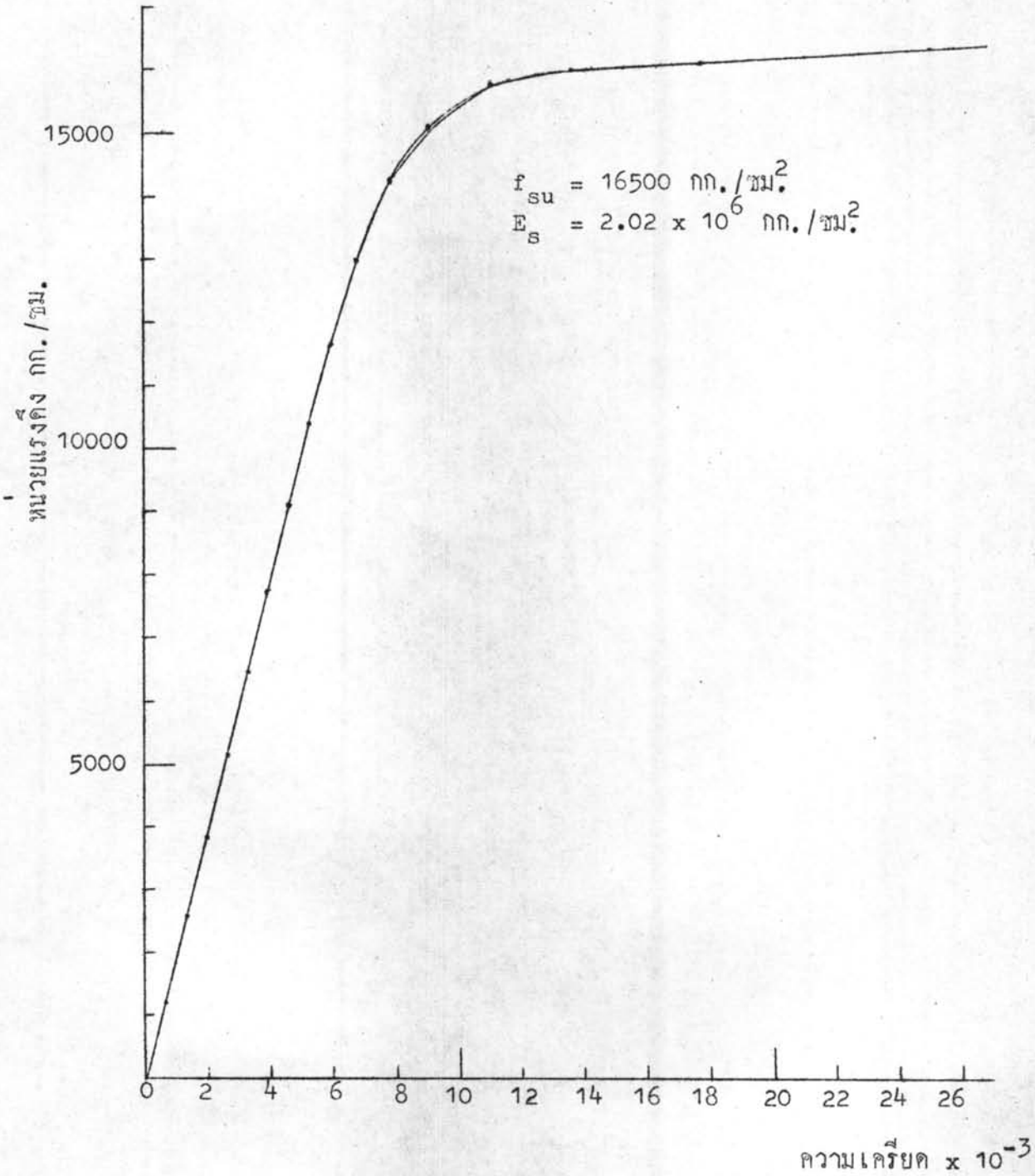
4.4 การทดลองการรับน้ำหนักของคาน

คานคอนกรีตอัดแรงแบบคานเชิงประกอบที่ใช้ในการทดลองมีอยู่ทั้งหมด 6 คาน ได้เปลี่ยนจำนวนและเปอร์เซนต์ของการอัดแรงของเหล็กเสริมอัดแรงกำลังประลัยของคอนกรีตขนาดของอกคานและปีกคาน รายละเอียดเกี่ยวกับหน้าตัดและเหล็กเสริมแสดงไว้ในตารางที่

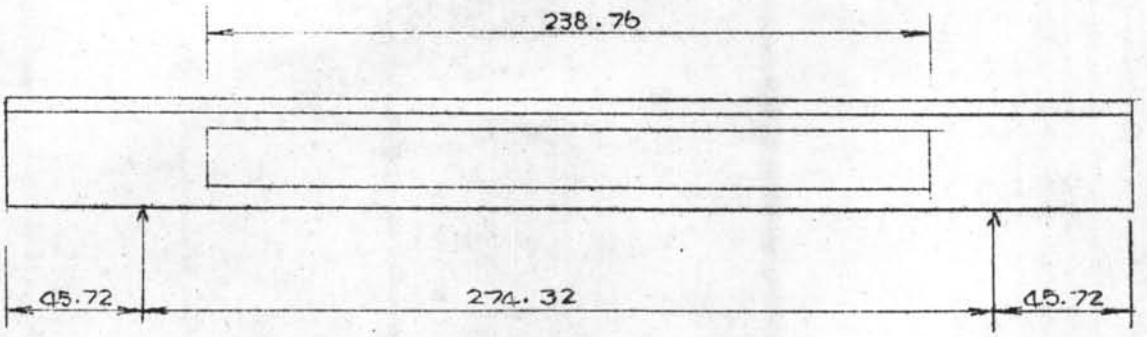
4.1 และ 4.2 มีระยะช่วง 274.3 ซม. น้ำหนักบรรทุกใช้แบบ"Third point loading" จำนวน 5 คาน ที่เหลือ 1 คานใช้น้ำหนักบรรทุกแบบจุดเดียวที่ตรงกลางคาน

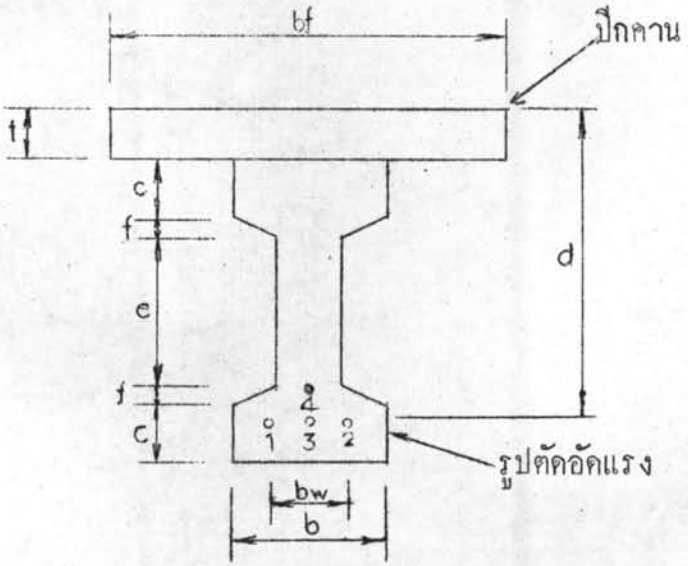
การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าต่าง ๆ การวัดระยะโก่งใช้เกจวัดระยะโก่งความละเอียด 0.01 มม. จำนวน 3 ตัว ติดที่กลางคานและที่หนึ่งในสามของช่วงคาน ถ้าคานโก่งมากจนอ่านเกจวัดระยะโก่งไม่ได้หรืออยู่ในสภาพไม่ปลอดภัย จะถอดเกจวัดระยะโก่งออกแล้วอ่านระยะโก่งจากไม้บรรทัดซึ่งติดไว้ที่กึ่งกลางคาน ส่วนเกจวัดความเครียดของเหล็กและคอนกรีตใช้ Electrical Strain gage paper โดยต่อแบบ "Half brigde" ซึ่งใช้ "Dummy Gage"ด้วยต่อกับเครื่องอ่านความเครียด สำหรับเกจวัดความเครียดที่ติดกับเหล็กเสริมแรงดึงสูง จะถูกอ่านเป็นระยะ ๆ ตั้งแต่เริ่มดึง ตัดลวด หลอปีกคาน และเริ่มทำการกดน้ำหนักจนกระทั่งคานวิบัติ สำหรับเกจวัดความเครียดที่ติดกับคอนกรีตจะถูกอ่านตั้งแต่เริ่มทำการกดน้ำหนักจนกระทั่งเสร็จสิ้นการทดลอง นอกจากตัวที่ติดไว้ที่กึ่งกลางคานเพื่อวัดความเครียดในขณะตัดลวด (ถายแรง) จะถูกอ่านก่อนและหลังตัดลวด

เมื่อเตรียมคานและเครื่องมือเสร็จเรียบร้อยพร้อมที่จะเริ่มทำการทดลองได้ ดังรูปที่ 4.3 จึงเริ่มต้นทำการทดลองโดยการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกครั้งละประมาณ 980 กก. (2000 lb ตามหน้าปัดของ Jack ที่ใช้กดน้ำหนัก) ในการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจะปรับอัตราการเพิ่มให้น้อยที่สุด ขณะทดลองได้บันทึกระยะโก่งและความเครียดที่เกิดขึ้นทุกครั้งที่มีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกและสังเกตการแตกร้าวที่เกิดขึ้นด้วย เมื่อเห็นรอยแตกร้าวให้ขีดเส้นตามรอยแตกราว พร้อมกับเขียนน้ำหนักบรรทุกขณะนั้นลงที่ปลายสุดของรอยแตกร้าวที่สังเกตเห็นติดตามรอยแตกร้าวพร้อมกับจดบันทึกต่อไปเรื่อย ๆ การทดลองจะเพิ่มน้ำหนักบรรทุกขึ้นไปจนกระทั่งเกิดการแตกร้าวเนื่องจากแรงดัด แล้วจึงลดอัตราการเพิ่มเหลือประมาณครั้งละ 245 กก. (500 lb ตามหน้าปัด Jack) พร้อมกับเฝ้าดูรอยแตกร้าวเนื่องจากแรงดัด-เฉือน และเพิ่มน้ำหนักบรรทุกไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงน้ำหนักบรรทุกประลัย

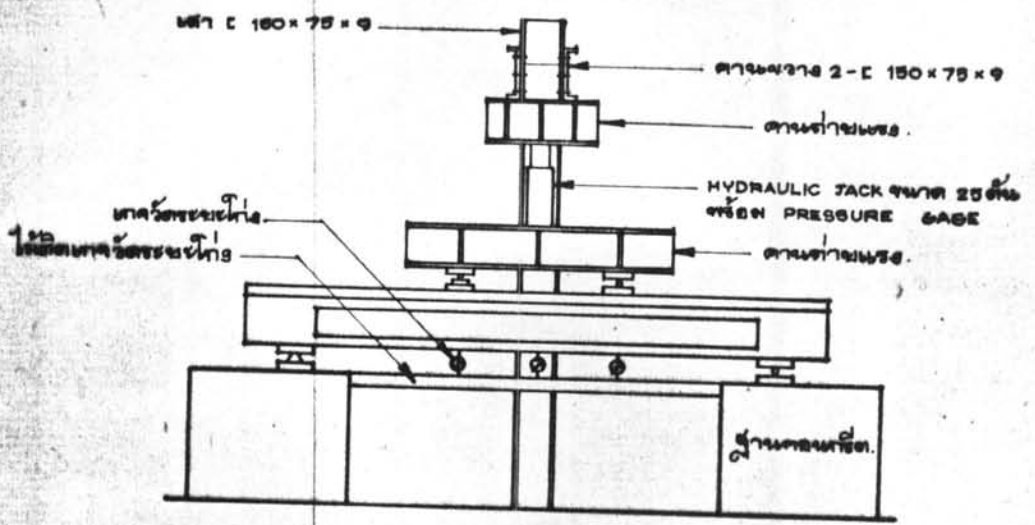


รูปที่ 4.1 การทดสอบการดึงเหล็กเสริมแรงดึงสูงเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 มม.

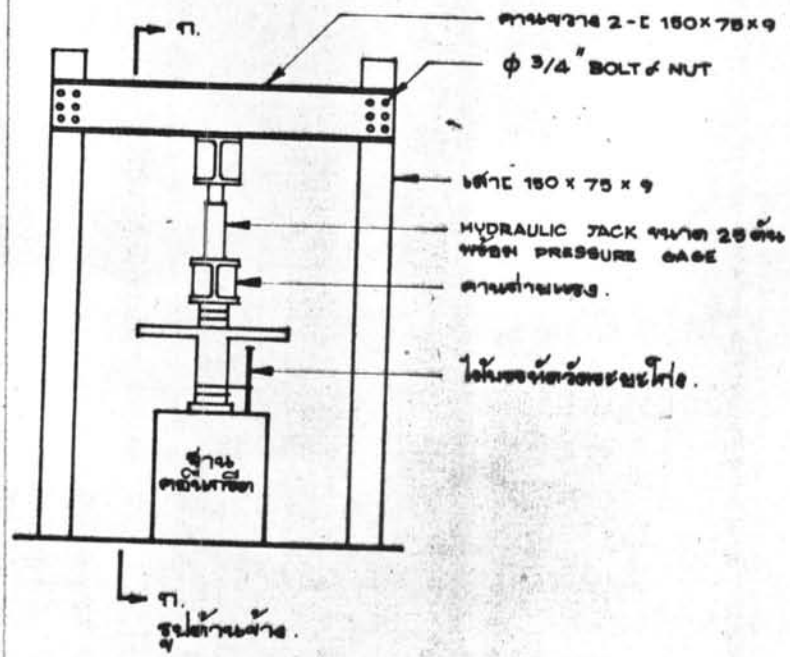




รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียดหน้าตัดของคานที่ใช้ในการทดลอง



รูปตัด ก-ก.



รูปด้านข้าง.

รูปที่ 4.3 แสดงการติดตั้งเครื่องมือการทดลอง.

ตารางที่ 4.1 แสดงคุณสมบัติของคอนกรีตของคานที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อคาน		กำลังประลัยของคอนกรีต f_c' กก/ซม.	ซีเมนต์:ทราย:หิน (โดยน้ำหนัก)	น้ำ:ซีเมนต์	การยุบตัว ซม.	อายุในการทดลอง วัน
F-1	คาน	464	1:1.30:2.50	0.54	2.5	13
	ปีกคาน	377	1:2.51:4.86	0.65	2.5	7
F-2	คาน	449	1:2.18:2.5	0.54	2.5	7
	ปีกคาน	282	1:2.92:2.74	0.61	5.0	4
F-4	คาน	388	1:2.30:2.20	0.50	2.5	8
	ปีกคาน	286	1:2.92:2.74	0.61	5.0	6
F-5	คาน	341	1:2.26:2.55	0.51	2.5	7
	ปีกคาน	266	1:2.75:2.97	0.65	5.0	5
F-6	คาน	337	1:2.26:2.55	0.51	2.5	7
	ปีกคาน	266	1:2.75:2.97	0.65	5.0	4
F-7	คาน	299	1:2.26:2.55	0.51	2.5	9
	ปีกคาน	213	1:2.75:2.97	0.65	5.0	6

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของคานต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อคาน	b ซม.	b_w ซม.	b_f ซม.	c ซม.	e ซม.	f ซม.	t ซม.	d ซม.
F-1	15.4	8.4	62.0	6.7	13.9	1.8	5.0	30.30
F-2	15.1	10.0	60.0	7.8	13.6	0.7	5.1	28.30
F-4	15.5	10.5	31.2	6.6	15.6	1.1	5.3	30.10
F-5	15.5	10.7	31.4	6.4	15.5	1.5	5.0	29.92
F-6	15.3	10.4	31.7	6.5	15.4	1.4	5.1	30.65
F-7	15.2	9.8	31.8	7.1	14.0	1.7	5.3	31.05

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของคานที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อคาน	กำลังประลัยของคอนกรีต (ตัวคาน) f'_c กก./ซม.^{2}	กำลังประลัยของคอนกรีต (ปีกคาน) f'_{cs} กก./ซม.^{2}	เนื้อที่ของเหล็กเสริมแรงดึงสูง A_{ps} ซม.^{2}	เปอร์เซนต์ของเหล็กเสริม ฯ p %	กำลังอัดประสิทธิผล f_{se} กก./ซม.^{2}	เปอร์เซนต์ของการอัดแรง %	ช่วงแรงเฉือน a ซม.
F-1	464	377	0.77	0.041	7420	45.0	91.4
F-2	449	282	1.55	0.091	9330	56.6	91.4
F-4	388	286	1.55	0.165	8420	51.0	91.4
F-5	341	266	1.55*	0.165	6960	42.2	91.4
F-6	337	266	1.55*	0.160	7594	46.0	91.4
F-7	299	213	1.16*	0.118	8197	49.7	137.2

* เหล็กเสริมแรงดึงสูงชนิดผิวเรียบ