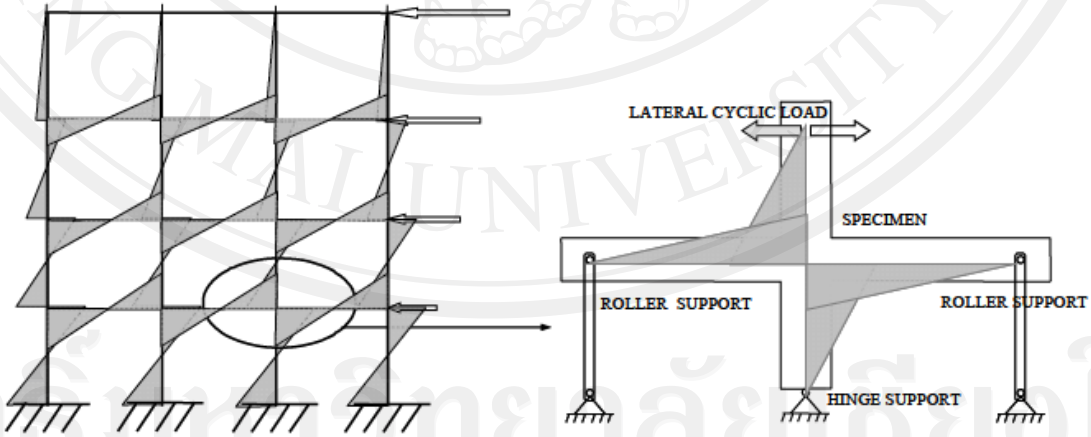
บทที่ 3
วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปถึงการศึกษาพฤติกรรมการรับแรงแผ่นดินไหวของโครงสร้างอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยตัวอย่างทดสอบที่จะทำการทดสอบนั้นจะต้องให้มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริง ซึ่งในขอบเขตของงานวิจัยนี้คือศึกษาจุดต่อภายในอาคารส่งผลให้ตัวอย่างที่จะการทดสอบจะต้องมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมของโครงสร้างจริงเมื่อรับแรงกระทำด้านข้าง โดยจากรูปที่ 3.1(ก) แสดงให้เห็นโมเมนต์ภายในโครงสร้างเมื่อมีแรงกระทำด้านข้างซึ่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบได้จากการจำลองพฤติกรรมของโครงสร้างภายในพื้นที่วงรีออกมาดังจะเห็นในรูปที่ 3.1(ข) ที่มีโมเมนต์สอดคล้องกับโครงสร้างจริง ดังนั้นตัวอย่างทดสอบจึงสามารถใช้เป็นตัวแทนของโครงสร้างอาคารจริงเพื่อดูรูปแบบความเสียหายที่เกิดบริเวณจุดต่อคาน-เสาได้ และรูปแบบอาคารที่ใช้สำหรับตัวอย่างจุดต่อภายในอาคารของงานวิจัยนี้นั้นอ้างอิงจากรูปแบบอาคารพาณิชย์โดยมีจำนวนชั้น 3-4 ชั้นส่งให้ขนาดของหน้าตัดรวมถึงปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้นั้นมีขนาดดังที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป



(ก) โมเมนต์ที่เกิดในอาคาร (ข) โมเมนต์ที่เกิดในตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.1 โมเมนต์ที่เกิดในโครงสร้างเมื่อมีแรงกระทำด้านข้าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.1 ตัวอย่างทดสอบ

รูปแบบของระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่ได้เลือกใช้ในงานวิจัยนี้นั้นเป็นระบบโครงเฟรมตามที่ได้กล่าวอ้างในบทที่ 2 ลักษณะของชิ้นส่วนจะเป็นแบบแท่งยาวประกอบด้วยชิ้นส่วนเสาและชิ้นส่วนคาน โดยสาเหตุที่งานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบโครงเฟรมนั้นเนื่องจากเป็นระบบที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย

เมื่อกล่าวถึงรายละเอียดของรูปแบบจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ ก่อนอื่นต้องขอกล่าวถึงรูปแบบจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปอื่นก่อนโดยจะเห็นว่าในบทที่ 2 นั้นได้กล่าวถึงไว้โดยจะเห็นว่าในประเทศไทยนั้นการเลือกใช้รูปแบบจุดต่อโดยใช้ระบบลวดอัดแรงร่วมด้วยนั้นยังไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างด้วยรูปแบบนี้ยังมีราคาค่อนข้างสูงบวกกับฝีมือด้านแรงงานก่อสร้างในประเทศไทยนั้นยังไม่มีประสิทธิภาพมากนักส่งผลให้งานวิจัยนี้มองไปถึงรูปแบบจุดต่อแบบเสมือนหล่อเป็นชิ้นเดียวกัน (equivalent monolithic) โดยเลือกใช้รูปแบบชิ้นส่วนสำเร็จคานและเสาและทำการเชื่อมต่อกันผ่านทางจุดต่อ โดยการออกแบบรายละเอียดของจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นทางผู้วิจัยได้มองถึงความสามารถในการถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนผ่านทางจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูป อีกทั้งยังต้องสามารถทำการติดตั้งที่หน้างานได้ง่ายไม่ยุ่งยากมากจนเกินไปจึงได้มองถึงเหล็กเสริมหน้าตัดตัวที เนื่องจากเหล็กหน้าตัดตัวทีนี้สามารถใช้เป็นแท่นวางเพื่อตั้งระดับของชิ้นส่วนคานจึงได้มีการเลือกใช้เหล็กเสริมหน้าตัดตัวทีในการฝังเข้าไปในบริเวณจุดต่อในส่วนของการเชื่อมต่อชิ้นส่วนเสานั้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีการเชื่อมต่อโดยใช้สลักเกลียวตามระบบ joint systems ที่ได้กล่าวในบทที่ 2 แต่ได้มีการปรับปรุงให้ใช้จุดต่อผสมกันระหว่างจุดต่อแบบแห้งและจุดต่อแบบเปียกเพื่อให้การติดตั้งสามารถทำได้ง่ายซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ในงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยตัวอย่างทั้งหมด 4 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นตัวอย่างที่ใช้วิธีการเทในที่ 2 ตัวอย่าง และตัวอย่างที่ใช้ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 2 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างทั้งสองรูปแบบการก่อสร้างนี้มีการออกแบบให้มีกำลังเท่ากันโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวอย่างสองรูปแบบ ซึ่งชื่อที่ใช้เรียกตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ตัวอย่างที่ชื่อขึ้นต้นด้วย M เป็นตัวอย่างที่ใช้วิธีการเทในที่ และตัวอย่างที่ชื่อขึ้นต้นด้วย P เป็นตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป

เมื่อกล่าวถึงเหล็กเสริมตามยาวของตัวอย่างทดสอบนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นตัวอย่างแบบหล่อในที่ใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. (DB 12) และมีกำลังที่จุดครากระบุของเหล็กเสริมตามยาว (f_y) ไม่น้อยกว่า 4,000 กก./ซม.^{2} (392 MPa) เป็นเหล็กเสริมตามยาวทั้งในส่วนของเสาและคาน ส่วนของตัวอย่างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นใช้เหล็กเสริมตามยาวแตกต่างจากตัวอย่างแบบหล่อในที่ซึ่งมีสาเหตุจากวิธีการเตรียมตัวอย่างที่กล่าวต่อไป โดยใช้เหล็กเสริมตามยาวของเสาเป็นเหล็กข้ออ้อยขนาด 25 มม. (DB 25) และมีกำลังที่จุดครากระบุของเหล็กเสริมตามยาว (f_y) ไม่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้อยกว่า 4,000 กก./ซม.^{2} (392 MPa) แต่เหล็กตามยาวในคานนั้นยังคงใช้เหล็กขนาดเดิมคือเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. (DB 12) และมีกำลังที่จุดคราก ระบุของเหล็กเสริมตามยาว (f_y) ไม่น้อยกว่า 4,000 กก./ซม.^{2} (392 MPa) และเหล็กหน้าตัดรูปตัว T คว่ำที่ใช้ฝังในชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปนั้นมีกำลังที่จุดคราก ระบุของเหล็กเสริมตามยาว (f_y) ไม่น้อยกว่า 2,500 กก./ซม.^{2} (245 MPa) และกำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกที่ใช้ในการออกแบบคือ 400 กก./ซม.^{2} (39 MPa)

มิติของเสาและคานของตัวอย่างทุกตัวอย่างนั้นมีขนาดเท่ากัน โดยเสามีขนาด 0.20 × 0.30 ม. และคานมีขนาด 0.15 × 0.30 ม. โดยปริมาณของเหล็กเสริมของตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยจะเห็นว่าเหล็กเสริมแกนในเสานั้นในตัวอย่างแบบเทในที่นั้นจะมีเหล็ก DB12 จำนวน 10 เส้นแต่ในตัวอย่างแบบชิ้นส่วนสำเร็จนั้นจะใช้เป็นเหล็ก DB25 จำนวน 4 เส้นเนื่องจากในข้อจำกัดของเหล็ก plate ที่เตรียมไว้เป็นแท่นเชื่อมต่อของชิ้นส่วนเสาซึ่งจะได้กล่าวในส่วนของรายละเอียดของตัวเหล็ก plate นี้ในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 3.1 ปริมาณเหล็กเสริมในตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่าง	คาน			เสา	
	B × H (m)	ρ	ρ'	B × H (m)	ρ_g
M1	0.15x0.30	0.0086 (3-DB12)	0.0116 (4-DB12)	0.20x0.30	0.0188 (10-DB12)
M2	0.15x0.30	0.0086 (3-DB12)	0.0116 (4-DB12)	0.20x0.30	0.0188 (10-DB12)
P1	0.15x0.30	0.0086 (3-DB12)	0.0116 (4-DB12)	0.20x0.30	0.032 (4-DB25)
P2	0.15x0.30	0.0086 (3-DB12)	0.0116 (4-DB12)	0.20x0.30	0.032 (4-DB25)

โดย B คือ ความกว้าง H คือ ความลึก

ρ คือ อัตราส่วนเหล็กเสริมล่างของคาน ρ' คือ อัตราส่วนเหล็กเสริมบนของคาน

ρ_g คือ อัตราส่วนเหล็กเสริมในเสา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.2 กำลังที่ออกแบบ

	การเสียหายรูปแบบเฉือน (kN)	การเสียหายรูปแบบดัด (kN)	การเสียหายรูปแบบการเฉือนที่จุดต่อ (kN)
M1	57	35	459
M2	57	50	459
P1	57	35	459
P2	57	35	459

หมายเหตุ แรงที่แสดงเป็นแรงเฉือนในชั้น (story shear) และตัวเลขขีดเส้นใต้คือกำลังวิบัติของตัวอย่าง

ในส่วนของกำลังที่ออกแบบของตัวอย่างทดสอบนั้นแสดงอยู่ในตารางที่ 3.2 โดยค่าที่แสดงทั้งหมดเป็นค่าแรงเฉือนในชั้น (shear story) ในตารางกำลังที่ออกแบบนี้ประกอบด้วยกำลังที่เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือน กำลังที่เกิดการวิบัติด้วยแรงดัด และกำลังที่เกิดการวิบัติด้วยแรงเฉือนในจุดต่อ ซึ่งกำลังที่น้อยที่สุดคือกำลังของตัวอย่างทดสอบ จากตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทุกตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติด้วยแรงดัดเมื่อดูจากกำลังที่ออกแบบ

รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างแต่ละตัวนั้นมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เช่น รูปแบบการเสริมเหล็กตามมาตรฐาน การเสริมเหล็กเพื่อย้ายจุดหมุนพลาสติก การเสริมเหล็กเพื่อง่ายในการติดตั้ง เป็นต้น ดังจะได้แสดงในส่วนของรายละเอียดการเสริมเหล็กในแต่ละตัวอย่าง

3.1.1 รายละเอียดของเหล็กเสริม

หัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายรายละเอียดของการเสริมเหล็กของตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่างรวมถึงสาเหตุที่ต้องเสริมเหล็กนั้นๆ

1. ตัวอย่าง M1

ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI 318 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่แนะนำการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และบริเวณจุดต่อคาน-เสายังออกแบบด้วยมาตรฐาน ACI 352R-02 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่แนะนำการออกแบบจุดต่อคาน-เสาแบบเนื้อเดียวกันของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยเป้าหมายที่ทำการออกแบบตัวอย่าง M1 นี้เพื่อใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงในการเปรียบเทียบตัวอย่างอื่นๆกับตัวอย่างที่ออกแบบโดยมาจรฐาน ACI ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง M1 สามารถดูได้จากรูปที่ 3.2 โดยเหล็กตามยาวของเสานั้นประกอบไปด้วยเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม.(DB12) จำนวน 10 เส้นตลอด

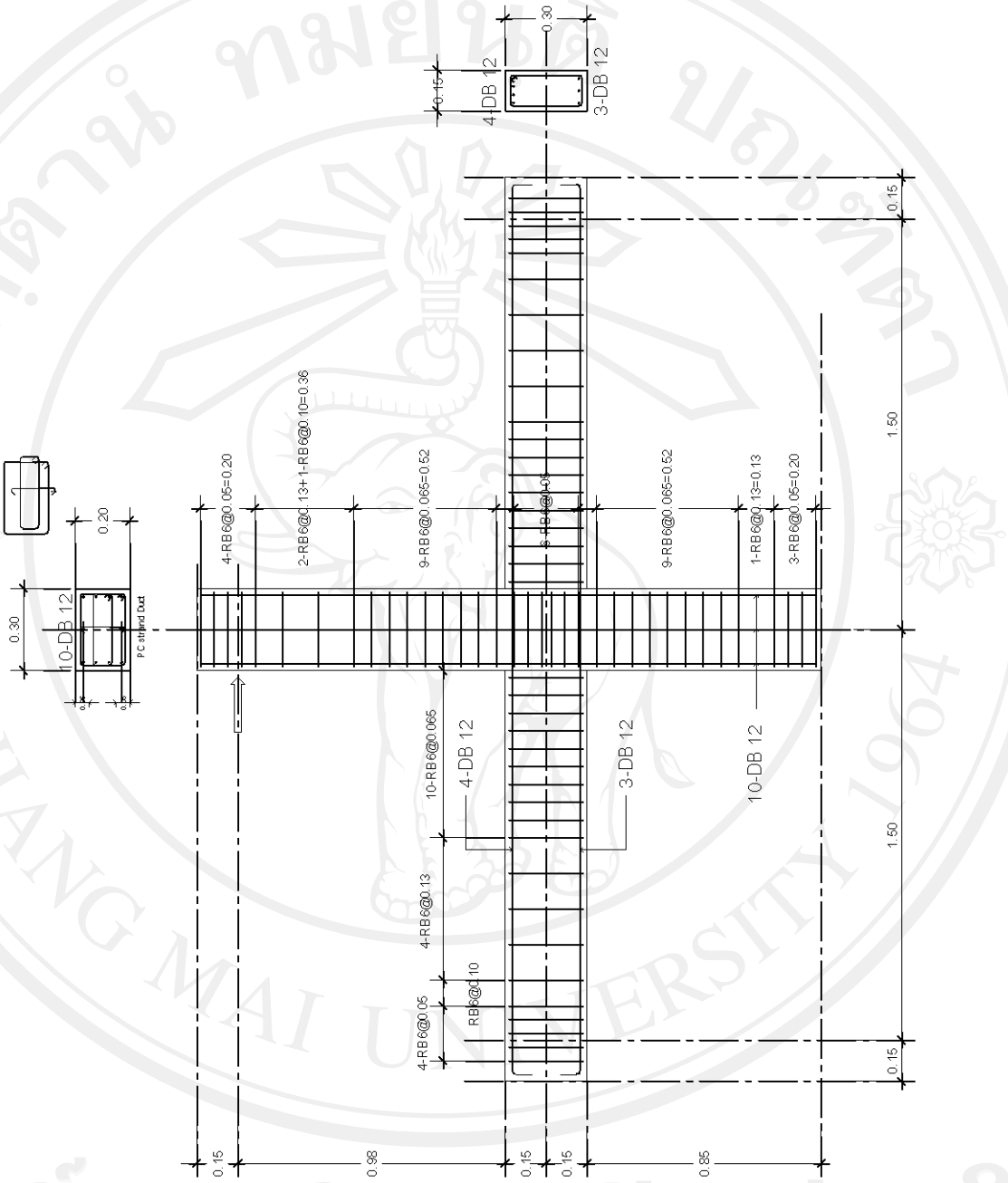
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ความยาวเสา และในส่วนของเหล็กเสริมในคานนั้นประกอบด้วยเหล็กบนเป็นเหล็กข้ออ้อย 12 มม. (DB12) 4 เส้น และเหล็กล่างเป็นเหล็กข้ออ้อยจำนวน 3 เส้น โดยสาเหตุที่ทำการเสริมเหล็กเช่นนี้เนื่องจากเมื่อโครงสร้างอาคารรับเพียงแรงในแนวดิ่งเนื่องจากน้ำหนักของตัวอาคารเองบริเวณปลายคานจะรับโมเมนต์ลบซึ่งเหล็กที่ทำหน้าที่รับแรงคือเหล็กบนส่งผลให้ปริมาณของเหล็กบนจึงมีมากกว่าในตัวอย่างนี้ ในส่วนของรายละเอียดการเสริมเหล็กปลอกในตัวอย่างนี้พบว่าบริเวณที่มีเหล็กปลอกถี่คือบริเวณที่ใกล้กับจุดต่อคาน-เสา เนื่องจากเมื่อโครงสร้างรับแรงกระทำด้านข้างส่งผลให้เกิดแรงเฉือนบริเวณจุดต่อคาน-เสามากที่สุดดังแสดงในรูป 3.1(ข) ส่งผลให้ต้องมีการเสริมเหล็กปลอกบริเวณดังกล่าวเป็นพิเศษเพื่อช่วยทำหน้าที่ในการรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นอีกทั้งหน้าที่อีกส่วนหนึ่งของเหล็กปลอกคือช่วยโอบรัดคอนกรีตไว้ไม่ให้หลุดร่วงออกไปเมื่อโครงสร้างต้องรับแรงแผ่นดินไหวซึ่งเป็นแรงกระทำแบบวนซ้ำและสลับทิศไปมา เหล็กปลอกที่ใช้ในตัวอย่างนี้ทั้งหมดเป็นเหล็กกลมขนาด 6 มม.(RB6)

2. ตัวอย่าง M2

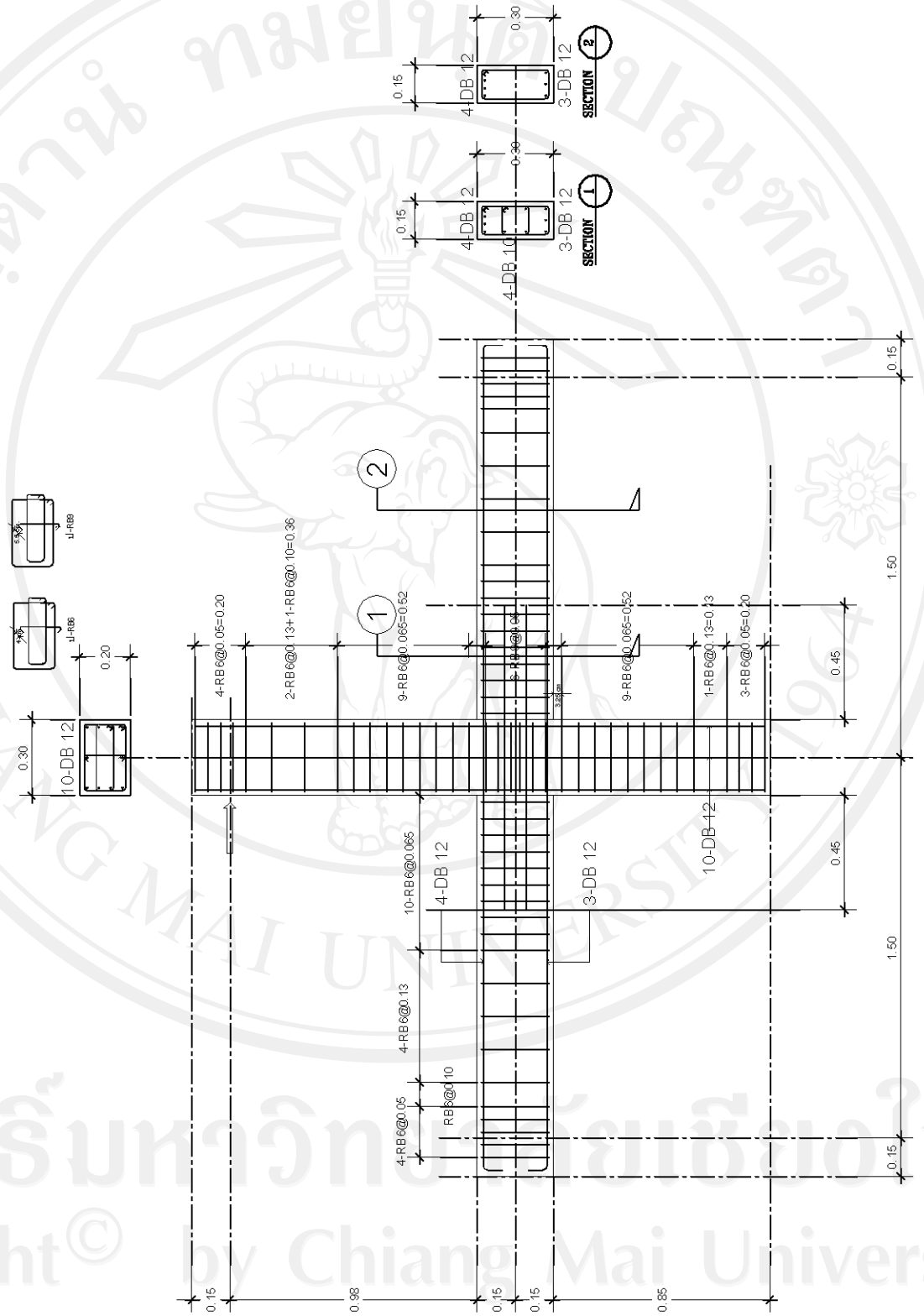
รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง M2 นี้เกือบทั้งหมดเหมือนกับรายละเอียดของตัวอย่าง M1 ทั้งในส่วนของรายละเอียดการเสริมเหล็กตามยาวในเสารวมถึงรายละเอียดการเสริมเหล็กในคาน โดยในตัวอย่างนี้สิ่งที่เพิ่มเติมคือการเสริมเหล็กเสริมระดับกลาง (intermediate steel) บริเวณจุดต่อคาน-เสา ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งในตัวอย่างนี้ได้ทำการเพิ่มเติมเหล็กข้ออ้อยขนาด 10 มม.(DB10) จำนวน 4 เส้น สาเหตุที่ทำการเสริมเหล็กเสริมระดับกลางนี้มีสาเหตุมาจากเดิมโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อรับแรงแผ่นดินไหวโดยทั่วไปนั้นจะมีการเสริมเหล็กปลอกเป็นพิเศษเพื่อช่วยในการรับแรงแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้น เมื่อแรงแผ่นดินไหวมีความรุนแรงจนก่อให้เกิดความเสียหายต่อโครงสร้างแล้วความเสียหายที่เกิดขึ้นมักจะเกิดบริเวณหน้าเสาซึ่งเป็นจุดที่รับแรงมากที่สุด หากบริเวณดังกล่าวเกิดความเสียหายย่อมส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อจุดต่อคาน-เสาซึ่งความเสียหายนี้เป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้การเสื่อมถอยของกำลังเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการเสนอแนวคิดเสาแข็ง-คานอ่อน (weak beam - strong column) ซึ่งเป็นแนวคิดที่ให้การวิบัติเกิดที่บริเวณคานก่อนเป็นส่วนแรก โดยความเสียหายที่เกิดคือการเกิดจุดหมุนพลาสติก (plastic hinge) ซึ่งตำแหน่งที่เกิดจุดหมุนนี้ควรจะเกิดห่างจากบริเวณจุดต่อคาน-เสาส่งผลให้มีการเสนอให้เสริมเหล็กเสริมระดับกลาง หลักการคือการเสริมให้บริเวณจุดต่อและปลายคานมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นเพื่อย้ายจุดหมุนให้เกิดในจุดที่อ่อนแอกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.2 รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง M1 (หน่วยเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

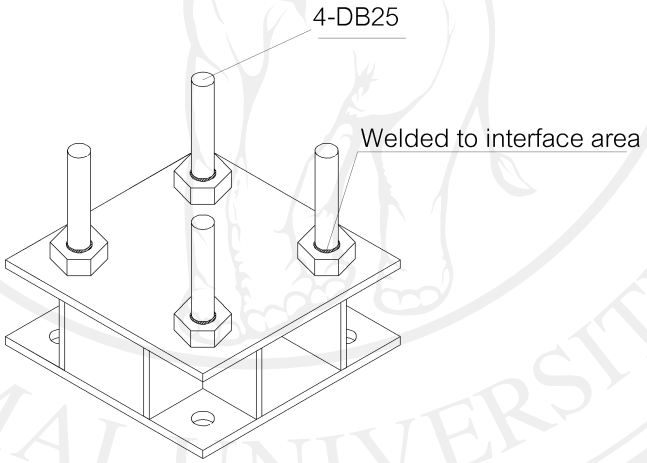


รูปที่ 3.3 รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง M2 (หน่วยเมตร)

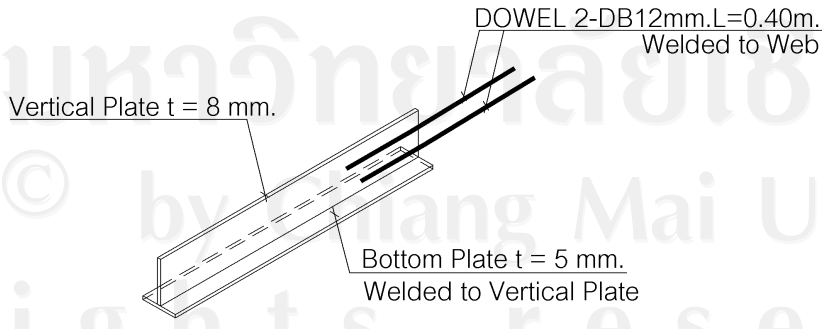
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3. ตัวอย่าง P1

ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างที่ใช้วิธีการก่อสร้างโดยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งประกอบไปด้วยชิ้นส่วนของเสาบน เสาล่าง และคานทั้งสองฝั่งรวมเป็น 4 ชิ้นส่วนประกอบกัน ในส่วนของการเตรียมตัวอย่างกล่าวในหัวข้อถัดไป รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างนี้ประกอบด้วยชิ้นส่วนเสาท่อนบนใช้เหล็กข้ออ้อยขนาด 25 มม. (DB25) จำนวน 4 เส้นเชื่อมต่อกับเหล็ก plate ดังรูปที่ 3.4 โดยการเชื่อมต่อเหล็กข้ออ้อยกับ plate นั้นใช้น๊อตในการยึดแน่นและทำการเชื่อมบริเวณน๊อตให้ติดกับเหล็กข้ออ้อยเพื่อป้องกันการคลายตัวของน๊อต และ plate ดังกล่าวยังทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับเสาท่อนล่างด้วยการใช้น๊อตเช่นเดียวกัน ในส่วนของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปนั้นประกอบด้วยเหล็กบนเป็นเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม. (DB12) จำนวน 4 เส้นและเหล็กล่างเป็นเหล็กข้ออ้อยขนาด 12 มม.จำนวน 3 เส้น และจะมีเหล็กหน้าตัวรูปตัว T หงายดังแสดงในรูปที่ 3.5 ฝังไว้ที่ปลายคานเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนอื่น รายละเอียดของการเสริมเหล็กแสดงในรูปที่ 3.6

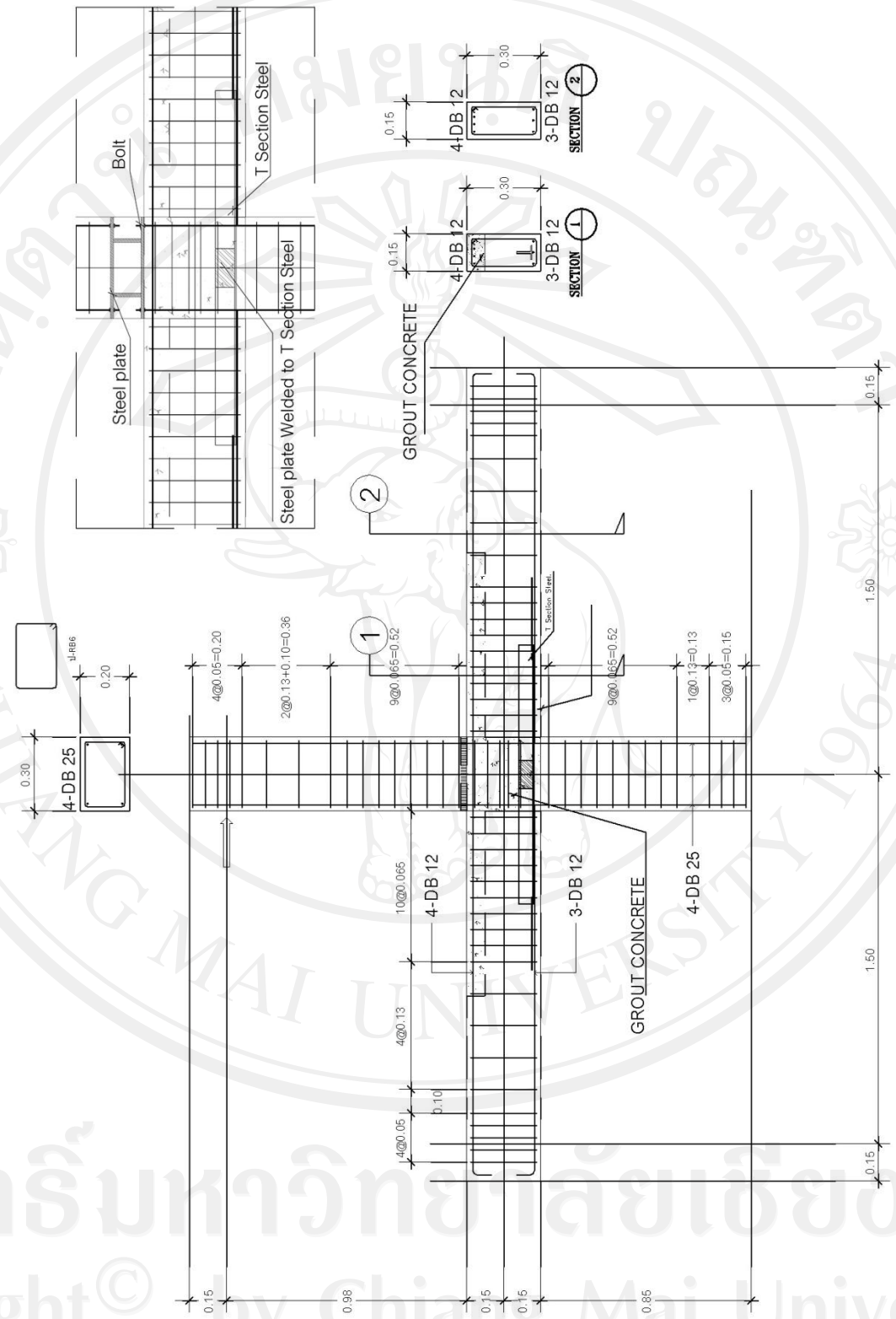


รูปที่ 3.4 เหล็ก plate สำหรับเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนเสาท่อนล่าง



รูปที่ 3.5 เหล็กหน้าตัดรูปตัว T

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

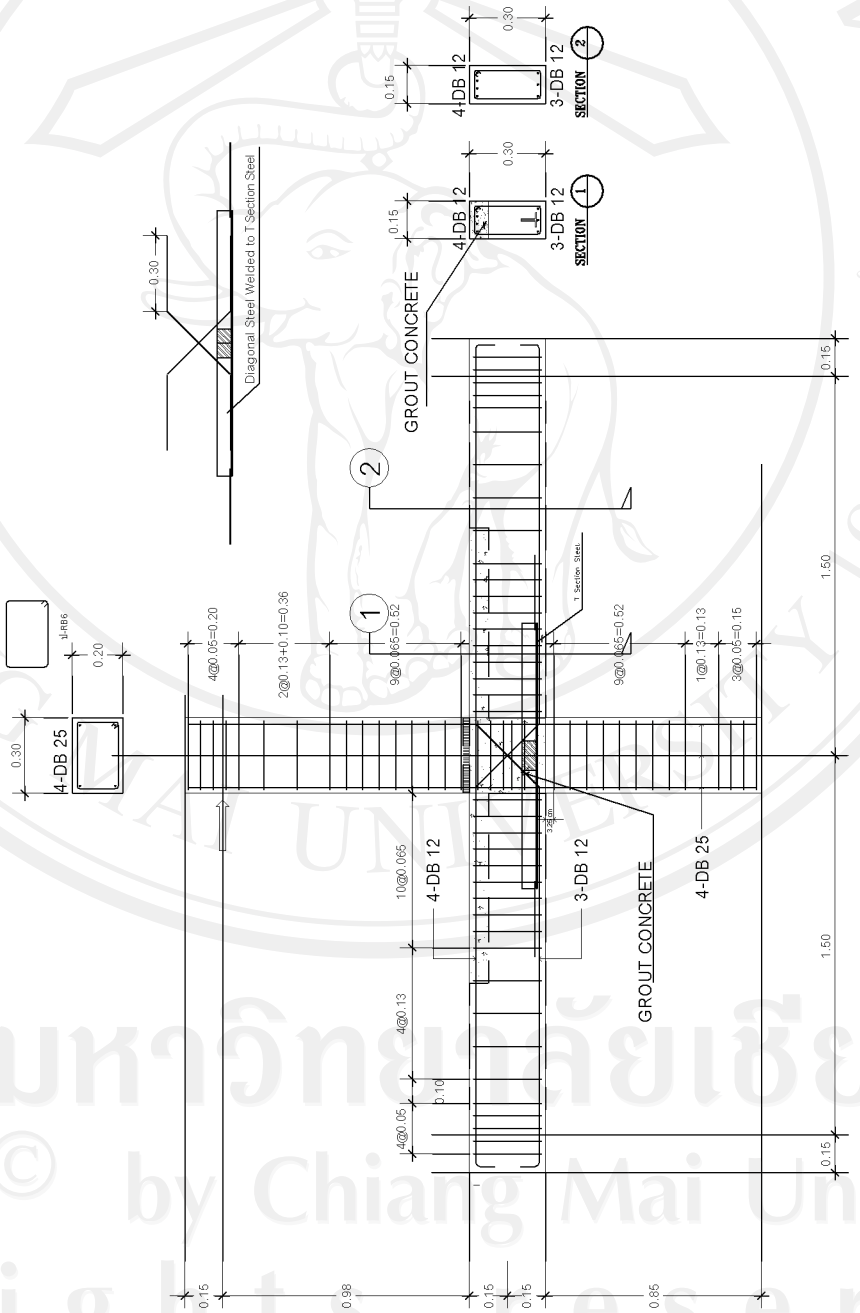


รูปที่ 3.6 รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง P1 (หน่วยเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4. ตัวอย่าง P2

รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่างนี้เหมือนกับ P1 ทั้งในส่วนของรายละเอียดเหล็กเสริมและจำนวนชิ้นส่วนสำเร็จ โดยสิ่งที่เพิ่มเติมเข้ามาคือในส่วนของเหล็กเสริมในแนวทแยงบริเวณจุดต่อดังแสดงในรูปที่ 3.7 ซึ่งเหล็กเสริมในส่วนนี้จากงานวิจัยที่ผ่านในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบหล่อในที่นั้นส่งผลให้กำลังของจุดต่อเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อนำเข้ามาเพิ่มเติมเข้าไปในชุดต่อแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปโดยมีสมมุติฐานว่าช่วยทำให้กำลังของจุดต่อเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 3.7 รายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง P2 (หน่วยเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 การเตรียมตัวอย่างและประกอบตัวอย่าง

3.2.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงการเตรียมตัวอย่างทดสอบทั้งในตัวอย่างแบบหล่อในที่และตัวอย่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป ในการเตรียมตัวอย่างแบบเทในที่นั้นไม่ได้มีความซับซ้อน ซึ่งการมัดเหล็กเหล็กเสริมนั้นเป็นการมัดเหล็กโดยทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 การมัดเหล็กของตัวอย่างแบบเทในที่

หลังจากที่ทำการมัดเหล็กตามแบบที่ต้องการแล้วจึงทำการติดเครื่องมือวัดการยืดตัวของเหล็ก (strain gauge) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ต้องให้ความสำคัญเนื่องจากหากทำการติดเครื่องมือไม่ดีเมื่อทำเทคอนกรีตแล้วจะไม่สามารถทำการแก้ไขได้ซึ่งขั้นตอนในการติด strain gauge มีขั้นตอนดังนี้

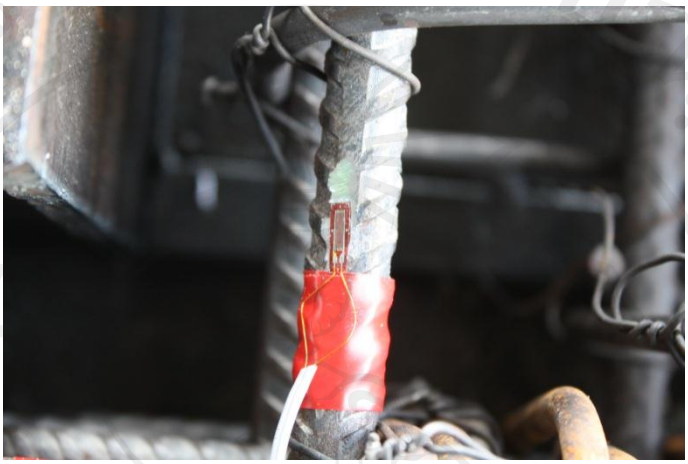
1. ทำการแต่งผิวเหล็กให้เรียบเพื่อให้เครื่องมือติดแนบสนิทกับเหล็กเสริมดังแสดงในรูปที่ 3.9

รูปที่ 3.9 การแต่งผิวเหล็กให้เรียบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2. ทำความสะอาดผิวเหล็กด้วยแอลกอฮอล์เพื่อกำจัดคราบน้ำมันบริเวณผิวเหล็ก

3. ทำการติด strain gauge ตามตำแหน่งที่ต้องการตามรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การติด strain gauge

4. ทำการพับเทปแบบกันน้ำปิดเพื่อป้องกันไม่ให้ strain gauge สัมผัสกับคอนกรีต และทาทับด้วยขี้ผึ้งเพื่อกันน้ำซึมอีกชั้นดังแสดงในรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.11 การพันเทปปิด strain gauge และทาทับด้วยขี้ผึ้ง

เมื่อทำการเก็บสายไฟวัดค่าการยืดตัวของเหล็กเสริมแล้วจึงทำการคอนกรีตและบ่มจนได้อายุที่ต้องการ

ในส่วนของตัวอย่างชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นอาจมีความซับซ้อนมากกว่าตัวอย่างแบบเทในที่โดยในการเตรียมตัวอย่างนั้นจะอธิบายเป็นส่วนๆเพื่อความเข้าใจ โดยเริ่มจากการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เตรียมชิ้นส่วนเสาท่อนบนซึ่งในการเตรียมเหล็กเสริมนั้นต้องทำการยึดเหล็กเสริมตามยาวเข้ากับเหล็ก plate ที่ใช้เป็นฐานด้วยการใช้น๊อตยึดเหล็กเข้ากับฐานและเชื่อมที่บริเวณน๊อตติดกับ plate เหล็กเพื่อป้องกันการคลายตัวดังแสดงในรูปที่ 3.12 จากนั้นจึงทำการมัดเหล็กปลอกตามที่ออกแบบ

รูปที่ 3.12 การเสริมเหล็กเสริมของเสาท่อนบน

ส่วนของเสาท่อนล่างนั้นไม่ต้องมีเหล็ก plate แต่จะต้องมีการเว้นเหล็กเดือยที่ใช้เชื่อมต่อกับเสาท่อนบนด้วยและเว้นพื้นที่สำหรับการเชื่อมต่อคานดังแสดงในรูปที่ 3.13 บริเวณปลายเหล็กต้องมีการกลึงเกลียวเพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนเสาท่อนบนด้วยน๊อต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.13 เหล็กเสริมของเสาท่อนล่าง

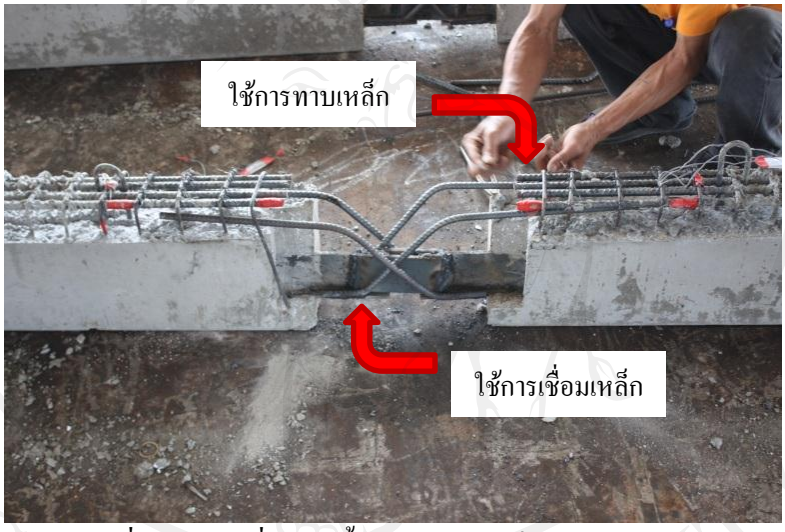
ชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปการมัดเหล็กเสริมตามยาวนั้นรายละเอียดของเหล็กเสริมเหมือนกับตัวอย่างแบบหล่อในที่โดยจะมีการฝังเหล็กหน้าตัวตัว T บริเวณท้องปลายคาน ซึ่งเหล็กนี้มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับชิ้นส่วนคานอื่น

รูปที่ 3.14 การเตรียมเหล็กเสริมของชิ้นส่วนคาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2.2 การประกอบตัวอย่าง

หัวข้อนี้เป็นการประกอบตัวอย่างรูปแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การประกอบชิ้นส่วนสำเร็จรูปในแนวราบเพื่อความสะดวกในการประกอบตัวอย่างแต่ในการใช้งานจริงการประกอบตัวอย่างจะประกอบในแนวดิ่งตามขั้นตอนการก่อสร้าง การประกอบตัวอย่างทดสอบเริ่มจากการเชื่อมต่อชิ้นส่วนคานเข้าด้วยกันเพื่อให้คานเป็นชิ้นเดียวกันโดยการเชื่อมเหล็กรูปตัวทีให้ติดกันโดยใช้เหล็กแผ่นประกบและใช้การเชื่อมตามรูปที่ 3.15 รวมถึงการเชื่อมทาบเหล็กเสริมในแนวทแยงเข้ากับเหล็กตัวทีในชิ้นส่วนคาน (สำหรับตัวอย่างที่มีการเสริมเหล็กแนวทแยง) สำหรับตัวอย่างที่มีการทาบเหล็กบริเวณจุดต่อก็ทำการทาบเหล็กและมัดเหล็กให้เรียบร้อยก่อน



รูปที่ 3.15 การเชื่อมต่อชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปตัวอย่าง P2

จากนั้นจึงทำการประกอบชิ้นส่วนคานเข้ากับชิ้นส่วนเสาดังรูปที่ 3.16 ซึ่งการเชื่อมต่อในแนวราบนี้ให้สอดชิ้นส่วนคานเข้าไปในชิ้นส่วนเสาท่อนล่างจากนั้นจึงทำการประกอบเสาท่อนบนเข้ากับเสาท่อนล่างโดยการยึดด้วยน๊อตและทำการเชื่อมน๊อตติดกับเหล็ก plate จากนั้นจึงทำการปรับชิ้นส่วนให้ตั้งฉากกันและทำการยึดตัวอย่างเพื่อไม่ให้ตัวอย่างเคลื่อนและสุดท้ายจึงทำการเทปูนเกราท์แบบไม่หดตัวที่มีกำลังสูงปิดบริเวณจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปเพื่อให้ตัวอย่างเชื่อมต่อเป็นชิ้นเดียวกันและสามารถถ่ายแรงผ่านทางจุดต่อได้เมื่อโครงสร้างรับแรงเสมือนแรงแผ่นดินไหวที่ทำการทดสอบในงานวิจัย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.16 การประกอบตัวอย่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

รูปที่ 3.17 การปรับชิ้นส่วนให้ตั้งฉากกัน

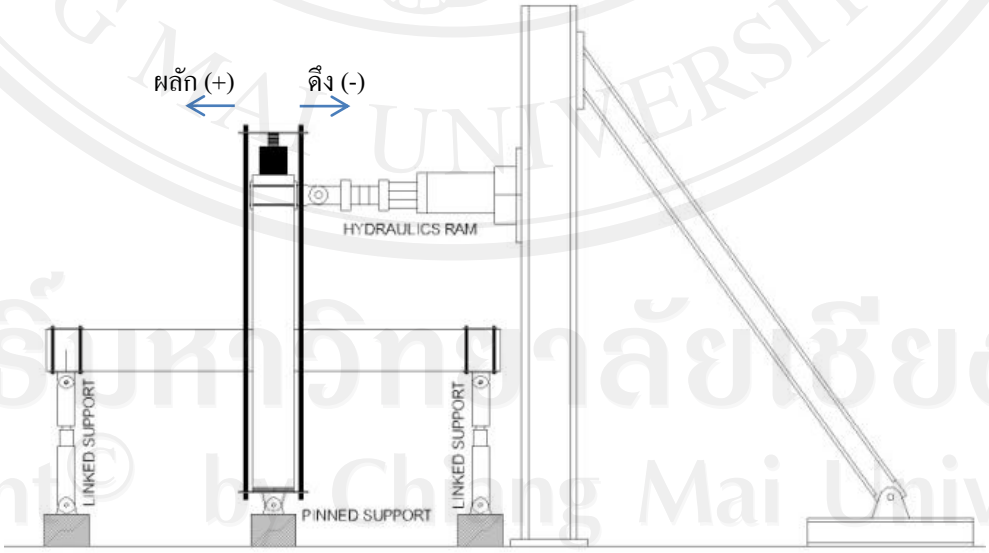
รูปที่ 3.18 เทปูนเกราท์ปิดจุดเชื่อมตัวอย่างชิ้นส่วนสำเร็จรูป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 การติดตั้งและวิธีการทดสอบ

3.3.1 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

การจำลองพฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างซึ่งมีสาเหตุจากแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กออกมาเป็นตัวอย่างทดสอบนั้นได้กล่าวในหัวข้อก่อนหน้านี้แล้ว แต่ในส่วนของการติดตั้งตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ การให้แรงกระทำต่อตัวอย่างย่อมต้องมีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการรับแรงกระทำในโครงสร้างจริง ซึ่งจากการศึกษาถึงวิธีการทดสอบตัวอย่างจุดต่อคาน-เสาภายในอาคารโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้ออกแบบวิธีการยึดรั้งรวมถึงตำแหน่งที่ให้แรงกระทำต่อตัวอย่างทดสอบออกมาดังรูปที่ 3.19 การยึดรั้งตัวอย่างนี้ให้ฐานของตัวอย่างทดสอบมีการยึดรั้งแบบหมุนได้ (Pin) หรือก็คือการยึดรั้งที่ฐานสามารถหมุนอย่างอิสระในทิศที่กำหนด และการยึดรั้งบริเวณคานนั้นให้มีการยึดรั้งแบบเลื่อนได้ (Roller) หรือก็คือการยึดรั้งที่ให้มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระในทิศทางที่กำหนด ในส่วนของตำแหน่งที่ให้แรงกระทำในการทดสอบได้กำหนดตำแหน่งที่ให้แรงกระทำที่ตำแหน่งหัวเสาโดยสิ่งที่ทำหน้าที่ให้แรงกระทำในการทดสอบคือแม่แรงไฮดรอลิค (hydraulic pump) ขนาด 60 ตันซึ่งมีการยึดรั้งกับตัวอย่างทดสอบแบบหมุนได้ (Pin) และการเลียนแบบพฤติกรรมการรับแรงของเสาจำเป็นต้องมีแรงในแนวแกนกระทำต่อเสาของตัวอย่างทดสอบ โดยในการทดสอบนี้ได้ให้แรงกระทำในแนวแกนต่อเสาที่ $0.1A_c f_c'$ ซึ่งเป็นค่าที่แนะนำสำหรับการเลียนแบบพฤติกรรมเสาในการวิจัย ซึ่งการติดตั้งตัวอย่างจริงแสดงดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 การออกแบบการติดตั้งตัวอย่างทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

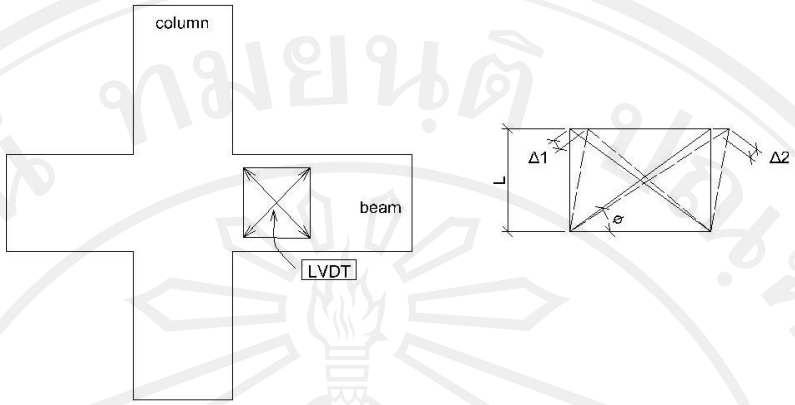
รูปที่ 3.20 การติดตัวตัวอย่างทดสอบในโรงปฏิบัติการ

3.3.2 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่า

สิ่งที่ต้องการในการทำวิจัยก็คือข้อมูลการทดสอบที่ได้จากเครื่องมือวัดค่าต่างๆ ฉะนั้นในการทดสอบใดๆก็ตามย่อมต้องมีการติดตั้งเครื่องมือทดสอบซึ่งในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดการติดตั้งเครื่องมือดังนี้

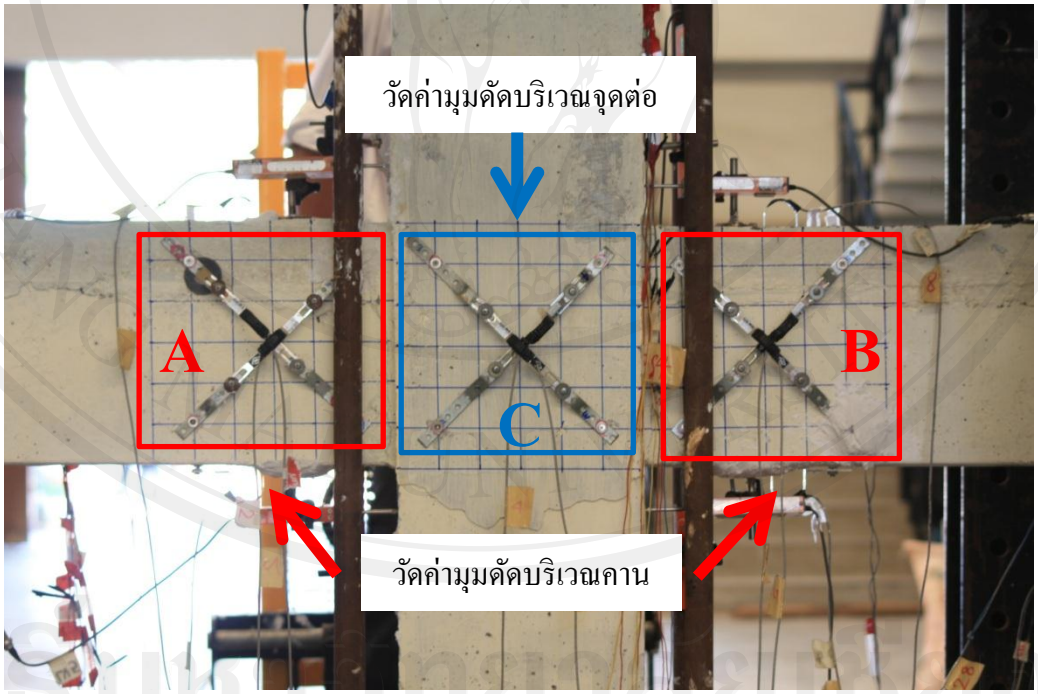
การวัดค่ามุมดัด (rotation angle) เนื่องจากแรงเฉือนบริเวณคานและบริเวณจุดต่อเมื่อบริเวณดังกล่าวได้รับแรงเฉือน โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดการเสียรูปประกอบด้วย PI-gauge ขนาด ±5 มม. จำนวน 2 ตัวต่อหนึ่งตำแหน่งที่ทำการวัดค่ามุมดัด โดยหลักการการวัดมุมดัดที่เสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนแสดงในรูปที่ 3.21 หลักการของการวัดมุมดัดนั้นอาศัยความสัมพันธ์ของระยะการเคลื่อนที่ของ PI-gauge ทั้งสองตัว และการติดเครื่องมือในตัวอย่างทดสอบจริงแสดงในรูปที่ 3.22 ซึ่งในพื้นที่โซน A และ B เป็นการวัดมุมดัดของคานและในพื้นที่โซน C เป็นการวัดมุมดัดของจุดต่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



$$\text{rotationangle}(\delta)=\frac{-\Delta_1-\Delta_2}{2L\cos\phi}$$

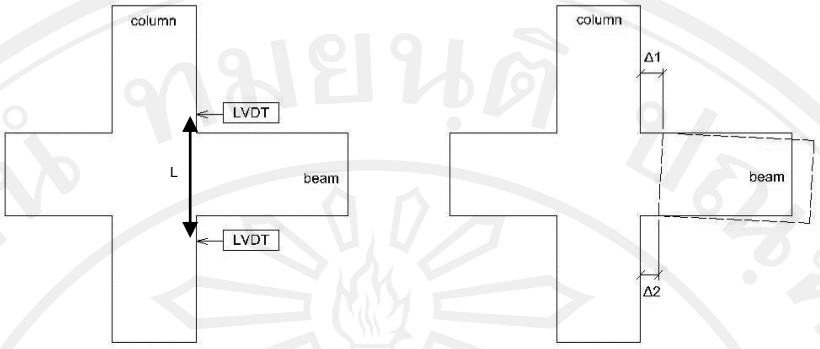
รูปที่ 3.21 หลักการวัดมุมดัดเนื่องจากแรงเฉือน



รูปที่ 3.22 การติดเครื่องมือวัดค่ามุมดัดเนื่องจากแรงเฉือน

การวัดค่ามุมเกร็ง (rocking angle) เป็นการวัดค่าการเสียรูปของคานและเสาเนื่องจากแรงดัดบริเวณหน้าเสา ซึ่งหลักการวัดค่ามุมเกร็งของคานนั้นแสดงในรูปที่ 3.23 และในส่วนของการติดเครื่องมือในการทดสอบจริงใช้ LVDT จำนวน 4 ตัวในการวัดค่าดังแสดงในรูปที่ 3.25

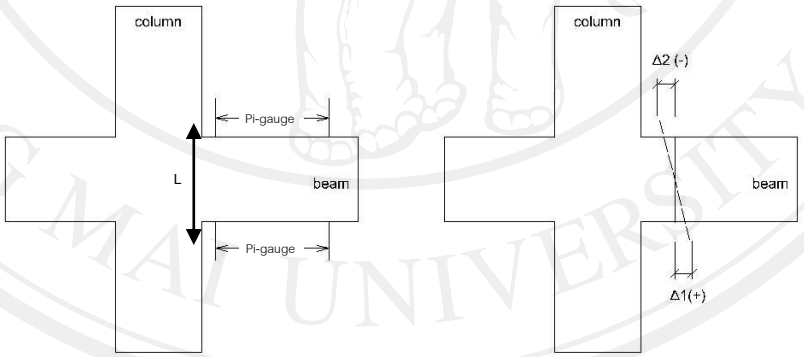
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



$$\text{rocking angle } (\theta) = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{L}$$

รูปที่ 3.23 หลักการวัดค่า rocking angle

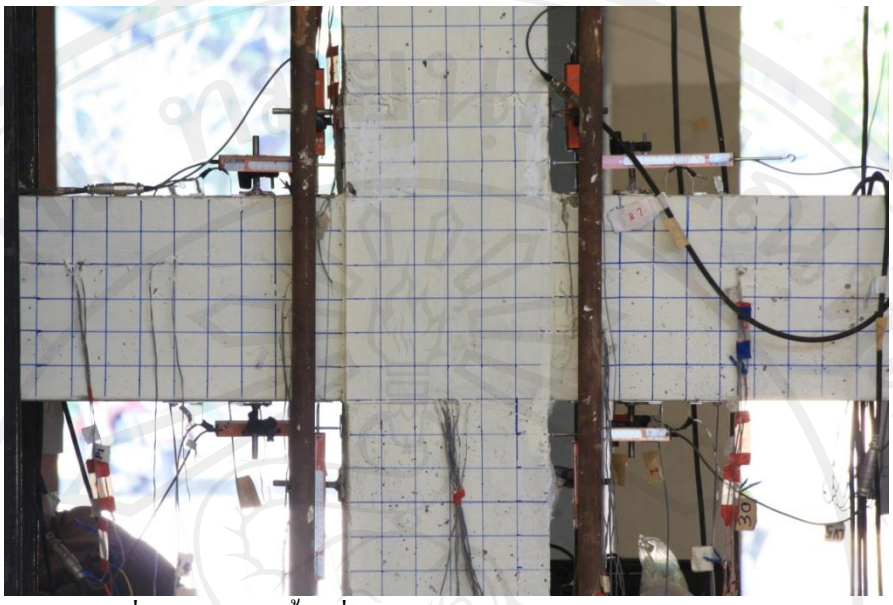
การวัดค่ามุมดัด (rotation angle) เป็นการวัดค่าการเสียรูปเนื่องจากแรงดัดที่คานโดยมีวิธีการวัดค่ามุมดัดแสดงในรูปที่ 3.24 และในการวัดค่าจริงในการทดสอบเครื่องมือที่ใช้วัดค่ามุมดัดคือ PI-gauge จำนวน 4 ตัวที่ติดตั้งหลัง LVDT แสดงในรูปที่ 3.25



$$\text{rotation angle } (\theta) = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{L}$$

รูปที่ 3.24 การวัดค่ามุมดัดเนื่องจากแรงดัดที่คาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



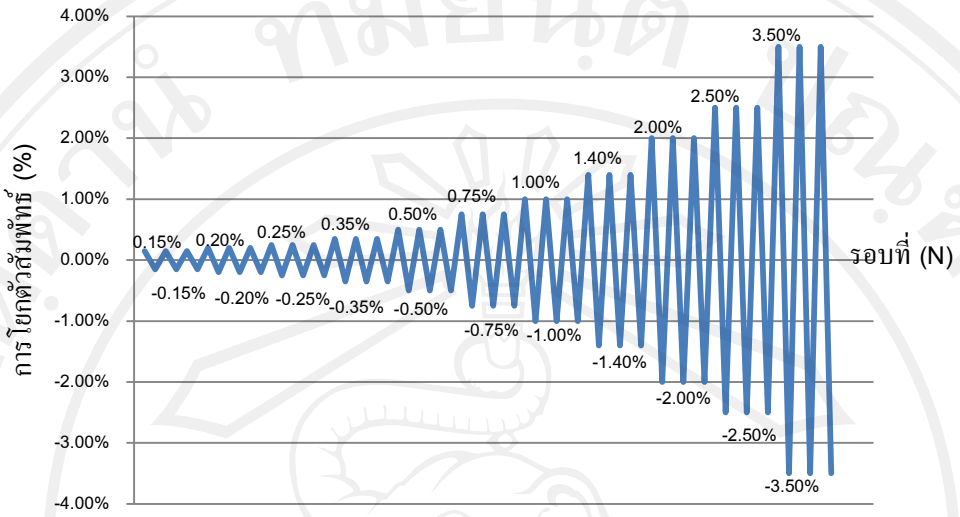
รูปที่ 3.25 การติดตั้งเครื่องมือวัดค่าการเสียรูปในการทดสอบจริง

3.4 วิธีการทดสอบ

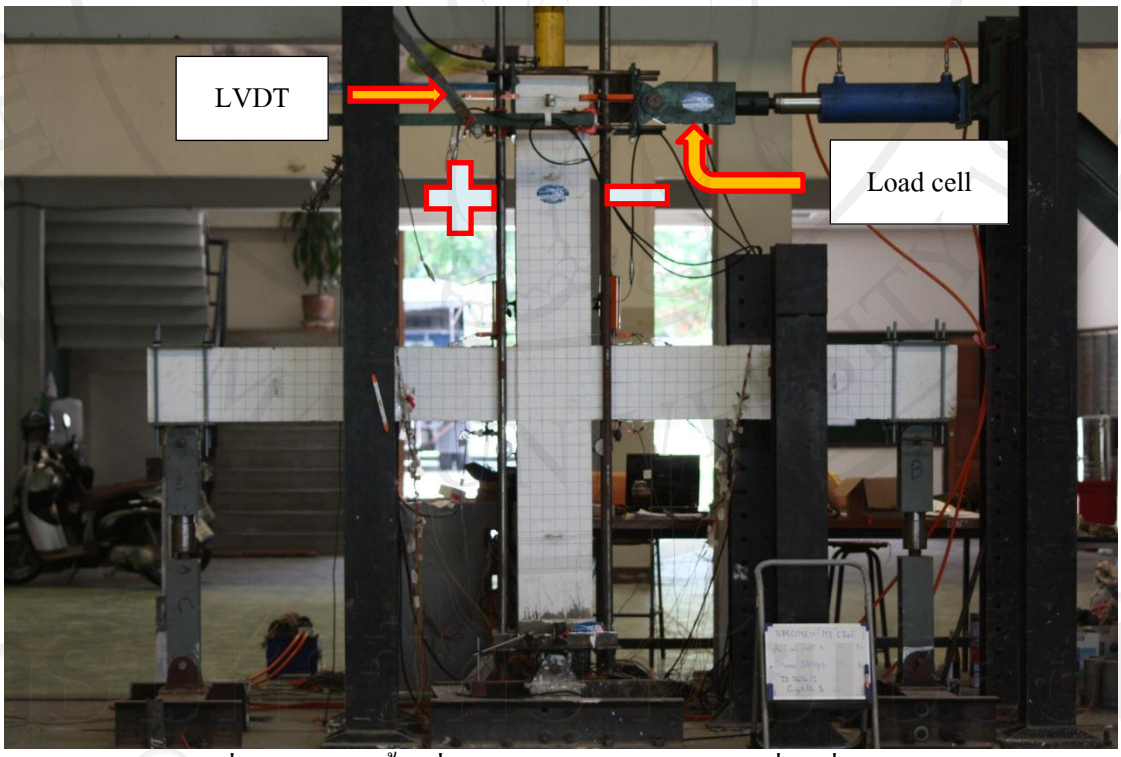
ในงานวิจัยนี้เป็นทดสอบเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการรับแรงแบบวัฏจักรของตัวอย่างจุดต่อซึ่งในการให้แรงกระทำแบบวัฏจักรนั้นได้มีข้อแนะนำการให้ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้น (story drift ratio) แก่ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานของ ACI T1.1-01 ว่าด้วยเรื่องของเกณฑ์การทดสอบโครงสร้างแบบโครงข้อแข็งรับแรงดัดที่แนะนำการให้ระยะสัมพัทธ์ดังกราฟรูปที่ 3.26 ซึ่งตำแหน่งที่แรงกระทำแก่ตัวอย่างอยู่ที่ปลายเสาโดยในทุกๆระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นจะกำหนดให้มีการโยกตัวอย่างไปกลับซ้ำจำนวน 3 รอบ ในการทดสอบตัวอย่างจะทำการเพิ่มระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นตามข้อแนะนำที่กล่าวมาข้างต้นไปเรื่อยๆจนกว่าตัวอย่างจะเกิดการวิบัติ สิ่งที่ส่งบอกถึงการวิบัติของตัวอย่างทดสอบคือเมื่อเพิ่มระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นไปเรื่อยๆแล้วแรงต้านการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบลดลงจากกำลังสูงสุดลงมามากกว่า 30 % จะถือว่าตัวอย่างดังกล่าวเกิดการวิบัติแล้วจึงหยุดการทดสอบที่ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นนั้นๆ

การให้ระยะการเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างชั้นแก่ตัวอย่างทดสอบจะใช้วิธีการให้แรงที่ปลายเสาตามรูปที่ 3.27 โดยแรงที่กระทำต่อตัวอย่างเกิดจากแม่แรงไฮดรอลิคที่ทำหน้าที่ทั้งดันและดึงตัวอย่างไปตามระยะที่ต้องการโดยมีการต่อตัวอ่านค่าแรง (load cell) เข้าไปเพื่ออ่านค่าแรงที่ใช้ในการดันและดังตัวอย่างและทำการอ่านค่าระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์จาก LVDT ที่ติดตั้งไว้ที่ปลายเสา สำหรับเครื่องหมายที่แสดงค่าของระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์นั้นเครื่องหมายบวก (+) แสดงถึงการผลักตัวอย่างออก และเครื่องหมายลบ (-) แสดงถึงการดึงตัวอย่างเข้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.26 การกำหนดรอบของการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบโดย ACI T1.1 (2001)



รูปที่ 3.27 การติดตั้งเครื่องมืออ่านค่าแรงและระยะเคลื่อนที่สัมพัทธ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved