บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของจุดต่อภายในของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงกระทำแบบวัฏจักร โดยระบบโครงสร้างที่ได้ทำการศึกษาวิจัยนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ระบบโครงสร้างแบบเทในที่ และระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบ 4 ตัวอย่างแบ่งออกเป็นระบบเทในที่ 2 ตัวอย่างคือ M1 และ M2 ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป 2 ตัวอย่างคือ P1 และ P2 โดยในตัวอย่าง M1 เป็นตัวอย่างที่ออกแบบตามมาตรฐาน ACI 318 และบริเวณจุดต่อคาน-เสาออกแบบตามมาตรฐาน ACI 352 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปและตัวอย่าง M2 เป็นตัวอย่างที่นำรายละเอียดการเสริมเหล็กของตัวอย่าง M1 มาเพิ่มเติมเหล็กเสริมระดับกลางบริเวณจุดต่อและปลายเสา ในส่วนของตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นตัวอย่าง P1 เป็นตัวอย่างที่ใช้การเชื่อมต่อชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปโดยเหล็กหน้าตัดตัว T หงายและการทาบเหล็กบน และตัวอย่าง P2 เป็นตัวอย่างที่มีการเพิ่มเติมเหล็กเสริมแนวทแยงบริเวณจุดต่อ ในส่วนของชิ้นส่วนเสาของตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นใช้วิธีการเชื่อมต่อกันด้วยเหล็ก plate ดังแสดงก่อนหน้านี้ สำหรับพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักรของตัวอย่างทดสอบนั้นมีดังนี้

5.1 การวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างระบบเทในที่รูปแบบการวิบัติของตัวอย่าง M1 จุดที่เกิดการวิบัติในตัวอย่างนี้เกิดที่บริเวณหน้าเสาโดยเป็นรูปแบบการวิบัติเนื่องจากแรงดัดร่วมกับการอัดแตกของคอนกรีตส่งผลให้บริเวณหน้าเสาสูญเสียพื้นที่ในการต้านทานแรงและกลายเป็นจุดหมุนพลาสติกที่บริเวณดังกล่าว แต่สำหรับตัวอย่าง M2 ซึ่งมีการเสริมเหล็กเสริมระดับกลางบริเวณจุดต่อและปลายเสาพบว่ารูปแบบการวิบัติแตกต่างจากตัวอย่าง M1 โดยจุดที่เกิดการวิบัตินั้นย้ายจากหน้าเสาไปเกิดที่บริเวณภายในคานซึ่งตำแหน่งที่เกิดความเสียหายนั้นเป็นตำแหน่งปลายของเหล็กเสริมระดับกลางซึ่งจุดดังกล่าวเป็นจุดที่ค่าความแข็งเกร็งของคานเปลี่ยนทำให้เป็นจุดดังกล่าวเป็นจุดที่อ่อนแอซึ่งตรงกับความต้องการของผู้วิจัยที่ต้องการย้ายการเกิดจุดหมุนพลาสติกให้เกิดห่างออกจากหน้าเสา แต่การทำให้เกิดจุดอ่อนแอดังกล่าวนี้ควรมีกำลังไม่ต่างกันมากเนื่องด้วยความสมดุลของโครงสร้าง โดยจุดที่เสียหายของตัวอย่าง M2 นี้เป็นความเสียหายที่เกิดเนื่องจากแรงดัดและลักษณะการวิบัติที่เป็นรูปลิ่มนั้นเนื่องจากการบดอัดกันของคอนกรีตเมื่อเกิดการดัด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปทั้ง 2 ตัวอย่างนั้นในด้านของรูปแบบการวิบัตินั้นไม่แตกต่างกันโดยส่วนที่ต่างกันคือระดับความเสียหาย การวิบัติของตัวอย่าง P1 เกิดจากการรูดไถลของเหล็กเสริมบนของชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปโดยบริเวณดังกล่าวเกิดรอยร้าวแนวนอนขนานไปกับแนวเหล็กเสริมบนของคานซึ่งเป็นบริเวณที่ทำการต่อทาบเหล็ก และบริเวณหน้าเสาที่ท้องคานมีการเปิดอ้าออกอย่างชัดเจนเมื่อตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ด้านข้างลักษณะความเสียหายที่กล่าวมานี้แสดงให้เห็นถึงการวิบัติของตัวอย่าง P1 ว่าเป็นการวิบัติร่วมกันระหว่างการรูดไถลของเหล็กเสริมบนของคานสำเร็จรูปและการวิบัติที่หน้าเสาเนื่องจากแรงดัด และตัวอย่าง P2 ลักษณะการวิบัติคล้ายคลึงกับตัวอย่าง P1 คือความเสียหายที่เกิดขึ้นนั้นเกิดทั้งรอยร้าวแนวนอนขนานกับแนวเหล็กเสริมบนของคานและการเปิดอ้าออกที่บริเวณท้องคานหน้าเสา แต่ระดับความเสียหายนั้นตัวอย่าง P2 เกิดน้อยกว่าทั้งการเปิดอ้าออกของรอยร้าวที่หลังคานที่มีความกว้างของรอยร้าวน้อยกว่าและการเปิดอ้าออกของรอยร้าวที่หน้าเสาเปิดออกน้อยกว่าโดยสาเหตุที่ความเสียหายที่เกิดน้อยกว่าเนื่องจากเหล็กเสริมแนวทแยงบริเวณจุดต่อช่วยทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดภายในจุดต่อส่งผลให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นลดน้อยลง

5.2 พฤติกรรมการรับแรงแบบวัฏจักร

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงพฤติกรรมโดยรวมของตัวอย่างทดสอบเมื่อรับแรงกระทำแบบวัฏจักร โดยพฤติกรรมที่กล่าวถึงนี้เป็นพฤติกรรมมีความสัมพันธ์กับการรับมือแผ่นดินไหว ประกอบด้วย กำลังต้านทานการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบ ค่าการสลายพลังงาน ค่าความแข็งเกร็ง การเสียรูป และค่าความเหนียว

สำหรับกำลังต้านทานการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบนั้นตัวอย่าง M2 เป็นตัวอย่างที่มีกำลังสูงสุดเนื่องจากจุดที่เกิดการวิบัติเกิดที่คานภายในทำให้ตัวอย่างสามารถพัฒนากำลังได้มากกว่าตัวอย่างอื่นที่เกิดการวิบัติที่บริเวณหน้าเสา และในส่วนของตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่มีกำลังน้อยกว่าตัวอย่างแบบหล่อในที่เนื่องจากเกิดการรูดไถลของเหล็กเสริมส่งผลให้กำลังต้านทานมีค่าน้อย และพฤติกรรมการลดลงของกำลังหลังจากผ่านจุดที่มีกำลังสูงสุดแล้วพบว่าตัวอย่างแบบหล่อในที่นั้นเมื่อตัวอย่างเข้าสู่ภาวะไม่เชิงเส้นแล้วการลดลงของกำลังนั้นเกิดอย่างช้าๆแตกต่างจากตัวอย่างรูปแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่เมื่อตัวอย่างมีกำลังสูงสุดแล้วกำลังของตัวอย่างลดลงอย่างรวดเร็วแสดงให้เห็นถึงการวิบัติแบบเปราะซึ่งเป็นพฤติกรรมการเสียหายที่ไม่ดีเนื่องจากอาจทำให้โรงสร้างเกิดการล้มพับลงมาเมื่อเกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดใหญ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พฤติกรรมการสลายพลังงานของตัวอย่างทดสอบนั้นสอดคล้องกับความสามารถในการเสียรูปของตัวอย่างทดสอบโดยค่าการสลายพลังงานของตัวอย่างแบบหล่อในที่นั้นมีค่ามากกว่าตัวอย่างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปอย่างชัดเจนเนื่องจากการวิบัติของตัวอย่างแบบหล่อในที่นั้นเกิดอย่างค่อยเป็นค่อยไปเนื่องจากค่าการสลายพลังงานจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อโครงสร้างมีความเสียหายเพิ่มมากขึ้น แต่ในตัวอย่างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นการวิบัติที่เกิดขึ้นเป็นการวิบัติแบบทันทีทันใดส่งผลให้การสลายพลังงานเกิดได้น้อย

ค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบคือความสามารถในการเสียรูปโดยที่ตัวอย่างยังไม่วิบัติ ซึ่งค่าความเหนียวนั้นมีผลสอดคล้องกับพฤติกรรมของกำลังต้านทานการเคลื่อนที่ของตัวอย่างทดสอบโดยตัวอย่างแบบหล่อในที่นั้นมีค่าความเหนียวมากกว่าสอดคล้องกับการลดลงของกำลังหลังจากผ่านจุดสูงสุดและตัวอย่างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นมีค่าความเหนียวน้อยเนื่องจากเป็นการวิบัติแบบเปราะ

การเสียรูปของโครงสร้างที่กล่าวในหัวข้อนี้นั้นเป็นการวิจารณ์ผลของการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนร่วมกับค่ามุมหมุนที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งต่างๆ

- ตัวอย่าง M1 ค่าการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนนั้นในช่วงแรกนั้นการเสียรูปบริเวณจุดต่อเกิดขึ้นมากกว่าบริเวณปลายคานแต่เมื่อระยะการเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้นแล้วกลับพบว่าค่าการเสียรูปที่ปลายคานเกิดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่ามากกว่าการเสียรูปบริเวณจุดต่อ สำหรับค่าการเสียรูปเนื่องจากแรงดัดนั้นค่าการเสียรูปส่วนใหญ่เกิดที่บริเวณหน้าเสาซึ่งสอดคล้องกับการเสียหายภายนอกที่ปรากฏและค่าการเสียรูปที่ภายในคานเกิดขึ้นเล็กน้อย

- ตัวอย่าง M2 ในตัวอย่างนี้นั้นค่าการเสียรูปที่บริเวณจุดต่อมีค่ามากกว่าบริเวณปลายคานเนื่องจากมีการเสริมเหล็กเสริมระดับกลางเพิ่มเติมเข้าไปและจุดที่เกิดความเสียหายนั้นยังเกิดที่คานภายในและอยู่นอกพื้นที่วัดการเสียรูปจึงทำให้บริเวณจุดต่อซึ่งรับภาระแรงหนักที่สุดมีค่าการเสียรูปมากที่สุด สำหรับการเสียรูปเนื่องจากแรงดัดบริเวณหน้าเสาและคานภายในนั้นพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าเสียรูปเกิดขึ้นพร้อมกันโดยค่าการเสียรูปที่บริเวณหน้าเสาเกิดขึ้นมากกว่าเนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่มีแรงดัดมากกว่าแต่ค่าการเสียรูปจากแรงดัดที่ภายในคานนั้นก็เกิดขึ้นเช่นกันแสดงให้เห็นความสามารถในการรับแรงดัดของบริเวณคานว่ามีความสามารถในการรับแรงดัดที่เกิดขึ้นได้

- ตัวอย่าง P1 ค่าการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนในตัวอย่างนี้นั้นพบว่าที่บริเวณปลายคานเกิดการเสียรูปน้อยมากแต่ค่าการเสียรูปจากแรงเฉือนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่บริเวณจุดต่ออีกทั้งการเสียรูปเนื่องจากแรงดัดของตัวอย่างนี้ที่ภายในคานก็เกิดน้อยเช่นกันซึ่งอาจกล่าวได้ว่าแรงที่เฉือนที่ถ่ายเข้ามาบริเวณปลายคานนั้นไม่ทำให้เกิดการเสียรูปเนื่องจากจุดที่คานเชื่อมต่อกับจุดต่อไม่แข็ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พอจึงกลายเป็นการเสียรูปเนื่องจากการดัดแทนแสดงให้เห็นถึงความแข็งของจุดต่อว่ายังไม่ดีพอ โดยมีสาเหตุจากการรูดไถลของเหล็กหน้าตัดตัวทีที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ในส่วนของผลการวิจัย

- ตัวอย่าง P2 ในตัวอย่างนี้นั้นแนวทางสรุปที่ดีคือเปรียบกับตัวอย่าง P1 ซึ่งจะพบว่าการเสริมเหล็กแนวทแยงเข้าไปนั้นช่วยเพิ่มค่าการเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนบริเวณปลายคาน แสดงให้เห็นว่าจุดเชื่อมต่อระหว่างคานและจุดต่อนั้นมีความแข็งเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้แรงเฉือนที่ส่งผ่านมายังปลายคานสามารถทำให้คานเกิดการเสียรูปจากแรงเฉือนได้สำหรับการเสียรูปเนื่องจากแรงดัดนั้นพบว่าการเคลื่อนที่ในทิศบวกเท่านั้นที่ทำให้ทำให้ค่าการเสียรูปจากแรงดัดภายในคานมีค่าเพิ่มมากขึ้นแต่ก็เป็นสิ่งที่แสดงให้ถึงความสามารถของเหล็กเสริมแนวทแยงในการช่วยทำให้บริเวณจุดต่อของตัวอย่างชิ้นส่วนสำเร็จนี้มีคุณสมบัติดีขึ้น

ค่าความแข็งเกร็งของตัวอย่างทดสอบคือค่าที่แสดงการรับแรงมากขึ้นโดยที่มีระยะโยกน้อยของตัวอย่างทดสอบซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเส้นกราฟวนรอบโดยรวม (hysteresis) จากผลการทดสอบจะเห็นว่าตัวอย่าง M2 เป็นตัวอย่างที่มีค่าความแข็งเกร็งมากที่สุดเนื่องจากบริเวณจุดเชื่อมต่อที่หน้าเสามีความแข็งแรงมากที่สุดส่งผลให้มีค่าความแข็งเกร็งมากที่สุด แต่ในส่วนของตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนั้นในตัวอย่าง P1 เป็นตัวอย่างที่มีค่าความแข็งเกร็งน้อยที่สุดเนื่องจากเหล็กหน้าตัวตัวทีที่ฝังเข้าไปในบริเวณจุดต่อนั้นเกิดการรูดไถลภายในได้ส่งผลให้ความแข็งภายในจุดต่อลดลงจึงเป็นสาเหตุให้ตัวอย่าง P1 นี้มีค่าความแข็งเกร็งน้อยที่สุด ในส่วนของตัวอย่าง P2 ซึ่งได้มีการเสริมเหล็กแนวทแยงบริเวณจุดต่อนั้นพบว่าช่วยเพิ่มความแข็งบริเวณจุดต่อได้โดยจากผลการทดสอบนั้นแสดงให้เห็นว่าช่วยลดการรูดไถลของเหล็กหน้าตัดตัวทีภายบริเวณจุดต่อส่งผลให้จุดต่อมีความแข็งมากขึ้นทำให้ค่าความแข็งเกร็งของตัวอย่าง P2 มีเพิ่มมากขึ้นกว่าตัวอย่าง P1 และเมื่อดูจากผลการทดสอบนั้นยังพบว่าค่าความแข็งเกร็งของตัวอย่างนี้นั้นเข้าใกล้ตัวอย่าง M1 ที่เป็นตัวอย่างอ้างอิงแต่เกิดการวิบัติเสียก่อนจึงทำให้การความแข็งเกร็งลดลงไป

5.3 คุณสมบัติของจุดต่อในการใช้งานในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

สำหรับพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยนั้นจัดเป็นพื้นที่เฝ้าระวังเนื่องจากอยู่ในพื้นที่ของรอยเลื่อนที่มีพลังจึงเป็นไปได้ว่าในอนาคตอาจมีการเกิดแผ่นดินไหวขึ้นและเมื่อกล่าวถึงคุณสมบัติของจุดต่อแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่จะเลือกใช้ในพื้นที่ภาคเหนือนี้อย่างน้อยจะต้องมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับโครงสร้างแบบหล่อในที่ที่มีการออกแบบรองรับการต้านทานแรงแผ่นดินไหวซึ่งในงานวิจัยนี้ก็ได้ทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติดังกล่าวโดยการเปรียบเทียบตัวอย่างระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปกับตัวอย่างแบบหล่อในที่ที่ออกแบบตามมาตรฐานของ ACI แล้วพบว่าในด้านของกำลังนั้นถือได้ว่ามีกำลังเทียบเท่าได้ แต่ในส่วนพฤติกรรมการรับแรงกระทำแบบวัฏจักร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

นั้นในตัวอย่างแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปนี้นั้นยังคงต้องมีการปรับปรุงรายละเอียดของรูปแบบการเชื่อมต่อชิ้นส่วนเพื่อให้มีคุณสมบัติทางด้านต่างที่เกี่ยวข้องกับการรับมือแผ่นไหวได้แก่ คุณสมบัติด้านความเหนียวของจุดต่อซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติพื้นฐานโดยเมื่อคุณสมบัติในด้านความเหนียวของจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปดีแล้วย่อมส่งผลให้คุณสมบัติในด้านอื่นดีขึ้นด้วย เช่น ค่าการสลายพลังงาน

จากผลการทดสอบจะเห็นว่าในตัวอย่างรูปแบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปเกิดการวิบัติที่หน้าเสาและยังเกิดการรูดไถลของเหล็กทาบส่งผลให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติแบบเปราะ ซึ่งการรูดไถลของเหล็กเสริมนี้เป็นสาเหตุให้ตัวอย่างเกิดการวิบัติแบบเปราะหากทำการปรับปรุงรายละเอียดการเชื่อมต่อชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปให้ดีขึ้นอาจส่งผลให้ตัวอย่างมีคุณสมบัติการรับแรงกระทำแบบวัฏจักรดีมากขึ้น และแนวคิดในการปรับปรุงรูปแบบจุดต่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปในอนาคตนั้นควรทำให้บริเวณจุดต่อและหน้าเสามีความแข็งแรงเพื่อให้พฤติกรรมการเสียหายเป็นไปตามแนวคิด “เสาแข็งคานอ่อน” ซึ่งเป็นรูปแบบที่เป็นเป้าหมายในการพัฒนาจุดต่อในอนาคต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved