

พฤติกรรมโครงสร้างจุดต่อพื้น-เสาเสริมหมุดเหล็กภายใต้แรงดัดข้างแบบวัฏจักร

STRUCTURAL PERFORMANCE OF SLAB-COLUMN CONNECTION UNDER CYCLIC LATERAL LOADING

ธนกร ขุนฤทธิ์¹, พิสนธ์ อุดมวรรณ^{2,*}, ณัฐวุฒิ ธนศรีสถิตย์³, อติสร โอวาทศิริวงศ์⁴ และอำนาจ คำพานิช⁵

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จ.กรุงเทพมหานคร

^{4,5} บริษัท โพลีเทค พรินเตอร์ส จำกัด ถ.พระราม 9 สวนหลวง กรุงเทพฯ

*Corresponding author; E-mail address: pisonit@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมตัวอย่างทดสอบโครงสร้างอาคารขนาดจริงของจุดต่อแผ่นพื้นและเสาที่ตั้งอยู่บริเวณกลางพื้นภายใต้แรงดัดดินไหว แผ่นพื้นทดสอบเป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-Tension) ที่ติดตั้งลวดอัดแรงภายในแผ่นพื้นทดสอบจำนวน 8 เส้น ซึ่งมีค่า Pre-compression (f_{pc}) 2.3 MPa และ เสริมกำลังด้วยหมุดเหล็ก (Stud rail) ในลักษณะเป็นมุมฉาก (Orthogonal layout) เพื่อต้านทานแรงเฉือนทะเล ตามมาตรฐาน ACI 318 การทดสอบจะกระทำในลักษณะ Displacement-controlled method โดยออกแรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักร (Cyclic loading test) จนกระทั่งเกิดการวิบัติ จากการทดสอบสามารถหาความสัมพันธ์ของระยะการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้นและแรงที่กระทำด้านข้าง ในรูปแบบของกราฟ Hysteretic ซึ่งพบว่าตัวอย่างทดสอบมีความเหนียวสามารถต้านทานต่อการเฉือนทะเล โดยมีค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Drift ratio) ประมาณ 7.5% ที่จุดวิบัติ การเสริมกำลังแผ่นพื้นทดสอบด้วยหมุดเหล็ก (Stud rail) สามารถเพิ่มความเหนียวให้กับตัวอย่างทดสอบทดสอบได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: แผ่นดินไหว, แรงเฉือนทะเล, จุดต่อแผ่นพื้นและเสา, หมุดเหล็กรับแรงเฉือน

Abstract

The purpose of this research is to study and analyze the seismic behavior of a full-scale interior slab-column connection specimen. The post-tensioned flat slab was installed by 8 bonded tendons, which pre-compression (f_{pc}) equals to 2.3 MPa, and shear reinforcements, i.e., stud rails to protect punching shear, were placed in an orthogonal layout according to ACI 318. The specimen was tested under cyclic lateral loading by displacement-controlled method until failure. The test results were presented in terms of relationship between lateral load and

lateral drift ratio as hysteretic loop behavior. It was found that the specimen can resist the punching shear, and showed a lateral drift ratio about 7.5% at ultimate load. The specimen with the stud rails can improve ductility substantially.

Keywords: Seismic, Punching shear, Slab-column connection, Stud rail

1. คำนำ

การก่อสร้างอาคารด้วยระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง (Post-Tension) มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ระบบพื้นคอนกรีตอัดแรงเป็นโครงสร้างแผ่นพื้นที่เชื่อมต่อกับเสาโดยตรงไม่มีคานรองรับ ซึ่งจุดอ่อนที่สำคัญของอาคารที่ก่อสร้างด้วยระบบพื้นคอนกรีตอัดแรง คือการรับแรงกระทำด้านข้างเกิดขึ้นที่บริเวณจุดต่อของแผ่นพื้นและเสา โดยวิศวกรจะต้องออกแบบให้บริเวณจุดต่อมีความเหนียวที่มากพอ เพื่อป้องกันการวิบัติแบบเฉือนทะเล (Punching shear) ซึ่งเป็นการวิบัติที่นำไปสู่การวิบัติแบบต่อเนื่อง (Progressive failure) แต่อย่างไรก็ดีการออกแบบตามมาตรฐาน ACI 318-14 [1] เพื่อป้องกันการวิบัติแบบเฉือนทะเลจะไม่ได้นำถึงความเหนียวของโครงสร้างจึงควรต้องศึกษาเพิ่มเติม Pan และ Moehel [2] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเหนียวของจุดต่อของแผ่นพื้นและเสา พบว่าความเหนียวของโครงสร้างจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต่อกำลังรับแรงเฉือน (Gravity shear ratio)

ACI 318-14 [1] ได้มีการนำเสนอวิธีการเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนให้กับจุดต่อของแผ่นพื้นและเสา โดยการเพิ่มขนาดความหนาของพื้นบริเวณรอบหัวเสา (Drop panel) [3-4] ซึ่งการศึกษาแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่เสริมแป้นหัวเสาและไม่เสริม ภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบวัฏจักรพบว่า แผ่นพื้นที่เสริมแป้นหัวเสาสามารถทนแรงดัดข้างได้มากกว่า 1.8 เท่า และมีค่า Drift ratio มากกว่าประมาณ 4.2% ซึ่งการเสริมแป้นหัวเสาส่งผลให้ความเหนียวของโครงสร้างเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน อย่างไรก็ตามวิธีการเพิ่มขนาด

ความหนาของพื้นบริเวณรอบหัวเสา (Drop panel) ยังเป็นข้อจำกัดที่สำคัญ ในการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับงานทางด้านสถาปัตยกรรม

ACI 318-14 [1] ยังได้นำเสนอวิธีการเสริมรางหมุดเหล็กรับแรงเฉือน (Stud rail) บริเวณจุดเชื่อมต่อระหว่างแผ่นพื้นและเสา ซึ่งเป็นอีกทางเลือก ในการเพิ่มความเหนียวให้กับโครงสร้าง ในปัจจุบันการเสริมรางหมุดเหล็กรับ แรงเฉือนเป็นที่นิยมมากขึ้นในการก่อสร้างอาคารในประเทศไทย Posai [5] ได้ทำการทดสอบแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่เสริมด้วยรางหมุดเหล็กรับแรง เฉือนชนิด Single headed stud บริเวณหัวเสา ภายใต้แรงกระทำด้านข้าง แบบวิงจอร์ และได้ทำการสำรวจค่า Gravity shear ratio ของอาคาร ประเภทต่างๆในประเทศไทย จากผลการทดสอบ Gravity shear ratio มีค่า เท่ากับ 0.48 พบว่าแผ่นพื้นตัวอย่างสามารถรับแรงด้านข้างได้ 109 kN และ Drift ratio มีค่าประมาณ 3% และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นพื้นทดสอบที่ไม่ม่ การเสริมเหล็กรับแรงเฉือน [6] ในช่วง Gravity shear ratio ที่ใกล้เคียงกัน พบว่า แผ่นพื้นทดสอบที่เสริมด้วยรางหมุดเหล็กรับแรงเฉือนมีค่าความ เหนียวมากกว่า 1.5 เท่า

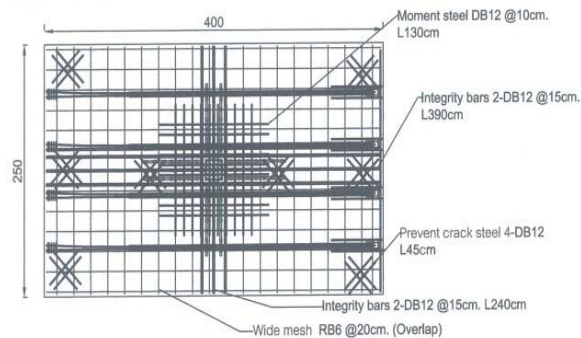
งานวิจัยนี้ได้ทำศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมตัวอย่างทดสอบของ โครงสร้างขนาดจริงที่บริเวณจุดต่อของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงและเสา ภายใต้แรงกระทำด้านข้างแบบวิงจอร์ โดยได้ทำการเสริมกำลังรับแรงเฉือน ด้วยรางหมุดเหล็กชนิด Double headed stud จากการทดสอบทำให้เห็น ถึงประสิทธิภาพของแผ่นพื้นที่มีการเสริมหมุดเหล็กรับแรงเฉือน และดัชนี ความเหนียวที่เพิ่มขึ้นของตัวอย่างทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับฐานข้อมูล แผ่นพื้นที่ไม่มีการเสริมหมุดเหล็กรับแรงเฉือน

2. ตัวอย่างทดสอบและวิธีการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

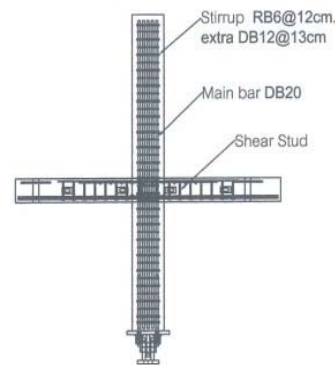
2.1 ตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบได้จำลองจุดต่อของพื้นและเสาขนาดจริง ซึ่งตำแหน่ง ของเสาตั้งอยู่กลางแผ่นพื้น แผ่นพื้นคอนกรีตทดสอบมีขนาด 2.5 x 4.0 m. หนา 0.2 m. และ เสาคอนกรีตมีขนาด 0.3 x 0.3 m. ความสูง 2.66 m. โดยกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตทรงกระบอกที่ 28 วัน มีค่า 32 MPa. และ มีการเสริมเหล็กตามมาตรฐานการออกแบบ การเสริมเหล็กในแผ่นพื้น ทดสอบประกอบไปด้วย ก) ท่อลวดจำนวน 4 ท่อห่างกันท่อละ 0.5 m โดย แต่ละท่อมียาว 2 เส้น ซึ่งติดตั้งในทิศทางเดียวกับแรงกระทำด้านข้าง โดยใช้แรงดึงเส้นละ 14.6 Ton ซึ่งส่งผลให้มีค่า Pre-compression (f_{pc}) 2.3 MPa. ข) เหล็กเสริมบนเพื่อรองรับโมเมนต์ลบ (Negative Moment) ด้วย เหล็ก DB12 ยาว 1.3 m. ค) เหล็กเสริมล่าง Wide mesh ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 6 mm. และ ง) เหล็ก Integrity bar ขนาด DB12 เพื่อช่วยให้ แผ่นพื้นยังมีเสถียรภาพภายหลังเกิดการวิบัติ สำหรับการเสริมเหล็กในเสา ได้ทำการออกแบบเสาให้มีความเหนียวกว่าปกติ โดยเหล็กเสริมในเสา ประกอบไปด้วย เหล็ก DB20 ยาว 2.45 m. จำนวน 10 เส้นในแนวตั้ง และ เหล็กปลอก RB6 และ DB12 ใส่สลับกันทุกช่วง 0.05 m. ตลอดความสูง

เพื่อป้องกันไม่ให้เสาวิบัติระหว่างการทดสอบ ซึ่งได้แสดงรายละเอียดของ เหล็กเสริมและลักษณะการเสริมเหล็กในรูปที่ 1

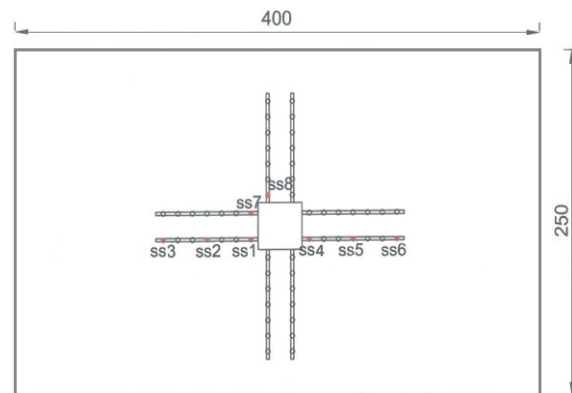


ก) ลักษณะการเสริมเหล็กในแผ่นพื้น



ข) ลักษณะการเสริมเหล็กในเสา

รูปที่ 1 ลักษณะการเสริมเหล็กของตัวอย่างทดสอบ



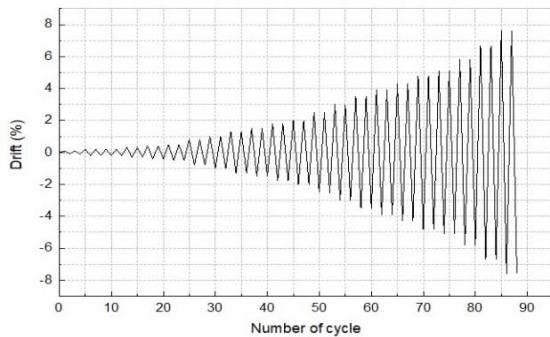
รูปที่ 2 ลักษณะการเสริมหมุดเหล็กรับแรงเฉือน

การเสริมหมุดรับแรงเฉือนในแผ่นพื้นเป็นแบบชนิด Double headed stud ของ บริษัท โพลเท็ค พรินสเตอร์ซึ่ง จำกัด โดยจะจัดเรียงหมุดเหล็ก แบบ Orthogonal layout ตามมาตรฐานการออกแบบ ACI 318 [1] จำนวน 8 แถว แต่ละแถวยาว 0.7 m. ระยะห่างของแต่ละหมุดต่างกัน 0.1

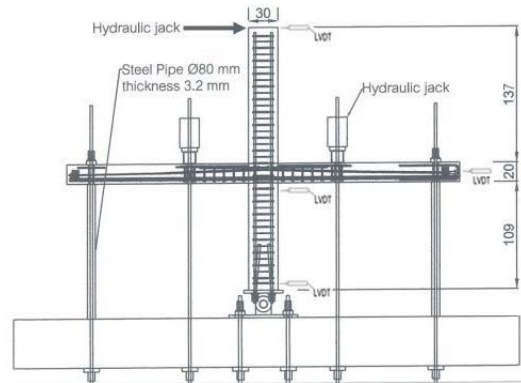
m. โดยติดตั้ง Strain gauge ในแนวตั้งของหมุดจำนวน 8 ตำแหน่ง ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 สำหรับคุณสมบัติของเหล็กเสริมและหมุดเหล็กรับแรงเฉือน จะแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเหล็กเสริมและหมุดเหล็กรับแรงเฉือน

Material type	Elastic modulus (GPa)	Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)
6-mm-diameter steel bars	200	360	550
12-mm-diameter steel bars	200	375	560
20-mm-diameter steel bars	200	400	620
Shear stud	200	560	608



รูปที่ 3 ลักษณะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 4 รูปแบบการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ

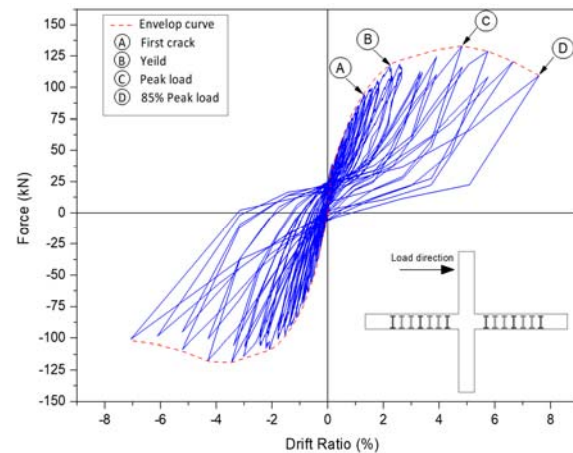
2.2 รูปแบบการทดสอบ

ในการทดสอบได้กำหนดให้มีแรงกระทำคงที่ในแนวดิ่งขนาด 16 Ton ด้วย Hydraulic Jack เพื่อให้มีค่า Gravity shear ratio เท่ากับ 0.49 ตามมาตรฐานการออกแบบ โดยลักษณะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบได้ทำการควบคุมอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Drift ratio) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างระยะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างที่ปลายเสากับความสูงของเสา สำหรับการกำหนดลักษณะการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบจะแสดงไว้ในรูปที่ 3 ในการเก็บข้อมูลการทดสอบได้ทำการติดตั้ง Load cell ไว้บริเวณ

ปลายเสาเพื่อตรวจวัดแรงที่กระทำด้านข้างและได้ติดตั้ง LVDT เพื่อตรวจวัดค่าการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4 และการติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น

3. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ

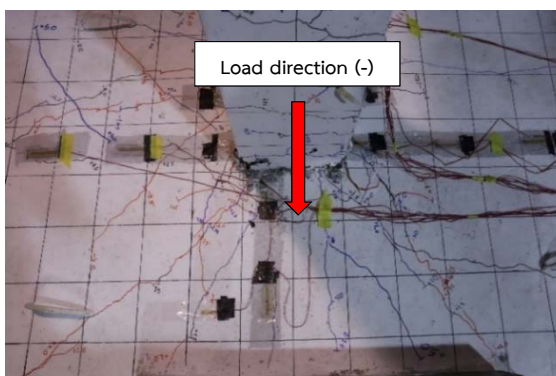
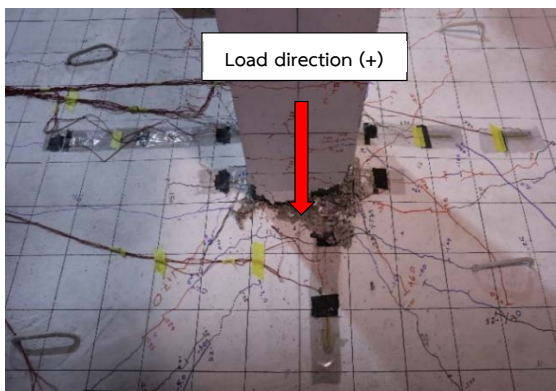
3.1 พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบ

ผลที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะถูกแสดงในรูปแบบของ Hysteresis loop ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Drift ratio) กับ แรงที่กระทำในด้านข้าง เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบ โดยได้แสดงผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการไว้ในรูปที่ 6 จากผลการทดสอบในช่วงเริ่มการทดสอบแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมแบบเส้นตรงของตัวอย่างทดสอบ และพบรอยแตกที่เห็นได้ชัดเจนบริเวณหน้าตัดวิกฤต (Critical section) ที่ Drift ratio เท่ากับ 1.25% เมื่อเพิ่มแรงกระทำด้านข้างอย่างต่อเนื่องพบว่า พฤติกรรมของตัวอย่างทดสอบจะเริ่มเข้าสู่ช่วงสภาวะพฤติกรรมไม่เชิงเส้น

ที่ Drift ratio เท่ากับ 2.3% ซึ่งมีแรงกระทำด้านข้าง 115.1 KN จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงขนาดที่เพิ่มขึ้นของของพื้นที่ได้วงรอบ Hysteresis loop ซึ่งสามารถประเมินได้ว่าการแตกร้าวขึ้นภายในตัวอย่างทดสอบ หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องพบว่าแรงกระทำในด้นข้างสูงสุดที่เกิดขึ้น (Maximum lateral load) มีค่า 133.13 KN ที่ Drift ratio

ตารางที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ของผลการทดสอบในช่วงพฤติกรรมต่างๆ

Loading direction	Yield		Peak load		85% Peak load	
	Load (KN)	Drift (%)	Load (KN)	Drift (%)	Load (KN)	Drift (%)
Push (+)	115.10	2.30	133.13	4.82	109.37	7.58
Pull (-)	108.70	2.10	117.26	4.30	101.30	7.07

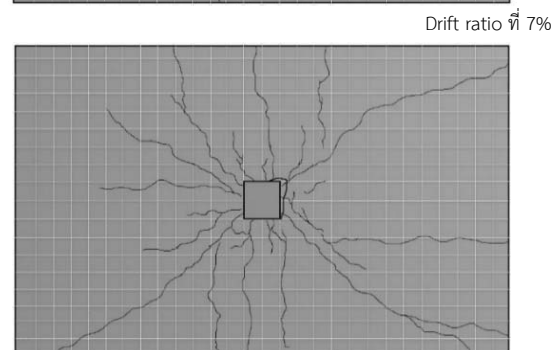
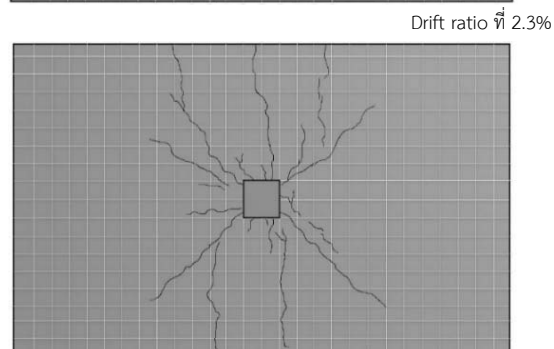
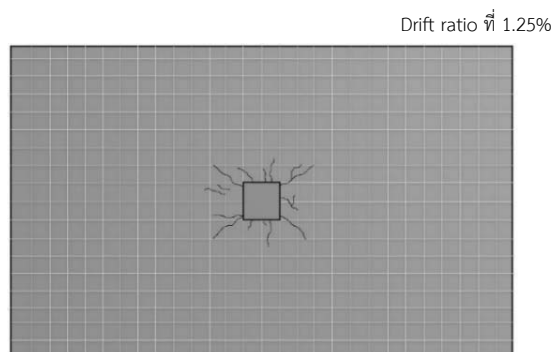


รูปที่ 7 ลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบ

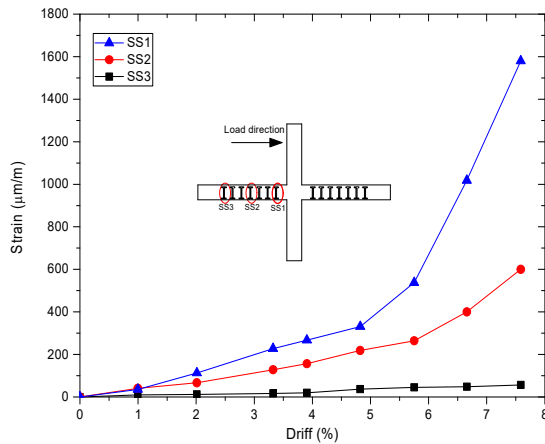
เท่ากับ 4.82% และค่อยๆลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการทดสอบที่ Drift ratio เท่ากับ 7.58 % โดยพบว่าแรงกระทำในด้นข้างที่เกิดขึ้นมีค่าประมาณ 85% ของแรงกระทำด้านข้างสูงสุด ซึ่งถือว่าเป็นจุดวิบัติของตัวอย่างทดสอบ [7] ค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างชั้น (Drift ratio) กับ

แรงที่กระทำด้านข้างในช่วงพฤติกรรมต่างๆ จากผลการทดสอบที่เกิดขึ้นทั้ง 2 ทิศทางแสดงไว้ในตารางที่ 2

จากการพิจารณาลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้นหลังจากสิ้นสุดการทดสอบไม่พบความเสียหายที่รุนแรงและพบว่าตัวอย่างทดสอบไม่วิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching shear) โดยลักษณะการวิบัติที่เกิดขึ้นของตัวอย่างทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 7 ซึ่งมีการแตกร้าวเนื่องจากโมเมนต์ดัดที่ส่งผ่านจากเสามายังพื้น (Flexural crack)



รูปที่ 8 การพัฒนารอยแตกร้าวของตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 9 ค่าความเครียดของหมุดเหล็กรับแรงเฉือน

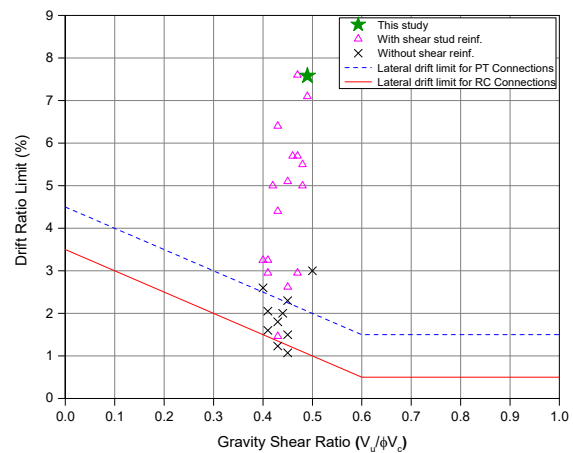
3.2 พฤติกรรมของหมุดเหล็กรับแรงเฉือน

การศึกษาพฤติกรรมของหมุดเหล็กรับแรงเฉือนจะแสดงค่าความเครียดของหมุดเหล็กในแต่ละช่วงการเคลื่อนตัวของตัวอย่างทดสอบ โดยค่าความเครียดที่จุดครากของหมุดเหล็กมีค่าประมาณ 2,800 µm/m จากลักษณะการติดตั้งหมุดเหล็กรับแรงเฉือนในรูปที่ 2 ได้แสดงค่าความเครียดของหมุดเหล็กรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้น 3 ตำแหน่งโดยพิจารณาจากระยะห่างของหมุดเหล็กกับเสา ผลการทดสอบในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าค่าความเครียดในหมุดเหล็กรับแรงเฉือนจะมีค่าแปรผันตามระยะห่างของหมุดเหล็กกับเสา เมื่อพิจารณาหมุดเหล็กรับแรงเฉือนที่อยู่ในบริเวณหน้าตัดวิกฤต (Critical section) พบว่าค่าความเครียดจะมีอัตราเพิ่มขึ้นในช่วง Drift ratio ประมาณ 1% - 2% ซึ่งเป็นช่วงที่ตัวอย่างทดสอบเริ่มแสดงให้เห็นถึงรอยแตกร้าวและเข้าสู่พฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น แสดงให้เห็นถึงการตอบสนองเริ่มต้นของหมุดเหล็กในการรับแรงเฉือน หลังจากเพิ่มแรงกระทำในด้านข้างจนถึงจุดสูงสุดที่ Drift ratio เท่ากับ 4.82% พบว่าค่าความเครียดในหมุดเหล็กรับแรงเฉือนจะมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจนกระทั่งตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ หมุดเหล็กรับแรงเฉือนในบริเวณหน้าตัดวิกฤต (Critical section) ช่วยรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างทดสอบและช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติแบบเฉือนทะลุ (Punching Shear) เมื่อพิจารณาค่าความเครียดที่จุดครากของหมุดเหล็กรับแรงเฉือนของทุกตำแหน่งในรูปที่ 9 พบว่าไม่มีหมุดเหล็กรับแรงเฉือนในตำแหน่งใดถึงจุดคราก

3.3 พัฒนาการรอยแตกของตัวอย่างทดสอบ

การพัฒนาของรอยแตกร้าวของตัวอย่างทดสอบในห้องปฏิบัติการจากรูปที่ 8 ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะของรอยแตกในแต่ละช่วงการทดสอบ โดยตัวอย่างทดสอบจะเริ่มแสดงให้เห็นรอยแตกที่ Drift ratio ประมาณ 1.25% และเริ่มขยายความยาวของรอยแตกขึ้นจากเดิมในช่วงที่ตัวอย่างทดสอบเริ่มเข้าสู่พฤติกรรมไม่เชิงเส้นที่ Drift ratio ประมาณ 2.3% ซึ่งพบว่าบริเวณหน้าตัดวิกฤต (Critical section) ของตัวอย่างทดสอบเริ่มมีการขยายความ

กว้างของรอยแตกมากขึ้นส่งผลให้หมุดเหล็กรับแรงเฉือนที่อยู่ในบริเวณหน้าตัดวิกฤต (Critical section) เริ่มตอบสนองในการรับแรงเฉือน เมื่อตัวอย่างทดสอบเกิดการวิบัติ ที่ Drift ratio ประมาณ 7% พบว่าลักษณะของรอยแตกร้าวจะเกิดขึ้นนอกบริเวณการเสริมหมุดเหล็กรับแรงเฉือน สามารถสังเกตเห็นรอยแตกตามแนวยาวและแนวทแยงมุมตลอดผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างทดสอบ เมื่อพิจารณาอัตราเพิ่มขึ้นของความเครียดในหมุดเหล็กรับแรงเฉือนบริเวณหน้าตัดวิกฤต (Critical section) ทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าหมุดเหล็กสามารถป้องกันการแตกร้าวที่จะเกิดขึ้นในบริเวณหน้าตัดวิกฤต ซึ่งจะนำไปสู่การวิบัติแบบเฉือนทะลุ และเปลี่ยนลักษณะการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเป็นการวิบัติแบบเหนียว (Ductile failure)



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่าความเหนียวงานวิจัยในอดีตในช่วง Gravity shear ratio 0.4 - 0.5

4. ความเหนียวของตัวอย่างทดสอบ

จากการศึกษาและเปรียบเทียบค่าความเหนียวของตัวอย่างทดสอบที่เสริมด้วยหมุดรับแรงเฉือนและไม่มีการเสริมหมุดรับแรงเฉือนในช่วง Gravity shear ratio 0.4 - 0.5 ของงานวิจัยในอดีต[8] ในรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างทดสอบมีค่าอัตราส่วนการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ (Drift ratio) มากกว่า 2.5 เท่าที่ค่า Gravity shear ratio เดียวกัน และมีค่าสูงกว่าค่าการเสียรูปที่ยอมให้ตามมาตรฐาน ACI 318-14

5. บทสรุป

การเสริมหมุดเหล็กรับแรงเฉือนในแผ่นพื้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของจุดต่อแผ่นพื้นและเสา ให้มีความสามารถในการรับแรงเฉือนที่เกิดขึ้นจากแรงกระทำด้านข้าง และช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการวิบัติ

แบบเฉือนทะลุ (Punching shear) โดยที่หมุดเหล็กรับแรงเฉือนจะเริ่มตอบสนองเมื่อตัวอย่างทดสอบเริ่มมีรอยแตกกว้างและเข้าสู่พฤติกรรมแบบไม่เชิงเส้น การเสริมหมุดเหล็กรับแรงเฉือนสามารถเพิ่มความเหนียวให้กับแผ่นพื้นมากขึ้นประมาณ 2.5 เท่าเมื่อเทียบกับแผ่นพื้นที่ไม่มีการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ACI Committee 318, (2014). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14), American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
- [2] Pan, A., and Moehle, J.P. (1989). Lateral displacement ductility of reinforced concrete flat plates, ACI Structural Journal, 86, 3, pp. 250-258.
- [3] Pongpornsup, S. (2003). Seismic performance of post-tensioned interior flat slab-column connections. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.
- [4] Tandian, C.H. (2006). Seismic performance of bonded post-tensioned interior flat slab-column connections with drop panel. Master Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.
- [5] Posai, K. (2016). Cyclic testing of post-tensioned flat plates with headed shear studs. Master Thesis, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand.
- [6] Hawkins, N. M., Mitchell, D., and Sheu, M. S. (1974). Cyclic behavior of six reinforced concrete slab-column specimens transferring moment and shear. Progress report 1973-74 on NSF project GI-38717, Section II, University of Washington, Seattle, Washington.
- [7] Park, R. (1989). Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing. New Zealand National Society for Earthquake Engineering, 22(3), pp. 155-166.
- [8] Zhou, Y. and Hueste, M.D. (2017). Review of laboratory test data for combined lateral and gravity shear demands on interior slab-column connections. World Conference on Earthquake (16WCEE 2017), Santiago, Chile.