พฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ถูกโอบรัดด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรง
Behavior of Reinforced Concrete Column Confined with Prestressed Steel Straps

อิทธิพล พสิษฐ์โยธิน[1] สายันต์ ศิริมนตรี[2] และ ชนะชัย ทองโฉม[3,*]

[1,2,3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ชลบุรี
**Corresponding author; E-mail address: Tchanach@engr.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Column) โดยใช้สายรัดเหล็กโอบรัดรอบแบบให้แรงก่อน (Prestressed Steel Straps) โดยการทดสอบเสาตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง มีขนาดหน้าตัดเท่ากับ 150x150 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 1.20 เมตร โดยตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาคือระยะห่างของสายเหล็กรัดรอบประกอบด้วย 150 และ 75 มิลลิเมตร โดยทดสอบภายใต้การรับแรงอัดแบบตรงศูนย์ ผลที่ได้จากการบันทึกจากการทดสอบประกอบด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำตามแนวแกนและระยะหดตัว และลักษณะการวิบัติของเสาตัวอย่าง จากผลการทดสอบพบว่า การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรงกระทำก่อนสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระทำตามแนวแกนได้ 30-33 เปอร์เซนต์ และสามารถเพิ่มความเหนียวได้ 71-118 เปอร์เซ็นต์ ระยะห่างระหว่างสายเหล็กรัดรอบไม่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงตามแนวแกนแต่มีผลต่อความเหนียว เมื่อเทียบกับเสาตัวอย่างควบคุม

คำสำคัญ: คอนกรีตเสริมเหล็ก, เสา, สายรัดเหล็ก, ความเหนียว, การเสริมกำลัง

Abstract

This article presents the experimental study on reinforced concrete (RC) column strengthened with prestressed steel straps. A total of five specimens is studied. A cross-section of all specimens is 150x150 millimeters. The height is 1.20 meters. The variable studied is the spacing of steel straps (150 and 75 millimeters). All columns are subjected to the compressive force without the eccentric load. The experimental data is recorded in terms of the load and deformation relationships, and mode of failure. Based on the experimental data, the reinforced concrete column strengthened with steel straps enhance the axial load by 30 to 33 percent and increases the ductility by 71 to 118 percent. The spacing of steel straps has no effect on the axial load but it affects the ductility when compared to the control specimen.

Keywords: Reinforced concrete, Column, Steel straps, Ductility, Strengthening

1. คำนำ

โครงสร้างอาคารส่วนใหญ่ในประเทศไทยเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก เมื่อระยะเวลาผ่านไปโครงสร้างอาจจะเสื่อมสภาพหรือเสียหายได้ อาจส่งผลให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกมีค่าลดลง ทำให้โครงสร้างดังกล่าวไม่สามารถต้านทานแรงกระทำได้ ทำให้ต้องการเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกขององค์อาคารดังกล่าว สาเหตุอื่นๆที่ทำให้โครงสร้างต้องมีความสามารถรับกำลังเพิ่มเติมอาจเป็นอันเนื่องมาจากการดัดแปลงสภาพการใช้งาน โครงสร้างดังกล่าวต้องรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้อาคาร เสาเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของระบบโครงสร้าง เนื่องจากโครงสร้างเสาต้องรับน้ำหนักที่ถ่ายมาจากพื้นและคาน เป็นต้น ดังนั้น เมื่อเสาเสื่อมสภาพหรืออาคารมีการเปลี่ยนแปลงการใช้งาน ทำให้เสาจำเป็นต้องมีการเสริมกำลังหรือซ่อมแซมให้รับน้ำหนักบรรทุกตามความต้องการที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งอาจเป็นวิธีที่ดีกว่าการทุบทิ้งแล้วทำการก่อสร้างใหม่ เนื่องจากการทุบทิ้งแล้วก่อสร้างใหม่อาจจะมีค่าใช้จ่ายรวมถึงระยะเวลาการก่อสร้างใหม่ที่ยาวนานกว่าการใช้วิธีเสริมกำลังหรือซ่อมแซมโครงสร้างเดิม จากปัญหาดังกล่าว ทำให้มีการศึกษาการเสริมกำลังโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวนมาก

การเสริมกำลังของโครงสร้างเสาเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกหรือเพิ่มความเหนียว โดยการเสริมกำลังมีหลายวิธี เช่น การใช้เฟอร์โรซีเมนต์ [1-3] การใช้วัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใย [4-6] การใช้ Steel jacketing [7] หรือ การใช้ Steel angle/strips [8, 9] เป็นต้น ซึ่งวิธีการเสริมกำลังข้างต้นสามารถเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกหรือเพิ่มความเหนียวให้แก่ชิ้นส่วนเสาได้ การใช้พอลิเมอร์เสริมเส้นใยอาจไม่เกิดสนิมเมื่อเทียบกับการใช้เหล็กในการเสริมกำลัง แต่ราคาของวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เหล็กในการเสริมกำลัง สำหรับสายรัดเหล็ก (Steel straps) เป็นวัสดุ

ที่สามารถหาได้ง่ายและราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ บุคคลทั่วไปสามารถทำได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยสายรัดเหล็ก

ในการวิจัยนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเสริมกำลังโดยการโอบรัดด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรง โดยการทดสอบเสาตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง ประกอบด้วยเสาที่ไม่ได้เสริมกำลังจำนวน 2 ตัวอย่าง และเสาที่ทำการเสริมกำลัง 3 ตัวอย่าง โดยตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาคือ ระยะห่างระหว่างสายรัดเหล็ก การทดสอบเสาจะให้แรงกระทำแบบตรงศูนย์จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ โดยผลการทดสอบประกอบด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการหดตัว และลักษณะการวิบัติของเสาตัวอย่าง

2. รายละเอียดการทดสอบ

2.1 ตัวอย่างเสา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยขนาดหน้าตัดของเสาทุกตัวอย่างมีขนาดเท่ากับ 150x150 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 1.20 เมตร เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตรจำนวน 4 เส้นเป็นเหล็กยืน และเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตรระยะเรียงเท่ากับ 150 มิลลิเมตร เท่ากันทุกตัวอย่างเสา ตัวแปรที่ศึกษาคือ ระยะห่างของสายรัดเหล็กเท่ากับ 150 และ 75 มิลลิเมตร ตารางที่ 1 และรูปที่ 1 แสดงรายละเอียดของเสาตัวอย่าง

2.2 คุณสมบัติวัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการการทำตัวอย่างเสา ประกอบด้วย คอนกรีต เหล็กเสริมและสายรัดเหล็ก โดยกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน เท่ากับ 233 ksc. กำลังรับแรงดึงที่จุดครากของเหล็กข้ออ้อยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตร (DB12) และเหล็กกลมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตร (RB6) มีค่าเท่ากับ 5862 และ 4226 ksc ตามลำดับ ส่วนสายรัดเหล็กที่ใช้นั้นมีความกว้างเท่ากับ 19 มิลลิเมตร และมีความหนาเท่ากับ 0.8 มิลลิเมตร มีกำลังรับแรงดึงเท่ากับ 4815 ksc.

2.3 การเตรียมตัวอย่างเสา

เสาคอนกรีตเสริมเหล็กมีหน้าตัดของเสาทุกตัวอย่างมีขนาดเท่ากับ 150x150 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 1.20 เมตร เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 12 มิลลิเมตรจำนวน 4 เส้นเป็นเหล็กยืนและเหล็กกลมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 6 มิลลิเมตรระยะเรียงเท่ากับ 150 มิลลิเมตร เท่ากันทุกตัวอย่างเสา (รูปที่ 2(ก)) โดยมีระยะเวลาบ่มคอนกรีตเป็นระยะเวลา 28 วัน รูปที่ 2(ข) แสดงการบ่มตัวอย่างโดยพลาสติก โดยมีเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก 2 ตัวอย่างเป็นเสาควบคุม (ไม่มีการเสริมด้วยสายรัดเหล็ก) สำหรับตัวอย่างที่เสริมด้วยสายรัดเหล็กนั้นมีจำนวน 3 ตัวอย่าง ประกอบด้วย เสาตัวอย่างที่ทำการเสริมด้วยสายรัดเหล็กมีระยะห่างเท่ากับ 150 มิลลิเมตรจำนวน 2 ตัวอย่างคือ เสา CS-150A และ CS-150B และเสา

(ก) เสาตัวอย่าง CC

(ข) เสาตัวอย่าง CS-150

เหล็ก

(ค) เสาตัวอย่าง CS-75

ตัวอย่างที่ทำการเสริมด้วยสายรัดเหล็กมีระยะห่างเท่ากับ 75 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง คือเสา CS-75 การเสริมกำลังเสาทำโดยใช้เครื่องมือตึงสายรัดเหล็กให้ยืดตัวออกประมาณ 2.0 มิลลิเมตร (ซึ่งจะมีค่าเท่ากับแรงประมาณ 4.2 kN) และทำการล๊อคโดยใช้ตัวยึดเหล็กทั้งสองไว้ด้วยกัน รูปที่ 3 แสดงสายรัดเหล็กและเครื่องมือตึงสายรัด

ตารางที่ 1 รายละเอียดเสาตัวอย่าง

เสาตัวอย่าง	ขนาดเสา (มม.^{2})	ระยะห่างของสายรัดเหล็ก (มม.)
CCA	150x150	-
CCB	150x150	-
CS-150A	150x150	150
CS-150B	150x150	150
CS-75	150x150	75

2.4 การทดสอบตัวอย่างเสา

รูปที่ 4(ก) และ 4(ข) แสดงภาพวาดและภาพถ่ายการติดตั้งเครื่องมือวัดกับเสาตัวอย่าง โดยเครื่องมือการตรวจวัดประกอบด้วย Load cell (มีกำลังรับน้ำหนักสูงสุด 5000 กิโลนิวตัน) เครื่องมือตรวจวัดการหดตัว (LVDT) จำนวน 2 ตัว โดยการให้แรงกระทำกับเสาตัวอย่างเป็นการให้แรงแบบตรงศูนย์จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการวิบัติ สำหรับค่าที่ทำการตรวจวัดประกอบด้วยแรงกระทำ ระยะหดตัว และลักษณะการวิบัติของเสา ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป



(ก) การผูกเหล็กเสริม



(ข) การบ่มคอนกรีต

รูปที่ 2 สายรัดเหล็กและเครื่องมือรัดดึง

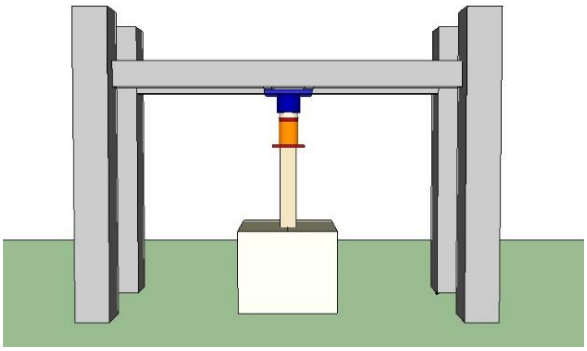


(ก) สายรัดเหล็ก

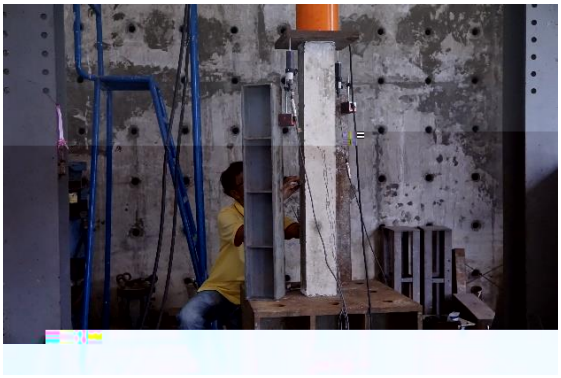


(ข) เครื่องมือรัดดึง

รูปที่ 3 สายรัดเหล็กและเครื่องมือรัดดึง
(ที่มา: https://www.brandexdirectory.com)



(ก) ภาพวาด



(ข) ภาพถ่าย

รูปที่ 4 การติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดกับเสาตัวอย่าง

3. ผลการทดสอบ

3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะหดตัว

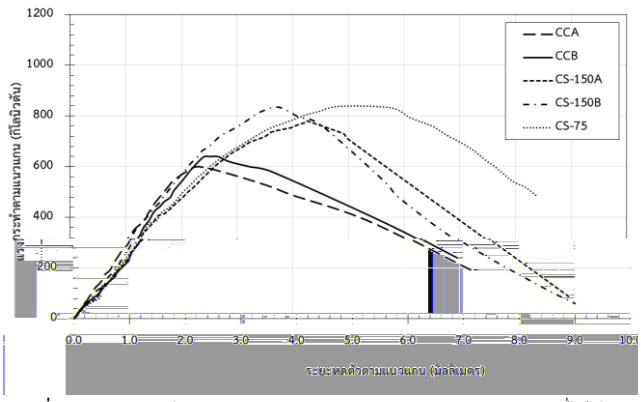
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและการโก่งตัวของเสาตัวอย่างทั้งหมด ผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่มีการเสริมกำลังด้วยสายรัด

เหล็กอัดแรงสามารถเพิ่มกำลังสูงสุดและเพิ่มความเหนียวเมื่อเทียบกับเสาตัวอย่างควบคุม โดยรายละเอียดแรงอัดสูงสุดและระยะหดตัวที่แรงกระทำสูงสุดได้แสดงในตารางที่ 2

เสา CCA1 และ CCA2 เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม (ที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง) รับแรงอัดในแนวแกนสูงสุดได้เท่ากับ 600 และ 630 กิโลนิวตัน ตามลำดับ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 615 กิโลนิวตัน) และมีระยะการหดตัวในแนวแกนที่แรงกระทำสูงสุดเท่ากับ 2.22 และ 2.46 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.34 มิลลิเมตร)

เสา CS-150A และ CS-150B เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่มีระยะห่างเท่ากับ 150 มิลลิเมตร รับแรงอัดในแนวแกนสูงสุดได้เท่ากับ 780 และ 820 กิโลนิวตัน ตามลำดับ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 800 กิโลนิวตัน) และมีระยะการหดตัวในแนวแกนที่แรงกระทำสูงสุดเท่ากับ 4.23 และ 3.76 มิลลิเมตร ตามลำดับ (ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 มิลลิเมตร)

เสา CS-75 เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่มีระยะห่างเท่ากับ 75 มิลลิเมตร สามารถรับแรงอัดในแนวแกนสูงสุดได้เท่ากับ 820 กิโลนิวตัน และมีระยะการหดตัวในแนวแกนที่แรงกระทำสูงสุดเท่ากับ 5.11 มิลลิเมตร



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะหดตัวของเสาตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมกำลังและเสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็ก

ตารางที่ 2 รายละเอียดเสาตัวอย่าง

เสาตัวอย่าง	ขนาดเสา (มม.^{2})	ระยะห่างของสายรัดเหล็ก (มม.)	แรงอัดสูงสุด (กิโลนิวตัน)	ระยะหดตัว* (มิลลิเมตร)
CCA	150x150	-	600	2.22
CCB	150x150	-	630	2.46
CS-150A	150x150	150	780	4.23
CS-150B	150x150	150	820	3.76
CS-75	150x150	75	820	5.77

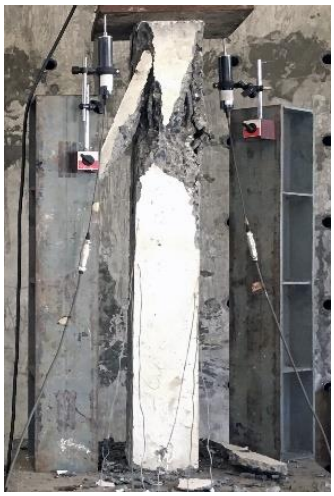
*หมายเหตุ * ระยะหดตัวที่ตำแหน่งแรงกระทำสูงสุด*

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เสาที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่ระยะห่างเท่ากับ 150 และ 75 มิลลิเมตรสามารถเพิ่มความสามารถในการกำลังรับแรงอัดตามแกนเท่ากับ 30 และ 33 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับเสาตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมด้วยสายรัดเหล็ก สำหรับระยะหดตัวตามแนวแกนที่แรงกระทำสูงสุดนั้นพบว่าเสาที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่ระยะห่างเท่ากับ 150 และ 75 มิลลิเมตรสามารถเพิ่มระยะหดเท่ากับ 71 และ 118 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3.2 ลักษณะการวิบัติ



(ก) เสาตัวอย่าง CCA



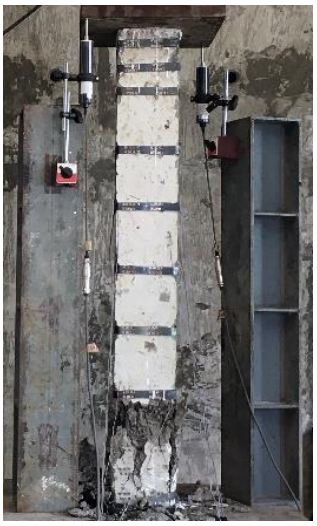
(ข) เสาตัวอย่าง CCB

รูปที่ 6 ลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็ก

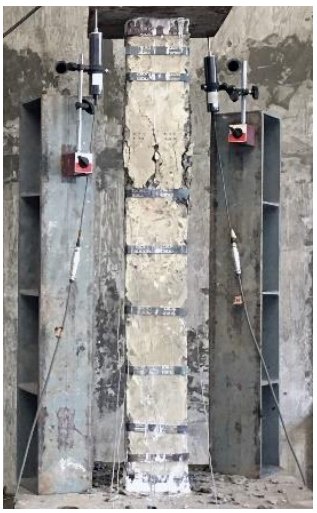
รูปที่ 6(ก) และ 6(ข) แสดงลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กควบคุม (ที่ไม่ได้ทำการเสริมกำลัง) ตามลำดับ ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเสารับน้ำหนักกดอัดในแนวแกนในช่วงแรก เมื่อมีแรงกระทำตามแนวแกนเพิ่มขึ้น ค่าการหดตัวของเสามีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดตามแนวแกนและการหดตัวแสดงดังรูปที่ 5 จนกระทั่งเมื่อแรงอัดตามแนวแกนถึงค่าสูงสุด เสาตัวอย่างบริเวรด้านบนเริ่มมีรอยแตกร้าวมากขึ้น รอยแตกร้าวดังกล่าวเริ่มขยายตัวเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งเสาไม่สามารถรับแรงกระทำเพิ่มได้อีก ทำให้ค่าของแรงกระทำมีค่าตกลง แต่ค่าการหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อรอยแตกร้าวขยายออกมากขึ้นจนกระทั่งคอนกรีตเริ่มแตก

ออกและหลุดร่วงจึงทำให้เสาไม่สามารถรับแรงได้อีกต่อไปจึงหยุดทำการทดสอบ

รูปที่ 7(ก) และ 7(ข) แสดงลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่มีระยะห่างเท่ากับ 150 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเสารับน้ำหนักกดอัดในแนวแกนในช่วงแรกเมื่อมีแรงกระทำตามแนวแกนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวของเสามีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับเสาควบคุม (รูปที่ 5) แต่มีระยะการหดตัวตามแนวแกนที่แรงกระทำสูงสุดมีค่าสูงกว่า เมื่อคอนกรีตเริ่มแตกร้าวเล็กน้อยก่อนถึงแรงกระทำสูงสุด จนกระทั่งสายรัดเหล็กขาดที่บริเวณมุมของเสา ทำให้แรงกระทำมีค่าลดลง จากนั้นรอยแตกร้าวของคอนกรีตมีค่ามากขึ้น เมื่อเสาไม่สามารถรับแรงกระทำตามแนวแกนได้อีก จึงหยุดทำการทดสอบ



(ก) เสาตัวอย่าง CS-150A



(ข) เสาตัวอย่าง CS-150B

รูปที่ 7 ลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็ก (ระยะห่างเท่ากับ 150 มิลลิเมตร)

รูปที่ 8 แสดงลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่มีระยะห่างเท่ากับ 75 มิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเสารับน้ำหนักกดอัดในแนวแกนในช่วงแรกเมื่อมีแรงกระทำตามแนวแกนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการหดตัวของเสามีค่าเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับเสาควบคุม โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดตามแนวแกนและการหดตัวแสดงดังรูปที่ 4 แต่มีระยะการหดตัวตามแนวแกนที่สูงกว่าเสาควบคุมและเสาที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กที่มีระยะห่างเท่ากับ 150 มิลลิเมตร เมื่อคอนกรีตเริ่มแตกร้าวเล็กน้อยก่อนถึงแรงกระทำสูงสุด จนกระทั่งสายรัดเหล็กขาดที่บริเวณมุมของเสา จนทำให้รอยร้าวของคอนกรีตขยายอย่างรวดเร็วทำให้แรงกระทำมีค่าลดลง เมื่อเสาไม่สามารถรับแรงกระทำตามแนวแกนได้อีก จึงหยุดทำการทดสอบตัวอย่างดังกล่าว





รูปที่ 8 ลักษณะการวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็ก (ระยะห่างเท่ากับ 75 มิลลิเมตร)

4. สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการโอบรัดเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรง จากการทดสอบเสาจำนวน 5 ตัวอย่าง โดยขนาดของตัวอย่างเสาทุกตัวมีขนาดเท่ากันทุกตัวอย่างเท่ากับ

150x150 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 1.20 เมตร โดยตัวแปรที่ได้ทำการศึกษาคือ ระยะห่างของสายรัดรอบ 2 ระยะคือ ระยะเท่ากับ 150 และ 75 มิลลิเมตร ทดสอบภายใต้การรับแรงอัดแบบตรงศูนย์ จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรงกระทำก่อนสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงกระทำตามแนวแกนได้ 30 ถึง 33 เปอร์เซนต์ โดยระยะห่างของสายรัดเหล็กที่แตกต่างกันในงานวิจัยนี้ไม่มีผลต่อการเพิ่มความสามารถในการรับกำลังอัดตามแนวแกนอย่างมีนัยสำคัญ

การเสริมกำลังเสาคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรงกระทำก่อนสามารถช่วยเพิ่มความความเหนียวเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เสริมกำลังได้ 71 ถึง 118 เปอร์เซ็นต์ โดยระยะห่างของสายเหล็กรัดรอบส่งผลต่อความเหนียวของเสาที่ได้รับการเสริมกำลัง โดยเมื่อระยะห่างของสายเหล็กรัดรอบน้อยจะส่งผลให้ความเหนียวมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

การวิบัติของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นแบบคอนกรีตแตกหัก ลักษณะการวิบัติของเสาที่เสริมกำลังด้วยสายรัดเหล็กแบบให้แรงกระทำก่อนคือ การขาดของสายรัดเหล็กที่บริเวณมุมของเสา

เอกสารอ้างอิง

[1] Mourad, S. M., and Shannag, M. J. (2012). Repair and strengthening of reinforced concrete square columns using ferrocement jackets. *Cement and concrete composites*, 34(2), pp.288-294.

[2] Mourad, S. M., and Shannag, M. J. (2012). Repairing reinforced concrete rectangular columns using ferrocement laminates. *Concrete solutions*. *Taylor & Francis Group*, London, pp. 757-763.

[3] Sirimontree, S., Witchayangkoon, B., and Lertpocasombut, K. (2015). Strengthening of reinforced concrete column via ferrocement jacketing. American Transactions on Engineering and Applied Sciences, 4(1), pp. 39-47.

[4] Pantazopoulou, S. J., Bonacci, J. F., Sheikh, S., Thomas, M. D. A., and Hearn, N. (2001). Repair of corrosion-damaged columns with FRP wraps. *Journal of composites for construction*, 5(1), pp. 3-11.

[5] Li, G., Hedlund, S., Pang, S. S., Alaywan, W., Eggers, J., and Abadie, C. (2003). Repair of damaged RC columns using fast curing FRP composites. *Composites Part B: Engineering*, 34(3), pp. 261-271.

[6] Choo, C. C., Harik, I. E., and Gesund, H. (2006). Strength of rectangular concrete columns reinforced with fiber-reinforced polymer bars. *ACI Structural Journal*, 103(3), 452.

[7] Abdel-Hay, A. S., and Fawzy, Y. A. G. (2015). Behavior of partially defected RC columns strengthened using steel jackets. *HBRC Journal*, 11(2), pp. 194-200.

[8] Tarabia, A. M., and Albakry, H. F. (2014). Strengthening of RC columns by steel angles and strips. *Alexandria Engineering Journal*, 53(3), pp. 615-626.

[9] Ma, C. K., Yung, S. C. S., Apandi, N., Awang, A. Z., and Omar, W. (2017). Innovative Concrete Repairing Technique Using Post Tensioning Steel Straps. *In MATEC Web of Conferences*, Vol. 103, p. 02011.