

กำลังตัดของรอยต่อแบบเชื่อมของเสาเข็มสับนคอนกรีตอัดแรง



นาย ปณิธาน โลกมิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

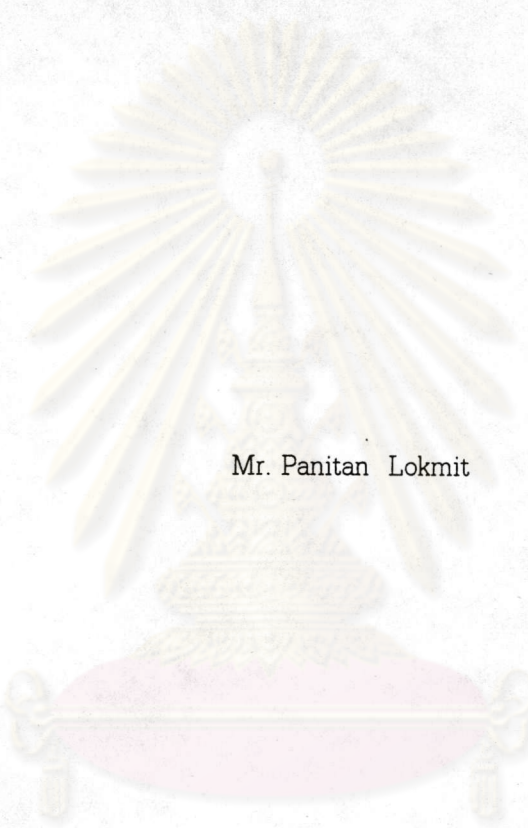
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-633-167-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FLEXURAL STRENGTH OF WELDED CONNECTORS OF
PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES



Mr. Panitan Lokmit

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-633-167-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กำลังตัดของรอยต่อแบบเชื่อมของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง
โดย นายปณิธาน โลกมิตร
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลี้มสุวรรณ



บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ฤงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวีเชียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลี้มสุวรรณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(อาจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุตธรรม สุริยะมงคล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ปณิธาน โลกมิตร : กำลังดัดของรอยต่อแบบเชื่อมของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง (FLEXURAL STRENGTH OF WELDED CONNECTORS OF PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 106 หน้า ISBN 974-633-167-1

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาพฤติกรรมกำลังดัดของรอยต่อแบบเชื่อมของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรงโดยใช้การทดสอบควบคู่กับการวิเคราะห์ เพื่อการออกแบบรอยเชื่อมต่อตามขนาดของเสาเข็มให้มีกำลังและพฤติกรรมเสมือนเสาเข็มที่ไม่มีรอยต่อ รอยต่อใช้แบบเชื่อมแผ่นเหล็กยึดติดกับเหล็กเสริมฝังไว้ในเนื้อคอนกรีตที่มีการถ่ายแรงได้อย่างสมบูรณ์

พฤติกรรมของรอยต่อเสาเข็มถูกกำหนดให้มีกำลังอัดและกำลังดัดเกินกว่าตัวเสาเข็มเอง และจะต้องมีพฤติกรรมสนองตอบของแรงและการแอ่นตัวได้ดีทั้งในช่วงอีลาสติกและช่วงพลาสติกภายใต้แรงอัด แรงดัด และพฤติกรรมร่วมระหว่างแรงอัดและแรงดัด งานวิจัยนี้ได้จำลองพฤติกรรมการรับแรงทั้งส่วนของรอยเชื่อมประกอบด้วยขนาดและกำลังของรอยเชื่อม ส่วนของแผ่นเหล็กด้วยความหนาและกำลังของเหล็กแผ่น และส่วนของคอนกรีตอัดแรงด้วยกำลังอัดและขนาดของเสาเข็ม เพื่อวิเคราะห์หากำลังการสนองตอบต่อการอัดและการดัด อันจะนำไปสู่การออกแบบรอยต่อที่เหมาะสม

การทดสอบเปรียบเทียบพฤติกรรมการดัดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรงที่มีรอยเชื่อมต่อตามที่กำหนดและระบุตามกรรมวิธีของผู้ผลิต ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40, 45, 60 และ 80 ซม. โดยใช้น้ำหนักบรรทุก 2 จุด ด้วยความยาวช่วงทดสอบ 570 ซม. และมีช่วงการเฉือนข้างละ 185 ซม. การวิเคราะห์เสาเข็มที่ไม่มีรอยต่อใช้วิธีการวิเคราะห์หน้าตัดโดยวิธีความเครียดสอดคล้องและหาค่าการแอ่นตัวโดยใช้หลักการของงานเสมือน ส่วนการวิเคราะห์รอยเชื่อมต่อใช้วิธีการในทำนองเดียวกัน ผลการทดสอบที่ได้แสดงชัดเจนว่าพฤติกรรมการดัดของตัวอย่างทดสอบสอดคล้องกับการวิเคราะห์ ทั้งในด้านการรับแรงดัด การแอ่นตัว และการแตกร้าว และตำแหน่งการวิบัติของตัวอย่างทดสอบเกิดขึ้นนอกบริเวณรอยต่อ จึงเป็นการพิสูจน์ว่ารอยต่อที่ใช้มีความแข็งแรงและสามารถรับกำลังได้สูงกว่าหน้าตัดเสาเข็มที่ไม่มีรอยต่อ

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการออกแบบขนาดของรอยเชื่อมตามขนาดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรงตามมาตรฐานการผลิต มอก. 398-2524 แสดงเป็นกราฟและตารางการออกแบบ เพื่อกำหนดขนาดหน้าตัดของรอยเชื่อมที่สามารถประกันความแข็งแรงรับกำลังได้สูงกว่าหน้าตัดเสาเข็มได้ ทั้งการรับแรงอัดในแนวแกน แรงดัด และพฤติกรรมร่วมแรงอัดและแรงดัด.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.....
ปีการศึกษา2538.....

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



C415139 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: FLEXURAL STRENGTH/WELDED CONNECTOR/PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES
PANITAN LOKMIT : FLEXURAL STRENGTH OF WELDED CONNECTORS OF
PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT
LIMSUWAN, Ph.D. 106 pp. ISBN 974-633-167-1

This research work has studied structural behavior of flexural strength of welded connector of prestressed concrete spun piles by means of test and analysis. It is to determine optimum welded connection in accordance with pile sections for strengths and behavior as the section without it. The connector consisted of steel plates fixed with reinforcing bars and prestressing wires embedded in concrete to assure load transfer in the region of connector.

Behavior of pile connector has specified to carry load capacity at least to be as the original pile section with structural response under load to satisfactory condition both elastic and plastic ranges under axial load, bending moment and combination one. This study has proposed structural model for analysis for load response considering size and strength of welded section, thickness and strength of steel plate and compressive strength and diameter of concrete pile.

Test has been conducted for comparison the behavior of prestressed concrete spun piles with welded connector provided by manufacturer. The test specimens are 40, 45, 60 and 80 cm. diameter and span length was 570 cm. with 2 points load of shear span was 185 cm. The analysis for strength and response of the pile sections are conformed to strain compatibility method and the deflection has determined by principle of virtual work. It will be the same method for the welded section. The test results have shown the flexural behavior of test specimens to perform well and agreeable to the analyses for flexural strength, deflection and cracking and the failure mode is outside the connector, to prove the stiffness and strength of connector to be stronger than the pile section.

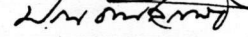
The research has proposed design method of welded section of pile connector for spun piles in accordance with TIS. 398-1981 by using design chart or table. The design section as specified will assure the stiffness and strength for axial load, bending moment and the combination.

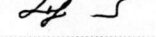
ศูนย์วิทยุโทรพยากรณ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา.....

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิติ..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... 



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. บุญไชย สถิตมั่นในธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. วินิต ช่อวิเชียร และรองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล ซึ่งได้ให้ความกรุณาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบคุณ คุณพิเชษฐ ชูฤทธิ์ และ เพื่อนร่วมชั้นทุกคนที่มีส่วนทำให้งานลุล่วงไปด้วยดี

ปณิธาน โลกมิตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ด

บทที่

1. บทนำ	1
1.1 ความนำ	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา	1
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 ขอบเขตของการวิจัย	3
2. ทฤษฎีและวิธีการวิเคราะห์	4
2.1 แบบจำลองของวัสดุและรอยต่อแบบเชื่อมของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง	4
2.1.1 แบบจำลองคุณสมบัติหลักของวัสดุ	4
2.1.2 แบบจำลองการรับกำลังดัดของรอยต่อแบบเชื่อม	7
2.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมการดัดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง	12
2.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง	12
2.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของเสาเข็ม	18
2.2.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดร่วมกับการดัด	19
2.3 การวิเคราะห์กำลังดัดของรอยต่อแบบเชื่อมของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง	22
2.3.1 การวิเคราะห์หน้าตัดรับแรงดัดร่วมแรงอัดของรอยต่อแบบเชื่อม	22
2.3.2 แรงดัดในแผ่นเหล็ก	25
2.3.3 การรับแรงร่วมระหว่างรอยเชื่อมกับผิวสัมผัส	25
3. การทดสอบและผลการทดสอบ	27
3.1 รายการทดสอบและการเตรียมตัวอย่างทดสอบ	27

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.2 การติดตั้งและขั้นตอนในการทดสอบ	30
3.3 ผลการทดสอบ	30
3.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการวิเคราะห์	34
4. การออกแบบรอยต่อเชื่อม	39
4.1 การออกแบบรอยเชื่อมรับโมเมนต์ดัด	39
4.2 การออกแบบรอยเชื่อมรับแรงอัดรวมแรงดัด	41
4.3 การออกแบบรอยเชื่อมสำหรับเสาเข็มขนาดต่างๆ	42
5. สรุปผลการวิจัย	44
รายการอ้างอิง	45
ประวัติผู้เขียน	106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	เปรียบเทียบกำลังของลวดเชื่อมและเหล็กโครงสร้างที่ใช้ทั่วไป 47
3.1	คุณลักษณะของชิ้นตัวอย่างทดสอบ 48
3.2	คุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ สำหรับตัวอย่างทดสอบ 49
3.3	ผลการทดสอบตัวอย่าง SPD-40 50
3.4	ผลการทดสอบตัวอย่าง SPD-45 51
3.5	ผลการทดสอบตัวอย่าง SPD-60 52
3.6	ผลการทดสอบตัวอย่าง SPD-80 53
3.7	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-40 54
3.8	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-45 55
3.9	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-60 56
3.10	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-80 57
3.11	ค่าแรงกระทำและค่าการแอ่นตัวสูงสุด ที่ได้จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์ 58
4.1	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. (กำลังอัด 500 กก./ ซม. ²) 59
4.2	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. (กำลังอัด 500 กก./ ซม. ²) 60
4.3	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. (กำลังอัด 500 กก./ ซม. ²) 61
4.4	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. (กำลังอัด 500 กก./ ซม. ²) 62
4.5	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. 63
4.6	ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. 64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.7 ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม.	65
4.8 ผลการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม.	66
4.9 คุณสมบัติของหน้าตัดเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรงขนาดมาตรฐานที่ใช้กันทั่วไป	67
4.10 โมเมนต์ดัดแตกกร้าว, โมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง และขนาดหน้าตัดของรอยเชื่อมรับแรงดัด	68
4.11 แรงอัดประลัยของหน้าตัดเสาเข็มสปันคอนกรีตอัดแรง และขนาดหน้าตัดของรอยเชื่อมรับ แรงอัดร่วมแรงดัด	69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต	70
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของลวดเหล็กอัดแรง	70
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริมข้ออ้อย	71
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความยาวของเหล็กเสริมข้ออ้อยที่ฝังในเนื้อคอนกรีต	71
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังของวัสดุกับระยะยึดเหนี่ยวพื้นฐานของเหล็กเสริมขนาดต่าง ๆ	72
2.6 อิทธิพลของระยะหุ้มคอนกรีตและระยะห่างของเหล็กเสริมที่มีผลต่อระยะยึดเหนี่ยว	72
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและระยะยึดของโลหะที่ทำลวดเชื่อมและแผ่นเหล็ก	73
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของแผ่นเหล็กและรอยเชื่อมที่ใช้ในการวิจัย	73
2.9 ค่าความโค้งหลังการแตกร้าวของหน้าตัด	74
2.10 การแจกแจงความเครียดและหน่วยแรงบนคอนกรีตหน้าตัดกลม	74
2.11 การแจกแจงความเครียดและหน่วยแรงบนคอนกรีตหน้าตัดกลมกลวง	75
2.12 หน่วยแรงของลวดเหล็กอัดแรงและเหล็กเสริมข้ออ้อย บนหน้าตัดเสาเข็ม	75
2.13 การวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดร่วมกับการดัดของเสาเข็ม	76
2.14 การวิเคราะห์หน้าตัดรับแรงอัดร่วมแรงดัดของรอยเชื่อม	77
2.15 การวิเคราะห์หน้าตัดของรอยเชื่อมร่วมกับหน้าตัดที่ผิวสัมผัสของแผ่นเหล็กและคอนกรีต	78
2.16 แสดงขั้นตอนในการวิเคราะห์การแ่นตัวของเสาเข็ม	79
3.1 รูปแบบของเสาเข็มสับนคอนกรีตอัดแรงและรอยต่อแบบเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบ	80
3.2 แสดงตำแหน่งของเครื่องมือวัดและแรงกระทำบนชิ้นตัวอย่างทดสอบ	81
3.3 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและชิ้นตัวอย่างเพื่อการทดสอบ	82
3.4 แสดงการใช้ Dial Gauges และ LVDT's เพื่อวัดระยะเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งของชิ้นตัวอย่าง	82
3.5 แสดงโครงเหล็กที่ใช้ยึดแม่แรงไฮดรอลิกที่ใช้เป็นแรงกระทำในการทดสอบ	83
3.6 แสดงเครื่องควบคุมแม่แรงไฮดรอลิก โดยแสดงค่าของแรงกระทำในเชิงตัวเลข	83
3.7 ลักษณะการแตกร้าวของตัวอย่าง SPD-40 ขณะเกิดการวิบัติ	84
3.8 สภาพของรอยต่อแบบเชื่อมหลังจากการวิบัติ ของตัวอย่าง SPD-40	84
3.9 การวิบัติของตัวอย่าง SPD-45	85
3.10 สภาพของรอยต่อแบบเชื่อมหลังจากการวิบัติ ของตัวอย่าง SPD-45	85
3.11 การวิบัติของตัวอย่าง SPD-60	86

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12 สภาพของรอยต่อแบบเชื่อมหลังจากการวิบัติ ของตัวอย่าง SPD-60	86
3.13 การวิบัติของตัวอย่าง SPD-80.....	87
3.14 สภาพของรอยต่อแบบเชื่อมหลังจากการวิบัติ ของตัวอย่าง SPD-80	87
3.15 รูปแบบของรอยแตกร้าวและการวิบัติของตัวอย่าง SPD-40	88
3.16 รูปแบบของรอยแตกร้าวและการวิบัติของตัวอย่าง SPD-45	89
3.17 รูปแบบของรอยแตกร้าวและการวิบัติของตัวอย่าง SPD-60	90
3.18 รูปแบบของรอยแตกร้าวและการวิบัติของตัวอย่าง SPD-80	91
3.19 ตำแหน่งของหน้าตัดต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์	92
3.20 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวิเคราะห์โมเมนต์ตัดและความโค้ง	93
3.21 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดและความโค้งบนหน้าตัดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-40	94
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดและความโค้งบนหน้าตัดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-45	94
3.23 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดและความโค้งบนหน้าตัดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-60	95
3.24 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดและความโค้งบนหน้าตัดต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ของตัวอย่าง SPD-80	95
3.25 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPD-40 จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์	96
3.26 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPD-45 จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์	96
3.27 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPD-60 จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์	97
3.28 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPD-80 จากผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์	97



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและค่าความโค้งของเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. ที่รับแรงอัดคงที่ต่าง ๆ กัน จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์	98
3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. จากผลการทดสอบเทียบกับการวิเคราะห์	98
4.1a ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. เทียบกับรอยเชื่อมขนาดต่างๆ	99
4.1b การวิเคราะห์หาขนาดของรอยเชื่อมรับโมเมนต์ดัดสำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. ...	99
4.2a ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งของหน้าตัดเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. เทียบกับรอยเชื่อมขนาดต่างๆ	100
4.2b การวิเคราะห์หาขนาดของรอยเชื่อมรับโมเมนต์ดัดสำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. ...	100
4.3 การวิเคราะห์หาขนาดของรอยเชื่อมรับโมเมนต์ดัดสำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. ...	101
4.4 การวิเคราะห์หาขนาดของรอยเชื่อมรับโมเมนต์ดัดสำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. ...	101
4.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 40 ซม. เทียบกับหน้าตัดรอยเชื่อมที่ใช้รับแรงอัดร่วมแรงดัด	102
4.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 45 ซม. เทียบกับหน้าตัดรอยเชื่อมที่ใช้รับแรงอัดร่วมแรงดัด	102
4.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 60 ซม. เทียบกับหน้าตัดรอยเชื่อมที่ใช้รับแรงอัดร่วมแรงดัด	103
4.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดและโมเมนต์ดัดของหน้าตัดเสาเข็มขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง 80 ซม. เทียบกับหน้าตัดรอยเชื่อมที่ใช้รับแรงอัดร่วมแรงดัด	103
4.9 โมเมนต์ดัดแตกกร้าว และโมเมนต์ดัดประลัยของหน้าตัดเสาเข็มขนาดต่างๆ	104
4.10 กำลังอัดประลัยของหน้าตัดเสาเข็มขนาดต่างๆ	104
4.11 หน้าตัดประสิทธิผลของรอยเชื่อมสำหรับเสาเข็มขนาดต่างๆ	105

คำอธิบายสัญลักษณ์



A_b	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
A_g	=	พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตของเสาเข็ม
A_n	=	พื้นที่หน้าตัดสุทธิของเสาเข็ม
A_{ps}	=	พื้นที่หน้าตัดของลวดเหล็กอัดแรง
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมข้ออ้อย
A_t	=	พื้นที่หน้าตัดรวมทั้งหมด
c	=	ระยะจากผิวบนของหน้าตัดถึงระดับแกนสะเทิน
C_c	=	แรงอัดในคอนกรีต
d_b	=	เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม
d_{ps}	=	ระยะจากผิวบนสุดของหน้าตัดถึงกึ่งกลางลวดอัดแรง
d_s	=	ระยะจากผิวบนสุดของหน้าตัดถึงกึ่งกลางเหล็กเสริม
E_c	=	โมดูลัสยืดหยุ่น (Secant Modulus) ของคอนกรีต
EI	=	สติฟเนสของหน้าตัดเสาเข็ม
E_{ps}	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของลวดอัดแรง
E_s	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม
f_c	=	หน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับใด ๆ
f_c'	=	กำลังอัดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐาน
f_{ps}	=	หน่วยแรงของลวดอัดแรงที่ระดับใด ๆ
f_{py}	=	กำลังคลากของลวดอัดแรง วัดค่าหน่วยแรงดึงที่ 1% ของความเครียด
f_{pu}	=	ค่ากำลังดึงสูงสุดของลวดอัดแรง
f_r	=	โมดูลัสการแตกร้าวของคอนกรีต
f_s	=	หน่วยแรงของเหล็กเสริมที่ระดับใด ๆ
f_{se}	=	แรงดึงประสิทธิภาพของลวดอัดแรง
f_y	=	กำลังคลากของเหล็กเสริม
F_y	=	กำลังคลากของแผ่นเหล็ก
h'/r	=	ความชะลูด (Slenderness ratio)

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

- l_d = ระยะยึดเหนี่ยวประสิทธิภาพของเหล็กเสริม
 l_{dc} = ระยะยึดเหนี่ยวพื้นฐานของเหล็กเสริมรับแรงอัด
 l_{dt} = ระยะยึดเหนี่ยวพื้นฐานของเหล็กเสริมรับแรงดึง
 l_x = ระยะของเหล็กเสริมที่ฝังในเนื้อคอนกรีตวัดจากปลายเหล็กเสริม
 M_n = โมเมนต์ต้านทานของหน้าตัด
 M_u = โมเมนต์กระทำสูงสุด
 M_u^* = โมเมนต์ต้านทานประลัยของหน้าตัด
 n_s = Moduli ratio
 P_n = แรงต้านทานในแนวแกนของหน้าตัด
 P_u = แรงอัดประลัย
 t_e = ขนาดคอประสิทธิภาพของรอยเชื่อม
 t_p = ความหนาของแผ่นเหล็ก
 T = แรงดึงรวมบนหน้าตัด
 T_p = แรงดึงของลวดเหล็ก
 T_s = แรงดึงของเหล็กเสริม
 x = จุดศูนย์กลางของแรงอัดในคอนกรีต
 α = มุมของร่องรูปตัววี ของรอยเชื่อม
 ϵ = ความเครียดในคอนกรีตที่ระดับใด ๆ
 ϵ_c = ความเครียดอัดที่ผิวบนสุดของหน้าตัด
 ϵ_{ce} = ความเครียดอัดสม่ำเสมอจากแรงอัดประสิทธิภาพ
 ϵ_c = ความเครียดที่ตำแหน่ง fc'
 ϵ_{pe} = ความเครียดในลวดเหล็กเนื่องจากแรงดึงประสิทธิภาพ
 ϵ_{pp} = ค่าความเครียดที่จุด proportional limit
 ϵ_{ps} = ความเครียดของลวดเหล็กที่ระดับต่าง ๆ บนหน้าตัด
 ϵ_{pu} = ค่าความเครียดที่กำลังดึงสูงสุด
 ϵ_{py} = ค่าความเครียดที่กำลังคลาก
 ϵ_s = ค่าความเครียดของเหล็กเสริมที่ระดับต่าง ๆ ของหน้าตัด

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

- ϵ_{se} = ค่าความเครียดอัดของเหล็กเสริมเนื่องจากแรงดึงประสิทธิผล
- ϵ_y = ค่าความเครียดของเหล็กเสริมที่จุดคาน
- ϵ_u = ความเครียดอัดประลัยที่ผิวบนสุดของหน้าตัด
- φ = ค่าความโค้ง
- w_1 = ขนาดขาของรอยเชื่อมแบบพอก
- Δ_z = ค่าการแอ่นตัว



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย