

กำลังของแผ่นพื้นคอนกรีตท้องเรียบทางเคีวชานิคอดแรงบางส่วน



นาย บุญชัย วุฒินันท์

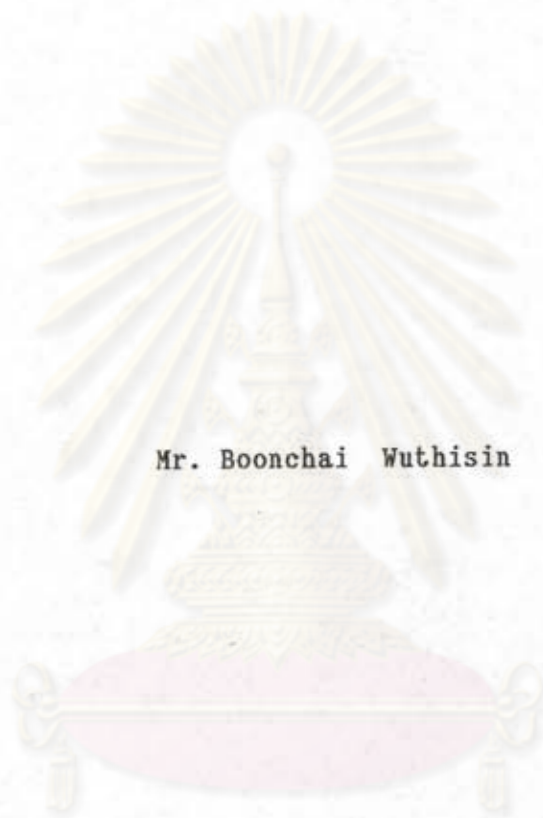
ศูนย์วิทยพัรพยากร
วิทธานพนันัน เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2537

ISBN 974-584-603-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STRENGTH OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE ONE WAY FLAT SLABS



Mr. Boonchai Wuthisin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University


1994

ISBN 974-584-603-1

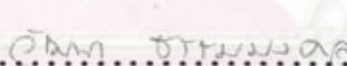


หัวข้อวิทยานิพนธ์ กำลังของแผ่นพ่นคอนกรีตท้องเรียบทางเคีวชวณิค้อคแรงบางส่วน
โดย นายบุญชัย วุฒินันท์
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น ส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรภักษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ วัฒนา ชรรวมงคล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.บุญไชย สนิตมันในธรรม)

ศูนย์วิทยุทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



พิมพ์ด้วยกระดาษพิมพ์ดีดของวิทยาลัยเทคโนโลยีวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมที่พิมพ์ผ่านเดียว

นายชัย วุฒิสินธุ์ : กำสั่งของแผ่นพื้นคอนกรีตทอ้งเรียบทางเดียวชนิดอัดแรงบางส่วน
(STRENGTH OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE ONE WAY FLAT SLABS)

อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ, 127 หน้า

ISBN 974-584-603-1

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการวิเคราะห์พฤติกรรมของพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วนด้วยการทดสอบแผ่นพื้นตัวอย่างภายใต้น้ำหนักบรรทุกแบบสถิตยจนถึงจุดวิบัติ ตัวอย่างแผ่นพื้นทดสอบมีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 15x70 ซม. มีความยาวรวม 630 ซม. จำนวนตัวอย่างทดสอบมีทั้งหมด 5 ตัวอย่าง เป็นแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วนที่มีอัตราส่วนการอัดแรง 0, 0.21, 0.51, 0.77 และ 1.00 ตามลำดับ ตัวอย่างทดสอบทั้งหมดใช้ลวดอัดแรงแบบไม่ยึดเหนี่ยว และใช้อัตราการใช้เหล็กประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณเหล็กเสริมที่ลภาวะสมดุล การทดสอบใช้ช่วงความยาวทดสอบ 600 ซม. ใช้น้ำหนักทดสอบแบบ 2 จุด และมีช่วงแรงเฉือนข้างละ 200 ซม. การวิเคราะห์ผลการทดสอบ ได้ทำตามวิธีการของความเครียดล่อคค้อง, ตามวิธีของ Siriaksorn, และการใช้การกระจายหน่วยแรงในคอนกรีตตาม ACI และ Nedderman

ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นพื้นชี้ชัดว่า วิธีการของความเครียดล่อคค้องจะให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้ง ที่ล่อคค้องกันอย่างมาก เฉพาะในตัวอย่างที่มีอัตราส่วนการอัดแรงที่ไม่เกินกว่า 0.51 สืบเนื่องจากผลการชั่ยของลวดอัดแรงที่ไม่ได้ยึดเหนี่ยว ส่วนวิธีการของ Siriaksorn ใช้ได้ดีเฉพาะในกรณีที่มีการยึดเหนี่ยวเท่านั้น และจะให้ค่าการแอนตัวในเชิงกักต้งหรือกำสั่งในเชิงกักต้ง การวิเคราะห์กำสั่งโดยใช้การกระจายหน่วยแรงอัดในคอนกรีตตาม ACI และ Nedderman จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดและการดัดที่ล่อคค้องกันดีมากในทุกๆตัวอย่างทดสอบ

การเพิ่มอัตราส่วนการอัดแรงส่งผลโดยตรงต่อการลดการแอนตัวของโครงสร้างที่ประลัย และทำให้โมเมนต์ดัดแตกร้าวมักำสูงขึ้น ขนาดของการแตกร้าวม และระยะห่างของรอยแตกร้าวมักำสามารถคำนวณได้ดัดตามสูตรของ CEB-FIP ซึ่งล่ำมารถสรุปให้ใช้ที่หน้าขนาด และระยะห่างรอยแตกร้าวมักำของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วนแบบไม่ยึดเหนี่ยวได้อย่างแม่นยำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา.....2536

ลายมือชื่ออนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

C215051 : MAJOR STRUCTURAL ENGINEERING
KEY WORD: PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE/ONE WAY

BOONCHAI WUTHISIN : STRENGTH OF PARTIALLY PRESTRESSED CONCRETE ONE
WAY FLAT SLABS. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT LIMSUWAN, Ph.D.
127 pp. ISBN 974-584-603-1

This research work has studied structural behavior of partially prestressed concrete flat slabs by means of static loading tests up to failure. Test specimens are rectangular section of 15x70 cm with total length of 630 cm. Five testing samples have been assigned the partially prestressing ratio to 0, 0.21, 0.51, 0.77 and 1.00, respectively. Prestressing tendons of all testing samples were unbonded system with percentage of reinforcement approximately 50% of the one at balanced condition. Test span was 600 cm, using two point loading and shear span was 200 cm. Analysis method for all test slabs was conformed to the strain compatibility method and the Siriaksorn method. Concrete stress-strain distributions according to the ACI and Nedderman were employed in the analyses.

The test results as compared to the analysis ones, the strain compatibility method have shown very good agreement on moment curvature relationship only when the partial prestressing ratio less than 0.51. This factor has been observed to be influenced by tendon slippage of unbonded system. The method proposed by Siriaksorn has proved to agree well only the case of bonded system. The prediction for test specimens always obtains upper bound for deflection or lower bound for strength. The stress distribution conformed to the ACI and the Nedderman, have shown very good agreement of all cases at the percentage reinforcement around 50% of the one at balanced condition.

Increase of Partial Prestressing Ratio would affect the deflection, it will reduce the ultimate deflection, in contradiction cracking moment can be expected higher. Crack width and crack spacing predicted by CEB-FIP formular have shown very good agreement for all tested slabs. It may be concluded that this formular can be accurately predicted for unbonded partially prestressing flat slabs.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโครงสร้าง
ปีการศึกษา.....2536

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ วัฒนา ชรรวมงคล และ อาจารย์ ดร. บุญไชย สกิตมันน์ในธรรม ซึ่งได้ให้ความกรุณาแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งได้ให้โอกาสในการศึกษาเล่าเรียน และให้กำลังใจตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้

บุญชัย วุฒิสินธุ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ช
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
2. ทฤษฎี.....	5
2.1 วิสัยทัศน์และแบบจำลองทฤษฎี.....	5
2.2 การวิเคราะห์หน้าตัดโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง.....	7
2.3 การวิเคราะห์หน้าตัดโดยวิธี Siriaksorn และ Naaman ..	9
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์คัต และความโค้ง.....	10
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรง และการแอ่นตัว.....	12
2.6 การวิเคราะห์กำลังคัตประลัยของหน้าตัด.....	13
2.7 สูตรระยะห่างระหว่างรอยร้าวของ CEB-FIP.....	16

	หน้า
3. การทดสอบและผลการทดสอบ.....	17
3.1 รายการทดสอบ.....	17
3.2 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	17
3.2.1 วิธีทดสอบ.....	17
3.2.2 แบบหล่อคอนกรีต และการเสริมเหล็ก.....	19
3.2.3 การหล่อและการบ่มตัวอย่างทดสอบ.....	19
3.2.4 การดึงลวดอัดแรง.....	20
3.3 วิธีทำการทดสอบ.....	20
3.3.1 การเตรียมเพื่อการทดสอบ.....	20
3.3.2 การทดสอบ.....	21
3.4 การทดสอบภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิตย์ จนถึงจุดวิบัติ.....	21
3.4.1 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP1.....	21
3.4.2 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP2.....	22
3.4.3 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP3.....	23
3.4.4 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP4.....	23
3.4.5 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP5.....	24
4. การวิเคราะห์ และเปรียบเทียบผลการทดสอบ.....	25
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงและการแอ่นตัว.....	25
4.1.1 ตัวอย่าง SPP1.....	25
4.1.2 ตัวอย่าง SPP2.....	26
4.1.3 ตัวอย่าง SPP3.....	26
4.1.4 ตัวอย่าง SPP4.....	26
4.1.5 ตัวอย่าง SPP5.....	27
4.2 ความสัมพันธ์โมเมนต์คัตและความโค้ง	27
4.2.1 ตัวอย่าง SPP1.....	28
4.2.2 ตัวอย่าง SPP2.....	29
4.2.3 ตัวอย่าง SPP3.....	29
4.2.4 ตัวอย่าง SPP4.....	30
4.2.5 ตัวอย่าง SPP5.....	31
4.3 ระยะห่างระหว่างรอยร้าว.....	32

	หน้า
5. สรุปผลการวิจัย	33
เอกสารอ้างอิง.....	34
รายการตารางประกอบ.....	37
รายการรูปประกอบ.....	67
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการคำนวณ.....	119
ประวัติของผู้เขียน.....	127



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงชื่อของตัวอย่าง จำนวนเหล็กเสริม และค่า PPR.....	38
3.2 คุณสมบัติของหน้าตัด ๗ ตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ.....	39
3.3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต.....	40
3.4 ผลการทดสอบของตัวอย่างแก่คอนกรีตรูปทรงกระบอก.....	41
3.5 ผลการทดสอบเหล็กที่ใช้ในงานวิจัย.....	43
3.6 ขนาดของตัวอย่าง SPP1 - SPP5.....	44
3.7 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP1.....	45
3.8 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP2.....	46
3.9 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP3.....	47
3.10 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP4.....	48
3.11 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP5.....	49
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP1.....	50
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP2.....	51
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP3.....	52
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP4.....	53
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP5.....	54
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบ ของตัวอย่าง SPP1.....	55
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบ ของตัวอย่าง SPP2.....	56
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบ ของตัวอย่าง SPP3.....	57
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบ ของตัวอย่าง SPP4.....	58
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบ ของตัวอย่าง SPP5.....	59
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเครียด สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP1.....	60

ตารางที่	หน้าที่
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเครียด สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP2.....	61
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเครียด สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP3.....	62
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเครียด สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP4.....	63
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเครียด สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP5.....	64
4.16 โมเมนต์คัลปะลัส (Ultimate Moment) ของการทดสอบ เกี่ยวกับการคำนวณด้วยวิธีต่าง ๆ.....	65
4.17 เปรียบเทียบค่า CRACK SPACING ระหว่างผลการทดสอบ และ CEB-FIP...	66



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของคอนกรีต.....	68
2.2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยวิธี Split Tensile Test.....	69
2.3 แสดงการแจกแจงความเครียดหน้าตัด เป็นเส้นตรง.....	70
2.4 แสดงการแจกแจงหน่วยแรงและความเครียดหลังการแตกร้า.....	71
2.5 แสดงการโก่งตัวและการอ่อนตัวของแผ่นพื้นพร้อมลมการที่ใช้หาความสัมพันธ์..	72
2.6 แสดงการแจกแจงหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเมื่อความเครียดในคอนกรีต มีค่าสูงสุด ($\epsilon_c = 0.003$) ตามมาตรฐาน ACI.....	73
2.7 แสดงความโค้งหลังการแตกร้าของหน้าตัดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความโค้ง สูงสุดที่หน้าตัดแตกร้าและความโค้งต่ำสุดที่หน้าตัดซึ่งอยู่ระหว่างรอยแตกร้า.	74
2.8 แสดงการหาความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และค่าความโค้ง.....	75
2.9 คานอย่างง่ายรับน้ำหนักบรรทุกทุกใด ๆ.....	76
3.1 ลักษณะของตัวอย่างและการเสริมเหล็ก.....	77
3.2 แสดงลักษณะการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	78
3.3 เครื่องกวดน้ำหนักแบบไฮดรอลิกที่ใช้ในงานวิจัย.....	79
3.4 เครื่อง LVDT'S (LINEAR VARIABLE DISPLACEMENT TRANSDUCERS) สำหรับวัดการเปลี่ยนระยะในแนวตั้งแบบใช้ไฟฟ้า.....	80
3.5 ติดตั้ง DIAL GAGE บริเวณจุดรองรับเพื่อวัดค่าการทรุดตัว.....	81
3.6 เครื่องอ่านค่าความเครียด (STRAIN INDICATOR) และกล่องสวิตซ์ (SWITCH BOX).....	82
3.7 ตัวอย่าง SPP1 ขณะทดสอบ.....	83
3.8 ตัวอย่าง SPP2 ขณะทดสอบ.....	84
3.9 ตัวอย่าง SPP3 ขณะทดสอบ.....	85
3.10 ตัวอย่าง SPP4 ขณะทดสอบ.....	86
3.11 ตัวอย่าง SPP5 ขณะทดสอบ.....	87
3.12 ลักษณะรอยร้าและการวิบัติ ของตัวอย่าง SPP1.....	88
3.13 ลักษณะรอยร้าและการวิบัติ ของตัวอย่าง SPP2.....	89
3.14 ลักษณะรอยร้าและการวิบัติ ของตัวอย่าง SPP3.....	90

รูปที่	หน้าที่
3.15 ลักษณะรอยร้าวและการวิบัติ ของตัวอย่าง SPP4.....	91
3.16 ลักษณะรอยร้าวและการวิบัติ ของตัวอย่าง SPP5.....	92
3.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงรับแรงอัด และความเครียดของคอนกรีตรูป ทรงกระบอก.....	93
3.18 ความสัมพันธ์หน่วยแรงและความเครียดของลวด Tendon.....	94
3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม DB 12 มม..	95
3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเครียดของเหล็กเสริม DB 16 มม..	96
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวที่จุดวิบัติ ของตัวอย่าง SPP1.....	97
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวที่จุดวิบัติ ของตัวอย่าง SPP2.....	98
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวที่จุดวิบัติ ของตัวอย่าง SPP3.....	99
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวที่จุดวิบัติ ของตัวอย่าง SPP4.....	100
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวที่จุดวิบัติ ของตัวอย่าง SPP5.....	101
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP1	102
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP2	103
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP3	104
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP4	105
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP5	106
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP1.....	107
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP2.....	108
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP3.....	109

รูปที่	หน้า
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP4.....	110
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณโดยวิธีความเครียดสอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP5.....	111
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP1.....	112
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP2.....	113
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP3.....	114
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP4.....	115
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP5.....	116
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีความเครียดสอดคล้องของตัวอย่าง SPP1-SPP5	117
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดและค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP1-SPP5	118

คำอธิบายสัญลักษณ์

- f_c = หน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับใด ๆ
- f_c' = กำลังอัดของแท่งคอนกรีตทรงกระบอก
- e = ความเคี้ยวในคอนกรีตที่ระดับใด ๆ
- e_o = ความเคี้ยวที่ตำแหน่ง f_c' (โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.002)
- C_c = แรงแคัลคูล์คอนกรีต
- x = ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแรง C_c
- A_{ps} = พื้นที่หน้าตัดของลวดอัดแรง
- A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
- d_p = ความลึกประสิทธิภาพของลวดอัดแรง
- d_m = ความลึกประสิทธิภาพของเหล็กเสริม
- f_{ps} = หน่วยแรงในลวดอัดแรงที่สภาวะประลัย
- f_y = หน่วยแรงคลาก (yield) ในเหล็กเสริม
- a = ความลึกของพื้นที่รับแรงอัดในคอนกรีตที่สภาวะประลัย
- d = ระยะความลึกประสิทธิภาพ จากผิวรับแรงอัด
- W_m = ความกว้างรอยแตกทั่วเฉลี่ย (Everage Crack Width)
- $S_{r,m}$ = ระยะห่างรอยแตกทั่วเฉลี่ย (Everage Crack Spacing)
- e_{sm} = ความเคี้ยวในเหล็กเสริมที่เปลี่ยนไป เมื่อเทียบกับผิวคอนกรีตที่ล้อมรอบเหล็กเสริม
- K = สัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้ เนื่องจากการกระจาย หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจากเหล็กไปยังคอนกรีต จากการทดสอบมีค่าประมาณ 0.50 สำหรับโครงสร้างรับแรงดัด
- f_{bm} = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวเฉลี่ย
- $f_{c,c}$ = หน่วยแรงดึงในคอนกรีต
- $A_{c,c}$ = พื้นที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึง
- Σu = ผลรวมเส้นรอบวงของเหล็กเสริมรับแรงดึง
- C = ระยะหุ้มเหล็กเสริม (Concrete Covering)

- S = ระยะห่างเหล็กเสริม (Bar Spacing)
 e_{se} = ความเครียดในเหล็กเสริม ณ แรงกระทำที่พิจารณา
 K' = สัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้เนื่องจากผลของสลิปในสของคอนกรีต
 f_{br} = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม เมื่อหน่วยแรงดึงในคอนกรีตมีค่าสูงสุด
 f_{se} = หน่วยแรงในเหล็กเสริม ณ แรงกระทำที่พิจารณา
 W_{max} = ความกว้างของรอยแตกกว้างที่สุดที่ระดับเหล็กเสริมธรรมดา
 f_s = หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม หรือเท่ากับ Δf_{ps} ในกรณีที่ใช้เหล็กเสริมอัดแรงบางส่วน
 Δf_{ps} = หน่วยแรงในลวดอัดแรงที่เปลี่ยนไป เทียบกับหน่วยแรงในลวดอัดแรงเมื่อความเครียดในคอนกรีตที่ระดับเหล็กเสริมเท่ากับศูนย์
 A_s = พื้นที่หน้าตัดคอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึงคือเหล็กเสริมหนึ่งเส้น
 d_c = ระยะหุ้มคอนกรีต (covering) ถึงตำแหน่งเหล็กเสริมธรรมดา
 β = อัตราส่วนระหว่างระยะจากผิวรับแรงดึง (tension face) ถึงแกนสะเทินและระยะศูนย์ถ่วงเหล็กเสริมถึงแกนสะเทิน
 a_{cs} = ระยะห่างรอยแตกกว้างเฉลี่ย (Average Crack Spacing)
 f = สัมประสิทธิ์การกระจายหน่วยแรงยึดเหนี่ยว
 u_m = หน่วยแรงยึดเหนี่ยว
 ΣO = ผลรวมของเส้นรอบรูปเหล็กเสริมทั้งหมด
 A_t = พื้นที่คอนกรีตในส่วนที่รับแรงดึง
 f'_c = กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต
 f_{ns} = หน่วยแรงในลวดกำลังสูง ณ แรงกระทำที่พิจารณา
 f_d = หน่วยแรงในลวดกำลังสูง ณ แรงกระทำที่ทำให้ความเครียดในคอนกรีตที่ระดับเหล็กเสริมเท่ากับศูนย์ ($e_{cs} = 0$)
 R_t = อัตราส่วนระหว่างระยะจากแกนสะเทิน (Neutral Axis) ถึงผิวรับแรงดึงนอกสุดและระยะจากแกนสะเทินถึงศูนย์ถ่วงเหล็กเสริม
 f_{sc} = หน่วยแรงอัดประสิทธิผล
 ρ_s = A_s / bd
 ρ_{ps} = A_{ps} / bd

- ♦ = ความโค้ง
- ฉ = คชนี้เหล็กเสริม
- ฉ_๒ = คชนี้เหล็กเสริมที่ภาวะสมดุล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย