

ผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างบริเวณสมอียด

สำหรับคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายในหลัง

นาย บวรพันธ์ วงศ์อนันต์



ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

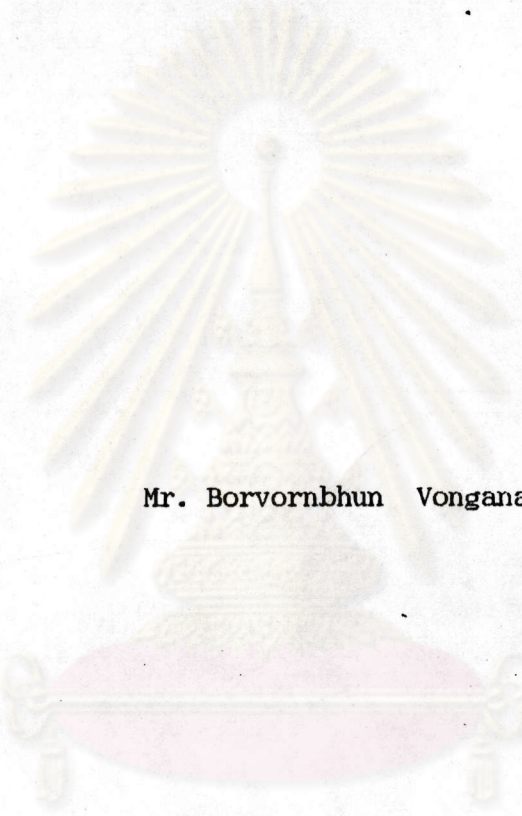
ISBN 974-576-555-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15483

119/160888

GEOMETRICAL EFFECTS ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF POST-TENSIONED
ANCHORAGE ZONES



Mr. Borvornbhun Vonganan

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

1989

ISBN 974-576-555-4



วงศอนันต์ : ผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างบริเวณสมอยึด
สำหรับคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายใน (GEOMETRICAL EFFECTS ON STRUCTURAL
BEHAVIOR OF POST-TENSIONED ANCHORAGE ZONES) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.เอกสิทธิ์
ลิ่มสุวรรณ , 85 หน้า

การอัดแรงเข้าไปภายในชิ้นส่วนโครงสร้างระบบคอนกรีตอัดแรงแบบดึงลวดภายใน จะก่อให้เกิดความเค้นอันซับซ้อนขึ้นในคอนกรีตบริเวณสมอยึด ซึ่งปริมาณความเค้นนี้จะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึดและผลจากเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดโดยการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดขนาด 100, 180, 250, 400, 550 และ 825 ตัน ด้วยวิธีไฟไนต์เอเลเมนต์สามมิติ โดยจำลองแบบให้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพจริงของชิ้นส่วนโครงสร้างบริเวณสมอยึดโดยกำหนดให้กรวยร้อยลวดมีความลาดชัน 0 จนถึง 10 องศา และศึกษาถึงปริมาณของเหล็กเสริมโอบรัดในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขนาดของวงปลอกเกลียวและขนาดของเหล็กเสริม เพื่อใช้ควบคุมความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดนั้น ผลการศึกษาวิเคราะห์พบว่าเมื่อกรวยร้อยลวด สมอยึดมีความลาดชันเพิ่มขึ้น ปริมาณความเค้นระเบิดที่เกิดขึ้นภายในชิ้นส่วนบริเวณสมอยึดจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อกรวยร้อยลวดสมอยึดไม่มีความลาดชันเลย การถ่ายแรงจะเข้มข้นขึ้นมากและส่งผลให้เกิดความเค้นระเบิดในปริมาณที่สูงขึ้นและการเสริมเหล็กโอบรัดแบบปลอกเกลียวจะสามารถลดปริมาณความเค้นระเบิด และควบคุมการเสียรูปของชิ้นส่วนซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มกำลังเมื่อเริ่มแตกร้าวของชิ้นส่วนได้ นอกจากนี้ ยังได้มีการทดสอบชิ้นส่วนตัวอย่างในสมอยึดขนาด 180 ตัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลของขนาดหน้าตัดเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียวที่มีต่อพฤติกรรมทางโครงสร้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดซึ่งได้จากการทดสอบ กับผลจากการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอเลเมนต์ ปรากฏผลว่าสอดคล้องกันเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงอิลาสติก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.....
ปีการศึกษา2531.....

ลายมือชื่อนิติ ๒๐๗๗๙๙ ๑๖๑๗๑๖๖.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ๕๕ ๕.....

BORVORNBHUN VONGANAN : GEOMETRICAL EFFECTS ON STRUCTURAL BEHAVIOR OF POST-TENSIONED ANCHORAGE ZONES. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT LIMSUWAN Ph.D., 85 PP.

Stresses in anchorage zones of post-tensioned structures are very complicated and depend on various factors. This research studies the structural behavior of post-tensioned anchorage zones under the influence of anchorage geometry and hoop action of spiral reinforcement. Extensive series of three dimensional linear elastic finite element computer analysis were carried out to study behavior of anchorage zones for 100, 180, 250, 400, 550, and 825 tons, respectively. To study the effect of changing the geometry of the anchorage, the slope of the anchorage was varied from 0 to 10 degrees, and for hoop action, the influence of hoop action was also investigated by varying the percentage of spiral reinforcement.

The analysis results indicated that increasing the slope of the anchorage only slightly increases the bursting stress in the anchorage zone. However, when flat anchorages were used, some increase in bursting stress was clearly evident. The results also show that the use of spiral reinforcement could reduce the bursting stress in the anchorage zone. In addition, the deformation could be controlled as a result of smaller crack widths as well as better distribution of cracks. This in turn leads to improved cracking strength and ductility. Experimental studies were also conducted for 180-ton anchorage to compare the behavior under load in the elastic and inelastic ranges. The results show good agreement with those obtained from the analyses, especially in the elastic range.

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา ๒๕๕๑

ลายมือชื่อนิติ ๒๕๕๑/๒๕๕๑
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ๕/๕

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ที่ได้กรุณาใช้เวลาให้คำแนะนำและคำปรึกษาต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่เสมอมา และขอกราบขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์อันประกอบไปด้วย ศ.ดร.ทักษิณ เทพชาติวีรศ.ดร. การุญ จันทรางศุ ผศ.ดร. เรืองเดชา รัชตโพธิ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัยบางส่วน และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมนึก ทรัญย์ไหลมา คุณสมพร อุ่นจิตติกุล คุณสุรวุฒิ คำดี คุณชัชวาล เชียงคิ้ว และ คุณกรวุฒิ ต้นเนียม

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณผู้ซึ่งจะขาดเสียมิได้คือ บิดามารดา ที่ได้ให้โอกาส กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด

บวรพันธุ์ วงศ์อินทร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	๕
สัญลักษณ์ที่ใช้.....	ท
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ความเด่นในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึด.....	2
1.4 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	4
1.5 ขอบข่ายของงานวิจัย.....	8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
2. การวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์.....	10
2.1 ความนำ.....	10
2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	10
2.2.1 รูปร่างทางเรขาคณิตของสมอยึด.....	11
2.2.2 เหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว.....	11
2.3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	14
2.4 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	16

3. ผลการวิเคราะห์และการเปรียบเทียบผลการทดสอบ.....	20
3.1 ผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอฮีด.....	22
3.1.1 กรณีความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอฮีดเป็น 2 ถึง ถึง 10 องศา.....	22
3.1.2 กรณีความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอฮีดเป็น 0 องศา	26
3.1.3 การเปรียบเทียบการกระจายความเค้นระเบิดกับผลจาก งานวิจัยอื่น ๆ	26
3.2 ผลจากเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว.....	32
3.2.1 เมื่อแปรเปลี่ยนขนาดของวงปลอกเกลียว.....	32
3.2.2 เมื่อแปรเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม.....	35
3.2.3 การเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบตัวอย่าง.....	36
3.2.4 การประเมินกำลังเริ่มแตกร้าวในส่วนคอนกรีต บริเวณสมอฮีด.....	57
3.3 การศึกษาในสมอฮีดหลายขนาด.....	60
3.3.1 ผลจากรูปร่างทางเรขาคณิตของสมอฮีด.....	62
3.3.2 ผลจากเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว.....	70
4. บทสรุปและวิจารณ์.....	79
4.1 บทสรุป.....	79
4.2 บทวิจารณ์.....	81
เอกสารอ้างอิง.....	83
ประวัติผู้เขียน.....	85

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 1.1 การกระจายของหน่วยแรงทางขวางในชั้นส่วนบริเวณสมอยัด [7]..	3
รูปที่ 1.2 การกระจายของความเค้นระเบิด (Bursting Stress) เสนอโดย Guyon	5
รูปที่ 1.3 อุมัยลูปภาคี่สมมาตร (Symmetrical Prism Analogy) เสนอโดย Guyon	5
รูปที่ 1.4 ความต้องการเหล็กเสริมในบริเวณสมอยัดจากสมการของ Rhodes และ Turner	7
รูปที่ 2.1 ชั้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยัด.....	13
รูปที่ 2.2 เอลิเมนต์แบบสามมิติ (Three-dimensional solid element)	15
รูปที่ 2.3 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับชั้นส่วนบริเวณสมอยัด.....	17
รูปที่ 2.4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับชั้นส่วนบริเวณสมอยัด ประเภทมีเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว.....	18
รูปที่ 3.1 ระนาบวิกฤติของความเค้นระเบิดในชั้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยัด..	21
รูปที่ 3.2 การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดชันต่าง ๆ ในสมอยัดขนาด 180 ตัน.....	23
รูปที่ 3.3 การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดสมอยัด ไม่มีความลาดชัน ในสมอยัดขนาด 180 ตัน.....	27
รูปที่ 3.4 การถ่ายแรงจากสมอยัดเมื่อกรวยร้อยลวดสมอยัดมีความลาดชัน และไม่มีความลาดชัน.....	28
รูปที่ 3.5 การกระจายความเค้นระเบิดจากงานวิจัยต่าง ๆ	30
รูปที่ 3.6 ความแปรปรวนทางด้านข้างของความเค้นระเบิดตามแนว M ในรูปที่ 3.5	31

รูปที่ 3.7	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนขนาดของวงปลอกเกลียว ในสมอยัดขนาด 180 ตัน.....	34
รูปที่ 3.8	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริมโอบรัด แบบปลอกเกลียว ในสมอยัดขนาด 180 ตัน.....	37
รูปที่ 3.9	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในทิศทางตามแนว ลวดอัดแรง ที่กึ่งกลางผิวข้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยัด...	40
รูปที่ 3.10	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดตามแนวขวาง บริเวณผิวข้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยัดซึ่งห่างจากปลาย ที่มีการอัดแรง 15 ซม.	41
รูปที่ 3.11	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดตามแนวขวาง บริเวณผิวข้างของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยัดซึ่งห่างจากปลาย ที่มีการอัดแรง 30 ซม.	42
รูปที่ 3.12	รอยแตกร้าวเริ่มแรกของตัวอย่างทดสอบต่าง ๆ	44
รูปที่ 3.13	ผลจากการวิบัติแบบกันที่กันใดของแท่งตัวอย่างทดสอบ ที่ไม่มีการเสริมเหล็ก.....	45
รูปที่ 3.14	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ณ ตำแหน่งซึ่งห่างจากปลายด้าน ที่มีการอัดแรง 10 ซม.	46
รูปที่ 3.15	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ณ ตำแหน่งซึ่งห่างจากปลายด้าน ที่มีการอัดแรง 15 ซม.	47
รูปที่ 3.16	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ณ ตำแหน่งซึ่งห่างจากปลายด้าน ที่มีการอัดแรง 20 ซม.	48

รูปที่ 3.17	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ๗ ตำแหน่งซึ่งห่างจากปลายด้าน ที่มีการอัดแรง 25 ซม.	49
รูปที่ 3.18	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ๗ ตำแหน่งซึ่งห่างจากปลายด้าน ที่มีการอัดแรง 35 ซม.	50
รูปที่ 3.19	ลักษณะการแตกร้าวภายหลังการวิบัติของแท่งตัวอย่างทดสอบ.....	52
รูปที่ 3.20	การหลุดร่อนออกโดยง่ายของคอนกรีตส่วนที่โอบหุ้ม วงเหล็กเสริมปลอกเกลียว.....	53
รูปที่ 3.21	การเปรียบเทียบความเครียดในเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว ๗ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่น้ำหนักบรรทุก 50 ตันและ 100 ตัน.....	55
รูปที่ 3.22	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเมื่อเริ่มแตกร้าวกับปริมาณเหล็กเสริม ในชั้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดขนาด 180 ตัน.....	61
รูปที่ 3.23	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดชันต่าง ๆ ในสมอยึดขนาด 100 ตัน.....	63
รูปที่ 3.24	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดชันต่าง ๆ ในสมอยึดขนาด 250 ตัน.....	64
รูปที่ 3.25	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดชันต่าง ๆ ในสมอยึดขนาด 400 ตัน.....	65
รูปที่ 3.26	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดชันต่าง ๆ ในสมอยึดขนาด 550 ตัน.....	66
รูปที่ 3.27	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อกรวยร้อยลวดมีความลาดชันต่าง ๆ ในสมอยึดขนาด 825 ตัน.....	67
รูปที่ 3.28	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นระเบิดสูงสุดบริเวณรอบท่อร้อยลวด กับความลาดชันของกรวยร้อยลวดสมอยึด.....	68

รูปที่ 3.29	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นระเบิดสูงสุดที่ผิวของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดกับความลาดชันของกรวยรื้อยลวดสมอยึด.....	69
รูปที่ 3.30	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ในสมอยึดขนาด 100 ตัน.....	71
รูปที่ 3.31	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ในสมอยึดขนาด 250 ตัน.....	72
รูปที่ 3.32	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ในสมอยึดขนาด 400 ตัน.....	73
รูปที่ 3.33	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ในสมอยึดขนาด 550 ตัน.....	74
รูปที่ 3.34	การกระจายความเค้นระเบิดเมื่อแปรเปลี่ยนปริมาณเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว ในสมอยึดขนาด 825 ตัน.....	75
รูปที่ 3.35	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นระเบิดสูงสุดกับปริมาณเหล็กเสริม โอบรัดแบบปลอกเกลียว.....	76
รูปที่ 3.36	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเมื่อเริ่มแตกร้าวกับปริมาณเหล็กเสริม ในชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอยึดขนาดต่าง ๆ	77

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คำมิติต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์.....	12
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดแบบจำลองและตัวอย่างทดสอบในการศึกษา ผลของเหล็กเสริมโอบรัดแบบปลอกเกลียว.....	38
ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบตัวอย่างชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอียด.....	54
ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบและวิเคราะห์เชิงสถิติสำหรับความเครียด ในเหล็กเสริม ที่น้ำหนักบรรทุก 50 และ 100 ตัน.....	56
ตารางที่ 3.4 การคำนวณความเครียดสูงสุดของคอนกรีตบริเวณสมอียด เมื่อเริ่มแตกร้าว.....	59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์ที่ใช้

A	=	ขนาดของปลายกรวยหรือยอดด้านที่ติดกับแผ่นแบกทานสมอียด
A_c	=	พื้นที่หน้าตัดสุทธิของชิ้นส่วนบริเวณสมอียด
A_s	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม
$2a$	=	ความลึกของหน้าตัดชิ้นส่วนบริเวณสมอียด
$2a'$	=	ขนาดของแผ่นแบกทานสมอียด
B	=	ขนาดของปลายกรวยหรือยอดด้านที่ติดกับท่อหรือหลอดอัดแรง
D	=	ขนาดของวงปลอกเกลียว
S_x	=	ความเค้นในทิศทางตามแนวแกน x
S_y	=	ความเค้นในทิศทางตามแนวแกน y
$S_{y(max)}$	=	ความเค้นสูงสุดในทิศทางตามแนวแกน y
S_z	=	ความเค้นในทิศทางตามแนวแกน z
f'_c	=	หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต
f_r	=	โมดูลัสของการแตกร้าว
f_{sp}	=	กำลังดึงแยกของคอนกรีต
f_y	=	กำลังคลากของเหล็กเสริม
L	=	ความยาวของกรวยหรือยอดสมอียด
P_{cr}	=	กำลังเมื่อเริ่มแตกร้าวของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอียด
P_{ult}	=	กำลังประลัยของชิ้นส่วนคอนกรีตบริเวณสมอียด
p	=	เปอร์เซ็นต์เหล็กเสริม ($4A_s/Ds$)
q	=	หน่วยแรงอัดสม่ำเสมอของชิ้นส่วนบริเวณสมอียด
s	=	ระยะห่างของวงปลอกเกลียว
$S.D.$	=	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
\bar{X}	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

- e_p = ความเครียดที่วัดได้จากการทดสอบ
- e_p = ความเครียดที่วัดได้จากผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์
- e_y = ความเครียดในทิศทางตามแนวแกน y
- $e_{y(max)}$ = ความเครียดสูงสุดในทิศทางตามแนวแกน y เมื่อคอนกรีตเริ่มแตกร้าว
- θ = ความลาดชันของกรวยรื้อยลวดสมอยึด



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย