

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก

REINFORCED CONCRETE DESIGN

WORKING STRESS DESIGN STRENGTH DESIGN METHOD

FOURTH EDITION



ผศ.ดร.มงคล จิรวัชรเดช
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พิมพ์ครั้งที่สี่ พ.ศ.2549

การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก
Reinforced Concrete Design
Working Stress Design Method
Strength Design Method

พิมพ์ครั้งที่ 4

FOURTH EDITION

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มงคล จิรวัชรเดช

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำนำในการปรับปรุงครั้งที่ 2

ในการปรับปรุงครั้งนี้มีการเปลี่ยนแปลงมากพอสมควร ส่วนใหญ่เกิดเนื่องจากการเรียนการสอนในช่วงที่ผ่านมาเพื่อให้ผู้เรียนทำความเข้าใจกับบทเรียนได้ชัดเจนขึ้น ลดความยุ่งยากในบทแรงเฉือนลง ลดเนื้อหาในส่วนที่เกี่ยวกับวิธีหน่วยแรงใช้งานลง และตัดบางบทที่เป็นหัวข้อการออกแบบขั้นสูงออก เพื่อเตรียมนำไปเขียนแยกต่างหากอีกเล่มหนึ่ง เพื่อให้เนื้อหาในหนังสือพอดีกับที่บรรยายในชั้นเรียนวิชา การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก หวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ในการเรียนรู้สำหรับนักศึกษา วิศวกร หรือผู้สนใจทั่วไป หากพบข้อผิดพลาดใดหรือต้องการแนะนำ โปรดติดต่อผู้เขียน

3 มกราคม 2550

คำนำในการปรับปรุงครั้งที่ 1

ในการปรับปรุงแก้ไขหนังสือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กครั้งที่ 2 นี้ ผู้เขียนใช้เวลาทั้งหมดหนึ่งปีเต็มพอดี ไม่คิดว่าจะนานขนาดนี้แต่สุดท้ายก็เสร็จจนได้ ในเล่มใหม่นี้จะมีทั้งการออกแบบโดย วิธีหน่วยแรงใช้งาน และ วิธีกำลัง ร่วมอยู่ในเล่มเดียวกัน ซึ่งผู้เขียนเชื่อว่าไม่สับสน โดยจะมีส่วนที่อธิบายพฤติกรรมการรับน้ำหนักซึ่งจะใช้ร่วมกันได้ และแนวทางการออกแบบทั้งสองวิธีซึ่งแยกจากกันอย่างชัดเจนพร้อมตัวอย่างประกอบ นอกจากนี้ยังมีปัญหาท้ายเล่มเพื่อให้นัก.ศ.ฝึกหัดทดสอบความเข้าใจ มีอยู่หลายบทที่เป็นการออกแบบขั้นสูงซึ่งไม่มีสอนในเนื้อหาของบทบรรยาย ซึ่งผู้เขียนหวังว่าจะมีนัก.ศ.ที่อ่าน ทำความเข้าใจ และนำไปใช้ประโยชน์ได้

12 กุมภาพันธ์ 2546

คำนำในการพิมพ์ครั้งแรก

ในปัจจุบันโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กได้รับความนิยมโดยมีการนำมาใช้ในงานโครงสร้างกันอย่างกว้างขวางในประเทศไทย หนังสือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กเล่มนี้ได้ถูกเรียบเรียงขึ้นตามมาตรฐานล่าสุดโดยวิธีกำลัง (Strength Design Method) ของ American Concrete Institute (ACI318-95) นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) สำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กปี พ.ศ. 2540 อย่างไรก็ตามเนื่องจากมาตรฐานต่างๆจะมีการปรับปรุงอยู่ตลอดเวลา หนังสือเล่มนี้จะได้รับการปรับปรุงอยู่เสมอเพื่อให้ทันกับมาตรฐานที่เปลี่ยนแปลงไป

เนื้อหาในหนังสือเล่มนี้ได้รับการเรียบเรียงมาจากหนังสือหลายเล่มทั้งในและต่างประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงในประเทศไทย หน่วยที่ใช้จะเป็นระบบเมตริก(เซนติเมตร-กิโลกรัม)ซึ่งเป็นหน่วยที่ใช้กันในประเทศไทย ซึ่งแตกต่างจากในมาตรฐาน ACI และตำราของต่างประเทศที่จะใช้หน่วยในระบบอังกฤษ(นิ้ว-ปอนด์) นอกจากนี้สูตรต่างๆที่ใช้ในการคำนวณจะถูกแปลงเป็นระบบเมตริกทั้งหมดแล้ว ตารางและแผนภูมิต่างๆก็ได้ถูกดัดแปลงหรือจัดทำขึ้นใหม่เพื่อให้สามารถใช้ได้ในระบบเมตริกอีกด้วย หน้าตัดเหล็กเหล็กที่ใช้อ้างอิงในตัวอย่างจะเป็นหน้าตัดตามมาตรฐานญี่ปุ่น(JIS)ซึ่งถูกใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดในประเทศไทย อย่างไรก็ตามเมื่อจะทำการออกแบบเพื่อใช้งานจริงควรจะต้องติดต่อโรงงานผู้ผลิตหรือสำรวจหน้าตัดเหล็กที่มีในตลาดเพื่อให้โครงสร้างเหล็กที่ออกแบบมาสามารถทำการก่อสร้างได้จริงและประหยัด

ท้ายที่สุดนี้ผู้แต่งหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนิสิต นักศึกษา วิศวกร และผู้สนใจทั่วไปไม่มากนักน้อยหากมีข้อผิดพลาดประการใดในหนังสือเล่มนี้ กรุณาแจ้งให้ผู้แต่งทราบโดยตรง เพื่อที่จะได้ทำการแก้ไขปรับปรุงในการจัดพิมพ์ครั้งต่อไป

กันยายน 2542

มงคล จีรวรรณ

สารบัญ

1 วัสดุและคุณสมบัติ

- 1.1 โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก 1-1
- 1.2 คอนกรีต 1-1
- 1.3 กำแพงคอนกรีต 1-2
- 1.4 กำแพงรับแรงอัดของคอนกรีต 1-3
- 1.5 กำแพงรับแรงดึงของคอนกรีต 1-4
- 1.6 โมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต 1-5
- 1.7 อัตราส่วนปิวส์ชอง 1-6
- 1.8 โมดูลัสการเฉือน 1-6
- 1.9 อัตราส่วนโมดูลาร์ 1-6
- 1.10 ความคืบและการหดตัวของคอนกรีต 1-6
- 1.11 คอนกรีตกำลังสูง 1-9
- 1.12 เหล็กเสริม 1-9

2 วิธีการออกแบบและข้อกำหนด

- 2.1 วัตถุประสงค์ในการออกแบบ 2-1
- 2.2 ข้อกำหนดในการออกแบบ 2-1
- 2.3 แนวคิดและวิธีการในการออกแบบ 2-2
- 2.4 วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method) 2-2
- 2.5 วิธีกำลัง (Strength Design Method) 2-3
- 2.6 ข้อกำหนดความปลอดภัย 2-3
- 2.7 ข้อกำหนดน้ำหนักเกินสำหรับแรงร่วมกระทำแบบต่างๆ 2-4
- 2.8 ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ 2-5
- 2.9 น้ำหนักบรรทุก 2-6
- 2.10 วิธีวิเคราะห์โครงสร้าง 2-10

3 กำลังของหน้าตัดสี่เหลี่ยมภายใต้การดัด

- 3.1 บทนำ 3-1
- 3.2 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 3-2
- 3.3 กำแพงรับโมเมนต์ดัด 3-3
- 3.4 สภาวะความเครียดสมดุล (Balance Strain Condition) 3-5
- 3.5 อัตราส่วนเหล็กเสริมน้อยที่สุด 3-6
- 3.6 การตรวจสอบหน้าตัด 3-6
- 3.7 การออกแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมรับแรงดัดที่เสริมเพียงเหล็กรับแรงดึง 3-9
- 3.8 ตำแหน่งเหล็กเสริมในคาน 3-12
- 3.9 ข้อพิจารณาการออกแบบคานในทางปฏิบัติ 3-13

- 3.10 คานเสริมเหล็กรับแรงอัดและแรงดึง 3-18
- 3.11 การตรวจสอบความเครียดในเหล็กรับแรงอัด 3-19
- 3.12 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ 3-22
- ปัญหาท้ายบทที่ 3 3-25

4 การออกแบบคานรูปตัว T

- 4.1 บทนำ 4-1
- 4.2 ความกว้างประสิทธิผลของปีกคาน 4-2
- 4.3 กำลังรับโมเมนต์ดัดประลัษของคานรูปตัว T 4-3
- 4.4 เหล็กเสริมมากที่สุดและน้อยที่สุดของคานหน้าตัดตัว T 4-6
- 4.5 คานรูปตัว T ต่อเนื่อง 4-7
- 4.6 การออกแบบคานหน้าตัด T โดยวิธีกำลัง 4-10
- ปัญหาท้ายบทที่ 4 4-16

5 การออกแบบคานโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

- 5.1 บทนำ 5-1
- 5.2 หน่วยแรงที่ยอมให้ 5-1
- 5.3 อัตราส่วนโมดูลัส (Modular ratio) 5-2
- 5.4 กำลังรับแรงดัดของหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 5-2
- 5.5 ปริมาณเหล็กเสริมสมดุล (Balanced Reinforcement) 5-3
- 5.6 การออกแบบหน้าตัดรับแรงดัดที่เสริมเพียงเหล็กรับแรงดึง 5-5
- 5.7 คานเสริมเหล็กรับแรงดึงและเหล็กรับแรงอัด 5-8
- 5.8 การตรวจสอบหน่วยแรงในเหล็กรับแรงอัด 5-8
- 5.9 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กคู่ 5-10
- 5.10 การออกแบบคานรูปตัว T หรือตัว L 5-11

6 แรงเฉือนและแรงดิ่งทแยง

- 6.1 บทนำ 6-1
- 6.2 หน่วยแรงเฉือนบนหน้าตัดวัสดุเนื้อเดียว 6-2
- 6.3 สูตรหน่วยแรงรวม (Combined Stress Formula) 6-2
- 6.4 การแตกร้าวของคานที่ไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน 6-3
- 6.5 กำลังรับแรงเฉือนของคานไม่เสริมเหล็กรับแรงเฉือน 6-5
- 6.6 กำลังเฉือนของคานเสริมเหล็กรับแรงเฉือน-ACI Code 6-6
- 6.7 ขีดจำกัดของปริมาณเหล็กรับแรงเฉือน 6-7
- 6.8 หน้าตัดวิกฤตสำหรับออกแบบรับแรงเฉือน 6-8
- 6.9 ขั้นตอนการออกแบบเพื่อรับแรงเฉือน 6-10
- 6.10 การออกแบบหน้าตัดรับแรงเฉือนโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ 6-16
- 6.11 การออกแบบคานลิก 6-21
- 6.12 แรงเฉือนเสียดทาน 6-26

6.13 เป็นหูช้างและเชิงยื่น 6-32

ปัญหาท้ายบทที่ 6 6-39

7 แรงยึดเหนี่ยวในเหล็กเสริม

7.1 บทนำ 7-1

7.2 แรงยึดเหนี่ยวที่เกิดจากการดัด 7-1

7.3 หน่วยแรงยึดเหนี่ยวจากการวิเคราะห์หน้าตัดแตกร้าว 7-2

7.4 การกระจายที่แท้จริงของหน่วยแรงยึดเหนี่ยวจากการดัด 7-4

7.5 กลไกของกำลังยึดเหนี่ยว 7-5

7.6 ระยะฝังของเหล็กเสริมรับแรงดึง 7-8

7.7 ระยะฝังสำหรับเหล็กรับแรงอัด 7-12

7.8 ระยะฝังของเหล็กเสริมที่มีดรวมกัน 7-13

7.9 ระยะฝังของเหล็กรับแรงดึงที่ดัดปลายเป็นของอมาครฐาน 7-13

7.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ต้านทานกับการหยุดเหล็กเสริม 7-16

7.11 ระยะฝังเหล็กเสริมในคานต่อเนื่อง 7-17

7.12 การต่อเหล็กรับแรงดึง 7-20

7.13 การต่อเหล็กรับแรงอัด 7-21

ปัญหาท้ายบทที่ 7 7-28

8 คานรับแรงบิด

8.1 บทนำ 8-1

8.2 หน่วยแรงและการแตกร้าวจากการบิด 8-2

8.3 กำลังโมเมนต์บิดแตกร้าว 8-4

8.4 กำลังบิดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก 8-6

8.5 หน่วยแรงร่วมกระทำของโมเมนต์บิดและแรงเฉือน 8-8

8.6 การออกแบบคานรับ โมเมนต์ดัด, การเฉือน และ การบิดตามข้อกำหนด ACI 8-9

8.7 การบิดเทียบเท่า (Compatibility Torsion) 8-12

ปัญหาท้ายบทที่ 8 8-19

9 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว

9.1 ชนิดของแผ่นพื้น 9-1

9.2 พื้นทางเดียว 9-3

9.3 ความหนาของพื้นทางเดียว 9-4

9.4 เหล็กเสริมป้องกันการหดตัวและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 9-4

9.5 แผ่นพื้นระบบตง 9-6

9.6 แผ่นพื้นบันได 9-10

9.7 บันไดพาดทางช่วงกว้างระหว่างคานแม่บันได 9-11

9.8 บันไดพาดทางช่วงยาว 9-12

9.9 บันไดขึ้นจากคานชิดกำแพง 9-15

- 9.10 พื้นสองทาง 9-17
- 9.11 การวิเคราะห์โดยวิธีสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ 9-19
- 9.12 การจัดเหล็กเสริมในแผ่นพื้นสองทาง 9-21
- 9.13 พื้นวางบนดิน (Slab-On-Ground) 9-24
- ปัญหาท้ายบทที่ 9 9-28

10 สภาวะการใช้งานขององค์อาคาร

- 10.1 บทนำ 10-1
- 10.2 การแตกร้าวในองค์อาคารรับแรงดัด 10-1
- 10.3 การควบคุมรอยร้าวตามข้อกำหนด ACI 10-3
- 10.4 การควบคุมระยะแอ่นตัว 10-5
- 10.5 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) 10-6
- 10.6 โมเมนต์แตกร้าว 10-7
- 10.7 สติเฟนสการคัตและโมเมนต์อินเนอร์เซีย 10-7
- 10.8 โมเมนต์อินเนอร์เซียประสิทธิผล I_e 10-9
- 10.9 การแอ่นตัวโดยทันที 10-10
- 10.10 การแอ่นตัวระยะยาว (Long-term deflection) 10-15
- ปัญหาท้ายบทที่ 10 10-15

11 เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

- 11.1 บทนำ 11-1
- 11.2 การถ่ายน้ำหนักจากคานและพื้นลงเสา 11-1
- 11.3 ชนิดของเสา 11-4
- 11.4 กำลังของเสาสู้น้ำหนักตามแนวแกน 11-5
- 11.5 พฤติกรรมของเสารับแรงตามแนวแกน 11-6
- 11.6 กำลังของเสาสู้น้ำหนักตามแนวแกน โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน 11-6
- 11.7 ปลอกเดี่ยวและปลอกเกลียว 11-8
- 11.8 การออกแบบปลอกเดี่ยว 11-9
- 11.9 การออกแบบปลอกเกลียว 11-13
- 11.10 ข้อพิจารณาเชิงปฏิบัติในการออกแบบเสา 11-16
- ปัญหาท้ายบทที่ 11 11-18

12 เสารับแรงอัดและการคัต

- 12.1 เสาหน้าคัตสี่เหลี่ยมรับแรงอัดและโมเมนต์คัต 12-1
- 12.2 กำลังของหน้าคัตเสารับน้ำหนักบรรทุกเชิงศูนย์กลาง 12-1
- 12.3 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์ 12-4
- 12.4 การวิบัติสมดุล 12-5
- 12.5 แผนภูมิปฏิสัมพันธ์สำหรับการออกแบบ 12-8
- 12.6 เสารับแรงอัดและโมเมนต์คัต โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน 12-12

13 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

- 13.1 บทนำ 13-1
 - 13.2 ชนิดของฐานราก 13-1
 - 13.3 แรงดันดินใต้ฐานราก 13-3
 - 13.4 ฐานรากรับน้ำหนักเชิงศูนย์กลาง 13-4
 - 13.5 แรงดันดินที่ขอมให้ 13-6
 - 13.6 ฐานรากรับผนัง 13-9
 - 13.7 ฐานรากเดี่ยวยาว 13-13
 - 13.8 ฐานรากร่วม 13-21
 - 13.9 ฐานรากรับเสาเข็ม 13-22
 - 13.10 ฐานรากแบบมีคานเชื่อม (Strap footing) 13-29
 - 13.11 ฐานรากบนเสาเข็ม (Pile caps) 13-31
- ปัญหาท้ายบทที่ 13 13-36

ก ตารางช่วยในการออกแบบ

ก.1 เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามจำนวนเส้น ก.2 เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมต่อความยาวหนึ่งเมตร ก.3 ความลึกน้อยที่สุดของคาน ก.4 ความกว้างคานน้อยที่สุด ก.5 ปริมาณเหล็กเสริมและค่าสัมประสิทธิ์ด้านแรงดัด ก.6 ระยะฝังยึดพื้นฐานของเหล็กรับแรงดึง ก.7 ระยะฝังยึดพื้นฐานของเหล็กรับแรงอัด ก.8 ระยะฝังยึดพื้นฐานของเหล็กรับแรงดึงเมื่อทำมาตรฐานที่ปลาย ก.9 ระยะหุ้มคอนกรีตสำหรับเหล็กเสริม ก.10 ค่าโมเมนต์และแรงเฉือนโดยประมาณในคานต่อเนื่อง ก.11 การประมาณโมเมนต์ในแผ่นพื้นสองทางโดยสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ ก.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและแรงดัดของหน้าตัดเสาสี่เหลี่ยม ก.13 น้ำหนักบรรทุกของดิน ก.14 ค่าสูงสุดที่ขอมให้ของระยะแอนที่คำนวณได้

ข แผนภูมิและสูตรสำหรับคานรับน้ำหนักบรรทุกทุกแบบต่างๆ

ค แบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

ค.1 ข้อกำหนดในงานก่อสร้าง ค.2 ฝังเสาเข็มและฐานราก ค.3 ฝังคาน เสา และแผ่นพื้น ค.4 แบบรายละเอียดฐานราก ค.5 แบบรายละเอียดเสา ค.6 แบบรายละเอียดการต่อเสา ค.7 แบบรายละเอียดคาน ค.8 แบบรายละเอียดพื้น ค.9 แบบรายละเอียดผนัง ค.10 แบบรายละเอียดบันได ค.11 แบบรายละเอียดช่องเปิดมาตรฐาน

ง กฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527)

บรรณานุกรม