

บทที่ 11

คุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ

นอกจากกำลังอัดแล้ว คุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ ของคอนกรีตที่น่าสนใจ ควรศึกษา ได้แก่กำลังดึง, กำลังดัด, กำลังเฉือน, กำลังยึดเหนี่ยว, กำลังกระแทก และอื่นๆ

11.1 กำลังดึง (Tensile Strength)

ความต้านทานในด้านรับแรงดึงของคอนกรีตมีค่าต่ำมาก คือ ประมาณ 10% ของกำลังอัดประลัย ถึงแม้ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังดึงนี้จะช่วยในการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่างๆ เช่น อุณหภูมิ การหดตัว และมีประโยชน์อย่างมากในงานคอนกรีตอัดแรง งานสิ่งก่อสร้างเก็บของเหลว เป็นต้น

วิธีการวัดค่าแรงดึงในคอนกรีต ทำได้ 3 วิธี คือ

- Direct Tensile Test
- Flexural Strength Test
- Splitting Test

• Direct Tensile Test

โดยปกติแล้วการให้แรงดึงโดยตรงกับก้อนตัวอย่างคอนกรีต จะทำได้ยากมากเพราะ

- เกิดการเยื้องศูนย์ของก้อนตัวอย่าง ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญมาก
- มีหน่วยแรงอื่นแทรกเข้ามาจากหัวจับยึด ซึ่งเกิดเป็นหน่วยแรงเฉพาะที่และในที่สุดจะเกิดการแตก ณ บริเวณนี้
- เมื่อมีการร้าว มันจะแพร่ขยายไปอย่างรวดเร็วกำลังดึงที่ได้จะเป็นของบริเวณที่กำลังต่ำสุดซึ่งไม่ตรงต่อความเป็นจริงในโครงสร้าง

จากเหตุผลทั้ง 3 นี้ ผลจากการทดสอบจึงให้ค่าที่แตกต่างกันได้มาก ทำให้ยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานวิธีทดสอบแบบนี้ขึ้น

• Flexural Strength Test

การทดสอบคานคอนกรีตซึ่งจะหาค่ากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตได้ในรูปของโมดูลัสการแตกร้าว (Modulus of Rupture) โดยเป็นค่าหน่วยแรงดึงที่สูงสุด ณ จุดแตกร้าวในคานที่ทำการทดลอง ซึ่งหาค่าได้ตามสมการ

$$f_b = \frac{PL}{bd^2}$$

f_b = โมดูลัสการแตกร้าว (กก./ตร.ซม.)

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

L = ช่วงความยาวคาน (ซม.)

b, d = ความกว้าง, ความลึกของคาน (ซม.)

กำลังดัดของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบโดยวิธีนี้ จะแตกต่างจากกำลังดึงโดยตรงของคอนกรีต เนื่องจากหน่วยการยึดหดตัวในคานคอนกรีตที่เกิดขึ้นจากการดัดงอน้อยอยู่ในลักษณะส่วนโค้ง มิใช่การยึดหดในลักษณะเส้นตรง เรียกว่าผลกระทบจาก Strain Gradient ซึ่งทำให้โมดูลัสของการแตกร้าวมีค่าแตกต่างกันไปตามขนาดความลึกของคานทดสอบ

• Splitting Test

การทดสอบนี้ใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐาน วางให้แกนตามยาวอยู่ในแนวอนบนเครื่องทดสอบแรงอัด ก้อนตัวอย่างจะแตกในแนวตั้งตามเส้นผ่าศูนย์กลาง จึงสามารถคำนวณกำลังต้านทานแรงดึงบนระนาบแตกร้าวนี้ได้ตามสมการ

$$f_s = \frac{2P}{\pi dL}$$

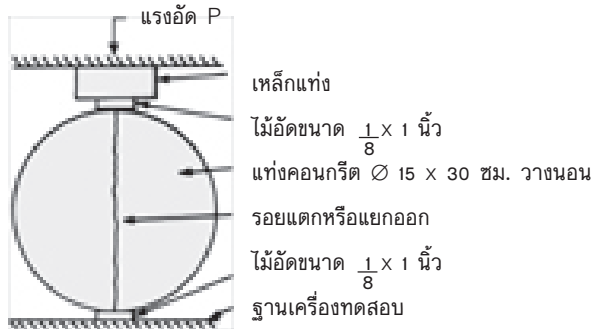
f_s = Splitting Strength

P = น้ำหนักกดสูงสุด (กก.)

L = ความยาวของก้อนตัวอย่างทรงกระบอก (ซม.)

d = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (ซม.)

การทดสอบวิธีนี้ให้ค่าสม่ำเสมอดีกว่า 2 วิธีข้างต้น แต่ก็ไม่ได้ค่ากำลังดึงที่แท้จริง เพราะบริเวณปลายทั้ง 2 จะเป็นบริเวณรับแรงอัด (Compression Zone) ค่าที่ได้จะสูงขึ้นกว่าแรงดึงจริงของคอนกรีต ประมาณ 15%



รูปที่ 11.1 การทดสอบกำลังดึง (Splitting Test) ของคอนกรีต

ผลการทดสอบทั้ง 3 ให้ค่ากำลังที่แตกต่างกัน โดย Flexural Strength ให้ค่าสูงสุดและ Direct Tensile จะให้ค่าที่ต่ำสุด เนื่องจาก ทั้ง Flexural Strength และ Splitting Test จะเกี่ยวข้องกับ การกระจายของหน่วยแรงที่ไม่สม่ำเสมอหรือไม่ใช่กำลังดึงที่แท้จริง

• ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังดึง

- 1) วิธีการทดสอบ - Flexural Strength ให้ค่าสูงสุด
- Direct Tensile ให้ค่าต่ำสุด
- 2) มวลรวม - Direct และ Splitting Test จะกระทบน้อย
- Flexural Strength Test มวลรวมที่เป็นเหลี่ยมมุม จะส่งผลให้ค่าสูงกว่ามวลรวมที่กลม
- 3) ความชื้น - Direct และ Splitting Test จะกระทบน้อย
- Flexural Strength Test ทดสอบในขณะก้อนตัวอย่างแห้งจะให้ค่าต่ำกว่าก้อนตัวอย่างที่อยู่ในสภาพเปียกชื้น

• ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงและกำลังอัด

- 1) อัตราส่วนของกำลังดึงต่อกำลังอัด จะขึ้นอยู่กับระดับของกำลังของคอนกรีต
- 2) เมื่อกำลังอัดสูงขึ้น อัตราส่วนระหว่าง กำลังดึงต่อกำลังอัดจะต่ำลง

11.2 กำลังเฉือน (Shear Strength)

การเฉือนเป็นการกระทำของแรงสองแรง ซึ่งมีขนาดเท่ากันและขนานกัน โดยกระทำตรงกันข้ามบนระนาบซึ่งมีระยะห่างกันเล็กน้อย แรงเฉือนมักจะเกิดขึ้นพร้อมกับแรงดึงและแรงดัดเสมอ การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงเฉือนในคอนกรีต โดยตรงนี้ไม่สะดวก เช่นเดียวกับการทดสอบหาความต้านทาน แรงดึง ทั้งนี้เพราะค่าของแรงดัด แรงกด และแรงดึงในแนวทแยง จะเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง ทำให้ผลการทดลองไม่ถูกต้อง

ปกติ การทดสอบหาความต้านทานแรงเฉือน กระทำได้โดยการบิด แท่งทดสอบรูปทรงกระบอก พบว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนมีค่าประมาณ 15 ถึง 25% ของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผลมของคอนกรีต เช่นเดียวกับค่ากำลังอัดประลัย กล่าวคือคอนกรีตที่ใช้ซีเมนต์มากและมีส่วนขนาดคละของวัสดุผสมดียอมให้ค่าความต้านทานต่อแรงเฉือนสูงกว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมหยาบ

11.3 แรงยึดเหนี่ยวต่อเหล็กเสริม (Bond Strength)

ความสำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กให้รับแรงดัด ก็คือความต้านทานต่อการลื่นไถลของเหล็กเสริมที่หล่ออยู่ภายในเนื้อคอนกรีต แรงต้านทานนี้เกิดจากการยึดติดกันกับซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว จากความเสียดทานระหว่างผิวเหล็กกับคอนกรีต และจากแรงกดที่ข้อในเหล็กข้ออ้อย

งานก่อสร้างสมัยใหม่นี้ มักนิยมใช้เหล็กข้ออ้อยกันมาก ขนาดและระยะของข้อต้องเพียงพอที่จะเกิดกำลังยึดเหนี่ยวกับเนื้อคอนกรีต มาตรฐานการออกแบบมักกำหนดค่าแรงยึดเหนี่ยวเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังอัดของคอนกรีต และขนาดของเหล็กเสริมที่ใช้

แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตยังขึ้นอยู่กับชนิดของซีเมนต์ สารผสมเพิ่ม และอัตราส่วนระหว่างน้ำกับซีเมนต์ ซึ่งสิ่งเหล่านี้มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของเพสต์ คอนกรีตที่มีส่วนผสมของซีเมนต์มากจะมีแรงยึดเหนี่ยวเพิ่มมากขึ้น การใช้สารกักกระจายฟองอากาศไม่ทำให้แรงยึดเหนี่ยวมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีตในสถานะที่แห้งจะมากกว่าในสถานะที่ชื้น และแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริมในแนวอน จะน้อยกว่าในแนวตั้ง เพราะน้ำที่เกิดจากการแข็งตัวอาจไปเกาะอยู่ที่เหล็กเสริมตามแนวอนได้ เมื่อคอนกรีตแข็งตัวจึงเกิดเป็นรูโพรงใต้เหล็กเสริมนั้นทำให้ลดกำลังยึดเหนี่ยวลง

การทดสอบเพื่อหาแรงยึดเหนี่ยวกับเหล็กเสริม ทำได้โดยการดึงเหล็กเสริมขนาด ϕ 19 มม. ที่หล่ออยู่ในก้อนคอนกรีตรูปลูกบาศก์ขนาด $22.5 \times 22.5 \times 22.5$ ซม. วัดระยะเลื่อนไกลในขณะที่ออกแรงดึงก่อนเหล็กนั้น แล้วนำมาเขียนกราฟระหว่างกำลังยึดเหนี่ยวกับระยะเลื่อนไกล การทดลองกระทำจนกว่าแรงที่ใช้ดึงก่อนเหล็กมีค่าเท่ากับกำลังจุดคลากของเหล็กนั้นหรือเมื่อคอนกรีตเริ่มขรุขระแยกออกจากกัน หรือจนกระทั่งระยะเลื่อนไกลมีค่ามากกว่า 2.5 มม.

11.4 กำลังกระแทก (Impact Strength)

ตัวอย่างคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติรับแรงกระแทกได้ดี เช่น คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มตอก ซึ่งต้องมีความสามารถที่จะทนต่อการกระแทกและดูดซับพลังงานได้เป็นอย่างดี

ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังกระแทกกับกำลังอัดขึ้นอยู่กับ

1) ชนิดของมวลรวมหยาบ

- มวลรวมที่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำและมีค่า Poisson Ratio ต่ำ จะสามารถรับแรงกระแทกได้ดี

2) ความชื้นของคอนกรีต

- คอนกรีตที่ชื้นจะให้กำลังกระแทกต่ำกว่าคอนกรีตที่แห้ง

3) ลักษณะของมวลรวม

- กำลังกระแทกจะสูงเมื่อใช้หินที่เป็นเหลี่ยมมุมและผิวหยาบ
- หินยังมีขนาดเล็ก จะปรับปรุงคุณสมบัติด้านการรับกำลังกระแทก

4) ปริมาณปูนซีเมนต์

- เพื่อให้ได้กำลังกระแทกที่เหมาะสม ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ไม่ควรเกิน 400 กก./ลบ.ม.

11.5 การต้านทานการเสียดสี

คุณสมบัตินี้ทดสอบโดยการวัดความลึกที่สึกหรอของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการขัดผิว การต้านทานการเสียดสีขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- 1) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ หรือกำลังอัดนั่นเอง
- 2) การต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนของมวลรวมต่อปูนซีเมนต์สูง
- 3) การต้านทานการเสียดทานจะต่ำมากในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา
- 4) การต้านทานจะเพิ่มขึ้นถ้าการยึ่มเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
- 5) การต้านทานจะเพิ่มถ้าเลื่อนเวลาการแต่งผิวหน้าคอนกรีตออกไปเล็กน้อย
- 6) ประการที่สำคัญที่สุด คือ การบ่มคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ จะช่วยเพิ่มการต้านทานการเสียดสีอย่างมาก