บทที่ 3

เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในการวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ตอน และแต่ละตอนต้องใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

3.1.1 การทดลอง Plate Load Test

1. แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 1' x 1' หนา $\frac{5}{8}$" และขนาด 8" x 8" x $\frac{5}{8}$"
2. โครงเหล็กรับน้ำหนัก
3. Hydraulic Jack
4. Dial gage ชนิด LC - 9 4 ตัว

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

1. Universal Testing Machine สำหรับดึงเหล็กและกดคอนกรีต
2. ตะแกรงร่อน สำหรับทดสอบหินและทราย

3.1.3 การทดสอบคุณสมบัติของดิน

1. เครื่องเจาะดิน
2. เครื่องมือทดสอบUnconfined Compressive Strength
3. ตาชั่งอีเลคโทรนิคส์ และตู้อบไฟฟ้า

3.1.4 การทดลองการรับน้ำหนักของคานคอดิน

1. Hydraulic Jack
2. คานเหล็กและน้ำหนักบรรทุก
3. Dial gage ชนิด LC - 9 จำนวน 6 ตัว
4. ตัวอย่างคานคอดินย่อขนาด

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 คอนกรีต ใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ (Portland Cement Type III) ทรายน้ำจืด และหิน 1 โดยมีอัตราส่วนในการผสมเป็น 1:2:4 โดยปริมาตร และอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.6

ทรายที่ใช้ในส่วนผสมมีโมดูลัสความละเอียด 2.74 และผลการทดลองความแกรงร่อน (ตามมาตรฐาน ASTM) ได้ส่วนคละดังแสดงในตารางที่ 3.1 (ภาคผนวก ข.)

หินที่ใช้มีขนาดมวลหยาบที่สุด $\frac{1}{2}$"และ ผลการทดลองความแกรงร่อน(ตามมาตรฐาน ASTM) ได้ส่วนคละดังแสดงในตารางที่ 3.2 (ภาคผนวก ข.)

กำลังเฉลี่ยของคอนกรีตโดยทดลองกดลูกบาศก์คอนกรีตมาตรฐานขนาด 15 x 15 x 15 ซม.. เมื่อคอนกรีตมีอายุได้ 9 วัน มีค่าเท่ากับ 246 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร เมื่อคอนกรีตอายุได้ 16 วัน มีค่าเท่ากับ 250 กิโลกรัม ต่อตารางเซ็นติเมตร และเมื่อคอนกรีตอายุได้ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 289 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร น้ำหนักคอนกรีตเฉลี่ยประมาณ 2.4533 ตัน/ม^3

3.2.2 เหล็กเสริม ใช้เหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร ส่วนปลายของเหล็กเสริมเอกจะถูกงอขอตามมาตรฐาน ACI 318-63 เหล็กเสริมในส่วนปีกของคานคอดิน ใช้ส่วนปลายของเหล็กเสริมรับแรงเฉือนยื่นออกไปทั้งสองข้าง

เหล็กเสริมที่ใช้มีกำลังคลากเฉลี่ย 3,000 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร และมีกำลังประลัยเฉลี่ย 3,734 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร

3.3 การออกแบบคานคอดินจริงและคานคอดินย่อขนาด

ในการออกแบบคานคอดินที่ใช้กับอาคารทั่ว ๆ ไป ขนาดความยาวความกว้างและความลึกของคานขึ้นอยู่กับแบบแปลนเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นในการวิเคราะห์คานคอดินในการวิจัยนี้จะถือเอาคานที่มีความยาว 4.00 ม. ความกว้าง 15 ซม. และมีความลึก

ประสิทธิผล 60 ซม. มาพิจารณาโดยจะพิจารณาขยายส่วนล่างของคานให้มีลักษณะเป็นปีกยื่นออกไปทั้งสองข้าง เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้น โดยมีขนาดหน้าตัดของคานดังแสดงในรูป 3.1 (ภาคผนวก ข.) ส่วนคานดอดินที่จะใช้ในการทดลองจริงจะเป็นคานย่อขนาดในอัตราส่วน 1:2 ซึ่งแสดงรูปหน้าตัดในรูป 3.2 (ภาคผนวก ข.) ขนาดหน้าตัดของคานดอดินที่ใช้เป็นฐานรากแสดงในตารางที่ 3.3 (ภาคผนวก ข.)

การคำนวณออกแบบคานดอดินเป็นฐานรากต้องใช้ค่า Modulus of Subgrade Reaction ; Modulus of Elasticityของดิน ที่ได้จากการทดลองและคุณสมบัติของหน้าตัดของคานดอดินที่สมมุติขึ้นเป็นองค์ประกอบและอาจทำตามลำดับดังต่อไปนี้คือ

ก. สมมุติขนาดหน้าตัดและความยาวของคาน

ข. คำนวณค่า Characteristic Length(λ) ของคานจากคุณสมบัติของดินและคุณสมบัติของคานโดยใช้สูตร (2.2-2)

ค. ประมาณค่า Initial Settlement โดยใช้สูตร (2.5-2)

ง. คำนวณหาค่าแรงกระทำต่อคาน (P) โดยใช้สูตร (2.2-4 a)

จ. คำนวณแรงดัด (M) โดยใช้สูตร (2.2-6 a)

ฉ. คำนวณค่าแรงเฉือน (Q) โดยใช้สูตร (2.2-7 a)

ช. คำนวณปริมาณเหล็กเสริมจากแรงในข้อ จ.และ ฉ.

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการคำนวณออกแบบคานย่อขนาด ในอัตราส่วน 1:2 ที่ใช้ในการทดลองนี้

จากรูปหน้าตัดของคานในรูป 3.2 คานนี้มีความยาวย่อขนาด 2.00 เมตร มีค่า Moment of Inertia (Rectangular Uncracked Section)

I_b = 21455 ซม.^{4} จากการทดลอง Plate Load Test (ในบทที่ 4) ได้ค่าเฉลี่ย $K_o = \frac{124 + 87}{2}$

= 105.5 ปอนด์/นิ้ว^2/นิ้ว

= 2.92 กก./ซม.^{2}/ซม.

$$K' = K_o B$$

$$= 25 \times 2.92$$

$$= 73 \text{ กก./ซม.}^2$$

จากสูตรของ Vesic' (2.4-6)

$$K'_s = 0.515\, K' \sqrt[12]{\frac{K' B^4 (1-\mu^2)}{E_b I_b}}$$

สมมุติคอนกรีตที่ใช้มีแรงอัดประลัย f'_c = 140 กก./ซม.^{2}

และ E_c = 180,000 กก./ซม.^{2}

และดินมี Poission's Ratio μ = 0.4

$$\therefore K'_s = 0.515 \times 73 \sqrt[12]{\frac{73 \times 25^4 (1-0.4^2)}{180{,}000 \times 21{,}455}}$$

$$= 37.595 \sqrt[12]{0.0062}$$

$$= 24.62 \text{ กก./ซม.}^2$$

จากสูตร (2.2-2) $\lambda = \sqrt[4]{\frac{K'_s}{4 E_b I_b}}$

$$= \sqrt[4]{\frac{24.62}{4 \times 180{,}000 \times 21{,}455}}$$

$$= 0.0063 \quad \frac{1}{\text{ซม.}}$$

คำนวณค่า $\lambda L = 0.0063 \times 200$

$$= 1.26$$

จะเห็นว่า $\frac{\pi}{4} < \lambda L < \pi$ ซึ่งแสดงว่าคานมีความยาวปานกลางตามหัวข้อ 2.3

การคำนวณค่า Initial Settlement จากสูตร (2.5-2)

$$Y_i = \frac{q B I_w (1 - \mu^2)}{E_s}$$

จากการทดลอง Plate Load Test โดยใช้สูตร 2.4-4 หาค่า E_s

$E_s = 0.815 K' (1- \mu^2)$ B=1'= 30.48 ซม.

$= 0.815 \times 30.48 \times 2.92 (1-0.4^2)$

$= 60.93$ กก./ซม.^{2}

โดยที่ถือว่าการรับน้ำหนักของดินกรุงเทพฯ ที่ยอมให้มีค่าประมาณ 2 ตัน/ม^2

$\therefore q = 2$ ตัน/ม^2

$= 0.2$ กก./ซม.^{2}

จากรูปที่ 2.2 (ภาคผนวก ก.) เมื่อ $L/B = \frac{200}{25} = 8$

ได้ค่า I_w at center $= 2.39$

แทนค่าลงในสูตร (2.5 - 2) $Y_i = \frac{0.2 \times 25 \times 2.39 \times (1-0.4^2)}{60.93}$

$= 0.165$ ซม.

$= 1.65$ มม.

โดยการแทนค่า $Y_i = Y_c$ ในสูตร (2.2-4 a) และจัดรูปใหม่ จะได้แรงกระทำ

$$P = \frac{Y_c \, 2K'_s}{\lambda} \quad \frac{\text{Sinh}\,\lambda L + \sin \lambda L}{\text{Cosh}\,\lambda L + \cos \lambda L + 2}$$

$$= \frac{0.165 \times 2 \times 24.62}{0.0063} \quad \frac{1.6209 + 0.9521}{1.9045 + 0.3058 + 2}$$ [1]

$$= 788.11 \text{ กก.}$$

แทนค่า P ในสูตร (2.2-6 a) $\lambda L = 1.26$

$$M_c = \frac{P}{4\lambda} \quad \frac{\text{Cosh}\,\lambda L - \cos \lambda L}{\text{Sinh}\,\lambda L + \sin \lambda L}$$

$$= \frac{788.11}{4 \times 0.0063} \quad \frac{1.9045 - 0.3058}{1,6209 + 0.9521}$$

$$= 19431.82 \text{ กก./ซม.}$$

$$= 194.32 \text{ กก.-ม.}$$

การคำนวณเหล็กเสริม

จาก $f'_c = 140$ กก./ซม.^{2} ใช้ $f_s = 1200$ กก./ซม.^{2}

$j = 0.867$ $d = 30$ ซม.

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมเอก $A_s = \frac{M}{f_s j d}$

$$= \frac{194.32}{1200 \times 0.867 \times 0.3} = 0.623 \text{ ซม.}^2$$

---

[1] ค่าของ Sinh λL, sin λL Cosh λL และ cos λL หาจาก Hetényi, M. Beam on Elastic Foundation. University of Michigan Press, Ann Arbor Mich., XVI, 1946. Table 1 p.224.

ใช้เหล็กเสริมขนาด ø 6 มม.3 เส้น A_s = 0.849 ซม.^{2}

เหล็กเสริมรับแรงเฉือน

ค่าแรงเฉือนสูงสุด $Q = \frac{P}{2} = \frac{788.11}{2} = 394.05$ กก.

ความต้านทานของแรงเฉือนในคอนกรีต $V_c = 0.292\sqrt{f'_c}$

$= 0.292\sqrt{140} = 3.45$กก./ซม.^{2}

แรงต้านทานในคอนกรีต $= v_c x b \times d$

$= 3.45 \times 7.5 \times 30 = 776.25$ กก. $> \frac{P}{2}$

∴ ไม่จำเป็นต้องเสริมเหล็กรับแรงเฉือน

แรงยึดเกาะ (Bond Stress) $u = \frac{V}{\Sigma_o j d} = \frac{394.05}{3 \times 1.886 \times .867 \times 30}$

$= 2.677 < 11.25$ กก./ซม.^{2}

แรงยึดเกาะน้อยกว่าแรงยึดเกาะปลอดภัย แสดงว่าใช้ได้

การคำนวณเหล็กเสริมในปีก

โมเมนต์ $M = \frac{1}{2} q \left(\frac{B-b}{2}\right)^2$ ใช้ q = 2,000 กก./ม.^{2}

$= \frac{1}{2} \times 2000 \times \left(\frac{.25-.075}{2}\right)^2 = 7.66$ กก.-ม./ม.

หน้าตัดเหล็กเสริมในปี $A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{7.66}{1200 \times 0.867 \times .05} = 0.147$ซม.^{2}/ม.

ใช้เหล็กเสริมขนาด ø 6 มม.ห่างกันเป็นระยะ 25 ซม. (เผื่อสำหรับการทดลองเมื่อ q > 2000 กก./ม.^{2})

รูปหน้าตัดของคานย่อขนาดที่ใช้ในการทดลองแสดงในรูปที่ 3.2 (ภาคผนวก ข.)

3.4 การสร้างคานคอดินย่อขนาดสำหรับการทดลอง

การสร้างคานคอดินย่อขนาดสำหรับการทดลองแบ่งเป็น 2 ตอน ตอนแรกเป็นการเตรียมส่วนประกอบของโครงสร้างของคานและแบบสำหรับหล่อคาน ตอนหลังเป็นการผสมและเทคอนกรีตและบ่มคอนกรีตเพื่อให้คอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ต้องการ

การเตรียมโครงสร้างของคานคอดินในส่วนที่เป็นเหล็กเสริมต้องตัดเหล็กให้ได้ขนาดยาว 2.15 เมตร แล้วงอขอส่วนปลายตามมาตรฐาน ACI 318-63 เหล็กเสริมในส่วนปีกใช้ส่วนปลายของเหล็กเสริมแรงเฉือน (ตัดยาวเส้นละ 85 ซม.) ทั้งสองข้างยื่นต่อออกไป แล้วงอขอ นำเหล็กเสริมเอกตามยาวมาผูกประกอบกับเหล็กปลอกเป็นโครงเหล็กของคานคอดิน

แบบสำหรับหล่อคานคอดินใช้แบบไม้แยกส่วนประกอบเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นส่วนปีก ใช้ไม้แบบขนาด 1"x 3" ประกอบเป็นแบบ ส่วนที่สองเป็นส่วนตั้งของคานใช้ไม้แบบขนาด 1"x 10" และ 1"x 3" ประกอบเป็นแบบ

การผสมคอนกรีตต้องเตรียมหิน ทรายน้ำจืดที่สะอาด และปูนซีเมนต์ให้พร้อม ภาชนะที่ใช้ในการตวงส่วนผสมและภาชนะที่ใช้ในการผสมคอนกรีตใช้กะบะเหล็ก ส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมแต่ละครั้งใช้สำหรับคานตัวเดียว และหล่อตัวอย่างลูกบาศก์คอนกรีตมาตรฐานขนาด 15x 15x 15 ซม. จำนวน 3 ลูก สำหรับการทดสอบกำลังของคอนกรีตต่อคานหนึ่งตัว

ก่อนที่จะวางแบบต้องเตรียมผิวดินโดยการปรับหน้าดินให้เรียบและได้ระดับก่อน แล้วใช้ทรายละเอียดโรยหนาประมาณ 3 มม. แล้วจึงวางแบบส่วนปีกและโครงเหล็กโดยใช้ลูกปูน ขนาด 5x 5x 2.5 ซม. รองรับโครงเหล็กเป็นระยะ ๆ เมื่อจัดระยะให้โครงเหล็กอยู่ในตำแหน่งพอดีแล้ว ก็เทคอนกรีตในส่วนปีกจนเต็มแล้วเอาแบบส่วนที่สองครอบลงไปแล้วจึงเทคอนกรีตส่วนตั้งของคาน ในการเทคอนกรีตใช้แท่งเหล็กขนาดเส้น

ผ่าศูนย์กลาง 15 มม. กระทุ้งคอนกรีตให้แน่น การเทคอนกรีตกระทำต่อเนื่องกันตลอดเวลา ไม่มีการหยุดจนกว่าจะเทคานเสร็จ

การถอดแบบกระทำหลังจากที่หล่อคานแล้ว 24 ชั่วโมง แล้วบ่มโดยใช้หญ้าแห้งชุบน้ำคลุมไว้เป็นเวลา 7 วัน

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย