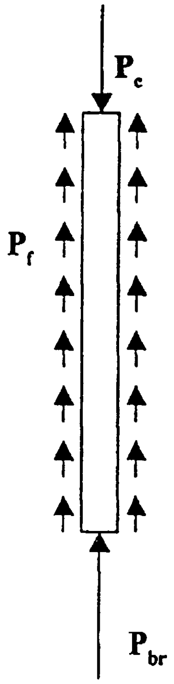
ผศ.สมศักดิ์ คำปลิว

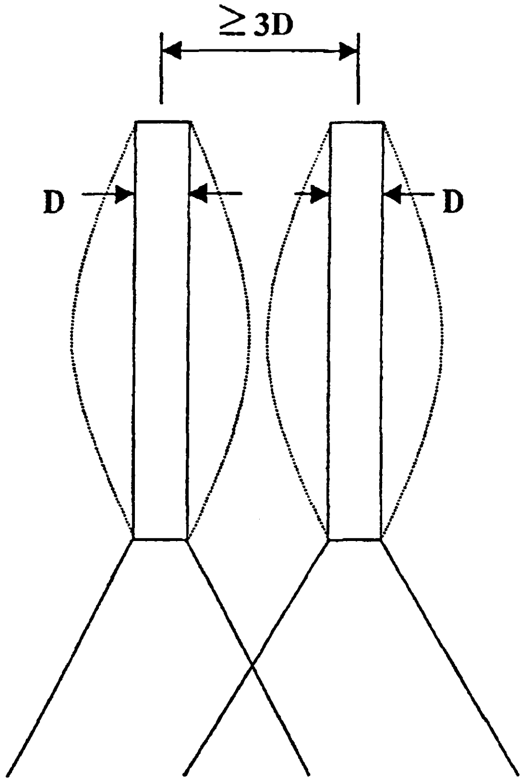
การออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม

15.16 ลักษณะการรับแรงของเสาเข็ม

เสาเข็ม รับน้ำหนักจากฐานรากแล้วถ่ายลงดินในรูปของแรงเสียดทานรอบๆ ผิวเสาเข็ม และแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มซึ่งจิกลงในชั้นดินแข็งหรือชั้นหิน ดังรูปที่ 70



รูปที่ 15.68 การรับน้ำหนักของเสาเข็ม



รูปที่ 15.69 การจัดระยะห่างระหว่างเสาเข็มกลุ่ม

พิจารณารูปที่ 15.68

$$P_c = P_f + P_{br}$$

เมื่อ P_c = กำลังของเสาเข็ม, ตัน

P_f = กำลังจากความเสียดทานรอบๆ ผิวเสาเข็ม, ตัน

P_{br} = กำลังแบกทานที่ปลายเสาเข็ม, ตัน

ถ้า $P_f > P_{br}$ เรียกว่า เสาเข็มแรงเสียดทาน (friction pile)

ถ้า $P_{br} > P_f$ เรียกว่า เสาเข็มแรงแบกทาน (bearing pile)

จากรูปที่ 15.69 แสดงการวางตำแหน่งเสาเข็มกลุ่มโดยจัดให้ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มที่ใกล้กันนั้นไม่น้อยกว่า 1.5-3 เท่าของขนาดเสาเข็ม แนะนำว่าให้ใช้ระยะห่าง 3 เท่าของขนาดเสาเข็ม ระยะห่างน้อยกว่า 3 เท่าก็ควรใช้ในกรณีจำเป็นจริงๆ เท่านั้น การที่ระยะห่างระหว่างเสาเข็มมากพอจะมีผลให้กำลังของเสาเข็มแต่ละต้นในกลุ่มเสาเข็มรับน้ำหนักได้เต็มที่ กล่าวคือในส่วนของความเสียดทาน รอบๆ ผิวของเสาเข็มจะมีกระเปาะความเสียดทานรอบๆ ผิวเสมือนมีดินเกาะอยู่รอบๆ เสาเข็ม ถ้าระยะห่างระหว่างเสาเข็มมากพอ กระเปาะความเสียดทานจะไม่เกยกัน แต่ถ้าห่างกันน้อยเกินไป กระเปาะความเสียดทานจะเกยเข้าหากันทำให้ดินบริเวณนั้นรับแรงเสียดทานเป็นสองเท่าของส่วนที่ไม่เกยและอาจจะวิบัติได้

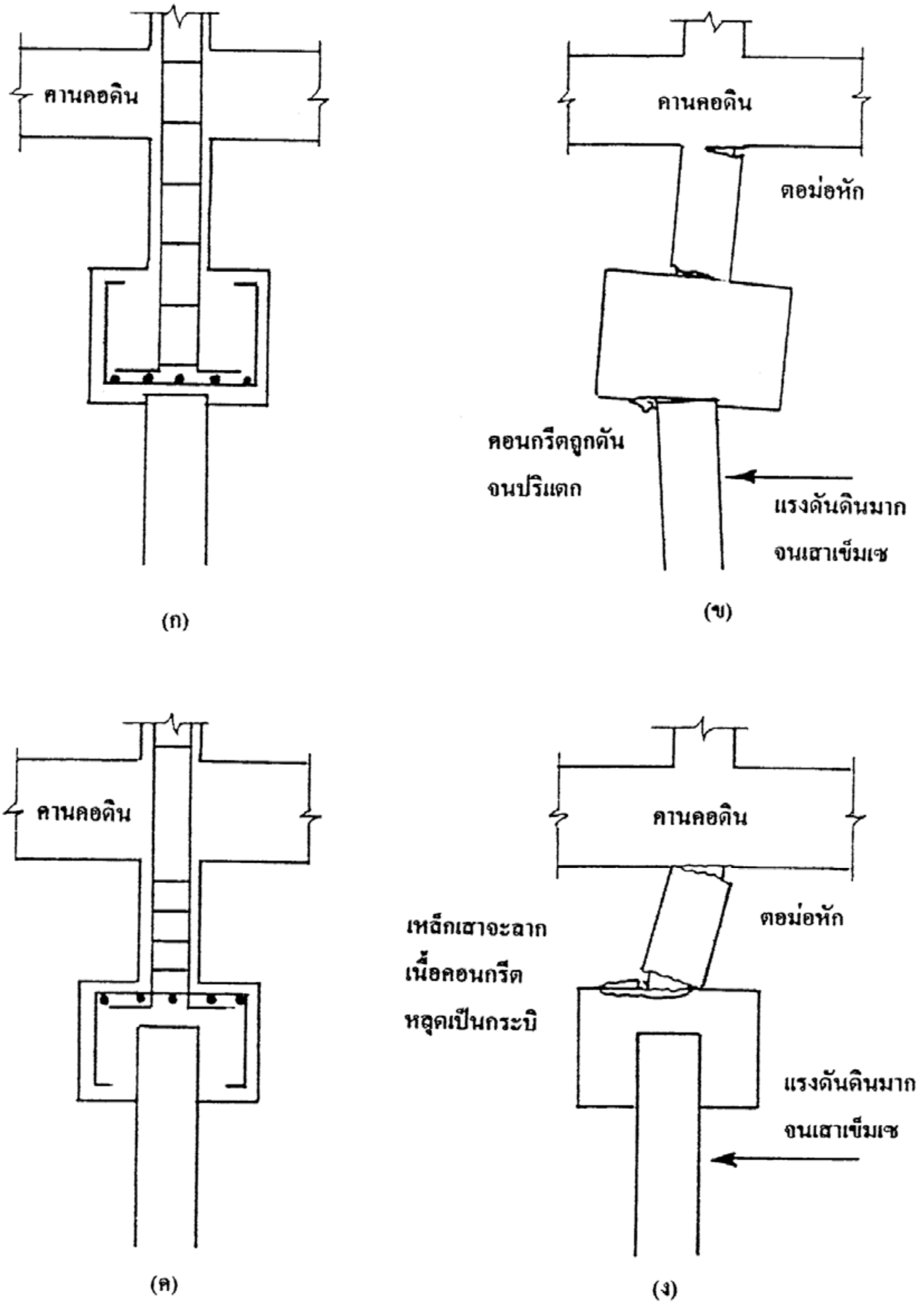
ส่วนที่สองของรูปที่ 15.69 ที่ควรพิจารณาคือแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็มแต่ละต้น เป็นแรงที่เหลือจากแรงเสียดทานรอบเสาเข็มแล้ว เนื้อที่ดินบริเวณปลายเสาเข็มจะเท่ากับเนื้อที่หน้าตัดของเสาเข็มแล้วบานออก มุมการบานจะประมาณค่า ϕ ของดินใต้ปลายเสาเข็ม ยิ่งลึกลงไปเนื้อที่จะยิ่งมาก เอาไปหารแรงแบกทานก็จะเหลือน้อยลง แนวการบานนี้เมื่อถึงความลึกที่สามารถคำนวณได้จากระยะห่างระหว่างเสาเข็มกับมุม ϕ ก็จะเกิดการเกยกัน หน่วยแรงแบกทานก็จะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของส่วนที่ไม่เกยกันทันที แต่หากระยะห่างมากพอ หน่วยแรงแบกทานส่วนที่เกยกันซึ่งลดน้อยลงแล้วแม้ว่าจะเพิ่มเป็นสองเท่าก็ยังไม่เกินกว่าหน่วยแรงแบกทานที่ปลายเสาเข็ม การวิบัติจากแรงเสียดทานก็จะไม่เกิดขึ้น

15.17. การออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น (Pile cap)

ลักษณะการวิบัติของฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้นที่เสริมเหล็กไม่เหมาะสม พิจารณาจากรูปที่ 15.70 เมื่อน้ำหนักที่ลงตอม่อน้อยกว่ากำลังของเสาเข็ม ฐานรากนั้นจึงต้องการเสาเข็มเพียงต้นเดียว รูปที่ 15.70(ก) เป็นการเสริมเหล็กในฐานรากเหมือนกับฐานรากที่มีเสาเข็ม 2 ต้นขึ้นไป คือ บนหัวเสาเข็มมีตะแกรงเหล็กแล้วให้เหล็กของตอม่อยื่นลงไปถึงเหล็กตะแกรง ฐานรากจึงตั้งบนหัวเสาเข็มแบบหมิ่นเหม่ หากตอกเสาเข็มในบริเวณดินอ่อนมากเช่นบริเวณบางนา ส่วนบนเสาเข็มจะอ่อนไหวต่อแรงทางข้างเสมอ เมื่อรถบรรทุกวิ่งบนถนนใกล้ๆ จะกดลงบนถนนให้จมลงและเกิดแรงทางข้างไปในแนวนอน ดันเสาเข็มจนเซพาเอาฐานรากโย้ตาม ปลายเสาเข็มที่จมเข้าไปในฐานรากน้อยก็งัดเนื้อคอนกรีตปริแตก ตอม่อซึ่งมีขนาดเล็กรับได้เฉพาะแรงตามแนวแกนแต่รับโมเมนต์ไม่ไหวก็จะหัก สภาพเยื้องศูนย์จากการเซของเสาเข็มยิ่งทำให้เกิดแรงดัดขั้นที่สอง (secondary moment) หรือ $P-\Delta$ effect ทำให้ตอม่อหักมากยิ่งขึ้น สุดท้ายอาคารส่วนนี้จะล้มลงดังรูปที่ 15.70 (ข) อาคารตึกแถวที่บางนาเกิดอาการล้มด้านหน้าที่ใกล้ถนน เสาเข็มแถวหน้าหลุดแนวจากแรงทางข้างทั้งหมดแต่เสาเข็มแถวในเข้าไปไม่หลุดตอม่อไม่หัก จึงมีอาการล้มหน้า

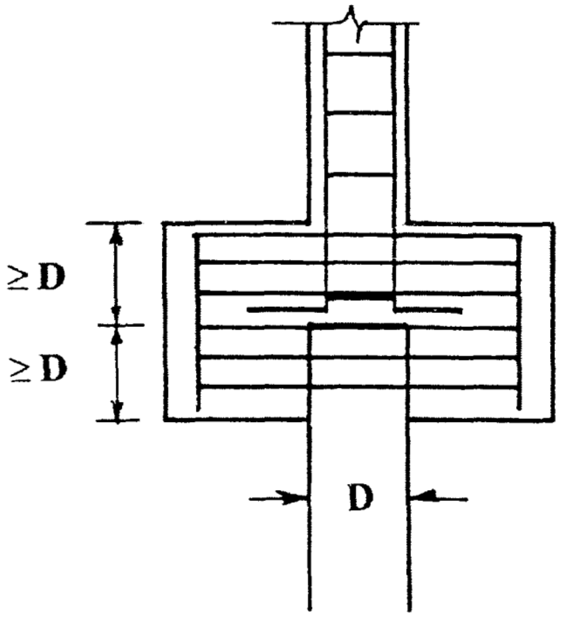
รูปที่ 15.70(ค) เสริมเหล็กกลับหัวกับรูปที่ 15.70(ก) ทำให้เหล็กเสริมในตอม่อไปชิดกับผิวบนฐานรากเกินไป เมื่อรับแรงทางข้างดังรูปที่ 15.70(ง) หัวเสาเข็มกับฐานรากยึดกันได้แน่นจึงเคลื่อนไปพร้อมๆ กัน

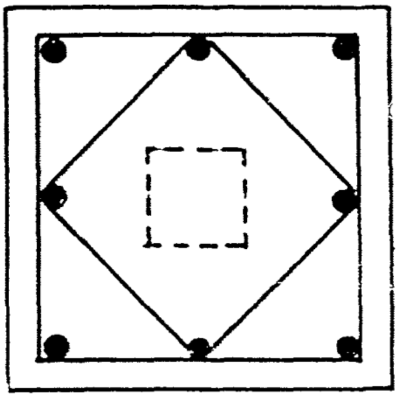
การที่เหล็กชิดผิวบนมากเกินไป ระยะฝังยึดไม่เพียงพอ เสาตอม่อหักพร้อมกันนั้นเหล็กเสริมในตอม่อจะลาก เอาเหล็กเสริมฐานรากโก่งและปริแตกได้ จากนั้นการวิบัติเกิดขึ้นเช่นเดียวกับรูปที่ 15.70(ข)



รูปที่ 15.70 ลักษณะการวิบัติจากแรงทางข้างของฐานรากเสาเข็ม 1 ต้น เนื่องจากเสริมเหล็กไม่เหมาสม

ในรูปที่ 15.70 แสดงการวิบัติจากการออกแบบและเสริมเหล็กไม่เหมาะสม ดังนั้นหากเสริมคล้ายๆ รูปที่ 15.70(ค) แต่ให้เหล็กจากตอม่ออยู่ลึกลงมามากพอ ดังรูปที่ 15.71(ก) เป็นรูปตัดตามยาวของฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้นที่มีประสิทธิภาพสูง รูปที่ 15.71(ข) เป็นรูปตัดตามขวางของฐานราก ให้ D เป็นขนาดของเสาเข็ม ระยะที่หัวเสาเข็มฝังเข้าไปในฐานรากต้องไม่น้อยกว่าระยะ D เพื่อป้องหันไม่ให้หัวเสาเข็มงัดเนื้อฐานรากปริแตก ขณะเดียวกันตอม่อต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่หักโดยง่าย อย่างน้อยตอม่อต้องรับแรงดัดที่เกิดการเยื้องศูนย์เท่าระยะ kern ของตอม่อ ถ้า P เป็นแรงลงตอม่อตามแนวแกน และ C แทนขนาดแคบสุดของตอม่อหรือเส้นผ่านศูนย์กลางตอม่อ แรงดัดที่ตอม่อต้องรับได้ไม่น้อยกว่า $M_c = \frac{PC}{6}$ เหล็กเสริมในตอม่อต้องหยั่งลึกลงมาไม่น้อยกว่าระยะ D เพื่อป้องกันการฉีกของฐานรากแบบรูปที่ 15.70(ง)





รูปที่ 15.71 การเสริมเหล็กในฐานรากเสาเข็ม 1 ต้นที่ถูกต้อง

เนื่องจากคอนกรีตเป็นวัสดุเปราะรับแรงดึงได้น้อย หากตอม่อมีความแข็งแรงมากพอและยึดฐานรากเอาไว้ได้แน่นหนา การวิบัติของฐานรากจะเกิดจากการงัดของหัวเสาเข็มที่จมในเนื้อฐานราก ทำให้เกิดแรงดึงในเนื้อคอนกรีต และอาจจะฉีกออก การป้องกันการฉีกคือหาอะไรกอดรัดเอาไว้ ในที่นี้ใช้เหล็กปลอกวางถี่ๆ เหล็กปลอกจะทำงานนี้ไม่ได้หากไม่มีหลักยึดที่แข็งแรง รูปที่ 15.71(ข) จะเห็นเหล็กยืนที่นิยมใช้คือเหล็ก 8-DB 25 mm ส่วนเหล็กปลอกจะเป็น 2-ป RB 9 mm @ 0.10 m เหล็กปลอกหากวางถี่กว่านี้อาจจะทำ

ให้เกิดโพรงและการจับยึดระหว่างเหล็กกับคอนกรีตไม่ดีกำลังก็จะน้อยลง ระยะห่างระหว่างเหล็กยืนไม่เกิน 45 cm ตามลักษณะการรับแรงเฉือนในคานลึก

ลักษณะการเสริมเหล็กในฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น จะเหมือนกับการเสริมเหล็กในเสาที่ใช้เหล็กปลอกสองวงในหนึ่งชุดไม่ทำเป็นตะแกรงเหมือนฐานรากทั่วไป การก่อสร้างจริง ช่างเหล็กจะผูกเหล็กฐานรากกับเหล็กตอม่อให้ติดกันแล้วยกลงสวมครอบหัวเสาเข็ม หนุนด้วยลูกปูนให้เหล็กตอม่อห่างจากหัวเสาเข็มไม่น้อยกว่า 2.5 cm

ประเด็นปัญหาในการออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น มิใช่ความสามารถในการรับแรงตามแนวแกนหรือแรงดัดแรงเฉือน แต่กลายเป็น***การป้องกันการกัดกร่อนจากสารเคมี*** ทั้งนี้เนื่องจากคอนกรีตที่ใช้ผลิตเสาเข็ม โดยเฉพาะเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง จะใช้ $f_c' = 350$ ksc จากตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐาน (ผู้ผลิตหลายรายมักจะส่งผลการทดสอบตัวอย่างลูกบาศก์มาตรฐานซึ่ง f_c' จะมากกว่าตัวอย่างทรงกระบอก หากได้ผล f_c' ของตัวอย่างลูกบาศก์มาให้คูณด้วย $\frac{5}{6}$ จะใกล้เคียงกับ f_c' ของตัวอย่างทรงกระบอก กฎกระทรวงมหาดไทย ฉบับที่ 6 ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522 และที่แก้ไขเพิ่มเติม (ฉบับที่ 3 พ.ศ.2543) กำหนดไว้ว่า กำลังของคอนกรีตหมายถึงกำลังของตัวอย่างทรงกระบอกมาตรฐาน (เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม สูง 30 ซม) อายุ 28 วัน ปัจจุบันนี้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงนิยมใช้ $f_c' = 350$ ksc กำลังของคอนกรีตฐานรากอาจจะเพียง $f_c' = 250$ ksc ซึ่งแตกต่างกับของเสาเข็ม แล้วก่อนเทคอนกรีตฐานรากก็ไม่ได้ทำให้ผิวของเสาเข็มขรุขระเพื่อให้คอนกรีตฐานรากจับเสาเข็มได้แน่น ดังนั้นรอยสัมผัสระหว่างเสาเข็มกับคอนกรีตฐานรากจึงจับกันไม่สนิทมีช่องว่างเป็นฟิล์มบางๆ ทำให้เกิดผลคาปิลลารีที่จะดึงดูดเอาน้ำสกปรกหรือมีสารเคมีละลายอยู่ซึมขึ้นไปตามช่องว่างนี้ได้ ถ้าเหล็กปลอกวงในอยู่ชิดมุมของเสาเข็มน้อยกว่าระยะหุ้ม (covering) น้ำสารเคมีซึมเข้าถึงเหล็กปลอกวงในจนเป็นสนิม (การ oxidation จนเป็นสนิมของเหล็กไม่จำเป็นต้องมีอากาศสัมผัส ขอเพียงแต่มีตัวให้ออกซิเจนหรือ oxidizer ก็เป็นสนิมได้แล้ว) เหล็กที่เป็นสนิมจะพองตัวขึ้น แรงดันจากการพองตัวจะเบ่งจนคอนกรีตแตก น้ำสารเคมีก็จะยิ่งเข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากและเร็วขึ้น ทำนองเดียวกัน ระยะหุ้มด้านผิวนอกของฐานรากก็ต้องเพียงพอด้วย

มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ของ วสท. กำหนดเรื่องระยะหุ้มเอาไว้ว่า

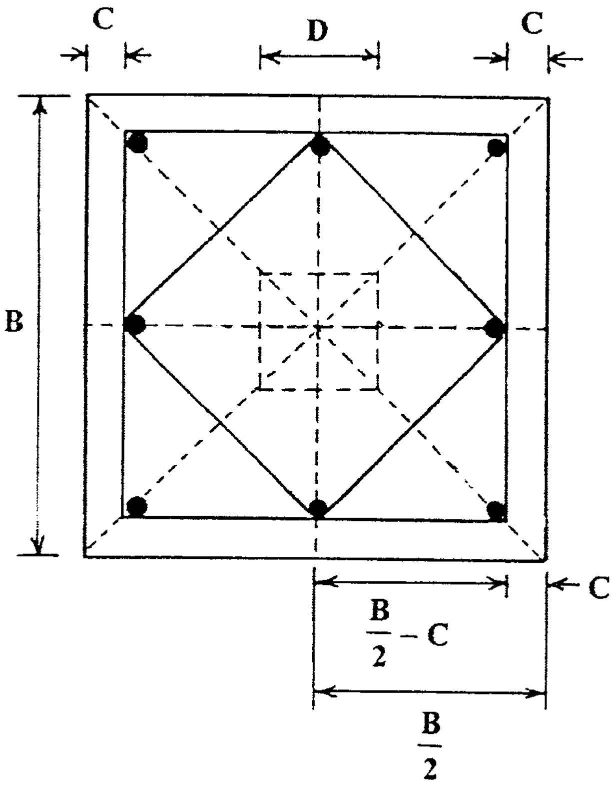
ระยะหุ้มขององค์อาคารที่สัมผัสหรือจมในดิน บริเวณที่ไม่มีการกัดกร่อนหรือมีแต่ไม่รุนแรง ให้ใช้ระยะหุ้มของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 7.5 ซม

ระยะหุ้มขององค์อาคารที่สัมผัสหรือจมในดิน บริเวณที่มีการกัดกร่อนรุนแรง (ชายทะเล นิคมอุตสาหกรรม บริเวณดินเค็มเช่น อ.พิมาย มีหินเกลือ) ให้ใช้ระยะหุ้มของคอนกรีตไม่น้อยกว่า 10 ซม

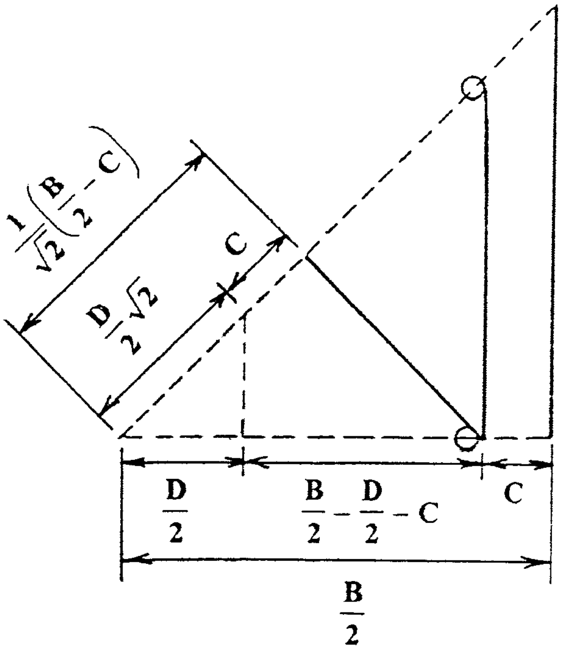
จากรูปที่ 15.72 เสาเข็มหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (แม้จะระบุเป็นหน้าตัด I แต่ส่วนหัวเสาเข็มที่ติดกับฐานรากจะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส) เมื่อพยายามหมุนให้มุมของเสาเข็มอยู่ใกล้เหล็กปลอกวงในมากที่สุดได้ดังรูป ให้ระยะห่างจากผิวนอกของฐานรากถึงผิวนอกของเหล็กยืน (ที่จริงต้องเหล็กปลอก แต่ประมาณที่ผิวนอกเหล็กยืน โดยจะมีการชดเชยต่อไป) เท่ากับระยะหุ้ม C ตามมาตรฐาน และจากมุมเสาเข็มถึงเหล็กปลอกวงในเท่ากับ C ด้วย ระยะ C = 7.5 cm หรือ 10 cm ตามมาตรฐานของ วสท. ที่กล่าวแล้ว

ในโครงสร้างส่วนอื่นๆ ที่อาจจะสัมผัสดินบ้าง ถูกแดดถูกฝนบ้าง ระยะหุ้มไม่น้อยกว่า 4 cm ในเหล็กที่โตกว่า 16 mm ขึ้นไป และระยะหุ้มไม่น้อยกว่า 3 cm ในเหล็กขนาด 16 mm ลงมา

รูปที่ 15.72 หน้าตัดขวางของฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น กว้างด้านละ B ขนาดของเสาเข็ม D อยู่กึ่งกลางพอดี แบ่งหน้าตัดนี้ออกเป็น 8 ส่วนเท่าๆ กันโดยใช้เส้นทแยงมุมกับเส้นแบ่งครึ่งด้าน ขอบของเสาเข็มให้ขนานกับขอบของฐานรากเพื่อให้มุมของเสาเข็มอยู่ใกล้กับเหล็กปลอกวงในที่สุด ระยะห่างจากมุมเสาเข็มถึงเหล็กปลอกวงในเท่ากับระยะหุ้ม C ส่วนด้านนอกระยะหุ้มก็เท่ากับ C ซึ่งตามมาตรฐานค่า C = 0.075 m ในสภาพดินทั่วไปไม่กัดกร่อนหรือถึงมีก็น้อย และ C = 0.10 m เมื่อดินมีการกัดกร่อนรุนแรงเช่นชายทะเล



รูปที่ 15.72 แสดงการจัดวางตำแหน่งให้ระยะหุ้ม C น้อยที่สุด



รูปที่ 15.73 แสดงซีกล่างของมุมบนขวา

นำซีกล่างของมุมบนขวามาขยายดังรูปที่ 15.73 ระยะขอบล่างและขอบขวายาว $\frac{B}{2}$ ระยะจากเหล็กเสริมถึงขอบนอกทางขวาคือระยะหุ้ม C รูปตัดนี้จะเห็นเสาเข็มเป็นหนึ่งเสี้ยวรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ด้านยาว $\frac{D}{2}$ สองด้านจึงมีมุมที่ฐาน 45 องศา ความยาวส่วนที่เหลือเมื่อหักเสาเข็มกับระยะหุ้มนอกออกไปแล้วเท่ากับ $\frac{B}{2}-\frac{D}{2}-C$ แต่ความยาวจากมุมซ้ายสุดไปหาเหล็กเสริมจะเป็น $\frac{B}{2}-C$ เหล็กปลอกวงในลากตั้งฉากกับเส้นทแยงมุมที่เป็นด้านตรงกันข้ามมุมฉากของสามเหลี่ยมใหญ่ จากสามเหลี่ยมมุมฉากที่มุมอีกสองมุม 45 องศา ด้านตรงกันข้ามมุมฉากยาว $\frac{B}{2}-C$ ด้านประกอบมุมฉากจะยาว $\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{B}{2}-C\right)$ ย้อนไปดูสามเหลี่ยมมุมฉากของเสาเข็ม ด้านประกอบมุมฉากยาว $\frac{D}{2}$ ด้านตรงกันข้ามมุมฉากยาว $\frac{D}{2}\sqrt{2}$ รวมกับ C เท่ากับ $\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{B}{2}-C\right)$ เนื่องจากเป็นความยาวเดียวกัน เพียงคิดจากสองทางแตกต่างกัน ดังนั้น

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{B}{2}-C\right)=\frac{D}{2}\sqrt{2}+C$$

คูณตลอดด้วย $\sqrt{2}$

$$\frac{B}{2}-C=\frac{D}{2}\times 2+\sqrt{2}C$$

$$\frac{B}{2}=D+C+\sqrt{2}C$$

ได้สมการทั่วไปในการหาขนาดหน้าตัดของฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้นดังนี้

$$B=2D+2\left(1+\sqrt{2}\right)C$$

กระจายค่าให้ง่ายต่อการใช้งาน

$$B = 2D + 2(1 + 1.414)C$$
$$B = 2D + 4.828C$$

ประมาณค่าให้ง่ายขึ้น

$$B = 2D + 5C$$

ในกรณีทั่วไป ฐานรากห่างทะเลมาก การกัดกร่อนน้อย ค่า C = 0.075 m แทนค่าได้

$$B = 2D + 0.375 \ \text{m}$$

ในกรณีการกัดกร่อนมาก เช่นใกล้ทะเล มีหินเกลือ ค่า C = 0.10 m แทนค่าได้

$$B = 2D + 0.50 \ \text{m}$$

ฐานรากในกรณีไม่กัดกร่อนให้ใช้อย่างน้อย 2 เท่าของขนาดเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัสบวกอีก 0.375 เมตร และในกรณีที่อยู่ในพื้นที่กัดกร่อนสูง ให้ใช้ขนาด 2 เท่าของขนาดเสาเข็มสี่เหลี่ยมจัตุรัสบวกอีก 0.50 เมตร

ในกรณีของเสาเข็มกลมเช่น เสาเข็มแรงเหวี่ยง (spun pile) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง D ดังรูปที่ 15.74 เป็นหน้าตัดของฐานราก แบ่งเป็น 8 ส่วน แล้วนำซีกล่างของมุมบนขวามาพิจารณาโดยขยายออกดังรูปที่ 15.75 ลักษณะการพิจารณาระยะเดียวกันจากสองวิธีจะได้ดังนี้

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\left(\frac{B}{2} - C\right) = \frac{D}{2} + C$$

คูณตลอดด้วย $\sqrt{2}$

$$\frac{B}{2} - C = \frac{D\sqrt{2}}{2} + C\sqrt{2}$$

คูณตลอดด้วย 2

$$B - 2C = D\sqrt{2} + 2\sqrt{2}C$$

สมการทั่วไปในการหาขนาดฐานรากเสาเข็มกลมเดี่ยว

$$B = D\sqrt{2} + 2\left(1 + \sqrt{2}\right)C$$

หาค่าประมาณดังนี้

$$B = 1.414D + 2(1 + 1.414)C$$

$$B = 1.414D + 4.828C$$

จัดค่าใหม่ให้เหมาะสม

$$B \approx 1.5D + 5C$$

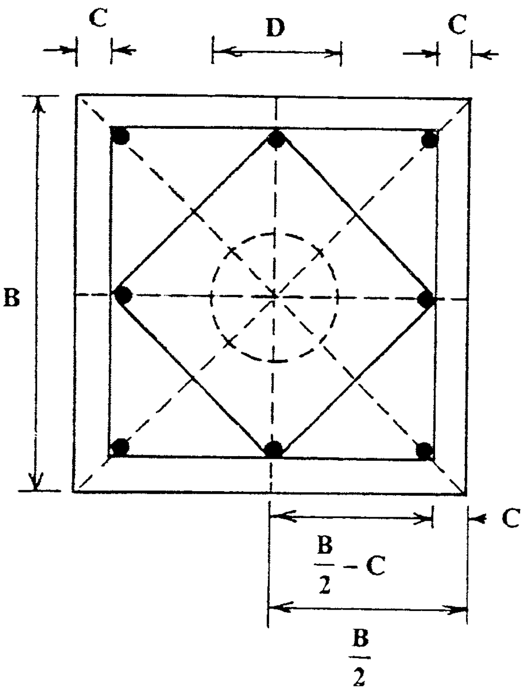
ในกรณีทั่วไป การกัดกร่อนน้อย (ไกลทะเล นิคมอุสาหกรรม หินเกลือ) ค่า C = 0.075 m แทนค่าได้

$$B = 1.5D + 0.375 \ \text{m}$$

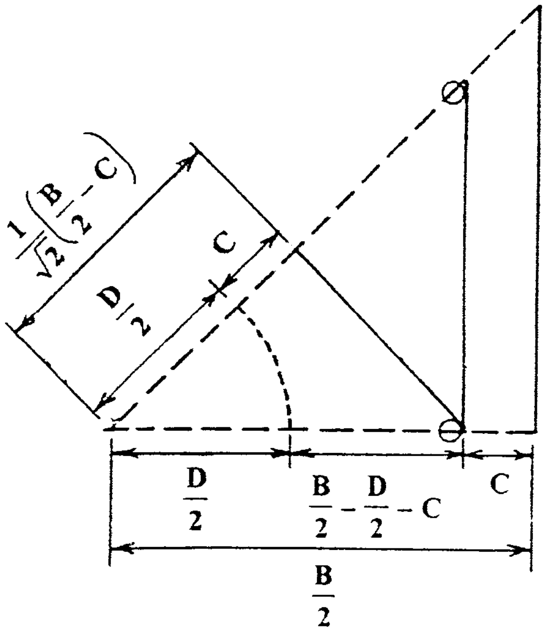
ในกรณีที่การกัดกร่อนมาก ค่า C = 0.10 m แทนค่าได้

$$B = 1.5D + 0.50 \ \text{m}$$

สรุปได้ว่า เมื่อเสาเข็มมีหน้าตัดกลมสำเร็จรูปเส้นผ่านศูนย์กลาง D ในบริเวณที่ไม่กัดกร่อน ขนาดฐานราก เป็น 1.5 เท่าของขนาดเสาเข็มบวกอีก 0.375 เมตร แต่ถ้าอยู่ในบริเวณกัดกร่อนสูง ขนาดฐานรากเป็น 1.5 เท่า ของขนาดเสาเข็มบวกอีก 0.50 เมตร

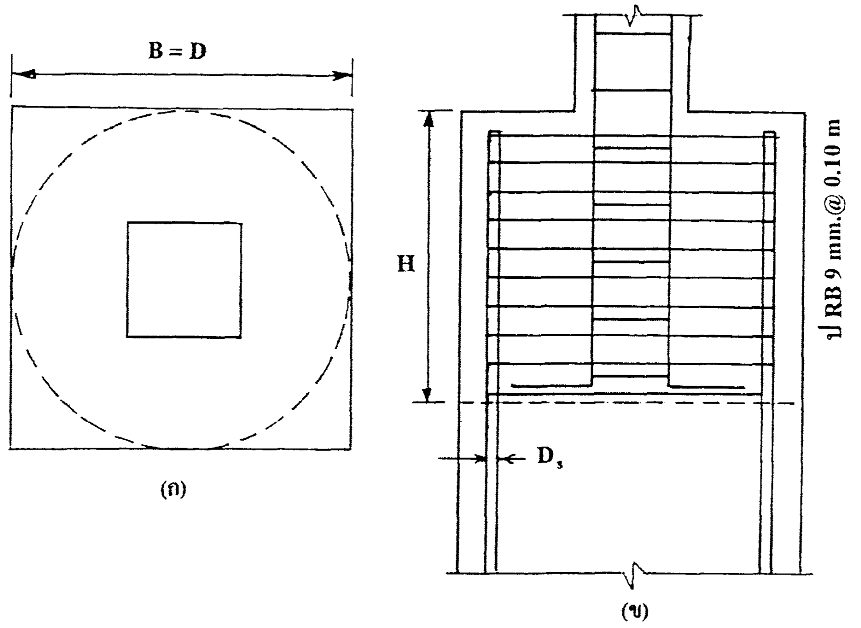


รูปที่ 15.74 ฐานรากบนเสาเข็มกลมเดี่ยว หาขนาดฐานราก B



รูปที่ 15.75 นำซีกล่างของมุมบนขวามาพิจารณา

ในกรณีของเสาเข็มเจาะ ต้องมีการสกัดหัวเสาเข็มส่วนบนที่คอนกรีตมีคุณภาพต่ำออกทิ้งไปจนเหล็กเสริมโผล่แล้วหล่อคอนกรีตใหม่ต่อขึ้นมาเป็นตอม่อ ดังนั้นจึงไม่ต้องใช้หลักการเดียวกับเสาเข็มสำเร็จรูป ดูรูปที่ 15.76 ให้ D_s เป็นขนาดเหล็กเสริมในเสาเข็มเจาะที่จะให้ล้วงเข้าไปในฐานราก ขณะเดียวกันเหล็กในเสาตอม่อก็ต้องล้วงเข้าไปในเสาเข็มส่วนที่สกัดทิ้งไป ลักษณะการผูกเหล็กเสาตอม่อมีลักษณะที่ทำให้การยึดเกาะกับคอนกรีตดีกว่าเหล็กในเสาเข็ม หากจะวิบัติจากแรงยึดเหนี่ยวก็จะเกิดที่เหล็กเสาเข็มคือรูดจากคอนกรีต (กรณีรับแรงดึง) ดังนั้นควรให้ระยะที่เหล็กเสาเข็มโผล่ขึ้นในส่วนที่สกัดอย่างน้อย $H > 40D_s$ ตอนสกัดให้เอาเหล็กปลอกเสาเข็มทิ้งไปก่อน เหล็กปลอกใหม่ควรมีขนาดที่โตและเรียงถี่เช่น RB 9 mm @ 0.10 m การก่อสร้าง เอาเหล็กปลอกเสาเข็มที่จะใช้ทุกวงสวมลงไปไว้ก่อน สอดเหล็กตอม่อลงไปจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการและถูกต้องแล้วเลื่อนเหล็กปลอกเสาเข็มขึ้นผูกจากบนลงล่างให้ระยะเรียง 0.10 เมตร รอยต่อจะทำแบบหล่อเป็นกล่องสี่เหลี่ยมเพราะทำง่ายและราคาถูก ทั้งยังเป็นที่หมายว่าเป็นจุดต่อระหว่างเสาเข็มกับตอม่อ เทคอนกรีตให้ประสานรอยต่อจนเต็ม



รูปที่ 15.76 การต่อตอม่อกับเสาเข็มเจาะโดยตรงเมื่อใช้เสาเข็ม 1 ต้น

เนื่องจากเหล็กยืนไม่ใช่เหล็กรับน้ำหนักอย่างเสา เพียงทำหน้าที่เป็นหลักให้เหล็กปลอกยึดเกาะได้อย่างมั่นคงเท่านั้น ดังนั้นจึงมีเพียง 8 เส้นก็เพียงพอ แต่ระยะห่างระหว่างเส้นอย่าให้เกิน 45 ซม ขนาดเหล็กห้ามเล็กกว่า 12 มม แนะนำว่าเหล็กยืนทั้ง 8 เส้นควรจะเป็น DB 25 mm

ลำดับขั้นตอนการออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น

ขั้นตอนที่ 1 ทราบข้อมูลดังนี้

D = ขนาดเสาเข็ม อาจจะเป็นความกว้างของหน้าตัดสี่เหลี่ยม เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มกลม, m

P_c = กำลังของเสาเข็ม, ตัน/ต้น

a = ขนาดหน้าตัดตอม่อหรือเส้นผ่านศูนย์กลางตอม่อ, m

b = ขนาดหน้าตัดตอม่อ, m

P = DL + LL =น้ำหนักลงตอม่อ, ตัน

DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่, ตัน

LL = น้ำหนักบรรทุกจร, ตัน

ทราบชนิดของเสาเข็ม

1. เสาเข็มเจาะ
2. เสาเข็มสำเร็จรูป หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส, I
3. เสาเข็มสำเร็จรูปชนิดหน้าตัดกลม เช่นเสาเข็มแรงเหวี่ยง (spun pile)

กรณีเสาเข็มเจาะ

ขั้นตอนที่ 2 ทราบขนาดเหล็กยืนในเสาเข็ม , D_s

ขั้นตอนที่ 3 หาความสูงช่วงรอยต่อที่ต้องสกัดหัวเสาเข็มให้เหล็กโผล่ $H \geq 40D_s$

ขั้นตอนที่ 4 เลือกเหล็กปลอก อาจจะใช้ ป-RB 6 mm @ 0.10 m หรือ ป-RB 9 mm @ 0.10 m หรือ ป-DB 12 mm @ 0.10 m แล้วแต่ขนาดเสาเข็มเจาะนั้น หากขนาดเสาเข็มเล็กเช่น เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร ถึง 0.50 เมตร ก็ใช้เหล็กปลอกขนาดเล็ก คือ ป-RB 6 mm @ 0.10 m ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 เมตร ถึง 0.80 เมตร ใช้เหล็กปลอก ป-RB 9 mm @ 0.10 m โตกว่านั้นใช้เหล็กปลอก ป-DB 12 mm @ 0.10 m

ตรวจสอบน้ำหนักลงเสาเข็มต้องไม่เกินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม หากเกินก็จะเป็นการออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม 2 ต้นขึ้นไป

ขั้นตอนที่ 5 แสดงผลลัพธ์ในการออกแบบ คือขนาดของฐานรากหรือจุดต่อ B=D, ความสูงของรอยต่อ $H \geq 40D_s$ และเหล็กปลอกที่ใช้

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดแบบฐานราก

กรณีเสาเข็มสำเร็จรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสและหน้าตัดกลม

ขั้นตอนที่ 2 หาระยะที่หัวเสาเข็มฝังในฐานราก $\geq D$

หาระยะจากหัวเสาเข็มถึงโคนตอม่อ $\geq D$

หาความสูงของฐานราก = ผลบวกของระยะที่หัวเสาเข็มฝังกับระยะจากหัวเสาเข็มถึงโคนตอม่อ

$$H \geq 2D$$

ขั้นตอนที่ 3 ทราบสถานะของพื้นที่นั้นเป็นประเภทไม่กัดกร่อนหรือกัดกร่อนรุนแรงเช่นริมทะเล มีหินเกลือจากการสังเกตว่ามีการผลิตเกลือสินเธาว์ หรืออาจจะกัดกร่อนรุนแรงได้ในอนาคต เช่นเขตนิคมอุตสาหกรรมหรือใกล้เคียง หรือเป็นบริเวณที่มีประกาศให้เป็นอีสเทอร์นซีบอร์ด ทำนองนี้

ขั้นตอนที่ 4 หาขนาดฐานราก B ตามเงื่อนไขดังนี้

หน้าตัดเสาเข็มเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่ไม่มีการกัดกร่อน

$$B = 2D + 0.375 \quad m$$

หน้าตัดเสาเข็มเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า พื้นที่มีการกัดกร่อนรุนแรง

$$B = 2D + 0.50 \quad m$$

หน้าตัดเสาเข็มวงกลม พื้นที่ไม่มีการกัดกร่อน

$$B = 1.5D + 0.375 \quad m$$

หน้าตัดเสาเข็มวงกลม พื้นที่มีการกัดกร่อน

$$B = 1.5D + 0.50 \quad m$$

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดปริมาณเหล็กยืน ในขั้นต้นให้เลือก 8-DB 25 mm แล้วตรวจสอบระยะห่างระหว่างเส้นตามขอบฐานรากว่าห่างกันเกิน 45 cm หรือไม่ หากเกินให้ปรับใหม่เป็น 16-DB 20 mm

เหล็กปลอกให้ใช้ 2-ป-RB 9 mm @ 0.10 m ทุกกรณี

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียด แบบฐานราก

ตัวอย่างที่ 15.12 จงออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม $I - 0.30 \times 0.30 \times 21$ m กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ 40 ตัน/ต้น ตอม่อขนาด 0.30×0.30 m^2 รับน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน 18 ตัน และน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน 14 ตัน กำลังคอนกรีต $f'_c = 240$ ksc และกำลังครากเหล็กเสริม $f_y = 4000$ ksc หัวเสาเข็มลึกจากผิวดิน 2.00 เมตร

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูล

$D = 0.30\ m =$ ขนาดหน้าตัดเสาเข็ม กรณีนี้คือความกว้างของจัตุรัสหน้าตัดเสาเข็ม

$P_c = 40\ T/pile =$ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็ม

$a = b = 0.30\ m =$ ขนาดหน้าตัดตอม่อ

$DL = 18\ tonne =$ น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (serviced dead load)

$LL = 14\ tonne =$ น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน (serviced live load)

$P = DL + LL = 32\ tonne =$ น้ำหนักบรรทุกใช้งานรวมลงตอม่อ

$f_c^{'} = 240\ ksc =$ กำลังประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกที่ 28 วัน

$f_y = 4000\ ksc =$ กำลังครากของเหล็กเสริม

ชนิดของเสาเข็มเป็นเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมตัน

จำนวนเสาเข็มโดยประมาณ

$$N = \frac{1.1P}{P_c} = \frac{1.1 \times 32}{40} = 0.88 \Rightarrow 1 \text{ ต้น}$$

เป็นฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น

ขั้นตอนที่ 2 ระยะที่หัวเสาเข็มฝังในฐานราก $\geq D = 0.30\ m$ ใช้ 0.30 เมตร

ระยะจากหัวเสาเข็มถึงโคนตอม่อ $\geq D = 0.30\ m$ ใช้ 0.30 เมตร

ความสูงหรือความหนาของฐานราก $H_F = 0.30 + 0.30 = 0.60\ m$

ขั้นตอนที่ 3 ทราบสถานะของพื้นที่ก่อสร้าง โจทย์ไม่ระบุว่าเป็นพื้นที่กัดกร่อนสูง และได้ไปตรวจพื้นที่จริงแล้ว แน่ใจว่าไม่มีการกัดกร่อนสูงแน่นอน ดังนั้นระยะหุ้มคอนกรีต C = 7.5 cm = 0.075 m

ขั้นตอนที่ 4 ขนาดของฐานราก

$$B = 2D + 0.375 = 2 \times 0.30 + 0.375 = 0.975 \Rightarrow 1.00\ m$$

ระยะครึ่งหนึ่งของขนาดฐานราก

$$\frac{B}{2} = \frac{1.00}{2} = 0.50\ m$$

ความยาวของเสาตอม่อ

$$H_p = 2.00 - 0.30 = 1.70\ m$$

น้ำหนักตอม่อ

$$W_p = 2400abH_p = 2400 \times 0.30 \times 0.30 \times 1.70 = 367.2\ kg$$

น้ำหนักฐานราก

$$W_F = 2400B^2H_F = 2400 \times 1.00^2 \times 0.60 = 1440 \text{ kg}$$

น้ำหนักดินถม

$$W_{BF} = 1690\left(B^2 - ab\right)H_p = 1690 \times \left(1.00^2 - 0.30 \times 0.30\right) \times 1.70$$

$$W_{BF} = 2614.43 \text{ kg}$$

น้ำหนักบรรทุกรวมจริงถ่ายลงเสาเข็ม

$$P = 32{,}000 + 367.2 + 1440 + 2614.43 = 36{,}421.63 \text{ kg} < P_c = 40{,}000 \text{ kg}$$

น้ำหนักที่กดลงไม่เกินกำลังของเสาเข็ม ใช้ได้

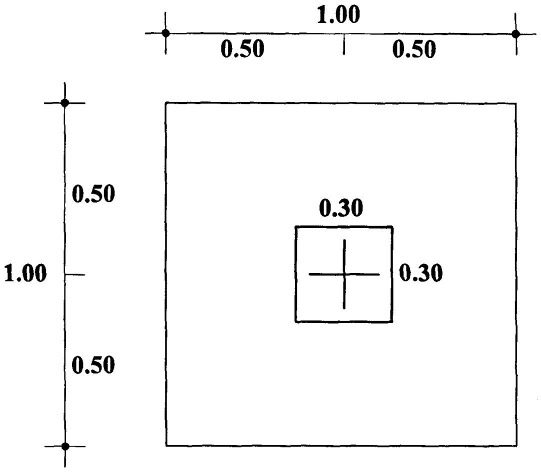
ขั้นตอนที่ 5 กำหนดปริมาณเหล็กยืนและเหล็กปลอก สำหรับเหล็กยืนใช้ 8-DB 25 mm ตรวจสอบระยะห่าง

ระยะหุ้มสองข้างๆ ละ 7.5 cm ขนาดเหล็ก 2.5 cm ระยะห่างของศูนย์กลางเหล็กยืนท่อนริมเท่ากับ 100 – 7.5 – 7.5 – 2.5 = 82.5 cm ช่วงห่างระหว่างเส้น 2 ช่วง ดังนั้นเหล็กยืนห่างกัน

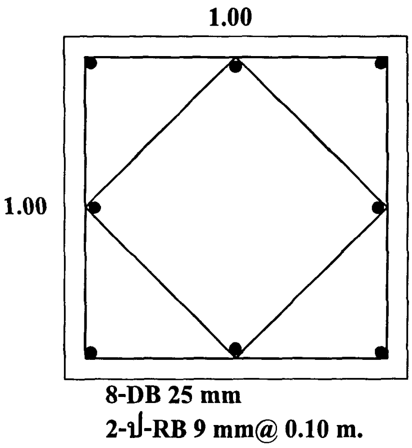
$$= \frac{82.5}{2} = 41.25 \text{ cm} < 45 \text{ cm} \quad \text{ใช้ได้}$$

ดังนั้นใช้เหล็กยืน 8-DB 25 mm และเหล็กปลอก 2-ป RB 9 mm @ 0.10 m

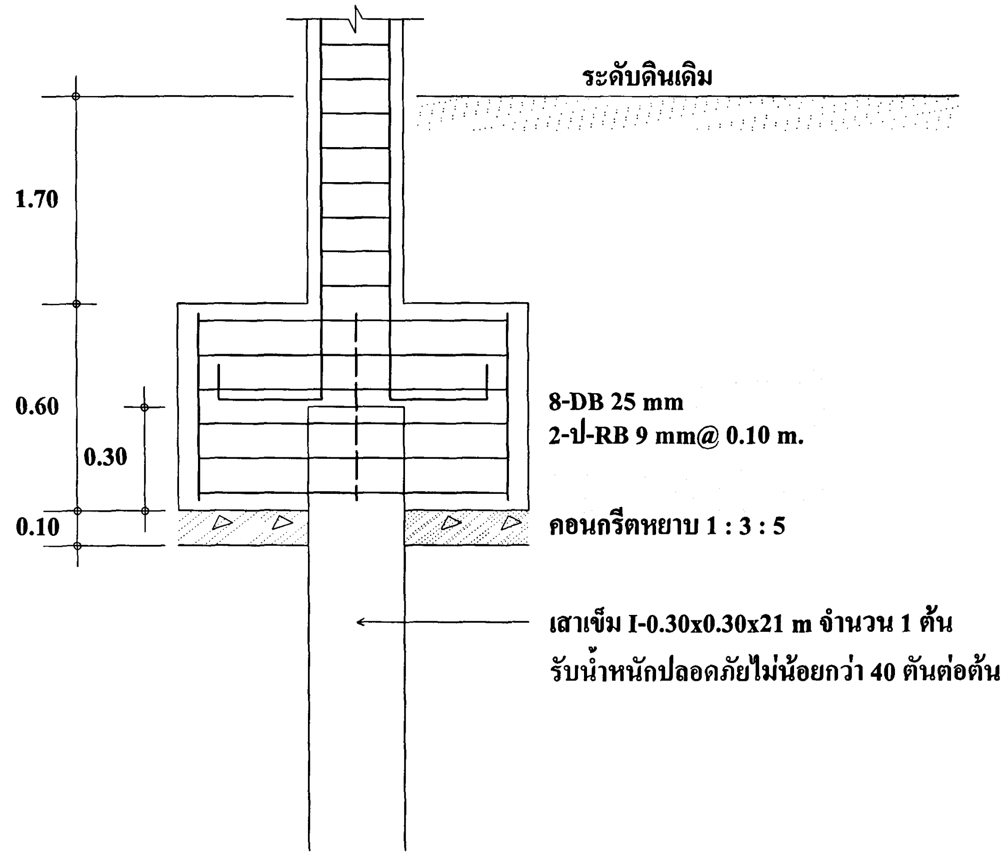
ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดของฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้นโดยโปรแกรม RC Details โดยมีรายละเอียด



F-1 PLAN



F-1 CROSS-SECTION



F-1 SECTION

FOOTING F-1

รูปที่ 15.100 รายละเอียดฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น ตัวอย่างที่ 15.12

TumCivil.com Fanpage
TUMCIVIL.COM

ตัวอย่างที่ 15.13 จงออกแบบฐานรากบนเสาเข็มแรงเหวี่ยง Spun 0.60×26.00 m กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้ 80 ตัน/ต้น ตอม่อขนาด $0.50 \times 0.50\ m^2$ รับน้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน 38 ตัน และน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน 30 ตัน กำลังคอนกรีต $f_c^{'} = 240$ ksc และกำลังครากเหล็กเสริม $f_y = 4000$ ksc หัวเสาเข็มลึกจากผิวดิน 2.00 เมตร เป็นพื้นที่ใกล้ทะเล

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูล

$D = 0.60\ m =$ ขนาดหน้าตัดเสาเข็ม กรณีนี้คือเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มแรงเหวี่ยง

$P_c = 80\ T/pile =$ กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่ยอมให้ของเสาเข็ม

$a = b = 0.50\ m =$ ขนาดหน้าตัดตอม่อ

$DL = 38\ tonne =$ น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน (serviced dead load)

$LL = 30\ tonne =$ น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน (serviced live load)

$P = DL + LL = 68\ tonne =$ น้ำหนักบรรทุกใช้งานรวมลงตอม่อ

$f_c^{'} = 240\ ksc =$ กำลังประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกที่ 28 วัน

$f_y = 4000\ ksc =$ กำลังครากของเหล็กเสริม

ชนิดของเสาเข็มเป็นเสาเข็มแรงเหวี่ยงคอนกรีตอัดแรง

จำนวนเสาเข็มโดยประมาณ

$$N = \frac{1.1P}{P_c} = \frac{1.1 \times 68}{80} = 0.935 \Rightarrow 1 \text{ ต้น}$$

เป็นฐานรากบนเสาเข็ม 1 ต้น

ขั้นตอนที่ 2 ระยะที่หัวเสาเข็มฝังในฐานราก $\geq D = 0.60\ m$ ใช้ 0.60 เมตร

ระยะจากหัวเสาเข็มถึงโคนตอม่อ $\geq D = 0.60\ m$ ใช้ 0.60 เมตร

ความสูงหรือความหนาของฐานราก $H_F = 0.60 + 0.60 = 1.20\ m$

ขั้นตอนที่ 3 ทราบสถานะของพื้นที่ก่อสร้าง โจทย์ระบุว่าเป็นพื้นที่ใกล้ทะเลจึงมีการกัดกร่อนสูง ดังนั้น ระยะหุ้มคอนกรีต C = 10 cm = 0.10 m

ขั้นตอนที่ 4 ขนาดของฐานราก

$$B = 1.5D + 0.50 = 1.5 \times 0.60 + 0.50 = 1.40\ m$$

ระยะครึ่งหนึ่งของขนาดฐานราก

$$\frac{B}{2} = \frac{1.40}{2} = 0.70\ m$$

ความยาวของเสาตอม่อ

$$H_p = 2.00 - 0.60 = 1.40 \ \text{m}$$

น้ำหนักตอม่อ

$$W_p = 2400abH_p = 2400 \times 0.50 \times 0.50 \times 1.40 = 840 \ \text{kg}$$

น้ำหนักฐานราก

$$W_F = 2400B^2H_F = 2400 \times 1.40^2 \times 1.20 = 5644.8 \ \text{kg}$$

น้ำหนักดินถม

$$W_{BF} = 1690(B^2 - ab)H_p = 1690 \times (1.40^2 - 0.50 \times 0.50) \times 1.40$$

$$W_{BF} = 4045.86 \ \text{kg}$$

น้ำหนักบรรทุกรวมจริงถ่ายลงเสาเข็ม

$$P = 68{,}000 + 840 + 5644.8 + 4045.86 = 78{,}530.66 \ \text{kg} < P_c = 80{,}000 \ \text{kg}$$

น้ำหนักที่กดลงไม่เกินกำลังของเสาเข็ม ใช้ได้

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดปริมาณเหล็กยืนและเหล็กปลอก สำหรับเหล็กยืนใช้ 8-DB 25 mm ตรวจสอบระยะห่าง ระยะหุ้มสองข้างๆ ละ 10 cm ขนาดเหล็ก 2.5 cm ระยะห่างของศูนย์กลางเหล็กยืนท่อนริม เท่ากับ 140 – 10 – 10 – 2.5 = 117.5 cm ช่วงห่างระหว่างเส้น 2 ช่วง ดังนั้นเหล็กยืนห่างกัน

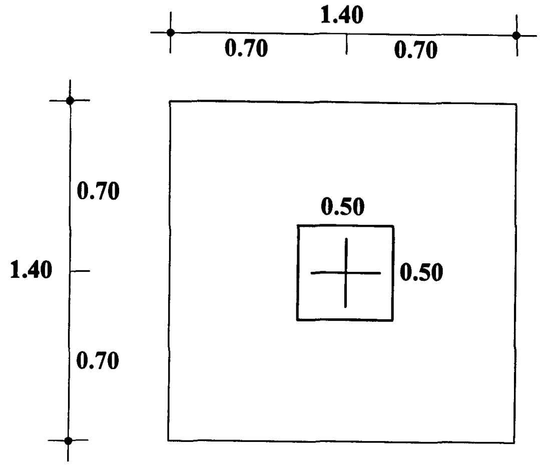
$$= \frac{117.5}{2} = 58.75 \ \text{cm} > 45 \ \text{cm}$$ ใช้ไม่ได้

เพิ่มเหล็กยืนเป็น 16-DB 25 mm ช่วงห่างระหว่างเส้น 4 ช่วง ดังนั้นเหล็กยืห่างกัน

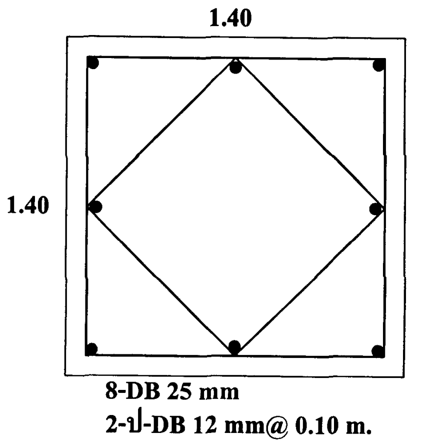
$$= \frac{117.5}{4} = 29.375 \ \text{cm} < 45 \ \text{cm}$$ ใช้ได้

ดังนั้นใช้เหล็กยืน 16-DB 25 mm และเหล็กปลอก 2-ป RB 9 mm @ 0.10 m

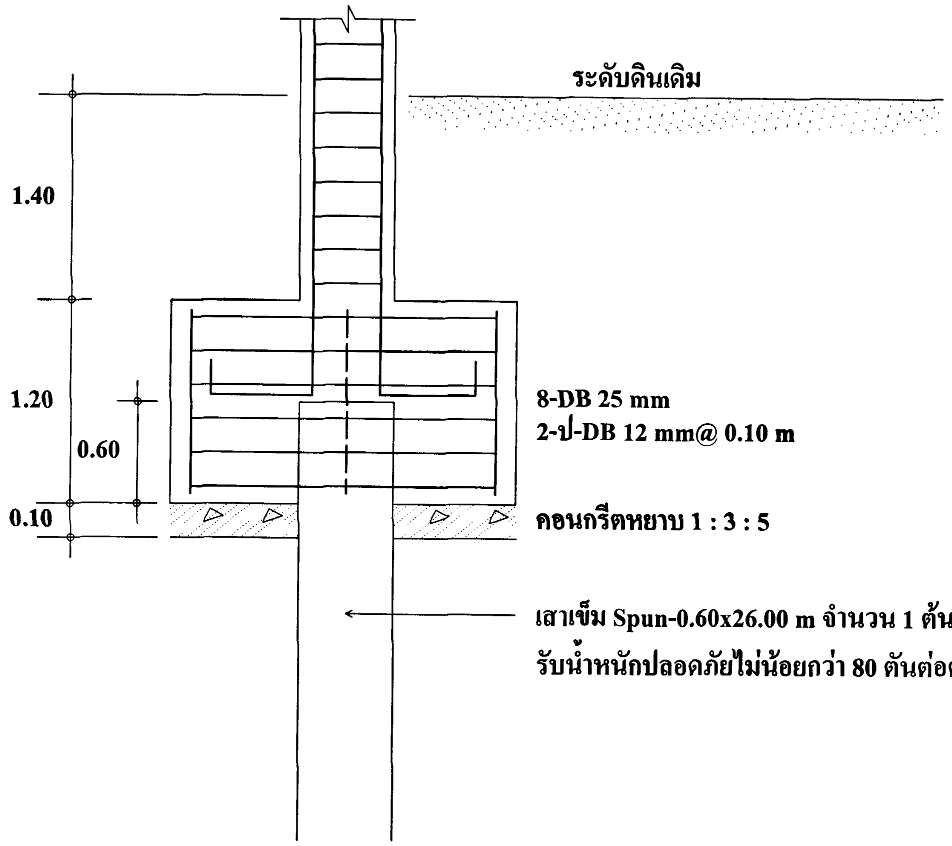
ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดการเสริมเหล็กฐานราก



F-1 PLAN



F-1 CROSS-SECTION

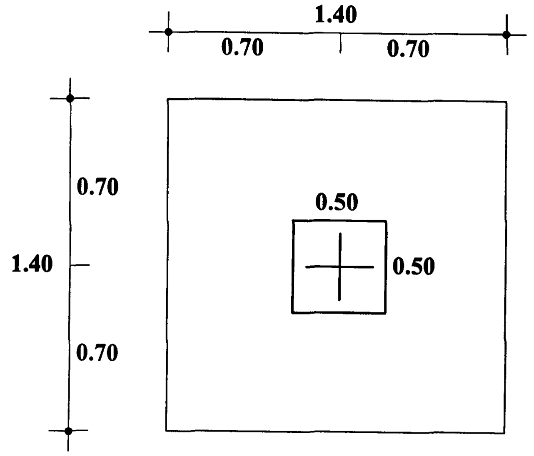


F-1 SECTION

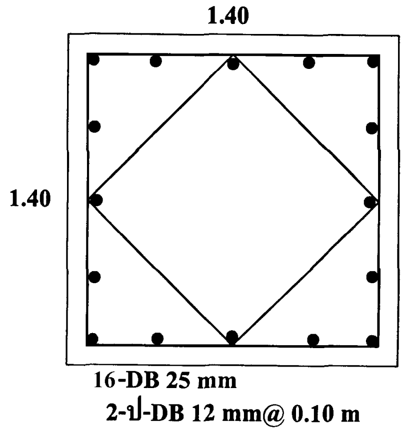
FOOTING F-1

รูปที่ 15.122 รายละเอียดฐานรากบนเสาเข็มแรงเหวี่ยงจากโปรแกรมเขียนรายละเอียด

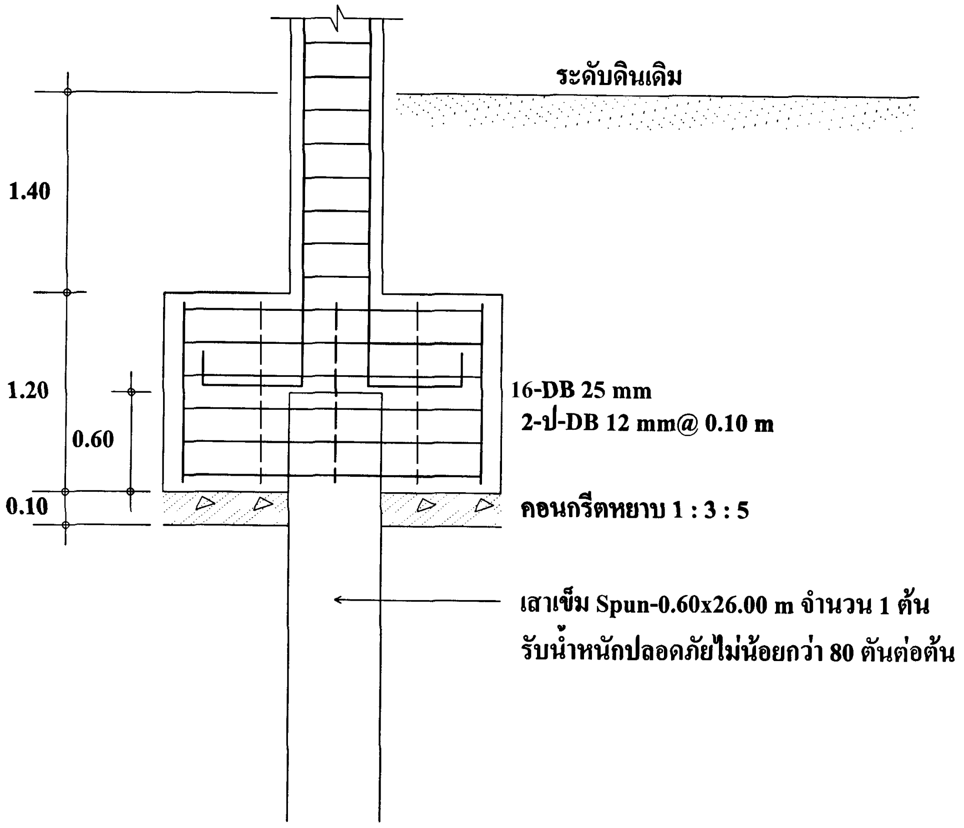
TumCivil.com Fanpage
TUMCIVIL.COM



F-1 PLAN



F-1 CROSS-SECTION



F-1 SECTION

FOOTING F-1

รูปที่ 15.123 เขียนเพิ่มเหล็กเสริมยืนให้เป็น 16 เส้น

TumCivil.com Fanpage
TUMCIVIL.COM

ตัวอย่างที่ 15.14 จงออกแบบฐานรากบนเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.35 เมตร ยาว 21 เมตร กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็ม 35 ตัน/ต้น เสาตอม่อเป็นเสากลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร รับน้ำหนัก 27 ตัน เหล็กเสริมในเสาเข็มสั่งพิเศษ 12-DB 12 mm (ปกติใช้เพียง 6-DB 12 mm) กำลังคอนกรีตเสาเข็ม $f_c' = 210$ ksc กำลังคอนกรีตในฐานรากและเสาตอม่อ $f_c' = 240$ ksc และกำลังครากของเหล็กเสริมทั้งในเสาเข็มเจาะ ฐานราก และเสาตอม่อ $f_y = 3000$ ksc

วิธีทำ

ขั้นตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป

$D = 0.35\ \text{m} =$ เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม

$P_c = 35\ \text{T/pile} =$ กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ของเสาเข็ม

$a = b = 0.30\ \text{m} =$ เสาตอม่อกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.30 เมตร

$P = 27\ \text{tonne} =$ น้ำหนักบรรทุกใช้งานลงตอม่อ

ประมาณจำนวนเสาเข็ม

$$N = \frac{1.1P}{P_c} = \frac{1.1\times 27}{35} = 0.85 \Rightarrow 1 \text{ ต้น}$$

ขั้นตอนที่ 2 ขนาดเหล็กยืนในเสาเข็ม $D_s = 12$ mm

ขั้นตอนที่ 3 ระยะที่ต้องสกัดหัวเสาเข็ม $H \ge 40D_s = 40\times\frac{12}{1000} = 0.45\ \text{m}$ ใช้ 0.60 เมตร

ขั้นตอนที่ 4 แม้ว่าเสาเข็มจะขนาดเล็กและเหล็กยืนก็มีขนาดเล็ก แต่ก็เสนอแนะให้ใช้เหล็กปลอกขนาดใหญ่และวางถี่ โดย ป-RB 9 mm @ 0.10 m ทำฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด $0.35\times 0.35\times 0.60$ คือสูง 0.60 เมตร ความยาวของตอม่อประมาณ 1.50 เมตร

น้ำหนักของตอม่อ $W_p = 2400\times\frac{\pi}{4}\times 0.30^2\times 1.50 = 254.5\ \text{kg}$

น้ำหนักฐานราก $W_F = 2400\times 0.35\times 0.35\times 0.60 = 176.4\ \text{kg}$

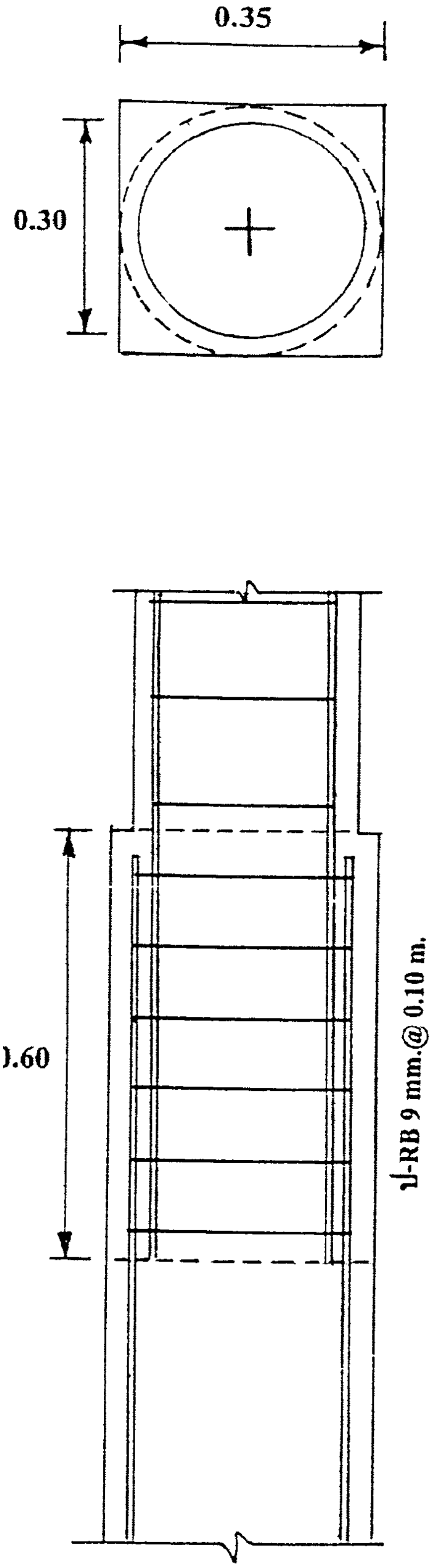
น้ำหนักดินถม $W_{BF} = 1690\times\left(0.35\times 0.35 - \frac{\pi}{4}\times 0.30^2\right)\times 1.50 = 131.3\ \text{kg}$

น้ำหนักรวมลงเสาเข็ม $= 27{,}000 + 254.5 + 176.4 + 131.3 = 27{,}562.2\ \text{kg} < 35{,}000\ \text{kg}$

แสดงว่าฐานรากและเสาเข็มรับน้ำหนักได้

ขั้นตอนที่ 5 ได้ผลลัพธ์ฐานรากขนาด $0.35\times 0.35\times 0.60$

ขั้นตอนที่ 6 เขียนรายละเอียดฐานรากได้ดังรูปที่ 81 ซึ่งต้องเขียนเอง โปรแกรมไม่ได้เตรียมกรณีนี้เอาไว้



ตอม่อต่อกับเสาเข็มเจาะ

รูปที่ 81 ฐานรากบนเสาเข็มเจาะต้นเดียว

TumCivil.com Fanpage
TUMCIVIL.COM