

หลักการพื้นฐานเบื้องต้น ในการแก้ไขปัญหา งานฐานราก (ฐานแผ่-ฐานรากเสาเข็ม)

เนื่องจากโครงสร้างอาคารส่วนฐานรากเป็นส่วนพุงอาคารไว้ทั้งหลัง ความมั่นคงของฐานรากต่อการเคลื่อนไหวใดๆจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ สิ่งเหล่านี้ ในขั้นตอนของการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง เราสามารถควบคุมหรือตัดปัจจัย ที่นอกเหนือการควบคุมได้ แต่ในขั้นตอนการก่อสร้างจริงเราไม่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆเหล่านั้นได้ ดังนั้นในที่นี้จะขอก้าวแนวทางพื้นฐานเบื้องต้นในการแก้ไขปัญหาไว้พอเป็นแนวทาง พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการแก้ไขปัญหาในงานจริงบางส่วน ดังนี้

1

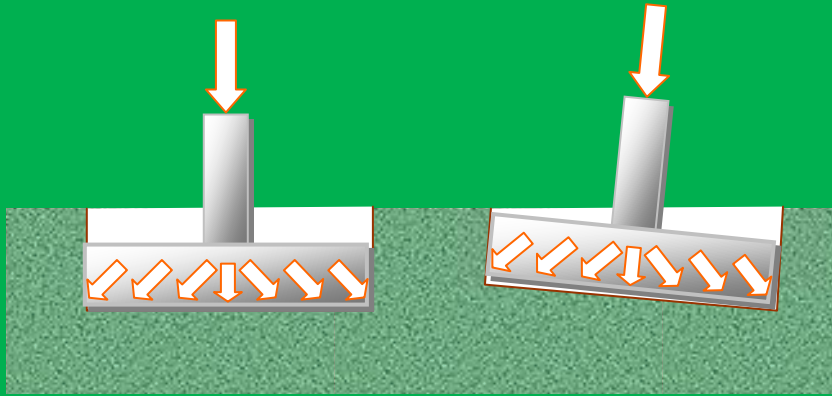
• กรณีของฐานรากแผ่

ตัวอย่างที่ 1 : กรณีกำลังรับแรงแบกทานของดิน (q_a) ไม่ผ่าน

1. ที่มาของสาเหตุ

บ่อยครั้งที่งานก่อสร้างฐานแผ่ไม่มีการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน ณ ตำแหน่งระดับความลึกของการวางฐานราก รวมถึงไม่คำนึงระดับน้ำใต้ดิน จึงทำให้ฐานที่เทไปแล้วเกิดปัญหา (ซึ่งเป็นปัญหาในระยะสั้น) เช่น

- ฐานทรุดตัว
- ฐานเอียงเนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน
- ฯลฯ



รูปที่ 1 แสดงประกอบตัวอย่างที่ 1 (เสริมพันธ์, 2550)

ซึ่งในการออกแบบฐานแผ่โดยทั่วไป ผู้ออกแบบมักตั้งค่าตัวเลขของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินขึ้นมาลอยๆก่อน โดยข้อมูลดังกล่าวไม่ได้มาจากการทดสอบจริงแต่อาจเป็นข้อมูลสถิติที่สะสมจากประสบการณ์ หรือข้อมูลแวดล้อมจากสิ่งปลูกสร้างในระแวกใกล้เคียง ทั้งนี้เพื่อจะได้สามารถหาขนาดหรือออกแบบฐานแผ่ได้

นั่นหมายความว่าเวลาก่อสร้างจริงเราจะทราบได้อย่างไรว่าดิน ณ บริเวณที่ก่อสร้างจะมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินได้เท่ากับที่ผู้ออกแบบตั้งตัวเลขขึ้นมาเพื่อออกแบบ ซึ่งหากไม่มีการทดสอบเพื่อตรวจสอบกลับตัวเลขดังกล่าว สิ่งที่จะตามมาคือ ประเด็นที่หนึ่งฐานแผ่ที่จะก่อสร้างอาจมีความปลอดภัยทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ประเด็นที่ สองฐานแผ่ที่จะก่อสร้างอาจมีความปลอดภัยในระยะสั้นแต่ในระยะยาวอาจไม่มีความปลอดภัย หรือประเด็นที่สาม (ซึ่งกำลังยกตัวอย่าง) จะเกิดปัญหาทันทีดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ แสดงว่าตัวเลขความเสี่ยงที่อาจเกิดปัญหามีสูงถึง 2 ใน 3



2. การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

หากเกิดกรณีของการทรุด-เอียงดังกล่าว อาจเนื่องมาจากสภาพดินที่ระดับการวางฐานแผ่อ่อนเกินไปจนถึงอ่อนมาก จึงมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินต่ำไม่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบเลือกใช้ออกแบบ เพราะแม้แต่น้ำหนักของตัวฐานเองดินก็ยังไม่รับไม่ได้ หรืออาจเป็นผลมาจากน้ำที่เกิดขึ้นในขณะก่อสร้าง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลเนื่องจากการมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินต่ำจะเป็นตัวหลักส่วนผลจากน้ำเป็นตัวเสริม

3. การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบและระยะเวลาด้วย)

1. ปรับปรุงสภาพดินใต้ฐานรากหากเป็นไปได้
2. ออกแบบใหม่ด้วยการเพิ่มพื้นที่ฐานเพื่อลดหน่วยแรงแบกทานให้เบาลง
3. อาจทำร่วมกันระหว่างข้อ 1. และ 2.
4. ออกแบบใหม่โดยการเปลี่ยนจากฐานแผ่ไปเป็นฐานรากเสาเข็มแทน

ตัวอย่างที่ 2 : กรณีกำลังรับแรงแบกทานของดิน (q_u) ผ่านแต่เกิดการเอียงศูนย์

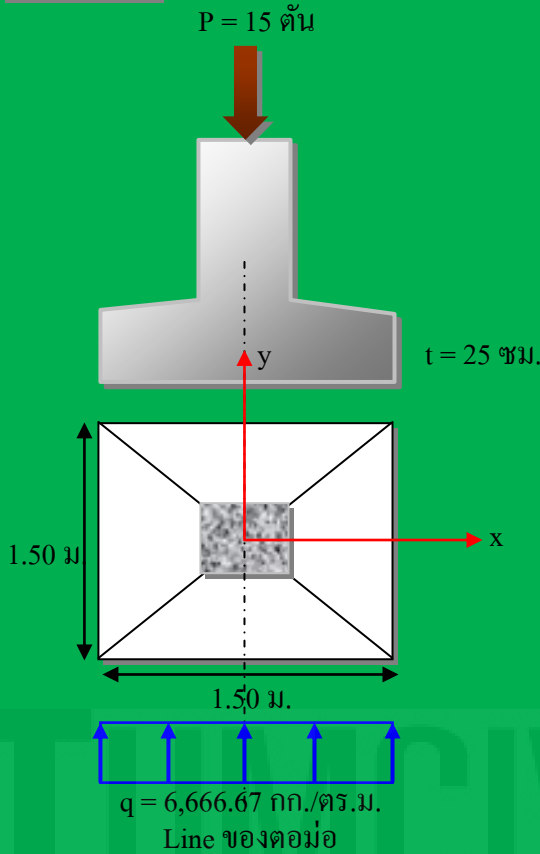
ข้อมูลเดิมที่ผู้ออกแบบคือ เสา ตอม่อรับน้ำหนักบรรทุก 15 ตัน/ต้น ดินมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 8.0 ตัน/ตร.ม. ฐานรากมีขนาด 1.50 ม. x 1.50 ม. x 0.20 ม. ส่วนตอม่อมีขนาด 0.20 ซม. x 0.20 ซม.

1. ที่มาของสาเหตุ

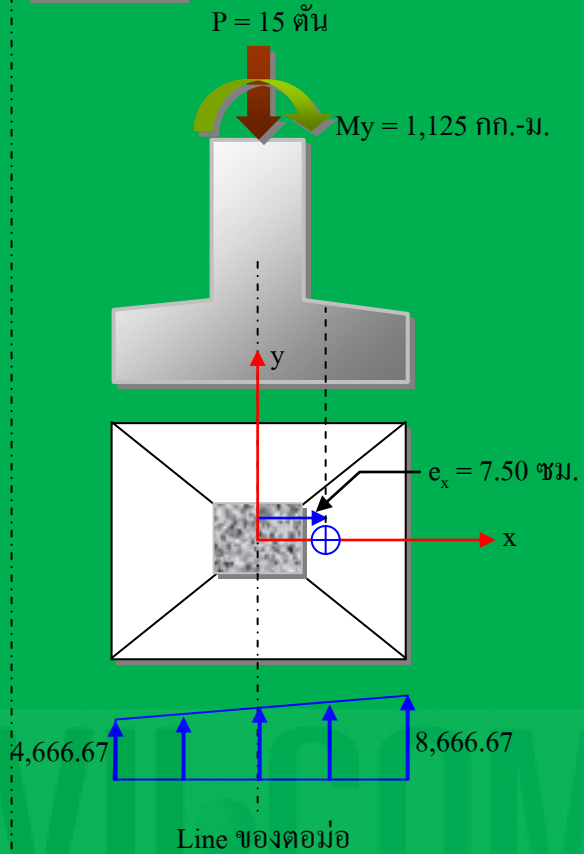
จากรูปออกแบบเป็นฐานรากแผ่ที่รับน้ำหนักแบบตรงศูนย์ แต่ในขณะก่อสร้างก่อนทำการหล่อตอม่อ (ตัดเหล็ก-เข้าแบบหล่อ) ได้ทำการตรวจสอบแนวการวางของเสาตอม่อ (Line) ปรากฏว่าแนวศูนย์กลางของเสาตอม่อไม่วางตรงตำแหน่งเดียวกันกับศูนย์กลางของส่วนฐานกล่าวคือขยับไปตามแนวแกน x เท่ากับ 7.50 ซม.



ออกแบบ



ก่อสร้าง



รูปที่ 2 แสดงประกอบตัวอย่างที่ 2 (เสริมพันธ, 2550)

2.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

1.เดิมออกแบบเป็นฐานรากแผ่รับแรงตามแนวแกน นั่นคือจุด c.g. ของตอม่อและส่วนฐาน จะต้องวางซ้อนทับกันที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อการส่งผ่านแรงผ่านจุดดังกล่าวตั้งนั้นจึงไม่มีผลของโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การกระจายของหน่วยแรงแบกทาน (Bearing stress) ได้ฐานรากจึงเป็นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ (Uniform)

2.เมื่อการก่อสร้างหน้างาน (Site) ไม่อาจทำได้ตามแบบที่ต้องการ ทำให้เกิดการเอียงศูนย์กลางตามแนวแกนใดแกนหนึ่งหรือทั้งสองแนวแกนพร้อมๆกัน ซึ่งส่งผลให้การส่งผ่านแรงไม่ผ่านจุด c.g. ของส่วนฐาน ดังนั้นจึงมีผลของโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การกระจายของหน่วยแรงแบกทาน



(Bearing stress) ได้ฐานรากไม่เป็นแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ (Uniform) ดังที่ออกแบบ แต่จะเป็นแผ่กระจายสม่ำเสมอแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid)

3.ผลกระทบที่เกิดต่อฐานรากเดิมคือ แรงกระทำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ค้ำ (My = 15,000x7.5/100) จะส่งผลกระทบทั้งต่อตัวของฐานและดินที่รองรับได้ฐานราก แล้วยังลามปามไปถึงตอม่อด้วย

จากนั้นก็ออกแบบตามปกติคือ ออกแบบเป็นฐานแผ่รับแรงตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ค้ำ

3.การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของบด้วย)

ขั้นตอนการตรวจสอบซึ่งควรตรวจสอบทั้งในส่วนของ

- 1.หน่วยแรงแบกทานได้ฐานรากว่าเกินที่กำหนดหรือไม่
- 2.ความหนาของส่วนฐานอันเป็นผลเนื่องมาจากหน่วยแรงแบกทานที่เพิ่มขึ้นจาก โมเมนต์ค้ำ ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ค้ำ แรงเฉือนทั้งสองส่วน (ทั้งแบบคานกว้างและแบบเจาะทะลุ)
- 3.เหล็กเสริมอันเป็นผลเนื่องมาจากหน่วยแรงแบกทานที่เพิ่มขึ้นจาก โมเมนต์ค้ำ ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ค้ำ

ขั้นตอนการแก้ปัญหา

- 1.ไม่ต้องแก้ไขใดๆหากในขั้นตอนของการตรวจสอบปรากฏผลว่าไม่มีปัญหา
- 2.นำผลที่ได้จากการตรวจสอบมาออกแบบใหม่ ซึ่งอาจเพิ่มเฉพาะความหนาของฐาน (อาจรวมไปถึงขนาดของฐานด้วย) หรือ
- 3.อาจเพิ่มเฉพาะปริมาณของเหล็กเสริม หรือ
- 4.อาจทำร่วมกันระหว่างข้อ 2. และ 3.



5. ออกแบบใหม่โดยเปลี่ยนไปใช้ฐานแผ่ประเภทอื่นที่สามารถช่วยกระจายโมเมนต์ดัดได้ เช่น ฐานแบบ Combined footing ไม่ว่าจะป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือคางหมู ส่วนฐานแบบ Strap footing ควรใช้แก้ไขปัญหาในกรณีของฐานรากเสาเข็ม

หมายเหตุ : อย่าลืมตรวจสอบเสาตอม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงตอม่อเนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับตอม่อเป็นแบบ Rigid joint

2

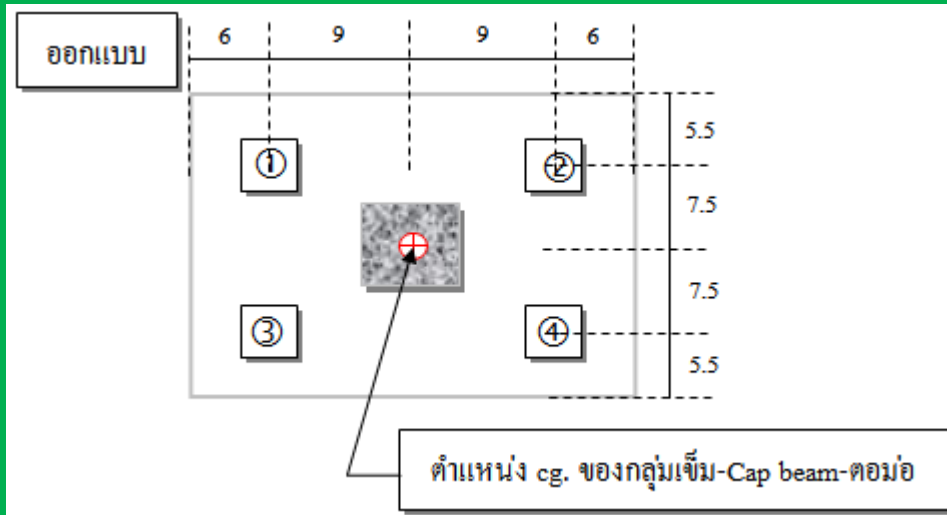
• กรณีของฐานรากเสาเข็ม

ตัวอย่างที่ 3 กรณีเสาเข็มได้ Blow + ไม่หัก แต่เกิดการเยื้องศูนย์ (แท้จริงคือเข็มเอียง)

ฐานรากเสาเข็มตามทีออกแบบเป็นดังรูป ก. รับน้ำหนักบรรทุกทุกเฉพะแรงตามแนวแกนจากเสา ตอม่อ 200 ตัน ใช้เสาเข็มขนาดหน้าตัด 0.40 x 0.40 ม. รับแรงปลอดภัย 50 ตันต่อต้น (หมายเหตุ : ขนาดที่กำหนดไม่สมเหตุสมผลเป็นเพียงการสมมติ ดังนั้นให้พิจารณาเฉพาะระยะของเสาเข็มเทียบกับแกนกลางของเสาตอม่อเท่านั้น...ระยะที่ให้หน่วยเป็น ซม.)

แต่หลังจากตอกเสาเข็ม + ตัดหัวแล้วเสร็จก่อนทำการวาง Line เสาตอม่อ จากข้อมูลของการ ตรวจสอบระยะของหัวเสาเข็มแต่ละต้น ไม่อยู่ในตำแหน่งทีออกแบบเป็นดังรูป ข.





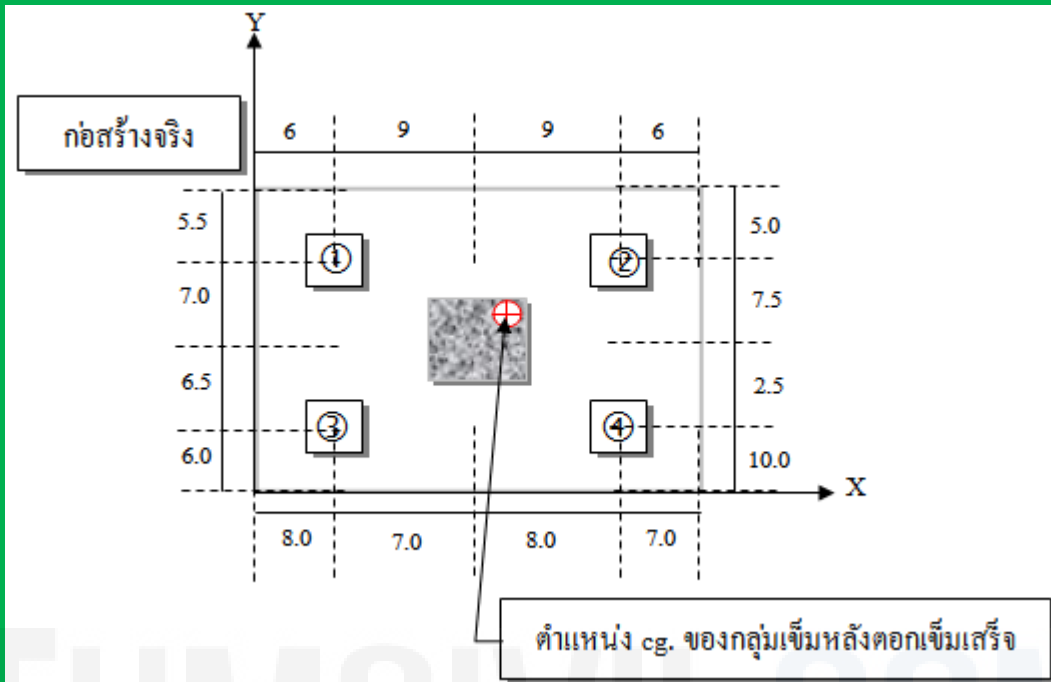
รูปที่ 3 (ก) แสดงประกอบตัวอย่างที่ 3 (เสริมพันธ, 2550)

1.ที่มาของสาเหตุ

จากรูปออกแบบเป็นฐานรากเสาเข็มที่รับน้ำหนักแบบตรงศูนย์ ขณะทำการตอกเสาเข็มส่งผลให้เสาเข็มบางต้นเกิดการเอียง (มักนิยมเรียกว่าหนีศูนย์) อันอาจเนื่องมาจากในหลายสาเหตุ เช่น

- 1.ปักเข็มไม่ตรงมุมรวมถึงเข็มไม่ได้ตั้ง (ก่อนตอก)...ควบคุมงานไม่ได้เรื่อง
- 2.หัวเสาเข็มไม่ได้ฉาก หรือปลายเอียง...QC. โรงงานผลิตไม่ได้เรื่อง
- 3.เหล็ก PC. Wire โผล่ในบางมุมของเข็ม...QC. โรงงานผลิตไม่ได้เรื่อง
- 4.ตัวปั้นจั่นไม่นิ่งขณะตอก ตะเกียบคด...ควบคุมงานไม่ได้เรื่อง
- 5.ครอบหัวเข็ม (หมวก) หลวม หรือมีขนาดไม่เหมาะกับเข็ม...ควบคุมงานไม่ได้เรื่อง
- 6.วัสดุรองกันกระแทกไม่แน่นพอ...ควบคุมงานไม่ได้เรื่อง
- 7.เข็มอาจคดหรือโก่ง...QC. โรงงานผลิตไม่ได้เรื่อง





รูปที่ 3 (ข) แสดงประกอบตัวอย่างที่ 3 (เสริมพันธ, 2550)

2. การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

1. เดิมออกแบบเป็นฐานรากเสาเข็มรับแรงตามแนวแกน นั่นคือจุด cg. ของกลุ่มเสาเข็ม ตอม่อ และส่วนฐาน (Cap beam) จะต้องวางซ้อนทับกันที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อการส่งผ่านแรงผ่านจุดดังกล่าวดังนั้นจึงไม่มีผลของโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้เกิดการกระจายของแรงกดจากตอม่อส่งผ่านไปยังเข็มแต่ละต้นจึงสม่ำเสมอเท่าๆกัน (ตามสมมุติฐานอันเนื่องจากมองว่า Cap beam เป็น Rigid)

2. เมื่อการก่อสร้างหน้างาน (Site) ไม่อาจทำได้ตามแบบที่ต้องการ ทำให้เกิดการเอียงศูนย์กลางตามแนวแกนใดแกนหนึ่งหรือทั้งสองแนวแกนพร้อมๆกัน ทำให้การส่งผ่านแรงจากตอม่อไม่ผ่านจุด cg. ของส่วนฐาน (ในที่นี้เน้นไปที่ cg. ของกลุ่มเสาเข็ม) ดังนั้นจึงมีผลของโมเมนต์ค้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้เข็มแต่ละต้นไม่มีแต่เฉพาะแรงกดที่ส่งผ่าน มาจากตอม่อดังที่ออกแบบเท่านั้น แต่จะรับแรงกด



เพิ่มขึ้น (หรืออาจลดลงทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผลการพิจารณาทิศทางของโมเมนต์ดัดที่กระทำด้วย) อันเป็นผล
 เนื่องจากโมเมนต์รวมด้วย นั้นหมายความว่าหากระยะเชิงศูนย์กลางเสาเข็มบางต้นอาจจะรับแรง
 กดเพิ่มมากจนไม่มีความปลอดภัย (ไม่ปลอดภัยต่อการเสียดที่จะเกิดหัวเสาเข็มระเบิดพร้อมๆกับค่า
 Safety Factor ที่ลดลง) ในขณะที่เสาเข็มบางต้นอาจจะรับแรงกดลดลงมากจนเปลี่ยนสภาพเป็น
 เสาเข็มรับแรงดึง (ตามประสบการณ์การออกแบบเสาเข็มของผม โดยตัวเสาเข็มเองจะสามารถรับ
 แรงดึงได้มากถึงครึ่งหนึ่งของแรงกดที่รับได้) ซึ่งก็อาจไม่มีความปลอดภัยได้เช่นกัน (อาจเป็นเพราะ
 แรงถอนทำให้เกิดแรงดึงในตัวเสาเข็มมากเกินไปจนไม่ปลอดภัย หรือไม่ได้ออกแบบเหล็ก Dowel
 เพื่อไว้เพื่อรับแรงถอน หรือไม่ได้เผื่อระยะอมเสาเข็มไว้มากพอ)

3.ผลกระทบที่เกิดต่อเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากเดิมคือ แรงกดที่เพิ่มขึ้น (หรือลด) เนื่องจาก
 โมเมนต์ดัดจะส่งผลกระทบทั้งต่อตัวของฐานและเสาเข็มเอง แล้วยังลามปามไปถึงตอม่อด้วย
 ตารางแสดงการหาจุด cg. ของกลุ่มเข็ม เพื่อใช้ประกอบการหาระยะเชิงศูนย์กลาง

เข็มต้นที่	A (ตร.ซม.)	ระยะในแนวแกน X (ซม.)	ระยะในแนวแกน Y (ซม.)	ΣAX	ΣAY
1	1,600	8.00	17.50	12,800	28,000
2	1,600	23.00	20.00	36,800	32,000
3	1,600	8.00	6.00	12,800	9,600
4	1,600	23.00	12.50	36,800	20,000
ผลรวม				99,200	89,600

ระยะ cg. ของกลุ่มเข็มตามแนวแกน X = $99,200/[4 \times 1,600] = 15.50$ ซม.

ระยะ cg. ของกลุ่มเข็มตามแนวแกน Y = $89,600/[4 \times 1,600] = 14.00$ ซม.



ดังนั้นระยะเยื้องศูนย์กลางตามแนวแกน X = 15.50 – 15.00 = 0.50 ซม.

ดังนั้นระยะเยื้องศูนย์กลางตามแนวแกน Y = 14.00 – 12.50 = 1.50 ซม.

ดังนั้นโมเมนต์ค้ำที่ จะนำไปเกิดแรงเพิ่ม (ทั้งแรงกดและแรงถอน) ในเสาเข็มแต่ละต้น (ในแต่ละทิศทาง) คือ

$$M_x = 200,000 \times 1.5 / 100 = 3,000 \text{ กก.-ม.}$$

$$M_y = 200,000 \times 0.5 / 100 = 1,000 \text{ กก.-ม.}$$

จากนั้นก็ออกแบบตามปกติคือ ออกแบบเป็นฐานรากเสาเข็มรับแรงตามแนวแกนร่วมกับ โมเมนต์ค้ำทั้งสองแนวแกน โดยเสาเข็มแต่ละต้นจะรับแรงหาได้จากสมการดังนี้

$$R = F/N \pm M_y X / \sum X^2 \pm M_x Y / \sum Y^2$$

3.การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบประมาณ ความสะดวกในการทำงานและระยะเวลาด้วย)

ขั้นตอนการตรวจสอบซึ่งควรตรวจสอบทั้งในส่วนของ

1.แรงกดอัด (และแรงถอนกรณีเกิดแรงดึง) ของเข็มแต่ละต้นว่าเกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่

2.ค่าความปลอดภัย (F.S.) ของเข็มแต่ละต้นด้วยว่ามีมากน้อยเพียงไร

3.ความหนาของ Cap beam อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงกดที่เพิ่มขึ้นจากโมเมนต์ค้ำ ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ค้ำ แรงเฉือนทั้งสองส่วน (ทั้งแบบคานกว้างและแบบเจาะทะลุ)

4.เหล็กเสริมอันเป็นผลเนื่องมาจากแรงกดที่เพิ่มขึ้น จากโมเมนต์ค้ำ ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ค้ำ

ขั้นตอนการแก้ปัญหา (กรณีเสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักบรรทุกไม่เกินที่กำหนดดังกล่าวข้างต้น)

1.ไม่ต้องแก้ไขใดๆหากในขั้นตอนของการตรวจสอบปรากฏผลว่าไม่มีปัญหา หรือ



2. นำผลที่ได้จากการตรวจสอบมาออกแบบใหม่ ซึ่งอาจเพิ่มเฉพาะความหนาของ Cap beam หรือ

3. อาจเพิ่มเฉพาะปริมาณของเหล็กเสริม หรือ

4. อาจทำร่วมกันระหว่างข้อ 2. และ 3.

ขั้นตอนการแก้ปัญหา (กรณีมีเสาเข็มบางต้นรับน้ำหนักบรรทุกเกินที่กำหนดดังกล่าวข้างต้น)

5. ออกแบบใหม่อาจทำได้โดยการขยายฐานรากใหม่ (เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการแต่งตัวเองให้มีเสถียรภาพหรือสมดุล) หรืออาจทำได้โดยเปลี่ยนไปใช้ฐานรากเสาเข็มประเภทอื่นที่สามารถช่วยกระจายโมเมนต์คัดได้ (เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการปรับลดเพดานของแรงลงด้วยการหาที่ระบาย)

เช่น ฐานรากแบบ Strap footing ฯลฯ

หมายเหตุ : อย่าลืมตรวจสอบเสาตอม่อ ด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงตอม่อเนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับตอม่อเป็นแบบ Rigid joint

ตัวอย่างที่ 4 กรณีเสาเข็มหัก (ในทางทฤษฎีดูมองว่ารับแรงไม่ได้แล้ว)

1. การวิเคราะห์ในเบื้องต้น (กระบวนการคล้ายตัวอย่างที่ 3)

1. หาระยะเยื้องศูนย์กลางเฉพาะเสาเข็มกลุ่มที่ไม่หัก เพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มกลุ่มที่ไม่หักยังสามารถรับน้ำหนักได้อยู่หรือไม่ (แต่ค่า F.S. ของเสาเองจะต้องอยู่ในกรอบที่ยอมรับได้ด้วย)

2. หาโมเมนต์คัดที่เกิดเฉพาะเสาเข็มกลุ่มที่ไม่หัก เพื่อตรวจสอบว่าความหนาของ Cap beam และปริมาณเหล็กเสริมยังสามารถรับแรงได้อยู่หรือไม่

หมายเหตุ : หากไม่ต้องการเสียเวลาในส่วนนี้ ก็ให้ไปทำการแก้ไขในข้อที่ 2. เลย



2.การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบ ความสะดวกในการทำงานและระยะเวลาด้วย)

ควรตรวจสอบซึ่งควรตรวจสอบทั้งในส่วนของ

- 1.แรงกดอัด (และแรงถอนกรณีเกิดแรงดึง) ของเข็มแต่ละต้นเฉพาะกลุ่มที่ไม่หักว่าเกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่ และค่าความปลอดภัย (F.S.) ของเข็มแต่ละต้นด้วยว่ามีมากน้อยเพียงไร
- 2.หากผลจากข้อ 1. ไม่เหมาะสมก็ต้องทำการแซมเสาเข็ม ซึ่งอาจแซมที่ต้นก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อตรวจสอบออกมาแล้ว เข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักบรรทุกไม่เกินที่กำหนด แต่โดยทั่วไปมักแซมจำนวนเท่ากับจำนวนที่หัก (หรืออาจแซมคู่ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาเพื่อรักษาสภาพสมดุลย์ของฐานรากซึ่งผมมองว่าดีมากทั้งระยะสั้นและระยะยาว แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นควรต้องพิจารณาองค์ประกอบ อื่นๆ ร่วมด้วยเมื่อทำงานจริง เช่น ค่าใช้จ่าย ระยะเวลาที่เพิ่ม) ซึ่งหลักการตอกแซมควรเลือกตำแหน่งที่เกิดการเอียงศูนย์น้อยสุดหรือไม่เอียงศูนย์เลยจะดีมาก ซึ่งวิธีการออกแบบจะต่างกันคือกรณีเอียงศูนย์จะคิดโมเมนต์เข้ามาร่วม แต่ถ้าไม่เอียงศูนย์จะคิดเฉพาะแรงตามแนวแกนเท่านั้น

หมายเหตุ : กรณีเอียงศูนย์อย่าลืมตรวจสอบเสาต่อม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่ง ไปถึงต่อม่อเนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับต่อม่อเป็นแบบ Rigid joint

ตัวอย่างที่ 5 กรณีเสาเข็มหลุดหรือไม่ได้ Blow (อาจมองว่ายังสามารถรับแรงได้หรือไม่ได้)

1.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

เมื่อมองว่ายังสามารถรับแรงได้ (กระบวนการคล้ายตัวอย่างที่ 3)

1.กรณีนี้ควรมีการตรวจสอบว่าเสาเข็มต้นดังกล่าวมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากน้อยเพียงใดเสียก่อน ก่อนที่จะดำเนินการขั้นต่อไป จากนั้นจึง

2.หาระยะเอียงศูนย์เฉพาะ เสาเข็ม (กรณีมีการเอียงศูนย์) เพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มกลุ่มยังสามารถรับน้ำหนักโดยรวมได้โดยปลอดภัยหรือไม่



3.หาโมเมนต์ที่เกิด (กรณีมีการเอียงศูนย์) เพื่อตรวจสอบว่าความหนาของ Cap beam และปริมาณเหล็กเสริมยังสามารถรับแรงได้อยู่หรือไม่

หมายเหตุ : หากไม่ต้องการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบในส่วนนี้ ก็ให้ไปทำการแก้ไขในขั้นต่อไปคือ

เมื่อมองว่าไม่สามารถรับแรงได้อีกแล้ว (กระบวนการเหมือนตัวอย่างที่ 4)

2.การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบ ความสะดวกในการทำงานและระยะเวลาด้วย)

ควรตรวจสอบดังนี้

เมื่อมองว่ายังสามารถรับแรงได้ มีกระบวนการเหมือนตัวอย่างที่ 3

เมื่อมองว่าไม่สามารถรับแรงได้อีกแล้ว มีกระบวนการเหมือนตัวอย่างที่ 4

หมายเหตุ : กรณีเอียงศูนย์อย่าลืมตรวจสอบเสาต่อม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงม่อเนื่องจากม่อ (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับม่อเป็นแบบ Rigid joint



รายการคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็มเอียงศูนย์ (เอียง) : กรณีเสาเข็มกลุ่ม

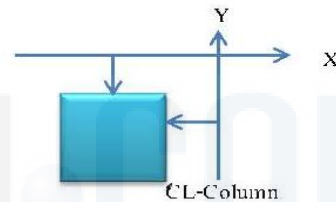
โครงการก่อสร้าง	-	โกดังน้ำตาล
สถานที่ก่อสร้าง	-	ต. คำบง อ.บ้านฝ่อ จ.อุดรธานี
วิศวกรผู้ออกแบบ	-	อ.เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก

ข้อมูลพื้นฐาน

1. เป็นฐานรากเสาเข็ม 2 ต้น
2. เสาเข็มขนาด คอร. [γ] 0.35 x 0.35 x 4.50 m.
3. รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 28 ตัน/ต้น
4. ครอบหัวเสาเข็มขนาด 70 x 170 x 50 cm., ระยะเวลาไม่ระบุ
5. เหล็กเสริมหลัก 5-DB 20 mm., เหล็กเสริมรอง 9-DB 16 mm
6. Dowel bar ระบุในหมายเหตุ 4-DB 16 mm. [L = 2 m.]

สภาพปัญหา

1. ที่ระดับตัดหัวเสาเข็ม เสาเข็มเอียงใน 2 ทิศทาง
2. เอียงตามแนวแกน X - -12 cm.
3. เอียงตามแนวแกน Y - -12 cm.



ต้องการตรวจสอบและแก้ไขจากผลของ

- การเพิ่มขึ้นของแรงรอง $M_x = [28 \times 1,000] \times [12/100] = 3,360 \text{ kg.-m. [Main]}$
 การเพิ่มขึ้นของแรงรอง $M_y = [28 \times 1,000] \times [12/100] = 3,360 \text{ kg.-m.}$

1. ตรวจสอบตัวเสาเข็ม : ความสามารถต้านแรงกดอัดอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของเสาเข็มเอง

1.1 โมเมนต์คดโค้งปลอดภัยที่เสาเข็มรับได้ $M = M_{cr}/FS = -2[8,046.13/2.50] = 6,436.90 \text{ kg.-m.}$

แต่โมเมนต์คดโค้งสูงสุดเนื่องจากการเอียงศูนย์ของเสาเข็ม $-M_y = 3,360 \text{ kg.-m.}$

ดังนั้น $M > M_y$ แสดงว่าเสาเข็มทั้ง 2 สามารถรับแรงคดโค้งกล่าวได้โดยปลอดภัย

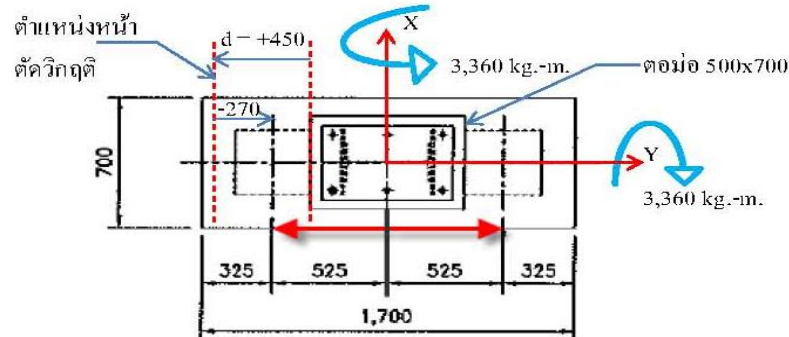
1.2 น้ำหนักกดอัดรวม $P = [55/2] + [3,360/(2 \times 0.525)^2] = 30.547 \text{ ตัน} > 28 \text{ ตัน/ต้น}$

น้ำหนักบรรทุกที่เกินมาคือ $30.547 - 28 = 2.54 \text{ ตัน}$ [ให้รับโดยครอบเข็มเป็น Bearing ในตัว]

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินในเขต พ.ท. จ.อุดรธานี 6 ตัน/ตร.ม.[สนง.โยธาฯ]

Bearing ที่ครอบเข็มรับได้คือ $[(0.70 \times 1.70) - (2 \times (0.35 \times 0.53))] \times 6 = 5.67 \text{ ตัน} > 2.54 \text{ ตัน}$

ดังนั้นฐานรากโดยรวมสามารถรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัยคือ $28 + 5.67 \text{ ตัน} > 30.547 \text{ ตัน}$



2. ตรวจสอบกรอบหัวเสาเข็ม : 70 x 170 x 50 cm. [$f_c' = 240$ ksc., $f_y = 3,000$ ksc.]...ตามแบบเดิม

2.1 ตรวจสอบ ความหนาเนื่องจาก M [$n = 8.71$, $k = 0.274$, $j = 0.909$, $R = 8.092$ ksc.]

โมเมนต์ดัดสูงสุดที่ขอบเสาเข็มคือ $30,547 \times [(0.525 - 0.12) - (0.70/2)] = 1,680.09$ kg.-m.

ต้องการความลึกประสิทธิภาพคือ $d = \sqrt{[(1,680.09 \times 100)/(8.092 \times 100)]} = 14.41$ cm.

ต้องการความหนารวมคือ $t_1 = 14.41 + 5 + (20/10)/2 = 20.41$ cm. < 50 cm. [ตามแบบเดิม]

ตรวจสอบ ความหนาเนื่องจากแรงเฉือน V [เมื่อ $V = (P/30)(15 \pm x)$] แบบคานกว้าง

$V = (30,547/30)(15 - 27) = -12.22$ ตัน...แสดงว่าไม่ต้องคิดผลจากแรงเฉือน [เพราะ $270 > 150$]

ดังนั้นความหนาคตามแบบเดิม 50 cm. > 21.34 cm. จึงยังคงสามารถรับแรงได้โดยปลอดภัย

2.2 ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริม

พ.ท. หน้าตัดเหล็กที่ต้องการคือ $A_s = (1,680.09 \times 100)/[1,500 \times 0.909 \times (50 - 6)] = 2.80$ cm.²/m.

จากเหล็ก DB 20 mm. 1 เส้นมีพื้นที่หน้าตัด = $[(22/7)(20/10)^2]/4 = 3.14$ cm.²/เส้น

แสดงว่าต้องใช้เหล็กข้ออ้อยทั้งหมด $N = 2.80/3.14 = 0.89$ say = 1 เส้น

ตามแบบใช้เหล็กเสริม 5-DB 20 mm แสดงว่ากรอบเสาเข็มสามารถรับแรงดัดได้โดยปลอดภัย

3. ความต่อเนื่องในการส่งถ่าย โมเมนต์ระหว่างเสาเข็มและกรอบเสาเข็ม [มุ่งที่ผลของแรงถอน]

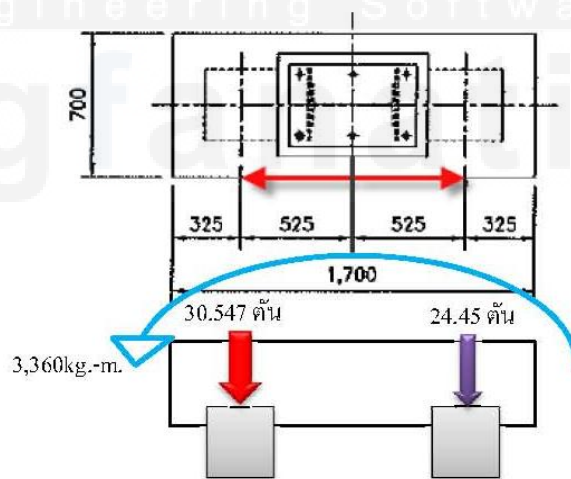
น้ำหนักกดอัตรรวม $P_1 = [55/2] + [3.360/(2 \times 0.525)^2] = +30.547$ ตัน [เป็นแรงอัด]

น้ำหนักถอนรวม $P_2 = [55/2] - [3.360/(2 \times 0.525)^2] = +24.45$ ตัน [เป็นแรงอัด]

จะเห็นว่าผลการเอียงศูนย์ไม่ทำให้เกิดแรงถอน (ค่าต้องคิดลบ -) นั้นหมายถึงไม่จำเป็นต้อง

เสริมเหล็ก Dowel bar แต่เพื่อความมั่นคงการเสริมเหล็กดังกล่าวตามแบบเดิม

จึงเป็นการช่วยเพิ่มความแข็งแรงของส่วนฐานที่ให้ดีขึ้น



สรุป จากผลการคำนวณตรวจสอบเชิงตัวเลขทางทฤษฎี แบบเป็นขั้นตอนและสามารถตรวจสอบเช็คได้ จะเห็นว่าตามแบบเดิมที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบมาโดยละเอียดแล้ว สามารถรองรับผลอันเกิดจากการดกเข็มเอียงศูนย์ได้โดยปลอดภัย ดังรายละเอียดทั้งหมดที่ได้แสดงมาแล้ว



รายการคำนวณแก้ไขฐานรากเสาเข็มเยื้องศูนย์กลาง (เอียง) : กรณีเสาเข็มเดี่ยว

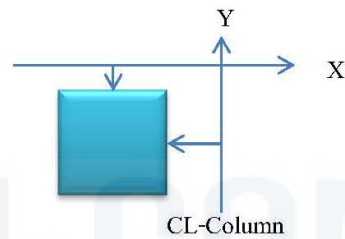
โครงการก่อสร้าง = โกดังน้ำตาด
 สถานที่ก่อสร้าง = ต. ค้าง อ.บ้านฝ่อ จ.อุดรธานี
 วิศวกรผู้ออกแบบ = อ.เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก

ข้อมูลพื้นฐาน

1. เป็นฐานรากเสาเข็มเดี่ยว
2. เสาเข็มขนาด คอ.ร. [/] 0.35 x 0.35 x 4.50 m.
3. รับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย 28 ตัน/ต้น [จริงๆ 25 ตัน แต่จะตรวจสอบที่ 28 ตัน]
4. ครอบหัวเสาเข็มขนาด 70 x 70 x 50 cm., เหล็กเสริม 5 x 5-DB 16 mm., ระยะอมไม่ระบุ
5. Dowel bar ระบุในหมายเหตุ 4-DB 16 mm. [L = 2 m.]

สภาพปัญหา

1. ที่ระดับตัดหัวเสาเข็ม เสาเข็มเอียงใน 2 ทิศทาง
2. เอียงตามแนวแกน X = -10 cm.
3. เอียงตามแนวแกน Y = -5 cm.



ต้องการตรวจสอบและแก้ไขจากผลของ

การเพิ่มขึ้นของแรงรอง $M_x = [28 \times 1,000] \times [5/100] = 1,400 \text{ kg.-m. [Min.]}$

การเพิ่มขึ้นของแรงรอง $M_y = [28 \times 1,000] \times [10/100] = 2,800 \text{ kg.-m. [Max.]}$

1. ตรวจสอบตัวเสาเข็ม : ความสามารถต้านแรงดัดอันเนื่องมาจากคุณสมบัติของเสาเข็มเอง

โมเมนต์แตกร้าวของเข็ม $M_{cr} = 8,046.13 \text{ kg.-m. [จากรายการคำนวณเสาเข็มตามทฤษฎี]}$

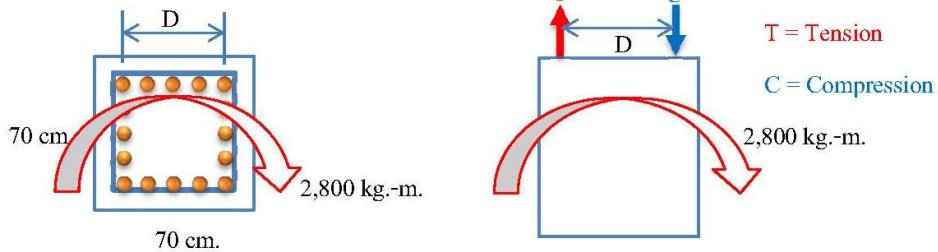
ใช้ค่าความปลอดภัย FS. = 2.50

โมเมนต์ดัดปลอดภัยที่เสาเข็มรับได้ $M = M_{cr}/FS. = 8,046.13/2.50 = 3,218.45 \text{ kg.-m.}$

แต่โมเมนต์ดัดสูงสุดเนื่องจากการเยื้องศูนย์กลางของเสาเข็ม = $M_y = 2,800 \text{ kg.-m.}$

ดังนั้น $M > M_y$ แสดงว่าเสาเข็มสามารถรับแรงดัดดังกล่าวได้โดยปลอดภัย

2. ตรวจสอบครอบหัวเสาเข็ม



จากรูป $M = TD = CD =$ โมเมนต์คู่ควบ [แรงดึงให้เหล็กรับ ส่วนแรงอัดให้คอนกรีตรับ]



ดังนั้นจะได้ว่า $T = M/D = [2,800 \times 100] / [70 - 10] = 4,666.67 \text{ kg.}$

จากกำลังรับแรงดึงปลอดภัยของเหล็กเสริม $f_s = 0.5F_y < 1,700 \text{ ksc.}$ [ใช้ SD-30]

ดังนั้นกำลังรับแรงดึงปลอดภัยของเหล็กเสริมนี้คือ $f_s = 0.50 \times 3,000 = 1,500 \text{ ksc.}$

แต่เหล็กข้ออ้อย 16 mm. 1เส้น จะรับแรงได้ $F_t = [0.50 \times 3,000] \times [(22/7)(16/10)^2] / 4$

$$F_t = 3,017.14 \text{ kg./1 เส้น}$$

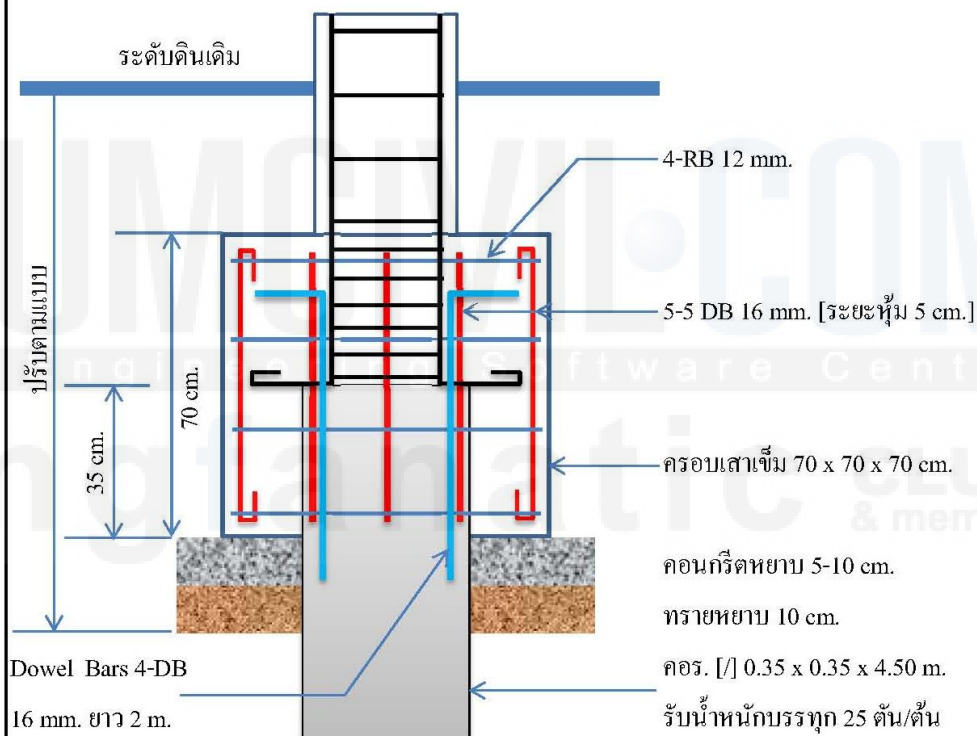
แสดงว่าต้องใช้เหล็กข้ออ้อยทั้งหมด $N = 4,666.67 / 3,017.14 = 1.55 \text{ say } = 2 \text{ เส้น}$

ตามแบบใช้เหล็กเสริม 5-DB 16 mm แสดงว่าครอบเสาเข็มสามารถรับแรงดึงได้โดยปลอดภัย

3. ความต่อเนื่องในการส่งถ่ายโมเมนต์

3.1 Detail ใช้ดังรูปที่แสดงแทนแบบเดิม เพราะแบบเดิมไม่อาจรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นได้

3.2 นอกจากระยะอมเสาเข็ม 35 cm. แล้ว ให้ใส่เหล็ก PC. Wire เข้าไปในครอบเสาเข็มด้วย



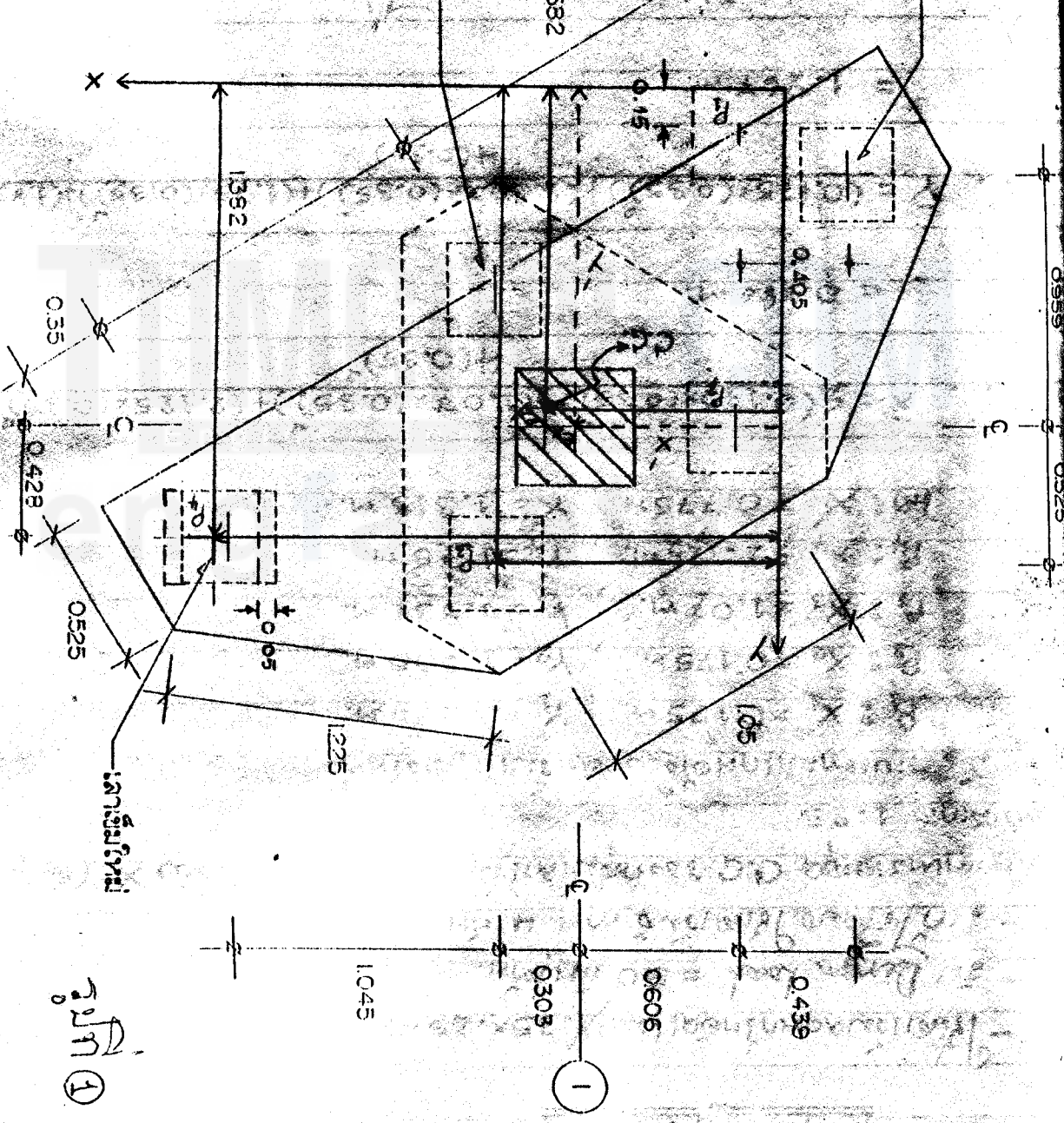
สรุป จากผลการคำนวณตรวจสอบเชิงตัวเลขทางทฤษฎี แบบเป็นขั้นตอนและสามารถตรวจเช็คได้ จะเห็นว่าตามแบบเดิมที่ผู้ออกแบบได้ออกแบบมาโดยละเอียดแล้ว สามารถรองรับผลอันเกิดจากการตอกเข็มเยื้องศูนย์กลางได้โดยปลอดภัย ดังรายละเอียดทั้งหมดที่ได้แสดงมาแล้ว



គម្រោងប្រតិបត្តិការសាងសង់



Handwritten mathematical calculations and notes in Khmer script, including formulas like $M = (4P)(e) = (4)(10)(0.1) = 4.0$.



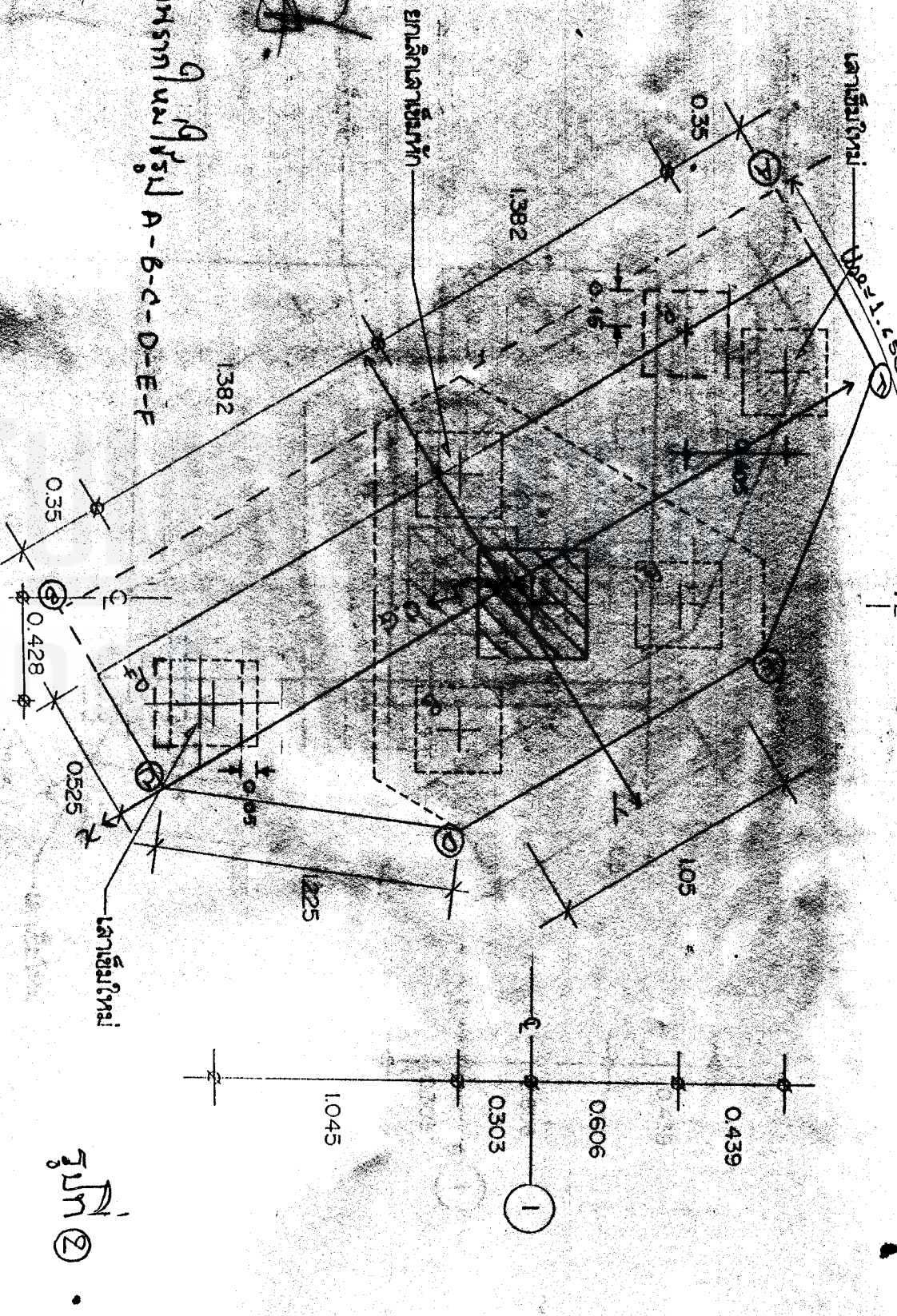
រូបភាព ១

ឈ្មោះ

ស្ថានភាពសាងសង់ : SHOP DRAWING

លេខប្រតិបត្តិការសាងសង់ : ១០-១, ១៤-១

១ : ២៥



แผนแปลร่างอาคารเดิมใหญ่
 A-B-C-D-E-F

วิศวกรผู้ตรวจสอบ

06 / 05 / 40

แบบ

แก้ไขเปลี่ยนแปลงฐานราก (F3) LINE ที่ (10-1), (14-1)

1:25

ผู้เขียน

นาย ชัยวัฒน์ มนูญประสิทธิ์ : SHOP DRAWINGS

5/8/40

การเคาะเสาเข็ม F3

- ใช้เสาเข็มขนาดหน้าตัด $\phi 35 \times 35 \times 17.5$ m.

- รับ Design Load = 50 ตัน/ต้น

- เกลาะโดยขุดใช้เสาเข็มจำนวน 4 ต้น

① ตำแหน่งทรานเชก C.G. ของกลุ่มเสาเข็ม โดยตั้งแกนอ้างอิง X-Y ดังรูป ①

ตามสเกล 1:25

ระยะตามแกนอ้างอิงของเข็มแต่ละต้นคือ

$$P_1: X_1 = 0.175 \text{ m.}, Y_1 = 0.175 \text{ m.}$$

$$P_2: X_2 = 0.175 \text{ m.}, Y_2 = 1.305 \text{ m.}$$

$$P_3: X_3 = 1.07 \text{ m.}, Y_3 = 1.838 \text{ m.}$$

$$P_4: X_4 = 2.125 \text{ m.}, Y_4 = 1.75 \text{ m.}$$

$$\text{เสากลาง: } X' = 0.775 \text{ m.}, Y' = 1.313 \text{ m.}$$

$$\bar{x} = \frac{2(0.175 \times (0.35)^2) + (1.07 \times (0.35)^2) + (2.125 \times (0.35)^2)}{4(0.35)^2}$$

$$= 0.886 \text{ m.}$$

$$\bar{y} = \frac{(0.175 \times (0.35)^2) + (1.305 \times (0.35)^2) + (1.75 \times (0.35)^2) + (1.838 \times (0.35)^2)}{4(0.35)^2}$$

$$= 1.267 \text{ m.}$$

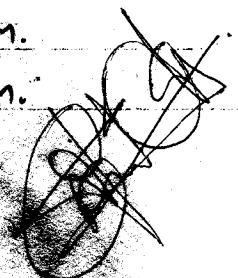
ระยะห่างของทรานเชก C.G. ของเสาเข็มแต่ละต้นจาก C.G. ของกลุ่มเสาเข็มคือ

$$e_x = |\bar{x} - X'| = |0.886 - 0.775| = 0.111 \text{ m.}$$

$$e_y = |\bar{y} - Y'| = |1.267 - 1.313| = 0.046 \text{ m.}$$

$$M_x = (4P)(e_y) = (4 \times 50)(0.046) = 9.20 \text{ T.-m.}$$

$$M_y = (4P)(e_x) = (4 \times 50)(0.111) = 22.20 \text{ T.-m.}$$



② คำนวณหาตำแหน่งที่จุดรวมมวลรวมแล้วแก้หา \bar{x} และ \bar{y} ในหน่วยรูปที่ ๑ ตามสเกล 1:25

∴ ระบุตามภาพของรูปแล้วแก้หา

$P_1 : x_1 = 1.188 \text{ m.}, y_1 = 0.543 \text{ m.}$

$P_2 : x_2 = 0.58 \text{ m.}, y_2 = 0.435 \text{ m.}$

$P_3 : x_3 = 0.47 \text{ m.}, y_3 = 0.415 \text{ m.}$

$P_4 : x_4 = 1.338 \text{ m.}, y_4 = 0.205 \text{ m.}$

$\Sigma x^2 = (1.188)^2 + (0.58)^2 + (0.47)^2 + (1.338)^2 = 3.759 \text{ m}^2$

$\Sigma y^2 = (0.543)^2 + (0.435)^2 + (0.415)^2 + (0.205)^2 = 0.698 \text{ m}^2$

จาก
$$\bar{P}' = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{\Sigma M_x Y}{\Sigma Y^2} \pm \frac{\Sigma M_y X}{\Sigma X^2}$$

$$\bar{P}'_1 = \frac{(200)}{4} + \frac{(9.20 \times 0.543)}{0.698} - \frac{(22.20 \times 1.188)}{3.759} = 35.827 \text{ T.}$$

$$\bar{P}'_2 = \frac{(200)}{4} + \frac{(9.20 \times 0.435)}{0.698} - \frac{(22.20 \times 0.58)}{3.759} = 52.308 \text{ T.}$$

$$\bar{P}'_3 = \frac{(200)}{4} + \frac{(9.20 \times 0.415)}{0.698} + \frac{(22.20 \times 0.47)}{3.759} = 58.246 \text{ T.}$$

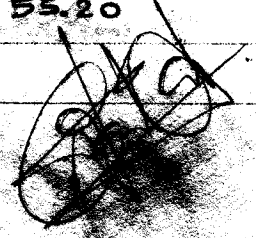
$$\bar{P}'_4 = \frac{(200)}{4} - \frac{(9.20 \times 0.205)}{0.698} + \frac{(22.20 \times 1.338)}{3.759} = 55.20 \text{ T.}$$

③ ตรวจสอบค่าความปลอดภัยในการรับน้ำหนักของเสาเข็มแต่ละต้น

3.1.) เหนือจากคุณสมบัติของเสาเข็มเดี่ยว (F.S. = 2.50)

$$F.S. \cdot \bar{P}'_1 = \frac{(2.5 \times 50)}{35.827} = 3.489, \quad F.S. \cdot \bar{P}'_2 = \frac{(2.5 \times 50)}{52.308} = 2.390$$

$$F.S. \cdot \bar{P}'_3 = \frac{(2.5 \times 50)}{58.246} = 2.146, \quad F.S. \cdot \bar{P}'_4 = \frac{(2.5 \times 50)}{55.20} = 2.264$$



3.2.) เพื่อหาขนาดของเสาเข็ม Dynamic Load Test (F.S. = 3)

$$F.S.P_1 = \frac{(3 \times 50)}{35.827} = 4.187, \quad F.S.P_2 = \frac{(3 \times 50)}{52.308} = 2.868$$

$$F.S.P_3 = \frac{(3 \times 50)}{58.246} = 2.575, \quad F.S.P_4 = \frac{(3 \times 50)}{55.20} = 2.717$$

๑) กำหนดหาขนาดของเสาเข็ม pile cap และขนาดเหล็กเสริมในเสาเข็ม

$$M_{max} = (58.246 \times 0.30) + (55.20 \times 1.138) = 80.291 \text{ T.-m}$$

$$V_{max} = 58.246 + 55.20 = 113.446 \text{ T.}$$

$$\therefore d = \sqrt{\frac{80.291 \times 1000}{12.708 \times 1.65}} = 61.881 \text{ cm. Say } = 75 \text{ cm.}$$

เลือกใช้เสาเข็มขนาด $t = 80 \text{ cm.}$, ขนาดเหล็กเสริมเส้นผ่าศูนย์กลาง $d = 75 \text{ cm.}$

ตรวจสอบขนาดของเสาเข็ม

๑) เสาเข็ม Width beam shear; V_d

$$\therefore V_d = \frac{55.20 \times 1000}{75 \times 165} = 4.461 \text{ ksc.} < 0.29 \sqrt{240}$$

OK

๒) เสาเข็ม punching shear; $V_{d/2}$

$$\therefore V_{d/2} = \frac{(55.20 + 35.827)(1000)}{(4(45 + 75))(75)} = 2.53 < 0.53$$

OK

หาขนาดเหล็กเสริมในเสาเข็ม

$$1). A_s = \frac{80.291 \times 1000 \times 100}{1700 \times 0.8948 \times 75} = 70.377 \text{ cm}^2$$

$$2). \epsilon_0 = \frac{113.446 \times 1000 \times \phi_{(cm)}}{35.477 \times 0.8948 \times 75} = 47.65 \phi_{(cm)} \text{ cm.}$$

เมื่อ ϕ = เส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มเส้นผ่าศูนย์กลาง; cm

