เอกสารประกอบการอบรมสัมมนา
(ระยะสั้น)

เทคนิกการออกแบบ
และ
การแก้ไขปัญหางานฐานราก

จัดโดย

โปรแกรมวิชา เทคโนโลยีก่อสร้าง คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี

ณ ห้อง 327 อาคาร 3 คณะวิทยาการจัดการ

ในวันที่ 24 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2550

พระราชดำรัสพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว (ร. ๙)

เศรษฐกิจพอเพียง เป็นเสมือนฐานรากของชีวิต

รากฐานความมั่นคงของแผ่นดิน เปรียบเสมือนเสาเข็ม

ที่ถูกตอกรองรับบ้านเรือนตัวอาคารไว้นั่นเอง

สิ่งก่อสร้างจะมั่นคงได้ก็อยู่ที่เสาเข็ม

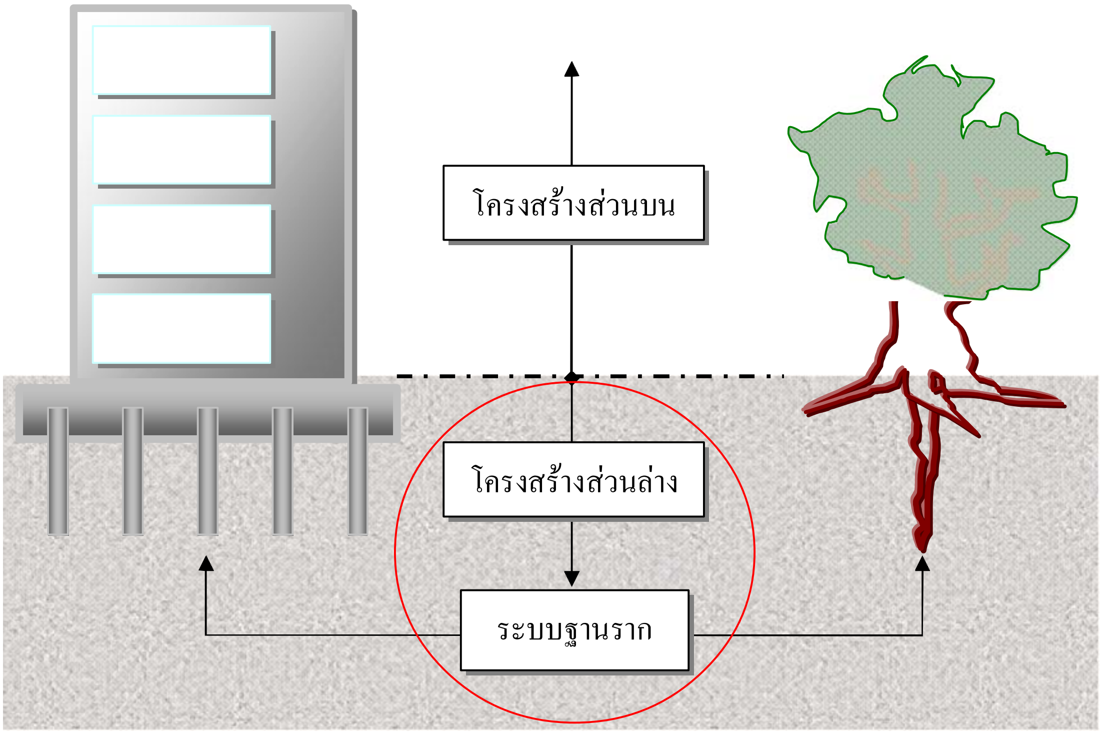
แต่คนส่วนมากมองไม่เห็นเสาเข็ม

และลืมเสาเข็มเสียด้วยซ้ำ

จากวารสารชัยพัฒนา ฉบับประจำเดือน สิงหาคม ๒๕๔๒

1 หลักทฤษฎีพื้นฐาน เกี่ยวกับดินและฐานราก

โครงสร้างอาคารในทางวิศวกรรมโยธา ประกอบด้วยโครงสร้างในสองส่วนหลัก (อาจแยกโดยใช้ระดับผิวดินเป็นตัววัด) ซึ่งแยกหน้าที่กันในการเกี่ยวพันธ์กับระบบแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง ประกอบด้วยโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) หรือโครงสร้างในส่วนที่อยู่เหนือระดับผิวดิน ซึ่งทำหน้าที่สำหรับรับระบบแรงที่กระทำต่อโครงสร้าง และโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) หรือโครงสร้างในส่วนที่อยู่ใต้ระดับผิวดินลงไป ทำหน้าที่สำหรับส่งถ่ายหรือกระจายแรงจากโครงสร้างส่วนบนเข้าสู่ระบบดินรองรับโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงการแบ่งโครงสร้างส่วนบนและส่วนล่าง (เสริมพันธ์, 2550)

1.ความหมายของคำว่า "ฐานราก"

1.1 ความหมายตามพจนานุกรม

คำนาม [N] Foundation; base; groundwork

คำเหมือน [Sync.] โครงสร้างรองรับ

นิยาม [Def.] ส่วนของโครงสร้างใต้ดินซึ่งทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างส่วนบนของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ

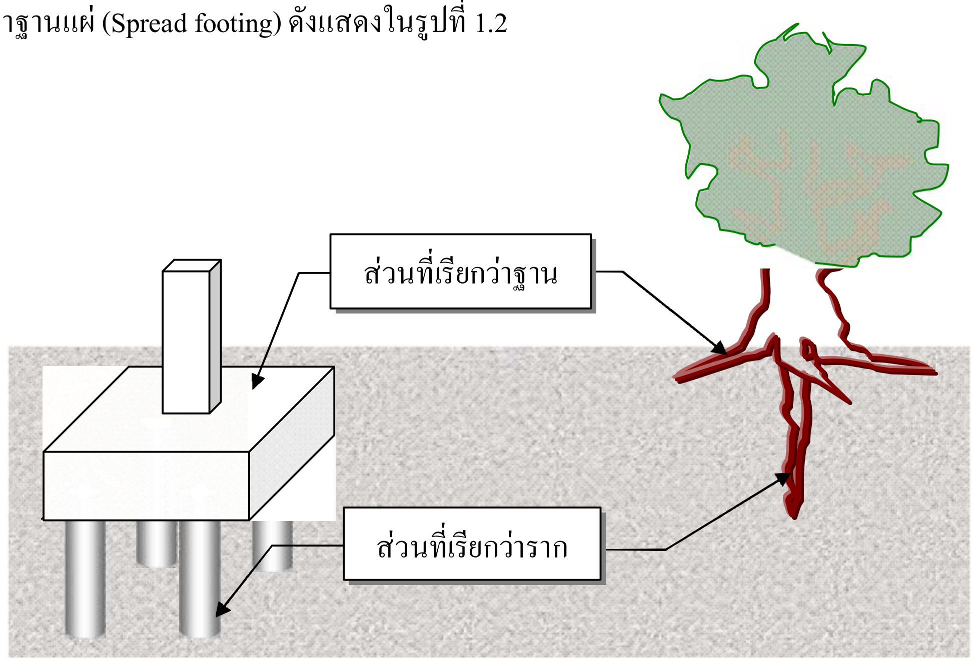
ตัวอย่าง [Sample.] อาคารนี้มีฐานรากมั่นคงแข็งแรงมาก

1.2 ความหมายตาม Sense engineer

คำว่า ***ฐาน*** คือ ส่วนของโครงสร้างที่รวมเอาน้ำหนักบรรทุกของโครงสร้างส่วนบนไว้ทั้งหมด แล้วแจกจ่ายไปยังโครงสร้างส่วนที่ทำหน้าที่ช่วยกระจายแรง

คำว่า ***ราก*** คือ ส่วนของโครงสร้างที่ช่วยกระจายแรงเข้าสู่ดินหรือหิน

ดังนั้นฐานรากในที่นี้หมายความเอาถึงโครงสร้างระบบฐานรากทั้งหมด แต่ผมกลับมองว่าคำดังกล่าวชี้ลงไปที่ฐานรากประเภทฐานรากเสาเข็ม (Pile footing) ส่วนฐานรากที่ไม่ใช่ฐานรากเสาเข็มเรียกว่าฐานแผ่ (Spread footing) ดังแสดงในรูปที่ 1.2



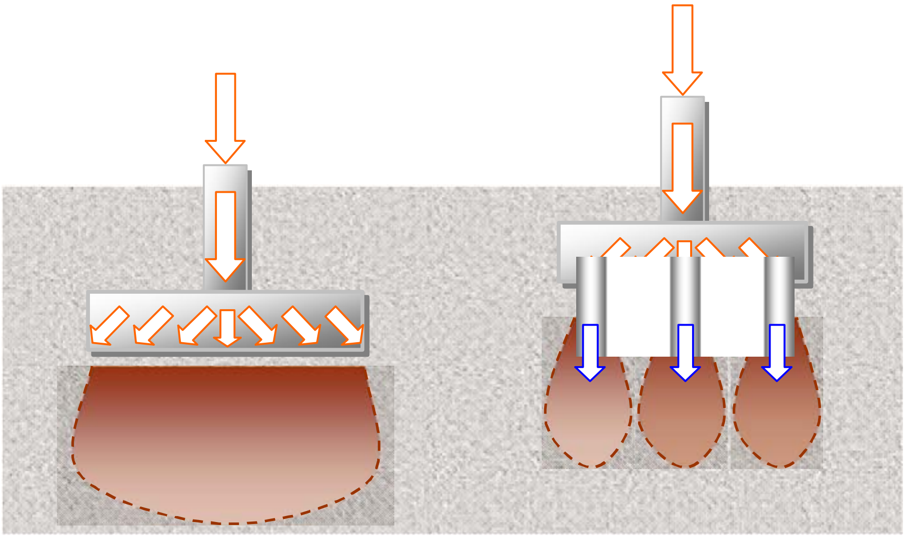
รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบฐานรากของโครงสร้างกับธรรมชาติ (เสริมพันธ์, 2550)

เพื่อความเข้าใจยิ่งขึ้นลองพิจารณาหลักความเป็นจริงตามธรรมชาติของระบบรากต้นไม้ ซึ่งประกอบไปด้วยต้นไม้ระบบรากแก้วและระบบรากฝอย ฐานรากประเภทฐานแผ่ก็เปรียบได้กับระบบรากฝอย ส่วนฐานรากประเภทฐานเสาเข็มเปรียบได้กับระบบรากแก้ว

ดังนั้นหากจะกล่าวเปรียบเทียบเทียบให้เห็นชัดเจยิ่งขึ้น จะเห็นว่าในส่วนของฐานรากแบบตื้นนั้นเลียนแบบตามพฤติกรรมโดยธรรมชาติระบบรากของพืชระบบรากฝอย ส่วนฐานรากลึกนั้นเลียนแบบตามพฤติกรรมโดยธรรมชาติระบบรากของพืชระบบรากแก้ว ดังแสดงในรูปที่ 1.5 และรูปที่ 1.7

2.หน้าที่ของฐานราก

เป็นโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) หรือโครงสร้างใต้ดินที่รองรับการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดจากโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) แล้วกระจายแรงหรือน้ำหนักบรรทุกเข้าสู่ดินหรือหินที่ฐานรากไปฝากอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การกระจายแรงของฐานรากเข้าสู่ดิน (เสริมพันธ์, 2550)

3.สิ่งที่เราคาดหวังจากดินหรือหินใต้ฐานราก

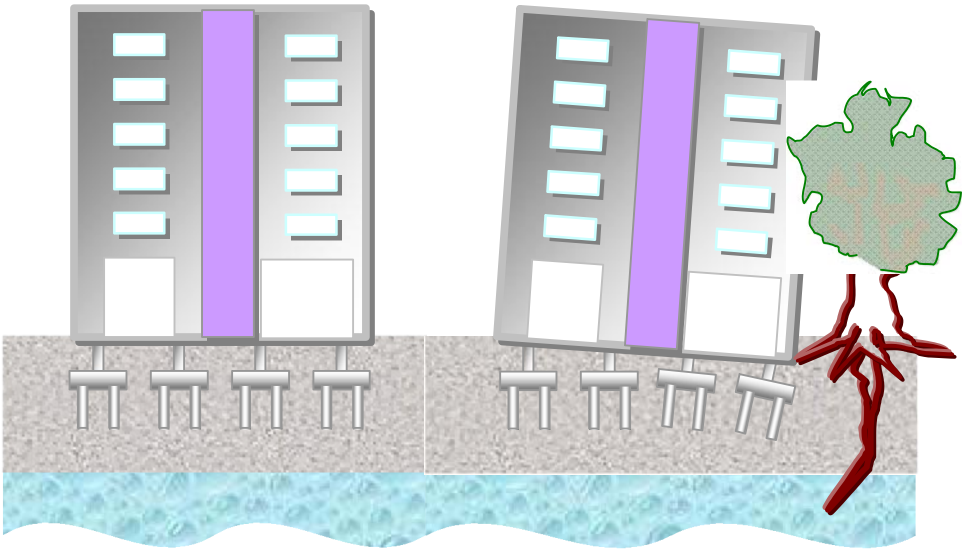
3.1 กำลังรับแรงแบกทาน (Bearing)

กำลังรับแรงแบกทานของดินใต้ฐานรากควรจะมีมากพอที่จะไม่ทำให้ระบบฐานรากที่ออกแบบวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

3.2 ค่าการทรุดตัว (Settlement)

การทรุดตัวทั้งหมด (Total settlement) ของฐานรากเดี่ยวๆ ไม่ควรเกิน 25 มม.

การทรุดตัวแตกต่าง (Differential settlement) ของฐานรากที่อยู่ใกลเคียงกันไม่ควรเกิน 20 มม.



รูปที่ 1.4 การทรุดตัวของโครงสร้าง (เสริมพันธ์, 2550)

4.ประเภทของฐานราก

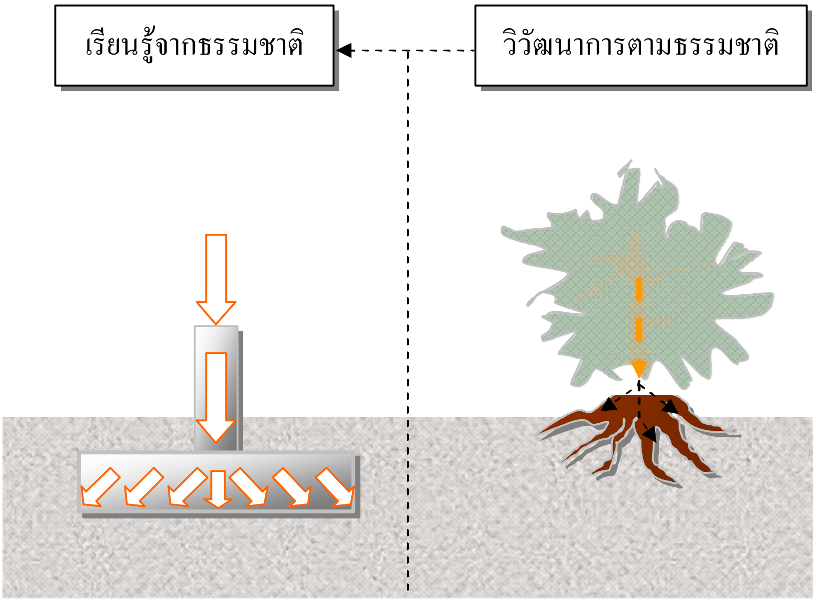
4.1 ฐานรากแบบตื้น (ฐานรากแผ่)

หมายถึงฐานรากที่มีระดับความลึกของการวางวัดจากระดับดินเดิมไม่มากกว่ามิติด้านยาวของฐานรากเอง ดังแสดงในรูปที่ 1.5

ทำหน้าที่แผ่หรือกระจายน้ำหนักจากเสาตอม่อ ซึ่งเป็นลักษณะของแรงกดกดที่เป็นกระจุก (เนื่องจากขนาดของเสาเอง) ให้แผ่ออกทั้งนี้เพื่อ

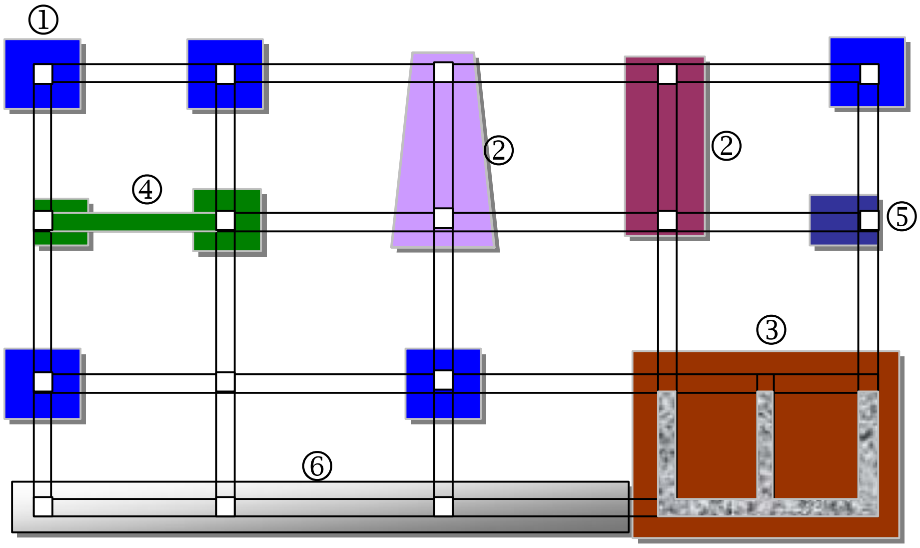
-ช่วยลดหรือบรรเทาหน่วยแรงตามแนวแกนให้มีหน่วยแรง (ความเข้มข้นของแรง) ที่กระทำต่อฐานของตอม่อลดลง ซึ่งทำได้โดยการเพิ่มพื้นที่รับแรงให้มากกว่าขนาดของตอม่อ ทั้งนี้เพราะวัสดุที่จะรองรับแรงของโครงสร้างทั้งหลังที่แท้จริงคือดิน และเนื่องจากโดยทั่วไปแล้วดินจะมีกำลังรับแรงได้ต่ำกว่าคอนกรีตเสริมเหล็ก การผ่อนหน่วยแรงลงจะช่วยทำให้มีแรงกระทำต่อดินตามกำลังความสามารถของดินในแต่ละที่ได้ รวมถึงช่วยทำให้ค่าการทรุดตัวรุนแรงน้อยลงอีกด้วย

-การลดความเข้มของหน่วยแรงก็โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของวิชากำลังวัสดุ คือ หน่วยแรง (อัด) ตามแนวแกน = แรงตามแนวแกน (P) / พื้นที่หน้าตัด (Ac) เมื่อเรามองว่าแรงมีค่าคงที่ดังนั้นการเพิ่มพื้นที่รับแรงก็จะเป็นการลดความเข้มของหน่วยแรงลงได้ ดังจะเห็นได้จากขนาดของฐานแผ่ซึ่งจะโตกว่าขนาดของเสาตอม่อเสมอ



รูปที่ 1.5 เปรียบเทียบระบบฐานแผ่กับธรรมชาติ (เสริมพันธ์, 2550)

ประเภทของฐานรากแบบตื้น ขึ้นอยู่กับผู้แบ่งว่าจะแบ่งอย่างไร เช่น ฐานรากเดี่ยวหรือฐานรากกลุ่ม (ฐานรากร่วม) ฐานรากสำหรับเสาต้นเดียวหรือฐานรากสำหรับเสาหลายต้น ซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆกัน ดังแสดงในรูปที่ 1.6 เช่น 1.ฐานแผ่เดี่ยว (Isolate footing) 2.ฐานแผ่รวม (Combine footing) 3.ฐานแพ (Raft footing) 4.Strap footing 5.ฐานตีนเป็ด 6.ฐานกำแพง (Wall footing)

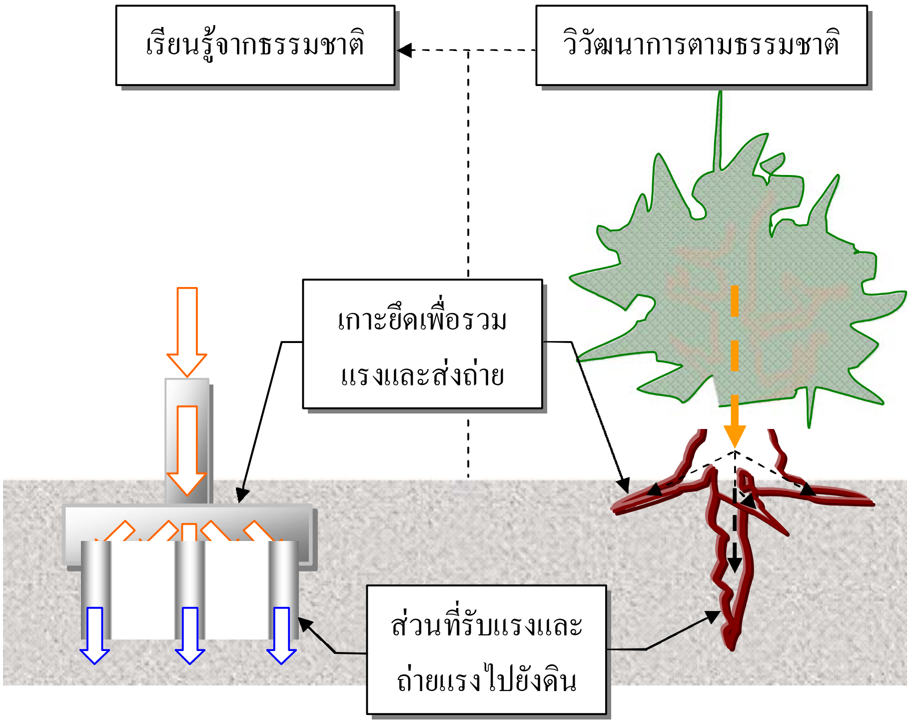


รูปที่ 1.6 ประเภทของฐานรากแบบตื้น (เสริมพันธ์, 2550)

4.2 ฐานรากแบบลึก (ฐานรากเสาเข็ม)

หมายถึงฐานรากที่ไม่สามรถวางวางตัวอยู่บนชั้นดินโดยอาศัยการแผ่กระจายแรงของส่วนฐานได้โดยปลอดภัย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรณีน้ำหนักบรรทุกของอาคารสูงมากๆ หรือดินมีสภาพที่อ่อนมาก จึงจำเป็นต้องส่งผ่านน้ำหนักบรรทุกดังกล่าวไปยังชั้นดินหรือหินแข็งที่อยู่ลึกลงไป โดยอาศัยเสาเข็มเป็นตัวส่งผ่าแรงดังกล่าวไปยังดินโดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 1.7 โดยแรงต้านทานที่เกิดกับเสาเข็มเป็นผลเนื่องมาจากแรงเสียดทานที่ผิวโดยรอบของเสาและแรงต้านที่ปลายของเสาเข็ม

ประเภทของฐานรากลึกแบ่งได้เช่นเดียวกันกับฐานแผ่ ต่างกันเพียงฐานรากลึกจะมีเสาเข็มเพิ่มเข้ามาประกอบด้วย ฐานรากเดี่ยวหรือฐานรากกลุ่ม (ฐานรากร่วม) ฐานรากสำหรับเสาต้นเดียวหรือฐานรากสำหรับเสาหลายต้น ซึ่งมีชื่อเรียกต่างๆกัน เช่น 1.ฐานแผ่เดี่ยว (Isolate footing) 2.ฐานแผ่รวม (Combine footing) 3.ฐานแพ (Raft footing) 4.Strap footing 5.ฐานตีนเป็ด 6.ฐานกำแพง (Wall footing)



รูปที่ 1.7 เปรียบเทียบระบบฐานเสาเข็มกับธรรมชาติ (เสริมพันธ์, 2550)

5.การเลือกใช้งานฐานราก

ขึ้นอยู่กับสภาพดินและน้ำหนักของโครงสร้างเป็นสำคัญ

5.1 กรณีน้ำหนักของโครงสร้าง

หากโครงสร้างที่มีน้ำหนักบรรทุกน้อยๆ เช่น อาคารที่พักอาศัย 1- 3 ชั้น การเลือกใช้ฐานรากแผ่ก็น่าที่จะประหยัดและสะดวกกว่า แต่ถ้าโครงสร้างที่มีน้ำหนักบรรทุกมากๆ เช่น อาคารโรงงาน อาคารเรียน อาคารสาธารณะ ห้องพัก โรงแรม ภัตตาคาร สนามกีฬา โรงมหรสพ หรือโครงสร้างที่ต้องรับแรงด้านข้างมากๆ เช่น โครงสร้างป้าย เสาส่งสัญญาณ เหล่านี้เป็นต้น การเลือกใช้ฐานรากลึกหรือฐานรากเสาเข็มน่าจะให้ความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ดีกว่าแม้ว่าจะสิ้นเปลืองงบประมาณที่มากกว่าก็ตาม

5.2 กรณีของสภาพดิน

เมื่อสภาพของดินเป็นเงื่อนไขหลัก เช่น ดินเหนียวอ่อน ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นอาคารขนาดใหญ่หรือเล็ก มีน้ำหนักบรรทุกมากหรือน้อยก็ตามฐานรากลึกหรือฐานรากเสาเข็มจะเป็นตัวเลือกแรกเสมอ แต่

ถ้าสภาพของดินดีฐานรากแผ่มักเป็นตัวเลือกแรกที่จะถูกใช้ แต่ตัวที่จะบอกว่าเมื่อไรถึงจะบอกผ่านฐานรากประเภทนี้เพื่อหนีไปใช้ฐานรากเสาเข็มนั้น ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อออกแบบมาแล้วขนาดของฐานมีความเหมาะสมหรือไม่ เช่น ใหญ่มากจนไม่สามารถทำงานได้โดยสะดวก เกิดค่าใช้จ่ายไม่สมเหตุสมผล เหล่านี้เป็นต้น

6.ความลึกของฐานราก

ในที่นี่หมายถึงความลึกที่สามารถรับน้ำหนักจากโครงสร้างส่วนบนได้โดยปลอดภัย โดยที่มีหน่วยแรงแบกทานไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ของดินบริเวณนั้น และไม่เกิดการทรุดตัวมากจนเกินกรอบความปลอดภัยที่กำหนดให้ ระดับความลึกที่จะกล่าวต่อไปนี้หมายถึงระดับความลึกของฐานรากประเภทฐานแผ่นเป็นสำคัญ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จาก

-การใช้ทฤษฎีของ Rankine

$D = [q/\gamma s][1-\sin\varnothing/1+\sin\varnothing]^2$

เมื่อ q = หน่วยแรงดันใต้ฐานราก

γs = หน่วยน้ำหนักของดิน

-จะต้องลึกต่ำกว่าระดับของชั้นหน้าดิน โคลน-ตมและอินทรียวัตถุ

-จะต้องลึกต่ำกว่าความลึกที่ดินจะถูกกัดเซาะได้

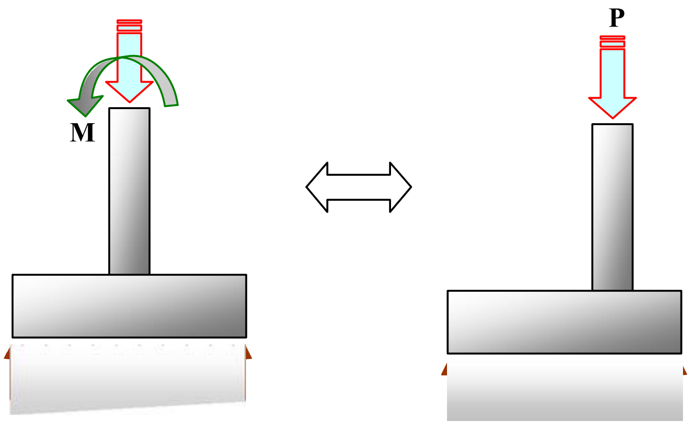
-ต้องไม่ลึกมากจนทำให้ทำงานไม่สะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย

7.การรับแรงของฐานราก

7.1 ฐานรากแผ่ (Spread footing)

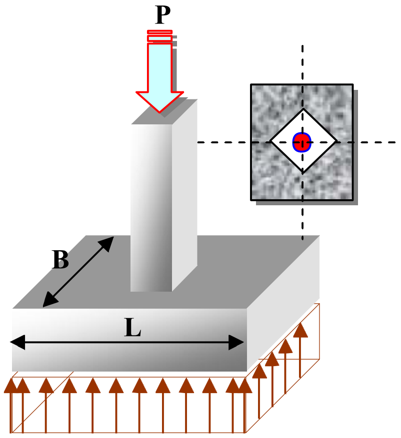
การกระจายแรงใต้ฐานรากแผ่ (เมื่อมองว่าฐานเป็น Rigid member)

ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นเพียงหลักการเบื้องต้นอย่างง่ายเท่านั้น กล่าวคือ เป็นการหาสมการการกระจายของหน่วยแรงใต้ฐานราก เมื่อมีการเยื้องศูนย์หรือมีโมเมนต์ดัดเพียงในแนวแกนเดียวเท่านั้น (แต่ถ้าหากมีกรณีดังกล่าวเกิดขึ้นในอีกแนวแกนพร้อมๆกันคือทั้งสองแนวแกน หลักการคิดก็ทำได้เช่นเดียวกัน โดยส่วนที่จะเพิ่มขึ้นมาในสมการคือสมการของหน่วยแรงดัด ดังนั้นในหนึ่งสมการจะมีอยู่ 3 เทอมคือ หน่วยแรงตามแนวแกน 1 เทอมและหน่วยแรงดัด 2 เทอม) ส่วนตำแหน่งแรงลัพธ์รวมที่กระทำใต้ฐานรากหาได้เช่นเดียวกันกับหลักการยุบแรงโดยใช้พื้นที่ของแรง (ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว) และเมื่อต้องการหาโมเมนต์เนื่องจากแรงดังกล่าว ให้ใช้โคนเสาตอม่อเป็นจุดหมุน (ไม่ว่ากรณีใดๆ)



รูปที่ 1.8 เปรียบเทียบการรับแรงของฐานรากแผ่ (เสริมพันธ์, 2550)

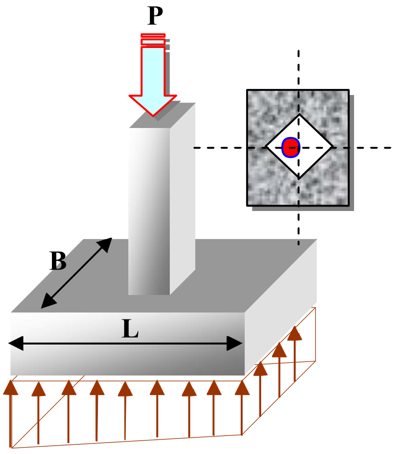
1. เมื่อมีเฉพาะแรง P กระทำตามแนวแกน (โดยจุด c.g. ของตอม่อและฐานรากตรงกัน)



กรณีเมื่อแรง P ผ่านจุด c.g. ของเสา

1. ระยะเยื้องศูนย์ (e) = 0
2. เกิดหน่วยแรงตามแนวแกนเท่านั้น

$q = P/[BL]$

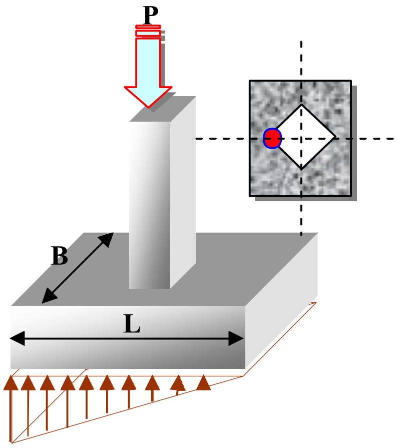


กรณีเมื่อแรง P ไม่ผ่านจุด c.g. ของเสา

1. ถ้าระยะเยื้องศูนย์ (e) < L/6
2. เกิดหน่วยแรงตามแนวแกนและหน่วยแรงดัด

$q_{max} = [P/(BL)] + [6M/(BL^2)]$

$q_{min} = [P/(BL)] - [6M/(BL^2)]$

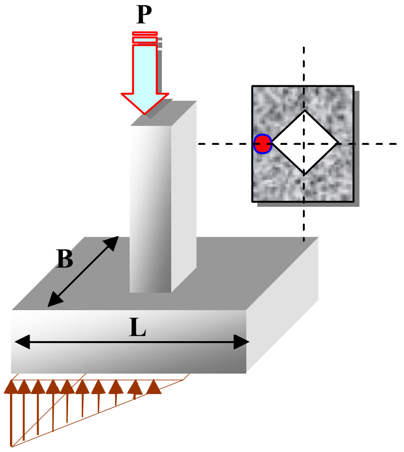


กรณีเมื่อแรง P ไม่ผ่านจุด c.g. ของเสา

1. ถ้าระยะเยื้องศูนย์ (e) = L/6
2. เกิดหน่วยแรงตามแนวแกนและหน่วยแรงดัด

q_{max} = [P/(BL)] + [6M/(BL^2)]

q_{min} = 0



กรณีเมื่อแรง P ไม่ผ่านจุด c.g. ของเสา

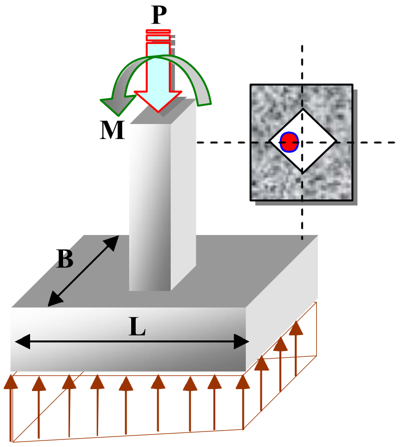
1. ถ้าระยะเยื้องศูนย์ (e) > L/6
2. เกิดหน่วยแรงตามแนวแกนและหน่วยแรงดัด

q_{max} = 4P/[3B(L-2e)]

q_{min} = 0

ระยะแผ่กระจาย = 3(L-2e)

2. เมื่อมีทั้งแรง P และ M กระทำตามแนวแกน (โดยจุด c.g. ของตอม่อและฐานรากตรงกัน)

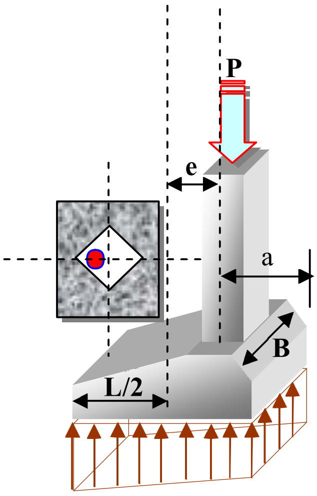


กรณีเมื่อมีแรงทั้ 2 ทำผ่านจุด c.g. ของเสา

1. หาระยะเยื้องศูนย์ได้จาก e = M/P
2. เกิดหน่วยแรงตามแนวแกนและหน่วยแรงดัด (หาได้เช่นเดียวกับด้านบนขึ้นอยู่กับค่า e)

q_{max}, q_{min} = [P/(BL)] ± [6M/(BL^2)]

3. เมื่อมีเฉพาะแรง P กระทำตามแนวแกน (โดยจุด c.g. ของตอม่อและฐานรากไม่ตรงกัน)



กรณีเมื่อมีแรงทั้ง 2 ทำผ่านจุด c.g. ของเสา

1. หาระยะเยื้องศูนย์ได้จาก e = M/P

2. เกิดหน่วยแรงตามแนวแกนและหน่วยแรงดัด (หาได้เช่นเดียวกับด้านบนขึ้นอยู่กับค่า e)

$$q_{max}, q_{min} = [P/(BL)] \pm [6M/(BL^2)]$$

โดยเมื่อ (e) > L/6

$$q_{max} = [2P/(3Ba)]$$

ระยะแผ่กระจาย = 3a

รูปที่ 1.9 การกระจายหน่วยแรงแบกทานใต้ฐานรากแผ่ (เสริมพันธ์, 2550)

7.2 ฐานรากเสาเข็ม (Pile footing)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม = แรงเสียดทานที่ผิว + แรงแบกทานที่ปลาย

Qu = Qf + Qb

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม = Qf/F.S. + Qb/F.S.

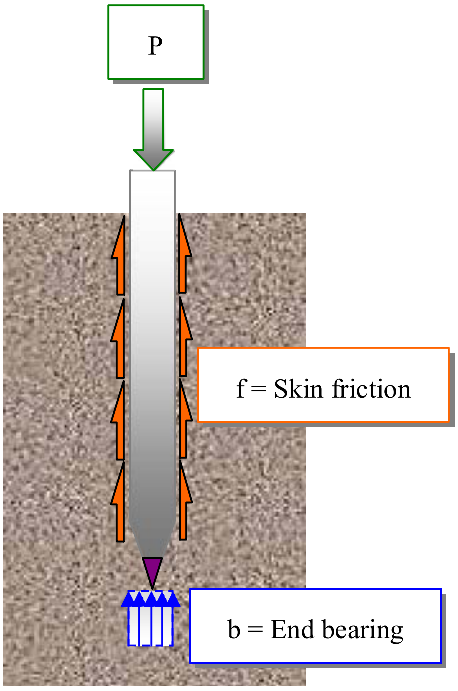
การรับแรง

1.เมื่อรับแรงอัด

$$Qall = fA_{(\text{พื้นที่ผิวเข็ม})} + bA_{(\text{rnhomujปลายเข็ม})}$$

2.เมื่อรับแรงดึง

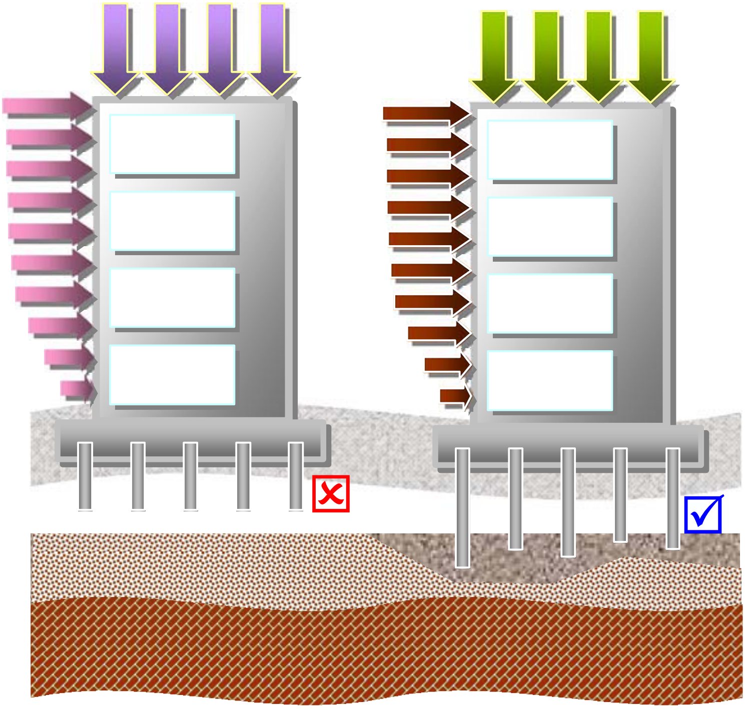
$$Qall = fA_{(\text{พื้นที่ผิวเข็ม})} + DL$$



รูปที่ 1.10 การรับแรงของเสาเข็ม (เสริมพันธ์, 2550)

8.ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับดิน

ดินเป็นวัสดุที่เกิดโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ดังนั้นรูปแบบการวางตัวของชั้นดินโดยเฉพาะชั้นดินชนิดเดียวกันย่อมวางอยู่ที่ระดับความลึกจากผิวดินแตกต่างกันไปแม้ว่าจะวัดที่ระยะห่างกันไม่กี่เซ็นติเมตรก็ตาม นั้นเป็นการบอกให้เราทราบในเบื้องต้นว่าระดับการวางตัวของฐานรากในอาคารเดียวกันควรต้องวางไว้ที่ระดับของชั้นดินเดียวกัน ซึ่งแสดงว่าในอาคารเดียวกันความลึกของระดับฐานรากไม่จำเป็นต้องเท่ากัน



รูปที่ 1.11 ความลึกของการวางเสาเข็ม (เสริมพันธ์, 2550)

8.1 การแบ่งหมวดหมู่ของดิน

โดยทั่วไปแล้วดินเป็นวัสดุประกอบ (Compound materials) ในมวลดินหนึ่งก้อนประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักๆคือส่วนที่เป็นของแข็งและช่องว่าง (อัตราส่วนของปริมาตรส่วนช่องว่างต่อปริมาตรส่วนของแข็ง เรียกว่า Void ratio หรืออัตราส่วนช่องว่างในมวลดิน) ส่วนที่เป็นของแข็งคือเม็ดดินกลุ่มต่างๆ และส่วนที่เป็นช่องว่างคือของเหลวหรือน้ำและก๊าซหหรืออากาศ แต่หลักๆในทางวิศวกรรมส่วนที่เป็นของแข็งแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มโดยใช้ขนาดของเม็ดดินเป็นเกณฑ์ คือ

1. ดินเหนียว (Clay) มีขนาดของเม็ดดินเล็กกว่า 0.002 มม.
2. ดินตะกอนหรือทรายแป้ง (Silt) มีขนาดของเม็ดดินอยู่ในช่วง 0.002 มม. ถึง 0.06 มม.
3. ดินทราย (Sand) มีขนาดของเม็ดดินอยู่ในช่วง 0.06 มม. ถึง 2.00 มม.
4. กรวด (Gravel) มีขนาดของเม็ดดินที่โตกว่า 2.00 มม. ไปจนถึง 60.00 มม.

นอกจากนี้ทั้ง 4 กลุ่มยังมีการจัดแบ่งประเภทออกเป็นอีก 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ ประเภทที่หนึ่งแบ่งตามขนาดความละเอียดของเม็ดดิน ประกอบด้วยดินเม็ดละเอียด (Fine grain) และดินเม็ดหยาบ

(Course grain) ประเภทที่สองแบ่งตามคุณสมบัติการยึดเกาะของเม็ดดิน ประกอบด้วยดินที่มีความเชื่อมแน่น (Cohesion) และดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless) โดย

ดินเม็ดละเอียดคือดินที่มีขนาดร่อนผ่านตระแกรงร่อนเบอร์ 200 ประกอบด้วยดินเหนียวและดินทราย

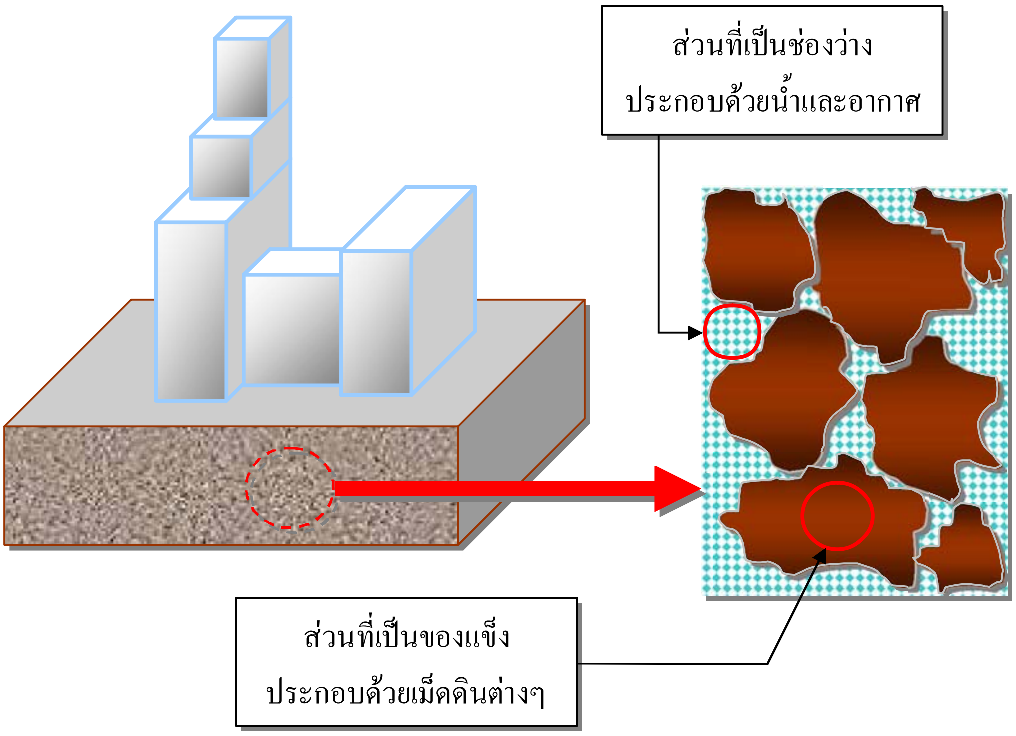
ดินเม็ดหยาบคือดินที่มีขนาดร่อนค้างบนตระแกรงร่อนเบอร์ 200 ประกอบด้วยทรายและกรวด

ดินที่มีความเชื่อมแน่น ประกอบด้วยดินเหนียว

ดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ประกอบด้วยดินตะกอนหรือทรายแป้ง ดินทราย และกรวด

แบ่งตามขีดจำกัดของความเหนียว (Limit of consistency) ประกอบด้วย Liquid limit, Plastic limit, Shrinkage limit และ Solid limit

8.2 คุณสมบัติเบื้องต้นของดิน



รูปที่ 1.12 ส่วนประกอบของมวลดิน (เสริมพันธ์, 2550)

-ความสามารถในการยุบอัดตัวได้ (Compressibility)

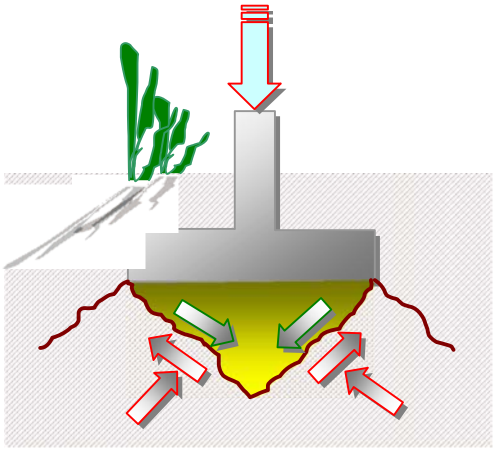
ดินเมื่อมีแรงมากดอัดสามารถยุบตัวได้ ในการยุบตัวดังกล่าวส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปคือปริมาตรในส่วนที่เป็นช่องว่างซึ่งเป็นส่วนที่น้ำและอากาศอยู่ ขณะที่ปริมาตรในส่วนที่เป็นของแข็งยังคงเดิมแต่จะมีการเคลื่อนที่ของเม็ดดินเข้าไปแทนที่ส่วนที่เป็นช่องว่าง ดังนั้นหากดินได้รับแรงกดอัดแล้วส่วนของอากาศถูกไล่ออกจากช่องว่างพฤติกรรมอย่างนี้เราเรียกว่าการบดอัด (Compaction) ขณะเดียวกันหากส่วนของน้ำถูกไล่ออกจากช่องว่างพฤติกรรมอย่างนี้เราเรียกว่าการยุบอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)

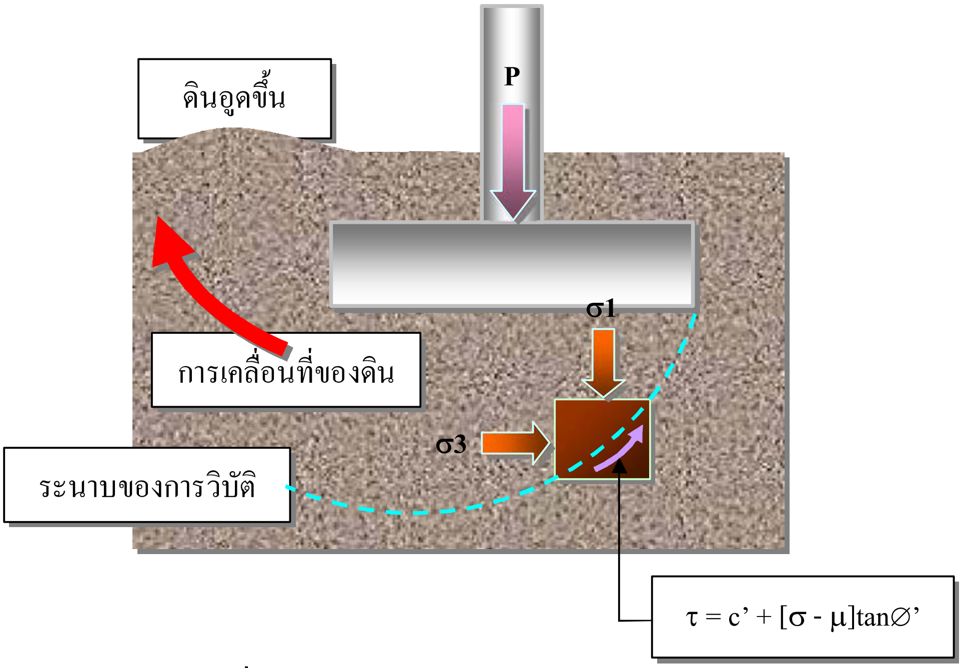
-ความสามารถในการซึมผ่านได้ (Permeability)

การซึมผ่านของน้ำในดินจะเป็นการไหลผ่านมวลดินในส่วนที่เป็นช่องว่าง ดังนั้นกลุ่มของดินเม็ดหยาบการซึมผ่านของน้ำย่อมดีกว่ากลุ่มดินเม็ดละเอียด ทั้งนี้เพราะมีส่วนที่เป็นช่องว่างมากกว่า (โตกว่า) ซึ่งการซึมผ่านของน้ำนอกจากจะดีกว่าและเร็วกว่าแล้วการยุบอัดตัวยังเร็วกว่าด้วย

8.3 กำลังของดิน (Strength of soil)

ในที่นี้หมายถึงหน่วยแรงเฉือนประลัย (Ultimate shearing stress, τ) หรือที่นิยมเรียกกันว่ากำลังรับแรงเฉือน (Shear strength) ซึ่งเป็นความสามารถในการรับแรงได้ของมวลดินก่อนที่จะเกิดการวิบัติ ซึ่งการวิบัติจะเป็นไปในลักษณะของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กันของมวลดินในสองส่วนตามระนาบการวิบัติ

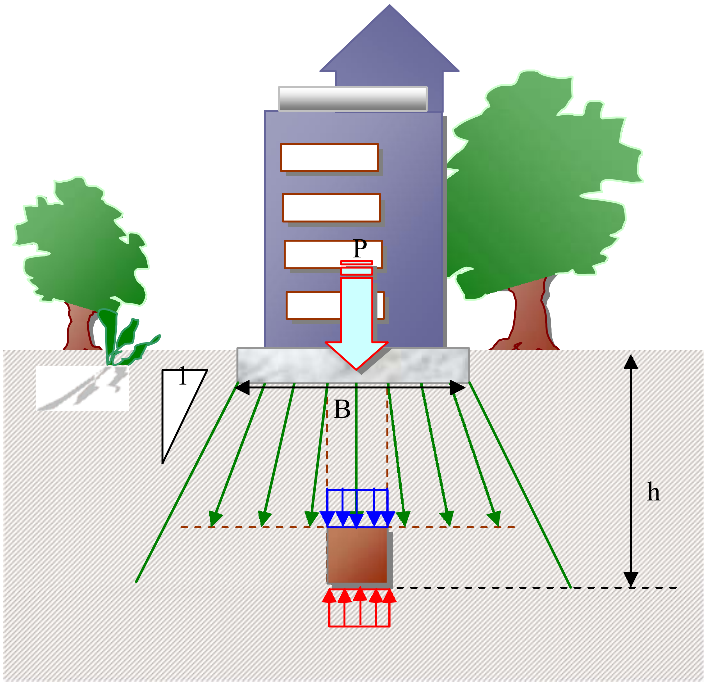




รูปที่ 1.13 การรับแรงของดิน (เสริมพันธ์, 2550)

หน่วยแรงกดทับในแนวดิ่งที่เกิดในมวลดินที่ความลึกใดๆประกอบด้วย หน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักของมวลดินที่อยู่เหนือระดับที่พิจารณา (q_o) และหน่วยแรงเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้าง (q_s) ที่กดทับ

หน่วยแรงกดทับในแนวดิ่ง = $q_o + q_s = \gamma_s h + P/[B+h]$

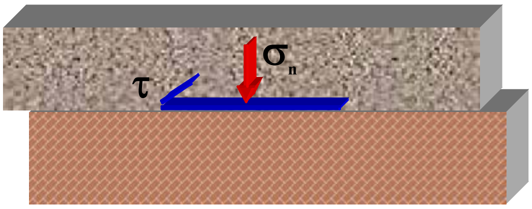


รูปที่ 1.14 การกระจายแรงใต้โครงสร้าง (เสริมพันธ์, 2550)

กำลังของดินจะไม่เหมือนกับวัสดุอื่นอย่างเช่น คอนกรีต, ไม้, เหล็ก กล่าวคือ จะมีค่าไม่ค่อยคงที่ โดยที่มาของกำลังรับแรงเฉือนประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

ส่วนที่หนึ่งมาจากแรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากความเหนียว (Cohesion, c) ของดินเหนียว และส่วนที่สองมาจากแรงเสียดทานภายในเนื่องจากการขัดกัน (Intergranular friction) ของดินเม็ดหยาบ (Granular) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sigma_n \tan\varnothing$ โดยพฤติกรรมของการระบาย (Drain) หรือ ไม่ระบาย (Undrain) ของน้ำออกจากมวลดินมีผลโดยตรงต่อกำลังรับแรงเฉือน ทั้งนี้เพราะค่าความเหนียวและมุมเสียดทานภายในจะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณความชื้นในดิน (Moisture content) และนอกจากนี้ผลของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่กระทำ (Load) ยังส่งผลโดยตรงต่อค่าของมุมเสียดทานภายใน ทั้งนี้เพราะการเปลี่ยนแปลงของแรง เช่น มีแรงกดอัดเพิ่มจะทำให้ดินเม็ดหยาบเคลื่อนชิดเข้าหากันมากขึ้น ดังนั้นการขัดกันภายในของดินเม็ดหยาบจึงเพิ่มขึ้นทำให้มีกำลังต้านทานแรงเฉือนได้สูงขึ้น ตรงกันข้ามกับกรณีของดินเม็ดละเอียดการเพิ่มขึ้นของแรงกดอัดไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังต้านทานแรงเฉือนทั้งนี้

เพราะค่า c จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตามแรงที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งกำลังของดินสามารถเขียนได้อยู่ในรูป



รูปที่ 1.15 การรับแรงของมวลดิน (เสริมพันธ์, 2550)

$$\tau = c + \sigma_n \tan\varnothing$$ = แรงต้านของดินเม็ดละเอียด + แรงต้านของดินเม็ดหยาบ

เมื่อ

τ = กำลังรับแรงเฉือน (กำลังของดิน)

c = แรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากความเหนียว (เป็นตัวแปรที่ไม่ใช่ค่าคงที่ของดิน...ขึ้นอยู่กับค่า Moisture content ของดิน)

$\varnothing$ = มุมเสียดทานภายใน (เป็นตัวแปรที่ไม่ใช่ค่าคงที่ของดิน...ขึ้นอยู่กับค่า Moisture content ของดิน)

$\tan\varnothing$ = สัมประสิทธิ์ของแรงเสียดทาน

หมายเหตุ : ในที่นี้ดินเม็ดละเอียดใช้ตัวแทนคือดินเหนียว (Clay) ส่วนดินเม็ดหยาบใช้ตัวแทนคือดินทราย (Sand)

8.4 จากสมการข้างต้นที่มาของค่า c, $\varnothing$

หาได้จากการทดสอบ อาจจะเป็นการทดสอบเบื้องต้นในสนาม เช่น Vane shear, Standard penetration test (SPT.), หรือทดสอบในห้องทดลองก็ได้ เช่น การทดสอบ Direct shear, Unconfined compression, Triaxial compression ซึ่งหากผลการจำแนกดินปรากฏว่าเป็นดินเหนียวดังนั้นค่า $\varnothing = 0$ (จะได้ $s = c$) แต่ถ้าหากปรากฏว่าเป็นดินทรายดังนั้นค่า $c = 0$ (จะได้ $s = \sigma_n \tan\varnothing$)

สำหรับดินเหนียว :

แรงยึดเหนี่ยวเนื่องจากความเหนียว (c) มักหามาได้จากผลการทดสอบแรงอัดตามแนวแกนโดยการทดสอบ Unconfined compression โดยหน่วยแรงอัดที่ได้เรียกว่า "Unconfined compressive strength (q_u) ดังนั้น

$$c = q_u/2$$

สำหรับดินทราย :

มุมเสียดทานภายใน (∅) มักหามาได้จากผลการทดสอบ Standard penetration โดยจำนวนครั้งของการยกลูกตุ้มเหล็ก (หนัก 63.5 กิโลกรัม ยกสูง 0.76 เมตร) ตอกต่อระยะจมหรือทรุด 0.30 เมตรซึ่งเรียกว่า "Blow count, N" สามารถนำมาทำนายหรือหาความสัมพันธ์กับมุมเสียดทานภายในได้ดังนั้น

$$\varnothing = (N/4) + 28$$

9.การทรุดตัวของฐานราก (Foundation settlement)

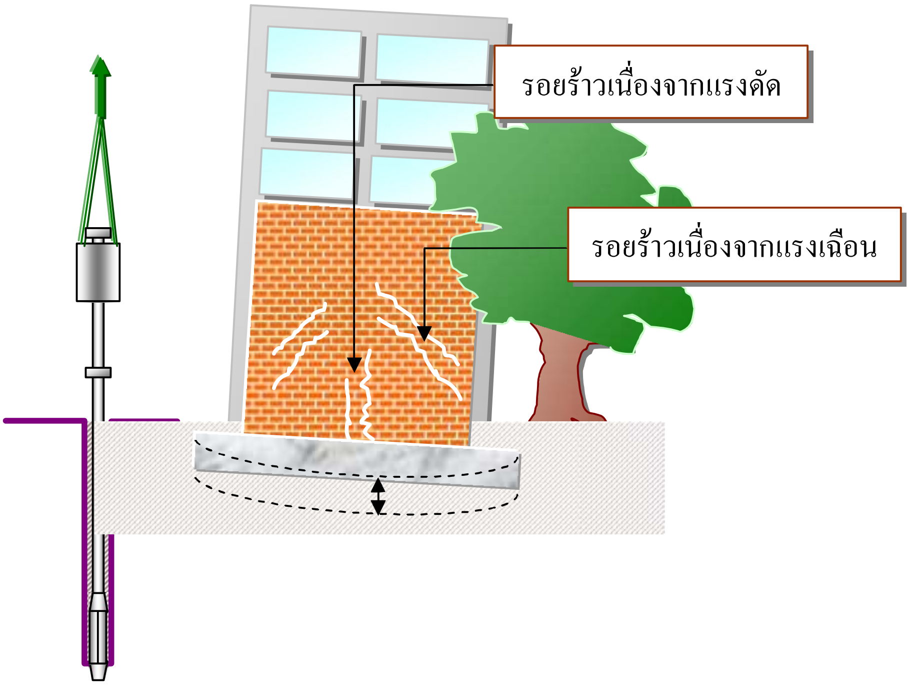
9.1 ผลของการทรุด (ยุบ) ตัวของดินต่อโครงสร้างอาคาร (ผู้กระทำ)

แท้ที่จริงการทรุดตัวของฐานรากเป็นการยุบตัวของดินใต้ระบบฐานรากเมื่อมีแรงกดหนักๆ ฐานรากซึ่งวางอยู่บนดิน (ในดิน) หรือในอีกแง่หนึ่งคือเกาะอยู่กับดิน ดังนั้นเมื่อดินส่วนที่เกี่ยวเนื่องกับการพยุงฐานรากเคลื่อนตัว (ยุบและอัดตัว) ฐานรากก็จำต้องติดสอยห้อยตามไปด้วยเสมอ

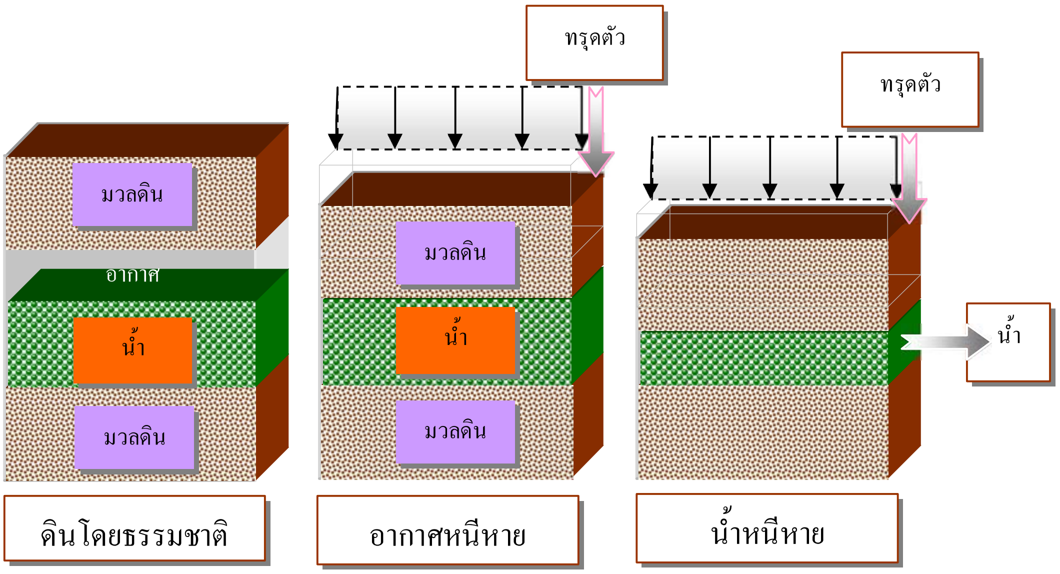
ถ้าดินส่วนที่เกี่ยวเนื่องกับการพยุงฐานรากมีการยุบตัวโดยทั่วถึงซึ่งกันและกันอย่างเสมอหน้า (ซึ่งมันเป็นไปไม่ได้อยู่แล้ว) รอยร้าวหรือการเสียหายต่างๆต่อโครงสร้างก็ไม่น่าจะมี แต่ถ้าหากดินในส่วนดังกล่าวยุบตัวไม่เสมอภาคกัน ผลคือ (อาการแสดงออกในเบื้องต้น) จะเกิดรอยร้าวขึ้นในบริเวณส่วนที่อ่อนแอที่สุด เช่น วัสดุตกแต่งและผนัง ซึ่งรอยร้าวดังกล่าวมักเป็นเส้นเดี่ยวๆ ลึก (ไม่ใช่รอยร้าวแค่ปูนฉาบ) มีทิศทางที่แน่นอน และจะขยายกว้างขึ้นเรื่อยๆ ประกอบด้วย ร้อยร้าวเนื่องจากการดัด (Flexural crack) และรอยร้าวเนื่องจากการเฉือน (Shear crack)

9.2 ผลของการทรุด (ยุบ) ตัวของดินต่อโครงสร้างเม็ดดิน (ผู้ถูกกระทำ)

เมื่อมีน้ำหนักใดๆไปกดทับดิน นั้นหมายถึงเป็นการเพิ่มแรงบีบอัดหรือหน่วยแรงของดินในบริเวณดังกล่าว ผลคืออัตราส่วนช่องว่างมวลดิน (Void ratio) ลดลงพร้อมกับมีน้ำบางส่วนถูกบีบออกจากช่องว่างไปด้วย (น้ำที่อยู่ในช่องว่างของมวลดินหากมีการปิดกั้นหรือป้องกันไม่ให้วิ่งหนี้ไปจากช่องว่างได้การทรุดตัวก็ไม่น่าจะเกิดขึ้นได้) ในกรณีของดินทรายทันทีที่มีการก่อสร้างเสร็จและเริ่มใช้อาคาร การทรุดตัวแบบทันทีทันใด (Immediately settlement) จะเกิดโดยสมบูรณ์ ทั้งนี้เนื่องจากดินทรายมีค่าการซึมผ่านของน้ำได้ (Permeable) สูง ไม่เหมือนกับในกรณีของดินเหนียวการทรุดตัวค่อนข้างใช้เวลานาน ทั้งนี้เนื่องจากดินเหนียวมีค่าการซึมผ่านของน้ำได้ต่ำ ซึ่งการทรุดตัวแล้วทำให้เกิดการอัดตัวของชั้นดินเหนียวเรียกว่า “การอัดตัวคายน้ำ (Consolidation)”



รูปที่ 1.16 ผลของการทรุดตัวของฐานราก (เสริมพันธ์, 2550)



รูปที่ 1.17 พฤติกรรมของมวลดินเมื่อเกิดการทรุดตัว (เสริมพันธ์, 2550)

9.3 การทรุดตัวที่แตกต่างกันของฐานราก (Differential settlement)

นอกจากผลที่แสดงออกให้เห็นในส่วนที่อ่อนแอที่สุดคือมีรอยร้าวปรากฏเป็นแนวเฉียงที่ผนังแล้ว (ค่อนไปทาง 45 องศา) ยังส่งผลต่อโครงสร้างส่วนที่แข็งแรง (คาน-เสา) กล่าวคือคานเกิดการดัดในลักษณะโค้งดัดกลับ ทำให้มีการปรับเปลี่ยนหรือกระจายโมเมนต์ขึ้นใหม่ในคาน (Moment redistribution) และค่าโดยประมาณของการทรุดตัวที่ต่างกันของฐานรากที่อยู่ชิดกันหาได้จาก Δ/L

$$M = \Delta[6IE/L^2]$$

$\Delta/L < 0.002$ สำหรับ Moment Frame

$\Delta/L < 0.005$ สำหรับ Simple Frame

เมื่อ

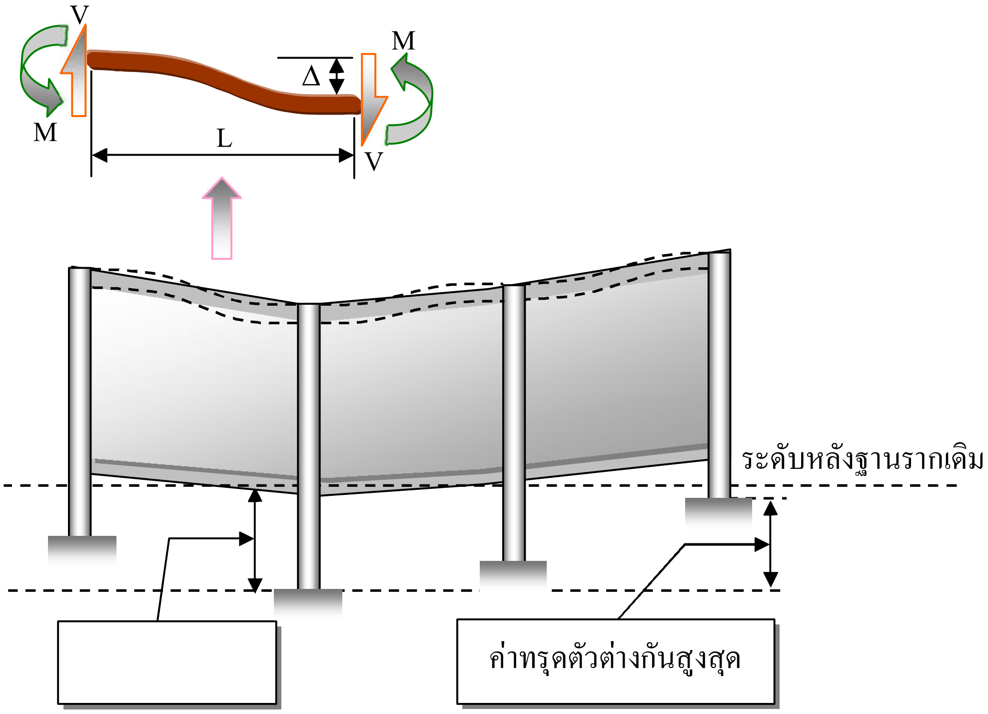
M = โมเมนต์ดัดเนื่องจากการทรุดตัว

Δ = ระยะทรุดตัวที่ต่างกัน

I = โมเมนต์ที่สองของพื้นที่

E = โมดูลัสยืดหยุ่น

L = ความยาวของคาน



รูปที่ 1.18 แรงที่เกิดเนื่องจากการทรุดตัวต่างกันของฐานราก (เสริมพันธ์, 2550)

10.การเจาะสำรวจดิน(Soil Boring)

การเจาะสำรวจหาสภาพตามธรรมชาติของชั้นดิน ณ บริเวณสถานที่จะก่อสร้าง มักจะทำไปพร้อมๆกันระหว่างการทดสอบดินในสนามและการเก็บตัวอย่างดินเพื่อการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ระดับความลึกต่างๆ ซึ่งมีวิธีการที่หลากหลายตามสภาพความเหมาะสมของทั้งเงินงบประมาณ (ประมาณ 0.5 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ของงบประมาณก่อสร้าง) ประเภทของอาคาร ความชำนาญและสภาพของสถานที่ก่อสร้าง เหล่านี้เป็นต้น แต่สิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือช่วงระยะเวลาหรือฤดูการที่ทำการเจาะสำรวจ ทั้งนี้เพราะน้ำโดยเฉพาะระดับน้ำใต้ดินจะมีผลต่อการรับแรงของดินโดยตรง

10.1 จำนวณหลุมเจาะ

1. เมื่อคิดจากขนาดของพื้นที่ (โดยประมาณ) เช่น เจาะทดสอบจำนวณ 1 หลุม ครอบคลุมพื้นที่ 200 ถึง 900 ตร.ม. แต่ถ้าหากสภาพพื้นที่ไม่ปกติหรือแตกต่างกันมาก ตัวเลขดังกล่าวก็จะมีขนาดที่เล็กลง

2. เมื่อคิดจากระยะห่างระหว่างหลุมเจาะ

ลำดับที่	ประเภทของสิ่งปลูกสร้าง	ระยห่างโดยประมาณ (ม.)
1	ถนน	120 – 150
2	ทางด่วน	225 – 300
3	เขื่อน	30 - 35
4	บ่อยืม (บ่อวัสดุ)	25 - 30
5	สิ่งปลูกสร้าง 1-2 ชั้น	20 - 30
6	สิ่งปลูกสร้างมากกว่า 2 ชั้น	15 - 20
หมายเหตุ : หากสภาพพื้นที่ไม่ปกติหรือแตกต่างกันมาก ตัวเลขดังกล่าวก็จะมีขนาดที่เล็กลง		

10.2 ตำแหน่งของหลุมเจาะ

ควรเจาะสำรวจให้ครอบคลุมพื้นที่ เช่น หัว-กลาง-ท้าย โดยเฉพาะในตำแหน่งที่จะมีการวาง Line ฐานรากหรือใกล้เคียง รวมไปถึงตำแหน่งที่ฐานรากมีการรับแรงสูงๆ เช่น จุดที่จะวางปล่องลิฟท์ อีกจุดหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามคือบริเวณที่มีประวัติว่าเป็นท้องร่องแม่น้ำหรือห้วยหนองคลองบึงที่มีการถมดินเข้ามาใหม่ แต่ถึงแม้ว่าสิ่งปลูกสร้างจะไม่ได้สร้างบนบริเวณดังกล่าวแต่อาจจะใกล้เคียงก็ไม่ควรมองข้าม หากอาคารกลุ่มเดียวกันมีความสูงแตกต่างกันสัดส่วนของจำนวรหลุมเจาะบริเวณอาคารที่สูงกว่าควรมีมากกว่า

10.3 ความลึกของหลุมเจาะ

ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพเงื่อนไขการว่าจ้างและสภาพพื้นที่ แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นไม่ควรจะมองข้ามถึงขนาดของอาคารและประเภทของฐานราก ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับระบบการส่งผ่านแรงให้กับดิน ดังนั้นหากความลึกของการเจาะสำรวจไม่ครอบคลุมเท่าที่ควรจะเป็น อาจเป็นสาเหตุเบื้องต้นที่นำมาซึ่งการทรุดตัวและการวิบัติของโครงสร้างได้

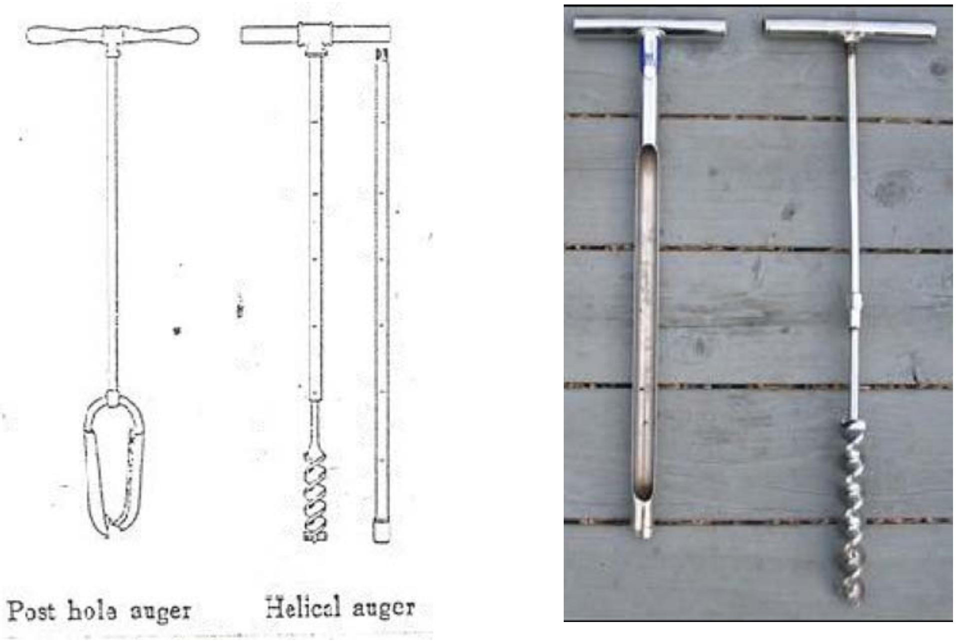
กรณีของฐานรากแบบฐานแผ่ (ไม่ว่าจะเป็นฐานเดี่ยว-ฐานร่วมหรือฐานแพ) ความลึกไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของด้านแคบของฐานเอง (วัดจากระดับที่ฐานวาง) ทั้งนี้เนื่องจากที่ระดับความลึกดังกล่าวการกระจายของกระเปาะความเค้น (Stress tube) จะลดลงเหลือเพียง 10 – 15 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด

กรณีของฐานรากแบบฐานเสาเข็มความลึกไม่ควรน้อยกว่า 1.5 เท่าของด้านแคบของ Cap beam เอง (เริ่มวัดที่ความลึก 2L/3 จากระดับ Cap beam เมื่อ L = ความยาวของเสาเข็ม)

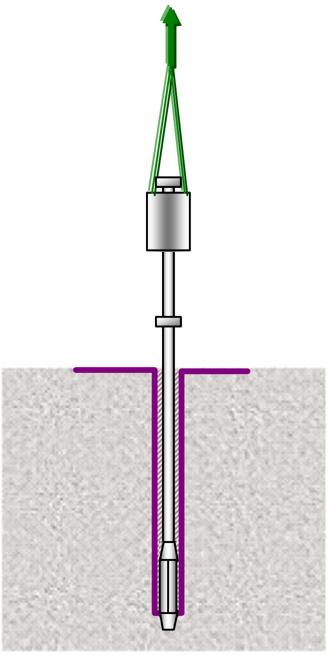
10.4 วิธีการเจาะสำรวจ

ในที่นี้จะกล่าวถึงโดยย่อเฉพาะในบางวิธีการที่ทำงานง่ายและสะดวก ที่นิยมใช้ในการเจาะสำรวจทั่วๆ ไป

1. การเจาะโดยวิธีสว่านมือหมุน (Hand Augur Boring) โดยอาศัยแรงคนหรือแรงจากเครื่องยนต์ขนาดเล็กกดผ่านก้านเจาะแล้วหมุน วิธีนี้ใช้เจาะดินได้ไม่ลึกมากประมาณ 5.0-10.0 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของก้านเจาะและแรงที่ใช้หมุนสว่าน เหมาะสมกับสภาพดินที่เป็นดินเหนียวปานกลางและมีระดับน้ำใต้ดินไม่สูงมากนัก ที่นิยมใช้มีอยู่ 2 ชนิด คือ helical augur และ post-hole augur ส่วนของก้านเจาะนั้นสามารถต่อให้ยาวหลาย ๆท่อนได้โดยแต่ละท่อนอาจจะยาว 1.0-1.50 ม. ขณะทำการกดเพื่อให้ได้ความลึกพร้อมกับหมุนมือ ก็จะเป็นการเก็บตัวอย่างดินเข้าไปในสว่านด้วย เมื่อตึงมือหรือมีดินเต็มสว่านก็ทำการดึงขึ้นเพื่อเก็บตัวอย่างดินไว้ทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 1.19 รูปแบบของสว่านสำหรับเจาะดิน



รูปที่ 1.20 การเจาะทดสอบดินโดยวิธีสว่านมือหมุน

2. การเจาะโดยวิธีการฉีดล้าง (Wash Boring) การเจาะสำรวจดินโดยวิธีการนี้อาศัยแรงดันของของเหลว เช่น น้ำหรือdrilling mud (อย่างเช่น bentonite) ช่วยทำให้ดินที่ระดับความลึกที่เจาะอ่อนหลวมตัวและยังเป็นตัวช่วยดันให้เม็ดดินลอยขึ้นมาที่ปากหลุมเจาะได้ ที่ปลายหัวของก้านเจาะจะมีท่อสำหรับฉีดน้ำเวลาเจาะดินจะยกกระแทกดินก้นหลุมขึ้นลง อุปกรณ์ที่สำคัญคือ 1.ปลอกเหล็ก (Casing) เพื่อป้องกันไม่ให้หลุมเจาะพัง 2.สามขาหยั่ง (tripod) และ 3.ตัวเครื่องเจาะ (drilling machine)

รูปที่ 1.21 การเจาะทดสอบดินโดยวิธีการฉีดล้าง

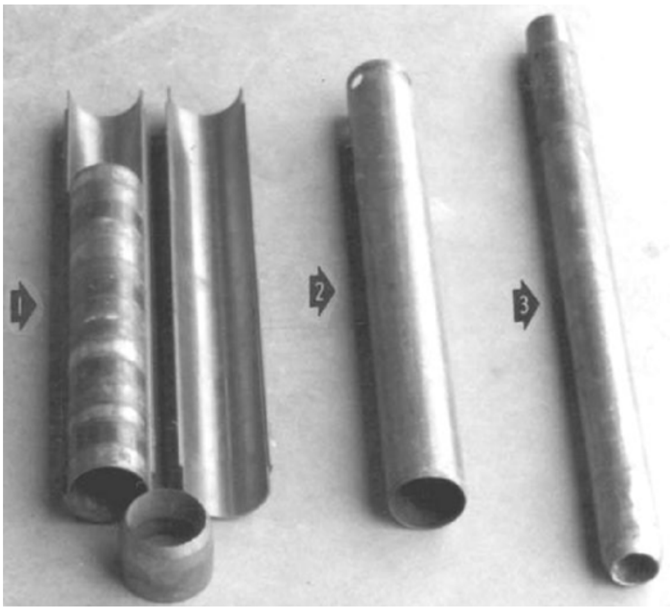
10.5 การเก็บตัวอย่างดิน (Soil Sampling)

แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1. ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ (Disturb sample) หรือตัวอย่างดินที่ถูกรบกวน เป็นตัวอย่างดินที่ได้รับความผลกระทบกระเทือนจากวิธีการเจาะสำรวจดิน อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างรวมไปถึงการขนส่ง ทำให้โครงสร้างดินและคุณสมบัติต่างๆ ที่มีอยู่เดิมตามสภาพธรรมชาติเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายไปอาจเพียงบางส่วนหรือทั้งหมด เช่น สภาพความชื้น แรงกดอัดตามธรรมชาติ การเรียงตัวของเม็ดดิน เหล่านี้เป็นต้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามดินก็ยังคงมีส่วนประกอบคงเดิม ดังนั้นตัวอย่างดินประเภทนี้จึงสามารถนำไปทำการทดสอบหาลักษณะการกระจายของเม็ดดิน ปริมาณความชื้นในดิน หรือนำไปทดสอบการบดอัดได้ เหล่านี้เป็นต้น เก็บตัวอย่างได้โดยใช้กระบอกผ่าซีก (Split spoon tube) ที่ความลึกทุกๆ 1-1.5 เมตร

2. ตัวอย่างดินคงสภาพ (Undisturbed sample) หรือตัวอย่างดินที่ไม่ถูกรบกวน เป็นตัวอย่างดินที่ได้รับความผลกระทบกระเทือนจากวิธีการเจาะสำรวจดิน อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างรวมไปถึงการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งถือว่าโครงสร้างดินและคุณสมบัติต่างๆ ที่มีอยู่เดิมตามสภาพธรรมชาติไม่มี

เปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายไป ดังนั้นตัวอย่างดินประเภทนี้จึงสามารถนำไปทำการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการเฉือน การทรุดตัวของดิน การซึมผ่านของน้ำได้ เหล่านี้เป็นต้น เก็บตัวอย่างได้โดยใช้กระบอกผนังบาง (Shelby tube thin-walled) ที่ความลึกทุกๆ 1-1.5 เมตร



รูปที่ 1.22 กระบอกเก็บดินตัวอย่างแบบผนังบางและแบบผ่าซีก

2 หลักการพื้นฐาน ในการวิเคราะห์และออกแบบ

1. หลักการเบื้องต้นในการอ่านผลการเจาะสำรวจดิน

1.1 การพิจารณาค่าจากการทดสอบ Atterberg Limits

ซึ่งการพิจารณาดังกล่าวสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจทั้งในขั้นตอนของการออกแบบ และการควบคุมงานก่อสร้างในส่วนของระบบฐานราก เช่น จะเลือกใช้เสาเข็มระบบใด (เสาเข็มตอกหรือเสาเข็มเจาะ) ปลอกเหล็กกันดินพังควรจะฝังลึกเท่าไร จะใช้ต้องของเหลวช่วยป้องกันการพังของผนังหลุมเจาะหรือไม่ เหล่านี้เป็นต้น

-หากดินมีค่า water content (ω) เข้าใกล้ค่า LL. หรือมีค่ามากกว่า หมายถึงดินที่ระดับความลึกนั้นมีสภาพอ่อน มีกำลังรับแรงเฉือนได้ต่ำแต่จะมีค่าการทรุดตัวสูง

-หากดินมีค่า water content (ω) เข้าใกล้ค่า PL. หมายถึงดินที่ระดับความลึกนั้นมีสภาพฉแข็ง มีกำลังรับแรงเฉือนได้สูงแต่จะมีค่าการทรุดตัวน้อย

-หากดินมีค่า Plasticity index (P.I. = LL. – PL.) มีค่าสูง หมายถึงดินที่ระดับความลึกนั้นมีกำลังรับแรงเฉือนได้ต่ำ แต่จะมีค่าการทรุดตัวและการบวมตัวสูง

1.2 การพิจารณาค่าจากผลการทดสอบ SPT (N Blows/ft.)

ในที่นี้หมายถึงค่า N ที่ผ่านการปรับแก้ผลอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ (พลังงานที่ใช้ตอก) และผลของแรงเนื่องจากดินกดทับ (Overburden) เรียบร้อยแล้ว ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นค่าโดยประมาณ

-หากเป็นดินประเภทดินที่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินเหนียว ถ้าค่า $N \geq 15$ หมายถึงดินที่ระดับความลึกนั้นเป็นดินเหนียวแข็ง

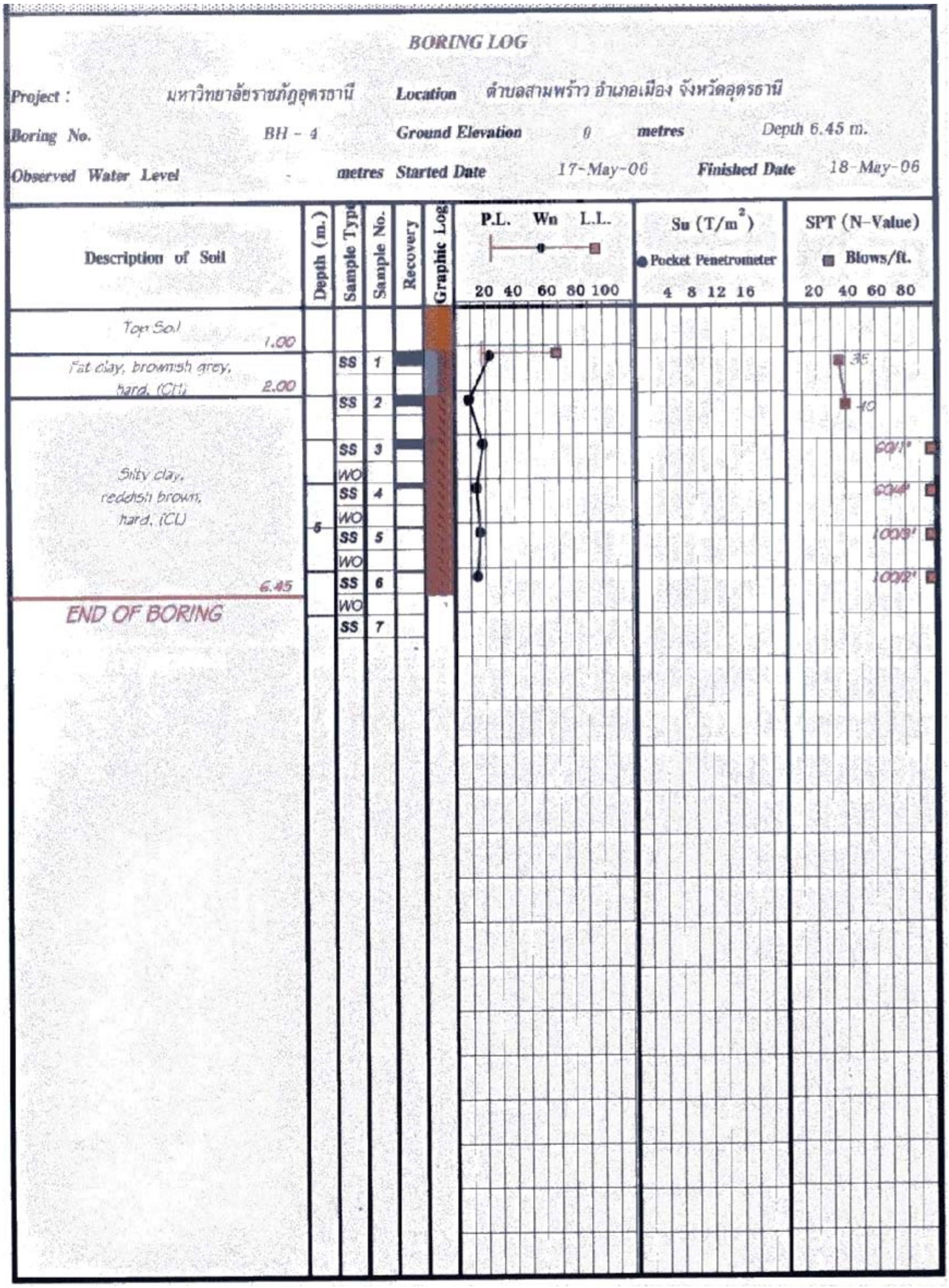
-หากเป็นดินประเภทดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เช่น ดินทราย ถ้าค่า N ≥ 30 หมายถึงดินที่ระดับความลึกนั้นเป็นดินทรายแข็ง ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นตัวช่วยตัดสินใจว่าเมื่อไหร่จึงจะใส่หรือไม่ใส่หัวชูเหล็กหล่อที่ปลายเสาเข็ม ซึ่งโดยทั่วไปหากค่า N ≥ 30 ก็ควรที่จะใส่หัวชู แต่เนื่องจากหัวชูมีหลายขนาดคือ เล็ก กลาง และใหญ่ ดังนั้นจะเลือกใช้ขนาดเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับหน่วยแรงแบกทานที่จะเกิดที่หัวชูนั้นๆซึ่งต้องมีการคำนวณ แต่โดยทั่วไปมักให้เป็นหน้าที่ของโรงงานผู้ผลิตเสาเข็มที่จะใส่ให้ เพียงแต่ให้เราระบุขนาดของเสาเข็มและน้ำหนักบรรทุกออกแบบของเสาเข็ม

1.3 การพิจารณาค่า q_u และ S_u

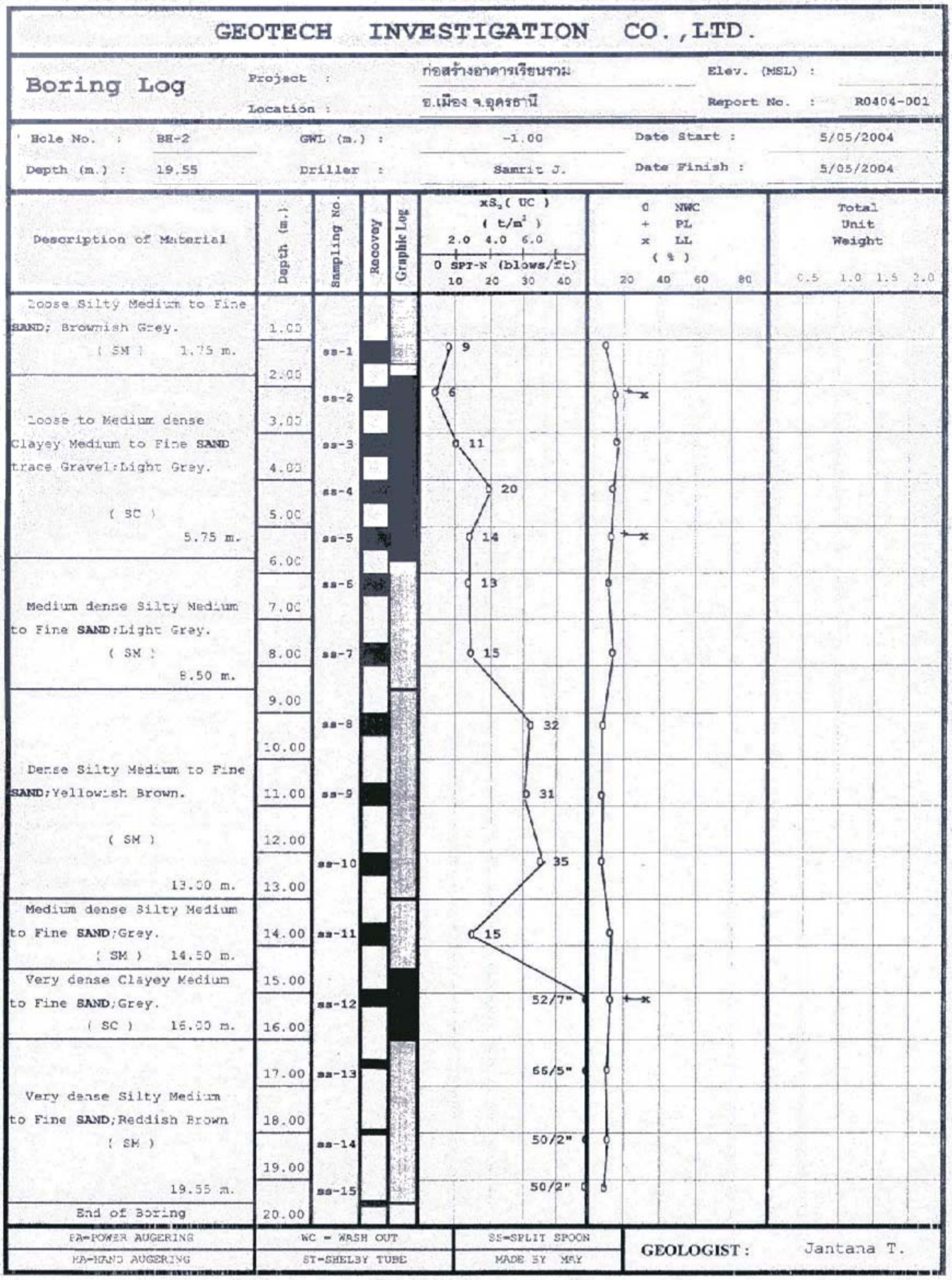
โดย q_u หมายถึงค่า Unconfined compressive strength ของดินที่มีความเชื่อมแน่น ที่ได้จากการกดทดสอบดินตัวอย่างจนเกิดการวิบัติเนื่องจากการเฉือน โดยวิธีการทดสอบ Unconfined compressive test ($P_3 = 0$) ค่าดังกล่าวนำไปใช้หาค่าของ Cohesion (c) ได้โดย $c = q_u/2$

S_u หมายถึงค่า Unconfined shear strength หรือกำลังรับแรงเฉือนของดิน แต่ในกรณีของดินเหนียวจะมีค่าเท่ากับ c (เพราะค่า $\varnothing = 0$) ค่าดังกล่าวโดยประมาณหาได้จาก N/5 ตันต่อตารางเมตร

ส่วนการที่จะนำผลการทดสอบที่ได้จากการเจาะสำรวจดินไปใช้ในการออกแบบฐานรากนั้น ไม่ว่าจะเป็นค่ากำลังรับแรงแบกทานของดินสำหรับออกแบบฐานรากแบบฐานแผ่ และค่าแรงยึดเหนี่ยวที่ผิว ค่าแรงเสียดทานที่ผิว ค่าแรงแบกทานที่ปลายสำหรับออกแบบฐานรากแบบฐานเสาเข็ม (โดยทั่วไปในส่วนนี้ผู้ทำการเจาะสำรวจจะทำรายงานระบุขนาดและความยาวในการรับน้ำหนักบรรทุกที่ค่าต่างๆมาให้เลือกใช้) ต้องเป็นผลที่ได้จากรายงานการเจาะสำรวจและข้อแนะนำของผู้ทำการเจาะสำรวจเป็นสำคัญ



รูปที่ 2.1 ตาราง Soil Boring test



รูปที่ 2.2 ตาราง Soil Boring test

2.การออกแบบกำลังรับน้ำหนักของฐานรากแผ่จากผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน (โดยประมาณ)

สำหรับการออกแบบระบบฐานรากในเบื้องต้นโดยประมาณ (Preliminary design) : F.S. = 3.0 โดยอาศัยผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบทั้งในสนามและห้องทดลอง สามารถทำได้ดังนี้

2.1 สำหรับกรณีของดินเหนียว (FS. = 2.5 – 3.0)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน (q_{all}) = q_u = 2c ; ปอนด์/ตร.ฟุต

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (q_{ult}) = 1.25N; T/m.^{2}

2.2 สำหรับกรณีของดินทราย (FS. = 2.5 – 3.0)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน (q_{all}) = 250N; ปอนด์/ตร.ฟุต (สำหรับ $10 \leq N \leq 50$)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (q_{ult}) = 40N; T/m.^{2}...[Meyerhof, 1956]

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (q_{ult}) = 30N; T/m.^{2}...[Japan, 1956]

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (q_{ult}) = 12.5N; T/m.^{2}...[Terzaghi and Peck]

3.การออกแบบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจากผลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน (โดยประมาณ)

เมื่อรับแรงอัด Qall = $fA_{(\text{พื้นที่ผิวเข็ม})} + bA_{(\text{rnhomujปลายเข็ม})}$

เมื่อรับแรงดึง Qall = $fA_{(\text{พื้นที่ผิวเข็ม})}$ + DL

3.1 สำหรับดินเหนียว

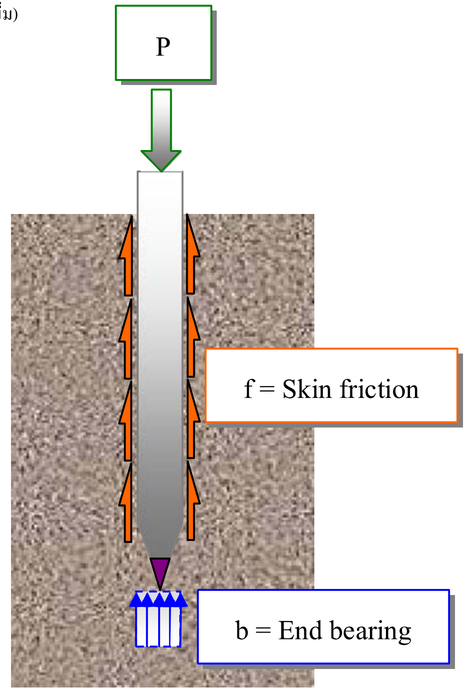
f = 0.15qu; ปอนด์/ตร.ฟุต

b = 1.50qu; ปอนด์/ตร.ฟุต

3.2 สำหรับดินทราย

f = 8N; ปอนด์/ตร.ฟุต

b = 2,400N; ปอนด์/ตร.ฟุต



รูปที่ 2.3 การรับแรงของเสาเข็ม (เสริมพันธ์, 2550)

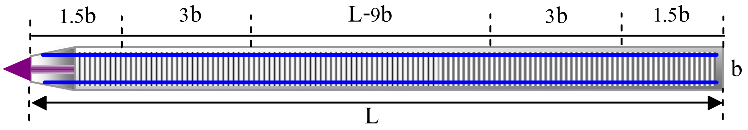
4.การออกแบบเสาเข็ม

ในการออกแบบเสาเข็มที่ถูกต้องประกอบด้วยการออกแบบใน 2 ส่วนหลักคือ

1. ออกแบบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (ขนาดหน้าตัด) เนื่องจากคุณสมบัติของเสาเข็มเอง ดังเห็นได้จากใบแสดงรายละเอียดสินค้าจากโรงงานผลิตเสาเข็มว่าเสาเข็มขนาดหน้าตัดนี้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เท่านั้น และ

2. ออกแบบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม (ความยาว) เนื่องจากคุณสมบัติของดิน ซึ่งต้องมีการเจาะสำรวจดินและทดสอบคุณสมบัติมาก่อน แต่ก็มีอยู่เสมอว่ามักมีการกะเกณฑ์ความยาวโดยไม่มีการเจาะสำรวจดิน แต่อาศัยข้อมูลสภาพแวดล้อมหรือประวัติการก่อสร้างของอาคารประเภทเดียวกันที่มีขนาดใกล้เคียงกัน

4.1 เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง



รูปที่ 2.4 ช่วงระยะของการวางเหล็กปลอก (เสริมพันธ์, 2550)

ปริมาณของเหล็กเสริม (ระยะหุ้มของคอนกรีต 5-7 ซม.) ตามมาตรฐาน มอก.396-2524

1.เหล็กเสริมตามยาว (ลวดอัดแรงกำลังสูงทั้ง PC. Wire และ PC. Strand)

-ขนาดและจำนวนของลวดอัดแรงกำลังสูงเป็นไปตามการวิเคราะห์และออกแบบ โดยขึ้นอยู่กับ กำลังออกแบบของคอนกรีตและลวดอัดแรงกำลังสูง ขนาดหน้าตัด ความยาว และน้ำหนักบรรทุกออกแบบ แต่ทั้งนี้เสาเข็มที่ออกแบบและผลิต (ควร) จะต้องมีเอกสารรับรองการผลิตจาก มอก.

2.เหล็กเสริมตามแนวนอน (เหล็กปลอก ทั้งปลอกเดี่ยวและปลอกเกลียว)

พื้นที่หน้าตัดของเหล็กต้องมีปริมาณ (A_{vs}) ไม่น้อยกว่าร้อยละของปริมาตรคอนกรีต (A_{vc}) ในช่วงนั้นๆ ดังนี้

ช่วง A : ยาว 1.5b มีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50

ช่วง B : ยาว 3.0b มีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.20

ช่วง C : ยาว L-[9b] มีปริมาณไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.08

สำหรับเหล็กปลอกเดี่ยวที่ระยะ 1.5b

$A_{vs} \geq [0.50A_{vc}]/100 = [0.50x1.50b^3]/100$

$A_{vs} = A_s[4(b-2c)]$

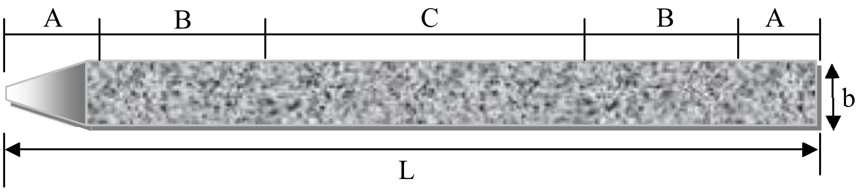
$A_{vc} = (1.5b)b^2$

$S = [100A_s(4(b-2c))]/[0.50b^2]$…ใช้

S = ระยะห่างของเหล็กปลอก

c = ระยะหุ้มของคอนกรีต

A_s = พื้นที่หน้าตัดเหล็กปลอก 1 ขา

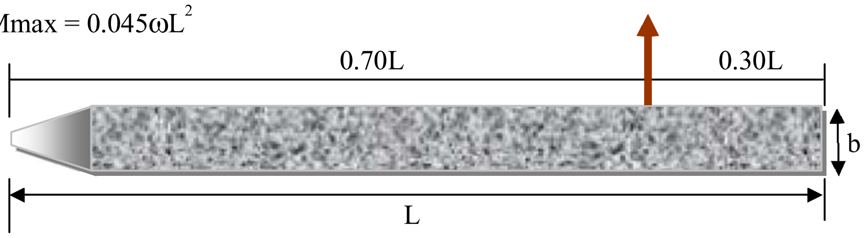


รูปที่ 2.5 ช่วงระยะต่างๆของเสาเข็ม (เสริมพันธ์, 2550)

ระยะยกหรือตำแหน่งจุดที่จะยกเสาเข็ม

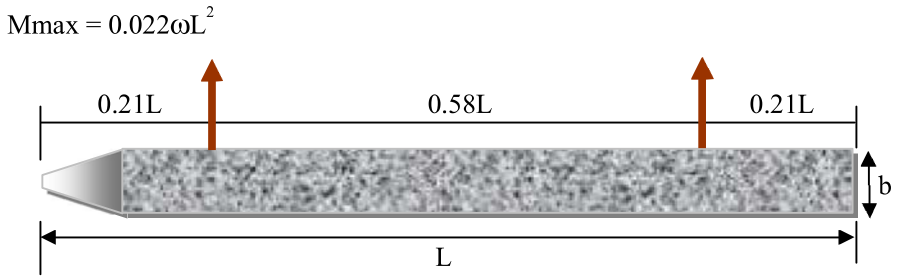
1.ยก 1 จุด

$Mmax = 0.045\omega L^2$



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งการยกเสาเข็ม 1 จุด (เสริมพันธ์, 2550)

2.ยก 2 จุด



รูปที่ 2.7 ตำแหน่งการยกเสาเข็ม 1 จุด (เสริมพันธ์, 2550)

ω = น้ำหนักบรรทุกตายตัว แนะนำว่าควรบวกเพิ่ม 30–50 เปอร์เซ็นต์ อันเป็นผลเนื่องมาจากการเกิด Impact ขณะขนส่งและยก ยิ่งหากสถานที่ก่อสร้างเส้นทางขนส่งไม่ดีการเผื่อดังกล่าวก็ควรเพิ่มให้สูงขึ้น

การเรียกใช้หัวชูเหล็กหล่อ

มีหลายขนาดใน 3 กลุ่มหลักคือ หัวชูเล็ก หัวชูกลาง และหัวชูใหญ่ การใช้งานควรพิจารณาที่

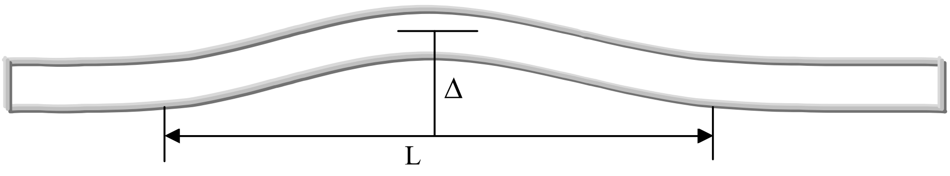
1.จะใช้หัวชูเมื่อผลการเจาะสำรวจดินด้วยวิธี SPT มีค่า $N \geq 30$ ครั้ง (สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น)

2.จะใช้หัวชูเมื่อผลการเจาะสำรวจดินด้วยวิธี SPT มีค่า $N \geq 15$ ครั้ง (สำหรับดินที่มีความเชื่อมแน่น)

3.จะใช้หัวชูขนาดเท่าไรขึ้นอยู่กับ ขนาดหน้าตัดเสาเข็ม และน้ำหนักบรรทุกที่ออกแบบ

การวัดการแอ่นตัวของเสาเข็มมาตรฐาน มอก.396-2524

ต้องมีค่าไม่เกิน $\Delta \leq L/360$



รูปที่ 2.8 ช่วงระยะของการจรวจสอบการแอ่นตัวของเสาเข็ม (เสริมพันธ์, 2550)

รอยร้าวที่ยอมให้ของเสาเข็ม

1.มีขนาดกว้างไม่เกิน 0.20 มม.

2.ระยะห่างของรอยร้างไม่น้อยกว่า 0.50 เมตร

3.ทำมุม 80-90 องศาและยาวไม่เกิน 2b

4.2 เสาเข็มเจาะคอนกรีตเสริมเหล็ก

มักมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปทรงกลม กรณีเสาเข็มรับแรง (กด-ดึง) ตามแนวแกนเท่านั้น การออกแบบให้ออกแบบเช่นเดียวกับการอกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงตามแนวแกน เพียงแต่ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกที่คำนวณได้ ให้ลดความสามารถดังกล่าวลงด้วยการหารด้วยค่า FS. = 2.5 – 3.0

$Pa = [0.85\ A_c\ (0.25f'_c + \rho f_s)]/FS.$

$0.50\% < \rho = A_s/A_c < 1.00\%$

เมื่อ Pa = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบ; kg.

f'_c = กำลังรับแรงอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุการบ่มชื้นครบ 28 วัน; ksc.

A_c = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม $(\pi\phi^2/4)$; $cm.^2$

ρ = ปริมาณพื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต

f_s = กำลังรับแรงอัดที่ยอมให้ของเหล็กยืน = $0.40f_y$; ksc.

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กยืน; $cm.^2$

3 หลักการพื้นฐาน ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหา

1 กรณีของฐานรากแผ่

ตัวอย่างที่ 1 : กรณีกำลังรับแรงแบกทานของดิน (qa) ไม่ผ่าน

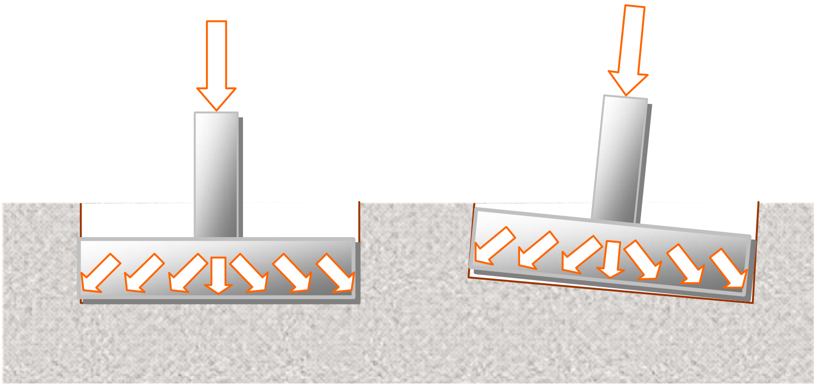
1.ที่มาของสาเหตุ

บ่อยครั้งที่งานก่อสร้างฐานแผ่ไม่มีการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดิน ณ ตำแหน่งระดับความลึกของการวางฐานราก รวมถึงไม่คำนึงระดับน้ำใต้ดิน จึงทำให้ฐานที่เทไปแล้วเกิดปัญหา (ซึ่งเป็นปัญหาในระยะสั้น) เช่น

-ฐานทรุดตัว

-ฐานเอียงเนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากัน

- ลฯ



รูปที่ 3.1 ประกอบตัวอย่างที่ 1 (เสริมพันธ์, 2550)

ซึ่งในการออกแบบฐานแผ่โดยทั่วไป ผู้ออกแบบมักตั้งค่าตัวเลขของกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินขึ้นมาลอยๆก่อน โดยข้อมูลดังกล่าวไม่ได้มาจากการทดสอบจริงแต่อาจเป็นข้อมูล

สถิติที่สะสมจากประสบการณ์ หรือข้อมูลแวดล้อมจากสิ่งปลูกสร้างในระแวกใกล้เคียง ทั้งนี้เพื่อจะได้สามารถหาขนาดหรือออกแบบฐานแผ่ได้

นั้นหมายความว่าเวลาก่อสร้างจริงเราจะทราบได้อย่างไรว่าดิน ณ บริเวณก่อสร้างจะมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินได้เท่ากับที่ผู้ออกแบบตั้งตัวเลขขึ้นมาเพื่อออกแบบ ซึ่งหากไม่มีการทดสอบเพื่อตรวจสอบกลับตัวเลขดังกล่าว สิ่งที่จะตามมาคือ ประเด็นที่หนึ่งฐานแผ่ที่จะก่อสร้างอาจมีความปลอดภัยทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ประเด็นที่สองฐานแผ่ที่จะก่อสร้างอาจมีความปลอดภัยในระยะสั้นแต่ในระยะยาวอาจไม่มีความปลอดภัย หรือประเด็นที่สาม (ซึ่งกำลังยกตัวอย่าง) จะเกิดปัญหาทันทีดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ แสดงว่าตัวเลขความเสี่ยงที่อาจเกิดปัญหามีสูงถึง 2 ใน 3

2.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

หากเกิดกรณีของการทรุด-เอียงดังกล่าว อาจเนื่องมาจากสภาพดินที่ระดับการวางฐานแผ่อ่อนเกินไปจนถึงอ่อนมาก จึงมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินต่ำไม่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบเลือกใช้ออกแบบ เพราะแม้แต่น้ำหนักของตัวฐานเองดินก็ยังรับไม่ได้ หรืออาจเป็นผลมาจากน้ำที่เกิดขึ้นในขณะก่อสร้าง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลเนื่องจากการมีค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของดินต่ำจะเป็นตัวหลักส่วนผลจากน้ำเป็นตัวเสริม

3.การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบและระยะเวลาด้วย)

1.ปรับปรุงสภาพดินใต้ฐานรากหากเป็นไปได้

2.ออกแบบใหม่ด้วยการเพิ่มพื้นที่ฐานเพื่อลดหน่วยแรงแบกทานให้เบาลง

3.อาจทำร่วมกันระหว่างข้อ 1. และ 2.

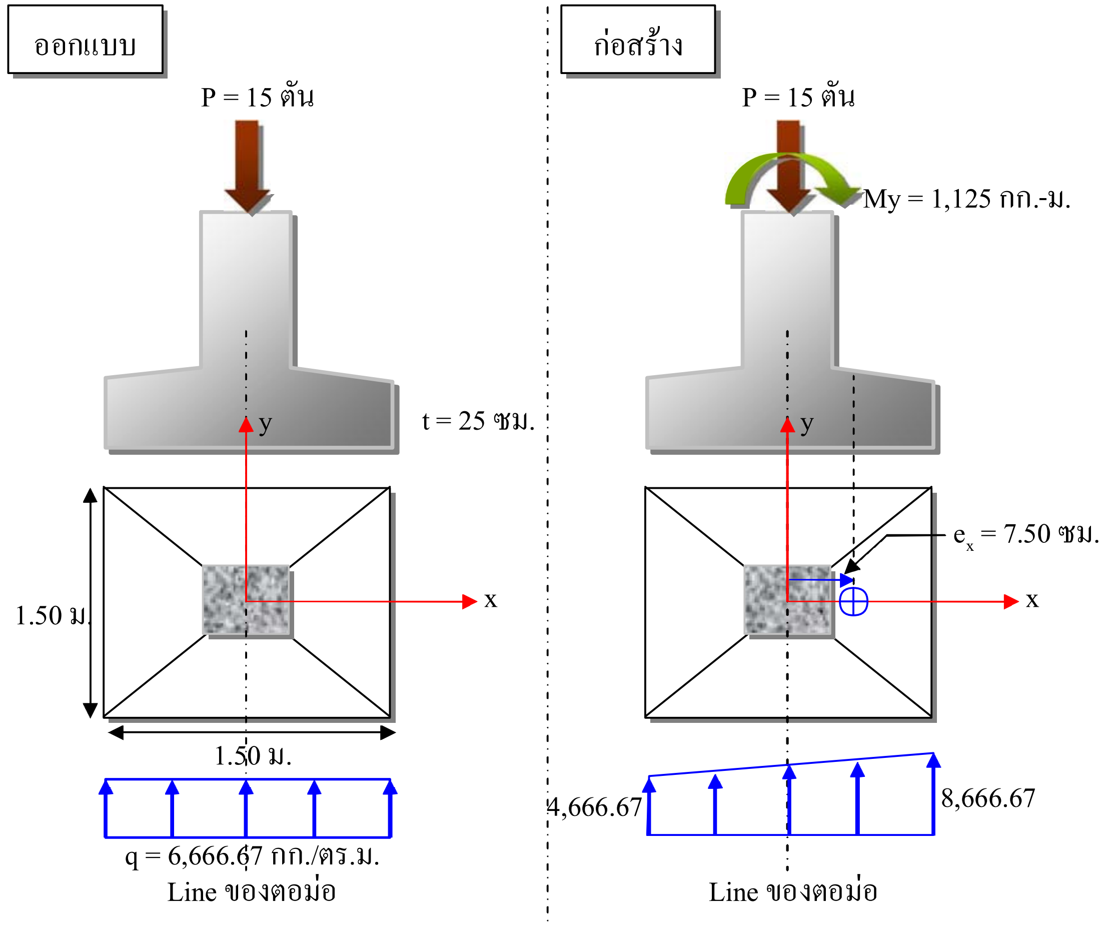
4.ออกแบบใหม่โดยการเปลี่ยนจากฐานแผ่ไปเป็นฐานรากเสาเข็มแทน

ตัวอย่างที่ 2 : กรณีกำลังรับแรงแบกทานของดิน (qa) ผ่านแต่เกิดการเยื้องศูนย์

ข้อมูลเดิมที่ใช้ออกแบบคือ เสาตอม่อรับน้ำหนักบรรทุก 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 (ดัดเหล็ก-เข้าแบบหล่อ) ได้ทำการตรวจสอบแนวการวางของเสาตอม่อ (Line) ปรากฏว่าแนวศูนย์กลางของเสาตอม่อไม่วางตรงตำแหน่งเดียวกันกับศูนย์กลางของส่วนฐานกล่าวคือขยับไปตามแนวแกน x เท่ากับ 7.50 ซม.



รูปที่ 3.2 ประกอบตัวอย่างที่ 2 (เสริมพันธ์, 2550)

2.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

1.เดิมออกแบบเป็นฐานรากแผ่รับแรงตามแนวแกน นั้นคือจุด c.g. ของตอม่อและส่วนฐานจะต้องวางซ้อนทับกันที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อการส่งผ่านแรงผ่านจุดดังกล่าวดังนั้นจึงไม่มีผลของ

โมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การกระจายของหน่วยแรงแบกทาน (Bearing stress) ใต้ฐานรากจึงเป็นแบบแผ่กระจ่ายสม่ำเสมอ (Uniform)

2.เมื่อการก่อสร้างหน้างาน (Site) ไม่อาจทำได้ตามแบบที่ต้องการ ทำให้เกิดการเยื้องศูนย์ตามแนวแกนใดแกนหนึ่งหรือทั้งสองแนวแกนพร้อมๆกัน ซึ่งส่งผลให้การส่งผ่านแรงไม่ผ่านจุด c.g. ของส่วนฐาน ดังนั้นจึงมีผลของโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้การกระจายของหน่วยแรงแบกทาน (Bearing stress) ใต้ฐานรากไม่เป็นแบบแผ่กระจ่ายสม่ำเสมอ (Uniform) ดังที่ออกแบบ แต่จะเป็นแผ่กระจ่ายสม่ำเสมอแบบสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoid)

3.ผลกระทบที่เกิดต่อฐานรากเดิมคือ แรงกระทำที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเมนต์ดัด (My = 15,000x7.5/100) จะส่งผลกระทบทั้งต่อตัวของฐานและดินที่รองรับใต้ฐานราก แล้วยังลามปามไปถึงตอม่อด้วย

จากนั้นก็ออกแบบตามปกติคือ ออกแบบเป็นฐานแผ่รับแรงตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัด

3.การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบด้วย)

ขั้นตอนการตรวจสอบซึ่งควรตรวจสอบทั้งในส่วนของ

1.หน่วยแรงแบกทานใต้ฐานรากว่าเกินที่กำหนดหรือไม่

2.ความหนาของส่วนฐานอันเป็นผลเนื่องมาจากหน่วยแรงแบกทานที่เพิ่มขึ้นจากโมเมนต์ดัด ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ดัด แรงเฉือนทั้งสองส่วน (ทั้งแบคานกว้างและแบบเจาะทะลุ)

3.เหล็กเสริมอันเป็นผลเนื่องมาจากหน่วยแรงแบกทานที่เพิ่มขึ้นจากโมเมนต์ดัด ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ดัด

ขั้นตอนการแก้ปัญหา

1.ไม่ต้องแก้ไขใดๆหากในขั้นตอนของการตรวจสอบปรากฎผลว่าไม่มีปัญหา

2.นำผลที่ได้จากการตรวสอบมาออกแบบใหม่ ซึ่งอาจเพิ่มเฉพาะความหนาของฐาน (อาจรวมไปถึงขนาดของฐานด้วย) หรือ

3.อาจเพิ่มเฉพาะปริมาณของเหล็กเสริม หรือ

4.อาจทำร่วมกันระหว่างข้อ 2. และ 3.

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

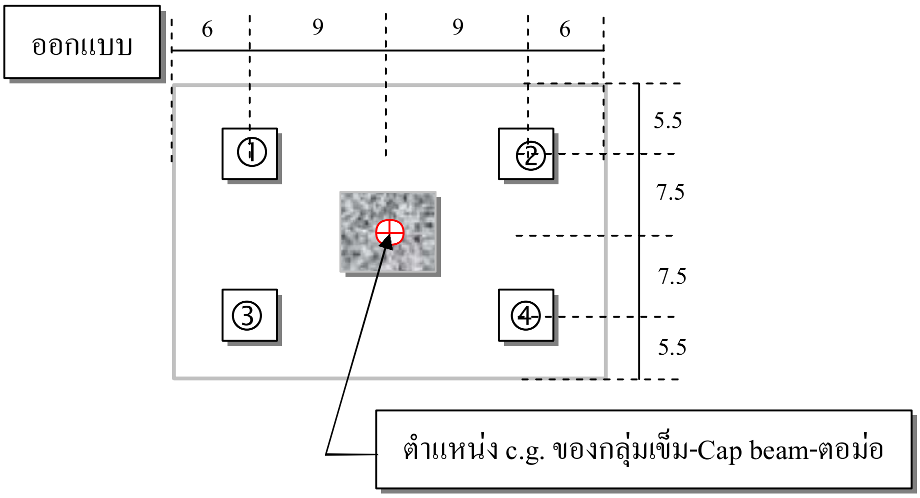
หมายเหตุ : อย่าลืมตรวจสอบเสาตอม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงตอม่อเนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับตอม่อเป็นแบบ Rigid joint

2 กรณีของฐานรากเสาเข็ม

ตัวอย่างที่ 3 กรณีเสาเข็มได้ Blow + ไม่หัก แต่เกิดการเยื้องศูนย์ (แท้จริงคือเอียง)

ฐานรากเสาเข็มตามที่ออกแบบเป็นดังรูป ก. รับน้ำหนักบรรทุกเฉพาะแรงตามแนวแกนจากเสาตอม่อ 200 ตัน ใช้เสาเข็มขนาดหน้าตัด 0.40 x 0.40 ม. รับแรงปลอดภัย 50 ตันต่อต้น (หมายเหตุ : ขนาดที่กำหนดไม่สมเหตุสมผลเป็นเพียงการสมมติ ดังนั้นให้พิจารณาเฉพาะระยะของเสาเข็มเทียบกับแกนกลางของเสาตอม่อเท่านั้น...ระยะที่ให้หน่วยเป็น ซม.)

แต่หลังจากตอกเสาเข็ม+ตัดหัวแล้วเสร็จก่อนทำการวาง Line เสาตอม่อ จากข้อมูลของการตรวจสอบระยะของหัวเสาเข็มแต่ละต้นไม่อยู่ในตำแหน่งที่ออกแบบเป็นดังรูป ข.



รูปที่ 3.3 ก. ประกอบตัวอย่างที่ 3 (เสริมพันธ์, 2550)

1.ที่มาของสาเหตุ

จากรูปออกแบบเป็นฐานรากเสาเข็มที่รับน้ำหนักแบบตรงศูนย์ ขณะทำการตอกเสาเข็มส่งผลให้เสาเข็มบางต้นเกิดการเอียง (มักนิยมเรียกว่าหนีศูนย์) อันอาจเนื่องมาจากในหลายสาเหตุ เช่น

1.ปักเข็มไม่ตรงหมุดรวมถึงเข็มไม่ได้ดิ่ง (ก่อนตอก)

2.หัวเสาเข็มไม่ได้ฉาก

3.เหล็ก PC. Wire โผล่ในบางมุมของเข็ม

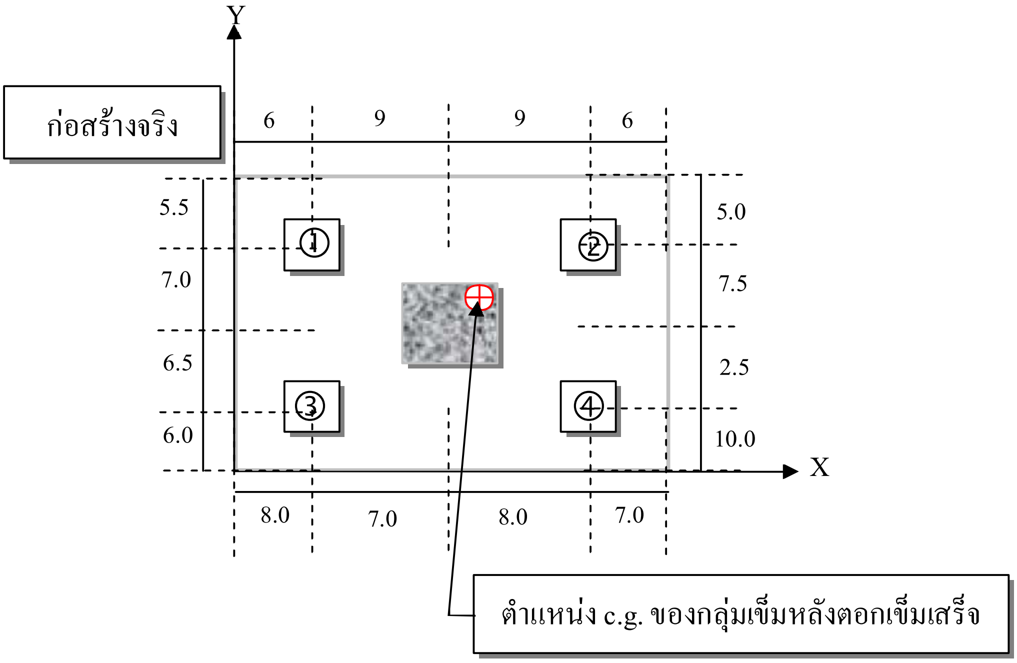
4.ตัวปั่นจั่นไม่นิ่งขณะตอก ตะเกียบคด

5.ครอบหัวเข็ม (หมวก) หลวม หรือมีขนาดไม่เหมาะกับเข็ม

6.วัสดุรองกันกระแทกไม่แน่นพอ

7.เข็มอาจคดหรือโก่ง

8.การเช็คดิ่งเสาเข็ม (ทั้ง 2 แกน) ตลอดการตอกไม่รอบครอบ



รูปที่ 3.3 ข. ประกอบตัวอย่างที่ 3 (เสริมพันธ์, 2550)

2.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

1.เดิมออกแบบเป็นฐานรากเสาเข็มรับแรงตามแนวแกน นั้นคือจุด c.g. ของกลุ่มเสาเข็ม ตอม่อและส่วนฐาน (Cap beam) จะต้องวางซ้อนทับกันที่ตำแหน่งเดียวกัน เมื่อการส่งผ่านแรงผ่านจุดดังกล่าวดังนั้นจึงไม่มีผลของโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้เกิดการกระจายของแรงกดจากตอม่อส่งผ่านไปยังเข็มแต่ละต้นเป็นแบบแรงกดเป็นจุด (Point load) เท่านั้น

2.เมื่อการก่อสร้างหน้างาน (Site) ไม่อาจทำได้ตามแบบที่ต้องการ ทำให้เกิดการเยื้องศูนย์ตามแนวแกนใดแกนหนึ่งหรือทั้งสองแนวแกนพร้อมๆกัน ซึ่งส่งผลให้การส่งผ่านแรงไม่ผ่านจุด c.g. ของส่วนฐาน ดังนั้นจึงมีผลของโมเมนต์เข้ามาเกี่ยวข้อง ทำให้เข็มแต่ละต้นไม่มีแต่เฉพาะแรงกดเป็นจุด (Point load) ที่ส่งผ่านมาจากตอม่อดังที่ออกแบบเท่านั้น แต่จะรับแรงกดเพิ่มขึ้น (หรืออาจลดลง) อันเป็นผลเนื่องมาจากโมเมนต์ร่วมด้วย นั้นหมายความว่าหากระยะเยื้องศูนย์มากเสาเข็มบางต้นอาจจะรับแรงกดเพิ่มมากจนไม่มีความปลอดภัย ในขณะที่เสาเข็มบางต้นอาจจะรับแรงกดลดลงมากจนเปลี่ยนสภาพเป็นเสาเข็มรับแรงดึง ซึ่งก็อาจไม่มีความปลอดภัยได้เช่นกันเพราะไม่ได้ออกแบบเหล็ก Dowel เผื่อไว้เพื่อรับแรงถอน

3.ผลกระทบที่เกิดต่อเสาเข็มแต่ละต้นของฐานรากเดิมคือ แรงกดที่เพิ่มขึ้น (หรือลด) เนื่องจากโมเมนต์ดัดจะส่งผลกระทบทั้งต่อตัวของฐานและเสาเข็มเอง แล้วยังลามปามไปถึงตอม่อด้วย

ตารางแสดงการหาจุด c.g. ของกลุ่มเข็ม เพื่อใชประกอบการหาระยะเยื้องศูนย์

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 c.g. ของกลุ่มเข็มตามแนวแกน X = 99,200/[4x1,600] = 15.50 ซม.

ระยะ c.g. ของกลุ่มเข็มตามแนวแกน Y = 89,600/[4x1,600] = 14.00 ซม.

ดังนั้นระยะเยื้องศูนย์ตามแนวแกน X = 15.50 – 15.00 = 0.50 ซม.

ดังนั้นระยะเยื้องศูนย์ตามแนวแกน Y = 14.00 – 12.50 = 1.50 ซม.

ดังนั้นโมเมนต์ดัดที่จะนำไปคิดแรงกดในเสาเข็มแต่ละต้น (ในแต่ละทิศทาง) คือ

Mx = 200,000x1.5/100 = 3,000 กก.-ม.

My = 200,000x0.5/100 = 1,000 กก.-ม.

จากนั้นก็ออกแบบตามปกติคือ ออกแบบเป็นฐานรากเสาเข็มรับแรงตามแนวแกนร่วมกับโมเมนต์ดัด

3.**การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบ ความสะดวกในการทำงานและระยะเวลาด้วย)**

ขั้นตอนการตรวจสอบซึ่งควรตรวจสอบทั้งในส่วนของ

1.แรงกดอัด (และแรงถอนกรณีเกิดแรงดึง) ของเข็มแต่ละต้นว่าเกินกว่าที่กำหนดไว้หรือไม่

2.ค่าความปลอดภัย (F.S.) ของเข็มแต่ละต้นด้วยว่ามีมากน้อยเพียงไร

3.ความหนาของ Cap beam อันเป็นผลเนื่องมาจากแรงกดที่เพิ่มขึ้นจากโมเมนต์ดัด ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ดัด แรงเฉือนทั้งสองส่วน (ทั้งแบคานกว้างและแบบเจาะทะลุ)

4.เหล็กเสริมอันเป็นผลเนื่องมาจากแรงกดที่เพิ่มขึ้นจากโมเมนต์ดัด ว่ายังสามารถรับได้ทั้งโมเมนต์ดัด

ขั้นตอนการแก้ปัญหา (กรณีเสาเข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักบรรทุกไม่เกินที่กำหนด)

1.ไม่ต้องแก้ไขใดๆหากในขั้นตอนของการตรวจสอบปรากฏผลว่าไม่มีปัญหา

2.นำผลที่ได้จากการตรวสอบมาออกแบบใหม่ ซึ่งอาจเพิ่มเฉพาะความหนาของ Cap beam หรือ

3.อาจเพิ่มเฉพาะปริมาณของเหล็กเสริม หรือ

4.อาจทำร่วมกันระหว่างข้อ 2. และ 3.

ขั้นตอนการแก้ปัญหา (กรณีมีเสาเข็มบางต้นรับน้ำหนักบรรทุกเกินที่กำหนด)

5.ออกแบบใหม่โดยเปลี่ยนไปใช้ฐานเสาเข็มประเภทอื่นที่สามารถช่วยกระจายโมเมนต์ดัดได้ เช่น ฐานรากแบบ Strap footing ลฯ

หมายเหตุ : อย่าลืมตรวจสอบเสาตอม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงตอม่อเนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับตอม่อเป็นแบบ Rigid joint

ตัวอย่างที่ 4 กรณีเสาเข็มหัก (มองว่ารับแรงไม่ได้)

1.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น (กระบวนการคล้ายตัวอย่างที่ 3)

1.หาระยะเยื้องศูนย์เฉพาะเสาเข็มกลุ่มที่ไม่หัก เพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มกลุ่มที่ไม่หักยังสามารถรับน้ำหนักได้อยู่หรือไม่

2.หาโมเมนต์ที่เกิดเฉพาะเสาเข็มกลุ่มที่ไม่หัก 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 ซึ่งอาจแซมกี่ต้นก็ได้ขึ้นอยู่กับว่าเมื่อตรวจสอบออกมาแล้ว เข็มแต่ละต้นรับน้ำหนักบรรทุกไม่เกินที่กำหนด แต่โดยทั่วไปมักแซมจำนวนเท่ากับจำนวนที่หัก ซึ่งหลักการตอกแซมควรเลือกตำแหน่งที่เกิดการเยื้องศูนย์น้อยสุดหรือไม่เยื้องศูนย์เลยจะดีมาก ซึ่งวิธีการออกแบบจะต่างกันคือกรณีเยื้องศูนย์จะคิดโมเมนต์เข้ามาร่วม แต่ถ้าไม่เยื้องศูนย์จะคิดเฉพาะแรงตามแนวแกนเท่านั้น

หมายเหตุ : กรณีเยื้องศูนย์อย่าลืมตรวจสอบเสาตอม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงตอม่อเนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับตอม่อเป็นแบบ Rigid joint

ตัวอย่างที่ 5 กรณีเสาเข็มหลุดหรือไม่ได้ Blow (อาจมองว่ายังสามารถรับแรงได้หรือไม่ได้)

1.การวิเคราะห์ในเบื้องต้น

เมื่อมองว่ายังสามารถรับแรงได้ (กระบวนการคล้ายตัวอย่างที่ 3)

1.กรณีนี้ควรมีการตรวจสอบว่าเสาเข็มต้นดังกล่าวมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากน้อยเพียงใดเสียก่อน ก่อนที่จะดำเนินการขั้นต่อไป จากนั้นจึง

2.หาระยะเยื้องศูนย์เฉพาะเสาเข็ม (กรณีมีการเยื้องศูนย์) เพื่อตรวจสอบว่าเสาเข็มกลุ่มยังสามารถรับน้ำหนักโดยรวมได้โดยปลอดภัยหรือไม่

3.หาโมเมนต์ที่เกิด (กรณีมีการเยื้องศูนย์) เพื่อตรวจสอบว่าความหนาของ Cap beam และปริมาณเหล็กเสริมยังสามารถรับแรงได้อยู่หรือไม่

หมายเหตุ : หากไม่ต้องการเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสำหรับการทดสอบในส่วนนี้ ก็ให้ไปทำการแก้ไขในขั้นตอนต่อไปคือ

เมื่อมองว่าไม่สามารถรับแรงได้อีกแล้ว (กระบวนการเหมือนตัวอย่างที่ 4)

2.การแก้ไขปัญหาในเบื้องต้น (พิจารณาเรื่องของงบ ความสะดวกในการทำงานและระยะเวลาด้วย)

ควรตรวจสอบดังนี้

เมื่อมองว่ายังสามารถรับแรงได้ มีกระบวนการเหมือนตัวอย่างที่ 3

เมื่อมองว่าไม่สามารถรับแรงได้อีกแล้ว มีกระบวนการเหมือนตัวอย่างที่ 4

หมายเหตุ : กรณีเยื้องศูนย์อย่าลืมตรวจสอบเสาตอม่อด้วยเพราะโมเมนต์จะส่งไปถึงตอม่อ เนื่องจากมอง (ในทางทฤษฎี) ว่าจุดต่อของฐานกับตอม่อเป็นแบบ Rigid joint

บรรณานุกรม

เสริมพันธ์ เอี่ยมจะบก, **เอกสารประกอบการสอนการออกแบบฐานราก**, โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีก่อสร้าง, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, 2546.

Dishongh, B.E., **Essential Structural Technology for Construction and Architecture**, Prentice Hall, USA, 2001.

Broms, B.B., **Foundation Engineering**, 1999. www.geoforum.com. ค้นเมื่อ 10 ส.ค. 2550.

Blake, L.S., **Civil Engineer's Reference Book, Fourth Edition**, Butterworth-Heinemann, London, 2001.

Jack, S.F. and Raymond, H.D., **Structure and Fabric Part 2**, Sixth Edition, Longman, England, 2000.

Schroeder, W.L., Dickenson, S.E. and Warrington, D.C., **Soil In Construction**, Fifth Edition, Prentice Hall, USA, 2004.