

โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม  
THE COMPUTER PROGRAM FOR SPREAD AND PILE FOUNDATION



โดย  
นายพนัส ปัทมาสารวุธ 39014341  
นายวณัฐ ฉัตรสันติประภา 39014444

เลขหม.....  
เลขทะเบียน..... 36773  
วัน, เดือน, ปี..... 2543

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2542

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE COMPUTER PROGRAM FOR SPREAD AND PILE FOUNDATION**



MR. PANUS PATTAMASARAWUTH 39014341

MR. WANAT CHATSANTIPRAPA 39014444

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE  
BACHELOR OF CONSTRUCTION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1999

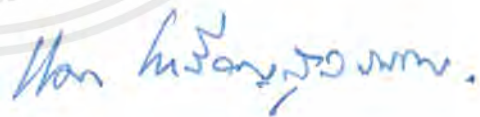
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม  
นักศึกษา นายพนัส ปัทมาสารวุธ รหัสประจำตัว 39014341  
นายวณัฐ ฉัตรสันติประภา รหัสประจำตัว 39014444  
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมการก่อสร้าง  
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. สุพจน์ ศรีนิล

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล	..... 
2. อาจารย์อำนวยการ พานิชกุลพงศ์	.....
3. อาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร	..... 
4. อาจารย์อุษะ สิริแก้ว	..... 

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.แดง เหริยอุสุวรรณ)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	โปรแกรมช่วยวิเคราะห์และออกแบบฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม	
	The Computer Program For Spread And Pile Foundation	
นักศึกษา	นายพนัส ปัทมาสารวุธ	39014341
	นายวณัฐ ฉัตรตันติประภา	39014444
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. สุพจน์ ศรีนิล	
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการก่อสร้าง	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์	
ปีการศึกษา	2542	

## บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการในการออกแบบฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม โดยเริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์ชั้นดินไปจนถึงการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก แล้วได้นำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา Visual Basic 6.0 ซึ่งประกอบไปด้วย 4 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรม Bearing Capacity เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่ากำลังรับแรงของดินจาก 3 ทฤษฎี คือ Terzaghi, Mayerhof และ Hansen, โปรแกรม Pile Capacity เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการหาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็ม โดยใช้หาแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มและแรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็ม, โปรแกรม RC Spread Footing เป็นโปรแกรมที่ใช้ออกแบบฐานรากแผ่ โดยสามารถออกแบบฐานรากแผ่ได้ 3 ชนิด คือ ฐานรากเดี่ยว, ฐานรากร่วม และฐานรากแบบมีคานยึด โดยอาศัยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน และโปรแกรม RC Pile Footing เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็ม โดยสามารถวิเคราะห์เสาเข็มได้ตั้งแต่ 1 ถึง 14 ต้น โดยอาศัยทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน

**Title** : THE COMPUTER PROGRAM FOR SPREAD AND PILE FOUNDATION  
**Name** : MR. PANUS PATTAMASARAWUTH 39014341  
MR. WANAT CHATSANTIPRAPA 39014444  
**Field** : CONSTRUCTION ENGINEERING  
**Department** : CIVIL ENGINEERING  
**Faculty** : ENGINEERING  
**Adviser** : MR. SUPOT SRINIL

## Abstracts

This project had studied the designed process of spread foundation and pile foundation. First, we had started soil analysis until reinforced concrete design. Finally, the designed process is converted to computer programs compiles with Visual Basic 6.0. This program is separated into four parts: (1) Bearing Capacity Program is used to analyze the bearing capacity of soil focuses on three theories: Terzaghi, Mayerhof and Hansen. (2) Pile Capacity Program is used to analyze the capacity of pile in skin friction and end bearing capacity. (3) RC Spread Footing Program is used to design spread footing by using working stress design. This program can design in three types of spread footing: Isolated footing, Rectangular combined footing and strap footing. (4) RC Pile Footing is used to analyze pile footing with working stress design available for number of pile not greater than 14 piles.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ไม่สามารถสำเร็จล่วงไปได้ด้วยดี ถ้าปราศจากผู้ที่มีส่วนช่วยในการสนับสนุน คอยแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้กำลังใจ จนกระทั่งทำให้โครงการพิเศษนี้สามารถบรรลุผลตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ ดังนั้นจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณบุคคลผู้มีส่วนร่วมไว้ดังนี้

อาจารย์สุพจน์ ศรีนิล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ

อาจารย์สมเกียรติ ขวัญพุกษ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้การสนับสนุนข้อมูล ความรู้ คำแนะนำ ทุกๆ อย่างในการจัดทำโครงการนี้

อาจารย์วีไลลักษณ์ ขวัญพุกษ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร สำหรับข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ ตลอดโครงการ

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่าน

บิดา มารดา ที่คอยให้การสนับสนุน

สุดท้ายนี้ก็ต้องขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรม ตลอดจนปัญหาที่ผู้พัฒนามองข้ามไปในฐานะผู้ใช้โปรแกรม

นายพนัส ปัทมาสารวุธ

นายวณัฐ ฉัตรสันติประภา

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฌ
	สารบัญรูป	ญ
	สัญลักษณ์	ฎ
1	บทนำ	
	1.1 ความเป็นมาของเนื้อหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2	ทฤษฎีและสมมุติฐานเบื้องต้น	
	2.1 การหาค่ากำลังรับแรงของดิน	5
	2.2 การหาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็ม	30
	2.3 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	57
3	วิธีที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม	
	3.1 สูตรและฟังก์ชันการคำนวณของการหาค่ากำลังรับแรงของดิน	76
	3.2 สูตรและฟังก์ชันการคำนวณของการหาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็ม	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.3 สูตรและขั้นตอนการคำนวณของการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	104
4	ส่วนประกอบและวิธีการใช้โปรแกรม	
	4.1 ลักษณะและรูปร่างของโปรแกรม	111
	4.2 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน โปรแกรม Bearing Capacity	112
	4.3 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน โปรแกรม Pile Capacity	116
	4.4 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน โปรแกรม RC Spread Footing	122
	4.5 ส่วนประกอบและวิธีใช้งาน โปรแกรม RC Pile Foundation	133
5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	137
	บรรณานุกรม	139
	ภาคผนวก ก การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม Bearing Capacity	141
	ภาคผนวก ข การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม Pile Capacity	163
	ภาคผนวก ค การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม RC Spread Footing	179
	ภาคผนวก ง การเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรม RC Pile Footing	207

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงค่า Terzaghi Bearing Capacity Factor	11
2.2	วิธีการวิเคราะห์การรับน้ำหนักของดินที่เหมาะสมของ Terzaghi และ Meyerhof	15
2.3	ค่า Collection Factor สำหรับสมการ bearing capacity ของ Meyerhof	16
2.4	Hansen's Factor[John n. Cernica,1995]	17
2.5	Hansen's Factor[Bolwes,1988]	18
2.6	ค่า Shape Factor สำหรับสมการของ Hansen[Coduto,1994]	19
2.7	ค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่น้อยที่สุด สำหรับฐานรากแผ่แนะนำโดย Vesic	27
2.8	เปรียบเทียบค่า Bearing capacity ในทางทฤษฎี และปฏิบัติของทฤษฎีต่างๆ	28
2.9	ความเหมาะสมในการเลือกใช้ทฤษฎีต่างๆ ในการคำนวณกำลังของดิน	29
2.10	ค่า K สำหรับเสาเข็มรับแรงดึงและเสาเข็มรับแรงอัด(ASCE, 1993)	47
2.11	ค่า K จำแนกตามชนิดของเสาเข็ม	48
2.12	ค่ามุมเสียดทาน $\delta$ ในเทอมของ $\phi$ จำแนกตามชนิดของเสาเข็ม(ASCE)	48
2.13	ค่าประเมินของ SF ซึ่งใช้พิจารณาเป็นแนวทาง	55
2.14	หน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน วสท. 6001	58
3.1	ค่าโดยประมาณของ Irr [Jeseph E. Bowles, 1986]	90

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการเคลื่อนที่ของดิน ในสถานะต่างๆเมื่อเพิ่มแรงกระทำ	6
2.2	แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของฐานราก	7
2.3	แสดงลักษณะการพังทลายของดิน	8
2.4	ลักษณะของความพิบัติเนื่องจากกำลังรับน้ำหนักในดินของ rough strip foundation ของ Terzaghi	9
2.5	แสดงค่า Bearing Capacity Factor ของ Terzaghi ในส่วนของ General shear failure	12
2.6	การเปรียบเทียบทฤษฎีของ Terzaghi และ Meyerhof	14
2.7	แสดงรูปประกอบการใช้สมการผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน	21
2.8	แรงยึดศูนย์กลางฐานราก	22
2.9	แรงกระทำเยื้องศูนย์กลางเกินเคียวนอก kern area	23
2.10	หลักการของ Useful width	24
2.11	ส่วนลคของแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางของ Meyerhof	25
2.12	ลักษณะการใช้เสาเข็ม	31
2.13	ลักษณะการใช้งานเสาเข็มไม้	33
2.14	ลักษณะการใช้งานเสาเข็มเหล็ก	34
2.15	ลักษณะของเสาเข็มคอนกรีต	35
2.16	Plastic-Steel Composite Piles	35
2.17	กลไกการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็ม	39
2.18	ระนาบการพังทลายที่เกิดขึ้นของฐานรากแบบลึก (Vesic, 1967)	40
2.19	Bearing Capacity Factor สำหรับ Deep Circular foundation (Vesic, 1967)	42
2.20	Berezantsev's bearing capacity factor(TOMLINSON,1987)	43
2.21	Bearing Capacity Factor, $N_q$ versus angle of internal friction (From Terzaghi and Peck,1967)	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.22	Frictional capacity coefficient $\lambda$ (Donal P. Coduto, 1994)	51
2.23	ลักษณะโดยทั่วไปของเสาเข็มเจาะ (Bowles, 1988)	52
2.24	รูปแบบการวางเสาเข็ม (Donal P. Coduto, 1994)	56
2.25	แบบของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก	60
2.26	หน่วยแรงที่เกิดขึ้นใต้ฐานราก	62
2.27	ลักษณะการถ่ายแรงของฐานรากเสาเข็ม	64
2.28	ค่าหน่วยแรงผัดเฉลี่ยของดินบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง	65
2.29	หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสเทียบเท่า	67
2.30	การวิบัติของฐานรากเดี่ยว	67
2.31	พื้นที่สำหรับหาแรงเฉือน	68
2.32	แรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม	70
2.33	ลักษณะของฐานรากร่วมในกรณีที่สร้างชิดเขต	71
2.34	ลักษณะของฐานรากแบบมีคานยึด	72
3.1	Correction of Standard Penetration Test with Bearing Capacity Factor and Angle of Shearing Resistance (Peck, Hanson and Thornburn, 1974)	98
3.2	Janbu's Bearing Capacity (Braja M. Das, 1999)	99
3.3	Correlation of Standard Penetration Test with Unconfined Compressive Strength of Clay (NAVFAC DM-7, 1982)	99
3.4	Plot of Adhesion Factor of Pile in Clay with Unconfined Compressive Strength	100
3.5	Adhesion Factors	100
3.6	Frictional Capacity Coefficient $\lambda$ , (Redraw after McClelland, 1974)	101
3.7	Correction of SPT-N Value in Sand of Influence of Overburden Pressure (Peck, Hanson and Thornburn, 1974)	102
3.8	Relationship between $\phi$ , $N_q$ and SPT-N Value of Bored Pile	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.9	แสดงรูปประกอบการออกแบบฐานรากร่วม	106
3.10	แสดงถึงหน้าตัดวิกฤติในการหาค่าความลึกประสิทธิผลของฐานรากร่วม	107
3.11	แสดงรูปประกอบการออกแบบฐานรากแบบมีคานยึด (Strap Beam)	109
4.1	แสดงรูปหน้าจอหลักของโปรแกรม LFOOT2000	111
4.2	แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม	113
4.3	หน้าต่างหลักในกรณีป้อนข้อมูลครบ	114
4.4	แสดงหน้าต่าง Report	115
4.5	แสดงหน้าต่าง More Detail	115
4.6	หน้าจอหลักของโปรแกรม Pile Capacity	116
4.7	หน้าต่าง Input	117
4.8	หน้าต่างป้อนข้อมูลทั่วไป	117
4.9	การป้อนข้อมูลในหน้าต่างหลัก	118
4.10	หน้าต่างหลักหลังจากทำการคำนวณแล้ว	119
4.11	หน้าต่างการกำหนดระดับของเสาเข็ม	120
4.12	หน้าต่างข้อมูลของเสาเข็ม	120
4.13	หน้าต่างฐานข้อมูล	121
4.14	แสดงหน้าต่างเลือกรูปแบบฐานราก	122
4.15	แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม RC Spread Footing	123
4.16	หน้าต่าง Project Information	124
4.17	หน้าต่าง Basic Data	124
4.18	แสดงหน้าต่าง Other Data ของฐานรากเดี่ยว	125
4.19	แสดงหน้าต่างหลักหลังจากการคำนวณผล	125
4.20	แสดงหน้าต่าง Revise size	126
4.21	แสดงหน้าต่าง Other Data ของฐานรากร่วม	127

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4.22	แสดงถึงหน้าตัดหลักหลังการคำนวณของฐานรากร่วม	127
4.23	แสดงหน้าตัด BMD & SFD ของฐานรากร่วม	128
4.24	แสดงหน้าตัด Other Data ของฐานรากแบบมีคานยึด	129
4.25	หน้าตัด Find dimension of footing	130
4.26	หน้าตัด Find depth of footing	130
4.27	หน้าตัด Find dimension of strap beam	131
4.28	หน้าตัดหลักหลังการคำนวณผลของฐานรากแบบมีคานยึด	131
4.29	แสดงหน้าตัด BMD&SFD สำหรับฐานรากแบบมีคานยึด	132
4.30	หน้าจอหลักของโปรแกรม RC Pile Footing	133
4.31	หน้าตัดการป้อนค่าโครงการ, วิศวกร, และชื่อฐานรากของ โปรแกรม RC Pile Footing	134
4.32	หน้าตัดการป้อนค่าข้อมูลทั่วไปของโปรแกรม RC Pile Footing	134
4.33	หน้าตัดแสดงจำนวนเสาเข็มของโปรแกรม RC Pile Footing	135
4.34	หน้าตัดป้อนข้อมูลเพิ่มเติมของ โปรแกรม RC Pile Footing	135
4.35	หน้าตัดหลังจากการคำนวณของ โปรแกรม RC Pile Footing	136

## สัญลักษณ์

$A$	= พื้นที่
$A_p$	= พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม
$c$	= Cohesion of soil
$B$	= ความกว้างของฐานรากหรือเสาเข็ม
$B'$	= ความกว้างประสิทธิภาพ
$C_n$	= Correction factor
$D, D_f$	= ความลึกของฐานราก
$D_r$	= Relative density
$e$	= ระยะเยื้องศูนย์กลางของน้ำหนักบรรทุก
$f_c'$	= หน่วยแรงประลัยของคอนกรีต
$f_c$	= หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต
$f_s$	= หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริม
$f_y$	= หน่วยแรงประลัยของเหล็กเสริม
$G$	= Shear modulus
$K$	= Effective earth coefficient
$K_0$	= At-rest earth pressure coefficient
$L$	= ความยาวของฐานรากหรือเสาเข็ม
$L'$	= ความยาวประสิทธิภาพ
$N_c, N_q, N_\gamma$	= Bearing capacity factors
OCR	= Over Consolidation Ratio
$q$	= soil overburden
$q_s, q_{all}, All BC$	= allowable soil pressure, allowable bearing capacity
$Q_b$	= ความสามารถในการรับน้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม (Base resistance or point resistance)
$Q_f$	= ความเสียหายที่เกิดขึ้นโดยรอบเสาเข็ม
$Q_u$	= ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัย (ในกรณีเสาเข็มรับแรงอัด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$q_{max}$	= Max contract pressure
$q_{min}$	= Min contract pressure
$q_{ult}$	ultimate bearing capacity
net $q_{ult}$	= net ultimate bearing capacity
$I_r$	= Rigidity index
$I_{rr}$	= Reduced rigidity index
$R_e$	= reduction factor
$S_c, S_\gamma$	= Shape factor
SF	= Safety Factor
$S_u$	= Undrained shear strength
$T_U$	= ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (ในกรณีเสาเข็มรับแรงดึง)
V	= แรงเฉือน
$v_c$	= หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต
W	= น้ำหนักของเสาเข็ม
$\alpha$	= Adhesion factor
$\gamma$	= ความหนาแน่นของดิน (Soil unit weight)
$\sigma$	= Normal stress
$\bar{\sigma}_v$	= Effective vertical stress or effective overburden pressure
$\eta$	= Reduction factor (Vesic) or base angle
$\epsilon_v$	= Volumetric strain
$\phi$	= Internal friction angle if soil
$\delta$	= Angle of wall friction
$\lambda$	= Frictional capacity coefficient (dimensionless)
$\beta$	= Ground angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใดๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของเนื้อหา

ทุก โครงสร้างที่สร้างขึ้นตามหลักวิศวกรรมแล้วล้วนแต่วางอยู่บนฐานรากทั้งสิ้น ฐานรากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง ทำหน้าที่ถ่ายแรงจากโครงสร้างที่อยู่เหนือขึ้นไปลงไปสู่ชั้นดินหรือ หินที่อยู่ด้านล่าง

ในระยะแรก ๆ การออกแบบทางด้านวิศวกรรมฐานรากต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบค่อนข้างมาก เนื่องจากยังไม่มีทฤษฎีมารองรับมากนัก ต้องอาศัยการลองผิดลองถูก มีการคิดค้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง กฎเกณฑ์และทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบทั้งหลายเหล่านี้ล้วนแต่อาศัยข้อมูลที่สะสมมาจากอดีตทั้งสิ้น อย่างไรก็ตามกฎเกณฑ์และทฤษฎีที่สร้างขึ้นนี้มีข้อจำกัดกับการนำไปใช้ในสถานะใหม่ๆ ที่ยังไม่เคยทดลองใช้มาก่อน ปัญหาที่ดูเหมือนว่าจะจะเป็นปัญหาใหญ่ที่พบกับการนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีการก่อสร้างใหม่ ๆ จนกระทั่งในคริสต์ศตวรรษที่ 19 ได้มีการค้นพบโครงสร้างเหล็กและ โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมาใช้แทนโครงสร้างอิฐที่มนุษย์ใช้มาช้านาน ซึ่งถือว่าเป็นการปฏิวัติรูปแบบการก่อสร้างอย่างมาก วัสดุใหม่ทำให้มนุษย์เริ่มรู้จักการสร้างตึกสูงทำให้ความรู้ทางด้านวิศวกรรมฐานรากที่มีอยู่เดิมเริ่มมีข้อจำกัดมากขึ้น ไม่สามารถใช้ได้ดีกับการสร้างตึกสูง ทำให้มีการพยายามค้นคว้าความรู้ทางด้านวิศวกรรมฐานรากกันชานานใหญ่ จุดนี้เองจึงอาจถือได้ว่าเป็นการเริ่มต้นของการศึกษาทางด้านวิศวกรรมฐานรากสมัยใหม่ แทนที่จะมีการสร้างทฤษฎีใหม่ วิศวกรกลับสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าทางด้านพฤติกรรมของฐานราก และพัฒนาการออกแบบให้มีระบบมากยิ่งขึ้น แม้ว่าการออกแบบและเทคนิคการก่อสร้างสมัยใหม่ทำให้มนุษย์สามารถออกแบบและสร้างสิ่งที่เคยเป็นไม่ได้ให้เป็นไปได้ก็ตาม แต่ถึงอย่างไรศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมฐานรากยังคงเป็นทั้งศาสตร์และศิลป์ ในการออกแบบนอกจากผลจากการทดสอบ และรายการคำนวณของการออกแบบแล้ว ยังต้องเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีในอดีต และสิ่งสุดท้ายที่มีความสำคัญไม่แพ้กันคือการตัดสินใจขั้นสุดท้ายของวิศวกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นที่ทราบกันดีว่าในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมฐานรากค่อนข้างมีความยุ่งยากและซับซ้อนในการคำนวณและออกแบบ สาเหตุเนื่องมาจากมีสูตร สัมประสิทธิ์และทฤษฎีต่างๆ มากมายเข้ามาเกี่ยวข้อง แม้แต่ในปัจจุบันเองยังไม่สามารถก็ยังไม่สามารถหาสูตรและทฤษฎีที่ตายตัวได้ จำเป็นต้องอาศัยผลการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและในสถานที่จริงมาประกอบในการออกแบบ ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อให้มีความถูกต้องและตรงตามสมบัติของดินนั้นผู้ออกแบบมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการเลือกใช้วิธีการคำนวณให้เหมาะสมกับดินบริเวณนั้น

เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบอย่างแพร่หลาย ข้อดีของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คือความรวดเร็วแม่นยำในการคำนวณ สามารถทำงานซ้ำได้ไม่จำกัด ซึ่งเข้ามาแทนจุดด้อยของมนุษย์ แต่คอมพิวเตอร์ไม่สามารถทำงานแทนมนุษย์ได้ในส่วนของ การตัดสินใจอย่างมีเหตุผลเนื่องจากการออกแบบทางด้านวิศวกรรมฐานรากจะต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งที่ได้จากการทดลองและจากทฤษฎี อย่างไรก็ตามข้อดีของคอมพิวเตอร์ก็ยังน่าสนใจอยู่มากเนื่องจากสามารถลดงานและเวลาของมนุษย์ลงได้ ด้วยเหตุนี้เองทางผู้จัดทำโครงการจึงได้รวบรวมทฤษฎีต่างๆ ที่นิยมใช้ มาจัดทำเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยผู้ออกแบบในการวิเคราะห์สมบัติของดินและออกแบบฐานราก ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการคำนวณและให้ผลที่ถูกต้องแม่นยำกว่าการคำนวณด้วยมือ

## 1.2 วัตถุประสงค์

โครงการนี้จัดทำขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1.) ศึกษากระบวนการออกแบบฐานราก แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับคอมพิวเตอร์
- 2.) พัฒนาโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์สมบัติดินและออกแบบฐานรากแผ่ และฐานรากเสาเข็ม ที่ใช้ได้ ง่าย ผู้ใช้สามารถตรวจสอบ ความถูกต้องของ โปรแกรมได้
- 3.) เป็นประโยชน์ต่อผู้ที่กำลังศึกษาวิชาวิศวกรรมฐานราก ที่จะนำโปรแกรมไปทำการตรวจสอบผลลัพธ์ในการทำแบบฝึกหัด

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. จัดทำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการคำนวณหาค่ากำลังรับแรงของดินและเสาเข็มและนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทฤษฎีที่ใช้จะครอบคลุมในระดับปริญญาตรีเพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจในที่มาของผลลัพธ์ได้

2. ทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จาก โปรแกรมด้วยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ และ โปรแกรมที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน

3. โปรแกรมนี้สามารถออกแบบและวิเคราะห์ฐานรากได้ 2 ชนิดคือ

#### 3.1 ฐานรากค้ำยัน

3.1.1 วิเคราะห์หาค่ากำลังรับแรงของดิน โดยอาศัย 3 ทฤษฎี คือ Terzaghi, Mayerhof, Hansen สามารถวิเคราะห์ได้ 3 หน่วยคือ SI, Metric และ English

3.1.2 ออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก 3 ชนิด คือ ฐานรากเดี่ยว (isolated footing), ฐานรากร่วม (combined footing), และฐานรากแบบมีคานยึด (strap footing) โดยใช้ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน อ้างอิงตามมาตรฐาน วสท. (พิมพ์ครั้งที่ 5, พฤศจิกายน 2539) สามารถวิเคราะห์ได้หน่วยเดียวคือ Metric

#### 3.2 ฐานรากเสาตึ๊ก

3.2.1 วิเคราะห์หาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ

3.2.1.1 หน่วยแรงเสียดทานของเสาเข็ม (skin friction) ใช้ 2 ทฤษฎี คือ วิธี แอลฟา (the  $\alpha$  method) และวิธีแลมดา (the  $\lambda$  method) สามารถวิเคราะห์ได้ 3 หน่วยคือ SI, Metric และ English

3.2.1.2 หน่วยแรงแบกทานที่ปลายของเสาเข็ม (point resistance of pile) ใช้ 3 ทฤษฎี คือ Terzaghi and Peck, Vesic, Janbu สามารถวิเคราะห์ได้ 3 หน่วยคือ SI, Metric และ English

3.2.2 ออกแบบฐานรากเสาเข็ม ตั้งแต่ 1 ถึง 14 ต้น โดยใช้ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน อ้างอิงตามมาตรฐาน วสท. (พิมพ์ครั้งที่ 5 พฤศจิกายน 2539) สามารถวิเคราะห์ได้หน่วยเดียวคือ Metric

4. สรุปผลการวิเคราะห์การออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พร้อมข้อเสนอแนะในการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. เป็นประโยชน์ต่อวิศวกร นักศึกษาและผู้สนใจ ที่จะนำไปใช้ประกอบในการออกแบบฐานราก
2. เป็นต้นแบบของการศึกษาและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการหาค่า Bearing Capacity ของดินและ Pile Capacity รวมไปถึงการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งเป็นเนื้อหาพื้นฐานที่จะนำไปสู่การพัฒนาโปรแกรมต่อไป

#### 2.1 ฐานรากแผ่ และความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน(Shallow Foundation and Bearing Capacity)

ฐานรากเป็นส่วนประกอบสำคัญของโครงสร้าง ที่ทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักของโครงสร้างที่อยู่เหนือผิวดิน(superstructure) และถ่ายน้ำหนักทั้งหมดลงสู่ชั้นดินด้านล่างโดยที่ไม่เกินกำลังที่ชั้นดินจะสามารถรับได้ ดังนั้นฐานรากที่มีการออกแบบที่ดี ควรจะต้องมีการคำนึงถึงสิ่งสำคัญ 2 ประการคือ

1. ดินที่อยู่ใต้ฐานรากจะต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนักที่ถ่ายลงมาจากฐานราก โดยที่ไม่เกิดการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือนเสียก่อน
2. ฐานรากจะต้องไม่เกิดการเคลื่อนตัว หรือทรุดตัว มากเกินกว่าที่กำหนด (ซึ่งจะมากหรือน้อยก็จะขึ้นอยู่กับลักษณะของโครงสร้าง)

แรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่ของฐานราก ณ จุดที่ดินเกิดการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือน เราเรียกว่า ความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน หรือ ultimate bearing capacity,  $q_u$  สำหรับในการออกแบบจริงนั้น เราจะใช้ค่า allowable bearing capacity,  $q_a$  ซึ่งได้จากการหารค่า ultimate bearing capacity ด้วยค่าสัดส่วนปลอดภัยที่เหมาะสม ( $q_a = q_u/FS$ ) สำหรับในการหาค่า ultimate bearing capacity นั้น ได้มีผู้ทำการศึกษามาตั้งแต่ศตวรรษที่แล้ว ไม่ว่าจะเป็น Prandtl, Terzaghi, Meyerhof, Hansen และบุคคลอื่นๆ สำหรับการหาค่า bearing capacity นั้นจะเป็นหัวข้อหลักที่จะกล่าวถึงในส่วนนี้

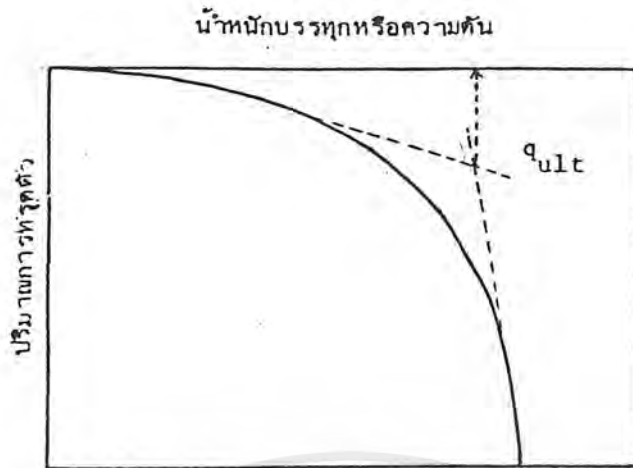
### 2.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่กระทำ และการทรุดตัวของดิน

เมื่อมีน้ำหนักหรือแรงมากระทำต่อฐานราก ฐานรากจะเกิดการทรุดตัว โดยในช่วงแรกนั้นการทรุดตัวจะน้อย (อยู่ในช่วง elastic ซึ่งถ้าหากน้ำหนักถูกถอนออกหรือลดลงฐานรากจะพยายามกลับคืนเข้าสู่ระดับเดิม) ดังแสดงในรูป 2.1a แต่ถ้าหากเพิ่มน้ำหนักไปเรื่อยๆแล้ว การทรุดตัวจะเพิ่มมากขึ้นและไม่เป็นอัตราส่วนกับน้ำหนักจนถึงจุด Ultimate Bearing Capacity ( $q_{ult}$ ) ในขั้นนี้ฐานรากอาจจมหรือเอียงโดยดินด้านล่างจะถูกผลักให้ทะลักออกมาทางด้านข้างของฐานราก ดังแสดงในรูป 2.1b และ 2.1c ตามลำดับ

การเอียงหรือจมของฐานรากในขณะที่มีน้ำหนักบรรทุกสูงจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนกระทั่งโครงสร้างทั้งหมดเอียงล้มลง หรือจนกระทั่งระบบถึงสถานะของการสมมูล รูป 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก(load) และการทรุดตัวของดิน (settlement)



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะเคลื่อนของดิน ในสถานะต่างๆ เมื่อเพิ่มแรงกระทำ (John n. Cernica, 1995)



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและการทรุดตัวของฐานราก (บุญเทพ, 2539)

### 2.1.3 รูปแบบของการพังทลายของดิน

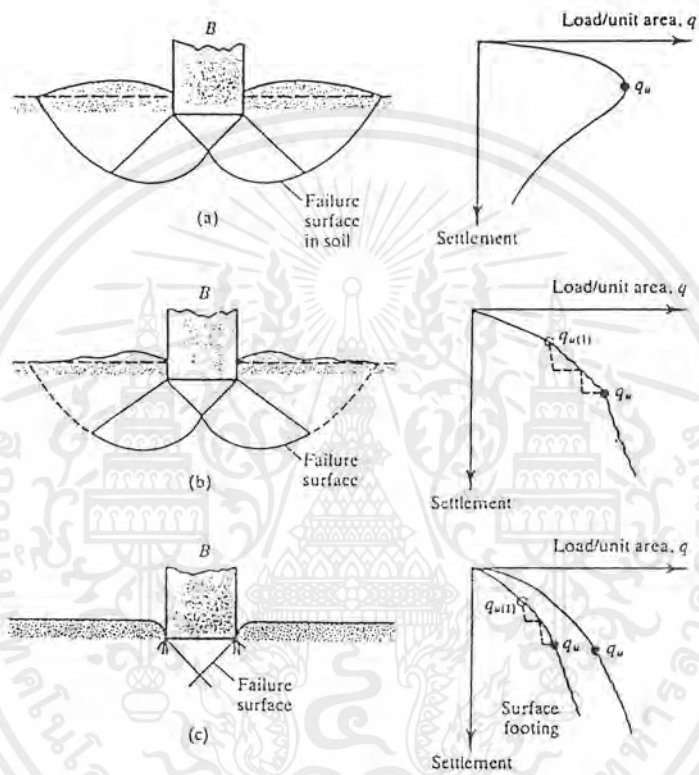
โดยปกติแล้วการพังทลายของฐานรากมักจะเป็นผลมาจาก ความพืดเนื่องจากแรงเฉือน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและความหนาแน่นของดิน ซึ่งรูปแบบการพังทลายของดินเนื่องจากแรงเฉือนนั้นปกติจะจำแนกได้ 3 แบบ ดังนี้

1. General Shear Failure จะพบในกรณีที่ฐานรากวางบน Dense Sand หรือ Stiff Cohesive Soil โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.3a ในขณะที่เพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น การทรุดตัวก็จะมีมากขึ้นจนกระทั่งเมื่อแรงต่อหน่วยพื้นที่มีค่าเท่ากับ ค่า ultimate bearing capacity ของดิน ดินจะเกิดการพังทลายขึ้น และแนวความพืดเนื่องจากแรงเฉือนก็จะขยายไปยังผิวดิน ดังที่แสดงในรูป 2.3a เราเรียกการพังทลายแบบนี้ว่า General Shear Failure

2. Local Shear Failure จะพบในกรณีที่ฐานรากวางบน Sand หรือ Clayey Soil อัดแน่นปานกลางดังแสดงในรูป 2.3(b) ในขณะที่เราเพิ่มน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น การทรุดตัวก็จะเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ระนาบของการพังทลายในดินแผ่ออกจากฐานรากอย่างสม่ำเสมอ ดังแสดงในเส้นทึบในรูปที่ 2.3(b) เมื่อแรงต่อพื้นที่ที่กระทำต่อฐานรากมีค่าเท่ากับ  $q_u(1)$  การทรุดตัวของฐานรากจะเกิดขึ้นทันทีทันใด(jerk) หลังจากนั้นฐานรากจะทรุดตัวต่อไปจนทำให้เกิดระนาบการพังทลายขยายไปสู่ผิวดิน ดังแสดงด้วยเส้นประในรูป 2.3(b) แรงต่อหน่วยพื้นที่ ณ จุดนี้เองที่เป็น Ultimate Bearing Capacity,  $q_u$  หลังจากจุดนี้ไปการเพิ่มแรงจะทำให้ฐานรากเกิดการทรุดตัวอย่างรวดเร็ว แรงต่อหน่วยพื้นที่  $q_u(1)$  เรียกว่า First Failure Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Punching Shear Failure จะพบในกรณีที่ฐานรากวางบนชั้นดินอ่อนประเภท Fairly Loose Soil ดังแสดงในรูป 2.3(c) โดยลักษณะของความพิบัติในดินจะไม่ขยายไปยังผิวดิน แต่จะมีรูปร่างเป็นเหมือนลิ้มในฐานราก และลักษณะโค้ง ใน Load-Settlement Curve จะปรากฏว่าเริ่มเป็นเส้นตรงที่ชั้น เมื่อน้ำหนักบรรทุกมีค่ามากกว่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินที่ค่า  $q_u$



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการพังทลายของดิน (a) general shear failure (b) Local shear failure (c) punching shear failure (Das, 1999)

### 2.1.3 การประมาณสภาพการรับน้ำหนักบรรทุกของดินโดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi

TERZAGHI (1943) ได้อาศัยการทดลองและประสบการณ์ในการวิเคราะห์หาสมการการประมาณค่าการรับน้ำหนักบรรทุกของดิน ของ Shallow Footing ที่มีพื้นหยาบ โดยเขาได้เสนอว่า สำหรับ Continuous หรือ Strip Foundation การพังทลายของหน้าดิน ที่แรงประลัยจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูป 2.4 โดยผลกระทบของดินที่อยู่เหนือพื้นของฐานราก จะถูกสมมุติให้เป็นน้ำหนักเทียบเท่า,  $q = \gamma D_r$  (โดยที่  $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน) โดยบริเวณของความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินได้ฐานรากจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน (ดังรูป 2.4)

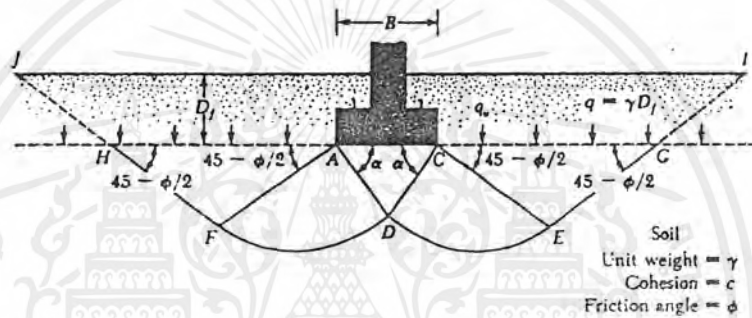
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Zone I** ดินจะอยู่ที่สภาวะ Elastic equilibrium (Wedge) และอยู่สภาพคล้ายกับเป็นส่วนหนึ่งของฐานราก ดังแสดงในรูป (ส่วนสามเหลี่ยมได้ฐานารากรูป ACD)

**Zone II** เป็นส่วนของ radial shear ที่มีพื้นผิวการพังทลายหมุนรอบขอบนอกสุดของด้านล่างของฐานราก ดังแสดงในรูป(ส่วน ADF และ CDE)

**Zone III** เป็นบริเวณของ Rankine Pressure ดังแสดงในรูป ( ส่วน AFH และ CEG)

โดยที่มุม CAD และ ACD จะถูกสมมุติให้เท่ากับมุมเสียดทานของดิน  $\phi$  และไม่คำนึงถึงค่า Shear Resistance ของดินตามแนวพิบัติ GI กับ HJ



รูปที่ 2.4 ลักษณะของความพิบัติเนื่องจากกำลังรับน้ำหนักในดินของ rough strip foundation ของ Terzaghi (Das, 1999)

และจาก Equilibrium Analysis จะได้สมการพื้นฐานของค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของดินรองรับฐานราก (Ultimate Bearing Capacity of Soil ,  $q_u$ ) คือ

$$q_u = cN_c + \gamma_0 D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \quad (2.1)$$

สมการที่ 2.1 เป็น Terzaghi bearing Capacity Equation สำหรับ Rough Strip Foundation และ  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  คือ Bearing Capacity Factor(ไม่มีหน่วย) โดยหาได้จากตารางที่ 2.1 หรือรูปที่ 2.5 ซึ่งแปรผันตามมุมของแรงเสียดทาน( $\phi$ )ของดิน

Schultze ได้ดัดแปลงสมการต่างๆของ Terzaghi เพื่อใช้กับฐานรากรูปร่างต่างๆ สรุปได้

ดังนี้

$$\text{Rectangular footing : } q_u = (1 + 0.3 \frac{B}{L}) c N_c + \gamma_0 D_f N_q + (1 - 0.2 \frac{B}{L}) \gamma \frac{B}{2} N_\gamma \quad (2.2)$$

$$\text{Square footing : } q_u = 1.3 c N_c + \gamma_0 D_f N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \quad (2.3)$$

$$\text{Circular footing : } q_u = 1.3 c N_c + \gamma_0 D_f N_q + 0.3 \gamma B N_\gamma \quad (2.4)$$

$$\text{Strip footing : } q_u = c N_c + \gamma_0 D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (2.5)$$

โดยที่  $q_u$  = Ultimate Bearing Capacity

$c$  = cohesion of soil

$\phi$  = friction angle of soil

$B$  = Width or Diameter of Footing

$\gamma_0$  = unit weight of soil above foundation level

$\gamma$  = unit weight of soil below foundation level

$N_q$  = bearing capacity factor for surcharge =  $\frac{a^2}{2 \cos^2(45^\circ + \phi/2)}$

เมื่อ  $a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$

$N_c$  = bearing capacity factor for cohesion =  $[N_q - 1] \cot \phi$

$N_\gamma$  = bearing capacity factor for soil =  $0.5 \tan \phi \left( \frac{K_{pY}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$

$K_{pY}$  = a term relating the passive pressure of soil in Zone II and III on Zone I

เนื่องจาก Terzaghi ไม่ได้ให้สมการในการหาค่า  $K_{pY}$  เอาไว้ แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้ทำการหาค่าสมการของ  $K_{pY}$  โดยวิธีการ fitting curve ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงมากดังนี้คือ

$$K_{pY} = 3 \tan^2 \left[ 45 + \left( \frac{\phi + 33}{2} \right) \right] \quad (2.6)$$

โดย S. Husain, Professor, Young Town State University (Geotechnical Engineering: Foundation Design, John n. Cernica, 1995)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในการวิเคราะห์ดินประเภท Local Shear Failure TERZAGHI (1943) ได้แนะนำการแก้ไข สูตรสำเร็จโดยใช้ค่า shear strength parameter ดังนี้

$$c' = 2/3c \tag{2.7}$$

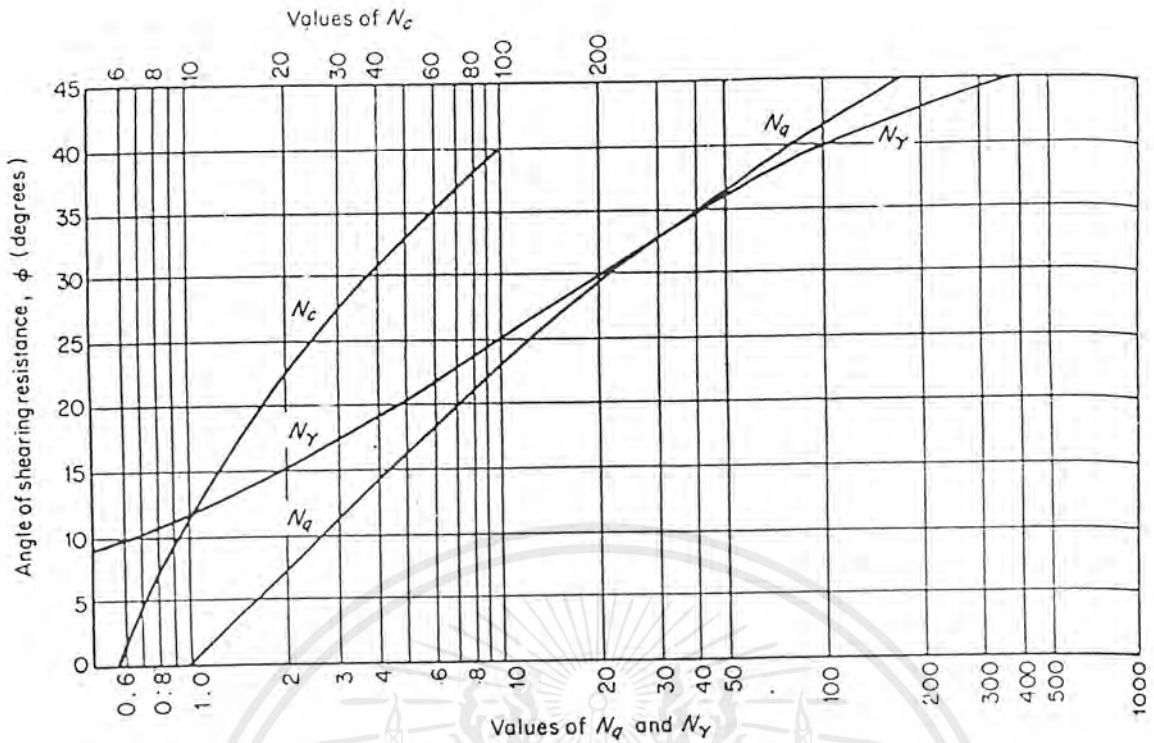
$$\tan\phi' = 2/3\tan\phi \tag{2.8}$$

ตาราง 2.1 แสดงค่าของ Bearing Capacity Factor ทั้งในกรณีของ general และ local shear failure ซึ่งแนะนำโดย TERZAGHI(1943) ส่วนรูปที่ 2.5 แสดงค่า Bearing Capacity Factor เฉพาะในส่วนของ General Shear Failure

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Terzaghi Bearing capacity factors

$\phi$	General Shear Failure			Local Shear Failure		
	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$	$N'_c$	$N'_q$	$N'_\gamma$
0	5.7	1.0	0.0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5	6.7	1.4	0.2
10	9.6	2.7	1.2	8.0	1.9	0.5
15	12.9	4.4	2.5	9.7	2.7	0.9
20	17.7	7.4	5.0	11.8	3.9	1.7
25	25.1	12.7	9.7	14.8	5.6	3.2
30	37.2	22.5	19.7	19.0	8.3	5.7
34	52.6	36.5	35.0	23.7	11.7	9.0
35	57.8	41.4	42.4	25.2	12.6	10.1
40	95.7	81.3	100.4	34.9	20.5	18.8
45	172.3	173.3	297.5	51.2	35.1	37.7
48	258.3	287.9	780.1	66.9	50.5	60.4
50	347.5	415.1	1153.2	81.3	65.6	87.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงค่า Bearing Capacity Factor ของ Terzaghi ในส่วนของ General Shear Failure (บุญเทพ, 2539)

เป็นการยากที่จะระบุขอบเขตว่าดินชนิดใดหรือกรณีใดที่จะเกิด General หรือ Local Shear Failure อย่างไรก็ตามสิ่งที่กล่าวต่อไปนี้เป็นแนวทางในการพิจารณาซึ่งไม่ใช่กฎเกณฑ์ตายตัวที่จะต้องนำมาปฏิบัติเสมอไป

1. Stress strain test ( $c-\phi$  soil)

General shear failure จะเกิดในกรณีที่มี strain ต่ำ หรือน้อยกว่า 5 % แต่ Local Shear Failure จะมี Stress strain curve สูงชันไปเรื่อยๆ และที่จุดวิบัติอาจสูงถึง 10-20 %

2. Friction Angle ( $\phi$ )

หากดินมีมุม  $\phi$  มากกว่า  $36^\circ$  ควรพิจารณาให้เกิด General Shear Failure แต่ถ้าน้อยกว่า  $28^\circ$  ควรพิจารณาให้เกิด Local Shear Failure

3. Standard Penetration Test (N, penetration number)

หาก  $N > 30$  ควรพิจารณาให้เกิด general shear failure เพราะดินแน่นหรือแข็งมาก

หาก  $N < 5$  ควรพิจารณาให้เกิด local shear failure

4. Density Index (relative density,  $D_r$ )

หาก  $D_r > 70$  ควรพิจารณาให้เกิด general shear failure

หาก  $D_r < 20$  ควรพิจารณาให้เกิด local shear failure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่งฐานรากที่มีพื้นเรียบ จะให้ค่า Ultimate Bearing Capacity ต่ำกว่าฐานรากที่มีพื้นหยาบ ดังนั้นฐานรากพื้นหยาบจึงนิยมใช้ค่า safety factor สูงกว่า และในทางปฏิบัตินั้น การทดสอบกริดก็ทำให้พื้นของฐานรากหยาบจึงสามารถนำสมการที่กล่าวมาไปใช้ได้

จากการศึกษา Terzaghi Bearing Capacity equation พอสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. net  $q_u$  จะเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกของฐานรากมากขึ้น
  2. net  $q_u$  ของ cohesive soil ( $\phi = 0$ ) ไม่ขึ้นกับขนาดของฐานราก
  3. net  $q_u$  ของ cohesionless soil ( $c = 0$ ) จะขึ้นอยู่กับขนาดฐานรากโดยตรง
- แต่ความลึกของฐานรากมีความสำคัญมากกว่าขนาดของฐานราก

นอกจากนี้ถึงแม้ว่า Terzaghi เขาจะพิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากรูปร่างของฐานรากในพจน์ ของ “cohesion” และ พจน์ของ “Base” แต่อย่างไรก็ตามเขาก็ไม่ได้พิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ ทำให้สมการของ Terzaghi จำกัดอยู่เพียงแค่ การหาค่า bearing capacity ของฐานรากที่รับแรงตามแนวแกนเท่านั้น ไม่เหมาะกับการที่จะนำไปใช้วิเคราะห์กับฐานรากที่รับแรงเอียงศูนย์ หรือฐานรากที่เอียง อย่างไรก็ตาม สมการของ Terzaghi ก็ยังคงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีสมการที่ง่ายต่อการคำนวณและไม่ต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ดังในทฤษฎีของ Meyerhof และ Hansen

#### 2.1.4 การประมาณสภาพการรับน้ำหนักบรรทุกของดินโดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof

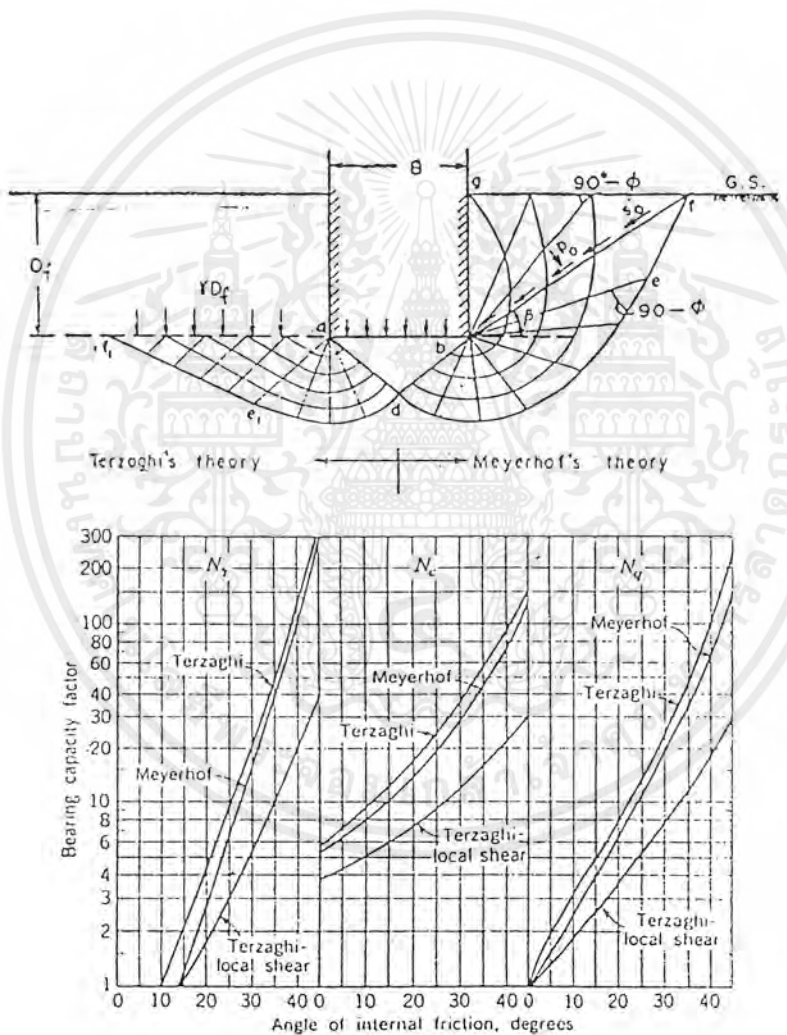
Meyerhof(1951,1963) ได้เสนอสมการในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน ในลักษณะเดียวกับ Terzaghi แต่จะเพิ่ม ค่า Shape Factor,  $s_i$  Depth Factor,  $d_i$  และ Inclination Factor,  $i_i$  เข้าไปสำหรับฐานรากที่รับแรงในแนวเอียง

แนวคิดของ Meyerhof มีข้อแตกต่างไปจาก Terzaghi(1943) ดังนี้

1. มุม wedge ของ Meyerhof จะไม่เท่ากับ  $\phi$  โดยจะเปลี่ยนแปลงไปจนให้ค่า  $N_\gamma$  ต่ำสุด เมื่อมุม wedge มากกว่า  $\phi$  จะทำให้ wedge มีเนื้อที่ลึกลงไปในดินมากขึ้น
2. Meyerhof ได้นำค่า shear strength ของดินใน shear zone ซึ่งอยู่เหนือฐานรากมาพิจารณาด้วย

รูปที่ 2.6 แสดงหลักการวิเคราะห์และผลที่ได้จากทฤษฎีของ Terzaghi และ Meyerhof เมื่อรูปร่างและความลึกของฐานรากเท่ากัน จะเห็นได้ว่าค่า Bearing capacity factor ของ Meyerhof จะมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าโดยทั่วไปต่ำกว่าของ Terzaghi เล็กน้อย สำหรับตารางที่ 2.2 ได้แนะนำการใช้ทฤษฎีทั้งสองที่กล่าวมาตามความเหมาะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าชนิด และความหนาแน่นของดินมีส่วนทำให้สภาพความเหมาะสมเปลี่ยนไป สิ่งที่น่าสังเกตคือ ทฤษฎีของ Meyerhof ให้ค่าที่อยู่ระหว่าง local และ general shear failure ของ Terzaghi ดังนั้นสำหรับดินหลวมหรือดินที่มีมุมเสียดทานภายในต่ำ ทฤษฎีทั้งสองนี้จะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบทฤษฎีของ Terzaghi และ Meyerhof (บุญเทพ, 1999)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 วิธีการวิเคราะห์การรับน้ำหนักของดินที่เหมาะสมของ Terzaghi และ Meyerhof (บุญเทพ, 1999)

Soil Type	Condition	Method For Analysis
Cohesionless....	Dense-relative density over 70	Terzaghi-general shear
	Loose-relative density less than 20	Terzaghi-local shear
	Intermediate-relative density 20 to 70	Terzaghi-interpolate or use Meyerhof
Saturated clay...	Sensitivity 5 or less	Meyerhof
	Sensitivity 10 or more	Terzaghi-local shear
Partially saturated clay	.....	Meyerhof

สำหรับสมการของ Meyerhof (1963) แบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ

$$1. \text{ Vertical Load : } q_u = cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2.9)$$

$$2. \text{ Inclined Load : } q_u = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (2.10)$$

โดยที่

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

$$N_c = 5.14 \text{ for } \phi = 0$$

สำหรับสมการในการหาค่า Shape Factor, Depth Factor และ Inclination Factor แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่า Collection Factor สำหรับสมการ bearing capacity ของ Meyerhof (Bowles, 1988)

Factor	Value	For
Shape	$s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B}{L}$	Any $\phi$
	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B}{L}$	$\phi > 10^\circ$
	$s_q = s_\gamma = 1$	$\phi = 0$
Depth	$d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	Any $\phi$
	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$	$\phi > 10^\circ$
	$d_q = d_\gamma = 1$	$\phi = 0$
Inclination	$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$	Any $\phi$
	$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$	$\phi > 0$
	$i_\gamma = 0$	$\phi = 0$

Where  $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$

$\theta$  = angle of resultant measured from vertical without a sign

B, L, D = Previous Defined

### 2.1.5 การประมาณสภาพการรับน้ำหนักบรรทุกของดินโดยใช้ทฤษฎีของ Hansen

Hansen(1970) ได้เสนอสมการในการประมาณค่ากำลังรับน้ำหนักของดิน ไว้ดังนี้

$$\phi > 0 : q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (2.11)$$

$$\phi = 0 : q_u = 5.14s_u(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q \quad (2.12)$$

โดยที่

$N_q, N_c$  ใช้ตามค่าของ Meyerhof

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi$$

จะเห็นได้ว่า Hansen ได้เพิ่มค่า base factor,  $b_i$  สำหรับฐานรากเอียง และค่า ground factor,  $g_i$  สำหรับฐานรากที่วางบน Slope ส่วนสมการในการหาค่า Shape Factor, Depth Factor และ Factor อื่นๆ ของ Hansen อ่านได้จากตารางที่ 2.4, 2.5, 2.6 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Shape Factors

Since failure can take place either along the long sides or along the short sides, Brinch Hansen proposed two sets of shape factors.

$$s_{qn} = 0.2 \eta_n B/L$$

$$s_{qn} = 0.2 \eta_n L/B$$

$$s_{\gamma n} = 1 + \sin \phi \cdot B_i \eta_n / L$$

$$s_{\gamma n} = 1 + \sin \phi \cdot L_i \eta_n / B$$

$$s_{\gamma p} = 1 - 0.4 (B_i \eta_p) : (L_i \eta_p)$$

$$s_{\gamma p} = 1 - 0.4 (L_i \eta_p) : (B_i \eta_p)$$

For the last two factors the special rule must be followed, that the value exceeding 0.6 should always be used.

Base and Ground Inclination Factors

$$b_p = \frac{\nu}{\pi + 2} = \frac{\nu}{1.47}$$

$$b_\gamma = r^2 \tan \phi$$

$$b_\gamma = r^{2.7} \tan \phi$$

$$s_\gamma = \left[ 1 - 0.5 \tan \beta \right]^3 = s_\gamma$$

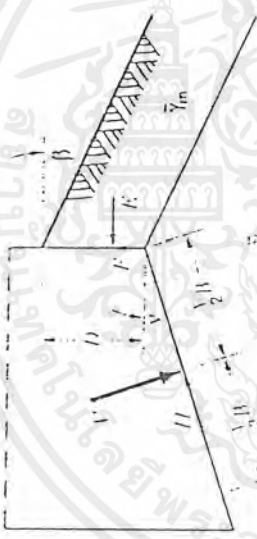
Load Inclination Factors

$$i_q^* = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - H/Ac_u}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - 0.5 H / (V + A \cot \phi) \right]^3$$

$$i_\lambda = \left[ 1 - 0.7 H / (V + A \cot \phi) \right]^3$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - (0.7 - \nu^2 / 4.50^\circ) H / (V + A \cot \phi) \right]^3 \quad \nu > 0^\circ$$



Depth Factors

$$d_q^* = 0.4 D/B$$

$$d_\gamma = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 D/B$$

$$d_\gamma^* = 0.4 \text{ arc tan } D/B$$

$$d_\gamma = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \text{ arc tan } D/B$$

$$d_\gamma = 1$$

for  $D \leq B$

for  $D > B$

Shape factors	Depth factors	Inclination factors	Ground factors (base on slope)
$s_x = 0.2 \frac{B}{L}$	$d'_c = 0.4k$	$i'_{c(H)} = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c_a}}$	$g'_c = \frac{\beta^2}{1.47^2}$
$s_y = 1 + \frac{N_q B}{N_c L}$	$d'_c = 1 + 0.4k$	$i'_{c(V)} = 1 - \frac{mH}{A_f c_a N_q}$	For Vesic use $N_q = -2 \sin \beta$ for $\phi = 0$
$s_x = 1$ for strip	$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi) k$	$i_q = i_q \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$ (Hansen and Vesic)	$g_c = 1 - \frac{\beta^2}{1.47^2}$
$s_y = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi$	$d_y = 1.00$ for all $\phi$	$i_{q(H)} = \left(1 - \frac{0.5H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^5$	$g_{q(H)} = g_{y(H)} = (1 - 0.5 \tan \beta)^3$
$s_y = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$	$k = \frac{D}{B}$ for $\frac{D}{B} \leq 1$	$i_{q(V)} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^m$	Base factors (tilted base)
	$k = \tan^{-1} \frac{D}{B}$ for $\frac{D}{B} > 1$ (rad)	$i_{q(H)} = \left(1 - \frac{0.7H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^5$ ( $\eta = 0$ )	$b'_c = \frac{\eta^2}{1.47^2}$
		$i_{q(V)} = \left(1 - \frac{(0.7 - \eta^2/450)H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^5$ ( $\eta > 0$ )	$b_c = 1 - \frac{\eta^2}{1.47^2}$
		$i_{y(V)} = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^{m+1}$	$b_{q(H)} = \exp(-2\eta \tan \phi)$ $b_{y(H)} = \exp(-2.7\eta \tan \phi)$
			$b_{q(V)} = b_{y(V)} = (1 - \eta \tan \phi)^2$
			Notes: $\beta + \eta \leq 90^\circ$ $\beta \leq \phi$
		$m = m_H = \frac{2 + B/L}{1 + B/L}$ $H$ parallel to $B$	
		$m = m_V = \frac{2 + L/B}{1 + L/B}$ $H$ parallel to $L$	
		Note: $i_q, i_y > 0$	

Where  $A_f$  = effective footing area  $B' \times L'$  (see Fig. 4-4)  
 $c_a$  = adhesion to base = cohesion or a reduced value  
 $D$  = depth of footing in ground (used with  $B$  and not  $B'$ )  
 $e_n, e_t$  = eccentricity of load with respect to center of footing area  
 $H$  = horizontal component of footing load with  $H \leq V \tan \delta + c_n A_f$   
 $V$  = total vertical load on footing  
 $\beta$  = slope of ground away from base with downward = (+)  
 $\delta$  = friction angle between base and soil - usually  $\delta = \phi$  for concrete on soil  
 $\eta$  = tilt angle of base from horizontal with (+) upward as usual case

- General:
- Do not use  $s_f$  in combination with  $i_q$ .
  - Can use  $s_f$  in combination with  $d_f, y_f$ , and  $h_f$ .
  - For  $L/B \leq 2$  use  $\phi_n$   
 For  $L/B > 2$  use  $\phi_m = 1.5\phi_n - 17$   
 For  $\phi \leq 34^\circ$  use  $\phi_m = \phi_n$

ค่า Correction Factor ของ Hansen (แนะนำโดย Coduto)

1. Shape Factor : แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่า Shape Factor สำหรับสมการของ Hansen (Coduto, 1994)

Shape Factor	Direction of Load		
	Perpendicular To Footing Base	Inclined in the Plane of the B Dimension	Inclined in the Plane of the L Dimension
$s_c$	$1 + 0.2(B/L)$	$1 + 0.2(B/L)i_{cB}$	$1 + 0.2(L/B)i_{cL}$
$s'_c$	$0.2(B/L)$	$0.2(B/L)i_{cB}$	$0.2(L/B)i_{cL}$
$s_q$	$1 + (B/L)\sin\phi$	$1 + (B_{i_{qB}}/L)\sin\phi$	$1 + (L_{i_{qL}}/B)\sin\phi$
$s_\gamma$	$1 - 0.4(B/L)$	$1 - 0.4(B_{i_{\gamma B}}/L i_{\gamma L}) \geq 0.6$	$1 - 0.4(L_{i_{\gamma L}}/B_{i_{\gamma B}}) \geq 0.6$

2. Depth Factor :  $d_c = 1 + 0.4k$

$$d'_c = 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2k \tan\phi (1 - \sin\phi)^2$$

$$d_\gamma = 1$$

สำหรับฐานรากตื้นที่  $D/B \leq 1$  ให้ใช้  $k = D/B$  สำหรับฐานรากที่  $D/B > 1$  ให้ใช้  $k = \tan^{-1}(D/B)$

3. Inclination Factor :  $i_c = \sqrt{1 - \frac{V}{Ac}}$  สำหรับ  $V/Ac < 1$

$$i_c = 0 \quad \text{สำหรับ } V/Ac \geq 1$$

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{V}{As_u}} \quad \text{สำหรับ } V/Ac \leq 1$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.5V}{P + Ac \cot\phi} \right]^5 \geq 0$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{0.7V}{P + Ac \cot\phi} \right]^5 \geq 0$$

โดยที่  $A$  = พื้นที่ของฐานราก

$c$  = cohesion

$S_u$  = Undrained shear strength

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Base Factor (tilted base) :

$$b_c = 1 - \eta/147$$

$$b'_c = \eta/147$$

$$b_q = e^{-0.0349\eta \tan \phi}$$

$$b_\gamma = e^{-0.0349\eta \tan \phi}$$

5. ground Factor(base on slope) :

$$g_c = 1 - \beta/147$$

$$g'_c = \beta/147$$

$$g_q = g_\gamma = (1-0.5 \tan \beta)^5$$

จะเห็นได้ว่า ค่า Collection Factor ของ Hansen จะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย ตามหนังสือแต่ละเล่มที่นำมาอ้างอิง ซึ่งสูตรและวิธีการที่จะใช้ในโปรแกรมนี้จะแสดงในบทที่ 3 เรื่องวิธีการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรม

ทฤษฎีของ Meyerhof และของ Hansen ให้ผลที่ใกล้เคียงกันและเชื่อถือได้เมื่อฐานรากรับน้ำหนักเฉพาะในแนวตั้ง สิ่งที่ไม่ควรมองข้ามไปคือผิวของฐานรากที่สัมผัสกับดิน ซึ่งอาจจะหยาบมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ การบดอัดและเตรียมพื้นผิวก่อนการก่อสร้างฐานราก สมการที่ใช้หา สภาพการรับน้ำหนักของดิน ส่วนมากสมมุติให้เป็นผิวหยาบ หากในกรณีที่เป็นผิวเรียบและไม่สามารถทำให้หยาบได้แล้ว มีผู้แนะนำให้ลดสภาพการรับน้ำหนักลงประมาณ 30 %

### 2.1.6 ผลกระทบของระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อ ค่า Bearing Capacity ของดิน

เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินมีผลทำให้ค่ากำลังความแข็งแรงของดินเปลี่ยนไป ดังนั้นในการหาค่า Ultimate Bearing Capacity จะต้องคำนึงถึงระดับน้ำใต้ดินด้วย ซึ่งมี 3 กรณีที่ต้องพิจารณา โดยพิจารณาจากรูป 2.7 ดังนี้

**กรณีที่ 1 :**  $0 \leq D_1 < D_f$  คือระดับน้ำใต้ดินอยู่เหนือฐานราก ค่า Surcharge หรือค่า  $q$  ในสมการ Ultimate Bearing Capacity จะเป็น

$$q = \gamma D_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) D_2 \quad (2.13)$$

และค่า  $\gamma$  ในพจน์ของ  $0.5\gamma_{BN_\gamma}$  ของสมการ Ultimate Bearing Capacity จะมีค่า

$$\gamma = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (2.14)$$

กรณีที่ 2 :  $0 \leq d \leq B$  คือในระดับต่ำกว่าฐานรากในระดับลึกไม่มากกว่าความกว้างของฐานราก ค่า Surcharge หรือค่า  $q$  ในสมการ Ultimate Bearing Capacity ยังคงเป็น

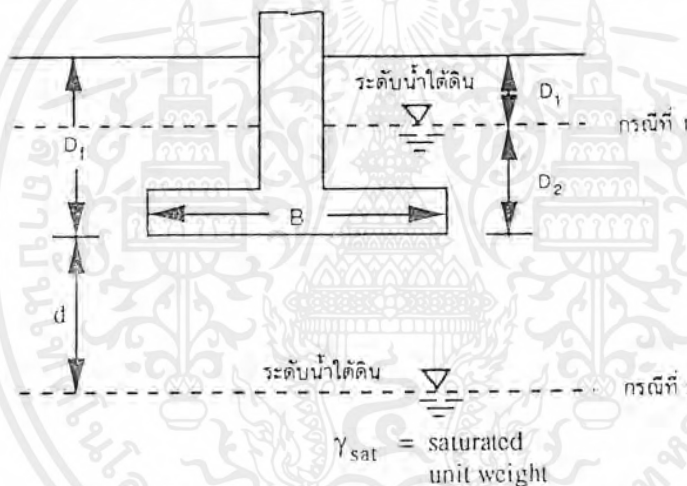
$$q = \gamma D_f \tag{2.15}$$

แต่ค่า  $\gamma$  ในพจน์ของ  $0.5\gamma BN_\gamma$  ของสมการ Ultimate Bearing Capacity จะมีค่า

$$\gamma = \gamma_{sub} + d/B(\gamma - \gamma_{sub}) \tag{2.16}$$

เมื่อ  $\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$

กรณีที่ 3 : เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับลึกที่  $d > B$  คืออยู่ต่ำกว่าฐานรากมากกว่าความกว้างของฐานราก แรงดันน้ำจะไม่มีผลต่อค่า Ultimate Bearing Capacity



รูปที่ 2.7 แสดงรูปประกอบการใช้สมการผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน (วรณี, 2541)

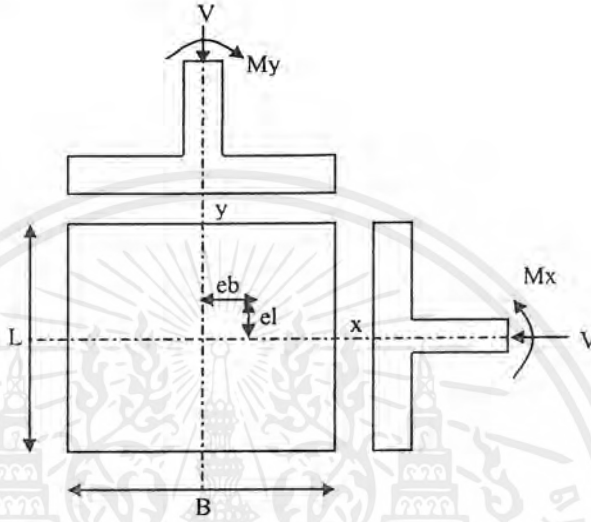
### 2.1.7 ผลกระทบของแรงเยื้องศูนย์ ที่มีต่อค่า Bearing Capacity ของดิน

ในกรณีที่มีแรงเยื้องศูนย์ หรือโมเมนต์มากระทำต่อฐานราก ซึ่งอาจจะมี 1 แกนหรือ 2 แกน จะมีผลต่อการวิเคราะห์ค่า Ultimate bearing capacity ของดิน ทั้งนี้เนื่องมาจากการกระจายของหน่วยแรงของดินใต้ฐานรากจะไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกโดยปลอดภัยของฐานรากตั้งเมื่อมีโมเมนต์เกิดขึ้น ก็จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่าสูงสุดของหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในดิน (Maximum contact pressure,  $q_{max}$ ) สำหรับในการหาค่า contact pressure ของดิน ถ้าเราพิจารณาให้ฐานรากเป็น rigid footing จะสามารถนำหลักการของ Mechanics of material มาใช้ได้ดังนี้ (พิจารณารูปที่ 2.8) จะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q = \frac{V}{A} \pm \frac{M_y x}{I_y} \pm \frac{M_x y}{I_x} \quad (2.17)$$

$$q = \frac{V}{A} \left( 1 \pm \frac{6e_b}{B} \pm \frac{6e_l}{L} \right) \quad (2.18)$$



รูปที่ 2.8 แรงกระทำเยื้องศูนย์กลางต่อฐานราก

แต่อย่างไรก็ตาม สมการที่ 2.17 และ 2.18 จะให้หาค่า contact pressure ในกรณีที่แรงเยื้องศูนย์กลาง อยู่ภายใน kern area เท่านั้น ซึ่งเป็นกรณีที่แรงดันของดินเกิดแรงอัดแบบเต็มฐานราก สำหรับในกรณีที่ แรงเยื้องศูนย์กลาง กระทำอยู่นอก kern area จะแบ่งได้เป็น 2 กรณีดังนี้

- 1) เมื่อแรงเยื้องศูนย์กลางที่กระทำอยู่นอก Kern Area,  $e > B/6$  (พิจารณาโมเมนต์แกนเดียว)

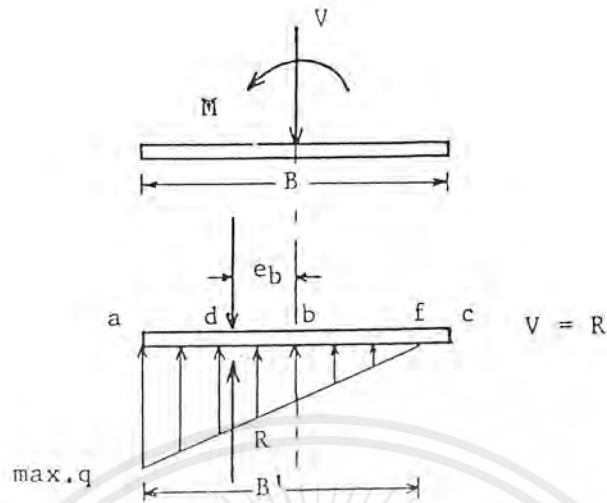
ในกรณีนี้ค่า  $q_{\min}$  ที่หาได้จะมีค่าเป็นลบ ซึ่งเสมือนว่าดินใต้ฐานรากจะต้องรับแรงดึง แต่ในสภาพ ความเป็นจริงแล้ว ดิน ไม่สามารถรับแรงดึงได้ ดังนั้น contract pressure จึงพิจารณาเฉพาะแรงอัด และจะ กระทำผ่านแนวแรงกระทำ(V) ดังรูปที่ 2.9

จากรูปที่ 2.9  $ad = ab - bd = B/2 - e_b$

$$af = B' = 3ad$$

$$= 3(B/2 - e_b)$$

$$= \frac{3}{2} (B/2 - e_b)$$



รูปที่ 2.9 แรงกระทำเชิงศูนย์แกนเดียนอก kern area (บุญเทพ, 1999)

$$\text{แรง } R = \frac{1}{2} (\text{max. } q)(B')(L) \text{ จะได้ว่า}$$

$$V = \frac{1}{2} (\text{max. } q) \left( \frac{3}{2} (B/2 - e_b) \right) (L)$$

$$\text{Max. } q = \frac{4V}{3L(B - 2e_b)} \quad (2.19)$$

จะเห็นได้ว่าแนวแรง R และ V ทับกันที่ระยะ  $(B/2 - e_b)$  และการคำนวณค่า  $q_{ult}$  จาก bearing capacity equation ให้ใช้ค่า B' แทนค่า B ในสมการการหาค่า Bearing Capacity

## 2) เมื่อแรงเชิงศูนย์ที่กระทำอยู่นอก Kern Area (พิจารณาโมเมนต์ 2 แกน)

ในกรณีนี้เนื่องจากโมเมนต์ที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมาก จนกระทั่งทำให้เกิด tension ขึ้นบางส่วนได้ฐานราก การหาค่า contact pressure ในกรณีนี้จะทำได้ยากมาก อย่างไรก็ตามได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้ศึกษา [Meyerhoff(1953), Hanzen(1970)] และได้เสนอหลักการใช้ “Useful Width” ซึ่งเป็นการสมมุติให้ฐานรากมี Effective footing Area เป็น A' โดยมีจุดศูนย์กลางของฐานรากอยู่ที่ O' และ แรงคั่นดินได้

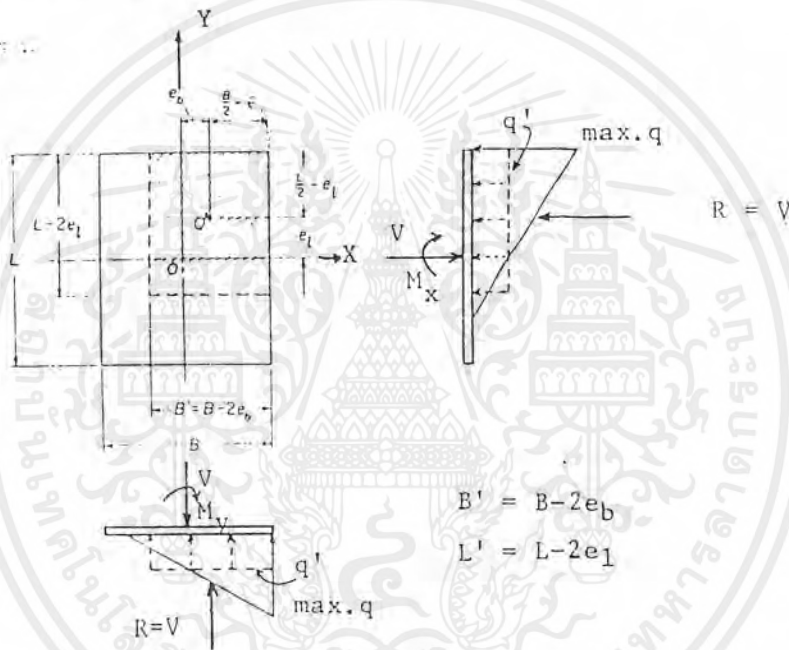
ฐานรากถูกสมมุติให้กระจายอย่างสม่ำเสมอ (รูปที่ 2.9) แสดงความกว้างและความยาวของฐานรากโดยจะถูกกำหนดให้เป็น B' และ L' ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณทุกสมการแทนที่ค่า B และ L ดังนี้

$$A' = B'L' \text{ โดยที่ } B' = B - 2e_y \text{ และ } L' = L - 2e_x \quad (2.20)$$

ซึ่งจะได้ว่าค่า contact pressure

$$q = V/(B'xL') \quad (2.21)$$

การใช้ Concept of useful width นี้สามารถนำไปใช้กับ eccentric loading ทุกชนิด แต่ผลที่ได้จะไม่ละเอียดเท่ากับวิธีของ Mechanics of materials



รูปที่ 2.10 หลักการของ Useful width (บุญเทพ, 1999)

นอกเหนือจากการใช้หลักการของ Useful width แล้ว Meyerhof (1953) ยังได้เสนอวิธีการใช้ Reduction Factor ( $R_c$ ) มาเป็นส่วนลดในการหาค่ากำลังรับแรงของดิน โดยในวิธีการนี้เราจะทำการคำนวณค่ากำลังรับแรงของดินโดยวิธีธรรมดา แล้วคูณด้วยค่า Reduction Factor ดังนี้

$$q_{ult} = q_{ult} R_c \quad (2.22)$$

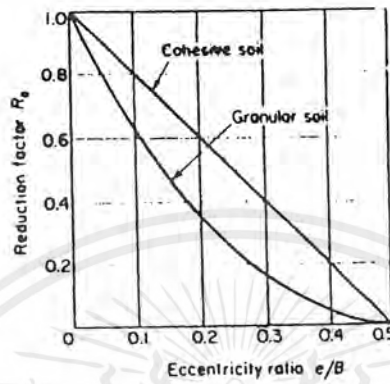
โดยที่

$$R_c = 1 - 2 \frac{e}{B} \quad \text{สำหรับ cohesive soil} \quad (2.23)$$

$$R_c = 1 - \left( \frac{e}{B} \right)^{1/2} \quad \text{สำหรับ cohesionless soil โดยที่ } 0 < \frac{e}{B} < 0.3 \quad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากมีค่า eccentricity สองแกนให้หาค่าของแต่ละแกนแล้วนำมาคูณกัน รูปที่ 2.11 แสดงค่า Reduction Factor ในค่า eccentricity ratio ต่างๆ



รูปที่ 2.11 ส่วนลดของแรงกระทำเยื้องศูนย์กลางของ Meyerhof (บุญเทพ, 1999)

### 2.1.8 สัดส่วนปลอดภัย และกำลังรับน้ำหนักของดินที่ยอมให้ (Factor Of Safety And Allowable Bearing Capacity)

ในงานออกแบบฐานราก ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกที่นำมาใช้ จะเป็นค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของดินรองรับฐานรากโดยปลอดภัย (Allowable Bearing Capacity,  $q_{all}$ ) ซึ่งได้มาจากการหารค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกที่ด้วยสัดส่วนปลอดภัย ดังแสดงในสมการ

$$q_{all} = q_u / FS \quad (2.25)$$

บางครั้ง ก็นิยมใช้ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักโดยปลอดภัยของดินรองรับฐานราก (Net Allowable Bearing Capacity,  $q_{all(net)}$ ) ในงานวิศวกรรม คือ

$$\begin{aligned} q_{all(net)} &= q_{u(net)} / FS \\ &= (q_u - q) / FS \end{aligned} \quad (2.26)$$

สำหรับการเลือกใช้ค่า Factor of safety นั้น มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน ได้ให้คำแนะนำไว้ ดังนี้

1. คำแนะนำโดย Bowles

สำหรับการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือน Bowles ได้ให้คำแนะนำไว้ว่า

- สำหรับฐานรากแผ่ (Spread Footing) ให้ใช้ 2 ถึง 3
- สำหรับ ฐานรากแพ (Mat Footing) ให้ใช้ 1.7 ถึง 2.5
- สำหรับ ฐานรากที่ค้ำนึ่งถึงแรงยก (Uplift Force) ให้ใช้ 1.7 ถึง 2.5

2. คำแนะนำโดย Teng

Teng(1962) กล่าวว่า “ควรจะใช้ค่าสัดส่วนความปลอดภัย 3 สำหรับแรงกระทำทั่วๆ ไป และควรใช้ค่าสัดส่วนความปลอดภัย 2 สำหรับแรงกระทำที่มาก หรือมีแรงกระทำหลายๆแบบร่วมกัน”

3. คำแนะนำโดย Vesic

Vesic ได้กล่าวว่า การเลือกค่าสัดส่วนความปลอดภัยควรขึ้นอยู่กับ ลักษณะและอายุใช้งานโครงสร้าง Vesic แนะนำว่า “การเลือกค่าสัดส่วนความปลอดภัยสำหรับการออกแบบไม่สามารถทำได้ถ้าปราศจากความน่าเชื่อถือของตัวแปร ซึ่งนำไปใช้ในการออกแบบเช่น การเลือกค่าแรงที่จะใช้ในการออกแบบ ความแข็งแรงของดิน และการทรุดตัวของดินที่จะใช้ในการออกแบบ” คำแนะนำของ Vesic ที่แสดงในตารางที่ 2.7 อาจใช้เป็นแนวทางสำหรับ โครงสร้างถาวรที่ก่อสร้างบนดินที่พิจารณาเป็นชั้นเดียว(Homogenous Soil)

ตาราง 2.7 แสดงค่าสัดส่วนความปลอดภัยที่น้อยที่สุด สำหรับฐานรากแผ่แนะนำโดย Vesic (Coduto, 1944)

Category	Typical Structures	Characteristics of the Category	Design Factor Of Safety	
			Through And Complete	Limited
A	Railway bridge,	Maximum design load	3.0	4.0
	Warehouses,blast	Likely to occur often;		
	Furnances,hydraulic	Consequences of Failure		
B	Retaining walls,silos	disatrous	2.5	3.5
	Highway bridges,	Maximum design load		
	Light industrial and Public Building	May occur Occasionally, Consequences of Failure serious		
C	Apartment and office Building	Maximum design Load unlikely occur	2.0	3.0

### 2.1.9 ควรที่จะเลือกทฤษฎีใดในการหาค่ากำลังรับแรงของดิน

จะเห็นได้ว่าการคำนวณหาค่ากำลังรับแรงของดินนั้น มีอยู่หลายทฤษฎีให้เลือกใช้ โดยได้มีผู้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณ และจากการทดลองดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.8 ซึ่งต่างก็ให้ผลออกมาที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและชนิดของดิน

ตารางที่ 2.8 เปรียบเทียบค่า Bearing capacity ในทางทฤษฎี และปฏิบัติของทฤษฎีต่างๆ

Bearing Capacity	Test							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Method								
D = 0.0 m	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.0	0.3
B = 0.5 m	0.5	0.5	0.5	1.0	0.71	0.71	0.71	0.71
L = 2.0 m	2.0	2.0	2.0	1.0	0.71	0.71	0.71	0.71
$\gamma = 15.69 \text{ kN/m}^3$	16.38	17.06	17.06	17.06	17.65	17.65	17.06	17.06
$\phi = 37^\circ (38.5^\circ)$	35.5(36.25)	38.5(40.75)	38.5(40.75)	38.5	22	25	20	20
c = 6.37 kPa	3.92	7.8	7.8	7.8	12.75	14.7	9.8	9.8
Milovic(test)			$q_{ult} \text{ kg/cm}^2 =$		4.1	5.5	2.2	2.6
Muhs(tests)	$q_{ult} = 10.8 \text{ kg/cm}^2$	12.2	24.2	33.0				
Terzaghi	$q_{ult} = 9.4^*$	9.2	22.9	19.7	4.3^*	6.5^*	2.5	2.9^*
Meyerhof	8.2^*	10.3	26.4	28.4	4.8	7.6	2.3	3.0
Hansen	7.2	9.8	23.7^*	23.4	5.0	8.0	2.2^*	3.1
Vesic	8.1	10.4^*	25.1	24.7	5.1	8.2	2.3	3.2
Balla	14.0	15.3	35.8	33.0^*	6.0	9.2	2.6	3.8

Note: 1.  $\phi =$  triaxial value() = value adjust as  $\phi_{ps} = 1.5\phi_r - 1.7$

2. Value to nearest 0.1

3.  $\gamma, c$  converts form given units to above values

4. All value compute using computer program with sub routines for each method Values all use  $\phi_{ps}$  for  $L/B > 1$

5. \* = best for Terzaghi = 4, Hansen = 2; Vesic and Balla = 1 ea

จากการสังเกตเหล่านี้ เราอาจแนะนำการเลือกใช้สมการคั่งในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 แสดงถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้ทฤษฎีต่างๆ ในการคำนวณกำลังของดิน

Use	Best For
Terzaghi	เหมาะกับดินเหนียว ซึ่งให้ค่า $D/B \leq 1$ หรือ เหมาะกับการประมาณค่า $q_u$ อย่างคร่าวๆ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น
Hansen, Meyerhof, Vesic	ใช้ได้ในทุกสถานการณ์ที่ผู้ใช้ ผนัคที่จะอ้างอิงในแต่ละวิธี
Hansen, Vesic	เมื่อฐานรากเอียง หรือ วางบน Slope หรือ $D/B$ มากกว่า 1

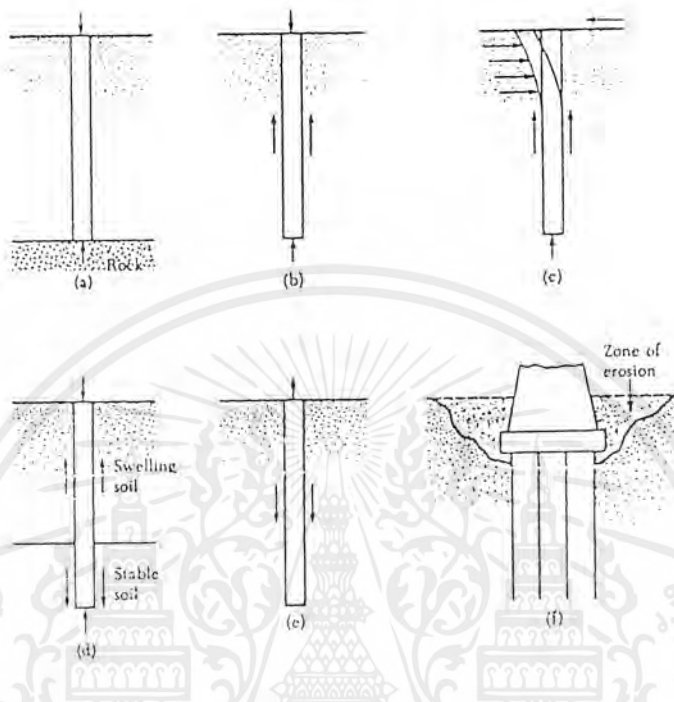


## 2.2 การหาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็ม (Ultimate Capacity of Pile)

เสาเข็มเป็นโครงสร้างที่ทำมาจาก เหล็ก, คอนกรีต, คอนกรีตเสริมเหล็ก และไม้ เป็นต้น ทำหน้าที่ถ่ายแรงจากโครงสร้างเหนือผิวดินลงไปสู่ชั้นดินที่อยู่ด้านล่าง เสาเข็มเป็นส่วนประกอบสำคัญของการสร้างฐานรากเสาเข็ม ซึ่งเป็นฐานรากลักษณะหนึ่ง นอกจากนี้ยังจำกัดในเรื่องของราคาการก่อสร้างแล้วในการเลือกใช้ฐานรากเสาเข็มยังมีข้อพิจารณาประกอบดังนี้

1. เมื่อดินชั้นบนอ่อนเกินไปที่จะรับน้ำหนักโครงสร้างได้ ฐานรากดินจึงไม่มีความเหมาะสม ดังนั้นจึงต้องใช้เสาเข็มช่วยถ่ายแรงจากโครงสร้างด้านบนลงไปสู่ชั้นดินที่อยู่ลึกลงไป ถ้าไม่สามารถถ่ายลงสู่ชั้นดินแข็งได้ดังรูปที่ 2.12 (a) การถ่ายแรงของเสาเข็มจะเป็นแบบอาศัยความฝืดระหว่างดินกับเสาเข็มช่วยในการถ่ายแรง โครงสร้างได้ดังรูป 2.12 (b)
2. เมื่อมีแรงแนวราบมากกระทำกับโครงสร้าง ดังรูป 2.12 (c) ฐานรากเสาเข็มจะต้านทานแรงค้ำค้ำที่เกิดขึ้นในขณะเดียวกันก็ยังคงรับน้ำหนักทางแนวตั้งไปด้วย ซึ่งมักใช้กับ โครงสร้างกำแพงกันดิน และ โครงสร้างตึกสูงที่มีผลเนื่องจากแรงลมเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย
3. ในชั้นดินที่มีการขยายตัว, ยุบตัว, และพองตัวสูง ถ้าชั้นดินเหล่านี้มีความหนาแน่นมากการใช้ฐานรากดินอาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากการทรุดตัว การใช้ฐานรากเสาเข็มจะช่วยสร้างความสมดุลของแรงที่เกิดขึ้นได้ด้วยการวิเคราะห์ถึงชั้นดินชั้นล่างที่อาจจะมีผลกระทบช่วยควบคุมการทรุดตัวได้ ดังรูป 2.12 (d)
4. ในบางครั้งฐานรากเสาเข็มใช้ในการต้านทานแรงยก (Uplift) ที่อาจจะเกิดขึ้นกับฐานรากได้ ดังรูป 2.12 (e)
5. มักใช้กับ โครงสร้างตอม่อสะพาน เพื่อต้านทานแรงกัดเซาะที่อาจจะเกิดขึ้นจากกระแสน้ำหรือการพังทลายของดิน ดังรูป 2.12 (f)

ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก (Bearing capacity) ของเสาเข็มขึ้นอยู่กับความสามารถในการรับน้ำหนักของตัวเสาเข็มเอง ซึ่งหมายความว่าคอนกรีตเหล็กและไม้ หรือความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากรอบ ๆ เสาเข็ม รวมทั้งปลายล่างด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีคาดคะเนหาความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มอันได้มาจากความสามารถในการรับน้ำหนักของดินฐานรากของเสาเข็ม โดยสมมติว่าความสามารถในการรับน้ำหนักของตัวเสาเข็มสูงกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการรับน้ำหนักของดินในฐานรากรอบเสาเข็ม



รูปที่ 2.12 ลักษณะการใช้เสาเข็ม (Das, 1988)

กรรมวิธีในการขับเคลื่อนเสาเข็มลงสู่ดินมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ขึ้นอยู่กับการพัฒนาและคิดค้นวิธีใหม่ๆ ขึ้นมา แต่ที่นิยมใช้กันทั่วไปมีอยู่ 4 วิธีหลักคือ

1. การตอกด้วยฆ้อน (Hammer) ตอกที่หัวเสาเข็ม อาจใช้แรงงานคนถ้าเป็นเข็มขนาดเล็ก หรือใช้เครื่องจักรถ้าเป็นเข็มขนาดใหญ่ ในอัตราคงที่ วิธีการนี้ค่อนข้างส่งเสียงดังรับกวนกับบริเวณโดยรอบ และมีแรงสั่นสะเทือนสูง ซึ่งอาจจะก่อความรำคาญและสร้างความเสียหายแก่สิ่งปลูกสร้างโดยรอบได้
2. การใช้อุปกรณ์สั่นสะเทือน (Vibratory device) วางไว้บนหัวเสาเข็ม แล้วอาศัยแรงสั่นสะเทือนในการขับเคลื่อนเสาเข็มลงสู่ชั้นดิน วิธีนี้เป็นวิธีที่เงียบ แต่มีข้อเสียคือทำงานได้ช้ากับชั้นดินที่มีความแข็งแรงสูง
3. การใช้อุปกรณ์ไฮดรอลิกในการขับเคลื่อนเสาเข็ม เป็นวิธีที่เงียบและรวดเร็วในการทำงาน แต่ต้องระวังเรื่องกำลังของเสาเข็มที่ถูกกดกว่ารับแรงกดได้หรือไม่ มิเช่นนั้นเสาเข็มอาจหักกลางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. การเจาะนำร่องก่อนแล้วจึงค่อยใช้ 3 วิธีการข้างต้นในการขับเคลื่อนเสาเข็ม

การวิเคราะห์หากลึงแบกทานของเสาเข็มเป็นเรื่องที่ซับซ้อนและยุ่งยาก เนื่องจากมีสมการต่างๆ กันเข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย เพราะเป็นเรื่องยากที่จะสร้างสมการเพื่อใช้กับดินได้ทุกประเภท ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ความถูกต้องและความใกล้เคียงกับสมบัติดิน จึงขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเองที่จะเลือกใช้สมการให้เหมาะสมกับดินบริเวณนั้น

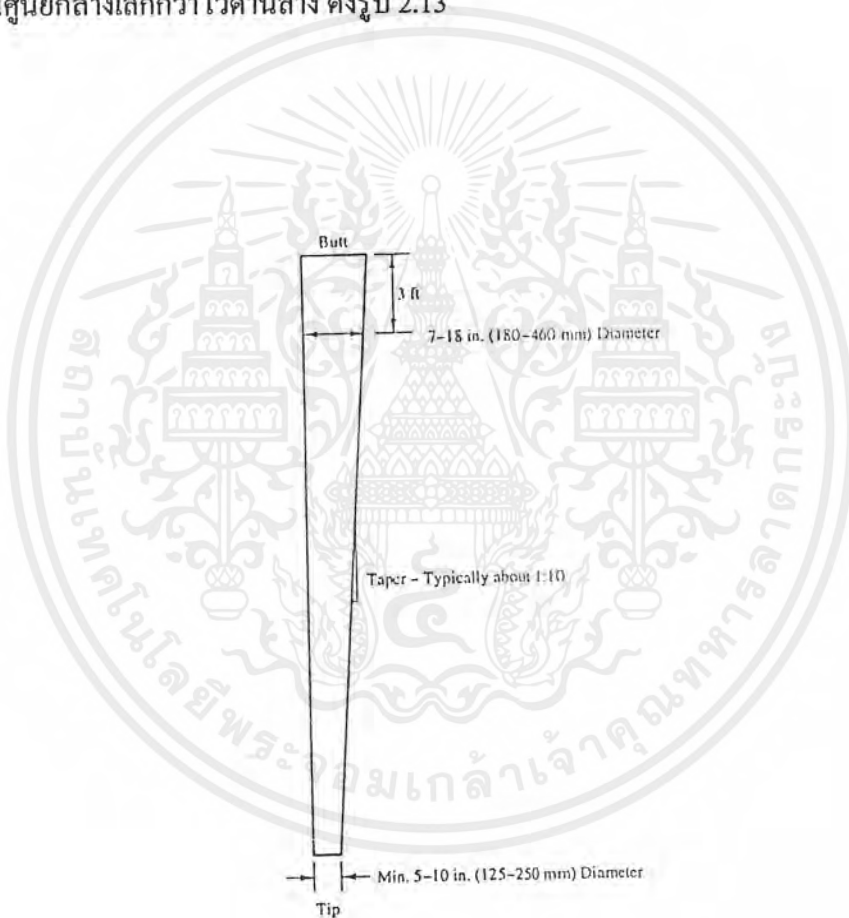
##### 2.2.1 ชนิดเสาเข็ม

เสาเข็มส่วนใหญ่ทำมาจากไม้, คอนกรีต, หรือเหล็ก ซึ่งวัสดุเหล่านี้ล้วนมีข้อดีข้อด้อยแตกต่างกัน เป็นเรื่องที่คิดที่จะจำแนกเสาเข็มตามชนิดของวัสดุ โดยองค์ประกอบหลักในการพิจารณาเลือกชนิดของเสาเข็มคือ

- น้ำหนักบรรทุก เสาเข็มไม้เหมาะกับการรับน้ำหนักบรรทุกไม่มากนัก ขณะที่เสาเข็มเหล็ก และคอนกรีตสามารถใช้กับการรับน้ำหนักบรรทุกสูงๆ ได้
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เสาเข็มแต่ละชนิดจะมีขนาดเฉพาะที่แตกต่างกัน เช่นเสาเข็มไม้ในปัจจุบันเป็นเรื่องยากที่จะหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ๆ ได้ เนื่องจากปัจจุบันป่าไม้ได้ถูกทำลายลงมาก
- ความยาวเสาเข็ม เช่นเดียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มที่ความยาวเสาเข็มจะมีความยาวเฉพาะที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกเสาเข็มไปใช้งานจะต้องเลือกความยาวเสาเข็มให้มีความเหมาะสมกับงาน
- ชนิดเสาเข็มที่มีในท้องถิ่นนั้นๆ เป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการประกอบการตัดสินใจเลือกเสาเข็มเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายบางส่วนลงได้เนื่องจากค่าขนส่ง
- สภาพแวดล้อมและความทนทานของเสาเข็ม สภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอนอาจเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเสาเข็มได้ การเลือกใช้เสาเข็มที่เหมาะสมจึงหมายถึงอายุใช้งานที่ยาวนานของโครงสร้าง
- สภาพความต้านทานของดินต่อการขับเคลื่อนเสาเข็ม เป็นปัจจัยที่จะทำให้ทราบถึงข้อจำกัดของเสาเข็มที่จะเลือกใช้

## 1. เสาเข็มไม้ (Timber Piles)

เป็นเสาเข็มชนิดแรกที่มีมนุษย์รู้จักใช้ เนื่องจากในอดีตไม้เป็นสิ่งที่หาได้ง่ายและราคาถูก เสาเข็มไม้ทำมาจากลำต้นของไม้ที่ตั้งตรง ลักษณะทางกายภาพของต้นไม้โดยทั่วไปก็เหมือนกับเสาไฟฟ้า คือมีขนาดใหญ่ที่โคน และมีขนาดเล็กลงเมื่อความสูงของลำต้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการนำมาใช้จึงนิยมใช้การตอกเสาเข็มไม้กลับหัว กล่าวคือเอาส่วน โคนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าไว้ด้านบนบน เอาส่วนปลายที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าไว้ด้านล่าง ดังรูป 2.13



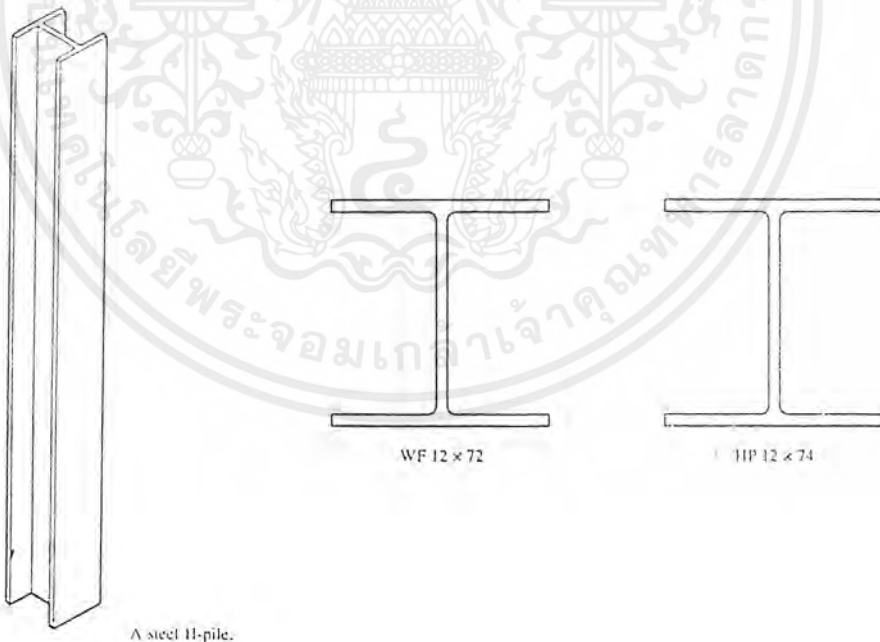
รูปที่ 2.13 ลักษณะการใช้งานเสาเข็มไม้ (Coduto, 1994)

เสาเข็มไม้มักออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกประมาณ 10 ตัน ถึง 40 ตัน

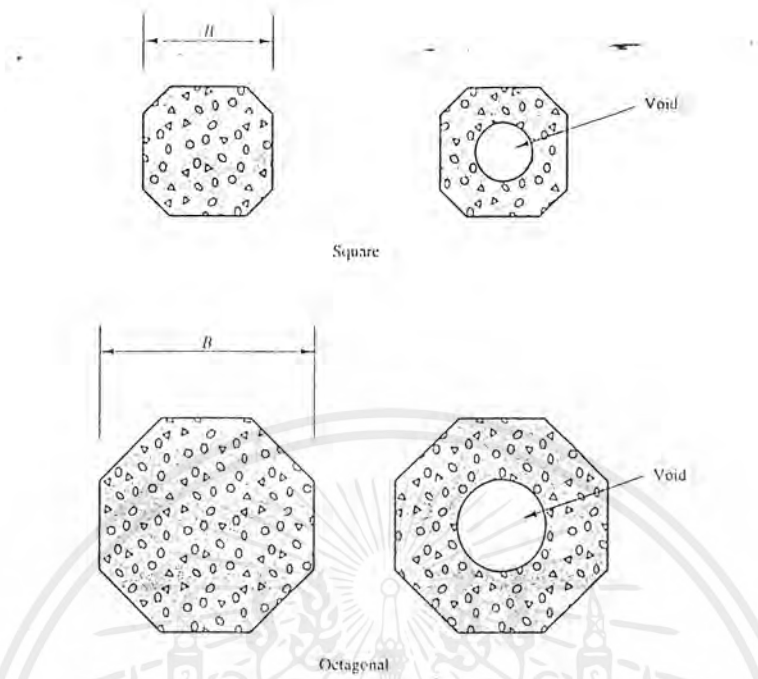
## 2. เสาเข็มเหล็ก (Steel Piles)

ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2433 การใช้เหล็กเข้ามาเป็นส่วนประกอบในโครงสร้างเริ่มมีแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงและความเหนียวของเหล็กนี้เองที่เป็นสมบัติเด่น ทำให้สามารถตอกเสาเข็มในบริเวณดินแข็งได้ นอกจากนี้เสาเข็มเหล็กยังง่ายต่อการต่อเชื่อมอีกด้วยเพียงแค่เชื่อมเข้าด้วยกันหรือต่อกันด้วยเกลียวก็ได้

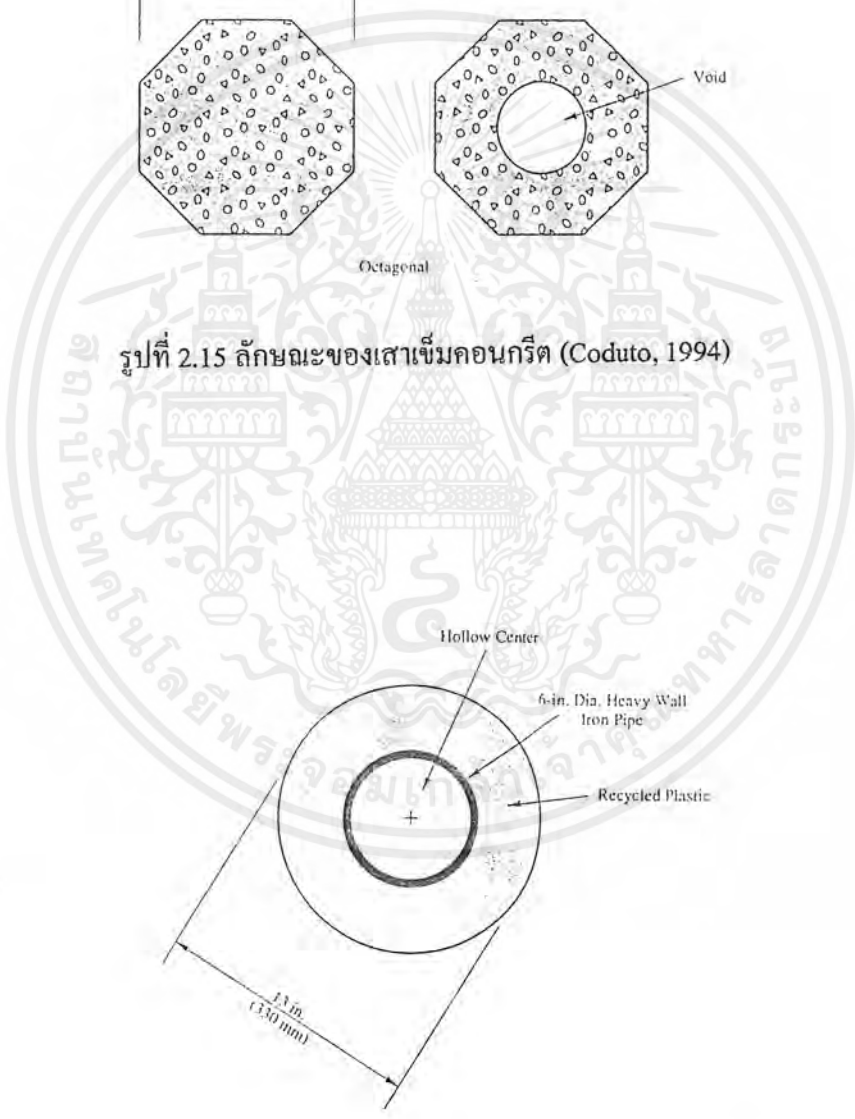
เสาเข็มเหล็กมีข้อเสียตรงที่ราคาแพงและมีเสียงดังเวลาตอก บางบริเวณที่มีการกักคร่อนเหล็กสูงก็อาจจะสร้างความเสียหายให้แก่เสาเข็มได้ เสาเข็มเหล็กที่ผลิตออกมาจำหน่ายในท้องตลาดมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่ที่เห็นนิยมใช้ทั่วไปได้แก่ H-Piles, Pipe-Piles



รูปที่ 2.14 ลักษณะเสาเข็มเหล็ก (Coduto, 1994)



รูปที่ 2.15 ลักษณะของเสาเข็มคอนกรีต (Coduto, 1994)



รูปที่ 2.16 Plastic-Steel Composite Piles (Coduto, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.เสาเข็มคอนกรีต (Concrete Piles)

เสาเข็มคอนกรีต โดยทั่วไปมักจะหมายถึงเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก เสาเข็มคอนกรีตมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดขึ้นอยู่กับบริษัทที่ผลิตออกมาจำหน่ายในท้องตลาด โดยทั่วไปเสาเข็มคอนกรีตมักจะมีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยม หกเหลี่ยม หรือ แปดเหลี่ยม

### 4.เสาเข็มประกอบ (Composite Piles)

เป็นการนำสมบัติเด่นของวัสดุอื่นมาประกอบกันเป็นเสาเข็ม เช่น Concrete-Fill Steel Pipe Piles, Plastic-Steel Composite Piles เป็นต้น

#### 2.2.2 การคำนวณน้ำหนักบรรทุกจากคุณสมบัติของดิน (Static pile formula)

ธรรมชาติการรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้นสามารถวิเคราะห์ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับความละเอียดของงาน และความเหมาะสมในการเลือกวิเคราะห์ของวิศวกร โดยทั่วไปนิยมวิเคราะห์พฤติกรรมของเสาเข็มใน 3 ชนิดคือ

1. ความสามารถในการรับแรงกด
2. ความสามารถในการรับแรงยก
3. ความสามารถในการรับแรงค้ำข้าง

ในการวิเคราะห์หาความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็ม สามารถแยกได้ 3 วิธี คือ

1. Full-scale load tests เป็นวิเคราะห์ที่ให้ผลค่อนข้างแน่นอน เนื่องจากการหาความสามารถรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยตรง แต่มีข้อเสียคือมีค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากต้องใช้อุปกรณ์ในการทดสอบ และต้องอยู่ในความควบคุมของผู้เชี่ยวชาญ
2. Static methods เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลดินที่ได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการและในสนาม เป็นการหาความสามารถของเสาเข็มทางอ้อม มีข้อดีคือเสียค่าใช้จ่ายน้อยแต่ผลการวิเคราะห์ที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Dynamic methods เป็นการวิเคราะห์โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการตอกเสาเข็มจริงในสนาม

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี Static ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ต้องอาศัยข้อมูลดิน เช่น ความหนาแน่นของดิน (Soil unit weight,  $\gamma$ ), มุมเสียดทานภายในของดิน (Internal friction angle,  $\phi$ ), Undrained shear strength ( $S_u$ ) หรือผลการทดสอบที่ได้จากสนาม เช่น Standard penetration test (SPT) หรือ Cone penetration test (CPT)

การวิเคราะห์สมบัติดินมีทั้งการวิเคราะห์โดยการใช้ Total (Undrained) และ Effective parameters แต่ควรใช้ Effective parameter มากกว่า เพราะควบคุมทั้งความแข็งแรงของดินและการทรุดตัว เช่นเดียวกับในฐานรากแบบตื้น การทดสอบหาคุณสมบัติของดินโดยการทำให้ Triaxial Test สำหรับเสาเข็มตอกนั้นให้ผลที่ละเอียดเกินไปและไม่คุ้มค่า ขณะที่ตอกเสาเข็มลงในดินพบว่าปัญหาเกิดขึ้นในการวิเคราะห์หาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็มมีดังนี้

- ในขณะที่มีการตอกเสาเข็มสมบัติดินรอบเสาเข็มจะถูกรบกวน (Disturbed) และมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมไปจากเดิม ซึ่งแตกต่างจากข้อมูลที่ได้จากห้องปฏิบัติการที่มีการควบคุมสมบัติดินเป็นแบบไม่ถูกรบกวน (Undisturbed)
- ปฏิกริยาระหว่างเสาเข็มกับดินซับซ้อนเกินกว่าที่จะประเมินตัวเลขออกมาได้ง่าย

ถึงแม้ว่าการวิจัยในอนาคตจะมีผลการศึกษาที่ให้ผลใกล้เคียงมากขึ้นก็ตาม แต่สองปัญหาที่นำเสนอไปข้างต้นนั้นก็ยังเป็นปัญหาหลักที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ ถึงอย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ก็ยังมีข้อดีตรงที่เสียค่าใช้จ่ายไม่มากเมื่อเทียบกับการใช้วิธีอื่น ซึ่งอาจใช้วิเคราะห์ด้วยจุดมุ่งหมายดังต่อไปนี้

1. เป็นการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับการเตรียมการทดสอบ Pile load test
2. นำผลการทดสอบ Pile load test มาวิเคราะห์ต่อโดยสมมุติให้ขนาดความยาวหรือเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็มเปลี่ยนไป ซึ่ง ไม่จำเป็นต้องทำการทดสอบ Pile load test อีกครั้ง

3. ใช้ออกแบบฐานรากในโครงการขนาดกลาง และเล็ก ซึ่งผลของค่าเผื่อที่ไม่ประหยัด (Conservative) ไม่มีผลต่อราคาการก่อสร้างมากนัก

ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี Static นั้นจะแยกวิเคราะห์ระหว่าง แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม และ แรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็ม หลังจากนั้นจึงนำแรงเหล่านี้มารวมกันเป็นกัณฑ์เสาเข็ม 1 ต้นสามารถรับได้

### 1. กลไกการถ่ายแรงสู่ชั้นดินของเสาเข็ม

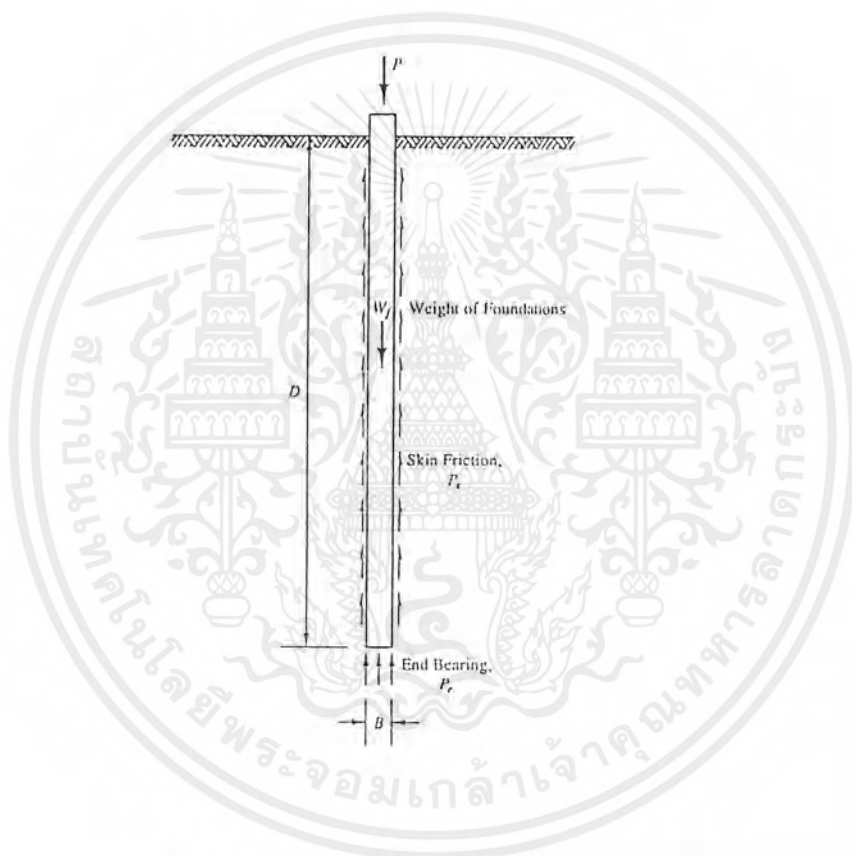
กลไกการถ่ายแรงจากเสาเข็มไปสู่ชั้นดินต่างๆ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.17 แรงดันดินในแนวราบกระทำพื้นผิวยกๆ เสาเข็มทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาเสียดทานในแนวตั้งซึ่งจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามความลึก และถ้าหากเสาเข็มเกิดการเคลื่อนตัว (Displacement) ถึงจุดหนึ่ง แรงยึดเหนี่ยว (Adhesion) ของดินรอบๆ เสาเข็มก็จะมีจะช่วยเพิ่มแรงปฏิกิริยานี้ด้วย ผลรวมของแรงปฏิกิริยาเหล่านี้จะเรียกว่าแรงต้านที่ผิวเสาเข็ม (Skin Resistance or Mantle Friction) นอกจากนี้ยังมีแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งเกิดขึ้นที่ปลายของเสาเข็มเรียกว่า แรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Tip - Bearing Resistance) ซึ่งอัตราส่วนของแรงต้านทานที่ผิวเสาเข็มกับแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มจะแปรตามคุณสมบัติทางกายภาพของชั้นดิน ขนาดและความลึกของเสาเข็มรวมถึง การติดตั้งเสาเข็มด้วยซึ่งวิธีการคำนวณ โดยทฤษฎี Static Formula ก็คือการคำนวณหาแรงปฏิกิริยานี้นั่นเอง

ในการคำนวณหาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี Static นั้นมีสูตรคำนวณที่ใช้โดยทั่วไปดังนี้

$$Q_U = Q_b + \sum Q_f + W \quad (\text{ในกรณีเสาเข็มรับแรงอัด}) \quad (2.27)$$

$$T_U = \sum Q_f + W \quad (\text{ในกรณีเสาเข็มรับแรงดึง}) \quad (2.28)$$

- เมื่อ
- $Q_U$  = ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (ในกรณีเสาเข็มรับแรงอัด)
  - $Q_b$  = ความสามารถในการรับน้ำหนักที่ปลายของเสาเข็ม
  - $Q_f$  = ความเสียดทานที่เกิดขึ้นโดยรอบเสาเข็ม
  - $T_U$  = ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย (ในกรณีเสาเข็มรับแรงดึง)
  - $W$  = น้ำหนักของเสาเข็ม



รูปที่ 2.17 กลไกการถ่ายน้ำหนักของเสาเข็ม (Coduto, 1994)

ในการคำนวณหาหน่วยแรงที่ยอมให้ของเสาเข็มสามารถหาได้จาก การหารด้วยค่าความปลอดภัยดังนี้

$$Q_a = \frac{Q_b}{SF_b} + \sum \frac{Q_f}{SF_f} \quad (2.29)$$

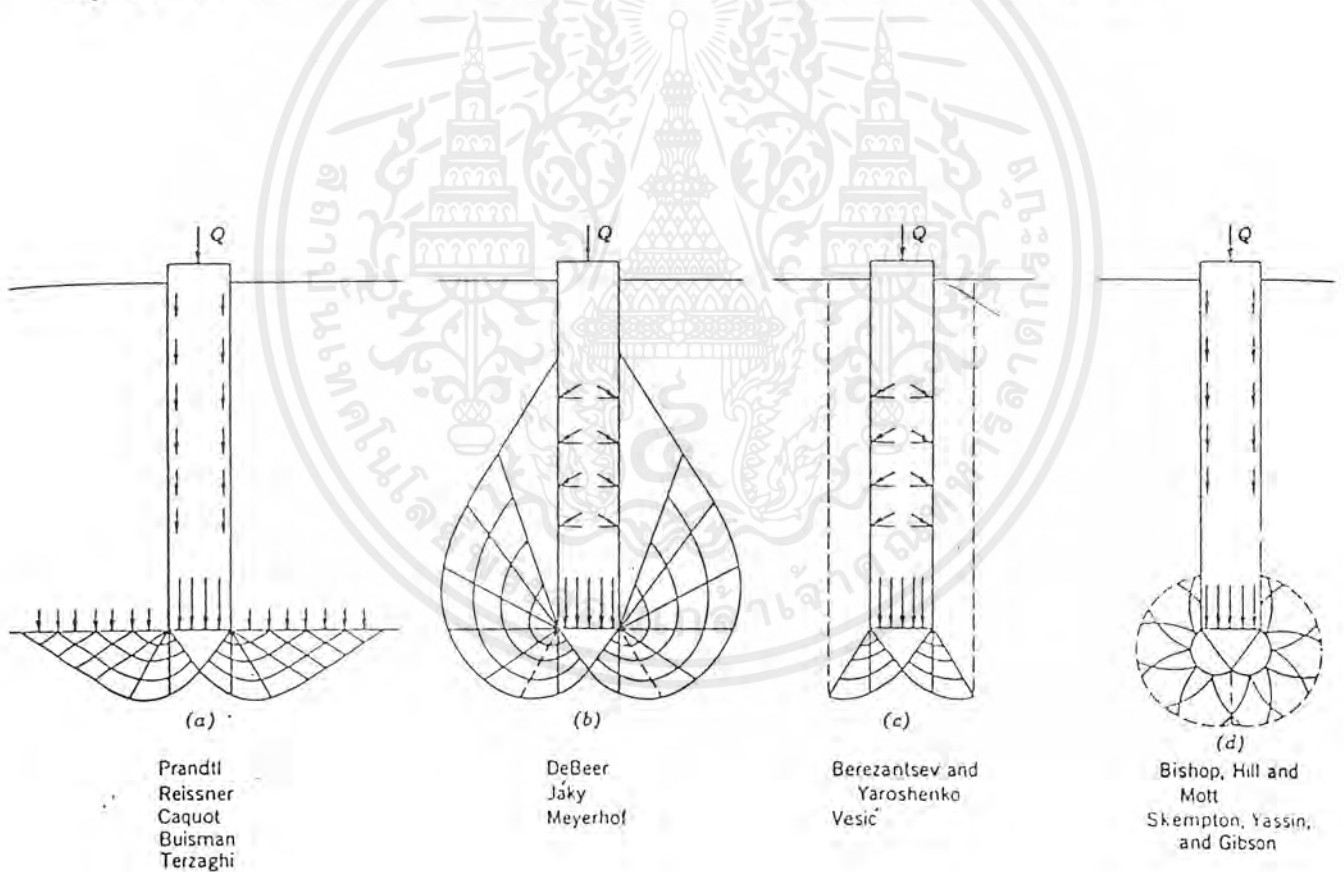
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือถ้าใช้ค่าความปลอดภัยเพียงค่าเดียว (นิยามใช้) ก็จะหาหน่วยที่ยอมให้ของเสาเข็มดังนี้

$$Q_a = \frac{Q_u}{SF} \quad (2.30)$$

## 2. การหาแรงต้านทานส่วนปลาย (Base resistance or point resistance, $Q_b$ )

สภาพการพังทลายหรือวิธีวัดด้านแรงเฉือนของเสาเข็มฐานรากแบบลึกจะคล้ายคลึงกับของฐานรากแบบตื้น จะมีส่วนแตกต่างก็คือ ขนาดและขอบเขตของระนาบการพังทลาย (Failure surface) ซึ่งได้มีผู้พยายามทำนายหรือสมมติขึ้นมาเพื่อประเมินหาแรงต้านทางส่วนปลาย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ระนาบการพังทลายที่สมมติขึ้นของฐานรากแบบลึก (Vesic, 1967)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณหาแรงต้านทานส่วนปลายของเสาเข็มด้วยวิธี Static นั้นสามารถใช้สมการหาค่ากำลังรับแรงของดินธรรมดาได้ โดยค่าในพจน์  $N_\gamma$  โดยทั่วไปมักไม่นำมาคิดเพราะว่าความกว้าง B ของเสาเข็มถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความยาวของเสาเข็ม แต่ถ้าเสาเข็มมีความกว้าง B มากในการคำนวณก็ไม่สามารถละเลยได้ ในการหาแรงต้านทานส่วนปลายของเสาเข็มนั้นมีผู้พยายามศึกษาไว้มาส่วนใหญ่ผู้ที่มีแนวคิดในการหาค่า N ที่แตกต่างกัน แม้ว่าจะมีสมมติฐานบางส่วนจะแตกต่างกัน แต่ก็ให้ผลออกมาเป็นสมการซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกัน ดังสมการที่ 2.31 นั่นคือ (LAMBE, 1969, 1979)

$$Q_b = A_p q_{ult}$$

$$Q_b = A_p [cNS_c + \eta \bar{\sigma}_v N_q + 0.5\gamma BN_\gamma S_\gamma] \quad (2.31)$$

$A_p$  = พื้นที่หน้าตัดส่วนปลายของเสาเข็ม  
 $N_c, N_q, N_\gamma$  = Bearing capacity factors สำหรับ Cohesion, Surcharge และดินของฐานรากแบบตึกหรือเสาเข็ม

$\bar{\sigma}_v$  = Effective vertical stress at pile tip

$\gamma$  = ความหนาแน่นของดิน

$B$  = ขนาดของเสาเข็ม(เส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้าง)

$S_c, S_\gamma$  = Shape factors

$\eta$  = 1 ในทุกกรณียกเว้น Vesic (1975) ซึ่งมีค่า

$$\eta = \frac{1 + 2K_o}{3} \quad (2.32)$$

เมื่อ  $K_o$  = at-rest earth pressure coefficient

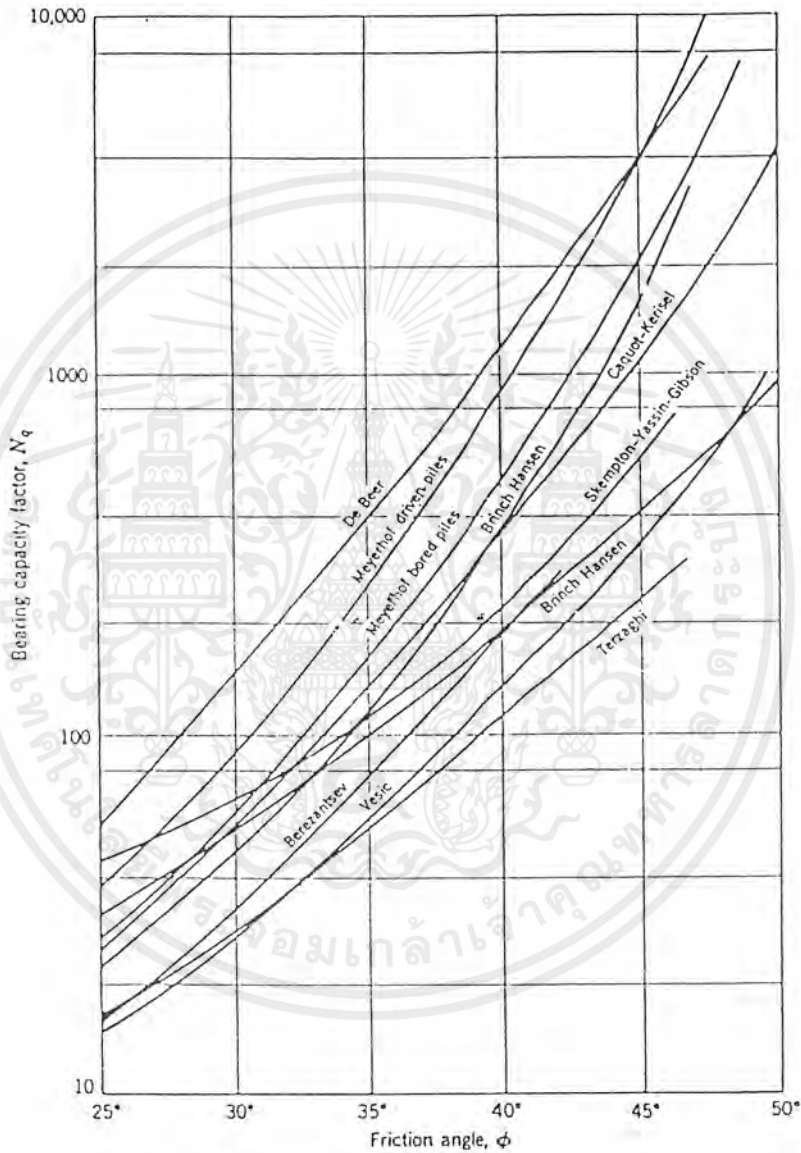
$$K_o = (1 - \sin \phi) \sqrt{OCR} \quad (2.33)$$

ผู้ออกแบบส่วนมากมักใช้  $N_q$  แทนการใช้  $N_{q-1}$  สำหรับ  $\phi > 0$  เพราะการลดค่าด้วย 1 เป็นการลดค่าที่ละเอียดมากเกินไป [Bowles, 1988]

Bearing capacity factors ของ Hansen สามารถนำมาใช้ร่วมกับ Depth และ Shape factors ได้ ซึ่งผลที่ออกมาค่อนข้างเชื่อถือได้ จากผลการทดลองที่ทดลองโดย Coyle และ Castello (1981) ที่ได้ทำการคำนวณหาแรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็มเทียบกับที่ทดลองได้จำนวนมาก เนื่องจากค่า  $\tan^{-1}(L/B)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใน Depth factors ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของแรงต้านทานส่วนปลายของเสาเข็มเมื่อเทียบกับความลึก [Bowles, 1988]



รูปที่ 2.19 Bearing capacity factor สำหรับ Deep circular foundations (Vesic, 1967)

(ก) เมื่อส่วนปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

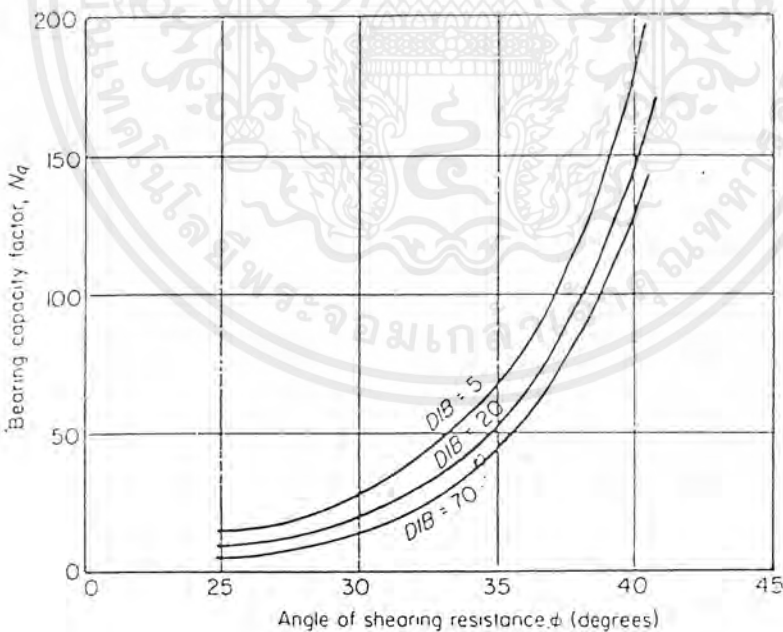
สำหรับทรายนั้นสามารถกล่าวไว้ว่า  $c = c' = 0$  และ  $\phi = \phi'$

$$\text{ดังนั้น } Q_b = A_p [\bar{\sigma}_v N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma] \quad (2.34)$$

ค่าของ  $N_\gamma$  จะมีค่าน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับของ  $N_q$

$$Q_b = A_p [\bar{\sigma}_v N_q] \quad (2.35)$$

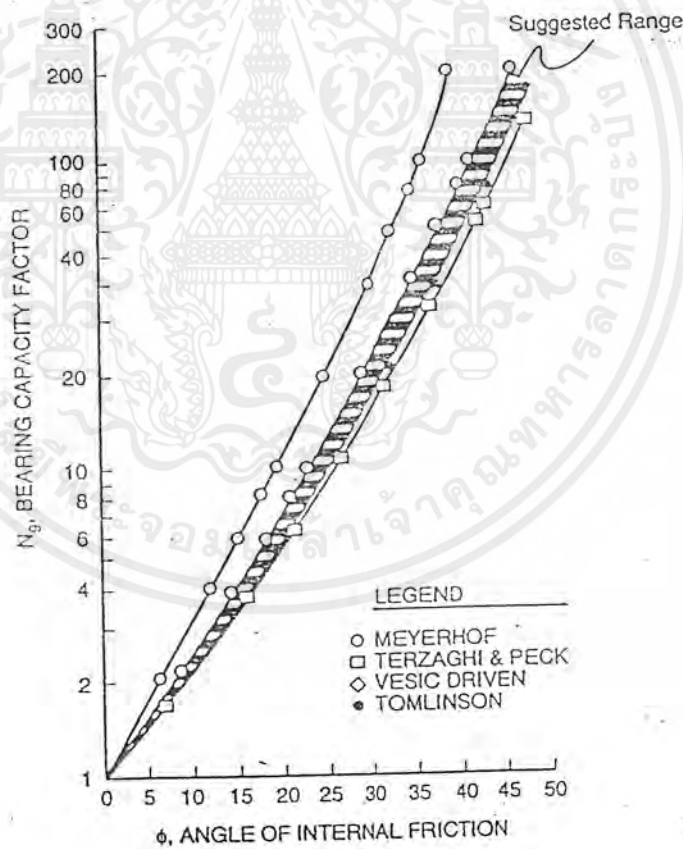
$N_q$  ตามลักษณะของระนาบการพังทลายที่สมมติขึ้นมาจากผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน ได้สรุปและแสดงไว้ในรูปที่ 2.19 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงนิยมใช้รูปที่ 2.20 ค่าของ  $N_q$  ซึ่งเสนอและแนะนำโดย Berezantsev (TOMLINSON, 1986 ;POULOS and DAVIS 1980 ) หรือหาได้จากรูปที่ 2.21 ซึ่งเสนอโดย Terzaghi และ Peck, 1967



รูปที่ 2.20 Berezantsev's bearing capacity factor (TOMLINSON,1987)

D/B = depth (length) to width ratio ของเสาเข็ม

ค่าของมุม  $\phi$  ที่ใช้ในรูปที่ 2.20 นั้นได้มาโดยทำ Triaxial tests หรือ Penetration test ส่วนผลจากการตอกเสาเข็มจะทำให้ทรายแน่นขึ้น โดยเฉพาะในชั้นทรายที่แน่นซึ่งจะทำให้ค่า  $\phi$  สูงขึ้น แต่สำหรับชั้นทรายที่หลวมนั้นมีผลค่อนข้างน้อย การตอกเสาเข็มใน Carbonate sand จะทำให้เม็ดทรายแตกออกเป็นซิลท์ และทำให้ค่า  $\phi$  ลดลงได้ แม้ว่าจะมีผู้พยายามทำการปรับปรุงแก้ไข เช่น Kishida ซึ่งให้ค่าหลังการปรับเป็น  $(\phi + 40)0.7$  แต่ก็มีผู้แนะนำให้ใช้ค่า  $\phi$  เท่าเดิมโดยไม่มีการปรับแก้ไข จากการทดสอบพบว่าแรงต้านทานส่วนปลาย (ประลัย) ไม่ควรมีค่าเกิน 1100 ดันต่อตารางเมตร และควรจะตอกเสาเข็มให้จมลงใน bearing stratum ไม่น้อยกว่า 5 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนเสาเข็มที่ฝังจมในชั้นดินที่มีดินเหนียวอ่อนหรือซิลท์ที่วางอยู่บนทรายแน่น (bearing stratum)



รูปที่ 2.21 Bearing capacity factor,  $N_q$  versus angle of internal friction  
(From Terzaghi and Peck, 1967)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ข) เมื่อส่วนปลายเสาเข็มอยู่ในชั้นดินเหนียว

สำหรับดินเหนียวนั้นถือได้ว่า  $\phi \approx 0$  ซึ่งจะให้ค่า  $N_q \approx 1$  และ  $N_\gamma \approx 0$  หรือมีค่าน้อยกว่ามาก ดังนั้น 2.31 จึงเขียนได้ใหม่เป็น

$$Q_b = A_p c N_c \quad (2.36)$$

ได้มีผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้พยายามประเมินค่า  $N_c$  สำหรับ  $\phi = 0$

เช่น

SKEMPTON(1951)  $6.14 \leq N_c \leq 9$  length to width ratio (D/B)  $\geq 4$

SKEMPTON(1959)  $N_c = 9$  ยืนยันด้วยผลการทดสอบของ London clay

SOWERS et al(1961)  $5 \leq N_c \leq 8$  จากการทดสอบแบบจำลอง

MOHAN & JAIN(1961)  $5.7 \leq N_c \leq 8.2$  สำหรับ expansive clays

LANDANY(1963)  $7.4 \leq N_c \leq 9.3$  สำหรับ insensitive clays

BISHOP et al (1945)  $N_c = 1 + \frac{4}{3} \left[ 1 + \ln \frac{E}{3C_u} \right]$  สำหรับเสาเข็มกลม

TOMLINSON (1986)  $N_c = 9.3$  length to width ratio in bearing

Stratum  $\geq 5$

BOWLES (1986)  $N_c = 5.74$

### 3. การหาแรงเสียดทานด้านผิวของเสาเข็ม (Skin friction, $Q_s$ )

วิธีแอลฟา (The  $\alpha$  Method)

ถูกเสนอขึ้นโดย TOMLINSON (1971) แรงเสียดทานเกิดขึ้นโดยรอบผิวของเสาเข็มในดินเหนียวจะให้แรงต้านทานได้ดีกว่าทรายเป็นส่วนใหญ่ การตอกเสาเข็มจะมีผลต่อแรงเสียดทาน ซึ่งจะเป็จำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้ เพราะจะไปรบกวนต่อการโครงสร้างของดินโดยตรง จากความรู้พื้นฐานของกลศาสตร์ดินนั้นพบว่า

Shear strength of soil  $s = c + \sigma \tan \phi$

ดังนั้น Pile - soil shear strength (Unit skin friction)

$$s = c_a + \sigma_h \tan \delta \quad (2.37)$$

เมื่อ  $c$  = Soil cohesion  $\approx c_u$

$c_a$  = Soil adhesion =  $\alpha c$

$\alpha$  = Adhesion factor

$\sigma$  = Normal stress

$\sigma_h$  = Horizontal stress ของดินกระทำที่ผิวเสาเข็ม

$\phi$  = Angle of internal friction

$\delta$  = Angle of friction ระหว่างเสาเข็มกับดินหรือ angle of wall friction

(ก) แรงเสียดทานของเสาเข็มในทราย (Cohesionless Soil)

แรงเสียดทานที่ผิวเข็มนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกวิกฤต (Critical depth,  $d_c$ ) ซึ่งความลึกวิกฤตนี้มีค่าเท่ากับ 10B ในทรายหลวม (Loose sand), 15B ในทรายทั่วไป (Medium sand) ลึกกว่าความลึกวิกฤตนั้น ค่าแรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มจะเริ่มเป็นค่าคงที่ (เท่ากับค่าแรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มที่ความลึกวิกฤต)

สำหรับทรายแม้ว่าอาจจะมี Cohesion เพียงเล็กน้อย แต่ในทางปฏิบัติก็ถือว่าเป็น Frictionless soil และน้ำสามารถซึมผ่านได้อย่างรวดเร็ว การวิบัติหรือพังทลายของดินจึงอยู่ในลักษณะของ Drained condition และคุณสมบัติของดินต้องใช้ในเทอมของ Effective เสมอ เพราะ Effective stress ควบคุมทั้งความแข็งแรงและการทรุดตัวของดิน

$$\text{ดังนั้น } f_s = \bar{\sigma}_h \tan \delta$$

$$= K \bar{\sigma}_v \tan \delta$$

$$Q_f = \sum_0^L A_s f_s = \int_0^L A_s f_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_f = \int_0^L P K \bar{\sigma}_v \tan \delta \, dl \quad (2.38)$$

$$Q_f = PLK \bar{\sigma}_v \tan \delta \quad (2.39)$$

- $P$  = เส้นรอบรูปของเสาเข็ม (สี่เหลี่ยมจตุรัส =  $4B$ , วงกลม =  $\pi D$ )  
 $L$  = ความยาวของเสาเข็ม ในส่วนที่พิจารณาหาแรงเสียดทาน  
 $K$  = Effective earth coefficient (ตารางที่ 2.10 หรือตารางที่ 2.11)  
 $\bar{\sigma}_v$  = แรงดันดินประสิทธิผลที่ความลึกใดๆ  
 =  $\gamma' d$  เมื่อ  $d < d_c$   
 =  $\gamma' d$  เมื่อ  $d \geq d_c$  โดยที่  $\gamma'$  คือ หน่วยน้ำหนักประสิทธิผลของดิน  
 $\delta$  = Angle of friction ระหว่างเสาเข็มกับดินหรือ Angle of wall friction

ตารางที่ 2.10 ค่า  $K$  สำหรับเสาเข็มรับแรงดึงและเสาเข็มรับแรงอัด (ASCE, 1993)

Soil Type	$K_c$	$K_t$
Sand	1.0 To 2.00	0.50 to 0.70
Silt	1.00	0.50 to 0.70
Clay	1.00	0.70 to 1.00

หมายเหตุ ค่านี้ใช้ไม่ได้กับ Prebored, Jetted หรือการติดตั้งโดยใช้ Vibratory hammer ซึ่ง การเลือกใช้ค่า  $K$  นั้นขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และควรมีการทำ Calculate back ค่า  $K, \delta$  และ  $N_q$  จากการทำ Load test

ตารางที่ 2.11 ค่า  $\delta$  จำแนกตามชนิดของเสาเข็ม (บุญเทพ, 2539)

TAVENAS (1971) 0.5	สำหรับเสาเข็มเหล็กรูป H
0.7	สำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง
1.25	สำหรับ taper timber piles
0.6	สำหรับเสาเข็มรับแรงดึง
IRELAND (1957) 1.75-3.0	จากการทดสอบแรงดึงของเสาเข็ม
MEYERHOR (1951) ทรายหลวม = 0.5 , ทรายแน่น = 1.0	จากการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม
MANSUR and JAUFMAN (1958) แรงกด = 0.3 , แรงดึง = 0.6	จากการวิเคราะห์ข้อมูลในสนาม
MANSUR and HURTER (1970) 1.4-1.9	สำหรับเสาเข็มเหล็กรูป H
1.2 - 1.3	สำหรับ steel pipe piles
1.45 - 1.6	สำหรับเสาเข็มคอนกรีตอัดแรงสี่เหลี่ยม
1.25	จากการทดสอบเสาเข็มไม้ 1 ตัวอย่าง
0.4 - 0.9	จากการทดสอบแรงดึงกับเสาเข็มทุกชนิด

อย่างไรก็ตามการเลือกใช้  $K$  และค่า  $\delta$  ที่เหมาะสมนั้น อาจจะต้องขึ้นอยู่กับประสบการณ์และสภาพหน้างานซึ่งอาจเลือกใช้ค่าอื่นที่เหมาะสมกว่า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับดุลยพินิจของผู้ออกแบบ

ตารางที่ 2.12 ค่ามุมเสียดทาน  $\delta$  ในเทอมของ  $\phi$  จำแนกตามชนิดของเสาเข็ม (ASCE, 1993)

Soil type	$\delta$
Sand	$0.67 \phi$ to $0.83 \phi$
Silt	$0.90 \phi$ to $1.00 \phi$
Clay	$0.80 \phi$ to $1.00 \phi$

สิ่งที่น่าจะนำมาพิจารณาก็คือ เสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยจะแทนที่ปริมาตรของดินน้อย และทำให้ค่า  $K$  หรือ  $\delta$  มีค่าน้อยไปตามด้วย อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าค่าของ  $K$  กระจายอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 1.5 เป็นส่วนใหญ่

(ข)แรงเสียดทานของเสาเข็มในดินเหนียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับดินเหนียวนั้นมีอัตราความชื้นของน้ำค่อนข้างสูงมาก การวิบัติหรือพังทลายของดินส่วนใหญ่จึงเกิดในลักษณะของ Undrained conditions เพราะจะมีความดันของน้ำสะสมมากขึ้นอันเนื่องมาจากการตอกเสาเข็มอย่างต่อเนื่อง มุม  $\phi$  ของดินเหนียวมีค่าน้อยมากและในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ประมาณให้เท่ากับศูนย์ได้ ( $\phi = 0$ ) ดังนั้นแรงเสียดทานของเสาในดินเหนียวจึงประเมินได้จาก

$$\begin{aligned} Q_f &= A_s f_s \\ &= c_a PL \\ Q_f &= \alpha c P L \end{aligned} \tag{2.40}$$

$f_s$  = Unit skin friction (pile –soil shear strength)

$A_s$  = พื้นที่โดยรอบผิวของเสาเข็ม =  $PL$

$c$  = Cohesion = average undisturbed shear strength

=  $S_u$  (Undrained shear strength)

$\alpha$  = Adhesion factor

ในกรณีที่ดินเหนียวในชั้นต่างๆ มีการกระจายของค่า Undrained shear strength ตามความลึกให้ค่าเฉลี่ยดินเหนียวแต่ละชั้น ส่วนน้ำหนักปลอดภัยที่เสาเข็มสามารถรับน้ำหนักนั้นหาได้จาก

$$\text{น้ำหนักปลอดภัยที่รับได้} \quad Q_a = \frac{\text{net}Q_b}{SF} + \frac{Q_f}{SF}$$

SF = ส่วนลดหรือสัดส่วนสำหรับความปลอดภัย ปกติใช้ 1.5 ถึง 3.0 หรือ เท่ากับ 2.5 สำหรับ

Static formular

$$Q_a = \frac{1}{2.5} (\text{net}Q_b + Q_f)$$

$$\text{หรือ } Q_a = \frac{\text{net}Q_b}{3.0} + \frac{Q_f}{1.5}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต:

- ค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็ม ( $Q_{ult}$ ) ที่รับแรงดึง จะพิจารณาเฉพาะค่าความต้านทานรอบผิวเสาเข็ม ( $Q_r$ ) เท่านั้น
- ในกรณีที่เสาเข็มเหล็ก ที่มีหน้าตัดรูป H (Steel H Pile) ค่า  $A_s$  จะถือเส้นค่าความยาวเส้นรอบรูปของเส้น block ส่วนค่า  $A_t$  จะเป็นพื้นที่ของรูป block

(ค) ในกรณีที่เสาเข็มอยู่ในชั้นตะกอนทราย (Silt)

แรงต้านทานรอบผิวเสาเข็มใน Silt นั้นมีสาเหตุ 2 ประการ คือ ความเสียดทานตลอดความยาวเสาเข็ม และแรงยึดเหนี่ยวของดินรอบเสาเข็ม ในส่วนของแรงเสียดทานนั้นจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกวิกฤต (critical depth,  $d_c$ ) ในส่วนที่ลึกกว่าความลึกวิกฤต แรงเสียดทานนี้จะมีค่าคงที่ สำหรับการออกแบบค่าความลึกวิกฤตจะมีค่า 10B ในตะกอนทรายหลวม (loose silt), 15B ในตะกอนทรายทั่วไป (Medium silt) และ 20B ในตะกอนทรายแน่น (Dense silt) เมื่อ B คือเส้นผ่านศูนย์กลางหรือความกว้างของเสาเข็มในส่วนของแรงยึดเหนี่ยวจะกำหนดโดยค่า Undrained shear strength ของชั้นดิน ซึ่งผลรวมของความต้านรอบผิวเสาเข็มเฉลี่ย (average skin resistance,  $f_s$ ) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$f_s = K\sigma' \tan \sigma + \alpha c \quad (2.41)$$

The  $\lambda$  Method

วิธี The  $\lambda$  Method (Vijayvergiya and Focht, 1972; Kraft, Focht and Amerasinghe) เป็นการวิเคราะห์ผสมผสานกันระหว่างดินที่ระบายน้ำกับไม่ระบายน้ำ (Drained and Undrained) ซึ่งมีสมการหาค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงเสียดทานผิวตั่ง (Unit skin friction resistance) นี้

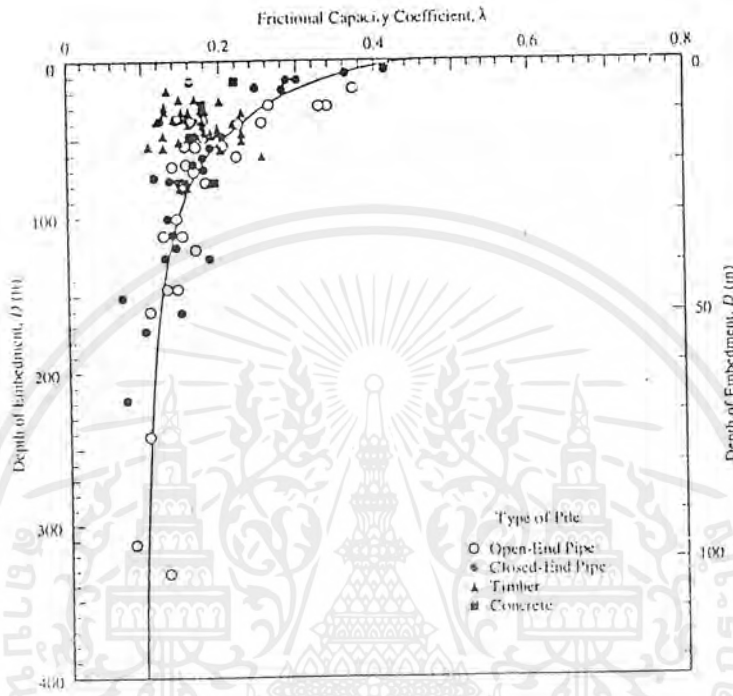
$$\bar{f}_s = \lambda(\bar{\sigma}_v + 2\bar{S}_v) \quad (2.42)$$

เมื่อ  $\bar{f}_s$  = Average unit skin friction resistance

$\lambda$  = Frictional capacity coefficient (dimensionless)

$\bar{\sigma}_v$  = Average vertical effective stress between ground surface and pile tip

$\bar{S}_U$  = Average undrained shear strength between ground surface and pile tip  
 รูป 2.22 ได้แสดงค่า  $\lambda$  ซึ่งได้จากการทดลอง ในรูปของฟังก์ชันความลึก



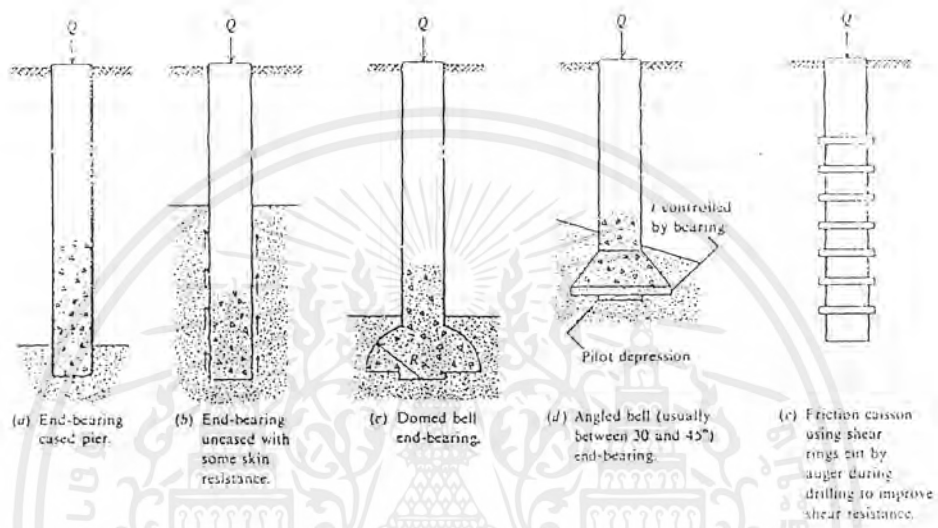
รูป 2.22 Frictional capacity coefficient  $\lambda$  (Coduto, 1994)

๕๓  
 2.2.3 เสาเข็มเจาะ (Bored Piles)

เสาเข็มเจาะเป็นเสาเข็มอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ในฐานรากลึก ข้อแตกต่างพื้นฐานระหว่างเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะก็คือเสาเข็มตอกจะทำการหล่อแล้วขับเคลื่อนลงสู่ดินด้วยกรรมวิธีต่างๆ ส่วนเสาเข็มเจาะนั้นจะทำการขุดหลุมนำก่อนแล้วจึงทำการหล่อในที่

ลักษณะของเสาเข็มเจาะ

เสาเข็มเจาะมีการก่อสร้างได้ในหลายลักษณะขึ้นอยู่กับกรอกแบบให้เหมาะกับงานนั้นๆ และการพัฒนารูปแบบใหม่ขึ้นมา เสาเข็มเจาะที่พบโดยทั่วไปได้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ลักษณะโดยทั่วไปของเสาเข็มเจาะ (Bowles, 1988)

ข้อดี-ข้อเสียของการเลือกใช้เสาเข็มเจาะ

ข้อได้เปรียบของการเลือกใช้เสาเข็มเจาะเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มตอกคือ

1. บางครั้งสามารถลดจำนวนเสาเข็มตอกลงได้เนื่องจากเสาเข็มเจาะสามารถออกแบบให้มีขนาดใหญ่และรับน้ำหนักได้มากกว่าเสาเข็มตอก
2. เสาเข็มเจาะสามารถก่อสร้างได้ง่ายในดินที่เป็นดินทรายอัดแน่นปนกรวด
3. สามารถดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มเจาะก่อนที่จะมีการปรับพื้นที่การก่อสร้าง
4. ไม่มีผลกระทบที่อาจเกิดจากการตอกเสาเข็มเหมือนเสาเข็มตอก
5. ในการตอกเสาเข็มอาจทำให้ดินโดยรอบปูดขึ้นมา หรือทำให้เข็มที่ตอกไปก่อนหน้าเกิดการเอียงศูนย์หรือหักได้ ซึ่งเสาเข็มตอกไม่ก่อให้เกิดปัญหาเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เสาเข็มเจาะสามารถขยายปลายเสาเข็มให้ใหญ่ขึ้นได้เป็นการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มได้ดี
7. การก่อสร้างในดินบางสถานะเสาเข็มเจาะจะให้ผลที่คุ้มค่ามากกว่าเนื่องจากไม่ต้องอุปกรณ์ในการตอกเสาเข็ม แต่ใช้เพียงอุปกรณ์ในการลำเลียงเหล็กเสริม และอุปกรณ์เจาะดิน
8. เสาเข็มเจาะสามารถต้านทานแรงด้านข้างได้ดี
9. เสาเข็มเจาะสามารถหล่อ Pile caps เป็นเนื้อเดียวกับเสาเข็มได้
10. เสาเข็มเจาะสามารถเจาะทะลุชั้นหินแข็งได้ด้วยอุปกรณ์พิเศษเจาะผ่านชั้นหินซึ่งเสาเข็มตอกไม่สามารถตอกลงได้
11. เสาเข็มเจาะส่วนมากมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ยใหญ่กว่าเสาเข็มตอก โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.5 ถึง 3.5 เมตร
12. เส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ทำให้สามารถหากำลังต้านทานที่ปลายเสาเข็มได้โดยตรง

ข้อเสียเปรียบที่อาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากการเลือกใช้เสาเข็มเจาะ

1. สภาวะแวดล้อมที่เลวร้ายทำให้การเจาะหลุม การเทคอนกรีต และการบ่มคอนกรีตควบคุมได้ยาก
2. ต้องอาศัยความชำนาญของผู้รับเหมาในการก่อสร้างเสาเข็มให้ใดคุณภาพ
3. เสาเข็มตอกเป็นการตอกในลักษณะของการแทนที่ดิน ซึ่งช่วยเพิ่มแรงต้านด้านข้างและแรงเสียดทานผิวให้กับเสาเข็มได้ ในขณะที่เสาเข็มเจาะจะทำการขุดดินออกทำให้แรงต้านด้านข้างของดินยังคงเท่าเดิมหรือลดลงจากเดิม เป็นผลให้แรงเสียดทานผิวของเสาเข็มเจาะมีค่าน้อยกว่าเสาเข็มตอกเมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเสาเข็มเจาะมีพื้นที่ผิวขรุขระสัมผัสกับผิวดินทำให้เป็นการเพิ่มแรงเสียดทานผิวชดเชยกลับมาได้เมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มตอก
4. การตอกเสาเข็มตอกเป็นการเพิ่มความแน่นให้กับดินชั้นล่าง ทำให้เสาเข็มตอกมีแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มมากกว่าเสาเข็มเจาะ ซึ่งจากข้อดีของเสาเข็มเจาะที่กล่าวไปแล้วสามารถนำมาชดเชยข้อเสียของเสาเข็มเจาะคือสามารถเพิ่มแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มได้โดยการขยายส่วนปลายเสาเข็มให้ใหญ่ขึ้น
5. การทดสอบ Full-scale load test หากำลังเสาเข็มเจาะค่อนข้างแพงทางเดียวที่สามารถหากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเจาะได้อย่างประหยัดคือการคำนวณด้วยวิธี Semiempirical method ซึ่ง

- เป็นการคำนวณจากสมการที่ได้จากการทดลองเป็นส่วนใหญ่ โดยอาศัยข้อมูลคินที่ได้จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการและการทดสอบในสนามบางส่วน
6. คินในหลุมเสาเข็มเจาะสามารถพังทลายได้อย่างทันทีทันใดถ้าไม่มีการควบคุมเสถียรภาพของคินที่คิพอ
  7. คินสามารถไหลทะลักไปรวมกับคอนกรีตได้ในขณะทำการหล่อคอนกรีตทำให้กำลังคอนกรีตลดลงได้

### การออกแบบเสาเข็มเจาะด้วยวิธี Static

เสาเข็มเจาะได้ใช้อย่างกว้างขวางสำหรับการออกแบบให้รับแรงอัด และการรับแรงดึง โดยเฉพาะในโครงสร้างฐานเสาโทร์คที่ขนาดใหญ่ซึ่งมีแรงในแนวราบมากระทำด้วย สมการโดยทั่วไปสามารถใช้สมการ 2.27 และ 2.28 ได้ ซึ่งเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$Q_U = Q_b + \sum Q_f + W \quad (\text{ในกรณีเสาเข็มรับแรงอัด}) \quad (2.43)$$

$$T_U = \sum Q_f + W \quad (\text{ในกรณีเสาเข็มรับแรงดึง}) \quad (2.44)$$

ถ้าน้ำหนักเสาเข็มเจาะมีผลค่อนข้างมากจะนำมาคิดรวมในสมการด้วย ค่า Safety Factor ที่นิยมมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 4 ดังนี้

$$Q_{all} = \frac{Q_U}{SF} \quad (2.45)$$

หรือ

$$Q_{all} = \frac{Q_f}{SF_f} + \frac{Q_b}{SF_b} + \frac{W}{SF_w} \quad (2.46)$$

ในการหาค่ากำลังรับแรงที่ยอมรับได้ของเสาเข็มเจาะนั้นแนะนำให้ใช้สมการ (2.46) เนื่องจากความไม่แน่นอนในแต่ละตัวแปรมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน โดยที่ค่า SF มีค่าอยู่ในช่วงดังต่อไปนี้ [Bowles, 1988]

$SF_f$     มีค่าอยู่ระหว่าง 3 ถึง 4

$SF_b$     มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 5

W มีค่าประมาณ 1.4

ในการหาแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็มนั้นมักใช้สมการของ Terzaghi ในการหาค่าได้ดังนี้

$$Q_u = A_p (1.3cN_c + \bar{\sigma}N_q + 0.4\gamma BN_\gamma) \quad (2.47)$$

ส่วนกำลังรับแรงเสียดทานที่ผิวของงเสาเข็มจะสามารถใช้วิธีแอลฟา ในการหาค่า Adhesion factor นั้น สามารถใช้กราฟที่มีการศึกษาและทดสอบของเสาเข็มตอกในบริเวณนั้นหรือพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งมีผู้ศึกษาไว้มากมายในแต่ละพื้นที่

#### 2.2.4 Factor of Safety (SF)

ในการเลือกใช้ค่า SF ให้เหมาะสมนั้นมีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องมากมาย ซึ่งพอจะสรุปได้ดังนี้

- ชนิดและความสำคัญของ โครงสร้าง
- ความแปรปรวนของดินที่พิจารณา
- ความทั่วถึงของการสำรวจดิน
- ชนิดและจำนวนของการทดสอบสมบัติดินทั้งในห้องปฏิบัติการ และในสนาม
- คุณภาพงานก่อสร้าง
- โอกาสที่จะเกิดแรงจริงที่ใช้ในการออกแบบตลอดอายุใช้งานของ โครงสร้าง

ตาราง 2.13 แสดงค่าประเมินของ SF ซึ่งใช้พิจารณาเป็นแนวทาง (Coduto, 1994)

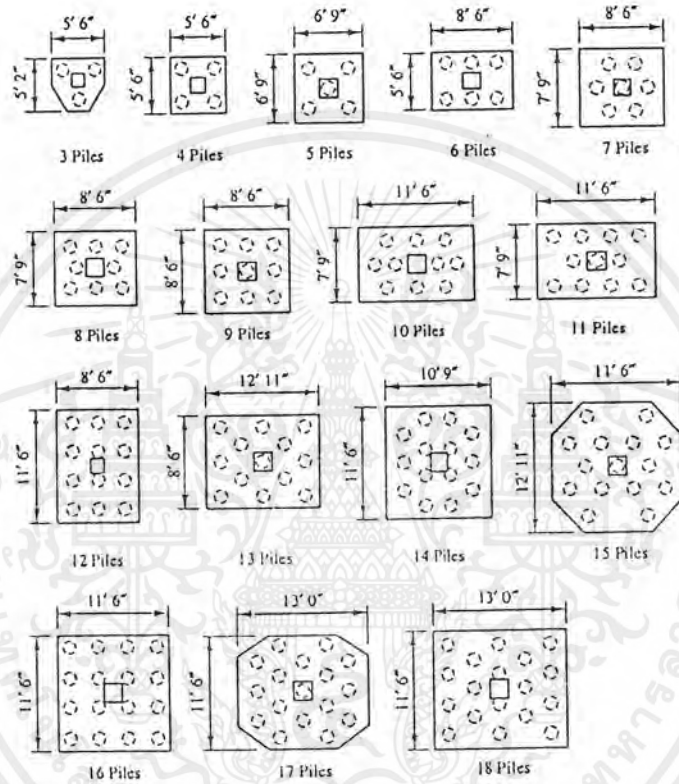
Classification Of Structure	Acceptable Probability of Failure	Design Factor of Safety, SF			
		Good Control	Normal Control	Poor Control	Very Poor Control
Monumental	$10^{-5}$	2.3	3.0	3.5	4.0
Permanent	$10^{-4}$	2.0	2.5	2.8	3.4
Temporary	$10^{-3}$	1.4	2.0	2.3	2.8

Expanded from Reese and O'Neill, 1989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.5 ลักษณะการวางเสาเข็ม

ในการวางเสาเข็มจะพยายามจัดเสาเข็มให้อยู่ในรูปที่ใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมจัตุรัสมากที่สุด เพื่อประโยชน์ต่อการรับแรงได้ในหลายๆ แกน ดังรูป 2.24



รูป 2.24 รูปแบบการวางเสาเข็ม (Coduto, 1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

ฐานรากเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่อยู่ต่ำสุดของอาคาร เนื่องจากต้องทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างส่วนบนทั้งหมดของอาคารลงสู่ชั้นดิน น้ำหนักบรรทุกในที่นี้หมายถึง น้ำหนักบรรทุกของโครงสร้าง (Dead load, DL) น้ำหนักจร (Live load, LL) และแรงลม (Wind load, WL) ฐานรากจะต้องมีความมั่นคงแข็งแรงและสามารถถ่ายน้ำหนักลงไปยังชั้นดินได้ฐานรากได้วางปลอดภัยโดยไม่เกิดการเสียหาย ทรุดตัว เอียงและแตกร้าวขึ้นในโครงสร้างอาคาร การทรุดตัวของฐานรากถ้าเกิดขึ้นไม่มากจนเกินไปและการทรุดตัวของแต่ละฐานรากแตกต่างกันไม่มาก ก็จะไม่ทำให้โครงสร้างของอาคารเกิดการเสียหาย ดังนั้น ก่อนที่จะออกแบบคำนวณฐานราก ควรจะได้ทราบข้อมูลของคุณสมบัติดินได้ฐานราก เพื่อให้เกิดความแน่ใจในการออกแบบและเป็นแนวทางในการเลือกใช้แบบของฐานรากได้ถูกต้องเหมาะสมและประหยัด สำหรับอาคารธรรมดาที่มีน้ำหนักบรรทุกไม่มากนัก อาจใช้ข้อมูลจากการศึกษาเปรียบเทียบกับอาคารก่อสร้างที่เคยทำ หรือกับอาคารข้างเคียงที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้ แต่ถ้าเป็นอาคารที่มีขนาดใหญ่ หรืออาคารสูง ควรทำการสำรวจ วิเคราะห์ และวิจัยถึงสภาพและกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของดิน ตลอดจนคุณสมบัติด้านต่างๆอย่างละเอียดซึ่งได้กล่าวไว้แล้วใน 2 หัวข้อข้างต้น

การออกแบบฐานรากเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้างได้อย่างปลอดภัยนั้น มีข้อควรระวังคือ การทรุดตัวของฐานรากหรือระบบโครงสร้างทั้งหมดจะต้องมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด และแต่ละฐานต้องมีการทรุดตัวที่เท่ากัน หรือถ้าจะแตกต่างกันก็ควรให้มีความแตกต่างที่น้อยมาก และไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้

### 2.3.1 สมมติฐานในการออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงใช้งาน

1. ระยะเวลาชุด ยังคงเป็นระยะเวลาทั้งก่อนและหลังการรับแรงค้ำ
2. วัสดุคอนกรีตและเหล็กเสริมเป็นไปตามกฎของชุด
3. หน่วยแรงยึดหรือหดตัวเป็นสัดส่วน โดยตรงกับระยะที่ห่างจากแนวแกนสะเทิน
4. ไม่คิดกำลังต้านทานแรงดึงของคอนกรีต
5. การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
6. โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ  $w^{1.5} = 4270\sqrt{f'_c}$  กก/ซม<sup>2</sup>
7. โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ  $2.04 \times 10^6$  กก/ซม<sup>2</sup>

### 2.3.2 หน่วยแรงที่ยอมให้

ตารางที่ 2.14 หน่วยแรงที่ยอมให้ตามมาตรฐาน วสท. 6001

รายการ	หน่วยแรงที่ยอมให้ (กก/ซม <sup>2</sup> )
<b>แรงค้ำ:</b>	
- หน่วยแรงอัดที่ผิว	$0.45f'_c$
- หน่วยแรงดึงที่ผิวของฐานรากและกำแพง	$0.45\sqrt{f'_c}$
<b>แรงเฉือน:</b>	
- คานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	$0.29\sqrt{f'_c}$
- ตงที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน	$0.32\sqrt{f'_c}$
- องค์กรอาคารเสริมเหล็กถูกตั้งหรือค่อม้าหรือใช้ประกอบกันอย่างเหมาะสม	$1.32\sqrt{f'_c}$
- แผ่นพื้นและฐานราก (แรงเฉือนตามเส้นขอบ)	$0.53\sqrt{f'_c}$
<b>แรงแบกทาน:</b>	
- รับเต็มเนื้อที่	$0.25f'_c$
- รับหนึ่งในสามของเนื้อที่หรือน้อยกว่า*	$0.37f'_c$

### 2.3.3 เหล็กเสริมต้านการยึดหดตัว

วสท. 1008-38 หัวข้อ 3412 เหล็กเสริมต้านการยึดหด

(ก) ในแผ่นพื้น โครงสร้างที่มีเหล็กเสริมรับแรงค้ำทางเดียว ต้องเสริมเหล็กในแนวตั้งจากกับเหล็กเสริมเอก เพื่อรับแรงที่เกิดจากการหดตัวของคอนกรีตหรือการยึดหดเนื่องจากอุณหภูมิ เหล็กเสริมต้านการยึดหดตัวต้องเป็นไปตามข้อ 3412 (ข)

(ข) เหล็กเสริมต้านการยึดหดตัวต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. อัตราส่วนเนื้อที่เหล็กเสริมต้านการยึดหดต่อหน้าตัดคอนกรีตทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าค่าที่ให้ไว้ข้างล่างนี้ และต้องไม่น้อยกว่า 0.0014

- |   |        |
|---|--------|
| - แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กเสริมกลมชั้นคุณภาพ SR24                                      | 0.0025 |
| - แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD30                                       | 0.0020 |
| - แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กข้ออ้อยชั้นคุณภาพ SD40 หรือลวดตะเภากรงเชื่อมชนิดกลมหรือมีข้อ | 0.0018 |

- แผ่นพื้นที่ใช้เหล็กเสริมที่มีกำลังครากเกินกว่า 4000 กก/ซม.<sup>2</sup> โดยวัดที่หน่วยความเครียดที่ร้อยละ 0.35  $(0.0018 \times 4000) / f_y$
- 2. เหล็กดันทานการยึดหด ต้องวางเรียงห่างกันไม่มากกว่า 5 เท่าของความหนาแผ่นพื้น และต้องไม่มากกว่า 40 ซม.

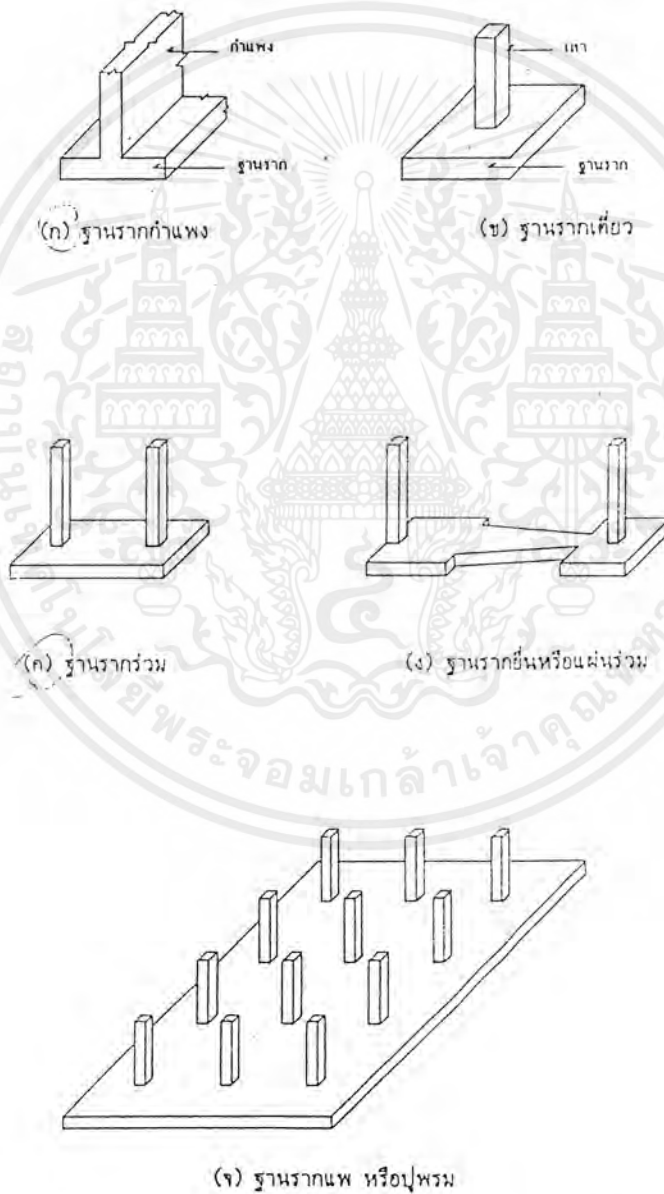
### 2.3.4 แบบของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กนอกจากจะมีความแตกต่างกันตามลักษณะการถ่ายน้ำหนักของอาคารลงสู่ชั้นดิน คือฐานแผ่และฐานวางบนเข็ม ตามคุณสมบัติของชั้นดินแล้ว ในการคำนวณออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กของอาคาร อาจจะแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1. ฐานรากกำแพง (Wall footing) เป็นฐานรากที่ต่อเนื่องกันตามความยาว เพื่อรับน้ำหนักของผนังหรือกำแพง สำหรับโครงสร้างที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงสู่ผนังหรือกำแพง ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ก) คือให้กำแพงหรือผนังเป็นตัวรับน้ำหนักบรรทุกทุกแทนเสา แล้วถ่ายเทน้ำหนักดังกล่าวลงสู่ฐานราก การคำนวณออกแบบฐานรากประเภทนี้พิจารณาต่อความยาว 1 เมตรของผนังหรือกำแพงที่ฐานรากนี้รับอยู่
2. ฐานรากเดี่ยว (Isolated footing) เป็นฐานรากที่แยกเป็นจุดๆตามตำแหน่งของเสา รับน้ำหนักจากเสาต้นเดียวสำหรับโครงสร้างที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกลงเสา ดังที่แสดงในรูป 2.25 (ข) ซึ่งอาจจะมีรูปหน้าตัดเป็น สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือรูปเหลี่ยมอื่นๆ
3. ฐานรากร่วม (Combined footing) เป็นฐานรากที่ใช้รับน้ำหนักจากเสา 2 ต้นหรือมากกว่า เกิดขึ้นในกรณีที่ระยะช่วงเสาอยู่ใกล้กันมาก จนไม่สามารถออกแบบเป็นฐานรากเดี่ยวได้ เพราะฐานรากจะอยู่ชิดกันมากหรืออาจเหลื่อมทับกันได้ ถ้าฐานรากมีขนาดกว้าง จำเป็นต้องออกแบบโดยการรวมฐานรากเดี่ยวนั้น เข้าด้วยกันเป็นฐานรากร่วม ดังที่แสดงในรูป 2.25 (ค)
4. ฐานรากยื่นหรือฐานรากแผ่ร่วม (Cantilever or Strap footing) เป็นฐานรากที่รับน้ำหนักจากเสา 2 ต้นหรือมากกว่า เหมือนกับฐานรากร่วม แต่ต่างกันตรงที่ฐานรากแบบนี้จะเป็นฐานรากเดี่ยว 2 ฐาน ซึ่งต่อเชื่อมด้วยคานทำให้ฐานรากมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ใช้ในกรณีที่โครงสร้างอาคารมีเสาชิดเขตที่ดิน ไม่สามารถแผ่ฐานรากไปในดินข้างเคียงได้ ฐานรากจะมีลักษณะเป็นดินเป็ด ถ้าจะออกแบบ

เป็นฐานรากเดี่ยวจะทำให้เกิดความไม่มั่นคง จึงต้องออกแบบโดยการเชื่อมฐานรากข้างเคียง และมีคานช่วยยึด ดังที่แสดงในรูป 2.25 (ง)

5. ฐานรากแพหรือปูพรม (Mat footing) เป็นฐานรากที่ใช้ในกรณีที่ดินมีคุณสมบัติไม่ดีพอ ต้องรับน้ำหนักบรรทุกหลายๆ และมีน้ำหนักบรรทุกบนอาคารแผ่เฉลี่ยสม่ำเสมอ ฐานรากแบบนี้จะช่วยป้องกันการทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของโครงสร้างได้ เพราะโครงสร้างของอาคารทั้งหมดตั้งอยู่บนฐานรากขนาดใหญ่ฐานเดียวต่อเนื่องกัน ดังที่แสดงในรูป 2.25(จ)



รูปที่ 2.25 แบบของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก (สมปอง, 2534)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.5 การถ่ายน้ำหนักของฐานราก

การถ่ายน้ำหนักของฐานรากในที่นี้ คือการกระจายน้ำหนักบรรทุกของฐานรากที่รับจากเสาหรือกำแพง รวมทั้งน้ำหนักของฐานรากเอง ลงสู่ชั้นดินหรือเสาเข็มที่รองรับฐานราก มีหลักการในการออกแบบดังนี้

#### หน่วยแรงใต้ฐานราก

การถ่ายน้ำหนักบรรทุกของส่วน โครงสร้างที่อยู่เหนือฐานรากซึ่งรวมถึงน้ำหนักของฐานราก ดินถมเหนือฐานรากหรือน้ำหนักบรรทุกอื่นๆ (ถ้ามี) ไปยังชั้นดินที่รองรับโดยอาศัยฐานรากแบบแผ่หรือแบบวางบนเสาเข็ม ทำให้เกิดหน่วยแรงใต้ฐานรากเนื่องจากแรงปฏิกิริยาของดินหรือจากเสาเข็มที่รองรับ ลักษณะการกระจายหน่วยแรงที่เกิดขึ้นใต้ฐานรากขึ้นกับน้ำหนักบรรทุกจากเสา หรือตอม่อที่กระทำกับศูนย์ถ่วงของฐานราก

#### สำหรับฐานรากแผ่แบบวางบนดิน

ถ้าน้ำหนักบรรทุกจากเสา ตอม่อ รวมถึงน้ำหนักของฐานรากและดินถม (ถ้ามี) กระทำร่วมศูนย์กับฐานราก หน่วยแรงคั่นขึ้นทั้งหมดของดินใต้ฐานรากจะสมมุติให้กระจายแผ่อย่างสม่ำเสมอโดยไม่คำนึงถึงชนิดดินใต้ฐานราก ดังนี้

ถ้าให้  $P$  = น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่กระทำ

$A$  = พื้นที่ของฐานราก (ความกว้าง $\times$ ความยาวของฐานราก)

$q$  = หน่วยแรงคั่นขึ้นทั้งหมดของดิน (Gross soil pressure)

$q_u$  = หน่วยกกดัดหรือหน่วยแรงแบกทานของดินที่ยอมให้

$$\text{จะได้ } q = \frac{P}{A} \leq q_u \quad (2.48)$$

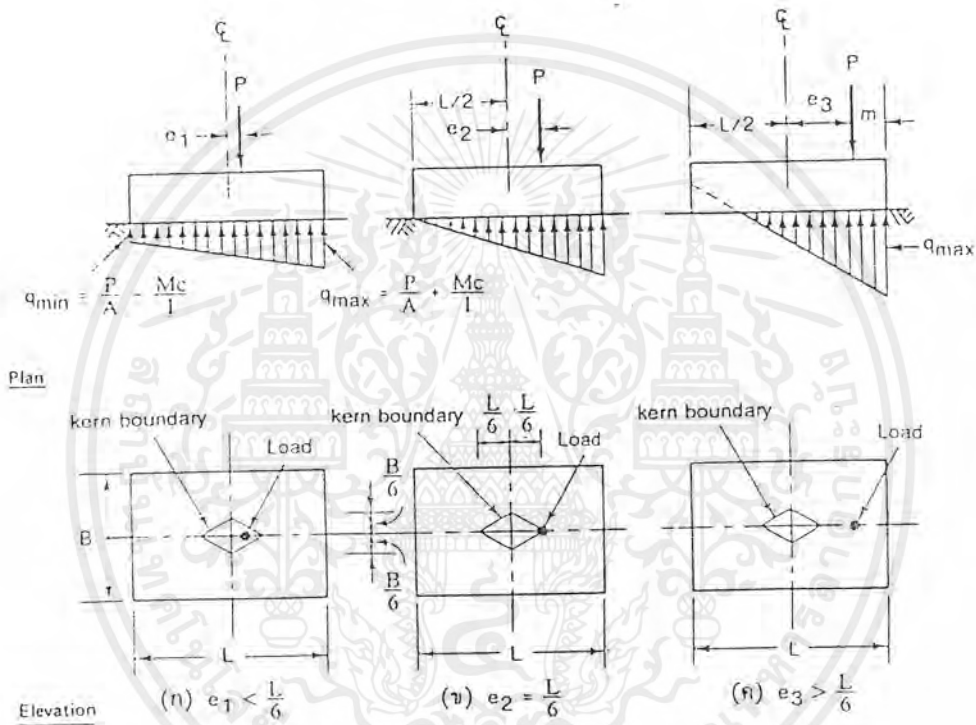
$$\text{หรือขนาดของพื้นที่ของฐานรากที่ต้องการ } Area \geq \frac{P}{q_u}$$

แต่ในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกจากเสา หรือตอม่อกระทำเยื้องศูนย์กับศูนย์ถ่วงของฐานราก หรือในกรณีที่ฐานรากมีโมเมนต์ค้ด  $M$  กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุก  $P$  โดยมีระยะเยื้องศูนย์  $e = M/P$  น้อยกว่าระยะ  $k$  (หรือเรียกว่า Kern distance ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $L/6$  หรือ  $B/6$  แล้วแต่ทิศทางที่พิจารณา)

หน่วยแรงค้ำขึ้นทั้งหมดของคานได้ฐานราก ( $q$ ) จะกระจายแผ่แบบเชิงเส้นและมีค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ขอบของฐานราก ดังรูปที่ 2.26 (ก) นั่นคือ

$$q_{\max} = \frac{P}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{P}{BL} + \frac{6M}{BL^2} \leq qa \quad (2.49)$$

$$q_{\min} = \frac{P}{A} - \frac{Mc}{I} = \frac{P}{BL} - \frac{6M}{BL^2} \leq qa \quad (2.50)$$



รูปที่ 2.26 หน่วยแรงที่เกิดขึ้นใต้ฐานราก (วินิต, 2542)

แต่ถ้ามีระยะเยื้องศูนย์กลางเกินกว่าระยะ  $L/6$  (หรือ  $B/6$ ) หน่วยแรงค้ำขึ้นทั้งหมดของคานที่คำนวณจากสมการ 2.50 จะให้ค่าเป็นลบ ซึ่งแสดงว่าบางส่วนของฐานรากต้องรับหน่วยแรงดึง ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ค) ค่าของหน่วยแรงค้ำสูงสุดในกรณีนี้จะหาได้จากสมการ 2.51

นั่นคือ

$$q_{\max} = \frac{2P}{3Bm} \quad (2.51)$$

ในที่นี้  $m = (L/2) - e_3$

ทั้งนี้ ขนาดพื้นที่ของฐานราก ( $B \times L$ ) ที่ต้องการจะหาได้จากเงื่อนไข  $q_{\max} \leq qa$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยแรงกดอัดหรือหน่วยแรงแบกทานของดินได้ฐานรากที่ยอมให้ ( $q_a$ ) หาได้จาก

- ก) สูตรทางทฤษฎีหรือผลการทดสอบตามหลักวิชาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก โดยใช้ส่วนปลอดภัย 2.5 ถึง 3.0 ของค่าหน่วยแรงกดอัดสูงสุด ทั้งนี้เพื่อควบคุมมิให้มีการทรุดตัว เกินกว่ากำหนด และเมื่อพิจารณาถึงการกระทำของแรงลมหรือแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว ให้เพิ่มค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ได้อีก 30%
- ข) จากข้อบัญญัติที่กำหนดไว้ในแต่ละท้องที่ ซึ่งข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้ให้ข้อกำหนดเกี่ยวกับหน่วยแรงกดอัดหรือหน่วยแรงแบกทานที่ยอมให้ของดินดังนี้  
ในกรณีที่ไม่มีเอกสารแสดงผลการทดสอบคุณสมบัติดิน ให้ใช้น้ำหนักบรรทุกของดินที่ยอมให้ไม่เกิน 2 ตันต่อตารางเมตร

สำหรับฐานรากแบบเสาเข็ม

เมื่อฐานรากแบบเสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกจากเสา ตอม่อ รวมถึงน้ำหนักฐานรากและดินถม (ถ้ามี) ที่กระทำร่วมศูนย์กลางกับฐานราก จะสมมุติว่าเสาเข็มทุกต้นรับน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากันทุกต้น ดังรูป 2.27(ก) นั่นคือ

$$R = \frac{P}{n} \leq Ra \quad (2.52)$$

โดยที่  $R$  = น้ำหนักเสาเข็มแต่ละต้นที่ต้องรับ

$P$  = น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด

$n$  = จำนวนของเสาเข็ม

$Ra$  = ค่าตั้งรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ยอมให้

แต่ในกรณีที่น้ำหนักกระทำเอียงศูนย์กลางกับศูนย์กลางของฐานราก หรือกรณีที่ฐานรากมีโมเมนต์คด  $M$  กระทำร่วมกับน้ำหนักบรรทุก  $P$  เสาเข็มแต่ละต้นจะรับน้ำหนักได้ไม่เท่ากัน เสาเข็มคานที่เกิดโมเมนต์คดจะรับแรงอัดมากที่สุด ดังรูป 2.27 (ข) น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นต้องรับคำนวณได้จากสมการ 2.53

$$R = \frac{P}{n} \pm \frac{Mc}{I_{pg}} \quad (2.53)$$

โดยที่  $I_{pg}$  = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มที่รับ โมเมนต์คด

$$= \sum_1^n (1 \times d_n^2) \text{ เมื่อให้พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มแต่ละต้นมีค่าเท่ากับหนึ่งหน่วย}$$

$d$  = ระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นจากแกนศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$c$  = ระยะจากแกนศูนย์กลางของกลุ่มเสาเข็มถึงเสาเข็มคั่นที่ต้องจากการหาค่า  
คิ่งนั้นจากรูปที่ 2.27(ข) จะได้

$$\sum_1^n (d_n^2) = 2(3d_1^2 + 3d_2^2) \quad (2.54)$$

นั่นคือ เสาเข็มในแต่ละแถวต้องรับน้ำหนัก

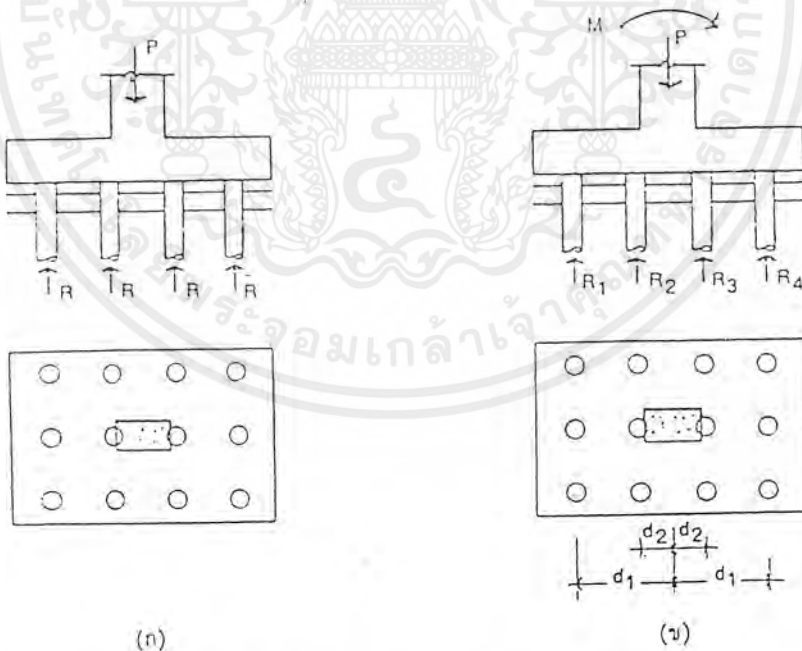
$$R_1 = \frac{P}{n} - \frac{Md_1}{\sum d_n^2}$$

$$R_2 = \frac{P}{n} - \frac{Md_2}{\sum d_n^2}$$

$$R_3 = \frac{P}{n} + \frac{Md_3}{\sum d_n^2}$$

$$R_4 = \frac{P}{n} + \frac{Md_4}{\sum d_n^2}$$

หากค่าของ  $R_1$  หรือ  $R_2$  มีค่าเป็นลบแสดงว่าเสาเข็มต้องรับแรงคิ่งในลักษณะนี้ต้อง  
พิจารณาขีดหัวเสาเข็มกับฐานรากให้สามารถรับแรงคิ่งที่เกิดขึ้น



รูป 2.27 ลักษณะการถ่ายแรงของฐานรากเสาเข็ม (สนั่น, วินิต, 2537)

ส่วนจำนวนของเสาเข็มที่ต้องการ พิจารณาได้จากเงื่อนไข  $R_{max} \leq Ra$

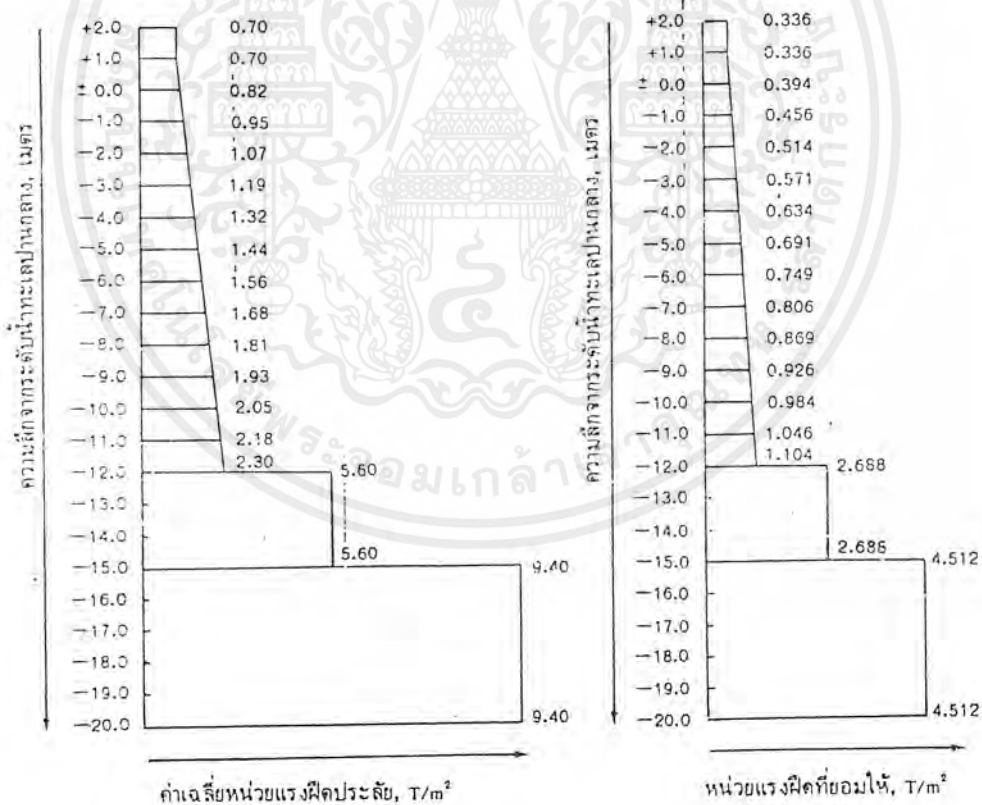
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็ม (Ra) หาได้จาก

ก) สูตรทางทฤษฎีหรือผลการทดสอบตามหลักวิชาวิศวกรรมปฐพีฐานราก โดยใช้ส่วนปลอดภัยประมาณ 2.5 ถึง 3.0 ของกำลังรับน้ำหนักสูงสุด

ข) จากข้อบัญญัติที่กำหนดไว้ในแต่ละท้องที่ซึ่งข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครได้ให้ข้อกำหนดดังต่อไปนี้

- ดินที่อยู่ในระดับลึกไม่เกิน 7 เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง หน่วยแรงฝืดของดินที่ยอมให้ = 600 กก/ตารางเมตร
- ดินที่มีความลึกเกินกว่า 7 เมตร ได้ระดับน้ำทะเลปานกลาง หน่วยแรงฝืดของดินที่ยอมให้ =  $800 + 200L$  กก/ตารางเมตร เมื่อ L เป็นความยาวของเสาเข็มเป็นเมตรเฉพาะส่วนที่ลึกเกินกว่า 7 เมตร



รูปที่ 2.28 ค่าหน่วยแรงฝืดเฉลี่ยของดินบริเวณกรุงเทพมหานครและจังหวัดใกล้เคียง (สมศักดิ์, 2527)

ในกรณีที่มีเอกสารทดสอบสมบัติของดินหรือมีการทดสอบหาค่าลึงแบกทานของเสาเข็ม ในบริเวณก่อสร้างหรือใกล้เคียง ให้ใช้ค่าลึงแบกทานของเสาเข็มไม่เกินอัตราดังต่อไปนี้

1. ไม่เกินร้อยละ 40 ของค่าลึงแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากสมบัติของดิน
2. ไม่เกินร้อยละ 40 ของค่าลึงแบกทานของเสาเข็มที่คำนวณจากสูตรการตอกของเสาเข็ม
3. ไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าลึงแบกทานของเสาเข็มที่ได้จากการทดสอบค่าลึงแบกทานสูงสุด

สุด

ทั้งนี้ในการทดสอบค่าลึงแบกทานสูงสุดของเสาเข็ม ค่าการทรุดตัวต้องไม่เกิน 0.25 มม. ต่อน้ำหนักแบกทาน 1000 กก. และเมื่อเอาน้ำหนักแบกทานออกหมดแล้วเป็นเวลา 24 ชั่วโมงค่าการทรุดตัวปรากฏต้องไม่เกิน 6 มม.

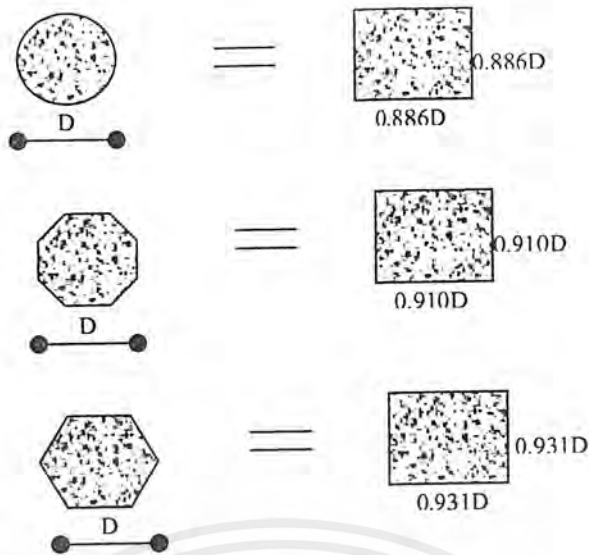
อนึ่งเมื่อพิจารณาออกแบบใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดิน ต้องควรคำนึงถึงความสามารถของดินรอบข้างเสาเข็มด้วยว่ามีความสามารถรับน้ำหนักได้ดีหรือไม่ ตลอดจนระยะห่างระหว่างเสาเข็มซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดและความยาวของเสาเข็ม เพราะค่าลึงรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยของเสาเข็มที่ตอกเป็นกลุ่มอาจไม่เท่ากับผลรวมของค่าลึงรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มแต่ละต้น เนื่องจากดินบางชนิดถูกทำลายความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกภายหลังจากการตอกเสาเข็ม โดยปกติแล้วควรใช้ระยะห่างของเสาเข็มประมาณ 3 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็ม

### 2.3.6 ฐานรากรองรับเสาที่มีรูปแบบต่างๆ

ในกรณีที่ฐานรากรองรับเสาที่ไม่เป็นสี่เหลี่ยม เช่น วงกลม หกเหลี่ยม แปดเหลี่ยม เป็นต้น ในการคำนวณหาโมเมนต์ที่ขอบเสา และหาหน้าตัดวิกฤติเพื่อจะนำมาตรวจสอบการวิบัตินั้น ให้คิดว่ารูปตัดเหล่านั้นเสมือนว่าเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมเทียบเท่าที่มีพื้นที่เท่ากัน (ACI 15.3) ดังรูปที่ 2.29

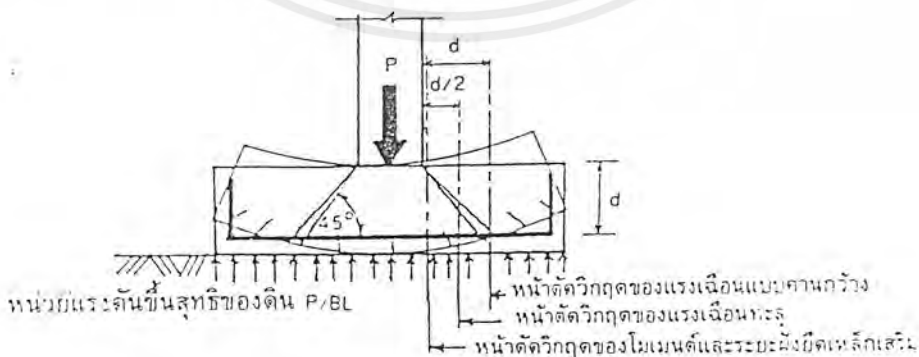
### 2.3.7 การวิบัติของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

จากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกและหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ฐานรากแบบแผ่หรือวางบนเข็ม ดังกล่าวข้างต้น ทำให้ส่วนของฐานรากต้องรับทั้งโมเมนต์คดและแรงเฉือน ตลอดจนแรงยึดเหนี่ยว แรงภายในต่างๆ ที่ฐานรากต้องรับอาจทำให้ฐานรากเกิดการวิบัติได้



รูปที่ 2.29 หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสเทียบเท่า

พิจารณาฐานรากเดี่ยววางบนพื้นดินดังรูปที่ 2.30 ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกจากเสา ค่อม ซึ่งสมมุติให้มีค่าเท่ากับ  $P$  และเมื่อรวมน้ำหนักของฐานรากและดินถม ซึ่งสมมุติให้มีค่าเท่ากับ  $W$  ฉะนั้นน้ำหนักบรรทุกรวมทั้งหมดที่กระทำจะเท่ากับ  $P+W$  ถ้าน้ำหนักดังกล่าวกระทำร่วมศูนย์กลางกับฐานรากที่มีขนาดกว้างยาวเท่ากับ  $B \times L$  และลึกเท่ากับ  $t$  ดังนั้น หน่วยแรงดันขึ้นทั้งหมด ของดินใต้ฐานราก  $q$  มีค่าเท่ากับ  $(P+W)/(BL)$  ซึ่งจะแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอตั้งที่กล่าวข้างต้นและจะต้องไม่เกินหน่วยกอดอัดที่ยอมให้  $q_u$  แต่ในการคำนวณออกแบบฐานราก จะนำค่าของหน่วยแรง  $P/(BL)$  ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจากเสา มาพิจารณหาแรงกระทำต่อฐานรากที่หน้าตัดวิกฤตต่างๆ เท่านั้น ทั้งนี้เพราะหน่วยแรงดันขึ้นทั้งหมดนี้เพราะหน่วยแรงดันขึ้น  $W/(BL)$  จะไปหักล้างกับน้ำหนักแผ่ของฐานรากและดินถม ที่กระทำลงมา ทำให้ไม่มีผลต่อการออกแบบฐานราก เราเรียกหน่วยแรง  $P/(BL)$  ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจากเสา ว่า เป็นหน่วยแรงดันขึ้นสุทธิของดิน  $q_n$



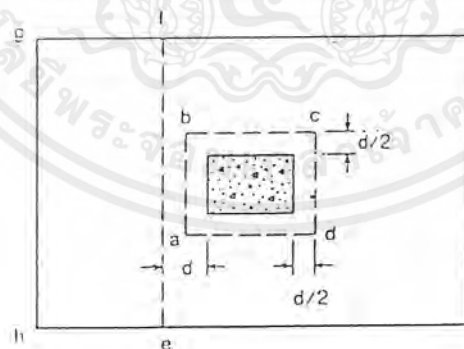
รูปที่ 2.30 การวิบัติของฐานรากเดี่ยว (สนั่น, วินิต, 2537)

หากพลิกฐานรากนี้ให้หงายขึ้น โดยให้เสาตอม่ออยู่ด้านล่างจะเห็นได้ว่า ฐานรากนั้นเปรียบเสมือนเป็นแผ่นพื้นไร้คานที่รองรับด้วยเสา โดยมีแรงคั้นสุดขั้วของดินที่เสมือนหนึ่งเป็นน้ำหนักแผ่กระทำบนแผ่นพื้นนั่นเอง ฉะนั้นพฤติกรรมกรรับน้ำหนัก และการวิบัติของฐานราก จึงเหมือนกับการวิบัติที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไร้คาน

1. การวิบัติเนื่องจากโมเมนต์ค้ด ถ้าสมมุติว่าส่วนของฐานรากต่อชิดกับเสา เป็นแบบโครงข้อแข็ง ดังนั้นส่วนของฐานรากที่ขึ้นเลยจากขอบเสา จะเปรียบเสมือนเป็นคานยื่นที่รับแรงคั้นสุดขั้วของดิน ทำให้ด้านล่างของฐานรากจะต้องรับแรงค้ดเนื่องจากโมเมนต์ค้ด ซึ่งโมเมนต์ค้ดที่มากที่สุดจะอยู่ตรงระยะบาค้ดผ่านฐานรากบริเวณขอบเสา เรียกตำแหน่งนี้ว่า หน้าค้ดวิกฤติสำหรับโมเมนต์ค้ด ฉะนั้นจึงต้องเสริมเหล็กตรงส่วนใกล้กับผิวดินเพื่อรับแรงค้ด และหน้าค้ดนี้เป็นหน้าค้ดที่มีแรงเฉือนมากที่สุด จึงเป็นหน้าค้ดที่จะต้องพิจารณาการยึดเหนี่ยวของเหล็กด้วย

2. การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน : มีอยู่ 2 ลักษณะ คือ

1) การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนทางเคี้ยว (Beam shear action) โดยคิดว่าฐานรากมีลักษณะเป็นคานกว้าง ซึ่งจะพบว่ากรวิบัติแบบนี้จะเกิดจากแรงค้ดทแยงตรงระยะบาค้ดที่ห่างจากขอบเสาตอม่อ เป็นระยะทางเท่ากับความลึกประสิทธิผล  $d$  ดังที่แสดงในรูป 2.31 โดยที่หน่วยแรงเฉือนที่ใช้วัดแรงค้ดทแยงคำนวณได้จาก



รูปที่ 2.31 พื้นที่สำหรับหาแรงเฉือน (สนั่น, วินิต, 2537)

หน่วยแรงเฉือนแบบคานกว้าง ;  $v = V/(bd)$

เมื่อ  $v$  = หน่วยแรงเฉือนแบบคานกว้าง ; กก/ซม<sup>2</sup> ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ ยอมรับให้ ;  $v_c$   
 $= 0.29 \sqrt{f_c'}$  กก/ซม<sup>2</sup> ที่ระยะ  $d$  จากขอบเสาหรือกำแพง

$V$  = แรงเฉือนแบบคานกว้างที่หน้าตัดวิกฤติ ; กก

$b$  = ความกว้างตามแนวฐานรากที่หน้าตัดวิกฤติ ที่ระยะ  $d$  จากขอบเสา หรือกำแพง, ซม

$d$  = ความลึกประสิทธิภาพของฐานราก ; ซม

- 2) การวิบัติเนื่องจากแรงเฉือนทะลุ (Punching shear or two way shear) เกิดจาก การกระทำของแรงเฉือนในสองทิศทางพร้อมกัน (Two way action) โดยเสาจะเจาะทะลุผ่านฐานรากเป็นรูปกรวยหรือ ปริามิดยอดตัด โดยที่หน้าตัดวิกฤติของการเฉือนทะลุ จะพิจารณาจาก ครึ่งหนึ่งของความลึกประสิทธิภาพจากขอบเสา ดังที่แสดงในรูป 2.31

หน่วยแรงเฉือนทะลุ ;  $v = V/(b_0 d)$

เมื่อ  $v$  = หน่วยแรงเฉือนทะลุ ; กก/ซม<sup>2</sup> ซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ ยอมรับให้ ;

$v_c = 0.53 \sqrt{f_c'}$  กก/ซม<sup>2</sup> ที่ระยะ  $d/2$  จากขอบเสาหรือกำแพง

$V$  = แรงเฉือนทะลุที่หน้าตัดวิกฤติ ; กก

$b_0$  = ความกว้างตามแนวฐานรากที่หน้าตัดวิกฤติ ที่ระยะ  $d/2$  จากขอบเสาโดยรอบ , ซม

$d$  = ความลึกประสิทธิภาพของฐานราก ; ซม

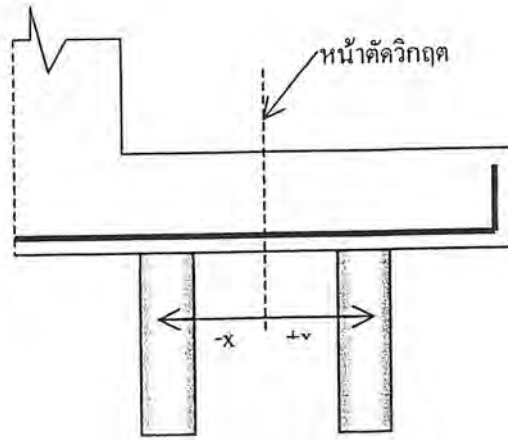
ในการหาค่าแรงเฉือนภายนอก ณ หน้าตัดใดๆ สำหรับฐานรากที่ตั้งบนเสาเข็มในสองกรณีดังกล่าว ให้คิดว่าแรงต้านทั้งหมดของเสาเข็มต้นใดก็ตามที่มีศูนย์กลางอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไปภายนอก ตั้งแต่ 15 ซม ขึ้นไป เป็นค่าแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น (ให้คิดเต็มกำลังของเสาเข็ม) สำหรับเสาเข็มที่มีศูนย์กลางห่างจากหน้าตัดวิกฤติเข้ามาภายในตั้งแต่ 15 ซม ขึ้นไป ให้ถือว่าไม่ทำให้เกิดแรงเฉือนที่หน้าตัดนั้น (กำลังเสาเข็มเป็นศูนย์) สำหรับเสาเข็มซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างนี้ (ระหว่าง  $\pm 15$  ซม.) ให้ใช้วิธีเทียบค่าจากอัตราส่วนโดยตรง โดยถือว่าแรงเฉือนเกิดขึ้นเต็มที่ เมื่อเสาเข็มอยู่ ณ ตำแหน่ง 15 ซม ออกไปภายนอกหน้าตัดวิกฤติและเท่ากับศูนย์เมื่ออยู่ ณ ตำแหน่ง 15 ซม เข้ามาภายในหน้าตัดวิกฤติดังรูปที่ 2.32 ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P' = \frac{1}{30}(x + 15)P \quad (2.55)$$

เมื่อ  $P'$  = แรงต้านของเสาเข็มที่ลดค่าแล้ว ; กก

$P$  = แรงต้านของเสาเข็มเต็มกำลัง ; กก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แรงปฏิกิริยาของเสาเข็ม

$x$  = ระยะระหว่างหน้าตัดวิกฤตกับศูนย์กลางของเสาเข็ม ;  $y$  มีค่าเป็นลบ (-) เมื่ออยู่ในหน้าตัดวิกฤต และมีค่าเป็นบวกเมื่ออยู่ภายนอกหน้าตัดวิกฤต

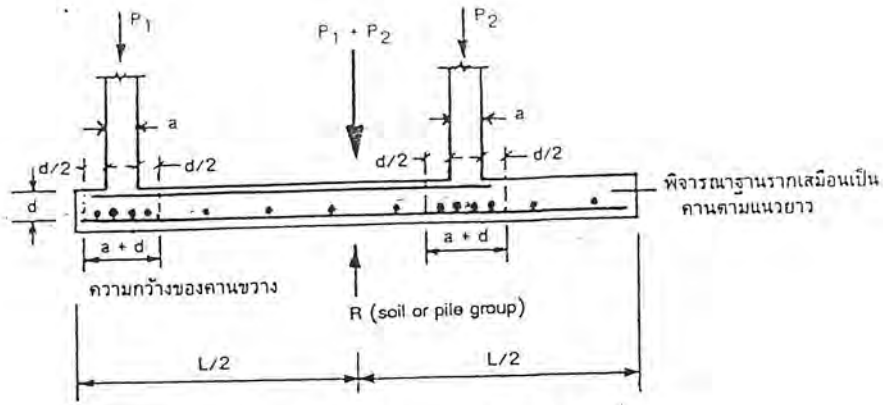
### 2.3.8 การออกแบบฐานรากร่วม

เนื่องจาก ฐานรากร่วม เป็นฐานรากที่ใช้เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกจากเสาสองต้น หรือมากกว่า

ก) เมื่อเสาอยู่ใกล้กันเมื่อออกแบบเป็นฐานรากเดี่ยว ฐานรากของเสาทั้งสองต้นจะชนกัน หรือเหลื่อมกันได้เฉพาะกำลังรับแรงกดอัดของดินมีค่าน้อยทำให้ขนาดของฐานต้องใหญ่มากขึ้น จึงจำเป็นต้องเชื่อมฐานรากเข้าด้วยกันเป็นฐานรากร่วม ดังรูป 2.25 (ก)

ข) เมื่อเสาดันริมอยู่ใกล้หรือติดกับแนวเขตที่ดิน ถ้าออกแบบเป็นฐานรากเดี่ยวจะไม่สามารถยื่นส่วนของฐานรากค้ำที่อยู่ใกล้กับเขตที่ดินออกไปได้ ดังนั้นฐานรากของเสาดันริมจะเป็นฐานรากแบบดินเปิด ดังรูป 2.33 ซึ่งจะต้องรับแรงเฉือนศูนย์กลางทำให้เกิดหน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ฐานมีค่าไม่สม่ำเสมอ และอาจมีบางส่วนเป็นแบบหน่วยแรงดึง ฐานรากจึงอาจทรุดตัว เอียงล้ม ไม่น่ามอง ถ้าจะให้ฐานรากเกิดความมั่นคงจะต้องเชื่อมฐานรากของเสาดันริม กับของเสาภายในถัดเข้ามาด้วยกันเป็นฐานรากร่วม ดังรูป 2.33

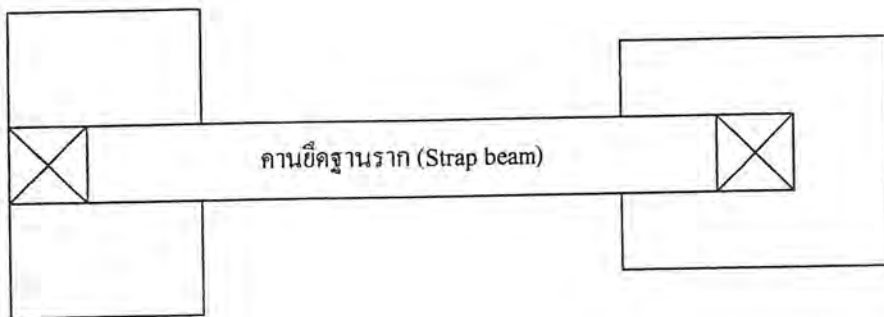
ฐานรากร่วมอาจมีพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู หรือรูปตัวที โดยมีความหนาคงที่ แต่ฐานรากร่วมที่มีพื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า จะคำนวณออกแบบง่ายกว่า ในทางปฏิบัติของการคำนวณออกแบบฐานรากร่วมจะพิจารณาให้ศูนย์กลางของน้ำหนักบรรทุกตรงกันกับจุดศูนย์กลางของฐานรากร่วมทั้งนี้เพื่อมิให้ฐานรากร่วมต้องรับน้ำหนักเอียงศูนย์กลาง ดังนั้น หน่วยแรงที่เกิดขึ้นได้ฐานรากจึงเป็นแบบแผ่สม่ำเสมอ นอกจากนี้จะพิจารณาให้ฐานรากร่วมเป็นเสมือนคานตามแนวยาว (Longitudinal) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.33 ลักษณะฐานรากร่วม (วินิต, 2542)

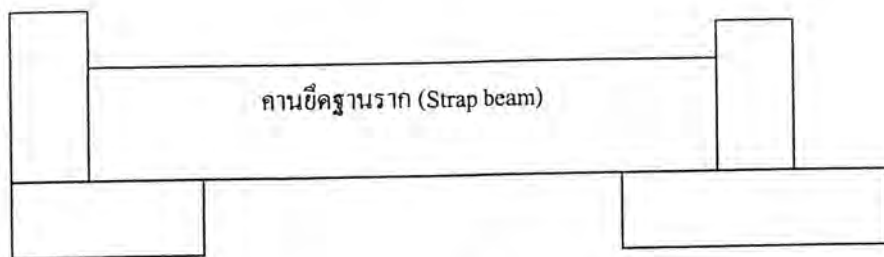
beam) โดยมีคานขวาง (Transverse beam) ในทิศทางตั้งฉากที่อยู่ใต้เสา เป็นที่รองรับซึ่งทำหน้าที่ถ่ายต่อไปยังเสา ถ้าความกว้างของเสาด้านที่พิจารณามีค่าเท่ากับ  $a$  และความลึกประสิทธิภาพของฐานรากร่วมมีค่าเท่ากับ  $d$  จะพิจารณาให้ความกว้างของคานกว้างมีค่าเท่ากับ  $a + 2(d/2)$  ดังแสดง ในรูป 2.33

ในกรณีที่เสาสองต้นอยู่ห่างกันมาก การทำฐานรากร่วมตามที่กล่าวข้างต้นจะไม่ประหยัด เพราะฐานรากร่วมจะยาวมากแต่คานกว้างจะแคบทำให้ต้องรับโมเมนต์คดมาก หรือในกรณีที่รับแรงกดอัดของดิน ซึ่งอยู่ระหว่างฐานรากทั้งสองมีค่าต่ำมาก ซึ่งไม่เหมาะที่จะทำเป็นฐานรากร่วมตามปกติ ในทางปฏิบัติจึงใช้วิธียึดฐานรากดินเป็นคานที่อยู่ชิดติดแนวเขตที่ดินกับฐานรากเดี่ยวภายในเข้าด้วยกัน โดยใช้คานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อถ่วงการเอียงศูนย์ที่เกิดจากเสาดันริม เมื่อดินที่อยู่ระหว่างฐานรากทั้งสอง มีกำลังรับแรงกดอัดต่ำ ให้ยกคานยึดฐานรากสูงจากผิวดินเพื่อให้มีน้ำหนักของดินมากระทำฐานรากร่วมแบบนี้เรียกว่า Strap footing ดังรูปที่ 2.34 สำหรับการคำนวณออกแบบฐานรากแบบนี้ ฐานรากของเสาดันริมและฐานรากของเสาภายในต้องมีพื้นที่มากพอที่จะทำให้หน่วยแรงได้ฐานมีค่าคงที่สม่ำเสมอ และเท่ากัน ซึ่งได้จากการพิจารณาให้ศูนย์ถ่วงของพื้นที่รวมของฐานทั้งสองตรงกับแนวแรงลัพธ์ของน้ำหนักจากเสาทั้งสองต้น



รูปที่ 2.34 ลักษณะฐานรากแบบมีคานยึด (Strap beam)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 ลักษณะฐานรากแบบมีคานยึด (Strap beam), (ต่อ)

### 2.3.9 ข้อกำหนดในการคำนวณฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กตามมาตรฐาน วสท

7300 ฐานราก

7302 น้ำหนักบรรทุกและแรงดัน

(ก) ขนาดฐานรากต้องได้สัดส่วนกับน้ำหนักบรรทุก และแรงดันที่เกิดขึ้นโดยหน่วยแรงจะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้

(ข) ในกรณีที่ฐานรากรับน้ำหนักร่วมศูนย์และองค์อาคารที่เกี่ยวข้องของไม่ได้ถ่ายโมเมนต์ลงบนฐานรากแล้ว อาจคำนวณหาค่าโมเมนต์และแรงเฉือนได้โดยใช้แรงดันจากใต้ฐานราก โดยเสมือนว่าแรงดันนี้แผ่กระจายสม่ำเสมอทั่วพื้นที่ฐานหรือบนเสาเข็มแต่ละต้น และถือว่าน้ำหนักที่ตกลงแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ใต้เสาตอม่อ กำแพง หรือแผ่นโลหะที่รองรับเสา

(ค) ในกรณีที่ฐานรากรับน้ำหนักเฉศูนย์ และ/หรือ องค์อาคารที่เกี่ยวข้องถ่ายโมเมนต์ลงบนฐานราก ต้องคิดถึงผลอันเองจากความไม่สม่ำเสมอของแรงใต้ฐานรากและระยะเฉศูนย์ของน้ำหนักบรรทุกด้วย

(ง) ในกรณีที่ฐานรากตั้งบนเสาเข็ม การคำนวณหาโมเมนต์และแรงเฉือนอาจสมมุติให้แรงดันในเสาเข็มเกิดที่ศูนย์กลางของเสาเข็มแต่ละต้น

7303 ฐานรากหลังลาดหรือฐานรากหลังชันบันได

(ก) ในฐานรากหลังลาดหรือฐานรากหลังชันบันได มุมลาดหรือความลึก และตำแหน่งของชั้นต้องไม่ทำให้หน่วยแรง ณ หน้าที่ใด ๆ เกินค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

(ข) ในฐานรากหลังลาดหรือหลังชันบันได หน้าตัดประสิทธิผลที่รับแรงอัดให้ใช้เฉพาะพื้นที่ที่อยู่เหนือระนาบสะเทิน

(ค) ฐานรากหลังลาดหรือฐานรากหลังชันบันได ที่ออกแบบเป็นชิ้นเดียวกัน ต้องหล่อให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย

#### 7304 โหมดเมนต์ค้ำ

(ก) การหาโมเมนต์ที่กระทำ ณ หน้าตัดใดๆ ให้ใช้ระนาบค้ำผ่านหน้าตัดนั้นๆ ตลอดแนวฐานราก และให้ค่าโมเมนต์อันเกิดจากแรงต่างๆ ที่กระทำตลอดพื้นที่ทั้งหมดของฐานราก ซึ่งอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของระนาบค้ำกล่าว

(ข) โมเมนต์ค้ำสูงสุดที่ใช้ในการคำนวณออกแบบฐานรากค้ำ ให้ใช้ค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณตามข้อ(ก) ณ ตำแหน่งหน้าตัดดังต่อไปนี้

1. ที่ขอบเสา ตอม่อ หรือกำแพง สำหรับฐานรากที่รับเสา ตอม่อหรือกำแพงคอนกรีต
2. ที่ระยะครึ่งหนึ่งระหว่างขอบและกึ่งกลางกำแพง สำหรับฐานรากรับกำแพงก่ออิฐ
3. ที่ระยะครึ่งหนึ่งระหว่างขอบของเสาหรือตอม่อและขอบของแผ่นโลหะ ที่รองรับเสาหรือตอม่อนั้น สำหรับฐานรากที่อยู่ใต้แผ่นโลหะรองรับ

(ค) ให้ถือว่าความกว้างซึ่งรับแรงอัด ณ หน้าตัดใดๆ คือความกว้างทั้งหมดของส่วนบนของฐานราก ณ หน้าตัดซึ่งกำลังพิจารณา

(ง) สำหรับฐานรากที่เสริมเหล็กรับแรงทางเดียว เหล็กเสริมรับแรงค้ำทั้งหมด ณ หน้าตัดใดๆ ต้องรับโมเมนต์ค้ำไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ ตามวิธี 7304 (ก) และจะต้องกระจายเหล็กเสริมให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของหน้าตัดนั้นๆ

(จ) สำหรับฐานรากที่เสริมเหล็กรับแรงสองทาง เหล็กเสริมรับแรงค้ำทั้งหมด ณ หน้าตัดใดๆ ต้องรับโมเมนต์ค้ำไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ ตามวิธี 7304 (ก) และต้องกระจายเหล็กเสริมตลอด ความกว้างของหน้าตัดนั้นๆ ตามที่ให้ไว้ในข้อ 7304 (ค) สำหรับฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือข้อ 7304 (ข) สำหรับฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ฉ) สำหรับฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เสริมเหล็กรับแรงสองทาง ต้องกระจายเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางให้สม่ำเสมอ ตลอดความกว้างของฐานรากนั้น

(ช) สำหรับฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงสองทาง ต้องกระจายเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางยาวให้สม่ำเสมอ ตลอดความกว้างของฐานราก สำหรับเหล็กเสริมในทิศทางสั้น ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.74) ส่วนหนึ่งต้องกระจายสม่ำเสมอเป็นแถบกว้าง (B) ที่มีกึ่งกลางอยู่ที่เส้นผ่านศูนย์กลางหรือตอม่อ และมีความกว้างเท่ากับด้านสั้นของฐาน เหล็กเสริมส่วนที่เหลือให้เสริมแผ่กระจายโดยสม่ำเสมอในฐานรากส่วนนอกที่เหลือ

$$\frac{\text{เหล็กเสริมในแถบกว้าง(B)}}{\text{เหล็กเสริมทั้งหมดในทิศทางสั้น}} = \frac{2}{(S+1)} \quad (2.56)$$

โดยที่ S คืออัตราส่วนระหว่างด้านยาวต่อด้านสั้นของฐานราก

7307 ตอม่อและฐานรากไม่เสริมเหล็ก

(ก) สำหรับตอม่อซึ่งรับน้ำหนักร่วมศูนย์ หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ต่อเนื้อที่ทั้งหมดต้องไม่เกิน  $0.25f_c$  เมื่อรับน้ำหนักใช้งาน ถ้าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นเร็วกว่าที่กำหนดไว้นี้ ให้คำนวณออกแบบของค้ำอาคารดังกล่าวเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก

(ข) ความกว้างและความลึกของตอม่อ หรือฐานรากไม่เสริมเหล็ก ต้องไม่ทำให้แรงดึงในคอนกรีตอันเกิดจากแรงค้ำ เกินกว่า  $0.424\sqrt{f'_c}$

7308 ฐานรากรับเสากลม

ในการคำนวณหาหน่วยแรงต่างๆ ในฐานรากซึ่งรองรับเสาหรือตอม่อคอนกรีตรูปกลมหรือรูปแปดเหลี่ยม ให้ถือเสมือนว่าขอบหน้าของเสาหรือตอม่อดังกล่าวเป็นขอบหน้าของรูสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีเนื้อที่หน้าตัดเท่ากับของเสาหรือตอม่อนั้น

7309 ความหนาตัดสุดของขอบฐานราก

(ก) ในฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก ความหนาของคอกกรีตส่วนที่อยู่เหนือเหล็กเสริมที่ขอบนอกของฐานราก ต้องไม่น้อยกว่า 15 ซม สำหรับฐานรากแผ่ หรือฐานรากที่ใช้เสาเข็มสั้นในดินอ่อน และต้องไม่น้อยกว่า 30 ซม สำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มอื่นๆ

(ข) ในฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก ความหนาของคอนกรีตที่ขอบนอกของฐานรากต้องไม่น้อยกว่า 20 ซม สำหรับฐานรากแผ่หรือฐานรากที่ใช้เสาเข็มสั้นในดินอ่อน และต้องไม่น้อยกว่า 35 ซม จากหัวเสาเข็ม สำหรับฐานรากที่ใช้เสาเข็มอื่นๆ

### 7310 ฐานรากร่วมและฐานรากแบบแพ

ข้อแนะนำในการคำนวณออกแบบฐานรากร่วมหรือฐานรากแบบแพ ซึ่งรองรับเสาหรือผนังมากกว่าหนึ่งชิ้น ไป มีดังนี้

1. ให้ถือว่าแรงดันของดิน กระทำโดยสม่ำเสมอ หรือแปรผันเป็นเส้นตรง นอกจากจะมีสมมุติฐานอื่นๆ ที่สอดคล้องกับคุณสมบัติของดินและโครงสร้าง พร้อมทั้งหลักการทางวิชากลศาสตร์ของดิน
2. ให้คำนวณแรงเฉือนซึ่งใช้วัดแรงดึงทแยง ตามวิธีที่ระบุไว้ในข้อ 6307

## บทที่ 3

# วิธีที่ใช้ในการคำนวณในโปรแกรม

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณที่ใช้ในโปรแกรม โดยจะแสดงถึงสูตรและขั้นตอนต่างๆที่ใช้ รวมไปถึงสมการที่ได้มาจากการ Fitting Curve เพื่อใช้อ่านค่าจากกราฟต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

### 3.1 สูตรและฟังก์ชันการคำนวณของการหาค่า Bearing capacity ของดิน

ในโปรแกรมการหาค่า Bearing capacity ของดินนั้น ทฤษฎีที่ใช้ในโปรแกรม จะประกอบไปด้วย 3 ทฤษฎีด้วยกันคือ

1. Terzaghi Method
2. Meyerhof Method
3. Hansen Method

โดยจะคำนวณหาค่า Ultimate bearing capacity ในฐานราก 3 แบบ ดังนี้

1. ฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัส
2. ฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. ฐานรากค่อเนื่อง

สำหรับขอบเขตของทฤษฎี และวิธีในการคำนวณจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 3.1.1 การหาค่า Bearing Capacity ของดินโดยวิธีของ Terzaghi

สมการทั่วไปของ Terzaghi

$$\text{Rectangular footing} : q_u = \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) c N_c + q N_q + \left(1 - 0.2 \frac{B}{L}\right) \gamma \frac{B}{2} N_\gamma \quad (3.1)$$

$$\text{Square footing} : q_u = 1.3 c N_c + q N_q + 0.4 \gamma B N_\gamma \quad (3.2)$$

$$\text{Strip footing} : q_u = c N_c + q N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (3.3)$$

โดยที่  $q_u$  = Ultimate Bearing Capacity

$c$  = cohesion of soil

$\phi$  = friction angle of soil

$B$  = Width of Footing

$q$  = Soil overburden

$\gamma$  = Soil unit weight

$$N_q = \frac{a^2}{2 \cos^2(45^\circ + \phi/2)} \quad \text{เมื่อ} \quad a = e^{(0.75\pi - \phi/2) \tan \phi}$$

$$N_c = [N_c - 1] \cot \phi$$

$$N_\gamma = 0.5 \tan \phi \left( \frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right)$$

$K_{p\gamma}$  = the passive pressure of soil

เนื่องจาก Terzaghi ไม่ได้ให้สมการในการหาค่า  $K_{p\gamma}$  เอาไว้ แต่อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้ทำการหาค่าสมการของ  $K_{p\gamma}$  โดยวิธีการ fitting curve ซึ่งได้ผลที่ใกล้เคียงมากดังนี้คือ

$$K_{p\gamma} = 3 \tan^2 \left[ 45 + \left( \frac{\phi + 33}{2} \right) \right]$$

โดย S. Husain, Professor, Young Town State University (Geotechnical Engineering : Foundation Design, John n. Cernica, 1995)

ในการหาค่า Ultimate bearing capacity ของ Terzaghi นั้น ทำได้โดยการแทนค่าตัวแปรต่างๆ ลงในสมการ (3.1) ถึง สมการ (3.3) ตามรูปร่างของฐานราก โดยที่สมการของ Terzaghi จะครอบคลุมเฉพาะการหาค่า Ultimate bearing capacity ของฐานารกรับแรงในแนวแกนเท่านั้น

### 3.1.2 การหาค่า Bearing Capacity ของดินโดยวิธีของ Meyerhof

สมการทั่วไปของ Meyerhof

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (3.4)$$

โดยที่

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_\gamma = (N_q - 1)\tan(1.4\phi)$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$= 5.14$$

for  $\phi = 0$

และจะใช้ค่า Correction Factor ตามนี้

Shape Factor :  $s_c = 1 + 0.2K_p \frac{B'}{L'}$  สำหรับทุกค่า  $\phi$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \frac{B'}{L'}$$
 สำหรับ  $\phi > 10^\circ$

$$s_q = s_\gamma = 1$$
 สำหรับ  $\phi = 0$

Depth Factor :  $d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$  สำหรับทุกค่า  $\phi$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \frac{D}{B}$$
 สำหรับ  $\phi > 10^\circ$

$$d_q = d_\gamma = 1$$
 สำหรับ  $\phi = 0$

โดยที่

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

Inclination Factor :  $i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{90^\circ}\right)^2$  สำหรับทุกค่า  $\phi$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta^\circ}{\phi^\circ}\right)^2$$
 สำหรับ  $\phi > 10^\circ$

$$i_\gamma = 0$$
 สำหรับ  $\phi = 0$



ในการหาค่า ultimate bearing capacity ของดิน โดยใช้สมการของ Meyerhof นั้น เนื่องจาก Meyerhof ได้พิจารณาถึงค่า Inclination Factor ด้วยดังนั้นเราจะสามารถหาค่า ultimate bearing capacity สำหรับฐานรากรับแรงในแนวนอนโดยใช้สมการของ Meyerhof โดยมีวิธีการคำนวณในกรณีต่างๆ ดังนี้

1. สำหรับฐานรากรับแรงในแนวแกน ให้แทนค่าตัวแปรต่างๆลงในสมการ (3.4) โดยที่ไม่ต้องพิจารณาค่า Inclination Factor
2. สำหรับฐานรากรับแรงในแนวนอนนั้น จะต้องนำค่า Inclination Factor มาพิจารณาด้วย สำหรับการหาค่า Inclination Factor นั้น เราสามารถหาค่ามุม  $\theta$  ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\theta = \tan^{-1}(H/V) \text{ โดยที่}$$

H = แรงกระทำในแนวนอน

V = แรงในแนวแกนที่กระทำต่อฐานราก

เนื่องจากไม่มีข้อมูลในการใช้สมการของ Meyerhof วิเคราะห์ค่า Ultimate bearing capacity สำหรับฐานรากรับแรงในแนวนอนสองแกน ดังนั้นในการคำนวณโดยใช้โปรแกรม จะพิจารณาเฉพาะแรงในแนวนอน 1 แกนเท่านั้น

3. สำหรับฐานรากรับโมเมนต์นั้น จะกล่าวในหัวข้อ 3.1.4 ร่วมกับวิธีของ Hansen

### 3.1.3 การหาค่า Bearing capacity ของดินด้วยวิธีการของ Hansen

สมการทั่วไปของ Hansen

$$\phi > 0: q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma \quad (3.5)$$

$$\phi = 0: q_{ult} = 5.14s_u(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c g'_c) + q \quad (3.6)$$

โดยที่

$N_q, N_c$  ใช้ตามค่าของ Meyerhof

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi$$

และจะใช้ค่า Correction Factor ตามนี้

Shape Factor :

Shape Factor	Direction of Load		
	Perpendicular To Footing Base	Inclined in the Plane of the B Dimension	Inclined in the Plane of the L Dimension
$s_c$	$1 + 0.2(B/L')$	$1 + 0.2(B'/L')i_{cB}$	$1 + 0.2(L'/B')i_{cL}$
$s'_c$	$0.2(B/L')$	$0.2(B'/L')i_{cB}$	$0.2(L'/B')i_{cL}$
$s_q$	$1 + (B'/L')\sin\phi$	$1 + (B'i_{qB}/L')\sin\phi$	$1 + (L'i_{qL}/B')\sin\phi$
$s_\gamma$	$1 - 0.4(B'/L')$	$1 - 0.4(B'i_{\gamma B}/L' i_{\gamma L}) \geq 0.6$	$1 - 0.4(L'i_{\gamma L}/B'i_{\gamma B}) \geq 0.6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Depth Factor :

$$d_c = 1 + 0.4k$$

$$d'_c = 0.4k$$

$$d_q = 1 + 2k \tan \phi (1 - \sin \phi)^2$$

$$d_\gamma = 1$$

สำหรับฐานรากตื้นที่  $D/B \leq 1$  ให้ใช้  $k = D/B$  สำหรับฐานรากที่  $D/B > 1$  ให้ใช้  $k = \tan^{-1}(D/B)$

Inclination Factor ::

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i'_c = 0.5 - 0.5 \sqrt{1 - \frac{H}{As_u}} \quad \text{สำหรับ } H/Ac \leq 1$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.5H}{V + Ac \cot \phi} \right]^5 \geq 0$$

$$i_q = \left[ 1 - \frac{0.7H}{V + Ac \cot \phi} \right]^5 \geq 0$$

โดยที่  $A =$  พื้นที่ของฐานราก  $= B' \times L'$

$c =$  cohesion

$S_u =$  Undrained shear strength

จะเห็นได้ว่า  $S_u = c$  ในกรณีที่ดินมีค่า  $\phi = 0$  นั่นเอง

Base Factor(tilted base) :

$$b_c = 1 - \eta/147$$

$$b'_c = \eta/147$$

$$b_q = e^{-2\eta \tan \phi}$$

$$b_\gamma = e^{-2.7\eta \tan \phi}$$

ground Factor(base on slope) :

$$g_c = 1 - \beta/147$$

$$g'_c = \beta/147$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta)^5$$

จะเห็นได้ว่าในสมการของ Hansen นั้น นอกจาก Inclination Factor แล้ว Hansen ยังให้ค่า Base Factor และ Ground Factor มาด้วย ทำให้เราสามารถวิเคราะห์ฐานรากที่เอียงหรือวางบน slope ได้ ดังนั้นสมการของ Hansen จะสามารถใช้วิเคราะห์ค่า Ultimate bearing capacity สำหรับฐานรากรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงในแนวแกน แรงในแนวนอน แรงกระทำเชิงศูนย์หรือโมเมนต์ และฐานรากที่เอียงหรือวางบน slope ได้ โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. สำหรับฐานรากวางบนพื้นราบรับแรงในแนวแกน ให้แทนค่าตัวแปรต่างๆลงในสมการ (3.5) หรือ สมการ (3.6) ตามค่า  $\phi$  โดยที่ไม่ต้องพิจารณาค่า Inclination Factor, Base Factor และ Ground Factor
2. สำหรับฐานรากที่วางบนพื้นเอียง หรือวางบน slope จะต้องพิจารณาค่า Base Factor และ Ground Factor ด้วย โดยที่ค่ามุม  $\beta$  และค่ามุม  $\gamma$  จะต้องไม่เกิน  $45^\circ$  และค่ามุม  $\beta$  จะต้องไม่เกิน มุม  $\phi$
3. สำหรับฐานรากรับโมเมนต์นั้น จะกล่าวในหัวข้อ 3.1.4 ร่วมกับวิธีของ Meyerhof
4. สำหรับฐานรากที่จะต้องรับแรงในแนวนอนด้วยนั้น โดยเฉพาะในกรณีที่แรงในแนวนอนกระทำในทิศขนานกับด้านยาว เราจะไม่สามารถบอกได้ว่าการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือนของดินจะเกิดทางด้านสั้นหรือด้านยาวก่อน ดังนั้น Hansen จึงแนะนำให้คิดค่า Ultimate bearing capacity ทั้งทางด้านสั้นและทางด้านยาวมาเทียบกัน แล้วเลือกค่าน้อยมาออกแบบ โดยวิธีคำนวณด้านสั้นนั้นให้คิดตามปกติ ยกเว้นค่า Shape Factor ให้ใช้ตามตารางที่ 2.6 ส่วนวิธีการคำนวณทางด้านยาวนั้น ให้กลับแทน  $L'$  ด้วย  $B'$  ทุกค่าในสมการ โดยที่ค่า Shape Factor ให้ใช้ตามตารางที่ 2.6 เช่นกัน สำหรับตัวอย่างวิธีการคำนวณได้แสดงในภาคผนวก

#### 2.1.4 การหาค่า Ultimate bearing capacity ในฐานรากรับโมเมนต์

ในกรณีที่ฐานรากรับโมเมนต์ ไม่ว่าจะเป็น 1 แกน หรือ 2 แกน จะส่งผลกระทบต่อทำให้การกระจายหน่วยแรงของดินใต้ฐานราก มีค่าไม่สม่ำเสมอตลอดพื้นที่ฐานราก ทำให้เราไม่สามารถพิจารณาค่า contact pressure จากสมการ  $q = V/A$  ได้ ดังนั้นในการหาค่า Maximum contact pressure เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับค่า Allowable bearing capacity ในโปรแกรมจะแยกออกเป็น 3 กรณี ด้วยกัน ดังนี้คือ

1. ฐานรากรับ โมเมนต์ ระบุเชิงศูนย์อยู่ภายใน Kern Area

ในกรณีนี้ฐานรากจะรับแรงอัดเต็มพื้นที่ฐานราก สามารถหาค่า contact pressure ได้จากสมการ(พิจารณารูปที่ 2.8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{\max} = \frac{V}{A} \left( 1 + \frac{6e_b}{B} + \frac{6e_l}{L} \right) \quad (3.7)$$

$$q_{\min} = \frac{V}{A} \left( 1 - \frac{6e_b}{B} - \frac{6e_l}{L} \right) \quad (3.8)$$

## 2. ฐานรากรับ โมเมนต์ 1 แกนและระยะเยื้องศูนย์กลางที่อยู่ภายนอก Kern Area

ในกรณีนี้ฐานรากจะรับแรงอัดไม่เต็มฐานราก เราสามารถหาค่า contact pressure ได้จากสมการ(พิจารณารูปที่ 2.8)

$$q_{\max} = \frac{4V}{3L(B - 2e_b)} \quad (3.9)$$

และแทนค่า

$$B' = \frac{3}{2}(B/2 - e_b)$$

(3.10)

ในกรณีที่ โมเมนต์กระทำรอบแกน Y

$$q_{\max} = \frac{4V}{3B(L - 2e_l)}$$

(3.11)

และแทนค่า

$$L' = \frac{3}{2}(L/2 - e_l)$$

(3.12)

ในกรณีที่ โมเมนต์กระทำรอบแกน X

## 3) ฐานรากรับ โมเมนต์ 2 แกนและระยะเยื้องศูนย์กลางที่อยู่ภายนอก Kern Area

ในกรณีนี้ฐานรากจะรับแรงอัดไม่เต็มพื้นที่ของฐานราก การหาค่า contact pressure ในกรณีนี้ทำได้ยาก ดังนั้น Meyerhof (1953) และ Hansen (1970) จึงได้เสนอหลักการให้ Effective Area โดยมีวิธีในการคิดตามขั้นตอนดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนี้

Step1 ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดของฐานรากปกติ ให้เป็นขนาดฐานรากประสิทธิผล

$$B' = B - 2e_b \quad (3.11)$$

$$L' = L - 2e_l \quad (3.12)$$

โดยที่เลือกค่านี้น้อยกว่าเป็นค่า ความกว้างประสิทธิผล  $B'$

เมื่อ  $e_b, e_l$  = คือระยะเยื้องศูนย์กลางตามความกว้าง  $B$  และความยาว  $L$  ตามลำดับ(ดูรูปที่ 2.8)

และค่า Effective Area =  $B' \times L'$

Step2 ทำการหาค่า Ultimate bearing capacity โดยการแทนค่า  $B'$  และ  $L'$  ที่หาค่าได้ลงในสมการ ของ Meyerhof หรือ Hansen โดย depth factor ยังคงเป็น  $B' = B$  และ  $L' = L$

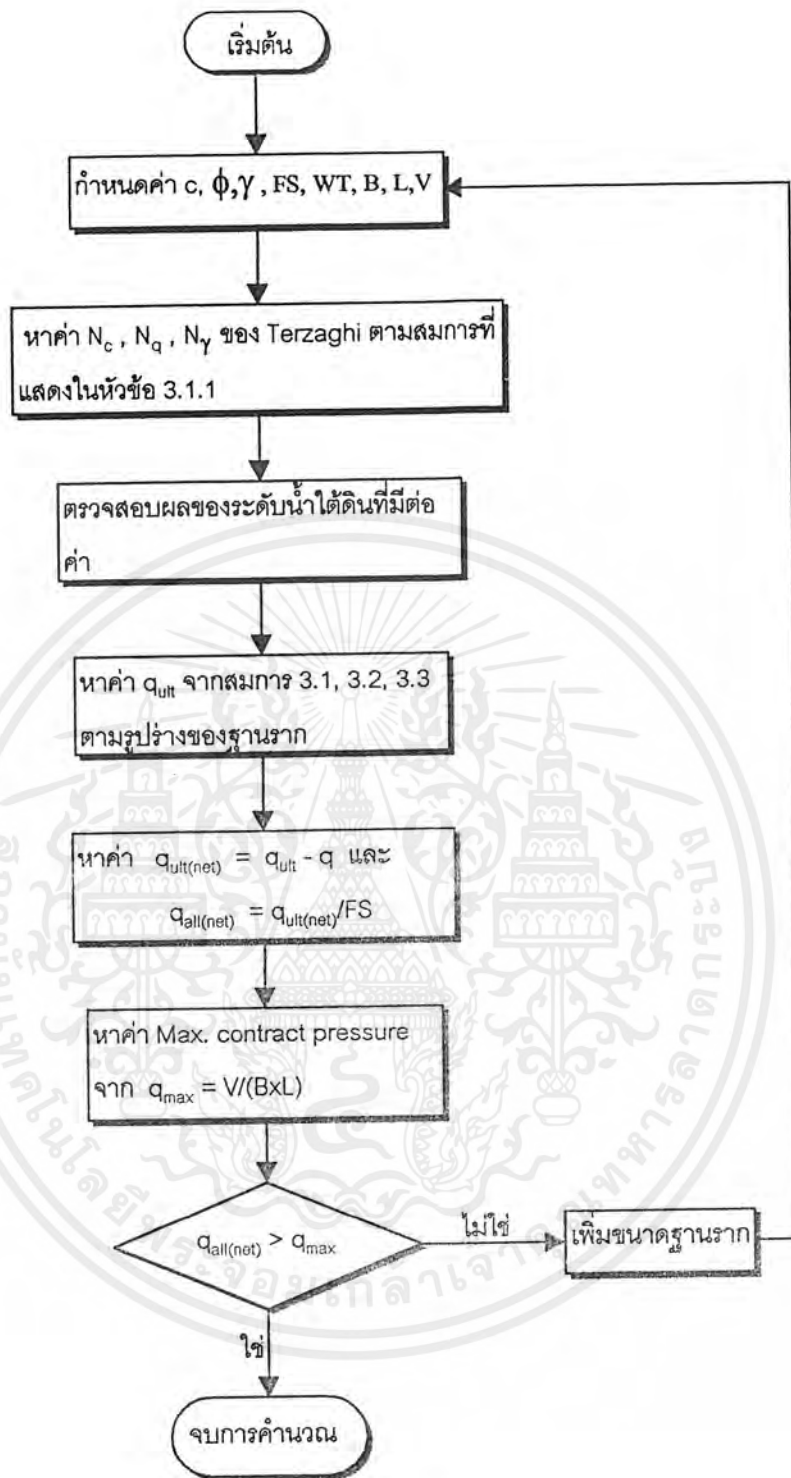
Step3 ทำการหาค่า Contact pressure จากสมการ

$$q = V/(B' \times L') \quad (3.13)$$

โดยในการออกแบบฐานรากนั้น เราจะต้องให้ค่า Contact pressure ที่หาได้น้อยกว่าค่า Allowable bearing capacity เสมอ เพื่อให้แน่ใจว่าดินที่รองรับได้ฐานรากจะไม่เกิดการพังทลาย

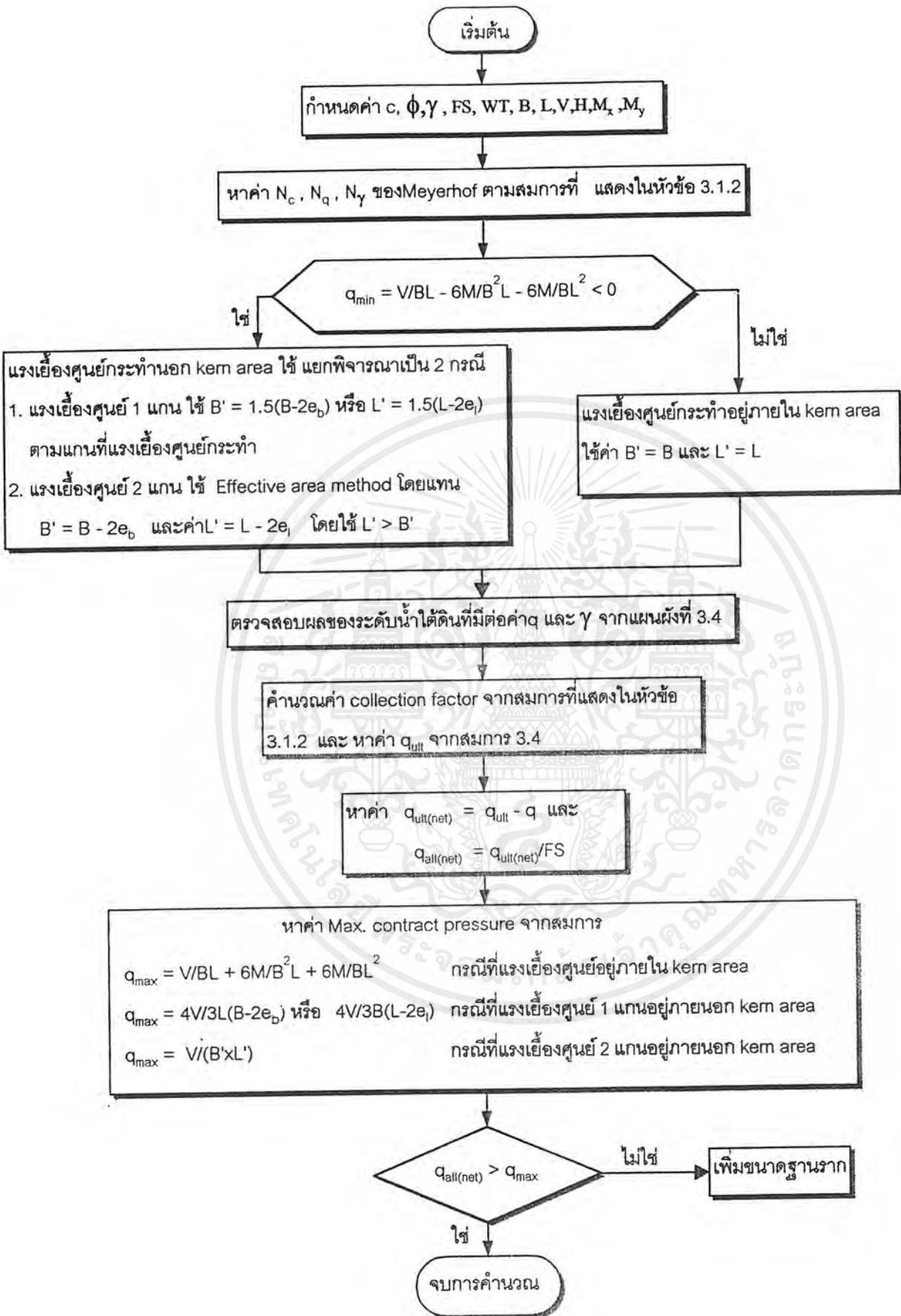
### 3.1.5 ผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อค่า Ultimate bearing capacity ของดิน

การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน จะมีผลกระทบต่อค่า  $q$  (soil overburden) และค่า  $\gamma$  ในพจน์ที่ 2 และ พจน์ที่ 3 ของสมการหาค่า Bearing capacity ตามลำดับ สำหรับการเปลี่ยนแปลงของค่า  $q$  และค่า  $\gamma$  เนื่องจากระดับน้ำใต้ดินนั้นจะแบ่งออกเป็น 3 กรณีด้วยกัน โดยอ้างอิงตามรูปที่ 2.7 และสมการ (2.13) ถึง สมการ (2.16) ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 คือ



แผนผังที่ 3.1 การหาค่า Ultimate bearing capacity โดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แผนผังที่ 3.2 การหาค่า Ultimate bearing capacity โดยใช้ทฤษฎีของ Meyerhof

เริ่มต้น

กำหนดค่า  $c, \phi, \gamma, FS, WT, B, L, V, H_x, H_y, M_x, M_y, \text{Base angle, Ground angle}$

หาค่า  $N_c, N_q, N_\gamma$  ของ Hansen ตามสมการที่ แสดงในหัวข้อ 3.1.3

ใช่  $q_{max} = V/BL - 6M/B^2L - 6M/BL^2 < 0$  ไม่ใช่

แรงเยื้องศูนย์กระทำนอก kern area ใช้ แยกพิจารณาเป็น 2 กรณี  
1. แรงเยื้องศูนย์ 1 แกน ใช้  $B' = 1.5(B-2e_b)$  หรือ  $L' = 1.5(L-2e_l)$  ตามแกนที่แรงเยื้องศูนย์กระทำ  
2. แรงเยื้องศูนย์ 2 แกน ใช้ Effective area method โดยแทน  $B' = B - 2e_b$  และค่า  $L' = L - 2e_l$  โดยให้  $L' > B'$

แรงเยื้องศูนย์กระทำภายใน kern area ใช้ค่า  $B' = B$  และ  $L' = L$

ตรวจสอบผลของระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อค่า  $q$  และ  $\gamma$  จากแผนผังที่ 3.4

หาค่า  $q_{ult}$  จากสมการที่ 3.5 หรือ 3.6 ตามค่า  $\phi$  ของดิน โดยในกรณีที่มีแรงกระทำในแนวอนจะต้องแยกพิจารณา ทั้งด้านสั้นและด้านยาว โดยนำค่าที่น้อยกว่าไปใช้ ส่วนค่า collection factor ใช้ตามหัวข้อ 3.1.3

หาค่า  $q_{ult(net)} = q_{ult} - q$  และ  $q_{all(net)} = q_{ult(net)}/FS$

หาค่า Max. contract pressure จากสมการ  
 $q_{max} = V/BL + 6M/B^2L + 6M/BL^2$  กรณีที่แรงเยื้องศูนย์ภายใน kern area  
 $q_{max} = 4V/3L(B-2e_b)$  หรือ  $4V/3B(L-2e_l)$  กรณีที่แรงเยื้องศูนย์ 1 แกนอยู่ภายนอก kern area  
 $q_{max} = V/(B' \times L')$  กรณีที่แรงเยื้องศูนย์ 2 แกนอยู่ภายนอก kern area

ใช่  $q_{all(net)} > q_{max}$  ไม่ใช่

เพิ่มขนาดฐานราก

จบการคำนวณ

แผนผังที่ 3.3 การหาค่า Ultimate bearing capacity โดยใช้ทฤษฎีของ Hansen

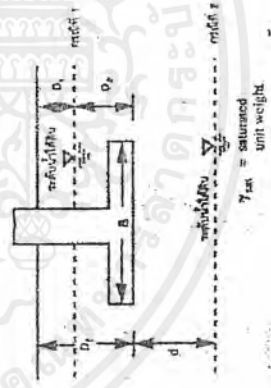
เริ่มต้น

ตรวจสอบค่าระดับน้ำใต้ดิน

กรณีที่ 1 เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ในสถานะของ  
ฐานราก จะได้ว่า  
 $q = \gamma D_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) D_2$  ส่วนค่า  $\gamma$  ในพจน์  
ของ  $1/2\gamma_{BN_y}$  จะมีค่า  
 $\gamma = \gamma_{sat} - \gamma_w$

กรณีที่ 2 เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับต่ำกว่าฐานราก  
ไม่มากกว่าความกว้างของฐานราก จะได้ว่า  
 $q = \gamma D_1$  ส่วนค่า  $\gamma$  ในพจน์ ของ  $1/2\gamma_{BN_y}$  จะมีค่า  
 $\gamma = \gamma_{sub} - d/B(\gamma - \gamma_{sub})$  เมื่อ  
 $\gamma = \gamma_{sat} - \gamma_w$

กรณีที่ 3 เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับต่ำกว่าฐานราก  
มากกว่าความกว้างของฐานราก จะได้ว่า  
 $q = \gamma D_1$  ส่วนค่า  $\gamma$  ในพจน์ ของ  $1/2\gamma_{BN_y}$  จะมีค่า  
 $\gamma = \gamma$



แผนผังที่ 3.4 แสดงถึงผลกระทบที่มีผลต่อค่า  $q$  และค่า  $\gamma$  เนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน

### 3.2 สูตรและฟังก์ชันการคำนวณของการหาค่ากำลังรับแรงของเสาเข็ม

#### 3.2.1 การหาแรงต้านทานส่วนปลาย (Base resistance or point resistance, $Q_b$ )

ใช้ทั้งหมด 3 ทฤษฎีคือ

1. Terzaghi and Peck ใช้สำหรับเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ

สมการทั่วไปของ Terzaghi and Peck คือ

$$\frac{Q_b}{A_p} = cN_cS_c + \bar{\sigma}_v N_q + 0.5\gamma BN_\gamma S_\gamma \quad (3.14)$$

เมื่อ	$Q_b$	= แรงต้านทานส่วนปลายเสาเข็ม
	$A_p$	= พื้นที่ส่วนปลายของเสาเข็ม
	$c$	= Cohesion of soil
	$\bar{\sigma}_v$	= Effective vertical stress at pile tip หาได้จากสูตร $\gamma H$
	$\gamma$	= ความหนาแน่นของดิน (Soil unit weight)
	$S_c, S_\gamma$	= Shape factor มีค่า 1.3 และ 0.8 ตามลำดับ
	$N_c, N_q, N_\gamma$	= Bearing capacity factors หาได้จากรูปที่ 3.1
	$B$	= ความกว้างด้านสั้นของเสาเข็ม

Factors ที่ใช้ในโปรแกรมนี้

I. Bearing capacity factors  $N_c, N_q, N_\gamma$

สำหรับ Cohesive soil  $\phi = 0$

$$N_c = 5.7$$

$$N_q = 1$$

สำหรับ Cohesionless soil  $c = 0$

$N_q$  ได้จากการ Fitting curve โดยมีสมการดังนี้

$$28 \leq \phi \leq 30$$

$$N_q = 0.5\phi - 7$$

$$30 \leq \phi \leq 44$$

$$N_q = 11821.1 - 1799.37\phi + 107.889\phi^2 - 3.19499\phi^3 + 0.0468288\phi^4 - 0.000271557\phi^5$$

$N_\gamma$  ได้จากการ Fitting curve โดยมีสมการดังนี้

$$28 \leq \phi \leq 30$$

$$N_\gamma = 0.5\phi - 9$$

$$30 \leq \phi \leq 44$$

$$N_\gamma = -98252.8 + 14399\phi - 841.254\phi^2 + 24.4925\phi^3 - 0.355427\phi^4 + 0.00205834\phi^5$$

## 2. Shape factor

ใช้ Shape factor ดังนี้

$$S_c = 1.3$$

$$S_\gamma = 0.8$$

## 2. Vesic

$$\frac{Q_b}{A_p} = cN_c + \eta\sigma_v N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \quad (3.15)$$

Factors ที่ใช้ใน โปรแกรมนี้

### 1. Reduction factor

$$\eta = \frac{1 + 2K_o}{3} \quad (3.16)$$

เมื่อ  $K_o$  = At-rest earth pressure coefficient มีค่า

$$K_o = (1 - \sin \phi)\sqrt{OCR} \quad (3.17)$$

เมื่อ OCR = Over Consolidation Ratio ในกรณีดินทั่วไปมีค่าเท่ากับ 1

### 2. Bearing capacity factors $N_c, N_q, N_\gamma$

Bearing capacity factors  $N_c$  หาได้จากสูตรของ Vesic ดังนี้

สำหรับ  $\phi = 0$

$$N_c = \frac{4}{3}(\ln I_{rr} + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 \quad (3.18)$$

สำหรับ  $\phi > 0$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3.19)$$

เมื่อ  $I_{rr}$  คือค่า Reduced rigidity index สามารถหาได้จากสูตร

$$I_{rr} = \frac{Ir}{1 + \varepsilon_v Ir} \quad (3.20)$$

$\varepsilon_v$  คือ Volumetric strain

$Ir$  คือ rigidity index สามารถหาได้จากค่า Shear modulus ( $G$ ) ดังนี้

$$Ir = \frac{G}{c + \sigma_v \tan \phi} \quad (3.21)$$

ในกรณีที่ดินอยู่ในสภาวะ Undrained soil conditions หรืออยู่ในสภาวะอัดแน่น ค่า Volumetric strain ( $\varepsilon_v$ ) จะมีค่าเป็นศูนย์ ทำให้  $I_{rr} = Ir$  ค่าโดยประมาณของ  $Ir$  ในดินทั่วไปมีค่าดังนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าโดยประมาณของ  $Ir$  [Joseph E. Bowles, 1986]

Soil	$Ir$
Sand ( $Dr^* = 0.5-0.8$ )	75-150
Silt	50-75
Clay	150-250

\*  $Dr$  = Relative density

Bearing capacity factors  $N_q$  หาได้จากสูตรของ Vesic ดังนี้

$$N_q = \frac{3}{3 - \sin \phi} \left\{ \exp \left[ \left( \frac{\pi}{2} - \phi \right) \tan \phi \right] \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) I_{rr}^{(4 \sin \phi) / [3(1 + \sin \phi)]} \right\} \quad (3.22)$$

Bearing capacity factors  $N_y$  หาได้จากสูตรของ Hansen

$$N_y = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. Janbu

$$\frac{Q_b}{A_p} = cN_c + \sigma_v N_q + 0.5\gamma BN_\gamma \quad (3.23)$$

#### Factors ที่ใช้ในโปรแกรม

1. Bearing capacity factors  $N_c, N_q, N_\gamma$

Bearing capacity factors  $N_c$  หาได้ ดังนี้

สำหรับ  $\phi = 0$

$$N_c = 5.74$$

สำหรับ  $\phi > 0$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3.24)$$

Bearing capacity factors  $N_q$  หาได้จากสูตรของ Janbu ดังนี้

$$N_q = (\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2})^2 \exp(2\psi \tan \phi) \quad (3.25)$$

เมื่อ  $\psi$  = มุมที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.2

Bearing capacity factors  $N_\gamma$  หาได้จากสูตรของ Hansen

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi$$

#### 3.2.2 การหาแรงเสียดทานด้านผิวของเสาเข็ม (skin friction, $Q_s$ )

กรณี **Cohesive soil** ในการหาแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มสามารถหาได้ 2 ทฤษฎีคือ

##### วิธีแอลฟา (The $\alpha$ Method)

ใช้หาแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ ซึ่งใช้สูตรในการหาค่าแรงเสียดทานที่ผิวจากสูตรทั่วไปคือ

$$Q_f = \alpha S_u \quad (3.26)$$

เมื่อ  $\alpha$  = Adhesion factor  
 $S_u$  = Undrained shear strength

การหาค่า  $S_u$  ในกรณีที่ทราบค่า SPT-N สามารถหาได้จากรูปที่ 3.3  
 การหาค่า Adhesion factor นั้นสามารถหาได้จากรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5

Factors ที่ใช้ในโปรแกรม

1. Adhesion factor ( $\alpha$ )

1.1 Average curve of Peck, Hanson and Thornburn, 1974

สมการที่ได้จากการ Fitting คือ

$$\alpha = 0.0017521Qu^5 - 0.0280778Qu^4 + 0.160123Qu^3 - 0.346092Qu^2 + 0.0267849Qu + 0.996956$$

1.2 Average curve of HOLMBERG (1970) for Bangkok Clay

สมการที่ได้จากการ Fitting คือ

$$\alpha = (1.12001E-008)Qu^7 - (1.12625E-006)Qu^6 + (4.51359E-005)Qu^5 - 0.000902146Qu^4 + 0.00892504Qu^3 - 0.0308355Qu^2 - 0.112092Qu + 1.19427$$

1.3 Suchada, 1989 (Bored Pile)

สมการที่ได้จากการ Fitting คือ

$$\alpha = (9.133262E-005)Qu^{10} - 0.00244044Qu^9 + 0.0280355Qu^8 - 0.180971Qu^7 + 0.720145Qu^6 - 1.82446Qu^5 + 2.93658Qu^4 - 2.90478Qu^3 + 1.6749 Qu^2 - 0.720992Qu + 0.999102$$

1.4 Ng, 1993 (Bored Pile)

สมการที่ได้จากการ Fitting คือ

$$\alpha = -(5.91923E-005)Qu^{10} + 0.00179374Qu^9 - 0.0231884Qu^8 + 0.167314Qu^7 - 0.739196Qu^6 + 2.06035Qu^5 - 3.58639Qu^4 + 3.67372Qu^3 - 1.79984Qu^2 - 0.170328Qu + 1.0032$$

## วิธีแกมมา (The $\lambda$ Method)

ใช้หาแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มตอก โดยสามารถหาได้จากสูตร

$$Q_f = \lambda(\bar{\sigma}_v + 2c) \quad (3.27)$$

เมื่อ  $\lambda$  = Lamda coefficient สามารถหาได้จากรูปที่ 3.6

Factors ที่ใช้ในโปรแกรม

### 1. $\lambda$ coefficient

สมการที่ได้จากการ fitting คือ

$$\lambda = -(9.80252E-015)D^9 + (3.3997E-012)D^8 - (4.99704E-010)D^7 + (4.05118E-008)D^6 - (1.97551E-006)D^5 + (5.93457E-005)D^4 - 0.00108567D^3 + 0.0117541D^2 - 0.0775679D + 0.49774$$

กรณี Cohesionless soil การหาแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มกรณีที่เป็น Cohesionless soil นั้นหาได้จากสูตร

$$Q_f = K\bar{\sigma}_v \tan \delta \quad (3.28)$$

เมื่อ  $K$  = Effective earth coefficient

$\delta$  = Angle of friction ระหว่างเสาเข็มกับดินหรือ angle of wall friction

ในกรณีมีผลการทดสอบ Standard penetration test (SPT-N) ก่อนที่จะนำไปหาค่ามุมเสียดทานภายในของดิน( $\phi$ ) จะต้องมีการปรับแก้ค่า โดยตัวคูณปรับแก้ค่า (Correction factor, Cn) สามารถหาได้จากรูปที่ 3.7

เมื่อได้ค่าปรับแก้ ( $N^*$ ) ของ SPT-N แล้วสามารถนำไปหาค่ามุมเสียดทานภายในของดิน ( $\phi$ ) ได้จากรูปที่ 3.1

Factors ที่ใช้ในโปรแกรม

1. Correction factor (Cn)

หาได้จากสมการ

$$Cn = \log\left(\frac{20}{\bar{\sigma}_v}\right)$$

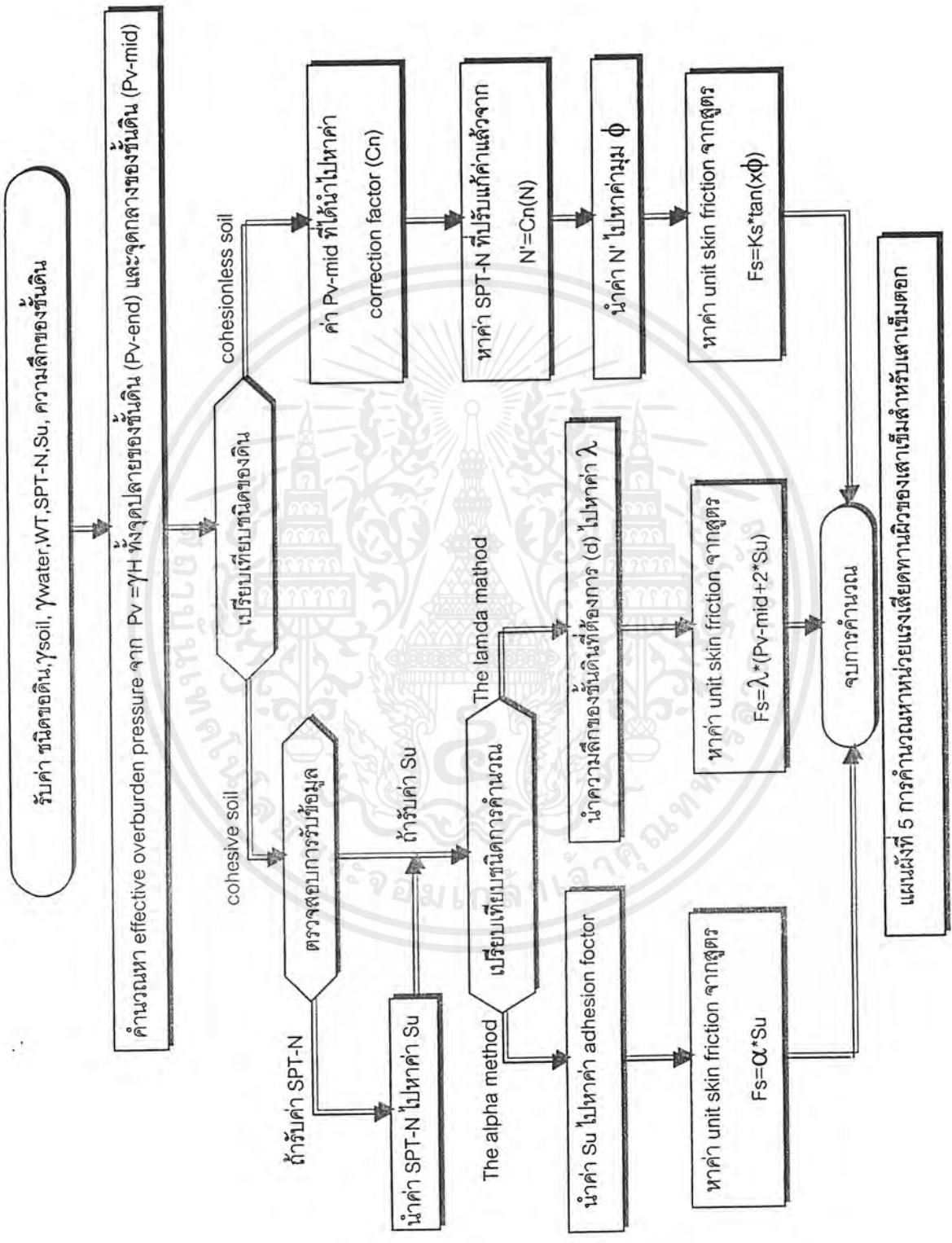
เมื่อ  $\bar{\sigma}_v$  = Effective Overburden Pressure (ksc)

2. มุมเสียดทานภายในของดิน ( $\phi$ )

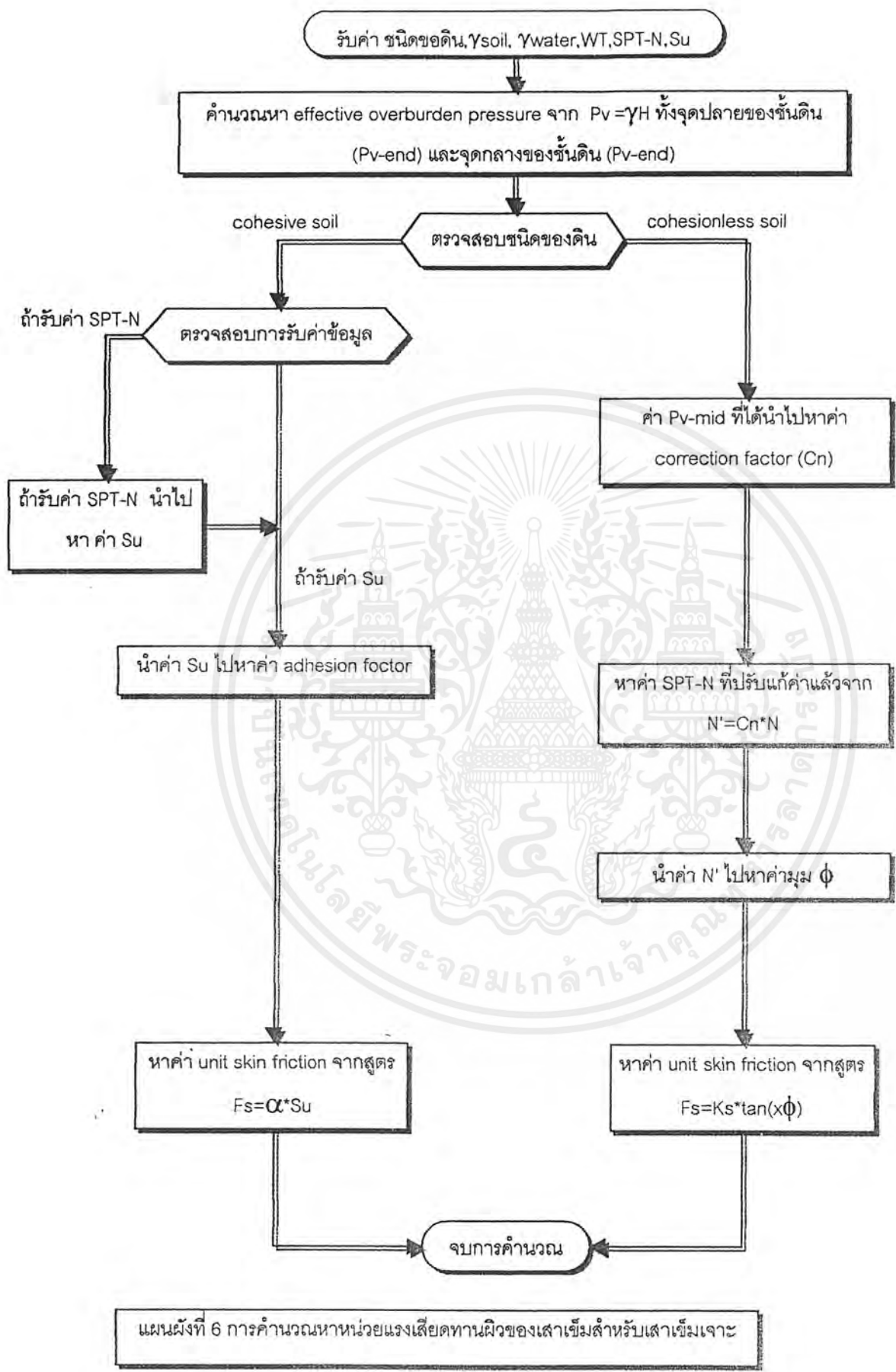
หาได้จากสมการที่ได้จากการ Fitting คือ

$$\phi = -0.00154096(N')^2 + 0.365227(N') + 26.4574$$



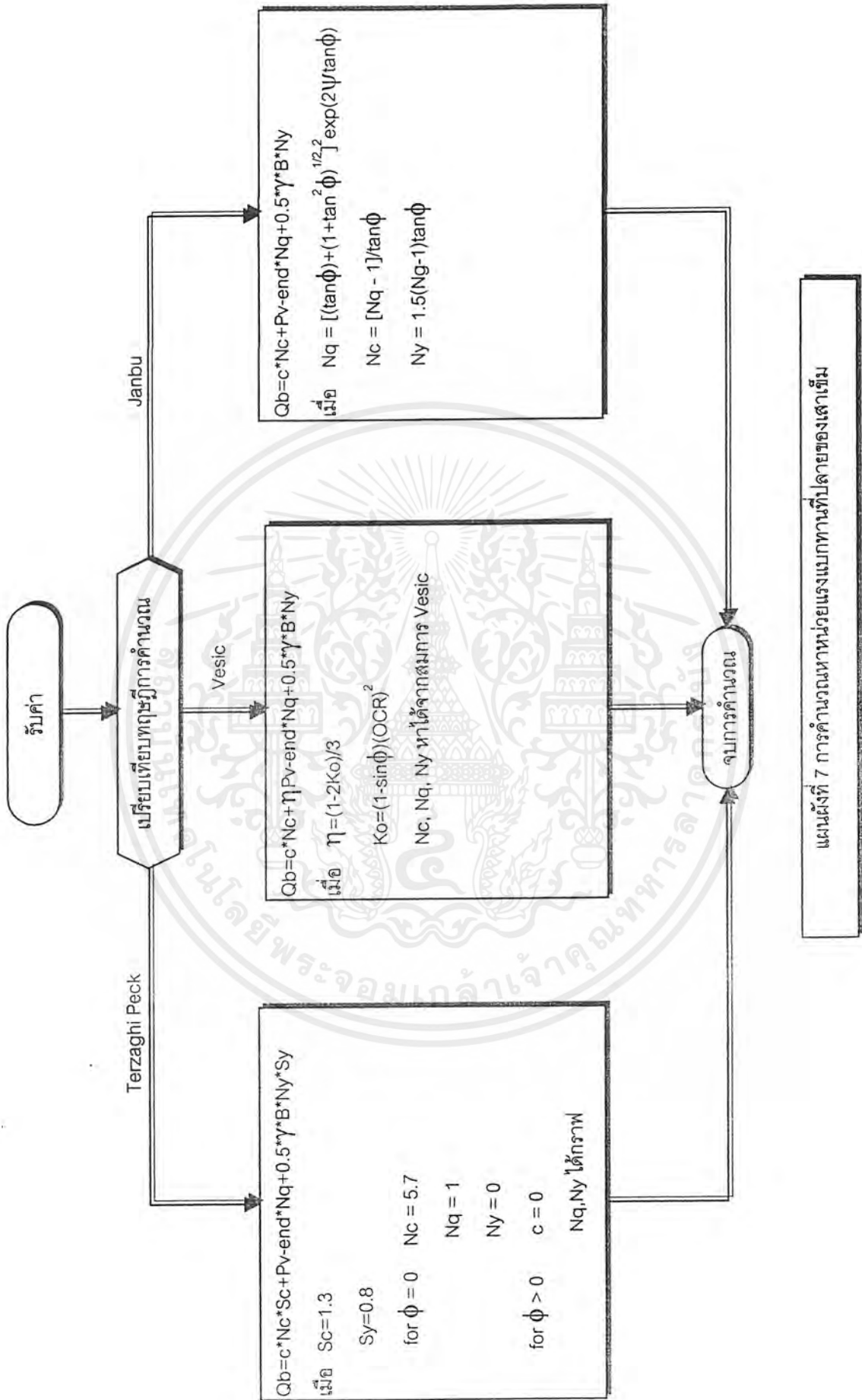


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและรูปร่างอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

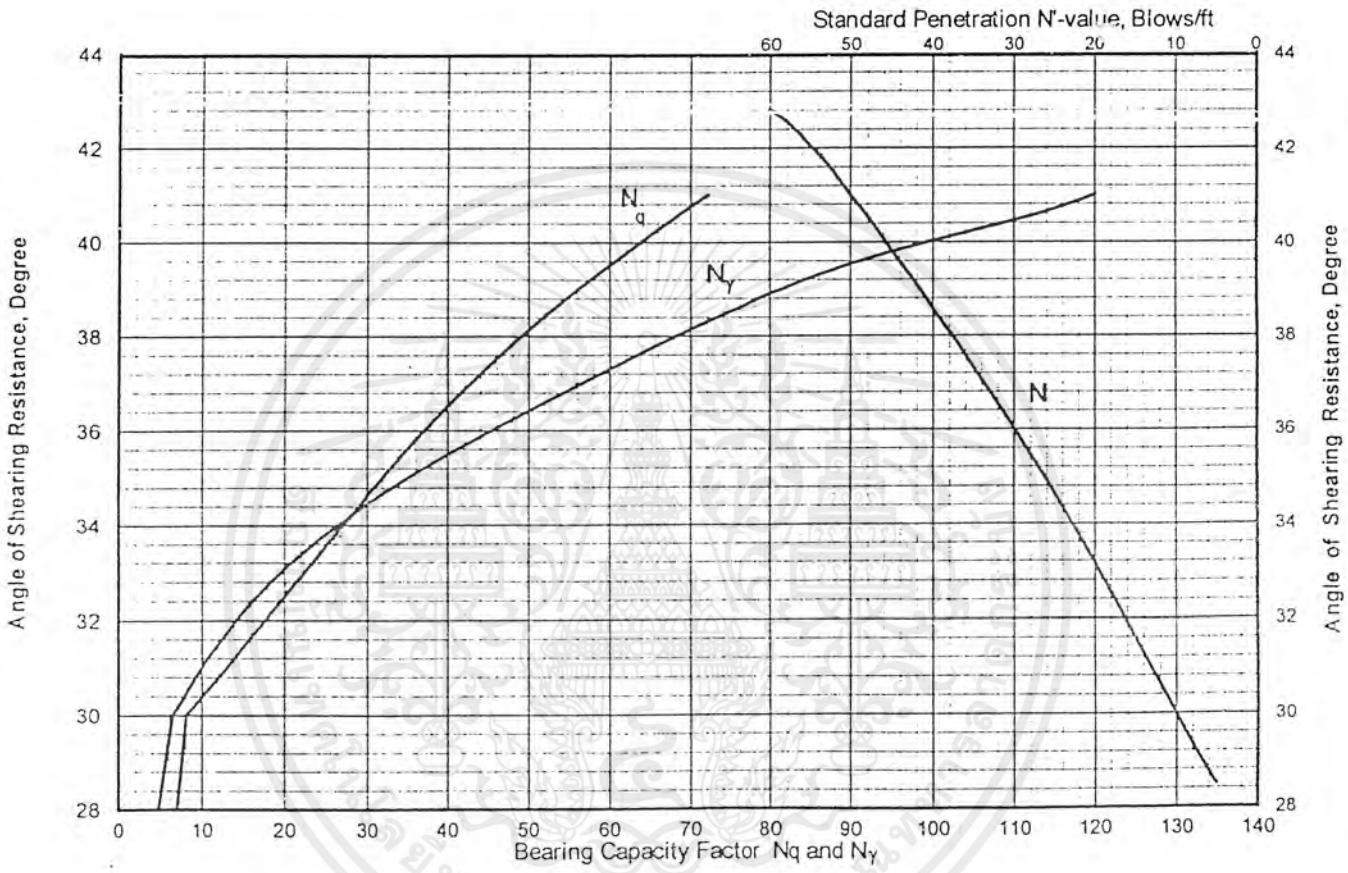


แผนผังที่ 6 การคำนวณหาหน่วยแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มสำหรับเสาเข็มเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

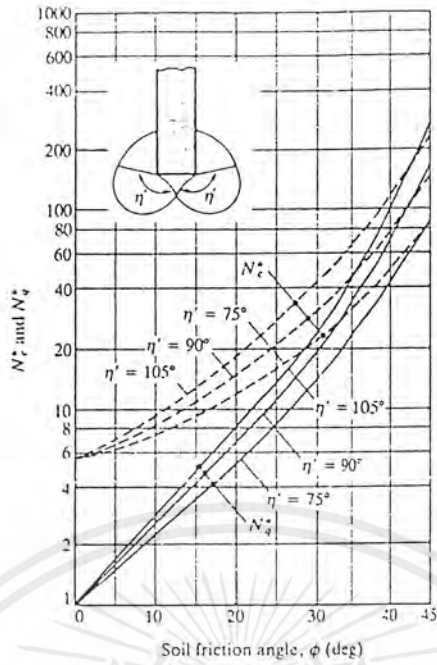


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

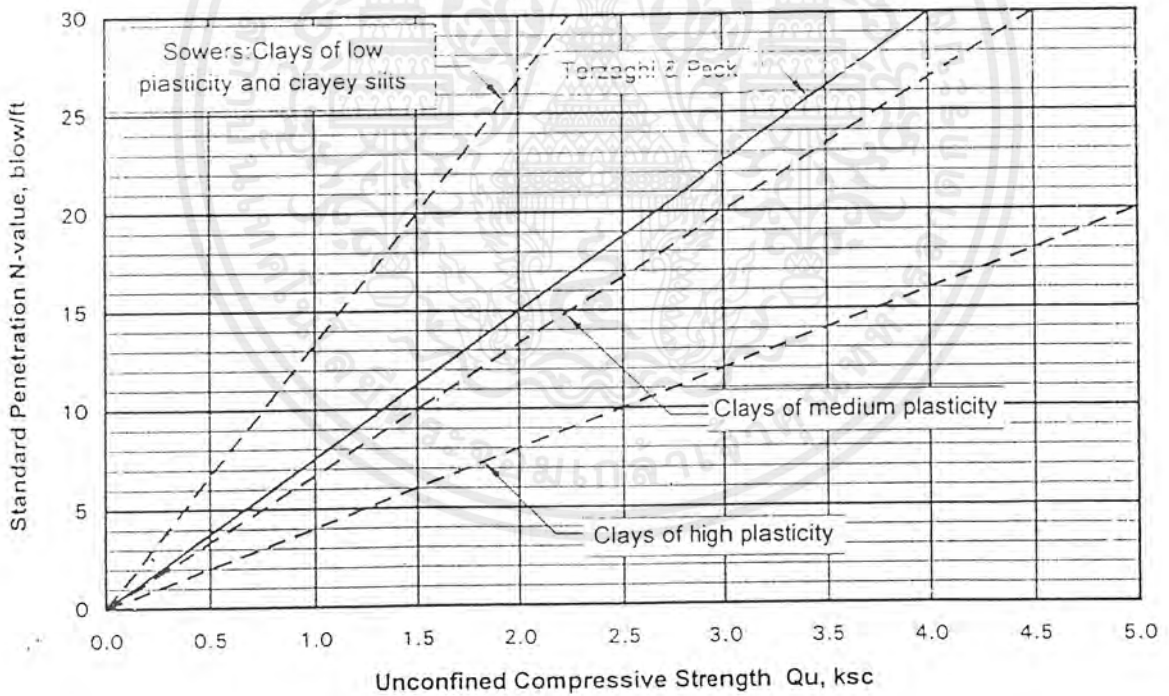


รูป 3.1 Correction of Standard Penetration Test with Bearing Capacity Factor and Angle of Shearing Resistance (Peck, Hanson and Thornburn, 1974)

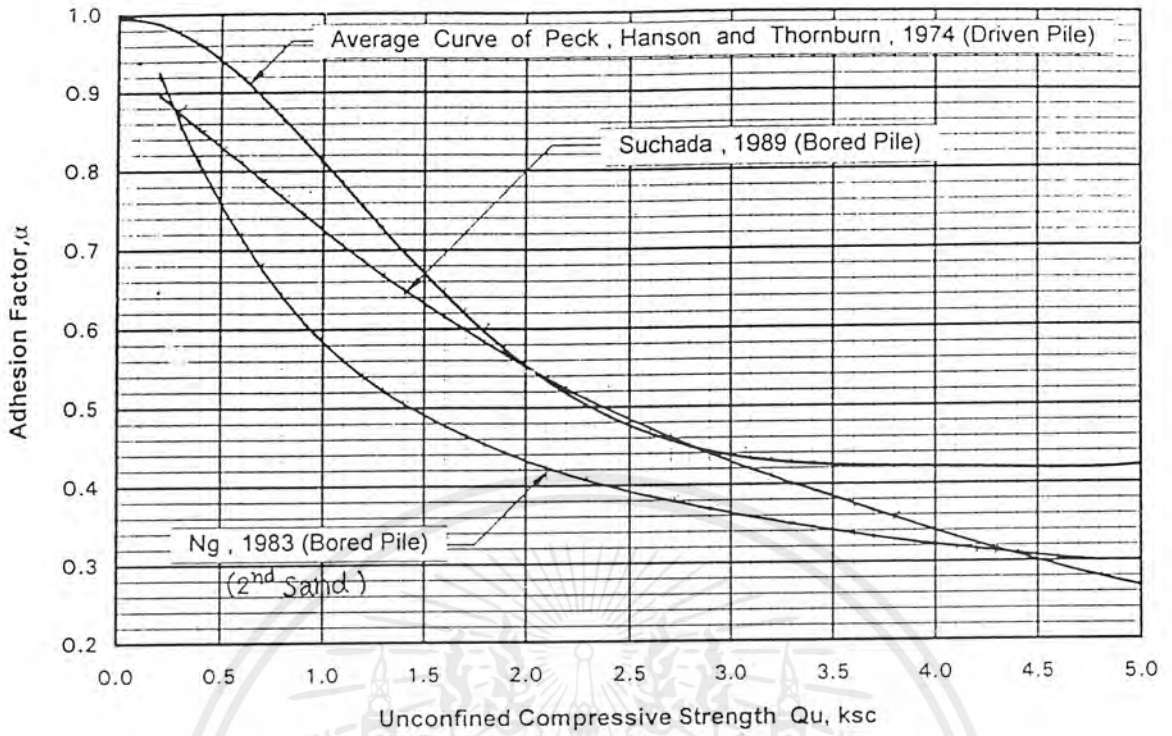
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



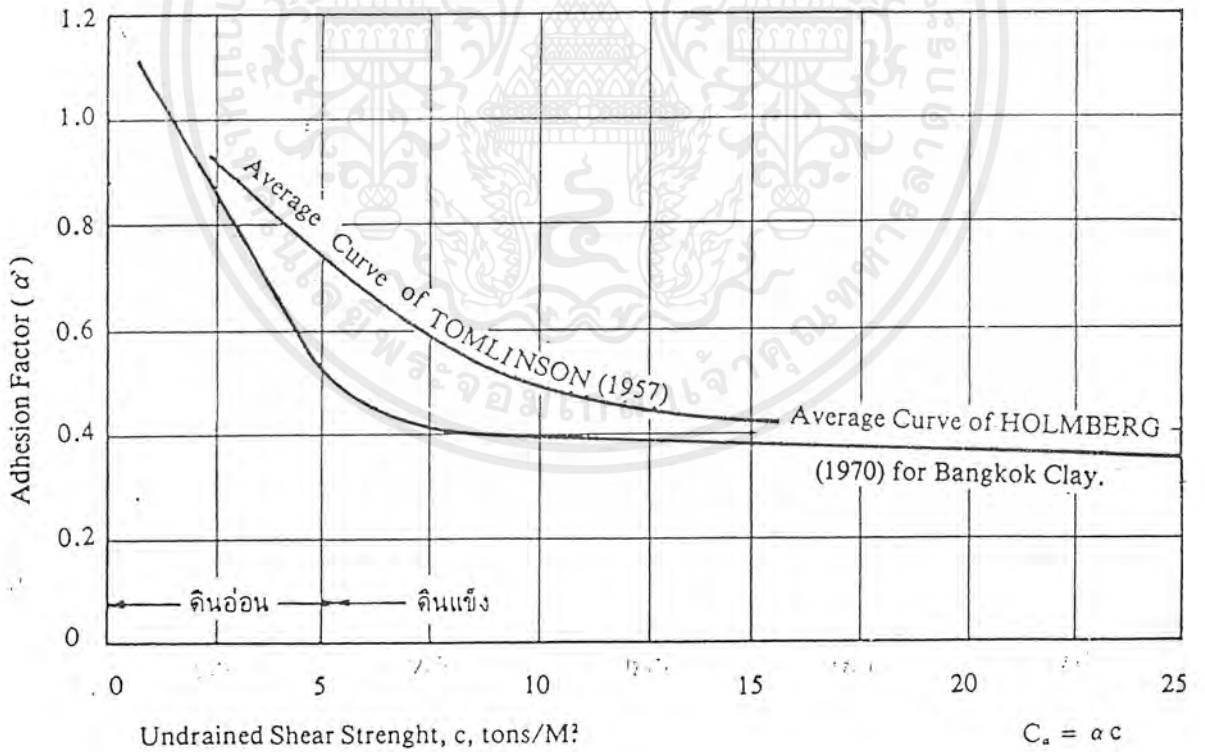
รูปที่ 3.2 Janbu's bearing capacity (Braja M. Das, 1999)



รูปที่ 3.3 Correlation of standard penetration with unconfined compressive strength of clay (NAVFAC DM-7, 1982)

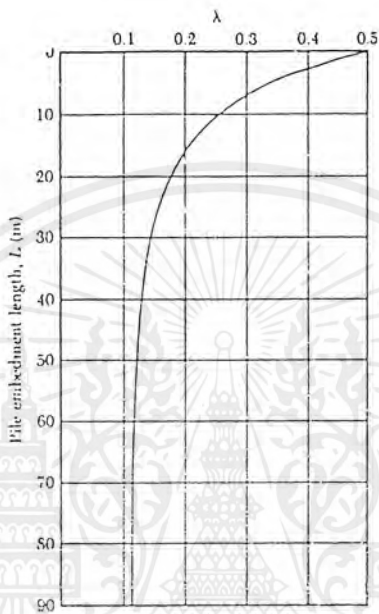


รูปที่ 3.4 Plot of adhesion factor of pile in clay with unconfined compressive strength



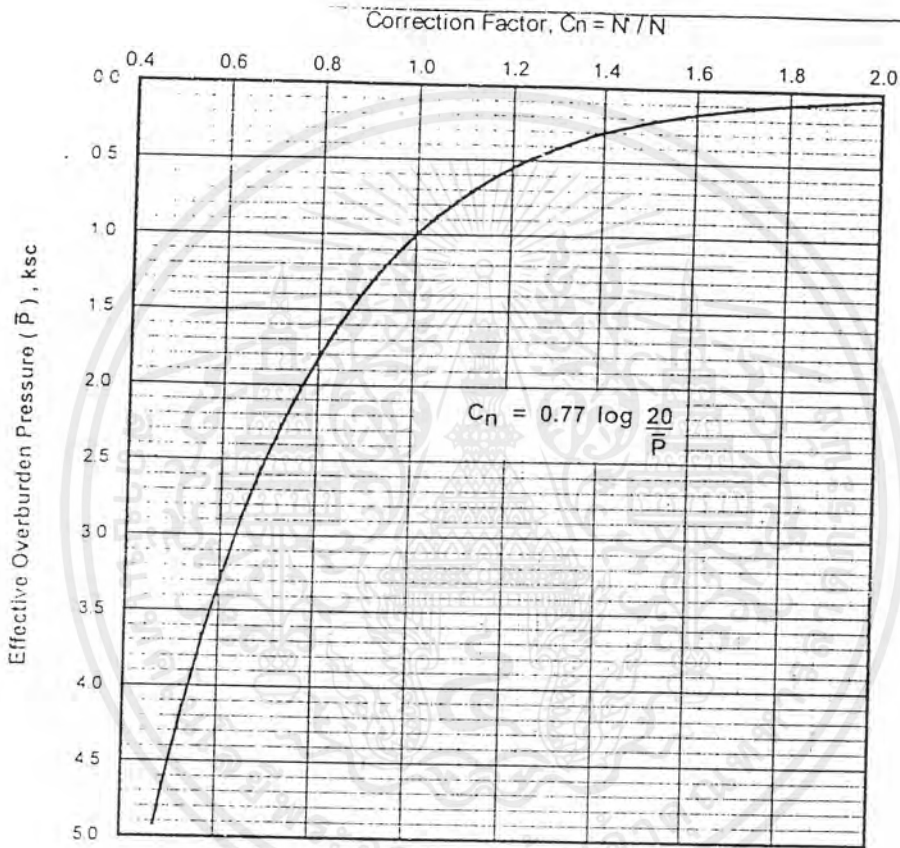
รูปที่ 3.5 Adhesion factors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



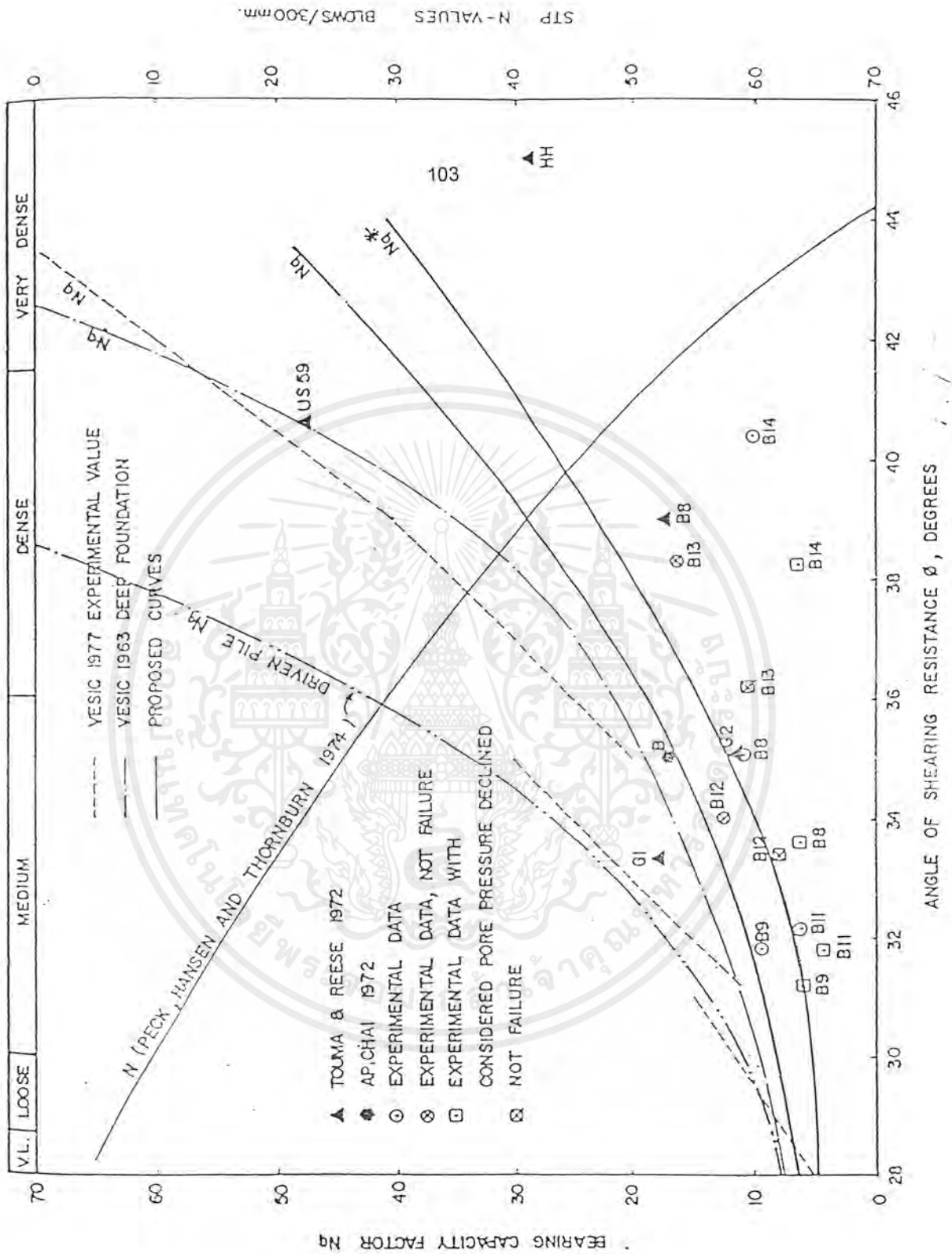
รูปที่ 3.6 Frictional capacity coefficient  $\lambda$   
 (Redraw after McClelland, 1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 Correction of SPT-N value in sand for influence of overburden pressure (Peck, Hanson and Thonburn, 1974)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 Relationship between  $\phi$ ,  $N_q$  and SPT-N value for bored pile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 สูตรและขั้นตอนในการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

สำหรับในเรื่องการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กนั้น เราจะแยกพิจารณาเป็น 2 หัวข้อ คือ การออกแบบฐานรากแผ่ และการออกแบบฐานรากเสาเข็ม

#### 3.3.1 การออกแบบฐานรากแผ่

##### 1) ฐานรากเดี่ยว(Isolate Footing) ขั้นตอนในการออกแบบ

###### 1.1 ฐานรากเดี่ยวรับแรงในแนวแกน

Step1 ทำการสมมุติหน้าหนึ่งของฐานรากเป็น % ของแรงรวม( $\Delta V$ ) เพื่อที่จะนำไปพื้นที่น้อยที่สุดที่ต้องการ

$$A_{\min} = \left( \frac{V + \Delta V}{q_a} \right) \quad (3.29)$$

Step2 หาขนาดของฐานราก โดยกำหนด  $ratio = L/B$  จะได้ว่า

$$B = \sqrt{\frac{A_{\min}}{ratio}} \quad \text{และ} \quad L = B \times ratio \quad (3.30)$$

Step3 จะได้ค่าหน่วยแรงค้ำขึ้นของดิน จากสมการ

$$q = \frac{V}{B \times L} \quad (3.31)$$

Step4 หาค่าความลึกประสิทธิภาพ จากสมการ

$$d = \sqrt{\frac{M_{\text{ที่ขอบเสา}}}{RB}} \quad (3.32)$$

Step5 ตรวจสอบแรงเฉือนแบบ Shear beam ที่ระยะ  $d$  จากขอบเสา โดยค่าแรงเฉือนที่หาได้นี้จะต้องมีค่าไม่เกินกว่าค่าแรงเฉือนที่ยอมให้คือ  $0.29 \sqrt{f'_c} b d$  (ถ้าเกินให้เพิ่มค่า  $d$  จนกว่าจะน้อยกว่า)

Step 6 ตรวจสอบแรงเฉือนแบบ Punch Shear ที่ระยะ  $d/2$  รอบขอบเสา โดยค่าแรงเฉือนที่หาได้นี้จะต้องมีค่า ไม่เกินกว่าค่าแรงเฉือนที่ยอมให้คือ  $0.53\sqrt{f'_c} b_0 d$  (ถ้าเกินให้เพิ่มค่า  $d$  จนกว่าจะน้อยกว่า)

Step 7 ตรวจสอบน้ำหนักของฐานรากที่ได้จริง กับน้ำหนักฐานรากที่สมมุติ

Step 8 หาหน้าตัดของเหล็กที่ต้องการ จากสมการ

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} \quad (3.33)$$

โดยที่ค่า  $A_s$  ที่หาได้ จะต้องไม่น้อยกว่าค่า  $A_{s(\min)}$  ที่ได้จากข้อกำหนดเหล็กเสริมกันร้าว

Step 9 ตรวจสอบค่าแรงยึดหน่วงที่เกิดขึ้น

Step 10 วาด Drawing แสดงการเสริมเหล็ก

## 1.2 ฐานรากเดี่ยวรับแรงในแนวแกน และ โมเมนต์

Step 1 ทำการสมมุติน้ำหนักของฐานรากเป็น % ของแรงรวม( $\Delta V$ ) เพื่อที่จะนำไปหาพื้นที่น้อยที่สุดที่ต้องการ ดังสมการ (3.29)

Step 2 หาขนาดของฐานราก โดยกำหนด ratio =  $L/B$  และจาก

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{V + \Delta V}{A} \left( 1 + \frac{6e_B}{B} + \frac{6e_L}{L} \right) \\ &= \frac{V + \Delta V}{\text{ratio} \times B^2} \left( 1 + \frac{6e_B}{B} + \frac{6e_L}{B \times \text{ratio}} \right) < q_a \end{aligned} \quad (3.31)$$

และ

$$q_{\min} = \frac{V + \Delta V}{\text{ratio} \times B^2} \left( 1 - \frac{6e_B}{B} - \frac{6e_L}{B \times \text{ratio}} \right) > 0 \quad (3.32)$$

จะได้ว่า

$$1 - \frac{6e_B}{B} - \frac{6e_L}{B \times \text{ratio}} > 0$$

$$B > (6e_B) \times \text{ratio} + 6e_L \quad (3.33)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการหาขนาดฐานรากจะทำได้โดยการ กำหนดค่า  $B = (6e_b) \times \text{ratio} + 6e_L$  และทำการ trial โดยการเพิ่มค่า B ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่า  $q_{\max}$  น้อยกว่าค่า  $q_u$  จะทำให้เราได้ฐานรากที่มีขนาดเล็กที่สุด โดยที่ไม่เกิดแรงดึงใต้ฐานราก ส่วนความยาวของฐานรากหาได้จาก

$$L = B \times \text{ratio} \quad (3.34)$$

Step 3 หาค่าหน่วยแรงดันขึ้นของดิน จาก

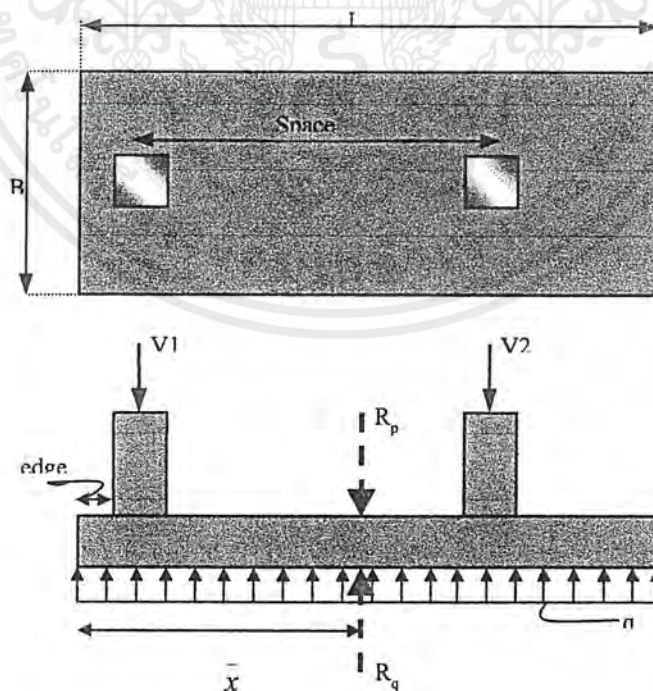
$$q_{\max} = \frac{V}{A} \left( 1 + \frac{6e_B}{B} + \frac{6e_L}{L} \right) \quad (3.35)$$

$$q_{\min} = \frac{V}{A} \left( 1 - \frac{6e_B}{B} - \frac{6e_L}{L} \right) \quad (3.36)$$

สำหรับ Step 4 ถึง Step 10 มีหลักการคิดเหมือนกับฐานรากเดี่ยวรับแรงตามแกน

## 2) การออกแบบฐานรากร่วม(combine footing)

สมมติฐานในการออกแบบ - จะพิจารณาให้แรงดันขึ้นของดินมีค่าสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ของฐานราก ดังนั้นในการออกแบบจะต้องให้จุดศูนย์รวมของแรงกระทำจากเสา ตรงกับจุดศูนย์รวมของแรงดันขึ้นของดิน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงรูปประกอบการออกแบบฐานรากร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนในการออกแบบ

Step1 ทำการสมมุติน้ำหนักของฐานรากเป็น % ของแรงรวม( $\Delta V$ ) เพื่อที่จะนำไปหาพื้นที่น้อยที่สุดที่ต้องการ คังสมการ (3.29)

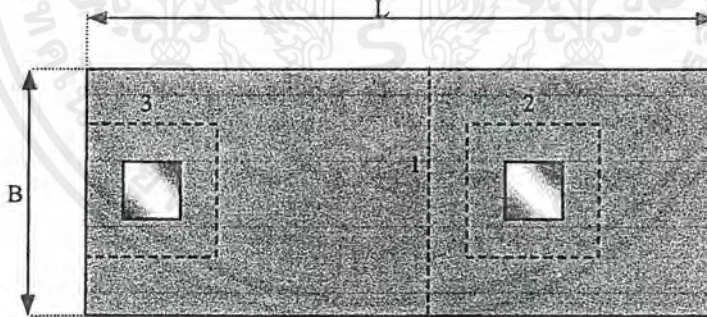
Step2 หาค่าความกว้าง(B) และความยาว(L) ของฐานราก โดยเริ่มพิจารณาจากค่าจุดศูนย์กลางของแรง  $\bar{x}$  จากรูปที่ 3.7 จะได้ว่า  $L = 2\bar{x}$  และ  $B = A_{\min}/L$  โดยที่

$$\bar{x} = \left( \frac{V_2 + space}{V_1 + V_2} \right) + 0.5(\text{ขนาดของเสา}) + \text{edge} \quad (3.37)$$

Step3 วาดผัง BMD และ SFD โดยพิจารณาฐานรากเป็นคานกว้าง

Step4 หาค่าความลึกประสิทธิภาพของฐานราก โดยพิจารณาหน้าตัดวิกฤติต่างๆดังนี้

1. Shear beam ที่ระยะ d จากขอบเสาภายใน
2. Punch shear ที่ระยะ d/2 รอบขอบเสาภายใน
3. Punch shear ที่ระยะ d/2 รอบขอบเสาชิดเขต ดังแสดงในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงถึงหน้าตัดวิกฤติในการหาค่าความลึกประสิทธิภาพของฐานรากร่วม

Step5 ตรวจสอบน้ำหนักของฐานรากที่ได้จริง กับน้ำหนักฐานรากที่สมมุติ

Step6 หาหน้าตัดเหล็กเสริมที่ต้องการ โดยจะแบ่งเหล็กออกเป็น 5 ประเภทคือ

1. เหล็กเสริมรับโมเมนต์ลบ วางตามยาวฐานรากด้านบน
2. เหล็กเสริมรับโมเมนต์บวก วางตามยาวฐานรากด้านล่าง
3. หาเหล็กวางขวางใต้เสาชิดเขต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หาเหล็กวางขวางได้เสาชิดภายใน

5. หาเหล็กเสริมกันร้าว

โดยที่ค่า  $A_s$  ที่หาได้ จะต้องไม่น้อยกว่าค่า  $A_{s(\min)}$  ที่ได้จากข้อกำหนดเหล็กเสริมกันร้าว

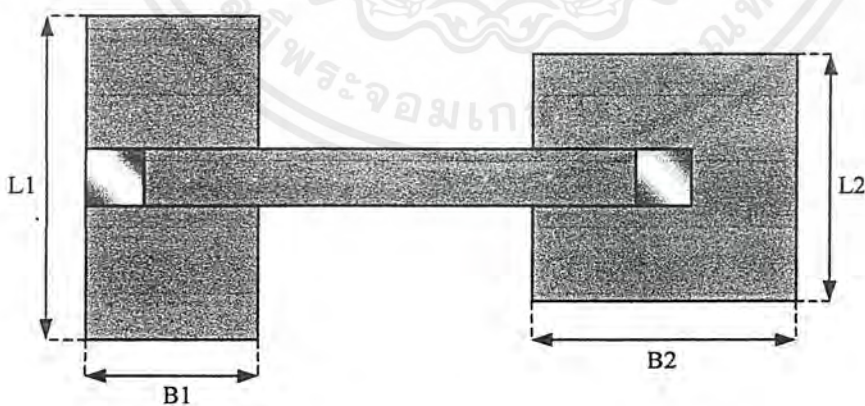
Step 7 ตรวจสอบค่าแรงยึดหน่วยของเหล็กที่หาได้

Step 8 วาด Drawing แสดงการเสริมเหล็ก

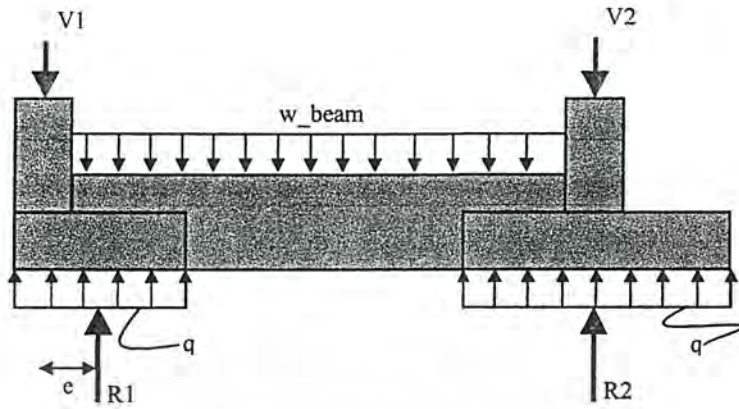
### 3) การออกแบบฐานรากแบบมีคานยึด(Strap Footing)

สมมุติฐานในการออกแบบ

1. พิจารณาให้แรงดันขึ้นของดินมีค่าสม่ำเสมอตลอดพื้นที่ของฐานราก ดังนั้นในการออกแบบจะต้องให้จุดศูนย์รวมของแรงกระทำจากเสา ตรงกับจุดศูนย์รวมของแรงดันขึ้นของดินเช่นเดียวกับฐานารกร่วม
2. Strap beam ถือว่าเป็น pure flexural member และ ไม่คิดถึงผลกระทบของแรงดันขึ้นของดิน
3. Strap beam จะต้องถือว่าเป็น Rigid body เพื่อต้านทานการหมุนของฐานารกชิดเขตเนื่องจากเสาเยื้องศูนย์
4. ไม่ควรออกแบบให้แรงกระจายของดินได้ฐานารกชิดเขต และฐานารกภายในต่างกันมาก เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานารก



รูปที่ 3.11 แสดงรูปประกอบการออกแบบฐานารกแบบคานยึด Strap beam



รูปที่ 3.11 แสดงรูปประกอบการออกแบบฐานรากแบบคานยึด Strap beam (ต่อ)

ขั้นตอนในการออกแบบ(พิจารณารูปที่ 3.11 ประกอบการอ่าน)

Step 1 สมมุติหน้าหนักของฐานราก เพื่อหาค่าพื้นที่น้อยที่สุดที่ต้องการ( $A_{min}$ )

Step 2 หาระยะจุดศูนย์รวมของแรง จากขอบนอกของฐานรากชิดเขต(x) จาก

$$x = \frac{V1 \times space}{V1 + V2} + 0.5 \times \text{ขนาดของเสา} \quad (3.38)$$

Step 3 ทำการสมมุติขนาดฐานรากโดยมีเงื่อนไขที่ว่า พื้นที่รวมของฐานรากจะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่า  $A_{min}$  ที่หาได้ และระยะจุดศูนย์ถ่วงของฐานรากจากขอบนอกของฐานรากชิดเขต จะต้องให้ค่าที่ใกล้เคียงกับจุดศูนย์รวมของแรง

Step 4 สมมุติหน้าหนักคาน และหาค่าแรงดันคานสุทธิใต้ฐานรากชิดเขต( $R1$ ) และหาค่าแรงดันคานสุทธิใต้ฐานรากภายใน( $R2$ ) จากสมการ

$$R1 = \frac{(V1 \times space) + (0.5 \times w\_beam \times space^2)}{space - e} \quad (3.39)$$

และ ค่า

$$R2 = V1 + V2 + (w\_beam \times space) - R1 \quad (3.40)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Step 5 วาดผัง BMD และ SFD

Step 6 ทำการออกแบบ Strap beam โดยใช้ค่าโมเมนต์ที่มากที่สุดระหว่างช่วงเสาในการออกแบบ

Step 7 ทำการออกแบบฐานรากชนิดเขตและฐานรากภายใน เช่นเดียวกับการออกแบบฐานรากเดี่ยวดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น โดยที่เหล็กเสริมตามแนว B1 ของฐานรากชนิดเขตนั้นให้พิจารณาเป็นเหล็กเสริมกันร้าว

Step 8 ตรวจสอบน้ำหนักของฐานรากที่ได้จริง กับน้ำหนักฐานรากที่สมมุติ

Step 9 วาด Drawing แสดงการเสริมเหล็ก

### 8.3.2 การออกแบบฐานรากเสาเข็ม (Isolate Footing) ขั้นตอนในการออกแบบ

Step 1 ทำการสมมุติน้ำหนักของฐานราก (Footing Weight) เป็นร้อยละของแรงกระทำที่เสา (Column Load)

$$\text{Footing Weight} = \% \text{Column Load}$$

Step 2 หาจำนวนของเสาเข็ม (n) จาก

$$n = \frac{\text{Column Load} + \text{Footing Weight}}{\text{Capacity of Pile}}$$

Step 3 หาแรงที่กระทำกับเสาเข็มแต่ละต้น ( $P_i$ )

$$P_i = \frac{\text{Column Load}}{n} \pm \frac{\text{Moment}(d_i)}{d^2}$$

สำหรับ Step 4 ถึง Step 10 มีหลักการคิดเหมือนกับฐานรากเดี่ยวรับแรงตามแกนในหัวข้อ 3.3.1

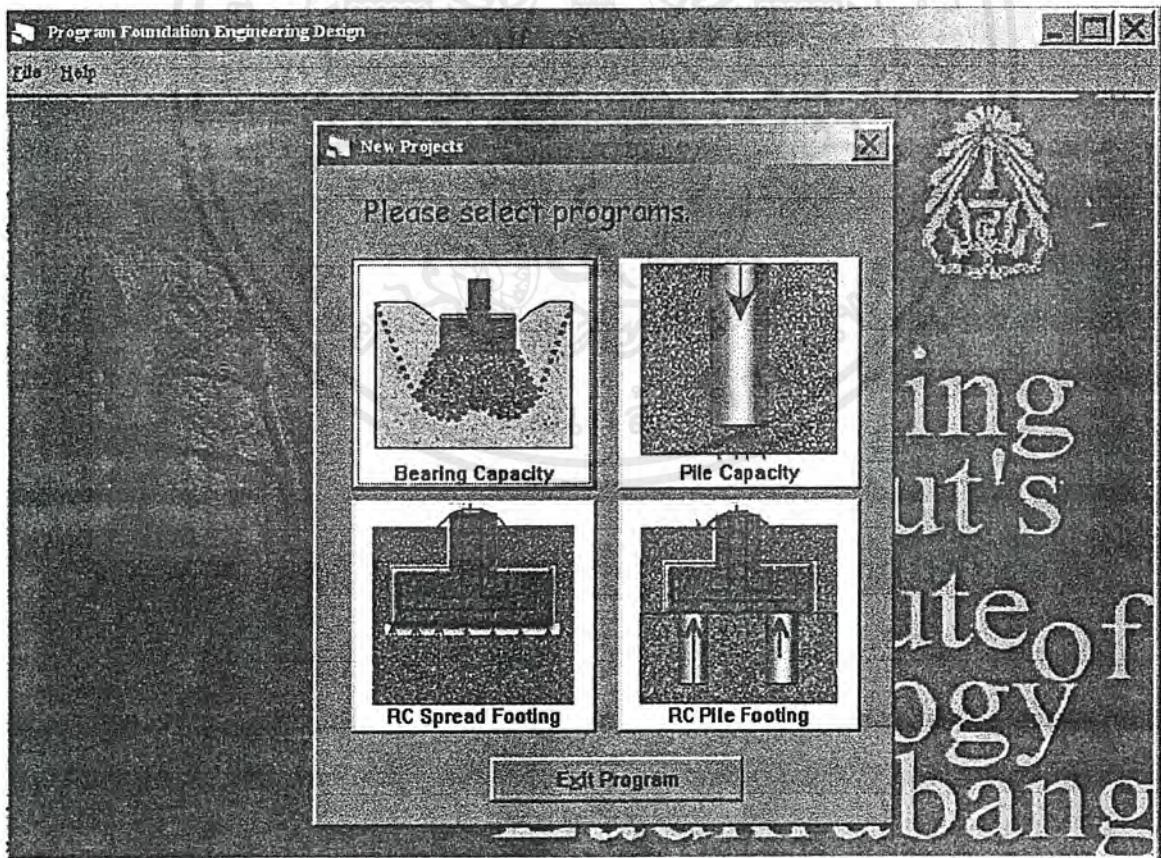
## บทที่ 4

### ส่วนประกอบและวิธีการใช้โปรแกรม

ในบทนี้ได้แสดงถึงรูปร่างหน้าตาของโปรแกรมต่างๆ ความสามารถของโปรแกรม และวิธีการใช้โปรแกรม เช่น ขั้นตอนในการป้อนข้อมูล การแสดงผลบนหน้าจอและเครื่องพิมพ์ เป็นต้น โดยจะได้แยกอธิบายเป็นแต่ละโปรแกรมต่อไป

#### 4.1 ลักษณะและรูปร่างของโปรแกรม

โปรแกรม LFOOT2000. นี้เป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจากภาษา Visual Basic 6 หลังจากที่ได้ double click ที่ไอคอนแล้วจะปรากฏหน้าจอหลักของโปรแกรมดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม LFOOT2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าหน้าจอหลักจะมี Menu เพื่อที่จะให้เราเข้าไปยังโปรแกรมย่อย 4 โปรแกรมดังนี้

1. โปรแกรม Bearing Capacity
2. โปรแกรม Pile Capacity
3. โปรแกรม RC Spread Footing
4. โปรแกรม RC Pile Footing

ซึ่งแต่ละโปรแกรมก็จะมีหน้าจอหลัก หน้าต่างป้อนข้อมูล และการแสดงผลที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะงานที่ออกแบบ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดแยกเป็นแต่ละโปรแกรมในหัวข้อต่อไป

#### 4.2 ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม Bearing Capacity

โปรแกรม Bearing Capacity เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่ากำลังรับแรงของดิน ในกรณีที่มีข้อมูลของชั้นดิน โดยโปรแกรมนี้มีความสามารถต่างๆ ดังนี้

1. โปรแกรมจะทำการหาค่า Allowable Bearing Capacity โดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi Meyerhof และ Hansen เพื่อให้ผู้ใช้พิจารณานำค่าข้อมูลที่ได้ไปทำการออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก ในโปรแกรม RC Spread Footing ต่อไป
2. โปรแกรมจะแสดงค่า Maximum Contact Pressure ในกรณีที่ผู้ใช้ป้อนค่าแรง หรือโมเมนต์ ที่กระทำต่อฐานราก เพื่อที่จะนำไปเปรียบเทียบกับค่า Allowable Bearing Capacity ที่หาได้ว่า ขนาดฐานรากที่ป้อนสามารถรับแรงได้หรือไม่
3. สามารถใช้วิเคราะห์ได้ 3 หน่วย คือ SI, Metric และ English
4. ใช้กับฐานรากได้ 3 รูปแบบคือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และฐานรากต่อเนื่อง

#### วิธีการใช้งาน

1. จาก Main Menu ถ้าเราคลิก ที่ปุ่ม Bearing Capacity จะปรากฏหน้าจอหลักของโปรแกรมดัง แสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งหน้าจอหลักจะมีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

หมายเลข 1 แสดงหน้าต่างป้อนข้อมูลจะประกอบไปด้วย 2 Tab ด้วยกัน คือ General Data ซึ่งจะให้ป้อนข้อมูลต่างๆ ไป และ Load Case จะให้ป้อนลักษณะของแรงที่กระทำต่อฐานราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 2 โดยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของการแสดงค่า Contract Pressure และส่วนของการแสดงค่า Allowable bearing capacity

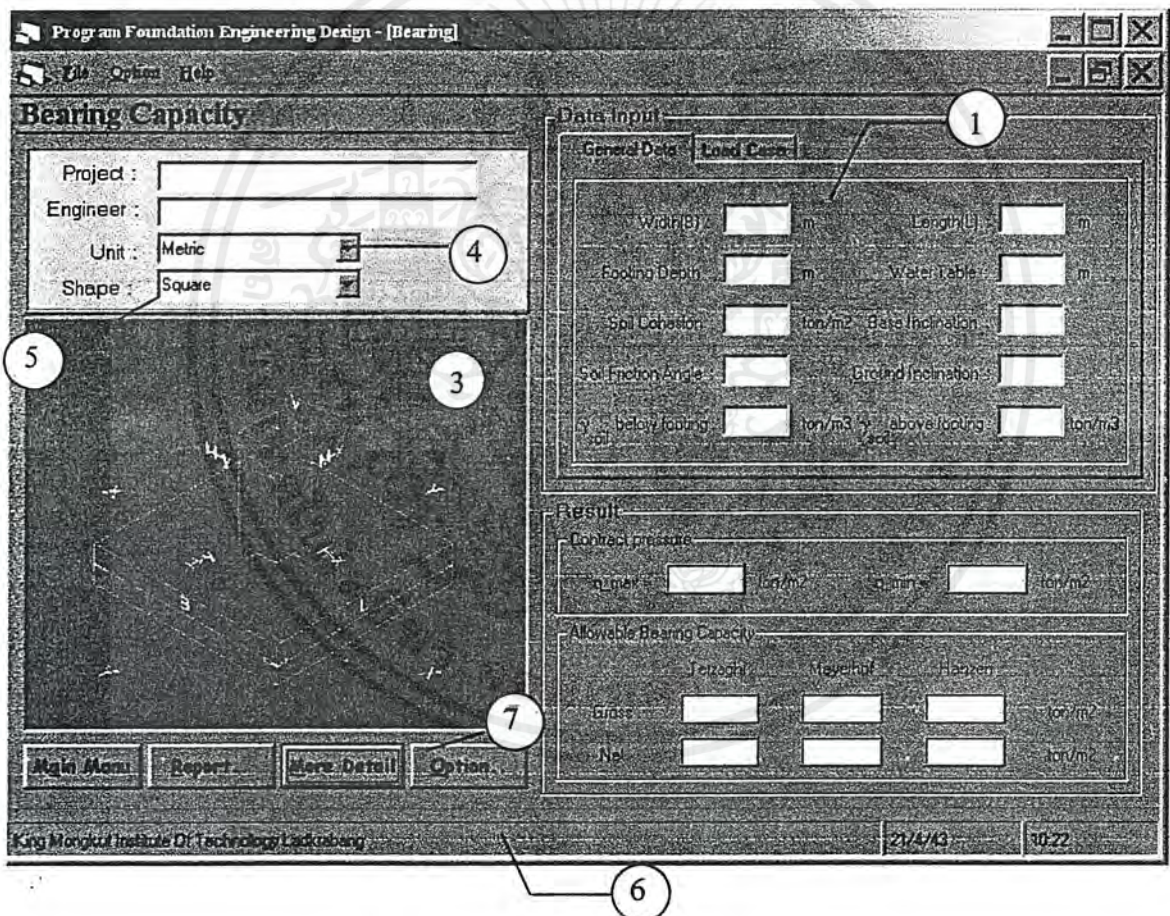
หมายเลข 3 รูปประกอบกรป้อนข้อมูล

หมายเลข 4 Tab เลือกหน่วย ได้ 3 หน่วย คือ SI, Metric และ English

หมายเลข 5 Tab เลือกรูปร่างของฐานราก 3 รูปแบบคือ สี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า และฐานรากต่อเนื่อง

หมายเลข 6 Status Bar จะแสดงคำอธิบายสั้นๆในการป้อนข้อมูล

หมายเลข 7 ปุ่มที่เชื่อมไปยังส่วนประกอบย่อยต่างๆ



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม

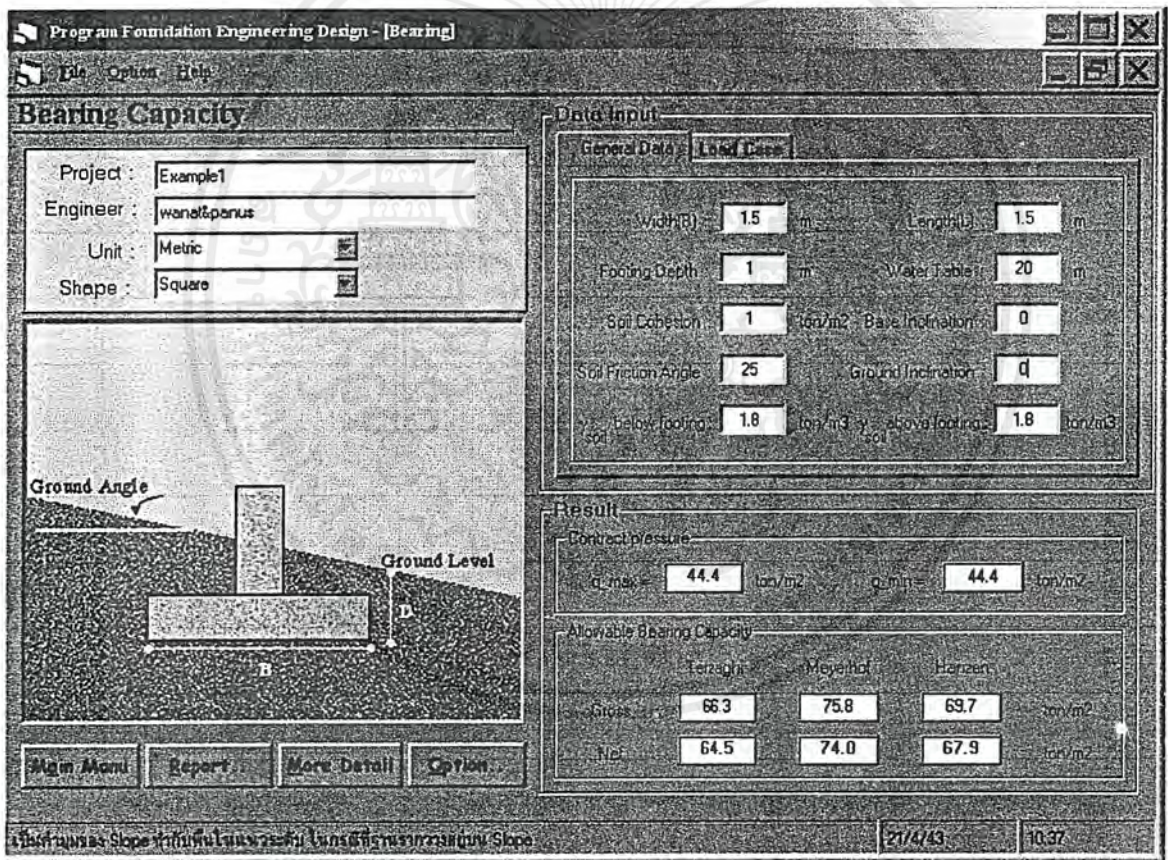
2. ทำการเลือกหน่วยที่จะใช้ และรูปร่างฐานรากโดย Click ที่ Tab หมายเลข 4 และ 5 ตามลำดับ

3. ทำการป้อนข้อมูลในหน้าต่างป้อนข้อมูล แล้วกด Enter โปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงผลออกมาในหน้าต่างแสดงผลลัพธ์ โดยในกรณีที่ข้อมูลที่ป้อนยังไม่ครบ หน้าต่างผลลัพธ์จะขึ้น Err

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับในบางกรณีที่ทฤษฎีไม่ครอบคลุม เช่นฐานรากรับแรงในแนวนอน ในช่องของ Terzaghi จะขึ้น NA (Not Allowable)

4. ทำการเปรียบเทียบค่า  $q_{max}$  และค่า Allowable bearing capacity และทำการเปลี่ยนขนาดฐานรากไปเรื่อยๆจนพอใจ รูปที่ 4.3 แสดงหน้าต่างหลักในกรณีที่ป้อนข้อมูลจนครบ
5. ในกรณีที่ต้องการรายละเอียดเพิ่มเติมให้กดที่ปุ่ม More Detail ซึ่งจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ 4.4 ซึ่งจะดึงข้อมูลของลักษณะของแรง ขนาดฐานรากที่ป้อน Contract Pressure ค่า Ultimate และค่า Allowable bearing capacity มาเปรียบเทียบให้ดูทั้ง 3 ทฤษฎี
6. ในกรณีที่ต้องการทราบถึงข้อมูลที่มากกว่านี้ ให้กดที่ปุ่ม Report ซึ่งจะแสดงค่า Collection Factor ต่างๆ ที่หาค่าได้จากโปรแกรมดังที่แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.3 หน้าต่างหลักในกรณีที่ป้อนข้อมูลครบ

7. ถึงจุดนี้ถ้าต้องการจะทำรายงาน ก็มาที่ Manu File และเลือกคำสั่ง Print
8. กรณีที่ต้องการทราบวิธีที่ใช้คำนวณสามารถกดดูได้ที่ Manu Help หรือกด F1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

More Detail

Use B = 1.5 m L = 1.5 m

V Load = 100 ton Factor Of Safety = 1

H Load (m) = - ton H Load (m) = - ton

Moment (m) = - ton-m Moment (m) = - ton-m

$q_{max}$  = 44.4 ton/m<sup>2</sup>  $q_{min}$  = 44.4 ton/m<sup>2</sup>

**Result\_Terzaghi**

Ultimate Bearing Capacity (ton/m<sup>2</sup>)

Gross = 66.3 Net = 64.5

Allowable Bearing Capacity (ton/m<sup>2</sup>)

Gross = 66.3 Net = 64.5 **Pass**

**Result\_Meyerhof**

Ultimate Bearing Capacity (ton/m<sup>2</sup>)

Gross = 75.8 Net = 74.0

Allowable Bearing Capacity (ton/m<sup>2</sup>)

Gross = 75.8 Net = 74.0 **Pass**

**Result\_Hanzen**

Ultimate Bearing Capacity (ton/m<sup>2</sup>)

Gross = 69.7 Net = 67.9

Allowable Bearing Capacity (ton/m<sup>2</sup>)

Gross = 69.7 Net = 67.9 **Pass**

OK

รูปที่ 4.4 แสดงหน้าต่าง More Detail

Report

Result_Terzaghi				Result_Hanzen			
Overburden =	1.80	Ton/m <sup>2</sup>		Overburden =	1.80	Ton/m <sup>2</sup>	
Effective Soil Unit Weight =	1.80	Ton/m <sup>3</sup>		Effective Soil Unit Weight =	1.80	Ton/m <sup>3</sup>	
Nc =	25.00	Nq =	12.70	Ng =	10.10	Nc =	20.64
						Nq =	10.62
						Ng =	
<b>Allowable Bearing Capacity</b>				<b>Shape Factor</b>			
Gross =	66.3	Net =	64.5	Sc =	1.20	Sq =	1.42
				Sg =			
<b>Contract Pressure</b>				<b>Depth Factor</b>			
q_max =	44.4	Ton/m <sup>2</sup>		Dc =	1.27	Dq =	1.21
				Dg =			
				<b>Inclination Factor</b>			
				lc =	1.00	lq =	1.00
				lg =			
				<b>Ground Factor</b>			
				Gc =	1.00	Gq =	1.00
				Gg =			
				<b>Base Factor</b>			
				Bc =	1.00	Bq =	1.00
				Bg =			
				<b>Allowable Bearing Capacity</b>			
				Gross =	69.7	Net =	67.9
				<b>Contract Pressure</b>			

OK

รูปที่ 4.5 แสดงหน้าต่าง Report

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

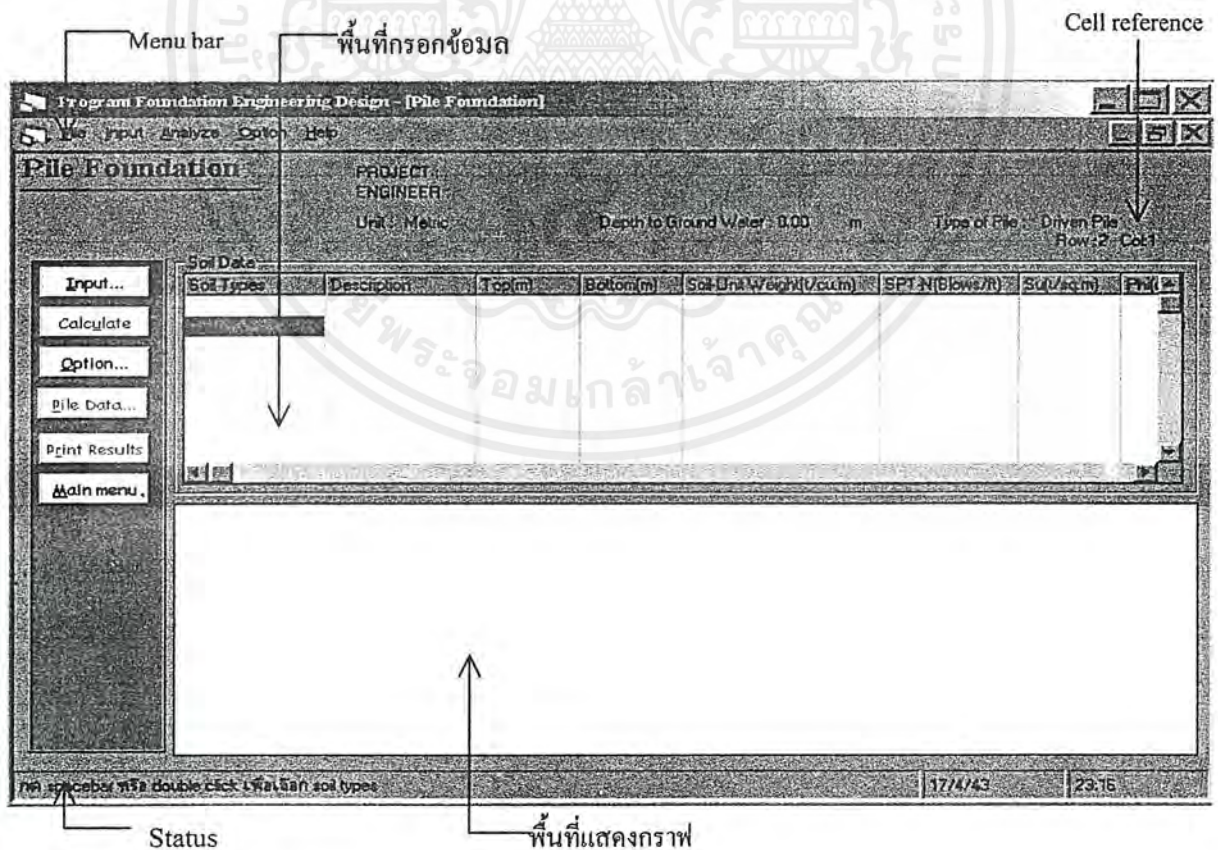
### 4.3 ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม Pile Capacity

โปรแกรม Pile Capacity เป็นโปรแกรมที่ใช้หาค่าลึงของเสาเข็ม โดยวิเคราะห์ทั้งแรงต้านทานผิวของเสาเข็ม และแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม โดยโปรแกรมจะมีความสามารถดังนี้

1. ใช้ได้ทั้งเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ
2. โปรแกรมจะทำการหาค่าแรงต้านทานเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มได้ 2 ทฤษฎี คือ ทฤษฎีแอลฟา (The  $\alpha$  Method) ใช้สำหรับเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ และทฤษฎีแลมดา (The  $\lambda$  Method) ใช้สำหรับเสาเข็มตอก
3. โปรแกรมสามารถหาแรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็มได้ 3 ทฤษฎี คือ Terzaghi, Vesic และ Janbu
4. สามารถวิเคราะห์ได้ 3 หน่วยคือ SI, Metric และ English

#### วิธีการใช้งาน

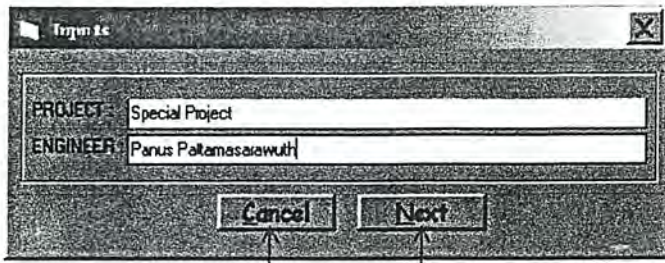
1. เมื่อ Click ปุ่ม Pile Capacity ใน Main Menu แล้วจะได้หน้าต่างโปรแกรม ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 หน้าจอหลักของโปรแกรม Pile Capacity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เมื่อกดปุ่ม Input แล้วจะได้หน้าต่างในการป้อนข้อมูลดังรูปที่ 4.7



กด Next เพื่อป้อนข้อมูลเพิ่ม  
กด Cancel เพื่อยกเลิกการป้อน  
ค่า

รูปที่ 4.7 หน้าต่าง Input

3 หลังจากกดปุ่ม Next แล้วจะได้หน้าต่างในการป้อนข้อมูลทั่วไป ดังรูปที่ 4.8



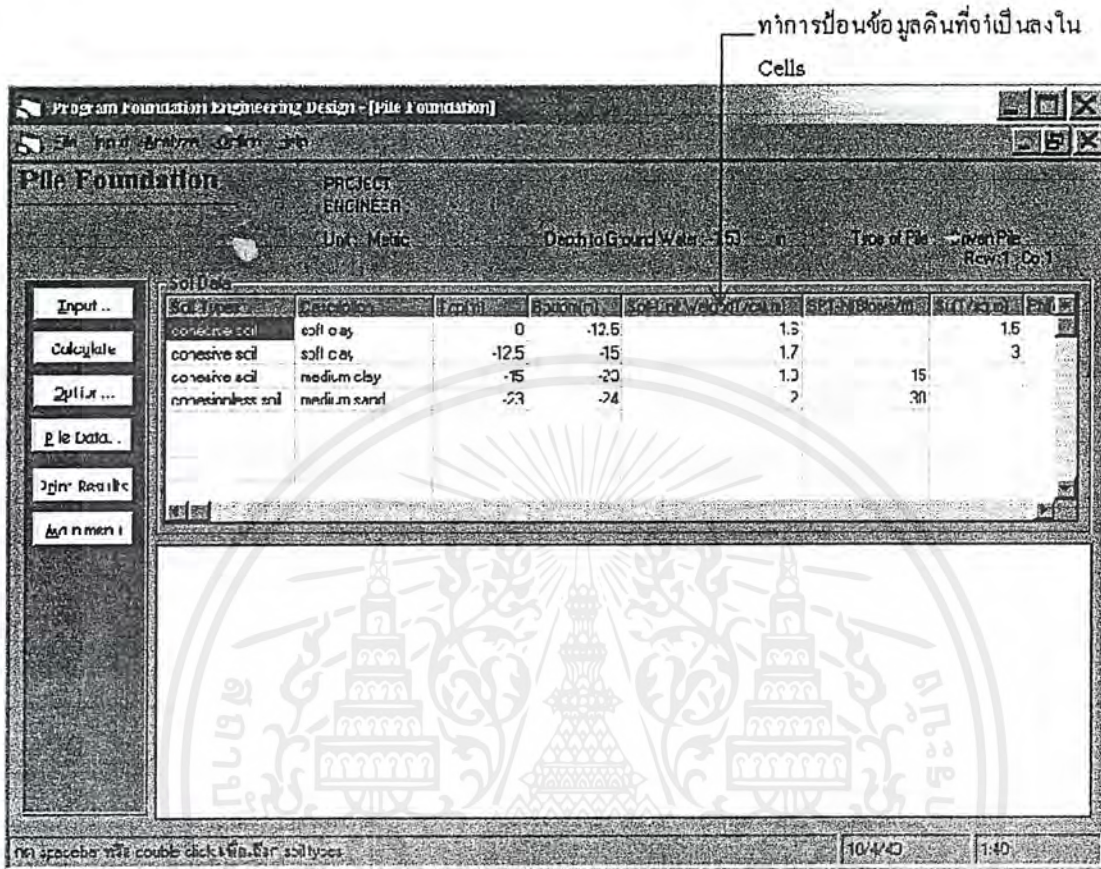
คลิกเพื่อเลือกชนิดของเสาเข็ม

เลือกหน่วย  
ใส่ระดับน้ำได้  
ดิน

กด OK เพื่อยืนยันการป้อน  
ค่า

รูปที่ 4.8 หน้าต่างป้อนข้อมูลทั่วไป

4 หลังจากผ่านขั้นตอนที่ 3 แล้วก็ทำการป้อนข้อมูลดินที่จำเป็นลงไปใน Cells ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การป้อนข้อมูลในหน้าต่างหลัก

หลักการป้อนค่าเข้าไปใน Cells คือ

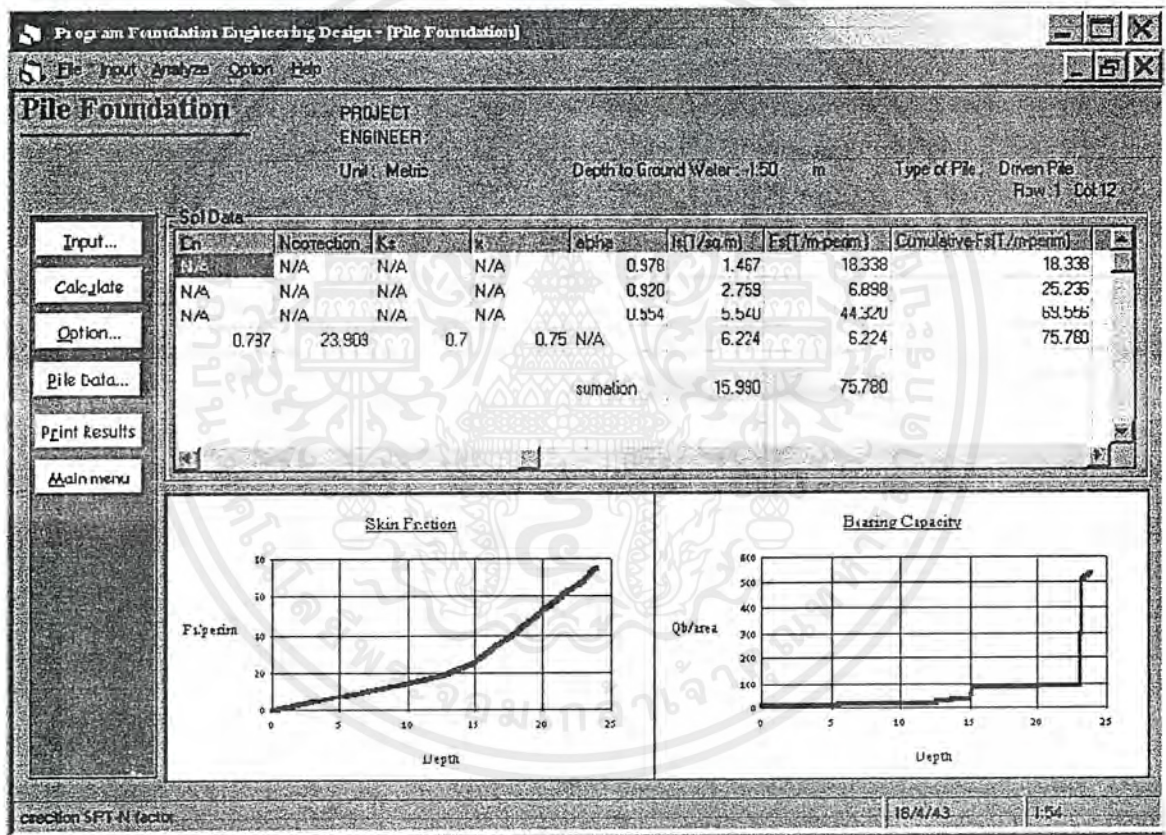
- สคมภ์ที่ 1      ทำการ Double Click เพื่อเลือกชนิดของดิน โดยสามารถเลือกได้สองชนิดคือ Cohesive soil สำหรับดินที่มีแรงยึดเหนี่ยว เช่นดินเหนียว และ Cohesionless soil สำหรับดินที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยว เช่น ดินทราย โดยผู้ใช้ไม่สามารถพิมพ์เข้าไปในเซลล์ได้เนื่องจากถูกล็อกเซลล์ไว้
- สคมภ์ที่ 2      เป็นการระบุลักษณะดิน ผู้ใช้สามารถ Double Click เพื่อระบุชนิดของดินหรือทำการพิมพ์เพื่อระบุลักษณะของดินได้
- สคมภ์ที่ 3      เป็นการระบุระดับบนสุดของชั้นดินนั้น โดยอ้างอิงจากผิวดิน
- สคมภ์ที่ 4      เป็นการระบุระดับล่างสุดของชั้นดินนั้น โดยอ้างอิงจากผิวดิน
- สคมภ์ที่ 5      เป็นการระบุหน่วยน้ำหนักดินของชั้นดินนั้นๆ
- สคมภ์ที่ 6      เป็นการระบุค่า SPT -N ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สคมภ์ที่ 7 เป็นการระบุค่า Shear Strength ของดินสำหรับดินประเภท Cohesive soil ในแถวเดียวกัน ไม่สามารถใส่พร้อมกับค่า SPT-N ได้เนื่องจากค่า SPT-N นั้นใช้ในการหาค่า Shear Strength อยู่แล้ว

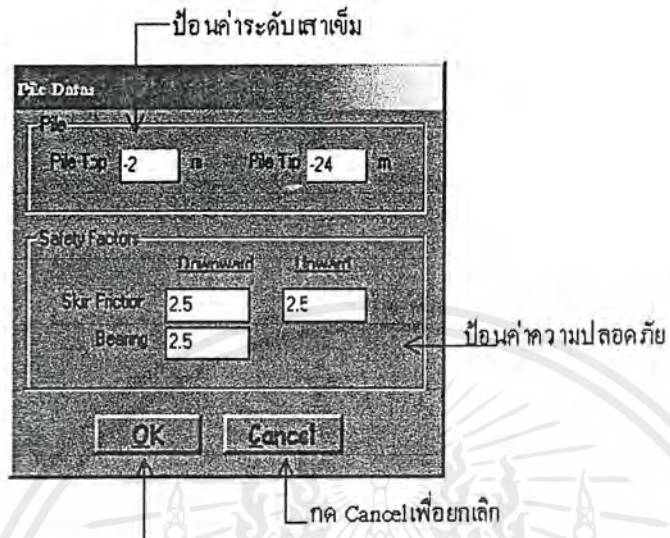
สคมภ์ที่ 8 เป็นการระบุค่ามุมเสียดทานภายในของดินสำหรับดินประเภท Cohesionless soil ในแถวเดียวกัน ไม่สามารถใส่พร้อมกับค่า SPT-N ได้เนื่องจากค่า SPT-N นั้นใช้ในการคำนวณ เสียดทานภายในอยู่แล้ว

5 เมื่อกดปุ่ม Calculate แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณ ได้ดังรูป 4.10



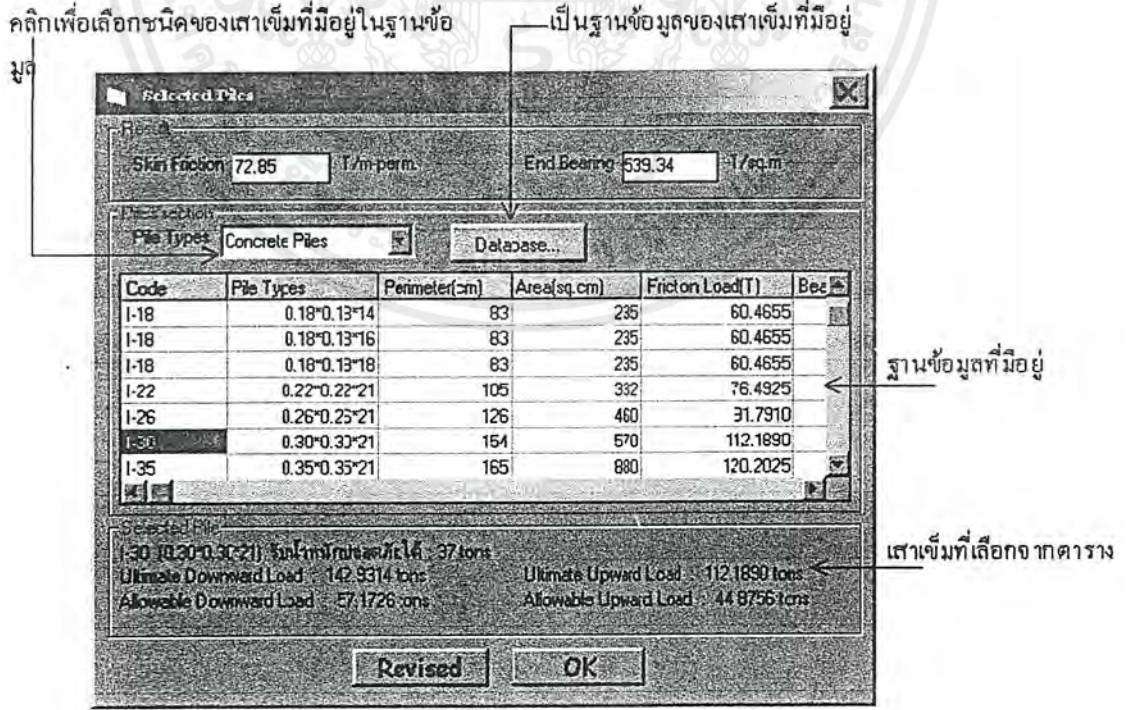
รูปที่ 4.10 หน้าต่างหลักหลังจากทำการคำนวณแล้ว

6 หลังจากกด Calculate ในขั้นตอนที่ 5 แล้วก็สามารถ Trial เพื่อหาความยาวของเสาเข็มตามต้องการ ได้โดยการป้อน Pile Data ก็จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 หน้าต่างการกำหนดระดับของเสาเข็ม

7 เมื่อกำหนดระดับของเสาเข็มแล้วหลังจากกดปุ่ม OK ก็จะเข้าสู่หน้าต่างที่เกี่ยวกับข้อมูลของเสาเข็ม ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 หน้าต่างข้อมูลของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8 เมื่อต้องการเพิ่มหรือลบฐานข้อมูลที่มีอยู่เดิมก็สามารถทำได้โดย กดปุ่ม Database แล้วจะได้หน้าต่างฐานข้อมูลดังรูป 4.13

Field	Value	Unit
Code	I-30	
Type	0.30*0.30*21	
Width(B)	30	cm
Section-Area	570	sq.cm
Perimeter	154	cm
Weight	137	kg/m
Length	21	m
น้ำหนักปลอกดัก	37	ton

รูป 4.13 หน้าต่างฐานข้อมูล

- 9 ถ้าต้องการพิมพ์รายการคำนวณก็สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม Print Result
- 10 กรณีต้องการทราบวิธีการคำนวณก็สามารถดูได้ที่ Help จากเมนู Help

#### 4.4 ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม RC Spread Footing

โปรแกรม RC Spread Footing เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก โดยโปรแกรมนี้จะมีความสามารถต่างๆ ดังนี้

1. สามารถใช้ออกแบบฐานรากแผ่ได้ 3 รูปแบบดังนี้
  - ฐานรากเดี่ยว(Isolated Footing) ทั้งในกรณีรับแรงตามแกน โมเมนต์ 1 แกน และ โมเมนต์ 2 แกน
  - ฐานรากร่วม(Rectangular Combined Footing) รับแรงตามแกน จำกัดขอบเขตที่เสา 2 ต้น
  - ฐานรากแบบมีคานยึด(Strap Footing) รับแรงตามแกน จำกัดขอบเขตที่เสา 2 ต้น
2. แสดงผลลัพธ์ทั้งรูปแบบของรายการคำนวณ และ กราฟฟิก
3. ออกแบบฐานรากได้ 1 หน่วย คือ Metric

ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานในโปรแกรม

1. จาก MainMenu ถ้าเราคลิก ที่ปุ่ม RC Spread Footing จะปรากฏหน้าต่างดังที่แสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งจะให้ผู้ใช้งานเลือกรูปแบบของฐานรากในการออกแบบ



รูปที่ 4.14 แสดงหน้าต่างเลือกรูปแบบฐานราก

2. เมื่อเราเลือกรูปแบบของฐานรากแล้วจะเข้าสู่หน้าต่างหลักของโปรแกรมดังที่แสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งจะมีส่วนประกอบเหมือนกันในฐานรากทั้ง 3 แบบ ดังนี้

หมายเลข 1 แสดงถึงข้อมูลพื้นฐานที่ป้อน และข้อมูลของขนาดฐานรากที่หาได้จากโปรแกรม

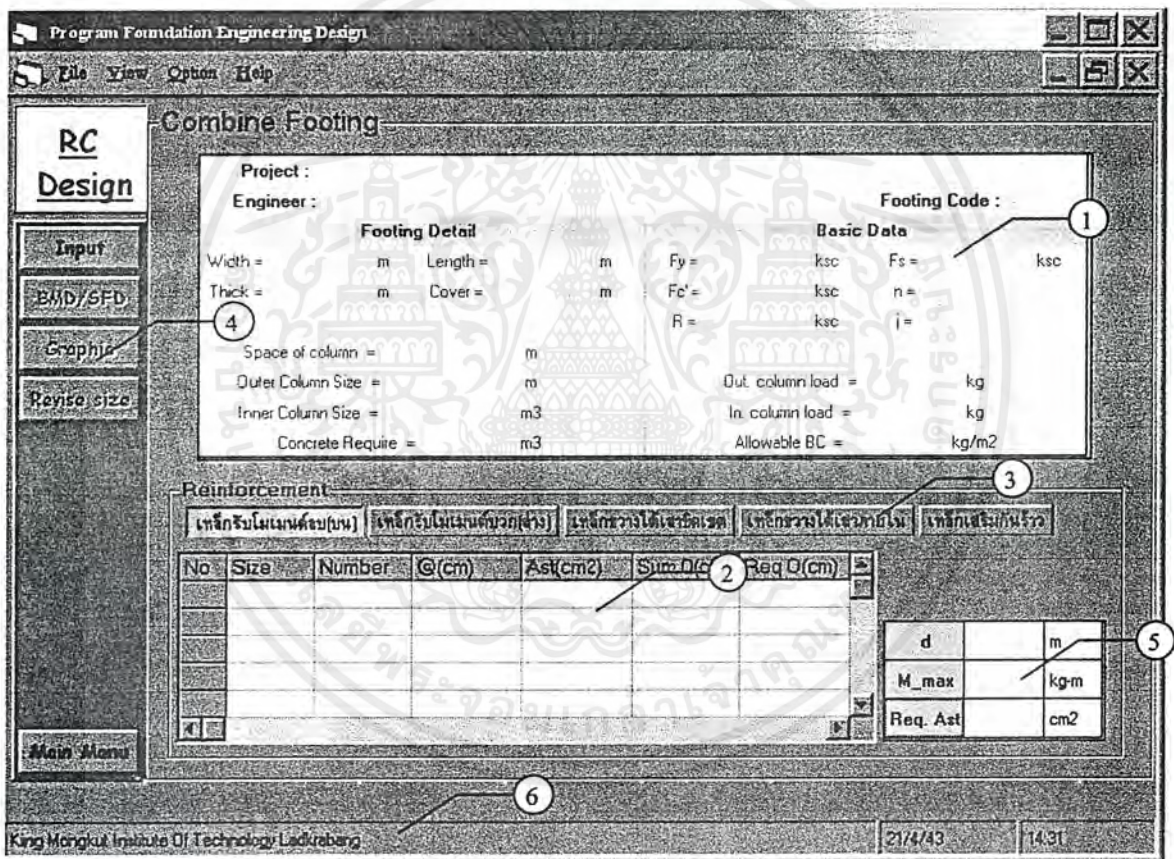
หมายเลข 2 ตารางแสดงปริมาณเหล็กเสริมที่หาได้ โดยในตารางจะแสดงข้อมูลขนาดเหล็ก จำนวนเหล็กที่ใช้ ระยะห่างของเหล็ก หน้าตัดเหล็กที่ใช้ ผลรวมของเส้นรอบวงที่ใช้ ผลรวมของเส้นรอบวงที่ต้องการ และน้ำหนักเหล็ก โดยจะแสดงตั้งแต่ DB10-DB32

หมายเลข 3 Tab เลือกชนิดของเหล็กที่ต้องการดู เช่น ในฐานรากเดี่ยวจะประกอบไปด้วยเหล็กค้ำสั้นและ เหล็กค้ำยาว

หมายเลข 4 แสดงปุ่ม Menu ต่างๆที่ใช้บ่อยๆ

หมายเลข 5 ตารางแสดงค่า ความลึกประสิทธิภาพที่ใช้ โมเมนต์ที่ขอบเสา และหน้าตัดเหล็กที่ต้องการ

หมายเลข 6 Status Bar



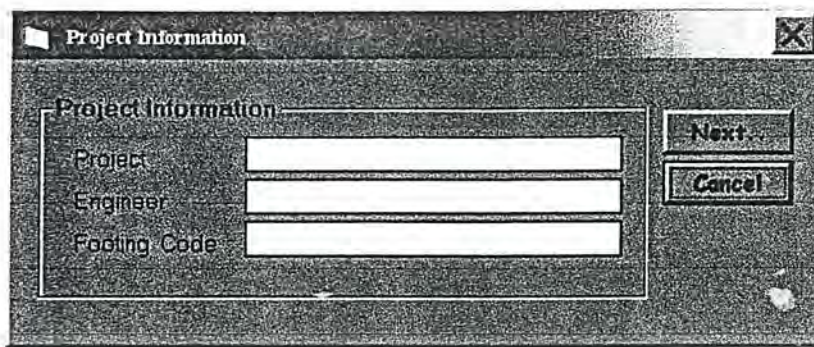
รูปที่ 4.15 แสดงหน้าต่างหลักของโปรแกรม RC Spread Footing

3. เริ่มทำการออกแบบ ซึ่งในหัวข้อนี้จะแยกกล่าวตามชนิดของฐานรากแผ่

### 3.1 ฐานรากเดี่ยว

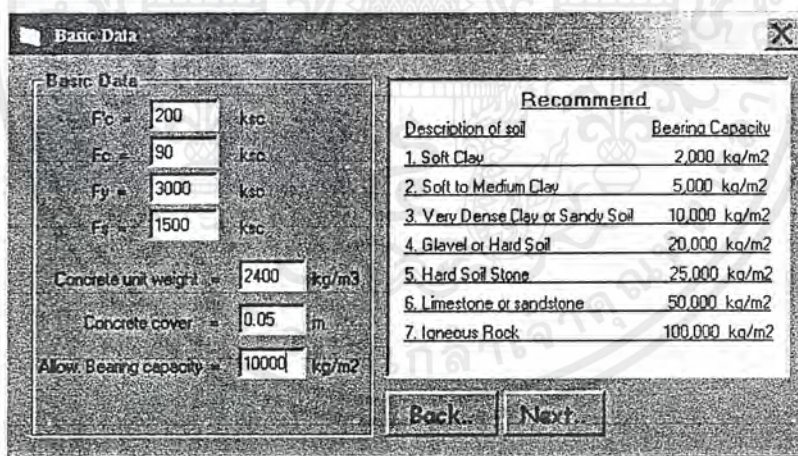
1) เมื่อเรา Click ปุ่ม Isolate Footing ในหน้าต่างเลือกชนิดฐานราก หรือคลิกปุ่ม Input จากหน้าต่างหลัก จะพบหน้าต่าง Project Information ดังที่แสดงในรูปที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 หน้าต่าง Project Information

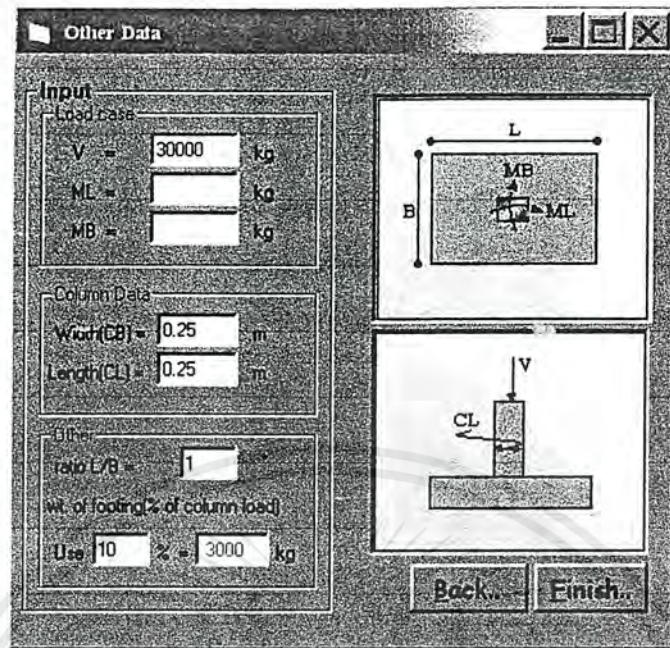
- 2) ป้อนข้อมูลให้ครบแล้วคลิกปุ่ม Next จะพบหน้าต่าง Basic Data เพื่อให้ป้อนข้อมูลพื้นฐานต่างๆที่ใช้ออกแบบเช่น กำลังคอนกรีต กำลังเหล็ก ดังที่แสดงในรูปที่ 4.17
- 3) ป้อนข้อมูลให้ครบแล้วคลิกปุ่ม Next จะพบหน้าต่าง Other Data เพื่อให้ป้อนลักษณะของแรงที่กระทำต่อฐานราก ขนาดของเสา ตลอดจนถึงการสมมุติฐานน้ำหนักฐานรากดังที่แสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 หน้าต่าง Basic Data

- 4) หลังจากป้อนข้อมูลจนครบแล้ว กด Finish โปรแกรมจะทำการออกแบบขนาดฐานรากที่มีขนาดเล็กที่สุดให้ ในกรณีที่ไม่ต้องการให้โปรแกรมออกแบบเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ให้ปรับที่ค่า ratio ในหน้าต่าง Other Data ตามต้องการ (ซึ่งไม่ควรจะเกิน 2)
- 5) โปรแกรมจะกลับสู่หน้าต่างหลัก และแสดงข้อมูลที่คำนวณแล้วบนหน้าต่างหลักดังแสดงในรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงหน้าต่าง Other Data ของฐานรากเดี่ยว

Program Foundation Engineering Design

File View Option Help

### RC Design

Input  
Graphic  
Revised Size  
Main Menu

### Isolate Footing

Project : Example1  
Engineer : WanatPanus  
Footing Code : F-1

Footing Detail				Basic Data			
Width =	1.73 m	Length =	1.73 m	Fy =	3000 ksc	Fs =	1500 ksc
Thick =	0.29 m	Cover =	0.05 m	Fc' =	144 ksc	n =	11
Column Size =	0.25*0.25 m			R =	9.44 ksc	j =	0.891
Min pressure =	10000.			Vertical Load =	30000. kg		
Max pressure =	10000. kg/m <sup>2</sup>			MB =	0. kg-m		
All Bearing =	10000. kg/m <sup>2</sup>			ML =	0. kg-m		
Concrete Require =	0.87 m <sup>3</sup>						

### Reinforcement

เหล็กเสริมด้านขึ้น | เหล็กเสริมด้านยาว

No	Size	Number	@(cm)	Ast(cm <sup>2</sup> )	Sum O(cm)	Req O(cm)
	DB10	20	8.59	15.6	62.8	17.89
	DB12	14	12.55	15.82	52.75	19.39
	DB16	8	23.32	16.08	40.19	25.85
	DB20	6	32.64	18.84	37.68	32.32
	DB25	6	32.64	29.46	47.1	40.4
	DB28	6	32.64	36.96	52.75	45.24

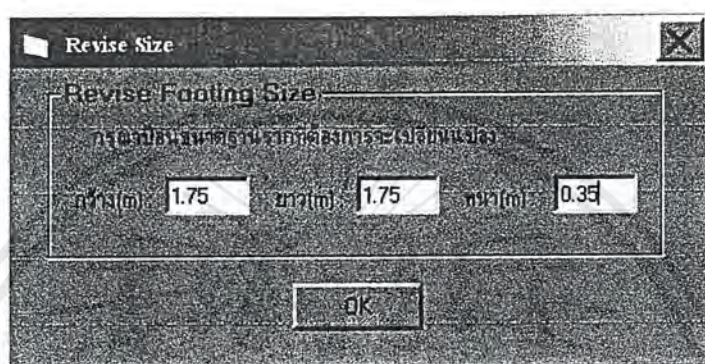
d	0.23 m
M_max	4755.51 kg-m
Req Ast	15.47 cm <sup>2</sup>

King Mongkut Institute Of Technology Ladkrabang 21/4/43 14.47

รูปที่ 4.19 แสดงหน้าต่างหลักหลังจากการคำนวณผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 6) หลังจากกลับสู่หน้าต่างหลัก โปรแกรมจะเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถปรับขนาดฐานรากเองได้ตามต้องการ โดยทำการกดปุ่ม Revise size จะแสดงหน้าต่างดังในรูปที่ 4.20 ซึ่งต้องอยู่ภายในขอบเขต ดังนี้
1. ขนาดฐานรากที่ป้อนจะต้องไม่น้อยกว่าค่า  $A_{min}$  ที่ต้องการ
  2. ฐานรากจะถูกคำนวณใหม่อีกครั้ง และความหนาที่ป้อนจะต้องไม่น้อยกว่าความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการ

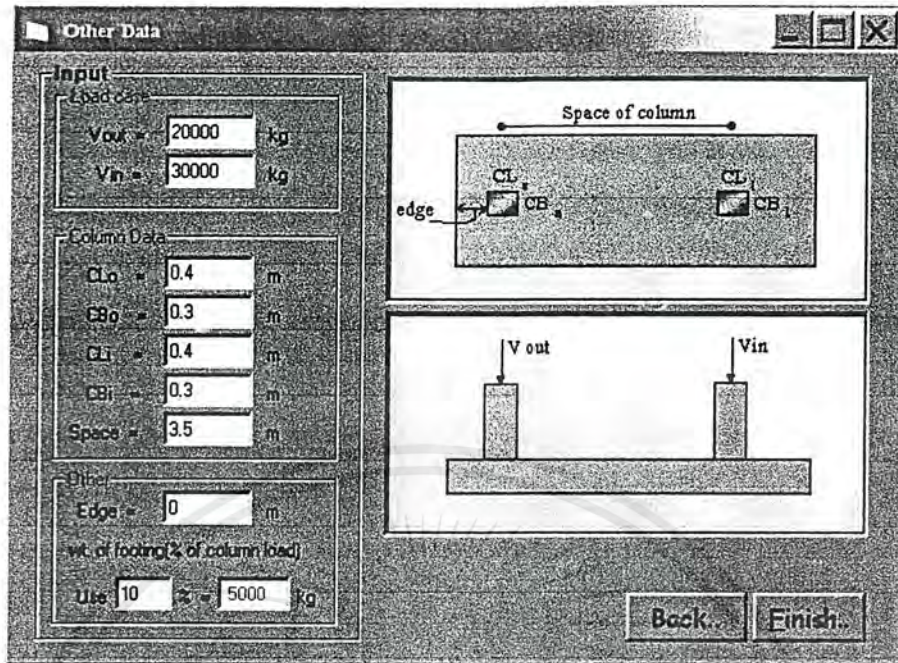


รูปที่ 4.20 แสดงหน้าต่าง Revise size

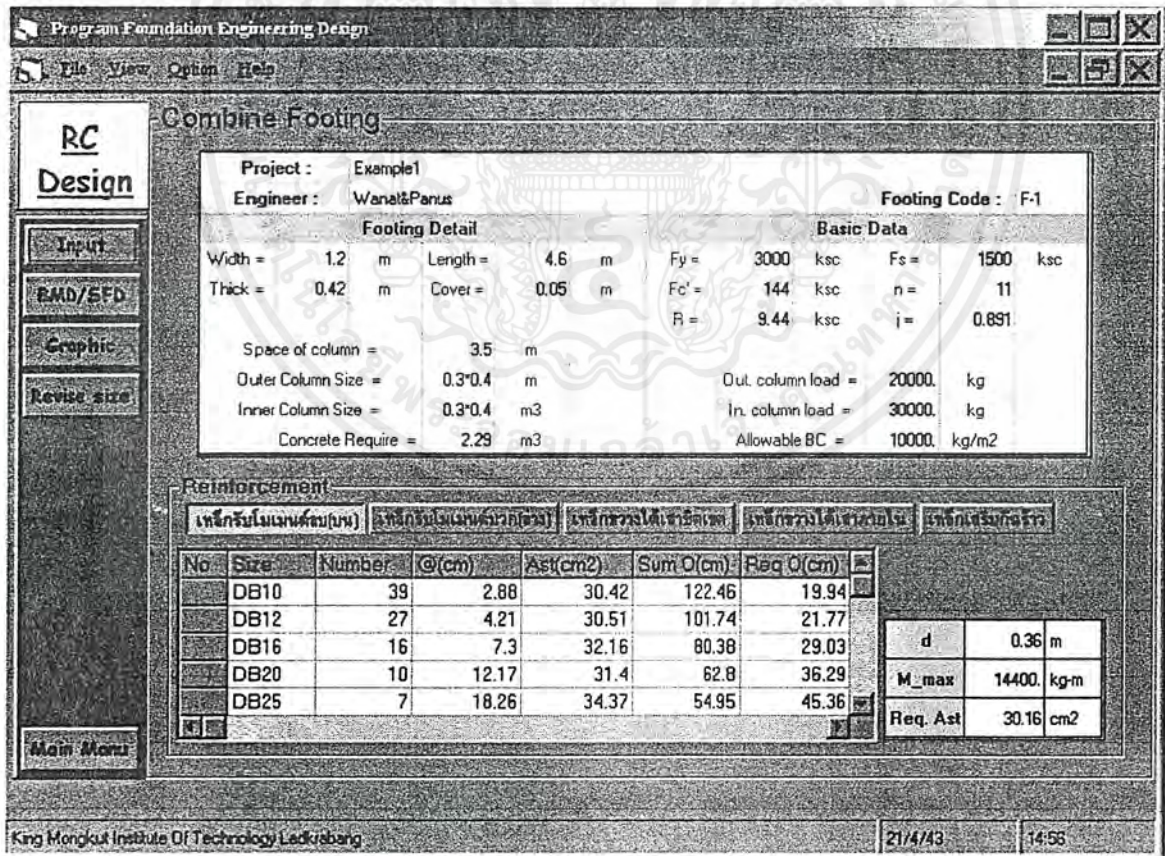
- 7) หลังจากปรับเปลี่ยนจนได้ขนาดฐานรากที่ต้องการแล้ว เราสามารถดูรูปได้โดยกดที่ปุ่มกราฟฟิก ซึ่งโปรแกรมจะให้เลือกขนาดเหล็กที่จะใช้ และแสดงกราฟฟิกให้ดูตามต้องการ
- 8) ผู้ใช้สามารถ Save ฐานรากที่ทำการออกแบบ หรือ Print ออกทาง Printer ได้ทั้งรายการคำนวณ และ กราฟฟิก

### 3.2 ฐานรากร่วม

- 1) ทำขั้นตอนที่1 และ2 เช่นเดียวกับฐานรากเดี่ยว และกด Next จะพบหน้าต่าง Other Data ของฐานรากร่วม ดังที่แสดงในรูปที่ 4.21
- 2) หลังจากป้อนข้อมูลจนครบแล้ว กด Finish โปรแกรมจะทำการออกแบบขนาดฐานรากที่มีขนาดเล็กที่สุดให้ โดยปกติจะออกแบบให้เสาชิดเขตอยู่ที่ขอบฐานรากพอดี ในกรณีที่ไมต้องการให้ไปปรับแก้ในค่า edge ตามต้องการ ซึ่งปกติจะมีค่าเป็น 0
- 3) โปรแกรมจะกลับสู่หน้าต่างหลัก และแสดงข้อมูลที่คำนวณแล้วบนหน้าต่างหลักดังแสดงในรูปที่ 4.22



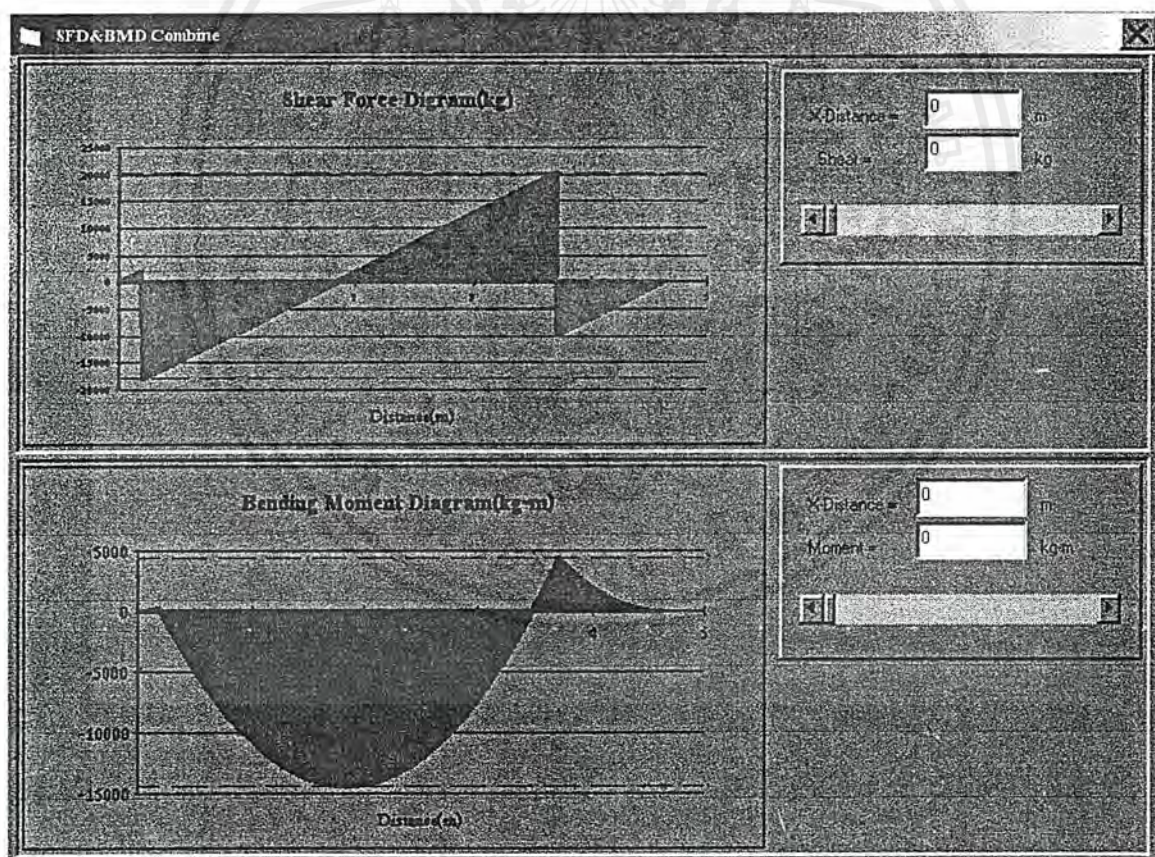
รูปที่ 4.21 แสดงหน้าต่าง Other Data ของฐานรากร่วม



รูปที่ 4.22 แสดงหน้าต่างหลักหลังการคำนวณผลของฐานรากร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) หลังจากส่วนนี้ โปรแกรมจะเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานสามารถปรับขนาดฐานรากเองได้ตามต้องการ เช่นเดียวกับฐานรากเดี่ยว ซึ่งต้องอยู่ในขอบเขต ดังนี้
1. ขนาดฐานรากที่ป้อนจะต้องไม่น้อยกว่าค่า  $A_{min}$  ที่ต้องการ
  2. ฐานรากจะถูกคำนวณใหม่อีกครั้ง และความหนาที่ป้อนจะต้องไม่น้อยกว่าความหนาน้อยที่สุดที่ต้องการ
  3. ความยาวที่ป้อนจะต้องไม่น้อยไปกว่า 2 เท่าของระยะของจุดศูนย์กลางรวมแรงจากขอบเสา
- 5) เนื่องจากรูปแบบในการเสริมเหล็กของฐานรากร่วมกัน ทำให้หลายแบบ ดังนั้นโปรแกรมจึงมีส่วนที่แสดงค่า BMD และ SFD ไว้เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้งานนำค่าโมเมนต์ไปออกแบบต่อเองได้ โดยการกดปุ่ม SFD&BMD ในหน้าต่างหลัก ซึ่งจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดงหน้าต่าง BMD&SFD ของฐานรากร่วม

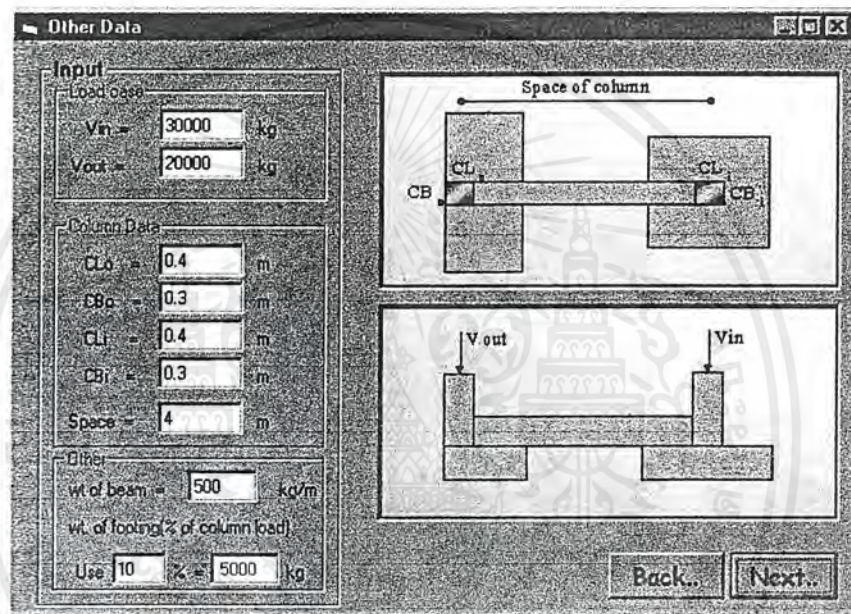
- 6) หลังจากปรับเปลี่ยนจนได้ขนาดฐานรากที่ต้องการแล้ว เราสามารถดูรูปได้โดยกดที่ปุ่ม กราฟฟิก ซึ่งโปรแกรมจะให้เลือกขนาดเหล็กที่จะใช้ และแสดงกราฟฟิกให้ดูตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) ผู้ใช้สามารถ Save งานรอกที่ทำการออกแบบ หรือ Print ออกทาง Printer ได้ทั้งรายการคำนวณ และ กราฟฟิก

### 3.3 งานรอกแบบคานยึด

- 1) ทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 เช่นเดียวกับงานรอกเดี่ยว กด Next จะพบหน้าต่าง Other Data ของงานรอกแบบมีคานยึด ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงหน้าต่าง Other Data ของงานรอกแบบมีคานยึด

- 2) หลังจากป้อนข้อมูลจนครบแล้วกด Next จะพบหน้าต่าง Find dimension of footing ดังที่แสดงในรูปที่ 4.25 ในหน้าต่างนี้จะเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ทำการสมมุติขนาดงานรอก โดยโปรแกรมจะช่วยอำนวยความสะดวกโดยที่จะให้ผู้ใช้ป้อนเพียงแต่ความกว้างของงานรอกชนิดเขต ส่วน Dimension ที่เหลือโปรแกรมจะทำการคำนวณให้ เพื่อที่จะทำให้จุดศูนย์รวมของแรง ตรงกับจุดศูนย์ถ่วงของงานรอก ตามสมมุติฐานของการออกแบบ นอกจากนี้ ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการปรับ Dimension อื่นๆ สามารถทำได้เพียงแต่กดปุ่ม Edit เราจะสามารถเข้าไปแก้ค่าใน Dimension ที่เหลือได้ โดยที่ ตำแหน่งของจุดศูนย์รวมของแรง กับจุดศูนย์ถ่วงของงานรอกจะมีการเปลี่ยนค่าตาม เพื่อให้ผู้ใช้ทำการพิจารณาว่าอยู่ในขั้นที่ยอมรับได้หรือไม่ ทำการสมมุติขนาดของงานรอกไปเรื่อย จนกระทั่งพอใจให้กดปุ่ม Next เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง ดังที่แสดงในรูปที่ 4.26 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ในหน้าต่าง Find depth of footing นั้น จะเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ทำการกำหนดความหนาของฐานรากเองได้ตามเหมาะสม โดยที่จะต้องไม่น้อยไปกว่าความหนาค่าสุดที่ต้องการเมื่อเป็นที่พอใจแล้ว ให้กด Next เพื่อเข้าไปสู่หน้าต่าง Find dimension of strap beam ดังที่แสดงในรูปที่ 4.27

**Find dimension of footing**

Dimension of footing

Please Trial Outer Footing width

**Outer footing**

width =  m length =  m

**Inner footing**

width =  m length =  m

Center of load =  m

Center of footing =  m

Total Area =  m<sup>2</sup>

Min Area =  m<sup>2</sup>

รูปที่ 4.25 หน้าต่าง Find dimension of footing

**Find dimension of footing**

Depth of footing

**Outer footing**

Minimum depth effective =  m

use d =  m

thick =  m

**Inner footing**

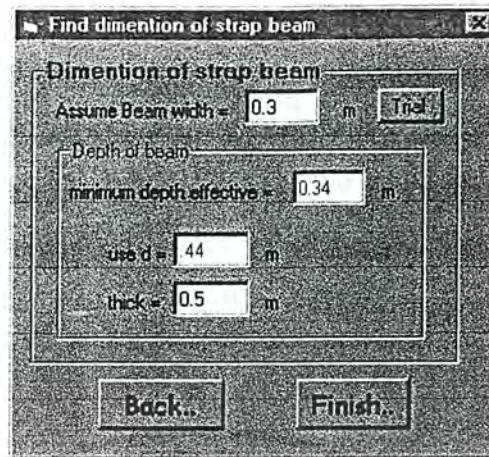
Minimum depth effective =  m

use d =  m

thick =  m

รูปที่ 4.26 หน้าต่าง Find depth of footing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.27 หน้าต่าง Find dimension of strap beam

- 4) ในหน้าต่าง Find dimension of strap beam จะเปิดโอกาสให้ผู้ใช้กำหนดขนาดของงานเองได้ ซึ่งจากหน้าต่างนี้ เมื่อทำการกดปุ่ม Finish โปรแกรมจะกลับสู่หน้าต่างหลัก และแสดงข้อมูลที่คำนวณแล้วบนหน้าต่างหลัก ดังที่แสดงในรูป 4.28

**Project :** Example5  
**Engineer :** WanatParus  
**Footing Code :** F-5

General				Basic Data			
Outer Footing : Width =	1. m	Length =	2.4 m	Thick =	0.3 m	Fy =	3000 ksc
Inner Footing : Width =	1.8 m	Length =	1.8 m	Thick =	0.3 m	Fs =	1500 ksc
Strap Beam : Width =	0.3 m	Depth =	0.5 m			Fc' =	200 ksc
Concrete Cover =	0.05 m	Space of column =	4. m	n =	10		
Inner Column Size =	0.3*0.4 m	Outer Column Size =	0.3*0.4 m	j =	0.879		
Inner Column Load =	30000. kg	Outer Column Load =	20000. kg	R =	14.39 ksc		
Allow. Bearing Capacity =	10000. kg/m2						

**Reinforcement**

No	Size	Number	@ (cm)	Ast (cm <sup>2</sup> )	Sum O (cm)	Req O (cm)
DB10		22	4.29	17.16	69.08	13.52
DB12		15	6.43	16.95	56.52	13.52
DB16		9	11.25	18.09	45.22	16.58
DB20		6	18.	18.84	37.68	20.72
DB25		4	30.	19.64	31.4	25.9

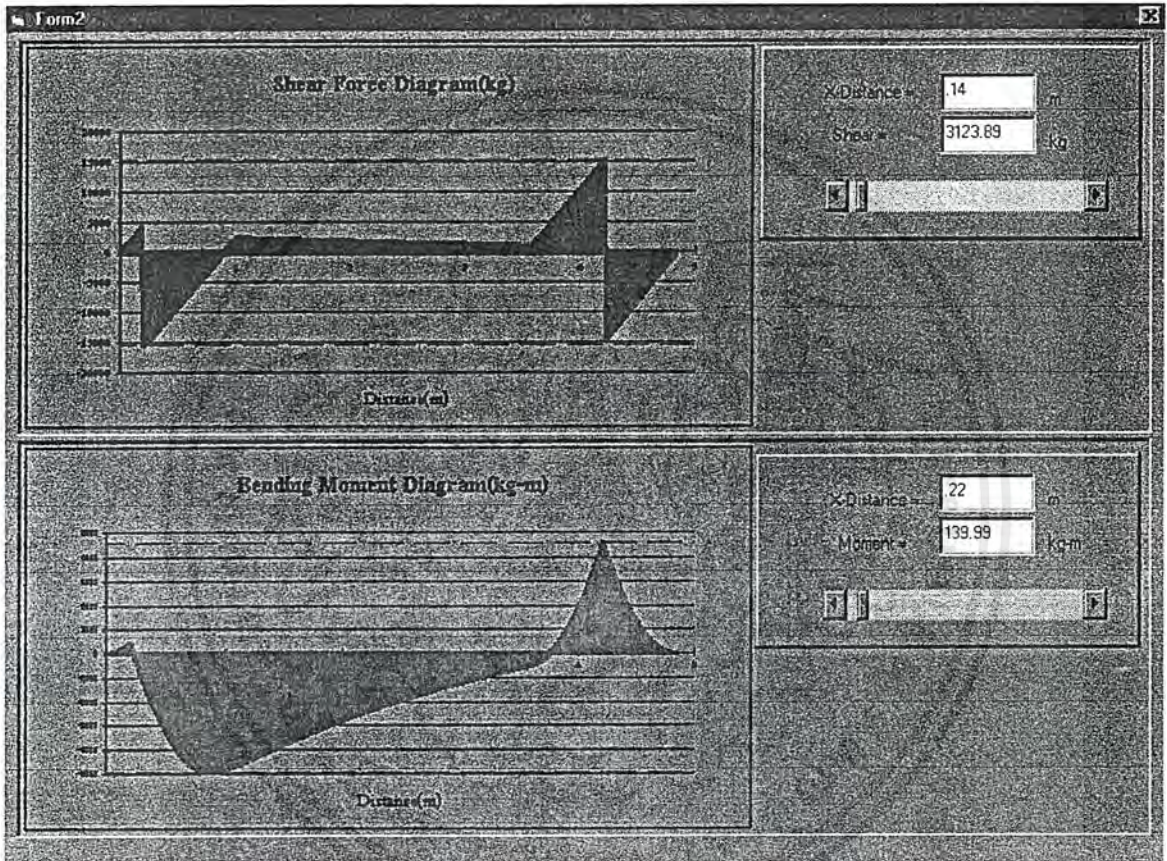
  

d	0.24 m
M <sub>max</sub>	5239.98 kg-m
Req. Ast	16.57 cm <sup>2</sup>

รูปที่ 4.28 หน้าต่างหลักหลังการคำนวณผลของฐานรากแบบมีคานยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) สำหรับในส่วนของฐานรากแบบมีคานชั้ดนั้น ได้เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ทำการกำหนดขนาดฐานรากเองมาตลอดการออกแบบ ดังนั้นจะไม่มีหน้าต่าง Revise size เช่นเดียวกับฐานรากเดี่ยวและฐานรากร่วม
- 6) โปรแกรมสามารถแสดงค่า BMD และ SFD ได้เช่นเดียวกับฐานรากร่วม โดยทำการกดปุ่ม BMD&SFD ในหน้าต่างหลัก จะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงหน้าต่าง BMD&SFD สำหรับฐานรากแบบมีคานชั้ด

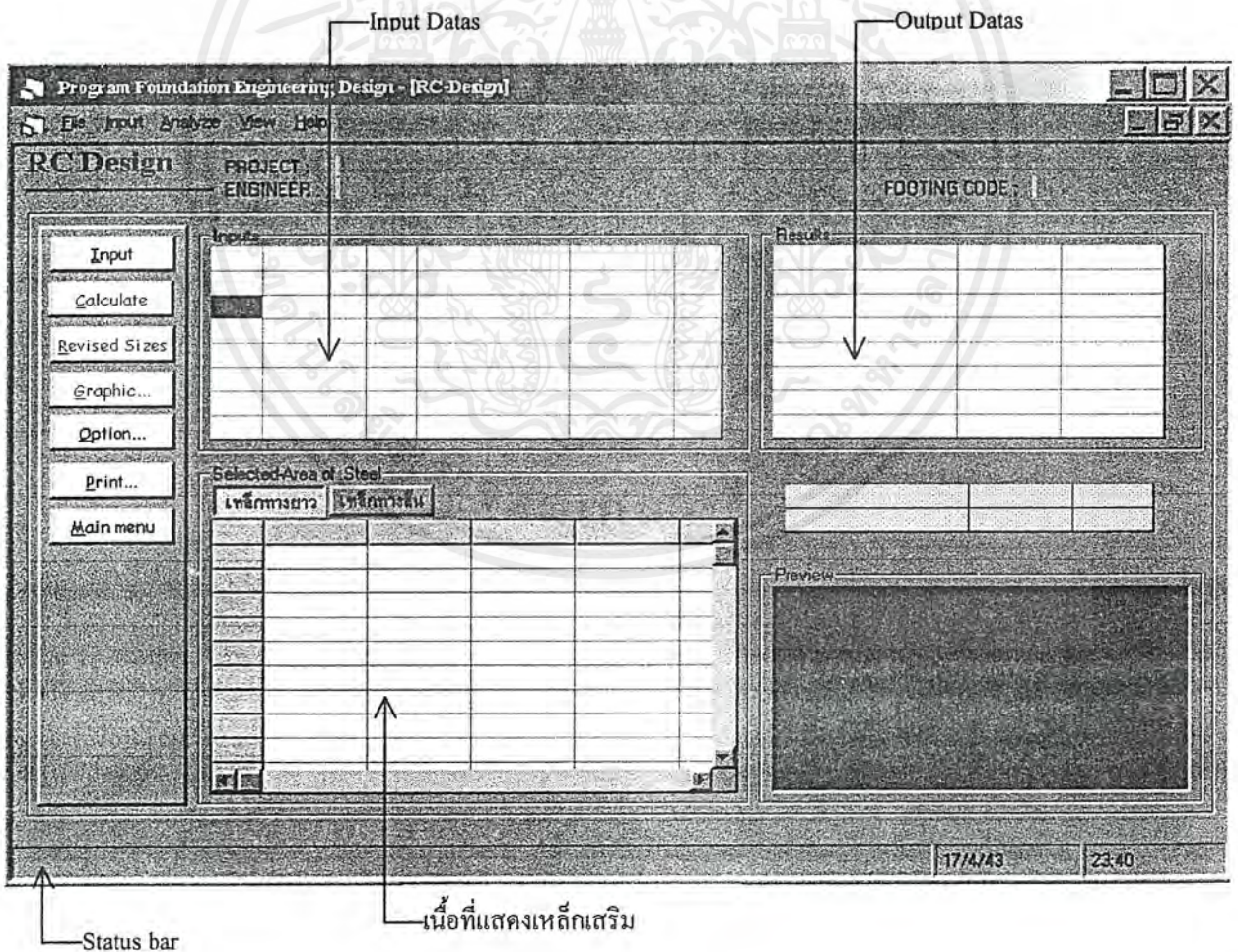
#### 4.5 ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานโปรแกรม RC Pile Footing

โปรแกรม RC Pile Footing เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็ม โดยโปรแกรมมีความสามารถดังนี้

1. สามารถวิเคราะห์และออกแบบฐานรากเสาเข็มได้ตั้งแต่ 1 ถึง 14 ต้น
2. สามารถแสดงรายการคำนวณพร้อมรูปแสดงการเสริมเหล็กทางจกคอมพิวเตอร์
3. สามารถพิมพ์รายการคำนวณและรูปแสดงการเสริมเหล็กออกทางเครื่องพิมพ์ได้
4. ออกแบบฐานรากได้ 1 หน่วยคือ Metric

ส่วนประกอบและวิธีการใช้งานของโปรแกรม

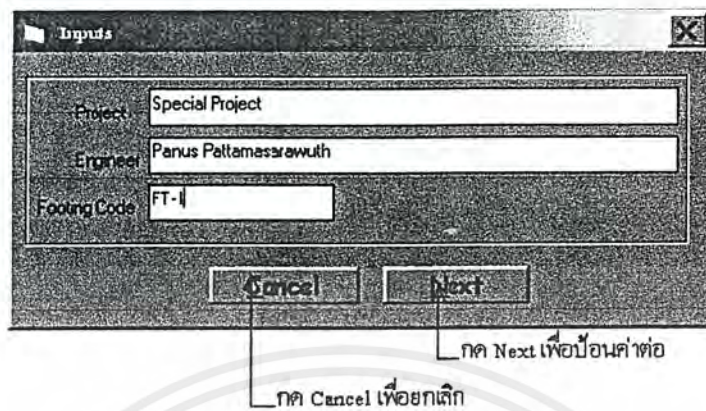
1. หลังจาก Click ปุ่ม RC Pile Footing ใน Main Menu แล้วจะได้หน้าต่าง RC Pile Footing ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 หน้าจอหลักของโปรแกรม RC Pile Footing

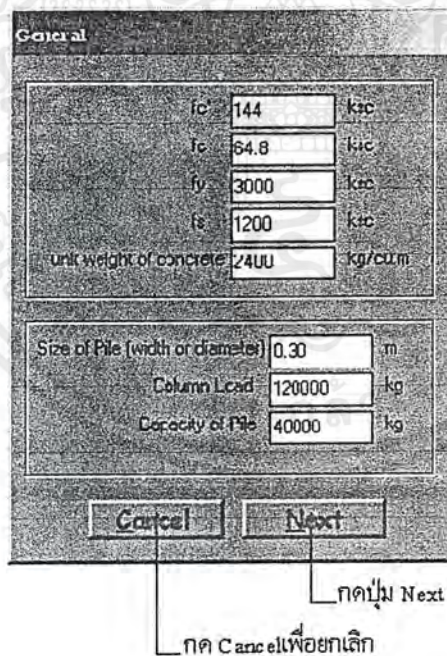
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 เมื่อคลิกปุ่ม Input แล้วจะได้หน้าต่างแรกในการป้อนค่าดังรูปที่ 4.31 โดยทำการป้อนค่าตัวอย่าง



รูปที่ 4.31 หน้าต่างการป้อนค่าโครงการ, วิศวกร และ ชื่อฐานรากของโปรแกรม RC Pile Footing

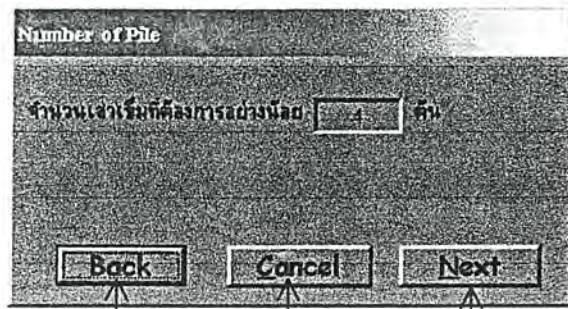
3 หลังจากคลิกปุ่ม Next จากขั้นตอนที่ 2 แล้วก็จะได้หน้าต่างป้อนค่าข้อมูลทั่วไปดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 หน้าต่างการป้อนค่าข้อมูลทั่วไปของโปรแกรม RC Pile Footing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

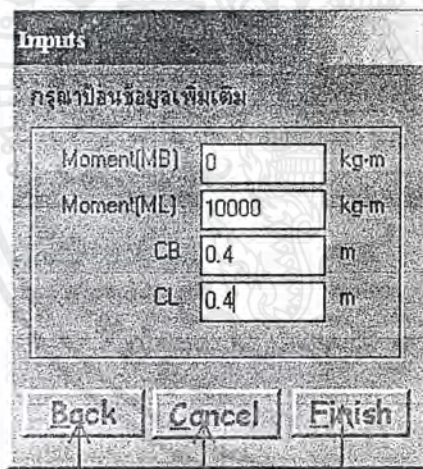
4 หลังจากป้อนข้อมูลในขั้นตอนที่ 3 เสร็จแล้วโปรแกรมจะแสดงจำนวนเสาเข็มที่ต้องการดังรูปที่ 4.33



กด Next เพื่อป้อนข้อมูลเพิ่มเติม  
 กด Cancel เพื่อยกเลิก  
 กด Back เพื่อแก้ไขข้อมูล

รูปที่ 4.33 หน้าต่างแสดงจำนวนเสาเข็มของโปรแกรม RC Pile Footing

5 หลังจากหลังขั้นตอนที่ 4 แล้วเมื่อกดปุ่ม Next โปรแกรมให้ป้อนข้อมูลเพิ่มเติมดังรูปที่ 4.34



กด Finish เพื่อเสร็จสิ้นการป้อนข้อมูล  
 กด Cancel เพื่อยกเลิก  
 กด Back เพื่อแก้ไขข้อมูล

รูปที่ 4.34 หน้าต่างป้อนข้อมูลเพิ่มเติมของโปรแกรม RC Pile Footing

โดยมีขอบเขตของการรับโมเมนต์ดังนี้

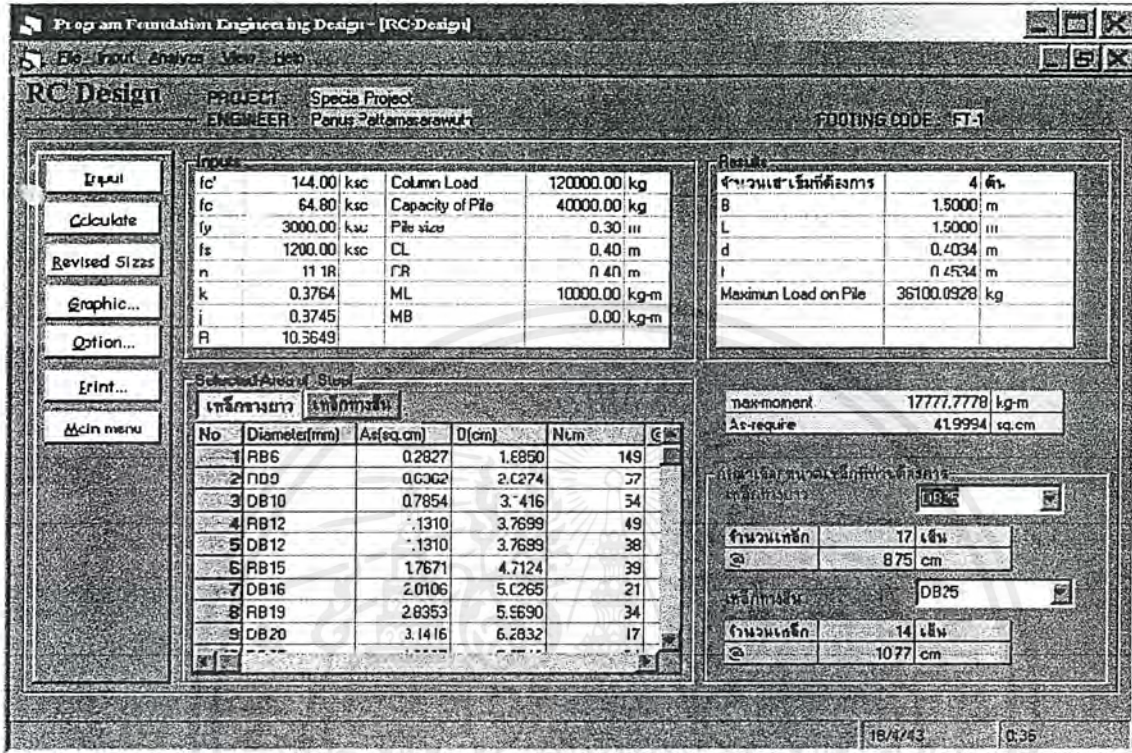
กรณีฐานราก 1 และ 3 ต้น โปรแกรมไม่อนุญาตให้ป้อนค่าโมเมนต์

กรณีฐานราก 2 ต้น สามารถป้อนค่าโมเมนต์ได้ทิศทางเดียวคือ ทิศด้านยาว

กรณีฐานรากที่นอกเหนือจากข้างต้น สามารถป้อนค่าโมเมนต์ได้ทั้งสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 35 วิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6 หลังจากเสร็จสิ้นการป้อนข้อมูลแล้วก็ทำการคำนวณโดยคลิกปุ่ม Calculate จะได้หน้าต่างดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 หน้าต่างหลังจากการคำนวณของโปรแกรม RC Pile Footing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานและการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

โปรแกรม LFOOT2000 เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบและวิเคราะห์ฐานรากแผ่และฐานรากเสาเข็ม โดยอาศัยทฤษฎีที่ศึกษาในระดับปริญญาตรีเป็นส่วนใหญ่ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจในหลักทฤษฎี และสามารถตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ได้ด้วยตนเอง

โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้นเหมาะสำหรับนำไปใช้ ออกแบบฐานรากในงานทั่วไป ที่ไม่ได้ใช้ฐานรากแบบปูพรม(Mat Foundation) ในการรองรับตัวอาคาร โดยสามารถนำไปใช้ในการหาค่า Bearing Capacity ของดิน และ ค่า Pile Capacity ของเสาเข็ม เพื่อที่จะนำข้อมูลที่ได้ไปออกแบบฐานรากแผ่ หรือฐานรากเสาเข็มต่อไป โดยในภาคผนวก ได้แสดงการเปรียบเทียบรายการคำนวณระหว่าง ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือ และผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม โดยจะพบว่าผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ดีโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้ ก็ยังเป็นแค่เครื่องมือที่ช่วยวิศวกรในการคำนวณ โดยให้ผลเป็นไปตามทฤษฎีเท่านั้น ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากผลการคำนวณทางทฤษฎีเข้ามาประกอบการตัดสินใจ

เนื่องจากผู้พัฒนายังขาดประสบการณ์ในการออกแบบงานจริง และข้อจำกัดในด้านเวลาในการทำโครงการ ทำให้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้ยังคงมีข้อจำกัดต่างๆมีดังนี้

1. โปรแกรมไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ในกรณีที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลที่ไม่สมจริงได้ ดังนั้นผู้ใช้ควรจะต้องมีความรู้พอสมควรในเรื่องการออกแบบฐานราก
2. การแสดงผลทางด้านกราฟิกยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควร เนื่องจากไม่ได้ระบุนิยามส่วนของแบบก่อสร้าง
3. โปรแกรมยังไม่สามารถออกแบบฐานรากได้ทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ เช่น ฐานรากวงกลม ฐานรากแบบปูพรม ฐานรากร่วมรูปสี่เหลี่ยมคางหมู เป็นต้น
4. โปรแกรมจะไม่สามารถคำนวณฐานรากร่วมที่รับโมเมนต์, ฐานรากเสาเข็มที่ใช้เสาเข็มมากกว่า 14 ต้น, ฐานรากที่เกิดแรงอัดไม่เต็มพื้นที่ (เกิดแรงดึง) ในกรณีที่ฐานรากรับ โมเมนต์ ได้

ในการจัดทำโครงการครั้งนี้ ผู้จัดทำได้พบกับปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ซึ่งสามารถสรุปเป็นข้อเสนอแนะได้ดังนี้

1. จะต้องศึกษาทฤษฎีที่ใช้ให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนที่จะเริ่มทำการพัฒนาโปรแกรม เพื่อที่จะทำให้ไม่เสียเวลาในการกลับมาแก้ไข
2. ควรจะมีการวางแผนก่อนที่จะเริ่มทำการพัฒนาโปรแกรม เช่น การกำหนดขอบเขต และองค์ประกอบต่างๆของโปรแกรม เป็นต้น เพื่อที่จะได้กำหนดแนวทางของโปรแกรมที่จะพัฒนาต่อไป
3. ในการเขียนโปรแกรมควรจะแยกการทำงานของโปรแกรมให้เป็น โพรซีเจอร์ย่อยๆ เพื่อง่ายต่อการเรียกใช้ ตรวจสอบความผิดพลาด ทำให้โปรแกรมทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ต้องกำหนดชนิดของตัวแปรทุกครั้ง เมื่อทราบชนิดของตัวแปรที่แน่นอน จะทำให้โปรแกรมทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

แต่อย่างไรก็ดี ทางผู้จัดทำโครงการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ข้อจำกัด และข้อเสนอแนะที่กล่าวมาข้างต้น จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำโปรแกรมไปใช้งาน ผู้ที่ต้องการศึกษาแนวคิดของโปรแกรม เพื่อที่จะนำไปพัฒนาโปรแกรมใหม่ หรือผู้ที่ต้องการที่จะนำโปรแกรมเดิมไปพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

## บรรณานุกรม

- บุญเทพ นานกรังสรรค์ , พ.ศ. 2539, Foundation Engineering and Tunneling, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพมหานคร, Library-Nine Publishing,
- สมปอง สง่าแสง, พ.ศ. 2534, คอนกรีตเสริมเหล็ก ทฤษฎีหน่วยแรงใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 1, ตำราเอกสารวิชาการ ฉบับที่ 43 ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานิเทศ กรมการฝึกหัดครู
- สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร, พ.ศ.2537, คอนกรีตเสริมเหล็ก, พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพมหานคร
- วินิต ช่อวิเชียร, พ.ศ. 2542, การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน, กรุงเทพมหานคร
- เอก ศิลา, วรวิชัย วรปรางกุล และ สมเกียรติ เจริญนพกิจ, ปีการศึกษา 2541, การศึกษาเชิงเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มที่คำนวณได้จากทฤษฎี Static Formula กับค่าที่ประเมินได้จากการทดสอบ Static Pile Load Test, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, พ.ศ. 2539, มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน, พิมพ์ครั้งที่ 5
- Michael Halvorson, พ.ศ. 2542, Microsoft Visual Basic Professional 6.0 Step by Step เรียบเรียงโดย สุทธา ศรีวิจิตรจารย์, กรุงเทพมหานคร, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
- Bowles, J.E., 1988, Foundation Analysis and Design, 4<sup>th</sup> Edition, New York, McGraw-Hill Book Company
- Braja M. Das, 1999, Principle of Foundation Engineering, 4<sup>th</sup> Edition, USA, Brook/Cole Publishing Company
- Donald P. Coduto, PE, GE, 1994, Foundation Design Principle and Practice, 1<sup>st</sup> Edition, USA, Prentice-Hall, Inc.
- John n. Cernica, 1995, Geotechnical Engineering: Foundation Design, 1<sup>st</sup> Edition, New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Peck, R.B., Hanson, W.E. and Thonburn, T.H., 1974, Foundation Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition, New York, John Wiley & Sons, Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Poulos, H.G. and Davis, E.H., 1980, Pile Foundation Analysis and Design, New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Shenbaga R Kaniraj, 1988, Design Aid in Soil Mechanic and Foundation Engineering, 1<sup>st</sup> Edition, New Delhi, TATA McGraw-Hill Publishing Company Limited
- Terzaghi, K. and Peck, R.B., 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, 2<sup>nd</sup> Edition, New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Tomlinson, M.J., 1986, Foundation Design and Construction, 5<sup>th</sup> Edition, London, Pitman Publishing Ltd.



## ภาคผนวก ก.

### การเปรียบเทียบที่ได้จากโปรแกรม Bearing Capacity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 ผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินที่มีต่อค่า Ultimate bearing capacity

หาค่า Ultimate bearing capacity สำหรับฐานรากสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาด 1.5 เมตร วางอยู่บนชั้นดิน

เหนียวอิ่มตัวที่ระดับลึก 1 เมตรจากผิวดิน โดยกำหนดข้อมูล  $c = 1 \text{ t/m}^2$ ,  $\phi = 25^\circ$  และ  $\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$

ใช้ค่า FS = 1 โดยใช้ทฤษฎีของ Terzaghi, Meyerhof และ Hansen ใน 3 เงื่อนไขดังนี้

1. ไม่มีผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน
2. น้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 1.5 เมตรจากผิวดิน
3. น้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 0.5 เมตรจากผิวดิน

วิธีการคำนวณ

Terzaghi Method

หาค่า  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  จากสูตร

$$a = e^{(0.75\pi - \phi/2)\tan\phi} = e^{(0.75\pi - 0.436/2)\tan 25} = 2.71$$

$$N_q = a^2 / (2\cos^2(45 + \phi/2)) = 2.71^2 / (2\cos^2(45 + 25/2)) = 12.72$$

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi = (12.72 - 1)\cot 25 = 25.13$$

$$K_{p\gamma} = 3\tan^2\left[45 + \left(\frac{\phi + 33}{2}\right)\right] = 3\tan^2\left[45 + \left(\frac{25 + 33}{2}\right)\right] = 36.48$$

$$N_\gamma = 0.5\tan\phi\left[\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi} - 1\right] = 0.5\tan 25\left[\frac{36.48}{\cos^2 25} - 1\right] = 10.12$$

เมื่อเทียบกับค่าที่ Terzaghi ให้มาคือ 9.7 ถือว่าใกล้เคียง

1. ไม่เกิดผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน จะได้ว่า

$$q = \gamma D = (1.8)(1) = 1.8 \text{ t/m}^2 \text{ และค่า } \gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

แทนค่าในสมการของ Terzaghi

$$\begin{aligned} q_{ult} &= 1.3cN_c + qN_q + 0.4B\gamma N_\gamma \\ &= (1.3)(1)(25.13) + (1.8)(12.72) + (0.4)(1.5)(1.8)(10.12) \\ &= 32.67 + 22.9 + 10.93 = 66.5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 1.5 เมตรจากผิวดิน

$$q = \gamma D = (1.8)(1) = 1.8 \text{ t/m}^2 \text{ และค่า}$$

$$\gamma = \gamma_{sub} + d/B(\gamma - \gamma_{sub})$$

$$\text{เมื่อ } \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1.8 - 1 = 0.8 \text{ t/m}^3$$

$$\text{จะได้ว่า } \gamma = 0.8 + 0.5/1.5(1.8 - 0.8) = 1.13 \text{ t/m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสมการของ Terzaghi

$$q_{ult} = (1.3)(1)(25.13) + (1.8)(12.72) + (0.4)(1.5)(1.13)(10.12) \\ = 32.67 + 22.9 + 6.86 = 62.43 \text{ t/m}^2$$

3. เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 0.5 เมตรจากผิวดิน

$$q = \gamma D_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) D_2 = (1.8)(0.5) + (1.8 - 1)(0.5) \\ = 1.3 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = \gamma - \gamma_w = 0.8$$

แทนค่าในสมการของ Terzaghi

$$q_{ult} = (1.3)(1)(36.48) + (1.3)(12.72) + (0.4)(1.5)(0.8)(10.12) \\ = 32.67 + 16.54 + 4.86 = 54.07 \text{ t/m}^2$$

Meyerhof Method

จากข้อมูล หาค่า  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  จากสูตร

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) = e^{\pi \tan 25} \tan^2 \left( 45 + \frac{25}{2} \right) = 10.66$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi) = (10.66 - 1) \tan(1.4 * 25) = 6.76$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (10.66 - 1) \cot 25 = 20.71$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left( 45 + \frac{25}{2} \right) = 2.46$$

คำนวณค่า Collection Factor ต่างๆ

$$\text{Shape Factor : } s_c = 1 + 0.2K_p \left( \frac{B}{L} \right) = 1.49$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p \left( \frac{B}{L} \right) = 1.25$$

$$\text{Depth Factor : } d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} \left( \frac{D}{B} \right) = 1 + 0.2\sqrt{2.46} \left( \frac{1}{1.5} \right) = 1.21$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} \left( \frac{D}{B} \right) = 1 + 0.1\sqrt{2.46} \left( \frac{1}{1.5} \right) = 1.10$$

Inclination Factor: = 1 ทุกค่า เนื่องจากไม่มีแรงกระทำในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน จะได้ว่า

$$q = \gamma D = (1.8)(1) = 1.8 \text{ t/m}^2 \text{ และค่า } \gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

แทนค่าในสมการของ Meyerhof

$$\begin{aligned} q_{ult} &= cN_c s_c d_{i_c} + qN_q s_q d_{i_q} + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_{i_\gamma} \\ &= (1)(20.71)(1.49)(1.21) + (1.8)(10.66)(1.25)(1.1) + (0.5)(1.5)(1.8)(1.25)(6.76)(1.1) \\ &= 37.34 + 26.38 + 12.55 = 76.27 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 1.5 เมตรจากผิวดิน

$$q = \gamma D = (1.8)(1) = 1.8 \text{ t/m}^2 \text{ และค่า}$$

$$\gamma = \gamma_{sub} + d/B(\gamma - \gamma_{sub})$$

$$\text{เมื่อ } \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1.8 - 1 = 0.8 \text{ t/m}^3$$

$$\text{จะได้ } \gamma = 0.8 + 0.5/1.5(1.8 - 0.8) = 1.13 \text{ t/m}^3$$

แทนค่าในสมการของ Meyerhof

$$\begin{aligned} q_{ult} &= cN_c s_c d_{i_c} + qN_q s_q d_{i_q} + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_{i_\gamma} \\ &= (1)(20.71)(1.49)(1.21) + (1.8)(1.25)(10.66)(1.1) + (0.5)(1.5)(1.13)(1.25)(6.76)(1.1) \\ &= 37.34 + 26.38 + 7.88 = 71.6 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

3. เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 0.5 เมตรจากผิวดิน

$$\begin{aligned} q &= \gamma D_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) D_2 = (1.8)(0.5) + (1.8 - 1)(0.5) \\ &= 1.3 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\gamma = \gamma - \gamma_w = 0.8$$

แทนค่าในสมการของ Meyerhof

$$\begin{aligned} q_{ult} &= cN_c s_c d_{i_c} + qN_q s_q d_{i_q} + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_{i_\gamma} \\ &= (1)(20.71)(1.49)(1.21) + (1.3)(10.66)(1.25)(1.1) + (0.5)(1.5)(0.8)(6.76)(1.25)(1.1) \\ &= 37.34 + 19.05 + 5.57 = 61.96 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Hansen Method

หาค่า  $N_c, N_q, N_\gamma$  จากสมการ

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2) = e^{\pi \tan 25} \tan^2(45 + 25/2) = 10.66$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (10.66 - 1) \cot 25 = 20.71$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1)\tan\phi = 1.5(10.66 - 1)\tan 25 = 6.77$$

คำนวณค่า Collection Factor ต่างๆ

$$\begin{aligned} \text{Shape Factor} & : S_c = 1 + 0.2(B/L) = 1.2 \\ & S_q = 1 + \sin\phi(B/L) = 1.42 \\ & S_\gamma = 1 - 0.4(B/L) = 0.6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Depth Factor} & : d_c = 1 + 0.4D/B = 1 + 0.4(1/1.5) = 1.27 \\ & d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - \sin\phi)^2 D/B = 1 + 2\tan 25(1 - \sin 25)^2(1/1.5) = 1.207 \\ & d_\gamma = 1 \end{aligned}$$

สำหรับค่า Inclination Factor, Base Factor, Ground Factor จะมีค่าเป็น 1 เพราะไม่มีแรงกระทำในแนวเอียง และฐานรากวางบนพื้นราบ

1. ไม่คิดผลกระทบเนื่องจากระดับน้ำใต้ดิน จะได้ว่า

$$q = \gamma D = (1.8)(1) = 1.8 \text{ t/m}^2 \text{ และค่า } \gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

แทนค่าในสมการของ Hansen

$$\begin{aligned} q_{ult} &= cN_c s_c d_{c_c} + qN_q s_q d_{q_q} + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_{\gamma_\gamma} \\ &= (1)(20.71)(1.2)(1.27) + (1.8)(10.66)(1.42)(1.207) + (0.5)(1.5)(1.8)(0.6)(6.77)(1) \\ &= 31.56 + 32.89 + 5.48 = 69.93 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

2. เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 1.5 เมตรจากผิวดิน

$$q = \gamma D = (1.8)(1) = 1.8 \text{ t/m}^2 \text{ และค่า}$$

$$\gamma = \gamma_{sub} + d/B(\gamma - \gamma_{sub})$$

$$\text{เมื่อ } \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1.8 - 1 = 0.8 \text{ t/m}^3$$

$$\text{จะได้ } \gamma = 0.8 + 0.5/1.5(1.8 - 0.8) = 1.13 \text{ t/m}^3$$

แทนค่าในสมการของ Hansen

$$\begin{aligned} q_{ult} &= cN_c s_c d_{c_c} + qN_q s_q d_{q_q} + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_{\gamma_\gamma} \\ &= (1)(20.71)(1.2)(1.27) + (1.8)(10.66)(1.42)(1.207) + (0.5)(1.5)(1.13)(0.6)(6.77)(1) \\ &= 31.56 + 32.89 + 3.45 = 67.9 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมื่อน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับ 0.5 เมตรจากผิวดิน

$$q = \gamma D_1 + (\gamma_{sat} - \gamma_w) D_2 = (1.8)(0.5) + (1.8 - 1)(0.5) = 1.3 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = \gamma - \gamma_w = 0.8$$

แทนค่าในสมการของ Meyerhof

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c + qN_q s_q d_q i_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$$= (1)(20.71)(1.2)(1.27) + (1.3)(10.66)(1.42)(1.207) + (0.5)(1.5)(0.8)(0.6)(6.77)(1)$$

$$= 31.56 + 23.75 + 2.43 = 57.74 \text{ t/m}^2$$

สรุปผลการคำนวณ

Method	Terzaghi (t/m <sup>2</sup> )	Meyerhof (t/m <sup>2</sup> )	Hansen (t/m <sup>2</sup> )
ไม่คิดผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน	66.5	76.27	69.93
น้ำใต้ดินที่ระดับ 1.5 ม จากผิวดิน	62.43	71.6	67.9
น้ำใต้ดินที่ระดับ 0.5 ม จากผิวดิน	54.07	61.96	57.74

ตัวอย่างที่ 2 การหาค่า Bearing Capacity ของฐานรากรับโมเมนต์สองแกน

กำหนดฐานรากขนาด  $1.8 \times 1.8$  ม มีน้ำหนักกดลงฐานราก  $1800 \text{ kN}$ ,  $M_x = 450 \text{ kN-m}$ ,  $M_y = 360 \text{ kN-m}$  จาก Undrained Triaxial Test ให้ค่า  $\phi = 36^\circ$  และค่า  $c = 20 \text{ kPa}$  ความลึกของฐานราก  $D = 1.8$  ม ค่า  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$  ระดับน้ำใต้ดินลึก  $6.1$  ม จากระดับผิวดิน จงหาค่า  $q_u$  โดยใช้  $FS = 3.0$  โดยใช้สมการของ Hansen และ Meyerhof

วิธีการคำนวณ

$$e_x = M_y/V = 360/1800 = 0.2$$

$$e_y = M_x/V = 450/1800 = 0.25$$

$$\text{หาค่า } q_{\min} = \frac{1800}{1.8 \times 1.8} - \frac{6(360)}{1.8 \times 1.8^2} - \frac{6(450)}{1.8 \times 1.8^2} = -277 < 0$$

จะเห็นว่าแรงเยื้องศูนย์กลางกระทำนอก kern area ดังนั้นใช้วิธี effective area ในการพิจารณา

$$\text{จะได้ว่า } B' = B - 2e_y = 1.8 - 2(0.25) = 1.3 \text{ และ}$$

$$L' = L - 2e_x = 1.8 - 2(0.2) = 1.4 \quad \text{Note } (B' < L')$$

#### 1. Hansen Method

หาค่า  $N_c, N_q, N_\gamma$  จากสมการ

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2) = e^{\pi \tan 36} \tan^2(45 + 36/2) = 37.75$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (37.75 - 1) \cot 36 = 50.58$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi = 1.5(37.75 - 1) \tan 36 = 40.05$$

คำนวณค่า Correct Factor ต่าง ๆ

$$\text{Shape Factor : } S_c = 1 + (0.2)(B'/L') = 1 + 0.2(1.3/1.4) = 1.19$$

$$S_q = 1 + (B'/L') \sin \phi = 1 + (1.3/1.4) \sin 36^\circ = 1.55$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4(B'/L') = 1 - 0.4(1.3/1.4) = 0.62 > 0.6 \text{ OK}$$

$$\text{Depth Factor : } D_c = 1 + 0.4(D/B) = 1 + 0.4(1.8/1.8) = 1.4$$

$$D_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 = 1 + 2 \tan 36^\circ (1 - \sin 36^\circ)^2 = 1.25$$

$$D_\gamma = 1$$

Inclination Factor, Base Factor และ Ground Factor = 1 ทุกค่า เนื่องจากไม่มีแรงกระทำในแนวนอน

ฐานรากไม่เอียง และไม่ได้อยู่บน slope

ดังนั้นจากสมการของ Hansen

$$q_u = c N_c s_c d_c + q N_q s_q d_q + 0.5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

$$= (20)(50.58)(1.19)(1.4) + (1.8)(18.0)(37.75)(1.55)(1.25) + (0.5)(18.0)(1.3)(40.05)(0.62)(1.0)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 1685 + 2369 + 290 = 4344 \text{ kPa}$$

$$q_u = q_u/FS = 4344/3 = 1448 \text{ kPa}$$

## 2. Meyerhof Method

จากข้อมูล หาค่า  $N_c, N_q, N_\gamma$  จากสูตร

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2) = e^{\pi \tan 36} \tan^2(45 + 36/2) = 37.75$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi) = (37.75 - 1) \tan(1.4 * 36) = 44.42$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (37.75 - 1) \cot 25 = 50.58$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{36}{2}\right) = 3.85$$

คำนวณค่า Factor ต่างๆ

$$\text{Shape Factor : } S_c = 1 + 0.2K_p B'/L' = 1 + 0.2(3.85)(1.3/1.4) = 1.71$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0.1K_p B'/L' = 1 + 0.1(3.85)(1.3/1.4) = 1.36$$

$$\text{Depth Factor : } D_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p} D/B = 1 + (0.2)(1.96)(1.8/1.8) = 1.39$$

$$D_q = D_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p} D/B = 1 + (0.1)(1.96)(1) = 1.2$$

Inclination Factor = 1 ทุกค่าเนื่องจากไม่มีแรงกระทำในแนวนอน

ดังนั้นจากสมการของ Meyerhof จะได้

$$q_u = cN_c s_c d_c + qN_q s_q d_q + 0.5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma$$

$$= 20(50.58)(1.71)(1.39) + (1.8)(18)(37.75)(1.36)(1.2) + (0.5)(18)(1.3)(44.42)(1.36)(1.2)$$

$$= 2404 + 1996 + 848 = 5248 \text{ kPa}$$

$$q_u = 5248/3 = 1749 \text{ kPa}$$

สรุปผลการคำนวณ

Method	Meyerhof	Hansen	Contract Pressure
q(kPa)	1749	1448	989

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3 หาค่า Bearing Capacity ภายใต้แรงในแนวเอียง

จากผลการทดลองแบบ full-scale ซึ่งกระทำโดย H. Muhs ใน Berlin และรายงานโดย B. Hansen มีข้อมูลดังนี้ : ฐานรากมีขนาด กว้าง 0.5 เมตร ยาว 2 เมตร วางอยู่ลึกจากผิวดิน 0.5 เมตร บนดินทรายบดอัดแน่น มีค่า  $\gamma = 0.95 \text{ t/m}^3$ ;  $c = 0$ ;  $\phi_{pc} = 47^\circ$  โดยที่มีแรงกระทำในแนวตั้ง  $V = 108 \text{ t}$  และมีแรงกระทำในแนวราบในทิศขนานกับด้านยาว  $H_L = 39 \text{ t}$  ทำการหาค่า Ultimate bearing capacity โดยใช้สมการของ Meyerhof และสมการของ Hansen

วิธีการคำนวณ

Meyerhof Method

จากข้อมูล หาค่า  $N_q, N_\gamma$  จากสูตร

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2) = e^{\pi \tan 47} \tan^2(45 + 47/2) = 187.2$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi) = (187.2 - 1) \tan(1.4 \cdot 47) = 414.31$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi = (187.2 - 1) \cot 47 = 173.63$$

$$K_p = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = \tan^2\left(45 + \frac{47}{2}\right) = 6.44$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{H}{V}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{39}{108}\right) = 19.85^\circ$$

คำนวณค่า Factor ต่างๆ

$$\text{Shape Factor : } s_c = 1 + 0.2K_p\left(\frac{B}{L}\right) = 1 + (0.2)(6.44)\left(\frac{0.5}{2}\right) = 1.32$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1K_p\left(\frac{B}{L}\right) = 1 + (0.1)(6.44)\left(\frac{0.5}{2}\right) = 1.16$$

$$\text{Depth Factor : } d_c = 1 + 0.2\sqrt{K_p}\left(\frac{D}{B}\right) = 1 + 0.2\sqrt{6.44}\left(\frac{0.5}{0.5}\right) = 1.51$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\sqrt{K_p}\left(\frac{D}{B}\right) = 1 + 0.1\sqrt{6.44}\left(\frac{0.5}{0.5}\right) = 1.25$$

$$\text{Inclination Factor : } i_c = i_q = \left(1 - \frac{\theta}{90}\right)^2 = \left(1 - \frac{19.85}{90}\right)^2 = 0.61$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\theta}{\phi}\right)^2 = \left(1 - \frac{19.85}{47}\right)^2 = 0.33$$

หาค่า Ultimate Bearing Capacity จากสูตร

$$\begin{aligned} q_u &= qN_q s_q d_q i_c + 0.5\gamma B s_\gamma d_\gamma i_\gamma \text{ เพราะว่าค่า } c = 0 \\ &= (0.5)(187.2)(0.95)(1.16)(1.25)(0.61) + (0.5)(414.31)(0.95)(0.5)(1.16)(1.25)(0.33) \\ &= 78.64 + 47.08 = 125.72 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Hansen Method

เนื่องจากมีแรงกระทำในแนวราบตามด้านยาวของฐานราก จึงต้องพิจารณาค่า Bearing Capacity จากทั้งสองด้าน และเลือกค่าน้อยมาออกแบบ

หาค่า  $N_q$  และ  $N_\gamma$  จากสมการ

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2) = e^{\pi \tan 47} \tan^2(45 + 47/2) = 187.2$$

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi = 1.5(187.2 - 1) \tan 47 = 299.52$$

คำนวณ Factor ต่างๆ

Depth Factor :  $d_{qB} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 D/B = 1 + 2 \tan 47 (1 - \sin 47)^2 (0.5/0.5) = 1.16$

$$d_{qL} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 D/L = 1 + 2 \tan 47 (1 - \sin 47)^2 (0.5/2) = 1.04$$

$$d_{\gamma B} = d_{\gamma L} = 1$$

Inclination Factor :  $i_{qB} = \left[ 1 - \frac{0.5 H_B}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^5 = 1 \quad (H_B = 0)$

$$i_{\gamma B} = \left[ 1 - \frac{0.7 H_B}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^5 = 1 \quad (H_B = 0)$$

$$i_{qL} = \left[ 1 - \frac{0.5 H_L}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^5 = \left[ 1 - \frac{0.5 \times 39}{108 + 0} \right]^5 = 0.37$$

$$i_{\gamma L} = \left[ 1 - \frac{0.7 H_L}{V + A_f c_a \cot \phi} \right]^5 = \left[ 1 - \frac{0.7 \times 39}{108 + 0} \right]^5 = 0.23$$

Shape Factor :  $S_{qB} = 1 + \sin \phi (B i_{qB}/L) = 1 + \sin 47 (0.5 \times (1/2)) = 1.18$

$$S_{qL} = 1 + \sin \phi (L i_{qL}/B) = 1 + \sin 47 (2 \times (0.37/0.5)) = 2.08$$

$$S_{\gamma B} = 1 - 0.4 (B i_{\gamma B}/L i_{\gamma L}) = 1 - 0.4 (0.5 \times 1 / (2 \times 0.23)) = 0.57 < 0.6$$

$$\text{Use} = 0.6$$

$$S_{\gamma L} = 1 - 0.4 (L i_{\gamma L}/B i_{\gamma B}) = 1 - 0.4 (2 \times 0.23 / (0.5 \times 1)) = 0.63$$

แทนค่าลงในสมการของ Hansen เมื่อ  $c = 0$  จะได้

$$\begin{aligned} q_{uB} &= c N_c s_{cB} d_{cB} i_{cB} + q N_q s_{qB} d_{qB} i_{qB} + 0.5 \gamma B N_\gamma s_{\gamma B} d_{\gamma B} i_{\gamma B} \\ &= 0 + 0.5 (0.95) (187.2) (1.18) (1.16) (1) + 0.5 (0.95) (0.5) (299.52) (0.6) (1) (1) \\ &= 121.71 + 42 = 164.39 \quad \text{t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{uL} &= c N_c s_{cL} d_{cL} i_{cL} + q N_q s_{qL} d_{qL} i_{qL} + 0.5 \gamma L N_\gamma s_{\gamma L} d_{\gamma L} i_{\gamma L} \\ &= 0 + 0.5 (0.95) (187.2) (2.08) (1.04) (0.37) + 0.5 (0.95) (2) (299.52) (0.63) (1) (0.23) \\ &= 71.17 + 41.23 = 112.4 \quad \text{t/m}^2 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าดินเกิดการพังทลายเนื่องจากแรงเฉือนในทิศทางตามยาวของฐานราก แทนที่จะเป็นการพังทลายตามค้ำยัน ทั้งนี้เนื่องมาจากแรงกระทำในแนวนอนในทิศขนานกับทางยาว

สรุปผลการคำนวณ

Method	Meyerhof	Hansen	Contract Pressure
q	125.72	112.4	108





ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม  
**Bearing Capacity**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รายการคำนวณค่า Bearing Capacity ของดิน**

Project : Example1 (ไม่คิดผลจากระดับน้ำใต้ดิน)      Engineer : wanat&panus

**A. Basic Data**

Footing Width	:	1.50 m	Soil Friction Angle	:	25.00
Footing Length	:	1.50 m	$\gamma_{\text{soil below footing}}$	:	1.80 ton/m <sup>3</sup>
Footing Depth	:	1.00 m	$\gamma_{\text{soil above footing}}$	:	1.80 ton/m <sup>3</sup>
Water Table	:	20.00 m	Ground Inclination	:	0.00
Soil Cohesion	:	1.00 m	Base Inclination	:	0.00

**B. Load Case**

Vertical Load	:	100.00 ton	Factor Of Safety	:	1.00
Horizontal Load(x)	:	0.00 ton	Horizontal Load(y)	:	0.00 ton
Moment (x)	:	0.00 ton-m	Moment (y)	:	0.00 ton-m

**C. Result Terzaghi**

Overburden	:	1.80 ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	:	1.80 ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 25.00$		$N_q = 12.70$	$N_\gamma = 10.10$		
<b>Allowable Bearing Capacity</b>					
Gross =	66.27 ton/m <sup>2</sup>	Net =	64.47 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>					
$q_{\text{max}} =$	44.44 ton/m <sup>2</sup>				

**D. Result Meyerhof**

Overburden	:	1.80 ton	Effective Soil Unit Weight	:	1.80 ton/m <sup>2</sup>
$N_c = 20.60$		$N_q = 10.60$	$N_\gamma = 6.70$		
<b>Shape Factor</b>					
$S_c = 1.49$		$S_q = 1.25$	$S_\gamma = 1.25$		
<b>Depth Factor</b>					
$D_c = 1.21$		$D_q = 1.10$	$D_\gamma = 1.10$		
<b>Inclination Factor:</b>					
$I_c = 1.00$		$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$		
<b>Allowable Bearing Capacity</b>					
Gross =	75.81 ton/m <sup>2</sup>	Net =	74.01 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>					
$q_{\text{max}} =$	44.44 ton/m <sup>2</sup>				

---

**E. Result Hansen**

Overburden	1.80 ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	: 1.80 ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 20.64$	$N_q = 10.62$	$N_\gamma = 6.70$	
<b>Shape Factor</b>			
$S_c = 1.20$	$S_q = 1.42$	$S_\gamma = 0.60$	
<b>Depth Factor</b>			
$D_c = 1.27$	$D_q = 1.21$	$D_\gamma = 1.00$	
<b>Inclination Factor</b>			
$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$	
<b>Ground Factor</b>			
$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$	
<b>Base Factor</b>			
$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$	
<b>Allowable Bearing Capacity</b>			
Gross = 69.74 ton/m <sup>2</sup>	Net = 67.94 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>			
$q_{max} = 44.44$ ton/m <sup>2</sup>			

---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รายการคำนวณค่า Bearing Capacity ของดิน**

Project : Example1 (ระดับน้ำใต้ดินที่ระดับ 1.5 ม) Engineer : wanat&amp;panus

**A. Basic Data**

Footing Width	:	1.50 m	Soil Friction Angle	:	25.00
Footing Length	:	1.50 m	$\gamma_{\text{soil below footing}}$	:	1.80 ton/m <sup>3</sup>
Footing Depth	:	1.00 m	$\gamma_{\text{soil above footing}}$	:	1.80 ton/m <sup>3</sup>
Water Table	:	1.50 m	Ground Inclination	:	0.00
Soil Cohesion	:	1.00 m	Base Inclination	:	0.00

**B. Load Case**

Vertical Load	:	100.00 ton	Factor Of Safety	:	1.00
Horizontal Load(x)	:	0.00 ton	Horizontal Load(y)	:	0.00 ton
Moment (x)	:	0.00 ton-m	Moment (y)	:	0.00 ton-m

**C. Result Terzaghi**

Overburden	:	1.80 ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	:	1.13 ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 25.00$		$N_q = 12.70$	$N_\gamma = 10.10$		
<b>Allowable Bearing Capacity</b>					
Gross =	62.23 ton/m <sup>2</sup>	Net =	60.43 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>					
$q_{\text{max}} =$	44.44 ton/m <sup>2</sup>				

**D. Result Meyerhof**

Overburden	:	1.80 ton	Effective Soil Unit Weight	:	1.13 ton/m <sup>2</sup>
$N_c = 20.60$		$N_q = 10.60$	$N_\gamma = 6.70$		
<b>Shape Factor</b>					
$S_c = 1.49$		$S_q = 1.25$	$S_\gamma = 1.25$		
<b>Depth Factor</b>					
$D_c = 1.21$		$D_q = 1.10$	$D_\gamma = 1.10$		
<b>Inclination Factor.</b>					
$I_c = 1.00$		$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$		
<b>Allowable Bearing Capacity</b>					
Gross =	71.21 ton/m <sup>2</sup>	Net =	69.41 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>					
$q_{\text{max}} =$	44.44 ton/m <sup>2</sup>				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

E. Result Hazen

Overburden	1.80	ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	:	1.13	ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 20.64$	$N_q = 10.62$		$N_\gamma = 6.70$			
<i>Shape Factor</i>						
$S_c = 1.20$	$S_q = 1.42$		$S_\gamma = 0.60$			
<i>Depth Factor</i>						
$D_c = 1.27$	$D_q = 1.21$		$D_\gamma = 1.00$			
<i>Inclination Factor</i>						
$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$		$I_\gamma = 1.00$			
<i>Ground Factor</i>						
$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$		$G_\gamma = 1.00$			
<i>Base Factor</i>						
$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$		$B_\gamma = 1.00$			
<i>Allowable Bearing Capacity</i>						
Gross =	67.73	ton/m <sup>2</sup>	Net =	65.93	ton/m <sup>2</sup>	
<i>Contract Pressure</i>						
$q_{max} = 44.44$		ton/m <sup>2</sup>				

---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รายการคำนวณค่า Bearing Capacity ของดิน**

Project : Example1 (ระดับน้ำใต้ดินที่ระดับ 0.5 ม)      Engineer : wanat&panus

**A. Basic Data**

Footing Width	:	1.50	m	Soil Friction Angle	:	25.00	
Footing Length	:	1.50	m	$\gamma_{\text{soil below footing}}$	:	1.80	ton/m <sup>3</sup>
Footing Depth	:	1.00	m	$\gamma_{\text{soil above footing}}$	:	1.80	ton/m <sup>3</sup>
Water Table	:	0.50	m	Ground Inclination	:	0.00	
Soil Cohesion	:	1.00	m	Base Inclination	:	0.00	

**B. Load Case**

Vertical Load	:	100.00	ton	Factor Of Safety	:	1.00	
Horizontal Load(x)	:	0.00	ton	Horizontal Load(y)	:	0.00	ton
Moment (x)	:	0.00	ton-m	Moment (y)	:	0.00	ton-m

**C. Result Terzaghi**

Overburden	1.30	ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	:	0.80	ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 25.00$	$N_q = 12.70$		$N_\gamma = 10.10$			
<b>Allowable Bearing Capacity</b>						
Gross =	53.86	ton/m <sup>2</sup>	Net =	52.56	ton/m <sup>2</sup>	
<b>Contract Pressure</b>						
$q_{\text{max}} =$	44.44	ton/m <sup>2</sup>				

**D. Result Meyerhof**

Overburden	1.30	ton	Effective Soil Unit Weight	:	0.80	ton/m <sup>2</sup>
$N_c = 20.60$	$N_q = 10.60$		$N_\gamma = 6.70$			
<b>Shape Factor</b>						
$S_c = 1.49$	$S_q = 1.25$		$S_\gamma = 1.25$			
<b>Depth Factor</b>						
$D_c = 1.21$	$D_q = 1.10$		$D_\gamma = 1.10$			
<b>Inclination Factor.</b>						
$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$		$I_\gamma = 1.00$			
<b>Allowable Bearing Capacity</b>						
Gross =	61.61	ton/m <sup>2</sup>	Net =	60.31	ton/m <sup>2</sup>	
<b>Contract Pressure</b>						
$q_{\text{max}} =$	44.44	ton/m <sup>2</sup>				

---

**E. Result Hansen**

Overburden	1.30 ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	: 0.80 ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 20.64$	$N_q = 10.62$	$N_\gamma = 6.70$	
<b>Shape Factor</b>			
$S_c = 1.20$	$S_q = 1.42$	$S_\gamma = 0.60$	
<b>Depth Factor</b>			
$D_c = 1.27$	$D_q = 1.21$	$D_\gamma = 1.00$	
<b>Inclination Factor</b>			
$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$	
<b>Ground Factor</b>			
$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$	
<b>Base Factor</b>			
$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$	
<b>Allowable Bearing Capacity</b>			
Gross = 57.60 ton/m <sup>2</sup>	Net = 56.30 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>			
$q_{max} = 44.44$ ton/m <sup>2</sup>			

---

**รายการคำนวณค่า Bearing Capacity ของดิน**

Project : Example2

Engineer : Wanat&amp;Panus

**A. Basic Data**

Footing Width	:	1.80	m	Soil Friction Angle	:	36.00	
Footing Length	:	1.80	m	$\gamma_{\text{soil below footing}}$	:	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Footing Depth	:	1.80	m	$\gamma_{\text{soil above footing}}$	:	18.00	kN/m <sup>3</sup>
Water Table	:	6.10	m	Ground Inclination	:	0.00	
Soil Cohesion	:	20.00	m	Base Inclination	:	0.00	

**B. Load Case**

Vertical Load	:	1800.00	kN	Factor Of Safety	:	3.00	
Horizontal Load(x)	:	0.00	kN	Horizontal Load(y)	:	0.00	kN
Moment (x)	:	450.00	kN-m	Moment (y)	:	360.00	kN-m

**C. Result Terzaghi**

Overburden	NA	kN/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	:	NA	kN/m <sup>3</sup>	
$N_c =$	NA		$N_q =$	NA		$N_\gamma =$	NA
<b>Allowable Bearing Capacity</b>							
Gross =	NA	kN/m <sup>2</sup>	Net =	NA	kN/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>							
$q_{\text{max}} =$	NA	kN/m <sup>2</sup>					

**D. Result Meyerhof**

Overburden	32.40	kN	Effective Soil Unit Weight	:	18.00	kN/m <sup>3</sup>	
$N_c =$	50.30		$N_q =$	37.50		$N_\gamma =$	44.10
<b>Shape Factor</b>							
$S_c =$	1.71		$S_q =$	1.36		$S_\gamma =$	1.36
<b>Depth Factor</b>							
$D_c =$	1.39		$D_q =$	1.20		$D_\gamma =$	1.20
<b>Inclination Factor.</b>							
$I_c =$	1.00		$I_q =$	1.00		$I_\gamma =$	1.00
<b>Allowable Bearing Capacity</b>							
Gross =	1738.70	kN/m <sup>2</sup>	Net =	1727.90	kN/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>							
$q_{\text{max}} =$	989.01	kN/m <sup>2</sup>					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

---

**E. Result Hansen**

Overburden	32.40 kN/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight : 18.00 kN/m <sup>3</sup>
$N_c = 50.34$	$N_q = 37.55$	$N_\gamma = 39.80$
<i>Shape Factor</i>		
$S_c = 1.19$	$S_q = 1.55$	$S_\gamma = 0.63$
<i>Depth Factor</i>		
$D_c = 1.40$	$D_q = 1.25$	$D_\gamma = 1.00$
<i>Inclination Factor</i>		
$I_c = 1.00$	$I_q = 1.00$	$I_\gamma = 1.00$
<i>Ground Factor</i>		
$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$
<i>Base Factor</i>		
$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$
<i>Allowable Bearing Capacity</i>		
Gross = 1442.55 kN/m <sup>2</sup>	Net = 1431.75 kN/m <sup>2</sup>	
<i>Contract Pressure</i>		
$q_{max} = 989.01$ kN/m <sup>2</sup>		

---

**รายการคำนวณค่า Bearing Capacity ของดิน**

Project : Example3

Engineer : wanat &amp; panus

**A. Basic Data**

Footing Width	:	0.50 m	Soil Friction Angle	:	47.00
Footing Length	:	2.00 m	$\gamma_{\text{soil below footing}}$	:	0.95 ton/m <sup>3</sup>
Footing Depth	:	0.50 m	$\gamma_{\text{soil above footing}}$	:	0.95 ton/m <sup>3</sup>
Water Table	:	20.00 m	Ground Inclination	:	0.00
Soil Cohesion	:	0.00 m	Base Inclination	:	0.00

**B. Load Case**

Vertical Load	:	108.00 ton	Factor Of Safety	:	1.00
Horizontal Load(x)	:	0.00 ton	Horizontal Load(y)	:	39.00 ton
Moment (x)	:	0.00 ton-m	Moment (y)	:	0.00 ton-m

**C. Result Terzaghi**

Overburden	NA ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	:	NA ton/m <sup>3</sup>	
$N_c =$	NA	$N_q =$	NA	$N_\gamma =$	NA
<b>Allowable Bearing Capacity</b>					
Gross =	NA ton/m <sup>2</sup>	Net =	NA ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>					
$q_{\text{max}} =$	NA ton/m <sup>2</sup>				

**D. Result Meyerhof**

Overburden	0.48 ton	Effective Soil Unit Weight	:	0.95 ton/m <sup>2</sup>	
$N_c =$	172.40	$N_q =$	185.70	$N_\gamma =$	410.30
<b>Shape Factor</b>					
$S_c =$	1.32	$S_q =$	1.16	$S_\gamma =$	1.16
<b>Depth Factor</b>					
$D_c =$	1.51	$D_q =$	1.25	$D_\gamma =$	1.25
<b>Inclination Factor</b>					
$I_c =$	0.61	$I_q =$	0.61	$I_\gamma =$	0.33
<b>Allowable Bearing Capacity</b>					
Gross =	124.65 ton/m <sup>2</sup>	Net =	124.17 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>					
$q_{\text{max}} =$	108.00 ton/m <sup>2</sup>				

---

**E. Result Hansen**

Overburden	0.48 ton/m <sup>2</sup>	Effective Soil Unit Weight	: 0.95 ton/m <sup>3</sup>
$N_c = 172.38$	$N_q = 185.70$	$N_\gamma = 296.90$	
<b>Shape Factor</b>			
$S_{cB} = 1.05$	$S_{qB} = 1.18$	$S_{\gamma B} = 0.60$	
$S_{cL} = 1.29$	$S_{qL} = 2.08$	$S_{\gamma L} = 0.63$	
<b>Depth Factor</b>			
$D_{cB} = 1.40$	$D_{qB} = 1.15$	$D_{\gamma B} = 1.00$	
$D_{cL} = 1.40$	$D_{qL} = 1.04$	$D_{\gamma L} = 1.00$	
<b>Inclination Factor</b>			
$I_{cB} = 1.00$	$I_{qB} = 1.00$	$I_{\gamma B} = 1.00$	
$I_{cL} = 0.37$	$I_{qL} = 0.37$	$I_{\gamma L} = 0.23$	
<b>Ground Factor</b>			
$G_c = 1.00$	$G_q = 1.00$	$G_\gamma = 1.00$	
<b>Base Factor</b>			
$B_c = 1.00$	$B_q = 1.00$	$B_\gamma = 1.00$	
<b>Allowable Bearing Capacity</b>			
Gross = 111.81 ton/m <sup>2</sup>	Net = 111.34 ton/m <sup>2</sup>		
<b>Contract Pressure</b>			
$q_{max} = 103.00$ ton/m <sup>2</sup>			

---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Case 1 Design of Driven pile

General Datas;

Pile top = -2.00 m.

Pile tip = -27.00 m.

For 1<sup>st</sup> sand layer at the level of -20.8 m. (middle sand layer)

$$\sigma = 2(1)+1(1)+11(0.6)+7.5(1)+0.3(1) = 17.4 \text{ t/m}^2$$

From figure C when  $\sigma = 17.4 \text{ t/m}^2 = 1.74 \text{ ksc}$ , correction SPT-N factor,  $C_n = 0.8$

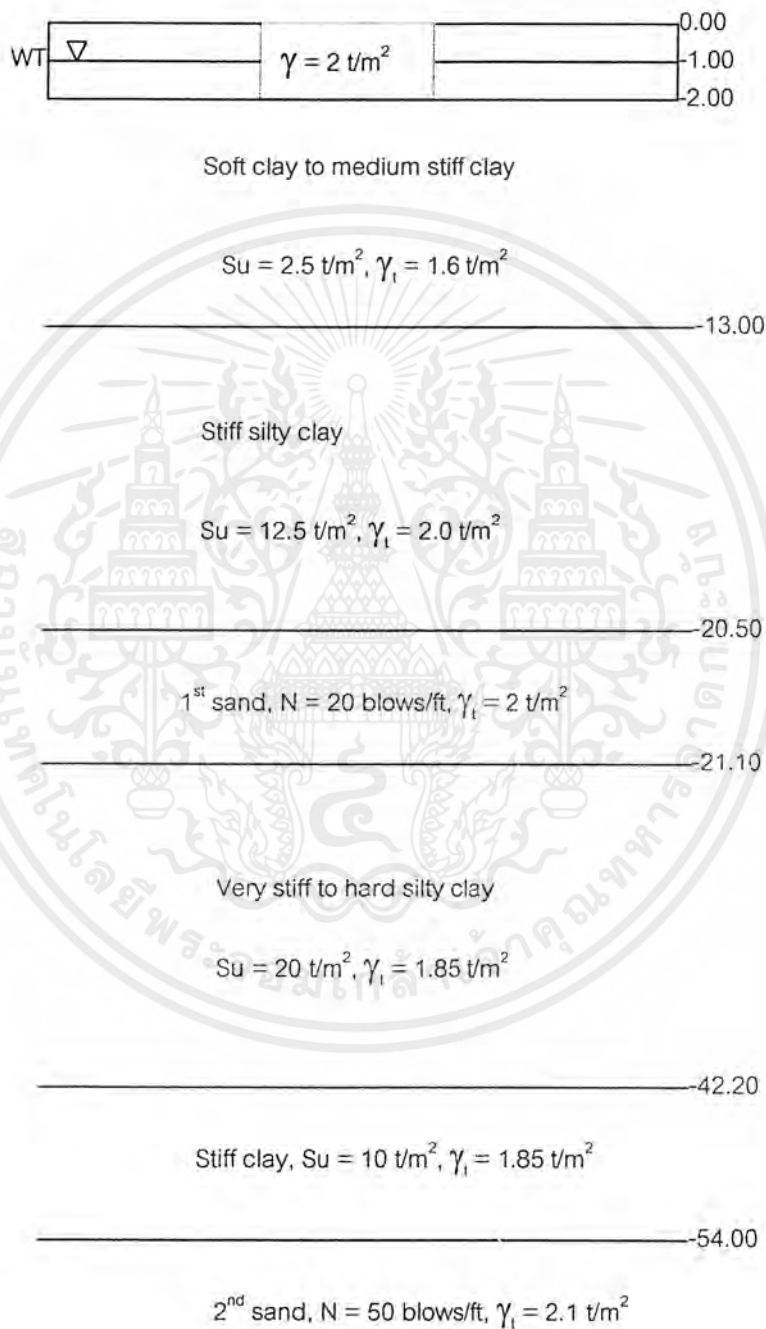
$$N' = C_n(N) = 0.8(20) = 16$$

From figure E when  $N' = 16 \Rightarrow \phi = 32.2 \text{ degree}$

$$\begin{aligned} F_s &= \sigma K \tan \delta \\ &= 17.4(0.7) \tan(0.75 \cdot 32.2) \\ &= 5.46 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 1 จงหาค่าลึกรับน้ำหนักของเสาเข็มจากข้อมูลดินคังรูป

Location: Sewage Treatment Plant Rama III Rd.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

### การเปรียบเทียบที่ได้จากโปรแกรม Pile Capacity



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For Driven Pile at pile top = -2.00 and pile tip = -27.00 m

Soil type	Depth(m)	$\Delta L$ (m)	$S_u$ (t/m <sup>2</sup> )	SPT-N(blow/s(f))	$C_u$	$\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	Cn	N'	$\phi$	Nq	$F_s$ (t/m <sup>2</sup> )	PF(t/m-perim)
soft clay to medium stiff	2.00-13.00	11	2.5	-	0.94	-	-	-	-	-	2.35	25.85
stiff silty clay	13.00-20.50	7.5	12.5	-	0.48	-	-	-	-	-	6	45
sand	20.50-21.10	0.6	-	20	-	17.4	0.8	16	32.2	18	5.46	3.28
very stiff to hard silty clay	21.10-42.20	5.3	20	-	0.42	-	-	-	-	-	8.4	49.56
											sum	123.69

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

(k)

(d) ได้จากรูปที่ 3.4 หรือ รูปที่ 3.5

(e) ได้จากรูปที่ 3.3 ในกรณีที่ใช้ค่า SPT-N

(f) ได้จากรูปที่ 3.7 เมื่อทราบ Effective overburden pressure

(g) = (Cn)N

(h) ได้จากรูปที่ 3.1

(i) ได้จากรูปที่ 3.1

(j) ในกรณี Cohesiv soil มีค่า (d)x(c) และในกรณี Cohesionless soil มีค่า  $0.7\sigma_{tan}(0.75)(h)$

(k) = (j)(a)

## Case 2 Design of Bored Pile

### General Datas;

Pile top = -2.00 m.

Pile tip = -19.50 m.

For 1<sup>st</sup> sand layer at the level of -20.8 m. (middle sand layer)

From previous calculated

$$F_s = 5.46 \text{ t/m}^2$$



Design of bore pile at pile top = -2.00 and pile tip at -19.50 m

Soil type	Depth(m)	$\Delta L$ (m)	$S_u$ (t/m <sup>2</sup> )	SPT-N(blow/ft)	$\alpha$	$\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	Cn	N'	$\phi$	Nq	Fs(t/m <sup>2</sup> )	PF(t/m-perim)
soft clay to medium stiff	2.00-13.00	11	2.5	-	0.8	-	-	-	-	-	0.2	22
stiff silty clay	13.00-19.50	6.5	12.5	-	0.4	-	-	-	-	-	5	32.5

- (a)
- (b)
- (c)
- (d)
- (e)
- (f)
- (g)
- (h)
- (i)
- (j)
- (k)

(d) ได้จากรูปที่ 3.4

(e) ได้จากรูปที่ 3.3 ในกรณีที่มีค่า SPT-N

(f) ได้จากรูปที่ 3.7 เมื่อทราบ Effective overburden pressure

(g) = (Cn)N

(h) ได้จากรูปที่ 3.8

(i) ได้จากรูปที่ 3.8

(j) ในกรณี Cohesiv soil มีค่า (d)x(c) และในกรณี Cohesionless soil มีค่า  $0.7\sigma_{tan}(0.75)(h)$

(k) = (j)(a)

### Case 3 Design of Bored Pile

General Datas;

Pile top = -13.00 m.

Pile tip = -56.00 m.

For 1<sup>st</sup> sand layer at the level of -20.8 m. (middle sand layer)

From previous calculated

$$F_s = 5.46 \text{ t/m}^2$$

For 2<sup>nd</sup> sand layer at the level of -53.50 m. (middle sand layer)

$$\sigma = 2(1)+1(1)+11(0.6)+7.5(1)+0.6(1)+21.1(0.85)+11.8(0.85)+2(1.1) = 47.9 \text{ t/m}^2$$

From figure C when  $\sigma = 47.9 \text{ t/m}^2 = 4.79 \text{ ksc}$ , correction SPT-N factor,  $C_n = 0.48$

$$N' = C_n(N) = 0.48(50) = 24$$

From figure E when  $N' = 24 \Rightarrow \phi = 34.3 \text{ degree}$

$$\begin{aligned} F_s &= \sigma K \tan \phi \\ &= 47.9(0.7) \tan(0.75 \cdot 34.3) \\ &= 16.2 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

End bearing at pile tip

$$\begin{aligned} Q_b &= \sigma N_q \\ &= 47.9(15) = 718.5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Recommendation; for Bangkok clay bearing capacity should not over  $500 \text{ t/m}^2$

Design of bore pile at pile top = -13.00 and pile tip at -56 m

Soil type	Depth(m)	$\Delta L$ (m)	$S_u$ (t/m <sup>2</sup> )	SPT-N(blow/s/ft)	$\alpha$	$\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	C <sub>n</sub>	N'	$\phi$	N <sub>q</sub>	F <sub>s</sub> (t/m <sup>2</sup> )	PF(t/m-perim)
soft clay to medium stiff clay	2.00-13.00	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
stiff silty clay	13.00-20.50	7.5	12.5	-	0.4	-	-	-	-	-	5	37.5
sand (1st)	20.50-21.10	0.6	-	20	-	17.4	0.8	16	32	11	5.4	3.2
very stiff to hard silty clay	21.10-42.20	21.1	20	-	0.33	-	-	-	-	-	6.6	139.3
stiff clay	42.20-54	11.8	10	-	0.44	-	-	-	-	-	4.4	51.9
sand (2nd)	54-56	2	-	50	-	47.9	0.48	24	34.3	15	16.2	32.4

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

(j)

(k)

(d) ได้จากรูปที่ 3.4

(e) ได้จากรูปที่ 3.3 ในกรณีที่ทราบค่า SPT-N

(f) ได้จากรูปที่ 3.7 เมื่อทราบ Effective overburden pressure

(g) = (C<sub>n</sub>)N

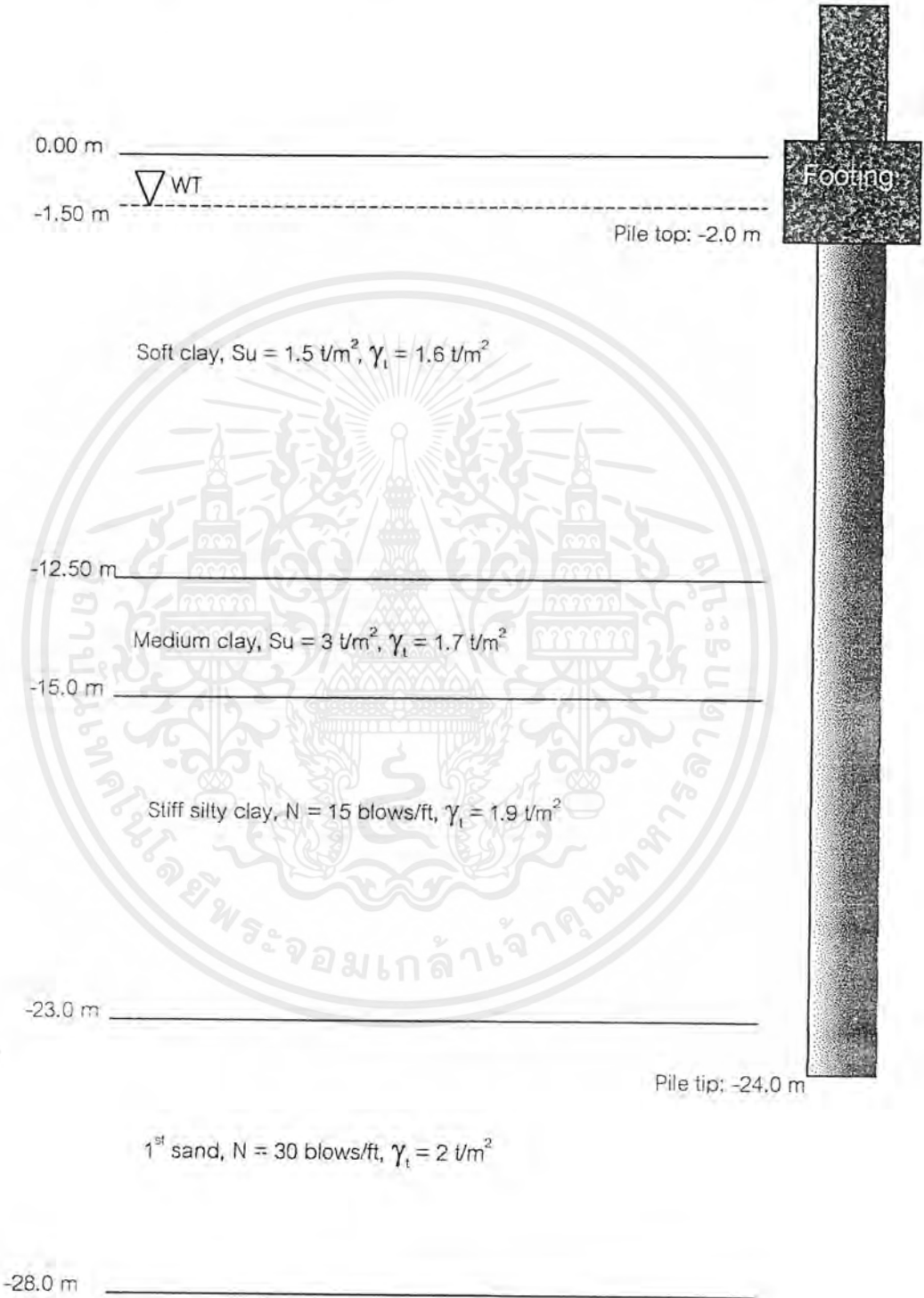
(h) ได้จากรูปที่ 3.8

(i) ได้จากรูปที่ 3.8

(j) ในกรณี Cohesiv soil มีค่า (d)x(e) และในกรณี Cohesionless soil มีค่า  $0.7\sigma_{tan}(0.75)(h)$

(k) = (j)(a)

ตัวอย่างที่ 2 จากข้อมูลของชั้นดิน จงออกแบบเสาเข็มตอก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

General Datas;

Pile top = -2.00 m.

Pile tip = -24.00 m.

For 1<sup>st</sup> sand layer at the level of -23.50 m. (middle sand layer)

$$\sigma = 1.5(1.6) + 11(0.6) + 2.5(0.7) + 8(0.9) + 0.5(1) = 18.45 \text{ t/m}^2$$

From figure C when  $\sigma = 18.45 \text{ t/m}^2 = 1.845 \text{ ksc}$ , correction SPT-N factor,  $C_n = 0.8$

$$N' = C_n(N) = 0.8(30) = 24$$

From figure E when  $N' = 24 \Rightarrow \phi = 34.3 \text{ degree}$

$$\begin{aligned} F_s &= \sigma K \tan \delta \\ &= 18.45(0.7) \tan(0.75 * 34.3) \\ &= 6.2 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

End bearing at pile tip

$$\sigma = 1.5(1.6) + 11(0.6) + 2.5(0.7) + 8(0.9) + 1(1) = 18.95 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_b &= \sigma N_q \\ &= 18.95(30) = 568 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Recommendation; for Bangkok clay end bearing capacity should not over  $500 \text{ t/m}^2$

For Driven Pile at pile top = -2.00 and pile tip = -24.00 m

Soil type	Depth(m)	$\Delta L$ (m)	$S_u$ (t/m <sup>2</sup> )	SPT-N(blow/ft)	$C_f$	$\sigma$ (t/m <sup>2</sup> )	$C_n$	$N'$	$\phi$	$N_q$	$F_s$ (t/m <sup>2</sup> )	PF(t/m-perim)
soft clay	2-12.5	10.5	1.5	-	0.98	-	-	-	-	-	1.47	15.4
medium clay	12.5-15	2.5	3	-	0.92	-	-	-	-	-	2.76	6.9
stiff silty clay	15-23	8	11.5	15	0.5	18.45	0.8	24	34.3	30	5.75	46
1st sand	23-24	1	-	30	-	-	-	-	-	-	6.2	6.2

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

(j)

(k)

(d) ได้จากรูปที่ 3.4 หรือ รูปที่ 3.5

(e) ได้จากรูปที่ 3.3 ในกรณีที่ทราบค่า SPT-N

(f) ได้จากรูปที่ 3.7 เมื่อทราบ Effective overburden pressure

(g) =  $(C_n)N$

(h) ได้จากรูปที่ 3.1

(i) ได้จากรูปที่ 3.1

(j) ในกรณี Cohesiv soil มีค่า  $(d) \times (e)$  และในกรณี Cohesionless soil มีค่า  $0.7 \sigma_{tan}(h)$

(k) =  $(j)(a)$



ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม  
**Pile Capacity**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้









## ภาคผนวก ค.

### การเปรียบเทียบที่ได้จากโปรแกรม RC Spread Footing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวอย่าง 1 ฐานรากเดี่ยวรับแรงในแนวแกน

จงออกแบบฐานรากแผ่คอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสา 20000 กก เสามีขนาด 20 x 20 ซม<sup>2</sup> ชั้นดินใต้ฐานรากรับน้ำหนักโดยตลอด 10000 กก/ม<sup>2</sup> ให้  $f_c = 200 \text{ ksc}$ ,  $f_s = 3000 \text{ ksc}$  และ  $n = 10$

#### วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{สมมุติน้ำหนักฐานราก } 1\% \text{ ของน้ำหนักเสา} &= 2000 \text{ กก} \\ \text{จะได้น้ำหนักรวม} &= 2000 + 20000 = 22000 \text{ กก} \\ \text{ดังนั้นพื้นที่ของฐานรากที่ต้องการ ; } A &= 22000 / 10000 = 2.2 \text{ ม}^2 \\ \text{จะได้ความกว้างของฐานราก ; } B &= \sqrt{2.2} = 1.48 \text{ ม} \\ \text{เลือกใช้ฐานรากขนาด } 1.5 \times 1.5 \text{ ม}^2 \end{aligned}$$

$$\text{หน่วยแรงดันขึ้นสุทธิของดิน} = 20000 / (1.5 \times 1.5) = 8889 \text{ กก/ม}^2$$

$$\text{จากข้อมูลข้างต้นจะได้ } k = 0.375, j = 0.875 \text{ และ } R = 14.76 \text{ กก/ซม}^2$$

$$\text{โมเมนต์ที่ขอบของคานยี่คฐานราก} = 0.5 * 8889 * \left[ \frac{1.5 - 0.2}{2} \right]^2 * 1.5 = 2816.7 \text{ กก-ม}$$

$$\text{หาค่า ความลึกประสิทธิภาพ } d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{2816.7 * 100}{14.76 * 150}} = 11.28 \text{ ซม}$$

เลือกใช้ฐานรากหนา 25 ซม ความหนาคอนกรีตหุ้มเท่ากับ 5 ซม จะได้

$$d = 25 - 5 - 1 = 19 \text{ ซม}$$

#### ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้าง

$$\text{แรงเฉือนแบบคานกว้าง ที่ระยะ 19 ซม จากขอบเสา} = 1.5 * 0.46 * 8889 = 6133.41 \text{ กก}$$

$$\begin{aligned} \text{ได้หน่วยแรงเฉือนแบบคานกว้าง} \quad v &= 5866.7 / (150 * 19) \\ &= 2.06 \text{ กก/ซม}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนที่ยอมให้} \quad v_c &= 0.29 \sqrt{200} \\ &= 4.1 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK} \end{aligned}$$

#### ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทะลุ

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนทะลุที่ระยะ 9.5 ซม จากขอบเสาโดยรอบ} &= ((1.5 * 1.5) - (0.39 * 0.39)) * 8889 \\ &= 18648 \text{ กก} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้หน่วยแรงเฉือนแบบทะลุ} \quad v = 18648 / (19 * 156) = 6.29 \text{ กก/ซม}^2$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้} \quad v_c = 0.53 \sqrt{200} = 7.49 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 180 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำหนักฐานรากที่แท้จริง =  $0.25 * 1.5 * 1.5 * 2400 = 1350 < 2000$  Ok

### หาปริมาณเหล็กเสริม

ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ ;  $A_s = M/f_j d = 281670 / (1500 * 0.875 * 19) = 11.29$  ซม<sup>2</sup>

ตรวจสอบ  $A_{smin} = 0.002 * 150 * 25 = 7.5$  ซม<sup>2</sup> OK

ตรวจสอบแรงยึดหน่วง

แรงยึดหน่วงที่ขอบเสา;  $V = 8889 * 0.65 * 1.5 = 8666.75$  กก

ใช้เหล็กเสริมขนาด 12 มม;  $u_c = 3.23 \sqrt{200} / 1.2 = 31.04 < 35$  กก/ซม<sup>2</sup> OK

เส้นรอบวงที่ต้องการสำหรับแรงยึดหน่วง  $\sum O = V/u_j d = 8666.75 / (31 * 0.875 * 20)$   
 $= 15.97$  ซม

เลือกใช้เหล็กเสริม;  $A_s = 10\text{-DB12}$ ;  $\sum O = 37.71$  ซม  $\sum A = 11.31$  ซม<sup>2</sup>

ตัวอย่าง 2 ฐานรากเดี่ยวรับแรงเยื้องศูนย์กลาง 1 แกน

จงออกแบบฐานรากแผ่รับน้ำหนักใช้งานตามแนวแกน  $P_D = 12000$  กก  $P_L = 8000$  กก และโมเมนต์ค้ดใช้งาน  $M_D = 1500$  กก-ม  $M_L = 1000$  กก-ม กำหนดเสาขนาด  $0.35 \times 0.35$  ม หน่วยแรงกค้ดปลอดภัยของดินได้ฐานรากมีค่าเท่ากับ  $10000$  กก/ม<sup>2</sup> กำหนดให้  $f'_c = 200$  ksc ,  $f_y = 3000$  ksc และ  $n = 10$

วิธีการคำนวณ

สมมุติน้ำหนักของฐานราก 15 % ของน้ำหนักเสา = 3000 กก

จะได้น้ำหนักรวม = 3000+20000 = 23000 กก

จะได้พื้นที่ฐานรากสำหรับแรงตามแกน = 23000/10000 = 2.3 ม<sup>2</sup>

เลือกใช้ขนาดฐานราก = 2\*2 ม เพื่อโมเมนต์ค้ด

ตรวจสอบหน่วยแรงค้ดขึ้นทั้งหมดของดิน

$$\text{หน่วยแรงค้ดที่มากที่สุด } P = \frac{P}{BL} + \frac{6M}{BL^2} = \frac{12000 + 8000 + 3000}{2 \times 2} + \frac{6(1500 + 1000)}{2 \times 2^2}$$
$$= 5750 + 1875 = 7625 \text{ กก/ม}^2 \text{ OK}$$

หาหน่วยแรงค้ดขึ้นสุทธิของดินจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

$$\text{หน่วยแรงค้ดขึ้นสุทธิข้างมาก} = \frac{12000 + 8000}{2 \times 2} + \frac{6(1500 + 1000)}{2 \times 2^2}$$

$$= 5000 + 1875 = 6875 \text{ กก/ม}^2$$

$$\text{หน่วยแรงค้ดขึ้นสุทธิข้างน้อย} = 5000 - 1875 = 3125 \text{ กก/ม}^2 > 0 \text{ OK}$$

$$\text{หน่วยแรงค้ดขึ้นสุทธิที่แนวขอบเสา} = 3125 + 1.175/2 \times (6875 - 3125) = 5328 \text{ กก/ม}^2$$

หาความลึกของฐานราก

$$\text{พิจารณาจากโมเมนต์ค้ด } M = 5328 \times 2 \times 0.825^2 / 2 + 0.5 \times (6875 - 5328) \times 0.825 \times 2 \times 0.67 \times 0.825$$
$$= 4328 \text{ กก-ม}$$

$$\text{ค้ดนั้นความลึกประสิทธิภาพที่ค้ดองการ } d = \sqrt{\frac{4328 \times 100}{14.76 \times 200}} = 12.1 \text{ ซม}$$

เลือกใช้ฐานรากหนา 25 ซม ความหนาคอนกรีตหุ้มเท่ากับ 7.5 ซม จะได้

$$d = 25 - 7.5 - 1 = 16.5 \text{ ซม}$$

ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้าง

แรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ 16.5 ซม จากขอบเสา

$$V = 0.5 \times (6875 + 5637.5) \times 2 \times 0.66 = 8258.25 \text{ กก}$$

$$\text{ได้หน่วยแรงเฉือนแบบคานกว้าง } v = 8258.25 / (200 \times 16.5) = 2.5 \text{ กก/ซม}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงเฉือนที่ยอมให้

$$v_c = 0.29 \sqrt{200} = 4.1 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK}$$

### ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้าง

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนที่ระยะ 8.25 ซม จากขอบเสาโดยรอบ} &= ((2*2) - (0.515*0.515))*5000 \\ &= 18674 \text{ กก} \end{aligned}$$

$$\text{จะได้หน่วยแรงเฉือนแบบทง} \quad v = 18674 / (16.5 * 206) = 5.49 \text{ กก/ซม}^2$$

$$\text{หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้} \quad v_c = 0.53 \sqrt{200} = 7.49 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK}$$

$$\text{จะได้ว่าน้ำหนักจริงของฐานราก} = 2 * 2 * 2400 * 0.25 = 2400 \text{ กก} < 3000 \text{ กก} \text{ OK}$$

### หาปริมาณเหล็กเสริม

$$\text{ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ ; } A_s = M / f_j d = 432800 / (1500 * 0.875 * 16.5) = 19.98 \text{ ซม}^2$$

$$\text{ตรวจสอบ } A_{s_{min}} = 0.002 * 200 * 25 = 10 \text{ ซม}^2 \text{ OK}$$

ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

$$\text{แรงยึดเหนี่ยวที่ขอบเสา; } V = 0.5 * (6875 + 5328) * 2 * 0.825 = 10067.47 \text{ กก}$$

$$\text{ใช้เหล็กเสริมขนาด 16 มม; } v_c = 3.23 \sqrt{200} / 1.6 = 28.5 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK}$$

$$\begin{aligned} \text{เส้นรอบวงที่ต้องการสำหรับแรงยึดเหนี่ยว } \sum O &= V / v_j d = 10067.4 / (28.5 * 0.875 * 16.5) \\ &= 24.42 \text{ ซม} \end{aligned}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม; } A_s = 10\text{-DB16; } \sum O = 50.29 \text{ ซม} \quad \sum A = 20.1 \text{ ซม}^2$$

ตัวอย่าง 3 การออกแบบฐานรากรับโมเมนต์ 2 แกน

ออกแบบฐานรากจัตุรัส รับน้ำหนักตามแนวแกน 100000 kg รับ  $M_x, M_y$  เท่ากับ 10000 kg-m และ 20000 kg-m ตามลำดับ กำหนดเสาขนาด 0.4\*0.4 มโดยใช้เหล็ก  $f_c = 210 \text{ ksc}, f_y = 3000 \text{ ksc}$  และค่ากำลังรับน้ำหนักของดินที่ขอมให้เท่ากับ  $20000 \text{ kg/m}^2$

วิธีการคำนวณ

สมมุติน้ำหนักฐานราก 10 % ของแรงตามแกน = 10000 kg  
 จะได้น้ำหนักบรรทุกคงที่ = 100000+10000  
 = 110000 kg  
 จะได้พื้นที่ที่ต้องการ = 110000/20000  
 = 5.5 m<sup>2</sup>

สมมุติขนาดฐานราก 3 \* 3 m พื้นที่ = 9 m<sup>2</sup> เพื่อโมเมนต์ที่กระทำ

ตรวจสอบหน่วยแรงดันของดิน

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{110000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} \\ &= 12222 + 2222 + 4444 \\ &= 18888 \text{ kg/m}^2 < 20000 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\min} = 5556 \text{ kg/m}^2 > 0 \text{ OK}$$

หาความลึกของฐานราก

1. พิจารณาจากโมเมนต์ตัด

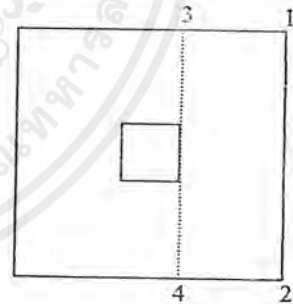
$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{100000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} \\ &= 17777 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_2 &= \frac{100000}{3 \times 3} - \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} \\ &= 13333 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_3 &= \frac{100000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 0.2) \times 12}{3 \times 3^3} \\ &= 13925 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_4 &= \frac{100000}{3 \times 3} - \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 0.2) \times 12}{3 \times 3^3} \\ &= 9482 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{จะได้ค่า } M_{\text{max}} = \frac{17777 + 13333 + 13925 + 9482}{4} * 3 * 1.3 * 0.65$$



$$= 34550 \text{ kg-m}$$

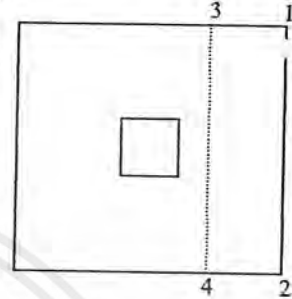
$$d = \sqrt{\frac{34550 \times 100}{15.32 \times 300}} = 27.42 \text{ cm}$$

สมมุติความหนาของฐานรากเท่ากับ 45 cm โดยที่ความหนาของคอนกรีตหุ้มเท่ากับ 5 cm และใช้เหล็ก DB20 จะได้  $d = 45 - 5 - 1 = 39 \text{ cm}$

2. ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ 39 cm จากขอบเสา

$$\sigma_1 = \frac{100000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 17777 \text{ kg/m}^2$$



$$\sigma_2 = \frac{100000}{3 \times 3} - \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 13333 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{100000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 0.59) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 15081 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{100000}{3 \times 3} - \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 0.59) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 10637 \text{ kg/m}^2$$

$$V_{หน้าตัดวิกฤติ} = \frac{17777 + 13333 + 15081 + 10637}{4} \times 3 \times 0.91$$

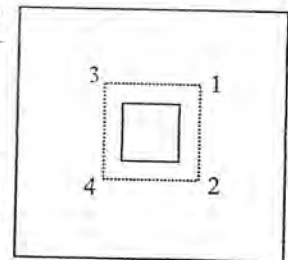
$$= 38785 \text{ kg}$$

$$v = \frac{38785}{300 \times 39} = 3.31 < 0.29 \sqrt{210} = 4.2 \text{ ksc OK}$$

2. ตรวจสอบแรงเฉือนที่ระยะ 19.5 cm รอบขอบเสา

$$\sigma_1 = \frac{100000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 12867 \text{ kg/m}^2$$



$$\sigma_2 = \frac{100000}{3 \times 3} - \frac{(10000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3} + \frac{(20000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 11696 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{100000}{3 \times 3} + \frac{(10000 \times 1.5) \times 12}{3 \times 3^3} - \frac{(20000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3}$$

$$= 10526 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\sigma_4 &= \frac{100000}{3 \times 3} - \frac{(10000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3} - \frac{(20000 \times 0.395) \times 12}{3 \times 3^3} \\ &= 9356 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{หน้าตัดวงกลม}} &= 100000 - \frac{12867 + 11696 + 10526 + 9356}{4} \times 0.79 \times 0.79 \\ &= 93065 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$v = 93065 / (316 \times 39) = 7.55 < 0.53 \sqrt{210} = 7.68 \text{ ksc OK}$$

$$\text{ตรวจสอบน้ำหนักฐานราก} = 3 \times 3 \times 0.45 \times 2400 = 9720 < 10000 \text{ kg OK}$$

ออกแบบปริมาณเหล็กเสริม

$$A_s = 34550 \times 100 / (1500 \times 0.877 \times 39) = 67.34 \text{ cm}^2$$

$$\text{ตรวจสอบ } A_{s_{\min}} = 0.002 \times 300 \times 45 = 27 \text{ ซม}^2 \text{ OK}$$

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว

$$\text{ค่า } V_{\text{ที่ยอบเสา}} = \frac{17777 + 13333 + 13925 + 9482}{4} \times 3 \times 1.3 = 53154 \text{ kg}$$

$$\text{ค่า } \sum O \text{ ที่ต้องการ} = 53154 / (0.877 \times 39 \times 18.72) = 83 \text{ ซม}$$

$$\text{เลือกใช้เหล็กเสริม 14-DB25 } A_s = 68.74 \text{ } \sum O = 110 \text{ ซม}$$

ตัวอย่างที่ 4 การออกแบบฐานรากร่วม

ออกแบบฐานรากร่วมคอนกรีตเสริมเหล็กชนิดฐานรากแผ่ เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาสองต้นที่ห่างกัน 2.5 ม จำนวน 20000 กก และ 30000 กก ตามลำดับ เสาทั้งสองต้น มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 \* 25 ซม<sup>2</sup> ชั้นดินใต้ฐานรากมีกำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัย 10000 กก/ซม<sup>2</sup> กำหนดให้

$f_c = 200 \text{ ksc}$  ,  $f_y = 3000 \text{ ksc}$  และ  $n = 10$

วิธีที่ใช้คำนวณ

น้ำหนักบรรทุกรวมจากเสา 2 ต้น = 20000 + 30000 = 50000 กก

จุดศูนย์กลางของแรงอยู่ห่างจากศูนย์กลางของเสาต้นแรก =  $30000 * 2.5 / 50000 = 1.5 \text{ ม}$  ซึ่งตำแหน่งนี้จะต้องเป็นตำแหน่งศูนย์กลางของฐานรากร่วมด้วย เพื่อให้มีแรงกระจายสม่ำเสมอตามสมมุติฐาน

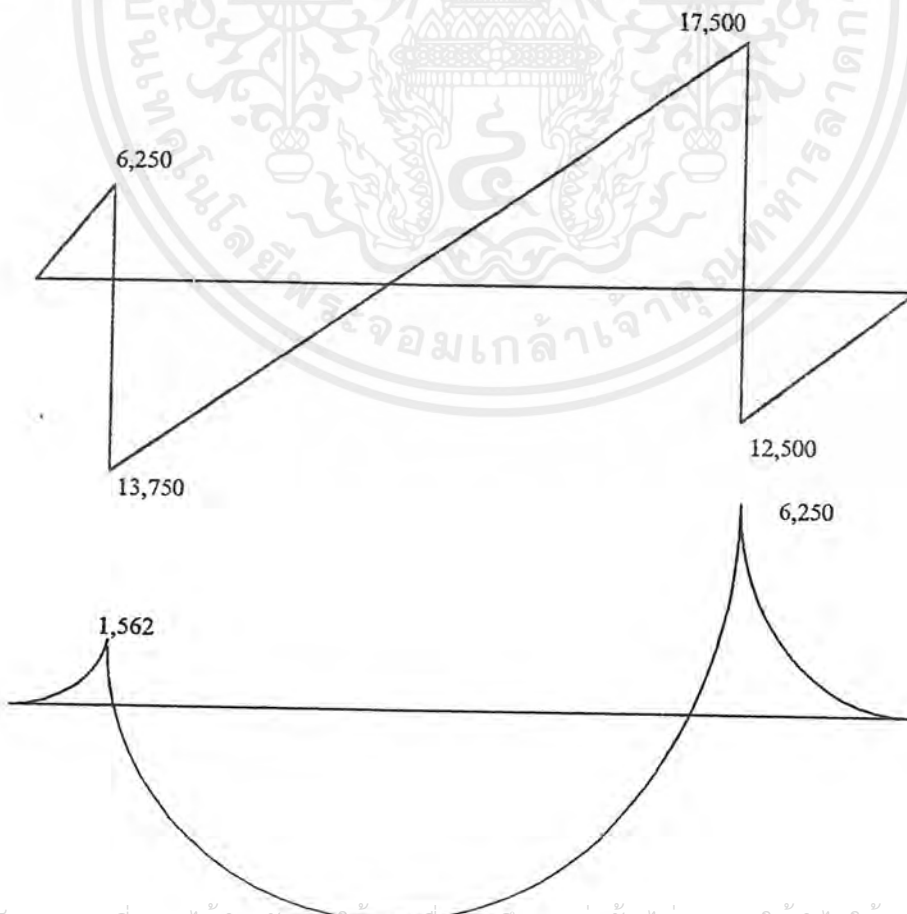
สมมุติน้ำหนักของฐานราก 12 % ของแรงในแนวแกน = 6000 กก

จะได้พื้นที่ของฐานรากที่ต้องการ;  $A = 56000 / 10000 = 5.6 \text{ ม}^2$

เลือกใช้ฐานรากขนาด 1.5 \* 4 ม<sup>2</sup> และจัดระยะของฐานรากดังที่แสดงในรูป

หน่วยแรงค้ำขึ้นสุทธิของดินใต้ฐานราก =  $50000 / 6 = 8333.33 \text{ กก/ม}^2$

พิจารณาฐานรากเป็นแผ่นพื้นทางเดียวกว้าง 1.5 ม ที่รับน้ำหนักจากเสาสองต้น และมีแรงค้ำขึ้นของดินเป็นแรงต้านทาน ทำการเขียนภาพแรงเฉือนและโมเมนต์ค้ำได้ดังภาพ



จากข้อมูลข้างต้นจะได้  $k = 0.375$ ,  $j = 0.875$  และ  $R = 14.76$  กก/ชม<sup>2</sup>

ความถี่ประสิทธิผลของฐานรากที่ต้องการ ;  $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{6000 * 100}{14.76 * 150}} = 16.46$  ชม

เลือกใช้ฐานรากหนา 35 ชม ความหนาคอนกรีตหุ้มเท่ากับ 5 ชม จะได้

$$d = 35 - 5 - 1 = 29 \text{ ชม}$$

พิจารณาแรงเฉือนที่ขอบของเสาต้นที่สอง เนื่องจากมีขนาดหน้าตัดเท่ากับต้นแรก แต่รับแรงในแนวแกนมากกว่า

1. แรงเฉือนที่ระยะ  $d/2$  จากขอบเสาโดยรอบ

แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต ;  $V = 30000 - 8333(0.25 + 0.29)^2 = 27570$  กก

จะได้หน่วยแรงเฉือนที่ระยะ  $d/2$  ;  $v = 27570 / (216 * 29) = 4.4$  กก/ชม<sup>2</sup>

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ ;  $v_c = 0.53 \sqrt{200} = 7.49$  กก/ชม<sup>2</sup> OK

2. แรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ  $d$  จากขอบเสาต้นที่สอง

แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต ;  $V = 17500 - 12500(0.29 + 0.125) = 12312.5$  กก

จะได้หน่วยแรงเฉือนแบบคานกว้าง ;  $v = 12312.5 / (150 * 28) = 2.93$  กก/ชม<sup>2</sup>

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้  $0.29 \sqrt{200} = 4.1$  กก/ชม<sup>2</sup> OK

ดังนั้นน้ำหนักที่แท้จริงของฐานราก =  $0.35 * 1.5 * 4 * 2400 = 5040$  กก < 6000 กก OK

### ออกแบบปริมาณเหล็กเสริม

1. หาเหล็กเสริมล่างตามยาว

โมเมนต์ดัดที่ขอบเสาต้นที่สอง ;  $M = 4785$  กก-ม

ปริมาณเหล็กเสริมล่างตามยาว ;  $A_s = M / f_y d = 478500 / (1500 * 0.875 * 29) = 12.57$  ชม<sup>2</sup>

ตรวจสอบ  $A_{smin} = 0.002 * 150 * 35 = 10.5$  ชม<sup>2</sup> OK

ใช้เหล็กเสริมล่างรับโมเมนต์บวก ;  $A_s = 7\text{-DB16}$  ;  $\sum O = 35.2$  ชม  $\sum A = 14.07$  ชม<sup>2</sup>

ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

แรงยึดเหนี่ยวที่ขอบเสาต้นในของเสาต้นแรก ;  $V = -13750 + (0.125 * 12500) = -12187.5$  กก

ใช้เหล็กเสริมขนาด 16 มม ;  $v_c = 3.23 \sqrt{200} / 1.6 = 28.54 < 35$  กก/ชม<sup>2</sup> OK

เส้นรอบวงที่ต้องการสำหรับแรงยึดเหนี่ยว  $\sum O = V / v_c d = 12187.5 / (28.54 * 0.875 * 29) = 16.8$  ชม OK

2. หาเหล็กเสริมบนตามยาว

ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวบน ;  $A_s = M/f_y d = 600000/(1500*0.875*29) = 15.75 \text{ ซม}^2$

ตรวจสอบ  $A_{smin} = 0.002 * 150 * 35 = 10.5 \text{ ซม}^2 \text{ OK}$

ใช้เหล็กเสริมบนสำหรับรับโมเมนต์ลบ ;  $A_s = 8\text{-DB16}$ ;  $\sum O = 40.29 \text{ ซม}$   $\sum A = 16.08 \text{ ซม}^2$

ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว

แรงยึดเหนี่ยวที่ขอบเสาด้านในของเสาดันที่สอง ;  $V = 17500 - (0.125 * 12500) = 15937.5 \text{ กก}$

ใช้เหล็กเสริมขนาด 16 มม;  $u_c = 2.25 \sqrt{200} / 1.6 = 20.24 < 35 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK}$

เส้นรอบวงที่ต้องการสำหรับแรงยึดเหนี่ยว  $\sum O = V/u_y d = 12187.5/(20.24*0.875*29)$   
 $= 23.73 \text{ ซม OK}$

3. เหล็กเสริมกันร้าวสำหรับเหล็กเสริมบน;  $A_t = 0.002bt = 0.002 * 100 * 35 = 7 \text{ ซม}^2/\text{ม}$

ใช้เหล็กเสริมกันร้าว; DB12 @ 16 cm

#### 4. พิจารณาเหล็กเสริมตามขวาง

ความกว้างของคานขวางได้เสาอย่างน้อยจะต้องเท่ากับความกว้างของหน้าตัดเสาบวกด้วยความลึกประสิทธิภาพ คือ ;  $b = a + 2(d/2) = 25 + 28 = 54 \text{ ซม}$  เท่ากันในเสาทั้ง 2 ต้น

1) เสาชนิดเขต แรงดันขึ้นสุทธิของดินตามขวาง =  $20000/1.5 = 13333 \text{ กก/ม}$

โมเมนต์ค้ดตามขวางที่ขอบเสา ;  $M = 13333 * 0.625^2 / 2 = 2604 \text{ กก-ม}$

ปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง ;  $A_s = M/f_y d = (2604 * 100) / (1500 * 0.875 * 29) = 6.84 \text{ ซม}^2$  ในช่วงความกว้างคานขวาง 54 cm

ตรวจสอบ  $A_{smin} = 0.002 * 81 * 35 = 5.67 \text{ ซม}^2 \text{ OK}$

ใช้เหล็กเสริมแนวขวางได้เสาชนิดเขต ;  $A_s = 4\text{-DB16}$ ;  $\sum O = 20.12 \text{ ซม}$   $\sum A = 8.04 \text{ ซม}^2$

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว

แรงยึดเหนี่ยวที่ขอบเสาของเสาชนิดเขต ;  $V = 13333 * (1.5 - 0.25) / 2 = 8333.13 \text{ กก}$

เส้นรอบวงที่ต้องการสำหรับแรงยึดเหนี่ยว  $\sum O = V/u_y d = 8333.13 / (28.54 * 0.875 * 29)$   
 $= 11.5 \text{ ซม OK}$

2) เสาภายใน แรงดันขึ้นสุทธิของดินตามขวาง =  $30000/1.5 = 20000 \text{ กก/ม}$

โมเมนต์ค้ดตามขวางที่ขอบเสา ;  $M = 20000 * 0.625^2 / 2 = 3906 \text{ กก-ม}$

ปริมาณเหล็กเสริมตามขวาง ;  $A_s = M/f_y d = (3906 * 100) / (1500 * 0.875 * 29) = 10.26 \text{ ซม}^2$  ในช่วงความกว้างคานขวาง 54 cm

ตรวจสอบ  $A_{smin} = 0.002 * 81 * 35 = 5.67 \text{ ซม}^2 \text{ OK}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบ  $A_{\text{min}} = 0.002 * 81 * 35 = 5.67 \text{ ซม}^2 \text{ OK}$

ใช้เหล็กเสริมแนวขวางได้เสาชนิดเขต ;  $A_s = 4\text{-DB20}$ ;  $\sum O = 25.16 \text{ ซม}$   $\sum A = 12.56 \text{ ซม}^2$

ตรวจสอบการยึดหน้าวง

แรงยึดหน้าวงที่ขอบเสาด้านในของเสาภายใน ;  $V = 20000 * (1.5 - 0.25) / 2 = 12500 \text{ กก}$

เส้นรอบวงที่ต้องการสำหรับแรงยึดหน้าวง  $\sum O = V / u_j d = 12500 / (22.83 * 0.875 * 29)$   
 $= 21.58 \text{ ซม OK}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาหรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 5 ออกแบบฐานรากเสาสองเสาแยกกันและมีคานยึด เสาชิดเขตรับน้ำหนัก 20000 กก เสาภายในรับน้ำหนัก 30000 กก ศูนย์กลางเสาอยู่ห่างกัน 4 ม ขนาดเสาทั้งสอง 30\*40 ซม ออกแบบให้ฐานรากแต่ละเสาแยกกันวางบนดินที่รับน้ำหนักปลอดภัย 10000 กก/ชม<sup>2</sup>  $n = 12$  และ  $f_c = 200$  กก/ชม<sup>2</sup>  $f_s = 1500$  กก/ชม<sup>2</sup>

วิธีการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{สมมติน้ำหนักของฐานราก} &= 0.1 \times \text{น้ำหนักเสา} \\ &= 0.1 \times (20000 + 30000) = 5000 \text{ กก} \end{aligned}$$

$$\text{น้ำหนักรวมทั้งหมด} = 20000 + 30000 + 5000 + 0.2 = 55000 \text{ กก}$$

$$\text{พื้นที่รวมของฐานราก} = 55000 / 10000 = 5.5 \text{ ม}^2$$

สมมติน้ำหนักของคานยึดฐานราก 500 กก/ม

$$\text{หาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแรง} \quad 30000 \times 4 / 55000 + 0.2 = 2.6 \text{ ม จากขอบเสาชิดเขต}$$

เลือกใช้ ฐานรากชิดเขต ขนาด 1.00 \* 2.40 ม

ฐานรากภายใน ขนาด 1.80 \* 1.80 ม

$$\text{จะได้จุดศูนย์กลางของฐานราก} = (2.40 \times 0.50 + 3.24 \times 4.20) / 5.64 = 2.63 \text{ จากขอบเสาชิดเขต}$$

ได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งแรงรวม OK

พิจารณาโมเมนต์ที่ศูนย์กลางเสาภายใน

แรงปฏิกิริยาสุทธิที่ฐานรากชิดเขต

$$R_c = \frac{1}{3.7} [20000 \times 4.00 + 0.5 \times 500 \times 4.2^2] = 22814 \text{ กก}$$

แรงปฏิกิริยาสุทธิที่ฐานภายใน

$$R_i = 20000 + 30000 + 500 \times 4.4 - 22814 = 29386 \text{ กก}$$

จากข้อมูลข้างต้นจะได้

$$k = 0.375, j = 0.875 \text{ และ } R = 14.76 \text{ กก/ชม}^2$$

ออกแบบคานยึดฐานราก

สมมติ ความกว้างคาน 30 ซม

หาโมเมนต์มากที่สุดเมื่อ  $V = 0$  ที่ระยะ  $x$  จากขอบนอกของเสาชิดเขต

$$V = -20000 + 22814x - 500x = 0 \text{ จะได้ } x = 20000 / 22314 = 0.896 \text{ ม}$$

$$M_{\max} = -20000(0.896 - 0.20) - 0.5 \times 500 \times (0.896)^2 + 0.5 \times 22814(0.896)^2 = -4963 \text{ กก-ม}$$

$$\text{ความลึกของคานยึด} \quad d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{4963 \times 100}{14.76 \times 30}} = 33.47 \text{ ซม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 191 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกขนาดของคานายึดฐานราก  $30 \times 50$  ซม และ  $d = 45$  ซม

น้ำหนักคานจริง =  $0.3 \times 0.5 \times 1 \times 2400 = 360 < 500$  กก/ม

ที่ระยะ 45 ซม จากขอบเสา  $V = -20000 - 500 \times 0.85 + 22814 \times 0.85 = 1033$  กก

หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้  $v_c = 0.29 \sqrt{200} = 4.1$  กก/ซม<sup>2</sup>

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น  $v = V/bd = 1033/(30 \times 45) = 0.77 < 4.1$  กก/ซม<sup>2</sup> OK

เหล็กเสริมคาน  $A_s = M/f_j d = 4963 \times 100 / (1500 \times 0.875 \times 45) = 8.4$  ซม<sup>2</sup>

ตรวจสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว เมื่อเลือกใช้เหล็ก DB-20

$V = -20000 - 500 \times 0.4 + 22814 \times 0.4 = -11074$  กก

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้  $u = 3.23 \sqrt{200} / 2 = 22.83$  กก/ซม<sup>2</sup>

จะได้เส้นรอบรูปที่ต้องการ คือ  $\sum O = v/uj d = 11074 / (22.83 \times 0.875 \times 45) = 12.31$  ซม

เลือกใช้เหล็กเสริม;  $A_s = 3\text{-DB20}$ ;  $\sum O = 18.87$  ซม  $\sum A = 9.42$  ซม<sup>2</sup>

#### ออกแบบฐานรากชนิดเขตร

$$R_c = 22814 \text{ กก}$$

น้ำหนักแม่ทางด้านยาว =  $22814 / 2.4 = 9506$  กก/ม

โมเมนต์ที่ขอบของคานยึดฐานราก  $M = 0.5 \times 9506 \times (1.05)^2 = 5240$  กก-ม

$$\text{ความลึกฐานราก} \quad d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{5240 \times 100}{14.76 \times 100}} = 18.84 \text{ ซม}$$

เลือกฐานรากหนา 30 ซม และ  $d = 25$  ซม

ตรวจสอบแรงเฉือนที่ระยะ 25 ซม จากขอบเสา

$$V = 9506(1.05 - 0.25) = 7605 \text{ กก}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น  $v = V/bd = 7605 / (100 \times 25) = 3.04 < 4.1$  กก/ซม<sup>2</sup> OK

ใช้ฐานรากชนิดเขตรขนาด  $1 \times 2.4 \times 0.3$  และ  $d = 25$  ซม

ดังนั้น เหล็กเสริมล่างด้านยาว ในฐานรากชนิดเขตร

$$A_s = M/f_j d = 5240 \times 100 / (1500 \times 0.875 \times 25) = 15.97 \text{ ซม}^2$$

ตรวจสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว เมื่อเลือกใช้เหล็ก DB-20

$$V = 9506 \times 1.05 = 9981 \text{ กก}$$

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้  $u = 3.23 \sqrt{200} / 2 = 22.83$  กก/ซม<sup>2</sup>

จะได้เส้นรอบรูปที่ต้องการ คือ  $\sum O = v/uj d = 9981 / (22.83 \times 0.875 \times 25) = 19.98$  ซม

เลือกใช้เหล็กเสริม;  $A_s = 6\text{-DB20}$ ;  $\sum O = 37.74$  ซม  $\sum A = 18.87$  ซม<sup>2</sup>

เหล็กค้ำยันใช้  $0.002bt = 0.002 \times 240 \times 30 = 14.4 \text{ ซม}^2$

เลือกใช้เหล็กเสริม;  $A_s = 8\text{-DB16}$ ;  $\sum A = 16.08 \text{ ซม}^2$

### ออกแบบฐานรากภายใน

$$R_f = 29386 \text{ กก}$$

น้ำหนักแม่ทางข้างคานยึดฐานราก =  $29386/1.8 = 16326 \text{ กก/ม}$

โมเมนต์ที่ขอบของคานยึดฐานราก  $M = 0.5 \times 16326 \times 0.75^2 = 4592 \text{ กก-ม}$

ความลึกฐานราก  $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{4592 \times 100}{14.76 \times 180}} = 12.08 \text{ ซม}$

เลือกฐานรากหนา 30 ซม และ  $d = 25 \text{ ซม}$

ตรวจสอบแรงเฉือนที่ระยะ 25 ซม จากขอบเสา

$$V = 16326(0.75 - 0.25) = 8163 \text{ กก}$$

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น  $v = V/bd = 8163/(180 \times 25) = 1.81 < 4.1 \text{ กก/ซม}^2 \text{ OK}$

ใช้ฐานรากชนิดเขตรขนาด  $1.8 \times 1.8 \times 0.3$  และ  $d = 25 \text{ ซม}$

ดังนั้น เหล็กเสริมล่างคานยาว ในฐานรากชนิดเขตร

$$A_s = M/f_j d = 4592 \times 100 / (1400 \times 0.887 \times 25) = 14.8 \text{ ซม}^2$$

ตรวจสอบหน่วยแรงยึดเหนี่ยว เมื่อเลือกใช้เหล็ก DB-16

$$V = 16326 \times 0.75 = 12244 \text{ กก}$$

หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้  $u = 3.23 \sqrt{200} / 1.6 = 28.5 \text{ กก/ซม}^2$

จะได้เส้นรอบรูปที่ต้องการ คือ  $\sum O = v/u_j d = 12244 / (28.5 \times 0.887 \times 25) = 19.37 \text{ ซม}$

เลือกใช้เหล็กเสริม;  $A_s = 5\text{-DB20}$ ;  $\sum O = 31.45 \text{ ซม}$   $\sum A = 15.7 \text{ ซม}^2$



ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม  
**RC Spread Footing**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณออกแบบ Isolate Footing ด้วยวิธีกำลังใช้งาน(Working Stress Method)

Project : Example1 Time/Date : 4/28/00/9:22:55 PM  
 Engineer : wanat&panus Footing Code : F-1

A. Basic Data

Fy = 3000.00 ksc Fs = 1500.00 ksc  
 Fc = 200.00 ksc Fc' = 90.00 ksc

B. Input

Column Load : 20000.00 Kg  
 Allowable Bearing Capacity : 10000.00 Kg/m2  
 Moment (MB) : 0.00 Kg-m  
 Moment (ML) : 0.00 Kg-m  
 Column Width(CB) : 0.20 m  
 Column Length (CL) : 0.20 m

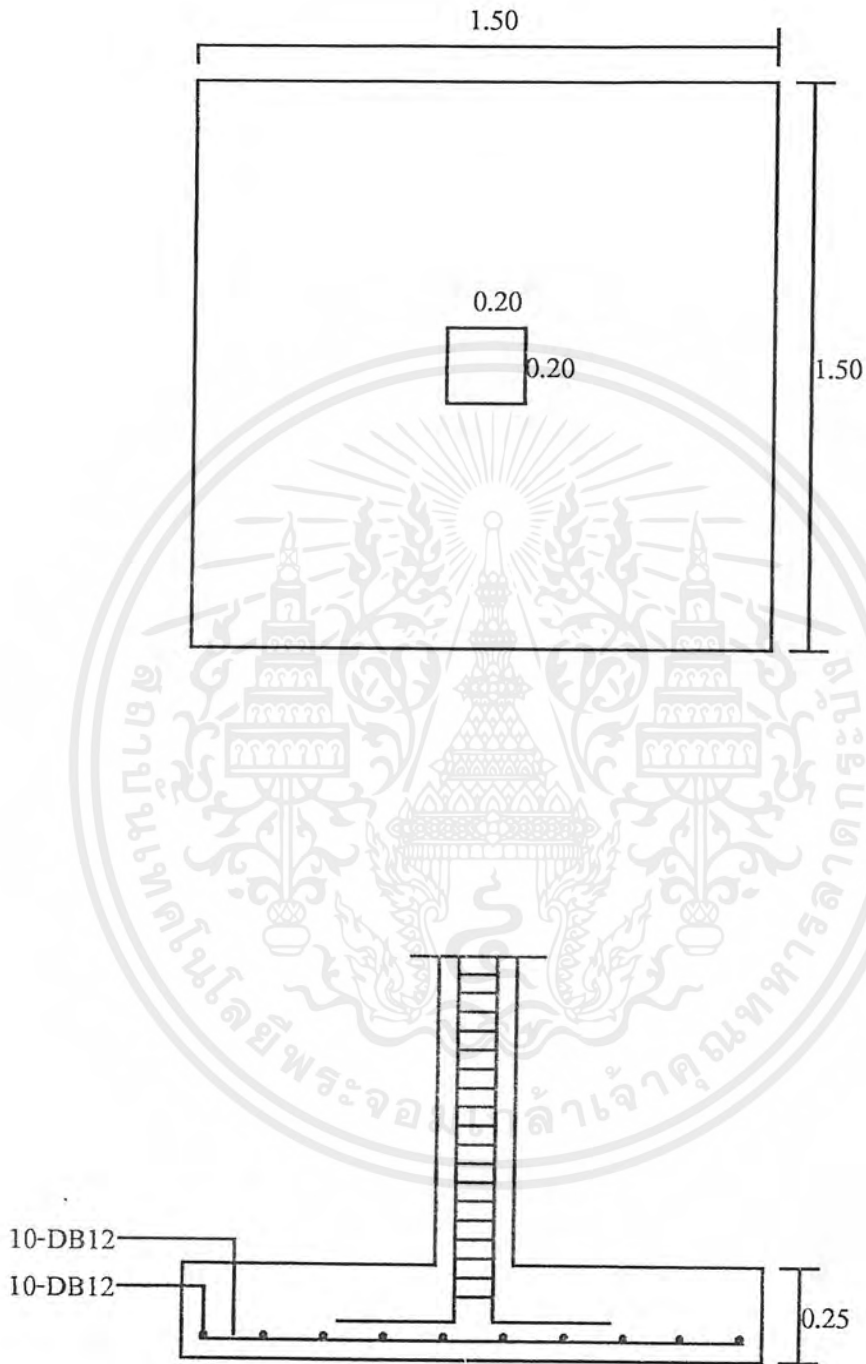
C. Result

n = 9.54 j = 0.879 R = 14.39 ksc  
 ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B) : 1.50 m  
 ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L) : 1.50 m  
 Moment (max)ที่ขอบเสาทางด้านยาว : 2816.67 kg-m  
 Moment (max)ที่ขอบเสาทางด้านสั้น : 2816.67 kg-m  
 ความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ, d =  $\sqrt{M_{max}/RB}$  : 0.11 m  
 เลือกใช้ความลึกของฐานราก 0.25 m โดยใช้ความลึกประสิทธิภาพ d 0.19 m  
ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา  
 ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d จากขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน  $V_{max}$  : 6133.33 kg  
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้,  $V_c = 0.29 \cdot s$  Thickness : 11688.48 kg OK  
ตรวจสอบแรงเฉือนแบบท่ะลุที่ระยะ d/2 จากขอบเสา  
 ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d/2 รอบขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน  $V_{max}$  : 18648.00 kg  
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้,  $V_c = 0.53 \cdot \sqrt{F_c'} \cdot B_o \cdot d$  : 22216.16 kg OK  
พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว  
 ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านยาว =  $M/f_j d$  : 11.25 cm<sup>2</sup>  
 เลือกเหล็กขนาด 10 - DB12 @ 15.6 cm As = 11.30 cm<sup>2</sup>  $\sum O = 37.68$  cm  
ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว  
 แรงเฉือน  $V_{max}$  ที่ขอบเสา : 8666.67 kg  
 ค่าของ  $\sum o$  ที่ต้องการ =  $V/ujd$  : 14.83 cm OK  
พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านสั้น  
 ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านสั้น =  $M/f_j d$  : 11.25 cm<sup>2</sup>  
 เลือกเหล็กขนาด 10 - DB12 @ 15.6 cm As = 11.30 cm<sup>2</sup>  $\sum O = 37.68$  cm  
ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว  
 แรงเฉือน  $V_{max}$  ที่ขอบเสา : 8666.67 kg  
 ค่าของ  $\sum o$  ที่ต้องการ =  $V/ujd$  : 14.83 cm OK

PROJECT : Example1

ENGINEER : wanat&panus

FOOTING CODE : F-1



รายการคำนวณออกแบบ Isolate Footing ด้วยวิธีกำลังใช้งาน(Working Stress Method)

Project : Example2 Time/Date : 4/28/00/9:52:37 PM  
 Engineer : Wanat&Panus Footing Code : F-2

A. Basic Data

Fy = 3000.00 ksc Fs = 1500.00 ksc  
 Fc = 200.00 ksc Fc' = 90.00 ksc

B. Input

Column Load : 20000.00 Kg  
 Allowable Bearing Capacity : 10000.00 Kg/m2  
 Moment (MB) : 0.00 Kg-m  
 Moment (ML) : 2500.00 Kg-m  
 Column Width(CB) : 0.35 m  
 Column Length (CL) : 0.35 m

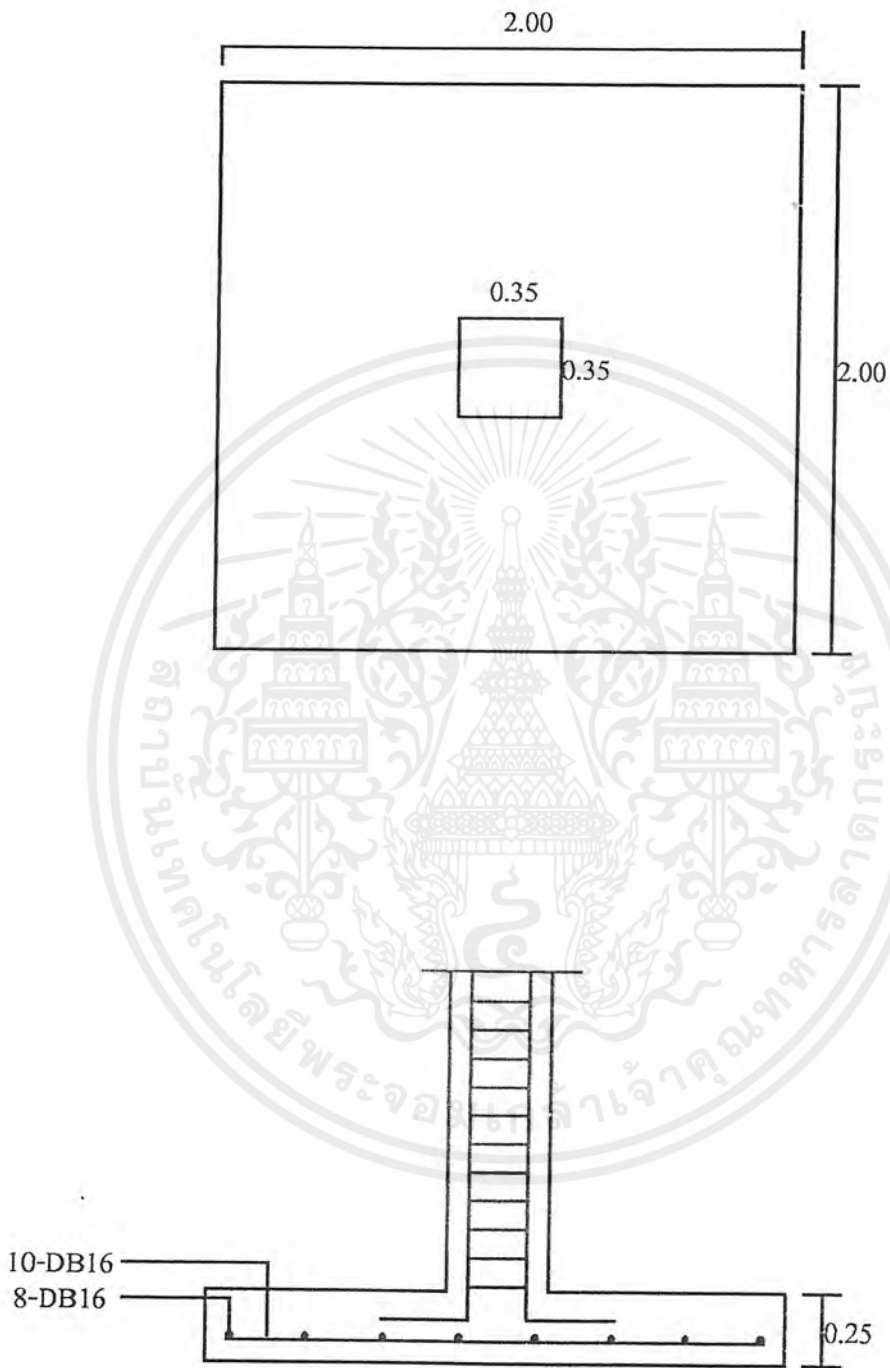
C. Result

n = 9.54 j = 0.879 R = 14.39 ksc  
 ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B) : 2.00 m  
 ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L) : 2.00 m  
 Moment (max)ที่ขอบเสาทางด้านยาว : 4321.33 kg-m  
 Moment (max)ที่ขอบเสาทางด้านสั้น : 3403.13 kg-m  
 ความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ,  $d = \text{sqr}(M_{\text{max}}/RB)$  : 0.12 m  
 เลือกใช้ความลึกของฐานราก 0.25 m โดยใช้ความลึกประสิทธิภาพ d 0.17 m  
ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา  
 ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d จากขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  : 8258.25 kg  
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมรับได้,  $V_c = 0.29 \cdot s$  Thickness : 13534.02 kg OK  
ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทงที่ระยะ d/2 จากขอบเสา  
 ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d/2 รอบขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  : 18673.88 kg  
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมรับได้,  $V_c = 0.53 \cdot \text{sqr}(F_c) \cdot B_o \cdot d$  : 25476.63 kg OK  
พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว  
 ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้  $A_{st}$  ด้านยาว =  $M/f_y j d$  : 19.87 cm<sup>2</sup>  
 เลือกเหล็กขนาด 10 - DB16 @ 20.6 cm  $A_s = 20.10$  cm<sup>2</sup>  $\sum \circ = 50.24$  cm  
ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว  
 แรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  ที่ขอบเสา : 10067.58 kg  
 ค่าของ  $\sum \circ$  ที่ต้องการ =  $V/u_j d$  : 24.32 cm OK  
พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านสั้น  
 ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้  $A_{st}$  ด้านสั้น =  $M/f_y j d$  : 15.65 cm<sup>2</sup>  
 เลือกเหล็กขนาด 8 - DB16 @ 26.4 cm  $A_s = 16.08$  cm<sup>2</sup>  $\sum \circ = 40.19$  cm  
ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว  
 แรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  ที่ขอบเสา : 8250.00 kg  
 ค่าของ  $\sum \circ$  ที่ต้องการ =  $V/u_j d$  : 19.93 cm OK

PROJECT : Example2

ENGINEER : Wanat&Panus

FOOTING CODE : F-2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำนวณออกแบบ Isolate Footing ด้วยวิธีกำลังใช้งาน(Working Stress Method)

Project : Example3 Time/Date : 4/28/00/9:54:06 PM  
 Engineer : Wanat&Panus Footing Code : F-3

A. Basic Data

Fy = 3000.00 ksc Fs = 1500.00 ksc  
 Fc = 210.00 ksc Fc' = 94.50 ksc

B. Input

Column Load : 100000.00 Kg  
 Allowable Bearing Capacity : 20000.00 Kg/m2  
 Moment (MB) : 10000.00 Kg-m  
 Moment (ML) : 20000.00 Kg-m  
 Column Width(CB) : 0.40 m  
 Column Length (CL) : 0.40 m

C. Result

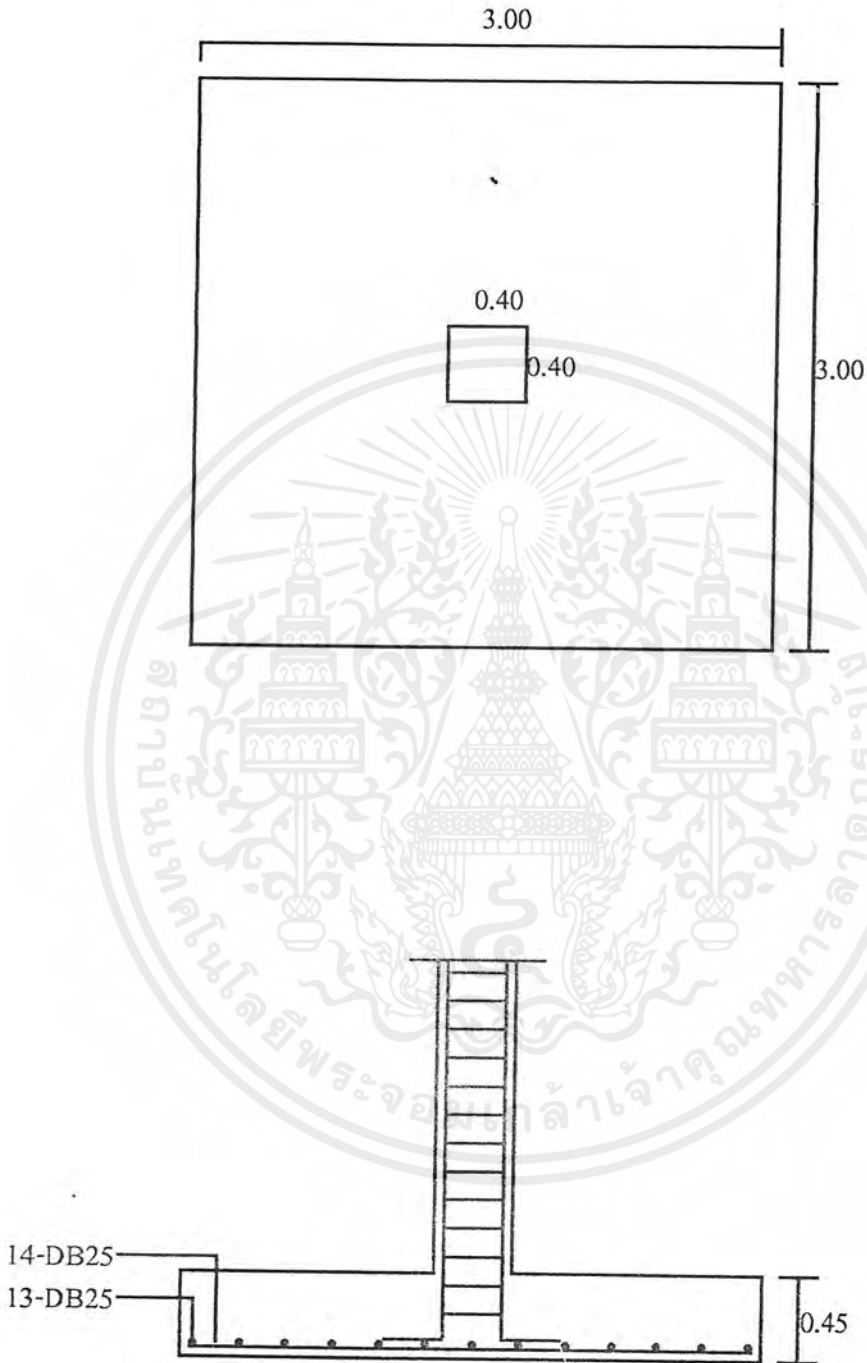
n = 9.31 j = 0.877 R = 15.32 ksc  
 ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B) : 3.00 m  
 ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L) : 3.00 m  
 Moment (max)ที่ขอบเสาทางด้านยาว : 34551.11 kg-m  
 Moment (max)ที่ขอบเสาทางด้านสั้น : 31358.89 kg-m  
 ความลึกประสิทธิภาพที่ต้องการ,  $d = \text{sqr}(M_{\text{max}}/RB)$  : 0.27 m  
 เลือกใช้ความลึกของฐานราก 0.45 m โดยใช้ความลึกประสิทธิภาพ  $d$  0.39 m  
**ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ  $d$  จากขอบเสา**  
 ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ  $d$  จากขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  : 38786.22 kg  
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้,  $V_c = 0.29 \cdot s$  Thickness : 49169.24 kg OK  
**ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทงูที่ระยะ  $d/2$  จากขอบเสา**  
 ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ  $d/2$  รอบขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  : 93065.56 kg  
 หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้,  $V_c = 0.53 \cdot \text{sqr}(F_c') \cdot B_o \cdot d$  : 94653.62 kg OK  
**พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว**  
 ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านยาว =  $M/f_y j d$  : 67.36  $\text{cm}^2$   
 เลือกเหล็กขนาด 14 - DB25 @ 22.3 cm As = 68.74  $\text{cm}^2$   $\sum O = 109.90$  cm  
**ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว**  
 แรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  ที่ขอบเสา : 53155.56 kg  
 ค่าของ  $\sum o$  ที่ต้องการ =  $V/u j d$  : 83.03 cm OK  
**พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านสั้น**  
 ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านสั้น =  $M/f_y j d$  : 61.14  $\text{cm}^2$   
 เลือกเหล็กขนาด 13 - DB25 @ 24.2 cm As = 63.83  $\text{cm}^2$   $\sum O = 102.05$  cm  
**ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว**  
 แรงเฉือน  $V_{\text{max}}$  ที่ขอบเสา : 48244.44 kg  
 ค่าของ  $\sum o$  ที่ต้องการ =  $V/u j d$  : 75.36 cm OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROJECT : Example3

ENGINEER : Wanat&Panus

FOOTING CODE : F-3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและ200ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เลือกเหล็กขนาด 7 - DB16 @ 23.3 cm  $A_s = 14.07 \text{ cm}^2$   $\sum O = 35.17 \text{ cm}$

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว

แรงเฉือน  $V_{max}$  : 15921.88 kg

ค่าของ  $\sum O$  ที่ต้องการ =  $V/u_j d$  : 21.89 cm OK

3. ออกแบบเหล็กเสริมขวางได้เสาชิดเขต

คานขวางได้เสาชิดเขตกว้าง : 0.54 cm

โมเมนต์ที่มากที่สุดที่ขอบเสา,  $M_{max}$  : 2604.17 kg-m

ปริมาณเหล็กเสริมขวางที่ต้องการ  $A_{st} = M/f_y d$  : 6.81  $\text{cm}^2$

เลือกเหล็กขนาด 4 - DB16 @ 14.7 cm  $A_s = 8.04 \text{ cm}^2$   $\sum O = 20.10 \text{ cm}$

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว

แรงเฉือน  $V_{max}$  : 8333.33 kg

ค่าของ  $\sum O$  ที่ต้องการ =  $V/u_j d$  : 11.46 cm OK

4. ออกแบบเหล็กเสริมขวางได้เสาชิดภายใน

คานขวางได้เสาภายในกว้าง : 0.54 cm

โมเมนต์ที่มากที่สุดที่ขอบเสา,  $M_{max}$  : 3906.25 kg-m

ปริมาณเหล็กเสริมขวางที่ต้องการ  $A_{st} = M/f_y d$  : 10.22  $\text{cm}^2$

เลือกเหล็กขนาด 4 - DB20 @ 14.7 cm  $A_s = 12.56 \text{ cm}^2$   $\sum O = 25.12 \text{ cm}$

ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว

แรงเฉือน  $V_{max}$  : 8333.33 kg

ค่าของ  $\sum O$  ที่ต้องการ =  $V/u_j d$  : 21.48 cm OK

5. ออกแบบเหล็กเสริมกันร้าว

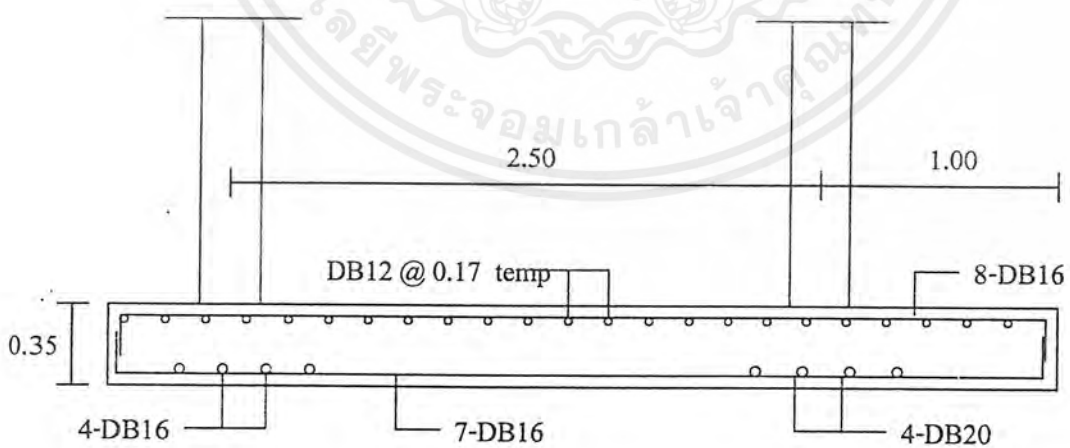
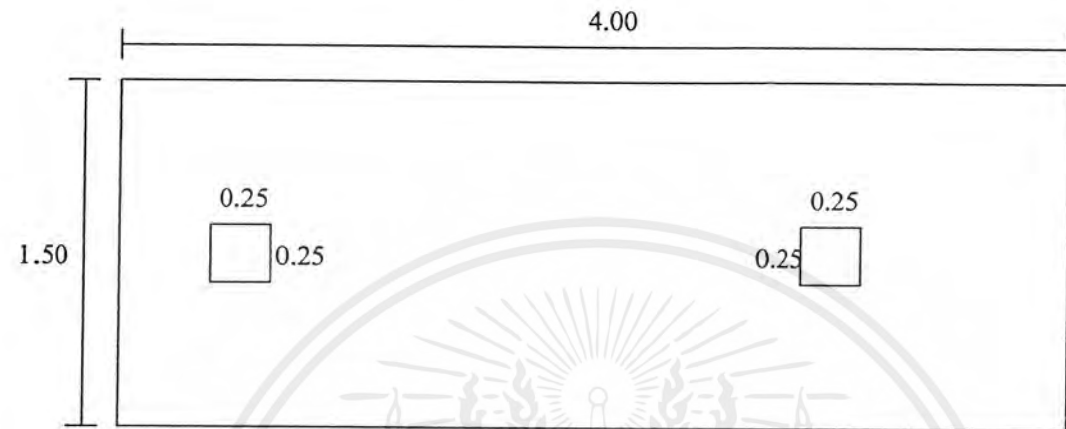
ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าวที่ต้องการ  $A_{st} =$  : 7.00  $\text{cm}^2/\text{m}$

เลือกเหล็กขนาด DB12 @ 16.7 cm

PROJECT : Example4

ENGINEER : Wanat&Panus

FOOTING CODE : F-4



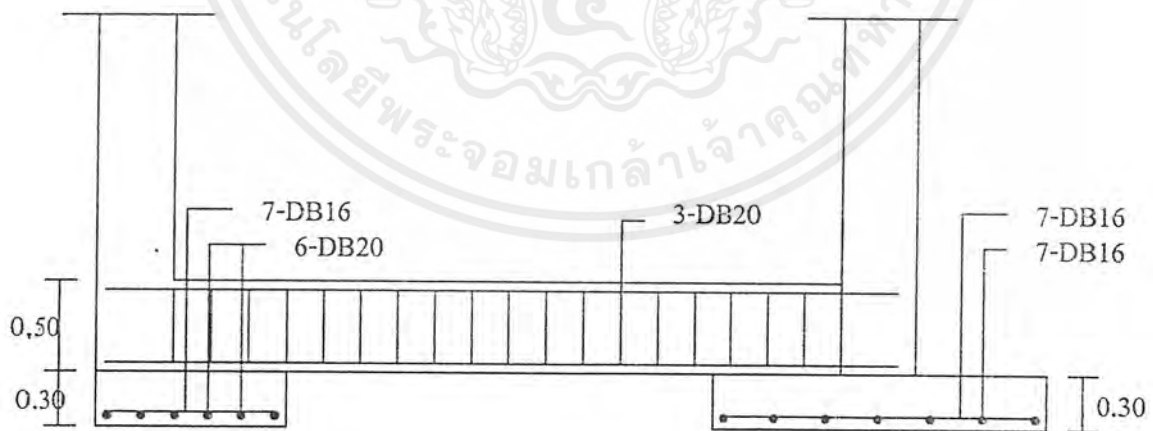
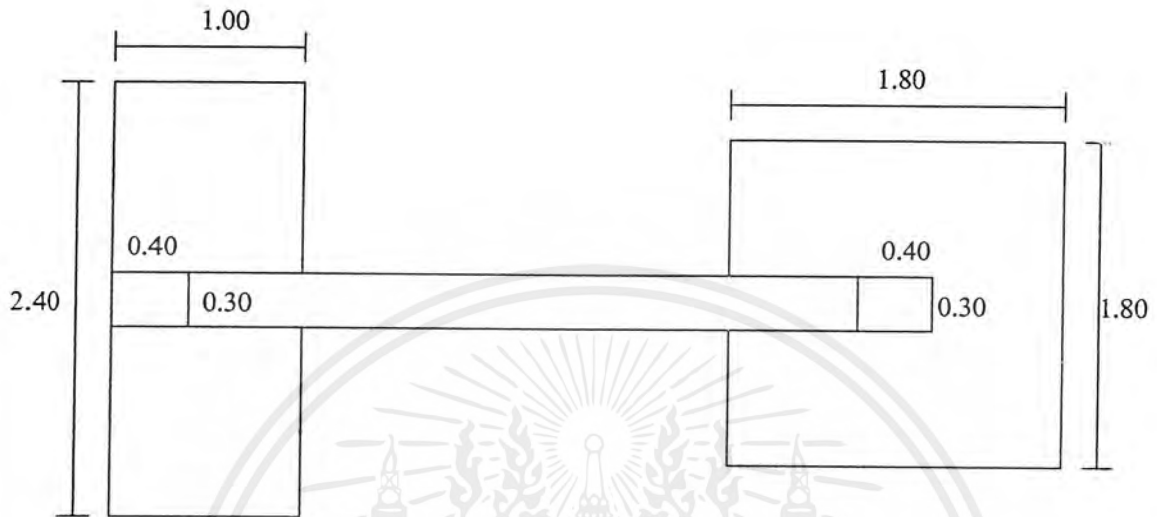


เลือกใช้ความลึกของฐานราก	0.30	m	โดยใช้ความลึกประสิทธิผล d	0.25	m		
<u>ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา</u>							
ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d จากขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน $V_{max}$						7604.50	kg
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, $V_c = 0.29 \cdot \text{sqrt}(F_c') \cdot B \cdot d$						10253.05	kg OK
<u>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริม</u>							
1. ออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว							
โมเมนต์ที่มากที่สุด, $M_{max}$						5239.98	kg-m
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ $A_{st} = M/f_y d$						15.90	cm <sup>2</sup>
เลือกเหล็กขนาด 6 - DB20 @ 18.4 cm	$A_s =$	18.84	cm <sup>2</sup>	$\sum O =$	37.68	cm	
<u>ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว</u>							
แรงเฉือน $V_{max}$						9980.91	kg
ค่าของ $\sum O$ ที่ต้องการ = $V/u_j d$						19.89	cm OK
2. ออกแบบเหล็กเสริมกันร้าว							
ปริมาณเหล็กเสริมกันร้าวที่ต้องการ $A_{st} =$						14.40	cm <sup>2</sup> /m
เลือกเหล็กขนาด 8 - DB16 @ 33.1 cm							
<u>3. ออกแบบฐานรากภายใน</u>							
ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B)						1.80	m
ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L)						1.80	m
โมเมนต์ที่มากที่สุด, $M_{max}$						4591.64	kg-m
ความลึกประสิทธิผลที่ต้องการ, $d = \text{sqrt}(M_{max}/RB)$						0.13	m
เลือกใช้ความลึกของฐานราก	0.30	m	โดยใช้ความลึกประสิทธิผล d	0.25	m		
<u>ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา</u>							
ที่หน้าตัดวิกฤตระยะ d จากขอบเสาจะได้ค่าแรงเฉือน $V_{max}$						8162.91	kg
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, $V_c = 0.29 \cdot \text{sqrt}(F_c') \cdot B \cdot d$						10253.05	kg OK
<u>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริม</u>							
1. ออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว							
โมเมนต์ที่มากที่สุด, $M_{max}$						4591.64	kg-m
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ $A_{st} = M/f_y d$						13.94	cm <sup>2</sup>
เลือกเหล็กขนาด 7 - DB16 @ 28.7 cm	$A_s =$	14.07	cm <sup>2</sup>	$\sum O =$	35.17	cm	
<u>ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว</u>							
แรงเฉือน $V_{max}$						12244.37	kg
ค่าของ $\sum O$ ที่ต้องการ = $V/u_j d$						19.52	cm OK
2. ออกแบบเหล็กเสริมด้านสั้น							
โมเมนต์ที่มากที่สุด, $M_{max}$						3999.83	kg-m
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ $A_{st} = M/f_y d$						12.14	cm <sup>2</sup>
เลือกเหล็กขนาด 7 - DB16 @ 28.7 cm	$A_s =$	14.07	cm <sup>2</sup>	$\sum O =$	35.17	cm	
<u>ตรวจสอบการยึดเหนี่ยว</u>							
แรงเฉือน $V_{max}$						12600.00	kg
ค่าของ $\sum O$ ที่ต้องการ = $V/u_j d$						20.09	cm OK

PROJECT : Example5

ENGINEER : Wanat&Panus

FOOTING CODE : F-5



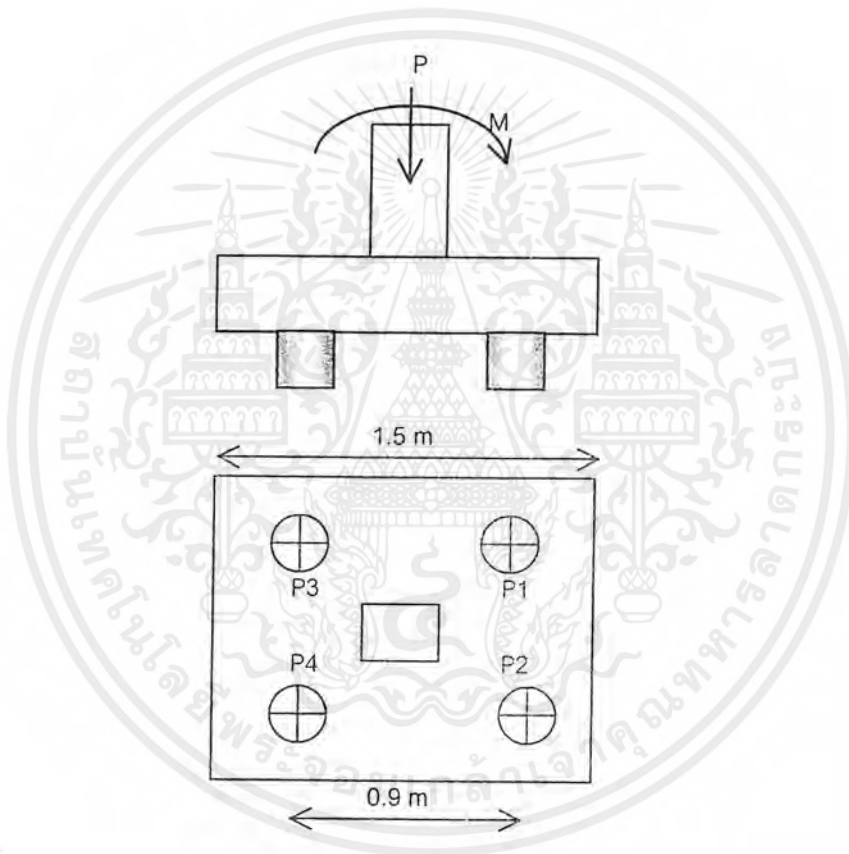
## ภาคผนวก ง.

### การเปรียบเทียบที่ได้จากโปรแกรม RC Pile Footing



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 1 ออกแบบฐานรากเดี่ยววางบนเสาเข็มรับน้ำหนักใช้งานตามแนวแกน  $P_D = 50$  ตัน  $P_L = 25$  ตัน และรับโมเมนต์ใช้งาน  $M_D = 10$  ตัน-ม  $M_L = 5$  ตัน-ม จากเสาปลอกเดี่ยวสี่เหลี่ยมจตุรัสขนาด 40 ซม. กำหนดให้  $f_c' = 200$  ksc,  $f_y = 3000$  ksc และ  $n = 10$  สมมติกำลังรับน้ำหนักปลอดภัยของเสาเข็มคอนกรีต  $0.22 \times 0.22 \times 21$  เมตร มีค่า 30 ตัน สมมุติดินถมสูง 1.5 ม.



### วิธีการคำนวณ

สมมติน้ำหนักฐานราก 15%	$= 0.15 \times (50 + 25) = 11.25$ ตัน
น้ำหนักที่กระทำฐานราก	$= 75$ ตัน

น้ำหนักรวม = 86.25 ตัน

จำนวนเสาเข็ม = 86.25/30 = 2.875 ตัน

เลือกใช้เสาเข็ม 4 ต้น เพราะต้องรับโมเมนต์ด้วย

หาแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มแต่ละต้น(ไม่รวมน้ำหนักฐานรากและดินถม)

$$P_1 = P_2 = \frac{75000}{4} + \frac{15000(0.45)}{4(0.45)^2} = 27083.33 \text{ กก} < 30 \text{ ตัน}$$

$$P_3 = P_4 = \frac{75000}{4} - \frac{15000(0.45)}{4(0.45)^2} = 17916.67 \text{ กก} < 30 \text{ ตัน}$$

เลือกใช้ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม = 0.90 เมตร

หาโมเมนต์มากที่สุดที่ขอบเสาจาก  $M = 2(27083) \frac{(0.9 - 0.4)}{2} = 13541.5 \text{ กก-เมตร}$

หาความลึกประสิทธิผลจาก  $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{13541.5}{14.762(150)}} = 24.73 \text{ เซนติเมตร}$

เลือกใช้ความลึกประสิทธิผล  $d = 35 \text{ ซม.}$

ตรวจสอบ Beam shear

ที่หน้าตัดวิกฤติระยะ 35 ซม จากขอบเสา พบว่าเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเข้ามาทางเสาเป็นระยะ 35-25 = 10 ซม ดังนั้นจึงต้องมีการลดกำลังของเสาเข็มดังนี้

$$P' = \frac{1}{30}(-10 + 15)(27083) = 4514 \text{ กก}$$

$$\text{เมื่อ } V_c = 0.29\sqrt{f'_c}bd = 0.29\sqrt{200}(150)(35) = 21531 \text{ kg}$$

$$> 2(4514) = 9028 \text{ kg}$$

ตรวจสอบ Two way shear

ที่หน้าตัดวิกฤติ คือที่ระยะ  $35/2 = 17.5$  ซม. คำนวณเส้นรอบรูป  $b = 4(40+35) = 300$  ซม.

เนื่องจากศูนย์กลางของเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเป็นระยะ  $25 - 17.5 = 7.5$  ซม. น้อยกว่า 15 ซม. ดังนั้นจึงต้องมีการลดกำลังของเสาเข็มดังนี้

$$P' = \frac{1}{30} (7.5 + 15) \left( \frac{75000}{4} \right) = 14063 \text{ กก.}$$

ค้ำน้ำหนักเฉือนจะมีค่าเท่ากับ  $4 * 14063 = 56250$  กก.

แต่แรงเฉือนที่รับด้วยคอนกรีต  $V_c = 0.53 \sqrt{200} (300 \times 35) = 78701 > 56250$  กก

ตรวจสอบน้ำหนักฐานรากจริง =  $2400 * 1.5 * 1.5 * 40 = 2160$  กก.  $< 11250$  กก.

พิจารณาออกแบบเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{13541.5 \times 100}{1500(0.875)(35)} = 29.48 \text{ cm}^2$$

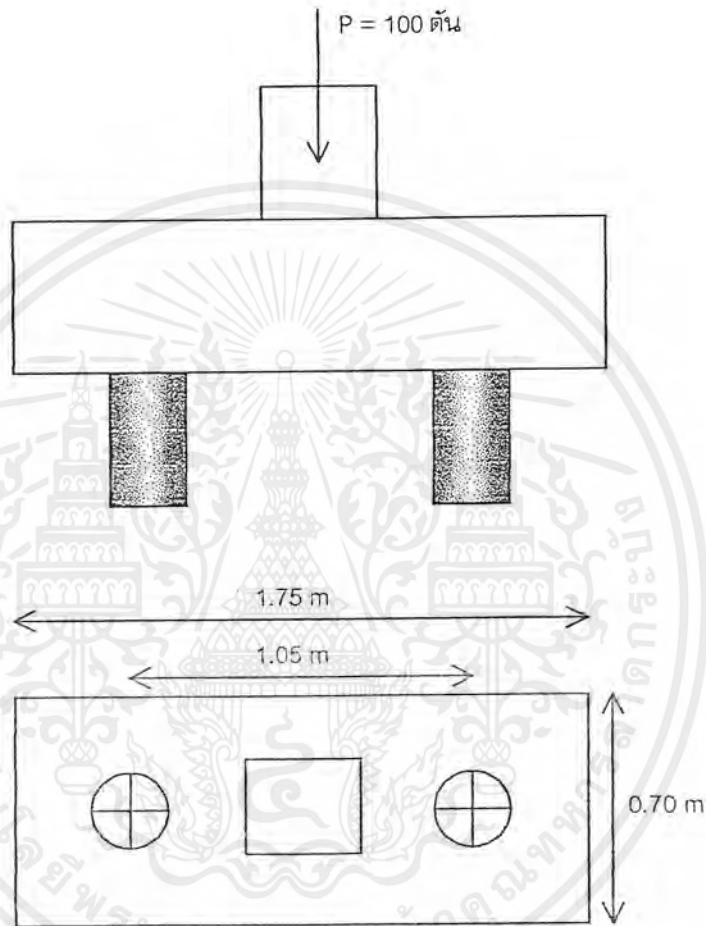
เมื่อ  $A_{\min} = 0.0020 (150)(40) = 12 \text{ cm}^2 < 29.48 \text{ cm}^2$

ถ้าใช้เหล็ก DB-20

$$\sum o = \frac{V}{u_j d} = \frac{2(27083)}{22.84(0.875)(35)} = 77.44 \text{ cm}$$

ดังนั้นเลือกเหล็ก I3-DB20

ตัวอย่างที่ 2 ออกแบบฐานรากให้รับน้ำหนัก 100 ตัน ใช้เสาเข็ม S-35 รับน้ำหนักปลอดภัยได้ 60 ตัน ความยาวเสาเข็ม 21 เมตร ขนาดเสา 0.4\*0.4



#### วิธีการคำนวณ

สมมติน้ำหนักฐานราก 15%	$= 0.15 \cdot 100$	$= 15$	ตัน
น้ำหนักที่กระทำฐานราก		$= 100$	ตัน
น้ำหนักรวม		$= 115$	ตัน
จำนวนเสาเข็ม		$= 115/60 = 1.92$	ตัน
เลือกใช้เสาเข็ม 2 ตัน			
หาแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มแต่ละต้น(ไม่รวมน้ำหนักฐานราก)		$= 100/2 = 50$	ตัน
เลือกใช้ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 3 เท่าของขนาดเสาเข็ม		$= 1.05$	เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาโมเมนต์ที่ขอบเสาจาก  $M = 50 \frac{(1.05 - 0.4)}{2} = 16.25$  คัน-เมตร

หาความลึกประสิทธิผลจาก  $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{16250}{10.62(0.7)}} = 47$  เซนติเมตร

เลือกใช้ความลึกประสิทธิผล  $d = 65$  ซม.

ตรวจสอบ Beam shear

เนื่องจากที่หน้าตัดวิกฤติคือที่ระยะ  $d = 0.65$  ม. จากขอบเสา เสาเข็มจะอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติไปทางเสา  $0.325$  ซึ่งมากกว่า  $15$  ซม. ตามข้อกำหนดไม่ต้องนำมาพิจารณา

ตรวจสอบ Two way shear

ที่หน้าตัดวิกฤติ คือที่ระยะ  $d/2 = 0.325$  ม. อยู่ตรงหัวเสาเข็มพอดี ดังนั้นจึงสามารถลดกำลังของเสาเข็มได้ครึ่งหนึ่งเหลือ  $25$  คัน เนื่องจากทางค้ำกว้างของฐานรากหน้าตัดวิกฤติอยู่เลยออกไปจากความกว้างของฐานรากดังนั้นจึงคิดแรงเฉือนแบบ

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{2500}{70(65)} = 5.5 \text{ ksc} < 6.38 \text{ ksc} \quad \text{OK}$$

ตรวจสอบน้ำหนักจริงของฐานราก  $= 2400 * 1.75 * 0.7 * 0.7 = 2058$  กก < ที่สมมุติไว้

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับจริง  $= \frac{100 + 2.58}{2} = 51.29$  กก <  $60$  คัน

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{16250}{1400(0.876)(0.65)} = 20.38 \text{ cm}^2$$

เมื่อ  $A_{min} = 0.0020(70)(70) = 9.8 \text{ cm}^2 < 20.38 \text{ cm}^2$

ถ้าใช้เหล็ก DB25

$$\sum o = \frac{V}{ujd} = \frac{50000}{15.5(0.876)(65)} = 56.65 \text{ cm}$$

จากการเลือกเหล็กจะได้ 8-DB25

หาเหล็กกันร้าวทางสั้น

$$As = 0.0020(175)(70) = 24.5 \text{ cm}^2$$

จากการเลือกเหล็กจะได้ 5-DB25



### ตัวอย่างที่ 3 ออกแบบฐานรากเสาเข็ม 1 ต้น

#### วิธีการออกแบบ

ในการออกแบบ Pile cap ของฐานรากเสาเข็ม 1 ต้นนั้นความหนาต่ำสุดของฐานรากควรมีความหนาต่ำสุดเป็นไปตามข้อกำหนดของฐานรากเสาเข็มคือ อย่างน้อยควรมีความลึกประสิทธิภาพมากกว่า 30 ซม. ส่วนความหนาที่เหมาะสมนั้นเพื่อความสะดวกต่อการทำงานจะนิยมกำหนดให้มีความหนาเท่ากับ ความหนาของฐานรากอื่นในงานเดียวกัน

ปริมาณเหล็กเสริมสำหรับฐานรากเสาเข็ม 1 ต้นนั้นจะเป็นไปตามมาตรฐานเหล็กเสริมกันร้าวคือ

ใช้ 0.0025bt	สำหรับเหล็ก SD24
0.0020bt	สำหรับเหล็ก SD30
0.0018 bt	สำหรับเหล็ก SD40

ในตัวอย่างนี้ถ้าใช้ฐานรากขนาด  $0.35 \times 0.35$  ม. และเสริมด้วยเหล็ก SD30

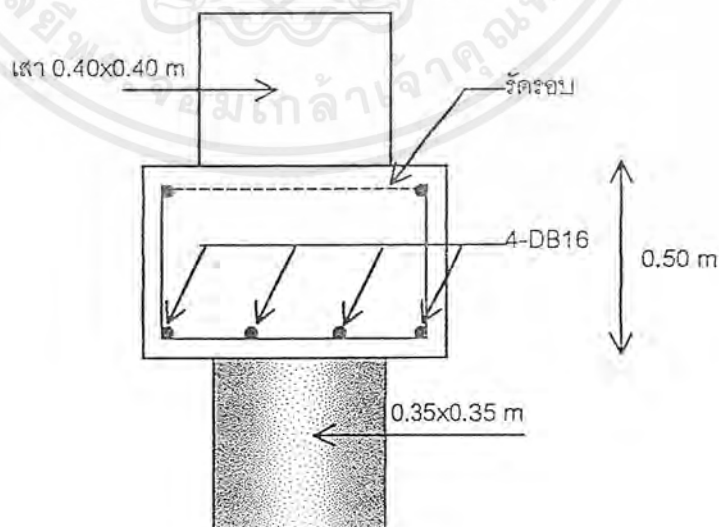
จะได้ความกว้างของฐานราก  $2 \times 0.35 = 0.70$  ม.

และเลือกใช้ความหนาของฐานราก  $= 0.50$  ม.

และได้ปริมาณเหล็กเสริม  $= 0.0020(70)(50)$

$$= 7 \text{ cm}^2$$

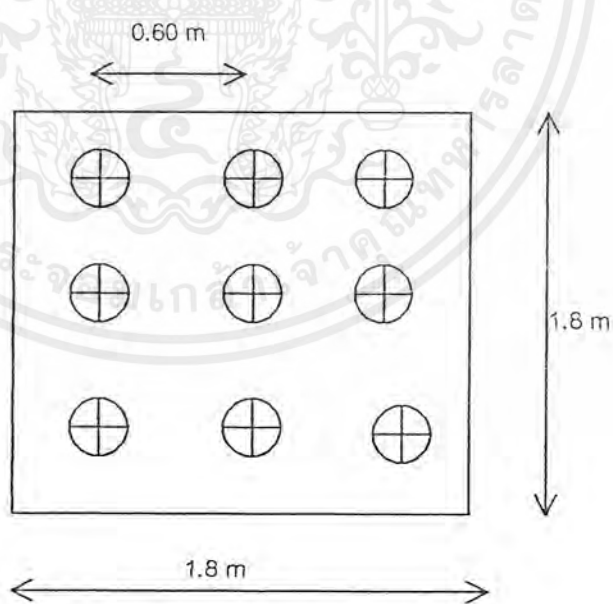
ถ้าเลือกใช้เหล็ก DB16 จะได้ 4-DB16 ( $A_s = 8.04 \text{ cm}^2$ )



ตัวอย่างที่ 4 จงออกแบบฐานรากเดี่ยววางบนเสาเข็ม รับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักจรรวมกัน 24 ตัน จากเสาปลอกเดี่ยวตีเหล็กขั้วรัศขนาด 20 ซม. ซึ่งเสริมด้วยเหล็กยื่นขนาด DB20 จำนวน 4 เส้น กำหนดให้  $f_c' = 200 \text{ ksc}$ ,  $f_y = 3000 \text{ ksc}$  กำลึงรับน้ำหนักใช้งานของเสาเข็มคอนกรีตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว คั่นละ 3 คั่น

### วิธีการในการคำนวณ

- สมมติน้ำหนักฐานราก 12.5%  $= 0.125 \times 24 = 3$  ตัน
- น้ำหนักที่กระทำฐานราก  $= 24$  ตัน
- น้ำหนักจรรวม  $= 27$  ตัน
- จำนวนเสาเข็ม  $= 27/3 = 9$  คั่น
- เลือกใช้เสาเข็ม 9 คั่น
- หาแรงที่ถ่ายลงเสาเข็มแต่ละคั่น (ไม่รวมน้ำหนักฐานราก)  $= 24/9 = 2.67$  ตัน
- เลือกใช้ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม 3 เท่าของขนาดเสาเข็ม  $= 0.6$  เมตร
- คั้งนั้นสามารถจัดขนาดฐานรากได้คั้งนี้



หาโมเมนต์ที่ขอบเสาจาก  $M = (3 \times 2.67)(0.60 - 0.10) = 4.005$  ตัน-เมตร

เมื่อ  $f_c' = 200 \text{ ksc}$ ,  $f_y = 3000 \text{ ksc}$   $k = 0.375$   $n = 10$   $j = 0.875$   $R = 14.76$

หาความลึกประสิทธิภาพจาก  $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}} = \sqrt{\frac{400500}{14.76(180)}} = 12.27$  เซนติเมตร

เลือกใช้ความลึกประสิทธิภาพ  $d = 30$  ซม. และความหนาคอนกรีต  $t_m = 5$  ซม.

ตรวจสอบ Beam shear

เนื่องจากที่หน้าตัดวิกฤตคือที่ระยะ  $d = 0.30$  ม. จากขอบเสา เสาเข็มจะอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤตออกไป  $0.20$  ม. ซึ่งมากกว่า  $15$  ซม. ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการลดค่าของเสาเข็ม

แรงที่หน้าตัดวิกฤตรับ  $= 3 \times 2.76 = 8.24$  ตัน

แรงที่คอนกรีตสามารถรับได้  $= 0.29 \sqrt{200} (180 \times 30) = 22146 \text{ kg}$  หรือ  $22.146$  ตัน  $> 8.24$  ตัน

ตรวจสอบ Two way shear

ที่หน้าตัดวิกฤต คือที่ระยะ  $d/2 = 0.15$  ม. จากขอบเสา เสาเข็มจะอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤตออกไป  $0.35$  ม. ซึ่งมากกว่า  $15$  ซม. ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการลดค่าของเสาเข็ม

$$v = \frac{V}{bd} = \frac{8 \times 2.67 \times 1000}{200(30)} = 3.56 \text{ ksc} < 7.49 \text{ ksc} \quad \text{OK}$$

ตรวจสอบน้ำหนักจริงของฐานราก  $= 2400 \times 1.80 \times 1.80 \times 0.35 = 2723$  กก  $<$  ที่สมมุติไว้  $3$  ตัน

น้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นรับจริง  $= \frac{24 + 2.723}{9} = 2.97$  กก  $< 3$  ตัน

หาเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

$$A_s = \frac{M}{f_s j d} = \frac{4005 \times 100}{1500(0.875)(30)} = 10.17 \text{ cm}^2$$

เมื่อ  $A_{min} = 0.0020(180)(35) = 12.6 \text{ cm}^2 > 10.17 \text{ cm}^2$

ถ้าใช้เหล็ก DB25

$$\sum o = \frac{V}{ujd} = \frac{3 \times 2.67 \times 1000}{28.5(0.875)(30)} = 10.70 \text{ cm}$$

จากการเลือกเหล็กจะได้ 7-DB16 ( $A_s = 14.07 \text{ cm}^2$ ,  $\sum O = 35.19 \text{ cm}$ )





ผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม  
RC Pile Footing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**รายการคำนวณออกแบบ Isolate Footing ด้วยวิธีกำลังใช้งาน(Working Stress Method)**

Project : ตัวอย่างที่ 1

Date/Time: 4/28/00 / 8:44:25 PM

Engineer : Panus Pattamasawuth

Footing Code : FT-1

**A. Basic Data**

Fy =	3000	ksc	Fs =	1500	ksc
Fc' =	200	ksc	Fc =	90	ksc

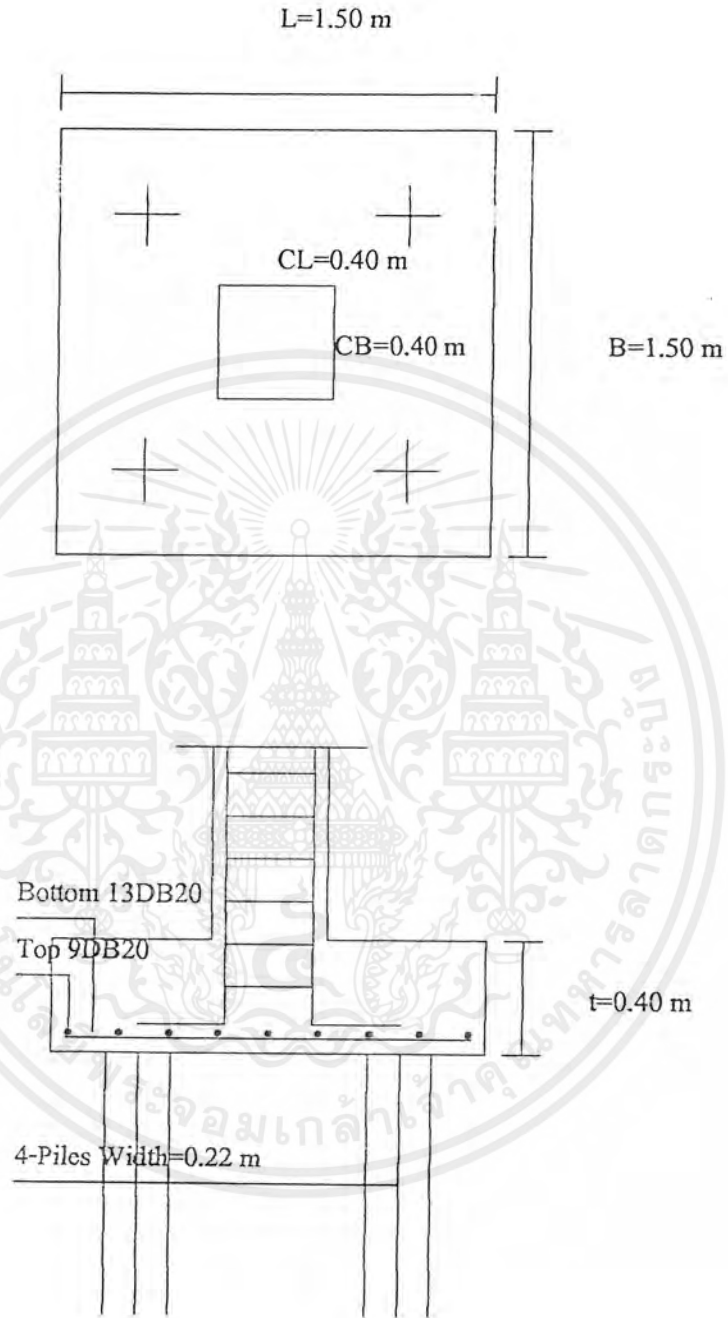
**B. Input**

Column Load	:	75000.00	Kg
Capacity Of Pile	:	30000.00	Kg
Size Of Pile (Width or Diameter)	:	0.22	m
Moment (MB)	:	0.00	Kg-m
Moment (ML)	:	15000.00	Kg-m
Column Width(CB)	:	0.40	m
Column Length (CL)	:	0.40	m

**C. Result**

n =	9.48	j =	0.8791	R =	14.347	
จำนวนเสาเข็มที่ใช้	:	4	ต้น			
Spacing Of Pile	:	0.9000	m			
ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B)	:	1.5000	m			
ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L)	:	1.5000	m			
Moment (max) เหล็กทงยาว	:	13541.6667	kg-m			
Moment (max) เหล็กทงสั้น	:	9375.0000	kg-m			
ความลึกประสิทธิผล(d)	:	0.2508	m			
เลือกใช้ความหนาของฐานราก	0.4 m	โดยใช้ความลึกประสิทธิผล	0.35 m			
<u>ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา</u>						
ที่หน้าตัดวิกฤต จะได้ค่าแรงเฉือน Vmax	:	9027.7778	kg			
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, Vc = 0.29*sqrt(fc')*B*d	:	21531.4015	kg			
<u>ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทงที่ระยะ d/2 จากขอบเสา</u>						
ที่หน้าตัดวิกฤต จะได้ค่าแรงเฉือน Vmax	:	56250.0000	kg			
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, Vc = 0.53*sqrt(fc')*B*d	:	78700.9847	kg			
<u>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว</u>						
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านยาว = M/fs*j*d	:	29.3410	cm <sup>2</sup>			
เลือกเหล็กขนาด 13 - DB20 @ 11.67 cm	∑ O	81.68	cm	As =	40.84	cm <sup>2</sup>
<u>ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว</u>						
แรงเฉือน Vmax ที่ขอบเสา	:	54166.6667	kg			
ค่าของ ∑ O ที่ต้องการ = Vmax/ujd	:	77.0800	cm			
<u>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านสั้น</u>						
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านยาว = M/fs*j*d	:	20.3130	cm <sup>2</sup>			
เลือกเหล็กขนาด 9 - DB20 @ 17.5 cm	∑ O	56.55	cm	As =	28.27	cm <sup>2</sup>
<u>ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว</u>						
แรงเฉือน Vmax ที่ขอบเสา	:	37500.0000	kg			
ค่าของ ∑ O ที่ต้องการ = Vmax/ujd	:	53.3600	cm			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รายการคำนวณออกแบบ Isolate Footing ด้วยวิธีกำลังใช้งาน(Working Stress Method)**

Project : ตัวอย่างที่ 2

Date/Time: 4/28/00 / 8:49:08 PM

Engineer : Panus Pattamasawuth

Footing Code : FT-2

**A. Basic Data**

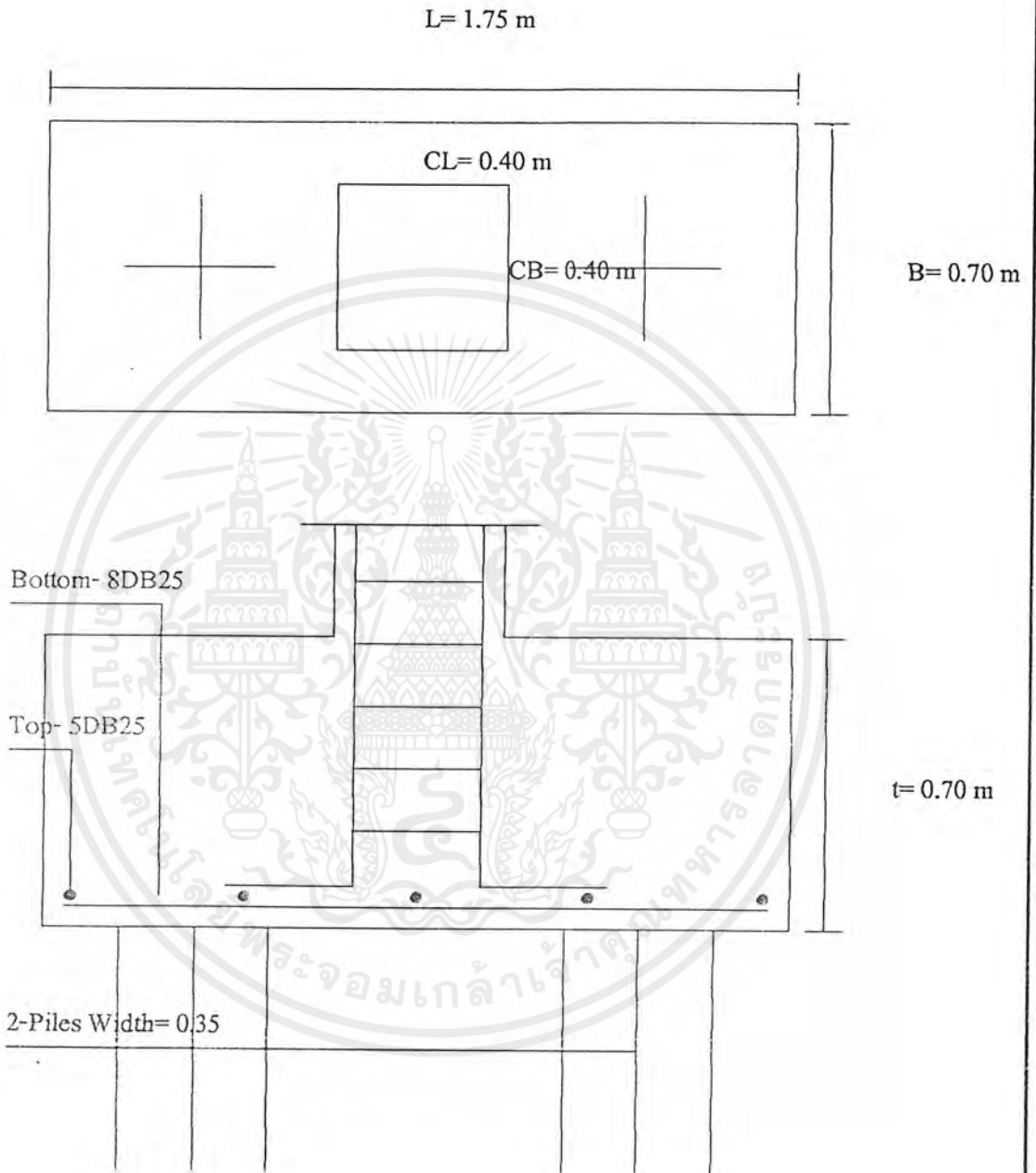
Fy =	3000	ksc	Fs =	1400	ksc
Fc' =	144	ksc	Fc =	65	ksc

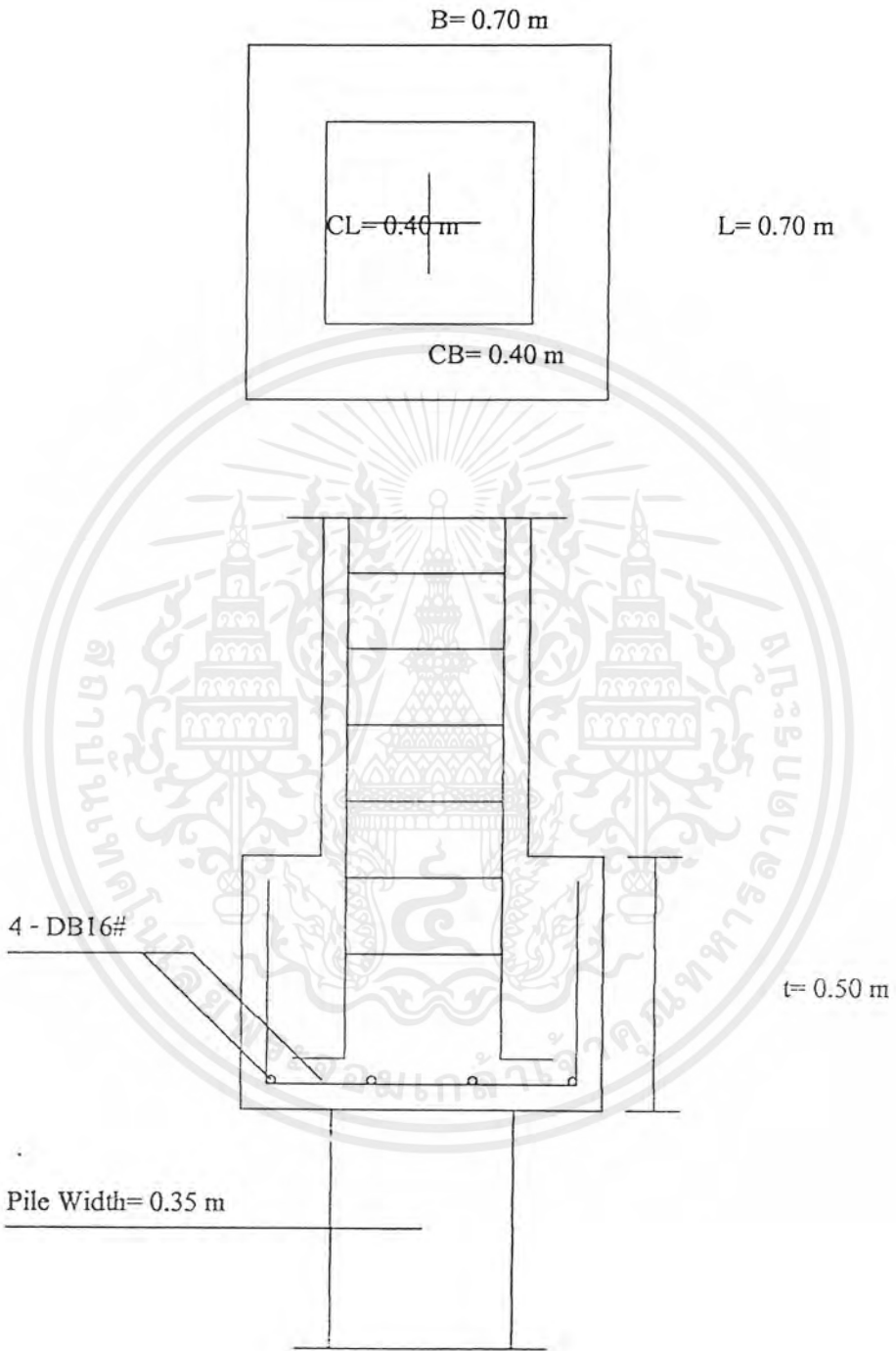
**B. Input**

Column Load	:	100000.00	Kg
Capacity Of Pile	:	60000.00	Kg
Size Of Pile (Width or Diameter)	:	0.35	m
Moment (MB)	:	N/A	Kg-m
Moment (ML)	:	0.00	Kg-m
Column Width(CB)	:	0.40	m
Column Length (CL)	:	0.40	m

**C. Result**

n =	11.18	j =	0.8861	R =	9.8389
จำนวนเสาเข็มที่ใช้	:	2	ต้น		
Spacing Of Pile	:	1.0500	m		
ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B)	:	0.7000	m		
ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L)	:	1.7500	m		
Moment (max) เหล็กทงยาว	:	16250.0000	kg-m		
Moment (max) เหล็กทงสั้น	:	0.0000	kg-m		
ความลึกประสิทธิผล(d)	:	0.4857	m		
เลือกใช้ความหนาของฐานราก	0.7 m	โดยใช้ความลึกประสิทธิผล	0.65 m		
<u>ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา</u>					
ที่หน้าตัดวิกฤต จะได้ค่าแรงเฉือน Vmax	:	0.0000	kg		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, Vc = 0.29*sqrt(fc')*B*d	:	15834.0000	kg		
<u>ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทงที่ระยะ d/2 จากขอบเสา</u>					
ที่หน้าตัดวิกฤต จะได้ค่าแรงเฉือน Vmax	:	50000.0000	kg		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, Vc = 0.53*sqrt(fc')*B*d	:	57876.0000	kg		
<u>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมคานยาว</u>					
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast คานยาว = Amin	:	20.1525	cm <sup>2</sup>		
เลือกเหล็กขนาด 8 - DB25 @ 8.57 cm	∑ O	62.83 cm	As =	39.27	cm <sup>4</sup>
<u>ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว</u>					
แรงเฉือน Vmax ที่ขอบเสา	:	50000.0000	kg		
ค่าของ ∑O ที่ต้องการ = Vmax/ujd	:	55.9900	cm		
<u>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมคานสั้น</u>					
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast คานยาว = M/fs*j*d	:	24.5000	cm <sup>2</sup>		
เลือกเหล็กขนาด 5 - DB25 @ 41.25 cm	∑ O	39.27 cm	As =	24.54	cm <sup>4</sup>
<u>ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว</u>					
แรงเฉือน Vmax ที่ขอบเสา	:	0.0000	kg		
ค่าของ ∑O ที่ต้องการ = Vmax/ujd	:	0.0000	cm		





**รายการคำนวณออกแบบ Isolate Footing ด้วยวิธีกำลังใช้งาน(Working Stress Method)**

Project : ตัวอย่างที่ 4

Date/Time: 4/28/00 / 9:07:30 PM

Engineer : Panus Pattamasawuth

Footing Code : FT-4

**A. Basic Data**

Fy =	3000	ksc	Fs =	1500	ksc
Fc' =	200	ksc	Fc =	90	ksc

**B. Input**

Column Load	:	24000.00	Kg
Capacity Of Pile	:	3000.00	Kg
Size Of Pile (Width or Diameter)	:	0.20	m
Moment (MB)	:	0.00	Kg-m
Moment (ML)	:	0.00	Kg-m
Column Width(CB)	:	0.20	m
Column Length (CL)	:	0.20	m

**C. Result**

n =	9.48	j =	0.8791	R =	14.347
จำนวนเสาเข็มที่ใช้	:	9	ต้น		
Spacing Of Pile	:	0.6000	m		
ความกว้างของฐานรากที่ใช้ (B)	:	1.8000	m		
ความยาวของฐานรากที่ใช้ (L)	:	1.8000	m		
Moment (max) เหล็กทงยาว	:	4000.0000	kg-m		
Moment (max) เหล็กทงสั้น	:	4000.0000	kg-m		
ความลึกประสิทธิภาพ(d)	:	0.1245	m		
เลือกใช้ความหนาของฐานราก	0.35 m	โดยใช้ความลึกประสิทธิภาพ	0.3 m		
ตรวจสอบแรงเฉือนแบบคานกว้างที่ระยะ d จากขอบเสา					
ที่หน้าตัดวิกฤต จะได้ค่าแรงเฉือน Vmax	:	8000.0000	kg		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, Vc = 0.29*sqrt(fc)*B*d	:	22146.5844	kg		
ตรวจสอบแรงเฉือนแบบทงคู่ที่ระยะ d/2 จากขอบเสา					
ที่หน้าตัดวิกฤต จะได้ค่าแรงเฉือน Vmax	:	21333.3333	kg		
หน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้, Vc = 0.53*sqrt(fc)*B*d	:	44971.9913	kg		
<b>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านยาว</b>					
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านยาว = M/fs*j*d	:	12.6000	cm <sup>2</sup>		
เลือกเหล็กขนาด 7 - DB16 @ 28.33 cm ∑ 0 35.19 cm As = 14.07 cm <sup>2</sup>					
<b>ตรวจสอบแรงยึดหน้า</b>					
แรงเฉือน Vmax ที่ขอบเสา	:	8000.0000	kg		
ค่าของ ∑ 0 ที่ต้องการ = Vmax/ujd	:	10.6300	cm		
<b>พิจารณาออกแบบเหล็กเสริมด้านสั้น</b>					
ปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องใช้ Ast ด้านยาว = M/fs*j*d	:	12.6000	cm <sup>2</sup>		
เลือกเหล็กขนาด 7 - DB16 @ 28.33 cm ∑ 0 35.19 cm As = 14.07 cm <sup>2</sup>					
<b>ตรวจสอบแรงยึดหน้า</b>					
แรงเฉือน Vmax ที่ขอบเสา	:	8000.0000	kg		
ค่าของ ∑ 0 ที่ต้องการ = Vmax/ujd	:	10.6300	cm		

