

การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเขของตึในประเทศไทย  
STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING  
CAISSON IN THAILAND



ปริญญาโทเป็นต้นเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคของสในประเศไทย  
STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING  
CAISSON IN THAILAND



โดย  
นายตะวัน รัตนวารินทร์ชัย รหัส 44010710  
นายภูมิวัฒน์ สวัสดิ์พุทธา รหัส 44010792

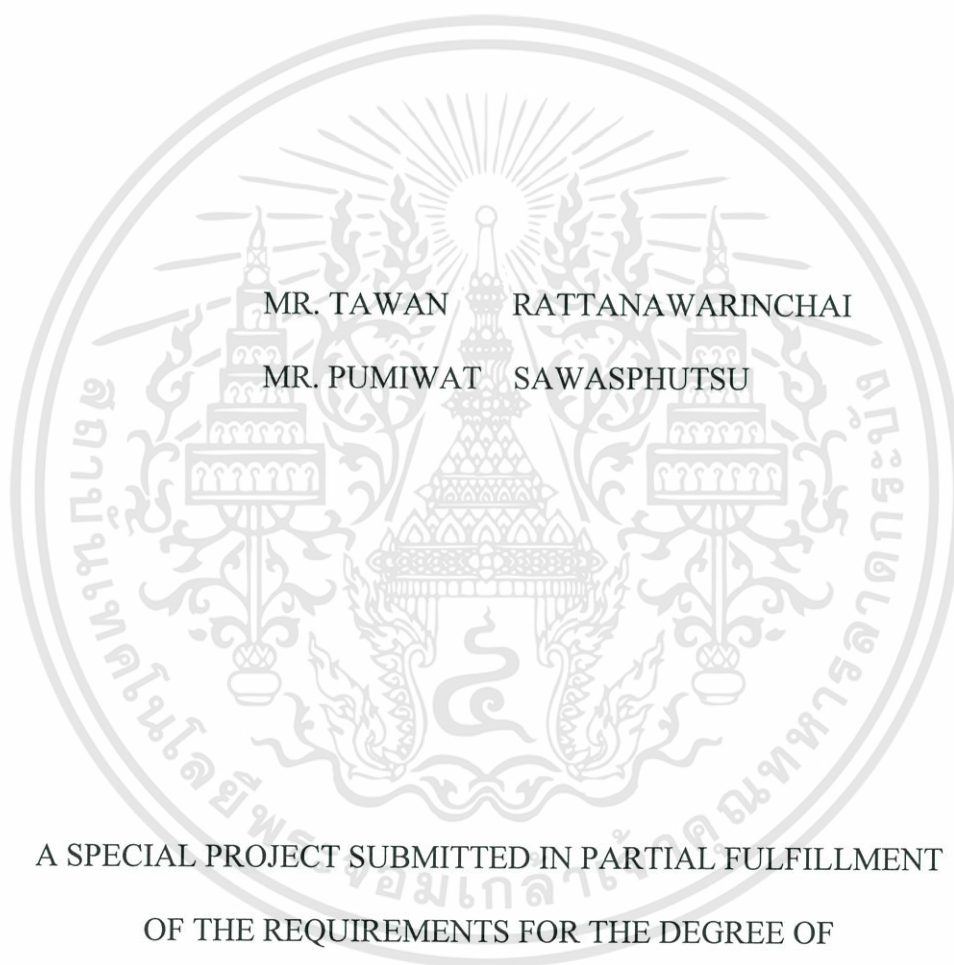
รฟ.  
๓ ๒๕๔๗  
๒๕๔๗

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **61365**  
วัน,เดือน,ปี **17 ก.ค. 2549**

๑๑๕๕๔๖๔๐  
b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

**STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING  
CAISSON IN THAILAND**



MR. TAWAN RATTANAWARINCHAI  
MR. PUMIWAT SAWASPHUTSU

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

2004

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

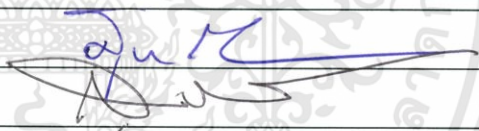




หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเขตรองสี่ในประเทศไทย

นักศึกษา นายตะวัน รัตนวรินทร์ชัย รหัสประจำตัว 44010710  
นายภูมิวัฒน์ สวัสดิ์พุทรา รหัสประจำตัว 44010792

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	
อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย	
อ.อุบะ สิริแก้ว	
ดร.อุมา สีนุญเรือง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเขของส์ในประเทศไทย  
STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING  
CAISSON IN THAILAND

นักศึกษา นายตะวัน รัตนวารินทร์ชัย  
นายภูมิวัฒน์ สวัสดิ์พุทรา

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุัชชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2547

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเขของส์เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการก่อสร้าง เนื่องจากมีการก่อสร้างได้ดินเป็นจำนวนมาก เช่น การก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ การก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร ล้วนแต่เป็นการก่อสร้างได้ดินที่มีความลึกมาก ดังนั้นเขของส์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้งาน แต่เนื่องจากในปัจจุบันความรู้ในการออกแบบและก่อสร้างเขของส์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และยังไม่เคยมีการศึกษาโดยละเอียดมาก่อน ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาลักษณะการออกแบบและก่อสร้างเขของส์ในโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบ และคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับผู้สนใจและยังได้พัฒนาโปรแกรมออกแบบเขของส์ในมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

Title : STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING  
CAISSON IN THAILAND

Name : Mr. TAWAN RATTANAWARINCHAI  
Mr. PUMIWAT SAWASPHUTSA

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : PROF.SUCHATVEE SUWANSAWAT

## ABSTRACT

At present, Caisson has become more popular among underground constructions, Due to an increasing in underground construction including underground tunnel for draining and subway, the deep underground construction becomes crucial in order to improve the capacity of construction. This is the reason why caisson could be one of alternative techniques in which it provides the explicit practice to employ. Nevertheless, the knowledge of caisson is not favorable in this engineering field. There is no one that studies this concept in more vigor details. As a result, our group desires to study the concept of caisson, particularly in irrigated underground tunnel. We also improve and develop the caisson design program owing to increasing effectiveness and efficiency of the program. At least, we hope that this project would be useful to persons who are interested in the concept of caisson.

# กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ ผศ.ดร. สุัชชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ได้ ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ท่านได้ให้คำแนะนำและการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม ท่านได้เน้นให้ประพฤติดนโดยอุทิศให้กับงานและการปรับปรุงเกี่ยวกับภาษาและการนำเสนองาน ซึ่งถือเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจากปริญญาอันสูงส่ง ของกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแต่ อาจารย์ สุัชชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจาก ผศ.สุพจน์ ศรีนิล ในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดของท่านถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับในงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่างๆมากมายจากท่านเสมอในฐานะอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ

ขอขอบคุณอย่างซาบซึ้งสำหรับความร่วมมือ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับจาก คุณมนต์ชัย เทียนศิริยคานนท์ วิศวกรระดับสูงบริษัทอิตาเลียน-ไทย ซึ่งเพียบพร้อมด้วยประสบการณ์ในงานก่อสร้าง ข้อมูลที่ได้รับจากท่านช่วยให้งานศึกษานี้ได้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์

ท้ายที่สุดของขอบคุณให้แก่สมาชิกครอบครัวทุกคนที่มอบความรัก ความห่วงใยและให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์ และขอบคุณห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงค่าสำหรับงานศึกษานี้

นายตะวัน รัตนวารินทร์ชัย

นายภูมिवัฒน์ สวัสดิ์พุทรา

ผู้ประพันธ์

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอวมติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฏ
	คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ/คำนิยามศัพท์	ต
1	บทนำ	
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.1.1 เคชองส์คืออะไร	1
	1.1.2 ส่วนประกอบของเคชองส์	1
	1.1.3 ประเภทของเคชองส์	4
	1.1.3.1 เคชองส์ที่ก่อสร้างบนดิน	4
	1.1.3.2 เคชองส์ที่ก่อสร้างในน้ำ	4
	1.1.4 เคชองส์ในประเทศไทย	5
	1.2 ที่มาของปัญหา	7
	1.3 วัตถุประสงค์	7
	1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	7
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน	8
	2.1.1 ทฤษฎีของ Terzaghi(1943)	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.2 แรงเสียดทาน (Skin Friction)	11
	2.3 แรงต้านปลายเคของส์ (End Bearing)	13
	2.4 แรงดันด้านข้างของดิน (Lateral Earth Pressure)	14
	2.4.1 แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth Pressure At Rest)	15
3	การออกแบบโครงสร้างเคของส์	
	3.1 การออกแบบน้ำหนักบรรทุก (Design Loads)	17
	3.2 การออกแบบและการวิเคราะห์เคของส์	18
	3.2.1 แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก	18
	3.3 การออกแบบวงแหวนของเคของส์-สถานะประลัย (Ultimate Limit State)	18
	3.4 การออกแบบวงแหวนของเคของส์-สถานะใช้งาน (Serviceability Limit State)	20
	3.5 การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์	20
	3.6 การออกแบบฐานพื้น (Base slab)	21
	3.7 เสถียรภาพของเคของส์-การปูด	21
	3.8 เสถียรภาพของเคของส์-การยกขึ้น (Factor of Safety)	21
	3.9 การออกแบบเหล็กเสริม	23
	3.9.1 วิธีการออกแบบเสาสั้นโดยวิธี USD	24
	3.9.1.1 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงอัด	26
	3.9.1.2 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงดึง	28
	3.9.1.3 เหล็กรับแรงเฉือน	30
	3.10 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเคของส์	31
	3.11 ตัวอย่างการออกแบบเคของส์	32
	3.11.1 โครงการ Khlong Pi-Sing-To station and Rama IV station	32
	3.11.2 โครงการ Preliminar Design of Shaft for Khlong San-Saep Station	46

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	การคำนวณการจมเคของส	
4.1	อธิบายการจม	60
4.1.1	แรงจมจากน้ำหนัก	60
4.1.2	แรงจมจาก Hydranlic Jack	60
4.1.3	แรงเสียดทาน (Frictional Resistance)	61
4.1.4	แรงต้าน End Bearing (End Bearing Resistance)	62
4.1.5	การออกแบบ Cutting Shoe	63
4.2	ตัวอย่างการคำนวณ	63
4.2.1	สภาพดิน (Soil Condition)	63
4.2.2	ขนาดเคของส	65
4.2.3	แรงจมจากน้ำหนัก	65
4.2.4	แรงเสียดทาน	66
4.2.5	แรงต้าน End Bearing	67
5	ขั้นตอนการก่อสร้างเคของส	
5.1	รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างเคของส	89
5.1.1	เตรียมพื้นที่หน้างานก่อนก่อสร้างเคของส	89
5.1.2	งานก่อสร้างเคของส	94
5.1.3	วิธีการจมเคของส	95
5.1.4	วิธีการขุดดิน	96
5.1.5	Lubrication PIPE.	97
5.1.6	เครื่องจักรใช้งานในการก่อสร้างเคของส	98
5.1.7	วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างเคของส	101
5.1.8	งานคอนกรีต	101
5.2	ขั้นตอนการก่อสร้างเคของส	102

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.3 Lab Monitoring.	112
	5.3.1 Piezometer .	112
	5.3.2 Inclinator.	115
	5.3.3 Extensometer.	118
	5.4 BOQ.	120
6	โปรแกรมในการออกแบบเคของส์	
	6.1 กล่าวนำ	121
	6.2 วัตถุประสงค์	121
	6.2 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมออกแบบเคของส์	121
	6.3 ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรม	128
7	ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์	
	6.1 กล่าวนำ	129
	6.2 ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์	129
	6.2.1 ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง	129
	6.2.2 ปัญหาการเทคอนกรีตได้น้ำ	130
	6.2.3 ปัญหาในการบ่มเคของส์	131
	6.2.4 ปัญหาผิวหน้าเคของส์ไม่เรียบ	131
	6.2.5 ปัญหาเคของส์เอียง	132
	6.2.6 ปัญหาเคของส์จมเร็วเกินไป	134
	6.2.7 ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน(Surface Settlement)	135
8	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	
	7.1 ข้อสรุปของการศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคของส์ในประเทศไทย	138
	7.2 ข้อเสนอแนะ	139

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บรรณานุกรม	140
	ภาคผนวก	ผ1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ค่า Bearing Capacity Factors	11
2.2	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่	16
3.1	แรงดันoverburdenรวมที่ระดับความลึกต่างๆ	33
3.2	แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ	33
3.3	น้ำหนักรวมทั้งหมด	34
3.4	การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด	35
3.5	Bending Moment และ Axial Force รวม	36
3.6	แรงดันoverburdenรวมที่ระดับความลึกต่างๆ	47
3.7	แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ	47
3.8	น้ำหนักรวมทั้งหมด	48
3.9	การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด	49
3.10	Bending Moment และ Axial Force รวม	50
7.1	สรุปปัญหาในการก่อสร้างเขของส์และแนวทางการแก้ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์	136

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	ส่วนประกอบของเคของส์	2
1.2	ลักษณะเสาเข็ม	2
1.3	ลักษณะ Ring Beam	3
1.4	การเท Concrete Plug	4
1.5	การก่อสร้างเคของส์บนดิน	5
1.6	การก่อสร้างเคของส์บนน้ำ	5
1.7	การก่อสร้างเคของส์โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบ และคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา	6
2.1	สมมติฐานของ Terzaghi	9
2.2	รายละเอียด Cutting Shoe	12
2.3	กราฟระหว่าง $S_u$ กับ $\alpha$	13
2.4	แรงต้านทานปลายเคของส์	14
2.5	แรงดันดินแบบ Active และ Passive	15
2.6	แรงดันดินแบบอยู่กับที่	15
3.1	จุดวิกฤตและลักษณะของแรงที่กระทำต่อผนังเคของส์	19
3.2	แรงที่เกิดขึ้นภายในเคของส์	19
3.3	กราฟระหว่าง $S_u$ กับ $\alpha$	23
3.4	การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดภายใต้ผลรวมของแรงค้ำ และแรงตามแกน	24
3.5	สมมติฐานของ Whitney สภาวะภายใต้อิทธิพลของแรงอัด	27
3.6	ขั้นตอนการออกแบบ โครงสร้างเคของส์	31
3.7	คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเคของส์	32
3.8	การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe	38
3.9	การเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson	39
3.10	ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์	40

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
3.11	ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด	40
3.12	การเสริมเหล็กในผนังเคของส้ช่วงช่องเปิดของอุโมงค์	43
3.13	แบบการเสริมเหล็กเคของส้	45
3.14	คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเคของส้	46
3.15	การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe	52
3.16	การเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson	53
3.17	ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์	54
3.18	ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด	54
3.19	การเสริมเหล็กในผนังเคของส้ช่วงช่องเปิดของอุโมงค์	57
3.20	แบบการเสริมเหล็กเคของส้	59
4.1	ขนาดเคของส้	60
4.2	แรงจุมจาก Jacking Force	61
4.3	ลักษณะแรงเสียดทาน	61
4.4	ลักษณะชั้นดิน	64
4.5	ลักษณะเคของส้	65
4.6	แรงด้าน End Bearing	67
4.7	การจุมขั้นที่ 1	71
4.8	การจุมขั้นที่ 2	73
4.9	การจุมขั้นที่ 3	75
4.10	การจุมขั้นที่ 4	77
4.11	การจุมขั้นที่ 5	79
4.12	การจุมขั้นที่ 6	81
4.13	การจุมขั้นที่ 7	83
4.14	การจุมขั้นที่ 8	85
4.15	การจุมขั้นที่ 9	87

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.16	การจมชั้นที่ 10	88
5.1	การรื้อย้ายซากวัสดุเก่าออก	89
5.2	การวางตำแหน่ง Center Line	90
5.3	การตอก H.BEAM ทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ทำ Support ของ Jacking Frame และตอก H.BEAM โดยรอบเพื่อรับน้ำหนัก Ring BEAM	90
5.4	การตั้งแบบ ผูกเหล็ก Ring BEAM	91
5.5	การเทคอนกรีต Ring BEAM	91
5.6	ลักษณะ Ring BEAM	92
5.7	การปรับระดับดินภายใน Ring BEAM	92
5.8	การติดตั้ง Jacking Frame	93
5.9	การติดตั้ง Cutting Shoe	93
5.10	การติดตั้ง Form Work ของ Slip Form พร้อมผูกเหล็กผนังบ่อพัก	94
5.11	การเทคอนกรีต Wall ของบ่อ	94
5.12	การขุดดินภายในเคของส	95
5.13	การจมเคของส โดย Hydraulic Jack	95
5.14	การขุดดิน โดยใช้ Crawler Crane ที่มี Clamp-Shell	96
5.15	การใช้ไม้หนุนเพื่อหยุดการจมเคของส	97
5.16	ลักษณะท่อ Lubrication PIPE	97
5.17	ลักษณะ Bentonite	98
5.18	Crawler Crane.	98
5.19	Dump Truck 6 Well.	99
5.20	Water Truck.	99
5.21	Clamp-Shell Hydraulic.	100
5.22	Hydraulic Jack.	100
5.23	การก่อสร้างเคของสชั้นที่ 1 และ 2	102
5.24	การก่อสร้างเคของสชั้นที่ 3	103

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.25	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 4	104
5.26	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 5	105
5.27	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 6	106
5.28	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 7	107
5.29	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 8	108
5.30	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 9	109
5.31	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 10	110
5.32	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 11 และ 12	111
5.33	ลักษณะหัวและเครื่องอ่านค่าของ Piezometer	112
5.34	การติดตั้ง Piezometer	113
5.35	การติดตั้ง Piezometer	113
5.36	รายละเอียดการติดตั้ง Piezometer	114
5.37	อุปกรณ์ของเครื่อง inclinometer	115
5.38	Inclinometer in Caisson Wall ติดตั้งใน Caisson	116
5.39	Inclinometer in Ground	116
5.40	รายละเอียดการติดตั้ง Inclinometer in Caisson Wall	117
5.41	อุปกรณ์ของเครื่อง Extensometer	118
5.42	การติดตั้งเครื่อง Extensometer	118
5.43	รายละเอียดการติดตั้งเครื่อง Extensometer	119
6.1	หน้าจอต้อนรับ	122
6.2	การใส่ค่าคุณสมบัติของชั้นแต่ละชั้น	123
6.3	การใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ, ขนาดเลขของสั้	124
6.4	เลือกขนาดเหล็กเสริม, คุณสมบัติอื่น	125
6.5	ลักษณะของชั้นดิน	126
6.6	ผลการคำนวณ	127
6.7	ผลการคำนวณ	127

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.8	ผลการคำนวณ	128
7.1	การเทคอนกรีตจุด(Plug) ใต้น้ำ	130
7.2	วิธีแก้ปัญหาคอนกรีตใต้น้ำ	130
7.3	ปัญหาผิวของส่ไม่เรียบ	131
7.4	วิธีแก้ปัญหาคอนกรีตใต้น้ำ	132
7.5	การเอียงของเคของส่	133
7.6	การเตรียมลิ้มไม้เพื่อหยุดการจมเคของส่	134
7.7	ลักษณะการทรุดตัวของดิน	135
7.8	การเทคอนกรีตจุด (Plug) ป้องกันการทรุดตัวของผิวดิน	135

# คำอธิบายสัญลักษณ์

## สัญลักษณ์

## ความหมาย

$\gamma$	ความหนาแน่นของดิน
$\phi$	ค่า Angle of Friction ของดินใต้ฐานราก
$c$	ค่า Cohesion ของดินใต้ฐานราก
$K_p$	ค่า Rankine Coefficient of passive Earth Pressure
$q$	ค่า Surcharge จากดินที่อยู่เหนือระดับล่างฐานราก
$B$	ขนาดความกว้างของฐานราก
$L$	ขนาดความยาวของฐานราก
$N_c$	สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ที่ขุด
$S$	undrained shear strength ของดิน
$D$	ความลึกของอุโมงค์ที่ขุด
$P$	surface surcharge
$\gamma_w$	ความหนาแน่นน้ำ
$h$	ความลึก
$R$	รัศมี
$C$	ค่าแรงยึดเหนี่ยว ( Cohesion )
$N_u$	แรงในแนวแกนอัดประลัย
$N_c$	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
$\alpha$	อัตราที่คูณไว้ของแรงยึดเหนี่ยว( adhesion factor)
$N$	Standard penetration test (SPT)
$A$	พื้นที่ผิว
$N_q$	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
$N_c$	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
$N_\gamma$	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

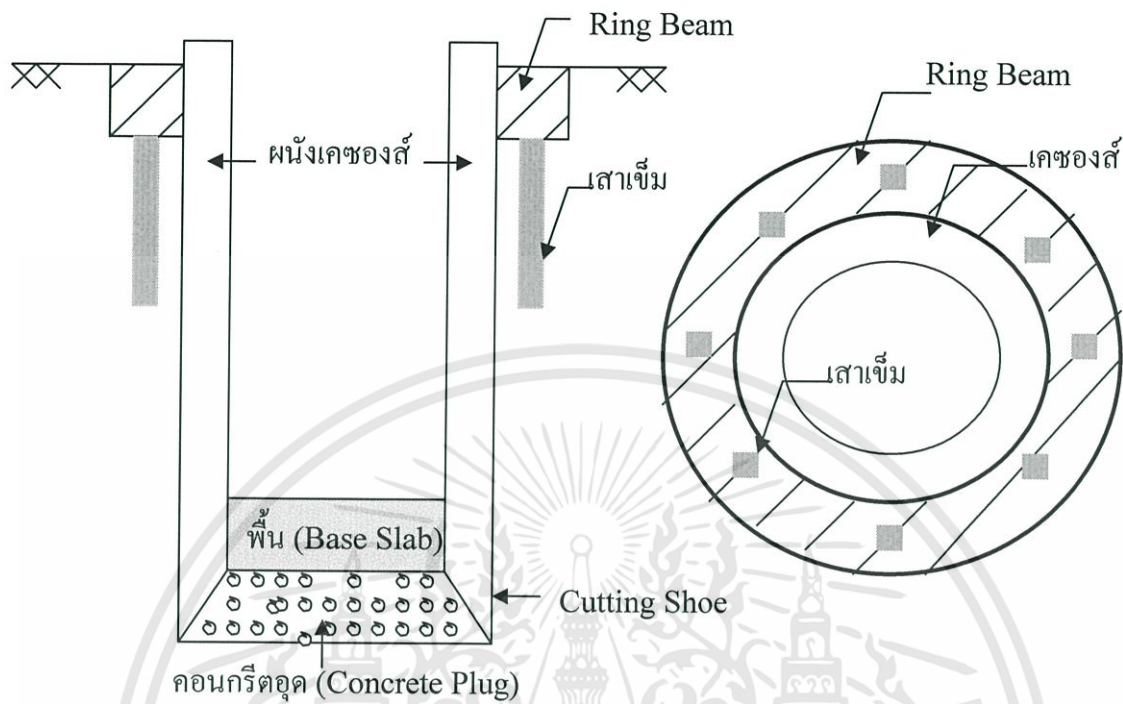
เนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน ส่วนใหญ่มักจะทำการก่อสร้างที่มีความลึกมาก ๆ สามารถเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้างได้หลายรูปแบบ เช่น ใต้อะเพรอมวอลล์ secant pile เกซอนส์ การเลือกใช้เทคนิควิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อโครงสร้างบริเวณใกล้เคียงขณะทำการก่อสร้าง เกซอนส์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน เพราะเกซอนส์นั้นสามารถทำการก่อสร้างจนถึงระดับความลึกที่โครงสร้างใต้ดินต้องการได้ การใช้เกซอนส์จะไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ออาคารข้างเคียง และไม่ก่อให้เกิดสภาวะทางเสียงเนื่องจากไม่มีการตอกของป็นจัน

#### 1.1.1 เกซอนส์คืออะไร

เกซอนส์คือกำแพงกันดินชนิดหนึ่ง ซึ่งก่อสร้างทั้งอยู่บนพื้นดินและอยู่ในน้ำและให้น้ำหนักของตัวเองกดทับ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ เนื่องจากเป็นทางเข้า-ออกของหัวเจาะและเป็นทางลำเลียงดินที่ขุดออกมา รวมถึงเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นช่องทางระบายอากาศ (Ventilation) ในระหว่างก่อสร้างอีกด้วย

#### 1.1.2 ส่วนประกอบของเกซอนส์

เกซอนส์เป็นสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของเกซอนส์มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของเคชองส์

เสาเข็ม

ทำหน้าที่รองรับ Ring Beam

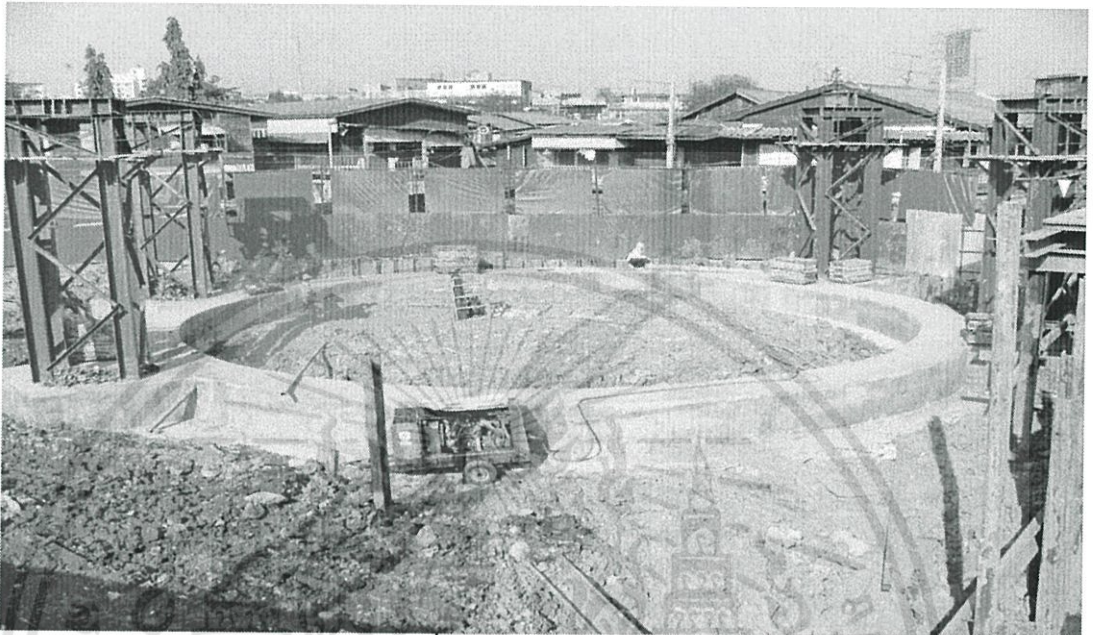


รูปที่ 1.2 ลักษณะเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Ring Beam

ทำหน้าที่ควบคุมการจมของเสาของส้วให้อยู่ในแนวที่กำหนด



รูปที่ 1.3 ลักษณะ Ring Beam

### ผนังของส้ว

เป็นส่วนประกอบหลักของเสาของส้ว ทำหน้าที่ต้านทานแรงดันด้านข้างที่เกิดจากดินและน้ำ ป้องกันการซึมผ่านของน้ำจากภายนอก

### Cutting Shoe

Cutting Shoe จะอยู่บริเวณส่วนปลายของเสาของส้ว ลักษณะปลายแหลม ขึ้นอยู่กับชนิดของชั้นดินที่เสาของส้วผ่าน Cutting Shoe จะทำหน้าที่ช่วยให้การจมเสาของส้วง่ายขึ้น

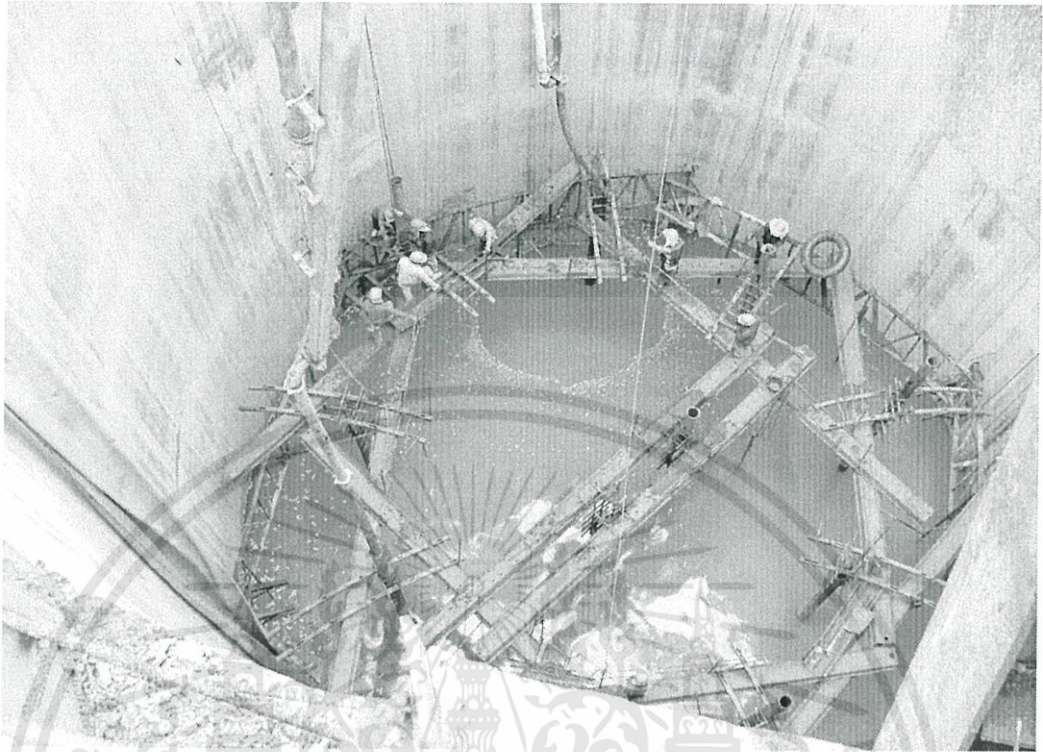
### พื้น (Base Slab)

ทำหน้าที่เป็นพื้นฐานให้กับเสาของส้วช่วยป้องกันน้ำจากภายนอก

### คอนกรีตอุด (Concrete Plug)

ทำหน้าที่รองรับพื้น (Base Slab) เปรียบเสมือนคอนกรีตรองพื้น (Lean) และช่วยเพิ่มเสถียรภาพของการก่อสร้างเนื่องจากช่วยป้องกันการบวมตัวของดิน (Heave)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 การเท Concrete Plug

### 1.1.3 ประเภทของเคชองส์

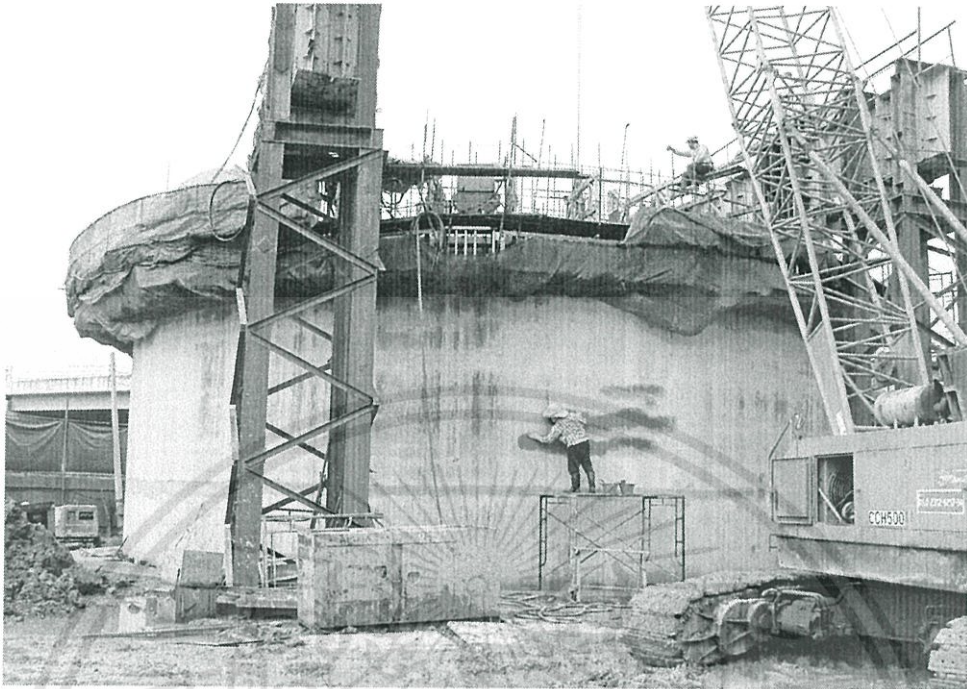
ประเภทของเคชองส์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เคชองส์ที่ก่อสร้างบนดิน และเคชองส์ที่ก่อสร้างบนน้ำ

#### 1.1.3.1 เคชองส์ที่ก่อสร้างบนดิน

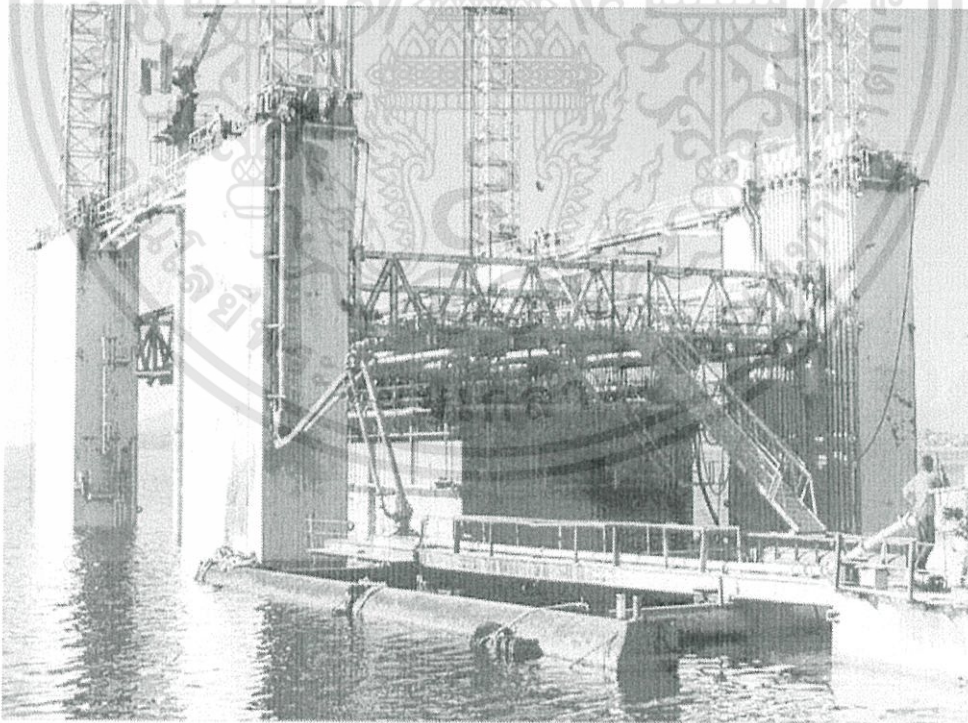
เป็นการก่อสร้างเคชองส์ที่ก่อสร้างบนพื้นดิน โดยขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆทำบนพื้นดิน และการกดเคชองส์ลงไปใ้ดิน ส่วนใหญ่ใช้ในการก่อสร้างที่เป็นทางเข้าหรือออกของหัวเจาะอุโมงค์ที่จะทำการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินต่อไป

#### 1.1.3.2 เคชองส์ที่ก่อสร้างบนน้ำ

เป็นการก่อสร้างเคชองส์ที่ก่อสร้างใ้ในน้ำ ส่วนมากจะก่อสร้างบนเรือก่อนที่เรียกว่า Dolphin Dock ซึ่งจะเป็นเรือเหล็กทอ้งแบนที่มี crane อยู่ด้านข้าง ซึ่งเคชองส์ที่อยูใ้ในน้ำนี้ เป็นส่วนประกอบของตอม่อสะพาน หรือใช้ทำเป็นเสาหลักของที่ขุดเจาะบ่อน้ำมัน



รูปที่ 1.5 การก่อสร้างเขของส้นดิน

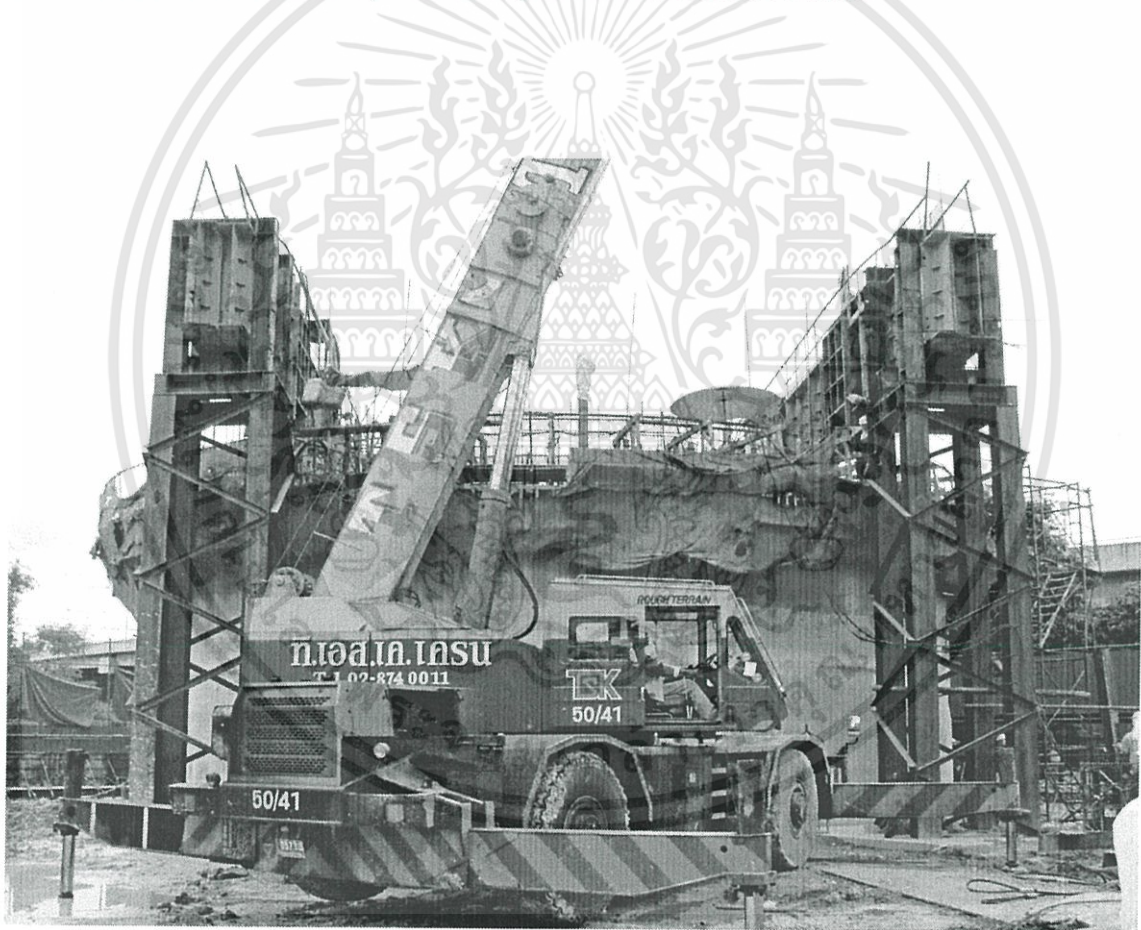


รูปที่ 1.6 การก่อสร้างเขของส้นน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.1.4 เคของส์ในประเทศไทย

ปัจจุบันเนื่องจากกรุงเทพมหานครมีการเจริญเติบโตและความหนาแน่นของประชากรเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้มีระบบสาธารณูปโภคต่างๆ เช่น ท่อส่งน้ำประปา สายโทรศัพท์ ระบบขนส่งมวลชน เป็นต้น ต้องมีการขยายระบบลงสู่ใต้ดินเช่นในปัจจุบันได้มีการนำเคของส์มาช่วยในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้ามหานคร โดยได้ทำการก่อสร้างเคของส์เป็นบ่ออำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ (working shaft) เป็นส่วนประกอบสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์เนื่องจากเป็นทางเข้าออกของหัวเจาะและเป็นทางลำเลียงดินที่ขุดออกมา รวมถึงเครื่องมือวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังใช้เป็นช่องทางระบายอากาศ(Ventilation)ในระหว่างการก่อสร้างอีกด้วย



รูปที่ 1.7 การก่อสร้างเคของส์

โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา

## 1.2 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันในประเทศไทยได้เริ่มมีการก่อสร้างเคของส์มากขึ้น เช่น การก่อสร้างบ่อ  
อำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ ท่อส่งน้ำประปา โครงการบำบัดน้ำเสียคลองด่าน เป็นต้น ซึ่งการก่อสร้างใน  
แต่ละอย่างก็ล้วนมีปัญหาและวิธีการการก่อสร้างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่บริเวณที่ทำการก่อสร้าง

ดังนั้นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบ และวิธีการก่อสร้างจากการ  
ก่อสร้างจริง จะช่วยให้ผู้ที่ต้องการหาข้อมูลของส มีแหล่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถนำไปใช้  
ในงานก่อสร้างได้

## 1.3 วัตถุประสงค์

1. เก็บรวบรวมข้อมูลของปัจจัยในการก่อสร้างเคของส์
2. ศึกษาทฤษฎีและวิธีที่ใช้ในการออกแบบเคของส์ในปัจจุบัน
3. พัฒนาโปรแกรมออกแบบเคของส์ให้สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างจริงได้
4. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุเพื่อนำมาปรับปรุง โปรแกรมออกแบบเคของส์ให้  
สามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น
5. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในงานก่อสร้างเคของส์พร้อมทั้งเสนอแนะวิธีแก้ไข

## 1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- ศึกษาข้อมูลรายละเอียดการก่อสร้างเคของส์บนพื้นดินที่ผ่านมาแล้วในประเทศไทย
- ศึกษาเคของส์ในรูปแบบวงกลมเพียงอย่างเดียว
- ศึกษาการคำนวณการออกแบบเคของส์
- ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างเคของส์จากการก่อสร้างจริง
- ศึกษาปัญหาจากการก่อสร้างเคของส์

## บทที่ 2

### วรรณกรรมปริทัศน์

#### 2.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน

ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการที่นำมาใช้ในการพิจารณาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินรองรับฐานราก (Ultimate Bearing Capacity of soil,  $q_u$ ) มีหลายทฤษฎี โดยทฤษฎีของ Terzaghi เป็นวิธีที่แพร่หลายมากที่สุด

##### 2.1.1 ทฤษฎีของ Terzaghi (1943)

**Terzaghi (1943)** ได้อาศัยการทดลองและประสบการณ์วิเคราะห์หา bearing capacity equation ของ shallow strip foundation (footing) ซึ่งต่อมาได้ดัดแปลงนำไปใช้กับ rectangular, square และ circular footing ได้ โดยถือว่าพื้นของฐานรากหยาบและมีแรงเสียดทาน (rough foundation) สมมุติฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์พอสรุปได้ดังนี้

1. ดินมีคุณสมบัติเป็น homogeneous isotropic soil และสามารถใช้ Coulomb's equation กับ shear strength ของดินได้
2. strip foundation มีพื้นที่หยาบและพิจารณาเฉพาะ plane strain condition (two dimensional problems)
3. ดินใน elastic zone (zone I) มี boundaries เป็นเส้นตรงทำมุม  $\phi$  กับแนวราบ (นั่นคือ  $\beta = \phi$ ) และ shear strength ใน plastic zone เกิดขึ้นสม่ำเสมอบน failure surface
4. total passive thrust ประกอบด้วยแรง 3 แรง ซึ่งสามารถแยกออกหรือรวมกันได้ แม้ว่า failure surface ของแต่ละแรงจะไม่เหมือนกันหรือทับกัน
5. ละทิ้ง failure zone ที่เกิดขึ้นในดินที่อยู่สูงกว่าพื้นของฐานราก นั่นคือไม่ได้พิจารณา shear strength ของดินที่อยู่สูงกว่าพื้นของฐานราก และน้ำหนักของ surcharge,  $q = \gamma D_f$



$$q_u = c \left[ \frac{2K_p}{\cos \phi} + \sqrt{K_p} \right] + q K_p \sqrt{\frac{K_p}{\cos \phi}} + \frac{\gamma B}{4} \sqrt{\left( \frac{K_p^2}{\cos \phi} - \sqrt{K_p} \right)} \quad (2.1)$$

จากข้อสมมติฐานข้างต้น และตามรูปร่างของฐานราก จะได้

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma BN_\gamma \quad (2.2)$$

ถ้าเป็นฐานรากชนิด Strip Foundation

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4 \gamma BN_\gamma \quad (2.3)$$

ถ้าเป็นฐานรากรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ( Square Foundation )

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.3 \gamma BN_\gamma \quad (2.4)$$

ถ้าเป็นฐานรากรูปหน้าตัดวงกลม (Circular Foundation )

$$q_u = \left(1 + 0.3 \frac{B}{L}\right) cN_c + qN_q + \frac{1}{2} \left(1 - 0.2 \frac{B}{L}\right) \gamma BN_\gamma \quad (2.5)$$

เมื่อ  $N_c, N_q, N_\gamma$  = ค่า Bearing Capacity Factors ซึ่งเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตาม Angle of Friction ดังรูป และ ตาราง 2.1

$\gamma$  = Unit weight ของดินใต้ฐานราก

$\phi$  = ค่า Angle of Friction ของดินใต้ฐานราก

$c$  = ค่า Cohesion ของดินใต้ฐานราก

$K_p$  = ค่า Rankine Coefficient of passive Earth Pressure

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

$q$  = ค่า Surcharge จากดินที่อยู่เหนือระดับล่างฐานราก

$$= \gamma D_f$$

$B$  = ขนาดความกว้างของฐานราก

L = ขนาดความยาวของฐานราก

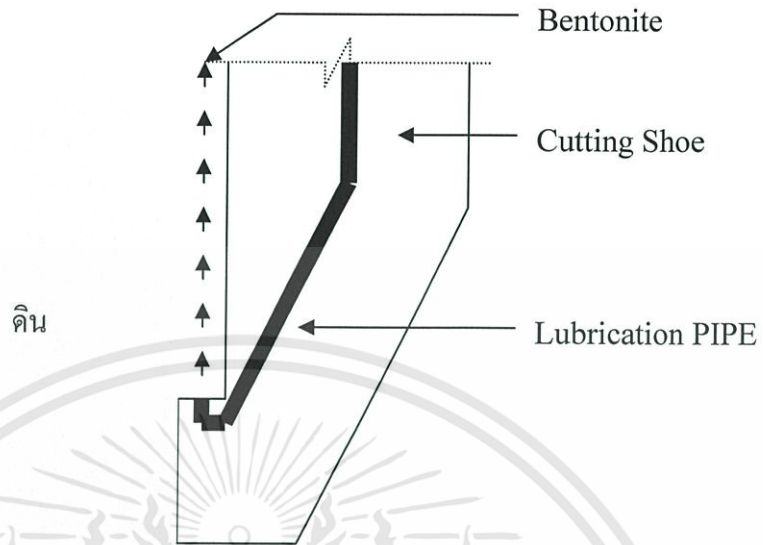
ตารางที่ 2.1 ค่า Bearing Capacity Factors

$\phi$ , deg	$N_c$	$N_q$	$N_\gamma$
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
34	52.6	36.5	36.0
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.7
48	258.3	287.9	780.1
50	347.5	415.1	1153.2

## 2.2 แรงเสียดทาน ( Skin friction )

ในการออกแบบเคของส้จำเป็นต้องจะพิจารณาถึงแรงเสียดทานที่ผิวของเคของส้ โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้หน้าทับบรรทุกคงที่ในการจมนเคของส้แรงเสียดทานที่ผิวควรจะไม่ต้องประเมินต่ำเกินไป เมื่อเคของส้จมนผ่านชั้นดินเหนียวและชั้นดินทราย ขนาดของแรงเสียดทานจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นดินและความลึกของชั้นดิน

ปัจจุบันการออกแบบเคของส้ได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดที่ผิวของเคของส้ โดยการทำให้โครงสร้างของ cutting shoe และผนังของเคของส้มีช่องว่างประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วทำการฝังท่อเพื่อฉีดสารที่ใช้ในการหล่อลื่น ( bentonite ) รอบๆ ผนัง เมื่อมีการจมนเคของส้เครื่องจะทำการฉีดน้ำ bentonite ออกมารอบๆ ผนังอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถลดแรงเสียดทานที่ผนังของเคของส้และยังสามารถช่วยลดน้ำหนักที่ใช้ในการกดเคของส้ได้อีกทางด้วย



รูปที่ 2.2 รายละเอียด Cutting Shoe

ในการใช้ bentonite ช่วยในการหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดที่ผนังของเคของส์ นี้ ตามทฤษฎีแล้วจะไม่นำแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นทรายมาคิดเพียงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียว เพราะถือว่าในชั้นทรายเป็นชั้นที่มีดินแข็งและมี bentonite มาช่วยในการหล่อลื่น แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นในชั้นทรายแต่มีค่าน้อยมาก

แรงเสียดทานที่ดินกระทำต่อผิวผนังของเคของส์ สามารถคำนวณได้จากแรงเสียดทานของดินในแต่ละชั้นดินแล้วนำมารวมกันดังสมการ

$$\text{แรงเสียดทานรวม} = A_s \Sigma H f_s \quad (2.6)$$

โดย  $A_s$  = พื้นที่ผิวภายนอกของผนังของเคของส์

$H$  = ความหนาของชั้นดิน

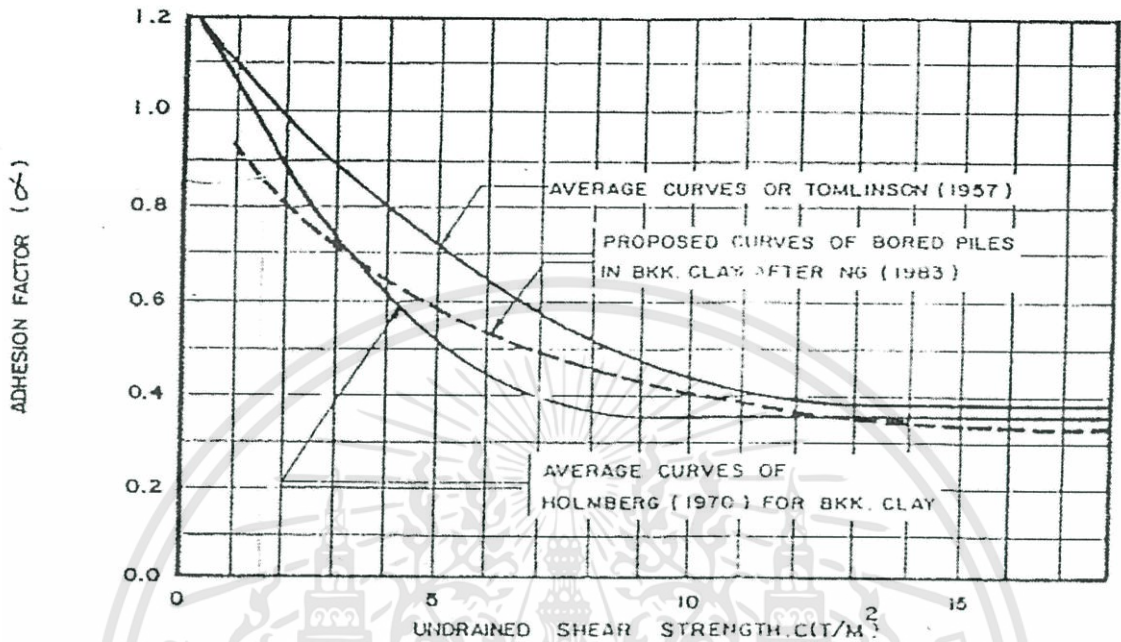
$f_s$  = แรงเสียดทานต่อหน่วยพื้นที่ของดินในแต่ละชั้น

แรงเสียดทาน ( $f_s$ ) ในดินเหนียว (Cohesion Soil)

$$f_s = \alpha Su \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\alpha$  = Adhesion Faction (รูป 2.3)

$S_u$  = Undrained Shear Strength ของดิน หาได้จากการทดสอบ  
Unconfined Compressive Strength



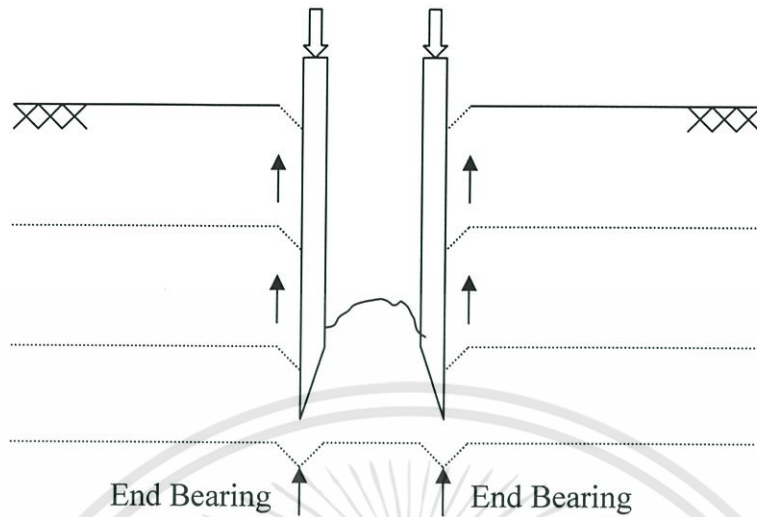
รูปที่ 2.3 กราฟระหว่าง  $S_u$  กับ  $\alpha$

แรงเสียดทาน ( $f_s$ ) ในดินทราย (Cohesionless Soil)

ในการออกแบบของเสาไม่นำแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นดินทรายมาคิด เนื่องจากมีการใช้ สารละลายเบนโทไนท์บริเวณปลายทางเคของเสาช่วยในการหล่อลื่น

### 2.3 แรงต้านทานปลายเคของเสา (End Bearing)

เมื่อเริ่มใช้น้ำหนักบรรทุกกดลงบนเคของเสา เคาของเสาก็จะเคลื่อนตัวลงตามทิศทางของแรง แต่ในขณะที่เดียวกันดินที่เกาะอยู่ข้างๆ ผิวของเคของเสาก็พยายามต้านทานไว้ จึงมีการถ่ายแรงจากเคของเสาสู่ชั้นดินด้วยแรงเสียดทาน(Friction) ชั้นดินที่พยายามต้านทานแรงที่ถ่ายลงมาจากเสาเข็มก็จะเคลื่อนตามเสาเข็มลงมาด้วย การเคลื่อนที่จะมากขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น และเมื่อมีการถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินมากขึ้นแรงเสียดทานจะถูกถ่ายจากส่วนบนของเคของเสาถึงส่วนล่างที่ลึกลงไปมากขึ้น จนในที่สุดแรงต้านทานจะถูกถ่ายแรงลึกลงสู่ส่วนปลายของเคของเสา เกิดแรงต้านที่ส่วนปลายของเคของเสาเข้ามาด้วยที่เรียกว่า End Bearing



รูป 2.4 แรงต้านทานปลายเคของส  
สำหรับแต่ละชั้นดิน แรงต้าน End Bearing มีค่าเท่ากับ

$$Q = CN_c + \gamma DN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma \quad (2.8)$$

เมื่อ  $C$  = ค่าแรงยึดเหนี่ยว ( Cohesion )

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน

$D$  = ความลึกของการขุด

$B$  = ความกว้างของฐานราก

$N_q, N_c, N_\gamma$  = สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors ตามตาราง

ต้องคำนวณ End bearing 2 ตำแหน่ง , upper-bound สำหรับการขุดที่ส่วนบนสุดของ cutting shoe และ lower bound , สำหรับการขุดที่ฐานของ cutting shoe

## 2.4 แรงดันด้านข้างของดิน ( Lateral Earth Pressure )

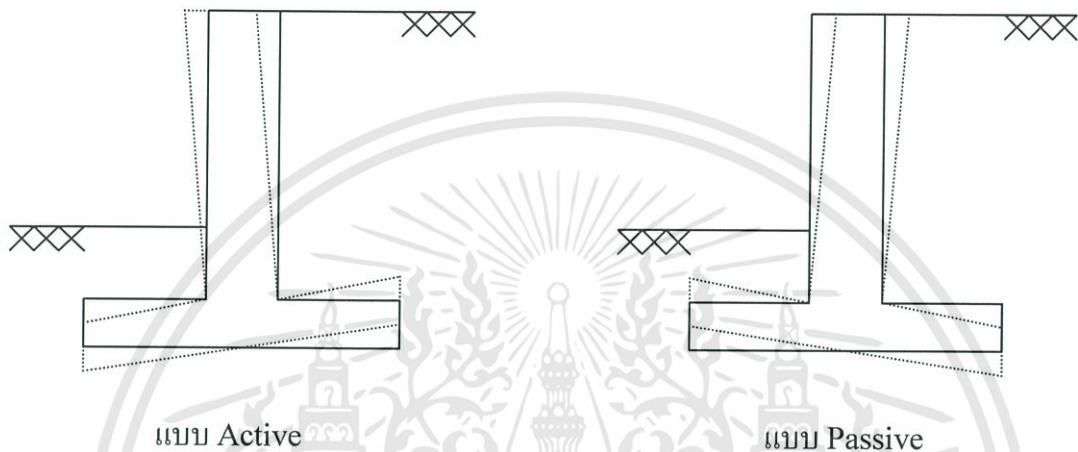
แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อ โครงสร้างกันดิน เช่น กำแพงกันดินหรือเคของส ในการออกแบบเคของสจำเป็นต้องหาขนาดแรงดันด้านข้างของดินที่ผนังเคของสต้องรับ

แรงดันด้านข้างของดินมีอยู่ 3 แบบ คือ

1. แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth pressure at rest) หมายถึงแรงดันของดินที่กระทำต่อผนังกำแพงกันดินทางด้านข้าง แล้วไม่ทำให้กำแพงกันดินเกิดการเคลื่อนที่แต่อย่างใด

2. แรงดันดินแบบ Active earth pressure หมายถึงแรงดันของดินที่กระทำต่อผนัง  
 กำแพงกันดินด้านข้าง แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่ออกไปจากดินถมหลังกำแพง

3. แรงดันดินแบบ Passive earth pressure หมายถึงแรงดันด้านข้างของดินที่กระทำ  
 ต่อด้านหน้ากำแพงกันดิน แล้วทำให้กำแพงกันดินเคลื่อนที่เข้าหาดินถมหลังกำแพง



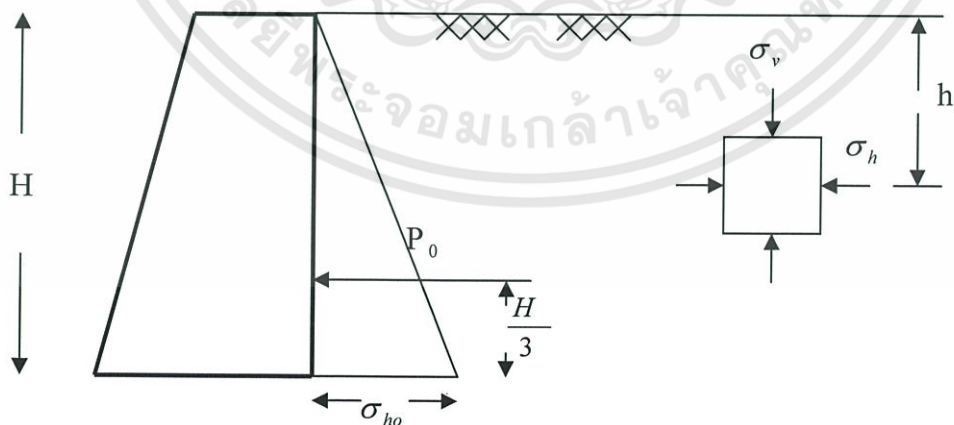
แบบ Active

แบบ Passive

รูป 2.5 แรงดันดินแบบ Active และ Passive

ในการออกแบบของสัฟิการณาเฉพาะแรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth pressure at rest)

### 2.4.1 แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth pressure at rest)



รูปที่ 2.6 แรงดันดินแบบอยู่กับที่

ในสภาพธรรมชาติก่อนดินซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเท่ากับ h จะถูกกระทำด้วยแรงในแนวตั้ง  $\sigma_v$  เนื่องจากน้ำหนักของดินซึ่งอยู่เหนือก่อนดินนั้น

$$\sigma_v = \gamma h \quad (2.9)$$

ในเมื่อ  $\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน

เมื่อมีกำลังกันดินมากขึ้นดินนั้น แรงในแนวตั้ง ( $\sigma_v$ ) จะทำให้เกิดแรงดันในแนวนอน ( $\sigma_h$ ) กระทำต่อผนังกำลังกันดิน ถ้ากำลังกันดินอยู่ในสภาวะสมดุลไม่มีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด

$$\begin{aligned} \sigma_{ho} &= K_o \sigma_v \\ &= K_o \gamma h \end{aligned} \quad (2.10)$$

ในเมื่อ  $\sigma_{ho}$  = แรงดันในแนวนอนแบบอยู่กับที่

$K_o$  = สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่  
(Coefficient of earth pressure at rest)

ค่า  $K_o$  ของดินพวกกรวด ทราย และดินเหนียว Normally Consolidated Clay (N.C.C) สามารถหาได้จากสมการของจาคี (Jaky) ดังนี้

$$K_o = 1 - \sin \phi \quad (2.11)$$

หรืออาจหาได้จากตาราง

ตารางที่ 2.2 สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่

ประเภทของดิน	$K_o$
ทรายแน่น	0.35
ทรายหลวม	0.60
ดินเหนียว N.C.C.	0.5 – 0.6
ดินเหนียว O.C.C. (O.C.R. = 3.5 )	
ดินเหนียว O.C.C. (O.C.R. = 20 )	

N.C.C. = Normally Consolidated Clay

O.C.C. = Over Consolidated Clay

O.C.R. = Over Consolidated Ratio

ลักษณะการกระจายของแรงดันดินที่กระทำต่อผนังกันดินจะเป็นรูปสามเหลี่ยม แรงทั้งหมดที่กระทำตลอดความสูงของผนังกันดิน(H) จะเท่ากับ

$$P_o = \frac{1}{2} \sigma_{ho} H = \frac{1}{2} K_o \gamma H^2 \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การออกแบบโครงสร้างเคของส์

#### 3.1 การออกแบบน้ำหนักบรรทุก ( Design Loads )

น้ำหนักบรรทุกจรที่กดทับ (Live Load) :

น้ำหนักบรรทุกจรที่กดทับที่ระดับพื้นดิน  $q = 20 \text{ kPa} (2 \text{ t/m}^2)$

น้ำหนักบรรทุกบนพื้นหลังคา(Roof slab)  $q = 20 \text{ kPa} (2 \text{ t/m}^2)$

แรงดันน้ำ (Water Pressure) :

สำหรับเคของส์แรงดันน้ำถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับพื้นดิน

แรงดันดิน (Soil Pressure) :

ในการออกแบบเคของส์พิจารณาเฉพาะแรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth Pressure At-rest)

$$\text{At-rest} = K_o \gamma' h \quad (3.1)$$

โดยที่  $K_o = 1 - \sin \phi$

$$\gamma' = \gamma (\text{ดิน}) - \gamma_w (\text{น้ำ})$$

$h =$  ความสูงของชั้นดิน

น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงาน :

น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงานเคของส์ประมาณ 800 ตัน (น้ำหนักโดยประมาณของเครื่องจักรในการก่อสร้างเคของส์)

การรวมน้ำหนักบรรทุก :

- ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ + น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงาน

61365

### 3.2 การออกแบบและการวิเคราะห์เคของส

#### 3.2.1 แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก

ก) การคำนวณแรงดันดินกดทับ ( Overburden Pressures )

Overburden Pressures ถูกคำนวณที่ระดับบนสุดของชั้นดิน

$$\text{Overburden} = \Sigma(\text{Surcharge} + ((\gamma - \gamma_w)h)) \quad (3.2)$$

เมื่อน้ำหนักกดทับ ( surcharge ) = 20 kPa ( น้ำหนักจากการจราจร )

$\gamma$  = ความหนาแน่นดิน

$\gamma_w$  = ความหนาแน่นน้ำ = 10 kN/m<sup>3</sup>

h = ความลึก

ข) การคำนวณแรงดันดินที่สภาวะพัก ( At-Rest )

กรณีที่มีน้ำหนักบรรทุก : ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ

$$\text{แรงดันดิน} = [(k_0 \times \text{overburden})] + \gamma_w h \quad (3.3)$$

แรงดันดินจะถูกพล็อตแสดงระหว่าง แรงดันที่เพิ่ม กับ ความลึก

ค) แผ่นดินไหว

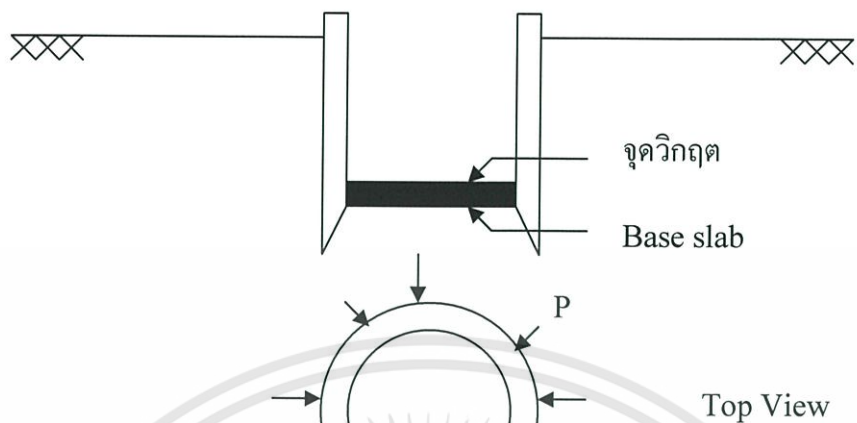
ในระยะยาว , 2/3 ของเคของสจะถูกเติมด้วยคอนกรีตและทราย ประสิทธิภาพของเค

ของส “ถูกล็อกในดิน” จากเหตุผลนี้แผ่นดินไหวจะไม่นำมาพิจารณาในการออกแบบ

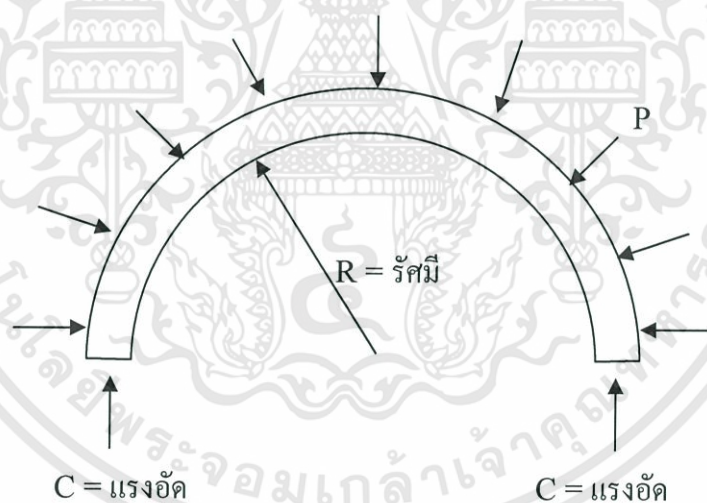
### 3.3 การออกแบบวงแหวนของเคของส – สถานะประลัย ( Ultimate Limit State )

การออกแบบวงแหวนของเคของสกำหนดให้วงแหวนเป็นแรงอัด ซึ่งมีจุดวิกฤตอยู่ที่  
เหนือฐานพื้น (Base slab)

จุดวิกฤตของแรงดันสภาวะพัก (At-Rest) ถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับเหนือฐานพื้นสมมติ  
วงแหวนเป็นแรงอัด



รูปที่ 3.1 จุดวิกฤตและลักษณะของแรงที่กระทำต่อผนังของส



รูปที่ 3.2 แรงที่เกิดขึ้นภายในเคของส

$$\text{แรงอัดในวงแหวน } C = RP \tag{3.4}$$

$$\text{แรงอัดประลัย } N_u = A_g [0.85(\phi f'_c)(1 - \rho) + \phi f_y \rho] \tag{3.5}$$

ที่จุดที่มีการเปิด แรงอัดในวงแหวนถูกรวมที่ 1 เมตร เหนือและใต้ จุดที่มีการเปิด

แรงที่กระทำบนผนังเคของสระหว่างการจม

$$\text{Lateral Pressure } P = LF(P_a + P_w) \quad (3.6)$$

สมมติ 50% of แรงดันดินที่กระทำต่อผนังเคของสระหว่างการจม

$$\Delta P = 0.5(LF)(P_a) \quad (3.7)$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

$$\text{Bending Moment, } M = 0$$

$$\text{Shear Force, } Q = 0$$

$$\text{Axial Force, } N = P(R_o)$$

(3.8)

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

$$\text{Bending Moment, } M = 0.163 \Delta P R_o^2 \quad (3.9)$$

$$\text{Axial Force, } N = 0.212 \Delta P R_o \quad (3.10)$$

### 3.4 การออกแบบวงแหวนของเคของส – สถานะใช้งาน (Serviceability Limit State)

โดยทั่วไปไม่มีแรงดึงในเคของส การเสริมเหล็กน้อยที่สุดสำหรับควบคุมการแตก (cracking) ถูกกำหนดดังนี้

$$\text{การเสริมเหล็กน้อยที่สุด, } \rho_{\text{crit}} = \frac{f_{\text{ct}}}{f_y} \quad (3.11)$$

$$\text{สำหรับ } f_y = 390 \text{ MPa, } f_{\text{ct}} = 1.6$$

$$\text{ดังนั้น } \rho_{\text{crit}} = \frac{1.6}{390} = 0.0041$$

### 3.5 การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์

โดยปกติเคของสมักจะเชื่อมต่อกับอุโมงค์ใต้ดิน เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคำนวณแรงดันด้านข้างบริเวณช่องเปิดของอุโมงค์เพื่อหาค่าแรงเฉือน (Shear Force) และค่าโมเมนต์ (Moment) แล้วนำค่าที่ได้ไปคิดคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต่อไป

เราจะทำการคิดแรงดันดินด้านข้างออกไปเป็นระยะ 0.5 เมตร จากช่องเปิดของอุโมงค์ ทั้งด้านบนและด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แรงดันดินข้าง} = 1.4 (P_a + P_w) \quad (3.12)$$

เมื่อ  $P_a = \text{แรงดันดินข้าง}$   
 $= K_o \times (\text{Overburden pressure})$   
 $P_w = \text{แรงดันน้ำ}$

### 3.6 การออกแบบฐานพื้น (Base slab)

- กรณีน้ำหนักบรรทุก : ยกขึ้น ( Uplift )

$$W_u = (1.4 \times \text{แรงดันขึ้น}) - (1.0 \times \text{Dead Load}) \quad (3.13)$$

- กรณีแรงโน้มถ่วง (Gravity)  $W_u = 1.4 \times \text{Dead Load}$  (3.14)

กรณีแรงโน้มถ่วงจะถูกแรงรับโดยตรงโดยแรงแบกทาน(Bearing)

- การวิเคราะห์พื้นสำหรับวงแหวนวงกลม

โมเมนต์  $M_u = \frac{W_u R^2 (3 + \delta)}{16}$  (3.15)

เมื่อ  $W_u = \text{น้ำหนักบรรทุกประลัย}$

$R = \text{รัศมีภายใน}$

$\delta = \text{Poisson's ratio} = 0.2$

แรงเฉือน  $V_u = (W_u)(r-d)$

- การออกแบบ- สถานะประลัย ( Ultimate Limit State )

โมเมนต์,  $A_s = \frac{M}{0.4f_y(d-d')}$  (3.16)

แรงเฉือน,  $V_c = 0.29 \sqrt{f_c} 'bd$  (3.17)

### 3.7 เสถียรภาพของเขของส์ – การปลูก

การปลูกจะเกิดขึ้นในดินเหนียวอ่อน(Soft clay) การป้องกันการปลูก, เครื่องสูดจะถูกต้องการที่ระดับฐานของเขของส์

จาก Tomlinson, “Foundation Design and Construction” มีค่าอัตราที่คูณไว้เพื่อความปลอดภัย (Factor of safety) ด้านส่วนล่างของการจม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = \frac{N_c \times S}{\gamma D + P} \quad (3.18)$$

- เมื่อ
- N = สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors ตามตาราง
  - S = Undrained shear strength ของดิน
  - $\gamma$  = ความหนาแน่นของดิน
  - D = ความลึกของการขุด
  - P = น้ำหนักกดทับที่พื้นผิว

สำหรับระยะสั้น ค่า Factor of safety ที่ถูกใช้คือ 1.1

สำหรับระยะยาว ค่า Factor of safety ที่ถูกใช้คือ 1.3

### 3.8 เสถียรภาพของเขซองส์ – การยกขึ้น (Factor of safety)

อัตราที่คูณไว้เพื่อความปลอดภัย (Factor of safety) ด้านการยกขึ้น คือ

$$F = \frac{\text{Weight of Concrete} + \text{Friction}}{\text{Uplift}} \quad (3.19)$$

ค่า F (Factor of safety) ที่เหมาะสมคือ 1.6

● น้ำหนักของ โครงสร้าง (Weight of Concrete) ประกอบด้วย

- น้ำหนักของตัวเขซองส์
- น้ำหนักของพื้น (Base slab)
- น้ำหนักของคอนกรีตอุด (Plug concrete)

● แรงเสียดทานที่ผิว (Friction)

แรงเสียดทานที่ดินกระทำต่อผิวผนังเขซองส์ สามารถคำนวณได้จากแรงเสียดทานของดินในแต่ละชั้นดินแล้วนำมารวมกันดังสมการ

$$\text{แรงเสียดทานรวม} = A_s \sum H f_s \quad (3.20)$$

โดย  $A_s$  = พื้นที่ผิวภายนอกของผนังเขซองส์

H = ความหนาของชั้นดิน

$f_s$  = แรงเสียดทานต่อหน่วยพื้นที่ของดินในแต่ละชั้น

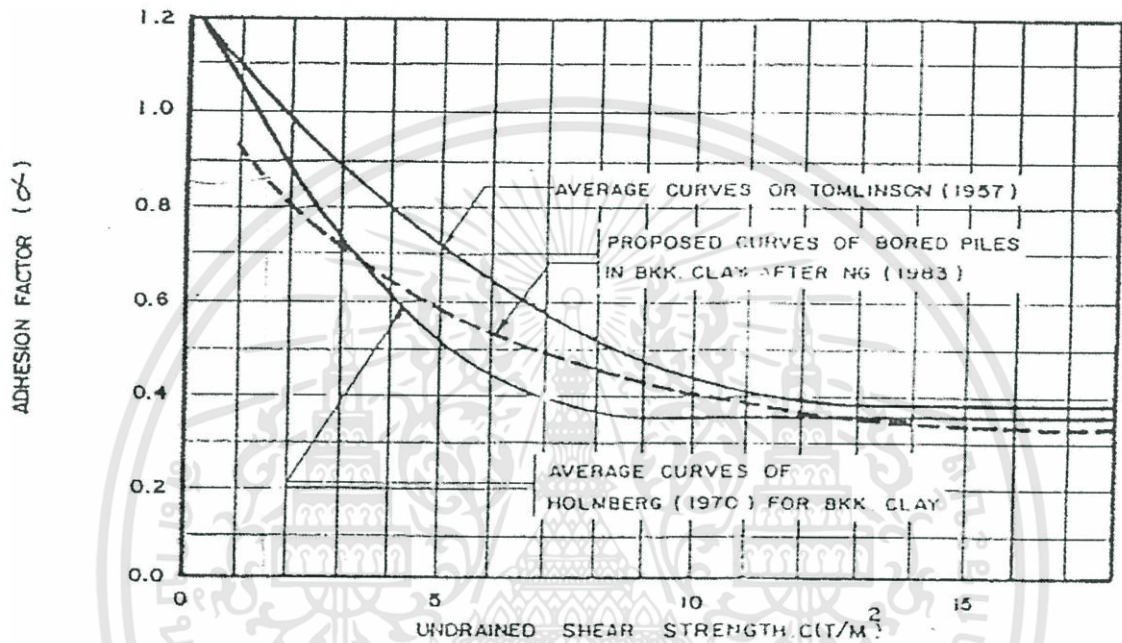
แรงเสียดทาน ( $f_s$ ) ในดินเหนียว (Cohesion Soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_s = \alpha S_u \quad (3.21)$$

เมื่อ  $\alpha$  = Adhesion Factor

$S_u$  = Undrained Shear Strength ของดิน หาได้จากการทดสอบ  
Unconfined Compressive Strength



รูปที่ 3.3 กราฟระหว่าง  $S_u$  กับ  $\alpha$

แรงเสียดทาน ( $f_s$ ) ในดินทราย (Cohesionless Soil)

ในการออกแบบเคของสที่ไม่นำแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นดินทรายมาคิด เนื่องจากมีการใช้ bentonite ช่วยในการหล่อลื่น

### 3.9 การออกแบบเหล็กเสริม

เนื่องด้วยผนังเคของส Cutting Shoe และแผ่นพื้นเคของสจะต้องรับแรงที่มากระทำภายในเคของส แรงต่างๆที่มากระทำอันได้แก่ โมเมนต์ดัด (Bending moment) ,แรงตามแนวแกน (Axial force) และแรงเฉือน (Shear force) ซึ่งแรงทั้งสามเหล่านี้ที่เกิดขึ้นจึงส่งผลให้ต้องมีการออกแบบเหล็กเสริมในเคของส เพื่อให้จะทำให้เคของสสามารถรับแรงต่างๆได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

วิธีการออกแบบเหล็กเสริมที่ผู้เขียนได้นำมาใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมคือวิธีการออกแบบเสาสั้นโดยวิธี USD ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 3.9.1 วิธีการออกแบบเสาสั้นโดยวิธี USD

กำลังขององค์ภายใต้แรงดัด  $M_n$  และแรงตามแนวแกน  $P_n$  จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสองข้อคือความสมดุลของแรงภายในและการสอดคล้องของความเครียด รูปที่ 3.3 แสดงภาวะทั่วไปของหน่วยแรงและความเครียดในคอนกรีตและเหล็กเสริม ภายใต้ผลรวมของแรงดัดและแรงตามแนวแกน จะหาแรงดึงหรือแรงอัดในเหล็กเสริมได้จากความสัมพันธ์กับความเครียด ณ ตำแหน่งของเหล็กเสริมนั้น

$$T = A_s f_s = A_s (E_s \epsilon_s) \quad \text{เมื่อ } \epsilon_s < \epsilon_y$$

หรือ

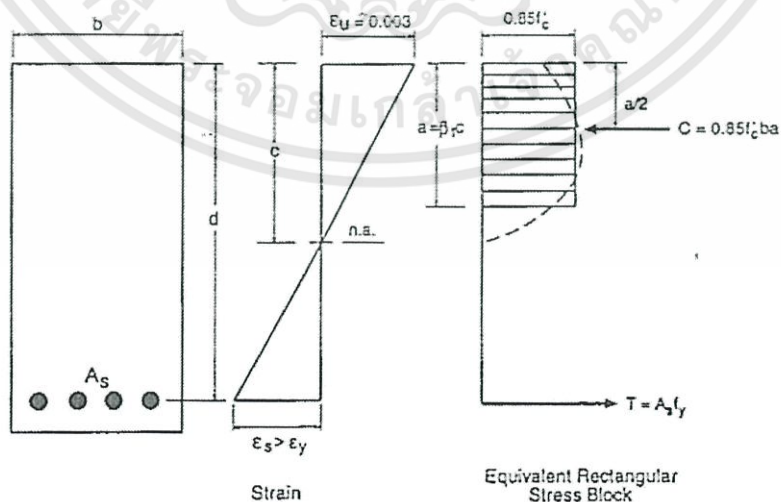
$$T = A_s f_y \quad \text{เมื่อ } \epsilon_s \geq \epsilon_y$$

$$C_s = A'_s f'_s = A'_s (E_s \epsilon'_s) \quad \text{เมื่อ } \epsilon'_s < \epsilon_y$$

หรือ

$$C_s = A'_s f_y \quad \text{เมื่อ } \epsilon'_s \geq \epsilon_y$$

$$C_c = 0.85 f'_c b a$$



รูปที่ 3.4 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดภายใต้ผลรวมของแรงดัดและแรงตามแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่ } f'_s = \frac{6120(c-d')}{c} \leq f_y$$

$$f_s = \frac{6120(c-d)}{c} \leq f_y$$

และจะหาคำลั้ระบู่ในการรับผลรวมของแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ ( $P_n$  และ  $M_n$ ) ได้จากสภาวะสมดุลของหน้าตัด

จากความสมดุลของแรงจะได้

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (3.22)$$

จากความสมดุลของโมเมนต์รอบศูนย์ถ่วงของหน้าตัด

$$M_n = P_n e = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + C_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + T \left( d - \frac{h}{2} \right) \quad (3.23)$$

ถ้ารู้สภาวะของความเครียดก็จะหา  $P_n$  และ  $M_n$  ได้ทันที ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของสภาวะความเครียดสมดุล เมื่อเหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก ( $\epsilon_s = \epsilon_y$ ) พร้อมกับความเครียดในพิวคอนกรีตภายใต้แรงอัดถึงจุดอัดแตก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.003

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\epsilon_u}{\epsilon_u + \epsilon_y} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{2040000}} = \frac{6120}{6120 + f_y}$$

$$\text{ดังนั้น } a_b = \frac{6120}{6120 + f_y} \beta_1 d$$

$$\text{และ } \frac{\epsilon'_s}{\epsilon_u} = \frac{c_b - d'}{c_b}$$

$$\text{ดังนั้น } \epsilon'_s = 0.003 \left( 1 - \frac{d'}{c_b} \right) = 0.003 \left( 1 - \frac{d'}{d} \times \frac{6120 + f_y}{6120} \right)$$

$$\text{และ } f'_s = E \epsilon'_s \text{ แต่ต้องไม่เกิน } f_y$$

จากความสัมพันธ์ของแรง

$$P_{nb} = 0.85f'_c a_b b + A'_s f'_s - A_s f_y \quad (3.24)$$

$$\text{ถ้า } f'_s = f_y \text{ และ } A'_s = A_s \text{ จะได้ } P_{nb} = \frac{0.85\beta_1 f'_c b d 6120}{6120 + f_y} \quad (3.24a)$$

จากความสัมพันธ์ของโมเมนต์

$$M_n = P_{nb} e_b = 0.85f'_c b a_b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A'_s f'_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s F_y \left(d - \frac{h}{2}\right) \quad (5.4)$$

กำลังรับผลรวมของแรงตามแนวแกนและแรงดัด ที่สภาวะความเครียดสมมูล เป็นเพียงแค่กรณีหนึ่งในหลายกรณีที่จะเกิดขึ้นในหน้าตัดซึ่งสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีก 2 กรณี คือ กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงอัด และกรณีภายใต้อิทธิพลของแรงดึง ดังจะนำเสนอดังต่อไปนี้

### 3.9.1.1 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

เมื่อแรงตามแนวแกนที่กระทำ ( $P_n$ ) มากกว่าแรงตามแนวแกนที่สภาวะสมมูล ( $P_{nb}$ ) หรือมีระยะเยื้องศูนย์กลาง ( $e$ ) น้อยกว่าระยะเยื้องศูนย์กลางที่สภาวะสมมูล ( $e_b$ ) องค์อาคารจะวิบัติโดยการอัดแตกของคอนกรีตในระหว่างที่หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงดึงจะน้อยกว่าจุดคราก หรืออาจอยู่ภายใต้แรงอัดด้วย การออกแบบและวิเคราะห์ในกรณีนี้ จะใช้การลองผิดลองถูกโดยการสมมติค่าของความลึกของแกนสะเทิน ( $c$ ) ร่วมกับความสอดคล้องของความเครียดและสมการสมมูล หรืออาจจะใช้การประมาณโดยวิธีของ Whitney

วิธีของ Whitney จะให้ค่าในการออกแบบที่ต่ำกว่าค่าจริงที่ได้จากการลองผิดลองถูก ยกเว้นแต่เมื่อแรงตามแนวแกนที่กระทำมีค่าเข้าใกล้แรงตามแนวแกนที่สภาวะสมมูล วิธีของ Whitney จะให้ค่าที่สูงกว่า วิธีของ Whitney ถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยสมมติฐานตามที่แสดงในรูปที่ 3.4 ดังต่อไปนี้

- มีการวางเหล็กเสริมแถวเดียวแบบสมมาตรรอบแกนรับแรงดัด
- เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดคราก
- ไม่คิดพื้นที่ของคอนกรีตซึ่งถูกแทนที่โดยพื้นที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัด
- ความลึกของรูปกล่องสี่เหลี่ยมพื้นผ้าเทียบเท่าของหน่วยแรงในคอนกรีต

$$a = 0.54d \text{ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะสมมูลขององค์อาคารรูปสี่เหลี่ยมพื้นผ้า}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

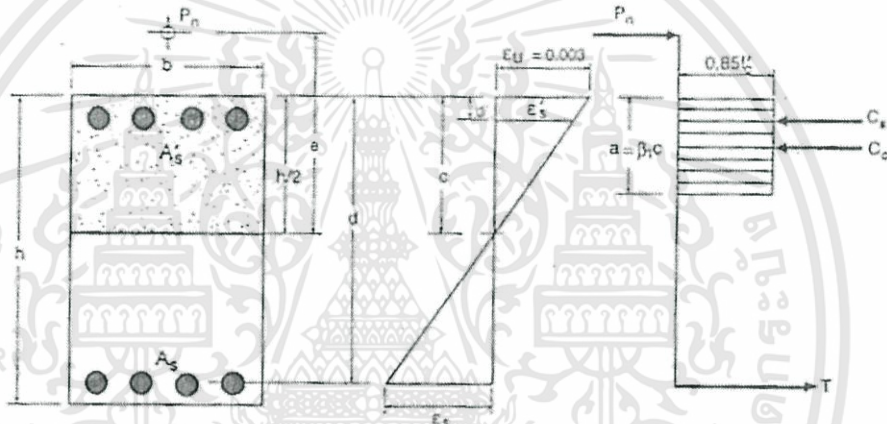
- ความสัมพันธ์ของแรงตามแนวแกนและแรงดัดภายใต้อิทธิพลของแรงอัดถือว่าเป็นเชิงเส้นตรง

จากรูปที่ 3.5 ถ้ารวมโมเมนต์รอบแนวเหล็กเสริมรับแรงดึงจะได้

$$P_n \left( e + \frac{d-d'}{2} \right) = C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d-d') \quad (a)$$

โดยที่

$$C_c = 0.85 f'_c b a = 0.85 f'_c b (0.54d) = 0.459 b d f'_c$$



รูปที่ 3.5 สมมติฐานของ Whitney สภาวะภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

$$C_c \left( d - \frac{a}{2} \right) = 0.459 b d f'_c \left( d - \frac{0.54d}{2} \right) = \frac{1}{3} f'_c b d^2 \quad (b)$$

$$C_s = A'_s f_y \quad (c)$$

แทนค่า สมการ(b)และ(c) ลงใน(a) จะได้

$$P_n = \frac{\frac{1}{3} f'_c b d^2}{e + \frac{1}{2} (d-d')} + \frac{A'_s f_y (d-d')}{e + \frac{1}{2} (d-d')} = \frac{f'_c b h}{\frac{3he}{d^2} + \frac{3(d-d'h)}{2d^2}} + \frac{A'_s f_y}{\frac{e}{d-d'} + \frac{1}{2}} \quad (d)$$

เมื่อ  $e = 0; P_n = P_0 = 0.85 f'_c b h + f_y (A_s + A'_s) = 0.85 f'_c b h + 2 f_y A'_s$

แทนค่าข้างบนลงในสมการ (d) จะได้

$$0.85f'_c b h + 2f_y A'_s = \frac{f'_c b h}{0 + \frac{3(d-d')h}{2d^2}} + \frac{A'_s f_y}{0 + \frac{1}{2}}$$

$$\frac{3(d-d')h}{2d^2} = \frac{1}{0.85} = 1.18 \quad (e)$$

แทนค่าสมการ (c) ลงใน (d) จะได้

$$P_n = \frac{f'_c b h}{\frac{3he}{d^2} + 1.18} + \frac{A'_s f_y}{\frac{e}{d-d'} + 0.5}$$

หรือถ้ารู้  $P_n$  และ  $M_n$  จากการวิเคราะห์โครงสร้าง และถ้าเลือกหน้าตัดขององค์อาคารให้เป็นแบบเสาสั้น (ไม่ต้องคำนึงผลของอัตราความขะลุค) จะหาปริมาณเหล็กเสริมที่ด้านหนึ่งด้านใดของแกนสมมาตรได้

$$A'_s = \left( P_n - \frac{f'_c b h}{\frac{3he}{d^2} + 1.18} \right) \left( \frac{e}{d-d'} + 0.5 \right) \frac{1}{f_y}$$

จะต้องเสริมเหล็ก  $A'_s$  นี้ทั้งสองด้านของแกนสมมาตร ทำให้ได้ปริมาณเหล็กเสริมทั้งหมด  $A_{st} = 2A'_s$

### 3.9.1.2 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงดึง

เมื่อแรงตามแนวแกนที่กระทำ ( $P_n$ ) น้อยกว่าแรงตามแนวแกนที่สภาวะสมดุล ( $P_{nb}$ ) หรือเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลาง ( $e$ ) มากกว่าระยะเยื้องศูนย์กลางที่สภาวะสมดุล ( $e_b$ ) องค์อาคารจะวิบัติโดยเริ่มต้นจากที่เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก ในระหว่างที่หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงอัดจะถึงจุดครากหรือน้อยกว่าก็ได้ การออกแบบและวิเคราะห์ในกรณีนี้ จะใช้สมการที่(5.4) และ (5.5) เป็นหลัก โดยใช้ค่า  $f_y$  แทน  $f_s$  ในสมการ

การวางเหล็กเสริมให้สมมาตรรอบแกนรับแรงคด ( $A_s = A'_s$ ) เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เพื่อรับการกลับทิศทางของแรงในองค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงคด เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการวางเหล็กกลับทางในการก่อสร้าง

ถ้าสมมติให้เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากด้วย และใช้  $A'_s = A_s$  จะเขียนสมการที่ 5.4 และ 5.5 ได้ใหม่

$$P_n = 0.85 f'_c b a \quad , \quad a = \frac{P_n}{0.85 f'_c b} \quad (f)$$

$$\begin{aligned} M_n = P_n e &= 0.85 f'_c a b \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s \left( \frac{h}{2} - d' \right) + A_s f_s \left( d - \frac{h}{2} \right) \\ &= 0.85 f'_c a b \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s f_y (d - d') \end{aligned} \quad (g)$$

แทนค่า  $P_n$  และ  $a$  จากสมการ (f) ลงใน (g)

$$\begin{aligned} P_n e &= P_n \left( \frac{h}{2} - \frac{P_n}{1.7 f'_c b} \right) + A_s f_y (d - d') \\ \frac{P_n^2}{1.7 f'_c b} - P_n \left( \frac{h}{2} - e \right) - A_s f_y (d - d') &= 0 \end{aligned}$$

หรือถ้ารู้  $P_n$  และ  $M_n$  จากการวิเคราะห์โครงสร้าง และถ้าเลือกหน้าตัดขององค์อาคารให้เป็นแบบเสาสั้น (ไม่ต้องคำนึงผลของอัตราความชะลูด) จะหาปริมาณเหล็กเสริมที่ด้านหนึ่งด้านใดของแกนสมมาตรได้

$$A_s = \frac{\frac{P_n^2}{1.7 f'_c b} - P_n \left( \frac{h}{2} - e \right)}{f_y (d - d')}$$

จะต้องเสริมเหล็ก  $A_s$  นี้ทั้งสองด้านของแกนสมมาตร ทำให้ได้ปริมาณเหล็กเสริมทั้งหมด  $A_{st} = 2A_s$

### 3.9.1.3 เหล็กรับแรงเฉือน

แสดงค่า  $N_u$ ,  $P_u$  และ  $V_u$

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต  $V_c = [0.53(1 + 0.0071 \frac{N_u}{A_g})]$  แรงเฉือนที่ต้องรับ

โดยเหล็กเสริม  $V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$

เลือกขนาดเหล็กเสริมที่เหมาะสม

ระยะเรียงของเหล็กปลอกน้อยที่สุดจาก

$$S = \frac{A_y f_y d}{V_s}$$

$$S = \frac{A_s f_y}{(3.5b_w)}$$

$$S = \frac{d}{2}$$



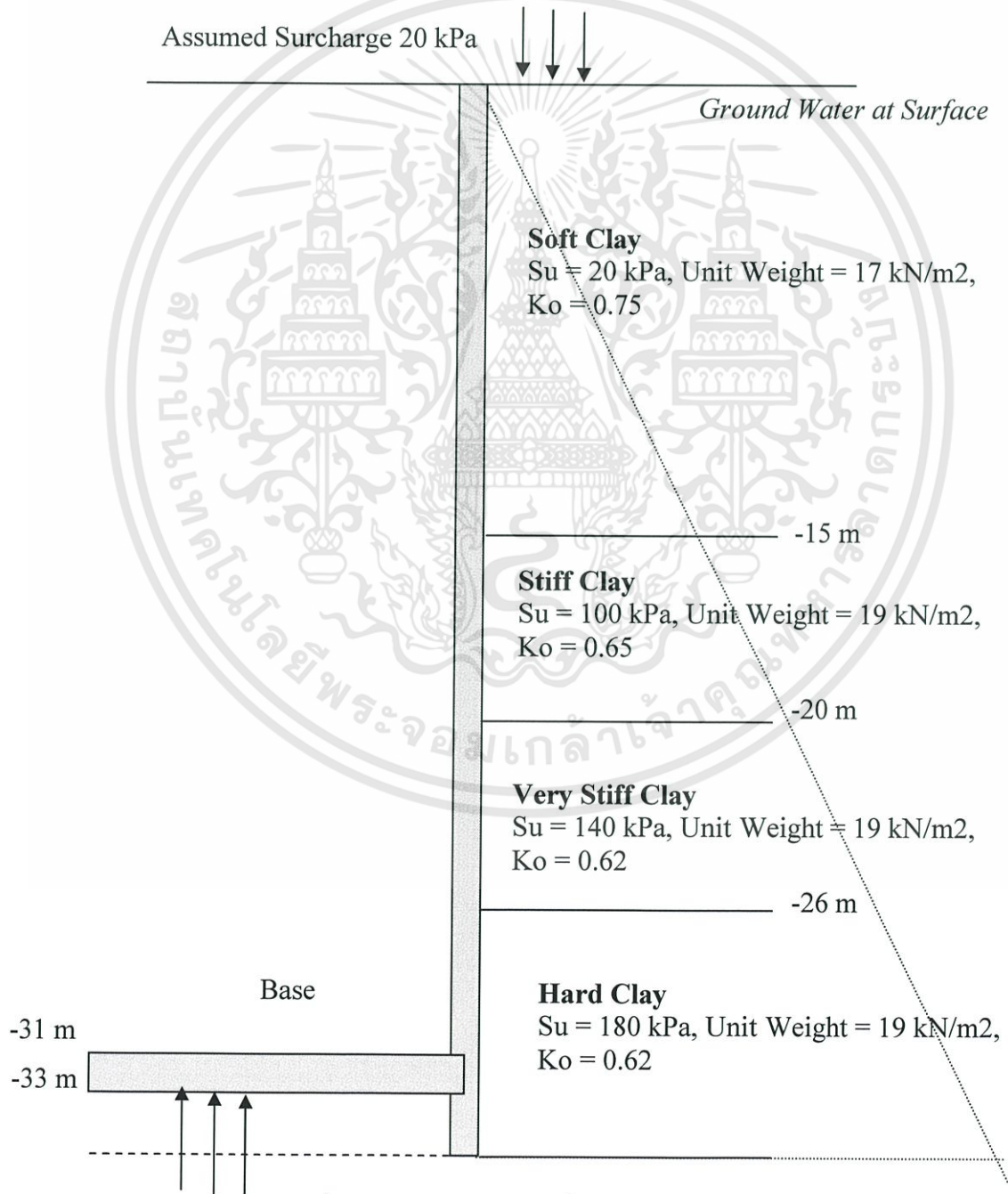


### 3.11 ตัวอย่างการออกแบบเขตรองรับ

#### โครงการ Khlong Pi-Sing-To station and Rama IV station

#### คุณสมบัติของดิน (Soil Profile)

เงื่อนไขดินของสถานที่ก่อสร้างเขตรองรับประกอบด้วย soft clay, stiff clay, and dense sand ระดับของเขตรองรับและเงื่อนไขของดินจะแสดงโดยรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แรงดันดิน (Soil Pressure)

$$\text{Overburden} = \Sigma (\text{surchage} + (\gamma - \gamma_w)h)$$

เมื่อสมมติน้ำหนักกดทับ = 20 kPa

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 10 kN/m<sup>3</sup>

h = ความลึก (m)

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดันOverburden
		รวม (kPa)
0	20	20
15	20+(17-10)x15	125
20	125+(18-10)x5	165
26	165+(19-10)x6	219
34	219+(19-10)x8	291

ตารางที่ 3.1 แรงดันoverburdenรวมที่ระดับความลึกต่างๆ

### แรงดันดินแบบอยู่กับที่ + แรงดันน้ำ (At rest pressure + water pressure)

$$\text{แรงดันดิน} = K_o(\text{overburden pressure}) + \gamma_w h$$

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดัน Overburden	Ko	แรงดันดิน	แรงดัน	แรงดันรวม
		รวม (kPa)		ด้านข้าง (kPa)	น้ำ (kPa)	ด้านข้าง(kPa)
0	20	20	0.75	15	0	15
15	20+(17-10)x15	125	0.75	93.75	150	243.75
20	125+(18-10)x5	165	0.65	107.25	200	307.25
26	165+(19-10)x6	219	0.65	142.35	260	402.35
34	219+(19-10)x8	291	0.62	180.42	340	520.42

ตารางที่ 3.2 แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ

## การคำนวณแรงกระทำที่หน้าตัดและแรงต้าน

### การต้านแรงดันขึ้น (Against Uplift Pressure)

สำหรับความปลอดภัย แต่เหมาะสมในการออกแบบ , น้ำหนักของโครงสร้างหลังคา และแรงเสียดทานที่ผิว ชั้น Dense sand จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณ

- น้ำหนักของโครงสร้างเคของส์

ความลึกของเคของส์  $H = 34 \text{ m}$

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็ก  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตอัด  $\gamma_p = 20 \text{ kN/m}^3$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน  $D_i = 8 \text{ m}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก  $D_o = 10 \text{ m}$

ความหนาของพื้นเคของส์,  $b = 2 \text{ m}$

ความหนาของคอนกรีตอัด,  $p = 2 \text{ m}$

ชิ้นส่วน		น้ำหนัก (kN)
เคของส์	$\pi \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{4} \gamma_c H = \pi \frac{(10^2 - 8^2)}{4} (25)(34)$	24,021
พื้น	$\pi \frac{(D_i^2)}{4} \gamma_c b = \pi \frac{(8^2)}{4} (25)(2)$	2,512
คอนกรีตอัด	$\pi \frac{(D_i^2)}{4} \gamma_p b = \pi \frac{(8^2)}{4} (20)(2)$	2,010
	<b>รวม</b>	<b>28,543</b>

ตารางที่ 3.3 น้ำหนักรวมทั้งหมด

- แรงเสียดทานที่ผิว (Friction)

ดิน	ความหนา (m)		แรงเสียดทาน(kN/m <sup>2</sup> )
Soft Clay	15	$\alpha S_u = 0.9(20)$	18
Stiff Clay	5	$\alpha S_u = 0.35(100)$	35
Very Stiff Clay	6	$\alpha S_u = 0.35(140)$	49
Hard Clay	8	$\alpha S_u = 0.35(180)$	63
แรงเสียดทานรวม = $\pi D_o \Sigma H f_s =$			<b>39,050 kN</b>

ตารางที่ 3.4 การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด

- แรงดันขึ้น (Uplift Pressure)

$$\text{แรงดันขึ้น} = \text{พื้นที่พื้น} \times (\gamma_w H) = \pi \frac{(10^2)}{4} (10)(33) = \mathbf{25,905 \text{ kN}}$$

- ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้น (Factor of Safety against uplift)

$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= \frac{\text{Total Weight} + \text{Friction}}{\text{Uplift Pressure}} \\ &= \frac{28,543 + 39,050}{25,905} = 2.61 \text{ O.K.} \end{aligned}$$

แรงที่กระทำต่อผนังเคของสัระหว่างการจม

- ที่ caisson shoe ( ที่ระดับ -34 m)

$$\begin{aligned} \text{แรงดันด้านข้าง} \quad P &= LF(P_a + P_w) \\ &= 1.20(180.42 + 340) \\ &= 624.5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

สมมติ 50% of แรงดันดินที่กระทำต่อผนังเคของสัระหว่างการจม

$$\Delta P = 0.5(1.20)(180.42)$$

$$= 108.3 \text{ kPa}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

Bending Moment,  $M = 0$

Shear Force,  $Q = 0$

Axial Force,  $N = P(R_0) = (624.5)(5)$   
 $= 3,123 \text{ kN/m}$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

Bending Moment,  $M = 0.163 \Delta P R_0^2$   
 $= 0.163(108.3)(5)^2$   
 $= 441.3 \text{ kN-m/m}$

Axial Force,  $N = 0.212 \Delta P R_0$   
 $= 0.212(108.3)(5)$   
 $= 114.8 \text{ kN/m}$

	Bending Moment (kN-m/m)	Axial Force (kN/m)
น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ	0	3,123
น้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ	441.3	114.8
รวม	441.3	3,238

ตารางที่ 3.5 Bending Moment และ Axial Force รวม

### ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณ caisson shoe

คุณสมบัติของวัสดุ :

Concrete :  $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$

Reinforcement : SD 40 :  $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

$M = 441.3 \text{ kN.m} = 44,130 \text{ kg.m}$

$P = 3238 \text{ kN} = 323,800 \text{ kg}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( f'_c - 280 ) / 70$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( 300 - 280 ) / 70 = 0.8357$$

คุณสมบัติของหน้าตัด :

ถ้าสมมติว่าใช้เหล็กเสริมหลัก DB25

$$d = 10 + 2.5 + \frac{2.5}{2} = 13.75 \text{ cm}$$

$$d = h - d = 60 - 13.75 = 46.25 \text{ cm}$$

กำลังที่ต้องการ :

$$P_u = 1.4 P_d = 1.4 \times 323,800 = 453,320 \text{ kg}$$

$$M_u = 1.4 M = 1.4 \times 44,130 = 61,782 \text{ kg}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{61,782}{453,320} = 13.63 \text{ cm}$$

กำลังระบุ :

$$0.1 f'_c A_g = 0.1 \times 300 \times 100 \times 60 = 180,000 \text{ kg}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับ  $P_u$  แล้วใช้

$$\phi = 0.9 - \frac{0.2 P_u}{0.1 f'_c A_g} = 0.9 - \frac{0.2 \times 453,320}{0.1 \times 300 \times 100 \times 60} = 0.39 \therefore \text{ใช้ } \phi = 0.7$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{453,320}{0.7} = 647,600 \text{ kg}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{61,782}{0.7} = 88,260 \text{ kg}$$

ที่สภาวะความเครียดสมดุล :

$$C_b = 6120d / (6120 + f_y) = 6120 \times 46.25 / (6120 + 4000) = 27.97 \text{ cm}$$

$$a_b = \beta_1 C_b = 0.8357 \times 27.97 = 23.37 \text{ cm}$$

$$P_{nb} = 0.85 f'_c a_b b = 0.85 \times 300 \times 23.37 \times 60 = 357,622.21 \text{ kg}$$

$P_n$  มากกว่า  $P_{nb}$  แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

$$A_s = \frac{\left(\frac{e}{d-d'} + 0.5\right)}{f_y} \left[ P_n - \frac{f_c'bh}{\frac{3he}{d^2} + 1.18} \right]$$

$$A_s = \frac{\left(\frac{13.63}{46.25 - 13.75} + 0.5\right)}{4000} \left[ 647,600 - \frac{300 \times 60 \times 100}{\frac{3 \times 100 \times 13.63}{46.25^2} + 1.18} \right] = 15.03 \text{ cm}^2$$

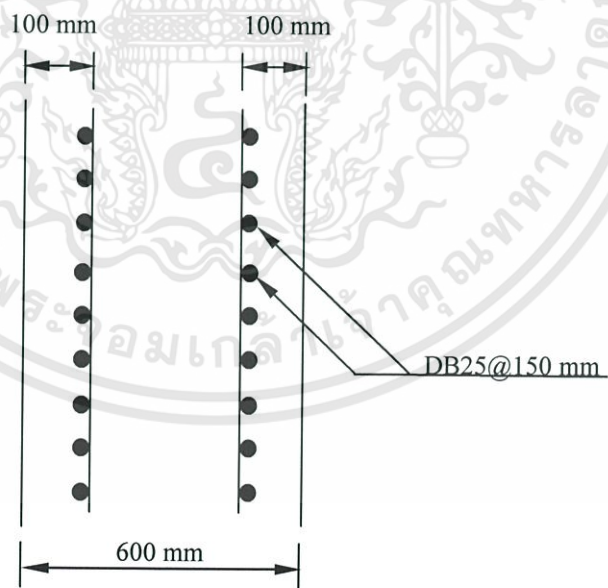
เลือกใช้เหล็ก DB25 ( $4.91 \text{ cm}^2$ ) จำนวน 4 เส้นได้  $A_s = A_s' = 19.64 \text{ cm}^2$

และ  $\rho = \frac{A_{st}}{A_s} = \frac{19.64 \times 2}{100 \times 60} = 0.00654$  แต่  $\rho$  ต้องอยู่ระหว่าง 0.01-0.08

เลือกใช้เหล็ก DB25 ( $4.91 \text{ cm}^2$ ) จำนวน 6 เส้นได้  $A_s = A_s' = 29.46 \text{ cm}^2$

และ  $\rho = \frac{A_{st}}{A_s} = \frac{29.46 \times 2}{100 \times 60} = 0.0098 \approx 0.01 \therefore \rho$  อยู่ระหว่าง 0.01-0.08 O.K.

$\therefore$  ระยะเรียง  $\frac{100}{6} = 16.66 \therefore$  ใช้ 15 cm [ทั้งซ้ายและขวา]



รูปที่ 3.8 การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe

• ที่ผนังเลขของสี่ ( ช่วงวิกฤตอยู่ที่ระดับพื้น 31-33 m )

แรงดันด้านข้าง  $P = LF(P_a + P_w)$   
 $= 1.20(180+340)$   
 $= 624 \text{ kPa}$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

Bending Moment,  $M = 0$

Shear Force,  $Q = 0$

Axial Force,  $N = P(R_o) = (624)(5)$   
 $= 3,120 \text{ kN/m}$

หาแรงแนวแกนปรัศัยของผนัง

$$N_u = A_g [0.85(\phi f'_c)(1 - \rho) + \phi f_y \rho]$$

$$= (1000 \times 1000 \text{ mm}) [(0.85)(0.7)(30)(1 - 0.004) + (0.7)(400)(0.004)] / 1000$$

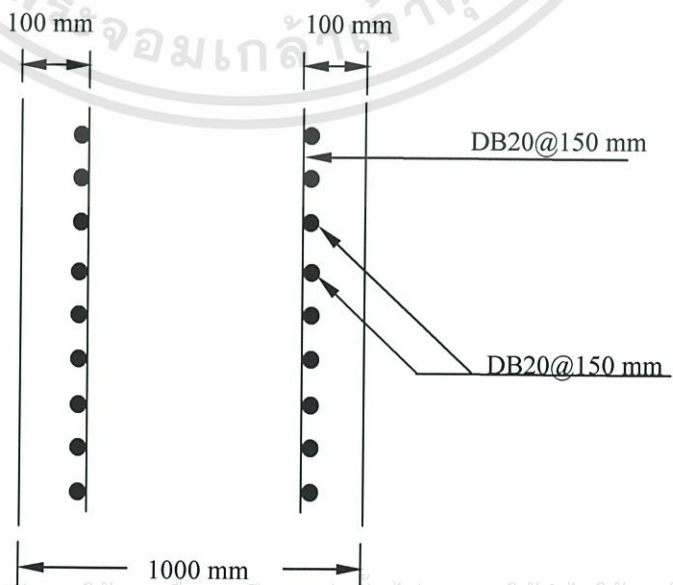
$$= 18,899 \text{ kN} > 3,120 \text{ kN} \quad \text{O.K.}$$

ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณผนังเลขของสี่

ลองใช้เหล็ก DB20 (A = 3.14 ) ระยะเรียง 150 mm

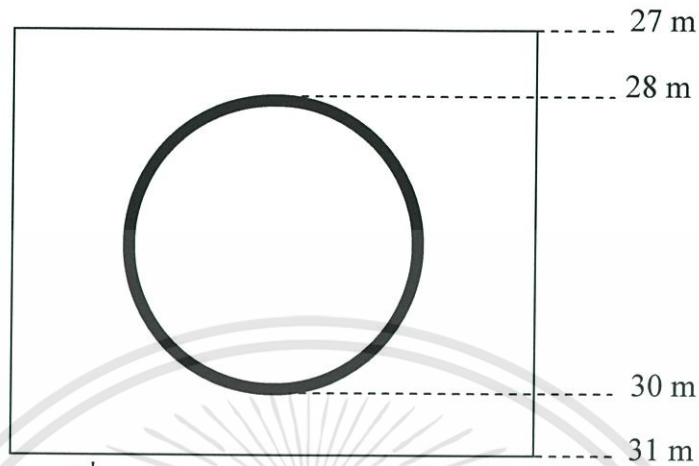
$$A_s = 3.14(2) / (0.15) = 41.87 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = 0.04 (100)(100) = 40 \text{ cm}^2 \quad A_s > A_{s \text{ min}} \quad \text{O.K.}$$



รูปที่ 3.9 การเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson

- การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์ ( ที่ระดับ -28 ถึง -30 )

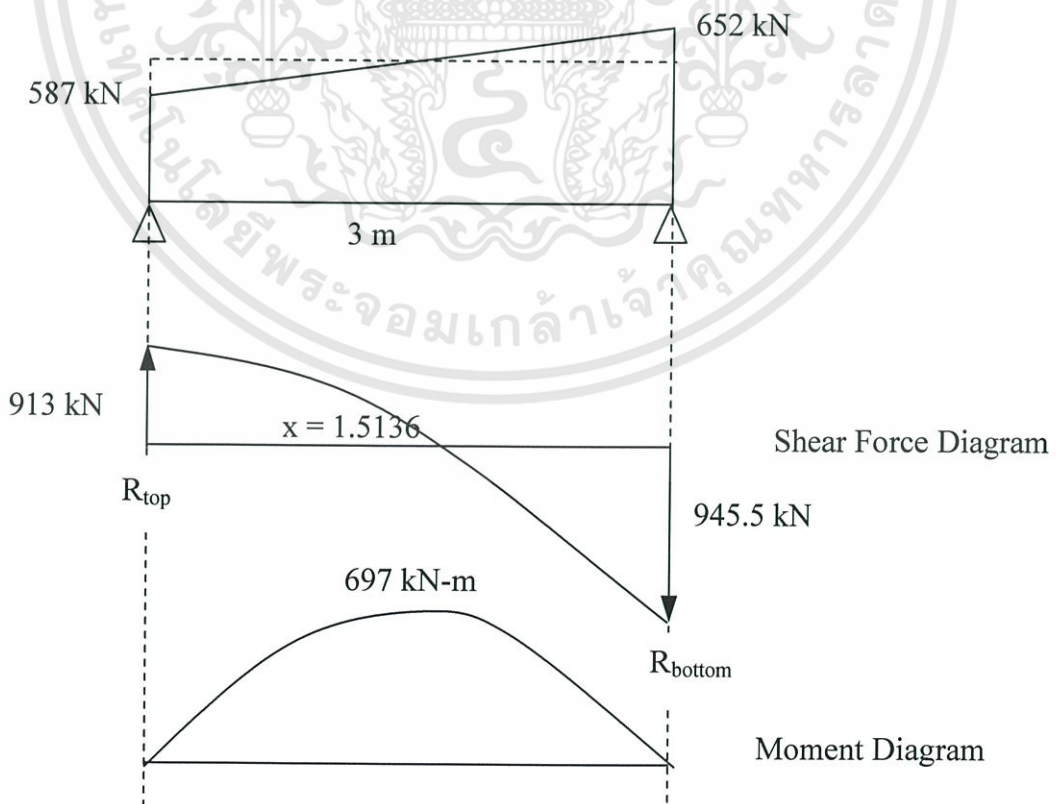


รูปที่ 3.10 ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์

แรงดันด้านข้าง

ที่ระดับ 27.5,  $1.4(P_a + P_w) = (1.4)(144 + 275) = 587 \text{ kPa}$

ที่ระดับ 30.5,  $1.4(P_a + P_w) = (1.4)(161 + 305) = 652 \text{ kPa}$



รูปที่ 3.11 ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Shear diagram และ Moment diagram จะได้ว่า

$$R_{\text{top}} = 913 \text{ kN}$$

$$R_{\text{bottom}} = 945.5 \text{ kN}$$

โมเมนต์มากที่สุดบนชิ้นส่วน,  $M = 697 \text{ kN}\cdot\text{m}$

แรงเฉือนมากที่สุดบนชิ้นส่วน,  $Q = 945.5 \text{ kN}$

**ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณช่องเปิดของอุโมงค์**

คุณสมบัติของวัสดุ :

$$\text{Concrete : } f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Reinforcement : SD 40 : } f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = 697 \text{ kN}\cdot\text{m} = 69,700 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$P = 3,120 \text{ kN} = 312,000 \text{ kg}$$

$$V = 945.5 \text{ kN} = 94,550 \text{ kg}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( f_c' - 280 ) / 70$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( 300 - 280 ) / 70 = 0.8357$$

คุณสมบัติของหน้าตัด :

ถ้าสมมติว่าใช้เหล็กเสริมหลัก DB25 2 ชั้น โดยมีจำนวนเส้นในแต่ละชั้นเท่ากัน และช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมต้องไม่น้อยกว่า 4 cm หรือ  $1.5 d_b$  จะได้

$$d = 10 + 2 + 2.5 + \frac{4}{2} = 16.5 \text{ cm}$$

$$d = h - d = 100 - 16.5 = 83.5 \text{ cm}$$

กำลังที่ต้องการ :

$$P_u = 1.4 P_d = 1.4 \times 312,000 = 436,800 \text{ kg}$$

$$M_u = 1.4 M = 1.4 \times 69,700 = 97,580 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.4 V = 1.4 \times 94,550 = 132,370 \text{ kg}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{97,580}{436,800} = 22.34 \text{ cm}$$

กำลังระบุ :

$$0.1 f_c A_g = 0.1 \times 300 \times 100 \times 100 = 300,000 \text{ kg}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับ  $P_u$  แล้วใช้

$$\phi = 0.9 - \frac{0.2P_u}{0.1f'_c A_g} = 0.9 - \frac{0.2 \times 436,800}{0.1 \times 300 \times 100 \times 100} = 0.6 \therefore \text{ใช้ } \phi = 0.7$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{436,800}{0.7} = 624,000 \text{ kg}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{97,580}{0.7} = 139,400 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{132,370}{0.7} = 189,100 \text{ kg}$$

ที่สภาวะความเครียดสมดุล :

$$C_b = 6120d / (6120 + f_y) = 6120 \times 83.5 / (6120 + 4000) = 50.5 \text{ cm}$$

$$a_b = \beta_1 C_b = 0.8357 \times 50.5 = 42.2 \text{ cm}$$

$$P_{nb} = 0.85 f'_c a_b b = 0.85 \times 300 \times 42.2 \times 100 = 1,076,088.44 \text{ kg}$$

$P_n$  น้อยกว่า  $P_{nb}$  แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดึง

$$A_s = \frac{\frac{P_n^2}{1.7f'_c b} - P_n \left( \frac{h}{2} - e \right)}{f_y (d - d')}$$

$$A_s = \frac{\frac{624,000^2}{1.7 \times 300 \times 100} - 624,000 \left( \frac{100}{2} - 22.34 \right)}{4000(83.5 - 16.5)} = -35.91 \text{ cm}^2$$

$A_s = -35.91 \text{ cm}^2$  แสดงว่าสามารถรับแรงได้ ให้เสริมเหล็กตามมาตรฐาน

เลือกใช้เหล็ก DB25 ( $4.91 \text{ cm}^2$ ) จำนวน 12 เส้นได้  $A_s = A'_s = 58.92 \text{ cm}^2$

$$\text{และ } \rho = \frac{A_{st}}{A_s} = \frac{58.92 \times 2}{100 \times 100} = 0.011784 \text{ แต่ } \rho \text{ ต้องอยู่ระหว่าง } 0.01-0.08 \text{ O.K.}$$

เหล็กเสริมหลัก DB25 2 ชั้น โดยมีจำนวนเส้นในแต่ละชั้นเท่ากัน

$$\therefore \text{ระยะเรียง } \frac{100}{6} = 16.66 \therefore \text{ใช้ } 15 \text{ cm [ทั้งซ้ายและขวา]}$$

ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือน:

$$N_u = P_u = 436,800 \text{ kg} \quad V_u = 132,370 \text{ kg}$$

$$V_c = \left[ 0.53 \left( 1 + 0.0071 \frac{N_u}{A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d \right]$$

$$V_c = \left[ 0.53 \left( 1 + 0.0071 \frac{436,800}{100 \times 100} \right) \sqrt{300} \times 100 \times 83.5 \right] = 100,424 \text{ kg}$$

$$\text{แรงเฉือนที่ต้องรับโดยเหล็กเสริม} \quad V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{132,370}{0.85} - 100,424 = 55,305 \text{ kg}$$

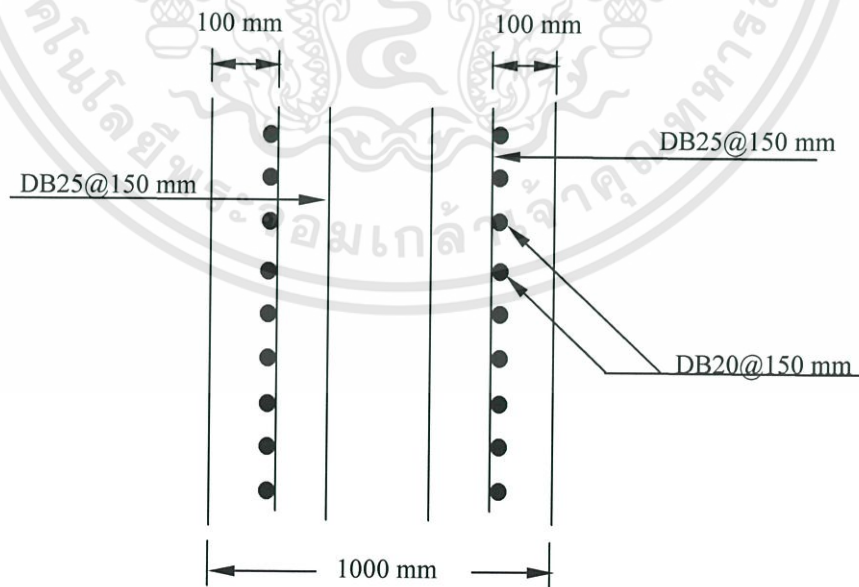
ระยะเรียงของเหล็กปลอกขนาด 25 mm

$$S = \frac{A_y f_y d}{V_s} = \frac{(2 \times 4.91)(4000)(83.5)}{55,305} = 59.31 \text{ cm.}$$

$$\text{ระยะเรียงห่างสุด} = \frac{A_s f_y}{(3.5 b_w)} = \frac{(2 \times 4.91)(4000)}{3.5 \times 100} = 112.22 \text{ cm.}$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{d}{2} = \frac{83.5}{2} = 41.75 \text{ cm.}$$

เลือกใช้ระยะเรียง 15 cm.



รูปที่ 3.12 การเสริมเหล็กในผนังคอสี่เหลี่ยมช่องเปิดของอุโมงค์

• การคำนวณพื้น

โมเมนต์ที่พื้น

ความหนาพื้น 2 m , ระยะหุ้มคอนกรีต 10 cm

$$d = 200 - 10 = 190 \text{ cm} , d' = 10 \text{ cm}$$

แรงดันขึ้น (Uplift)

$$\begin{aligned} W_u &= (\text{แรงดันขึ้น}) - (\text{น้ำหนักพื้น}) \\ &= (34 \times 10) - (2 \times 25) \\ &= 290 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{W_u r^2 (3 + \nu)}{16} = \frac{290 \times 4^2 \times (3 + 0.2)}{16} \\ &= 928 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M}{0.4f_y (d - d')} = \frac{928}{0.4 \times 4000 \times (190 - 10)} \times 10000 \\ &= 32.22 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

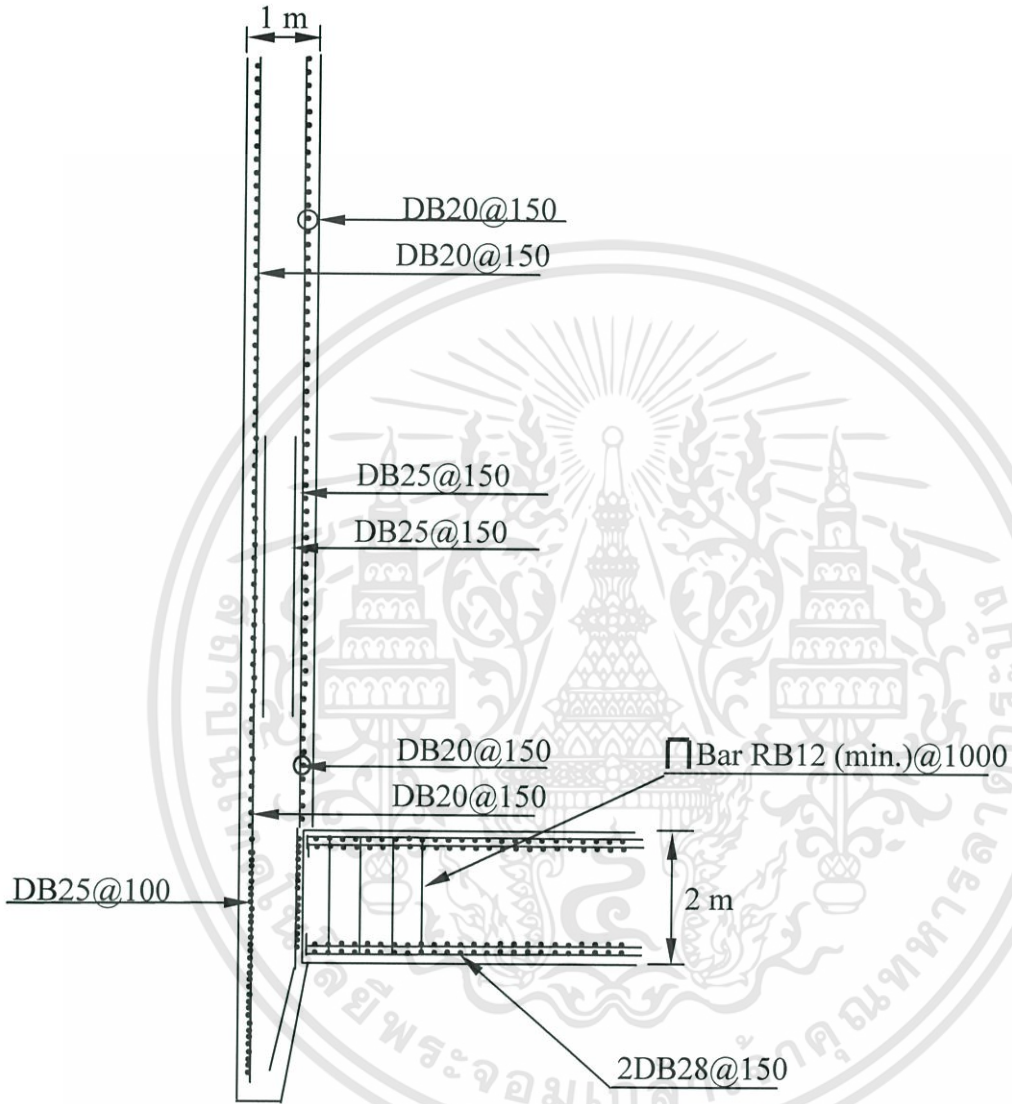
เลือกใช้ 2DB28@150 mm ได้  $A_s = 82.10 \text{ cm}^2$

แรงเฉือนที่พื้น

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต} &= (\text{Uplift})(r - d) \\ &= (290)(4 - 1.90) \\ &= 609 \text{ kN} = 61 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.29 \sqrt{f'_c} b d = 0.29 \times \sqrt{400} (100)(190) \\ &= 110.5 \text{ Ton} \end{aligned}$$

เพื่อความปลอดภัยใช้เหล็กปลอก U shape@1m



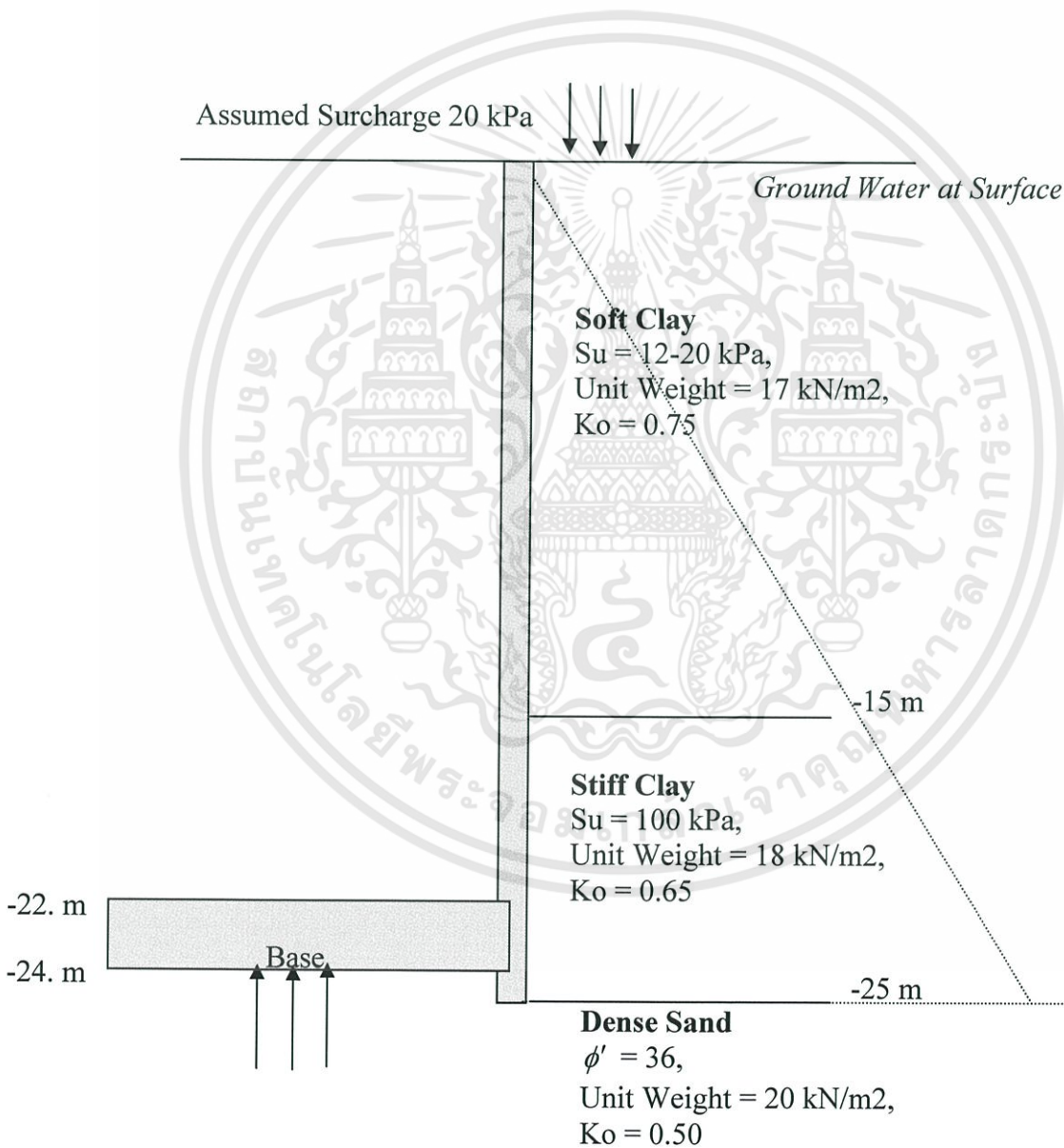
รูปที่ 3.13 แบบการเสริมเหล็กของงต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โครงการ Preliminary Design of Shaft for Khlong San-Saep station

### คุณสมบัติของดิน (Soil Profile)

เงื่อนไขดินของสถานที่ก่อสร้างเคของส์ประกอบด้วย soft clay, stiff clay, and dense sand ระดับของเคของค์และเงื่อนไขของดินจะแสดงโดยรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเคของส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## แรงดันดิน (Soil Pressure)

$$\text{Overburden} = \Sigma(\text{surcharge} + (\gamma - \gamma_w)h)$$

เมื่อสมมติน้ำหนักกดทับ = 20 kPa

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 10 kN/m<sup>3</sup>

h = ความลึก (m)

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดันOverburden รวม (kPa)
0	20	20
15	20+(17-10)x15	125
25	125+(18-10)x10	205

ตารางที่ 3.6 แรงดันoverburdenรวมที่ระดับความลึกต่างๆ

แรงดันดินแบบอยู่กับที่ + แรงดันน้ำ (At rest pressure + water pressure)

$$\text{แรงดันดิน} = K_o(\text{overburden pressure}) + \gamma_w h$$

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดัน Overburden รวม (kPa)	Ko	แรงดันดิน ด้านข้าง (kPa)	แรงดัน น้ำ (kPa)	แรงดันรวม ด้านข้าง(kPa)
0	20	20	0.75	15	0	15
15	20+(17-10)x15	125	0.75	93.75	150	243.75
25	125+(18-10)x10	205	0.65	133.25	250	383.25

ตารางที่ 3.7 แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ

## การคำนวณแรงกระทำที่หน้าตัดและแรงต้าน

### การต้านแรงดันขึ้น (Against Uplift Pressure)

สำหรับความปลอดภัย แต่เหมาะสมในการออกแบบ , น้ำหนักของโครงสร้างหลังคา และแรงเสียดทานที่ผิว ชั้น Dense sand จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณ

- น้ำหนักของโครงสร้างเคชองส์

ความลึกของเคชองส์  $H = 25 \text{ m}$

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็ก  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตอัด  $\gamma_p = 20 \text{ kN/m}^3$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน  $D_i = 9.9 \text{ m}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก  $D_o = 11.5 \text{ m}$

ความหนาของพื้นเคชองส์,  $b = 2 \text{ m}$

ความหนาของคอนกรีตอัด,  $p = 2 \text{ m}$

ชั้นส่วน		น้ำหนัก (kN)
เคชองส์	$\pi \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{4} \gamma_c H = \pi \frac{(11.5^2 - 9.9^2)}{4} (25)(25)$	16,799
พื้น	$\pi \frac{(D_i^2)}{4} \gamma_c b = \pi \frac{(9.9^2)}{4} (25)(2)$	3,847
คอนกรีตอัด	$\pi \frac{(D_i^2)}{4} \gamma_p b = \pi \frac{(9.9^2)}{4} (20)(2)$	3,078
	<b>รวม</b>	<b>23,724</b>

ตารางที่ 3.8 น้ำหนักรวมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แรงเสียดทานที่ผิว (Friction)

ดิน	ความหนา (m)		แรงเสียดทาน(kN/m <sup>2</sup> )
Soft Clay	15	$\alpha S_u = 0.9(20)$	18
Stiff Clay	10	$\alpha S_u = 0.35(100)$	35
แรงเสียดทานรวม = $\pi D_o \Sigma H f_s =$			<b>22,400 kN</b>

ตารางที่ 3.9 การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด

- แรงดันขึ้น (Uplift Pressure)

$$\text{แรงดันขึ้น} = \text{พื้นที่พื้น} \times (\gamma_w H) = \pi \frac{(11.5^2)}{4} (10)(24) = \mathbf{24,916 \text{ kN}}$$

- ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้น (Factor of Safety against uplift)

$$\begin{aligned} \text{Factor of Safety} &= \frac{\text{Total Weight} + \text{Friction}}{\text{Uplift Pressure}} \\ &= \frac{23,724 + 22,400}{24,916} = 1.85 \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

แรงที่กระทำต่อผนังของสระระหว่างการจม

- ที่ caisson shoe ( ที่ระดับ -25 m)

$$\begin{aligned} \text{แรงดันด้านข้าง} \quad P &= LF(P_a + P_w) \\ &= 1.20(133.25 + 250) \\ &= 460 \text{ kPa} \end{aligned}$$

สมมติ 50% of แรงดันดินที่กระทำต่อผนังของสระระหว่างการจม

$$\begin{aligned} \Delta P &= 0.5(1.20)(133.25) \\ &= 80 \text{ kPa} \end{aligned}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

Bending Moment,  $M = 0$

Shear Force,  $Q = 0$

Axial Force,  $N = P(R_o) = (460)(5.75)$   
 $= 2,645 \text{ kN/m}$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

Bending Moment,  $M = 0.163 \Delta P R_o^2$   
 $= 0.163(80)(5.75)^2$   
 $= 431.1 \text{ kN-m/m}$

Axial Force,  $N = 0.212 \Delta P R_o$   
 $= 0.212(80)(5.75)$   
 $= 95.5 \text{ kN/m}$

	Bending Moment (kN-m/m)	Axial Force (kN/m)
น้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ	0	2,645
น้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ	431.1	95.5
รวม	431.1	2,741

ตารางที่ 3.10 Bending Moment และ Axial Force รวม

### ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณ caisson shoe

คุณสมบัติของวัสดุ :

Concrete :  $f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$

Reinforcement : SD 40 :  $f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$

$M = 431.1 \text{ kN.m} = 43,110 \text{ kg.m}$

$P = 2,741 \text{ kN} = 274,100 \text{ kg}$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( f'_c - 280 ) / 70$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( 300 - 280 ) / 70 = 0.8357$$

คุณสมบัติของหน้าตัด :

ถ้าสมมติว่าใช้เหล็กเสริมหลัก DB25

$$d = 10 + 2.5 + \frac{2.5}{2} = 13.75 \text{ cm}$$

$$d = h - d = 40 - 13.75 = 26.25 \text{ cm}$$

กำลังที่ต้องการ :

$$P_u = 1.4 P = 1.4 \times 274,100 = 383,740 \text{ kg}$$

$$M_u = 1.4 M = 1.4 \times 43,110 = 60,354 \text{ kg}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{60,354}{383,740} = 15.72 \text{ cm}$$

กำลังระบุ :

$$0.1 f'_c A_g = 0.1 \times 300 \times 100 \times 40 = 120,000 \text{ kg}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับ  $P_u$  แล้วใช้

$$\phi = 0.9 - \frac{0.2 P_u}{0.1 f'_c A_g} = 0.9 - \frac{0.2 \times 383,740}{0.1 \times 300 \times 100 \times 40} = 0.64 \therefore \text{ใช้ } \phi = 0.7$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{383,740}{0.7} = 548,200 \text{ kg}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{60,354}{0.7} = 86,220 \text{ kg}$$

ที่สภาวะความเครียดสมมูล :

$$C_b = 6120d / (6120 + f_y) = 6120 \times 26.25 / (6120 + 4000) = 15.87 \text{ cm}$$

$$a_b = \beta_1 C_b = 0.8357 \times 15.87 = 13.27 \text{ cm}$$

$$P_{nb} = 0.85 f'_c a_b b = 0.85 \times 300 \times 13.27 \times 40 = 135,354 \text{ kg}$$

$P_n$  มากกว่า  $P_{nb}$  แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

$$A_s = \frac{\left(\frac{e}{d-d'} + 0.5\right)}{f_y} \left[ P_n - \frac{f_c'bh}{\frac{3he}{d^2} + 1.18} \right]$$

$$A_s = \frac{\left(\frac{15.72}{26.25 - 13.75} + 0.5\right)}{4000} \left[ 548,200 - \frac{300 \times 40 \times 100}{\frac{3 \times 100 \times 15.72}{26.25^2} + 1.18} \right] = 175.17 \text{ cm}^2$$

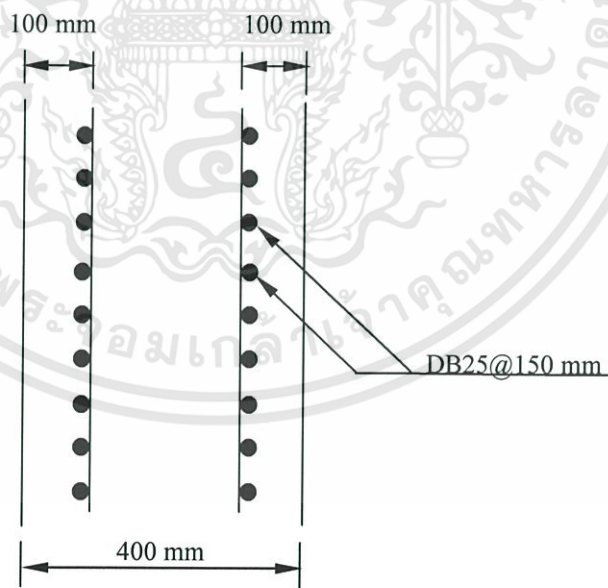
เลือกใช้เหล็ก DB25 ( $4.91 \text{ cm}^2$ ) จำนวน 36 เส้นได้  $A_s = A_s' = 176.76 \text{ cm}^2$

และ  $\rho = \frac{A_{st}}{A_s} = \frac{176.76 \times 2}{100 \times 40} = 0.088$  แต่  $\rho$  ต้องอยู่ระหว่าง 0.01-0.08

เลือกใช้เหล็ก DB25 ( $4.91 \text{ cm}^2$ ) จำนวน 6 เส้นได้  $A_s = A_s' = 29.46 \text{ cm}^2$

และ  $\rho = \frac{A_{st}}{A_s} = \frac{29.46 \times 2}{100 \times 40} = 0.0147 \therefore \rho$  อยู่ระหว่าง 0.01-0.08 O.K.

$\therefore$  ระยะเรียง  $\frac{100}{6} = 16.66 \therefore$  ใช้ 15 cm [ทั้งซ้ายและขวา]



รูปที่ 3.15 การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe

- ที่ผนังของตอม ( ช่วงวิกฤตอยู่ที่ระดับพื้น 22-24 m )

แรงดันด้านข้าง  $P = LF(P_a + P_w)$

$$= 1.20(128+240)$$

$$= 442 \text{ kPa}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

Bending Moment,  $M = 0$

Shear Force,  $Q = 0$

Axial Force,  $N = P(R_o) = (442)(5.75)$

$$= 2,542 \text{ kN/m}$$

หาแรงแนวแกนประลัยของผนัง

$$N_u = A_g [0.85(\phi f'_c)(1-\rho) + \phi f_y \rho]$$

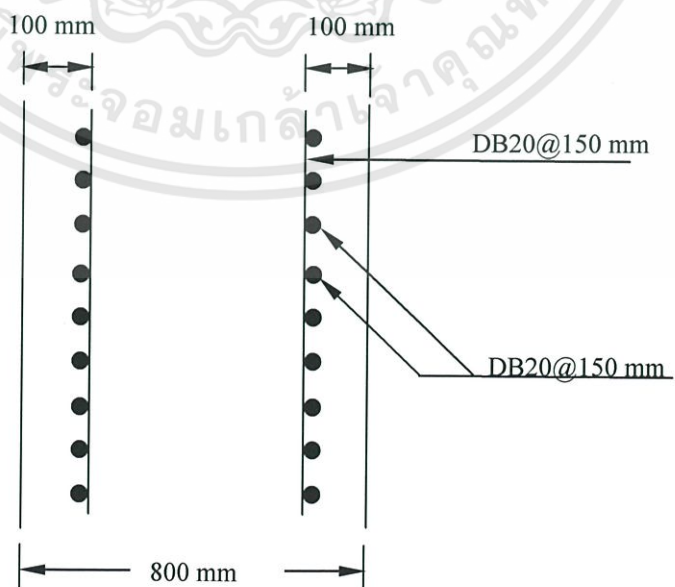
$$= (800 \times 1000 \text{ mm}) [(0.85)(0.7)(30)(1-0.004) + (0.7)(400)(0.004)] / 1000$$

$$= 15,119 \text{ kN} > 2,542 \text{ kN} \text{ O.K.}$$

ลองใช้เหล็ก DB20 ( $A = 3.14$ ) ระยะเรียง 150 mm

$$A_s = 3.14(2) / (0.15) = 41.87 \text{ cm}^2$$

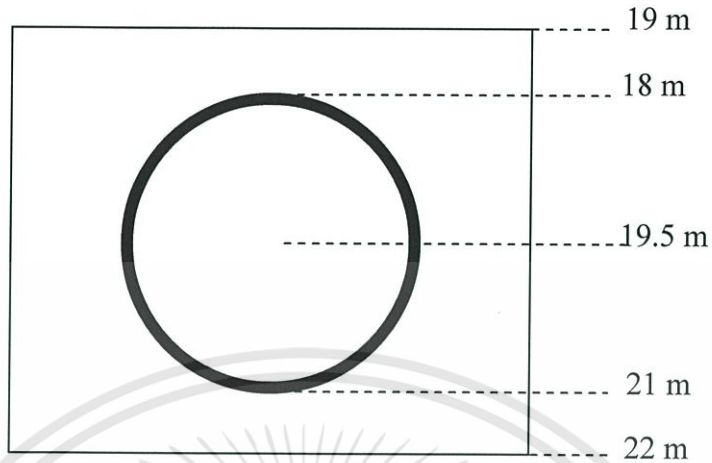
$$A_{s \text{ min}} = 0.04 (100)(100) = 40 \text{ cm}^2 \quad A_s > A_{s \text{ min}} \text{ O.K.}$$



รูปที่ 3.16 การเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์ ( ที่ระดับ -18 ถึง -21 )

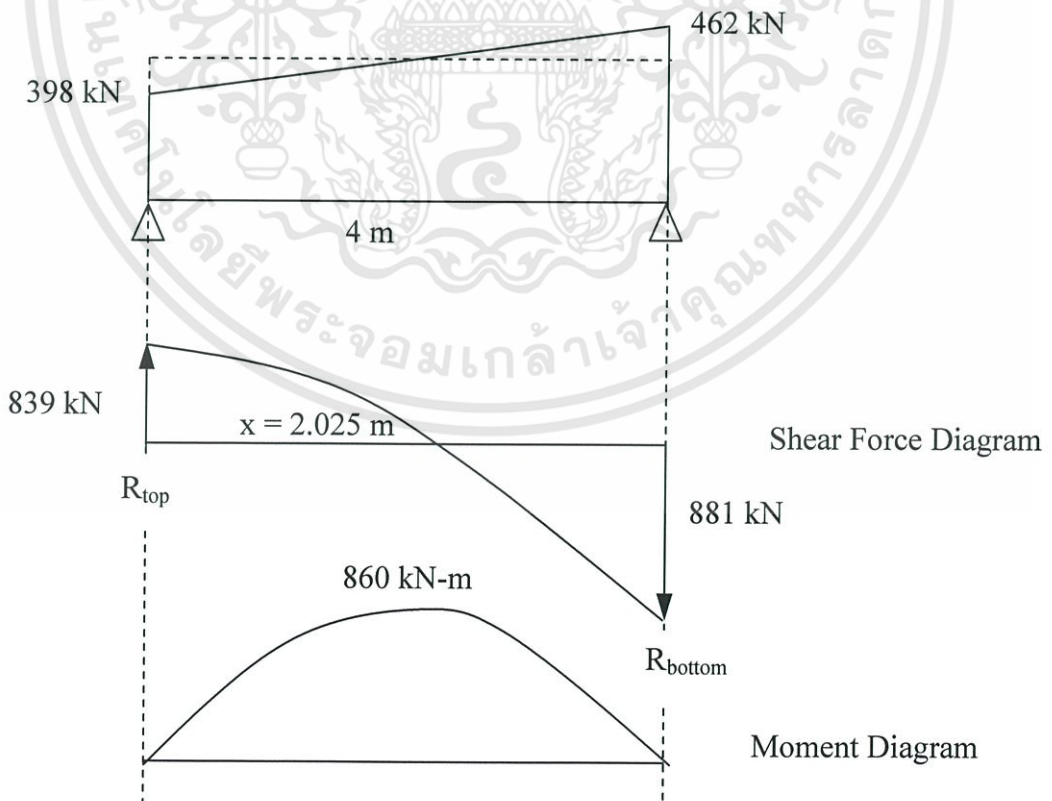


รูปที่ 3.17 ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์

แรงดันด้านข้าง

ที่ระดับ 18.5,  $1.4(P_a+P_w) = (1.4)(99.5+185) = 398 \text{ kPa}$

ที่ระดับ 21.5,  $1.4(P_a+P_w) = (1.4)(115+215) = 462 \text{ kPa}$



รูปที่ 3.18 ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Shear diagram และ Moment diagram จะได้ว่า

$$R_{top} = 839 \text{ kN}$$

$$R_{bottom} = 881 \text{ kN}$$

โมเมนต์มากที่สุดบนชิ้นส่วน,  $M = 860 \text{ kN}\cdot\text{m}$

แรงเฉือนมากที่สุดบนชิ้นส่วน,  $Q = 881 \text{ kN}$

### ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณช่องเปิดของอุโมงค์

คุณสมบัติของวัสดุ :

$$\text{Concrete : } f_c' = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Reinforcement : SD 40 : } f_y = 4000 \text{ kg/cm}^2$$

$$M = 860 \text{ kN}\cdot\text{m} = 86,000 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

$$P = 2,542 \text{ kN} = 254,200 \text{ kg}$$

$$V = 881 \text{ kN} = 88,100 \text{ kg}$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( f_c' - 280 ) / 70$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05 ( 300 - 280 ) / 70 = 0.8357$$

คุณสมบัติของหน้าตัด :

ถ้าสมมติว่าใช้เหล็กเสริมหลัก DB25 2 ชั้น โดยมีจำนวนเส้นในแต่ละชั้นเท่ากัน และช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมต้องไม่น้อยกว่า 4 cm หรือ  $1.5 d_b$  จะได้

$$d = 10 + 2 + 2.5 + \frac{4}{2} = 16.5 \text{ cm}$$

$$d = h - d = 100 - 16.5 = 83.5 \text{ cm}$$

กำลังที่ต้องการ :

$$P_u = 1.4 P = 1.4 \times 254,200 = 355,880 \text{ kg}$$

$$M_u = 1.4 M = 1.4 \times 86,000 = 120,400 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.4 V = 1.4 \times 88,100 = 123,340 \text{ kg}$$

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{120,400}{355,880} = 33.83 \text{ cm}$$

กำลังระบุ :

$$0.1f_c A_g = 0.1 \times 300 \times 100 \times 100 = 300,000 \text{ kg}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับ  $P_u$  แล้วใช้

$$\phi = 0.9 - \frac{0.2P_u}{0.1f_c A_g} = 0.9 - \frac{0.2 \times 355,880}{0.1 \times 300 \times 100 \times 100} = 0.66 \therefore \text{ใช้ } \phi = 0.7$$

$$P_n = \frac{P_u}{\phi} = \frac{355,880}{0.7} = 508,400 \text{ kg}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{120,400}{0.7} = 172,000 \text{ kg}$$

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{123,340}{0.7} = 176,200 \text{ kg}$$

ที่สภาวะความเครียดสมดุล :

$$C_b = 6120d / (6120 + f_y) = 6120 \times 83.5 / (6120 + 4000) = 50.5 \text{ cm}$$

$$a_b = \beta_1 C_b = 0.8357 \times 50.5 = 42.2 \text{ cm}$$

$$P_{nb} = 0.85 f'_c a_b b = 0.85 \times 300 \times 42.2 \times 100 = 1,076,088.44 \text{ kg}$$

$P_n$  น้อยกว่า  $P_{nb}$  แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดึง

$$A_s = \frac{\frac{P_n^2}{1.7f_c b} - P_n \left( \frac{h}{2} - e \right)}{f_y (d - d')}$$

$$A_s = \frac{508,400^2}{1.7 \times 300 \times 100} - 508,400 \left( \frac{100}{2} - 33.83 \right) = -11.76 \text{ cm}^2$$

$A_s = -11.76 \text{ cm}^2$  แสดงว่าสามารถรับแรงได้ ให้เสริมเหล็กตามมาตรฐาน

เลือกใช้เหล็ก DB25 ( $4.91 \text{ cm}^2$ ) จำนวน 12 เส้นได้  $A_s = A'_s = 58.92 \text{ cm}^2$

และ  $\rho = \frac{A_{st}}{A_s} = \frac{58.92 \times 2}{100 \times 100} = 0.011784$  แต่  $\rho$  ต้องอยู่ระหว่าง 0.01-0.08 O.K.

เหล็กเสริมหลัก DB25 2 ชั้น โดยมีจำนวนเส้นในแต่ละชั้นเท่ากัน

$\therefore$  ระยะเรียง  $\frac{100}{6} = 16.66 \therefore$  ใช้ 15 cm [ทั้งซ้ายและขวา]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือน:

$$N_u = P_u = 355,880 \text{ kg}$$

$$V_u = 123,340 \text{ kg}$$

$$V_c = \left[ 0.53 \left( 1 + 0.0071 \frac{N_u}{A_g} \right) \sqrt{f'_c} b d \right]$$

$$V_c = \left[ 0.53 \left( 1 + 0.0071 \frac{355,880}{100 \times 100} \right) \sqrt{300} \times 100 \times 83.5 \right] = 96,020 \text{ kg}$$

$$\text{แรงเฉือนที่ต้องรับโดยเหล็กเสริม } V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{123,340}{0.85} - 96,020 = 49,086 \text{ kg}$$

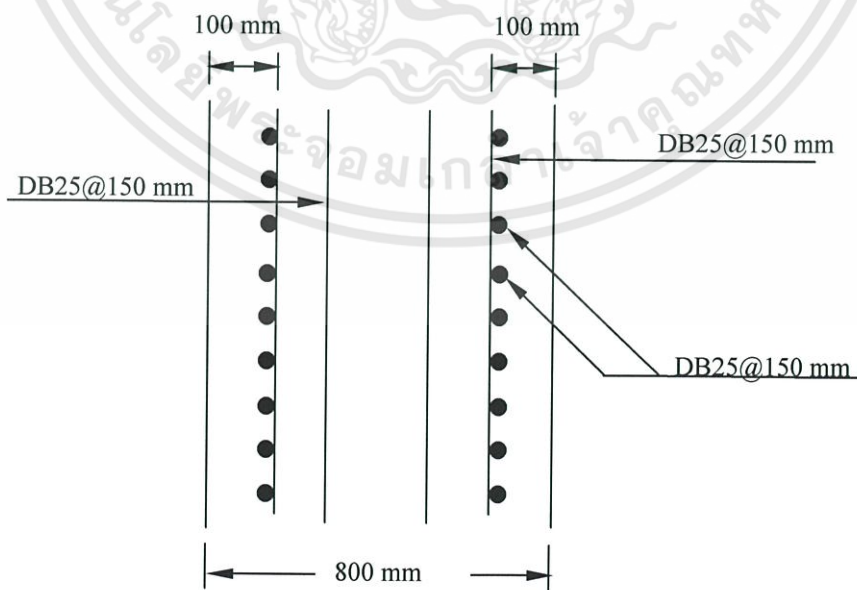
ระยะเรียงของเหล็กปลอกขนาด 25 mm

$$S = \frac{A_y f_y d}{V_s} = \frac{(2 \times 4.91)(4000)(83.5)}{49,086} = 66.82 \text{ cm.}$$

$$\text{ระยะเรียงห่างสุด} = \frac{A_s f_y}{(3.5 b_w)} = \frac{(2 \times 4.91)(4000)}{3.5 \times 100} = 112.22 \text{ cm.}$$

$$\text{หรือ } \frac{d}{2} = \frac{83.5}{2} = 41.75 \text{ cm.}$$

เลือกใช้ระยะเรียง 15 cm.



รูปที่ 3.19 การเสริมเหล็กในผนังของสั้วช่วงช่องเปิดของอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณพื้น

### โมเมนต์ที่พื้น

ความหนาพื้น 2 m , ระยะหุ้มคอนกรีต 10 cm

$$d = 200 - 10 = 190 \text{ cm} , d' = 10 \text{ cm}$$

แรงดันขึ้น (Uplift)

$$\begin{aligned} W_u &= (\text{แรงดันขึ้น}) - (\text{น้ำหนักพื้น}) \\ &= (25 \times 10) - (2 \times 25) \\ &= 200 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_u &= \frac{W_u r^2 (3 + v)}{16} = \frac{200 \times 4.95^2 \times (3 + 0.2)}{16} \\ &= 980.1 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{M}{0.4 f_y (d - d')} = \frac{980.1}{0.4 \times 4000 \times (190 - 10)} \times 10000 \\ &= 34.03 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

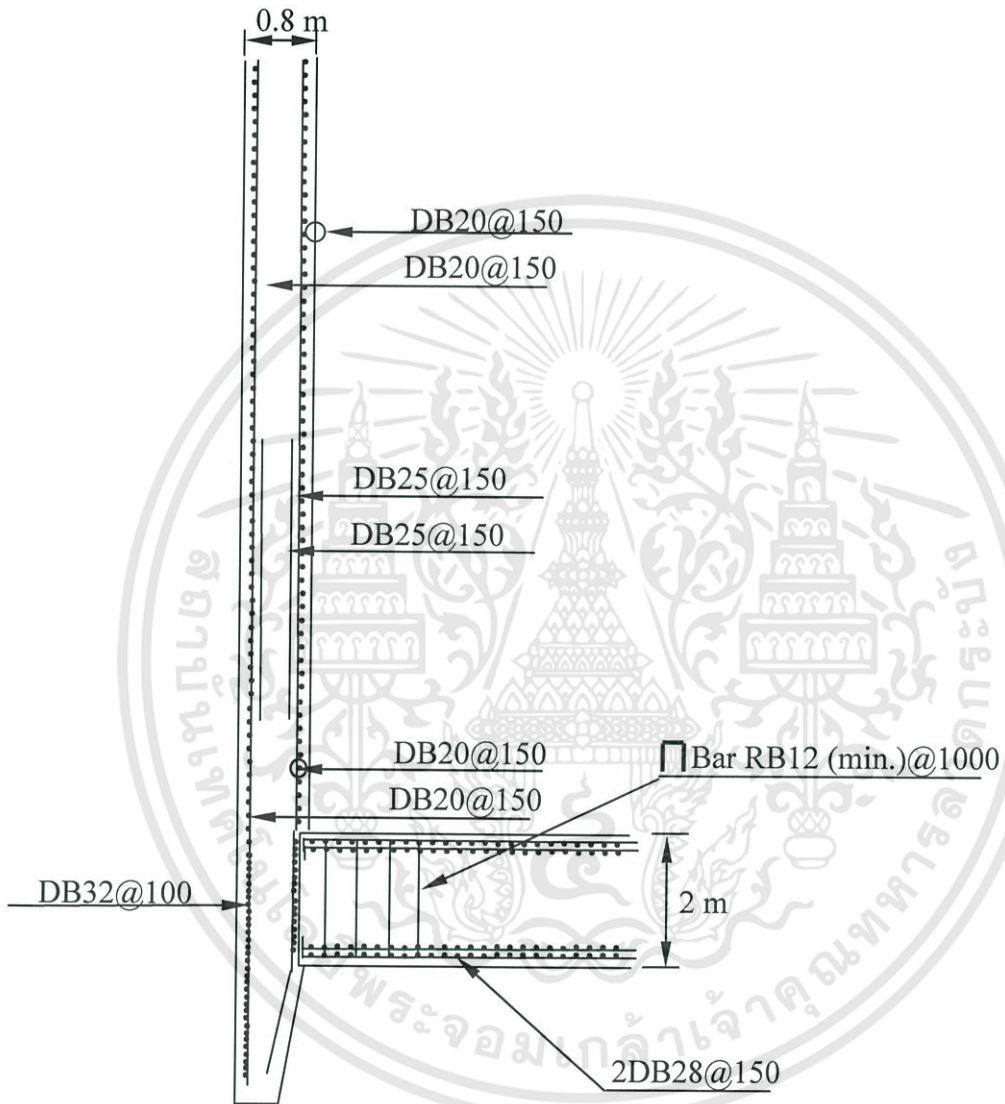
เลือกใช้ 2DB28@150 mm ได้  $A_s = 82.10 \text{ cm}^2$

แรงเฉือนที่พื้น

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต} &= (\text{Uplift})(r-d) \\ &= (200)(4.95-1.90) \\ &= 610 \text{ kN} = 61 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0.29 \sqrt{f'_c} b d = 0.29 \times \sqrt{400} (100)(190) \\ &= 110.5 \text{ Ton} \end{aligned}$$

เพื่อความปลอดภัยใช้เหล็กปลอก U shape@1m



รูปที่ 3.20 แบบการเสริมเหล็กของคอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

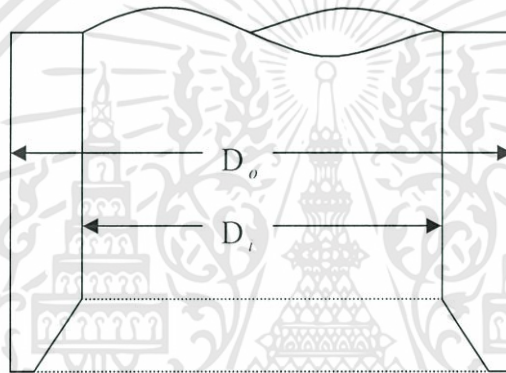
## บทที่ 4

### การคำนวณการจมเคของงส์

การคำนวณการจมของเคของงส์ขึ้นอยู่กับ แรงเสียดทานของดิน (Soil Friction) กับ End Bearing Resistance ของแต่ละชั้นดิน

#### 4.1 อธิบายการจม

##### 4.1.1 แรงจมจาก



น้ำหนัก

รูปที่ 4.1 ขนาดเคของงส์

$$\text{น้ำหนักของเคของงส์} = (D_o^2 - D_i^2) \times \frac{\pi}{4} \times \gamma_c \times h \quad (4.1)$$

โดยที่  $\gamma_c$  = น้ำหนักของคอนกรีต

$D_o$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก

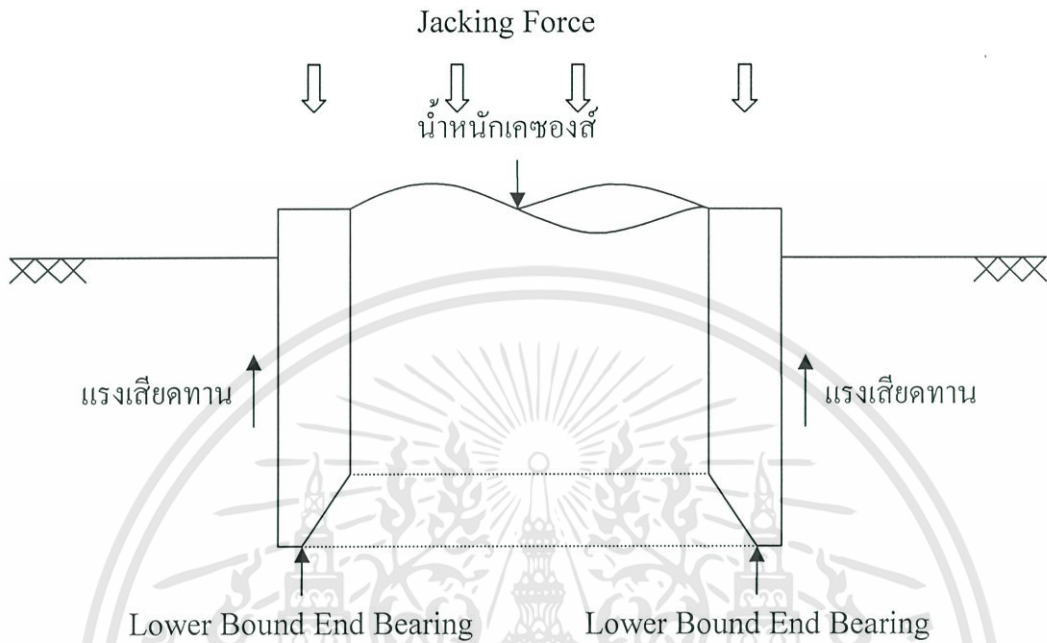
$D_i$  = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

$H$  = ความสูงเคของงส์

##### 4.1.2 แรงจมจาก Hydraulic Jack

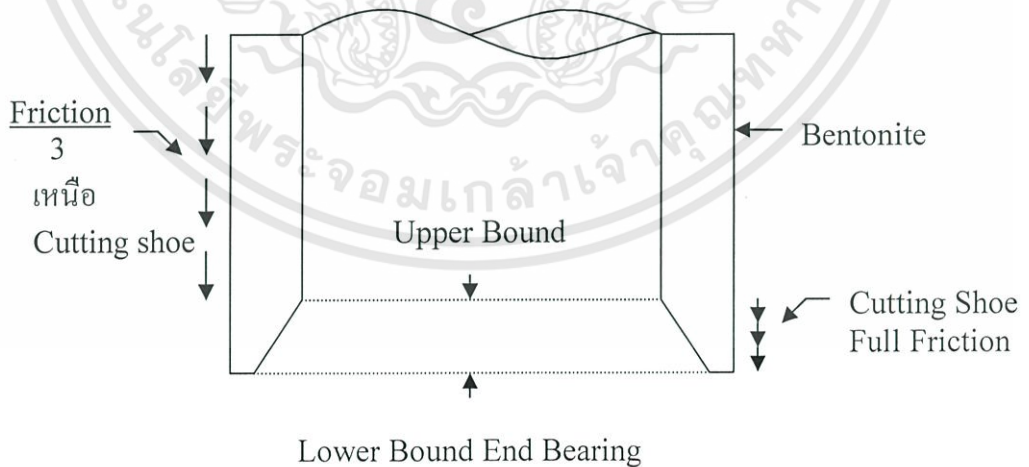
เราจะใช้ Hydraulic Jack ในการช่วยให้เคของงส์จมลงในแนวตั้ง เพื่อให้งานดำเนินต่อไป Hydraulic Jack จะช่วยในการจมเคของงส์ในกรณีที่ผลรวมของแรงเสียดทานกับ Lower Bound End Bearing มากกว่าน้ำหนักของเคของงส์

$$\text{Jacking Force} = \text{ผลรวมของแรงเสียดทาน} + \text{Lower Bound End Bearing} - \text{น้ำหนักเคของส} \quad (4.2)$$



รูปที่ 4.2 แรงจุมจาก Jacking Force

4.1.3 แรงเสียดทาน (Frictional Resistance)



รูปที่ 4.3 ลักษณะแรงเสียดทาน

ที่ cutting shoe – ไม่มี Bentonite :

**In Clay**                      แรงเสียดทาน =  $C \alpha A$                       (4.3)

$\alpha$  = Adhesion Factor

$\alpha$  = 0.9 in soft clay

$\alpha$  = 0.7 in med clay

$\alpha$  = 0.6 in stiff / hard clay

C = Cohesion (kPa)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

**In Sand**                      แรงเสียดทาน =  $2NA$                       (4.4)

N = Standard penetration test (SPT)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

ที่ เหนือ cutting shoe :

เหนือ cutting shoe ที่มี Bentonite ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะไม่เกิดแรงเสียดทาน แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะเกิดแรงเสียดทานประมาณ 33 %

**In Clay**                      แรงเสียดทาน =  $\frac{C\alpha A}{3}$                       (4.5)

$\alpha$  = Adhesion Factor

$\alpha$  = 0.9 in soft clay

$\alpha$  = 0.7 in med clay

$\alpha$  = 0.6 in stiff / hard clay

C = Cohesion (kPa)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

**In Sand**                      แรงเสียดทาน =  $\frac{2NA}{3}$                       (4.6)

N = Standard penetration test(SPT)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

#### 4.1.4 แรงต้าน End Bearing (End Bearing Resistance)

สำหรับแต่ละชั้น, แรงต้าน End bearing มีค่าเท่ากับ

$$Q = CN_c + \gamma DN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma \quad (4.7)$$

เมื่อ  $C$  = ค่าแรงยึดเหนี่ยว ( Cohesion )

$\gamma$  = หน่วยน้ำหนักของดิน

$D$  = ความลึกของการขุด

$B$  = ความกว้างของฐานราก

$N_q, N_c, N_\gamma$  = สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors ตามตาราง

ต้องคำนวณ End bearing 2 ตำแหน่ง , upper-bound สำหรับการขุดที่ส่วนบนสุดของ cutting shoe และ lower bound , สำหรับการขุดที่ฐานของ cutting shoe

#### 4.1.5 การออกแบบ Cutting Shoe

มุมของ cutting shoe โดยปกติ คือ  $30^\circ$  สำหรับดินเหนียว และ  $45^\circ$  สำหรับทราย

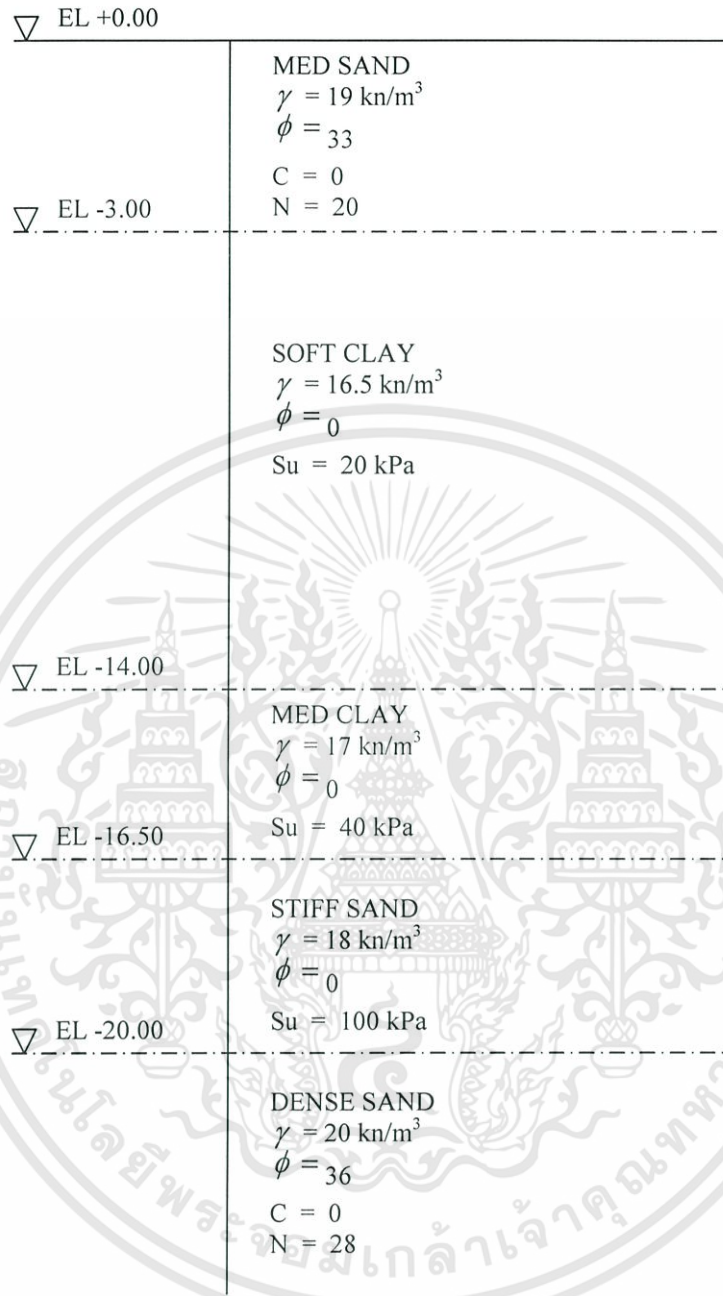
#### 4.2 ตัวอย่างการคำนวณ

โครงการ Metropolitan Waterwork Authority Seventh Bangkok Watersupply  
Improvement Project

Ngamwongwan Riser Structure

##### 4.2.1 สภาพดิน (Soil condition)

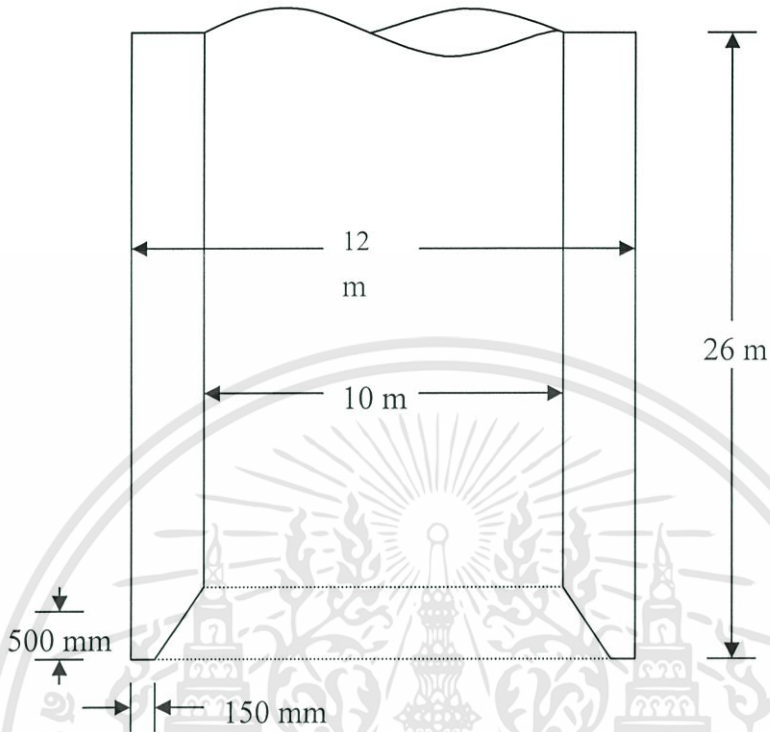
จากการทำ Borelogs 2 จุด ระหว่างปล่องเลขของส์ทำให้ได้ข้อมูลดังนี้



รูปที่ 4.4 ลักษณะชั้นดิน

สภาพของดินประกอบด้วย medium sand fill, soft clay, medium clay, stiff clay และ medium dense sand ตามลำดับ

#### 4.2.2 ขนาดของช่อง



รูปที่ 4.5 ลักษณะของช่อง

#### 4.2.3 แรงจมจากน้ำหนัก

$$\text{น้ำหนักของช่อง} = (D1^2 - D2^2) \times \frac{\pi}{4} \times \gamma_c \times h$$

$$\gamma_c = 24.5 \text{ kN/m}^3$$

$$D1 = 12 \text{ m}$$

$$D2 = 10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักช่องต่อ 1 m} &= (12^2 - 10^2) \times \frac{\pi}{4} \times 24.5 \times 1 \\ &= 846 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### 4.2.4 แรงเสียดทาน

- แรงเสียดทานในดินทรายถมปรับระดับ ระดับ 0 m ถึง -3 m

$$N = 20$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ cutting shoe} &= 2NA \\ &= 2 \times 20 \times A \\ &= 40A \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ เหนือ cutting shoe} &= 2NA/3 \\ &= 13.3A \text{ kN}\end{aligned}$$

- แรงเสียดทานใน soft clay ระดับ -3 m ถึง -14 m

$$C = 20 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.9 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ cutting shoe} &= C\alpha A \\ &= 20 \times 0.9 \times A \\ &= 18A \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ เหนือ cutting shoe} &= \frac{C\alpha A}{3} \\ &= 6A \text{ kN}\end{aligned}$$

- แรงเสียดทานใน medium clay ระดับ -14 m ถึง -16.5 m

$$C = 40 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.7 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ cutting shoe} &= C\alpha A \\ &= 40 \times 0.7 \times A \\ &= 28A \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ เหนือ cutting shoe} &= \frac{C\alpha A}{3} \\ &= 9.33A \text{ kN}\end{aligned}$$

- แรงเสียดทานใน stiff clay ระดับ -16.5 m ถึง -20.0 m

$$C = 100 \text{ kPa}$$

$$\alpha = 0.6 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned}\text{แรงเสียดทานที่ cutting shoe} &= C\alpha A \\ &= 100 \times 0.6 \times A \\ &= 60A \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แรงเสียดทานที่ เหนือ cutting shoe} &= \frac{C\alpha A}{3} \\ &= 20A \text{ kN} \end{aligned}$$

- แรงเสียดทานใน **Dense Sand** ระดับ -20.0 m ถึง -26.0 m

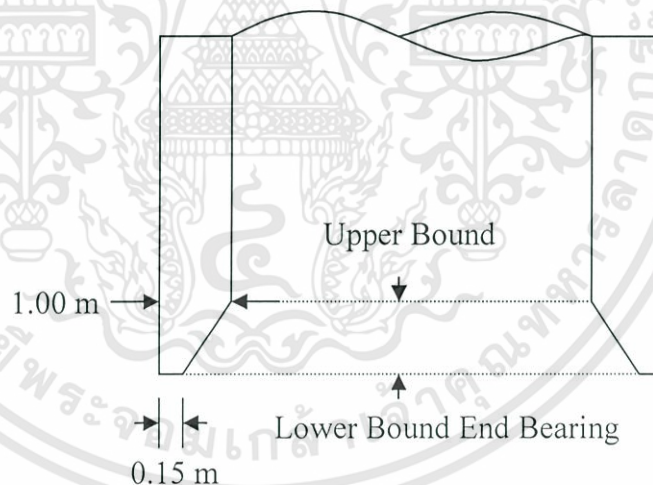
$$N = 28$$

$$\begin{aligned} \text{แรงเสียดทานที่ cutting shoe} &= 2NA \\ &= 2 \times 28 \times A \\ &= 56A \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แรงเสียดทานที่ เหนือ cutting shoe} &= 2NA/3 \\ &= 18.7A \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 4.2.5 แรงต้าน End Bearing

$$Q = CN_c + \gamma DN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma$$



รูป 4.6 แรงต้าน End Bearing

- End Bearing ของ Sand fill ที่ระดับ 0 m ถึง -3.0 m

$$\begin{aligned} \phi &= 33^\circ \\ C &= 0 \\ \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 \\ N_q &= 35 \\ N_\gamma &= 35 \end{aligned}$$

**Upper bound ( B = 1.0m )**

$$Q = 0 + (19 \times D \times 35) + (0.5 \times 19 \times 1.0 \times 35) \\ = 655D + 322 \text{ kPa}$$

สำหรับ  $D = 0$

$$Q = 322 \text{ kPa}$$

**Lower bound ( B = 0.15m )**

$$Q = 0 + (19 \times D \times 35) + (0.5 \times 19 \times 0.15 \times 35) \\ = 655D + 50 \text{ kPa}$$

สำหรับ  $D = 0$

$$Q = 50 \text{ kPa}$$

**- End Bearing ของ Soft clay ที่ระดับ -3.0m ถึง -14.0m**

$$C = 20 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 16.5 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 0$$

$$N_q = 1$$

$$N_c = 5.74$$

$$N_\gamma = 0$$

**Lower bound and upper bound (  $N_\gamma = 0$  )**

$$Q = (5.74 \times 20) + (16.5 \times D \times 1) + 0 \\ = 114.8 + 16.5D \text{ kPa}$$

**- End Bearing ของ medium clay ที่ระดับ -14.0m ถึง -16.5m**

$$C = 40 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 0$$

$$N_q = 1$$

$$N_c = 5.74$$

$$N_\gamma = 0$$

**Lower bound and upper bound (  $N_\gamma = 0$  )**

$$Q = (5.74 \times 40) + (17 \times D \times 1) + 0 \\ = 129.6 + 17D \text{ kPa}$$

**- End Bearing ของ stiff clay ที่ระดับ -16.5m ถึง -20m**

$$\begin{aligned}C &= 100 \text{ kPa} \\ \gamma &= 18 \text{ kN/m}^3 \\ \phi &= 0 \\ N_q &= 1 \\ N_c &= 5.74 \\ N_\gamma &= 0\end{aligned}$$

**Lower bound and upper bound (  $N_\gamma = 0$  )**

$$\begin{aligned}Q &= (5.74 \times 100) + (18 \times D \times 1) + 0 \\ &= 574 + 18D \text{ kPa}\end{aligned}$$

**- End Bearing ของ med. Dense Sand ที่ระดับ-20m ถึง -26m**

ต่ำกว่าระดับน้ำ ( ใช้  $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$  )

$$\begin{aligned}\phi &= 36^\circ \\ C &= 0 \\ \gamma &= 20 \text{ kN/m}^3 \\ N_q &= 45 \\ N_\gamma &= 45\end{aligned}$$

**Upper bound (  $B = 1.0\text{m}$  )**

$$\begin{aligned}Q &= 0 + (10 \times D \times 45) + (0.5 \times 10 \times 1.0 \times 45) \\ &= 450D + 225 \text{ kPa ( แต่ไม่เกิน 4000 kPa )}\end{aligned}$$

**Lower bound (  $B = 0.15\text{m}$  )**

$$\begin{aligned}Q &= 0 + (10 \times D \times 45) + (0.5 \times 10 \times 0.15 \times 45) \\ &= 450D + 33 \text{ kPa ( แต่ไม่เกิน 4000 kPa )}\end{aligned}$$

การคำนวณการจมของเคของต (กิตที่ละชั้น)

ชั้นที่ 1 ความสูงของเคของต 5 เมตร และเคของตจม 0 เมตร

แรงจมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคของต (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) \times x/4 \times 24.5 \times H$
	5	4322

ที่ Cutting Shoe

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	18*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

เหนือ Cutting Shoe

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	13.3*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	6*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	9.33*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	20*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				0

End Bearing- Upper Bound

Depth sunk = 0 m

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	36.4	332	12084.8
Soft Clay	20	16.5	0	114.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	229.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	574	0.0
Dense Sand	-	20	0	225	0.0
					12084.8

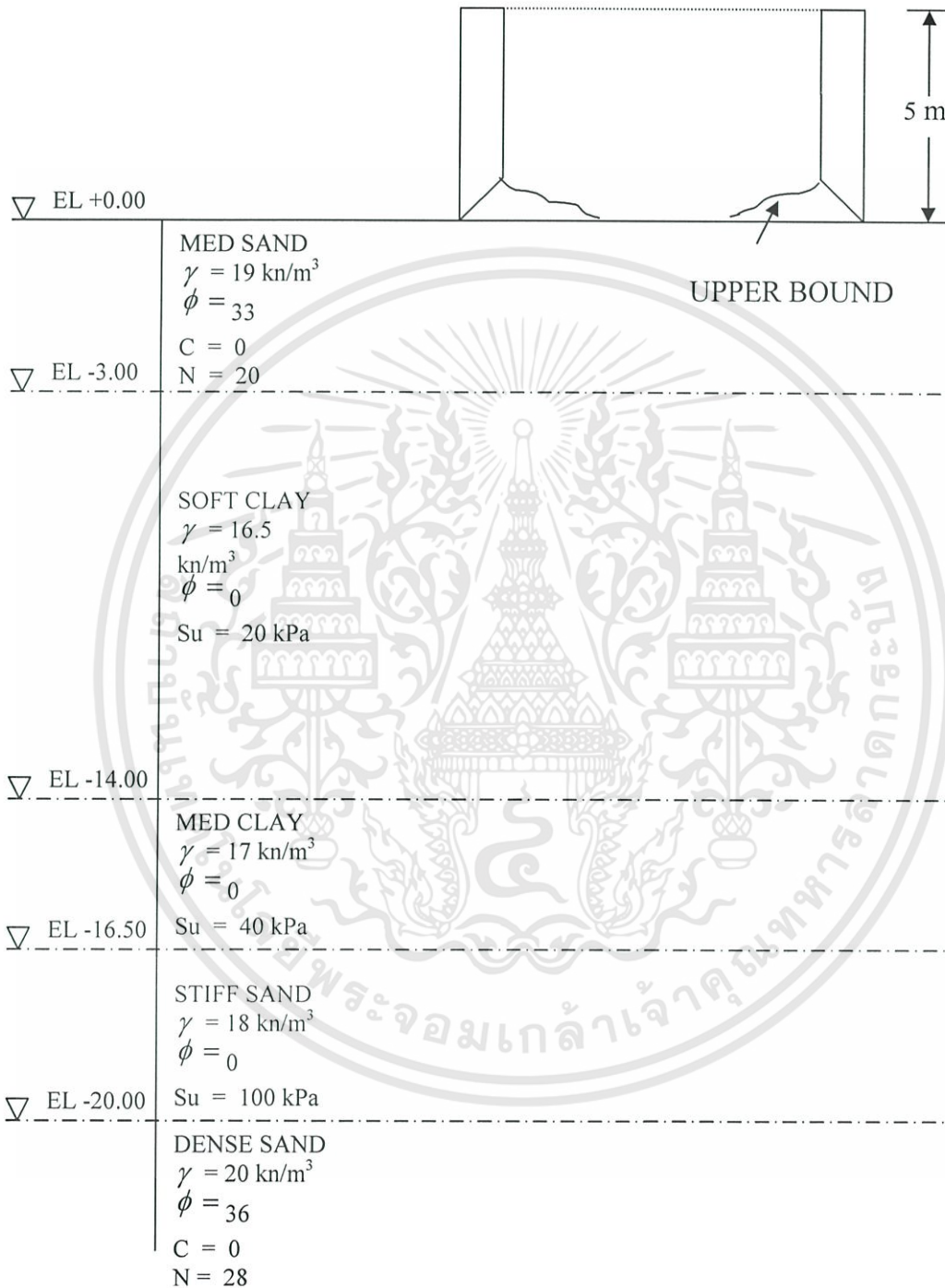
End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	5.63	50	281.5
Soft Clay	20	16.5	0	114.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	229.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	574	0.0
Dense Sand	-	20	0	33.75	0.0
					281.5

Jacking force = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 1



รูปที่ 4.7 การจมชั้นที่ 1

ขั้นที่ 2 ความสูงของเคของส 5 เมตร และเคของสจัม 3 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคของส (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) \times \pi / 4 \times 24.5 \times H$
	5	4322

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area $H1 \times 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0.5	19.0	40*A	760.3
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	18*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area $H1 \times 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	2.5	94.2	13.3*A	1253.5
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	6*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	9.33*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	20*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				2014

**End Bearing- Upper Bound**

Depth sunk = 3 m

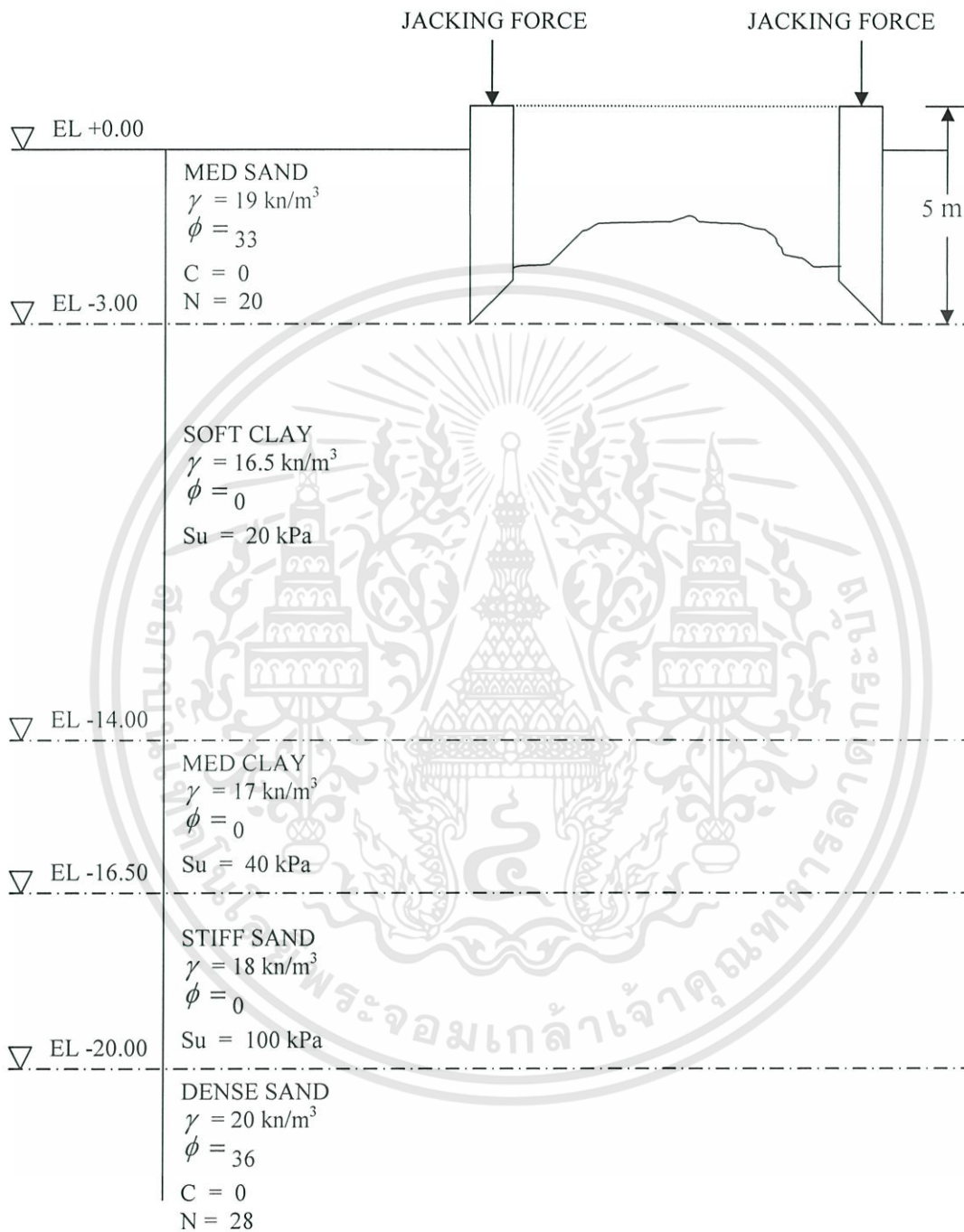
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	2297	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	164.3	5980.5
Med Clay	40	17.0	0	280.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	628	0.0
Dense Sand	-	20	0	1575	0.0
					5980.5

**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	2015	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	164.3	5980.5
Med Clay	40	17.0	0	280.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	628	0.0
Dense Sand	-	20	0	1383.75	0.0
					5980.5

**Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing – Weigth  
= 3761.0 kN**

ชั้นที่ 2



รูปที่ 4.8 การถมชั้นที่ 2

**ขั้นที่ 3** ความสูงของเคของสั 8 เมตร และเคของสัจม 6 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคของสั (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
	8	6773

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0.5	19.0	18*A	342.1
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	2.5	95.0	6*A	570.2
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	9.33*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	20*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				2417

**End Bearing- Upper Bound**

Depth sunk = 6 m

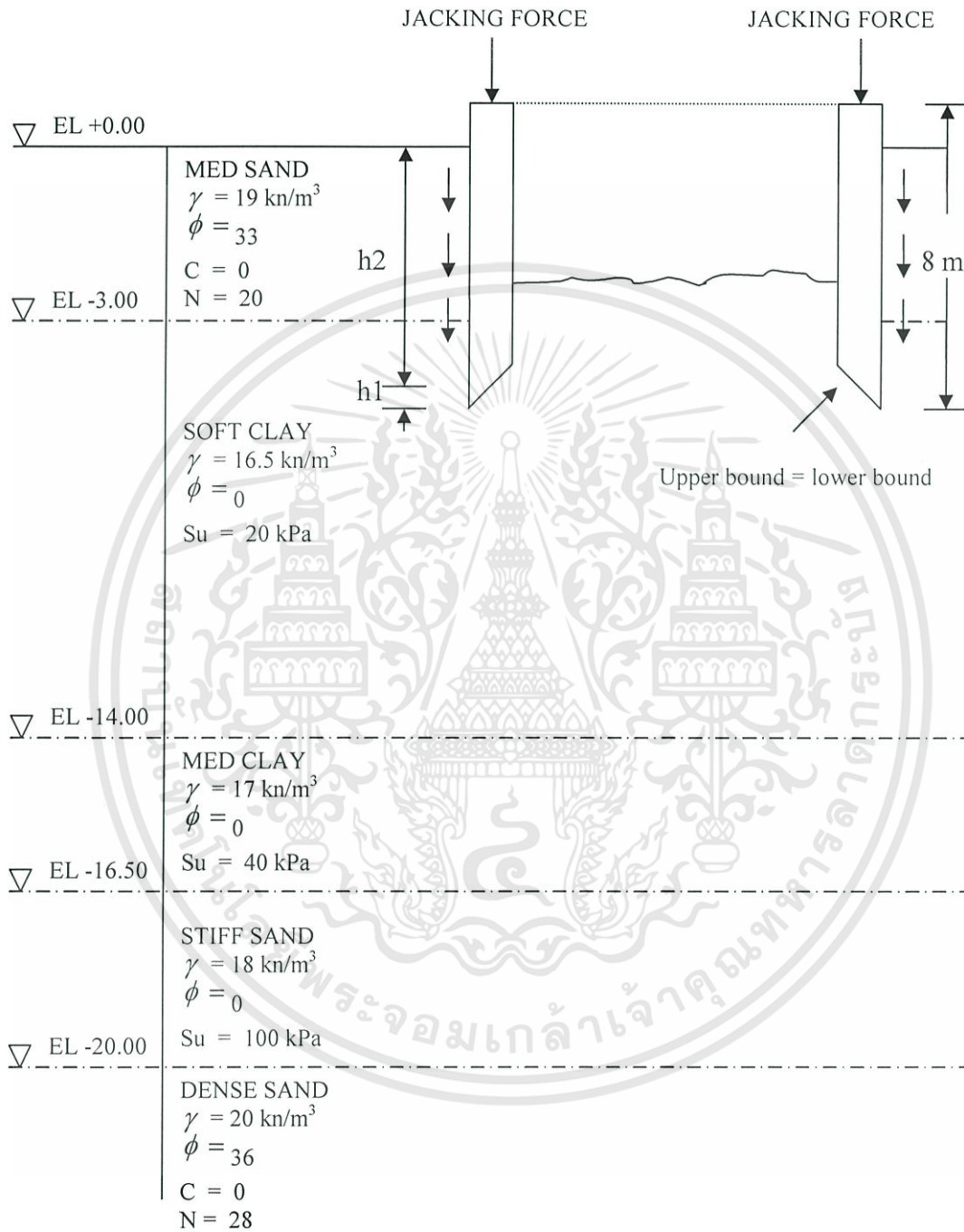
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	4262	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	213.8	7782.3
Med Clay	40	17.0	0	331.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	682	0.0
Dense Sand	-	20	0	2925	0.0
					7782.3

**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	3980	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	213.8	7782.3
Med Clay	40	17.0	0	331.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	682	0.0
Dense Sand	-	20	0	2733.75	0.0
					7782.3

**Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing - Weigth**  
**= 3426.0 kN**

ชั้นที่ 3



รูปที่ 4.9 การจมชั้นที่ 3

**ขั้นที่ 4** ความสูงของเคชองส์ 11 เมตร และเคชองส์จัม 9 เมตร

แรงจัมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคชองส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * x / 4 * 24.5 * H$
	11	9313

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0.5	19.0	18*A	342.1
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	5.5	209.1	6*A	1254.4
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	9.33*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	20*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				3101

**End Bearing- Upper Bound**

Depth sunk = 9 m

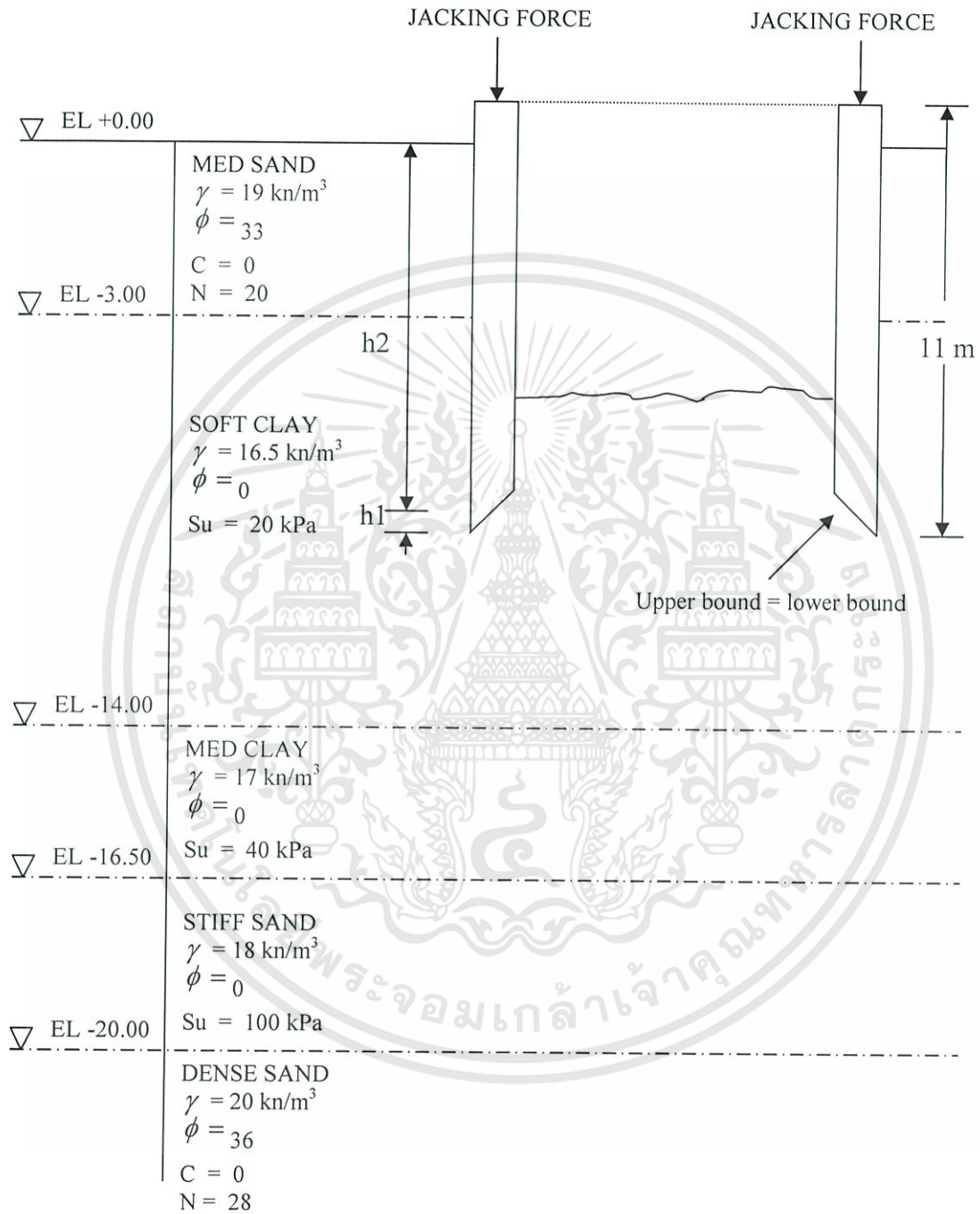
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	6227	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	263.3	9584.1
Med Clay	40	17.0	0	382.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	736	0.0
Dense Sand	-	20	0	4275	0.0
					9584.1

**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	5945	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	263.3	9584.1
Med Clay	40	17.0	0	382.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	736	0.0
Dense Sand	-	20	0	4083.75	0.0
					9584.1

**Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing - Weight  
= 3372.0 kN**

ชั้นที่ 4



รูปที่ 4.10 การจมชั้นที่ 4

ขั้นที่ 5 ความสูงของเคชองส์ 14 เมตร และเคชองส์จม 12 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคชองส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
	14	11853

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0.5	19.0	18*A	342.1
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	8.5	323.1	6*A	1938.7
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	9.33*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	20*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				3785

**End Bearing- Upper Bound**

Depth sunk = 12 m

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	8192	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	312.8	11385.9
Med Clay	40	17.0	0	433.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	790	0.0
Dense Sand	-	20	0	5625	0.0
					11385.9

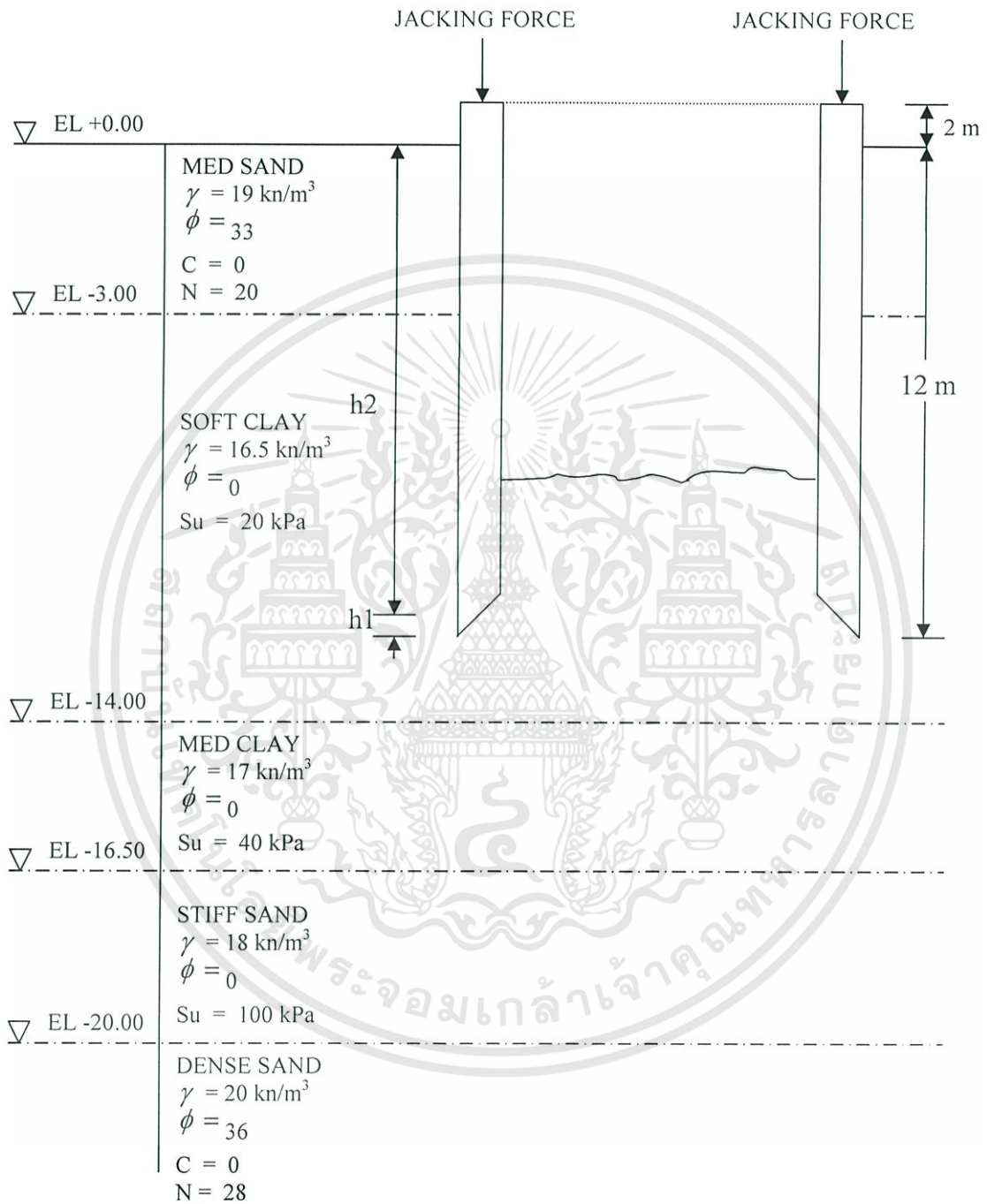
**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	7910	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	312.8	11385.9
Med Clay	40	17.0	0	433.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	790	0.0
Dense Sand	-	20	0	5433.75	0.0
					11385.9

$$\text{Jacking force} = \text{Total Friction} + \text{Lower Bound End Bearing} - \text{Weight} = 3317.0 \text{ kN}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 5



รูปที่ 4.11 การจมนชั้นที่ 5

**ขั้นที่ 6** ความสูงของเคชองส์ 17 เมตร และเคชองส์จม 15 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคชองส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
	17	14393

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	18*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0.5	19.0	28*A	532.2
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	11	418.1	6*A	2508.9
Med Clay -14m to -16.5m	0.5	19.0	9.33*A	177.3
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	20*A	0.0
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				4723

**End Bearing- Upper Bound**

Depth sunk = 15 m

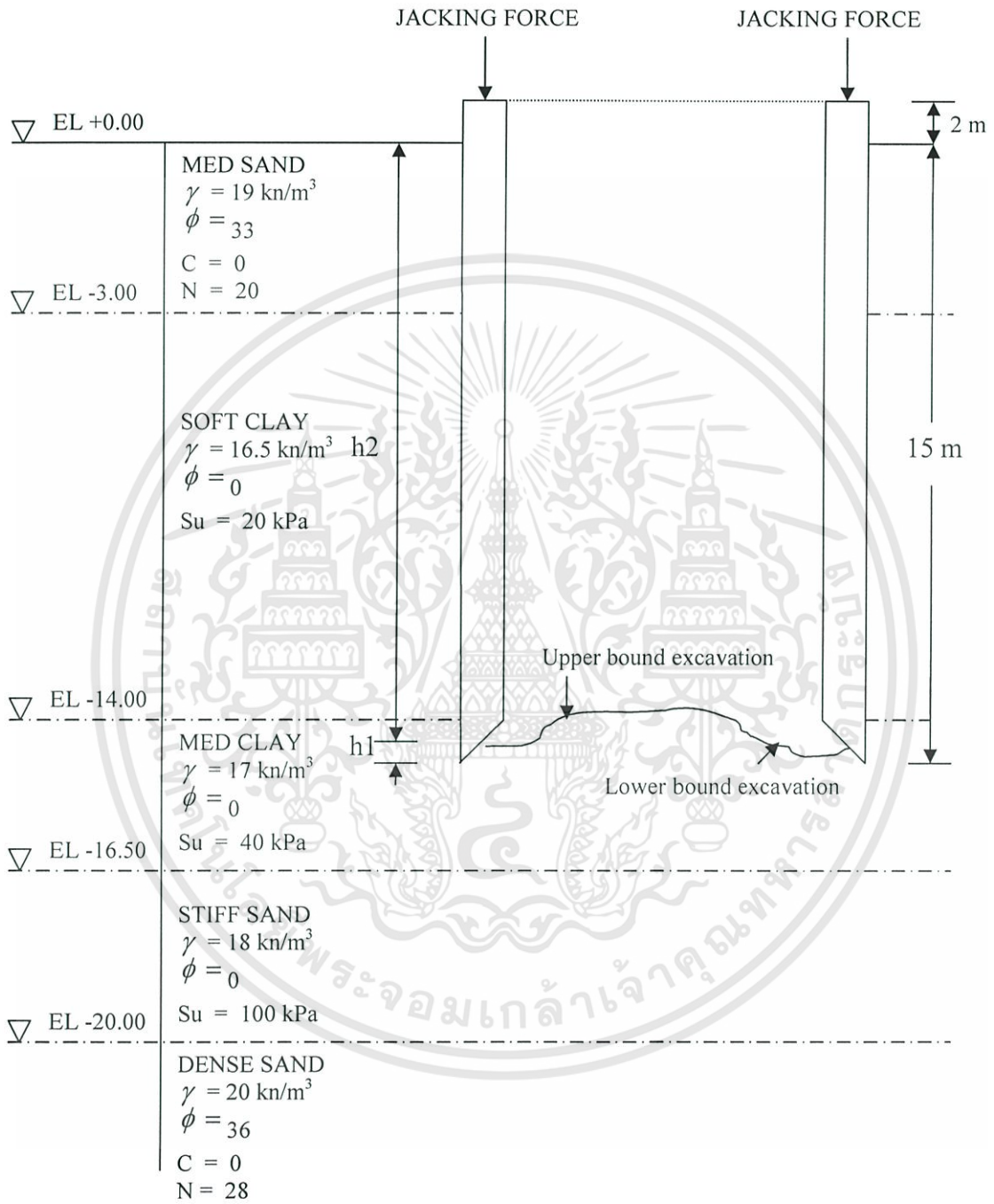
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	10157	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	362.3	0.0
Med Clay	40	17.0	36.4	484.6	17639.4
Stiff Clay	100	18.0	0	844	0.0
Dense Sand	-	20	0	6975	0.0
					17639.4

**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	9875	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	362.3	0.0
Med Clay	40	17.0	5.63	484.6	2728.3
Stiff Clay	100	18.0	0	844	0.0
Dense Sand	-	20	0	6783.75	0.0
					2728.3

**Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing - Weight**  
**= 0.0 kN**

ชั้นที่ 6



รูปที่ 4.12 การจมชั้นที่ 6

ชั้นที่ 7 ความสูงของเคชองส์ 20 เมตร และเคชองส์จม 17 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคชองส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * x / 4 * 24.5 * H$
	20	16933

ที่ Cutting Shoe

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	18*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0.5	19.0	60*A	1140.4
Dense Sand	0	0.0	56*A	0.0

เหนือ Cutting Shoe

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	11	418.1	6*A	2508.9
Med Clay -14m to -16.5m	2.5	95.0	9.33*A	886.7
Stiff Clay -16.5 to -20m	1	38.0	20*A	760.3
Dense Sand	0	0.0	18.67*A	0.0
Total Friction				6800

End Bearing- Upper Bound

Depth sunk = 17 m

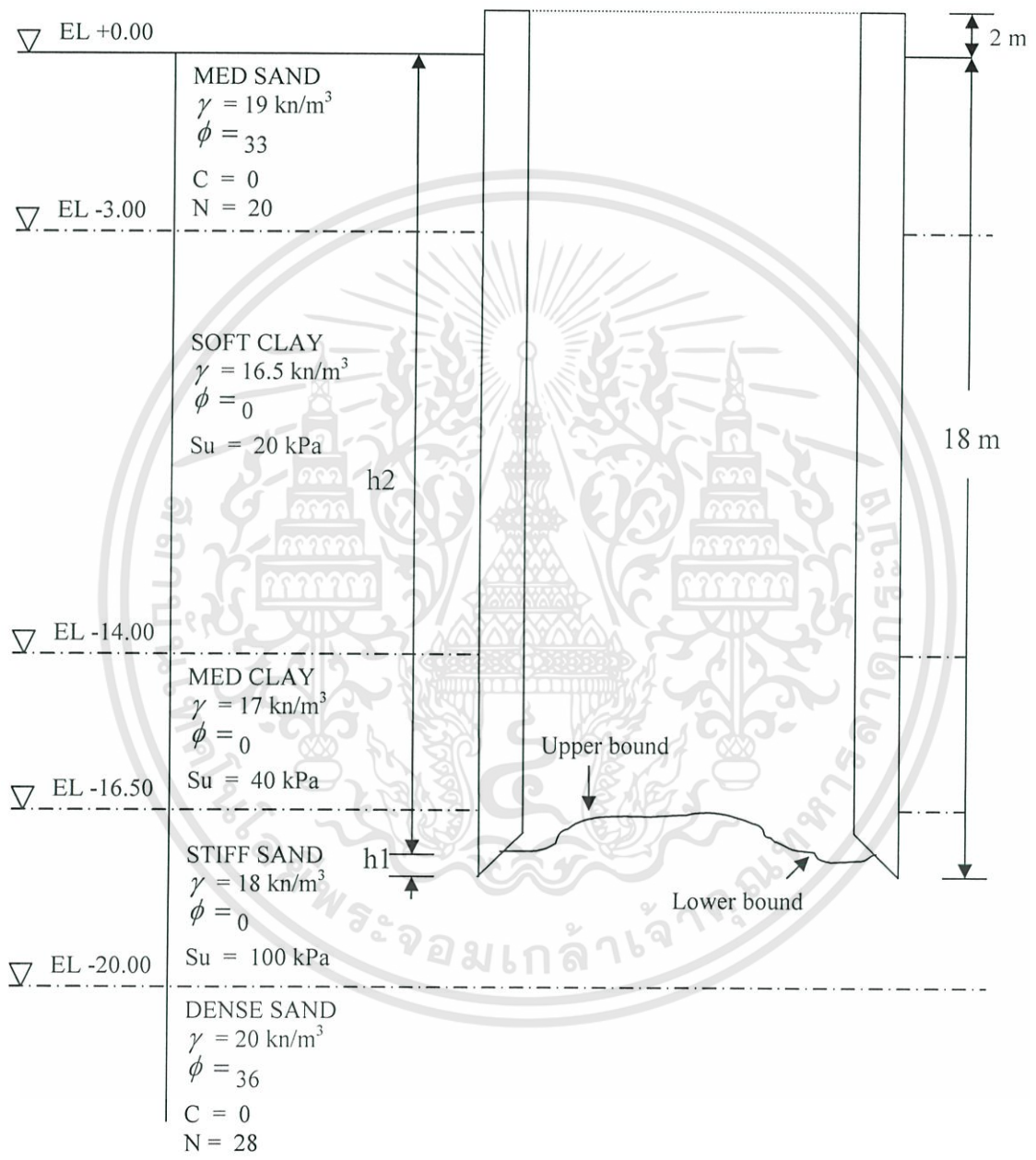
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	12122	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	411.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	535.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	36.4	898	32687.2
Dense Sand	-	20	0	8325	0.0
					32687.2

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	11840	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	411.8	0.0
Med Clay	40	17.0	5.63	535.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	898	5055.7
Dense Sand	-	20	0	8133.75	0.0
					5055.7

Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing - Weight  
= 0.0 kN

ชั้นที่ 7



รูปที่ 4.13 การถมชั้นที่ 7

**ชั้นที่ 8** ความสูงของเคชองส์ 23 เมตร และเคชองส์จัม 21 เมตร

แรงจัมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคชองส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
	23	19473

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	18*A	0.0
Med Clay -14m to -16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to -20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0.5	19.0	56*A	1064.4

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area $H1 * 12.0 \pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	11	418.1	6*A	2508.9
Med Clay -14m to -16.5m	2.5	95.0	9.33*A	886.7
Stiff Clay -16.5 to -20m	3.5	133.0	20*A	2660.9
Dense Sand	0.5	19.0	18.67*A	354.9
Total Friction				8980

**End Bearing- Upper Bound**      **Depth sunk = 21 m**

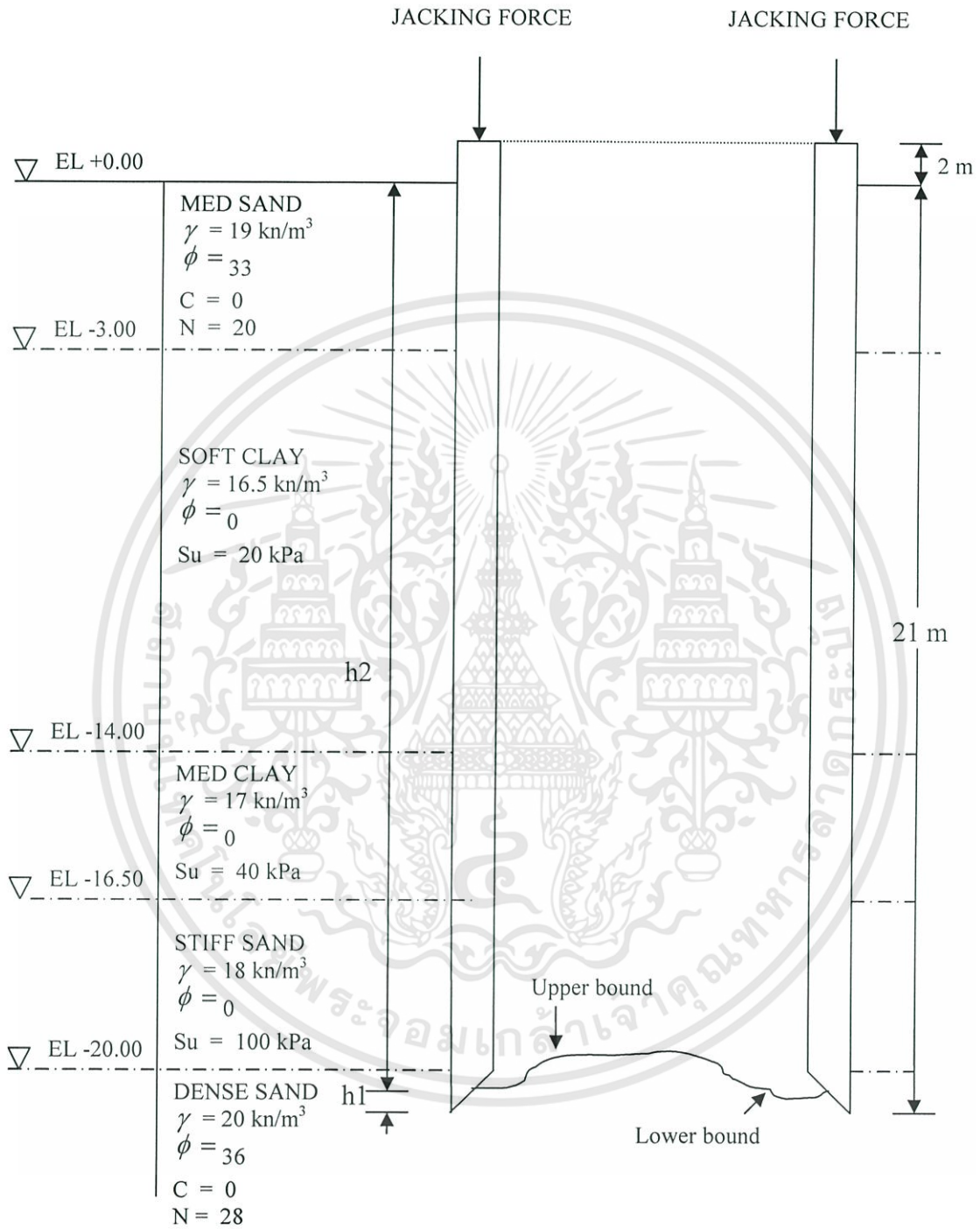
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	14087	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	461.3	0.0
Med Clay	40	17.0	0	586.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	952	0.0
Dense Sand	-	20	36.4	4000	145600
					145600

**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	13805	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	461.3	0.0
Med Clay	40	17.0	0	586.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	952	0.0
Dense Sand	-	20	3	4000	12000
					12000

**Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing - Weight**  
**= 1507.0 kN ,**

ชั้นที่ 8



รูปที่ 4.14 การจมนชั้นที่ 8

**ชั้นที่ 9** ความสูงของเคชองส์ 25 เมตร และเคชองส์จม 26 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคชองส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
	25	21166

**ที่ Cutting Shoe**

	Height h1(m)	Area H1*12.1 $\pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	0	0.0	40*A	0.0
Soft clay -3m to -14m	0	0.0	18*A	0.0
Med Clay -14m to-16.5m	0	0.0	28*A	0.0
Stiff Clay -16.5 to-20m	0	0.0	60*A	0.0
Dense Sand	0.5	19.0	56*A	1064.4

**เหนือ Cutting Shoe**

	Height h2(m)	Area H1*12.0 $\pi$		Friction
Sand Fill 0m to -3m	3	113.1	13.3*A	1504.2
Soft clay -3m to -14m	11	418.1	6*A	2508.9
Med Clay -14m to-16.5m	2.5	95.0	9.33*A	886.7
Stiff Clay -16.5 to-20m	3.5	133.0	20*A	2660.9
Dense Sand	5.5	209.1	18.67*A	3903.4
Total Friction				12528

**End Bearing- Upper Bound**

Depth sunk = 26 m

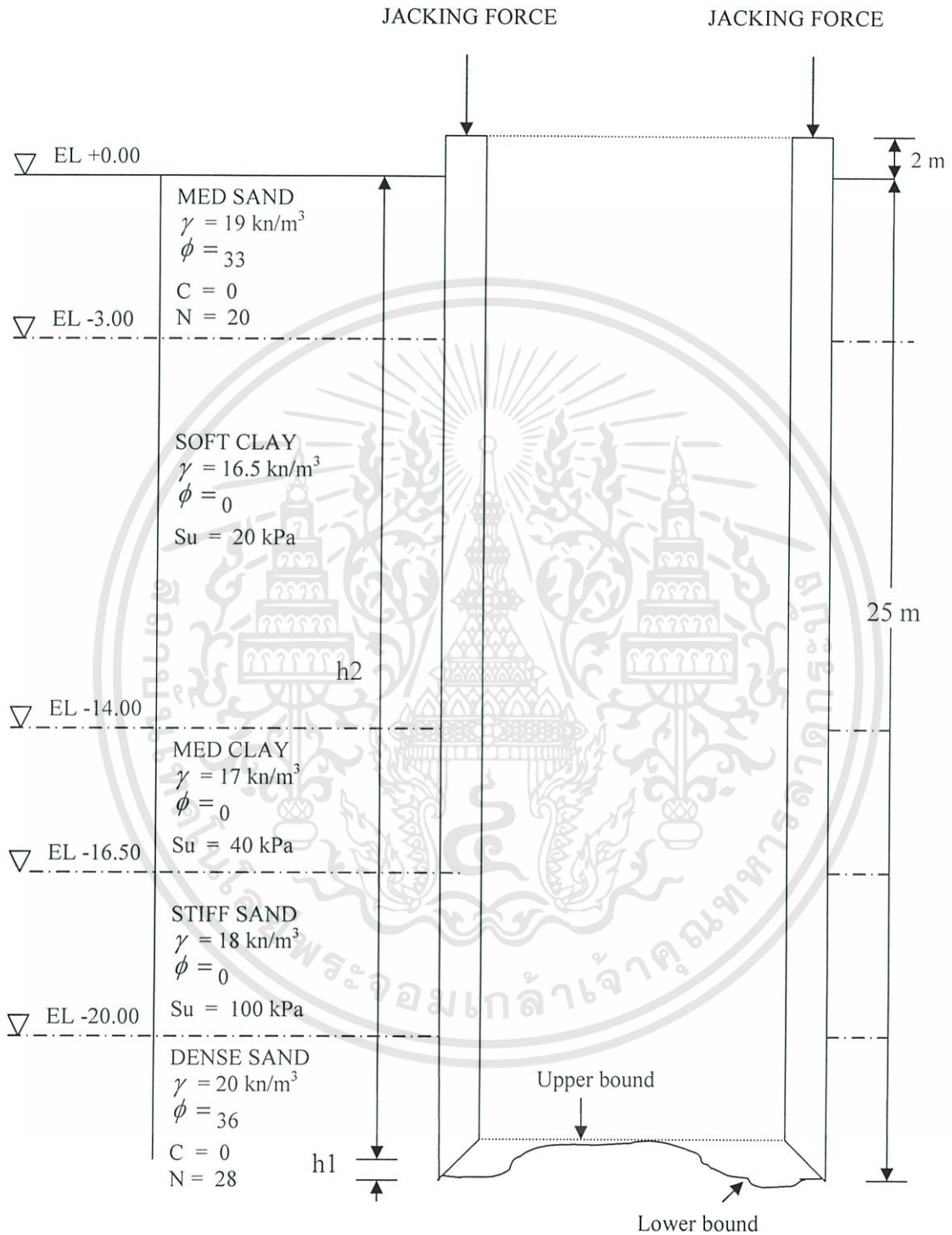
	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	17362	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	543.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	671.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	1042	0.0
Dense Sand	-	20	36.4	4000	145600
					145600

**End Bearing-Lower Bound**

	C-kPa	$\gamma$	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	17080	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	543.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	671.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	1042	0.0
Dense Sand	-	20	3	4000	12000
					12000

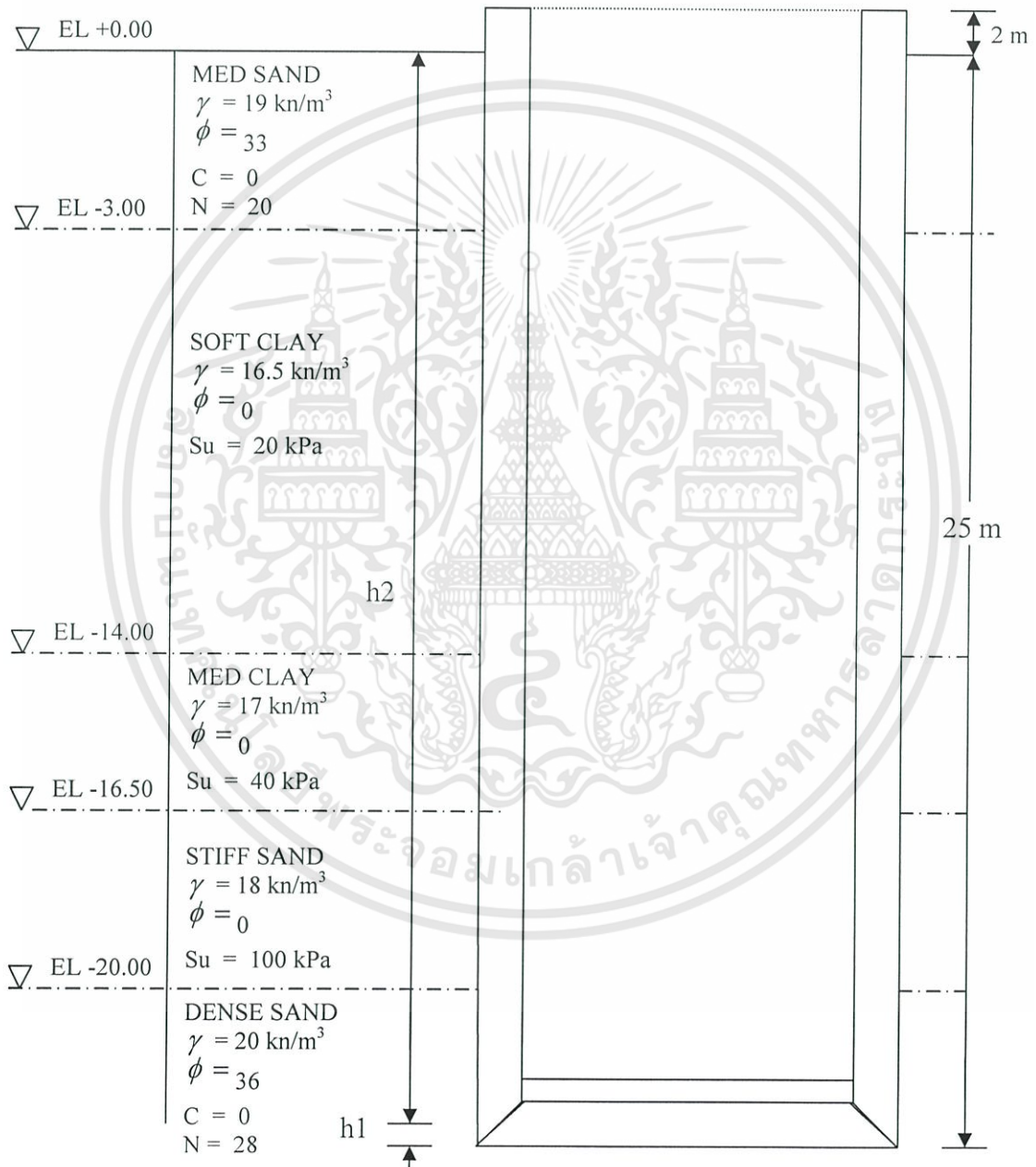
**Jacking force = Total Friction + Lower Bound End Bearing -Weight**  
**= 3362.0 kN ,**

ชั้นที่ 9



รูปที่ 4.15 การจมชั้นที่ 9

ชั้นที่ 10



รูปที่ 4.16 การถมชั้นที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.1 การรื้อถอนอาคารวัสดุเก่าออก



พื้นที่ในโครงการระดับ ๒ งานที่แยกกัน

- รื้อถอนอาคารบริเวณที่ก่อสร้างคอกสัตว์ของศูนย์วิจัยสัตวศาสตร์และแพทยศาสตร์

### 5.1.1 ทรัพยากรที่นำมาใช้ในการก่อสร้างคอกสัตว์

- วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างคอกสัตว์
- เครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างคอกสัตว์
- งานคอนกรีต
- วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างคอกสัตว์
- Lubrication PPE
- วิธีการขุดดิน
- วิธีการถมดิน
- งานก่อสร้างคอกสัตว์
- ทรัพยากรที่นำมาใช้ในการก่อสร้างคอกสัตว์

รายละเอียดของโครงการก่อสร้างคอกสัตว์ในภาพประกอบที่แนบมาตามแผนงานก่อสร้างคอกสัตว์ของศูนย์วิจัยสัตวศาสตร์และแพทยศาสตร์

### 5.1 รายละเอียดของโครงการก่อสร้างคอกสัตว์

## บทสรุป

## บทสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวางตำแหน่ง Center Line ของเขของส์



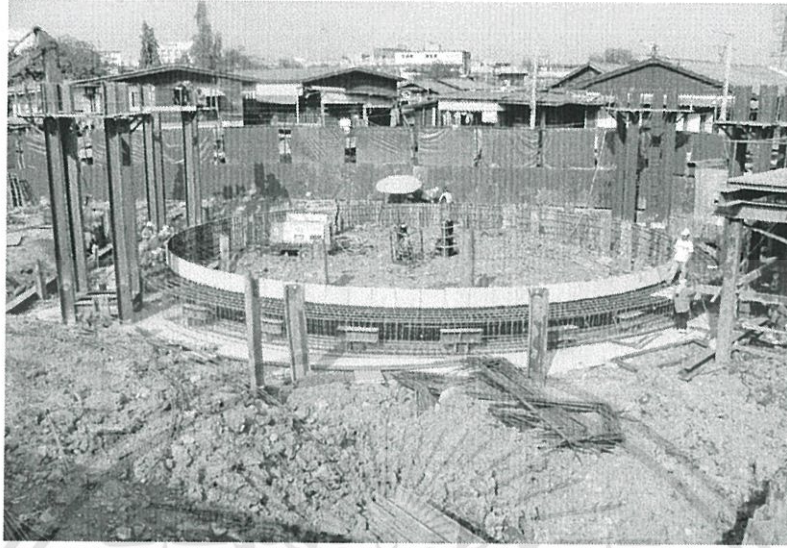
รูปที่ 5.2 การวางตำแหน่ง Center Line

- ทำการตอก H.BEAM ทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ทำ Support ของ Jacking Frame และตอก H.BEAM โคยรอบเพื่อรับน้ำหนัก Ring BEAM



รูปที่ 5.3 การตอก H.BEAM ทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ทำ Support ของ Jacking Frame และตอก H.BEAM โคยรอบเพื่อรับน้ำหนัก Ring BEAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 การตั้งแบบ ผูกเหล็ก Ring BEAM

- เริ่มก่อสร้าง Ring BEAM โดยขุดดินปรับให้ได้ระดับที่ต้องการ เพื่อตั้งแบบผูกเหล็ก และเทคอนกรีต Ring BEAM ตามแบบที่กำหนด



รูปที่ 5.5 การเทคอนกรีต Ring BEAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 ลักษณะ Ring BEAM

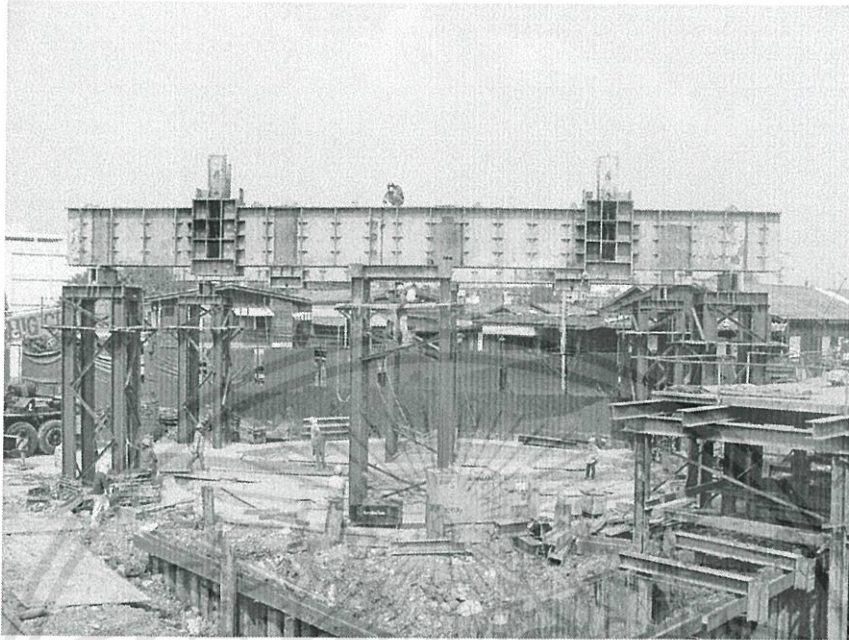
- รื้อแบบ Ring BEAM และทำการถมปรับดินที่ระดับที่กำหนด



รูปที่ 5.7 การปรับระดับดินภายใน Ring BEAM

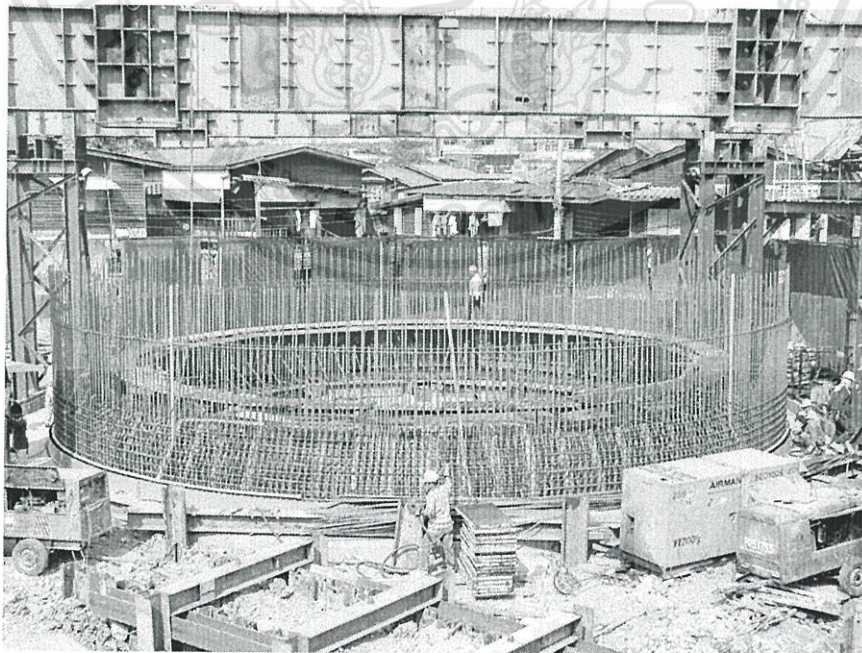
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการติดตั้ง Jacking Frame เพื่อใช้ในการยกของ



รูปที่ 5.8 การติดตั้ง Jacking Frame

- ติดตั้ง Cutting Shoe ตามตำแหน่งที่ Survey กำหนด โดย Cutting Shoe แบบเป็น 10 ชั้น ประกอบโดยใช้วิธีเชื่อมติดกันเป็นวงกลม และผูกเหล็กตั้งแบบและเทคอนกรีต

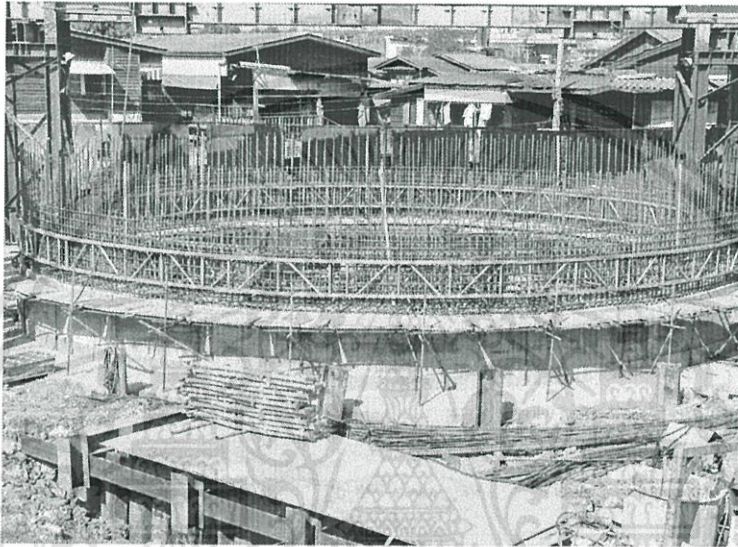


รูปที่ 5.9 การติดตั้ง Cutting Shoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

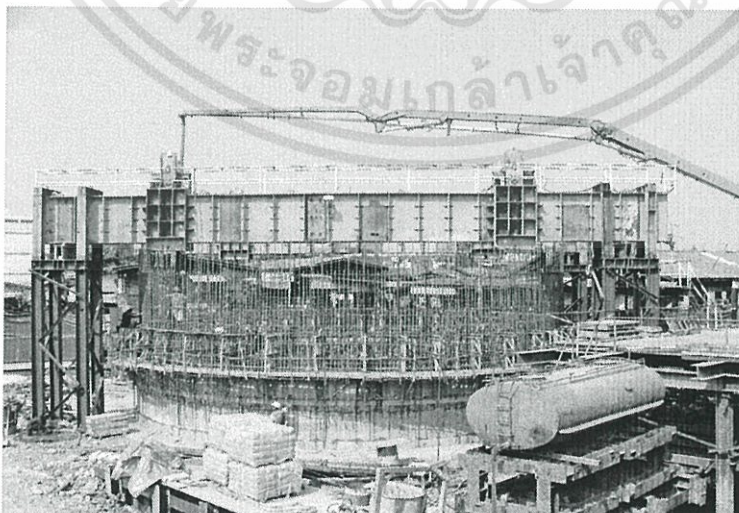
### 5.1.2 งานก่อสร้างเคของส์

- ออกแบบโครงสร้างเคของส์ โดยได้รับความเห็นชอบจากผู้ควบคุมงานก่อนการก่อสร้าง
- ทำการติดตั้ง Form Work ของ Slip Formพร้อมผูกเหล็กผนังบ่อพัก โดยความสูงของ Slip Form สูงประมาณ 1.20 m.



รูปที่ 5.10 การติดตั้ง Form Work ของ Slip Formพร้อมผูกเหล็กผนังบ่อพัก

- ดำเนินการเทคอนกรีต Wall ของบ่อ โดยแบ่งเป็นชั้นๆ ละเอียดประมาณ 5 m. การเทคอนกรีตจะเทโดยใช้ Crane แต่ละรอบให้หนาเท่าๆกัน Slip Form จะเลื่อนขึ้นไปตามการSetตัวของ Concrete แต่ละชั้น



รูปที่ 5.11 การเทคอนกรีต Wall ของบ่อ

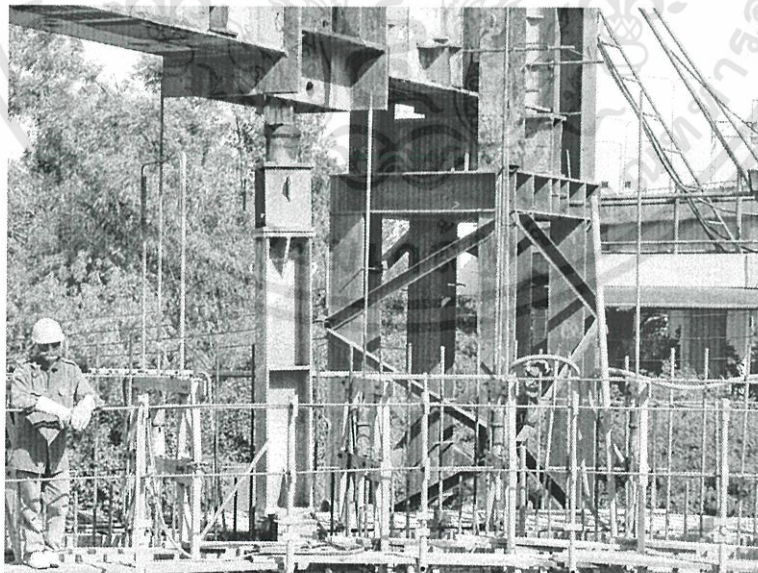
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.1.3 วิธีการจมเคชองส์

- หลังจากเริ่มการหล่อบ่อพักตามขั้นตอนที่ 5.1.2 เรียบร้อยแล้ว รออายุ Concrete Strength ประมาณ 75% จึงเริ่มทำการจมบ่อพัก โดยใช้ Clamp-Shell ชูดคินภายในบ่อพักและใช้ Hydraulic Jack กดปล่องเคชองส์เพื่อเพิ่มน้ำหนักให้บ่อพักจมลง ตามที่รายการคำนวณ กำหนดไว้



รูปที่ 5.12 การชูดคินภายในเคชองส์



รูปที่ 5.13 การจมเคชองส์โดย Hydraulic Jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการหล่อผนังปล่องเคของสัตามขั้นตอนที่ 5.1.2 ขึ้นต่อไปและขุดดินออก ใช้ Hydraulic Jack กดปล่องเคของสัเพื่อเพิ่มน้ำหนักให้บ่อพักจมลง ตามที่รายการคำนวณ กำหนดไว้ ทำเช่นนี้วนไปจนได้ระดับที่ต้องการ

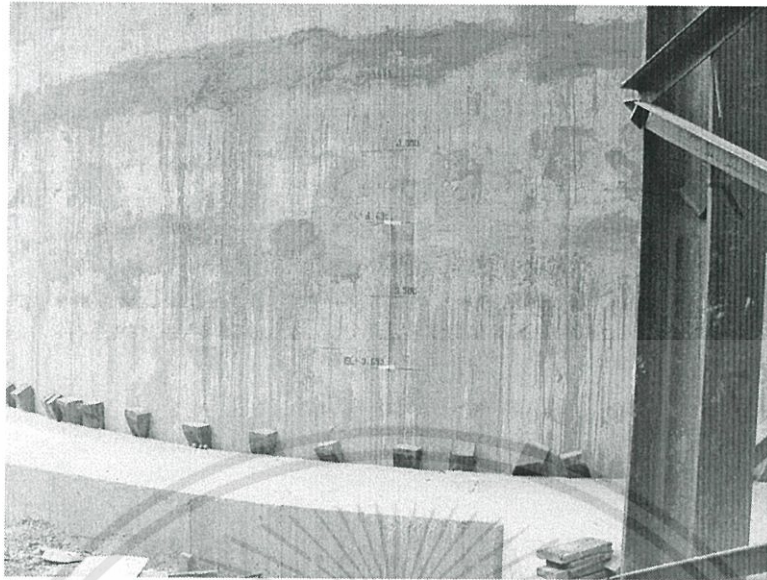
#### 5.1.4 วิธีการขุดดิน

- การขุดดินจะใช้ Crawler Crane ที่มี Clamp-Shell ขุดดินและใช้รถบรรทุกดินรับดินออกไปทิ้ง ขั้นตอนการขุด จะขุดดินจมบ่อเมื่อหล่อ ชั้นที่ 1 (Cutting Shoe) และผนังจริงชั้นที่ 2 เสร็จ รวมความสูงประมาณ 7 m. จะขุดดินออกเพื่อจมบ่อประมาณ 4-5 m. จึงจะเริ่มเทคอนกรีตและขุดดินชั้นต่อไป เมื่อบ่อเริ่มขยับตัวจมลง วิธีที่จะหยุดไม่ให้บ่อไหลลงไปใช้ไม้หนุนบริเวณรอบๆบ่อเพื่อล็อกบ่อไว้กับ Ring BEAM



รูปที่ 5.14 การขุดดินโดยใช้ Crawler Crane ที่มี Clamp-Shell

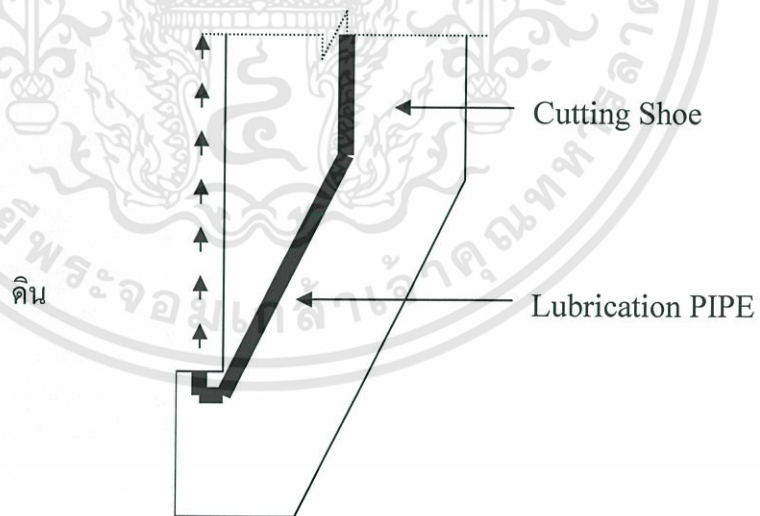
- ปริมาณดินที่ขุดออก จะต้องสัมพันธ์กับน้ำหนักของผนังปล่องเคของสั และ Hydraulic Jack เพื่อป้องกันไม่ให้ปล่องเคของสัจมมากกว่าที่ต้องการ



รูปที่ 5.15 การใช้ไม้หนูนเพื่อหยุดการจมเคของส

### 5.1.5 Lubrication PIPE

Lubrication PIPE คือ ท่อที่ฝังไว้ใน Cutting Shoe เพื่อฉีดสารหล่อลื่น ซึ่งจะเป็ นการช่วยลดแรงเสียดทานดินที่เกิดขึ้นบริเวณผนังเคของส



รูปที่ 5.16 ลักษณะท่อ Lubrication PIPE

ในระหว่างการจมปล่องเคของสจะต้อง Lubrication Pipe โดยใช้ Bentonite Grout ฉีดลงไปรอบๆบ่อพัก เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างดินกับผนังปล่องเคของส โดยใช้เครื่อง Grout Low Pressure ฉีด Bentonite ลงไปรอบๆปล่องอุโมงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.17 ลักษณะ Bentonite

### 5.1.6 เครื่องจักรใช้งานในการก่อสร้างเคของส์

- Crawler Crane 50 Ton ใช้ในการยกของ และต่อกับ Clamp-Shell Hydraulic ใช้ในการตักดิน ขุดดิน



รูปที่ 5.18 Crawler Crane

- Dump Truck 6 Well ใช้ในการขนดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 Dump Truck 6 Well

- Water Truck ใช้ลดการกระจายของฝุ่นบริเวณหน้างานก่อสร้าง



รูปที่ 5.20 Water Truck

- Clamp-Shell Hydraulic เป็นเครื่องมือใช้ในการตัก ขุดดิน ในบริเวณที่มีความลึกเกินกว่าที่ Backhole ตักดินได้



รูปที่ 5.21 Clamp-Shell Hydraulic

- Hydraulic Jack ใช้คณังเคของส เพื่อช่วยในการจกเคของส



รูปที่ 5.22 Hydraulic Jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Backhole ใช้ในการขุดดิน
- Hi Presser Pump
- Grouting Equipment ใช้ในการหล่อลื่นระหว่างการจมเคของส

### 5.1.7 วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างเคของส

วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างปล่องเคของสต้องเป็นไปตาม Specification ของกทม. โดยผ่านการตรวจสอบจากผู้ควบคุมงาน

- Lean Concrete
- Structural Concrete (Ready Mix)
- Reinforcement Steel
- Form Work (Slip Form)
- Admixtures
- Bentonite Grouting
- Curing Compound

### 5.1.8 งานคอนกรีต

- อัตราการผสมคอนกรีตอยู่ระหว่าง 20-25 m<sup>3</sup>/ชั่วโมง
- อัตราการเทคอนกรีตโดยเครน 20 นาที/คัน

## 5.2 ขั้นตอนการก่อสร้างเขของส์

ขั้นที่ 1 ปรับพื้นที่เตรียมงาน

ขั้นที่ 2 ทำการตอก H-BEAM เพื่อทำ SUPPORT JACKING BEAM ทั้ง 4 มุมๆ ละ 4 ต้น



รูปที่ 5.23 การก่อสร้างเขของส์ขั้นที่ 1 และ 2

ชั้นที่ 3 ทำการตอก H-BEAM เพื่อเป็นเข็มรับน้ำหนัก RING BEAM โดยรอบ



รูปที่ 5.24 การก่อสร้างของสัชั้นที่ 3

#### ชั้นที่ 4 ทำการติดตั้ง JACKING BEAM และอุปกรณ์ HYDRAULIC



รูปที่ 5.25 การก่อสร้างของส้ชั้นที่ 4

ชั้นที่ 5 จุดดินปรับระดับภายใน RING BEAM และเท LEAN CONCRETE



รูปที่ 5.26 การก่อสร้างเคของส้ชั้นที่ 5

ชั้นที่ 6 เริ่มทำการหล่อผนังของสั โดยชั้นที่ 1 CUTTING EDGE ความสูง 3 เมตร  
โดยใช้ SLIP FORM



รูปที่ 5.27 การก่อสร้างเคของสัชั้นที่ 6



ชั้นที่ 8 เมื่อคอนกรีตได้อายุ ทำการขุดดินภายใน และใช้ HYDRAULIC กดเคของส  
และขุดดินภายในเพื่อให้เคของสจมลงได้ระดับ



รูปที่ 5.29 การก่อสร้างเคของสชั้นที่ 8



ชั้นที่ 10 เมื่อทำการก่อสร้างผนังเคของสั้เรียบร้อย และทำการจรมเคของสั้ได้ระดับแล้ว  
ทำการปรับระดับพื้นกั้นเคของสั้



รูปที่ 5.31 การก่อสร้างเคของสั้ชั้นที่ 10

ชั้นที่ 11 ทำการเทคอนกรีตตูด (CONCRETE PLUG)

ชั้นที่ 12 ทำการเทคอนกรีตพื้น (BASE SLAB)



รูปที่ 5.32 การก่อสร้างของสัชั้นที่ 11 และ 12

### 5.3 Lab Monitoring

Lab Monitoring คือ การตรวจสอบสถานะต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการทำงานก่อสร้าง ซึ่งในงานการก่อสร้างเลขของสันี้มีด้วยกัน 4 อย่าง คือ Piezometer Inclinometer และ Extensometer

#### 5.3.1 Piezometer

Piezometer คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบระดับน้ำใต้ดิน โดยจะติดตั้งที่ในพื้นที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างการใช้ Piezometer ในการตรวจสอบระดับน้ำใต้ดินทำให้สามารถทราบลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

- การตรวจสอบความดันภายในบ่อสังเกตการณ์ ใช้ในการประเมินความมั่นคงของ Slope ของเขื่อน และดินถม
- ใช้ในการตรวจสอบเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของดิน เช่น Vertical drains, Sand drains และ Dynamic compaction
- ใช้ในการตรวจสอบการซึมและการเคลื่อนตัวของระดับน้ำใต้ดิน ในดินถมและเขื่อน
- ใช้ในการตรวจสอบการลดลงของระดับน้ำในระหว่างกระบวนการ Pumping tests



รูปที่ 5.33 ลักษณะหัวและเครื่องอ่านค่าของ Piezometer

Piezometer จะถูกติดตั้งภายในรูเจาะซึ่งประกอบด้วย Filter Tip จะเชื่อมติดกับท่อ riser pipe Filter Tip จะถูกจัดให้อยู่ในชั้นทรายและ bentonite seal จะถูกจัดให้อยู่เหนือชั้นทราย ช่องว่างระหว่าง riser pipe และรูเจาะจะถูกหล่อลื่นโดยใช้ bentonite



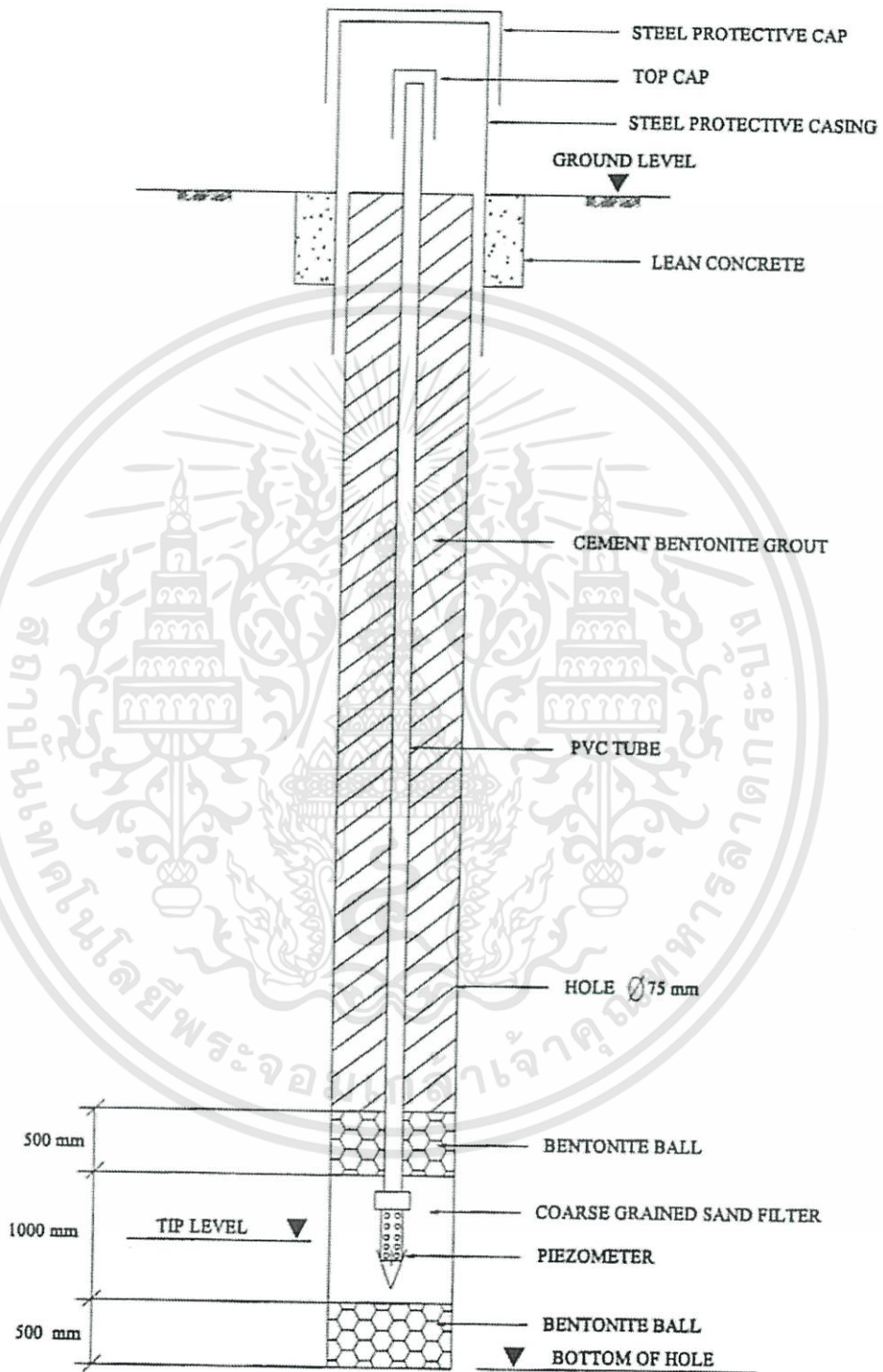
รูปที่ 5.34 การติดตั้ง Piezometer



รูปที่ 5.35 การติดตั้ง Piezometer

Piezometer สามารถวัดระดับน้ำได้โดยเครื่องวัดระดับน้ำซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือตรวจวัดอย่างละเอียด คือ gradnated cable หรือ เทป และ cable reel ที่ติดตั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือตรวจวัดอย่างละเอียดนี้จะถูกส่งลงไปในท่อ standpipe จนกระทั่งมันสัมผัสกับผิวน้ำ ซึ่งมันจะส่งสัญญาณโดยไฟกระพริบและกริ่งไฟฟ้าที่อยู่ภายใน cable reel ความลึกของระดับน้ำจะถูกอ่านได้โดยเทปหรือเคเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TYPICAL DETAILS OF CASAGRANDE PIEZOMETER INSTALLATION**

รูปที่ 5.36 รายละเอียดการติดตั้ง Piezometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.2 Inclinometer

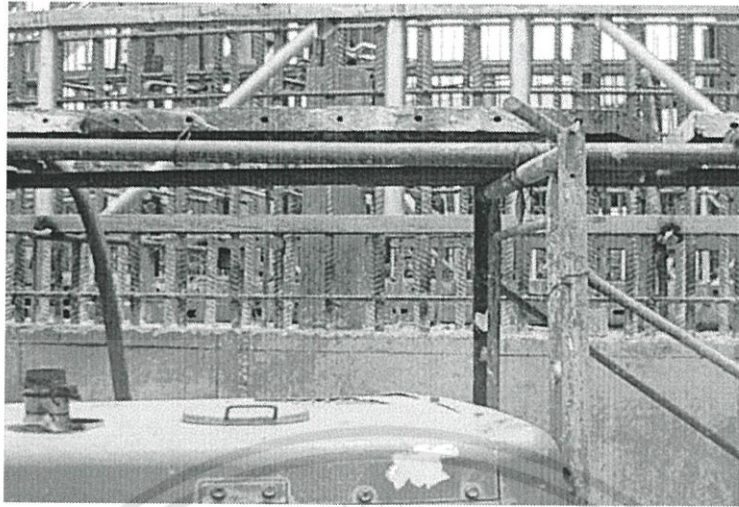
Inclinometer คือ เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งเพื่อวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินที่เกิดขึ้นในระหว่างก่อสร้าง ซึ่ง Inclinometer นี้ถูกใช้ในการตรวจสอบระยะเริ่มต้นของการเคลื่อนไหว พวกมันจะแสดงให้เห็นถึงความลึกที่แม่นยำของการเคลื่อนที่ในแนวราบ หรือแม้แต่การเคลื่อนตัวของระนาบที่ซับซ้อนในปัจจุบัน เมื่อติดตั้งเครื่องมือ inclinometer เข้าไปภายในท่อ inclinometer จะแสดงลักษณะการเคลื่อนตัวของดินเช่นเดียวกับการเคลื่อนตัวของท่อ



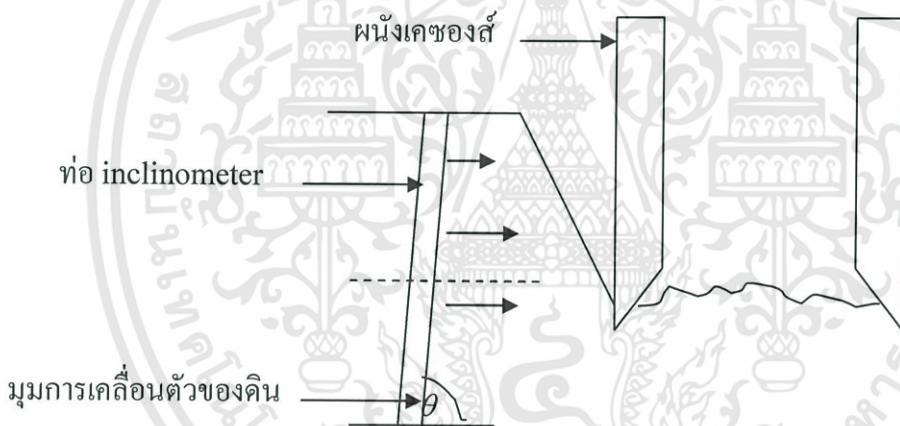
รูปที่ 5.37 อุปกรณ์ของเครื่อง inclinometer

ในการสำรวจโดยวิธี inclinometer โดยส่วนจะทำการสำรวจในบริเวณดินที่มีความลาดชัน ในการก่อสร้างเขื่อนจะทำการฝังท่อและอุปกรณ์ของ inclinometer ไว้บริเวณผนังของเขื่อนซึ่งจะเอาไว้ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินเข้ามาภายในเขื่อนว่ามีผลกระทบมากน้อยเพียงใด ซึ่งในงานก่อสร้างเขื่อนแบ่งประเภทของ inclinometer ออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการติดตั้งคือ

- Inclinometer in Caisson Wall ติดตั้งใน Caisson Wall บริเวณด้านหลังของเขื่อน
- Inclinometer in Ground ติดตั้งในดินบริเวณใกล้เขื่อนโดยจะติดตั้งห่างจากเขื่อน ประมาณ 15-20 เมตร



รูปที่ 5.38 Inclinometer in Caisson Wall ติดตั้งใน Caisson

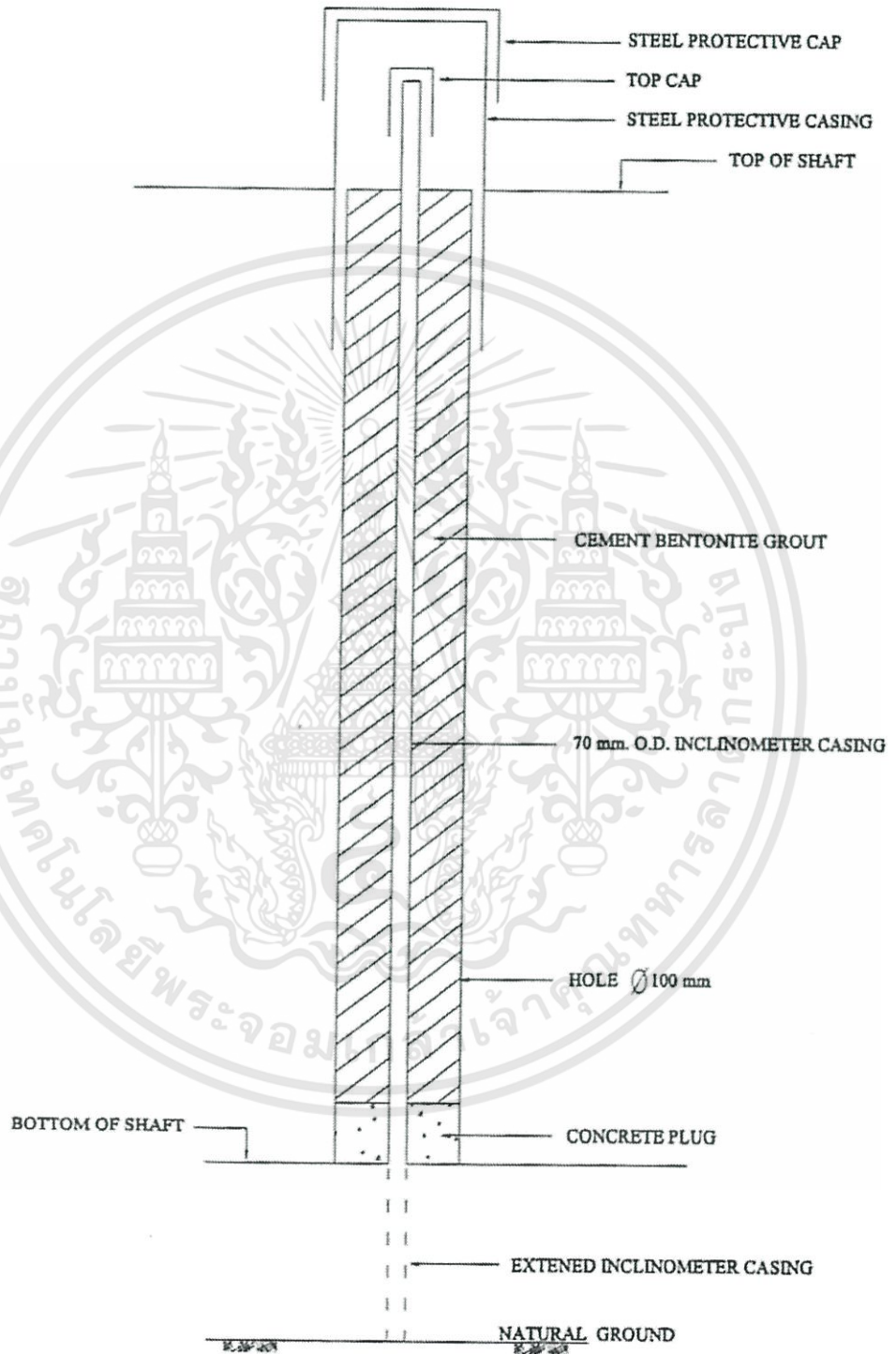


รูปที่ 5.39 Inclinometer in Ground

วิธีการตรวจวัดโดยหย่อน Inclinometer Torpedo ลงไปจนถึงก้นหลุม และดึงขึ้นมาทีละ 0.5 ม. แล้วบันทึกค่าใน Data Logger แล้วมาเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ก็จะได้ขนาดการเคลื่อนตัวในแนวราบของดินบริเวณที่ติดตั้ง

การสำรวจโดยวิธี inclinometer นี้ควรทำการสำรวจประมาณ 1 ครั้งต่อเดือน ในช่วงเวลาที่มีการรบกวนดินต่ำ และช่วงที่มีการรบกวนดินบ่อยครั้งระหว่างช่วงฤดูใบไม้ผลิ เมื่ออากาศมีความชื้นซึ่งเป็นการกระตุ้นในดินเกิดการสไลด์และเพิ่มอัตราการเคลื่อนตัวของดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



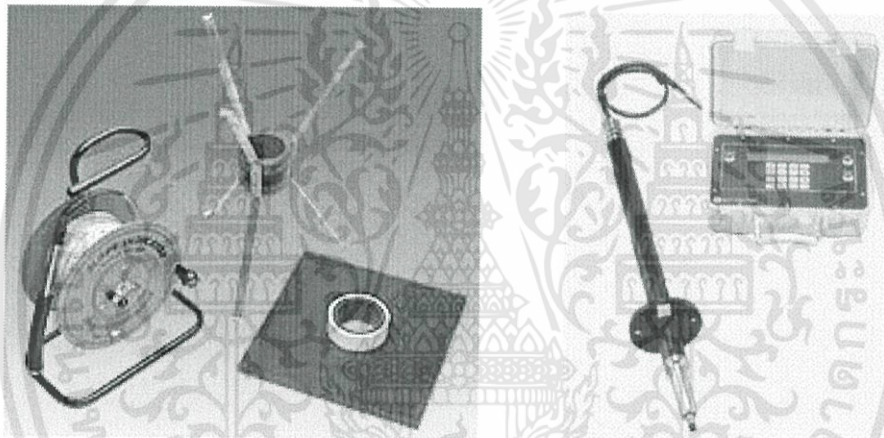
**TYPICAL DETAILS OF SHAFT WALL INCLINOMETER**

รูปที่ 5.40 รายละเอียดการติดตั้ง Inclinometer in Caisson Wall

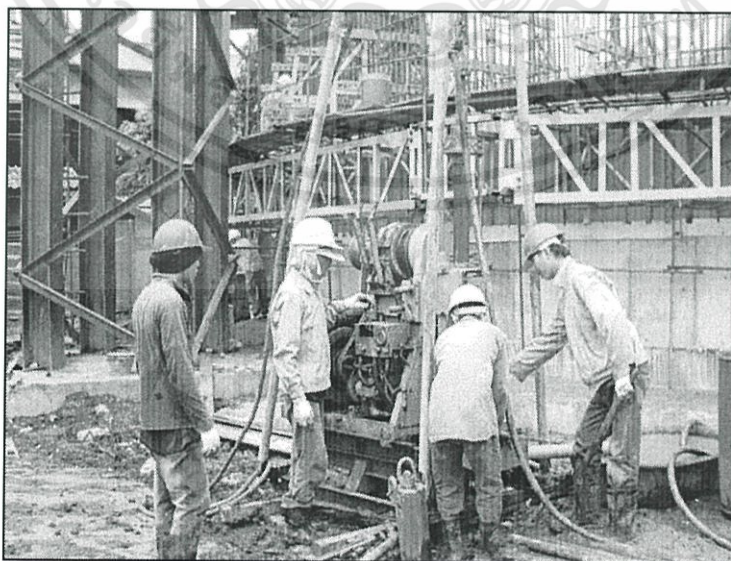
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3.3 Extensometer

Extensometer คือ เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งเพื่อการวัดตัวในแนวตั้งของดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในการก่อสร้างเขื่อนของสัจจะฝั้งเครื่อง extensometer ไว้บริเวณที่คิดว่าดินจะเกิดผลกระทบข้างเคียงเนื่องจากการก่อสร้างเขื่อนของสัจ เช่น บริเวณที่ติดกับบ้านพักอาศัย บ้านเรือน วัด อาคารต่างๆ โดยภายในหลุมจะติดตั้ง Magnetic ที่ระดับต่างๆมีฝาครอบเพื่อป้องกัน ตั้งตรงบริเวณที่ทำการก่อสร้างอุโมงค์ก็มีวิธีการตรวจวัดโดยใช้ probe ซึ่งจะมี scale อยู่ หย่อนไปที่ก้นหลุมแล้วค่อยดึงขึ้น เมื่อ Sensor เจอ Magnetic ก็จะเกิดเสียงทำการจดบันทึกค่าความลึกที่ได้ยินเสียง และนำไปเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น จะได้ขนาดการเคลื่อนตัวของดินในระดับที่ติด Magnetic อีกทั้งมีการเก็บค่าระดับปากหลุมด้วย

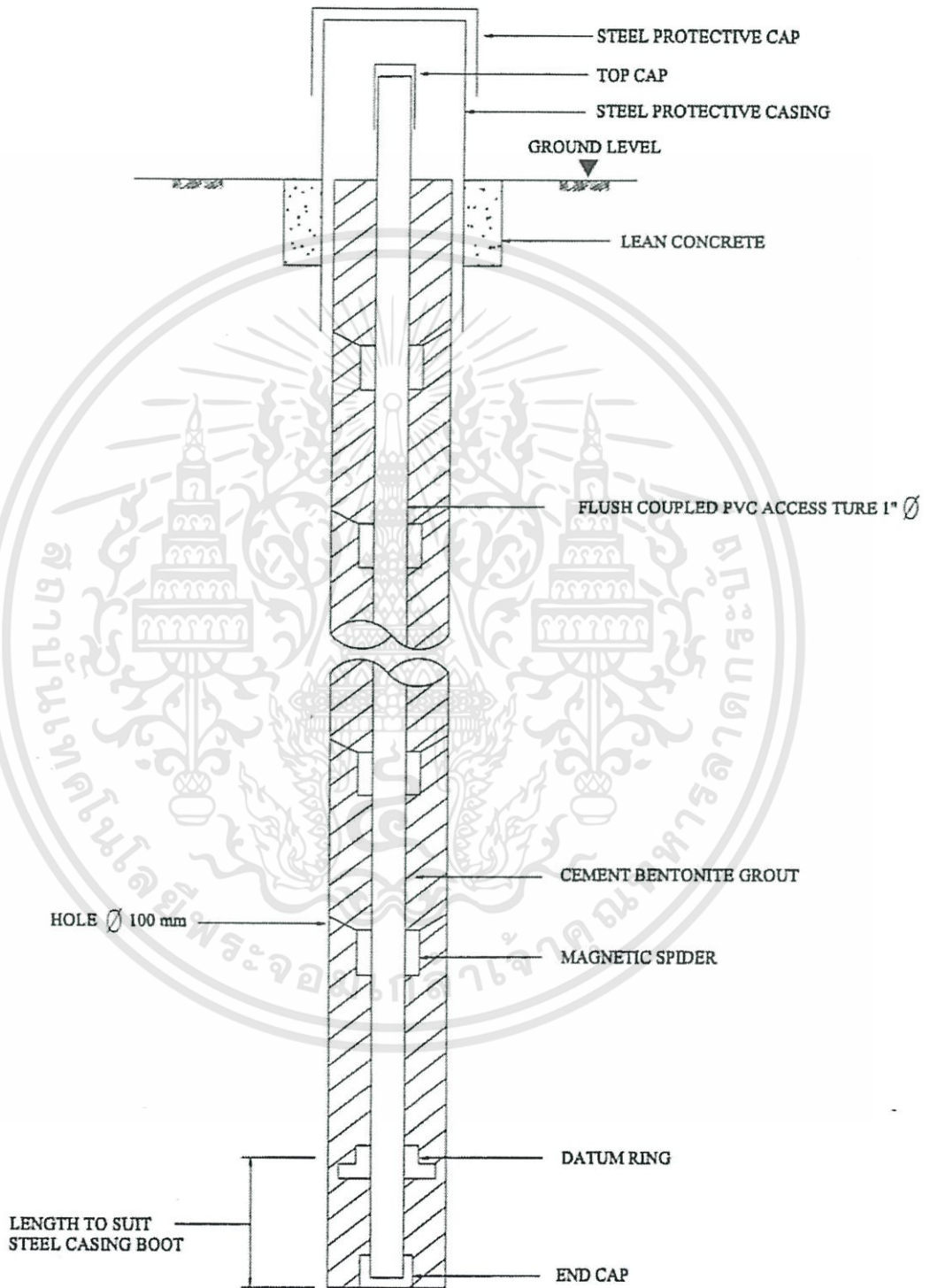


รูปที่ 5.41 อุปกรณ์ของเครื่อง Extensometer



รูปที่ 5.42 การติดตั้งเครื่อง Extensometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TYPICAL DETAILS OF MAGNATIC EXTENSOMETER**

รูปที่ 5.43 รายละเอียดการติดตั้งเครื่อง Extensometer

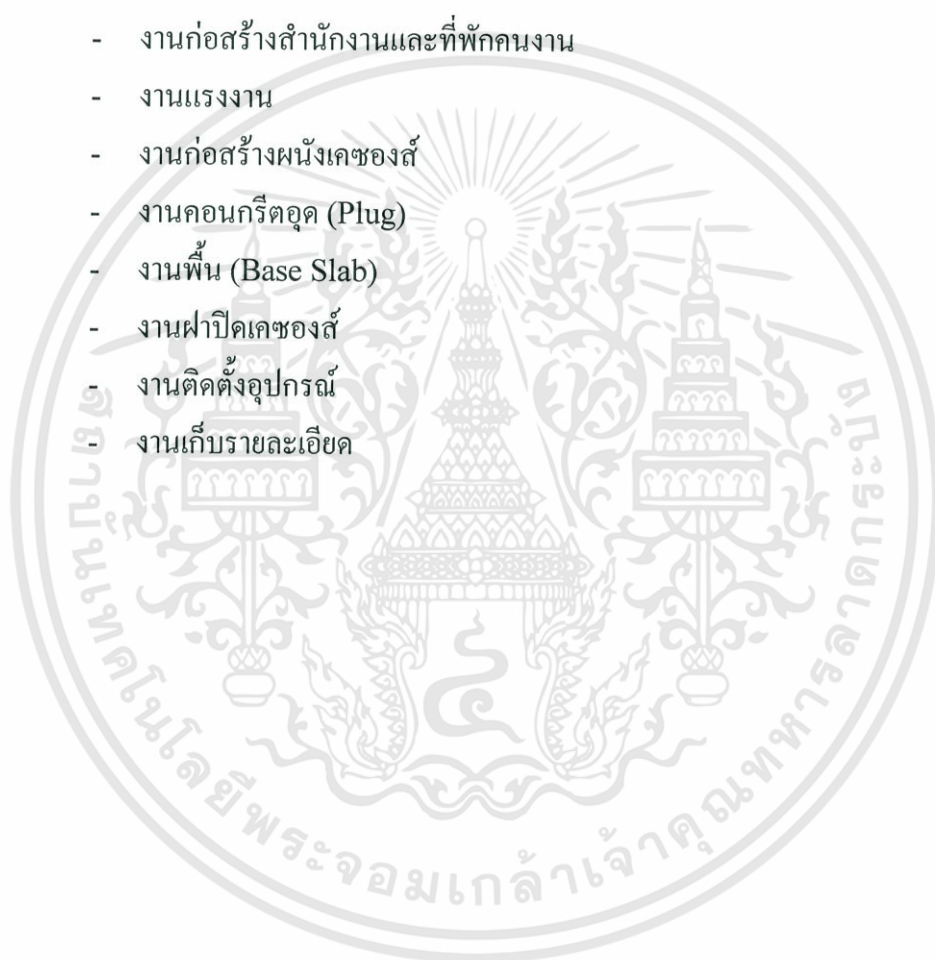
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.4 BOQ

BOQ (Bill of Quantity) หมายถึง บัญชีแสดงปริมาณงานและราคาการก่อสร้าง ซึ่งในงานการก่อสร้างของสวได้แบ่งคิดเป็นหัวข้อหลักๆ ดังนี้

- งานออกแบบของสว
- งานเครื่องจักร
- งานปรับพื้นที่
- งานก่อสร้างสำนักงานและที่พักคนงาน
- งานแรงงาน
- งานก่อสร้างผนังของสว
- งานคอนกรีตอุด (Plug)
- งานพื้น (Base Slab)
- งานฝาปิดของสว
- งานติดตั้งอุปกรณ์
- งานเก็บรายละเอียด



## บทที่ 6

# โปรแกรมในการออกแบบเคของส์

### 6.1 กล่าวนำ

เนื่องจากการออกแบบเคของส์ นั้นมีขั้นตอนหลายขั้นตอน จึงทำให้การออกแบบเคของส์ต้องใช้เวลามาก การสมมติค่าความหนาของผนังเคของส์, ค่าความหนาของคอนกรีตอุด และความหนาของพื้นเคของส์ จะต้องมีการสมมติค่าหลายครั้งจึงจะได้ค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ทางคณะผู้จัดทำได้เห็นถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้พัฒนาโปรแกรมในการออกแบบเคของส์เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจในการออกแบบเคของส์ โปรแกรมในการออกแบบเคของส์นั้นจะทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการออกแบบมากยิ่งขึ้น

ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงได้พัฒนาโปรแกรมออกแบบเคของส์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมนี้อาจมีข้อจำกัดดังนี้

- โปรแกรมจะใช้ได้กับชั้นดินที่ไม่เกิน 8 ชั้น
- โปรแกรมนี้ใช้ออกแบบได้เฉพาะเคของส์ทรงกลม

### 6.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างเคของส์ได้สะดวกและรวดเร็ว
- เพื่อให้บุคคลผู้สนใจสามารถนำโปรแกรมนี้ไปประยุกต์ใช้ได้
- เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างเคของส์ต่อไป

### 6.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมออกแบบเคของส์

1. เปิด file โปรแกรม Design Caisson
2. เข้าสู่หน้าจอต้อนรับเข้าโปรแกรม

# Program Design Caisson

จัดทำโดย

นายตะวัน รัตเวริเทร์ชัย

นายภูมिवัดน์ สวัสดิ์พุทธา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ 6.1 หน้าจอต้อนรับ

3. ทำการเลือก Number of soil layer และทำการใส่ค่าคุณสมบัติของดินแต่ละ layer ดังนี้

- Depth of layer.
- Unit weight of soil.
- Friction angle.
- C.
- N.
- $S_u$ .
- $K_0$ .

ถ้าคุณสมบัติอันไหนที่ไม่มีให้ใส่ 0

Soil Parameter		Other Parameter 1			Other Parameter 2		
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">Number of Soil Layer</div> <input type="text"/>							
Layer	Depth of Layer (m)	Unit Weigh of Soil (kN/m <sup>3</sup> )	Friction Angle	Cohesion	Standard Penetration Test (N)	Undrained Shear Strength (kPa)	K <sub>o</sub>
1							
2							
3							
4							

รูปที่ 6.2 การใส่ค่าคุณสมบัติของชั้นแต่ละชั้น

4. ทำการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ

- $f'_c$
- $f_{cu}$
- $f_y$
- Unit weight of concrete
- Unit weight of concrete plug

5. ทำการใส่ค่าขนาดของสั

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของสั ( $D_i$ )
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของสั ( $D_o$ )
- ความสูงของสั ( $H$ )
- Thickness of base slab ( $b$ ).
- Thickness of concrete plug ( $p$ ).

Soil Parameter	Other Parameter 1	Other Parameter 2
<b>Material Strengths</b>		
Concrete $f'_c$	300 Mpa	Unit weight of Concrete
$f_{cu}$	Text2 Mpa	Unit weight of Concrete Plug
Reinforcement $f_y$	4000 Mpa	20 KN/m <sup>3</sup>
<b>Caisson</b>		
Outer Diameter [D <sub>o</sub> ]	10 m	
Inner Diameter [D <sub>i</sub> ]	8 m	
Height of caisson [H]	34 m	
Thickness of base slab [b]	2 m	
Thickness of concrete plug [p]	2 m	
Command1		

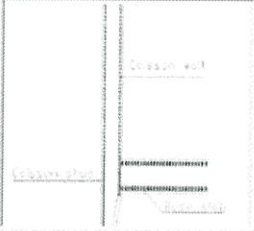

รูปที่ 6.3 การใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ, ขนาดของส

#### 6. ทำการเลือกขนาดเหล็กเสริมและระยะหุ้มคอนกรีต บริเวณ

- Cutting shoe.
- Caisson wall.
- Base slab.

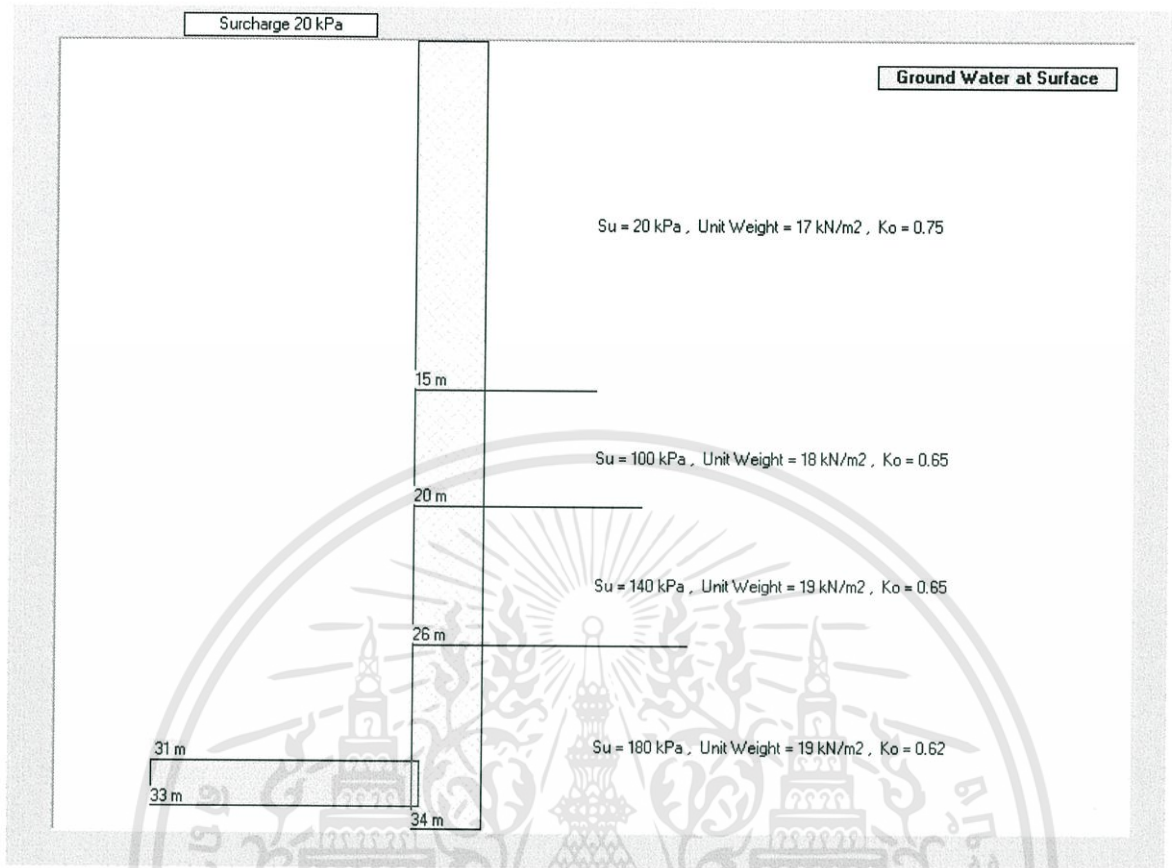
#### 7. คุณสมบัติอื่นๆ

- Unit Weight of water.
- Surcharge Load.
- ระดับที่ Base slab

Soil Parameter	Other Parameter 1	Other Parameter 2
<b>Rein Forcement</b>		
At Cutting Shoe	use DB <input type="text" value="25"/> mm	covering <input type="text" value="10"/> cm
At Caisson Wall	use DB <input type="text" value="20"/> mm	covering <input type="text" value="10"/> cm
At Base Slab	use 2DB <input type="text" value="28"/> mm	covering <input type="text" value="10"/> cm
		
<b>Other</b>		
Unit weight of water	<input type="text" value="10"/> kN/m <sup>3</sup>	
Surcharge Load	<input type="text" value="20"/> kPa	
Level of Base Slab	<input type="text" value="33"/> m	
		
<input type="button" value="Command1"/>		

รูปที่ 6.4 เลือกขนาดเหล็กเสริม,คุณสมบัติอื่น

8. เมื่อใส่ค่าครบแล้ว กด Command1
9. โปรแกรมจะทำการแสดงลักษณะชั้นดินออกมาเป็นรูปภาพ พร้อมกับคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้น



รูปที่ 6.5 ลักษณะของชั้นดิน

10. โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ

Result 1		Result 2		Tab 2	
<b>Lateral Pressure</b>					
Depth (m)	Sum Overburden Pressure (kPa)	Ko	Lateral Earth Pressure (kPa)	Water Pressure (kPa)	Sum Lateral Pressure (kPa)
0	20	.75	15	0	15
15	125	.75	93.75	150	243.75
20	165	.65	107.25	200	307.25
26	219	.65	142.35	260	402.35
33	282	.62	174.84	330	504.84
34	291	.62	180.42	340	520.42

<b>Against Uplift Pressure</b>					
Weight of Caisson	28557.077185529	kN			
Mobilized Skin Friction	39049.9966841211	kN			
Uplift Pressure	25918.1393921158	kN			
Factor of Safety	2.608485				

รูปที่ 6.6 ผลการคำนวณ

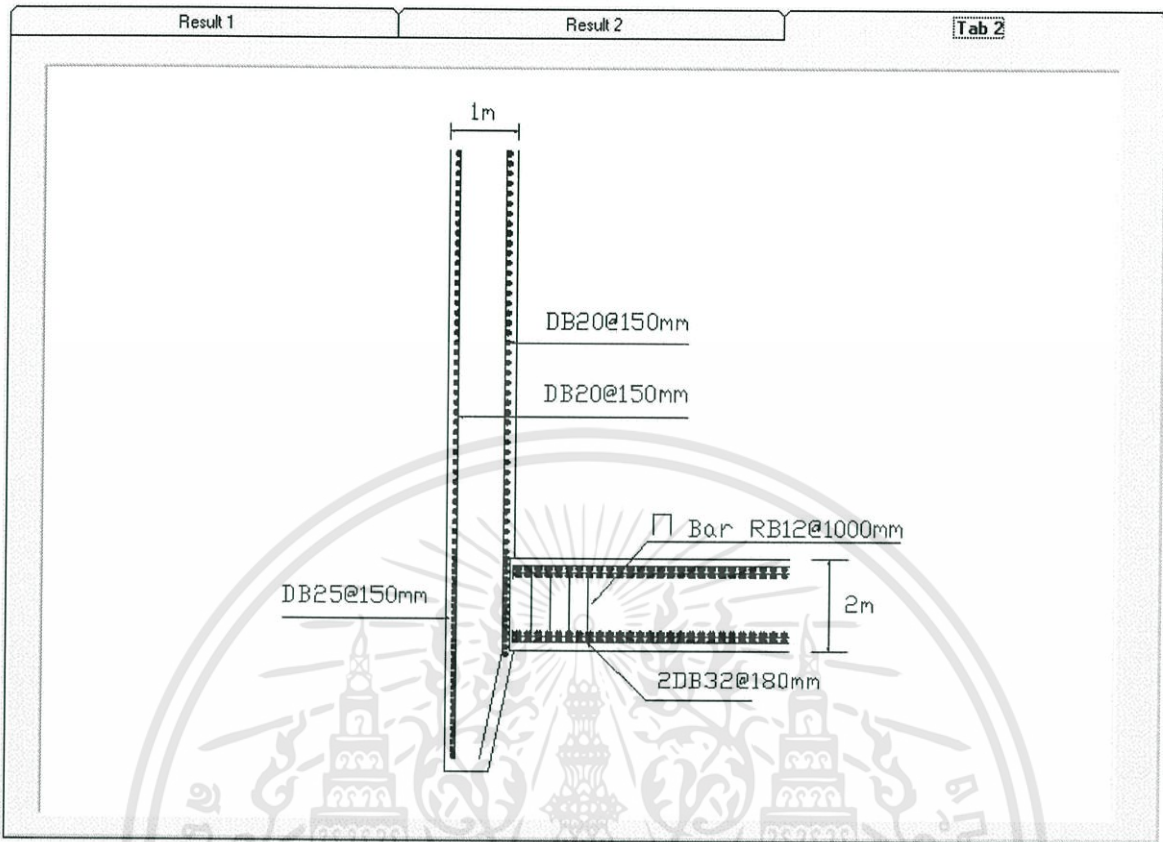
Result 1		Result 2		Tab 2	
<b>Forces Acting on Caisson Wall during Sinking Stage</b>					
<b>At Caisson Shoe</b>			<b>At Caisson Wall</b>		
Lateral Pressure ,P	624.50399780273	kPa	Lateral Pressure ,P	605.808	kPa
50% of Lateral Earth Pressure	108.25199890136	kPa	Axial Forces ,N	3029.04	kN/m
Bending Moment ,M	441.1269	kN.m/m	Ultimate Axial of Wall ,Nu	18898.6	kN
Axial Forces ,N	3237.267	kN/m	use	20	mm
use	25	mm			

<b>Base Slab Calculation</b>					
<b>Base Slab Moment</b>			<b>Base Slab Shear</b>		
Uplift Pressure ,Wu	290	kPa	Critical Shear	60.9	Ton
Moment ,M	928	kN.m	Vc	95.435999497048	Ton
use	28	mm	use	U shape@1000	mm for Safty

รูปที่ 6.7 ผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



#### 6.4 ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรม

1. ใช้ได้กับชั้นดินไม่เกิน 8 ชั้น
2. ใช้สำหรับออกแบบเคชของสัทรงกลม
3. โปรแกรมใช้การออกแบบเหล็กเสริม โดยวิธีเสาสั้น USD

# บทที่ 7

## ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์

### 7.1 กล่าวนำ

ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์ที่จะกล่าวถึงในโครงการพิเศษนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะปัญหาหลักๆที่มักจะเกิดขึ้นจริงขณะกำลังก่อสร้างเคของส์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้มาจากการที่กลุ่มโครงการพิเศษของข้าพเจ้าได้เข้าไปศึกษาจากการก่อสร้างจริง และจากผู้เชี่ยวชาญในด้านการก่อสร้างเคของส์ จึงสามารถที่จะระบุได้ว่าปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการก่อสร้างเคของส์จริง พร้อมทั้งแนวทางแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างเคของส์เป็นแนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญได้ชี้แนะถึงแนวทางการแก้ไข ซึ่งทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รวบรวมปัญหาในการก่อสร้างเคของส์และแนวทางการแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างเคของส์แสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

### 7.2 ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์

ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์ที่ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้กล่าวถึงนี้ล้วนแต่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงขณะก่อสร้างเคของส์ในปัจจุบัน

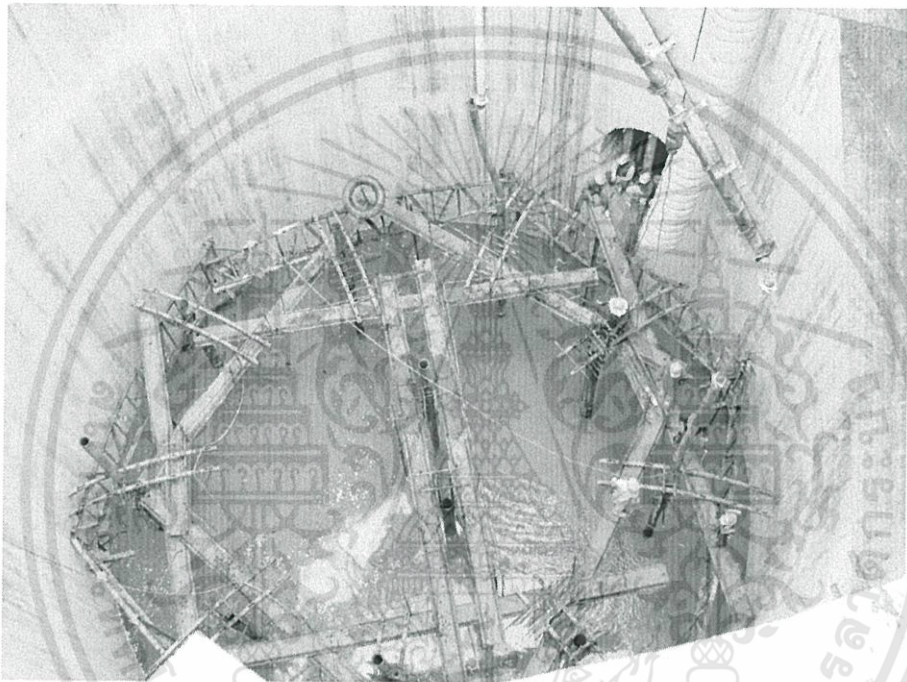
#### 7.2.1 ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง

ปัญหา - งานคอนกรีตในการก่อสร้างเคของส์ส่วนมากนิยมสั่งคอนกรีตผสมสำเร็จจากโรงงาน ทางโรงงานก็จะส่งรถผสมคอนกรีตมายังหน้างานก่อสร้างซึ่งอาจติดปัญหาด้านการจราจรทำให้การเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ผิวคอนกรีตไม่เรียบและมีรอยต่อมาก

แนวทางแก้ปัญหา - ใช้น้ำยา Retarder ผสมคอนกรีตเพื่อช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะช่วยให้การทำงานมีความสะดวกมากขึ้น

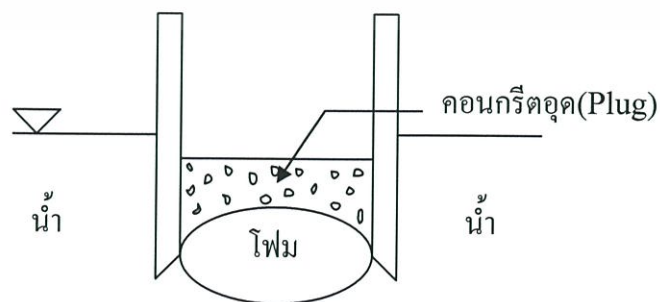
## 7.2.2 ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ

ปัญหา - คอนกรีตอุด (Plug) ในงานเขของส่วใหญ่จะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน จึงจำเป็นต้องมีการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้วิธีการฉีดโพนเป็นแผ่นเข้าไปกั้นระหว่างน้ำกับคอนกรีต แต่คอนกรีตมีน้ำหนักมากทำให้โพนที่ฉีดเข้าไปรับน้ำหนักไม่อยู่อาจเกิดการแตกหักได้ ทำให้คอนกรีตผสมกับน้ำจึงทำให้คอนกรีตอุด (Plug) ไม่ได้กำลังตามที่ต้องการซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการบวมตัวของดิน (Heave) ได้



รูปที่ 7.1 การเทคอนกรีตอุด(Plug) ใต้น้ำ

แนวทางแก้ปัญหา— ฉีดโพนเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่ากับปล่องของส่วเพื่อให้สามารถรับน้ำหนักคอนกรีตได้



รูปที่ 7.2 วิธีแก้ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

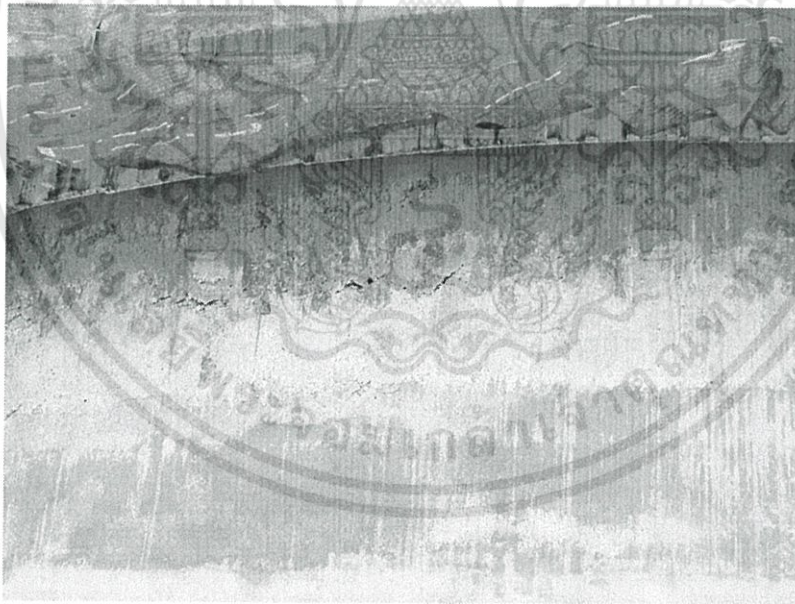
### 7.2.3 ปัญหาในการบ่มเคของส

ปัญหา — ปัญหาในการบ่มเคของสมักจะเกิดจากการที่คนงานหรือผู้ควบคุมงานดูแลการบ่มผิดวิธี ปล่อยให้ละลายในการบ่มคอนกรีตทำให้คอนกรีตไม่ได้กำลังตามที่ต้องการ

แนวทางแก้ปัญหา — ในการก่อสร้างเคของสนิยมใช้การบ่มคอนกรีตโดยสารเคลือบผิวคอนกรีต เช่น Curing Compound ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดและทำให้คอนกรีตได้กำลังตามที่ต้องการ

### 7.2.4 ปัญหาผิวผนังเคของสไม่เรียบ

ปัญหา — การเทคอนกรีตบริเวณผนังเคของสจะทำการเทโดยแบ่งเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณ 5 เมตร การเทคอนกรีตจะเทโดยใช้ Crane แต่ละรอบให้หนาเท่าๆกัน โดยมี Slip Form เป็นแบบหล่อคอนกรีต Slip Form จะเลื่อนตัวไปตามการเซตตัวของคอนกรีตแต่ละชั้น ซึ่งผิวคอนกรีตที่พื้นแบบออกมา (เมื่อแบบเลื่อนตัวขึ้น) จะไม่เรียบสนิทเหมือนแบบปกติจะมีรูพรุนบ้าง



รูปที่ 7.3 ปัญหาผิวเคของสไม่เรียบ

แนวทางแก้ปัญหา — ในการแก้ไขปัญหาผิวผนังเคของสไม่เรียบควรเพิ่มแรงงานแต่งผิวโดยใช้เกรียงโบกปูน ฟองน้ำ หรือโฟม เป็นตัวแต่งปาดผิวให้เรียบตามต้องการ แต่ไม่ถึงกับเหมือนคอนกรีตเปลือยทีเดียว ถ้าต้องการผิวเรียบอาจจำเป็นต้องใช้ปูนทรายฉาบแต่งผิวควบคู่ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการเทคอนกรีต Slip Form การตกแต่งผิวควรจะทำภายในหนึ่งชั่วโมงหลังจากผิวพื้นแบบออกมาแล้ว



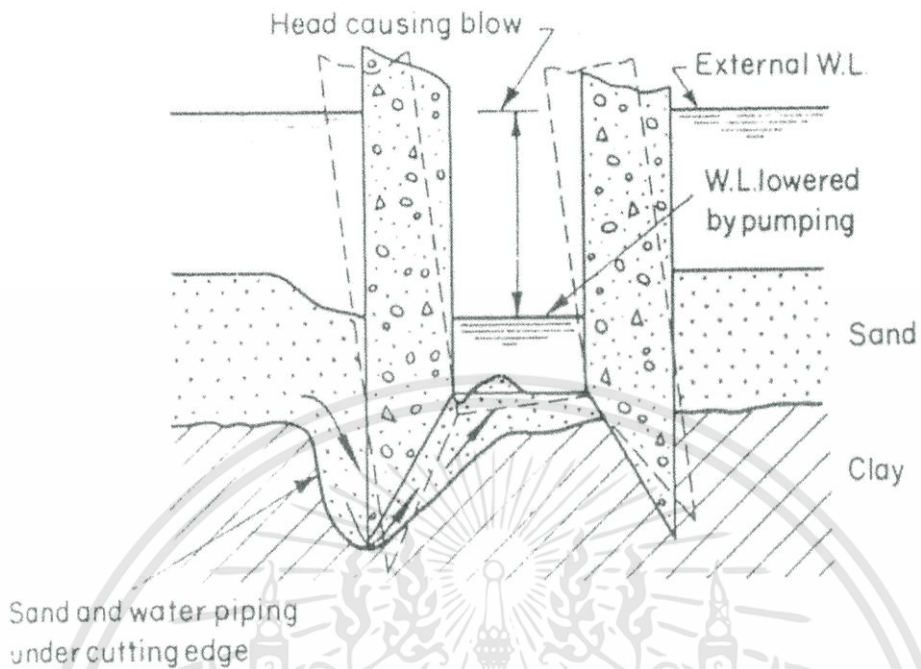
รูปที่ 7.4 วิธีแก้ปัญหาคือผิวของสไลม์เรียบ

### 7.2.5 ปัญหาของสไลม์เอียง

ปัญหา ในการก่อสร้างของสไลม์เมื่อเริ่มทำการถมของสไลม์ในชั้นแรก (บริเวณ Cutting Shoe และผนังส่วนแรก) ควรมีการควบคุมการถมอย่างใกล้ชิดและมีการตรวจเช็คระดับของการถมอย่างสม่ำเสมอจนมั่นใจว่าของสไลม์ไม่เอียง เพราะถ้าของสไลม์เอียงตั้งแต่การถมชั้นแรกก็จะส่งผลให้ของสไลม์เอียงสะสมไปเรื่อยๆในแต่ละชั้น ซึ่งปัญหาหลักๆของของสไลม์เอียงนี้มีอยู่ 3 แบบคือ

- เกิดจากการขุดดินภายในของสไลม์ในด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไปจนทำให้ของสไลม์เกิดการถมไม่เท่ากัน ในการขุดดินภายในออกจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวของของสไลม์ลดน้อยลง เป็นผลให้น้ำหนักของของสไลม์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของสไลม์ จึงเกิดการจมลงในดินที่ไม่เท่ากัน
- เกิดจากน้ำและทรายไหลเซาะที่ก้นของสไลม์ (Seepage) ในกรณีที่มีการสูบน้ำภายในของสไลม์ออกทำแรงดันน้ำใต้ดินภายนอกของสไลม์พยายามดันเข้ามาภายในของสไลม์ จึงทำให้ดินบริเวณ Cutting Shoe หลุดตัวลงเป็นสาเหตุให้ของสไลม์เอียง ดังรูป 6.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 การเอียงของเคของส์

- เกิดจากลักษณะของชั้นดินที่แตกต่างกัน เช่น ผนังเคของส์อยู่ในชั้นดินอ่อน และชั้นดินแข็ง ทำให้เกิดการจมที่ไม่เท่ากันเป็นสาเหตุให้เคของส์เอียงได้

แนวทางแก้ปัญหา ในการแก้ปัญหาเคของส์เอียงมี 4 วิธีคือ

- ทำการขุดดินด้านตรงข้ามกับทิศที่เคของส์เอียงเพื่อให้เคของส์มีการจมในระดับที่เท่ากัน
- ใช้ Hydraulics Jack กดในด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เคของส์เอียงเพื่อให้เคของส์มีการจมในระดับที่เท่ากัน
- ติดตั้ง Piezometer เพื่อใช้ตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินทำให้ทราบระดับน้ำใต้ดิน สามารถป้องกันการเกิด Seepage ที่เป็นสาเหตุให้เคของส์เอียงได้
- ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ให้ทั่วถึงในบริเวณที่มีการก่อสร้างเคของส์ ทำให้ทราบลักษณะชั้นดิน

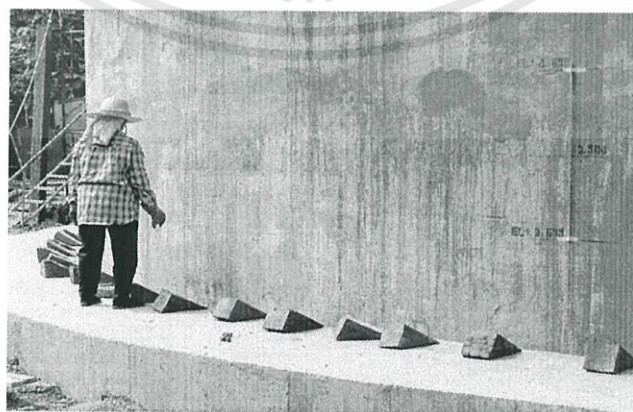
## 7.2.6 ปัญหาของสัจมเร็วเกินไป

ปัญหา ของสัจมเร็วเกินไปเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ข้อ คือ

- การที่เคของสัจมเร็วเกินไปเกิดจากการขุดดินภายในเคของสัจมากเกินไป ในการขุดดินภายในเคของสัจจะเป็นการลดแรงเสียดทานที่ผิวของเคของสัจทำให้น้ำหนักของตัวเคของสัจมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเคของสัจ เคของสัจจึงจมลงในชั้นดิน
- เกิดจากการที่เคของสัจอยู่ในชั้นดินอ่อน เช่น Soft Clay ทำให้น้ำหนักเคของสัจมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเคของสัจและแรงต้าน End Bearing ทำให้เคของสัจจมลงโดยน้ำหนักของตัวเคของสัจเอง โดยไม่ต้องใช้ Hydraulics Jack กด

แนวทางแก้ไขปัญหา ของสัจมเร็วเกินไปมี 3 วิธีคือ

- ควบคุมการขุดดินภายในเคของสัจอย่างระมัดระวัง คือการขุดดินออกต้องสัมพันธ์กับน้ำหนักของเคของสัจ และ Hydraulics Jack เพื่อไม่ให้เคของสัจมากเกินกว่าที่ต้องการ และควรมีการตรวจวัดระดับการจมเคของสัจอย่างสม่ำเสมอ
- ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ให้ทั่วถึงบริเวณพื้นที่ที่มีการก่อสร้างเคของสัจ เพื่อจะได้ทราบข้อมูลของชั้นดินได้อย่างถูกต้อง
- นำลิ้มไม้หนุนบริเวณรอบๆ ผนังเคของสัจเพื่อหยุดการจม

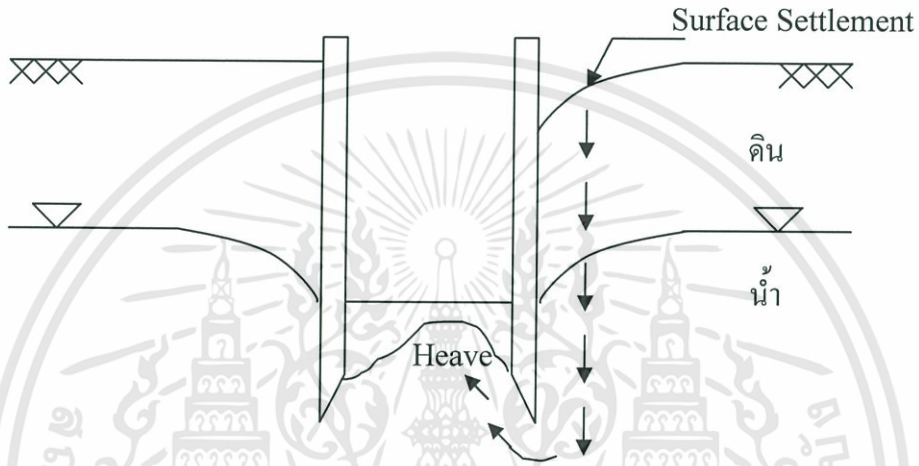


รูปที่ 7.6 การเตรียมลิ้มไม้เพื่อหยุดการจมเคของสัจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2.7 ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement)

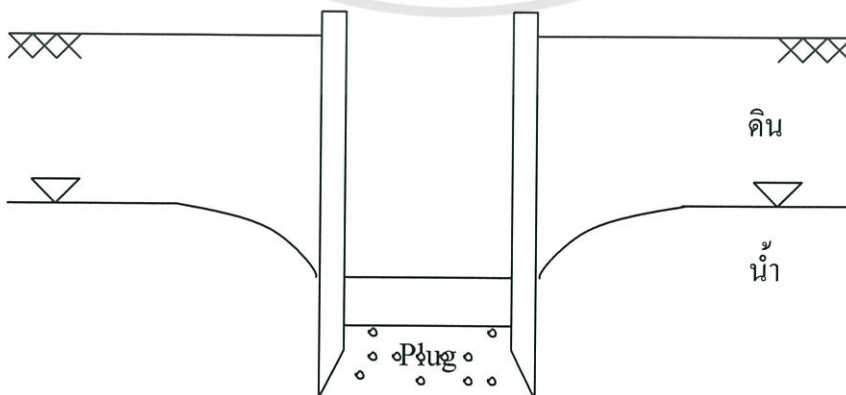
ปัญหา - ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement) เกิดจากการบวมตัวของดิน (Heave) บริเวณก้นบ่อเคของส่ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขุดดินหรือสูบน้ำภายในเคของส่ ออกมากเกินไป ทำให้มวลดินและระดับน้ำใต้ดินเสียมวลไป มวลดินและน้ำใต้ดินภายนอกเคของส่จึงไหลดันผ่านก้นเคของส่เข้ามาแทนที่ดินและน้ำที่นำออกไป



รูปที่ 7.7 ลักษณะการทรุดตัวของดิน

แนวทางการแก้ปัญหา การทรุดตัวของผิวดินทำได้ 2 วิธีคือ

- ติดตั้งอุปกรณ์ Inclinator และ Extensometer เพื่อวัดการเคลื่อนตัวในแนวราบและแนวตั้งตามลำดับ
- ทำการเทคอนกรีตอุด (Plug) ให้หนาขึ้นเพื่อป้องกันการบวมตัวของดิน (Heave)



รูปที่ 7.8 การเทคอนกรีตอุด (Plug) ป้องกันการทรุดตัวของผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.1 สรุปปัญหาในการก่อสร้างเขของส์และแนวทางการแก้ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์

ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์	แนวทางการแก้ปัญหา
<p><b>ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง</b></p> <p>จะเกิดจากการส่งคอนกรีตผสมสำเร็จจากโรงงาน ทางโรงงานก็จะส่งรถผสมคอนกรีตมายังหน้างานก่อสร้างซึ่งอาจติดปัญหาด้านการจราจรทำให้การเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ผิวคอนกรีตไม่เรียบและมีรอยต่อมาก</p>	<p>ใช้น้ำยา Retarder ผสมคอนกรีตเพื่อช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะช่วยให้การทำงานมีความสะดวกมากขึ้น</p>
<p><b>ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ</b></p> <p>เกิดจากการที่ต้องเทคอนกรีตใต้น้ำซึ่งในการเทจะมีคอนกรีตในปริมาณมากและไม่มีผู้เชี่ยวชาญในการเท จึงทำให้โฟมที่ฉีดเข้าไปรับน้ำหนักไม่อยู่อาจเกิดการแตกหัก ทำให้คอนกรีตผสมกับน้ำจึงทำให้คอนกรีตอุด (Plug) ไม่ได้กำลังตามที่ต้องการซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการบวมตัวของดิน (Heave)</p>	<p>บ่มคอนกรีตโดยสารเคลือบผิวคอนกรีต เช่น Curing Compound</p>
<p><b>ปัญหาในการบ่มเขของส์</b></p> <p>เกิดจากการที่คนงานหรือผู้ควบคุมงานดูแลการบ่มผิดวิธี ปล่อยปะละเลยในการบ่มคอนกรีต</p>	<p>ใช้การบ่มคอนกรีตโดยสารเคลือบผิวคอนกรีตและทำกำลังคอนกรีตให้ได้กำลังตามที่ต้องการ</p>
<p><b>ปัญหาผิวผนังเขของส์ไม่เรียบ</b></p> <p>การเทคอนกรีตบริเวณผนังเขของส์จะทำให้การเทโดยแบ่งเป็นชั้นๆ โดยมีSlip Form เป็นแบบหล่อคอนกรีต ซึ่งผิวคอนกรีตที่พื้นแบบออกมา (เมื่อแบบเลื่อนตัวขึ้น) จะไม่เรียบสนิทเหมือนแบบปกติจะมีรูพรุนบ้าง</p>	<p>ควรเพิ่มแรงงานแต่งผิวโดยใช้เกรียง โบกปูน ฟองน้ำ หรือ โฟม เป็นตัวแต่งปาดผิวให้เรียบตามต้องการ แต่ไม่ถึงกับเหมือนคอนกรีตเปลือยทีเดียว ถ้าต้องการผิวเรียบอาจจำเป็นต้องใช้ปูนทรายฉาบแต่งผิวควบคู่ไป</p>
<p><b>ปัญหาเขของส์เอียง</b></p> <p>ปัญหาหลักๆของเขของส์เอียงนี้มีอยู่ 3 แบบคือ</p>	<p>การแก้ปัญหาเขของส์เอียงมี 4 วิธีคือ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- จุดดินด้านตรงข้ามกับทิศที่เขของส์เอียง เพื่อให้เขของส์มีการจมในระดับที่เท่ากัน</li> </ul>

<p>- เกิดจากการขุดดินภายในเขของส์ในด้านใด ด้านหนึ่งมากเกินไปจนทำให้เขของส์เกิดการจม ไม่เท่ากัน ในการขุดดินภายในออกจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ลดน้อยลง เป็นผลให้น้ำหนักของเขของส์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ จึงเกิดการจมลงในดินที่ไม่เท่ากัน</p> <p>- เกิดจากน้ำและทรายไหลเซาะที่ก้นเขของส์ (Seepage) ในกรณีที่มีการสูบน้ำภายในเขของส์ ออกทำแรงดันน้ำใต้ดินภายนอกเขของส์พยายามดันเข้ามาภายในเขของส์ จึงทำให้ดินบริเวณ Cutting Shoe ทรุคตัวลงเป็นสาเหตุให้เขของส์เอียง</p> <p>- เกิดจากลักษณะของชั้นดินที่แตกต่างกัน</p>	<p>- ใช้ Hydraulics Jack กดในด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เขของส์เอียงเพื่อให้เขของส์มีการจมในระดับที่เท่ากัน</p> <p>- ติดตั้ง Piezometer เพื่อใช้ตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินทำให้ทราบระดับน้ำใต้ดิน สามารถป้องกันการเกิด Seepage ที่เป็นสาเหตุให้เขของส์เอียงได้</p> <p>- เจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ให้ทั่วถึงในบริเวณที่มีการก่อสร้างเขของส์</p>
<p><b>ปัญหาของส์จมเร็วเกินไป มี 2 ข้อหลักคือ</b></p> <p>- เกิดจากการขุดดินภายในเขของส์มากเกินไป ในการขุดดินภายในเขของส์จะเป็นการลดแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ทำให้น้ำหนักของตัวเขของส์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ เขของส์จึงจมลงในชั้นดิน</p> <p>- เกิดจากการที่เขของส์อยู่ในชั้นดินอ่อน ทำให้น้ำหนักของเขของส์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์และแรงด้าน End Bearing ทำให้เขของส์จมลงโดยน้ำหนักของตัวเอง โดยไม่ต้องใช้ Hydraulics Jack กด</p>	<p>การแก้ไขปัญหา เขของส์จมเร็วเกินไปมี 3 วิธีคือ</p> <p>- ควบคุมการขุดดินภายในเขของส์อย่างระมัดระวัง คือการขุดดินออกต้องสัมพันธ์กับน้ำหนักของเขของส์ และ Hydraulics Jack เพื่อไม่ให้เขของส์จมมากเกินไปที่ต้องการ และควรมีการตรวจวัดระดับการจมเขของส์อย่างสม่ำเสมอ</p> <p>- เจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ให้ทั่วถึงบริเวณพื้นที่ที่มีการก่อสร้างเขของส์ เพื่อจะได้ทราบข้อมูลของชั้นดินได้อย่างถูกต้อง</p> <p>- นำลิ้มไม้หนุนบริเวณรอบๆ ผนังเขของส์เพื่อหยุดการ</p>
<p><b>ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน</b></p> <p>เกิดจากการบวมตัวของดิน (Heave) บริเวณก้นบ่อเขของส์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขุดดินหรือสูบน้ำภายในเขของส์ออกมากเกินไป ทำให้มวลดินและระดับน้ำใต้ดินเสียสมดุลไป มวลดินและน้ำใต้ดินภายนอกเขของส์จึงไหลคั้นผ่านก้นเขของส์เข้ามาแทนที่ดินและน้ำที่นำออกไป</p>	<p>- ติดตั้งอุปกรณ์ Inclinometer และ Extensometer เพื่อวัดการเคลื่อนตัว</p> <p>- เท คอนกรีตอุด (Plug) ให้หนาขึ้นเพื่อป้องกันการบวมตัวของดิน (Heave)</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 8.1 ข้อสรุปของการศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคของส์ในประเทศไทย

จากการที่ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างเคของส์ การจมนเคของส์ พร้อมขั้นตอนการก่อสร้างของเคของส์ ซึ่งจะเห็นว่าในการออกแบบโครงสร้างเคของส์นั้นทางคณะผู้จัดทำได้นำเสนอทฤษฎีในการออกแบบเคของส์ วิธีการออกแบบเคของส์ พร้อมทั้งตัวอย่างในการออกแบบเคของส์ จะเห็นได้ว่ามีรายละเอียดที่ซับซ้อนต้องใช้เวลาในการออกแบบมาก ทางคณะผู้จัดทำจึงได้เขียนโปรแกรมในการออกแบบเคของส์เพื่อช่วยให้การออกแบบเคของส์มีความสะดวกมากขึ้นและช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบเคของส์

ในเรื่องการจมนเคของส์ทางคณะผู้จัดทำได้นำเสนอทฤษฎี วิธีการคิดคำนวณ พร้อมทั้งตัวอย่างการคำนวณการจมนเคของส์ในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด มีรูปภาพประกอบการคำนวณทำให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะการจมนของเคของส์ได้อย่างง่ายดาย

ส่วนขั้นตอนการก่อสร้างเคของส์นั้นทางคณะผู้จัดทำได้เข้าไปศึกษาจากงานก่อสร้างเคของส์ที่กำลังก่อสร้างอยู่ในปัจจุบัน คือโครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ทำให้เห็นถึงขั้นตอนการก่อสร้างอย่างละเอียด ซึ่งทางคณะผู้จัดทำก็ได้รวบรวมข้อมูลที่ได้นำมาเสนอในโครงการพิเศษนี้ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

จากที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทำศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างเคของส์ได้พบปัญหาหลักๆ ในการก่อสร้างเคของส์ดังนี้

- ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง
- ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ
- ปัญหาในการบ่มเคของส์
- ปัญหาผิวผนังเคของส์ไม่เรียบ
- ปัญหาเคของส์เอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาของสัจจเร็วเกินไป
- ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน

## 8.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมออกแบบเขของสัจจยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเวลาในการทำโครงการพิเศษ ดังนั้นเมื่อมีผู้สนใจพัฒนาโปรแกรมต่อไป ทางคณะผู้จัดทำขอให้ออกข้อเสนอแนะดังนี้

- 1.ควรมีวิธีใช้งานอยู่ในตัวโปรแกรม เพื่อเวลาเกิดปัญหาในการใช้โปรแกรมสามารถเรียกดูวิธีใช้งานได้ทันที
2. ในโปรแกรมออกแบบเขของสัจจควรมีการออกแบบช่องเปิดของผนังเขของสัจจ เพื่อต่อกับอุโมงค์ใต้ดิน



## บรรณานุกรม

- มณฑิเยร กังศิเทียม ,2543 . กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- ผศ.ร.ต.หญิง วรณี สุขสาคร , 2545 . วิศวกรรมฐานราก : โพรเพซ
- ดร.บุญเทพ นานะกรังสรรค์ , 2538 . FOUNDATION ENGINEERING AND TUNNELLING : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- อ.สมเกียรติ ขวัญฤกษ์ . วิศวกรรมฐานราก และการออกแบบ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร
- ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร
- Tomlinson, 1975. Foundation Design and Construction
- Vijaya Singh, 1970 . Wells And caissons : N.C JAIN AT THE ROORKEE PRESS