

ตำราออกแบบคาน้ำลอด พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คู่มือและซอฟต์แวร์ออกแบบคาน้ำลอด
CAISSON DESIGN HANDBOOK AND SOFTWARE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CAISSON DESIGN HANDBOOK AND SOFTWARE



MR. DUMRONGSAK MORATSATHIAN
MR. NETIRUT MAIKHUNTHOD
MR. KITSUMATE PUMMARIN

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

2005




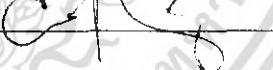
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเลขของสี่ในประเทศไทย
นักศึกษา นายดำรงศักดิ์ โมรัมย์เรือง รหัสนประจำตัว 45010268
นายเนติรัช มายขุนทด รหัสนประจำตัว 45010412
นายกิจสุเมธ พุ่มมะริน รหัสนประจำตัว 45010903
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบหัวข้อโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.สุพจน์ ศรีนิล	
ผศ.ดร.สุชัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์	
อ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	
อ.ถนอม ศรีวรา	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(ผศ. สุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 30 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคของส์ในประเทศไทย CAISSON DESIGN HANDBOOK AND SOFTWARE
นักศึกษา	นายดำรงศักดิ์ โมริชัย นายเนติรัช มายขุนทด นายกิจสุเมธ พุ่มมะริน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุชัยวีร์ สุวรรณสวัสดิ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2548

บทคัดย่อ

การพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมในปัจจุบัน ได้มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วก่อให้เกิดปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาการจัดการทรัพยากรไม่เพียงพอต่อความต้องการที่เพิ่มขึ้น ปัญหาการจราจรติดขัดซึ่งนับเป็นปัญหาที่เรื้อรังที่หลายฝ่ายได้พยายามช่วยกันคลี่คลายและแก้ไข ซึ่งปัญหาต่าง ๆ นั้นสามารถแก้ไขได้โดยการจัดการทรัพยากรที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการเติบโตของสังคมและมีความจำเป็นต้องเพิ่มสภาพาสัญจรเพื่อธุรกรรมและกิจกรรมต่างๆ

เนื่องจากความหนาแน่นของสิ่งปลูกสร้างในปัจจุบันได้มีความหนาแน่นสูงจึงมีการก่อสร้างก่อสร้างได้ดินเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้นเป็นจำนวนมาก เช่น การก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำ การก่อสร้างรถไฟฟ้ามหานคร เป็นต้น ซึ่งล้วนแต่เป็นการก่อสร้างได้ดินที่มีความลึกมาก ดังนั้นเคของส์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ เนื่องจากเป็นทางเข้า-ออกของหัวเจาะและเป็นทางลำเลียงดินที่ขุดออกมา รวมถึงเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นช่องทางระบายอากาศ (Ventilation) ในระหว่างการก่อสร้างอีกด้วย แต่เนื่องจากในปัจจุบันความรู้ในการออกแบบและก่อสร้างเคของส์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย และยังไม่เคยมีการศึกษาโดยละเอียดมาก่อน ทางคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการศึกษาลักษณะการออกแบบและก่อสร้างเคของส์ในรูปแบบวงกลมเพียงอย่างเดียวบนพื้นดิน พร้อมทั้งศึกษาปัญหาและวิธีแก้ไขจากการก่อสร้างเคของส์เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับผู้สนใจและยังได้พัฒนาโปรแกรมออกแบบเคของส์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : CAISSON DESIGN HANDBOOK AND SOFTWARE
Name : MR DUMRONGSAK MORATSATHAN
MR. NATIRUT MAIKHUNTHOD
MR. KITSUMATE PUMMARIN
Field : CIVIL ENGINEERING
Department : CIVIL ENGINEERING
Faculty : ENGINEERING
Advisor : ASST.PROF.SUCHATVEE SUWANSAWAT

ABSTRACT

Nowadays, economic and social development have been growing rapidly and can cause many problems, for instance infrastructure that is not sufficient for the needs which is rising, and traffic control that many officials try to get through this problem. Otherwise, all problems can be solved by preparing suitable and enough infrastructures for social growth and the needs for communications and activities.

According to the constructions these days, constructing underground construction is a choice to figure out the problems. For example, constructing the water tunnel and Mass Rapid Transit (MRT) They are the constructions that are easily drained, so caisson is a way which is proper to use with constructing a tunnel because it is the entry and exit way of the screw and the way to deliver the soil and all instruments using in the construction. In addition, caisson is also ventilation during the construction. Caisson is not really a well-known construction and not many people have studied it in details. Our study group has notice that it would be better if we get started to study the design and construction of caisson for being a source of information for people who are interested in, and also we have developed an efficient program for caisson construction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ อีกทั้งท่านยังได้สละเวลาอันมีค่าที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ จนทำให้โครงการพิเศษนี้ได้รับบรรลุวัตถุประสงค์ได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุพจน์ ศรีนิล , อ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ และ อ.ถนอม ศรีวรษา ซึ่งเป็นกรรมการคุมสอบโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่มีประโยชน์ต่างๆต่อการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านวิศวกรรม ทำให้สามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในโครงการพิเศษได้เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้การเลี้ยงดู ดูแลเอาใจใส่ และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลาเสมอมา ตลอดจนเพื่อนๆ เพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำโครงการพิเศษฉบับนี้

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษฉบับนี้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการฉบับนี้จะเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการออกแบบและก่อสร้างสำหรับงานเกษตรศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

นายดำรงศักดิ์ โมรัมย์เชิฐ

นายเนติรัช มายขุนทด

นายกิจสุเมธ พุ่มมะริน

ผู้ประพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฎ
	สารบัญรูป	ฏ
	คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ/คำนิยามศัพท์	ด
1	บทนำ	
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.2 ความหมายของเลขของส์	1
	1.3 ส่วนประกอบของเลขของส์	1
	1.4 ประเภทของเลขของส์	4
	1.4.1 เลขของส์ที่ก่อสร้างบนดิน	4
	1.4.2 เลขของส์ที่ก่อสร้างบนน้ำ	4
	1.5 เลขของส์ในประเทศไทย	6
	1.6 ที่มาของปัญหา	7
	1.7 วัตถุประสงค์	7
	1.8 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	7
2	การออกแบบโครงสร้างเลขของส์	
	2.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของดิน	8
	2.1.1 ทฤษฎีของ Terzaghi (1943)	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
	2.5 การออกแบบน้ำหนักบรรทุก (Design Loads)	17
	2.6 การออกแบบและการวิเคราะห์เคของส์	18
	2.6.1 แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก	18
	2.7 การออกแบบวงแหวนของเคของส์-สถานะประลัย (Ultimate Limit State)	18
	2.8 การออกแบบวงแหวนของเคของส์-สถานะใช้งาน (Serviceability Limit State)	20
	2.9 การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์	20
	2.10 การออกแบบฐานพื้น (Base slab)	21
	2.11 สถิติสภาพของเคของส์-การบูด	21
	2.12 สถิติสภาพของเคของส์-การยกขึ้น (Factor of Safety)	22
3	การออกแบบเหล็กเสริม	
	3.1 วิธีการออกแบบเสาสั้นโดยวิธี USD	24
	3.1.1 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงอัด	26
	3.1.2 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงดึง	29
	3.1.3 เหล็กรับแรงเฉือน	31
4	ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเคของส์	
	4.1 แผนผังการออกแบบ	32
	4.2 ตัวอย่างการออกแบบเคของส์	33
	4.2.1 โครงการ Khlong Pi-Sing-To station and Rama IV station	33
	4.2.2 โครงการ Preliminary Design of Shaft for Khlong San-Saep Station	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	การจมน้ำของส	
5.1	อธิบายการจมน้ำ	61
5.1.1	แรงจมน้ำหนัก	61
5.1.2	แรงจมน้ำจาก Hydranlic Jack	62
5.1.3	แรงเสียดทาน (Frictional Resistance)	63
5.1.4	แรงต้าน End Bearing (End Bearing Resistance)	64
5.1.5	การออกแบบ Cutting Shoe	64
5.2	ตัวอย่างการคำนวณ	65
5.2.1	สภาพดิน (Soil Condition)	65
5.2.2	ขนาดของส	67
5.2.3	แรงจมน้ำหนัก	67
5.2.4	แรงเสียดทาน	68
5.2.5	แรงต้าน End Bearing	69
6	ขั้นตอนการก่อสร้างของส	
6.1	รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างของส	91
6.1.1	เตรียมพื้นที่หน้างานก่อนก่อสร้างของส	91
6.1.2	งานก่อสร้างของส	96
6.1.3	วิธีการจมน้ำของส	97
6.1.4	วิธีการขุดดิน	98
6.1.5	Lubrication PIPE.	99
6.1.6	เครื่องจักรใช้งานในการก่อสร้างของส	100
6.1.7	วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างของส	103
6.1.8	งานคอนกรีต	103
6.2	ขั้นตอนการก่อสร้างของส	104

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
7	Lab Monitoring.	
	7.1 ความหมาย	114
	7.1.1 Piezometer .	114
	7.1.2 Inclinator.	118
	7.1.3 Extensometer.	121
8	ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์	
	8.1 กล่าวนำ	123
	8.2 ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์	123
	8.2.1 ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง	123
	8.2.2 ปัญหาการเทคอนกรีตได้น้ำ	124
	8.2.3 ปัญหาในการบ่มเขของส์	125
	8.2.4 ปัญหาผิวหน้าเขของส์ไม่เรียบ	125
	8.2.5 ปัญหาเขของส์เอียง	126
	8.2.6 ปัญหาเขของส์จมเร็วเกินไป	128
	8.2.7 ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement)	129
9	โปรแกรมในการออกแบบเขของส์	
	9.1 กล่าวนำ	132
	9.2 วัตถุประสงค์	132
	9.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมออกแบบเขของส์	132
	9.4 ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรม	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
10	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	
	10.1 ข้อสรุปของการศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคชองส์ในประเทศไทย	141
	10.2 ข้อเสนอแนะ	142
	บรรณานุกรม	143



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ค่า Bearing Capacity Factors	11
2.2	สัมประสิทธิ์ของแรงดันดินแบบอยู่กับที่	16
4.1	แรงดันoverburdensรวมที่ระดับความลึกต่างๆ	34
4.2	แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ	34
4.3	น้ำหนักรวมทั้งหมด	35
4.4	การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด	36
4.5	Bending Moment และ Axial Force รวม	37
4.6	แรงดันoverburdensรวมที่ระดับความลึกต่างๆ	48
4.7	แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ	48
4.8	น้ำหนักรวมทั้งหมด	49
4.9	การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด	50
4.10	Bending Moment และ Axial Force รวม	51
8.1	สรุปปัญหาในการก่อสร้างเขตรองส์และแนวทางการแก้ปัญหาในการก่อสร้างเขตรองส์	130

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	ส่วนประกอบของเคชองส์	2
1.2	ลักษณะเสาเข็ม	2
1.3	ลักษณะ Ring Beam	3
1.4	การเท Concrete Plug	4
1.5	การก่อสร้างเคชองส์บนดิน	5
1.6	การก่อสร้างเคชองส์บนน้ำ	5
1.7	การก่อสร้างเคชองส์โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบ และคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา	6
2.1	สมมติฐานของ Terzaghi	9
2.2	รายละเอียด Cutting Shoe	12
2.3	กราฟระหว่าง S_u กับ α	13
2.4	แรงต้านทานปลายเคชองส์	14
2.5	แรงดันดินแบบ Active และ Passive	15
2.6	แรงดันดินแบบอยู่กับที่	15
2.7	จุดวิกฤตและลักษณะของแรงที่กระทำต่อผนังเคชองส์	19
2.8	แรงที่เกิดขึ้นภายในเคชองส์	19
2.9	กราฟระหว่าง S_u กับ α	23
3.1	การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดภายใต้ผลรวมของแรงดัด และแรงตามแกน	25
3.2	สมมติฐานของ Whitney สภาวะภายใต้อิทธิพลของแรงอัด	28
4.1	ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเคชองส์	32
4.2	คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเคชองส์	33
4.3	การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe	39
4.4	การเสริมเหล็กที่ผนังเคชองส์	40
4.5	ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.6	ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด	41
4.7	การเสริมเหล็กในผนังคานของช่องช่วงช่องเปิดของอุโมงค์	44
4.8	แบบการเสริมเหล็กคานของช่อง	46
4.9	คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของคานของช่อง	47
4.10	การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe	53
4.11	การเสริมเหล็กที่ผนังคานของช่อง	54
4.12	ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์	55
4.13	ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด	55
4.14	การเสริมเหล็กในผนังคานของช่องช่วงช่องเปิดของอุโมงค์	58
4.15	แบบการเสริมเหล็กคานของช่อง	60
5.1	ขนาดคานของช่อง	61
5.2	แรงจุมจาก Jacking Force	62
5.3	ลักษณะแรงเสียดทาน	63
5.4	ลักษณะชั้นดิน	66
5.5	ลักษณะคานของช่อง	67
5.6	แรงค้ำ End Bearing	69
5.7	การจุมขั้นที่ 1	74
5.8	การจุมขั้นที่ 2	76
5.9	การจุมขั้นที่ 3	78
5.10	การจุมขั้นที่ 4	80
5.11	การจุมขั้นที่ 5	82
5.12	การจุมขั้นที่ 6	84
5.13	การจุมขั้นที่ 7	86
5.14	การจุมขั้นที่ 8	88
5.15	การจุมขั้นที่ 9	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.1	การรื้อย้ายซากวัสดุเก่าออก	91
6.2	การวางตำแหน่ง Center Line	92
6.3	การตอก H.BEAM ทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ทำ Support ของ Jacking Frame และตอก H.BEAM โดยรอบเพื่อรับน้ำหนัก Ring BEAM	92
6.4	การตั้งแบบ ผูกเหล็ก Ring BEAM	93
6.5	การเทคอนกรีต Ring BEAM	93
6.6	ลักษณะ Ring BEAM	94
6.7	การปรับระดับดินภายใน Ring BEAM	94
6.8	การติดตั้ง Jacking Frame	95
6.9	การติดตั้ง Cutting Shoe	95
6.10	การติดตั้ง Form Work ของ Slip Form พร้อมผูกเหล็กผนังบ่อพัก	96
6.11	การเทคอนกรีต Wall ของบ่อ	96
6.12	การขุดดินภายในเคชองส์	97
6.13	การจมเคชองส์โดย Hydraulic Jack	97
6.14	การขุดดินโดยใช้ Crawler Crane ที่มี Clamp-Shell	98
6.15	การใช้ไม้หนุนเพื่อหยุดการจมเคชองส์	99
6.16	ลักษณะท่อ Lubrication PIPE	99
6.17	ลักษณะ Bentonite	100
6.18	Crawler Crane.	100
6.19	Dump Truck 6 Well.	101
6.20	Water Truck.	101
6.21	Clamp-Shell Hydraulic.	102
6.22	Hydraulic Jack.	102
6.23	การก่อสร้างเคชองส์ชั้นที่ 1 และ 2	104
6.24	การก่อสร้างเคชองส์ชั้นที่ 3	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
6.25	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 4	106
6.26	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 5	107
6.27	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 6	108
6.28	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 7	109
6.29	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 8	110
6.30	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 9	111
6.31	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 10	112
6.32	การก่อสร้างเลขของสั้ชั้นที่ 11 และ 12	113
7.1	ลักษณะหัวและเครื่องอ่านค่าของ Piezometer	115
7.2	การติดตั้ง Piezometer	115
7.3	การติดตั้ง Piezometer	116
7.4	รายละเอียดการติดตั้ง Piezometer	117
7.5	อุปกรณ์ของเครื่อง inclinometer	118
7.6	Inclinometer in Caisson Wall ติดตั้งในเลขของสั้	119
7.7	Inclinometer in Ground	119
7.8	รายละเอียดการติดตั้ง Inclinometer in Caisson Wall	120
7.9	อุปกรณ์ของเครื่อง Extensometer	121
7.10	การติดตั้งเครื่อง Extensometer	121
7.11	รายละเอียดการติดตั้งเครื่อง Extensometer	122
8.1	การเทคอนกรีตอุด(Plug) ใต้น้ำ	124
8.2	วิธีแก้ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ	124
8.3	ปัญหาผิวเลขของสั้ไม่เรียบ	125
8.4	วิธีแก้ปัญหาผิวเลขของสั้ไม่เรียบ	126
8.5	การเรียงของเลขของสั้	127
8.6	การเตรียมลิ่มไม้เพื่อหยุดการจมเลขของสั้	128
8.7	ลักษณะการทรุดตัวของดิน	129
8.8	การเทคอนกรีตอุด (Plug) ป้องกันการทรุดตัวของผิวดิน	129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
9.1	หน้าจอต้อนรับ	133
9.2	การใส่ค่าคุณสมบัติของชั้นแต่ละชั้น	134
9.3	การใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ,ขนาดเคของส	135
9.4	เลือกขนาดเหล็กเสริม,คุณสมบัติอื่น	136
9.5	ลักษณะของชั้นดิน	137
9.6	ผลการคำนวณ	138
9.7	ผลการคำนวณ	139
9.8	ผลการคำนวณ	140



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

ความหมาย

γ	ความหนาแน่นของดิน
ϕ	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
γ_w	ความหนาแน่นน้ำ
h	ความลึก
R	รัศมี
C	ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)
N_u	แรงในแนวแกนอัดประลัย
N_c	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
α	อัตราที่คูณไว้ของแรงยึดเหนี่ยว(adhesion factor)
N	Standard penetration test (SPT)
A	พื้นที่ผิว
N_q	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
N_c	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
N_γ	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

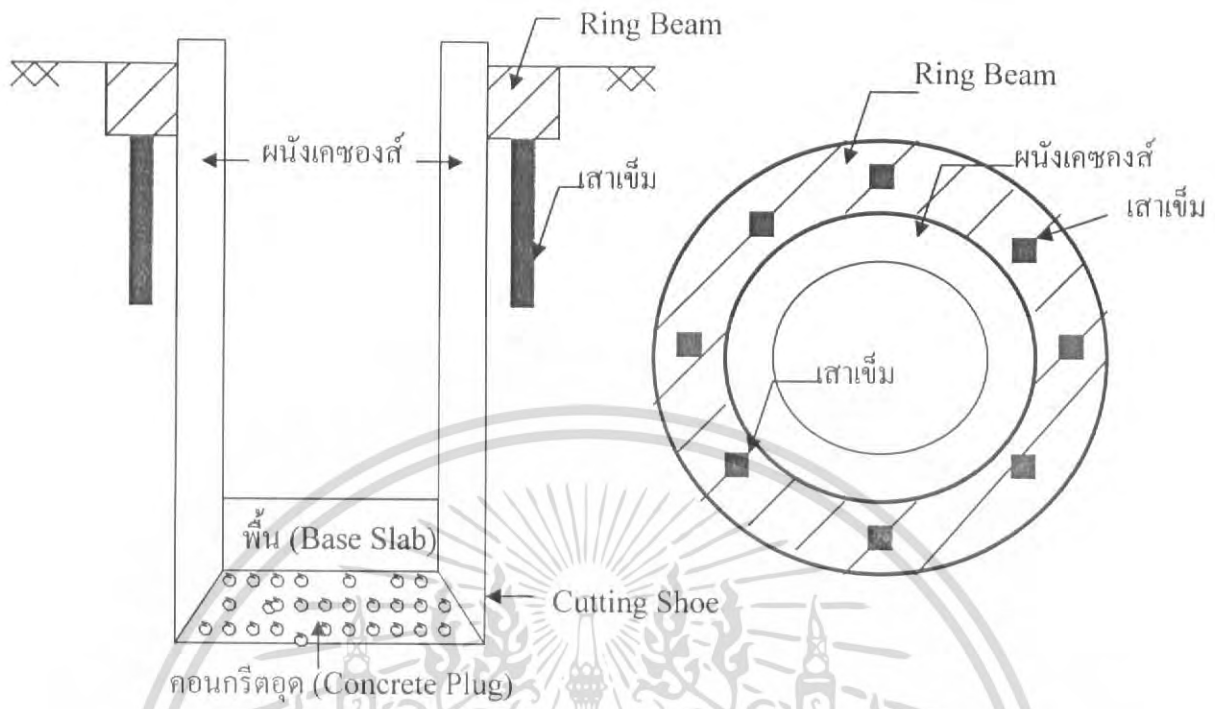
เนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน ส่วนใหญ่มักจะทำการก่อสร้างที่มีความลึกมาก ๆ สามารถเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้างได้หลายรูปแบบ เช่น โคอะเฟรมวอลล์ secant pile เคของส์ การเลือกใช้เทคนิควิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของชั้นดิน ระดับน้ำใต้ดิน และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อโครงสร้างบริเวณใกล้เคียงขณะทำการก่อสร้าง เคของส์ก็เป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน เพราะเคของส์นั้นสามารถทำการก่อสร้างจนถึงระดับความลึกที่โครงสร้างใต้ดินต้องการได้ การใช้เคของส์จะไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ออาคารข้างเคียง และไม่ก่อให้เกิดสภาวะทางเสียงเนื่องจากไม่มีการตอกของป็นจัน

1.2 ความหมายของเคของส์

เคของส์คือกำแพงกันดินชนิดหนึ่ง ซึ่งก่อสร้างทั้งอยู่บนพื้นดินและอยู่ในน้ำและให้น้ำหนักของตัวมันเองกดทับ ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการก่อสร้างอุโมงค์ เนื่องจากเป็นทางเข้าออกของหัวเจาะและเป็นทางลำเลียงดินที่ขุดออกมา รวมถึงเครื่องมือ วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการก่อสร้าง นอกจากนี้ยังเป็นช่องทางระบายอากาศ (Ventilation) ในระหว่างก่อสร้างอีกด้วย

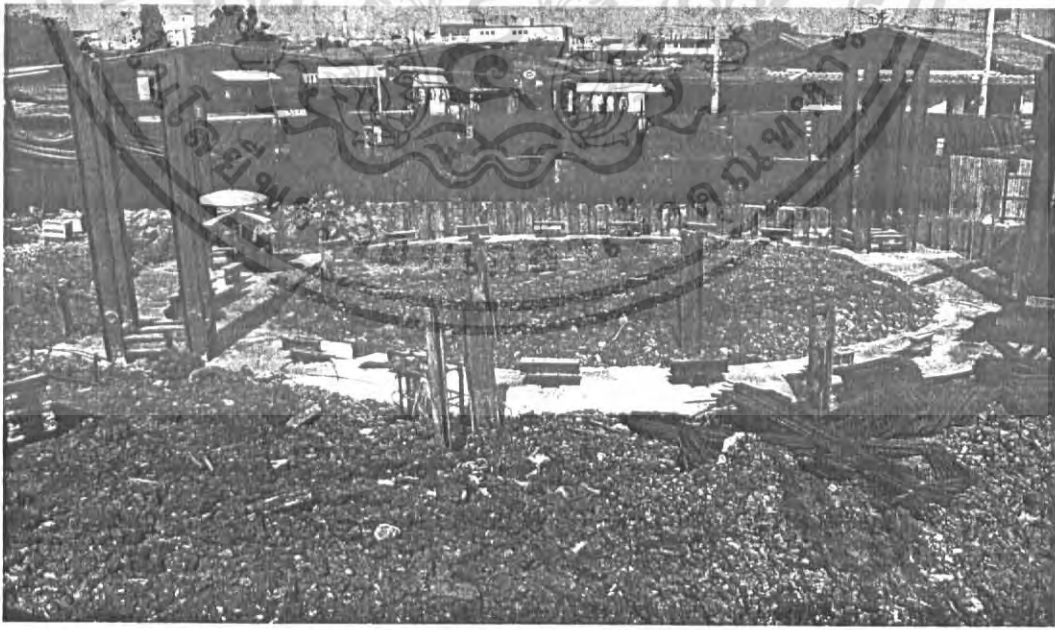
1.3 ส่วนประกอบของเคของส์

เคของส์เป็นสิ่งก่อสร้างที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของเคของส์มีดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของเคชองส์

เสาเข็ม
ทำหน้าที่รองรับ Ring Beam



รูปที่ 1.2 ลักษณะเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ring Beam

ทำหน้าที่ควบคุมการจมของคานของสัให้อยู่ในแนวที่กำหนด



รูปที่ 1.3 ลักษณะ Ring Beam

ผนังคานของสั

เป็นส่วนประกอบหลักของคานของสั ทำหน้าที่ต้านทานแรงดันด้านข้างที่เกิดจากดินและน้ำ ป้องกันการซึมผ่านของน้ำจากภายนอก

Cutting Shoe

Cutting Shoe จะอยู่บริเวณส่วนปลายของคานของสั ลักษณะปลายแหลมขึ้นอยู่กับชนิดของชั้นดินที่คานของสัผ่าน Cutting Shoe จะทำหน้าที่ช่วยให้การจมคานของสัง่ายขึ้น

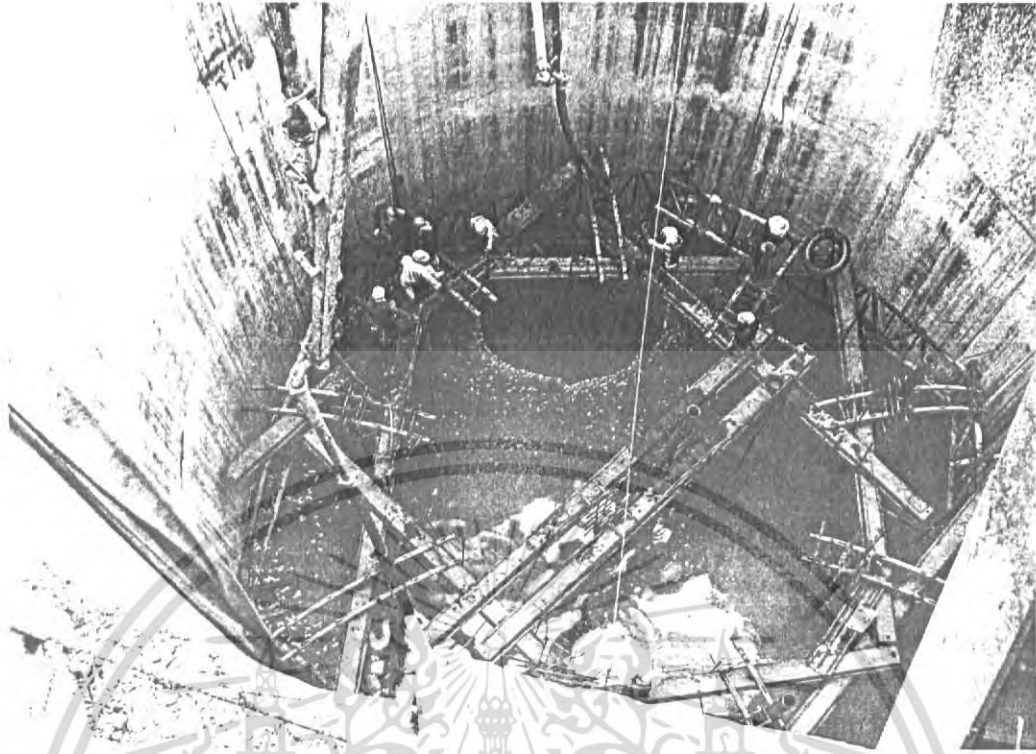
พื้น (Base Slab)

ทำหน้าที่เป็นพื้นฐานให้กับคานของสัช่วยป้องกันน้ำจากภายนอก

คอนกรีตอุด (Concrete Plug)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 การเท Concrete Plug

1.4 ประเภทของเคชองส์

ประเภทของเคชองส์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เคชองส์ที่ก่อสร้างบนดิน และเคชองส์ที่ก่อสร้างบนน้ำ

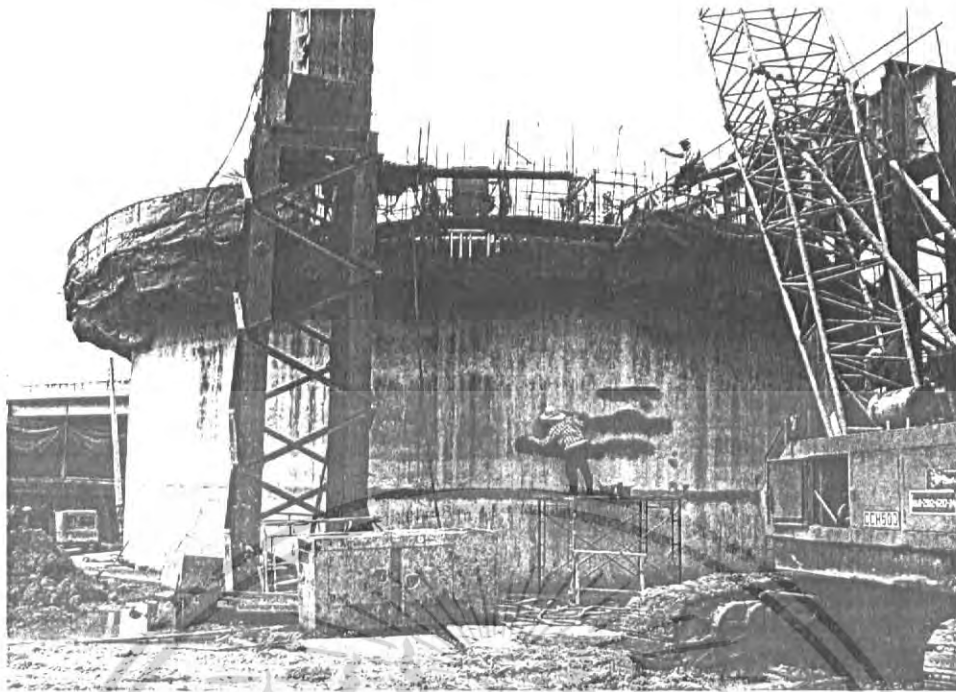
1.4.1 เคชองส์ที่ก่อสร้างบนดิน

เป็นการก่อสร้างเคชองส์ที่ก่อสร้างบนพื้นดิน โดยขั้นตอนการก่อสร้างต่างๆจะทำบนพื้นดิน และการกวดเคชองส์ลงไปในดิน ส่วนใหญ่ใช้ในการก่อสร้างที่เป็นทางเข้าหรือออกของหัวเจาะอุโมงค์ที่จะทำการก่อสร้างอุโมงค์ใต้ดินต่อไป

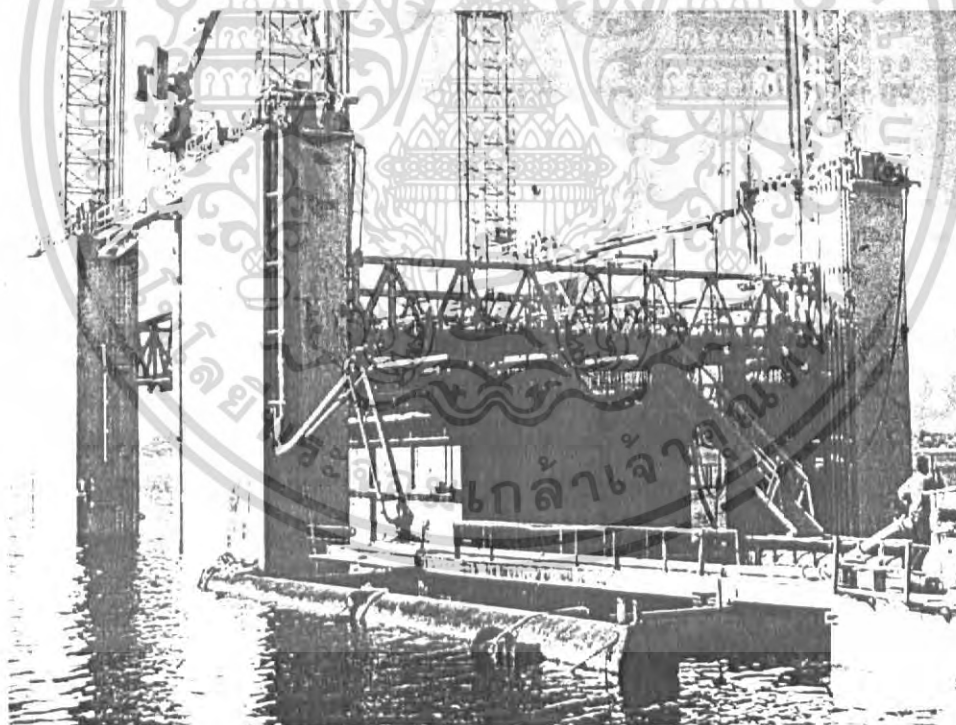
1.4.2 เคชองส์ที่ก่อสร้างบนน้ำ

เป็นการก่อสร้างเคชองส์ที่ก่อสร้างในน้ำ ส่วนมากจะก่อสร้างบนเรือก่อนที่เรียกว่า Dolphin Dock ซึ่งจะเป็นเรือเหล็กท้องแบนที่มี crane อยู่ด้านข้าง ซึ่งเคชองส์ที่อยู่ในน้ำนี้ เป็นส่วนประกอบของตอม่อสะพาน หรือใช้ทำเป็นเสาหลักของที่ขุดเจาะบ่อน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.5 การก่อสร้างเขของสันดิน

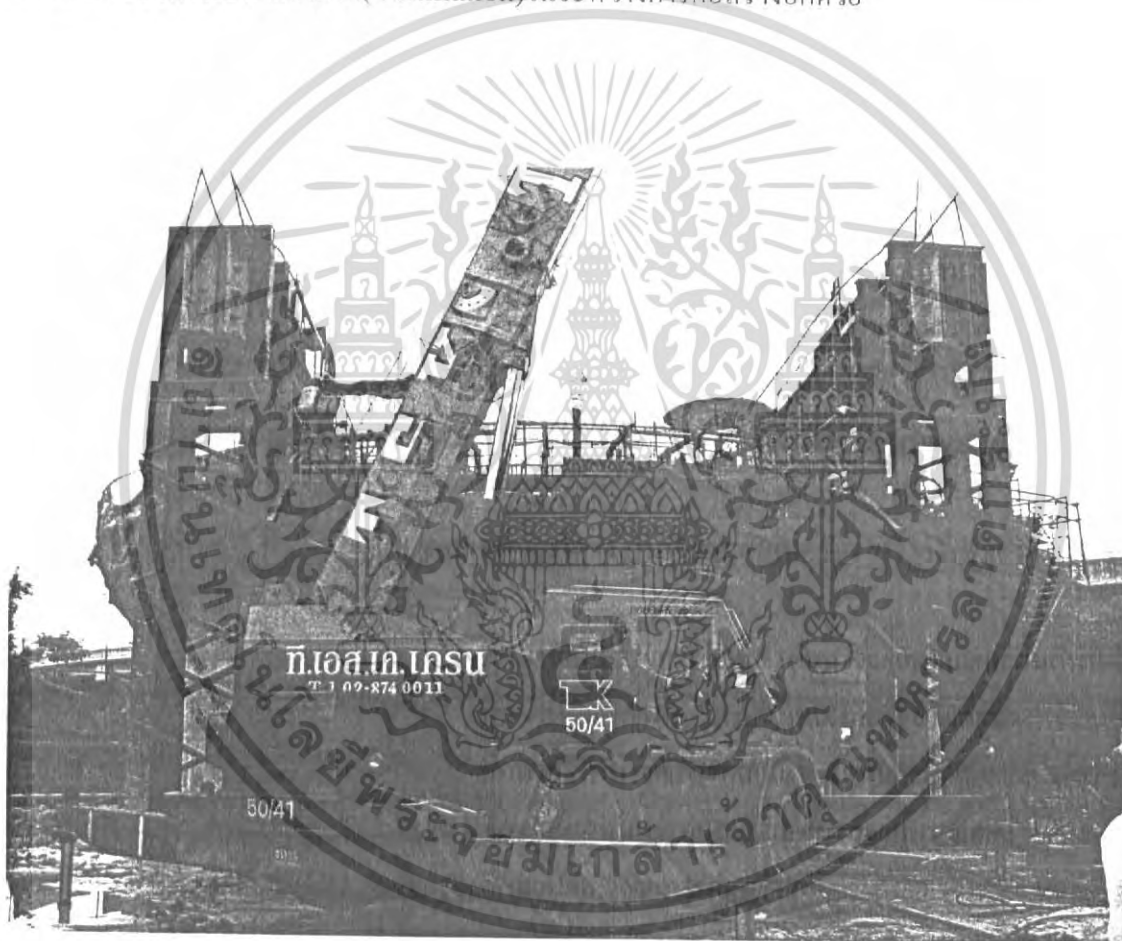


รูปที่ 1.6 การก่อสร้างเขของสันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 เคชองส์ในประเทศไทย

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



รูปที่ 1.7 การก่อสร้างเคชองส์

โครงการก่อสร้างอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันในประเทศไทยได้เริ่มมีการก่อสร้างเคชองส์มากขึ้น เช่น การก่อสร้างบ่อ
อำนวยการก่อสร้างอุโมงค์ ท่อส่งน้ำประปา โครงการบำบัดน้ำเสียคลองด่าน เป็นต้น ซึ่งการก่อสร้างใน
แต่ละอย่างก็ล้วนมีปัญหาและวิธีการการก่อสร้างที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานที่บริเวณที่ทำการก่อสร้าง

ดังนั้นการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบ และวิธีการก่อสร้างจากการ
ก่อสร้างจริง จะช่วยให้ผู้ที่ต้องการหาข้อมูลเคชองส์ มีแหล่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถนำไปใช้
ในงานก่อสร้างได้

1.7 วัตถุประสงค์

1. เก็บรวบรวมข้อมูลของปัจจัยในการก่อสร้างเคชองส์
2. ศึกษาทฤษฎีและวิธีที่ใช้ในการออกแบบเคชองส์ในปัจจุบัน
3. พัฒนาโปรแกรมออกแบบเคชองส์ให้สามารถนำมาใช้ในการก่อสร้างจริงได้
4. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุเพื่อนำมาปรับปรุงโปรแกรมออกแบบเคชองส์ให้
สามารถใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น
5. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในงานก่อสร้างเคชองส์พร้อมทั้งเสนอแนะวิธีแก้ไข

1.8 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- ศึกษาข้อมูลรายละเอียดการก่อสร้างเคชองส์บนพื้นดินที่ผ่านมาแล้วในประเทศไทย
- ศึกษาเคชองส์ในรูปแบบวงกลมเพียงอย่างเดียว
- ศึกษาการคำนวณการออกแบบเคชองส์
- ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างเคชองส์จากการก่อสร้างจริง
- ศึกษาปัญหาจากการก่อสร้างเคชองส์

บทที่ 2

การออกแบบโครงสร้างเคของส

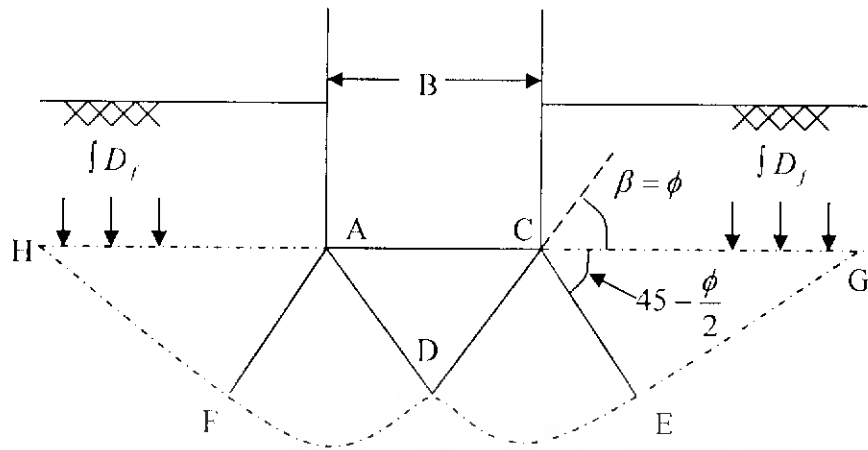
2.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลยของดิน

ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการที่นำมาใช้ในการพิจารณาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลยของดินรองรับฐานราก (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 ϕ กับแนวราบ(นั่นคือ $\beta = \phi$) และ shear strength ใน plastic zone เกิดขึ้นสมำเสมอบน 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, $q = \gamma D_f$



$$\hat{A}C'D = \hat{C}AD = \beta = \phi \qquad \hat{E}C'G = \hat{F}AH = 45^\circ - \frac{\phi}{2}$$

รูปที่ 2.1 สมมติฐานของ Terzaghi

ข้อสมมติฐานของ Terzaghi ตามรูปที่ 2.1 มีดังนี้

1. เหมาะสำหรับฐานรากที่มีความกว้างมากกว่าความลึกของฐานราก ($D \leq B$)
2. ค่าของมุม α หรือ CAD และมุม ACD มีค่าเท่ากับ Angle of Friction ของดิน
3. ไม่คำนึงถึงค่า Shear Resistance ของดินตามแนวพิบัติ GI กับ HJ

บริเวณของความพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินใต้ฐานราก Strip Foundation (ฐานรากที่มีความกว้างน้อยกว่าความลึกของฐานราก) มี 3 ส่วน คือ

- ส่วนที่ 1 เป็นรูปสามเหลี่ยมใต้ฐานรากรูป ACD (Triangular Zone)
- ส่วนที่ 2 เป็นบริเวณของแรงเฉือน รูปสามเหลี่ยม ADF และ CDE
- ส่วนที่ 3 เป็นบริเวณของแรง Rankine Pressure AFH และ CEG

และจาก Equilibrium Analysis ได้สมการพื้นฐานของค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินรองรับฐานราก (Ultimate Bearing Capacity of soil, q_u) คือ

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

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)

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

เมื่อ N_c, N_q, N_γ = ค่า Bearing Capacity Factors ซึ่งเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตาม Angle of Friction ดังตาราง 2.1

γ = Unit weight ของดินใต้ฐานราก

ϕ = ค่า Angle of Friction ของดินใต้ฐานราก

c = ค่า Cohesion ของดินใต้ฐานราก

K_p = ค่า Rankine Coefficient of passive Earth Pressure

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

q = ค่า Surcharge จากดินที่อยู่เหนือระดับล่างฐานราก

$$= \gamma D_f$$

B = ขนาดความกว้างของฐานราก

L = ขนาดความยาวของฐานราก

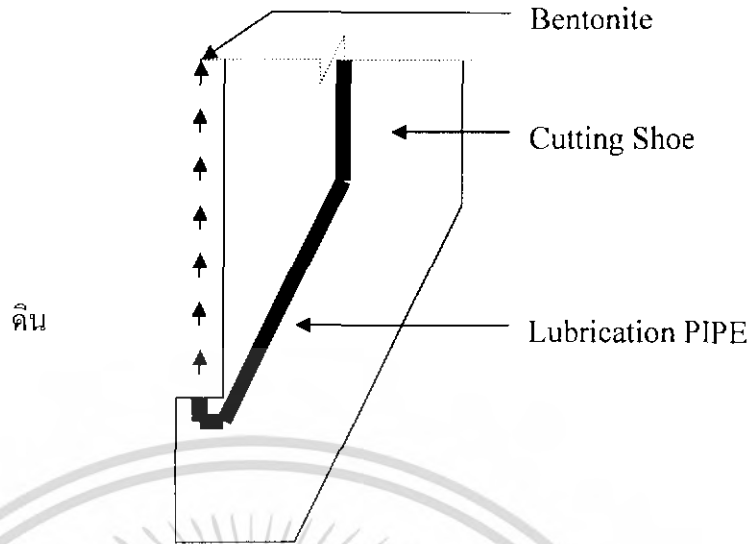
ตารางที่ 2.1 ค่า Bearing Capacity Factors

ϕ , deg	N_c	N_q	N_γ
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)

ในการออกแบบเสาเข็มจำเป็นต้องพิจารณาถึงแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้หน้าทับบรรทุกคงที่ในการถมเสาเข็มแรงเสียดทานที่ผิวควรจะไม่ต้องประเมินค่าเกินไปเมื่อเสาเข็มผ่านชั้นดินเหนียวและชั้นดินทราย ขนาดของแรงเสียดทานจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นดินและความลึกของชั้นดิน

ปัจจุบันการออกแบบเสาเข็มได้มีการพัฒนาขึ้นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดที่ผิวของเสาเข็ม โดยการจัดให้โครงสร้างของ cutting shoe และผนังของเสาเข็มมีช่องว่างประมาณ 5 เซนติเมตร แล้วทำการฝังท่อเพื่อฉีดสารที่ใช้ในการหล่อลื่น (bentonite) รอบๆ ผนัง เมื่อมีการถมเสาเข็มเครื่องจะทำการฉีดน้ำ bentonite ออกมารอบๆ ผนังอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถลดแรงเสียดทานที่ผนังของเสาเข็มและยังสามารถช่วยลดน้ำหนักที่ใช้ในการกดเสาเข็มได้อีกทางด้วย



รูปที่ 2.2 รายละเอียด Cutting Shoe

ในการใช้ bentonite ช่วยในการหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานที่เกิดที่ผนังของเคชองส์นี้ ตามทฤษฎีแล้วจะไม่นำแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นทรายมาก็คงจะคิดเพียงแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นดินเหนียว เพราะถือว่าในชั้นทรายเป็นชั้นที่มีดินแข็งและมี bentonite มาช่วยในการหล่อลื่น แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะเกิดแรงเสียดทานขึ้นในชั้นทรายแต่มีค่าน้อยมาก

แรงเสียดทานที่ดินกระทำต่อผิวผนังของเคชองส์ สามารถคำนวณได้จากแรงเสียดทานของดินในแต่ละชั้นดินแล้วนำมารวมกันดังสมการ

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

โดย A_s = พื้นที่ผิวภายนอกของผนังเคชองส์

H = ความหนาของชั้นดิน

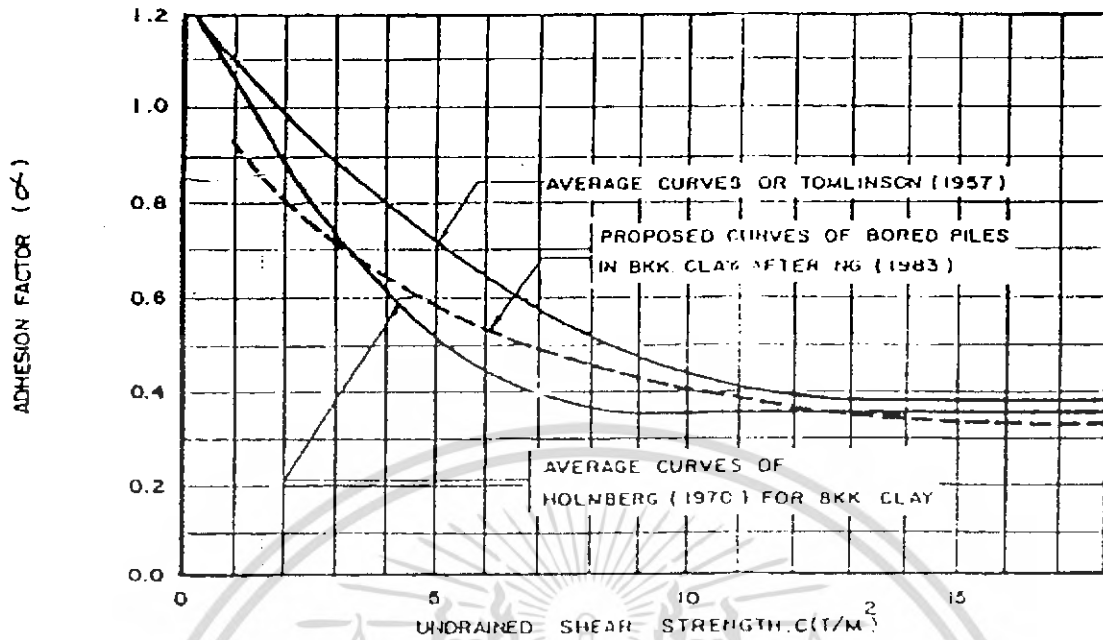
f_s = แรงเสียดทานต่อหน่วยพื้นที่ของดินในแต่ละชั้น

แรงเสียดทาน (f_s) ในดินเหนียว (Cohesion Soil)

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

เมื่อ α = Adhesion Fraction (รูป 2.3)

Su = Undrained Shear Strength ของดิน หาได้จากการทดสอบ Unconfined Compressive Strength



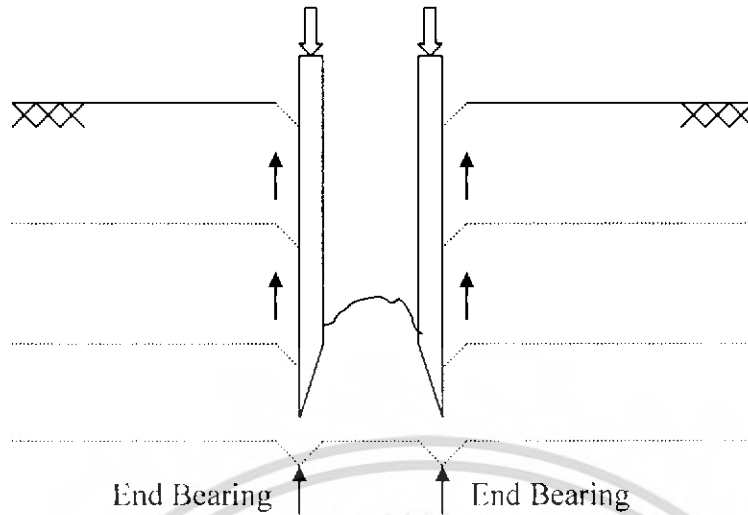
รูปที่ 2.3 กราฟระหว่าง S_u กับ α

แรงเสียดทาน (f_c) ในดินทราย (Cohesionless Soil)

ในการออกแบบเสาเข็มที่ไม่นำแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นดินทรายมาคิด เนื่องจากมีการใช้ สารละลายเบนโทไนท์บริเวณปลายทางเคของสช่วยในการหล่อลื่น

2.3 แรงต้านทานปลายเคของส (End Bearing)

เมื่อเริ่มใช้น้ำหนักบรรทุกทุกกลงบนเคของส เคของสก็จะเคลื่อนตัวลงตามทิศทางของแรง แต่ในขณะที่เดียวกันดินที่เกาะอยู่ข้างๆ ผิวของเคของสก็พยายามต้านทานไว้ จึงมีการถ่ายแรงจากเคของสลงสู่ชั้นดินด้วยแรงเสียดทาน(Friction) ชั้นดินที่พยายามต้านทานแรงที่ถ่ายลงมาจากเสาเข็มก็จะเคลื่อนตามเสาเข็มลงไปด้วย การเคลื่อนที่จะมากขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกสูงขึ้น และเมื่อมีการถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินมากขึ้นแรงเสียดทานจะถูกถ่ายจากส่วนบนของเคของสสู่เคของสที่ลึกลงไปมากขึ้น จนในที่สุดแรงต้านทานจะถูกถ่ายแรงลึกลงสู่ส่วนปลายของเคของส เกิดแรงต้านที่ส่วนปลายของเคของสเข้ามาช่วยด้วยที่เรียกว่า End Bearing



รูป 2.4 แรงต้านทานปลายเคของส้
สำหรับแต่ละชั้นดิน แรงต้าน End Bearing มีค่าเท่ากับ

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

เมื่อ C = ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน

D = ความลึกของการขุด

B = ความกว้างของฐานราก

N_q, N_c, N_r = 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)

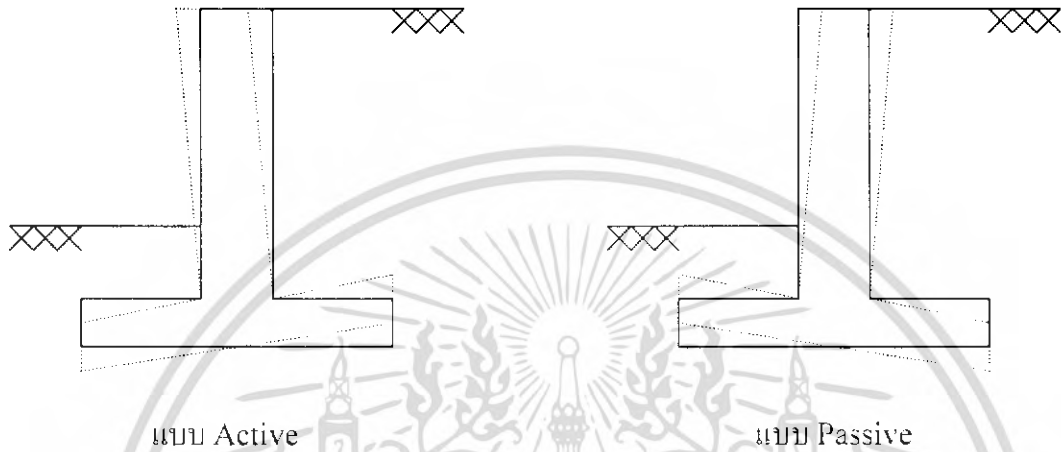
แรงดันด้านข้างของดินที่กระทำต่อโครงสร้างกันดิน เช่น กำแพงกันดินหรือเคของส้ ในการออกแบบเคของส้จำเป็นต้องหาขนาดแรงดันด้านข้างของดินที่ผนังเคของส้ต้องรับ

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



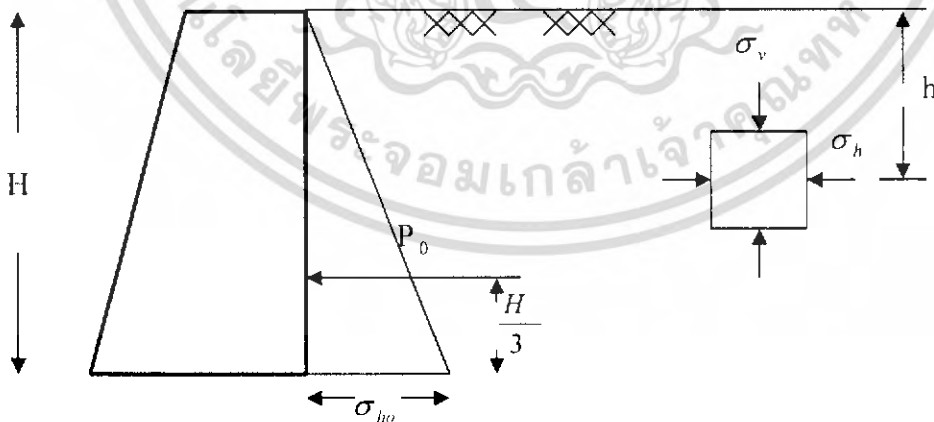
แบบ Active

แบบ Passive

รูป 2.5 แรงดันดินแบบ Active และ Passive

ในการออกแบบเขตรองส์พิจารณาเฉพาะแรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth pressure at rest)

2.4.1 แรงดันดินแบบอยู่กับที่ (Earth pressure at rest)



รูปที่ 2.6 แรงดันดินแบบอยู่กับที่

ในสภาพธรรมชาติก่อนดินซึ่งอยู่ต่ำจากระดับผิวดินเท่ากับ h จะถูกกระทำด้วยแรงในแนวตั้ง σ_v เนื่องจากน้ำหนักของดินซึ่งอยู่เหนือก้อนดินนั้น

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

ในเมื่อ γ = หน่วยน้ำหนักของดิน

เมื่อมีกำแพงกันดินมาที่นั่น แรงในแนวตั้ง (σ_v) จะทำให้เกิดแรงดันในแนวนอน (σ_h) กระทำต่อผนังกำแพงกันดิน ถ้ากำแพงกันดินอยู่ในสภาวะสมดุลไม่มีการเคลื่อนที่แต่อย่างใด

$$\sigma_{ho} = K_o \sigma_v \quad (2.10)$$

$$= K_o \gamma h$$

ในเมื่อ σ_{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 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 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)

$$At\text{-rest} = K_o \gamma' h \quad (2.13)$$

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

62777

2.6. การออกแบบและการวิเคราะห์ของส

2.6.1 แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก

ก) การคำนวณแรงดันดินกดทับ (Overburden Pressures)

Overburden Pressures ถูกคำนวณที่ระดับบนสุดของชั้นดิน
$$\text{Overburden} = \Sigma(\text{Surcharge} + (\gamma - \gamma_w)h) \quad (2.14)$$

เมื่อน้ำหนักกดทับ (surcharge) = 20 kPa (น้ำหนักจากการจราจร)

γ = ความหนาแน่นดิน

γ_w = ความหนาแน่นน้ำ = 10 kN/m³

h = ความลึก

ข) การคำนวณแรงดันดินที่สภาวะพัก (At-Rest)

กรณีที่มีน้ำหนักบรรทุก : ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ
$$\text{แรงดันดิน} = [(k_0 \times \text{overburden})] + \gamma_w h \quad (2.15)$$

แรงดันดินจะถูกปล่อยตามแสดงระหว่าง แรงดันที่เพิ่ม กับ ความลึก

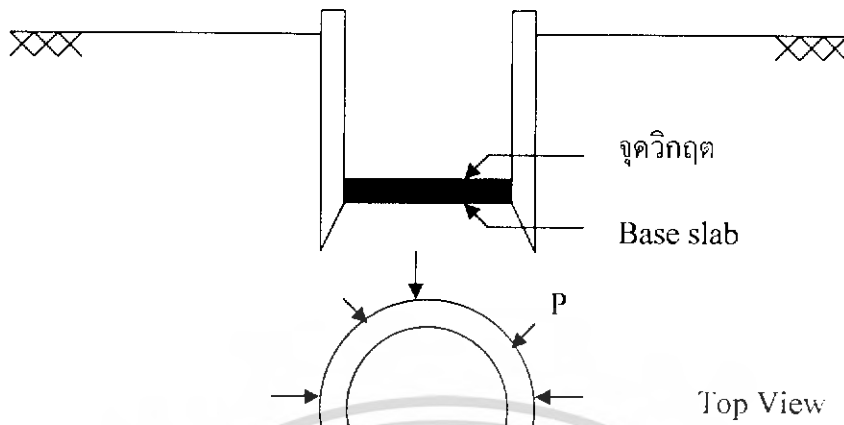
ค) แผ่นดินไหว

ในระยะยาว , 2/3 ของเลขของสจะถูกเติมด้วยคอนกรีตและทราย ประสิทธิภาพของเลขของส “ถูกล็อกในดิน” จากเหตุผลนี้แผ่นดินไหวจะไม่นำมาพิจารณาในการออกแบบ

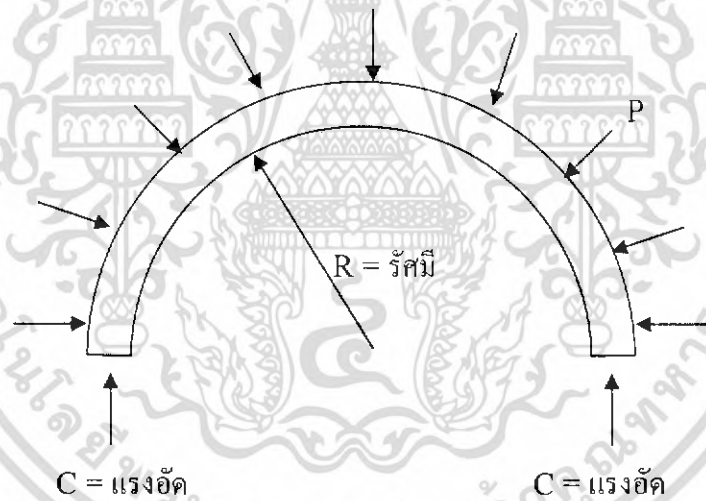
2.7 การออกแบบวงแหวนของเลขของส – สถานะประลัย (Ultimate Limit State)

การออกแบบวงแหวนของเลขของสกำหนดให้วงแหวนเป็นแรงอัด ซึ่งมีจุดวิกฤตอยู่ที่
เหนือฐานพื้น (Base slab)

จุดวิกฤตของแรงดันสภาวะพัก (At-Rest) ถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับเหนือฐานพื้นสมมติ
วงแหวนเป็นแรงอัด



รูปที่ 2.7 จุดวิกฤตและลักษณะของแรงที่กระทำต่อผนังของส



รูปที่ 2.8 แรงที่เกิดขึ้นภายในเคของส

$$\text{แรงอัดในวงแหวน } C = RP \quad (2.16)$$

$$\text{แรงอัดประตัย } N_u = A_g [0.85(\phi f'_c)(1 - \rho) + \phi f_y \rho] \quad (2.17)$$

ที่จุดที่มีการเปิด แรงอัดในวงแหวนถูกรวมที่ 1 เมตร เหนือและใต้ จุดที่มีการเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่กระทำบนผนังของสระหว่างการจม

$$\text{Lateral Pressure } P = LF(P_a + P_w) \quad (2.18)$$

สมมติ 50% of แรงดันดินที่กระทำต่อผนังของสระหว่างการจม

$$\Delta P = 0.5(LF)(P_a) \quad (2.19)$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

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

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

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

(2.20)

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

$$\text{Bending Moment, } M = 0.163 \Delta P R_o^2 \quad (2.21)$$

$$\text{Axial Force, } N = 0.212 \Delta P R_o \quad (2.22)$$

2.8 การออกแบบวงแหวนของเคของส – สถานะใช้งาน (Serviceability Limit State)

โดยทั่วไปไม่มีแรงดึงในเคของส การเสริมเหล็กน้อยที่สุดสำหรับควบคุมการแตก (cracking) ถูกกำหนดดังนี้

$$\text{การเสริมเหล็กน้อยที่สุด, } \rho_{\text{crit}} = \frac{f_{\text{ct}}}{f_y} \quad (2.23)$$

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

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

2.9 การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์

โดยปกติเคของสมักจะเชื่อมต่อกับอุโมงค์ใต้ดิน เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการคำนวณแรงดันด้านข้างบริเวณช่องเปิดของอุโมงค์เพื่อหาค่าแรงเฉือน (Shear Force) และค่าโมเมนต์ (Moment) แล้วนำค่าที่ได้ไปคิดคำนวณออกแบบเหล็กเสริมต่อไป

เราจะทำการคิดแรงดันดินด้านข้างออกไปเป็นระยะ 0.5 เมตร จากช่องเปิดของอุโมงค์ ทั้งด้านบนและด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{แรงดันด้านข้าง} = 1.4 (P_a + P_w) \quad (2.24)$$

เมื่อ $P_a = \text{แรงดันดินด้านข้าง}$
 $= K_u \times (\text{Overburden pressure})$
 $P_w = \text{แรงดันน้ำ}$

2.10 การออกแบบฐานพื้น (Base slab)

- กรณีน้ำหนักบรรทุก : ยกขึ้น (Uplift)

$$W_u = (1.4 \times \text{แรงดันขึ้น}) - (1.0 \times \text{Dead Load}) \quad (2.25)$$

- กรณีแรงโน้มถ่วง (Gravity) $W_u = 1.4 \times \text{Dead Load}$ (2.26)

กรณีแรงโน้มถ่วงจะถูกแรงรับโดยตรงโดยแรงแบกทาน (Bearing)

- การวิเคราะห์พื้นสำหรับวงแหวนวงกลม

โมเมนต์ $M_u = \frac{W_u R^2 (3 + \delta)}{16}$ (2.27)

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, $A_s = \frac{M}{0.4 f_y (d-d')}$ (2.28)

แรงเฉือน, $V_c = 0.29 \sqrt{f_c} b d$ (2.29)

2.11 เสถียรภาพของเขตรองสี่ - การปูค

การปูคจะเกิดขึ้นในดินเหนียวอ่อน (Soft clay) การป้องกันการปูค, เครื่องสูดจะถูก
 ต้องการที่ระดับฐานของเขตรองสี่

จาก Tomlinson, "Foundation Design and Construction" มีค่าอัตราที่คูณไว้เพื่อ
 ความปลอดภัย (Factor of safety) ด้านส่วนล่างของการจม คือ

$$F = \frac{N_c \times S}{\gamma D + P} \quad (2.30)$$

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

สำหรับระยะสั้น ค่า Factor of safety ที่ถูกใช้คือ 1.1

สำหรับระยะยาว ค่า Factor of safety ที่ถูกใช้คือ 1.3

2.12 เสถียรภาพของเข็ชองส์ – การยกขึ้น (Factor of safety)

อัตราที่ลู่ลงไว้เพื่อความปลอดภัย (Factor of safety) ด้านการยกขึ้น คือ

$$F = \frac{\text{Weight of Concrete} + \text{Friction}}{\text{Uplift}} \quad (2.31)$$

ค่า F (Factor of safety) ที่เหมาะสมคือ 1.6

• น้ำหนักของโครงสร้าง (Weight of Concrete) ประกอบด้วย

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

• แรงเสียดทานที่ผิว (Friction)

แรงเสียดทานที่ดินกระทำต่อผิวผนังเข็ชองส์ สามารถคำนวณได้จากแรงเสียดทานของดินในแต่ละชั้นดินแล้วนำมารวมกันดังสมการ

$$\text{แรงเสียดทานรวม} = A_s \sum H f_s \quad (2.32)$$

โดย A_s = พื้นที่ผิวภายนอกของผนังเข็ชองส์

H = ความหนาของชั้นดิน

f_s = แรงเสียดทานต่อหน่วยพื้นที่ของดินในแต่ละชั้น

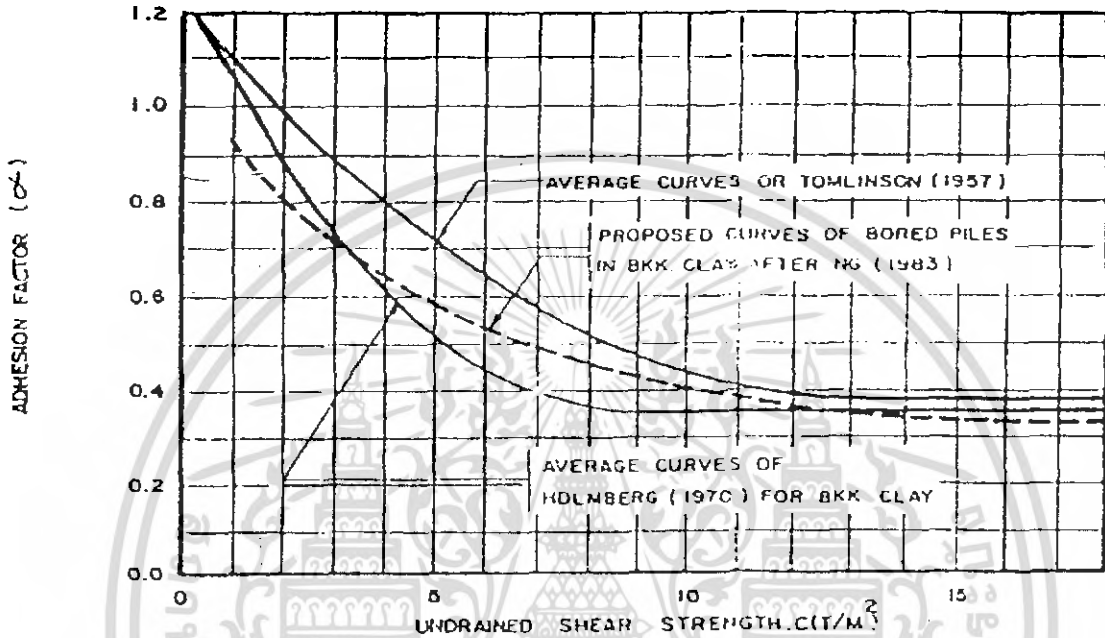
แรงเสียดทาน (f_s) ในดินเหนียว (Cohesion Soil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_s = \alpha S_u \quad (2.33)$$

เมื่อ α = Adhesion Factor

S_u = Undrained Shear Strength ของดิน หาได้จากการทดสอบ
Unconfined Compressive Strength



รูปที่ 2.9 กราฟระหว่าง S_u กับ α

แรงเสียดทาน (f_s) ในดินทราย (Cohesionless Soil)

ในการออกแบบเสาเข็มไม้นำแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในชั้นดินทรายมาคิด

เนื่องจากมีการใช้ bentonite ช่วยในการหล่อลื่น

บทที่ 3

การออกแบบเหล็กเสริม

เนื่องด้วยผนังของสั Cutting Shoe และแผ่นพื้นของสัจะต้องรับแรงที่มากระทำภายในของสั แรงต่างๆที่มากระทำอันได้แก่ โมเมนต์ดัด (Bending moment) ,แรงตามแนวแกน (Axial force) และแรงเฉือน (Shear force) ซึ่งแรงทั้งสามเหล่านี้ที่เกิดขึ้นจึงส่งผลให้ต้องมีการออกแบบเหล็กเสริมในของสั เพื่อที่จะทำให้ของสัสามารถรับแรงต่างๆได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

วิธีการออกแบบเหล็กเสริมที่ผู้เขียนได้นำมาใช้ในการออกแบบเหล็กเสริมคือวิธีการออกแบบเสาสั้นโดยวิธี USD ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วิธีการออกแบบเสาสั้นโดยวิธี USD

กำลังขององค์อาคารภายใต้แรงดัด M_n และแรงตามแนวแกน P_n จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดสองข้อคือความสมดุลของแรงภายในและการสอดคล้องของความเครียด รูปที่ 3.1 แสดงภาวะทั่วไปของหน่วยแรงและความเครียดในคอนกรีตและเหล็กเสริม ภายใต้ผลรวมของแรงดัดและแรงตามแนวแกน จะหาแรงดึงหรือแรงอัดในเหล็กเสริมได้จากความสัมพันธ์กับความเครียด ณ ตำแหน่งของเหล็กเสริมนั้น

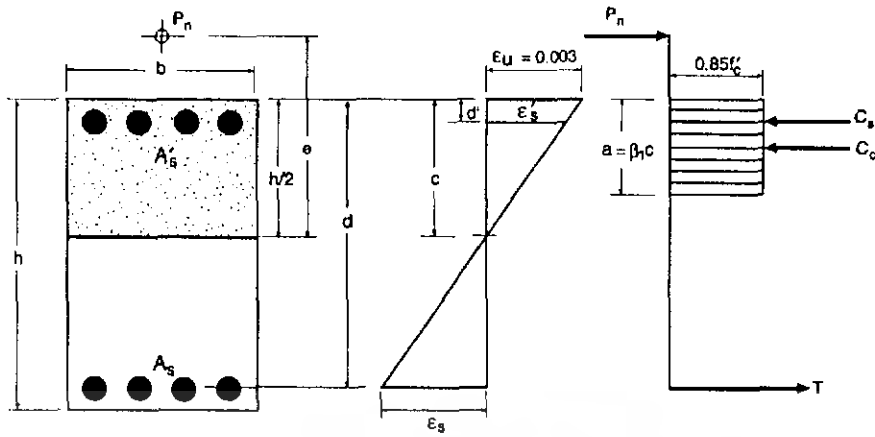
$$T = A_s f_s = A_s (E_s \epsilon_s) \quad \text{เมื่อ } \epsilon_s < \epsilon_y$$

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

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

$$\text{หรือ } C_s = A_s' f_y \quad \text{เมื่อ } \epsilon_s' \geq \epsilon_y$$

$$C_c = 0.85 f_c' b a$$



$\epsilon_s < \epsilon_y$ (Compression Controls)

$\epsilon_s = \epsilon_y$ (Balanced Condition)

$\epsilon_s > \epsilon_y$ (Tension Controls)

รูปที่ 3.1 การกระจายความเครียดและหน่วยแรงในหน้าตัดภายใต้ผลรวมของแรงค้ำและแรงตามแกน

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

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

และจะหาค่าถึงระบุในการรับผลรวมของแรงตามแนวแกนและโมเมนต์ (P_n และ M_n) ได้จากภาวะสมดุลของหน้าตัด

จากความสมดุลของแรงจะได้

$$P_n = C_c + C_s - T \quad (3.1)$$

จากความสมดุลของโมเมนต์รอบศูนย์กลางของหน้าตัด

$$M_n = P_n e = C_c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + C_s \left(\frac{h}{2} - d'\right) + T \left(d - \frac{h}{2}\right) \quad (3.2)$$

ถ้ารู้ภาวะของความเครียดก็จะหา P_n และ M_n ได้ทันที ยกตัวอย่างเช่นในกรณีของ ภาวะความเครียดสมดุล เมื่อเหล็กเสริมรับแรงค้ำถึงจุดคราก ($\epsilon_s = \epsilon_y$) พร้อมกับความเครียดในผิว คอนกรีตภายใต้แรงอัดถึงจุดอัดแตก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.003

$$\frac{c_b}{d} = \frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + \varepsilon_y} = \frac{0.003}{0.003 + \frac{f_y}{2040000}} = \frac{6120}{6120 + f_y}$$

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

และ $\frac{\varepsilon_s'}{\varepsilon_u} = \frac{c_b - d'}{c_b}$

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

และ $f_s' = E\varepsilon_s'$ แต่ต้องไม่เกิน f_y

จากความสัมพันธ์ของแรง

$$P_{nb} = 0.85 f_c' a_b b + A_s' f_s' - A_s f_y \quad (3.3)$$

ถ้า $f_s' = f_y$ และ $A_s' = A_s$ จะได้ $P_{nb} = \frac{0.85 \beta_1 f_c' b d 6120}{6120 + f_y}$ (3.4)

จากความสัมพันธ์ของโมเมนต์

$$M_n = P_{nb} e_b = 0.85 f_c' b a_b \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2}\right) + A_s' f_s' \left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s f_y \left(d - \frac{h}{2}\right) \quad (3.5)$$

กำลังรับผลรวมของแรงตามแนวแกนและแรงคัต ที่สภาวะความเครียดสมมูล เป็นเพียงแค่กรณีหนึ่งในหลายกรณีที่จะเกิดขึ้นในหน้าตัดซึ่งสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีก 2 กรณี คือ กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงอัด และกรณีภายใต้อิทธิพลของแรงดึง ดังจะนำเสนอดังต่อไปนี้

3.1.1 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

เมื่อแรงตามแนวแกนที่กระทำ (P_n) มากกว่าแรงตามแนวแกนที่สภาวะสมมูล (P_{nb}) หรือมีระยะเยื้องศูนย์กลาง (e) น้อยกว่าระยะเยื้องศูนย์กลางที่สภาวะสมมูล (e_b) องค์อาคารจะวิบัติโดยการอัดแตกของคอนกรีตในระหว่างที่หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงดึงจะน้อยกว่าจุดคราก หรืออาจอยู่ภายใต้

แรงอัดด้วย การออกแบบและวิเคราะห์ในกรณีนี้ จะใช้การลองผิดลองถูกโดยการสมมติค่าของความลึกของแกนเสทิน(c) ร่วมกับความสอดคล้องของความเครียดและสมการสมดุล หรืออาจจะใช้การประมาณโดยวิธีของ Whitney

วิธีของ Whitney จะให้ค่าในการออกแบบที่ต่ำกว่าค่าจริงที่ได้จากการลองผิดลองถูก ยกเว้นแต่เมื่อแรงตามแนวแกนที่กระทำมีค่าเข้าใกล้แรงตามแนวแกนที่สภาวะสมดุล วิธีของ Whitney จะให้ค่าที่สูงกว่า วิธีของ Whitney ถูกสร้างขึ้นมาจากอาศัยสมมติฐานตามที่แสดงในรูปที่ 3.2 ดังต่อไปนี้

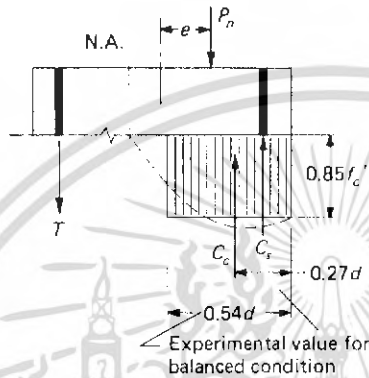
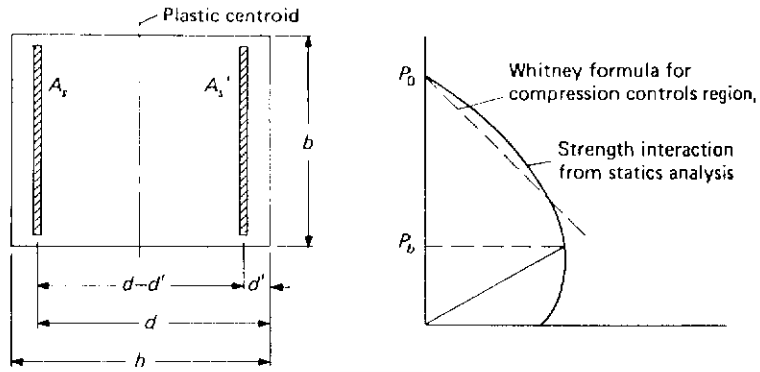
- มีการวางเหล็กเสริมแนวเดียวแบบสมมาตรรอบแกนรับแรงคด
- เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดคราก
- ไม่คิดพื้นที่ของคอนกรีตซึ่งถูกแทนที่โดยพื้นที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัด
- ความลึกของรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่าของหน่วยแรงในคอนกรีต $a = 0.54d$ ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยที่สภาวะสมดุลขององค์อาคารรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- ความสัมพันธ์ของแรงตามแนวแกนและแรงคดภายใต้อิทธิพลของแรงอัดถือว่าเป็นเชิงเส้นตรง

จากรูปที่ 3.2 ถ้ารวมโมเมนต์รอบแนวเหล็กเสริมรับแรงคดจะได้

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

โดยที่

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



รูปที่ 3.2 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

$$0.85f_c'bh + 2f_yA_s' = \frac{f_c'bh}{0 + \frac{3(d-d')h}{2d^2}} + \frac{A_s'f_y}{0 + \frac{1}{2}}$$

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

แทนค่าสมการ (c) ลงใน (d) จะได้

$$P_n = \frac{f_c'bh}{\frac{3he}{d^2} + 1.18} + \frac{A_s'f_y}{\frac{e}{d-d'} + 0.5}$$

หรือถ้ารู้ P_n และ M_n จากการวิเคราะห์โครงสร้าง และถ้าเลือกหน้าตัดขององค์อาคารให้เป็นแกนเสาต้น (ไม่ต้องคำนึงผลของอัตราความชะลูด) จะหาปริมาณเหล็กเสริมที่ด้านหนึ่ง ด้านใดของแกนสมมาตรได้

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

จะต้องเสริมเหล็ก A_s' นี้ทั้งสองด้านของแกนสมมาตร ทำให้ได้ปริมาณเหล็กเสริมทั้งหมด $A_{sv} = 2A_s'$

3.1.2 กรณีภายใต้อิทธิพลของแรงดึง

เมื่อแรงตามแนวแกนที่กระทำ (P_n) น้อยกว่าแรงตามแนวแกนที่สถานะสมดุล (P_{nb}) หรือเมื่อระยะเยื้องศูนย์กลาง (e) มากกว่าระยะเยื้องศูนย์กลางที่สถานะสมดุล (e_b) องค์อาคารจะวิบัติโดยเริ่มต้นจากที่เหล็กเสริมรับแรงดึงถึงจุดคราก ในระหว่างที่หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงอัดจะถึงจุดครากหรือน้อยกว่าก็ได้ การออกแบบและวิเคราะห์ในกรณีนี้ จะใช้สมการที่ (5.4) และ (5.5) เป็นหลัก โดยใช้ค่า f_c แทน f_c' ในสมการ

การวางเหล็กเสริมให้สมมาตรรอบแกนรับแรงดัด ($A_s = A'_s$) เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป เพื่อรับการดัดทิศทางของแรงในองค์อาคารรับแรงตามแนวแกนและแรงดัด เพื่อป้องกันความผิดพลาดในการวางเหล็กกลับทางในการก่อสร้าง

ถ้าสมมติให้เหล็กเสริมรับแรงอัดถึงจุดครากด้วย และใช้ $A'_s = A_s$ จะเขียนสมการที่ 3.4 และ 3.5 ได้ใหม่

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

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

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

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

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

หรือถ้ารู้ P_n และ M_n จากการวิเคราะห์โครงสร้าง และถ้าเลือกหน้าตัดขององค์อาคารให้เป็นแบบเสาสั้น (ไม่ต้องคำนึงผลของอัตราความชะลูด) จะหาปริมาณเหล็กเสริมที่ด้านหนึ่ง ด้านใดของแกนสมมาตรได้

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

จะต้องเสริมเหล็ก A_s นี้ทั้งสองด้านของแกนสมมาตร ทำให้ได้ปริมาณเหล็กเสริมทั้งหมด

$$A_s = 2A_s$$

3.1.3 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

$$S = \frac{A_s f_s d}{V_s}$$

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

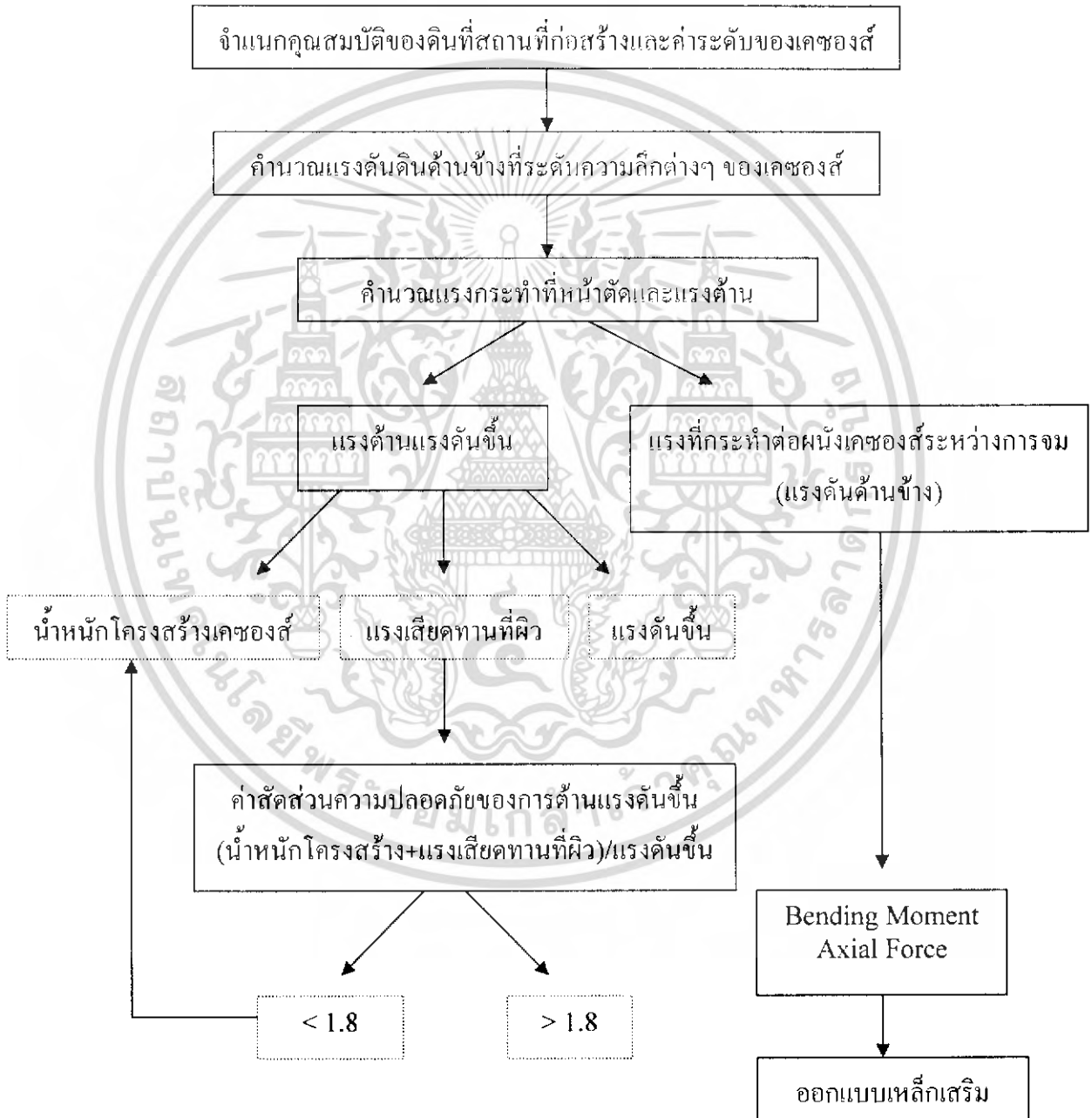
$$S = \frac{d}{2}$$



บทที่ 4

ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเคของส์

4.1 แผนผังการออกแบบ



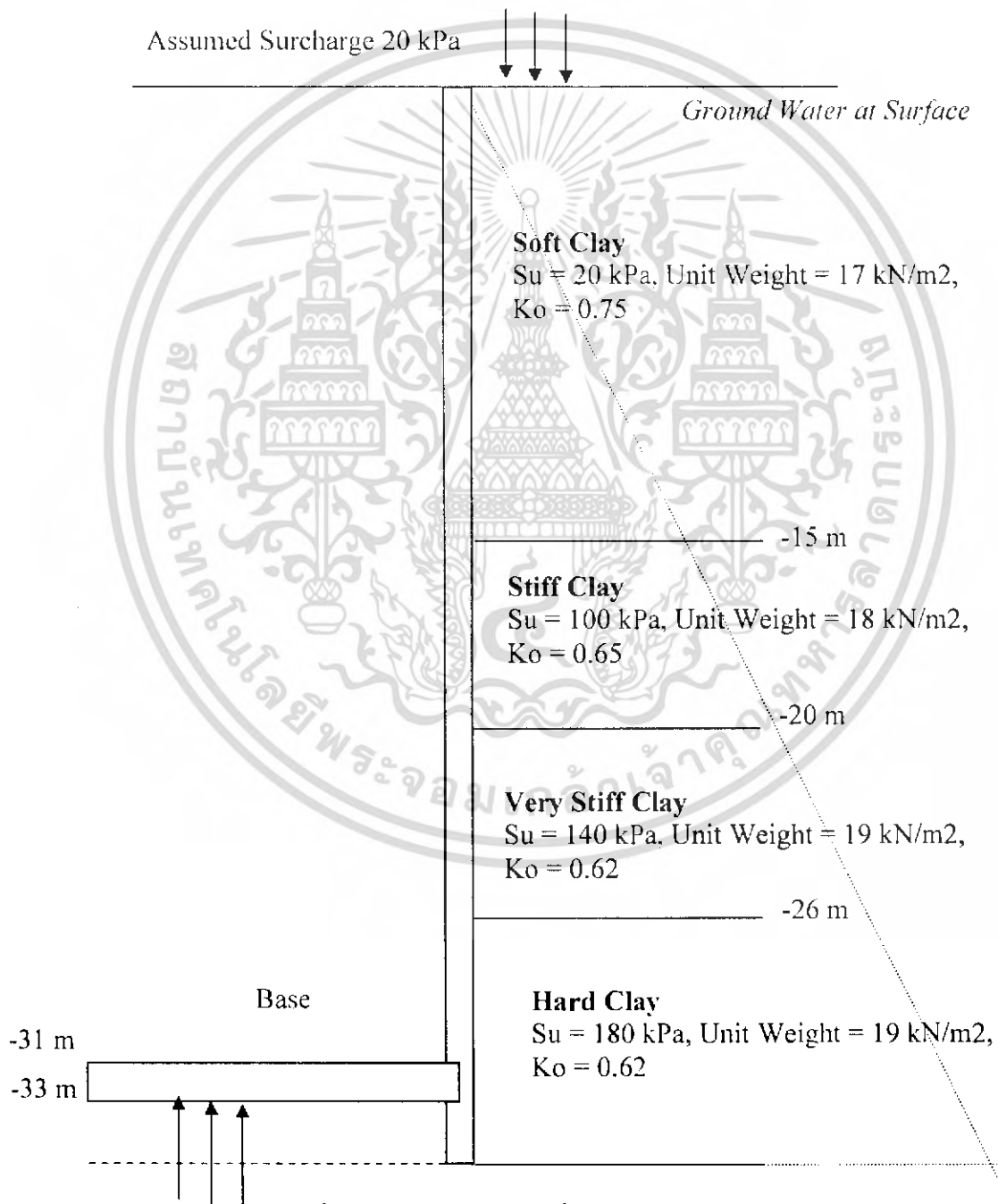
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างเคของส์

4.2 ตัวอย่างการออกแบบเบสของเสา

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

คุณสมบัติของดิน (Soil Profile)

เงื่อนไขดินของสถานีที่ก่อสร้างเสาของรถไฟฟ้าประกอบด้วย soft clay, stiff clay, and dense sand ระดับของเสาของรถไฟฟ้าและเงื่อนไขของดินจะแสดงโดยรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันดิน (Soil Pressure)

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

เมื่อสมมติน้ำหนักกดทับ = 20 kPa

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน (kN/m^3)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 10 kN/m^3

h = ความลึก (m)

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดันOverburden
		รวม (kPa)
0	20	20
15	$20+(17-10)\times 15$	125
20	$125+(18-10)\times 5$	165
26	$165+(19-10)\times 6$	219
34	$219+(19-10)\times 8$	291

ตารางที่ 4.1 แรงดันoverburdenรวมที่ระดับความลึกต่างๆ

แรงดันดินแบบอยู่กับที่ + แรงดันน้ำ (At rest pressure + water pressure)

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

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดัน Overburden รวม (kPa)	K_o	แรงดันดิน ด้านข้าง (kPa)	แรงดัน น้ำ (kPa)	แรงดันรวม ด้านข้าง(kPa)
0	20	20	0.75	15	0	15
15	$20+(17-10)\times 15$	125	0.75	93.75	150	243.75
20	$125+(18-10)\times 5$	165	0.65	107.25	200	307.25
26	$165+(19-10)\times 6$	219	0.62	135.78	260	395.78
34	$219+(19-10)\times 8$	291	0.62	180.42	340	520.42

ตารางที่ 4.2 แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ

การคำนวณแรงกระทำที่หน้าตัดและแรงต้าน

การต้านแรงดันขึ้น (Against Uplift Pressure)

สำหรับความปลอดภัย แต่เหมาะสมในการออกแบบ , น้ำหนักของ โครงสร้างหลังคา และแรงเสียดทานที่ผิว ชั้น Dense sand จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณ

- น้ำหนักของ โครงสร้างเคชองส์

ความลึกของเคชองส์ $H = 34 \text{ m}$

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

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

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D_i = 8 \text{ m}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $D_o = 10 \text{ m}$

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

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

ชิ้นส่วน		น้ำหนัก (kN)
เคชองส์	$\pi \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{4} \gamma_c H = \pi \frac{(10^2 - 8^2)}{4} (25)(34)$	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
	รวม	28,543

ตารางที่ 4.3 น้ำหนักรวมทั้งหมด

- แรงเสียดทานที่ผิว (Friction)

ดิน	ความหนา (m)		แรงเสียดทาน(kN/m ²)
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 = $\pi D_o \sum H f_i =$			39,050 kN

ตารางที่ 4.4 การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด

- แรงดันขึ้น (Uplift Pressure)

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

- ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้น (Factor of Safety against uplift)

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

แรงที่กระทำต่อผนังของสระหว่างการจม

- 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 แรงดันดินที่กระทำต่อผนังของสระหว่างการจม

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

$$= 108.3 \text{ kPa}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

Bending Moment, $M = 0$

Shear Force, $Q = 0$

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

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

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

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

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

ตารางที่ 4.5 Bending Moment และ Axial Force รวม

ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณ caisson shoe

คุณสมบัติของวัสดุ :

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

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

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

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

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

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

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 :

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

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

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{61,782(100)}{453,320} = 13.63 \text{ cm}$$

กำลังระบุ :

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

เมื่อเปรียบเทียบกับ P_u แล้วใช้

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

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

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

ที่สถานะความเครียดสมดุล :

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

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

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

P_u มากกว่า P_{nb} แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

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

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

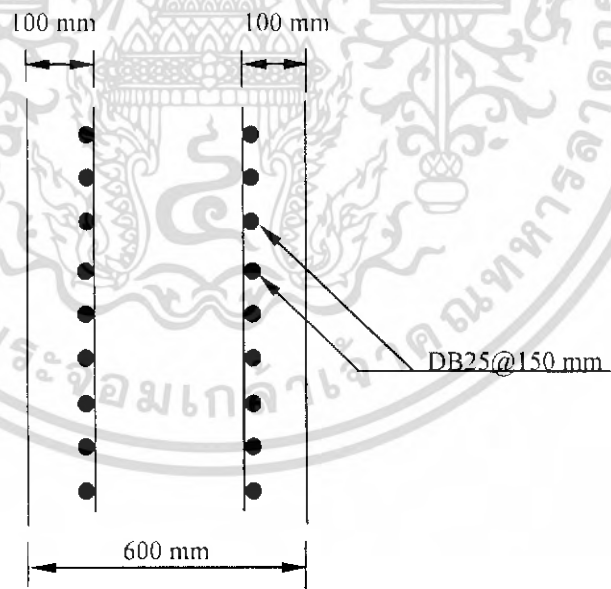
เลือกใช้เหล็ก DB25 (4.91 cm^2) จำนวน 4 เส้นได้ $A_s = A_s' = 19.64 \text{ cm}^2$

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

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

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

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



รูปที่ 4.3 การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe

• ที่ผนังเลขของสี่ (ช่วงวิกฤตอยู่ที่ระดับพื้น 31-33 m)

$$\begin{aligned} \text{แรงดันด้านข้าง} \quad P &= LF(P_a + P_w) \\ &= 1.20(180+340) \\ &= 624 \text{ kPa} \end{aligned}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ
Bending Moment, $M = 0$

Shear Force, $Q = 0$

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

หาแรงแนวแกนประลัยของผนัง

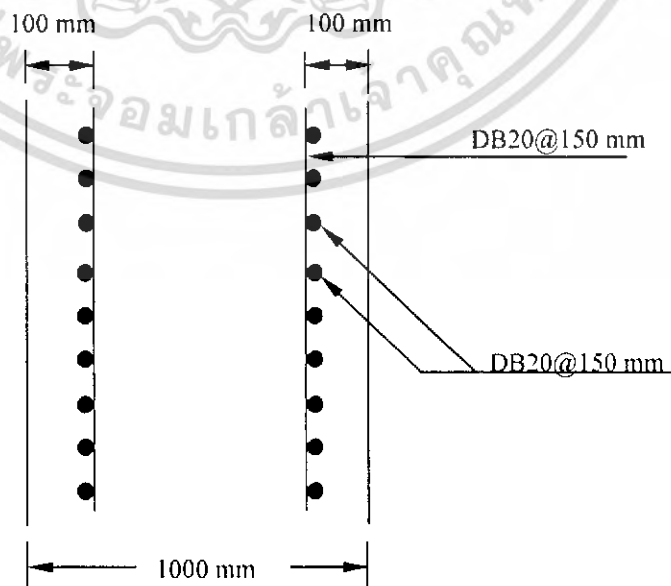
$$\begin{aligned} N_u &= A_x [0.85(\phi f'_c)(1-\rho) + \phi f_y \rho] \\ &= (1000 \times 1000 \text{ mm}) [(0.85)(0.7)(30)(1-0.004) + (0.7)(400)(0.004)] / 1000 \\ &= 18,899 \text{ kN} > 3,120 \text{ kN} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณผนังเลขของสี่

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

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

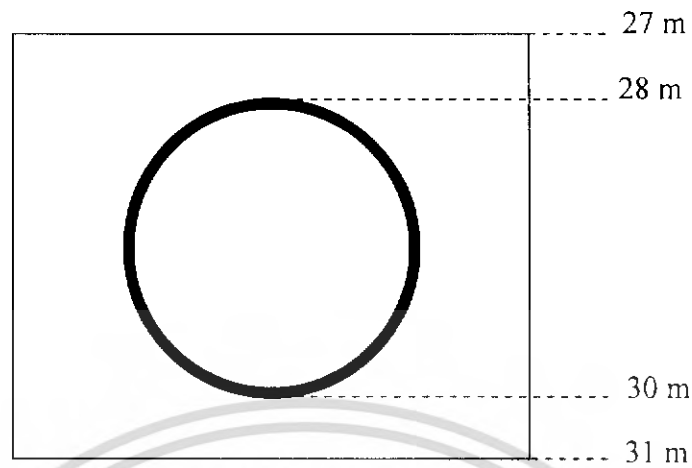
$$A_{s \text{ min}} = 0.004 (100)(100) = 40 \text{ cm}^2 \quad A_s > A_{s \text{ min}} \quad \text{O.K.}$$



รูปที่ 4.4 การเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์ (ที่ระดับ -28 ถึง -30)

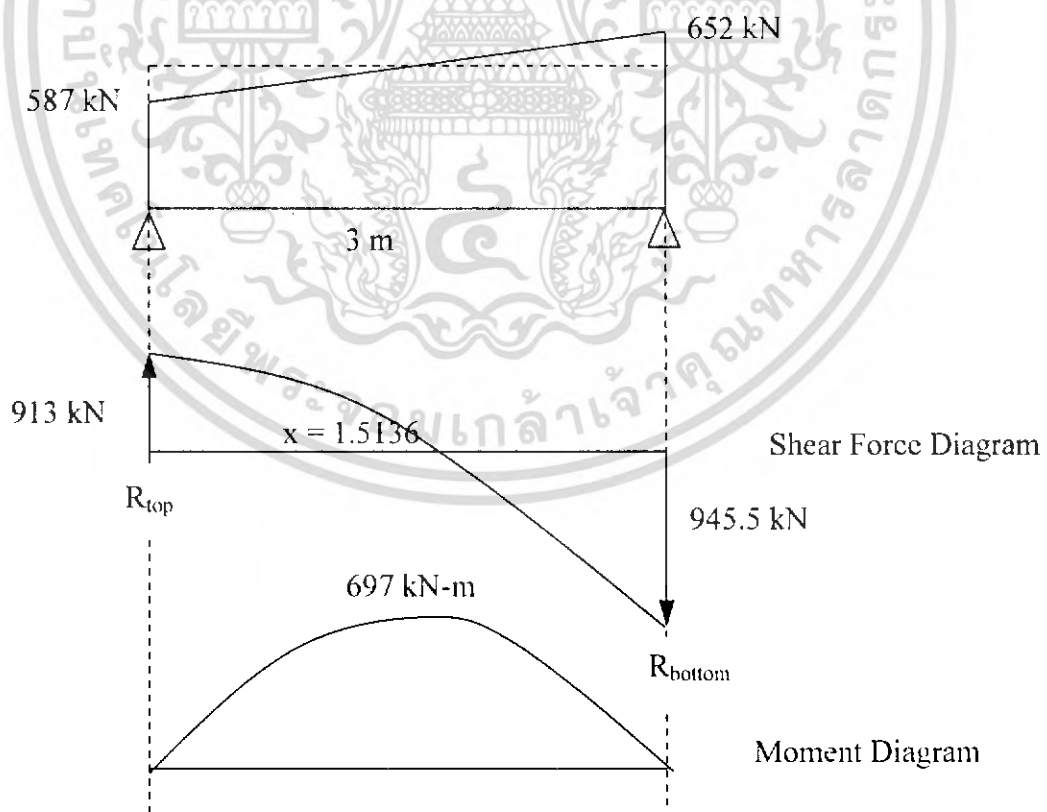


รูปที่ 4.5 ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์

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 4.6 ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 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 :

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

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

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

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

กำลังระบุ :

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกับ P_n 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 :

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

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

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

P_n น้อยกว่า P_{nb} แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงดึง

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

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

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

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

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

เหล็กเสริมหลัก DB25 2 ชั้น โดยมีจำนวนเส้นในแต่ละชั้นเท่ากัน

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

ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือน:

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

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

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

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

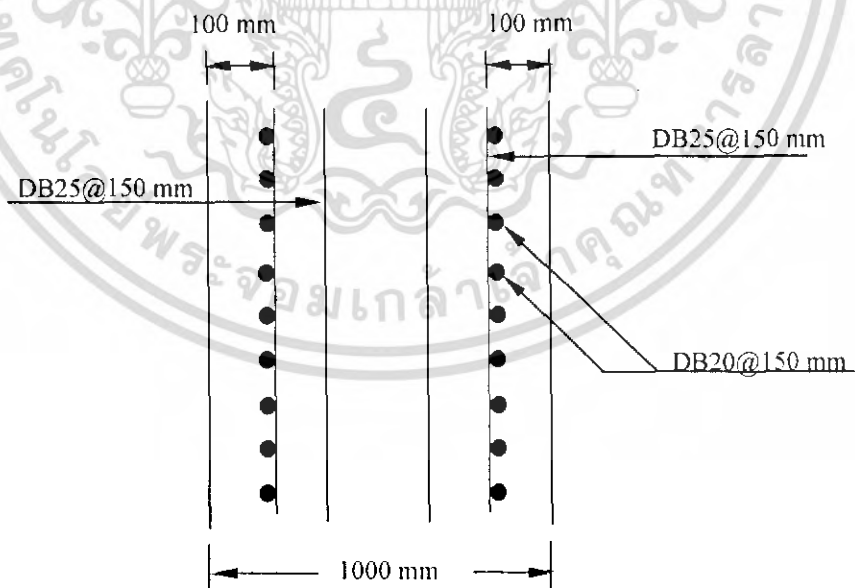
ระยะเรียงของเหล็กปลอกขนาด 25 mm

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

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

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

เลือกใช้ระยะเรียง 15 cm.



รูปที่ 4.7 การเสริมเหล็กในผนังของสั้วช่วงช่องเปิดของอุโมงค์

• การคำนวณพื้น

โมเมนต์ที่พื้น

ความหนาพื้น 2 m , ระยะหุ้มคอนกรีต 10 cm

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

แรงดันขึ้น (Uplift)

$$W_u = (\text{แรงดันขึ้น}) - (\text{น้ำหนักพื้น})$$

$$= (34 \times 10) - (2 \times 25)$$

$$= 290 \text{ kPa}$$

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

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

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

แรงเฉือนที่พื้น

$$\text{แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต} = (\text{Uplift})(r - d)$$

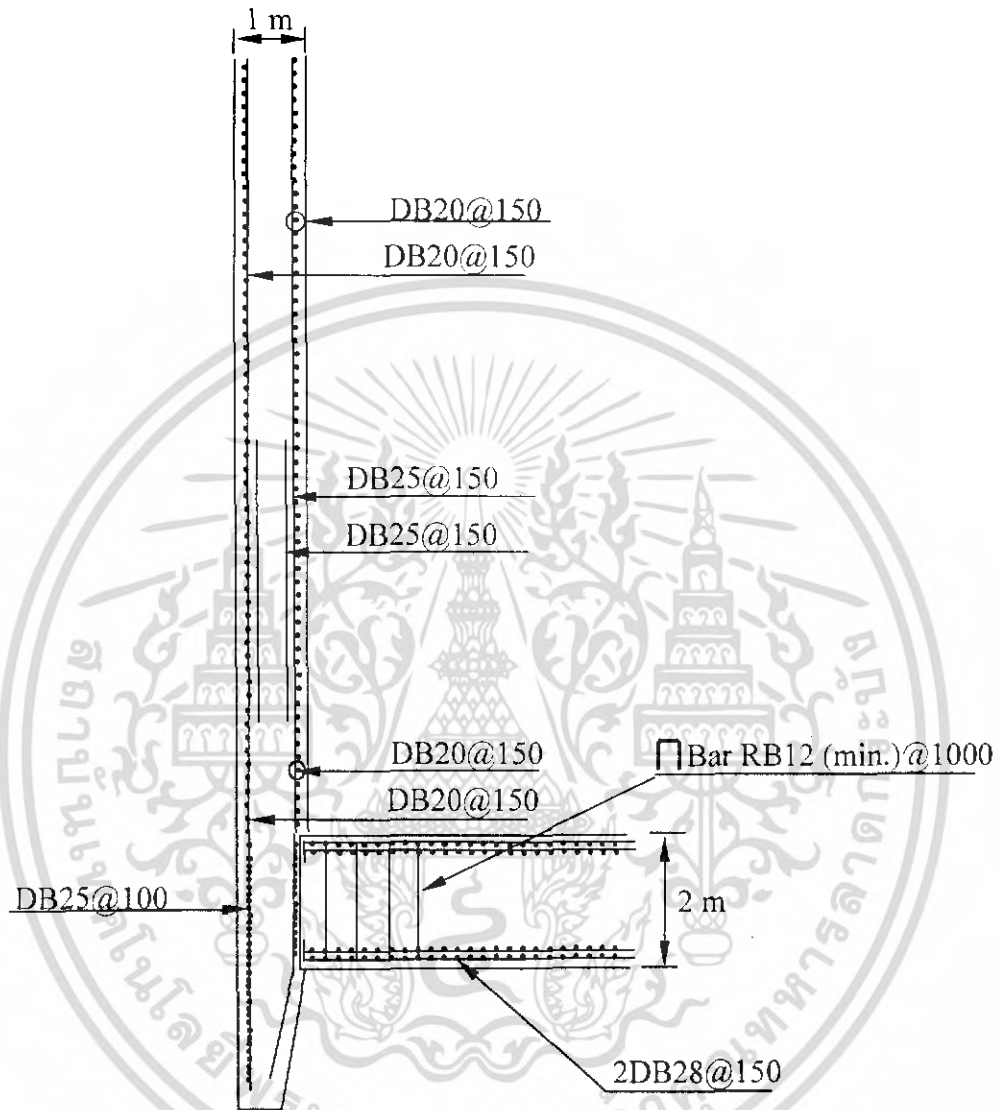
$$= (290)(4 - 1.90)$$

$$= 609 \text{ kN} = 61 \text{ Ton}$$

$$V_c = 0.29\sqrt{f'_c}bd = 0.29 \times \sqrt{400}(100)(190)$$

$$= 110.5 \text{ Ton}$$

เพื่อความปลอดภัยใช้เหล็กปลอก U shape@1m



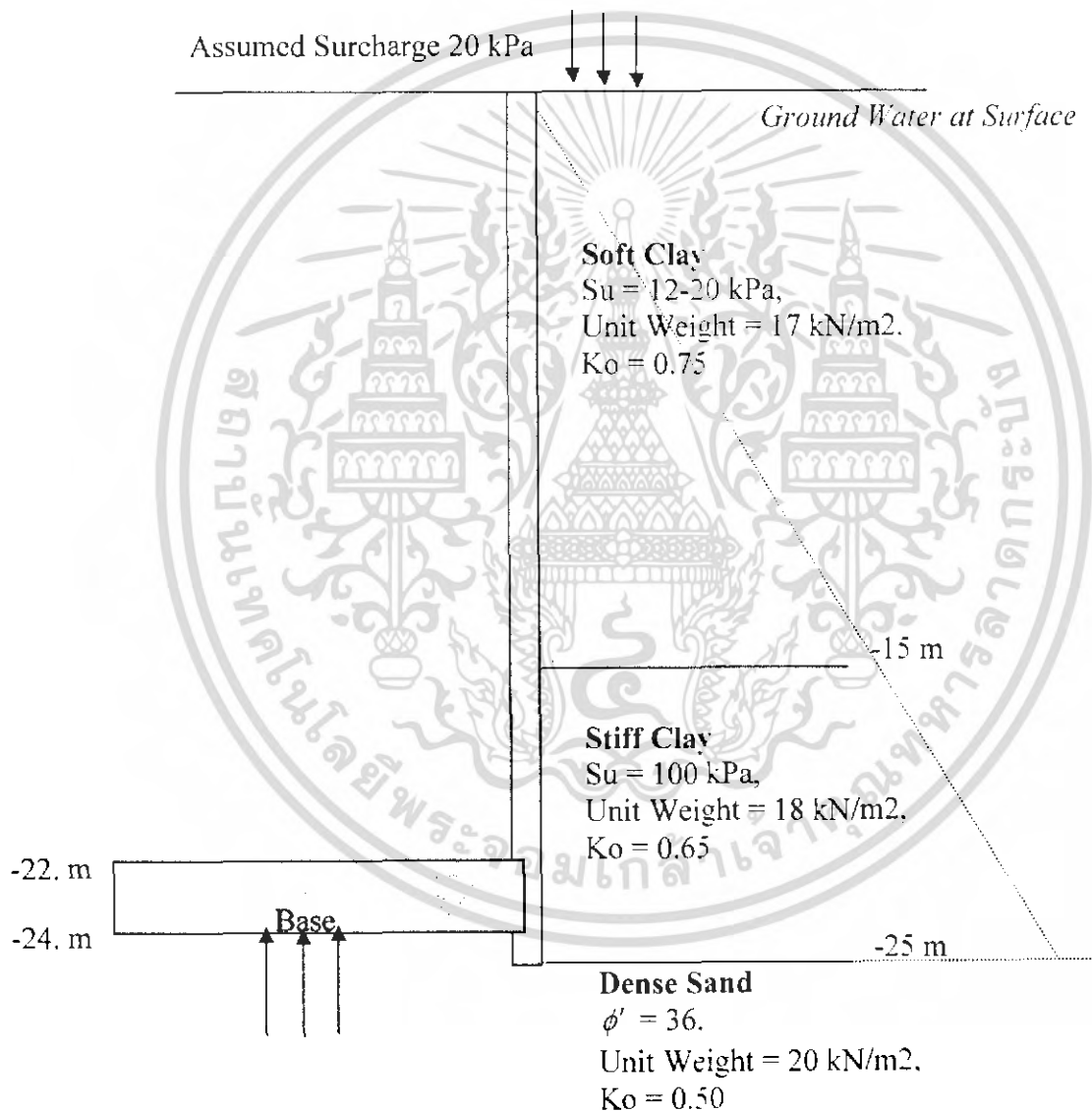
รูปที่ 4.8 แบบการเสริมเหล็กของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

คุณสมบัติของดิน (Soil Profile)

เงื่อนไขดินของสถานที่ก่อสร้างของสี่ประกอบด้วย soft clay, stiff clay, and dense sand ระดับของเขชองก์และเงื่อนไขของดินจะแสดงโดยรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 คุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเขชองก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันดิน (Soil Pressure)

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

เมื่อสมมติน้ำหนักกคทับ = 20 kPa

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน (kN/m³)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 10 kN/m³

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 4.6 แรงดันoverburdenรวมที่ระดับความลึก

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)	
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 4.7 แรงดันรวมด้านข้างที่ระดับความลึกต่างๆ

การคำนวณแรงกระทำที่หน้าตัดและแรงต้าน

การต้านแรงดันขึ้น (Against Uplift Pressure)

สำหรับความปลอดภัย แต่เหมาะสมในการออกแบบ , น้ำหนักของ โครงสร้างหลังคา และแรงเสียดทานที่ผิว ชั้น Dense sand จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณ

- น้ำหนักของโครงสร้างเคของส์

ความลึกของเคของส์ $H = 25 \text{ m}$

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

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

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D_i = 9.9 \text{ m}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $D_o = 11.5 \text{ m}$

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

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

ชั้นส่วน		น้ำหนัก (kN)
เคของส์	$\pi \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{4} \gamma_c H = \pi \frac{(11.5^2 - 9.9^2)}{4} (25)(25)$	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
	รวม	23,724

ตารางที่ 4.8 น้ำหนักรวมทั้งหมด

- แรงเสียดทานที่ผิว (Friction)

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

ตารางที่ 4.9 การคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด

- แรงดันขึ้น (Uplift Pressure)

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

- ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้น (Factor of Safety against uplift)

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

แรงที่กระทำต่อผนังของสระหว่างการจม

- 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 แรงดันดินที่กระทำต่อผนังของสระหว่างการจม

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

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

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

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

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

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

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

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

ตารางที่ 4.10 Bending Moment และ Axial Force รวม

ออกแบบเหล็กเสริมบริเวณ caisson shoe

คุณสมบัติของวัสดุ :

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

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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

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

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

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

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

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

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

ที่สถานะความเครียดสมดุล :

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

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

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

P_n มากกว่า P_{nb} แสดงว่าหน้าตัดอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงอัด

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

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

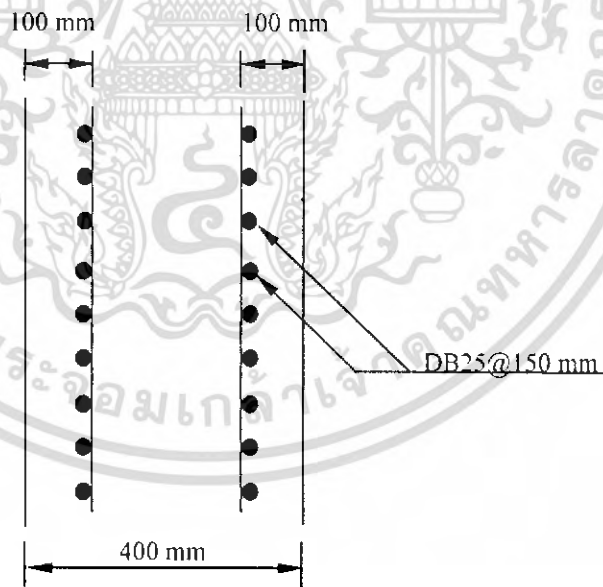
เลือกใช้เหล็ก DB25 (4.91 cm^2) จำนวน 36 เส้นได้ $A_s = A_s' = 176.76 \text{ cm}^2$

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

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

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

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



รูปที่ 4.10 การเสริมเหล็กที่ Caisson Shoe

- ที่ผนังของส (ช่วงวิกฤตอยู่ที่ระดับพื้น 22-24 m)

$$\begin{aligned}
 \text{แรงดันด้านข้าง} \quad P &= 1.F(P_a + P_w) \\
 &= 1.20(128+240) \\
 &= 442 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

Bending Moment, $M = 0$

Shear Force, $Q = 0$

$$\begin{aligned}
 \text{Axial Force, } N &= P(R_o) = (442)(5.75) \\
 &= 2,542 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

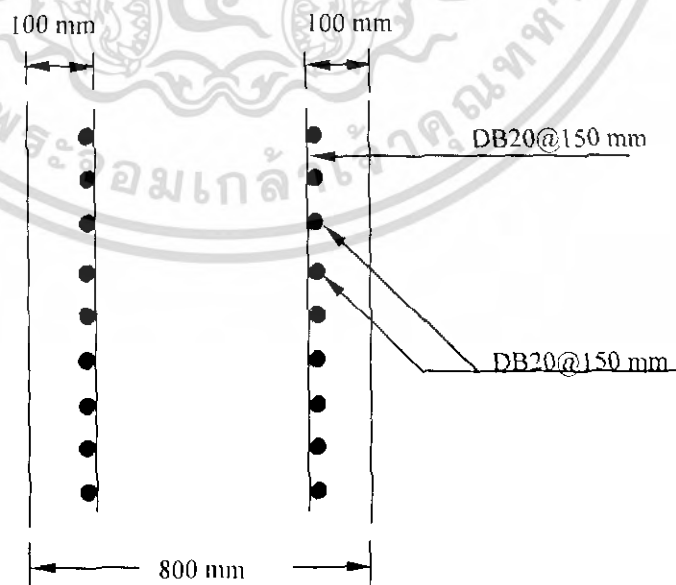
หาแรงแนวแกนประลัยของผนัง

$$\begin{aligned}
 N_u &= A_g [0.85(\phi f'_c)(1-\rho) + \phi f_y \rho] \\
 &= (800 \times 1000 \text{ mm}) [(0.85)(0.7)(30)(1-0.004) + (0.7)(400)(0.004)] / 1000 \\
 &= 15,119 \text{ kN} > 2,542 \text{ kN} \quad \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

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

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

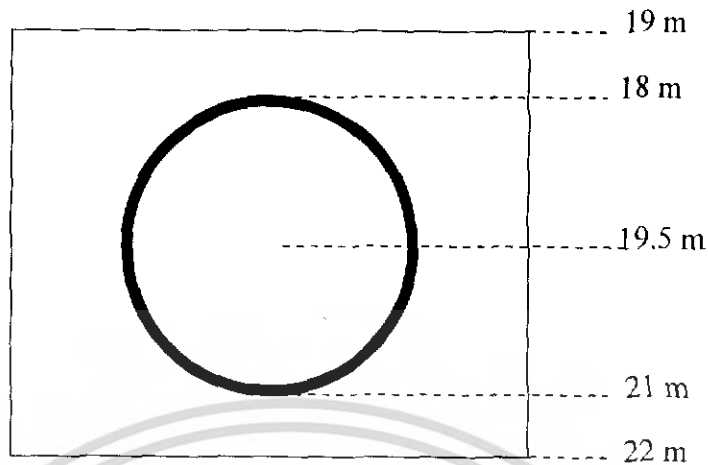
$$A_{s, \min} = 0.004 (100)(100) = 40 \text{ cm}^2 \quad A_s > A_{s, \min} \quad \text{O.K.}$$



รูปที่ 4.11 การเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์ (ที่ระดับ -18 ถึง -21)

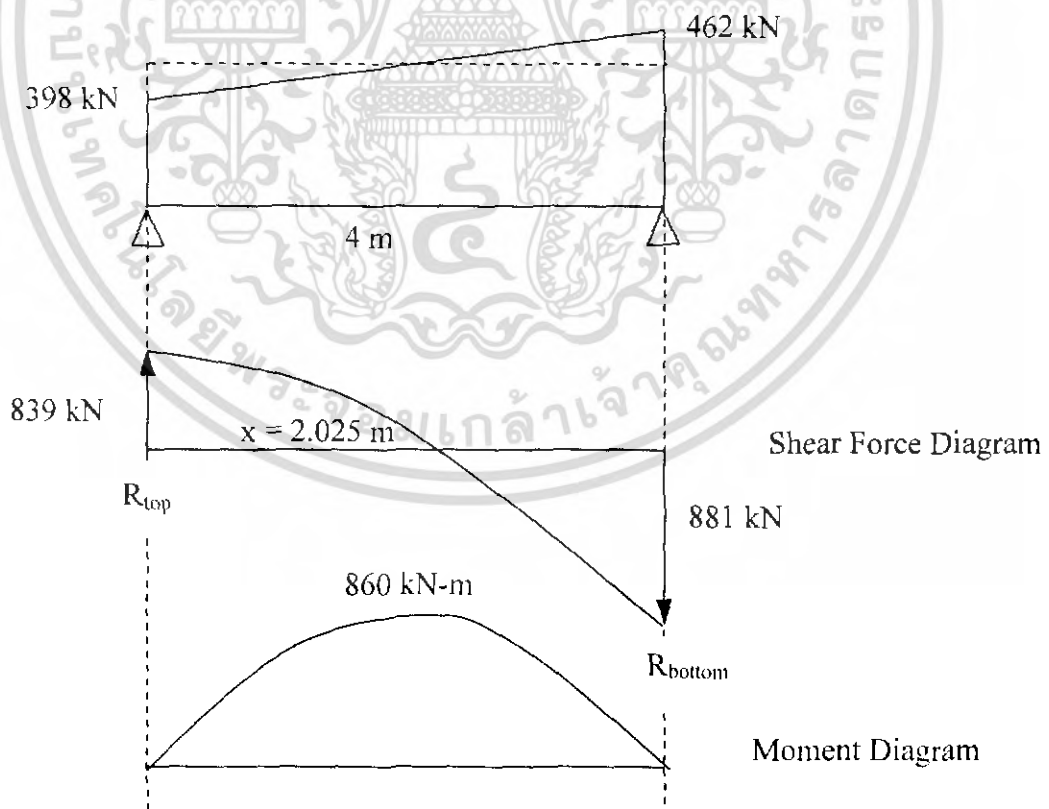


รูปที่ 4.12 ตำแหน่งของช่องเปิดอุโมงค์

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 4.13 ค่า Moment และ Shear Force ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Shear diagram และ Moment diagram จะได้ว่า

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

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

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

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

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

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

$$A_s = \frac{\frac{508,400^2}{1.7 \times 300 \times 100} - 508,400 \left(\frac{100}{2} - 33.83 \right)}{4000(83.5 - 16.5)} = -11.76 \text{ cm}^2$$

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

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

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

เหล็กเสริมหลัก DB25 2 ชั้น โดยมีจำนวนเส้นในแต่ละชั้นเท่ากัน

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

ตรวจสอบกำลังรับแรงเฉือน:

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

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

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

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

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

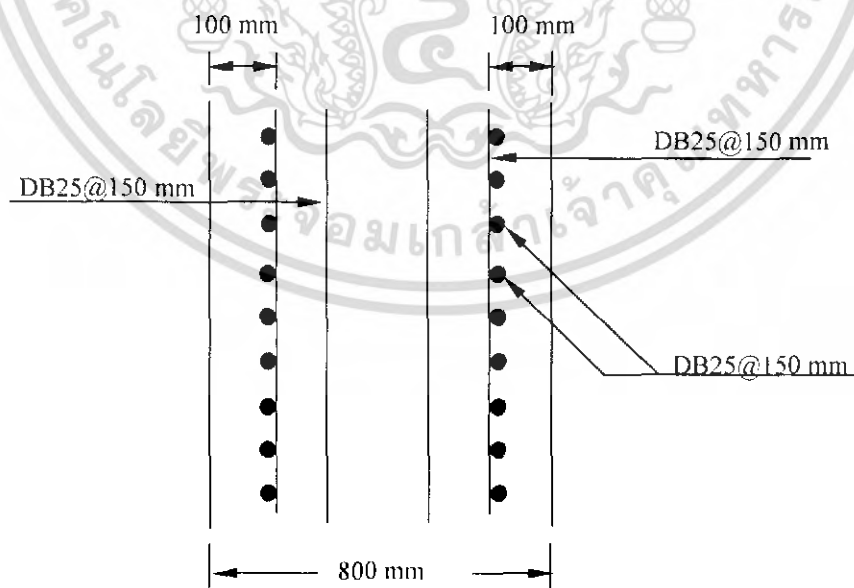
ระยะเรียงของเหล็กฟลอกขนาด 25 mm

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

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

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

เลือกใช้ระยะเรียง 15 cm.



รูปที่ 4.14 การเสริมเหล็กในผนังของช่องว่างช่องเปิดของอุโมงค์

• การคำนวณพื้น

โมเมนต์ที่พื้น

ความหนาพื้น 2 m , ระยะหุ้มคอนกรีต 10 cm

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

แรงดันขึ้น (Uplift)

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

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

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

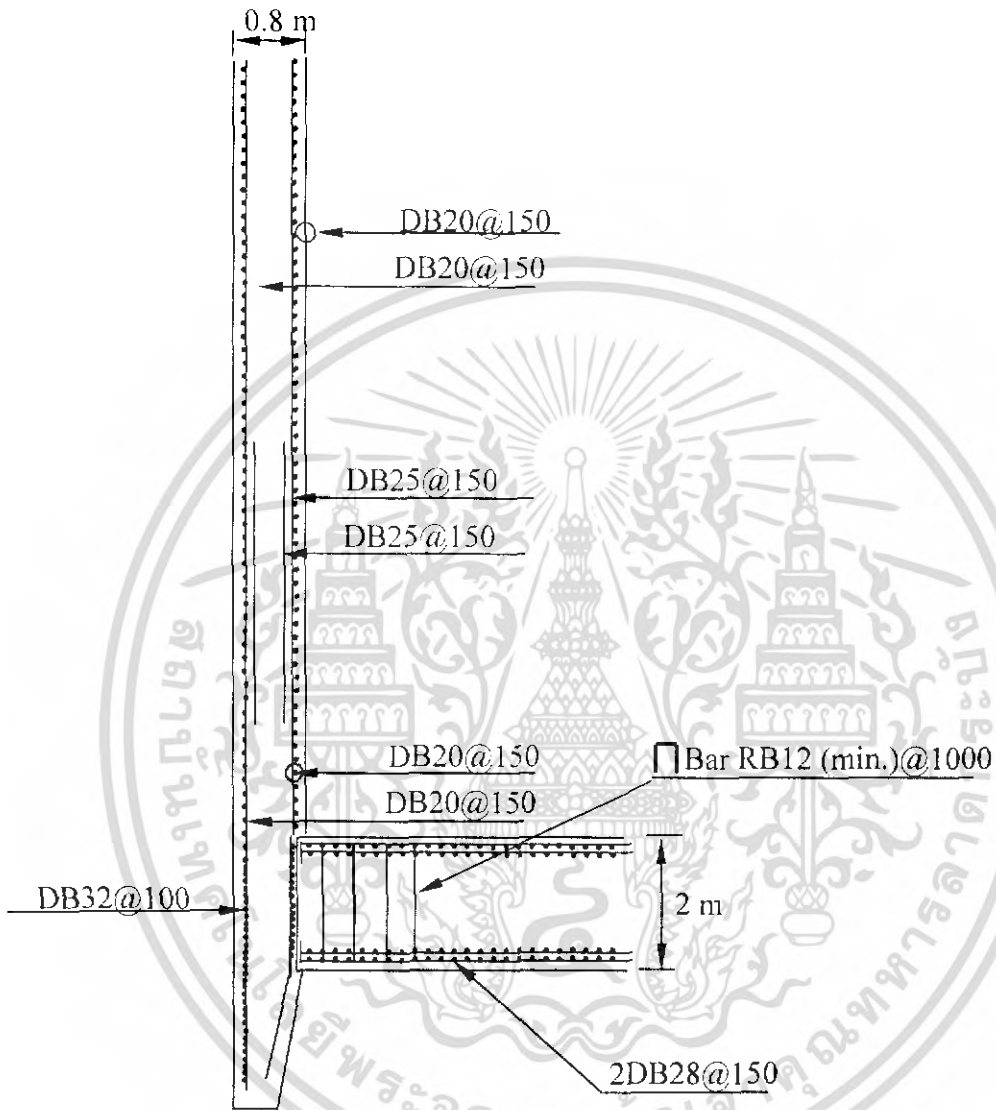
เลือกใช้ 2DB28@150 mm ได้ $A_s = 82.10 \text{ cm}^2$

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 4.15 แบบการเสริมเหล็กของส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

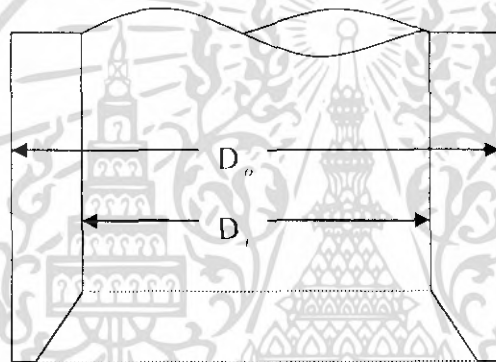
บทที่ 5

การจมน้ำของเสา

การคำนวณการจมน้ำของเสาขึ้นอยู่กับ แรงเสียดทานของดิน (Soil Friction) กับ End Bearing Resistance ของแต่ละชั้นดิน

5.1 อธิบายการจมน้ำ

5.1.1 แรงจมน้ำจากน้ำหนัก



รูปที่ 5.1 ขนาดของเสา

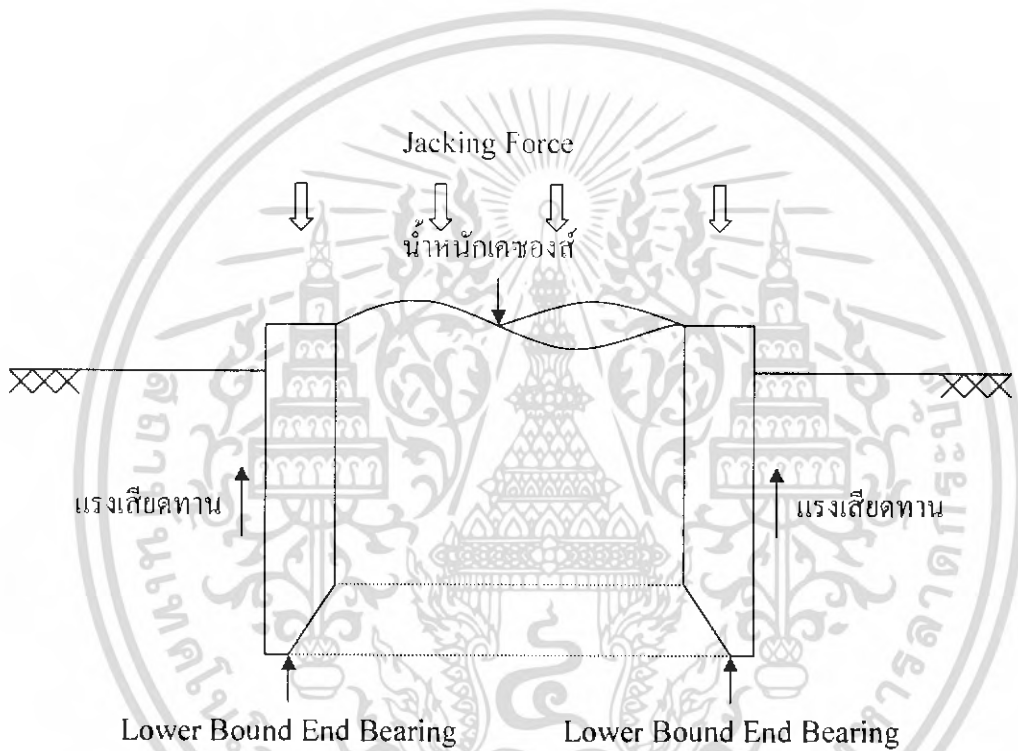
$$\text{น้ำหนักของเสา} = (D_o^2 - D_i^2) \times \frac{\pi}{4} \times \gamma_c \times h \quad (5.1)$$

- โดยที่ γ_c = น้ำหนักของคอนกรีต
 D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก
 D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน
 h = ความสูงเสา

5.1.2 แรงจุมจาก Hydraulic Jack

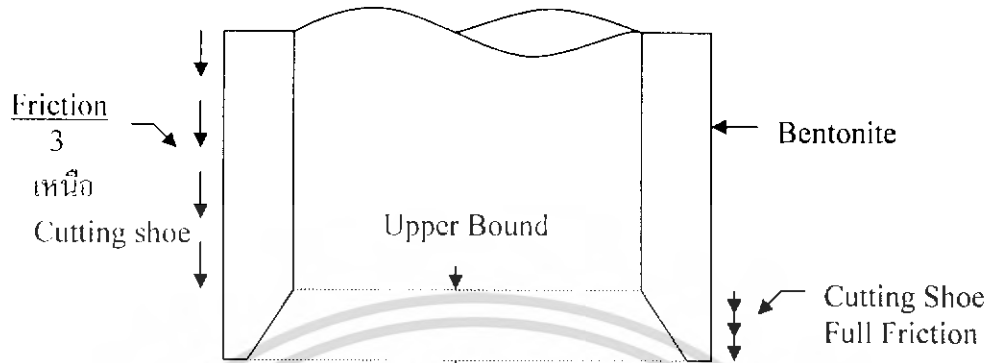
เราจะใช้ Hydraulic Jack ในการช่วยให้เสาของสัจมลงในแนวตั้ง เพื่อให้งานดำเนินต่อไป Hydraulic Jack จะช่วยในการจุมเสาของสัจในกรณีที่ผลรวมของแรงเสียดทานกับ Lower Bound End Bearing มากกว่าน้ำหนักของเสาของสัจ

$$\text{Jacking Force} = \text{ผลรวมของแรงเสียดทาน} + \text{Lower Bound End Bearing} - \text{น้ำหนักเสาของสัจ} \quad (5.2)$$



รูปที่ 5.2 แรงจุมจาก Jacking Force

5.1.3 แรงเสียดทาน (Frictional Resistance)



Lower Bound End Bearing

รูปที่ 5.3 ลักษณะแรงเสียดทาน

ที่ cutting shoe - ไม่มี Bentonite :

In Clay แรงเสียดทาน = $C\alpha A$ (5.3)

α = Adhesion Factor

α = 0.9 in soft clay

α = 0.7 in med clay

α = 0.6 in stiff / hard clay

C = Cohesion (kPa)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

In Sand แรงเสียดทาน = $2NA$ (5.4)

N = Standard penetration test (SPT)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

ที่ เหนื่อ cutting shoe :

เหนื่อ cutting shoe ที่มี Bentonite ซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะไม่เกิดแรงเสียดทาน แต่ในทางปฏิบัติแล้วจะเกิดแรงเสียดทานประมาณ 33 %

In Clay แรงเสียดทาน = $\frac{C\alpha A}{3}$ (5.5)

- α = Adhesion Factor
- α = 0.9 in soft clay
- α = 0.7 in med clay
- α = 0.6 in stiff / hard clay
- C = Cohesion (kPa)
- A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

In Sand แรงเสียดทาน = $\frac{2NA}{3}$ (5.6)

- N = Standard penetration test(SPT)
- A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

5.1.4 แรงต้าน End Bearing (End Bearing Resistance)

สำหรับแต่ละชั้น, แรงต้าน End bearing มีค่าเท่ากับ

$$Q = CN_c + \gamma DN_q + 0.5\gamma BN_\gamma \quad (5.7)$$

เมื่อ C = ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน

D = ความลึกของการขุด

B = ความกว้างของฐานราก

N_q, N_c, N_γ = สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors ตามตาราง

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

5.1.5 การออกแบบ Cutting Shoe

มุมของ cutting shoe โดยปกติ คือ 30° สำหรับดินเหนียว และ 45° สำหรับทราย

5.2 ตัวอย่างการคำนวณ

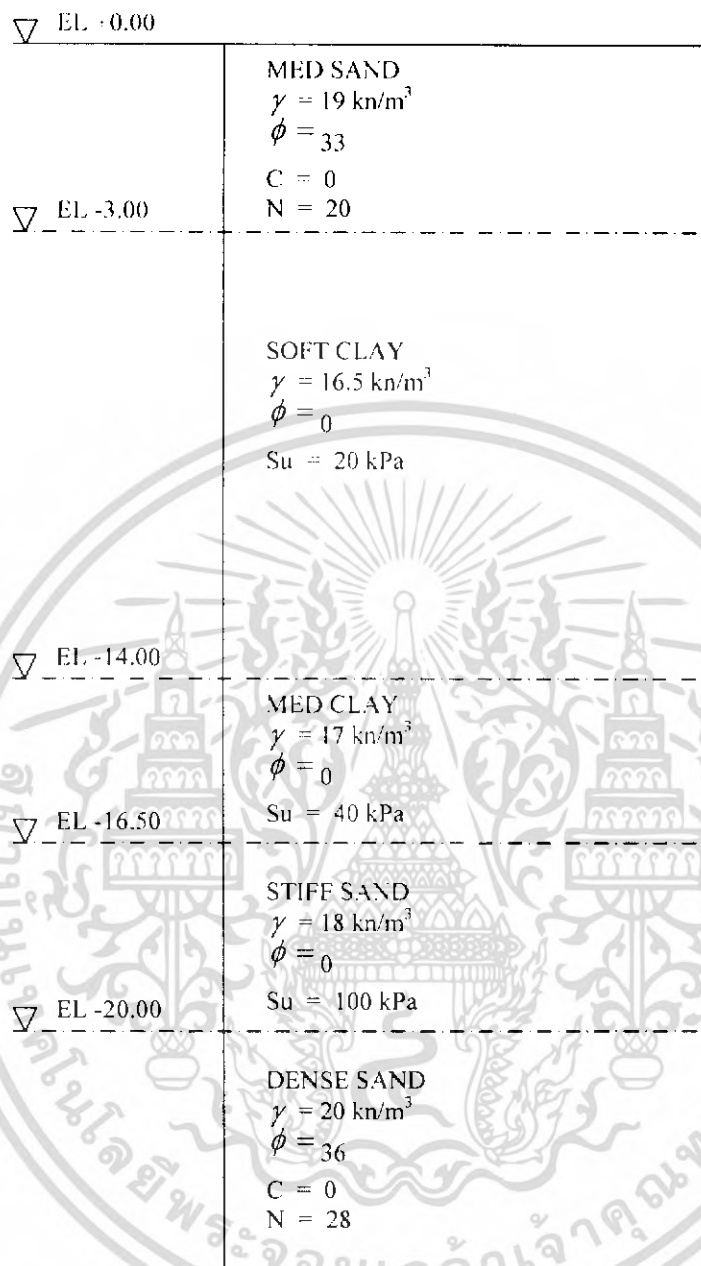
โครงการ Metropolitan Waterwork Authority Seventh Bangkok Watersupply Improvement Project

Ngamwongwan Riser Structure

5.2.1 สภาพดิน (Soil condition)

จากการทำ Borelogs 2 จุด ระหว่างปล่องคของส์ทำให้ได้ข้อมูลดังนี้

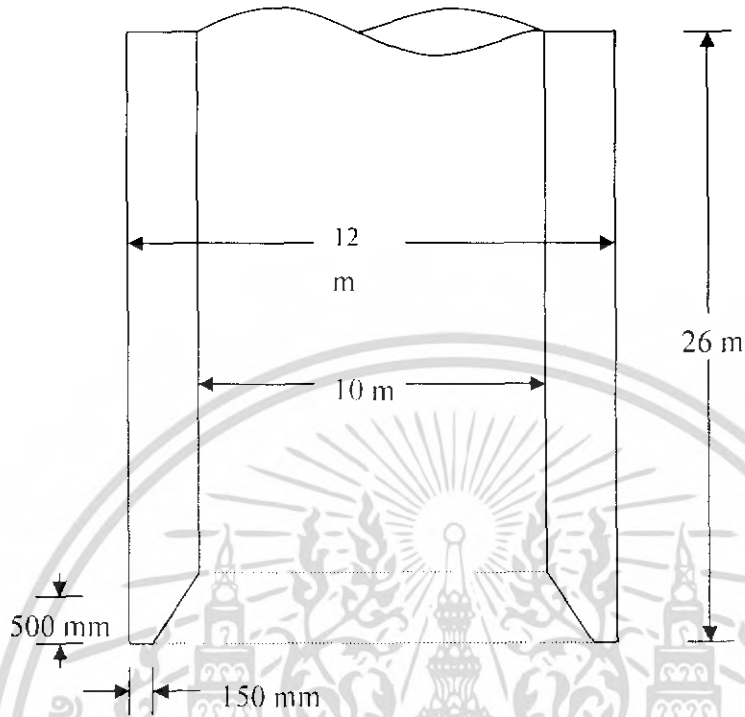




รูปที่ 5.4 ลักษณะชั้นดิน

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

5.2.2 ขนาดของช่อง



รูปที่ 5.5 ลักษณะของช่อง

5.2.3 แรงจมจากน้ำหนัก

$$\text{น้ำหนักของช่อง} = (D_1^2 - D_2^2) \times \frac{\pi}{4} \times \gamma_c \times h$$

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

$$D_1 = 12 \text{ m}$$

$$D_2 = 10 \text{ m}$$

$$\text{น้ำหนักช่องต่อ 1 m} = (12^2 - 10^2) \times \frac{\pi}{4} \times 24.5 \times 1$$

$$= 846 \text{ kN/m}$$

5.2.4 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

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{แรงเสียดทานที่ cutting shoe} &= C\alpha A \\
 &= 100 \times 0.6 \times A \\
 &= 60A \text{ kN} \\
 \text{แรงเสียดทานที่ เหนือ cutting shoe} &= \frac{C\alpha A}{3} \\
 &= 20A \text{ kN}
 \end{aligned}$$

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

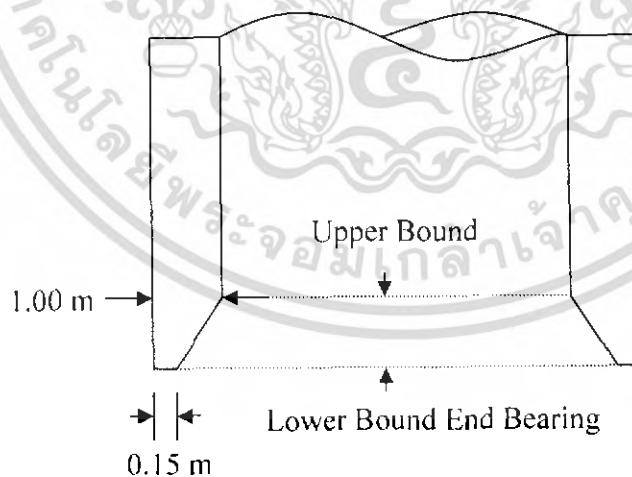
$$N = 28$$

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

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

5.2.5 แรงต้าน End Bearing

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



รูป 5.6 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)

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

สำหรับ D = 0

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

Lower bound (B = 0.15m)

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

สำหรับ D = 0

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

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

$$\begin{aligned}C &= 20 \text{ kPa} \\ \gamma &= 16.5 \text{ kN/m}^3 \\ \phi &= 0 \\ N_q &= 1 \\ N_c &= 5.74 \\ N_\gamma &= 0\end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned}C &= 40 \text{ kPa} \\ \gamma &= 17 \text{ kN/m}^3 \\ \phi &= 0 \\ N_q &= 1 \\ N_c &= 5.74 \\ N_\gamma &= 0\end{aligned}$$

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

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

- 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 = 1.0m)

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

Lower bound (B = 0.15m)

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



การคำนวณการจมของเคของส้(คิดทีละชั้น)

ชั้นที่ 1 ความสูงของเคของส้ 5 เมตร และเคของส้จม 0 เมตร

แรงจมจากน้ำหนัก	ความสูงของเคของส้ (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	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 $H1 \times 12.0 \pi$		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

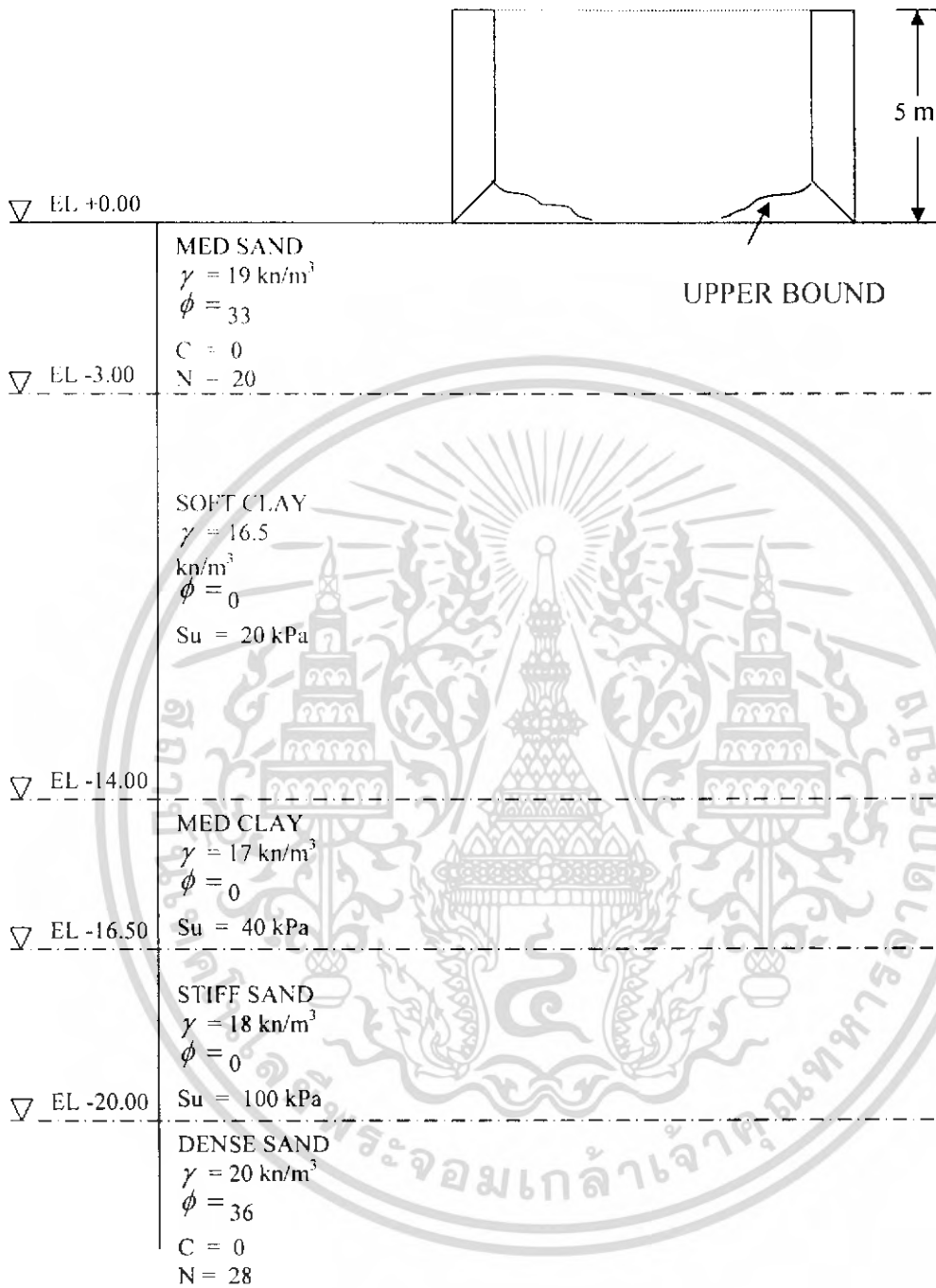
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	36.4	332	12084.8
Soft Clay	20	16.5	0	114.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	229.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	574	0.0
Dense Sand	-	20	0	225	0.0
					12084.8

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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

ชั้นที่ 1



รูปที่ 5.7 การถมชั้นที่ 1

ขั้นที่ 2 ความสูงของเขของส์ 5 เมตร และเขของส์จัม 3 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเขของส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
		5

ที่ Cutting Shoe

	Height h1(m)	Area $H1 * 12.1 \pi$		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 $H1 * 12.0 \pi$		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

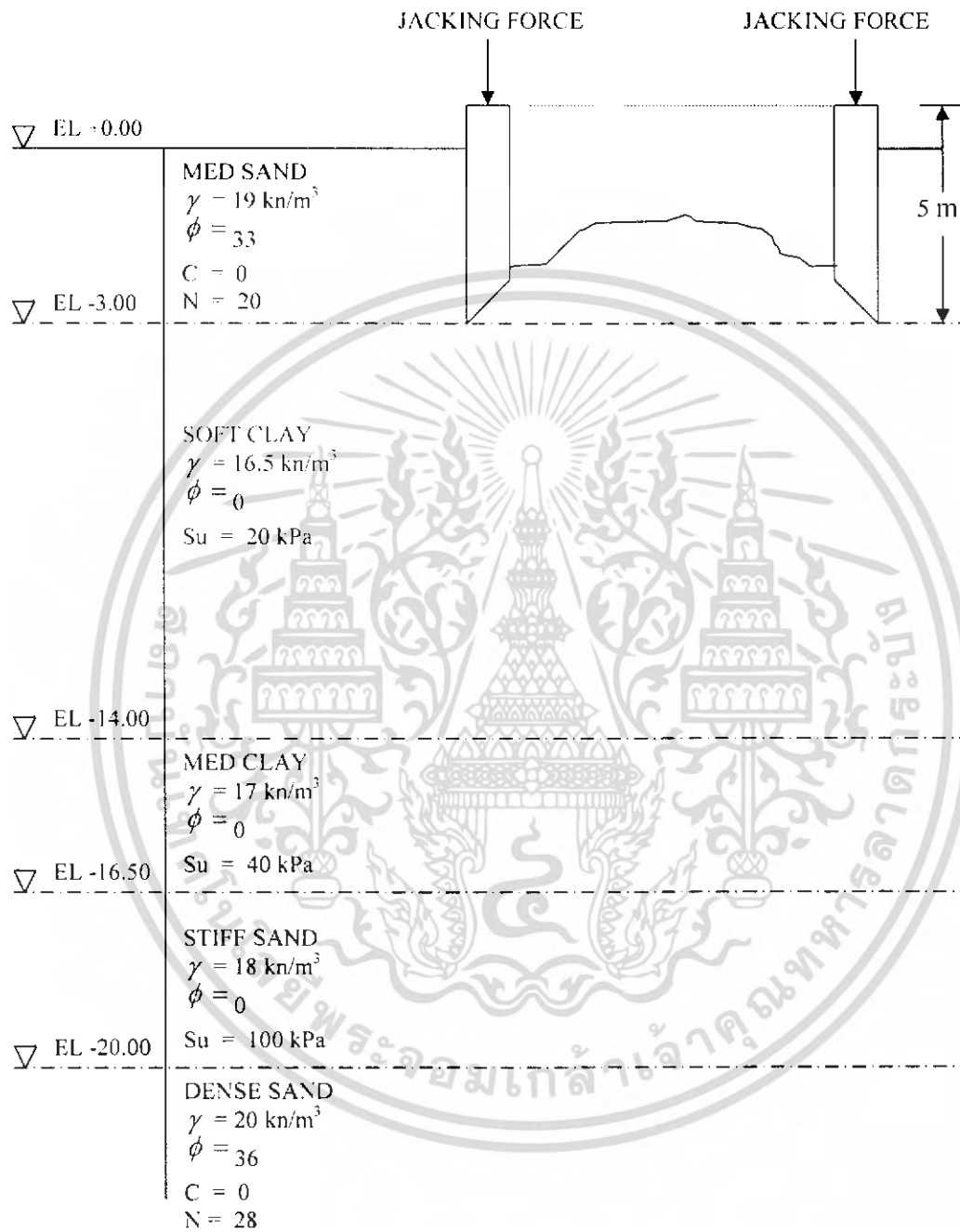
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	2297	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	164.3	5980.5
Med Clay	40	17.0	0	280.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	628	0.0
Dense Sand	-	20	0	1575	0.0
					5980.5

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 – Weight
= 3761.0 kN**

ชั้นที่ 2



รูปที่ 5.8 การถมชั้นที่ 2

ชั้นที่ 3 ความสูงของเสาของสั 8 เมตร และเสาของสัจม 6 เมตร

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

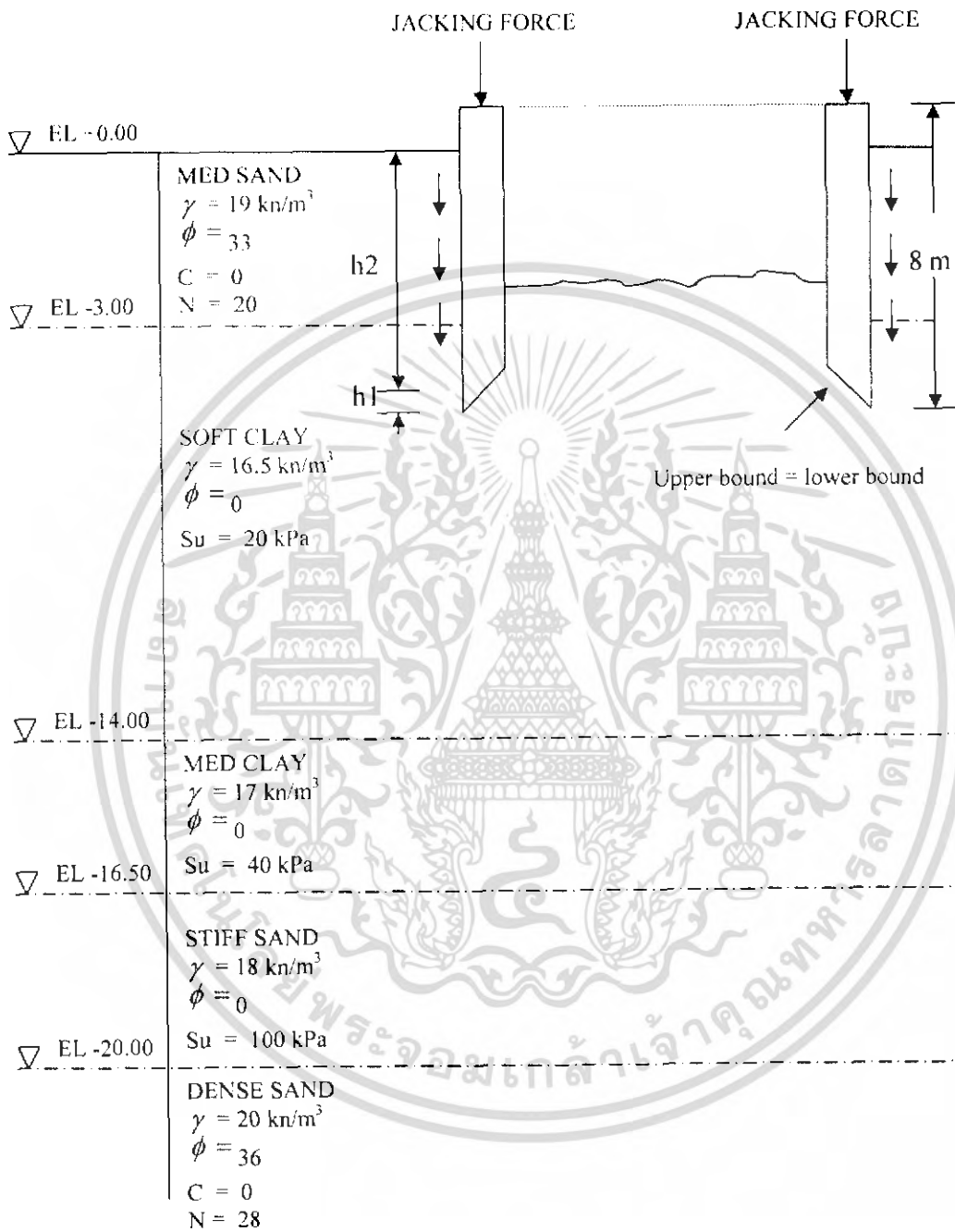
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	4262	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	213.8	7782.3
Med Clay	40	17.0	0	331.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	682	0.0
Dense Sand	-	20	0	2925	0.0
					7782.3

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 - Weight
= 3426.0 kN

ชั้นที่ 3



รูปที่ 5.9 การจมชั้นที่ 3

ขั้นที่ 4 ความสูงของเขของส์ 11 เมตร และเลขของส์จ 9 เมตร

แรงจมจากน้ำหนัก	ความสูงของเขของส์ (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
		11

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

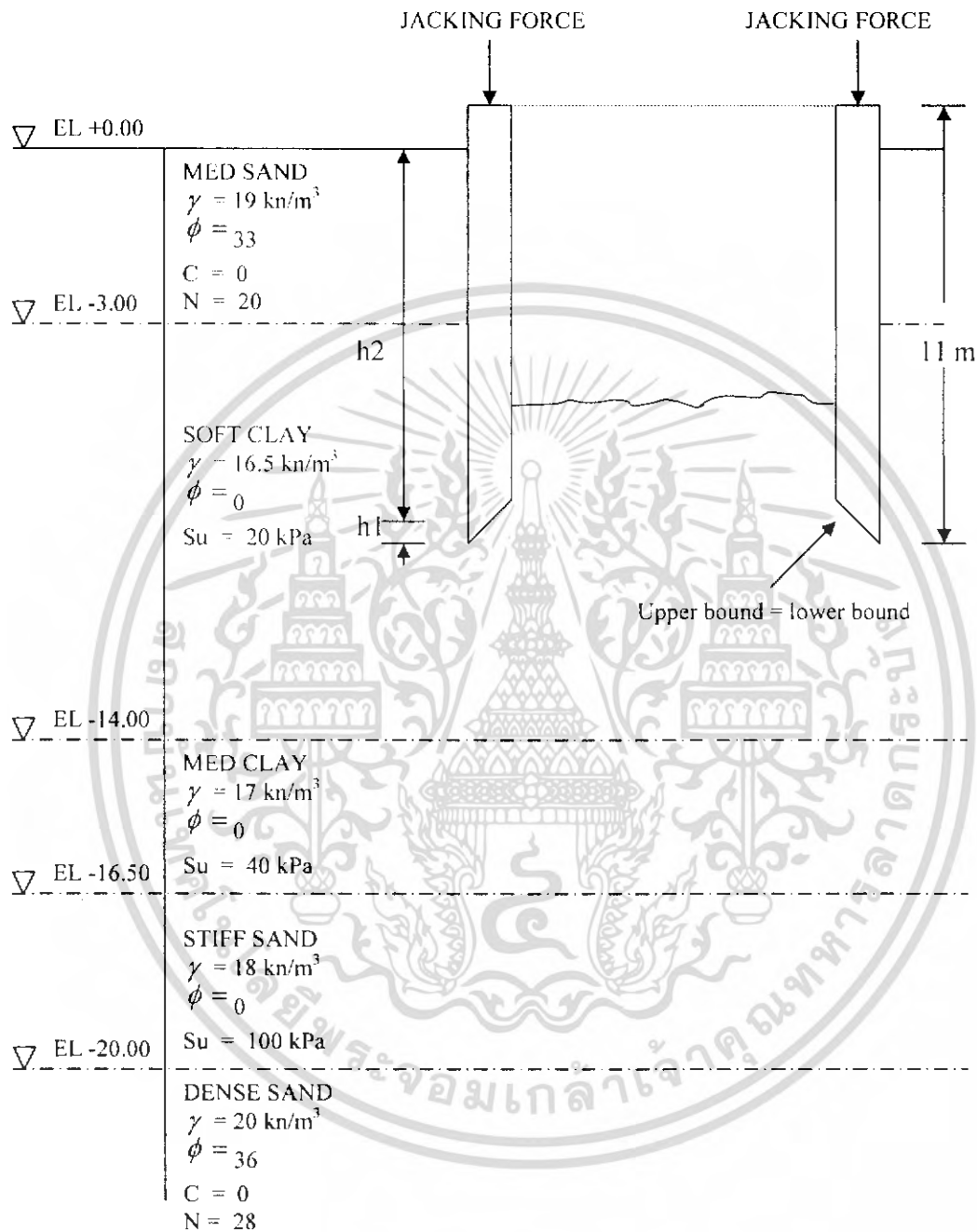
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	6227	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	263.3	9584.1
Med Clay	40	17.0	0	382.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	736	0.0
Dense Sand	-	20	0	4275	0.0
					9584.1

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 5.10 การจมนชั้นที่ 4

ชั้นที่ 5 ความสูงของเสาของสี่ 14 เมตร และเสาของสี่จัม 12 เมตร

แรงจัมจากน้ำหนัก	ความสูงของเสาของสี่ (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

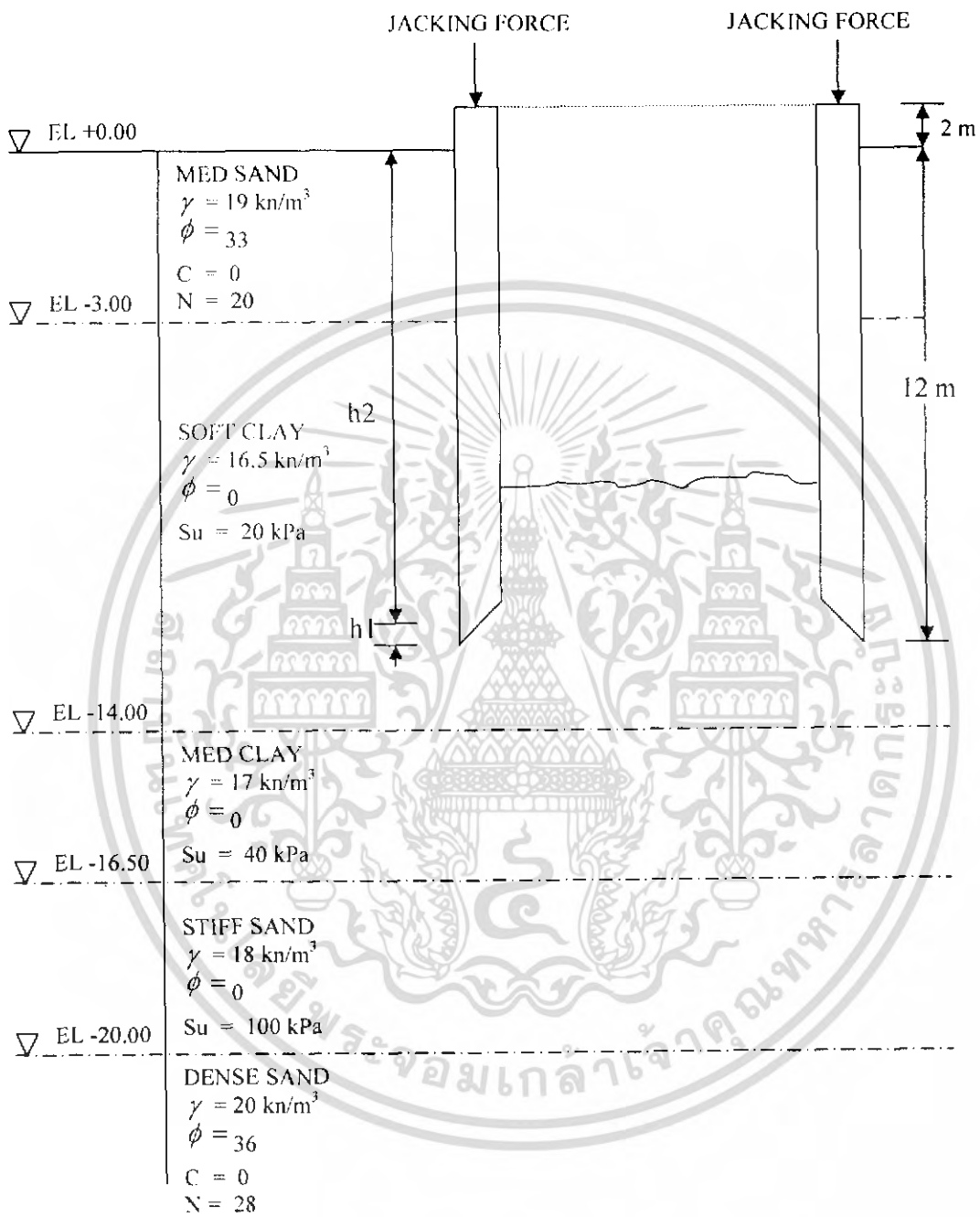
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	8192	0.0
Soft Clay	20	16.5	36.4	312.8	11385.9
Med Clay	40	17.0	0	433.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	790	0.0
Dense Sand	-	20	0	5625	0.0
					11385.9

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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

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

ชั้นที่ 5



รูปที่ 5.11 การถมชั้นที่ 5

ขั้นที่ 6 ความสูงของเคชองส์ 17 เมตร และเคชองส์จม 15 เมตร

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

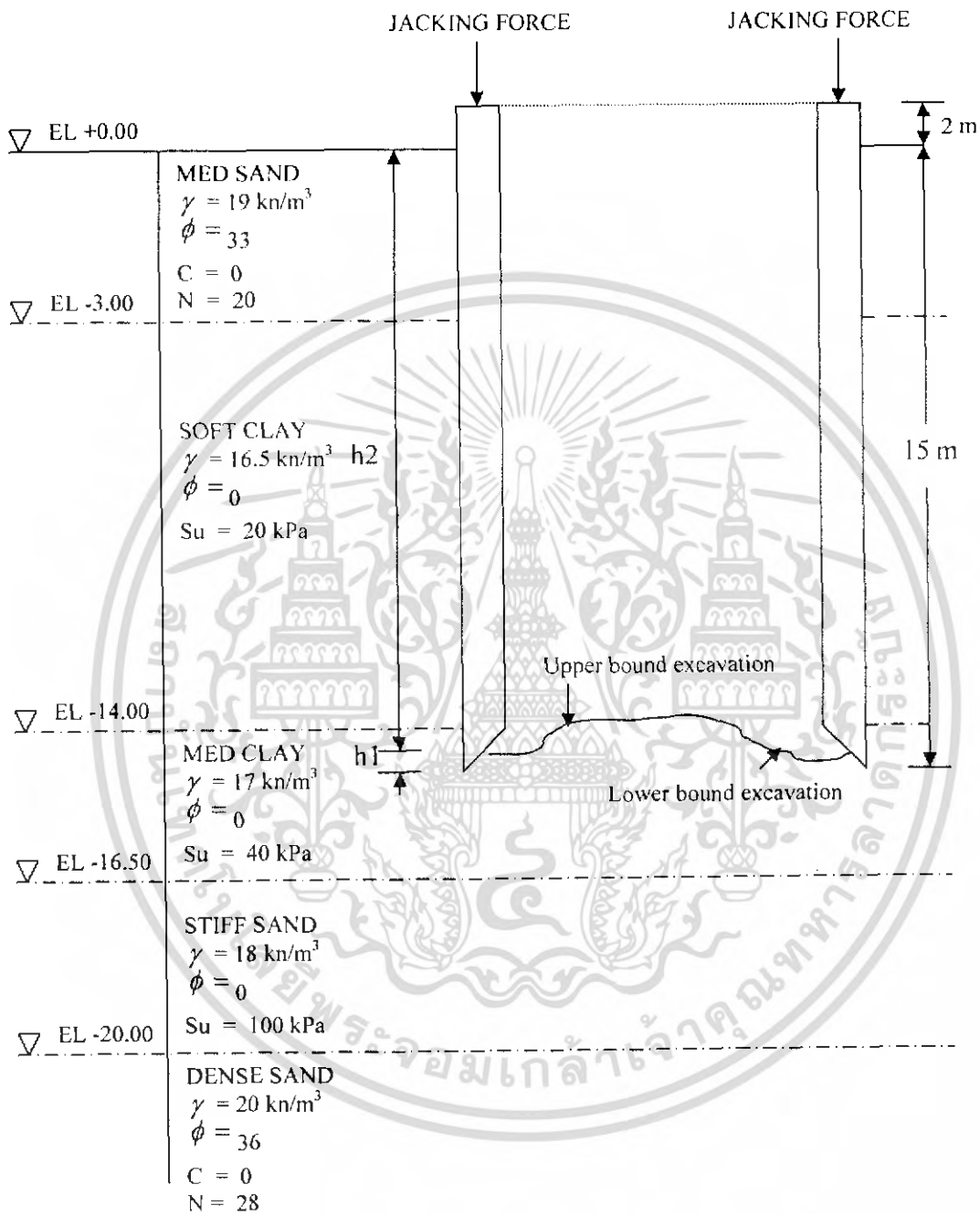
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	10157	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	362.3	0.0
Med Clay	40	17.0	36.4	484.6	17639.4
Stiff Clay	100	18.0	0	844	0.0
Dense Sand	-	20	0	6975	0.0
					17639.4

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 5.12 การถมชั้นที่ 6

ชั้นที่ 7 ความสูงของคอของส 20 เมตร และคอของสจม 17 เมตร

แรงจมน้ำหนัก	ความสูงของคอของส (เมตร)	น้ำหนัก(kN) $(D1^2 - D2^2) * \pi / 4 * 24.5 * H$
	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

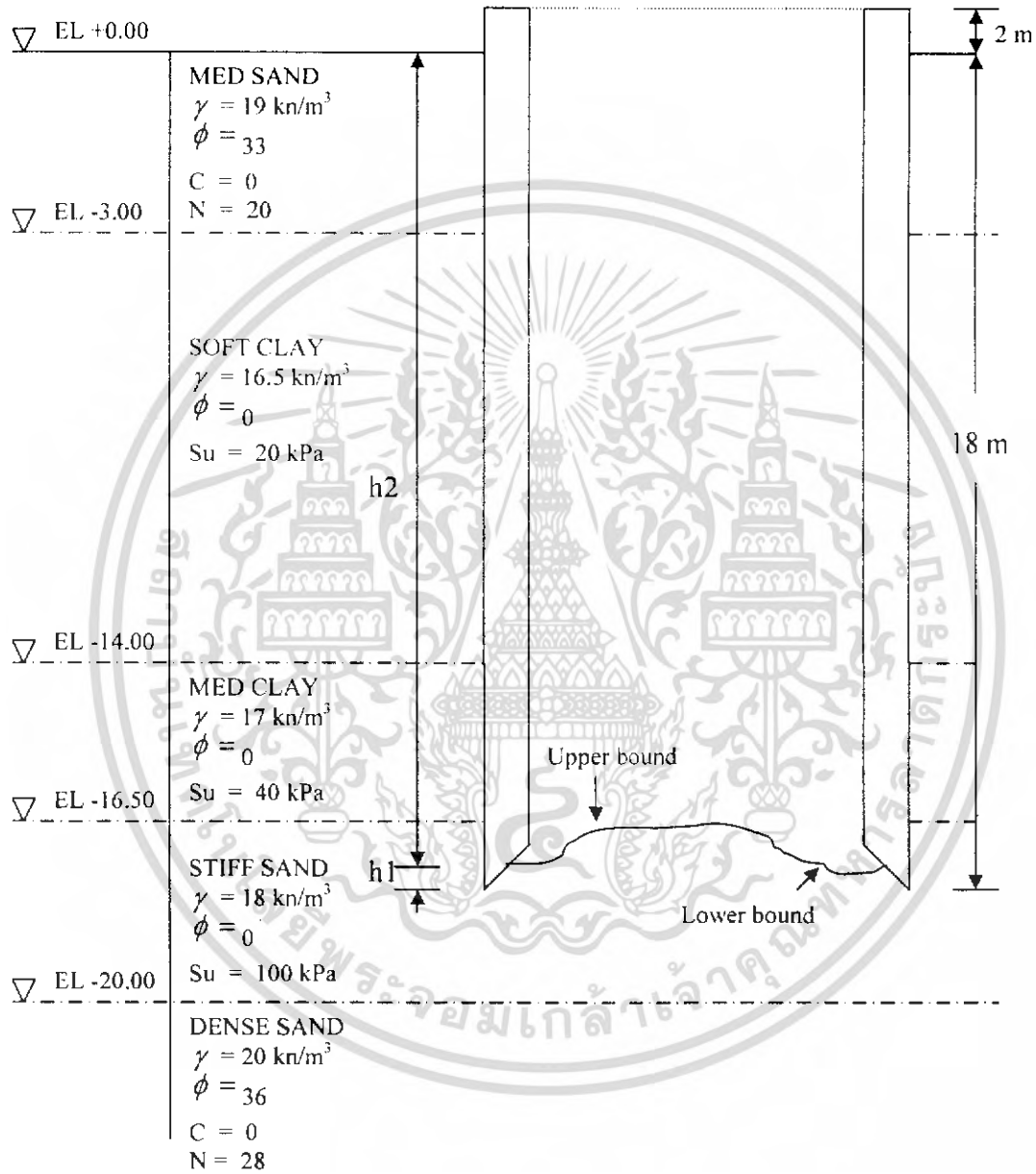
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	12122	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	411.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	535.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	36.4	898	32687.2
Dense Sand	-	20	0	8325	0.0
					32687.2

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 5.13 การจมชั้นที่ 7

ชั้นที่ 8 ความสูงของเขของต 23 เมตร และเขของตจุม 21 เมตร

แรงจุมจากน้ำหนัก	ความสูงของเขของต (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

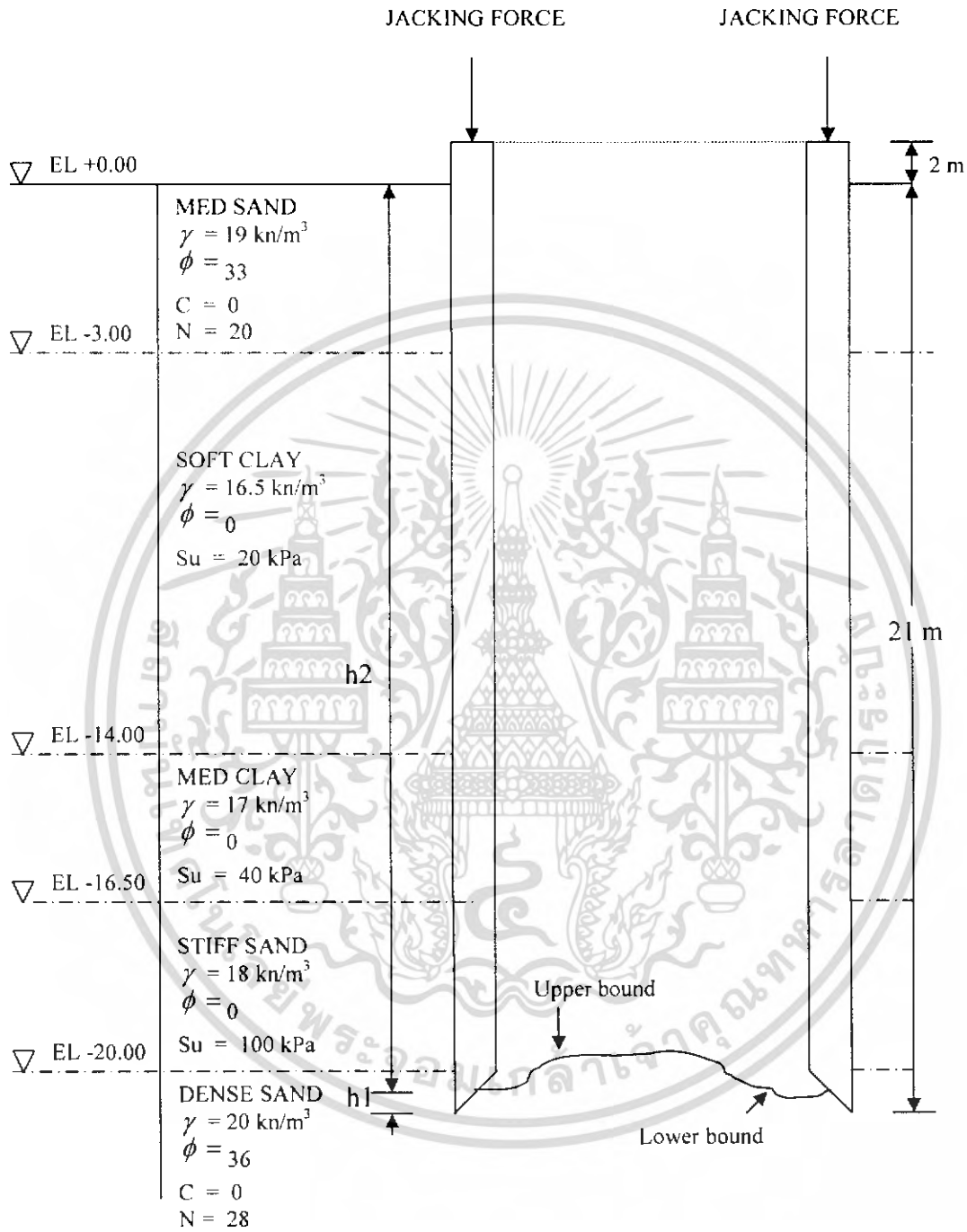
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	14087	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	461.3	0.0
Med Clay	40	17.0	0	586.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	952	0.0
Dense Sand	-	20	36.4	4000	145600
					145600

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 5.14 การจมน้ำชั้นที่ 8

ชั้นที่ 9 ความสูงของเขของส์ 25 เมตร และเขของส์จัม 26 เมตร

แรงจัมจากน้ำหนัก	ความสูงของเขของส์ (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

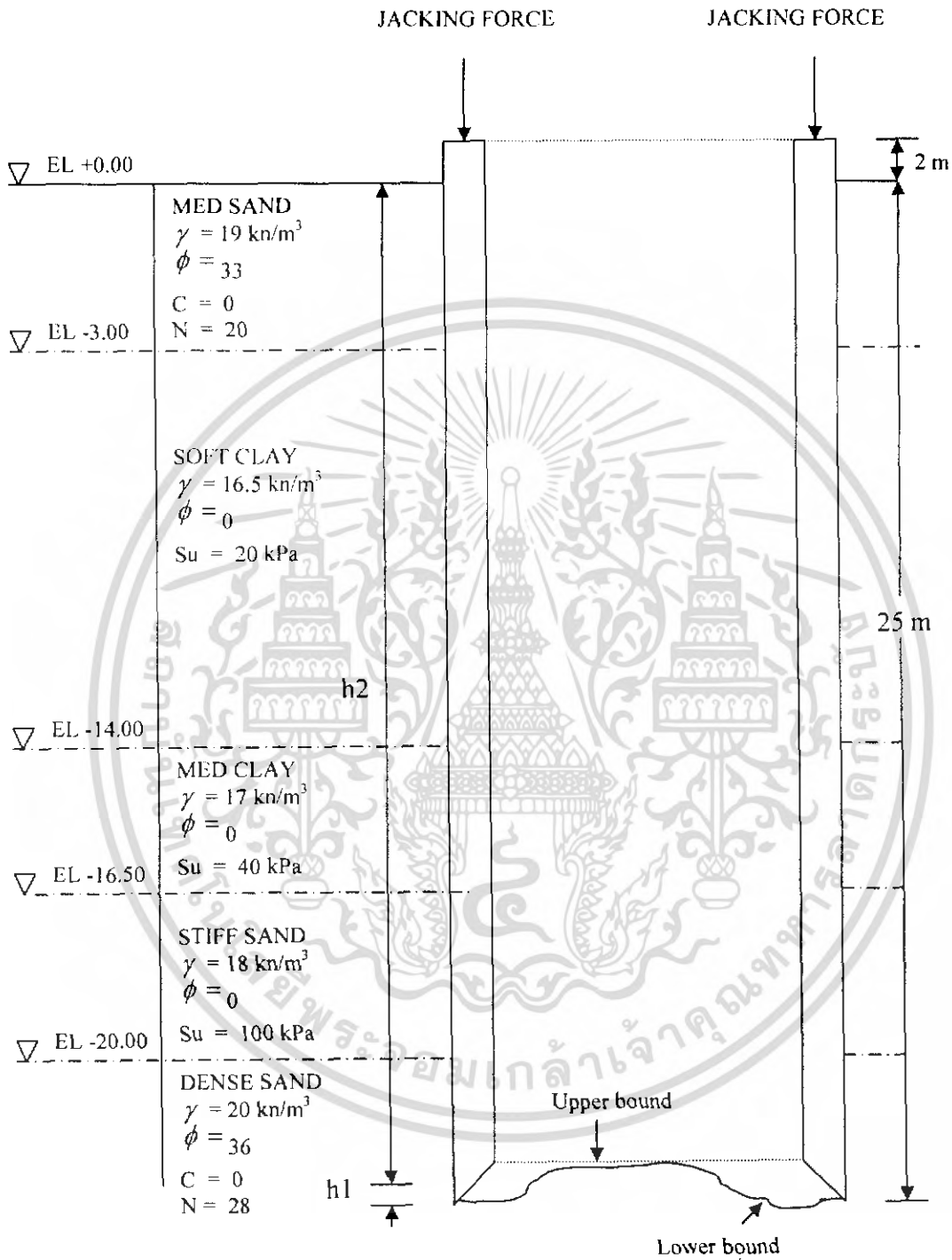
	C-kPa	γ	End area	kPa	kN
Sand Fill	-	19	0	17362	0.0
Soft Clay	20	16.5	0	543.8	0.0
Med Clay	40	17.0	0	671.6	0.0
Stiff Clay	100	18.0	0	1042	0.0
Dense Sand	-	20	36.4	4000	145600
					145600

End Bearing-Lower Bound

	C-kPa	γ	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 5.15 การจมชั้นที่ 9

บทที่ 6

ขั้นตอนการก่อสร้างเคชองส์

6.1 รายละเอียดขั้นตอนการก่อสร้างเคชองส์

รายละเอียดในการก่อสร้างเคชองส์ ได้แบ่งงานตามลักษณะการก่อสร้างออกเป็น

- เตรียมพื้นที่หน้างานก่อสร้างเคชองส์
- งานก่อสร้างเคชองส์
- วิธีการถมเคชองส์
- วิธีการขุดดิน
- Lubrication PIPE
- เครื่องจักรใช้งานในการก่อสร้างเคชองส์
- วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างเคชองส์
- งานคอนกรีต

6.1.1 เตรียมพื้นที่หน้างานก่อสร้างเคชองส์

รื้อย้ายอาคารบริเวณที่จะทำการก่อสร้างเคชองส์ ขุดวัสดุเก่าออก และทำการถมพื้นที่ให้ได้ระดับ ตามที่แบบกำหนดคือ



รูปที่ 6.1 การรื้อย้ายซากวัสดุเก่าออก

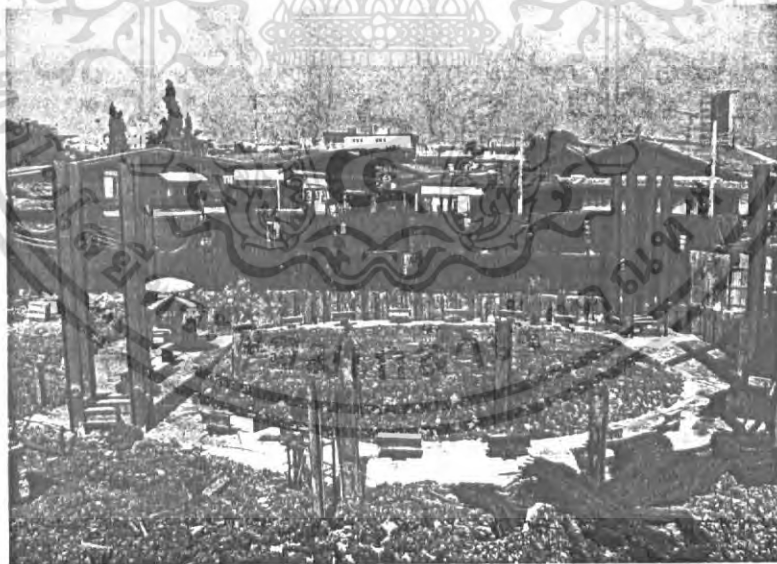
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการวางตำแหน่ง Center Line ของเลของส์



รูปที่ 6.2 การวางตำแหน่ง Center Line

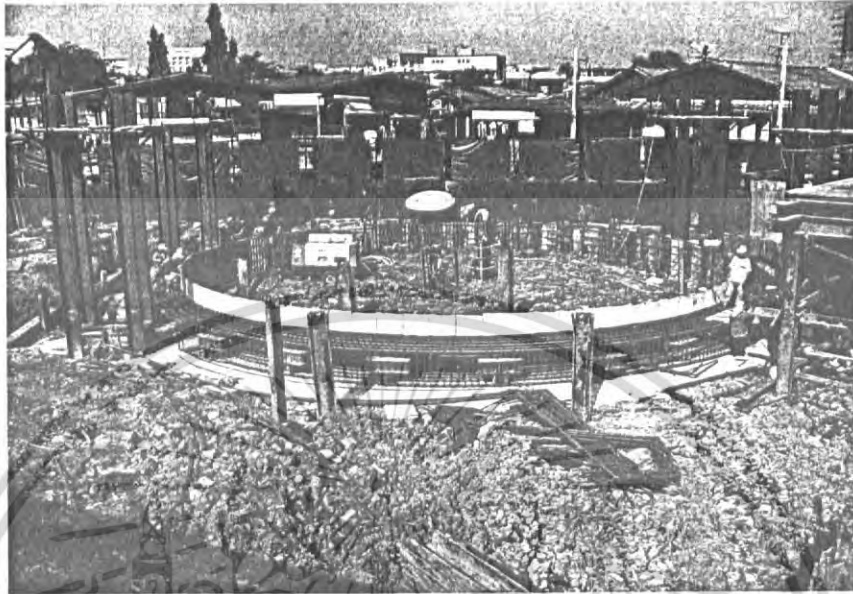
- ทำการตอก H.BEAM ทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ทำ Support ของ Jacking Frame และตอก H.BEAM โดยรอบเพื่อรับน้ำหนัก Ring BEAM



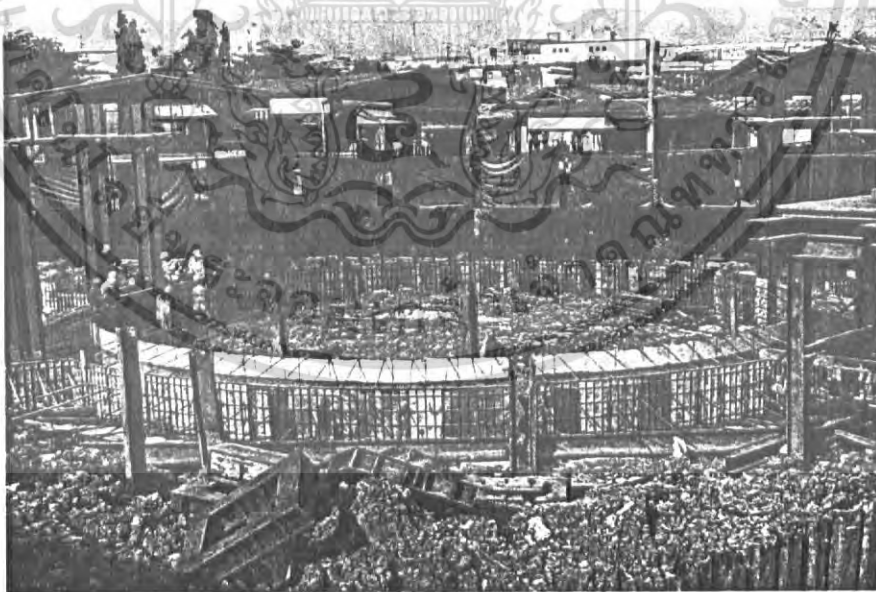
รูปที่ 6.3 การตอก H.BEAM ทั้ง 4 ตำแหน่ง เพื่อใช้ทำ Support ของ Jacking Frame และตอก H.BEAM โดยรอบเพื่อรับน้ำหนัก Ring BEAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เริ่มก่อสร้าง Ring BEAM โดยขุดดินปรับให้ได้ระดับที่ต้องการ เพื่อดังแบบผูกเหล็กและเทคอนกรีต Ring BEAM ตามแบบที่กำหนด

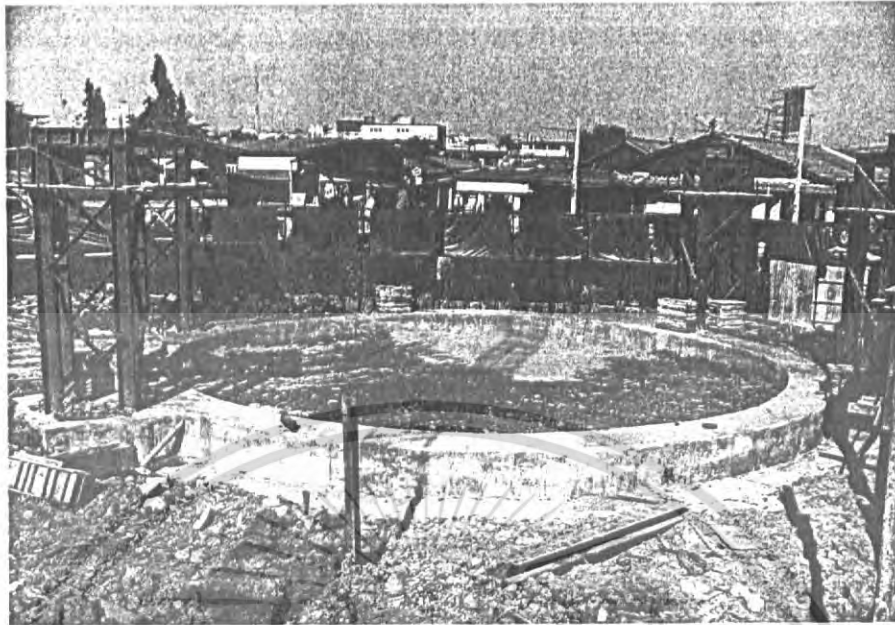


รูปที่ 6.4 การดั่งแบบ ผูกเหล็ก Ring BEAM



รูปที่ 6.5 การเทคอนกรีต Ring BEAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.6 ลักษณะ Ring BEAM

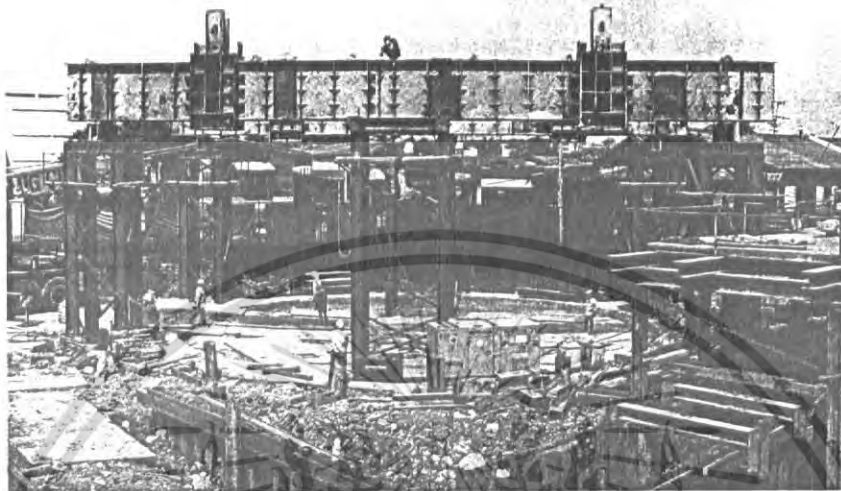
- รื้อแบบ Ring BEAM และทำการถมปรับดินที่ระดับที่กำหนด



รูปที่ 6.7 การปรับระดับดินภายใน Ring BEAM

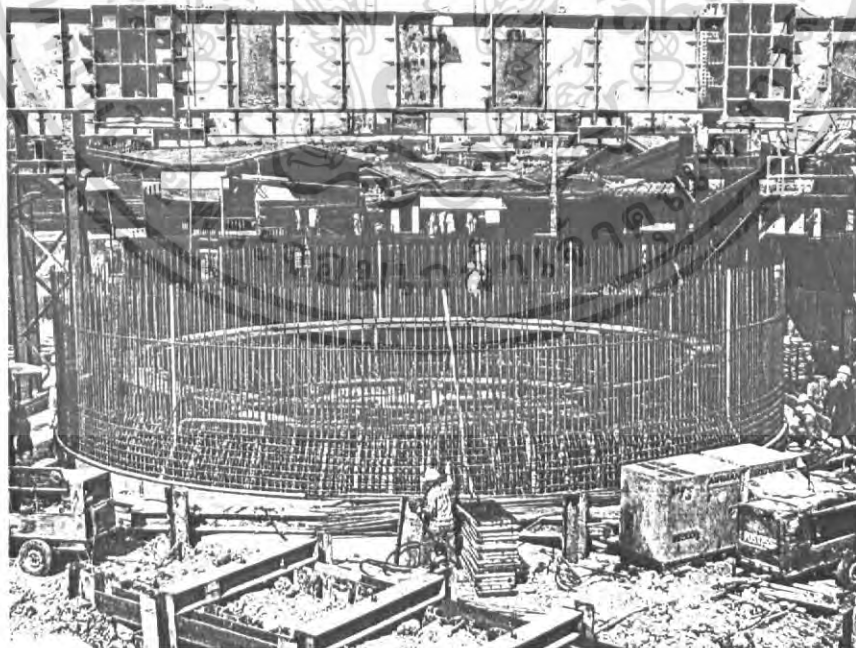
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการติดตั้ง Jacking Frame เพื่อใช้ในการกดเคของส



รูปที่ 6.8 การติดตั้ง Jacking Frame

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

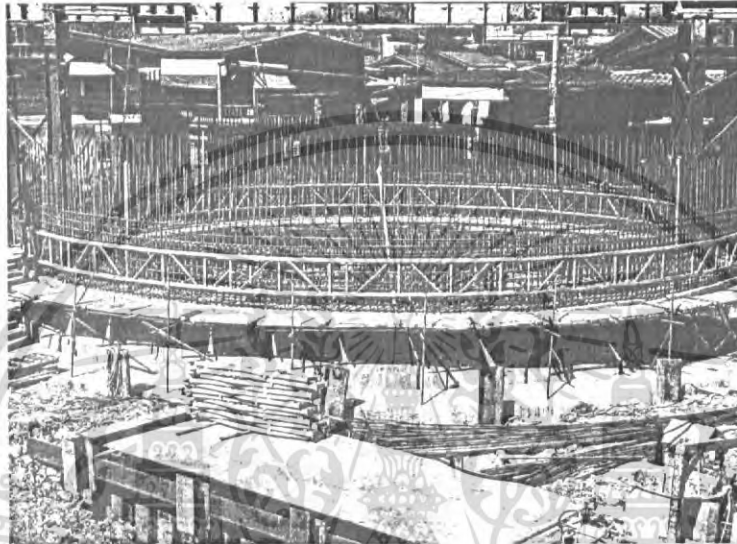


รูปที่ 6.9 การติดตั้ง Cutting Shoe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

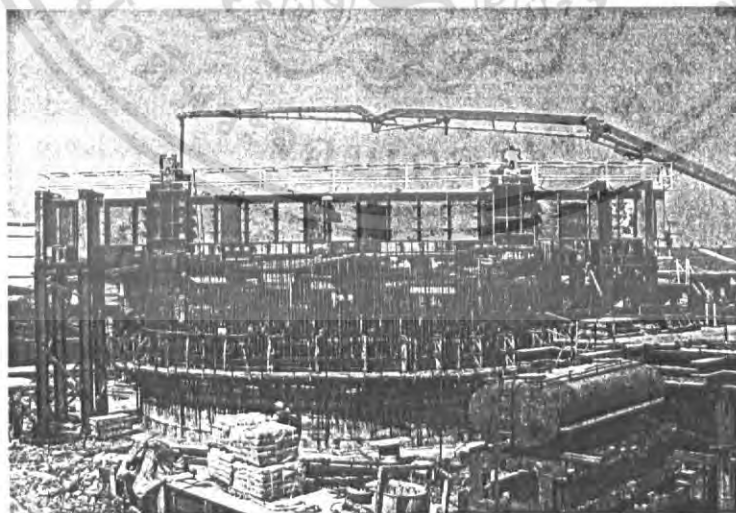
6.1.2 งานก่อสร้างเคของสั

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



รูปที่ 6.10 การติดตั้ง Form Work ของ Slip Formพร้อมผูกเหล็กผนังบ่อพัก

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



รูปที่ 6.11 การเทคอนกรีต Wall ของบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.3 วิธีการจมเคของส์

- หลังจากเริ่มการหล่อบ่อพักตามขั้นตอนที่ 6.1.2 เรียบร้อยแล้ว รออายุ Concrete Strength ประมาณ 75% จึงเริ่มทำการจมบ่อพัก โดยใช้ Clamp-Shell ชูดดินภายในบ่อพักและใช้ Hydraulic Jack กดปล่องเคของส์เพื่อเพิ่มน้ำหนักให้บ่อพักจมลง ตามที่รายการคำนวณ กำหนดไว้



รูปที่ 6.12 การชูดดินภายในเคของส์



รูปที่ 6.13 การจมเคของส์โดย Hydraulic Jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการหล่อผนังปล่องเคของส้ตามขั้นตอนที่ 6.1.2 ขึ้นต่อไปและขุดดินออก ใช้ Hydraulic Jack กดปล่องเคของส้เพื่อเพิ่มน้ำหนักให้บ่อพักจมลง ตามที่รายการคำนวณ กำหนดไว้ ทำเช่นนี้วนไปจนได้ระดับที่ต้องการ

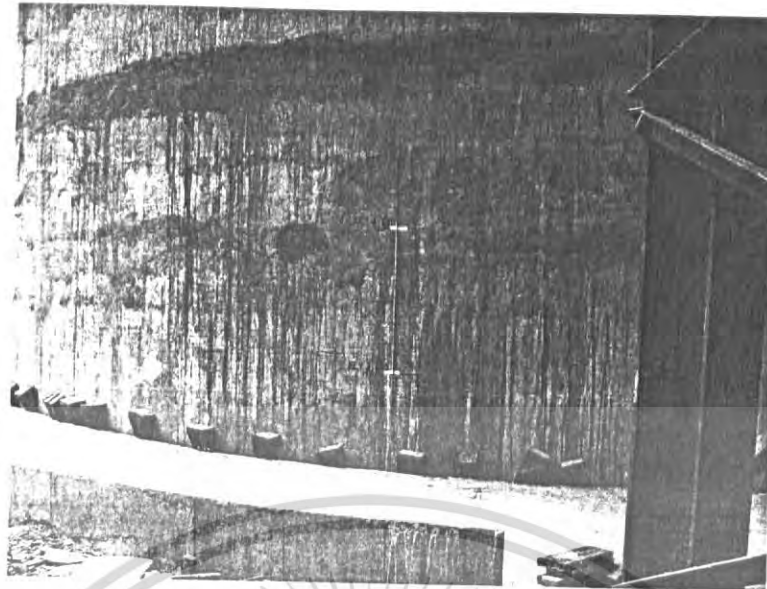
6.1.4 วิธีการขุดดิน

- 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 6.14 การขุดดิน โดยใช้ Crawler Crane ที่มี Clamp-Shell

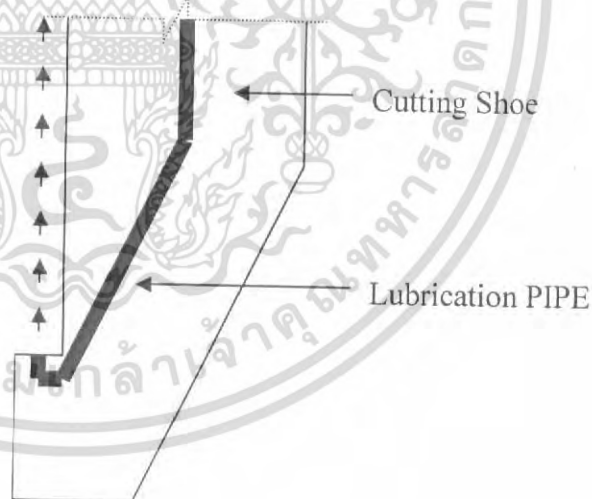
- ปริมาณดินที่ขุดออก จะต้องสัมพันธ์กันกับน้ำหนักของผนังปล่องเคของส้ และ Hydraulic Jack เพื่อป้องกันไม่ให้ปล่องเคของส้จมมากกว่าที่ต้องการ



รูปที่ 6.15 การใช้ไม้หนูนเพื่อหยุดการจมเคของส

6.1.5 Lubrication PIPE

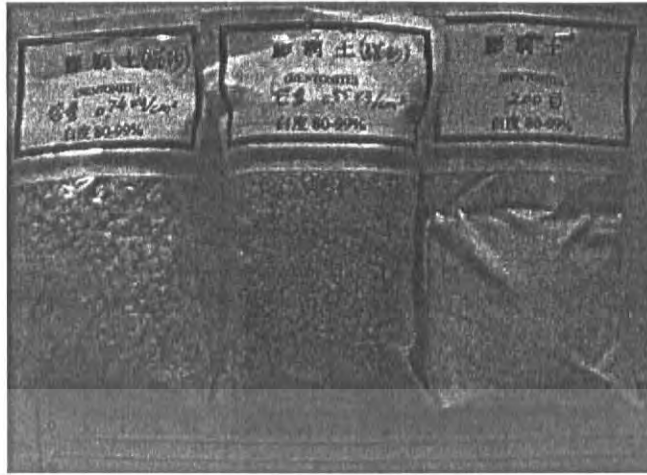
Lubrication PIPE คือ ท่อที่ฝังไว้ใน Cutting Shoe เพื่อฉีดสารหล่อลื่น ซึ่งจะเป็ นการช่วยลดแรงเสียดทานดินที่เกิดขึ้นบริเวณผนังของส



รูปที่ 6.16 ลักษณะท่อ Lubrication PIPE

ในระหว่างการจมปล่องเคของสจะต้ง Lubrication Pipe โดยใช้ Bentonite Grout ฉีดลงไปรอบๆข้อพับ เพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างดินกับผนังปล่องเคของส โดยใช้เครื่อง Grout Low Pressure ฉีด Bentonite ลงไปรอบๆปล่องอุโมงค์

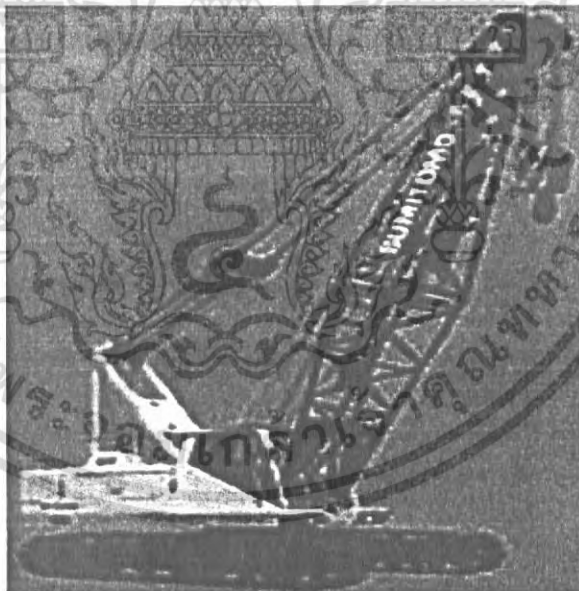
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.17 ลักษณะ Bentonite

6.1.6 เครื่องจักรใช้งานในการก่อสร้างของส

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



รูปที่ 6.18 Crawler Crane

- Dump Truck 6 Well ใช้ในการขนดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.19 Dump Truck 6 Well

- Water Truck ใช้ลดการกระจายของฝุ่นบริเวณหน้างานก่อสร้าง



รูปที่ 6.20 Water Truck

- Clamp-Shell Hydraulic เป็นเครื่องมือใช้ในการตัก ขุดดิน ในบริเวณที่มีความลึกเกินกว่าที่ Backhole ตักดินได้



รูปที่ 6.21 Clamp-Shell Hydraulic

- Hydraulic Jack ใช้คดผนังของส้ เพื่อช่วยในการจมนของส้



รูปที่ 6.22 Hydraulic Jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Backhole ใช้ในการขุดดิน
- Hi Presser Pump
- Grouting Equipment ใช้ในการหล่อที่ระหว่างการจมเคของส

6.1.7 วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างเคของส

วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างปล่องเคของสต้องเป็นไปตาม Specification ของกทม. โดยผ่านการตรวจสอบจากผู้ควบคุมงาน

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

6.1.8 งานคอนกรีต

- อัตราการผสมคอนกรีตอยู่ระหว่าง 20-25 m³/ชั่วโมง
- อัตราการเทคอนกรีตโดยเครน 20 นาที/คัน

6.2 ขั้นตอนการก่อสร้างของซี

ขั้นที่ 1 ปรับพื้นที่เตรียมงาน

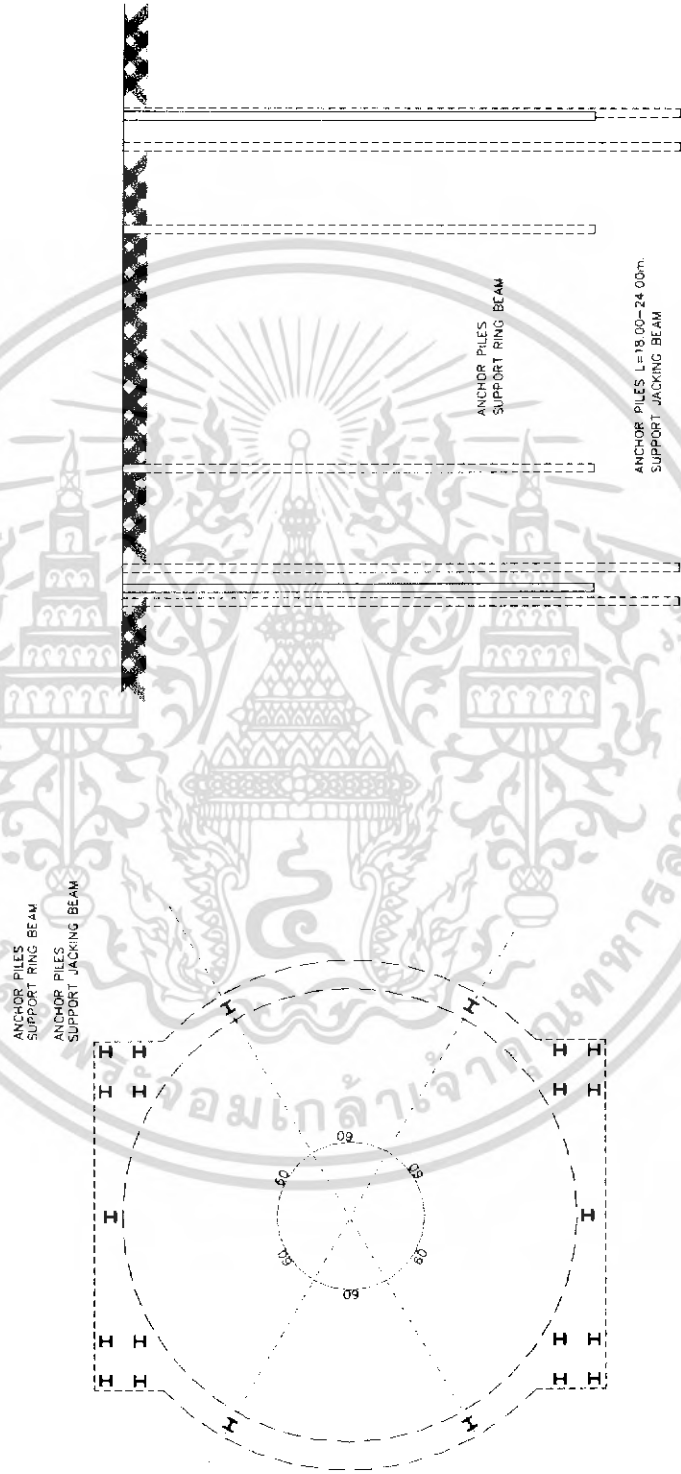
ขั้นที่ 2 ทำการตอก H-BEAM เพื่อทำ SUPPORT JACKING BEAM ทั้ง 4 มุมๆ ละ 4 ต้น



รูปที่ 6.23 การก่อสร้างของขั้นที่ 1 และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

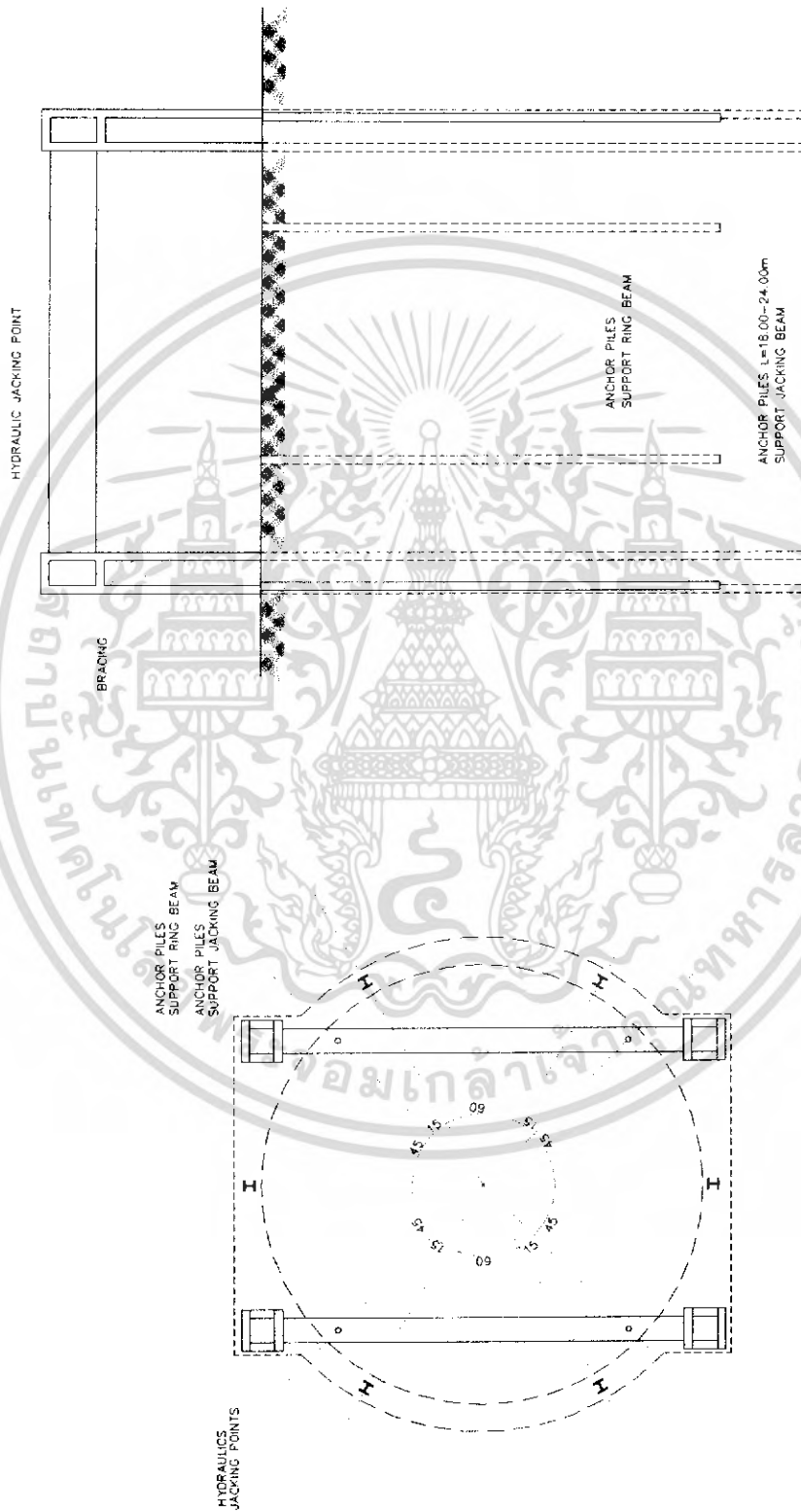
ขั้นที่ 3 ทำการตอก H-BEAM เพื่อเป็นเข็มรับน้ำหนัก RING BEAM โดยรอบ



รูปที่ 6.24 การก่อสร้างของขั้นที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

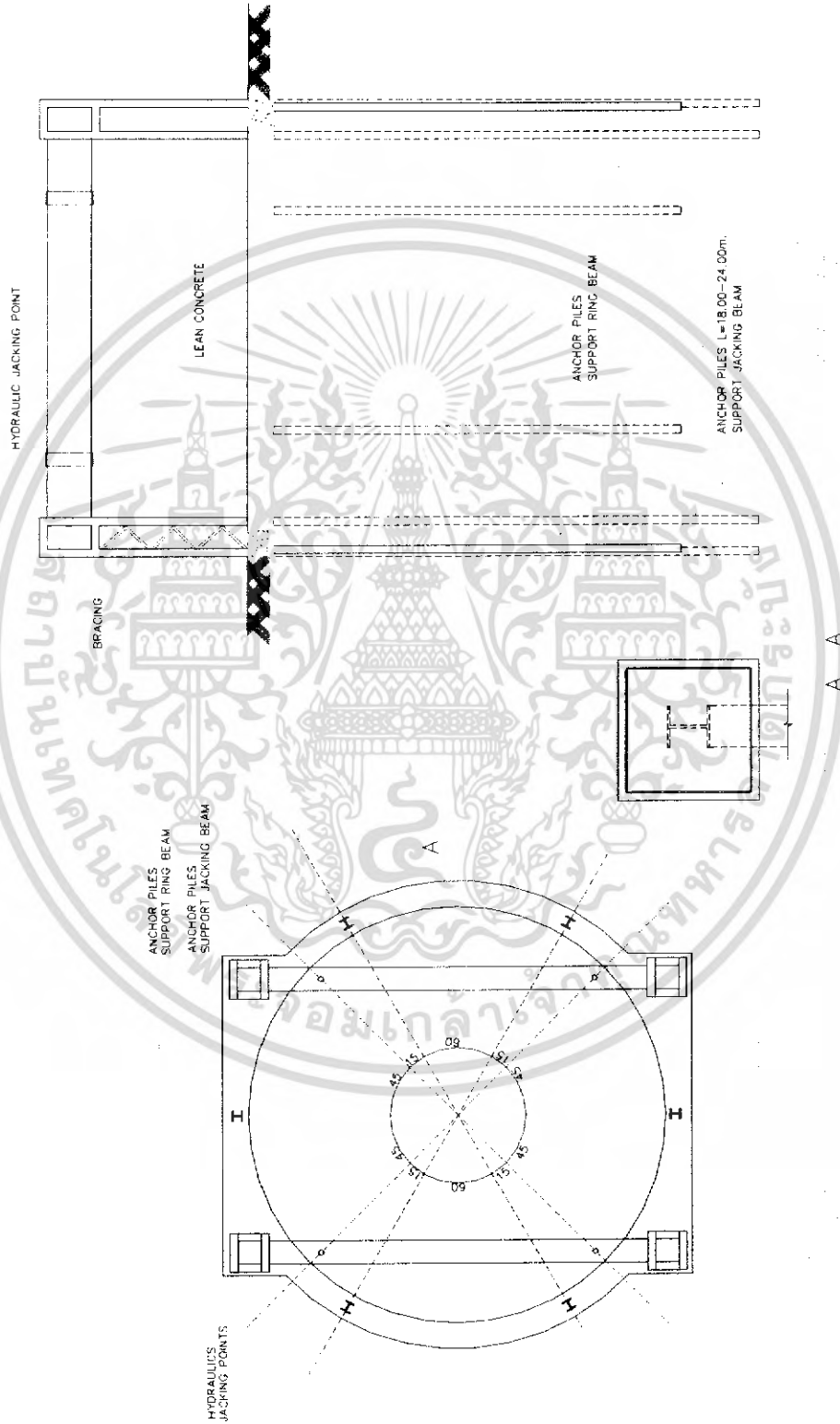
ขั้นที่ 4 ทำการติดตั้ง JACKING BEAM และอุปกรณ์ HYDRAULIC



รูปที่ 6.25 การก่อสร้างของขั้นที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 5 ชุดค้ำรับระดับภายใน RING BEAM และเท LEAN CONCRETE

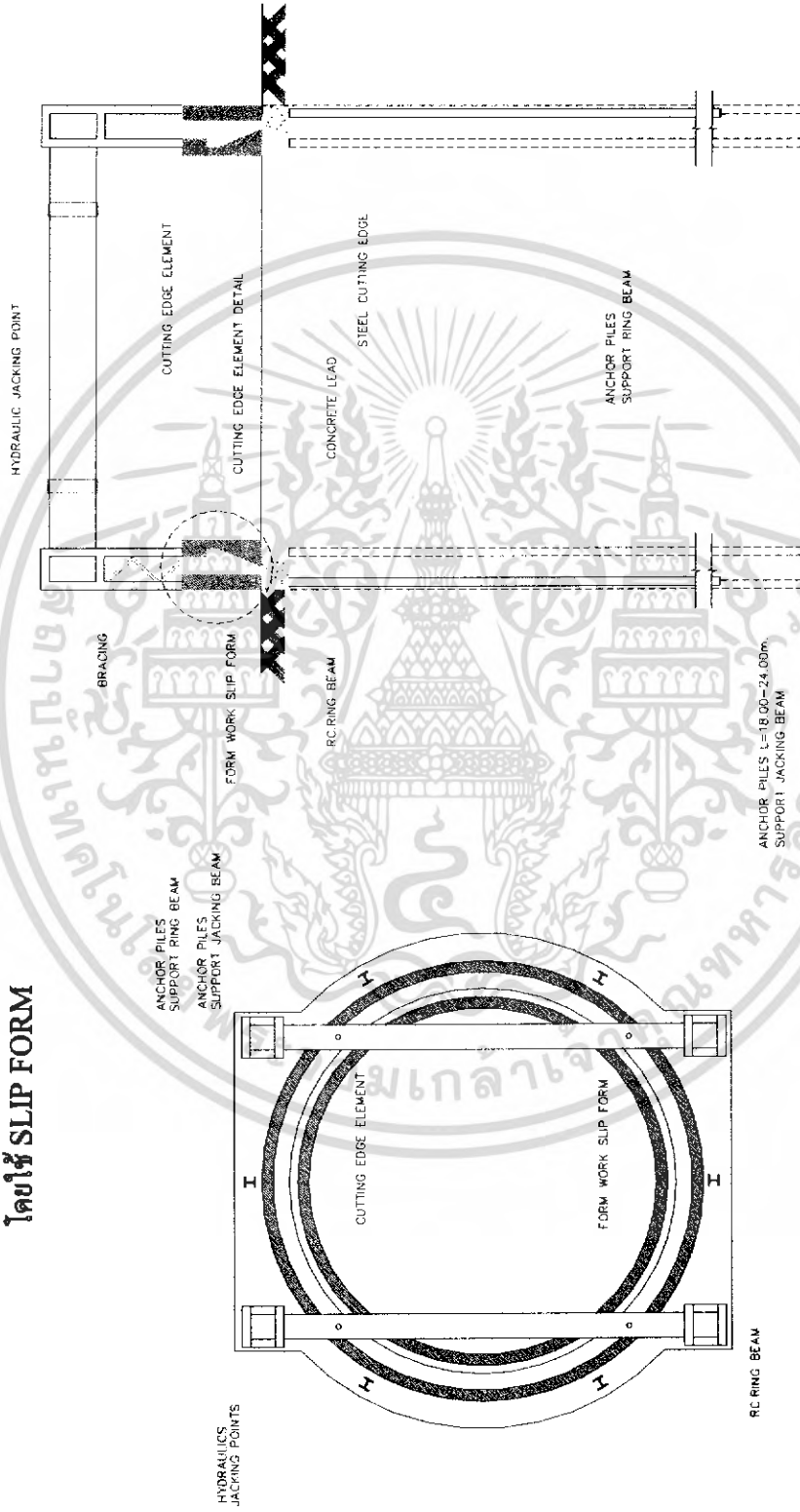


รูปที่ 6.26 การก่อสร้างค้ำของชั้นที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 6 เริ่มทำการหล่อผนังของสี่ โดยชั้นที่ 1 CUTTING EDGE ความสูง 3 เมตร

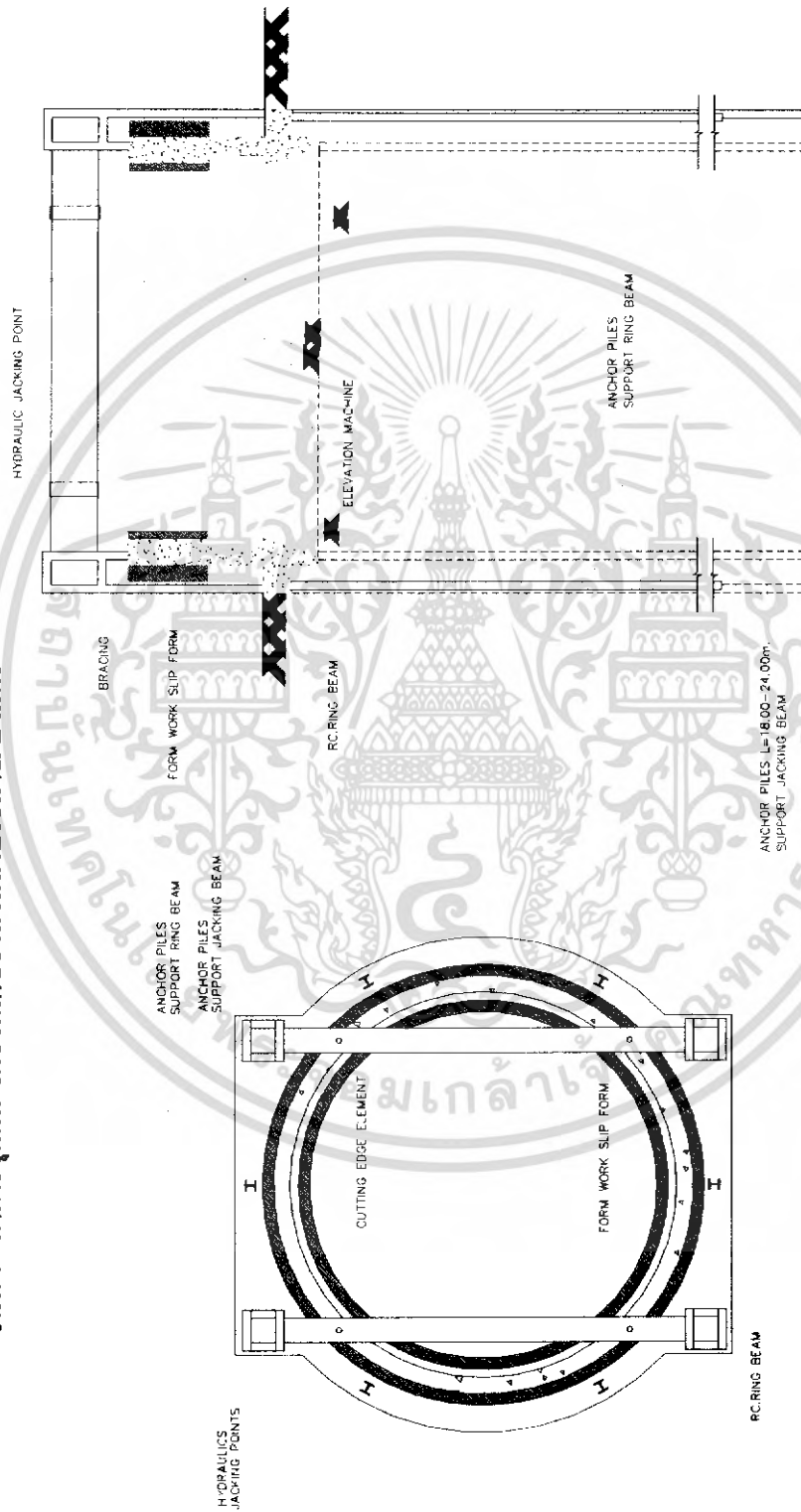
โดยใช้ SLIP FORM



รูปที่ 6.27 การก่อสร้างของขั้นที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

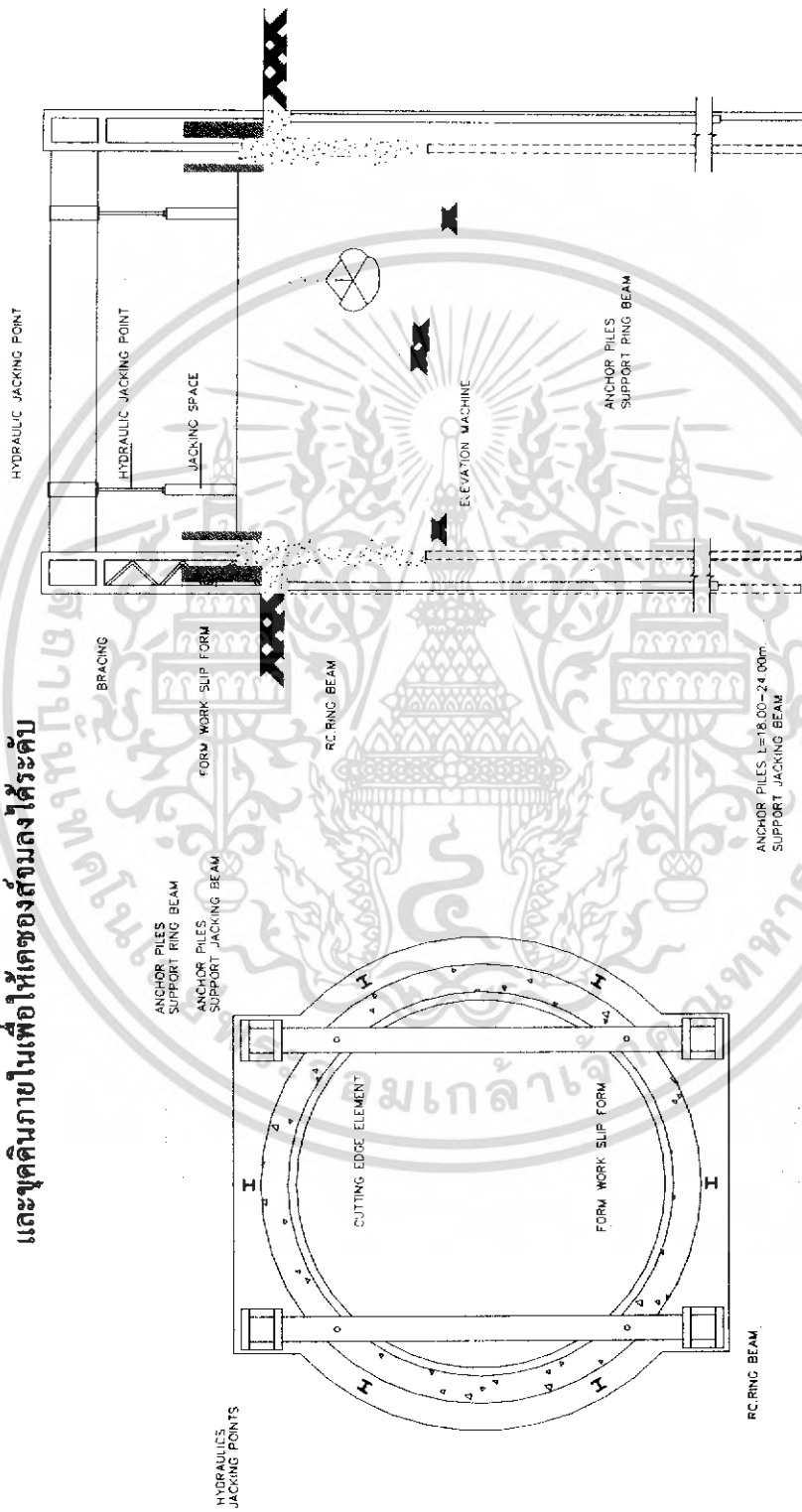
ขั้นที่ 7 ทำการขุดดิน เพื่อให้เคตของถังมลงประมาณ 2 เมตร



รูปที่ 6.28 การก่อสร้างเคตของถังขั้นที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

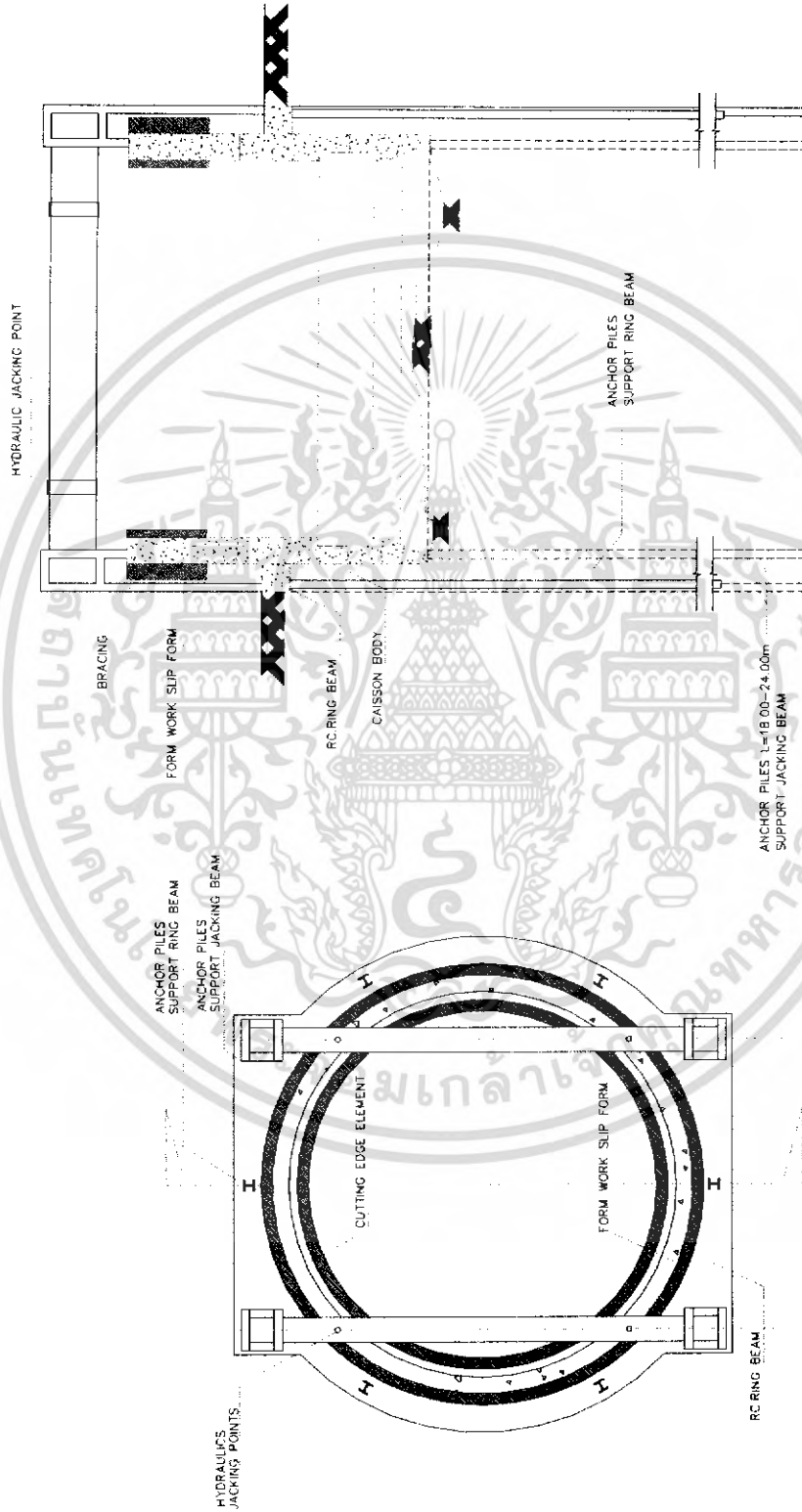
ขั้นที่ 8 เมื่อคอนกรีตได้เยย ทำการขุดคานภายใน และใช้ HYDRAULIC กัดเศษของสตั๊ และขุดคานภายในเพื่อให้ตรงสตั๊มลงใต้ระดับ



รูปที่ 6.29 การก่อสร้างของขั้นที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

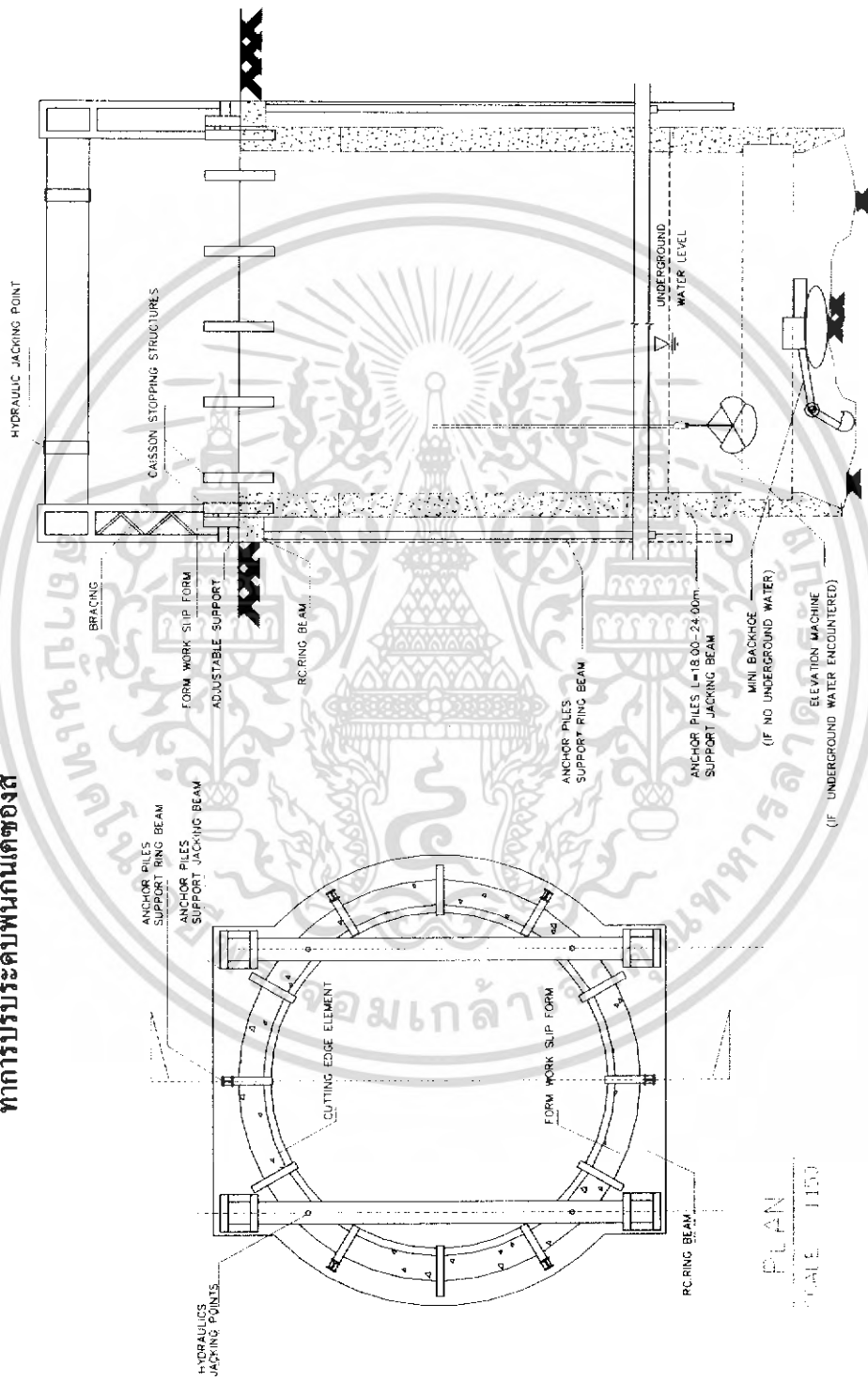
ขั้นที่ 9 ทำการทดสอบกริดผนังของถังตามขั้นตอนที่ 7-8 โดยใช้ SLIP FORM



รูปที่ 6.30 การก่อสร้างของถังขั้นที่ 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 10 เมื่อทำการก่อสร้างผนังของสไลด์รูปรี และทำการจackingของสไลด์ระดับแล้ว
 ทำการปรับระดับพื้นที่กันตของสไลด์

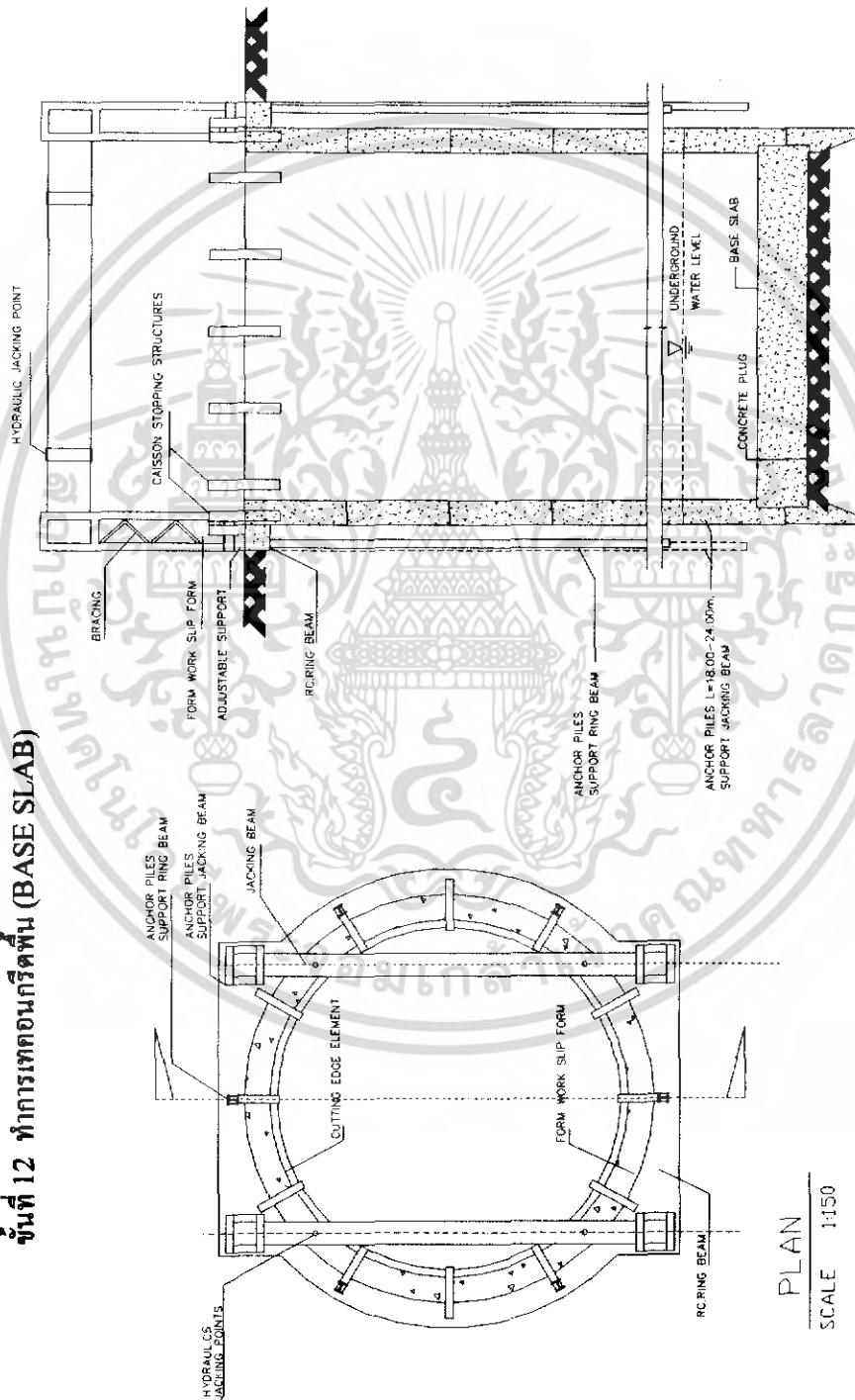


รูปที่ 6.31 การก่อสร้างของขั้นที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นที่ 11 ทำการเทคอนกรีต (CONCRETE PLUG)

ชั้นที่ 12 ทำการเทคอนกรีตพื้น (BASE SLAB)



รูปที่ 6.32 การก่อสร้างของชั้นที่ 11 และ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

Lab Monitoring

7.1 ความหมาย

Lab Monitoring คือ การตรวจสอบสถานะต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการทำงานก่อสร้าง ซึ่งในงานการก่อสร้างจะของสิ่งนี้ด้วยกัน 3 อย่าง คือ Piezometer Inclinometer และ Extensometer

7.1.1 Piezometer

Piezometer คือ เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบระดับน้ำใต้ดิน โดยจะติดตั้งที่ในพื้นที่ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างการใช้ Piezometer ในการตรวจสอบระดับน้ำใต้ดินทำให้สามารถทราบลักษณะต่างๆ ได้ดังนี้

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



รูปที่ 7.1 ลักษณะหัวและเครื่องอ่านค่าของ Piezometer

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



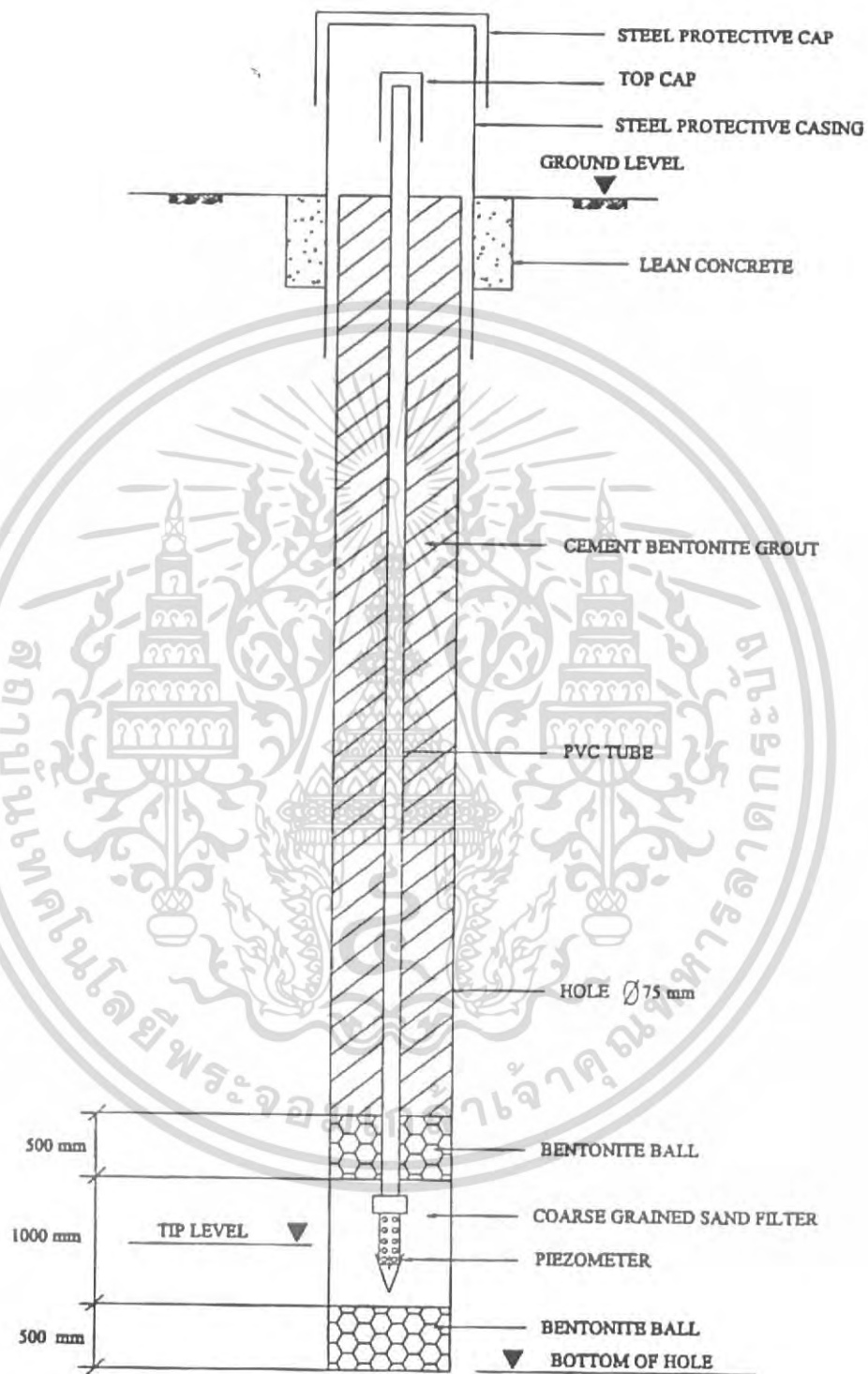
รูปที่ 7.2 การติดตั้ง Piezometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.3 การติดตั้ง Piezometer

Piezometer สามารถวัดระดับน้ำได้โดยเครื่องวัดระดับน้ำซึ่งประกอบด้วย เครื่องมือตรวจวัดอย่างละเอียด คือ graduated cable หรือ เทป และ cable reel ที่ติดตั้งระบบอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องมือตรวจวัดอย่างละเอียดนี้จะถูกส่งลงไปในห้อง standpipe จนกระทั่งมันสัมผัสกับผิวน้ำ ซึ่งมันจะส่งสัญญาณโดยไฟกระพริบและกริ่งไฟฟ้าที่อยู่ภายใน cable reel ความลึกของระดับน้ำจะถูกอ่านได้โดยเทปหรือเคเบิ้ล



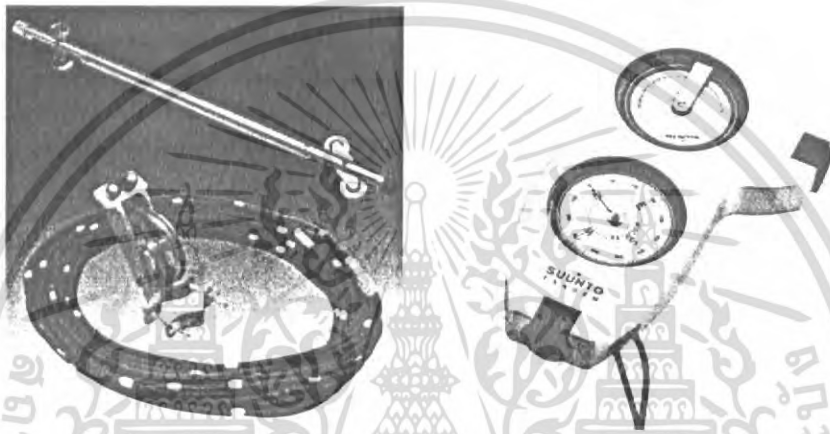
TYPICAL DETAILS OF CASAGRANDE PIEZOMETER INSTALLATION

รูปที่ 7.4 รายละเอียดการติดตั้ง Piezometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.2 Inclinometer

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

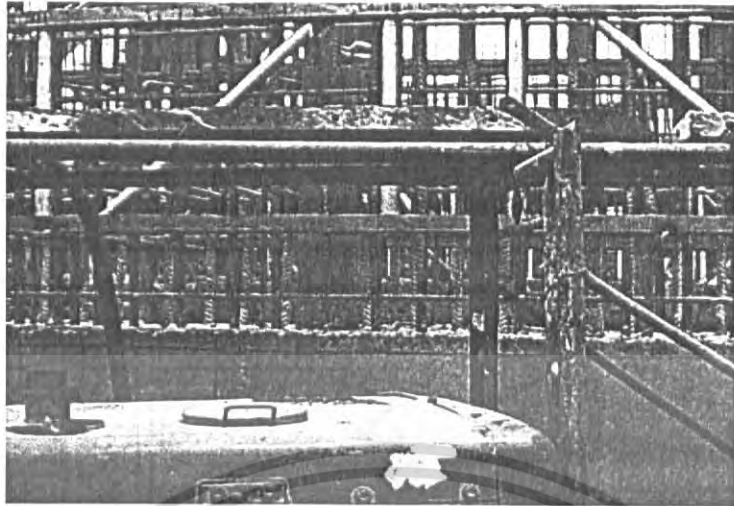


รูปที่ 7.5 อุปกรณ์ของเครื่อง inclinometer

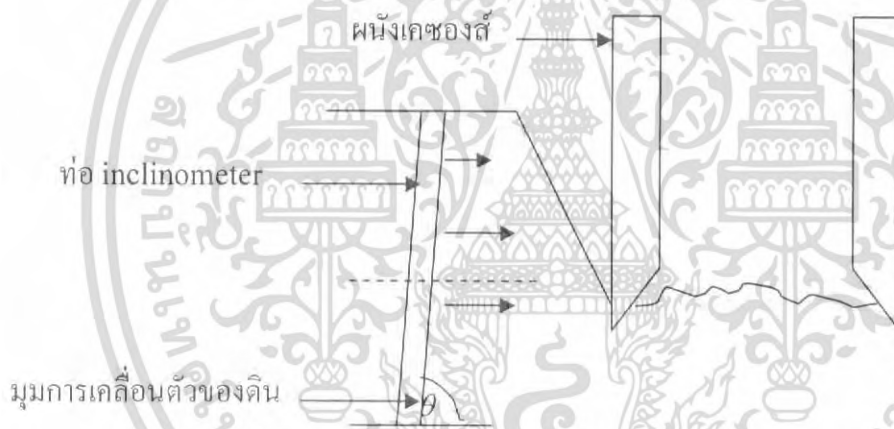
ในการสำรวจโดยวิธี inclinometer โดยส่วนจะทำการสำรวจในบริเวณดินที่มีความลาดชัน ในการก่อสร้างเขื่อนจะทำการฝังท่อและอุปกรณ์ของ inclinometer ไว้บริเวณผนังของเขื่อนซึ่งจะเอาไว้ตรวจสอบการเคลื่อนตัวของดินเข้ามาภายในเขื่อนว่า มีผลกระทบมากน้อยเพียงใด ซึ่งในงานก่อสร้างเขื่อนแบ่งประเภทของ inclinometer ออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะการติดตั้งคือ

- Inclinometer in Caisson Wall ติดตั้งใน Caisson Wall บริเวณด้านหลังของเขื่อน
- Inclinometer in Ground ติดตั้งในดินบริเวณใกล้เขื่อน โดยจะติดตั้งห่างจากเขื่อนประมาณ 15-20 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 Inclinometer in Caisson Wall ติดตั้งใน Caisson Wall

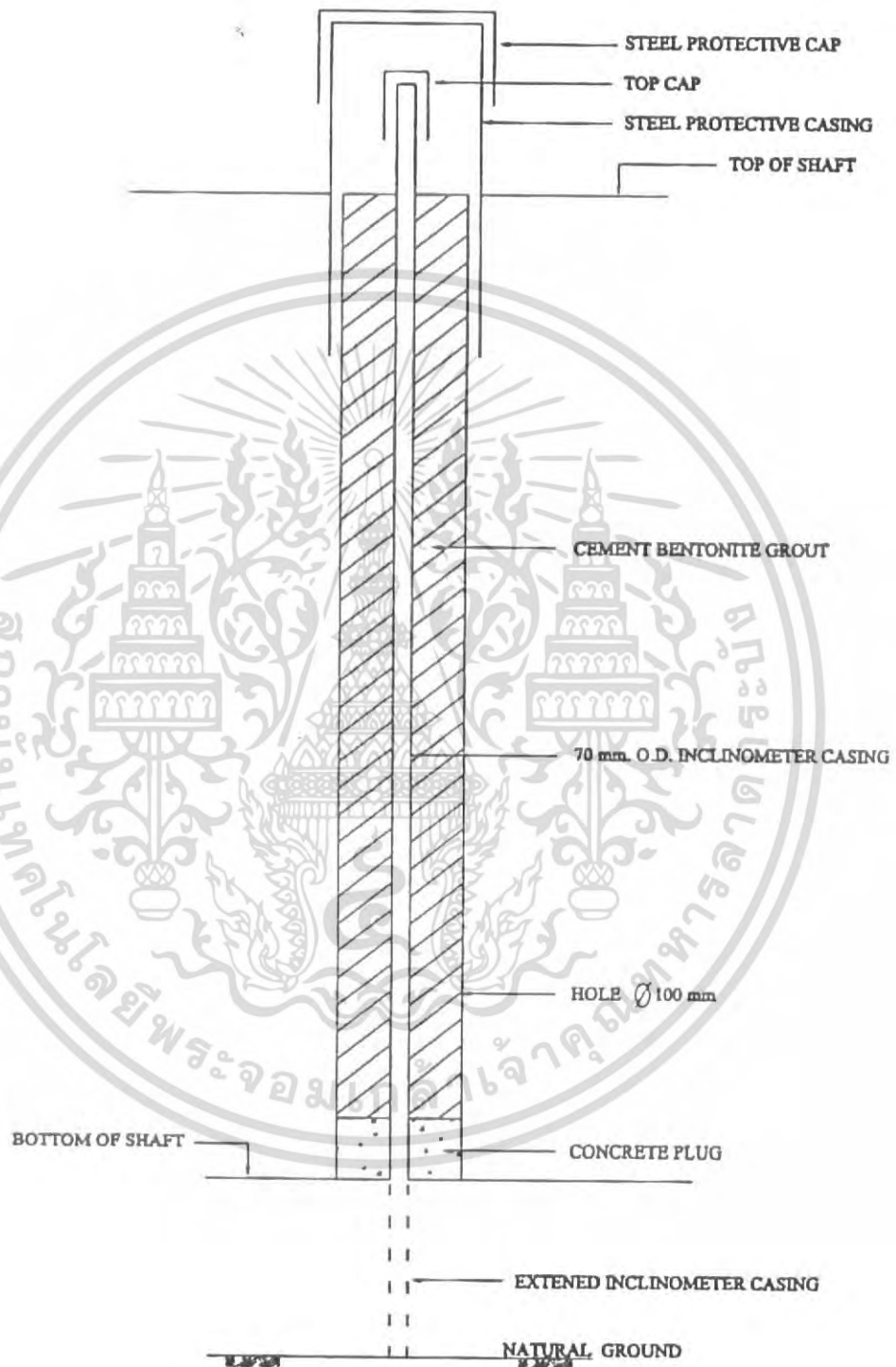


รูปที่ 7.7 Inclinometer in Ground

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

การสำรวจโดยวิธี inclinometer นี้ควรทำการสำรวจประมาณ 1 ครั้งต่อเดือน ในช่วงเวลาที่มีการรบกวนดินต่ำ และช่วงที่มีการรบกวนดินบ่อยครั้งระหว่างช่วงฤดูใบไม้ผลิ เมื่ออากาศมีความชื้นซึ่งเป็นการกระตุ้นในดินเกิดการสไลด์และเพิ่มอัตราการเคลื่อนตัวของดินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TYPICAL DETAILS OF SHAFT WALL INCLINOMETER

รูปที่ 7.8 รายละเอียดการติดตั้ง Inclinometer in Caisson Wall

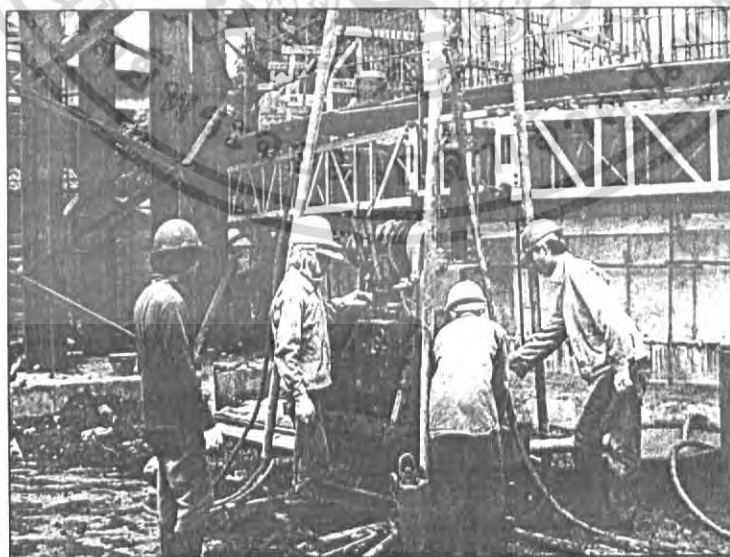
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.1.3 Extensometer

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

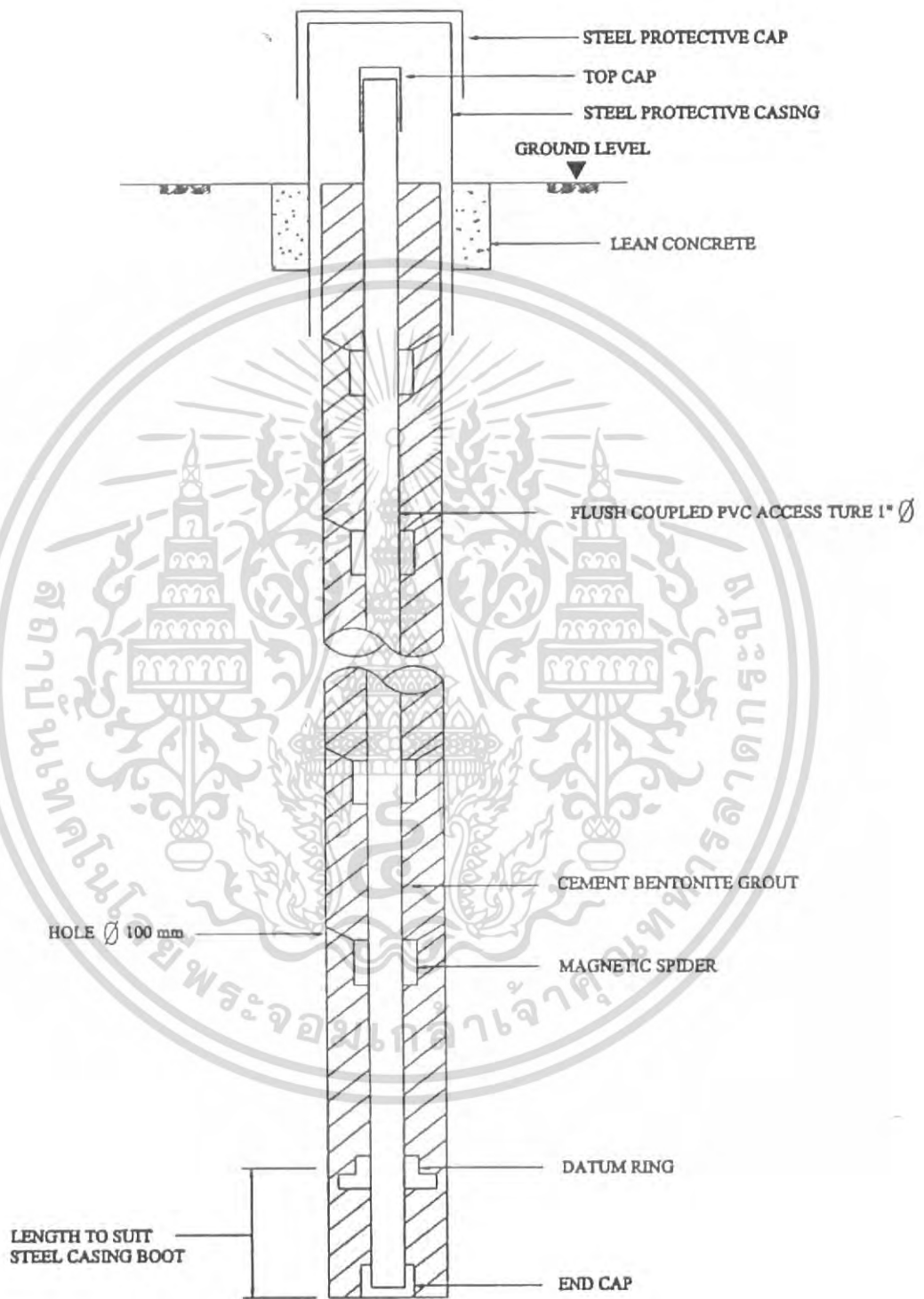


รูปที่ 7.9 อุปกรณ์ของเครื่อง Extensometer



รูปที่ 7.10 การติดตั้งเครื่อง Extensometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TYPICAL DETAILS OF MAGNATIC EXTENSOMETER

รูปที่ 7.11 รายละเอียดการติดตั้งเครื่อง Extensometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 22 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์

8.1 กล่าวนำ

ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์ที่จะกล่าวถึงในโครงการพิเศษนี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะปัญหาหลักๆที่มักจะเกิดขึ้นจริงขณะกำลังก่อสร้างเคของส์ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้มาจากการที่กลุ่มโครงการพิเศษของข้าพเจ้าได้เข้าไปศึกษาจากการก่อสร้างจริง และจากผู้เชี่ยวชาญในด้านการก่อสร้างเคของส์ จึงสามารถที่จะระบุได้ว่าปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการก่อสร้างเคของส์จริง พร้อมทั้งแนวทางแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างเคของส์เป็นแนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญได้ชี้แนะถึงแนวทางการแก้ไข ซึ่งทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รวบรวมปัญหาในการก่อสร้างเคของส์และแนวทางการแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างเคของส์แสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

8.2 ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์

ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์ที่ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้กล่าวถึงนี้ล้วนแต่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงขณะก่อสร้างเคของส์ในปัจจุบัน

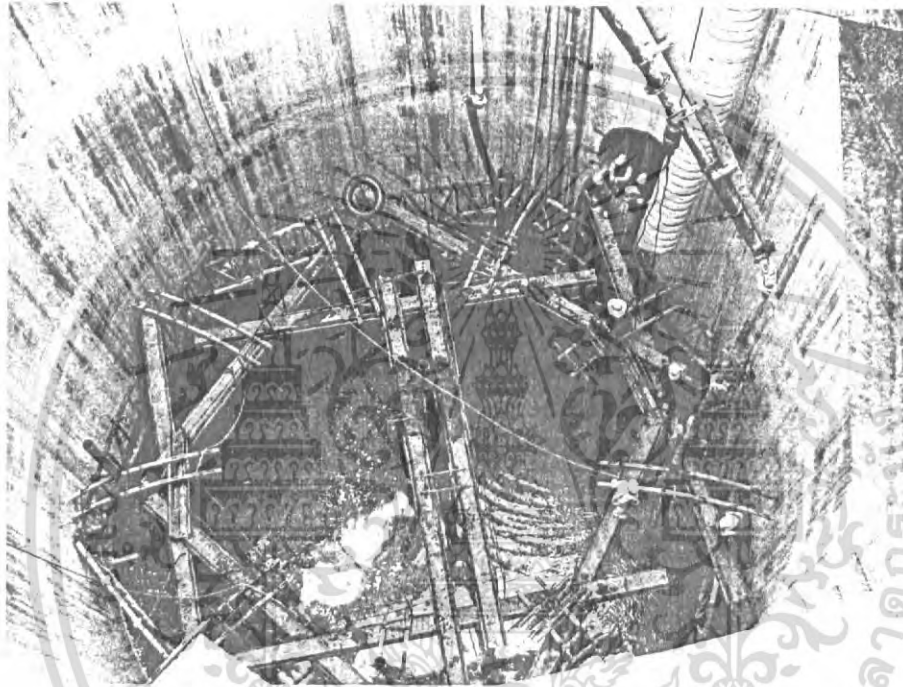
8.2.1 ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง

ปัญหา - งานคอนกรีตในการก่อสร้างเคของส์ส่วนมากนิยมตั้งคอนกรีตผสมสำเร็จจากโรงงาน ทางโรงงานก็จะส่งรถผสมคอนกรีตมายังหน้างานก่อสร้างซึ่งอาจติดปัญหาด้านการจราจรทำให้การเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ผิวคอนกรีตไม่เรียบและมีรอยต่อมาก

แนวทางแก้ปัญหา - ใช้น้ำยา Retarder ผสมคอนกรีตเพื่อช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะช่วยให้การทำงานมีความสะดวกมากขึ้น

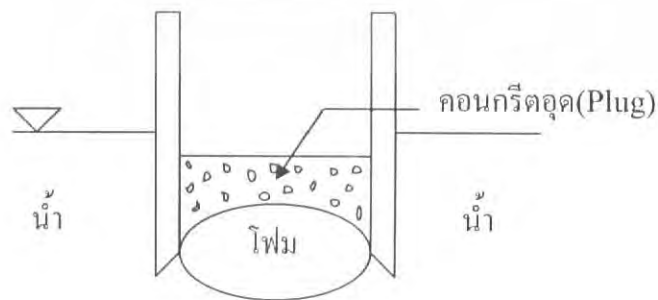
8.2.2 ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ

ปัญหา - คอนกรีตอุด (Plug) ในงานเคของส์ส่วนใหญ่จะอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน จึงจำเป็นต้องมีการเทคอนกรีตใต้น้ำโดยใช้วิธีการฉีดโฟมเป็นแผ่นเข้าไปกั้นระหว่างน้ำกับคอนกรีต แต่คอนกรีตมีน้ำหนักมากทำให้โฟมที่ฉีดเข้าไปรับน้ำหนักไม่อยู่อาจเกิดการแตกหักได้ ทำให้คอนกรีตผสมกับน้ำจึงทำให้คอนกรีตอุด (Plug) ไม่ได้กำลังตามที่ต้องการซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการบวมตัวของดิน (Heave) ได้



รูปที่ 8.1 การเทคอนกรีตอุด(Plug) ใต้น้ำ

แนวทางแก้ปัญหา - ฉีดโฟมเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่ากับปล้องของส้เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักคอนกรีตได้



รูปที่ 8.2 วิธีแก้ปัญหาการเทคอนกรีตใต้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาลง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

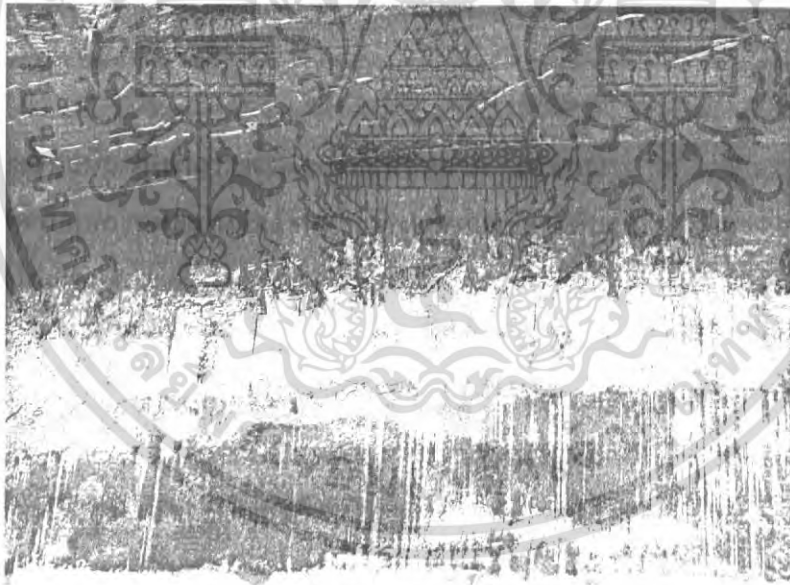
8.2.3 ปัญหาในการบ่มเคของส

ปัญหา — ปัญหาในการบ่มเคของสมักจะเกิดจากการที่คนงานหรือผู้ควบคุมงานดูแลการบ่มผิดวิธี ปลดปล่อยเลยในการบ่มคอนกรีตทำให้คอนกรีตไม่ได้กำลังตามที่ต้องการ

แนวทางแก้ปัญหา — ในการก่อสร้างเคของสนิยมใช้การบ่มคอนกรีตโดยสารเคลือบผิวคอนกรีต เช่น Curing Compound ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดและทำให้คอนกรีตได้กำลังตามที่ต้องการ

8.2.4 ปัญหาผิวผนังเคของสไม่เรียบ

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



รูปที่ 8.3 ปัญหาผิวเคของสไม่เรียบ

แนวทางแก้ปัญหา — ในการแก้ไขปัญหาผิวผนังเคของสไม่เรียบควรเพิ่มแรงงานแต่งผิวโดยใช้เกรียง โบกปูน ฟองน้ำ หรือโฟม เป็นตัวแต่งปาดผิวให้เรียบตามต้องการ แต่ไม่ถึงกับเหมือนคอนกรีตเปลือยทีเดียว ถ้าต้องการผิวเรียบอาจจำเป็นต้องใช้ปูนทรายฉาบแต่งผิวควบคู่ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับการเทคอนกรีต Slip Form การตกแต่งผิวควรจะทำภายในหนึ่งชั่วโมงหลังจากผิวพื้นแบบออกมาแล้ว



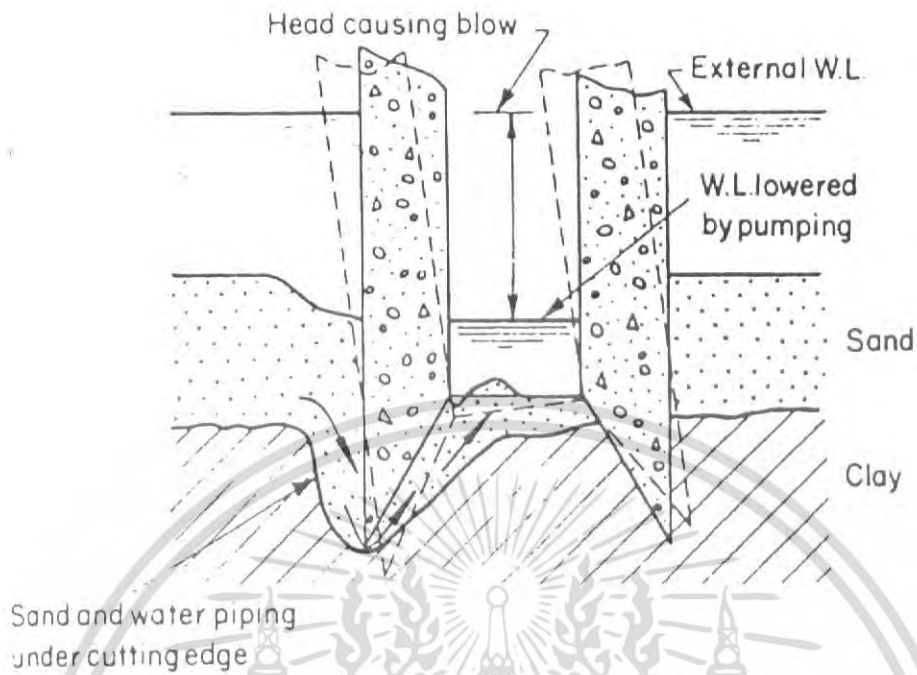
รูปที่ 8.4 วิธีแก้ปัญหาคือผิวของสไลม์เรียบ

8.2.5 ปัญหาของสไลม์เอียง

ปัญหา ในการก่อสร้างค้ำของสไลม์เมื่อเริ่มทำการถมค้ำของสไลม์ในขั้นแรก (บริเวณ Cutting Shoe และผนังส่วนแรก) ควรมีการควบคุมการถมอย่างใกล้ชิดและมีการตรวจเช็คระดับของการถมอย่างสม่ำเสมอจนมั่นใจว่าค้ำของสไลม์ไม่เอียง เพราะถ้าค้ำของสไลม์เอียงตั้งแต่การถมขั้นแรกก็จะส่งผลให้ค้ำของสไลม์เอียงสะสมไปเรื่อยๆในแต่ละชั้น ซึ่งปัญหาหลักๆของค้ำของสไลม์เอียงนี้มีอยู่ 3 แบบคือ

- เกิดจากการขุดดินภายในค้ำของสไลม์ในด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไปจนทำให้ค้ำของสไลม์เกิดการจมไม่เท่ากัน ในการขุดดินภายในออกจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวของค้ำของสไลม์ลดลง เป็นผลให้น้ำหนักของค้ำของสไลม์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวค้ำของสไลม์ จึงเกิดการจมลงในด้านที่ไม่เท่ากัน
- เกิดจากน้ำและทรายไหลเซาะที่ก้นค้ำของสไลม์ (Seepage) ในกรณีที่มีการสูบน้ำภายในค้ำของสไลม์ออกทำแรงดันน้ำใต้ดินภายนอกค้ำของสไลม์พยายามดันเข้ามาภายในค้ำของสไลม์ จึงทำให้ดินบริเวณ Cutting Shoe หลุดตัวลงเป็นสาเหตุให้ค้ำของสไลม์เอียง ดังรูป 8.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.5 การเอียงของเสาเข็ม

- เกิดจากลักษณะของชั้นดินที่แตกต่างกัน เช่น หนึ่งเสาเข็มอยู่ในชั้นดินอ่อน และชั้นดินแข็ง ทำให้เกิดการจมที่ไม่เท่ากันเป็นสาเหตุให้เสาเข็มเอียงได้

แนวทางแก้ปัญหา ในการแก้ปัญหาเสาเข็มเอียงมี 4 วิธีคือ

- ทำการขุดดินด้านตรงข้ามกับทิศที่เสาเข็มเอียงเพื่อให้เสาเข็มมีการจมในระดับที่เท่ากัน
- ใช้ Hydraulics Jack กดในด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เสาเข็มเอียงเพื่อให้เสาเข็มมีการจมในระดับที่เท่ากัน
- ติดตั้ง Piezometer เพื่อใช้ตรวจวัดระดับน้ำใต้ดินทำให้ทราบระดับน้ำใต้ดิน สามารถป้องกันการเกิด Seepage ที่เป็นสาเหตุให้เสาเข็มเอียงได้
- ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ให้ทั่วถึงในบริเวณที่มีการก่อสร้างเสาเข็ม ทำให้ทราบลักษณะชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.6 ปัญหาของสัจมเร็วเกินไป

ปัญหา ของสัจมเร็วเกินไปเกิดจากสาเหตุหลัก 2 ข้อ คือ

- การที่ของสัจมเร็วเกินไปเกิดจากการขุดดินภายในของสัจมากเกินไป ในการขุดดินภายในของสัจจะเป็นการลดแรงเสียดทานที่ผิวของของสัจทำให้น้ำหนักของตัวของสัจมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของของสัจ ของสัจจึงจมลงในชั้นดิน
- เกิดจากการที่ของสัจอยู่ในชั้นดินอ่อน เช่น Soft Clay ทำให้น้ำหนักของสัจมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของของสัจและแรงต้าน End Bearing ทำให้ของสัจจมลงโดยน้ำหนักของตัวของสัจเอง โดยไม่ต้องใช้ Hydraulics Jack กด

แนวทางแก้ไขปัญหา ของสัจมเร็วเกินไปมี 3 วิธีคือ

- ควบคุมการขุดดินภายในของสัจอย่างระมัดระวัง คือการขุดดินออกต้องสัมพันธ์กับน้ำหนักของของสัจ และ Hydraulics Jack เพื่อให้ของสัจจมมากกว่าที่ต้องการ และควรมีการตรวจวัดระดับการจมของสัจอย่างสม่ำเสมอ
- ทำการเจาะสำรวจชั้นดิน (Boring Log) ให้ทั่วถึงบริเวณพื้นที่ที่มีการก่อสร้างของสัจ เพื่อจะได้ทราบข้อมูลของชั้นดินได้อย่างถูกต้อง
- นำลิ่มไม้หนุนบริเวณรอบๆ ผนังของสัจเพื่อหยุดการจม

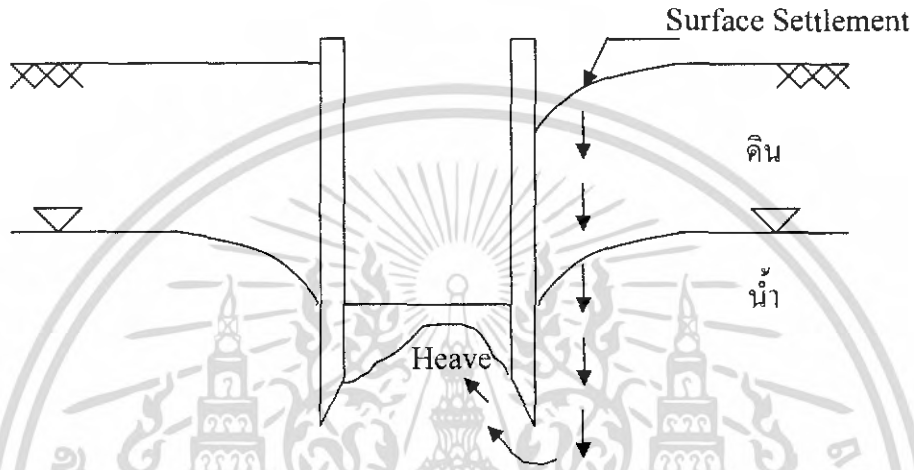


รูปที่ 8.6 การเตรียมลิ่มไม้เพื่อหยุดการจมของสัจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.2.7 ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement)

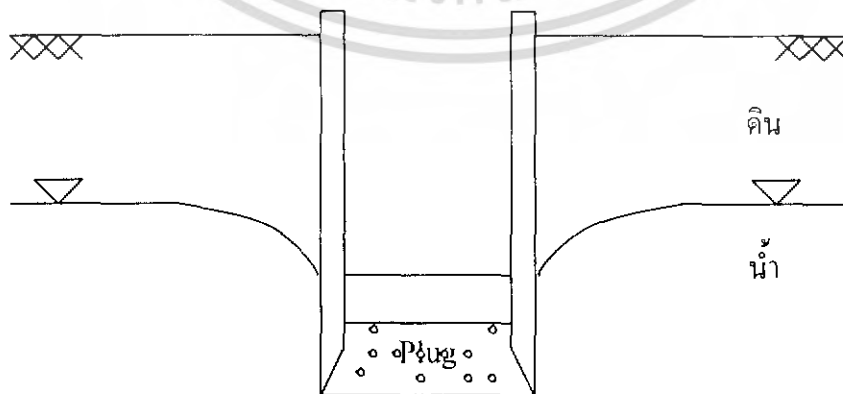
ปัญหา - ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน (Surface Settlement) เกิดจากการบวมตัวของดิน (Heave) บริเวณก้นบ่อเคของส์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขุดดินหรือสูบน้ำภายในเคของส์ ออกมากเกินไป ทำให้มวลดินและระดับน้ำใต้ดินเสียดูดไป มวลดินและน้ำใต้ดินภายนอกเคของส์จึงไหลคั้นผ่านก้นเคของส์เข้ามาแทนที่ดินและน้ำที่นำออกไป



รูปที่ 8.7 ลักษณะการทรุดตัวของดิน

แนวทางการแก้ปัญหา การทรุดตัวของผิวดินทำได้ 2 วิธีคือ

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



รูปที่ 8.8 การเทคอนกรีตอุด (Plug) ป้องกันการทรุดตัวของผิวดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อเอกสาร และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.1 สรุปปัญหาในการก่อสร้างเขของส์และแนวทางการแก้ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์

ปัญหาในการก่อสร้างเขของส์	แนวทางการแก้ปัญหา
<p>ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง</p> <p>จะเกิดจากการสั่งคอนกรีตผสมสำเร็จจากโรงงาน ทางโรงงานก็จะส่งรถผสมคอนกรีตมายังหน้างานก่อสร้างซึ่งอาจติดปัญหาด้านการจราจรทำให้การเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้ผิวคอนกรีตไม่เรียบและมีรอยต่อมาก</p>	<p>ใช้น้ำยา Retarder ผสมคอนกรีตเพื่อช่วยหน่วงเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จะช่วยให้การทำงานมีความสะดวกมากขึ้น</p>
<p>ปัญหาการเทคอนกรีตได้น้ำ</p> <p>เกิดจากการที่ต้องเทคอนกรีตในน้ำซึ่งในการเทจะมีคอนกรีตในปริมาณมากและไม่มีผู้เชี่ยวชาญในการเท จึงทำให้โฟมที่ฉีดเข้าไปรับน้ำหนักไม่อยู่อาจเกิดการแตกหัก ทำให้คอนกรีตผสมกับน้ำจึงทำให้คอนกรีตอุด (Plug) ไม่ได้กำลังตามที่ต้องการซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการบวมตัวของดิน (Heave)</p>	<p>ฉีดโฟมเป็นวงกลมให้มีขนาดเท่ากับปล่องเขของส์เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักคอนกรีตได้</p>
<p>ปัญหาในการบ่มเขของส์</p> <p>เกิดจากการที่คนงานหรือผู้ควบคุมงานดูแลการบ่มผิดวิธี ปล่อยปะละเลยในการบ่มคอนกรีต</p>	<p>ใช้การบ่มคอนกรีตโดยสารเคลือบผิวคอนกรีตและทำกำลังคอนกรีตให้ได้กำลังตามที่ต้องการ</p>
<p>ปัญหาผิวผนังเขของส์ไม่เรียบ</p> <p>การเทคอนกรีตบริเวณผนังเขของส์จะทำการเทโดยแบ่งเป็นชั้นๆ โดยมีSlip Form เป็นแบบหล่อคอนกรีต ซึ่งผิวคอนกรีตที่พื้นแบบออกมา (เมื่อแบบเลื่อนตัวขึ้น) จะไม่เรียบสนิทเหมือนแบบปกติจะมีรูพรุนบ้าง</p>	<p>ควรเพิ่มแรงงานแต่งผิวโดยใช้เกรียงโบกปูนฟองน้ำ หรือ โฟม เป็นตัวแต่งปาดผิวให้เรียบตามต้องการ แต่ไม่ถึงกับเหมือนคอนกรีตเปลือยทีเดียว ถ้าต้องการผิวเรียบอาจจำเป็นต้องใช้ปูนทรายฉาบแต่งผิวควบคู่ไป</p>
<p>ปัญหาเขของส์เอียง</p> <p>ปัญหาหลักๆของเขของส์เอียงนี้มีอยู่ 3 แบบคือ</p>	<p>การแก้ปัญหาเขของส์เอียงมี 4 วิธีคือ</p> <ul style="list-style-type: none"> - ขุดดินด้านตรงข้ามกับทิศที่เขของส์เอียง เพื่อให้เขของส์มีการจมในระดับที่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>- เกิดจากการขุดดินภายในเขของส์ในด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไปจนทำให้เขของส์เกิดการจมไม่เท่ากัน ในการขุดดินภายในออกจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ลดลง เป็นผลให้น้ำหนักของเขของส์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ จึงเกิดการจมลงในดินที่ไม่เท่ากัน</p> <p>- เกิดจากน้ำและทรายไหลเข้าที่ก้นเขของส์ (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>ปัญหาเขของส์จมเร็วเกินไป มี 2 ข้อหลักคือ</p> <p>- เกิดจากการขุดดินภายในเขของส์มากเกินไป ในการขุดดินภายในเขของส์จะเป็นการลดแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ทำให้น้ำหนักของตัวเขของส์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์ เขของส์จึงจมลงในชั้นดิน</p> <p>- เกิดจากการที่เขของส์อยู่ในชั้นดินอ่อน ทำให้น้ำหนักของเขของส์มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเขของส์และแรงดัน 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>ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน</p> <p>เกิดจากการบวมตัวของดิน (Heave) บริเวณก้นบ่อเขของส์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการขุดดินหรือสูบน้ำภายในเขของส์ออกมากเกินไป ทำให้มวลดินและระดับน้ำใต้ดินเสียดสมดุลไป มวลดินและน้ำใต้ดินภายนอกเขของส์จึงไหลดันผ่านก้นเขของส์เข้ามาแทนที่ดินและน้ำที่นำออกไป</p>	<p>- ติดตั้งอุปกรณ์ Inclinometer และ Extensometer เพื่อวัดการเคลื่อนตัว</p> <p>- เท คอนกรีตอุด (Plug) ให้หนาขึ้นเพื่อป้องกันการบวมตัวของดิน (Heave)</p>

บทที่ 9

โปรแกรมในการออกแบบเคชองส์

9.1 กล่าวนำ

เนื่องจากการออกแบบเคชองส์ นั้นมีขั้นตอนหลายขั้นตอน จึงทำให้การออกแบบเคชองส์ต้องใช้เวลามาก การสมมติค่าความหนาของผนังเคชองส์, ค่าความหนาของคอนกรีตอุด และ ความหนาของพื้นเคชองส์ จะต้องมีการสมมติค่าหลายครั้งจึงจะได้ค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ทางคณะผู้จัดทำได้เห็นถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้พัฒนาโปรแกรมในการออกแบบเคชองส์เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจในการออกแบบเคชองส์ โปรแกรมในการออกแบบเคชองส์นั้นจะทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการออกแบบมากยิ่งขึ้น

ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงได้พัฒนาโปรแกรมออกแบบเคชองส์ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมนี้อาจมีข้อจำกัดดังนี้

- โปรแกรมจะใช้ได้กับชั้นดินที่ไม่เกิน 8 ชั้น
- โปรแกรมนี้ใช้ออกแบบได้เฉพาะเคชองส์ทรงกลม

9.2 วัตถุประสงค์

- เพื่อช่วยในการออกแบบโครงสร้างเคชองส์ได้สะดวกและรวดเร็ว
- เพื่อให้บุคคลผู้สนใจสามารถนำโปรแกรมนี้ออกไปประยุกต์ใช้ได้
- เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างเคชองส์ต่อไป

9.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมออกแบบเคชองส์

1. เปิด file โปรแกรม Design Caisson
2. เข้าสู่หน้าจอต้อนรับเข้าโปรแกรม

Program Design Caisson v.3

จัดทำโดย

นายคำรงค์ศักดิ์ โมริชเรูพร
นายเพชรวิกรม มานะสุนทร
นายกิจสุนทร พุฒมะริน

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.สุรัชวิทย์ สุวรรณสวัสดิ์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ 9.1 หน้าจอต้อนรับ

3. ทำการเลือก Number of soil layer และทำการใส่ค่าคุณสมบัติของดินแต่ละ layer ดังนี้

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

ถ้าคุณสมบัติอันใดที่ไม่มีให้ใส่ 0

Caisson v2.0: [Input]

Page 1/3

Input

Calculation

Soil Parameter

Number of Soil Layer

4

Layer	Depth of Layer (m)	Unit Weight of Soil (γ_{soil})	Friction Angle	Cohesion (k-Pa)	Ko
	15	17	0	20	0.75
	5	18	0	100	0.55
	6	19	0	140	0.52
	8	19	0	180	0.52

Next >>

รูปที่ 9.2 การใส่ค่าคุณสมบัติของชั้นแต่ละชั้น

4. ทำการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ

- f'_c
- f_y
- Unit weight of concrete
- Unit weight of concrete plug

5. ทำการใส่ค่าขนาดของส

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของส (D_i)
- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของส (D_o)
- ความสูงของส (H)
- Thickness of base slab (b)
- Thickness of concrete plug (p)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 134 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Input
 Calculation

Geometry and Material Properties

Material Strengths

Concrete (c)	300	kg/cm ²	Unit weight of Concrete	25	kN/m ³
Reinforcement (fy)	4000	kg/cm ²	Unit weight of Concrete Plug	20	kN/m ³

Caisson

Outer Diameter (Do)	10	m	
Inner Diameter (Di)	8	m	
Height of caisson (H)	34	m	
Thickness of base slab (b)	2	m	
Thickness of concrete plug (p)	2	m	

<< Back
Next >>

รูปที่ 9.3 การใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ, ขนาดของงส์

6. ทำการเลือกขนาดเหล็กเสริมและระยะหุ้มคอนกรีต บริเวณ


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

7. คุณสมบัติอื่นๆ

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

Page 3/3

Input



 Calculation

Reinforcement Selection

Reinforcement

At Cutting Shoe
 use DB covering cm

At Caisson Wall
 use DB covering cm

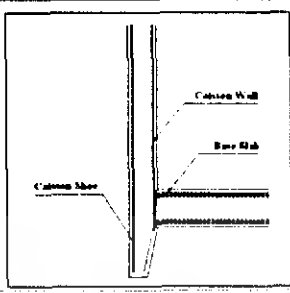
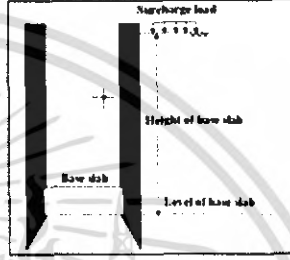
At Base Slab
 use 2DB covering cm

Other

Unit weight of water kN/m³

Surcharge Load kPa

Level of Base Slab m

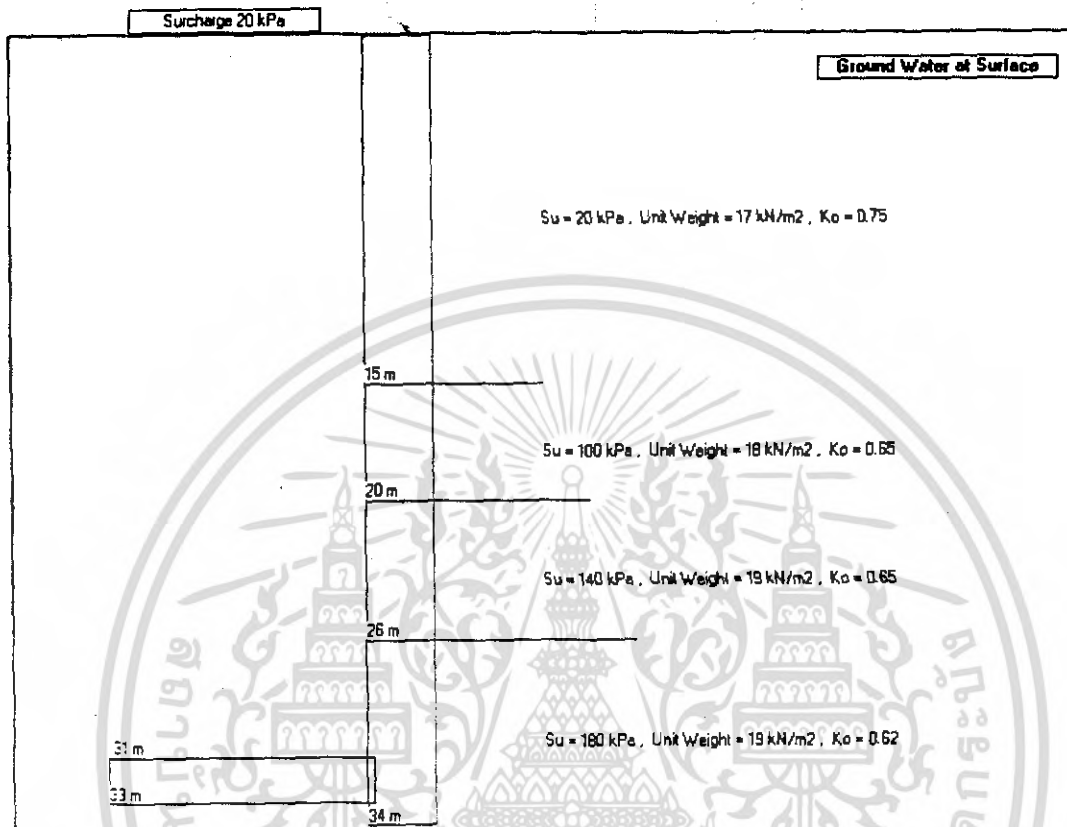



<< Back

รูปที่ 9.4 เลือกขนาดเหล็กเสริม,คุณสมบัติอื่น

8. เมื่อใส่ค่าครบแล้ว กด Calculation

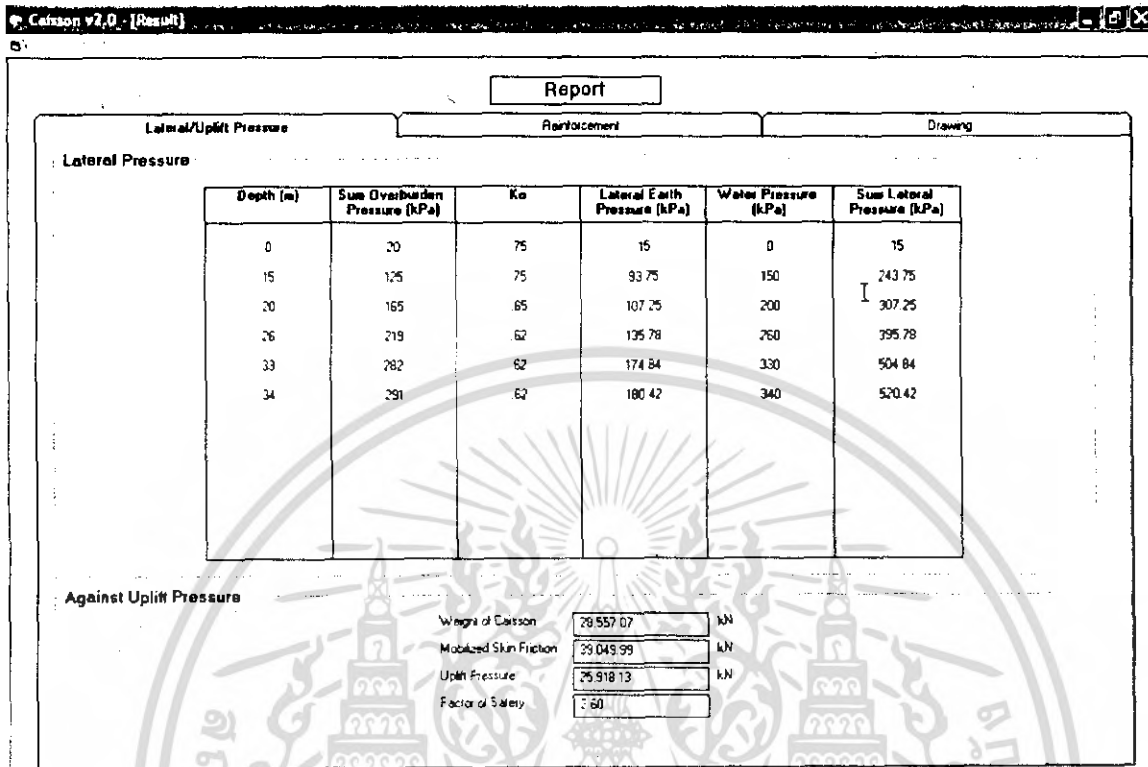
9. โปรแกรมจะทำการแสดงลักษณะชั้นดินออกมาเป็นรูปภาพ พร้อมกับคุณสมบัติของดินในแต่ละชั้น



รูปที่ 9.5 ลักษณะของชั้นดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 137 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณ



รูปที่ 9.6 ผลการคำนวณ

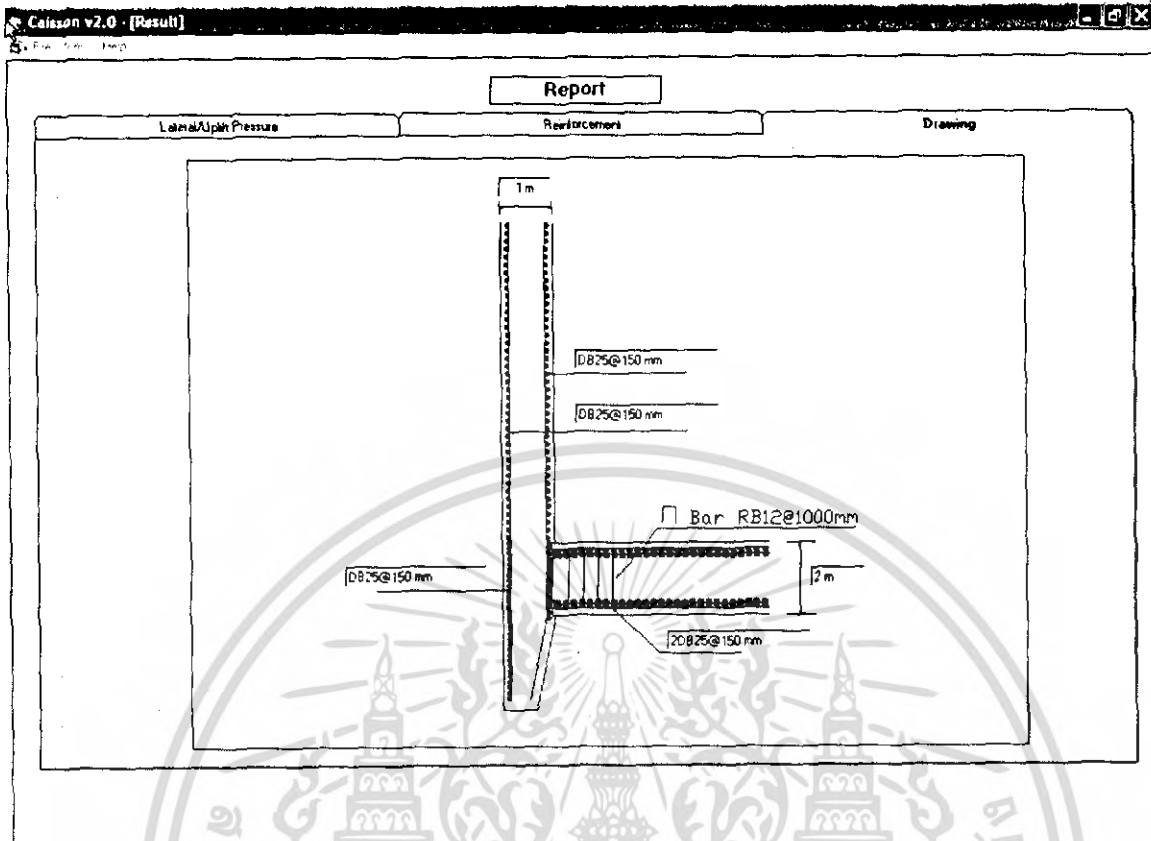
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 138 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report

Lateral/Uplift Pressure	Reinforcement	Drawing	
Forces Acting on Caisson Wall during Sinking Stages			
At Caisson Shoe	At Caisson Wall		
Lateral Pressure	624.50 kPa	Lateral Pressure	605.80 kPa
50% of Lateral Earth Pressure	106.25 kPa	Axial Forces	3.079 04 kN/m
Bending Moment	441.12 kN m/m	Ultimate Axial of Wall	18.698 6 kN
Axial Forces	3,737.26 kN/m	use	D825@150 mm
use	D825@150 mm		
Base Slab Calculation			
Base Slab Moment		Base Slab Shear	
Uplift Pressure	790 kPa	Critical Shear	60.9 Ton
Moment	928 kN m	Vc	95.43 Ton
use	D825@150 mm	use	U shape@1000 mm for Saily

รูปที่ 9.7 ผลการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.8 ผลการคำนวณ

9.4 ข้อจำกัดของการใช้โปรแกรม

1. ใช้ได้กับชั้นดินไม่เกิน 8 ชั้น
2. ใช้สำหรับออกแบบเคของสัทรงกลม
3. โปรแกรมใช้การออกแบบเหล็กเสริมโดยวิธีเสาสั้น USD

บทที่ 10

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 ข้อสรุปของการศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเขื่อนในประเทศไทย

จากการที่ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษได้ศึกษาการออกแบบโครงสร้างเขื่อนของการจมน้ำของเขื่อน พร้อมขั้นตอนการก่อสร้างของเขื่อน ซึ่งจะเห็นว่าการออกแบบโครงสร้างเขื่อนนั้นทางคณะผู้จัดทำได้นำเสนอทฤษฎีในการออกแบบเขื่อนของเขื่อน วิธีการออกแบบเขื่อนของเขื่อน พร้อมทั้งตัวอย่างในการออกแบบเขื่อนของเขื่อน จะเห็นได้ว่ามีรายละเอียดที่ซับซ้อนต้องใช้เวลาในการออกแบบมาก ทางคณะผู้จัดทำจึงได้เขียนโปรแกรมในการออกแบบเขื่อนของเขื่อนเพื่อช่วยให้การออกแบบเขื่อนมีความสะดวกมากขึ้นและช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบเขื่อน

ในเรื่องการจมน้ำของเขื่อน ทางคณะผู้จัดทำได้นำเสนอทฤษฎี วิธีการคิดคำนวณ พร้อมทั้งตัวอย่างการคำนวณการจมน้ำของเขื่อนในแต่ละขั้นตอนอย่างละเอียด มีรูปภาพประกอบการคำนวณทำให้สามารถเข้าใจถึงลักษณะการจมน้ำของเขื่อนได้อย่างง่ายดาย

ส่วนขั้นตอนการก่อสร้างเขื่อนนั้นทางคณะผู้จัดทำได้ศึกษาจากงานก่อสร้างเขื่อนของเขื่อน คือ โครงสร้างเขื่อนอุโมงค์ระบายน้ำคลองแสนแสบและคลองลาดพร้าวลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ทำให้เห็นถึงขั้นตอนการก่อสร้างอย่างละเอียด ซึ่งทางคณะผู้จัดทำก็ได้รวบรวมข้อมูลที่ได้มานำเสนอในโครงการพิเศษนี้ ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

จากที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทำศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างเขื่อนของเขื่อนได้พบปัญหาหลักๆ ในการก่อสร้างเขื่อนดังนี้

- ปัญหาการเทคอนกรีตไม่ต่อเนื่อง
- ปัญหาการเทคอนกรีตได้น้ำ
- ปัญหาในการบ่มเขื่อนของเขื่อน
- ปัญหาผิวผนังเขื่อนของเขื่อนไม่เรียบ
- ปัญหาเขื่อนของเขื่อนเอียง
- ปัญหาเขื่อนของเขื่อนจมเร็วเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อที่ 141 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปัญหาการทรุดตัวของผิวดิน

10.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมออกแบบเขตรองสนั้ยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเวลาในการทำโครงการพิเศษ ดังนั้นเมื่อมีผู้สนใจพัฒนาโปรแกรมต่อไป ทางคณะผู้จัดทำขอให้ออกเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีวิธีใช้งานอยู่ในตัวโปรแกรม เพื่อเวลาเกิดปัญหาในการใช้โปรแกรมสามารถเรียกดูวิธีใช้งานได้ทันที
2. ในโปรแกรมออกแบบเขตรองสนั้ควรมีการออกแบบช่องเปิดของผนังเขตรองสนั้ เพื่อต่อกับอุโมงค์ใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- ศรีกรีช หิรัญมาศ . คอนกรีตเสริมเหล็ก พฤติกรรมและการออกแบบ : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- มณเฑียร กังสฤษดิ์ , 2543 . กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- ผศ.ร.ต.หญิง วรณีย์ สุขสาคร , 2545 . วิศวกรรมฐานราก : โพร่เพช
- ดร.บุญเทพ นานกรังสรรค์ , 2538 . FOUNDATION ENGINEERING AND TUNNELLING : ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- อ.สมเกียรติ ขวัญพุกภัย . วิศวกรรมฐานรากและการออกแบบ : 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