

การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเครื่องจมน้ำในประเทศไทย
STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING
CAISSON IN THAILAND



ปริญญาโท เป็นส่วนหนึ่งของ การศึกษาคณะศึกษาศาสตร์บัณฑิตวิทยาลัย
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
๔ ๔
ปีการศึกษา ๒๕๔๖

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างของสื่อนในประเทศไทย
STUDY OF DESIGN AND CONSTRUCTION OF SINKING
CAISSON IN THAILAND



โดย
นายอดิศักดิ์ จันทร์ศรีกุลกิจ
นายเอกชัย จึงเจริญสุข

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รฟว.
ค 129 1
2546

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 58564 ✓

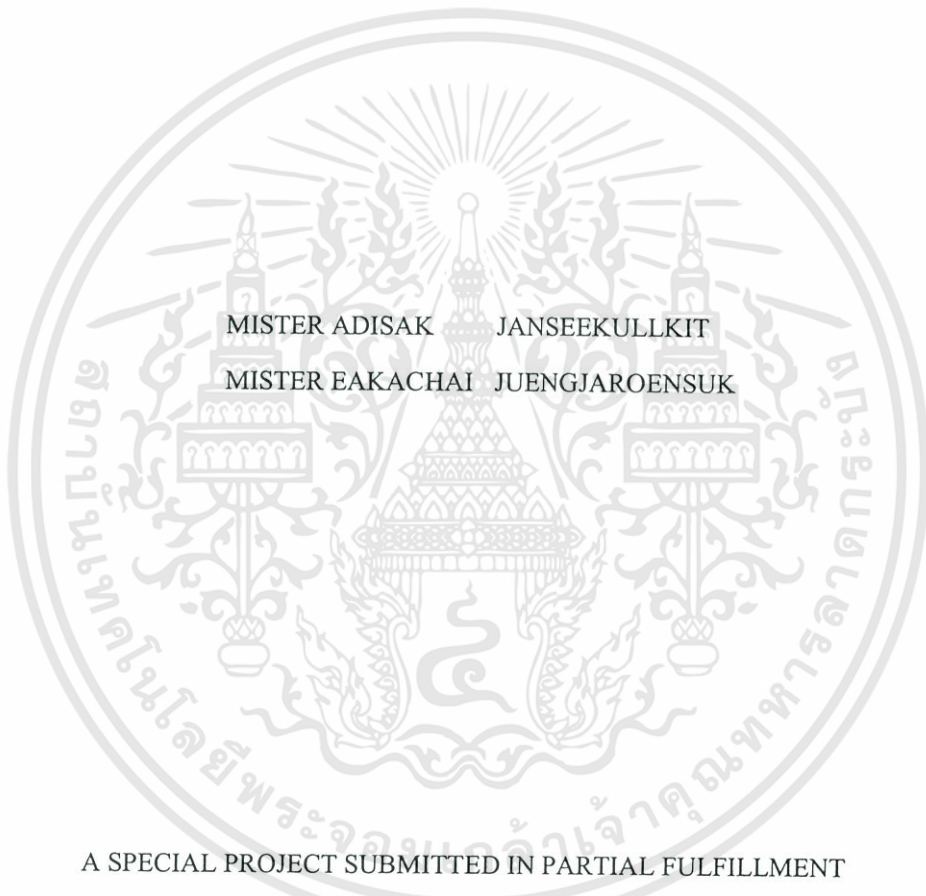
วัน,เดือน,ปี..... 25 ส.ค. 2549

ก

11491050
b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของหอสมุดกลางฯ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง
ที่มา: วรรณทิพย์

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



MISTER ADISAK JANSEKULLKIT
MISTER EAKACHAI JUENGJAROENSUK

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

2003

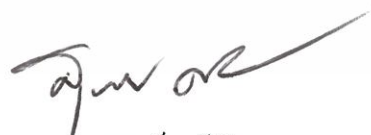
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคของสี่ในประเทศไทย
นักศึกษา นายอดิศักดิ์ จันทร์ศรีกุลกิจ รหัสประจำตัว 43010825
นายเอกชัย จິงเจริญสุข รหัสประจำตัว 43010846
หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา คร. สุัชชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

คณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
ดร. สุัชชวีร์	สุวรรณสวัสดิ์	
รศ. ศิริวัฒน์	ไชยชนะ	
ผศ. สุวัฒน์	ถิรเศรษฐ์	
ว่าที่ ร.ต. สุรัตน์	หวังเจริญ	
อ. ทรงกลด	แช่อึ้ง	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(นายสุพจน์ ศรีนิล)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา
วันที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

นักศึกษา นายอดิศักดิ์ จันทร์ศรีกุลกิจ
 นายเอกชัย จิงเจริญสุข

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. สุัชชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเขของส์เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการก่อสร้าง เนื่องจากโครงสร้างใต้ดินที่มีความลึกมากไม่สามารถใช้เข็มพืดในการก่อสร้างได้ ดังนั้นเขของส์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้งาน แต่เนื่องจากในปัจจุบันความรู้ในการออกแบบเขของส์ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย ทางคณะผู้จัดทำจึงรวบรวมข้อมูลในการออกแบบเขของส์เพื่อเป็นแหล่งข้อมูลสำหรับผู้สนใจและสร้างโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบเขของส์ โดยสามารถคำนวณแรงกระทำ ความหนาของผนัง และพื้นที่รวมทั้งการเสริมเหล็ก

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

Name : MISTER ADISAK JANSEEKULLKIT
MISTER EAKACHAI JUENGJAROENSUK

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : PROF.SUCHATVEE SUWANSAWAT

ABSTRACT

At present, Caisson has become more popular among underground constructions, Since it is suitable for deep excavations where sheet pile cannot be implemented. However, Designing processes are not widely accessed by Thai Engineer. Authors therefore collected design and construction information of caisson constructed in Thailand during the past few years. In addition, a computer program were developed for calculating acting pressures, thickness of wall and base slab and reinforcement.

กิตติกรรมประกาศ

ไม่มีคำกล่าวใดที่สามารถใช้บ่งบอกถึงความกรุณา และความอนุเคราะห์ของ อาจารย์ สุ��ชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ได้ ตลอดระยะเวลาของงานศึกษานี้ท่านได้ให้คำแนะนำและการสั่งสอนที่มีค่ามากมายนอกเหนือจากขอบข่ายทางวิศวกรรม ท่านได้เน้นให้ประพุดคิดค้นโดยอุทิศให้กับงานและการปรับปรุงเกี่ยวกับภาษาและการนำเสนองาน ซึ่งถึงเป็นสิ่งอันมีค่าที่ผู้ประพันธ์ได้จากการศึกษา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นอกเหนือจากปริญญาอันสูงส่ง ของกล่าวคำขอบคุณอย่างซาบซึ้งและนับถือแต่ อาจารย์ สุ��ชีวีร์ สุวรรณสวัสดิ์

ถือเป็นเกียรติอันสูงส่งแก่ผู้ประพันธ์ที่ได้รับจากอาจารย์ สุพจน์ ศรีนิล ในฐานะกรรมการสอบโครงการพิเศษ ด้วยคำแนะนำและข้อคิดเห็นที่กระจ่างชัดของท่านถือเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับในงานนี้ ผู้ประพันธ์ได้เรียนรู้สิ่งต่างๆมากมายจากท่านแบะพึงระลึกถึงท่านเสมอในฐานะอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิ

ของขอบคุณอย่างซาบซึ้งซึ่งสำหรับความร่วมมือ และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้ประพันธ์ได้รับจาก นายวิษณุ สายพรรณม์ หัวหน้าส่วนก่อสร้างระบบส่งน้ำ กองก่อสร้างระบบส่งน้ำฝั่งตะวันออก การประปานครหลวง ซึ่งเพียบพร้อมด้วยประสบการณ์ในงานก่อสร้าง ข้อมูลที่ได้รับจากท่านช่วยให้งานศึกษานี้ได้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์

ท้ายที่สุดของขอบคุณให้แก่สมาชิกครอบครัวทุกคนที่มอบความรัก ความห่วงใยและให้การช่วยเหลืออย่างต่อเนื่องตลอดการศึกษาของผู้ประพันธ์ และขอบคุณห้องสมุดสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สำหรับหนังสือและแหล่งข้อมูลอันทรงค่าสำหรับงานศึกษานี้

นายอดิศักดิ์ จันทร์ศรีกุลกิจ

นายเอกชัย จึงเจริญสุข

ผู้ประพันธ์

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	5.2.5 การคำนวณพื้น	44
	5.2.5.1 โมเมนต์ที่พื้น	44
	5.2.5.2 แรงเฉือนที่พื้น	44
	5.2.6 การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์	45
	5.3 ขั้นตอนการใช้งาน โปรแกรมการออกแบบเคของส์	48
6	ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์	
	6.1 กล่าวนำ	62
	6.2 ปัญหาในการก่อสร้างเคของส์	62
	6.2.1 ปัญหาการก่อสร้าง Key – Joint ไม่ได้มาตรฐาน	62
	6.2.2 ปัญหาเคของส์เอียง	63
	6.2.3 ปัญหาในการบ่มเคของส์	64
	6.2.4 ปัญหาเคของส์จมเร็วเกินไป	65
	6.2.5 ปัญหาเกิดรอยแตกร้าวรอบ Stopper	65
7	ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	
	7.1 ข้อสรุปของการศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคของส์ในประเทศไทย	69
	7.2 ข้อเสนอแนะ	70
	บรรณานุกรม	71
	ภาคผนวก	ผ1

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
4	ขั้นตอนในการก่อสร้างเขื่อน	
	4.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง Ring Beam	24
	4.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe	25
	4.3 ขั้นตอนก่อสร้างเขื่อนส่วนที่ 1 และ 2	26
	4.4 ขั้นตอนการถมเขื่อน	27
	4.5 ขั้นตอนในการหยุดการถมเขื่อน	28
	4.6 ขั้นตอนการก่อสร้างเขื่อนส่วนที่ 3	29
	4.7 ขั้นตอนการถมเขื่อนส่วนที่ 3	30
	4.8 ขั้นตอนการก่อสร้างเขื่อนส่วนที่ 4 ถึง 6 (ถมใน Soft Clay)	31
	4.9 ขั้นตอนการก่อสร้างเขื่อนส่วนที่ 7 ถึง 9 (ถมใน Stiff Material)	32
	4.10 ขั้นตอนการก่อสร้างที่ตำแหน่งสุดท้าย	33
5	โปรแกรมในการออกแบบเขื่อน	
	5.1 กล่าวนำ	36
	5.2 ตัวอย่างการออกแบบเขื่อนด้วยวิธีธรรมดา	36
	5.2.1 คุณสมบัติของดิน	36
	5.2.2 แรงดันดิน	38
	5.2.3 At rest pressure + แรงดันน้ำ	38
	5.2.4 การคำนวณแรงกระทำที่หน้าตัดและแรงต้าน	39
	5.2.4.1 การต้านแรงดันขึ้น (Against Uplift Pressure)	39
	5.2.4.2 แรงที่กระทำต่อผนังเขื่อนระหว่างการถม	40

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.2 ผนัง	13
	2.4 แรงดันผนัง Caisson	13
	2.4.1 ความมั่นคงทั้งหมดของเสาค้ำยังอุโมงค์	14
3	การออกแบบเคชองส์	
	3.1 การออกแบบน้ำหนักบรรทุก(Design Loads)	16
	3.1.1 น้ำหนักบรรทุกจรที่กดทับ	16
	3.1.2 แรงดันน้ำ	16
	3.1.3 แรงดันดิน	16
	3.1.4 น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงาน	16
	3.1.5 การรวมน้ำหนักบรรทุก	16
	3.2 การออกแบบและการวิเคราะห์เคชองส์	17
	3.2.1 แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก	17
	3.3 การออกแบบวงแหวนของเคชองส์ – สถานะประลัย (Ultimate Limit State)	17
	3.4 การออกแบบวงแหวนของเคชองส์ – สถานะใช้งาน (Serviceability Limit State)	19
	3.5 การออกแบบฐานพื้น (Base slab)	19
	3.6 เสถียรภาพของเคชองส์ – การปูด	20
	3.7 เสถียรภาพของเคชองส์ – การยกขึ้น	21
	3.8 การคำนวณการจม	21
	3.9 แรงต้านแรงเสียดทาน(Friction Resistance)	22
	3.10 แรงต้าน End bearing	23
	3.11 Jacking Load	23
	3.12 การออกแบบ cutting shoe	23

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฅ
	สารบัญรูป	ฉ
	คำอธิบายสัญลักษณ์/คำย่อ/คำนิยามศัพท์	ณ
1	บทนำ	
	1.1 กล่าวนำ	1
	1.1.1 เคชของสี่ในประเทศไทย	1
	1.2 ที่มาของปัญหา	2
	1.3 วัตถุประสงค์	3
	1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ	3
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1 ทฤษฎีของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน	4
	2.1.1 ทฤษฎีของ Terzaghi (1943)	4
	2.2 แรงเสียดทาน(Skin friction)	7
	2.3 รายละเอียดการออกแบบของ caisson	10
	2.3.1 Shoe	10

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ค่า Bearing Capacity Factors	6
2.2	ค่าสังเกตสำหรับแรงเสียดทานที่ผิวของเคชองส์	8
5.1	แสดงแรงดันรวมที่ระดับความลึกต่างๆ	38
5.2	แสดงแรงรวมดันข้างที่ระดับความลึกต่างๆ	38
5.3	แสดงน้ำหนักรวมทั้งหมด	39
5.4	แสดงการคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด	40
5.5	แสดง Bending Moment และ Axial Force รวม	41
6.1	สรุปปัญหาในการก่อสร้างเคชองส์และแนวทางการแก้ปัญหาในการก่อสร้างเคชองส์	67

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงการก่อสร้างเคของส์	2
2.1	การจัดวางท่ออากาศ/น้ำสำหรับเคของส์สะพานแม่น้ำ New Hawkesbury	10
2.2	มูมสำหรับแผ่นเหล็กเอียง	11
2.3	Cutting edges ของเคของส์สะพาน Lower Zambesi (after Handman)	12
2.4	การกางออกของ caisson shoe	13
3.1	แสดงลักษณะของแรงที่กระท่อผนังเคของส์	18
3.2	แสดงแรงที่เกิดขึ้นภายในเคของส์	18
4.1	แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง Ring Beam	24
4.2	แสดงรายละเอียด Cutting Shoe	25
4.3	แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe	25
4.4	แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง เคของส์ส่วนที่ 1 และ 2	26
4.5	แสดงขั้นตอนการจมเคของส์	27
4.6	แสดงขั้นตอนในการหยุดการจมเคของส์	28
4.7	แสดงขั้นตอนการก่อสร้างเคของส์ส่วนที่ 3	29
4.8	การจมเคของส์ขึ้นส่วนที่ 3	30
4.9	การก่อสร้างเคของส์ส่วนที่ 4 ถึง 6 (จมใน Soft Clay)	31
4.10	การก่อสร้างขึ้นส่วนที่ 7 ถึง 9 (จมใน Stiff Material)	32
4.11	แสดงขั้นตอนการก่อสร้างเคของส์ที่ตำแหน่งสุดท้าย	33
4.12	แสดงการผูกเหล็กเพื่อเทคอนกรีต Ring Beam	34
4.13	แสดงการก่อสร้างผนังเคของส์ขึ้นส่วนแรก	34
4.14	แสดงการประกอบแบบเคของส์	35
4.15	แสดงการก่อสร้าง Stopper Beam	35
5.1	แสดงคุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเคของส์	37
5.2	แสดงการเสริมเหล็กที่ Caisson shoe	42

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.3	แสดงการเสริมเหล็กที่ผนัง Caisson	43
5.4	แสดงตำแหน่งของช่องเปิด	45
5.5	แสดงค่า Moment, Shear ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด	45
5.6	แสดงการเสริมเหล็กในผนังของช่องช่วงช่องเปิด	46
5.7	แสดงแบบการเสริมเหล็กของเคของส์	47
5.8	แสดงการเลือก Number of soil layer	48
5.9	แสดงการใส่ค่าคุณสมบัติของดินแต่ละ layer	49
5.10	แสดงการใส่คุณสมบัติของวัสดุ, ค่าขนาดเคของส์, คุณสมบัติอื่นๆ	50
5.11	แสดงปุ่ม O.K. เมื่อต้องการคำนวณต่อ	51
5.12	แสดงปุ่ม Calculator	52
5.13	แสดงค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้นถ้าผ่านให้คลิก OK	52
5.14	แสดงค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้นถ้าไม่ผ่าน โปรแกรมจะให้ใส่ค่า Thickness of concrete plug	52
5.15	แสดงวิธีการการใส่ค่า Load factor	53
5.16	แสดงค่า Total Bending Moment และ Total Axial Force	53
5.17	แสดงการคำนวณการเสริมเหล็กโดยโปรแกรม PCA	54
5.18	แสดงวิธีการค่าเหล็กเสริมบริเวณ Caisson shoe ที่คำนวณจาก โปรแกรม PCA มาใส่ในโปรแกรม	54
5.19	แสดงว่าผนังของส์สามารถรับแรงแนวแกน ได้หรือไม่ ถ้าได้ให้คลิก OK	55
5.20	ถ้าไม่ได้โปรแกรมจะให้ทำการเปลี่ยนความหนาของผนังของส์	55
5.21	แสดงวิธีการใส่ค่าเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson	55
5.22	แสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson	56
5.23	แสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson ถ้าน้อยกว่าโปรแกรมจะให้ทำการใส่ ขึ้นตอนที่ 14 ใหม่	56
5.24	แสดงวิธีการใส่ความลึกประสิทธิภาพ d	56

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
5.25	แสดงวิธีการใส่ความลึกประสิทธิผล d'	57
5.26	แสดงวิธีการใส่เหล็กเสริมบริเวณแผ่นพื้น Caisson	57
5.27	แสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณแผ่นพื้น Caisson	57
5.28	แสดงค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น Caisson	58
5.29	แสดงวิธีการใส่ความหนาของแผ่นพื้น Caisson ใหม่	58
5.30	แสดงปุ่ม Report	58
5.31	แสดงหน้าจอแสดง Result1	59
5.32	แสดงหน้าจอแสดง Result2	60
5.33	แสดงหน้าจอแสดง Result3	61
6.1	แสดงลักษณะ Key Joint	63
6.2	แสดงการเอียงของเคชองส์	64
6.3	แสดงรอยแตกร้าวรอบ Stopper Beam	66

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_1}	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
N_c	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors
N_γ	สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors

บทที่ 1

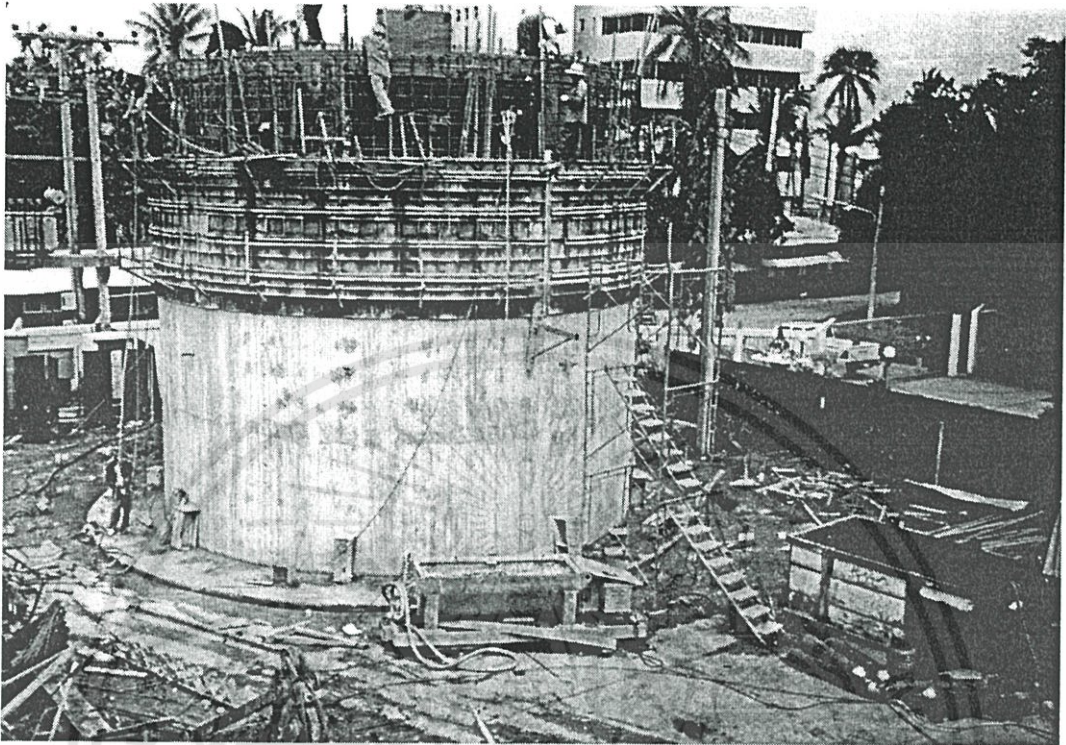
บทนำ

1.1 กล่าวนำ

เนื่องจากการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน มักจะทำการก่อสร้างที่ความลึกมากๆ ประมาณ 21-25 เมตร ในการขุดเจาะ ท่อลำเลียงวัสดุและท่อต่างๆ การก่อสร้างโดยใช้ Sheet Pile ซึ่งมีความยาวมากที่สุดประมาณ 16 เมตร จะเห็นได้ว่าความยาวของ Sheet Pile ไม่เพียงพอกับความต้องการในการใช้งานก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน ดังนั้นเราจึงมีการนำวิธีเคของค์เข้ามาใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างใต้ดิน เพราะเคของค์นั้นจะสามารถทำการก่อสร้างจนถึงระดับความลึกที่โครงสร้างใต้ดินต้องการได้ การใช้เคของค์จะไม่ก่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือนต่ออาคารข้างเคียง ถนน และท่อใต้ดินต่างๆ และไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางเสียง เนื่องจากในการก่อสร้างเคของค์ นั้นไม่มีการตอกของป็นจัน และยังป้องกันการซึมรั่วของน้ำใต้ดินเข้ามาภายในเคของค์

1.1.1 เคของค์ในประเทศไทย

ปัจจุบันเนื่องจากกรุงเทพมหานครมีการเจริญเติบโตและความหนาแน่นของประชากรเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ระบบสาธารณูปโภคต่างๆ เช่นท่อส่งน้ำประปา สายโทรศัพท์ ระบบขนส่งมวลชน เป็นต้น ต้องมีการขยายระบบลงสู่ใต้ดิน ประเทศไทยได้มีการริเริ่มนำเคของค์มาใช้ในงานขุดอุโมงค์ส่งน้ำประปาของการประปานครหลวง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2518 และได้มีการพัฒนานำเคของค์มาใช้ในงานโครงสร้างใต้ดินอื่นๆ เช่น ระบบระบายน้ำทิ้งในชั้นดินกรุงเทพมหานคร รถไฟฟ้ามหานคร เป็นต้น เคของค์ในประเทศไทยส่วนมากจะใช้งานในแถบกรุงเทพมหานคร และเขตปริมณฑล



รูปที่ 1.1 แสดงการก่อสร้างเขชองส์

1.2 ที่มาของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างได้ดินเป็นจำนวนมาก เช่น การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้ามหานคร โครงการบ่อบำบัดน้ำเสียคลองด่าน ท่อส่งน้ำประปา เป็นต้น ในงานก่อสร้างดังกล่าว เนื่องจากมีความลึกมาก จึงจำเป็นต้องมีการนำเขชองส์มาใช้ในการก่อสร้าง แต่ปัจจุบันในประเทศไทย ยังมีผู้มีความรู้ในการออกแบบเขชองส์ จำนวนน้อย เพราะข้อมูลของการออกแบบ และวิธีการก่อสร้าง เขชองส์ ยังไม่แพร่หลาย และเป็นงานเฉพาะด้าน จึงทำให้มีข้อมูลที่มาใช้ในการศึกษาน้อย

ดังนั้น การศึกษา และ รวบรวมข้อมูล ที่เกี่ยวกับ การออกแบบ และ วิธีการก่อสร้าง เขชองส์ นี้ จะช่วยให้ผู้ที่ต้องการเรียนรู้ หาข้อมูลเขชองส์ มีแหล่งข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น และสามารถนำไปใช้งานในงานก่อสร้างได้

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการออกแบบ และ การก่อสร้าง เคชองค์ ในประเทศไทย
2. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างเคชองค์

1.4 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาข้อมูลรายละเอียดการก่อสร้างที่ผ่านมาแล้วในประเทศไทย
2. ศึกษาการคำนวณการออกแบบเคชองส์
3. ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้าง เคชองส์
4. ศึกษาผลกระทบของการก่อสร้างเคชองส์ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม
5. ศึกษาเคชองส์ในรูปแบบของวงกลมเพียงอย่างเดียว
6. ศึกษาเคชองส์ในงานอุโมงค์ที่ส่งน้ำประปาของการประปานครหลวง



บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ทฤษฎีของความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน

ทฤษฎีที่นำมาใช้ในการที่นำมาใช้ในการพิจารณาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดินรองรับฐานราก (Ultimate Bearing Capacity of soil, q_u) มีหลายทฤษฎี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของ Terzaghi

2.1.1 ทฤษฎีของ Terzaghi (1943)

ทฤษฎีของ Terzaghi (1943) มาจากพื้นฐานของ Plasticity Theory มีการเสนอการวิเคราะห์พิจารณาค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของดิน ที่มีรูปแบบของการพิบัติเนื่องจากแรงเฉือนในดินเป็นแบบ General Shear Failure และ Local Shear Failure คือ มีลักษณะขยายไปยังผิวดิน โดยเริ่มจากดินใต้ฐานรากเคลื่อนตัวลง แล้วจึงขยายไปยังข้างนอกไปยังผิวดินต่อไป

ข้อสมมติฐานของ Terzaghi ตามรูปที่ 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 (ฐานรากที่มีความกว้างข้อยมากเมื่อเทียบขนาดความยาวของฐานราก) 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 ได้สมการพื้นฐานของค่าความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกพหุประลัยของดินรองรับฐานราก (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)

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

เมื่อ N_c, N_q, N_γ = ค่า Bearing Capacity Factors ซึ่งเป็นค่าที่แปรเปลี่ยนตาม Angle of Friction
 ดังรูป และ ตาราง 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

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

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)

ปัญหาของแรงเสียดทานที่ผิวในการออกแบบและก่อสร้างของเสาเข็มและ caisson ในกรณีที่วิธีการอนุรักษ์ควรจะถูกใช้เมื่อการประเมินเรื่องของแรงเสียดทานที่ผิวของความสามารถที่จะบรรทุกของ caisson เมื่อการพิจารณาน้ำหนักคงที่เพื่อใช้ในการจม caisson แรงเสียดทานที่ผิวควรจะไม่ถูกประมาณต่ำเกินไป เมื่อการจม caisson ผ่าน soft sensitive clay และ silts โดยทั่วไปแรงเสียดทานที่ผิวจะเกิดน้อยกว่า remoulded shear strength อาจจะเป็นไปได้สองถึงสามของค่านี้ เมื่อ caisson จมลงอย่างรวดเร็วและไม่ยอมให้มีการหยุดนิ่ง อย่างไรก็ตามปกติมันจะค่าแรงเสียดทานที่นำมาใช้กับฐานรากในความเป็นจริงแล้วข้อสังเกตของการจม caisson ในความคล้ายคลึงภายใต้เงื่อนไขของปัญหาที่กำลังจะศึกษา ของ Terzadhi แสดงชนิดของค่าสำหรับการคำนวณความสามารถในการบรรทุก บางข้อสังเกตของค่าในการจม caisson จะแสดงในตาราง 2.2

Wiley^{6,14} มักจะใช้แสดงค่าสำหรับบ่อเปิดและ pneumatic caisson สำหรับสะพาน ค่าของค่าและจนถึงค่าในตาราง 2.2 จะแสดงค่าแรงเสียดทานที่ผิวที่มีการเบี่ยงเบนมากและช่วงระยะทั่วไปจะอยู่ที่ 9.6-29 kN/m² กับค่าที่สูงกว่าเล็กน้อย ค่าที่แสดงมานั้นจะแตกต่างกันเล็กน้อยในการจม caisson .ในดินชนิดต่างๆ และมันจะเป็นไปได้กับการแปรผันกับความกว้างที่จะเพียงพอกับการแสดงของ boulders ผลกระทบของอากาศที่ปล่อยออกมาจากข้างใต้ cutting edge “ การทำให้แห้ง” มีผลการทบถ้ำ การจมถูกยอมให้หยุดเป็นเวลามากกว่าเล็กน้อย และรูปแบบของ caisson ที่ไม่มีการเพิ่มขึ้นในแรงเสียดทานที่ผิวกับการเพิ่มความลึกของการแทรกซึมในทุกกรณีที่เกิด caisson แต่ Handman กล่าวว่า การที่ความลึกมากกว่าระดับการก่อสร้างที่ออกแบบไว้ใน caisson ค่าเฉลี่ยที่สูงขึ้นของการจมที่ต้องการจะสร้างมันที่เป็นขั้นสุดท้าย ซึ่งข้อสังเกตนี้ถกยืนยัน โดย Wiley ถูกกล่าวไว้ว่า

Site	Type of caisson	Approximate size (m)	Soil conditions	Observed skin friction (kN/m ²)	Reference
Lower Zambesi Bridge	Open well and pneumatic (steel pates)	11 × 6	Mainly sand	22.75	Howorth
Howrah Bridge	Open well and pneumatic (steel pates)	55 × 25	Soft clays and sands	28.75	Howorth and Shirley Smith
Uskmouth Power Station	Pneumatic (steel pates)	50 × 33.5	12.2 m soft clay, 6.1 m sand	55.0	Wilson and Sully
Grangemouth	Open well (concrete walls)	13 × 13	Very soft clay	4.75	Murdock, discussion on paper by Pike and Saurin
	(concrete walls)	19.5 × 10	Very soft clay	5.75-10.0	
Kafr-el-Zayat	Pneumatic (steel pates)	15.5 × 5.5	Sand and silt	18.7-26.3	Hyatt and Morley
Grand Tower (Mississippi River)	Open well (concrete walls)	19 × 8.5	Medium fine sand and silt	Above W.L. 51.0 Below W.L. 29.7	Newall
Verrazano Narrows	Open well (concrete walls)	69.5 × 39	Medium dense to dense sand and fine gravel	84.75-95.4 ¹	Yang
Jamuna River	Open well (concrete walls)	12.2 m dia	Medium dense to dense silty fine sand	5.4-29.7 ²	Chandler <i>et al.</i>
Gowtami	Open well (concrete walls)	9 × 6	9.1 m sand and 13.7 m stiff clay 7.6 m sand	12.6	Ramayya

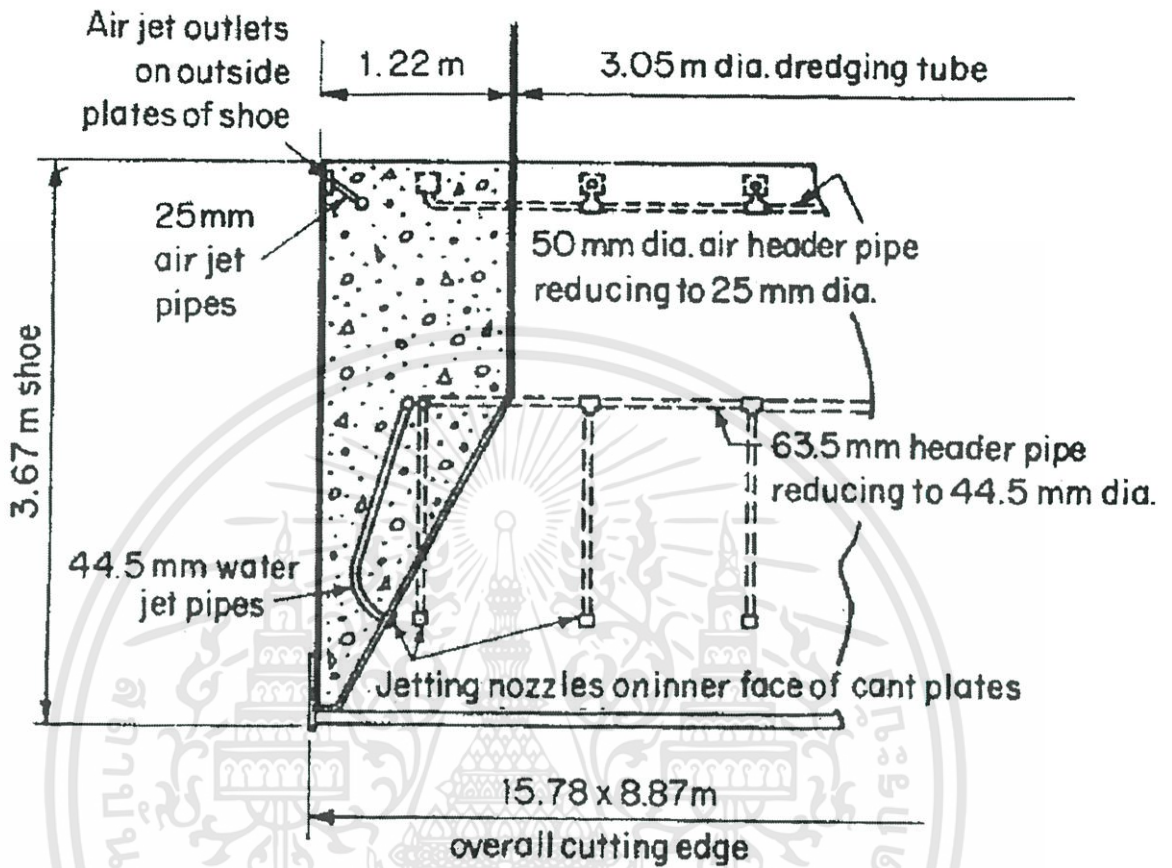
1 At lowest stage of sinking to 40 m.

2 On 2.9 m deep cutting edge over 9 m sinking depth.

ตารางที่ 2.2 ค่าสังเกตสำหรับแรงเสียดทานที่ผิวของเคซอนส์

“แรงเสียดทานที่ผิวของชั้นส่วนที่ต่ำของ caisson จะเพิ่มขึ้น โดยตรงกับควมลึกที่ถูกทำให้จม แต่นอกจากส่วนประกอบที่ไม่แน่นอนหรือในสถานะของเหลว นั้น แรงเสียดทานที่ความลึกต่างๆบนชั้นส่วนที่ต่อเนื่องกันของ caisson จะไม่มากไปกว่าแรงบน cutting edge และชั้นส่วนล่างของ caisson ในขณะที่เครื่องหมาย : หรือในข้อสังเกตต่างๆ การผ่านของส่วนที่ต่ำกว่าของ caisson ราบเรียบ, หล่อลื่น, หรือในวิธีการแบบอื่นๆที่จะลดแรงเสียดทานอย่างมากกับชั้นส่วนที่ตามมา ผันที่หนาตั้งแต่ 1.52-1.83 เมตรจะก่อให้เกิดน้ำหนักที่เพียงพอต่อการลดแรงเสียดทานต่างๆให้น้อยลง และต้องมีการพัฒนาอย่างมีเหตุผลจนกว่าจะเจาะผ่านส่วนประกอบที่ยากยิ่ง”

บาง caisson จะมีการออกแบบให้มีการรวมเข้าด้วยกันระหว่างน้ำและเครื่องพ่นอากาศใกล้กับระดับ cutting edge เพื่อที่จะลดแรงเสียดทานที่ผิว ลักษณะการจัดของน้ำและเครื่องพ่นอากาศสำหรับ Hawkesbury River bridge^{6,16} จะแสดงในรูป 2.1 ในปัจจุบันมีการใช้การฉีดพ่นน้ำเลน thixotropic clay (ตัวอย่างเช่น bentonite) เหนือ cutting edge หรือ shoe level ด้วยเหตุนี้ถ้าหากผิวบางๆของน้ำเลนรอบๆผัน มีการฉีดอย่างต่อเนื่องจะทำให้ caisson จมจนถึงระดับสุดท้ายที่ต้องการ การลดแรงเสียดทานที่ผันนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากและทำให้สามารถลดน้ำหนักของ caisson กับความเป็นไปได้ที่จะตัด kentledge เพื่อช่วยในการจม ท่อในผัน caisson ที่ใช้ในการฉีดพ่นน้ำเลนหรือเพื่อท่อฉีดน้ำ/อากาศ ควรที่จะเชื่อมต่อระหว่างกัน โดย Header ที่ระดับ shoe level เพราะเฉพาะตรงท่อแนวตั้งอาจเกิดความเสียหายหรือถูกกัดขี้ด้วยผันที่สร้างขึ้น ปัญหานี้สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าการกระจายของ bentonite เพิ่มขึ้นที่ผันนอกของ caisson ดัดขัด สำหรับตัวอย่างที่การกัดเซาะของแม่น้ำรอบฐานราก caisson ถ้าการแพร่กระจายไม่สามารถซ่อมแซมโดยน้ำเลนจะทำให้มันเกิดการขาดประสิทธิภาพเทียบเท่าได้กับการลดแรงเสียดทานที่ผิว

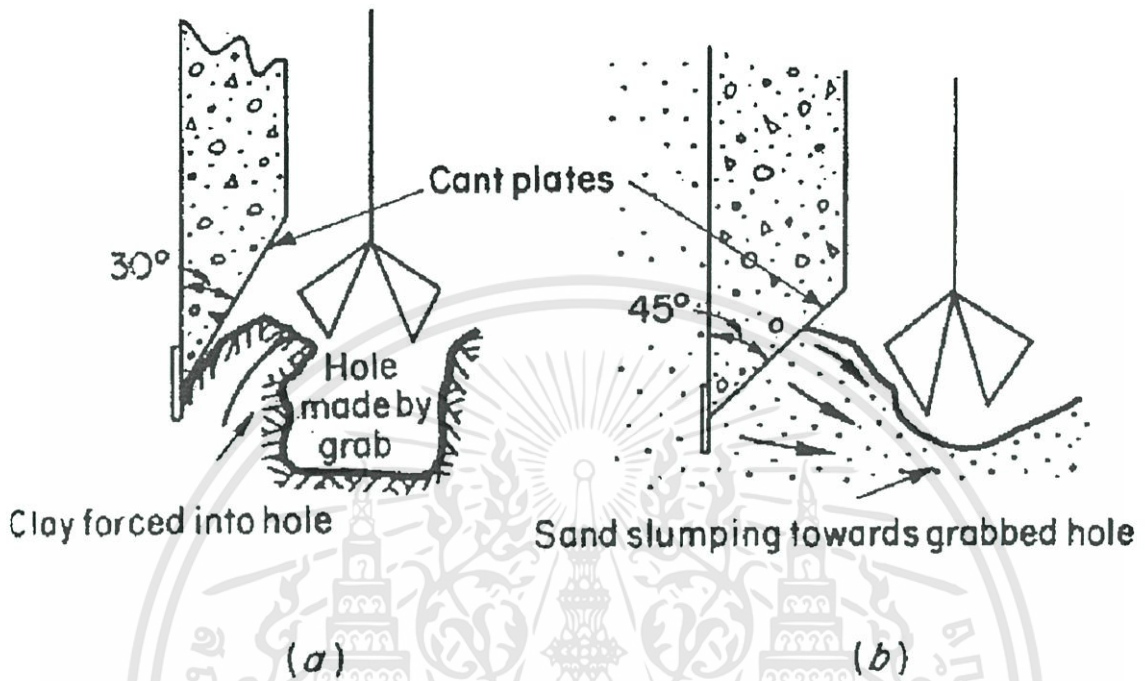


รูปที่ 2.1 การจัดวางท่ออากาศ/น้ำสำหรับเครื่องสัสะพานแม่น้ำ New Hawkesbury

2.3 รายละเอียดการออกแบบของ caisson

2.3.1 Shoe

ความลึกของ shoe (หรือ วัสดุที่สร้างเป็นขอบ) จะถูกควบคุมโดยความหนาของผนังหนัก และมุมที่กำหนดของส่วนโค้งภายในแผ่นเหล็ก (หรือความลาดเอียง) มุมนี้ควรจะถูกกำหนดโดยชนิดของ ดินที่ซึ่ง caisson จะจมผ่าน(รูป 2.2) โดยปกติมุมควรจะถูกออกแบบให้เหมาะสมกับปัจจัยที่ครอบคลุมใน การจม หรือไม่ดินที่อ่อนในชั้นแรกหรือดินแข็งหรือหินที่ผุกร่อนในชั้นต่อมา ตามปกติความหนาของผิว แผ่นเหล็กจะหนา 19 เมตรและการค้ำยันจะค้ำยันทั้งสองแนวคือแนวนอนและแนวตั้ง

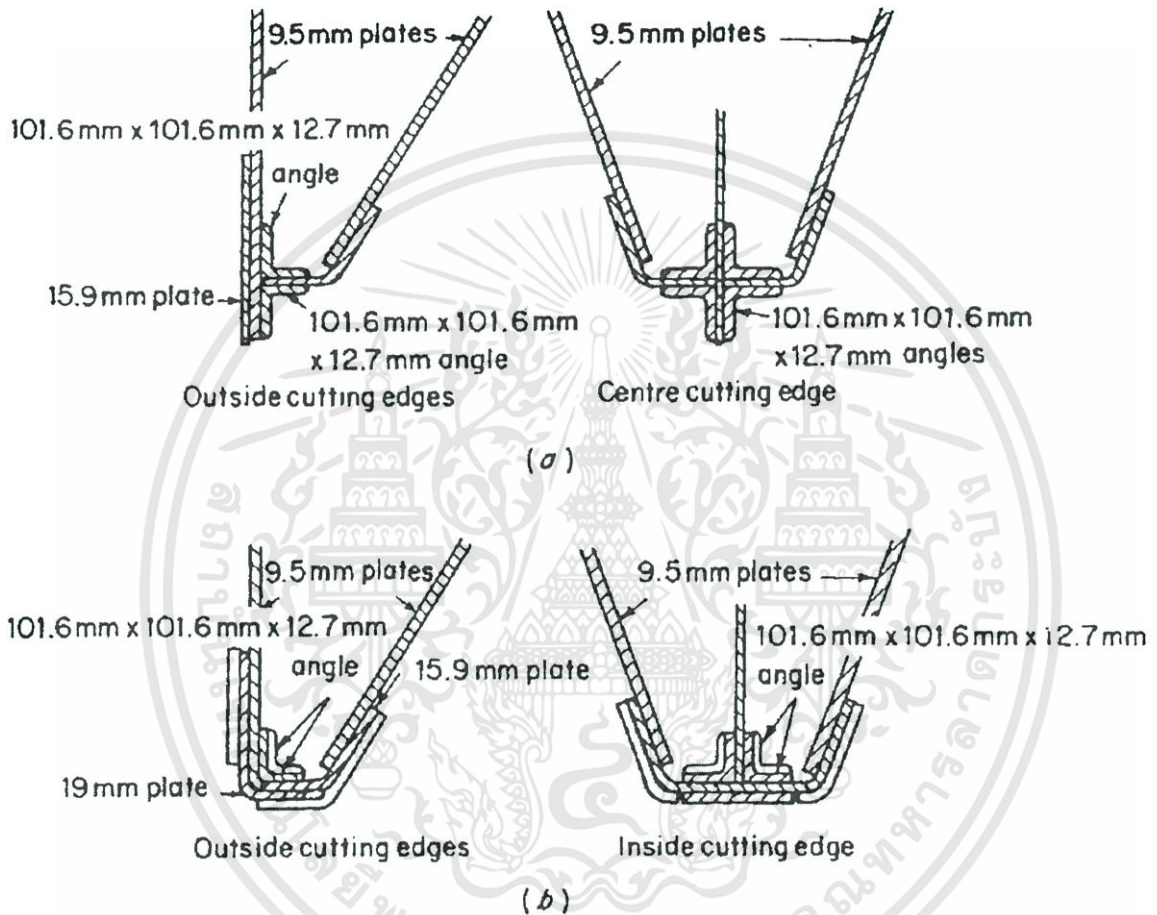


รูปที่ 2.2 มุมสำหรับแผ่นเหล็กเอียง (a) Stiff clays (b) Sands and weak clays

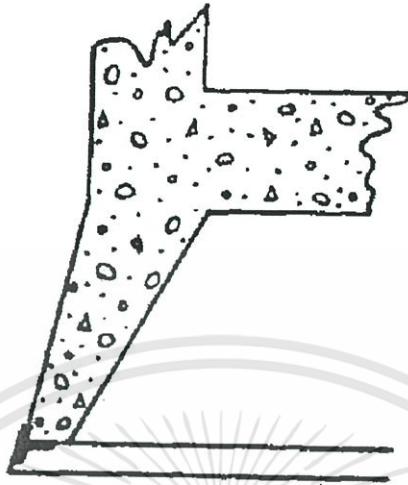
การออกแบบของ cutting edge โดยมันจะถูกติดตั้งกับ shoe จะมีลักษณะสำคัญ คือ ความเข้มข้นของ stress บน cutting edge จะชัดเจน เมื่อมีการจมผ่านหินที่ผุร่อนและจะมีการโก่งที่จุดอาจเกิดขว่างการจมและมีผลในการแยกออกของ caisson

Cutting edge โดยทั่วไปถูกทำจากแผ่นเหล็กหนา 13 มิลลิเมตร มุมกลับเป็น 19 มิลลิเมตร แผ่นแนวตั้งที่ยื่นออกมาต่ำกว่ามุมจะมีประโยชน์ในการป้องกันการอากาศใน pneumatic caisson แนวตั้งที่ถูกทำให้แข็งจะจัดให้ตั้งตรงบนแผ่นเหล็กเหนือขาแนวราบของมุม cutting edge มี 2 ประเภทที่ใช้ใน Lower Zambesi bridge สำหรับฐานรากบนทรายจะใช้แผ่นเหล็กในแนวตั้งดังรูป 2.3 (a) แต่สำหรับฐานรากบนหินแผ่นเหล็กชั้นล่างสุดจะเป็นแผ่นเหล็กแข็งมากในด้านมุมสำหรับผนังด้านนอกและใช้แผ่นเหล็กวางเชื่อมกับแผ่นเหล็กบางแนวราบสำหรับกลางผนัง(รูป 2.3 (b)) มันจะถูกติดตั้งซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในการออกแบบ 2 แบบที่ยากลำบากในค้ำยันแผ่นกระดานเหนือ cutting edge ในขณะที่การเจาะข้างได้ cutting edge ภายใต้อากาศในกานขนย้ายหินที่ผุร่อน บางเวลาCaisson shoe จะมีการผายออกมาดังรูป 2.4 เช่นเดียวกับการลดแรงเสียดทานที่ผิวหรือการป้องกันการขัดกันของ caisson ที่ติดต่อกัน และจะเกิด

การเบียดกับโครงสร้างปิดร่วมกัน อย่างไรก็ตามจากตัวอย่างจะแสดงให้เห็นการผายออกทำให้แรงเสียดทานที่ผิวลดลงได้เล็กน้อยหรืออาจจะไม่ลดลงเลย และจะเป็นการยากลำบากในการรักษาให้ caisson ตั้งตรงขณะที่มีการจม



รูปที่ 2.3 Cutting edges ของเคซอของสี่สะพาน Lower Zambesi (after Handman)
 (a) Cutting edges สำหรับทราย (b) Cutting edges สำหรับหิน



รูปที่ 2.4 การกางออกของ caisson shoe

2.3.2 ผนัง

ผนังของ caisson ควรจะต้องมีการถอยหลังเป็นระยะ 25 หรือ 50 มิลลิเมตรจาก shoe ความหนาของผนังจะถูกกำหนดโดยความจำเป็นสำหรับความแข็งแรงเพื่อต้านทาน stress ที่มาก ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นระหว่างการจม และความจำเป็นที่ต้องหาน้ำหนักที่เพียงพอกับการที่จะต้องเอาชนะแรงเสียดทานที่ผิวน้ำหนักที่เบาของโครงสร้างผนังสำหรับโป๊ะที่ลอยอยู่และจะลดต่ำลงนั้นจะได้มาจากโครงสร้างแผ่นเหล็กกลวง จะใช้แผ่นเหล็กแข็งแรงหนา 6-7 มิลลิเมตรทั้งในแนวตั้งและแนวราบของโครงสร้างเหล็ก ซึ่งถูกจัดเตรียมไว้ใน caisson shoe แผ่นเหล็กควรจะต้องเตรียมในคานฟ้าสูงประมาณ 1.2 ถึง 2.4 เมตร ความสูงเพื่อความสะดวกในการยกสำหรับการจมและการบ่มของคอนกรีตในเวลา 24 ชั่วโมง

2.4 แรงดันผนัง Caisson

ความเป็นไปได้ของการพัฒนา hydrostatic pressure ในดินเหนียว ทำให้ไม่มีการเคลื่อนที่ขึ้นของค้ำยันในอุโมงค์ที่ขุด โดยจะใช้ด้านหน้าของแผ่นไม้ที่ช่องว่างระหว่างแผ่นไม้จะยอมให้น้ำไหลผ่าน ด้วยเหตุนี้การป้องกันความดันที่เพิ่มขึ้น

ดังนั้นความอธิบายสุดท้ายของวิธีการค้ำยันอุโมงค์ที่ขุดด้วย กาดอก sheet pile และ timbering ผู้เขียนจะเน้นหนักถึงความจำเป็นของความแม่นยำในการติดตั้งโครงไม้ Poling boards หรือคานคอกควรจะต้องติดตั้งให้แนวดิ่งได้ถูกต้อง หรือที่ความเอียงจำเป็นเพราะ, waling ควรจะติดตั้งแนวราบใช้ที่ระดับ spirit level และเสาค้ำควรจะต้องมีแนวราบที่ถูกต้องและที่มุมที่ถูกต้องของ waling และตลอดแนวดิ่ง

เหนืออย่างอื่น ความจำเป็นนี้สำหรับความถูกต้องจะไม่ใช้ความคิดเก่าๆของช่างไม้ มันแสดงถึงส่วนสำคัญในการค้นพบเมื่อเร็วๆนี้เกี่ยวกับความอันตรายของ ground movement ดังนั้นถ้า waling จะมีการขยายตัวหรือมีการโก่งงอของเสาเข็มที่เฉพาะบางส่วน ในการเคลื่อนที่นี้สามารถจะเห็นอย่างชัดเจนถ้าเสาเข็มและ waling ถูกวางในระนาบแนวตั้งที่ถูกต้องในกรณีแรก ทุกแนวโน้มของ ground movement ทั้งหมดจะมีผลกับในการเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ของด้านใดด้านหนึ่งของอุโมงค์ที่ขุดซึ่งสัมพันธ์กับกรณีอื่นๆ จะเหมือนกับข้อสังเกตถ้าโครงสร้างค้ำยันแสดงสัญลักษณ์ที่เชื่อถือไม่ได้

2.4.1 ความมั่นคงทั้งหมดของเสาเข็มอุโมงค์

ในทุกชนิดของดินยกเว้นหินก้อนใหญ่ซึ่งยอมให้ภายในบางส่วนของด้านข้างของเสาเข็มอุโมงค์ที่จะถูกแทนที่นั้นจะไม่มากอย่างไรก็ควรจะมีระมัดระวัง โครงไม้ที่ถูกทำขึ้น การยอมให้ของประกอบกับการทรุดตัวของหน้าดินที่อยู่ใกล้กับอุโมงค์ที่ขุด ความสำคัญของการยอมให้และมันจะประกอบด้วยทรุดตัวที่ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและความระมัดระวังเกี่ยวกับส่วนของดินที่จะต้องค้ำยัน ในดินตะกอนอ่อนและโคลนตรงจุดนั้นจะมีความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นของการยกตัวขึ้นข้างบนของชั้นล่างของอุโมงค์ที่ขุดจะมีส่วนประกอบจากการทรุดตัวหลักของผิวหน้าดิน

The mechanic ของการยกตัวขึ้นจะถูกศึกษาโดย Bjerrum และ Eide จากการศึกษารวมทั้งสองได้มาซึ่งสูตรความลึกวิกฤติของอุโมงค์ที่ขุด

ความลึกวิกฤติ

$$D_c = \frac{N_c S}{\gamma} \quad (2.6)$$

ปัจจัยความปลอดภัยของการต้านทานการยกตัวขึ้นที่ด้านล่าง

$$F = \frac{N_c \times S}{\gamma D + P} \quad (2.7)$$

เมื่อ

N_c = สัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอุโมงค์ที่ขุด

S = undrained shear strength ของดินใน โชน immediately

γ = ความหนาแน่นของดิน

D = ความลึกของอุโมงค์ที่ขุด

P = surface surcharge

ค่าของ N_c ซึ่งให้ค่าโดย Bjerrum และ Eide จะแสดงในรูป 9.40

ที่การทดสอบ vane test จะให้ค่า undrained shear strength ของดินอ่อนหรือ firm normally consolidated clay ค่า Vane shear strength ควรจะถูกรับแกจากค่า factor

สี่กรณีศึกษาของ yielding ส่วนในและการยกตัวขึ้นที่ข้างใต้ของอุโมงค์ที่ขุดเจาะ โดยใช้ sheet pile ในดินเหนียวอ่อนมากที่ Tilbury, Essex ได้มีการศึกษาโดย Ward^{9.22} ในกรณีศึกษาเหล่านี้ ส่วนบนของ sheet pile เคลื่อนที่เข้าไปภายใน หรือถ้าส่วนบนของโครงสร้างอยู่กับที่ในเวลาที่ไม่มีการเคลื่อนที่ มีการยกตัวขึ้นที่ข้างใต้และส่วนบนของโครงสร้างจะถูกเข้าไปแทนที่ ในตัวอย่างที่มีความลึกของอุโมงค์ที่ขุดเท่ากับ 4.6 เมตร เสาเข็มด้านใดด้านหนึ่งจะมีการเคลื่อนที่ออกด้านนอกและตลอดจากส่วนบนของโครงสร้างของ timbering และจะยกขึ้นเหนือระดับเดิม ช่องว่างที่มาจากระหว่างดินและส่วนหลังของ sheet piling (ซึ่งยังคงตั้งตรง) และส่วนที่ยกขึ้นจากด้านล่าง Ward ได้สรุปจากการสำรวจในความลึกที่ทับถมตามปกติ consolidated clay ที่ได้สุดของ โครงสร้างของค้ำยันควรจะวางขวาง cofferdam ก่อนความลึกของอุโมงค์ที่ขุดในช่วงระยะ $D_c = 4s/\gamma$

Ward ทำให้จุดสำคัญที่ส่วนใน yielding และ bottom heave ถูกเกิดขึ้นนั้น ไม่สัมพันธ์กัน ทั้งหมดที่ความยาวของ sheet piling และที่วัสดุภายในซึ่ง sheet pile จะถูกคอก ในสาเหตุหนึ่งของกรณีศึกษาที่ heave และ yielding ที่เกิดขึ้นที่ความลึกของอุโมงค์ที่ขุดเพียง 1.8-2.1 เมตร sheet pile จะยาวเกิน 21 เมตร และจะถูกคอกภายใน sandy gravel หรือ chalk ชนิดของภายใน yielding จะอธิบายโดย Ward จากรูปแบบของ shear failure ของดินและควรจะทำให้ชัดเจนกับ scale yielding ที่เล็กกว่า เป็นผลมาจากดินที่ขยายตัว Bjerrum และ Eide กล่าวไว้

“จากประสบการณ์ยังไม่สามารถบ่งชี้ได้แน่นอนว่าอันตรายมากน้อยเพียงไรของการพังทลายของฐานรากจะลดลงถ้า sheet pile ถูกคอกต่ำกว่าด้านล่างของอุโมงค์ที่ขุด ความมั่นคงมีอิทธิพลกับ sheet pile อย่างไรก็ตามที่เล็กน้อยของสาเหตุซึ่ง shear strength ของดินเหนียวจะไม่เพิ่มขึ้นกับความลึก”

บทที่ 3

การออกแบบเคของส์

3.1 การออกแบบน้ำหนักบรรทุก (Design Loads)

3.1.1 น้ำหนักบรรทุกจรที่กดทับ

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

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

3.1.2 แรงดันน้ำ

สำหรับเคของส์ แรงดันน้ำถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับพื้นดิน

3.1.3 แรงดันดิน

แรงดันดินบนเคของส์แนวตั้ง ถูกกำหนดให้เท่ากับแรงดันดินแบบ

$$At\text{-rest} = k_0 \gamma' h \quad (3.1)$$

3.1.4 น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงาน

น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงาน (Working shaft No.3 Only) ประมาณ

800 t (เหมาะสมกับจัดส่งเครื่องจักรก่อสร้างอุโมงค์)

3.1.5 การรวมน้ำหนักบรรทุก

- 1) ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ
- 2) ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ + น้ำหนักบรรทุกในการดำเนินงาน

3.2 การออกแบบและการวิเคราะห์เคของส์

3.2.1 แรงดันดินและน้ำหนักบรรทุก

แรงดันดิน

ก) การคำนวณแรงดันส่วนเกิน (Overburden Pressures)

Overburden Pressures ถูกคำนวณที่ระดับบนสุดของชั้นดิน

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

เมื่อน้ำหนักกดทับ (surcharge) = 20 kPa (น้ำหนักจากการจราจร)

γ = ความหนาแน่นดิน

γ_w = ความหนาแน่นน้ำ = 10 kN/m³

h = ความลึก

ข) การคำนวณแรงดันดินที่สภาวะพัก (At-Rest)

กรณีที่มีน้ำหนักบรรทุก : ดิน + น้ำหนักกดทับ + น้ำ

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

เมื่อ

Clay $\phi = 22^\circ$, $k_o = 0.62$ (ประมาณ สภาวะไม่วิกฤต)

Very Dense Sand $\phi = 38^\circ$, $k_o = 1 - \sin \phi = 0.44$

Dense Sand $\phi = 36^\circ$, $k_o = 1 - \sin \phi = 0.46$

แรงดันดินจะถูกพล็อตแสดงระหว่าง แรงดันที่เพิ่ม กับ ความลึก

ค) แผ่นดินไหว

ในระยะยาว , 2/3 ของเคของส์จะถูกเติมด้วยคอนกรีตและทราย ประสิทธิภาพของเคของส์

“ถูกล็อคในดิน” จากเหตุผลนี้แผ่นดินไหวจะไม่นำมาพิจารณาในการออกแบบ

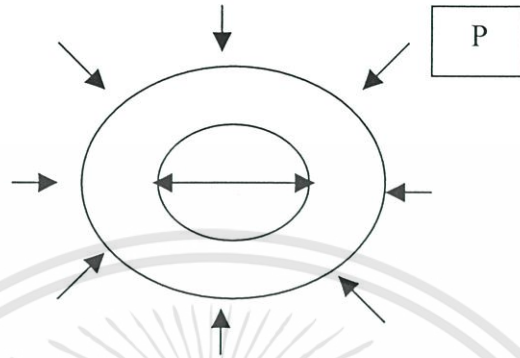
3.3 การออกแบบวงแหวนของเคของส์ — สถานะประลัย (Ultimate Limit State)

การออกแบบกำหนดให้วงแหวนเป็นแรงอัด — การคำนวณแรงอัด

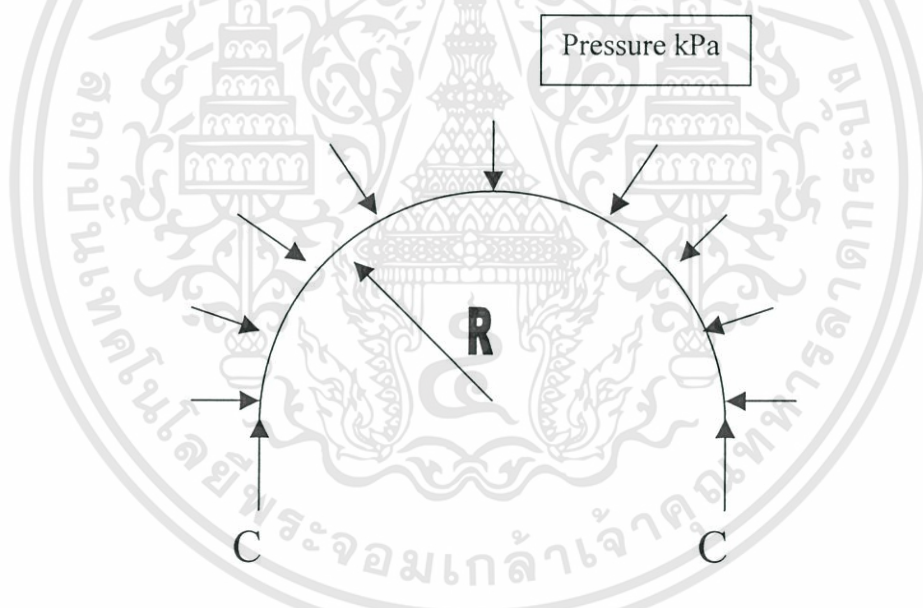
วงแหวนถูกออกแบบให้วงแหวนเป็นแรงอัด

จุดวิกฤตจะอยู่เหนือฐานพื้น(Base slab)

จุดวิกฤตของแรงดันสถานะพัก (At-Rest) ถูกกำหนดให้อยู่ที่ระดับเหนือฐานพื้นสมมติวงแหวนเป็นแรงอัด



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของแรงที่กระทำผนังของท่อ



รูปที่ 3.2 แสดงแรงที่เกิดขึ้นภายในเคของส

$R =$ รัศมี

แรงอัดในวงแหวน $C = RP$ (3.4)

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

ที่จุดที่มีการเปิด แรงอัดในวงแหวนถูกรวมที่ 1 เมตร เหนือและใต้ จุดที่มีการเปิด

แรงที่กระทำบนผนังของสระหว่างการจม

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

สมมติ 50% of แรงดันดินที่กระทำต่อผนังของสระหว่างการจม

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

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

$$\begin{aligned} \text{Bending Moment, } M &= 0 \\ \text{Shear Force, } Q &= 0 \\ \text{Axial Force, } N &= P(R_o) \end{aligned} \quad (3.8)$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายไม่สม่ำเสมอ

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

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

3.4 การออกแบบวงแหวนของเคของส์ — สถานะใช้งาน (Serviceability Limit State)

โดยทั่วไปไม่มีแรงดึงในเคของส์ การเสริมเหล็กน้อยที่สุดสำหรับควบคุมการแตก (cracking) ถูกกำหนดดังนี้

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

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

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

3.5 การออกแบบฐานพื้น (Base slab)

• กรณีน้ำหนักบรรทุก : ยกขึ้น (Uplift)

$$W_u = (1.4 \times \text{water uplift}) - (1.0 \times \text{Dead}) \quad (3.12)$$

แรงโน้มถ่วง (Gravity) $W_u = 1.4 \times \text{Dead}$ (3.13)

กรณีแรงโน้มถ่วงจะถูกแรงรับโดยตรงโดยแรงแบกทาน(Bearing)

- การวิเคราะห์พื้นสำหรับวงแหวนวงกลม,

โมเมนต์, $M_u = \frac{W_u R^2 (3 + \delta)}{16}$ (3.14)

เมื่อ $W_u =$ น้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

$R =$ รัศมี

$\delta =$ Poisson's ratio = 0.2

แรงเฉือน, $V_u = (\text{Uplift})(r-d)$

- การออกแบบ—สถานะประลัย (Ultimate Limit State)

โมเมนต์, $A_s = \frac{M}{0.4f_y (d-d')}$ (3.15)

แรงเฉือน, $V_c = 0.29 \sqrt{f_c} bd$ (3.16)

3.6 เสถียรภาพของเขของส์ – การปูด

การปูดจะเกิดขึ้นในดินเหนียวอ่อน(Soft clay) การป้องกันการปูด, เครื่องอุจะถูกต้องการที่ระดับฐานของเขของส์

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

$$F = \frac{N_c \times S}{\gamma D + P} \quad (3.17)$$

เมื่อ $N_c =$ สัมประสิทธิ์ Bearing Capacity Factors ตามตาราง

$S =$ Undrained shear strength ของดิน

$\gamma =$ ความหนาแน่นของดิน

$D =$ ความลึกของการขุด

$P =$ น้ำหนักกดทับที่พื้นผิว

สำหรับระยะสั้น ค่า Factor of safety ที่ถูกใช้คือ 1.1

สำหรับระยะยาว ค่า Factor of safety ที่ถูกใช้คือ 1.3

3.7 เสถียรภาพของเขของส์ – การยกขึ้น

อัตราที่ถูกลงไว้เพื่อความปลอดภัย (Factor of safety) ด้านการยกขึ้น คือ

$$F = \frac{\text{Weight of Concrete} + \text{Friction}}{\text{Uplift}} \quad (3.18)$$

เมื่อ Uplift = ปริมาตรที่แทนที่ (Volume displaced) x ความหนาแน่นของน้ำ
กำหนดให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ระดับพื้นดิน
แรงเสียดทาน

$$\text{In Clay, Friction} = \alpha CA \quad (3.19)$$

$$\text{In Sand, Friction} = 2NA \quad (3.20)$$

เมื่อ α = อัตราที่ถูกลงไว้ของแรงยึดเหนี่ยว (adhesion factor)

= 0.9 ใน soft clay

= 0.7 ใน medium clay

= 0.6 ใน stiff/hard clay

C = ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)

N = Standard penetration test

A = พื้นที่ผิว

อัตราที่ถูกลงไว้เพื่อความปลอดภัย (Factor of safety) ที่น้อยที่สุด $F > 1.2$

3.8 การคำนวณการจม

ผู้ออกแบบจะต้องแน่ใจว่าเขของส์นั้น

- 1) จะถูกรองรับระหว่างการก่อสร้าง
- 2) เขของส์จะจมระหว่างขบวนการจม
- 3) เขของส์ไม่ปูด

จากประสบการณ์นั้น เมื่อทำการจมนลงในดินเหนียวอ่อน เครื่องจะถูกนำมาใช้ที่ฐานเพื่อป้องกันการปูด ในกรณีนี้ เคชองส์จะถูกทำให้จมด้วยน้ำหนักของตัวเองหรือแรงกดจากjacking

เมื่อเคชองส์จมถึงชั้น stiff clay และ ชั้น dense sand จะต้องการ การหล่อลื่น และ การขุด ที่บริเวณ cutting shoe

สำหรับแต่ละขั้นตอนของการก่อสร้างจะถูกคำนวณ

- น้ำหนักคอนกรีต
- End Bearing
- แรงเสียดทาน
- Jacking Force

3.9 แรงต้านแรงเสียดทาน(Friction Resistance)

แรงเสียดทานที่ cutting shoe จะถูกนำมาคิดเต็มแรงเสียดทาน ที่ตำแหน่งเหนือ cutting shoe เคชองส์จะถูกทำการหล่อลื่น สำหรับโซนนี้ แรงเสียดทานจะถูกนำมาคิดหนึ่งในสามของแรงเสียดทานปกติ

ที่ cutting shoe – ไม่มี bentonite

In Clay , Friction = αCA

α = อัตราที่คูณไว้ของแรงยึดเหนี่ยว(adhesion factor)

= 0.9 ใน soft clay

= 0.7 ใน medium clay

= 0.6 ใน stiff/hard clay

C = ค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) kPa

A = พื้นที่ผิว

In Sand , Friction = $2NA$

N = Standard penetration test (SPT)

A = พื้นที่ของแรงเสียดทาน

ที่เหนือ cutting shoe

เติม bentonite ในทฤษฎีจะไม่มีแรงเสียดทาน แต่ในทางปฏิบัติจะมีประมาณ 33%

แรงเสียดทานที่นำมาคิดคือ $\frac{\text{friction}}{3} = \frac{C\alpha A}{3}$ เหนือ cutting shoe

3.10 แรงต้าน End bearing

สำหรับแต่ละชั้น, แรงต้าน End bearing :

$$Q = CN_c + \gamma DN_q + 0.5 \gamma BN_\gamma \quad (3.21)$$

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-bond สำหรับการขุดที่ส่วนบนสุดของ cutting shoe และ lower bound , สำหรับการขุดที่ฐานของ cutting shoe

3.11 Jacking Load

Jacking Load คือแรงที่ต้องเคของส้ต้องการในการจม ทั่วไปไม่มีน้ำหนักที่ถูกรองรับโดย ring beam สำหรับความปลอดภัย, stopper beam จะนำไปแทนที่เมื่อเคของส้ถึงระดับสุดท้าย การออกแบบ stopper beam จะรองรับอย่างน้อย 5 เมตร ของความสูงเคของส้

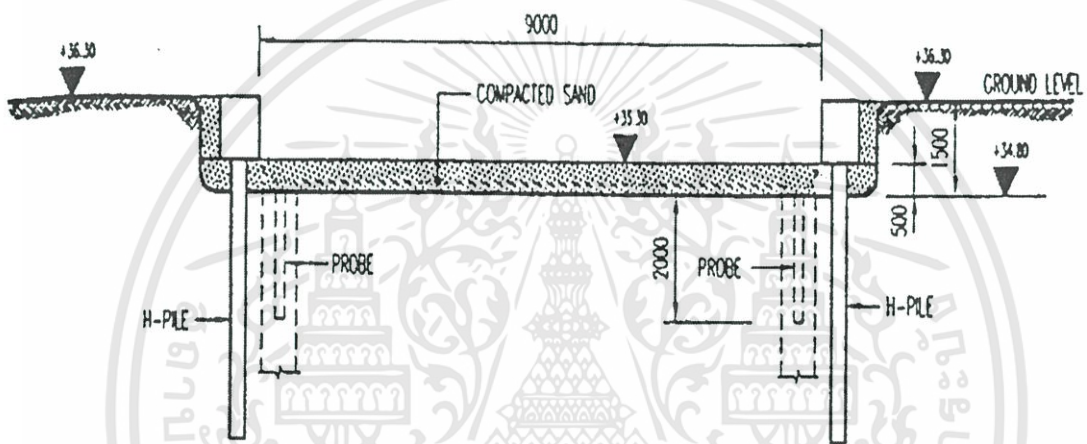
3.12 การออกแบบ cutting shoe

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

บทที่ 4

ขั้นตอนในการก่อสร้างคานวง

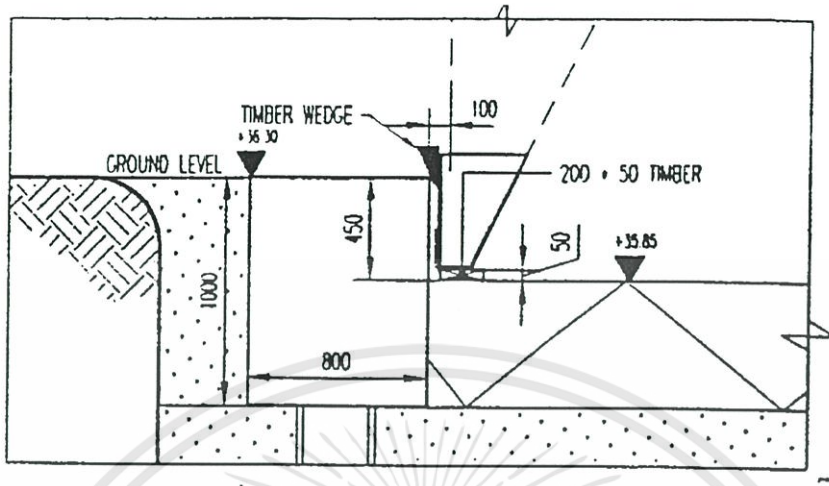
การก่อสร้างคานวงมีขั้นตอนในการก่อสร้าง ดังนี้



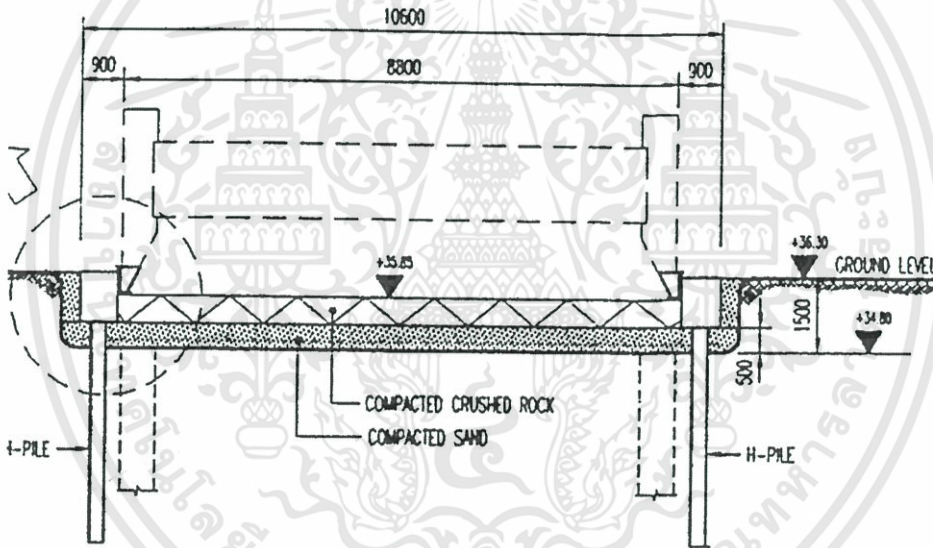
รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง Ring Beam

4.1 ขั้นตอนการก่อสร้าง Ring Beam

1. ตรวจสอบพื้นที่ว่ามีสาธารณูปโภคอยู่ใต้ดินหรือไม่ ถ้ามีต้องทำรื้อถอนออก
2. ปรับระดับพื้นดินให้อยู่ในระดับที่จะก่อสร้างคานวง
3. ทำการบดอัดทรายให้แน่นหนาประมาณ 50 เซนติเมตร
4. ทำการตอกเสาเข็มสำหรับรองรับ Ring Beam
5. ทำการก่อสร้าง Ring Beam ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก



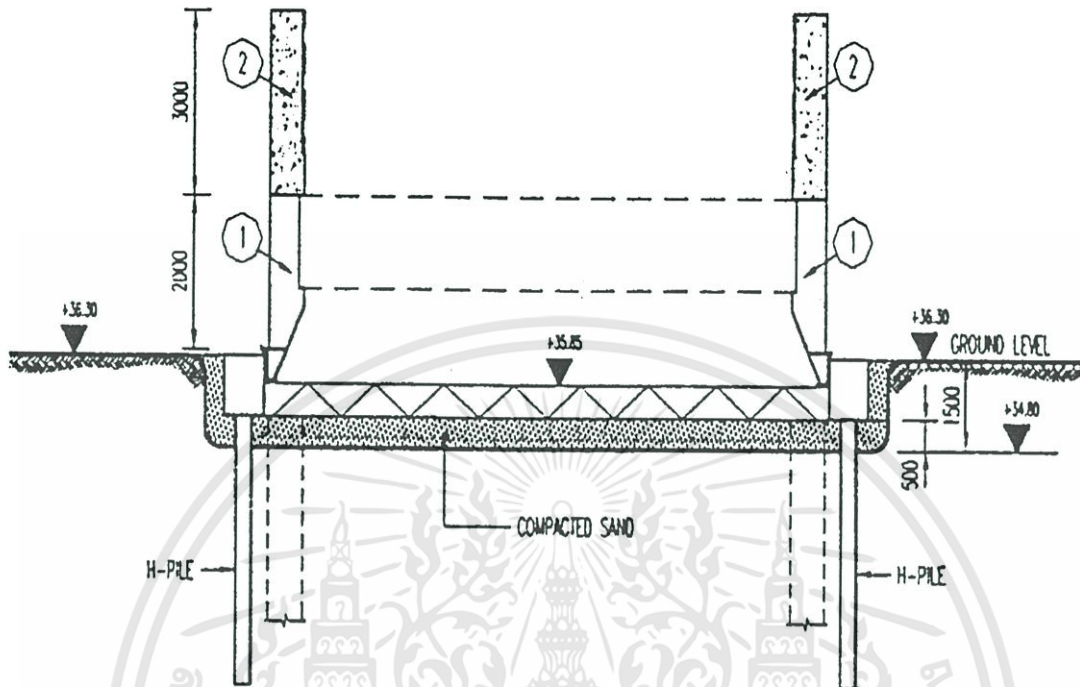
รูปที่ 4.2 แสดงรายละเอียด Cutting Shoe



รูปที่ 4.3 แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe

4.2 ขั้นตอนการก่อสร้าง Cutting Shoe

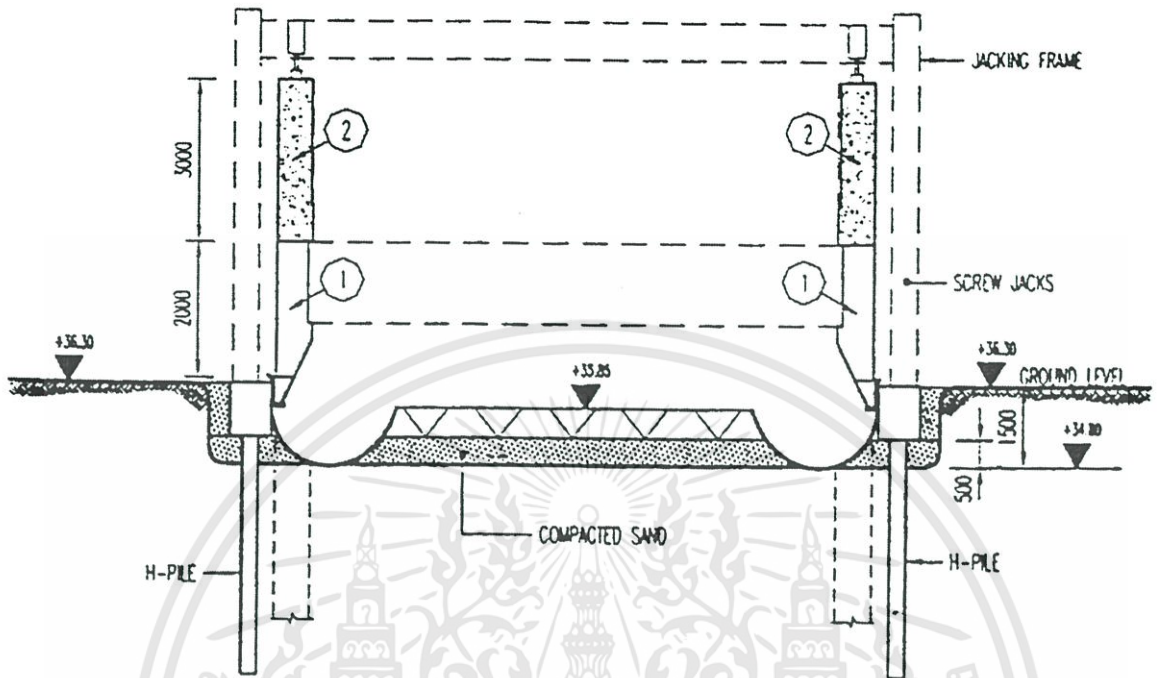
1. ทำการบดอัดหินคลุกให้ได้ระดับด้านบนของ Ring Beam
2. ทำการวางไม้แบบใต้ Cutting Shoe เพื่อเพิ่มความแข็งแรง
3. ทำการวางชิ้นส่วน Cutting Shoe ที่ได้หล่อไว้แล้ว
4. ทำการยึด Cutting Shoe ด้วยค้ำยัน
5. ทำการเชื่อมชิ้นส่วน Cutting Shoe



รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการก่อสร้าง เคชองส์ส่วนที่ 1 และ 2

4.3 ขั้นตอนก่อสร้างเคชองส์ส่วนที่ 1 และ 2

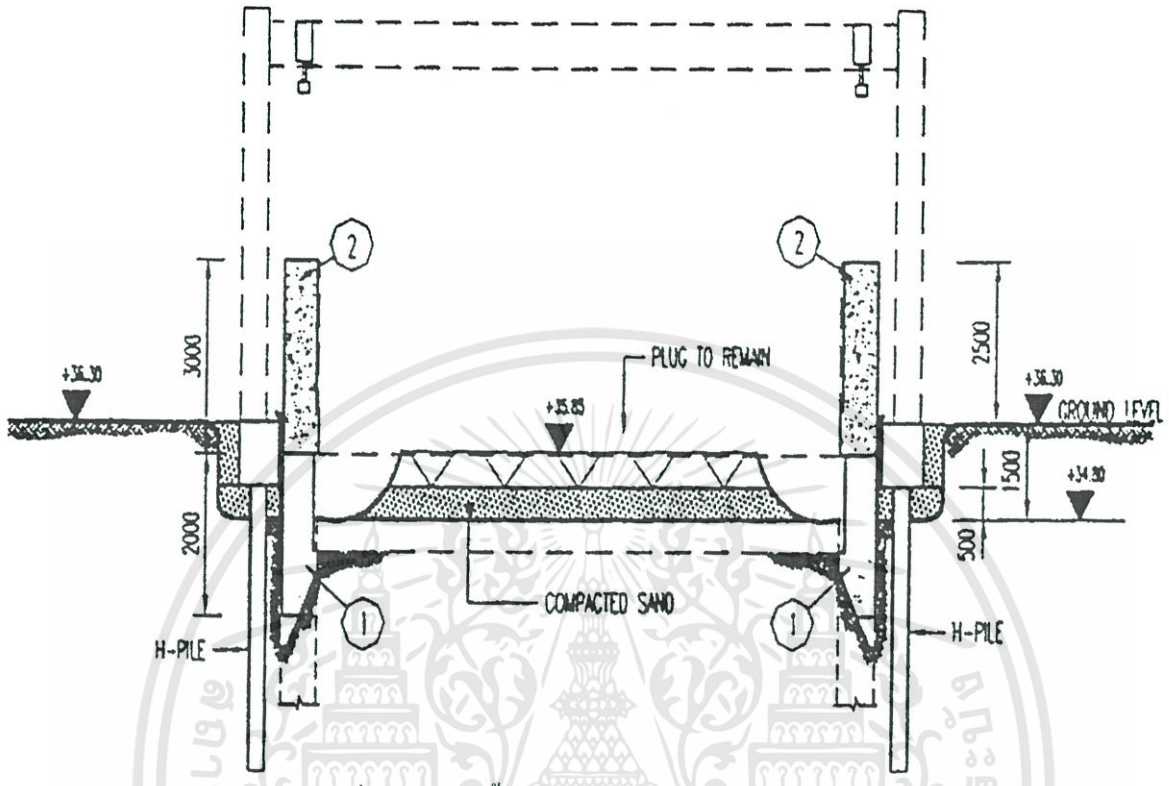
1. ตรวจสอบระดับ Ring Beam
2. ทำการเสริมเหล็กเสริมและขึ้นไม้แบบและก่อสร้างเคชองส์ส่วนที่ 1
3. ทำการเสริมเหล็กเสริมและขึ้นไม้แบบและก่อสร้างเคชองส์ส่วนที่ 2
4. ทำการตรวจสอบระดับของชั้นส่วนที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการจมนเคของส

4.4 ขั้นตอนการจมนเคของส

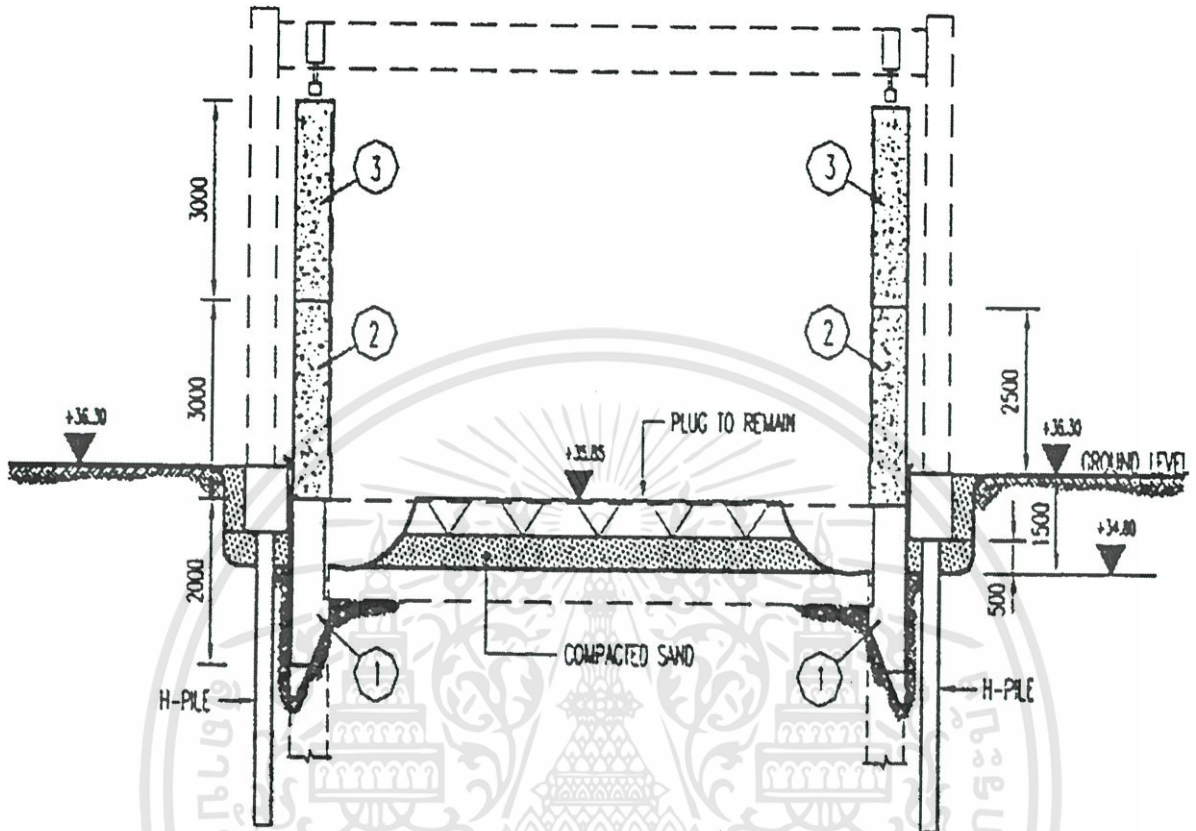
1. ทำการก่อสร้าง Jacking Frame บน Ring Beam
2. ทำการขุดดินรอบๆ Cutting Shoe ออก
3. ทำการจมนเคของส โดยใช้ Jack กด
4. ใช้ Bentonite ช่วยในการหล่อลื่นบริเวณ Cutting Shoe เพื่อช่วยในการจมนเคของส



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนในการหยุดการจมเคชองส์

4.5 ขั้นตอนในการหยุดการจมเคชองส์

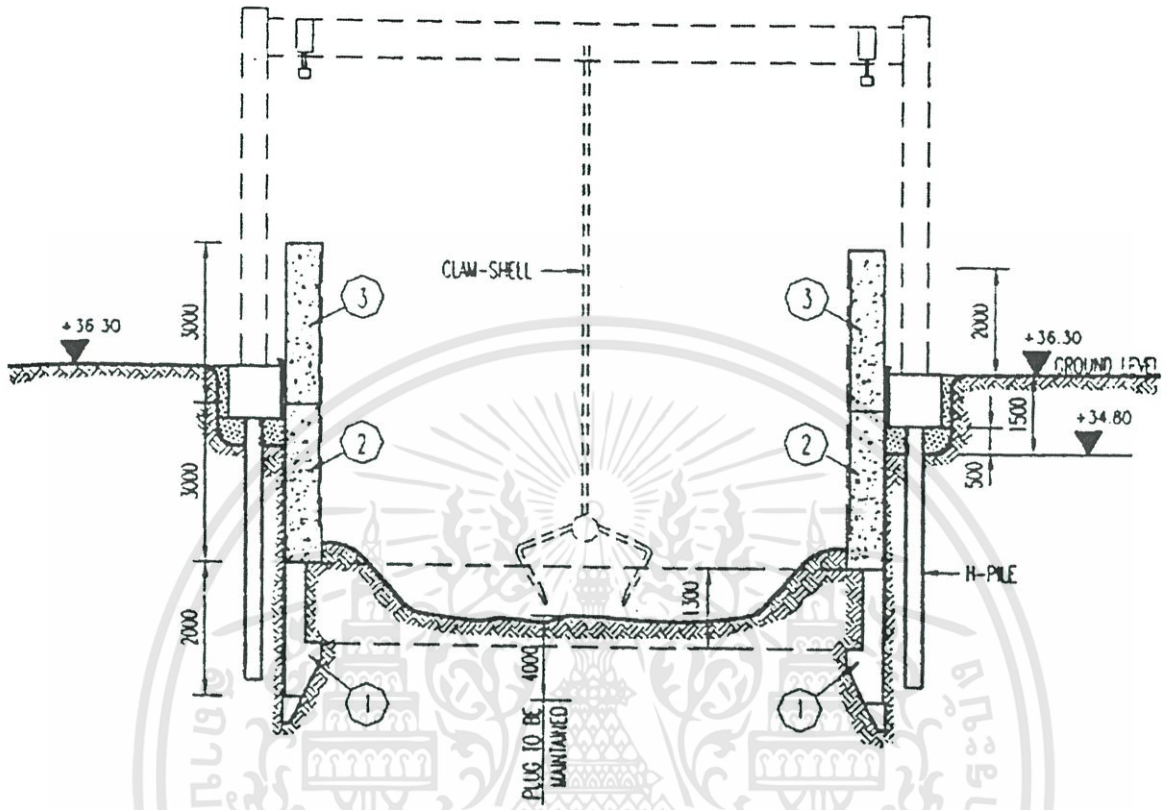
1. ตรวจสอบระดับการจมเคชองส์
2. ทำการอุดดินเพื่อยับยั้งการจมของเคชองส์ที่จมเร็วเกินไป
3. ใช้ ลิ้ม , Jack และการขุดดินในการควบคุมเคชองส์ให้อยู่แนวตั้ง
4. ทำการให้ Bentonite เพื่อหล่อลื่น
5. ทำการถีอกเคชองส์ด้วยลิ้มเพื่อหยุดการจม



รูปที่ 4.7 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างคอกของส้ส่วนที่ 3

4.6 ขั้นตอนการก่อสร้างคอกของส้ส่วนที่ 3

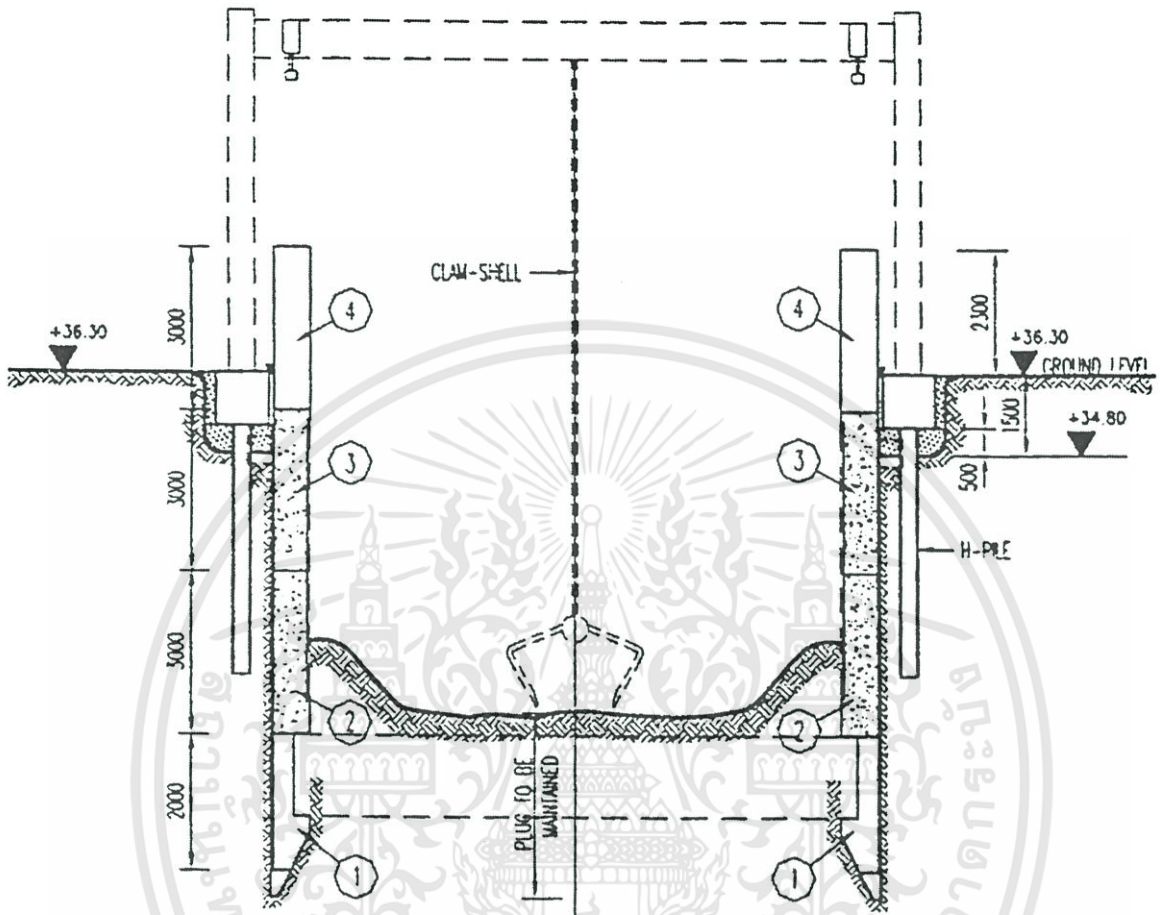
1. ทำการเสริมเหล็กเสริมและขี้ไม้แบบและก่อสร้างคอกของส้ส่วนที่ 3



รูปที่ 4.8 การจมเคของส้ชั้นส่วนที่ 3

4.7 ขั้นตอนการจมเคของส้ชั้นส่วนที่ 3

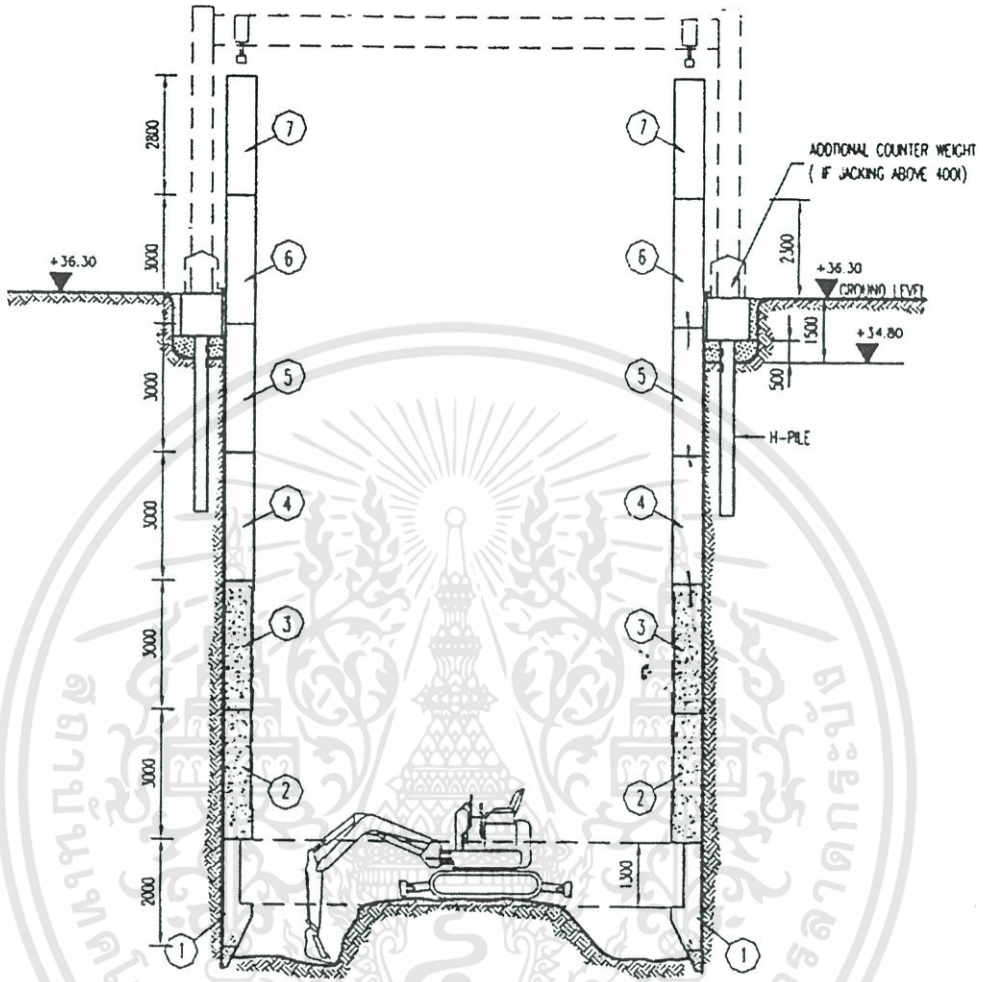
1. ทำการหล่อส้ด้วย Bentonite
2. ใช้ Jack ช่วยในการจม
3. ทำการขุดดินออกโดยใช้ Crane ด้วย Clam - Shell
4. ทำการตรวจสอบระดับตลอดเวลา



รูปที่ 4.9 การก่อสร้างเคของส่ส่วนที่ 4 ถึง 6 (จมใน Soft Clay)

4.8 ขั้นตอนการก่อสร้างเคของส่ส่วนที่ 4 ถึง 6 (จมใน Soft Clay)

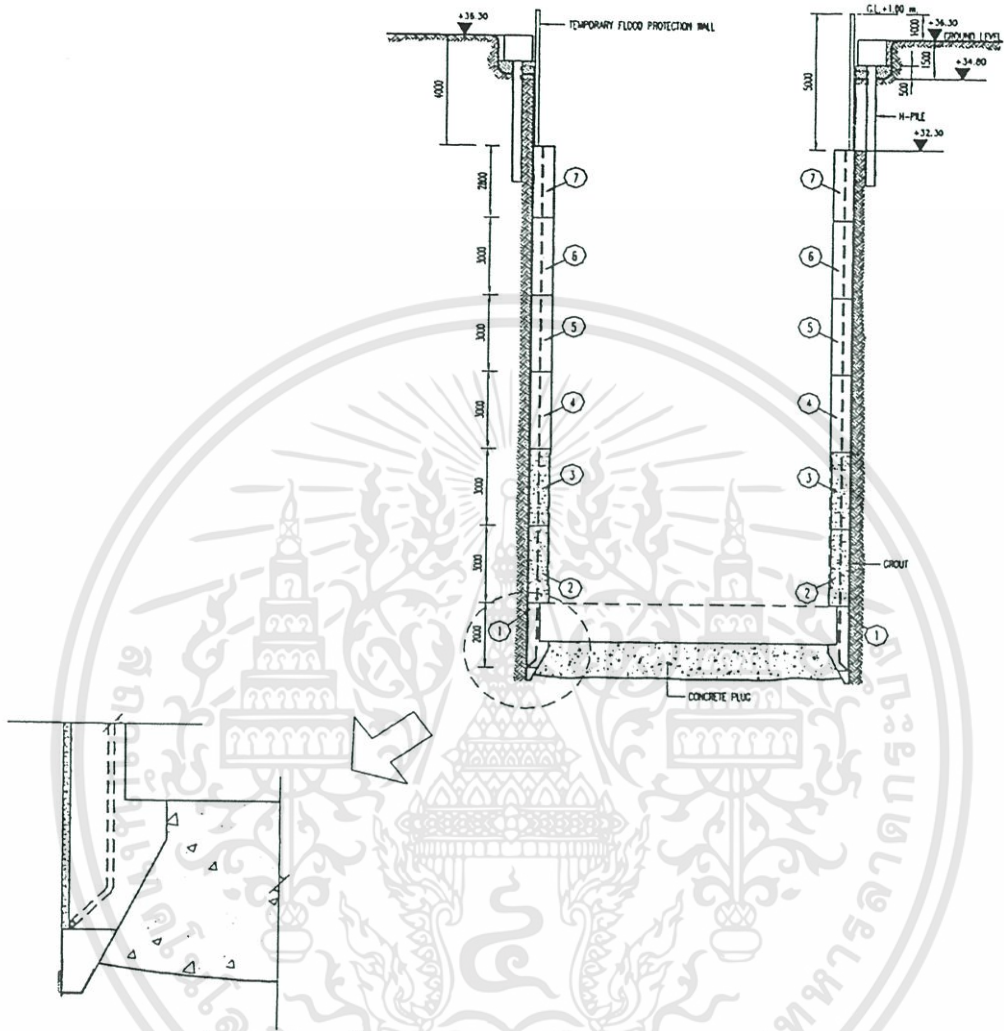
1. ทำการเสริมเหล็กและไม้แบบและสร้างชั้นส่วนที่ 4
2. ทำการจมเคของส่(ทำเหมือน4.7)
3. ทำการอุดเพื่อหยุดการจม
4. ทำเหมือนขั้นตอนที่ 4.7 และ4.8 จนกระทั่งถึงระดับ Stiff Layers



รูปที่ 4.10 การก่อสร้างชั้นส่วนที่ 7 ถึง 9 (ถมใน Stiff Material)

4.9 ขั้นตอนการก่อสร้างชั้นส่วนที่ 7 ถึง 9 (ถมใน Stiff Material)

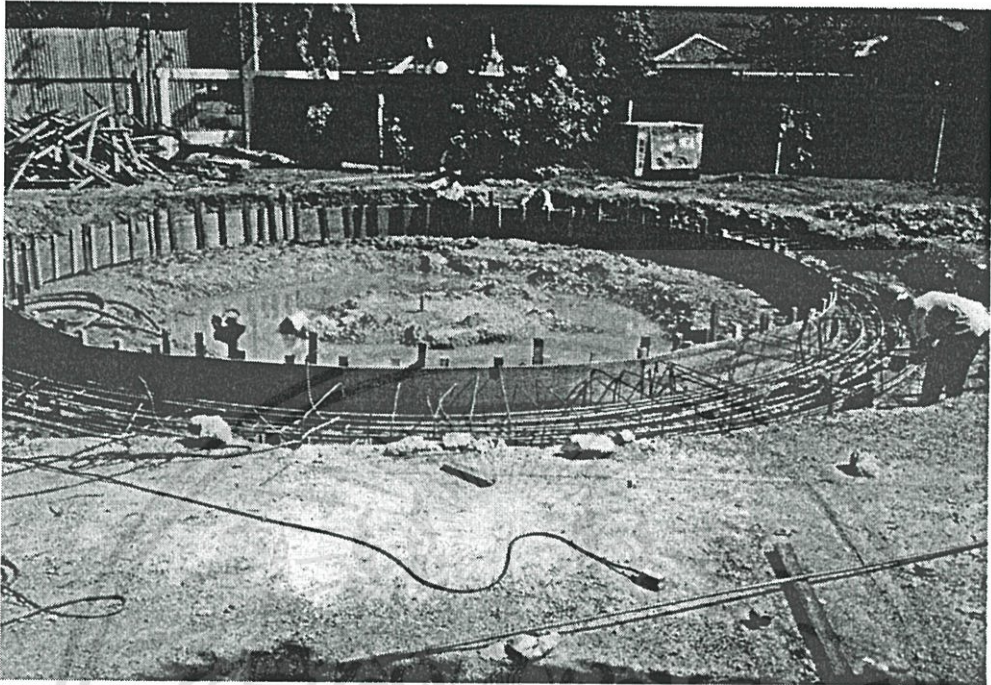
1. เมื่อถึงระดับ Stiff Material ให้ทำการขุดด้วยเครื่องขุดขนาดเล็ก
2. ทำการขุดให้ใกล้บริเวณ Cutting Shoe แต่ห้ามทำการขุดออกมาเกินไป
3. ทำการหล่อลื่นด้วย Bentonite
4. ใช้ Jack ในการกด (ทำการถ่วงน้ำหนักถ้าเกินกว่าที่แรง Jack กดได้)
5. ตรวจสอบระดับตลอดเวลา
6. ถ้าถึงระดับน้ำให้ทำการขุดด้วย Clam - Shell
7. ทำการถมเศษของสัชั้นอื่น ด้วยเงื่อนไขที่ 4.7



รูปที่ 4.11 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างค้ำของเสาที่ตำแหน่งสุดท้าย

4.10 ขั้นตอนการก่อสร้างค้ำของเสาที่ตำแหน่งสุดท้าย

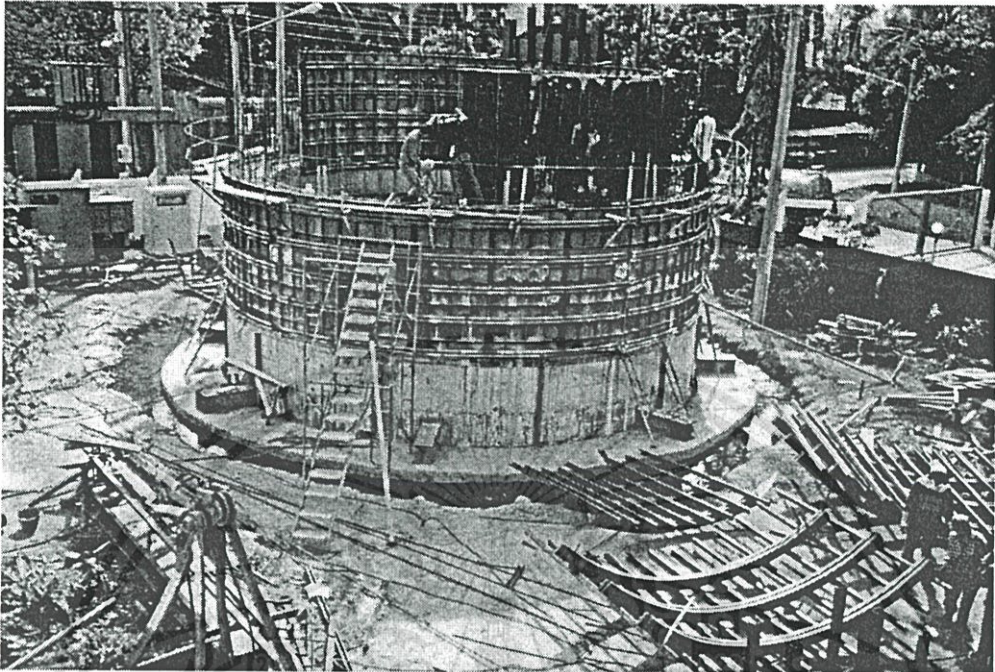
1. ทำการเทคอนกรีตอุดที่ก้นค้ำของเสา
2. ทำการเสริมเหล็กเสริมและก่อสร้าง Base Slab
3. ทำการ Grout รอบค้ำของเสา
4. ทำการก่อสร้างที่ก้นน้ำท่วมชั่วคราว
5. ทำเรือดอน Ring Beam หลังจากจมนค้ำของเสาสมบูรณ์แล้ว



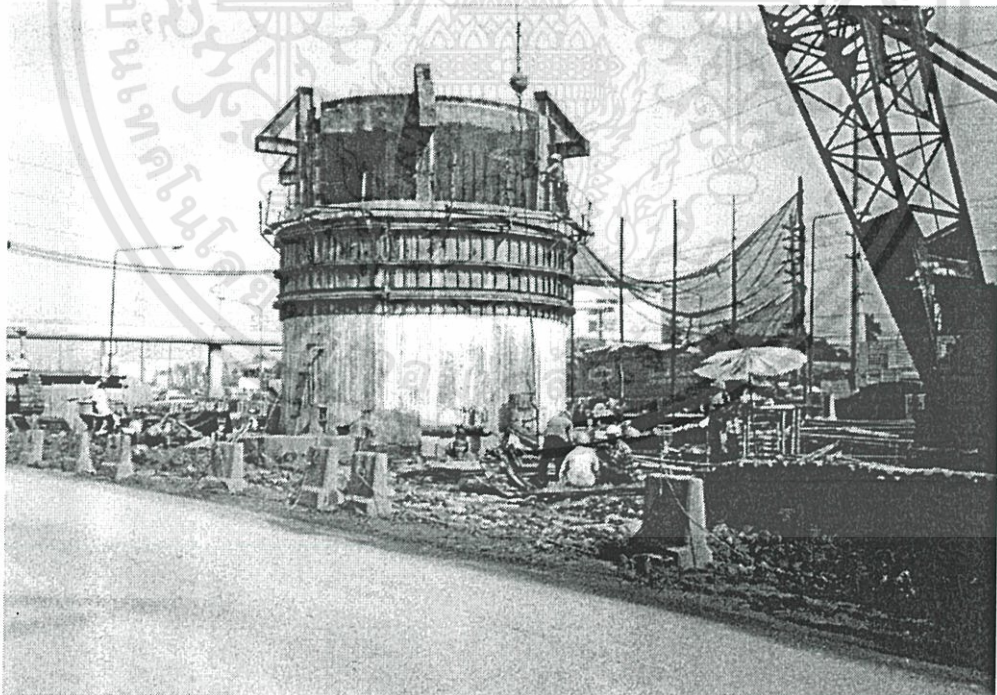
รูปที่ 4.12 แสดงการผูกเหล็กเพื่อเทคอนกรีต Ring Beam



รูปที่ 4.13 แสดงการก่อสร้างผนังเคของสัซันส่วนแรก



รูปที่ 4.14 แสดงการประกอบแบบเคของส



รูปที่ 4.15 แสดงการก่อสร้าง Stopper Beam

บทที่ 5

โปรแกรมในการออกแบบเคของส์

5.1 กล่าวนำ

เนื่องจากการออกแบบเคของส์ นั้นมีขั้นตอนหลายขั้นตอน จึงทำให้การออกแบบเคของส์ ต้องใช้เวลามาก การสมมติค่าความหนาของผนังเคของส์ , ค่าความหนาของคอนกรีตอุด และ ความหนาของพื้นเคของส์ จะต้องมีการสมมติค่าหลายครั้งจึงจะได้ค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง ทางคณะผู้จัดทำ ได้เห็นถึงปัญหาดังกล่าว จึงได้นำเสนอ โปรแกรมในการออกแบบเคของส์ เพื่อเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่มีความสนใจในการออกแบบเคของส์ โปรแกรมในการออกแบบเคของส์นั้นจะทำให้มีความสะดวกและรวดเร็วในการออกแบบมากยิ่งขึ้น โดยในบทนี้จะแสดงตัวอย่างออกแบบเคของส์ที่ได้จะการออกแบบธรรมดาและการออกแบบด้วยโปรแกรมในการออกแบบเคของส์

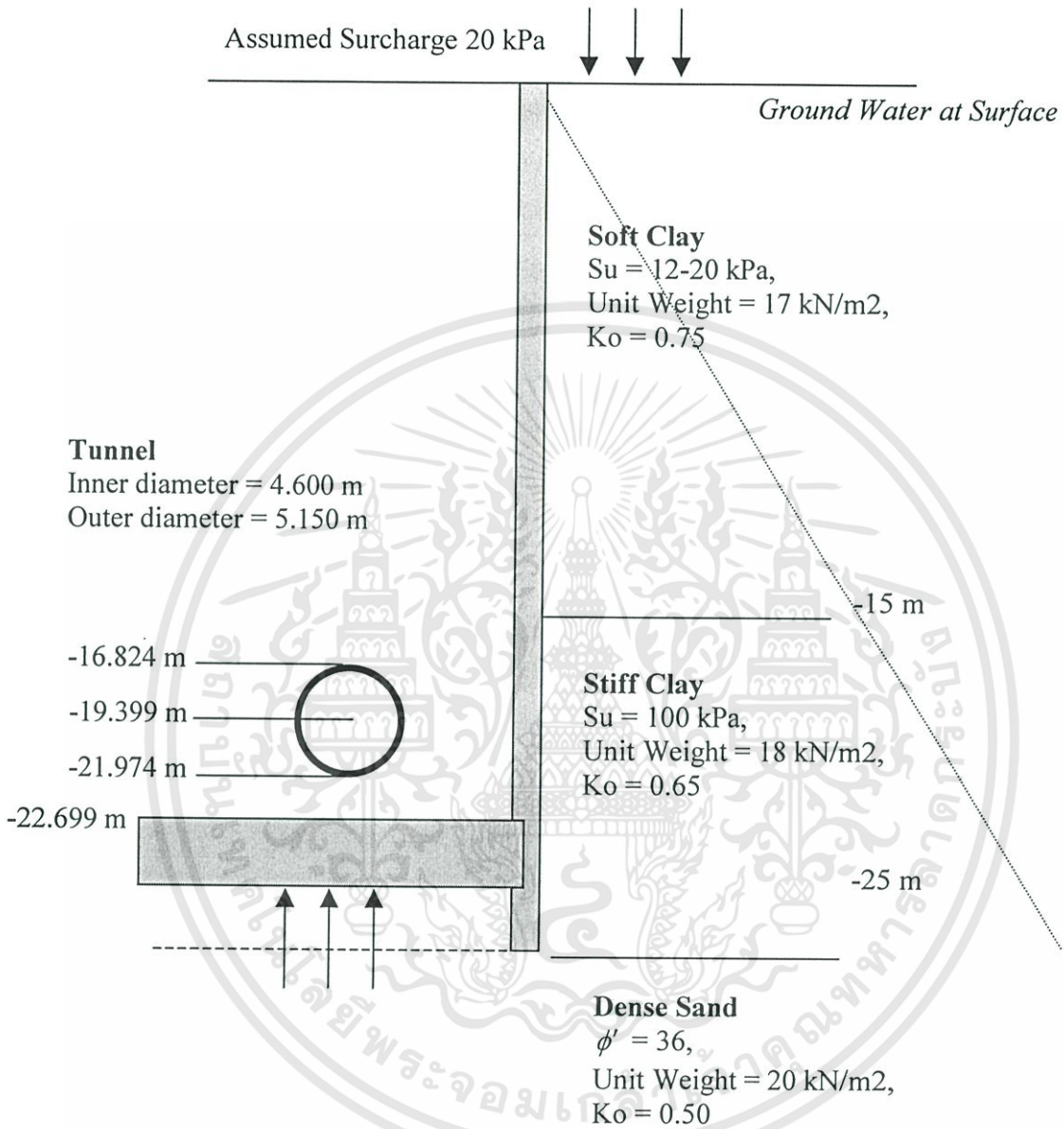
ทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงได้สร้างโปรแกรม Design Caisson โดยใช้โปรแกรม Visual Basic ในการสร้างโปรแกรม ซึ่ง โปรแกรมนี้จะมีข้อจำกัดดังนี้

1. โปรแกรมจะใช้กับชั้นดินที่ไม่เกิน 8 ชั้น
2. โปรแกรมนี้ออกแบบโครงสร้างเคของส์เป็นแบบ Free Support
3. โปรแกรมนี้จะใช้ออกแบบสำหรับเคของส์ทรงกลม

5.2 ตัวอย่างการออกแบบเคของส์ด้วยวิธีธรรมดา

5.2.1 คุณสมบัติของดิน

เงื่อนไขดินของที่สถานที่ก่อสร้างเคของส์ถูกประกอบด้วย soft clay, stiff clay และ dense sand ระดับของเคของส์และเงื่อนไขของดินจะแสดงโดยรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติของดินที่ระดับต่างๆของเขซองส์

5.2.2 แรงดันดิน

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

เมื่อสมมติน้ำหนักกดทับ = 20 kPa

γ = หน่วยน้ำหนักของดิน (kN/m³)

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ = 10 kN/m³

h = ความลึก (m)

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดัน Overburden	
		รวม (kPa)	
0	20	20	
15	20+(17-10)x15	125	
25	125+(18-10)x10	205	
26	205+(20-10)x1	215	

ตารางที่ 5.1 แสดงแรงดันรวมที่ระดับความลึกต่างๆ

5.2.3 At rest pressure + แรงดันน้ำ

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

ความลึก	Overburden Pressure (kPa)	แรงดัน		Ko	แรงดันดิน ด้านข้าง (kPa)	แรงดัน น้ำ(kPa)	แรงดันรวม ด้านข้าง(kPa)
		Overburden รวม (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
26	205+(20-10)x1	215		0.5	107.5	260	367.5

ตารางที่ 5.2 แสดงแรงรวมดินข้างที่ระดับความลึกต่างๆ

5.2.4 การคำนวณแรงกระทำที่หน้าตัดและแรงต้าน

5.2.4.1 การต้านแรงดันขึ้น (Against Uplift Pressure)

สำหรับความปลอดภัย แต่เหมาะสมในการออกแบบ , น้ำหนักของโครงสร้างหลังคา และแรงเสียดทานที่ผิว ชั้น Dense sand จะไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณ

- น้ำหนักของโครงสร้างของเส

ความลึกของเสาของเส $H = 26 \text{ m}$

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

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

เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน $D_i = 15 \text{ m}$

เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก $D_o = 17 \text{ m}$

ความหนาของพื้นเสาของเส, $b = 2.3 \text{ m}$

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

ชิ้นส่วน		น้ำหนัก (kN)
เสาของเส	$\pi \frac{(D_o^2 - D_i^2)}{4} \gamma_c H = \pi \frac{(17^2 - 15^2)}{4} (25)(26)$	32,656
พื้น	$\pi \frac{(D_i^2)}{4} \gamma_c b = \pi \frac{(15)^2}{4} (25)(2.3)$	10162
คอนกรีตอัด	$\pi \frac{(D_i^2)}{4} \gamma_p p = \pi \frac{(15^2)}{4} (20)(2)$	7,065
	รวม	49883

ตารางที่ 5.3 แสดงน้ำหนักรวมทั้งหมด

- แรงเสียดทานที่ผิว

ดิน	ความหนา (m)		แรงเสียดทาน(kN/m ²)
Soft Clay	15	$\alpha S_u = 0.9(20)$	18
Stiff Clay	10	$\alpha S_u = 0.6(100)$	60
แรงเสียดทานรวม = $\pi D_o \Sigma H f_s =$			46440.6 kN

ตารางที่ 5.4 แสดงการคำนวณแรงเสียดทานรวมทั้งหมด

- แรงดันขึ้น (Uplift Pressure)

$$\text{แรงดันขึ้น} = \text{พื้นที่ผิว} \times (\gamma_w H) = \pi \frac{(17^2)}{4} (10)(26) = 58,980 \text{ kN}$$

- ค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้น

$$\text{Factor of safety} = \frac{\text{Total Weight} + \text{Friction}}{\text{Uplift Pressure}} = \frac{49883 + 46440.6}{58980} = 1.63 \quad \text{O.K.}$$

5.2.4.2 แรงที่กระทำต่อผนังของสระระหว่างการจม

- ที่ caisson shoe

$$\begin{aligned} \text{แรงดันด้านข้าง } P &= LF(P_a + P_w) \\ &= 1.2(107.5 + 260) \\ &= 441 \text{ kPa} \end{aligned}$$

สมมติ 50% of แรงดันดินที่กระทำต่อผนังของสระระหว่างการถม

$$\begin{aligned}\Delta P &= 0.5(1.20)(107.5) \\ &= 64.5 \text{ kPa}\end{aligned}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักระบายสม่ำเสมอ

Bending Moment, $M = 0$

Shear Force, $Q = 0$

Axial Force, $N = P(R_o) = (441)(8.5)$
 $= 3749 \text{ kN/m}$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักระบายไม่สม่ำเสมอ

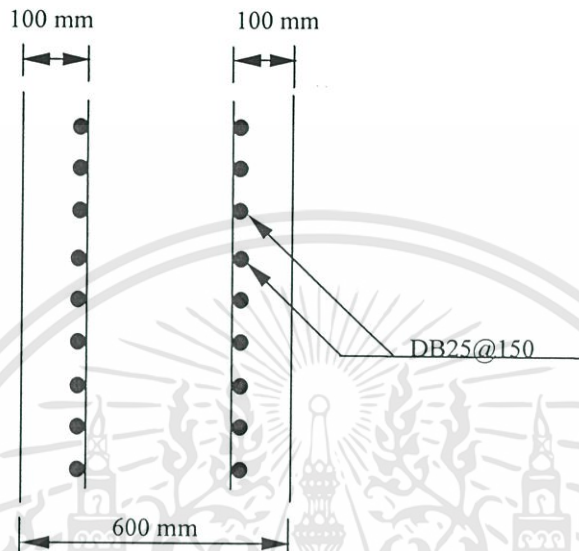
Bending Moment, $M = 0.163 \Delta P R_o^2$
 $= 0.163(64.5)(8.5)^2$
 $= 759.6 \text{ kN-m/m}$

Axial Force, $N = 0.212 \Delta P R_o$
 $= 0.212(64.5)(8.5)$
 $= 116.2 \text{ kN/m}$

	Bending Moment (kN-m/m)	Axial Force (kN/m)
น้ำหนักระบายสม่ำเสมอ	0	3749
น้ำหนักระบายไม่สม่ำเสมอ	759.6	116.2
รวม	759.6	3865

ตารางที่ 5.5 แสดง Bending Moment และ Axial Force รวม

ทำการเสริมเหล็กโดยใช้โปรแกรม PCA จะได้ว่าใช้เหล็กเสริม DB25@150 mm



รูปที่ 5.2 แสดงการเสริมเหล็กที่ Caisson shoe

- ที่เคของส์ (ระดับพื้น 24-25 m)

$$\begin{aligned}
 \text{แรงดันด้านข้าง } P &= LF(P_a + P_w) \\
 &= 1.2(133.25 + 250) \\
 &= 460 \text{ kPa}
 \end{aligned}$$

หน้าตัดที่รับแรงจากน้ำหนักกระจายสม่ำเสมอ

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

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

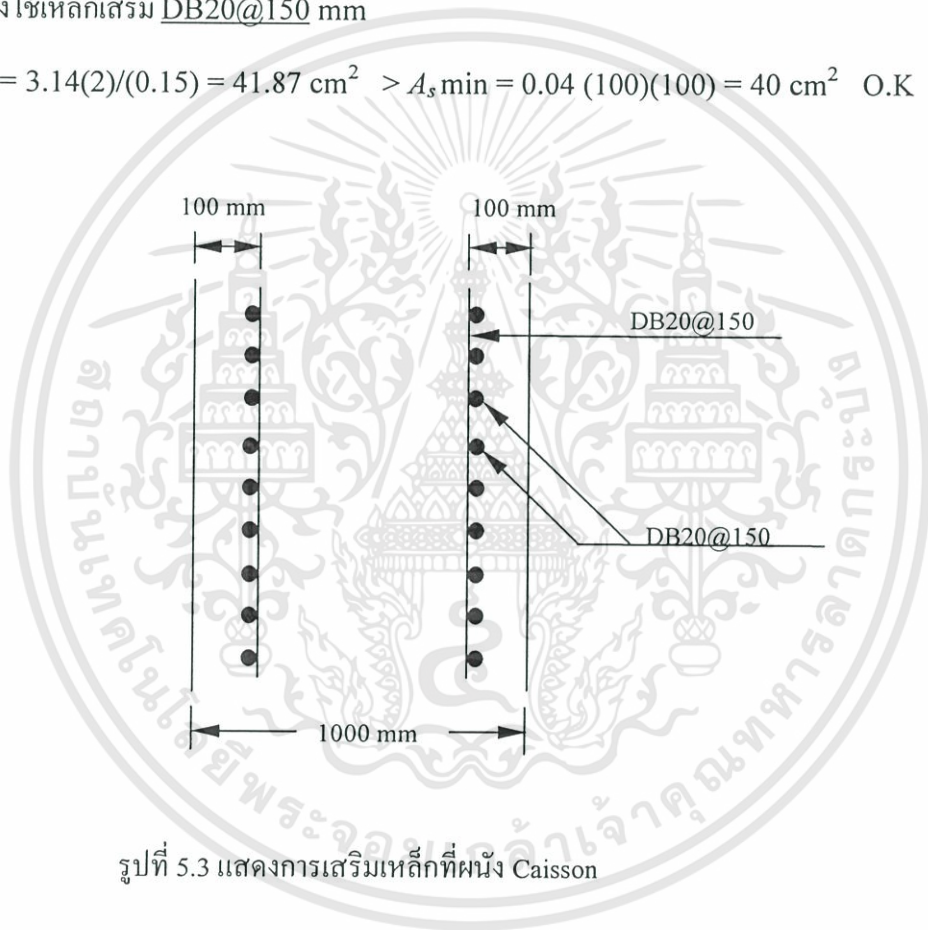
$$\begin{aligned}
 \text{Axial Force, } N &= P(R_o) = (460)(8.5) \\
 &= 3910 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

หาแรงแนวแกนประลัยของผนัง

$$\begin{aligned} N_u &= A_g [0.85(\phi f'_c)(1-\rho) + \phi f_y \rho] \\ &= (1000 \times 1000 \text{ mm}) [(0.85)(0.7)(30)(1-0.004) + (0.7)(400)(0.004)] / 1000 \\ &= 18,899 \text{ kN} > 3910 \text{ kN} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

ลองใช้เหล็กเสริม DB20@150 mm

$$A_s = 3.14(2)/(0.15) = 41.87 \text{ cm}^2 > A_{s \text{ min}} = 0.04 (100)(100) = 40 \text{ cm}^2 \quad \text{O.K}$$



5.2.5 การคำนวณพื้น

5.2.5.1 โมเมนต์ที่พื้น

ความหนา = 2.3 m

$d = 230 - 8 = 222 \text{ cm}$

$d' = 8 \text{ cm}$

แรงดันขึ้น

$$\begin{aligned} W_u &= (\text{แรงดันขึ้น}) - (\text{น้ำหนักพื้น}) \\ &= (26 \times 10) - (25 \times 2.3) = 260 - 57.5 \\ &= 202.5 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$M_u = \frac{W_u r^2 (3 + \nu)}{16} = \frac{202.5 \times 750^2 \times (3 + 0.2)}{16} = 2279 \text{ kN-m}$$

$$A_s = \frac{2279}{0.43 \times 4000 \times (222 - 8)} \times 10000 = 61.9 \text{ cm}^2$$

Using 2DB32@200 mm ได้ $A_s = 100 \text{ cm}^2$

5.2.5.2 แรงเฉือนที่พื้น

$$\begin{aligned} \text{แรงเฉือนที่หน้าตัดวิกฤต} &= (\text{Uplift})(r-d) \\ &= (202.5)(7.5 - 2.22) \end{aligned}$$

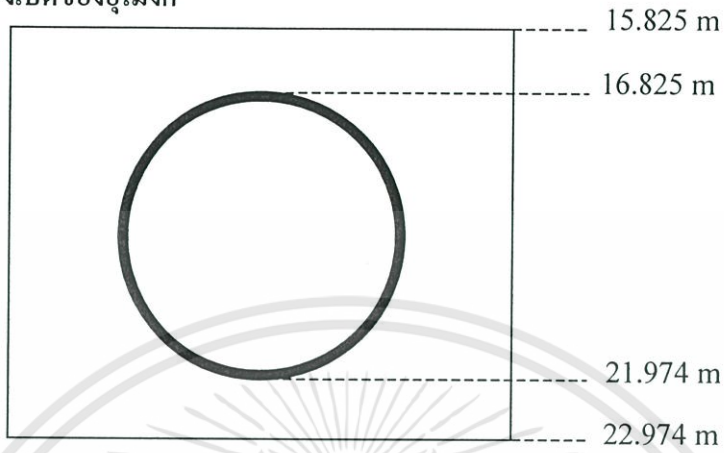
$$= 1069.2 \text{ kN} = 107 \text{ Ton}$$

$$V_c = 0.29 \sqrt{f'_c} b d = 0.29 \times \sqrt{300} (100)(222)$$

$$= 111.5 \text{ Ton}$$

เพื่อความปลอดภัยใช้เหล็กปลอก U shape@1m

5.2.6 การคำนวณช่องเปิดของอุโมงค์

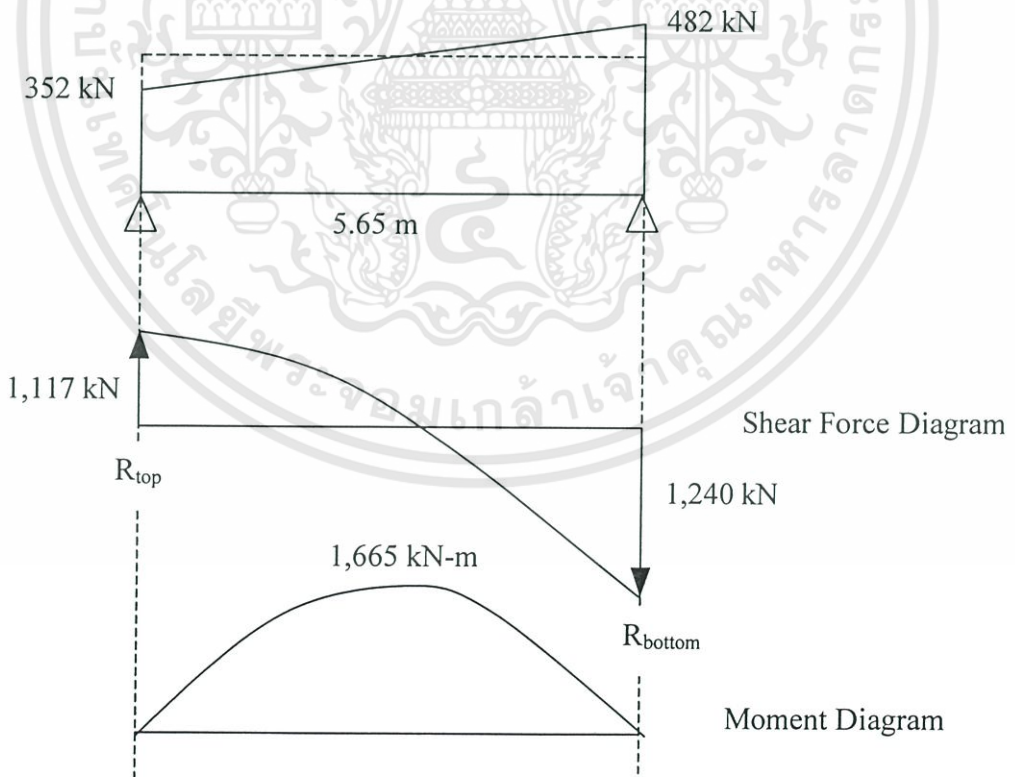


รูปที่ 5.4 แสดงตำแหน่งของช่องเปิด

แรงดันด้านข้าง

ที่ระดับ 16.325, $1.4(P_a + P_w) = (1.4)(88.14 + 163.25) = 352 \text{ kPa}$

ที่ระดับ 22.974, $1.4(P_a + P_w) = (1.4)(120.12 + 224.5) = 482 \text{ kPa}$



รูปที่ 5.5 แสดงค่า Moment, Shear ที่เกิดขึ้นในช่องเปิด

จาก Shear diagram และ Moment diagram จะได้ว่า

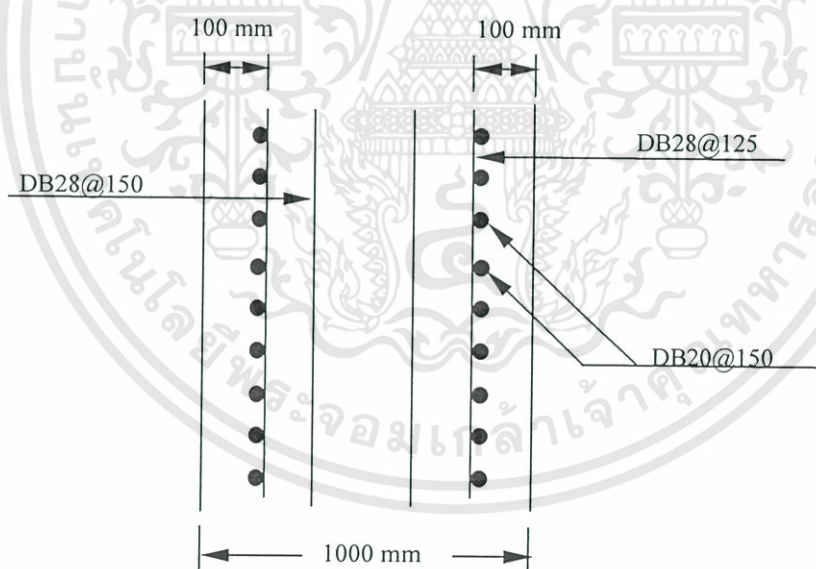
$$R_{\text{top}} = 1,117 \text{ kN}$$

$$R_{\text{bottom}} = 1,240 \text{ kN}$$

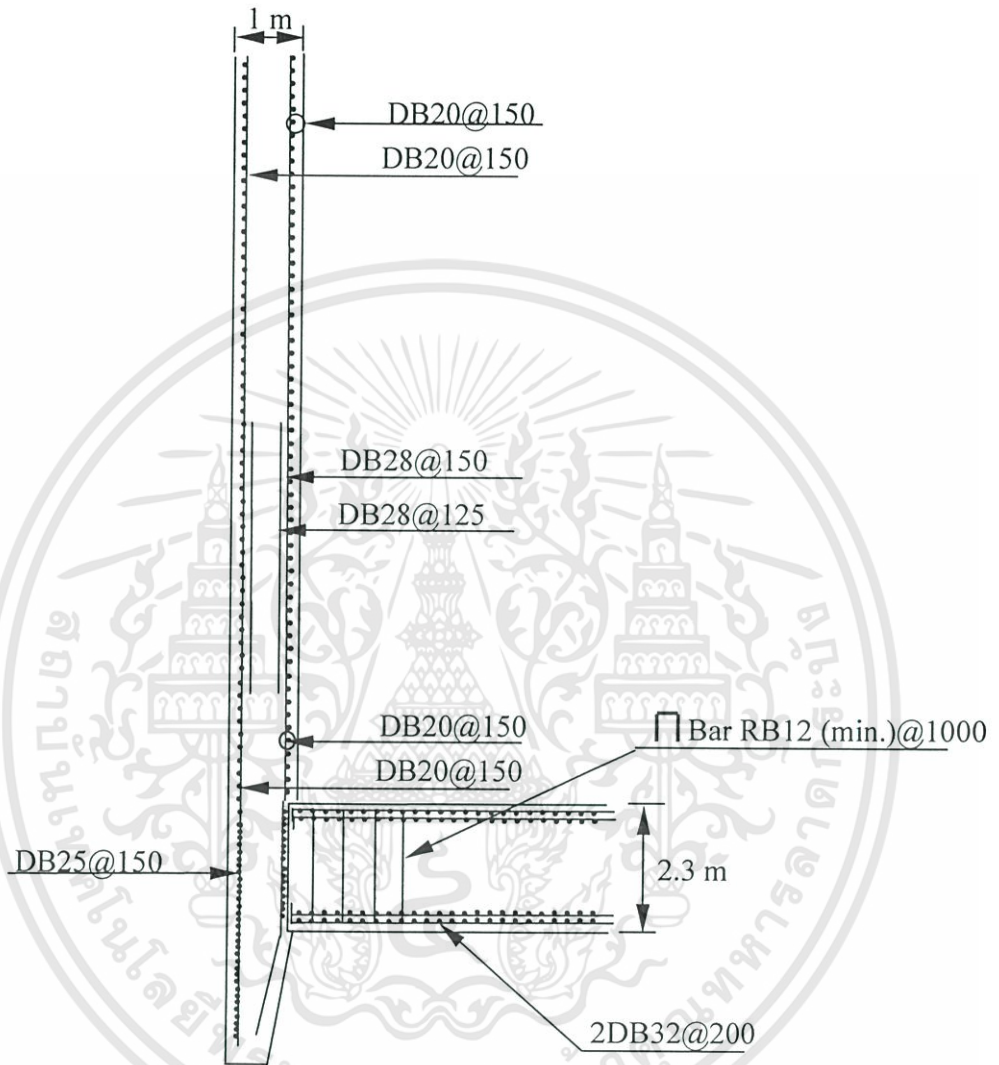
โมเมนต์มากที่สุดบนชิ้นส่วน , $M = 1,665 \text{ kN-m}$

แรงเฉือนมากที่สุดบนชิ้นส่วน, $Q = 1,240 \text{ kN}$

ทำการเสริมเหล็กโดยใช้โปรแกรม PCA จะได้ว่าใช้เหล็กเสริม DB28@150 mm (แถวใน) และ DB25@125 mm (แถวนอก)



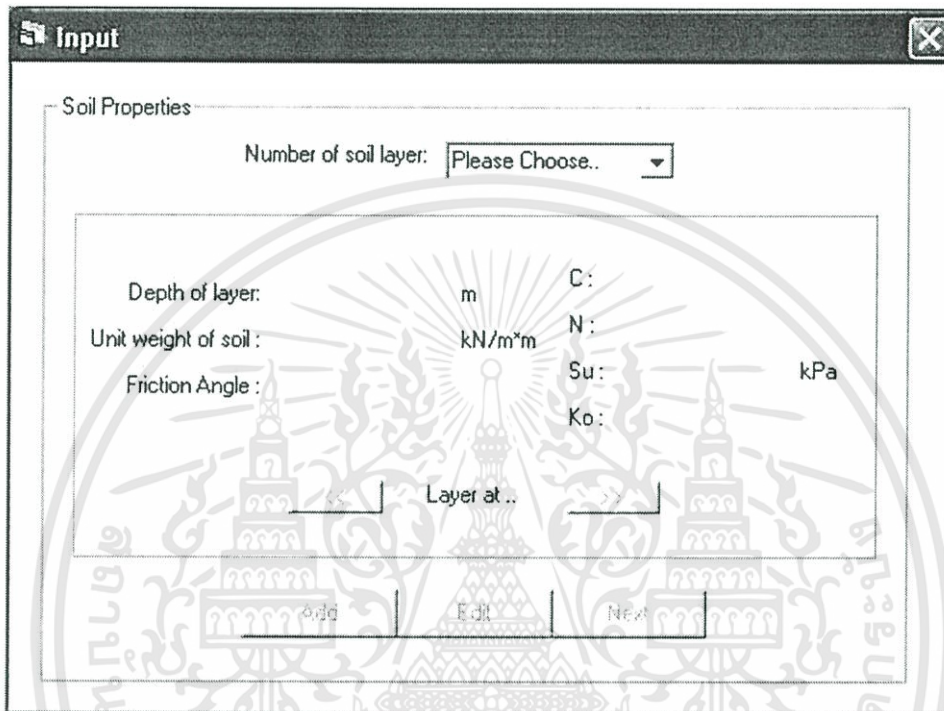
รูปที่ 5.6 แสดงการเสริมเหล็กในผนังของสั้วช่วงช่องเปิด



รูปที่ 5.7 แสดงแบบการเสริมเหล็กของเคชองส์

5.3 ขั้นตอนการใช้งานโปรแกรมการออกแบบคอกองส์

1. เปิด file โปรแกรม Design Caisson



รูปที่ 5.8 แสดงการเลือก Number of soil layer

2. ทำการเลือก Number of soil layer ถ้าต้องการจะแก้ไข Number of soil layer ให้คลิกปุ่ม Edit

Soil Properties

Number of soil layer:

Depth of layer: m C:

Unit weight of soil: kN/m³ N:

Friction Angle: Su: kPa

Ko:

<< Layer ที่ 1/3 >>

Add Edit Next

รูปที่ 5.9 แสดงการใส่ค่าคุณสมบัติของดินแต่ละ layer

3. ทำการใส่ค่าคุณสมบัติของดินแต่ละ layer ดังนี้

- Depth of layer
- Unit wieght of siol
- Friction angle
- C
- N
- Su
- Ko

ถ้าคุณสมบัติดินอันไหนที่ไม่มีให้ข้ามหรือใส่ 0 ที่คุณสมบัติที่ช่องนั้น

เมื่อใส่คุณสมบัติของดินครบถ้วนแล้ว ให้ทำการคลิกปุ่ม Add ถ้าจะทำการกลับมาแก้ไขคุณสมบัติของดินให้คลิกที่ Edit

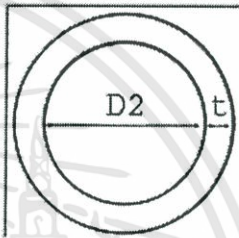
4. เมื่อทำการใส่ค่าคุณสมบัติดินครบทุก Layer ให้ทำการคลิกปุ่ม Next

Material Strengths

Concrete f'_c : MPa Reinforcement f_y : MPa
 f_{cu} : MPa Unit weight of Concrete : KN/m³
 Unit weight of concrete plug : KN/m³

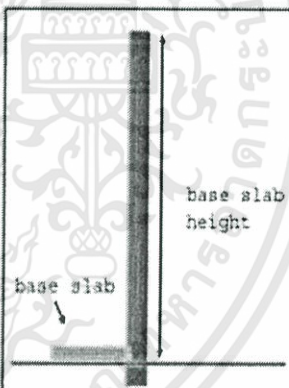
Caisson

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของ Caisson (D2) : m
 สมมติขนาดความหนาของ Caisson (t) : m
 ความสูงของ Caisson (H) : m
 Thickness of concrete plug (p) : m
 ความหนาของ Slab : m



Other

Unit weight of water : kN/m³
 Surcharge Load : kPa
 ระดับที่ Base Slab : m



Back | Edit | Add



รูปที่ 5.10 แสดงการใส่คุณสมบัติของวัสดุ,ค่าขนาดเคของส้,คุณสมบัติอื่นๆ

5. ทำการใส่ค่าคุณสมบัติของวัสดุ

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

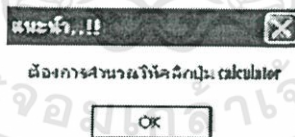
6. ทำการใส่ค่าขนาดเคชองส์

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเคชองส์ (D2)
- สมมติขนาดความหนาเคชองส์ (t)
- ความสูงเคชองส์ (H)
- Thickness of concrete plug (p)
- ความหนาของ Slab

7. คุณสมบัติอื่นๆ

- Unit weight of water
- Surcharge Load
- ระดับที่ Base Slab

8. เมื่อทำการใส่ค่าต่างๆครบถ้วนแล้วให้ทำการคลิก Add จากนั้น โปรแกรมจะขึ้นหน้าจอ



รูปที่ 5.11 แสดงปุ่ม O.K.เมื่อต้องการคำนวณต่อ

ถ้าต้องการจะทำการคำนวณให้คลิกปุ่ม O.K. และ ทำการคลิกที่ปุ่ม Calculator

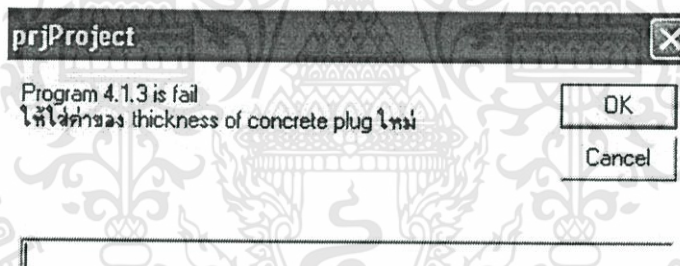


รูปที่ 5.12 แสดงปุ่ม Calculator

9. โปรแกรมจะแสดงค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้นถ้าผ่านให้คลิก OK. ถ้าไม่ผ่านโปรแกรมจะให้ใส่ค่า Thickness of concrete plug

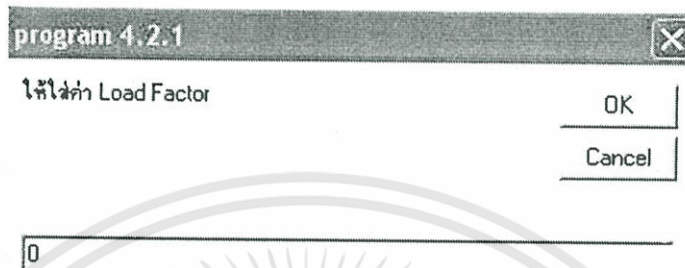


รูปที่ 5.13 แสดงค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้นถ้าผ่านให้คลิก OK



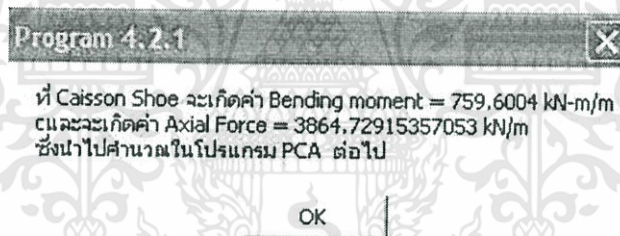
รูปที่ 5.14 แสดงค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการต้านแรงดันขึ้นถ้าไม่ผ่านโปรแกรมจะให้ใส่ค่า Thickness of concrete plug

10. โปรแกรมจะให้ใส่ค่า Load factor เพื่อที่นำมาหาค่าแรงดันด้านข้าง
แนะนำให้ใช้ค่าประมาณ 1.2-1.4

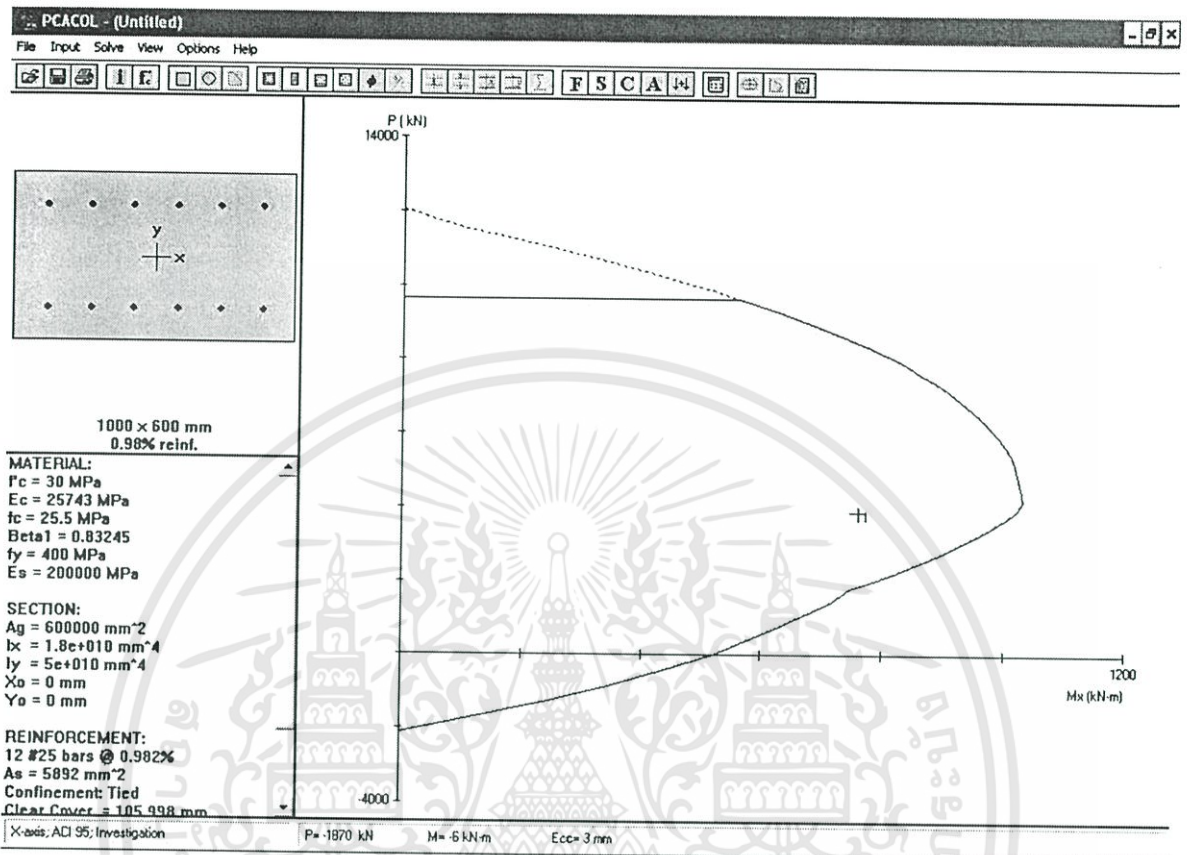


รูปที่ 5.15 แสดงวิธีการการใส่ค่า Load factor

11. โปรแกรมจะแสดงค่า Total Bending Moment และ Total Axial Force ที่เกิดขึ้นในบริเวณ Caisson shoe เพื่อที่นำไปใช้ในการคำนวณเหล็กเสริมด้วยโปรแกรม PCA

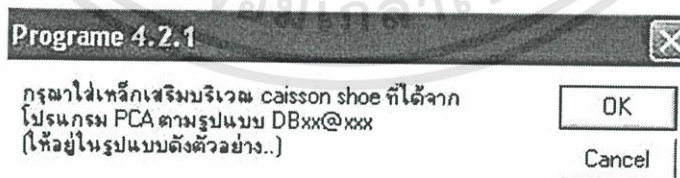


รูปที่ 5.16 แสดงค่า Total Bending Moment และ Total Axial Force



รูปที่ 5.17 แสดงการคำนวณการเสริมเหล็กโดยโปรแกรม PCA

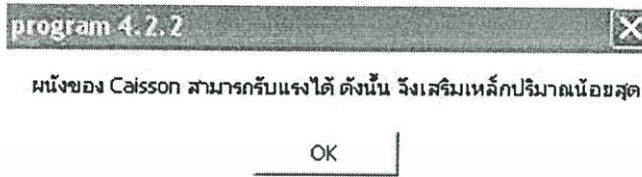
- ให้นำค่าเหล็กเสริมบริเวณ Caisson shoe ที่คำนวณจากโปรแกรม PCA มาใส่ในโปรแกรม Design Caisso และคลิก OK



DBxx@xxx

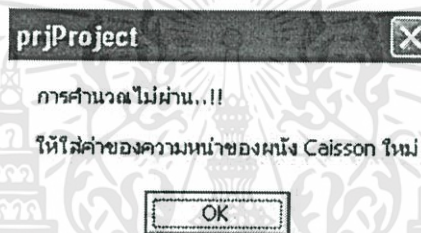
รูปที่ 5.18 แสดงวิธีการค่าเหล็กเสริมบริเวณ Caisson shoe ที่คำนวณจากโปรแกรม PCA มาใส่ในโปรแกรม

13. โปรแกรมจะแสดงว่าผนังของสสามารถรับแรงแนวแกนได้หรือไม่ ถ้าได้ให้คลิก OK



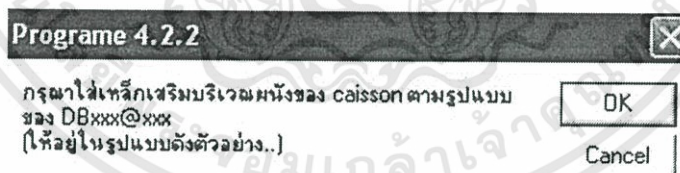
รูปที่ 5.19 แสดงว่าผนังของสสามารถรับแรงแนวแกนได้หรือไม่ ถ้าได้ให้คลิก OK

ถ้าไม่ได้โปรแกรมจะให้ทำการเปลี่ยนความหนาของผนังของส



รูปที่ 5.20 ถ้าไม่ได้โปรแกรมจะให้ทำการเปลี่ยนความหนาของผนังของส

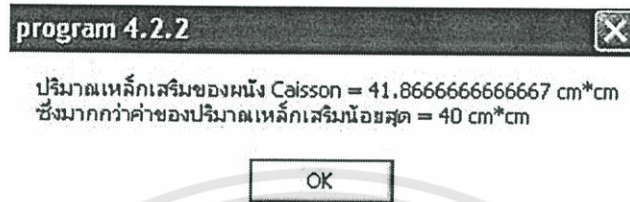
14. โปรแกรมจะให้ใส่ค่าเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson และคลิกปุ่ม OK



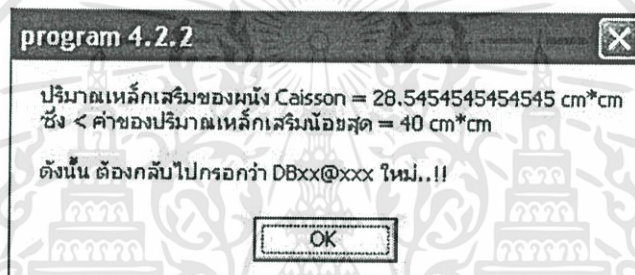
DBxxx@xxx

รูปที่ 5.21 แสดงวิธีการใส่ค่าเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson

15. โปรแกรมจะแสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson ถ้ามากกว่าปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุด ให้คลิกปุ่ม OK ถ้าน้อยกว่าโปรแกรมจะให้ทำการใส่ ชั้นตอนที่ 14 ใหม่

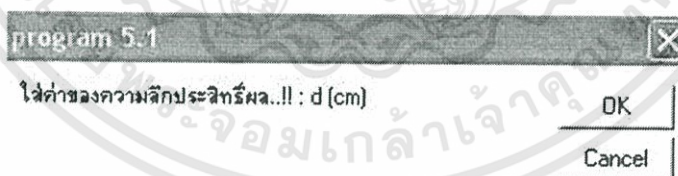


รูปที่ 5.22 แสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson



รูปที่ 5.23 แสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณผนัง Caisson ถ้าน้อยกว่าโปรแกรมจะให้ทำการใส่ ชั้นตอนที่ 14 ใหม่

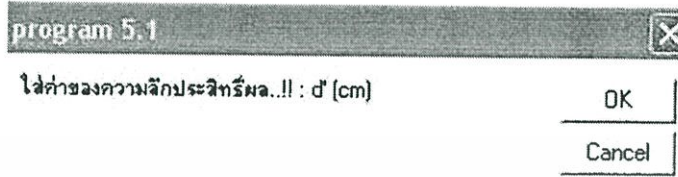
16. โปรแกรมจะให้ใส่ค่าความลึกประสิทธิภาพ d ของกลุ่มเหล็กบริเวณแผ่นพื้น และคลิกปุ่ม OK



0

รูปที่ 5.24 แสดงวิธีการใส่ค่าความลึกประสิทธิภาพ d

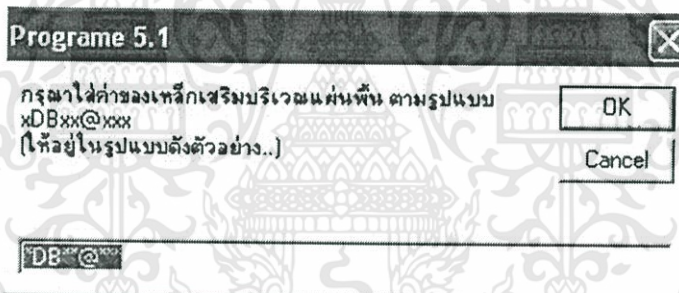
17. โปรแกรมจะให้ใส่ความลึกประสิทธิผล d' ของกลุ่มเหล็กบริเวณแผ่นพื้น และคลิกปุ่ม OK



0

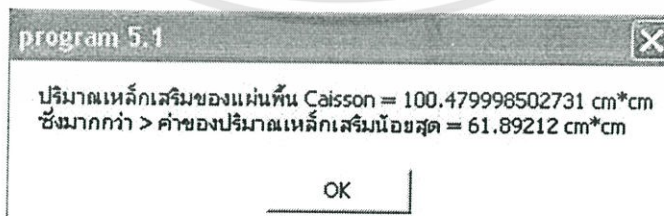
รูปที่ 5.25 แสดงวิธีการใส่ความลึกประสิทธิผล d'

18. โปรแกรมจะให้ใส่ค่าเหล็กเสริมบริเวณแผ่นพื้น Caisson และคลิกปุ่ม OK ถ้าน้อยกว่าโปรแกรมจะทำการใส่ ขั้นตอนที่ 18 ใหม่



รูปที่ 5.26 แสดงวิธีการใส่เหล็กเสริมบริเวณแผ่นพื้น Caisson

19. โปรแกรมจะแสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณแผ่นพื้น Caisson ถ้ามมากกว่าปริมาณเหล็กเสริมน้อยสุดให้คลิกปุ่ม OK



รูปที่ 5.27 แสดงค่าปริมาณเหล็กเสริมบริเวณแผ่นพื้น Caisson

20. โปรแกรมจะแสดงค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้น Caisson ที่หน้าตัดวิกฤต ถ้าน้อยกว่าแรงเฉือนที่หน้าตัดรับได้ ให้คลิกปุ่ม OK ถ้ามากกว่าโปรแกรมจะให้ทำการใส่ความหนาของแผ่นพื้น Caisson ใหม่



รูปที่ 5.28 แสดงค่าแรงเฉือนที่เกิดขึ้น ในแผ่นพื้น Caisson

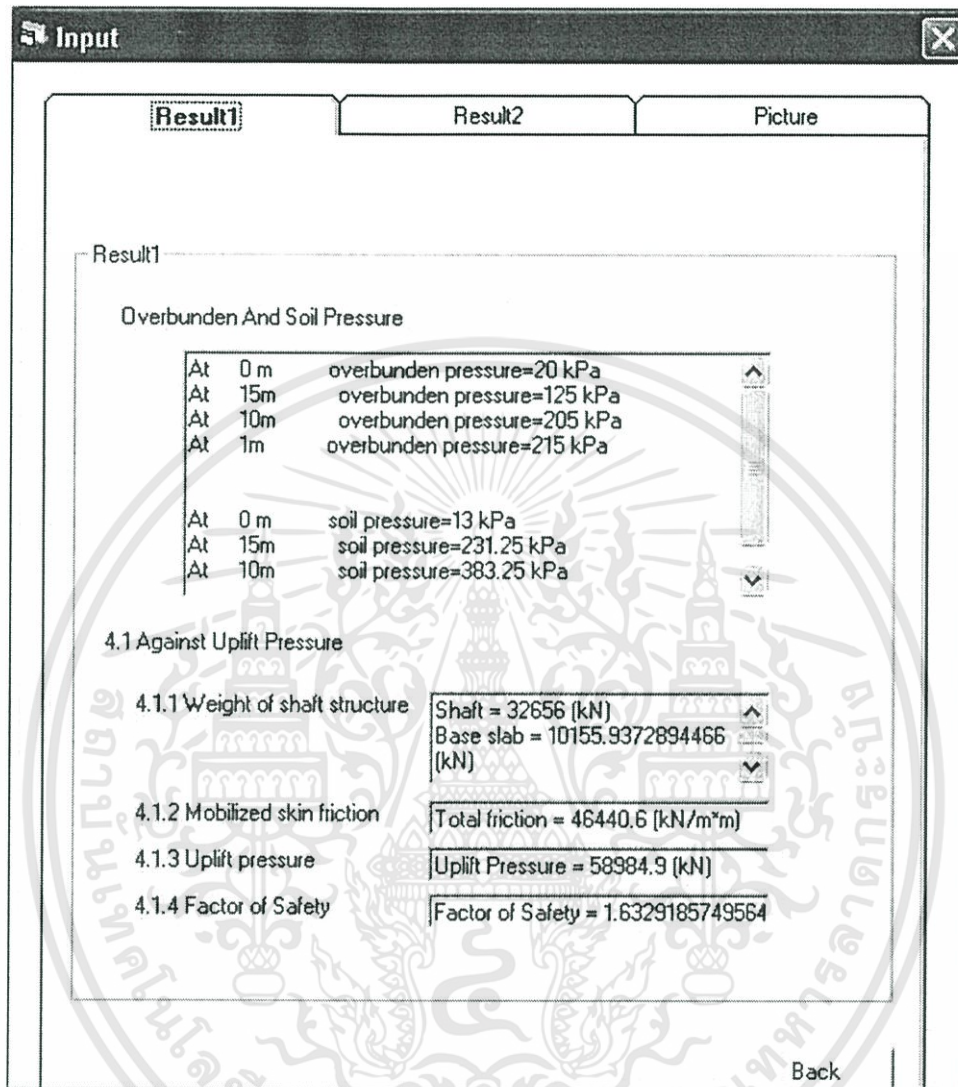


รูปที่ 5.29 แสดงวิธีการใส่ความหนาของแผ่นพื้น Caisson ใหม่

20. ให้คลิกปุ่ม Report เพื่อแสดงผลการคำนวณ



รูปที่ 5.30 แสดงปุ่ม Report



รูปที่ 5.31 แสดงหน้าจอแสดง Result1

Input

Result1 **Result2** Picture

Result2

4.2 Forces action on caisson wall during sinking stage

4.2.1 at caisson shoe

Lateral Pressure $P = 441.000017523766$ (kPa)
 assuming 50% of lateral earth pressure acting on the
 caisson wall during sinking
 $\Delta P = 64.5000025629997$
 Uniform Loading => Axial Force = 3748.

4.2.2 at caisson

Axial Force, $N = 3909.15020751953$ (kN/m)
 Determine ultimate axial of wall, $N_u = 18898.6$ (kN)

5. Base Slab Calculation

5.1 Base Slab Moment

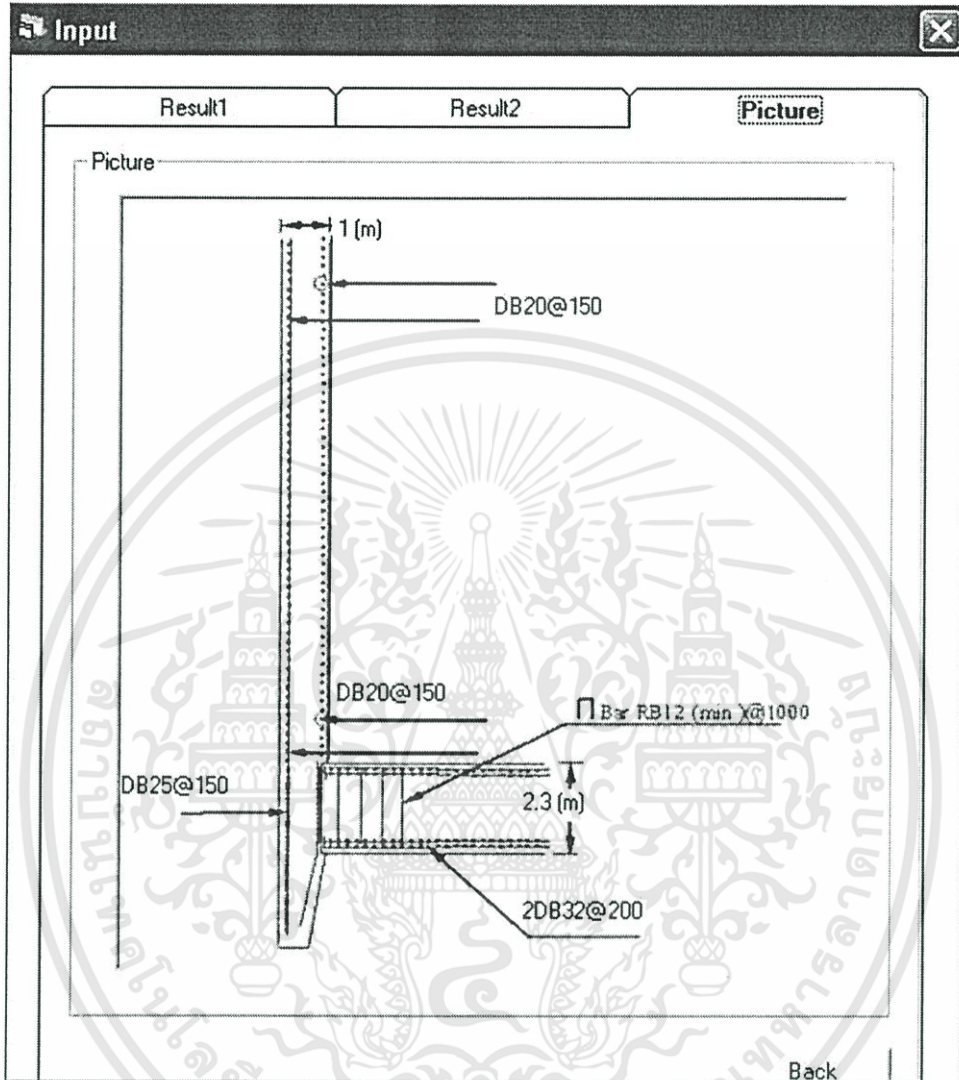
Uplift Pressure, W_u	202.5 (kPa)
Base Slab Moment, M_u	2278.125 (kN-m)
ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้	100.479998502731 (cm ² cm)
ปริมาณเหล็กเสริมที่ตลวงการ	61.89212 (cm ² cm)

5.2 Base Slab Shear

Critical shear at d	106.92 (Ton)
V_c	111.5094 (Ton)

Back

รูปที่ 5.32 แสดงหน้าจอแสดง Result2



รูปที่ 5.33 แสดงหน้าจอแสดง Result3

21. ให้คลิกที่ปุ่ม file และเลือก Exit เพื่อทำการออกจากโปรแกรม Design Caisson

บทที่ 6

ปัญหาในการก่อสร้างเขื่อน

6.1 กล่าวนำ

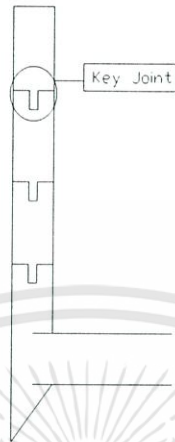
ปัญหาในการก่อสร้างเขื่อนที่จะกล่าวถึงในโครงการพิเศษนี้จะกล่าวถึงเฉพาะปัญหาหลักๆที่มักจะเกิดขึ้นขณะกำลังก่อสร้างเขื่อน และจะเป็นปัญหาที่เกี่ยวกับเทคนิคในการก่อสร้างเขื่อนซึ่งปัญหาเหล่านี้ได้มาจากประสบการณ์ในการก่อสร้างเขื่อนอันยาวนานของผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยเฉพาะ จึงสามารถที่จะระบุได้ว่าปัญหาเหล่านี้จะเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในการก่อสร้างเขื่อนจริง และแนวทางที่จะแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างเขื่อนเป็นแนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญได้ชี้แนะถึงแนวทางการแก้ไขแล้ว ซึ่งทางคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษได้รวบรวมปัญหาในการก่อสร้างเขื่อนและแนวทางการแก้ไขปัญหาในการก่อสร้างเขื่อนแสดงไว้ในหัวข้อต่อไป

6.2 ปัญหาในการก่อสร้างเขื่อน

ปัญหาในการก่อสร้างเขื่อนหลักๆมี 5 ข้อดังนี้

6.2.1 ปัญหาการก่อสร้าง Key – Joint ไม่ได้มาตรฐาน

ปัญหา - Key Joint จะมีหน้าที่เป็นตัวยึดชิ้นส่วนเขื่อนต่างๆให้มั่นคงแข็งแรง และป้องกันการซึมผ่านของน้ำเข้ามาในตัวเขื่อน เพราะ Key Joint จะเป็นตัวเพิ่มระยะการซึมผ่านของน้ำทำให้สามารถที่จะป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ ซึ่งตัว Key Joint มีลักษณะดังรูปที่ 6.1



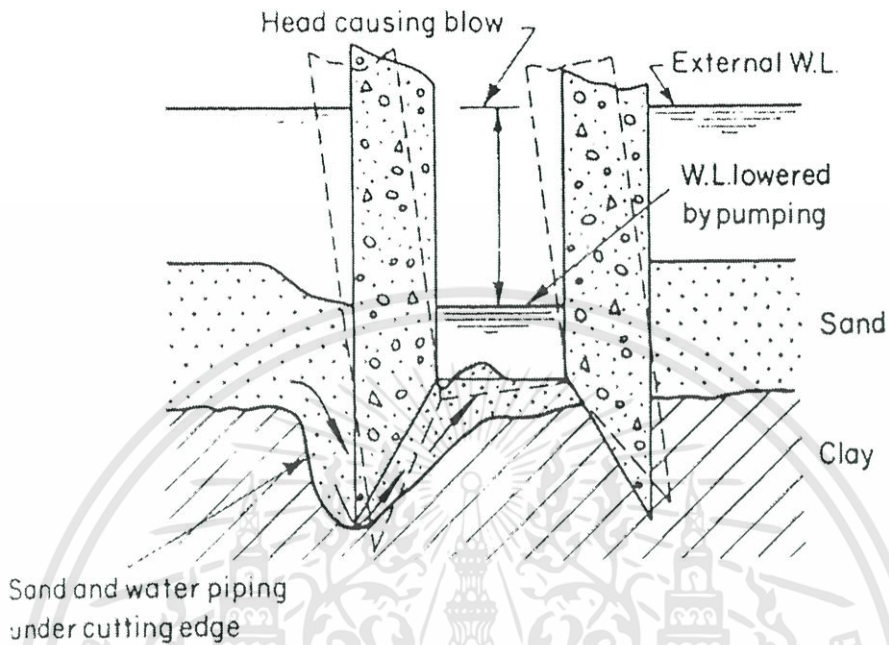
รูปที่ 6.1 แสดงลักษณะ Key Joint

ปัญหาที่เกิดในการก่อสร้าง Key Joint มักจะเกิดจากคนงานหรือผู้ควบคุมดูแลการก่อสร้างควบคุมการก่อสร้างไม่ดีเพียงพอจึงทำให้การหล่อ Key Joint ไม่ได้มาตรฐานตามแบบการก่อสร้างของส้ว เมื่อ Key Joint ไม่เป็นไปตามแบบการก่อสร้างจะก่อให้เกิดปัญหาการเคลื่อนของชั้นส่วนของเคของส้ว และเกิดปัญหาซึมรั่วของน้ำเข้าภายในเคของส้ว

แนวทางการแก้ปัญหา – ในการแก้ปัญหา Key Joint ไม่ได้มาตรฐานตามแบบก่อสร้าง เริ่มแรกจะต้องทำการสกัด Key Joint ที่ไม่ได้มาตรฐานออกก่อน จะต้องสกัดจนถึงเนื้อคอนกรีตชั้นดี จากนั้นตั้งแบบหล่อ Key Joint ใหม่แล้วจึงทำการหล่อแบบให้ได้แบบมาตรฐานตามแบบก่อสร้างของส้ว

6.2.2 ปัญหาเคของส้วเอียง

ปัญหา – เคของส้วเอียงเกิดจากการการขุดดินภายในเคของส้วด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไปจนทำให้เคของส้วเกิดการจมที่ไม่เท่ากัน ในการขุดดินภายในออกจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวของเคของส้วลดน้อยลง เป็นผลทำให้น้ำหนักของเคของส้วมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิว เคของส้วจึงเกิดการจมลงในดินและในการจมที่ไม่เท่ากันนั้นเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปัญหาเคของส้วเอียง ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงการเอียงของเคของส

แนวทางการแก้ปัญหา – ในการแก้ปัญหาเคของสเอียงนั้นมี 2 วิธี

- ทำการขุดดินด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เคของสเอียงเพื่อให้เคของสมีการจมกลับมาให้ได้ระดับ
- ทำการใช้ Hydraulics Jack กดในด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เคของสเอียงเพื่อให้เคของสมีการจมกลับมาให้ได้ระดับ

6.2.3. ปัญหาในการบ่มเคของส

ปัญหา – ปัญหาในการบ่มมักจะเกิดจากการที่คนงานหรือผู้ควบคุมดูแลบ่มผิดวิธีหรือการปล่อยปะละเลยในการบ่มคอนกรีต ในการบ่มคอนกรีตในเคของสจะใช้การบ่มด้วยกัน 3 วิธี

- การบ่มโดยใช้กระสอบเปียกน้ำคลุม
- การบ่มโดยใช้พลาสติกคลุม
- การบ่มใช้สารเคลือบผิวคอนกรีต

จากการบ่มทั้ง 3 วิธีในการก่อสร้างเคของสวิธีการบ่มที่ทำให้เกิดปัญหาน้อย คือ การใช้สารเคลือบผิวคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดและทำกำลังของคอนกรีตได้กำลังที่ต้องการ ในการเทคอนกรีตชั้นต่อไป

จะต้องมีการสกัดคอนกรีตบริเวณรอยต่อเพื่อเป็นการสกัดสารเคลือบผิวคอนกรีตออกไปทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีต

แนวทางการแก้ปัญหา – จากปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาการบ่มเคของสังกะสีที่จะทำการบ่มใช้สารเคลือบผิวคอนกรีต เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทำงาน

6.2.4 ปัญหาเคของสังกะสีจุ่มเร็วเกินไป

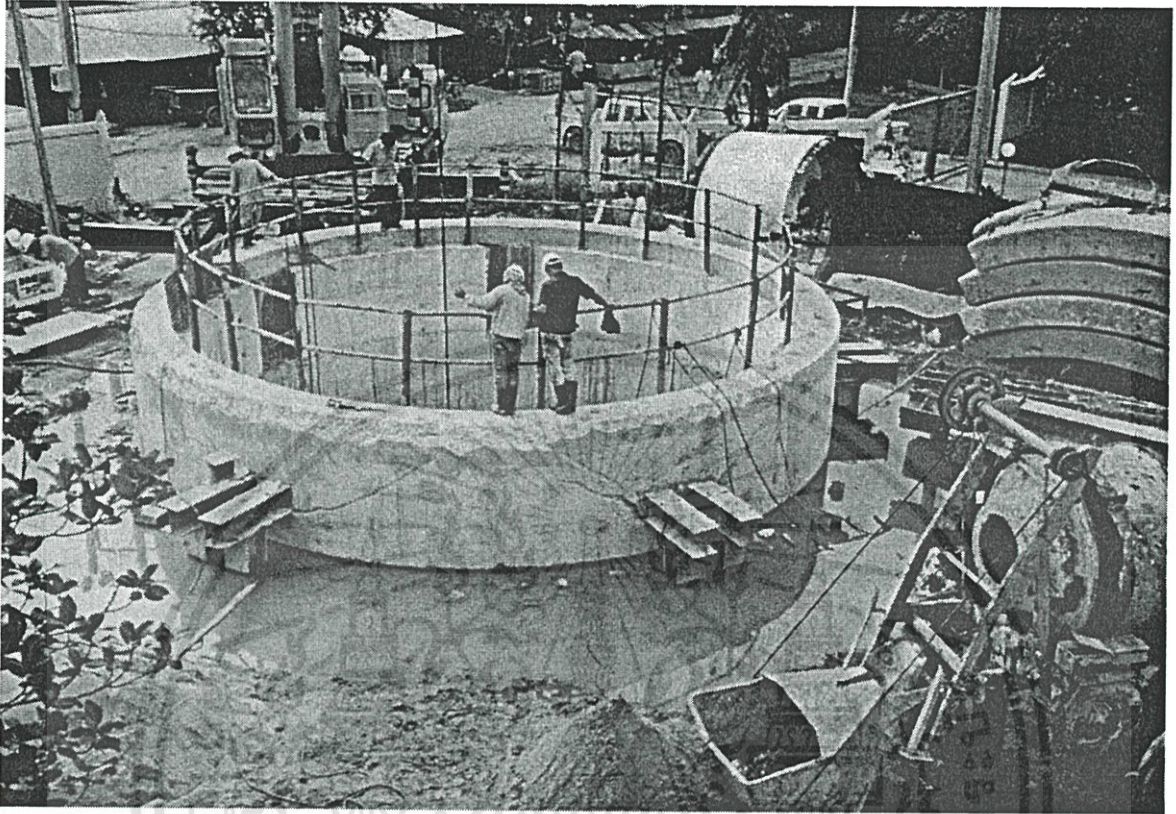
ปัญหา – การที่เคของสังกะสีจุ่มเร็วเกินไปเกิดจากการชุบดินภายในเคของสังกะสีมากเกินไป ในการชุบดินภายในเคของสังกะสีจะเป็นการลดแรงเสียดทานที่ผิวของเคของสังกะสี ทำให้น้ำหนักของตัวเคของสังกะสีมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเคของสังกะสี เคของสังกะสีจึงจมลงในชั้นดิน และจากการชุบดินภายในเคของสังกะสีมากเกินไปเป็นผลให้แรงเสียดทานที่ผิวของเคของสังกะสีลดลงมากจึงไม่มีแรงที่จะค้ำพยุงการจุ่มเคของสังกะสี อีกประการหนึ่งที่ทำให้เคของสังกะสีจุ่มเร็วเกินไปนั้น เกิดจากการที่ Boring log ไม่ทั่วถึง จึงทำให้ทราบข้อมูลของชั้นดินไม่เพียงพอ

แนวทางการแก้ปัญหา – ในการแก้ปัญหาเคของสังกะสีจุ่มเร็วเกินไปจะต้องคอยควบคุมการชุบดินภายในเคของสังกะสีอย่างระมัดระวัง และจะต้องมีการตรวจวัดระดับตลอดเพื่อที่จะได้ทราบว่าเคของสังกะสีจุ่มเร็วเกินไปหรือไม่ ควรที่จะต้องมี Boring log ให้ทั่วถึงกับพื้นที่ที่มีการก่อสร้างเคของสังกะสี จะได้ทราบถึงข้อมูลของชั้นดินที่ถูกต้อง

6.2.5 ปัญหาเกิดรอยแตกร้าวรอบ Stopper

ปัญหา – รอยร้าวที่เกิดรอบๆ Stopper จะเกิดจากการที่เคของสังกะสีจุ่มเร็วเกินไปเป็นผลทำให้เกิดการแรงกระแทกระหว่าง Ring Beam กับ Stopper จึงเกิดรอยแตกร้าวรอบ Stopper

แนวทางการแก้ปัญหา – ในการแก้ไขรอยแตกร้าวรอบ Stopper จะใช้ epoxy ช่อมแซมรอยแตกร้าว



รูปที่ 6.3 แสดงรอยแตกร้าวรอบ Stopper Beam

ตารางที่ 6.1 สรุปปัญหาในการก่อสร้างเขื่อนและแนวทางการแก้ปัญหาในการก่อสร้างเขื่อน

ปัญหาในการก่อสร้างเขื่อน	แนวทางการแก้ปัญหา
<p>ปัญหาการก่อสร้าง Key – Joint ไม่ได้มาตรฐาน จะเกิดจากคนงานหรือผู้ควบคุมดูแลการก่อสร้างควบคุมการก่อสร้างไม่ดีเพียงพอจึงทำให้การหล่อ Key Joint ไม่ได้มาตรฐานตามแบบการก่อสร้างเขื่อน เมื่อ Key Joint ไม่เป็นไปตามแบบการก่อสร้างจะก่อให้เกิดปัญหาการเคลื่อนของชิ้นส่วนของเขื่อน และเกิดปัญหาซึมรั่วของน้ำเข้าภายในเขื่อน</p>	<p>การแก้ปัญหา Key Joint ไม่ได้มาตรฐานตามแบบก่อสร้าง เริ่มแรกจะต้องทำการสกัด Key Joint ที่ไม่ได้มาตรฐานออกก่อน จะต้องสกัดจนถึงเนื้อคอนกรีตชั้นดี จากนั้นตั้งแบบหล่อ Key Joint ใหม่แล้วจึงทำการหล่อแบบให้ได้แบบมาตรฐานตามแบบก่อสร้างเขื่อน</p>
<p>ปัญหาเขื่อนเอียง เกิดจากการการขุดดินภายในเขื่อนด้านใดด้านหนึ่งมากเกินไปจนทำให้เขื่อนเกิดการจมที่ไม่เท่ากัน ในการขุดดินภายในออกจะทำให้แรงเสียดทานที่ผิวของเขื่อนลดลง เป็นผลทำให้น้ำหนักของเขื่อนมากกว่าแรงเสียดทานที่ผิว เขื่อนจึงเกิดการจมลงในดินและในการจมที่ไม่เท่ากันนั้นเป็นสาเหตุหลักในการเกิดปัญหาเขื่อนเอียง</p>	<p>การแก้ปัญหาเขื่อนเอียงนั้นมี 2 วิธี</p> <ul style="list-style-type: none"> • ทำการขุดดินด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เขื่อนเอียงเพื่อให้เขื่อนมีการจมกลับมาให้ได้ระดับ • ทำการใช้ Hydraulics Jack กดในด้านตรงข้ามกับทิศทางที่เขื่อนเอียงเพื่อให้เขื่อนมีการจมกลับมาให้ได้ระดับ
<p>ปัญหาในการบ่มเขื่อน เกิดจากการที่คนงานหรือผู้ควบคุมดูแลบ่มผิววิธีหรือการปล่อยปะละเลยในการบ่มคอนกรีต</p>	<p>การใช้สารเคลือบผิวคอนกรีต ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดและทำกำลังของคอนกรีตได้กำลังที่ต้องการในการเทคอนกรีตชั้นต่อไปจะต้องมีการสกัดคอนกรีตบริเวณรอยต่อเพื่อเป็นการสกัดสารเคลือบผิวคอนกรีตออกไปทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีต</p>
<p>ปัญหาเขื่อนจมเร็วเกินไป เกิดจากการขุดดินภายในเขื่อนมากเกินไป ในการขุดดินภายในเขื่อนจะเป็นการลดแรงเสียด</p>	<p>การแก้ปัญหาเขื่อนจมเร็วเกินไปจะต้องคอยควบคุมการขุดดินภายในเขื่อนอย่างระมัดระวัง และจะต้องมีการตรวจวัดระดับตลอดเพื่อที่จะได้ทราบว่า</p>

<p>ทานที่ผิวของเคของส ทำให้น้ำหนักของตัวเคของส มากกว่าแรงเสียดทานที่ผิวของเคของส เคของสจึง จมลงในชั้นดิน และจากการขุดดินภายในเคของส มากเกินไปเป็นผลให้แรงเสียดทานที่ผิวของเคของส ลดลงมากจึงไม่มีแรงที่จะค้ำพยุงการจมเคของส อีกประการหนึ่งที่ทำให้เคของสจมเร็วเกินไปนั้น เกิดจากการที่ Boring log ไม่ทั่วถึง จึงทำให้ทราบ ข้อมูลของชั้นดินไม่เพียงพอ</p>	<p>ของสจมเร็วเกินไปหรือไม่ ควรที่จะต้องมีการ Boring log ให้ทั่วถึงกับพื้นที่ที่มีการก่อสร้างเค ของส จะได้ทราบถึงข้อมูลของชั้นดินที่ต้องการ</p>
<p>ปัญหาเกิดรอยแตกร้าวรอบ Stopper รอยร้าวที่เกิดรอบๆ Stopper จะเกิดจากการที่เคของสจมเร็วเกินไปเป็นผลทำให้เกิดการแรงกระแทก ระหว่าง Ring Beam กับ Stopper จึงเกิดรอยแตก ร้าวรอบ Stopper</p>	<p>การแก้ไขรอยแตกร้าวรอบ Stopper จะใช้ epoxy ซ่อมแซมรอยแตกร้าว</p>

บทที่ 7

ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 ข้อสรุปของการศึกษาการออกแบบและก่อสร้างเคชองส์ในประเทศไทย

จากการศึกษาการออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้างของเคชองส์นั้นในการออกแบบ ได้ความหนาของเคชองส์ พื้นของเคชองส์ และการเสริมเหล็กในเคชองส์ จะเห็นได้ว่าการออกแบบนั้นจะต้องใช้เวลาในการออกแบบมาก จึงจะได้เคชองส์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน แต่การออกแบบโดยโปรแกรมที่ทางคณะผู้จัดทำสร้างขึ้นมา จะช่วยทำให้การคำนวณ ความหนาของเคชองส์ พื้นของเคชองส์ และการเสริมเหล็กในเคชองส์ มีความสะดวก และรวดเร็วในการนำไปใช้งาน ซึ่งจะเป็นการช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบเคชองส์ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

จากที่ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการก่อสร้างเคชองส์จะพบปัญหาดัง

นี้

- ปัญหาการก่อสร้าง Key – Joint ไม่ได้มาตรฐาน
- ปัญหาเคชองส์เอียง
- ปัญหาในการบ่มเคชองส์
- ปัญหาเคชองส์จมน้ำเร็วเกินไป
- ปัญหาเกิดรอยแตกร้าวรอบ Stopper

7.2 ข้อเสนอแนะ

โปรแกรมนี้ยังมีข้อจำกัดอยู่เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเวลาในการทำโครงการพิเศษ ดังนั้นเมื่อมีผู้สนใจพัฒนาโปรแกรมต่อไป ทางคณะผู้จัดทำขอให้ออกข้อเสนอแนะดังนี้

1. ควรมีการเชื่อมโยงระหว่างโปรแกรมการออกแบบเคของส์กับโปรแกรม PCACOL เพื่อที่จะสะดวกในการทำงาน ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงานมากยิ่งขึ้น
2. ควรมีการแสดงผลที่ไม่ซับซ้อนเพื่อผู้ใช้โปรแกรมง่ายต่อการเข้าใจ
3. ควรมีวิธีใช้งานอยู่ในตัวโปรแกรม เพื่อเวลาเกิดปัญหาในการใช้โปรแกรมสามารถเรียกดูวิธีใช้งานได้ทันที
4. ควรทำโปรแกรมให้เป็นภาษาอังกฤษ เพื่อให้ชาวต่างชาติสามารถนำโปรแกรมไปได้

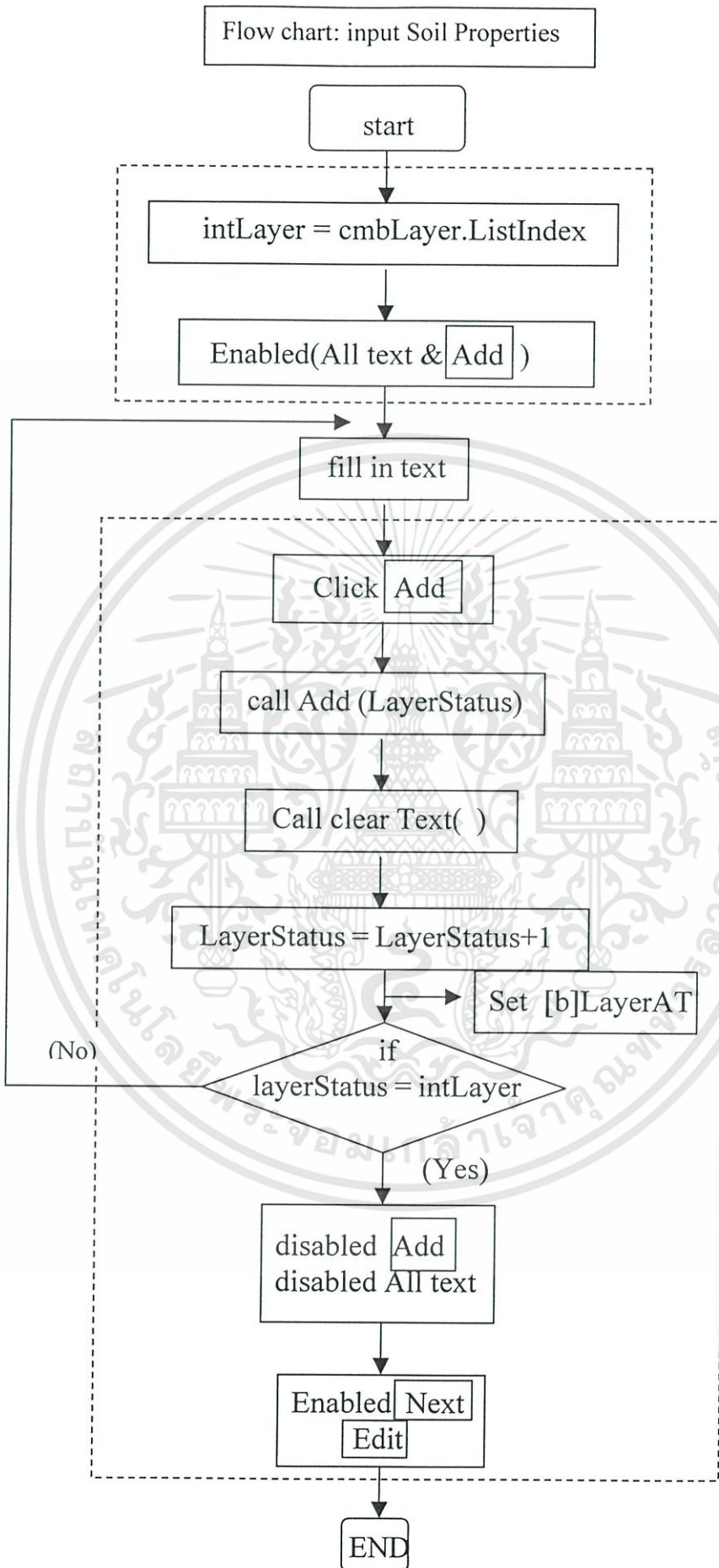


บรรณานุกรม

- ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร
- ศาสตราจารย์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร, 2545. การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง : สำนักพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร
- Vijaya Singh,1970 .Wells And Caissons : N.C JAIN AT THE ROORKEE PRESS
- Michael W. O'Neill,1981 . Drilled Piers and Caissons :the America Society of civil Engineer
- มณเฑียร กังคศิเทียม ,2543 . กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม : สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์
- Bowles, 1984. Physical and Geotechnical Proerties of Soils McGRAW-HLLL INTERNATION EDITIONS
- Tomlinson, 1975.Foundation Design and Construction
- British steel, 1988. Piling Handbook
- Young, 1989. Roark's Formulas for stress and strain
- ผศ.ร.ต.หญิง วรณีย์ สุขสาคร , 2545 . วิศวกรรมฐานราก : โพรเพซ

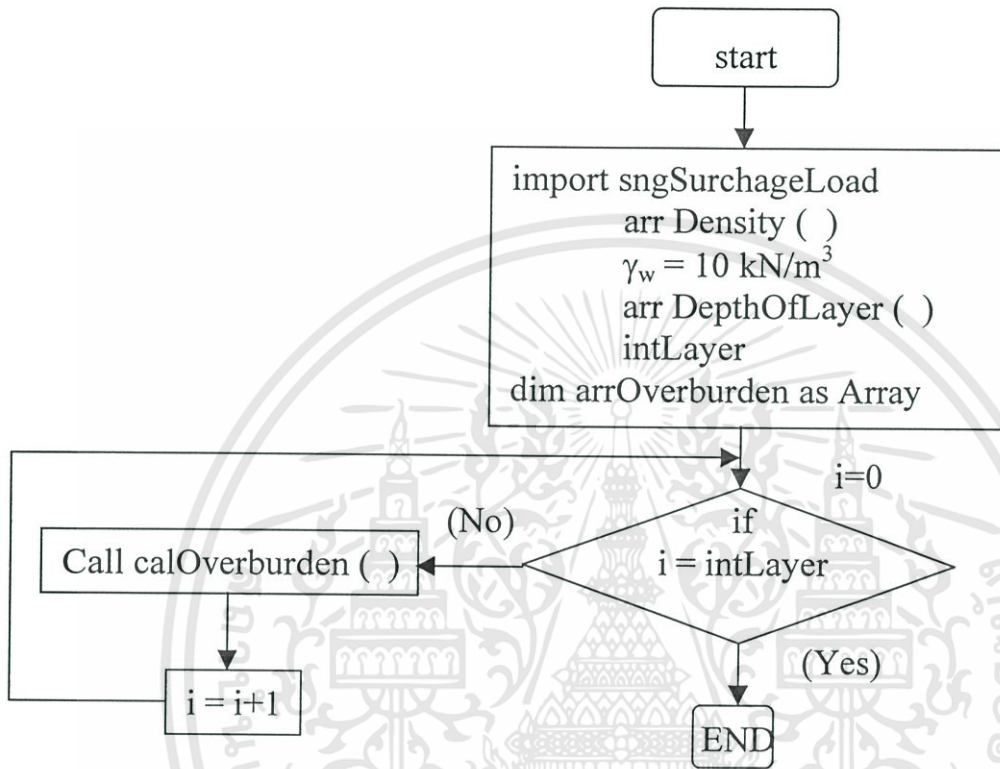


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

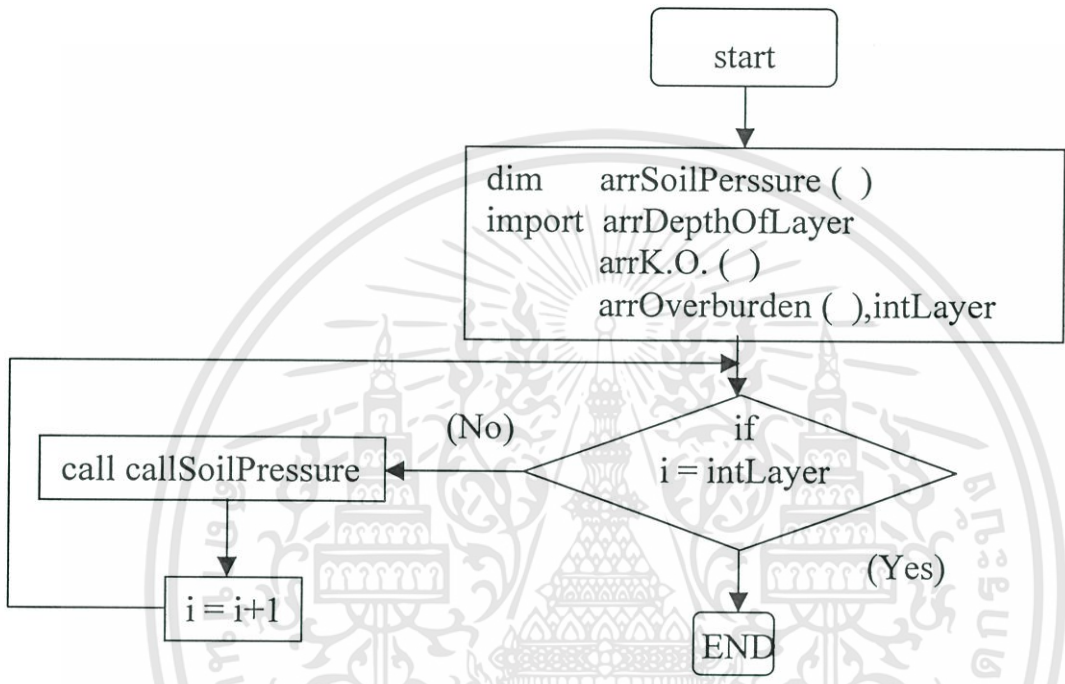


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ ๙2 ศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

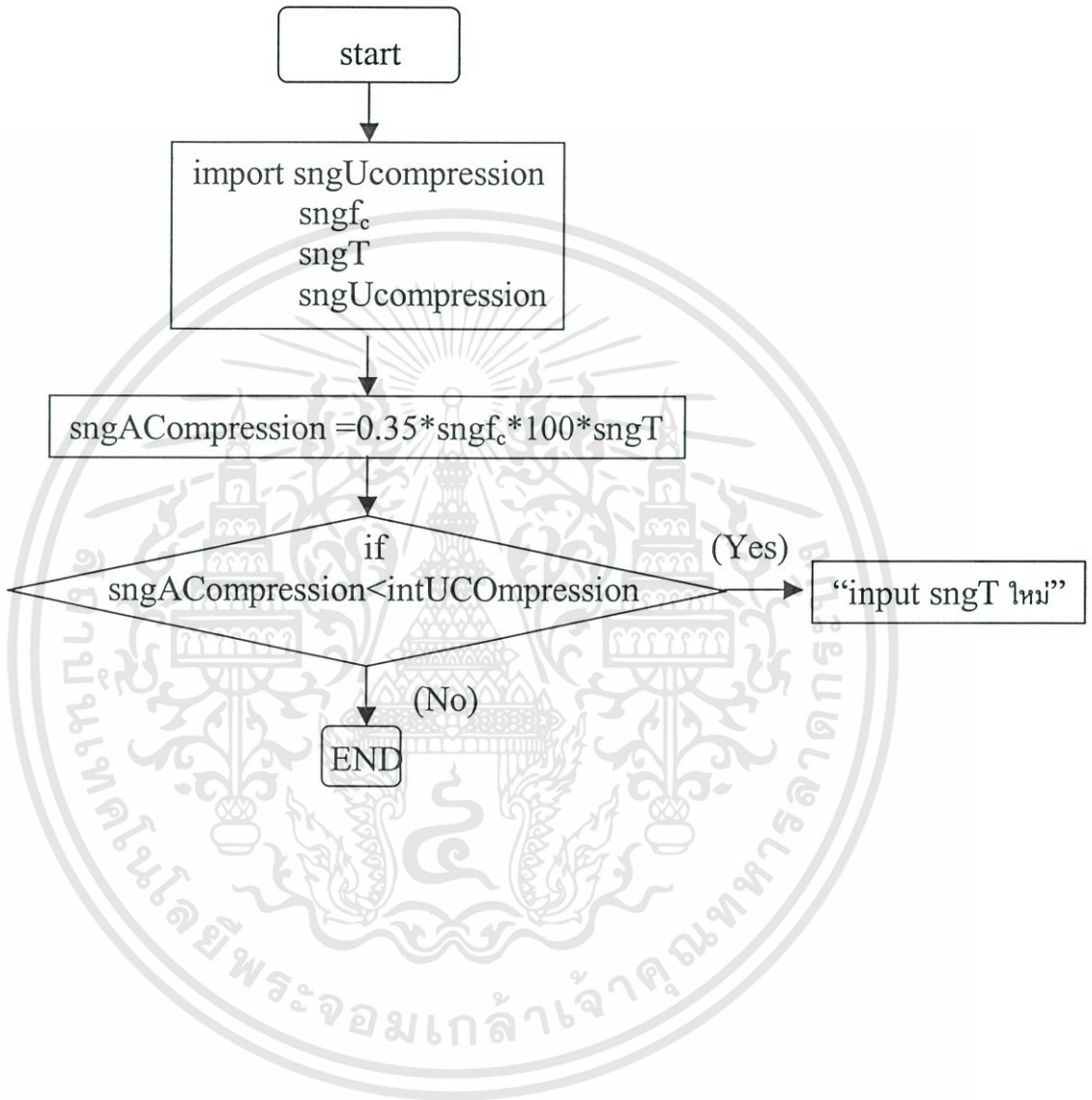
Flow Chart: Soil Overburden



Flow Chart: Soil Pressure



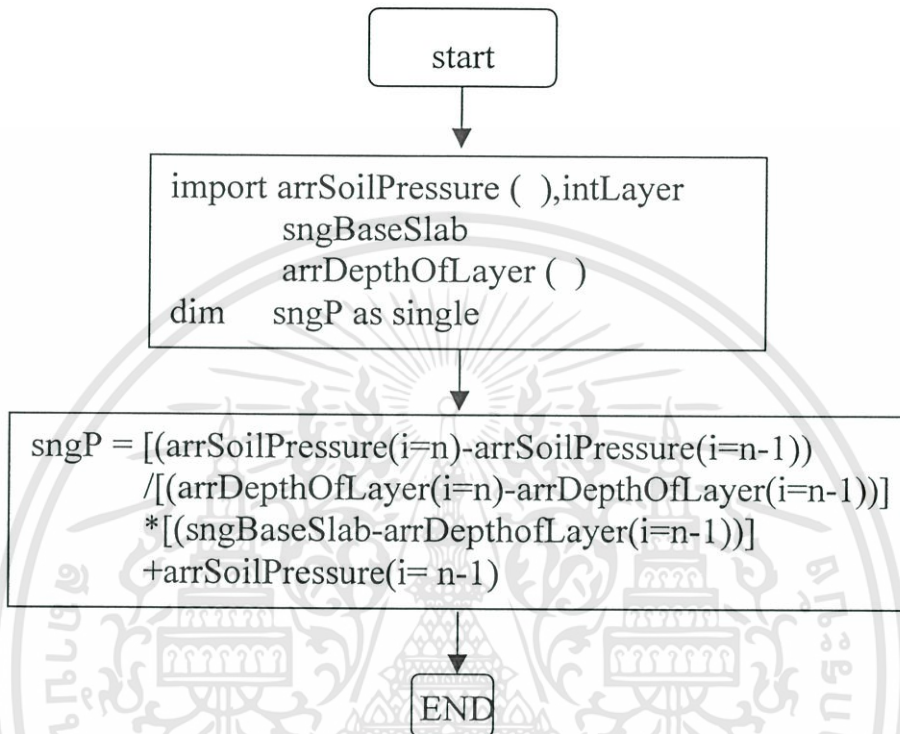
Flow Chart: Compression U&A

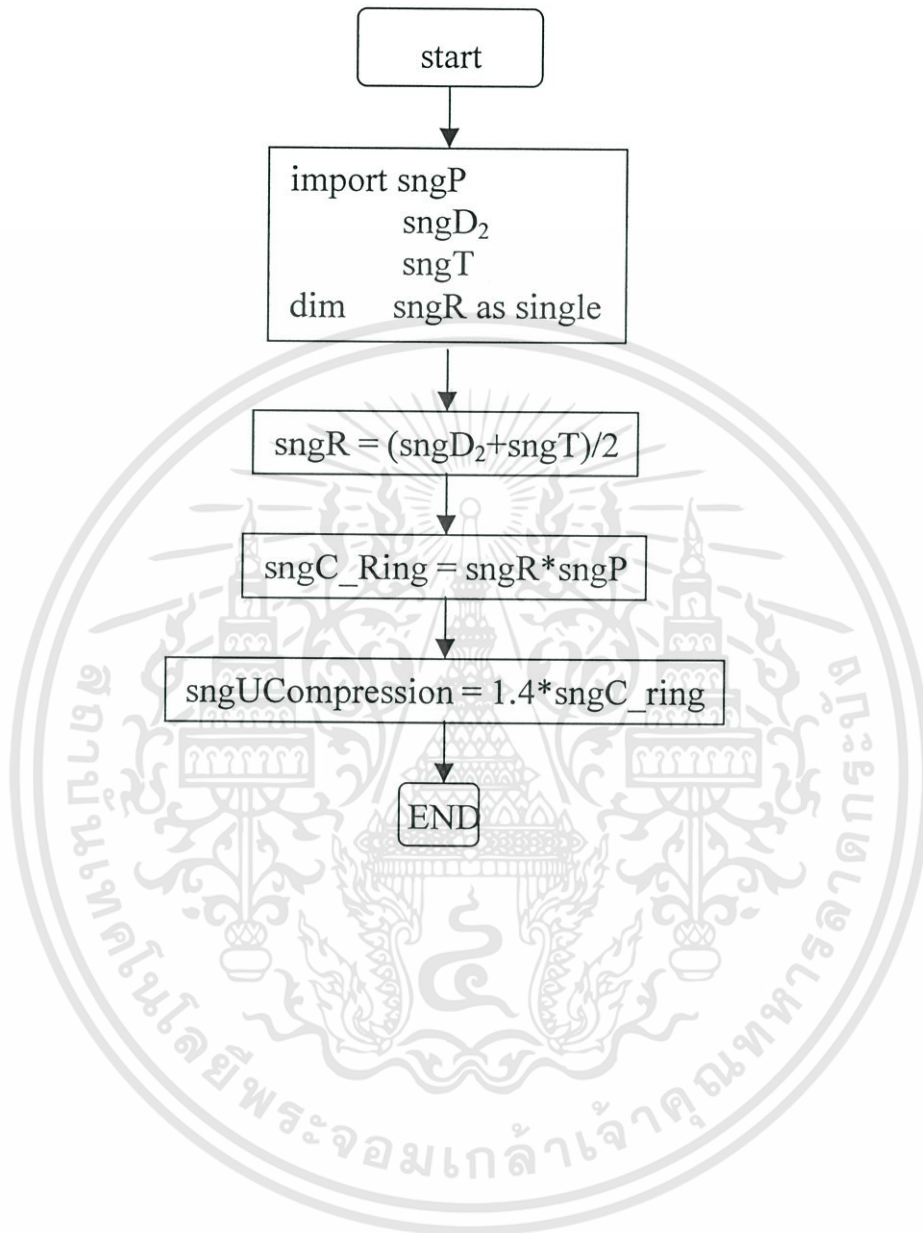


Flow Chart: ปุ่ม Back ของ fram2

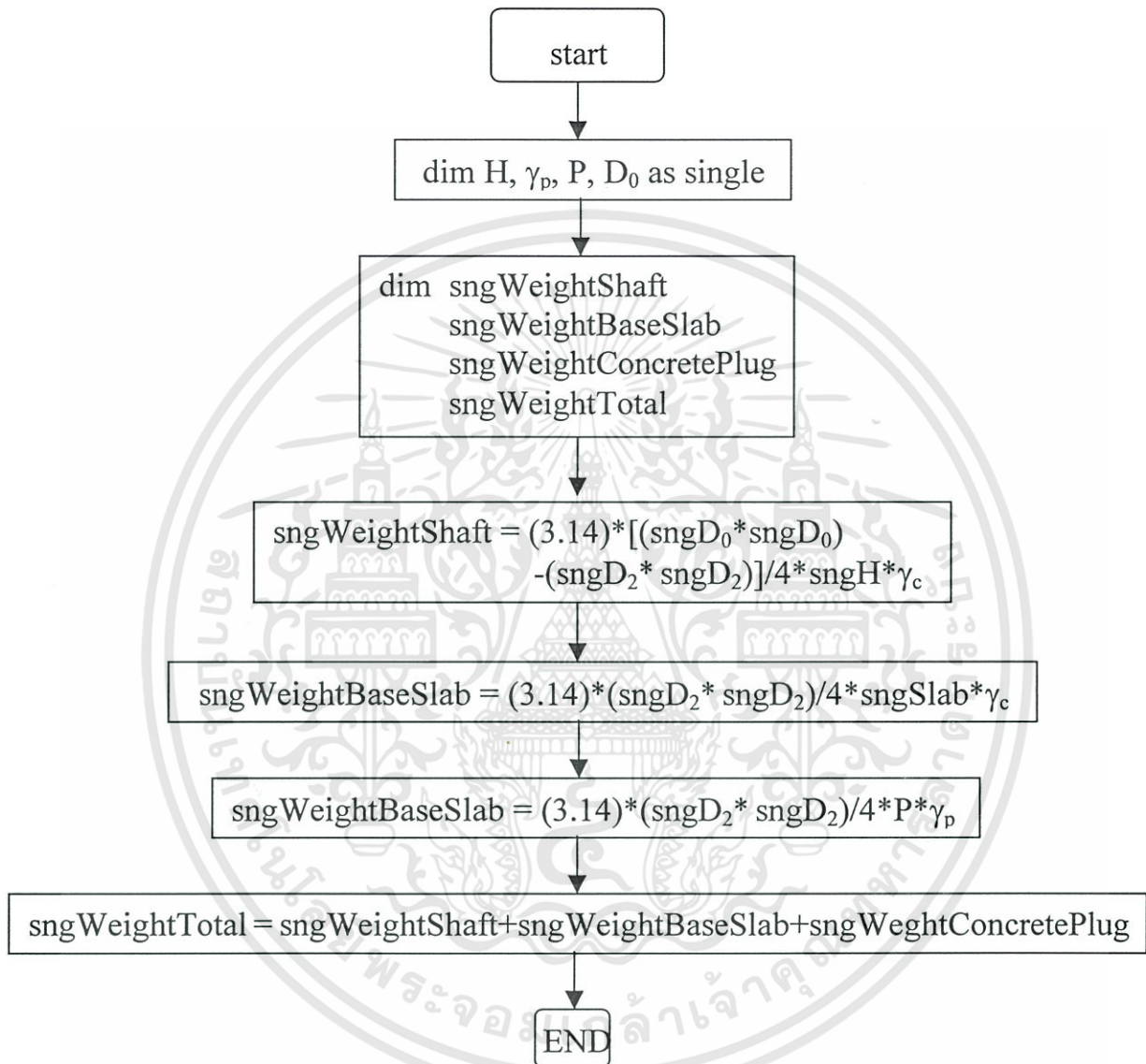


Flow Chart: Design Ring

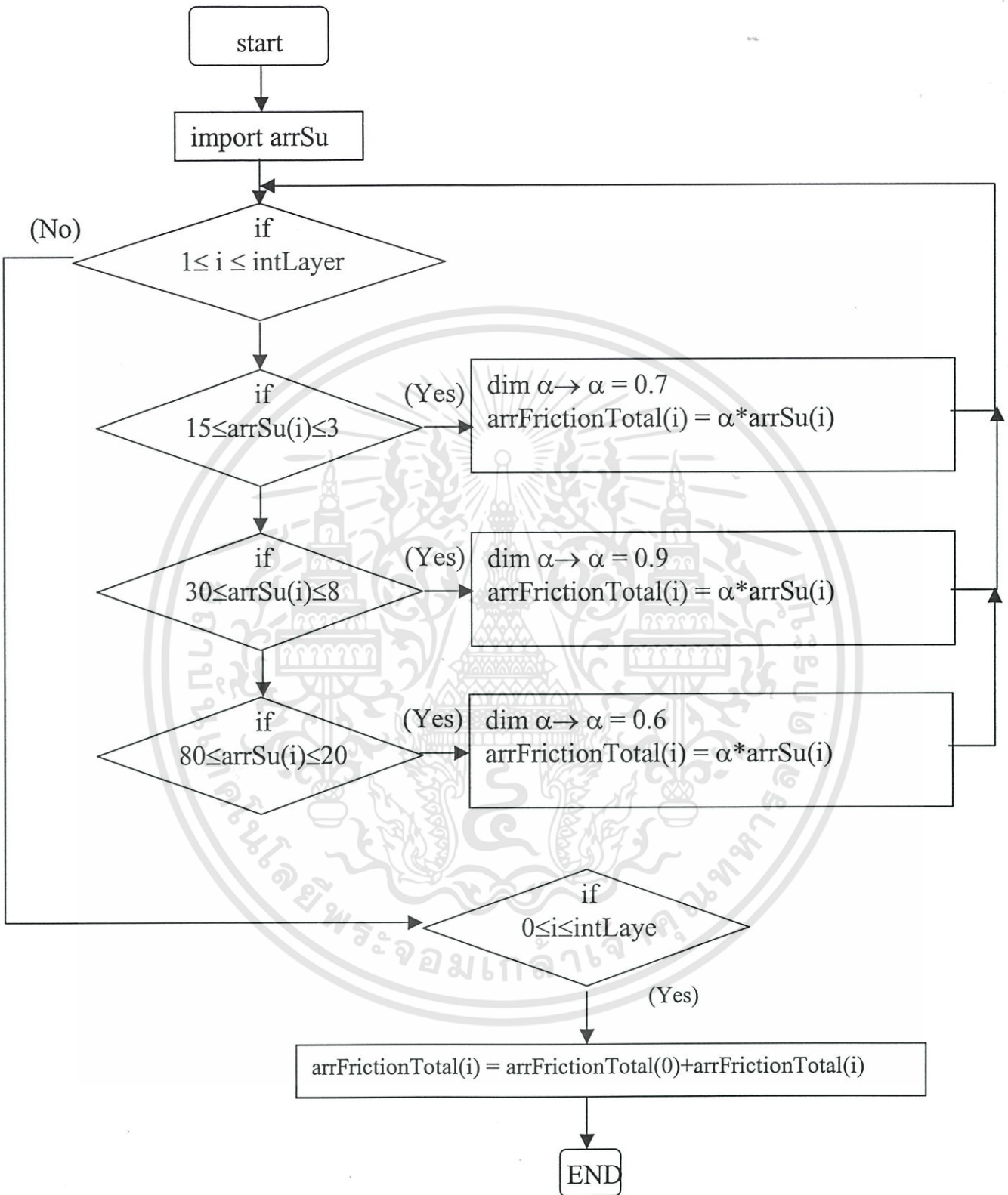




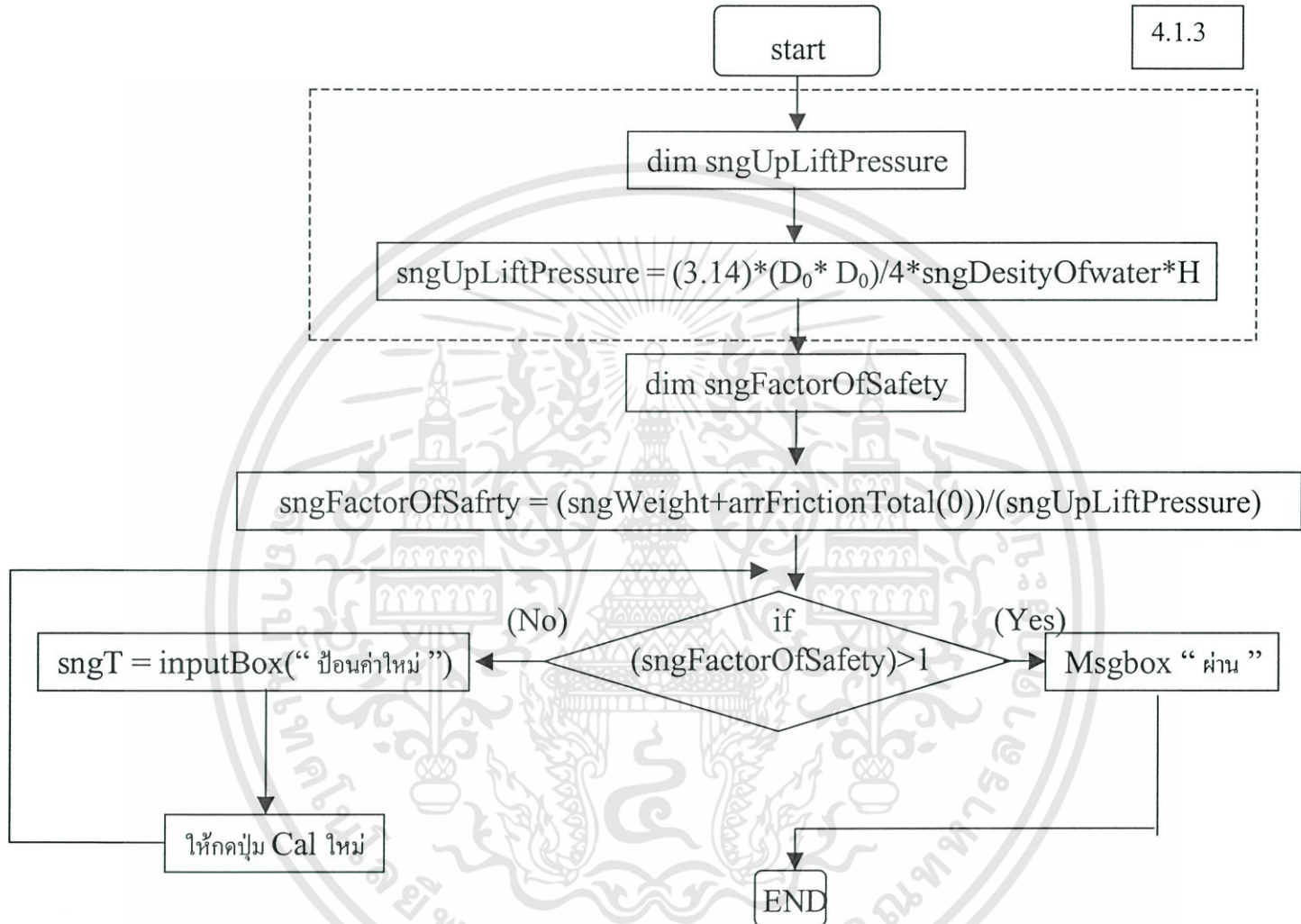
Flow Chart: 4.11



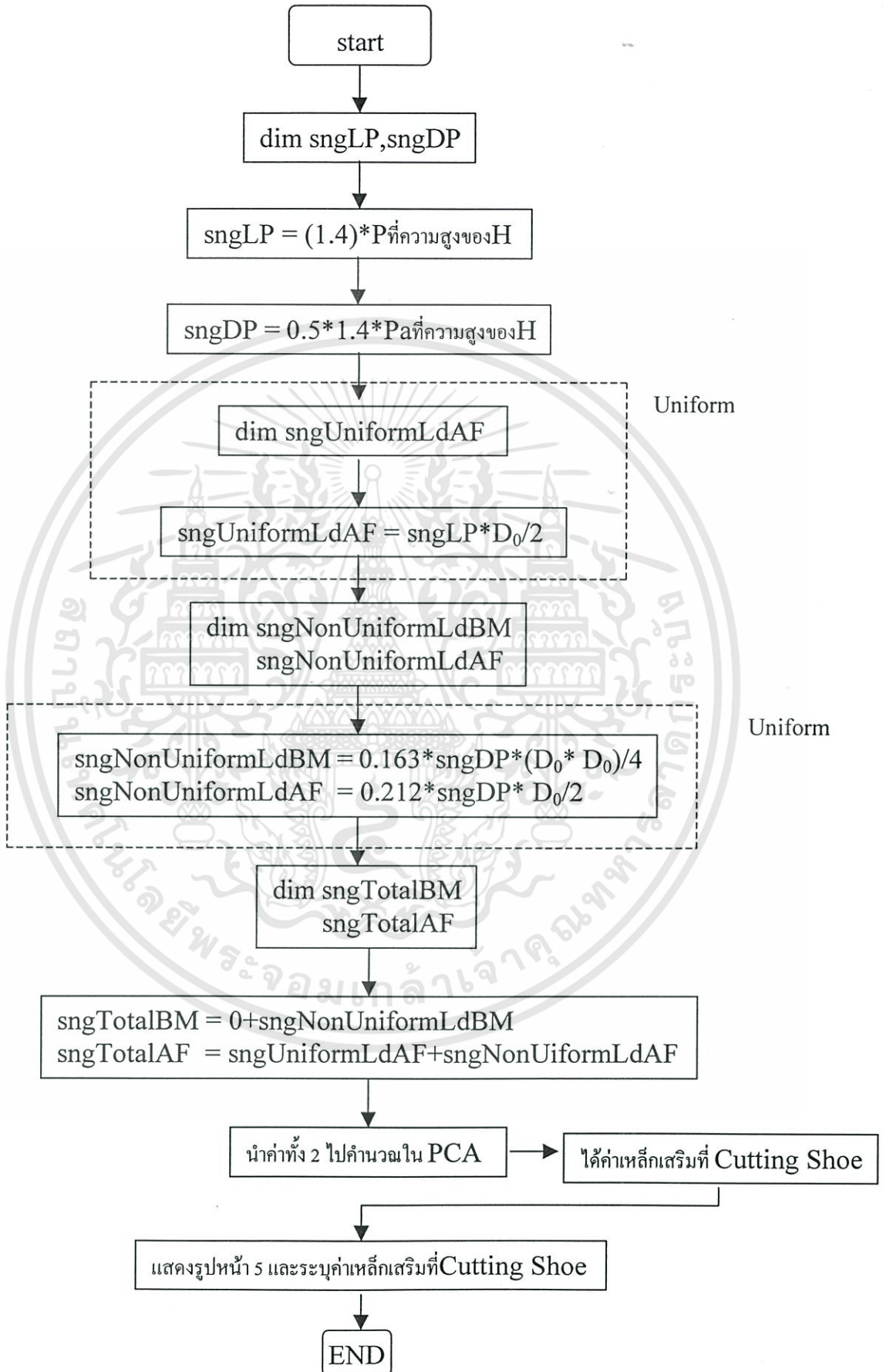
Flow Chart: 4.1.2



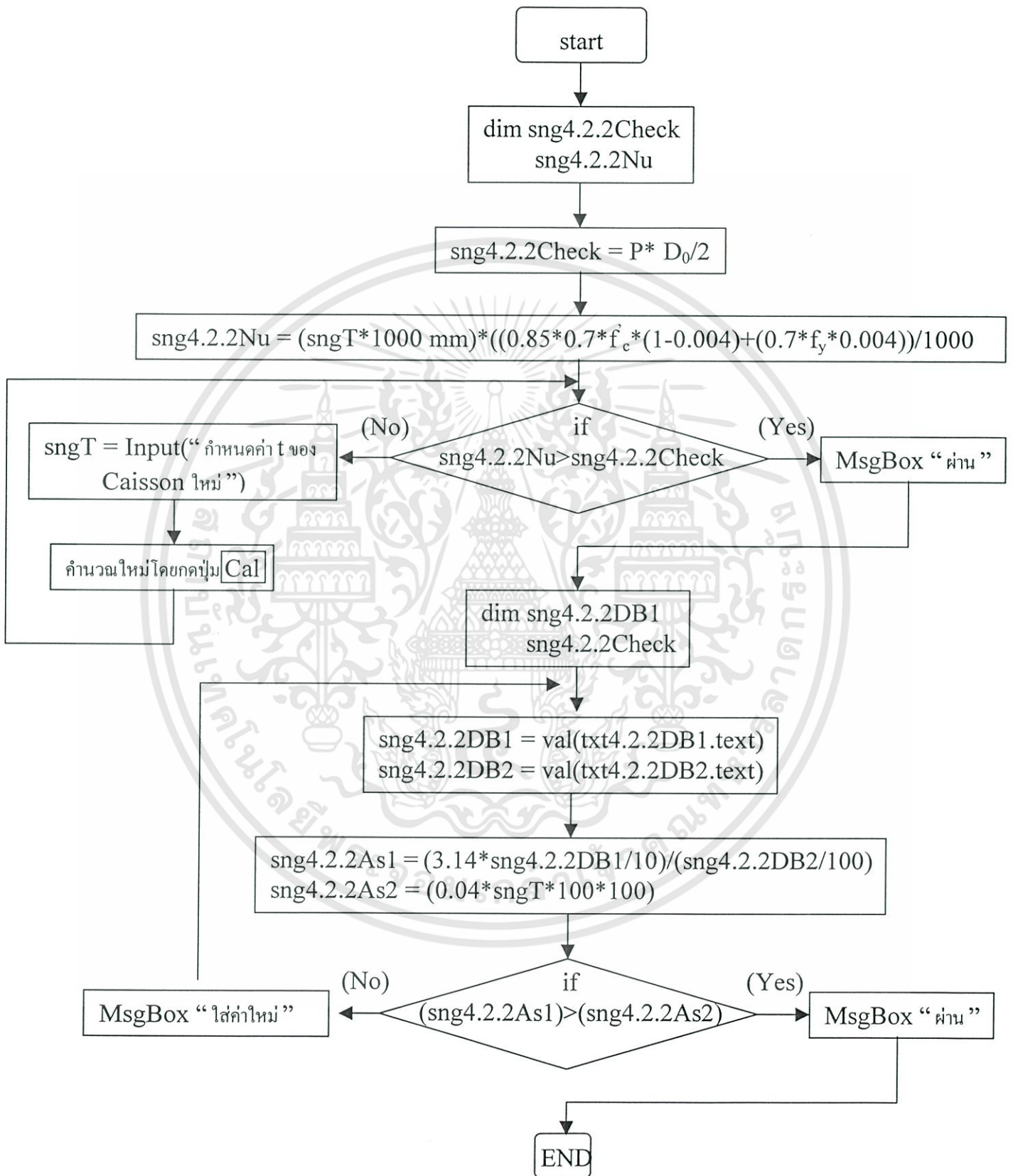
Flow Chart: 4.1.3,4.1.4



Flow Chart: 4.2.1



Flow Chart: 4.2.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart: 5.2

