

การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน ต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนัก
ของเสาเข็มในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

นางสาวกวินทร พรหมอ่อน

นางสาวดวงกมล คำสอาด

นายวิศิษฐ์ พ่วงโชติ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร

บัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

THE STUDY OF PILE CAPACITY CHANGING DUE TO THE RISING
GROUNDWATER EFFECT IN BANGKOK SUBSOILS



KAWINTRON PROMOUN

DOUNGKAMON KAMSAARD

WISIT PHUANGCHOT

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน ต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังรับ
น้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

นักศึกษา นางสาววินทร พรหมอ่อน รหัสนักศึกษา 61015005
นางสาวดวงกมล คำสอาด รหัสนักศึกษา 61015030
นายวิศิษฐ์ พ่วงโชติ รหัสนักศึกษา 61015073

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (ต่อเนื่อง)

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา (ต่อเนื่อง)

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ประทีป หลือประเสริฐ

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร. ประทีป หลือประเสริฐ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร. อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน ต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนัก ของเสาเข็มในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ

นางสาวกวินทร พรหมอ่อน รหัสนักศึกษา 61015005

นางสาวดวงกมล คำสอาด รหัสนักศึกษา 61015030

นายวิศิษฐ์ พ่วงโชติ รหัสนักศึกษา 61015073

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. ประทีป หลือประเสริฐ

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาผลกระทบการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาลต่อพฤติกรรมและกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ดินกรุงเทพฯ การประยุกต์ใช้เทคนิคเชิงตัวเลขด้วยโปรแกรม PLAXIS 2D ในการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีการไหลควบคู่กับการเคลื่อนตัว (Fully coupled flow and deformation analysis) ซึ่งเป็นการพิจารณาการไหลของน้ำใต้ดินรวมกับการเคลื่อนตัวของดินตามเวลา (Time-dependent) ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีดังกล่าว สามารถแสดงพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของชั้นดินและเสาเข็มได้ตามงานวิจัยในอดีตได้ โดยในช่วงที่น้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น ชั้นดินและเสาเข็มเกิดการยกตัว โดยชั้นดินมีการยกตัวมากกว่าเสาเข็ม ทำให้เสาเข็มมีลักษณะเหมือนเกิดการทรุดตัว และกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมีทิศทางลดลง ทั้งนี้ การลดลงของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแม้จะยังไม่ถึงจุดที่วิบัติ แต่การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้อยู่ในระดับคงที่ (Constant) นั้น ทำให้การลดลงของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เกิดการลดลงน้อยที่สุด

คำสำคัญ: การเพิ่มขึ้นของน้ำบาดาล, กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม, แบบจำลองเชิงตัวเลข, ชั้นดินกรุงเทพฯ, ทฤษฎีการไหลควบคู่กับการเคลื่อนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

THE STUDY OF PILE CAPACITY CHANGING DUE TO THE RISING GROUNDWATER EFFECT IN BANGKOK SUBSOILS

Kawintron Promoun ID 61015005

Doungkamon Kamsaard ID 61015030

Wisit Phuangchot ID 61015073

Advisor: Dr. Prateep Lueprasert

Academic Year 2020

Abstract

This research investigates the effects of the groundwater rising on the pile foundation in the Bangkok subsoils. An advanced numerical model with the fully coupled flow-deformation analysis, both groundwater flow and soil deformation behaviors with time-dependent conditions are modelled, is conducted by using PLAXIS 2D. The results found that the calculation type of fully coupled flow-deformation can express the pile-soil movement behavior, as in previous studies, the soil is raised more than a pile. As a result, the pile resembles a collapse. The pile-soil heave and the pile load capacity be significantly reduced during the groundwater rising event. Despite the reduction of pile load capacity with groundwater changed not enough to fail. But constant control of groundwater levels, which causes the load capacity of the pile. Negligible reduction experienced

Keywords: Groundwater rising, Pile capacity, Numerical modeling, Bangkok subsoil, Fully coupled flow-deformation analysis

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร. ประทีป หลือประเสริฐ ที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง อีกทั้งสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา กับคณะผู้จัดทำตลอดจนให้ความรู้ คำแนะนำช่วยเหลือในการแก้ปัญหา เป็นประโยชน์อย่างยิ่งกับงานวิจัยนี้ พวกเราผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุกๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน อันเป็นประโยชน์ยิ่งในการทำปริญญาโทฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณพี่ปริญญาเอก นายหลัทสัถ์ พ้อบาล ที่ให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือในการให้คำแนะนำและวางแผนงานในการทำโครงการรวมถึงการให้กำลังใจและความรู้ตลอดระยะเวลา ที่ได้ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมโยธาที่ตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและให้กำลังใจ ในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

นางสาวกวินทร พรหมอ่อน รหัสนักศึกษา 61015005

นางสาวดวงกมล คำสอาด รหัสนักศึกษา 61015030

นายวิศิษฐ์ พ่วงโชติ รหัสนักศึกษา 61015073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	3
2.1 ประวัติการตกตะกอน (Sedimentation) ของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา	3
2.2 การแบ่งชั้นดิน (Subsoil Stratification) ในเขตพื้นที่ศึกษา	5
2.3 หน่วยแรงในมวลดิน.....	6
2.3.1 หน่วยแรงภายในมวลดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่มี การไหลซึมของน้ำ	6
2.3.2 หน่วยแรงภายในมวลดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและมี การไหลซึมของน้ำ	7
2.4 สภาพแหล่งน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	11
2.5 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของชั้นน้ำประประแดง ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาบริเวณกรุงเทพฯ	14
2.6 พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็ม	16
2.6.1 หน่วยแรงเสียดทานผิวเสาเข็มและแรงต้านปลายเข็มประลัย	19
2.6.2 หน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยและหน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยที่ใช้ในประเทศไทย ..	24
2.6.3 สัดส่วนปลอดภัยสำหรับเสาเข็ม.....	29
2.6.4 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็ม	30
2.6.5 ขั้นตอนในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	31
2.7 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม.....	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ.....	37
3.1 แนวทางการวิเคราะห์	37
3.2 รวบรวมข้อมูลลักษณะชั้นสภาพทางธรณีคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา	38
3.3 เลือกใช้พารามิเตอร์ชั้นดิน สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตามงานวิจัยที่ผ่านมา.....	39
3.4. การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง.....	41
3.5 การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)	43
3.5.1 การสอบเทียบพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน ตามงานวิจัยที่ผ่านมา.....	43
3.5.2 การสอบเทียบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษา.....	45
3.6 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้ยู่ให้เห็น เพื่อประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่มีเหตุแต่ประสงค์อื่นที่ และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	46
4.1 พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็ม ก่อนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	47
4.1.1 Pile Load test แต่ละเสาเข็ม	47
4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมเสาเข็ม ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	49
4.2.1 การเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน (Pile-Soil Movement) ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ.....	49
4.2.2 การกระจายความเค้น (Stress Distribution) ในเสาเข็ม.....	50
4.2.3 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Capacity) ที่เปลี่ยนแปลง.....	51
4.2.4 กรณีศึกษา การกำหนดสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล	53
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา.....	58
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	58
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 วิธีการคำนวณแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มตอกซึ่งใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (POULOS,1989).....	21
ตารางที่ 2 การคำนวณแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มเจาะซึ่งใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (POULOS,1989).....	22
ตารางที่ 3 แรงต้านที่ปลายเข็มซึ่งใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (POULOS,1989).....	23
ตารางที่ 4 ค่า K_s ขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างเสาเข็ม.....	25
ตารางที่ 5 ค่าของมุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน δ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิว (KULHAWY).....	25
ตารางที่ 6 สัดส่วนปลอดภัยสำหรับเสาเข็ม.....	30
ตารางที่ 7 ค่าที่ใช้ในการทดสอบเสาเข็ม.....	33
ตารางที่ 8 ระดับความลึกของชั้นดินแต่ละชั้นในพื้นที่ศึกษา.....	38
ตารางที่ 9 SPESWHITE KAOLIN CLAY PARAMETERS FOR NUMERICAL METHOD VERIFICATION.....	39
ตารางที่ 10 MODEL PARAMETERS USED IN ANALYSES.....	40
ตารางที่ 11 รายละเอียดเสาเข็มที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	41
ตารางที่ 12 คำสั่งรับน้ำหนักเสาเข็มที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 1 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตะกอนยุคควอเทอร์นารี (QUATERNARY PERIOD) บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง.....	4
รูปที่ 2 ชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง.....	4
รูปที่ 3 ตัวอย่างระดับและชั้นดินหลัง (MAJOR SUBSOIL STRATA) ในบริเวณกรุงเทพฯ.....	5
รูปที่ 4 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล.....	6
รูปที่ 5 ลักษณะชั้นดินกรณีน้ำไหลซึมขึ้นข้างบน.....	8
รูปที่ 6 ลักษณะชั้นดินกรณีน้ำไหลซึมลงข้างล่าง.....	10
รูปที่ 7 ภาพตัดขวางพื้นที่กรุงเทพมหานคร.....	11
รูปที่ 8 แสดงชั้นน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (กรมทรัพยากรธรณี, 1979)....	13
รูปที่ 9 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล.....	16
รูปที่ 10 แรงในเสาเข็มที่วัดได้โดยการใช้ STRAIN GAUGE.....	17
รูปที่ 11 LOAD SETTLEMENT CURVE ของเสาเข็มยาว (FRICTION PILE).....	17
รูปที่ 12 ปัญหาการรับแรงกดของเสาเข็มเป็นปัญหา STATICALLY INDETERMINATE ที่มีตัวไม่ทราบค่า	18
รูปที่ 13 การคำนวณแรงต้านทานต่อการกดของเสาเข็ม.....	18
รูปที่ 14 กลไกการเกิดแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม.....	19
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า ADHESION FACTOR กับค่า UNDRAINED SHEAR STRENGTH สำหรับเสาเข็มตอก.....	24
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง BEARING CAPACITY FACTOR N_q กับค่า FRICTION ANGLE จากหลายทฤษฎี (FELLENIUS 1999).....	26
รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับ ANGLE OF SHEARING RESISTANCE, ϕ และ BEARING CAPACITY FACTOR (PECK, HANSON AND THORNBURN, 1974) - คัดลอกจาก (WHITAKER 1976)	26
รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง CRITICAL EMBEDMENT RATIO กับมุม ϕ ซึ่งถ้าความลึกมากกว่า CRITICAL EMBEDMENT RATIO แล้วค่า q_b จะไม่เพิ่มขึ้นตามความลึกอีก (MEYERHOF, 1976) - คัดลอกจาก (DAS 1995).....	27
รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง BEARING CAPACITY FACTOR กับ FRICTION ANGLE เมื่อปลายเสาเข็มฝังอยู่ในระดับลึก MEYERHOF (1976) - คัดลอกจาก (DAS 1995).....	27
รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง ADHESION FACTOR, ϕ กับค่า UNDRAINED SHEAR STRENGTH ของดินเหนียวของเสาเข็มเจาะ (NG 1982).....	28
รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง ANGLE OF SHEARING RESISTANCE, ϕ กับ BEARING CAPACITY FACTOR, N_q สำหรับเสาเข็มเจาะ (NG 1982).....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดก็ตามสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT, N-VALUE กับค่า q_u ของดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (PITUPAKORN, 1982).....	31
รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT, N-VALUE กับค่า q_u ของดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ (PITUPAKORN, 1982).....	31
รูปที่ 24 การเลือกใช้พารามิเตอร์ของดินจากข้อมูลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน.....	32
รูปที่ 25 ตำแหน่งของเสาเข็มใช้งานที่ใช้ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก.....	33
รูปที่ 26 การทดสอบเสาเข็มโดยใช้แรงดันเป็นเสาเข็มสมอ.....	35
รูปที่ 27 การทดสอบเสาเข็ม.....	35
รูปที่ 28 ตัวอย่างวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มด้วยวิธีอย่างง่าย (BUDHU 2000).....	36
รูปที่ 29 กราฟรูปเดียวกันที่มีสัดส่วนไม่เท่ากัน จะมีผลต่อการระบุกำลังประลัยของเสาเข็ม.....	36
รูปที่ 30 การกำหนดระยะชั้นดิน ระยะเสาเข็มและการ MASH ของแบบจำลอง.....	42
รูปที่ 31 การ SETUP แบบจำลองสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องมือเหวี่ยง โดย MORRISON AND TAYLOR [13,14] (A) แบบจำลองเสาเข็มเดี่ยว 2 ต้น SCALE 1:100 ในเครื่องมือเหวี่ยง (B) การ MASH แบบจำลองสำหรับการสอบเทียบ.....	43
รูปที่ 32 (A) กราฟความสัมพันธ์ไหลที่กระทำกับเสาเข็มและค่าการทรุดของเสาเข็ม โดยการทดสอบของเครื่องมือเหวี่ยงและการทดสอบโดยใช้แบบจำลองวิเคราะห์ระเบียบเชิงตัวเลข (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความเค้นและการยกตัวของเสาเข็มและดิน.....	44
รูปที่ 33 การสอบเทียบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษา.....	45
รูปที่ 34 ระดับขั้นตอนการวิเคราะห์โมเดล.....	46
รูปที่ 35 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้น ณ ตอนที่น้ำใต้ดินต่ำสุด.....	47
รูปที่ 36 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มยาว ณ ตอนที่น้ำใต้ดินต่ำสุด.....	48
รูปที่ 37 กราฟแสดงพฤติกรรมการยกตัวของหัวเสาเข็มและชั้นดินเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน.....	49
รูปที่ 38 กราฟแสดงพฤติกรรมการกระจายความเค้นในเสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน.....	50
รูปที่ 39 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน.....	51
รูปที่ 40 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มยาวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน.....	52
รูปที่ 41 การกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลแบบ (CONSTANT).....	53
รูปที่ 42 การกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นแบบชะลอตัว.....	54
รูปที่ 43 ฉากทัศน์ของการแปลงเปลี่ยนระดับน้ำ.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดรูปที่ 43 ฉากทัศน์ของการแปลงเปลี่ยนระดับน้ำ.....ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป

หน้า

รูปที่ 44 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เนื่องจากผลกระทบการเพิ่มขึ้น
ของน้ำใต้ดิน..... 56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ธรณีภัยประเภทหนึ่งที่ยังไม่ได้รับความสนใจจากหน่วยงานรัฐและภาคเอกชนมากนักและยังขาดความรู้ความเข้าใจ คือ ธรณีภัยที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของระดับหรือแรงดันน้ำบาดาล การเพิ่มขึ้นของแรงดันน้ำบาดาลเกิดขึ้นในหลายพื้นที่โดยเฉพาะในพื้นที่ชุมชนเมือง ในเมื่อครั้งอดีตมีการสูบน้ำบาดาลไปใช้อย่างต่อเนื่อง ทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลงอย่างรวดเร็ว และเกิดปัญหาแผ่นดินทรุดตามมา เมื่อมีการออกกฎหมาย ขัดห้ามในการสูบน้ำบาดาลไปใช้ร่วมกับการบริหารจัดการน้ำอย่างเหมาะสม ทำให้ระดับและความดันน้ำเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ดังปรากฏในหลายเมืองใหญ่ต่างๆ เช่น ลาสเวกัส ประเทศสหรัฐอเมริกา (Malmborg 1965; Coach 2000; Wood 2000) เมืองลอนดอน ประเทศอังกฤษ (Ciria 1989; GARDIT 1996) และบริเวณซานตาคลารา ประเทศสหรัฐอเมริกา (USGS 1999; SCVWD 2002)

ในอดีต พื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีการใช้น้ำบาดาลมากทำให้ระดับน้ำบาดาลลดลง ส่งผลให้ค่าความเค้นประสิทธิผลของดิน (Effective stress) ในชั้นดินมีค่ามากขึ้น ทำให้ชั้นดินเกิดการทรุดตัว ตลอดหลายปีที่ผ่านมาหน่วยงานรัฐโดยเฉพาะกรมทรัพยากรน้ำบาดาลจึงได้ควบคุมการใช้น้ำบาดาลและทดแทนด้วยการขยายการให้บริการน้ำประปา จากการดำเนินการดังกล่าวส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลปรับตัวสูงขึ้น ผลดังกล่าวทำให้การทรุดตัวหยุดลง แต่อาจส่งผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดิน เช่น ทำให้ฐานรากเสาเข็มรับแรงได้น้อยลงหรือเกิดการยกตัวขึ้นของโครงสร้างใต้ดิน การเกิดรอยร้าวและการรื้อซึมของผนังใต้ดิน โดยเฉพาะที่ออกแบบและก่อสร้างในช่วงเวลาที่ระดับน้ำเพิ่ม โดยทั่วไปบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑลมีการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินประเภทต่างๆ ยกตัวอย่างเช่นอาคารชั้นใต้ดินลึกประมาณ 3 - 10 เมตร เสาเข็มตอกลึก 22 - 25 เมตรเสาเข็มเจาะที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่ ลึก 50 - 60 เมตร ผลงานวิจัยพบว่าระดับความดันน้ำใต้ดินในชั้นบาดาลพระประแดงที่ระดับความลึก ประมาณ 75-125 เมตร ที่ได้มีการตรวจวัดพื้นที่ต่างๆ ในพื้นที่กรุงเทพฯ ในช่วงปี ค.ศ.1980 ถึงปัจจุบัน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับความดันน้ำในชั้นทรายชั้นต่างๆ ที่วางตัวอยู่ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 20 เมตร ลงไปจนถึงความลึก 70 เมตร ซึ่งเป็นความลึกของเสาเข็มที่ใช้งานในกรุงเทพฯ หยั่งถึง โดยมีระดับความดันน้ำสูงกว่าประมาณ 1-2 เมตร(กรมทรัพยากรน้ำบาดาล,2555 จาก นพดล เพียรเวช งานปฐพีแห่งชาติ) และมีการประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ติดตั้งในชั้นดินกรุงเทพฯชั้นในและชั้นนอกที่มีดินทรายเป็นส่วนใหญ่ พบว่าถ้าระดับความดันน้ำใต้ดินสูงขึ้นเกือบถึงระดับผิวดิน จะส่งผลให้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มฐานรากอาคารที่ก่อสร้างไว้ในปี พ.ศ.2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้าโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาพฤติกรรมของเสาเข็มในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ เนื่องจากผลกระทบของน้ำใต้ดิน ได้แก่ ค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งจะช่วยให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงซึ่งจะเป็นแนวทางให้สามารถพิจารณาการออกแบบฐานรากในอนาคตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของเสาเข็มเดี่ยวที่ได้รับผลกระทบจากน้ำใต้ดิน
2. เพื่อประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เนื่องจากผลกระทบการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษาการเคลื่อนตัวของชั้นดินและเสาเข็ม (Soil Movement) ระบบการกระจายความเค้นในเสาเข็ม (Stress Distribution) และประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Capacity) เมื่อระดับน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้นในชั้นดินกรุงเทพฯและปริมณฑล โดยได้กำหนดเสาเข็มเดี่ยวขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ได้แก่ เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.6 ลีกร 22 เมตร และเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 ลีกร 55 เมตร ที่ติดตั้งในชั้นดินกรุงเทพฯ ซึ่งใช้วิธีระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม PLAXIS 2D

1.4 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. การรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นและงานวิจัยในอดีต
2. การศึกษาสภาพอุทกธรณีวิทยาน้ำบาดาลและกลศาสตร์ของดินในพื้นที่ศึกษา
3. การทำแบบจำลอง Finite Element ระหว่าง Pore pressure /Stress
4. การเปรียบเทียบผลการทำแบบจำลองทางกลศาสตร์ของดินและเสาเข็มเดี่ยว
5. การวิเคราะห์ศึกษาผลกระทบต่อการรับแรงของเสาเข็มเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 ประวัติการตกตะกอน (Sedimentation) ของชั้นดินในพื้นที่ศึกษา

กรุงเทพมหานครและปริมณฑลตั้งอยู่บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง ซึ่งก่อเกิดในสมัย Pleistocene Epoch เมื่อผืนแผ่นดินบริเวณนี้มีการเคลื่อนตัว ทำให้เกิดกลุ่มรอยเลื่อน (Fault Zone) และเกิดการยุบตัว ครอบคลุมตั้งแต่จังหวัดนครสวรรค์ถึงอ่าวไทย จากข้อมูล Aeromagnetic และข้อมูลหลุมเจาะน้ำบาดาล พบว่าในปัจจุบันความหนาของดินตะกอนที่ทับบนชั้นหินฐาน มีความหนาประมาณ 500 - 2,000 ม.

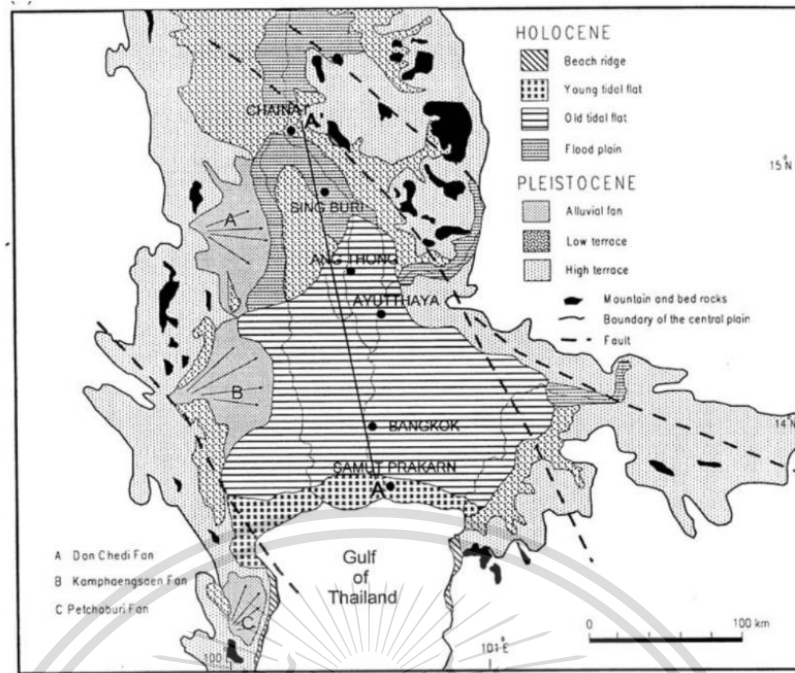
การเคลื่อนตัวของโครงสร้างธรณีวิทยาดังกล่าว ทำให้บริเวณแม่น้ำเจ้าพระยาและอ่าวไทยมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ มีมุมลาดไปทางทิศใต้และส่งผลกระทบต่อแนวการไหลของแม่น้ำสายโบราณในพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งเรียกว่าระบบแม่น้ำซุนดา (Sunda River System) และที่รู้จักในปัจจุบันได้แก่ แม่น้ำเจ้าพระยา และแม่น้ำท่าจีน เป็นต้น ในช่วงเวลาตั้งแต่สมัย Pleistocene Epoch ถึงสมัย Holocene Epoch ระบบแม่น้ำโบราณได้พัดพาตะกอนจากภูเขาทางทิศตะวันตกและทิศเหนือ มาทับถมบนชั้นหินฐานบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยารวมทั้งบริเวณอ่าวไทยในปัจจุบัน และเกิดเป็นดินดอนสามเหลี่ยมปากแม่น้ำรูปที่ 1 แสดงการกระจายตัวของดินตะกอนบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างซึ่งเกิดใน Quaternary Period และรูปที่ 2 แสดงภาพสามมิติของชั้นดินและชั้นหินฐานบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

การวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพน้ำและคุณสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นดินตะกอนที่ระดับความลึก 260 ถึง 300 ม. ซึ่งเกิดในสมัย Pleistocene Epoch สันนิษฐานได้ว่าชั้นดินตะกอนนี้ตกตะกอนในสภาวะแวดล้อมน้ำจืดและภูมิอากาศแห้งแล้ง ขนาดตะกอนประกอบด้วย กรวด ทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว และเมื่อพิจารณาชั้นดินในช่วงระดับความลึก 100 ถึง 400 ม. พบว่า อัตราส่วนความหนาของชั้นดินเหนียวต่อชั้นทรายและกรวดเท่ากับ 1:3 นอกจากนี้ชั้นทรายที่ระดับความลึก 20 ถึง 30 ม. รวมไปถึงชั้นทรายสลัดดินเหนียวถึงความลึกประมาณ 100 ม. เกิดจากการสะสมของตะกอนสมัย Pleistocene Epoch เช่นกันปลายสมัย Pleistocene Epoch เป็นช่วงเวลาที่เกิดภูเขาน้ำแข็งสูงสุดครั้งล่าสุด (Last Glacial Maximum (LGM)) ระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงทั่วโลก และลดลงเฉลี่ยประมาณ 116 ม. ต่ำกว่าระดับน้ำทะเลในปัจจุบัน (MSL) ส่งผลให้ผืนดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา รวมทั้งอ่าวไทยอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล และเป็นส่วนหนึ่งของแผ่นดินซุนดา (Sunda Land) ซึ่งเชื่อมเกาะบอร์เนียว (Borneo) ซา (Java) และ สุมาตรา (Sumatra) กับผืนทวีปเอเชีย โดยมีพื้นที่ประมาณ 2.37 ล้าน ตร.กม. หรือประมาณห้าเท่าของประเทศไทยในปัจจุบัน ในช่วงเวลาดังกล่าวภูมิอากาศมีสภาพแห้งแล้ง และเกิดการพองตัวของดิน และตะกอนถูกพัดพาไปโดยธารน้ำ ทำให้

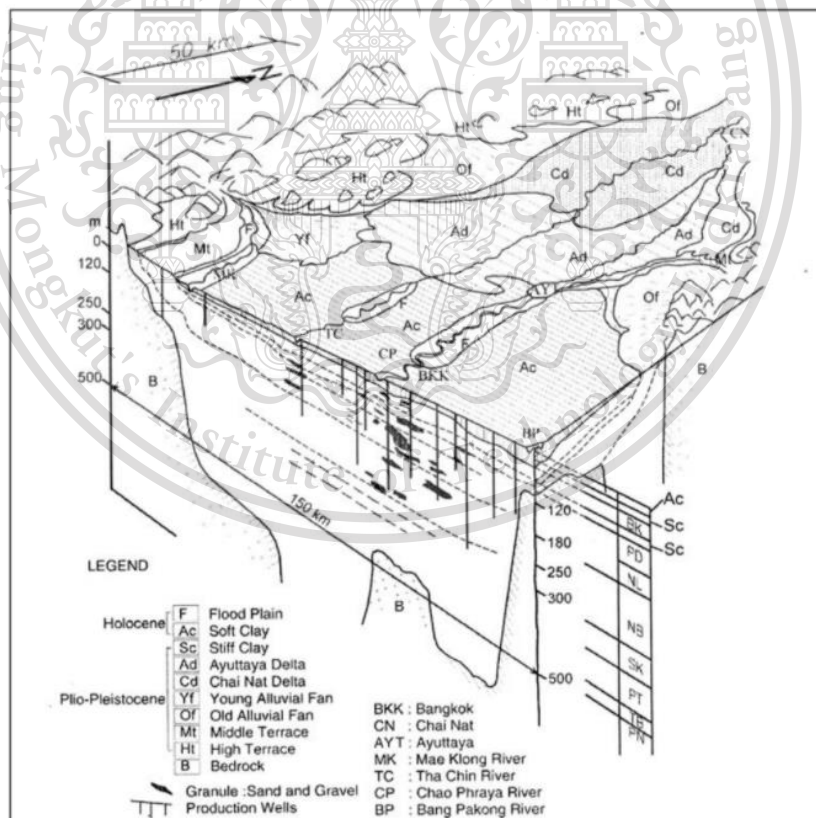
ไม่ต่ำกว่ากรณีใดเกิดเนินตะกอนน้ำพารูปพัด (Alluvial Fan) บริเวณพื้นที่ภาคกลางตอนล่างและอ่าวไทยซึ่งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 1 แผนที่ธรณีวิทยาแสดงตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Quaternary Period) บริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง



รูปที่ 2 ชั้นดินบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง

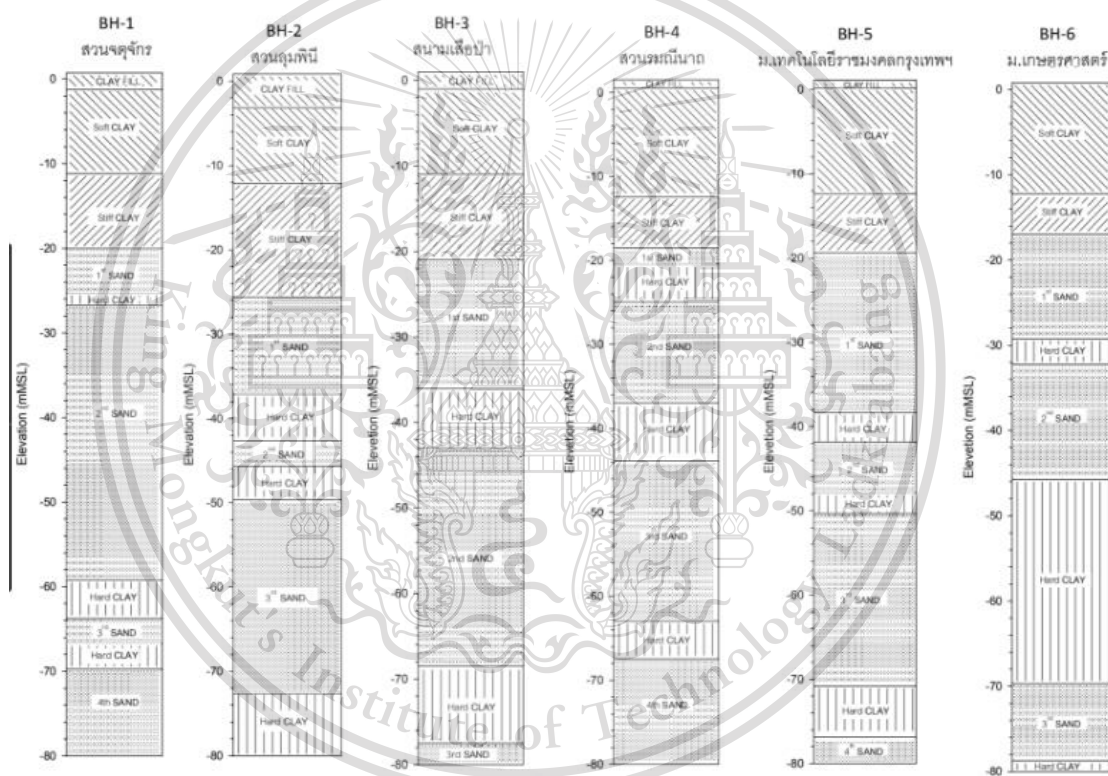
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 การแบ่งชั้นดิน (Subsoil Stratification) ในเขตพื้นที่ศึกษา

ผิวดินในบริเวณกรุงเทพฯ โดยทั่วไปปกคลุมด้วยดินเหนียว Weathered Clay และ/หรือ ดินถมหนาประมาณ 1 – 2 ม. ตามด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จนถึงความลึกประมาณ 12 - 15 ม. อยู่เหนือชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) จนถึงระดับความลึกประมาณ 20 - 25 ม. ตามด้วยชั้นดินทรายชั้นแรก (First Sand Layer) ซึ่งพบได้ถึงระดับความลึกประมาณ 30 – 40 ม. ถัดลงมาเป็นดินเหนียวแข็งมาก (Hard Clay) จนถึงความลึกประมาณ 40 - 45 ม. จะพบชั้นทรายชั้นที่สอง (Second Sand Layer) ลึกลงไปจนถึงระดับประมาณ 50 - 60 ม. ต่อจากนั้นไปจะเป็นชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นดินทราย ลงไปจนกระทั่งถึงความลึกประมาณ 500 - 2,000 ม. จึงจะถึงชั้นหินดาน (Bed Rock) ในชั้นดินหลัก (Major Subsoil Strata) ที่เป็นดินเหนียวบ่อยครั้งมีชั้นดินทราย หรือชั้นดินทรายมีชั้นดินเหนียวแทรกสลับหนาประมาณ 2 – 4 ม.



รูปที่ 3 ตัวอย่างระดับและชั้นดินหลัก (Major Subsoil Strata) ในบริเวณกรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

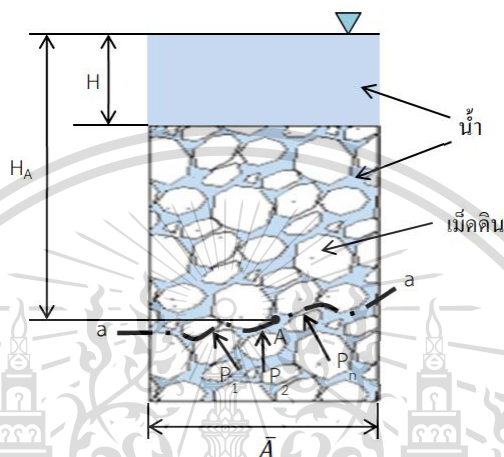
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 หน่วยแรงในมวลดิน

2.3.1 หน่วยแรงภายในมวลดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่มีการไหลซึมของน้ำ

ลักษณะภายในมวลดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำและไม่มีการไหลซึมของน้ำในทุกทิศทางสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 หากพิจารณารอยตัดตามแนว a - a เราสามารถคำนวณหาหน่วยแรงรวมที่เกิดขึ้นได้จากหน่วยน้ำหนักของน้ำและหน่วยน้ำหนักของดินที่อยู่บนรอยตัด a - a ได้ดังนี้

$$\sigma = H \cdot \gamma_w + (H_A - H) \cdot \gamma_{sat} \quad (2.1)$$



รูปที่ 4 หลักการของหน่วยแรงประสิทธิผล

โดยที่ γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำ

γ_{sat} = หน่วยน้ำหนักของดินอิ่มตัวด้วยน้ำ

H = ระดับความสูงของน้ำวัดจากผิวดิน

H_A = ระดับความสูงของน้ำวัดจากจุด A

หน่วยแรงทั้งหมดที่คำนวณได้จากสมการที่ 2.1 จะถูกต้านทานโดยหน่วยแรงภายในที่เกิดขึ้นจากส่วนประกอบของดินดังนี้

หน่วยแรงส่วนแรกจะถูกต้านทานโดยน้ำที่อยู่ภายในช่องว่างของมวลดิน การส่งถ่ายแรงจะกระทำผ่านน้ำที่อยู่ในช่องว่างที่อยู่ติดกันอย่างต่อเนื่อง โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นจะมีขนาดเท่ากันในทุกทิศทาง

หน่วยแรงที่เหลือจากหน่วยแรงส่วนแรกจะถูกต้านทานโดยเม็ดดิน การส่งผ่านแรงจะกระทำผ่านจุดสัมผัสระหว่างเม็ดดินที่อยู่ติดกันในแนวตั้งฉากกับผิวสัมผัส ผลรวมของแรงประกอบในแนวตั้งหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของมวลดิน จะเรียกว่าหน่วยแรงประสิทธิผล (Effective Stress) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\sigma' = \frac{P_{1(v)} + P_{2(v)} + \dots + P_{n(v)}}{\bar{A}} \quad (2.2)$$

โดยที่ $P_{1(v)}, P_{2(v)}, \dots, P_{n(v)}$ คือแรงประกอบในแนวตั้งของแรง P_1, P_2, \dots, P_n ตามลำดับและ \bar{A} คือพื้นที่หน้าตัดของมวลดินที่พิจารณา

กำหนดให้ $a_s = a_1 + a_2 + \dots + a_n$ เมื่อ a_1, a_2, \dots, a_n เป็นพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเม็ดดินที่แรง P_1, P_2, \dots, P_n กระทำ จะได้พื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำที่เหลืออยู่เท่ากับ $\bar{A} - a_s$ ดังนั้นจะได้

$$\sigma = \sigma' + \frac{u(\bar{A} - a_s)}{\bar{A}} = \sigma' + u\left(1 - \frac{a_s}{\bar{A}}\right) \quad (2.3)$$

เนื่องจากค่าของ a_s มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ \bar{A} ดังนั้นอัตราส่วน $\frac{a_s}{\bar{A}}$ จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สมการที่ 2.3 สามารถลดรูปได้ดังนี้

หรือ

$$\sigma = \sigma' + u$$

$$\sigma' = \sigma - u$$

โดยที่ $u = H_A \cdot \gamma_w =$ แรงดันน้ำในโพรง (Pore Water Pressure)

แทนค่าสมการ 2.1 ในสมการ 2.4 จะได้

$$\begin{aligned} \sigma' &= H \cdot \gamma_w + (H_A - H) \cdot \gamma_{sat} - H_A \cdot \gamma_w \\ &= (H_A - H) \cdot (\gamma_{sat} - \gamma_w) \\ \sigma' &= H' \cdot \gamma_{sat} \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่ H' คือ ความหนาของชั้นดินถึงจุดที่พิจารณา

จากสมการที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าหน่วยแรงประสิทธิผลไม่ขึ้นกับความลึกของระดับน้ำที่อยู่เหนือผิวดิน

2.3.2 หน่วยแรงภายในมวลที่อิ่มตัวด้วยน้ำและมีการไหลซึมของน้ำ

การไหลซึมของน้ำภายในมวลดินส่งผลต่อหน่วยแรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นภายในมวลดิน หน่วยแรงประสิทธิผลจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลซึมของน้ำ ซึ่งสามารถแยก

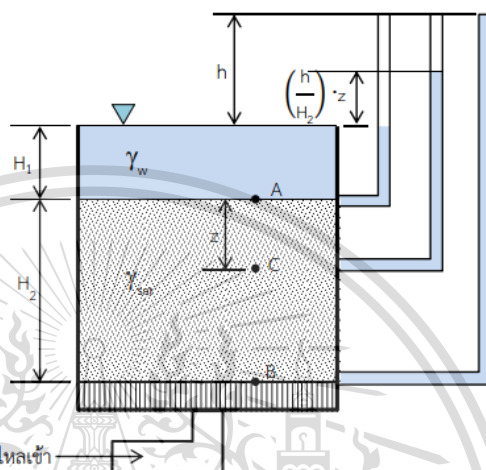
พิจารณาได้เป็น 2 กรณีคือการไหลซึมของน้ำในทิศทางขึ้นข้างบนการไหลซึมของน้ำในทิศทางลงข้างล่าง ซึ่งมีรายละเอียดในการวิเคราะห์ดังนี้และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1) การไหลซึมของน้ำในทิศทางขึ้นข้างบน

การวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผลของมวลดินในกรณีที่น้ำไหลซึมข้างบนสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 5 จากรูปจะเห็นว่าน้ำจะไหลจากท่อส่งน้ำด้านล่างขึ้นสู่ผิวดิน เนื่องจากเฮดทั้งหมดที่ผิวดินด้านล่างมีค่ามากกว่าเฮดทั้งหมดที่ผิวดินด้านบน (พิจารณาจากความสูงของน้ำในหลอดวัดความดัน) การสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นระหว่างจุด A และจุด B มีค่าเท่ากับ h หน่วยแรงที่จุด A และจุด B สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 5 ลักษณะชั้นดินกรณีน้ำไหลซึมขึ้นข้างบน

พิจารณาจุด A :

- หน่วยแรงทั้งหมด $\sigma_A = H_1 \cdot \gamma_w$
- แรงดันน้ำในโพรง $u_A = H_1 \cdot \gamma_w$
- หน่วยแรงประสิทธิผล $\sigma'_A = \sigma_A - u_A = 0$

พิจารณาจุด B :

- หน่วยแรงทั้งหมด $\sigma_B = H_1 \cdot \gamma_w + H_2 \cdot \gamma_{sat}$
- แรงดันน้ำในโพรง $u_B = (H_1 + H_2 + h) \cdot \gamma_w$
- หน่วยแรงประสิทธิผล $\sigma'_B = \sigma_B - u_B$

$$= (H_1 \cdot \gamma_w + H_2 \cdot \gamma_{sat}) - (H_1 + H_2 + h) \cdot \gamma_w$$

$$= H_2 (\gamma_{sat} - \gamma_w) - h \cdot \gamma_w$$

$$\sigma'_B = H_2 \cdot \gamma_{sat} - h \cdot \gamma_w$$

พิจารณาจุด C :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$\text{- แรงดันน้ำในโพรง } u_c = \left(H_1 + z + \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot z \right) \cdot \gamma_w$$

$$\begin{aligned} \text{- หน่วยแรงประสิทธิผล } \sigma_c' &= \sigma_c - u_c \\ &= \left(H_1 \cdot \gamma_w + z \cdot \gamma_{sat} \right) - \left(H_1 + z + \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot z \right) \cdot \gamma_w \\ &= z \left(\gamma_{sat} - \gamma_w \right) - \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot z \cdot \gamma_w \\ \sigma_c' &= z \cdot \gamma_{sub} - \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot z \cdot \gamma_w \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดยที่ h/H_2 คือ ความลาดชลศาสตร์ (i) ที่เกิดจากการไหลของน้ำ ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ 2.7 ได้ดังนี้

$$\sigma_c' = z \cdot \gamma_{sub} - i \cdot z \cdot \gamma_w \quad (2.7)$$

พิจารณาสมการที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าสำหรับมวลดินใดๆ ค่าหน่วยแรงประสิทธิผลของดินจะขึ้นอยู่กับค่าความลาดชลศาสตร์ (เนื่องจากค่า z และค่าหน่วยน้ำหนักดินและน้ำมีค่าคงที่สำหรับดินใดๆ) หากค่าความลาดทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าๆ หนึ่งจะพบว่าหน่วยแรงประสิทธิผลมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งจะทำให้มวลดินอยู่ในสถานะไม่มีเสถียรภาพ ค่าความลาดชลศาสตร์สูงสุดนี้เรียกว่าค่าความลาดชลศาสตร์วิกฤต (Critical Hydraulic Gradient) สามารถหาได้จากสมการ

$$i_{cr} = \gamma_{sub} / \gamma_w \quad (2.8)$$

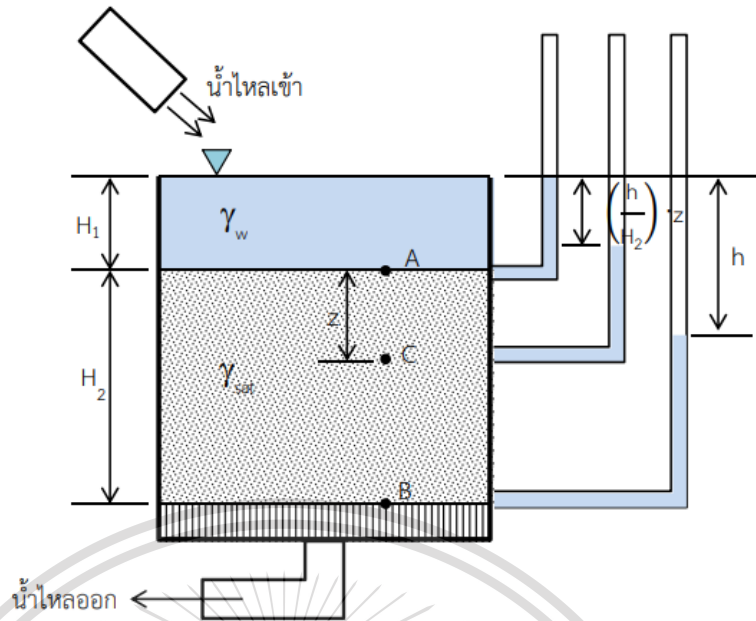
1) การไหลซึมของน้ำในทิศทางลงข้างล่าง

การวิเคราะห์หน่วยแรงประสิทธิผลของมวลดินในกรณีที่น้ำไหลซึมลงข้างล่างสามารถพิจารณาได้จาก รูปที่ 6 จากรูปจะเห็นว่าน้ำจะไหลจากผิวดินด้านบนลงด้านล่าง เนื่องจากเฮดทั้งหมดที่ผิวดินด้านบนมีค่ามากกว่าเฮดทั้งหมดที่ผิวดินด้านล่าง (พิจารณาจากความสูงของน้ำในหลอดวัดความดัน) การสูญเสียเฮดที่เกิดขึ้นระหว่างจุด A และจุด B มีค่าเท่ากับ h หน่วยแรงที่จุด C สามารถวิเคราะห์ได้ในทำนองเดียวกันกับการไหลซึมของน้ำในทิศทางขึ้นข้างบน นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 6 ลักษณะชั้นดินกรณีน้ำไหลซึมลงข้างล่าง

พิจารณาจุด C :

-หน่วยแรงทั้งหมด $\sigma_c = H_1 \cdot \gamma_w + Z \cdot \gamma_{sat}$

-แรงดันน้ำในโพรง $u_c = \left(H_1 + Z - \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot Z \right) \cdot \gamma_w$

-หน่วยแรงประสิทธิผล $\sigma'_c = \sigma_c - u_c$

$$= (H_1 \cdot \gamma_w + Z \cdot \gamma_{sat}) - \left(H_1 + Z - \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot Z \right) \cdot \gamma_w$$

$$= Z(\gamma_{sat} - \gamma_w) + \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot Z \cdot \gamma_w$$

$$= Z \cdot \gamma_{sub} + \left(\frac{h}{H_2} \right) \cdot Z \cdot \gamma_w$$

$$\sigma'_c = Z \cdot \gamma_{sub} + i \cdot Z \cdot \gamma_w \quad (2.9)$$

พิจารณาสมการที่ 2.9 พบว่าในกรณีที่น้ำไหลซึมลงข้างล่างมวลดินจะไม่เกิดสภาวะไม่มี

เสถียรภาพ (หน่วยแรงประสิทธิผลมีค่าเท่ากับศูนย์) เหมือนกับกรณีที่น้ำไหลซึมขึ้นข้างบน ดังนั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ความลาดชันศาสตร์วิกฤตจะไม่มีสำหรับการไหลซึมลงข้างล่าง ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

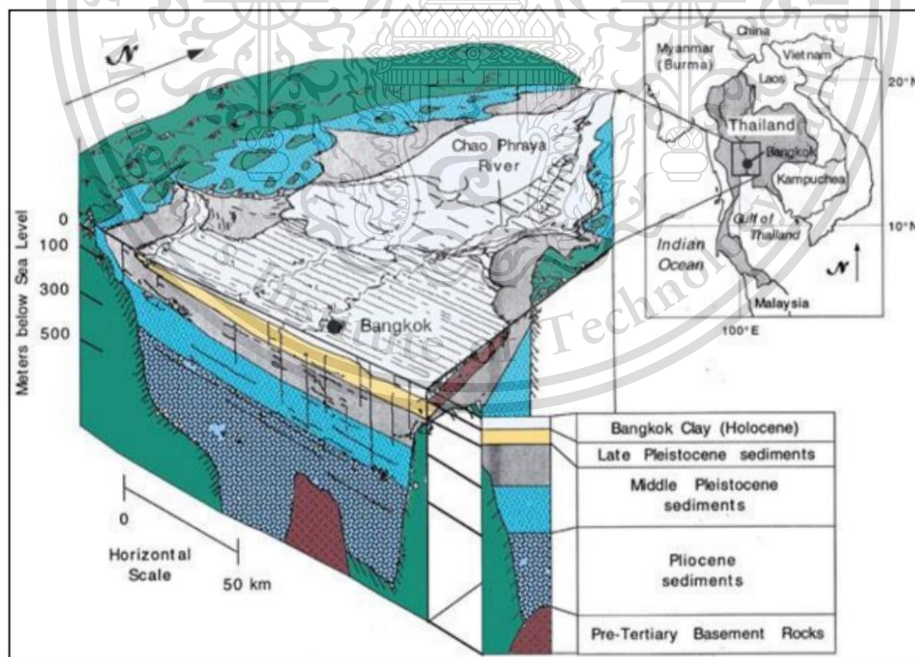
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 สภาพแหล่งน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

กรุงเทพมหานครและปริมณฑลตั้งอยู่ในที่ราบลุ่มเจ้าพระยาตอนล่าง ได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่วิกฤตน้ำบาดาล ประกอบด้วยจังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี สมุทรปราการ สมุทรสาคร นครปฐมพระนครศรีอยุธยา และจังหวัดปทุมธานี ชั้นน้ำบาดาลพบอยู่ในชั้นกรวดทรายที่วางเป็นชั้น ซึ่งแต่ละชั้นมีชั้นดินเหนียวคั่นกลาง ชั้นน้ำบาดาลมีการแผ่ขยายไปทางทิศเหนือถึงจังหวัดชัยนาท ด้านทิศตะวันตกและตะวันออกของกรุงเทพฯ (รูปที่ 7) จากขอบแอ่งเจ้าพระยาและด้านทิศใต้จรดอ่าวไทย จากข้อมูลหลุมเจาะบ่อบาดาลทั้งภาครัฐและเอกชน รวมทั้งการเจาะสำรวจปิโตรเลียมในเขตท้องที่ ภาษีเจริญ ลึกถึง 1,830 เมตร สามารถจำแนกชั้นน้ำบาดาลออกเป็น 8 ชั้น ดังแสดงรูปที่ 8 ได้แก่

1. ชั้นน้ำกรุงเทพ	ความลึกประมาณ	50	เมตร
2. ชั้นน้ำพระประแดง	ความลึกประมาณ	100	เมตร
3. ชั้นน้ำนครหลวง	ความลึกประมาณ	150	เมตร
4. ชั้นน้ำนนทบุรี	ความลึกประมาณ	200	เมตร
5. ชั้นน้ำสามโคก	ความลึกประมาณ	300	เมตร
6. ชั้นน้ำพญาไท	ความลึกประมาณ	350	เมตร
7. ชั้นน้ำธนบุรี	ความลึกประมาณ	450	เมตร
8. ชั้นน้ำปากน้ำ	ความลึกประมาณ	550	เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยเท่านั้น ภาพตัดขวางพื้นที่กรุงเทพมหานคร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชั้นน้ำกรุงเทพ เป็นชั้นน้ำบนสุดและส่วนบนสุดปกคลุมด้วยดินเหนียวกรุงเทพฯ (Bangkok clay) ซึ่งมีความหนาเฉลี่ยประมาณ 22 เมตร ชั้นน้ำประกอบด้วยกรวดทรายและมีชั้นดินเหนียวบางๆ แทรกอยู่บ้าง ชั้นน้ำหนาประมาณ 20-30 เมตร ชั้นน้ำกรุงเทพมีปริมาณน้ำมากแต่คุณภาพไม่เหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์ ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำกร่อยหรือน้ำเค็ม ยกเว้นบริเวณพื้นที่ตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานครที่จะมีน้ำกร่อยพอใช้ได้แทรกอยู่ในระดับ 50-60 เมตร

ชั้นน้ำพระประแดง เป็นชั้นน้ำที่อยู่ถัดจากชั้นน้ำกรุงเทพลงไปโดยถูกคั่นด้วยดินเหนียวเนื้อแน่นสีน้ำตาลอมเทา ความหนาไม่น้อยกว่า 10 เมตร ซึ่งเป็นชั้นดินเหนียวหนามากมีชั้นทรายบางๆ แทรกอยู่ด้วย ระดับบนสุดของชั้นน้ำอยู่ที่ระดับความลึกประมาณ 60-80 เมตร ความหนาประมาณ 20-50 เมตร ประกอบด้วยกรวดทรายเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่คละกั้นสีขาวอมเทาหรือสีน้ำตาลอ่อน และมีชั้นดินเหนียวบางๆ แทรกอยู่ คุณภาพน้ำกร่อยถึงเค็มเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นบริเวณอำเภอพระประแดง อำเภอเมืองสมุทรปราการ และบริเวณฝั่งธนบุรีตอนใต้ ที่แต่เดิมให้น้ำจืด แต่ปัจจุบันน้ำจืดได้เปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ เป็นน้ำกร่อยและบางแห่งเป็นน้ำเค็ม

ชั้นน้ำนครหลวง เป็นชั้นน้ำที่อยู่ถัดจากชั้นน้ำพระประแดงลงไป โดยมีดินเหนียวเนื้อแน่นสีน้ำตาลหนาประมาณ 3-10 เมตรกั้นอยู่ ระดับความลึกถึงระดับบนสุดของชั้นน้ำอยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 100-140 เมตร ทางด้านตะวันออกลึกไม่ถึง 90 เมตร ชั้นน้ำหนา 50-70 เมตร เป็นชั้นน้ำประกอบด้วยกรวดทรายแผ่ขยายออกในแนวเหนือ-ใต้จนถึงจังหวัดชัยนาท และแผ่ขยายออกไปทางตะวันออก ตะวันตก ชั้นน้ำนครหลวงเป็นชั้นน้ำที่มีการสูบน้ำขึ้นมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำที่ดี ยกเว้นบริเวณฝั่งธนบุรีและทางตอนใต้กรุงเทพมหานคร ที่ได้น้ำกร่อยถึงเค็ม บ่อที่เจาะลึกถึงชั้นน้ำนครหลวง สามารถสูบน้ำได้ในอัตรา 100 - 300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ชั้นน้ำนนทบุรี (ความลึก 200 เมตร) ชั้นน้ำนนทบุรีมีสภาพทางอุทกธรณีวิทยาคล้ายคลึงกับชั้นน้ำนครหลวง ประกอบด้วย กรวด ทราย และมีชั้นดินเหนียวบางๆ แทรกอยู่ ชั้นดินเหนียวที่คั่นอยู่บางตอนยอมให้น้ำไหลซึมผ่านได้ ระดับความลึกของชั้นน้ำจากผิวดินประมาณ 170:200 เมตร ทางด้านตะวันออกของกรุงเทพฯ อาจจะลึกประมาณ 150 เมตร ความหนาของชั้นน้ำประมาณ 30-70 เมตร ปริมาณน้ำสามารถสูบได้ถึง 150-300 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ชั้นน้ำสามโคก (ความลึก 300 เมตร) ระดับบนสุดของชั้นน้ำพบที่ประมาณ 240-250 เมตร ความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 40:80 เมตร ลักษณะของชั้นน้ำประกอบไปด้วยชั้นทรายบางๆ หลายชั้นวางตัวเรียงสลับกันลงไป โดยมีชั้นดินเหนียวแทรกสลับอยู่กลาง บ่อน้ำบาดาลส่วนใหญ่ที่เจาะในชั้นน้ำนี้จะอยู่บริเวณเหนือจังหวัดนนทบุรี จนถึงจังหวัดปทุมธานี คุณภาพน้ำใกล้เคียงกับชั้นน้ำนนทบุรี แต่ปริมาณน้ำจะน้อยกว่า

ชั้นน้ำพญาไท (ความลึก 350 เมตร) ชั้นน้ำพญาไทมีลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเหมือนกับชั้นน้ำสามโคก คือประกอบด้วยชั้นทรายบางๆ หลายๆ ชั้น และมีชั้นดินเหนียวแทรกอยู่ โดยแยกจากกันด้วยชั้นดินเหนียวเนื้อแน่นประมาณ 5-10 เมตร ระดับบนสุดของชั้นน้ำอยู่ลึกประมาณ 275-350

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

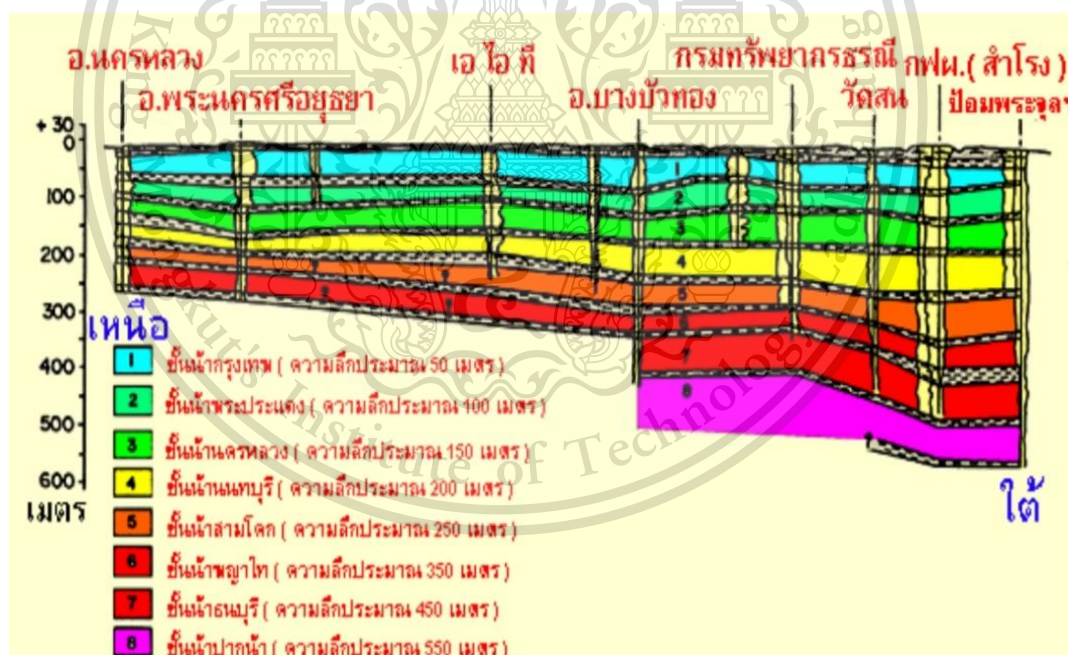
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมตร ชั้นน้ำหนาประมาณ 40-60 เมตร มีแหล่งน้ำจืดเฉพาะด้านเหนือ ตะวันออก และตะวันตกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานครและน้ำเค็มด้านใต้ของเขตธนบุรี

ชั้นน้ำธนบุรี (ความลึก 450 เมตร) ชั้นน้ำธนบุรีวางตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำพญาไท โดยมีชั้นดินเหนียวคั่นอยู่ ชั้นดินเหนียวดังกล่าวบางแห่งหนาถึง 30 เมตร แต่บางแห่งหนาประมาณ 1 เมตร เท่านั้น ระดับบนสุดของชั้นน้ำอยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 350-400 เมตร ชั้นน้ำประกอบด้วยทรายหนาๆ อย่างน้อย 3 ชั้น แต่ละชั้นมีชั้นดินเหนียวแทรกอยู่ ความหนาของชั้นน้ำรวมกันประมาณ 50-100 เมตร ชั้นน้ำบาดาลในชั้นน้ำธนบุรี ส่วนใหญ่เป็นน้ำจืดหรือค่อนข้างจืด เว้นแต่บริเวณด้านตะวันตกหรือตะวันตกเฉียงใต้ของฝั่งธนบุรี ซึ่งจะได้น้ำกร่อยถึงเค็ม

ชั้นน้ำปากน้ำ (ความลึก 550 เมตร) ชั้นน้ำปากน้ำเป็นชั้นน้ำที่ลึกที่สุด ให้น้ำจืดอยู่ทุกบริเวณ เป็นชั้นน้ำที่ประกอบด้วยชั้นทรายหนาๆ ไม่น้อยกว่า 3 ชั้น ทรายชั้นล่างสุด (ประมาณ 550 เมตรลงไป) จะให้คุณภาพน้ำดีที่สุด ระดับบนสุดของชั้นน้ำอยู่ลึกจากผิวดินประมาณ 420-500 เมตร ในปัจจุบันได้มีโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่เจาะบ่อและสูบน้ำจากชั้นน้ำชั้นนี้ โดยเฉพาะในบริเวณที่ชั้นน้ำระดับตื้นกว่าให้น้ำเค็ม เช่น บริเวณอำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ บ่อสามารถสูบน้ำได้มากกว่า 45 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และเป็นชั้นน้ำที่ให้น้ำร้อนอุณหภูมิ 48 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8 แสดงชั้นน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล (กรมทรัพยากรธรณี, 1979)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำของชั้นน้ำพระประแดง ในพื้นที่มุ่งเน้นศึกษาบริเวณ กรุงเทพฯ

กรุงเทพฯ เป็นมหานครขนาดใหญ่แห่งหนึ่งของโลก ที่มีข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์และธรณีวิทยา ตั้งอยู่ในพื้นที่ราบต่ำของกลุ่มเจ้าพระยาตอนล่างติดอ่าวไทย ระดับความสูงของผิวดิน อยู่ปริมาตรระดับน้ำทะเล (เพียง -1.0 ถึง +1.0 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง) และได้พื้นดินชั้นแรกเป็นดินเหนียวอ่อนจากการตกตะกอนปากแม่น้ำ หนาถึง 10-12 เมตร ปกคลุมอยู่ทั่วพื้นที่ ดังนั้น กรุงเทพฯ จึงต้องประสบ และมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดสภาพน้ำท่วม และการทรุดตัวของพื้นดิน อาคารบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ จากการยุบตัวของชั้นดินอ่อน โนติคดีที่ผ่านมา ช่วง 40-15 ปี ก่อน พื้นที่กรุงเทพฯ ต้องประสบกับสภาพ แผ่นดินทรุดตัวอย่างรุนแรง อันเป็นผลสืบเนื่องจากการเติบโตของเมือง ที่มีการก่อสร้าง และถมดินสร้าง อาคารและถนนหนทางเพิ่มน้ำหนักกดบนชั้นดินอ่อน แต่สาเหตุหลักที่สำคัญกว่าคือการสูบน้ำบาดาลจากชั้นทรายที่เป็นชั้นน้ำบาดาล ในพื้นที่ กรุงเทพฯ ที่มีอยู่หลายชั้นสลับกับชั้นดินเหนียวแข็ง ที่ระดับความลึกประมาณ 75-225 เมตร ขึ้นมาใช้อย่างมากเกินควร ทำให้ความดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลและชั้นดินเหนียวที่ประกบอยู่ ลดลงมากและรวดเร็ว จึงเกิดการยุบตัวของชั้นดินในช่วงความลึกดังกล่าวขึ้นมาถึงผิวดิน ส่งผลให้เกิดสภาพแผ่นดิน กรุงเทพฯ ทรุดตัวเป็นบริเวณกว้างทั่วเมือง จากข้อมูลการตรวจวัดการทรุดตัว พบว่า ในปี 1980 เมื่อเกือบ 40 ปีก่อน สภาพการทรุดตัวของแผ่นดินได้เกิดขึ้นมากถึง 120 มิลลิเมตรต่อปี ในบริเวณพื้นที่ ซีกตะวันออกของเมืองกรุงเทพฯ ตอนนั้น ได้แก่บริเวณ ย่าน บางนา รามคำแหง และบางกะปิ ซึ่งในช่วงเวลานั้น พื้นที่ย่านดังกล่าวมีการเติบโตอย่างมากทั้งด้านบ้านเรือนและอุตสาหกรรม อัตราการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในช่วงนั้น สูงถึงกว่า 1.2 ล้าน ลูกบาศก์เมตร ต่อวันทำให้เกิดสภาพระดับน้ำในชั้นน้ำบาดาลลดต่ำลงอยู่ที่ ระดับความลึกประมาณ 45-55 เมตร ได้ผิวดิน จากเดิมประมาณว่า น่าจะอยู่ใกล้ผิวดิน (สภาพ Hydrostatic Groundwater Pressure)

การเกิดวิกฤตการณ์แผ่นดินทรุดตัวจากผลของการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากเกินไป ดังกล่าว ซึ่งเป็นภัยทางธรณีที่ประสบกับหลายเมืองใหญ่ในโลกมาก่อนเช่นกัน อาทิเช่น โตเกียว โอซากา นาโงยา ไทเป เม็กซิโกซิตี ฯลฯ ได้สร้างปัญหาแผ่นดินจมลงในกรุงเทพฯ เกิดสภาพน้ำท่วมเมืองง่ายขึ้น ระบบกำแพงป้องกันน้ำและคลองระบายน้ำท่วมด้อยประสิทธิภาพลง ปัญหาการทรุดตัวแตกร้าวของถนนหนทางและอาคารที่วางอยู่บนฐานรากลึกไม่เท่ากัน ปัญหาการเกิดแรงดูดจากดินที่ยุบตัวลงบนเสาเข็มฐานรากอาคาร (Negative Skin Friction) ทำให้เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกมากขึ้น ซึ่งจากผลการสำรวจศึกษาและวิเคราะห์ในรายละเอียด เมื่อปี 1981 โดย AIT ที่ทำเสนอต่อสำนักงานสิ่งแวดล้อมแห่งชาติในขณะนั้น ได้ชี้ชัดสาเหตุหลัก มาจากผลพวงของการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้มากเกินไป ดังนั้นทางรัฐบาลในปี 1984 จึงได้ออกมาตรการแก้ไขอย่างเร่งด่วน โดยสั่งให้การประปานครหลวง วางแผนเร่งการยกเลิกการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ผลิตน้ำประปาในพื้นที่ส่วนใหญ่ของกรุงเทพฯ และไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ลดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ ปริมาณพลโดยรวมกลับคงเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องจากผลการขยายตัวของเมืองและจำนวนประชาชนอย่าง

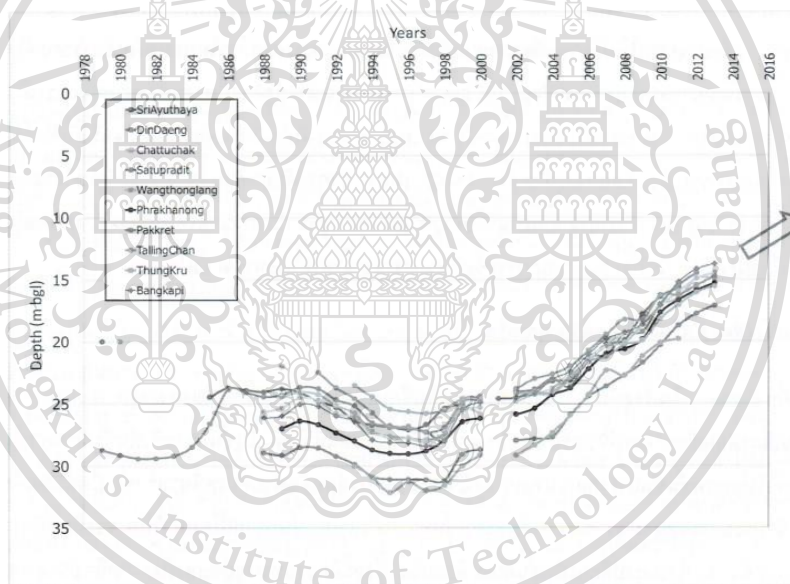
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ก้าวกระโดดในช่วงเวลานั้น เป็นผลให้ระดับความดันน้ำบาดาลในพื้นที่แอ่งกรุงเทพฯ ยังคงลดลงต่อพร้อมกับสภาพแผ่นดินทรุดตัวที่ได้หยุดลงตามการสิ้นสุดไปของการสูบน้ำบาดาลในเขตพื้นที่ส่วนกรุงเทพฯ จนกระทั่งปลายทศวรรษที่ 1900 จากข้อมูลการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดินในชั้นน้ำบาดาล พระประแดง ที่ระดับความลึก 75-125 เมตร ใต้ผิวดิน ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ในพื้นที่บริเวณต่างๆ ของกรุงเทพฯ จะเห็นว่า ในบริเวณพื้นที่ส่วนใหญ่ของกรุงเทพฯ ระดับน้ำบาดาลได้เกิดสภาพลดลงต่ำสุดในช่วงระหว่างปี 1995-1997 หลังจากนั้นจึงค่อยๆ กลับเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี จนถึงราวปี 2003 ซึ่งช่วงเวลาต่อจากนั้นเป็นต้นมา การสูบน้ำบาดาลในพื้นที่ส่วนใหญ่และรอบกลางของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้ยุติเกือบหมด เพราะระบบประปาเข้าถึงเกือบทั่วพื้นที่และรัฐได้ออกกฎหมายแนะนำให้ใช้น้ำบาดาลอย่างเด็ดขาดในพื้นที่บริการของการประปาและยังมีการปรับเพิ่มค่าใช้น้ำบาดาลสูงขึ้นอย่างก้าวกระโดด ทำให้ปริมาณการสูบน้ำบาดาลต่อจากนั้นเกิดลดลงอย่างรวดเร็ว จากปริมาณสูงสุดถึง 2.3 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปี 1997-2003 เหลือเพียงราว 1.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในปี 2008 ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดสภาพระดับน้ำใต้ดินในชั้นน้ำบาดาลยกตัวสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งในปี 2016 ข้อมูลตรวจวัดชี้ว่า ในหลายพื้นที่ของกรุงเทพมหานคร อัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาลอยู่ที่ราวประมาณ 0.9-1.0 เมตร/ปี จากที่ก่อนหน้านี้ในปี 1997 ระดับน้ำบาดาลในชั้นทรายต่างๆ ในช่วงระดับความลึก 20-100 เมตร อยู่ที่ประมาณ 25-30 เมตร ลึกลงจากผิวดินกลายเป็น 12-13 เมตรลึกจากผิวดิน (ปี 2017) ตามข้อมูลตรวจวัดในโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสีส้ม และแนวโน้มยังคงสูงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ โดยคาดว่าภายในปี 2030 ระดับน้ำในชั้นทรายใต้กรุงเทพฯ จะกลับสูงขึ้นมาถึงระดับผิวดิน

ในอดีตการลดลงของความดันน้ำบาดาลในชั้นทรายใต้พื้นที่กรุงเทพฯ ถึงกับทำให้เกิดสภาพชั้นทรายชั้นแรกที่ระดับความลึก 20-30 เมตร เกิดน้ำแห้ง อันเป็นผลดีในแง่งานวิศวกรรมฐานราก เพราะกำลังของดินซึ่งจะแปรผกผันกับความดันน้ำในดินจะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของความดันน้ำใต้ดิน นอกจากนั้นสภาพความดันน้ำใต้ดินต่ำ ทำให้แรงยกขึ้นของน้ำใต้ดินที่กระทำต่อโครงสร้างใต้ดินที่วางอยู่ในชั้นทรายเป็นผลให้เสถียรภาพโครงสร้างดีขึ้น นอกจากนั้นในงานขุดดินที่ระดับลึกเพื่อก่อสร้างฐานราก หรือห้องใต้ดินอาคารต่างๆ จนถึงชั้นทราย นั้นมีความง่ายในการดำเนินการเพราะไม่เกิดสภาพน้ำไหลเข้าบ่อขุด ทำให้ชั้นดินใต้พื้นขุดไม่ประสบปัญหาเสถียรภาพจากน้ำไหลเซาะหรือยกพื้นขุดขึ้น ดังเช่นที่ประสบในการทำงานก่อสร้างในเมืองอื่นๆ ที่ระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง แต่ปัจจุบันนี้ ข้อดีของสภาพความดันน้ำใต้ดินต่ำในชั้นดินฐานรากในงานอาคารในกรุงเทพฯ ได้สิ้นสุดแล้ว การเกิดสภาพระดับน้ำใต้ดินยกกลับสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะนี้ ได้สร้างปัญหาในงานก่อสร้างใต้ดินในพื้นที่กรุงเทพฯ อย่างมากอย่างไม่เคยประสบมาก่อน ดังเช่นปัญหาที่เกิดขึ้นจากน้ำใต้ดินสูง ในงานขุดดินก่อสร้างสถานีใต้ดินในโครงการรถไฟฟ้าใต้ดินสายสีน้ำเงินส่วนต่อขยาย การวางแผนออกแบบก่อสร้างสถานีใต้ดินของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มฝั่งตะวันออก และการออกแบบก่อสร้างชั้นห้องใต้ดินขนาดลึกของอาคารสูงในโครงการต่างๆ ในกรุงเทพฯ นอกจากนั้น ยังก่อให้เกิดปัญหาการลดลงของเสถียรภาพฐานรากเสาเข็มอาคารและห้องใต้ดิน ที่วางอยู่ลึกถึงชั้นทราย เพราะฐานอาคารต่างๆ ที่ได้

ทำการก่อสร้างไว้ ในช่วงเวลาก่อนหน้านี้สภาพน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำ จากผลการสูบน้ำบาดาลในอดีต ปัจจุบันความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกในเสาเข็มจะลดลงได้อย่างมาก เพราะกำลังรับแรงเฉือนของชั้นดินลดลง โดยเฉพาะในกรณีที่ระดับน้ำใต้ดินกลับสูงขึ้นถึงผิวดิน ซึ่งได้สร้างความกังวลต่อผู้ที่เกี่ยวข้อง เป็นวงกว้างเมื่อ 18 ปีก่อน ดร.นพดล ได้เคยให้ความเห็นจากการประเมินวิเคราะห์คร่าวๆ ในงานบรรยายเรื่องแผ่นดินกรุงเทพฯทรุดตัว ของสมาคมวิศวกรรมสถานฯ เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดปัญหาเสถียรภาพของฐานรากอาคารในกรุงเทพฯต่อการยกกลับขึ้นของระดับน้ำใต้ดินจากผลการควบคุมการสูบน้ำบาดาลเพื่อแก้ไขปัญหากรุงเทพฯทรุดตัว รัฐควรมีมาตรการควบคุมการกลับสูงขึ้นของระดับน้ำบาดาลไม่ให้มากเกินไป ประมาณไม่เกินกว่าระดับ 10 เมตรจากระดับผิวดิน แต่ตามข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นในปี 2016 น้ำบาดาลได้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมาอยู่ที่ระดับ 11-12 เมตรจากระดับผิวดินแล้ว และไม่มีท่าทีจะชะลอการยกตัวสูงขึ้นต่อไป เนื่องด้วยว่ากฎหมายที่ภาครัฐออกมาแก้ไขปัญหาแผ่นดินทรุดตัวไม่อนุญาตให้มีการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่กรุงเทพฯต่อไป ดังนั้นจึงไม่มีมาตรการใดที่จะช่วยชะลอการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาลในอนาคต



รูปที่ 9 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำบาดาลในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล

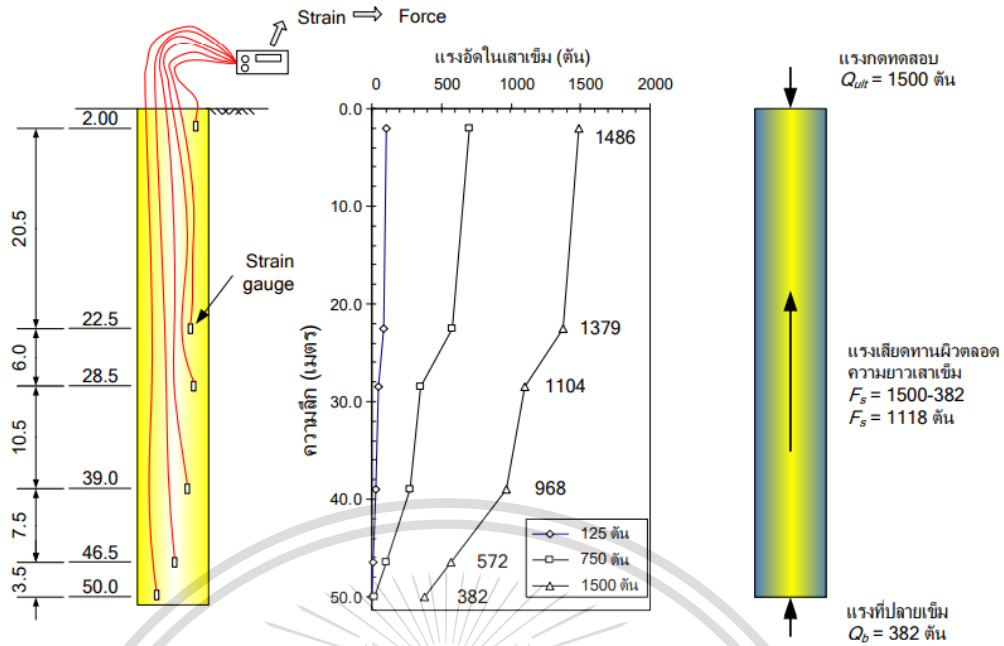
2.6 พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็ม

เมื่อมีแรงกดกระทำที่หัวเสาเข็มแรงที่หัวเสาเข็มจะถ่ายผ่านเสาเข็มไปสู่ดิน ซึ่งสามารถวัดแรงนี้ได้ ทางอ้อมโดยการวัด Strain โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า strain gauge ซึ่งติดตั้งไว้ในเสาเข็มดังรูปที่ รูปที่ 10 จากค่า strain ที่ได้นำมาแปลงเป็นแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มซึ่งจะทำให้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาถึงพฤติกรรมกรรมการรับแรงของเสาเข็มได้ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

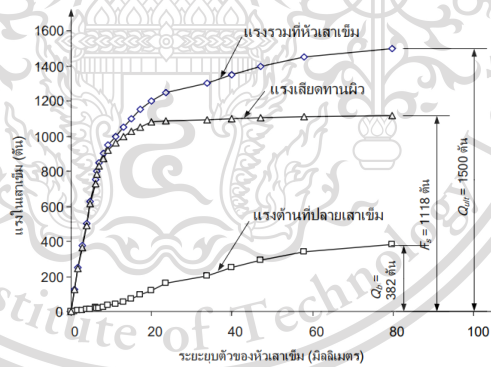
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 10 แรงในเสาเข็มที่วัดได้โดยใช้ Strain gauge

จากแรงที่วัดได้ในเสาเข็มถ้าจำแนกแรงที่เกิดขึ้นเป็นสองส่วนคือแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม และแรงต้านที่ปลายเข็มและนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มกับแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มจะได้ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 Load settlement curve ของเสาเข็มยาว (Friction pile)

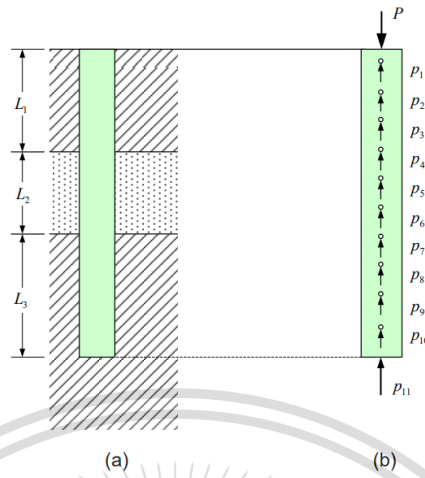
จากกราฟรูปที่ 11 จะเห็นว่าส่วนของแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นเต็มที่เมื่อระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มเท่ากับ 20 มิลลิเมตรซึ่งมีค่าประมาณ 2% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ส่วนของแรงต้านปลายเข็มจะเกิดขึ้นเต็มที่เมื่อระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มมีค่าเท่ากับ 80 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 8% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

ในการคำนวณแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มนั้น เราจะพิจารณาเสาเข็มให้เป็นวัสดุที่เป็นแท่งยาวในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งแรงสำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนญาติเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า วิชาการศาสตร์วัสดุ แต่เสาเข็มจะมีสภาพที่เป็น Indeterminate ที่มีตัวแปรไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

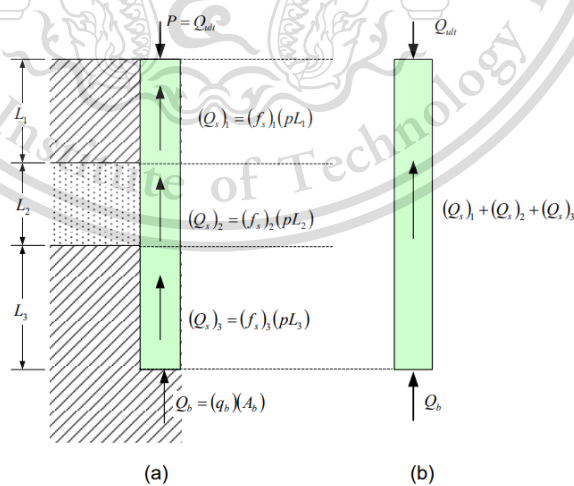
นั่นคือถ้ามีแรงกระทำที่ปลายเสาเข็มเราจะไม่สามารถระบุได้ว่าเสาเข็มมีการกระจายของแรงตามความยาวเสาเข็มเป็นอย่างไร



รูปที่ 12 ปัญหาการรับแรงกดของเสาเข็มเป็นปัญหา Statically indeterminate ที่มีตัวไม่ทราบค่า

ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีตัวไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมานี้จำเป็นจะต้องใช้ทฤษฎีทางปฐพีกลศาสตร์เข้ามาช่วย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- คำนวณหน่วยแรงต้านประลัยที่ผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็ม
- คำนวณแรงต้านประลัยที่ผิวเสาเข็มและปลายเสาเข็ม
- รวมแรงประลัยที่ผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็มเข้าด้วยกัน



รูปที่ 13 การคำนวณแรงต้านทานต่อการกดของเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 จากรูปที่ 13 (b) จะเห็นได้ว่าถ้ามีแรงกดที่หัวเสาเข็มเท่ากับ p จะมีแรงต้านทานจากแรง
 ไม่่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลึกหนึ่งหน่วยให้ลดรูปลงเรื่อยๆ และต้องอ้างอิงถึงค่าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 เสียความระหว่างผิวเสาเข็มกับดินเท่ากับ $p_1 \dots p_{10}$ และมีแรงต้านที่ปลายเข็มเท่ากับ p_{11} ซึ่งเราไม่

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สามารถคำนวณแรงเหล่านี้ด้วยวิธีสถิตยศาสตร์โดยตรงไปตรงมาได้เนื่องจากเป็นปัญหาแบบ indeterminate ที่มีตัว redundant เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการคำนวณจึงเป็นการคำนวณหน่วยแรงประลัยขึ้นมาก่อนแล้วจึงคำนวณแรงประลัย ดังรูปที่ 13(a) เสร็จแล้วจึงนำแรงเสียดทานผิวและแรงต้านที่ปลายมารวมกันด้วยวิธีสถิตยศาสตร์

คำนวณแรงเสียดทานผิวของชั้นดินจำนวน n ชั้นได้จาก

$$Q_s = (f_s)_1(pL_1) + (f_s)_2(pL_2) + \dots + (f_s)_n(pL_n) \quad (2.15)$$

คำนวณแรงต้านปลายเข็มจากสมการ

$$Q_b = (q_b)(A_b) \quad (2.16)$$

แรงต้านทานต่อการกดคือผลรวมของแรงเสียดทานผิวและแรงต้านที่ปลายเข็ม

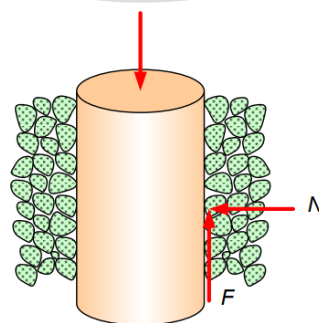
$$Q_{ult} = Q_s + Q_b - W \quad (2.17)$$

โดยปกติแล้วน้ำหนักของเสาเข็มจะน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็ม ดังนั้นส่วนใหญ่เราจะไม่คำนึงถึงน้ำหนักของเสาเข็ม เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มจะมากกว่าหน่วยน้ำหนักดินที่ถูกแทนที่ไม่มากนักโดยปกติแล้วน้ำหนักของเสาเข็มจะน้อยมากเมื่อเทียบกับ Q_{ult} ส่วนใหญ่การคำนวณมักจะไม่คำนึงถึงน้ำหนักของเสาเข็ม เพราะหน่วยน้ำหนักของวัสดุที่ใช้ทำเสาเข็มจะมากกว่าหน่วยน้ำหนักดินที่ถูกแทนที่ไม่มากนัก โดยทั่วไปกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มได้จากสมการ

$$Q_{ult} = Q_s + Q_b \quad (2.17)$$

2.6.1 หน่วยแรงเสียดทานผิวเสาเข็มและแรงต้านปลายเข็มประลัย

ตารางที่ 3 สรุปวิธีที่นิยมใช้ในการคำนวณแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม จากผลการทดสอบกำลังรับแรงเฉือนในห้องปฏิบัติการ สำหรับเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ การคำนวณโดยใช้หลักการหน่วยแรงประลัย (Effective stress) จะใช้ได้กับทั้งดินเหนียวและดินทราย แต่การคำนวณโดยใช้หลักการหน่วยแรงรวม (Total stress) มักจะใช้กับเสาเข็มที่อยู่ในชั้นดินเหนียว พารามิเตอร์ α และ β จะได้มาจากความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ (Empirical correlations)



N = unit force of soil acting normal to pile surface
 f = friction

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 14 กลไกการเกิดแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็ม

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 1 วิธีการคำนวณแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มตอกซึ่งใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (Poulos,1989)

ชนิดของดิน	สมการ	หมายเหตุ	อ้างอิงจาก
ดินเหนียว	$f_s = \alpha s_u$	$\alpha = 1.0 (s_u \leq 25 \text{ kPa})$ $\alpha = 0.5 (s_u \geq 70 \text{ kPa})$ ระหว่างสองค่าใช้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง	API (1984)
		$\alpha = 1.0 (s_u \leq 35 \text{ kPa})$ $\alpha = 0.5 (s_u \geq 80 \text{ kPa})$ ระหว่างสองค่าใช้ความสัมพันธ์แบบเส้นตรง ถ้า $L/d > 50$ ต้องใช้แฟกเตอร์คูณความยาวด้วย	Semple and Ridden (1984)
		$\alpha = \left(\frac{S_u}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \left(\frac{S_u}{\sigma'_v} \right)^{-0.5} \text{ เมื่อ } \left(\frac{S_u}{\sigma'_v} \right) \leq 1$ $\alpha = \left(\frac{S_u}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \left(\frac{S_u}{\sigma'_v} \right)^{-0.25} \text{ เมื่อ } \left(\frac{S_u}{\sigma'_v} \right) \geq 1$	Flemming et al. (1985)
	$f_s = \beta \sigma'_v$	$\beta = (1 - \sin \phi') (OCR)^{0.5} \tan \phi'$	Burland (1973) Meyerhof (1976)
ทรายซิลิกา	$f_s = \beta \sigma'_v$	$\beta = 0.15 - 0.35$ (เสารับแรงอัด) $\beta = 0.10 - 0.24$ (เสารับแรงดึง)	McClelland (1974)
		$\beta = 0.44$ เมื่อ $\phi' = 28^\circ$ $\beta = 0.75$ เมื่อ $\phi' = 35^\circ$ $\beta = 1.20$ เมื่อ $\phi' = 37^\circ$	Meyerhof (1976)
		$\beta = (K / K_0) K_0 \tan(\phi(\delta / \phi))$ δ / ϕ ขึ้นกับความขรุขระของเสาเข็ม ($\delta / \phi = 0.5 - 1.0$) K / K_0 ขึ้นกับวิธีการก่อสร้าง ($K / K_0 = 0.5 - 2.0$) $K_0 = 1 - \sin \phi$	Stas and Kulhawy (1984)
Uncemented calcareous sand	$f_s = \beta \sigma'_v$	$\beta = 0.05 - 0.1$	Poulos (1988d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2 การคำนวณแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มเจาะซึ่งใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (Poulos,1989)

ชนิดของดิน	สมการ	หมายเหตุ	อ้างอิงจาก
ดินเหนียว	$f_s = \alpha S_u$	$\alpha = 0.45$ (London clay) $\alpha = 0.70$ เท่าของค่า α ของเสาเข็มตอกแบบแทนที่ดิน	Skempton (1959)
	$f_s = (K \tan \delta) \sigma'_v$	ใช้ค่า K ที่น้อยกว่าระหว่าง K_0 และ $0.5(1 + K_0)$ $K / K_0 = 2/3$ ถึง 1.0 δ ขึ้นอยู่กับชนิดของผิวสัมผัส	Flemming et al. (1985) Stas and Kulhawy (1984)
ทรายซิลิกา	$f_s = \beta \sigma'_v$	$\beta = 0.10$ เมื่อ $\phi' = 33^\circ$ $\beta = 0.20$ เมื่อ $\phi' = 35^\circ$ $\beta = 0.35$ เมื่อ $\phi' = 37^\circ$ $\beta = F \tan(\phi' - 5^\circ)$ $\beta = 0.70$ (เสาเข็มรับแรงอัด) $\beta = 0.50$ (เสาเข็มรับแรงดึง)	Meyerhof (1976) Kraft and Lyons (1974)
Uncemented calcareous sand	$f_s = \beta \sigma'_v$ $f_s \leq (f_s)_{lim}$	$\beta = 0.50 - 0.80$ $(f_s)_{lim} = 60 - 100 kPa$	Poulos (1988d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3 แรงต้านที่ปลายเข็มซึ่งใช้ผลการทดสอบจากห้องปฏิบัติการ (Poulos,1989)

ชนิดของดิน	สมการ	หมายเหตุ	อ้างอิงจาก
ดินเหนียว	$f_b = N_c (S_u)_b$	$N_c = 9$ สำหรับ $L/d \geq 3$ $(S_u)_b$ ตรงตำแหน่งปลายเสาเข็ม	Skempton (1959)
ทรายซิลิกา	$f_b = N_q \sigma'_v$ ซึ่ง $f_b \leq (f_b)_{lim}$	$N_q = 40$ ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_q กับ ϕ' ใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง N_q กับ ϕ' และความแน่นสัมพัทธ์ และหน่วยแรง ประสิทธิผล หาค่า N_q จากทฤษฎี Cavity expansion ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ ϕ' และ Volume compressibility	API (1984) Berezantzev et al. (1961) Flemming et al. (1985) Vesic (1972)
Uncemented calcareous sand	$f_b = N_q \sigma'_v$ ซึ่ง $f_b \leq (f_b)_{lim}$	$N_q = 20$ ค่าปกติของ N_q อยู่ระหว่าง 8 – 20 N_q ได้มาจากค่า ϕ' ที่ลดค่าแล้ว	Datta et al. (1980) Poulos (1988d) Dutt and Ingram (1984)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.2 หน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยและหน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยที่ใช้ในประเทศไทย

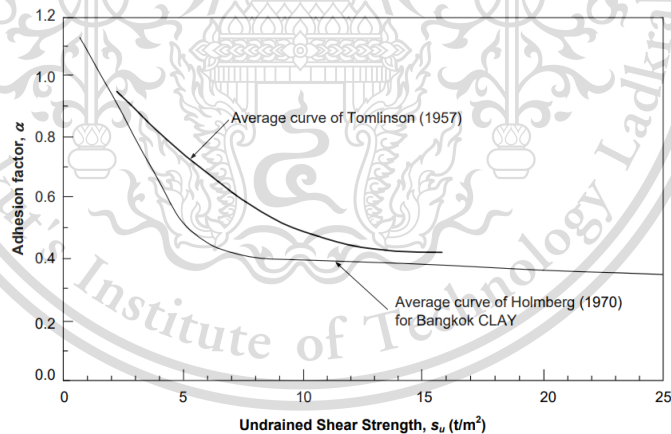
จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นว่าค่าในตารางต่างๆ เป็นค่าที่ได้มาจากประสบการณ์จากต่างประเทศทั้งหมด สำหรับในประเทศไทยได้มีการสร้างความสัมพันธ์เพื่อหาค่าแรงเสียดทานผิวประลัยและแรงต้านปลายเข็มประลัยจากผลการทดสอบเสาเข็มที่ติดตั้งเครื่องมือวัดไว้ ดังที่กล่าวแล้วก่อนหน้านี้

สำหรับเสาเข็มตอก

หน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยของเสาเข็มตอกในกรณีดินเหนียวคำนวณได้จากสมการ

$$f_s = \alpha s_u \quad (2.19)$$

ถ้าไม่มีการทดสอบเสาเข็มและวัดค่าแรงเสียดทาน ให้ใช้ค่า α ได้จากกราฟความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์ในรูปที่ 15 ซึ่งได้มาจากการทดสอบหาค่าแรงเสียดทานผิวของเสาเข็มในชั้นดินกรุงเทพฯ โดยในกรณีของเสาเข็มตอกในชั้นดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวอ่อนมีแนวโน้มที่จะยึดเกาะและสัมผัสกับผิวเสาเข็มดีเนื่องจากดินมีค่าดัชนีพลาสติกสูง จึงเป็นสาเหตุให้กำลังของการยึดเกาะใกล้เคียงหรือเท่ากับกำลังรับแรงเฉือนของดิน แต่ในกรณีของเสาเข็มตอกในชั้นดินเหนียวแข็ง การตอกเสาเข็มนอกจากจะรบกวนดินโดยรอบแล้วยังทำให้เกิดรอยแยกเล็กๆ ระหว่างผิวเสาเข็มกับดินเหนียวซึ่งทำให้กำลังของการยึดเกาะต่ำกว่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเสมอ



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Adhesion factor กับค่า Undrained shear strength สำหรับเสาเข็มตอก

ในกรณีของเสาเข็มเสียดทานในชั้นดินซิลต์ ถ้าดินซิลต์มีกำลังต้านทานเนื่องจากการยึดเกาะ

ค่อนข้างสูงอาจใช้เกณฑ์สำหรับดินเหนียวก็ได้ แต่ถ้าดินซิลต์เป็นดินเม็ดล่วน แรงเสียดทานผิวเสาเข็มจะขึ้นกับความแน่นสัมพัทธ์ของดินซิลต์ เสาเข็มตอกแทนที่ดินเหนียวอ่อนอิมตัว (หรือไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งหากมีให้คิดแปลงเมือหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ เกือบอิมตัว) จะไม่ถูกอัดจนแน่นเหมือนกรณีของดินทรายแต่ดินซิลต์จะถูกบีบอัดด้านข้างให้ทะลัก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขึ้นมาบนผิวดินหรืออาจเกิด Liquefied กลายเป็นทรายไหล (quick sand) ซึ่งต้องใช้เวลาหลายวัน ก่อนที่จะเริ่มมีกำลังต้านทาน ดังนั้นสรุปว่าดินซิลต์อ่อนหรือดินซิลต์หลวมไม่เหมาะที่จะเป็นเสาเข็มเสียดทาน ถ้าจะใช้เสาเข็มจะต้องใช้เสาเข็มยาวลงไปถึงดินชั้นที่ลึกกว่า ดินซิลต์บดอัดอาจใช้รองรับฐานแผ่โดยตรงหรือรองรับเสาเข็มเสียดทาน ระยะเวลาความยาวและกำลังต้านทานของเสาเข็มในชั้นดินซิลต์อาจจำเป็นต้องใช้การทดสอบเสาเข็ม

หน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยของของเสาเข็มตอกในกรณีดินทรายคำนวณได้จากสมการ

$$f_s = \sigma'_v K_s \tan \delta \quad (2.20)$$

โดยค่า K_s ขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างเสาเข็ม (ดูตารางที่ 4) ส่วนค่า δ ขึ้นอยู่กับชนิดของผิวสัมผัสระหว่างเสาเข็มกับดินดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 4 ค่าของสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง K_s ซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้าง Kulhawy (Tomlinson 1995) - สำหรับค่า K_0 ใช้สมการของ Jaky $K_0 = 1 - \sin \phi$

ตารางที่ 4 ค่า K_s ขึ้นอยู่กับวิธีการก่อสร้างเสาเข็ม

วิธีการก่อสร้าง	K_s / K_0
เสาเข็มตอก ดินถูกแทนที่มาก	1 ถึง 2
เสาเข็มตอก ดินถูกแทนที่น้อย	0.75 ถึง 1.75
เสาเข็มเจาะ และหล่อคอนกรีตในที่	0.70 ถึง 1

ตารางที่ 5 ค่าของมุมเสียดทานระหว่างเสาเข็มกับดิน δ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นผิว (Kulhawy)

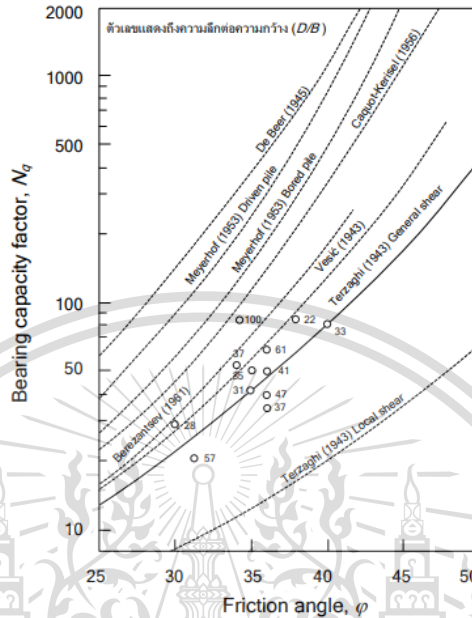
Pile/soil interface condition	Angle of pile/soil friction (δ)
ผิวเรียบ - ผิวเหล็กเรียบกับทราย	$0.5 \phi'$ ถึง $0.5 \phi'$
ผิวขรุขระ - ผิวเหล็กลอนลูกฟูกกับทราย	$0.7 \phi'$ ถึง $0.9 \phi'$
ผิวเสาเข็ม คสล. สำเร็จรูป กับทราย	$0.8 \phi'$ ถึง $1.0 \phi'$
ผิวเสาเข็มเจาะและหล่อคอนกรีตไรท์กับทราย	$1.0 \phi'$
ผิวเสาเข็มไม้กับทราย	$0.8 \phi'$ ถึง $0.9 \phi'$

หน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยนั้นคำนวณได้จาก Bearing capacity equation ในกรณีของดินทราย $q_b = N \sigma'_v$ สำหรับค่า N นั้นหาได้จากความสัมพันธ์กับ friction angle ซึ่งมีผู้เสนอ

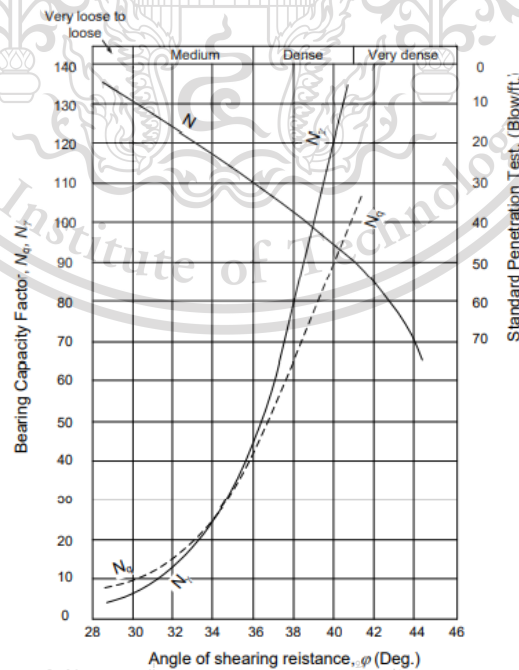
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$\phi = 35^\circ$ ค่า N_q จะมีค่าตั้งแต่ 40 ถึง 300 ดังนั้นในการวิเคราะห์เพื่อประมาณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในที่นี้จะเลือกใช้กราฟรูปที่ 16 ซึ่งเสนอโดย Peck et a. (1974) โดยอ้างอิงค่า N_q มาจากงานของ Terzaghi



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bearing capacity factor N_q กับค่า friction angle จากหลายทฤษฎี (Fellenius 1999)



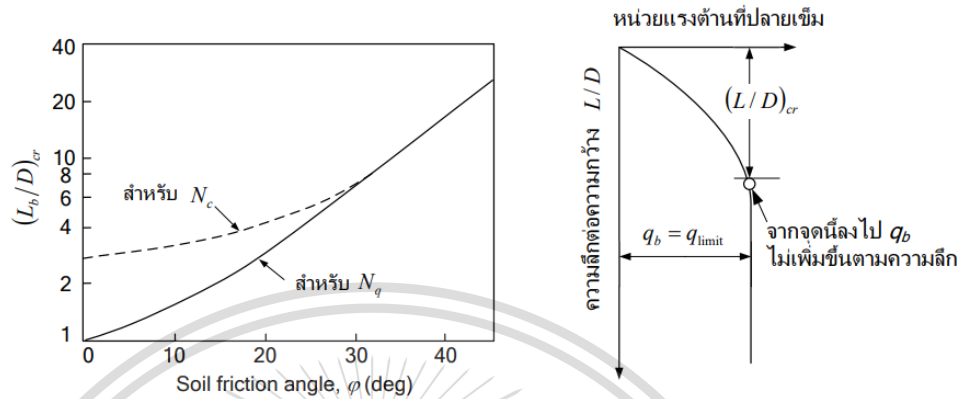
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับ Angle of shearing resistance, ϕ และ Bearing capacity factor (Peck, Hanson and Thornburn, 1974) - คัดลอกจาก (Whitaker 1976)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

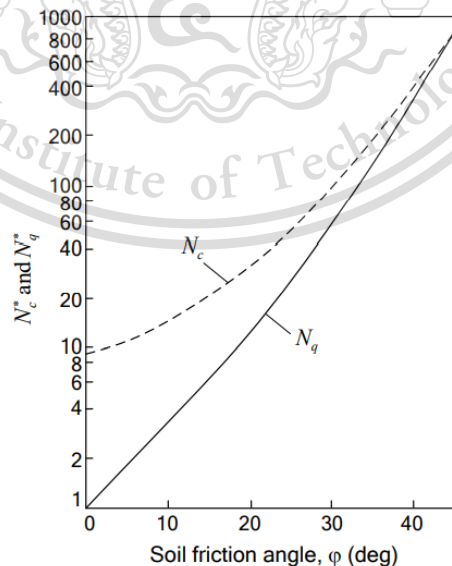
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่า q_b ที่มีมุม ϕ ค่าหนึ่งจะเพิ่มขึ้นตามค่า σ'_v แต่ในความเป็นจริงแล้วค่า q_b ของทรายจะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงที่สุดที่ความลึกของปลายเสาเข็มค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า Critical embedment ratio $(L_b / D)_{cr}$ ค่า $(L_b / D)_{cr}$ หาได้จากกราฟที่เสนอโดย Meyerhof (1976) ใน



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่าง Critical embedment ratio กับมุม ϕ ซึ่งถ้าความลึกมากกว่า Critical embedment ratio แล้วค่า q_b จะไม่เพิ่มขึ้นตามความลึกอีก (Meyerhof, 1976) - คัดลอก จาก (Das 1995)

สำหรับเสาเข็มตบดินที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยจะมีความลึกมากกว่าความกว้างมาก เช่น เสาเข็มขนาด 0.6 เมตรลึก 20 เมตรวางอยู่บนชั้นดินที่มีค่า $\phi = 30^\circ$ จะมี $(L_b / D)_{cr} = 20 / 0.6 = 33$ ซึ่งมากกว่า $(L_b / D)_{cr}$ สำหรับดินเหนียวนี้ค่าหน่วยแรงต้านประลัยที่ปลายเข็มคำนวณได้จาก $q_b = cN_c$ โดยหาค่า N_c ได้จากกราฟรูปที่ 19



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่าง Bearing capacity factor กับ friction angle เมื่อปลายเสาเข็มฝัง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ อยู่ในระดับลึก Meyerhof (1976) - คัดลอกจาก (Das 1995)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

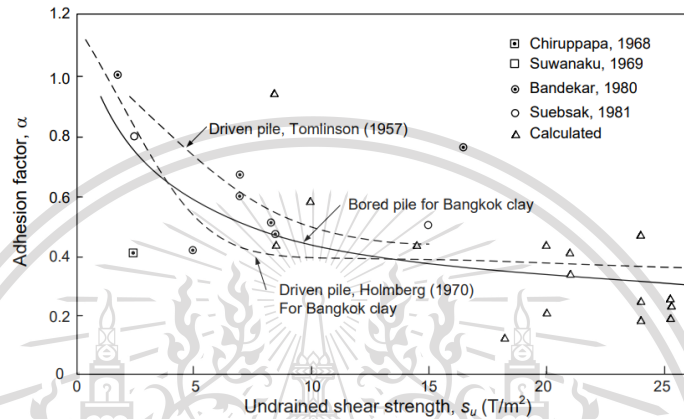
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อเสาเข็มมีความลึกมากกว่า 3 เท่าของหน้ากว้างเสาเข็มค่า N_c จะไม่เพิ่มขึ้นตามความลึกอีกซึ่งในทางปฏิบัติ $N_c = 9$ ดังนั้นในกรณีของหน่วยแรงต้านที่ปลายเสาเข็มประลัยสำหรับดินเหนียวคือ

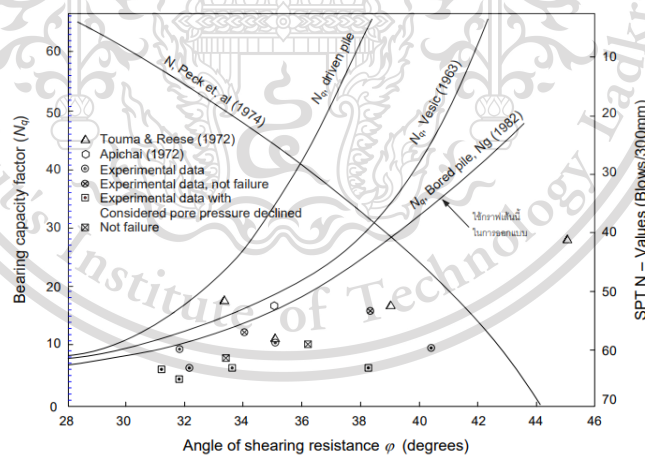
$$q_b = 9S_u \tag{2.21}$$

สำหรับเสาเข็มเจาะ

พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มเจาะนั้นได้มาจากสมการเชิงประสบการณ์ทั้งสิ้น และแตกต่างจากเสาเข็มเจาะมากดังแสดงในรูปที่ 20 และรูปที่ 21



รูปที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง Adhesion factor, α กับค่า Undrained shear strength ของดินเหนียวของเสาเข็มเจาะ (Ng 1982)



รูปที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่าง Angle of shearing resistance, ϕ กับ Bearing capacity factor, N_q สำหรับเสาเข็มเจาะ (Ng 1982)

ในการออกแบบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มนั้นจะเป็นการประมาณกำลังรับน้ำหนักประลัยจากทฤษฎีพื้นฐานทางปฐพีกลศาสตร์ผนวกกับวิธีสถิติศาสตร์ การคำนวณให้ได้กำลังรับน้ำหนักที่เอกสารนี้เป็นเอกสารอ้างอิงสำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ด้านการค้าถูกต้องนั้นเป็นไปได้ยากหรือเป็นไปได้เลย เนื่องจากความแปรปรวนของชั้นดินซึ่งถึงแม้ว่าชั้นดินมีไม่ต่างกันแต่ก็ต่างกันอีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสม่ำเสมอแต่ในความเป็นจริงแล้วก็ยังมี ความแปรปรวนสรุปรวมการที่ใช้ในการคำนวณหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยของดินเหนียวและดินทราย

หน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยของดินเหนียว

$$f_s = \alpha S_u \quad (2.22)$$

หน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยของดินเหนียว

$$q_b = 9S_u \quad (2.23)$$

หน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยของดินทราย

$$f_{s_i} = \sigma'_v K_s \tan \delta \quad (2.24)$$

หน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยของดินทราย

$$q_b = N_q \sigma'_v \quad (2.25)$$

2.6.3 สัดส่วนปลอดภัยสำหรับเสาเข็ม

1) กำลังรับน้ำหนักที่ยอมให้ Allowable pile capacity and factor of safety

ในการออกแบบเสาเข็มจะคำนวณกำลังรับแรงกดวิบัติ หรือแรงที่ทำให้แรงต้านทานของเสาเข็มเกิดขึ้นเต็มที่ แต่ในทางวิศวกรรมการวิบัติของโครงสร้างที่วางอยู่บนเข็มอาจเกิดขึ้นก่อนที่แรงในเสาเข็มจะเกิดขึ้นเต็มที่ เนื่องจากมีการทรุดตัวที่มากเกินไป ในการออกแบบเสาเข็มส่วนใหญ่จึงคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มแล้วหารด้วย Factor of safety ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่สัมพันธ์กับการทรุดตัวที่ยอมรับได้สำหรับโครงสร้าง จากขั้นตอนการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มข้างต้น เราสามารถคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (Allowable pile capacity) ได้จาก

$$Q_{allow} = \frac{Q_{ult}}{F.S.} \quad (2.26)$$

2.) เหตุผลของการใช้ Factor of Safety

- เนื่องจากความไม่แน่นอนของสภาพดินธรรมชาติ ในด้านกำลัง และการยุบตัว
- เนื่องจากความไม่แน่นอนในวิธีการคำนวณ ซึ่งปกติจะใช้ Empirical method
- เพื่อให้แน่ใจได้ว่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย
- เพื่อให้แน่ใจว่าการทรุดตัวของเสาเข็มเดี่ยวหรือกลุ่มเสาเข็มอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยที่ไม่เกิดการทรุดตัวมากเกินไปจนโครงสร้างชำรุด

จากประสบการณ์การออกแบบและทดสอบเสาเข็มเป็นจำนวนมาก (Tomlinson 1995) พบว่าถ้าใช้สัดส่วนปลอดภัยเท่ากับ 2.5 เมื่อเสาเข็มรับน้ำหนักใช้งานแล้วจะมีการทรุดตัวที่ไม่เกินกว่า 10 มิลลิเมตร ซึ่งไม่ก่อให้เกิดปัญหาสำหรับอาคารส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตาม การคำนวณกำลังรับน้ำหนัก

ประลัยของเสาเข็มนั้นเป็นค่าที่ประมาณจากความสัมพันธ์เชิงประสบการณ์ และในบางครั้ง พารามิเตอร์ของดินก็ได้จากสมการเชิงประสบการณ์ด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่มีขนาดหน้าตัดและความยาวที่ได้ออกแบบไว้ กรณีที่ไม่ต้องทดสอบเสาเข็มคือ กรณีที่วิศวกรทราบพฤติกรรมของเสาเข็มในชั้นดินที่ก่อสร้างเสาเข็มเพียงพอแล้ว ตารางที่ 6 เป็นค่า สัดส่วนปลอดภัยสำหรับจำแนกตามลักษณะโครงสร้าง

ตารางที่ 6 สัดส่วนปลอดภัยสำหรับเสาเข็ม

โครงสร้างและลักษณะการรับแรง	สัดส่วนปลอดภัย
โครงสร้างถาวร - รับแรงกด	> 2.5
โครงสร้างถาวร - รับแรงดึง	> 3.0
โครงสร้างชั่วคราวที่ไม่ต้องคำนึงถึงการทรุดตัว	1.5 ถึง 2.0

2.6.4 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

ในการออกแบบเสาเข็มข้อมูลที่มีจะได้มาจากการเจาะสำรวจดิน ซึ่งจะอยู่ในรูปของรายงานผลการเจาะสำรวจ (Soil Investigation report)

ข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างมาทดสอบใน Laboratory

- Soil Classification (USCS)
- Soil Description (Coarse, Fine, Stiff, Soft, Hard)
- Physical properties and Index (Liquid Limit, Plastic Limit, Natural water content, Plasticity index, Unit Weight)
- Shear Strength (Unconfined compressive strength. Unconsolidated Undrained Triaxial test)

ข้อมูลจากการทดสอบในสนาม

- Standard Penetration Test (SPT)
- Field Vane Shear Test
- Cone Penetration test

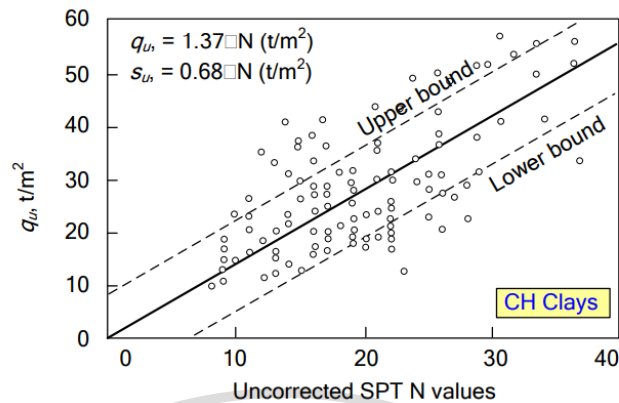
โดยปกติแล้วการเก็บตัวอย่างดินเหนียวแข็งแบบ Undisturbed ในระดับลึกเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการทำได้ค่อนข้างยาก ดังนั้นจึงได้มีการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่า

Undrained shear strength กับค่า SPT, N-Value ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 25 และ รูปที่ 26 ซึ่งจะเห็น

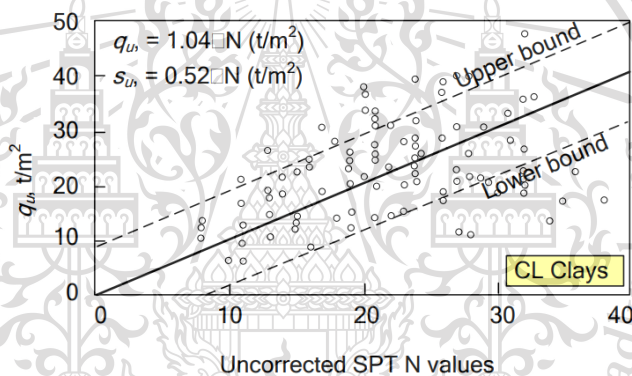
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ได้ว่าความสัมพันธ์ที่ได้มีความแปรปรวนอยู่พอสมควร ดังนั้นการใช้ความสัมพันธ์นี้ในการออกแบบ ต้องตระหนักถึงความแปรปรวนของผลการคำนวณออกแบบด้วย



รูปที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT, N-Value กับค่า q_u ของดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกสูง (Pitupakorn, 1982)



รูปที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT, N-Value กับค่า q_u ของดินเหนียวที่มีความเป็นพลาสติกต่ำ (Pitupakorn, 1982)

2.6.5 ขั้นตอนในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

- เขียนรูปตัดชั้นดินที่ได้จากรายงานการทดสอบดิน โดยระบุว่าเป็นชั้นดินเหนียวหรือชั้นดินทราย พร้อมทั้งระบุพารามิเตอร์ของดินชั้นนั้นประกอบไปด้วย สำหรับพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยของชั้นดิน (ดังรูปที่ 21)

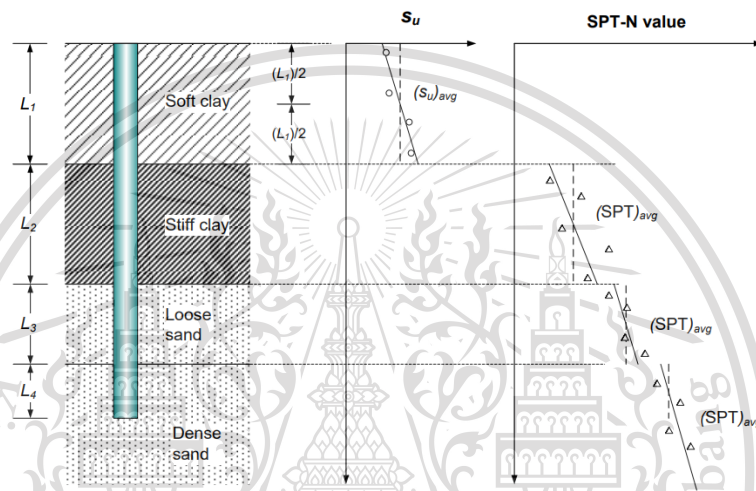
- กำหนดปลายของเสาเข็มโดยที่ปลายเสาเข็มควรจะวางอยู่บนชั้นดินที่มีหน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัยสูง ได้แก่ชั้นทรายแน่น (dense sand)

- คำนวณหน่วยแรงเสียดทานผิวประลัยของดินแต่ละชั้น เมื่อคูณกับพื้นที่ผิวเสาเข็มจะได้แรงเสียดทานผิวประลัย

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- คำนวณหน่วยแรงต้านปลายเข็มประลัย เมื่อคูณกับพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มจะได้แรงต้านปลายเข็มประลัย
- กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของเสาเข็มในการคำนวณออกแบบมักจะต้องมีการทดลองเลือกความยาวของปลายเสาเข็ม ดังนั้นจะเป็นการสะดวกกว่าถ้าทำการคำนวณในรูปของตาราง โดยทั่วไปแล้วมักจะทำการคำนวณในโปรแกรมตารางคำนวณ EXCEL เป็นต้น ซึ่งเมื่อการคำนวณอยู่ในรูปของตารางจะทำให้ง่ายต่อการตรวจทานซึ่งจะทำให้ลดข้อผิดพลาดจากการคำนวณลงไปได้



รูปที่ 24 การเลือกใช้พารามิเตอร์ของดินจากข้อมูลการเจาะสำรวจและทดสอบดิน

2.7 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะต่างจากการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มตรงที่การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะทราบพฤติกรรมของเสาเข็มเมื่อรับแรงกระทำ โดยปกติแล้วการทดสอบเสาเข็มจะเป็นการทดสอบการรับแรงกดตามแกน ซึ่งการทดสอบจะเป็นการยืนยันว่าเสาเข็มที่ทดสอบนั้นสามารถรับแรงกดตามที่ได้ออกแบบไว้ได้ โดยปกติแล้วจะทำการทดสอบเสาเข็มต้นที่ใช้งานจริงดังรูปที่ 25 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มมีหลายวิธี โดยในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความน่าเชื่อถือมากที่สุด

การทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static pile load test) ในการทดสอบเสาเข็มส่วนใหญ่จะ

อ้างอิงมาตรฐาน ASTM ซึ่งจำแนกตามลักษณะของแรงกระทำ

ต่อเสาเข็มได้ 3 ประเภทได้แก่

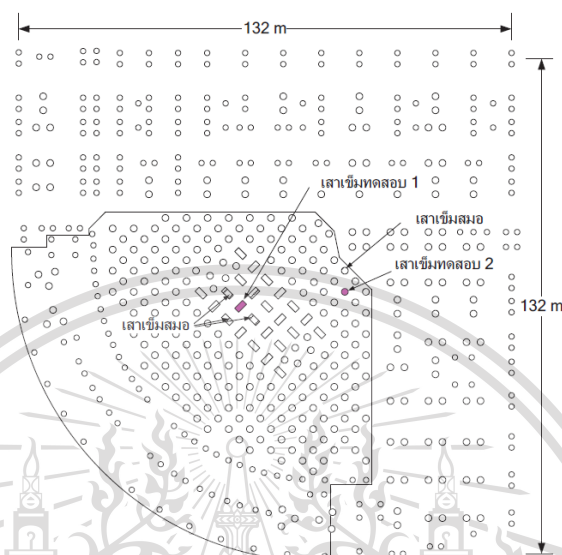
- ASTM D 1143-81 มาตรฐานสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงกด

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- ASTM D 3689-83 มาตรฐานสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงดึง
- ASTM D 3966-81 มาตรฐานสำหรับการทดสอบเสาเข็มด้วยแรงดันด้านข้าง

ในการทดสอบเสาเข็มจะมีค่าที่ใช้เรียกเสาเข็มดังตารางที่ 7



รูปที่ 25 ตำแหน่งของเสาเข็มใช้งานที่ใช้ทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุก

ตารางที่ 7 ค่าที่ใช้ในการทดสอบเสาเข็ม

ชื่อเรียก	ความหมาย
Test pile	เสาเข็มที่ถูกทดสอบโดยให้แรงกระทำต่อเสาเข็ม
Working pile	เสาเข็มใช้งานที่เป็นส่วนรองรับโครงสร้าง
Preliminary pile/ Pilot pile	เสาเข็มทดสอบที่ถูกสร้างขึ้นมาก่อนการก่อสร้างเสาเข็มจริง เสาเข็มชนิดนี้จะไม่ใช้เสาเข็มใช้งานที่รับโครงสร้างแต่จะใช้เพื่อการทดสอบเท่านั้น โดยตำแหน่งของเสาเข็มชนิดนี้ควรจะทดสอบไม่ห่างจากเสาเข็มใช้งาน
Specified Working Load	แรงที่กระทำต่อหัวเสาเข็มซึ่งระบุไว้ในข้อกำหนดของแบบโครงสร้าง
Proof Load (แรงทดสอบพิสูจน์)	แรงที่กระทำต่อเสาเข็มใช้งาน (Working pile) เพื่อที่ยืนยันว่าเสาเข็มนั้นสามารถรับแรงกระทำได้โดยมีการทรุดตัวตามที่ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตเห็นใบเซปประยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ คือการทดสอบเสาเข็มโดยการเพิ่มแรงกระทำต่อหัวเสาเข็มอย่างช้าๆ มีลักษณะการทดสอบอยู่ 2 ชนิด คือ

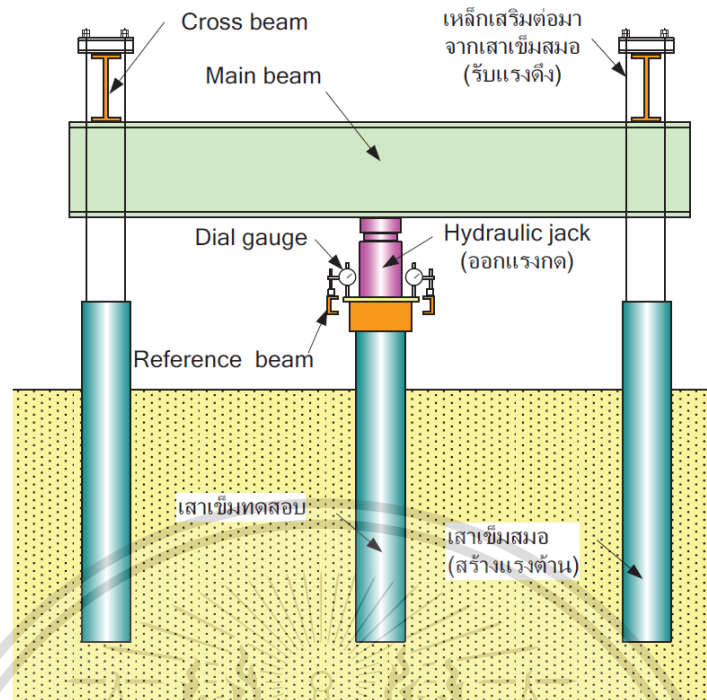
- วิธี Constant Rate of Penetration (CRP) - เป็นการทดสอบโดยเพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องด้วยอัตราการกดที่คงที่จนกระทั่งถึงจุดวิบัติ อัตราการกดอาจเท่ากับ 0.75 mm/min สำหรับ friction pile ในดินเหนียว และ 1.55 mm/min สำหรับ end bearing pile ในดินทราย
- วิธี Maintained load (M.) test - เป็นการเพิ่มแรงกดทดสอบเป็นขั้น จนแรงกดสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 1.5 - 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งาน (Working load) ในการทำการทดสอบจะบันทึกค่าทรุดตัวของเสาเข็มต่อเวลาไว้ทุกขั้นการเพิ่มแรงกด ก่อนการเพิ่มแรงกดขั้นต่อไปต้องรอจนกระทั่งอัตราการทรุดตัวน้อยกว่า 0.25 mm/hr การทดสอบนี้อาจจะทดสอบจนถึงจุดวิบัติก็ได้ วิธีการทดสอบนี้เหมาะกับการทดสอบตามสัญญาโดยเฉพาะการทดสอบ proof load กับเสาเข็มที่เป็นเสาเข็มใช้งาน (working pile)

ในการเพิ่มแรงกดจะใช้แม่แรงดันหัวเสาเข็ม ซึ่งในการทดสอบจำเป็นจะต้องสร้างแรงกดทับแม่แรงเอาไว้เพื่อเป็นแรงปฏิกิริยา วิธีที่ใช้กันก็คือการใช้ (1) น้ำหนักกดทับและ (2) วิธีใช้เสาเข็มสมอเพื่อสร้างแรงต้านที่เป็นแรงดึง การทดสอบจะวัดระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มเนื่องจากแรงกด ผลการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟระยะทรุดตัวของหัวเสาเข็มที่สัมพันธ์กับน้ำหนักกดทดสอบ และระยะทรุดของหัวเสาเข็มกับเวลา จากกราฟจะสามารถระบุถึงกำลังประลัยของเสาเข็มได้ แต่ในบางกรณีที่ไม่สามารถระบุกำลังประลัยของเข็มได้อย่างชัดเจน อาจจะต้องใช้วิธีเชิงประสบการณ์ในการหาลำลังประลัยของเสาเข็ม ตัวอย่างวิธีที่ง่ายที่สุดถือว่าการหาจุดตัดของเส้นตรงสองเส้นที่ลากสัมผัสกราฟการทดสอบเสาเข็มดังรูปที่ 4-75 ผลการทดสอบจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกดกับระยะทรุดของหัวเสาเข็ม สำหรับวิธีอื่นๆในการหาลำลังประลัยของเสาเข็มได้แก่วิธีเกณฑ์ของ Vesic et al. (1977-1) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันได้โดยทั่วไป เกณฑ์นี้ระบุว่ากำลังประลัยของเสาเข็ม Q_{ult} คือน้ำหนักกดที่ทำให้เกิดการทรุดตัว 10 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเสาเข็มในกรณีของเสาเข็มตอกและ 25 เปอร์เซ็นต์ของความกว้างเสาเข็มในกรณีของเสาเข็มเจาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 26 การทดสอบเสาเข็มโดยใช้แรงต้านเป็นเสาเข็มสมอ

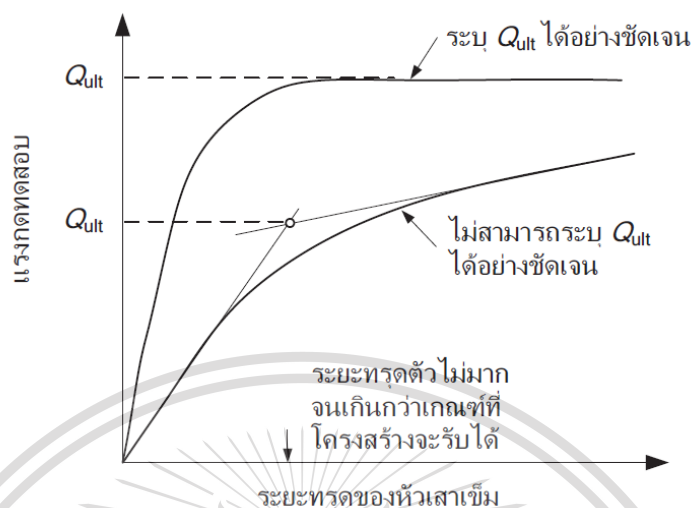


รูปที่ 27 การทดสอบเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

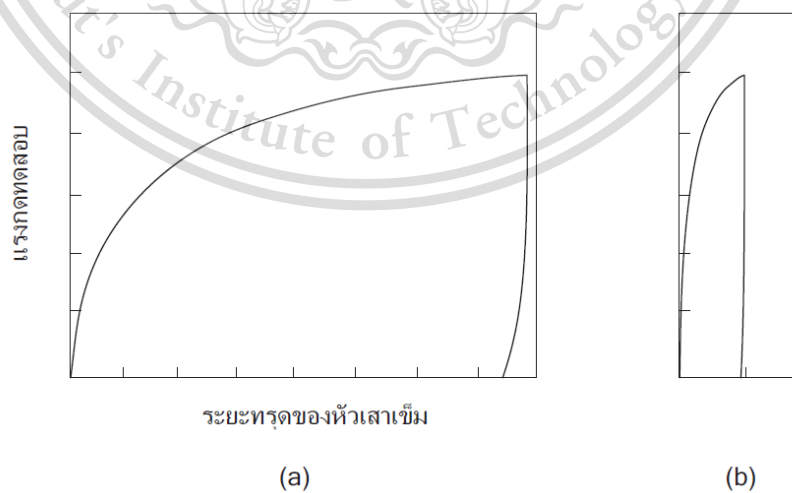
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 28 ตัวอย่างวิธีการหาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มด้วยวิธีอย่างง่าย (Budhu 2000)

สิ่งที่ต้องระวังในการระบุกำลังประลัยของเสาเข็มจากผลการทดสอบก็คือสัดส่วนของกราฟ รูปที่ 29 แสดงกราฟสองรูปที่เขียนขึ้นมาจากข้อมูลการทดสอบชุดเดียวกัน แต่ใช้สัดส่วนต่างกันจะมีผลต่อการระบุกำลังประลัยของเสาเข็ม ดังนั้นจึงได้มีการใช้กฎทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการระบุกำลังประลัยของเสาเข็มจากผลการทดสอบ ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ผลเพื่อระบุกำลังประลัยไม่ขึ้นกับสัดส่วนของกราฟ และไม่ขึ้นกับผู้วิเคราะห์ด้วย สำหรับวิธีการวิเคราะห์จะไม่กล่าวในที่นี้ ผู้สนใจจะศึกษาต่อสามารถศึกษาได้จากบทความของ Fellenius (Fellenius 1980; Fellenius 1990)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้ฟรีโดยไม่คิดค่าลิขสิทธิ์ อย่างไรก็ตาม โปรดอย่าเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตด้านการค้า
รูปที่ 29 กราฟรูปเดียวกันที่มีสัดส่วนไม่เท่ากัน จะมีผลต่อการระบุกำลังประลัยของเสาเข็ม
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

3.1 แนวทางการวิเคราะห์

1. รวบรวมข้อมูลลักษณะชั้นสภาพทางธรณีคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา
2. เลือกใช้พารามิเตอร์ชั้นดิน สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ตามงานวิจัยที่ผ่านมา
3. การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง
4. การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)
 - 4.1 การสอบเทียบพฤติกรรมเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน ตามงานวิจัยที่ผ่านมา
 - 4.2 การสอบเทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษา
5. พฤติกรรมรับแรงของเสาเข็ม ก่อนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
 - 5.1 Pile Load test แต่ละเสาเข็ม
6. การวิเคราะห์พฤติกรรมเสาเข็ม ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
 - 6.1 การเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน (Pile-Soil Movement) ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ
 - 6.2 การกระจายความเค้น (Stress Distribution) ในเสาเข็ม
 - 6.3 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Capacity) ที่เปลี่ยนแปลง
 - 6.4 กรณีศึกษา การกำหนดสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล
 - 6.4.1 สถานการณ์การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่ (Constant)
 - 6.4.2 สถานการณ์การใช้น้ำบาดาลลดน้อยลง
 - 6.4.3 เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาลต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 รวบรวมข้อมูลลักษณะชั้นสภาพทางธรณีคุณสมบัติของดินในพื้นที่ศึกษา

ชั้นดินในพื้นที่ศึกษาเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยมีลักษณะคร่าวๆเป็นชั้นดินเหนียวอ่อนหนาประมาณ 10-15 เมตร ชั้นถัดไปจะเป็นชั้นดินเหนียวแข็งและชั้นทรายสลับกันไป ในแบบจำลองจะใช้ระยะชั้นดินตามตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระดับความลึกของชั้นดินแต่ละชั้นในพื้นที่ศึกษา

ความลึก (ม.)	ชั้นดิน
0-2	Weathered crust of backfill material
2-14	Very soft clay
14-20	Medium clay
20-25	Stiff to very stiff clay
25-37	First sand layer
37-53	Very stiff to hard clay layer
53-70	Second sand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 พารามิเตอร์ชั้นดินสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ค่าพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลอง เป็นค่าพารามิเตอร์ตามงานวิจัยในอดีตที่ ตามตารางที่ 9 และ ตารางที่ 10

ตารางที่ 9 Speswhite kaolin clay parameters for numerical method verification.

Parameters	Symbol	Unit	Speswhite kaolin clay	Pile
Material property				
Material model	-	-	HSsmall	LE
Drainage type	-	-	Drained	NP
Unit weight above phreatic level	γ_{sat}	kN/m^3	17	-
Unit weight below phreatic level	γ_{unsa}	kN/m^3	10.5	24
Secant stiffness in standard drained triaxial test	E_{50}^{ref}	kN/m^2	1500	$E = 2.7 \times 10^7$
Tangent stiffness for primary oedometer loading	E_{oed}^{ref}	kN/m^2	750	-
Unloading/ reloading stiffness	E_{ur}^{ref}	kN/m^2	8000	-
Power for stress level dependency of stiffness	$power (m)$	-	1.00	-
Cohesion	C'_{ref}	kN/m^2	0.00	-
Friction angle	ϕ'	$degree$	21.00	-
Dilatancy angle	ψ	$degree$	0	-
Shear strain at which $G_s=0.722G_0$	$\gamma_{0.7}$	-	0.0002	-
Shear modulus at very small strain	G_0^{ref}	kN/m^2	33300	-
Poisson's ratio	ν'_{ur}	-	0.20	$\nu(nu)=0.15$
Reference pressure	P_{ref}	kN/m^2	100	-
Coefficient of lateral earth pressure for a normally	K_0^{nc}	-	0.64	-
Failure ratio	R_f	-	0.9	-
Interface reduction factor	R_{inter}	-	0.75	1
Over consolidation ratio	OCR	-	1.00	-
References	-	-	[29] after Benz	-
Groundwater property				
Data set	-	-	User-defined	Non porous
Model	-	-	Van Genuchten	-
Residual saturation	S_{res}	-	0.0500	-
Saturated saturation	S_{sat}	-	1.000	-
Fitting parameters (Van Genuchten)	g_n	-	1.600	-
Fitting parameters (Van Genuchten)	g_a	$1/m$	0.0400	-
Fitting parameters (Van Genuchten)	g_l	-	0.5000	-
Horizontal Permeability	k_x	m/day	8.64×10^{-3}	-
Vertical Permeability	k_y	m/day	8.640×10^{-3}	-
References	-	-	[32] Gallipoli <i>et al.</i>	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 10 Model parameters used in analyses.

Parameters	Unit	Weathered clay	Soft clay	Medium stiff clay	Stiff to very stiff clay	1 st Sand	2 nd sand	Hard clay	Pile
Material property									
Model	-	MC	HSsmall	HSsmall	HSsmall	MC	MC	HSsmall	LE
Material type	-	Undrained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	NP
γ_{sat}	kN/m^3	17	16.5	18	20	20	20	20	-
γ_{unsc}	kN/m^3	16	15	17	18	19	19	18	24
E_{50}^{ref}	kN/m^2	E'=6000	800	1650	8500	E'=85800	E'=85800	30000	E =2.70x10 ⁷
E_{oed}^{ref}	kN/m^2	-	850	1650	9000	-	-	30000	-
E_{ur}^{ref}	kN/m^2	-	8000	5400	30000	-	-	120000	-
power (m)	-	-	1.00	1.00	1.00	-	-	1.00	-
C_{ref}	kN/m^2	Su=40	1.00	10.00	25.00	0.1	0.1	40.00	-
ϕ	degree	0	23	25	26	36	37	24	-
ψ	degree	0	0	0	0	5	5	0	-
$\gamma_{0.2}$	-	-	0.05000	0.00100	0.00100	-	-	0.00150	-
G_0^{ref}	kN/m^2	-	10000	16000	50000	-	-	124000	-
v'_{ur}	-	0.30	0.20	0.20	0.20	0.30	0.30	0.20	$v(nu)=0.15$
P_{ref}	kN/m^2	-	100	100	100	-	-	100	-
K_0^{nc}	-	-	0.74	0.65	0.50	0.5	0.5	0.50	-
R_f	-	-	0.90	0.90	0.90	-	-	0.90	-
R_{inter}	-	-	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	1.00
OCR	-	-	1.2	2.0	2.0	-	-	1.1	-
Groundwater property									
Data set	-	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	-
Soil type	-	Coarse	Very fine	Fine	Fine	Coarse	Fine	Fine	-
k_x	m/day	8.64×10^{-7}	8.64×10^{-5}	8.64×10^{-4}	8.64×10^{-4}	1.60	0.80	8.64×10^{-5}	-
k_y	m/day	8.64×10^{-7}	8.64×10^{-5}	8.64×10^{-4}	8.64×10^{-4}	1.60	0.80	8.64×10^{-5}	-

Remark: MC: Mohr-Coulomb model, HSsmall: Hardening Soil model with small-strain stiffness,
LE: Linear Elastic model, NP: Non-porous drainage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.4. การกำหนดขอบเขตแบบจำลอง

ในการกำหนดขอบเขตแบบจำลองนั้น แบบจำลองถูกกำหนดให้ กว้าง 30 เมตร ลึก 100 เมตร เป็นแบบจำลองแบบ Axis symmetry และลักษณะชั้นดิน ถูกกำหนดแบ่งเป็น 8 ชั้น ได้แก่

ชั้นที่ 1 Weathered crust of backfill material

ชั้นที่ 2 Very soft clay

ชั้นที่ 3 Medium clay

ชั้นที่ 4 Stiff to very stiff clay

ชั้นที่ 5 First sand layer

ชั้นที่ 6 Very stiff to hard clay layer

ชั้นที่ 7 Second sand

ตามลักษณะชั้นดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะชั้นดิน ที่พบได้ทั่วไปของดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ขนาดเสาเข็มที่ใช้มี 2 ขนาด คือ เสาเข็มสั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร ยาว 22 เมตร และ เสาเข็มยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร ยาว 55 เมตร ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสัมพันธ์กับความยาวของเสาเข็มที่นิยมใช้กับชั้นดินเหนียวกรุงเทพฯ

การ Mesh กำหนดแบบ Very fine โดยบริเวณใกล้เสาเข็มมีความละเอียดมากกว่าบริเวณขอบของแบบจำลอง การวิเคราะห์แบบ Fully Couple Flow and Deformation ได้ถูกนำมาใช้ เนื่องจาก เป็นการวิเคราะห์ที่พิจารณาการเคลื่อนที่ของวัสดุ (Materials) ร่วมกับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันน้ำตามเวลา (Time dependent)

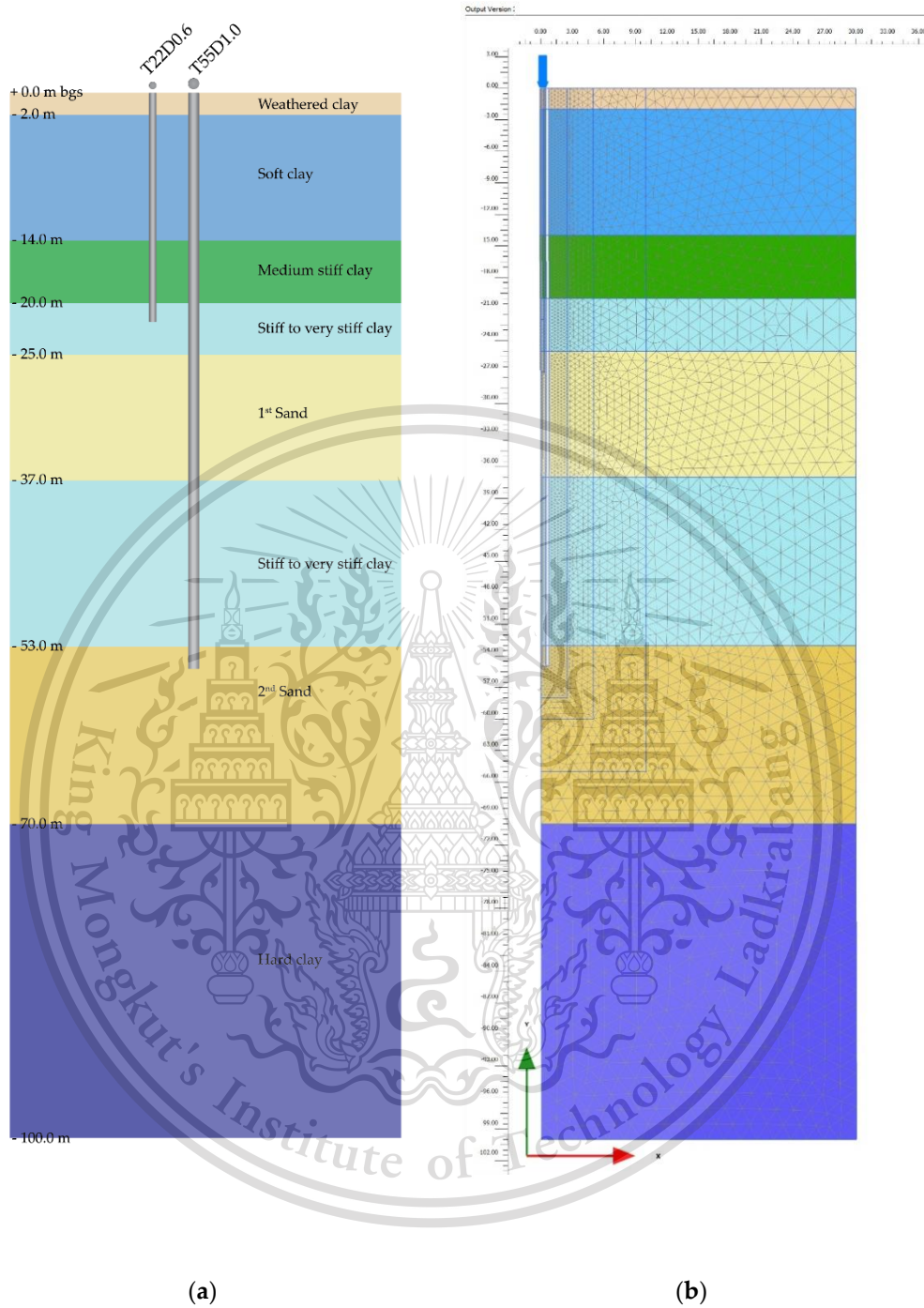
ตารางที่ 11 รายละเอียดเสาเข็มที่ใช้ในการวิเคราะห์

Piles	ประเภท	ความลึก (m)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (m)	ชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม	Ultimate Load (Ton)	Working Load (F.S.=2.5) (Ton)
T22D0.6	เสาเข็มเจาะ	22.0	0.6	Stiff clay	340	136
T55D1.0	เสาเข็มเจาะ	55.0	1.0	2 nd Sand	3,600	1,440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 30 การกำหนดระยะชั้นดิน ระยะเสาเข็มและการ Mash ของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

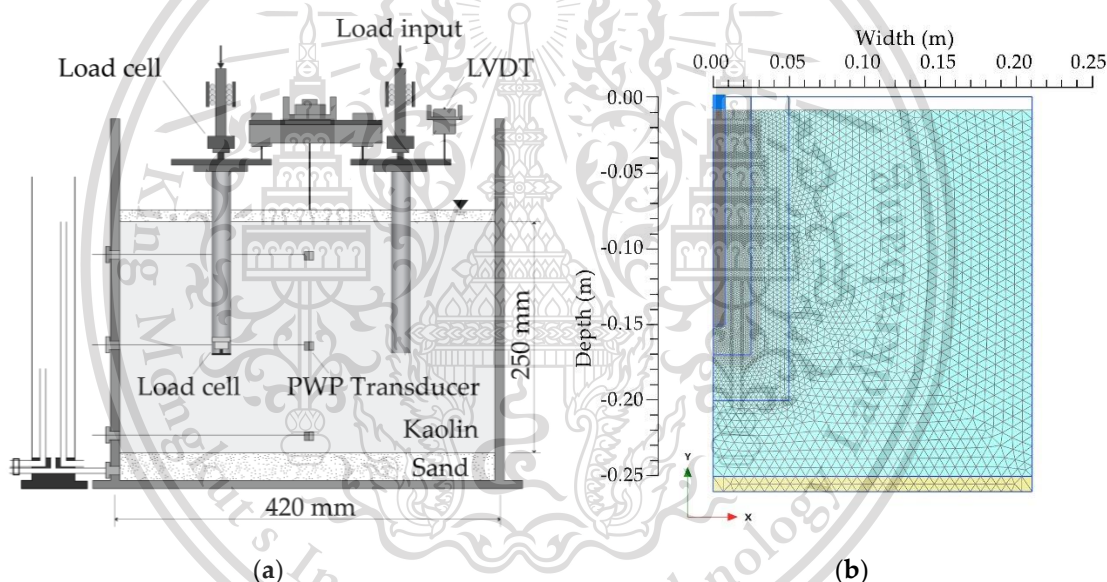
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5 การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)

3.5.1 การสอบเทียบพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน ตามงานวิจัยที่ผ่านมา

การสอบเทียบแบบจำลองเพื่อสอบเทียบพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน ตามงานวิจัยของ Morrison(1994) ที่ได้ทำแบบจำลองในเครื่องหมุนเหวี่ยง ซึ่งพบว่า แบบจำลองด้วยเทคนิคเชิงตัวเลข (Numerical model) ด้วยการวิเคราะห์แบบ Fully Couple Flow and Deformation มีความสัมพันธ์ของพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน อย่างสมเหตุสมผล เมื่อ Effective stress ลดลง (น้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น) ชั้นดินและเสาเข็มเกิดการยกตัว โดยเสาเข็มยกตัวน้อยกว่าชั้นดิน ซึ่งจะทำให้ดูเหมือนเสาเข็มมีลักษณะเหมือนเกิดการทรุดตัว

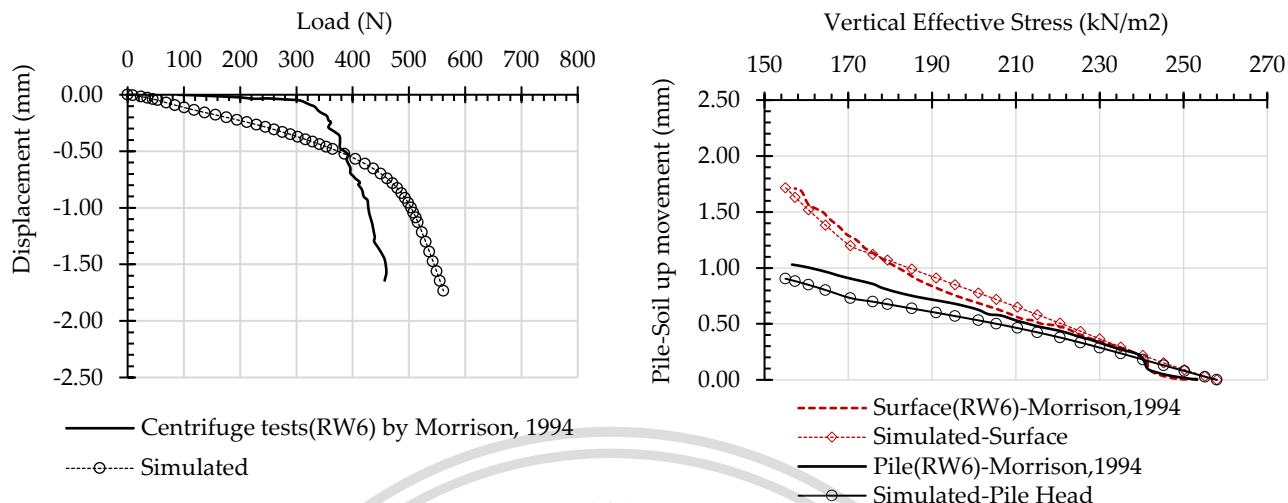


รูปที่ 31 การ Setup แบบจำลองสำหรับการทดสอบด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง โดย Morrison and Taylor [13,14] (a) แบบจำลองเสาเข็มเดี่ยว 2 ต้น Scale 1:100 ในเครื่องหมุนเหวี่ยง (b) การ Mash แบบจำลองสำหรับการสอบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(a) (b)

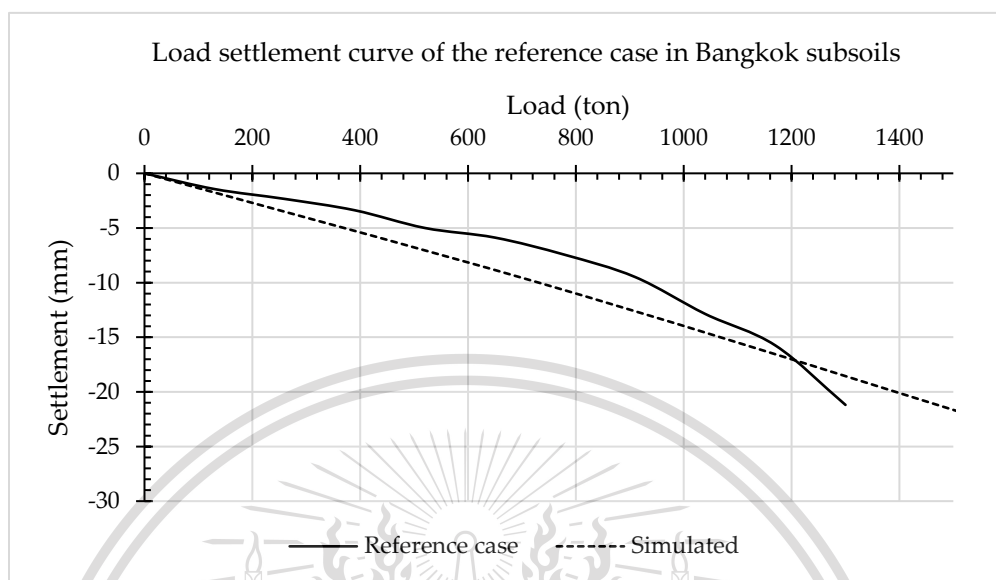
รูปที่ 32 (a) กราฟความสัมพันธ์โหลดที่กระทำกับเสาเข็มและค่าการทรุดของเสาเข็ม โดยการทดสอบของ เครื่องหมุนเหวี่ยงและการทดสอบโดยใช้แบบจำลองวิเคราะห์ระเบียบเชิงตัวเลข (b) กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของความเค้นและการยกตัวของเสาเข็มและดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.5.2 การสอบเทียบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 33 การสอบเทียบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษา

การสอบเทียบแบบจำลองเพื่อสอบเทียบการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษา โดยมีผล Static pile test ของเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 เมตร ลึก 55 เมตร ของโครงการอาคารบ้านนนทรีสูง 20 ชั้น บริเวณเขตสีลม-สาทร ที่ติดตั้งเสาเข็มในช่วงที่น้ำใต้ดินลดต่ำสุด (ค.ศ. 1999 หรือ พ.ศ.2542) ผลพบว่า แนวโน้มการรับน้ำหนักของเสาเข็มในพื้นที่ศึกษากับแบบจำลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร ยาว 55 เมตร มีความสอดคล้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

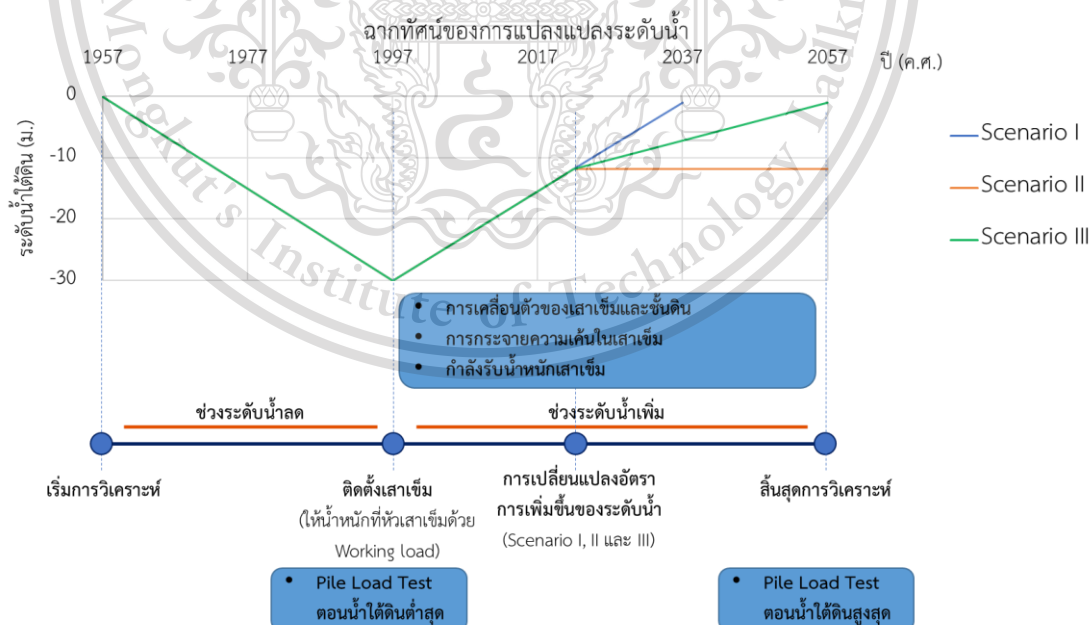
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6 ลำดับขั้นตอนการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์จะทำการเก็บผล กำลังรับหนักของเสาเข็ม การกระจายความเค้นในเสาเข็มและการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

- 1.) กำหนดระดับการเปลี่ยนแปลงของน้ำใต้ดินให้กับโมเดล
- 2.) กำหนดช่วงระยะเวลาการติดตั้งเสาเข็ม พร้อมให้น้ำหนักที่หัวเสาเข็ม
- 3.) ทำ Pile Load Test ตอนน้ำใต้ดินต่ำสุด
- 4.) กำหนดระดับน้ำใต้ดินให้เพิ่มสูงขึ้นโดยแบ่งเป็น 3 Scenario
 - Scenario I สถานการณ์การเพิ่มขึ้นของน้ำบาดาลปกติ
 - Scenario II สถานการณ์การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่ (Constant)
 - Scenario III สถานการณ์การใช้น้ำบาดาลลดน้อยลง
- 5.) ทำ Pile Load Test ตอนน้ำใต้ดินสูงสุด
- 6.) เมื่อสิ้นสุดการวิเคราะห์ทำการเก็บผล

โดยผลการการวิเคราะห์โมเดลที่นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์เพื่อศึกษาพฤติกรรมกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม คือ ค่าน้ำหนักที่กระทำที่หัวเสาเข็มกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม ศึกษาพฤติกรรมการกระจายความเค้น คือ ค่าความเค้นกับความยาวเสาเข็ม ศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน คือ ค่าระยะเวลาตั้งแต่ระดับน้ำใต้ดินต่ำสุดจนถึงระดับน้ำใต้ดินสูงสุดกับค่าการทรุดตัวของเสาเข็ม



รูปที่ 34 ระดับขั้นตอนการวิเคราะห์โมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาในเพื่อการศึกษารายงาน เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

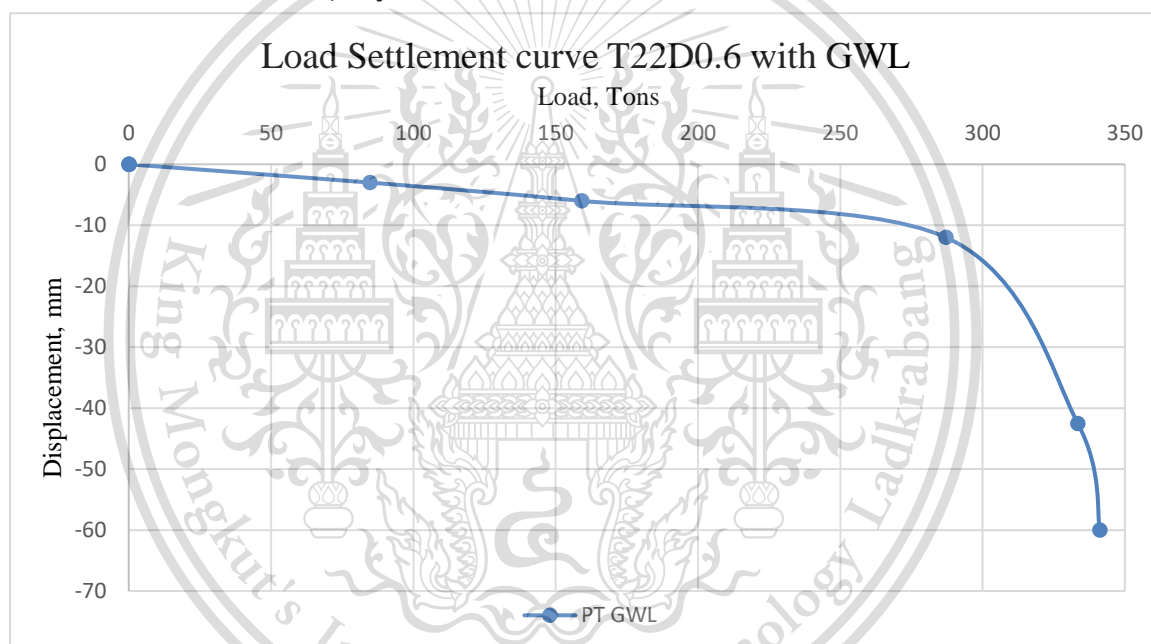
ผลการดำเนินงาน

4.1 พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็ม ก่อนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

4.1.1 Pile Load test แต่ละเสาเข็ม

1.) เสาเข็มสั้น (T22D0.6)

จากรูปที่ 35 เป็นการแสดงถึงพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มสั้นเมื่อมี Load มากกระทำ และเมื่อนำวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีอย่างของ Budhu(2000) ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเมื่อระดับน้ำใต้ดินต่ำสุดอยู่ที่ 320 ตัน



รูปที่ 35 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้น ณ ตอนที่น้ำใต้ดินต่ำสุด

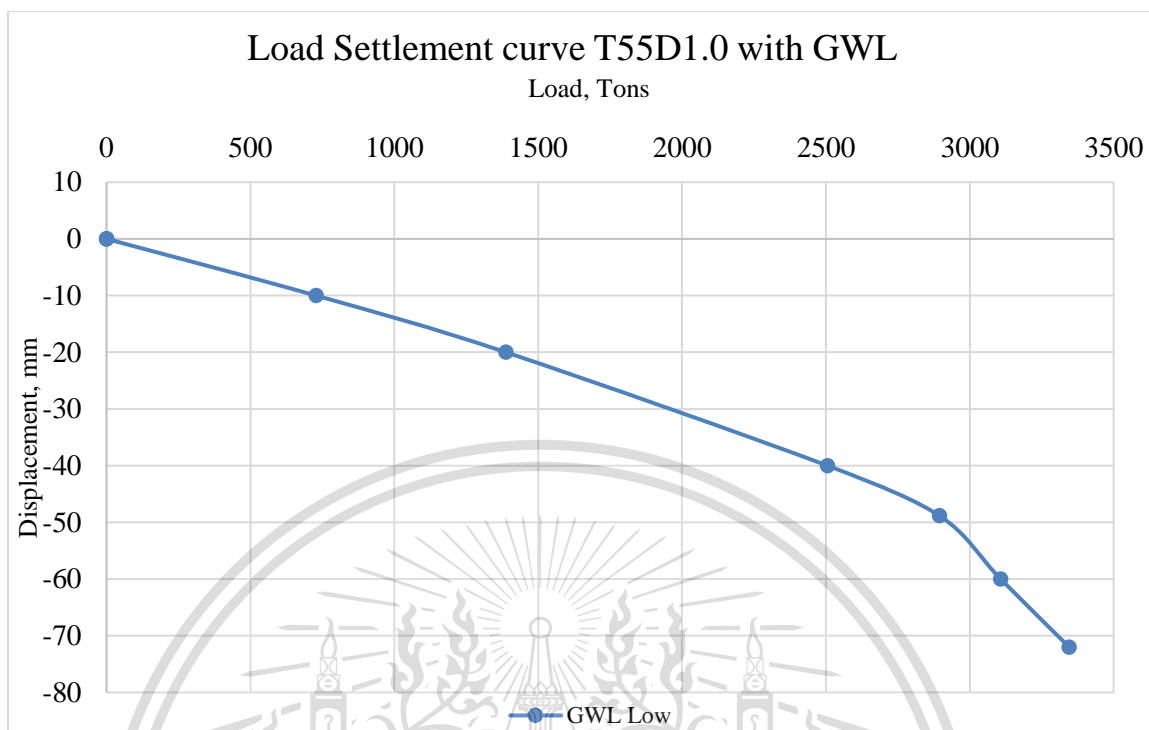
2.) เสาเข็มยาว (T55D1.0)

จากรูปที่ 36 เป็นการแสดงถึงพฤติกรรมการทรุดตัวของเสาเข็มยาวเมื่อมี Load มากกระทำ และเมื่อนำวิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีอย่างของ Budhu(2000) ได้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเมื่อระดับน้ำใต้ดินต่ำสุดอยู่ที่ 2,870 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 36 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มยาว ณ ตอนที่น้ำใต้ดินต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

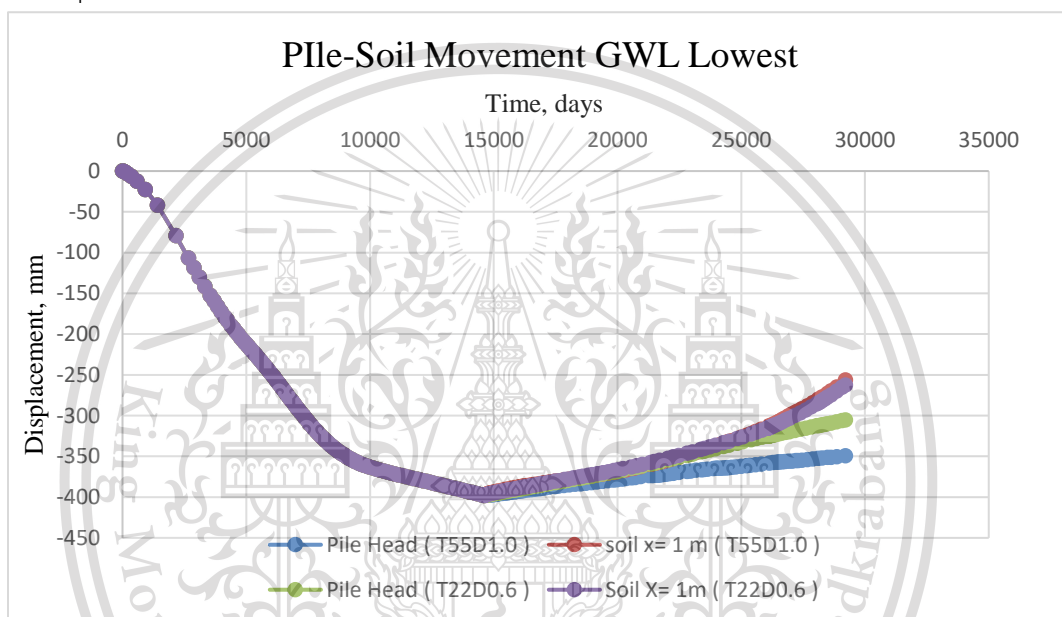
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 การวิเคราะห์พฤติกรรมเสาเข็ม ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

4.2.1 การเคลื่อนตัวของเสาเข็มและชั้นดิน (Pile-Soil Movement) ตามการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ

จากรูปที่ 37 จากเสาเข็มที่มี Load (Working Load) คงที่ระหว่างน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้นชั้นดินและเสาเข็มเกิดการยกตัว โดยเสาเข็มขนาดเล็กขนาดสั้น (T22D0.6) มีการยกตัวมากกว่าเสาเข็มขนาดใหญ่ยาว (T55D1.0) ในส่วนของชั้นดินมีการยกตัวมากกว่าเสาเข็ม ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะที่ดูเหมือนกับว่าเสาเข็มเกิดการทรุดตัว



รูปที่ 37 กราฟแสดงพฤติกรรมการยกตัวของหัวเสาเข็มและชั้นดินเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน

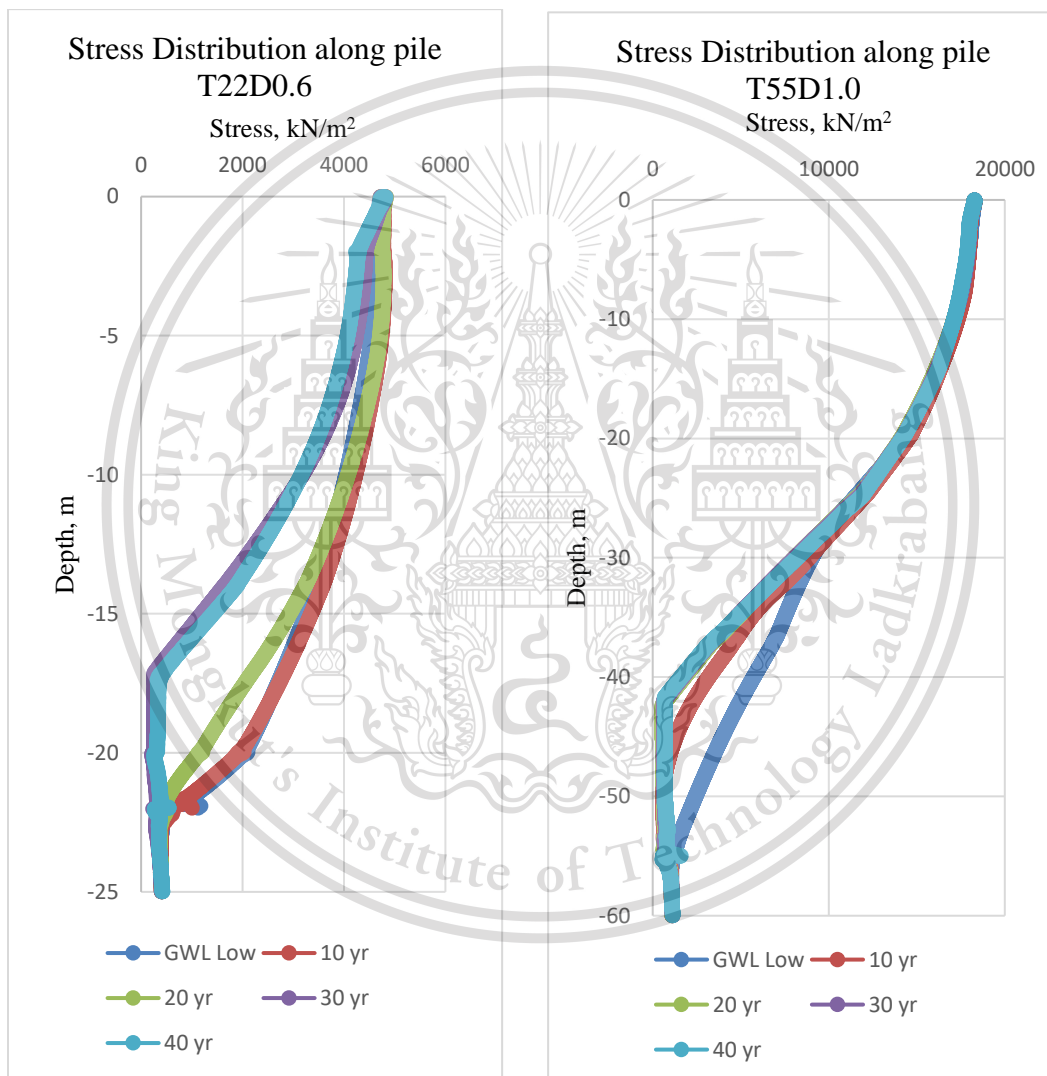
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การกระจายความเค้น (Stress Distribution) ในเสาเข็ม

จากรูปที่ 38 การกระจายความเค้น (Stress Distribution) ในเสาเข็ม จากเสาเข็มที่มี Load (Working Load) คงที่ระหว่างน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น เสาเข็มขนาดสั้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร ยาว 22 เมตร (T22D0.6) มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายความเค้นในเสาเข็มมากกว่าเสาเข็มขนาดยาว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร ยาว 55 เมตร (T55D1.0) โดยเสาเข็มขนาดยาวจะมีการเปลี่ยนการกระจายความเค้นในเสาเข็มเฉพาะบริเวณถัดจากกึ่งกลางเสาเข็มไปถึงปลายเสาเข็ม



รูปที่ 38 กราฟแสดงพฤติกรรมของการกระจายความเค้นในเสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

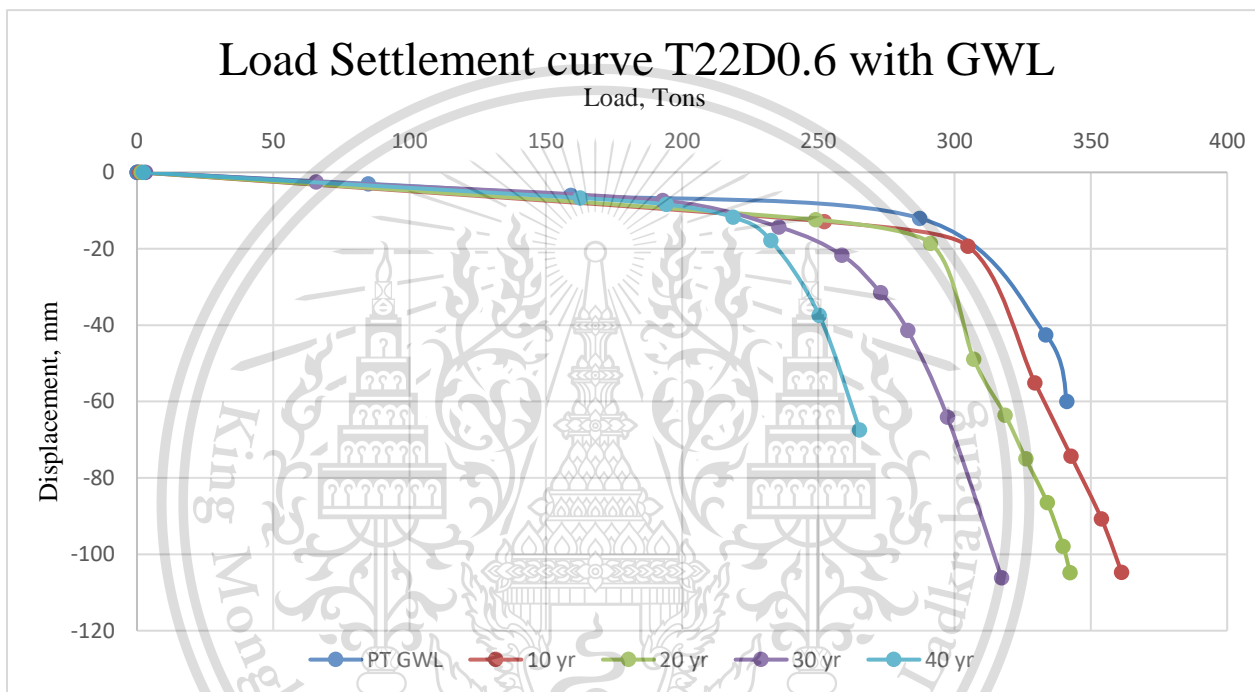
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.3 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile Capacity) ที่เปลี่ยนแปลง

1.) เสาเข็มสั้น (T22D0.6)

จากรูปที่ 39 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้นก็มีการลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง โดยที่เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำสุดค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มอยู่ที่ 320 ตัน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินให้เพิ่มสูงขึ้นและทำ Pile Load test ทุกๆ 10 ปี จนถึงปีที่ 40 ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงเหลือ 243 ตัน



รูปที่ 39 กราฟพฤติกรรมรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน

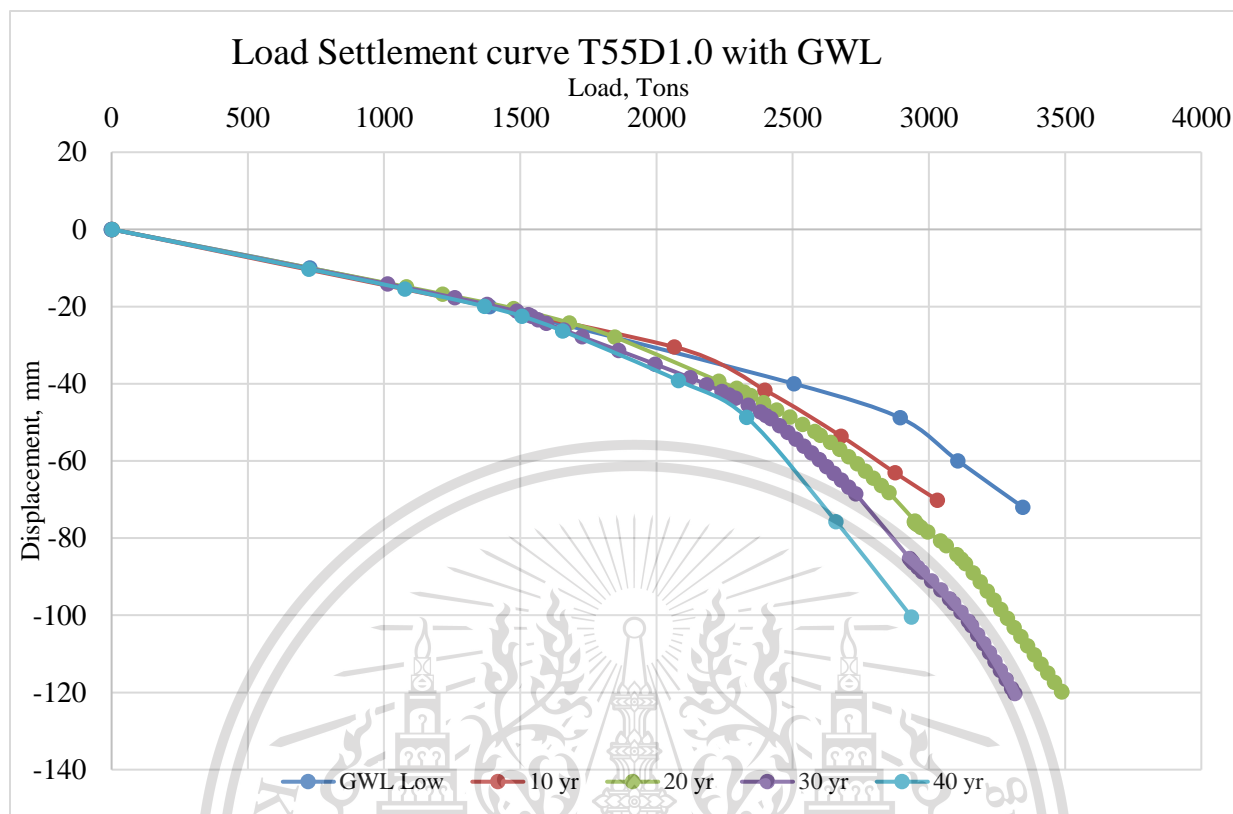
1.) เสาเข็มยาว (T55D1.0)

จากรูปที่ 40 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสั้นก็มีการลดลง ซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริง โดยที่เมื่อระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำสุดค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มอยู่ที่ 2,870 ตัน เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินให้เพิ่มสูงขึ้นและทำ Pile Load test ทุกๆ 10 ปี จนถึงปีที่ 40 ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงเหลือ 2,170 ตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 40 กราฟพฤติกรรมการรับน้ำหนักของเสาเข็มยาวเมื่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำใต้ดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

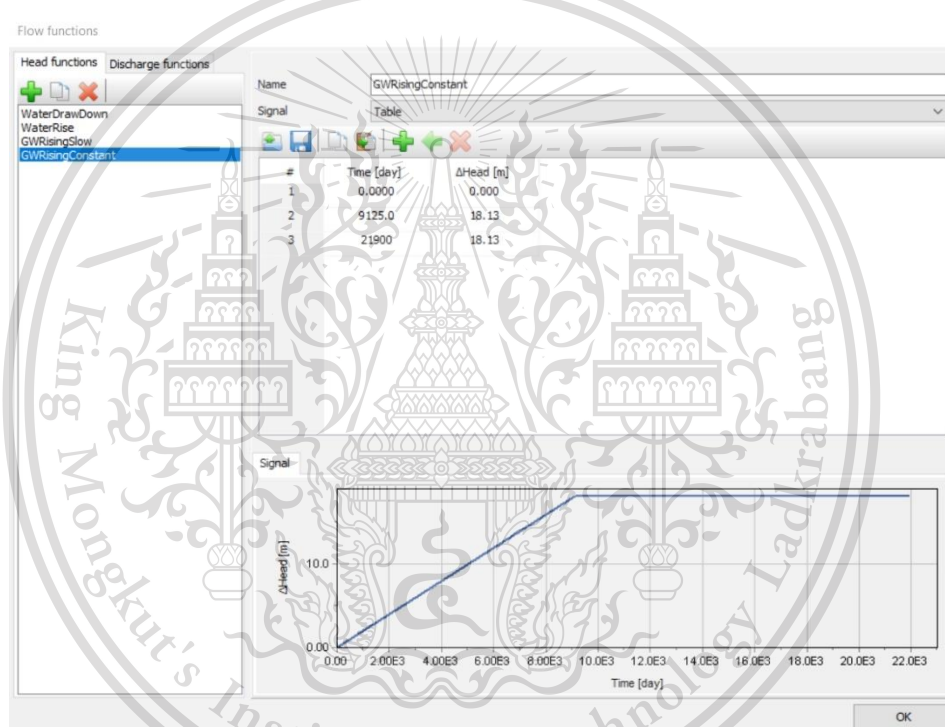
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4 กรณีศึกษา การกำหนดสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำบาดาล

การกำหนดสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของน้ำบาดาลนั้น เพื่อต้องการศึกษาพฤติกรรมกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เมื่อมีการเพิ่มขึ้นของน้ำบาดาลในสถานการณ์ที่แตกต่างออกไป จากการเพิ่มขึ้นแบบปกติ ว่าแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

1.) สถานการณ์การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่ (Constant)

เป็นการกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลให้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากปี พ.ศ. 2540 ไปจนถึง ปี พ.ศ. 2565 เริ่มมีการควบคุมระดับน้ำบาดาล ให้อยู่ที่ระดับ 18.13 เมตร และคงที่ไปเลยจนถึงปี พ.ศ. 2600 (ดังรูปที่ 41)



รูปที่ 41 การกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลแบบ (Constant)

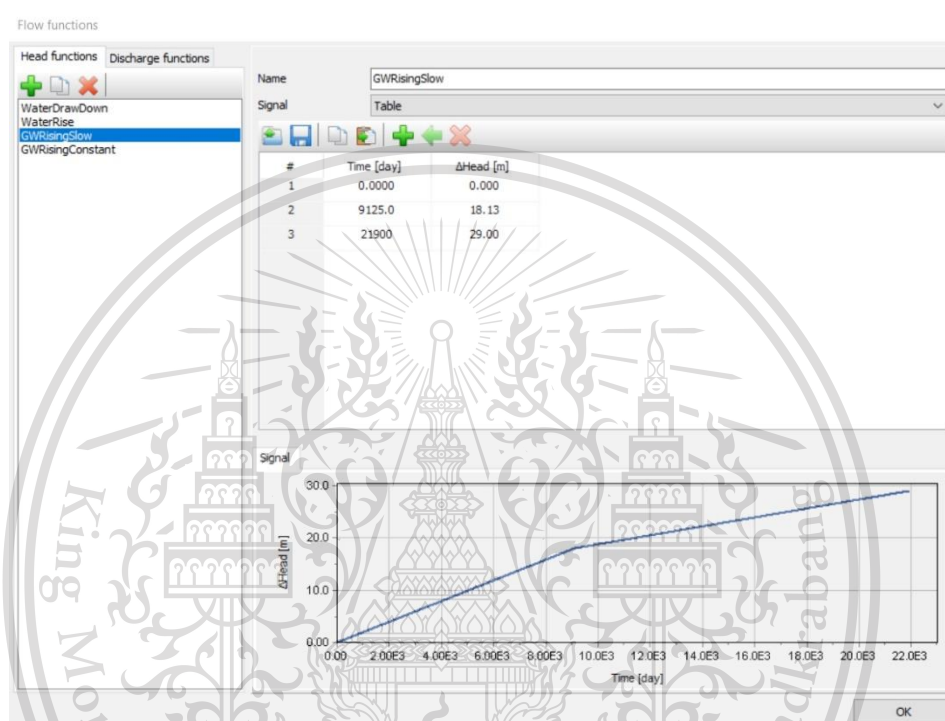
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.) สถานการณ์น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นแบบชะลอตัว

เป็นการกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลให้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากปี พ.ศ. 2540 ไปจนถึง ปี พ.ศ.2565 กำหนดให้น้ำบาดาลอยู่ที่ระดับ 18.13 เมตร และมีการเพิ่มขึ้นแบบชะลอตัวไปจนถึงปี พ.ศ. 2600 น้ำบาดาลอยู่ที่ระดับ 29.00 เมตร (ดังรูปที่ 42)



รูปที่ 42 การกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นแบบชะลอตัว

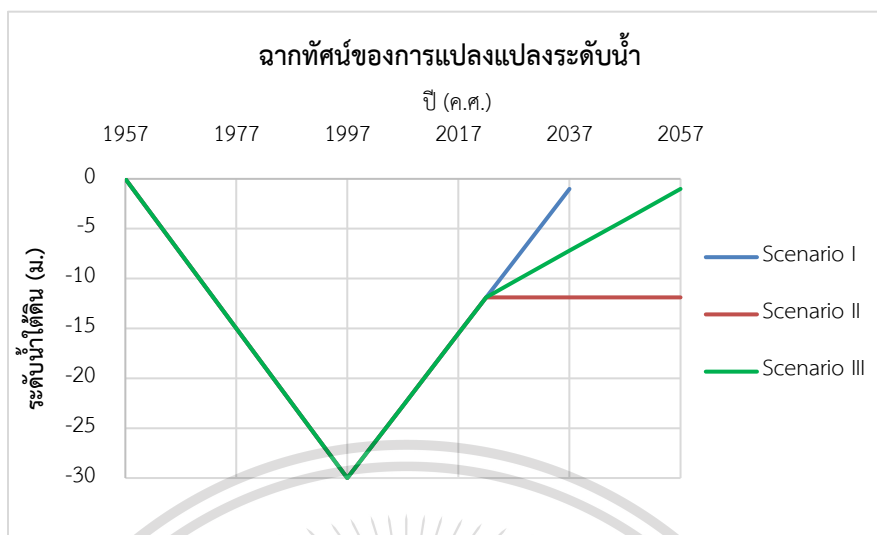
3.) เปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

เมื่อทำการกำหนดสถานการณ์น้ำบาดาลให้มีความแตกต่างกัน และทำการเก็บผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มไปเรื่อยๆ ทุกๆ 10 ปีตั้งแต่ติดตั้งเสาเข็มไปจนถึงปีสุดท้ายที่ต้องการทำการศึกษาเป็นระยะเวลา 40 ปี และ 60 ปี ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 43 ฉากทัศน์ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
ตารางที่ 12 กำลังรับน้ำหนักเสาเข็มที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละปี

ปี พ.ศ.	2540	2550	2560	2570	2580	2590	2600	
จำนวนปีหลังจากระดับน้ำ เพิ่มสูงขึ้น	0 ปี	10 ปี	20 ปี	30 ปี	40 ปี	50 ปี	60 ปี	
Scenario I (ปกติ)	GWL.	-30.00	-22.75	-15.50	-8.25	-1.00	-	-
	T22Q _u (Ton)	320	310	290	270	243	-	-
	T55Q _u (Ton)	2870	2260	2240	2210	2170	-	-
Scenario II (คงที่)	GWL. (m)	-30.00	-22.75	-15.50	-11.88	-11.88	-11.88	-11.88
	T22Q _u (Ton)	295	292	289	272	265	260	255
	T55Q _u (Ton)	2850	2750	2650	2250	2230	2210	2200
Scenario III (ช้า)	GWL.	-30.00	-22.75	-15.50	-10.32	-7.21	-4.11	-1.00
	T22Q _u (Ton)	310	305	290	268	260	250	235
	T55Q _u (Ton)	2960	2410	2390	2360	2200	2130	2100

Scenario I คือ สถานการณ์การเพิ่มขึ้นของน้ำบาดาลปกติ

Scenario II คือ สถานการณ์การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่ (Constant)

Scenario III คือ สถานการณ์น้ำบาดาลเพิ่มขึ้นแบบชะลอตัว

GWL. คือ ค่ารับน้ำบาดาล

Q_u คือ ค่ากำลังรับน้ำหนักเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

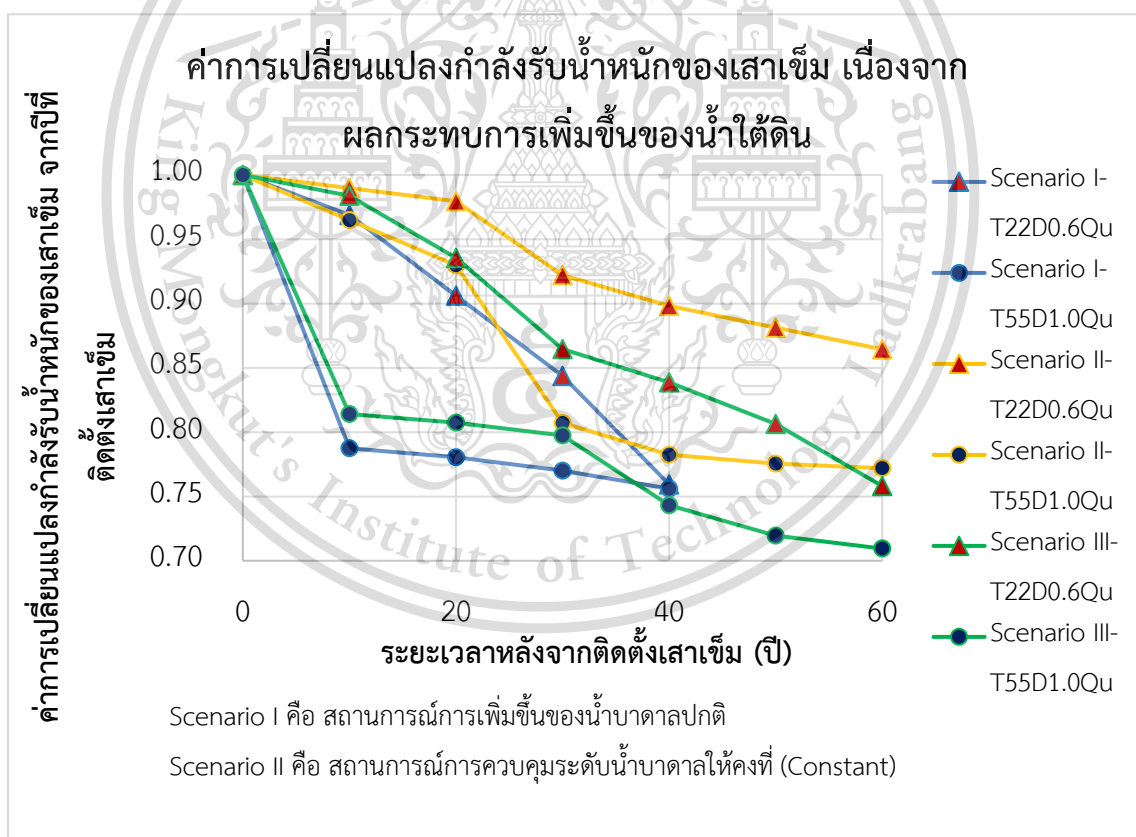
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการจำลองสถานการณ์การเพิ่มขึ้นของน้ำบาดาลทั้ง 3 แบบ และทำการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มในช่วงที่ทำการติดตั้งเสาเข็ม และทำการทดสอบทุกๆ 10 ปีนั้น เสาเข็มจะมีค่ากำลังรับน้ำหนักที่ลดน้อยลงเรื่อยๆ ดังนี้

Scenario I ในช่วงติดตั้งเสาเข็มมีค่ากำลังรับน้ำหนัก 320 ตัน (เสาเข็มสั้น) 2,870 (เสาเข็มยาว) เมื่อเวลาผ่านไปจนน้ำบาดาลถึงผิวดินในปี พ.ศ. 2580 ค่ากำลังรับน้ำหนักลดลงมาเหลือ 243 ตัน (เสาเข็มสั้น) 2,170 ตัน (เสาเข็มยาว)

Scenario II ในช่วงติดตั้งเสาเข็มมีค่ากำลังรับน้ำหนัก 295 ตัน (เสาเข็มสั้น) 2,850 (เสาเข็มยาว) เมื่อน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนปี พ.ศ. 2565 มีการควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่จนถึงปี พ.ศ. 2600 ค่ากำลังรับน้ำหนักลดลงมาเหลือ 255 ตัน (เสาเข็มสั้น) 2,200 ตัน (เสาเข็มยาว)

Scenario III ในช่วงติดตั้งเสาเข็มมีค่ากำลังรับน้ำหนัก 310 ตัน (เสาเข็มสั้น) 2,960 (เสาเข็มยาว) เมื่อน้ำบาดาลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนปี พ.ศ. 2565 การเพิ่มขึ้นของน้ำบาดาลมีกระชอลตัว จนเพิ่มสูงขึ้นถึงผิวดินในปี พ.ศ. 2600 ค่ากำลังรับน้ำหนักลดลงมาเหลือ 235 ตัน (เสาเข็มสั้น) 2,100 ตัน (เสาเข็มยาว)



รูปที่ 44 กราฟแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เนื่องจากผลกระทบการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการนำใช้น้ำใต้ดินนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เส้น Scenario I – III จะทำการเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มเดี่ยวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร ยาว 22 เมตร กับ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 เมตร ยาว 55 เมตร

Scenario I คือสถานการณ์เพิ่มขึ้นของน้ำบาดาลปกติ เสาเข็มสั้นกำลังรับน้ำหนักจะค่อยๆ ลดสมำเสมอทุกๆ 10 ปี ส่วนเสาเข็มยาวในช่วง 10 ปีแรก กำลังรับน้ำหนักจะลดลงเร็วกว่าเสาเข็มสั้นเยอะพอสมควร จากนั้นกำลังรับน้ำหนักจะค่อยๆ ลดลง เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 เสาเข็มจะสังเกตว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 40 ปี กำลังรับน้ำหนักของทั้ง 2 ขนาดจะเท่ากัน และค่า Safety factor ลดลง 24%

Scenario II คือสถานการณ์การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่ จะพบว่าในช่วงเวลา 20 -30 ปี กำลังรับน้ำหนักจะลดลงเร็วกว่าปกติ หลังจากนั้นกำลังรับน้ำหนักจะค่อยๆ ลดลงไปจนถึง 60 ปี เมื่อเปรียบเทียบเสาเข็มสั้นกำลังรับน้ำหนักจะลดลงน้อยกว่าเสาเข็มยาวและค่า Safety factor ลดลง 13% ส่วนเสาเข็มยาวค่า Safety factor ลดลง 22%

Scenario III คือสถานการณ์การใช้น้ำบาดาลลดน้อยลง จะพบว่าเสาเข็มสั้นกำลังรับน้ำหนักจะลดลงสมำเสมอทุกๆปี แต่เสาเข็มยาวในช่วง 10 ปีแรกและช่วง 20-30 ปีกำลังรับน้ำหนักจะลดลงเร็วกว่าปกติ แต่หลังจากนั้นกำลังรับน้ำหนักจะค่อยๆ ลดลงช้า เมื่อระยะเวลาผ่านไป 60 ปี เสาเข็มสั้นค่า Safety factor ลดลง 25% และเสาเข็มยาวค่า Safety factor ลดลง 29%



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการศึกษา

1.) การเคลื่อนตัวของเสาเข็มเดี่ยวที่ได้รับผลกระทบจากน้ำใต้ดิน

- ชั้นดินและเสาเข็มเกิดการยกตัว ซึ่งเสาเข็มยกตัวน้อยกว่าชั้นดิน ซึ่งจะทำให้เกิดลักษณะเสาเข็มทรุดตัวเมื่อเทียบกับผิวดิน โดยเสาเข็มขนาดเล็กขนาดเล็กมีการยกตัวมากกว่าเสาเข็มขนาดใหญ่

2.) ค่าการเปลี่ยนแปลงกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม เนื่องจากผลกระทบการเพิ่มขึ้นของน้ำใต้ดิน

- เมื่อระดับน้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้น ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงไม่เกิน 30% ของค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ณ ปีที่เริ่มติดตั้งที่ระดับน้ำใต้ดินต่ำสุด โดยเสาเข็มขนาดเล็กมีค่าลดลงน้อยกว่าเสาเข็มขนาดใหญ่
- ในฉากทัศน์ (Scenario) ในสถานการณ์การควบคุมระดับน้ำบาดาลให้คงที่ (Constant) หลังจากปี พ.ศ. 2565 ช่วยให้ค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรพิจารณาการติดตั้งเสาเข็ม ณ ปีที่ต่าง ๆ กัน เพื่อพิจารณากำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่เปลี่ยนแปลงไป
- ควรพิจารณาประเภทฐานรากอื่นๆเพิ่มเติม เช่น ฐานรากตื้น เสาเข็มกลุ่ม ฐานแพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

พรพจน์ ต้นเส็ง, (2554). วิศวกรรมฐานราก, 125-190,

นพดล เพียรเวช. (2560). น้ำใต้ดินเปลี่ยนสภาพ ปัญหาใหญ่ในงานฐานรากในพื้นที่กรุงเทพมหานคร, ณ โรงแรม เดอะสุโกศล, งานแสดงเทคโนโลยีและการประชุมวิศวกรรมปฐพีแห่งชาติ ครั้งที่ 4. (2-4). จัดทำโดย: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.).

หน่วยแรงในมวลดิน. สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2563, จากเว็บไซต์: [Microsoft Word - Chapter 4.docx \(snru.ac.th\)](#)

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555). โครงการศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินเนื่องจากการคืบตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาล บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล, จัดทำโดย: บริษัท เซเวน แอสโซซิเอต คอนซัลแตนท์ จำกัด.

กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2555). สถานการณ์น้ำบาดาลในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล,

Morrison P. R. J. and Taylor R. N. (1994). Foundations in a rising groundwater environment. Proc. Int. Conf. on Groundwater Problems in Urban Areas, ICE, London, 342-354. <https://doi.org/10.1680/gpiua.19744.0025>

Harutus Phoban, Uma Seeboonruang, and Prateep Lueprasert, NUMERICAL INVESTIGATION ON PILE BEHAVIOR DUE TO THE RISING GROUNDWATER EFFECT, International Journal of GEOMATE, Feb., 2021, Vol.20, Issue 78, pp. 171-176

Likitlersuang, S.; Teachavorasinskun, S.; Surarak, C.; Oh, E.; Balasubramaniam, A. Small strain stiffness and stiffness degradation curve of Bangkok Clays. Soils Found. 2013, 53, 498-509, doi:10.1016/j.sandf.2013.06.003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.