



## รายงานการวิจัย

การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมในงานฐานรากและพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงาน  
ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ ในอำเภอขนอม จังหวัด  
นครศรีธรรมราช

Foundation Design and Slope Failure Protection for A Large  
Community Building in Khanom, Nakhon Si Thammarat

ดร.ชลดา กาญจนกุล

ดร.ทักษกร พรบุญญานนท์

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2562

การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมในงานฐานรากและพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงานก่อสร้างอาคาร  
บ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ ในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

ชลดา กาญจนกุล<sup>1</sup>

ทักษกร พรบุญญานนท์<sup>2</sup>

บทคัดย่อ

ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค, การวิเคราะห์ ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของ  
ชั้นดินและพฤติกรรมการพังทลายของพื้นที่ลาดถล่ม มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบ  
โครงสร้างอาคาร ที่อยู่อาศัยเนื่องจากฐานรากจะรับน้ำหนักจากองค์อาคารและถ่ายแรงลงสู่พื้นดิน  
ส่วนการวิเคราะห์เสถียรภาพในลาดดินจะส่งผลต่อการเตือนภัยที่จะให้ผู้อยู่อาศัยบริเวณลาดดินพิบัติ  
ทำการอพยพออกนอกพื้นที่ได้อย่างทันท่วงที เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดต่อชีวิตและ  
ทรัพย์สินหากเกิดลาดดินถล่ม

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินและ  
เสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่ม ในพื้นที่กรณีศึกษาอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช สำหรับงาน  
ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ 45 หลังคาเรือน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของการ  
วิเคราะห์ความสามารถในการรับค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity,  $q_u$ ) ของฐานราก  
ตื้นและ อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) เพื่อนำเสนอการป้องกัน, แก้ไขความเสียหายและ  
ก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคาร  
บ้านเรือนขนาดใหญ่ต่อไป

คำสำคัญ : อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety), ความสามารถในการรับค่ากำลังแบกทาน  
(Bearing Capacity), การออกแบบฐานราก (Foundation Design), การป้องกันธรณีพิบัติ (Slope  
Failure Protection), วิธีการวิเคราะห์แบบโครงตาข่าย (Finite Element Method)

# Foundation Design and Slope Failure Protection for A Large Community Building in Khanom, Nakhon Si Thammarat

Chollada Kanjanakul<sup>1</sup>

Thaksakorn Pornbunyanon<sup>2</sup>

## Abstract

In geotechnical engineering, the bearing capacity of soil to support the building loads applied to the ground and slope failure behaviour analysis have significance for design protection in important buildings (e.g., roads, dams, soil embankment), and land filling procedure before construction in Thailand. Frequent landslides and mistake on foundation design occur in Khanom, causing property damage and loss of human life. This paper aimed to analyze ultimate bearing capacity of soil and study the influence of unsaturated slope stability on a hill range in one particular southern part of Thailand (Khanom district in Nakhon Si Thammarat province). A GIS survey, the area's geology, geotechnical laboratory results and rainfall intensity were carried out and analyzed in order to verify the use of factor of safety for an early warning indicator. In addition, the research focuses on designing foundation and calculation ultimate bearing capacity of soil for a large communication building in Khanom, Nakhon Si Thammarat.

Furthermore, Slope at the site became unstable at 80 hours with the factor of safety (F.S.) = 0.960. For suitable shallow foundation in this case study, The results were showing 0.7 x 0.7 m<sup>2</sup> of square footing put on lower soil (SM) 70 cm the ultimate bearing capacity 82.54 t/m<sup>2</sup>.

keywords: Factor of Safety, Bearing Capacity, Foundation Design, Slope Failure Protection, Finite Element Method

---

<sup>1</sup>College of Industrial Technology and Management., Rajamangala University of Technology Srivijaya.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ ประจำปี 2562 เพื่อให้ผู้วิจัยศึกษา ทำการศึกษาความปลอดภัยในการรับน้ำหนัก โครงสร้างของชั้นดินและเสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่ม ในพื้นที่กรณีศึกษาอำเภอขนอม จังหวัด นครศรีธรรมราช สำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ 45 หลังคาเรือน เพื่อให้ได้ ผลลัพธ์ในรูปแบบของการวิเคราะห์ความสามารถในการรับค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity,  $q_u$ ) ของฐานรากตื้นและ อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) เพื่อนำเสนอการ ป้องกัน, แก้ไขความเสียหายและก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่ต่อไป

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทดลองวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ธนันท์ ชูอุปการและเจ้าหน้าที่จากศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (Nadrec) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยแนะนำให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ขอขอบคุณนาย ภาณุพงศ์ ทุ่ม ทวน นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านข้อมูลการทดสอบชั้นดินและ ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมด้วยดีตลอดมากระทั่งผู้วิจัยปฏิบัติงานจนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

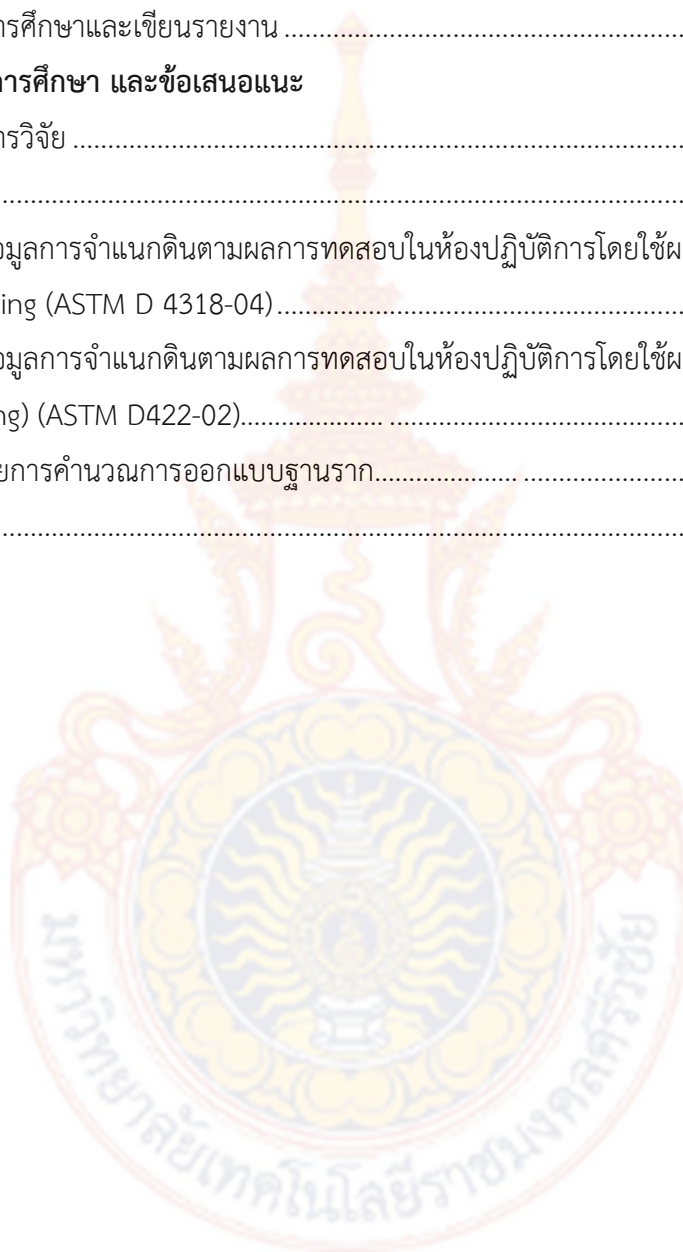
ชลดา กาญจนกุล  
ทักษกร พรบุญญานนท์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานราก .....	5
2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงานก่อสร้างอาคาร.....	6
2.3 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method).....	10
2.4 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite element method (FEM).....	10
2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง .....	10
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	
3.1 การออกแบบฐานราก (Foundation Design).....	13
3.2 การวิเคราะห์ลาดดินถล่ม (Slope Failure Protection) .....	15
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 งานออกแบบและเก็บตัวอย่าง .....	16
4.2 งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม.....	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ และอภิปราย .....	25
4.4 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน .....	26
<b>บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	28
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>30</b>
<b>ภาคผนวก ก. ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04).....</b>	<b>32</b>
<b>ภาคผนวก ข. ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Sieve Analysis (Wet/Dry Sieving) (ASTM D422-02).....</b>	<b>37</b>
<b>ภาคผนวก ค. รายการคำนวณการออกแบบฐานราก.....</b>	<b>42</b>
<b>ประวัติผู้วิจัย.....</b>	<b>45</b>



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

การวิเคราะห์ ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินและพฤติกรรมการพังทลายของพื้นที่ลาดถล่ม มีความสำคัญอย่างมากในการเรียนการสอน รายวิชาวิศวกรรมฐานราก (Foundation Engineering) ซึ่งผู้วิจัยเป็นเจ้าของรายวิชาและจากประสบการณ์การสอนนักศึกษาเป็นเวลาพอสมควร จึงได้พบปัญหาจากการเรียนการสอนในชั้นเรียนของตนเองว่า นักศึกษาไม่สามารถเข้าใจถึงหลักการและวิธีวิเคราะห์เพื่อออกแบบฐานรากที่มีความเกี่ยวข้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ Sieve Analysis, Grain Size Distribution และ Atterberg's Limit ซึ่งเป็นการบ่งบอกพฤติกรรมการรับน้ำหนักและการพังทลายของดินที่เกิดจากการรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างได้ โดยปัญหาเหล่านี้จะทำให้นักศึกษาไม่สามารถแก้ไขปัญหาหน้างานได้ตอนสำเร็จการศึกษาออกไปปฏิบัติงานวิศวกร ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการในชั้นเรียน หรือการนำรายละเอียดงานวิจัยที่เจ้าของรายวิชาได้ลงมือปฏิบัติทุกขั้นตอนเองและประสบปัญหาจนกระทั่งแก้ไขปัญหาด้วยตนเองได้จริงมาใช้ประกอบการบรรยายในรายวิชาวิศวกรรมฐานราก จะสามารถทำให้นักศึกษามีความเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์เพื่อออกแบบฐานรากได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้การวิเคราะห์ ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานรากยังมีความสำคัญสำหรับการนำไปใช้ออกแบบ ป้องกัน และแก้ไขความเสียหายในงานปลูกสร้างอาคารบ้านเรือนเพื่อการอยู่อาศัย งานสร้างถนน เขื่อน ตลอดจนงานถมปรับพื้นที่ก่อนทำการก่อสร้าง หากวิศวกรทำการวิเคราะห์ผิดพลาดก็อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินได้ การออกแบบฐานรากในการก่อสร้าง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องวิเคราะห์การรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างที่ถ่ายน้ำหนักทั้งหมดลงสู่ฐานรากหรือดินโดยตรงว่าปลอดภัยและมีเสถียรภาพเพียงพอหรือไม่ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ พฤติกรรมการพังทลายของดินและความสามารถในการรับน้ำหนักของฐานรากที่ออกแบบ จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแบบเบื้องต้นในพื้นที่กรณีศึกษา (Case Study) ดังรูปที่ 1 ผู้วิจัยได้เลือกการออกแบบฐานรากตื้น (Shallow Foundation) ซึ่งเหมาะสมกับสภาพพื้นที่ที่มีความสามารถแบกรับน้ำหนักบรรทุกได้สูง และตอกเสาเข็มไม่ลง โดยจะอธิบายขั้นตอนในหัวข้อทฤษฎี ในบทถัดไป



**รูปที่ 1** พื้นที่กรณีศึกษา (Case Study) สำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่อำเภอ  
ขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

อำเภอ ขนอม จังหวัด นครศรีธรรมราช ตั้งอยู่ทางภาคใต้ของประเทศไทยเป็นพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดลาดดินถล่มสูงเนื่องจากได้รับอิทธิพลจากพายุฝนโดยมีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยต่อปี 2,500 ถึง 4,000 มิลลิเมตร (อ้างอิงจากกราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 30 ปีการเกิดซ้ำ กรมชลประทาน พ.ศ. 2554 (Thailand Royal Irrigation Department, 2011)) นอกจากนี้ลักษณะทางธรณีวิทยา พบว่าลาดดินโดยส่วนใหญ่จะเป็นหินอัคนี ของยุค จูราสสิครีเทเชีย (Igneous rocks of the Jurassic-cretaceous Age) โดยจะเกิดการผุร่อนและแปรสภาพไปตามกาลเวลาเป็นหินแกรนิต อ้างอิงระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) จากศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (Nadrec) และสามารถคำนวณหา ความสูงและความลาดเอียงของลาดดินจากการสำรวจทางวิศวกรรม โดยใช้กล้องวัดมุมกับกล้องวัดระยะ (Survey Equipment)

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินและเสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่ม ในพื้นที่กรณีศึกษาอำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช สำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ 45 หลังคาเรือน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของการวิเคราะห์ความสามารถในการรับค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity,  $q_u$ ) ของฐานราก ดินและ อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) เพื่อนำเสนอการป้องกัน, แก้ไขความเสียหายและก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่ต่อไป



## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 วิเคราะห์การรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างและการรับค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity,  $q_u$ ) ของดิน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดในการออกแบบฐานรากสำหรับการก่อสร้าง

1.2.2 วิเคราะห์เสถียรภาพและพฤติกรรมการพังทลายของพื้นที่ลาดถล่ม เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในรูปแบบของ อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) สำหรับใช้ในระบบการเตือนภัย เพื่อแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมหากเกิดความเสียหายเกี่ยวกับพื้นที่ลาดถล่มขณะปลูกสร้างอาคารบ้านเรือน

1.2.3 นำเสนอการแก้ไขและป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากการออกแบบฐานรากและพื้นที่ลาดถล่มเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ในงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

## 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินและทำการคำนวณเสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ ในพื้นที่กรณีศึกษาอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

1.3.2 ค่าทางธรณีวิทยา เช่น ความสูง ความลาดชันของพื้นที่ลาดกรณีศึกษา ได้มาจากการตั้งกล้องสำรวจวัดทั้งมุมและระดับ (Surveying Field) ของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

1.3.3 ผลการทดสอบดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการในกรณีศึกษาพื้นที่ลาดเขาสำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ อำเภอชนอม จังหวัด นครศรีธรรมราชได้แก่ Sieve Analysis, Grain Size Distribution และ Atterberg's Limit ถูกนำมาใช้เป็นค่าตัวแปรในการวิเคราะห์การรับน้ำหนักโครงสร้างและออกแบบฐานราก โดยนำเสนอในรูปแบบของ อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety)

1.3.4 การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีโครงสร้างตาข่าย Finite element method (FEM) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์อัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) และลักษณะการพังทลาย (Deformation) สำหรับออกแบบฐานรากและวิเคราะห์เสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่มในกรณีศึกษา

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินและเสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่ม ในเชิงวิศวกรรมสำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ในพื้นที่ อ.ชนอม จ.นครศรีธรรมราช

1.4.2 กำหนดแนวทางการแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมในการออกแบบฐานรากและพื้นที่ลาดถล่มเพื่อการก่อสร้าง อ.ชนอม จ.นครศรีธรรมราช อย่างบูรณาการ

1.4.3 นำข้อมูลไปใช้ประกอบการพิจารณาในการพัฒนาระบบเตือนภัยเนื่องจากพื้นที่ลาดถล่ม  
เพื่อการก่อสร้าง

1.4.4 นำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมหรืองานวิจัยอื่น ๆ  
ต่อไป

1.4.5 สามารถผลิตบทความทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ  
หรือสามารถเข้าร่วมงานประชุมทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์กำลังแบกทานและเสถียรภาพของดินเชิงวิศวกรรมก่อนจะทำการปลูกสร้างอาคารบ้านเรือนเพื่อป้องกันความเสียหายทั้งชีวิตทรัพย์สินและมีความปลอดภัยสูงสุด ดังนั้นความรู้พื้นฐานเชิงวิศวกรรมเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับวิศวกรที่จะต้องเข้าใจความรู้พื้นฐานทางด้านนี้ ในช่วงหลายปีที่ผ่านมามีงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับ การพิจารณาผลกระทบที่เกิดกับพฤติกรรมการพิบัติของดินภายใต้เงื่อนไขการรับน้ำหนักจากสิ่งปลูกสร้าง เพื่อให้เข้าใจถึงภาพโดยรวมในงานวิจัยนี้ ผู้เขียนจึงขอแบ่งการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ ดังนี้

#### 2.1 การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานราก

ขั้นตอนแรกในการออกแบบฐานราก คือ การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินที่รองรับฐานรากแผ่ของอาคาร โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ชั้นดิน จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาขนาดและรายละเอียดอื่นๆของฐานรากต่อไป

##### 2.1.1 ฐานรากระดับตื้น (Shallow Foundation)

ฐานรากระดับตื้น (Shallow Foundation) คือฐานรากที่สามารถกระจายน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างผ่านฐานรากลงบนชั้นดินที่แข็งแรงพอ ในระดับ ประมาณ 1-3 เมตรจากผิวดินได้โดยมีข้อบ่งชี้ที่เหมาะสมดังนี้ (วชิรินทร์และวารการ, 2547)

- 1) ชั้นดินในระดับตื้นที่จะรองรับฐานรากมีความแข็งแรง โดยพิจารณาจากค่าการตอกทดลอง (SPT) มีค่า  $N > 20$  ครั้ง/ฟุต หรือมีค่า  $q_u$  (UCS)  $> 15$  ตัน/ตร.ม.
- 2) ไม่มีชั้นดินเหนียวอ่อนที่จะทำให้เกิดการทรุดตัวมากหรือทรุดตัวต่างกันระหว่างฐานอยู่ในชั้นที่ต่ำกว่าระดับฐานรากลงไป
- 3) ลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดินค่อนข้างสม่ำเสมอ
- 4) ไม่อยู่ในบริเวณที่เป็นระดับน้ำที่อาจมีการกัดเซาะจนต่ำกว่าระดับฐานรากได้

##### 2.1.2 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดินจากคุณสมบัติทางวิศวกรรม (Estimation of Soil Bearing Capacity from Engineering Properties)

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ได้แก่ ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion,  $c$ ) ค่ามุมของแรงเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle,  $\phi$ ) และค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (Soil Unit Weight,  $\gamma$ ) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของดิน ทฤษฎีเบื้องต้น ของการวิเคราะห์นี้จะใช้สมมุติฐานว่า ฐานรากซึ่งกว้าง  $B$  และวางอยู่บนดินที่ระดับความลึก  $D_f$  นั้น มีความยาว  $L$  ซึ่งยาวมากจนทำให้พฤติกรรมของดินที่รองรับฐานรากมีลักษณะของ ความเครียดเป็นระนาบที่เรียบ (Plane Strain) นอกจากนี้ยังตั้งสมมุติฐานว่าดินที่รองรับฐานรากมี ความแข็งแรงสูงมากจนการวิบัติเป็นแบบแรงเฉือนทั่วไป

ซึ่งในที่นี้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแบบเบื้องต้นในพื้นที่กรณีศึกษา (Case Study) ผู้วิจัยได้วิเคราะห์และเลือกการออกแบบฐานรากตื้น (Shallow Foundation) ซึ่งเหมาะกับสภาพพื้นดินที่มีความสามารถแบกรับน้ำหนักบรรทุกได้สูง และตอกเสาเข็มไม่ลง โดยคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน ( $q_u$ ) ตามทฤษฎีของ Karl Terzaghi (1883-1963) ดังสมการที่ 1

$$q_{ult} = cN_c s_c + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma \quad \dots(1)$$

เมื่อ

$q_{ult}$  = ค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน

$c$  = ค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion)

$N_c, N_q, N_\gamma$  = Bearing Capacity Factor

$s_c = 1, 1.2$  เมื่อ ฐานมีความยาวมาก, ฐานเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

$q = \gamma D_f$  น้ำหนักกดทับจากของดิน เมื่อ  $\gamma$  คือ หน่วยน้ำหนักของดิน

$B, D_f$  = ความกว้างของฐานและความลึกของฐานจากผิวดิน

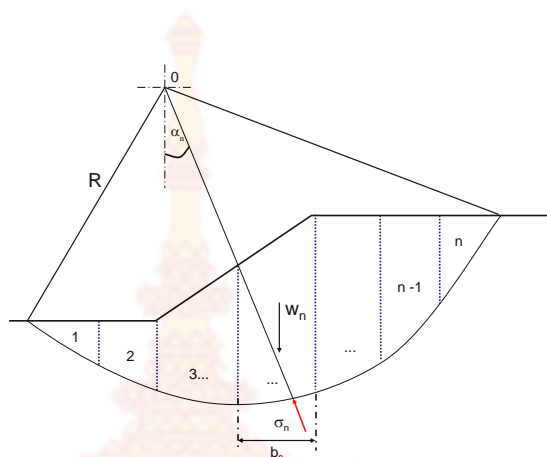
$s_\gamma = 1, 0.8$  เมื่อ ฐานมีความยาวมาก, ฐานเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

## 2.2 การวิเคราะห์เสถียรภาพพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงานก่อสร้างอาคาร

วิธีการและคุณลักษณะในการวิเคราะห์เสถียรภาพพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงานก่อสร้างอาคาร มีหลายวิธีการด้วยกันแต่ในที่นี้ การวิเคราะห์ในสภาวะสมดุล (Limit equilibrium methods) เป็นวิธีที่มีคุณลักษณะเหมาะสมที่สุดสำหรับวิศวกรเมื่อลองเปรียบเทียบเหตุผลกับวิธีการวิเคราะห์อื่นๆ (Duncan, 1996) โดยการวิเคราะห์ในสภาวะสมดุล (Limit equilibrium methods) เป็นวิธีการที่ต้องวิเคราะห์เสถียรภาพโดยอาศัยหลักการสมดุลของแรงต่างๆ ที่มากระทำต่อมวลที่อยู่เหนือแนวพิบัติ การที่มวลของลาดดินจะสมดุลได้นั้น แรงที่ขับให้ลาดดินเลื่อนไถล (ได้แก่ น้ำหนักของมวลดิน) จะต้องมามีค่าเท่ากับแรงต้านทานการเลื่อนไถล (ได้แก่ ค่ากำลังเฉือน (Shear Strength) ของมวลดิน และของแนวพิบัติ) ค่าสัดส่วนของแรงขับต่อแรงต้านการเลื่อนไถลนี้ เรียกว่า “อัตราส่วนของความปลอดภัย” (Factor of Safety) ถ้าค่า F.S. มีค่าน้อยกว่า 1.0 ถือว่าลาดดินนั้นไร้เสถียรภาพ นอกจากนั้นในปัจจุบันนี้ได้มีโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ต่าง ๆ อาทิเช่น PCSLOPE, GSLOPE, STABL, GEOSTUDIO เป็นต้น มาช่วยให้การวิเคราะห์สะดวกและรวดเร็วขึ้น

ส่วนการวิเคราะห์พฤติกรรมการพังทลายของพื้นที่ลาดถล่มที่วิศวกรนิยมกันมากที่สุด ได้แก่ วิธีแบ่งเป็นชั้นบางๆ (Method of Slices) (ชัยและคาชูโตะ, 2546) โดยจะทำการคำนวณเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างแรงผลักดันกับแรงต้านทาน โดยสมมติแนวพิบัติเป็นส่วนโค้งของวงกลมแล้วแบ่งมวลดินออกเป็นชั้นๆ ในแนวตั้ง เพื่อคำนวณอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ของพื้นที่แนวลาด ความถูกต้องของการคำนวณขึ้นอยู่กับการประมาณแรงผลักดันและแรงต้าน โดยแรงผลักดันได้จากแรงภายนอกอื่นๆ ที่มากระทำและน้ำหนักของมวลดิน ขณะที่แรงต้านนั้นประมาณได้จากกำลังเฉือนของดินแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) โดยเฉพาะวิธีการ Bishop's Simplified Method เป็นวิธีที่ง่ายและให้คำตอบใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุดซึ่ง วิธีแบ่งเป็นชั้นบางๆ จะต้องทำ

การแบ่งส่วนโค้งของวงกลมออกเป็นชั้น ในแนวตั้งจำนวน  $n$  ชั้น (รูปที่ 2) แล้วก็คำนวณหาอัตราส่วนปลอดภัย (Factor of Safety) จากการคำนวณเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างโมเมนต์ผลักกับโมเมนต์ต้านทานของมวลดินดังสมการที่ 2 (Chollada, 2008)

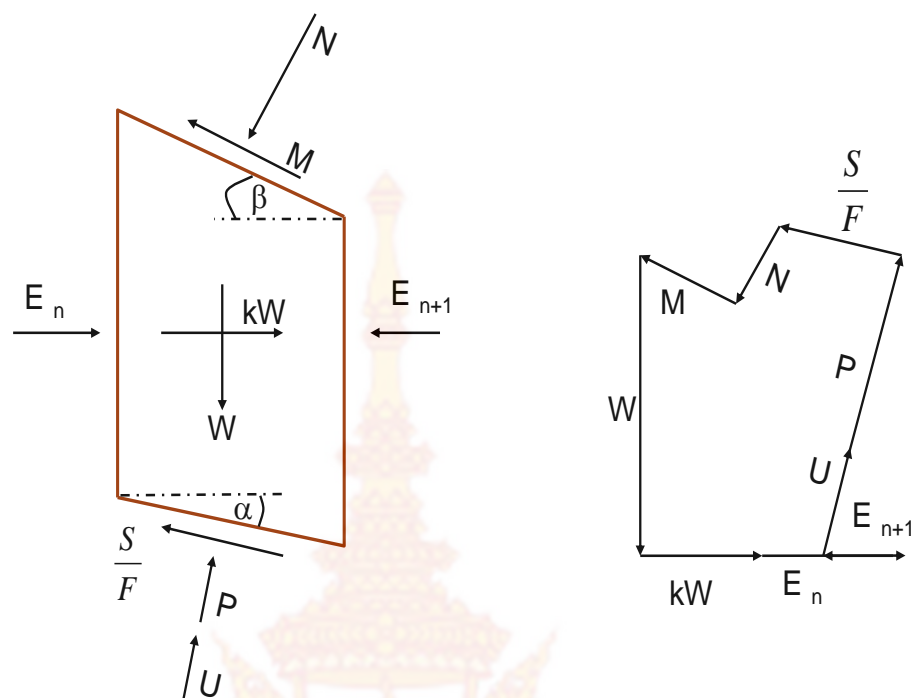


รูปที่ 2 การแบ่งส่วนโค้งการพิบัติของวงกลมออกเป็นชั้นบางๆ (Chollada, 2008)

$$F.S. = \frac{\Sigma \text{ Resisting moments}}{\Sigma \text{ Overturning moments}} \quad (2)$$

2.2.1 การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้ Bishop's Simplified.

การวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อชิ้นบางๆของลาดดิน (รูปที่ 2) โดย Bishop's Simplified Method สามารถเขียนแผนภาพวัตถุอิสระ (Free Body Diagram) แสดงแรงที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3 (a) จากนั้นวิเคราะห์เพื่อหาสมดุลของแรงโดยใช้รูปหลายเหลี่ยมแทนแรง (Force Polygon) ดังแสดงในรูปที่ 3 (b)



รูปที่ 3 แรงกระทำต่อลาดดินถูกแบ่งเป็นชั้นบางๆ (a) แผนภาพวัตถุอิสระ (b) รูปหลายเหลี่ยมแทนแรง

เมื่อ

$W$  = น้ำหนักของมวลดินแต่ละชั้นที่ทำการแบ่งมวลดิน (Slice Weight)

$kW$  = แรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นดินไหว (Pseudo-Static Seismic Force)

$U$  = แรงดันน้ำ (Pore Pressure Force)

$P$  = แรงประสิทธิผลที่เกิดขึ้นจากพื้นมวลดิน (Effective Normal Force on

Base)

$\frac{S}{F}$  = แรงเฉือนต้านของมวลดินที่เกิดขึ้น (Mobilized Shear Force)

$E_N, E_{N+1}$  = แรงเคลื่อนพังในแนวราบของมวลดิน (Horizontal Slide Forces)

$M, N$  = แรงต้านทานมวลดินที่ขนานและตั้งฉากกับเส้นลาดดิน (Resultant of

Boundary Forces)

จากรูปที่ 3 (a) Whitman and Bailey (1967) ได้ทำการวิเคราะห์สมดุลของแรงในแนวตั้งได้ผลลัพธ์ดังแสดงในสมการที่ 3

$$W + N \cos \beta - M \sin \beta - U \cos \alpha - P \cos \alpha - \frac{cl + P \tan \phi}{F} \sin \alpha = 0 \quad \dots(3)$$

จากสมการที่ 3 ย้ายข้างสมการเพื่อหาค่าแรงประสิทธิผล

$$P = \frac{W + N \cos \beta - M \sin \beta - U \cos \alpha - \frac{cl \sin \alpha}{F}}{\cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F}\right)} \quad \dots(4)$$

จากรูปที่ 3 (a) Take Moment รอบจุดที่เกิดแรง effective normal force on base แล้วแทนแรง P จากสมการที่ 4 สามารถเขียนอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) ของโมเมนต์ (สมการที่ 2) ได้ใหม่ดังนี้

$$F.S. = \frac{R \sum [(cl \cos \alpha + (W - U \cos \alpha + N \cos \beta - M \sin \beta) \tan \Phi) / M_\alpha]}{\sum [WR \sin \alpha + kW_y k \pm N_\alpha n - M_\alpha m]} \quad \dots(5)$$

เมื่อ

$$M_\alpha = \cos \alpha \left(1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{F}\right) \quad \dots(6)$$

$$P = F.S. \quad \dots(7)$$

### 2.2.1 Bishop's Simplified Equation.

หลักการคำนวณแรงจากสมการที่ 5 เมื่อนำมาจัดรูปใหม่เพื่อสะดวกในการคำนวณสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 8 ซึ่งเรียกว่า สมการ Bishop's Simplified

$$F.S. = \frac{\sum \left[ \frac{(cb_n + w_n(1 - r_{un}) \tan \phi) \sec \alpha_n}{1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha_n}{F.S._x}} \right]}{\sum W_n \sin \alpha_n} \quad \dots(8)$$

เมื่อ

$n$  = จำนวนชั้นส่วนที่ทำการแบ่งมวลดินที่อยู่ในส่วนของวงกลม (1 2 3...)

$b_n$  = ความกว้างของมวลดินที่ทำการแบ่ง

$W_n$  = น้ำหนักของมวลดินแต่ละชั้นที่เราทำการแบ่ง

$\alpha_n$  = มุมระหว่างเส้นตั้งกับรัศมีของส่วนโค้งมีค่าทั้งบวกและลบดังรูปที่ 2.3

$C$  = ค่าความเชื่อมแน่นของดิน

$\phi$  = มุมเสียดทานภายใน

$$r_{un} = \sum \frac{u \cdot b_n}{W_n}$$

$u$  = หน่วยแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure)

อย่างไรก็ตามทุกวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยใช้สมมูลของแรงจะมีนิยามในการหาอัตราส่วนปลอดภัยเหมือนกัน คือ เปรียบเทียบแรงเฉือนหรือกำลังภายในมวลดิน (The shear strength) ต่อแรงภายนอก (Duncan, 1996) โดยจะต้องสมมติค่า ส่วนโค้งในการพัง (A slip surface) ก่อนจะทำการคำนวณ แรงผลักต่อแรงต้านโดยค่ากำลังภายในมวลดินจะถูกสมมติให้มีความสามารถในการรองรับแรงภายนอกได้ทั้งหมดตลอดส่วนโค้งการพังในเบื้องต้นและสมมติให้ลาดดินในช่วงแรกมีเสถียรภาพจากนั้นค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะค่อยๆลดลงตามการเพิ่มขึ้นของแรงภายนอก (The shear stress) โดยส่วนโค้งในการพังอาจจะเป็นส่วนโค้งหรือไม่เป็นส่วนโค้งก็ได้แต่โดยเบื้องต้นจะถูกสมมติเป็นส่วนโค้ง

ในวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบดั้งเดิมค่าที่ใช้เป็นตัวแปรใน Input data จะพบว่าได้มาจากข้อมูลกลุ่มเล็ก ดังเช่น ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลและนำมาทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์แต่ไม่มีการคำนึงถึงปัญหาเรื่องความไม่แน่นอนในเสถียรภาพของลาดดินจึงอาจทำให้ค่าอัตราส่วนปลอดภัยที่สูงเกินไปหรือเกิดการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ผิดพลาด (Duncan, 1996) จึงต้องประยุกต์ใช้ความรู้เดิมและนำมาพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและเกิดความปลอดภัยสูงสุด

### 2.3 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)

การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเชิงตัวเลขจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับการพิบัติในลาดดินได้ละเอียดกว่าวิธีแบบดั้งเดิมซึ่งผลลัพธ์ที่มีแค่อัตราส่วนปลอดภัยไม่ได้ให้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและเกิดความปลอดภัยสูงสุด แต่ Numerical method สามารถอธิบายรูปแบบส่วนโค้งพิบัติที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ (Itasca consulting group, 2005)

### 2.4 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite element method (FEM)

เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนาและประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์เนื่องจากต้องเก็บข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณจำนวนมาก โดยใช้คำนวณ ความเค้น การเคลื่อนตัวของลาดดินและแรงดันน้ำ โดยเริ่มเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายแทนที่วิธีการวิเคราะห์แบบดั้งเดิม (Duncan, 1996, Griffiths and lane, 1999). แต่วิธีการ FEM อาจจะมีเงื่อนไขในการคำนวณซับซ้อนและใช้เวลาคำนวณนานกว่าแต่ข้อดีก็คือ จะได้คำตอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า

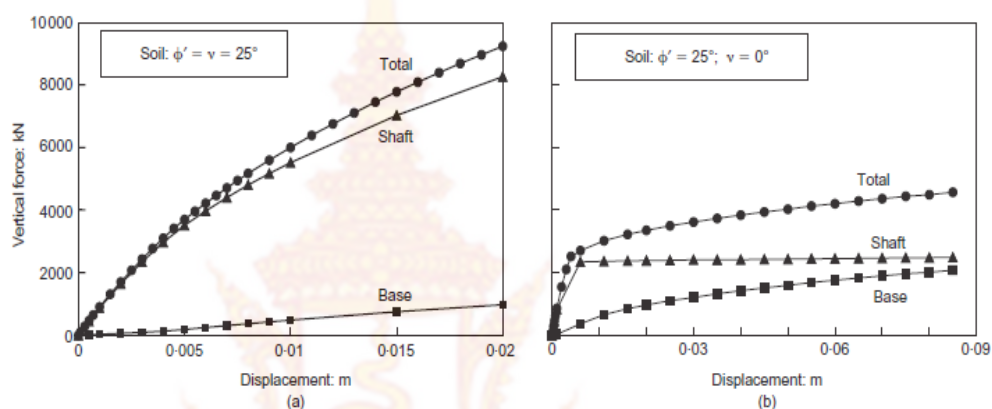
### 2.5 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

- Kulhawy และ duncan (1972) พัฒนาวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite element method กับเขื่อนดินถม (Embank fill) ที่ถูกสมมติให้เป็นแบบแข็ง (Rigid and hyperbolic mode) พบว่าการวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่ผู้วิจัยทำการสังเกตและพบว่าวิธี FEM สามารถทำนาย พื้นที่การพิบัติที่เกี่ยวข้องกับแรงดึงได้ (Tension zones agreed closely with visible tension cracks)

- Potts, 2003 พิจารณาปัญหาเกี่ยวกับการทำนายพฤติกรรมของเสาเข็มลึก (deep pile) ด้วยวิธี FEM โดยสมมติให้ดินรอบเสาเข็มมีลักษณะแห้งไม่มีความชุ่มชื้นของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องและดินที่ไม่มี



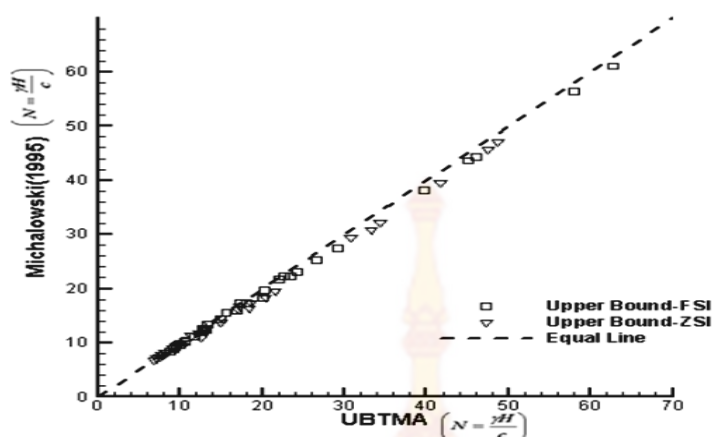
พฤติกรรมการระบายน้ำโดยมีค่า dilation angle,  $\nu = 0^\circ$  และ  $\nu = \phi' = 25^\circ$  ดังรูปที่ 4 การวิเคราะห์โดยกำหนด  $\nu = 0^\circ$  จะสามารถทำนายค่า แรงกระทำสูงสุด (an ultimate load) ในหัวเสาเข็มจะเกิดการเคลื่อนตัวไป 2 เมตร สำหรับการเคลื่อนตัวในเสาเข็มส่วนอื่นๆจะเคลื่อนตัวไปจนถึง 0.09 เมตร (9% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม) จะเห็นได้ว่าจะเกิดการเคลื่อนตัวสูงสุดบริเวณที่ถูกแรงกระทำสูงสุด ก็คือ ที่หัวเสาเข็มเท่านั้น งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของการคำนวณด้วยวิธี FEM เปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์แบบดั้งเดิม (conventional method) เพราะสามารถทำนายพฤติกรรมเคลื่อนตัวของเสาเข็มลึกได้



รูปที่ 4 Behaviour of a pile in drained soil a) soil with  $\nu = \phi'$  b) soil with  $\nu = 0^\circ$

- Hammah et al (2005) เปรียบเทียบการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยสมมูลของแรงผลักดันแรงต้าน และวิธี SSR (Shear strength reduction) ซึ่งเป็นเทคนิคการคำนวณจากวิธี finite element technique กับวิธีการวิเคราะห์ลาดดิน 30 กรณี โดยสมมติค่า a dilation angle = 0 ในกรณี the elastic-perfectly plastic พบว่าวิธี SSR (Shear strength reduction) วิเคราะห์ได้ดีกว่าการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยสมมูลของแรงผลักดันแรงต้านเพราะเป็นเสมือนวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยสมมูลของแรงผลักดันแรงต้านซ้ำกันหลายๆครั้งจนกระทั่งลาดดินเกิดการสูญเสียเสถียรภาพ

- บุญชัย (2547) เสนอการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดด้วยการวิเคราะห์ขอบเขตบนแบบประยุกต์ (Upper Bound Analysis for Slope Stability Problems, UBTMA) วิธีการนี้จะประยุกต์ใช้หลักการของทฤษฎีขอบเขตบนร่วมกับกลไกการวิบัติแบบเลื่อน และต้องจัดรูปแบบปัญหาให้อยู่ในรูปของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งสามารถแก้หาค่าตอบได้โดยเทคนิคการแก้ปัญหาแบบเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ผลการวิเคราะห์ของปัญหาหลายๆแบบที่วิเคราะห์ด้วยวิธี UBTMA จะถูกเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีของ Spencer สำหรับประมาณค่าสัดส่วนความปลอดภัยของการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาด ผลการวิเคราะห์พบว่าเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีเก่าของ Michalowski (1995) ซึ่งวิเคราะห์โดยใช้ Stability Number (N) วิธีใหม่จะมีความถูกต้องแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือเนื่อง จากสอดคล้องกับทฤษฎีดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบตัวเลขเสถียรภาพที่วิเคราะห์ด้วยวิธี UB-TMA กับ Analytical Upper Bound ของ Michalowski (บุญชัย, 2547)

- Wael A. et al (2008) ศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่า ส่วนโค้งการบีบติ (slip surface) ที่แตกต่างกันในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนปลอดภัยโดยพื้นฐานการวิเคราะห์แบบ สมดุลของแรง (the limit equilibrium (LE)) โดยลาดชันทั้ง 3 กรณีศึกษาโดยเปรียบเทียบกับโปรแกรมการวิเคราะห์อื่นๆ โดยพิจารณาความไวตัวของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางธรณีวิทยาของลาดดิน ได้แก่ ลักษณะของเนื้อดิน และพบว่าลาดชันกรณีศึกษาที่ 2 มีความซับซ้อนเกี่ยวกับผลกระทบของตัวแปรลักษณะของเนื้อดิน มากกว่ากรณีที่ 1 และ 3 ดังรูปที่ 6

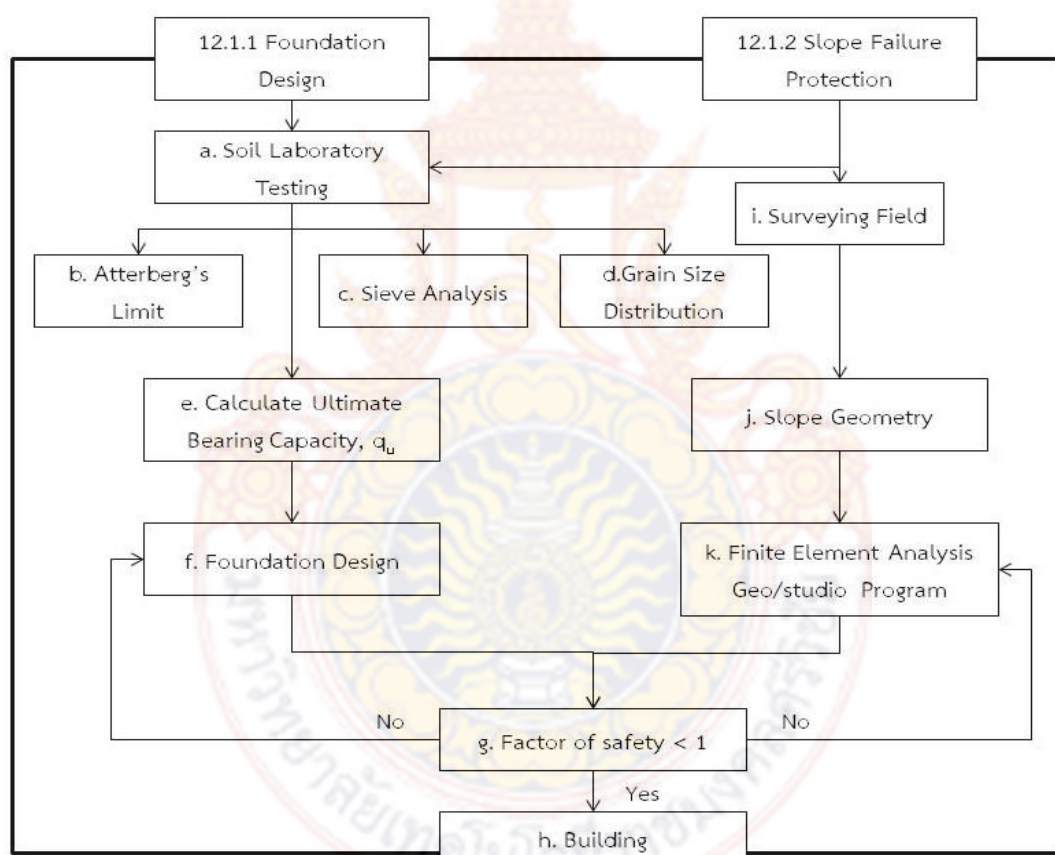
Example no.	Layer no.	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cohesion (kPa)	$\phi$ (°)
1	1	17	15	20
2	1	18.2	80.0	0
	2	21.0	0.0	38
	3	18.2	100.0	0
	4	18.0	40.0	0
	5	16.9	95.0	0
	6	18.3	95.0	0
3	1	120	300	30

รูปที่ 6 Soil properties for three examples used in this study (Wael A. et al, 2008)

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินการวิจัยถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ 3.1) การออกแบบฐานราก (Foundation Design) และ 3.2) การวิเคราะห์ที่ลาดดินถล่ม (Slope Failure Protection) ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีการระบุรายละเอียดเพิ่มเติมของในแต่ละแผนภาพ (Diagram) ดังนี้

3.1) การออกแบบฐานราก (Foundation Design) ขั้นตอนการวิเคราะห์การรับน้ำหนักแบกทานของฐานราก มีรายละเอียดปลีกย่อยดังนี้



รูปที่ 7 Methodology

- a.) นำผลที่ได้จากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ ( b. Sieve Analysis, c. Grain Size Distribution และ d. Atterberg's Limit ) ซึ่งจากผลจากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการจะทำให้ผู้วิจัยสามารถ วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆและจำแนกชนิดของดินได้ (Soil Properties)
- e.) เป็นขั้นตอนการออกแบบฐานรากสำหรับรับน้ำหนักอาคารที่จะถ่ายแรงทั้งหมดลงมาสู่ฐานราก และดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้วิจัยจะต้องทราบถึง ชนิดและคุณสมบัติของดินเพื่อวิเคราะห์ค่ารับกำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity,  $q_u$ ) เพื่อจะนำไปออกแบบโครงสร้างฐานรากให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด
- f.) ออกแบบขนาดของฐานรากและเหล็กโครงสร้างในคอนกรีต g.) ตรวจสอบค่าอัตราส่วนปลอดภัย ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ปลอดภัยและนำไปใช้ออกแบบสำหรับรองรับน้ำหนักจากอาคารก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ (h.) แต่ถ้าน้อยกว่า 1 อาจต้องย้อนเข้าสู่กระบวนการออกแบบฐานราก (f.) ใหม่ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม

### 3.2 การวิเคราะห์ลาดดินถล่ม (Slope Failure Protection) มีรายละเอียดปลีกย่อยดังนี้

- i.) นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมากำหนดค่าทางกายภาพ (Geometry Parameters) ได้แก่ ความสูง (H) ความกว้าง (L) และความลาดเอียง ( $\beta$ ) ของพื้นที่ลาดถล่มสำหรับนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมการถล่มของดินและหาอัตราส่วนปลอดภัย
- a.) นำผลที่ได้จากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ ( b. Sieve Analysis, c. Grain Size Distribution และ d. Atterberg's Limit ) มากำหนดค่าทางประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก (Shear Strength Parameters) ได้แก่ ค่า ความเชื่อมแน่น (c) และ ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ )
- j.) นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอน i มากำหนดลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลาดถล่ม (Slope Geometry) เพื่อเป็นข้อมูลในโปรแกรม Seep/w สำหรับ คำนวณค่าการซึมผ่านของน้ำในมวลดินและนำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอน a มากำหนดค่าทางประสิทธิภาพในการรับน้ำหนัก (Shear Strength Parameters) ที่ต้องเป็นข้อมูลในโปรแกรม Slope/W สำหรับ คำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัยดิน
- k.) วิเคราะห์เสถียรภาพของพื้นที่ลาดถล่มโดยใช้วิธีโครงสร้างตาข่าย (Finite Element) ในโปรแกรม Geo/studio สำหรับ คำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัยดิน ถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ปลอดภัยและก่อสร้างอาคารบ้านเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ (h.) แต่ถ้าน้อยกว่า 1 อาจต้องย้อนเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์เสถียรภาพใหม่(k.) ใหม่ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

ที่	กิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1.	งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง	X	X	X	X	X							
2.	งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม			X	X	X	X	X	X				
3.	การวิเคราะห์และอภิปราย							X	X	X	X	X	X
4.	สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน								X	X	X	X	X

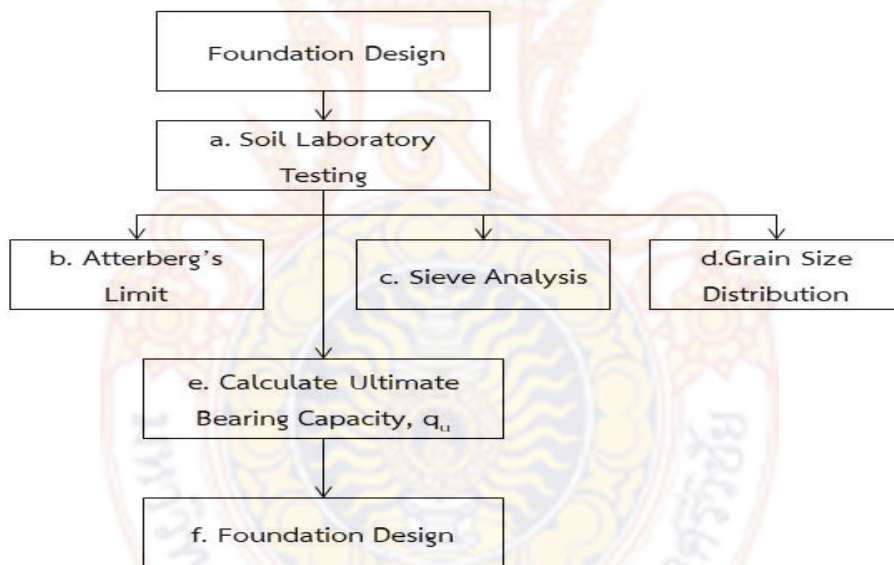


## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผู้วิจัยขอแบ่ง ผลงานความก้าวหน้าที่ได้จากการวิจัย ออกเป็นหัวข้อย่อยทั้งหมด 4 ส่วน อ้างอิงตามแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย ดังนี้ 1) งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง, 2) งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม, 3) การวิเคราะห์ และอภิปรายและ 4) สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน

### 4.1 งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง (Result from geological properties on study area)

เป็นการเก็บดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Atterberg's Limit, Sieve Analysis, Grain size distribution และทำการสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อ กำหนดแบบจำลองของลาดดินพิบัติสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ โดยรายละเอียดการจำแนกดินเป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.1และการสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อ กำหนดแบบจำลองของลาดดินพิบัติสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์เป็นไปตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.1.2



รูปที่ 4.1 Flow Chart ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

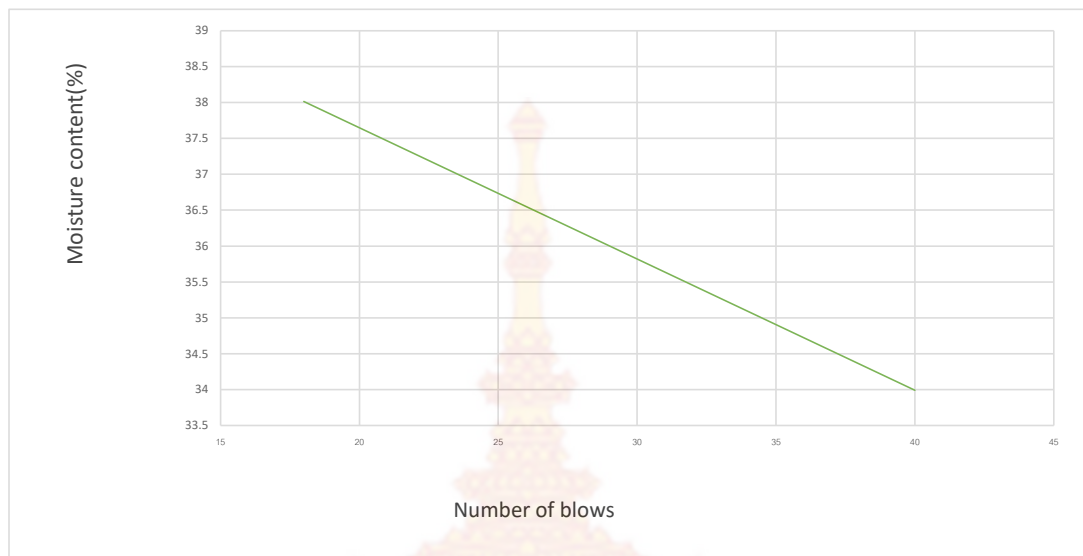
#### 4.1.1 รายละเอียดการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Result from In-situ soil sampling)

จากการนำดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการได้แก่ Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) เมื่อค่า Liquid Limit (LL) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่มวลดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลว (Viscous Fluid) ไปเป็นสารหนืดตัวในสถานภาพพลาสติก (Plastic State) , Plastic limit (PL) คือ ความชื้นในมวลดินขณะที่เปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นกึ่งของแข็ง (Semi - solid state) และ Plastic Index (PI) คือ ผลต่างของ L.L และ P.L มักเป็นตัว

แสดงถึงความเหนียวของดินและยังแสดงความไวต่อการเปลี่ยนสถานะภาพต่อความชื้นของมวลดินนั้น จึงเป็นค่าที่สำคัญใช้มากในการจำแนกมวลดิน จากผลการทดสอบ Atterberg limits พบว่าค่า Liquid Limit (LL), Plastic limit (PL) และ Plastic Index (PI) สำหรับ Lower layer มีค่าเท่ากับ 36.70, 26.37 และ 10.33 (ตารางที่ 4.1และรูปที่4.2) และสำหรับ Upper layer มีค่าเท่ากับ 35.51, 30.15 และ 5.36 (ตารางที่ 4.2และรูปที่4.3) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) for Lower layer

TEST	ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)			
	1	2	3	4
Test Number	1	2	3	4
Container no.	A1	A2	A3	A4
Number of bumps	18	22	28	40
Wet soil & Container g	29.830	29.750	28.350	24.830
Dry soil & Container g	26.580	26.380	26.130	22.760
Container g	18.130	17.210	19.990	16.690
Dry soil g	8.450	9.170	6.140	6.070
Moisture loss g	3.250	3.370	2.220	2.070
MOISTURE CONTENT %	38.462	36.750	36.156	34.102
Liquid Limit	36.700%			
Plastic Limit	26.374%			
Plastic Index	10.326%			

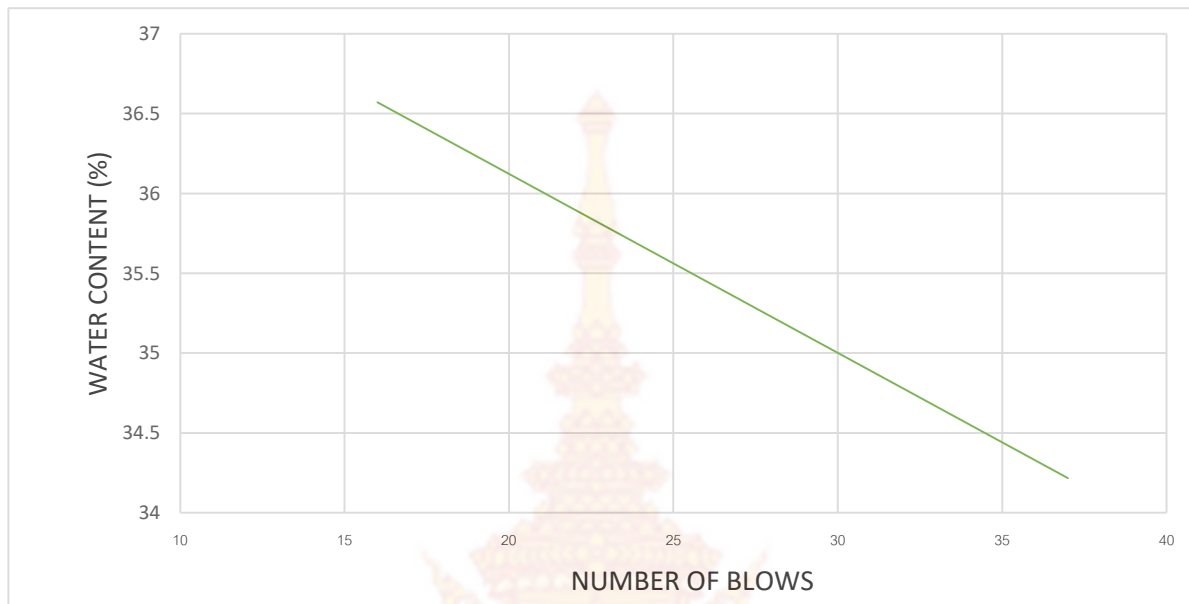


รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของ Number of blows และ Moisture content สำหรับ Lower layer

ตารางที่ 4.2 Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) for Upper layer

TEST		ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)			
Test Number		1	2	3	4
Container no.		A1	A2	A3	A4
Number of bumps		16	24	30	37
Wet soil & Container	g	34.690	29.290	36.530	34.330
Dry soil & Container	g	30.770	26.110	32.140	31.000
Container	g	20.080	17.140	19.640	21.270
Dry soil	g	10.690	8.970	12.500	9.730
Moisture loss	g	3.920	3.180	4.390	3.330
MOISTURE CONTENT	%	36.667	34.452	35.120	34.224
Liquid Limit		35.510%			
Plastic Limit		30.147%			
Plastic Index		5.363%			





รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ของ Number of blows และ Moisture content เพื่อใช้จำแนกชนิดของดินสำหรับ Upper layer

จากการนำดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Sieve Analysis laboratory testing (ASTM D422-02) เมื่อค่า  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  และ  $D_{60}$  คือ ขนาดของดินที่มีขนาดเล็กกว่า 10%, 30% และ 60%, ค่า The coefficient of uniformity (CU) คือ ค่าที่แสดงการกระจายตัวของเม็ดดินว่ามีความสม่ำเสมอหรือไม่ และค่า coefficient of curvature (CC) จะแสดงถึงขนาดคละกันว่าขนาดคละกันดีหรือไม่จากผลการทดสอบ Sieve Analysis laboratory พบว่าค่า  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  และ  $D_{60}$  สำหรับ Lower layer มีค่าเท่ากับ 2.00, 0.08 และ 0.3 สำหรับ Upper layer มีค่าเท่ากับ 2.00, 0.8 และ 0.25 ตามลำดับ และ ค่า CU และ CC สำหรับ Lower layer มีค่าเท่ากับ 0.15 และ 0.010 สำหรับ Upper layer มีค่าเท่ากับ 0.125 และ 1.28 ตามลำดับและการจำแนกดินด้วยวิธี Unified Soil Classification (USCS) ดังตารางที่ 4.3 สามารถจำแนกสำหรับ Lower layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Silty Sand (SM) และการจำแนกดินด้วยวิธี Unified Soil Classification (USCS) ดังตารางที่ 4.4 สามารถจำแนกสำหรับ Upper layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Graded Sand (SP)

ตารางที่ 4.3 Unified Soil Classification (ASTM D2487) for Lower layer

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>A</sup>				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name <sup>B</sup>
COARSE-GRAINED SOILS (More than 50 % retained on No. 200 sieve size)  <i>Ans</i> <i>96.4 % retained on No. 200 sieve size</i>	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve size)	Clean gravels (Less than 5 % fines <sup>C</sup> )	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	GW	Well-graded gravel <sup>F</sup>
			$Cu < 4$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup>	GP	Poorly graded gravel <sup>F</sup>
		Gravels with fines (More than 12 % fines <sup>C</sup> )	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel <sup>F, G, H</sup>
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel <sup>F, G, H</sup>
	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve size)  <i>Ans</i> <i>94.5 % passes No. 4 sieve size</i>	Clean sands (Less than 5 % fines <sup>D</sup> )	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	SW	Well-graded sand <sup>J</sup>
			$Cu < 6$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup>	SP	Poorly graded sand <sup>J</sup>
		Sands with fines (More than 12 % fines <sup>D</sup> )  <i>Ans</i> <i>More than 12 % fines</i> <i>Cu &lt; 6 and Cc = 0.01</i>	Fines classify as ML or MH  <i>Ans</i> <i>Fines classify as ML or MH</i>	<i>SM</i>	<i>Silty sand<sup>G</sup></i> <i>H, I</i>
			Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand <sup>G, H, I</sup>

**Summary** In primary investigation properties, field and laboratory tests were conducted to determine index and engineering properties of the soil including: natural water content (ASTM D 2216), specific gravity (ASTM D 854), sieve analysis (ASTM D422), soil classification (ASTM D 2487). The soil is classified as **Silty Sand (SM)**.

ตารางที่ 4.4 Unified Soil Classification (ASTM D2487) for Upper layer

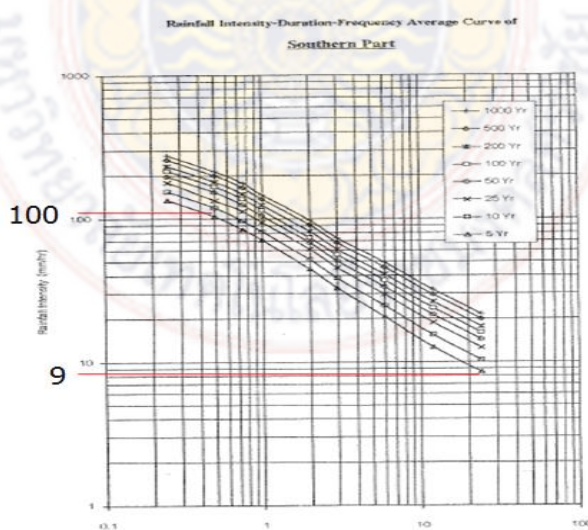
Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>A</sup>				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name <sup>B</sup>
COARSE-GRAINED SOILS (More than 50 % retained on No. 200 sieve size)  <i>Ans</i> <i>92.3 % retained on No. 200 sieve size</i>	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve size)	Clean gravels (Less than 5 % fines <sup>C</sup> )	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	GW	Well-graded gravel <sup>F</sup>
			$Cu < 4$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup>	GP	Poorly graded gravel <sup>F</sup>
		Gravels with fines (More than 12 % fines <sup>C</sup> )	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel <sup>F, G, H</sup>
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel <sup>F, G, H</sup>
	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve size)  <i>Ans</i> <i>74.5 % passes No. 4 sieve size</i>	Clean sands (Less than 5 % fines <sup>D</sup> )  <i>Ans</i> <i>Less than 5 % fines<sup>D</sup></i> <i>Cu &lt; 6 and Cc = 1.28</i>	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	SW	Well-graded sand <sup>J</sup>
			$Cu < 6$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup> <i>Ans</i> <i>Cu &lt; 6 and Cc = 1.28</i>	SP	Poorly graded sand <sup>J</sup>
		Sands with fines (More than 12 % fines <sup>D</sup> )	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand <sup>G, H, I</sup>
			Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand <sup>G, H, I</sup>

*Summary* In primary investigation properties, field and laboratory tests were conducted to determine index and engineering properties of the soil including: natural water content (ASTM D 2216), specific gravity (ASTM D 854), sieve analysis (ASTM D422), soil classification (ASTM D 2487). The soil is classified as poorly **Graded Sand (SP)**.

#### 4.1.2 การสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อกำหนดแบบจำลองของลาดดินพิบัติสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ (Slope geometry and soil property of the site)

ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากธรณีพิบัติโดยใช้หลักแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The mathematical models) หรือ GeoStudio Program เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการพิบัติของลาดดิน โดยจะแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้ออกเป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การซึมผ่านของน้ำฝนในลาดดินเพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำในลาดดินที่เพิ่มขึ้น โดยเลือกใช้ SEEP/W Application จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาเสถียรภาพในลาดดินหรือคำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัย เพื่อใช้ในการเตือนภัยก่อนที่จะเกิดธรณีพิบัติ ทั้งนี้ ต้องทำการวิเคราะห์โดยเลือกใช้ SLOPE/W Application ซึ่งเป็นตัวเลือกที่ฝังอยู่ใน GeoStudio Program อยู่แล้ว

แต่เนื่องจากในงานวิจัยนี้ความต้องการของผู้อยู่อาศัยเป็นความต้องการในการออกแบบฐานราก ผู้วิจัยจึงขอลอง Slope geometry โดยอ้างอิงจาก chollada (2018) และจากผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการและการจำแนกดินด้วยวิธี USCS สามารถจำแนกได้ว่าเป็นดินชนิด Silty Sand (SM) ลาดดินมีความสูง 80 เมตรและมีความลาดเอียง 27 องศา ตามลักษณะลาดดินในอำเภอหนองจันทนครศรีธรรมราชโดยลักษณะจะเป็นดินเนื้อเดียวกันไปตลอดทั้งความลาด (A homogeneous soil slope) และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) ในกรณีพื้นที่ศึกษา (Base case) ถูกอ้างอิงมาจากค่าปริมาณน้ำฝนสะสมของ พื้นที่จังหวัด นครศรีธรรมราชจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 30 ปีการเกิดซ้ำ กรมชลประทาน (Thailand Royal Irrigation Department, 2011) และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) 6-36 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเป็นพิสัยที่อ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) ที่ Rahardjo et al. (2007) ใช้ในการวิเคราะห์ลาดดินบริเวณภูมิภาคเอเชีย ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) อ้างอิงจาก Rahardjo et al. (2007)

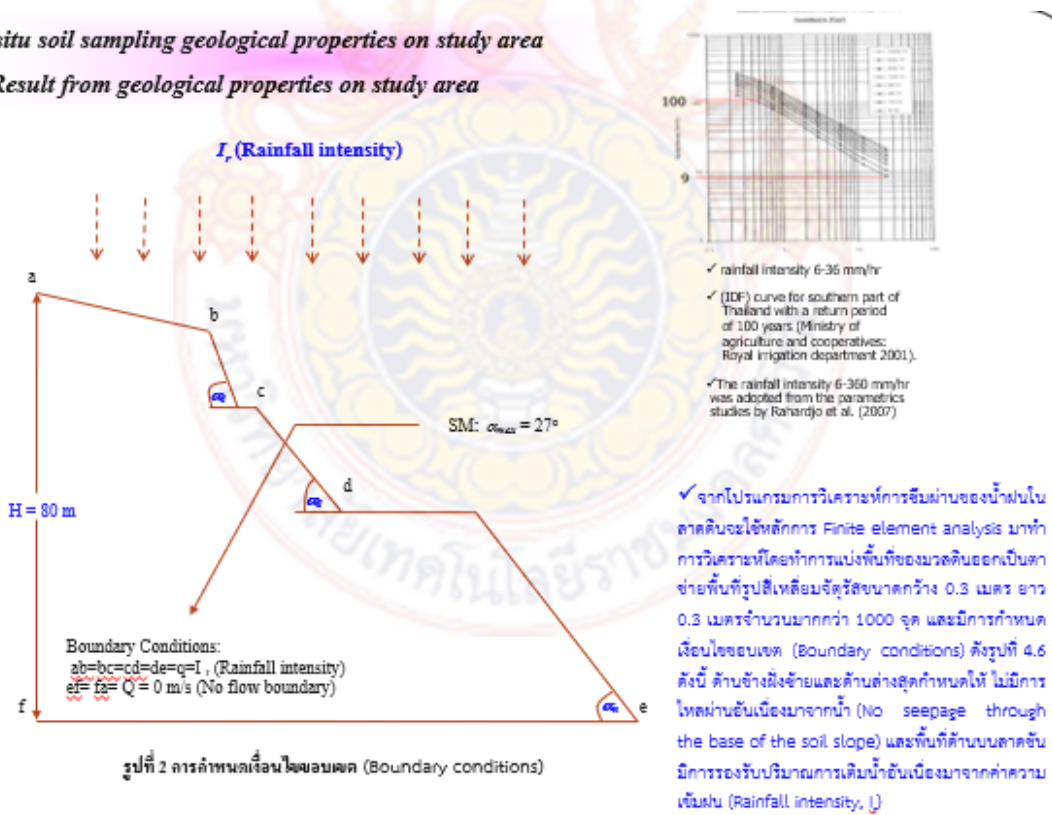
.2.4 งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม (Result from engineering properties on study area)

จากโปรแกรมการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำฝนในลาดดินจะใช้หลักการ Finite element analysis มาทำการวิเคราะห์โดยทำการแบ่งพื้นที่ของมวลดินออกเป็นตาข่ายพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดกว้าง 0.3 เมตร ยาว 0.3 เมตรจำนวนมากกว่า 1000 จุด และมีการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ดังรูปที่ 4.4 ดังนี้ ด้านข้างฝั่งซ้ายและด้านล่างสุดกำหนดให้ ไม่มีการไหลผ่านอันเนื่องมาจากน้ำ (No seepage through the base of the soil slope) และพื้นที่ด้านบนบนลาดชันมีการรองรับปริมาณการเติมน้ำอันเนื่องมาจากค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity,  $I_r$ )

จากการออกแบบจำลองของลาดดินเพื่อนำไปเป็นข้อมูล Input data ใน โปรแกรม GeoStudio เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพในลาดดินกรณีพื้นที่ศึกษาที่ อ. ขนอม นครศรีธรรมราชนั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสูญเสียเสถียรภาพในลาดดินและการพฤติกรรม การซึมผ่านของน้ำฝนเพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำในลาดดินที่เพิ่มขึ้น มีรายละเอียดดังนี้การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้โปรแกรม SLOPE/W พบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 80 F.S. = 0.96

**In-situ soil sampling geological properties on study area**

**b) Result from geological properties on study area**

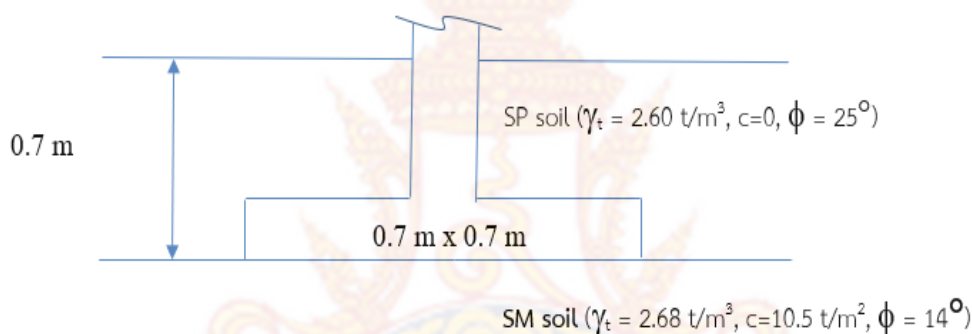


รูปที่ .44 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions)

จากการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้ทั้งดินถม SP soil ( $\gamma_t = 2.60 \text{ t/m}^3$ ,  $c=0$ ,  $\phi = 25^\circ$ ) ดินเดิม SM soil ( $\gamma_t = 2.68 \text{ t/m}^3$ ,  $c=10.5 \text{ t/m}^2$ ,  $\phi = 14^\circ$ ) สามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน ( $q_{ult}$ ) จากการคำนวณดังหัวข้อที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.5 โดยคำนวณค่า  $q_{ult} = 82.54 \text{ t/m}^2$  เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากในลำดับถัดไป

#### .2.41 การคำนวณหาค่า หน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก ( $q_{ult}$ )

หาค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก ( $q_{ult}$ ) ขนาด  $0.7 \times 0.7 \text{ m}$  ฝังอยู่ลึก  $0.7 \text{ m}$  ใต้ทรายถม ( $\gamma_t = 2.60 \text{ t/m}^3$ ,  $c=0$ ,  $\phi = 25^\circ$ ) โดยวางอยู่บนดินเดิม ( $\gamma_t = 2.68 \text{ t/m}^3$ ,  $c=10.5 \text{ t/m}^2$ ,  $\phi = 14^\circ$ )



รูปที่ .45 การคำนวณหาค่า หน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก ( $q_{ult}$ )

Step1 Find  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$  (In silty sand soil:  $\phi=14^\circ$ )  $N_c=11$ ,  $N_q=4$ ,  $N_\gamma=1.2$

Step2 Find  $S_c$ ,  $S_q$ ,  $S_\gamma$  (Shape correction)

When  $B \times L = 0.7 \times 0.7 \text{ m}^2$

$$S_c = 1 - \frac{\frac{\square}{\square}}{\frac{\square}{\square}} = 0.63$$

$$S_q = 1 + \frac{\square}{\square} \tan \phi = 1.25$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{\square}{\square} = 0.60$$

Step3 Find  $q_{ult}$

$$q_{ult} = S_c c N_c + S_q q N_q + S_\gamma \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

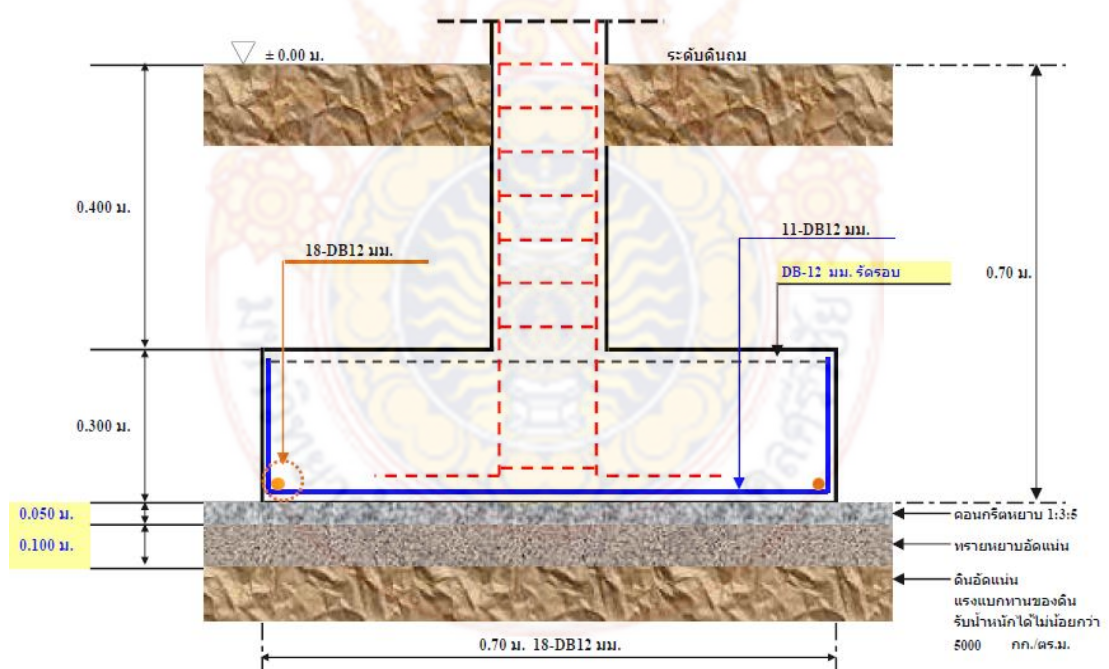
$$q_{ult} = (0.63 \times 10.5 \times 11) + (1.25 \times 2.6 \times 0.7 \times 4) + (0.6 \times \frac{1}{2} \times 2.68 \times 0.7 \times 1.2)$$

$$q_{ult} = 72.76 + 9.1 + 0.68 = 82.54 \text{ t/m}^2$$

#### 4.3 การวิเคราะห์ และอภิปราย (Result and discussion)

จากการออกแบบจำลองของลาดดินเพื่อนำไปเป็นข้อมูล Input data ใน โปรแกรม GeoStudio เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพในลาดดินกรณีพื้นที่ศึกษาที่ อ. ขนอม นครศรีธรรมราชนั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสูญเสียเสถียรภาพในลาดดินและการพฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำฝนเพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำในลาดดินที่เพิ่มขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้โปรแกรม SLOPE/W ถูกแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) ช่วงเวลาที่ผ่านมา จากการวิเคราะห์พบว่า ปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจะนำไปสู่การลดลงของกำลังในดิน (Soil strength) และพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 80 F.S. = 0.96 จากการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้ทั้งดินถม SP soil ( $\gamma_t = 2.60 \text{ t/m}^3$ ,  $c=0$ ,  $\phi = 25^\circ$ ) ดินเดิม SM soil ( $\gamma_t = 2.68 \text{ t/m}^3$ ,  $c=10.5 \text{ t/m}^2$ ,  $\phi = 14^\circ$ ) สามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน ( $q_{ult}$ ) จากการคำนวณดังหัวข้อที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.5 โดยคำนวณค่า  $q_{ult} = 82.54 \text{ t/m}^2$  และได้ค่าขนาดฐานราก คือ  $0.7 \times 0.7 \text{ m}$  ฝังอยู่ลึก  $0.7 \text{ m}$  ใต้ทรายถม ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Foundation Design

#### 4.4 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน (Conclusion and published research papers)

การวิเคราะห์ลาดดินพิบัติธรรมชาติสำหรับระบบการเตือนภัยโดยนำ ค่าความลาดเอียงในลาดดิน( $\beta$ ), ค่าความสูงในลาดดิน (H), ชนิดของดิน (Type of soil) และการนำผลการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ( $C_u, C_c, D_{10}, D_{30}, D_{60}$ ) กับมาออกแบบฐานรากสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

- สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีพื้นที่ศึกษาที่ อ. ขนอม นครศรีธรรมราช โดยในโปรแกรม SEEP/W ได้นำหลักการของ Finite element analysis มาใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงในค่าแรงดันน้ำในมวลดินอันเนื่องมาจากน้ำฝนและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของน้ำในมวลดินพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) ช่วงเวลาที่ผ่านไป จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจะนำไปสู่การลดลงของกำลังในดิน (Soil strength) และพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 80 F.S. = 0.96

- สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้และการจำแนกประเภทดินโดยวิธี USCS ทั้งดินถม (Upper layer) SP soil ( $\gamma_t = 2.60 \text{ t/m}^3, c=0, \phi = 25^\circ$ ) และดินเดิม (Lower layer) SM soil ( $\gamma_t = 2.68 \text{ t/m}^3, c=10.5 \text{ t/m}^2, \phi = 14^\circ$ ) สามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน ( $q_{ult}$ ) จากการคำนวณ โดยคำนวณค่า  $q_{ult} = 82.54 \text{ t/m}^2$  และได้ค่าขนาด ฐานราก คือ  $0.7 \times 0.7 \text{ m}$  ฝังอยู่ลึก  $0.7 \text{ m}$  ใต้ทรายถม



- ความก้าวหน้า

ตาราง 4.6 แสดงแผนการดำเนินงานโครงการตามข้อเสนอโครงการ (Plan / Action) โดยสามารถสรุปให้เข้าใจโดยง่ายได้ดังนี้

แผนการดำเนินงาน		พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561						
		ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1.งานออก สนามและ เก็บตัวอย่าง	P	X	X	X	X	X							
	A			→									
2.งาน ตรวจสอบ คุณสมบัติ ทาง วิศวกรรม	P			X	X	X	X	X	X				
	A							→					
3.การ วิเคราะห์ และอภิปราย	P							X	X	X	X	X	X
	A							→					
4.สรุปผล การศึกษา และเขียน รายงาน	P								X	X	X	X	X
	A							→					

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย

### 5.1 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน (Conclusion and published research papers)

การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินและพฤติกรรม  
การพังทลายของพื้นที่ลาดถล่ม สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการเก็บดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์และทำการสำรวจทาง  
วิศวกรรมเพื่อกำหนดแบบจำลองของลาดดินพิบัติสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบฐานราก  
สามารถจำแนกดินด้วยวิธี Unified Soil Classification (USCS) สำหรับ Lower layer ได้ว่าเป็นดิน  
ชนิด Silty Sand (SM) และสามารถจำแนกสำหรับ Upper layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Graded Sand  
(SP)

5.1.2 งานจัดทำข้อมูลด้านอุทกศาสตร์ รวบรวมค่าปริมาณน้ำฝนสะสมของ พื้นที่จังหวัด  
นครศรีธรรมราช โดยอ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 30 ปีการเกิดซ้ำ กรม  
ชลประทาน (Thailand Royal Irrigation Department, 2011) และค่าความเข้มฝน (Rainfall  
intensity) 6-36 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเป็นพิสัยที่อ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และ  
รอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) ที่ Rahardjo et al. (2007) ใช้ใน  
การวิเคราะห์ลาดดินบริเวณภูมิภาคเอเชีย

5.1.3 งานวิเคราะห์พฤติกรรมการพังทลายของพื้นที่ลาดถล่มพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไป  
เรื่อยๆจนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 80 F.S. = 0.96

5.1.4 จากการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้ทั้งดินถมและดินเดิมสามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนัก  
แบกทานเพื่อการออกแบบงานก่อสร้างในอาคารชุมชนขนาดใหญ่ได้ค่าขนาด ฐานราก คือ 0.7x0.7 m  
ฝังอยู่ลึก 0.7 m ได้ทุกรายถม

5.1.5 ในเงื่อนไข ผลผลิตที่กำหนดว่า บทความวิจัยต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ ในเอกสารสืบเนื่องจาก  
การประชุมวิชาการระดับชาติ (proceeding) จำนวนอย่างน้อย 1 บทความหรือสูงกว่าผู้วิจัย  
ดำเนินการโดยเลือกตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ The 9th International  
Conference on Geotechnique, Construction Materials and Environment ณ เมือง โตเกียว  
(Tokyo / Continental Hotel Fuchu) ประเทศ ญี่ปุ่นและการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Inaugural International conference on sustainable engineering and infrastructure  
โรงแรม Deevana จังหวัด กระบี่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.5.1 Kanjanakul, C. (2019), “Foundation design and slope failure protection for a large community building in Khanom, Nakhon si thammarat” The proceeding of Geomate2019, The ninth international conference on geotechnical, construction materials and environment, 20-22 november 2019, hotel continental fuchu, Tokyo, Japan.

5.1.5.2 Kanjanakul, C. (2019), “Determination of site-specific SWCC from original test in unsoda: a case study of a site in promkiri, Nakhon si thammarat” the International conference of IC-SEI 2019 on 2-9 August, 2019, Deevana Hotel Krabi, Thailand



## บรรณานุกรม

- [1] ชัย มุกตพันธ์ และ คาซูโตะ นาคาซาวา (2546). ปลูกพืชศาสตร์ และ วิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ดวงกมล.
- [2] บุญชัย อุกฤษชน (2547). การวิเคราะห์ขอบเขตบนแบบประยุกต์สำหรับปัญหาเสถียรภาพของความลาด. บทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9 )NCCE9(. 19-21 พฤษภาคม. โรงแรมริเจนท์ ซะอ่ำ, จ.เพชรบุรี., GTE 4-9
- [3] วัชรินทร์ กาสลัก และวรากร ไม้เรียง )2547), เอกสารประกอบการอบรมการออกแบบฐานราก 1 รุ่น 2, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- [4] Chollada K. (2008). "Probabilistic Slope Stability Analysis." M.D. Thesis. Prince of Songkla University:Songkla.
- [5] Chollada K. (2016). "Quantifying uncertainty of natural slope stability analysis for landslide warning system." Ph.D. Thesis. Prince of Songkla University:Songkla.
- [6] Chollada K. (2019). "The comparison between soil sampling and unsaturated soil hydraulic database (UNSODA)" Proceeding of The Eight International Conference-Geomate 2018,Geotechnique, Construction materials and Environment, November 20-22, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.23-29.
- [7] Duncan, J.M. (1996). "State of The Art:Limit Equilibrium and Finite Element Analysis of Slopes." J. Geotech. Eng. Am. Soc. Civ. Eng., 122(7), 577-596.
- [8] Griffiths, D.V., and Lane, P.A., (1999). "Slope Stability Analysis by Finite Elements." Geotechnique., 49(3), 387-403.
- [9] Hammah, R., Thamer, Y., Brent, C. and John, C. (2005). " A comparison of finite element slope stability analysis with conventional limit equilibrium investigation." Toronto.
- [10] Kulhawy, F.H. and Duncan, J.M. (1972). "Stresses and movements in Oroville Dam." Journal of Soil Mechanics and Foundations Division ASCE., Vol. 98, SM7, 653-665.
- [11]Itasca Consulting Group, Inc. (2005). FLAC3D-Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions, Ver. 3.0 User's Guide. Minneapolis: Itasca Consulting Group, Inc.

[12]Potts, D.M. (2003). “Numerical analysis a virtual dream or practical reality.” J. Geotechnique 53, 6, 535-573.

[13] Wael, A., Abdallah, I., Jamal, H.N. and Nermeen, A. (2008). “A comparative study of various commercially available programs in slope stability analysis.” J. computers and geotechnics., 35(3), 428-435.

[14] Wichmann , B., and Hill, D. (1987). Building a Random Number Generator. BYTE. March. 127-128.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits  
laboratory testing (ASTM D 4318-04)



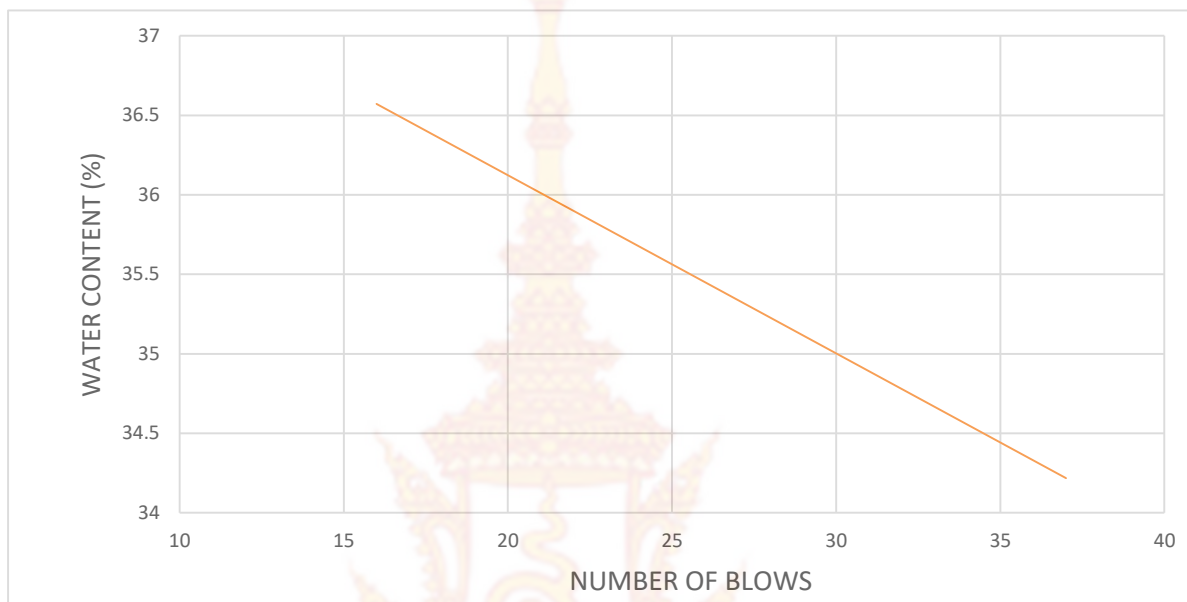


ตาราง ก-1 ตารางข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) บริเวณ Upper layer

<b>ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)</b>					
<b>HYDROMETER (ASTM D422-02)</b>					
<b>Location</b>	-	<b>Date of Test</b>	1/04/2019	<b>Sample No.</b>	Upper Layer
<b>Tested by</b>	นายภานุพงศ์ ทุ่มทอง	<b>Soil Sample</b>	-	<b>Depth (m)</b>	-

<b>TEST</b>	<b>ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)</b>			
	1	2	3	4
Test Number	1	2	3	4
Container no.	A1	A2	A3	A4
Number of bumps	16	24	30	37
Wet soil & Container g	34.690	29.290	36.530	34.330
Dry soil & Container g	30.770	26.110	32.140	31.000
Container g	20.080	17.140	19.640	21.270
Dry soil g	10.690	8.970	12.500	9.730
Moisture loss g	3.920	3.180	4.390	3.330
MOISTURE CONTENT %	36.667	34.452	35.120	34.224
Liquid Limit	35.510%			
Plastic Limit	30.147%			
Plastic Index	5.363%			

รูปที่ ก-2 ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) บริเวณ Upper layer





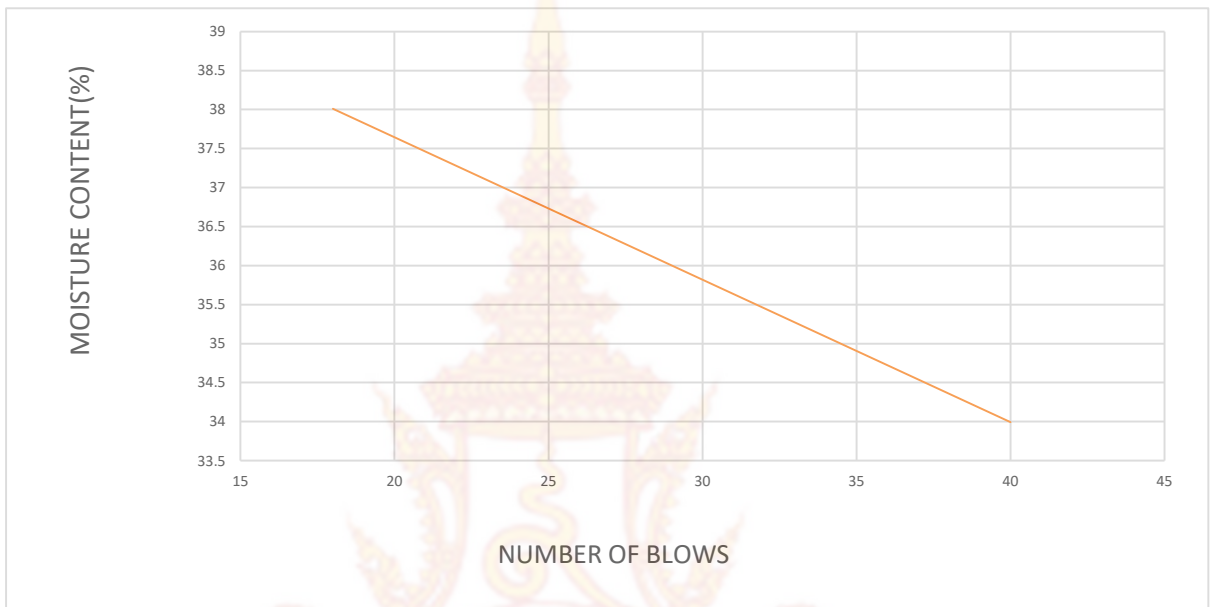


ตาราง ก-3 ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) บริเวณ Lower layer

<b>ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)</b>					
<b>HYDROMETER (ASTM D422-02)</b>					
<b>Location</b>	-	<b>Date of Test</b>	1/04/2019	<b>Sample No.</b>	Lower Layer
<b>Tested by</b>	นายภาณุพงศ์ ทุ่มทวน	<b>Soil Sample</b>	-	<b>Depth (m)</b>	-

<b>TEST</b>	<b>ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)</b>			
	1	2	3	4
Test Number	1	2	3	4
Container no.	A1	A2	A3	A4
Number of bumps	18	22	28	40
Wet soil & Container g	29.830	29.750	28.350	24.830
Dry soil & Container g	26.580	26.380	26.130	22.760
Container g	18.130	17.210	19.990	16.690
Dry soil g	8.450	9.170	6.140	6.070
Moisture loss g	3.250	3.370	2.220	2.070
MOISTURE CONTENT %	38.462	36.750	36.156	34.102
Liquid Limit	36.700%			
Plastic Limit	26.374%			
Plastic Index	10.326%			

รูปที่ ก-4 ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) บริเวณ Lower layer



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Sieve Analysis (Wet/Dry Sieving) (ASTM D422-02)





ตาราง ข-1 ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Sieve Analysis (Wet/Dry Sieving) (ASTM D422-02) ของ lower layer

<b>GEOTECHNICAL LABORATORY</b> <b>CIVIL ENGINEERING</b> <b>USCS SOIL CLASSIFICATION (ASTM D2478)</b>					
<b>Project Name</b>	Nakhon Si thammarat, Thailand				
<b>Location</b>	Nakhon Si thammarat	<b>Date of Test</b>	1/04/2019	<b>Sample No.</b>	The Lower layer
<b>Tested by</b>	Mr. Panupong Thumtuan	<b>Soil Sample</b>	-	<b>Depth (m)</b>	-
<b>Employer</b>	Dr.Chollada Kanjanakul				

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>A</sup>				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name <sup>B</sup>
COARSE-GRAINED SOILS (More than 50 % retained on No. 200 sieve size)  <i>Ans</i>  <i>96.4 % retained on</i>	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve size)	Clean gravels (Less than 5 % fines <sup>C</sup> )	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	GW	Well-graded gravel <sup>F</sup>
		Gravels with fines (More than 12 % fines <sup>C</sup> )	$Cu < 4$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup>	GP	Poorly graded gravel <sup>F</sup>
	Gravels with fines (More than 12 % fines <sup>C</sup> )	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel <sup>F, G, H</sup>	

<i>No. 200 sieve size</i>			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel <sup>F, G, H</sup>
	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve size)	Clean sands (Less than 5 % fines <sup>D</sup> )	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	SW	Well-graded sand <sup>J</sup>
			$Cu < 6$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup>	SP	Poorly graded sand <sup>J</sup>
	<i>Ans</i>  <i>94.5 % passes No. 4 sieve size</i>	Sands with fines (More than 12 % fines <sup>D</sup> )  <i>Ans</i>  <i>More than 12 % fines</i>  <i><math>Cu &lt; 6</math> and <math>Cc = 0.01</math></i>	Fines classify as ML or MH  <i>Ans</i>  <i>Fines classify as ML or MH</i>	<i>SM</i>	<i>Silty sand</i> <sup>G</sup> <i>H, I</i>
Fines classify as CL or CH			SC	Clayey sand <sup>G, H, I</sup>	

**Summary** In primary investigation properties, field and laboratory tests were conducted to determine index and engineering properties of the soil including: natural water content (ASTM D 2216), specific gravity (ASTM D 854), sieve analysis (ASTM D422), soil classification (ASTM D 2487). The soil is classified as **Silty Sand (SM)**.



ตาราง ข-2 ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Sieve Analysis (Wet/Dry Sieving) (ASTM D422-02) ของ upper layer

<b>GEOTECHNICAL LABORATORY</b> <b>CIVIL ENGINEERING</b> <b>USCS SOIL CLASSIFICATION (ASTM D2478)</b>					
<b>Project Name</b>	Nakhon Si thammarat, Thailand				
<b>Location</b>	Nakhon Si thammarat	<b>Date of Test</b>	1/04/2019	<b>Sample No.</b>	The Upper layer
<b>Tested by</b>	Mr. Panupong Thumtuan	<b>Soil Sample</b>	-	<b>Depth (m)</b>	-
<b>Employer</b>	Dr.Chollada Kanjanakul				

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests <sup>A</sup>				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name <sup>B</sup>
COARSE-GRAINED SOILS (More than 50 % retained on No. 200 sieve size)	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean gravels (Less than 5 % fines <sup>C</sup> )	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$ <sup>E</sup>	GW	Well-graded gravel <sup>F</sup>
			$Cu < 4$ and $1 > Cc > 3$ <sup>E</sup>	GP	Poorly graded gravel <sup>F</sup>

<u>Ans</u> 92.3 % retained on No. 200 sieve size	size)	Gravels with fines (More than 12 % fines <sup>C</sup> )	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel F, G, H
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel <sup>F, G, H</sup>
	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve size)	Clean sands (Less than 5 % fines <sup>D</sup> )  <u>Ans</u> Less than 5 % fines <sup>D</sup>  Cu < 6 and Cc = 1.28	Cu ≥ 6 and 1 ≤ Cc ≤ 3 <sup>E</sup>	SW	Well- graded sand J
			Cu < 6 and 1 > Cc > 3 <sup>E</sup>  <u>Ans</u> Cu < 6 and Cc = 1.28	SP	Poorly graded sand <sup>J</sup>
	<u>Ans</u> 74.5 % passes No. 4 sieve size	Sands with fines (More than 12 % fines <sup>D</sup> )	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand <sup>G</sup> H, I
			Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand G, H, I

Summary In primary investigation properties, field and laboratory tests were conducted to determine index and engineering properties of the soil including: natural water content (ASTM D 2216), specific gravity (ASTM D 854), sieve analysis (ASTM D422), soil classification (ASTM D 2487). The soil is classified as poorly **Graded Sand (SP)**.

ภาคผนวก ค

รายการคำนวณการออกแบบฐานราก

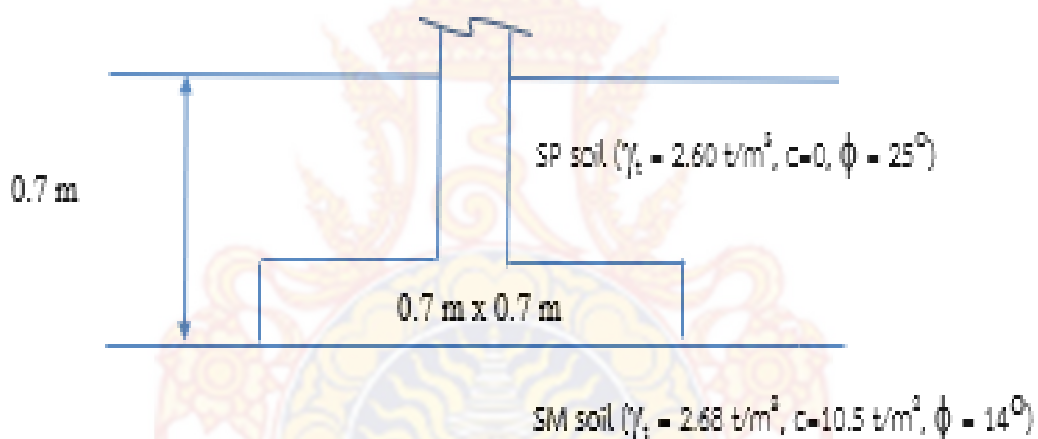






รายการ ค-1 รายการคำนวณการออกแบบฐานราก

หาค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก ( $q_{ult}$ ) ขนาด  $0.7 \times 0.7$  m ฝังอยู่ลึก  $0.7$  m ใต้ทรายถม ( $\gamma_t = 2.60 \text{ t/m}^3, c=0, \phi = 25^\circ$ ) โดยวางอยู่บนดินเดิม ( $\gamma_t = 2.68 \text{ t/m}^3, c=10.5 \text{ t/m}^2, \phi = 14^\circ$ )



Step1 Find  $N_c, N_q, N_\gamma$  (In silty sand soil:  $\phi=14^\circ$ )  $N_c=11, N_q=4, N_\gamma=1.2$

Step2 Find  $S_c, S_q, S_\gamma$  (Shape correction)

When  $B \times L = 0.7 \times 0.7 \text{ m}^2$

$$S_c = 1 - \frac{B}{L} \left( \frac{B}{L} \right) = 0.63$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi = 1.25$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L} = 0.60$$

Step3 Find  $q_{ult}$

$$q_{ult} = S_c c N_c + S_q q N_q + S_\gamma \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$$

$$q_{ult} = (0.63 \times 10.5 \times 11) + (1.25 \times 2.6 \times 0.7 \times 4) + (0.6 \times \frac{1}{2} \times 2.68 \times 0.7 \times 1.2)$$

$$q_{ult} = 72.76 + 9.1 + 0.68 = 82.54 \text{ t/m}^2$$



## ประวัติผู้วิจัย

### หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) ชลดา กาญจนกุล  
 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Miss Chollada Kanjanakul  
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์  
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตั้งอยู่เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210 สำนักงาน : (0) 7575 24-36 # 6003, แฟกซ์ : (0) 7575 4028, มือถือ : (0) 88 267 3430 E-mail : [chollada-ka@hotmail.com](mailto:chollada-ka@hotmail.com)

### ประวัติการศึกษา

Date of Graduation	Level	Cert.,Degree	Major	Name of Institute/Province
2016	Doctoral.	Ph.D.	Civil Engineering Geo-technical Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2008	Master:	M. ENG	Civil Engineering Geo-technical Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2005	Bachelor:	B. ENG	Civil Engineering	Prince of Songkla university/Thailand, SKA

ผู้ร่วมโครงการวิจัย

ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายทักษกร พรบุญญานนท์  
 ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Thaksakorn Pornbunyanon  
 ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์  
 หน่วยงาน สาขาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ตั้งอยู่เลขที่ 99 หมู่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210 สำนักงาน : (0) 7575 24-36 # 6003, แฟกซ์ : (0) 7575 4028, มือถือ : (0) 80 868 2177 E-mail : [thaksakorn.p@rmutsv.ac.th](mailto:thaksakorn.p@rmutsv.ac.th)

ประวัติการศึกษา

Date of Graduation	Level	Cert.,Degree	Major	Name of Institute/Province
2018	Doctoral.	Ph.D.	Civil Engineering Structural Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2011	Master:	M. ENG	Civil Engineering Structural Eng	Prince of Songkla university/Thailand, SKA
2008	Bachelor:	B. ENG	Civil Engineering	Prince of Songkla university/Thailand, SKA