



รายงานการวิจัย

การจำแนกประเภทและวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำ
ในมวลดินเชิงวิศวกรรมสำหรับงานออกแบบ
ฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้าง

Soil Classification and Permeability Behaviour
Analysis for Foundation Design in Community Building

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลดา กาญจนกุล

อาจารย์ ประसार จิตรเพ็ชร

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณรายได้ ประจำปี พ.ศ. 2563

การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมในงานฐานรากและพื้นที่ลาดถมสำหรับงานก่อสร้างอาคาร บ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ ในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

ชลดา กาญจนกุล¹

ประสาร จิตรเพ็ชร²

บทคัดย่อ

การเก็บตัวอย่างดินในธรรมชาติเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ สำหรับการนำผลการทดสอบที่ได้ไปจำแนกประเภทของดินและวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน หรือ Soil Water Characteristic Curve (SWCC CURVE) ที่เป็นลักษณะเฉพาะของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) เพื่อใช้ออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้าง มีความสำคัญอย่างมากสำหรับวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่ แต่มักจะพบปัญหาจากผู้รับบริการเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ (Uncertainty parameters) เช่น วิศวกรประจำโครงการ ไม่สามารถปรับแก้รูปร่างของฐานรากและเสาเข็มได้หากหน้างานมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ เช่น ระดับน้ำใต้ดิน ขนาดของเหล็กโครงสร้าง ระดับผิวดินจนถึงชั้นดินแข็ง ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ก็จะต้องเสียเวลานำข้อมูลทั้งหมดย้อนกลับมาให้ผู้วิจัยวิเคราะห์ใหม่ทั้งที่สามารถปรับแก้ได้โดยใช้เวลาไม่นานหากผู้วิจัยผลิตกราฟการคำนวณ (Design Chart) ง่าย ๆ เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มให้วิศวกรประจำโครงการใช้แก้ปัญหาหน้างาน

การศึกษาครั้งนี้จะนำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity, q_u) เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างฐานรากด้วยผลการจำแนกประเภทของดิน (ใช้วิธี Unified soil classification system) และวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (ใช้วิธีการเปรียบเทียบดินในภาคสนามกับดินมาตรฐาน UNSODA) จากนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โดยหลักการ Finite element ในโปรแกรม Geostudio เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นกราฟการคำนวณ (Design Chart) เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มที่วิศวกรสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและปรับแก้ได้

คำสำคัญ : การจำแนกประเภทของดิน (Soil Classification), พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Permeability Behaviour), ดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil), กำลังแบกทานที่ยอมให้ของดิน (Bearing Capacity), การออกแบบฐานราก (Foundation Design)

Soil Classification and Permeability Behaviour Analysis for Foundation Design in Community Building

Chollada Kanjanakul¹

Prasan Jitpat²

Abstract

Disturbed sampler collecting for soil classification in soil laboratory, Soil Water Characteristic Curve (SWCC CURVE) and unsaturated soil data for deep and shallow foundation design have significance for a large communication building in case study. However, error calculation is based on uncertainty parameters that make a mistake on deep and shallow foundation design. Geotechnical engineer sorting out the uncertainty problems with enlarge section of structural steel and increase size of shallow footing but overestimate in foundation design lead to loss budget.

In this study, the ultimate bearing capacity of shallow foundation were calculated based on finite element analyses. A sensitivity analysis was conducted and soil parameters (foundation's depth from soil surface to stiffness soil (d_f), width of footing (B), length of footing (L), unit weight of soil (γ), soil cohesion (c), and friction angle of soil (ϕ) were investigated. Probabilistic analysis was performed to quantify and analyze the effects of soil strength and geometry parameters. Parametric study prove the best confidence result in analysis and design of shallow foundation. The authors present numerical equations and design charts to estimate the bearing capacity of shallow foundation

คำสำคัญ : Soil Classification, Permeability Behaviour, Unsaturated Soil, Bearing Capacity, Foundation Design

¹College of Industrial Technology and Management., Rajamangala University of Technology Srivijaya.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งบประมาณรายได้ ประจำปี 2563 เพื่อให้ผู้วิจัย นำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาการรับค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity, q_u) เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างฐานรากด้วยผลการจำแนกประเภทของดิน (ใช้วิธี Unified soil classification system) และวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (ใช้วิธีการเปรียบเทียบดินในภาคสนามกับดินมาตรฐาน UNSODA) จากนั้นผู้วิจัยจะ ใช้การวิเคราะห์โดยหลักการ Finite element ในโปรแกรม Geostudio เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นกราฟ การคำนวณ (Design Chart) เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มที่วิศวกรสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและปรับแก้และก่อให้เกิดประโยชน์สำหรับวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่ต่อไป

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ได้ให้การสนับสนุนทุนในการทำวิจัยนี้ ขอขอบคุณหลักสูตรวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อห้องปฏิบัติการในการทดลองวิจัย ขอขอบคุณ ผศ.ดร. ธนันท์ ชูอุปการและเจ้าหน้าที่จากศูนย์วิจัยภัยพิบัติทางธรรมชาติภาคใต้ (Nadrec) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยแนะนำให้คำปรึกษาด้านวิชาการ ขอขอบคุณนาย ภาณุพงศ์ ทุมทวน นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้การช่วยเหลืออำนวยความสะดวกด้านข้อมูลการทดสอบชั้นดินและ ข้อมูลเกี่ยวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติมด้วยดีตลอดมากระทั่งผู้วิจัยปฏิบัติงานจนสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ผศ.ดร.ชลดา กาญจนกุล

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 การวิเคราะห์ และอภิปราย	29
4.4 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน	29
4.5 ความก้าวหน้า.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	34
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04)	38
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ผล Sieve Analysis (Wet/Dry Sieving) (ASTM D422-02).....	43
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณการออกแบบฐานราก.....	48
ประวัติผู้วิจัย.....	49



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

การเก็บตัวอย่างดินในธรรมชาติเพื่อนำมาทดสอบในห้องปฏิบัติการ สำหรับการนำผลการทดสอบที่ได้ไปจำแนกประเภทของดินและวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน หรือ Soil Water Characteristic Curve (SWCC CURVE) ที่เป็นลักษณะเฉพาะของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil) เพื่อใช้ออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้าง มีความสำคัญอย่างมากสำหรับวิศวกร, สถาปนิกผู้ออกแบบ, ผู้รับเหมาก่อสร้างและชุมชนของอาคารบ้านเรือนขนาดใหญ่ ซึ่งจากประสบการณ์ของผู้วิจัยซึ่งเป็นเจ้าของโครงการบริการทางวิชาการที่ก่อให้เกิดรายได้ของสาขาวิศวกรรมโยธา (โครงการทดสอบวัสดุวิศวกรรมโยธา) อยู่ในปัจจุบันและจากประสบการณ์การให้บริการทางวิชาการทางด้านธรณีเทคนิค (การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปใช้ออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้าง) เป็นเวลาพอสมควร จึงได้พบปัญหาว่าผู้รับบริการเช่น วิศวกรประจำโครงการ ไม่สามารถปรับแก้รูปร่างของฐานรากและเสาเข็มได้หากหน้างานมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ เช่น ระดับน้ำใต้ดิน ขนาดของเหล็กโครงสร้าง ระดับผิวดินจนถึงชั้นดินแข็ง ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ก็จะต้องเสียเวลานำข้อมูลทั้งหมดย้อนกลับมาให้ผู้วิจัยวิเคราะห์ใหม่ทั้งที่สามารถปรับแก้ได้โดยใช้เวลาไม่นานหากผู้วิจัยผลิตกราฟการคำนวณ (Design Chart) ง่าย ๆ เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มให้วิศวกรประจำโครงการใช้แก้ปัญหาหน้างาน และอีกปัญหาในโครงการบริการทางวิชาการ คือ ผู้รับเหมาก่อสร้างและชาวบ้านในชุมชนเป็นส่วนใหญ่ ไม่สามารถเข้าใจถึงหลักการและวิธีวิเคราะห์เพื่อออกแบบฐานรากที่มีความเกี่ยวข้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการ Sieve Analysis, Grain Size Distribution และ Atterberg's Limit ซึ่งเป็นการบ่งบอกพฤติกรรมการรับน้ำหนักและการพังทลายของดินที่เกิดจากการรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างได้ ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่า การวิจัยเชิงปฏิบัติการและการนำรายละเอียดงานวิจัยที่เจ้าของโครงการได้ลงมือปฏิบัติทุกขั้นตอนเองและประสบปัญหา จนกระทั่งแก้ไขปัญหาคด้วยตนเองได้จริงมาใช้ประกอบการบรรยายเพื่ออบรมผู้รับเหมาก่อสร้างและชาวบ้านในชุมชนมีความเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์เพื่อออกแบบฐานรากได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยนำเสนอเป็นรูปเล่มคู่มือ

และกรณีศึกษา ทั้งนี้ผู้วิจัยยังต้องการนำเสนอกราฟการคำนวณ (Design Chart) เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มได้ด้วยตนเองสำหรับวิศวกรประจำโครงการอีกด้วย

การศึกษาครั้งนี้จะนำเสนอวิธีการวิเคราะห์หาค่ากำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity, q_u) เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างฐานรากด้วยผลการจำแนกประเภทของดิน (ใช้วิธี Unified soil classification system) และวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (ใช้วิธีการเปรียบเทียบดินในภาคสนามกับดินมาตรฐาน UNSODA) จากนั้นผู้วิจัยจะทำการวิเคราะห์โดยหลักการ Finite element ในโปรแกรม Geostudio เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นกราฟการคำนวณ (Design Chart) เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มที่วิศวกรสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและปรับแก้ได้



รูปที่ 1.1 พื้นที่กรณีศึกษา (Case Study) อ.หลังสวน จ.ชุมพร ที่ผู้วิจัยเคยให้บริการทางวิชาการทางด้านธรณีเทคนิค (การเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำไปใช้ออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้าง) และได้พบปัญหาในการให้บริการทางวิชาการ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 นำเสนอการออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้างจากข้อมูลการจำแนกประเภทของดิน และการวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน

1.2.2 เปรียบเทียบดินในภาคสนามกับดินแบบมาตรฐาน UNSODA ตามหลักเกณฑ์ที่ถูกต้องเพื่อป้องกันความผิดพลาดและลดระยะเวลาจากการทดสอบหาคคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Permeability Behaviour)

1.2.3 นำเสนอกราฟการคำนวณ (Design Chart) อย่างง่ายตามหลักวิศวกรรมเพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มได้ด้วยตนเองสำหรับวิศวกรประจำโครงการ

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้ทำการทดสอบหาขนาดของเม็ดดินด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis), การกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution), การทดสอบหาความชื้น (Water Content), พิกัดเหลว (Liquid Limit), พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) และ พิกัดหดตัว (Shrinkage Limit) ของดินเพื่อนำมาจำแนกประเภทของดิน

1.3.2 งานวิจัยนี้เปรียบเทียบดินภาคสนามกับดินแบบมาตรฐาน UNSODA ตามหลักสากล

1.3.3 ผลทดสอบที่ได้จากการจำแนกประเภทของดิน (Unified soil classification) และตัวแปรกำหนด (Fitting parameter) ของ SWCC และ permeability function ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์การออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้าง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 นำเสนอการออกแบบฐานรากและเสาเข็มในอาคารก่อสร้างจากข้อมูลการจำแนกประเภทของดิน และการวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การซึมผ่านของน้ำในมวลดิน

1.4.2 นำรายละเอียดงานวิจัยที่เจ้าของโครงการ(บริการวิชาการ)ได้ลงมือปฏิบัติทุกขั้นตอนเองและประสบปัญหาจนกระทั่งแก้ไขปัญหาด้วยตนเองได้จริงมาใช้ประกอบการบรรยายเพื่ออบรมผู้รับเหมาก่อสร้างและชาวบ้านในชุมชนมีความเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์เพื่อออกแบบฐานรากได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยนำเสนอเป็นรูปเล่มคู่มือและกรณีศึกษา

1.4.3 นำเสนอกราฟการคำนวณ (Design Chart) อย่างง่ายตามหลักวิศวกรรมเพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มได้ด้วยตนเองสำหรับวิศวกรประจำโครงการ

1.4.4 นำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นประโยชน์สำหรับการออกแบบทางวิศวกรรมหรืองานวิจัยอื่น ๆ ต่อไป

1.4.5 สามารถผลิตบทความทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ
หรือสามารถเข้าร่วมงานประชุมทางวิชาการในระดับประเทศหรือนานาชาติได้ไม่น้อยกว่า 1 ฉบับ

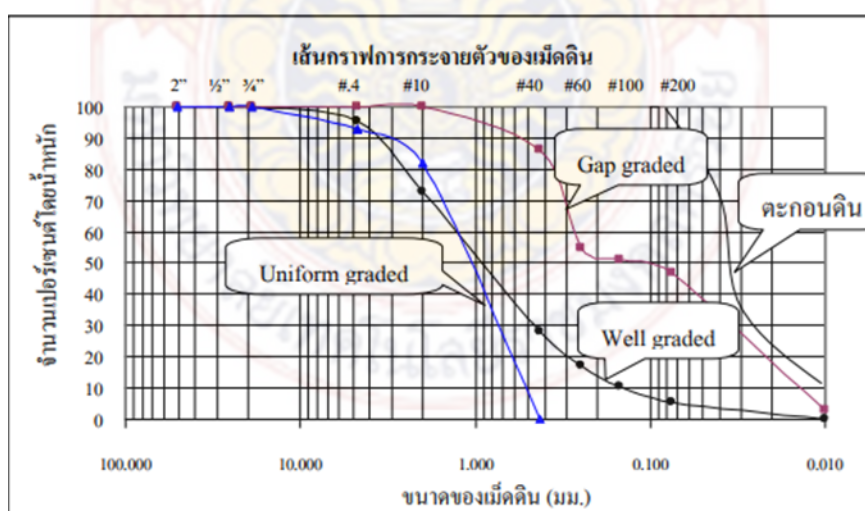


บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คุณสมบัติของดินสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ คุณสมบัติพื้นฐาน และคุณสมบัติด้านวิศวกรรม ได้แก่ คุณสมบัติด้านกำลัง คุณสมบัติด้านการเคลื่อนตัวและคุณสมบัติ ด้านความสามารถในการไหลซึมผ่านดิน ส่วนคุณสมบัติพื้นฐานของดินเป็นคุณสมบัติที่จำเป็น สำหรับการจำแนกดินออกเป็นจำพวกและสามารถใช้บ่งลักษณะโดยทั่วไปของดินได้ ได้แก่ ขนาดคละของดิน พิกัดอัตราตะเบีรก ปริมาณความชื้น เป็นต้น

2.1 การทดสอบร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis)

ผศ.วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา (2554) ได้อธิบายว่าการทดสอบเพื่อหาการกระจายตัวของดินสำหรับดินเม็ดหยาบทำได้โดยการนำดินไปร่อนผ่านชุดของตะแกรงที่จัดเรียงให้ขนาดช่องของตะแกรงลดหลั่นกันไปตามลำดับจากบนที่สุดมีขนาดใหญ่ที่สุด ไปหาขนาดเล็กที่อยู่ล่างสุด ขนาดมาตรฐานของตะแกรงเบอร์ต่างๆ ดินที่นำมาทดสอบบางครั้งอาจเกาะกันเป็นกลุ่มให้ใช้ค้อนเคาะเพื่อให้แยกให้เป็นดินเม็ดเดี่ยว ดินควรอยู่สภาพแห้ง นำดินไปใส่ในชุดตะแกรงทดสอบ เขย่าดินประมาณ 15 นาทีแล้วนำมาหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่ค้างบนแต่ละตะแกรง ส่วนดินที่มีขนาดเล็กกว่าช่องของตะแกรงเบอร์ 200 ให้นำไปทดสอบโดยวิธีการวิเคราะห์โดยการตกตะกอน ผลการวิเคราะห์ของการกระจายตัวของเม็ดดินจากวิธีทั้งสองมารวมกันแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์การผ่านสะสม หรือเปอร์เซ็นต์ผ่าน (Percent Passing หรือ Percent Finer) และจะนำไปพล็อตเป็นกราฟแสดงการกระจายของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังภาพที่ 2.1



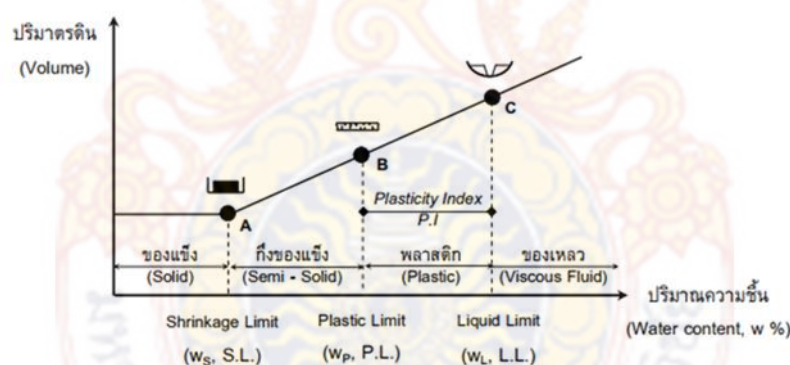
รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการกระจายของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve)

2.1.1 การกระจายตัวของเม็ดดิน

จุดประสงค์ของการหาการกระจายตัวของเม็ดดินเพื่อต้องการทราบช่วงขนาดของเม็ดดินต่างๆว่ามีปริมาณเท่าใดโดยแสดงขนาดดินจากขนาดใหญ่ที่สุดไปจนถึงเล็กที่สุดในรูปแบบเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักทั้งหมดของดินแห่ง มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบจะแบ่งการทดสอบเป็นการทดสอบสำหรับดินเม็ดหยาบ (ขนาดโตกว่า 0.075 mm หรือตะแกรงเบอร์ 200) เรียกว่า การทดสอบร่อนผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) และสำหรับดินเม็ดละเอียด (ขนาดเล็กกว่า 0.075 mm หรือตะแกรงเบอร์ 200) เรียกว่า การวิเคราะห์โดยการตกตะกอน (Hydrometer Analysis)

2.2 พิกัดอัตราตะเปิร์ก

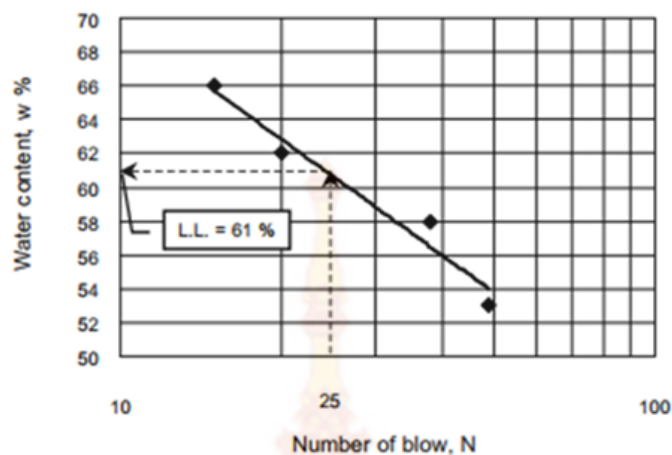
อัตราตะเปิร์ก (Atterberg) และ แคสซาแกนต์ (Casagrade) เป็นผู้เสนอคุณสมบัตินี้ โดยเป็นดัชนีชี้สถานะความชื้นของดินเม็ดละเอียด (Fine-grain soils) พบว่าปริมาณความชื้นในดินเป็นส่วนสำคัญต่อสถานะ หรือสถานะของดินเม็ดละเอียด โดยแบ่งได้เป็น สถานะของแข็ง (Solid) สถานะกึ่งแข็ง (Semi-solid) สถานะพลาสติก (Plastic) และสถานะเหลว (Liquid) และมีจุดแบ่งหรือพิกัดระหว่างสถานะ คือพิกัดหดตัว (Shrinkage limit) พิกัดพลาสติกหรือพิกัดความเหนียว (Plastic limit) และพิกัดความเหลว (Liquid limit) สถานะของนิยมนิยามเรียกว่าความชื้นเหลว (Consistency of soil)



รูปที่ 2.2 สถานะของดิน

2.2.1 พิกัดความเหลว (Liquid limit, LL)

พิกัดความเหลว หมายถึงปริมาณความชื้นในดิน ณ จุดเปลี่ยนสถานะของเหลวเป็นสถานะพลาสติก หรือจากสถานะพลาสติกเป็นสถานะของเหลว หาได้โดยการทดลองสำหรับการหาค่าพิกัดความเหลวของดิน ปริมาณความชื้นที่พิกัดความเหลว คือปริมาณความชื้นของดินในถ้วยเคาะมาตรฐาน ซึ่งได้รับการบดด้วยมีดปาดร่อง และยกถ้วยเคาะ 25 ครั้ง ด้วยอัตราที่ 2 ครั้งต่อวินาที แล้วรอยบากเคลื่อนตัวมาติดกัน 1 เซนติเมตรพอดี แคสซาแกนต์ (Casagrade, 1993) กล่าวว่า ดิน ณ จุดนี้มีกำลังรับน้ำหนักเพียง 0.25 ตัน ต่อ ตารางเมตรเท่านั้น โดยเปรียบเทียบการเคาะแต่ละครั้งในการทดลอง มีหน่วยแรงเฉือนกระทำต่อดินเท่ากับ 0.1 ตันต่อ ตารางเมตร



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างของกราฟการไหลในการทดลองหาค่าพิกัดความเหลว

2.2.2 พิกัดพลาสติก (Plastic limit, PL)

พิกัดพลาสติก หมายถึงปริมาณความชื้นในดิน ณ จุดเปลี่ยนสถานะจากพลาสติกเป็นสถานะกึ่งของแข็ง หรือสถานะกึ่งของแข็งเป็นสถานะพลาสติก หาได้โดยการทดลองปั้นดินให้เป็นแท่งกลมยาว ดินที่มีปริมาณความชื้นเท่ากับพิกัดพลาสติกจะมีปริมาตรเมื่อปั้นได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ $1/8$ นิ้ว

2.2.3 พิกัดพลาสติก (Plastic limit, PL)

ดัชนีพลาสติกซีดี หรือดัชนีความเหนียว คือดัชนีชี้ความเป็นพลาสติกของดิน โดยหาได้จากผลต่างระหว่างพิกัดความเหลวและพิกัดพลาสติก

$$PI = LL - PL \quad (1)$$

2.3 การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity of Soil Solid)

ในมวลดินจะมีส่วนประกอบของแร่ธาตุต่างๆ อาจจะมีชนิดเดียวหรือต่างชนิดกันหลายอย่าง ดังนั้นความถ่วงจำเพาะในมวลดิน G_s ก็คือ ค่าเฉลี่ยของความถ่วงจำเพาะของแร่ธาตุเหล่านั้น และโดยทั่วไปค่าความถ่วงจำเพาะของมวลดินจะมีค่าประมาณ 2.60 ถึง 2.80 แล้วแต่แร่ธาตุเป็นส่วนประกอบ เช่นดินลูกรังบางชนิดมีธาตุเหล็กอยู่มากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงถึง 3.00 หรือมากกว่า แต่หากดินมีสารอินทรีย์อยู่มากจะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำลงความถ่วงจำเพาะเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของมวลดิน สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาอัตราส่วนช่องว่าง (Void Ratio) ความพรุน (Porosity) ความอิ่มตัว (Degree of Saturation) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) และค่าอื่นๆ ได้รวมทั้งใช้คาดคะเนแร่ธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของมวลดินนั้น เช่น ดินที่มีเหล็ก (Iron) อยู่มากจะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าดินที่มีซิลิกา (Silicas) เป็นส่วนประกอบ หรือดินเหนียวจะมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าทราย เนื่องจากดินเหนียวมีส่วนประกอบของธาตุซึ่งหนักกว่า (Quartz) ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของทราย นอกจากนั้นค่าความถ่วงจำเพาะยังต้องนำไปใช้ในการทดลองอื่นอีกด้วย เช่นใช้ในสูตรการตกตะกอนของเม็ดดินในการวิเคราะห์ขนาดเม็ด

ดินด้วย Hydrometer ค่าความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือค่าที่แสดงให้เห็นว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นเป็นกี่เท่าของน้ำ ซึ่งจะเท่ากับอัตราส่วนของน้ำหนักของวัตถุในอากาศ ต่อ น้ำหนักที่อุณหภูมิ 4° C ที่มีปริมาตรเท่าวัตถุนั้น

ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน G_s มีค่าเท่ากับ

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w(\text{at } 4^\circ\text{C})} \quad (2)$$

$$G_s = \frac{W_s / V_s}{W_w(\text{at } 4^\circ\text{C}) / V_s} \quad (3)$$

$$G_s = \frac{W_s}{W_w(\text{at } 4^\circ\text{C})} \quad (4)$$

เมื่อ

γ_s คือ ความหนาแน่นเฉพาะเนื้อดินหรือน้ำ (ไม่รวมช่องว่าง)

W_s คือ น้ำหนักของเนื้อดิน

W_w คือ น้ำหนักน้ำที่ปริมาตรเท่ากับกับมวลดินที่อุณหภูมิ 4°C

2.4 ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil)

ในวิชาปฐพีกลศาสตร์นั้น มักจะครอบคลุมในสองสถานะคือ สถานะอิ่มตัวด้วยน้ำ หรือ สถานะแห้ง แต่ในทางปฏิบัติแล้วดินมักจะอยู่ในสถานะอิ่มตัวด้วยน้ำเพียงบางส่วน (Partially saturated) นั่นคือ ช่องว่างในมวลดินมีทั้งโพรงอากาศและน้ำอยู่ร่วมกัน การกันระหว่างเฟสอากาศ (Air phase) และเฟสน้ำ (Water phase) อยู่ร่วมกันและเฟสของแข็ง (Solid phase) นั้น ได้มีการศึกษาเริ่มจากอลัน บิชอป (Bishop, 1960) ได้เสนอสมการความเค้นประสิทธิผลของดินอิ่มตัวด้วยน้ำบางส่วนคือ

$$\sigma' = \sigma - U_a + x(U_a - U_w) \quad (5)$$

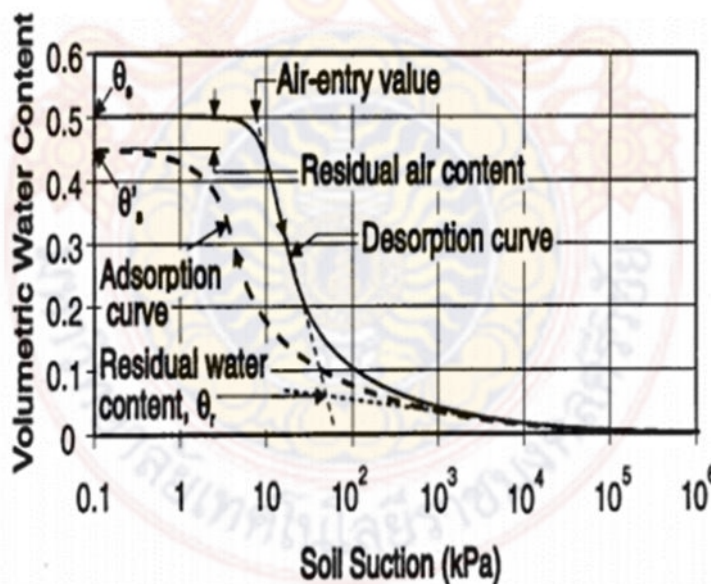
เมื่อ u_a และ u_w คือ แรงดันอากาศและแรงดันน้ำโพรงดิน ส่วนค่า x (อ่านว่า ไคล, chi) แทนสัดส่วนของพื้นที่ที่ถูกน้ำแทนที่ในช่องว่าง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าระดับขั้นการอิ่มตัวด้วยน้ำ (S_r) โดยที่ $x=0$ สำหรับดินแห้งหรือ $S_r=0$ และ $x=1$ สำหรับดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรือ $S_r=1$ โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่า x กับ S_r หาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยมีตัวอย่างผลการทดลองสำหรับดินบางชนิด ในบางครั้งเพื่อความง่ายแล้วอาจจะใช้ค่า s_r แทนค่า x ดังนั้นสมการที่ 5 จะสามารถจัดรูปได้

$$\sigma' = \sigma - (1 - S_r)U_a - S_r U_w \quad (6)$$

สมการที่ 5 อาจจะได้คิดได้ว่าเป็นความเค้นเฉลี่ยที่กระทำกับเฟสของแข็งจากสมการ 4 พบว่าพฤติกรรมของดินอิ่มตัวด้วยน้ำบางส่วนถูกควบคุมด้วย 2 พารามิเตอร์คือ ความเค้นสุทธิ (*net stress*) $\bar{\sigma} = \sigma - U_a$ และเมทริกซ์ดูดน้ำ (*matrix suction*) $U_a - U_w$ และค่าแรงดันน้ำจะมีค่าเป็นลบ ดังนั้นพฤติกรรมของดินอิ่มตัวด้วยน้ำบางส่วนจะมีกำลังกว่าแต่การยุบตัวน้อยกว่าดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ

2.4.1 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil-Water Characteristic Curve, SWCC)

ดินประกอบไปด้วยโพรงที่มีขนาดแตกต่างกัน การระบายน้ำออกจากโพรงดินจึงส่งผลให้มีแรงดันคาปิลลารี (*capillary pressure*) หรือเมทริกซ์ดูดน้ำที่เท่ากัน มีการศึกษาผลของปริมาณน้ำในมวลดิน หรือระดับขั้นการอิ่มตัวด้วยน้ำต่อค่าแรงดันคาปิลลารีในโพรงดิน ที่เรียกว่าเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (SWCC) บางทีเรียกว่าเส้นโค้งการคงอยู่ของน้ำ (*water retention curve*) โดยพล็อตความสัมพันธ์ระหว่างแรงดูด (*suction*) กับปริมาณในมวลดิน (*water content*) หรือระดับขั้นการอิ่มตัวด้วยน้ำ (*degree of saturation*) ตัวอย่างของเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ ดังภาพที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ

เส้นกราฟขาขึ้นหรือเส้นการแห้ง (*drying curve*) แสดงพฤติกรรมของดินเมื่อปริมาณน้ำในมวลดินลดลงซึ่งเป็นผลมาจากการระบายน้ำหรือการระเหยของน้ำออกจากมวลดิน ส่งผลทำให้แรงดูดเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามเส้นกราฟขาลงหรือเส้นการเปียก (*wetting curve*) แสดงพฤติกรรมของดินเมื่อปริมาณน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้นโดยเป็นผลจากการเติมน้ำสู่มวลดิน (*infiltration*) ส่งผลทำให้แรงดูดแรงลงลง และโดยปกติแล้วกระบวนการระบายน้ำและการเปียก

น้ำจะไม่ซึบซึบเส้นกัน ดังนั้นวัฏจักรการระบายน้ำและเปียกน้ำ (cycle of drainage and wetting) จะแสดงพฤติกรรมฮิสเทอรีซิส (hysteresis) และเนื่องจากช่องว่างในมวลดินแต่ละชนิดจะมีลักษณะของช่องว่างและขนาดที่แตกต่างกันตลอดจนช่องว่างอยู่กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วมวลดิน

2.5 ฐานข้อมูลไฮดรอลิกดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำของ UNSODA

UNSODA เป็นการรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated soil) ทั่วโลก สำหรับนักวิทยาศาสตร์และวิศวกร UNSODA มีวัตถุประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกในการวิจัย โดยรวบรวมข้อมูลทางกายภาพและคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำในมวลดินและได้มีการเผยแพร่เมื่อปี พ.ศ.2539 ซึ่งมีดินตัวอย่างกว่า 800 ชนิดจากทั่วโลก UNSODA จะถูกระบุเป็นรหัสดินซึ่งการแบ่งประเภทของดินจะถูกเก็บเป็นฐานข้อมูลแต่ละรหัส รหัสจะถูกเรียกว่า horizon ดินใน UNSODA เป็นตัวแทนในกรณีที่มีข้อมูลดินไม่เพียงพออันเนื่องมาจาก คุณสมบัติไฮดรอลิกของดินและโครงสร้างของดินซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะสำหรับดินแต่ละประเภทโดยดินประเภทอื่น ๆ จะมีเนื้อดินและโครงสร้างดินที่ไม่เหมือนกันจึงทำให้ดินใน UNSODA สามารถนำไปเปรียบเทียบกับดินที่ทดสอบในสนามได้หากข้อมูลมีไม่เพียงพอ UNSODA สามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์สำหรับดินที่ถูกรบกวนและไม่ถูกรบกวนได้

Code number: 2232 Code 250 of 790

Family: No data
 Series: Touchet
 Texture: silt loam Structure: granular
 Horizon: No data Depth range: No data
 General location: Hanford, WA, USA
 Specific location: Columbia River basin, Hanford Lab (PNL)
 Average daily temperature in January: No data Celsius Annual rainfall: No data
 Average daily temperature in July: No data Celsius Depth to groundwater: No data
 Ref. publication: Laliberte, 1966. Ph.D. Dissertation. CSU. Laliberte et al. 1966. Hydrol. Paper 17. CSU.
 Person to contact: S. Lorentz, Dept. Agric. & Chem. Eng., Colorado State Univ., Fort Collins, CO 80523.
 Phone (303)491-8413, fax (303)491-8224.
 Keywords: Soltrol "C", disturbed
 Rating: 7, rated by Lorentz Date: 1964-65

Soil Properties

Bulk Density:	1.4 g/cm ³	pH:	No data
Particle Density:	2.6 g/cm ³	Sodium Adsorption Ratio:	No data [meq/l] ^{1/2}
Porosity:	.463 cm ³ /cm ³	Electrical Conductivity:	No data d S/m
Saturated Water Content:	.463 cm ³ /cm ³	Cation Exchange Capacity:	No data cmol/kg
Saturated Hydr. Cond.:	27.75 cm/d	Electrolyte level:	No data meq/l
Organic Material Content:	No data %	Exchangeable Sodium %:	No data %
		Mass % of free Fe/Al oxides:	No data %

Comments and Methodology

General comment or keywords: Supplied by PNL at Richland, WA. Soil structure more stable with Soltrol than with water.
 Comments on soil properties measurements: For conductivity data; BD=1.42, POR=0.454
 Measurement method (lab water retention): Tensiometry and gravimetry
 Measurement method (field water retention): NA
 Measurement method (lab K saturated): NA
 Measurement method (field K saturated): NA
 Measurement method (lab K unsaturated): Double plate
 Measurement method (field K unsaturated): NA

Number of determined datapairs available for code 2232:

Particle Size Distribution:		Dry Aggregate Size:	Mineralogy:				
0		0	0				
Water Retention(h)		Hydr. Conductivity(h)		Hydr. Conductivity (θ)		Wat. Diffusivity (θ)	
Drying Wetting		Drying Wetting		Drying Wetting		Drying Wetting	
Field	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	
Lab	16 0	10 0	0 0	0 0	0 0	0 0	

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างรหัสดินใน UNSODA ที่แสดงคุณสมบัติทั่วไปของดิน

Code number: 2232

Comments on measurement setup:

Field: NA

Lab: Wetting fluid is Soltrol C. Disturbed samples were obtained by carefully packing a 3.18 cm dia. and 10 cm long column with porous inflow & outflow barriers and two tensiometers. A mariotte device was used for liquid supply, pressure head was changed by adjusting the levels of the inflow & outflow reservoirs. Conductivity was determined from steady flow experiments, tensiometer readings and measured discharge. For the retention curve, the soil was packed in a 7cm long column. The pressure was again regulated with the inflow & outflow levels, the fluid content was obtained at equilibration by clamping of all leads & weighing the column. The experimental information was reported in cm H₂O assuming a temperature of 20 C.

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างรหัสดินใน UNSODA ที่แสดงคุณสมบัติทั่วไปของดิน

เมื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของดินในสนามกับดินใน UNSODA แล้วมีค่าคุณสมบัติตรงตาม รหัส UNSODA วิศวกรก็สามารถทราบถึง คุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำในมวลดินโดยไม่ต้องทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Permeability Test)

Code number: 2232				Series: Touchet			
Particle Size Distribution		Aggregate Size Distribution		Mineralogy			
particle size	fraction	aggregate size	fraction	mineral type	fraction		
µm	cum.%(g/g)	mm	cum.%(g/g)		%(g/g)		
No data	No data	No data	No data	No data	No data		
SOIL HYDRAULIC DATA							
FIELD MEASUREMENTS							
DRYING CYCLE				WETTING CYCLE			
Water Retention		Hydr. conductivity (h)		Water Retention		Hydr. conductivity (h)	
pres. head	theta	pres. head	conductivity	pres. head	theta	pres. head	conductivity
cm	cm ³ /cm ³	cm	cm/day	cm	cm ³ /cm ³	cm	cm/d
No data	No data	No data	No data	No data	No data	No data	No data
FIELD MEASUREMENTS							
DRYING CYCLE				WETTING CYCLE			
Soil Water Diffusivity		Hydr. Conductivity (θ)		Soil Water Diffusivity		Hydr. Conductivity (θ)	
theta	diffusivity	theta	conductivity	theta	diffusivity	theta	conductivity
cm ³ /cm ³	cm ² /day	cm ³ /cm ³	cm/day	cm ³ /cm ³	cm ² /day	cm ³ /cm ³	cm/day
No data	No data	No data	No data	No data	No data	No data	No data
LABORATORY MEASUREMENTS							
DRYING CYCLE				WETTING CYCLE			
Water Retention		Hydr. conductivity (h)		Water Retention		Hydr. conductivity (h)	
pres. head	theta	pres. head	conductivity	pres. head	theta	pres. head	conductivity
cm	cm ³ /cm ³	cm	cm/day	cm	cm ³ /cm ³	cm	cm/d
7	.463	3	25.5	No data	No data	No data	No data
17	.463	7	25.8				
37	.46	15	27.8				
50	.457	19	26.1				
64	.433	49	26.8				
73	.382	65	24.6				
83	.329	72	14				
96	.28	76	9.14				
106	.259	91	2.7				
119	.234	109	.8599				
134	.214						
152	.198						

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างรหัสดินใน UNSODA ที่แสดงค่าคุณสมบัติในการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน

Code number: 2232 Series: Touchet							
----- DRYING CYCLE -----				----- WETTING CYCLE -----			
Soil Water Diffusivity		Hydr. Conductivity (θ)		Soil Water Diffusivity		Hydr. Conductivity (θ)	
theta	diffusivity	theta	conductivity	theta	diffusivity	theta	conductivity
cm ³ /cm ³	cm ² /day	cm ³ /cm ³	cm/day	cm ³ /cm ³	cm ² /day	cm ³ /cm ³	cm/day
No data	No data	No data	No data	No data	No data	No data	No data

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างรหัสดินใน UNSODA ที่แสดงค่าคุณสมบัติในการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน

2.6 การวิเคราะห์ความปลอดภัยในการรับน้ำหนักโครงสร้างของชั้นดินเพื่อออกแบบฐานราก ชั้นตอนแรกในการออกแบบฐานราก คือ การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินที่รองรับฐานรากแผ่ของอาคาร โดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ชั้นดิน จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาขนาดและรายละเอียดอื่นๆของฐานรากต่อไป

2.6.1 ฐานรากระดับตื้น (Shallow Foundation)

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

- ชั้นดินในระดับตื้นที่จะรองรับฐานรากมีความแข็งแรง โดยพิจารณาจากค่าการตอกทดลอง (SPT) มีค่า $N > 20$ ครั้ง/ฟุต หรือมีค่า q_u (UCS) > 15 ตัน/ตร.ม.
- ไม่มีชั้นดินเหนียวอ่อนที่จะทำให้เกิดการทรุดตัวมากหรือทรุดตัวต่างกันระหว่างฐานอยู่ในชั้นที่ต่ำกว่าระดับฐานรากลงไป
- ลักษณะการจัดเรียงตัวของชั้นดินค่อนข้างสม่ำเสมอไม่อยู่ในบริเวณที่เป็นระดับน้ำที่อาจมีการกัดเซาะจนต่ำกว่าระดับฐานรากได้

2.6.2 การวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดินจากคุณสมบัติทางวิศวกรรม (Estimation of Soil Bearing Capacity from Engineering Properties)

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ได้แก่ ค่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน (Cohesion, c) ค่ามุมของแรงเสียดทานภายใน (Internal Friction Angle, ϕ) และค่าหน่วยน้ำหนักของดิน (Soil Unit Weight, γ) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของดิน ทฤษฎีเบื้องต้น ของการวิเคราะห์นี้จะใช้สมมุติฐานว่า ฐานรากซึ่งกว้าง B และวางอยู่บนดินที่ระดับความลึก D_f นั้น มีความยาว L ซึ่งยาวมากจนทำให้พฤติกรรมของดินที่รองรับฐานรากมีลักษณะของ ความเครียดเป็นระนาบที่เรียบ (Plane Strain) นอกจากนี้ยังตั้งสมมุติฐานว่าดินที่รองรับฐานรากมี ความแข็งแรงสูงมากจนการวิบัติเป็นแบบแรงเฉือนทั่วไป

ซึ่งในที่นี้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างดินแบบเบื้องต้นในพื้นที่กรณีศึกษา (Case Study) ผู้วิจัย ได้วิเคราะห์และเลือกการออกแบบฐานรากตื้น (Shallow Foundation) ซึ่งเหมาะกับสภาพพื้นดินที่มีความสามารถแบกรับน้ำหนักบรรทุกได้สูง และตอกเสาเข็มไม่ลง โดยคำนวณค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน (q_u) ตามทฤษฎีของ Karl Terzaghi (1883-1963) ดังสมการที่ 7

$$q_{ult} = cN_{cs} + qN_q + \frac{1}{2} \gamma B N_{\gamma} s_{\gamma} \quad \dots(7)$$

เมื่อ

q_{ult} = ค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน

c = ค่าความเชื่อมแน่น (Cohesion)

N_c, N_q, N_r = Bearing Capacity Factor

$s_c = 1, 1.2$ เมื่อ ฐานมีความยาวมาก, ฐานเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

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

B, D_f = ความกว้างของฐานและความลึกของฐานจากผิวดิน

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

2.7 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method)

การวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธีเชิงตัวเลขจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่บอกข้อมูลเกี่ยวกับการพิบัติได้ละเอียดกว่าวิธีแบบดั้งเดิมซึ่งผลลัพธ์ที่มีแค่อัตราส่วนปลอดภัยไม่ได้ให้ค่าผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและเกิดความปลอดภัยสูงสุด แต่ Numerical method สามารถอธิบายรูปแบบการพิบัติที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ (Itasca consulting group, 2005)

2.8 วิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพด้วยวิธี Finite element method (FEM)

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

2.9 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

- ชาญ ตั้งมั่น คงวรกุล (2553) ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติของดินในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่ คือ ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บริเวณลานจอดรถข้างตึกแหล่งน้ำภาควิชาวิศวกรรมโยธาและบริเวณบนไหล่เขาของสะพาน สะเมิง มาทดสอบด้วยวิธีการ Atterberg Limits Test และ Consolidation Test เพื่อที่จะหาค่า Compressibility Index, C_c ที่สามารถนำสูตร Empirical แบบต่างๆที่อยู่ภายใต้เงื่อนไขของดินที่นำมาศึกษาและ มาประยุกต์ใช้กับดินในบริเวณจังหวัดเชียงใหม่จากการศึกษาจากดินบริเวณลานจอดรถข้างตึกแหล่งน้ำภาควิชาวิศวกรรมโยธา

นั้นมีแนวโน้มว่าเป็นดิน Transported Soil ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวร่วน สามารถใช้สมการจากข้อมูลการทดลองสอดคล้องกับการใช้สมการของ Brazilian Clay คือ $C_c = 0.0046(LL-9)$ ส่วนดินบริเวณไหล่เขาสะเมิงซึ่ง เป็นดินที่เก็บมาจากภูเขามีแนวโน้มว่าเป็นดิน Residual soil ซึ่งมีลักษณะเป็นดินเหนียวแข็งสามารถใช้สมการจากข้อมูลการทดลองสอดคล้องกับการใช้สมการของ Terzaghi คือ $C_c = 0.009(LL-10)$

-ชลดา กาญจนกุล (2559) ได้ทำการประเมินความไว้วางใจของการวิเคราะห์ลาดดินพิบัติธรรมชาติ สำหรับระบบคลังเตือนภัย จากความไม่แน่นอนในคุณสมบัติของดินและการซึมผ่านของน้ำฝนในราชดินธรรมชาติถือเป็นการศึกษาที่สำคัญ เพื่อนำมาวิเคราะห์ลาดดินพิบัติโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณภูมิภาคเขตร้อนค่าการซึมผ่านของน้ำฝนในลาดดินส่งผลให้ค่าแรงดันน้ำในมวลดินเพิ่มขึ้นและการเกิดการสูญเสียเสถียรภาพในลาดดิน โปรแกรม SEEP/W และ SLOPE/W ได้นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่ออธิบายกระบวนการซึมผ่านของน้ำและการวิเคราะห์เสถียรภาพในราชดินในงานวิจัยนี้แบ่งการวิเคราะห์ลาดดินออกเป็น 2 ส่วนโดยการวิเคราะห์เสถียรภาพของดินในกรณีศึกษาพื้นที่ อำเภอ สีชล จังหวัดนครศรีธรรมราชจะทำการวิเคราะห์หาค่าการซึมผ่านของน้ำฝนในมวลดินที่ก่อให้เกิดค่าเพิ่มลดของแรงดันน้ำในมวลดินและเสถียรภาพของลาดดิน ค่าความสูงและความลาดชันของดินอ้างอิงมาจาก ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ผลการทดสอบที่ได้จากห้องปฏิบัติการถูกนำมาใช้เป็นค่าตัวแปรในการวิเคราะห์เสถียรภาพส่วนค่าเส้นอัตราลักษณะของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Soil-Water Characteristic Curve) ค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Permeability function) ที่ถูกคำนวณโดยสมการ Van Genchten และกราฟความชื้นฝน- ช่วงเวลา- และรอบ 30 ปีการเกิดซ้ำ (Intensity-duration-frequency) ถูกนำมาใช้เป็นค่าตัวแปรในการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำฝนในมวลดิน โดยในโปรแกรม SEEP/W ได้นำหลักการของ Finite element analysis มาใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงในค่าความดันน้ำ ในมวลดินอันเนื่องมาจากน้ำฝนและการวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของน้ำในมวลดิน และ ในโปรแกรม SLOPE/W จะใช้คำนวณ ค่าอัตราส่วน ความปลอดภัยโดยใช้วิธีการของ (Bishop 's Simplifited Method) และค่าดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดิน (The antecedent precipitation index, API) ผลการศึกษาพบว่า ลาดดินเกิดการพิบัติ โดยมีค่าดัชนีความชุ่มชื้นในมวลดิน เท่ากับ 380 มิลลิเมตร ในการศึกษาความไม่แน่นอนของตัวแปรในราชดินธรรมชาติ ค่าความลาดเอียงในลาดดิน (β), ค่าความหนาในลาดดิน(t), ชนิดของดิน หน่วยน้ำหนักของดิน (γ), ค่าแรงยึดเหนี่ยวประสิทธิผล(c'), มุมของแรงเสียดทานภายใน (θ), ค่ามุมของแรงเสียดทานภายในเนื่องจากแรงดึงดูดของน้ำในดิน (θ^b), และค่าตัวแปรกำหนด (Fitting parameter) ในเส้นอัตราลักษณะของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำและค่าความสามารถในการไหลซึมของน้ำในมวลดิน ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินคือ มุมของแรงเสียดทานภายใน (θ) และค่าความลาดเอียงในลาดดิน (β)

-นายธนภาค รัตนธนกิจ และ นายธนพล ตียามคม (2555) ได้ทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านครั้งนี้ได้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างดินบริเวณมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยทำการเก็บ

ตัวอย่างดินแบบคงสภาพ 2 ตำแหน่งคือบริเวณศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ และบริเวณหลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มาทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของ น้ำในดินในห้องปฏิบัติการโดยใช้วิธีการทดสอบแบบFalling Headและนำตัวอย่างดินจากบริเวณ หลังคณะวิศวกรรมศาสตร์มาบดอัดโดยให้ได้ความหนาแน่น 95% (modify)ทั้งด้าน dry side และ wet side เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างดินตำแหน่งที่1ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณด้านหลังของศูนย์ความเป็นเลิศทางการแพทย์ ได้ Liquid limit(LL) = 22.10% Plasticity Index(PI) = 9.13% จำแนกชนิดดินเป็น SC (Clayey sand with gravel)ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน(k) = 8.21×10^{-4} cm/s ดินตำแหน่งที่ 2บริเวณหลังคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ค่า Liquid limit(LL) = 22.85% Plasticity Index(PI) = 9.05% จำแนกชนิดดินเป็น CL(Sandy lean clay)ซึ่งมีค่า สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดิน(k) = 5.81×10^{-6} cm/sดินตำแหน่งที่ 2 เมื่อบดอัดที่ เปอร์เซ็นต์น้ำ 4%(95% Dry)มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน (k) = 1.22×10^{-6} cm/s และเมื่อ บดอัดที่เปอร์เซ็นต์น้ำ 9.8%(95% Wet) มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดิน (k)= 5.03×10^{-8} cm/sซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินเมื่อเปรียบเทียบกับกรบดอัดด้าน Dry side ประมาณ 20เท่าที่ความหนาแน่นเดียวกัน

-รัชพล คชอนันต์ (2555) ได้ศึกษาตัวแปรของเสถียรภาพของลาดดินภายใต้ปริมาณน้ำฝน การ พับติของลาดดินเป็นปัญหาทั่วไปที่พบในบริเวณภูเขาในพื้นที่เขตร้อนชื้นทั่วโลก จากงานวิจัย จำนวนว่านยอมรับว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นของลาดดินเป็นสาเหตุหลักของการเกิดพิบัติของ ลาดดิน แต่ยังมีข้อสรุปที่ต่างกันออกไปของกระบวนการก่อนที่ลาดดินจะเกิดการพิบัติซึ่งเป็น ความสัมพันธ์ของคุณสมบัติของดิน ความเข้มของปริมาณน้ำฝน และรูปแบบของลาดดิน ซึ่งเป็น สาเหตุที่ก่อให้เกิดความไม่แน่นอนของเสถียรภาพของลาดดินภายใต้ปริมาณน้ำฝนที่แตกต่างกัน ใช้ งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาชุดตัวแปรความสัมพันธ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ของดินและความเข้มของ ปริมาณน้ำฝนเป็นปัจจัยในการควบคุมเสถียรภาพของลาดดิน ในขณะที่รูปแบบของลาดดินนั้นเป็น ปัจจัยที่รอง นอกจากนี้ระยะเวลาที่ฝนตกและความเข้มของปริมาณน้ำฝนอย่างเป็นปัจจัยที่ทำให้ ค่าอัตราความปลอดภัยลดต่ำลง

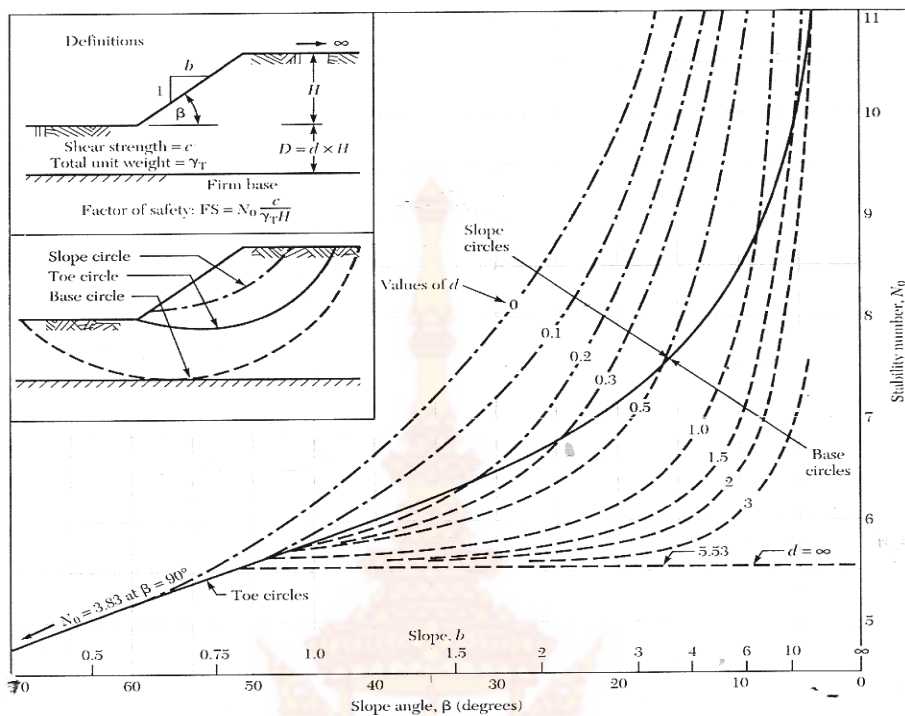
-Joseph R.Williams (1996) ได้จัดทำคู่มือการใช้งานของโปรแกรม UNSODA, UNSODA เป็น ฐานข้อมูลสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (การเก็บกักน้ำ, การนำไฟฟ้าของของเหลว, การ แพร่กระจายของดินในน้ำ) คุณสมบัติของดินชั้นพื้นฐาน (การกระจายตัวของอนุภาค, ความ หนาแน่น, การหาสารอินทรีย์ในดิน ฯลฯ) และข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับดินและขั้นตอนการทดลอง สามารถใช้โปรแกรมนี้เพื่อ 1.จัดเก็บและแก้ไขข้อมูล 2.ค้นหาข้อมูลตามข้อกำหนดที่ผู้ใช้ต้องการ หา 3.สามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในอุปกรณ์อื่นเพื่อใช้งานต่อไปได้ 4.อธิบายข้อมูลของดินที่ไม่ อิ่มตัวด้วยน้ำด้วยวิธีการแสดงผลแบบปิด

-แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้กลายเป็นที่นิยมมากขึ้นในการวิจัยและการจัดการการไหลของน้ำใต้ดิน เนื่องจากการปรับปรุงซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ในคอมพิวเตอร์ ประโยชน์ของแบบจำลองเชิงตัวเลขจะเปิดกว้างมากขึ้น เมื่อใช้พารามิเตอร์และการป้อนข้อมูลที่ถูกต้อง ฟังก์ชันการไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเป็นข้อมูลสำคัญในการป้อนข้อมูลในโมเดลเชิงตัวเลขของกระบวนการโซน vadose ฟังก์ชันเหล่านี้อาจวัดได้โดยตรงหรือผ่านการคาดคะเนจากข้อมูลที่ได้และทำให้ง่ายมากขึ้นด้วยการใช้แบบจำลองเสมือนจริง หรือใช้ข้อมูลจากดินที่คล้ายคลึงกัน UNSODA ทำหน้าที่เป็นที่เก็บข้อมูลที่สามารถใช้เป็นแหล่งของข้อมูลสำหรับการพัฒนาและการประเมินสมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

-UNSODAทำงานร่วมกับโปรแกรมฐานข้อมูล KnowledgeMan(R) สำหรับจัดเก็บข้อมูลในตาราง รายงานนี้ให้ภาพรวมกว้าง ๆ ของคุณลักษณะที่สำคัญ การทำงานของ UNSODA จะเก็บรวบรวมข้อมูลในรูปแบบของตารางและระบุค่าของตัวแปรต่างๆในตารางนั้น UNSODA ให้คำอธิบายเชิงวิเคราะห์สมบัติของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำโดยใช้การจำลองเชิงสถิติ จะมีค่าเริ่มต้นหาค่าตามคำสั่งของโปรแกรม โดยโปรแกรมจะมีเกณฑ์สำหรับการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองการไหล ซึ่งตัวแปรเสริมจะถูกเขียนขึ้นในรูปแบบของ FORTRAN โดยผู้ใช้งานสามารถกำหนดรูปแบบการไหลเพิ่มเติมได้ ตัวอย่างจะถูกรวบรวมไว้เพื่อให้ผู้อ่านทราบถึงการทำงานของ UNSODA โดยจะมี 3 ขั้นตอน ดังนี้ 1. ป้อนและแก้ไขข้อมูล 2. ข้อมูลการค้นหา และ รายงานผล 3. ข้อมูลแบบจำลอง

-D.W. Taylor (1948) ได้พัฒนาการหาอัตราส่วนปลอดภัยโดยวิธีการใช้ชาร์ต(Stability Chart) สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียว ดังรูปที่ 2.4 โดยกำหนดเงื่อนไขต่างๆเกี่ยวกับลาดดินเหนียว ดังนี้

- a. ลาดดินต้องไม่มีการระบายน้ำและไม่รับน้ำจากภายนอก
- b. ไม่มีแรงกระทำเนื่องมาจากน้ำหนักบรรทุก (Surcharge) หรือ แรงดึงที่ทำให้เกิดการแตกร้าว (Tension Crack)
- c. ลักษณะลาดดินเป็นดินเนื้อเดียว (Homogeneous Soil) ตั้งแต่ความสูงของลาดดินไปจนถึงความลึกของดินจนถึงชั้นดินแข็ง
- d. ใช้กับกรณีการพิบัติที่เป็นระนาบโค้ง (Circular Failure)

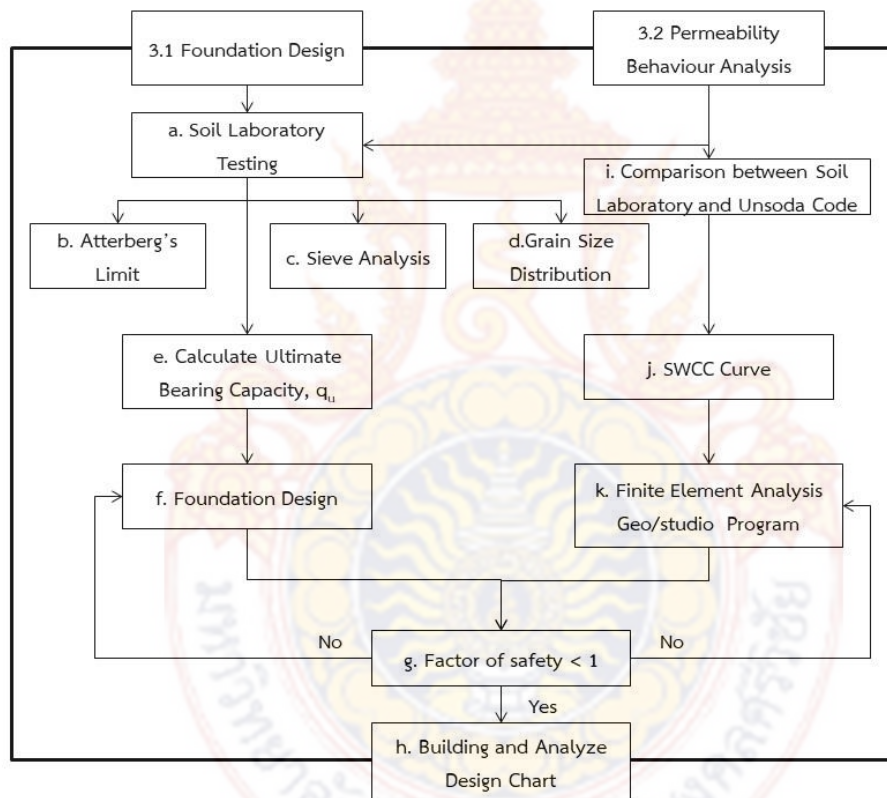


รูปที่ 2.9 Taylor's Chart for Slope Stability Analysis (After NAVFAC DM-7, 1971)

วิธีการใช้ชาร์ต (*Stability Chart*) สำหรับวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเหนียวจะมีความสำคัญในขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของการหาอัตราส่วนปลอดภัยในการออกแบบ *Design Charts* ของผู้วิจัย เพราะได้อ้างอิงต้นแบบของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณคำตอบ มาจาก *Taylor's Chart*

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินการวิจัยถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ 3.1) การออกแบบฐานราก (Foundation Design) และ 3.2) การวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Permeability Behaviour Analysis) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีการระบุรายละเอียดเพิ่มเติมของในแต่ละแผนภาพ (Diagram) ดังนี้ 3.1) การออกแบบฐานราก (Foundation Design) ขั้นตอนการวิเคราะห์การรับน้ำหนักแบกทานของฐานราก มีรายละเอียดปลีกย่อยดังนี้



รูปที่ 3.1 Methodology

3.1) การออกแบบฐานราก (Foundation Design) ขั้นตอนการวิเคราะห์การรับน้ำหนักแบกทานของฐานราก มีรายละเอียดปลีกย่อยดังนี้

a.) นำผลที่ได้จากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ (b. Sieve Analysis, c. Grain Size Distribution และ d. Atterberg's Limit) ซึ่งจากผลจากการทดสอบดินในห้องปฏิบัติการจะทำให้ผู้วิจัยสามารถวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆและจำแนกชนิดของดินได้ (Soil Properties)

e.) เป็นขั้นตอนการออกแบบฐานรากสำหรับรับน้ำหนักอาคารที่จะถ่ายแรงทั้งหมดลงมาสู่ฐานรากและดินจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้วิจัยจะต้องทราบถึง ชนิดและคุณสมบัติของดินเพื่อวิเคราะห์ค่ารับกำลังแบกทาน (Ultimate Bearing Capacity, q_u) เพื่อจะนำไปออกแบบโครงสร้างฐานรากให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด

f.) ออกแบบขนาดของฐานรากและเหล็กโครงสร้างในคอนกรีต g.) ตรวจสอบค่าอัตราส่วนปลอดภัยถ้ามีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ปลอดภัยและนำไปใช้ออกแบบสำหรับรองรับน้ำหนักจากอาคารก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกทั้งนำเสนอกราฟการคำนวณ (Design Chart) อย่างง่ายตามหลักวิศวกรรม

เพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและเสาเข็มได้ด้วยตนเองสำหรับวิศวกรประจำโครงการ (h.)

แต่ถ้าน้อยกว่า 1 อาจต้องย้อนเข้าสู่กระบวนการออกแบบฐานราก (f.) ใหม่ เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม

3.2) การวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน (Permeability Behaviour Analysis) มีรายละเอียดปลีกย่อยดังนี้ i.) นำข้อมูลที่ได้จากการจำแนกดิน (Soil Classification) มาเปรียบเทียบกับ

เพื่อวิเคราะห์หารหัสดิน (Unsoda code) ตามหลักสากล j.) นำข้อมูลที่ได้จากขั้นตอน i มา

คำนวณหา Fitting parameters และ สร้างกราฟอัตลักษณ์ของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (SWCC Curve)

เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน k.) วิเคราะห์พื้นที่โดยใช้วิธีโครงสร้างตาข่าย

(Finite Element) ในโปรแกรม Geo/studio สำหรับ คำนวณค่าอัตราส่วนปลอดภัยดิน ถ้ามีค่า

มากกว่า 1 แสดงว่า ปลอดภัยและก่อสร้างอาคารบ้านเรือนได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งนี้ยังนำเสนอกราฟ

การคำนวณ (Design Chart) อย่างง่ายตามหลักวิศวกรรมเพื่อใช้ในการปรับแก้ขนาดของฐานรากและ

เสาเข็มได้ด้วยตนเองสำหรับวิศวกรประจำโครงการ (h.) แต่ถ้าน้อยกว่า 1 อาจต้องย้อนเข้าสู่

กระบวนการวิเคราะห์เสถียรภาพใหม่(k.) ใหม่ เพื่อกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3.3 การวิเคราะห์ลาดดินถล่ม (Slope Failure Protection) มีรายละเอียดปลีกย่อยดังนี้
 i.) นำข้อมูลที่ได้จากการสำรวจมากำหนดค่าทางกายภาพ (Geometry Parameters) ได้แก่ ความสูง (H) ความกว้าง (L) และความลาดเอียง (β) ของพื้นที่ลาดถล่มสำหรับนำไปวิเคราะห์พฤติกรรม

ตารางที่ 3.1 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

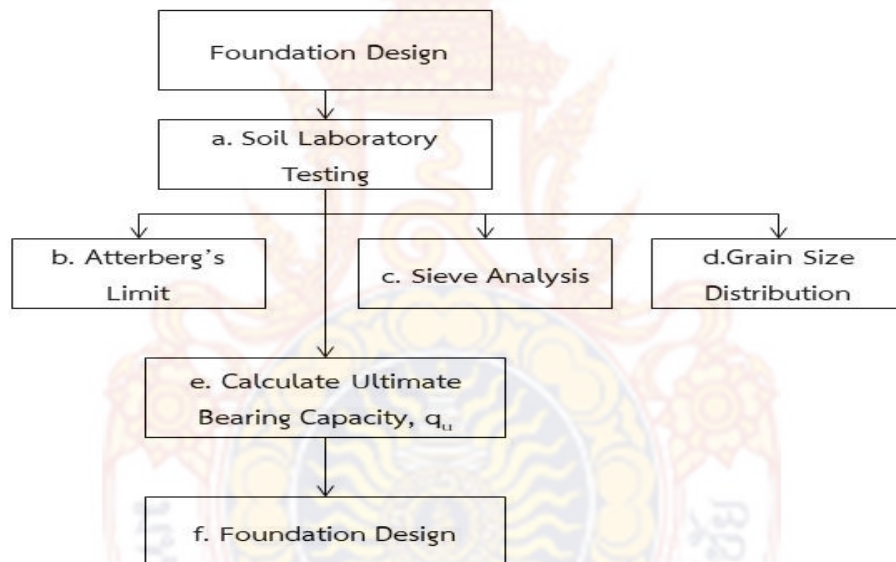
ที่	กิจกรรม	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1.	งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง	X	X	X	X	X							
2.	งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม			X	X	X	X	X	X				
3.	การวิเคราะห์และอภิปราย							X	X	X	X	X	X
4.	สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน								X	X	X	X	X
5.	เผยแพร่งานวิจัย								X	X	X	X	X

บทที่ 4 ผลการวิจัย

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

4.1 งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง (Result from geological properties on study area)

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



รูปที่ 4.1 Flow Chart ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน

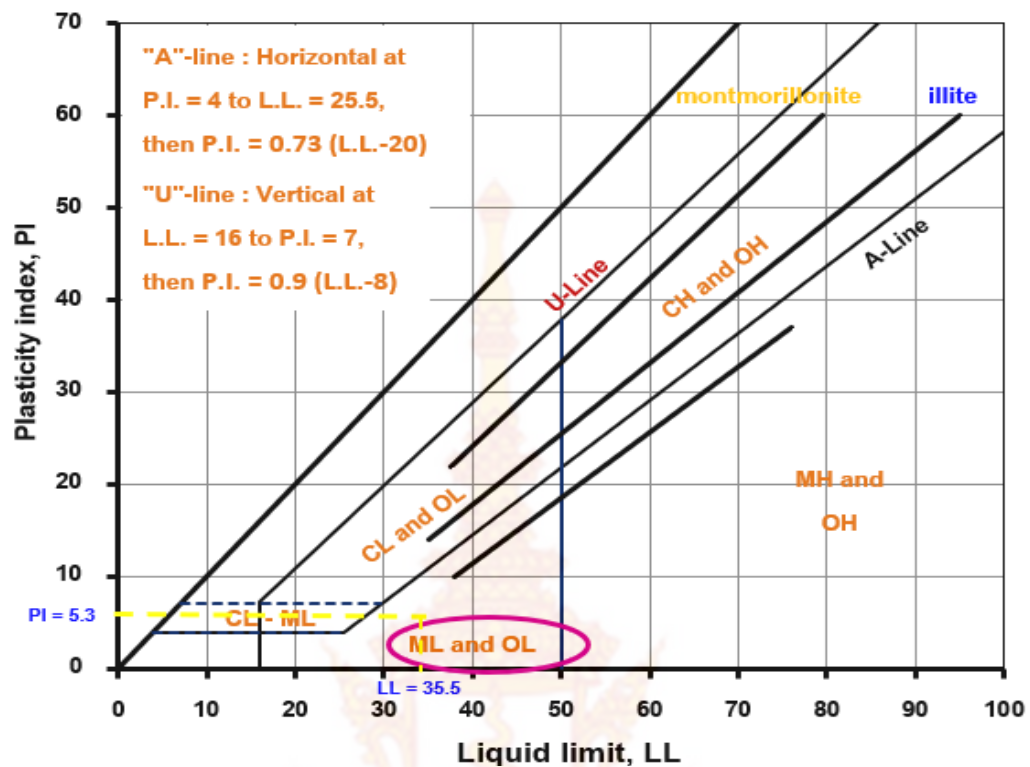
4.1.1 รายละเอียดการจำแนกดินตามผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ (Result from In-situ soil sampling)

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

จึงเป็นค่าที่สำคัญใช้มากในการจำแนกมวลดิน จากผลการทดสอบ Atterberg limits พบว่าค่า Liquid Limit (LL), Plastic limit (PL) และ Plastic Index (PI) สำหรับ Lower layer มีค่าเท่ากับ 35.510, 30.15 และ 5.36 (ตารางที่ 4.1และรูปที่4.2) และสำหรับ Upper layer มีค่าเท่ากับ 36.5, 31.75 และ 4.75 (ตารางที่ 4.2และรูปที่4.3) ตามลำดับ

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

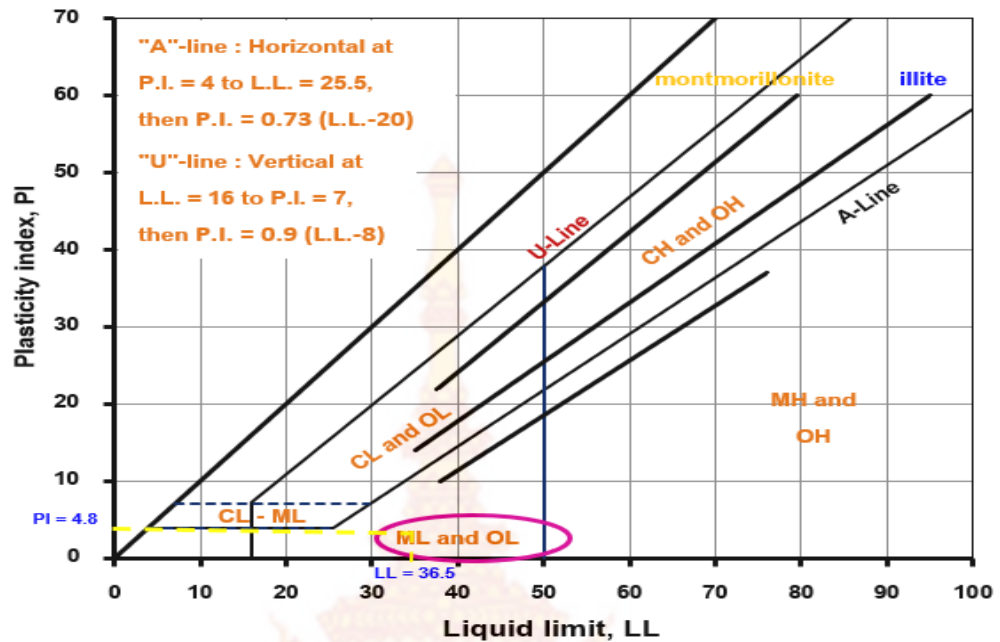
TEST	ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)			
	1	2	3	4
Test Number	1	2	3	4
Container no.	C1	C2	C3	C4
Number of bumps	16	24	30	37
Wet soil & Container	g 34.690	29.290	36.530	34.330
Dry soil & Container	g 30.770	26.110	32.140	31.000
Container	g 20.080	17.140	19.640	21.270
Dry soil	g 3.920	3.180	4.390	3.330
Moisture loss	g 10.690	8.970	12.500	9.730
MOISTURE CONTENT	% 36.667	34.452	35.120	34.224
Liquid Limit	35.510%			
Plastic Limit	30.147%			
Plastic Index	5.363%			



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของ Liquid Limit (LL) และ Plastic Index (PI) เพื่อใช้จำแนกชนิดของดินสำหรับ 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.	B1	B2	B3	B4
Number of bumps	16	21	30	39
Wet soil & Container	g 29.810	27.320	28.030	34.430
Dry soil & Container	g 26.800	24.380	25.200	30.580
Container	g 19.250	16.460	17.00	19.080
Dry soil	g 3.010	2.940	2.830	3.850
Moisture loss	g 7.550	7.920	8.200	11.500
MOISTURE CONTENT	% 39.868	37.121	34.512	33.478
Liquid Limit	36.5%			
Plastic Limit	31.746%			
Plastic Index	4.754%			



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 0.5, 1.4 และ 3.3 สำหรับ Upper layer มีค่าเท่ากับ 0.4, 1.3 และ 3.2 ตามลำดับ และ ค่า CU และ CC สำหรับ Lower layer มีค่าเท่ากับ 6.6 และ 1.19 สำหรับ Upper layer มีค่าเท่ากับ 7.62 และ 1.26 ตามลำดับและการจำแนกดินด้วยวิธี Unified Soil Classification (USCS) ดังตารางที่ 4.3 สามารถจำแนกสำหรับ Lower layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Well-graded Sand (SW) และการจำแนกดินด้วยวิธี Unified Soil Classification (USCS) ดังตารางที่ 4.4 สามารถจำแนกสำหรับ Upper layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Well-graded Sand (SW)

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

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name ^B
COARSE-GRAINED SOILS (More than 50 % retained on No. 200 sieve size) <i>Ans</i> <i>98 % 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 ^C)	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$ ^E	GW	Well-graded gravel ^F
			$Cu < 4$ and $1 > Cc > 3$ ^E	GP	Poorly graded gravel ^F
		Gravels with fines (More than 12 % fines ^C)	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{F, G, H}
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel ^{F, G, H}
	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve size) <i>Ans</i> <i>75 % passes No. 4 sieve size</i>	Clean sands (Less than 5 % fines ^D)	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ ^E <i>Ans</i> <i>Fines classify as SW</i>	SW	Well-graded sand ^J
			$Cu < 6$ and $1 > Cc > 3$ ^E <i>Ans</i> <i>Less than 5 % fines</i> <i>Cu > 6 and 1 < Cc < 3</i>	SP	Poorly graded sand ^J
		Sands with fines (More than 12 % fines ^D)	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{G, 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 *Well-graded sand (SW)*.

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

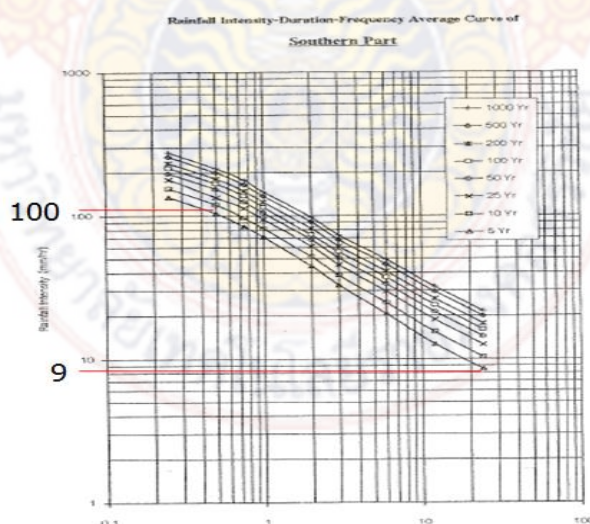
Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification	
				Group Symbol	Group Name ^B
COARSE-GRAINED SOILS (More than 50 % retained on No. 200 sieve size) <i>Ans</i> <i>99 % retained on No. 200 sieve size</i>	Gravels (More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve size)	Clean gravels (Less than 5 % fines ^C)	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3$ ^E	GW	Well-graded gravel ^F
			$Cu < 4$ and $1 > Cc > 3$ ^E	GP	Poorly graded gravel ^F
		Gravels with fines (More than 12 % fines ^C)	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{F, G, H}
			Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel ^{F, G, H}
	Sands (50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve size) <i>Ans</i> <i>75 % passes No. 4 sieve size</i>	Clean sands (Less than 5 % fines ^D) <i>Ans</i> <i>Less than 5 % fines^D</i> <i>$Cu > 6$ and $Cc = 1.26$</i>	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3$ ^E <i>Ans</i> <i>$Cu = 7.62$ and $Cc = 1.26$</i>	SW	Well-graded sand ^J
			$Cu < 6$ and $1 > Cc > 3$ ^E	SP	Poorly graded sand ^J
		Sands with fines (More than 12 % fines ^D)	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{G, 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 **Well-graded sand (SW)**.

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

ในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดจากธรณีพิบัติโดยใช้หลักแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The mathematical models) หรือ GeoStudio Program เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการพิบัติของลาดดิน โดยจะแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้ออกเป็น 2 แบบ คือ การวิเคราะห์พฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำฝนในลาดดินเพื่อกำหนดค่าปริมาณน้ำในลาดดินที่เพิ่มขึ้น 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 Low-Liquid limit Silt (ML) ลาดดินมีความสูง 80 เมตรและมีความลาดเอียง 27 องศา ตามลักษณะลาดดินในภาคใต้โดยลักษณะจะเป็นดินเนื้อเดียวกันไปตลอดทั้งความลาด (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) และค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) 6-36 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเป็นพิสัยที่อ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) ที่ Rahardjo et al. (2007) ใช้ในการวิเคราะห์ลาดดินบริเวณภูมิภาคเอเชีย ดังรูปที่ 4.3



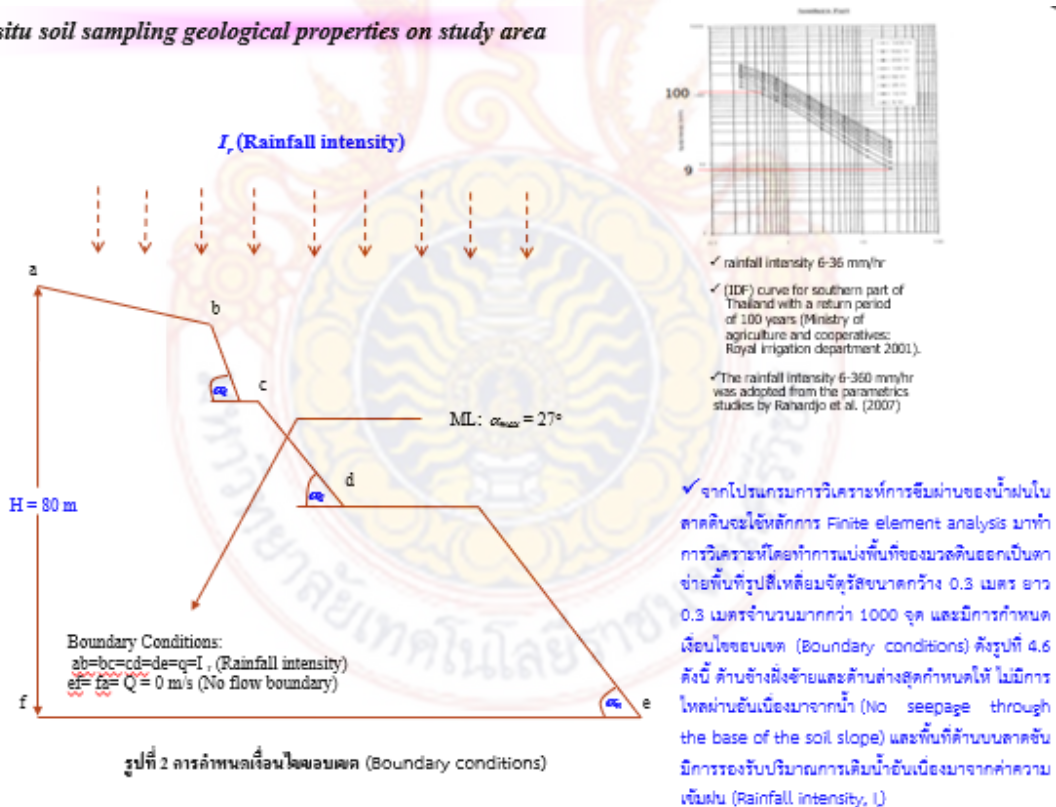
รูปที่ 4.3 กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) อ้างอิงจาก Rahardjo et al. (2007)

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

จากโปรแกรมการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำฝนในลาดดินจะใช้หลักการ Finite element analysis มาทำการวิเคราะห์โดยทำการแบ่งพื้นที่ของมวลดินออกเป็นตาข่ายพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง 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 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพในลาดดินกรณีพื้นที่ศึกษาที่ภาคใต้ นั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์การสูญเสียเสถียรภาพในลาดดินและการพฤติกรรมของการซึมผ่านของน้ำฝนเพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำในลาดดินที่เพิ่มขึ้น มีรายละเอียดดังนี้การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้โปรแกรม SLOPE/W พบว่า ค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 96, F.S. = 0.98

In-situ soil sampling geological properties on study area

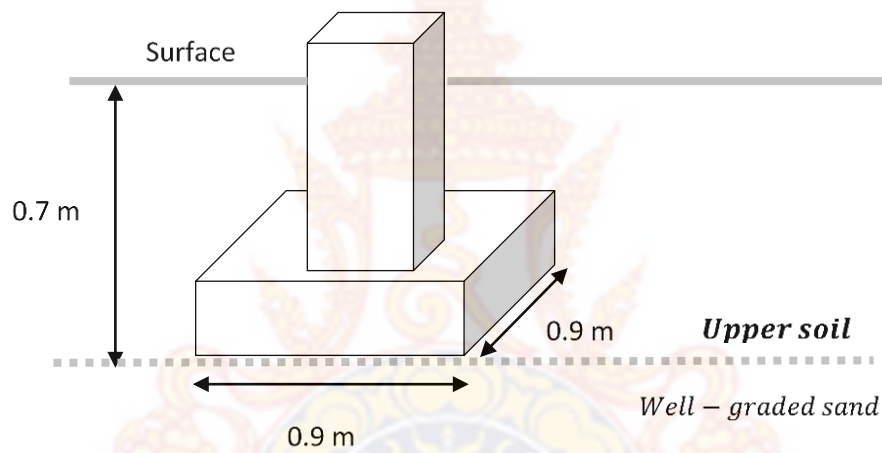


รูปที่ 4.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions)

จากการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้ทั้งดินถม SW soil ($\gamma_t = 2.67 \text{ t/m}^3$, $c=10$, $\phi = 14^\circ$) ดินเดิม SW soil ($\gamma_t = 2.65 \text{ t/m}^3$, $c=10 \text{ t/m}^2$, $\phi = 14^\circ$) สามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน (q_{ult}) จากการคำนวณดังหัวข้อที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.5 โดยคำนวณค่า $q_{ult} = 80.61 \text{ t/m}^2$ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบฐานรากในลำดับถัดไป

4.2.1 การคำนวณหาค่า หน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก (q_{ult})

หาค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก (q_{ult}) ขนาด $0.9 \times 0.9 \text{ m}$ ฝังอยู่ลึก 0.7 m ใต้ทรายถม ($\gamma_t = 2.67 \text{ t/m}^3$, $c=10$, $\phi = 14^\circ$) โดยวางอยู่บนดินเดิม ($\gamma_t = 2.65 \text{ t/m}^3$, $c=10 \text{ t/m}^2$, $\phi = 14^\circ$)



รูปที่ 4.5 การออกแบบฐานราก (Foundation design)

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

$$q_{ult} = 0.64 \times 10 \times 11 + (1.25 \times 2.67 \times 0.7 \times 4) + \left(0.6 \times \frac{1}{2} \times 2.65 \times 0.9 \times 1.2\right)$$

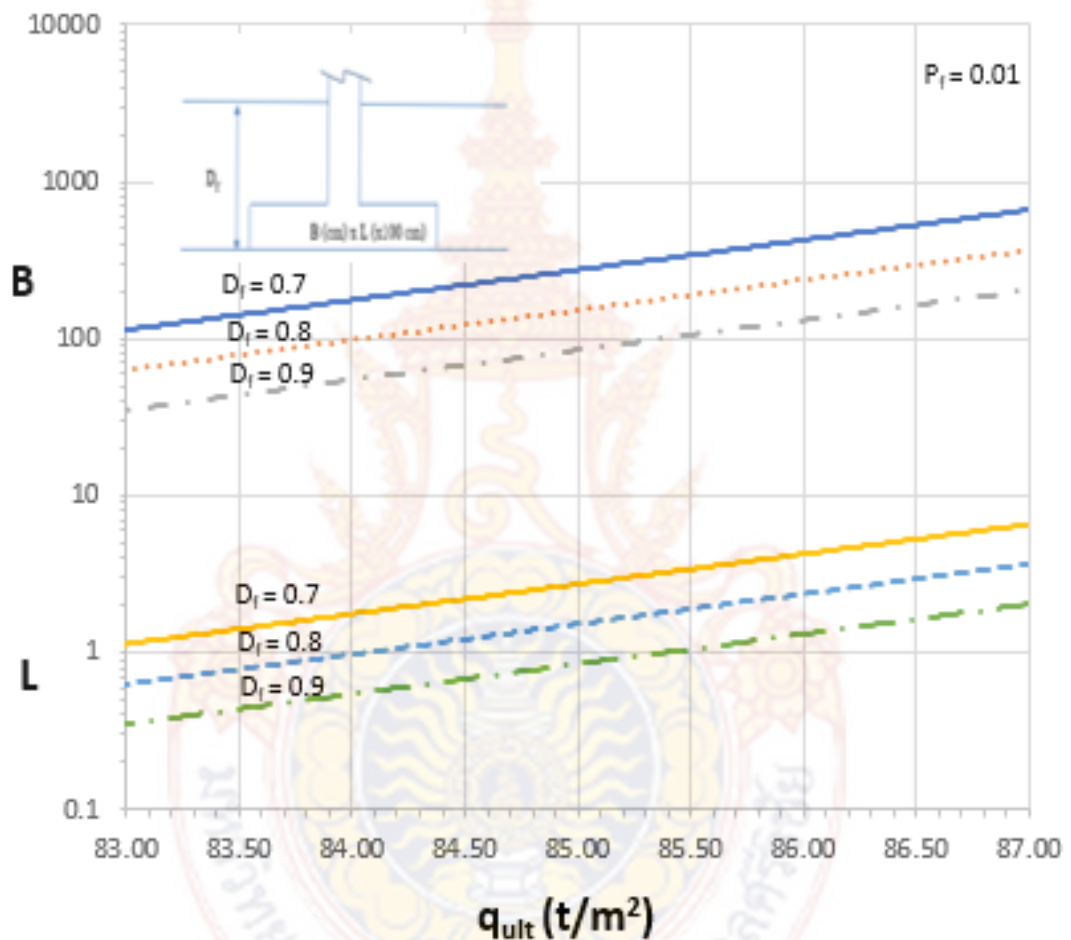
$$q_{ult} = 70.4 + 9.35 + 0.86 = 80.61 \text{ t/m}^2$$

4.2.2 การใช้ Design Charts ในการออกแบบฐานราก

จากการคำนวณหาค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานรากตามสมการของTerzaghi สามารถนำไปใช้ในการออกแบบขนาดของฐานรากและความลึกของฐานรากจากผิวดินสู่ดินถมได้โดยใช้ความน่าจะเป็นในการพิบัติ 0.01 ดังรูปที่ 4.6

สำหรับการออกแบบค่าความกว้างและความยาว BXL ของฐานรากมีขั้นตอนการออกแบบ ดังนี้

- 1.) รวบรวมข้อมูลค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็น เช่น q_{ult} , D_f
- 2.) เลือกใช้ P_f ในการออกแบบที่เหมาะสม
- 3.) หาค่า B และ L จากรูปที่ 4.6 ที่สอดคล้องกับค่า P_f , q_{ult} และ D_f
- 4.) คำนวณค่า B และ L เป็นหน่วย m



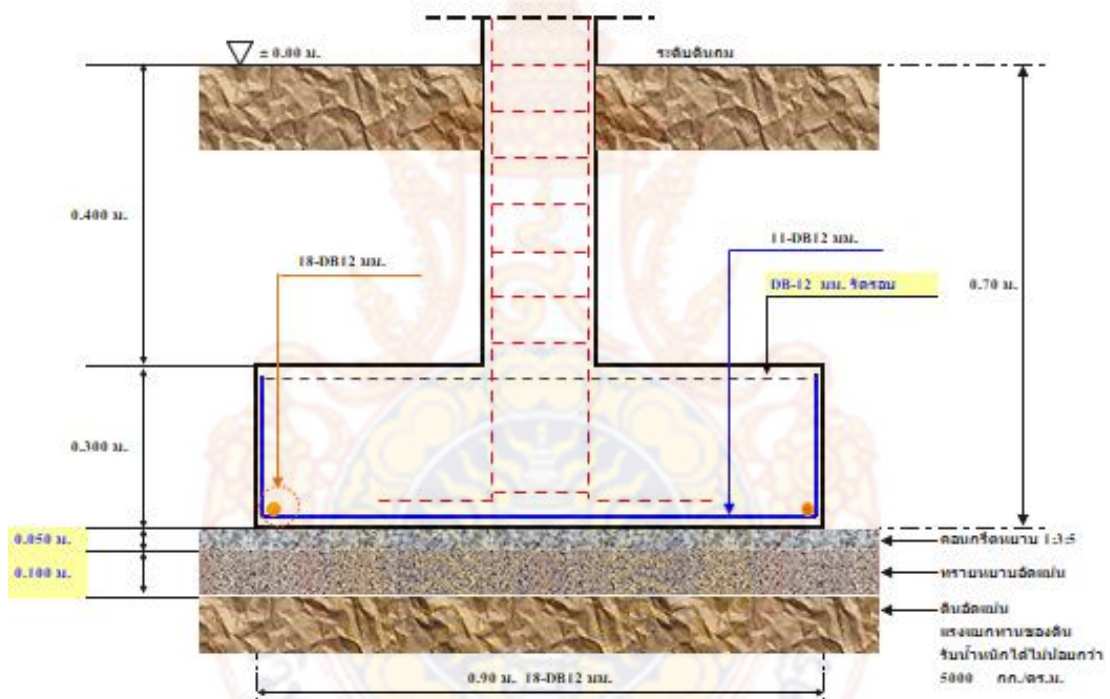
รูปที่ 4.6 ตารางคำนวณ (Design Chart) ฐานราก

4.3 การวิเคราะห์ และอภิปราย (Result and discussion)

จากการออกแบบจำลองของลาดดินเพื่อนำไปเป็นข้อมูล Input data ใน โปรแกรม GeoStudio เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพในลาดดินกรณีพื้นที่ศึกษา นั้นผลที่ได้จากการวิเคราะห์ การสูญเสียเสถียรภาพในลาดดินและการพฤติกรรมการซึมผ่านของน้ำฝนเพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำใน ลาดดินที่เพิ่มขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

การวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้โปรแกรม SLOPE/W ถูกแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) ช่วงเวลาที่ผ่านไป จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจะนำไปสู่การลดลงของกำลังในดิน (Soil strength) และพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 96, F.S. = 0.98

จากการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้ทั้งดินถม SW soil ($\gamma_t = 2.67 \text{ t/m}^3$, $c=10$, $\phi = 14^\circ$) ดินเดิม SW soil ($\gamma_t = 2.65 \text{ t/m}^3$, $c=10 \text{ t/m}^2$, $\phi = 14^\circ$) สามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน (q_{ult}) จากการคำนวณดังหัวข้อที่ 4.2.1 และรูปที่ 4.5 โดยคำนวณค่า $q_{ult} = 80.61 \text{ t/m}^2$ และได้ค่าขนาด ฐานราก คือ $0.9 \times 0.9 \text{ m}$ ฝังอยู่ลึก 0.7 m ใต้ทรายถม ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Foundation Design

4.5 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน (Conclusion and published research papers)

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

- สำหรับการวิเคราะห์ในกรณีพื้นที่ศึกษาที่ อ. หลังสวน ชุมพร โดยในโปรแกรม SEEP/W ได้นำหลักการของ Finite element analysis มาใช้จำลองการเปลี่ยนแปลงในค่าแรงดันน้ำ

ในมวลดินอันเนื่องมาจากน้ำฝนและวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของน้ำในมวลดินพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนปลอดภัย (F.S.) ช่วงเวลาที่ผ่านไป จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณน้ำฝนที่เพิ่มขึ้นจะนำไปสู่การลดลงของกำลังในดิน (Soil strength) และพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆจนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 96, F.S. = 0.98

-สำหรับการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้และการจำแนกประเภทดินโดยวิธี USCS ทั้งดินถม (Upper layer) SW soil ($\gamma_t = 2.67 \text{ t/m}^3$, $c=10$, $\phi = 14^\circ$) และดินเดิม (Lower layer) SW soil ($\gamma_t = 2.65 \text{ t/m}^3$, $c=10 \text{ t/m}^2$, $\phi = 14^\circ$) สามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทาน (q_{ult}) จากการคำนวณ โดยคำนวณค่า $q_{ult} = 80.61 \text{ t/m}^2$ และได้ค่าขนาด ฐานราก คือ $0.9 \times 0.9 \text{ m}$ ฝังอยู่ลึก 0.7 m ใต้ทรายถม



- ความก้าวหน้า

ตาราง 4.6 แสดงแผนการดำเนินงานโครงการตามข้อเสนอโครงการ (Plan / Action) โดยสามารถสรุปให้เข้าใจโดยง่ายได้ดังนี้

แผนการดำเนินงาน		พ.ศ. 2562					พ.ศ. 2563						
		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	P	X	X	X	X	X							
	A				→								
2.งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม	P			X	X	X	X	X	X				
	A							→					
3.การวิเคราะห์และอภิปราย	P							X	X	X	X	X	X
	A							→					
4.สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน	P								X	X	X	X	X
	A							→					
5.เผยแพร่งานวิจัย	P								X	X	X	X	X
	A							→					

a) งานออกสนามและเก็บตัวอย่าง เป็นการเก็บดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ (Cu,Cc,D10,D30,D60) และทำการสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อ กำหนดแบบจำลองของลาดดินพิบัติสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ห่ออกแบบฐานราก จะดำเนินการล่าช้ากว่าแผนการประมาณ 3 เดือน (แล้วเสร็จเมื่อวันที่ 30 เมษายน 2563) เนื่องจากต้องเตรียมการในหลายขั้นตอน ได้แก่ การสำรวจสถานที่, การขออนุญาตเจ้าของพื้นที่เพื่อเข้าสำรวจ, การเตรียมอุปกรณ์ในการทดสอบตัวอย่างดินและการสำรวจเพื่อกำหนดแบบจำลองของลาดถล่มส่วนงานจัดทำข้อมูลด้านอุทกศาสตร์ รวบรวมค่าปริมาณน้ำฝนสะสมของ พื้นที่จังหวัด ชุมพร โดยอ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 30 ปีการเกิดซ้ำ กรมชลประทาน (Thailand Royal Irrigation Department, 2011) และค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) 6-36 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเป็นพิสัยที่อ้างอิงมาจาก กราฟค่า

ความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) ที่ Rahardjo et al. (2007) ใช้ในการวิเคราะห์ลาดดินบริเวณภูมิภาคเอเชีย ได้ดำเนินการแล้วเสร็จก่อนแผนดำเนินการประมาณ 3 เดือน (แล้วเสร็จเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2563)

b) งานตรวจสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรม คือ การเก็บดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ ได้แก่ Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) และ Sieve Analysis laboratory testing (ASTM D422-02) จะใช้เวลาค่อนข้างรวดเร็วกว่าแผนดำเนินการที่ตั้งไว้ คือ เริ่มช่วงเดือน เมษายน 2563 และดำเนินการแล้วเสร็จเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2563 โดยเมื่อเทียบกับตารางที่ 4.6 ถือว่าการดำเนินการจริงแล้วเสร็จตามแผนที่กำหนดไว้

c) ส่วนการวิเคราะห์ และอภิปรายกับสรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน คาดว่าจะดำเนินการแล้วเสร็จภายในแผนดำเนินการ คือ ผู้วิจัยควรดำเนินการเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์แล้วเสร็จภายในวันที่ 31 สิงหาคม 2563

ในเงื่อนไข ผลผลิตที่กำหนดว่า บทความวิจัยต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (proceeding) จำนวนอย่างน้อย 1 บทความหรือสูงกว่าโดยเลือกตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ PHAYAO RESEARCH CONFERENCE 10 ณ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัด พะเยา ประเทศไทย เรียบร้อยแล้ว



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการศึกษาและเขียนรายงาน (Conclusion and published research papers)

การแก้ปัญหาเชิงวิศวกรรมในงานฐานรากและพื้นที่ลาดถล่มสำหรับงานก่อสร้างอาคารบ้านเรือนชุมชนขนาดใหญ่ ในอำเภอชนอม จังหวัดนครศรีธรรมราชสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากการเก็บดินตัวอย่างไปทดสอบในห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์และทำการสำรวจทางวิศวกรรมเพื่อกำหนดแบบจำลองของลาดดินพิบัติสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ห่ออกแบบฐานรากสามารถจำแนกดินด้วยวิธี Unified Soil Classification (USCS) สำหรับ Lower layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Well-graded Sand (SW) และสามารถจำแนกสำหรับ Upper layer ได้ว่าเป็นดินชนิด Well-graded Sand (SW)

5.1.2 งานจัดทำข้อมูลด้านอุทกศาสตร์ รวบรวมค่าปริมาณน้ำฝนสะสมของ พื้นที่จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยอ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 30 ปีการเกิดซ้ำ กรมชลประทาน (Thailand Royal Irrigation Department, 2011) และค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) 6-36 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงเป็นพิสัยที่อ้างอิงมาจาก กราฟค่าความเข้มฝน-ช่วงเวลา-และรอบ 100 ปีการเกิดซ้ำ และ ค่าความเข้มฝน (Rainfall intensity) ที่ Rahardjo et al. (2007) ใช้ในการวิเคราะห์ลาดดินบริเวณภูมิภาคเอเชีย

5.1.3 งานวิเคราะห์พฤติกรรมการพังทลายของพื้นที่ลาดถล่มพบว่าค่าอัตราส่วนปลอดภัยจะลดลงไปเรื่อยๆ จนถึงลาดดินเริ่มสูญเสียเสถียรภาพที่ชั่วโมงที่ 96, F.S. = 0.98

5.1.4 จากการทดสอบคุณสมบัติของดินที่ได้ทั้งดินถมและดินเดิมสามารถนำไปหาค่ากำลังรับน้ำหนักแบกทานเพื่อการออกแบบงานก่อสร้างในอาคารชุมชนขนาดใหญ่ได้ค่าขนาด ฐานราก คือ 0.9×0.9 m ฝังอยู่ลึก 0.7 m ใต้ทรายถม

5.1.5 จากการคำนวณหาค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานรากตามสมการของTerzaghi สามารถนำไปใช้ในการออกแบบขนาดของฐานรากและความลึกของฐานรากจากผิวดินสู่ดินถมได้โดยใช้ความน่าจะเป็นในการพิบัติ 0.01

5.1.6 ในเงื่อนไข ผลผลิตที่กำหนดว่า บทความวิจัยต้องได้รับตีพิมพ์เผยแพร่ ในเอกสารสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติ (proceeding) จำนวนอย่างน้อย 1 บทความหรือสูงกว่าผู้วิจัยดำเนินการโดยเลือกตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ PHAYAO RESEARCH CONFERENCE 10 ณ มหาวิทยาลัยพะเยา จังหวัด พะเยา ประเทศไทย โดยมีรายละเอียดดังนี้


5.1.6.1 Kanjanakul, C. and Jitpat, P. (2021), “Reliability-Based on Shallow Foundation Design: A Parametric Study” The proceeding of PHAYAO RESEARCH CONFERENCE 2021, The tenth national conference, 28-29 January 2021, Phayao University, Phayao, Thailand.



บรรณานุกรม

- [1] ชาญ ตั้งมั่น คงวรกุล (2553). ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราเบอร์กิลิมิตกับคุณสมบัติการทรุดตัวของมวลดินเม็ดละเอียด. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สาขาวิศวกรรมโยธา.
- [2] ชลดา กาญจนกุล. (2559). การประเมินความไว้วางใจของการวิเคราะห์ลาดดินพิบัติธรรมชาติสำหรับระบบการเตือนภัย. ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (วิศวกรรมธรณีเทคนิค).
- [3] ชัย มุกตพันธุ์ และ คาซูโตะ นาคาซาวา (2546). ธรณีพิภคศาสตร์ และ วิศวกรรมฐานราก. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์ดวงกมล.
- [4] นายธนภาค รัตนธนกิจ และ นายธนพล ตียาคม. (2555) คุณสมบัติด้านการซึมผ่านของน้ำในดิน วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สาขาวิศวกรรมโยธา.
- [5] บุญชัย อุกฤษชน (2547). การวิเคราะห์ขอบเขตบนแบบประยุกต์สำหรับปัญหาเสถียรภาพของความลาด. บทความการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 9 (NCCE9). 19-21 พฤษภาคม. โรงแรมริเจนท์ ซะอ่ำ, จ.เพชรบุรี, GTE 4-9
- [6] รัชพล คชอนันต์. การศึกษาตัวแปรของเสถียรภาพของลาดดินภายใต้ปริมาณน้ำฝน. งานจัดการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 17. 9-11 พฤษภาคม 2555
- [7] วิศิษฐ์ อยู่ยงวัฒนา. (2554). ธรณีพิภคศาสตร์ (พิมพ์ครั้งที่3). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์โพธิ์เพชร
- [8] วชิรินทร์ กาสลัก และวรากร ไม้เรียง (2547), เอกสารประกอบการอบรมการออกแบบฐานราก 1 รุ่น 2, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- [9] สุเชษฐ์ ลิขิตเลอสรวง. (2557). ธรณีพิภคศาสตร์ หลักการพื้นฐาน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] Chollada K. (2016). "Quantifying uncertainty of natural slope stability analysis for landslide warning system." Ph.D. Thesis. Prince of Songkla University:Songkla.
- [11] 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.
- [12] Griffiths, D.V., and Lane, P.A., (1999). "Slope Stability Analysis by Finite Elements." Geotechnique., 49(3), 387-403.

- [13] Hammah, R., Thamer, Y., Brent, C. and John, C. (2005). " A comparison of finite element slope stability analysis with conventional limit equilibrium investigation." Toronto.
- [14] Joseph R. Williams. (1996). The UNSODA Unsaturated Soil Hydraulic Database. Ohio : National Risk Management Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Potts, D.M. (2003). "Numerical analysis a virtual dream or practical reality." J. Geotechnique 53, 6, 535-573.
- [18] 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.
- [19] 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)

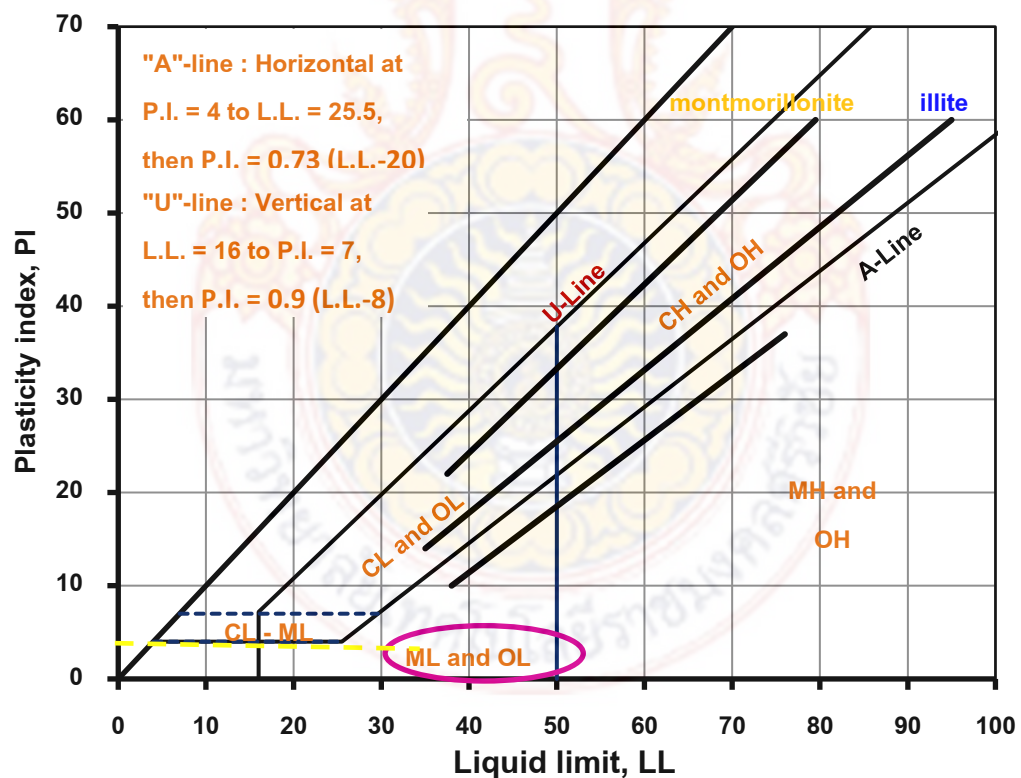
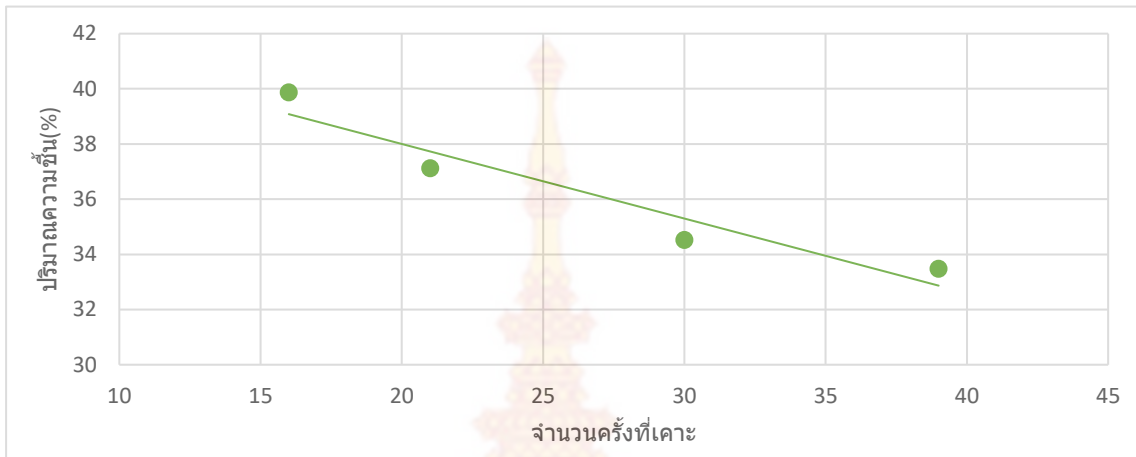


ตาราง ก-1 ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) บริเวณ Upper layer

ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)					
HYDROMETER (ASTM D422-02)					
Project Name	-				
Location	-	Date of Test	13/04/2020	Sample No.	Upper Layer
Tested by	Phan Engineering	Soil Sample	-	Depth (m)	-

TEST	ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)			
Test Number	1	2	3	4
Container no.	B1	B2	B3	B4
Number of bumps	16	21	30	39
Wet soil & Container g	29.810	27.320	28.030	34.430
Dry soil & Container g	26.800	24.380	25.200	30.580
Container g	19.250	16.460	17.00	19.080
Dry soil g	3.010	2.940	2.830	3.850
Moisture loss g	7.550	7.920	8.200	11.500
MOISTURE CONTENT %	39.868	37.121	34.512	33.478
Liquid Limit	36.5%			
Plastic Limit	31.746%			
Plastic Index	4.754%			

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



Summary In primary investigation properties, field and laboratory tests were conducted to determine index and engineering properties of the soil including: Atterberg Limits (ASTM D4318-04) The soil is classified as poorly

Low liquid limit-silt (ML)- (OL).

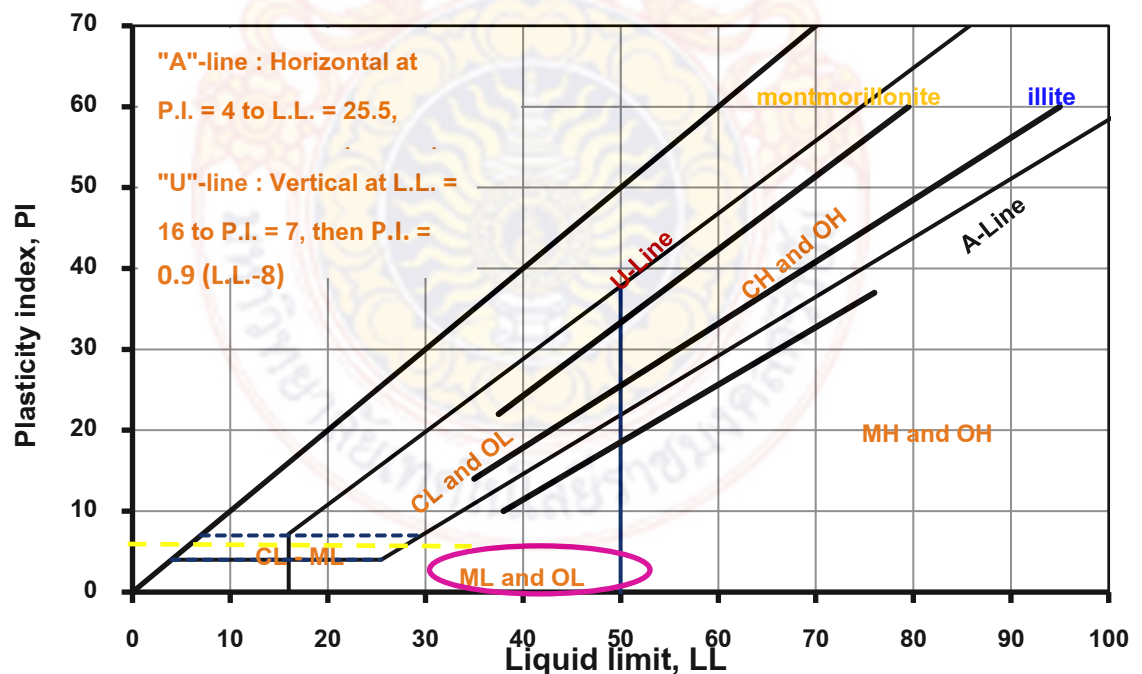
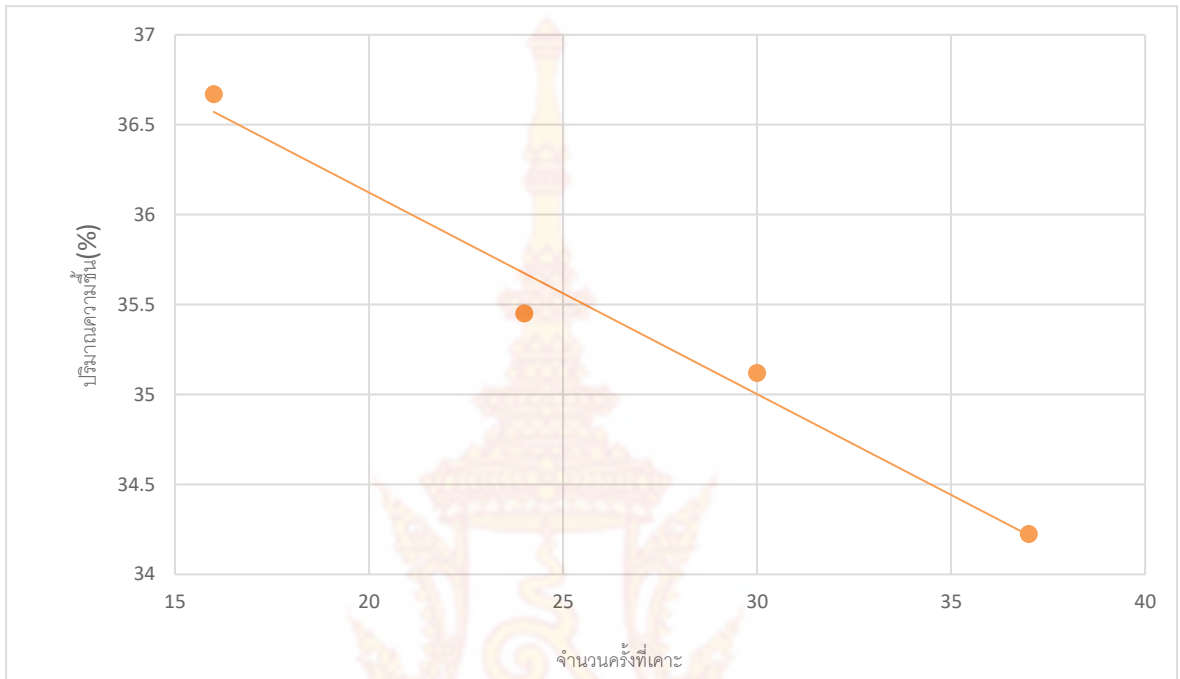


ตาราง ก-3 ผล Atterberg limits laboratory testing (ASTM D 4318-04) บริเวณ Lower layer

ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)					
HYDROMETER (ASTM D422-02)					
Project Name	-				
Location	-	Date of Test	13/04/2020	Sample No.	Lower Layer
Tested by	Phan Engineering	Soil Sample	-	Depth (m)	-


TEST	ATTERBERG LIMITS (ASTM D4318-04)			
	1	2	3	4
Test Number	1	2	3	4
Container no.	C1	C2	C3	C4
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	3.920	3.180	4.390	3.330
Moisture loss g	10.690	8.970	12.500	9.730
MOISTURE CONTENT %	36.667	34.452	35.120	34.224
Liquid Limit	35.510%			
Plastic Limit	30.147%			
Plastic Index	5.363%			

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



Summary: In primary investigation properties, field and laboratory tests were conducted to determine index and engineering properties of the soil including: Atterberg Limits (ASTM D4318-04) The soil is classified as poorly

Low liquid limit-silt (ML)- (OL).



ภาคผนวก ข

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

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

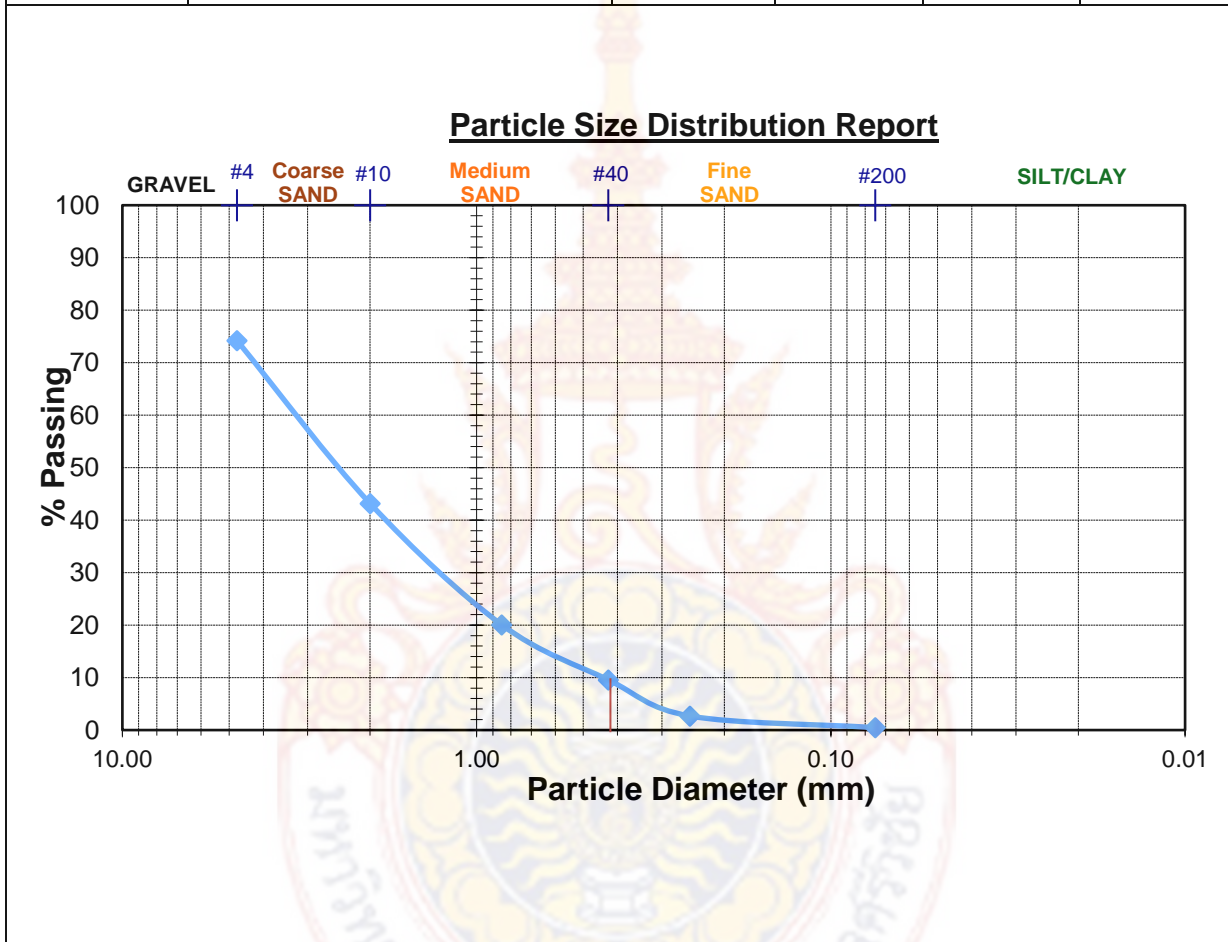
GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT SIEVE ANALYSIS (DRY SIEVING) (ASTM D422-02)					
Project Name	Langsuan Chumphon, Thailand				
Location	Langsuan Chumphon	Date of Test	13/04/2020	Sample No.	The Upper layer
Tested by Employer	Phan Engineering Dr.Chollada Kanjanakul	Soil Sample	-	Depth (m)	-

Preparation		Dry Sieve				
WEIGHT OF SOIL SAMPLE				Maximum Size		
Container No.		B		of Particle		
Wt. Container+Dry Soil		500		No. 10		
Wt. Container		-		No. 4		
Wt. Dry Soil		-		No. 3/4"		
SIEVE ANALYSIS						
Sieve No.	Sieve opening	Wt. Sieve	Wt. Sieve + soil	Wt. Soil Retained	Percent retained	Percent passing

	(mm.)	(g.)	(g.)	(g.)	(%)	(%)
#4	4.75	755.170	883.98	128.800	28.800	74.200
#10	2.00	670.750	825.96	155.200	31.000	43.200
#20	0.85	621.810	737.390	155.600	23.100	20.100
#40	0.43	573.700	626.220	52.500	10.500	9.600
#60	0.25	516.090	550.540	34.400	6.900	2.700
#200	0.075	507.320	518.410	11.100	2.200	0.500
PAN	4.75	484.320	485.500	1.100	0.200	0.000
TOTAL:				498.81	99.8	

	Diameter (mm)	Passing (%)
$D_{10} =$	0.4	-
$D_{30} =$	1.3	-
$D_{60} =$	3.2	-
$C_u =$	$D_{60}/D_{10} =$	7.619
$C_c =$	$D_{30}^2/(D_{60} * D_{10}) =$	1.257

Particle Size Distribution Report					
Project Name	Langsuan Chumphon, Thailand				
Location	Langsuan Chumphon, Thailand	Date of Test	13/04/2020	Sample No.	The Upper layer
Tested by	Phan Engineering	Soil Sample	-	Depth (m)	-
Employer	Dr.Chollada Kanjanakul				



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

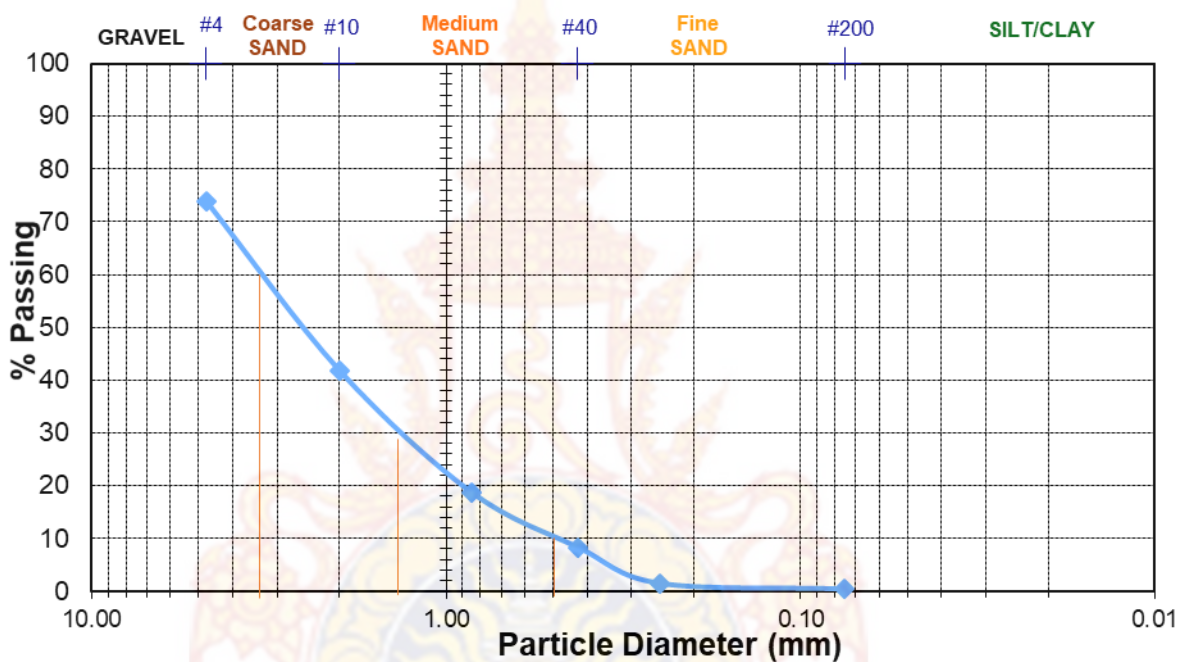
GEOTECHNICAL LABORATORY CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT SIEVE ANALYSIS (DRY SIEVING) (ASTM D422-02)					
Project Name	Langsuan Chumphon, Thailand				
Location	Langsuan Chumphon	Date of Test	13/04/2020	Sample No.	The lower layer
Tested by	Phan Engineering	Soil Sample	-	Depth (m)	-
Employer	Dr.Chollada Kanjanakul				

Preparation		Dry Sieve				
WEIGHT OF SOIL SAMPLE				Maximum Size		
Container No.		C		of Particle		
Wt. Container+Dry Soil		500		No. 10		
Wt. Container		-		No. 4		
Wt. Dry Soil		-		No. 3/4"		
SIEVE ANALYSIS						
Sieve No.	Sieve opening (mm.)	Wt. Sieve (g.)	Wt. Sieve + soil (g.)	Wt. Soil Retained (g.)	Percent retained (%)	Percent passing (%)
#4	4.75	755.730	886.780	131.100	26.200	73.800
#10	2.00	671.580	831.740	160.200	32.000	41.700

#20	0.85	622.580	737.670	115.100	23.000	18.700
#40	0.43	574.200	626.320	52.100	10.400	8.300
#60	0.25	516.430	550.670	34.200	6.800	1.500
#200	0.075	507.790	513.200	5.400	1.100	0.400
PAN	4.75	484.840	485.720	0.900	0.200	0.000
TOTAL:				499.040	99.808	

	Diameter (mm)	Passing (%)
$D_{10} =$	0.5	-
$D_{30} =$	1.4	-
$D_{60} =$	3.3	-
$C_u =$	$D_{60}/D_{10} =$	6.6
$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} * D_{10}) =$		1.19

Particle Size Distribution Report					
Project Name	Langsuan Chumphon, Thailand				
Location	Langsuan Chumphon	Date of Test	13/04/2020	Sample No.	The lower layer
Tested by	Phan Engineering	Soil Sample	-	Depth (m)	-
Employer	Dr.Chollada Kanjanakul				



Particle Size Distribution Report

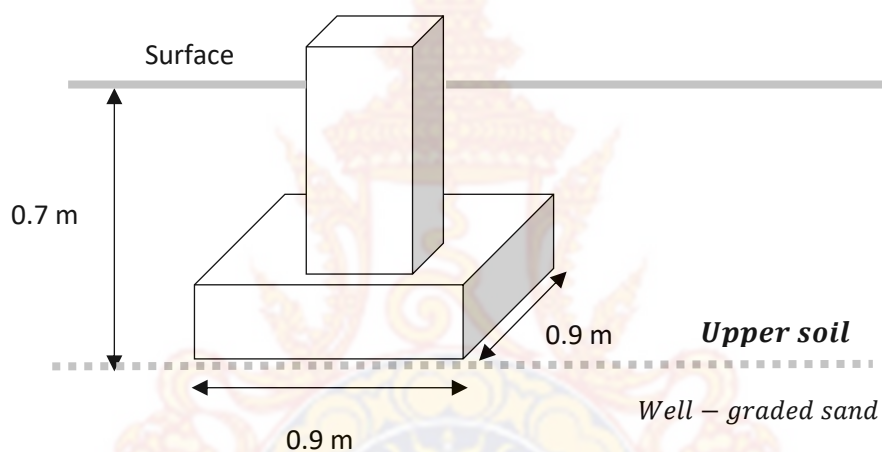
ภาคผนวก ค

รายการคำนวณการออกแบบฐานราก





หาค่าหน่วยแรงต้านสูงสุดของฐานราก (q_{ult}) ขนาด 0.9×0.9 m ฝังอยู่ลึก 0.7 m ใต้ทรายถม ($\gamma_t = 2.67$ t/m³, $c=10$, $\phi = 14^\circ$) โดยวางอยู่บนดินเดิม ($\gamma_t = 2.65$ t/m³, $c=10$ t/m², $\phi = 14^\circ$)



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

Step2 Find S_c , S_q , S_γ (Shape correction)

When $B \times L = 0.9 \times 0.9$ m²

$$S_c = 1 - \frac{B}{L} \left(\frac{N_q}{N_c} \right) = 0.64$$

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

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

Step3 Find q_{ult}

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

$$q_{ult} = 0.64 \times 10 \times 11 + (1.25 \times 2.67 \times 0.7 \times 4) + \left(0.6 \times \frac{1}{2} \times 2.65 \times 0.9 \times 1.2\right)$$

$$q_{ult} = 70.4 + 9.35 + 0.86 = 80.61 \text{ t/m}^2$$



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

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

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