

การปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดินด้วยเสาเข็ม
กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1009 ตอนจอมทอง – ดอยอินทนนท์
อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

Stabilization of earth slopes with micro piles : A case study on highway
No. 1009 Chomthong - Doi Inthanon

Chomthong District, Chiang Mai

ปรัชญา แสนแปง^{1*} พงษ์พันธ์ บูระณะกิติ² ขวัญสิรินภา ธนวงค์³ และ สุริยาวัชร ประอ้าย⁴

¹ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

² สำนักงานทางหลวงที่ 1 จ.เชียงใหม่

^{3,4} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา

* E-mail address: pratyasaenpaeng1711@hotmail.com

บทคัดย่อ

ทางหลวงในพื้นที่ภูเขาสูงโดยเฉพาะทางภาคเหนือของประเทศไทย มักจะเจอปัญหาของการพังทลายและการเคลื่อนตัวของลาดดินเป็นอย่างมาก ดังนั้นการศึกษาเสถียรภาพของลาดดิน รวมถึงการออกแบบโครงสร้างและการบำรุงรักษาเชิงลาดของทางหลวงในพื้นที่ดังกล่าว จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ความละเอียดของลักษณะภูมิประเทศมีความสำคัญเมื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีใหม่ๆ ช่วยทำให้เราสามารถมีข้อมูลด้านภูมิประเทศที่มีความแม่นยำสูงรวมถึงข้อมูลความชันโดยละเอียดสำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาดด้วยเสาเข็มขนาดเล็กของทางหลวง หมายเลข 1009 ตอนจอมทอง – ดอยอินทนนท์ ระหว่าง กม.19+585.00 – 19+750.00 โดยการนำเสนอวิธีการที่รวมระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบ 3 มิติ ทำการศึกษารูปแบบการกระจายแรงในดินและการเคลื่อนตัวของดิน ผลของการสร้างแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าความละเอียดของการเลือกตัวอย่างพื้นผิวมีผลกระทบต่อความแม่นยำในการคาดการณ์พื้นที่ของการพังทลายของลาดดินที่อาจเกิดขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยเพิ่มขึ้นจากการเสริมกำลังด้วยเสาเข็ม และค่าการเคลื่อนตัวของลาดดินของการวิเคราะห์มีค่าใกล้เคียงกับรายงานการตรวจวัดในสนาม

คำสำคัญ: วิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, การเคลื่อนตัวของดิน, เสาเข็มขนาดเล็ก

Abstract

Many highways in mountainous areas, particularly the Northern region of Thailand, inevitably confront the problems of excessive movement and slope failure. Therefore, slope stability analysis including highway design, construction and maintenance area are very important. Detailed surface topography is important when analyzing the stability of slopes. Recent advances in new technologies have allowed us to obtain high-precision profiles of slope information for three-dimensional (3D) slope stability analysis. This research presents a slope reinforced by micro piles of highway No. 1009 Chom Thong - Doi Inthanon, between km 19 + 585.00 - 19 + 750.00, Chiang Mai Province. A comprehensive approach that integrates Global Positioning System (GPS) and 3D finite element method for slope stability analysis. The soil behavior and soil movement were investigated. The modelling results show that the surface sampling resolution can affect the prediction accuracy of the potential failure zones. The reinforced slope showed an increase in safety factor. The numerical modeling was capable to reproduce satisfactorily the horizontal displacements of slope reinforced by micro piles.

Keywords: Slope Stability Analysis, Finite element method, Soil movement, Micro piles

1. บทนำ

การก่อสร้างทางหลวงในพื้นที่ภูเขาสูง โดยเฉพาะทางภาคเหนือของประเทศไทยมีการชะล้างพังทลายและการเคลื่อนตัวเชิงลาดถนนเป็นอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อความสะดวก ความปลอดภัยแก่ผู้ใช้ทาง บางครั้งทำให้เกิดความเสียหายแก่ทรัพย์สินรวมถึงการเสียชีวิตของประชาชนซึ่งไม่สามารถประเมินเป็นมูลค่าได้ ย่อมส่งผลก่อให้เกิดความเสียหายต่อเศรษฐกิจ การขนส่งและการเดินทางของประชาชนผู้ใช้เส้นทางสัญจรไปมาด้วย สำหรับความเสียหายที่เกิดขึ้นมีสาเหตุหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น สภาพของชั้นดินที่รองรับลาดดิน การกัดเซาะตามธรรมชาติ การซึมผ่านชั้นดินของน้ำฝนซึ่งทำให้คุณสมบัติของดินเปลี่ยนแปลง การเกิดแผ่นดินไหวหรือการพังทลายเนื่องจากน้ำหนักของดินถมเอง ปัญหาสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ปัญหาป่าไม้ถูกทำลายทำให้เกิดน้ำไหลหลากอย่างรุนแรงเมื่อฝนตกหนัก ดังนั้นการศึกษาเสถียรภาพของลาดดิน, การบำรุงรักษาเชิงลาดของทางหลวงในพื้นที่ดังกล่าว รวมถึงการออกแบบโครงสร้างเพื่อป้องกันการพังทลายของเชิงลาด จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก

ทางหลวงหมายเลข 1009 ตอนควบคุม 0100 ตอนจอมทอง – ดอยอินทนนท์ ลักษณะของเส้นทางเป็นถนนสองช่องจราจร ลัดเลาะไปตามริมเขา ค่อนข้างแคบๆ เป็นเส้นทางสัญจรท่องเที่ยว ในแต่ละปีจำนวนนักท่องเที่ยวเดินทางผ่านเส้นทางนี้เป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังเป็นเส้นทางที่ใช้สัญจรขนถ่ายผลผลิตทางการเกษตรของเกษตรกรในพื้นที่ตลอดทั้งปี ในช่วงฤดูฝนการเคลื่อนตัวของเชิงลาดบริเวณ กม.19+585.00 – 19+750.00 มีมากเกินไปทำให้เกิดรอยแตกร้าวที่สามารถสังเกตเห็นด้วยสายตาและน้ำผิวดินที่ไหลไปตามผิวทำให้เกิดความเสียหายบริเวณเชิงลาดที่มีความชันมาก รูปที่ 1 เหตุการณ์ดังกล่าว สำนักทางหลวงที่ 1 เชียงใหม่จึงได้ทำการปรับปรุงเชิงลาดบริเวณดังกล่าวโดยการเสริมกำลังแบบใช้เสาเข็มขนาดเล็กและเพื่อเป็นการบำรุงรักษาแบบเชิงป้องกัน



รูปที่ 1 แสดงการพังทลายของลาดดิน (a)การสัญจรบริเวณดังกล่าว,(b)รอยแตกของถนน, (c)การพังทลายของลาดดิน, (d)การกัดเซาะของน้ำ

การวิเคราะห์เสถียรภาพของความชันได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง เพื่อให้ได้พื้นที่ลาดชันที่มั่นคงและปลอดภัยที่สุด ความเสถียรภาพจะพิจารณาจากคุณสมบัติของแรงเฉือนและความต้านทานแรงเฉือน ลาดชันนั้นจะมีเสถียรภาพหากความต้านทานการเคลื่อนไถวนั้นมีค่ามากกว่าแรงขับเคลื่อนที่ได้ ความล้มเหลวของลาดชันอาจนำไปสู่การสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องตรวจสอบเสถียรภาพของทางลาด ด้วยการพัฒนาวิธีการที่ทันสมัยในการทดสอบดินและการวิเคราะห์เสถียรภาพทำให้การออกแบบทางลาดที่ปลอดภัยและประหยัด วิศวกรรมเทคนิคควมมีความรู้ละเอียดของวิธีการต่าง ๆ ในการตรวจสอบความมั่นคงของทางลาดและข้อจำกัดของพวกเขา ในการวิบัติของความลาดชันส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการกระทำของกำลังแรงโน้มถ่วงและกำลังของความลาดชันภายในดิน นอกจากนี้ยังอาจเกิดการวิบัติได้จากการขุดหรือการกัดเซาะด้านใต้มวลดินเนื่องจากการสลายตัวของโครงสร้างของดินอย่างค่อยเป็นค่อยไป การสไลด์อาจเกิดขึ้นได้ทุกรูปแบบ ทั้งในแบบค่อยเป็นค่อยไปหรือทันทีทันใดและมีหรือไม่มีแรงกระทำที่ชัดเจน ([1],[2])

วิธีวิเคราะห์เสถียรภาพมีหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป โดยวิธี (Limit Equilibrium Method : LEM) มีสมมติฐานว่าวัสดุเป็นเนื้อเดียวกัน (Rigid Material) ซึ่งในความเป็นจริงวัสดุไม่ได้เป็นเช่นนั้น แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายสำหรับการหาค่า (Factor of Safety : F.S.) จึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย ส่วนวิธี (Finite Element Method : FEM) เป็นวิธีใหม่ที่นำมาใช้ในทางวิศวกรรมปฐพี นอกจากจะสามารถหาค่า F.S. ยังสามารถแสดงค่าอื่นได้อีกหลายอย่าง เช่น ค่า Shear Strain และ Displacement เป็นต้น แต่วิธีนี้จำเป็นต้องเข้าใจแบบจำลองและมีค่าตัวแปรที่ถูกต้องใน

การวิเคราะห์การใช้คอมพิวเตอร์และแอปพลิเคชันในการวิเคราะห์ความมั่นคง การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Finite Element) ที่ครอบคลุมมากขึ้น ([3],[4],[5]) อย่างไรก็ตามวิธีดั้งเดิม (Limit Equilibrium) ยังคงสามารถสร้างความแม่นยำได้ และผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือทั้งสองมีข้อได้เปรียบข้อเสียเปรียบ การเลือกวิธีที่จะใช้ขึ้นอยู่กับพิจารณาบางส่วนที่อธิบายไว้ด้านล่าง วิธีที่ผู้ใช้เลือกควรเป็นไปตามความซับซ้อนหรือที่ต้องมีการวิเคราะห์การไหลซึมการรวมตัวและพฤติกรรมทางกลอื่น ๆ (แรงดันน้ำของรูพรุนที่เกิดจากการตอบสนองของดินเชิงกลที่ซับซ้อนมากขึ้นอาจใช้ในการวิเคราะห์ FE ได้ดีขึ้น) ([6])

วารุณีและสุทธิศักดิ์,2553 ศึกษาความเหมาะสมของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดงานขุดโดยเปรียบเทียบวิธีสมมูลจำกัด, ไฟไนต์อีลิเมนต์ และสมมูลจำกัดร่วมกับการพิจารณาหน่วยแรงในมวลดิน ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดงานขุดในพื้นที่ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ โดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากทั้ง 3 วิธีได้แก่ LEM, FEM, SBM ศึกษา กรณีได้แก่ 1) การศึกษาความอ่อนไหวของตัวแปร ได้แก่ ความลึกความกว้างและความลาดชัน 2) การศึกษาความปลอดภัยเนื่องจากรูปแบบการรับแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ ผลการศึกษาพบว่าดินที่มีค่าความเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน Cohesion $\geq 2.5 \text{ t/m}^2$

การขุดที่ความลึก 3.0 เมตร มีความปลอดภัยสำหรับดินที่มีค่า $C < 2.5 \text{ t/m}^2$ พบว่าค่า F.S. ขึ้นอยู่กับความลึกและความลาดชันของการขุดโดยตรง นอกจากนี้พบว่าความกว้างปากขุดไม่มีผลต่อเสถียรภาพของลาดดิน และการมีชั้น Weathered Crust ช่วยให้ชั้นดินที่มีพฤติกรรมการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงเฉือนตามความลึก นอกจากนี้กรณีวิธีการวิเคราะห์พบว่า SBM_FE อาจทำให้เข้าใจผิดถึงจุดวิบัติ (Yield Point) ที่แท้จริง ซึ่งจากวิธี FEM ตำแหน่งการเกิด Yield Point มีระยะไกลกว่าวิธี SBM_FE เป็นเหตุผลว่าเมื่อวิเคราะห์โดยวิธี FEM จะสามารถขุดได้ลึกกว่าวิธีอื่น ([7])

Wang et al, 2017 ได้ทำการศึกษาโดยใช้ 3D laser scanning สำรวจพื้นที่ landslide ของเมือง Hongxi จุดข้อมูล (Point Cloud) ที่ได้จาก 3D laser scanning นำมาสร้างแบบจำลองที่มีขนาดความละเอียดพื้นผิวแตกต่างกันที่ 1.5, 2, 3, 4 และ 5 เมตร วิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัยโดยใช้โปรแกรม Plaxis พบว่า อัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ระหว่าง 1.722 – 1.808 แสดงการเคลื่อนตัว โดยที่ขนาดความละเอียดพื้นผิว 1.5 เมตร ให้ค่าน้อยสุด ขนาดความละเอียดพื้นผิว 5 เมตร ให้ค่าสูงสุดแบบจำลองขนาดความละเอียดพื้นผิว 1.5 เมตร ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดชันภายใต้สถานการณ์ฝนตก 6 วัน ปริมาณน้ำฝนรวมที่ใหญ่ที่สุดในช่วง 6 วัน ค่า FS ของความชันที่ตรวจสอบจะลดลงเมื่อฝนยังคงดำเนินต่อจากค่าเริ่มต้น 1.722 ถึง 1.425 ในวันที่ 6 ([1])

Sun et al, 2014 ได้ศึกษาแบบจำลองสามมิติวิเคราะห์เสถียรภาพของความชันที่เป็นเนื้อเดียวกันเสริมด้วย Micro piles ซึ่งพฤติกรรมของดินถูกอธิบายโดยใช้เกณฑ์ Mohr – Coulomb วิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม PLAC 3D ค่าความปลอดภัยของความลาดเอียงที่ไม่เสริมกำลังมีค่าเท่ากับ 1.16 ซึ่งก็ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ของ Cai และ Uqai ด้านความปลอดภัย 1.14 และ 1.13 วิธี Finite Element และวิธี Bishop's Simplified Method ตามลำดับ Micro pile ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร ถูกติดตั้งที่ตำแหน่งกึ่งกลางลาดเอียง $Lx/L = 0.75$ ระยะเรียง $S = 3D$ ค่าความปลอดภัยของความลาดเอียงเท่ากับ 1.45 และวิเคราะห์ติดตั้ง Micro pile ตำแหน่ง $Lx/L = 0.1, 0.3, 0.7$ และ 0.9 ได้ค่าความปลอดภัยของความลาดเอียงตามลำดับ [2]

งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการปรับปรุงเสถียรภาพของเชิงลาดด้วยเสาเข็มขนาดเล็กของทางหลวง หมายเลข 1009 ตอนจอมทอง – ดอยอินทนนท์ ระหว่าง กม.19+585.00 – 19+750.00 โดยการนำเสนอวิธีการที่รวมระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) และวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ แบบ 3 มิติด้วยโปรแกรม Plaxis 3D ทำการศึกษารูปแบบการกระจายแรงในดิน ค่าสัมประสิทธิ์ความปลอดภัยจากการเสริมกำลังด้วยเสาเข็ม และค่าการเคลื่อนตัวของลาดดินของการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับรายงานการตรวจวัดในสนาม

2. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการศึกษากการพฤติกรรมของลาดดิน รวมถึงการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัวของลาดดินในรูปแบบพื้นผิวสามมิติ ทั้งนี้เพื่อความเข้าใจในขั้นตอนและขอบเขตของงานวิจัยจึงทำการแบ่งขั้นตอนการดำเนินงานของงานวิจัยดังนี้

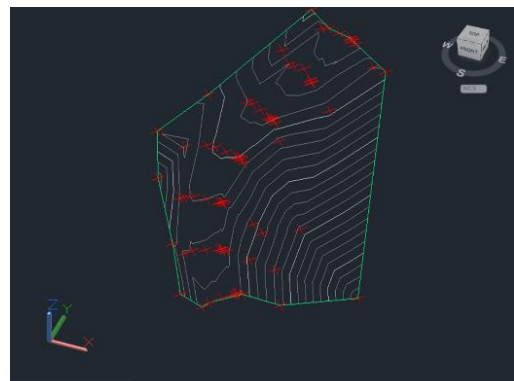
2.1 การสำรวจพื้นที่

การสำรวจพื้นที่เป็นส่วนที่สำคัญในการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ในงานวิจัยทำการสำรวจพื้นที่ทางหลวง หมายเลข 1009 ตอนจอมทอง – ดอยอินทนนท์ ระหว่าง กม.19+585.00 – 19+750.00 ดังรูปที่ 2 เพื่อให้ได้ทราบถึงค่าพิกัดตำแหน่งโดยระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) ครอบคลุมทั้งพื้นที่ที่จะนำไปวิเคราะห์



รูปที่ 2 แสดงการสำรวจพื้นที่ (a)เก็บข้อมูล, (b)วัดระยะพื้นที่, (c)การหาค่าพิกัดตำแหน่ง, (d)พื้นที่สำรวจ

หลังจากการสำรวจพื้นที่เก็บข้อมูล พื้นที่ลาดดิน ทำการนำค่าพิกัด (Survey point) ที่ได้นำสร้างเส้นชั้นความสูง (Contouring) ในโปรแกรม Autodesk AutoCAD Civil 3D โดยใช้ความละเอียดของชั้นความสูงความละเอียดทุก 1 เมตร แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงเส้นชั้นความสูง (Contouring) ความละเอียดทุก 1 เมตร

2.2 การทดสอบคุณสมบัติดินทางวิศวกรรม

ในการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Test) จะต้องทดลองบดอัดตัวอย่างดินด้วยวิธีการตามมาตรฐาน เช่น ASTM D698, ASTM D1557 เป็นต้น ที่ปริมาณความชื้นต่าง ๆ กันประมาณ 4-5 ค่า คำนวณความชื้นและความหนาแน่นแห้งของดินในการบดอัดตัวอย่างดินแต่ละครั้ง แล้วพล็อตเส้นโค้งเรียงผ่านจุดที่ได้จากการทดลอง เพื่อหาความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) และความชื้นที่เหมาะสม (Optimum water content) เพื่อใช้ในการเตรียมตัวในการทดสอบ Triaxial Test และการทดสอบ Permeability Test จะทำการทดสอบทั้งวิธี Standard และวิธี Modified

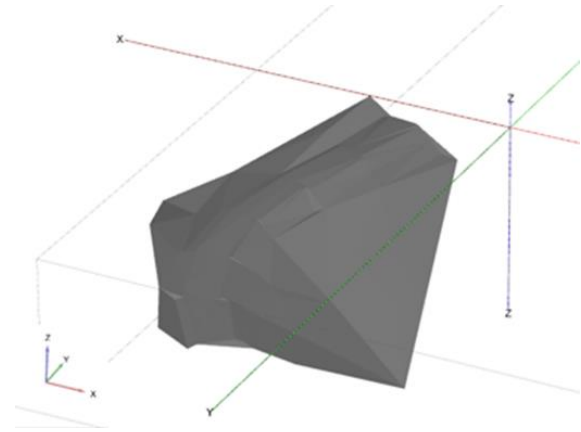
การทดสอบ Triaxial Test ผู้ทดลองได้ทำการเตรียมตัวอย่างจากโมลต์ที่สร้างขึ้นมาจากขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ความสูงของโมลต์ตัวอย่าง 10 เซนติเมตร ทำการบดอัดให้ได้ตัวอย่างในการทดสอบ แล้วจึงทำการทดสอบในรูปแบบ Unconsolidated Undrained Test (UU - Test) ตามมาตรฐาน ASTM D 2850 เพื่อหาค่าอิลลาสติกโมดูลัส E'

การทดสอบ Permeability Test เป็นการหาค่าความสามารถการซึมผ่านของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ สามารถดำเนินการได้เร็วหรือช้าแตกต่างกันตามลักษณะการกระจายขนาดของเม็ดดินหากเป็นดินเม็ดหยาบการทดสอบจะกระทำได้รวดเร็ว เพราะดินมีช่องโพรงต่อเนื่องขนาดใหญ่ทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้ง่าย แต่หากดินเป็นดินเม็ดละเอียดเช่น ตะกอนทรายหรือดินเหนียว หรือดินที่มีมวลละเอียดปะปนอยู่มาก การทดสอบเพื่อหาค่า k กระทำได้ยาก ใช้เวลานาน และหากมีการบดอัดดินทำให้ช่องว่างในดินลดลงและขาดความต่อเนื่อง การทดสอบจะกระทำได้ยากยิ่งขึ้นและใช้เวลานาน

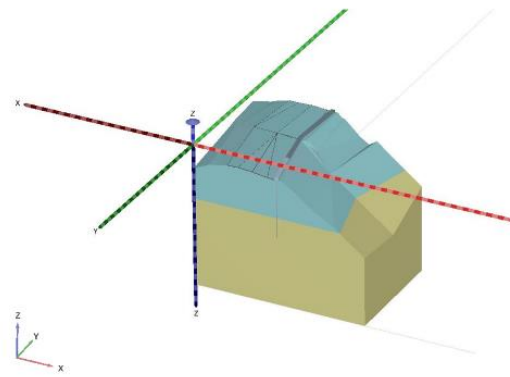
ในการทดสอบการซึมผ่านในงานวิจัยนี้ได้ทำการบดอัดตัวอย่างดินให้ได้ค่าความหนาแน่นที่ต้องการในโมลต์แบบมาตรฐาน เมื่อได้ความหนาแน่นที่ต้องการแล้วจะทำการหาค่าการซึมผ่านทดลอง โดยปรับความดันให้ได้ความดันที่ต้องการโดยใช้ปั๊มเป็นตัวควบคุมความดัน หลังจากนั้นเปิดวาล์วน้ำให้ไหลผ่านโมลต์ตัวอย่าง รอกจนกระทั่งอัตราการไหลคงที่แล้วเริ่มวัดอัตราการไหลพร้อมจับเวลา โดยที่ความดันเดียวกันจะทำการทดลอง 3 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย ตามมาตรฐาน ASTM D 2484 – 68

2.3 สร้างแบบจำลองพื้นผิวสามมิติ (3D Surface)

เพื่อให้ได้ลักษณะภูมิประเทศที่ถูกต้อง การสร้างแบบจำลองพื้นผิวสามมิติ (3D Surface) จะเริ่มจากการนำเส้นชั้นความสูง (Contouring) ในโปรแกรม Autodesk AutoCAD Civil 3D เข้าสู่โปรแกรม Plaxis 3D ดังรูป 4 และทำการเพิ่มความลึกลงไปเพื่อสร้างโมเดลพื้นผิวของลาดดินที่จะวิเคราะห์และทำการแบ่งชั้นดินดังรูป 5 ตามด้วยการป้อนค่าพารามิเตอร์ตามข้อมูลการทดสอบ

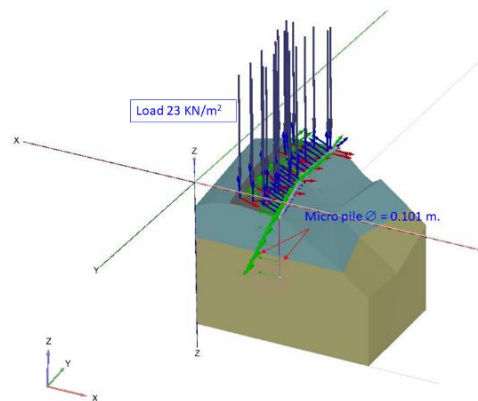


รูปที่ 4 พื้นผิวของลาดดินในโปรแกรม Plaxis 3D



รูปที่ 5 พื้นผิวของลาดดินที่จะวิเคราะห์และทำการแบ่งชั้นดินในแบบจำลอง plaxis3D

เมื่อได้โมเดลพื้นผิวทำการให้แรงกระทำตามสภาวะจริงที่มีแรงกระทำจากน้ำหนักของยานพาหนะที่แล่นผ่านถนนโดยน้ำหนักที่ขึ้นอยู่กับ 23 KN/m^2 ซึ่งค่าใกล้เคียงกับ [10] Highways (live load) และได้ติดตั้งเสาเข็ม (micro pile) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.101 m . ความยาวของเสาเข็ม 10 m . ระยะห่างของเสาเข็มอยู่ที่ 0.5 m . ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 พื้นผิวของลาดดินที่มีน้ำหนักกระทำอยู่ที่ 23 KN/m^2 และเสริมกำลังด้วยเสาเข็มในแบบจำลอง plaxis3D

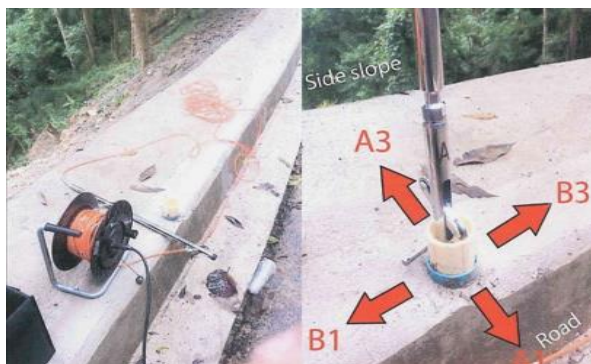
2.4 การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของทางข้ามข้างของเชิงลาดดินที่เสริมเสถียรภาพด้วยเสาเข็มขนาดเล็ก

ในการวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของลาดดินในโปรแกรม Plaxis 3D เปรียบเทียบผลการวัดการเคลื่อนตัวของภาคสนามด้วยเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค Inclinometer และคาดการณ์การเคลื่อนตัวของลาดดินที่ 1 ปี และ 3 ปี

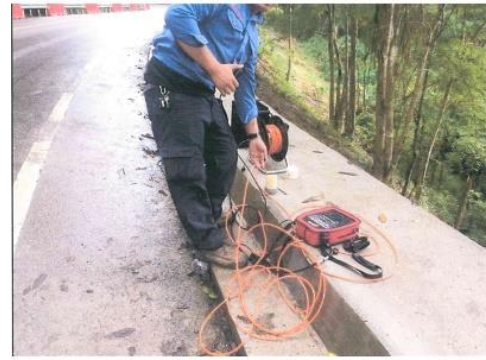
2.5 วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดดินที่เสริมเสถียรภาพด้วยเสาเข็มขนาดเล็ก

วิเคราะห์เสถียรภาพของเชิงลาดดินที่เสริมความปลอดภัย F.S ด้วยโปรแกรม Plaxis 3D แบ่งเป็น กรณีก่อนการเสริมกำลังด้วยเสาเข็มขนาดเล็ก และหลังการเสริมกำลังด้วยเสาเข็มขนาดเล็ก ทั้งสองกรณีจะทฤษฎีวิเคราะห์ Mohr-Coulomb Model และทฤษฎีวิเคราะห์ Hardening Soil Model

2.6 การตรวจวัดพฤติกรรมของการเคลื่อนตัวของลาดดินของทางหลวงหมายเลข 1009 ตอนควบคุม 0100 ตอน จอมทอง - อินทนนท์ ระหว่าง กม. 19+585 - กม. 19+750 การดำเนินการตรวจวัดต้องการทราบพฤติกรรมของพื้นดินบริเวณดังกล่าว จุดที่มีการวางหลุมสำรวจใฝ่ระวางมีเสถียรภาพหรือการเคลื่อนตัวไปในทิศทางใด ด้วยเครื่องมือวัดทางธรณีเทคนิค (Inclinometer) ดังแสดงดังรูปที่ 7 โดยจะวัดในทิศทางตามแนวเชิงลาดและทิศทางตั้งฉากกับเชิงลาดดังรูปที่ 8 งานวิจัยนี้จึงนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลการเคลื่อนตัวของที่วิเคราะห์ได้จากโปรแกรม Plaxis 3D เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ประเมินสถานะภาพของพื้นที่ใฝ่ระวาง



รูปที่ 7 การวัดการเคลื่อนตัว (Inclinometer)



รูปที่ 8 การวัดการเคลื่อนในภาคสนาม

3. ผลการศึกษา

3.1 ค่าคุณสมบัติของดินของดินทางวิศวกรรม ในการวิเคราะห์งานวิจัยนี้ จะแบ่งเป็นการวิเคราะห์ด้วย Hardening soil Model และ Mohr-Coulomb Model ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ Mohr-Coulomb

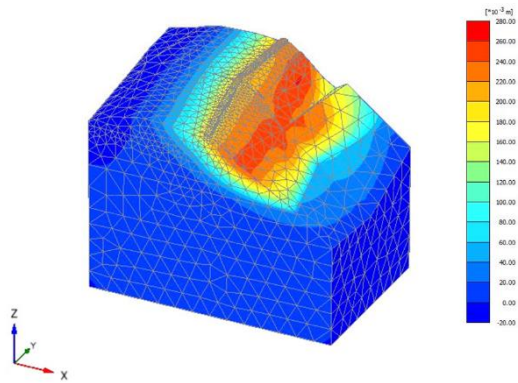
Property	Clayey SAND	Silty SAND	Unit
General			
Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Type	Drained	Drained	-
γ_{unsat}	15.8	15.8	KN/m ³
γ_{sat}	19.1	19.1	KN/m ³
Parameters			
E'	10000	20000	KN/m ²
ν'	0.3	0.3	KN/m ²
C_{ref}'	1	1	KN/m ²
ϕ	32	34	o
ψ	0	0	o

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ Hardening soil

Property	Clayey SAND	Silty SAND	Unit
General			
Model	Hardening soil	Hardening soil	-
Type	Drained	Drained	-
γ_{unsat}	15.8	15.8	KN/m ³
γ_{sat}	19.1	19.1	KN/m ³
Parameters			
E_{50}^{ref}	2000	3000	KN/m ²
E_{oed}^{ref}	2000	3000	KN/m ²
E_{ur}^{ref}	10000	12000	KN/m ²
m	1	1	-
C_{ref}'	1	1	KN/m ²
ϕ	32	34	o
ψ	0	0	o

โดยที่ค่าพารามิเตอร์ E' , E'_{50} , E'_{oed} และ E'_{ur} เป็นค่าที่หาได้จากเส้นความชันของกราฟ stress และ strain ในการทดสอบ Unconsolidated Undrained Test (UU - Test) ซึ่งมีความคาดเคลื่อนค่อนข้างมากผู้วิจัยจึงกำหนดใช้ค่าดังตาราง 1 และ 2 ส่วนค่าพารามิเตอร์ C_{ref} และ ϕ ได้มาจากการความสัมพันธ์ของ Mohr-Coulomb

3.2. สร้างแบบจำลองพื้นผิวสามมิติ (3D Surface) โดยการใส่ค่าที่กีดสำรวจของระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) สามารถวิเคราะห์เสถียรภาพดังรูปที่ 9 วิเคราะห์ด้วยทฤษฎี Mohr-Coulomb Model และ Hardening Soil Model ได้อัตราส่วนความปลอดภัยดังตารางที่ 3



รูปที่ 9 แสดงตัวอย่างผลการวิเคราะห์เสถียรภาพแบบสามมิติ ในกรณีก่อนการเสริมเสาเข็ม

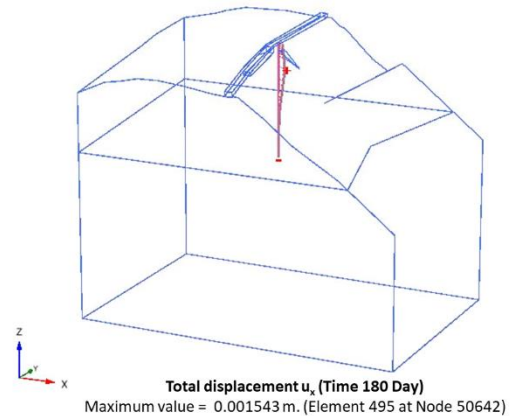
ตารางที่ 3 ค่าการวิเคราะห์เสถียรภาพที่เสริมด้วยเสาเข็มขนาดเล็ก

ค่าการวิเคราะห์	ก่อนการเสริมเสาเข็ม		หลังการเสริมเสาเข็ม	
	MC.	HS.	MC.	HS.
FS.	1.112	1.046	1.684	1.523

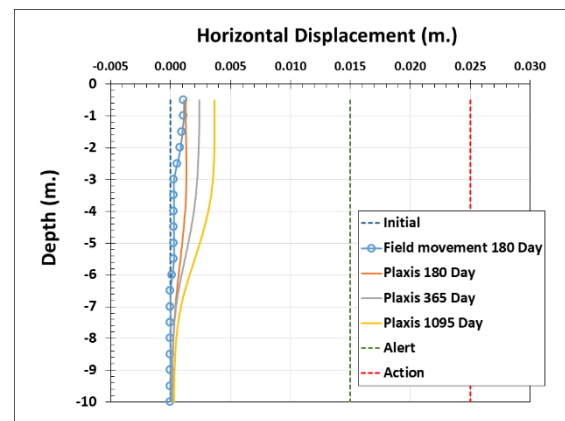
โดยที่ MC.. = Mohr-Coulomb Model, HS. = Hardening Soil Model

3.3 การเคลื่อนตัวของลาดดินจากการวิเคราะห์เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากสนามที่ระยะเวลา 180 วัน การเคลื่อนที่วัดได้ที่ความลึกจากผิวดิน -0.5 m. ให้ค่าการเคลื่อน 0.001105 m. และค่าการเคลื่อนตัวลดลงตามความลึก เมื่อเทียบการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis3D ด้วยทฤษฎี Mohr-Coulomb ให้การเคลื่อนตัวระยะเวลา 180 วันที่ 0.001247 m. ดังรูปที่ 10 จากการวิเคราะห์ที่สามารถคาดคะเนค่าการเคลื่อนตัวที่ 365 และ 1095 วัน โดยให้การเคลื่อนที่สูงสุดที่ 0.002417 m. และ 0.003664 m. ตามลำดับดังรูปที่ 11

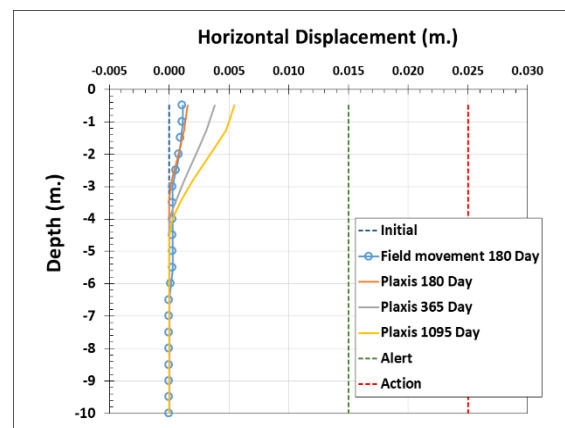
การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของลาดดินด้วยทฤษฎี Hardening Soil ให้ค่าการเคลื่อนตัวระยะเวลา 180 วัน ที่ 0.001543 m. คาดคะเนการเคลื่อนตัวที่ระยะเวลา 365 และ 1095 วัน โดยการเคลื่อนที่ 0.003758 m. และ 0.005440 m. ตามลำดับ ดังรูปที่ 12



รูปที่ 10 ตัวอย่างผลการเคลื่อนตัวของเสาเข็มจากโปรแกรม plaxis3D หลังการเสริมเสาเข็ม



รูปที่ 11 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของลาดดินจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis3D ด้วยทฤษฎี Mohr-Coulomb เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากสนาม



รูปที่ 12 กราฟแสดงการเคลื่อนตัวของเสาเข็มจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Plaxis3D ด้วยทฤษฎี Hardening Soil เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากสนาม

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดินด้วยเสาเข็ม
กรณีศึกษา ทางหลวงหมายเลข 1009 ตอนจอมทอง - ดอยอินทนนท์
สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การสำรวจด้วยพิกัดของระบบนำทางด้วยดาวเทียม (Global Positioning System : GPS) นำเข้าโปรแกรม Autodesk AutoCAD Civil 3D เพื่อสร้างพื้นผิวของลาดดิน ทำให้เราได้พื้นที่แท้จริงของลาดดินที่จะทำการวิเคราะห์เสถียรภาพและการเคลื่อนตัว

2. ผลการศึกษาเสถียรภาพของลาดดินดังกล่าวก่อนการเสริมกำลังด้วยเสาเข็มด้วยทฤษฎี Mohr-Coulomb และทฤษฎี Hardening Soil ให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.112 และ 1.046 ตามลำดับ และหลังการเสริมกำลังให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย 1.684 และ 1.523

3. จากการเปรียบเทียบการเคลื่อนตัวของลาดดินด้วยโปรแกรม Plaxis3D กับการวัดการเคลื่อนตัวภาคสนามจากข้อมูลที่ได้ 180 วัน หลังการเสริมกำลังมีค่าใกล้เคียงทั้งทฤษฎี Mohr-Coulomb และทฤษฎี Hardening Soil

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักทางหลวงที่ 1
ขอขอบคุณ ดร.ชานา พุทธนานนท์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี สำหรับคำแนะนำการใช้ โปรแกรม plaxis3D ขอขอบคุณ ดร.กรกฎ
นุสิทธิ์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร และภาควิชาวิศวกรรม
โยธา มหาวิทยาลัยพะเยา สำหรับคำแนะนำและเครื่องมือทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชพล คชานันต์ (2558). การศึกษาเสถียรภาพของลาดดินโดย
คุณสมบัติทางวิศวกรรม: กรณีศึกษา เทพราช อำเภอสหัส,
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [2] อุดลย์ ยะโก๊บ (2551). การศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพของลาดดิน
ในทางหลวงหมายเลข 41 ตอน อ.ทุ่งสง - อ.ร่อนพิบูลย์, ภาคใต้
ประเทศไทย, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรม
โยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [3] Chang K., and Huang H.,(2015) Three-dimensional analysis
of a deep-seated landslide in central Taiwan, Environ Earth
Sci DOI 10.1007/s12665-015-4128-x
- [4] Sun S., Zhu B., and Wang J.,(2013) Design method for
stabilization of earth slopes with micropiles, Soils and
Foundations, 53(4), pp.487-497
- [5] Prat PC.,(2017) Numerical investigation into the failure of a
micropile retaining wall. Computers and Geotechnics, 81,
pp. 262-273

- [6] พัทธ์ชัย ทันมั่ง และวีรยา ฉิมอ้อย (2559). การเปรียบเทียบการ
วิเคราะห์เสถียรภาพของคันดินด้วยวิธีสมมูลขีดจำกัดและวิธีไฟไนต์เอ
ลิเมนต์, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ปีที่ 24, ฉบับที่ 1,
หน้า 185-196
- [7] วาสุณี กะการดี และสุทธิศักดิ์ ศรีลัมพ์ (2553). การศึกษาความ
เหมาะสมของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน โดยวิธีสมมูล
จำกัดและวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ : กรณีศึกษางานขุดดินในพื้นที่ดิน
เหนียวอ่อนกรุงเทพฯ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ
ครั้งที่ 15
- [8] Wang M., Liu K., Yang M., and Xie J. (2017) Three-
dimensional slope stability analysis using laser scanning
and numerical simulation, Geomatics, Natural Hazards and
Risk, 8:2, 997-1011
- [9] Sun S, Wang W, and Zhao F, (2014). Three-Dimensional
Stability Analysis of a Homogeneous Slope Reinforced with
Micro piles, Hindawi Publishing Corporation Mathematical
Problems in Engineering, Article ID 864017, 11 pages
- [10] วุฒิชัย ชาติพัฒนานันท์ ,ธนาตล คงสมบูรณ์ และ สันติ กวินวงศ์
ไพบูลย์ (2559).การตรวจสอบเสถียรภาพทางลาดของกำแพงกันดิน
เสริมกำลังทั้งสองด้าน: กรณีศึกษาโครงการทางหลวงในประเทศไทย,
วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต