ศึกษาแนวโน้มการนำคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ยึดรั้งบนลาดเอียงที่มีผลต่อการพังทลายของดิน

A Study of the trend of using bamboo reinforced concrete on the earth slope that affects soil landslide

สุรชัย อำนวยพรเลิศ[1] และ พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ[2]

Surachai Amnuaypornlert and Pongpan Kanjanakaroon

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ในมวลดินที่มีผลต่อวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดเอียงตามธรรมชาติ บริเวณอาคารเรียนวิศวกรรมโยธา โดยทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินโดยเก็บตัวอย่างที่ความลึกสูงสุด 1.00 เมตร จำนวน 9 หลุม และกำหนดคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ในมวลดินรูปแบบการจัดเรียงแบบสี่เหลี่ยมระยะห่าง 1.20 x 1.20 เมตร จำนวน 9 จุด และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป จากการศึกษาพบว่าเมื่อนำมาจำแนกประเภทโดยวิธี USCS คุณสมบัติของดินมีลักษณะเป็นดินเหนียวอ่อนปนทรายและได้ค่าความเชื่อมแน่นของดิน (C) เท่ากับ 3.25 ถึง 5.51 ตันต่อตารางเมตร,ค่า $\emptyset$ เท่ากับ 15.4 ถึง 39.7 องศา, γ เท่ากับ 1.274 ตันต่อลูกบาศก์เมตร และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในมวลดินเท่ากับ 29.4 เปอร์เซ็นต์ และนำข้อมูลที่ได้กำหนดเป็นตัวแปรสำหรับวิเคราะห์ในโปรแกรมสำเร็จรูป กำหนดมุมลาดเอียงที่ใกล้เคียงกับพื้นที่จริงเท่ากับ 37 องศา ผลจากการศึกษาพบว่า เมื่อนำโปรแกรม Slope/W ที่ใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Limit Equilibrium Method และใช้ Finite Element Method ให้ผลการทดสอบที่เด่นชัดที่สุดมีค่า FS. เท่ากับ 6.744 เมื่อเปรียบเทียบกับลาดเอียงที่ไม่มีการเสริมแรงพบว่าค่า FS. มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 15.20 แสดงให้เห็นว่าการใส่คอนกรีตเสริมไม้ไผ่ซางในมวลดินสามารถช่วยเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัยและลดการพังทลายของดินได้

คำสำคัญ: ไม้ไผ่ซาง, LEM, FEM, โครงข่ายสี่เหลี่ยมและโปรแกรมสำเร็จรูป

[1]อาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย aretomrit@gmail.com 094-6407557

[2] อาจารย์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

Abstract

The objective of this study was to study the reinforced bamboo concrete in the soil mass that affected natural slope stability on hillside at faculty of civil engineering building. The soil samples were tested at a maximum depth is 1.00 meters and taken from 9 points. And bamboo reinforced concrete in the soil mass, and planting alignment pattern by square which rectangular arrangement, spacing 1.20 x 1.20 m, 9 points and the data were analyzed with the software program, the testing result of soil properties could classify as CL. The testing shown that C value was 3.25 – 5.51 t/m^2, $\emptyset$ value was 15.4 – 39.7 degree, γ value was 1.274 t/m^3, and percent of soil moisture was 29.4%. When analyze the soil properties obtained from the testing by program by specifying slope angle as same as the actual slope at 37 degree. The result shown program slope/w the most obvious result of analysis by limit equilibrium method and finite element method is factor of safety value was increased by 6.744 when comparing slope with reinforcement the result shown factor of safety value was increased by 15.20% up. Therefore reinforcement of concrete with bamboo has a tendency to prevent the soil landslide.

Keywords: Dendrocalamus, LEM, FEM, rectangular grid pattern and program

บทนำ

เหตุการณ์ภัยพิบัติตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นส่งผลให้มีความสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์ ซึ่งภัยพิบัติทางธรรมชาติในโลกสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ ภัยจากน้ำและลมฟ้าอากาศ ภัยจากธรณีพิบัติและภัยพิบัติทางชีวภาพ ในภัยพิบัติทั้ง 3 ประเภทนี้ ภัยที่เกิดจากธรณีพิบัติก่อให้เกิดอันตรายและเกิดความเสียหายเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกิดขึ้นโดยฉับพลันและรุนแรงทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม การพังทลายของลาดดินเป็นภัยพิบัติทางธรณีวิทยาอย่างหนึ่งโดยเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ ทั้งในทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของประเทศไทย [1] ซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดการพังทลายของดินเนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบสูงและมีประชากรเข้าพัฒนาพื้นที่อาศัยอยู่ตามที่ลาดเชิงเขา สาเหตุที่ก่อให้เกิดดินพังทลายในประเทศไทยมี 2 ปัจจัย ได้แก่ การเกิดแผ่นดินไหวและเกิดจากฝนตกหนักในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง เดือนสิงหาคม เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝนของประเทศไทยจึงทำให้มีฝนตกหนักต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน ปริมาณ

น้ำฝนมากกว่า 100-300 มิลลิเมตรต่อวันและหน้าดินขาดรากพืชยึดเหนี่ยวปกคลุมบริเวณที่ลาดชันสูงเชิงเขาจนทำให้เกิดการพังทลาย [2]

จากเหตุการณ์ดินถล่มจังหวัดกระบี่ เมื่อวันที่ 24-31 มีนาคม 2554 ปริมาณฝนที่ตกหนักจากอิทธิพลของพายุทำให้เกิดดินถล่มพื้นที่หลายจุดในภาคใต้ ซึ่งทำให้บ้านเรือนหลายหลังและรถยนต์หลายคันเสียหาย อีกทั้งมีผู้เสียชีวิตแล้วไม่น้อยกว่า 12 ราย [3] การพังทลายของดินสันนิษฐานว่าพื้นที่บริเวณมีต้นไม้ใหญ่ปกคลุมและไม่มีต้นไม้ปกคลุม มีความเสี่ยงที่จะเกิดการพังทลายต่างกัน เพราะพื้นที่มีต้นไม้ปกคลุมมีรากของต้นไม้ยึดมวลดินและเกิดการยึดตัวกันระหว่างดินกับรากพืชทำให้โอกาสพังทลายของดินมีน้อยกว่าพื้นที่ไม่มีต้นไม้ แสดงให้เห็นว่ารากพืชมีส่วนช่วยยึดและยังสามารถดูดซับน้ำในมวลดินในช่วงเวลาฝนตกในขณะหนึ่งและน้ำเป็นสาเหตุให้ดินเกิดการอุ้มน้ำและขยายตัวทำให้ความแข็งแรงของดินลดลงเป็นสาเหตุให้ดินพังทลาย [4] จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นักวิจัยมุ่งศึกษาในเรื่องการรักษาเสถียรภาพของดินลาด โดยการป้องกันที่ผิวหน้ามวลดิน เสริมกำลังโดยใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยมีการทดสอบคุณสมบัติของดินและนำข้อมูลมาวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้โปรแกรมเฉพาะทางเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดิน ซึ่งโปรแกรม KUslope เป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์โดยพัฒนาต่อเนื่องมาจากโปรแกรม RE5 โดยใช้หลักการสมดุลย์ในการคำนวณ โดยกำหนดแนวลักษณะผิวการเคลื่อนพังเป็นส่วนโค้งและไม่เป็นโค้งของวงกลมสามารถกำหนดชั้นดินที่แตกต่างกันได้หลายชั้นและสามารถวิเคราะห์ผลกระทบของความดันน้ำได้โดยกำหนด Piezometric Surface หรือ Pore Water Pressure Ratio และมีความยืดหยุ่นในการควบคุมรัศมีและจำนวนวงกลมที่คาดว่าจะพังทลาย ตลอดจนมีความสามารถในการคำนวณหาจุดที่มีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่ต่ำที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] ในขณะเดียวกันยังมีการศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยใช้หลักการ Finite Element Method ร่วมกับการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนตัวของเข็มพืดสำหรับงานขุดค้ำยันในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ [6] และวิเคราะห์ค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้าง ซึ่งใช้ Soil model ชนิด elasto plastic ประเภท elastic-perfectly plastic พารามิเตอร์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ คือ ค่าโมดูลัสของดิน (Eu) และค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างแบบสถิต (Ko) ในรูปของหน่วยแรงรวม ซึ่งสามารถอธิบายค่าการเคลื่อนตัวทางด้านข้างในระยะแรกของการขุดจะให้ผลที่แตกต่างจากการวัดจริงในสนามแต่ในระยะท้ายๆ ของการขุดจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดจริงในสนามมากขึ้นทั้งนี้เนื่องจากการใช้ค่า Eu เป็นค่าคงที่ไม่คิดผลของการเปลี่ยนแปลง stress level [7] นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาเพิ่มเติมโดยกรมทางหลวงชนบทเกี่ยวกับผลการทรุดตัวในแนวดิ่งโดยใช้โปรแกรมที่ใช้หลักการสมดุลย์ในการคำนวณ ร่วมกับการวิเคราะห์แรงดันน้ำโดยใช้หลักการ Finite Element Method เพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพคันทางถนนเลียบคลองและถนนบริเวณพื้นที่ดินออน ซึ่งโปรแกรม SLOPE/W มีความโดดเดน คือ มีทฤษฎีการคำนวณรูปแบบในการวิเคราะหผิวเคลื่อนพังและแรงกระทำภายนอกที่สามารถปรับเปลี่ยนได้หลายรูปแบบและยังสามารถประยุกตใช้งานรวมกับโปรแกรมอื่น

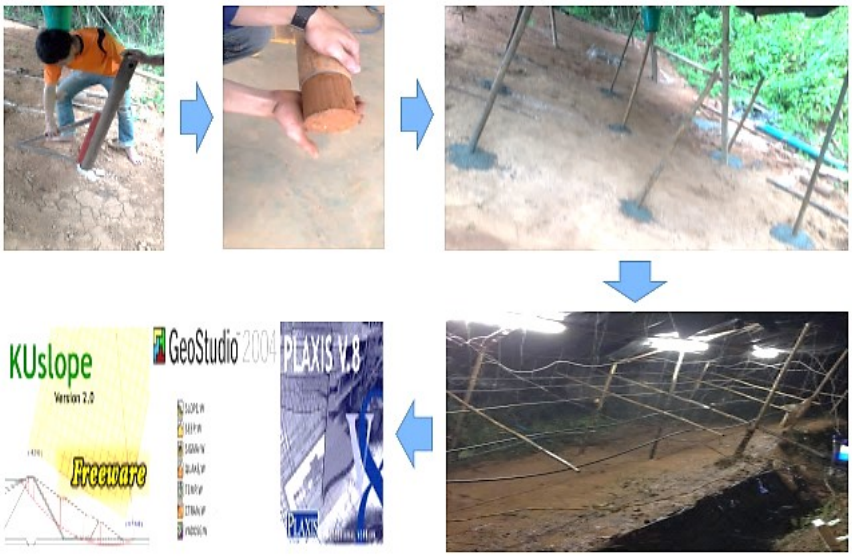
ในชุดเดียวกันได้เปนอยางดีเปนโปรแกรมที่ใช้งานสะดวกงายตอการกำหนดปญหาและมีประโยชนในการวิเคราะห เกี่ยวกับปัญหาเสถียรภาพของเชิงลาดตางๆ เปนอยางมากเนื่องจากมีขอบเขตการวิเคราะหที่ครอบคลุมในเกือบทุก ปัญหามีทฤษฎีที่หลากหลายให้เลือกเพื่อให้เราสามารถใช้ให้เหมาะกับในแตละปญหารวมทั้งการกำหนดแบบพิเศษ อื่นๆ เชน การเสริมแรงโดยวัสดุสังเคราะห การมีแรงภายนอกมากระทำและแรงสั่นสะเทือนจากแผนดินไหว เปนตน [8] นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการเพิ่มเสถียรภาพของดินโดยการใช้ Soil Nail ซึ่งวิวัฒนาการมาจาก วิธีการขุด อุโมงค์ใหม่ออสเตรีย ซึ่งเป็นระบบสำหรับการขุดเจาะใต้ดินในหิน วิธีการนี้ประกอบด้วยเหล็กเสริมที่แฝงอยู่ในหินที่ ใช้โดยการประยุกต์ใช้ Shot Crete เสริม แนวคิดของการรวมเหล็กเสริม passive และ Shot Crete นี้ยังได้รับการ นำไปใช้กับการรักษาเสถียรภาพของลาดดินตั้งแต่ต้นปี 1960 โปรแกรมแรกของ Soil Nail ถูกนำมาใช้ในปี 1972 สำหรับโครงการรถไฟที่ขยับขยายใกล้กับ Versailles,ฝรั่งเศส Soil Nail ถูกนำมาใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพของลาด ชันสูง จำนวน 18 พื้นที่ประกอบด้วยดินปนทราย วิธีการนี้จะมีค่าใช้จ่ายสูงเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่จะช่วยลดเวลาใน การก่อสร้างลงเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ [9]

เนื่องจากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ในมวลดินยังมีไม่มากนัก ทาง คณะผู้ศึกษาจึงสนใจค้นคว้าเกี่ยวกับชนิดไม้ไผ่ในภาคเหนือและนำมาเสริมในคอนกรีต โดยอาศัยแนวคิดก่อสร้างวิธี เดียวกันกับ Soil Nail และนำมาเสริมกำลังในดินที่มีระดับความลึกไม่เกินกว่า 1.20 เมตร เป้าหมายเพื่อหา แนวทางช่วยลดปัญหาการเกาะเซาะและการพังทลายระดับความลึกตื้นและเพื่อเป็นแนวทางช่วยลดใช้วัสดุอุปกรณ์ นำเข้าจากต่างประเทศ และเป็นแนวทางเพื่อพัฒนาช่างในท้องถิ่น ดังนั้นทางคณะผู้ศึกษาได้สนใจเน้นการศึกษา การป้องกันการพังทลายของหน้าดินโดยศึกษาเกี่ยวกับการนำคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ในมวลดินในรูปแบบการจัดวาง แบบสี่เหลี่ยมและพิจารณาลักษณะการพังทลาย โดยอาศัยผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในห้องปฏิบัติการและ การทดสอบในภาคสนามนำค่ามาเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่ไม่มีการเสริมแรงในมวลดิน โดยนำข้อมูลมาทดสอบและ วิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนความปลอดภัยของการพังทลายของดินโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

ในการศึกษาทางผู้ศึกษาทำการกำหนดพื้นที่ศึกษาบริเวณเชิงเขาอาคารเรียนวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ขนาด 8.0×12.0 เมตร ภายใต้ลาดเอียงตาม ธรรมชาติ เท่ากับ 37 องศา โดยได้แบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็นส่วนๆ ดังนี้ ส่วนที่ 1 นำวัสดุมาทดสอบใน ห้องปฏิบัติการ คือ ไม้ไผ่ซางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 4-5 เซนติเมตร, ดินบนลาดเอียง และการออกแบบ ปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ACI-211.1 อ้างอิงจากการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต [10] กำหนดกำลังรับแรงอัดประลัยที่ 280 ksc หลังจากนั้น ส่วนที่ 2 ทำการทดสอบระบบปริมาณน้ำฝนวิฤตเพื่อ

ใช้ในการทดสอบบนพื้นที่ศึกษา ขนาด 4.0x8.0 เมตร และกำหนดตำแหน่งระยะวางคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ พร้อมติดตั้งสิ่งปกคลุมและระบบท่อน้ำสำหรับจำลองปริมาณน้ำฝน ต่อจากนั้น นำท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เจาะลงในดินให้ได้ความลึกที่กำหนด เท่ากับ 1.20 เมตร ดังภาพที่ 1 แล้วเทคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ จำนวน 9 จุด แล้วให้คอนกรีตอายุครบ 28 วัน แล้วทำการทดสอบแบบจำลองในสภาพจริงตามธรรมชาติ หลังจากนั้น ทำการทดสอบแรงดึงถอนคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ในมวลดิน แล้วนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดวิเคราะห์เสถียรภาพโดยโปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการเจาะสำรวจดินและเก็บตัวอย่างดินเพื่อนำมาทดสอบ

การนำตัวอย่างดินทดสอบหาคุณสมบัติของดิน

หลังจากที่ทำการเจาะลงไปในชั้นดินเพื่อเก็บตัวอย่างดินทดสอบคุณสมบัติต่างๆของดินตามความลึกให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการศึกษา โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน [11] คือ

- การเจาะเก็บตัวอย่างชั้นดินบริเวณที่ไม่มีการคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ซาง
- การเจาะเก็บตัวอย่างชั้นดินบริเวณที่มีการคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ซาง

นำตัวอย่างดินที่ได้ทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานโดยทั่วไป หาค่าต่างๆจากการทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เช่น Atterberg’s Limit, Specific Gravity, Total Unit Weight, และ Sieve Analysis ตามลักษณะการกระจายตัวของเม็ดดิน เพื่อนำมาจำแนกประเภทของดินในทางวิศวกรรมแบบ Unified Soil

Classification System (USCS) และทดสอบค่า Field density เพื่อควบคุมความหนาแน่นตามธรรมชาติ และทดสอบกำลังรับแรงเฉือนของโดยวิธีแรงเฉือนโดยตรง ตามคุณสมบัติความเชื่อมแน่นและมุมเสียดทานของมวลดินดิน หนังสือคุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงเป็นการทดสอบหาแรงเฉือนของเนื้อวัสดุทั้งทรายและดินเหนียว รวมทั้งหินผุบางชนิด วิธีการทดสอบเป็นวิธีที่ปฏิบัติได้ง่าย การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะเป็นการทดสอบดินที่ไม่สามารถทดสอบในสนามได้ เนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบมีมากหรือมีขั้นตอนในการทดสอบยุ่งยาก และต้องจำลองให้มีความใกล้เคียงมากที่สุด โดยขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวอย่างดิน ค่ากำลังต้านทานของแรงเฉือนของดินจะขึ้นอยู่กับมุมเสียดทานภายในเม็ดดินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำในดิน ขนาดของเม็ดดินและความหนาแน่นของดิน ทางคณะผู้ศึกษาได้กำหนดวิธีทดสอบแรงเฉือนโดยตรง (direct shear test) แบบ Unconsolidated Undrain (UU) ใช้มาตรฐาน ASTM D 3080-98: 2004 สำหรับค่ากำลังต้านทานต่อแรงเฉือนของดินสามารถหาได้ดังสมการที่ 1 [12] เมื่อทดสอบตัวอย่างดินแล้วเสร็จ นำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Shear Stress และ Horizontal Deformation ในแต่ละน้ำหนักกดทับสูงสุดและเมื่อได้ค่าดังกล่าวแล้วนำมาหาความสัมพันธ์ระหว่าง Normal Stress และ Maximum Shear Stress จะได้ค่า c และ ค่า ϕ

$$\tau = c + \sigma \tan\phi \qquad (1)$$

โดยที่

τ = หน่วยแรงเฉือนที่จุดพังทลาย

c = แรงยึดเหนี่ยว

σ = หน่วยแรงกดตั้งฉาก (Normal stress) ทั้งหมดบนระนาบแรงเฉือน

ϕ = มุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction)

การเสริมวัสดุเสริมแรง

เมื่อกำหนดพื้นที่และออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแล้วเสร็จ ต่อจากนั้นทำการนำท่อเหล็กเจาะดินความลึก 1.20 เมตร แล้วเทคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ โดยให้มีระยะการวาง ขนาด 1.20 x 1.20 เมตร ลักษณะรูปแบบสี่เหลี่ยมตามระยะที่กำหนดไว้ ดังภาพที่ 2 (ก) และ (ข)

แบบจำลองการทดสอบในภาคสนาม

การทดสอบในภาคสนามหลังจากที่ได้ทำการจำลองปริมาณน้ำฝนโดยการสเปรย์น้ำให้มีปริมาณมากกว่า 100-300 มิลลิเมตรต่อวัน อ้างอิงจากกรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [13] การวัดปริมาณน้ำให้น้ำตกลงในภาชนะรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางของปากกระบอกเป็นขนาด 20 เซนติเมตร

น้ำจะตกผ่านปากกระบอกลงไป ตามท่อกรวยสู่ภาชนะรองรับน้ำไว้เมื่อต้องการทราบปริมาณน้ำสามารถใช้ไม้บรรทัดหยั่งความลึกของน้ำ หรือใช้ภาชนะแก้วตวงที่มีมาตราส่วนแบ่งไว้สำหรับอ่านปริมาณน้ำเป็นเซนติเมตร ต่อจากนั้นทำการติดตั้งระบบกระจายน้ำด้วยสปริงเกอร์ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันน้ำปิดเปิด

การวิเคราะห์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป

การศึกษาใช้โปรแกรมเฉพาะทางจำนวน 3 โปรแกรม ประกอบด้วยโปรแกรม KUslope 2.1 ซึ่งใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Limit Equilbrium Method (LEM) จากงานวิจัยพบว่าการวิเคราะห์การพังทลายเป็นที่นิยมใช้ในการคำนวณ คือ Simplified Bishop Method ดังนั้นทางคณะผู้จัดทำจึงสนใจที่จะเลือกการวิเคราะห์แบบ Simplified Bishop มาทำการศึกษาและสามารถวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยได้ดังสมการที่ (2)

$$F = \frac{1}{\sum W \sin\alpha} \sum \left[\frac{c' l(\cos\alpha) + (W - ul(\cos\alpha)) \tan\phi'}{\cos(1 + \tan\alpha \frac{\tan\phi'}{F})} \right] \qquad (2)$$

เมื่อ

W = น้ำหนักของแต่ละชิ้น

N' = กำลังปกติที่ฐานของชิ้น

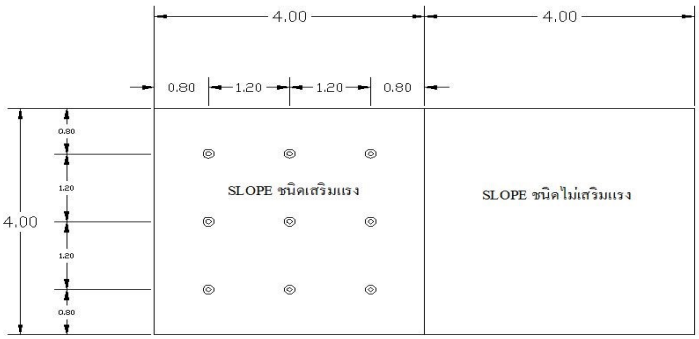
α = มุมของความโน้มเอียงที่ฐานของชิ้น

u = แรงดันน้ำ

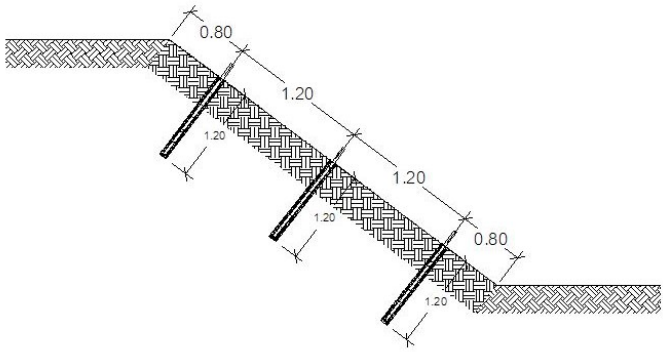
l = ความยาวของส่วนโค้งที่ฐานของชิ้น

T = แรงเฉือนที่ฐานของชิ้น

โปรแกรม PLAXIS ใช้หลักการในการวิเคราะห์แบบ Finite Element Method (FEM) เป็นวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) วิธีหนึ่งที่ใช้สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์และเป็นวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ปัญหาทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างกว้างขวาง สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความความเค้นได้ไม่ว่าวัสดุนั้นจะอยู่ในสภาพยืดหยุ่น (Elastic) หรือในสภาพยืดตัว (Plasitc) โดยทั่วไปวิธีการขึ้นอยู่กับขีดจำกัด conditions สมดุลมักใช้ในปัญหาเสถียรภาพความลาดชันเพราะความเรียบง่าย แต่วิธีการดังกล่าวต้องการสมมติฐานบางอย่างในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นไม่ทราบแน่ชัด ในฐานะที่เป็นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาวิธีการองค์ประกอบจำกัด FEM จะถูกนำไปวิเคราะห์ปัญหาเสถียรภาพความลาดชัน



(ก) แปลนลาดเอียงที่ศึกษา 2 ลักษณะ



(ข) รูปตัดด้านข้างลาดเอียงที่ฝังในมวลดินด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่

ภาพที่ 2 แบบแปลนและรูปตัดลาดเอียงที่ศึกษา

โปรแกรม SLOPE/W ใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Limit Equilbrium Method ร่วมกับการวิเคราะห์แรงดันน้ำโดยใช้หลักการ Finite Element ดังสมการที่ (2)

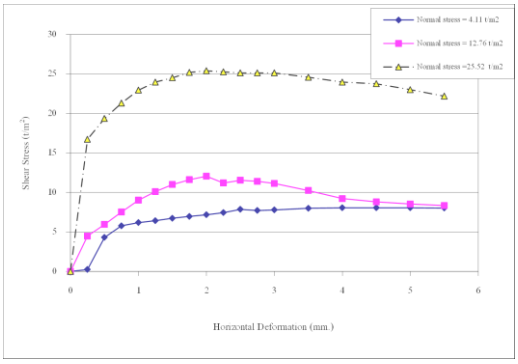
ผลการศึกษา

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพบว่าดินบนลาดเอียงที่ศึกษามีเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเฉลี่ย 17.73 เปอร์เซ็นต์ ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 66.6 เปอร์เซ็นต์ มีค่าพิกัดความเหลวเท่ากับ (LL) เท่ากับ 45 เปอร์เซ็นต์ พิกัดพลาสติก (PL) เท่ากับ 27 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีพลาสติก (PI) เท่ากับ 19 เปอร์เซ็นต์ จากการจำแนกประเภทของดินแบบ Unified Soil Classification System (USCS) เป็นดินประเภท CL เป็นดินที่มีลักษณะเป็นดินเหนียวปนทราย ดินกลุ่มเม็ดละเอียด

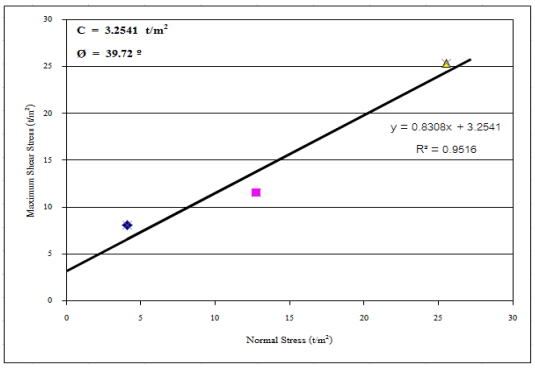
การทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของดินโดยวิธี UU จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นเฉือนกับการเคลื่อนตัวด้านข้าง ดังแสดงในภาพที่ 3 ถึงภาพที่ 4 ซึ่งมีความชื้นของดินตามธรรมชาติ โดยใช้น้ำหนักกดทับตัวอย่าง 2, 4 และ 8 กิโลกรัม ตามลำดับ จากการทดสอบด้วยอัตราการเฉือนคงที่สามารถสรุปได้ด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนและการเคลื่อนตัวด้านข้าง

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างจุดสูงสุดของแรงเฉือนกับความเค้นได้แสดงในภาพที่ 3 ทำการคำนวณหาค่าความเชื่อมแน่นและค่ามุมเสียดทานภายในได้ผลดังนี้คือ ค่า *C* เท่ากับ 3.2541 ตันต่อตารางเมตร, ค่า ø เท่ากับ 39.72 องศา ค่า R^2 เท่ากับ 0.9516 และจากกราฟได้สมการแนวโน้ม y เท่ากับ 0.8308 x + 3.2541

ในการศึกษาวิเคราะห์เสถียรภาพลาดเอียงซึ่งต้องพิจารณาคุณสมบัติของดินประกอบด้วยค่า C และ ø เป็นหลัก ดังภาพที่ 4 จากการศึกษากำลังรับแรงเฉือนโดยวิธี Direct Shear Test จึงเลือกใช้วิธีการทดสอบแบบ Unconsolidated – Undrained Test UU เพราะจากการศึกษามีค่า C น้อยที่สุด ซึ่งดินในสภาพจริงจะมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับวิธีการทดสอบแบบ Unconsolidated – Undrained Test UU มีลักษณะไม่อัดตัวคายน้ำ เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ค่าในวิธีการทดสอบแบบแบบ Unconsolidated – Undrained Test UU มาใช้วิเคราะห์ในโปรแกรม



ภาพที่ 3 ผลทดสอบ Direct Shear ของตัวอย่างดิน

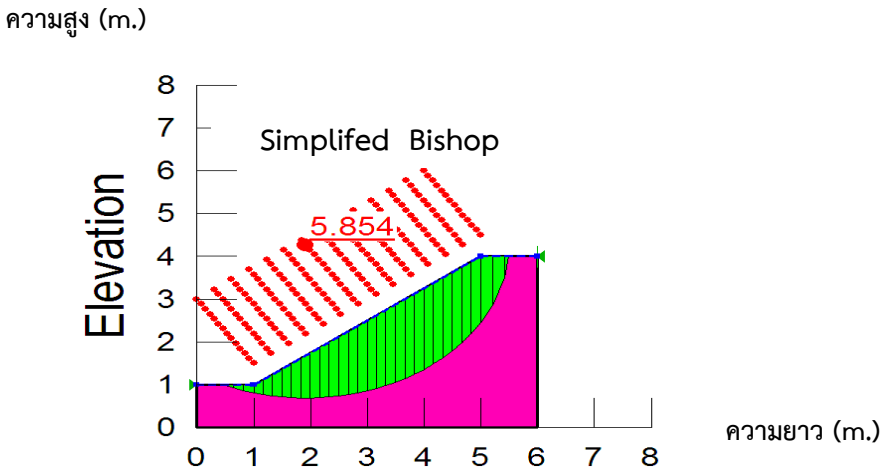


ภาพที่ 4 วิธีหาค่า *C* และค่า ø ของดิน

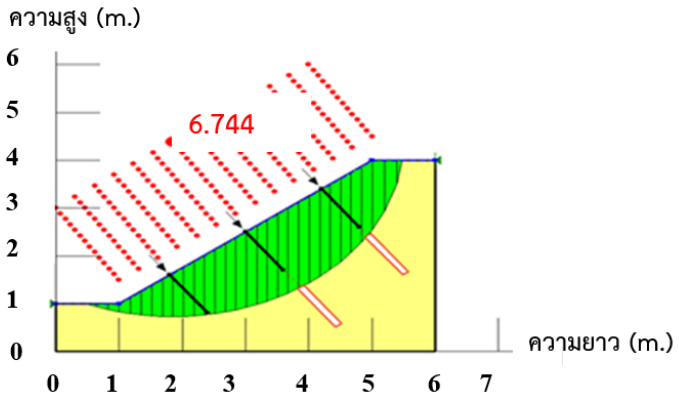
หลังจากนำข้อมูลมาวิเคราะห์ในโปรแกรม SLOPE/W โดยพิจารณาลักษณะแบบจำลองให้ไม่มีการเสริมแรงด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และมีการอิ่มตัวด้วยน้ำ กำหนดมุมลาดเอียง เท่ากับ 37 องศา ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณอย่างเด่นชัด พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด (Min.FS.) ของดินมีค่าเท่ากับ 5.854 (Simplifed Bishop) ดังแสดงในภาพที่ 5

จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม SLOPE/W โดยพิจารณาลักษณะแบบจำลองให้มีการเสริมแรงด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และมีการอิ่มตัวด้วยน้ำ กำหนดมุมลาดเอียง เท่ากับ 37 องศา ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณอย่างเด่นชัดพบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด (Min.FS.) ของดิน มีค่าเท่ากับ 6.744 (Simplifed Bishop) ดังแสดงในภาพที่ 6

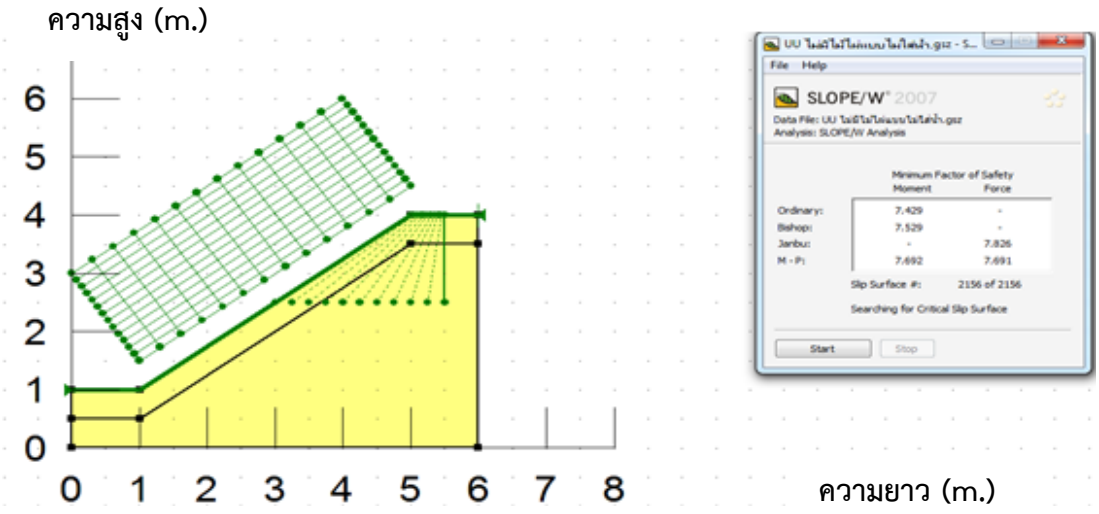
จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม SLOPE/W โดยพิจารณาลักษณะแบบจำลองที่ไม่มีเสริมแรงด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และไม่มีการอิ่มตัวด้วยน้ำ กำหนดมุมลาดเอียง เท่ากับ 37 องศา ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณอย่างเด่นชัดพบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด (Min.FS.) ของดิน มีค่าเท่ากับ 7.529 (Simplifed Bishop) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 5 ผลการวิเคราะห์โดยโปรแกรม SLOPE/W ลาดอียงที่ไม่มีการเสริมแรง

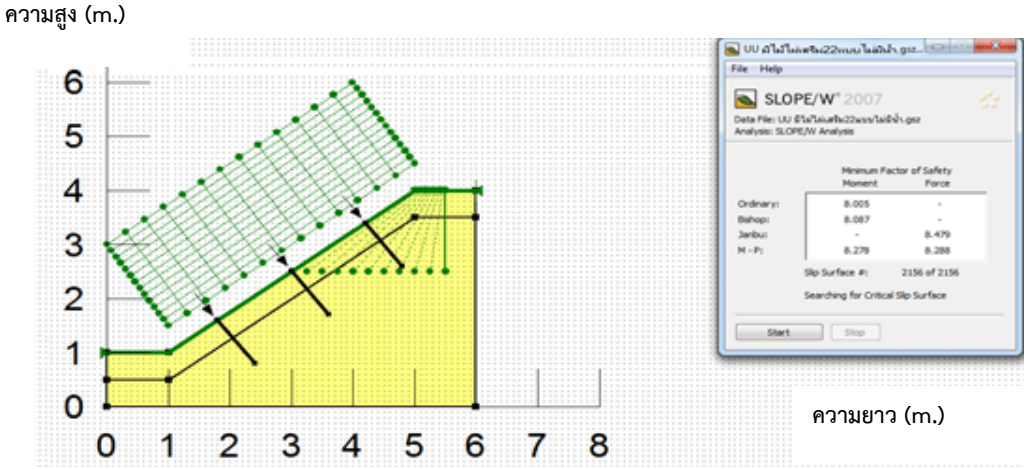


ภาพที่ 6 การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SLOPE/W ที่มีการเสริมแรงด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SLOPE/W ที่ไม่มีการเสริมแรงด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่และไม่มีการอิ่มตัวด้วยน้ำ

จากการวิเคราะห์ในโปรแกรม SLOPE/W โดยพิจารณาลักษณะแบบจำลองที่มีเสริมแรงด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และไม่มีการอิ่มตัวด้วยน้ำ กำหนดมุมลาดเอียง เท่ากับ 37 องศา ซึ่งสามารถแสดงผลการคำนวณอย่างเด่นชัด พบว่าค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด (Min.FS.) ของดิน มีค่าเท่ากับ 8.087 (Simplifed Bishop) ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การวิเคราะห์โดยโปรแกรม SLOPE/W
ที่มีการเสริมแรงด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่และไม่มีการอิ่มตัวด้วยน้ำ

โปรแกรม SLOPE/W ใช้หลักการในการวิเคราะห์แบบ Limit Equilbrium Method ร่วมกับ Finite Element Method ซึ่ง SLOPE/W จะนำเอา Finite Element Method มาใช้ในการวิเคราะห์แรงดันน้ำ ซึ่งจะพิจารณาค่า FS. ทุกครั้งในปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น เพราะหลักการดังกล่าวจะอาศัยฟังก์ชั่นค่าระดับของน้ำไปตามแนวที่กำหนดไว้ และทุกครั้งจะเอาค่ากลับไปคำนวณในฟังก์ชั่น Finite Element Method และส่งค่าเข้าไปคำนวณชั้นน้ำแรงดันน้ำในแต่ละชิ้นส่วน หลักการวิเคราะห์โดยเอาผลรวมของโมเมนต์ต้านทานและผลรวมของโมเมนต์กระทำ แต่เมื่อมีการนำเอาคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ยึดรั้งในมวลดิน แรงดันน้ำจะชะลอตัวลงตามความลึกของการเสริมทำให้ดินมีกำลังรับแรงเฉือนเพิ่มขึ้น ซึ่ง SLOPE/W จะมีความแม่นยำ กรณีศึกษาระดับความลึกตื้นเมื่อเปรียบเทียบกับโปรแกรม KUslope 2.1 ใช้หลักการในการวิเคราะห์แบบ Limit Equilbrium Method และเพิ่มระดับน้ำในการวิเคราะห์ เมื่อฝังไม้ไผ่ลงลาดเอียง ผลการคำนวณค่า FS. ที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่เมื่อพิจารณาโปรแกรม PLAXIS ใช้หลักการในการวิเคราะห์แบบ Finite Element Method ในการวิเคราะห์จึงมีความละเอียดในการวิเคราะห์แม่นยำกว่าโปรแกรมอื่น แต่ในกรณีที่มีการเสริมกำลังซึ่งโปรแกรม PLAXIS เวอร์ชั่นที่นำคำนวณนี้ไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์สภาพดินที่มีการเสริมกำลังในลักษณะเหมือนกับ Soil Nail และต้องมี Plug In เสริมในการวิเคราะห์จึงไม่แสดงผลการวิเคราะห์ที่แน่นอนและแม่นยำ

ตารางที่ 1 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแบบไม่มีคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และอิ่มตัวด้วยน้ำที่ผิวลาดเอียง (NBW)

โปรแกรม	Slope	FS.
		NBW
KUslope 2.1	37	5.608
SLOPE/W	37	5.854
PLAXIS	37	6.330

ตารางที่ 2 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแบบมีคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และอิ่มตัวด้วยน้ำที่ผิวลาดเอียง (BW)

โปรแกรม	Slope	FS.
		BW
KUslope 2.1	37	5.608
SLOPE/W	37	6.744
PLAXIS	37	6.330

ตารางที่ 3 สรุปค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแบบไม่มีคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (NBNW)

โปรแกรม	Slope	FS.
		NBNW
KUslope 2.1	37	7.549
SLOPE/W	37	7.529
PLAXIS	37	6.330

ตารางที่ 4 สรุปค่าอัตราส่วนความปลอดภัยแบบมีคอนกรีตเสริมไม้ไผ่และไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (BNW)

โปรแกรม	Slope	FS.
		BNW
KUslope 2.1	37	7.549
SLOPE/W	37	8.087
PLAXIS	37	6.330

สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลการศึกษาเสถียรภาพของลาดดินที่ไม่มีการเสริมกำลังและเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่ กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย พื้นที่ป่าลาดเชิงเขาบริเวณอาคารเรียนวิศวกรรมโยธา มีการทดสอบคุณสมบัติของดินทางวิศวกรรมโดยวิธี USCS จำแนกดินออกได้เป็น 1 ชนิด คือ ตัวอย่างดินที่ความลึก สูงสุด เท่ากับ 1.20 เมตร เป็นดินประเภท CL เป็นดินเหนียวปนทรายที่มีค่าพลาสติกต่ำ จากการทดสอบแรงเฉือนโดยตรงของดินแบบ UU จะได้ค่า Cเท่ากับ 3.2541 และได้ค่า Ø เท่ากับ 39.72 กำหนดการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตเสริมไม้ไผในดินที่ความลึก 1.20 เมตร ระยะห่างการวาง 1.20 x 1.20 เมตร จากการทดสอบภาคสนามในสภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ พบว่า ดินที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่กับดินที่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่ หน้าดินมีถูกกัดเซาะเพียงเล็กน้อยแต่ไม่เกิดการพังทลายของลาดดิน จากนั้นนำค่าคุณสมบัติของดินมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม KUslope 2.1, Slope/w และ Plaxis เพื่อเปรียบเทียบระหว่างดินที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่กับดินที่เสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่ เมื่อนำค่าคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม KUslope 2.1, Slope/w และ Plaxis โดยการวิเคราะห์สภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่กับดินที่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่ ที่ความลาดชัน 37องศา ค่า F.S เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่เสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้

ไผ่ พบว่า ค่า F.S. โปรแกรม KUslope 2.1 มีค่าเท่ากับดินที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่ เนื่องจากวัสดุเสริมกำลังมีความลึกไม่เพียงพอ โปรแกรม Slope/w พบว่า ค่า F.S.เพิ่มขึ้นจาก 5.675 เป็น 6.744 และโปรแกรม Plaxis พบว่า ค่า F.S. ลดลงจาก 6.338 เป็น 1.267 ดังนั้นการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผสามารถเพิ่มอัตราส่วนความปลอดภัยในการเกิดภัยธรณีพิบัติเพิ่มมากขึ้นกว่าดินที่ไม่มีการเสริมกำลังด้วยคอนกรีตร่วมกับไม้ไผ่ จากการศึกษาได้เปรียบเทียบโปรแกรม KUslope 2.1, Slope/w และ Plaxis ทั้ง 3 โปรแกรมมีคุณสมบัติที่ต่างกัน โดยที่โปรแกรม KUslope 2.1 และ โปรแกรม Slope/w ในการคำนวณค่า FS. ได้ผลลัพธ์ในทิศทางเดียวกันแต่ผลลัพธ์ของโปรแกรม Slope/w มีค่าความปลอดภัยที่มากกว่าเนื่องจากมีรูปแบบการวิเคราะห์แรงดันน้ำใช้ Finite Element Mehod เข้ามาช่วยในการคำนวณจึงมีค่าที่แม่นยำกว่าโปรแกรม KUslope 2.1 ขณะเดียวกันโปรแกรม Plaxis เมื่อคำนวณแรงดันน้ำเข้าไปในโปรแกรมจะมีค่า FS. ที่แปรปรวนเนื่องจากจะต้องมี Plug In PlaxFlow เข้ามาเพิ่มเติมจึงจะคำนวณค่าได้แม่นยำมากกว่าเดิม

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่อนุเคราะห์พื้นที่ในการศึกษาและขอขอบคุณคณาอาจารย์ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

ชิตชัย อนันตเศรษฐ์. (2548). **ปัญหาดินถล่มในภาคเหนือตอนบน.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

คุณสมบัติและการทดสอบวัสดุ (2551). สืบค้นข้อมูลออนไลน์จาก http://e-book.ram.edu/e-book/inside/html/dlbook.asp?code=MY318(51) (2560)

กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2554). **ปริมาณน้ำฝน**. สืบค้นข้อมูลออนไลน์จาก http://www.mnre.go.th/more_news.php?cid=228 (2560).

วิชัย สังวรปทานสกุล และคณะ. (2543). **การศึกษาเปรียบเทียบการเสริมกำลังของดินโดยใช้ราก.** สาขาวิศวกรรมโยธา: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อากร คงแก้ว. (2548). **การใช้โปรแกรม KU SLOPE จากการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดด้วยโปรแกรม KU slope เปรียบเทียบกับโปรแกรม Slope/W.** กรุงเทพฯ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ชูเลิศ จิตเจือจุน. (2543). **ศึกษาเปรียบเทียบโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินในงานก่อสร้างทางวิศวกรรมปฐพีและธรณีโดยทั่วไปวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วารุณี กะการดี. (2553). **ศึกษาความเหมาะสมของการวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินโดยวิธีสมดุลจำกัด และวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรีฑา คำสุข. (2546). **การวิเคราะห์เสถียรภาพของความลาดด้วยวิธี Limit Equilibrium.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศิวโรจน์ บุญญแพทย์. (2544). **ศึกษาการแก้ปัญหาการพังทลายของงานดินตัดด้วยวัสดุตรึงดิน.** ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต สืบค้นข้อมูลออนไลน์จาก http://www.suwatthailand.com/webtest/4-1.pdf (2560).

วิศวกรรมฐานราก. สุขสันต์ หอพิบูลสุข (2555). สืบค้นข้อมูลออนไลน์จาก http://www.chulabook.com/description.asp?barcode=9786167060422 (2560).

จักรพันธ์ ยานิวงศ์ และคณะ. (2557). **การศึกษากำลังรับแรงเฉือนของดินประสานรากต้นมะขามป้อมเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของลาดดินเชิงเขา.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย.

สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดินกรมพัฒนาที่ดิน (2553). สืบค้นข้อมูลออนไลน์จาก www.Google Earth.com (2560).