

การวิเคราะห์เพื่อการออกแบบการเสริมความมั่นคงของคันดินทางรถไฟ

Slope Stability Improvement of Railway Embankment

ปิยะ รัตนสุวรรณ, วรณศิริ พันธุ์อุไร

Piya Rattanasuwan and Wonsiri Punurai

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดลอม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทร 02-889-2138 ต่อ 6396 โทรสาร 02-889-2138 ต่อ 6388

E-mail: egprt@mahidol.ac.th

บทคัดย่อ

คันดินทางรถไฟทางภาคเหนือตอนล่างตั้งอยู่บริเวณที่ลุ่มที่มีน้ำท่วมถึง มีลักษณะเป็นดินเหนียว คันดินนี้จะเสียดังกล่าวอย่างมาก เมื่อเกิดน้ำท่วมขังในฤดูฝน เป็นผลให้รางรถไฟเกิดการเคลื่อนตัวมีระดับไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ต้องมีการบำรุงรักษาอย่างต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้รถไฟสามารถวิ่งด้วยความเร็วที่ออกแบบและก่อให้เกิดความปลอดภัย บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์หาสาเหตุและแนวทางการการเสริมความมั่นคงของคันดินทางรถไฟที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการสำรวจ การทดสอบดินในสนาม การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ ร่วมกับการวิเคราะห์ความมั่นคงของลาดชันในระนาบ 2 มิติด้วยโปรแกรม KU Slope ตามหลัก Limit Equilibrium ผลการศึกษาพบว่า สาเหตุของปัญหาเกิดจากคุณสมบัติดินที่ไม่เหมาะสมในการก่อสร้างคันดิน ตามที่ลาดชันข้างคันดิน การศึกษานำเสนอวิธีแก้ไขปัญหโดยใช้กล่องแกเบียนเสริมคันดินเพิ่มอัตราส่วนปลอดภัยใช้งาน

Abstract

The railway embankment in the northern part of Thailand was constructed from local clayey soil which loses its strength considerably in flooded condition. This can lead to embankment deformation, excessive railway track irregularity and low riding allowable train speed. The situation is getting worse particularly in the rainy season. Thus, the check is needed on a regular basis as routine maintenance to ensure safety. This investigation aims to study the causes and mechanisms of the soil stability

problem so that appropriate countermeasures can be suggested. This includes field investigation, laboratory testing, and limit equilibrium slope stability analysis using KU Slope program. The results presented conclusions could be drawn with respect to improper soil properties under wheel rail forces. The study recommends the use of retaining soil gabion box for stability purposes.

1. บทนำ

เส้นทางรถไฟทางภาคเหนือตอนล่าง ก่อสร้างในที่ลุ่มซึ่งมีน้ำท่วมขังในฤดูฝน ดังนั้นจึงมีการก่อสร้างคันดินเพื่อป้องกันน้ำท่วม โดยดินที่นิยมนำมาใช้ก่อสร้างเป็นดินบริเวณเส้นทางที่วางรถไฟผ่าน ในฤดูฝนคันดินมีความชื้นสูง ทำให้กำลังการรับน้ำหนักของดินลดลงอย่างมาก ทำให้รางรถไฟเกิดการเคลื่อนตัว มีระดับไม่สม่ำเสมอ รถไฟไม่สามารถวิ่งด้วยความเร็วที่ออกแบบได้ จากปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีการศึกษาหาสาเหตุและแนวทางแก้ไขปัญหที่เหมาะสม

การศึกษานี้ได้ดำเนินการในบริเวณจังหวัด นครสวรรค์ ระหว่างสถานีบึงบอระเพ็ด ถึง สถานีปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ช่วง กม. 249+625 ถึง กม.249+745 คิดเป็นระยะทาง 120 เมตร การศึกษาพิจารณารูปตัดตามขวางคันดินทางรถไฟ จำนวน 6 รูปตัดตามขวางด้วยกัน โดยในการศึกษานี้ประกอบด้วย การสำรวจ การทดสอบดินในสนาม การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ และนำมาทำการวิเคราะห์ในระนาบ 2 มิติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป KU Slope และได้มีการเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหที่เหมาะสมต่อไป

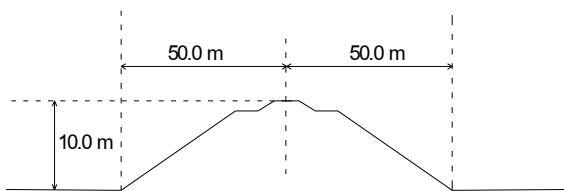
2. สภาพโดยทั่วไปของบริเวณที่ศึกษา

สภาพภูมิประเทศทั้งสองด้านเป็นที่ราบลุ่ม เป็นที่เก็บน้ำในฤดูฝนที่เรียกว่าบึงบอระเพ็ด ระดับความสูงของคันดินสูงเฉลี่ยประมาณ 10.00 เมตร พื้นที่ทั่วไปเป็นทุ่งหญ้า ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภูมิประเทศคันดินทางรถไฟบริเวณบึงบอระเพ็ด

โดยระหว่างการสำรวจ (เดือนมกราคม 54) หลังน้ำท่วมขังที่ไหลมาจากตอนเหนือลดลง ระยะวัดจากจุดศูนย์กลางคันดินถึงระดับพื้นดินเดิมประมาณ 50 เมตร ทั้งสองข้าง ความลาดชันของตัวทำนบดิน ระยะตั้ง ต่อดระยะราบ ประมาณ 1 ต่อ 5 ดังแสดงในรูปที่ 2

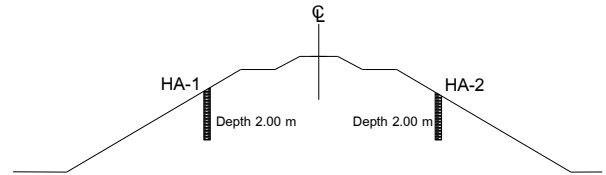


รูปที่ 2 รูปตัดคันดินทางรถไฟ

3. การสำรวจและทดสอบดินในสนาม

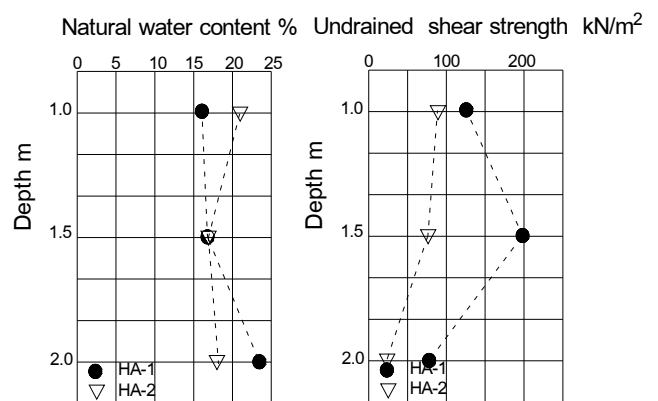
การสำรวจทดสอบดินในสนามตามมาตรฐาน ASTM [1] ประกอบด้วย (I) การสำรวจชั้นดิน ทำโดยการใช้ hand auger จำนวน 2 หลุมเจาะ แต่ละหลุมเจาะลึก 2.00 เมตร และเก็บตัวอย่างดินที่ความลึก 1.00 เมตร 1.50 เมตร และ 2.00 เมตร โดยใช้กระบอกบาง เพื่อหาค่า ปริมาณความชื้นในดิน(water content) หน่วยน้ำหนักของดินแห้ง (dry unit weight) และ

ทดสอบขีดจำกัดความชื้นเหลวของดิน(Atterberg's limit) ที่ กม. 249 + 700 ห่างจากแนวกึ่งกลางของทางรถไฟ ระยะ 18.20 เมตร และ 16.30 เมตร ทางด้านซ้ายและด้านขวาตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3



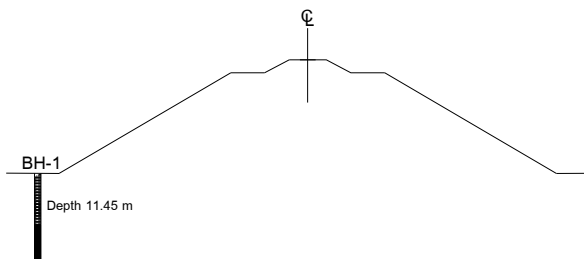
รูปที่ 3 ตำแหน่งการสำรวจและทดสอบดินในสนาม

จากผลการสำรวจและทดสอบดินในสนามพบว่าดินในบริเวณคันดินนี้เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลปนสีเทาอ่อนแข็งปานกลาง (medium light grey – brown clay) เป็นชั้นดินเดียวกันตลอด (homogeneous) มีปริมาณน้ำในดินธรรมชาติเฉลี่ย 19.32% มีค่าขีดจำกัดพลาสติกเฉลี่ย (P.L.) 25.75% และขีดจำกัดเหลวเฉลี่ย (L.L.) 42.28 % จากการทดสอบ Unconfined Compression Test ได้ค่าความต้านทานแรงเฉือน Undrained Shear Strength เฉลี่ย 96.844 kN/m² หน่วยน้ำหนักเฉลี่ยของดินชั้นเฉลี่ยมีค่า 1.83 kN/m³ ดังแสดงในรูปที่ 4



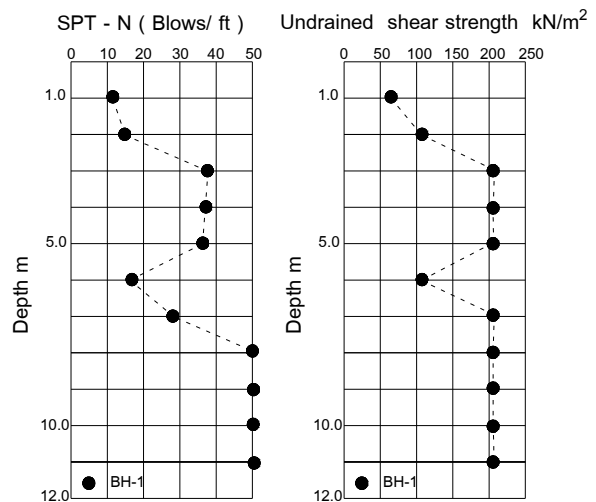
รูปที่ 4 ปริมาณความชื้นในดินและความต้านทานแรงเฉือน Undrained Shear Strength ที่แต่ละระดับค่าความลึก

(II) การสำรวจชั้นดินที่ กม 249 + 700 บริเวณดินเดิมกระทำโดยวิธี Wash Boring ความลึก 11.45 เมตร และมีการทดสอบในสนามแบบการทดสอบด้วยการใช้ลูกตุ้มมาตรฐานที่มีน้ำหนัก 140 ปอนด์ สูง 30 นิ้ว (Standard Penetration Test , SPT) ยกปล่องกระแทกกระบอกผ่า ขนาดเส้าผ่าศูนย์กลางภายนอก 2 นิ้ว ให้กระบอกผ่าจมลงไปดินจนครบ 18 นิ้ว บันทึกจำนวนครั้งของการกระแทกลูกตุ้มที่กระบอกผ่าจมลงไปดินทุก ๆ 6 นิ้ว 3 ช่วง ผลรวมจำนวนครั้งของการกระแทกสองช่วงสุดท้ายจะเป็นค่า SPT N-Value มีหน่วยเป็นครั้งต่อฟุต [2] ที่ความลึกทุกๆ 1.00 เมตร เก็บตัวอย่างดินด้วยกระบอกผ่า แล้วนำไปทดสอบหาปริมาณน้ำในมวลดิน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งการสำรวจแบบ wash boring และการทดสอบดินในสนามด้วยการตอกลูกตุ้มมาตรฐาน

ผลการทดสอบ SPT กับค่าของความลึก และสามารถแปลงไปหาค่า Undrained Shear Strength (Su) กับค่าของความลึก ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่า SPT N-Value และค่า Undrained Shear Strength กับค่าความลึกจากการทดสอบในสนาม

ผลจากการเจาะสำรวจดินโดย วิธี Wash Boring สรุปได้ว่า ดินชั้นที่ 1 เป็นดิน ชั้นบน (Top soil) หนา 0.50 เมตร ดินชั้นที่ 2 เป็นดินทรายปนดินเหนียวและกรวด สีน้ำตาลแข็งปานกลาง (Medium Dense Clayey Sand with Gravel , Brown [SC]) หนา 2.50 เมตร มีค่า $S_u = 91.69 \text{ kN/m}^2$, Total Unit Weight = 19.614 kN/m^3 ดินชั้นที่ 3 เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลแข็งมาก (Very Stiff to Hard Clay , Brown [CL]) หนา 4.00 เมตร มีค่า $S_u = 197.02 \text{ kN/m}^2$, Total Unit Weight = 19.614 kN/m^3 ดินชั้นที่ 4 เป็นดินเหนียวปนทรายสีน้ำตาล แข็งมาก (Very Stiff Sandy Clay, Brown [CL]) หนา 1.00 เมตร มีค่า $S_u = 501.92 \text{ kN/m}^2$, Total Unit Weight = 19.614 kN/m^3 ดินชั้นที่ 5 เป็นดินทรายปนทรายแป้งสีน้ำตาลอ่อนแข็งมาก (Very Dense Silt Sand, Brown [SC]) หนา 1.50 เมตร มีค่า $S_u = 323.63 \text{ kN/m}^2$, Total Unit Weight = 19.614 kN/m^3 และดินชั้นที่ 6 เป็นดินเหนียวปนทรายสีน้ำตาลอ่อนแข็งมาก (Very Dense Clayey Sand , Brown[SC]) หนา 1.50 เมตร มีค่า $S_u = 723.26 \text{ kN/m}^2$, Total Unit Weight = 19.614 kN/m^3

4 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดชันด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป KU Slope

การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม KU Slope ทำเพื่อวิเคราะห์อัตราส่วนความปลอดภัยของความลาดหรือเสถียรภาพความลาดของดิน โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการคำนวณ จะอยู่ในรูปอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety) ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมเพื่อการวิเคราะห์ประกอบด้วย 1) พิกัดระดับหน้าตัดคันดินทางรถไฟ 2) ข้อมูลคุณสมบัติดิน และ 3) น้ำหนักบรรทุกจร (Live Load) ของรถไฟเป็นน้ำหนักกระจายที่กระทำต่อคันทางตาม AREA Manual [3] ซึ่งได้แสดงรายการคำนวณไว้ในภาคผนวก

จากข้อมูลการเจาะสำรวจดินค่าพิกัดหน้าตัดคันทางพบว่าลักษณะดินที่ใช้ทำคันดินทางรถไฟมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมเหมือนกับดินชั้นที่ 2 ของดินเดิมเป็นส่วนใหญ่คือเป็นดินทรายปนดินเหนียวและกรวด มีสีน้ำตาลแข็งปานกลาง (Medium Dense Clayey Sand with Gravel , Brown [SC]) หนา 2.50 เมตร มีค่ากำลังรับน้ำหนักแรงเฉือน $S_u = 91.69 \text{ kN/m}^2$ และหน่วยน้ำหนักดิน Total Unit Weight = 19.614 kN/m^3 โดยเฉพาะที่ความลึกที่ระยะ 16 เมตรจากระดับหลังคันดิน ค่าพารามิเตอร์ข้อมูลคุณสมบัติดินที่ระบุในโปรแกรมตามพิกัดระดับหน้าตัดคันดินทางรถไฟแสดงไว้ในตารางที่ 1 ดังนี้

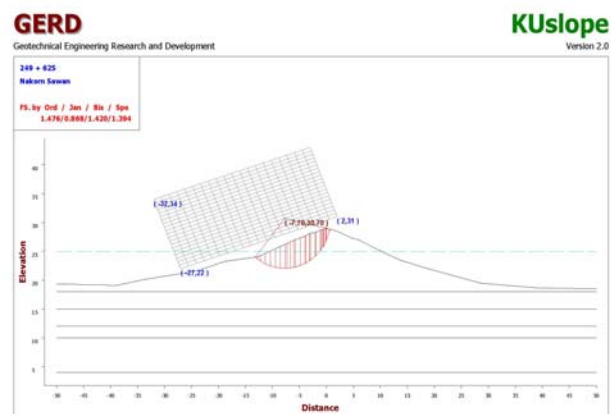
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดของดิน(ความลึกคิดจากระดับหลังคันดิน)

Soil	Thick (m)	$S_u \text{ (kN / m}^2\text{)}$	$\gamma_t \text{ (kN / m}^3\text{)}$
Soil 1	10	91.69	19.614
Soil 2	3	197.02	19.614
Soil 3	3	501.92	19.614
Soil 4	2	323.02	19.614
Soil 5	6	723.06	19.614

ในส่วนข้อมูลน้ำหนักกระทำ (External Load) สำหรับการวิเคราะห์ความมั่นคงคันดินทางรถไฟ กำหนดให้น้ำหนักที่กระทำเป็นแบบจุด (Point Load) กระทำที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

(Center Line) ด้านบนของคันดินทางรถไฟของแต่ละหน้าตัด โดยน้ำหนักกระทำได้มาจากน้ำหนักเพลามาตรฐานร่วมกับน้ำหนักเนื่องจากแรงกระทำเท่ากับ 45.00 ตัน

การป้อนข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ความมั่นคงของคันดินทางรถไฟในโปรแกรม KU Slope ของแต่ละหน้าตัด ประกอบด้วย ข้อมูลคุณสมบัติดินและพิกัดของชั้นดินไม่พิจารณาผลกระทบของน้ำใต้ดิน และ Tension Crack มีน้ำหนักของรถไฟ เป็น น้ำหนักภายนอก ต่อจากนั้นทำการเลือกทฤษฎีการวิเคราะห์เสถียรภาพของหน้าตัดคันดินทางรถไฟให้เป็นแบบการพังทลายรูปตัดวงกลมและไม่เป็นวงกลม โดยเลือกใช้วิธีวิเคราะห์ 3 วิธี คือ 1. Simplified Janbu 2.Simpifiled Bishop และ 3.Spencer เสร็จแล้วทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม KU Slope จำนวน 6 หน้าตัด โดย กำหนดค่าอัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety, F.S) สำหรับการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเฉียงผ่านเกณฑ์ ไม่น้อยกว่า 1.5 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ AASHTO แนะนำไว้ [4] เพื่อให้เกิดความมั่นคงและปลอดภัยแก่ลาดด้านข้าง คันทางดิน รูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเฉียงที่ กม. 249+625 โดยใช้โปรแกรม KU Slope



รูปที่ 7 การวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเฉียงด้วยโปรแกรม KU Slope ที่ กม. 249+625

เมื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเฉียง ทั้ง 6 หน้าตัด ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยตามทฤษฎีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยในการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดเอียงโดยใช้โปรแกรม KU Slope

Station	Factor of Safety (F.S.)			Remark
	Simplified Janbu	Simplified Bishop	Spencer	
249 + 625	0.868	1.420	1.394	Left
249 + 650	2.010 *	2.522 *	5.858 *	Left
249 + 675	0.931	1.434	2.098 *	Right
249 + 700	1.844 *	1.376	2.338 *	Left
249 + 725	0.849	1.280	0.974	Left
249 + 750	0.928	1.306	1.809 *	Right

หมายเหตุ * ค่าความปลอดภัยผ่านเกณฑ์

จากตารางที่ 2 จากผลการวิเคราะห์ผลค่าความปลอดภัยที่มากกว่า 1.5 คือ กม. 249+650 ส่วนหน้าตัดที่เหลือ ค่าความปลอดภัย น้อยกว่า 1.5 โดยเฉพาะ ที่ กม.249+725 เป็นหน้าตัดที่มีค่าความปลอดภัยโดยรวมต่ำที่สุด ในการวิเคราะห์เพื่อการแก้ไขความมั่นคงของคันดินทางรถไฟจึงพิจารณาที่หน้าตัด กม. 249+725 เป็นหลัก แทนหน้าตัดอื่นๆ

การวิเคราะห์ด้วยวิธี Simplified Janbu โดยใช้หลักความสมดุลของแรง พิจารณาตามรูปร่างของการพังทลาย (Slip surface) แบบไม่เป็นวงกลม (Non - Circular) เพื่อหาค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) โดยสมมติฐานแรงสำหรับวิธี Simplified Janbu ประกอบด้วย แรงกระทำในแนวนอน คือ แรงดันดินด้านข้างและแรงกระทำในแนวตั้ง คือแรงเฉือน เพื่อการวิเคราะห์สำหรับโครงสร้างแบบ Determinate [5] ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์หน้าตัดการพังทลายที่ทราบรอยเลื่อน ดังนั้น จึงไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยหน้าตัดที่ กม. 249+725 เนื่องจากไม่ทราบพิกัดรอยเลื่อนการพังทลายของดิน ทำให้ค่าความปลอดภัยที่คำนวณได้ผิดไปจากความเป็นจริง

การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยด้วยวิธี Simplified Bishop โดยใช้หลักการสมดุลของโมเมนต์รูปร่างของการพังทลายแบบวงกลม (Circular) [5] โดยสมมติฐานแรงประกอบด้วย แรงกระทำในแนวนอน คือแรงดันดินด้านข้าง

เท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างแบบ Indeterminate ซึ่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์หน้าตัดที่ กม. 249+725 เนื่องจากสมมติฐานการพังทลายเป็นรูปแบบวงกลม (Circular) แต่สมมติฐานแรงสำหรับการวิเคราะห์ยังไม่รวมแรงเฉือนจึงมีผลทำให้ค่าความปลอดภัยที่ได้มีค่าผิดไปจากความเป็นจริงพอสมควร

การวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยด้วยวิธี Spencer รูปร่างของการพังทลายแบบวงกลม (Circular) โดยใช้หลักการการสมดุลของแรงและโมเมนต์ ที่เรียกว่า General Limit Equilibrium [5] สมมติฐานแรงสำหรับวิธี Spencer ประกอบไปด้วย แรงกระทำด้านข้าง คือแรงดันดินด้านข้างและแรงกระทำในแนวตั้ง คือแรงเฉือน เพื่อการวิเคราะห์สำหรับโครงสร้างแบบ Indeterminate เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ค่าความปลอดภัยของหน้าตัดดินที่ กม. 249+725 เนื่องจากรูปร่างการพังทลายของคันดินทางรถไฟเป็นรูปแบบวงกลม (Circular) และสมมติฐานแรงใกล้เคียงกับสถานะของโครงสร้างคันดินทางรถไฟมากที่สุด เมื่อเทียบกับทฤษฎีที่กล่าวถึงข้างต้น

5 การออกแบบเสริมความมั่นคงคันดินทางรถไฟ

หลักการพื้นฐานของการเสริมความมั่นคงของคันดินทางรถไฟนั้น ควรคำนึงถึงค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ของคันดินทางรถไฟ ซึ่งมาตรฐาน AASHTO แนะนำไว้เท่ากับ 1.5

การวิเคราะห์และออกแบบเพื่อเสริมความมั่นคงคันดินทางรถไฟ จะกำหนดให้พิจารณาเฉพาะหน้าตัดดินหลักที่มีประสิทธิภาพต่ำหรือค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ต่ำที่สุด เพื่อให้การออกแบบที่ได้ครอบคลุมปัญหาต่างๆที่เป็นสาเหตุให้เสถียรภาพของคันดินทางรถไฟและสามารถดำเนินการก่อสร้างได้สะดวกยิ่งขึ้น ซึ่งจากการพิจารณาจะกำหนดให้ กม. 249+725 เป็นหน้าตัดดินหลักในการวิเคราะห์และออกแบบเพื่อความมั่นคงคันดินทางรถไฟ

วิธีการแก้ไขเสถียรภาพความมั่นคงดินเลือกใช้วิธีกล่องแกเบียน (Gabion Box) กล่องบรรจุหิน มีฝาปิด พร้อมลวดมัด/ยึด (รูปที่ 8) ใช้สำหรับงานเรียงหินตามภูเขา หรือตลิ่งริมแม่น้ำหรือเขื่อน เพราะมีความยืดหยุ่นในการออกแบบโครงสร้างสูง

ป้องกันต่อการกัดกร่อนเนื่องจากสภาพภูมิอากาศได้ดี, สามารถทนต่อการสั่นสะเทือนของพาหนะได้ดี, ใช้งบประมาณน้อยในการก่อสร้างและสะดวกในการซ่อมแซมในอนาคต เหมาะกับงานที่ต้องการการก่อสร้างแบบเร่งด่วนเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ [6]



รูปที่ 8 การเสริมความมั่นคงดินเลือกใช้วิธีกล่องแกวเป็น (อ้างอิง: Hebei Zehua Wire Mesh Co., Ltd)

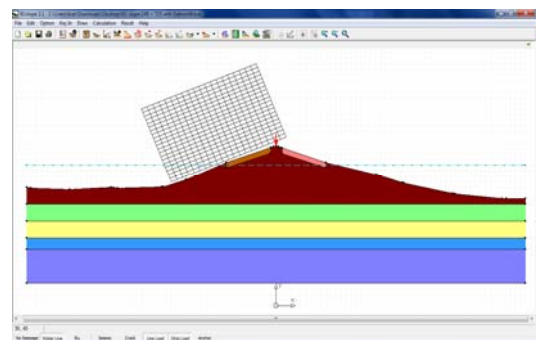
การออกแบบเสริมความมั่นคง โดยวิธี Gabion box นั้น จะต้องออกแบบลักษณะของ Gabion box โดยใช้โปรแกรม KU slope จะใช้ข้อมูลลักษณะของหินกรวดเป็น โดยหินกรวดเป็นที่ใช้ต้องมีความแข็งแรงพอและไม่แตกร้าวเมื่อโดนน้ำ อีกทั้งต้องมีความคงทนต่อสภาพอากาศ เปียกชื้นและแห้งสลับกัน ตัวอย่างเช่น หินแกรนิต หินปูน หินทราย กรวดหรือเศษคอนกรีต ขนาดเฉลี่ยของหินกรวดเป็นที่ใช้อยู่ที่ 6 ถึง 10 เซนติเมตร โดยที่หินกรวดเป็นจะมีค่าแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion, c) เท่ากับ 19.614 kN/m^2 มีมุมเสียดทานภายใน (Angle of Internal Friction, ϕ) เท่ากับ 40 องศา และมีค่าหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight, γ) เท่ากับ 23.536 kN/m^3 เป็นค่าที่อ้างอิงจากหินที่หาได้ทั่วไปในพื้นที่ เมื่อได้ค่าที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์ห้ออกแบบเรียบร้อยแล้ว จึงออกแบบการเสริมความมั่นคงคันดินทางรถไฟด้วยวิธี Gabion box และมีความหนา 1.00 เมตร ในโปรแกรม KU Slope โดยการตั้งสมมติฐานการออกแบบเพื่อเสริมความมั่นคงของคันดินทาง

รถไฟ เพื่อให้ได้ค่าความปลอดภัยมากกว่าหรือเท่ากับ 1.5 ตามที่ต้องการ ใช้วิธี Gabion Box เป็น 3 รูปแบบ คือ
 1.ออกแบบเสริม Gabion Box ในพื้นที่วิบัติเดิม (รูปที่ 9)
 2.ออกแบบเสริม Gabion Box นอกพื้นที่วิบัติเดิม (รูปที่ 10)
 3.ออกแบบเสริม Gabion Box ทั้งในและนอกพื้นที่การวิบัติเดิม (รูปที่ 11)

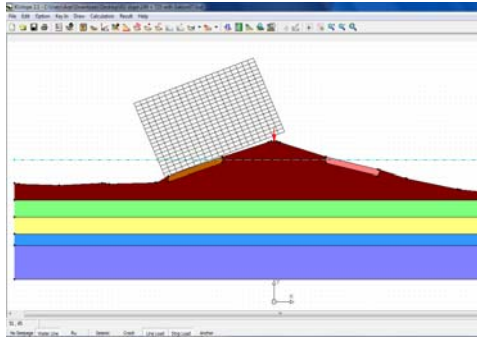
เมื่อทำการวิเคราะห์เสถียรภาพอัตราส่วนความปลอดภัยทั้ง 3 ทฤษฎี ที่ กม. 249+275 จะได้อัตราส่วนความปลอดภัยดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยโดยใช้กล่องแกวเป็น (Gabion box) แบบต่างๆ

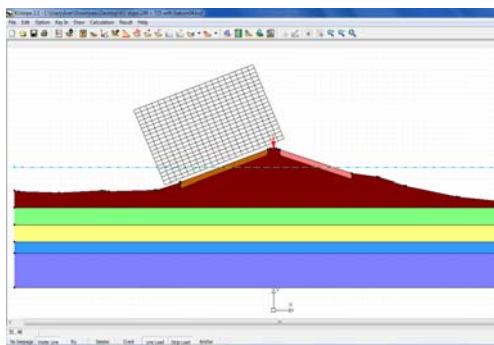
แบบที่	Factor of Safety (F.S.)					
	Simplified Janbu		Simplified Bishop		Spencer	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	0.849	0.906	1.280	1.339	0.974	1.502
2	0.849	0.918	1.280	1.342	0.974	1.412
3	0.849	0.874	1.280	1.327	0.974	1.587



รูปที่ 9 การออกแบบเสริม Gabion Box ในพื้นที่วิบัติเดิม ที่ กม. 249 +725



รูปที่ 10 การออกแบบเสริม Gabion Box นอกพื้นที่การวิบัติเดิม ที่ กม. 249 +725



รูปที่ 11 การออกแบบเสริม Gabion Box ทั้งในและนอกพื้นที่การวิบัติเดิม ที่ กม. 249 +725

จะเห็นได้ว่าการออกแบบเสริมกล่องแกเบียนแบบที่ 3 ที่มีการออกแบบการวาง Gabion box ทั้งในและนอกพื้นที่การวิบัติจะได้ค่าความปลอดภัยเท่ากับ 1.587 ตามวิธี Undrained ของ Spencer ซึ่งมีค่าความปลอดภัยที่กว่าค่ามาตรฐานที่ AASHTO กำหนดไว้ที่ 1.5 และค่าความปลอดภัยมากที่สุดเมื่อเทียบกับทั้ง 2 แบบ

6 สรุป

ในการวิเคราะห์เพื่อการออกแบบเสริมความมั่นคงคันดินทางรถไฟ เนื่องมาจากการไม่สม่ำเสมอของรางรถไฟที่ จังหวัด นครสวรรค์ ประกอบด้วย การสำรวจและทดสอบดินในสนาม การทดสอบดินในห้องปฏิบัติการ และการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดโดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป KU Slope ผลการศึกษาพบว่า ดินที่ใช้คันดินทางรถไฟเป็นดินเดิม เมื่อจำแนกดินในระบบ USCS เป็นดินเหนียว CL เหมาะสำหรับ

ทำแกนกันน้ำซึม ไม่เหมาะสมในการใช้ในงานฐานรากรับแรงแบกทาน และไม่เหมาะทำชั้นรองพื้นทางรถไฟ

ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพความลาดหลักการ วิธี Limit Equilibrium โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป KU Slope พบว่า ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย มีค่าน้อยกว่า 1.5 โดยใช้ทฤษฎีต่างๆ และทฤษฎีที่เหมาะสมที่สุด คือ ทฤษฎีของ Spencer ซึ่งให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยต่ำสุด

การออกแบบเสริมความมั่นคงคันดินทางรถไฟ เลือกใช้วิธี Gabion box เพราะมีความยืดหยุ่นในการออกแบบโครงสร้างสูง ป้องกันต่อการกัดกร่อนเนื่องจากสภาพภูมิอากาศได้ดี, ความหนา 1.00 เมตร ทั้งในและนอกพื้นที่การวิบัติเดิม จะให้ค่าอัตราส่วนความปลอดภัยเพิ่มขึ้นมาก และมากกว่า 1.5 ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ปลอดภัย

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาวิศวกรรมปฐพีและฐานราก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้เอื้อเพื่อโปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพลาดดิน KU Slope เพื่อการศึกษาขอขอบคุณนายกฤษณะ จงเจริญ นายรัฐพล หาญพิพัฒน์ พาณิชย์ นายภควัฒน์ เจือทอง นายพรพงษ์ กมลกิจการ รวมถึงมหาวิทยาลัยมหิดลที่ได้เข้าร่วมเก็บข้อมูลภาคสนาม และสนับสนุนการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] American Society for Testing and Materials (ASTM) Standard.
- [2] Bowles, J .E., Engineering Properties of Soil and Their Measurement, 4th Edition, McGraw - Hill, 1992.
- [3] American Railway Engineering Association (AREA) – Manual for Railway Engineering, 1997
- [4] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Standard
- [5] Lambe, T. W and Whitman, R. V., Soil Mechanics, SI Version, John Wiley and Son, 1979

[6] Yang, G.-L., Liu, Z.-Z., Xu, G.-L., and Huang, X.-J., "Protection technology and applications of gabion", Proc. of Int. Symp. On Geoenvironmental Eng. – ISGE2009, Sept 2009, Hangzhou, China.

[7] สยาม ยิ้มศิริ และ รุเชียร เผ่าชัยยั่งยืน. "การศึกษาการเคลื่อนตัวของคันดินทางรถไฟในบริเวณภาคเหนือตอนล่าง"

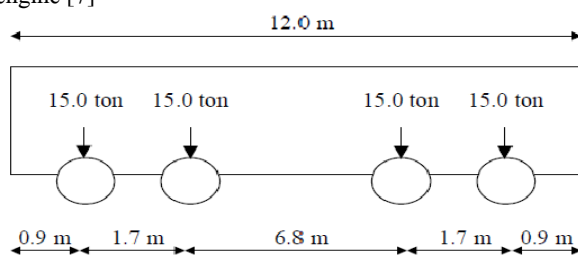
ภาคผนวก

การคำนวณน้ำหนักจรของรถไฟที่กระจายสม่ำเสมอกระทำต่อคันดิน ตาม AREA manual สามารถทำได้โดยพิจารณา น้ำหนักรถไฟในรูปที่ 10 กำหนดให้น้ำหนักจากล้อสามารถสมมติ เป็นน้ำหนักกระจายบนพื้นที่ดังนี้

- ความยาว = ความยาว 3 ฟุต + ความหนาของชั้นหินโรยทางใต้หมอนรองราง (ใช้ 500 มิลลิเมตร) = 1414 มิลลิเมตร

- ความกว้าง = ความยาวหมอนรองราง (2000 มิลลิเมตร) + ความหนาของชั้นหินโรยทางใต้หมอนรองราง (ใช้ 500 มิลลิเมตร) = 2500 มิลลิเมตร (เพื่อความสะดวก ใช้ 3000 มิลลิเมตร)

เพราะฉะนั้น Live load = 15 ตัน / (1414 มิลลิเมตร × 3000 มิลลิเมตร) = 35 กิโลปาสคาล และสามารถจำลอง Impact load จากรถไฟโดยการเพิ่มน้ำหนักรถไฟอีก 60% สำหรับ Diesel engine [7]



รูปที่ 12 น้ำหนักของรถไฟ